

中国科学最前線

—研究の現場から—

2015年版



国立研究開発法人

科学技術振興機構

Japan Science and Technology Agency

中国総合研究交流センター (CRCC)

目次

IT

- 中国のIT産業の競争力…………… 3
苑 志佳（立正大学経済学部 教授）
- 中国通信設備製造業のイノベーション能力評価…………… 6
陳芳 穆栄平（中国科学院科技政策与管理科学研究所）
- ビッグデータがもたらすクラウドコンピュータの登場…………… 14
中国総合研究交流センター編集部
- 北斗測位チップにおけるコア技術の進展…………… 15
中国総合研究交流センター編集部
- DNS安全管理、中国の焦眉の急に…………… 16
中国総合研究交流センター編集部

ナノテクノロジー・材料分野

- 生物進化を模倣した機能性分子の設計…………… 19
伊藤 嘉浩（独立行政法人理化学研究所 主任研究員）
- 再生医療用足場材料の研究開発…………… 22
陳 国平（独立行政法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点 生体組織再生材料ユニット長・主任研究者）
- ナノ医薬品、アルツハイマー病の特効薬に期待…………… 25
中国総合研究交流センター編集部
- 山東大学結晶材料実験室、光触媒の研究で重要な進展…………… 26
中国総合研究交流センター編集部
- 中国の2大学、極低温原子の量子シミュレーション分野で飛躍…………… 27
中国総合研究交流センター編集部

ライフサイエンス分野

- タヒナウイルスについて…………… 31
呂 志（中国疾病予防コントロールセンター ウイルス病予防コントロール所 ウイルス性脳炎室勤務 副研究員）
- 鳥インフルエンザA（H7N9）について …… 34
押谷 仁（東北大学大学院医学系研究科微生物学分野）
- 2013年中国生命科学分野の注目人物 …… 36
中国総合研究交流センター編集部

環境技術分野

- 最近の環境法政策―生態文明と環境保護法改正―…………… 43
北川 秀樹（龍谷大学政策学部 教授、NPO法人・環境保全ネットワーク京都代表、博士（国際公共政策・大阪大学））
- 中国の大気汚染は果たして「悪化の一途をたどってきた」のか？
―データが示すPM2.5問題の背景と実態― …… 46
堀井 伸浩（九州大学経済学研究院 准教授）
- 北京の大気汚染の現状と原因分析…………… 49
彭 応登（博士、北京市環境保護科学研究院 研究員）
- 2013年度中国大気質に関する最新結果 …… 54
金 振（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）
- 中国環境保護部 環境基準違反企業への取締りを強化…………… 55
金 振（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）
- 中国の2013年度政府機関会計検査の結果について …… 56
金 振（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）

宇宙航空科学

- 中国の宇宙科学研究から見た基礎科学の進展…………… 59
松岡 勝（理化学研究所 名誉研究員）
- 飛躍的發展段階に入る中国の宇宙開発活動…………… 62
辻野 照久（科学技術振興機構 研究開発戦略センター 特任フェロー）
- 中国の宇宙開発事情 突然発表された第3世代北斗航行測位衛星 …… 64
辻野 照久（科学技術振興機構 研究開発戦略センター 特任フェロー）

教育

- 中国の高校から日本の大学への留学：高校数学の学習単元の整合表の試み…………… 69
竹熊 尚夫（九州大学大学院人間環境学研究院 教授）

●中国におけるキャリア教育・起業家育成教育の発展について……………	74
新井 聡（文部科学省 生涯学習政策局参事官（連携推進・地域政策担当）付 専門職）	
●中国の高等教育機関イノベーション能力向上計画（2011計画）……………	76
趙 晋平（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）	
●高等教育段階の中外共同運営機関・プロジェクトの現状と課題……………	78
趙 晋平（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）	

資源

●世界の水循環を可視化する―関東中部、黄河流域、チャオプラヤ川流域を例に……………	83
西岡 哲（株式会社地圏環境テクノロジー 代表取締役社長）	
●中国のエネルギー需給とその持続可能性……………	87
呂 正（日本エネルギー経済研究所 研究員）	
●中国の農地―その量、質、制度……………	90
白石 和良（元農林水産省農業総合研究所海外部長）	
●中国の都市における環境資源としての気候……………	95
一ノ瀬 俊明（独立行政法人国立環境研究所 上席研究員）	

先端計測および生産技術分野

●ロボット技術の進展……………	101
徐 揚生、閻 鏡予（香港中文大学、中国科学院深セン先進技術研究院）	
●高速溶媒抽出・ガスクロマトグラフ質量分析法による土壌サンプルのポリ臭素化ジフェニルエーテル測定……………	105
付 英明、王 乃麗、王 金梅、楊 卉（天津市環科検測技術有限公司）	
●二酸化炭素（CO ₂ ）の計測法の研究……………	109
胡 永飛、張 海濱、張 景奇（中国海洋石油総公司省エネ・排出削減監視センター）	
●鉄鋼スラグヤードにおける粉塵モニタリング法の研究と抑制対策の提案……………	114
王 文美、張 寧（天津市環境保護科学研究院）／ 曹 陽、張 君（天津迪蘭奧特環保持科技開発有限公司）	
●中国、ウラン濃縮技術の国産化に成功……………	117
中国総合研究交流センター編集部	
●中国初の核破砕中性子源設備、東莞で取り付け……………	118
中国総合研究交流センター編集部	
●中国、アボガドロ定数測量技術研究で大きく進展……………	119
中国総合研究交流センター編集部	

海洋技術

- 海底希土類元素研究の進展状況……………123
呉 紹淵（中国海洋大学環境学院）
- 中国沿岸地域の土地利用のリモートセンシング（遠隔探査）分類システム研究……………125
侯 西勇（中国科学院煙台海岸域研究所研究員）
- 海洋地殻の沈み込みの断層強度に関する重要な研究成果……………129
中国総合研究交流センター編集部
- 中国科学院海洋研究所、小型深海シミュレーション圧力装置の研究開発に成功……………130
中国総合研究交流センター編集部
- 中国近海海洋生物のDNAバーコードデータベースの構築……………131
中国総合研究交流センター編集部
- 海洋調査船「科学号」がブラックスモーカーらしきものを発見……………132
中国総合研究交流センター編集部

法律改定、知財および技術移転

- 中国著作権法第三次改正の進展及び争点……………135
朱 根全（北京雷津文化発展有限公司CEO、コンテンツ海外流通促進機構（CODA）北京センター 所長）
- 大学におけるオープンイノベーションによる特許技術の商品化……………139
陳 東敏（北京大学科学開発部部長、北京大学産業技術研究院院長）
- 厦門大学 産学官連携の現状と未来……………142
譚 紹浜、林 勝蘭（厦門大学）
- 中国特許権の実力に関する調査結果……………144
金 振（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）
- 2014年中国知的財産権の発展状況に関する速報値……………145
金 振（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）
- 2014年中国知的財産権の保護状況……………146
金 振（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）

原子力

- 躍進する中国の原子力発電……………149
王 彦佳（清華大学原子力・新エネルギー技術研究院 教授）
- 原子力の安全発展に関する考察……………152
王 毅（中国科学院科技政策・管理科学研究所）

- 中国の原発発展、環境汚染対策の有効な手段に……………157
中国総合研究交流センター編集部
- 中国の原子力工業、誕生60周年 建設中の原発規模で世界最大に ……159
中国総合研究交流センター編集部
- 急成長期を迎える中国の原発 秦山原子力発電所、中国最大の原発基地に……………160
中国総合研究交流センター編集部

社会基盤

- 四川大地震と地震動ハザード評価の国際展開……………163
郝 憲生（独立行政法人 防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域 主幹研究員、GEM 科学委員会 副委員長）
- 中国の高速鉄道が達成した「世界第一」……………165
中国総合研究交流センター編集部
- 北京新空港、投資額800億元……………166
中国総合研究交流センター編集部

中国の大気汚染防止の法制度および関連政策

- 中国の大気汚染防止の法制度および関連政策……………169
金 振（科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー）

IT

中国のIT産業の競争力

苑 志佳 ●立正大学経済学部 教授



1959年生まれ
1998年 東京大学大学院経済学研究科応用経済学専攻博士課程修了、博士（経済学）
1998年 立正大学経済学部 助教授
2003年 立正大学経済学部 教授（現職）

「中国のIT産業の競争力はどのくらいか」と聞かれると、おそらく2つのリプライが出てしまうであろう。ハイテクのIT産業では途上国の中国が弱く、競争力を持っていないのではないか、という認識もあれば、莫大な人口規模と高度な経済成長に支えられた、世界有数のIT産業超大国、というイメージもある。確かに、見る視点によって中国のIT産業は「多重人格」のように映ってしまう。われわれが使っているIT機器の表をよく見ると、中国製のシステム（OS）やアプリなどはめったに見当たらない一方、これらのIT機器の裏を見ると、メイドインチャイナの表示がよくある。これは、何故であろうか。本稿は上記の一般的な現象に着目して客観的なデータによって中国のIT産業の競争力を明らかにする。

「IT産業はどのような分野なのか」。広く知られているように、IT産業は、世界的には統一した定義が存在しておらず、国によってまたは視点によって認識が異なる。ITの発祥国と産業大国のアメリカでの定義を引用すると、下記のものがある。つまり、「IT産業とは、インターネットや電子商取引など、経済全体にわたりITを利用した事業活動を支援する製品やサービスを供給する企業群」である[1]。これより、本稿はこの定義に従って中国のIT産業の競争力を具体的に分析する。

1. 中国IT産業の現状

2013年の最新のオフィシャルな統計データはまだ公表されていないので、やや古いデータで中国のIT産業を見よう。2012年、中国のマクロ経済全般の発展が減速したなかで、IT産業の成長ペースも緩かったが、IT産業分野の売上高は史上初めて10兆円（約168兆円）を突破した。そのうち、ITハードウェア（製造業）分野における一定規模以上の企業の販売収入は8.46兆円（約142兆円）になった。ITソフトウェア分野は、2.5兆円（約42兆円）の販売収入であった。同年にIT製造業分野の従業員数は史上初めて1,000万人を突破して前年比6.5%増となった。そして、2013年のIT主要製品の中では、携帯電話（13.50億台）、パソコン（3.52億台）、テレビ（1.25億台）3品目は2012年に続き世界最大の生産量であった。そのうち、新型携帯電話

のスマートフォン（スマホ）で中国の急成長が続いた。米IDCの調査によると、2013年のスマホの世界生産台数は10億台を超え、そのうち、中国でのスマホ生産台数は3億120万台と世界全体の約3割強を占め、2位のアメリカ（1億3750万台）の2倍を超えた。

そして、これまでIT産業の急速な発展を支えていたIT製品の輸出入は2013年、13,302億ドルに達し、12.1%の高成長であった。そのうち、輸出は、7,807億ドルであり、11.9%の高度成長になり、輸出全体より4ポイント高かった。一方、輸入は5,495億ドルであり、12.4%の高成長であった。IT製品の輸出上位5品目は、ノートパソコン（1,108億ドル）、携帯電話（951億ドル）、集積回路（977億ドル）、液晶パネル（359億ドル）、モバイル端末部品（355億ドル）であった。一方、IT製品の輸入上位5品目は、集積回路（2,313億ドル）、液晶パネル（496億ドル）、モバイル端末部品（337億ドル）、ハードディスクドライブ（HDD）（161億ドル）、印刷回路（136億ドル）であった。

2013年12月末現在、中国のインターネット利用者数は6.18億人であり、世界最大の規模を維持している。2013年の新規利用者増加数は5,400万であった。そして、2013年のインターネットの普及率は、45.8%に達し、2012年に比べて3.7ポイント上昇した[2]。また、中国インターネット協会（ISC）の調査データによると、2013年末時点の中国の電子商取引（EC）の規模は1兆8千億元（約30.2兆円）に達した。ネットショッピング人口はすでに2億7千人と世界最多である。そして、米調査会社イーマーケットの調査によると、世界のECの市場規模が2013年に約1兆2,200億ドルで前年比17%増えたなかで、中国市場は約65%増と急成長した。2013年、中国のB2C（Business to consumer）取引規模は、6,500億元（約10.9兆円）に達し、電子商取引全体の35.1%を占め、前年度に比べて5.5ポイント増加した。現在、電子商取引におけるC2C（Consumer to consumer）は依然として6割強を占めているが、B2C取引の急拡大によって両者の規模は2017年に逆転すると予想されている。

2. 中国のIT産業競争力の特徴

以上の現状説明から分かるように、中国は、様々なITハードウェア（製品）の生産大国とIT製品の輸出入大国である一方、ITのブレークスルー的技術の開発小国、という強い両面性の特徴を持っている。言い換えれば、「作るIT」（製造）に強く、「使うIT」（技術開発）に弱い、というのが中国IT産業競争力の第1の特徴である。パソコンを事例にとると、現在、世界市場に販売される製品の8～9割が中国で生産されている。中国メーカーのレノボは、すでにかつてのパソコン製造覇者の米HP社と米デル社を超えて世界最大のパソコンメーカーになった。しかし、パソコン用のOSや基本ソフトの大半は依然として米国企業が主導権を握っている。そして第2の特徴は、IT企業の急速な躍進である。ITという言葉が使われ始めた1990年代初期には、世界IT市場における中国企業のプレゼンスはほぼゼロに等しい。ところが、わずか10数年を経つと、世界IT産業には、目立つ中国企業——レノボ（パソコン、世界第1位）、華為技術（通信機器、世界第3位）、チャイナモバイル（移動通信キャリア、世界最多の利用者数）、TCL（液晶テレビ、世界第3位）、京東方（液晶パネル、世界第3位）、アリババ（電子商取引、利用者数4億人）、百度（ネット検索エンジン、世界第2位）、テンセント（ネットサービス、アジア最大）——を輩出している。そして、その一部は日本にも進出している。第3の特徴は、巨大な市場発展の潜在力である。中国のIT企業が上記のように目覚ましく発展を遂げた最も重要な要因は、国内市場の大きさにある。インターネットを例にとると、中国は断トツ世界最多の6億人以上のネット利用者を有するのに、その普及率は、50%未満であり、発展の余地が依然として十分に広い。また、中国が最新型の移動通信端末スマートフォン（スマホ）の世界最大の生産国になった背景も巨大な消費市場の存在である。第4の特徴は、中国のIT企業が国内市場に強く、海外市場に弱い、という点である。この点は上記の第3点に関連している。つまり、国内市場の潜在的需要は、十分に大きいため、中国のIT企業は創業当初からそのターゲットを国内に合わせて戦略を立てる。結局、IT企業は強い国内市場指向の性格を持つ。たとえば、6億人を超えるインターネット利用者を抱える中国では、利用者を争奪する企業間競争が激しい。第5の特徴は、IT産業における高いレベルの国際分業の存在である。中国は世界最大のIT製品生産大国になったが、IT産業の内容を精査すると、外資もしくは台湾系企業が中国のIT製品の生産を力強く支えていることがわかる。iPhoneやスマホの組立生産を専門とする台湾系EMSメーカーの鴻海（Foxconn）やノートパソコンの台湾系各社は、主力生産工場を中国各地に持っている。そして、最近、スマホ生産で頭角を現している、「中国のアップル」と呼ばれる小米科技は、ファブレス企業であるため、製品設計からコアパーツにわたって台湾、日本、韓国企業に外注する方式を採用している。

3. 中国IT産業の競争優位と競争劣位

さて、中国のIT産業の競争力は一体どのくらいか。まず、全体的に見れば、中国は依然としてIT産業の後進国である。「世界経済フォーラム」は2000年以降、定期的に世界各国の「IT競争力」を公表するが、2011～13年の3年間に於ける中国と日本の順位を比較すると、中国IT産業の競争力の弱さは、はっきり示している（〔表1〕を参照）。これによると、中国の「IT競争力」に対する評価は低下している（36位→56位→58位）のに対して日本の順位は、20位前後で推移している（19位→18位→21位）。両者のギャップは一目瞭然である。むろん、評価内容と基準によってIT産業競争力への評価は大きく異なる。上記の世界経済フォーラムの評価結果の通りに中国のIT産業を認識すれば、「中国のIT産業は、あまり競争優位を持っていない」という短絡的結論になりやすい。ここでは、中国IT産業の代表分野における個別企業を取り上げて世界の強力なライバルと比較して見よう。

◎表1 世界IT競争力における中国の順位変化

年	中国の順位	日本の順位	調査国数
2011年	36位	19位	138カ国
2012年	51位	18位	142カ国
2013年	58位	21位	144カ国

出所：世界経済フォーラム「The Global Information Technology Report (GITR)」。

まず、インターネット検索エンジンの企業を見よう。世界最大の企業グーグルと中国最大手の百度を並べて比較すると、両社ともほぼ同じ時期に創業したが、従業員数と売上高ではグーグルは百度を圧倒してけた違いの力が見られる（〔表2〕）。ただ、中国国内市場では、百度は逆にグーグルを圧倒し、検索市場で7割のシェアを占めて独占的な地位にある。そして、E Cの日中企業を比較する場合、中国企業の強みが見られる。〔表3〕に示したように、電子商取引の中国最大手のアリババは従業員数と売上高では日本の最大手楽天を大きく凌駕する。アリババは、個人向けネット通販では2012年の取引額が1兆元（約15兆円）を突破し、中国全国の小売総額の5%に相当する規模を賄う存在である。また、日中のネットサービス分野の実力（従業員数と売上高）を見ると、中国最大手のテンセントは日本のライブドアを大幅に上回る（〔表4〕）。以上の比較からわかるように、産業を構成する企業という視点では中国のIT産業は、すでに大きな力を持つようになった。

◎表2 検索エンジン企業の比較

	グーグル	百度
創立	1998年	2000年
従業員数	53,800人	7,000人
売上高（12年）	501億ドル	36億ドル

出所：各社のHPによる。

◎表3 電子商取引企業の比較

	楽天	アリババ
創立	1997年	1999年
従業員数	10,520人	24,000人
売上高（12年）	4,000億円	15兆円

出所：各社のHPによる。

◎表4 ネットサービス企業の比較

	ライブドア	テンセント
創立	2000年	1998年
従業員数	360人	20,000人
売上高（12年）	13.5億ドル	70.6億ドル

出所：各社のHPによる。

最後に、IT産業に関わる競争力について筆者の設定した項目で日米中3か国の強弱を比較して見る。[表5]は、IT産業の発展に不可欠の12項目を示す日米中の比較である。まず、中国が「優位」と判断された項目は半分の6項目（IT製品の生産能力、IT企業の創業意欲、IT人的資源ストック、国民経済全体の成長度合い、政府のIT産業促進政策、IT市場の発展潜在力）に数えた。とりわけ、IT製品の生産能力は、突出して圧倒的な強さを示す。IT製品別では世界生産に占める2013年の中国比率は、薄型テレビが46%、スマホが74%、パソコンが98%にそれぞれ達した[1]。とりわけ、IT製品を大量に生産する場合、中国を取って代わる国・地域はまだ現れていない。たとえば、スマホの組立生産では最近、メーカーによるベトナムへのシフトが見られたが、中国の生産規模は依然としてベトナムの10倍である。したがって、IT市場の発展潜在力という点から見ても、中国はしばらく優位に立つであろう。

◎表5 IT産業の競争力に関わる要素の国際比較

	中国	日本	米国
IT製品の生産能力	○	△	○
IT企業の創業意欲	○	×	○
IT人的資源ストック	○	△	○
国民経済全体の成長度合い	○	×	△
政府のIT産業促進政策	○	△	△
IT市場の発展潜在力	○	×	○
IT産業発展の環境	△	△	○
IT産業インフラ	△	○	○
ITのブレークスルー能力	×	△	○
IT製品の開発能力	×	○	○
IT製品のコアパーツ	×	○	△
IT知財の保護法律	×	○	○

説明：○＝強い、△＝中程度、×＝弱い。

出所：筆者作成。

2013年7月にクロス・マーケティングという機関がアジア地域で調査を実施した。その結果によると、中国の若年層のIT機器の購買意欲は特に強い。アジア各国の25～

34歳の会社員や公務員など千人を対象にパソコンも含む6種類のIT機器の1年以内の購入状況を調査したところ、中国でタブレットを買ったと答えた人は8割以上、デスクトップパソコンも6割に達した[2]。そして、IT人的資源ストックの点も中国の競争優位の1つである。

一方、IT産業の発展に不可欠の12項目のうち、中国が「劣位」を示すものは4項目（ITのブレークスルー能力、IT製品の開発能力、IT製品のコアパーツ、IT知財の保護法律）ある。このうち、ブレークスルー能力と製品の開発能力について中国のIT企業は、全般的に弱く、IT先進国に強く依存している。たとえば、世界一の生産量を有するスマホの場合、多くの中国メーカーは台湾系のMTK社（聯発科技）に基本設計とデザインを依存し、また、スマホの中にある重要な部品を日本企業に依存している。ただ、近年、中国政府のバックアップによって一部のIT企業は独自の技術基準と規格を作るようになった。移動通信の次世代規格（4G）の場合、中国の国有系通信企業は「TD-LTE」の規格を定め、2013年に国内サービスを開始した。今後、このような動きは活発になる可能性が高い。

そして、IT製品のコアパーツも中国IT産業のボトルネックの一つである。IT産業の発展に不可欠の半導体はその典型例である。現在、中国における半導体の国産化率は30%台にとどまっている。実際、2012年の中国の半導体市場は約16兆円に達したが、この需要を賄う国内メーカーが育っていない。したがって、半導体の微細加工技術では世界大手企業から2世代ほど遅れている。中国半導体企業の成長の遅れは人材不足などによって技術が世界に追い付かないことが理由の一つである。また、IT知財の保護法律の整備はかなり遅れている。このため、IT技術や製品のコピー問題が後を絶たない。そして、中国におけるIT産業発展の環境とIT産業インフラの2項目は比較的劣位に近いものである。IT先進国になるには、上記の劣位の克服と優位の維持・拡大がとにかく不可欠だと考えられる。

中国通信設備製造業のイノベーション能力評価

陳芳 穆栄平 ●中国科学院科技政策与管理科学研究所

1. 中国の通信設備製造業の革新能力に関する評価方法

“十一五”（第11次5カ年計画）期間中、中国の通信設備製造業は急速発展を続け、産業規模は不断に拡大し、リーディング企業は際立った影響をおよぼし、技術革新能力は大きな向上を遂げた。しかし、中国の通信設備製造業は依然として、自主革新能力と国際競争力を高める必要がある任務に直面しており、核心的技術と基準の開発と革新統合が発展のカギとなっている。このため、産業革新能力の確立の進展をチェックし、能力の確立に影響するカギとなる要素を識別することは、革新资源配置の最適化と中国の通信設備製造業の革新能力の確立を進めることに対して重要な意義を持っている。

『中国革新発展報告2009』における製造業革新能力に関する研究を参考とし、中国の通信設備製造業の発展階段と実情を考慮し、本稿では、中国の通信設備製造業の革新能力に関する評価指標体系の構築を図った。「革新の実力」と「イノベーションの効力」という2つの方面から通信設備製造業の革新能力を評価し、「革新投入」「革新産出」「革新成果」という3つの要素を考慮し、通信設備製造業の革新活動の規模、イノベーション活動の効率と効益を総合的に分析した。

本稿では、通信設備製造業の革新実力を表す指標として8つ（革新投入実力指標4、革新産出・革新成果実力指標各2）、通信設備製造業の革新効力を表す指標として9つ（革新投入・革新産出・革新成果効力指標各3）を設けた。

革新投入実力指標には、「R&D（研究開発）人員」「R&D経費」「（導入技術の）消化吸收経費」「研究開発機構数」が含まれる。革新産出実力指標には、「有効発明特許数」と「特許出願数」が含まれる。革新成果実力指標には、「新製品販売収入」と「利潤総額」が含まれる。革新投入効力指標には、「R&D人員の従業員に占める割合」「R&D経費の内部支出が主要業務収入に占める割合」「消化吸收経費支出と技術導入経費支出の割合」が含まれる。革新産出効力指標には、「企業1社当たりの平均有効発明特許数」「R&D人員に対する特許出願数」「R&D経費内部支出に対する特許出願数」が含まれる。革新成果効力指標には、「新製品販売収入が主要業務収入に占める割合」「利潤総額が主要業務収入に占める割合」「1人当たりの工業総生産額」が含まれる^[1]。

通信設備製造業^[2]は、中国の国民経済産業分類における中級分類であり、「通信伝送設備製造業」「通信交換設備製

造業」「通信端末設備製造業」「移动通信・端末設備製造業」「その他の通信設備製造業」の5つが含まれる。本稿では、中国通信設備製造業及び「通信伝送設備」「通信交換設備」「通信端末設備」「移动通信・端末設備」^[3]の4分類の革新能力に限りて評価を行う。

2. 中国の通信設備製造業の革新レベル

2.1 中国の通信設備製造業の革新投入レベル

“十一五”期間中、中国の通信設備製造業の研究開発投入規模が急速に拡大したのは、移动通信・端末設備と通信交換設備製造業の貢献によるところが大きい。2006年から2010年まで、中国の通信設備製造業のR&D人員（FTE換算）とR&D経費内部支出の年平均成長率は19.3%と23.4%に達した。このうち、移动通信・端末設備製造業のR&D人員の年平均成長率は31.0%に達し、通信交換設備製造業R&D経費内部支出の年平均成長率は25.9%に達した。通信設備製造業研究開発機構数の年平均成長率は16.4%だった。一方、通信交換設備製造業と移动通信・端末設備製造業の年平均成長率は23.8%と23.2%に達した。表1が示す通りである。同期間、中国の通信設備製造業工業総生産額（名目値、以下同様）の年平均成長率は8.2%で、研究開発活動の投入規模の拡大速度よりも低かった。

中国の通信設備製造業は全体として、“主に技術を導入し消化・吸収して再革新する”という発展モデルから、“カギとなるコア技術の革新と革新統合”という発展モデルへの転換を実現した。その転換は主に、通信交換設備製造業に体现されている。2006年から2010年までに、中国の通信設備製造業における（導入技術の）消化吸收経費支出は大幅な縮小傾向をたどり、年平均減少率は19.4%となった。同期間、技術改造経費支出と技術導入経費支出も減少傾向を見せ、年平均減少率は9.7%と5.5%となった。こうした減少傾向は、研究開発への投入規模の急速な拡大と鮮やかな対照を示している。2010年、中国の通信交換設備製造業R&D人員（FTE換算）とR&D経費内部支出はそれぞれ7.1万人年と236.7億元となり、通信設備製造業全体のそれぞれ72.1%と77.7%を占めた。通信端末設備製造業R&D人員（FTE換算）とR&D経費内部支出が通信設備製造業全体に占める割合はそれぞれ3.6%と2.9%で、研究開発活動の投入規模は最も小さかった。表1に示す通りである。

先進国と比べると、中国の通信設備製造業の産業研究開発投入規模は依然として大きな格差がある。2010年、中国の通信設備製造業R&D経費内部支出は304.7億元で、米

ドル換算で約45億ドルだった。同年、ノキアのR&D支出は65.4億ドル、シスコは52.1億ドル、エリクソンは約40.1億ドルだった。中国の通信設備製造業の研究開発投入規模は、一部の先進国の企業1社の投入レベルをも下回っている^[4]。注目すべきなのは、中国の華為技術有限公司（華為）などの通信交換設備製造のリーディング企業の研究開発投入規模と世界のトップ企業との格差はそれほど大きくないということである。2010年、華為のR&D経費支出は23.9億ドルに達し、シスコの45.9%だった^[5]。

2.2 中国の通信設備製造業の革新産出レベル

中国の通信設備製造業の発明特許革新能力は大幅に向上した。2006年から2010年まで、中国の通信設備製造業

特許出願数の年平均成長率は11.1%に達した。このうち、移動通信・端末設備製造と通信伝送設備製造業の特許出願数の年平均成長率は通信設備製造業全体のレベルを上回り、55.9%と22.2%に達した。同期、中国の通信設備製造業の有効発明特許数の年平均成長率は93.4%に及んだ。このうち、通信交換設備製造業の年平均成長率は最も高く、通信設備製造業全体のレベルを約8ポイント上回った。表2に示す通りである。

特許創造能力が最も強いのは通信交換設備製造業であり、比較的弱いのは通信端末設備・通信伝送設備製造業だった。2010年、中国の通信交換設備製造業の特許出願数は1万2003件で、通信設備製造業の特許出願数の71.1%

◎表1 中国通信設備製造業革新投入規模状況（2006-2010年）

指標	産業分類	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	年平均成長率%
R&D人員（換算、万人年）	通信設備製造業	4.9	7.5	9.3	8.6	9.9	19.3%
	通信伝送設備製造	0.4	0.4	0.4	0.7	0.8	17.8%
	通信交換設備製造	3.6	5.8	7.6	6.2	7.1	18.8%
	通信端末設備製造	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	1.7%
	移動通信・端末設備製造	0.5	1.0	1.0	1.4	1.6	31.0%
R&D経費内部支出（億元）	通信設備製造業	131.3	157.1	202.1	238.8	304.7	23.4%
	通信伝送設備製造	10.5	9.9	8.1	15.7	13.9	7.4%
	通信交換設備製造	94.2	110.8	148.2	176.0	236.7	25.9%
	通信端末設備製造	4.5	3.0	3.7	6.6	8.7	18.3%
	移動通信・端末設備製造	22.2	33.3	42.2	40.5	45.4	19.5%
（導入技術の）消化吸收経費（万元）	通信設備製造業	11629	10660	7015	3252	4910	-19.4%
	通信伝送設備製造	797	926	996	580	410	-15.3%
	通信交換設備製造	35	28	-	-	502	94.6%
	通信端末設備製造	171	366	942	180	1067	58.1%
	移動通信・端末設備製造	10627	9340	5077	2492	2931	-27.5%
研究開発機構数（カ所）	通信設備製造業	161	175	230	239	296	16.4%
	通信伝送設備製造	45	49	62	67	73	12.9%
	通信交換設備製造	26	32	36	41	61	23.8%
	通信端末設備製造	34	29	27	28	33	-0.7%
	移動通信・端末設備製造	56	65	105	103	129	23.2%

◎表2 中国通信設備製造業特許状況（2006-2010年）

指標	産業分類	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	年平均成長率%
特許出願数（件）	通信設備製造業	11069	16342	16159	18913	16886	11.1%
	通信伝送設備製造	328	555	748	707	731	22.2%
	通信交換設備製造	8618	14591	13527	15771	12003	8.6%
	通信端末設備製造	1567	147	258	378	867	-13.8%
	移動通信・端末設備製造	556	1049	1626	2057	3285	55.9%
有効発明特許数（件）	通信設備製造業	1713	3492	10222	14770	23979	93.4%
	通信伝送設備製造	142	346	303	155	727	50.4%
	通信交換設備製造	1283	2837	9059	13537	21091	101.4%
	通信端末設備製造	94	73	77	160	465	49.1%
	端移動通信・末設備製造	194	236	783	918	1696	72.0%

を占めた。通信交換設備製造業の有効発明特許数は2万1091件で、通信設備製造業の有効発明特許数の88.0%を占めた。表2に示す通りである。

中国の通信設備製造リーディング企業の特許創造能力は大きく向上し、PCT特許の出願数は世界のトップレベルに躍進した。世界知的所有権機関（WIPO）の統計資料によると、2006年から2010年までに、中国の中興通迅公司（中興）のPCT特許出願数は135件から1863件に増加し、企業のPCT特許出願数のランキングは世界92位から2位に躍進した。華為のPCT特許出願数は575件から1528件に増加し、同ランキングは13位から4位に上がった。一方、ノキアのPCT特許出願数は1036件から632件に減少し、同ランキングは世界4位から15位に後退した。このほか、中国は、通信分野の関連国際標準の制定に積極的に参加している。国際電気通信連合（ITU）は2000年、中国が提出したTD-SCDMA技術プランを第3世代移動通信（3G）の国際標準と認定したが、2010年10月にも再び、中国が提出したTD-LTE-Advanced（LTE-Advanced TDD方式）技術プランを4G国際標準として採用した^[6]。

2.3 中国の通信設備製造業の革新成果レベル

中国の通信設備製造業革新成果レベルは大幅に向上しており、通信交換設備製造業の発展は特に著しい。2006年から2010年まで、中国の通信設備製造業の利潤総額と新製品販売収入の年平均成長率はそれぞれ20.0%と24.6%に達した。このうち、通信交換設備製造業の年平均成長率は最も高く、それぞれ55.4%と29.0%に達した。表3に示す通りである。通信伝送設備・通信交換設備製造業の輸出も急速に成長している。2007年から2010年まで、中国の通信伝送設備製造業と通信交換設備製造業の輸出の年平均成長率はそれぞれ44.0%と21.2%に及んだ。

現在、革新成果規模が比較的大きいのは通信交換設備と移動通信・端末設備製造業であり、比較的小さいのは通信伝送設備と通信端末設備製造業である。2010年、中国の通信交換設備製造業と移動通信・端末設備製造業の利潤総額はそれぞれ376.8億元と194.5億元で、通信設備製造業全体の57.1%と29.5%に達した。新製品販売収入はそれぞれ1544.0億元と2433.1億元で、通信設備製造業全体の36.1%と56.9%だった。同年、通信伝送設備製造業と通信端末設備製造業の利潤総額はそれぞれ通信設備製造業全

◎表3 中国通信設備製造業革新成果規模状況（2006-2010年）

指標	産業分類	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	年平均成長率%
R&D人員（換算、万人年）	通信設備製造業	4.9	7.5	9.3	8.6	9.9	19.3%
	通信伝送設備製造	0.4	0.4	0.4	0.7	0.8	17.8%
	通信交換設備製造	3.6	5.8	7.6	6.2	7.1	18.8%
	通信端末設備製造	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	1.7%
	移動通信・端末設備製造	0.5	1.0	1.0	1.4	1.6	31.0%
R&D経費内部支出（億元）	通信設備製造業	131.3	157.1	202.1	238.8	304.7	23.4%
	通信伝送設備製造	10.5	9.9	8.1	15.7	13.9	7.4%
	通信交換設備製造	94.2	110.8	148.2	176.0	236.7	25.9%
	通信端末設備製造	4.5	3.0	3.7	6.6	8.7	18.3%
	移動通信・端末設備製造	22.2	33.3	42.2	40.5	45.4	19.5%
（導入技術の）消化吸収経費（万元）	通信設備製造業	11629	10660	7015	3252	4910	-19.4%
	通信伝送設備製造	797	926	996	580	410	-15.3%
	通信交換設備製造	35	28	-	-	502	94.6%
	通信端末設備製造	171	366	942	180	1067	58.1%
	移動通信・端末設備製造	10627	9340	5077	2492	2931	-27.5%
研究開発機構数（カ所）	通信設備製造業	161	175	230	239	296	16.4%
	通信伝送設備製造	45	49	62	67	73	12.9%
	通信交換設備製造	26	32	36	41	61	23.8%
	通信端末設備製造	34	29	27	28	33	-0.7%
	移動通信・端末設備製造	56	65	105	103	129	23.2%

体の8.3%と5.1%だった。新製品販売収入はそれぞれ通信設備製造業全体の3.2%と3.8%を占めた。表3に示す通りである。

3. 中国の通信設備製造業におけるイノベーションの実力

3.1 中国の通信設備製造業の革新に対する経費投入の実効性

中国の通信設備製造業の研究開発に対する経費投入は大きく強化されている。2006年から2010年までに、中国の通信設備製造業R&D経費内部支出が主要業務収入に占める割合は2.04%から3.36%に高まった。このうち、通信端末設備製造業の増幅は最大で、0.97ポイントにのぼった。移動通信・端末設備製造業がこれに続き、0.46ポイントだった。表4に示す通りである。同時期、中国の通信設備製造業主要業務収入は年平均9.0%で成長した。中国の通信設備製造業が全体の規模を拡大すると同時に、産業革新への投入を非常に重視していたことがわかる。

“十一五”期間、中国の通信設備製造業は、新製品の開発能力をさらに重視し、とりわけ通信端末設備製造業ではこれが際立った。2006年から2010年まで、中国の通信設備製造業の新製品開発経費の年平均成長率は9.7%で、このうち通信端末設備製造業は平均成長率18.6%と急速な伸びを示した。新製品開発経費が主要業務収入に占める割合はまず、2.14%から2009年の3.57%まで増加を続けたが、2010年には2.20%と再び縮小した。このうち通信端末設備製造業だけは、1.22%から2.57%へと際立った拡大を維持した。

注目すべき点は、中国の通信伝送設備製造業が規模を拡張した一方、技術革新への資金投入は同程度の成長を実現

できなかったということである。2006年から2010年まで、中国の通信伝送設備製造業主要業務収入の年平均成長率は34.0%に達したが、R&D人員が従業員に占める割合は10.60%から7.99%に縮小し、R&D経費内部支出が主要業務収入に占める割合は5.13%から2.12%に縮小し、新製品開発経費が主要業務収入に占める割合は5.39%から2.55%に縮小した。このほか、通信交換設備製造業のR&D人員が従業員に占める割合とR&D経費内部支出が主要業務収入に占める割合はやや縮小したものの、通信設備製造業全体のレベルを依然として大きく上回っている。表4に示す通りである。

中国の通信設備製造業のうち革新投入効率が最も高いのは通信交換設備製造である。2010年、中国の通信交換設備製造のR&D人員が従業員に占める割合とR&D経費内部支出が主要業務収入に占める割合、技術消化吸収経費支出の技術導入経費支出に対する比率はそれぞれ34.39%、7.45%、16%で、通信設備製造業全体のR&D人員が従業員に占める割合（11.25%）、R&D経費内部支出が主要業務収入に占める割合（3.36%）、技術消化吸収経費支出の技術導入経費支出に対する比率（3%）をそれぞれ大きく上回った。表4に示す通りである。

中国の通信設備製造リーディング企業の研究開発投入は大きく強化されており、著名なグローバル企業との差は着実に縮まっている。2010年、中国の中興社のR&D経費内部支出が販売純収入に占める割合は11.3%となり、2007年から2.1ポイント上昇した。同年、シスコ社とノキア社のR&D経費内部支出が販売純収入に占める割合はそれぞれ13.2%と11.6%で、2007年からの増幅はそれぞれ0.3ポイントと1.3ポイントだった^[7]。

◎表4 中国の通信設備製造業のイノベーションに対する経費投入の状況（2006-2010年）

指標	産業分類	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
R&D人員が従業員に占める割合（%）	通信設備製造業	11.05	11.79	12.93	11.31	11.25
	通信伝送設備製造	10.60	8.43	6.17	8.16	7.99
	通信交換設備製造	41.03	49.22	47.35	32.37	34.39
	通信端末設備製造	3.71	2.28	2.31	3.16	3.76
	移動通信・端末設備製造	2.42	2.69	2.62	3.54	3.36
経費内部支出が主要業務収入に占める割合（%）	通信設備製造業	2.04	2.18	2.70	3.05	3.36
	通信伝送設備製造	5.13	3.77	2.22	3.25	2.12
	通信交換設備製造	7.57	6.57	7.36	6.75	7.45
	通信端末設備製造	0.90	0.65	0.81	1.61	1.87
	移動通信・端末設備製造	0.50	0.70	0.91	0.94	0.95
消化吸収経費支出の技術導入経費支出に対する比率（%）	通信設備製造業	5	3	2	2	3
	通信伝送設備製造	26	14	13	15	7
	通信交換設備製造	1	1	-	-	16
	通信端末設備製造	8	10	1	1	8
	移動通信・端末設備製造	5	3	2	2	2

3.2 中国の通信設備製造業におけるイノベーション創出の能力

中国の通信設備製造業の発明特許創造効率は急速に向上している。2006年から2010年までに、中国の通信設備製造業の企業1社当たりの有効発明特許数は6件から59件に増加し、年平均成長率は76.6%に達した。このうち、通信交換設備製造業の企業1社当たりの有効発明特許数は最大の増加数と最速の成長率を示し、2006年の44件から2010年の753件に増加し、年平均成長率は103.1%に及んだ。表5に示す通りである。

中国の通信設備製造業の技術革新効率は下降傾向を示している。2006年から2010年までに、中国の通信設備製造業のR&D人員1万人当たりの特許出願数とR&D経費内部支出1億元当たりの特許出願数はそれぞれ565件と29

件の減少となった。減少幅が大きかったのは通信端末設備製造業で、R&D人員1万人当たりの特許出願数とR&D経費内部支出1億元当たりの特許出願数はそれぞれ2277件と252件の減少となった。このほか、通信交換設備製造業の技術革新効率も減少傾向を示した。表5に示す通りである。

中国の通信伝送設備製造の革新産出効率は比較的低い水準にとどまっている。2010年、中国の通信伝送設備製造業の企業1社当たりの有効発明特許数は9件で、通信交換設備製造業（753件）の1.3%だった。同年、中国の通信伝送設備製造業のR&D人員1万人当たりの特許出願数とR&D経費内部支出1億元当たりの特許出願数はそれぞれ908件と53件で、最多の通信端末設備製造業（2448件、99件）の37.1%と53.0%にとどまった。表5に示す通りである。

◎表5 中国の通信設備製造業におけるイノベーション創出の状況（2006-2010年）

指標	産業分類	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
企業社当たりの有効発明特許数 (件社)	通信設備製造業	6	11	28	39	59
	通信伝送設備製造	3	6	4	2	9
	通信交換設備製造	44	101	266	423	753
	通信端末設備製造	2	1	1	3	8
	移動通信・端末設備製造	1	1	4	4	7
人員当たりの特許出願数 (件万人)	通信設備製造業	2279	2182	1738	2206	1714
	通信伝送設備製造	785	1278	1725	1049	908
	通信交換設備製造	2416	2499	1777	2535	1691
	通信端末設備製造	4726	771	1247	1493	2448
	移動通信・端末設備製造	1027	1024	1557	1443	2061
経費内部支出当たりの特許出願数 (件億元)	通信設備製造業	84	104	80	79	55
	通信伝送設備製造	31	56	93	45	53
	通信交換設備製造	92	132	91	90	51
	通信端末設備製造	351	48	71	57	99
	移動通信・端末設備製造	25	31	39	51	72

◎表6 中国の通信設備製造業におけるイノベーションによる成果の状況（2006-2010年）

指標	産業分類	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
一人あたりの工業総生産額 (万元人)	通信設備製造業	145.3	112.7	106.5	102.8	100.1
	通信伝送設備製造	43.7	48.4	53.1	58.2	62.3
	通信交換設備製造	137.3	126.8	131.2	130.1	137.7
	通信端末設備製造	55.5	56.0	53.6	52.5	49.6
	移動通信・端末設備製造	202.2	129.5	117.8	108.9	101.8
利潤総額主要業務収入 (%)	通信設備製造業	4.9	3.6	3.6	6.4	7.3
	通信伝送設備製造	6.5	3.6	7.4	7.0	8.3
	通信交換設備製造	5.2	5.0	4.1	10.7	11.9
	通信端末設備製造	2.7	4.3	2.8	3.2	7.2
	移動通信・端末設備製造	5.1	3.1	3.1	4.1	4.1
新製品販売収入主要業務収入 (%)	通信設備製造業	27.6	40.8	41.4	53.0	47.1
	通信伝送設備製造	24.6	27.0	32.6	29.8	20.6
	通信交換設備製造	44.8	38.9	38.4	64.7	48.6
	通信端末設備製造	14.9	7.5	29.2	34.6	34.9
	移動通信・端末設備製造	24.3	45.5	44.6	50.3	51.0

注目すべきなのは、中国の通信設備製造のリーディング企業の技術革新効率がすでに、世界の著名なグローバル企業の水準を超えていることである。R&D経費支出1億ドル当たりのPCT特許出願数指標を見ると、2010年、中国の中興社と華為社はそれぞれ157件と64件に達した。これに対してノキア社は約10件にとどまり、中国のリーディング企業の水準を大きく下回っている^[8]。

3.3 中国の通信設備製造業におけるイノベーションによる成果の実態

中国の通信設備製造業の革新効果水準は大幅に向上している。2006年と比べると、2010年の通信設備製造業の利潤総額が主要業務収入に占める割合は2.3ポイント高まり、7.3%に達した。このうち通信交換設備・通信端末設備製造業はそれぞれ6.7ポイントと4.5ポイントの拡大となり、増幅が大きかった。2006年から2010年までに、中国の通信設備製造業の新製品販売収入が主要業務収入に占める割合は27.6%から47.1%に拡大し、増幅は19.6ポイントだった。このうち移動通信・端末設備製造業と通信端末設備製造業の増幅が比較的大きく、それぞれ26.7ポイントと20.0ポイントに達した。表6に示す通りである。注目すべきなのは、中国の通信設備製造業の1人当たりの工業総生産額は低下を続けているということである。低下幅は移動通信・端末設備製造業でとりわけ大きい。

革新効率と革新効果が最も高いのは通信交換設備製造業である。2010年、中国の通信交換設備製造業の1人当たりの工業総生産額と利潤総額が主要業務収入に占める割合はそれぞれ137.7万元/人と11.9%で、通信端末設備製造業のそれぞれ約2.8倍と2.9倍に達した。同年、新製品販売収入が主要業務収入に占める割合は48.6%に達し、移動通信・端末設備製造業の水準は下回ったものの、通信伝送設備製造業の水準は大きく上回った。表6に示す通りである。

4. 中国の通信設備製造業におけるイノベーション能力開発の政策環境

4.1 関連科技発展計画の発表・実施、通信設備製造業技術革新の促進

中国政府は2006年以来、「国家中長期科学・技術発展計画綱要」「国家中長期科学・技術発展計画綱要（2006-2020年）」実施のための若干の総合政策」及び76本にわたる「総合政策実施細則」を発表・実施し、「近代サービス業情報サポート技術・大型アプリケーションソフト」「次世代ネットワークキー技術・サービス」「センサーネットワーク・スマート情報処理」「デジタルメディアコンテンツプラットフォーム」「コアアプリケーション向け情報セキュリティ」「都市情報プラットフォーム」「国家公共安全緊急情報プラットフォーム」などを優先テーマとし、「次世代ブロードバンド無線移動通信」「核心電子部品」「ハイエンド汎用

チップ・基礎ソフトウェア」を16項の重大科技特定項目に入れた。このほか、中国政府はさらに、「自主知的財産権を有する中国情報産業のキー技術と重要製品リスト」^[9]を発表・実施し、「インターネット・通信」「次世代ブロードバンド無線移動通信」「ネットワーク・情報安全」を重点技術分野として、リストに入れられた技術と製品の開発と産業化に対する国家科技計画と建設投資による重点支援を行うことを定め、中国の通信設備製造業の革新能力建設に制度的土台を築いた。

4.2 情報産業発展計画の発表・実施、通信設備製造業の革新発展の誘導

中国政府は近年、「情報産業“十一五”計画」^[10]を発表・実施し、次世代通信製品を新たな産業クラスターの重点育成対象とし、「次世代移動通信」「ブロードバンドアクセス」「先進光通信」「農村通信製品」を重点的に発展させる方針を打ち出した。「次世代移動通信」「次世代インターネット」「ブロードバンド通信」「ネットワーク・情報安全」の重大プロジェクトの実施を通じて、産業キー技術の研究開発能力の向上が図られた。「ハイテク産業発展“十一五”計画」^[11]は、「次世代セルラー移動通信」「デジタルトランキング」「ブロードバンド無線アクセス製品」を発展させ、キー核心技术の研究開発と産業化を積極的に進め、ハイエンドルーターやネットワーク交換装置などの成長分野を育てることを打ち出すものだった。「ハイテク産業化“十一五”計画」^[12]は、次世代インターネット重大特定項目と次世代移動通信重大特定項目を実施することを明確に打ち出した。「電子情報産業調整・振興計画」^[13]は、通信設備製造業の発展を以下の4つの方面から促進することを打ち出した。第一に、次世代ネットワーク建設を契機として、設備製造企業と電信キャリアの相互作用を強化し、製品とサービスの融合革新を推進し、通信設備製造業の発展をスケールメリットによって促進する。第二に、第3世代移動通信ネットワークと次世代インターネット、ブロードバンド光アクセスネットワークの建設を加速し、次世代移動通信ネットワークの特性と移動ネットワークのニーズに適応した新たな業務とアプリケーションを開発し、システムと端末製品のアップグレードを推進する。第三に、IPTV（ネットワークテレビ放送）や携帯テレビなどの新興サービス業の発展を支援する。第四に、コンテンツ・端末・伝送・運営企業が相互促進し、相互発展する新たな体系を構築する。

4.3 経済社会情報化のさらなる推進、通信設備製造業の発展スペースの開拓

中国政府は「2006-2020年国家情報化発展戦略」^[14]を発表・実施し、この中で、「国民情報技能教育研修計画」「電子コマース行動計画」「電子政務行動計画」「ネットワークメディア情報資源開発・利用計画」「情報格差縮小計画」などの計画を制定・実施し、中国経済社会分野の情報化の

応用と発展を加速し、中国の通信設備製造業に大きな発展のスペースを作り出すことを提出した。2009年、中国の電話ユーザー・移動電話ユーザー・インターネットユーザーはそれぞれ10.61億件・7.47億件・3.84億件に達し、通信設備製造業の発展に巨大な市場スペースを提供した^[15]。同年、中国電信・中国移动・中国聯通の3社は、3Gネットワーク建設直接投資1609億元を実施し、中国の3Gユーザーの急速成長を導き、3G設備・端末市場の発展を促した^[16]。「中華人民共和国国民経済・社会発展第12次5カ年（2011-2015年）計画綱要」^[17]はすでに、「次世代移動通信」「次世代インターネット」「3ネット（電信・放送・インターネット）融合」「物聯網（中国版ユビキタス）」「クラウドコンピューティング」「工業情報化」「電子政務」などの分野の発展への支援を明確に打ち出しており、通信設備産業の急速な発展を導く措置となっている。

5. 主要な結論と政策の提案

中国の通信設備製造業の革新実力と革新効力、革新政策環境の分析を総合することによって、本稿では主に、以下の4点の結論を導き出した。

1. 中国の通信設備製造業の革新能力は大幅に増強しているが、産業研究開発の実力の先進国との格差は依然として大きい。2006年から2010年までに、中国の通信設備製造業の革新実力と革新効力はいずれも大きく向上し、R&D経費投入と有効発明特許数は急速に増加し、第3世代移動通信や次世代ネットワーク、光通信などの分野で重大な革新成果を実現した。中国が提出したTD-LTE-Advanced（LTE-Advanced TDD方式）の技術プランは、4G国際標準の技術候補として採用された。しかし、中国の通信設備製造業の研究開発活動の投入規模は、先進国とは依然として大きな格差がある。2010年、中国の通信設備製造業のR&D経費内部支出は約45億ドルで、ノキア社のR&D経費支出の約68.8%にとどまった。
2. 中国の通信交換設備製造業の革新能力は比較的高く、すでに力強い国際競争力を備えている。中国の通信交換設備製造業は、通信設備製造業の中で革新実力が最も強く、革新効力が比較的高い分野であり、革新投入と革新産出、革新効果の面でいずれも良好な実績を示しており、“技術を導入し消化・吸収して再革新する”という発展モデルから、“カギとなる革新技術の革新と革新統合”という発展モデルへの転換をすでに実現している。通信端末設備・通信伝送設備製造業の革新規模は比較的小さく、通信端末設備製造業は特にその傾向が強い。移動通信・端末設備製造業の革新投入効力は最も低い。通信端末設備製造業の革新投入効力と革新効果効力も比較的低く、通信伝送設備製造業の革新産出効力も比較的低い。

3. 中国の通信交換設備製造リーディング企業の革新能力は際立っており、国際的な影響力も大きく増強している。中国のリーディング企業の研究開発能力は急速に向上しており、国際的に著名なグローバル企業の水準に近付いている。2010年、中国の華為社のR&D経費支出は23.9億ドルで、2009年に比べて6.2億ドル増加し、シスコ社との格差を縮小した。同年、中兴社のR&D経費内部支出が販売純収入に占める割合は11.3%で、2007年に比べて2.1ポイント拡大し、シスコ社との格差を縮小した。中国のリーディング企業の特許創造能力は明らかに高まっている。a 2010年、中国の中兴社と華為社のPCT特許出願数はそれぞれ世界2位と4位にランクインし、世界のトップレベルに躍進し、シスコ社（86件）を大きく上回った。R&D経費支出1億ドル当たりのPCT特許出願数もシスコ社を大きく上回った。
4. 国家の革新政策と関連計画の発表・実施は、中国の通信設備製造業の革新発展に制度的土台を築いた。2006年以来、中国政府は、「国家中長期科学・技術発展計画綱要」や「『国家中長期科学・技術発展計画綱要（2006-2020年）』実施のための若干の総合政策」及び76本の「総合政策実施細則」、さらに「自主知的財産権を有する中国情報産業のキー技術と重要製品リスト」「情報産業“十一五”計画」「ハイテク産業発展“十一五”計画」「ハイテク産業化“十一五”計画」「電子情報産業調整・振興計画」「2006-2020年国家情報化発展戦略」「中華人民共和国国民経済・社会発展第12次5カ年（2011-2015年）計画綱要」を次々と発表・実施し、通信設備製造業の科学技術の進歩と革新に制度的土台を築き、産業発展に巨大な発展のスペースを提供した。

中国の通信設備製造業の革新能力をさらに高めるために、本稿は、以下の4つの問題の解決に力を入れるべきと考える。

1. 自主革新政策の実施を強化し、ハイエンドな革新要素の企業への集合を加速し、企業による創新投入の拡大を奨励し、通信設備製造業のキー核心技術の開発と革新統合能力を向上させる。
2. 産業革新の基礎能力の建設を強化し、「次世代移動通信」「次世代インターネット」「3ネット融合」「物聯網」「クラウドコンピューティング」などの分野のキーとなる核心技術の研究開発と普及応用を進め、産業構造の最適化とグレードアップを促す。
3. 技術エンジニアリングプラットフォームやパイロット試験基地、産業化モデル基地の建設を強化し、次世代国家情報インフラ建設や情報化・工業化・都市化融合発展のもたらす戦略的チャンスをつかみ、産業

の革新発展を実現する。

4. 情報産業国家ハイテク産業基地の的確な配置を進め、国際的な影響力を持つ革新型リーディング企業を育て、国際技術標準の制定の企業の参加や主導を支援し、製造業からサービス業の分野への企業の拡大発展を推進する。

※ 本稿は中国科学院編『2012高技术発展報告』(科学出版社、2012年)、第四章 高技术産業創新能力与国際競争力評価 陳芳、穆榮平「中国通信設備製造業創新能力評価」を日本語訳・再編集したものである。

※ 本稿のデータは特段の説明が無い限りすべて国家統計局等編『中国高技术産業統計年鑑』(2010および2011)(北京:中国統計出版社、2011年、2012年)を出典とする。

主要参考文献

1. 国家統計局等編『中国高技术産業統計年鑑2010』北京 中国統計出版社、2.2010
3. 国家統計局等編『中国高技术産業統計年鑑2011』北京 中国統計出版社、4.2011
5. 中国科学院創新発展研究中心著『中国創新発展報告2009』北京 科学出版社、6.2009
7. 中国科学院編著『2008高技术発展報告』北京 科学出版社、8.2008
9. 中国科学院編著『2010高技术発展報告』北京 科学出版社、10.2010
11. 中国科学院編著『2011高技术発展報告』北京 科学出版社、12.2011
13. 張曉強主編『中国高技术産業発展年鑑2011』北京 北京理工大学出版

参考等

- [1] 1人当たりの工業総生産額＝工業総生産額／従業員年平均人数
- [2] 『国民經濟行業分類』(GB_T4754-2002)による。
- [3] 同上。
- [4] European Union. 2011. The 2011 EU Industrial R&D Investment
<http://iri.jrc.ec.europa.eu/research/docs/2011/SB2011.pdf>Scoreboard.
- [5] 同上。
- [6] ITU. ITU paves way for next-generation 4G mobile technologies. 2010.
http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/40.aspx [2012-01-22]
- [7] European Union. 2008. The 2008 EU Industrial R&D Investment Scoreboard ; European Union. 2011. The 2011 EU Industrial R&D Investment Scoreboard
- [8] European Union. 2011. The 2011 EU Industrial R&D Investment Scoreboard.
- [9] 2006年12月25日、国家信息産業部發布「我国信息産業拥有自主知識產權的關鍵技術和重要產品目錄」。
- [10] 2007年3月1日、国家信息産業部發布「信息産業“十一五”規劃」。
- [11] 2007年7月10日、国家發展改革委發布「高技术産業發展“十一五”規劃」。
- [12] 2008年1月15日、国家發展改革委發布「高技术産業化“十一五”規劃」。
- [13] 2009年4月15日、国家發展改革委發布「電子信息産業調整和振興規劃」。
- [14] 2006年3月19日、中共中央办公厅、國務院办公厅印刷發行「2006-2020年国家信息化發展戰略」(中办发[2006] 11号)
- [15] 王長勝『中国信息年鑑2010』北京:中国信息年鑑期刊社、2010年。
- [16] 同上。
- [17] 2011年3月16日、中華人民共和國國務院發布「中華人民共和國國民經濟和社会發展第十二个五年(2011-2015年)規劃綱要」

ビッグデータがもたらすクラウドコンピュータの登場

中国総合研究交流センター編集部

近年は情報化社会の加速を背景にデータ量が爆発的に増加し、IT業界ではビッグデータの時代が到来した。しかしビッグデータを処理するには既存コンピュータ機器の限界が近づいてきている。構造化されていないビッグデータの保存、管理及び活用技術に関して、IT業界は大きな課題に直面している。

2013年12月10日、紫光株式会社サービス戦略会議が開催され、紫光は初めて“クラウドコンピュータ”という新しい概念を打ち出し、世界初のクラウドコンピュータとして「紫雲1000」を披露した。

ほぼ2年間で開発に成功した「紫雲1000」は、中国がビッグデータの処理分野で重大なコア技術のブレークスルーを実現した。この技術はパソコン、スパコンと異なり、分散型システムのアーキテクチャをベースに、バーチャル技術を生かし、複数の低コストの計算ユニットを統合的に制御する仕組みとなっている。その計算能力とストレージ能力を動的に調整、また自由に拡張が可能となった。

1台の紫光クラウドコンピュータのCPU数は最大6万5535個まで、ストレージは最大85PB（ペタバイト）まで拡張可能で、処理能力は1.2GB/秒に達する。ソフトウェア面において、システム環境の中に自社ライセンスを持つバーチャルモジュール、ビッグデータモジュール、動的配置モジュールを動作させ、処理の最適化を図る。

「紫雲1000」をはじめとする紫光クラウドコンピュータには、次の特長がある。

- ・分散型の新アーキテクチャ、低コストの計算リソースの並行計算による、ITインフラの計算能力とストレージ能力の大幅な向上。
- ・大量の構造化・非構造化データの処理をサポート。
- ・計算処理スペックを動的に増減させ、処理負荷の変化に対応。
- ・障害の耐性が高く、計算ノードに障害が発生した場合でも処理が遂行され、クラウドコンピュータの電源を切断せずに障害のノードもしくはストレージユニットを取り替えることが可能。コンピュータ全体の拡張性、柔軟性を高め、インシデント発生時にスムーズに回復。
- ・高速配置技術と組み合わせ、ビッグデータの処理効率を高め、計算品質も向上。

クラウドコンピュータは今までにないコンセプトを提唱した。汎用的なハードウェアとオープン系アプリケーションの特徴により、ストレージと計算能力はユーザのニーズに従って自由に調整ができる。これにより運用・メンテナンス・管理がシンプルになり、時間とコストを大幅に削減できる。伝統的な手段により同様のシステムを構築した場合、10人以上の熟練したIT技術チームが、1月から数カ月の時間をかける必要があるが、クラウドコンピュータを使用すれば、1人の熟練した技術者が数時間をかけるだけでよい。

紫光クラウドコンピュータは金融・通信・交通・放送業界からの高性能・低コスト・高信頼性・高拡張性というシステム要求を満たし、IT業界から注目を集めている。今後、ユビキタスネットワーク、スマートシティ、スマートグリッド、スマートモビリティ、医療と食品安全などビッグデータの応用分野において幅広く利用されることが期待される。

北斗測位チップにおけるコア技術の進展

中国総合研究交流センター編集部

中国の衛星測位システム「北斗」の報道官は12月27日、「北斗測位産業は2013年に目覚ましい進歩を遂げた。国産の重要なチップ・モジュールのコア技術の難題を全面的に解決し、その性能が世界の同類の製品と同水準に達した。中国が独自開発した北斗チップは、すでに車両や携帯電話に搭載可能となった」と発表した。

2013年は北斗システムの利用初年度となった。戦略的な新興産業と位置づけられる北斗測位産業は、1年にわたり初歩的な規模を形成し、基礎産業、システムアプリケーション、運営サービスといった産業チェーンを整えた。北斗システムの製品はすでに交通、漁業、水文モニタリング、気象予報、陸地測量、スマート運転免許試験、通信・時報、災害救助・減災などのさまざまな分野で利用されている。

衛星測位システムにとって最も重要な部品はチップである。55nm（ナノメートル）チップの登場により、中国の北斗測位チップ開発は目覚ましい進歩を遂げた。しかし全体的に見ると、中国製チップと世界の最先端レベルとの間にはまだ大きな差がある。北斗システムの発展において、チップは最も重点を置いて開発を進める領域であり、政策面からより力強い支援が必要なほか、通信事業者の参加が必要になってくる。

北斗システムは宇宙・地上・ユーザ端末の3つの部分によって構成される。ユーザ端末は、本格的な北斗システムの受信機と言える。この受信機にはアンテナ、RFモジュール、A/D、北斗システムのベースバンドチップなどが含まれる。そのうちベースバンドチップは、最も重要な情報処理機器である。

中国国内で発売されている北斗測位チップは、ベースバンドチップとRFモジュールの単独設計が主流だが、海外ではRFとベースバンドチップを一体化させるのは一般的だ。この点に関しては、外国企業に3-5年の差をつけられている。加工技術を見ていくと、中国のベースバンドチップは最小55nmとなっているが、海外では40nm以下を実現しており、1世代の差がある。

スマートフォンの普及に伴い、携帯電話のナビ機能が北斗システムにとって最大の市場になる可能性がある。しかし現時点では、国産北斗測位チップを搭載した携帯電話がまだ発売されていない。このボトルネックとなっているのは、割高なチップ価格だ。携帯電話のチップを見ると、海

外ではすでにナビ用・通信用のチップが一体化されているが、中国は単独のナビ用チップの研究にとどまっている。

今回の重要チップ・モジュールのコア技術の進展は、チップ設計水準、集約度を高めると同時に消費電力の削減を促す。この技術の成果は間もなく、中国企業が開発する北斗測位機能を持つ携帯電話に搭載される。

DNS安全管理、中国の焦眉の急に

中国総合研究交流センター編集部

1月21日午後3時、中国国内のトップレベルドメイン（TLD）のサーバに異常が発生した。その結果、全国約3分の2のドメインネームシステム（DNS）の解析に失敗し、数千万人のネットユーザからインターネットへの接続ができなくなった。ルートサーバはDNSのうち最高クラスのドメインサーバで、世界に13台しか存在しない。そのうちメインサーバは米国に1台、補助サーバは米国に9台、スウェーデン、オランダ、日本にそれぞれ1台ずつある。専門家がDNSに対する分析を進めたところ、世界の少なくとも2つのルートサーバに故障があり、中国国内の大量のウェブサイトへ正常にアクセスできなくなった。

DNSの解析は、ナビゲーションや看板と同じ役割を担っており、ユーザのアクセスしたウェブサイトのドメイン名を正確なIPアドレスに導く。DNS乗っ取りには2つの悪影響がある。まずはウェブサイトへアクセスの不可、それからハッカーによる不正サイトへの誘導だ。ハッカーはこれによりユーザ登録情報を盗み取り、情報漏洩および財産の損失を生じさせる。しかし今回の事件において、多くのウェブサイトは65.49.2.178というIPアドレスに誘導されたが、同アドレスは公式サイトを装い登録させることがなかったため、さらに大きな被害は発生しなかった。

最近中国国内で頻繁に発生している、重大なネットセキュリティ問題は、いずれもDNSというキーワードと結びついている。

多くのネットユーザは2013年8月に、インスタントメッセージング・「QQ空間（QQZone）」にアクセスしたところ、音楽番組「中国好声音」の偽造抽選ページが表示されたと報告した。ネットセキュリティ最大手、奇虎360のセキュリティセンターが分析を進めたところ、ユーザが家庭内で使用しているルータのDNSが、ハッカーの攻撃により書き換えられていたことが分かった。家庭用ルータに安全の不備が存在する場合、ある特定の不正サイトにアクセスすると、DNSが書き換えられる可能性がある。被害者はドメイン名によりウェブサイトへアクセスした場合、偽造されたウェブサイトへ強制的に誘導される。ハッカーはこれにより大量の利益を獲得できる。

詳細な調査によると、ルータのDNSが書き換えられるのは、製造者側の設定した初期パスワードを変えていないからだ。ハッカーはルータのパスワードの不備につけ込み攻撃を仕掛け、ユーザはネット利用時に知らぬ間に罠にか

かってしまう。奇虎360のセキュリティセンターが発表したルータ安全調査報告書によると、市販ルータ製品の344品名のうち、104品名にパスワード漏れの影響を受けており、全体の30.2%を占めた。また全国4.7%の家庭用ルータのDNSが、ハッカーに書き換えられていたという。

家庭用ルータのハッキングの可能性に対しては、次のいくつかの手段により予防ができる。まずは早急にルータの初期パスワードを変更し、なるべく分かりにくい複雑なパスワードを利用する（10文字以上、アルファベットと数字を組み合わせる）。またルータのMACフィルタ機能を有効にし、ルータが管理する初期IPアドレスを別のLANのIPアドレスに変更する。ワイヤレス機能を持つルータのSSIDを隠蔽する一などが挙げられる。他にもネットセキュリティソフトを使用しチェックする方法もある。

TLDルートサーバの大規模な故障について、中国は未だDNSに対するモニタリングおよび対策の枠組みを構築しておらず、将来同じような故障が発生する可能性がある。ルートサーバはすべて米国、日本、欧州に分布しているため、中国はほとんど支配権を持たない。ルートサーバに故障が発生した場合、中国のすべてのドメインの解析とウェブサイトの利用が壊滅的な影響を受ける。ゆえに中国国内で、ルートサーバの早期建設を着手すると同時に国家政策のレベルから、DNSを対象とするモニタリングおよび対策の整った枠組みを構築する必要があると専門家は指摘している。

ナノテクノロジー・材料分野

生物進化を模倣した機能性分子の設計

伊藤 嘉浩 ●独立行政法人理化学研究所 主任研究員

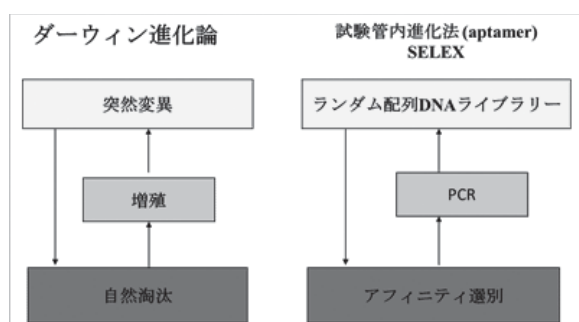


1959年生まれ。1981年京都大学卒業、1986年同大学院工学研究科高分子化学専攻博士課程研究指導認定退学、工学博士。京都大学助手、助教授、奈良先端科学技術大学院大学助教授、徳島大学教授、財団法人神奈川科学技術アカデミー研究室長をへて2004年 現職（伊藤ナノ医工学研究室）。2013年同所創発物性科学研究センター・チームリーダー兼務。

はじめに

工学では、予めわかっている原理を組み合わせて目的にあわせて設計を行い、「ものづくり」を行う。分子設計は、合目的に既存の分子や分子間相互作用を人工的に組み合わせて試行錯誤しながら行われる。このような旧来の方法に対し、生物進化の原理を利用して希望する性質や機能を持つ分子を、ランダムに作成した分子群の中から選別して得ようという進化分子工学が近年急速に発達してきた。

生物の進化は、たくさんの異なった子孫の中から最適者が選択されると考えられている。前者は「(突然) 変異」、後者は「自然淘汰」と呼ばれる。進化分子工学では、この進化の原理を、人工的に試験管の中で再現する。図1に示すように、「変異」は、ランダム（でたらめ）な配列の遺伝子、そして「自然淘汰」は、その中から自分の欲しい性質のタンパク質（あるいは核酸分子）を作る遺伝子を選び出す過程に相当する。これにより、設計原理が未知であっても希望の機能や性質をもつ分子を得ることができる。人工的にタンパク質をある希望の方向に進化させるので「定向進化」、あるいは家畜や農作物を改良することを育種ということになぞらえて「分子育種」とよばれることもある。



◎図1 ダーウィン進化論と進化分子工学の対比

1990年前後、化学の分野でコンビナトリアル化学という新しい化学の方法論が生まれた。これは、様々な分子からなるライブラリーを作り、その中から機能に合う望みのものを探し出そうというものである。有機合成化学だけをベースに分子ライブラリーを作成しては「突然変異」や

「自然淘汰」は模倣できても、これを繰り返すことはできず、限界があった。これに対し、バイオテクノロジーで考案された進化分子工学は、これを克服し、選出される分子は、アプタマー（ラテン語の aptus からの造語）と呼ばれ、免疫反応による分子認識、抗体に代わる分子としても注目を集めてきた。核酸系のアプタマーは既に医薬としても販売されるようになっている（加齢性黄斑変性症治療薬）。昨年、日本では、その歴史から現在の状況までを紹介する成書が出版された。^[1]

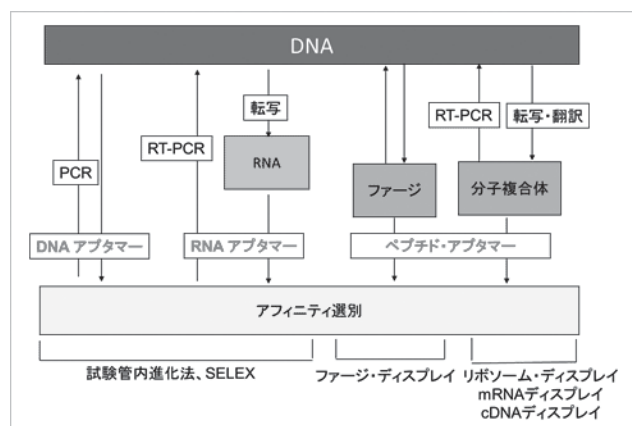
四半世紀をへて、進化分子工学の方法論は着実に進化し、セントラル・ドグマにはない「化学的に合成した」非天然の核酸・アミノ酸を導入して、高機能あるいはまったく新しい機能を付与したアプタマーが現れてきた。^{[2][3]}

2. 進化分子工学方法論の展開

進化分子工学は、Spiegelman らや Eigen らによって1960年代に基礎づけられたが、本格的に一般化されたのは1990年前後になる。この時期に、ペプチド・アプタマーの基礎となるファージ・ディスプレイ法が、核酸アプタマーの基礎となる試験管内選別法 (in vitro selection) や SELEX 法と呼ばれる方法が生み出された。同時期に始まったコンビナトリアル化学との決定的な相違は、進化分子工学では、遺伝子 DNA を情報の担い手として活用することである。これは、1985年に生まれたPCR法を巧みに利用することで、生物という増殖を「増幅」で置き換えることができるようになったことによる。これにより、極僅かな分子も増幅することができ、これにより図1の進化過程を繰り返すことができ、より進化（選別）された分子が得られるようになった。そして、進化過程の最後にはその配列を読み取れるようになった。

DNA や RNA のような核酸分子は、分子自身の配列が容易にわかる情報（遺伝子）型であると同時に配列に依存した特有の構造をもち、それにより機能をもつ分子としての表現型である。これに対し、ペプチドやタンパク質は表現型であるものの、分子自身の配列情報を容易に知ることはできず、進化分子工学の手法では、情報型と結びつける仕

組みが必要となる(図2)。ファージ・ディスプレイ法では、ファージが情報型であり、その表面にペプチドを表示するという機能型の役割も担っている。1990年代後半からは、遺伝子型となる核酸分子と表現型となるペプチドやタンパク質とを分子レベルで関連付けを行うために、無細胞翻訳系を用いたりボソーム・ディスプレイ法、mRNAディスプレイ法、cDNAディスプレイ法、さらにそれらの改良法が考案されている。



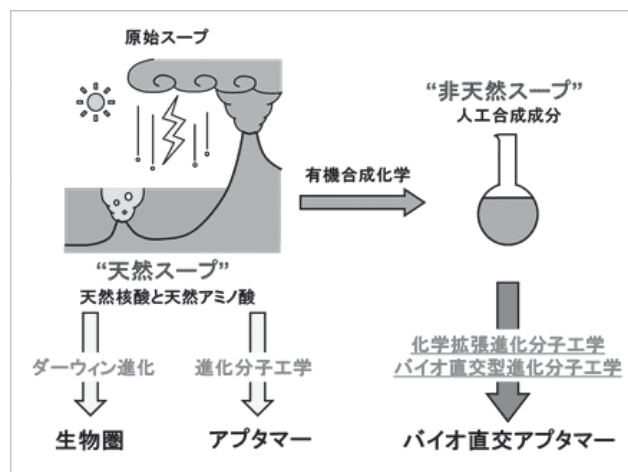
◎図2 核酸アプタマー、ペプチド・アプタマーの選別方法原理

このような分子複合体を作成する他に、空間的に情報型分子と表現型分子を閉じ込める *in vitro* コンパートメント法も考えられるようになってきている。この方法では、標的に対する親和性のみならず、標的分子の分解や結合形成といった酵素活性に基づく選別も可能になるという利点がある。コンパートメントには、これまでの水/油/水のエマルジョン系に加えて、最近リボソーム系も報告されている。

3. 天然系ライブラリーから非天然系ライブラリーへ

このように、いろいろな方法論が開発されてきた進化分子工学であるが、セントラル・ドグマに含まれる天然核酸は4種、天然アミノ酸は20種類に限られる。合目的にアプタマーを設計したい工学者にとって、官能基の数が少なすぎる。そこで、人工的に改変した核酸系では1990年代後半から、ペプチド系では2000年代前半から、天然の核酸やアミノ酸に代わる進化分子工学の展開が行われるようになった(図3)。

非天然核酸を最初に用いられた例としては、RNAの糖部位の水酸基をアミノ基に代え、触媒作用のあるリボザイムを進化分子工学で得た報告がある。また、RNAの分解性を抑制するために水酸基をフッ素に置き換えたRNAモノマーを用いRNAアプタマーを作成した例も報告されている。



◎図3 進化分子工学のライブラリーを天然系から有機合成化学を使い非天然系へ展開（進化分子工学から化学拡張、バイオ直交化へ）

さらに最近では、非天然塩基「対」を用いた進化分子工学も可能となり、選び出されたアプタマーは天然塩基アプタマーよりも100倍親和性が高いことが示されている。天然塩基にはない疎水性基や、6種類の塩基によって作り出される構造の多様性によって、より強力な結合をもつアプタマーが得られたと考えられる。

非天然アミノ酸の導入法としては、翻訳後に化学反応で導入する方法と、ミスアミノアシルtRNAを翻訳系に存在させて挿入する方法がある。前者は、最初に用いられた方法であるが、後者の方法も行われるようになってきた。後者の方法としては、有機合成化学でアシル化したジヌクレオチドを合成し、リガーゼで2塩基分短縮したtRNAに結合させて得る方法、天然や人工的な合成酵素を用いて非天然アミノ酸をtRNAに担持する方法などがある。人工的な合成酵素では、アシル化部位とtRNA上のアンチコドンとを別々に認識するものも調製でき、任意のアンチコドンをもつtRNAに望みの非天然アミノ酸を修飾できることが報告されている。

しかし、このような例は、もともとのアプタマーの性質である結合（親和）性だけにに基づくもので、果たして人工核酸や人工アミノ酸が直接親和性にどのように寄与しているかどうかは明らかでない。実際に、非天然アミノ酸を導入したライブラリーから得られたペプチドは、天然アミノ酸だけからなるライブラリーから得られたペプチドと同程度の標的親和性であった例も報告されている。仮に人工物を導入して高い親和性が見いだされたとしても、配列さえ最適化すれば、あるいはライブラリーの多様性が代われば、人工物を用いなくても結合性は向上する可能性がある。

そこで、人工物と組み合わせて、天然には存在しない機能性を付与する研究も進んできている。我々のグループで

は、非天然アミノ酸を修飾したアミノアシル化tRNAを化学合成することで、進化分子工学に適用し、光異性化するアゾベンゼンや、環境に応答して蛍光を発する（ニトロベンゾキサジアゾール基）を導入したライブラリーからのペプチド・アプタマーの選出に成功している。

これまでのホスト・ゲスト化学では、任意の標的（ゲスト分子）に対して、ホスト分子を合成することは困難であったが、進化分子工学は、化学におけるモデル化合物研究の呪縛から解放をもたらし、バイオテクノロジー分野では化学によって新たな多様性が生み出されるようになったといえる。

4. おわりに

最近、北京大学の Xingda レクチャーに招待され、ここで紹介した研究を講演する機会を得た。講演前にいくつか関連する研究室を訪問したが、どこもアメリカの有名研究室で大学院生や博士研究員をへた30歳代から40歳前後の若手を中心となって、化学とバイオテクノロジーを融合した新しい学際領域を担い、顕著な業績を挙げつつあることを垣間見ることができた。これまで北京大学で中心であった伝統的な化学が、日本への留学経験者である50歳代の教授たちによって担われているのとのよい対比をなしていた。また、たまたま同じく講演された Sharpless 教授（2001年に野依良治先生とご一緒にノーベル賞を受賞）から、日本から留学した多くの60歳代の先生方の名前を挙げられ、お話をうかがう機会を得たことも併せ、期せずして日米中にわたる時代にともなう学問の流れを感じるところとなった。新しい学際的研究が多く若い世代の研究者によって今後さらに発展することを願う。

参考文献

- [1] 伏見譲監修、「進化分子工学」NTS (2013)
- [2] T. Uzawa, S. Tada, W. Wang, and Y. Ito, "Expansion of Aptamer Library from "Natural soup" to "Unnatural soup" ", Chem. Commun., 49, 1786 - 1795 (2013)
- [3] 多田誠一、鶴澤尊規、伊藤嘉浩、「いよいよ化学の出番がきた進化分子工学—機能性を付与した分子認識を自由自在にデザイン」、化学、69, 70-71 (2014)

再生医療用足場材料の研究開発

陳 国平

●独立行政法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 生体組織再生材料ユニット長・主任研究者



1997年 京都大学大学院工学研究科博士課程材料化学専攻修了、博士（工学）、奈良先端科学技術大学院大学、通産省工業技術院の博士研究員を経て、
 通産省工業技術院産業技術融合領域研究所・研究員
 2000年 独立行政法人産業技術総合研究所ティッシュエンジニアリング研究センター・研究員/主任研究員、
 2001年 独立行政法人物質・材料研究機構 生体材料研究センター・主幹研究員、
 2004年 独立行政法人物質・材料研究機構 生体材料研究センター・主幹研究員、
 2007年 独立行政法人物質・材料研究機構 生体材料センター・グループリーダー、
 2011年 4月より現職、
 2013年 筑波大学数理物質系教授（連係大学院）を併任、英国王立化学会のJournal of Materials Chemistry BのAssociate Editor、中国科学化学のEditor

専門分野 再生工医学、生体材料学

1. 再生医療

病気や事故、あるいは先天性異常・欠損などにより身体の組織・臓器の一部が失われたり、機能なくなったりした場合、臓器移植または人工臓器による治療が従来から行われている。ただし、臓器移植には、免疫拒絶反応や免疫抑制剤の使用に伴う合併症などの医学的リスクが少なからずある。また、人工関節などに代表される人工臓器も失われた機能を部分的に代替するのにとどまり、長期間の使用による緩み、摩耗などの問題が残されている。そこで、近年誕生した再生医療の方法を用いて、組織・臓器の病気と欠損を治療するための研究が盛んに行われている。この方法では、患者自身の細胞を利用して、足場材料と生理活性物質を組み合わせることで培養することにより、組織・臓器を再生して移植する。様々な細胞を利用することにより、様々な組織・臓器を再生できること、さらに自家由来の細胞なので免疫反応を避けられることなどから、従来の治療法より進歩した画期的な治療法として期待されている。

再生医療には、細胞、足場材料、および細胞成長因子という3つの要素がある。これらの3つの要素を単独、あるいは組み合わせた形で利用することによって、生体内、および生体外で組織・臓器を修復し再生させる。再生医療に用いられる細胞には、胚性幹細胞、人工多能性幹細胞（iPS細胞）、組織特異的な体性幹細胞、分化した組織細胞などがある。細胞成長因子は細胞の増殖と分化を制御・促進し、わずかな数の細胞から大きな組織の再生を誘導する。足場材料は細胞が付着するための足場としての役割に加え、再生のための空間を確保する。私は主に足場材料に関して研究開発を行ってきたので、再生医療に用いられる細胞の足場材料についてこれからいくつかの実例を挙げながら紹介する。

2. 足場材料とその役割

組織・臓器は細胞と細胞外マトリックスにより構築されている。細胞外マトリックスは、細胞を取り囲むようにして存在し、コラーゲン、プロテオグリカン、グリコサミ

ノグリカン、ヒアルロン酸など、多種類の分子を主な成分とする。細胞は、この細胞外マトリックスを介して周囲の細胞と情報伝達しながら生体恒常性を維持している。生体組織が損傷を受けると、細胞とともに細胞外マトリックスが失われてしまう。そこで、この失われた細胞外マトリックスのかわりに人工の足場材料を細胞に供給する。足場材料は、組織再生の空間を確保するとともに、再生組織の形状を維持しながら、損傷組織の再生を助ける役割を果たす。移植した細胞を欠損部位に留まらせて望み通りの機能的組織の再生を誘導するために、足場材料にはいくつかの性質が要求される。細胞の接着、増殖、マトリックス産生を促進して細胞の分化を制御できること、生体に悪影響を及ぼさない性質としての生体親和性、高い強度や多孔性などが要求される。さらに、増殖した細胞と産生された細胞外マトリックスが組織化し、新しい生体組織が形成されると、人工物である足場材料は障害物となるので、組織の形成とともに分解・吸収される生体吸収性が要求される。

3. 足場材料の原料と足場材料作製技術

足場材料の原料には生体吸収性の物質が用いられる。ハイドロキシアパタイトや β -TCPなどのリン酸カルシウムや、炭酸カルシウムなどの無機化合物を除けば、そのほとんどは生体吸収性の高分子である。生体吸収性高分子は、生体吸収性合成高分子と天然高分子の2種類に分けられる。合成高分子として、ポリL-乳酸（PLLA）、ポリグリコール酸（PGA）、乳酸とグリコール酸の共重合体（PLGA）やポリカプロラクトン（PCL）が用いられる。一方、天然高分子として、コラーゲン、ゼラチン、グリコサミノグリカン、キチン、キトサン、ヒアルロン酸、ポリペプチドなどがよく用いられている。生体吸収性合成高分子は主に多孔質体に加工して利用されるが、天然高分子は多孔質材料のほか、ハイドロゲルとしても利用される。生体吸収性高分子を繊維、不織布、織物、スポンジなどに加工し、目的とする組織の形状に合わせてロープ、シート、チューブ、ブロック状等の形に成形して再生医療の足場材料に利用される。

足場材料の作製技術として、ポローゲンリーチング法や相分離法、凍結乾燥、エマルジョン凍結乾燥法、ファイバー融着法、ニードルパンチング法、エレクトロスピンニング法、光造形法などが開発されている¹⁾。生体吸収性高分子の足場材料は骨、歯、軟骨、靱帯、皮膚、神経、血管、角膜、筋肉、膀胱などの様々な組織・臓器の再生に利用できる。再生する組織にあわせて、生体吸収性や力学的性質、多孔質構造などを制御でき、また、数種類の生体吸収性高分子を複合化し、それぞれの材料がもつ特長を相乗的に引き出すことも可能である。さらに、細胞成長因子やサイトカインなどの生理活性物質および遺伝子プラスミドを導入した足場材料の開発も進められている。

また、生体組織を脱細胞化処理することにより、細胞成分のみを取り除き細胞外マトリックスを残した脱細胞化組織も足場材料として用いられている²⁾。脱細胞化組織は生体組織の構造とよく似ていることと、細胞成長因子などの生理活性物質が豊富に存在するため、組織再生に高い促進効果が期待できる。脱細胞の方法として物理的方法、化学的方法と酵素処理法が開発されている。さらに最近では、還流方法を利用して、動物の心臓や肝臓、肺などの臓器自体を脱細胞化したものを足場材料とし、これらの臓器を再生する研究も報告されている。ただし、脱細胞化組織を再生医療に用いるためには、免疫反応の惹起や機能・性能のロット差などの問題点をどのように克服するかが課題である。

4. 氷微粒子を活用した多孔質足場材料の作製技術

多孔質足場材料を作製する方法の中で、特殊な装置を用いることなく空孔構造を容易に制御できる方法として、ポローゲンリーチング法がよく用いられる。ポローゲン(porogen)とよばれる微粒子を高分子溶液または熔融液に分散させたコンポジットを作製した後、ポローゲンを溶出させて多孔質足場材料を得る方法である。本方法では、気孔率はポローゲンと高分子原材料の仕込み比、空孔の形状はポローゲンの形状を変えることによって制御することが可能である。ポローゲンには、塩化ナトリウム、ショ糖、パラフィンなどの微粒子が使用される。高分子-ポローゲンコンポジットを適当な溶媒中に浸漬することにより、ポローゲンは溶出除去される。この方法は、PLLAやPLGAなどの生体吸収性合成高分子からなる多孔質足場材料の作製によく利用されている。また、ポローゲンリーチング法をほかの多孔質体作製方法と組み合わせて、細胞をより播種しやすく、足場材料全体に分布させるための多孔質構造を形成させる工夫もなされている。

さらに最近では、ポローゲンとしてあらかじめ作製した氷の微粒子を用いる方法が開発された³⁾。この方法では、ポローゲンである氷微粒子と高分子溶液を混合する際の

温度が重要である。すなわち、操作中に氷微粒子が融けない、かつ高分子溶液が直ちに凍らないように温度制御する必要がある。氷微粒子を用いた多孔質材料作製法の特長として、ポローゲンの氷微粒子は生体に無毒であること、氷微粒子を凍結乾燥で容易に除去できること、および高分子水溶液の凍結を誘発できることが挙げられる。作製した足場材料は高い連通性を持ち、球状の空孔が得られる。また、この方法を応用し、多孔質足場材料の表面構造、およびマイクロパターン多孔質構造を有する足場材料を作製することができる⁴⁾。この場合、氷微粒子を高分子溶液と混合するのではなく、基板表面に付着させた氷微粒子を用いて、足場材料の表面に開口した多孔質構造を形成させることができる。氷微粒子を用いた方法で作製した多孔質材料により、軟骨や皮膚などの組織を再生することができた。

5. 複合多孔質足場材料の作製技術

生体吸収性の合成高分子と天然高分子はそれぞれ長所と短所がある。生体吸収合成高分子は、多孔質足場材料の形状保持に必要な力学強度を持つこと、成形加工性にすぐれているという長所を持つが、材料表面の水ぬれ性が低く、細胞接着性は天然高分子に比べて高くはない。これに対して、コラーゲンなどの天然高分子はすぐれた細胞接着性を持つが、多孔質足場材料の力学強度は低く、合成高分子に比べると形状安定性に劣る。

そこで、力学強度が高い合成高分子と生体親和性に優れた天然高分子を複合化した複合足場材料が開発された⁵⁾。複合化によって、生体吸収性合成高分子の足場材料の表面を親水化し、生体親和性が高められる。また、天然高分子の足場材料の強度不足が補われる。すなわち、2種類の高分子の長所を組み合わせることができる。複合化方法として、まず、PLLAやPLGAなどの生体吸収性合成高分子を用いて力学強度が高い多孔質骨格を作製する。次にこの骨格の空隙部分に天然高分子であるコラーゲンのスポンジやマイクロスポンジを形成させて複合化する。作製した複合多孔質足場材料において、生体吸収性合成高分子の骨格は複合体の形状を保持し、足場材料としての取り扱いを容易にする一方、細胞との特異的相互作用や高い親和性を有するコラーゲンマイクロスポンジによって、播種した細胞は複合体へよく接着し、増殖することができた。複合多孔質足場材料は、骨や軟骨、皮膚、靱帯、筋肉、血管など多岐にわたる組織の再生に用いられる。

6. 今後の展望

再生医療を実現するためには、細胞、細胞成長因子、および足場材料に関する多くの要素技術が必要とされ、しかも生きている細胞を操作するため、非常に複雑で高度な技術が求められる。これまで、体のすべての組織と臓器は再生医療の対象になっており、比較的単純な構造をもつ組織

を再生するための製品はすでに製造販売されている。しかしながら、日本において製品化されているのは再生自家軟骨と再生自家表皮の2製品のみである。中国において製品化されているのは培養表皮のみである。日本は幹細胞、特にiPS細胞の研究において世界でリードしていて、足場材料の研究開発において、日本も中国も多数の研究者が多方面から研究を進めている。これらの努力により、今後はより多くの再生医療の製品が実用化されると大きく期待できる。

ナノ医薬品、アルツハイマー病の特効薬に期待

中国総合研究交流センター編集部

上海交通大学薬理学・化学生物学部の研究者は、世界生物医学界に先駆けて生物工学リポタンパク質ナノ医薬品を開発した。この薬剤は脳内のアミロイド β タンパクという発病物質の沈殿を減らし、アルツハイマー病の進行を遅らせることができる。同薬剤は高効率の薬物担体でもあり、特にアルツハイマー病の長期的かつ多様な治療に適しており、転化応用の見通しは明るい。

アルツハイマー病は最も良く見られる高齢者痴呆症だが、臨床の上では効果的な治療手段が存在しない。これまでの研究により、アルツハイマー病を引き起こす重要な物質が、アミロイド β タンパクであることが分かっている。いかに脳内のアミロイド β タンパクを減らし、早期治療を行うかが、世界のバイオ医薬界の共通の課題となっている。

上海交通大学の研究者は、天然の高密度リポタンパク質の模倣に成功し、血液脳関門を通過可能な、アミロイド β タンパクとの親和性の高い特徴を持つ生物工学リポタンパク質ナノ医薬品を開発した。同薬剤は脳内のミクログリア細胞、大グリア細胞、外周幹細胞を通じアミロイド β タンパクを摂取・削減し、脳内のアミロイド β タンパクの除去を効果的に促す。

研究者によると、中枢の安定性を維持するため、人体の脳血管内皮細胞の間には血液脳関門が密に形成されている。98%以上の低分子量医薬、100%の高分子量医薬は、大脳に入り薬効を発揮することはできない。生物工学ナノ医薬品は、人体内の高密度リポタンパク質を模倣しており、血液脳関門を順調に通過し、脳に薬効を発揮する。また実験によると、同医薬の使用により、アルツハイマー病にかかったラットの認知機能が大幅に改善された。

山東大学結晶材料実験室、光触媒の研究で重要な進展

中国総合研究交流センター編集部

山東大学結晶材料国家重点実験室はこのほど、二酸化チタンナノベルトの表面ヘテロ構造の設計・合成および光触媒特性の研究面で重要な進展を果たした。同研究の成果は著名な学術誌、Advanced Materials 誌に掲載された。

二酸化チタンナノベルトは量産化しやすいナノベルト材料で、光触媒分野で重要な応用の可能性を持つ。これを基板材料とし、表面に可視光触媒活性を有する第2段階ナノ粒子を取り付け、二酸化チタンナノベルトの表面ヘテロ構造を形成することで、紫外・可視光の異なる波長域に対応する光触媒活性を取得、ワイドバンドギャップ光触媒を実現できるだけでなく、2相間のヘテロ構造の界面エネルギー準位変調作用により効果的に光生成キャリアの分離を促進し、光触媒効率を高めることができる。同構造は、太陽光フルスペクトルの高効率光触媒に向け、全く新しいソリューションを提供した。

同実験室の研究者は、二酸化チタンナノベルトの表面に可視光触媒作用を持つセリウム酸化物ナノ粒子と MoS₂ ナノシートを取り付け、二酸化チタンナノベルトの表面ヘテロ構造を形成した。結果、複合触媒の紫外・可視光の光触媒性能がいずれも単一の光触媒を上回り、ワイドバンドギャップの効率的な光触媒を実現した。さらに、同実験室が発見した、可視・近赤外光触媒活性を持つビスマスタングステン酸ナノシートを二酸化チタンナノベルト表面に取り付けることで、紫外・可視・近赤外光の光触媒を初めて実現した。これは太陽光駆動型の光触媒分解に向け、重要な設計構想と材料の基礎を提供した。

ナノテク分野の論文誌、Small 誌はこのほど掲載した同研究に対する評論の中で、「二酸化チタンナノベルトの表面ヘテロ構造は、太陽光のワイドバンドギャップ光触媒の設計と作製に重要な手段を提供した」と指摘した。

中国の2大学、極低温原子の量子シミュレーション分野で飛躍

中国総合研究交流センター編集部

中国科学技術大学と清華大学はこのほど、極低温ルビジウム原子ボース気体に対して人工的にスピン軌道結合を作り出し、実験の中で初めてスピン軌道結合を持つボース気体の有限温度下における相図を確定することに成功し、極低温原子の量子シミュレーション分野で重要な飛躍を果たした。

凝縮系物理学において、複雑な相互作用がもたらす強相関系（高温超伝導、分数量子ホール効果など）を直接解明することは難しく、これまで上記のような物理問題に対する深い理解と応用までには至らなかった。極低温原子の量子シミュレーションは、等価な量子系を人工合成することで、観測しやすい等価な量子系における極低温原子の変化を利用して強相関系の複雑な電子挙動をシミュレーションするというもので、凝縮系物理学における重要なメカニズムの理解に向け、直感的な手段を切り開いた。この手段は今、複雑な物理システム・メカニズムを理解し、解決する上で最も有力な手段と見なされており、過去10年間で、世界的にも極低温原子の量子シミュレーション実験が大きく発展している。

スピン軌道結合は多くの重要な物理現象（原子の微細構造、近年発見されたトポロジカル絶縁体など）の鍵となる要素だ。このため、スピン軌道結合の研究と量子シミュレーションは、これらの現象をより良く理解し、さらなる利用を実現するための効果的な手段となった。中国科学技術大学の研究者はまず、ラマン結合技術を利用して人工的にスピン軌道結合を持つ極低温ルビジウム原子ボース気体を作り出した。その後、システムの温度を変化させることにより、初めてボース・アインシュタイン凝縮（BEC）の転移温度の、スピン軌道結合の影響による変化を観察することに成功した。また、実験において、磁気平面波相BECから非磁気ストライプ相BECへのゼロ以外の温度での位相曲線を確定。さらにスピン軌道結合の作用下におけるボース気体の磁性の発生とBEC転移温度の一致性も観測した。研究チームはこうした現象を基礎とし、有限温度下のスピン軌道結合を持つボース気体の相図を作成した。

ライフサイエンス分野

タヒナウイルスについて

呂 志 ●中国疾病予防コントロールセンター ウイルス病予防コントロール所 ウイルス性脳炎室勤務 副研究員



1974年10月生まれ、2009年、ウイルス病予防コントロール所在任時に博士号を取得。2006年～現在、主にウイルス性脳炎、虫媒性ウイルス及びその関連疾病の病原学、分子進化及び血清流行病学の研究に従事。Emerging infectious diseases, Vector-Borne and Zoonotic Diseases, American journal of tropical medicine and hygiene, Virology Journal等の雑誌で多くの論文を発表。中国で初めてタヒナウイルスなど、重要な人獣共通感染症の病原体を分離した。

タヒナウイルス (Tahyna virus, TAHV) は、カリフォルニア脳炎ウイルス (California Encephalitis Group Virus) と同様に、ブニヤウイルス科 (Bunyaviridae)、オルソブニヤウイルス属 (Orthobunyavirus) に帰属し、分節型マイナス鎖RNAウイルスに分類される。そのゲノムはL (大)、M (中)、S (小) の3ステージからなる。

タヒナウイルスは、1958年、チェコスロバキアのタヒナ (Tahyna) という小さな町で、蚊の標本より分離されたことで、その名がついた^[1]。その後、フランス、イギリス、チェコスロバキア、スペイン、ドイツ、オーストリア、ルーマニアなどのヨーロッパ各国、さらには旧ソビエト連邦から独立したタジキスタンや旧ソビエト連邦北部地域でもこのウイルスを分離することに成功している。現在、ヨーロッパでは広域に流行し、最も多くの人に感染する虫媒性ウイルスの1つとされている。

タヒナウイルスは、蚊に刺されることで人や動物が感染し、発熱などの症状を引き起こす虫媒性ウイルスである。蚊を媒介とする感染症は特に熱帯、亜熱帯地域で広く流行し、年齢を問わず感染の恐れがある。感染率は全体の30%以上に達する。感染直後は多くの場合で何の症状も見られないが、ごく一部の人は風邪に似た症状を発症する。突発的な高熱が3～5日間続き、頭痛、倦怠感、結膜炎、のどの痛み、筋肉痛、吐き気、胃腸障害、食欲不振、関節痛などを伴う。ごく稀に、脳炎や異型肺炎を発症し、神経系統の後遺症が残ることもある。

1. 中国におけるタヒナウイルスの分布

中国ではここ10余年、内陸の多くの地域で虫媒性ウイルスに関する調査が行われ、タヒナウイルスを複数株分離している。具体的には以下の通りである：

2006年7月～8月、新疆南部の喀什地区で採集した9,865匹のイエカの標本から1株のタヒナウイルスを分離した。国際タヒナウイルス流行株 Bardos92株のヌクレオチドと比較したところ、Sステージについては90%以上の相溶性が認められたため、タヒナウイルス^[2]であることが実証

された。これは中国では初めての実績となる。

2007年7月～8月、新疆南部のバインゴリン・モンゴル自治州 (喀什地区東部約900キロ) では、セスジヤブカの標本5,180匹が採集され、更に2株のタヒナウイルス^[3]を分離した。

2007年7月～8月、青海省格爾木、西寧市、民和県の3地点で採集された蚊の標本は8,147匹であった。166回に及ぶウイルスの分離及び鑑定を経た結果、1,873匹のヤブカから2株のタヒナウイルス^[4]を分離している。

2008年7月～8月、内モンゴルのフフホト市、バヤンノール市、通遼市、烏海市の11の県で、3属7種合計10,542匹の蚊を採集した。その後ウイルスの分離及び鑑定を経て、フフホト市から採集された515匹のイエカと522匹のセスジヤブカから1株のタヒナウイルス^[5]を分離している。

新疆で分離した3株のウイルスについてヌクレオチドの比較と進化分析を行い、次のことが分かった。これらウイルスのL、Sステージについてはヌクレオチドの配列に相対的に進化は見られず、一定の地域的特性が認められた。また中国国内での株間の相溶性は、中国株とヨーロッパ流行株との間の相溶性よりも高いことが分かった。Mステージでは、中国新疆で分離した株間の相溶性は80%であり、一方で中国株とヨーロッパ株間との相溶性の差異は80%^[3]であった。Mステージについては変異が比較的大きいことを示しており、異なる亜型が存在する可能性があるかもしれない。またタヒナウイルスは宿主に大部分依存することで、その毒性や疾病を引き起こすことに重要な意味がある。形態的な形質が環境の影響を受け表現型を変えていくかどうかについては、更なる研究が待たれるところである。

2. 人への感染調査

2007年～2009年、中国新疆、青海で継続的なタヒナウイルス感染調査が行われた。

2.1 新疆における血清流行病学調査

新疆ウイグル自治区南部の喀什地区、北部の伊犁地区において、不明熱患者から742例の急性期の血清標本を採取、タヒナウイルスに対するIgMとIgGの抗体検査を行った。さらに抗体が陽性反応を示した一部の標本については、並行して、ブニヤウイルス科に属し、抗原性が類似しているタヒナウイルス、カンジキウサギウイルス、インクウイルスの3種類のウイルスのブランク減少中和試験を行った。その結果、新疆南部喀什地区で採取した急性期の血清標本中、IgM抗体陽性率は5.3%であり、IgG抗体陽性率は18.3%であった；新疆北部伊犁地区で採取した急性期の血清標本からはIgM抗体の陽性反応は認められなかった；ブランク減少中和試験の結果、IgM抗体陽性患者の血清中のタヒナウイルス中和抗体価は、他の2種類のブニヤウイルスの抗体価上昇より明らかに高かった。(表1)

本研究により、新疆南部地域の不明熱患者グループにタヒナウイルスの急性感染と既往感染^[6]が実証された。北疆地域についてはウイルス感染の痕跡は見つからなかった。2008年、新疆北疆の阿勒泰、伊犁、塔城及び哈密など多くの地域でもこのウイルスを分離できなかった。このウイルスの活動は北疆ではあまり活発ではないことを示している。新疆南北部の間には天山山脈という自然の壁があるため、ウイルス分布の差異が生じたのだろう。

◎表1 新疆地区における不明熱患者血清標本中のTAHV/SSHV/Inkooウイルスに対するブランク減少中和試験の結果(18例)

症例	性別	年齢	採取日時	Tahyna	SSHV	INKV
1	女	20	08.8.1	<10	<10	<10
2	男	6	08.9.7	10	<10	<10
3	女	19	08.9.12	<10	<10	<10
4	男	62	08.9.8	10	10	<10
5	女	1	08.9.1	40	10	<10
6	女	21	08.9.16	<10	<10	<10
7	男	20	07.09.05	160	40	<10
8	男	7	07.09.05	160	80	<10
9	男	25	07.09.06	40	20	10
10	女	27	07.09.06	20	10	10
11	男	35	07.08.18	20	10	10
12	女	42	07.09.16	80	40	10
13	男	3	08.9.12	<10	<10	<10
14	男	1	08.9.6	<10	<10	<10
15	男	5	08.9.7	80	40	<10
16	女	12	08.9.8	<10	<10	<10
17	男	1	08.9.4	<10	<10	<10
18	女	19	08.9.16	<10	<10	<10

Table 1 PRNT 90 values of neutralization test against TAHV, SSHV, Inkoo among sera samples of 18 unknown fever cases in Xinjiang

2.2 青海省における人獣血清流行病学調査及び人への感染症例の実証：

2008年、青海省格爾木地区及び西寧市、民和県で採取した1,078名の血清標本についてタヒナウイルスに対するIgG抗体検査を行った。結果、19例(1.8%)の標本が陽性を示し、しかもその全てが30歳以下であった。さらに地域別で見ると、格爾木地区の陽性率が最高の4.4%(16/366)であり、西寧が0.6%(2/352)、民和が0.3%(1/360)と続く。特に格爾木地区では、5～9歳の抗体陽性率が最も高く、7.1%(5/70)[4]を占めた。

同じ年、上記の3地点で、牛、羊、豚全部で240頭の家畜について血清標本を採取したところ、家畜の体内にウイルスに対するIgG抗体が存在し、特に格爾木地区では最も高い数値を示した^[4]。これらのことから、家畜がウイルスの自然循環において一定の役割を果たすと推測される。

2009年7月～9月、格爾木地区で急性の不明熱患者の血清標本229例を採取、これらの標本についてタヒナウイルスに対するIgM抗体検査及び核酸検査を行った。さらに、陽性標本については回復期の血清標本を採取した。回復期の中和抗体が急性期と比較し4倍以上高くなったものをタヒナウイルス感染症例と判定した。結果、5例が該当し、内4例で回復期の中和抗体が急性期に比べ4倍以上の値を示し、1例については急性期の血清標本の中からもタヒナ核酸が検出された。^[7]これらの症例の急性期の標本の血清抗体は1:10～1:160で、しかも中和抗体は1:40～1:1,280の間であった。5例の患者の発症期間は短く、回復期採血時にはすでに回復していた。全ての症例に集中して現れた症状は表2の通りである。

◎表2 青海省の5症例で現れた症状

症状	数量
のどの痛み	4 (4/5)
体のだるさ	3 (3/5)
食欲不振	3 (3/5)
関節痛	2 (2/5)
頭痛	2 (2/5)
眠気	2 (2/5)
むかつき、吐き気	1 (1/5)
咳	1 (1/5)

2年連続で検査を行った結果、青海省ではこのウイルスが人や動物に感染していることが示され、初めて中国でタヒナウイルス感染症例が実証された。

展望

上述の研究では、中国の多くの地域でタヒナウイルスが流行し、現地の多くの人々が感染したことを示している。併せて媒介する蚊の種類が多く、このウイルスには強い伝播力があることを示しており、今後注視していく必要がある。

現在中国ではこのウイルスが重症症例を引き起こしたという報告はないが、毎年、夏になるたびに臨床で多くの原因不明ウイルスによる脳炎患者が、未鑑定病原体に感染している。そのため臨床では重症感染患者に対しタヒナウイルス検査を行う必要があると判断する。

参考文献

-
- [1] Bárdos V, Medek M, Kania V, et al. Isolation of Tahyna virus from the blood of sick children. *Acta Virol*, 1975, 19 (5) :447.
 - [2] Lu Z, Lu XJ, Fu SH, Zhang S, et al. Tahyna virus and human infection, China. *Emerg Infect Dis*, 2009, 15 (2) :306-309.
 - [3] Lu Z, Fu SH, Wang FT, Nasci RS, Tang Q, Liang GD. Circulation of diverse genotypes of Tahyna virus in Xinjiang, People's Republic of China. *Am J Trop Med Hyg*. 2011 Sep;85 (3) :442-5.
 - [4] Li WJ, Wang JL, Li MH, et al. Mosquitoes and mosquito-borne arboviruses in the Qinghai-Tibet Plateau--focused on the Qinghai area, China. *Am J Trop Med Hyg*, 2010, 82 (4) :705-711.
 - [5] Cao Y, Fu S, Tian Z, Lu Z, He Y, Wang H, Wang J, Guo W, Tao B, Liang G. Distribution of mosquitoes and mosquito-borne arboviruses in Inner Mongolia, China. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2011 Dec;11 (12) :1577-81.
 - [6] 呂志, 傅士紅, 王鳳田, 梁國棟. 中国新疆ウイグル自治区不明熱患者の中のタヒナウイルス感染状況調査。ウイルス学報, 2011, 27 (1) : 72-74.
 - [7] Li W, Cao Y, Fu S, Wang J, Li M, Jiang S, Wang X, Xing S, Feng L, Wang Z, Shi Y, Zhao S, Wang H, Wang Z, Liang G. Tahyna virus infection, a neglected arboviral disease in the qinghai-tibet plateau of china. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2014 May;14 (5) :353-7.
-

鳥インフルエンザ A (H7N9) について

押谷 仁 ●東北大学大学院医学系研究科微生物学分野

中国において新たな鳥インフルエンザ A (H7N9) のヒトでの感染が相次いで報告されており、このウイルスがパンデミック（世界規模の流行）を起こすことが懸念されている。このウイルスにどのような危険性があり、どんなことが懸念されているのかを整理してきたい。

1. 鳥インフルエンザとインフルエンザパンデミック

まず、A 型インフルエンザウイルスは本来、カモなどの水鳥を自然宿主とするウイルスであるが、水鳥以外にも多くの鳥類・動物に感染する。それぞれの宿主において固有の感染サイクルが成立していて、鳥やブタのウイルスがヒトに感染することは通常はほとんどない。これはそれぞれの種に固有のウイルスがあり、種の壁を越えて他の種に感染することは起こりにくいからである。しかし、まれに鳥やブタのウイルスがヒトに感染する事例が報告されている。鳥インフルエンザウイルスのヒトへの感染としてはこれまで A (H5N1)、A (H9N2)、A (H7N7) などのウイルスで報告されてきている。このような種の壁を越えたヒトへの感染事例は、その都度大きな注目を集めてきた。その理由は、このような事例はヒトでのインフルエンザパンデミックの起きるきっかけになり得るからである。インフルエンザパンデミックは、それまでヒトで流行を繰り返してきた季節性インフルエンザのウイルスとは大きく異なる鳥や動物のウイルスがヒトでの感染性を獲得することによって起こる。そのようなウイルスが出現すると人類の多くは、新たなウイルスに免疫を持っていないために一気に世界規模の大流行となり、大きな被害をもたらすことになる。このようなインフルエンザパンデミックは数十年に一度の割合で繰り返し起きてきており、2009年にはブタインフルエンザ由来の A (H1N1) がパンデミックを起こしている。しかし、鳥インフルエンザウイルスが鳥からヒトへの感染を起こしているだけではパンデミックにはならない。また限定的なヒトからヒトへの感染が起きても、それが直ちにパンデミックにはなるわけでもない。パンデミックの起きる条件としては、ヒトからヒトへの感染が効率よくかつ持続的に起こることが必要である。しかし、鳥インフルエンザウイルスのヒトへの散発的な感染、さらには限定的なヒトからヒトへの感染は、ウイルスのヒトへの適応過程で起きてくる可能性がある。そのため鳥インフルエンザウイルスのヒトへの感染事例は、インフルエンザパンデミックにつながる可能性があるということで世界的な注目を集めてきたということになる。

鳥インフルエンザウイルスの中でも最も大きな注目を

集めてきたのが、高病原性鳥インフルエンザ A (H5N1) である。このウイルスのヒトの感染は1997年に香港で確認されたのが最初である。この香港の流行では18人の感染が確認され、そのうち6人が死亡している。このウイルスは2003年以降、家禽類で世界的な流行を起こし、アジアから中東・ヨーロッパ、さらにはアフリカにまで流行が広がっている。また家禽での流行域の拡大とともに、ヒトでの感染もアジア各国やエジプトなどで600例以上が確認されている。高病原性かどうかはニワトリに対しての病原性で規定されるが、A (H5N1) はニワトリに対して高い病原性を持つだけでなく、ヒトに対しても高い病原性を持つことが知られていて、これまでに感染が確認された600例以上の感染者の60%近くが死亡している。A (H5N1) は2003年以降ヒトでの感染が継続的に起きていること、さらにヒトに対しても高い病原性を持つことから、このウイルスがインフルエンザパンデミックを起こすことが懸念されてきた。しかし、いまだにこのウイルスはヒトへの適応を示す兆候はなく、持続的なヒトからヒトへの感染は確認されていない。

2. インフルエンザ A (H7N9) の中国での出現

2013年3月に中国から新たに鳥インフルエンザウイルス A (H7N9) のヒトでの感染事例が報告された。このウイルスは高病原性のウイルスではなく、ニワトリに対しては高い病原性を持たないウイルスである。そのために流行の検出が難しいということはあるが、中国国内で広くこのウイルスが広がっていると考えられている。2013年の3月から4月にかけて130例を超えるヒトの感染者が中国から報告されているが、2013年5月以降にいったん流行は収束することになる。これは中国において家禽市場の閉鎖など積極的な対策がとられたこともあるが、それとともに季節の影響、すなわち夏を迎え気温の上昇とともにウイルスの活動も鎮静化したと考えられている。実際に2013年10月以降感染者が再度増加するようになり、2013年10月から2014年4月までの間に200例を超える感染者が報告されている。また、A (H7N9) でも A (H5N1) と同様に一部の感染者ではウイルス性肺炎を起こし重症化することが報告されている。2013年に報告された症例における致死率は30%を超えているが、A (H5N1) とは異なり軽症例も相当存在する可能性が高く、報告されていない症例を含む実際の致死率はそれほどには高くないと考えられる。これまでの感染者のほとんどは家禽類から感染が起きたと考えられているが、一部にヒトからヒトへの感染が考えられるような症例も報告されている。しかし、現段階では少な

くてもヒトからヒトへの持続的な感染は見られていない。したがって、直ちにパンデミックにつながるような状況ではないということになる。

3. インフルエンザ A (H7N9) のリスクをどう考えるべきか

まずこのウイルスのリスクを考える上で2つの異なるリスクを評価する必要がある。1つは、このウイルスがパンデミックを起こすリスクがどのくらいあるかということであり、もう1つはこのウイルスがもしパンデミックを起こした場合にどのくらいの被害が起こり得るかということである。

前述のように現時点で直ちにパンデミックが起こるような状況ではないが、近い将来にパンデミックを起こすリスクはどの程度あるのであろうか。このリスクを正確に評価することは困難であるが、パンデミックが起こるリスクは存在すると考えるべきである。今回のウイルスについては、詳細な解析を中国だけではなく多くの国の研究者が行ってきている。それらの解析の結果、このウイルスはすでにヒトに対してある程度適応してきていることがわかっている。まず、ウイルスは宿主に感染する際に、細胞表面のレセプター(ウイルスと結合し、その侵入を導くもの)に結合する必要がある。ヒトのインフルエンザウイルスと鳥のインフルエンザウイルスではその認識するレセプターが異なることがわかっているが、今回見つかったウイルスはすでにヒトのレセプターを認識しやすいように変異している。また鳥はヒトに比べて体温が高く、鳥のインフルエンザウイルスはより高い温度で増殖するが、遺伝子の解析からは、今回のウイルスはすでにヒトの体温で増殖しやすいように変異を起こしていることもわかっている。ヒトでの感染が相次いで報告されている背景には、このウイルスがすでにヒトにかなり適応しているということがあるものと考えられる。感染者が散発的に確認されている A (H5N1) は、10 年間で 600 例程度の感染者が報告されているが、それに比べると A (H7N9) の感染者数ははるかに急増している。これは A (H5N1) には今回の A (H7N9) に見られたようなヒトへの適応を示すような遺伝子の変異は見られず、ヒトへの感染は例外的にのみ起きていると考えられているのに対して、A (H7N9) ではヒトへの感染がより容易に起こることを示すものだと考えられる。この時点でヒトにより適応していることが直ちにパンデミックを起こすことを示すわけではないが、パンデミックを起こすリスクは A (H5N1) に比べても高いと考えるべきである。

現時点では A (H7N9) がパンデミックを起こすことが確実なわけではないが、仮にこのウイルスがパンデミックを起こした場合にどんなことが想定され、どのような対応

が必要であるかを今のうちに考えておくことは、危機管理上不可欠なことであると考えられる。このような事態が起きた場合に、問題になるのは病原性と感染性である。このウイルスがヒトからヒトへ感染するように変化した場合、病原性や感染性が大きく変わることもあり得るが、現時点でわかっているこのウイルスの特徴から、パンデミックが発生した場合に起こりうるについて考えていきたい。病原性については、すでに軽症例や無症候性感染例(感染しているが症状のない例)も見つかってきており、ヒトに対する病原性は A (H5N1) のように著しく高いということはないだろうと考えられる。しかし、病原性のそれほど高くないウイルスによるパンデミックであっても相当の被害が起きることはあり得る。たとえば、致死率が 0.1 % のパンデミックであっても、2000 万人が罹患すると 2 万人が死亡する計算になる。わずかな病原性の違いが最終的な被害の程度を大きく左右するので、病原性を見極めるは慎重に行う必要がある。ヒトからヒトに感染するように変化した場合の感染性についても現時点では未知数であるが、大きな懸念材料としてこのウイルスに対しては人類の大半がまったく免疫を持っていない可能性が高いということがある。少なくとも我々が知っている限り、このウイルスと同じ H7 という型のウイルスがヒトの間で大流行を起こしたことはなく、おそらく人類の大半はこのウイルスに対して免疫をほとんど持っていないと考えられる。2009 年に起きた A (H1N1) のパンデミックでは高齢者を中心に成人の多くが何らかの免疫を持っていたと考えられており、そのことがこのパンデミックがそれほど大きな被害にならなかった大きな理由だと考えられている。A (H7N9) がパンデミックを起こした場合、ほとんどのヒトが免疫を持たないことは、このウイルスの感染性や病原性に大きく影響する可能性がある。

まとめ

現時点では中国に相次いで報告されている鳥インフルエンザウイルス A (H7N9) が直ちにパンデミックを起こす状況ではない。しかし、パンデミックを起こす可能性のあるウイルスではあるため、今後の動向を注意深くみていく必要がある。実際にパンデミックを起こすかどうかは現段階ではわからないが、危機管理の観点からパンデミックを起こした場合を想定してどのような被害が起こり得るのか、それに対してどのような対応が必要かということは考えておく必要がある。

2013年中国生命科学分野の注目人物

中国総合研究交流センター編集部



施 一公
中国科学院院士

米プリンストン大学分子生物学部の終身教授に史上最年少で選出された施一公教授は2008年、中国に帰国し、常勤職に就いた。2011年、施教授ともう一人の留学帰国者が中国科学院の院士に落選し、大きな社会的反響を呼んだ。施教授は、米芸術科学アカデミーと科学アカデミーの会員に選ばれている。米科学アカデミー会員選出は、中国科学院上海マイクロシステム情報技術研究所の李愛珍研究員や中国科学院古脊椎動物・古人類研究所の周忠和研究員などに続く快挙だった。

2013年9月13日、スウェーデン王立科学アカデミーは、清華大学の施教授に2014年度のグレゴリーアミノフ賞を授与することを発表した。施教授がX線結晶学を用いてアポトーシス研究の分野で果たした貢献をたたえ、賞金10万クローナ（約155万円）を授与する。授賞式は2014年3月31日、スウェーデン王立科学アカデミーの年会で行われた。同賞の中国人科学者の受賞は設立35年で初めて。

施一公教授の研究チームが発表した「プレセニリンファミリーアスパラギン酸膜貫通プロテアーゼの構造」は大きな注目を集め、科学誌『Nature』は1月3日、「Structural biology: Membrane enzyme cuts a fine figure」のタイトルで、この研究成果とその意義を詳しく紹介した。

この驚くべき研究成果によると、細胞膜の内部は疎水性環境となっているのにもかかわらず、一部のプロテアーゼは水分子を利用して膜内でほかのタンパク質を消化できる。こうした酵素は、生物学と疾病発生プロセスで幅広い作用を持っている。現在すでに発見されているものは3種類に分けられる。亜鉛含有S2Pプロテアーゼ（zinc-containing site-2 proteases）と菱形セリンプロテアーゼに加え、同研究中のプレセニリンファミリーのアスパラギン酸プロテアーゼである。

2006年と2007年、二つの研究チームがそれぞれ前者二つの原子レベルの結晶構造を解析し（そのうちS2Pの構造は施一公研究チームが解析）、こうした膜貫通プロテアーゼの作用の仕組みに対する理解を促進したが、プレセニリンの構造は不明のままだった。この最新研究は、プレセニ

リンの構造を初めて解明し、今後の研究や薬物の開発に基礎的な枠組みを提供するものとなる。

現在、プレセニリンには二つの種類が確かめられている。一つは、単一ポリペプチドとして作用するもので、シグナルペプチドペプチダーゼなど。もう一つは、ほかのタンパクの活性化を必要とするもので、酵素複合体 γ セクレターゼを構成することができる。4種の異なるタンパクから構成され、多くの単一膜貫通タンパク（単一膜貫通領域を含む）を切り取ることができる。Notch受容体や β アミロイド前駆体タンパク質（APP）がある。こうした切断はタンパク質や放出されるポリペプチドを調整することができる。機能性 γ セクレターゼは、Notchシグナルの経路で不可欠な部品であり、プレセニリンをつかさどる遺伝子に突然変異が起これば、APP熱分解によって産出される β アミロイドタンパク質を変えることにより、若年性アルツハイマー病の起因となる。

電子顕微鏡を使えば、 γ セクレターゼの構造を低解像度では解析できるが、原子レベルで結晶構造を解析するには様々な困難がある。この研究は、単体のプレセニリンの解析が可能であることを示すもので、酵素複合体の全体の構造を解明するのに重要な一歩となった。さらにこの論文は、膜タンパク質の結晶と構造をいかに解析するかにモデルを提供するものともなる。

研究員は、細菌を通じてタンパク質を過剰発現させ、これを純化・濃縮し、一種のプレセニリンを取得した。様々な生体中のいくつかのタンパク質を試した後、研究員は研究の焦点を古細菌 *Methanoculleus marisnigri* のプロテアーゼmmPSHに集中させた。大量のタンパク質工学の研究を行い、5つの変異体を構築してmmPSHの可溶性を高め、プロテアーゼ機能を研究し、質の高い結晶構造を作り出し、測定に使った。

研究員は最終的に、このようなタンパク質が9個の膜貫通ヘリックスからなることを発見した。膜貫通ヘリックス1-6はN末端ドメイン（NTD）、7-9はC末端ドメイン（CTD）を形成している。二つの触媒残基アスパラギン酸（D162とD220）はそれぞれ膜貫通ヘリックス6と7に位置し、膜の中に内包されている。研究員はさらに、序列の高度な安定性に基づき、コンピューターのホモロジーモデリングを利用し、人起源のプレセニリンの立体構造を構築した。

この構造がもたらした驚きの一つは、mmPSH プロテアーゼが膜貫通エリアに穴一つ持っていることであり、水分子の進入と触媒、切断反応の経路の一つである可能性もある。もう一つは、これらのタンパク質が四量体を形成していることである。もっともこの構造がどのような

意義を持つかはまだ定かでない。ナノテク分野の論文誌、Small 誌はこのほど掲載した同研究に対する評論の中で、「二酸化チタンナノベルトの表面ヘテロ構造は、太陽光のワイドバンドギャップ光触媒の設計と作製に重要な手段を提供した」と指摘した。



高 福

中国科学院院士

ヒト感染H7N9鳥インフルエンザウイルスの受容体結合特性と構造的基礎

2013年2月に出現したヒト感染H7N9鳥インフルエンザウイルスは、新型の再集合ウイルスであり、上海と安徽の両地でまず発見された。このウイルスは鳥においては発症しないが、ヒトに感染すると深刻な呼吸器疾患を引き起こす。中国科学院北京生命科学研究院微生物研究所の高福プロジェクトチームは、H7N9鳥インフルエンザウイルスのヒト感染における宿主間の伝播メカニズムの研究で飛躍的な成果を上げた。同年9月5日、科学誌『サイエンス』は同プロジェクトチームの「ヒト感染H7N9鳥インフルエンザウイルスの受容体結合特性と構造的基礎」と題した論文をオンラインで発表した。

H7N9ウイルスに関する一問一答

Q1. H7N9ウイルスがいつ突然変異を起こすかは事前予測できませんが、H7N9鳥インフルエンザウイルスの情報をどのように得て、研究するようになったのでしょうか。

A. 中国疾病予防制御センターの副室長を務めていますので、症例が報告されてすぐにこれを知りました。帰国後は長年にわたって新型の突発性感染症の宿主間の伝播メカニズムを研究してきましたので、H7N9ウイルスの症例が発見されるとすぐに、国家インフルエンザセンターの室長、中国疾病予防制御センター・ウイルス病予防制御所の副所長である舒躍竜教授が私に電話をかけてきて、このウイルスの分子メカニズムを研究する必要があるとのお話をいただき、私どものチームがすぐに研究を始めることになりました。

Q2. H7N9鳥インフルエンザウイルスの発見後、国による緊急措置の発動はあったのでしょうか。

A. ありました。疾病の予防と制御をすばやく行うために、国家伝染病連携予防制御体制が敷かれています。伝染病研究のための特別資金が国家から支出され、

中国科学院はインフルエンザ対応のための緊急研究を始動し、中国科学院と中国疾病制御センターは共同研究チームを組織しました。いつまでに成果を出すようにという指示は国からはなく、研究者側が経験に応じて日程を決め、計画を作成し、夜を徹した研究が開始されました。

Q3. 研究の第一線にはどのような人々がいるのですか。

A. 全国各地で10以上の研究チームがH7N9ウイルスの攻略に取り組んでいます。北京では、私と舒躍竜のそれぞれの研究チームのほか、秦川（中国医学科学院医学実験動物研究所所長）も研究に従事しています。浙江には李蘭娟（中国工程院院士、伝染病診断治療国家重点実験室室長）、上海には袁正宏（復旦大学上海医学院医学分子ウイルス学国家重点実験室室長）、香港には有管軼（香港大学新型感染症国家重点実験室室長）がいます。どの研究チームもH7N9ウイルスを研究していますが、出発点は異なり、それぞれが重点や強みを持ち、協力して研究を展開しています。

Q4. 高福院士の研究チームはほかの研究チームと比べてどのような違いがありますか。

A. 私どものチームの研究対象はマクロ生態と分子メカニズムの二つです。後者は国内では私たちしか研究しておらず、構造生物学の技術が運用されています。これは競争相手がいないということではなく、米国や英国、オランダの研究者も研究していたのですが、私たちは彼らよりも早く成果を出すことができました。

H7N9鳥インフルエンザウイルスの研究で私どもが行ったのは次の二つです。まずはマクロ生態学によってウイルス源を特定することで、感染経路をさかのぼり、生きた家禽を扱う市場が特定されました。次には、分子レベルからH7N9鳥インフルエンザウイルスのヒト感染の原因を突き止めることで、これは私たちがずっと取り組んでいる宿主間の伝播メカニズムの研究です。

私たちのH7N9ウイルスの研究が世界の科学界に認められるには、長い時間がかかりました。まずは科学界のほかの科学者の評議を受けなければならず、自

分では十分だと考えていても、ほかの科学者が不足だと判断すれば、不足点を埋める研究を続けなければなりません。さらには公に認められている科学研究の交流プラットフォーム、例えば『ネイチャー』のようなトップクラスの科学誌を通さなければならぬわけですが、編集者が不足を見い出せばそれを補わなければなりません。科学研究を行う場合、国家が必要とする科学の先端問題を解決しなければならない一方、交流プラットフォームを通じて研究成果をすばやく発表しなければなりません。もしも競争相手の論文が最初に発表されてしまえば、結果を出したのがそれよりも早くても成果とは認められません。商標登録や特許出願と同様です。

Q5. 今年は2カ月だけで感染者数が昨年の通年の感染者数を上回りました。H7N9ウイルスの病原性が高まっているということでしょうか。

A. 鳥インフルエンザウイルスの病原性は普通、鳥に対して使われます。病原性の高い鳥インフルエンザウイルスは、鳥に感染する上、鳥の間での大量の発症を引き起こします。H5N1はその例です。一方、病原性の低い鳥インフルエンザは、鳥を発症させることはまれで、ウイルスを保有させるだけです。H7N9は低病原性鳥インフルエンザウイルスの一つです。

これまでの研究では、H7N9ウイルスのヒトへの感染率が高くなったということは報告されていません。感染者数の増加は、ウイルスを保有する生きた鳥に人が接触する確率が増えたためと考えられます。H7N9ウイルスがいつどのように突然変異するかを事前に予測することはできません。

Q6. H7N9鳥インフルエンザウイルスはどのように根絶できるのでしょうか。

A. 人類は確かに、免疫やワクチン接種などでいくつかのウイルスを根絶してきました。人類に大きな被害をもたらした天然痘もその一つです。しかしすべてのウイルスを根絶できるわけではありません。世界で初めて発見された動物ウイルスの口蹄疫ウイルスがその一つです。変異型の威力が強いため、人類はこれまでこれを根絶できていません。西洋の国々でも口蹄疫を食い止める方法は、感染した動物を殺処分することだけです。

H7N9ウイルスも同じく、根絶の難しい変異性の強い動物ウイルスです。これまでに実証された伝播メカニズムは、家禽類からヒトへの経路だけで、H1N1ウイルスのように、本来の宿主である豚から離れてヒトからヒトに伝播することはありません。理想的には、宿主を消滅させてしまえば、ウイルスが身を隠す場所はなくなりますので、ヒトへの感染の可能性はぐっと低くなります。しかし現実にはこのような措置はなかなか実現できませんので、現在は、生きた家禽を扱う市場を閉鎖したり、市場を休止して消毒したりといった措置が取られています。高病原性鳥インフルエンザウイルスH5N1が養鶏場で見つかった場合は、殺処分も行いますが、多くの場合は鶏にワクチンを注射するという方法が取られています。とは言えこれは最良の策ではなく、やはり感染した場合は殺処分が望まれます。

H7N9鳥インフルエンザウイルスが根絶されるまでは、自己防備の意識を高め、生きた家禽には接触せず、鳥インフルエンザウイルスから距離をとることが必要です。長期的に言えば、中国でも、生活習慣を変え、集約的な大規模養鶏業を発展させることを検討すべきです。家禽を集中的に屠殺し、低温度管理のもとで市場に出すのが、最も安全で信頼性の高い方法です。



呉 蓓麗

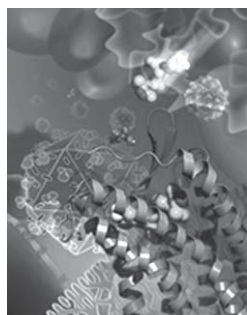
エイズ研究に新たな進展

世界トップクラスの学術誌『サイエンス』は、中国人科学者の呉蓓麗氏が率いる研究チームの成果をオンラインで発表した。この成果は、ヒト免疫不全ウイルス（HIV）の受容体の一つであるCCR5の立体構造を初めて解析し、エイズの新薬開発に土台を築くものとなった。呉チームの研究は、抗HIV薬のマラビロク的作用機序から出発して

CCR5の立体構造を明らかにしたもので、こうした薬品がCCR5との結合を通じてその分子配座を変更し、HIVの非反応状態を作り出し、ウイルスとの結合遮断を実現することを実証した。

HIV人体侵入の「内通者」の撮影に成功

エイズウイルス（HIV）の人体の侵入を助ける「内通者」の立体精密画像がこのほど、中国人科学者によって撮影された。エイズウイルス作用を阻害する薬物の設計を助ける役割が期待されている。この成果は2013年9月13日、米誌『ネイチャー』に発表された。



この「内通者」は、人類の細胞表面にある受容タンパク質の一つで、CCR5と呼ばれている。1996年、このCCR5とCXCR4の助けがなければHIVは人体になかなか入れず、さらにHIVがCCR5を通じて侵入する傾向があることが発見された。さらに研究では、ヨーロッパ人の約10%

は人体にCCR5を欠いており、HIVにほとんど感染しないこともわかっている。だが科学者を悩ませていたのは、この二つのタンパク質がGタンパク質共役受容体（GPCR）の仲間で、構造の解析が非常に困難だということだった。科学者はその詳細な構造図をなかなか取得することができず、これを利用した薬物も設計することができなかった。

2007年、米Scripps研究所のレイモンド・スティーブンスがGPCR構造の解析方法を発見した。その学生であった呉蓓麗はこの方法を利用し、二種類のタンパク質の立体画像取得の取り組みを始めた。2010年、CXCR4の解析が成功し、成果が『ネイチャー』に発表された。2011年、呉蓓麗は中科院上海薬物研究所に招聘され、自らの研究チームを組織した。呉研究員の課題チームは2年の努力を経て、CCR5の精細構造の解析に成功した。

「私たちの研究では、CCR5がHIVを細胞に持ち込む『ポケット』が確認され、この『ポケット』のカギとなるアミノ酸も特定されました」。呉蓓麗によると、HIV変異体の違いに応じてCCR5の積極性も異なる。

同研究は、抗HIV薬物の開発に対して重要な意義を持っている。マラビロクは抗HIV薬物として常用されているが、それが効果を持つことだけがわかっており、その作用機序は科学者もわからないのが現状だった。今回の精密画像の取得により、そのメカニズムが解明された。マラビロクはCCR5を非活性状態とすることにより、CCR5をHIVから「見えなく」し、細胞への侵入を防いでいる。

『ネイチャー』のライターであり編集者のHelen Pickersgill博士は、この研究を「GPCR分野の一里塚」と評価し、「さらに優れたHIVの治療法の開発に極めて重要な見解をもたらすもの」との見方を示している。上海薬物研究所は同論文を発表する前から、CCR5を標的とした薬物のスクリーニングを開始している。薬物研究所の蔣華良副所長によると、低分子化合物の「薬物の苗」がすでにスクリーニングされており、現在常用されている薬物よりすぐれたHIVの活性抑制効果があることが最新の実験でわかっている。



石 正麗

中国科学院武漢ウイルス研究所研究員

新型SARSウイルスの研究

2002年から2003年にかけて起こった重症急性呼吸器症候群（SARS）のコロナウイルス（SARS-CoV）の大規模な流行は、ここ数年で最も深刻な公共衛生事件の一つとなった。現在も、中東呼吸器症候群コロナウイルスの流行が続いており、この種のウイルスが人類に疫病をもたらす主要な脅威の一つであり、その分布が考えられていたよりもずっと広範囲であることがわかった。こうした状況に対応するため、中国科学院武漢ウイルス研究所が指導し、オーストラリアやシンガポール、米国の科学者も加わった国際研究チームが組織され、SARS-CoVの自然の宿主がキクガシラコウモリであるという観念にこれまで最も有力な証拠を提供している。この研究結果は、2013年10月30日の科学誌『ネイチャー』にオンラインで発表された。

SARS起源はキクガシラコウモリ 科学者の実証進む

中国科学院武漢ウイルス研究所の石正麗研究員が率いる国際研究チーム（Ecohealth Alliance、Australian Animal Health Laboratory、One Health Institute、School of Veterinary Medicine、University of California、Davis、華東師範大学、Duke-NUS Graduate Medical School、Singaporeなどが参加）はこのほど、SARS（Severe acute respiratory syndrome）のコロナウイルスとほとんど一致する新型のSARSコロナウイルス（SARS-like CoV）の分離に成功し、中華キクガシラコウモリがSARSウイルスの起源であるという実証を進めた。

SARSコロナウイルスは、2002年から2003年にかけてのSARS大流行の病原体で、世界で8094人が感染し、774人が死亡するという深刻な状況を引き起こした。感染症学的な証拠と生物情報学の分析によって、SARSコロナウイルスの直接的な起源は野生動物市場のハクビシンであったことがわかっている。アフリカや欧州、中国など世界各地のコウモリの体内からはいずれも、SARSウイルスと似たSARS状コロナウイルスが発見されているが、これらのウイルスはヒトやハクビシンのACE2（体内のSARSウイルス受容体）を受容体とすることはできず、SARSウイル

スの直接的な仲間とはみなされていない。同研究チームが分離したSARS状コロナウイルスは、ヒトやハクビシン、中華キクガシラコウモリのACE2を作用受容体とすることができ、ヒトやブタ、サル、コウモリ他種類の細胞に感染することができる。この実験結果は、中華キクガシラコウモリがSARSコロナウイルスの自然宿主であるという見方にさらなる直接的な証拠を提供するものとなる。この最新結果は、2013年の科学誌『ネイチャー』に発表された。同チームは2005年にも、「SARS状コロナウイルスの自然宿主はコウモリである」とする論文を『サイエンス』に発表しており、同分野でのこれに続く重大な進展を実現した。

研究者によると、コウモリは様々なウイルスを保有しているが、これらのコウモリのウイルスがヒトに感染するケースは多くない。コウモリは、花粉の伝播や害虫の駆除など、生態環境において重要な役割を持っており、自分から人類を攻撃することはない。コウモリなどの野生動物が生きる環境を保護することは、野生動物が保有する病原体の感染を避ける最良の方式である。

環境技術分野

最近の環境法政策 —生態文明と環境保護法改正—

北川 秀樹 ●龍谷大学政策学部教授、NPO法人・環境保全ネットワーク京都代表、博士（国際公共政策・大阪大学）



専門は環境法政策。1979年京都大学法学部卒業後、京都府庁勤務、地球環境対策推進室長を最後に12年前に研究者に転身。日本と中国の環境法政策と環境ガバナンスの研究に取り組んでいる。編著書『中国の環境法政策とガバナンス（2011）』など。

習近平政権は2013年11月に開催された中国共産党18期3中全会において、「中共中央の若干の重大問題を全面的に深化改革することに関する決定」（3中全会決定）を提起して、「生態文明」の建設を強調した。また、20年余りにわたって続けられてきた環境保護法改正案が本年4月に全国人民代表大会（人大）常務委員会を通過した。この二つの動きから、最近の中国政府の環境問題対応の基本的な考え方と特徴について考察した。

生態文明

3中全会決定14章で、生態文明制度が掲げられた。生態文明の建設に関するバランスの取れた制度の確立、最も厳格な汚染源改善、損害賠償、責任追及、環境改善と修復制度の実行、及び制度を活用した生態環境保全を明記し以下の4つの方針を強調して環境重視の姿勢を表した。

①自然資源財産権制度と用途管理制度の健全化

水、森林、山地、草原、荒地、干潟などの空間に対して統一して権利を確認して登記する。帰属が明らかで、権利と責任が明確で、監督管理が有効な自然資源財産権制度を形成する。空間規制システムを確立し、生産・生活・生態空間開発制限を定め、用途管理を実行するとした。エネルギー、水、土地の節約集約使用制度を改善し、自然資源の資産管理と体制を健全にし、国が統一して所有者としての職責を行使するとした。

②生態保護方針の確定

主要機能区の設定により国土空間開発保護制度を確立する。厳格に主要機能区を位置づけ、これに基づき国家公園制度を確立する。資源環境の負荷能力観測・警告メカニズムを構築し、水土資源、環境容量と海洋資源の負荷能力を超えた区域について規制措置を実施するとした。開発制限区域と生態の脆弱な国家貧困支援開発重点県に対するGDPによる審査をやめ経済偏重方針を転換する。自然資源資産負債表を作成し指導幹部に対する自然資源資産にかかる離任監査を実施し、生態環境に損害を与えたものに対する生涯責任制の確立を掲げた。

③資源有償使用制度と生態補償制度の実行

自然資源とその製品の価格改革を急ぎ、市場需給、資源の欠乏、生態環境損害コストと回復利益を全面的に価格に反映するほか、資源使用について、汚染・破壊者負担原則を維持して、資源税を各種自然生態空間の占用に拡大する。退耕還林・退牧還草の範囲の拡大、汚染地区、地下水過採取地区の耕地の用途を調整し、耕地と河川湖沼の回復の実現、工業用地と居住用地の有効調節のための比較価格メカニズムを確立し工業用地価格を引き上げるとした。受益者負担の原則により、重点生態機能区の生態補償メカニズムを改善し、地区間の横向きの生態補償制度の推進、環境保護市場の発展、省エネ量・炭素排出権・汚染物排出権・水権取引制度の推進を進める。社会資本を生態環境保護に投入することにより市場メカニズムを確立し、環境汚染の第三者による改善を促進するとした。

④生態環境保護管理体制の改革

あらゆる汚染物排出を厳格に管理する環境保護管理制度を確立し、陸海を統合した生態システムの保護回復と汚染防止区域との連動メカニズムを整備することとした。国有林区の経営管理体制の健全化と集団林権制度改革を実施し、適時環境情報を公布し、通告制度の健全化と社会監督を強化するほか、汚染物排出許可制の改善、企業・事業体の汚染物排出総量抑制制度の実行、生態環境に損害を与えた責任者に対する賠償制度の厳格な実行、法による刑事責任の追及を盛り込んだ。

以上から、自然資源の財産権帰属の明確化と用途管理の実施、管理責任の所在と追究の厳格化、生態機能区の中で重点的に保護しなければならない地区の確定、経済発展優先の成績審査の転換と幹部の厳格な責任追及、汚染者負担、受益者負担原則の貫徹と市場メカニズムを活用した生態補償制度の確立などを重点として掲げたことがわかる。いわば資源に対する国の管理強化、環境汚染や破壊に対する責任追及、費用負担の制度確立を明確にしたといえる。

このほか同決定では、環境ガバナンスに関連する注目すべき内容を規定している。一つは、4章の「政府職能の転

換」の中で、投資体制改革に触れ、エネルギー、土地、水の節約、環境、技術、安全等の市場における基準の強化、生産過剰を防止・解決できる長期的なメカニズムの構築を規定した。また、成績評価について審査評価システムを改善し、経済成長のスピードで成績を評価する傾向を糺し、資源消耗、環境損害、生態効果、生産過剰、科学技術の刷新、安全生産、新増加債務等の基準の強化などによる省エネ、環境面での基準整備を強調している。さらに、9章の「中国の法治」において掲げた司法管理体制の改革である。省 以下の地方法院、検察院の人事と財政の統一管理を推進し、行政区画と分離した司法管轄制度の確立を模索し国の法律を統一して正確に処理するとした。従来、地方の人民法院の財政は地方政府から手当され、法院院長の人事は地方の人大により決められるため、裁判の内容に地方の利益が優先される「地方保護主義」の傾向が指摘されていた。この改革により、上級法院の直接管轄が実現すれば裁判の独立性の保障に一步近づくことが期待される。

環境保護法の改正

12期全国人大常務委員会の5年立法計画（2013年10月）により明確にされた68の項目のうち、土地管理法、環境保護法、大気污染防治法、水污染防治法等の改正、土壤污染防治法、核安全法等11の項目は前述の「生態文明」に関連している。

このうち環境保護に関する基本的な法律であり、環境政策の基本方針と厳格な責任追及を規定する環境保護法（1989年制定）の改正内容について紹介する。同法の改正については、早くも1993年の8期全国人大環境資源保護委員会において意欲的に議事日程に取り入れられ、9、10、11期全国人大常務委員会も法律改正を立法計画に取り入れ、数十回に及ぶ調査研究・法律執行の活動を展開してきた。また、法律専門家・官員を海外へ派遣し、環境分野の立法動向を調査させ、その育成訓練を実施した。北京大学の汪勁教授は、このような努力にもかかわらず改正が実現しなかったことは、問題の困難性を表しているという。

2012年8月に改正案の草案第一次審議稿が公開されたが、改正内容としては小幅なものに留まっていた。その後大幅な修正が加えられ2013年7月に草案第二次審議稿が公開され一般の意見が聴取された。これを受け、内容の一層の充実強化が図られ、去る4月24日に改正案が全国人大常務委員会を通過、2015年1月1日から施行されることとなった。今回改正作業が早まった背景には、PM2.5をはじめとしたさまざまな環境問題の顕在化が影響したと考えられる。

改正法の主な内容・特徴について、新規に加わったものや現行法と比較しての改善点を取り上げる。

まず、「目的」について、社会主義現代化建設の促進という言葉がなくなり、「生態文明の建設の推進、経済社会の持続可能な発展の促進」という用語が加わった。また、従来から認知されていた「環境の保護は国の基本国策」を明記した（4条）。「環境教育や環境保護」について、「教育行政部門、学校は環境保護の知識を学校教育の内容に入れ、青少年の環境保護意識を養う」「ニュースメディアは環境保護の法律、法規及び環境保護知識のPRを行い、環境違法行為に対する世論の監督を行う」とし、教育機関やメディアの役割を盛り込んだ（9条2項、3項）。

また、「国の環境保護規制」について新たに定め、規制の内容は「自然生態保護と環境污染防治の目標、主要任務、保障措置等」を含み、「全国の主要機能区規制、土地利用全体計画及び城郷規制とリンクしなければならない」とし（13条4項）、開発関連の規制との整合を図った。「環境影響評価」に関して建設プロジェクト環境影響評価報告書は先に建設して後で承認を得るような場合が多かったため、「法により環境影響評価を行っていない建設プロジェクトについて、着工し建設してはならない」としたほか、開発利用規制の環境影響評価に対する事前承認も義務付けた（19条2項）。そして、この違反に対して、環境保護行政主管部門は「建設停止を命令し、過料に処するとともに現状の回復を命令することができる」とし（61条）、実効性を高める工夫をした。

次に、環境保護部門の責任を明確化し、「環境保護目標責任制と審査評価制度を実行し、國務院と地方人民政府環境保護目標完成状況」を地方人民政府の環境保護部門とその責任者の審査内容とし、結果を公開することとした。また、県級以上の人民政府は環境保護目標完成状況を環境保護部門とその責任者及び下級人民政府とその責任者の審査内容に入れ、評価の重要な根拠とし、その結果を公開することとした（26条）。さらに、県級以上の人民政府は毎年、人大及び同常務委員会に環境状況と環境保護目標の完成状況を報告するとともに、重大環境事件についても報告し監督を受けなければならないとし（27条）、人大の監督を強化した。

自然資源については、「合理的に開発し、生物多様性を保護し、生態安全を保障」と規定し（30条1項）、「外来種の移入と生物技術の研究、開発、利用についての措置」をとり、生物多様性の破壊を防止することとした（同2項）。この点、現行環境保護法には、自然保護に関する規定が不十分であったため充実強化が図られている。また、生態保護補償制度の確立について規定し、受益地区と生態保護地区の人民政府が協議や市場規制に基づき生態保護補償を進めることについて国の指導を規定したが（31条）、これは現在起草中の生態補償条例の動きを反映したものと思われる。

「廃棄物・リサイクル」に関して、国などは省エネ、節水、省資源などの環境にやさしい製品、設備、施設を優先して購入、使用しなければならないとした（36条2項）ほか、地方人民政府の「生活廃棄物の分類措置、回收利用の推進措置」と住民の分別義務について規定した（37条、38条）。

その他、「総量抑制」について規定し、国の重点汚染物排出総量抑制基準を超えた地区については、暫時新增設の建設プロジェクト環境影響評価書の審査を停止することとし（44条2項）、実効性を高めた。また、農業、化学肥料などの農村の農業面源汚染防止を規定し、生活廃棄物の処理についての県級人民政府の責任を明記した（49条）。

今回、筆者が特に注目しているのは「情報公開と公衆参加」及び「法律責任」である。前者について、国と並んで省級以上の人民政府環境保護部門は定期的に環境状況公報を公布することとした（54条1項）。地方レベルでの環境情報の公開促進が期待される。また、環境影響評価手続きにおける公衆参加について、「環境影響報告書を作成しなければならない建設プロジェクトは、建設機関が作成時に公衆に状況を説明し、十分意見を求めなければならない」とした。環境保護部門が報告書を受け取った後、国家機密と商業秘密にわたる場合を除き、全文公開が義務づけられたほか、建設プロジェクトについて十分住民の意見を聴取することを義務付け、実質化を図った（56条）。また、公益訴訟については、「環境汚染、生態破壊、社会公共利益に害を与える行為」について、法に基づき区を設けた市級以上の人民政府民政部門に登録していること、かつ環境保護公益活動に連続して5年以上従事し違法な記録がない公益組織（NGO）に訴訟の提起を認めた。北京の研究者によれば全国で300あまりの組織が対象になるとのことである。

後者の法律責任については、「企業事業単位やその他生産経営者が違法に汚染物を排出する場合は過料の処罰を受けるとともに期限内の改善を命ぜられる。改善を拒む場合は、法により処罰決定を行った行政機関は改善を命じた日から元の処罰額に応じて日割りの処罰をすることができる」とし（59条）、有識者が強く求めていた「日罰制」を規定した。さらに、地方性法規で、地域の実情に応じて対象の違法行為の種類を増加することができることとした。これに加え、環境影響評価を行わず着工し、建設停止を命じられたにもかかわらず実施しない場合や違法な汚染物の排出など、悪質な行為について公安機関に案件を移送して直接の責任者を10日－15日間の拘留ができることとした（63条）。このほか、企業の環境情報の不公開や虚偽の情報公開について、県級以上人民政府の環境保護部門は公開を命じ、過料に処し公表するとし、企業の責任を強化した（62条）。

以上から特徴として以下の点を指摘できるだろう。①従来、環境汚染中心であった法律を自然保護、廃棄物の領域まで広げたこと。②政府や企業の情報公開を義務付けたこと。③住民やメディアの監視・監督機能を重視し公衆参加を充実したこと。④法律責任を強化したこと。特に④については、草案第二次審議稿より一層強化されており立法者の並々な強い決意が窺える。現在、来年の施行に向け、改正内容の周知に努めているが、地方からは経済発展との関係で施行の困難さを指摘する声も聞かれる。環境法の実効性を上げるには、前述の生態文明や生態補償を前面に出した環境政策の確立とともに執行面でのガバナンス強化が不可欠である。とりわけ共産党一党指導の現行体制の中でいかにチェック機能を働かせられるかが改正法の実効性に影響する重要な要素となるであろう。

中国の大気汚染は果たして「悪化の一途をたどってきた」のか？ —データが示すPM2.5問題の背景と実態—

堀井 伸浩 ほりい のぶひろ ●九州大学経済学研究院准教授



1994年3月 慶應義塾大学法学部政治学科卒業 1996年3月 慶應義塾大学法学研究科前期博士課程（修士課程）修了
1996年4月 アジア経済研究所研究員 2006年4月 日本貿易振興機構アジア経済研究所副主任研究員 2007年4月 九州大学経済学研究院准教授（現在に至る）

客員研究員等

1999年8月～2002年3月 中国 清華大学技術・経済エネルギーシステム分析研究院 客員研究員 1999年9月～12月、2000年7月～12月、2001年3月～6月、2003年9月～2004年3月 世界銀行短期コンサルタント 2002年6月～2002年8月 国際協力銀行エネルギー経済専門家 2006年5月～2007年3月 朝日新聞社アジアネットワーク（AAN）客員研究員 2007年7月～2009年1月 国際エネルギー機関（International Energy Agency）コンサルタント 2008年4月～2010年3月 東京大学社会科学研究所・客員准教授 2009年1月～2010年1月 総合資源エネルギー調査会臨時委員 2011年4月～2012年3月 東京大学社会科学研究所・非常勤講師

はじめに

中国各地で煙霧（スモッグ）が頻発、ニュースや記事では視界がほとんどない都市の風景写真を掲げ、大気汚染が深刻な状況を伝えている。もちろん中国の大気がひどい汚染状況であることは否定しない。しかし、「中国は経済成長優先で環境は悪化を続けてきた」、「環境対策設備があっても稼働させていない」、「主な原因は石炭の燃焼」という多くの報道が主張している点は必ずしも事実ではない。本稿は、2000年代半ば以降、中国で環境対策が大きく進展してきた事実を指摘した上で、それにもかかわらず依然大気汚染が深刻であることをどう捉えるべきか議論する。更に煙霧の原因物質であるPM2.5への対応で、大気汚染対策が一層加速している現状も紹介する。実は2013年から2017年までに総額28兆円ものビッグビジネスが湧き起りつつあるのだ。進んだ環境技術を有する我が国にとって大いなるチャンスというべきであるが、残念ながら実際にこのチャンスをものにすることができるかどうかは甚だ心もとない。その原因は「中国＝環境汚染大国」の図式でしかものを見ることができず、「環境市場大国としての中国」が見えていないせいだと考えている。

第11次五カ年計画における環境対策の進展 —NOx以外は軒並み改善

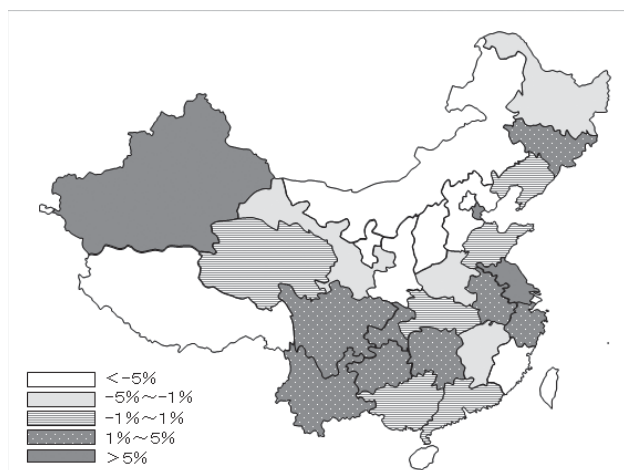
まずデータから近年の環境対策の進展を概観しておこう。第11次五カ年計画（2006年から2010年、以後11・5計画と記述）期間中において、主要な大気汚染物質である煤塵とSO₂は2005年比でそれぞれ29.9%、14.3%も減少している。この期間も実質GDP成長率で年平均11.2%と高成長を遂げており、経済成長と環境保護の両立が中国でも可能であることを示している。省エネルギー^[1]が19.1%も進んだことも大きい。集塵機や排煙脱硫装置などの汚染除去装置が（特に発電所向けに）広く普及したことが成功の原因である。その結果、PM10^[2]の濃度も低下し、2005年には2級基準を満たせたのは対象都市の51.9%

に止まっていたが、2010年には85.0%にまで上昇した（なお2012年は更に改善し、88.0%の都市がPM10に関しては2級基準を達成している）。

それではPM2.5はどうか。実はPM2.5が中国で環境基準の観測対象となったのは2012年以降であり、時系列の推移をみるために必要なデータは得られない（したがって「悪化を続けてきた」という報道にはそもそも科学的根拠はない）。参考にできるのはNASAの衛星観測データであるが、図1の通り、2001～2003年と2008～2010年の平均濃度を比較すると、実は北京を始め、長江以北の多くの省ではPM2.5の濃度はむしろ低下したという観測結果である。特に華北地域では5%以上の改善となっていることが注目される。この期間中、北方地域に多く立地する重工業の工場において煤塵やSO₂対策が進んだ成果と言えるだろう。他方、南方の省、特に上海デルタや四川省近隣では概ね1%から5%の幅で悪化したが、これらの地域では工場における汚染対策による削減分を、新たな排出源からの（後述するが、主に自動車の）排出量の増加が上回ったということだと考えられる。

煙霧が注目されるようになったのは図1が示す期間から更に2～4年を経た2012年以降であるが、その間PM2.5の排出状況が急激に悪化したとも考えられない。したがって煙霧が発生しやすい気象条件がここ数年重なったこと（汚染排出量は減少しても風が吹かず滞留時間が長くなると煙霧の発生可能性は高まる）、それ以上に煙霧は実際には昔から発生していたものの過去には問題視されていなかったが^[3]、近年人々の認識が変わったことが近年の騒動の背景と考えられる^[4]。

とは言え、PM10濃度は大幅に改善する中（多くの都市で2級基準が満たされるようになったということは30%程度の改善を意味する）、PM2.5濃度は北方で若干の改善



◎図2 人工衛星データによるPM2.5濃度の変化(2001～2003年→2008～2010年)

(出所) Zell Erica, Stephanie Weber, Alex de Sherbinin, "Bottom Up or Top Down? Another Way to Look at an Air Quality Problem", state of the planet: Blogs from the Earth Institute, Columbia University, 2012.

に止まり、南方ではかえって悪化しているという一見矛盾した結果をどのように理解すれば良いのか。それはPM10とPM2.5では原因物質が異なるという点から説明できる。最新の分析は得られず若干古いデータであるが、2006年北京のPM2.5発生源を推定した北京大学推計によれば、石炭燃焼に伴う煤塵は19%に過ぎず、SO₂からの二次粒子が17%、NO_xからの二次粒子が14%、残りはバイオマス燃焼(野焼きや作物がら燃料等)が11%、道路の砂ぼこり9%、自動車の煤塵6%、工業用有機溶剤(VOC)6%、その他18%と分析されている。二次粒子が謎を解くカギだ。二次粒子とは大気中にあるSO₂、NO_x、VOC等のガス状大気汚染物質が化学反応により粒子化したものである。

PM10は当然PM2.5を含むが、粒子の大きい煤塵などの構成比が高い。既に述べた通り、特に石炭燃焼に伴う煤塵は近年大幅に減少しており、またSO₂由来の二次粒子

は11・5計画期に産業部門で対策が進んだことで減少に向かっていていると考えられる^[5]。問題はもうひとつの主要大気汚染物質NO_xであり、実はNO_xは表1の通り、2006年と2010年を比較すると21.6%も大幅に増加している。

第12次五カ年計画(12・5計画)では環境対策は更に加速

すなわちNO_xこそが未だ対策の手が届かない、元凶である。先の北京大学によるPM2.5排出源推計は2006年のものであり、その後石炭燃焼による煤塵とSO₂の減少が達成されたことを考えれば、当時よりもNO_x由来の二次粒子、そして自動車の煤塵の寄与率は上昇していると考えられる。NO_xは排出量の計測自体がようやく2006年になって開始されたことが示すように、それまで環境基準も適用外であった。確かにNO_xの発生源として石炭燃焼のシェアは72%(特に電力・熱供給は46%)と大きい、同時に自動車からの排出も27%と決して無視できない。それどころか、煙霧が深刻な都市部においては自動車こそがNO_xの最大排出源という試算もある(工場は都市の郊外に立地しているため)。

煤塵およびSO₂対策は短期間で相当の進展を達成することができたにもかかわらずNO_xが後回しになったのは、比較すると対策の難易度が高いためだ。集塵機と排煙脱硫装置は煙突に排気を送る直前に単独で設置すればそれで事足りるが、NO_x対策の脱硝装置は燃焼プロセス自体にも変更を加える必要がある。また脱硝反応に必要な触媒は高価で運転費用がかさむのに加え、中国企業による国産化には相当の距離がある。NO_xの重要な排出源である自動車の数は登録台数で2012年には2000年の6.8倍にまで急増している。自動車の保有、運転の禁止を行うことは難しく^[6]、工場などの固定発生源と異なり、モニタリングも困難である。ちなみに工場に環境対策設備があっても稼働させていないというような報道も一部にあるが、発電所を始めとする一定規模以上の石炭ユーザーには環境保護局とオンラインでつながった排出モニタリング装置が設置されており、報道が指摘するような事象は一般的なものとは言えない。巨大な国であるがゆえに、一部の事例を引けば中国のネガティブな側面をいくらかでもあげつらうことはできる。しかし大切なのは全体の趨勢を見誤らないことで、現在では工場などの固定排出源に対する規制はかなり効果を持つこととなっている^[7]。

NO_x対策の重要性は中国政府も認識しており、煙霧の一連の騒動が生じる以前に、既に12・5計画の中でNO_xを2010年比で10%削減する目標を明示していた。特に発電所は重点対象であり、同29%の削減目標が設定され、排出基準も一気に4倍(400mg/Nm³→100mg/Nm³)に引き上げられている。石炭燃焼に伴う汚染問題はNO_xも含め既に解決の糸口をつかみ、対策に着手済と言える(但し、

◎表1 NO_xの排出量推移(2006～2012年)と排出源構成(2011年)

排出源構成	排出量	年	窒素酸化物(NO _x)排出量
産業(重点統計調査企業)	1,660.6	2006	1,523.8
電力・熱供給	1,106.8	2007	1,643.4
非金属	269.4	2008	1,624.5
鉄鋼	95.1	2009	1,692.7
その他産業	189.3	2010	1,852.4
産業(重点統計調査企業以外)	69.1	2011	2,404.3
自動車	237.6	2012	2,337.8
民生部門	36.6		
その他	0.4		

(注) 2011年以降は民生部門から自動車による排出量が分離計上されるようになったとともに統計範囲の変更などもあり、過去のデータとは連続性が断絶している可能性がある。

(出所)「環境統計年報2011年」および「中国環境状況公報」各年版を基に作成

CO₂の地球温暖化対策は別)。そして煙霧の深刻化を受け、PM_{2.5}対策としてより重要な移動発生源(車両)に対しても、旧式の老朽化車両の淘汰政策、あるいは燃料となるガソリンや軽油の品質(特に硫黄含有量)規制を強化する措置を講じている。

このように12・5計画の下、またPM_{2.5}が政治問題化したことで中国の大気汚染対策は加速している。その結果、2013年から2017年の期間で大気汚染対策だけで総額28兆円(1兆7500億元)に上る莫大な環境投資が見込まれている^[8]。内訳は企業による汚染対策10.3兆円(6408億元、36.7%)、クリーンエネルギーへの投資7.9兆円(4930億元、28.2%)、自動車排ガス対策3.4兆円(2100億元、12.0%)、残りはその他となっている。排煙脱硝装置も2011年時点で火力発電所の17%に止まっていた普及率が100%近くに引き上げるため、1兆5000億円程度の投資額が見込まれている。

対中環境協力にまずは認識の転換を

こうした中国で急速に進む環境対策についてはほとんど報道されず、爆発的に拡大する環境投資ブームについても一般にはあまり知られていない。中国の環境問題に関する我が国の報道姿勢は、中国の遅れた一面をクローズアップすることで中国を軽視し、溜飲を下げようとしているだけではないかという感想すら抱く。しかしアメリカも1990年時点でSO₂の排出量は1500万トンと当時中国よりも多く、2005年でも1000万トンという高い水準にあったのである。2012年によりやく300万トンにまで削減する

ことに成功したが、アメリカでさえ汚染対策が実を結ぶまでに20年の時間を必要としたことを踏まえれば、中国に一足飛びに日本のレベルに対策を引き上げることを要求するような議論は、必要な資金や時間といった制約を無視した空論と言っても差し支えないだろう。

PM_{2.5}問題を受け、日本側が中国への協力を申し出る際も相変わらず「日本の経験を伝える」という何ともズレた姿勢が目立つ。日本の公害克服の歴史は誇るべきものであるが、社会的文脈の異なる中国で同じようにできるわけではない。対策の成否を握るのは技術であるが、日本の環境技術はなかなか中国市場を獲得できていないのが現実である。2000年代後半に中国で続々と脱硫装置が導入された際にも、世界最先端のはずの日本企業の技術はほとんど市場を取れなかった^[9]。高止まりするコストが最大のネックである。

日中関係改善の突破口として環境協力に期待を寄せる向きもあるが、日本が資金を出して経験と技術を伝えても普及につながらず、局地的成果に止まるという従来のパターンを踏襲するだけではないか。そもそもODA的手法で協力を進めても中国政府が感謝して態度を変えるわけでもないだろう。必要なのは「一緒に儲けよう」と中国企业を抱き込んで、中国市場を取れるコスト競争力のある技術をともに開発することではないか。外交の大局が民間交流に影響する、また技術流出の懸念もある中国において容易ではないが、企業同士のビジネススペースの関係強化こそが意味のある環境協力であると考え次第である。

参考文献

- [1] GDP原単位、すなわち1万円のGDPを産出するのに消費するエネルギーが2005年比で19.1%少なくて済むようになったことを指し、エネルギー消費の絶対量は増加している。
- [2] 大気中に浮遊する微粒子のうち、粒子径がおおむね10マイクロミリ以下のものを指す。従来はこのPM₁₀を環境基準に採用する国が多く、中国も2012年になるまでPM₁₀が環境基準対象であった。他方、PM_{2.5}は同2.5マイクロミリ以下、髪の毛の太さ30分の1程度の物質であり、PM₁₀よりも人体に深く吸引され、健康被害が大きいとして1997年に米国が環境基準として採用して以来、次第に世界各国でも採用が進みつつある(但し、日本では2009年によりやく採用)。
- [3] 「中国環境状況公報2013年」には、2013年は「煙霧の発生日数が全国平均で35.9日となり、1961年以来最多となった」との記述があるが、時系列に比較可能な統計であるのかどうか吟味する必要がある。
- [4] きっかけは在北京アメリカ大使館が館内のPM_{2.5}観測値を2011年11月からツイッターで発信し始めたことである。北京市環境保護局が発表する汚染状況はPM₁₀に基づくものであり、また汚染水準の評価に中米で差異があったため、あたかも北京市環境保護局が情報隠しを行っているかのように受け止められたが、それは誤解である。詳しくは拙稿「第12次5カ年計画とPM_{2.5}問題で加速する中国の大気汚染対策―日本企業にとってのビジネスチャンス―」(真家陽一編著『中国改革の深化と日本企業の事業展開』、第5章)日本貿易振興機構、2014年6月を参照。
- [5] 但し、産業部門からのSO₂については排出削減が進んだものの、中国ではガソリン・軽油の脱硫が不十分であり、自動車の増加による燃料消費の急増の結果、車両からのSO₂排出は増加していると推測される。
- [6] 上海はナンバープレートの新規発給を制限し、その価格もオークションにかける措置を講じているが、そうした措置はわずかである。また北京では車両ナンバーの末尾の数字を日替わりで指定し、週に1日、運転を禁止する措置を講じたりしているが、しかしこれに対抗して複数台保有する家庭が増えるなど当局の規制が骨抜きにされるケースが頻発している。
- [7] 固定排出源対策としては産業用ボイラーなどより小規模な排出源への規制が次なる課題として挙げられる。これまでの発電所のような大規模排出源と比べるとモニタリングなどの面でより難度が上がるのは確かであり、一層綿密な政策の実施が必要である。
- [8] 環境保護部環境計画院の王金南副院長の発言として新華社報道。『国際貿易』2014年12月31日・2015年1月7日合併号。
- [9] 拙稿「『新興国』中国の台頭と日本の省エネルギー・環境分野における国際競争力：今後のグリーンイノベーションの帰趨を握る対中国市場戦略」(『月刊中国経済』2010年6月号)、日本貿易振興機構、2010年6月、pp.35-60を参照。

北京の大気汚染の現状と原因分析

彭 応登 ●博士、北京市環境保護科学研究院 研究員



1984.7-1986.8 湘潭市環保研究所 助工
1986.9-1989.6 北京市環科院 修士号取得
1989.6-1994.9 北京市環科院 工程師
1994.9-1997.7 北京師範大学 博士号取得
1997.7-2000.2 北京市環科院 高級工程師
2000.3.7-2002.5 北京市環科院 院長助理 研究員
2002.6.7-2009.10 北京市環科院 大氣所所長 研究員
2009.11-2011.10 北京市環科院 副總工程師 研究員
2011.11-現在 國家城市環境污染控制技術研究中心 研究員

1964年6月生まれ。湖南省湘潭市出身。

主に区域環境評価・企画、大気汚染コントロール研究等に従事する。国内外の学術雑誌および学術会議で発表した論文等は60件以上。そのうちSCI収録論文は6件、EI収録論文は5件にのぼる。

1. 北京の大気汚染の変遷

1.1 古代の状況

北京の地形は西、北、北東部の3方向を山々に囲まれ、南東はなだらかに渤海海岸に向かって傾斜する大平原である。大気は、普通であれば高度の上昇に伴い気温が低下するはずだが、逆に上昇するという気温逆転の現象を生じやすく、気象条件は極めて安定していながら、風が弱いため霧や靄が発生しやすい。

元代以前は、北京地区には大きな都市が形成されていなかったため、人家は少なく、霧や靄が発生することは相対的に少なかった。

それが、元代及び明代以降になると、商業、流通などの発達に伴い、人口も集中し、建物も増加、都市の機能が拡大したことで、空気の流れが弱まり、霧や靄の発生率が高まった。

北京で最も古い大気汚染の記録は元朝まで遡る。『元史』によると、「天曆2年（1329年）3月、その前の年の冬に降雪がなく、この春も雨が少なかったため、空気が異常に乾燥し、雨土（後の黄砂）、靄が発生した。空気が澱み、太陽はうっすらとしか見えず、道行く人は皆顔を覆いながら歩いていた。」

「至元6年（1340年）12月（旧暦）になると、都には霧が立ち込め、何日も陽がささない日が続き、城門は靄に霞んだ。靄が数日間都に立ち込めたことで、皇帝は天の神が怒っているためだと恐れ、礼部（中国の官制。祭祀、学校、外交を司り、時には宗教行政も管轄した）に香を焚かせ、神霊に靄を取り除いてもらうよう祈祷させた。」などと記されている。

これら史籍に記載された靄による被害、影響は長く続き、視界が晴れることはなかったのである。

明代になると、靄に関する記載はさらに増えていく。『明憲宗實録』には以下のように記されている。「成化4年（1468年）の初春、今年の春から夏にかけて気温は上がらず、靄が重く立ち込めた……この一兩日、黄色い霧が陽を遮り、夜には星も見えない。」

「成化17年（1481年）4月、連日激しい風が吹きまくり、ほこりや靄が空を覆う。」

「成化21年（1485年）、正月14日、辰の刻より発生した靄は首都を覆い、その日は午の刻まで収まらなかった。3日後にはまたひどい靄が立ち込め、灰色で何も見えない状態が5日間も続いた。その影響で運河輸送は滞り、首都の米の在庫がひっ迫している。」

「弘治10年（1497年）、礼部は皇帝に次のように申し上げた。首都（北京）は冬になっても雪が降らず、気温の高い日々が続いた……迎えた春は激しい風が吹き荒れ靄が重く立ち込めている。西直門外は靄とほこりにまみれ、道行く人の姿も疎らである。官軍は城門を閉じ、靄とほこりを避けている、と。」

「万曆11年（1583年）、正月の辛酉（干支（えと）のひとつ）の日、閏2月の壬戌の日、首都に粉じんの嵐が吹き荒れた。」

「4月の癸亥の日、空は低く垂れ、靄が立ち込めると、見る見るうちに黄砂が天を覆った」「5日間も西山の姿が見えないほど黄砂が続き、都に物乞いに來た飢えた人々に、寺院の僧侶が施しを与えていた。」

これらの似たような靄による被害の事象は、明代の北京地区の記録には数多く残っている。

さらに清代にも多数の靄による被害が発生している。いくつかの記録を紹介する。

「康熙60年(1721年)、この日は会試(官僚登用のための試験のひとつ)の合格者発表であったが、黄色い霧が立ち込め、霧が陽を遮った。強風も吹き荒れ、合格者発表用の掲示板も壊れてしまっただろう。」

「嘉慶15年(1810年)、首都は旧暦の12月に入り、連夜霧が発生、霧が重く垂れ込めたと、宛平、大興より報告があった。」

「瓊島(現在の北海)は霧と霏に包まれ、その姿が全く見えない。煤山も同様である。役人は屋敷に身を潜め、時折外をうかがっている。」

「咸豊6年(1856年)、冬に入り、雪は少なく霧が厚く立ち込める日が続く。首都もしばしば霧に覆われ、昌平、宛平での状況は極めてひどい。」

とにかく、霧による甚大な被害は数年に一度北京を襲い、その多くは冬と春に集中していたのである。

とは言え、全体的には古代北京の大気の状態は良好で、環境的にも問題なく、視界も開けていたのである。

明代の『帝京景物略』によると、「晴天のときに、報国寺(盧溝橋から13km)の毘盧閣に登り、盧溝の方向に目を向けると、馬に乗る人や荷物を担ぐ人が大勢行き交う様子が見え」とある。

また、現在の建国門の南側の古い観測所は通州まで17kmの地点に位置するが、清代の『藤陰雜記』には、「観測所に登ると、通州市が目と鼻の先程の距離に見える」と記載されている。

さらに、『天府広記』には「百花山は北京から60kmの距離にあるが、東の方向に首都をはっきりと眺めることができる」と述べられている。

1.2 新中国建設後の状況

新中国建設後(1949年以降)、都市建設が大規模に進むと、エネルギー消費の大幅な増加に伴い、排出される汚染物質も増加した。汚染の程度が増すことで大気の水質は低下していき、ますます事態は深刻化していった。

1950年初頭、北京の市街地では石炭の燃焼により多量の大气汚染物質を排出した。石炭の使用量が増えるとともに、1970年代には都市の大气汚染問題が顕在化。暖房を使用する期間の二酸化硫黄の濃度は $260 \sim 330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、暖房を使用しない期間に比べ1.8倍の数値を示した。

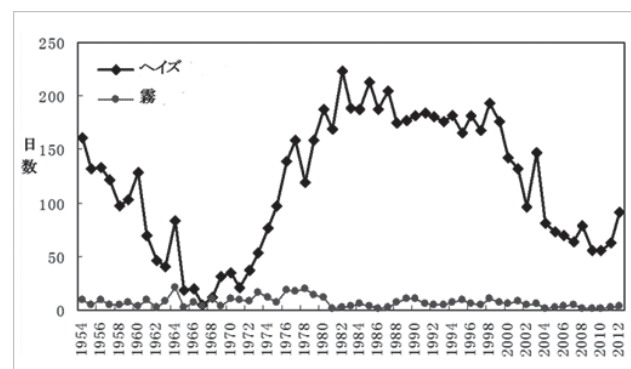
1976年から1990年まで、都市近郊の空气中的二酸化硫黄の含有量は上昇傾向にあり、年平均値は $53 \sim 124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。80年代、都市の規模が拡大を続け、経済や流通などその機能が強化されるようになると、石炭を主とするエネルギー消費量は急激に増加。年々、大気汚染濃度も上昇を続けたのである。

1979年から1983年まで、都市近郊の空气中的窒素酸化物の年平均値は $59 \sim 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。それが1986年から汚染の状況は年を増すごとにひどくなり、環境基準を超過した割合も、それに伴い上昇傾向にあった。

年平均値は $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ から、1990年には $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ まで上昇し、これは歴代の最高値となった。

図1は、1954年から2012年までの北京地区におけるスモッグ(肉眼で識別できない浮遊物質の発生によって視程距離が10km以下までに制限される現象)と霧が発生した日数の推移を示したものである。この図から言えることは、スモッグと霧の発生日数に相関関係は全く見られないということである。つまり、スモッグが多く確認できた年に、霧が同じように発生している訳ではない。

ここ60年の北京地区におけるスモッグと霧が発生した頻度を見る限り、スモッグが都市経済の発展と密接に結びついていると結論づけられる。



◎図1 北京地区におけるスモッグと霧の発生経年推移

50年代初頭から1968年までの間は、大煉鋼鉄期(鉄鋼の増産を目指し、製鉄が全国で展開された時期)以降、経済活動が停滞した文化大革命時期にあたり、北京のエネルギー消費量は大幅に減少、年間の汚染物質排出量も低下し、従って、スモッグの日数も下降傾向にある。

70年代初頭から1980年代および1990年代にかけては、北京市の規模が急速に拡大、経済も発展を続け、石炭を主とするエネルギー消費量、汚染物質ともに大幅に増加。これにより、スモッグの日数は一気に増えたまま高い位置を

維持している。

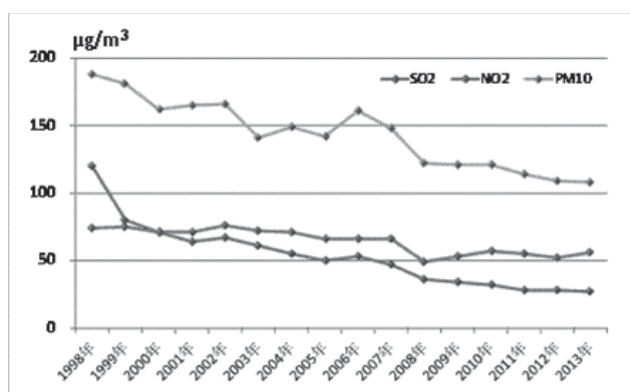
1990年のアジア競技大会を迎えるにあたり、1987年から汚染源の管理を強化し、排出量の規制に乗り出すと、汚染物質の濃度は下がり始め、スモッグの日数も幾分減少に転じた。

しかしながら1992年、鄧小平が南部を訪問し新たに改革・解放政策を打ち出すと、北京市の規模はさらに拡大、輸出志向型戦略を契機に経済は急速に発展し、一方で大気汚染の排出量は再び増加、呼応するようにスモッグの頻度も高まり、1998年にピークに達したのである。

1998年末から2012年にかけて、北京市は断固たる決意を持って大気汚染の排出を統制し、全市において経済・社会の成長を促す傍ら、空気の質を14年間連続で改善。スモッグの日数も目に見えて確実に下がったのである。

1998年から、北京市はSO₂（二酸化硫黄）、NO₂（二酸化窒素）、PM₁₀（粒子状物質）の3種類の大気汚染物質を継続監視している。2013年、当市の年平均濃度はSO₂が26.5 μg/m³、NO₂が56.0 μg/m³、PM₁₀が108 μg/m³で、それぞれ前年より5.4%下がり、7.1%上昇し、0.9%下がった。

継続監視を開始した1998年当時と比べると、それぞれ78%、24%、43%低下したことになる。（図2参照）



◎図2 近年における主要な大気汚染物質濃度の経年推移

2. 北京の大気汚染の現状と原因

2.1 大気汚染の現状

北京市では2013年に「大気清浄行動計画」という五ヶ年行動計画を始動、2013年1月1日から「空気質指数（GB3095-2012）（AQI）」を導入した。また、大気汚染対策における重点目標を84項目に分類、公表し、現在までに、石炭燃焼量を130万t削減、老朽自動車35万台を新エネルギー自動車へ交換、汚染の原因となっている企業288社を整備、

揮発性有機物の排出の8,300t削減する等の措置が実施されている。

2013年の北京市の大気中汚染物質の濃度値は、それぞれ以下の通りとなっている。

- *微小粒子状物質(PM_{2.5})は、年平均濃度値89.5 μg/m³で国家基準値156%超。
- *二酸化硫黄(SO₂)は、年平均濃度値26.5 μg/m³で国家基準値内。
- *二酸化窒素(NO₂)は、年平均濃度値56.0 μg/m³で国家基準値40%超。
- *吸引性粒子状物質(PM₁₀)は、年平均濃度108.1 μg/m³で国家基準54%超。
- *大気中の一酸化炭素(CO)は、24時間における平均濃度値3.4mg/m³で国家基準内。
- *オゾン(O₃)は、1日あたり最大8時間の平均濃度値183.4 μg/m³で、国家基準値15%超。

オゾンの基準超過は5月から9月にかけて見られ、1日当たりでは午後から夜に高濃度な時間帯が集中している。

北京市全域の降水中pH値は年平均5.38で、酸性雨の割合は16.0%であった。また、二酸化硫黄、二酸化窒素及び吸引性粒子状物質の濃度はここ数年減少傾向にある。この5年間で二酸化硫黄及び吸引性粒子状物質は目に見えて減少しているが、二酸化窒素は横ばい状態である。

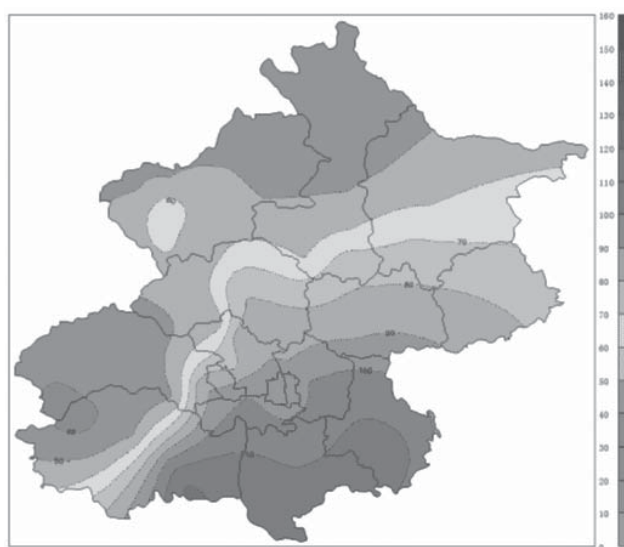
2013年の北京市内各区県における、大気中のPM_{2.5}の年平均濃度値は68.0～107.8 μg/m³であり、いずれも国家基準内の数値であった。同じく、二酸化硫黄の年平均濃度値は19.2～38.6 μg/m³で国家基準内であった。一方、二酸化窒素は年平均濃度値が34.4～65.7 μg/m³であり、延慶県、怀柔区、平谷区で国家基準を超える数値を示した。また、吸引性粒子状物質の年平均濃度値は78.3～131.7 μg/m³で、国家基準内に収まっている。

AQIによる6段階の空気質指数における、2013年の北京市の空気質ごとの日数と割合は下記の通りであった。

一級（優）41日、11.2%。二級（良）135日、37.0%。三級（軽度の汚染）84日、23.0%。四級（中程度の汚染）47日、12.9%。五級（重度の汚染）45日、12.3%。六級（深刻な汚染）13日、3.6%。

このうち、一級（優）及び二級（良）の日数は合わせて176日であり、年間の48.2%を占めた。また、五級（重度の汚染）及び六級（深刻な汚染）は58日で、年間の15.9%であった。

北京市では、2013年1月1日から、正式にPM2.5の測定を開始した。同年12月31日までのPM2.5の平均濃度は $89.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、国家基準値である年平均 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を大きく上回る結果となった。北京市内の分布の状況を見てみると(図3)、PM2.5濃度は南で高く北で低いという特徴があることが分かる。南東、南西部の市境近辺の濃度が北京市全域の中で最も高く、南部と市街地全域がそれに続いて高くなっているのに対し、北部は全体的に安定している。区域背景伝送センターを含む35カ所の観測地点における年間のPM2.5濃度のデータが示すところによると、最低値は北京北東密雲ダムと北京北西発達嶺における $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、市内全域の平均値より30%低い。また、最高値は北京南西琉璃河、北京南東永楽店、北京南榆堡で、 $110 \sim 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に達し、市内全域の平均値より30%高い数値となっている。

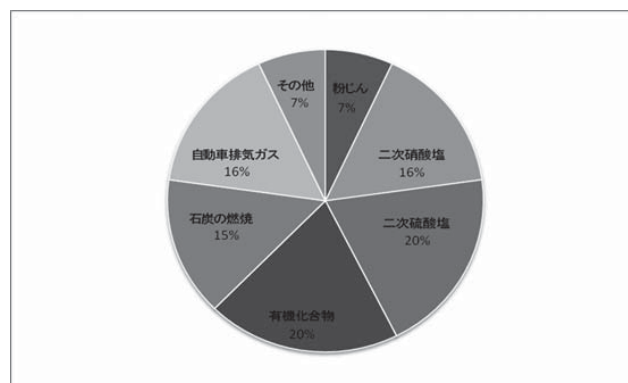


◎図3 2013年北京市のPM2.5濃度分布図

2.2 大気汚染の原因

2013年の軽度の汚染以上の基準を上回る汚染の中で、主要な汚染物質はPM2.5であり、77.8%を占める。続いてオゾンが20.1%を占め、主に5～9月に発生している。その他の汚染物質(PM10、NO2等)は2.1%に留まった。このことから、PM2.5は北京の空気(大気質)に最も影響する汚染物質であることがわかる。

化学物質収支法(CMB)を用い、北京市の2013年のPM2.5の主な発生源を分析したところ、五大排出源が識別された。二次無機塩(硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウム)、有機化合物、自動車排気ガス、石炭の燃焼、粉じんがそれに該当し、年平均の寄与率はそれぞれ36%、20%、16%、15%、6%、また、その他の非特定排出源の寄与率は7%で、図4に示す通りである。



◎図4 2013年北京市のPM2.5主要排出源

二次無機塩の寄与率が最も高く、36%であった。主な存在形態は硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウムであり、その前駆体であるSO₂、NO_x、NH₃が大気中で化学反応を起こし生成された二次生成粒子がPM2.5に寄与している。二次無機塩の寄与率36%のうち、二次硝酸塩の寄与率が16%、二次硫酸塩の寄与率が20%であった。

有機化合物(OM)の寄与率は20%で、ここには直接大気中に放出される一次生成有機粒子や揮発性有機化合物、及び大気中で化学反応を起こし生成された二次生成有機粒子が含まれる。北京市のVOCs排出調査の結果と排出源のスペクトル監視測定データによると、一次生成有機粒子の排出源には飲食店での調理による煙、バイオ燃料の燃焼、工業過程における排ガスなどが含まれる。SOC/OCの比率が40%～60%であることから、二次有機粒子の寄与率は10%～15%と試算される。

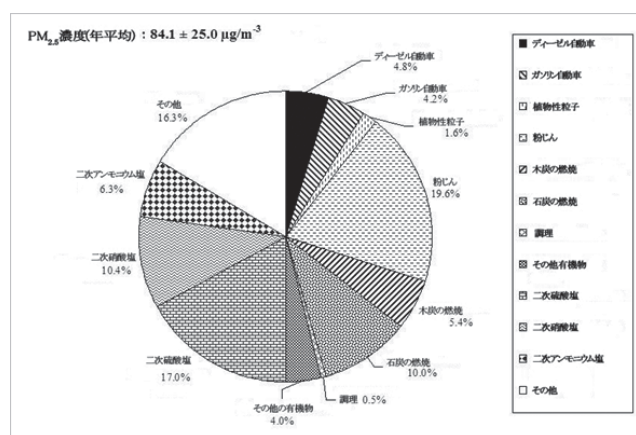
自動車排気ガスの寄与率は16%で、これより、小型自動車、ディーゼル自動車、航空機等の輸送機及び、その他の燃油を動力とする非道路車両・機械、工業炉等の排ガスがPM2.5に寄与していることが分かる。燃油の消費量を見てみると、その内訳は、自動車を主とした交通運輸、郵便、物流、及び自家用車となっている。自動車の燃油の種類を分類すると、ガソリン車の寄与率が10.7%、ディーゼル車の寄与率が5.3%であった。

石炭の燃焼の寄与率は15%で、石炭を燃料とする火力発電、工業用・暖房用の石炭の寄与率が、それぞれ8.4%、6.1%であった。通年運転しているボイラーと冬期の暖房用ボイラーのPM2.5排出量の比率は1:1.4で、工業用・暖房用の石炭による寄与は、主に暖房を使用する冬期に集中していることが分かった。

土壌ダストの寄与率は6%で、地殻由来が代表的である。これは粉じんの主要な組成成分で、その寄与率は粉じんより低くなっている。粉じんは、土壌ダスト、建設現場

や工場などで発生するほこり、石炭の燃焼により発生するすす、自動車排気ガスや道路の摩損等で発生するちり状の粒子であり、移動、混合、沈殿を繰り返して生成される。PMFを参考に分析をした結果、粉じんの寄与率は19%であった。

2013年の排出源解析結果と2000年～2001年の排出源の寄与率を比較すると、PM2.5に影響する主要な排出源に大きな変化は見られなかった。主要排出源は、自動車排気ガス、石炭の燃焼、粉じん、二次無機塩、有機化合物となっている。際立った変化として、自動車排気ガスの寄与率が大幅に増加したことが挙げられる。自動車排気ガスの寄与率は約9%から16%にまで増加。また、二次有機粒子の寄与率は6%～10.6%から10%～15%まで増加したのである。



◎図5 2001年の北京市のPM2.5主要排出源

一次生成粒子のうち、石炭の燃焼の寄与率が50%以上減少している。また、1999年～2012年の大気中SO₂の年平均濃度は1985年～1998年に比べて56.5%減少しており、近年、北京市が進めている、石炭使用の削減、クリーンエネルギー生産の促進等の効果が表れていることが見て取れる。自動車排気ガスの寄与率は一旦現象したが、その後上昇を続けている。今後自動車保有台数が増加するにつれ、自動車の大気汚染への影響はますます重視されるだろう。粉じんの寄与率はやや減少している。

2013年度中国大気質に関する最新結果

金 振 JIN Zhen ●科学技術振興機構中国総合研究交流センター フェロー

2014年5月27日、中国環境保護部は「2013年中国環境状況公報」（以下、2013年環境白書）を公表した。本環境白書において公開された統計データは大きく、1）汚染物質排出総量や森林面積等に関する統計値、2）水質や大気質等に関する測定値、3）エネルギー部門、道路交通部門に関する統計値、に分けることができる。

注目ポイント

往年の白書と比べた場合、2013年環境白書には2つの注目ポイントがある。一つは、エネルギー部門、道路交通部門に関する統計内容の新設である。石炭消費や自動車排ガスに起因する大気汚染問題の深刻化を受け、2013年環境白書は、いままで扱わなかったエネルギー、道路交通分野の統計データも盛り込んでいる。

いま一つは、新しい大気質環境基準（以下、新基準）に基づく測定結果の公表である。2012年、新基準の公布とともに74の都市が早期適用の対象に指定され、2013年より新基準に基づく測定が始まった。2013年環境白書は、新基準適用以来の初めての測定結果が含まれている点において注目されている。以下ではこの点につき少し立ち入って紹介する。

2013年度中国大気質に関する最新結果

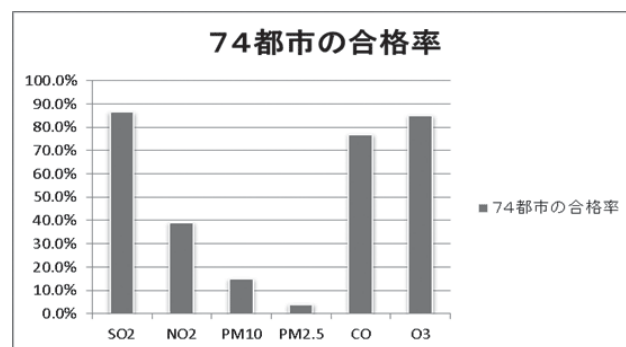
74都市の大気質は、主に6種類の物質（SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO、O₃）の年間平均値、または一日平均値（CO、O₃）によって評価されている。計測結果に基づき、大気質上位10都市とワースト10都市のランキングも公開されている（表1）。

◎表1 大気質ランキング

大気質上位10都市	大気質ワースト10都市
海口、舟山、ラサ、福州、惠州、珠海、深セン、アモイ、麗水、貴陽	邢台、石家庄、邯鄲、唐山、保定、済南、衡水、西安、廊坊、鄭州

典拠：2013年中国環境状況公報に基づき筆者作成

図1は、新基準をクリアした都市の割合につき、観測項目ごとにまとめたものである。PM_{2.5}の大気質基準をクリアした地域は最も少なく、わずか3都市であり、全体の4%を占めるだけであった。



◎図1 新基準を達成した都市の項目ごとの合格率

典拠：2013年中国環境状況公報に基づき筆者作成

環境基準をクリアした日数が通年に占める割合を見た場合、80%以上の都市は10都市のみであり、5割を満たない都市は17にもものぼる。

また、スモッグ（肉眼で識別できない浮遊物質の発生によって視程距離が10km以下までに制限される現象）が発生した全国平均日数は2012年比で18.3日増の35.9日であり、それは1961年以来の最多記録となった。言い換えると、2013年はこの53年間で最も大気汚染が深刻な年であった。

2014年から新基準の提供対象都市は161都市までに拡大した。いまだに抜本的な大気汚染防止策が見つからない現状に鑑みると、161都市を対象とした2014年度の測定結果は、依然として厳しいものとなる見込みである。

中国環境保護部 環境基準違反企業への取締りを強化

金 振 JIN Zhen ●科学技術振興機構中国総合研究交流センター フェロー

6月11日、中国環境保護部および国家發展改革委員会は連名で、脱硫設備の報告・運用義務違反に関する処分決定を発表した（環境保護部・国家發展改革委員会2014年公告第43号）。今回の処分決定は、汚染物質総量規制目標の達成状況について実施した2013年度監査結果に基づくものであり、内陸部に立地する19の事業者が処分対象となった。

脱硫設備の運転データに関する虚偽記載が主な違反事実として挙げられ、脱硫設備の稼働率の水増し報告や除去率の改ざん等がその典型例である。稼働率の水増し報告事例では、実際には10%しかない稼働率を合格ラインでの90%以上と計上した違反事例もある。

設備運転データの改ざんは、環境負担金の納付義務の不正回避問題や脱硫設備の運転に関する補助金の不正取得問題を引き起こす。環境負担金とは、事業者が自ら排出する汚染物質の排出量に応じて納付する負担金のことであ

り、間接的な環境税として位置づけることができる。汚染物質の排出量に関するデータは脱硫設備によって提供される。したがって脱硫設備の稼働時間が短いほど見たと上の汚染物質の排出量は減ることになり、稼働率データの改ざんは結果的に、環境負担金の不正回避につながる。

いま一つの問題は、脱硫設備の運転に関する補助金の不正取得である。発電事業者の場合、脱硫設備の設置・運営費の一部を売電価格に転嫁できる補助金制度が適用される。補助金額は稼働時間によって計算されるため、稼働率データの改ざんは補助金の不正取得につながる。

違反企業には、違反事実の公表、企業を所管する環境監督庁への取締強化の勧告、業務改善期間の指定ならびに関連計画の提出、罰金の賦課、環境負担金の追納、不正取得金の返還など、厳しい措置がまっている。

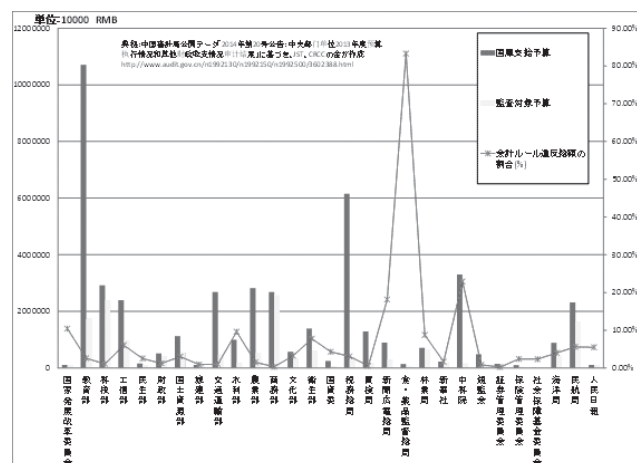
中国の2013年度政府機関会計検査の結果について

金 振 JIN Zhen ● 科学技術振興機構中国総合研究交流センター フェロー

6月25日、中国国家審計局は、2013年度中央行政官庁の会計監査結果（審計局2014年第20号公告）を発表した。国家発展委員会など37の中央行政官庁とその外郭団体（389団体）が検査対象機関に選ばれ、総予算の33.38%に当たる1542.39億元に会計検査のメスが入った。

図1は、37の検査対象機関のうち、予算総額と監査実施総額が公開された29機関の監査結果についてまとめたものである。棒グラフの青色は予算総額、黄色は監査実施総額であり、赤い折れ線グラフは会計ルール違反と判断された金額が、監査実施総額に占める割合である。折れ線グラフから見ると、監査結果が最も悪い機関は食・薬品監督総局であり、会計違反と判断された金額が全体に占める割合（違反率）は83.29%に達している。一方、優等生は証券管理委員会であり、違反率は0.24%に止まる。

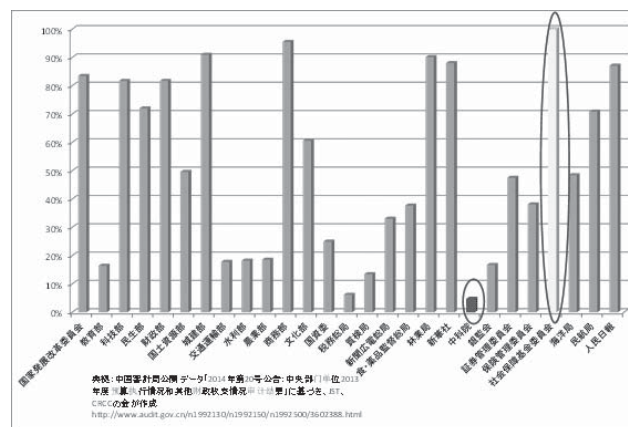
今回、環境保護部は会計検査の対象にはなっていないが、2013年の検査結果によれば、2012年全体予算39.1億元の83.68%が監査実施対象となり、指摘された違反率は30%であった（審計局2013年第27号公告）。



◎図1 29機関の監査結果

注意しなければならないのは、今回の会計検査の監査範囲、つまり全体予算額に対する監査実施総額の割合が調査対象機関によってそれぞれ異なる点である。社会保障基金委員会に対して実施した監査範囲は最も広く、予算全額が検査の対象（100%）になっているのに対し、中科院（中国科学研究院）の監査範囲はわずか4.75%に過ぎない（図2）。監査基準の統一化が今後の課題になりそうだ。

習政権が唱える「腐敗一掃」の具体策として会計検査が重宝されている点を評価する意見も多いが、有効な正策の欠如を指摘する声も少なくない。



◎図2 監査対象の範囲

宇宙航空科学

中国の宇宙科学研究から見た基礎科学の進展

松岡 勝 ●理化学研究所 名誉研究員



1939生。
1966年名古屋大学理学研究科で理学博士。東京大学助手、助教授を歴任。
1986年より理化学研究所主任研究員 宇宙科学研究所客員教授、埼玉大学客員教授歴任
1999年より理化学研究所名誉研究員、宇宙開発事業団招聘研究員、MAXIの科学プロジェクトマネージャ
2003年より宇宙開発事業団は宇宙航空研究開発事業団に組織変え
2010年より理化学研究所特別顧問（～2013年）
2014年より理化学研究所グローバル研究クラスター研究嘱託

中国の宇宙開発は有人ミッションや月探査の宇宙工学分野では日本や欧州を凌駕する勢いである。しかし、宇宙観測の最先端の学術的な科学衛星の現状はかなりの遅れを感じる。経済大国第2位の地位にある中国が工業生産による経済力の伸びと基礎科学の宇宙科学の遅い伸びとの大きな違いはどこにあるのか、これが何時まで続くのかについて考えてみた。

1. はじめに

2000年代に入って、中国は海外にでて活躍している中国人研究者を主要な大学や研究機関に呼び戻すことを奨励してきた。また、中国はオリンピックだけでなく、大きな国際会議の招致にも熱心である。主として基礎的な宇宙科学の国際組織である COSPAR（国際宇宙空間研究委員会）の総会を2006年に開催し、2012年にはIAU（国際天文学連合）の総会を開催した。どちらも最先端の研究が発表されるもので前者は2年毎に、後者は3年毎に世界のどこかで開催される最大級の国際会議である。

中国は、COSPAR 総会においても、またIAU 総会でも将来計画のロードマップは壮大で、日本だけでなく、欧米の計画に迫るミッションもみられる。基礎科学においても規模や大きさで世界を圧倒する計画がある。しかし、現段階では、これらの基礎科学の成果は工業分野に比べて目立つものは少ない。ここでは宇宙基礎科学分野に限ってその状況を少し具体的に見てみよう。

2. 中国の宇宙科学への取り組み

中国の宇宙科学分野では、2000年の初めころ（1～2）トン級の大型の科学衛星計画が始まり、2003年には硬X線天文衛星の予算を認め、国際的ワークショップを海南島で開いた。ここには、イタリア、イギリス、米国、ドイツ、日本（筆者ら3名）などの研究者が参加した。現在、この衛星の各部の製作はほぼ終え最終的な総合試験の段階に入っていて、来年には打ち上げる予定という。この科学衛星計画と並んで中国版宇宙ステーションに載せる科学観測装置が国内に公募され審査中と言う。そこでは、微小重力実験や曝露部観測施設が用意されていて、2020年頃から実働するとのことである。

宇宙科学のもう一つの動向として300～400kgの小型衛星シリーズが提案された。昨年その第一号機に決まった、北京の国立天文台が提案した軟X線全天監視観測衛星の国際フォーラムが2014年5月上旬に北京で開催された。このフォーラムに出席して受けた印象として、中国が宇宙科学研究に大変期待していることがうかがえた。



◎図1 フォーラムの集合写真

前列左から W.Yuan (衛星のPI), J.Wu (NSSC), R.Bonnet (ISSI, ジュネーブ)、筆者、M.Falanga (ISSI, 北京), N.Gehrels (NASA/GSFC), L.Piro (INAP, Italy)らが出席

宇宙科学研究に関しては、2012年に国際宇宙科学研究所 (ISSI) に参加して、2013年北京に分所を置き、多岐にわたる宇宙科学分野の学術的な研究の国際交流に積極的に参加している。ISSIはNPOの組織で、これまで太陽や惑星系分野の交流が盛んであった。中国では、現在進めている天文・宇宙科学のX線観測の他、ガンマ線の観測、ガンマ線バーストの観測、月の表面探査のためのガンマ線観測などがある。他に、宇宙の最先端の研究であるダークマターの観測を狙う基礎開発も行っている。

宇宙科学分野では国際感覚をもった優秀な人材が徐々に増えている。しかし、研究拠点は北京の国立天文台、南京の紫金山天文台、上海天文台、北京の精華大学など少数である。それぞれの研究室のリーダーは海外の国際的な研究機関に滞在経験をもつトップレベルの研究者であるが、中間層はまだ多くは育っていないようだ。欧米も我が国も

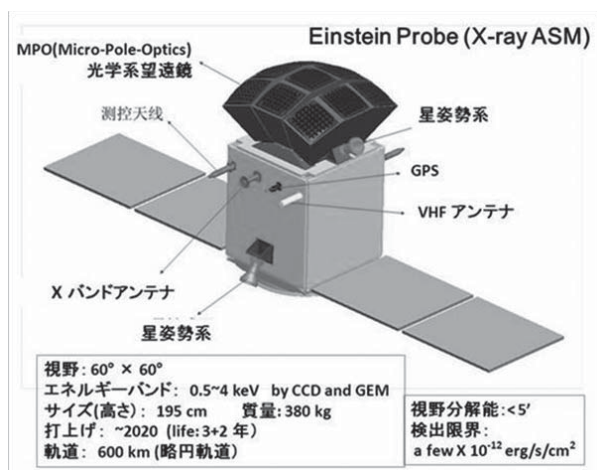
X線や赤外線による宇宙観測ではロケットや気球による観測等で経験を積み、人材を育ててきた。これにはおよそ20年を超える時間がかかっている。

中国は1990年代頃までは、文化大革命時代の指導者層がいたこともあり、中間層の指導が十分ではなかったようだ。天文・宇宙の基礎科学を目指す科学衛星計画は2000年代になって北京の高能物理研究所が中心となり始まった。この研究グループは気球観測の経験を積んだ実験家を育てるとともに、NASAやESAの衛星で取られたアーカイブデータを解析して、欧米の専門誌に優れた科学論文を発表してきた。このデータ解析による優れた研究方法は、日・欧米帰りの指導者とともに中国国内に発展・普及している。こうして、最初の本格的な科学衛星である硬X線天文衛星のプロジェクトをこの高能物理研究所のグループが担当することになったのは自然の流れであろう。

3. 小型科学衛星への取り組み

最近、欧米や日本で経験を積んだ若い指導者層が増えたため、科学衛星や搭載装置の提案も活発になり競争になっているようである。先にも述べた小型科学衛星の第一号に決まった全天軟X線監視観測衛星は2018～20年の打ち上げを目指すと言う。この衛星の責任者は日本、イギリス、ドイツでX線天文学の研究の経験を経た40代の若手である。

この小型衛星は広視野軟X線望遠鏡を用いて、これまでの衛星で探査があまりなされていない短時間に輝くX線バーストやX線閃光を監視するものである。定常の観測ではまだわからない130億光年以上彼方で発生する爆発現象を狙うことから、アインシュタインプローブと名付けて開発を開始した。遠い宇宙の天体から発生するガンマ線もX線領域に赤方偏移するため、軟X線領域の望遠鏡が望ましい。



◎図2 アインシュタインプローブ

中国の小型科学衛星の第一号に採用された全天軟X線監視装置(アインシュタインプローブ)の概要。2018-20の打ち上げの目標で準備中

この衛星計画は、今年から2年間で2億円近い予算でフェーズAが始まった。このため、この衛星の科学的意義や国際的に占める関係などを議論するのが5月に行われた国際フォーラムの目的であった。30名ほどの小さい会議であったが、中国の宇宙科学の方針を決めるトップのJi Wu (呉季)氏(National Space Science Center (国家空間科学中心) 所長)も出席された。また、中国と欧州の研究者をつなぐ役割のスイスのISSI分所にいるCOSPAR会長経験者のR.Bonnet氏と一緒に、イギリス、ドイツ、イタリア、フランスの研究者が出席した。一方、米国からはNASAでこの研究分野の第一人者が招待された。日本からは国際宇宙ステーションに搭載した全天X線監視装置(MAXI)で科学観測を担当している筆者が招待された。



◎図3 2014年5月6～7日に北京のISSIで開催された小型科学衛星のフォーラム話し合うJiWu氏(左)と筆者

全天X線監視装置MAXIは、感度は低いですが、これまでいくつもの相乗りの搭載機器や単独衛星として、視野は狭いがより暗い天体を観測する従来の望遠鏡形式のX線天文衛星と相補的に、広い宇宙を常に監視して突発天体を見つけて成功してきた。これまでは、エネルギーが2 keV以上の観測器が実現してきたが、1 keV以下のX線が観測できるものは日本のMAXIだけである。これは感度が低く視野が狭いため、本格的な軟X線全天監視装置の実現を各国が競っている。現在、日本も含め5グループで提案があるが、予算が最初に決まったのが中国版のこの衛星である。

軟X線になるとX線ミラーが使える。小さなミラーをうまく使えば広い視野をカバーできる。中国版の全天軟X線監視装置も小型ミラーを並べる方式を採用している。中国で提案された軟X線監視装置は視野でも感度でもMAXIを大幅に上回るものである。しかし、軟X線検出器では多くの開発が必要とされる。

小型のX線ミラーはイギリス等で開発され、部品として市販されているが、これを衛星搭載までもっていくには多くの技術開発が必要である。この開発は北京の国立天文台

のグループが中心となって新しく実験室を整備して行っている。検出器は、精華大学のグループが開発している。この検出器も部品は日本で開発されたものが市販品として入手可能であるが、軟X線を透過する薄膜も含め総合的にまとめあげて検出器にもっていくには相当に開発時間がかかると考えられる。

ミラーと検出器の開発を担当するグループのリーダーはいずれも、欧米や日本の関連する研究機関で学んだ経験があるため、事情は十分に理解しているはずだ。中国独自の開発や試験を考え実験室をしっかりと整備している。ただ、搭載機器の経験が十分ではないため、欧州や日本の経験も取り入れようとしている。筆者も友人としてこれまで多少ながらコメントをしてきた。ちなみに、基礎研究に参加する人材に日本を含め国の壁は全くないと当事者は話していた。

4. 大量生産の経済学と一品製品の研究プロジェクト

観測で新しい研究結果を出すには、これまでにない特徴をもった衛星や観測装置を作らなければならない。実験室ではできているものでも衛星搭載機器になると多くの試験と開発が必要になる。中国は基礎科学の分野にも予算を出して実験室の充実も図っている。一品製品を作り上げる場合、同じ設計図はない。欧米や日本はこの設計図をいくつか描いて科学衛星を一つずつ実現してきた。中国はこの経験は少ない。経験の少ない時代は時間がかかり、時には失敗もある。中国はこれからこの段階を踏んで進めようとしている。

大量生産できる工業製品の場合、これまでの経験を導入することで早い立ち上げが可能であろう。中国の経済発展はこれまで、先進国で生産してきた方式を導入し、より安い製品を作って経済発展をしてきた経緯がある。しかし、科学衛星のような一品製品の場合、欧米の開発技術をそのまま持ち込んでできないことが多い。自ら学びながら作っていく必要がある。大型の硬X線望遠鏡の打ち上げが2003年に決まってからまだ実現していないが、これは初めての開発経験で時間がかかっているためで、大幅に遅れているとの認識はないとみる指導層がいた。多分これは正しい一つの認識であろう。

中国は基礎科学にも予算を随分つけるようになった。研究開発のような一品製品の開発には時間がかかるという認識で予算が続けば基礎科学の分野でも世界のトップにすることは十分に考えられる。科学衛星の開発では欧州や日本の研究者を招待し、オープンに進めている。中国の宇宙科学のトップの Ji Wu 氏は「日本からの研究者の受け入れは全くオープンだ。日本の若者が来てこれに参加することは歓迎だ」と述べていた。

これまで、米国は基礎科学の分野でも多くの外国人を受け入れ最先端を走ってきた。現在、出版される論文の多くは中国人名の共著者が多い。優秀な中国人は多いだけでなく、中国国内でこれらの優秀な人材が動きだせば、大きな発展につながるだろう。一方、中国国内で自由に働く外国人が増えれば大きな発展にもつながる。中国はこの環境を整えつつあるとはいえ、まだ、欧米や日本の研究機関ほど多くの外国人がいない。基礎研究では発展途上の中国で、日本の若い博士研究員が中国のプロジェクトに参加して大きく飛躍できる機会があるかもしれない。これは一つの賭けかもしれない。政治的な壁が自由な研究に不安をもつ若者も多い。

5. さいごに

中国の基礎科学の分野では発展途上と言う段階にあるため、国際感覚を身につけた若い指導者は、世界のトップに出る意欲がみられる。さらに、欧米、日本の最先端の研究機関にいる研究者からの情報を素直に学ぶ謙虚さも見られる。研究開発は時間がかかるが、人材の投入や予算の投入は盛んである。人材の投入には外国人を招聘教授や博士研究員として招待する制度も整備されつつある。予算に関しては物価や人件費も考えると、宇宙科学の分野では日本と遜色がないようにみえる。中国版宇宙ステーションの運用が始まる2020年頃には科学衛星の結果も出ている可能性もある。中国の政治体制の不安を克服できれば、中国は経済分野に続いて基礎科学分野でも大きく世界に出てくことは考えられる。

参考文献

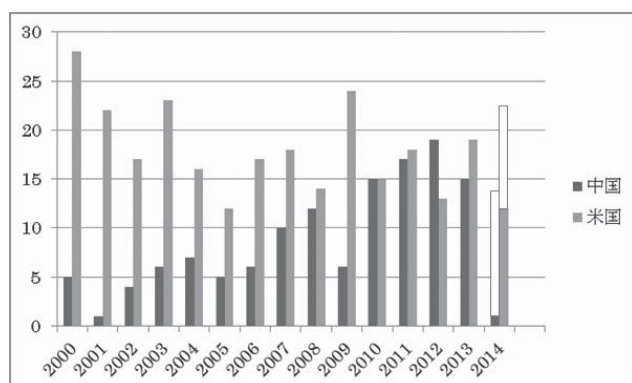
- * 関連記事：日本物理学会誌、2013年10月号p.683,「中国の宇宙基礎科学を垣間見る」(松岡勝)
- * ISSI (International Space Science Institute) について <http://www.issibern.ch/aboutissi/mission.html>
- * ISSIの中国の分所 <http://www.issibj.ac.cn/>
- * 中国の国立宇宙科学センター (NSSC) <http://english.nssc.cas.cn/>

飛躍的發展段階に入る中国の宇宙開発活動

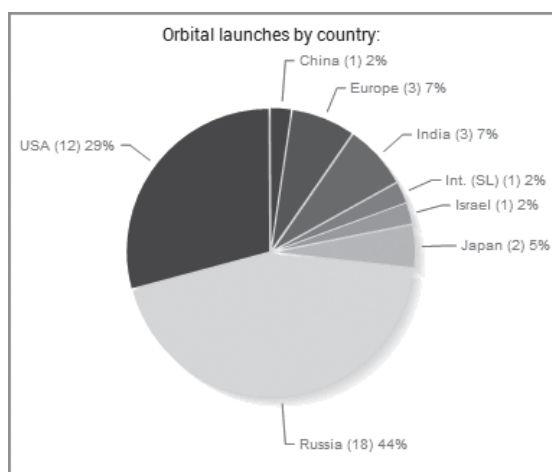
辻野 照久 ●科学技術振興機構 研究開発戦略センター 特任フェロー

目を疑う2014年前半の中国の打上げ実績

中国の宇宙輸送システムは、打上げ回数は以前に比べて大幅に増えているものの、技術的に見れば現時点では陳腐化していると言わざるを得ない。図1は2000年から2014年までの中国と米国の年間打上げ数を対比するグラフである。中国は2012年に米国の打上げ回数を大幅に上回ったものの、2013年は15回（うち1回は打上げ失敗）にとどまり、米国を上回ることができなかった。中国は2014年に14回の打上げを行うと発表した^[1]が、米国はスペースX社の台頭などで打上げ数が増加傾向にあり、中国が米国に追いつけないことは確定的である。中国の打上げ動向に注目している立場から見ると、2014年7月末までの中国の打上げ実績がわずか1機というのは、何か異変が起こったのかと目を疑うような状況である。



◎図1 中国と米国の年間ロケット打上げ回数の推移（2014年は7月14日まで）



◎図2 2014年（7月14日まで）の国別ロケット打上げ数
（出典：Gunter）

2014年7月14日現在の国別打上げ数のグラフを図2に示す。世界で41回の打上げが行われ、ロシアが18回（うち1回は打上げ失敗）、米国が12回、欧州が3回（ギアナにおけるソユーズ2機の打上げはロシアに含まれる）、インドが3回、日本が2回、イスラエルが1回、シーロンチ社が1回あって、以上で合計40回となる。残りの1機が中国である。中国は、4月に1回、小型衛星の打上げを行っただけで、8月以降も確定的な打上げ予定は2～3機程度しか見当たらない。米国は8月中には15機を超え、年末までに23機程度は打ち上げる見込みである。米国との比較はさておいても、中国は宣言通り年の後半5か月で13機も打ち上げることができるのだろうか？

想定される打上げ計画

2014年には、どのようなミッションが予定されているのか。地球観測衛星では「高分2号」と「CBERS-4号」は打ち上げられる確度が高い。2013年12月に長征4B型ロケットによる「CBERS-3」の打上げに失敗したことは、これら2機の衛星の打上げに大きな影響を及ぼしている。「高分2号」は昨年失敗したのと同じ機種のロケットを用いるため、原因究明と対策に万全を期す必要があり、当初の予定（2013年12月）より半年以上遅れている。一方中国とブラジルが共同開発している「CBERS」シリーズは、ブラジルとしてもぜひとも運用を継続したいミッションである。ブラジル宇宙庁（AEB）は、2014年4月2日に第64回諮問委員会定例会合を開催し、「CBERS-4」を太原衛星発射センター（TSLC）から打ち上げる時期について、2014年12月第2週に実施することで中国側と合意したと発表した^[2]。

この他に、打上げが行われそうな衛星として、通信放送分野では、ラオスやトルクメニスタンなど外国に輸出（軌道上引渡し）する通信放送衛星が打ち上げられる可能性がある。また地球観測分野では気象衛星「風雲」や偵察衛星「遥感」、技術試験衛星では「実践」「試験」など毎年常連のシリーズがある。これらの衛星は打上げ準備がすべて整ってから発表される傾向があり、打上げの1日前か2日前まで情報が得られないことが多い。

月探査では、嫦娥3号の月面ローバが3夜目にして故障したことから、月面探査の継続を目指して既に製作済みの「嫦娥4号」を打ち上げる可能性がある。

打上げがあるかないかわからないのは、航行測位衛星「北斗」の周回衛星である。最終的に24機以上で構成する

もので、既に5機打ち上げられたものの、ここ2年間、後続機が全く打ち上げられていない。年間2回の打上げ(衛星4機)は以前から計画があったが、最近では計画発表もないうまま先延ばしが続いている。間隔が長くなると、初期に打ち上げられた衛星の設計寿命が近付き、十分な活用ができないまま運用終了となりかねない。

一方、なさそうなものもいくつかあげられる。有人宇宙船「神舟」は11号の打上げが2016年頃になると思われる。天文観測衛星などもあまり進捗が見られない。

現用ロケットの在庫一掃

次にロケット製造上の都合から考えてみる。現在運用中の打上げロケットは、2-3年後には長征5型などの新系列ロケットに置き換えられていく。新型ロケットが本格的に打ち上げられるようになる前に、現在まだ製造ラインにある現用ロケットは、できる限り部品を余らせず使い切りたいし、万一の不具合等で代替品が必要になる場合もある。在庫一掃には部品だけでなく、輸送の都合も考慮する必要がある。3か所の射場に鉄道でロケット機体を輸送するため、列車ダイヤ編成や輸送用コンテナの運用なども綿密に検討されるであろう。これまでの実績から言って、5か月間で13回の打上げを行おうとすれば、大車輪的な忙しさになるはずであるが、実は2015年以降の計画を考えるとこのペースは決して無理な話ではない。

実は、2015年には30回の打上げを計画しているという情報もある。この数字は、「年間20回の打上げで中国衛星を5年間で100機打上げ」という以前からある目標からいえば、2013年と2014年で10回少なかった分を2015年に繰延べしているということかもしれない、物理的に達成不能である可能性もある。30機の中には海南島からの初打上げなども含まれるであろうが、大部分は現用ロケットの在庫一掃につながる打上げであり、これまでの延長線上で活動密度を高めるものであるため、年間30回の打上げが実際に行われたとしてもそれ自体は諸外国から驚きの声はあまり上がらないだろう。とはいえ、実現すれば、中国はやはり「有言実行」の国であると評価できるであろう。

中国の宇宙開発の飛躍的な発展

米ロの間に割り込むまでになった中国の実力は、まだ過去からの延長線上にあるとしか見られていない。中国の宇宙開発について、世界が本当に驚くのはこれから2年か3

年先のことである。中国の宇宙開発活動が2015年後半以降、いよいよ飛躍的發展段階を迎えようとしていることは間違いない。

そのための仕掛けとして、長征5型をはじめとする新型ロケット系列の開発、海南島の文昌射場の整備、宇宙ステーション「天宮」の各モジュールと物資輸送機「天舟」の開発、「嫦娥5号」による月からのサンプルリターン(2017年予定)、最大で静止9トン級という衛星バスの概念を大きく変える東方紅5型衛星バスなど、米国でさえも追いつくのは容易ではない戦略的な宇宙活動の準備を行っているのである。経済的な障害によって頓挫するリスクはあるが、国の富を傾けてというほどの巨額な費用ではないし、技術的には米国のアポロ計画など昔の重厚長大な技術で実現したことであり、最新の超小型ICT技術を使いこなす能力を有する中国宇宙産業の能力をもってすれば、信頼性や安全性の高いスマートな宇宙技術を実現する可能性は極めて高い。

その一例として、まだ計画段階ではあるが最近情報が得られた「長征9型ロケット」^[3]に注目したい。2014年1月19日、中国航天科技集团公司(CASC)に属する中国運載火箭技術研究院(CALT)副院長の梁小虹(Liang Xiaohong)氏は、有人月探査や宇宙ステーションなど、地球低軌道(LEO)に100t級の打上げ能力を備えた重量級の長征9型ロケットの開発プロジェクトを準備中であると述べた。

過去最大の重量級ロケットは、アポロ11号などの打上げに用いられた米国のサターンV型ロケットで、打上げ能力はLEO 118トンである。ただ、現時点でこのロケットを再現することは米国でも簡単にはできない。米国ではスペースX社がLEOに53トンの打上げ能力を持つ「Falcon-Heavy」を開発中であるが、「長征9型」はこれをはるかに凌駕する。またNASAは将来の深宇宙有人探査用として「宇宙打上げシステム」(SLS)を開発中であり、最大性能はLEO130トンまで目標にしているが、実際に2018年頃までに開発できるのはLEO70トンクラスである。

長征5型は今のところ最大性能のバージョンでも米国のDelta IV Heavyに及ばないと見込まれている。中国の本当の飛躍は「長征9型」実現以後ということになるかもしれない。

参考文献

- [1] 航天科技集团型号会：今年宇航发射14次、中国航天報、2014年1月8日：<http://www.spacechina.com/n25/n144/n206/n214/c621397/content.html>
- [2] AEB CONFIRMA LANÇAMENTO DO CBERS-4 EM REUNIÃO DO CONSELHO SUPERIOR、AEBニュース(ポルトガル語)、2014年4月3日：<http://www.aeb.gov.br/aeb-confirma-lancamento-do-cbers-4-em-reuniao-do-conselho-superior/>
- [3] 中国运力达百吨级火箭或今年立项 将与美比肩、北京晨报、2014年1月20日：http://www.chinaequip.gov.cn/2014-01/20/c_133058302.htm

中国の宇宙開発事情

突然発表された第3世代北斗航行測位衛星

辻野 照久 ●科学技術振興機構 研究開発戦略センター 特任フェロー

第2世代の周回衛星は計画放棄か

これまでに中国は航行測位衛星を21機打ち上げている。第1世代の静止衛星が5機、第2世代は中高度周回衛星5機、静止衛星6機、準天頂衛星5機の計16機である。この中で、周回衛星は5機しかなく、24機まで増えないと米国のGPSやロシアのグロナスのような全球測位システム(GNSS)は完成しない。後続の周回衛星打上げは2年以上前から中断されたままで、最初の5機は設計寿命が刻々と迫っている。また準天頂衛星は3機1組だが、5機というのも中途半端であった。それでも、中国は地域航行測位衛星システム(RNSS)を完成させたと2012年12月に宣言した。最新の情報により、中国はどうやら第2世代の周回衛星を完成させることを断念し、第3世代の衛星群をゼロから構築し始めるつもりであるらしいことがわかった。

第3世代の北斗航行測位衛星

2014年5月に江蘇省南京市で開催された第5回中国衛星導航学術年会において、中国衛星導航システム管理弁公室(CSNO)主任の冉承其(Ran Chengqi)は、「新一代北斗導航衛星」すなわち北斗3系列の衛星を2014年末までに5機打ち上げると発表した¹⁾。

第3世代の新型航行測位衛星は、早ければ2014年10月から打上げが開始される。2015年以降の打上げとなる6機目以降からは打上げロケットが長征5型になる可能性もある。

第3世代の静止衛星も現在運用中の第2世代の静止衛星5機をすべて置き換えることを計画している。準天頂衛星は3機の打上げを計画しており、第2世代と混合運用される可能性もある。

中国は2020年までに、合計32機に及ぶ第3世代の衛星群を構築すると、こともなげに発表しているのである。

第2世代衛星との比較

早々と現役を退きそうな北斗2系列の衛星は、東方紅3型衛星バスを適用し、設計寿命は8年である。測位精度は10mで、打上げロケットはCZ-3系列を使用している。これまで安定した性能を維持しており、打上げ実績(種類・年毎の打上げ数)は次のようになる。

◦ 周回衛星(M)	2007年打上げ(1機)・2012年打上げ(4機)
◦ 準天頂衛星(IG)	2010年打上げ(2機)・2011年打上げ(3機)
◦ 静止衛星(G)	2009年打上げ(1機)・2010年打上げ(3機)・2012年打上げ(2機)

以前は、第2世代北斗衛星は35機で構成するとし、周回衛星の残り19機が打ち上げられる計画であるとされていた。しかし、参考文献1により、「中国は次世代の北斗衛星を打上げ」と報道され、2020年までに完成させる計画であることが明らかにされた。これは、構築途上にある第2世代衛星の追加打上げや更新をこれ以上行わないことを意味している。第2世代衛星により中国の航行測位衛星整備計画の第2段階となる地域航行測位システムを完成させ、「北斗衛星空間信号受信制御文書(2.0版)」と「北斗衛星サービス性能規範(1.0版)」が正式に発布され、中国とその周辺地域において測位精度10mのサービスを開始した。そのような第2世代の衛星群構築を途中で放棄してまで、新たな衛星群を構築するからには、第3世代衛星において顕著な技術的進歩があるものとみられる。前述の冉主任は、測位精度を4倍の2.5mに向上させ、全球をカバーし、地上の管制施設に頼らず衛星同士で管理する新システム(自主運行管理能力)を採用し、十数のプラットフォームと160以上の新技術を用いると紹介した。

第3世代の周回衛星は、質量800kg、設計寿命5年。打上げロケットが長征3Bの場合は2機同時打上げだが、長征5型の場合は4機同時打上げとなる。最初の1機は長征3C型で打ち上げられる。

静止衛星5機は第2世代衛星の後継となる。準天頂衛星は北京-香港ラインの3機だけが新系列に更新され、西部の2機の準天頂衛星はそのまま残されると思われる。タイの地上局整備

既に東南アジア地域でも本格的な利用が進んでいる北斗2は、赤道に近い静置衛星も準天頂衛星のようになり、場所によっては測位精度が5mまで向上する。武漢の光谷北斗控股集团有限公司は2014年6月にタイ国内に3か所の地上基準点設備を設置した。同社は今後同様の基準点施設をタイ国内で220か所まで増やすという。

このように実利用が進み、経済的な波及規模も大きくなった北斗2号であるが、上述のように2020年頃までには多くの衛星が設計寿命を迎え、運用終了となるものと予想される。

2014年の打上げ計画の補足

8月の特集記事「飛躍的発展段階に入る中国の宇宙開発活動」では、2014年の打上げで確実な回数は2回だけと記した。その後、何の前触れもないまま衛星打上げが突然行われ、8月からの1か月間だけで4回打上げがあった。今後、第3世代北斗で3回から5回、嫦娥5号帰還時再突入試験機、風雲2G、CBERS-4と続き、これだけで年間11回から13回に達する。9月8日までに行われた高分、遥感、創新など、これまでに繰り返し打ち上げられてきたおなじみの

シリーズ衛星が次々に打ち上げられている。その中で、突然浮上した北斗3の打上げ計画はサプライズであったといえる。なお、米国は8月末までにほぼ予定通り17回の打上げを行い、まだ多数の打上げ計画を残している。スペースX社のファルコン9ロケットだけで中国と同じ打上げ数である。しかも、中国は小型衛星ばかりのため、打上げ時重量では10倍以上の差がついている。米国では異端児のような存在のスペースX社であるが、8月と9月に33日の間隔で大型静止衛星の2回連続打上げに成功しており、アリアンやプロトンに匹敵する運用性の高さを実証している。

それでも今後数年を展望して、「スペースXに対抗できるのは中国だけ」という筆者の予想は変わらない。

参考文献

- 1) 5颗新一代北斗卫星年底发射、新華網（2014年05月22日）

教 育

中国の高校から日本の大学への留学： 高校数学の学習単元の整合表の試み

竹熊 尚夫 ●九州大学大学院人間環境学研究院教授



1963年熊本県生まれ九州大学教育学部卒業、同大学院教育学研究科修了、博士（教育学）、専門は比較教育学。
主著論文は、「多民族社会における教育の国際化への展望」望田研吾編著『21世紀の教育改革と教育交流』（2010年6月）、「多民族社会の教育研究における民族教育制度の視座—比較教育学的考察—」『九州大学大学院教育学研究紀要』第11号（通巻54集 P45-60, 2009年3月）

1. 留学の多様化による高卒学力の診断

近年、若い優秀人材のグローバルな獲得競争の中で、日本の大学でもグローバル30を嚆矢に、秋入学や海外の高校から日本の学部段階への直接入学などが広く検討されはじめている。大学国際化の推進に相俟って、学部段階への海外学生の受け入れも行われている。国公立大学では、これまで日本語能力試験や日本留学試験での成績は大きな比重を占めず、帰国子女入試や学部段階への外国人留学生入試においても、少人数であったり、相対的な評価であるため、海外の学歴に対する明確な選考判定内容や基準がないままか、基準はあったとしても公表されることは少ない。また、私立大学には日本語別科や独自の交流ルートによる国際化戦略を持つものも多いが、選抜・判定基準は優秀な学生の獲得競争と関わり、部内秘として扱われているのが現状であろう。同じく、国際バカロレア（IB）等の資格は日本の大学入学資格の前提として認定され始めているものの、詳細な科目や評価基準については大学や部局に任されている状況と言える。

この中で、アジアの、特に中国の大学入学に用いられる「高考」の点数はまだまだ認知されているとはいえない。しかしその国際的認知度は高まる一方で、海外進学であろうとも中国国内用「高考」を受けさせ、その成績を学力の判定材料としているという話は良く聞く。日本においても、「高考」については、民間機関や学会もしくは、大学連盟等がその調査を行い、活用に向けた試みが必要とされている。中国ではこの高考によって大学進学先が概ね決定するため、大学別学部別の基準点を示す進学受験雑誌は多種多様に存在しており、これらのデータを活用していくことも可能である。また、中国では各科目について国内課程とIBやアメリカのAP（アドバンスト・プレースメント）プログラムとの比較対照した文献も出版されている（唐2012）。

一方、日本には財団法人日本学生支援機構（JASSO）が実施している「日本留学試験（EJU）」制度があり、海外

の現地の教育資格認定以外にも日本語、数学（コース①、コース②）、理科（物理、化学、生物）、総合科目等を渡日前、渡日後に受験することができ、学部入試の判定材料となっているが全国的な評価基準としてその評点や評定が確立されたとは言えない。また、香港以外では中国大陆での受験はできない状態である。一方、海外の高校から日本の大学へ早いうちに学生を確保して、直接入学させる場合はこうした試験はさほど必要とされておらず、様々な学力診断への活用度は依然として高くはない。

海外資格評価の先進国であるアメリカでは、NAFSA（全米国際教育交流協議会）やAACRAO（米国大学アドミッション・オフィサー協会）が留学元である途上国の教育資格について調査し、アメリカへの留学資格認定、資格証書の発行を行っている。この他、AICE（国際資格評価協会）、CEC（全米外国成績資格評価審議会）等が海外教育資格の評価活動を行っているというが（横田2012）、多くは民間組織で、資格認証をビジネスとするものであり情報入手は容易でない。また、そもそも、アメリカの教養教育型大学への受入と、日本の大学の専門教育への接続が前提となる受入側のニーズはかなり異なると言えよう。日本の大学の中にも教養学部があるが、高い語学能力や論理的思考力、学習意欲・態度によって、しっかりとした基礎学力が評価されれば、入学後に個々の学生に知識のばらつきがあったとしても、教養教育の幅広い枠の中で、それぞれの適性と意欲にあった学問分野に進んでいくという側面がある。これがアメリカの教養大学で留学生を柔軟に受け入れられる教育システムの基盤であり、大学、大学院教育の積み重ねでもある。

日本の大学院重点化大学では大学院を重点化するからこそ、という理由で学部での専門教育への重視が進んでおり、初年次教育での教養教育の短期化と専門教育の早期化が進行している。このため、高校での学習状況との強い接続がますます必要とされ、日本国内の高校からでも補習教育、リメディアル教育という新入生のばらつきを埋め合わ

せる教育が既に各所で行われているところである。同様に、海外からの留学生は国別、地域別、学校別と多様であり、受入においては個々の学生への対応が必要とされており、当該国の教育課程とその内実を把握することは、学生の学力診断そして学生理解にとっても重要になってきている。

2. 中国での海外進学準備教育の提供

中国の送り出し側である高校を見てみると、外国語学校、国際学校、重点学校そして一般の学校出身によって分けられ、また、それが省や沿海部都市か内陸かなどの地域別や朝鮮族等の民族学校によっても外国語としての日本語能力や英語能力にはかなりの差異が生まれる。海外留学を目指す学校は主としてエリート校であり、外国語学校等では特別な課程を持つ学校が多い。沿海都市にある国際学校では香港やアメリカの教科書を輸入し使っており、教科書以外にも多様な補助教材を用いて、資格取得や大学入学資格試験準備を進めているところもある。このように、海外への学部段階での留学を目的とする学校など教育機関は、各国の教育制度外に位置するため、それぞれ特徴を出して、IBやAPプログラムによる留学促進策（小川 2012）や、英国のAレベルといった国際共有資格の取得を目指す国際中等学校、留学派遣を前提とする外国語学校、海外大学入学資格の民間予備教育機関（新東方など）が多数存在する（横田 2012）。これらの学校には「高考」を併願するため国内用の教育課程と海外用の教育課程を併用しているコースもあるが、海外進学に特化した専門コースもあるという。

しかし、こうした国際学校だけではなく、重点学校や一般の学校においても、海外の優れた教育機会を求めて、あるいは負担の大きい「高考」の受験競争から逃れるために、子どもの海外進学を考えている親は少なくない。こうした高校から来た留学生はどのような勉強をしてきているのか、注目していく必要がある。

3. 高校レベルの日中の教育・学習内容の違い

ー数学を事例にー

日本の留学予備教育機関でのインタビューによると、理系志望の留学予備学生に物理、化学の知識が不足していることが指摘されている。物理を学習していない、或いは化学Ⅱの分野を学んでいないという理系学生がいるという。こうした履修教科のバランスにも配慮する必要があるが、現在、数学と理科（化学、物理）の教育課程を調査分析しているところであり、今回、数学の教育課程について紹介したい。

まずはじめに、数学の教育課程の単元一覧を指針として、全単元のバランスや学習単元（項目）を重視した包括

的な整合表（基本枠組）をたたき台として作成している。学習過程の違いを確認することと、教育の接続をよりスムーズにするためのチェックリストとして活用するためでもある。表は、文部科学省の高等学校学習指導要領解説と中国の人民教育出版社と江蘇教育出版社の数学教科書から入手できた単元一覧を比べてみたものである。江蘇省版は昨年実物を購入しているが、人民教育出版社は大部分はインターネット上に掲示されている単元一覧から情報を得ている。日本語版には各単元の英語訳を、二種類の中国語版には日本語訳を付けている。入手した情報も完全では無く、縦幅はまだ各単元と細項目を十分にカテゴライズできてはいないので、暫定的な表として確認ご利用いただければと思っている。不足している資料などご教示いただければ幸いである。

表からも分かるが、中国の普通高校の課程は、国際学校のIB課程およびAP課程と比較して、微積分の知識の割合が多くないという（唐 2012）。微積分は「名存実亡」の状態であるとの指摘もある（郭玉峰・杜威 2002）。中国では大学進学後に微積分、特に積分を学ぶことになっているためである。北京版の「高考」理科の指導書によると、試験で求められるレベルとして、各単元・項目は（A）了解（知識・記憶）レベル、（B）理解（理解・解釈）レベル、（C）掌握（熟達・利用）レベル、（D）柔軟的総合活用レベル、に分けられており、微積分の単元には「定積分概念」と「微積分基本定理」の項目のみが提示され、この二項目でも、問題レベルは（A）了解レベルに該当すると説明されている（北京教育考試院 2012）。

こうしたことは、日本の大学進学の準備をさせる日本語予備教育機関でインタビューした際にも同様の意見を得ている。数学教師によれば中国からの留学生は微分積分、微分の計算の仕方までは学んでいるが、特に積分は学習していないという評であった。「今の日本のカリキュラムの数Ⅲとか数Cは全くやっていない状況で、数列も知らないことが多い」、「数ⅡBでは計算の仕方は習っても、理論的証明や公式は習っていない状況」であるという。中国語でも「証明」を書くことができないということを確認し、教授法の違い、学習方法の違いを感じ、日本の大学で行けるか心配しているという。重点高校でも日本に来た学生は数学が弱いという印象だそうだが、重点校の学生は、指導すると自分で勉強してくるなど優秀な学生も多いという。

エリート校である国際学校の卒業生は、主に海外の大学へ進学するため、日本を含む海外の高校の数学課程と同じように、微積分の内容を学ぶことになっていることから、今後、教育課程の改訂と関わり中国国内の課程で微積分を海外の課程と揃えるかどうかが一つの懸案となっているともいう（唐 2012）。

◎表 1 日中両国の数学の教育課程の単元比較表(暫定版)

平成21年 日本高等学校数学Iの内容の構成			中国全日制普通高级中学教材 (人民教育出版社)			普通高中课程标准实验教科书 (江苏教育出版社)		
Set and Functions	数学 I	第1章 数と式 1.1 数と集合 1.1.1 実数 1.1.2 集合 1.2 式 1.2.1 式の展開と因数分解 1.2.2 一次不等式	第一册 上册	第1章 集合と論理初步 一 集合 1.1 集合 1.2 子集、全集合、補集合 1.3 交集、并集 1.4 含有性値の不等式解法 1.5 一元一次不等式解法 二 論理表現 1.6 演習問題 1.7 四則演算 1.8 充分条件と必要条件	集合と論理初步 集合 集合 部分集合、和集合、補集合 積集合 (集合族の共通部分) 絶対値を含む不等式の解法 一元一次不等式の解法 論理表現 (また、かつ、でない) 命題 (逆、裏、対偶) 十分条件と必要条件	数学 I	第1章 集合 1.1 集合の含意及其表示 1.2 子集、全集合、補集合 1.3 交集、并集	集合とその真子集 部分集合、和集合、補集合 積集合 (集合族の共通部分)
		第2章 図形と計量 2.1 三角比 2.1.1 鋭角の三角比 2.1.2 鈍角の三角比 2.1.3 正弦定理・余弦定理 2.2 図形の計量		三角関数 一 任意角の三角関数 4.1 角の拡張 4.2 三角関数 4.2.1 三角関数とそのグラフ 4.2.2 三角関数の基本的性質 4.3 三角関数の加法定理	三角関数 任意角の三角関数 角の拡張 弧度法 一般角の三角関数 三角関数の相互関係 正弦と余弦の公式 加法定理と三角関数 正弦、余弦、正接に関する恒等式 二倍角の公式 (正弦、余弦、正接) 三角関数のグラフ及び特徴 正弦関数、余弦関数のグラフ及び特徴 関数 $y = A \sin(\omega x + \phi)$ のグラフ 正接関数のグラフと性質 已知三角函数值求角 三角関数の応用 (角辺の値)	数学 4	第3章 三角恒等変換 3.1 二角和と差の三角関数 3.1.1 二角和と差の余弦 3.1.2 二角和と差の正弦 3.1.3 二角和と差の正切 3.2 二倍角の三角関数 3.3 几个三角恒等式	三角関数の置換公式 加法定理 加法定理 (余弦) 加法定理 (正弦) 加法定理 (正切) 二倍角の公式 三角関数の公式
Trigonometric ratios Law of Sines Law of Cosines	数学 I	第2章 図形と計量 2.1 三角比 2.1.1 鋭角の三角比 2.1.2 鈍角の三角比 2.1.3 正弦定理・余弦定理 2.2 図形の計量	第二册 下册	三角関数 一 任意角の三角関数 4.1 角の拡張 4.2 三角関数 4.2.1 三角関数とそのグラフ 4.2.2 三角関数の基本的性質 4.3 三角関数の加法定理	三角関数 任意角の三角関数 角の拡張 弧度法 一般角の三角関数 三角関数の相互関係 正弦と余弦の公式 加法定理と三角関数 正弦、余弦、正接に関する恒等式 二倍角の公式 (正弦、余弦、正接) 三角関数のグラフ及び特徴 正弦関数、余弦関数のグラフ及び特徴 関数 $y = A \sin(\omega x + \phi)$ のグラフ 正接関数のグラフと性質 已知三角函数值求角 三角関数の応用 (角辺の値)		第1章 三角恒等変換 1.1 二角和と差の三角関数 1.1.1 二角和と差の余弦 1.1.2 二角和と差の正弦 1.1.3 二角和と差の正切 1.2 二倍角の三角関数 1.3 几个三角恒等式	三角関数の置換公式 加法定理 加法定理 (余弦) 加法定理 (正弦) 加法定理 (正切) 二倍角の公式 三角関数の公式
Trigonometric Functions	数学 II	第3章 三角関数 4.1 角の拡張 4.2 三角関数 4.2.1 三角関数とそのグラフ 4.2.2 三角関数の基本的性質 4.3 三角関数の加法定理		三角関数 一 任意角の三角関数 4.1 角の拡張 4.2 三角関数 4.2.1 三角関数とそのグラフ 4.2.2 三角関数の基本的性質 4.3 三角関数の加法定理	三角関数 任意角の三角関数 角の拡張 弧度法 一般角の三角関数 三角関数の相互関係 正弦と余弦の公式 加法定理と三角関数 正弦、余弦、正接に関する恒等式 二倍角の公式 (正弦、余弦、正接) 三角関数のグラフ及び特徴 正弦関数、余弦関数のグラフ及び特徴 関数 $y = A \sin(\omega x + \phi)$ のグラフ 正接関数のグラフと性質 已知三角函数值求角 三角関数の応用 (角辺の値)	数学 5	第1章 三角恒等変換 1.1 二角和と差の三角関数 1.1.1 二角和と差の余弦 1.1.2 二角和と差の正弦 1.1.3 二角和と差の正切 1.2 二倍角の三角関数 1.3 几个三角恒等式	三角関数の置換公式 加法定理 加法定理 (余弦) 加法定理 (正弦) 加法定理 (正切) 二倍角の公式 三角関数の公式
Quadratic Function	数学 I	第3章 二次関数 3.1 二次関数とそのグラフ 3.2 二次関数の値の変化 3.2.1 二次関数の最大・最小 3.2.2 二次方程式・二次不等式	第一册 上册	第2章 二次関数 一 二次関数 2.1 二次関数 2.2 二次関数の表示法 2.3 二次関数の単調性 2.4 二次関数の最大・最小 2.5 二次方程式・二次不等式	二次関数 二次関数の表示法 二次関数の単調性 二次関数の最大・最小 二次方程式・二次不等式		第2章 二次関数 2.1 二次関数の概念 2.1.1 二次関数の概念と図像 2.1.2 二次関数の表示方法 2.2 二次関数の単調性 2.2.1 二次関数の単調性 2.2.2 二次関数の奇偶性 2.3 二次関数の最大・最小	二次関数の概念 二次関数の概念と図像 二次関数の表示方法 二次関数の単調性 二次関数の単調性 二次関数の奇偶性 二次関数の最大・最小
Exponential Function Logarithm	数学 II	第3章 指数関数・対数関数 3.1 指数関数 3.1.1 指数関数の拡張 3.1.2 指数関数とそのグラフ 3.2 対数関数 3.2.1 対数 3.2.2 対数関数とそのグラフ		第2章 指数関数 一 指数関数 2.1 指数関数 2.2 指数関数の表示法 2.3 指数関数の単調性 2.4 指数関数の最大・最小 2.5 指数方程式・指数不等式	指数関数 指数関数の表示法 指数関数の単調性 指数関数の最大・最小 指数方程式・指数不等式	数学 1	第2章 指数関数 2.1 指数関数の概念 2.1.1 指数関数の概念と図像 2.1.2 指数関数の表示方法 2.2 指数関数の単調性 2.2.1 指数関数の単調性 2.2.2 指数関数の奇偶性 2.3 指数関数の最大・最小	指数関数の概念 指数関数の概念と図像 指数関数の表示方法 指数関数の単調性 指数関数の単調性 指数関数の奇偶性 指数関数の最大・最小
Equation and Proofs Binomial theorem	数学 I	第3章 指数関数・対数関数 3.1 指数関数 3.1.1 指数関数の拡張 3.1.2 指数関数とそのグラフ 3.2 対数関数 3.2.1 対数 3.2.2 対数関数とそのグラフ	第二册 下册	第2章 指数関数 一 指数関数 2.1 指数関数 2.2 指数関数の表示法 2.3 指数関数の単調性 2.4 指数関数の最大・最小 2.5 指数方程式・指数不等式	指数関数 指数関数の表示法 指数関数の単調性 指数関数の最大・最小 指数方程式・指数不等式		第2章 指数関数 2.1 指数関数の概念 2.1.1 指数関数の概念と図像 2.1.2 指数関数の表示方法 2.2 指数関数の単調性 2.2.1 指数関数の単調性 2.2.2 指数関数の奇偶性 2.3 指数関数の最大・最小	指数関数の概念 指数関数の概念と図像 指数関数の表示方法 指数関数の単調性 指数関数の単調性 指数関数の奇偶性 指数関数の最大・最小
Complex number Quadratic equation Factor theorem Inequality	数学 II	第3章 複素数と二次方程式 3.1 複素数 3.1.1 複素数の概念 3.1.2 複素数の四則演算 3.2 二次方程式 3.2.1 二次方程式の解 3.2.2 二次不等式		第2章 複素数 一 複素数 2.1 複素数 2.2 複素数の表示法 2.3 複素数の単調性 2.4 複素数の最大・最小 2.5 複素方程式・複素不等式	複素数 複素数の表示法 複素数の単調性 複素数の最大・最小 複素方程式・複素不等式	数学 5	第2章 複素数 2.1 複素数の概念 2.1.1 複素数の概念と図像 2.1.2 複素数の表示方法 2.2 複素数の単調性 2.2.1 複素数の単調性 2.2.2 複素数の奇偶性 2.3 複素数の最大・最小	複素数の概念 複素数の概念と図像 複素数の表示方法 複素数の単調性 複素数の単調性 複素数の奇偶性 複素数の最大・最小
Curve Complex Plane	数学 III	第3章 複素数と二次方程式 3.1 複素数 3.1.1 複素数の概念 3.1.2 複素数の四則演算 3.2 二次方程式 3.2.1 二次方程式の解 3.2.2 二次不等式		第2章 複素数 一 複素数 2.1 複素数 2.2 複素数の表示法 2.3 複素数の単調性 2.4 複素数の最大・最小 2.5 複素方程式・複素不等式	複素数 複素数の表示法 複素数の単調性 複素数の最大・最小 複素方程式・複素不等式		第2章 複素数 2.1 複素数の概念 2.1.1 複素数の概念と図像 2.1.2 複素数の表示方法 2.2 複素数の単調性 2.2.1 複素数の単調性 2.2.2 複素数の奇偶性 2.3 複素数の最大・最小	複素数の概念 複素数の概念と図像 複素数の表示方法 複素数の単調性 複素数の単調性 複素数の奇偶性

72 JST 中国総合研究交流センター (CRCC)

Permutation Combination Probability	数学 A	第1章	場合の数と確率	The number of possible outcomes and probability	第10章	排列、組合と二項式定理	順列、組み合わせ、二項式定理	数学 3	第3章	確率	確率		
		1.1	場合の数	The number of possible outcomes		10.1	分划计数原理与分步计数原理		数えあげの原則 (和の法則・積の法則)	3.1	随机事件及其概率	不確定事象とその確率	
		1.1.1	数え上げの原則	Principle of enumeration		10.2	排列		順列	3.1.1	随机現象	不確定現象	
		1.1.2	順列・組合せ	Permutations, Combinations		10.3	組合		組み合わせ	3.1.2	随机事件的概率	不確定現象の確率	
		1.2	確率	Probability		10.4	二項式定理		二項式定理	3.2	古典概形	古典概型	
		1.2.1	確率とその基本的な法則	Probability and its fundamental laws		第11章	確率		確率	3.3	几何概形	幾何学的な確率モデル	
		1.2.2	独立な試行と確率	Independent trials and probability			11.1		随机事件的概率	不確定事象の確率	3.4	互斥事件	相互に排反な事象
		1.2.3	条件付き確率	Conditional probability			11.2		互斥事件者一发生的概率	相互に排反な事象の確率			
									相互独立事件同时发生的概率	独立な試行の確率、反復試行の確率			
Data Analysis	数学 I	第4章	データの分析	Data analysis									
		4.1	データの散らばり	Data dispersion									
		4.2	データの相関	Data correlation									
Probability Distribution	数学 B	第1章	確率分布と統計的な推測	Probability distribution and statistical assumptions	第3章 第10章 第11章 第12章 第13章 第14章 第15章 第16章	確率と統計	確率と統計	第2章	統計	統計			
		1.1	確率分布	Probability distribution		一	随机变量		確率変数	2.1	抽样方法	サンプリング方法	
		1.1.1	確率変数と確率分布	Random variable and probability distribution		1.1	离散型随机变量的分布列		離散型の確率分布	2.1.1	简单随机抽样 (抽签法、随机数表法)	単純無作為抽出 (抽選方法、乱数表方式)	
		1.1.2	二項分布	Binomial distribution		1.2	离散型随机变量的期望与方差		離散型変量の期待値と分散	2.1.2	系统抽样	システマティック サンプリング	
		1.2	正規分布	Normal distribution		1.3	統計		統計	2.1.3	分层抽样	層化抽出法	
		1.3	統計的な推測	Statistical assumptions		1.4	抽样方法		抽出方法	2.2	总体分布の估计	推定分布全体	
		1.3.1	母集団と標本	Population and samples		1.4.1	总体分布の估计		母集団分布の推測	2.2.1	频率分布表	度数分布表	
		1.3.2	統計的な推測の考え	The concept of statistical assumptions		1.5	正态分布		正規分布	2.2.2	频率分布直方图与折线图	頻度分布ヒストグラムと折れ線グラフ	
						1.6	线性回归		回帰分布	2.2.3	茎叶图	イチジクの罫	
										2.3	总体特征数的估计	一般的な特性の推定数	
Integer Divisor and Multiple Euclidean algorithm	数学 A	第2章	整数の性質	The nature of the integer									
		2.1	約数と倍数	Divisor and multiple				2.3.1	总体平均数及其估计	標本の平均推定			
		2.2	ユークリッドの互除法	Euclidean algorithm				2.3.2	方差分析定理	分散と標準偏差			
		2.3	整数の性質の応用	Application of the nature of the integer									
Maths Application	数学 活用	第1章	数学と人間の活動	Mathematics and human activities	Algorithm			数学 3	第1章	算法初步	基礎アルゴリズム		
		1.1	数や図形と人間の活動	Numbers, figures and human activities		1.1	算法的含义		アルゴリズム				
		1.2	遊びの中の数学	Discovering mathematics in games		1.2	流程图		フローチャート				
		第2章	社会生活における数学的な表現	The mathematical observation in social (daily) life		1.2.1	顺序结构		連続構造				
		2.1	社会生活を数学	Math usage in social (daily) life		1.2.2	选择结构		選択構造				
Maths Application	数学 活用	2.2	数学的な表現の工夫	Devising a mathematical expression									
		2.3	データの分析	Data Analysis	1.2.3	循环结构	ループ構造						
					1.3	基本算法语句	基本的な計算用語						
					1.3.1	赋值语句	代入文						
					1.3.2	輸入・輸出语句	入力・出力文						
						1.3.3	条件语句	条件文					
						1.3.4	循环语句	ループ					
						1.4	算法案例	アルゴリズムの例					

中国におけるキャリア教育・起業家育成教育の発展について

新井 聡 ●文部科学省 生涯学習政策局参事官（連携推進・地域政策担当）付 専門職



1998年 埼玉大学文化科学研究科文化構造専攻 修了
2003年 ロンドン大学東洋アフリカ学院 人類学・社会学部博士課程 退学
2005年 在アゼルバイジャン日本大使館草の根・人間の安全保障無償資金協力外部委嘱員
2009年 文部科学省生涯学習政策局調査企画課専門職
2013年 文部科学省生涯学習政策局参事官付専門職

市場経済化や2001年のWTO（世界貿易機関）への加盟による経済構造の急激な変化を経験した中国では、2003年以降、高等教育卒業生の就職が困難な状況が毎年発生している。この原因は、経済の変化だけでなく、1990年代末に始まる高等教育の急激な規模拡大により高等教育卒業生が急増したことも挙げられる。このため、政府は、経済発展による雇用の創出だけでなく、児童・生徒・学生に職業や起業に関する知識を与え、よりよい就職や起業を支援する取組を行っている。

本稿は、2000年代から本格化した中国のキャリア教育、起業家育成教育の現況を紹介する。

初等中等教育段階におけるキャリア教育の現況

キャリア教育は、中国では「職業生涯教育」と表記され、自身の興味や関心、客観的な社会状況の分析、未来の職業において予想される役割などを結びつけ、子供に将来の計画・設計をさせる教育として一般に認識されている^[1]。しかし、長年、教育機関卒業生を計画的に職場配置する政策を採用していた中国では、1980年代までキャリア教育はほとんど考慮されなかった。同教育が意識されるようになったのは、改革開放政策が開始され、社会体制が市場主義経済に移行し始めた後、中国共産党中央委員会が1985年に発表した「教育体制改革に関する決定」の中で職業教育について議論してからである。その後、1996年に制定された職業教育法において「職業指導」によって教育を受ける者の資質を全面的に高めることや職業上のキャリアを指導することの重要性が示されるなど、職業教育分野でキャリア指導が実施されるようになった。しかし、後期中等教育段階で普通教育と職業教育に分岐する中国の教育システムでは、普通教育においてキャリア教育が積極的に取り組まれることはなかった。

2001年のWTO（世界貿易機関）加盟による産業構造の転換は、労働市場に大きな影響を及ぼすとともに、1990年代末に始まる高等教育の規模拡大により、2003年以降、大学卒業生が大量に就職できない状況が発生した。これらの状況から政府や教育界はキャリア教育の重要性を認識

し、農村地域の初等中等教育機関でキャリア教育の実験を2004年に行った。同実験は、2001年に実施された義務教育課程基準の改正以降に必修化された「総合実践活動」（日本の総合的な学習の時間に相当）の授業の中で、産業の変化や職業・就職の意義を理解させ、進学と職業において自発的な選択ができる能力を高めることを目的としていた。このように2000年代に本格化したキャリア教育は、課程改革で導入された「総合実践活動」や学校が個別に開発した選択科目の中で実験的に開始された。

キャリア教育の本格導入から10年あまり経過した2013年3月、中国共産主義青年団中央委員会の直属機関で、青少年の現状や動向等を研究する中国青少年研究センターは、後期中等教育段階でのキャリア教育について日本、韓国、アメリカとの比較を行った報告書を刊行し、現在のキャリア教育の普及状況を明らかにした^[2]。同センターによると、中国の高級中学で専門の職業指導を受けた生徒の割合は、33%で、アメリカの69%、韓国の72%、日本の78%を大きく下回っていた。また、専門の教員による指導を受けた者は25%程度で、その他の国の生徒の約70%と大きな乖離があった^[3]。

同センターは、中国のキャリア教育が他国から遅れている要因として、アメリカや日本のように法制化されていないことや、大学卒業後に就職という概念からキャリア教育が主に高等教育段階から開始されるため、期間が十分に確保されていない点、人々の学歴信仰により保護者、児童・生徒が大学進学しか目標としない風潮などを指摘している。その上で、初等中等教育段階から始まる系統的なキャリア教育の確立や専門の教員の養成等を提言するとともに、高学歴志向で職業教育を重視しない社会意識や未だ不完全な職業教育体系の改善を求めた^[4]。

ただ、教育先進地域である上海市は、2012年に12次5か年計画期間（2011～2015年）の「児童・生徒・学生キャリア発展教育行動計画」を発表し、その中で、幼稚園から大学に至る系統的なキャリア教育の導入を計画している。また、2014年4月に上海市教育委員会は全児童・生徒を対象

とする「職業体験日」を設定し、累計で約4.6万人の子供を職業体験に参加させるなどしており、都市部を中心にキャリア教育は今後急速に整備されていくと予想される。

大学に広がる起業家育成教育

起業家育成教育は、ユネスコが1989年に北京市で行った「21世紀に向けた教育国際検討会議」などで提起された起業家教育（Enterprise Education）の概念を受けて、「創業教育」として90年代初頭から実験的取組が行われていた。同時期、北京市、江蘇省等の6省・市において行われた「青少年の創業能力向上のための教育連合革新プロジェクト」は、江蘇省では初等中等教育や職業教育等を対象に毎学期8回の授業を実施し、カリキュラムや教材を開発した。また、北京市の広渠門中学では、高級中学第1学年及び初級中学第1学年を対象に毎週1時間、「創業教育」の授業を実施し、教材を開発するとともに、農村で社会実践を行った。高等教育では、2002年に教育部は清華大学等9大学を「創業教育」の実験拠点に決定し、起業家育成教育の理論や実践方法の研究を推進した^[5]。

起業家育成教育の本格的な発展は、2005年に中国共産主義青年団や中華全国青年連合会が、世界の約50か国以上で推進されているILO（国際労働機関）の職業教育、中等・高等教育における起業家育成指導者の養成プログラムであるKAB（Know About Business）^[6]を清華大学等の6大学に導入してからである。清華大学は翌年「大学生KAB起業家育成基礎」という課程を設置し、学生に対して講義を開始した。また、中国共産主義青年団等は、2008年にKABを振興させるために「全国10傑KAB起業家育成クラブ」選定事業を催した^[7]。2009年には、同団体は「KAB起業家育成クラブ建設のための指導意見」を公表し、全国の高等教育機関で学生主体の起業家育成クラブの設立を求めた。

このKABの急速な発展により、2010年に教育部は「高等教育機関の起業家育成教育と大学生の起業を大いに推進することに関する意見」を公表し、全学生に対して起業家育成教育を展開することを各大学に求めた。さらに

2012年には「大学における起業家育成教育の基本的要求（試行版）」を発表し、大学において行われる起業家育成教育の内容や方法を規定するとともに、「起業家教育基礎」という課程基準を配布した。同基準では、全学生対象の「起業家教育基礎」は少なくとも卒業までに32授業時間（1授業時間は50分）行われ、2単位以上になるように要求している。

KABの発展状況は、毎年行われる年次総会によって報告されており、ハルビン工学大学（原語：哈爾濱工程大学）で開催された2014年度総会では、全国150のKAB実施大学が参加した。同会では、2013年度に20万人あまりの学生がKABの授業を受け、1,000人あまりの教員が新たに養成されたとし、中国のKAB事業は世界の中でもトップクラスに位置することが報告された。また、中国共産主義青年団中央委員会の機関誌である『中国青年報』は、2014年現在、1,100あまりの大学が「起業家育成基礎」の課程を設置し、250の大学がKAB起業家育成クラブを開設し、累計で200万人あまりがKABプロジェクトで実践的活動に参加したと報告している^[8]。

おわりに

2000年代の経済のグローバル化による産業構造の転換により、中国ではキャリア教育や起業家育成教育に注目が集まるようになった。初等中等教育段階では、キャリア教育は普及しているとは言えないが、実験的な形で展開されている。高等教育段階では、KABの普及により起業家育成教育が大学の必修課として定着してきた。中国のキャリア教育や起業家育成教育は、本格的に開始されて10年を経過したところであり、法制化や体系化は今後の課題であるといえる。しかし、2014年5月に、教育部等が発表した2020年までの職業教育推進計画^[9]では、職業教育と普通教育の相互連携による全教育段階を通しての職業教育体系の構築を目指しており、早々にキャリア教育・起業家育成教育が整備される可能性がある。中国のキャリア教育・起業家育成教育は、経済の大きな転換に伴い、職業教育とともに急速に変化し整備されているのである。

参考文献

- [1] 新華網、「話題：職業生涯教育是否應成為必修課」、2013年4月2日、(<http://news.xinhuanet.com/>)。
- [2] 同報告は、「日本青少年研究所」、「韓国青少年開発院」、アメリカの教育コンサルタント会社である「Idea Resource Systems社」とともに行った調査結果であり、『中国・アメリカ・日本・韓国の後期中等教育卒業生の進路とキャリア教育研究報告』として刊行された。日本青少年研究所は、同資料を『高校生の進路と職業意識に関する調査報告書 日本・米国・中国・韓国の比較』として2013年3月に刊行している。
- [3] 新浪教育、「中国高中生職業生涯教育全面落後於美日韓」、2013年3月28日 (<http://edu.sina.com.cn/>)。
- [4] 新浪教育、「職業生涯教育應該成為中国学生的必修課」、2013年3月28日 (<http://edu.sina.com.cn/>)。
- [5] 創業教育網、「是时候讓創業教育專業化了」、2014年4月28日 (<http://www.kab.org.cn/>)。
- [6] 参考：ILOウェブサイト2011年10月5日 (<http://www.ilo.org/>)
- [7] 中国青年報、「“首屆全國十佳KAB創業俱樂部”評選活動啓動」、2008年9月8日。
- [8] 中国青年報、「2014年KAB創業教育年会在哈爾濱召開」2014年4月21日。
- [9] 教育部等、「現代職業教育体系建設規畫」、2014年6月、pp.3-8。

中国の高等教育機関イノベーション能力向上計画 (2011計画)

趙 晋平 ●科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー

「高等教育機関イノベーション能力向上計画」(以下略称「2011計画」)は、「985プロジェクト」と「211プロジェクト」に引き続き、中国高等教育分野で実施となった新たな重大国家戦略である。

イノベーションは現在、経済社会発展の主要な動因となりつつあり、知識イノベーションは国家競争力の核心的要素と言える。だが中国では、イノベーション主体がそれぞれ孤立し、イノベーション能力が不足しており、効率が低いことなどが、社会経済の発展を制約する弱点となっている。イノベーション体系において主体的な地位を占める大学も、企業や地方との緊密な協力が不足している。大学は、先端分野の研究を強化し、独自のイノベーション能力を向上させると同時に、産業・企業・地域の問題における連携を促進し、協調して解決をはかる必要がある。このような状況を背景に、2011年4月、胡錦濤国家主席(当時、以下同)は清華大学の創立百年式典で、「共同イノベーションを積極的に推進し、体制・制度のイノベーションや政策・プロジェクトの指導を通じて、研究所や企業と大学との緊密な協力を奨励し、共同イノベーションのための戦略連盟を設立し、資源の共有を促進し、重大研究プロジェクトでの難題攻略を共同展開し、カギとなる分野で実質的な成果を得る」との方針を打ち出した。

胡錦濤主席のこの指示はすぐに、政府の具体的なプランにまとめられた。教育部や科技部、国家発展改革委員会などの部門と多くの専門家による審議と論証が重ねられたこのプランは2012年3月、「教育部・財政部の高等学校イノベーション能力向上計画の実施に関する意見」として正式発表された。これにおいては、2013年から2017年までに、国際的な先端科学分野と国家の経済社会発展の必要性が最も急迫する分野を選び、優秀なものや重要性の高いものから80以内の「2011共同イノベーションセンター」を認定することが求められた。

「2011計画」における共同イノベーションセンターの建設は、「点」によって「面」の発展を促し、高等教育の質を全面的に高めると同時に、科学技術を第一とする生産力と人才を第一とする資源とが結びついた高等教育独自の役割を十分に発揮させるものとなった。「2011計画」が目指すのは、国家と地域の発展の重大な必要性に向けて、共同イノベーションセンターを、国際的な影響力のある学術の

優位性のある拠点に、また業界・産業の基盤技術の開発拠点に、そして地域のイノベーション発展を率いる拠点として発展させることだ。

共同イノベーションセンターは機能や位置付けに応じて、「先端科学向け」「文化伝承イノベーション向け」「業界・産業向け」「地域発展向け」の4種類に分けられる。

2013年5月、専門家の初期審査や会議の質疑応答、現地視察、総括協議、一般公示などを経て、第一弾の共同イノベーションセンターとして14組織が認定された。この14センターには、25大学と13研究所のほか、大企業や工業パークが参加した。地理的には華北・華東・華中地区に集中し、北西・南西・華南地区の大学は選ばれなかった。

第一弾に選ばれた14の共同イノベーションセンターのうち、「量子物質科学共同イノベーションセンター」や「生物治療共同イノベーションセンター」など先端科学向けの共同イノベーションセンターはとりわけ、重大な科学的価値のある独自のイノベーション成果の産出と、国際的な視野と傑出したイノベーション能力を備えた研究人才の集合と育成に力を入れている。

「2011計画」の影響を受け、各地方政府も次々と地域規模の「2011計画」を打ち出し、地域のイノベーション能力の向上促進をはかっている。共同イノベーションセンターを持っているかどうかは、大学が一流大学であるかをはかる物差しとなっている。

2014年8月には、第二弾の共同イノベーションセンターの候補である24組織が専門家による調査を完了した。その最終の選出結果はまもなく公表される。

◎表1 第一弾共同イノベーションセンターリスト

番号	名 称	主要共同単位	種類
1	量子物質科学共同イノベーションセンター	北京大学、清華大学、中国科学院物理研究所等	先端
2	生物治療共同イノベーションセンター	四川大学、清華大学、中国医学科学院、南開大学等	先端
3	天津化学化工共同イノベーションセンター	天津大学、南開大学等	先端
4	量子情報・量子科技先端共同イノベーションセンター	中国科技大学、南京大学、中国科学院上海技術物理研究所、中国科学院半導体研究所、国防科技大学等	先端
5	中国南海研究共同イノベーションセンター	南京大学、中国南海研究院、海軍指揮学院、中国人民大学、四川大学、中国社会科学院辺境史地研究センター、中国科学院地理科学資源研究所等	文化
6	司法文明共同イノベーションセンター	中国政法大学、吉林大学、武漢大学等	文化
7	宇航科学技術共同イノベーションセンター	哈爾濱工業大学、中航科技集団等	産業
8	先進航空発動機共同イノベーションセンター	北京航空航天大学、中航工業集団等	産業
9	非鉄金属先進結構材料・製造共同イノベーションセンター	中南大学、北京航空航天大学、中国アルミ業公司、中国商飛公司等	産業
10	軌道交通安全共同イノベーションセンター	北京交通大学、西南交通大学、中南大学等	産業
11	河南食糧作物共同イノベーションセンター	河南農業大学、河南工業大学、河南省農業科学院等	地域
12	長江デルタ緑色製薬共同イノベーションセンター	浙江工業大学、浙江大学、上海医薬工業研究院、浙江食品薬品検査研究院、浙江医学科学院、薬物製剤国家工学研究センター等	地域
13	蘇州ナノ科技共同イノベーションセンター	蘇州大学、蘇州工業パーク等	地域
14	江蘇先進生物・化学製造共同イノベーションセンター	南京工業大学、清華大学、浙江大学、南京郵電大学、中国科学院プロセス工学研究所等	地域

高等教育段階の中外共同運営機関・プロジェクトの現状と課題

趙 晋平 ●科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー

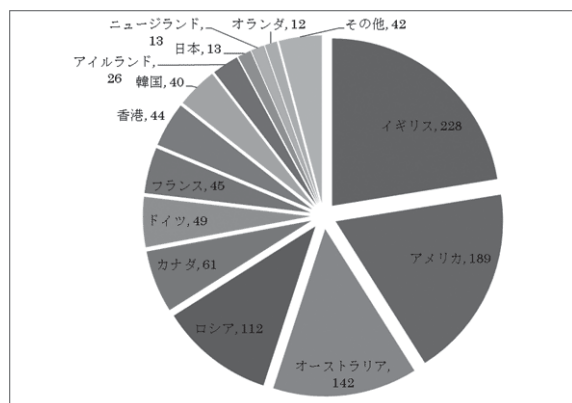
中外共同運営機関・プロジェクト（中国語：「中外合作弁学機構・項目」）は、他国の教育機関と中国の教育機関との共同により、中国国内で設立した中国人を主要な募集対象者とする教育機関・教育プロジェクトをいう。

高等教育の中外共同運営を通じて、中国にとっては、高等教育の対外協力・交流の道が広がり、比較的進んだ教育資源が導入され、高等教育供給の多様性が増し、高等教育の大衆化によって高まった教育多様化の需要がある程度満たされるメリットがある。

中国の対外開放分野の拡大と教育改革の進行に伴い、高等教育の中外共同運営は急速に発展し、2014年4月までに、中国の学部以上の中外共同運営機関・プロジェクトは総計1016件にのぼった。その内訳は、学部段階の機関・プロジェクトが810件、大学院段階の機関・プロジェクトが206件となる。これらの機関・プロジェクトには、以下の特徴が見られる。

協力相手として、英・米はリードし、日本は大きく遅れ

中外共同運営の協力相手は29の国・地域に及んでいる。特に経済が発達し科学技術と教育が比較的進んだ国・地域が中心で、トップを占めたのは、英国（228件）、米国（189件）、オーストラリア（142件）、ロシア（112件）、カナダ（61件）となっている。一方、日本は13件で、上位国だけでなく、香港（44件）、韓国（40件）からも大きく引き離されている。13件のうち、中外共同運営機関は、2013年に立命館大学と大連理工大学によって共同で設立された大連理工大学—立命館大学国際情報・ソフトウェア学院の1件しかなかった。また、協力機関として、欧米諸国の有力大学が多く見られる一方、日本の有力大学の参入はほとんどない。

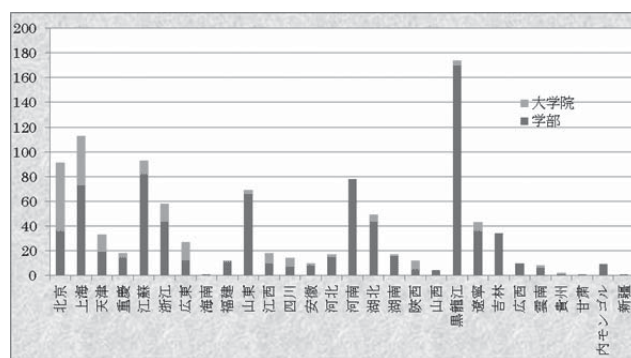


◎図1 中外共同運営機関・プロジェクトの協力相手国・地域（単位：件）
出典：「学部（大学院）中外共同運営機関・プロジェクト名簿」より筆者が作成

地域分布が不均衡

中外共同運営機関・プロジェクトの地域分布が不均衡であり、その多くは北京、上海、江蘇などの経済・文化の比較的発達した東部沿海地域や大都市に集中している。高等学歴教育の中外共同運営機関・プロジェクト件数が多い省（直轄市）のトップ5は、黒龍江（174件）、上海（113件）、江蘇（93件）、北京（91件）、河南（78件）となっている（図1参照）。一方、大学院では、北京（55件）、上海（40件）、浙江（15件）、広東（15件）、天津（14件）が上位で、大学院段階の総件数の約7割を占めている。

黒龍江省は、中外共同運営の機関・プロジェクトが最も集中した省であり、全国の17%を占め、その中でもロシアとの連携が多いことが特徴として挙げられる。歴史的要因と地理的要因から、同省では、ロシアとの共同運営機関・プロジェクトが85件に達する。一方、西部地区の発展は遅く、青海、西藏、寧夏の3省（自治区）には、学部以上の高等学歴教育の中外共同運営機関・プロジェクトはまだなく、貴州、甘肅、新疆も1、2件に留まる（図2参照）。



◎図2 中外共同運営機関・プロジェクトの地域分布（単位：件）
出典：「学部（大学院）中外共同運営機関・プロジェクト名簿」より筆者が作成

中外共同運営機関の最高峰—中外協力大学

中外共同運営機関の最高峰として、独立して設置された中外協力大学がある。中外協力大学には、3つのモデルがある。上海ニューヨーク大学（New York University Shanghai）、寧波ノッティンガム大学（The University of Nottingham Ningbo）のようなサテライトモデル、西安交通—リバプール大学（Xi'an Jiaotong-Liverpool University）のようなパートナーシップモデルと香港中文大学（深圳）のような香港の大学との協力モデルである。

華東師範大学、ニューヨーク大学（NYU）、上海市教育

委員会、浦東新区人民政府の連携で設立された上海ニューヨーク大学は、教員の1/3が世界からの招聘、1/3がニューヨーク大学からの派遣、そして1/3が中国国内からの招聘であり、教員の国際化が徹底されている。教育について、すべてのカリキュラムはNYUのカリキュラムに準拠しており、授業はすべて英語である。2013年9月に入学した一期生300人のうち、149名は世界40カ国からの学生が占めている。授業料は年間約10万元で中国で最も高額であるが、中国国内の学生が入学するには、大学統一試験で清華大学、北京大学並みの点数を取らなければならない。

2013年12月に筆者が訪問した西安交通—リバプール大学は西安交通大学とリバプール大学が共同で設立した大学で、スタッフの80%が外国籍で、非常に国際的、多様性に富んでいる。大学に入学するには、全国大学統一試験でトップの成績、そしてTOEFL6.5以上に達する英語力が必要である。授業料は年間8万元と、中国の大学では極めて高いほうであるが、卒業生の多くは、世界のトップの大学院へ進み学業を続けているため、受験生からの人気は高い。

また、2014年3月に設立された香港中文大学（深圳）は香港中文大学と深圳大学が共同で設立した大学で、学校経営の中核として、理事会が設けられ、合計16名の理事は8名ずつ両大学に任命され、理事長は香港中文大学学長が兼任する。大学の財政は香港中文大学と深圳大学から完全独立し、主に授業料、寄付金、深圳市政府からの補助金などにより賄われる。2014年7月、17の省から313名の高校生の入学が決定され、これらの生徒はいずれも所在地域の全国大学統一試験で上位1%の成績をおさめている。優秀な学生を獲得するため、各省で成績の上位150以内にランクインできれば、在校期間（4年間）の授業料も全額免除される。今年は少人数のスタートであるが、将来的に学生規模は11000名となる計画である。

中国では、中外共同運営機関は今後もますます拡大傾向にある。しかし、日中間の共同運営機関、特に日本の国立大学と中国の大学との共同運営機関設立が難航し、成功事例はほとんど見当たらない。その要因究明と改善を急ぐ必要がある。

資源

世界の水循環を可視化する — 関東中部、黄河流域、チャオプラヤ川流域を例に

西岡 哲 ●株式会社地圏環境テクノロジー 代表取締役社長



静岡県出身。

1972年茨城大学農学部卒業後、東急建設株式会社に入社、技術研究所にて、トンネル施工技術であるNATM工法の研究開発、大深度地下開発実証研究、大深度地下開発における地下水流動への影響に関する研究などを推進する。また1990年代には時代に先駆けて中国の沙漠における大型太陽光発電プロジェクトの調査研究を進める。

2000年9月に東京大学工学部登坂博行教授により開発された統合型水・物質循環シミュレーションシステム（GETFLOWS）の普及をめざし、株式会社地圏環境テクノロジーを起業し、現在に至る。

1. 直面する水問題

20世紀は石油という資源を糧に世界の経済は発展してきた。21世紀に入り中国、インドに代表される人口大国の経済爆発に伴い食料と石油に代表されるエネルギー資源だけでなく水資源の確保が重要な課題となってきた。

20世紀の急速な技術革新がもたらした巨大で高度な技術は、大規模な自然改造をも可能にし、実際に数多くのプロジェクトが実施され、多大な経済的効果を上げる一方で、自然環境に対し甚大な影響を与え一部では回復困難な環境破壊を引き起こしてきている。水資源マネジメントの失敗は大規模な環境破壊につながる。例えば20世紀最大の環境破壊の事例として知られるアラル海では、アムダリア川、シルダリア川流域での綿花栽培に大量の灌漑用水を使用したため、湖の大半が消滅し深刻な環境問題を生じている。これは灌漑農業の効率という経済的側面に重点がおかれ、水資源の利用が将来の環境影響を流域全体の視点でとらえていなかったことによるものと思われる。

水の惑星といわれる地球上の生命は、気圏と水圏と地圏を循環する水により維持されてきている。地球上の水量はおおよそ14億km³であり、97.5%は海水、淡水は2.5%である。淡水のうち80%近くは水であり、約20%は地下水である。最も人間が利用している河川水は1,200km³で淡水のうちの0.004%に過ぎない。この0.004%の河川水は、全世界の人口を62億人とする一人当たりわずか約200トンでしかない。このように膨大でもない水資源を人類が営々と利用してきているが、石油など他の資源と違い枯渇することがないのはなぜだろうか？人間活動に伴う利水は、水を消費してしまうことでなく、生物が体内に取り込んだ水により老廃物を体外に流す現象とよく似ていて、水を利用することは水を汚し、排出することである。水が枯渇しないのは、蒸発、降雨、地表流出、地下浸透という系を通して10～15日に1回程度の頻度で循環していることによる。

利水により汚れた水は、微生物などによる分解作用や蒸

発という自然の機能により水質を循環システムの中で回復してきている。現代の人類の過度で野放図な水利用は、これまでの水循環システムを回復不可能なところまで破壊してしまわないだろうか？

20世紀の人間の英知は、人間活動によるさまざまな開発により、将来どのような環境変化を引き起こすかについてまで十分に予測することができなかったのだろうか。また多くの国際河川では、上下流の国家間での水資源の取り合いが激化し国際紛争の火種となっている。これらの問題を平和裏に解決するためには、時空間的に偏在する水の実態を可視化し利害当事者やそれを調整しようとする政治家や学者さらには企業家や一般市民が情報や知識を共有できるようにすることが第一歩である。

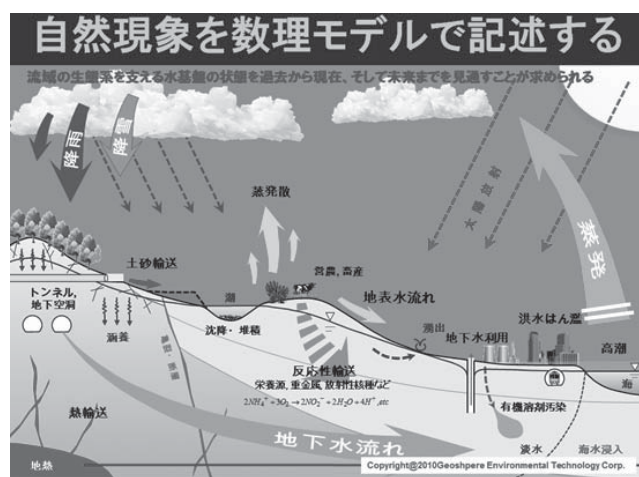
水問題とは、生活圏の水資源・水環境・水災害に関わる問題であり、人間が生活し文明を発展させていくために常に対処すべきものである。

2. 水・物質循環シミュレーション技術とその可視化

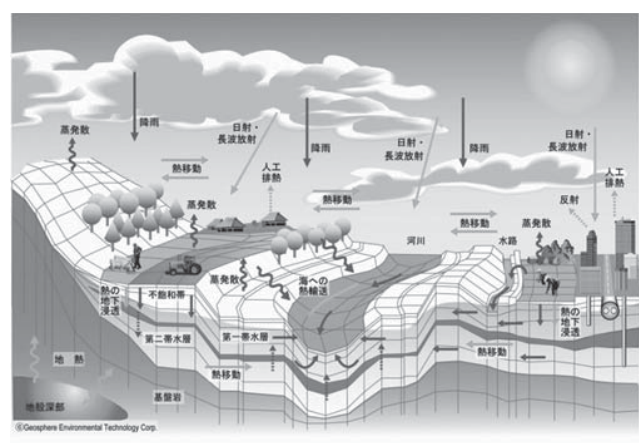
地球表面には、水が相変化（液・気・固）し、水圏（海洋）、気圏（大気）、地圏（陸域とその近縁の気圏・水圏）をめぐる水文大循環がある。地圏水循環シミュレーションとは、図1に示した地圏における水などの動態を物理的に捉える技術である。地圏には、土壌・岩石圏、自然の動植物が創り出す生態系、人間活動が創り出した人工物があり、その中を大気圏からもたらされた降水が蒸発散・河川流れ・地下浸透流・湧出流などとして移動し、最終的に海洋に帰する。

地圏水循環シミュレーション技術は、地表水・地下水連成解析技法（以下GETFLOWSと記す）として東京大学工学系研究科システム創成学専攻の登坂博行教授により開発され、地上、地下の流れの速さが極端に異なる水の動きを完全シームレスに解析できるところまで来ている。GETFLOWSは、これまで個々の数値モデルによって定式

化されてきた地上、地下の水の動きを、数値精度を維持したまま数学的に統一化させた点に最大の特徴をもち、これによって地上に降り注いだ雨水の行方を時間的、空間的スケールの大小を問わずに追跡できる。すなわち、陸面における地表水と地下水の交換をその場所の降雨、地形起伏、土地利用、地質等の違いによって決まるレスポンスとして解析し、雨水がしみ込みやすい場所、地下水が湧き出しやすい場所、その強さを捉えることが可能となった。また、水の動きのみならず、空気、油、重金属、有機性溶剤等の汚染物質を含めた流体（多相多成分系流体）のダイナミクスをシミュレーションすることが可能である。図1及び図2にコンピュータ上に作り上げるモデルの概念図を示す。これは自然の姿をできる限りありのままに模倣し、人間のイメージを超えた複雑系のまだ良くわからない状態を浮かび上がらせようとするものである。



◎図1 水循環の概念図

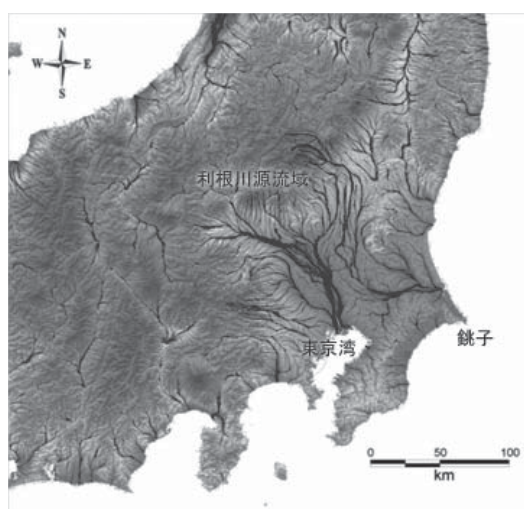


◎図2 水循環モデル図

水循環のシミュレーションとは、自然の場（地形、地質、土地利用、気象、人間活動）における降水・蒸発散、地表水、地下水など水の挙動を数値モデルとして表現し、その解析結果をコンピュータ上に物理的にコンピュータ上に再現・予測することである。ここでは、統合型水・物質循環シ

ミュレーションシステム（GETFLOWS）を用いて解析された日本列島全体の水・物質循環の一部として、図3に関東・中部エリアの地下水流動を示す。

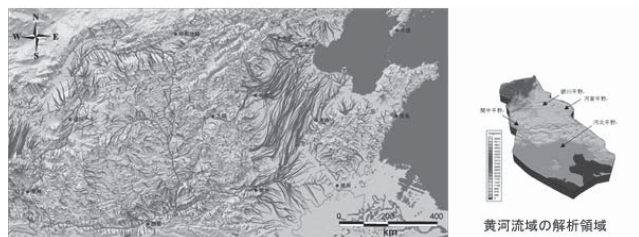
大地形に従う水流の形が現在の大きな水系と類似した形で自然に現れ、地表面には河川ネットワークが形成され、地下には比較的落ち着いた地下水位分布が地形と地質に従って形成さる。図3を見ると、現在の利根川の表流水は、江戸時代からの東遷事業により銚子から太平洋にそそいでいるが、しかしながら解析結果より地下水は利根川本来の流路にしたがい東京湾に向かっていているなど、水循環を理解するうえで興味深い点がみとれる。



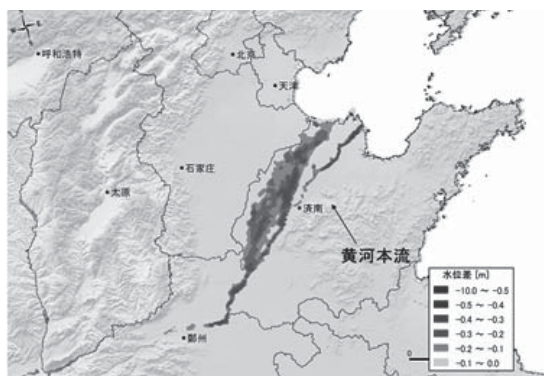
◎図3 関東・中部エリアの地表水・地下水流動の流線図

出典：地図環境テクノロジーホームページより

人・自然・地球共生プロジェクト（文部科学省）のサブテーマのひとつである「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発」では、産業総合技術研究所が中心となって黄河の水循環モデルを構築した。黄河は、青海省に源を発し渤海湾に注ぐ全長5,464km、流域面積75万km²の大河川である。本研究の目的は、地形の変化に富み、気候変化も大きい大河川の流域における地下水流動メカニズム（地下水収支・循環機構）を明らかにし、現況を再現した後、農業や産業発展に伴う流域開発による地下水流動系への影響を把握し、環境保全対策に資する領域情報統合モデルを構築するものである。研究成果の一例として、黄河流域の地表水・地下水の流動を図4に示した。図4より黄河は、河床から華北平原に地下水を涵養する構造が見て取れる。したがって黄河の上流からの河川流量が気象要因や取水など人為的な要因により減少してしまうと、河床からの地下浸透が河川流量を上回り、瀬切れを起こすことを示唆している（図5）。1990年代に顕在化した黄河の断流も中流域での灌漑水の取水が主な原因の一つであったと思われる。



◎図4 黄河流域の地下水流動



◎図5 黄河中流域での取水による華北平原の地下水低下予測の例

出典：産業技術総合研究所「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発」

3. もうひとつの地球をコンピュータ上に創造する

2011年のタイではチャオプラヤ川の洪水が3か月以上にわたり発生し、タイに進出している日本企業も甚大な被害をこうむった。(図6)

食糧生産の基本は水資源の確保である。アメリカの大穀倉地帯であるグレートプレーンズは、オガララ滞水層の地下水により支えられているのだが、灌漑用水の過剰揚水により急激に枯渇に向かっているという。

中国では工場からの污水対策が不十分で、河川水、地下水の汚染が進行中であると報告されている。水量はあっても、水質が悪化しては直接利用することができない。

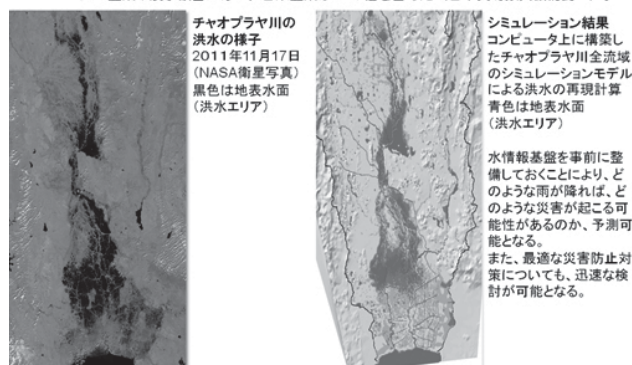
これらの水問題を複雑にしている要因の一つは、水循環のプロセスが非常に複雑であり、水の利害関係者が同じ情報に基づいて知識を共有し、限られている水資源の利用方法を見いだせていないからである。

超並列スーパーコンピューティング技術など革新的な技術が発達してきている今日、自然水循環システムのコンピュータモデリングは、日本全土のフィールド情報の蓄積とともに絶えずモデルを動かし、地表水と見えない地下水の流動を過去から現在まで再現し、将来を予測する基盤をコンピュータ上に構築できる段階にきている。

コンピュータ上に国土の水・物質循環を再現できれば、たとえば気候変動による海面上昇により、沖積平野部での塩水侵入を全国規模で把握し、農業灌漑用水の長期的計画立案などに資する。自然水循環システムのコンピュータモデリングの意義は、こうすればこうなるという図式の人間の単純なイメージを超えた自然本来の複雑系を描き出し、正しい実態解明へと導き、将来の人間活動や様々な変動因子に対してその姿の予測を与えてくれることにある。自然水循環システムをコンピュータ上に再現するには膨大なデータと計算時間を要するため、何より、問題が顕在化してから準備ではあまりにも遅すぎる。そのため、必要なデータを集めたり、モデルを構築する労力を低減させ、多数の試行錯誤やケーススタディを積み重ねることができ、抜本的なエフォート転換の仕組みが不可欠である。

2011年タイ洪水被害

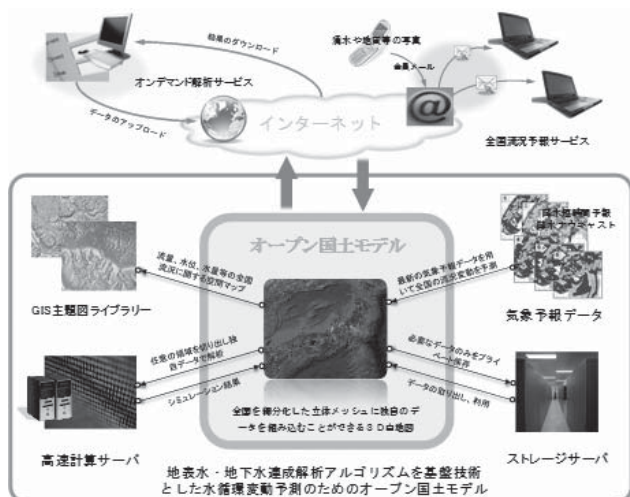
- 農地被害面積は約18,300km²、総被害額は150億m²と推定されている。
- 804企業が浸水被害にあり、日系企業は449社を占めた（日本貿易振興機構調べ）。



◎図6 タイ洪水再現解析例

水資源・環境・災害に関する問題に対処していくためには、地球規模の水循環という視野に立って国内外の課題を整理し、各国が必要とする情報を発信して行く必要性がある。国土の水・物質循環に関する科学的な知識を、中央政府、地方政府、民間、NGO、住民などあらゆるレベルで共有し、具体的な行動に役立てていくことが、これまで経験したことのない気候変動問題に立ち向かっていくためにも求められる。

そのためにも、情報配信技術と組み合わせ21世紀の水問題に迅速に対応するために、様々なセクターで発生するニーズに対応できる情報提供基盤の整備が求められる。現代の技術で、もう一つの地球をコンピュータ上に作り上げ、常に最新のデータを蓄積していくことによりモデルを成長させていくことが可能である。これはダムや堤防などのハードな社会インフラに対し、気候変動や人間活動の影響を予測し人類の安定的な発展を維持するというためのソフトな社会インフラとなっていく。(図7 図8)



◎図7 水情報基盤のイメージ

出典：地図環境テクノロジーホームページより



◎図8 全球シミュレーション構想

出典：地図環境テクノロジーホームページより

中国のエネルギー需給とその持続可能性

呂 正 ろ せい ●一般財団法人 日本エネルギー経済研究所、計量分析ユニット 需給分析・予測グループ 研究員



1979年生まれ、中国遼寧省出身。2003年東京大学工学部システム創成学科卒業。2008年 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻博士後期課程修了、環境学博士号を取得。

2008年日本エネルギー経済研究所入所。専門分野はエネルギー経済、計量経済モデル分析、エネルギー環境政策分析。各国のエネルギー政策の調査分析、アジア及び世界のエネルギー需給予測の作成、エネルギー・環境・経済問題に関するモデル分析、日中省エネルギー政策共同研究などに従事し、政府と国際機関などの多数の研究プロジェクトに参加。

高度成長に伴って、中国のエネルギー需要は増加し続けている。特に2002年以降、中国のエネルギー消費は急激に増加し、2002～2012年の平均増加率は年8%を超え、10年で約2.3倍に拡大した。現在、中国は世界最大のエネルギー消費国であり、IEA（International Energy Agency）統計によれば、2012年中国の一次エネルギー消費量は石油換算28.9億トンで、世界全体の約22%を占める。今後も中国では比較的に高い経済成長が見込まれ、運輸、民生を中心にエネルギー需要が引き続き拡大すると予測される。

中国のエネルギー消費の増加はさまざまな問題をもたらしている。急増する石油、天然ガスの需要を満たすために、輸入が増えつつ、エネルギーの安全保障が懸念されると同時に、国際市場の緊張を高めている。そして、石炭をはじめ、化石エネルギー消費の拡大により、昨今世界的に注目されているPM2.5問題など大気汚染が深刻化しており、地球温暖化問題においても、二酸化炭素の最大の排出国として、中国への国際圧力が高まっている。

ここでは、中国における石炭、石油、天然ガス、原子力、水力を含む再生可能エネルギーなどの主要エネルギーの需給現状を分析した上で、資源と環境などの視点からその持続可能性について検討してみる。

石炭

中国は、世界最大の石炭生産・消費国であり、世界全体の約半分を消費している。中国統計局によると、2013年の石炭生産量は37億トンで、輸入量は3.27億トン、輸出量は751万トンである。

石炭は中国の一次エネルギー消費の約7割を占めている。今後、石炭のシェアは縮小するが、基幹エネルギーであることに変わりはない。発電用を中心に石炭需要の増加が見込まれる。ただし、環境問題を緩和するために、中国政府は石炭の総消費量を抑制する方針を打ち出しており、今後、石炭需要は2000年代に見られるような急増の可能性は低く、2020年代にピークアウトする可能性も指摘されている。

2009年以降中国の石炭輸入量が急速に拡大し、世界最大の石炭輸入国となった。その背景には国際市場の石炭の価格低下により、輸入炭の価格競争力が高まったことがある。今後も石炭輸入の増加が予想されるが、需要の大半はやはり国内産で賄わなければならない。

WEC（World Energy Council）2013年の報告によると、中国の石炭確認可採埋蔵量は1145億トン、可採年数は31年である。しかし、WECが報告する中国の可採埋蔵量は1990年初めから同じ数値となっており、実際には石炭探査が進んでいる。2014年中国国土資源部が公表した報告では、確認可採埋蔵量が2.02兆トンである。資源の賦存量の観点から、中国の国内石炭資源は中長期的に十分にあると言える。

石炭を直接燃やすと汚染物質の発生が多いため、環境の制約から、石炭のクリーン利用が重要となる。また、石油、天然ガスとの価格差などから、中国では石炭の液化、ガス化のプロジェクトが相次ぎ新設、計画されているが、転換時に大量の水が必要であるため、水資源の確保と有効利用が不可欠で、廃棄物の適切な処理も重要な課題となる。

石油

中国は、米国に次ぐ世界第2位の石油消費大国であり、世界第4位の原油生産国でもある。BP統計によると、2013年中国の石油消費量は5.07億トン、生産量は2.08億トン、輸入量は3.78億トン、輸出量は0.32億トンである。

中国の石油消費の中心は運輸部門と化学産業である。現在、中国はすでに世界最大の自動車市場となっている。今後も、経済成長に伴い、自動車保有台数の急増が続くと思われる。中国政府は新エネルギー自動車の普及を推進し、燃費規制を先進国並みに厳格化する対策を打ち出しているが、今後も道路部門を中心とする運輸部門が石油需要の増加を牽引する。IEAなどの予測では、中国の年間石油消費量は2030年代に8億トンを超える勢いである。

一方、BP統計によれば、2013年末の時点で中国の石油

確認埋蔵量は25億トン、R/P率（可採年数）はわずか11.9年である。中国では、主要の陸上鉱区は成熟化しており、増進回収法（EOR）などで生産の急速な衰退を防ぐと同時に、海洋鉱区の探鉱が推進され、原油の総生産量は緩やかに拡大している。

石油需給ギャップの拡大を受けて、中国の石油輸入は近年著しく増加している。今後も石油輸入依存度の上昇は必至で、2030年代には70%を超えと思われる。中国石油企業がアフリカ、南米などの非中東産油国を中心に、積極的に石油・ガス資産に投資し、資源の権益取得、原油調達先の多様化を図っている。また、中央アジア、ロシアの東シベリアなどから国際パイプラインを通じて原油の輸入も行われている。さらに、2020年まで備蓄量5億バレル（輸入量約90日分相当）を目標に、石油備蓄基地の整備も推進されている。

天然ガス

中国の天然ガスの需要も大きく伸びている。BP統計によれば、2013年の消費量は1620億 m^3 で、うち国内生産量は1170億 m^3 、輸入量は520億 m^3 で、輸出量は28億 m^3 である。

石炭、石油より天然ガスは比較的クリーンであるため、大気汚染問題などを対処するために、中国では天然ガスの利用拡大が積極的に進められている。民生用のほかに、CNG車、LNG車の導入が進んでおり、沿海部などを中心に天然ガス火力発電も増加している。大方の予測では、中国の天然ガス消費量は2020年に3000億 m^3 を超える。また、IEAなどでは、2030年代、中国の天然ガス需要が5000億 m^3 に増加する見通しである。

中国の天然ガス資源は比較的豊富で、探鉱の進展により資源量の数値は年々更新されている。BP統計によれば、2013年末時点の中国の天然ガスの確認可採埋蔵量は3.3兆 m^3 で、2003年時点の1.3兆 m^3 の約2.5倍に増加した。非在来型天然ガスのうち、現在、タイトガスとCBM（コールベッドメタン）の調査開発が比較的に進んでいる。中国工程院などによると、タイトガスの可採資源量は9～13兆 m^3 で、2013年末の確認可採埋蔵量は1.8兆 m^3 である。2000mより浅い地層のCBM資源量は36.8兆 m^3 で、2012年末での確認可採埋蔵量は2700億 m^3 である。タイトガス、CBMの生産量も年々増加し、2013年はそれぞれ340億 m^3 、29億 m^3 に達している。中国のシェールガス資源も非常に豊富だとされており、米国EIA（Energy Information Administration）による推定では可採資源量は36兆 m^3 に達するが、探鉱開発はまだ初期段階にあり、2013年の生産量はまだ2億 m^3 に過ぎない。中国政府は非在来型天然ガスに関して、野心的な開発目標を打ち出しており、例えば、CBMの年間生産量を2015年に160億 m^3 、シェールガスの年間生産量を

2015年に65億 m^3 、2020年に600～1000億 m^3 へと引き上げようとしている。その実現可能性が疑われるものの、今後中国の国産天然ガスの大幅な増加は必至である。

しかし、急増する天然ガス需要に対応するために、国内産だけでは到底賄いきれないので、輸入の増加は避けられない。中央アジア、ミャンマーからのガスパイプラインはそれぞれ2009年、2013年に稼働を開始し、ロシアからのパイプライン輸入も予定されている。また、LNG輸入も2006年から始まり、沿海部に多数のLNG受入基地が相次ぎ建設、計画されている。

原子力

2013年末まで中国では17基、計1483万kWの原子力発電が商業運営されており、中国の発電設備容量の1.2%を占める。

中国は原子力の利用拡大に積極的で、2013年末時点で29基、計3057万kWが建設中にある。福島第一原発事故後、中国政府は原子力の安全対策を強化し、積極的に拡大する方針が堅持された。2012年に制定された「原子力発電中長期発展計画（2011～2020年）」では、2020年までに運営中の原発5800万kW、建設中4000万kWに拡大する目標である。

一方、核燃料の原料であるウランについて、中国の国内生産量は年間約1500tU、確認埋蔵量は166,100tUと推定されているものの、原発の急激な拡大に対応しきれず、海外からのウラン輸入が増え、現在のウラン需要の大半は輸入に依存している。

再生可能エネルギー

中国は水力、風力、太陽エネルギー資源などが豊富である。理論上の水力資源量は世界1位の6.9億kW、うち経済的開発可能な規模は4.2億kWである。地表から10メートルの高さにおける風力資源の総量は32.26億kWで、開発利用可能な陸上風力資源量は2.53億kW、近海における開発利用可能な風力資源は7.5億kWと推定される。また、中国の地表面に照射される年間の太陽エネルギーは石炭換算1.7兆トンに相当し、年間日照時間が2000時間、輻射量が5000MJ/ m^2 を超える地域の面積は国土の3分の2を超える。

中国では、再生可能エネルギーの開発が重視されており、2006年より再生可能エネルギー法も施行され、2013年末での再生可能エネルギー発電設備容量は合計3.8億kW（水力2.8億kW、風力7548万kW、太陽光1479kW）に達している。第12次五カ年計画における導入目標は、2015年の再生可能エネルギーの年間消費量を石炭換算4.78億

トン、エネルギー消費量に占める比率を9.5%以上としている。具体的には水力が2.6億kW、風力が1億kW、太陽エネルギー発電が2100万kWと計画されている。さらに、2020年までの目標では、水力3.5億kW、風力2億kW、太陽エネルギー発電5000万kW（1億kWに引き上げる可能性がある）としている。

まとめ

2012年中国の一次エネルギー供給における石炭、石油、天然ガスのシェアはそれぞれ68%、16%、4.2%で、原子力、水力、風力・太陽エネルギーの比率はそれぞれ0.9%、2.6%、0.7%である。これらの主要エネルギーは中国一次エネルギー供給の9割以上を貢献している。今後も中国のエネルギー需要が引き続き拡大する中、これらのエネルギーは供給の主力であることは変わらない。

持続可能性を考える場合、豊富な国内資源を背景に、石炭の供給力が十分ではあるが、環境の視点から石炭のクリーン利用が重要な課題となる。天然ガスの国内生産が増加し続けているものの、旺盛な需要に追いつかず、輸入の増加が避けられないが、現在では輸入ルートがある程度確保されているので、長期的に需給がバランスする可能性が高い。輸入依存度を下げるために、非在来型資源の開発が重要であるが、開発生産において環境への配慮が不可欠である。また、原油の大幅な増産が見込めない中、拡大する石油需要を満たすために、輸入に頼らざるを得ないが、安全保障の観点から輸入先の多様化などが重要となる。

地域環境問題、地球温暖化問題の視点から、持続可能性を高めるために、化石燃料の比率を下げる必要がある。原子力発電が急速に増加している中、安全性の確保が至上の課題である。今後の水力開発は南西部の高原地帯が中心で、地域の生態環境、住民の移住、さらに下流の国々への影響などに対して、より一層の配慮が求められる。そして、風力、太陽エネルギーに関して、持続可能な利用を実現するために、電力系統の強化、経済性に見合った合理的な導入が重要である。

持続可能なエネルギー需給を実現するために、最適なエネルギーミックスを構築する以外に、需要と供給の両方における省エネルギーの推進にも非常に大きな役割が期待される。中国政府はすでにさまざまな省エネ対策を打ち出しているが、今後、経済発展の質の向上、産業構造の調整が鍵となる。

中国の農地―その量、質、制度

白石 和良 ●元農林水産省農業総合研究所海外部長



1942年生れ
1966年 東京大学法学部政治学科卒、法律職で農林省入省
1978年～1981年 在中国日本大使館一等書記官
1987年 研究職に転職、農業総合研究所で中国の農村問題、食料問題等を研究
2003年 定年退職 以降フリーで中国研究を継続

はじめに

「人多地少」(人口は多いが土地は少ない)は、中国の基本的国情と言われているが、この基本的国情が諸々の問題を惹起させているといっても過言ではない。海外での食料を含めた資源の買い占めや囲い込みもそうだし、国内での農地の強制収用が起因となっている農民騒擾事件の頻発もそうである。これらの問題を理解するためには、中国の農地をめぐる問題に対する全体的な理解が必要と思われる。以下、中国の農地について、その量、質、制度の問題を紹介する。なお、ここで使用する「農地」は中国語の「耕地」に相当するものである。

1. 農地の量

1.1 農地の量の統計的把握

農地の量を把握するためには、しっかりした統計書に当たることが必要であり、また、近道でもある。中国では、統計を全体的に所管しているのは国家統計局であり、この国家統計局が毎年編集して発行される『中国統計年鑑』が中国では最高権威の統計書とされている。そこで先ず『中国統計年鑑』に当たることになる。

しかし、それによって得られるデータは惨憺たるものでしかない。2000年以降の各年の農地面積を『中国統計年鑑』から拾い出して、表1の「データ1」としてまとめてあるが、2000～2007年までは同一数値であり、2008～2012年までの間もまた同一数値であり、全く使い物にならない。中国の最高権威の統計書がこの体たらくであるが、これで放り出すわけにはいかない。そこで、何とか見つけ出してまとめたのが表1の「データ2」の数値である。この「データ2」は2つの資料の継ぎ足しである。2000～2008年までは農業部の編集になる『中国農業発展報告』に掲載された数値であり、2009～2012年の数値は国土資源部の編集になる『国土資源公報2013』に掲載された数値である。

なぜ、このような継ぎ足しが必要になったか。それは『中国農業発展報告』が2008年値を最後に農地面積統計の掲載を止めてしまったからである。止めた理由は、2009年12月31日を基準点とする「第二次全国土地調査」(実施主

◎表1 中国の農地面積と灌漑面積(単位: 万ha)

年次	農地面積		有効灌漑面積 (b)	有効灌漑面積率 b/a
	データ1	データ2(a)		
2000年	13,004.0	12,824.3	5,382.0	42.0%
2001年	13,004.0	12,761.6	5,424.9	42.5%
2002年	13,004.0	12,593.0	5,435.5	43.2%
2003年	13,004.0	12,339.2	5,401.4	43.8%
2004年	13,004.0	12,244.4	5,447.8	44.5%
2005年	13,004.0	12,206.7	5,502.9	45.1%
2006年	13,004.0	12,177.6	5,575.0	45.8%
2007年	13,004.0	12,173.5	5,651.8	46.4%
2008年	12,172.0	12,171.6	5,847.2	48.0%
2009年	12,172.0	13,538.5	5,926.1	43.8%
2010年	12,172.0	13,526.8	6,034.8	44.6%
2011年	12,172.0	13,523.9	6,168.2	45.6%
2012年	12,172.0	13,515.9	6,303.6	46.6%

注1 「データ1」は『中国統計年鑑』掲載の数値である。注2 「データ2」は『中国農業発展報告2010』と『国土資源公報2013』掲載のである。出所: 「データ1」は『中国統計年鑑』各年版。「データ2」の00～08年は『中国農業発展報告2010』、09～12年は『国土資源公報2013』。灌漑面積は『中国統計年鑑2013』。

体は、国土資源部、国家統計局、国務院第二次全国土地調査領導小組弁公室)が実施されたものの、その結果の公表が遅れ、『中国農業発展報告』を編集する農業部は農地行政を所管する国土資源部から農地統計のデータを貰えなくなったためである。第二次全国土地調査の結果は、2013年12月30日に「第2次全国土地調査主要データの成果に関する公報」(以下、「第二次全国土地調査公報」)として公表されたが、これによって、2009年の農地面積がフィックスされ、それに基づいて、国土資源部が2010～2012年までの農地統計を2014年4月に『国土資源公報2013』で公表したため、「データ2」の数値を繋げることができた次第である。

1.2 第二次全国土地調査の結果

中国では、全国土地調査がこれまで2度実施されている。第一次全国土地調査は1996年10月31日を基準点として実施され(結果発表公報の日付は1999年11月1日)、第二次全国土地調査は2009年12月31日を基準点として実

施されている（結果発表公報の日付は2013年12月30日）。これら2回の全国土地調査には共通した特徴がある。それは、両者とも調査実施直前の数値を大幅に上回るという予想外の結果だったことである。経済発展が進めば農地の壊廃がもたらされ、農地面積が減少傾向を辿るのが一般的であるが、真逆の方向である「大幅増」という結果は誰もが予想しなかったことである。

両者の調査実施直前の数値と調査結果の乖離をまとめたのが表2である。第一次調査では、調査結果は直前値より3509.3万ha、37%の増、第二次調査では、調査結果は直前値より1366.9万ha、11.2%の増であった。

◎表2 第一次、第二次土地調査結果と直前値（面積：万ha）

第一次調査	直前数字(a)	調査結果(b)	増減量(b-a)	増減率(b/a)
調査時点	1995/12/31	1996/10/31	—	—
農地面積	9,497.4	13,006.7	3,509.3	137.0%
第二次調査	直前数字(c)	調査結果(d)	増減量(d-c)	増減率(d/c)
調査時点	2008/12/31	2009/12/31	—	—
農地面積	12,171.6	13,538.5	1,366.9	111.2%

出所：「第二次全国土地調査公報」等。

なぜ、このような結果となったのか。第一次調査の結果については、①農地の悉皆調査が長期間行なわれなかったため、新規開墾面積の把握が十分でなかったこと、②日本で言う「隠し田」が把握されたこと、③同じく日本で言う「縄伸び」が大きかったこと等がその理由として挙げられていた。「縄伸び」について敷衍すると、中国の面積の旧来の単位は「畝」であるが、ややこしいことは、この「畝」に「大畝」と「小畝」があったことである。日本流に言えば、「京間」の1畳と「江戸間」の1畳の広さが違うようなものである。実際の広さは、「大畝」は10畝＝1ha、「小畝」は15畝＝1haであるが、ヘクタール換算するとき、「大畝」、「小畝」にかかわらず、全ての「畝」表示の面積を15畝＝1haで換算してしまったということである。

他方、今回の第二次調査の結果公表の際の説明では、その原因として、①リモートセンシングの活用等の調査精度の向上、②2004年から農業税の廃止、食糧作付奨励金の交付が開始し、農地所有を隠しておくよりも公開した方が農民にとっては利益になるようになったこと、③農家の開墾が進んだことが挙げられているが、この中で一番大きな原因は②であると筆者は考えている。

1.3 第二次全国土地調査の結果公表が遅れた理由

今回の全国土地調査は2007年7月1日から開始し、調査基準日を2009年12月31日として実施されたが、集計に1年間掛けたとしても2010年末には調査は終了しているはずである。何故3年間も隠蔽しておいたのか。隠蔽の最大の理由は、農地面積が1366.9万haも多くなったことが流

布されると、農地の多用途転用への圧力が強大化し、収拾が付かなくなる恐れがあったことだと思われる。中国政府は農地の最低限の死守ライン（中国語では「紅線」と称する）を1.2億ha（18億畝）としているので、「まだまだ相当余裕があるではないか！」と思われ、農地の転用圧力が増して農地の壊廃が進み、ひいては食糧の安全保障にも影響することが懸念されるからである。しかしながら、昨年12月3日に中国共産党の中央政治局会議でその公表が決定され、12月30日に急遽記者説明会を開催して突然の公表となった。この説明会では、1366.9万haの増とはなったが、生態環境改善のための壊廃予定面積も含まれている等、見掛けほどの余裕は無いのが実態であることが縷々説明された。なお、現時点で振り返ってみると、第一次全国土地調査の結果の公表についても、「隠蔽」期間が存在するようであるが、当時の情報の公開度、迅速度の実態から、この「隠蔽」期間についてはあまり議論がされなかったようである。

1.4 農地の一人当たり保有量

農地全体の数値は増大したものの、一人当たりの農地の保有面積は1996年の第一次全国土地調査時の0.106haから第二次調査では0.101haに減少している。これは世界平均の半分にも足りない水準である。なお、人口は1996年の12億2389万人から2009年の13億3450万人に増えている。増加人口は1億1061万人である。一人当たり面積が縮小するのは当然の結果である。

2. 農地の質

農地は量が十分であっても、質が落ちれば、実際には十分では無くなるが、逆に量が足りなくても質が良ければ不足量をカバーできる。そのため、農地の質がどの程度であるかを把握しておくことは重要な作業となる。以下では、灌漑農地率、農地の傾斜度、土壌汚染について紹介する。

2.1 灌漑農地率

農地の灌漑行政の所管が水利部であるためか、農地の灌漑についての統計はかなり整備されている。表1の「有効灌漑面積」欄の数値は『中国統計年鑑』に掲載されているものである。同書の説明によれば、「有効灌漑面積とは、一定の水源地を有し、比較的平坦な土地であって、灌漑施設等が整備済みで、通常年には正常に灌漑ができる農地面積」である。この有効灌漑面積は逐年増大しており、灌漑施設の建設に相当な努力が払われていることが看取できる。

表1の「有効灌漑面積率」は有効灌漑面積を農地面積の「データ2」で除したものである。2008年までは有効灌漑面積率は逐年増大したが、2009年は分母が突然大きくなったため、前年より4.2ポイントも急減している。直近の数字はどうなっているか。この8月27日に開催された「全国

農村水利工作会議」で、李国英水利部副部長は「現在の有効灌漑農地面積は6246.7万ha(9.37億畝)で、全国の農地面積の51.5%を占めるに過ぎない」と述べている。この李副部長の発言には2つ問題点がある。第1は有効灌漑面積が減っていることである。第2は全国の農地面積を逆算すると1億2129.45万haになることである。この発言は、水利部と国土資源部の意思疎通の不足をモロに示しているものである。縦割り行政の弊害、役人の縄張り根性は、どこにもあるようである。全国の灌漑面積の状況は以上であるが、次に地域別の状況を紹介する。表3は、全国を①東部(北京、天津、河北、上海、江蘇、浙江、福建、山東、広東、海南の10の省市区)、②中部(山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南の6省)、③西部(内蒙古、広西、重慶、四川、貴州、雲南、チベット、陝西、甘肅、青海、寧夏、新疆の12の省市区)、④東北(遼寧、吉林、黒龍江の3省)の4つの地域の農地面積と灌漑施設のある農地の面積、その農地面積に占める割合をまとめたものである。

◎表3 地区別農地面積と灌漑施設のある農地面積(万ha)

項目	農地面積計(a)	全国シェア	灌漑施設有(b)	b/a
全国	13,538.5	100.0%	6,107.6	45.1%
東部地区	2,629.7	19.4%	1,812.5	68.9%
中部地区	3,071.4	22.7%	1,867.0	60.8%
西部地区	5,043.5	37.3%	2,004.3	39.7%
東北地区	2,793.9	20.6%	423.8	15.2%

出所：「第二次全国土地調査公報」等。

灌漑施設の整備率(表3の「b/a」)は東部→中部→西部→東北の順に低くなっている。他方、最近の各地区の一人当たりGDPは東部→東北→中部→西部の順であり、農民の一人当たり年間純収入額も東部→東北→中部→西部の順である。つまり、経済発展に伴って灌漑施設の建設が進むとの説からすれば、東北地区の未整備が問題とされるが、他の事情があるのかもしれない。なお、表3の「灌漑施設有」の全国数値と表1の有効灌漑面積の2009年の数値が異なっているが、出所の差によるものである。

2.2 傾斜度

表4は、第二次全国土地調査公報に掲げられた数値を整理したものである。傾斜度の区分の理由も明らかにされていないが、貴重なデータなので、そのまま紹介した。

◎表4 傾斜度別農地(万ha)

傾斜度	農地面積	シェア
2度以下	7,735.60	57.10%
2度～6度	2,161.20	16.00%
6度～15度	2,026.50	15.00%
15度～25度	1,065.60	7.90%
25度超え	549.6	4.10%
合計	13,538.50	100.00%

出所：「第二次全国土地調査公報」等。

耕作が容易ではない傾斜度25°以上の農地は、その79.9%までが西部地区に集中しており、これに次ぐのが中部地区の13.8%である。東部地区、東北地区は微々たるものに過ぎない。急傾斜農地の改良方法で、良く知られている方法が「梯田」(棚田や段々畑)の造成である。傾斜度が何度を超えたら梯田にするかは地域の実情によると思われるが、「農業は大寨に学ぶ運動」の中で、必要の無い地域にも梯田(当時は「大寨田」と呼ばれた)を造成させて、農民の怨みを買ひ、これが「農業は大寨に学ぶ運動」そのものをひっくり返す原因の一つになったことは歴史の教訓として語られている。なお、生存のために発生、発展した「梯田」が最近では重要な観光資源、文化資源になっているのは中国でも同様である。

2.3 土壤汚染

使用できない、あるいは使用することが好ましくない農地について、第二次全国土地調査公報では、「相当数の農地が中、重度の汚染を受けており、それらの多くは耕作に適さなくなっている。さらに鉱山の掘削による表土層の陥没、地下水の過剰汲み上げによって正常な耕作ができなくなっている農地も一定程度ある」と述べている。昨年中国では湖南省産の米のカドミウム汚染が大きな問題となったので、ここでは土壤汚染の問題について紹介する。今年4月17日、環境保護部と国土資源部が共同で「全国土壤汚染状況調査公報」を公表しているが、それによると、土壤全体の全国の汚染率は、16.1%で、うち重度汚染土壤率は1.1%であった。地域的には、北方地域より南方地域の方が汚染は深刻となっており、特に長江デルタ地帯、珠江デルタ地帯、東北の旧来からの工業基地の汚染が突出しているとされている。このような土壤全体の汚染の進展の中で、農地の汚染も深刻化しており、汚染農地率は19.4%であり、土壤全体の汚染率よりも一段と厳しくなっている。汚染農地の重度による区分は表5のようである。また、主要な汚染物質として、カドミウム、ニッケル、銅、砒素、水銀、鉛、DDT、多環芳香族炭化水素が挙げられている。

◎表5 農地の土壤汚染の状況

汚染農地①	19.4%
うち軽微汚染	13.7%
軽度汚染	2.8%
中度汚染	1.8%
重度汚染	1.1%
無汚染農地②	80.6%
合計(①+②)	100.0%

出所：「全国土壤汚染状況調査公報」

このような汚染農地を改良するために、今年の4月から「重金属汚染農地修復総合治理事業」が財政部と農業部によって開始されていること、予算は中央財政から11.56億元が支出され、最初の事業は湖南省であることが報道さ

れている。農地汚染対策事業の実施は慶賀すべきことであるが、不思議に思うのは、この事業の所管が国土資源部ではないことである。

3. 農地の制度

量、質については問題が少なくても、そのような農地を利用する制度に問題があれば、折角の好条件も生かせなくなる。人民公社制度で抑圧されていた農民の生産意欲を解き放って短期間で飛躍的な生産増をもたらしたのは農業生産責任制の導入であった。以下では、所有制度、利用制度、農地の転用について紹介する。

3.1 所有制度

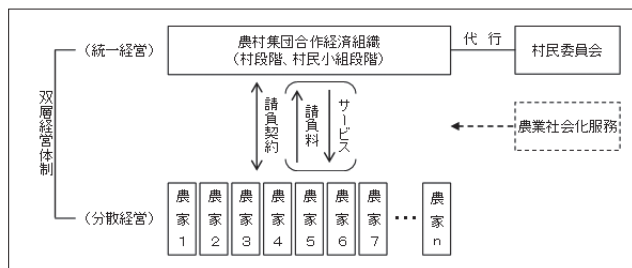
農地の所有制度は、①国有制、②集団所有制の2種類のみである。蛇足ながら、私有制の農地は皆無である。

① 国有制の農地は、国営農場が所有するものであり、2012年末で全国の1786の国営農場の農地面積は612.37万haとなっている（『中国統計年鑑2013』）。

② 集団所有制の農地は、農民が構成員である「農村集団合作経済組織」と称される組織の所有である。この「農村集団合作経済組織」は、人民公社制度の生産大隊、生産隊の経済部門の末裔と理解されておかれるのが良いと思われる。1949年の新中国建国後の農地制度は、農家の私有制→初級合作社所有制→高級合作社所有制→（人民公社化）→生産隊（一部は生産大隊）所有制→（人民公社制度廃止）→農村集団合作経済組織所有制という経過である。農地は国有と思い込んでいる方がまだおられるが、このような認識では現在の中国の農業、農村問題の正しい理解は不可能である。因みに中国の現行憲法はその第10条第2項で「農村及び都市郊区の土地は、法律の規定によって国家の所有に属するものを除いて、集団の所有に属する。農家の宅地、自留地、自留山も集団の所有に属する」と規定している。

3.2 利用制度

前述のように、農地は「農村集団合作経済組織」が所有しているが、その構成員である農民はこの集団所有制の農地の利用収益権を持っており、「農村集団合作経済組織」と間で請負契約を締結することによって、その権利を実体化することができる。このような農地の利用制度を中国憲法はその第8条第1項で「農村集団経済組織は農家請負経営を基礎とし、統一経営と分散経営が結合した双層経営体制を実施する」と規定している。ここで憲法が言う「農村集団経済組織」は上述の「農村集団合作経済組織」のことである。中国憲法が言うこの「双層経営体制」という概念を理解するのがなかなか難しい人が多いようであり、中国の研究者でも間違えている人が散見される。参考までに「双層経営体制」の概念図を掲げておく。



◎図1 双層経営体制の概念図

出所：白石作成

さて、「農村集団合作経済組織」の構成員である農民はこの集団所有制の農地の利用収益権を持っており、「農村集団合作経済組織」と間で請負契約を締結することで、その権利を実体化することができると前述したが、それを法制化したのが「農村土地請負法」である。同法の要点は、①農村集団合作経済組織の構成員はその属する集団の農地を請負する権利を有すること、②集団と農民との間で請負契約が成立すると、農民は「農地請負経営権」（中国では「土地承包経営権」）を取得すること、③農地請負経営権は自ら行使しても良いし、他人に譲渡、貸与することができること等である。

この「農村土地請負法」は、農民の耕作権を保護するのが目的であるが、他方で農業経営の規模の拡大の阻害要因にもなっている。この両者の兼ね合いが難しく、一方に偏っては問題を惹起させ、そして修正するというパターンを繰り返している。特に最近では、企業がこの権利移動制度を悪用して農地を非農業用途に供しているのが問題となっている。

農地請負経営権の所有農家数、対象面積、他者への譲渡、貸与等の移動の実績は表6のようである。権利の移動が21.2%にまで進展しているのは意外であった。

◎表6 農地の請負契約と請負耕作権の移動

	2009年	2010年	2011年	2012年
農家の請負耕作面積総計 (万ha) A	8,421.2	8,494.1	8,515.7	8,736.3
うち請負耕作権の移動面積 (万ha) B	1,010.3	1,244.5	1,519.5	1,855.6
移動率 (B/A)	12.0%	14.7%	17.8%	21.2%
請負耕作契約農家総数 C (万戸)	22,925.0	22,851.0	22,884.0	22,976.0
1農家当たり請負契約面積 (A/C) (ha)	0.367	0.372	0.372	0.380

出所：『中国農業発展報告』各年版。

3.3 農地の転用

農地の転用は前述のように厳しく規制されているが、経済の発展や人口の増大に伴って転用が必要となってくるのも事実である。農地の転用で特に問題とされるのは、収

用される農地に対する補償が低過ぎることである。農地の転用では、「農地所有者→転用農地使用者」という権利移動方式ではなく、「農地所有者→国有土地への転換→転用農地使用者」という方式を取っているため、多くの問題、特に転用農地使用者の支払額と農地所有者の受取額との間に大きな差があり、この差額が中間で不正着服されるという問題が生じている。中国の農村では、農村の支配層（共産党支部や村民委員会の役員）が農民の利益を守るよりも損なわせる場合が多く、農地の転用でも農村の支配層に対する疑惑が大きいので、ちょっとしたことで村をあげての騒擾に発展する事例が多いのである。都市住民のマイホームの夢の実現や都市区域の拡大のためにも農地の転用需要は増大の一途である。なんやかんやと屁理屈を並べながら集団所有制の農地を農民から取り上げるための方策が仕掛けられているのが実情である。ただ利害関係が錯綜しているためか、完全な実行までには至っていないようである。「土地管理法」の改正作業が何年も継続しているのが一つの証左である。

おわりに

中国語に「盧溝橋の獅子」という歇后語（掛け詞の類）がある。その心は「数不清」（はっきりと数えきれない、数をはっきりさせられない）である。この歇后語ができたのは、盧溝橋の欄干に石刻の獅子があるが、500そこそこの獅子を何度数えても同じ数にならないとされているからである。中国の農地面積統計を見ていると、この歇后語を思い出す。何度数えても一致しないのは、数えるたびに獅子に見えたり、獅子に見えなかったりするものがあるためというが、農地調査でもこのような事情があるのであろう。だいたい前であるが、日本留学経験者の中国人研究者に「日本にも畦のある畑はありますか？」と聞かれたことがある。この例で言えば、畦が付いている土地は確実に畑であるが、畦の付いてない土地を畑と見るか、見ないかは難しい判断となる。また、降雨量の多寡によって農地になったり、ならなかったりする土地はどのように判断するのか。このような解釈如何によるカウント結果の差を今後如何に縮小させるかが、中国の農地調査部門に求められるところであろう。このように考えるのは、第二次調査の各省別結果はほとんどが公報の形で公表されているが、こうした問題のありそうな内蒙古、新疆、黒龍江といった農地保有の大所の省の公報は入手できなかったためである。これらの未公表の省の調査結果の公表が待たれるところである。

なお、「畦のある畑」とは、中国農史上では「区田法」といわれるものである。

中国の都市における環境資源としての気候

一ノ瀬 俊明 いちのせ としあき ●独立行政法人国立環境研究所 上席研究員



1963年長野県生。
東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻修了。工学博士。
東京大学助手 などを経て2008年より現職。
1998年度にフライブルク大学客員研究員として在独。
2008年より名古屋大学大学院環境学研究科教授（連携大学院）。
平成8年度土木学会論文奨励賞受賞。平成26年度環境科学会論文賞受賞。
主な著書に、「Counteracting Urban Heat Islands in Japan」, 365-380; Droege Eds.: Urban Energy Transition —From Fossil Fuels to Renewable Power—, Elsevier (2008)、「中国の都市をめぐる人と自然の和諧」, 230-249; 榎根勇編:「中国の環境問題」, 日本評論社 (2008) などがある。
2001年より中国上海・華東師範大学 GIS重点実験室顧問教授。

1. 気候を活かしたまちづくりの可能性

昨今、我が国をはじめ世界の様々な都市で、涼しく快適な都市環境の実現、開発に伴う夏季の暑熱緩和に向けたまちづくりを進めるべく、開発の計画段階で都市気候や都市熱環境の知見を取り入れる取り組みがすすめられている。我が国ではこれまで、日本建築学会が中心となり、日本国内の複数の都市を対象としたクリマアトラスワークショップと称する市民参加型の会議を開催してきた（田中ら、2007）。そこではそれぞれの地域に即した都市環境気候図を作成し、それを活用した都市計画についての検討が行われている。また、国土交通省や環境省の主導により、各種対策技術の提案・評価も行われてきている。

シュツットガルトなど、ドイツのいくつかの内陸中小都市においては、市街地における開発行為に際し、ローカルな気候や大気環境への悪影響を回避するために計画段階で都市気候・都市熱環境の知見を反映させるべく、専門家と政策担当者、市民が合意形成に向けた議論を行う際の基礎資料として各種の環境主題図（1：5,000～1：200,000）の作成が行われ、それがよりよい都市環境の実現のために活用されている（一ノ瀬、1999）。この主題図群をクリマアトラスと称する。このワークショップにおいては、研究者と政策担当者、デザイナー、市民といった各主体がクリマアトラスにもとづいてラウンドテーブルで議論しながら、例えば緑地の拡充や卓越風向に配慮した街路の設計など、具体的な市街地の整備プランを提案したりして、都市開発の方向性をマップの形にまとめる作業が行われる。

しかしながら我が国では、依然として経済的なメリットを最大化するための開発が主流であり、実地においてクリマアトラスにもとづき、快適な都市環境の実現への効果が検証された機会に極めて乏しく、その実現に向けた合意形成のための説得材料が希求されている。一方、中国のように行政トップの判断が民意に優先するような国家では、合意形成のための手続きは我が国のそれに比べ格段に簡素なものであり、行政トップが「気候変動影響緩和策」を盛り込んだ市街地の整備プランに対して理解を示した場

合、関連研究の成果を反映した都市開発が実現する可能性が高いものと考えられる。

これら望ましい計画・設計の普及・推進を図るためには、これをサポートするガイドラインの制定や各プランにおける環境性能の評価システムの整備が必要となる。中国には、気候区分に配慮した住宅地における建築設計ガイドライン「城市居住区熱環境設計標準」が存在する（The ministry of housing and urban-rural development of the PRC, 2011; Meng et al., 2012）。この内容は日本の国土交通省（2004）のガイドラインに類似しており、単体の建築について、周辺の風通しや日影、周辺地表面における透水性と蒸発性能、緑地の状況について、デザインの基準を具体的な数値や計算式で示しており、単体建築の設計者にとってはわかりやすいものと考えられる（吉田ら、2013）。しかしこのようなアプローチでは、都市内街区構造や立地、地方性に起因する現象の多様性を議論することはできない。河川・池沼や緑地などの都市内に展開する自然的要素（環境資源）との位置関係、注目する季節・時間帯や効果（省エネ、暑熱緩和）を考慮しなければ、クリアアトラスの趣旨を活かした都市設計には至らない。今後は、環境省ヒートアイランド対策ガイドライン（2009）のような、街区スケールから都市スケールまでを包括するようなガイドラインの作成が望まれる。近年では、香港中文大学が日本やドイツとの共同研究を通じ、めざましい成果（任・呉、2012）を挙げているほか、広州市城市規劃勘测設計研究院などの地方設計機関においても、これらの成果を活用した設計事例がみられる。

2. 武漢での試み

著者らは、夏季に暑熱の著しい湖北省武漢市（図1）を対象として、都市熱環境に配慮した都市開発の実現に向け、屋外温熱環境の現地観測等から得られた気温分布や気流等のデータをもとに、ヒートアイランド緩和策を盛り込んだ市街地整備プランを立案し、実用化に向けて政策担当者の意向を反映する研究を進めてきた。屋外での現地観測や市街地整備プランの提案等は、华中科技大学建築・都市

計画学院との共同で実施している（平野ら，2011；一之瀬，2011）。



◎図1 武漢における屋外温熱環境の現地観測地区

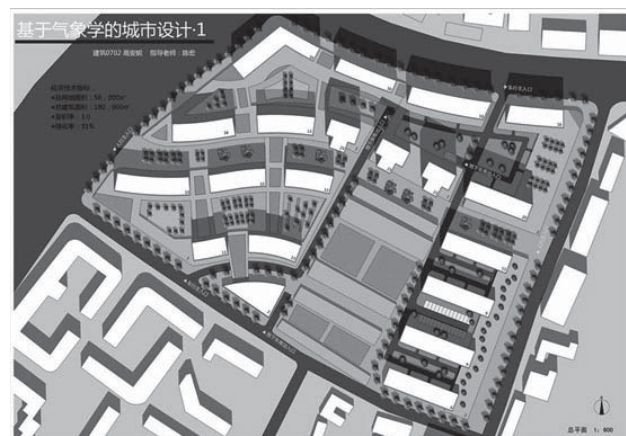
今後再開発が想定される長江兩岸の武昌と漢口の2地区を選定し、2010年の夏季に気温・湿度、風速・風向、黒球温度、地表面温度等の現地観測を行った結果、河道沿いと周辺の気温分布や気流等について以下の知見が得られた（図2）。（1）河道上の空気は周辺の市街地よりあきらかに低温で、風速も強い。河道上の空気は、直交する街路へ200～300mほど進入する。（2）河道に直交する街路上の地点（地点2）と街区内部に位置する地点（地点3）の気温変化を比較すると、風速の強い地点2では気温の変動が大きく、風速の弱まる地点3では気温の変動が小さい。（3）河道に直交する街路周辺の気温と風向の観測結果によると、河道から冷涼な空気が吹き出されるケースと、市街地からの暖まった空気が河道側に引き込まれるケースの、2種類の空気の流れが存在する可能性が高く、本結果は都市計画やまちづくり等にかかわるプラン作成にも応用できる。



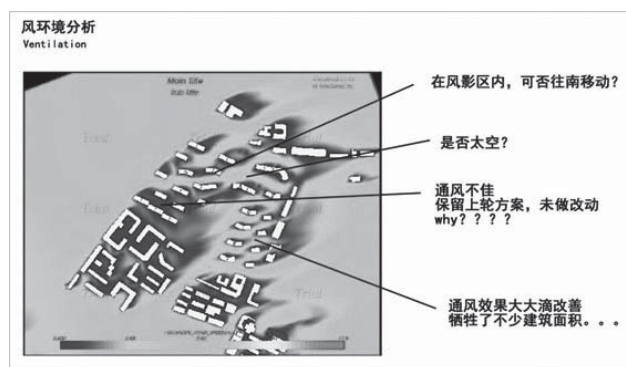
◎図2 武昌地区における気流の観測事例

以上を踏まえ、夏季の卓越風と直交するように建物を配置し、冷涼な空気を街区に取り入れつつ、武昌の古い街並みを活かしたデザインを提示した（図3；図4）。商業地域では、歩行者スケールで外部空間の設計を考え、歴史的価値の高い建物と融合させた。また住宅地域では緑地空間を

設け、換気や日照を確保した。



◎図3 武昌地区における設計案の事例



◎図4 武昌地区における地上風系数値計算の事例（陳宏によるワークショップ資料から）

平成23年3月5日に华中科技大学建築・都市計画学院において、研究者、政策関係者・設計者、学生、地元住民等160名の参加で開催されたワークショップにおいては、「夏季・冬季の両季節の快適性を得るため、都市の東西方向の建物密度を低くし、南北方面の密度を高くすべき。」「対象地区の南側を低層群、北側を高層群としているプランは、日照や換気の面を十分考慮しているが、周辺には悪影響の生じるエリアもあり、周辺環境もあわせた建物配置を考えていく必要がある。」などの意見が出された。

3. 今後の課題

都市熱環境に配慮した市街地の整備プランを実行した際も、生活上の快適性や利便性はおおむね確保できる。しかしながら街区内部に風を取り込む建物配置を優先的に検討する必要があるため、建物の設置・向きや形状・デザイン等に制限がかかりやすい。画一的な空間とならないよう、敷地内における緑や花等による色彩豊かな空間の確保等により、変化に富み個性的な空間形成を進めていく必要がある。また、事業主体によって開発設計にあたり重点と考える項目が異なるため、熱環境改善事業の実用化に向け

ては、関係者同士の共同作業が重要なプロセスであることが裏づけられたほか、プラン化に活用する風環境や熱環境のシミュレーション結果を一層精緻化し、快適な都市の実現に資する条件を、可能な限り一般化していくことが必要であることが明らかとなった。

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金B（海外調査）「中国におけるクリマアトラスを通じた都市熱環境配慮型都市開発の実現」（研究課題番号：20404012：研究代表者：一ノ瀬俊明）の成果の一部である。陳宏教授ほか、華中科技大学建築・都市計画学院のメンバーの多大なるご協力に感謝します。

主要参考文献

1. 田中貴宏・山下卓洋・森山正和（2007）：「都市環境気候図」を利用した多主体参加型まちづくりワークショップに関する研究：神戸市長田区駒ヶ林地におけるワークショップの実践、日本建築学会環境系論文集、611、91-98.
2. 任超・呉恩融編著（2012）：「城市环境气候图—可持续城市规划辅助信息系统工具」、中国建筑工业出版社.
3. 一ノ瀬俊明（1999）：ドイツのKlimaanalyse ～都市計画のための気候解析～、天気、46、709-715.
4. The ministry of housing and urban-rural development of the PRC（2011）：Design standard for thermal environment of urban residential area.
5. Meng, Q., L. Zhang, L. Zhao, J. Tao, Q. Li, and Y. Zhang（2012）：Introduction of design standard for thermal environment of urban residential areas, Proc. of ICUC8.
6. 国土交通省（2004）：「ヒートアイランド現象緩和のための建築設計ガイドライン」
7. 環境省（2009）：「ヒートアイランド対策ガイドライン」
8. 一ノ瀬俊明（2011）：中国城市は“環境政策実験性基地”、城市空間設計、17、5、21-23（中国語）
9. 平野加保里・一ノ瀬俊明・陳宏・秋山寛（2011）：中国におけるクリマアトラスを通じた都市熱環境配慮型都市開発の実現、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、39、297-302.
10. 吉田伸治・佐藤大樹・竹林英樹・田中貴宏・持田灯・大岡龍三・義江龍一郎（2013）：東アジア諸都市のヒートアイランド対策ガイドライン提案に関する研究、日本建築学会北陸支部研究報告集、56、127-130.

先端計測および生産技術分野

ロボット技術の進展

徐 揚生／閻 鏡予 ●香港中文大学、中国科学院深セン先進技術研究院

はじめに

ロボット技術は、自動化技術とコンピュータ技術を主体とし、各種の近代情報技術を有機的に融合した総合技術である。半世紀余りの発展において、ロボット技術はまず、工業生産分野で広範に応用され、生産クオリティを大幅に引き上げ、労働力の解放に成功した。その後、ロボット技術は国防・航空・宇宙・航海などの関連分野に拡張され、高精鋭の軍用ロボットや特殊ロボットを生み出した。近年、ロボット技術の不断の発展に伴い、ロボットの人工知能化はさらに進み、家庭用ロボットが一般家庭の生活にも登場しつつある。

1. 中国国内のロボット技術の進展

中国のロボット分野はスタートが遅く、その発展は多くの曲折を経てきた。だが政府・研究機構・産業界の三方の絶え間ない努力によって、中国のロボット技術は近年、巨大な進歩を遂げている。

1.1 工業ロボットの進展

工業ロボットは、一国の製造水準と科学技術水準をはかる重要な指標である。中国はすでに、アーク溶接やスポット溶接、塗装、運搬、組み立て、特殊ロボット（水中、壁面走行、管内走行、遠隔操作などのロボット）の分野において、完全な設計製造技術を把握し、制御と駆動のキー技術の開発をクリアしている。例えば、ハルビン工業大学は2008年9月、国内初の165kg級のスポット溶接ロボットを開発し、奇瑞汽車の溶接現場での応用に成功し、総体技術指標は国外の同類ロボットの水準に達した。また新松機器人（ロボット）公司の開発したRH6アーク溶接ロボットも、溶接クオリティで国外の同類製品の水準に達した。同社が設計製造したLGV（レーザー誘導式無人搬送車）も世界一流の水準に達している^[1]。

基礎部品製造の面では、中国は、波動歯車減速機や高効率モーターの製造分野で突破を実現し、交直流サーボモーターとその駆動系統、タコジェネレータ、光電エンコーダ、液圧（気圧）部品、ボールねじ軸、リニアローリングガイドレール、波動歯車減速機、RV減速器、十字クロスローラベアリング、薄肉ベアリングなどの開発に成功しており、高い実力を誇る専門メーカーを出現させている^[2]。

1.2 サービスロボットの進展

高齢化の加速に伴い、中国でもサービスロボットはますます広い関心を集めつつある。サービスロボット産業は今

後、家電とパソコンに引き続き、世界の経済発展の重要な成長分野となると見られる^[3]。中国のサービスロボット関連の研究は、20年余りのためめぬ努力を経て、すでに世界の先頭集団に入っている。

監視ロボットの分野では、中国科学院深セン先進技術研究院が家庭用監視ロボットを開発した。このロボットは、家の中を隅々まで自在に移動し、水漏れや失火、ガス漏れなどがないかを監視し、異常を発見したらすぐに主人の携帯電話に通報メールを自動発信することができる。また侵入者があった場合にも、その写真をすぐに送信する仕組みとなっている。

高齢者サービスロボットの分野では、中国科学院深セン先進技術研究院が執事ロボットを開発した。このロボットは、ユーザーのスマートホンから送られた指令を受け取り、特定の目標物を取ってくることができ、高齢者に便利な生活を提供するものとなっている。また中国科学院自動化研究所は、視覚と口頭指令によるナビゲーション機能を備え、人と言語によるインタラクションができるロボット車椅子を開発した。この車椅子は、言語を通じて車椅子を制御し自由に移動することができるだけでなく、簡単な人とマシンとの対話機能も実現されており、行動の不自由な高齢者や障害者に便利を提供するものとなる。

人型ロボットの分野では、2011年11月、浙江大学が開発した人型ロボット「悟」と「空」が、人間との卓球の打ち合いを実現し、100回以上の玉のやりとりで成功した。

1.3 水中ロボットの進展

現在、国際海洋分野での競争はますます苛烈となっている。水中と水面における運搬と作業のプラットフォームとして、海洋ロボットはすでに、各国が海洋競争力を向上させるのに不可欠な技術手段、戦略ニーズとなっている^[4]。

中国の海洋ロボットの発展は、スタートは遅かったものの、政府と研究員のためめぬ努力を経て、誇るべき成果を実現してきた。例えば、中国科学院瀋陽自動化研究所は国際協力を通じ、水深6000m級の自律水中ロボットの開発に成功し、中国の水中ロボットの研究と開発を世界の先端水準に引き上げた^[5]。2006年、中国は、世界最大の有人潜水船「海極一号」の開発に成功した。同船の作業水深は7000mに達し、世界の99.8%の海底に到達することができる。作業可能深度は、世界の同類製品5基よりも500m深い。

2011年8月、中国が独自で設計・組み立てを行った有人潜水艇「蛟竜号」が深海5000mへの潜水を実現した。中国はこれで、3500m以上の有人潜水能力を持つ世界で5番目の国となった。資源調査と科学研究への応用と深海実験に堅固な土台を築く成果となった^[6]。

2010年、中国科学院が開発した港湾水質監視用の“ロボットイルカ”が第12回ハイテク交易会で発表された。イルカの形をしたこのロボットは、イルカの波運動を模倣した移動法を取り、安全にすばやく水質監視を行うことができる。

1.4 宇宙ロボットの進展

宇宙ロボットは、宇宙科学研究の重要な補助ツールであり、宇宙科学の研究に対して積極的な推進作用を持っている。宇宙科学はすでに、急速な発展段階に入っており、各大国はいずれも宇宙探査や宇宙開発などの面で広大な発展計画を制定している。今後の宇宙活動においては、宇宙における加工・生産・組み立て・科学実験・メンテナンスなど大量の作業がなされるようになって考えられる。こうした大量の作業は、宇宙飛行士だけによっては完遂することはできず、宇宙ロボットなどの自動化人工知能設備を十分に利用する必要があるものである^[7]。

宇宙ステーション「天宮1号」と宇宙船「神舟8号」の打ち上げ成功とドッキングの成功は、中国が順当に宇宙大国へと登りつめたことを示す成果となった。中国は近年、宇宙ロボット分野でも急速に進歩を遂げており、このことは中国の宇宙事業の発展をさらに推進するものとなる。例えば、月面車開発の分野ではここ数年で、多岐にわたる成果が実現された。2008年1月、北京工業大学は、月面車のワーキングサンプルを他の機構に先駆けて開発した。これに続き、中国航天科技集団会社が筆頭となって開発した中国初の月面車エンジニアリングサンプルが同年4月にプロジェクト検収を通過した。同年6月には、ハルビン工業大学の月面車サンプルが、月面地形シミュレーション環境での試験を通過し、月探査プロジェクトの月面車が必要とする基本機能を備えたことが証明された。

1.5 教育ロボットの進展

工業生産と科学探査に対するロボットの促進作用と巨大な影響はすでに周知となっているが、教育に対するその独自の作用と価値への注目も日増しに高まっている。米国や欧州、日本、韓国などの先進国はこれを非常に重視しており、中国も近年、教育ロボットの発展に注目し始めている。工業ロボットとは異なり、教育ロボットは教育を第一の目的とし、ロボットの教育的価値を重視し、教育理念を指導とし、教学補助を目的とするものだ^[8]。

現在、教育ロボットは主に、ロボット競技大会の形式で役割を発揮している。競技大会を通して、学生の能動的能力やコンピュータ应用能力、革新的思考能力を重点的に育成し、学生の科技革新能力を効果的に引き出し、総合素質の育成を進めることができる。

中国の高校生や大学生は近年、世界的な多くのロボット競技大会で輝かしい戦績を収めてきた。2011年4月に行われた「第17回消防ホームロボットコンテスト (Fire Fighting Home Robot Contest)」では、中国の代表団が8種目で優勝、6種目で準優勝し、金メダル数は世界一で、史上最高記録を収めた。同年7月、中国科学技術大学代表チームは、「第15回ロボカップ (RoboCup)」において、2Dシミュレーションサッカーで優勝、サービスロボット分野で準優勝を獲得した。こうした成績は、中国の若者がロボット技術分野で世界級の潜在力を持っていることを示している。

2. 未来の展望

2.1 突破が待たれる基礎研究

一般家庭へのロボットの全面的普及は、人類が近い将来に確実に実現することのできる夢である。だがその日のできるだけ近付けるには、ロボットのセンサ・判断・動作という3つの面での研究を同時に進め、多くの基礎科学の研究を強化する必要がある。

第一に、イメージの理解。視覚は、人類が情報を獲得する最も重要なソースである。ロボットのイメージ理解に対する要求は、人類の生活環境におけるロボットの自然な作業を確保するための重要な条件である。

第二に、人とマシンとのインタラクション。ロボットは、“人”と称することも可能なマシンであり、人とのインタラクション能力を必ず備えていなければならない。人と人との間の交流は主に言語によってなされるため、この実現には、音声識別・音声合成・自然言語理解などの多くの分野の研究がかかわってくる。

第三に、人工知能の記述。知能とは一体何か、人の脳における知能の保存方式と表現方式とはなにか、いかに知能を記述するかなど問題は、哲学の問題であり、生理学の問題でもあり、認知学の問題でもあり、同時にロボット学の問題でもある。ロボットをさらに聡明にし、人類と比肩しさらに人類を超越した知恵を持たせるためには、知能の本質に対する研究を深めなければならない。

第四に、計画と制御。ロボットが作業を自律的に完遂するためには、自身の行為に対して計画と制御を行う必要がある。計画は、動作の計画や任務の分配、作業の管理、最

適化などにかかわる。制御は、姿勢の制御や運動の制御、エネルギーの制御などにかかわる。

第五に、ネットワークの普及。単独のロボットは、分散された作業ノードである。もしもロボットを一つのネットワークに連結すれば、大きな情報量と強力な機能を持ち、複雑な任務が可能で、大型ネットワークプラットフォームを形成することができる。ロボットネットワークは、情報や資源のネットワークのほか、任務のネットワークや行為・動作のネットワーク、判断管理のネットワークなど高次のネットワーク環境が含まれる。

2.2 国民経済に対する主導作用

人類史が示すように、ある技術が大きく推進される際には、一群の関連するハイテクノロジーが生み出される。例えば、第二次世界大戦後、米国がアポロ計画を進めていなければ、コンピュータ技術も誕生していなかっただろう。1960年代後期から発展が始まったロボット技術もまた、多くのハイテク産業に対して重要な推進作用を発揮している。

第一に、設備製造業に対する主導作用。ロボット産業は、製造・組み立て・加工などの産業におけるグレードアップと産業転換を促している。国内の人件費が年々増加するに従い、産業の転換とグレードアップは焦眉の課題となっている。精度と信頼性の高い工業ロボットによって労働力を代替することによってのみ、製造業の高い付加価値と革新性を確保し、ハイテク問題のボトルネックを突破し、中国の製造業の水準を根本から引き上げることができる。

第二に、家電産業に対する主導作用。ロボットは多くの電子部品によって構成されており、ロボットに対するユーザーの高い要求は、電子部品に対する高い要求ともなっている。ロボット市場の拡大は、電子部品市場の拡大を必然的に促すこととなる。同時に、ロボットの人工知能技術と電子製品の結合は、知恵を備えた一群の電子製品を形成し、電子製品の性能を大きく向上させ、電子製品の種類を増加させるものである。

第三に、医療診断業に対する主導作用。健康に対する人々の注目が高まるにつれ、ホームモニタリングの市場はますます拡大している。ロボット技術は、医療機器の家電化・携帯化・小型化・知能化を導くだけでなく、医療診断の水準を効果的に高めることにもつながる。

第四に、機器・計器業に対する主導作用。人間の五感に達しさらにこれを超える感度と解析度を実現するには、高品質で多様なセンサをロボットに使用する必要がある。

第五に、航空宇宙事業に対する主導作用。航空宇宙産業において、ロボットはすでに、宇宙探査に欠くことのできない道具となっている。月や火星の探査では、ロボットはすでに人の役割を代替している。同時に、低軌道の宇宙においては、宇宙ロボットを用いて衛星をメンテナンスしたり、ロボット技術を次世代衛星の設計に直接応用して知能衛星を作ったりすることは、衛星の寿命を伸ばし、使用コストを下げ、自己防衛能力を高めるための必須の道となっている。

2.3 研究開発の動向

第一に、基礎建設の強化。中国のロボット技術の大きな問題は、堅固な基礎が築かれていないことにある。ロボット技術の持続的な急速発展を実現するには、基礎を強化することが前提となる。

第二に、サービス型ロボットの重点開発。人々の生活水準の向上に伴い、ロボットは少しずつ家庭に入り、人へのサービスを引き受けるようになり、生活方式の革新を進めつつある。中国のロボットの発展の重点も、工業ロボットからサービス型ロボットへと転換し、新たな発展のチャンスをつかまなければならない。

第三に、革新の重視。中国のロボット技術の研究はこれまで、国外技術を後追したものが多く、自主革新が不足していた。キー技術の分野での制約は、中国のロボット技術の発展を制限する要因となってきた。このため我々は、革新をとりわけ重視し、中国のロボット技術の発展に力強い動力を与える必要がある。

第四に、ロボットの産業化の実現。ロボット技術は最終的には応用に向けられたものであり、工業から家庭、教育、軍事の分野まで、ロボットが応用されない分野はない。科学研究機構は、企業との広範な協力を通じて、ロボットを実験室から出し、製品として実現し、人々の生産と生活へと応用していかなければならない。

※ 本稿は中国科学院編『2012高技术発展報告』(科学出版社、2012年)、第二章 信息技术和信息化新进展 徐揚生、閻鏡予「機器人技術的新展開」を日本語訳・再編集したものである。

参考文献

- [1] 李瑞峰『中国工業ロボット産業化発展戦略思考』航空製造技術. 2010 (9) : 32-37.
- [2] 趙臣、王剛「中国工業ロボット産業発展の現状の調査研究報告」『ロボット発展戦略研究報告』. 2009:178-207.
- [3] 国家863計画智能ロボット専門家チーム『ロボット博覧』中国科学技術出版社. 2001年1月.pp:18
- [4] 封錫盛、李一平、徐紅麗「次世代海洋ロボット：人類の深度世界記録10912m樹立50周年に寄せて」『機器人（ロボット）』. 2011 (1) :113-118.
- [5] 封錫盛、劉永寬「自律水中ロボット研究開発の現状と趨勢」『高技術通訊』. 1999 (9) :55-59.
- [6] 封錫盛「ケーブル遠隔操作水中ロボットから自律水中ロボットへ」『中国工程科学』. 2002 (12) :29-33.
- [7] 吳立成、孫富春、孫增圻「宇宙ロボットモデリング・計画・制御研究の現状分析」『中国知能自動化會議論文集』中国青島. 2005: 1039-1043.
- [8] 張劍平、王益「ロボット教育：現状、問題、推進戦略」『中国電化教育』. 2006 (12) :65-68.

高速溶媒抽出・ガスクロマトグラフ質量分析法による 土壌サンプルのポリ臭素化ジフェニルエーテル測定

付 英明／王 乃麗／王 金梅／楊 卉 ●天津市環科檢測技術有限公司

1. はじめに

ポリ臭素化ジフェニルエーテル (PBDEs) は添加型の臭素系難燃剤であり、難燃効率がよく、熱安定性に優れ、価格が安いなどの特長を持ち、電子製品や繊維、建材、家具などの工業製品に広く用いられている^[1,2]。工業製品としてのPBDEsには、「deca-BDEs」(98% 10-BDE、2% 9-BDEs)、「octa-BDEs」(10% 6-BDEs、40% 7-BDEs、30% 8-BDEs、20% 4,9-BDEs)、「penta-BDEs」(40% 4-BDEs、45% 5-BDEs、6% 6-BDEs)の3種がある^[2]。広く普及しているPBDEsだが、高化学安定性・高親油性・難分解性・生物濃縮性・生物毒性を呈し、人類と環境にとっての潜在的脅威となっている^[3,4]。PBDEsの毒性研究によると、工業製品においては、penta-BDEsの毒性が最も高く、octa-BDEsがこれに次ぎ、deca-BDEsの毒性が最低とされる。PBDEsの環境媒体における広い分布と人体や生物に対する潜在リスクに鑑みて、2009年5月に行われた「ストックホルム条約」の第4回締約メンバー会議では、penta-BDEsとocta-BDEsが新型残留有機汚染物とされ、厳格な使用禁止・制限の対象となった^[1]。

PBDEsは電子製品や家具から容易に流出し、環境に入り込む。報道によると、環境中の水中や沈殿物、魚、鳥などからはいずれもPBDEsが検出されており、環境中のPBDEsの測定は世界的に注目が高い^[5]。PBDEsが微量汚染物であることや環境条件が複雑であることから、効率の高い分析方法を構築することはPBDEs汚染研究の課題となっている。PBDEsの測定方法には主に、ガスクロマトグラフィー^[3,6,7]、液体クロマトグラフィー^[8,9]、ガスクロマトグラフ質量分析法^[4,5,10,11,12]がある。ガスクロマトグラフィーと液体クロマトグラフィーは保持時間による定性に頼っており、誤った判断を下しやすい。一方、ガスクロマトグラフ質量分析法は感度が高い上、定性・定量分析を同時に行うことができるため、サンプルの分析・測定に幅広く応用されている。PBDEsでよく用いられる事前処理技術には主に、ソックスレー抽出、超音波抽出^[10,11]、マイクロ波溶媒抽出^[6]、高速溶媒抽出^[3,4,5]などがある。ソックスレー抽出は時間がかかる上、比較的多くの有機溶媒が必要となる。超音波とマイクロ波による抽出は時間と溶媒が節約できるが、完全な抽出ができない。その点、高速溶媒抽出は、便利で早く、効率も高く、溶媒の消費も少なく、抽出過程を自動化でき、循環抽出が可能である。USEPA(米国環境保護庁)はこの方法を、固相サンプルの残留

有機汚染物分析のための標準方法の一つとしている^[13]。penta-BDEsは毒性が明らかで、生物と環境のサンプル中で最も主要なPBDEs同族体であることから、本稿では4種の代表的なPBDEs(BDE-47、BDE-99、BDE-100、BDE-153)を目標汚染物として分析した。高速溶媒抽出装置を用いて土壌サンプルの抽出を行い、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて検査を行うことにより、土壌中の4種のPBDEsを高速で検査する分析方法を構築し、この方法が実行可能で効果的であることを示した。

2. 実験部分

2.1 計器と試料

計器：ガスクロマトグラフ質量分析装置(Trace 1300-ISQ、電子衝撃イオン源、TriPlus RSH自動サンプル注入器、Thermo Fisher Scientific)；ASE 350高速溶媒抽出装置(66mLステンレス抽出プール、Thermo Fisher Scientific)；Dryvap全自動定量濃縮システム(Horizon technology)；超音波洗浄機(寧波新芝生物科技株式有限会社)。

試料：ヘキサン、ジクロロメタン(HPLC級、天津市科密欧化学試劑有限公司)；アセトン(クロマトグラフレベル純性、天津市康科徳科技有限公司)；珪藻土(Thermo Fisher Scientific)；実験用水はすべて超純水。

ポリ臭素化ジフェニルエーテル(PBDEs)標準サンプル(AccuStandard)：BDE-47(2,2',4,4'-tetra-BDEs)、BDE-99(2,2',4,4',5-penta-BDEs)、BDE-100(2,2',4,4',6-penta-BDEs)、BDE-153(2,2',4,4',5,5'-hexa-BDEs)。

2.2 サンプルの作成と事前準備

ブランク土壌サンプルの作成：採取した土壌サンプルを室温下で自然乾燥させ、乳鉢で細かく粉碎し、100メッシュのふるいにかけて後、ヘキサンに一晩漬ける。その後、超音波を1時間照射し、フィルターペーパーで濾過した後、土壌サンプルを通風装置の下に置いて乾燥させ、遮光性のボトルに入れて保存する。

模擬土壌サンプルの作成：ブランク土壌サンプルを10g正確に量り取り、三角フラスコに入れ、ヘキサンをサンプルに加えて均等にかき混ぜる。その後、100μL(または250μL)のPBDEs溶液(10mg/L)、即ち標準添加量100μg/kg

(250 μ g/kg)を加え、通風装置の下で乾燥させた後、暗室に1週間置いて使用に備える。

サンプルの前処理：土壌サンプル10gを正確に量り取って乳鉢に入れ、珪藻土を2g加え均等にかき混ぜた後、ASE 66mLステンレス抽出プールに入れ、高速溶媒抽出を行う。抽出液は、全自動定量濃縮システムを用いて1.0mLまで濃縮定容し、0.22 μ mの有機微孔膜によって不純物を取り除き、質量分析を行う。

ASE 後続溶媒抽出の条件：溶媒：ヘキサン；温度100℃；圧力1500psi；加熱時間5分；静置抽出時間10分；フラッシュ容量60%；パージ時間100s；サイクル1回。

2.3 サンプルの分析

(1) ガスクロマトグラフィー条件：クロマトグラフカラム TG-5MS (30m $\times$ 0.25mm $\times$ 0.25Mm)；キャリアガスは高純度のヘリウム、流速1.4mL/min；昇温プロセス：90℃で3分保持し、20℃/minで320℃まで上げ、10min保持する；サンプル注入口の温度は290℃；サンプル注入モデル：不分流サンプル注入；サンプル注入量1 μ L。

(2) 質量分析条件：電子衝撃(EI)イオン源；電子エネルギー70eV；イオン源温度280℃；伝送線温度280℃；溶媒遅延時間3分；スキャン方式：全スキャン方式によって定性、選択イオンモニタリング(SIM)方式によって定量。ポリ臭素化ジフェニルエーテルの分子量、定性イオン、定量イオンについては表1を参照。

◎表1 ポリ臭素化ジフェニルエーテルの保持時間、定性イオン、定量イオン
Table 1 Retention time and characteristic ions of PBDEs

番号	化合物名	保持時間/min	特徴イオン/amu	
			定性	定量
1	BDE-47 (2,2',4,4'-tetra-BDEs)	13.59	488, 486, 326	486
2	BDE-100 (2,2',4,4',6-penta-BDEs)	14.39	564, 406, 404	564
3	BDE-99 (2,2',4,4',5-penta-BDEs)	14.61	564, 406, 404	564
4	BDE-153 (2,2',4,4',5,5'-hexa-BDEs)	15.67	643, 484, 482	484

3. 結果と論考

3.1 溶媒の最適化

溶媒の種類はPBDEsの抽出効率に極めて大きな影響を与える。本稿では、5種類の溶媒がPBDEsの抽出効率に与える影響を考察した。ヘキサン、ジクロロメタン、ヘキサン：アセトン(体積比1:1、以下同様)、ジクロロメタン：アセトン(1:1)、ヘキサン：ジクロロメタン(1:1)であ

る。表2のように、ヘキサンの抽出効率が最も高く、4種類のポリ臭素化ジフェニルエーテルの平均標準添加回収率は79.2%から89.1%だった。また、ジクロロメタンの抽出効率が最も低く、4種類のポリ臭素化ジフェニルエーテルの平均標準添加回収率は49.9%から76.0%だった。原因としては、第一にPBDEsの抽出効率と溶媒の極性が挙げられる。ジクロロメタンとアセトンはヘキサンに比べて極性が比較的高く、基体内部に入って目標物を分離させるのが難しい。第二に溶媒の沸点がある。沸点はヘキサン、アセトン、ジクロロメタンの順に高い。濃縮過程において、一部のPBDEsは溶媒が沸騰・蒸発する際に揮発するため、特に揮発しやすい低臭素PBDEs(BDE-47など)は揮発による損失が生じやすく、回収率の低さにつながった。以上の結果から、本実験ではヘキサンを溶媒として最適と判断した。

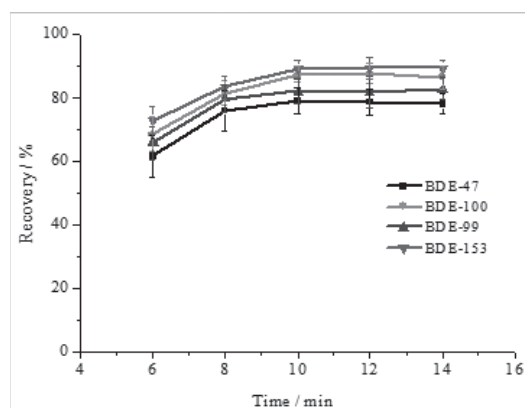
◎表2 PBDEs抽出効率に対する各種溶媒の比較

Table 2 Comparison of extraction efficiencies of PBDEs by different extraction systems

溶媒	平均回収率%			
	BDE-47	BDE-100	BDE-99	BDE-153
ヘキサン	79.2	87.3	82.1	89.1
ジクロロメタン	49.9	60.4	58.2	76.0
ヘキサン：アセトン(1:1)	60.4	67.4	65.7	74.6
ジクロロメタン：アセトン(1:1)	50.5	55.4	53.2	68.1
ヘキサン：ジクロロメタン(1:1)	68.8	74.8	70.6	87.3

3.2 抽出時間の最適化

抽出時間はサンプル中のPBDEsの回収率に影響する。本稿では、静置抽出時間をそれぞれ6分・8分・10分・12分・14分とし、サンプル中のPBDEsの回収率を考察した(図1)。実験から、まず抽出時間が長くなるに従ってPBDEsの回収率は高まり、抽出時間が10分になった時に各PBDEsの平均回収率は最高となるが、抽出時間が10分を超えると回収率は上がらないことがわかった。このことから、最良の静置抽出時間は10分と判断できる。



◎図1 抽出時間に応じたPBDEs抽出効率への影響

Fig.1 The effect of different extraction time on extraction efficiencies of PBDEs

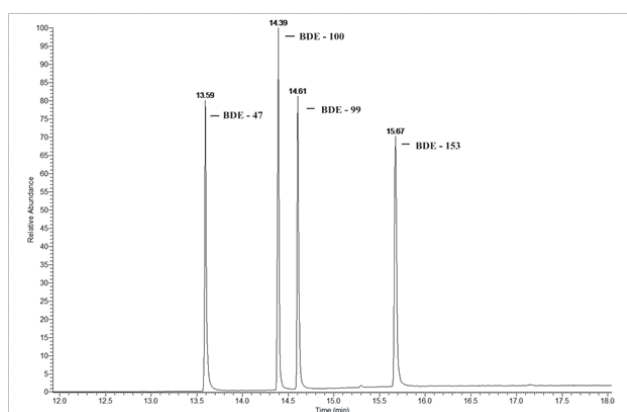
3.3 方法の線形関係と検出限界

質量濃度を0.1、0.2、0.5、1.0、2.0、5.0mg/LとしたPBDEs標準溶液を調合、ガスクロマトグラフ質量分析装置を用いて分析測定し、濃度を横座標、ピーク面積を縦座標として線形フィットを行って標準曲線を得る。線形方程式と検出限界は表3の通り。方法の検出限界は「S/N=3」で計算した。表3からは、標準サンプルが0.1-5.0mg/Lの濃度範囲では良好な線形関係が見られ、相関係数はいずれも0.999を超え、検出限界は0.5-0.6 μ g/kgだった。図2は4種類のPBDEsのトータルイオンカレントクロマトグラムで、図中のピークは順にBDE-47、BDE-100、BDE-99、BDE-153である。

◎表3 4種のPBDEsの線形方程式、相関係数、検出限界

Table 3 Regression equations, correlation coefficients (r), detection limits of four PBDEs

化合物名	線形方程式	相関係数r	検出限界 μ g/kg
BDE-47	$y = 1207650x - 26205.6$	0.9995	0.6
BDE-100	$y = 928558x - 2833.1$	0.9992	0.5
BDE-99	$y = 714974x - 15630.7$	0.9993	0.6
BDE-153	$y = 1763930x - 16610.1$	0.9994	0.6



◎図2 4種のPBDEsのトータルイオンカレントクロマトグラム

Fig.2 Total ion current chromatogram of four PBDEs

3.4 方法の精度と正確性

プランク土壌サンプルに対して、PBDEsの2つの質量濃度（100、250 μ g/kg）の標準添加回収実験を質量濃度1つにつき6回実施した。このサンプル毎の相対標準偏差と標準添加回収率の結果は表4の通りである。これによると、サンプルの標準添加含量が100 μ g/kgの時には、4種のPBDEsの平均標準添加回収率は79.2%から89.1%で、相対標準偏差は2.8%から5.1%となった。またサンプルの標準添加含量が250 μ g/kgの時には、4種のPBDEsの平均標準添加回収率は82.0%から87.0%、相対標準偏差は5.7%から9.2%であった。

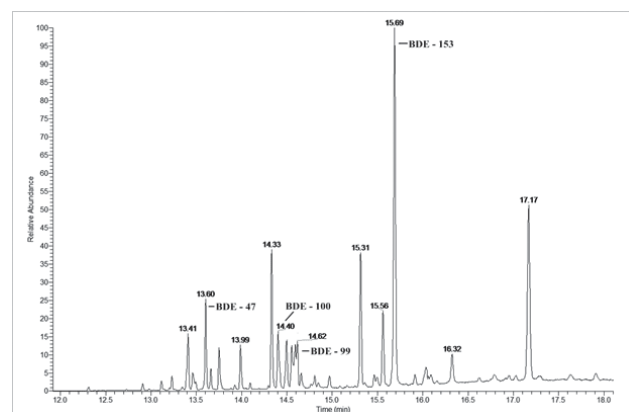
◎表4 PBDEs抽出効率に対する各種溶媒の比較

Table 4 Recoveries and precisions of PBDEs

化合物名	標準添加回収率 %		相対標準偏差 %	
	100 μ g/kg	250 μ g/kg	100 μ g/kg	250 μ g/kg
BDE-47	79.2 $\pm$ 4.0	82.0 $\pm$ 7.2	5.1	8.7
BDE-100	87.3 $\pm$ 2.4	86.8 $\pm$ 5.0	2.8	5.7
BDE-99	82.1 $\pm$ 3.8	84.1 $\pm$ 7.7	4.6	9.2
BDE-153	89.1 $\pm$ 2.7	87.0 $\pm$ 5.4	3.1	6.2

3.5 実際の土壌サンプルの分析

上述の最適化された分析方法を用いて、ある実際の土壌サンプルを分析した。図3は、実際の土壌サンプルのトータルイオンカレントクロマトグラムである。標準品の保持時間との比較とNist質量スペクトルデータベースでの確認を通じて、この土壌サンプルの中にBDE-47、BDE-100、BDE-99、BDE-153の4種のポリ臭素化ジフェニルエーテルがいずれも存在していることが確かめられた。4種の含量はそれぞれ24.3 μ g/kg、16.5 μ g/kg、34.7 μ g/kg、67.4 μ g/kgであった。



◎図3 実際のサンプルのトータルイオンカレントクロマトグラム

Fig.3 Total ion current chromatogram of real sample

4. 結論

本稿では、高速溶媒抽出・ガスクロマトグラフ質量分析によって土壌サンプル中の4種のポリ臭素化ジフェニルエーテルを分析・測定する方法を確立した。抽出条件の最適化によって得られた最良の溶媒はヘキサン、最良の静置抽出時間は10分だった。この方法は前処理が簡単で早く、時間と人手を効果的に節約し、抽出過程で起こる誤差を低下させた。実験中の4種のPBDEsは0.1-5.0mg/L範囲内で良好な線形を示し、検出限界は0.5-0.6 μ g/kg、土壌中の各化合物の標準添加回収率は79.2%から89.1%、相対標準偏差は2.8%から9.2%だった。この方法は感度が高く、線形関係、検出限界、回収率、精度のどれを取っても理想的で、土壌サンプル中のPBDEsに有効な定性・定量分析を行うことができる。

主要参考文献

- [1] 王維契、周俊麗、裴淑瑋ほか.「ポリ臭素化ジフェニルエーテルの環境中の汚染の現状と研究進展」[J].『環境化学』、2014、33（7）：1084-1093
- [2] 劉漢霞、張慶華、江桂斌.「ポリ臭素化ジフェニルエーテルとその環境問題」[J].『化学進展』、2005、17（3）：554-562
- [3] 由宗政、孔德洋、許静ほか.「加速溶媒抽出・ガスクロマトグラフ質量分析法による土壌・植物サンプル品の13種のポリ臭素化ジフェニルエーテルの測定」[J].『環境化学』、2013、32（7）：1410-1415
- [4] 余彬彬、方鍼、饒欽全ら.「ガスクロマトグラフ質量分析法による土壌中のポリ臭化ビフェニルとポリ臭素化ジフェニルエーテル類化合物の分析」[J].『分析化学』、2011、39（6）：833-838
- [5] 王俊平、姜小梅、王碩ら.「ガスクロマトグラフ-電子衝撃源質量分析による海産物中のポリ臭化ビフェニル（ポリ臭素化ジフェニルエーテル）の測定」[J].『食品工業科技』、2011、3：390-392
- [6] 王丹丹、黃衛紅、楊嵐欽.「超音波マイクロ波支援抽出/ガスクロマトグラフ法による土壌中のポリ臭素化ジフェニルエーテルの測定」[J].『分析測試学報』、2011、30（8）：912-916
- [7] 何迎春、王正虹、李林ら.「固相抽出/固相微抽出-ガスクロマトグラフによる飲用水中のポリ臭素化ジフェニルエーテルの測定」[J].『食品科学』、2012、33（8）：236-240
- [8] 賴嵩、王鴻輝、蔡鷺欣ら.「高効率液体クロマトグラフによる電子電気製品中のポリ臭化ビフェニルとポリ臭素化ジフェニルエーテルの測定」[J].『理化檢驗-化学分冊』、2012、48（12）：1446-1449
- [9] 張瑞、張志輝、劉卓欽ら.「高効率液体クロマトグラフによる皮革中の20種の臭素系難燃剤の測定」[J].『分析實驗室』、2014、33（1）：73-77
- [10] 王紅、張曉黎、文紅ら.「ガスクロマトグラフ-質量分析法による電子電気製品中の10種のポリ臭素化ジフェニルエーテル（PBDES）の同時高速測定」[J].『中国衛生檢驗雜誌』、2006、16（12）：1457-1458
- [11] 李瑋、盧春山、李康ら.「ガスクロマトグラフ-質量分析法によるプラスチック製品中の臭素系難燃剤の測定」[J].『分析化学』、2009、37（9）：1319-1323
- [12] 王麗琴、蔣京鑫、柯楨ら.「クロマトグラフ-質量分析装置による電子製品中のポリ臭化ビフェニルとポリ臭素化ジフェニルエーテルの測定」[J].『分析儀器』、2009、2：21-24
- [13] 傅海輝、黃啓飛、孟昭福ら.「高速溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法による土壌中の17族のポリ臭素化ジフェニルエーテルの測定」[J].『環境科学研究』、2012、25（5）：599-604

二酸化炭素(CO₂)の計測法の研究

胡 永飛／張 海濱／張 景奇 ●中国海洋石油総公司省エネ・排出削減監測センター

1. はじめに

石炭や石油などの化石燃料の使用は大量の温室効果ガス(GHG)を生む。世界の気候には前代未聞の変化が起り、世界経済や人類の健康は大きな脅威にさらされている。このことから、CO₂の排出削減計画に一刻も早く着手する必要がある。1997年12月に採択された『京都議定書』は、2008年から2012年頃までにCO₂の排出総量を1990年比で5.2%削減することを先進国に法的に強制するものだった。また中国政府も気候変動を重視し、積極的に対応してきた。^[1] 国務院は2009年11月、国内総生産(GDP)当たりのCO₂排出量を2020年までに2005年比で40%から45%削減する方針を示し、2011年初めに発表された『国民経済・社会発展第12次5カ年計画綱要』では、全国のGDP当たりのCO₂排出量を2015年までに2010年比で17%引き下げを求めた。政府のCO₂排出削減指標を正確に理解し実施するには、CO₂排出を正確に算出することが土台となる。科学的で正確な排出CO₂の算出法を研究することには重要な現実的意義がある。

現在普及しているCO₂排出の算出法は「排出係数法」である。この方法では、活動のデータと排出係数、酸化係数を相乗することによってCO₂の排出量を導き出す。排出係数の主な根拠は、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)や米国石油協会(API)などの提供した技術資料である。^[2,3] これらの排出係数は、海外の燃料・設備・技術に基づいて研究開発されたもので、中国の排出源に適用できるかには異論がある。よって、国内の排出源の現場計測を通じて、適切な排出係数と排出CO₂の算出方法を開発する必要がある。

本稿では、ある企業を例として、資料収集や現地視察、主要排出源の現場計測を通じて、計測法と排出係数法との優劣を比較分析し、これに基づいて、同企業に合ったCO₂排出の算出方法を設計し、精度の高いCO₂排出データを算出する。国内の企業の排出CO₂の正確な数値化にモデルを与え、国家の求める排出削減指標の達成に寄与する試みとなる。

2. 計測法

2.1 計測機器

2.1.1 Testo 350 ポータブル燃焼排ガス計

ドイツ製のTesto 350ポータブル燃焼排ガス計は、工業・省エネ・環境保護の計測ニーズに特化して設計された計器で、手で持って操作する計測器本体と分析ケースから

成っている。排ガス計は次のように使用する。計測器の一端を分析ケースに連結し、もう一端を計測ヘッドにつなげる。計測ヘッドを計測点に差し込み、小型ポンプで気体を吸い込む。気体はチューブを伝って計測器から分析ケースに入り、分析が可能となる。結果は計測器のディスプレイに表示され、印刷もできる。今回の測定では、データ処理に備えるため、排ガス計によって煙道内の温度や圧力、CO₂濃度、一酸化炭素(CO)濃度、気体流動速度などが測られた。^[4]



◎図1 testo 350ガス分析計

2.1.2 HyGroPalm22 温湿度計

排ガス計によって収集されたデータは湿度を含んだ気体なので、データ処理のためには気体中に含まれる水蒸気の影響を除去する必要がある。そのため計測時には、煙道の気体の湿度を測定する必要がある。今回は、スイス・ロトロニック社製の温湿度計HyGroPalm22が用いられた。



◎図2 HyGroPalm22 温湿度計

2.2 CO₂関連データの計測法

2.2.1 CO₂濃度の計測

CO₂計測器のヘッドを煙道の中心付近の計測点に差し込んで計測する。

注：燃料の不完全燃焼によって排ガス中に含まれる一酸化炭素(CO)は、大気中においては不安定で、最終的には酸化されてCO₂となる。今回は気体中のCO含有量も計測された。

2.2.2 ガス温度の計測

温度測定計のヘッドを煙道の中心付近の計測点に差し込んで計測する。

2.2.3 気体中の水蒸気の体積パーセンテージの計測

温湿度計のヘッドを煙道の中心付近の計測点に差し込んで計測する。

HyGroPalm22では「ガス中の水蒸気濃度 (g/m³)」として読み込まれるため、気体中の水蒸気の体積パーセンテージは計算によって導き出す必要がある。

2.2.4 現地の気圧の計測

気体分析計に入った気圧センサによって計測する。^[5]

2.2.5 気体の静圧の計測

今回は、S型ピトー管で計測した。計測時には片方の管だけを用い、先端をゴム管でガス分析計の差圧インタフェースに連結。S型ピトー管を煙道の中心付近に差し込み、測定する開口面を気流と同方向に向け、静圧を測定する。

2.2.6 気体の速度の計測

ピトー管を煙道内の各計測点に入れて測定する。

ピトー管の全圧管の出口と静圧管の出口をゴム管でそれぞれ気体分析計の差圧インタフェースにつなぎ、ピトー管を煙道の各計測点に伸ばして、全圧測孔の開口面を気流方向と垂直になるように置き、速度を計測する。

2.2.7 測定頻度への要求

測定計算の精度を高めるため、これらの変数を現地で計測する際には、気圧データは毎日1回、その他のデータは毎日6回計測し、12日間にわたって計測を続けた。

3. 計測データの処理法

3.1 CO₂排出速度の計算

HyGroPalm 22温湿度計によって計測されたボイラーガスの水蒸気濃度は、後続の計算のため、気体中の水蒸気の体積パーセンテージに転換する：

$$PV_{H_2O} = n_{H_2O}RT \quad (3-1)$$

公式 (3-1) 中：

P —— 煙道の計測点の絶対圧力, Pa；

V_{H_2O} —— 水蒸気体積流量, m³/s；

n_{H_2O} —— 水蒸気物質モル流量, mol/s；

R —— 標準モル気体定数, 8.314J/(mol.K)；

T —— 熱力学温度, K；

水蒸気物質モル流量は以下の計算を利用：

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{Dv \cdot S \cdot v}{M_{H_2O}} \quad (3-2)$$

公式 (3-2) 中：

m_{H_2O} —— ガス中の水蒸気の質量流量, g/s；

M_{H_2O} —— 水蒸気のモル質量, 18.02 g/mol；

Dv —— 煙道中の水蒸気濃度, g/m³；

S —— 計測点の煙道の横断面積, m²；

v —— 計測点の流体速度, m/s。

公式 (3-1) 中の計測点の絶対圧力 P の計算方法は以下の通り：

$$P = P_0 + P_s \quad (3-3)$$

公式 (3-3) 中：

P_0 —— 計測時の環境気圧, Pa；

P_s —— 計測煙道の静圧, Pa。

(3-1) から (3-3) まではボイラー煙道内の水蒸気の体積流量 V_{H_2O} が計算できる。水蒸気の煙道内の体積パーセンテージは次の通り：

$$\psi = \frac{V_{H_2O}}{V_g} \quad (3-4)$$

公式 (3-4) 中：

ψ —— 煙道内の水蒸気の体積パーセンテージ, %；

V_g —— ボイラーの煙道の計測点のガス総体積流量, m³/s。

これらを整理して次の公式が得られる：

$$\psi = \frac{D_v RT}{(P_0 + P_s) M_{H_2O}} \quad (3-5)$$

CO₂ と CO のガスの計測によってそれぞれの気体の体積濃度を得た後、次の式によって CO₂ 排出速度を求める：

$$M_{CO_2} = \frac{PV_g \times (1 - \psi) \times 44}{RT} \times (V_{CO_2} + V_{CO}) \times 10^{-6} \quad (3-6)$$

公式 (3-6) 中：

V_{CO_2} , V_{CO} —— 計測煙道のガス中の CO₂ と CO の体積比率, %；

M_{CO_2} —— CO₂ 排出速度, t/s。

計測時間内のCO₂排出量は以下のように計算できる：

$$S_{CO_2} = M_{CO_2} \times t \dots\dots\dots (3-7)$$

公式(3-7)中：

S_{CO_2} ——計測時間内のCO₂排出量，t；

t ——計測所要時間，s。

3.2 質量比法によるCO₂排出量の計算

計測時間内の設備の燃料消費量と統計期間（1カ月、半年、1年など）内の設備の燃料消費量の比によって統計期間のCO₂排出量を求める：

$$S_m = S_{CO_2} \times \frac{N_m}{N} \dots\dots\dots (3-8)$$

公式(3-8)中：

S_m ——統計期間のCO₂排出量，t；

N_m ——統計期間の燃料消費量，t（燃料が気体の場合の単位はm³）；

N ——計測期間の燃料消費量，t（燃料が気体の場合の単位はm³）。

3.3 時間比法によるCO₂排出量の計算

計測に用いられた時間と統計期間（1カ月、半年、1年など）の比によって統計期間のCO₂排出量を確定する：

$$S_m = S_{CO_2} \times \frac{t_m}{t} \dots\dots\dots (3-9)$$

公式(3-9)中：

t_m ——統計期間，s。

3.4 負荷法によるCO₂排出量の計算

『国家重点監視の汚染源排出口汚染物排出量計算法』における汚染物の算出法に基づけば、設備のCO₂排出速度と負荷とを結びつけ、CO₂排出量を計算することができる：[7]

$$S_m = M_{CO_2} \times \frac{1}{F} \times G_m \times t_m \dots\dots\dots (3-10)$$

公式(3-10)中：

F ——設備の計測時間内の平均負荷，t/h；

G_m ——設備統計期間の平均負荷，t/h。

3.5 排出係数法によるCO₂排出量の計算

計測データを利用して計算したCO₂排出量と比較するため、本稿では同時にIPCCが提供している排出係数法によって計測過程の設備のCO₂排出量を計算した。計算式は以下の通りである：[8]

$$S_m = N_m \times H_m \times EF \times CY \dots\dots\dots (3-11)$$

公式(3-11)中：

H_m ——統計期間の燃料燃焼の平均低熱値，MJ/t

（燃料が気体の場合の単位はMJ/m³）；

EF ——燃料燃焼の排出係数，kg/TJ；

CY ——燃料の炭酸化率，%。石炭を燃やした場合の炭酸化率は98%。

本稿の計測にかかわる二種の燃料については、『IPCC 国家温室ガスリスト指南（2006）』で表3-1のような参考排出係数が提示されている。

◎表3-1 工業エネルギー固定燃焼源のデフォルト排出係数（低熱値に基づく、kg/TJ）

燃料	CO ₂ 排出係数		
	デフォルト	下限	上限
原料炭	94600	87300	101000
製油所ガス	57600	48200	69000

4 ある企業の二酸化炭素排出計測

4.1 企業の基本状況

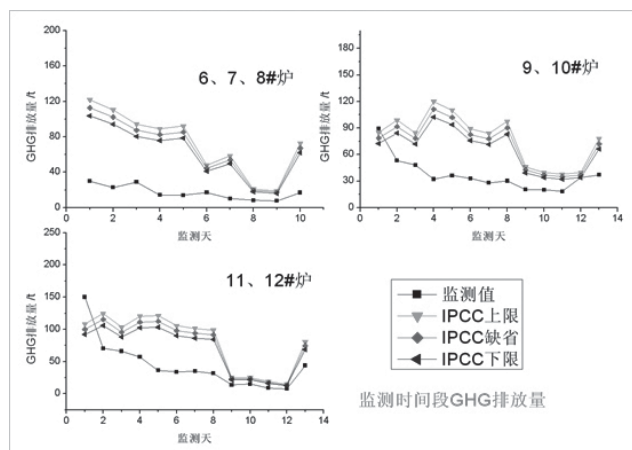
本稿で取り上げる企業は、電気供給・ガス供給・水供給を一体化した近代的な熱電併給の企業である。今回は、同社のボイラー「6#」「7#」「8#」「9#」「10#」「11#」「12#」を主な計測対象とした。このうち「6#」「7#」「8#」は円形煙道、「9#」「10#」及び、「11#」「12#」は方形煙道を共有している。後者4基のボイラーの排煙は最終的に合流し、円形煙道につながる。計測ボイラーの具体的な数値は表4-1を参照。

◎表4-1 ボイラー設備の数値

ボイラー名称	ボイラー番号	燃料	サンプル採取点の煙道内半径(m)
循環流動床	6#、7#、8#	歴青炭	3.938
循環流動床	9#、10#	歴青炭	3.1×3.1
循環流動床	11#、12#	歴青炭	3.1×3.1

4.2 計測時の二酸化炭素排出データの分析

計測データを利用して計算した排出量の結果とIPCC排出係数法によって計算した排出量の結果の比較は図4-1の通りである。図中のそれぞれの曲線の最後のデータは、それぞれの算出方法の結果の加重平均値である。本稿で使用した計測設備は、中国計量科学研究院と天津市計量監督検測科学研究院の審査を受け、計測日は鑑定結果の有効期間内であったため、計測結果の正確性は確保されたものと考えられる。図4-1からは、国内企業がIPCC法を採用した場合、CO₂排出量は多く導き出されることがわかる。



◎図 4-1 計測時の二酸化炭素排出データの分析

4.3 計測当日の二酸化炭素排出量のデータ分析

計測時の石炭燃焼消費量の計量に誤差があることを考慮し、本稿では、計測当日のCO₂排出状況について述べる。全日の燃料消費量は、24時間内の1時間ごとの燃料消費量の和によって計算したもので、燃料消費量を内挿で求めるといった状況はない。従って企業のコンベヤはかりに問題がなければ、全日の燃料消費量は比較的正確と考えられる。質量比法・時間比法・負荷法・IPCC排出係数法によってそれぞれ3つの煙道の当日のCO₂排出量を算出した比較結果は図4-2である。

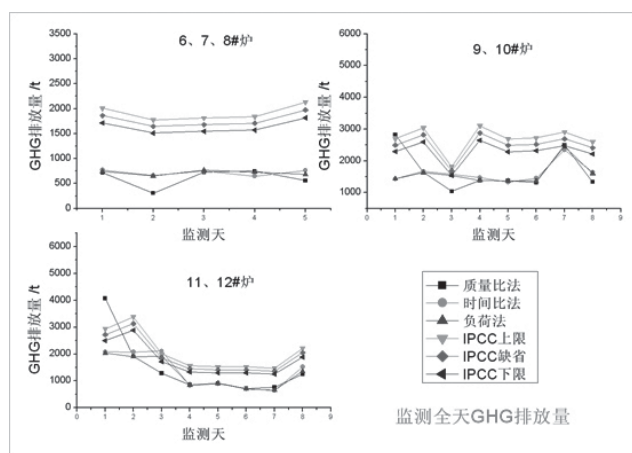
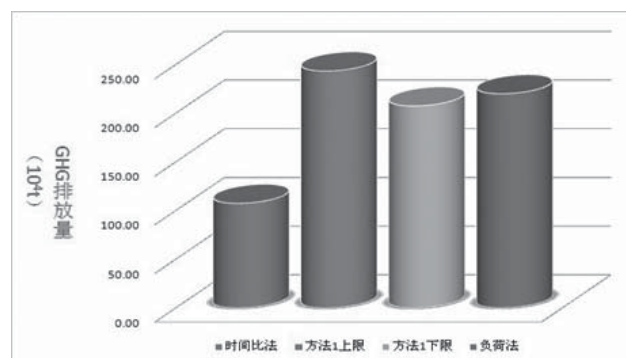
◎図 4-2 計測当日のCO₂排出量の算出結果の比較

図4-2からは、質量比法・時間比法・負荷法によって算出した計測当日のCO₂排出結果が近似していることがわかる。とりわけ時間比法と負荷法によって計算されたCO₂排出結果は近い。だがいずれもIPCC排出係数法の計算結果を下回り、上記の結論を重ねて検証している。国内企業が国際的に通用している計算方法を使えば、得られるCO₂の排出量は多めに算出されることになる。算出結果に対して計器が影響することを考慮し、本稿では、燃料消費量との関係が深い算出方法は推奨しない。従って質量比法は排除される。時間比法は、計測時間内のCO₂の排出速度を基

準とし、より長い期間これを単純にあてはめることによって得られる。企業の生産が安定し、設備の負荷が基本的に安定している場合はそれでもいいが、企業の顧客の需要が変化し、企業設備の負荷が増減し、燃料消費速度に大きな増減が起こることを考慮すれば、一定のCO₂排出速度によってある期間内のCO₂排出量を算出することは科学的とは言えない。時間比法と比較すると、負荷法は、燃料消費量とCO₂排出速度との関係を総合的に考慮したものと言える。顧客の需要の変化によって燃料をボイラーに入れる速度の増減が起こり、運用時間は変わらない際、図4-2での時間比法の計算結果の曲線は変わらないことになるが、負荷法の曲線はこれに応じて変わることとなる。そのため負荷法の適用性はさらに高いと言える。

4.4 通年の二酸化炭素排出量データの分析

時間比法・負荷法・IPCC排出係数法によってそれぞれ算出された通年のCO₂排出量結果は図4-3に示した通りである。図4-3からは、時間比法の算出結果は負荷法の算出結果よりもはるかに低いことがわかる。図4-2では、時間比法と負荷法との算出結果はそれほど違わなかった。上述の現象の原因は、企業のボイラーの計測当日の負荷は基本的にはあまり変化しないが、ボイラーの負荷の通年の変化はかなり大きく、明らかな季節性を伴っているためと考える。時間比法は、ボイラーの負荷の変化を考慮しないため、算出結果が実際の値と大きく離れてしまう。時間比法は、負荷の変化が比較的大きい設備に対して、長期間のCO₂排出量を算出するには適していない。

◎図 4-3 通年のCO₂排出量の算出結果の比較

5 結論と提案

本稿では、質量比法と時間比法、負荷法、IPCC排出係数法など多くの方法で企業の異なる期間のCO₂排出状況を算出した。その結果として明らかになったことは、燃焼・排出源のCO₂排出量の状況を正確に知るためには、現場での計測が可能であれば現場で計測する方法によってCO₂排出量を得るのが適切であるということである。質量比法とIPCC排出係数法の算出結果の精度は、燃料計量データの精度に大きく依存しており、本稿ではこの2つの方法は

推奨しない。時間比法による算出結果は質量比法よりもずれているが、ボイラーの長期間の燃焼状況が計測時と一致していることが前提となる。負荷法は、ボイラーの負荷の影響を考慮したもので、その算出結果の信頼性はさらに高い。企業に対しては、計測手段を通じて、負荷法によって燃焼・排出源のCO₂排出量を算出することを提案する。

CO₂の排出状況に影響する因素としては、燃焼・排出源の実際の操業状況や使用年限、メンテナンス、燃料のタイプ・成分・熱値なども含まれる。一年を通じて考えると、

燃焼排出源の操業状況や燃料の成分、熱 値などの数値にはある程度の差異が生まれるため、異なる時期に計測されるCO₂排出にも差異が生まれることが推定される。客観的な要素によってもたらされる排出量の不確定性をできるだけ減らし、現場計測の方法によって算出されたCO₂排出量を燃焼・排出源の実際の状況に近付けるため、現場の条件が許す限り、異なる時間、異なる操業状況を選び、複数回にわたって年度のCO₂排出量を計測し、算出することを提案する。

参考文献

- [1] Houghton J.「世界気候変動」[M]. 戴曉蘇、石広玉、董敏等訳. 北京：気象出版社、2001.
- [2] IPCC (2007) : Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [3] API. Compendium of Greenhouse Gas Emissions Methodologies for the Oil and Natural Gas Industry[M]. USA: API, 2009.
- [4] 国家環境保護局. GB/T 16157-1996, 「固定汚染源排ガス中の顆粒物と気態汚染物のサンプル採取法」[S]. 北京：中国環境科学出版社、1996.
- [5] 国家環境保護総局. 「空気・廃気監測分析方法」(第4版増補版)[M]. 北京：中国環境科学出版社、2002. pp 345-361.
- [6] 国家環境保護局. HJ/T 76-2007, 「固定汚染源排出ガス連続監測系統技術の要求と検測方法」[S]. 北京：中国環境科学出版社、2007.
- [7] 環境保護部弁公庁. 「『国家重点監視の汚染源排出口汚染物排出量計算法』の発布に関する通知」[Z]. 2011-1-25.
- [8] IPCC (2008) , 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K. (eds) . Published: IGES, Japan.

鉄鋼スラグヤードにおける粉塵モニタリング法の研究と抑制対策の提案

王 文美／張 寧 ●天津市環境保護科学研究院 曹 陽／張 君 ●天津迪蘭奧特環保科技開発有限公司

1. はじめに

鉄鋼スラグの再利用率は、鉄鋼業界のクリーン生産評価システムにおける指標のひとつであり、冶金企業が循環経済、資源の総合的な利用を実現し、省エネ・排出削減を推進する上でも重要である。しかし、鉄鋼スラグの処理および尾鉱の貯蔵においては、粉塵の発生が避けられない。ゆえに、鉄鋼スラグの加工プロセスおよびヤードが環境にもたらす影響をいかに抑制するかは、近年の冶金企業の持続可能な発展において、早急に解決が必要な問題の1つとなっている。

天津市環境保護科学研究院は、天津市の大型鉄鋼合弁企業と提携し、現状モニタリングとモデリング分析を組み合わせた方法を採用、鉄鋼スラグヤードの非点源汚染に関する定量分析を実施し、企業の汚染抑制強化、環境管理体系の改善に向け、理論的基盤を築いた。

2. 企業の概況および鉄鋼スラグ処理の現状

同企業は製鉄、製鋼、鑄造、圧延を一体化させた大型鉄鋼企業であり、主な製品は連鑄スラブ、ねじれ無し冷間・熱間圧延線材、中厚板、棒材および熱延鋼板などである。鉄鋼スラグの生産量は年間約100万トン。主な成分は表2-1を参照のこと。

◎表2-1 鉄鋼スラグの主な成分

項 目	成 分					
検出された成分	CaO	SiO ₂	MgO	TFe	Al ₂ O ₃	MnO
質量分率 $\omega(B)$ 10-2	38.13	14.43	12.72	12.34	5.64	1.58

鉄鋼スラグの処理における粉塵汚染を減らすため、既存のスラグヤードで現場モニタリングを行い、エリア内における実際の粉塵発生状況を分析、粉塵汚染に影響を及ぼす主要要素およびその程度に基づき、防塵装置の建設および環境管理の強化に向けた要求を提起し、理論的データを通じて実践的な指導をするという重要な役割を果たした。

3 鉄鋼スラグ粉塵汚染の分析

現場の実際の状況に基づき、鉄鋼スラグの加工および鉄鋼スラグヤードの単位時間当たりの汚染物質排出量確定の指導方法に、都市の粒子状物質汚染防止研究分野で使われる筐体物質収支の原理を採用した。具体的な原理および設計プランは以下の通り。

3.1 筐体物質収支

質量保存則に基づく、大気空間内にある単一の筐体内の汚染物質の総量は一般的に、3つの要素によって決まる。すなわち、空間内の排出源の実際の排出量、筐体の側面を通じた汚染物質の流入量と流出量だ。これは次の公式で表すことができる：

$$M=Q+MU-MB$$

うち：M——筐体内の汚染物質の総量；

Q——筐体内の排出源からの実際の排出量；

MU——風上から流入する汚染物質の総質量，

MB——風下から流出する汚染物質の総質量。

3.2 分析プラン

筐体の物質収支原理および河東区の既存鉄鋼スラグヤードの実際の状況に基づき、現場モニタリングおよび単位時間当たりの汚染物質排出量の分析プランを以下のよう

- (1) 既存エリアの平面配置に基づき、エリア内に6×5の格子点を設定。環境モニタリング部門に委託し、異なる気象条件および環境保護措置下におけるTSPおよびPM10の現状モニタリングを実施；
- (2) 筐体物質収支の原理に基づき、モデリング分析を通じてユニット内の汚染物質の実際の排出量を計算；
- (3) エリアの総排出量を計算、異なる生産技術およびモニタリング条件下における汚染物質の排出の変化を計算、粉塵の主な影響要素および程度を分析。

3.3 粉塵汚染の分析結果

現状モニタリングデータを使って計算した、エリア内の各ポイントのPM10とTSPの実際の排出量については、表3-1を参照のこと。

◎表3-1 粒子状物質排出量の推計値

日付	TSPの排出量推計値(kg/h)		PM10の排出量推計値(kg/h)	
	磁気分離・スクリーニング	ヤード	磁気分離・スクリーニング	ヤード
2008-10-08	34.38	5.42	15.59	1.80
2008-10-09	103.19	4.01	40.00	2.09
2008-10-10	79.44	2.89	43.32	2.34

3.4 影響要素および影響の程度

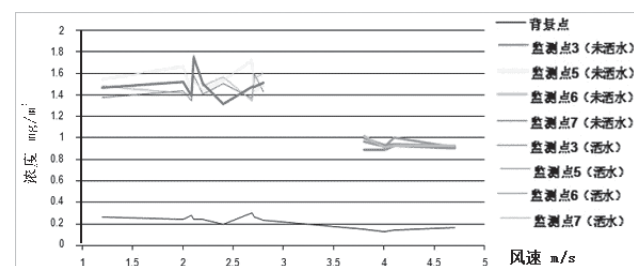
(1) 風速

ヤード内の粉塵は、ある程度風速の影響を受ける。粒子が移動するのは、風速が十分に大きく、風力が粒子状物質の重力と粘着力を上回る場合のみとなる。風洞試験の結果^[1]、移動するために必要な摩擦速度閾値が最小だったのは粒径70～100 μm の粒子状物質で、70 μm 未満の場合、移動に必要な摩擦速度閾値は、粒径の減少に伴い逆に増大した。風洞実験における、粒子状物質の粒径と摩擦速度閾値の関係については、表3-2を参照のこと。

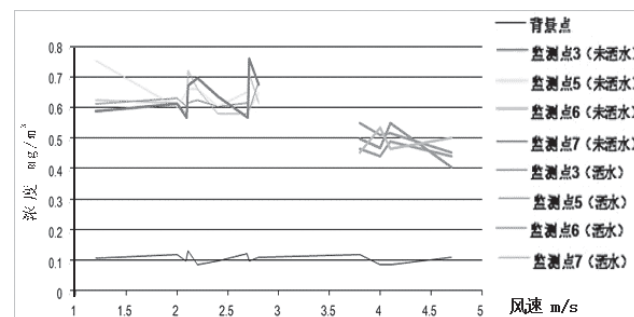
◎表3-2 粒子状物質の粒径と摩擦速度閾値の関係

番号	粒径(mm)	風速閾値 u^*t (cm/s)	風速(m/s)
1	2	100	17.3
2	1	76	13.1
3	0.5	58	10.0
4	0.25	43	7.43

表から分かるように、0.25mm前後の粒子状物質が移動するには、7.43m/sの風速が必要となる。天津市の1971～2004年の年平均風速は約2.25m/s^[2]であり、風速7m/s以上となることは少ない。ここから推測するに、鉄鋼スラグヤードが排出する粒子状物質は0.25mm以下の粒子状物質が主と見られる。モニタリング結果のPM10とTSPの濃度から作成した統計図表は、図3-3および3-4を参照のこと。



◎図3-3 TSP濃度に対する風速の影響



◎図3-4 PM10濃度に対する風速の影響

上図から分かるように、バックグラウンド地点のモニタリング結果には、風速が増しても大きな変化はなく、風速とヤードの粉塵には大きな関係性がないことを示している。

(2) 含水率

散水措置を講じ、粒子状物質の含水率を高めることは、粉塵抑制の効果的な措置の1つである。異なる含水率における防塵試験の効果^[3]は、表3-3を参照のこと。

◎表3-3 異なる含水率における防塵試験の効果

CE(%)	Mc/Mu(含水率)	CE(%)	Mc/Mu(含水率)
10	1.05	70	1.83
20	1.12	75	2.00
30	1.20	80	2.24
40	1.29	85	2.58
50	1.41	90	3.16
60	1.58	95	4.47
65	1.69	99	10.00

注：Mclは散水後の含水率(%), Muは散水前の含水率(%), CEは抑制効率。

上の図3-3および3-4の変化曲線から分かるように、散水措置を講じた後、汚染物質の濃度曲線は大幅に下降し、各ポイントの濃度も顕著に低下した。各モニタリングポイントのTSPおよびPM10の平均濃度の減少状況については、表3-4を参照のこと。

◎表3-4 散水後の粒子状物質平均濃度の減少状況 単位%

モニタリングポイント	位置	TSP 減少率	PM10 減少率
1#	二次スクリーニング	38.8～39.9	21.5～23.6
2#	スクリーニング	35.4～39.6	21.0～22.4
3#	磁気分離	34.1～40.6	23.0～32.3
4#	鉄鋼スラグヤード	34.0～39.3	18.0～30.3

表3-4から分かるように、鉄鋼スラグの含水率を高めることは、効果的な粉塵抑制措置であり、鉄鋼スラグヤードの粉塵汚染防止に大きな役割を果たす。

4 主な防塵措置および効果の分析

4.1 汚染物質排出方式の転換

この企業の儲運分公司(貯蔵・輸送を担う別会社)の既存の鉄鋼スラグ処理・加工装置は全て屋外に設置されているため、鉄鋼スラグ加工プロセスの粉塵排出と鉄鋼スラグヤードが、エリア全体の非特定汚染源を形成している。既存のヤードに対する現状モニタリングの結果、粉塵を発生する主な鉄鋼スラグの加工プロセスは磁気分離とスクリーニングで、これらのプロセスにおける粉塵発生量がエリアの全排出量の60%以上を占めていた。このため、企業が新たに鉄鋼スラグ加工処理ラインを建設する場合は、全て室内設計を採用し、磁気分離・スクリーニングの設備にパルス式バグフィルタを取り付け、負圧操作乾式集塵法を採用することで、磁気分離・スクリーニングによる粉塵を収集・浄化し、汚染物質の排出方式を変えることで、粉塵の無秩序な排出を減らすことができる。

パルス式バグフィルタは1950年代に開発された集塵設備で、装置本体はパルス弁、噴射管、インデューサー、コントローラなどからなる[4]。その主なメリットは次の通り[5]：

- (1) 集塵率が高く、99%以上に達する；
- (2) 集塵率が粉塵の比抵抗、濃度、粒度の影響を受けない；
- (3) コンパートメント構造を採用できる。設計に余裕を持たせ、順番に集塵器のメンテナンスを行えば、通常の生産に影響を及ぼさない；
- (4) 細塵の効果的な収集が可能で、鉄鋼スラグ粉塵汚染の、粒子状物質の粒径が小さいという特徴にも適する。

4.2 鉄鋼スラグの含水率を高める

新たに建設した鉄鋼スラグヤードに、自動噴水防塵装置を設置し、定期的に散水することで、スラグの含水率を高め、粉塵を抑制することができる。散水に使う水は、工場内の水を再利用し、粉塵汚染を抑えると同時にクリーン生産の水準を高めることができる。

4.3 新築のヤードに防風・防塵ネットを増設

防風・防塵ネットは、ここ数年広く使用されている防塵装置で、様々な屋外の貯炭場、鉬石ヤード、スラグヤードおよび建設現場で使用できる。主に空気力学原理を利用しており、ネットを通じて外からの空気の流動方向を変え、ネット内で上下に運動する渦を形成し、風速を下げ、強風

を弱風に変えることで、新たな空気の流れを作る。粉塵の高さを50%～60%下げ、防塵効果は65%～90%に達する。現在、すでに山西、河南など、石炭資源が豊富な省市および宝鋼、上鋼などの大型鉄鋼企業内で幅広く応用されている。

張家港浦項不銹鋼有限公司のステンレス工場、宝山鉄鋼公司および上海宝鋼不銹鋼分公司などの企業における防風・防塵ネットの使用状況について調査研究・分析を行った結果、韓国鉄鋼大手ポスコの授權機関である北京錦鑫盛大科技發展有限公司に、新設の鉄鋼スラグヤードの防風・防塵ネットの設計・施工を委託することが決定した。防塵率は75%以上に達する。

4.4 路面の硬化

実地調査により、儲運分公司の工場エリア内はいずれも未舗装の道路であり、輸送に伴って発生する道路の粉塵も、エリア内全体の粉塵汚染を深刻化させる主な要因の1つであることが分かった。路面を硬化させる措置を講じることで、粉塵汚染の影響をある程度軽減させることができる。

5 結論

伝統的な鉄鋼スラグ加工および貯蔵は、粉塵汚染を招きやすい。モデリング分析により、各生産プロセスおよび鉄鋼スラグヤードの異なる影響条件下における汚染物質排出濃度の変化を分析することで、企業の環境保護措置の妥当性を大幅に高め、鉄鋼スラグ処理および再利用における環境コストを効果的に削減し、企業の経済成長と環境保護の調和の取れた発展を推進した。

主要参考文献

- [1] 宣捷「低層大気中固体粒子運動及其物理模擬」『環境科学学報』第18巻第4期、1998年：P350-355；
- [2] 孫玫玲、韓素芹、姚青等「天津市城区静風与汚染物濃度变化規律的分析」『気象与環境学報』第23巻第2期、2007年：P21-24；
- [3] 田寧寧、王凱軍、吳穎等「探討利用市区浅層地下水噴洒道路」『中国給水排水』18巻10期、2002年：P78-80；
- [4] 張殿印、張学義『除塵技術手冊』第1版、北京：冶金工業出版社、2002年2月、P134-146；
- [5] 唐平、曹先艷、趙由才等『冶金過程廢氣污染控制与資源化』第1版、北京：冶金工業出版社、2008年9月、P284-297。

中国、ウラン濃縮技術の国産化に成功

中国総合研究交流センター編集部

中核集団は蘭州のウラン濃縮基地で6月21日、長年の研究開発を経て、中国の原子力工業のキーテクノロジーであるウラン濃縮技術の完全国産化を実現し、世界のトップレベルに立ったと宣言した。これは、ロシアなどに続いて、中国がウラン濃縮技術を独自に開発し、工業化応用の実現に成功した数少ない国のひとつとなったことを示す成果となった。

原子力発電所の多くは燃料として低濃縮ウランを使用している。そのうちウラン235の割合は2%から5%となっている。天然ウランの中に含まれるウラン235はわずか0.7%で、そのほかはすべてウラン238で占められている。ウラン235の割合を高めることは原子力発電の発展にとって高い重要性を持つ。

「ウラン235の割合を高めるプロセスはウラン濃縮と呼ばれている。濃縮法の中で、電磁濃縮法、熱拡散法、ガス拡散法はすでに放棄され、レーザー法はまだ実験室段階にある。現在は主に、ガス遠心分離法が採用されている」。

中核集団公司の総エンジニアを務める雷増光氏によると、ウラン濃縮遠心分離技術は、高速回転させた遠心分離機の高い遠心力を利用して、ウラン235とウラン238の分離を行う。

「中国はすでに、今後の原子力発電の発展ニーズを完全に満足させるだけの遠心分離機製造能力を有している。」雷氏によると、中核集団は現在、さらに先進的で経済的な次世代の遠心分離機の開発を行っておりキーテクノロジーの研究で大きな進展を実現している。

ウラン濃縮遠心分離機の工業化という大きな科学技術の成果のほかにも、中核集団は近年、科学技術開発力を高め続けており、天然ウランの生産や核燃料サイクル、原子力や原子力技術の応用といった分野で全面的なキーテクノロジーの突破を実現し、世界の先端、さらには世界をリードする水準に達し、コア競争力は大きく高まっている。

中国初の核破碎中性子源設備、東莞で取り付け

中国総合研究交流センター編集部

2014年10月15日午前10時35分、中国核破碎中性子源（CSNS）プロジェクトの初の設備であるマイナスイオン源の取り付けが東莞の地下トンネルで完了した。同プロジェクトが設備の取り付け段階に入ったことを示し、2016年の試運転に向けて堅固な土台を築いた。

中国核破碎中性子源は、中国の「第12次5カ年計画」で定められた重大科技インフラであり、発展途上国で最初の核破碎中性子源となる。

15日に行われたのは加速器の初の設備であるマイナスイオン源の取り付けで、同プロジェクトが正式に設備の取り付け段階に入ったことを示すものとなった。プロジェクト竣工は2018年前後を予定している。竣工後、核破碎中

性子源加速器は中国最大の科学装置となり、米国、日本、英国とともに世界の4大パルス核破碎中性子源の一つとなる。

今後はCSNSプロジェクトを中心として20平方kmの科学都市が建設され、「一園一群四大産業」の局面が形成される見通しだ。「一園」とは、国家級の森林公園の建設を指す。「一群」とは、国家級、さらには世界級の重大科学装置と実験室をさらに誘致し、国家実験室群を構築・運営することを指す。「四大産業」とは、CSNSの放射効果を活用し、新材料産業・民間用核技術産業・生物医薬産業・科学技術サービス産業を発展させ、CSNSの科学技術成果の転化を促進することを指す。

中国、アボガドロ定数測量技術研究で大きく進展

中国総合研究交流センター編集部

アボガドロ定数は、ミクロとマクロの世界をむすぶ基本的な物理定数である。アボガドロ定数の正確な測定は、国際的な基本単位であるキログラムとモルとの再定義に大きな影響を及ぼすと同時に、計量基準の問題を原子・分子・量子のレベルから研究し解決する鍵となる。アボガドロ定数の測定は現在、完全格子単結晶シリコンのモル体積とシリコン原子単体の体積比を根拠とし、単結晶シリコン球の密度を正確に測定し、単結晶シリコンのモル質量と格子定数を用いて行われている。

中国計量科学研究院が清華大学などの国家重点研究機構と共同で展開する、「第11次5カ年計画」科学技術サポート計画重点プロジェクトの課題「アボガドロ定数測定キー技術研究」はこのほど、国家質量監督検閲検疫総局による検査に合格した。課題チームは4年の研究を経て、新たな固体密度標準器の構築に成功した。同機器のシリコン球直径の測量精度（0.9nm以上）は世界最先端レベルに達している。新機器の構築と工法プロセスの改良によって、自然単結晶シリコンモル質量測定の実測誤差は 8×10^{-8} という世界最高水準を実現した。研究成果は、中国によるモル計量基準の設定に重要な土台を築き、基本物理定数研究方面で中国に国際的な発言権を与えるものとなった。

課題責任者を務める中国計量科学研究院の羅志勇研究員と易洪副研究員によると、同プロジェクトでは世界で初めて、「機械スキャン精密位相変調」原理と「新五幅算法」に基づくシリコン球直径の精密測定が実現され、システム全体の測定再現性は0.5nmを超え、直径測量の精度は0.9nmを超えた。プロジェクトで設計された多層特殊パイプ配置真空系統は「位相重ね合わせ効果」と「温度勾配補償効果」の精密温度制御を実現し、真空腔内の温度の長期安定性は1mKを超えた。

単結晶シリコンモル質量精密測量研究では、課題チームは、五フッ化臭素法による四フッ化ケイ素サンプル調合のための新たな実験装置を構築し、工法プロセスを改良し、調合における完全転化や無分留、分子レベルでの均等混合、低汚染などを実現した。またシリコンモル質量を正確に測定する新たな判断根拠を提起した。

課題チームは、五フッ化臭素法による四フッ化ケイ素調合とアルカリ溶解法による四フッ化ケイ素調合の両工法プロセスの研究を通じて、世界のアボガドロ定数の研究チームが採用しているアルカリ溶解法によるサンプル作成過程に分留効果があることを発見、分留効果の値を正確に測定した。またX線結晶密度法と天秤法で測量されるアボガドロ定数の不一致の原因を究明し、アボガドロ定数測量の鍵となる技術で大きなブレークスルーを実現し、質量の基本単位であるキログラムと物質質量の基本単位であるモルの再定義に向けた技術的な土台を提供した。

中国計量科学研究院が展開するアボガドロ定数測量キーテクノロジー研究は現在、世界のアボガドロ定数研究協力プロジェクトの重要な一部となっている。国際組織との協力を通じたアボガドロ定数測量技術の研究は、中国の数多くの先端ハイテク測量技術の発展（ナノレベル精密測量技術の研究、物質質量の精密測量技術の研究、体積と密度の精密測量技術の研究など）をリードすると同時に、基本物理定数を土台とした中国の計量単位体系を構築・改善し、科学技術面での競争力を高め、ハイレベルの科学研究人材を育成するのに重要な意義を持つ。

海洋技術

海底希土類元素研究の進展状況

呉 紹淵 ●中国海洋大学環境学院



1984年9月生まれ、中国海洋大学海洋環境学院博士課程在籍。2010年9月には、華東師範大学の河口や沿岸の国家重点実験室卒業、海洋化学修士を取得。

2013年7月に、アメリカオレゴン大学のロー・スクール（School of Law, University of Oregon）法律修士学位を取得。

現在では、主に海洋資源、国際海洋法と海洋化学、生態学の研究を行っている。

国家自然科学基金プロジェクト及び国家863プロジェクトなど多くの関連研究プロジェクトに参加している。

はじめに

希土類は、高度な技術や先端的な技術が求められるハイテク産業開発において、機能性素材の原料として必要不可欠な金属資源であり、国の戦略的な面からも重要な価値を持つ。

希土類元素は、陸上では世界のさまざまな国、地域に存在するが、偏在性が高いことを考えると、今後は海洋底が当該資源の探査や開発の新たな区域になると思われる。

本稿は、近年の関連する研究開発の成果と進捗状況を検証し、今後の研究の見通しを示唆したいと考える。

1. 海底希土類元素研究の意義と価値

アメリカ地質研究所（United States Geological Survey, USGS）が2013年に公表した最新データによると、希土類元素の世界埋蔵量はおよそ1.1億トン、それに対し中国の埋蔵量は5500万トンと、全体の48.34%を占めている。

しかし、半世紀にわたり採掘に注力した結果、中国の希土類元素の埋蔵量と保障年限は下がり続け、主な鉱区の資源減少に加え、在来の鉱山資源も枯渇していった。加えて、中国の鉱山企業の多くは、資源を循環利用することの意識が欠如していたため、限りある資源を効率的に利用、再生産することが十分に行われておらず、その結果、希土類元素の採掘と利用の過程において大量の浪費をもたらした。

近年では、環境保護と限りある資源の計画的な採掘を行うため、中国政府は希土類を対象とした資源保護政策に転換し、かつ希土類元素の採掘に制限を加え輸出枠の大幅削減方針も打ち出した。そのため、2011年の国際希土類市場の価格が一時高騰し、供給量は不足する事態となった。

現在、希土類元素は材料化学、生物医学、ナノテクノロジー、情報技術、航空宇宙、環境対策、次世代自動車、風力発電などのハイテク分野において欠かせない資源であり、今後、応用用途はさらに広がるであろう。

国の基盤を維持するためには、資源を確保し、安定的に供

給することが必須であり、欧米の鉱山企業は希土類の採掘、開発に努力を重ねた結果、顕著な成果を挙げている。そのことにより、国際的な希土類市場の構造に根本的な変化が生じ、中国の希土類産業界は厳しい挑戦を強いられている。

2013年のアメリカ地質調査所（USGS）の統計によると、世界に占める中国の希土類年間生産量は、2011年の95.0%から2012年は86.8%へと減少した。そうした中、希土類元素の海底開発は次第に世界中の注目の的となり、高い関心を集めるようになった。

日本政府は、希土類の対中依存度を引き下げようと「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」を策定し、2018年までの中長期計画の中で、海底熱水鉱床の探査と試掘を加速させるものと思われる。

2011年、日本の加藤泰浩教授らのグループは、著名な学術誌「ネイチャー・ジオサイエンス」に、ハワイを含む太平洋中部の約880万平方キロメートルの海底、及び東南部に位置するタヒチ島付近の約240万平方キロメートルの海底に、高濃度の希土類元素を含む泥が堆積していることを発表した。

その埋蔵量は陸上の1,000倍とも言われ、加藤教授らは、太平洋海底の泥中に存在する希土類の埋蔵量は1000億トンに達するだろうと予測する。

さらに2013年、同教授らはインド洋東部の深海底で、希土類を豊富に含む泥を発見したと発表した。こうしたことから、陸上では一部の国に偏在する希土類元素が、海底には広く分布する可能性が出てきたのである。

80年代より、中国では地球科学の研究に熱心に取り組んでおり、南シナ海海底堆積物中の希土類についても同様に研究が進んでいる。併せて、海底の堆積物や氷河、年輪などの分析から、陸上や海洋の過去の気候変動を研究する分野においても一定の成果を挙げている。

近年では、科学技術の進歩に伴い、国家プロジェクトの

立上げや国際協力も進み、国際協力による国際深海掘削計画(IODP)が展開されるなど、南シナ海海底堆積物の希土類調査は、その規模も範囲も拡大し新たな段階を迎えている。

2. 中国周辺海域における海底堆積物の研究状況

近年では、深海探査技術の発展とともに、国家の勢いも増し、国際協力の基盤も整い、中国周辺海域における海底堆積物の希土類元素の研究領域は拡大しつつある。それに伴い、関連するデータや資料もその充実度を増し完備されつつある。そしてこれらの研究により、堆積物中の希土類元素の起源とその分布状況は海域ごとに差異があることがわかっている。

中国周辺海域における表層堆積物中の希土類の研究は、1960年代に遡る。以降、中国科学院南海海洋研究所が、中国周辺の海域について調査研究を続けている。

深海探査技術が日増しに成熟するにつれ、新たな海底堆積物のサンプル採取も可能となり、データや知見も随時更新され完備されつつある。

例えば、中国とドイツとの共同調査による1994年のSonne 95航海(S017940)、1999年のODPI84航海(1144)、さらに中国とフランスとの共同調査による2005年のMarco-Polo航海(MD05-2905/6)では、南シナ海北部に位置する大陸斜面の進化中の堆積物について調査を実施している。

また、付淑清らは、海洋開発研究プロジェクトによる航海において、永暑礁にて86GCコラムサンプルを採取し、希土類元素の含有量を測定、地球科学的な観点から地球の構造や歴史について分析を行った。

呉夢霜らは、南海北部の深海区域の堆積物中の希土類の研究から、地質時代の区分でいう中新世から漸新世にかけて、大きくその構造が変化していることを突き止めた。

しかしながら、現在、南シナ海海底の堆積物中の希土類の研究海域は、珠江口盆地流域、伶仃洋、鶯歌海など南海北部に集中しており、さらに広い規模で、より体系的な海洋地質調査を実施し、持続可能な開発を行う必要があると思われる。

3. 各海域の堆積物中の希土類の比較研究

中国の渤海、黄海、東シナ海と南シナ海の堆積物には、希土類元素の含有量が高く、平均質量比は $156 \mu\text{g/g}$ とされ、地殻希土類元素の典型的な特長が見られる。つまり、中軽希土類の含有量が、重希土類よりも明らかに高いのである。また南シナ海の希土類元素存在度パターンの特長としては、大きな負のCe(セリウム)異常を示しているが、

負のEu(ユウロビウム)異常は小さいのである。

馬栄林らの研究から、海南島の南、渡江沿岸河口域の希土類元素の質量比は $45.99 \sim 225.80 \mu\text{g/g}$ で、その平均値は $124.94 \mu\text{g/g}$ であることがわかっている。堆積物中の希土類は低いが、粘土中の中軽希土類元素は $2 \mu\text{m}$ と高く豊富であった。

また顔彬らの研究では、広東省沿岸の10地点の海湾を調査したところ、希土類の質量比は $251.77 \sim 133.58 \mu\text{g/g}$ の間にあり、その堆積物は主に陸地から流れてきたとしている。それは、南シナ海の北部湾の表層堆積物中の希土類は細かく含有量は高いが、今回の調査では粗く、含有量が低いという特長が見られたからである。

現在の研究データからは、南シナ海と他の海域との堆積物中の希土類を比較すると、その豊富さと含有量において典型的な相違があることがわかっている。

4. 展望

総じて言うならば、中国周辺海域における現在の希土類元素資源の研究領域については、次の分野でなお強化すべき点がある。

- (1) 中国周辺海域は広大な領域であり、既存の研究成果やデータはまだ不十分であり、正確には希土類資源の分布状態や含有量などを把握できていない。したがって、今後とも海洋調査を通じ、海底全容の研究を続ける必要がある。
- (2) 海洋環境条件の違いによる希土類鉱床の形成枠組みと希土類が蓄積されている位置の予測、及び識別のための研究、特に多金属結節/クラストの研究を強化する必要がある。
- (3) 現在の研究手法、手段は画一的で、過度にトロール調査のような伝統的な手法に依存しているため、今後は無人潜水機の研究開発に注力し、全海域の即時観測と現場分析を可能にする必要がある。
- (4) 現在の資金調達メカニズムから、国家や企業、個人の海洋ハイテク分野、特に希土類元素開発への投資、資金調達へと移行、強化することにより、今後の実験的、商業的な希土類資源海底資源の利用のための技術的な基礎を築く。
- (5) 海底資源開発と生態系保護の研究を強化し、今後の資源の持続可能な開発に必要な理論的基礎及び技術的支援を提供する。

中国沿岸地域の土地利用の リモートセンシング(遠隔探査)分類システム研究

侯 西勇 HOU Xi-Yong ●中国科学院烟台海岸带研究所研究員



1975年5月生まれ。2005年6月、中国科学院地理科学・資源研究所 地図学・地理情報学システム専攻 博士課程修了。2005年8月～2007年6月、中国科学院地理科学・資源研究所 中国生態系統研究ネットワーク(CERN)にてポスドクとして研究に従事。2011年3月～9月、米国デューク大学にて訪問学者として空間分析を行う。現在、主に沿岸地域の土地利用、土地被覆の変化、海岸線変化のモニタリング、沿岸地域における生態系の脆弱性評価、沿岸域総合管理などの研究の傍ら、大学院生の指導を行っている。

はじめに

土地利用研究において土地利用の分類は、地質調査や土地の評価をするために重要で基本的な問題である。

科学的かつ合理的な土地利用分類システムは、その地域の土地の構造的な特徴を理解するのに役立つだけでなく、土地観測技術を開発することにもつながると考えられている。リモートセンシング(遠隔探査)による成分情報から、地表の物体は複雑な要因から形成されていると考えられるが、従来の土地分類システムでは土地の利用に有効な詳細画像を得ることができない。このため、近年では土地利用分類システムのためのリモートセンシングデータベースが注目されている。

沿岸地域は、陸、海、空気が総合的に作用する地域であり、沿岸の土地利用は重要な研究課題である。しかし、中国では全国的に見ても土地利用分類システムにおける沿岸地域の情報が少なく、内陸地域に偏重している。これは沿岸土地資源の調査、開発において、および継続的に沿岸地域を管理し、計画的に土地を利用することにおいても不利である。

したがって本稿では、近年の国内外の沿岸地域の土地利用リモートセンシング分類の研究事例を整理・分類し、精度の高い図面を用いることにより、中国に適した沿岸土地利用分類システムの確立に努めたい。

1. 中国の沿岸土地利用分類システムの事例

1.1 土地利用の分類

呉伝鈞らは1980年代から中国の沿岸土地利用の研究調査を実施し、土地資源を10の一級類型、42の二級類型および35の三級類型に分類した。そのうち、一級類型は耕作地、果樹園、森林、牧草地、水域と湿地、都市部、鉱工業用地、交通用地、特殊用地とその他の用地に分けている。

劉紀遠らは地球観測衛星「ランドサット」の観測装置・

セマティックマッパー(TM)の観測データと中国・ブラジル地球資源衛星「CBERS-1」の画像データを用い、1990年代には中国全土の縮尺10万分の1レベルの土地利用データベースを作成した。その中には、農地、森林、草原、水域、都市の鉱工業地と居住地、未開発地の6つの一級類型と二級類型が含まれている。侯西勇と徐新良は、このデータベースに基づき中国沿岸地域の近年の土地利用の特徴を研究し、内陸地域に比べ、沿岸地域は永久凍土と砂漠の2つの二級類型が欠けていると指摘した。

黄河デルタは国際的に重要な意味を持つ河口デルタ湿地であり、また、土地利用変化研究のホットスポットの一つでもある。

葉慶華らは、土地利用の歴史資料およびランドサットTMの観測データから黄河デルタの多時相の土地利用データを得た。主に海域、農地、果樹園と森林、草原、住宅地や鉱工業用地、交通用地、土地、水域(砂浜も含む)、未開発地あるいは開発困難な地、アルカリ土壌の土地などが含まれている。

王玉らは、ランドサットTMの観測データに基づいて江蘇省沿岸地域の縮尺10万分の1レベルの土地利用データベースを作成した。その中には、農地、森林、草原、ダムや貯水池、干潟、都市部、農村居住地とその他の建設用地が含まれている。

劉艶芬らはランドサット7号の観測装置 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) の観測データを利用して、連雲港市沿岸地域を海水、砂浜、内陸水域、沿岸の塩湿地、農地、果樹園、森林、都市建設用地、工業用倉庫用地と港用地に分類した。

閔淑君らはランドサットTMとフランス、ベルギー、スウェーデンが共同開発したリモートセンシング衛星「SPOT 5」の観測データを利用して、閩江入り江の琅岐島

の土地利用データを得た。それを農地、建設用地、未開発地の3つの一級類型と、耕作地、果樹園、森林、住宅地、交通用地、水利施設用地、未開発地の7つの二級類型及び26の三級類型に分類した。

孫曉宇らは珠江河口の縮尺10万分の1レベルの土地利用データを作成し、農地、森林、草原、水域、建設用地と未開発地の6つの一級類型、さらに17の二級類型に分類した。

呂志強らはランドサットTMおよびETM+の観測データを利用し、珠江河口の沿岸地域を農地、果樹園、森林、水域、池、建設用地の6種類に分類した。

また、高義らはSPOT 5の観測データを利用して、広東省海島の沿岸地域の土地利用データを作成した。農地、森林、建設用地、草原、漁業養殖用地、水域、未開発地、熱帯林の8つの類型に分類した。

1.2 湿地分類

沿岸湿地は、陸と海の相互作用と人類の生活、活動の影響もあり広く開発された。沿岸地域の重要な土地被覆例である。中国は沿岸湿地資源が豊富であるが、現在の研究では沿岸湿地の区分方法は様々である。

趙玉靈らは中国東部の重要な経済区湿地を近海および沿岸湿地、河川湿地、湖沼湿地、草原湿地、人口湿地の5つの一級類型および浅瀬水域、岩石性海岸、干潟の泥浜、潮間帯、生物のいる浜、河口およびデルタ湿地、永久的河川、季節的または断続的河川、氾濫原、永久的淡水湖、季節的淡水湖、永久的塩湖、季節的塩湖、草原湿地、その他の湿地、人口養殖場と塩場、ダムなどの17の二級類型に分類した。

李玉鳳らは浙江省塩城市の沿岸湿地を、草原、ヨモギ沼沢地、ヨシ沼沢地、養殖地、水田、小川、川、干潟、住宅地の9つに分類し、王斌らは、浙江省の沿岸湿地を近海と沿岸湿地、浅瀬、岩石性海岸、潮間帯、干潟の泥浜、潮間帯塩性湿地、熱帯林の沼地、海岸近くの淡水湖、河口水域、デルタ湿地の10の類型に分類している。

多くの研究では、沿岸湿地を自然湿地と湿地の2つの一級類型に分類しているが、二級類型の分類方法においてはそれぞれに差異がみられる。例えば、温慶可は渤海沿岸湿地を河流水面、湖水面、干潟、砂浜、ヨモギ沼沢地、ヨシ沼沢地、ダムと池、塩場、水田の9つ二級類型に分類しているのに対し、張華らは遼寧省の沿岸地域湿地を干潟、砂浜、潟、沼地、川、淡水湖、ダム、水田、塩田、水産養殖場の10の二級類型に分類している。さらに、魏蘭らは福州市沿岸湿地を砂浜、干潟、河川、浅瀬、湿地草原、ダム、水産養殖場、水田の8つの二級類型に分類しており、高義らは、珠

江河口の沿岸湿地を干潟、河口、浅瀬、熱帯林、湖、河川、ダム、水産養殖場、水田、池の10の二級類型に分類している。

全体的にみると、中国においては1980年代に全国の沿岸地域の土地利用現状調査を行った後、リモートセンシング技術の進化により沿岸地域の土地利用変化に関する研究は徐々に増えたが、多くの研究は中小の地域に限られている。また、同時に経済社会の南北の著しい格差が土地利用の地域性に顕著に現れているのも特徴的である。したがって、沿岸地域の土地利用分類システム研究には普遍性に欠けるところがあり、この点が全国的な沿岸地域の土地利用のリモートセンシング分類と土地利用変化の研究における大きな課題となっている。

2. 中国の沿岸土地利用分類システムの最適化案

2.1 中国沿岸地域の特徴

中国沿岸地域はユーラシア大陸の東部、太平洋の西部に位置し、典型的な東アジアモンスーン気候帯にある。この地域の沿岸の土地利用方法は、その特性および変化の過程から、自然環境と資源の特性に密接に関係していることがわかる。

気象類型、気候帯、土壌類型、植生類型、地形類型などに、南北では顕著な違いがある。また、沿岸地域の環境条件（特に標高、また斜面の地形やその他の要因）によっても土地の利用方法に地域差が生じている。低山丘陵地域においては農地と森林が主となっており、都市や農村工業用地、草原や水域は二次的であり、果樹園や交通用地も比較的少ない。農地は主に標高300メートル以下の地域に分布しており、南部の水田は谷などにある。また、畑はゆるやかな斜面（勾配15°未満）に位置している。

丘陵など地形の障壁が水温に影響して、山東半島、遼東半島と海南島の東部では降水量が明らかに西部より多く、それゆえ、塩田は主に丘陵地帯の西側の海岸平野に分布している。

海岸平野は主に農地として利用され、河口デルタ平野では都市と農村工業用地の割合も高くなっている。河北、天津市沿岸、江蘇省射陽県の揚子江河口および珠江デルタの低地では、主に水田が中心となっているが、一部の低地は池に改造され主に養殖に利用されている。

2.2 土地利用分類の原則

土地利用分類システムでは、大カテゴリーからサブカテゴリーへと階層構造を分けている。全国的に見ると、大カテゴリーである一級類型は細分化し過ぎず中国の沿岸土地利用の最も基本的な特徴を反映できるように、かつ既存の沿岸土地利用分類に紐付けられるように分類した方が

よい。それに対して、サブカテゴリーの二級類型は、沿岸地域に特有な土地利用類型を十分に反映できる必要がある。

中国沿岸地域の埋め立て地は、土地利用変化の重要な特徴である。したがって、土地利用分類においては埋め立て地を十分に考慮し、時間的・空間的变化の特徴などに関する研究ニーズに対応することが必要である。

また、長期的な土地利用変化の研究ニーズを満たすために、ランドサット TM および ETM+ の過去の観測データ、環境減災衛星 (HJ) の CCD データ、ランドサット 8 号の観測データを重視し、30m 解像度のマルチスペクトル画像の識別性と操作性を認識した上で利用することが必要である。

シンプルで実用的であることを原則とし、一定の尺度のもと、分類システムのすべてのカテゴリーのニーズを満たし曖昧さを避けること、またそれぞれの類型に明確に帰属できるように努めることも必要である。

2.3 土地利用分類システムの利用と解釈

上記の原則に基づいて、劉紀遠が作成した中国の内陸地域の縮尺 10 万分の 1 レベルの土地分類システムを参考に、沿岸地域の土地分類システムの最適化案を提案したい。その中には、農地、森林、草原、建設用地、内陸水域、沿岸湿地、人工の塩水湿地、未開発地の 8 つの一級類型が含まれる。また、ランドサット TM の画像データ (4-3-2 バンドの組み合わせ) に基づき、多くの現地調査を行った結果、さらに 24 の二級類型に分類した。リモートセンシングによる土地分類の標識は以下の通りである。

水田：河川、貯水池や湖の付近に分布。灌漑水路は形状がはっきりしており境界が明確である。多くは帯状に分布している。明るい赤色、朱色または暗赤色、色飽和で表示される。テクスチャは均質かつ滑らかで繊細である。

乾燥地：多くの場合、平野となだらかな谷に分布し、明確な境界を持っている。多くは赤色あるいは黒みがかった赤色で表示され、他の土地分類との色調の差は明らかである。小さな斑点は細長い道路があることの特徴といえる。

森林地帯：朱色、暗赤色あるいは黒みがかった赤色で表示される。山の谷間に影を持ち、立体感がある。テクスチャは粗く、形状はほとんどが不規則である。しかし、沿岸防風林の形状は規則的であり、フレーク状または縞状に分布する。色調は均一である。

間伐地帯：朱色で表示され、薄い灰色あるいは濃い灰色が合間に分布し、暗い色調である。形状は不規則で、境界は明確でない。フレーク状に分布し、テクスチャが粗い。

低木林：分布面積は均一でなく、多くは中低山や平野に分布している。暗赤色、薄い灰色または灰色で表示される。形状は不規則で、テクスチャが粗い。

その他の森林：分布面積は均一でなく、多くは中低山、丘陵あるいは平原に分布している。朱色、薄い赤色、灰色と緑黄色で表示される。形状は不規則であり、境界が明確でない。内部のテクスチャが粗い。

高被覆草原：分布面積は均一ではない。赤色、暗赤色で表示される。形状は不規則であり、境界が明確でない。

中被覆草原：分布面積は均一ではない。薄い赤色で表示され、形状は不規則で、テクスチャが粗い。

低被覆草原：薄い赤色、薄い赤みがかった緑色または黄緑色で表示される。形状は不規則で、境界が明確でない。テクスチャが粗い。

都市部：主に紺青色、藍色がかった灰色、間に濃い灰白色が混ざっている。大面積にわたるフレーク径分布を持ち、形状は不規則である。テクスチャが粗い。

農村住宅地：道路、河川沿岸に位置し、周囲に森林、農地が分布している。灰色または薄い灰白色で表示され、内部の色調は不均一である。境界が明確であり、形状は不規則である。

独立した鉱工業および交通用地：灰色、明るい白色あるいは青色で表示される。境界線は明確で、フレーク径分布を持つが、形状は不規則である。テクスチャが粗い。

運河：藍色、群青色あるいは黒色で表示される。境界が明確であり、湾曲帯状あるいは一部直線状に分布している。幾何学的なイメージで形状は不規則、テクスチャは繊細である。

湖：形状は不規則で、境界が明確でない。藍色あるいは群青色で表示される。底部分のテクスチャは繊細で、湖の水深が異なるため、内部の色調が不均一である。

貯留池：形状は規則的で、明確な輪郭を持つ。群青色、藍色あるいは青白色で表示される。内部の色調が均一である。

砂地：川、湖や貯水池の周辺に分布する。灰色または薄い灰色で表示され、他の土地分類との色調の差は明らかである。境界が明確で形状は不規則であり、テクスチャが粗い。

砂浜：海岸線に沿って分布し、海との境界が明確である。細長い帯状であり、灰色や灰白色で表示され、色調は層状である。

河口水域：河が海に流れ込む水域。形状は不規則だが、一定の幅を有する。藍色あるいは群青色で表示され、周囲の海水とは明確な違いがある。

デルタ河口湿地：川の河口に位置する。薄い灰色あるいは灰色で表示され、海の方へ向かって薄い色に変化している。湿地植生に覆われた部分は赤色で表示される。多くは扇形をしている。映像上は細長い溪流の跡が常に確認できる。

沿岸ラグーン：海岸線付近に位置し、藍色あるいは青白色で表示される。境界が明確で、形状は不規則である。テクスチャは均一である。

浅瀬：藍色で表示され、識別しやすい。単相でマッピングされるため、専門的な解釈が必要なく、多くは背景要素として処理される。

塩田：海岸線に沿って分布する。境界が明確で、形状は規則的である。藍黒色で表示され、藍白色の領域は塩結晶の堆積する地域である。内部は縞模様でテクスチャは鮮明である。多くは排水溝で海とつながっている。

養殖地：海や川付近に位置し、海岸線に沿って分布する。藍色あるいは藍黒色で表示される。形状は規則的であり、明確な境界がある。内部ははっきりとした縞模様で、細長い長方形をしており整然とした配列で分布する。

未利用地：多くの場合、建設用地の周辺及び内部に分布し、海岸線付近に位置する。明るい白色、黄白色あるいは白褐色で表示される。形状は不規則で、多くはフレック状で分布する。テクスチャが粗い。

4. 結論

中国の沿岸地域の多様性が顕著であるにも拘らず、国家規模の沿岸地域の土地利用分類と変化の研究は著しく不足しているのが現実である。本稿はランドサットTMおよびETM+、HJ-CCDやランドサット8号などの30m解像度の衛星画像と中国沿岸地域の土地利用リモートセンシング分類システムに基づいて探求している。

また本稿は、8つの一級類型と24の二級類型を採用することによって、簡潔に全国の沿岸地域の土地資源情報を解説し、沿岸湿地の細分化にも役立っている。同分類システムおよびランドサットTMの過去の観測データを使用する場合、中国沿岸地域の20世紀初頭のリモートセンシングマッピングの研究からも、この分類システムには強い実効性があると考えられる。全国規模の沿岸地域の土地資源のリモートセンシング調査、土地利用管理と計画、沿岸の統合的管理などの参考として提供したい。

海洋地殻の沈み込みの断層強度に関する重要な研究成果

中国総合研究交流センター編集部

2014年8月29日、学術雑誌『Science』に、中国科学院海洋研究所 高翔博士の最新の研究成果「Strength of Stick-slip and Creeping Subduction Megathrusts from Heat Flow Observations」が掲載された。この研究は高翔博士とカナダ地質調査所太平洋地球科学センター 王克林 (Kelin Wang) 教授との共同研究で、地震の発生には海洋地殻を形成する地質の特性が関係しており、柔らかい地層が沈み込む場合の方が硬い地層に比べ、壊滅的な海底大地震が発生しやすいというものである。

環太平洋の深海底には壮大な地形が存在する。それは海溝と呼ばれる海底が細長い溝状に深くなっている場所で、1つの構造プレートが他のプレートの下に沈み込ことによって作られる。この沈み込み帯において地震が発生するとされており、深海の断層が破壊され巨大なエネルギーを解放することで、しばしば人類にとっての壊滅的な地震や津波を引き起す。

2004年にインドネシアで発生したマグニチュード9.2のスマトラ沖大地震、2011年に日本で発生したマグニチュード9.0の東日本大震災とそれによる津波は、ともに沈み込み帯で発生し、断層の破壊がその要因であるとされる。

故に、巨大地震により想定される被害の分析とその減災、事前の備えのためには、様々な地球の物理的条件によって沈み込み帯が引き起こす巨大地震のメカニズムを

解明しコントロールすることが必要となってくる。中でも、沈み込み帯の断層の強度と地震活動との関連性については早急な解明が求められる。

一般的に、断層の強度が強い程、発生する地震は大きいと思われるが、高翔博士と王克林教授は異なる見解を示した。中国科学院の戦略的先導科学技術特別プロジェクトとして資金援助を受け地殻熱流量を測定、そのデータから、大地震が発生するとされる沈み込み帯の巨大断層はクリープ現象のように沈み込む断層と比べると摩擦熱が少なく、断層の強度は弱いことを初めて発表したのである。

本プロジェクトでは、沈み込み帯の断層の強度（摩擦係数）と、いくつもの沈み込み帯でこれまでに発生した最大規模の地震との関係性を研究する。研究者は、海洋地殻の粘性や剛性の度合いが沈み込み帯断層の強度や地震の活発化に影響を与えており、剛性が低い、すなわち「柔らかい」海洋地殻が弱い断層を形成し、より大きな地震をもたらすと考えている。

この考えは、巨大地震が起こり得る地質条件を解明するための新しい考え方を示しており、物理的メカニズムの解明に留まらず、地震と津波の防災・減災にも大きく寄与するものである。

中国科学院海洋研究所、小型深海シミュレーション 圧力装置の研究開発に成功

中国総合研究交流センター編集部

中国科学院海洋研究所の海洋装備品の研究開発とシステム集成的グループが、小型の深海シミュレーション圧力装置の開発に成功した。

この装置は円筒形をしており、内径は160mm、高さ約800mm、定格圧力30MPa（水深約3000mの圧力に相当）、最大使用圧力50MPa（水深約5000mの圧力に相当）、保護する覆いの部分は全てステンレス鋼である。フル負荷テストを経て、装置の各指標は設計基準をクリアしている。

小型深海シミュレーション圧力装置は中国科学院海洋先導特別サブトピック「ハイスループット深海海水サンプリングと段階濾過システム」の付属装置であり、深海ポンプ、計量装置、バッテリー室、操縦室などの耐圧性能測定を行えると同時に、海洋観測の現場でもよく使われるCTD（電気伝導度、温度、水深を観測する装置）により、水や塩分をリアルタイムで観測することができる。海洋特別プロジェクトを遂行するため、プロジェクトグループは体積がより大きな深海高圧シミュレーション装置（内径500mm、高さ1000mm）の研究開発も予定しており、関連分野の研究を技術面でサポートする。

中国近海海洋生物のDNAバーコードデータベースの構築

中国総合研究交流センター編集部

中国科学院海洋研究所は、すべての生物が固有に持つDNA配列（すなわちDNAバーコード）を種の識別タグとする、生物の種名を迅速かつ正確に客観的に特定するデータベースの構築を開始すると発表した。そしてそれは、海洋生態系の保全、海洋食品の安全性、海洋権益の保護、海洋生物の分類学と生態学、およびその保護に関する研究を支えることになると提唱した。生物種名を正確に判定するためには、ものさしで物の長さを測るのと同様、客観的な尺度が必要であるが、この尺度のひとつがDNAバーコードデータベースである。

中国周辺の海域は、海洋生物の生物種が非常に独特で豊かであり多様なことでも知られており、このほど始動した「近海海洋生物のDNAバーコードデータベースの構築」プロジェクトでは、DNAバーコードのデータベースを構築し、貴重な海洋生物の種を特定する「尺度」を確立するとともに、海洋生物のサンプルを採取する。

同研究所は、中国で最も権威のある海洋科学に関する総合研究機関であり、中心的存在にある。研究の範囲も基礎研究をベースに、応用から広く開発研究にまで及んでおり、アジア最大規模の海洋生物標本館を有し、国内唯一の海洋生物標本庫として標本78万余を収蔵している。

同研究所は現在4隻の海洋調査船を保有し、このうち「科学号」は我が国最先端の調査船で、遠隔操作無人探査機「発見号」を搭載している。同船は、中国科学院の戦略的先導科学技術特別プロジェクト「熱帯西太平洋システムの物質エネルギー交換及びその影響」に関連する科学調査を担うなど、大型海洋科学調査や様々な調査運航で活躍する予定である。

海洋調査船「科学号」がブラックスモーカーらしきものを発見

中国総合研究交流センター編集部

2014年4月17日、中国の最先端海洋調査船「科学号」は、南西諸島の周辺海域で海洋総合観測を実施していたところ、搭載していた無人探査機（ROV）がブラックスモーカーらしきものを発見した。さらに、いくつもの海底火山の噴火口付近には、エビやカナダマシなどの群れが棲息していた。

ブラックスモーカーとは、海底から突き出している熱水噴出孔から噴出される熱水のことを言い、その周辺には光合成を必要としない生物の群れが存在する。同船の初回の航行での調査任務は、この海底のブラックスモーカーを探索することであった。

中国科学院海洋研究所所長であり、WPOS特別首席研究員の孫松は、科学技術日報の記者に以下のように述べた。

「ブラックスモーカーとは熱水噴出孔から噴き出される熱水のことで、摂氏25度未満の地中からの湧出水である冷泉とは相対するものである。これらは地殻変動が海底に起きたことにより生じたもので、大洋中央海嶺の地溝帯、海底断裂層、海底火山付近など、海嶺や火山フロントに沿うように密集し分布している。すべての生物が太陽の光のもとに光合成を行い、生命を維持する生態系を作り上げているという常識からすると、深海底の太陽光の入ってこない、しかも高温の噴出孔のまわりに生物の群れが存在すること自体、非常に不思議なことである。」

これまでの説によると、ブラックスモーカー周辺の通常の温度は300℃前後だが、大西洋の大洋中央海嶺地溝帯付近ではその熱水の温度は最高で400℃にも達する。海底で蒸気がもうもうと立ち込め、吹き上がる熱水があたかも煙突から煙が立ち上るかのように見えることからブラックスモーカーと呼ばれ、その煙突が林立する様は重工業地帯を連想させる。そして、その「煙突」を囲むようにして多くの生物が棲息している。煙突から吹き出す煙の色はさまざまで、黒や白、また夕暮れの霧のような灰色に近いものもある。

「今回のブラックスモーカーの探索は、地球生命の起源を探ることでもあった。高温、高压下で、しかも光も酸素も存在しない海底の熱水噴出孔周辺に、硫化水素やメタンなどの還元物質に依存し独自の生態系を形成する生物種が棲息することは、人類のこれまでの常識を打ち破るものであった。そして、生命の誕生には諸説あるが、海底熱水噴出域が初期生命の誕生や進化の場と考える研究者は多く、我々の研究スタッフが今回採取したサンプルを分析することで、この謎が解明できるかもしれない。」

孫研究員はこのように述べ、さらに続けた。

「熱水噴出孔の周辺に形成される生態系は、わずかの距離で隣り合う場所でも異なることが確認されている。このことは、熱水に含まれる化合物の今後の研究に役立つはずである。そして、その化合物をもとに有機物をつくる微生物は環境により特殊な機能を持つとされ、微生物の持つ遺伝子もまた、種により異なる。これは新たな研究のヒントにもなり得るだろう。遺伝子プール及び医学分野での研究が促進されることが期待される。」

「現在、人類により解明されている海洋は5%にも満たず、残り95%の未知なる世界はそのほとんどが深海と遠海である。」

孫所長は、西太平洋海域は海洋システム工学の分野においては重要なエリアであり、この海域の気候の変化や地殻変動などによって生じた地質構造を研究することは、中国の防災や減災、海洋資源の開発等に大きく貢献すると述べた。

法律改定、知財および技術移転

中国著作権法第三次改正の進展及び争点

朱 根全 ●北京雷津文化发展有限公司CEO、コンテンツ海外流通促進機構(CODA)北京センター 所長



1968年 5月 中国江蘇省南通市生まれ
 1983年 9月～1987年 7月 北京第二外国語学院日本語科在学
 1987年 7月～1998年 3月 中国文学芸術界連合会国際部日本担当
 1990年 7月～1991年 7月 日本音楽著作権協会(JASRAC)研修
 1997年12月～1998年12月 桐原書店著作権管理研修
 1999年 5月～2012年 3月 日本音楽情報センター(JAMIC) 所長
 2008年 8月～現在 北京雷津文化发展有限公司CEO
 2010年 4月～現在 コンテンツ海外流通促進機構(CODA)北京センター 所長

1979年1月、國務院副総理 鄧小平が政府の代表団として訪米した際、「中米高エネルギー物理協定」の交渉中にアメリカより著作権問題についての提起がなされた。

それから3ヶ月後の1979年4月、国家出版局は、著作権法の起草および万国著作権条約への加盟について國務院に提唱し、これにより著作権法の起草が始まった。

当時の中国では、著作権法の制定は重大な出来事であり、イデオロギーを巻き込んだ大きな論争につながった。ある者は、作家は国から給与を得ている以上、著作権を有するべきではないと論じ、またある者は、ひとたび著作権法が施行されれば外国の書籍や雑誌を再版するには外国人に巨額の版権料を支払わなければならないと論じた。こうした認識は、当時の知的財産権への無関心と困惑を反映していたといえる。

著作権法はこのような背景の中、起草が開始された。そして十数年が経過し、ついに1990年9月7日、第7期全国人民代表大会常務委員会、第15回総会にて「中華人民共和国著作権法」が通過し、同日、中華人民共和国主席令第31号「中華人民共和国著作権法」が公布され、1991年6月1日に施行された。

11年後の2001年10月27日、第9期全国人民代表大会常務委員会、第24回総会にて「『中華人民共和国著作権法』の改正に関する決定」が採択され、第一次改正が行われた。この改正は中国のWTO（世界貿易機関：自由貿易促進を主たる目的として創設された国際機関）への加盟に合わせたものであり、当該「著作権法」とWTOの「貿易に関連した知的財産権協定」との矛盾を修正し補完したものである。

さらに9年後の2010年2月26日、第11期全国人民代表大会常務委員会、第13回総会にて「『中華人民共和国著作権法』の改正に関する決定」が通過し、当該法律の第二次改正が行われ2010年4月1日に施行された。この改正は、WTOにおける中国とアメリカの知的財産権を巡る訴訟の

採決に対応したものであり、2つの条文の改正がなされた。現行の著作権法は、この時改正されたものである。

現行の著作権法は2度改正が行われたが、それは対処の仕方が極めて受身的で部分的なものにすぎなかった。つまり2度の改正は中国の経済や社会の発展、及び科学技術の進歩に適応しておらず、主体的な改正を行う必要性が程なく生じることとなる。

ここ数年来、中国の知的財産権を巡る紛争が増え、著作権法に関する裁判案件がかつて無いほどに増加している。

著作権法の改正作業が始動した2011年、中国全土の人民法院第一審で受理した知的財産権に関する訴訟は58,745件で、その内、著作権に関するものは35,185件に上る。これはすべての知的財産権訴訟の59.8%を占めており、中でもインターネットを巡る訴訟は過半数に及ぶ。立法体制の遅れにより、長年、行政機関の行政規則、司法機関の司法解釈や判例などが、社会や集団における行動や判断の基準とされてきた。そのため、法規範による統一が必要となり、法律改正により改善が図られることとなった。台湾及び中国は2001年末にWTOに加盟したが、その後台湾は2003年、2004年、2006年、2007年、2009年、2010年と6回も著作権法を改正している。同時期、隣国の日本、韓国も時代に順応して何度も著作権法を改正してきた。そこで、国内外の変化もあり中国政府は遅れつつも著作権法を改正せざるを得なくなったのである。

『中華人民共和国著作権法』（修正草案）に関しては、以下の通り説明されている。「現行の『著作権法』には2つの顕著な課題がある。1つは著作権の保護が十分ではなく著作権の侵害を抑制するのが困難であるため、制作者の積極性を奨励するには不足があるという点。また、著作権機構との契約のルールが確立されていないため、使用者に有効で迅速な権利が認められていないことも問題である。このことにより作品の伝播が困難になり、産業の健全な発展が遮られている。これがもう一つの課題である。この2つの課題の解決が、今回の法律改正の重要ファクターとなる。」と。

2011年3月4日、全国政協委員で國務院参事でもある著名な作家 張抗抗は國務院に対し著作権法と関連法規をできるだけ早く改正するよう提唱した。この結果、温家宝総理は著作権法及び関連法規の改正作業を命じたのである。

2011年7月、著作権法の第三次改正作業のため、国家版權局は「国家版權局著作権法改正作業グループ」及び「国家版權局著作権法改正作業専門委員会」を立ち上げ、著作権の分野で大きな影響力を持つ3機関（中国人民大学知的財産権学院、中国社会科学院法学研究所知的財産権研究センター、中南財經政法大學知的財産権研究センター）に著作権法の改正草案を起草させた。

2012年3月、改正草案の第1稿がまとめられた。3月31日、国家版權局の公式サイトで草案が公布され、締め切りを1ヶ月後とし各界の意見を求めた。

2012年7月6日、改正案第2稿の完成を経て、国家版權局は再度意見を求めた。締め切りは7月31日であった。

2012年10月30日、新聞出版総署、国家版權局は北京で『著作権法』改正作業グループの第2回の会議を開催し、改正案第3稿を完成させた。

2012年12月18日『中華人民共和國著作権法（改正草案の原稿）』が国家版權局から國務院法制弁公室に送られた。

2014年6月6日、國務院法制弁公室は審議を経て『中華人民共和國著作権法（改正草案の原稿）』全文を公布し、各界の意見を求めた。締め切りは2014年7月5日とした。

この過程での争点は以下の通りである。

1. 公演と放送における録音制作者の報酬権の拡大について

CDあるいはその他録音作品が放送局から放送され、又はバック・ミュージックとしてデパートやホテルで使用された場合、現行の著作権法では、作詞・作曲者には報酬が支払われるが、レコード会社には報酬が支払われない。しかし他国の法律では、レコード会社も同じく報酬を得ている。

「実演及びレコードに関する世界知的所有権機関条約」の規定では、各国はこれを保留する権利があるともしている。

そこで2007年、中国が「実演及びレコードに関する世界知的所有権機関条約」に加盟した際、この条項に則り、録音制作者であるレコード会社には報酬を得る権利を与えなかった。しかし、ここ数年、レコード会社は強烈にこの

権利の必要性を呼びかけている。現在、レコード会社は現行の著作権法において、複製権、発行権、貸出権、ネットによる伝播権の4つの権利を保有しているが、これでは不十分としさらなる権利を主張している。

2001年に著作権法が改正された際、作詞・作曲者には作品が放送された場合の報酬権を認め、2009年に國務院は報酬の基準とその支払い方法について発布した。

2011年には、作詞・作曲者に使用料を支払うことで放送出来ることとなった。今回の改正で、録音制作者側にも権利を与えることとなれば、録音作品を放送する際、作詞・作曲者のみならず、録音制作者であるレコード会社にも費用を支払わなければならない。

国家版權局は草稿の中でこの条項を追加したが、國務院法制弁公室、全国人民代表大會を通じ、放送協會が反対声明を公表した。中国では放送協會の権利は絶大なのである。

2. 録音の許可に関して

今回の改正では、録音の許可に関しメディアの高い関心を集め、改正第1稿を非難して悪法という者さえ現れた。「著作権者が使用禁止と明言することにより、作品の使用が禁止される」という声明条項に関しては、現行の著作権法の規定と大きな変化はない。ただし、3ヶ月後には録音ができるという条項を追加することになったため、この声明条項は取り消される事となった。国際条約や各国の法律では録音の許可の規定があり、主に録音制作者の発展のために、作詞・作曲者に制限を課している。つまり、作詞・作曲者が一度レコード会社に録音をさせると、他のレコード会社は一定の報酬を支払えば作詞・作曲者に許可を求めることなく録音することができるというものである。この条項は社会で注目を集めた。音楽著作権協會、著作権管理協會、音楽家協會等に意見を求めた所、メディアや権利者を含め、皆反対を表明した。よって、国家版權局は、第2稿の時に録音許可の規定を取り消し、國務院に送った草稿でもこの一条は取り消された。

3. 著作権管理団体の管理領域の拡張について

草稿の規定で、代表的な著作権の管理団体が非会員に対しても著作権の管理を行えとし、論議を呼んだ。この「管理領域の拡張」には、「使用者が合法的に作品を使用したいと望んでも権利者を探し出すことができない」といった問題を解決できるという良い側面があり、使用者の保護を強調したものである。しかしながら、著作権管理団体が非会員にまで拡大し、権利者の代理となり得るかが問題となった。現在、著作権管理団体はまだ十分にその機能の効果を検証しておらず制度も整っていない状況下では非会員にまで管理を拡張するのは妥当ではない、といった意見

もある。このように社会の反響が強かったことから草稿では、著作権管理団体が行う管理はすべての著作権を対象とするのではなく、カラオケの使用に限り認められ、放送事業者の使用についてはむしろ許可することが妥当であろうとされた。

4. 映画作品による作者の権益拡大に関して

今回の著作権法の改正の中で、権利帰属に関した主な争点の対象は視聴作品、著作権法15条の映画についてである。一般的には、ある個人が作品を制作するとその権利はその個人に属するが、映画は事情が異なる。というのも、映画は集団で制作するものであり、脚本、監督、音楽、撮影等、作者がそれぞれにいるからである。

現行の著作権法15条では、映画の作者とは、——脚本家、作曲家、監督など、作品に関わった複数の者を指すが、映画の完成後はただ署名する権利しかなく、その他にはいかなる権利も有していない。例えば、映画がテレビやネットなどで放映されても映画の制作に携わった作者には何の関係もなく、権利は映画制作会社に帰属することになる。中にはフランスのように映画制作に参画した人全てを著作権者とする国もある。ただ一般的な国際条約や多くの国の法律では、著作権の行使は映画制作会社に帰属しており、映画制作会社は映画制作時に参画した作者たちに報酬を支払う以外にも、完成した映画が再利用される際には、作者にも応分の利益を分配するよう定められている。しかしこのような規定は中国には存在しないため、映画完成後、映画の再利用の際には、作者たちには何の権利も発生しえないのである。

今回の著作権法改正では映画の二次利用の利益の再分配について盛り込む予定であったが、異論も多かったため。国家版權局が國務院法制弁公室へ草稿を提出した際には、利益の再分配は、作者と映画制作会社とが協議して決定するものと規定された。作者の範囲も争点となり、脚本、音楽、監督、撮影、編集等全てが作者となり得るかどうか、議論されたが、この点は国によってその判断が異なっている。さらに、映画制作会社と作者が協議し作者が権利を放棄した場合には、映画制作会社側が権利を単独で行使できるのか、作者の報酬権について留保する国もありこの点も問題となった。國務院法制弁公室に提出した草稿では、映画制作会社側の反対の声が非常に強かったため、報酬権の留保についての規定は明記されなかった。

5. 、美術作品の追求権の拡大に関して

今回の法律改正では、美術品の追求権が拡大された。

追求権とは何か？現在、美術品がオークション等により一次取引される場合、作品の作者に印税が支払われている。

しかし、その後の取引ではオークションやその他の形態にかかわらず、作品の作者には印税は支払われず、利益は取引した者に属することになっている。しかし、海外では、一次取引以降も作品の作者に印税が支払われており、EUでは基本的に取引額の5%以下が支払われている。

現在、中国は芸術品取引の市場としてはすでに世界第2位の大国であるが、芸術品の取引においては、約20%～30%しか著作権で保護されていない。例えばアメリカ、フランスなど海外のオークションで中国の美術品が取引されたとしても、中国の作家や芸術家は、追求権がないため、取引での印税を得ることが出来ないのである。

これらの芸術家の追求権により徴収された金額は、中国にはこれに関する法律がないため、関連部門にとどまり、作家に十分な金額が支払われていない。そこで、中国の芸術家は海外の関連する管理団体に加盟しない限り、追求権としての十分な金額を得ることが出来ないのが現状である。よって、著作権法の改正では国家版權局は美術品の追求権について明記したいとしたが、この点も論争が起こった。反対意見を表明したのはオークション関係者であり、中国オークション協会は版權局と交渉し、美術品の追求権に断固反対した。しかし、国家版權局は国際慣例と中国の実情により、美術品の追求権を草案に加えたのである。

6. 職務作品の権益帰属に関して

現行の著作権法では、職務上制作した作品には2種類ある。その1つが、普通職務作品と呼ばれるもので、契約や雇用関係の下で制作され、その権利は制作者個人に帰属するとするもの。例えば、新聞記者が執筆した記事の権利は記者に属する事になる。そして、新聞社は2年間の優先利用権を有するため、他者が利用する事はできない。もう1つが、法律や契約によって制作される特殊職務作品であり、典型的な例はコンピュータのソフトウェアである。この場合、権利は組織に属し、制作者ではない。「百科全書」「辞書」「教材」なども集団により作品を完成させたので、権益は組織に帰属することになる。

今回の著作権法改正の第1、2稿では、特約がある場合を除き、新聞記者の職務作品は組織に属することとなった。又、ラジオ局やテレビ局でも制作した番組の権利は組織が所有することとなった。国家版權局が國務院に提出した草稿の中でも、ラジオ局、テレビ局の記者の制作する職務作品の権益は組織に属すると規定された。

この条項は大論争を巻き起こし、100以上のメディアが中央宣伝部に手紙を送り、反対を表明した。『南方都市報』の文章では「記者は著作権を喪失した」と怒りを露わにした。

7. 「孤児作品」に関して

権利帰属の改正は重要な事項であり、著作権法の中で「孤児作品」についての概念を追加した。「孤児作品」とは、作品の著作権が誰に帰属するのか分からず、又は判明しても著作権者を探すことができないことを指す。このような場合には著作権をどのように処理するか、解決が極めて困難な問題である。中国の現在の著作権環境下では、この条項があれば濫用されるおそれがある。即ち、作者が不詳であるか、判明しても探すことが出来ないとして、多くの人により孤児作品の利用が拡大する懸念が付きまとう。

今回の国家版權局が提出する著作権法の最大の特徴は、「改正の扉を開く」ことにある。国家版權局は2度の改正原稿を公式サイトで公表し、意見を求めた。改正の過程や内容は史上例に見ないほど透明性が高く、このことは法律制定作業における明らかな進歩といえる。

今回の『著作権法』改正は、全面的なものであり、中国の実情に適応した形となっている。つまり、中国の知的財

産権に関する国家戦略を体现し、関連する国際条約の規定に合わせた内容となっている。そして、行政法規、司法解釈などの関連規定を統合し、社会に散見される各界の諸問題を解決しようと試みている。勿論、草案の内容は様々な点で不十分であり、先進国の著作権の水準と比較してもまだまだ及ばないが、中国の著作権保護の水準を高めようと改善、努力していることに大きな意義がある。

現在、国務院法制弁公室での意見公募作業は既に終了した。手順に従い、次に国務院法制弁公室の審議を経て各方面の意見を調整後、国務院常務会議を経ることになる。その後、国務院から全国人民代表大会に議案が提出され、審議の上通過させることとなる。

国務院と全国人民代表大会の調整により、2015年内に著作権法改正が審議されることになると言われている。その時、4年もかかった著作権法の三次改正がなされるであろう。

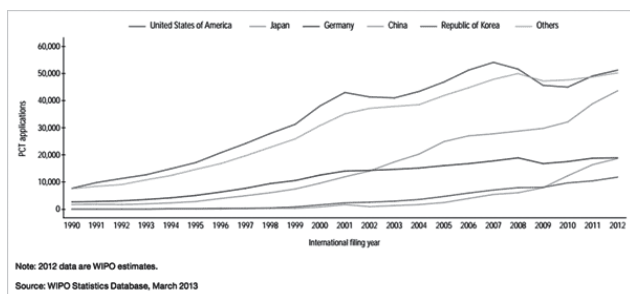
大学におけるオープンイノベーションによる特許技術の商品化

陳 東敏 ●北京大学科学開発部部長、北京大学産業技術研究院院長

1. 大学における特許技術実用化への課題と解決策

1985年、中国で特許法が施行されると、以来、中国は知的財産権についての理解の普及とその実用化で大きな変化を遂げた。過去3年間の中国の特許出願総件数は世界第1位であり、特に2013年には、その件数が70万件を超え、世界の3分の1に達するほどであった。また、同年の中国のPCT（国際協力条約）に基づく国際特許出願件数はドイツを超え世界第3位となり、米国、日本に追いつく勢いであった。（図1）

しかしながら、このPCTによる国際特許出願件数は、実は国内での出願件数の4%にも満たないのである。一般的に、国内での出願件数より、国際特許出願件数の増加がその国の技術革新やグローバル化を反映していると言われる。



◎図1 国際特許出願件数の推移（主要5ヶ国）

先進国においては、大学や国が関与する科学研究機関等で占める科学研究費の割合は比較的高く、特許出願件数も民間企業の倍近くに上り約20%に相当する。一方、中国では、北京大学、清華大学、中国科学院の研究費は、それぞれ約30億元/40億元/400億元（人民元）に達し、政府が助成する科学研究費の20%を占める。さらに、大学、及び大学院の特許出願件数が全体の20%と、国際的にみても高い数値を示している。2012年の世界各国の大学別国際特許出願件数を見ると、北京大学が第9位、清華大学が第16位となっている。（表1. 米国特許出願を除く）

だが、中国の大学や科学研究機関の特許維持率は決して高いとは言えず、多くの特許が2回目の特許維持費の支払い時に権利が失われているのである。（表2）

先進国では産学連携による研究実績は非常に豊富であるが、残念ながら大学の特許転化率は低く、特許技術の活用により実質的な経済的利益をもたらすことができるの

◎表1 国際特許出願件数 世界大学別ランキング

Rank	Applicant's Name	Origin	PCT applications		
			2010	2011	2012
1	UNIVERSITY OF CALIFORNIA	United States of America	304	277	351
2	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY	United States of America	146	179	168
3	HARVARD UNIVERSITY	United States of America	91	88	146
4	JOHNS HOPKINS UNIVERSITY	United States of America	89	111	141
5	COLUMBIA UNIVERSITY	United States of America	91	82	114
6	UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM	United States of America	129	127	114
7	SEOUL NATIONAL UNIVERSITY	Republic of Korea	97	99	101
8	LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY	United States of America	54	79	95
9	PEKING UNIVERSITY	China	26	29	92
10	UNIVERSITY OF FLORIDA	United States of America	107	84	89
11	CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY	United States of America	50	59	88
12	KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	Republic of Korea	51	103	82
13	CORNELL UNIVERSITY	United States of America	81	88	73
14	UNIVERSITY OF TOKYO	Japan	105	98	66
15	YONSEI UNIVERSITY	Republic of Korea	38	43	65
16	Tsinghua University	China	24	36	62
17	ISIS INNOVATION LIMITED	United Kingdom	46	62	62
18	KYOTO UNIVERSITY	Japan	47	70	61
19	UNIVERSITY OF MICHIGAN	United States of America	79	96	59
20	PURDUE UNIVERSITY	United States of America	50	41	57
21	TOHOKU UNIVERSITY	Japan	41	51	56
22	UNIVERSITY OF UTAH	United States of America	59	50	55
23	NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE	Singapore	24	50	54
24	POSTECH FOUNDATION	Republic of Korea	31	36	50
25	NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY	Singapore	22	29	49
26	STATE UNIVERSITY OF NEW YORK	United States of America	32	40	48
27	UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA	United States of America	42	43	47
28	KYUSHU UNIVERSITY	Japan	27	41	47
29	TEL AVIV UNIVERSITY	Israel	39	43	46
29	UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA	United States of America	76	64	46
29	WISCONSIN ALUMNI RESEARCH FOUNDATION	United States of America	47	46	46
29	HANYANG UNIVERSITY	Republic of Korea	46	50	46

◎表2 中国における大学別特許取得状況

NO	大学名	2011 特許 取得数	2011 有効 特許数	2012 特許 取得数	2012 有効 特許数	2011 特許 無効件数
1	浙江大學	1401	4407	1709	5434	682
2	清華大學	1166	4376	1239	5286	329
3	上海交通大學	632	3056	835	3270	621
4	ハルビン工業大學	787	2047	871	2533	385
5	北京航空航天大学	639	1869	863	2428	304
6	東南大學	499	1538	650	2055	133
7	華南理工大學	495	1495	587	1954	128
8	西安交通大學	376	1366	460	1644	182
9	天津大學	452	1225	478	1410	293
10	北京大学	332	1049	411	1355	105

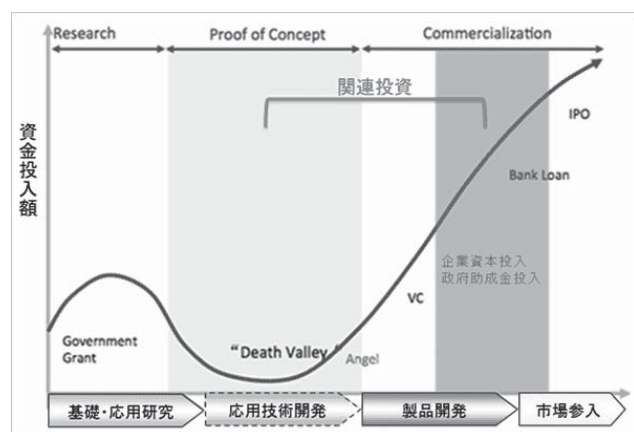
は僅か5%ほどに過ぎない。これが、大学における特許取得の現実なのである。科学技術研究において、大学の基本的な方針は基礎研究の探究であり、基礎科学の成果の実用化を目指す応用研究の分野が設置されていても、現実には基礎科学の研究に注力する傾向にある。そして、研究のほとんどは原理や原則の追究、発見に費やされ、独創性はあっても応用研究には多額の資金と研究者の投入が必要となるため、実用化には程遠いのが実状である。ましてや、その成果には優位な商品価値があり、十分なりターンが見込めなければならない。そこに、知的財産権の保護と戦略が必要になってくる訳であるが、多くの大学は資金面でも人材面でもその資源は不足しており、計画的な特許戦略が立案できずにいる。

中国の大学や研究機関で特許転化率が低いもうひとつの理由は、環境が整備されていないことにある。過去30年間にわたり、中国は多くのテクノロジー企業を輩出し技術革新を進めてきた。しかし未だに、創造的な思考力を持つ人材の確保や研究施設の整備など不十分な点が多い。一

方、国有企業は多くの先進的な研究者を有するが、創造性を高め推進するための体制も能力も欠いている。大学が取得した特許を実用化へと転化させるためには、研究者がそのプロセスに参画できるようにする必要があり、政府は教授陣が起業し、研究開発から企業経営へと、そのプロセスに携わることを奨励している。

大学が取得した特許の実用化への転化には3つの課題がある。

- (1) 特許の実用化への転化率を上げるにはまず特許の商業的価値を高めることである。ひとつの重要な発見は、一般的にはコア技術の独占と製品の開発から生産に必要な特許などをまとめて評価する「特許ポートフォリオ」と呼ばれる特許群により、その権利が保護される。ただこれには、特許業務のプロや技術移転の専門家の協力が必須であり、大学内で有益な発見がなされたとしても、こうした体制が整っていなければ、収益性の高いビジネスモデルを実現することはできない。
- (2) 特許の有効期間は20年である。大学で生み出された独創性の高い研究成果を実用化するまでには相当の年数が必要であり、市場参入の目処がついた時には、特許の有効期間がほとんど残されていない状況となる。特に、バイオ医薬品の分野では、このことが顕著な課題となっている。ひとつのコア技術の発見は、多くの異なる分野に及ぶこともあり、1つのチーム（一大学、または一企業）だけで完結するのは困難である。
- (3) 大学の有益な特許技術の転化には高額な資金が必要となるが、先端技術が開発される過程では失敗率も高く、民間企業や政府はハイリスク、ハイリターンへの投資には否定的である。その結果、研究開発の段階で、研究資金が絶対的に不足することになる。これが、「死の谷」現象と呼ばれるものである。（図2）



◎図2 科学研究成果の転化過程における「死の谷」曲線

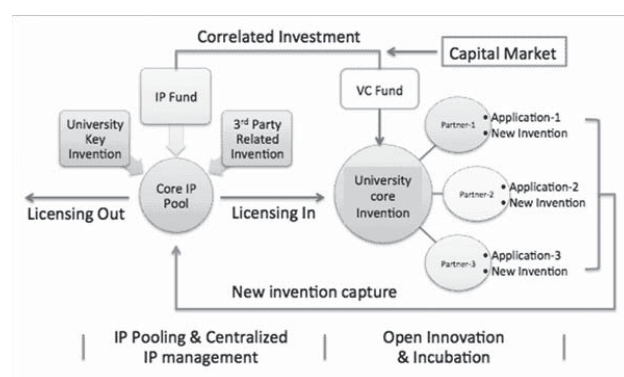
これらの課題を解決するための従来からの取組みは、特許技術の実用化への転化（課題1）であり、限られたマーケットでの特許権の販売許可（課題2）であった。こうした試みにより成功した例は散見されるが、それでも全体的にみれば、大学での特許技術の転化率は極めて低いのである。

近年、いくつかの「特許不実施主体」（NPE）と呼ばれる特許管理専門の会社が現れ、知的財産担保融資（IP Bank）や知財ファンド（IP fund）を活用し、多額の資金を調達、大量に特許権を取得し、大規模化（scalable IP operation）を図っている。しかし、NPEの主な利益は特許侵害を理由に訴訟（あるいは訴訟を起こすとの脅し）を起こし、高額の特許金を得るというものであり、価値ある研究成果をもとに産業振興を目指すという知財ファンド本来の初志にはそぐわないものである。この方法は合法ではあるが、非難と排斥を免れず、政府や多くの大学はNPEと関係を持つことを拒否している。

我々が新たな特許戦力を必要としていることは明らかであり、各々が課題を認識し、解決策を模索している。

2. オープンイノベーションによる特許技術転化へのビジネスモデル

前述したように、取得した特許技術を効率的に実用化へと転化するためには、一定規模の投資を受け、リスクをコントロールし、転化するまでの期間をできるだけ短くすることが必要となる。特許技術転化へのビジネスモデルとは、こうした要件を満たし、合理的に利益が得られるよう転化率と経済的効率性を上げるための仕組みである。そして、このモデルの基盤となる考え方は、オープンイノベーションである。



◎図3 オープンイノベーションによる知的財産管理システムモデル

パートナーとの共同開発を推進する知的財産管理システム（知的財産ビジネスモデル）（図3）には、次のような特徴がある。

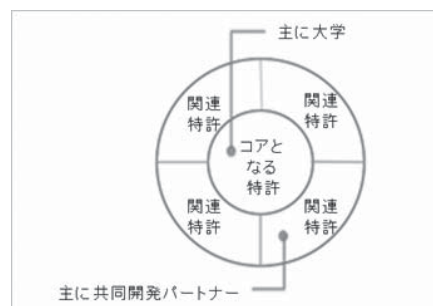
- * 大学で生まれたコア技術（University Key Invention）をもとに、パテントプール（Core IP Pool）を形成する。
- * 政府及び社会のネットワークを活用し、科学技術の知財ファンド（IP Fund）を導入し、関連する特許を持ち寄りプールを拡大する。
- * 事業開始の極めて早い段階から投資を行うインキュベーションファンド（VC Fund & Government Grant）の活用を促し、さまざまな応用研究を支援（Incubation）することで開発サイクルを短縮する。
- * 新たな特許技術の応用開発のため、パテントプールを活用し、一括して知的財産に関する管理業務（戦略、運用、許諾、クロスライセンス契約など）（New IP Capture & centralized IP Management）を行う。
- * インキュベーションファンドは特許権所有者に対し価を支払い、ライセンスを解放する。（IP In-licensing）
- * パテントプール基金（知財ファンド）は、一定の規則に従い、すべてのパートナーにライセンス料を支払い、その他の関係者（IP Out-licensing）からはライセンス料を受け取る。

このビジネスモデルはオープンイノベーション、つまり、自社技術だけでなく、他社や大学などが持つ技術やアイデアを組み合わせ、また資金や資源面でも協力し合い、大きな競争力を持つことで、合理的な利益配分につなげる仕組みである。

以下、競争優位性と実現可能性について考察する。

第一に、知的財産権の保護とその価値を見出すこと。世界の有名大学には創造的な発想を持つ優れた研究者がおり、十分な資金や関係スタッフによるサポートのもと、潜在的に商業価値を有する研究を続けている。大学における知的財産管理の主な目的は、こうした商業的価値を顕在化させることであり、守ることである。この点については、既に実績が確認できている。

第二に、大学や研究機関で開発された先端技術が広範囲で応用されることである。オープンイノベーションにより、多くの企業や起業家たちが利害衝突もなくリスクを共有し、比較的短い期間でコア技術と関連特許を取得できることで、市場価値を高めることができる。（図4）。



◎図4 オープンイノベーションによるパテントプールの形成

第三に、パテントプールにより一括してライセンスを与えていくことで、企業の知的財産管理の負担を軽減し、知的財産関連業務の効率化と専門性を高められる。また知財ファンドにより、広範囲な関連特許やクロスライセンス契約を持ち寄ることができ、より効果的な法的保護が企業側には約束される。

第四に、知財ファンドや政府からの助成金、銀行からの融資などを組み合わせることで、リスクバランスの取れた資金投入が可能となり、資金が十分でなくとも、高い価値を見出すことができる。（図2）

これらオープンイノベーションと知的財産管理システムの運用とを結びつけることにより、高い信頼性を持つビジネスモデルが構築できる。

結論

国の方針と密接に関わる研究を中心に行う大学には、国の主要な研究課題をサポートするため、政府より科学研究資金の助成を受け、産学連携を通して、有益な社会貢献や経済の発展に寄与することが求められる。そのためには、資金の調達に加え、共同、連携、国際協力を踏まえた新たなシステムの構築が急務であり不可欠である。

厦門大学 産学官連携の現状と未来

譚 紹浜／林 勝蘭 ●厦門大学

人材育成、科学技術研究と社会貢献は、大学の基本的な3つの大きな役割である。社会貢献とは、産学官連携による質の高い人材を提供すること、高水準の科学技術を維持することで、経済と社会の発展に寄与することである。同時に、大学としても、産学官連携の中で国や地方の発展に深く関わり、研究機関や企業の広範な協力を得ることで大学自身が急速な発展をすることができる。さらにハイレベルで創造的な人材を育成し科学技術研究を高めていくことができるのである。近年厦門大学は、人材や学術、また技術革新に関する優位性を発揮しており、国や地方の発展に重要な役割を果たすと同時に、産学官連携の形を模索し続け、イノベーションを促し教育レベルを高めている。

1. 産学官の連携を深める

社会貢献は大学の重要な役割である。厦門大学は創立時より、「学術研究、人材育成、社会のリーダーシップをとることを目的にする」ことを明確にしておき、『福建省の天然資源を用いて、産業の振興を実現し、国際貿易を発展させる』べきである」としている。

ここ数年来、大学はトップ層を強化し、計画的、組織的に社会貢献を展開している。例えば、地域経済の発展に関し研究と分析を行い、「厦門大学による海峡西岸の経済特区に関する行動計画」「厦門大学による厦門市産業発展のための行動計画」「厦門大学による漳州市産業発展のための行動計画」などを策定し、全校の教師や学生の活動を後押ししている。現在、大学はすでに多くの省内の都市と戦略的協力関係を築きあげるとともに、数社の国有大企業と航空、バイオメディカル、電子情報、エネルギーなどの領域で戦略的に協力を進めている。このように、いくつものプロジェクトを促進することによって人材を育成し、最先端の科学技術を推進することで、絶えず大学の自主的な技術開発力を高めている。

2. 学科を見直し、産業の発展に見合う人材のニーズに応える

2008年からの世界的な金融危機は、各国に広範な影響力を与えただけでなく、新たな産業により経済を発展させることへの転換を促した。中国政府は新エネルギー、新素材、バイオメディカル等、10の新興産業の戦略を発表した。

そこで、厦門大学はこれらのニーズに応えるために科学技術推進のための研究機関や学部を設置し、産業の発展に必要な人材を育成している。また、アルコールエーテル

エステル化学の国立工学研究所、細胞ストレス生物学国家重要実験室、分子ワクチンおよび分子診断の国家重要実験室、天然資源による薬品の国家及び地方の共同工学研究室などの科学技術研究施設と協力して、「エネルギー材料化学」、「医療用生物学的製剤」、「海洋生物資源の開発と利用」などの研究を行う「2011共同イノベーションセンター」を創設した。学部に関しては、新たに公衆衛生学部、薬学部、エネルギー学部、電子科学学部などを設置した。人材育成に関しては、「エネルギー科学コース」「医療研究技術」など応用科目を増設し、その結果、工科などの応用系の人材は学生のうち30%以上を占めることとなった。このように大学が新入生を募集する指標は、社会のニーズに重きを置いたものとなっている。学校が産学官連携のための人材育成を推進し企業と連携することで、学生は実習を通じ早期に産業界の最前線と実際のニーズに触れることが出来る。

3. 新たな施設を建設し、科学技術のサポートを強化する

大学の科学技術関連の新たな施設は、国や地方の科学技術の発展の重要な役割を担い、研究部門や学部の創設などによって、国及び地方の地域経済発展のために強力なサポートを行っている。

厦門大学は国家戦略に合わせ、化学、生命科学、海洋科学などの学部で、国家重点実験室、国立工学研究所等の16の高度な国家レベルの施設を保有しており、科学技術の革新基盤を構築した。同時に、海洋、エコロジー、環境、新エネルギー、新素材、情報科学分野においては、福建省と厦門市の重点実験室やセンター等、省や市レベルの施設が68あり、省や市における革新的な基盤も構築している。また「2011共同イノベーションセンター」内に現在建設中の施設が8つある。

これらの施設を建設することで、大学は最先端の研究や重要な研究プロジェクトを展開することができ、国や地方の技術革新力を強化している。また、企業や研究機関と連携して、様々な研究センターや共同研究室等を50以上建設した。産学の協力を通じて大学は、企業が必要とした技術を提供するとともに、市場のニーズの変化を捉え研究の方向性を検証し、研究開発を促進させている。

4. 共同研究により科学技術を促進する。

産学官の共同研究は、大学に新たな開発能力や成長をもたらし、社会や経済の発展の重要な鍵となっている。厦門大学は、「2011計画」の実施を契機として積極的に産学

官の共同研究を推進し、科学技術を現実の生産力に結びつけ、産業再編を促してきた。

全国で「感染症診断試薬産業の技術革新連盟」を主宰している国立感染症診断薬及びワクチン工学技術研究センターは、福建省のワクチン生産研究拠点である「厦門養生堂産研施設」を建設して、厦門のバイオメディカル産業の発展を推進している。養生堂万泰バイオメディカル株式会社と共同開発したE型肝炎ワクチンは、2011年12月に国立薬物証明書と製造番号を取得し、知的財産権を保有する世界初のE型肝炎の予防ワクチンとなった。このワクチンは、厦門で2012年に発売された。厦門万泰海洋バイオテクノロジー株式会社等と共同開発した子宮頸がんワクチンは、臨床試験を経た国内初の、また世界で3番目の子宮頸がんワクチンである。企業のプロジェクトと緊密に協力することで研究成果が迅速に市場にもたらされ、市民への奉仕を実現している。

厦門大学「海西工業技術研究院通信工学技術センター」は、多数の企業を巻き込み、協力して革新的な実験室を建設している。すなわち、研究成果を実用化するため、製品のコアとなる技術を企業にフィードバックし、地方の通信産業の発展に貢献しているのである。センターは「実験室」と「通信センター」で構成されており、「実験室」の目的は、学部や施設の設置と人材育成及び、知識の刷新にある。一方、「通信センター」は「実験室」の学部と人材によるサポートの下、企業のニーズをくみ取り研究開発を行うことで、常に企業の求める製品や技術に応え続けている。センターはこれまでの経験を通じて、「理論の探求－技術開発－実験－製品の生産」この流れが技術革新の鍵となると分析している。

5. 科学研究の組織と管理体制を改革し、産学官共同研究の新たな形を模索する。

産学官の共同研究の場合、大学の研究組織の管理が大きな課題となっている。従来の自由な研究活動から産業界に向く研究へシフトすることは非常に困難であるが、避けることの出来ない課題である。近年、厦門大学もまた同様の問題に直面し改革を行っている。

大学では研究課題に応じて学部の壁を飛び越えて研究が成立しており、地域研究と研究テーマは10の学部にまたがり、教師も異なる学部から集まっている。また大学はチームで課題に取り組む「課題のチーム制」を推進し、活動の基本としている。資源の割り当てや担当する教師の審査はチーム単位で行われ、教師が独自に研究を展開するのを抑制している。科学技術の研究は、個人的、閉鎖的で分割して行う方式から徐々に流動的、開放的で協調的な路線へと推移し、産業のニーズに応えようとしているのである。

大学はまた、関連する課題として、研究施設の管理を強化している。なぜなら研究施設は自らの申請が、研究開発費の分配を大きく左右するのである。毎年、個々の実験室は経費をつかって研究活動を行っている。大学は、「実態の管理をし、定期的に審査をし、不合格とみなされる実験室を淘汰する」制度を作り、実績が評価されると継続して新たに資金が投入される。管理強化、施設増強、また自助努力に努めることで、産業へのサポート力を高めているのである。

6. 未来思考

近年の社会貢献及び産学官の協力モデルの中で、厦門大学は産学官連携において一定の成功と成果を示している。しかし、地域経済及び社会の急速な成長に対応するためには、依然改善の余地がある。例えば、産業に必要な人材の提供はまだ完璧ではない。又、地域産業との結びつきもまだ不十分で、地域産業発展の成果とプロジェクトもそれほど多くない点等があげられる。そこで、中国の大学教育がよりオープンになり、大学の人材育成や科学技術研究が経済成長のニーズとさらに緊密な関係になれば、大学が国家経済発展を支える役割を担うことになり、産学官連携が著しい効果を発揮するであろう。

第一に、クリエイティブな人材を育成する事を基本とする。大学は産学官の連携を強めるために教育モデルを刷新し、教育改革を推進する。大学の人材育成は産業界を指向しており、企業と大学が「双方向性」の関係を築き、グループ制を構築することで、実践的な教育を強化できる。このような形で人材の交流を図ることで、学生の創造力や実践力が増し、学生が就職する際にもその力を発揮できる。

第二に、教師を動かす事で主体性及び創造性のある良好な雰囲気を出し、大学が適切に人材を評価することにより、産学官の協力体制が維持促進される。大学は人材の評価機構を改善し、産学官連携の成果をメインとした合理的な産学官協力評価体系を打ち立てた。大学の各学部の教師は大学の研究室から飛び出て自己の研究成果を市場で試すよう、資源の有効活用に取り組まなければならない。

第三に、持続可能で健全に発展できる長期的なメカニズムを打ち立てる。産学官連携は効果的で柔軟なサポートを必要としているため、大学は共同研究の創造性を推し進め、大学間や学部間での資源の共有と協力を実現する必要がある。地域産業発展に関する校内の研究体系を打ち立てるために厦門大学は、厦門大学産業技術研究院や厦門大学国家大学テクノロジーパークを建設し、地域の産業技術研究開発センターとして地域産業発展の重要なサポート施設となっている。仕組みを改善し、施設を建て、情報共有ができるようにすることで教師や生徒に産学官連携のための効果的なサポートを提供することができる。

中国特許権の実力に関する調査結果

金 振 JIN Zhen ● 科学技術振興機構中国総合研究交流センター フェロー

2014年4月、中国知識産権局（日本の特許庁相当）は「2013年全国専利実力情況報告」を発表した。本報告書によれば、2013年における中国国内の特許出願件数は2012年比26.3%増の82.5万件に達した。これをもって、中国は3年連続で世界一の座を確保したことになる。この実績は国内においても意味があり、5年ぶりに実用新案権と意匠権の数をそれぞれ上回った計算になる。国際出願数は2012年比15%増の2.29万件に達したほか、3812人の専利権代理人（弁理士）試験合格者数を輩出した（資格所有者総数8950人）。2008年から実験的に始まった特許権の質権設定の取組みも前年比80%増の成長を見せ、単年度質権設定総額は254億元に達した。これは、2013年までの質権設定総額638億の4割前後を占める実績である。これらの統計データから、知的財産権を巡る中国の発展の勢いを読み取ることができる。

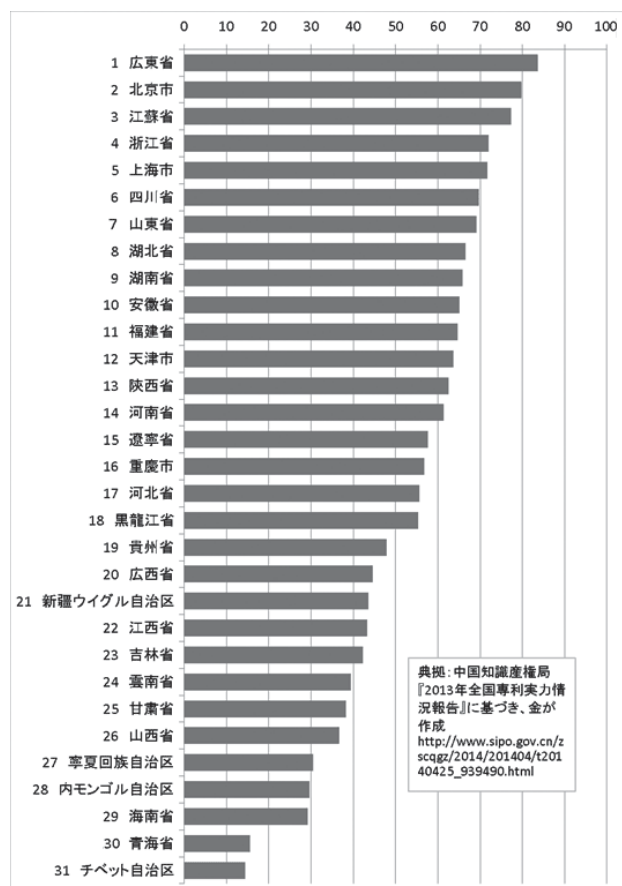
本報告書の主な目的は体系化された指標（表1）に基づき、31の省級政府地域における知的財産権への取組み状況を評価し、その結果をランキング化することである（図1）。

評価の客観性やデータの信憑性確保の観点から、調査は5分野（特許権の出願数や運用、権利保護の取組み状況、管理監督やサポート体制）34項目を評価指標として採択した。図1は評価結果についてまとめたものである。2012年に続き、広東省、北京、江蘇省、浙江省、上海が上位5位を占めており、順位の入れ替わりはない。しばらく、この勢力図は変わらない見通しである。

◎表1 地域における知的財産権への取組み評価指標

番号	評価分野	評価指標	点数配分 100点
1	特許権の出願状況	1万人当たりの特許権数	3
2		特許ライセンス数	3
3		PCT国際出願数	2
4		特許維持率	4
5		権利の消滅、放棄の割合	3
6		職務権利の申請割合	2
7		規模以上工業企業の特許申請割合	2
8		1千万元開発費用あたりの特許ライセンス数	2
9	特許権の運用	特許権の質権設定数、融資金額分布	4
10		ライセンス契約数、金額分布	3
11		特許権申請および権利委譲の数	4
12		事業化された特許の割合	2
13		ハイテク産業分野特許権の1件あたりの売上	3
14		中国特許権大賞獲得指数	4
15	特許権の保護	権利侵害を巡る不服申立件数等と民事第一審訴えの受理件数の割合	4
16		行政機関の紛争処理案件数	3
17		権利侵害案件の摘発数	3
18		他部署、他地域行政機関との連携事例数	1
19		権利侵害に関する取締体制の総合得点	4
20		権利侵害通報案件に対する処理状況、取組み体制	4
21	特許権管理行政の体制	権利侵害に関する民事第一審の訴え受理件数	2
22		知的財産権保護特定財源指数	5
23		関連行政管理体制の指数	5
24		関連法令、行政計画に関する指数	4
25		モデル事業等国家プロジェクト獲得実績に関する指数	4
26		知的財産権関連モデルケース導入企業の割合	2
27	サポート体制	新規特許権取得企業の内、知的財産管理部署を設けた企業の割合	2
28		特許権代理団体の数	2
29		弁理士の数	3
30		特許権代理件数の割合	2
31		電子媒体に基づく申請案件の割合	1
32		関連公共サービス団体（外郭団体等）の割合	2
33		特許権関連情報の活用に関する指数	4
34		特許権事務関連研修実施人数	2

典拠：中国知識産権局『2013年全国専利実力情況報告』に基づき、金が作成
http://www.sipo.gov.cn/zscqgz/2014/201404/t20140425_939490.html



◎図1 31 地域の特許権実力レベル

2014年中国知的財産権の発展状況に関する速報値

金 振 JIN Zhen ● 科学技術振興機構中国総合研究交流センター フェロー

12月19日、中国国家知識産権局は2014年1月から11月までの国内知的財産権の発展状況に関する速報値を発表した。速報値によれば、1万人当たりの特許件数は、前年比19.8%増の4.84件に達し、4年連続出願数世界一の座を保持する見通しとなった。11月まで、特許、実用新案、意匠を含む3つの主要知的財産権出願数は201.5万件に達し、その内、特許権出願数は前年比13.1%増の783,948件に達した。また、国際出願数（PCT）出願数は14.8%増の22,641件となった。

日本と比較した場合、国内出願数に関しては日本（328,436）の2倍以上の数値を記録しているのに対し、国際出願数は逆に日本（43,075）の半分程度に止まる。そのほか、特許権の質権設定に関する取り組みも着実な成果を見せており、質権設定総額は前年比108%増の456億元に達した。

知的財産権侵害案件に対する行政の取締にも力が入っている。今年11月までの取締案件数は17,420を記録し、

前年比28.3%の成長を見せている。その内、特許権に関する取締案件数は6,547件を記録し、これは昨年比49.9%増の実績である。

また中国におけるネットショッピング市場の急速な拡大を受け、オンラインビジネスに関する知的財産権侵害案件への取締も強化されている。今年11月まで、2,699件の侵害案件が解決に至った。

2014年11月まで、中国における弁理士試験合格者人数は22,066人に登り、その内、弁理士資格取得者は10,401人、昨年より451人増えた。特許権代理事務所の数も昨年より87社増の1087社となった。

特許の実用化に関する地方政府の努力も看過できない。今年一年で、16の省級地方政府が地域の技術開発や移転を促進する目的で、公的会社、または指定大学拠点を設置したが、その数は20社以上となった。知的財産権の出願数のみならず、制度的基盤も整備されつつある。

2014年中国知的財産権の保護情況

金 振 JIN Zhen ●科学技術振興機構中国総合研究交流センター フェロー

11月21日、国務院新聞報道官は、2014年に取り組んだ知的財産権侵害撲滅キャンペーンの成果について紹介した。報道官の発表によれば、1月から9月まで、行政が扱った知的財産権侵害案件は112,700件、閉鎖したコピー商品製造拠点は1,938箇所にのぼった。その内、検挙に至ったケースは16,100件、起訴案件数は12,220件で、2万人以上が訴追された。11,600の確定判決によって15,700人の量刑が決まった。

今年における大きな成果の一つは、インターネット領域における著作権保護の取り組みである。11月までに、中国の携帯電話保有量は12億8千万台に達し、その内、8億7千万台相当のユーザーが携帯電話を通じてインターネットサービスを受けている（典拠：工信部「2014年11月通信

業主要指標達成状況」）。スマートフォン等を経由した動画閲覧サービスやオンラインゲームのマーケットは空前の規模拡大を迎えていると同時に、深刻な著作権問題も招いている。「中国好声音（歌オーディション番組）」のような国内人気テレビ番組のみならず、「ワンピース」のような日本のアニメやハリウッド映画までが著作権侵害の対象となった。インターネット総合サービスを巡る国内事業者間の競争が激化する中、騰訊、搜狐、優酷、土豆、楽視など大手事業者の強い要望もあり、中国政府はインターネット著作権侵害問題を重点的に取り締まるための対策本部を設置し、国を挙げた対策を講じた。中国政府は、今まで3回に分け、計30件の重大違反事実を公表した。また、著作権侵害の前科のある事業者や関連行政処分の結果等についてまとめたデータベースの整備・利用も進んでいる。

原子力

躍進する中国の原子力発電

王 彦佳 ●清華大学原子力・新エネルギー技術研究院 教授



1984年清華大学卒業。高分子科を専攻し学士号を取得、その後、エネルギー工学を専攻し1989年に修士号を取得。アメリカ、フランス、日本、タイなどでエネルギー研究を行い、現在、清華大学で核エネルギーおよび新エネルギーの技術研究を行っている。中国・エネルギー研究会、アメリカ・エネルギー技術者協会の会員でもある。

2011年3月の福島原発事故は世界各国の原子力発電開発に大きな影響を与え、それは4年経過した今も変わらない。当時、中国政府はどのような措置を講じ、それは中国の原発開発計画にどのような影響をもたらしたのか、また昨今の原発の発展政策にどのような新たな動向があるのか、本稿はこれらの疑問に幾らかでも答えようとするものである。

1. 2011年以前の中国の原子力政策

1991年に試運転を開始した浙江省の秦山原子力発電所1号機を皮切りに、中国の原子力発電の歴史は始まった。2010年末には、11基の原子炉で計9.08GWの設備容量に達し、この年の発電総量の1.8%を占めた^[1]。また、総量で27.73GWの設備容量を誇る25基の原子炉が、この時点で建設中であった。秦山原子力発電所1号機は1984年に着工され、1994年に営業運転を開始したが、その間10年もの歳月を要している。一方、広東省の嶺澳原子力発電所3号機は2005年に着工、2010年には営業運転を開始しており、着工から営業運転までの期間は前述の秦山原発の半分となった。この背景には、中国の維持発展を続けてきた高い建設技術力がある。加えて、運転中のすべての原子力発電所が国際原子力事象評価尺度（INES）でレベル2以上の事故や事象を起こしておらず、安全運転を続けていたことも原発建設の大きな追い風となった。世界的にCO₂削減への取り組みが行われる中、中国でも大幅なCO₂排出量の削減を実現する対策が期待されたのである。

このため、中国政府は原子力開発目標を引き上げていった。2007年10月、国務院は国家発展改革委員会の「原子力発電中長期発展計画（2005年～2020年）」^[2]を発表し、数値目標を公開した。それは、2020年までに運転中の原子力発電の設備容量を4000万KWに拡大するとともに、建設段階にある原発の設備容量を1800万KWとし合計5800万KWにするというもので、さらに総発電量に占める原発の割合を2%から4%まで引き上げ、年間260億～280億kWhを発電するというものであった。また、2015年末、2020年末にはそれぞれ25GW、45GWの原子炉の運転を目指すとの目標も掲げられていた^[3]。さらに、「新興エネル

ギー産業発展計画」においては、2020年には原発の発電設備能力を当初の7500万KWから8600万KWまで拡大させる計画だった。これは、2010年に国家エネルギー委員会が「新エネルギー産業発展計画」で国務省に提言した発電容量の約8倍にも相当するものである。この背景には、中国政府が2009年、コペンハーゲン環境会議において「2010年までに、非化石エネルギーが一次エネルギー消費に占める割合を15%に高める」と発表したことに影響しているものと思われる。

当時の中国の原子力政策の指導指針は、原発の安全性を確保しつつ、技術力の維持、向上をめざし、積極的に原子力発電所の建設を加速させる。そして、海外の技術を導入し新たな技術革新を図り、先進的な加圧水型原子炉を建設、運用するというものであった。

2. 2011～2012年の中国の原子力政策

人々が原発に期待を寄せていたその時、2011年3月、福島原子力発電所の事故が発生した。以後、原発の安全性に対する意識はかつてない程高まり、中国政府は安全性を問題視し対応策を幾つか講じた。第一に、計画中の原発プロジェクトの審査・承認手続きを中止した。第二に、建設中のすべての原子力発電所の工事を中断し安全性を再評価、潜在的な危険が存在する場合には設計変更を行った。第三に、運転中の原発を検査し再評価、厳格に規制を適用し運行管理を強化した。第四に、原発安全に関する原子力法制定に積極的に取り組んだ。これらの措置は、国民の懸念を完全には払拭できなかったが、原子力の安全管理、運用面では大きく貢献した。そして、第4世代原発の技術開発を加速させ、高い目標値の達成を実現しようとしたのである。

2011年から2014年末まで、国家発展改革委員会は新たな原子力発電プロジェクトを承認しなかった。つまり3年間にわたり、原子力発電所の建設は行われなかったのである。「原子力発電中長期発展計画（2005年～2020年）」^[4]では、国は「十二五」計画（2011年～2015年）において2000万KWの設備容量を新たに計画していた。しかし2014年12月4日、国家発展改革委員会は、以下のように表明して

いる。世界最高レベルの安全性を確保した上で、2015年～2016年にかけて、沿岸地域の原子力発電計画に着手する、そして「十二五」計画の最終年となる2015年には、発電容量800～1000万KWを達成する。さらに「十三五」計画（2016年～2020年）では、1800万KWに相当する新規開発が計画されていたのである。このままでは「原子力発電中長期発展計画（2005年～2020年）」で掲げた目標の達成が困難になることから、今後2年間で原発の建設を急ピッチで進め、2020年には営業運転を開始する予定であるとした。すでに、CO₂の排出量削減という観点では決して好ましい状況ではなかったのである。

福島原発の事故当時、中国では25基の原子力発電所が建設中であったが、政府はすべての原発の建設を一時中断し、専門家による厳格な視察、検査、評価を行った。例えば、福建省の福清原発1号機においては、14項目について技術改善がなされ、自然災害に備える対策を十分考慮した上で、安全基準を高め厳格なものとした。こうした点検作業を経て、25基すべての建設を再開しているが、完成時期の遅れは避けられず、前述の福清原発1号機の場合、2013年の運転開始が2014年8月20日までずれ込んだ。結局、2014年11月末までに営業運転にこぎつけた原発の設備容量は1878万KWであり、「原子力発電中長期発展計画（2005年～2020年）」における2015年までの設備容量2496.8万KWを大きく割り込んでいる。2010年に建設を着工し、2015年には営業運転の開始を計画していた福建省の寧徳原子力発電所3号機4号機、福建省の福清原子力発電所3号機、広東省の陽江原子力発電所3号機、山東省海陽原子力発電所2号機の総設備容量5570万KWについては、その目標値の達成が1年後の2016年まで延期されることとなった。

中国の原発は80年代半ばにその建設が開始されて以降、国際的に見てもその安全基準は厳格でレベルは高く、原発の立地審査や設計、建設、運用面に至るまで厳格な基準のもと推進されてきた。また、各原発は10年ごとに最新の法規制と安全基準に則り検査されており、万が一、安全性に問題ありと判断されれば、適切にその改善がなされてきた。例えば、嶺澳2号機と秦山2号機の拡張工事の際は、非能动水素ガス再結合器が設置され、水素爆発を防ぐ措置を講じている。また、秦山第二原子力発電所ではCPR1000やCNP600シリーズが特徴とする安全性の高いシステムに変更されている。これは2次系に分かれており、電源が喪失した場合でも、2次系で発生する蒸気を使ったタービン式ポンプで蒸気発生器に給水し、冷却するというものである。

2012年10月、国務院は「原子力安全と放射能汚染防止『十二五』計画と2020年長期目標」^[5]を採択した。これに

よると、安全性の確保が原子力開発の生命線であることを強調した上で、「十三五」計画を含む2020年まで、原子力発電の安全は国際的な先進水準を維持し、放射能汚染防止の水準を総体的に引き上げ、放射能環境を良好な状態で維持するとしている。また、新規に原子力発電所の建設許可を申請する際には、国とIAEAの安全基準に照らし合わせ立地審査や設計を行い、安全性を高める必要があるとした。こうして国務院は「新興エネルギー産業発展計画」を承認せず、2020年までに設備容量8600万KWとする目標を断念したのである。

3. 2013年以降の中国の原子力政策

中国の原子力発電所建設は一時中断に追い込まれ、多くの人々は、2020年までの開発目標値には到達できないと予想し、誰もが目標値を下方修正するだろうと思っていた。ところが、福島原発事故後の2014年6月、国務院が公表した「エネルギー開発戦略的行動計画（2014年～2020年）」^[6]では最高値として8600万KWまで目標を引き上げていた。これは温室効果ガスの排出規制により引き起こされたものと考えられる。

今後の原子力政策におけるポイントは以下の3点である。第一に、原子力開発により多くの資金を投入することである。これまでの原発の開発は国からの資金に頼っていたが、今後は民間からの資金投入に推移していくべきである^[7]。2014年6月、国家発展改革委員会は電気料金をkWh当たり0.43元と公表した^[8]。電気料金は発電に必要な社会的コストの平均で割り出され、言い換えれば、原子力発電の開発、運用に関連する費用が電気料金に反映されることになる。政府文書によると、原発による発電コストは火力発電を上回るが、火力発電による電気料金は原子力発電所が沿岸部に集中する遼寧省を除き、kWh当たり0.43元を超える。したがって、原発に投資して利益を得ることが可能となる。

第二に、原子力発電企業による原発の輸出条件を明確にすること。中国製の原発設備の輸出とその建設で他国を支援することは、中国の原子力開発における重要な政策のひとつである。この政策は製造業の水準を引き上げるばかりでなく、経済が発展することで社会が抱える雇用や生活レベルの向上などさまざまな問題の解決も期待できる。ひいては、そこで培った技術が輸出に活用できるのである。ただそのためには、中国は原子力技術の独自のブランドを確立する必要がある。原発の研究開発への投資を増やし、積極的に先進的な技術を導入し、技術面や商業面での多大なリスクを回避するため知的財産権を有することである。中国では、米国や他の先進国ではまだ導入されていなかった米国の第3世代原子炉AP1000を導入し、浙江省の三門と山東省の海陽原子力発電所4基にその技術を取り入れ

た。そのうちの3基は2009年に、残り1基は2010年にそれぞれ着工されている。そして、中国の独自ブランドであるCAP1400（通称「華龍一号」）はAP1000の安全理念を踏襲し中国の自主技術として発展させた原子炉である。もちろん、CAP1400が今後の原子力市場において確たる地位を築くことになるか否かは国際状況に左右されることになる。国家エネルギー委員会は既に福清5号機、6号機、広西防城港第二期の2機の原子炉にいずれも「華龍一号」の技術モデルの採用に同意し、同時に重要な材料の国産化比率を85%以上にすることを要求している。いずれにしても、原発開発技術の革新のため国産化に重きを置いた点では、電気料金などに影響を及ぼすことになるであろう。

第三に、原子力開発関連の法規制を見直し改善することである。現在では、原子力分野における国家の法律は「放射能汚染防止法」のみであり、国務院は「民間用原子力施設安全監督管理条例」「民間用輸出設備監督管理条例」「放射性同位元素及び放射線装置安全保護条例」など9つの条例を公布している。なお、「原子力法」「原子力安全法」についてはまだ制定中の段階である。

以上のように、中国の原発政策は福島原発事故の影響を受けはしたものの、温室効果ガス排出量削減のため今もその開発を加速させている。

参考文献

- [1] 『中国電力統計年鑑 2011』
- [2] 2007年版
- [3] <http://www.gov.cn/gzdt/att/att/site1/20071104/00123f3c4787089759a901.pdf>
- [4] 2007年版
- [5] http://haq.mep.gov.cn/gzdt/201210/t20121016_238421.htm
- [6] http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm
- [7] http://www.nea.gov.cn/2014-12/05/c_133835496.htm
- [8] 国家发展改革委员会のネット上の電気価格の問題通知について[2013]1130号

原子力の安全発展に関する考察

王 毅 ●中国科学院科技政策・管理科学研究所

2011年3月に日本の福島で発生した大きな原発事故は、原子力の民間利用の安全性に対する人々の幅広い注目を引き起こすものとなった。だが議論の結果は国によって大きく異なっている。ドイツなど一部の国は、原子力の使用を段階的に放棄することを決定した。一方、中国などでは、エネルギーの賦存量や発展段階、産業にとっての利益、政策メカニズムなど多くの要因により、安全を確保した上での大規模な原発推進を継続することが決まった。このことは、原子力利用が、技術の安全性だけにかかわる問題ではなく、政治や経済、社会などにかかわる複雑な問題であることを示している。

福島原発事故は、将来の原子力政策に大きな影響を与えた。このため、世界の原子力の発展傾向と中国の原発発展戦略をもう一度見つけ、国内外のこれまでの原子力の発展の経験と教訓を総括し、原発の安全な発展が直面する各種のリスクを整理し、未来の中国のグリーン低炭素発展やエネルギー保障、原子力の安全な発展などの諸問題を考察することは、高い必要性と切迫性を伴う課題だと言える。

1. 福島原発事故が引き起こした反響と思考

2011年に日本で発生した大地震によって引き起こされた福島の放射能漏れ事故は、1979年の米国のスリーマイル島、1986年のソ連のチェルノブイリに続く、世界で3度目の深刻な原子力安全事故となった。これら3回の事故の原因はそれぞれ異なるが、その度に大きな影響をもたらした、原子力の“安全神話”を破り、原子力発電産業の発展に重大な打撃を与えた。今回の日本の大地震と福島原発事故、それによって生まれた放射性物質汚染は、世界的な原子力に対する恐れを再び引き起こした。日本は、巨大な災難と財産の損失、経済回復の減速を被っただけではなく、関連する原子力発電所の一時閉鎖と稼働停止によって短期的な電力不足に陥り、人々の原発反対運動は大きな高まりを見せ、日本のエネルギーと気候変動対応策も変更を迫られている^[1]。

事実、原発推進問題はこれまでも、論争の絶えない世界的な話題であり続けてきた。近年は、気候変動対応という課題を重視するようになり、原子力はクリーンで低炭素のエネルギーであり、化石燃料を代替して二酸化炭素を削減する重要な役割を果たすという認識が人々の間に広まりつつあった。だが福島原発事故とその深刻な影響は、原発事業の発展に再び影を落とし、欧米諸国における様々な反応を引き起こした。例えばEUは、関連する法律によっ

て、EU域内の原子力施設に対して全面的な安全・リスク分析とストレステストを実施し、期限付きの評価報告の作成を進めている^[2]。ドイツは、2022年前までに現在稼働中の原子力発電所を徐々に閉鎖し、原子力発電所を完全に廃止することを決定している。イタリアは国民投票で原発実施計画の再開が否決された。英国とフランスは、原子力発電発展の政策と計画を継続していくこととしているが、従来よりもさらに安全性が重視されることとなった。米国は慎重な態度を保っており、米国政府は原子力発電の廃止はしないとしているが、議会と民衆の反対の声は依然として大きい。

技術的に見ると、原子力発電とその安全管理には確かに大きな複雑性が存在している。まず各種原子炉の炉型の技術路線の違いによって、その運用と安全管理規範、関連技術者の育成方法が異なるため、管理のコストとリスクが必然的に高くなる。また政治・経済・社会などの各種の要素にかかわることから、その投資コストや建設周期などには大きな不確実性が存在し、運営や保全、核廃棄物処理、リスク管理のコストも不断に上昇している。さらに複数のリスクが重なる可能性もあるため、その商業開発にもたらされる難度は小さくない。このため、原子力発電技術が喜ぶべき技術なのか、厄介な技術なのかを簡単に結論できることはできず、専門家の中には、その長所と短所を総合した上で、問題のあるエネルギーのうちで“最悪のものではない”^[3]との消極的な評価を下している者もいる。

中国では、原子力発電技術とその影響に対する理解と情報公開が十分でないことから、福島原発事故が短期的に人々の恐慌を生み出し、放射能への心配からヨウ素添加塩を買い占める現象が起きた。このことは、我々が原子力発電技術の安全性を強調するばかりで、原子力発電のマイナス影響について知らせる報道が欠けていたことを示している。学術界内部でも、原子力発電の発展に疑いを向ける意見やマイナス影響を分析した文章、原子力発電の安全に対する公開討論はあまり見られない。福島原発事故を受け、中国もただちに、原子力施設に対する全面的な安全検査を実施し、関連原子力発電プロジェクトの審査・認可を一時停止したが、原子力発電発展の歩みを止めることはなかった。温家宝総理（当時）は2011年の全国省エネ排出削減事業のテレビ会議において、「安全確保の上で原子力発電を効率的に発展させる」^[4]との方針を示した。さらにその後、アブダビで開かれた世界未来エネルギーサミットにおいては、「原子力発電を安全かつ効率的に発展させることは、未来のエネルギー供給を解決するための戦略的選択

である」^[5]と指摘した。中国の原子力発電計画はこのように急速な発展を続けているものの、この原発事故が大きな影響を与えることは明らかだ。

中国の巨大な人口規模と急速な工業化・都市化の過程は、エネルギー需要を不断に高めている。とりわけ石炭や石油、天然ガス、原子力などのエネルギー密度が高く供給が安定したエネルギーへの需要は日増しに高まっており、こうしたエネルギーは、中国の経済発展とエネルギー安全を保証するのに非常に重要な役割を果たしている。国際原油価格の高騰と変動、短期的には変革が難しい国際貿易分業の局面、エネルギー・環境問題の深刻化、気候変動対応の圧力を受け、原子力発電は一定の競争優位を示している。これを背景として、中国の原子力発電産業は現在、急速な発展の段階にある。『原子力発電中長期発展計画（2005～2020年）』によれば、2020年までに、中国の原子力発電稼働発電容量は4000万kWに達し、原子力による年間発電量は2600億～2800億kWhとなり、全発電量の4%前後を占めるようになる見込みだ。

“十一五”（第11次5カ年計画、2006-2010年）期間中、経済情勢の急速な変化と国際金融危機対応のための経済刺激プランの始動などにより、原子力発電発展計画には、目標の増加などの調整が加えられた。だが福島原発事故を受け、原子力発電のこうした急速発展傾向やまだ解決されていない様々な問題は、今後原子力発電の安全発展に対する我々の不安をさらに増すこととなると見られる。

総体的に見れば、福島原発事故は、原子力発電の発展という世界の大きな流れに影響することはない。最も大きな影響を受けるのは、国内の優良資源に限りがあり、主要な電力供給源の一つとして原子力発電を大きく発展させようとしていた中国のような国である。原子力の開発・利用は、科学技術に対する要求が高く複雑であり、エネルギー資源の安全性や経済、軍事、反テロリズムなどの幅広い分野にかかわるため、原子力発電の発展を一般市民が全面的に理解するには多くの障害がある。我々は現在、原子力発電の発展の長所を語ることは多いが、原子力発電の発展に存在する問題を真剣に検討することは少ない。このため我々は、原子力発電の発展の客観的動向を正確に判断し、国外における原子力発電の発展の経験とその失敗を引き起こした本当の問題を理解しなければならない。これによりさらに詳細かつ周到、安全な実施方案を定め、系統的な問題解決方法を提供するのに役立ち、中国の原子力発電の科学的で秩序ある安全で健全な発展を促すことにつながる。

2. 世界における原子力発電発展の経験と存在する問題

原子力は現在、重要なエネルギーのひとつとなっている。原子力発電は世界の電力資源構造において重要な役割

を担っており、フランスを代表とする一部の国では、原子力発電の発展における成功経験が蓄積されている。しかし1979年のスリーマイル島や1986年のチェルノブイリの原発事故以来、原発の安全コストの高まりや一般市民からの圧力、エネルギー技術の発展、電力の自由化、核拡散防止などの様々な要因から、原子力発電の発展は減速・停滞の状態に入った。20年余りにわたる不振の後、21世紀に入って原子力発電は再び新たな転換期を迎えた。石油の低コスト時代の終息や米カリフォルニア州での電力危機発生、気候変動の深刻化などにより、原子力発電は世界的に新たに発展する兆しを見せた。米ブッシュ政権のエネルギー政策では原子力発電発展への強力な支持が打ち出され、日本政府は新たに2つの原子力発電所の建設を認可し、英国の電力会社もカナダの複数の原子炉の運営を引き継ぐことを発表し、中国やインドなどの新興経済国も原子力発電の強力な推進を打ち出した。

だが同時に、原子力発電そのものの問題も依然として存在しており、消極的なニュースを目にすることも少なくない。例えば、ドイツは2022年までにすべての原子力発電所を閉鎖することを発表し、米国の原子力発電発展もブッシュ政権とオバマ政権の“片思い”にとどまっている。国際エネルギー機関（IEA）によると、世界の原子力発電容量とその発電量が一次エネルギー需要に占める割合は2030年までにいくらか低下すると見られている。福島原発事故後、国際エネルギー機関は2011年の『世界エネルギー展望』において「低原子力ケース」を想定し、石炭と天然ガスの供給増加によって原子力発電の減少による不足を補うプランを示している^[6]。

原子力発電の発展史から見ると、原子力発電のコストの高さ、建設周期の長さ、核廃棄物処理の難しさ、市民の恐怖心が、原発発展の困難の本当の原因となっていることがわかる。米国の原子力委員会は1970年代中期、2000年までに米国では1000カ所を超える大型原子力発電所が稼働しているとの見込みを示していた。だが1999年末時点で実際に稼働している原発は104カ所にとどまり、予想の約10分の1にとどまった。事実上、1970年代中期までに、想定されていたスケールメリットの不可能性は明らかになっていた^[7]。米国が1980年代から原発の新設を行っていない本当の原因は、米国が1970年代に見込んでいた電力需要が高すぎたことと原発の全コストの見積もりが低すぎたことにある。電力需要の過剰な見込みは、原発発注の過剰を引き起こし^[8]、原発の安全性や核廃棄物処理への考慮が不足していたことや融資利率・運営コストの向上は、原子力発電の競争力を失わせた。こうした問題を解決しなければ、米国の原子力発電の商業利用は今後も大きな疑問に直面することになるだろう。

将来の原子力発電コストの予測には様々な議論があり、その結論も論者によって大きく異なる^[9-12]。それは表1に示す通りである。楽観派と悲観派はそれぞれの論拠があり、異なる仮説と価値判断によって異なる結果が導き出され、その差は2～3倍にのぼる。原子力歴史学者で経済分析の専門家でもあるコーンと比較研究を通じて次のような予測を出している。10%の利率、65%の負荷率、8年の建設期間という条件の下、新たな軽水炉原子力発電所の投資コストは約2300～2650ドル/kW、発電コストは7.5～8.5セント/kWh(1992年ドル)となる^[9]。

◎表1 新軽水炉の原子力発電コスト予測(1992年ドル)*

コストの種類	楽観派の予測	コーンの予測	悲観派の予測
総コスト(セント/kWh)	3.8～4.8	7.4～8.6+	8～12+
投資コスト(ミル/kWh)	23.5～29.5	42～48+	43～85+
建設コスト(ドル/kW)	1590～1885	2300～2650+	2200～4000+
建設周期(年)	5～6	8	10+
負荷率	75～80	65	55～60
非燃料運営保全コスト (ミル/kWh)	6.5～10	14～17+	15+
資本付加(ミル/kWh)	0.5	3～6	5+
燃料コスト(ミル/kWh)	6	7	7
核廃棄物処理(ミル/kWh)	1	3	3+
廃炉基金(ミル/kWh)	0.5～1	3	4
その他の費用(ミル/kWh)	0	2	2+

*金利は10.3%と仮説 **その他の費用には、資本市場の高リスクを補償するための借り手費用、土地補償などを含む 資料出典：参考文献[9]

フランスが成功した主因は、政府が原子力発電の発展で重要な役割を演じたことである。フランスは安価な化石エネルギー供給が不足していることから、長期的な原子力発電発展計画が制定され、合理的な技術路線が選ばれ、設計の標準化と国産化が実現され、原子力発電の技術・経済・管理などの面でリスクが削減された。

原子力発電に存在するもう一つの重大な問題は、核廃棄物処理の問題である。核廃棄物処理は長期にわたって論争が続けられてきた問題であり、現在に至っても、高放射性核廃棄物を適切に処理する方法は存在しない。この点からも、原子力発電が完全にクリーンなエネルギーとは言えない。その環境への影響は持続的で、管理にも困難を伴う。安全な地点を見つけて保存するのが現在のところ最も現実的な方法だが、処理場の選択や核廃棄物の輸送、技術条件、市民の受容度などの面でいずれも困難があり、さらに安全管理が超長期に及ぶという問題が存在している。高速増殖炉は核燃料の循環利用を可能とするものの、技術が複雑で事故リスクも高く、経済コストが高い上に、核拡散の可能性があるのであるなどの短所があり、短期間での推進は難しい。

このほか、原子力発電所に対する市民の恐怖心という問題があり、これは、専門家が原発の安全性を強調するのと

鮮明な対照をなしている。市民が恐怖心を抱く理由は多方面にわたるが、大型の突発事件発生に対する恐怖心もその一部となっている。このことは、原子力発電リスクの特殊性によるところが大きい。飛行機事故のリスクに対して通常の交通事故のリスクよりも敏感な反応が示されるのと似た構造がある。また原発事故のリスク率の算定値に対する信頼度も高くない。人々は、その内部に身を置いていないことから、原子力発電発展の政策決定過程と監督管理機構に対して一定の懐疑心を抱いている。一方、原子炉そのものの安全も問題であり、人々は、専門家がそのリスクを完全には公表していないのではないかと心配している^[13]。原子力発電に対する中国の市民の認知度はまだ低いものの、経済発展と人々の生活水準の向上に伴い、原子力発電発展に対する懐疑や反対の声は不断に高まり、原発開発の社会的コストも徐々に高まっていくものと見られる。

3. 中国の原子力発電の急速発展が直面する試練とリスク

エネルギーの安全性と工業化・都市化発展の角度から見ると、中国の原子力発電の発展は、エネルギー多元化の重要な手段の一つであり、必要な措置と言える。上述のような原因から、世界の原子力発電産業は不振に陥っている。そのため、急速に発展するアジアの国々、とりわけ中国は、原子炉メーカー各社が争奪をはかる最大の潜在市場となっている。先進国の原子炉メーカーは、急速に成長するアジアの国・地域の潜在的な電力市場(中国、台湾、インド、韓国など)から活力を受け取ることを期待している。世界金融危機の下、危機対応能力があり急速な回復が見込める中国とその巨大な原子力発電計画は、これらの企業の最大の“獲物”となっている。もちろん、中国の原子力発電の研究開発能力と海外技術の消化吸收・国産化の能力の高まりに従い、中国国内の原子力発電企業もさらに大きなシェアを得ようとはかっている。

このような状況下で、我々は、原子力発電を大きく発展させると同時に、そこに存在する問題も直視し、合理的な解決方法を見つけないければならないことをはっきりと認識しておかなければならない。我々は、世界各国の原子力発電の発展の経験と発展動向の中から啓示を得て、とりわけ原子力発電の外国での失敗例から教訓を学び取る必要がある。歴史の経験は必ず吸収し、失敗の教訓にはとりわけ注意を払い、電力需要の予測や炉型・技術路線の選択、核廃棄物の処理方法、市民の参加などに目を向ける必要がある。詳細で立ち入った調査研究を通じて、異なる観点と意見を取り入れ、十分に科学的な検証を行って初めて、我々は正確な判断を下し、科学的な解決プランを作ることができる。

現在の原子力発電長期計画によると、中国の原子力発電戦略は、「100万kW級の先進加圧水型原子炉技術路線の発展を堅持し、“熱中性子炉—高速中性子炉—核融合炉”の

三段階での発展を進める」「閉鎖系核燃料サイクルの技術路線を堅持する」との方針が掲げられている。だが諸外国と同様、中国の原子力発電の大規模な発展にも無視できない多くのリスクが存在している。

原子力発電の発展は経済・政治・科学技術など多くの要素の影響を受けることから、中国は、原子力発電発展計画の改定と詳細な実施プランの制定のプロセスで、以下のようなリスクの要素を考慮する必要がある^[4]。第一に、目まぐるしく変化する国際金融危機は、中国の産業構造とエネルギー需要に多大な影響を生んでいる。第二に、ウラン資源の安全供給とその価格の問題については、ウラン資源の輸出国が石油と比べて集中度が高いことから、ウラン資源の安全供給とその価格は石油にも増して厳しい局面に直面する可能性がある。第三は、経済コストの問題であり、巨大な投資建設のコストと比較的長い建設周期、不断に拡大する予算、日増しに蓄積する核廃棄物とその高額の処理コストなどはいずれも、将来の原子力発電の競争力にとっての変数となる。第四は、技術問題とそのコストの高まりの影響であり、これには、第3世代（AP1000など）や“第2世代プラス”など多くの炉型の併存・標準化・国産化の処理、第3世代原発技術の商業化プロセスにおける問題の解決、高速増殖炉やその他の先進炉型の研究開発路線と商業化のモデル化、核廃棄物処理の技術路線の選択と検証などが含まれる。第五に、プロジェクトの厳格な審査・認可、建設・稼働・廃炉の専門的な運営管理と安全管理の確保。第六に、市民との意見交換や交流の問題。これらはいずれも、時間をかけて取り組まなければならない課題となる。

総体的に言って、中国が原子力発電を大規模に発展させようとするれば、経済的なリスクや管理面でのリスク、資源リスク、環境安全リスクに直面することは避けられない^[5]。我々は、原子力発電を大規模に発展させることに先立って、十分な準備をしなければならない。そうして初めて、原子力発電の大規模発展による各種の問題やリスクを避けることができる。このため、人材や技術、運営管理などの多くの面での積み重ねが不足し、多くの面での安全リスクが存在している状況においては、中国は、原発開発計画をもう一度見直し、発展のロードマップと空間的な配置をさらに明確化し、関連政策と監督管理体制を整備し、適切な速度と規模での成長を維持し、原子力発電の発展が計画と指導の下で順序良く展開されるようにし、これに対して適宜評価と調整を加える必要がある。

4. 原子力安全発展のための政策提案

規模の急速な拡張を背景として原子力の安全な発展の実現を保証するためには、上記で示したような原子力の安全性にかかわる多くの問題を解決しなければならない。我々はこのため、以下の政策を提案する。

4.1 『原子力法』と関連安全規範の制定を加速する

中国の原子力発電は急速な発展期に入っているものの、原子力関連の法律は依然として打ち出されていない。中国のエネルギーの安全性を確保し、中国の原子力事業と原子力発電産業の健全で秩序ある発展を促進し、原子力の安全を確保するためには、『原子能（原子力）法』または『核安全法』を立法のプロセスへとできるだけ早く進め、中国の原子力事業にかかわる各項の内容に統一的な調整を加え、完備された管理体制と独立した強力な監督管理の仕組みを構築し、各方面の受益者の参加を促し、個別の利益集団が国家の利益を代替することを避けなければならない。同時に、安全管理規範を修正・制定し、関連評価規定を整備し、『放射性污染防治法』を改訂し、中国の原子力発電安全管理と核廃棄物処理能力の時代に合った改正を進め、各種の安全リスクが現れる可能性を減少させる必要がある。

4.2 原子力安全管理体制の改革、統一的な原子力監督管理機構の構築

発展の期間が短いことから、中国の原子力安全管理体制の整備は不十分で、管理責任の不在（核廃棄物の地層処分など）や権威不足、人員不足、技術手段不足などの問題がある。上述の関連法律・法規の制定・改善に加えて、原子力安全の管理体制をさらに整備し、統一的で権威のある監督管理部門を構築し、各関連機構の職責を明確化し、その監督管理能力を高めなければならない。同時に、原子力発電技術の複雑性と特殊性に基づき、現在の国際金融危機対応と経済刺激計画の下においても、原子力発電所の新設にあたっては厳格な検証と審査を実施し、建設中または稼働中の原発に対しては監督管理を強化し、とりわけ各種の核燃料に対する監督管理は強化しなければならない。また核廃棄物処理は原子力発電所の運用10年以降に重みを増してくることから、完備された核廃棄物処理国家特定項目計画と行動プランを今から制定し、核廃棄物処理の技術路線と総合プランを明確化し、各種の緊急マニュアルなどを制定しておく必要がある。

4.3 長期的なエネルギー発展戦略の枠組みの下、原子力発電発展計画と実施プランを調整・改善する

原子力発電の中長期計画の調整は、国家の長期的なエネルギー発展戦略の下で実施し、原子力発電の適切な位置付けを正確に判断し、実現可能な目標を制定する必要がある。このほか、原子力発電発展の中長期計画だけでは十分ではなく、具体的な実施細則とプランを十分な聞き取りと討論の上で制定し、各種の保障措施を実施しなければならない。実施細則は、状況の変化に応じて、中国の国防ニーズや経済状況、エネルギー発展動向、技術革新、エネルギー安全、環境保護、気候変動対応などの多くの要素をさらに総合的に考慮し、存在する問題に対して詳細な解決法や技術路線、緊急計画を制定する必要がある。

4.4 原子力発電技術発展のロードマップを明確化し、主流技術と使用済み核燃料処理方式の検証を十分に行う

原子力発電中長期計画の配置に基づき、原子力発電技術発展のロードマップをさらに明確化し、技術の導入と消化の後の研究開発・設計・製造・モデル化を順序良く展開し、標準化生産をできるだけ早く実現しなければならない。原子力発電の推進が一旦弱まっている状況を機に先進的な技術を直接採用すべきだと提言する研究者もいるが、第3世代原発技術は世界でまだ建設の前例がなく、コストなどの面での不確実性が存在するため、現状においては、比較的安定した方法を採用し、世界の同業専門家を招いて独立した評価と検証を行う必要がある。第3世代の原子力発電技術の自主化・国産化を進める前に、“第2世代プラス”の原子力発電技術の標準化・規範化を急ぎ、政治的要素が影響する可能性を減少させなければならない。また、使用済み核燃料の循環利用と安全な地層処分技術を研究開発する必要がある。そのうえで国外の経験と教訓を汲み取り、新型高速増殖炉を含む第4世代原子力発電システムとその他の新型原子炉の十分な検証と研究開発を進めなければならない。

中国はすでに、原子力発電所の使用済み核燃料に対して後処理を行い、閉鎖系の核燃料サイクルを採用することを決定しており、使用済み核燃料後処理の長期的な研究を実施してきた。使用済み核燃料後処理のパイロットプラントはすでに建設段階にある。だが現在の状況から見ると、こうしたやり方は、経済的な代価が高い上に、高レベル放射能廃棄物の処理問題を最終的に解決する方法とはなっていない。使用済み核燃料の処理路線については再度見直し、少なくとも世界ですでに実証された経験を汲み取り、核燃料を一度利用した後は適切な場所を選んで長期保存を行うなどの代替案を考慮する必要がある。

4.5 原子力発電の専門運営管理方式を採用する

原子力技術と原子力安全は特殊性を備えていることから、

原子力発電所建設とその運営管理には高度な専門性が必要となる。中国の原子力発電は急速な発展を遂げていることから、多くの種類の炉型にかかわる安全管理には、専門的な管理経験と大量の専門人材が必要となる。中国の原子力発電所の一部には、所有企業と運営管理企業が同一企業に属し、経験と人材が不足している発電所もあり、こうした管理方式では原子力の安全は確保できない。そのため、関連規定を制定し、原子力発電所の建設と運営管理を担当する企業には厳格な認可基準を定め、原発の所有企業と運営管理企業との分離を期限付きで実施し、資源の統合と専門水準の向上をはかることが望まれる。国内外の専門的な原子力発電運営企業（特にグローバル企業）を招いて中国の原発の運営管理に参加させ、協力や交流を通じて中国の原発運営管理水準を高めることなどが考えられる。

4.6 情報公開と市民参加のメカニズムを改善し、市民との交流・コミュニケーションを強化する

国外の経験が示すように、効果的で整った市民参加制度を構築することは、原子力発電の発展にとってのカギとなる。これには、原子力発電の知識の普及と宣伝、監督管理機構の信頼度の向上、原発関連の政策決定への市民参加プロセスの制定、原発事故の緊急マニュアルと危機処理への市民参加の仕組みなどが含まれる。

中国の国家核安全局は2011年、『環境保護部（国家核安全局）核・放射能安全監督管理情報公開方案（試行）』と『原子力発電所の核・放射能安全情報公開の強化に関する通知』の2つの文書を発表した。これらはまだ市民への一般公開には至っていない。このため、関連するプロセスをできるだけ早く制定し、情報公開を段取りよく加速し、関連情報の普及とも結びつけ、市民参加を推進し、原子力発電に対する市民の認知度と受容度を不断に高めていく必要がある。

参考文献

- [1] 傅凱思、趙莎。核電安全の争議。科技導報、2002、(3): 60-64
- [2] 核電發展戰略研究編委會。核電發展戰略研究（上巻）、北京：中国言実出版社、1999
- [3] 金煜。核電 向左走？ 向右走？ 新京報、2011-07-03 (B10版)
- [4] 美国自然資源保護委員會等。日本福島核電站危機後の反思。國際核電安全研討會。北京、2011
- [5] 人民日報。温家宝在全国節能減排工作電視電話會議上強調把節能減排作為硬任務硬举措硬指標。人民日報、2011-09-28 (第1,3版)
- [6] 王毅。充滿未知變數的核電發展之路。中国国情国力、2001、(10): 46-48
- [7] 王毅。促進核電科學、有序、健康發展。科學与社会、2011(4): 37-42
- [8] 温家宝。中国堅定走綠色和可持續發展道路——在世界未來能源峰會上的講話（2012年1月16日、阿布扎比）。湖北日報、2012-01-17 (第3版)
- [9] 薛進軍、趙忠秀。中国低炭經濟發展報告（2012）。北京：社会科学文献出版社、2011
- [10] Ahearne J F. The Future of Nuclear Power. American Scientist, 1993, 81(1): 24-35
- [11] Bupp I, Derian J. Light Water: How the Nuclear Dream Dissolved. New York: Basic Books, 1978
- [12] Chandler W, et al. China's Electric Power Options: An Analysis of Economic and Environmental Costs. Washington DC: Pacific Northwest National Laboratory, 1998
- [13] Cohn S M. Too Cheap to Meter. New York: State University of New York Press, 1997
- [14] IEA. World Energy Outlook 2011. France: OECD/IEA, 2011
- [15] NEA/IEA. Projected Costs of Generating Electricity: Update 1998. France: OECD, 1998

中国の原発発展、環境汚染対策の有効な手段に

中国総合研究交流センター編集部

中国人民日報によると、中国国家核安全局と国家エネルギー局、国防科学技術工業局はこのほど、「核安全文化政策声明」を共同で発表した。声明は、原子力発電所の建設は再び大規模発展の軌道に乗り、原子力技術の利用事業は急速発展の新たな時期に入ったとし、原子力の安全を確保する圧力は増大していると指摘した。

原発発展、中国の環境汚染減少の有効な手段に

中国では近年、煙霧現象が頻発しているが、大気汚染の主因は石炭の燃焼にある。原子力エネルギーは、低炭素で集中型のエネルギーであり、原子力発電による石炭発電の代替は、温室ガスの排出削減を大きく促進する可能性を持ち、中国の環境汚染を減らす現実的で有効な手段と言える。

中国工程院の院士で放射線防護と環境保護の専門家である潘自強氏によると、単純に比較はできないが、発電方法についての系統的な比較にあたっては、発電所そのものではなく、燃料チェーンに基づいた比較を行うことが重要となる。原子力発電について言えば、原子力発電所そのものについて考えるのではなく、「採掘—湿式製錬—転換—濃縮—ユニット製造—発電処理—廃棄物処理」の全プロセスを見る必要がある。

中国は1990年代中期、石炭発電チェーンと原子力発電チェーンによって生まれる環境被害を比較し、「大気汚染物の排出から考えると、通常の状態では、石炭燃焼発電は二酸化硫黄や窒素酸化物、粒子状物質などの汚染物を排出するが、原子力発電ではいかなる大気汚染物も排出されない。放射性排出物から考えると、石炭中には原始放射性核種が自然状態で含まれ、石炭燃焼発電所の煙塵を通じて環境中に排出される。一方、原子力発電所から環境中に排出される気体・液体排出物の放射線量は自然放射線の水準よりもはるかに低く、わずかに産出される固体廃棄物は密封処理されるため、外部には排出されない。石炭発電チェーンが外部に産出する放射線量は原子力発電所の50倍にのぼる」との結論を出した。

国家エネルギー局元局長の張国宝氏はかつて、石炭が一次エネルギーの67%を占める中国にとっては、温室ガスを排出しない原子力発電所は現実的な選択肢だとの見方を示している。沿海に建設される原子力発電所は海水を冷却水とするため、淡水資源の節約ともなる。

国際原子力機関の予測値によると、世界の原子力発電所の設備容量は2030年までに最大で727GW（1GWは10億W）に達し、現在の2倍となる見込みだ。

中国国務院は2014年末、「エネルギー発展戦略行動計画（2014—2020年）」を打ち出し、世界最高の安全基準を取って安全を確保することを前提に、東部沿岸地域で新たな原子力発電所の建設を適時始動し、内陸部での原子力発電所建設についても検討・論証を進める方針を発表した。2020年までに稼働中の原子力発電所の設備容量は5800万kW、建造中の原子力発電所の設備容量は3000万kW以上に達する見込みだ。

原発の安全を確保するための「2つの1000分の1」

日本の福島が事故が発生した後、原子力発電の絶対の安全に対する国民の要求は高まった。

原子力発電の安全性を確保するため、原子力発電には「2つの1000分の1」という定量的な安全目標が掲げられた。第一に原子炉の事故が原子力発電所付近の個人または住民グループに与える急性死亡リスクは、その他の事故によって与えられる急性死亡リスクの0.1%を超えないものとする。第二に、原子炉の事故が原子力発電所付近の個人または住民グループに与えるガンによる死亡リスクは、その他の原因によってもたらされるガンのリスクの0.1%を超えないものとする。

研究によると、この「2つの1000分の1」の安全目標を実現するには、原子力発電所の原子炉で一年間に炉心が重大な損傷を受ける可能性が1万分の1よりも少なく、事故初期に大量の放射性物質が放出される可能性が10万分の1である必要がある。

「実際には、中国のすべての原子力発電所はすでにこの要求を満たしている。安全目標が立てられたことは、今後建設される新たな原子力発電所への安全要求はさらに高まった」。環境保護部（環境保護省）核・放射安全センターの副チーフエンジニアを務める陳曉秋氏によると、メカニズムから言えば、原子力発電所の設計にはすでに、重大事故を防止し被害を食い止める多くの措置が取られており、事故初期に大量の放射性物質が拡散するリスクは除去されている。事故後しばらく経ってからの放射性物質の拡散は緊急保護措置を取る時間が十分にあり、作業員や周囲の国民が事故の被害を受けるリスクは低い。

原子力発電技術の進歩と安全要求の高まりにつれて、原子力発電所のシステムは複雑化を増している。説明によると、原子力発電所の安全には、場所の選定、設計、建造、試験、運行、廃炉などの各段階があり、各種の専門分野にかかわるものだ。原子炉のエンジニアリングだけが際立つが、地質学や気象学、水文学、構造物、機械設備、電器設備、設備鑑定、電気供給、放射線防護、固体・液体・気体の廃棄物処理、安全分析、廃炉などの各技術が欠かせない。原子力発電の各技術分野にはそれぞれ明確で厳しい法律や基準、ルールがある。多重的な事故防止によって、原子力発電所の安全性は非常に高くなっている。

中国の原子力工業、誕生60周年 建設中の原発規模で世界最大に

中国総合研究交流センター編集部

中国経済日報によると、中国の原子力工業の誕生60周年を記念した座談会「新時期の国防建設・強化、原子力エネルギーの持続可能発展の推進」（共催：中国核工業集団、中国核工業建設集団、中国工程物理研究院）が1月15日、北京で開催された。

国防建設と国家安全の土台となる原子力工業は今年1月15日、中国での誕生から60周年を迎えた。中国の原子力工業はこの60年で、原子爆弾や水素爆弾、原子力潜水艦などの目覚ましい成果を伴う飛躍的な発展を遂げ、民族の自立を支え、中国の戦略核戦力を高め、国家の振興と民族の復興に堅固な土台を築いてきた。

原子力工業の発展は、国家のエネルギー安全の保障と気候変動に対応する重要な手段ともなる。中国の原子力発電事業はここ30年余りの発展によって自主製造・系列化・大規模化を実現し、稼働中の発電ユニットは22基、総設備容量は2010万kWに達した。建造中の発電ユニットは26基、総設備容量は2800万kWに達し、建造規模で世界最大となっている。「華竜一号」の開発では第3世代原子炉技術の知的財産権を保有することとなり、国内外への建設も進み、原子力発電の海外進出戦略も大きく進展した。

中国の核燃料産業はこの60年で、閉鎖循環式の産業体系を形成し、国防建設と経済建設で重要な役割を担うようになった。国内生産・海外開発・国際貿易の3つからなる資源供給体系も構築された。核燃料循環の各部分の建設と生産は、中国の原子力エネルギーの発展ニーズを満たすと同時に、世界への進出も果たしている。ウランの精錬・転換や濃縮、燃料ユニットの生産を統合した新たな拠点の建設

も計画されている。中・低レベル放射性廃棄物の処理場も設立され、再処理の能力と技術の把握も進んでいる。

原子力工業はこの60年、原子力の安全を各事業の最優先事項とし、良好な安全記録を保ってきた。建造中の原子力施設には有効な安全制御がなされ、原子力施設周辺の放射線レベルは自然状態の範囲に収められている。中国の原子力の安全確保は先端水準にあり、世界の原子力安全水準の向上に大きく貢献している。

60年来、革新発展を堅持し、軍民が一体となった全面的な科学技術革新体系を構築し、重要な生産段階のそれぞれに科学技術プラットフォームによるサポートを提供してきた。国家基礎研究実験基地や国防科学技術重点実験室、国家級エンジニアリング技術センターなどが設けられ、中国実験高速炉や中国先進研究炉、再処理パイロットプラント、タンデム加速器改良、核融合環流器2号A装置改良などの重大科学技術設備や研究開発プラットフォームも建設され、原子力技術の革新に力強いサポートを提供した。

中国原子力工業集团公司の董事長（会長）で党組書記の孫勤氏は原子力事業の今後の発展について、「中国は、その国際的地位に見合った、国家の安全や発展のニーズに応える原子力工業強国とならなければならない。伝統ある原子力工業の精神を発揚し、原子力工業の発展を「新常態」（ニューノーマル）へと積極的に誘導し、軍民が一体となった発展の道を堅持し、中核的能力を全面的に高め、中国の戦略的原子力の安全性・信頼性・有効性を確保していきたい」と語った。

急成長期を迎える中国の原発 秦山原子力発電所、中国最大の原発基地に

中国総合研究交流センター編集部

中国新華社によると、秦山原子力発電所拡張プロジェクトの方家山原子力発電所2号ユニットが1月12日午後5時、順調に送電を開始した。秦山原子力発電基地はこれで、発電ユニット9基すべての稼働を実現した。総設備容量は654.6万kW、年間発電量は約500億kWhで、中国で発電ユニットが最も多く、炉型が最も多様で、設備容量が最大の原子力発電基地となった。

方家山原子力発電所は設備容量108万kWの加圧水型原子炉2基を持ち、中国国内で自前化・国産化のレベルが最も高い100万kW級原子力発電ユニットを誇る原子力発電所の一つである。先端燃料ユニットや全デジタル制御システムなど18項目の大型技術改良が実施されたほか、福島原発事故後にも14項目の技術改良が加えられ、原子炉の安全水準は一層高まっている。1号ユニットはすでに2014年11月4日に送電開始を実現している。

秦山原子力発電基地は、中国大陸部の原子力発電の発祥地である。1985年3月20日に大陸部初の原子力発電ユニットが起工してから30年で、「中国の原子力発電事業の第一歩」「原子力発電国産化に向けた道の開拓」「原子力発電管理の国際基準への統合」「30万kWから100万kWへの自主発展」などの発展の道のりをたどってきた。

秦山原子力発電基地は2014年末までに安全性を保ちながら累計3327億4600万kWhの発電を行った。標準炭換算で約1.07億トンに相当し、二酸化炭素約3.5億トンと二酸化硫黄約233.38万トンの排出を削減し、95.18万ヘクタールの林地を作った計算となる。

年内にさらに5基が起工へ

公開データによると、中国では2014年中に、合計5基の原子力発電ユニットが稼働開始となった。陽江1号ユニット、寧徳2号ユニット、紅沿河2号ユニット、福清1号ユニットおよび方家山1号ユニットである。これにより中国の稼働中の原子力発電ユニットは合計22基となり、総設備容量は2029.658万kWに達した。また建造中の発電ユニットは26基で、その設備容量は約2800万kWに達する。原子力発電ユニットの稼働開始が相次いでいることは、「十一五」（第11次5カ年計画、2006-2010）期間に起工されたユニットが商業運用の波を迎えていることを示している。中国の建造中の原子力発電ユニットの規模は世界一を維持している。

最新の計画によると、2020年までに原子力発電ユニットの稼働規模は5800万kW、建造規模は3000万kWとすると定められている。今回送電が開始された方家山2号ユニットの設備容量は645.6万kWに達するが、これをひとつの目安とすると、2020年にはまだ5年という時間があることから、目標達成は確実な状況と言える。

社会基盤

四川大地震と地震動ハザード評価の国際展開

郝 憲生 はお けんせい ●独立行政法人 防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域 主幹研究員、GEM科学委員会 副委員長



1. 地震動ハザード評価とは



◎写真1 仙台で「地震動ハザード評価の連合シンポジウム」を開催した
(詳細は http://www.j-shis.bosai.go.jp/intl/cjk/3rd_annual_meeting.html)

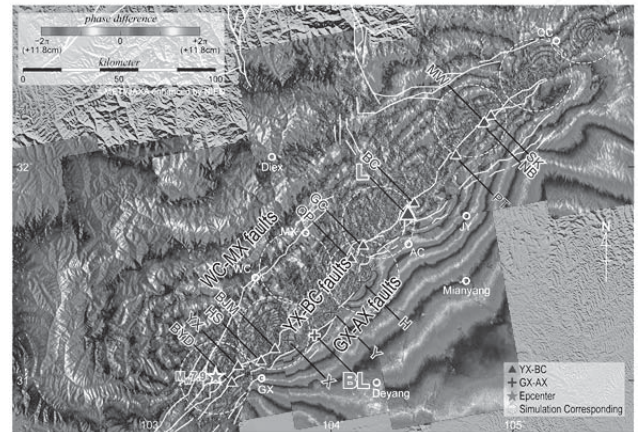
世界各地で大地震による壊滅的な被害が多発しており、近年東アジアで発生した7つの地震(1976年唐山地震、1995年兵庫県南部地震、1999年集集地震、2008年四川地震、2010年玉樹地震、2011年東北地方太平洋沖地震、2013年雅安芦山地震)だけでも30万人以上の方が亡くなっています。

ある場所に限定すると大地震の発生する確率は一般的には非常に低いのですが、世界中のどこかで発生する確率は高く、ひとたび大地震が起こるとその破壊力は凄まじく、甚大な被害が発生することが予想されます。その地震が発生する場所(眠っている活断層、活海溝)を洗い出す、ある期間(30,50年間)に、着目地点に影響を及ぼす震度の確率を周知すれば、人々はそれらの自然災害の対策が講じることができます。これが我々の長期ビジョンとしてのねらいとなります。

2. 四川大地震の教訓

内陸地震として最大級規模の中国四川省汶川(Wenchuan)地震(Mw7.9)は、長さ約500kmの龍門山断層帯で発生し、広大な地域に甚大な被害をもたらしました。2000年以上の歴史がある蜀の国(四川)に大地震の記事がなかったことは、地震に対する無認識と無策につながりました。この大地震に伴う震源断層の動きを明らかにするために、我々は数回の現地調査を行いました。最大縦ずれ6mに達する映秀—北川断層(YX-BC)と、2mに達する灌県—安県断層(GX-AX)において、10ヶ所以上の大きな地表断層を確認しましたが、断層の全容には至れませんでした。このため現地調査に加えて、陸域観測技術衛星「だいち」のPALSARデータを用いて、震源断層の形状と断層面上の

すべり分布を逆解析で推定しました(図1)。その結果、今回の地震では、YX-BCでは、長さ約290km、GX-AXでは約70kmの領域が破壊し、大震災を引き起こした超大断層の全貌を世界に初めて明らかにしました(詳細はHao et al.,2009)。



◎図1 汶川大地震に伴う地表地震断層(▲+)と地殻変動(背景の縞模様)、活断層(白線)

確認された地表地震断層は: YX: 映秀, HS: 後深溝, BJM: 八角廟, QP: 清平, GC: 高川, L: 擂鼓鎮, BC: 北川および H: 漢旺, Y: Ying華, BL: 白鹿と X: 小魚洞である。なお、本解析で用いたデータは、JAXAが進める防災利用実証実験に基づいて配布されたものであり、元データの所有権はMETI及びJAXAにある。詳細はHao et al., (2009)

一方、内陸活断層の大地震の再現周期は人類記録の歴史より長い(4000年～)とされています。冒頭に述べたような地震動ハザードを確率で評価する科学的な手法が徐々に確立しつつあります。我々は、「地震推進本部」の基に世界に最も複雑な地震動評価モデルを作り、2005年から防災科学技術研究所のJ-SHISのサイトに日本「全国地震動予測地図」を公開しました。さらに防災科研の中期目標のもと、東アジア、アジア、グローバルへの地震動ハザード・リスク評価の国際展開を進めてきました。

3. 日中韓における戦略推進事業と東日本大地震の教訓

2010年に、中国・韓国の研究者とともに地震動ハザード分野における日中韓の戦略的国際科学技術協力推進事業(研究交流型)に応募し、約50組の競争相手の中から選ばれ、「次世代地震動ハザードマップ作成のためのハザー

ド評価手法の高度化に関する研究」を2010年から2014年まで行いました。

この研究交流を通じて、日中韓の3カ国は、各国における地震動ハザードマップ作成の経験と知識を共有することにより共通の課題を洗い出し、協力して研究を進めることにより各国のハザードマップの高度化を図ることができました。加えて、研究協力を通じて、効率的に地震災害の軽減対策を講じるための共通の情報基盤の構築も期待されます。こうした活動は、東アジア地域での標準的な地震動ハザードマップ作成に向けた第一歩となることが大いに期待されました。

その時期-2011年に、日本の歴史・記録上になかったM9クラスの東北地方太平洋沖地震が、今まで記録された東北沖地震の震源域によりはるか広い域(500km×200km)に発生しました。この大地震から、地震動ハザードを過小評価していたこと、認識論の不確定性のことなどを痛感しました。これらの経験を活かし、地震動ハザードを過小評価しないための地震動ハザード評価手法の高度化を進め、三年半をかけて日本全国にハザード評価の再検討、及び地震動ハザード評価の方法論についての研究を進めました。発生確率が低いM9クラスの大地震ももれなく考慮し、さらに1000年、1万年、10万年の長期間の地震動予測地図を計算し、2014年12月に、新たに日本「全国地震動予測地図」を発表しました。

4. 日本-台湾-ニュージーランドとの共同研究

日本側の地震動ハザード評価の研究は、中国・韓国だけに注目されるのではなく、台湾の研究者も高い関心を寄せました。

1999年の台湾集集大地震により、2,400名以上が亡くなったことから、地震動ハザードとリスクに関する研究の重要性は台湾の多くの研究者・専門家に再認識されました。そこで、台湾の研究者が日中韓の研究交流会に積極的に参加するようになり、それと同時に防災科研と台湾のTEM (Taiwan Earthquake Model=日本における地震調査研究推進本部の地震調査委員会に相当)の研究交流が始まり、2012年に台湾桃園、2013年仙台、2014年台北と3回にわたって研究発表会を開催しました。

2013年に仙台で開催された「国際地震動ハザードとリスク研究の合同交流会」では、日中韓の研究交流会、台湾と日本の研究交流会に加え、ベトナム、イタリア、米国、フランスの科学者ら90人の大集会になりました(冒頭の写真1)。

これらの活動が同じく島国のニュージーランドのGNSの研究者も高い関心寄せてきました。2011年のクライストチャーチM=6.1地震で約180人が亡くなり、広い地域に液状化が発生したことが記憶にありました。彼らが台北会議に積極的に参加し、さらに2015年本土において「ニュージーランド-日本-台湾の研究発表会」の開催を準備しています。

5. グローバル組織GEMに参画と地震動評価の共同研究

J-SHISの目的と全く同じ国際的なNPO組織GEM (Global Earthquake Model Foundation)があります。2009年に誕生したGEMは、地震動ハザード・リスク評価手法の開発や、関連する情報基盤の構築を目指した活動を推進しています。現在15の国と地域、損害保険会社などの企業、国際協力機構、世界銀行、国際連合をはじめとする多数の国や機構等が参加しています。GEMは、防災科研の地震動ハザード研究の成果と地域への積極的な活動を評価しています。そして2012年9月にGEMからの要請をうけ、防災科研は運営委員会メンバーとしてGEMに参画しました。

GEMでは、これに参加する科学者のコンセンサスに基づき、汎用性のある地震動ハザードとリスク評価ツールOpenQuakeを構築しています。そして、世界各地の国と地域において、これを具体化、高度化するためのRegional Program (国際的な地域連携)を展開しています。

防災科研には、近隣諸国との連携を図りながら、より進んだ評価手法を研究し、アジア地域の特性を活かした評価モデルの提案が期待されています。また、日本において培われた地震動ハザード・リスク評価に関する研究成果は、国際的な組織であるGEMを通じて世界に向け発信されますが、防災科研においても英語サイト (<http://www.j-shis.bosai.go.jp/en>) を作り、世界に情報を発信していきます。

中国の高速鉄道が達成した「世界第一」

中国総合研究交流センター編集部

中国の高速鉄道は2014年末、蘭州—新疆ウルムチ、貴陽—広州、南寧—広州の各区間が同日開通するなど、際立った進展を実現した。技術の導入から世界をリードする水準に達するまで、中国の高速鉄道は10年という短期間で、国内の評価を得るだけでなく、世界が注目する発展を成し遂げた。中国の高速鉄道がこれまでに打ち立てた「世界第一」としては、以下のものが挙げられる。

1. 最長の運行距離

2014年には、貴陽—広州高速鉄道、上海—昆明高速鉄道の杭州・南昌区間と長沙・懷化区間、蘭州—新疆ウルムチ高速鉄道などの路線が相次いで開通した。中国の鉄道運行距離は2014年末までに11万kmに達し、このうち高速鉄道は1.6万kmに及び、世界の高速鉄道の運行距離の半分以上を超え、その名に恥じない「世界第一」となった。

2. 最速の建設計画

中国の高速鉄道は2004年、技術の導入から吸収、再革新の道に踏み出し、本格的に加速の段階に入った。10年という短期間で、「四縦四横」と呼ばれる高速鉄路網の枠組みがほぼ形を整えた。今年末までに、中国の高速鉄道の運行距離は1.8万kmに達する見込み。高速鉄道を中心として、地域間の快速鉄道、都市間鉄道、在来線のスピードアップなどによって構成される快速鉄道網がほぼ構築され、総規模は4万kmを超え、人口50万人以上の都市をほぼカバーすることになる。

3. 最速の運行速度

中国の高速鉄道の最高時速486.1km/hは、ジェット機の低速飛行時の速度に匹敵する。2010年12月3日、京滬（北京—上海）高速鉄道の秦皇島・蚌埠試験区間で、次世代高速列車（動車組）「CRH380AL」が、運行速度として世界最高の時速486.1km/hを実現した。

4. 寒冷地区で初の高速鉄道・哈大高鉄

2012年12月1日、高度寒冷地区で初の長距離高速鉄道となる哈大（ハルビン—大連）高速鉄道が開通した。運行距離921km、設計時速350km/hで、遼寧・吉林・黒竜江の3省を貫き、沿線には23駅が設けられている。ここ30年の気象記録によると、東北3省の通年の気温差は80度に達し、中国で最も寒冷で、温度差の最も大きな地区となっている。

5. 世界最長の高速鉄道・京広高鉄

2012年12月26日、運行距離が世界最長の高速鉄道となる京広（北京—広州）高速鉄道が全線開通した。全長は2298kmに達し、中国の中長期鉄路網計画の「四縦四横」において重要な「縦」の一本を担う高速鉄道となる。北京から石家荘や鄭州、武漢、長沙などを経て広州までをつなぎ、設計時速は350km/h、初期運行時速は300km/hとされている。

6. 一度に建設された世界最長の高速鉄道・蘭新高鉄

2014年12月26日、蘭新（蘭州—新疆ウイグル）高速鉄道が全線開通となった。全長1776kmの同鉄道は、一度に建設・開通となった高速鉄道の最長記録を塗り替えた。

北京新空港、投資額800億元

中国総合研究交流センター編集部

北京市の「两会」（人民代表大会、政治協商会議）からの情報によると、北京の新空港の総体計画は今年上半期、民用航空局と北京市、河北省の共同審査を通過する見込みだ。新空港ターミナルビルは、建設地の移転作業が3月に始まり、下半期には全面起工となる。

北京新空港は昨年12月、実行可能性調査報告が国家發展改革委員会の認可を受け、敷地面積約107ヘクタールの新空港の飛行エリアが昨年末に起工された。2019年に竣工・運用開始となる。投資額800億元の交通ターミナル建設プロジェクトは、北京大興区と河北省廊坊市の交わる地区に位置し、ターミナルビルや総合施設の3分の2は北京市、残りは河北省に位置する。敷地の主な部分は滑走路となる。新空港に配備されるターミナル管制センターは、首都空港のある北京市順義区に置かれる。新空港の建設工期は5年で、「三縦一横」の4本の滑走路、70万平方メートルのターミナルビルが設けられる。2025年の旅客取扱量は延べ7200万人、貨物・郵便取扱量は200万トン、航空機の離着陸量は延べ62万機に設定されている。空港への総投資は799.8億元が予定されている。

北京新空港が2019年に竣工・開港した後、南苑空港の運用は停止され、移設される。北京・天津・河北地区には、首都空港と天津・濱海空港、石家庄・正定空港、新空港の4大空港からなる連携体制が形成される。

北京新空港のターミナルビル建設地の移転作業は早くて3月には始動する。移転対象となる地域には13個の村があり、8月末までにすべての土地の供給が可能となり、9月のターミナルビル起工の準備が整う見込みだ。また新空港へのアクセスには、軌道交通1本と空港高速道路1本が建設されることとなる。

同様に北京の「两会」から伝わってきた情報によると、發展改革委員会は現在、北京と河北の両地をまたぐ臨空型経済区の形成を検討している。空港の面積の広範囲が北京に設けられるのと異なり、この臨空型経済区のスペースは河北が多くを占める。

臨空型経済とは、空港周辺に形成された航空関連の産業クラスターを指す。具体的な産業構成は、臨空型産業チェーンと運輸サービスチェーンからなり、空港によって生まれる物流業やハイエンド製造業、サービス業なども含まれる。臨空型経済区には、空港関連の新たな産業成長分野によって、雇用問題の解決を実現し、地方に税収入をもたらす効果が期待される。中国各地には現在、首都空港を中心に設立された順義臨空経済区を含む約63カ所の臨空型経済区がある。

北京交通大学と北京首都国際空港有限公司が共同展開した研究報告によると、2025年までに、北京新空港の直接雇用者数は12万人に達し、間接的に作り出される雇用ポストは78.89万口に達すると見られる。大興区はすでに、東方航空や南方航空などの航空会社とプロジェクト意向書や戦略合意を締結し、「新航城」の名の下に臨空型経済区の建設を進めている。

中国の大気汚染防止の法制度および関連政策

中国の大気汚染防止の法制度および関連政策

金 振 JIN Zhen ●科学技術振興機構中国総合研究交流センター フェロー



1976年 中国吉林省生まれ
1999年 中国東北師範大学 卒業
2000年 日本留学
2004年 大阪教育大学大学院 教育法学修士
2006年 京都大学大学院 法学修士
2009年 京都大学大学院 法学博士
2009年 電力中央研究所 協力研究員
2012年 地球環境戦略研究機関 (IGES) 特任研究員
2013年4月 IGES 気候変動・エネルギー領域 研究員
2014年4月より現職

1. 大気汚染防止法および大気質基準

中国における初期の大気汚染関連の法律規定は、1979年に施行された『環境保護法（試行）』において見られたが、基本原則の例記に止まるものであった。1987年、初めての個別法『大気汚染防止法』が制定され、管理監督責任の所在、中央政府と地方政府との役割分担、汚染物質排出者の法的責任などに関する規定が設けられた。『大気汚染法』が施行されてから、中央省庁レベルの省令（「都市煤煙、粉じん抑制区管理弁法」、「自動車排気監督管理弁法」など）や国家基準（「ボイラ大気汚染物排出基準」、「鉄鋼業汚染物排出基準」など）も多数公布されている。

大気質に関する国家基準は大気汚染防止法が制定される以前から存在しており、1982年に公布した「大気環境質基準（GB3095-82）」（以下、82年基準）がそれである。しかし、時間を遡れば、1973年に公布した「工業企業設計衛生基準」に含まれている「住宅地の大気中に含まれる有害物質の最大許容濃度」が初期の大気質評価基準（応用基準）であるといえることができる。

82年基準は、2012年まで、3回の改正が行われ（1996年の第1次改正：GB3095-1996、2000年の第2次改正：改正GB3095-1996、2012年の第3次改正：GB3095-2012）、第3次改正の基準は2016年1月1日より適用されることになる。

第2次改正基準（表1）と比べた場合、第3次改正基準に関して、注目に値する改正が2点ある。1点目は、大気質の3分類評価体系が2段階評価体系に変わったことである。いままでの基準では、3つの土地利用区域——1）自然保護区、景観名勝区、その他特別保護に値する区域2）都市計画上の居住区、商業・交通・居住混合区、文化区、一般工業区および農村地区3）特定工業区——に分け、3段階の大気質基準（1級、2級、3級）を設け、区域1）には1級基準、区域2）には2級基準、区域3）には3級基準を適用していた（表2を参照）。これに対し、第3次改正基準では、地区3）が地区2）に吸収され、大気質3級基準は撤廃された。これにより、特定工業区はより厳しい2級基準が適用されることになる。

◎表1 中国大気質環境基準（GB3095-1996）

汚染物質	計測時間 単位	濃度制限値			
		一級基準	二級基準	三級基準	単位
二酸化硫黄 SO ₂	年平均	0.02	0.06	0.1	mg/m ³ (標準)
	日平均	0.05	0.15	0.25	
	一時間平均	0.15	0.5	0.7	
浮遊粒子状 物質 TSP	年平均	0.08	0.2	0.3	
	日平均	0.12	0.3	0.5	
浮遊粒子 PM10	年平均	0.04	0.1	0.15	
	日平均	0.05	0.15	0.25	
窒素酸化物 NO _x	年平均	0.05	0.05	0.1	
	日平均	0.1	0.1	0.15	
	一時間平均	0.15	0.15	0.3	
二酸化窒素 NO ₂	年平均	0.04	0.04	0.08	
	日平均	0.08	0.08	0.12	
	一時間平均	0.12	0.12	0.24	
一酸化炭素 CO	年平均	4	4	6	
	一時間平均	10	10	20	
オゾン O ₃	一時間平均	0.12	0.16	0.2	
鉛 Pb	四半期平均 年平均	1.5 1			
ベンゾピレン B[a]P	日平均	0.01			
ふっ化物 F	日平均	7 ^①			μg/(dm ³ d) (標準)
	一時間平均	20 ^①			
	月平均	1.8 ^②		3.0 ^③	
	植物成長四 半期平均	1.2 ^②		2.0 ^③	

①都市部適用基準 ②半農半牧畜地区 ③農業および林業区
出典：GB3095-1996

2点目は、地方政府の実情を勘案し、10種類の汚染物質を2つのグループに分けたことである。10種類の汚染物質は、第1グループ（SO₂、NO₂、CO、O₃、PM₁₀、PM_{2.5}）および第2グループ（TSP、NO_x、Pb、BaP）に分け、第2グループに関しては、地方政府の実情に合わせて選択導入できるようにした。そのほか、PM_{2.5}に関する基準が新設されたことも注目に値する。

2. 大気汚染の現状

中国は、長年に渡ってSO₂、やNO_x（以下、主要汚染物質）に起因する光化学スモッグや酸性雨問題に悩まされてきた。大気汚染防止法（1987年）のもと、様々な取り組みが行われ、2000年以降の主要汚染物質の排出量は減少傾向にある。特に、第11次5カ年計画（2006年～2010年）期間においては、初めてSO₂を2005年比10%削減するという国レベルの総量削減目標を掲げ、2010年までに、-14.29%の削減が実現できた。

しかし、大気汚染の現状は依然として厳しい。環境保護部（日本の環境省に相当）が2012年に公表した「2011年中国環境状況公報」によると、国土の12.9%に当たる地域に酸性雨が発生しており、2011年だけでも観測対象となる468市町村のうち227市町村に酸性雨被害が確認できた。

また、中国における大気質も油断できない状況にある。地級レベルの都市（計325）に限った2011年の大気質調査によると、実に11%の都市が国の定めた環境基準以下にあることが分かった。しかし、国が指定した大気汚染対策重点地区（北京、天津、上海など19の省、市、地域が含まれ、国土面積の14%、全国人口の48%をカバー）に限ってみた場合、実に82%の都市が環境基準に達していない（2010年の統計、重点区域大気汚染12次5カ年計画）。

中国の大気汚染問題の背景には、SO₂、やNO_xの発生源である石炭を大量消費するエネルギー事情がある。2011年の中国エネルギー統計によると、1次エネルギー消費における石炭の割合は81.3%（calorific value calculation）であり、2004年以来、継続的に81%前後をキープしている。

SO₂およびNO_xの排出源には特徴がある。いずれの汚染物質も主な排出源は工業部門（火力発電部門も含む）ではあるが、NO_xの場合、自動車部門に起因する排出が2番目に大きい排出源となり、全体の26.5%を占めている。

◎表2 2011年主要汚染物質の排出量等（2011年中国環境状況公報）

単位：104t	排出総量	工業部門	民生部門	自動車部門	その他
SO ₂	2217.9	2016.5	201.1		0.3
NO _x	2404.3	1729.5	37	637.5	0.3

石炭消費の拡大、自動車の普及によるSO₂およびNO_xの排出量の増加は、PM、O₃、酸性雨の二次汚染を加速させ、複合型大気汚染問題を招いている。「重点区域大気汚染12次5カ年計画」によれば、北京、天津、河北省、上海、江蘇省、広東省などの地域では、年間100日以上光化学スモッグ被害が観測され、個別の都市では200日以上に達している報告もある。

3. PM2.5に起因する大気汚染－霧霾（Wu Mai）

2013年1月、中国各地では、一週間以上にわたってPM2.5を主な原因物質とする全国規模の大気汚染（霧霾[Wu Mai]天気）が発生した。大気汚染（霧霾）警報が出された1月14日の観測結果によると、31の省級政府（以下、地域）の内、実に29の地域が大気汚染に曝され、そのほとんどが「重度汚染レベル」または「嚴重（危険）汚染レベル」までに達していた（典拠：中央気象台の統計数値）。

3.1 「霧霾」天気とは

「霧霾」とは中国の気象用語であり、「霧」は日本語の霧と同義である。「霾」については、日本では黄砂の意味として用いる場合があるが、中国では「肉眼で識別できない浮遊物質の発生によって視程距離が10km以下までに制限される天気現象」を指す用語である。「霧」と「霾」は、いずれも視程距離が制限される天気現象を指している点においては共通するが、前者の原因物質が水蒸気であるのに対し、後者は浮遊物質である点で区別される。問題は両者が混在する場合の定義であり、中国では通常、湿度90%以上の場合「霧」、80%以下の場合「霾」、80%～90%の間の場合「霧霾」と定義している（典拠：公众防护PM2.5科普宣传册）。

「霧霾」天気は数年前から全国各地において多発していたが、当初の国民の関心は、健康被害よりも視界不良によって多発する交通事故に向けられていた。しかし、近年、国民の関心は専ら健康被害に向けられ、「霧霾」天気は大気汚染の代名詞となった。

3.2 PM2.5の原因物質

「霧霾」天気の主な原因物質は、PM2.5である。その発生源は様々であり、大きく自然現象に伴って発生するもの（浮揚粉塵、火山灰、海塩など）と人為的な活動によって発生するもの（以下、人為的な原因物質）に分けられる。人為的な原因物質は更に、一次浮遊物質と二次浮遊物質に分けられ、前者は石炭燃焼による煙灰や工業粉塵、自動車排気ガス、建築や工事に伴う粉塵などが発生源となり、後者の場合、大気中に排出された硫黄酸化物や窒素酸化物、アンモニア、揮発性有機物等の化学反応を経て発生した物質が発生源となる。人為的な原因物質こそが大気汚染の元凶であり、大気中の一次、二次浮遊物質の割合はほぼ五分五分である。

PM2.5の原因物質の発生源は地域によって異なるが、石炭燃焼に起因する煙灰と自動車排気をもっとも重要な発生源であり、北京や上海の場合、全体の4割を占めている。注意しなければならないのは、都市によっては、PM2.5の全体量の内、周辺地域（行政区域外）から飛来したものが4割以上を占める場合もある。

3.3 健康被害

2012年12月18日、北京大学はPM2.5と健康被害との因果関係に関する国内初の研究成果を公表し、世間の注目を集めた(典拠: 危险的呼吸-PM2.5的健康危害和经济损失评估研究)。同報告書は、2012年、PM2.5が原因となった年間死亡者数は、北京、上海、広州、西安の4つの都市に限っても、8000人以上にのぼり、関連経済損失は68.2億元に達したと指摘している。PM2.5の健康への影響については十分検証が行われておらず、科学的知見や情報が不足しているなか、本報告書の公表は国内外に対し大きな警鐘を鳴らした。

3.4 観測体制

中国のPM2.5に関する観測体制の整備は遅れている。中国の場合、「霧霾」天氣の観測、警報システムはあるものの、前述の通り、それは視程距離や湿度によって判断されるものであり、PM2.5の濃度等を根拠とするものではない。

中国国内には4468箇所の大気質観測ポイント(典拠: 2010環境統計公报)が整備されている。しかし、2012年まで、そのほとんどがPM2.5の計測能力を備えていなかった。2013年1月1日より、全国重点対策区域として指定された74の都市(計631箇所の観測ポイント)が先駆けてPM2.5観測装置を整備し、計測を始めた。これによって観測ポイントの14%を網羅するPM2.5の観測体制が整った(PM10、SO₂、NO₂、CO、O₃も観測対象となる)。その観測結果は、「全国城市空气质量实时发布平台」というホームページにて発信している。74の都市の大気質は、「優、良、軽度汚染、重度汚染、嚴重汚染」の6段階に分けて評価されている。

3.5 最新のPM2.5観測結果

4月19日、中国環境保護部は、74都市の大気汚染の観測結果を発表した。1月～3月の間、74都市全体で大気質基準を満たした日数はわずか全体の44.4%に過ぎず、大気汚染が発生した日数は全体の55.6%を占める結果となった(内訳: 軽度汚染25.3%、中度汚染11.5%、重度汚染13.0%、嚴重汚染5.8%)。大気質総合評価の結果、石家庄、邢台、保定、邯鄲、唐山、済南、西安、衡水、といった都市が大気汚染の深刻度が高いと評価された(典拠: 2013年第一季度74个城市空气质量状况)。

4. 大気汚染防止法の仕組み

日本の大気汚染防止法が1968年から施行されたのに対し、中国の大気汚染防止法の制定は19年後の1987年であった。両者を比較した場合、共通点もあるが、規制の対象や手法、執行プロセス等の点において様々な相違点がある。

4.1 規制対象としての地方政府

日本の大気汚染防止法上の規制は、主に、工場または事業所に設置された施設(ボイラ、ガス発生炉、溶解炉など)に対し排出規制を適用し、事業者措置義務を課すことによって行われ、措置義務違反の場合は罰則(懲役、罰金、過料)を設けることによって制度の実効性を確保している。

中国の大気汚染防止法の場合、事業者に対する措置義務を課し、罰則を適用する形で規制を行なっている点においては、日本の大気汚染防止法と共通しているが、事業者だけではなく、地方政府も規制の対象となっているところが特徴的である。

中国大気汚染防止法3条2項は、「各レベルの地方人民政府(地方政府)は、それぞれの行政区域における大気質に対し責任を負い、関連計画を策定し、措置を講ずることによって、係る行政区域の大気質が国または地方人民政府が規定する基準に達するようにしなければならない」と定めている。しかし、この条文だけだと、これは地方政府の一般的かつ抽象的な責務についての規定に過ぎないとする反論があるかも知れない。確かに、大気汚染防止法上、地方政府に関する具体的な措置義務や罰則に関する規定は見当たらない。地方政府も規制対象であるという点について説明するためには、中国の汚染物質削減目標達成制度について理解する必要がある。

4.2 中国の大気汚染物質総量削減目標達成責任制度

中国では、法的拘束力のある国家発展5カ年計画において強制力のある大気汚染物質総量削減目標を定め、省級政府レベルの目標に細分し、その実現を義務付ける汚染物質削減目標達成責任制度を導入している。

本制度の仕組みはこうである。まず、国が「国民経済および社会発展に関する第12次5カ年計画(2011年～2012年)」(以下、第12次5カ年計画)において、2015年まで、NO_xおよびSO₂の排出総量をそれぞれ、2010年比8%、10%を削減する総量目標を掲げる。つぎに、表3に見るように、国家環境保護部が、2つの排出規制目標を31の省級政府目標(以下、地域目標)と1つの軍事業団目標に再配分する案を策定し、それが国务院の承認を得た後、国务院通達にて公布されることによって、省級政府の地域目標は正式に決定される。国から配分された地域目標の決定を受け、31の省級政府は、さらにそれを所管区域における下級地方政府に再配分する(以下、地区目標)。各地方政府は、国および省級政府から配分された総量削減目標を所管区域内における事業者ごとに割振ることが求められ、企業とともに地域目標の達成について連帯責任を負う(典拠: 「国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知」国发〔2011〕26号)。

◎表3 NOx・SO₂総量削減目標

地域	NOx総量規制計画 (単位: 万トン)		SO ₂ 総量規制計画 (単位: 万トン)	
	2015年 許容排出総量	2010年比 (%)	2015年 許容排出総量	2010年比 (%)
北京市	17.4	-12.3	9	-13.4
天津市	28.8	-15.2	21.6	-9.4
河北省	147.5	-13.9	125.5	-12.7
山西省	106.9	-13.9	127.6	-11.3
内モンゴル	123.8	-5.8	134.4	-3.8
遼寧省	88	-13.7	104.7	-10.7
吉林省	54.2	-6.9	40.6	-2.7
黒竜江省	73	-3.1	50.3	-2
上海市	36.5	-17.5	22	-13.7
江蘇省	121.4	-17.5	92.5	-14.8
浙江省	69.9	-18	59.3	-13.3
安徽省	82	-9.8	50.5	-6.1
福建省	40.9	-8.6	36.5	-7
江西省	54.2	-6.9	54.9	-7.5
山東省	146	-16.1	160.1	-14.9
河南省	135.6	-14.7	126.9	-11.9
湖北省	58.6	-7.2	63.7	-8.3
湖南省	55	-9	65.1	-8.3
広東省	109.9	-16.9	71.5	-14.8
広西省	41.1	-8.8	52.7	-7.9
海南省	9.8	22.3	4.2	34.9
重慶市	35.6	-6.9	56.6	-7.1
四川省	57.7	-6.9	84.4	-9
貴州省	44.5	-9.8	106.2	-8.6
雲南省	49	-5.8	67.6	-4
チベット	3.8	0	0.4	0
陝西省	69	-9.9	87.3	-7.9
甘肅省	40.7	-3.1	63.4	2
青海省	13.4	15.3	18.3	16.7
寧夏省	39.8	-4.9	36.9	-3.6
新疆自治区	58.8	0	63.1	0
新疆生産建設兵団	8.8	0	9.6	0
合計	2021.6	-11.1	2067.4	-8.8

典拠:「国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知」(国発〔2011〕26号)。

5ヵ年計画期間に合わせ、地域目標、地区目標は、5等分された年間目標の形で地方政府に割振られ(以下、年度目標)、一年ごとにその達成状況が評価される。

4.3 目標達成できなかった場合の不利益措置

総量目標が達成できなかった場合、地方政府には、以下のような不利益措置が発動されている。

まず、地方政府責任者¹⁾および政府機関の政策担当者²⁾(以下、政府主要責任者)の人事評価における不利益措置が挙げられる。地方政府の年度目標の達成状況と年度人事

評価制度はリンクされており、目標達成できなかった場合の政府主要責任者は、「問責制度」および「一票否決」の仕組みによって責任が追求される。「問責制度」は、目標達成できなかった場合の政府主要責任者の政治的責任を問う制度であり、場合によっては免職措置が取られる場合もある。「一票否決」制度とは、政府および所管部署の責任者の他の評価総合点が高くても年度目標達成に関する項目が不合格であれば、人事評価(昇進)の前提となる年末表彰や名誉・称号認定(個人および団体)を受ける資格が剥奪される制度をいう(政府企業の責任者にも適用される)。

つぎに、国からの事実上の不利益措置が挙げられる。成績の悪い地域においては、所管区域内に立地する投資事業の事業計画確認申請や環境評価申請(環境評価法16条)の受付・認可が止められる措置(中央政府が許認可権者となる申請に限る)が発動される。そのほかにも、国から地方政府に与えた環境関連の称号・認定の取消措置が講じられる(典拠:「重点区域大气污染防治“十二五”规划」国函〔2012〕146号)。

4.4 環境計画中心の政策体系

4.4.1 行政計画の法的位置づけ

「国民経済および社会発展に関する国家計画」(通称、国家発展5ヵ年計画)に代表されるように、中国の様々な政策、制度の実施において、行政計画が重要な役割を果たしている。中国の場合、行政計画に広範な法的規範性が賦与されていること、また、計画の策定・変更手続が比較的簡単であることから、政策決定・執行過程において行政計画が多用されている。

「行政計画に法的規範性が賦与されている」という意味は、以下の2つの視点から説明できる。第1に、行政機関(中央および地方政府)が策定した計画は、法規範としての性質があるため、計画で策定した数値目標や政策方針には強い法的拘束力が働く。例えば、第12次5ヵ年計画にて決定した大気汚染物質総量削減目標は、地方政府のみならず一般事業者も拘束する法的効果があるという点についてすでに述べた。

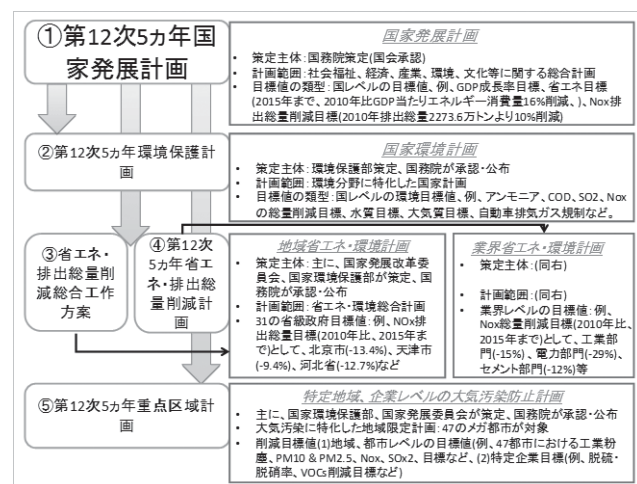
第2に、行政計画には、授權規範としての性質があるため、上位行政機関が策定した行政計画を根拠に、下位の行政機関は、計画実施のための行政法規や規範性文書等を策定することができる。つまり、行政機関は法令や条例を介さなくても、上位行政機関が策定した計画のみを根拠に規制制度を導入することができる。

このように、中国における行政計画には強い法的拘束力があるだけでなく、授權規範として法的性質もあるため、法令に替わる法規範として、あらゆる政策分野に用い

られている。環境分野、とりわけ大気汚染防止政策分野も例外ではない。制度の全体像を把握するためには、まず、大気汚染防止関連の行政計画について理解を深める必要がある。

4.4.2 大気汚染防止に関する主な国家計画

現在、大気汚染防止に関する国家計画として、主に、①第12次5ヵ年国家発展計画、②第12次5ヵ年環境保護計画、③「第12次5ヵ年計画における節能減排に関する総合工作方案」(以下、省エネ・排出総量削減総合工作方案)、④「節能減排(省エネおよび汚染物質排出削減)に関する第十二次五ヵ年計画」(以下、第12次5ヵ年省エネ・排出総量削減計画)、⑤「重点区域大気汚染防止に関する第12次5ヵ年計画」(以下、第12次5ヵ年重点区域計画)、がある。



◎図1 中国における大気汚染防止関連計画の体系、内容

図1は、これら5つの計画の内容やそれぞれの関連性について簡単にまとめたものである。周知の通り、①の第12次5ヵ年国家発展計画は、中国の社会経済のあらゆる分野が含まれた国家計画であり、省エネや環境分野のように、明確な定量目標が定められているものも少なくない。第12次5ヵ年国家計画は国務院が策定し、全国人民代表大会(以下、全人大)の承認を得て初めて法的効果が発生する。国務院は、ここで掲げた具体的な数値目標について、全人大に対し目標達成の政治的な責任を負う。大気汚染防止政策と密接な関連性がある目標は、汚染物質排出総量削減目標と省エネ目標であり、いずれも、国全体の目標として掲げられている。

②の第12次5ヵ年環境保護計画は、①に基づいて策定した国レベルの環境計画であり、主に、環境保護部が策定し、国務院の承認・公布を経て確定される。計画では、環境分野全体に渡る国家目標(主に、汚染物質排出総量、大気質、水質に関する全国目標)と関連政策がまとめられている。

①に基づいて策定される③の省エネ・排出総量削減総合工作方案、④の第12次省エネ・排出総量削減計画は、国家改革発展委員会と環境保護部が共同で策定している点、国務院の承認・公布を経る必要がある点、また、汚染物質排出総量削減政策のみならず省エネ政策も含まれている点、においては共通している。違いは、①は、国家目標を31の省級政府目標に配分するために作られた計画であり、②は、国家目標を業界ごとの目標に再分配するために策定されたものである。

④の第12次5ヵ年重点区域計画は、47のメガ都市に限定して実施する区域計画である。同じく、①に基づいて策定された計画であり、大気汚染対策に特化した計画である。主に、国家環境保護部、国家改革発展委員会、財政部が共同で策定し、国務院の承認・公布を経て執行される。特徴は、都市単位の目標と企業単位の目標が両立している点である。特に、前者の場合、①～④において掲げていないPM10 & PM2.5目標が含まれており、また、一部の都市に限り、2016年より全国適用するはずのPM2.5基準を、前倒しで適用している点が注目になる。

また、①～⑤に共通するが、いずれの計画も中央政府または地方政府が取るべき規制措置や補助金措置等について規定しており、国や地方の制度導入に必要な授權規範を提供している。

4.5 大気質新基準の実施に向けたプロセス

2012年、中国政府は、大気質に関する新基準(GB3095-2012)を公表し、2016年1月1日より全面施行することを決定した(詳細は、前掲1を参照)。16年ぶりの改正に当たる新基準(主要評価項目:SO₂、NO₂、PM10、PM2.5、O₃、CO)では、最も緩い第三級基準(第一級基準が最も厳しい)が撤廃されたことに加え、PM2.5に関する基準が新設された。

大気質基準は、事業者を対象とした排出基準ではなく、行政区域における観測基準であるため、地方政府が基準達成の義務を負う。従って、2016年より、43,000以上の地方政府(省級政府、計画単列市政府、地級政府、県級政府、郷級政府)に新基準が適用されることになる。

4.5.1 新基準の三段階適用

2016年新基準の全面適用に向け、国家環境保護部は、大気汚染対策の緊急性に応じ、地方政府を3つのグループに分け、段階的に新基準を適用することを決定した(典拠:環境部通達-環発[2012]11号)。最も対策が急がれる第1グループには、31の省級政府の県庁所在地(4つの直轄市の全域)、5つの計画単列市(大連市、青島市、寧波市、厦門市、深セン市)、その他の国が指定した重点対策地域

(38)、計74都市が含まれ、2012年から新基準の適用を受ける（典拠：環境部通達－環発〔2012〕33号）。

第2グループは、2013年より新基準が適用され、国家環境保護部が認定した環境保護重点都市、国家環境保護モデル都市（以下、認定都市）を含めた116の都市（内訳：認定都市79、その他の地級レベル都市37）が含まれる（典拠：環境部通達－環発〔2013〕30号）。

第3グループは、全国におけるすべての地級レベル都市が適用対象に含まれ、2015年より新基準の適用を迎える（典拠：環境部通達－環発〔2012〕11号）。

4.5.2 新基準適用の暫定措置

1996年より実施している既存の基準（GB3095-1996）は、新基準が全面施行されるまで一応有効である。従って、2015年まで、新基準と既存基準が併存するダブル基準体制が続くことになる。ダブル基準体制の詳細は以下の通りである。

まず、2012年より新基準の適用を受ける第1グループについては、新基準の部分適用が実施される。具体的に、適用初年度（2012年）に限り、SO₂、NO₂、PM₁₀のみが評価対象となり、新基準が適用される。ちなみにPM_{2.5}が評価対象から外れたのは、観測体制が整っていないからである。2013年から新基準の全面適用に移行する。2013年より新基準の適用を受ける第2グループも同じく、2013年に部分適用の措置が取られ、2014年から全面適用に移行する。第3グループに関する正式な通達はでていないが、恐らく部分適用措置が取られることになる。

つぎに、中国では、上記の都市単位の評価のほか、①都市（区域）間比較評価（都市間大気質をランキング式で評価するもの。以下、ランキング評価）、②国家発展5ヵ年計画期間における総合評価（省級政府レベルの評価も含む）も実行されている。①に関しては、SO₂、NO₂、PM₁₀のみが評価対象となり、しかも新基準ではなく既存基準が適用される。その理由は、評価対象都市の中には、新基準の適用を受けていないものもあるため、新基準に基づく評価は公平性に欠けるからである。②の場合は、ランキング評価ではないため公平性の懸念はないが、正確性の観点から、2015年まで両方の基準が適用される。

4.5.3 観測体制の強化

全国に新基準を全面的に適用させるためには、観測体制におけるふたつの課題を解決しなければならない。ひとつめの課題は、既存の観測システムの統合化である。現在、中国国内には、大気背景観測ネット、農村地域観測ネット、酸雨観測ネット、黄砂観測ネット、温室効果ガス実験観測

ネットなどの様々な大気観測関連システムが併存している。これらの観測システムの間には、重複分野も少なくなく、また、それぞれのシステムにおける観測局の分布規模や計測・分析能力、管理体制などに様々な限界がある。大気観測体制の効率化、高精度化を図るためには、これらのシステムの統合化が必要不可欠である。中国政府は、2015までに、これらの観測システムを統合化する目標を掲げている。

ふたつめの課題は、新設基準PM_{2.5}に関する観測体制の欠如である。PM_{2.5}の観測体制の構築は一からのスタートになるため、観測・分析方法論の確立、観測ポイントの選定、計測機器の規格や計量基準の設定などに関する課題は多い。現在、計測機器の規格・計量基準に関しては、中国環境監測メインステーションが策定した「PM_{2.5}自動測定機器に関する技術指標および関連基準指針」はある。しかし、観測・分析方法論の確立、観測ポイントの選定などに関しては統一基準がないため、省級政府の環境部署が中国環境監測メインステーションとの技術協議のもと、地域特性を考慮した方法論の開発を急いでいる。

制度上、省級政府の環境保護部署がそれぞれの所管区域内における観測体制の構築について責任を負う。設備投資に関しては国と地方政府が共同負担するが、設備のメンテナンス、マネジメント、職員研修、観測情報の公表などに関する費用は、全て地方政府が負担する（典拠：環境部通達－環発〔2012〕33号）。

新基準の三段階適用によって、上記3つのグループ都市（地方政府）には、順次、観測体制構築の義務が発生する。例えば、2012年から新基準の適用を受ける第1グループ都市は、同年10月までにPM_{2.5}観測設備の設置、テストが完了すること、および12月までに通常観測を実施し、観測データを公表することが求められている（典拠：環境部通達－環発〔2012〕81号）。

4.5.4 不利益措置

新基準・既存基準を達成できなかった場合、どのような不利益措置が取られるのか。

まず、違反事実の公表がある。環境保護部は、定期的に都市大気質ランキング結果を発表するとともに、ワーストランキングも公表する。都市間競争の激しい中国において、低い評価を受けた場合、都市の社会的評価が下がるため、旅行、不動産、外資誘致などの分野におけるダメージは少なからずある。

つぎに、基準を達成できなかった地方政府は、大気汚染改善計画を策定し、上級政府に提出しなければならない。

また、場合によっては、該当区域における新規製造事業（鉄鋼、セメントなど）の許認可が制限される。大気汚染が深刻な地域では、仮に新規事業の許認可権者が地方政府であっても、上級政府の権限により、一定期間、地方政府の許認可権限の行使を制限される措置が取られることがある。

そして、基準を達成できなかった場合、地方政府の環境保護部署の主要担当者には、人事評価における不利益措置が取られる場合もある。

5. 大気汚染防止関連政策

5.1 強化されたPM2.5対策

2012年10月29日公布した「重点区域大気汚染防止に関する第12次5ヵ年計画（国函[2012]146号）」（以下、重点区域計画）は、大気汚染防止に関する国家目標を掲げると同時に、エネルギー、交通、産業、建築などの部門を網羅した政策パッケージを公表した。重点区域計画は、特に対策が急がれる北京、天津など19の区域（全体国土面積の13.81%に相当）を対象に策定された地域限定計画であり、二酸化硫黄や二酸化窒素、PM10およびPM2.5に関する濃度規制目標のほか、工業煙灰・粉塵の削減率や発揮性有機物排出削減率のような排出規制目標が掲げられている。表4は、これらの目標値についてまとめたものである。

特に、注意しなければならないのは、重点区域計画は、19の区域ごとのPM2.5目標値を掲げたものの、その強制適用は、北京市、天津市、河北省、上海市、江蘇省、浙江省、広東省の7つの区域のみに限定させ、その他の区域に関しては任意適用の措置を取った。その理由の1つとして、PM2.5に関する国内観測体制がまだ構築されていないため、規制適用には限界があったことが挙げられる。

重点区域計画の施行から3ヶ月あまり経った2013年の1月、中国各地では重度の大気汚染が長期かつ広範囲に渡って発生した。国民の健康への不安感や対策が進まない

政府に対する不信感が募る一方、事態を重く見た中央政府は、同年9月12日、PM10およびPM2.5の対策に徹した史上初の国家計画「大気汚染防止行動計画 2013年－2017年（国発[2013]37号）」（計画期間：2013年～2017年、以下、行動計画）を公布し、一週間後の9月17日には、「京津冀（北京・天津・河北）および周辺地区の大気汚染防止行動計画を実施するための細則（環発[2013]104号）」（以下、細則）を発表した。両計画は、重点区域計画にて掲げた政策パッケージに基づき、PM2.5対策の観点から更に具体化したものである。特に、細則は、北京市、天津市、上海市など対策実施の緊急性が特に高い10の区域におけるPM10、PM2.5の目標値を見直し、政策パッケージの充実化を図った。また、分野ごとの目標値も具体的に設定した。

表5は、行動計画および細則において掲げたPM10、PM2.5目標値と重点区域計画の目標値を比較したものである。PM10に関し、重点区域計画が19の区域のみを対象にしていたのに対し、行動計画および細則における規制対象は地級政府レベル以上のすべての都市（360都市以上）が対象となり、2017年まで、PM10濃度を2012年比10%改善すべき義務（以下、濃度改善率目標）が課された。PM2.5の場合、重点区域計画に比べ、目標値の全体的な引き上げが行われ、また、いままで規制対象外とされていた山西省、山東省、内蒙古が新規対策区域として追加指定された。北京市の場合、濃度改善率目標のほか、年平均濃度60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ までとする濃度規制目標も掲げている。

行動計画の公布を受け、いち早く対策を打ち出したのが北京市である。行動計画の公布とほぼ同じ時期に、北京市政府は、6分野（大気質目標、石炭関連汚染対策、自動車汚染対策、工業等産業分野関連汚染対策、粉塵関連汚染対策、その他の総合対策）84項目にわたる政策パッケージと関連数値目標が盛り込まれた「北京市2013年－2017年清潔空気（クリーンエア）行動計画（京政発[2013]27号）」を発表した。また、計画の実行性を確保するため、数値目標の

◎表4 重点区域計画における区域ごとの目標値

種類	目標値	北京市	天津市	河北省	上海市	江蘇省	浙江省	広東省 (珠三角)	遼寧省 中部	山東省	武漢市 および その周辺 地域	長株潭	重慶市	四川省	海峽西 岸	山西省 中北部	陝西省 関中地 域	甘肅省 の一部	寧夏省 の一部	新疆ウ ルチチ 市
環境 質基 準	SO ₂ 年間平均濃 度改善比率	10%	8%	11%	11%	12%	11%	12%	11%	14%	7%	9%	6%	9%	6%	10%	7%	14%	10%	9%
	NO ₂ 年間平均濃 度改善比率	7%	9%	7%	9%	10%	10%	9%	9%	10%	4%	5%	4%	5%	5%	7%	5%	8%	7%	9%
	PM ₁₀ 年間平均 濃度改善比率	15%	12%	12%	10%	14%	10%	8%	12%	14%	10%	10%	12%	10%	8%	12%	14%	14%	10%	12%
	PM _{2.5} 年間平均 濃度改善比率	15%	6%	6%	6%	7%	5%	5%	6%	7%	5%	5%	6%	5%	4%	4%	4%	4%	5%	4%
排出 規制 基準	工業煙灰・粉塵 削減比率	5%	8%	15%	5%	15%	10%	8%	10%	15%	12%	12%	10%	10%	8%	10%	12%	15%	10%	15%
	重点産業現役 設備発揮性有 機物排出削減	15%	18%	15%	18%	18%	18%	18%	15%	15%	10%	10%	15%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%

典拠：文中で取り上げた国函[2012]146号

配分案や責任部署・担当氏名が記された計画実施細則「北京市2013年～2017年清潔空気（クリーンエア）行動計画における重点任务分解案（京政弁発〔2013〕49号）」も合わせて公表した。

◎表5 異なる計画におけるPM10、PM2.5目標値の比較

	重点区域計画上の目標 (2011年～2015年)		行動計画および細則上の目標 (2013年～2017年)	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
	2015年まで、2010年比濃度改善率		2017年まで、2012年比濃度改善率	
北京市	15%	15%	2015年まで、重点区域計画上の目標値が適用	指標1:25% 指標2:年平均濃度60μg/m ³ まで
天津市	12%	6%		25%
河北省	12%	6%		25%
上海市	10%	6%		20%
江蘇省	14%	7%		20%
浙江省	10%	5%		20%
広東省	8%	5%		15%
山西省	12%	4%(任意適用)		20%
山東省	14%	7%(任意適用)	備考:全国全ての地級行政レベル以上の都市は10%以上	20%
内蒙古				10%

典拠：本文で取り上げた、国発〔2013〕37、深発〔2013〕104

今年9月に発表した「大気汚染防止行動計画 2013年～2017年（国発〔2013〕37号）」（以下、行動計画）と「京津冀（北京・天津・河北）および周辺地区の大気汚染防止行動計画を実施するための細則（環発〔2013〕104号）」（以下、行動細則）には、様々なPM10・PM2.5対策が盛り込まれている。その中で、特に注目を引く政策の1つが、石炭消費絶対量削減政策（以下、本規制）である。

5.2 石炭消費絶対量の削減

行動計画および行動細則は、北京市、天津市、河北省、山東省の4つの地域に対し、2012年の石炭消費量を基準に、2017年まで計8,300万トンの石炭消費量の削減義務を課した（表6）。

◎表6 削減目標値、2017年石炭消費量（2011年消費量に基づく推定値）

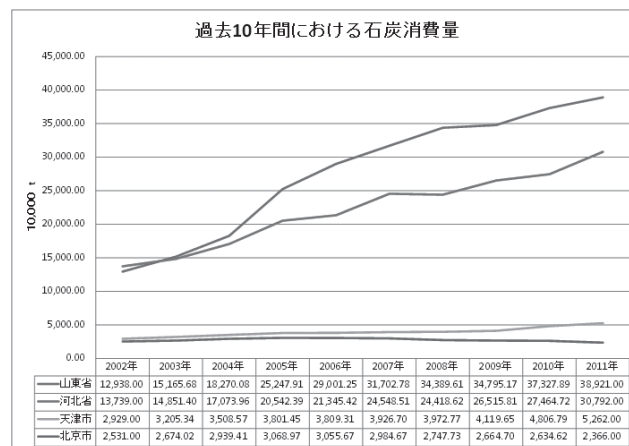
地域	削減目標値、2017年石炭消費量		単位:10,000t
	削減目標	2012年消費量	2017年消費量
北京市	1,300	2,300	1,000
天津市	1,000	5,500(推定値)	4,500
河北省	4,000	32,000(推定値)	28,000
山東省	2,000	40,000(推定値)	38,000

典拠：国家統計局「大気汚染行動計画」（2013年9月発表）に基づき筆者作成

本規制の導入によって、上記4つの地域における2013年度からの年間石炭消費量は2012年度消費量を超えることは許されず、更に、2017年まで更なる絶対量削減が求められる。例えば、1,300万トンの削減義務が課されている北京市の場合、2012年度の石炭消費量は2,300万トン前後であるため、2017年に許される年間石炭消費量は1,000万トンになり、削減率は－56.5%に相当する。全体的に見た場合、4地域における8,300万トン削減目標の達成は、2012年比－10.4%の削減に当たるものであり、当初予定していた石炭消費量増加分まで吟味した場合、2～3割の削減に

つながる計算になる。今後、このような削減義務は他のメガシティに対しても順次課される予定である。

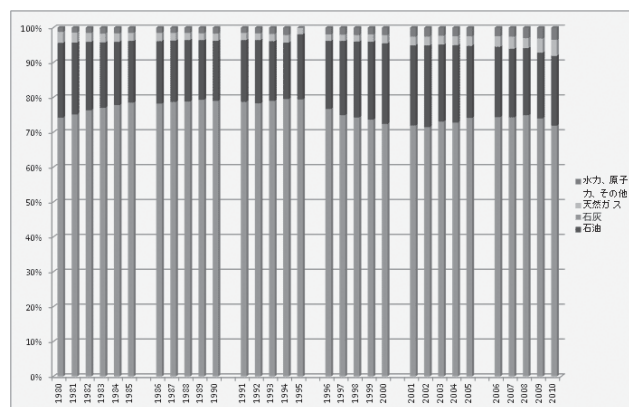
周知の通り、中国第12次5ヵ年計画（2011年～2015年）上の省エネ目標は原単位目標であるため、ほとんどの地域におけるエネルギー計画は石炭も含め消費全体量が増える前提で作られたものである。図2に見るように、省エネ原単位削減政策が強化された2006年以降においても、北京市以外の地域における石炭消費量は継続的に増加しており、特に山東省の場合、この10年間で3倍ほど増えた。



◎図2 4地域における過去10年間の石炭消費量

典拠：国家統計局データベース「北京市2013-2017年加快速度減煤和清洁能源建設工作方案」に基づき筆者作成

大気汚染対策の観点から導入された今回の規制制度によって、各地方政府は、既存のエネルギー計画の修正を強いられることになる。しかし、それは容易なことではない。図3が示すように、中国の石炭依存度は、30年以上も70%台を維持している。今回の規制は、数十年に渡って形成された石炭中心の経済構造、産業構造、エネルギー供給体制の変革を経ずに達成することは難しい。これは、中国の大気汚染政策体系をより複層的なものにしている。



◎図3 中国のエネルギー消費総量の構成（1990年～2012年）

典拠：中国エネルギー統計（2011年版）に基づき筆者作成

昨今、北京市は1,300万トン削減義務を実現するための具体策が盛り込まれた「北京市2013-2017年加快速度減煤和清洁能源建設工作方案（北京市2013年-2017年石炭消費削減およびクリーンエネルギー導入促進に関する方案）」（以下、北京市方案）を発表した。詳細は節を改めて紹介するとし、ここでは簡単な紹介に留める。

北京方案の特徴は、政策分野ごとの削減目標が明確に掲げ、更にそれを年度目標レベルまで細分化しているところにある。言い換えれば、計画性の高さである。

また、計画に含まれた政策分野が多岐に渡っている点も特徴の一つである。具体策には、ボイラ設備の天然ガス化（石炭利用禁止）、火力発電所の閉鎖および天然ガス発電への転換、石炭消費量の多い業種に対する生産設備容量規制、家庭部門における石炭利用の禁止および天然ガスの導入、地域電源構成における新エネ割合の引き上げ、低品質石炭（硫黄含有量が高い等）の利用・流通規制などの強制措置のほか、天然ガス普及策としてのインフラ・設備補助金制度や発電コスト上昇に対応するための電気料金改革も含まれている。

特に、地域電力供給計画に関する見直し政策が興味深い。北京市は、今後、新規発電所の建設は原則認めず、2017年まで、地域内における発電容量を1,100万kWまで抑制し、不足分の電力を調達するための地域外電力依存度を70%以上に引き上げる方針を打ち出した。また、外部電源の調達に必要な送電能力を2,800万kWまで高める。

5.3 産業規制政策

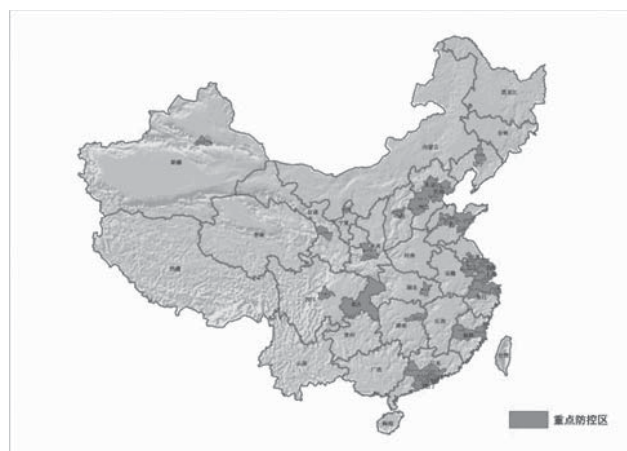
2012年10月29日付で施行した「重点区域大気汚染防止第12次5ヵ年計画」（以下、重点区域計画）には、重点規制地域の指定や工業ガス排出に対する規制強化に加え、許認可要件の厳格化による生産設備容量の抑制策、既存生産設備の強制淘汰や事業所の強制移転政策など、多岐に渡る環境規制措置が盛り込まれている。

5.3.1 重点対策区域および重点規制地域の指定

図4のように、重点区域計画は13地域115地区（直轄市、市、県、実験区）を重点対策区域として指定した。115地区の内、特に対策が急がれる47都市に対しては「重点規制地域」として再指定し、より厳しい規制を適用するという差別化が図られた（表7）。

重点対策区域が国土面積に占める割合は14%に過ぎないが、国全体の48%の人口を抱え、71%のGDPに貢献している。そして、地域石炭消費総量は国全体の52%を占めており、SO₂、NO_x、粉じん、揮発性物質の排出総量に関しては、それぞれ、全体の48%、51%、42%、50%を占める。

115の都市が重点対策区域として指定された理由はここにある。



◎図4 中国重点区域分布図

典拠：張雨航など「大気汚染物特別排放限值公布鋼企廢氣控制面臨新挑戰（大気汚染特別排放制限値の公布：改革に迫られる鉄鋼企業の廃棄物排出管理）」世界金属導報14号、2013年

◎表7 大気汚染対策重点規制地域：47都市

重点区域	直轄市、省	重点取締地域
京津冀	北京市	北京市
	天津市	天津市
	河北省	石家庄市、唐山市、保定市、廊坊市
長江デルタ	上海市	上海市
	江蘇省	南京市、無錫市、常州市、蘇州市、南通市、揚州市、鎮江市、泰州市
	浙江省	杭州市、寧波市、嘉興市、湖州市、紹興市
珠江デルタ	広東省	広州市、深セン市、珠海市、仏山市、江門市、肇慶市、惠州市、東莞市、中山市
遼寧省中部都市群	遼寧省	瀋陽市
山東都市群	山東省	済南市、青島市、淄（ジ）博市、濰（ウェイ）坊市、日照市
武漢および周辺都市	湖北省	武漢市
長株潭（タン）都市群	湖南省	長沙市
成渝都市群	重慶市	重慶市中心市街地
	四川省	成都市
海峡兩岸の都市群	福建省	福州市、三明市
山西中北部城市群	山西省	太原市
陝西関中都市群	陝西省	西安市、咸陽市
甘寧都市群	甘肅省	蘭州市
	寧夏回族自治区	銀川市
新疆ウルムチ都市群	新疆ウイグル自治区	ウルムチ市

出典：「重点区域大気汚染防止第12次5ヵ年計画」（2012年10月29日施行）

5.3.2 大気汚染物質に関する特別排出基準の適用

重点区域計画の施行から3カ月が経過した2013年2月29日、国家環境保護部は、重点規制地域（47都市）を対象に、工業廃ガスに関する特別排出基準を適用する決定をした（環境部公告14号〔2013〕）。特別排出基準とは、セメントや鉄鋼など業種ごとに設定した汚染物質（SO₂やNO_x、粉じんなど）の濃度規制値（以下、一般基準）の内、将来的な適用を念頭に設けた予備基準値のことである。一般基準に比べより厳しい規制内容となっている上、適用時期や範囲は国家環境保護部の裁量に委ねられている。例えば、火力発電用ボイラの排出基準の場合、SO₂排出に関する一般基準と特別排出基準の間には4倍以上の差がある（GB13223-2011）。

特別排出基準の適用対象は、火力発電、鉄鋼、石油化学、セメント、非鉄、化学工業など6業種の事業者および規制地域内におけるすべての石炭ボイラ設備であり、新規事業は無論、既存事業も規制対象となった。また、新規設備が既存設備かによって適用範囲と適用時期が異なる。

新規設備に関しては、既に特別排出基準が設けられている火力発電、鉄鋼業に限り、2013年4月1日より全面適用され、それ以外の業種は、特別排出基準が整備・公布と共に適用が決まる。既存設備の場合、投資と効果の観点から、対象範囲が火力発電、鉄鋼、石油化学の3業種に絞られ、また、適用される基準も粉じん、浮遊物質など一部の項目に限る。例えば、火力発電業の場合、粉じんに関する特別排出基準だけが適用され、鉄鋼業の場合、焼結設備に限り浮遊物質に関する特別排出基準が適用される。

注意すべき点は、規制地域内における石炭ボイラ設備に関しては、新規事業が既存事業かに関わらず、一律に特別排出基準が適用されている点である。つまり、業種に関わらず、石炭を燃料とする一定規模以上のボイラがすべて規制対象となった。

特別排出基準は一般基準と共に環境アセスメント許認可要件として、今後、該当新規事業の許認可プロセスに大きなインパクトを与える。それは、中国の環境アセスメント許認可制度には、土地取得や建築確認、生産許可などの許認可に優先する法的効果を付与しているため、排出基準は事実上の事業許認可要件としての役割を果たしているからである。

また、国および地方の環境保護部局は、排出基準を根拠に、設備管理者に対する設備改善命令、操業停止命令、事業所閉鎖命令等を発することができるため、特別排出基準は不利益処分要件としての役割も果たしている。

つまり、排出基準は、新規事業許認可、既存設備の改善・改修命令、不服従の事業者に対する不利益処分など一連の行政措置に関する法的根拠となる。

5.3.3 新規事業の抑制政策

中国政府が大気汚染対策重点区域、重点規制地域を指定し、より厳しい工業廃ガス排出基準を適用している点については既に述べた。以下では、それ以外の産業規制政策について紹介する。

新規事業の抑制政策とは、発電、鉄鋼、セメント、石油化学、化学工業等、大気汚染リスクの高い業種（以下、抑制業種）の無秩序な規模拡大を防ぐために導入した制度であり、新規事業の許認可要件を厳格に設定し、地域によっては許可しない、あるいは許認可枠を制限するような規制が行われている。背景には、環境負荷の大きい産業規模そのものを抑制することによって環境問題を解決しようとする発想がある。その典型例が、火力発電部門において実施している「上大圧小」制度である。

「上大圧小」制度

「上大圧小」とは小規模、または環境基準を満たさない火力発電所を強制的に閉鎖し、省エネ性能や環境性能の高い大規模火力発電設備（30万kW以上の設備）の導入を推奨するために導入した制度である。第11次5カ年計画において掲げた省エネ目標および汚染物質総量削減目標の実現に向けた重点政策として2007年により導入した。強制閉鎖の対象は表8の通りである。

◎表8 「上大圧小」制度における強制閉鎖の対象

発電容量など	設備種類	運転年数
5万kW以下	通常火力発電	制限なし
10万kW以下	通常火力発電	運転年数満20年
20万kW以下	全種類の火力発電	設計寿命超過
設備エネルギー原単位が設備所在地 2005 年平均水準の10%、全国平均の15%を上回る発電設備	全種類の火力発電	制限なし
環境排出基準（一般基準）を満たさない設備	全種類の火力発電	制限なし
その他、法令または国務院決定によって指定された設備	未定	未定

典拠：国務院通達「关于加快关停小火电机组的若干意见（小規模火力発電設備の閉鎖を促進するための諸意見）（国初〔2007〕2号）」

そのほか、本制度では、大規模火力発電設備の導入を促進するため、新規事業の許認可と小規模発電設備の淘汰実績をリンクさせる仕組みを導入している。つまり、一定容量の小規模発電設備の淘汰を前提とした大規模設備新規計画については、国は優先的に許認可を付与し、国家電力発展計画への編入を認める便宜を図る（表9）。中国の場合、新規発電設備は、国家電力発展計画に盛り込まれて初めて事業化が認められる。小規模発電設備の淘汰を前提としない事業計画は、仮に、それが国の推奨する大規模設備であっても事業化が遅れる可能性がある。このような手続的運用には、事業者が大規模設備の導入を義務付ける事実上

の規制効果がある。

◎表9 新規設備の優先認定に必要な閉鎖設備容量

新規設備	閉鎖設備容量
30万kW	30万kW×80%
60万kW	60万kW×70%
100万kW	100万kW×60%
コージェネレーション技術搭載の20万kW以上の火力発電	設備容量×50%

典拠：国務院通達「关于加快关停小火电机组的若干意见（小規模火力発電設備の閉鎖を促進するための諸意見）（国初〔2007〕2号）」

注意しなければならないのは、そもそも「上大圧小」は、30万kW級以下の新規設備の導入は認めない、あるいは強制閉鎖を前提としない大規模新規発電設備の導入を一切禁止する制度ではない。しかし、大気汚染問題の深刻化を受け、2012年の「重点区域大気汚染防止第12次5カ年計画」（以下、重点区域計画）は、47都市（重点規制地域）における新規火力発電所の設置は、「上大圧小」制度に基づいたものか、あるいは「コージェネレーション技術」を搭載したもの以外は基本的に認めない方針を決めた。この方針によって、重点地域における「上大圧小」制度は、小規模設備の淘汰を前提とした大規模発電設備しか認めない運用に変わった。

「同量置換」制度

発電部門以外、例えば、鉄鋼、セメント、石油化学部門においても、新規事業の許認可と設備淘汰の実績をリンクさせる運用があり、「上大圧小」制度と同じく、設備の強制淘汰を前提としない新規事業は認めない方針は共通している。しかし、設備淘汰に関する判断基準は少し異なる。まず、国が地域ごとに設定した設備容量キャップを考慮しなければならない。例えば、大気汚染対策が急がれる天津、上海、遼寧省などの地域では地域全体で導入できる鉄鋼生産設備容量は規制されており、事業者が新規設備投資を行うためには、同じ容量分の設備を閉鎖しなければならない。これを「同量置換」制度という。鉄鋼分野のほか、セメントや石油化学分野においても設備容量規制があり（表10）、同量置換制度が適用される。

◎表10 生産設備容量の総量規制地域

	セメント生産設備容量 規制地域	鉄鋼生産設備容量 規制地域	石油化学関連生産設備 容量規制地域
北京			●
天津		●	
河北省		●	
遼寧省		●	
山東省	●	●	
上海	●	●	●
浙江省	●		
江蘇省	●	●	
四川省	●		
重慶	●		
珠江デルタ			●

典拠：重点区域大気汚染防止第12次5カ年計画

「減量置換」制度

同量置換制度のほか、「減量置換」制度も重要な規制手法のひとつである。周知のとおり、中国では、汚染物質総量排出削減制度を実施しており、地域ごとに絶対量削減義務が課されている。「減量置換」制度とは、SO₂やNO_xなどの汚染物質の削減量に応じて新規設備の導入を認める規制手法である。例えば、年間SO₂排出量1万トン相当の新規設備の許可を得るためには、重点区域では1.5万トン、重点規制地域および大気質基準に達していない都市では2万トンの削減実績が求められる（一般地域における置換割合は1：1）。

このように、中国では大気汚染対策として、「上大圧小」、「同量置換」、「減量置換」など厳しい産業規制手法が導入されている。いずれも、手続的運用による大気汚染対策として位置付けることができる。

5.3.4 生産設備の強制淘汰政策

大気汚染防止に関する産業規制制度について言及した前節に続き、今回は「生産設備の強制淘汰制度」制度について紹介する。

生産設備の強制淘汰政策（以下、強制淘汰政策）とは、鉄鋼、セメントなど特定業種における非効率かつ公害リスクの高い設備・工法に対し、国が「時代遅れの生産設備」として指定し、事業者に一定期間内における淘汰を義務付ける制度であり、持続可能な産業基盤の再構築を目的に、2005年から導入した（典拠：国務院決定「産業構造の健全化に関する規定（国発〔2005〕40号）」）。いままで、本制度は、産業競争力の強化を軸に、地域間産業バランスや国内需給調整などに関する重要施策として用いられてきた。大気汚染問題が深刻さを増している現在、本制度は環境政策や省エネ政策としての役割を期待されている。

2007年に公布した国務院国務院決定「省エネおよび汚染物質削減に係る総合対策に関する国務院通達（国発〔2007〕15号）」は、強制淘汰政策を環境政策として明確に位置づけると同時に、電力、鉄鋼、セメントなど計12業種を対象に国レベルの強制淘汰目標を設定した。また、制度の実効性を確保すべく、目標達成責任制度（前掲4を参照）の導入も決めた。

大気汚染対策との関連性

表11は、強制淘汰制度の変遷について、鉄鋼産業を軸にまとめたものである。

2005年から今日に至るまで、強制淘汰制度の適用範囲は2つの側面において拡大傾向がみられる。1つは適用基準の引き上げである。例えば高炉の強制淘汰基準の場合、

2005年時点の100～200/m²から、2007年の200～300/m²に、2009年には400/m²までに段階的に引き上げられた(表11)。いま1つは、制度の適用を受ける業種の範囲の拡大であり、第11次5カ年計画期間の13業種から、第12次5カ年計画期間の19業種までに拡大した(表12)。

一方、大気汚染問題の深刻化を受け、本制度の規制レベルは段階的に強化される傾向にある。2012年に確定した強制淘汰5カ年目標は2015年までの達成を想定していたが、大気汚染問題への強化策として、国は目標達成期限を1年前倒しする決定と同時に、更なる淘汰目標を追加設定する方針を打ち出した。そのほかに、大気汚染対策が急がれる北京などの6地域に対し2017年までの新規目標を加算する追加規制措置も導入している。

◎表11 鉄鋼関連の強制淘汰基準、目標の変遷

淘汰期限	強制淘汰の基準、目標	政策目的
2005年	基準：100～200 m ² のすべての高炉	・地産物産業バランスの調整 ・国内需給の調整
2006年～2007年	基準：200～300 m ² のすべての高炉	・同上
予定目標未達成 ↓ 2007年：第11次5カ年計画期間における淘汰総量目標導入 鉄鋼、セメントなど12分野を規制対象として指定 ↓		
2007年～2010年	目標：2010年まで、300 m ² の高炉、合計1億トン相当量を淘汰	・第11次5カ年計画において策定した省エネおよび汚染物質排出総量目標の達成
2009年～2011年	基準：400 m ² のすべての高炉	・同上 ・国内需給バランスの調整、過剰投資、重複投資の是正 ・リーマンショックに端を発する世界不況への対応
2012年：第12次5カ年計画期間における淘汰総量目標の導入 ↓ 規制対象を12分野から19分野に拡大		
2011年～2015年	目標1：2015年まで、高炉を含む鉄鋼生産設備、合計9600万トン以上を淘汰 目標2：基準目標制度の導入	・第12次5カ年計画において策定した省エネおよび汚染物質排出総量目標の達成
2012年：大気汚染問題の深刻化 ↓ 2013年9月：「大気汚染防止行動計画」の発表 ↓ 追加目標の公表		
2013年～2015年	目標1：第12次5カ年目標の達成期限を1年前倒し(2014年までの達成を義務化) 目標2：3000万トンの年度目標の追加(2015年中に達成)	・大気汚染対策の強化
2013年9月：「京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则」の発表 ↓ 更なる追加目標の公表		
2015年～2017年	目標：北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古、山東省を対象に、2015年～2017年までの追加目標を課す	・大気汚染対策の更なる強化

典拠：产业结构调整指导目录(2005年版)、国务院关于节能减排综合性工作方案的意见(国发[2007]15号)、关于抑制部分行业产能过剩和重工业发展若干意见(国发[2009]38号)、“十二五”期间工业领域19个重点行业淘汰落后产能目标任务(工信部产业[2011]612号)、大气污染防治行动计划(国发[2013]37号)、京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则(环发[2013]104号)など

◎表12 第12次5カ年計画期間における強制淘汰対象業種

強制淘汰対象業種(2011年～2015年)
1) 製鉄、2) 製鋼、3) コークス、4) 鉄合金、5) 炭化カルシウム、6) 電解アルミニウム、7) 銅、8) 亜鉛、9) 鉛、10) セメント、11) 板ガラス、12) アルコール、13) 調味料、14) クエン酸、15) 製革、16) 染色、17) 化学繊維、18) 紙張、19) 鉛蓄電池

典拠：「国务院关于进一步加剧淘汰落后产能工作的通知(国发[2010]7号)」

強制淘汰政策の実績

表13は、強制淘汰政策が重工業分野において達成できた成果についてまとめたものである。表に見るように、発電部門における淘汰目標は2011年までにほぼ達成しているため、2012年以降は目標を設定していない。前掲5.3.3において紹介した「上大圧小」政策と強制淘汰政策の相乗効果もあり、30万kW以上の火力発電設備が全体に占める

割合は2005年の47%から2012年の75.6%までに上昇した(典拠：国家発展委員会「中国の気候変動政策および活動報告2011年版」、2013年版)。

一方、セメント分野の場合、2011年以降の2年間の淘汰総量はすでに第11次5カ年期間の総量を超えており、規制強化の傾向がみられる。

◎表13 強制淘汰政策の実績：重工業分野ごとに淘汰された設備規模(2006年～2012年)

	第11次5カ年計画期間		第12次5カ年計画期間	
	2006年～2010年		2011年	2012年
小規模発電	7682万kW		800万kW	
製鋼	7200万トン	2846万トン		937万トン
製鉄	1.2億トン	3192万トン		1078万トン
セメント	3.7億トン	1.55億トン		2.58億トン
コークス	1.07億トン	2006万トン		2493万トン
製紙	1130万トン	830万トン		1057万トン
ガラス	4500万重量箱 (※1重量箱=50kg)	3041万重量箱		5856万重量箱
アルミ		63.9万トン		
銅製錬		42.5万トン		
鉛製錬		66.1万トン		
印刷、染色				32.6億㎡
鉛蓄電池				2971万kVah

典拠：「中国気候変動政策と行動2011年度報告」、「中国気候変動政策と行動2012年度報告」、「中国気候変動政策と行動2013年度報告」9

5.4 自動車関連規制政策

5.4.1 自動車と大気汚染との関係

2014年3月25日、中国環境保護部は、「京津冀(北京市・天津市・河北省)、長江デルタ、珠江デルタなど重点区域および直轄市、省都の2013年度大気質に関する報告書」(以下、報告書)を発表した。本報告書は、74都市を対象に実施した2013年度の大気質調査結果についてまとめたものである。

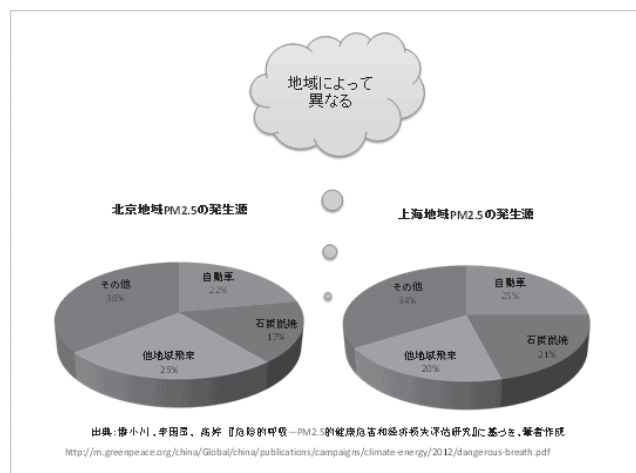
報告書によれば、2013年、新基準の適用を受けた74都市の内、年間平均基準値、(国家2級)をクリアした地域は海口、舟山、ラサの3都市のみであり、全体合格率は5%未満となった。地域別に見た場合、京津冀地域(13都市)の大気汚染が一番深刻であり、新基準に達した平均日数は140日以下にとどまった。74都市における原因物質の首位はPM2.5、2番目がPM10であり、石炭と自動車为主要発生源として挙げられた。また、国全体において、従来型大気汚染(粉塵、煤塵)と自動車排ガスや発揮性有機化合物(VOCs)が大気中での光化学反応を経て発生する二次汚染が混在する複合型大気汚染が進行していると、報告書は警告している。

大気汚染と自動車の因果関係

大気汚染と自動車との因果関係に関して、現在、明らかになっている部分もあれば、いまだに解明できていない部分もある。たとえば、自動車が大気中に排出した汚染物質の種類、総量などに関してはその因果関係が比較的明確であり、信憑性の高いデータが中国政府によって公表されて

いる。例えば、2012年、中国の自動車部門（バイク、原動機付自転車も含め2.238億両）が排出したNO_x（窒素酸化物）、PM（粒子状物質）総量はそれぞれ640万トンと62.1万トン、国全体排出量に占める割合はそれぞれ、27.4%と5%である（典拠：環境部「2012年環境統計年報」）。地域別に見た場合、NO_x、PM排出量の多い上位4地域は、河北省、河南省、広東省、山東省である（典拠：環境部「中国自動車汚染防止年報－2013年」）。大気汚染が最も深刻な都市についてランキング化した上記の報告書によれば、上位10都市の内7都市が、自動車起因のNO_xとPMの最多排出量を記録した河北省に立地している。これらのデータは、いずれも自動車部門と大気汚染との関連性を立証している。

一方、大気汚染に対する自動車の影響度（または貢献度）に関しては、いまだに分かっていない点が多い。ここでいう影響度とは、大気汚染の元凶であるPM2.5の原因物質に占める自動車由来物質の割合のことである。この点に関し、様々な研究機関や地方政府が独自の調査に基づく見解を発表しているが、これらの結果には大きな開きがある。例えば、中国科学院物理研究所が2013年12月30日付で公表した研究成果によれば、北京市PM2.5に対する自動車部門の影響度は4%に止まるものであった。これは、北京市政府が公表した22.2%の結果より遥かに低い値である。この計算結果に対し、様々な反論が見られ、とりわけ北京市政府の場合、22.2%を支持する旨の声明を発表するまでに至った。現状において、PM2.5に対する自動車の影響度を20%以上と見積もる見解が広く受け入れられている（図5）。もし他地域から飛来した汚染物質を考慮せず、地域内発生源のみに着目した場合、北京市のPM2.5に対する自動車の影響度は40%以上になるとの指摘もある。



◎図5 PM2.5発生源

PM2.5への自動車の影響度

PM2.5への自動車の影響度（または貢献度）をどう評価すべきか。

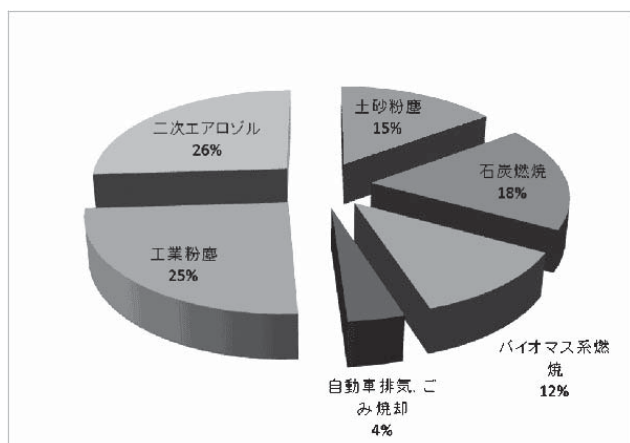
人為的な排出によるPM2.5は、一次浮遊物質（直接粒子）と二次浮遊物質に大別される。前者は、発生源から大気中に排出された直接粒子のことであり、排出された時点ですでにPM2.5（またはPM10）としての特徴を備えている。これに対し、後者は大気中に排出された硫黄酸化物や窒素酸化物、アンモニア、揮発性有機化合物（VOCs）等が光化学反応の酸化過程を経てPM2.5に変わる（前掲3を参照）。

二次浮遊物質の典型例が二次生成有機エアロゾルである。二次生成有機エアロゾルは、その原因物質であるVOCから大気中での光化学反応によって生成される。国立環境研究所の研究によれば、日本の関東地域におけるPM2.5の約30～35%は有機エアロゾルが占めている（典拠：国立環境研究所「二次生成有機エアロゾルの環境動態と毒性に関する研究」）。

自動車排ガスと二次生成有機エアロゾルとの関係も明らかになっている。排気ガスに含まれる環状アルケン類やアルカジエン類、あるいは窒素酸化物（NO、NO₂）の混合系物質が大気中での光化学反応を経て二次有機エアロゾルに変化することが分かっている（典拠：東京都立産業技術研究センター「VOC排出対策ガイド－基礎から実践・評価法まで－」）。

自動車部門のPM排出量（直接粒子）が国全体の5%を占めるとする政府統計結果（環境部「2012年環境統計年報」）を考慮した場合、北京市のPM2.5に対する自動車部門の影響度を4%と見積もる中国科学研究院の見解は妥当に思える（図6）。ただし、前提は、4%に該当する物質を直接粒子のみに限定する必要がある。図6に見るように、中国科学研究院は、二次エアロゾルの影響度を26%と見積もっている。従って、4%という数値は、二次エアロゾルにおける自動車の影響度を考慮していないと見るのが自然である。

自動車に起因するPM2.5の原因物質として、走行中に巻き上げられた道路粉塵や運搬中に発生する土砂粉塵なども考慮する必要がある。また、自動車の製造工程（製造工場）、石油化工（原油基地、製油所など）、ガソリン販売（給油所）などのプロセスにおいて排出されるVOCも考慮した場合、PM2.5への自動車の影響度は更に高まる。



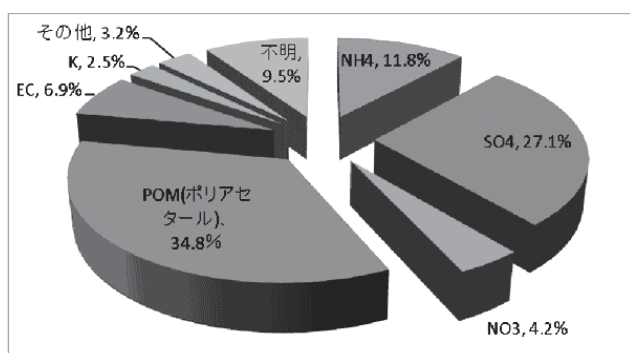
◎図6 北京市におけるPM2.5の発生源 (2009年～2010年)

典拠：中国科学院物理研究所、2013年12月30日リリースした資料に基づき筆者作成

克服すべき課題

PM2.5の排出源の特定はなぜ難しいのか。

その理由として、まず、解明されていないPM2.5の原因物質の存在が挙げられる。中国環境保護部の資料によれば、いまだで特定できたPM2.5の原因物質の種類は100以上もある。しかし、それでもPM2.5関連物質のすべてを特定したわけではない(図7)。中国の場合、季節や地域によってPM2.5の原因物質の構成が異なるため、場合によっては未解明物質が全体の4割以上を占める場合もある。未解明物質の割合が大きいほど特定排出源の影響度に不確実性が増す構図はここにある。



◎図7 PM2.5の原因物質

出典：中国環境保護部「公众防护PM2.5科普宣传册」

次に、原因物質の生成過程の複雑さが挙げられる。PM2.5全体量の半分を占めるとされる二次浮遊物質の生成過程は非常に複雑で、いまだにその仕組みの全容は解明できていない。これも特定排出源の影響度分析における課題である。

2013年よりPM2.5の排出源を特定するための国家プロジェクトが始動しており、2014年までにその結果が発表

されるとの報道もあるが、いずれにせよ、現状では影響度に関する明確な結論は見いだせていない。

5.4.2 自動車関連の法制度

「自動車」の定義

ここでは、大気汚染対策に着眼した中国の自動車関連の法制度について紹介する。詳細な内容に触れる前に、まず、「自動車」の定義について整理しておく必要がある。なぜなら、中国にも「自動車」という法令用語はあるが、日本の定義に比べ種々の相違点が存在しているからである。また、中国の国内における「自動車」用語の場合、法令用語と実務用語が混在しており、同じく整理が必要となる。

以下では、日中間における用語の相違点、中国国内における法令用語と実務用語との相違点の順に沿って説明する。

日中間における用語の相違点

日本の道路交通法上の定義によれば、「自動車」とは、「原動機を用い、かつ、レール又は架線によらないで運転する車であって」、原動機付自転車や路面電車はこれに含まれない(第2条、4の2項、9号)。これに対し、中国における定義の範囲はやや広い。日本の道路交通法に当たる「中華人民共和国道路交通安全法」(以下、交通安全法)は「自動車」を、「乗用、運搬、または作業目的で道路を走行する、動力装置を用いた車輪付車両、またはトレーラー(動力装置を持たない：筆者注)」として定義している(第119条3項)。日本における定義と異なり、動力装置を持たないトレーラーや原動機付自転車、レール電車も自動車として整理している。

◎表14 大気汚染対策重点規制地域：47都市

分類			区分基準 (詳細データは省略)
自動車	乗車自動車	大型、中型、小型、微型(極小)	車体大きさ、乗車制限人数
	貨物自動車	重型(大型)、中型、軽型、微型、三輪自動車、低速、作業用車	車体大きさ、重量、車輪数、設計速度、エンジンタイプ(ディーゼルエンジン、三輪自動車に限る。)
	専門作業車		車体大きさ、乗車制限人数など
軌道電車※			車体大きさ、乗車制限人数など
バイク	普通		最大設計速度、排気量
	小型(原動機付自転車)		最大設計速度、排気量
トレーラー	重型(大型)、中型、軽型		総重量

出典：GA802-2008「自動車類型 専門用語の定義」

※路面電車、LRTなど。

法令用語と実務用語との相違点

環境行政、とりわけ、大気汚染防止分野において実に多様な実務用語が用いられている。実務用語とは、政策実施過程において定着した政策用語であり、場合によっては法令上の用語と矛盾する場合がある。例えば、道路交通行政上、道路を利用しない農業トラック等は「非自動車」として整理しているが（道路交通安全法）、環境行政分野では、これらを自動車として整理している。それは、道路交通行政は道路利用の前提となる登録手続を得た自動車（以下、登録車）のみを規制対象としているのに対し、環境行政では、排出や騒音など環境規制の観点から未登録車も自動車として整理している。さらに詳しく見てみると、「軽型車」や「重型車」などの車種に関する定義も両分野においては差異がある。例えば、道路交通行政における定義は「総重量12,000kg以上の貨物車、または、トレーラー」である（GA802-2008）のに対し、環境行政における重型車は、「車両設計総重量3,500kg.以上のもの」を指す（GB14762-2008）。前者は自動車構造に着目した分類であるのに対し、後者はエンジンタイプに着目した分類であるため、同じ用語であってもこのような相違点が生じる。

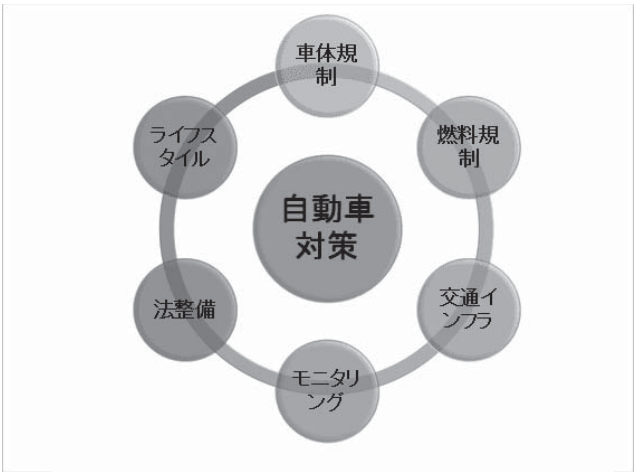
自動車管理行政の分散化問題と基準不統一問題

用語不統一の背景には、中国の自動車管理行政の「分散化」がある。中国の場合、自動車の生産から廃車に至るまでのライフサイクルに即し、様々な行政管理主体（以下、規制機関）が並存している。それぞれの規制機関は、所掌範囲に応じ基準策定権限が付与されている（以下、業界基準）。例えば、同じ自動車安全分野であっても、装置（部品）に関する基準は工業情報化部、構造等に関する安全基準は中国公安部、廃車の基準に関しては商務部、また、公共バスなどの運輸部門における自動車は交通運輸部、が基準策定機関となる。それぞれの規制機関が策定した業界基準には、重複するものや矛盾するものも少なくない。業界基準は、国务院直属機関である中国質量監督檢驗檢疫総局が公布する全国基準に取って代わるまで有効とされる。しかし、全国基準の策定は、規制機関同士の事務再配分の問題に直結するため、いまだに中国には、日本の「道路運送車両の保安基準（道路交通法第三章）」に相当する統一化された基準体系はない。

5.5 自動車環境対策の分野

中国において、自動車の生産から廃車に至るまでのライフサイクルには様々な行政管理主体（以下、規制機関）が関与し、それが自動車管理行政の「分散化」を招いたと指摘した。この「分散化」問題は自動車管理行政の「非効率化」問題として捉えることも可能である。しかし、視点を変えれば、その根底には環境自動車対策の多重性、複雑性の問題がある点についても看過してはならない。

現在、中国において実施している自動車環境対策には、実に幅広い政策分野が含まれている（図8）。



◎図8 自動車環境対策分野
出典：中国総合研究交流センター（CRCC）フェロー、筆者が作成

5.5.1 車体規制

直接規制という意味において、車体規制は最も効果的な手法の一つである。車体規制は、1）排ガス規制、2）燃費規制、3）廃車規制、の3つの分野に分けることができる。

環境保護部の所掌事務に属する1）排ガス規制は、さらに、エンジン排ガスの濃度規制（以下、排ガス規制）と排ガス浄化設備など付属機器に関する規格基準に分けられ、いまだで計29の国家基準が公表されている（2005年～2011年）。

◎表15 新規生産自動車の排ガス基準の適用状況

	エンジンタイプ	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
軽自動車	圧縮着火型（ディーゼル）	国Ⅱ			国Ⅲ（2008年7月1日実施）				国Ⅳ	
	火花点火型	国Ⅱ			国Ⅲ				国Ⅳ	
	ガス火花点火型（LPGエンジン等）	国Ⅱ			国Ⅲ				国Ⅳ	
重型自動車	圧縮着火型（ディーゼル）	国Ⅱ			国Ⅲ				国Ⅳ	
	火花点火型	国Ⅱ			国Ⅲ				国Ⅳ	
	ガス火花点火型（LPGエンジン等）	国Ⅱ			国Ⅲ				国Ⅳ	
バイク	二輪、軽二輪	国Ⅱ			国Ⅲ					
	三輪	国Ⅱ			国Ⅲ					
	低速自動車	規制なし	国Ⅰ	国Ⅱ						
非道路移動自動車	ディーゼル	規制なし			国Ⅰ				国Ⅱ	
	小型火花着火式	規制なし			国Ⅰ					

典拠：環境保護部『2013年中国自動車汚染防止年報』、環境保護部法令データ集に基づき筆者作成
環境保護部法令データ集：http://hjshbz/bzwb/dqjshbz/200808/t20080825_91832.htm

表15は、新規自動車排ガス規制の導入時期についてまとめたものである。この表から分かるように、排ガス規制の導入時期は、自動車の種類、エンジンタイプによって導入時期が異なっている。導入時期がそれぞれ異なる理由として以下のような点が挙げられる。

自動車環境基準の統一性の欠如

中国における自動車環境基準は、エンジンタイプ（ディーゼル車、ガソリン車、LPG燃料車）、車種（重型、軽型；自動車、非道路移動機器）ごとに策定されるだけでなく策定期も異なる。結果、基準体系のみならず適用時期においても統一性が欠ける。

5.5.2 非道路移動車両に関する規制の出遅れ

そもそも非道路移動車輛（非道路移動機器）に関する環境対策は全体的に遅れている。非道路移動車輛とは「エンジン（原動機）を搭載している機械、運送可能な工業設備であって乗客または貨物の運搬を目的としない車輛」のことで（典拠：GB26133-2010）、ショベルカーやブルドーザ、農業トラクターなどがこれに含まれる。中国道路交通法における「自動車」の定義には、非道路移動車輛が含まれない。それは、非道路移動車輛は、車輛登録や車検制度の適用を受けないことを意味する。それゆえ、長い間、車両数の把握を含む行政管理が進まず、結果、環境対策の遅れを招いた。非道路移動車輛に関する環境基準が制定されたのは2010年、つい最近のことであり、その実施はさらに遅く2011年3月1日からである。今日に至っても、非道路移動車輛に関する管理体制に抜本的な変革があったとはいえない。

規制適用時期を巡る計画と実施のずれ

規制適用時期に関し、規制計画と実施の時期のずれがとりわけ指摘するに値する。例えば、自動車排ガスの第三段階国家基準（以下、国Ⅲ）の適用時期は、計画予定より半年の遅れが生じ、国Ⅳ基準の場合のディーゼル車の適用時期は二年半の遅れが発生した。

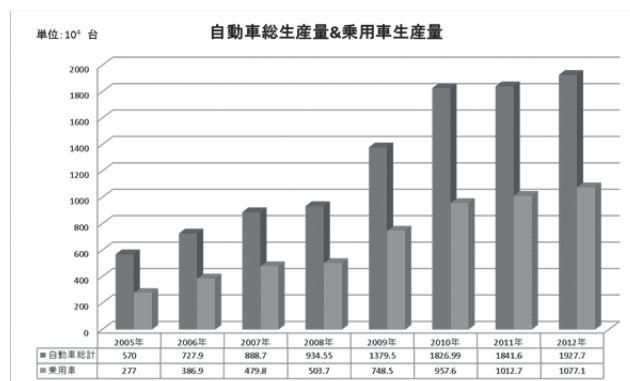
国Ⅲの適用時期が遅れた背景には、重複した国家基準の存在と係る適用時期の矛盾にある。2005年、旧環境保護局（現在の環境保護部）は、エンジンタイプ（GB17691-2005）と車種別（GB18352-2005：軽型車が対象）に策定された2種類の排ガス基準が公表された。両基準はいずれも国Ⅲについて定めたものあり、一部の規制領域が重複（軽型ディーゼルエンジン搭載車、軽型LPG等燃料エンジン搭載車）していた。それに関わらず、両基準はそれぞれ異なる適用時期を採用していたため、重複領域における基準適用の時期を巡り矛盾が生じた。この問題を解決するため、2008年6月、環境保護部は通達「自動車排ガス基準の適用時期について」（環弁函[2008]384号）において適用時期の統一化を図った。

国Ⅳの適用時期が遅れた背景に関しては、低公害燃料の供給が予定とおり進まなかった経緯がある。2005年公布した国家基準GB17691-2005は、ディーゼル車への国Ⅳ基準の適用予定日を2011年1月1日と定めていた。しか

し、2011年末になっても階環境基準をクリアした第四段階ディーゼル燃料の普及が進まなかったため、国Ⅳ基準の適用が現実的ではないと判断した環境保護部は、2011年第92号公告を持って、ディーゼル車への国Ⅳ基準適用時期を2013年7月1日に変更した。これは計画より二年半遅れた計算になる。

燃費規制

2012年、中国の自動車年間生産量は1900万台に達し（図9）、国全体の自動車保有量は1億台を超えた（典拠：2013年自動車環境公報）。国全体におけるガソリン・ディーゼル消費量の55%は自動車に占めており、新規ガソリン需要の7割は拡大生産された新規自動車によって消費される（典拠：工業和信息化部「『乗用車企業平均燃料消耗量核算弁法』解説」）。これらのデータからも分かるように、中国自動車の全体的な燃料経済性（以下、燃費）の向上は、ガソリンやディーゼルの消費量の削減につながり、結果的には大気汚染対策にも役に立つことになる。



◎図9 自動車生産量の暦年変化

出典：2005年から～2012年までの国民経済社会発展統計公報に基づき金が作成

燃費基準

中国政府が2004年から導入した「GB19578-2004乗用車燃料消耗量限值」は、国内史上初の義務型燃費基準である。本基準の特徴は、乗用車を2車種（一般車種と特定車種：3列シート以上の車種or手動変速機搭載（マニュアル）車）に分け、それぞれ16種類の重量ランクを設定し、ランクごとに燃費基準（100Km走行距離あたりの燃料使用量：L/100Km）を設ける「重量タイプ型規制方式」を採用している。また、本基準では、規制レベルの異なる2種類の基準が設けられ、それぞれ2005年7月1日と2008年1月1日に分けて順次導入する2段階適用方式を採用していた。現行基準は2012年

1月1日から導入された第3段階基準である（GB27999-2011）。2014年1月21日、自動車燃費規制行政の監督庁となる工業和信息化部（産業・情報技術部）は、第4段階

基準を導入するためのパブリックコメントを実施した。順調であれば2016年1月1日から第4段階基準への移行が可能となる。表16は、現行基準と第4段階基準案についてまとめたものである。第3段階に比べ、第4段階の燃費基準は2割以上も厳しいものとなっている。

◎表 16 第3、4段階基準の内容

車両重量(CM)Kg	車種燃費目標値 L/100Km		車種燃費目標値 L/100Km	
	第3段階基準 2011年～2015年	第4段階基準 2016年～2020年 (予定)	第3段階基準 2011年～2015年	第4段階基準 2016年～2020年 (予定)
CM≤750	5.2	3.9	5.6	4.1
750<CM≤865	5.5	4.1	5.9	4.3
865<CM≤980	5.8	4.3	6.2	4.5
980<CM≤1090	6.1	4.5	6.5	4.7
1090<CM≤1205	6.5	4.7	6.8	4.8
1205<CM≤1320	6.9	4.9	7.2	5
1320<CM≤1430	7.3	5.1	7.6	5.3
1430<CM≤1540	7.7	5.3	8	5.5
1540<CM≤1660	8.1	5.5	8.4	5.7
1660<CM≤1770	8.5	5.7	8.8	5.9
1770<CM≤1880	8.9	5.9	9.2	6.1
1880<CM≤2000	9.3	6.2	9.6	6.4
2000<CM≤2110	9.7	6.4	10.1	6.6
2110<CM≤2280	10.1	6.6	10.6	6.8
2280<CM≤2510	10.8	7	11.2	7.2
2510<CM	11.5	7.3	11.9	7.5
特定車種：3列シート以上の車種or手動変速機搭載車（MT）				

典拠：工业和信息化部「意見征集：《乘用车燃料消耗量限值》、《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》强制性国家标准修订」、国家基準GB 27999-2011に基づき、金が作成

2020年目標および実現に向けた課題

2012年、国務院は「省エネ・新エネ自動車産業に関する発展計画（2012年～2020年）」を発表し、企業平均燃費レベルを2015年まで6.9L/100Km、2020年まで5.0L/100Kmに向上させる目標を設定した。

馬冬らの研究グループの試算によれば、2011年時点における企業平均燃費レベルは7.5L/100Kmであり、このままの改善レベルでは2020年目標を達成することは厳しいと指摘している（典拠：馬冬＝安鋒＝康利平＝Robert Earley「中国乘用车企业平均燃料消耗量（CAFC）及其限值标准（中国語）」汽车安全与节能学报、2012年、第3巻第4期）。

目標達成のための最大の課題は、如何に製造コストを下げるかである。中国政府の試算によれば、2020年目標を実現するためには、1.5万元（25万円相当）／台の自動車コストの上昇が発生する（典拠：表16前者の参考文献）。今後、補助金を含む国の更なる支援が必要となる。

5.3.3 企業平均燃費目標制度

2012年から導入された現行基準は、基本的に第1、2段階の重量タイプ規制方式を引き継いでいるが、「企業平均燃費目標制度」という新たな規制手法も導入している。

企業平均燃費目標制度とは、事業者が生産または取り扱っているすべての重量タイプ自動車の平均燃費数値（以下、企業平均燃費数値）を持って企業の基準達成への取り組みを評価する制度であり、企業には、年度ごとに達成すべき燃費改善目標が法的義務として課されている。

企業平均燃費数値は、事業者が生産または取り扱っているすべての重量タイプ自動車の平均燃費数値を該当規制基準の平均値で割って得られるパーセンテージの値であり、規制基準に対する企業の平均燃費レベルが分かる（表17）。値が100%より大きいほど、規制基準から乖離していることを表す。表17は、企業が達成すべき年度ごとの平均燃費目標値についてまとめたものである。

◎表 17 企業平均燃費目標値

年度	根拠基準	企業平均燃費目標値	計算方法
2012年	第3段階基準 2011年～ 2015年	109%	企業平均燃費基準目標値＝A/B A企業平均燃費数値＝ (車種1実燃費×生産台数) + (車種2実燃費 ×生産台数) + (……) / 車種1台数 + 車種2台数 + ……
2013年		106%	
2014年		103%	
2015年		100%	
2016年	第4段階基準 2016年～ 2020年(予定)	132%	B企業規制基準平均燃費レベル＝ (車種1遵守すべき燃費基準×生産台数) + (車種2 遵守すべき燃費基準×生産台数) + (……) / 車種1 台数 + 車種2台数 + ……
2017年		124%	
2018年		116%	
2019年		108%	
2020年		100%	

典拠：工业和信息化部「意見征集：《乘用车燃料消耗量限值》、《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》强制性国家标准修订」、GB27999-2011

企業平均燃費目標制度の目的

第1、2段階規制制度にはなかった本規制手法の導入には、少なくとも以下のような政策的狙いがある。

まず、新基準導入による企業負担を軽減する効果が挙げられる。第1、2段階の規制の場合、基準適用日を境に、基準を達成していない自動車の生産、出荷、販売を一切禁止した。規制基準を遵守するために、事業者はすべての車種の設計・生産体制を見直さざるを得ず、莫大な設備投資を強いられることも少なくなかった。言わば、硬直な基準適用に伴う企業負担増の問題がここにはあった。これに対し、第3段階基準では、全車種の画一的な基準適用を止め、企業平均燃費目標値さえクリアできれば、基準非達成の車種の製造・販売を許した。

つぎに、燃費改善に向けた事業者の経営判断に柔軟性を持たせる効果がある。企業平均燃費数値は、事業者が生産

または取り扱っている自動車数を考慮して算出される(図2)。つまり、燃費性の高い自動車の販売台数が多ければ多いほど、目標達成には有利に働く仕組みである。また、規制基準を上回る燃費改善があった場合、その改善分または超過達成にあたる企業平均燃費目標値の翌年への繰り越し(3年間有効)が認められるボーナス制度もある。例えば、燃費基準を上回る新車種の販売好調によって2014年における事業者の企業平均燃費レベルが90%に達したと仮定した場合、翌年を含む3年間、事業者は、年度企業燃費目標値13%相当の負担軽減の権利を享受することができる。

このような仕組みは、企業の選択と集中を可能にさせ、企業の自主的経営権に対する行政の過剰な関与をある程度減らす効果が期待できる。

目標非達成の場合の制裁措置

2014年6月7日、工業和信息化部は、「乗用車企業平均燃費目標値の管理監督に関する通達」を発表し、目標非達成の事業者に対する不利益措置などを定めた規則に関するパブリックコメントを実施した。この規則によれば、目標非達成に事業者には、事業改善計画書の提出の求めや新規事業計画の許認可の不受理などの制裁措置が発動される。大幅な修正がないまま本規則が執行されれば、事業者にとっては大きなインパクトになる。

5.5.4 廃車規制

中国において、大気汚染対策として展開している目玉政策のひとつが廃車制度である。2013年以前における廃車制度は、主に交通安全の観点から実施されたものであり、走行距離や耐用年数が主な規制基準であった。その規制基準に排ガスや騒音などの環境基準が加わったのは、2013年5月1日、日本の省令に当たる「自動車強制報廃標準規定(商務部等4部門命令2012年第12号)」を施行してからである。

いままで、環境基準に違反した車は「黄標車」(イエローラベル車)に指定され、規制内容は自動車メーカーの製造、販売停止や利用者に対する道路上での走行禁止措置に止まるものであった(中国道路交通安全法14条)。しかし本命令の施行によって行政は廃車措置を発動することもできるようになり、環境基準違反車に対するより徹底した取締りが可能となった。2013年以降、修理・改良を経てなお環境基準をクリアできない「黄標車」(主に業務用途車)には廃車措置が発動される。

2012年の統計によれば、国全体の自動車(バイクも含む)保有量のわずかに6.5%を占める黄標車(1451.4万台)が排出したPM(粒子状物質)総量は、国全体の78%を占め

ることが分かった(典拠:環境保護部「2013年中国自動車汚染防治年報」)。黄標車対策の重要性が伺えるデータである。

「黄標車」の区分基準

「黄標車」とは、第1段階排ガス基準以下のガソリン車と第3段階排ガス基準以下のディーゼル車を指す。しかし、前掲5.5で述べたように、車種ごとの排ガス基準の適用時期がバラバラであるため、専門知識の欠ける一般利用者が、所有自動車が「黄標車」に該当するか否かについて判断することは困難が伴う。そこで、行政実務では便宜上、自動車の重量および車両登録の時期を主な区別方法として採用している(表18)。このような区別方法は、排ガス基準の適用時期を境に新基準を満たさない自動車の車両登録が拒否されるため、基準適用時期の代わりに車両登録日を用いても差し支えないという考え方に基づくものであった。

◎表 18 黄標車の判断基準

車種		区別基準	淘汰基準 (2012年10月以降)
軽型自動車 (重量≤3.5t)	ガソリン車	定員≤6名、 重量≤2.5t: 2000年7月1日 以前の登録車両 上記以外、 重量≤3.5t: 2001年10月1日 以前の登録車両	2005年1月1日以前 に登録した業務用 黄標車
	ディーゼル車	2008年7月1日 以前の登録車両	
重型自動車 (重量>3.5t)	ガソリン車	2003年7月1日 以前の登録車両	
	ディーゼル車	2008年7月1日 以前の登録車両	

典拠:上海市「上海市黄標車淘汰政策宣伝資料」等に基づき、金が作成
<http://www.sepb.gov.cn/fa/cms/shhj/huangbiaoche.html>

「黄標車」淘汰に関する区分基準

黄標車の廃車規制の導入を方向付けた公式文書は、国務院が2011年11月25日に発表した「第12次国家環境保護計画」である。本計画のなかで、国務院は、2005年1月1日以前に登録した業務用黄標車を2015年までに廃車化する目標(以下、淘汰目標)を立てた(表18)。後に、この目標の規制趣旨は上記の「自動車強制報廃標準規定」に反映された。

強制淘汰のタイムライン

すでに言及したが、国務院が掲げた廃車目標の主な対象は、2005年1月1日以前に登録した業務用黄標車である。ただ、その後の地方政府レベルの実施過程において、様々な運用の形が見られる。

まず、地域によって廃車規制の適用範囲が異なる。2012年以降の大気汚染対策強化の流れを受け、北京などの重点対策規制地域では登録時期に関する要件を撤廃し、黄標車に該当するすべての自動車（非業務用自動車も含む）を2015年までに淘汰する目標を掲げている。

つぎに、地域によって規制の手法が異なる。広東省のように、黄標車の使用年数、または登録時期に応じ、①直ちに廃車、②条件付き廃車、③任意による廃車、と3つの廃車措置を組み合わせて導入している地域もある（表19）。

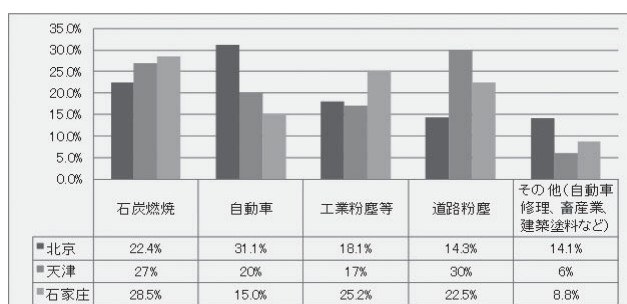
◎表19 黄標車の廃車制度の概要

地域	対象範囲	義務(2015年まで)
大気汚染重点対策地区：北京市、天津市、河北省、上海市、江蘇省（一部）、浙江省（一部）、広東省（一部）	すべての黄標車	廃車
その他地域（例：広東省、珠海市）	使用年数15年以上の黄標車	廃車
	業務用車（広東省） 使用年数10年～15年の黄標車	条件付き廃車：改善措置命令。一つの車検期間内、排ガス基準検査を受け、3回以上不合格の場合、廃車
	使用年数10年未満（2005年1月1日以前の登録車相当）	任意廃車
	非業務用車（珠海市） 大型車両（2005年1月1日以前の登録車）	廃車

典拠：「第12次国家環境保護計画」等に基づき、金が作成

地域によって異なる政策優先度

2014年に入り、環境保護部の提唱の下、地域ごとのPM2.5排出源の特定作業が行われ、成果が現れつつある。図10は、3つの地方政府がPM2.5排出源について発表した公式資料に基づいて作成したものである。PM2.5に占める自動車部門の排出割合は、地域間において大きな開きがあることが分かる。これは、自動車部門の政策優先度が地域によって異なることを意味する。



◎図10 地域ごとのPM2.5発生源の割合

典拠：北京市、天津市、石家荘市の環境保護局（庁）公開情報に基づき、金が作成

表20は、他地域から飛来したPM2.5が地域全体の排出量に占める割合についてまとめたものであり、その割合が地域によって大きく異なっていることが分かる。これは自動車対策の優先度の判断をさらに難しくさせる理由の一つである。これは、自動車対策に限らず、他の対策分野にも通ずる課題である。

◎表20 地域内に占める他地域から飛来したPM2.5の割合

地域	他地域飛来PM2.5の割合
北京	28%～36%
天津	10%～15%
石家荘	23%～30%

典拠：北京市、天津市、石家荘市の環境保護局（庁）公開情報に基づき、金が作成

5.6 自動車燃料分野の規制：ガソリン

ガソリン品質に関する規制基準

中国においてガソリン規制基準としてよく知られているのが、「GB17930」を頭番号とする国家基準（以下、ガソリン規制基準）である。本基準は、ガソリンの性状の安定性や燃焼効率、エンジン等車体への負荷の低減等に着眼した指標体系になっている。2000年1月1日から導入された国Ⅰ基準に始まり、2013年12月18日に公布した国Ⅴ基準（GB17930-2013）に至るまで、計4回の改正が行われている。国Ⅴ基準は、同年9月17日に発表された自動車排ガス国Ⅴ基準（GB18352.5-2013）に対応するものである（表21）。

日本ではあまり知られていないが、前述のガソリン規制基準のほか、中国環境保護部もガソリンに関する国家基準を発表している。亜鉛や鉄、硫黄など、ガソリンに含まれる有害物質の含有量について定めた本基準は、2000年1月1日、国Ⅱ自動車排出基準に対応する形で初めて導入された（GWKB1-1999）。2000年から10年間、基準の見直しは行われなかったが、2011年5月1日、ようやく自動車排ガス国Ⅴ基準に対応する形で、改定基準（GWKB1.1-2011）が発表された（表21）。しかし、この基準は、ガソリン生産や販売事業者を拘束するものではなく、指導基準としての性格が強いため、事実上、ガソリン規制基準として役割を果たすには限界がある。また、本基準と上記のガソリン規制基準を比較した場合、オクタン価や蒸留性状、リード蒸気圧などガソリン性状に関する項目を除けば、ほとんどの規制項目および基準値は類似している（硫黄、鉛、マンガン、芳香族、オレフィン、ベンゼンなど）。言い換えると、本基準に強制力があってもガソリンの環境品質の向上にどれだけ貢献できるかは疑問が残る。

◎表21 自動車排出規制およびガソリン規制の導入時期(2006年～2020年)

基準施行時期	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
自動車排出規制 (軽型自動車) (GB18352—年度)	国Ⅱ (2000年1月1日より実施)		国Ⅲ		国Ⅳ		国Ⅳ		国Ⅳ		国Ⅳ		国Ⅳ		国Ⅴ
ガソリン規制基準 (GB17930—年度)	国Ⅱ (2005年7月1日より実施)		国Ⅲ		国Ⅳ (2011年5月12日からすでに選択的に実施)		国Ⅳ		国Ⅳ		国Ⅳ		国Ⅳ		国Ⅴ
ガソリン 有害物質基準 (GWKB1—年度)	第一回目の基準 (2000年1月1日より実施)		自動車排出基準国Ⅳ、国Ⅴ対応基準 (2011年5月1日より実施)		自動車排出基準国Ⅳ、国Ⅴ対応基準 (2011年5月1日より実施)		自動車排出基準国Ⅳ、国Ⅴ対応基準 (2011年5月1日より実施)		自動車排出基準国Ⅳ、国Ⅴ対応基準 (2011年5月1日より実施)		自動車排出基準国Ⅳ、国Ⅴ対応基準 (2011年5月1日より実施)		自動車排出基準国Ⅳ、国Ⅴ対応基準 (2011年5月1日より実施)		自動車排出基準国Ⅳ、国Ⅴ対応基準 (2011年5月1日より実施)

典拠：ICCT “CHINA V GASOLINE AND DIESEL FUEL QUALITY STANDARDS” 2014
http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_ChinaVfuelquality_jan2014.pdf
 環境保護部『2013年中国自動車汚染防止年報』等に基づき、金が作成

ガソリン規制行政におけるジレンマ

表21に見るように、中国におけるガソリン規制基準は自動車排出規制の実施を迫る形で導入されていることが分かる。その理由として、例えばガソリン規制基準の適用時期を自動車排出規制の時期に合わせたとしても、基準を満たした燃料の普及が予定通りに進まず、結局は適用時期を後倒しにしなければならない事情があったことが挙げられる(前掲5.5を参照)。

このような事象の背景として、ガソリン規制を巡る環境派と産業派の対立が挙げられる。ガソリン基準の改正プロセスには、石油業界や自動車関連業界を含む様々な利益団体が関与している。事実、国Ⅴガソリン規制基準の原案づくりをリードしたのは、石油大手「中国石油化工有限公司」に属するシンクタンクである。原案審査に関わる専門家委員会は、主に、石油、自動車などの産業分野の専門家、そして環境保護分野の専門家から構成されている。それゆえ、規制基準の厳格化を巡る議論は、実質上、関連団体の意見の折り合いによって決まる側面もある。例えば、硫黄規制値の厳格化を求める環境派の意見は、コスト上昇や燃費性の低下(硫黄除去処理に伴うオクタン価の低下)懸念する石油・自動車業界からは消極的な意見を招く。また蒸気圧の規制に関しても同様の対立構造がある。つまり、PM2.5原因物質である揮発性有機物削減の観点から低いリード蒸気圧を主張する環境派と揮発性の低下による着火性への影響を懸念する産業派の両陣営による対立である(典拠：科学日報「国五车用燃料标准背后的较量」2014年1月3日8面)。

国Ⅴ基準の変更点

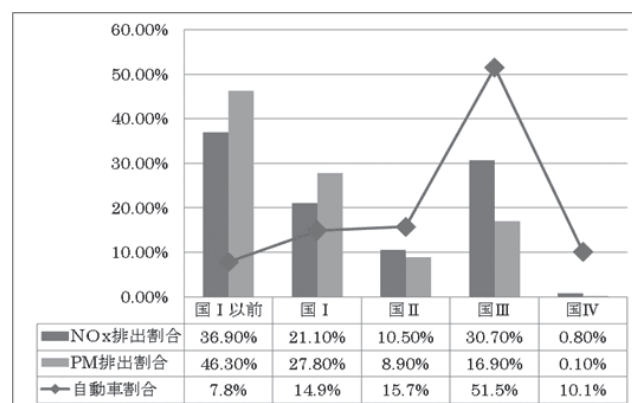
ガソリン規制を巡る環境派と産業派の対立を乗り越えた国Ⅴ基準は、少なくとも硫黄含有量に関しては国Ⅳに比べ大きく前進したと評価できる。その規制値は国Ⅳの

50wtppm以下から10wtppm以下に厳格化された。また、マンガン含有量は8mg/Lから2mg/Lに、オレフィン割合は28%から24%に修正された。そのほか、気温変化に伴うガソリンリード蒸気圧の変化がエンジン点火の不具合を起こしたり、あるいは不完全燃焼による汚染物質の排出増加を招くリスクに対処すべく、冬季のリード蒸気圧の下限値を42kpaから45kpaに引き上げた(45kpa～85kpa)。一方、ガソリン精製・流通過程における揮発性有機物の発生リスクを下げるため、蒸気圧の上限値を68kpaから65kpaに引き下げた(40kpa～65kpa)。

今回の国Ⅴ基準の改正において、最も意見が対立した点は、オクタン価を巡る議論であった。現在の中国における生産体制や処理技術上、硫黄含有量の新基準をクリアするためにはオクタン価をある程度引き下げる必要があるというのが産業界の意見であった。また、マンガン基準の厳格化によるマンガン含有量の低下もオクタン価を下げる効果が付随するので、オクタン価の緩和を求める理由の一つとなった。最終的には、環境派と産業派の双方の意見を取り入れた折衷案が採択され、オクタン価は、90、93、97から89、92、95に引き下げられた。

新基準適用の大気汚染対策効果

図11は、自動車保有量および大気汚染物質の排出量の割合を排出基準ランク(国Ⅰ以前～国Ⅳ)ごとにまとめたものである。国Ⅰレベルを達成できていない自動車数の全国割合はわずか7.8%であるにもかかわらず、NOxおよびPM排出量はそれぞれ、国全体の36.9%と46.3%を占めている。大気汚染対策として、徹底かつ迅速な廃車措置の導入が望ましい。しかし、即効性の観点から言えば、ガソリン品質の向上が最も現実的な方策に思える。国Ⅴ基準を5年間適用した場合の国全体のNOx削減量は、延べ40万トン前後(既存の自動車30万トン、新車9万トン)になるとする試算もある。



◎図11 排出基準レベルごと割合：自動車保有割合、汚染物質排出割合

典拠：環境保護部『2013年中国自動車汚染防止年報』等に基づき、金が作成

5.7 国家目標達成責任制度

大気汚染対策として、中国政府は、法的拘束力のある国家発展5ヵ年計画が掲げた大気汚染物質総量削減目標（以下、国家目標）を地方政府ごとの目標に再配分し（以下、地方目標）、その達成を地方政府に義務付ける国家目標達成制度を実施している（前掲4を参照）。国家目標の達成に向け、中国政府は、生産設備強制淘汰目標や環境基準違反車の廃車目標などを設定し、国家目標達成責任制度を適用している（前掲5.3.4を参照）。

■制度の本質

国家目標達成責任制度の本質は、国家目標の細分化や責任所在の明確化を通じた計画実効性確保措置であり、中国のような特殊な国家体制だからこそ実施可能である。この点については、拙稿「中国における環境配慮型都市政策－政策形成・執行過程における中央政府と地方政府の関係を中心に－」（電中研報告Y10038）を参照されたい。

■制度の適用範囲

国家目標達成責任制度は、大気汚染対策分野や省エネ分野だけではなく、農業分野や一人っ子政策分野など、様々な分野において適用されている。大気汚染対策分野に限ると、前述の生産設備強制淘汰制度のほか、PM2.5対策として導入されている環境基準違反車等廃車目標制度（前掲5.5.4を参照）や汚染物質排出削減設備の設置目標制度などが挙げられる（表22）。

■地方目標の決定プロセス

地方目標の決定過程を巡る中央政府と地方政府の役割分担ルールについては、明文の規定があるわけではない。そのルールは、制度の目的や実施可能性によってそれぞれ異なる。例えば、ある特定の地域が第12次5ヵ年計画期間において達成すべきNO_x削減目標は、国が決定プロセスを主導する。それぞれの地域における具体的な目標値は、国が地域のGDP成長予測値、産業構造、汚染物質歴史的排出実績などの指標に基づいて算出し、地方政府との数回に渡る折衝を経て、最終的に決定される。折衝の結果、目標値が修正される場合もある。目標算出に供される数式等は一般に公開されておらず、政治的な調整余地は大きい。

生産設備強制淘汰目標のように具体性のある目標値に関しては、地方政府が決定裁量権を持つ。例えば、ボイラ廃炉に関する地方目標は、地方政府が提出した廃炉計画を国が承認し、公表したものである。計画の承認において、国は、地域の削減義務等に勘案し、明らかな逸脱が無い限り、地方政府の裁量権を保証するのが慣例である。それ故、脱硝設備の設置などに関する地方目標は、地方政府が設置対象として認定したプラントを積み上げた値である（表22）。

◎表22 2014年～2015年までの大気汚染対策関連地方目標

地域	生産設備強制淘汰目標		汚染物質排出削減設備の設置目標		
	石炭燃料ボイラの廃炉 (10,000トン・スチーム)	環境基準違反車の廃車 (10,000台)	火力発電脱硝装置 (10,000kW)	鉄鋼焼結機脱硫装置 (㎡)	セメントプラント脱硝装置 (10,000t)
北京市	0.9	39.1	0	0	210
天津市	1.2	14.3	596	1430	0
河北省	2.2	66.0	1500	11010	2160
山西省	1.0	21.6	1134	2531	1650
内モンゴル	0.9	16.8	3369	1777	3300
遼寧省	1.0	34.9	1293	4764	3450
吉林省	0.5	17.0	1119	560	270
黒竜江省	1.0	20.5	1092	270	630
上海市	0.5	16.0	344	264	75
江蘇省	1.1	30.7	1313	3692	4080
浙江省	1.4	28.1	892	480	1860
安徽省	0.6	25.8	1051	910	3600
福建省	0.3	9.9	157	0	0
江西省	0.2	14.6	541	641	2610
山東省	2.3	42.8	3140	1973	5040
河南省	1.0	28.2	2243	492	5400
湖北省	0.4	18.5	1100	1388	4410
湖南省	0.3	15.2	766	710	660
広東省	0.5	49.3	602	0	5820
広西省	0.1	10.0	506	360	750
海南省	0.0	2.0	167	0	270
重慶市	0.1	5.7	466	0	1530
四川省	0.2	17.6	642	740	3450
貴州省	0.1	6.9	1200	684	1200
雲南省	0.4	14.7	862	2575	2400
チベット	0	0.38	0	0	0
陝西省	0.8	13.4	955	0	300
甘肅省	0.3	7.2	539	646	1050
青海省	0.1	2.0	90	0	480
寧夏省	0.2	4.4	643	132	750
新疆自治区	0.4	7.5	818	1410	2700
新疆生産建設兵団			330	352	1200
合計	20.0	601.08	29470	39791	61305

典拠：國務院通達「2014－2015年节能减排低碳发展行动方案」（国弁発〔2014〕23号）に基づき、金が作成
http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-05/26/content_8824.htm

5.8 汚染物質排出枠管理制度

2015年1月1日より、新規事業に係る汚染物質排出枠管理制度が正式にスタートした。この制度の導入によって、今後、すべての事業者は、新規事業（プラント、設備等の導入）の導入に際し、排出枠の事前調達が求められる。調達できない場合、新規事業の着工は禁止される。本制度は外資系企業も規制対象にしているため、中国ビジネスに関わっている日本企業への影響は少なくない。

5.8.1 制度の概要

2014年12月31日、中国環境保護部は、「建設項目主要汚染物排放総量指標審核及管理暫行弁法」という重要な規則（日本の省令に相当）を発表した。本規則は、環境影響評価制度の認定要件として、事業者は、工場の設置や新規設備の導入等によって想定される将来汚染物質排出量（以下、想定排出量）の相殺に相当する代替可能排出枠の調達を義務付けた。代替可能排出枠とは、事業者が削減努力等を通じて調達した余剰排出枠のことであり、想定排出量の相殺に供することが認められたものに限る（以下、新規事業排出枠）。

本制度の対象汚染物質には、国が第12次5ヵ年計画において主要汚染物質と指定した化学的酸素要求量（COD）、アンモニア窒素、二酸化硫黄（SO₂）、窒素酸化物（NO_x）が含まれる。また、大気汚染重点対策地域の場合、工業粉塵や揮発性有機物も対象汚染物質に含まれる（前掲5.1を参照）。

本制度の位置づけ

本制度は、中国政府が精力的に推進している汚染物質総量削減政策を支える重要な規制である。周知のように、中国では汚染物質総量削減目標達成責任制度（前掲4.2を参照）を導入しており、地域ごとの汚染物質排出枠は制限さ

れている。地域における排出枠は、国から配分した地域削減目標（例えば、北京市の場合、2015年まで、NO_xおよびSO₂の排出総量を2010年比でそれぞれ12.3%、13.4%の削減が求められる）に基づき計算される。地方政府は、排出枠に基づき、地域削減計画を策定する。地方政府は広範な裁量権の下、地域削減計画を通じ、排出枠を下級地方政府や業種（鉄鋼業、セメントなど）に割り振る。最終的に、これらの排出枠は事業者・事業所レベルまでに細分化される（図12および前掲5.7を参照）。

既存の制度の場合、事業者の排出枠は、環境保護所管部署が所管している汚染物質排出権許可制度（以下、排出権許可制度。図12の①）を介して取得していた。新規事業、既存事業に関わらず、事業者は、環境保護所管部署に対し、次年度の生産活動に必要な年間排出枠を申請し、受理機関による許可をもって排出枠を確保する（図12の①）。主要汚染物質排出権許可制度は、生産許可申請の前置手続として位置づけるため、この時点における排出枠の取得義務は、実質上、生産許認可の要件に相当する。

これに対し、本規則では、新規事業排出枠取得手続を排出権許可制度から切り離し、環境影響評価申請段階に移行させた。環境影響評価申請手続は、新規事業許認可申請受理・許可の要件となるため、新規事業排出枠が調達できない事業の着工行為、生産行為は禁止される。この段階における排出枠は、実質上、新規事業および生産許可の許認可要件に当たる（図12の②）。

新規事業排出枠の取得

注意すべきは、新規事業排出枠は、事業者の削減努力等によって捻出した削減量と引き換えたものである点である。事業者は、3つのルートを通じて新規事業排出枠を確保することができる。

自らの削減努力

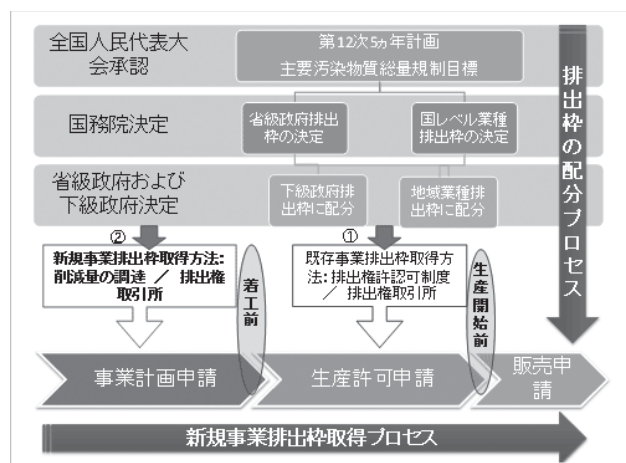
2011年以前に生産活動を開始した事業者が、第12次5ヵ年計画期間中（2011年～2015年）において実施した削減努力（生産設備の処分、削減機器の導入など）の日時を基準に達成できた削減量は、新規事業排出枠として認められる。

削減量取引による取得

2007年より、汚染物質削減量取引制度を導入した11のモデル地域（天津市、河北省、内モンゴルなど）では、取引所を介して購入した削減量を新規事業排出枠として認められる。

「前借」による取得

古い生産設備（工場）を代替するための新規事業に限り、



◎図12 国家汚染物質目標配分および企業排出枠取得に関するプロセス

典拠：国務院通達「建設項目主要汚染物排放总量指标审核及管理暂行办法」（環發〔2014〕197号）等に基づき、金が作成
http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201501/t20150106_293856.htm

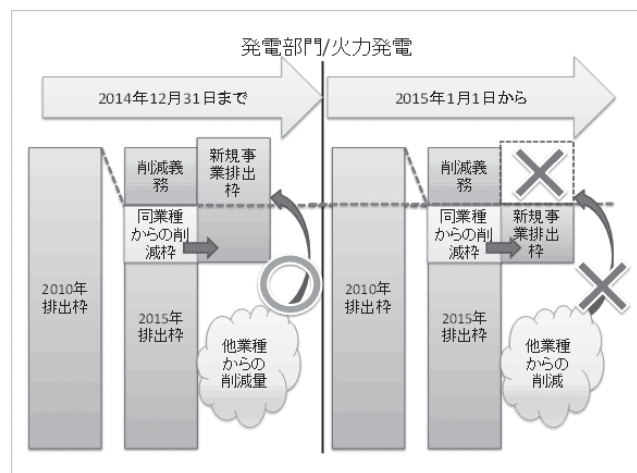
当該新規事業の実施によって達成可能な想定削減量を削減枠として「前借」することができる。

5.8.2 制度導入の背景

新規事業排出枠の決定プロセスの透明化、適正化

本制度の導入背景には、新規事業排出枠の決定プロセスの透明化、適正化がある。すでに前掲4.2で述べたが、中国では、汚染物質総量削減目標達成責任制度を導入しており、地域ごとの汚染物質排出枠は制限されている。排出枠の制限は、地方政府や企業に削減努力を強いる一方、一定範囲の排出権利、つまり排出枠を保障するという側面もある。この排出枠を巡り、地方政府と業界企業との間には複雑な利益の構図が生まれ、場合によっては環境政策の推進を阻害する原因になる。

送配電分離体制をとっている発電部門がその一例である。中国の場合、地方政府は発電事業者としての役割を果たしていると同時に、地域エネルギー計画の立案者、実施者でもある。産業競争力振興の観点から見た場合、安価な石炭火力発電は最も理想的な電源となる。このような背景もあり、地方政府は火力発電所の規制にはあまり積極的ではなく、発電部門の排出枠を「優遇」する動機が働くケースもある。ここで言う「優遇」には、主に二つの方法が含まれる。一つは、地方政府が業種ごとの排出枠配分計画を作成する際、特定の業種に対し排出枠を多めに配当する方法である。いま一つは、特定業種に対し、新規事業排出枠を優先的に認める方法がある。このような「優遇」策の横行は、環境負荷や健康被害の著しい業種の継続的な排出増を助長する可能性もあるが(図13)、その根幹には、不透明な排出枠の決定プロセスがある。



◎図13 制度導入前後における発電部門の排出枠の状況

典拠：国务院通達「建设项目主要污染物排放总量指标审核及管理暂行办法」（环发〔2014〕197号）に基づき、金が作成
http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201501/t20150106_293856.htm

いままでは、新規事業排出枠の調達・取得に関する統一的なルールはなく、地方政府がそれぞれ運営方針を決め、裁量権の範囲内で制度を運用してきた。従前制度において、事業者は、排出権許可制度（図12の①を参照）を通じて新規事業排出枠を取得したが、削減量の調達義務は課されていないため、行政の裁量判断の余地は大きかった。また、新規事業排出枠が確保できなくても着工が許されたため、排出権許可制度の新規事業の抑制効果には限界があった。

透明化、適正化に向けた具体策

従前制度の弊害を克服すべく、新しい制度は、まず、新規事業排出枠の取得手続を排出権許可手続から分離し、事業許認可の前置手続である環境影響評価プロセスに移行させた。今後、排出枠が確保できない新規事業の着工行為は禁止される（前掲5.7を参照）。

つぎに、本制度は、事業者には削減相当量の調達を義務付けると同時に、以下のような調達ルールを確立した。

第一に、新規事業の将来排出量に関する算出ルールを明確にし、新規事業排出枠額の算定プロセスの透明化を図った。

第二に、業種間の削減量調達ルールを確立し、特定業種の「優遇」を制限した。本規則は、他業種が発電部門からの排出枠を調達することは認めるが、発電部門が他業種から排出枠を受け入れることを禁止した（図13）。これは、特定業種に新規事業排出枠を優遇する地方政府の恣意性を抑制することにつながる。

第三に、地域間の削減量調達ルールを定めることによって、地方政府の削減責任を明確にした。本規則は、地域間の削減量の調達を認めている。しかし、大気汚染対策が急がれる47の重点規制地域に関しては、他地域削減量の受入は認めず、提供のみを認めている。これは、比較的経済が発展している重点規制地域が財政力を元に、その削減責任を経済後進地域に転嫁することを防ぐためである。

対策後進地域への制裁措置

以上のほか、環境対策が遅れた地域に対し、調達要件を厳格に運用する措置が紹介に値する。例えば、前年度の総量削減目標を達成できなかった地域、あるいは前年度における年平均大気質が国の定めた濃度基準に達していない地域では、新規事業排出枠取得の要件として、他の地域の2倍相当の削減量の調達が義務付けられる。このような運用は、対策後進地域の政府および事業者に対する制裁措置としての側面がある。

日本企業へのインパクト

本規則の公布が、中国にすでに進出して企業、あるいはこれからの進出を検討している企業に少なからず影響を与えることは間違いない。もっとも容易に考えられる影響は、環境対策関連のコスト増による経営圧迫である。日本企業は、いままで以上に中国環境政策、とりわけ大気汚染政策の動向に関する情報収集に留意する必要がある。例えば、事業予定地が、石炭消費絶対量削減制度（前掲5.2）や「上大圧小」政策（前掲5.3.3）の規制対象地域であるかどうか、また、地域における排出枠の状況や調達制限の有無など、検討ポイントは少なくない。中国における今後の環境規制は、「漸進的に強化されることがあっても緩和されることはない」という認識をしっかりと持ち、「的を得た」戦略を練る必要がある。中国政府は、国レベルの排出枠取引システムを構築することを宣言しているが、今後、中国に進出している、もしくは進出を検討している日本企業は、汚染物質排出権取引制度のあり方についても注目する必要がある。

5.9 石炭消費総量削減対策

中国の石炭火力発電小売価格は、規制強化や環境・健康被害などに起因する外部コストを十分反映していないため、実際より低く見積もられている。環境規制の強化に伴う電力価格の上昇がささやかれる中、如何に成長につながるような対中国戦略を練るか、は日本企業が直面する共通課題である。

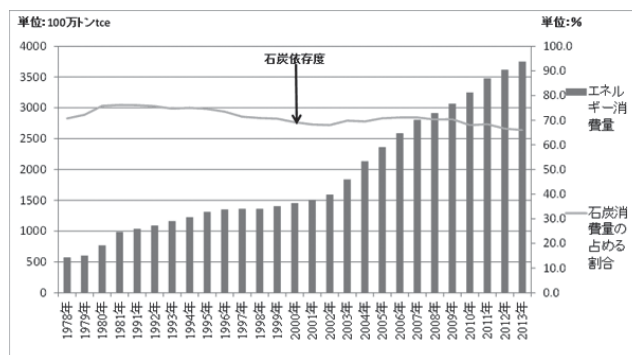
中国における石炭消費量削減対策は、大気汚染対策の根幹政策であると同時に、省エネ政策や気候変動政策、産業振興政策の中心でもある。中央政府は規制と補助金、いわば「鉛と鞭」を両手に、積極的に石炭消費量削減政策を推進している。その波及効果として、中国では低公害、省エネに軸を置いた産業イノベーションが急速に進んでおり、関連マーケットの成長も著しい。本節以降は、石炭消費量削減対策について体系的に解析することによって、変わりつつある「等身大」の中国を日本に伝えたい。

中国の石炭依存度

1978年から2013年まで、中国のエネルギー需要はおおよそ7倍に拡大した（図14）。中国のエネルギー構成を見た場合、全体エネルギー消費量の6割～7割は石炭が占めており、その依存度は35年間の間、ほとんど変わっていない（図14）。

「石炭は安い」という神話の崩壊

中国経済は石炭に大きく依存している。石炭は最も安価なエネルギー源であることがその理由としてよく挙げら



◎図14 中国石炭消費量および石炭依存度の暦年変化

典拠：典拠：中華人民共和国国家統計局編『中国統計年鑑2014年』9-2「能源消費総量及構成」をもとに金が作成。
<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2014/indexch.htm>

れる。2012年における中国全体石炭消費量は35.3億トンであり、そのうち、発電部門の消費量だけで全体の50.7%を占める（典拠：図14同様）。

石炭価格を570元/トンと仮定し、火力発電省エネ基準400g/Wに基づいて計算した場合、火力発電の燃料コストは0.22元/kWhである。燃料タイプ別の平均発電卸値価格についてまとめた表23に照らした場合、火力発電の燃料コストは、平均卸値0.45元/kWhの半分を占める計算になる。

◎表23 燃料タイプ別電力卸値

燃料タイプ	卸値(政府決定価格) 単位：人民元/kWh
火力発電	0.45
水力発電	0.34
原子力発電	0.43
風力発電	0.61

出典：Dunnan Liu, et al. (2014) Research Electricity Production Costs and External Compensation Mechanism, Journal of Power and Energy Engineering, 2, 94-102
file:///Users/jinz/Downloads/JPEE_2014041611251043.pdf

しかし、最近の研究では、燃料コストに加え、汚染物質削減対策費用など規制コストを計算にいった場合、1kWあたりの石炭火力発電コストは、卸値の倍以上に膨れ上がると指摘する。例えば、2014年、Dunnan Liu氏らの研究は、1000MW級、600MW級、300MW級火力発電設備の規制コストを、それぞれ、0.29元/kWh、0.38/kWh、0.58/kWhと試算した。ここに燃料コストを上乗せた場合、発電コストはそれぞれ0.51/kWh、0.60/kWh、0.80/kWhとなり（表24）、いずれも卸値を超える。

同じく2014年、清華大学のTeng Fei氏は、石炭が自然環境および市民の健康に与える悪影響（以下、環境・健康被害コスト）について経済分析を行い、石炭の生産、輸送、消費プロセスにおける環境・健康被害コストを260.2元/

トンと見積もった。この結果を踏まえた場合、1 kW 当たりの環境・健康被害コストは0.9元/kWになる。

このような試算結果を踏まえ、燃料コスト、規制コスト、環境・健康被害コストを考慮した場合、石炭火力発電の全体コストは、最大で卸値の2.2倍に相当するという結論に至る（表24）。中国の石炭火力発電小売価格は、規制コストや環境・健康被害コストなどの外部コストが十分反映されていないため、実際より低く見積もられていることが分かる。

◎表24 燃料タイプ別電力卸値

単位：人民元/kwh

全体コスト				卸値	
燃料コスト	規制コスト (汚染物質削減費用、水消費量等)	健康、環境被害に起因するコスト			
0.22	1000MW級石灰火力	0.29	0.09	0.6	> 0.45
	600MW級石灰火力	0.38		0.69	
	300MW石灰火力	0.58		0.89	

出典：騰飛「煤炭的真是成本（草稿－非正式版）」Natural Resources Defense (NRDC)、2014年z/Downloads/JPEE_2014041611251043.pdf

企業への影響

中国にすでに進出している、あるいはこれからの進出を考えている日本企業にとって、様々な経営リスクについて中長期の評価、予測を行う必要がある。種々のリスク評価指標のうち、電力価格の中長期予測はとりわけ重要である。中国の電気料金の小売価格は、地方政府の政策意向に大きく依存しており、また、地域ごとの電源構成や産業構造が異なるため、中長期予測のハードルは高い。既存の電気料金には、すでに環境規制負担金（SO₂やNO_xの除去費用を電気料金に反映させる制度）やFIT上乗せ金（太陽光発電等固定価格買取制度）、ピーク時電気加算料金などの外部コストが反映されている。中国政府による環境規制が強化されつつある現状に鑑みた場合、環境コスト増による電力価格の上昇は避けられないかもしれない。

電力価格における環境コストの増加は、様々な環境技術のニーズを呼び起こすだけでなく、関連投資やマーケットの活性化を促す波及効果もある。事実、中国政府は、莫大な補助金のもと、環境規制と産業振興政策を両立させる国づくりを進めている。日本企業は、中国の環境規制の流れを読みつつ、時代にあった対中ビジネス戦略にシフトする必要がある。

参考文献等

キーワード：重点区域大気汚染十二次五カ年計画 大気質環境基準 GB3095-2012 大気汚染防止法

- [1] 省長・副省長、市長・副市長、区長・副区長、県長・副県長、郷長・副長が含まれる（中国地方人民代表大会および地方人民政府に関する組織法54条）。
- [2] 省級政府レベルや市、県レベルの地方政府における発展開発委員会や環境部署の政策担当者がこれに当たる。

中国科学最前線 —研究の現場から—
2015年版

2015年3月

編 集 国立研究開発法人 科学技術振興機構
中国総合研究交流センター
〒102-8666
東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ
Tel. 03-5214-7556 Fax. 03-5214-8445
URL: <http://www.spc.jst.go.jp>

I S B N 9 7 8 - 4 - 8 8 8 9 0 - 4 3 6 - 0
2015 Printed in Japan

中国科学最前線
—研究の現場から—
2015年版

国立研究開発法人 科学技術振興機構 中国総合研究交流センター

ISBN 978-4-88890-436-0