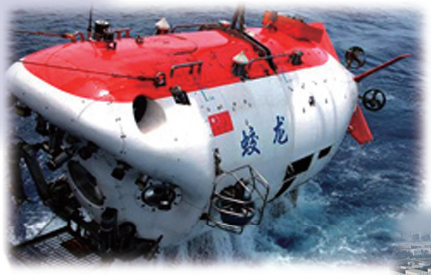
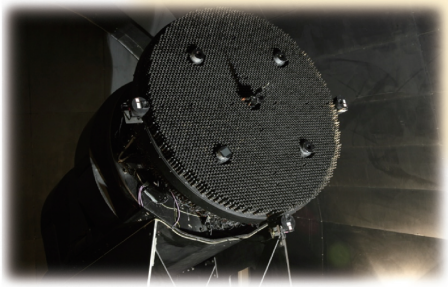
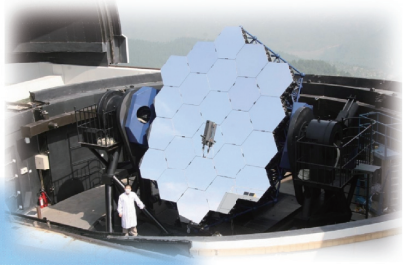
中国・日本科学最前線

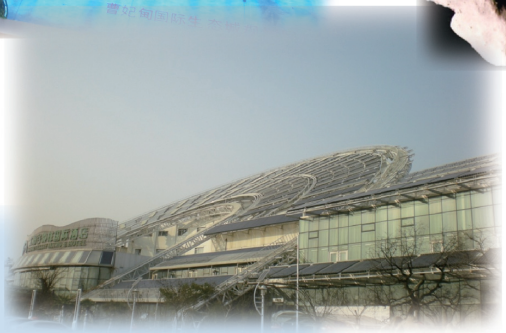
―研究の現場から―

2013年版









独立行政法人 科学技術振興機構（JST）
中国総合研究センター

中国・日本科学最前線

ー研究の現場からー

2013年版

独立行政法人 科学技術振興機構（JST）
中国総合研究センター

目　次

感染症予防研究

●中国における寄生虫病防除状況及び今後の防除研究の重点 3
周 暁農（中国疾病予防コントロールセンター寄生虫病予防コントロール所 所長）

●中国におけるヒトエンテロウイルス71型の研究 7
李 琦涵（中国医学科学院医学生物学研究所 所長）

●中国におけるチクングニア熱の流行状況 11
劉 起勇（中国疾病予防コントロールセンター・感染症予防コントロール所 研究員）

●中国におけるアルファウイルスの分離及び鑑定 17
梁 国棟（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 副所長）

●中国の第12次5ヵ年計画期間における住血吸虫症の科学研究の重点及び方向性 23
汪 天平（安徽省住血吸虫症防除研究所 所長）

【特集関連トピック】 27
世界初のE型肝炎ワクチン、中国が独自開発
漢方薬の新型インフルエンザ発熱緩和効果を証明
狂犬病ウイルス予防の新抗体、中国人研究者が開発
中国企業が新たなHIV診断試剤を開発、唾液による診断を実現
中国がエキノコックス症診断の試薬キットを開発
中国、手足口病検査試薬の開発に成功、2～3時間で主要ウイルスの検出が可能

疾病予防と治療研究

●中国における高カリウム･低ナトリウム食事療法による高血圧及び心臓･脳血管疾患の予防 33
王 青（スイス・ローザンヌ大学CHUV病院　医学研究事業責任者、華中科技大学教授）

●中国のヨウ素125粒子の腫瘍への挿入治療の現状及び問題 37
王 成鋒（中国国家がんセンター、中国医学科学院腫瘍医院主任医師・教授）

●慢性心不全の診断及び治療：2012年の現状及び進歩 41
黄 峻（南京医科大学第一付属医院教授、主任医師）

●糖尿病患者の脂質調整治療と心血管の保護 45
胡 大一（北京大学人民医院心臓センター主任、心血管疾患研究所所長、教授）

●中国の大気汚染と肺がんの関係に関する疫学研究の歴史 49
闞 海東（復旦大学公衆衛生学院公衆衛生安全教育部重点実験室教授）
共著者：陳仁傑、張金良″

【特集関連トピック】 53
中日友好医院、肺がん治療の新技術を発表
広東省と香港、幹細胞技術の臨床応用で提携
肝臓がん診断の新試薬、中国が開発
モンゴル族の伝統薬、冠動脈疾患の治療に有効
中国伝統医学の応用、コンピューターで四診合参を実現

森林の科学

●森林地上部バイオマスのリモートセンシング予測に関する研究の状況 59
曽 源（中国科学院リモートセンシング応用研究所　副研究員）
共著者：婁 雪婷、呉 炳方″

●大興安嶺森林地帯の害虫ツガカレハ対策 63
胡 遠満（中国科学院　瀋陽応用生態研究所 森林生態林業生態工程センター　副主任）
共著者：陳 宏偉″

●中国におけるユーカリの育種研究の進展と戦略 65
謝　耀堅（国家林業局ユーカリ研究開発センター 党委書記、副主任、研究員）

【特集関連トピック】 67
中国の森林の生態系サービス価値は年間10兆元に　中国総合研究センター

鉄　道

●都市鉄道輸送の安全基準 71
丁 烈雲（中国東北大学学長）

●中国高速鉄道の技術革新 73
沈 志雲（西南交通大学牽引動力国家重点実験室教授）

●都市鉄道輸送の車両 77
王 曰凡（上海申通地下鉄グループ技術センター顧問・総工程師）

●無線センサネットワーク技術と地下鉄トンネルへの応用 79
謝 雄耀（同済大学地下建築工程系副主任）

●都市鉄道輸送の制動エネルギー回収技術 81
楊 儉（上海工程技術大学教授）

中国の医薬品

●中国伝統医薬（中薬）、植物性医薬品の国際的な研究開発 85
趙 利斌（天津天士力集団公司研究院 助理総監）

●モノアミン再取り込み阻害薬の抗抑うつ薬作用 87
張 有志（北京毒物薬物研究所 副研究員）

●天然薬の研究開発過程における薬理学上の問題 91
殷 明（上海交通大学薬学院教授）

●脳を標的とする経鼻投与薬 93
楊 俊（新郷医学院薬学院院長、特別招聘教授、主任薬剤師）

●コンピュータ支援医薬品設計による新薬研究開発 95
劉 艾林（中国医学科学院、北京協和医学院薬物研究所研究員）

●サルビアノリン酸Aの研究 97
杜 冠華（中国医学科学院、北京協和医学院薬物研究院副院長、研究員）

研究開発施設　現地調査レポート

●現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設　核融合研究施設「EAST」 101
寺岡 伸章（日本原子力研究開発機構技術主席）

●現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設　有人潜水調査船「蛟竜」 105
植田 秀史（科学技術振興機構 研究開発戦略センター副センター長）

●現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設　スパコン「天河1A」「星雲」 109
豊内 順一（科学技術振興機構 研究開発戦略センターフェロー）

●現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設　太陽光・太陽熱利用 113
秦 舟（科学技術振興機構 中国総合研究センターフェロー）

●現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設　光学天文台「LAMOST」 119
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）

●現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設　中国エコシティの現状について 123
和田 智明（東京理科大学 特命教授）

●現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設　ゲノム科学 127
佐藤 真輔（文部科学省研究振興局ライフサイエンス研究振興分析官）

中国の宇宙開発事情 現地調査レポート

●中国の宇宙開発事情　宇宙輸送 133
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　有人宇宙飛行 137
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　月探査 141
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）

その他

●中国特色的インターネットの発展 147
遊川 和郎（亜細亜大学アジア研究所教授）

●産業経済論から中国のエネルギー問題の深層を照らす －2000年代に進んだ中国エネルギー問題の構造変化－ 151
堀井 伸浩（九州大学大学院経済学研究院 准教授）

●大卒インフレの悪循環 155
遊川 和郎（亜細亜大学アジア研究所 教授）

●緊迫した交渉が続く生物多様性条約 －「愛知ターゲット」と「名古屋議定書」の進展を中心に－ 157
渡邊 幹彦（山梨大学生命環境学部教授）

●時代に合った社会管理を模索する中国 163
遊川 和郎（亜細亜大学アジア研究所教授）

感染症予防研究

中国における寄生虫病防除状況及び今後の防除研究の重点

• Profile •

周　暁農 Zhou Xiaonong ●中国疾病予防コントロールセンター寄生虫病予防コントロール所所長

中国疾病予防コントロールセンター寄生虫病予防コントロール所所長、研究員。1962年3月生まれ。1994年、デンマーク・コペンハーゲン大学卒、生物学専攻、博士号取得。寄生虫病の疫学、ミヤイリガイの生物学の研究に従事。近年は主に媒介伝播寄生虫病に対する気候変動の影響、住血吸虫症防除戦略等の研究に従事。論文150本以上を発表、うち2005年以降、国内外の学術誌に論文60本以上を発表。書籍6冊を出版（うち1冊は英文）。筆頭著者または責任著者としてSCI収録論文を30本以上発表。専門書5冊を主編。衛生部疾病コントロール専門化委員会副主任委員、衛生部住血吸虫症及び寄生虫病防除専門委員会主任委員、中国貝類学会副理事長、上海市寄生虫学会理事長、中華予防医学会寄生虫分科会副主任委員等を担当。WHOの顧みられない熱帯病（NTDs）諮問委員会委員。

中国は寄生虫病の流行が深刻な発展途上国の一つである。60年余りにわたる懸命の防除により、中国の寄生虫病防除業務はめざましい成果を挙げた。しかし、国土が広く、社会経済の発展が不均一である等の要因により、寄生虫病の流行レベル及び防除状況における地域的格差は大きい。2004年の中国のヒトにおける重要寄生虫病の現状に関する調査結果によれば、ヒトの蠕虫感染率は全国の21.38％であり、うち土壌線虫の感染率が20.07％～56.22％にも達する省（自治区、直轄市）が依然として11省も存在し、一部の省（自治区）では食品由来の寄生虫病が上昇傾向を呈した。中国における土壌線虫の感染者数は約1.29億人で、肝吸虫の感染者数は約1249万人、無鉤条虫の感染者数は約55万人，エキノコックス症の患者は約38万人と推算される。このほか、新疆ウイグル自治区、甘粛省及び四川省の一部地域ではリーシュマニア症の流行が深刻であり、一部の地域では豚由来の有鉤嚢虫症、肺吸虫症、旋毛虫症、トキソプラズマ症等のヒトにおける血清学的陽性率も比較的高い。寄生虫感染率の変化傾向を分析すると、中国におけるヒトへの寄生虫感染及び防除レベルは韓国に比べ40年、日本に比べ60年遅れており、これは現時点で世界第二位の経済体である中国の経済的地位から見てアンバランスである。このため、中国は寄生虫病の防除を一層強化し、人間性を重んじた科学的な防除戦略を講じ、農村や経済の立ち遅れた寄生虫病の流行地域における人民の健康レベルを引き続き向上させ、中国の基本公衆衛生における均質化実現のために奉仕する必要がある。

１．中国国内における防除状況

21世紀以降、中国の寄生虫病防除業務は共産党及び政府の重視により、非常に大きな成果を挙げている。中国で公布された寄生虫病防除計画には、「中国マラリア根絶アクションプラン（2010-2020年）」、「全国住血吸虫症予防・コントロール中長期計画綱要（2004-2015年）」、「2006-2015年全国重点寄生虫病防除計画」、「エキノコックス症防除アクションプラン（2010-2015年）」等がある。このうち、「中国マラリア根絶アクションプラン（2010-2020年）」では「2015年までに雲南省の辺境地域以外でマラリアを根絶させ、2020年までに全国でマラリアを根絶させる」ことが目標とされた。住血吸虫症防除業務については2015年までに全国で感染制御の目標を達成することが目標とされた。蠕虫については、全国の感染率を2004年に比べて2010年末には40％以上、2015年末には60％以上減少させ、かつ、土壌線虫症、エキノコックス症、肝吸虫症、無鉤条虫症、有鉤嚢虫症等の重点寄生虫病の局地的流行に対して確実かつ効果的な措置を講じ、重点地域におけるリーシュマニア症の新規発症例の発生を減らすことが目標とされた。

近年、全国各地で目標達成に向けさまざまなリソースを充分に活用し、科学的な防除戦略を懸命に講じ、かつ、地域に合わせた効果的な防除措施を講じていることから、さまざまな寄生虫病のヒトにおける感染率は著しく減少しており、寄生虫病防除業務は全国的に良好なプロセスにあると言える。世界エイズ・結核・マラリア対策基金による力強い支援のもと、全国的なマラリア防除業務はコントロールから根絶の段階に向かいつつあり、さまざまな措置が有効裡に実施されて約3年経った時点でのマラリア発症率の平均減少率は約46.09％で、多くの地域で史上最低の水準に達した。また、住血吸虫症も、感染源のコントロールを主とする総合的な防除戦略を実施した結果、感染は全国で史上最低の水準に達した。「2010年中国住血吸虫症感染状況通達」（未公表）の統計によれば、2010年における全国の住血吸虫症感染者総数は32万人まで減少し、急性感染者数は初めて50例を下回り、広東省、広西チワン族自治区、福建省、浙江省、上海市等の省（市、自治区）で感染制御の基準に達した。

中国は重点的な寄生虫病防除目標を掲げると同時に、医薬品による寄生虫駆除知識や寄生虫病防除知識、健康

習慣の普及率、衛生的なトイレの普及率、エキノコックス症流行地域における犬の寄生虫駆除実施率、ならびに郷（鎮）・村における医療関係者の専門知識・技能合格率等の面で具体的な防除業務指標を提示した。そしてこのために、中国では2006－2009年、10県以上にまたがる寄生虫病総合防除モデル地域においてモデル事業が実施された。事業の結果によれば、健康教育によってリードする形で防除措置を多数回実施したところ、農村地域の寄生虫感染率を短期間で効果的に減少させることができ、モデル地域におけるヒトの土壌線虫感染率は平均で78.39%、肝吸虫感染率は平均で83.13%減少した。エキノコックス症防除業務は、中央政府による経費移転支給事業という支援のもと、2006年に四川省内のモデル地域10ヶ所を起点に、2011年までに重点流行省（自治区）７省及び新疆生産建設兵団の重点流行県170ヶ所を網羅したことから、全国における流行範囲と程度を基本的に把握でき、かつ、感染源のコントロールを主に、健康教育と中間宿主のコントロール、患者に対する検査・治療とを結びつけた総合的な防除措置を実施することが決定された。

２．直面する課題

世界経済の一体化等の社会的要素や、環境・気候変動等の自然的要素の影響、地域間の人口移動の増加により、寄生虫病の伝播に有利に働く条件が生じているうえ、現在の防除技術には未だブレイクスルー的な進展がないことから、中国の寄生虫病防除業務は以下のような新たな課題に直面している。第一に、食品由来の寄生虫病が上昇傾向を維持し、農村から都市へと感染地域が拡大している点である。一部の地域ではヒトの肝吸虫感染率が60%以上にまで達し、豚肉の生食による旋毛虫症の死亡例が毎年発生している。第二に、昆虫媒介寄生虫症が現在なお繰り返し発生している点である。一部の地域ではアウトブレイクも発生し、特に貧困地域で発生しやすくなっている。具体的には、2008年の新疆ウイグル自治区南部におけるリーシュマニア症のアウトブレイクがあり、この時の発症例は主に幼児に集中したため、非常に深刻な疾病負担をもたらした。第三に、希少な新興寄生虫病が現在なお散発的に発生する点であり、これは社会の安全性に重大な影響をもたらす。この種の疾患は主に昆虫媒介寄生虫症及び食品由来の寄生虫病である。具体的には、2006年の北京市における広東住血線虫症のアウトブレイクが人々を震撼させた。第四に、重点寄生虫病防除業務においては十分な技術や情報の支援が不足していることから、科学研究事業において多くの課題に直面している点である。具体的には、マラリアの根絶戦略と技術的措置にはなお不備が存在し、輸入症例やG6PD欠損症例の検査技術等が急務となっている。第五に、寄生虫病の薬剤耐性リスクが現在なお存在するため、薬剤使用における安全性及び薬剤耐性検査技術の研究等を重視し、強化する必要がある点である。例えば、マラリアのモニタリングにおいては、操作が簡便な薬剤耐性検査技術が今なお待たれている。第六に、寄生虫病の防除システム等の能力構築の強化が待たれている点である。一部の疾患では効果的な診断・治療、モニタリング、早期警報手段が欠如している。例えば、西部で流行しているエキノコックス症には、治療効果が高く、副作用の少ない治療薬が存在しない。また、重点寄生虫病防除業務においてはさまざまなリソースを統合する必要がある。政府の主動の下で社会の各方面におけるリソースを動員し、その地の経済建設と融合した、地域に合わせた効果的な寄生虫病の予防・コントロール業務を推進し、最終的には寄生虫病根絶という目標を達成しなければならない。

３．防除及び科学研究の重点

寄生虫病の根絶という目標の実現には科学技術によるリードが必要であるため、科学研究の強化、特に防除業務と科学研究との間の連携・応用を強化することは、中国の寄生虫病防除業務のスピードアップに対する科学技術的バックアップとなる。現在の寄生虫病防除研究における手薄な部分に基づき、現場の防除業務や実用化研究、防除の鍵となる新技術の研究や開発、モニタリング及び早期警報業務等に基礎研究の成果を転化することを今後の寄生虫病防除研究の重点とする必要がある。

防除業務においては、段階別に指導し、現地に合った効果的な防除措置を講じなければならない。例えば、流行率の低い地域では根絶を目標に寄生虫病のモニタリングを強化し、流行率の高い地域では寄生虫病の効果的なコントロールと流行水準の低下を目標に、感染源のコントロールを主とした総合的な防除措置を強化する必要がある。寄生虫病の防除に関する措置は、中国における現行の医療改革業務と結びつけ、「基本の確保、現場の強化、枠組みの構築」という総合的な発展路線を確実に実現することで対策の推進と措置の実施を確保する必要がある。また、地域の公衆衛生に対する影響が大きい重点寄生虫病については、現地の経済発展関連事業と結びつけ、健康教育と健康増進を強化し、事業のリソースを基盤に、防除モデル地区業務をリード役として、地域全体の寄生病防除業務を点から面へと推進する必要がある。

科学研究の面においては、第一に、中国における寄生虫病の防除研究の水準を絶えず向上させ、寄生虫病防除の鍵となる技術の研究を強化することであり、特に革新的研究を強化し、現場での応用研究と防除用製品に対し、一層高いプラットフォームを提供することである。第二に、寄生虫病領域における応用に向けた医学からの転換であり、新たな診療・治療手段の転換と臨床における応用を促進し、従来技術と先進技術の融合を強化することで、応用性のある製品・手段の研究開発を強化すること

である。第三に、科学研究能力の構築を更に推進し、「決定力のある」専門家集団の構築を強化し、先進技術の現場への応用を推進し、世界の寄生虫病防除と根絶において、中国の研究成果が果たす役割と貢献を高めることである。

４．終わりに

発展途上国において寄生虫病というこの昔ながらの疾病を根絶することは、現地の経済発展、教育の普及、貧困の根絶に効果的であり、結果的に現地の社会経済と文化の建設の歩みを推進する。われわれは重要視されて来なかった疾病のみならず、見過ごされてきた集団にも注目し、これら集団の健康問題に効果的で総合的な解決方法を提供し、中国の医療改革業務における基本公衆衛生の均質化という任務の実現を推進しなければならない。また、中国は寄生虫病防除研究においてリーダー的な役割を発揮し、世界の寄生虫病根絶に新たな貢献をする必要がある。

中国におけるヒトエンテロウイルス71型の研究

• Profile •

李　琦涵 Li Qihan ●中国医学科学院医学生物学研究所所長

中国医学科学院医学生物学研究所所長、北京協和医学院教授、博士課程指導教員、雲南省重大感染症ワクチン研究開発重点実験室主任。1957年3月生まれ。中国協和医科大学、微生物学博士。1992～1995年、米国マサチューセッツ工科大学生物学科で博士後研究員。1998年、国家「百千万人材工程」の第一・第二段階に入選。2000年、中国協和医科大学、博士課程指導教員に招聘。主な研究分野はウイルス免疫学、ウイルスと宿主の相互作用、ウイルス性ワクチンの研究及び開発。これまでに国家「863」計画、国家自然科学基金、国家重大科学技術特別事業、国家重点基礎研究発展計画（973計画）、国家新薬研究基金等の事業、国家人事部・衛生部・教育部の事業、中米CIPRA事業サブテーマ等、20以上の事業を主宰。国内外の学術誌に論文150本以上を発表。専門書・訳書8冊を監修、専門書5冊の編集に関与。

郭　素傑 Guo Sujie

中国医学科学院北京協和医学院博士研究生。2006年、内モンゴル内蒙古医学院卒業、修士号取得（免疫学）。2009年～現在、中国医学科学院及び北京協和医学院免疫学、博士研究生。主に、ヒトエンテロウイルス71型の神経系への感染に関する研究に従事。

ヒトエンテロウイルス71型(Human enterovirus 71, HEV71)は手足口病によく見られる病原体である。1969年に米国カリフォルニアで中枢神経症状を呈した乳児の糞便から初めて分離された。HEV71は一般的に症状は軽いが、重症化すると深刻な神経系感染や呼吸・循環機能障害を引き起こし、手足口病に罹患した子供の主な死因となっている。このため、ポリオウイルスが撲滅された現在、このウイルスは最も重要な向神経性エンテロウイルスと認識されている。近年、HEV71感染を主とする手足口病の大規模流行が東アジア、東南アジアで数回発生している。中国大陸では、手足口病は1981年に上海で初めて見られ、その後大多数の省で報告された。この多くは散発例で死亡例はなかった。その後は、1998年にHEV71が広東省で報告されたのを皮切りに、続く5-10年間は中国の南部の省でのみ流行した。2004年以降、HEV71の流行は加速し、中部・北部地域へ拡大した。2008年の流行が特に注目されたのは、HEV71が手足口病の大規模流行の主な病原体であり、5-11月に合計128人が死に至り、深刻な公衆衛生問題となったためである。2008年5月、中国衛生部はこのウイルスを丙類感染症に分類して管理することを決定した。

1.HEV71のゲノム及びゲノムコード産物の概括

HEV71は小型RNAウイルス科エンテロウイルス属に分類され、ウイルス粒子は正二十面体の対称な立体球形構造を呈し、直径は20-30nmでエンベロープを持たない。ゲノムは一本鎖プラス鎖RNAで約7,404-7,406個のヌクレオチドを含む。HEV71のゲノムはヌクレオチド6,579個のオープンリーディングフレームを1個含むのみで、両側は5′/3′非翻訳領域(Untranslated region, UTR)で、3′末端にヌクレオチド82個のポリアデニル酸（poly A）尾部を1個持つ。宿主細胞の中で、ウイルスゲノムのRNAは、最初に2,193アミノ酸のポリプロテイン1個を翻訳し、その後翻訳されたウイルスのプロテアーゼが3個の前駆体タンパク質P1、P2、P3に切断され、さらに11種類の構造タンパク質または非構造タンパク質に加水分解される。このうち、P1前駆体タンパク質はウイルスの構造タンパク質VP1、VP2、VP3、VP4に最終的に分解され、4種類の構造タンパク質がバンニングされてウイルス外殻が形成される。P2前駆体タンパク質は最終的に2A、2B、2Cに、P3前駆体タンパク質は最終的に3A、VPg（3B）、3C、3Dに分解されるが、いずれもウイルスの非構造タンパク質である。

HEV71の5′UTRには741-743個のヌクレオチドがある。この領域には6個のステムループ構造があると推測される。ステムループIはウイルスRNAの合成に重要であり、ステムループII-VIにはウイルスmRNAの翻訳を導くうえで重要な内部リボソーム導入部位（Internal ribosome entry sites, IRES）があり、これらステムループ構造の維持はウイルスの安定に重要である。2A、3Cタンパク質（$2A^{pro}$、$3C^{pro}$）は小型RNAウイルスを翻訳するプロテアーゼであり、ウイルスのポリプロテインの切断と加工に重要であり、宿主のさまざまな機構も抑制する。HEV71の$2A^{pro}$はプロテアーゼ活性のみならず、プロテアーゼ活性とは別に転写活性を持つ。$3C^{pro}$はRNA結合活性とプロテアーゼ活性の両方を同時に持ち、ウイルスのポリプロテインを酵素分解・加工できる上に3Dとの相互作用において5′UTRを助け、ウイルスのRNA複製に作用する。小型RNAウイルスの2B及びその前駆体2BCは、主にウイルスの初期エンドソームの複製及びウイルス粒子の形成に作用する。最近の研究によれば、EV71 2Bタンパク質にはイオンチャネルとしての特性があり、ウイルスの生活環に重要な役割を果たす。HEV71 3Dには、RNAに依存するRNAポリメラーゼ（$3D^{pol}$）活性があり、ウイルスの複製においてRNAの延伸を実現する。小型RNAウイルスの3A及びその前駆体タンパク質3ABは、主にウイルスのRNA複製に作用する。VPgはウイルスのプラス鎖RNAの5′末端と結合することから、プラス鎖及びマイナス鎖RNAの合成によるプライマーである。3′UTRはマイナス鎖RNAの合成の

起点からpolyAと関係する。

ウイルスのVP1遺伝子配列に基づき、HEV71はA、B（B1-5）、C（C1-5）の3つの遺伝子型と10個の亜型に分けられる。1998年～2010年の中国大陸のHEV71流行は2つの段階に分けられる。すなわち、1998年～2004年の深セン及び上海の分離株はクレードC4bに分類され、発症率及び死亡率のいずれも低く、クレードC4bの消失とほとんど同時にクレードC4aが出現し、2003年から流行し始めた。2003年～2004年は、クレードC4bからC4aへの転換ステージである。HEV71は変異し続けるウイルスである。研究の結果、1997年以降のアジア太平洋地域におけるアウトブレイクの大部分のウイルス株、すなわち遺伝子型B3、C2、B4、C4には、型を越えた、及び/または同じ型の中での遺伝子再構成が生じている。再構成時に切断される遺伝子座はランダムに生じるものではなく、国・地域の分離株により異なる。また、遺伝子領域には再構成ユニットとして再構成し得るものもある。再構成は、新たな遺伝子座を獲得して高い多様性を持つ最も速い方法であり、ウイルスの特性（感染特性及び病原性）を変化し得る。再構成以外では、台湾の研究者が1998年から2003年の流行株を研究して配列のドリフト現象（他のウイルスから1組のヌクレオチド配列を獲得すること）及び陽性選択現象を見出した。陽性選択とは、新型ウイルス発生のもう一つの重要な機構である。HEV71の5′UTR、ウイルス表面のたんぱく質のいずれもヒトが免疫を選択する上での目標となり得ることから、すでにVP1の陽性選択遺伝子座がいくつか発見されている。このほか、$3D^{pol}$の誘導による複製忠実性の低さもヒトにおけるHEV71流行の多様性の原因となっている。ゲノムの遺伝学的変異によりウイルスの抗原性が変化することは、HEV71がヒトの免疫力から逃れ、新たな流行を引き起こすのに有利と考えられる。

2.HEV71の感染機構の研究

HEV71が細胞に進入するプロセスには、ウイルスの細胞表面への付着、レセプターとの結合、エンドサイトーシス経路を通じた取り込み等の段階がある。ウイルス感染の早期段階では、さまざまなタイプの細胞のHEV71レセプターがウイルスの細胞進入プロセスに関わる。2009年にはP-セレクチン糖タンパク質リガンド-1（P-selectin glycoprotein ligand-1，PSGL-1）が、HEV71が白血球に感染する際のレセプターであることが報告された。これは、人体の各組織に広く発現するスカベンジャーレセプターB2（Scavenger receptor B2, SCARB2）がHEV71の全身感染を引き起こすレセプターである可能性を示唆する。また、シアル酸(2,6)連結ガラクトース（Sialic acid (2-6)-linked galactose，SA-α2,6 Gal）はHEV71の胃、腸管、呼吸器官への感染レセプターであることも示している。HEV71の感染初期に、クラスリンに導かれるエンドサイトーシスはHEV71のエンドサイトーシスの主な経路である。エンドサイトーシスの過程においては、エンドソームの低いpH値がHEV71の進入に重要であり、エンドサイトーシス小胞の酸性化作用によりウイルスのカプシド転移が引き起こされ、かつ、ウイルスのRNA放出を触発して細胞質に進入し、HEV71RNAの複製が始まる。最近の研究により、ヒトの細胞表面のAnnexin II蛋白はカプシドVP1を介してHEV71ウイルス粒子と結合し、EV71感染を促進し得ることが見出されている。

ポリオウイルスが細胞に感染する際は粗面小胞体、ゴルジ体、リソソーム膜の再構成による小胞形成を誘導することができ、これがウイルスRNAの合成場所となる。HEV71も類似の機構を利用してゲノムRNAの複製を行うことが推測される。研究によれば、HEV71は細胞感染後にオートファジーを誘導し、細胞質に大量の自食胞及び自食胞様小胞を集め得ることから、自食胞様小胞もHEV71の複製領域と考えられる。また、EV71 2CのN末端もRNAとの膜結合活性が存在し、小胞体膜上のRTNを構成するReticulon3と相互に作用し、かつ、ウイルスRNAと結合して複製複合物を形成するため、HEV71の早期複製と翻訳において必須である。台湾の研究者は、HEV71 5′UTRと相互作用を持ち得るタンパク質11個を鑑定した。その結果、このうちN-ras上流タンパク質(N-ras upstream protein, Unr)、Poly(rC)結合タンパク質(PCBP) 1、2及びポリピリミジントラクト結合タンパク質(Polypyrimidine tract-binding protein，PTB-) 1、2は、小型RNAウイルスの5′UTRと相互に作用してウイルスの複製を調整し得る。ヘテロ核リボヌクレオタンパク質（Heterogeneous nuclear ribonucleoprotein，hnRNP）Kは、HEV71 5′UTRのステムループI-II、IVとの相互作用によりウイルスの複製に関与する。

ウイルスのプロテアーゼはウイルスタンパク質の加工に非常に重要である。ウイルスもこれらプロテアーゼを利用して主な宿主のタンパク質を切断し、宿主の機構を抑制することで、宿主細胞の中で効果的な複製及び翻訳を行うことができる。感染初期の段階では、ウイルスのプロテアーゼ$2A^{pro}$は真核細胞の翻訳開始因子eIF4GIを、$3C^{pro}$は翻訳開始因子eIF4GIIを切断できる。$3C^{pro}$はその前駆体──核局在化シグナルを含む3CD′または3CDを通じて細胞核に進入し、細胞DNAの複製と関係する酵素及びタンパク質を大量に切断することで核因子CstF-64を切断し、宿主のmRNA前駆体の3′末端の加工及びポリアデニル化を阻害する。これら作用を通じて、最終的には宿主細胞の遺伝子発現を抑制し、翻訳機構を遮断することは、ウイルスRNAによる、IRES誘導によるキャップ非依存性翻訳に役立つ。hnRNP A1及びFUSE結合タンパク質（Far upstream element binding protein，FBP）1、2はいずれもIRESトランス作用因子であり、hnRNP A1はHEV71 IRES依存性翻訳の開始と調整に関わる。FBP2は5′UTR

ステム-ループ構造のI-II領域、II-III領域、V-VI領域及び結合領域に作用し、HEV71 IRESのマイナス調節タンパク質と考えられる。FBP1はHEV71 5′UTRの結合領域にしか作用しない。

HEV71は、さまざまな細胞のシグナル変換経路を標的にできることから、宿主細胞における生存と増殖に役立つ。感染の早期段階においては、HEV71はシグナル経路PI3K/Akt及びMAPK/ERKsをリン酸化し、下流のGSK3βを下方制御して宿主細胞のアポトーシスを回避させ得ることから、ウイルスの生存と複製に役立つ。MEK1-ERKシグナル経路はHEV71複製サイクルにおいても重要な役割を果たす。血管平滑筋細胞において、HEV71はp38MAPK、JNK、PDGFR/PI3K/Akt経路を通じてNF-κBの活性化を開始し、血管細胞附着分子-1の発現を誘導できることから、HEV71由来の血管炎で重要な役割を果たす。HEV71感染はE3ユビキチンリガーゼTRIM（Tripartite motif）38の分解を誘導し得ることから、感染に役立つ可能性がある。

microRNAは、mRNAの分解またはmRNAによる翻訳の抑制により、ウイルス感染において重要な制御作用を果たす。HEV71に感染したHep2細胞においては、さまざまなmicroRNAが代謝、生体内作用、細胞間連絡、神経学的プロセス、免疫反応、細胞死/アポトーシス等を上方制御または下方制御している。

3.HEV71の神経系及び免疫細胞への感染に関する研究

HEV71は気道、消化管及び密接な接触を通じて体のほとんどの組織器官に感染し得る。HEV71の感染による手足口病患者では、5歳未満の患者が無菌性髄膜炎、脳幹脳炎、小脳炎、急性弛緩性麻痺等の深刻な神経系合併症を引き起こしやすい。また、致死率の高い急性肺水腫、急性呼吸窮迫症候群も、現時点では神経原性と考えられている。HEV71ゲノムの突然変異、再構成等の遺伝的変異によりHEV71の潜在的病原性が変化したことが、このウイルスの重症感染例が近年増加した原因だろう。分子疫学的解析の結果、重症感染との関係が考えられる遺伝子座がHEV71ゲノムからすでに多数見出されているが、裏付けにはさらなる実験及び臨床データが必要である。

HEV71は直接感染または他の機構を通じて、神経系の炎症及び神経細胞の変性、壊死を引き起こす可能性がある。ウイルスは組織細胞を直接侵し、かつ大量の複製により細胞破壊をもたらす。重症患者では細胞の免疫機能のかく乱及びサイトカインの過度な発生を引き起こし、サイトカインの異常産物が中枢神経系の損傷における炎症反応の主な原因と考えられる。マウスの感染モデルでは、HEV71はマウスの脊髄、特に脊髄前角に感染し、その後逆行性軸索輸送により運搬され大脳に感染し、脳炎及び脳膜炎を引き起こす。Cdk5（サイクリン依存性キナーゼ5）はセリン/スレオニンキナーゼの一種であり、正常なニューロンの機能及び神経系の発育を調節できる上に、各種神経毒性による損傷において神経のアポトーシスを調節する重要な細胞のエフェクター分子である。HEV71はAblキナーゼの活性化によりCdk5をリン酸化かつ活性化し、神経細胞のアポトーシスを引き起こす。このようなアポトーシスの機構は神経細胞特異的である可能性があるため、HEV71感染の早期段階──ウイルスが宿主細胞の表面に付着したばかりの時点で始動する。神経芽細胞腫細胞株SK-N-SHの中では、リン酸化した非典型セリン/スレオニンキナーゼmTOR及びその標的タンパク質のp70S6キナーゼがHEV71によって誘導されるオートファジーと関係する。RTN族のメンバーRTN1CもHEV71感染ニューロンと関係するだろう。

脳炎、脳膜炎等の急性中枢神経症の発症機構においては、シクロオキシゲナーゼ2及びその代謝産物のプロスタグランジンE2が神経毒性の主な媒介である。ラット大脳のアストロサイト中では、HEV71はc-Src、PDGFRを媒介してPI3K/Akt、MAPKシグナル経路を活性化し、炎性媒質を生じることで神経系に損傷をもたらす。一方、神経芽細胞腫細胞株SK-N-SH中では、HEV71はMEK1/2-p42/p44 MAPKカスケード反応によりNF-κBを誘導し、JNK依存バイパスにAP-1を誘導し、c-Src/EGFR/p42/p44 MAPK経路を介してCREB及びp300の活性化を誘導し、かつ、p38 MAPK下流の未知のルートを通じてシクロオキシゲナーゼ2遺伝子の発現を誘導し得る。HEV71はさらに、インテグリン（integrin）β1、上皮成長因子受容体（EGFR）、Rac1、NADPHオキシダーゼを介して酸化ストレスを誘導し、ウイルス性脳炎を含むさまざまな疾病の病理プロセスに関与する。

HEV71は、免疫細胞、リンパ節、脾臓等の免疫器官に感染し得る。上述の白血球、樹状突起細胞以外にJurkat T細胞でもHEV71はFasLを増殖させT細胞のアポトーシスを発現かつ促進し得る。HEV71は単球細胞株THP-1に感染し得るが、亜中和濃度の抗-HEV71抗体の存在下では、Fcγレセプターは抗体依存性増強作用を導いて単球細胞に対するHEV71の感染性を拡大し得る。レチノイン酸誘導遺伝子-I（Retinoid acid-inducible gene I, RIG-I）は、RNAウイルスに対し免疫識別を行う際に重要な細胞内モデル識別レセプターであり、I型インターフェロンの反応を励起してウイルス免疫を誘導し得る。HEV71の感染の際、$3C^{pro}$は機能性RIG-I複合物の立体配座を破壊し、かつ、IRF9を切断してI型インターフェロン媒介による自然由来の抗ウイルス免疫反応を抑制するため、ウイルスの複製に役立つ。$3C^{pro}$はさらに、アダプタータンパク質TRIF（TIR domain-containing adaptor inducing beta interferon）を介してTLR3の媒介する抗ウイルス免疫反応を抑制し得る。

4.HEV71の予防 治療に関する研究

HEV71の流行に対しては、効果的な予防及び治療措置が迫られており、治療に使える医薬品がすでに何種類か

開発されている。①ライノウイルス3C^{pro}抑制剤Rupintrivir（AG7088）はHEV71に対しても一定の抑制効果を持つが、最近の構造研究によれば、RupintrivirのC末端とEV71 3Cproは互いに適応しないことから、Rupintrivirにさらに修飾を施せば、HEV71治療に臨床使用できるかもしれない。②中国科学院の研究者はキク科ヒレギク属植物ラゲラプテロドンタ（Laggera pterodonta）の葉から抽出した2種類のO-メチル化フラボノイド、クリソプレネチン（chrysosplenetin）及びペンデュレチン（penduletin）がEV71に強い抑制作用を有し、作用機構がウイルスのRNA複製抑制と関係することを発見した。③中国医学科学院の研究者はヒガンバナ科のアルカロイド、リコリン（Lycorine）がHEV71ゲノムの翻訳段階におけるウイルスのポリプロテイン延長を抑制し、ウイルス感染による細胞変性効果（CPE）を軽減し、感染マウスの死亡率を下げることを見出した。④台湾の研究者は漢方生薬、七葉一枝花（シチヨウイッシカ）（Paris polyphylla Smith）にHEV71に対する抗ウイルス複製効果があることを見出した。IC50はリバビリン(Ribavirin)の12.5-23%であった。

効果的な抗HEV71薬剤はまだ存在しないため、効果的なワクチンの開発が制御措置における最初の選択である。1975年、ブルガリアでHEV71が流行していた間にHEV71の全ウイルスを用いた不活化ワクチンが製造された。このワクチンは1-4歳の子供に良好な耐性及び免疫原性を付与した。しかし、この地域ではその後大規模流行が発生していない上に、ワクチン抗原に対する標準実験を定量化していないため、臨床効果に対するさらなる評価はまだ行われていない。近年、ウイルスタンパク質VP1を主な免疫原とする再構成ワクチンやウイルス様粒子ワクチン等も多くの研究機関により研究されているが、いずれも抗原性は不活化ワクチンに及ばない。2010年末、中国食品薬品検定研究院が構築したHEV71ワクチンの抗原含有量及び中和抗体標準を基礎に、中国食品薬品監督管理局(SFDA)は、当該機関を含む3団体によるHEV71ワクチンの臨床研究入りを承認し、現在はいずれも第2期臨床研究段階に入っているが、HEV71は亜型が多く、この20年で急速に変異している。一方、不活化ワクチンは往々にして同じ型のウイルス感染にしか効果を発揮せず、異なる型のウイルスに対する効果は劣る。異なる亜型のHEV71間にも交差抗原基は存在することから、交差保護は可能ではあるが、ウイルスの変異に対する研究を強化し、抗原性及び遺伝学的変異を明らかにし、感染の進展や株の変異に伴い、ワクチン株を更新する必要がある。

中国におけるチクングニア熱の流行状況

• Profile •

劉　起勇 Liu Qiyong ●中国疾病予防コントロールセンター・感染症予防コントロール所研究員

中国疾病予防コントロールセンター・感染症予防コントロール所研究員、博士課程指導教員。1963年4月生まれ。2005年、グリフィス大学MPH取得。2001.5−2002.3、WHO西太平洋事務局Director of Programme Management。2007.5−2008.4、WHO西太平洋事務局感染症対策課医務職員。現在は感染症予防・コントロール国家重点実験室媒介生物・バルトネラ症PI、オーストラリア・グリフィス大学・環境とヒトの健康センター客員教授、山東大学気候変動・健康研究センター主任、国家重大科学研究計画事業首席科学者。論文約200本を発表。主編著作6冊。主な研究分野は、媒介生物及び関連疾病のモニタリング・予防・制御戦略及び技術、ヒトの健康に対する気候変動の影響及び適応メカニズム（特に虫媒感染症）、バルトネラ症感染のリスク評価及び対応。2009年に中華予防医学科学技術2等賞、省レベルの成果賞2件及び個人栄誉称号多数。現在は、中華予防医学科媒介生物学及びコントロール分科会主任委員、雑誌「中国媒介生物学及びコントロール」編集長、媒介生物の持続可能なコントロールに関する国際フォーラム事務局長、国のストックホルム条約履行に関する協力グループ専門家委員会委員、中国昆虫学会常務理事兼医学・昆虫委員会副主任委員等を担当。国際機関の職歴は、国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書（AR5）「ヒトの健康」筆頭著者（Leading Author）、アジア太平洋環境・健康フォーラムの気候変動、オゾン層の消耗、生態システムの変化における作業グループ構成員、イノベーティブ・ベクター・コントロール・コンソーシアム（IVCC）理事。

共著者　張　彦

チクングニア熱（chikungunya fever，CHIK）は、ヤブカに刺されることを主な感染経路とするウイルス性疾患であり、主な臨床症状は発熱、関節痛、斑点状丘疹、出血で、アフリカ及び東南アジアに多くみられる。

中国のチクングニア熱感染は、これまで散発的な輸入症例を主としていたが、2010年10月に広東省東莞市で中国初のチクングニア熱のコミュニティにおける集団感染が発生し、我々に警鐘を鳴らした。CHIKVのウイルス学的特性と中国における流行の歴史を理解することは、CHIKのモニタリング及び予防・治療の強化、そして中国におけるさらなる蔓延・流行の防止に資する。

1　病因学的特徴

CHIKの病原体であるチクングニアウイルス（Chikungunya virus，CHIKV）は、プラス鎖RNAウイルスでトガウイルス科アルファウイルス属に分類され、pH 7〜8の弱アルカリ性環境下で安定的に生存し、酸性環境下で急速に不活化する。熱・乾燥への抵抗性を持たず、＞58℃の環境下で不活化する。1%次亜塩素酸ナトリウム、70%エタノール等の常用消毒剤及び紫外線照射によりウイルスを不活化でき、培養基で37℃の恒温を維持したとしても24hしか生存せず、宿主体外での生存状況は未だ明らかでない。

CHIKはマヤロ(Mayaro)、ゲタ(Gatah)、オニョンニョン(O'nyong-nyong)、セムリキ森林ウイルス(Semlik forest disease)とアルファウイルス属の同じ抗原複合体遺伝子群に属し、これらウイルス間には血清学的試験において交差反応が存在する。アルファウイルス属は主に蚊等の吸血昆虫を媒介として世界的に分布しており、いくつかの群に分類できる。このうち、ベネズエラウマ脳炎（Venezuelan equine encephalitis，VEE）/東部ウマ脳炎（eastern equine encephalitis，EEE）群はウマ脳炎（equine encephalitis）を頻繁に引き起こす一方、セムリキ森林ウイルス（Semliki forest，SF）またはシンドビスウイルス（Sindbis virus，SIN）群は顕著な関節症状及び発疹を頻繁に引き起こす。この属のウイルスは節足動物の体内に長期にわたり存在し得るが細胞死は引き起こさず、ウイルスは低い水準で複製され、慢性的なウイルス保有状態を作り出す。脊椎動物の体内では細胞溶解を引き起こし、感染初期に体内で大量に複製され、往々にしてウイルス保有量が高くなり急性感染を引き起こす。しかし、経過は短く、脊椎動物の体内で当該ウイルスに対する特異的免疫が漸増するとウイルスは一掃される。

2　疫学的特徴

2.1　流行の概況　1953年にタンザニア（Tanzania）の患者1例の血中から研究者の手によりCHIKVが分離されたのを皮切りに、アフリカ、インド、東南アジア、ヨーロッパ南部でCHIKV流行の痕跡が次々に見出された。CHIKVの流行は主に冬季の気温が＞18℃以上の地域に分布する。1960年代以降、CHIKVの流行地域は東に拡大を続け東南アジアまで至り、かつ、深刻さを増し続けた。具体的には、1962－1964年のタイでの流行、1963－1965年及び1973年のインドでの発生・流行がある。このうち、1965年のインド・チェンナイでのCHIKV流行は、発症率0.15に達した。

研究データ及び感染情報に基づけば、CHIKはまさに中国南部の一部地域に迫りつつある。1987年、雲南省シーサンパンナ地区で中国初のCHIK症例が見出され、患者の血液からCHIKVが分離された。1986－2001年には、雲南省及び海南省のコウモリ、蚊の体内からCHIKVが次々に分離され、1983－2007年には発熱患者、健康なヒト及び

動物（コウモリ等）の血清からCHIK抗体が相次いで検出された。2008年以降、広東省及び浙江省では散発的なCHIK輸入症例が見出され始めた。2010年10月には広東省東莞市で初のCHIK集団感染が発生した。中国のCHIK及びCHIKVの流行の歴史については、表1を参照されたい。

表1 中国におけるCHIK及びそのウイルスの流行状況
Table 1 Epidemic Status of CHIK/CHIKV in China

場所	流行時期（年/月）	参考文献	概　況
雲南省河口県	1981	耿際泉ら	同地に長く居住する農民1人の血清からCHIKV中和抗体を検出。
河北省	1983	陳伯権、劉琴芝	赤血球凝集抑制試験によりヒト及びブタの血清からCHIKV抗体をそれぞれ1株ずつ検出。
雲南省シーサンパンナ地区	1986-1988	張海林ら	ヒトスジシマカ及びコガタイエカの体内からCHIKV3株、デマレルーセットオオコウモリの脳組織からCHIKV2株を分離。
雲南省臨滄市	1986-1990	周淑新、劉莉	CHIK抗体陽性率が43.78%に。
雲南省シーサンパンナ地区	1986-1990	周淑新、劉莉	CHIK抗体陽性率が10.60%に。
雲南省シーサンパンナ地区	1987	Powersら	中国で初めて急性期発熱患者の血清からCHIKV1株を検出。
西安市	1987-1989	楊海	「ウイルス性脳炎」及び疑似症例197例の血清中のCHIK陽性率は1.02%。
雲南省シーサンパンナ地区	1990-2007	黄文麗ら	発熱患者の血清中のCHIKV ELISA IgG抗体陽性率は3.33%(4/120)。
海南省	1991	陳文州ら	健康なヒト、動物（ブタ及びヤギ）の血清からCHIKV赤血球凝集抑制抗体、サルの血清からCHIKV中和抗体4株を検出。現地のヒト及び動物におけるCHIKV感染の存在を示唆。
海南省儋県	1992	董必軍ら	海南省儋県のコウモリ及びネッタイイエカの体内からそれぞれウイルス1株を分離。血清学的鑑定の結果、CHIKVと判定。
雲南省景洪州	1993、2001	張海林ら	1993年、研究の結果、CHIKVは主にネッタイシマカ及びヒトスジシマカにより伝播、かつ、経卵伝播され得ることが判明した。また、2001年に雲南省景洪州の野生ヒトスジシマカの体内からCHIKVが分離されたことは、中国におけるCHIKの自然感染地域の存在を証明する。
広東省広州市	2008/03	林苗ら	スリランカからの中国籍労働者2人にCHIKの診断。中国国内初の輸入症例確定診断。
広東省広州市	2008/10	林苗ら	墓参のため帰郷したマレーシア国籍の2人にCHIKの確定診断。
広東省広州市	2008/12	林苗ら	帰省客1人にCHIKの確定診断。
広東省茂名市	2008/10	何展ら	マレーシアから墓参のため帰郷した華僑2人に同市初のCHIK輸入症例。
浙江省杭州市	2008/12	黄仁傑ら	マレーシアからの観光客1人にCHIK確定診断。
広東省東莞市	2010/10		東莞市万江新村社区で初のCHIK集団感染。

2.2 流行の特徴

2.2.1 時間的分布 CHIKの発生及び流行には顕著な季節的特徴があり、夏秋季に多発し、流行期は感染を媒介するヤブカの成長・繁殖期と一致する。アフリカ及びアジアの双方とも、CHIKの流行期は主に温暖湿潤な雨季である。この季節の気候と自然条件はヤブカの繁殖に有利なだけでなく、ヤブカ体内におけるCHIKVの成長・増殖にも有利である。しかし、一部の熱帯地域ではヤブカが通年生息することから、CHIKも季節を問わず流行する。例としては、近年のレユニオン島におけるCHIKの流行がある。

CHIKの発生または流行の出現・消失は周期的変化を呈し、一般的な発生頻度は7～8年で、20年に達することもある。例えば、CHIKはかつてインドネシアでは長期間見られなかったが、1999年に突然発生した。

2.2.2 地域的分布 自然界に感染源のある疾患として、CHIKの分布は感染を媒介するヤブカの分布と密接に関係し、アフリカ及び東南アジアの熱帯及び亜熱帯地域に主に集中する。アフリカでは、CHIKは地方的な流行を見せ、主にサハラ砂漠以南の地域に分布した。1952年以降、タンザニア、ザイール、ジンバブエ、ナイジェリア、セネ

ガル、南アフリカ共和国、アンゴラ、ウガンダ等でCHIK症例が報告された。アジアでは、CHIKは東南アジア、インド及び西太平洋地域で流行した。1958年には、まずタイでCHIKが発生し、その後、インド、マレーシア、インドネシア、スリランカ、ベトナム、ミャンマー、ラオス、カンボジア等の国でもCHIKが相次いで発生・流行した。1950年代末から60年代初めには早くも、CHIKは東南アジアで地方的な流行地域を形成しており、今なお流行は終息していない。

中国では、CHIKは広東、雲南、海南省等の南部地域で主に流行する。1987年、雲南省シーサンパンナ地区で、急性期発熱患者1人の血清からCHIKVが分離された。その後、2008年以降、広東省広州市及び浙江省杭州市で散発的なCHIK輸入症例が相次いで報告された。2010年10月現在、中国では東莞市でCHIKの集団感染が1例発生したのみである。このほか、これまでの調査結果によれば、雲南省の辺境地帯及び海南省等の局地でCHIKVの伝播または流行が発生している可能性がある。

2.2.3　ヒトにおける分布　関連の調査によれば、CHIKは各年齢層で発生する可能性があり、性別、職業や種族間にも明確な差はない。しかし、新規感染地域と歴史的感染地域の分布には差異がある。新規感染地域または輸入型CHIK流行地域においては、各年齢層の症例分布に明らかな差はないが、アフリカ及び東南アジアの歴史的感染地域またはCHIKの地域的流行地域においては、患者は主に子供である。

2.3　流行の三大基本要素

2.3.1　感染源及び保有宿主　CHIKの地域的流行地区においては、CHIKVはミドリザル、マントヒヒ、チンパンジー、牛、馬、ブタ、ウサギ等のさまざまな動物の体内に存在する可能性があり、患者及び感染した動物宿主のいずれもがCHIKの感染源となり得る。

2.3.1.1　患者及び不顕性感染者　都市型感染地域の中では、CHIKVの主な感染源は患者及び不顕性感染者であり、CHIKVは人-蚊-人の経路で主に伝播する。

CHIK患者は、発症後2~5d以内で、強い感染性を持つ力価の高いウイルス性血症を発症し得る。患者が蚊に刺されると蚊を感染させ、感染した蚊からさらに他のヒトに伝播する。アフリカ及びアジアでは、かつて患者の血液から大量のCHIKVが分離されたことがある。地域性CHIKの流行期においては、不顕性感染者も感染地域の重要な感染源である。非典型症例及び亜臨床感染者の臨床症状は顕著でなく、感染がわかりづらいため、効果的かつ適時の治療及び隔離が難しい。さらに、不顕性感染症例は典型症例より多いため、典型的なCHIK患者に比べ、重要な疫学的意義がある。

2.3.1.2　動物宿主　ジャングル型感染地域においては、CHIKの主な感染源はCHIKVに感染したサル、オランウータン、マントヒヒ等の野生霊長類であり、感染経路は動物-蚊-動物である。

アフリカミドリザル、マントヒヒ、アカオザル、チンパンジー、テナガザル、アカゲザル等の霊長類動物の体内からCHIKVが分離されており、また、健康な霊長類動物もCHIKVに実験感染するとウイルス性血症を発症し、血清中のCHIKV力価は蚊を感染させるに充分となる。血清学的抗体検査の結果も、霊長類動物にはCHIKVの自然感染が存在することを示している。ヒトは、ジャングル型感染地域にたまたま入ったときに初めて、動物-蚊-人の感染経路に組み込まれ、かつCHIKVに感染するおそれがある。

CHIKVの動物宿主は、さらにコウモリ、家畜、コモンツパイ等がいる。アフリカ及びヨーロッパでは、かつてコウモリの体内からCHIKVが何度も検出された。タイではさまざまな哺乳動物（家畜を含む）の血清からCHIK抗体が検出されている。中国の張海林らはCHlKVの人工接種または感染したメスの蚊に刺される方法でヒヨコを感染させた結果、蚊に刺されたヒヨコの体内でもウイルス性血症を発症し、かつ、血清から赤血球凝集抗体及び中和抗体が検出された。また、健康なメスの蚊は、ウイルス性血症を発症したヒヨコを刺したのちも感染することがわかった。張海林らはさらにCHIKVに感染したコモンツパイを使ったところ、発症2~6d以内にウイルス性血症を発症することが分かった。

2.3.2　感染経路　CHIKの主な感染経路は媒介虫〔ネッタイシマカ（Aedes aegypti）、ヒトスジシマカ（Aedes albopictus）、シマカの一種（Aedes africanus）、ヌマカの一種（Mansonia africanus）等〕に刺されることである。実験室研究によれば、CHIKはエアロゾルでも伝播し得るが、現時点ではヒトからヒトへの感染は報告されていない。メスの蚊が感染したヒトや動物を刺すと、その中腸細胞でCHIKVは増殖し、中腸壁を突き破り、血リンパを介して唾液腺内に至り、8～12dの成長・発育・繁殖を経て再びCHIKVを伝播する。CHIKVは蚊の体内における生存期間が長く、終生、感染性を持ち得る。

2.3.2.1　ネッタイシマカ　この蚊は、CHIK都市型感染地域の主な感染媒介であり、中国では海南島沿海地域や広東省湛江地区、広西チワン族自治区欽州市及び北海地区、ならびに台湾南部等の北緯22°以南の地域に主に分布する。近年、雲南省瑞麗市等の辺境の熱帯地域でもネッタイシマカの分布が見られている。この蚊は屋内種の蚊に分類され、昼間にヒトを刺し、室内または住居周辺の容器に溜まった水等で主に繁殖し、ヒトとの関係が密接である。ネッタイシマカはCHIK伝播能力の最も強い蚊の一種であり、CHIK流行時におけるウイルス保有率は高い。

2.3.2.2　ヒトスジシマカ　この蚊はアジアに起源し、アジア、アメリカ大陸、太平洋の島々の熱帯、亜熱帯地域に広く分布する。中国での分布範囲も広く、多くの省が

生息適地となっている。生息に最も適した地域は北緯30°以南、すなわち海南、台湾、広東、福建、雲南省等であり、北西方向では四川省東南部と陝西、山西、河北、遼寧等の省の南部及び甘粛省、チベット自治区の局地まで分布し得る。ヒトスジシマカは野生種の蚊に分類され、ヒトと家畜の血液を好み、野生及びヒトの生活地域のいずれでも活発に活動する。この蚊の卵は生存能力が強く、乾燥環境下でも生存できる。ヒトスジシマカは、媒介としては第2位と長らく認識されてきたが、実験室及び自然環境下のいずれにおいても、ウイルス媒介能力を示している。

2.3.2.3　コガタイエカ(Culex tritaeniorhynchus)　この蚊は主に熱帯、亜熱帯地域に分布し、ヒトと家畜の血液を好み、屋内優勢種に分類される。

このほか、タンザニアのハマダラカ、ネッタイイエカ（Culex pipiens fatigans）、ウガンダのシマカの一種（Aedes africanus）の体内からもCHIKVが分離されたことがある。

2.3.3　ヒトの感受性　ヒトはCHIKVに拡散環境をもたらす保有宿主であり、ヒトがCHIKVに感染すると、発症初期にウイルス性血症を生じる。CHIKVに感染したことのないヒトはこのウイルスに対して普遍的に感受性を持つが、CHIKVに感染してもすべての人が臨床症状を呈するとは限らず、大部分の感染者は不顕性感染者となる。CHIKV感染後は、発症の有無にかかわらず、一定の免疫能力を獲得できる。

2.4　流行因子　CHIKの流行は、蚊のウイルス保有状況及びウイルス伝播能力のみならず、自然の生態環境やヒトの免疫能力、社会の経済・衛生状況等の多くの要素と関係する。

2.4.1　生物学的因子　ネッタイシマカ及びヒトスジシマカは大部分のCHIK流行地域における主な感染媒介であり、CHIKVに高い感受性を示す。CHIKVの地域分布の特徴はネッタイシマカ、ヒトスジシマカの生息地域の分布と密切な関係があり、流行期もヤブカの活動期と密接に関係する。ヒトの免疫力が低い地域では、ヤブカのブレトー指数（Breteau Index; BI）が高まる（BI≥5）とCHIK流行が発生しやすい。

張海林（1992－1994）らはかつて、CHIKVに感染した中国のネッタイシマカ及びヒトスジシマカを用いて実験室研究を行ったところ、2種類ともCHIKVに高い感受性を示し、感染したメスの蚊が健康なハツカネズミを刺すとウイルスを伝播し、感染したメスの蚊にはさらに、卵を介してCHIKVを伝播する能力があることがわかった。研究の結果、中国ではこれら2種類のヤブカにCHIK流行要因があることがわかった。

感染源（例えばCHIKV保有者またはCHIK患者）がヤブカの分布地域に入ると、ヒト-蚊-ヒトの循環を経て当該感染症が発生・流行する可能性がある。CHINKはデング熱と同様、環境中のレゼルボアを必要としない。ヒトスジシマカによる虫媒性ウイルスの伝播能力はネッタイシマカに及ばないと一般に考えられているが、変異後のウイルスはヒトスジシマカに適応し、伝播を加速する可能性がある。

2.4.2　自然因子　研究の結果、降雨量等の気候因子はCHIKの発症率に非常に重要な影響を及ぼす。熱帯地域では雨季にCHIKの発症率が明らかに増加し、雨季後数ヶ月で発症率が低下する。CHIK発症率の低下は、ヤブカの吸血活動の減少やメスの蚊の寿命短縮・数の減少と関係する可能性がある。乾季においては、CHIKの流行は人口密度の高い地域で生じる可能性が最も高い。それは、このような地域では感受性の高い個体を提供し続けることができるだけでなく、住宅の周囲に蚊の生息・繁殖に適した場所が大量に存在するためである。

2.4.3　社会的因子　生活習慣、生態環境、人口流動及び衛生条件等の社会的因子もCHIKの影響因子である。沿海地域または水不足地域においては、各家庭に貯水容器及び溜め水の習慣があり、ヤブカに有利な繁殖場所を提供していることから、CHIKが発生または流行しやすい。インフラ建設の盛んな都市においては、建設現場の水溜りもヤブカの重要な繁殖場所となり得る。人口流動もCHIKVの伝播・拡大を一定程度加速する。例えば、児童生徒が学校で感染したヤブカに刺された後、CHIKVを家の中に持ち込み、または同じ都市の他の地区に伝播させる可能性がある。観光客や労働者の流動によっても、CHIKVは流行地域から非流行地域に伝播する可能性がある。2005年以降のインド洋の島々、アフリカ及びインドにおけるCHIKの発生及び流行は、人口流動による遠距離伝播と関係する。

3　展望

グローバル化の加速、特に航空業界や海上貿易等の交通業界の繁栄に伴い、CHIKVの伝播を阻止する地理的な障壁はすでに打ち破られ、ヤブカは短期間で長距離移動が可能になった。ヤブカが新しい環境に持ち込まれ、かつ、局地的環境に適応して生存し続けられれば、ヤブカ本来の分布範囲は拡大することになる。さらに、地球温暖化によって、もともとはヤブカの成長・繁殖に適さなかった地域も、気温上昇が原因でヤブカの生存適地となる可能性がある。CHIKVの主な媒介としては、中国ではヒトスジシマカがかつての長江以南から、今では黄河以北まで広がっている。

一方、ヤブカの自然分布地域においては、ヤブカの密度が一定の水準まで上昇し、かつ、気温や降雨量等の自然条件に恵まれた場合に、ひとたびCHIKVが感染源またはウイルスを保有した蚊によって導入されると、CHIKが局地的に発生・流行する可能性が非常に高い。また、中国ではCHIK感染の発生が非常に少なく、CHIKVに対する住民の免疫力が全体的に低いことから、当該疾病が発

生・流行する可能性はさらに高い。さらには観光や対外貿易の急速な発展による輸入症例の増加は、CHIKの発生・流行リスクをさらに高めている。2010年10月にCHIKが広東省東莞市で集団発生したことにより、我々は中国で深刻さを増すCHIK感染のリスクを直視せざるを得なくなった。CHIKの発生・流行は中国の深刻な公衆衛生問題となり、莫大な経済損失をもたらす恐れがあるため、我々は警戒を高め、CHIKの防除に関する海外の経験と教訓を積極的に吸収し、対応能力を高め、防除措置を適切に行う必要がある。

中国におけるアルファウイルスの分離及び鑑定

• Profile •

梁　国棟 Liang Guodong ●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副所長

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副所長、研究員。1951年6月生まれ。1987年、山西医科大学寄生虫学専攻、修士号取得。1992-1995年、米国ペンシルベニア大学医学大学院、米国ニュージャージー州立大学医学部でResearch Associate。1995年～現在、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研究員、博士課程指導教員、副所長、ウイルス性脳炎室主任、WHO日本脳炎レファレンス研究所（JE-RRL, China）主任。1987年以降、長期にわたり中国のウイルス学研究に従事、近年は新たに発見された病原体の解析・モニタリング及びウイルスの分子生物学的研究に従事。SARS、鳥インフルエンザ、ヒト顆粒球アナプラスマ症（HGA）及びインフルエンザ（H1N1）のアウトブレイク等、新興感染症の予防・制御等に従事。1987年以降、中文・英文で300本余りの文章を発表。全国感染症標準委員会副主任委員、衛生部自然疫源性疾病専門家コンサルティング委員会副主任委員、国家バイオテロ対策専門家グループ（バイオテロ・チーム）専門家等を兼任。「中国人獣共通感染症学報」副編集長、「ウイルス学報」等、中国国内の10余りの専門誌の編集委員を担当。

共著者　李　文娟、王　志玉

アルファウイルスとは、トガウイルス科（Togaviridae）アルファウイルス属（Alphavirus）のウイルスで、蚊等の吸血性節足動物に媒介され、人獣共通感染症を引き起こす重要な病原体である。国際ウイルス分類委員会（ICTV）が2009年に発表した報告書第9版によれば、現時点で29種のアルファウイルスが発見されており、うち13種がヒトと動物に疾病をもたらし、少なくとも9種がヒトの間で流行したことがある。中国では、1970年以前はアルファウイルスの分離・流行の報告は存在しなかったが、1980年代以降は虫媒性ウイルス研究の発展に伴い多種のアルファウイルスが次々に分離され、中国のヒトと動物の体内にさまざまな種類の抗体が存在することも見出された。2008年にはアルファウイルスの輸入症例が多数報告された。アルファウイルス研究は、中国の虫媒性ウイルス研究の発展に伴い大きく進歩した分野である。本稿では、ここ30年間の中国におけるアルファウイルス研究の進展を総括する。

1. シンドビスウイルス(Sindbis virus，SINV)

1987年に雲南省の発熱患者の血清標本からYN87448ウイルスが、1990年に新疆ウイグル自治区イリ地区で捕獲されたハマダラカのグループからXJ-160ウイルスが分離され、2005年には雲南省のコガタイエカからMX10ウイルスが分離された。血清学的及び分子生物学的鑑定の結果、YN87448、XJ-160、MX10ウイルスはいずれもSINVであり、系統進化の解析の結果、XJ-160ウイルスは旧北区/エチオピア区遺伝子型で独自の進化分岐を形成していることから、当該遺伝子型の新亜型であることがわかった。YN87448ウイルスはSINV南アフリカ分離株S.A.AR86のすべての非構造遺伝子ヌクレオチドとの相同性が98.8%で、構造遺伝子ヌクレオチドとの相同性は99%であったことから、両者の近縁関係は非常に近いと考えられたが、生物学的特性においては大きな違いがあった。S.A.AR86は成人マウスに神経症状を起こし死に至らしめるが、YN87448は成人マウスを死に至らしめないことから、配列解析により、YN87448は非構造遺伝子のオパール突然変異及びヌクレオチド欠失により毒性が低下した可能性があることがわかった。MX10ウイルスはSINVマレーシア分離株MRE16 E1との遺伝子ヌクレオチドの相同性が90.0%で、YN87448及びXJ-160ウイルスE1との遺伝子ヌクレオチドの相同性がそれぞれ73.1%及び72.0%であったことから、ウイルス学的な遺伝子進化解析により、MX10ウイルスはシンドビスウイルスのオーストラリア区/東洋区型ウイルスに属することが分かった。

XJ-160ウイルスは1990年に分離されて以降、分子生物学的に深く研究された。XJ-160ウイルスの全ゲノム配列の検索及び解析の結果、当該ウイルスのゲノムは他のSINVと異なることから、XJ-160ウイルスはシンドビス様ウイルス（Sindbis-Like virus）であると判定した。また、研究の結果、XJ-160ウイルスの構造蛋白遺伝子は宿主細胞のアポトーシスを引き起こし得ることがわかった。つまり、外から導入されたsiRNAはウイルスのRNAの分解によってXJ-160ウイルスの複製を抑制し、かつ、明らかな配列特異性、位置効果、供与量効果関係がある。われわれは、XJ-160ウイルスの全ゲノムcDNAからの感染性クローンの構築に成功し、さらに感染性クローンを利用して中国独自の知的財産権を持つXJ-160ウイルスレプリコン型発現ベクターを構築した。研究の結果、XJ-160ウイルスのnsP1遺伝子565nt及び577nt（169Lys及び173Thrに対応）の2つの遺伝子座における突然変異が全ゲノムクローンの感染性に直接影響する可能性も考えられ、そのうえXJ-160ウイルスの全構造蛋白を安定的に発現するパッケージング細胞系、BHK-21E+Capsidが構築されたことから、E2タンパク、特に145-150遺伝子座のアミノ酸及びヘパラン硫酸の相互作用により、SINVが細胞に感染するプロセスに決定的な作用がもたらされることが証明された。こ

の研究結果の一部は国際専門誌に掲載され、中国のアルファウイルス研究を世界レベルまで飛躍させた。

血清疫学調査の結果、中国では多くの省・市でSINV抗体陽性ヒト群が存在することがわかった。雲南省の健康なヒト群及び発熱患者のいずれにもSINV抗体が存在し、現地の猟犬及び野鼠からもSINV抗体が検出された。海南省、広東省、福建省にもSINV抗体陽性ヒト群及び動物が存在し、なかでも福建省のウイルス性脳炎及び脳膜炎性レプトスピラ症患者の血清及び脳脊髄液からSINV IgG抗体が検出されたことは、SINVが中国でウイルス性脳炎を引き起こす病原体であるか、または他の病原体との合併感染の存在の可能性を示唆する。

SINVはアルファウイルス属の代表株であり、l952年にエジプト・ナイル川三角州地域のイエカ、Culex univittatusから初めて分離された。SINVはヒトに発熱のみならず、発疹及び関節炎等の症状をもたらすうえ、慢性疾患に進展するおそれがある。当該疾患はアフリカ、北欧、アジア等地域で流行しており、特にフィンランドでは7年に1度アウトブレイクが発生し、現地の公衆衛生に深刻な影響を与えている。

2. チクングニアウイルス(Chikungunya virus, CHIKV)

1986年に雲南省シーサンパンナ地区のコウモリの脳組織からウイルスが1株(B8635)分離され、蚊の標本から3株（M26,M80,M81）が分離された。1993年には海南省で採取されたコウモリ及びネッタイイエカから2株（HN36,HN24）が分離された。血清学的検査の結果、上記ウイルス6株の標準CHIKV抗体の中和力価はそれぞれ320、1000、6761、676、l000及び1585であり、このことからCHIKVであることが示されたが、現時点ではこれらウイルス株に対する分子生物学的鑑定は行われていない。

血清疫学調査の結果、雲南省の健康なヒト群におけるCHIKV抗体陽性率は9.23%で、一部地域では43.78%にも達した。海南省、チベット自治区、吉林省、広東省のヒト群中からもCHIKV抗体が検出された。さまざまな野生動物や家畜からもCHIKV抗体が検出され、なかでも雲南省のデマレルーセットオオコウモリの陽性率が最も高く、49.30%に達し、鳥類がこれに次いだ（36.84%）。このことから、これら動物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 [21,28,31]。以上の研究により、中国のヒト群及び動物にCHIKV感染が存在することがわかる。

現在までのところ、中国ではチクングニア熱の流行は報告されていないが、輸入症例は散発的に発生している。2008年3月には広東省広州市でスリランカからのチクングニア熱輸入症例が2例、2008年10月には広東省茂名市でマレーシアからの輸入症例が2例、2008年11月には広東省広州市でマレーシアからの輸入症例が1例見出された。RT-PCR検査の結果、上記症例5例の血清からCHIKV E2遺伝子配列が検出され、さらに4人の血清標本からはCHIKVの全ゲノム配列が得られ、系統進化の解析により、4人の全ゲノム配列はいずれもCHIKVインド洋遺伝子型の分岐内にあることがわかった。これが、中国で初めての輸入症例標本からのCHIKV分離報告である。

CHIKVは、アルファウイルス属セムリキ森林脳炎ウイルス抗原複合体遺伝子群に分類され、1953年にウガンダの発熱患者の血清標本から初めて分離された。主に発熱、関節痛、発疹、軽度の出血等の症状をヒトにもたらす。アフリカ、東南アジア地域で主に流行し、近年は東アフリカ海岸、インド洋の島々、インド、東南アジア地域でアウトブレイクが多数回発生しており、流行範囲が世界で最も広いアルファウイルスとなっている。

3. ロスリバーウイルス（Ross river virus，RRV）

1993年、海南省三亜市で捕獲されたコウモリの脳組織からウイルスが1株（HBb17）分離された。HBb17ウイルスは実験条件下で蚊の体内で複製され、かつ、蚊に媒介されてラットに感染し、発症させ死に至らしめた。血清学的検査の結果、HBb17ウイルスはRRVとの抗原性が最も近いことがわかった。配列検索及び解析の結果、HBbl7株はロスリバーウイルス(国際標準株T48ウイルス)との3'UTR（un-translated region）ヌクレオチドにおける相同性が約99％、構造遺伝子E1のヌクレオチドの相同性が99％であった。また、系統進化の解析により、HBb17ウイルスはRRVと同一の進化分岐にあることから、HBb17ウイルス分離株はRRVであることがわかった。これが中国初のRRV分離報告である。

血清疫学調査の結果、海南省の健康なヒト群中のRRV抗体陽性率は3.07%で、かつ、瓊中及び三亜地区に集中した。現地の発熱患者中のRRV抗体陽性率は8.70%に達するが、同じく中国南方に位置する広東省のヒト群からはRRV抗体は検出されなかった。一方、海南省では野鼠標本からもRRV抗体が検出された。HBbl7ウイルス分離株は海南省で捕獲されたコウモリ標本に由来し、かつ、海南省では健康なヒト群、発熱患者、野鼠のいずれからもRRV抗体が検出されたことから、当該ウイルスは海南省で自然循環を形成しているうえ、現地ヒト群の発熱の新たな病原因子となっている可能性も考えられるが、その後、ウイルス分離の報告はなされていない。

RRVはアルファウイルス属セムリキ森林脳炎ウイルス抗原複合体遺伝子群に分類され、1963年にオーストラリア東部海岸の平原地区で初めて分離された。ヒトに全身性疾患をもたらし、主な症状は発熱、頭痛、関節痛、発疹、リンパ節肥大であり、主にオーストラリアと西南太平洋地域で流行する。

4. ゲタウイルス（Getah virus，GETV）

1964年に海南省のイエカからウイルスが1株（M1）分離

され、実験条件下でM1はネッタイシマカ及びネッタイイエカ中で増殖し、新生ハツカネズミが感染ネッタイシマカに咬まれると骨格筋が退化・萎縮・壊死し、炎症により筋線維に病変が生じる。分子生物学的鑑定の結果、M1はGETVであることがわかり、その後河北省でGETV2株（HB0234, HB0215）、雲南省でGETV2株(YN0540, YN0542)、上海市でGETV4株（SH05-5, SH05-15, SH05-16, SH05-17）、甘粛省でGETV1株（GS10-2）が分離された。ウイルスの核酸配列解析により、これらウイルス株は中国で分離されたGETVとの進化関係が非常に近く、相対的に独立したグループを形成することがわかった。さらなる解析により、中国のGETVには特有の配列特性があり、進化関係は分離された年代に関係することがわかった。

血清疫学調査の結果、雲南省の健康なヒト群中のGETV抗体陽性率は3.20%で、アカゲザルにもGETV抗体が存在した。海南省の健康なヒト群及び発熱患者のGETV抗体陽性率はそれぞれ10.3%及び26.4%であり、豚、馬、羊等の家畜中のGETV抗体陽性率も非常に高かった(17.6%~37.5%)。一方、海南省の外地からの駐留軍人中のGETV抗体は現地のヒト群より明らかに低いことから、海南省にはGETVの流行が存在することが示唆された。

GETVはアルファウイルス属セムリキ森林脳炎ウイルス抗原複合体遺伝子群に分類される。1955年、GETVはマレーシアのイエカCulex uhitmoreiから初めて分離された。東南アジア地域で広く流行し、マレーシア、インド、パキスタン、日本等の国でGETV感染が報告されている。GETVは馬に発熱、じんましん、後肢浮腫を引き起こし、妊娠中の豚は感染すると流産の恐れがある。ヒトの血清からもGETVの中和抗体が検出されているが、発症例の報告はまだない。

5. マヤロウイルス(Mayaro virus，MAYV)

1985年、雲南省の蚊及び発熱患者からウイルス11株が分離され、うち10株は蚊から、1株は発熱患者の血清標本から分離された。酵素抗体法検査の結果、11株すべてにアルファウイルス属に対する抗体反応があり、特にMAYVへの反応が最も強いことが分かった。また、交差中和試験の結果、MAYVとの交差中和反応が見られなかったことから、これら11株はMAYVの抗原性と相関があることが分かった。1985年、海南省で採集された蚊からウイルスが2株（HN8,HN99）分離され、交差性を調べる微量中和試験の迅速判定法の結果、これら2株はアルファウイルス属とのみ抗体反応を示し、特にMAYVの抗原性と最も関係が密接であることがわかった。1995年、海南省で捕獲された蚊の標本からウイルス1株（HYM1）が分離され、交差赤血球凝集抑制試験及び交差中和試験の結果、HYM1とMAYVの抗原性は密接な関係にあることが分かった。上記ウイルス株は血清学的な基礎鑑定の結果、MAYVと見なされたが、遺伝子配列の検索及び解析に関する文献はいまだ存在せず、2000年以降はウイルス分離の報告もなされていない。

血清疫学調査の結果、海南省の健康なヒト及びさまざまな家畜の血清からMAYV抗体が検出された一方、海南省駐留軍兵士からは検出されなかった。これは、現地のヒト群は長期間居住により感染の機会が多い一方、駐留軍兵士の多くは他省の出身で就役期間が短く、感染の機会が相対的に少ないためと考えられる。このほか、広東省及び貴州省のヒト中にもMAYV抗体が存在した。

MAYVは、アルファウイルス属セムリキ森林脳炎ウイルス抗原複合体遺伝子群に属し、急性感染症を引き起こし、発熱、頭痛、関節痛、発疹を特徴とする。1954年、MAYVはトリニダード・ドバゴのマヤロ県の発熱患者の血液から初めて分離された。ラテンアメリカの熱帯林地域に広く分布し、トリニダード・ドバゴ、ボリビア、ブラジルでアウトブレイクが発生したことがある。

6. 東部ウマ脳炎ウイルス(Eastern equine encephalitis virus，EEEV)

1992年に新疆ウイグル自治区ボルタラ地区で採集されたシュルツェマダニからウイルス1株(XJ-91031)が分離された。XJ-91031ウイルスに対するEEEV抗体の中和指数は1000に達したため、XJ-91031ウイルスはEEEVと基本的に鑑定された。血清学的調査の結果、多くの省・市におけるヒト群からEEEV抗体が検出された。2000年から2002年にかけ、福建省のウイルス性脳炎15症例からEEEVのIgG抗体が検出された。

EEEVは、1933年に米国東部の病死したウマの脳から初めて分離され、主にアメリカ大陸に分布する。EEEVは主に中枢神経系を侵し、高熱、脳炎、神経症状等を呈する]。米国で1964-2008年に報告されたヒトへのEEEV感染は257例で、ウマの感染例は数千に及ぶ。

7. 西部ウマ脳炎ウイルス(Western equine encephalitis virus，WEEV)

1990年に新疆ウイグル自治区烏蘇県で採集されたアカイエカからウイルス1株（XJ-90260）が分離され、1991年に新疆ウイグル自治区北部地区で採集されたシュルツェマダニからウイルス1株（XJ-91006）が分離された。分子生物学的研究の結果、XJ-90260及びXJ-91006ウイルスのNSP4、E1、3’UTRのヌクレオチドの相同性はいずれも100%であり、3’UTRのヌクレオチド配列には典型的なWEEVの特徴があり、標準WEEV（California株)との相同性は99%に達した。血清疫学調査の結果、中国の多くの省・区におけるヒト群からXJ-90260ウイルスの抗体が検出され、総陽性率は2.71%であった。

WEEVは1930年に米国西部の病死したウマの脳組織から初めて分離され、ウイルス感染により動物及びヒトに発熱及び中枢神経系疾患をもたらす。米国CDCの統計に

よれば、1964年～2005年に合計639例のヒトへのWEEV感染が報告されており、病死率は3-7%であった。主に米国、メキシコに分布し、カナダ、ブラジル等アメリカ大陸の大部分の地域で蔓延している。

8. 未分類のアルファウイルス

これら鑑定済みのウイルス以外にも、中国ではさらにいくつかのアルファウイルスの分離が報告されているが、系統的な鑑定はまだなされていない（表1参照）。1983-1988年に海南省で採集された蚊及びダニからウイルス28株が分離され、1990-1991年には新疆ウイグル自治区で採集された蚊及びダニからウイルス17株が分離された。1994年には山東省煙台市で捕獲された蚊からウイルス15株が分離され、1998年には海南省の原因不明の発熱患者の血液からウイルス2株（HF-7和HC-6）が分離された。これらウイルスは理化学的・生物学的鑑定の結果、アルファウイルスの特徴と一致し、血清学的検査の結果、アルファウイルスであることが示された。

9. 終わりに

1. 中国におけるアルファウイルス由来疾病の実証の強化：中国では現在までにさまざまなアルファウイルスが分離されており、これにはヒトに発熱及び関節炎等の症状を引き起こすシンドビスウイルスやチクングニアウイルス、ロスリバーウイルス等、ならびにヒトまたは動物に脳炎を引き起こす西部ウマ脳炎ウイルス、東部ウマ脳炎ウイルス、ゲタウイルス等がある。しかし、中国で分離されたアルファウイルスはいずれもウイルス分離の報告にとどまり（一部の文献で血清に対するわずかな疫学研究の情報があるのみ）、ウイルス由来疾病に関する報告は存在しない。これらウイルスの分離は、夏秋季に中国各地で流行する原因不明の発熱やウイルス性脳炎の解析に病原学的な糸口を提供するとは言え、アルファウイルス由来疾病が中国に存在するとはまだ断定できない。このため、中国におけるアルファウイルス由来疾病の実証作業を強化する必要がある。なかでも最も重要な対象はアルファウイルス感染による臨床症例であり、関連症例のさまざまな標本を採集して研究することである。例えば、症例の組織標本を採集して病原学的エビデンスを得るためには、急性期及び回復期の双方の血清を採集してウイルス中和試験を行い、双方の血清中のウイルス特異的抗体に4倍または4倍以上の差異があることを見出す必要がある。

疾病の実証は系統的なプロセスであり、さまざま機関や当局の密接な協力が必要である。臨床医師はアルファウイルス由来疾病の症状を認識している必要があり、早期に患者の症状を鑑別して初めて、適時に標本を採集して実験室検査を行い、アルファウイルスと疾病との関係を確認することができる。アルファウイルス患者の早期診断は、研究機関による特異的・実用的なアルファウイルス検査法及び検査試剤の確立に依存する。迅速かつ簡便な診断法は、アルファウイルス感染の実験室診断率を高めるだけでなく、十分な臨床的・疫学的データの蓄積にもつながり、アルファウイルス感染の臨床的特徴、疾病の予後、流行状況の解析に基礎データを提供する。さらに、疾病負担を評価すれば、中国におけるアルファウイルス疾病の予防と制御に科学的根拠を提供できる。

2. 中国におけるアルファウイルスのモニタリングの強化：アルファウイルスは主に蚊が媒介するため「蚊媒介性ウイルス」と呼ばれる。ここ30年間、中国ではイエカ、クロヤブカ、ハマダラカ、ヤブカ標本からさまざまなアルファウイルスが分離されており、なかでもコガタイエカからの分離が最も多い。このほかコウモリ及びダニの標本、さらには病人の標本からもアルファウイルスが分離されている。このことは、中国では広範囲にアルファウイルスが存在する可能性を示唆する。しかし、中国で分離されたアルファウイルスのうち、シンドビスウイルス及びゲタウイルス以外のウイルスは分離報告がわずか1回しかないため、フォローアップ研究が困難になっている。このため、中国ではアルファウイルスのモニタリングを強化し、さまざまな媒介生物中のアルファウイルス分離及び鑑定作業、特に1回しか分離報告のないアルファウイルスについて再分離を実施し、アルファウイルス・リソースをより充実させる必要がある。また、アルファウイルス感染媒介を研究して中国におけるアルファウイルスの自然循環の法則を把握し、アルファウイルス由来疾病の予防と制御に基本的情報を提供する必要がある。

3. 中国で新たに分離されたアルファウイルスに対する分子生物学的鑑定・研究の強化：中国で新たに分離されたアルファウイルスの中には、ELISAまたはIFA等の血清学的方法による鑑定結果にのみ依存するものがまだ一部に存在する。しかし、アルファウイルスの間には深刻な血清学的交差反応が存在するため、ウイルス種の鑑定には交差中和試験または遺伝子配列の解析等を行う必要がある。特に、中国で分離されたアルファウイルスの全ゲノム配列の検索及び解析を行い、ウイルスのゲノム配列をもとに、中国分離株と海外分離株の分子的進化を解析する必要がある。こうすれば、分子レベルから分類学的な位置づけができるだけでなく、中国分離株と海外分離株の分子的差異と進化法則も確認できる。

表1　中国の最近30年間で新たに分離されたアルファウイルス

ウイルス名	株	分離源	分離場所	分離年	初歩鑑定 細胞CPE（日） C6/36	BHK-21	電子顕微鏡	血清学	分子生物学 遺伝子	GenBank番号
シンドビスウイルス	YN87448	病人	雲南	1987	2	2	NA*	SINV	全配列	AF103734
	XJ-160	ハマダラカ	新疆	1991	2	3	58.7±2.2nm	SINV	全配列	AF103728
	MX10	イエカ	雲南	2005	2	1	NA	SINV	NA	NA
チクングニアウイルス	B8635	デマレルーセットオオコウモリ	雲南	1986	1.5-2	1.5-2	44.7-66.8nm	CHIKV	NA	NA
	M26	コガタイエカ	雲南	1986	NA	NA	NA	CHIKV	NA	NA
	M80	ヒトスジシマカ	雲南	1986	NA	NA	NA	CHIKV	NA	NA
	M21	ヒトスジシマカ	雲南	1986	NA	NA	NA	CHIKV	NA	NA
	HN24	ネッタイイエカ	海南	1993	3		50-65nm	CHIKV	NA	NA
	HN36	コウモリ	海南	1993	3		50-65nm	CHIKV	NA	NA
ロスリバーウイルス	HBb17	コウモリ	海南	1993	1.5	1.5	NA	RRV	ポリプロテイン遺伝子	AF268026
ゲタウイルス	M1	ハマダラカ	海南	1964	2	1	NA	GETV	全配列	EF011023
	HB0234	コガタイエカ	河北	2002	2	1	NA	アルファウイルス属	全配列	EU015062
	HB0215-3	コガタイエカ	河北	2002	2	1	NA	アルファウイルス属	E2遺伝子 3'UTR C遺伝子	EU015065 EF375821 EF375824
	YN0540	オオクロヤブカ	雲南	2005	2	1	NA	NA	全配列	EU015063
	YN0542	オオクロヤブカ	雲南	2005	2	1	NA	NA	E2遺伝子 3'UTR	EU015064 EU015071
	SH05-6	コガタイエカ	上海	2005	2	1	NA	NA	E2遺伝子 3'UTR	EU015066 EU015072
	SH05-15	コガタイエカ	上海	2005	2	1	NA	NA	E2遺伝子 3'UTR	EU015067 EU015073
	SH05-16	コガタイエカ	上海	2005	2	1	NA	NA	E2遺伝子 3'UTR	EU015068 EU015074
	SH05-17	コガタイエカ	上海	2005	2	1	NA	NA	E2遺伝子 3'UTR	EU015069 EU015075
	GS10-2	オオクロヤブカ	甘粛	2006	2	1	NA	NA	E2遺伝子 3'UTR	EU015070 EU015076
マヤロウイルス	11株	蚊、病人	雲南	1985	1-2		56.10±1.38nm	アルファウイルス属、MAYV	NA	NA
	HN8	蚊	海南	1985	NA	NA	50-65nm	アルファウイルス属、MAYV	NA	NA
	HN99	蚊	海南	1985	NA	NA	50-65nm	アルファウイルス属、MAYV	NA	NA
	HYM1	蚊	海南	1995	NA	NA	NA	アルファウイルス属、MAYV	NA	NA
東部ウマ脳炎ウイルス	XJ-91031	シュルツェマダニ	新疆	1992	NA	NA	70nm	EEEV	NA	NA
西部ウマ脳炎ウイルス	XJ-90260	アカイエカ	新疆	1990	NA	1.5	NA	アルファウイルス属	NA	NA
	XJ-91006	シュルツェマダニ	新疆	1991	NA	NA	NA	アルファウイルス属	NSP4、 E1-3'UTR	AF226878 AF226877
未鑑定のアルファウイルス	28株	蚊、ダニ	海南	1983-1988	3-7	NA	NA	アルファウイルス属	NA	NA
	17株	蚊、ダニ	新疆	1990-1991	3-6	1-4	57±1.5nm	アルファウイルス属	NA	NA
	15株	蚊	山東省煙台市	1994	2-4		55±2.3nm	アルファウイルス属	NA	NA
	HF-7	病人	海南	1998	NA	NA	40-60nm	SINV、MAYV、GETV、SFV	NA	NA
	HC-6	病人	海南	1998	NA	NA	NA	SINV、MAYV、GETV、SFV	NA	NA

*NA: Not available

中国の「第12次5ヵ年計画」期間における住血吸虫症の科学研究の重点及び方向性

• Profile •

汪　天平 Wang Tianping ●安徽省住血吸虫症防除研究所所長

安徽省住血吸虫症防除研究所所長、主任医師。安徽医科大学、皖南医学院兼任教授。1963年3月出生。1984年、安徽医科大学卒業（疫学専攻、医学学士）。1995年、上海医科大学修了（現在の復旦大学上海医学院）、疫学専攻、医学修士。2006年、デンマーク・コペンハーゲン大学修了、寄生虫学専攻、医学博士。1984年7月から現在まで、安徽省住血吸虫症防除研究所に勤務。2002年から皖南医学院兼任教授。2005年に安徽省住血吸虫症防除研究所所長に就任。2006年から安徽医科大学兼任教授。衛生部疾病予防コントロール専門家委員会委員、衛生部衛生標準委員会委員、安徽省予防医学会副会長。研究分野は住血吸虫症、寄生虫病疫学。国家レベル及び省レベルの重大研究事業30件以上を主宰または参加、12件で省・中央レベルの科学技術進歩賞を受賞。論文100本以上を発表。全国「五一」労働賞を受賞。全国先進業務者、安徽省江淮十大傑出青年に選出、衛生部から「貢献の際立つ中壮年専門家」等の栄誉ある称号を授与。安徽省の跨世紀学術・技術リーダー。呉階平医学研究賞 - パウル・ヤンセン薬学研究賞2等賞を受賞。2007年に「新世紀百千万人材工程」の国家級人選に入選。国務院から政府特別補助金を授与。

共著：操　治国、林　丹丹、周　暁農

住血吸虫症は中国人民の健康に深刻な脅威となり、感染地域の社会経済の発展を妨げる重大な感染症であり、中国では今なお重要な公衆衛生問題の一つである。住血吸虫症防除業務の強化には重要な現実的意義がある。半世紀余りにわたる予防・治療の実践により、住血吸虫症の制御と根絶は最終的には科学の進歩に頼る必要があることが証明された。中国の住血吸虫症制御の歴史はまさに科学技術の絶えざる発展と進歩の歴史を反映したものであり、予防・治療業務のいずれの段階も科学技術による支援から乖離することはできない。新中国成立以降、中国の住血吸虫症防除業務の成果が世界の注目を集めたことは、段階に応じて多様な科学的予防・治療対策を講じたことと切り離すことはできず、科学的な予防・治療なくしては、住血吸虫症防除業務は今日のような輝かしい成果を挙げることはできなかっただろう。

一、中国における住血吸虫症の科学研究の進捗状況

中国における住血吸虫症の系統的な研究は1950年代に始まり、研究者たちの数代にわたるたゆみない努力によって大量の理論的・実践的研究成果が挙げられ、住血吸虫症の制御に力強い推進的役割を果たした。中国の住血吸虫症科学研究には半世紀余りの間で、駆虫薬（プラジカンテル）、予防内服薬（アルテメーテル、アルテスネイト）等の面でブレイクスルー的な進展があり、疫学、予防・治療戦略、オンコメラニア属貝（*Oncomelania hupensis Gredler, 1881*）の制御、診断技術及びワクチン開発等の分野でもさまざまな進展を見せている。

1.疫学研究　住血吸虫症の疫学調査を系統的に掘り下げて行い、中国における住血吸虫症の地理的分布及び住血吸虫症の流行因子、特徴、機序を明らかにした。また、住血吸虫の中間宿主、オンコメラニア属貝の生物学的・生態学的特徴について系統的な研究を行って顕著な成果を挙げ、住血吸虫症の予防・制御を強力に指導した。

2.予防・治療戦略研究　予防・治療段階に応じ、社会経済の発展状況や防除目標ごとに予防・治療戦略を検討し、全国的な住血吸虫症防除業務の進展を推進した。予防・治療段階初期はオンコメラニア属貝の根絶を主に、1980年代以降はヒトと動物の同時化学療法を主に、そして現在は感染源の制御を主として、各段階における予防・治療戦略の選択と実施はいずれも中国における住血吸虫症の感染の進行機序に見合うものとし、感染地域の社会経済の発展状況や科学技術レベルにも適合するものとした。

3.オンコメラニア属貝の制御に関する研究　物理的・生物的な殺貝方法を一通り検討した。植物由来の殺貝剤の研究では、殺貝成分を有する植物を発見し、ペンタクロロフェノールナトリウム、ニクロサミド、ニコチンアニリド、ブロモアセトアミド、Trithialan、メタアルデヒド、カルシウムシアナミド等の化学的殺貝剤を開発・合成し、かつ、ニクロサミドの新剤型についても研究し、当該薬剤の単一的な剤型を改良した。なかでも、ニクロサミド25%懸濁剤及びNiclosamide ethanolamine salt4%粉剤は現場の殺貝に徐々に応用されつつあり、良好な効果を示している。

4.診断技術の研究　予防・治療段階初期において、科学者たちが集卵・孵化法や沈殿物の顕微鏡検査等の一連の病因学的診断方法を開発したことは、中国の感染地域における住血吸虫症の患者数の迅速な解明に重要な役割を果たした。中国における住血吸虫症の流行レベルが低下するにつれ、既存の病因学的診断方法による遺漏の問題が日増しに顕著になったため、病因学的診断における不足を克服すべく、さまざまな免疫学的診断方法がさらに開発された。現在ではIHA、ELISA、ドット免疫金ろ過分

析(DIGFA)新技術、DSlA法等の約10種類の免疫学的診断法または迅速診断法が現場でのスクリーニング検査に利用可能である。分子生物学の発展に伴い、先進的な分子生物学技術を応用した住血吸虫症の診断業務が注目され初め、すでに検討段階の研究が行われ、かつ、一応の進展を見せている。

5.治療薬研究　予防・治療段階初期にアンチモン-273、Furapromide、アモスカナート等の住血吸虫症治療薬が相次いで開発された。1980年代には、中国は毒性が低く、薬効の高い新薬プラジカンテルを独自に合成し、全国的な住血吸虫症の感染制御を推進した。このほか、中国の科学者たちは住血吸虫症の早期治療薬アルテメーテル及びアルテスネイトを開発し、これを内服予防薬として使用し、住血吸虫症の予防薬研究の空白を埋めた。

6.ワクチン研究　中国は日本住血吸虫由来ワクチン（不活化ワクチン、生ワクチン、遺伝子組み換えワクチン、核酸ワクチン等）の研究を幅広く実施した。単一分子の抗原によって宿主に誘導される住血吸虫抵抗力は弱いことから、現在は異なるエピトープによる混合抗原を選択する傾向にあり、虫卵、胚に至るまでの各発育期にある住血吸虫に対する相乗的な殺傷力のある、いわゆるカクテルワクチンによる高い保護能力が期待されている。ここ十数年、中国は住血吸虫症ワクチンの研究において急速な進展を見せ、海外との距離を縮めている。特に、日本住血吸虫に対する中国大陸由来株を抗原とするワクチンの開発において、中国はすでに世界の先進レベルにある。

二、中国における住血吸虫症防除業務の科学研究に対する需要

住血吸虫症の予防・治療には科学技術の進歩が必須であり、科学研究は予防・治療業務の需要に応える必要がある。ここ50年余り、共産党中央政府、国務院及び感染地域の各級地方政府による重視と指導、関係当局間の密接な協力、そして住血吸虫症防除の研究者・関係者の強力の下、中国の住血吸虫症防除業務は大きな成果を挙げてきた。半世紀余りにわたる防除の実践により、住血吸虫症防除業務は科学研究に絶えず新たな奥行きをもたらした一方、科学も住血吸虫症防除業務を支え続け、防除業務中の難題を数多く解決し、同業務を推進してきた。20世紀末から21世紀初にかけ、中国の住血吸虫症感染が全国的に再び増加傾向を示したことから、従来からの防除措置・手段では現在の住血吸虫症の感染の進展傾向と防除の必要を満たすことができず、住血吸虫症防除業務には科学技術による効果的な支援が必要であることが証明された。

現在、中国の住血吸虫症科学研究には、主に次の問題が存在する。すなわち、基礎研究における理論面での革新が少なく、応用研究における新技術の開発も足りないことから、基礎研究と応用研究を下支えできるプラットフォームの建設がスタートしていない点である。2006年に開催された全国住血吸虫症防除業務会議で提起された、中国が現段階で講じる感染源制御を主とする総合的防除戦略、「全国の住血吸虫症予防・制御に関する中長期計画綱要（2004-2015）」において、2015年までに住血吸虫症感染制御基準を全国的に達成するという予防・治療目標が明確化されるとともに、全国的な住血吸虫症根絶における直近の業務も議事日程に組み込まれた。感染の進展により、中国の科学界には新たな科学技術の難題に対する方向性と要請が突きつけられ、新たな感染情勢下の予防・治療戦略及び目標に対し、いかに住血吸虫症防除に関する中国独自の科学研究体制を整備し、住血吸虫症の基礎研究と応用研究をスピードアップし、住血吸虫症の感染制御、住血吸虫症によるリスクの根絶等、防除の鍵となる理論・技術面でのブレイクスルーと発展を成し遂げ、かつ、中国独自の知的財産権を持つ、効力の高い実用的な新製品を開発するかは、中国の住血吸虫症防除に携わる研究者が直面し、解決しなければならない重要なテーマである。

三、「第12次5ヵ年計画」期間の中国における住血吸虫症科学研究の重点及び方向性

今後一定の期間、中国の住血吸虫症に関する科学技術戦略においては、基礎研究を牽引役とし、応用研究を重点とし、プラットフォームの建設を拠り所とする中長期目標を主な方向性として、新たな情勢に適応できる防除戦略を絶えず検討し、中国独自の知的財産権を持つ実用的なモニタリング技術、新薬、診断用製品を着実に開発する。「第12次5ヵ年計画」期間は、中国の住血吸虫症科学研究はこれまでの成果を基礎に、現在の防除業務目標と要請を結びつけ、以下の研究を優先的に行う。

疫学分野においては、住血吸虫症の制御・根絶基準、住血吸虫症の感染閾値、住血吸虫症モニタリング及び感染源の遡及・警戒技術、住血吸虫症の感染拡大に対する環境因子の変化による影響や、ヒトの日本住血吸虫症への再感染、末期住血吸虫症の感受性因子等の分野における研究を重点的に行う。また、先進的な疫学理論及び手段、宇宙技術等を融合・運用し、住血吸虫症の流行・伝播に対するモニタリング・予防等のデジタル化、IT化研究を強化する。

予防・制御戦略においては、感染源制御を主とする総合的防除戦略を柱に、化学療法戦略の実施・拡大、ならびに化学療法対象の科学的決定、感染源であるオンコメラニア属貝の制御・撲滅戦略、虫卵による水源汚染の予防・阻止、さまざまな防除戦略の最適な組み合わせ、予防・治療効果及び効率の科学的評価、感染遮断エリアの強化戦略、感染地域における畜産業の構造調整及び牧草資源の総合的開発・利用、住血吸虫症制御等の分野にお

ける研究を重点的に実施する必要がある。そして、特に中国における社会経済の持続可能な発展に適応する、生態系における住血吸虫症防除戦略を検討し、研究する必要がある。

オンコメラニア属貝の制御においては、貝の発見に関する新技術や感染感受性のあるオンコメラニア属貝の早期・迅速鑑別技術、オンコメラニア属貝繁殖地の迅速確定・識別に関する新方法（GIS/RS、レーザ、超音波、赤外線、生物学的識別等）、現行の殺貝剤の剤型及び配合の改良、新型殺貝剤の開発、オンコメラニア属貝の新規制御方法及び技術（分子遺伝学、遺伝子工学、生物学的防除）、経済建設事業と結びつけたオンコメラニア属貝制御方法、オンコメラニア属貝の拡散防止・起源遡及方法・技術、生息水源の迅速検査技術等の分野における研究を重点的に実施する必要がある。

診断技術においては、住血吸虫症の迅速診断法、診断試薬の標準化、新規診断技術（超音波、核磁気共鳴（NMR）、CT等）、病因学的診断方法の改良及びイノベーション、免疫学的診断方法の連携・応用、住血吸虫症診断における分子生物学的技術の応用、治療効果の事例評価技術等の分野における研究を重点的に実施する。そして、住血吸虫症の低レベル流行地域のモニタリングに適応する迅速かつ効果的な診断方法及び技術の研究を特に強化する。

治療薬の分野においては、プラジカンテルに対する潜在的薬剤耐性の可能性及び対策、新型の化学療法薬剤、薬剤の組み合わせ使用（治療薬＋予防薬）による住血吸虫症の感染制御、個人用予防薬の開発及び応用等の分野における研究を重点的に実施する。

ワクチンの研究においては、日本住血吸虫症の候補ワクチンのスクリーニング・効果に対する標準化評価体系、ワクチンにより誘導される保護・免疫メカニズム及び宿主内における住血吸虫の免疫回避メカニズム等の分野における研究を重点的に実施する。

住血吸虫症の予防・治療は、長期にわたる複雑な社会システム工学に関係する。住血吸虫症の防除業務で大きなブレイクスルーを獲得するには、科学技術の進歩に頼る必要がある。世界経済の一体化やハイテク化が急速に進む今日においては、われわれは確固たる信念を打ち立て、懸命に取り組み、刻苦研鑽しさえすれば、住血吸虫症の防除において中国独自の知的財産権を持つ研究成果を挙げるだけの基盤がある。中国の住血吸虫症防除業務の進展に重要な技術的支援をもたらすことで、早期にこの「疫病神」を追い出し、住血吸虫症感染地域における社会経済の持続可能な発展を実現したい。

【特集関連トピックス】

世界初のE型肝炎ワクチン、中国が独自開発

厦門大学と養生堂万泰公司が共同開発した「組み換えE型肝炎ワクチン」（大腸菌）が、国家1類新薬証書と生産承認番号を取得し、世界で初めて販売を許可されたE型肝炎ワクチンとなった。これは中国のワクチン開発において、画期的な進展である。

中国国家伝染病診断試剤ワクチン工程技術研究センターの夏邵寧主任は、「GMP（薬品生産品質管理基準）認証を取得すれば、E型肝炎ワクチンの販売を開始できる。現在の生産規模は、毎年500万本に達している」と述べた。同ワクチンが販売されれば、妊婦、高齢者、飲食業従事者等を対象に接種することが可能となる。関係者は、「将来的に、WHO等の国際組織との提携を推進し、同ワクチンを世界に広めていく」と語った。

研究チームは14年間を費やし、多くの知的財産権を持つコア技術体系を確立した。国家863計画（国家ハイテク研究発展計画）は2005年より、E型肝炎ワクチンのプロジェクトを支援しており、地方や企業から研究開発資金として約5億元（約60億円）を集めている。同ワクチンの臨床研究は、第11次五カ年計画863計画の重大プロジェクトとして認定された。研究チームは基礎研究・応用基礎研究・応用研究で、「保護性抗原識別と構造の表面的症状」、「ウイルス粒子構成メカニズム」等の革新的な発見をした。また「原核表現型ウイルス粒子」、「高効率純化」、「体外自主組織」等、一連の重要技術の障害を克服し、国内外に先駆けてE型肝炎ワクチンの開発に成功した。同研究チームはまた、原核表現型ウイルス粒子ワクチンのコア技術体系の構築に開始しており、世界14の国と地域で特許を申請している。

中国のE型肝炎ワクチンの臨床実験は5年間を費やし、ボランティア総数が11万人を超え、世界最大規模のワクチン第3期臨床研究となった。臨床実験の結果は2010年に医学雑誌「ランセット」に掲載され、幅広い支持を集めた。

E型肝炎は主要なウイルス性肝炎の一つで、臨床症状が重く、死亡率が約1–3%（妊婦の死亡率は20%）に達し、かつ効果的な治療手段が見つかっていない。中国ではE型肝炎の感染が流行している。ワクチンの使用は、E型肝炎を防ぐ最も効果的な手段である。

漢方薬の新型インフルエンザ発熱緩和効果を証明

医学学術誌「アナルズ・オブ・インターナル・メディシン」はこのほど、中国人学者による臨床研究結果を発表した。同研究は、液状の漢方製剤が新型インフルエンザ（H1N1）が引き起こす発熱症状を効果的に緩和し、タミフルと同等もしくはそれ以上の効果を持つことを示した。

首都医科大学付属北京朝陽医院（北京呼吸疾病研究所）からの情報によると、タミフルと液状の漢方製剤（麻杏甘石湯と銀翹散の加減方）による新型インフルエンザ治療に関する臨床研究は、同研究所および中国衛生部北京医院の王辰教授が中心となり、中国の11の病院による研究チームと共同で実施した。

同研究が同学術誌で発表されたことは、国際的な権威を持つ医学学術誌が中国の漢方薬研究を認めたことを示す。同研究は科学的な方法により、漢方薬が新たな呼吸器系伝染病と突発的な公共衛生汚染に対応できることを証明し、漢方薬研究の世界進出について象徴的な出来事となった。同文章が発表されると世界から注目を集め、アメリカ公衆衛生局の公式サイトを含む3万以上の世界主流サイトで、関連報道が転載された。

同研究は合理的かつ厳格なEBM（根拠に基づく医学研究）により、軽度と診断された410例の新型インフルエンザ成人患者を、「比較対照組」、「タミフル組」、「漢方薬組」（麻杏甘石湯と銀翹散の加減方湯剤を使用）、「タミフル＋漢方薬組」の4組に分けた。その結果、比較対照組の発熱は26時間持続し、タミフル組は20時間、漢方薬組は16時間持続した。タミフル＋漢方薬組の発熱時間は15時間となった。統計データの分析により、3つのグループの発熱時間は比較対照組を著しく下回り、漢方薬が発熱時間を短縮できることが明らかになった。

麻杏甘石湯と銀翹散加減方には炒めた麻黄（エフェドリンが含まれる）が含まれている。一部の国はエフェドリンを含む薬物の服用を禁じている。欧米の学者は麻黄による副作用を懸念しているが、同研究グループは次のように説明している。漢方剤に使用される麻黄の量は少なく、漢方では安全な範囲内とされている。また同研究で麻黄が含まれる漢方薬を服用した205例の患者のうち、麻黄による心拍数の増加や高血圧といった副作用が見られず、安全性の高さが証明された。

2009年秋、インフルエンザの感染に対応するため、漢方および西洋医学の専門家は漢方薬のインフルエンザ予防・治療効果を直ちに研究し、タミフルが不足した場合やウイルスがタミフルに耐性を持った場合に備えるよう主張した。漢方および西洋医学の専門家は議論を重ね、中国で「熱病」の治療に使用される麻杏甘石湯と銀翹散

の加減方を統一処方とすることを決定した。これらの漢方薬に使用される12種の原材料は、産地とロットナンバーが同一の煎じ薬とした。液状の漢方製剤を生産する上で、厳格なマニュアルを採用することにより、煎じ薬の成分を一定化させた。同研究グループは下準備を経て、現代科学により漢方製剤の効果を証明する、突発的な呼吸器系疾患等にとって重要な意義を持つ同研究をスタートさせた。

狂犬病ウイルス予防の新抗体、中国人研究者が開発

南京軍区軍事医学研究所と南京医科大学の研究者はクローン技術により、中和抗体を持つ狂犬病予防の新型抗体遺伝子群Fabを作り出した。動物実験により、同抗体遺伝子群が狂犬病ウイルスの感染を効果的に阻止し、狂犬病の予防に応用できることを証明した。同論文は、最新の「中国薬理学報」に掲載された。

狂犬病は狂犬病ウイルスが引き起こす人畜伝染の急性伝染病で、死亡率が極めて高い。症状は極度の神経興奮、局部もしくは全身の麻痺で、最終的に死に至る。狂犬病は急速に発症し、最長でも10日以内に死亡する。WHOの関連資料によると、毎年約5万人と数百万頭の野生動物が狂犬病で死亡している。中国の狂犬病による死者数は、法定伝染病のうち世界2位となっている。

抗狂犬病免疫グロブリンと狂犬病ワクチンの使用は、狂犬病3級感染予防の主要措置である。現在臨床使用されている抗狂犬病免疫グロブリンは、主にヒト由来もしくはウマ由来の狂犬病ウイルス血清による。抗体の生産量は制限されており、かつ一定のリスクが存在する。抗体遺伝子群技術の発展は、親和力の高いヒト由来抗体を生産する上で、新たな手段を提供する。ヒト由来抗体は低い免疫原性と高い組織浸透性を持つため、疾病の臨床治療でより効果的に使用できる。

情報によると、同研究はヒト由来の狂犬病ウイルス治療性中和抗体研究の一部である。研究チームはヒト由来免疫型狂犬病ウイルス抗体バンクの中から、狂犬病ウイルス糖タンパク質を対象とする単一抗体を選び出し、クローン技術により可変部領域遺伝子を生産した。さらに重復伸展による遺伝子スプライシングによりFab遺伝子を形成し、マウスによる動物実験を実施した。体外研究およびマウスによる狂犬病ウイルス感染の予防研究により、抗体遺伝子群が効果的に狂犬病ウイルスの感染を阻止し、狂犬病ウイルス感染後のマウスに対して予防と保護の効果を持つことが証明された。

中国企業が新たなHIV診断試剤を開発、唾液による診断を実現

北京万泰薬業から得た情報によると、同社はエイズウイルス（HIV）を口腔内粘液から検出する最新試剤を発表し、30分以内に診断結果が出るとした。同製品は採血の必要がなく、唾液による診断が容易であることから、家庭向けの販売も期待される。同製品はエイズの自己診断の手段となる可能性が期待されている。

一般的に、エイズ感染者は血液の他に、尿液、口腔内粘液、精液、涙にHIV抗体を持つ。HIV抗体は一般的に感染後数週間で現れ出し、最後まで生き続ける。同社が今回発表した試剤には、免疫膜分離法が採用されており、口腔内粘液のHIV1+2型抗体を検出することができ、一般的にHIV感染の補助診断に用いられる。現在、中国で使用されているHIV診断試剤はすべて血液標本を用いており、侵襲性のサンプリングを行う必要があり、利便性が低く需要を満たせずにいる。今回発表された試剤は唾液を利用するもので、迅速な検査を実現した。通常の血液標本による検査と組み合わせることができ、将来的に世界のHIV検査の主な方法となる見通しだ。

同社はG20プロジェクト（北京市によるバイオ医薬発展プロジェクト）の入選企業である。同試剤は同社と、中国国家伝染病診断試剤ワクチンプロジェクト技術研究センターが共同開発した。同試剤は現在、中国国家食品薬品監督管理局の登録審査を通過し、販売を許可された。

同社は中国免疫診断試剤市場の最大手で、現在までに中国およびアジア最大の免疫診断試剤生産メーカーとなっており、年産が2億人分に達する。血液スクリーニング検査診断試剤市場で、同社は中国トップシェアを誇る。うちHIV、C型肝炎等の免疫診断試剤の生産量は、長年に渡り中国一をキープしている。HIV診断試剤の研究開発に最も早く取り組み始めた企業として、同社が開発生産するHIV診断試剤は、その感度、特異性、安定した品質により、8年連続（2003—2010）で中国トップシェアを記録した。

業界関係者は、「中国国家バイオハイテク産業化モデルプロジェクトの拠点として、同社の近年の高度成長は偶然ではない。その発展は中国の診断試剤分野の成長と緊密に関連しており、中国医薬産業の発展の縮図である。同社は科学研究を重視し、技術研究開発に長期的に投資することで、持続的な発展に向けた原動力を確保し、基礎研究と産業化実践に基づく自主イノベーション方式を形成した」と指摘している。

同社の研究開発投資が売上高に占める比率は、12—15%を維持している。同社は万泰研究開発センターを設立し、科学技術者は100名以上に達している。診断試剤とウイルスの研究開発に関する、中国一流レベルの技術者による研究開発チームを結成しており、2000万元以上（約2億4000万円）の研究開発用の設備を保有し、高い自主開発能力を持つ。この高額の研究開発投資は、中国の医薬品企業としては異例である。

同社は厦門大学と10数年間の提携を行なっており、「中国国家伝染病診断試剤ワクチンプロジェクト技術研究センター」を共同建設した。科学研究成果の産業化に関する豊富な経験、効率が高く成熟した技術転化プラットフォームは、同社の高い競争力を支えている。

HIVウイルス抗体診断試剤分野において、同社は常に中国トップ水準を維持している。90年代中頃、中国の第3代HIV診断試剤は輸入に依存しており、国産試剤は第2代の水準にとどまっていた。1999年、同社はアモイ大学の研究者と共同で、中国唯一のHIVウイルス抗体診断試剤の生産要求を完全に満たす、HIVウイルス組換抗原を開発し、中国国内の技術空白を埋めることに成功した。双方はさらに中国初の第3代HIVウイルス抗体診断試剤を開発し、その品質は世界一流の水準に達した。同試剤は国産第2代製品と比較して、感度や特異性の面で質の飛躍を実現した。同試剤はまた2000年に中国国家二類新薬証書を獲得し、外国企業による独占を打破した。同社はさらに科学研究成果を、科華、華美、新創、金豪等、中国の診断試剤・臨床検査の主要企業10数社に譲渡した。これにより、中国国産のHIVウイルス診断試剤は2001年に全面的な世代交代を実現し、中国のHIVウイルス予防抑制能力を強化し、かつ「国家科技進歩二等賞」を受賞した。2003—2006年、同社は中国国家発展改革委員会ハイテク産業化モデルプロジェクトの「HIVウイルス組換抗原と抗体診断試剤の産業化」を請け負った。中国国家発展改革委員会は2008年、同社に対して「国家ハイテク産業化十年成果賞」を授与した。同社は2008年、中国初の国産HIV第4代診断試剤を発売し、中国のHIV診断能力をさらに強化し、国産試剤の水準を世界トップ水準まで高めた。

中国がエキノコックス症診断の試薬キットを開発

試薬キットに血液を垂らせば、エキノコックス症にかかっているか否かを、3分間で初歩的に診断できる。新疆ウイグル自治区エキノコックス症臨床研究所はこのほど、エキノコックス症特異性抗体診断試薬キットを開発した。同製品は「国家三類医療機械登録証書」を獲得した。国家級登録証書を持つエキノコックス症診断試薬キットは、同製品が初となる。また新疆ウイグル自治区初となる、第三類医療機械体外診断製品の生産拠点が設立された。

エキノコックス症は、エキノコックスという寄生虫が、羊、牛、馬、豚、人の肝臓や肺等の器官に寄生することで引き起こす、人獣共通感染症の1種である。エキノコックス症は、「中華人民共和国伝染病防治法」が管理を規定するC類伝染病で、通常は慢性的に症状を現す。人体に寄生するのは、トゲを持つ粒子状の幼虫と、トゲを持つ泡状（多房性）の幼虫で、単包性エキノコックス症と多包性エキノコックス症を発症させる。前者は中国で多く見られ、深刻な被害をもたらしている。

国内外では現在、特異性と感度が高い体外診断試剤が開発されておらず、治療法が全く異なる2種のエキノコックス症（単包性エキノコックス症と多包性エキノコックス症）を識別することができない。

今回開発に成功した試薬キットの特徴は、迅速、便利、高い特異性と正確性で、特殊な設備を必要とせず、1度で血清中のエキノコックス症の4種の特異性抗体を検出することができる。同製品は臨床試験で用いることができ、また現場環境の流行病学の調査に活用できる。同製品は診断と識別の二重の機能を持ち、2種のエキノコックス症に対して全面調査、臨床診断、初歩的診断が行える世界初の製品である。同製品はエキノコックス症血清学の検査における空白を埋め、これまでの各病院での検査基準を合理化し、早期診断と識別および流行病学調査に活用することができる。

中国、手足口病検査試薬の開発に成功 2～3時間で主要ウイルスの検出が可能

江蘇省泰州医薬ハイテク産業開発区で先ごろ開催された碩世生物疾病予防フォーラムにおいて明らかになったところによると、碩世生物科技公司はこのほど、手足口病を引き起こす複数のエンテロウイルスを同時に検出できる、知的財産権を有する試薬の開発に成功した。同試薬は今年中にも使用が開始される。この試薬は2ー3時間で手足口病を引き起こす主なウイルスを検出し、短時間での診断に向け有効な根拠を提供することができる。

手足口病はエンテロウイルスの感染によって引き起こされる一般的な感染症である。患者は主に5歳以下の児童で、感染性が高く、感染経路が複雑であるため、短期間内に大流行を引き起こす可能性がある。手足口病の主な症状は発熱と手・足・口腔内などの発疹だが、ウイルスは心臓や脳、腎臓およびその他の重要器官に入り込む恐れもあり、まれに中枢神経系、呼吸器系および循環器系などに重篤な合併症を引き起こし、死に至ることもある。乳幼児は症状を正確に説明できないため、病院は診断において大きな課題に直面しており、早期スクリーニングと正確な診断は手足口病研究の重点項目となっている。

手足口病を引き起こすエンテロウイルスには、コクサッキーウイルスA群、エコーウイルス、エンテロウイルス71型（EV-71）などがあり、中でも特に多いのはCoxA16（コクサッキーA16型）とEV-71だ。現在実験室で幅広く用いられている核酸検出の方法は、ワンステップリアルタイムPCR技術に基づくもので、EV-71、CoxA16、その他のエンテロウイルスを異なる反応管の中に入れ、それぞれに対する単一的な指標を検出することしかできない。

碩世生物科技公司が自主開発した「エンテロウイルスCoxA16／EV-71／ユニバーサル核酸検出キット（トリプルリアルタイム蛍光プローブPCR法）」は、ワンステップリアルタイムPCR技術を応用し、1つの反応系の中で、高い死亡率を持つEV-71、CoxA16およびその他ウイルスに感染しているかどうかを同時かつ迅速に検査することができる。同試薬の開発成功により、手足口病の体外診断の効率が高まっただけでなく、検査にかかるコスト・時間が削減された。これは病状の理解と治療指導にとって大きな価値をもつ。

疾病予防と治療研究

中国における高カリウム・低ナトリウム食事療法による高血圧及び心臓・脳血管疾患の予防

• Profile •

王　青 WANG Qing　●スイス・ローザンヌ大学CHUV病院　医学研究事業責任者、華中科技大学教授

北京高血圧連盟研究所特別招聘研究員、スイス・ローザンヌ大学CHUV医院医学研究事業主宰者、武漢華中科技大学教授を兼任。1961年1月、中国湖北省生まれ。2002年、スイス・ローザンヌ大学で医学博士号取得。スイス・ローザンヌ大学CHUV医院で助手医師、第一助教 (ポスドク)、医学研究事業責任者を歴任。主に、カリウム、ナトリウム、塩分、副腎皮質ホルモンの高血圧発症及び心血管再建における作用及び機序について研究。SCI学術誌Hypertension、J Am Soc Nephrol、Kidney International、Am J Physiol、PANS上で論文30本以上を発表。「カリウムイオンによる心臓保護作用」の発見により、「2007年スイス・ファイザー(Pfizer) 医学研究賞」を受賞、かつ、「月刊循環器」(Circulation) 2011年124号のヨーロッパにおける心臓病関連注目人物のコーナーに掲載。現在、劉力生教授と共同で、中国減塩研究グループ（北京高血圧連盟研究所、中国塩分業総公司、スイス、オーストラリア、米国等の国内外の研究者及び企業関係者を含む）の協力のもと、中国で開発された、合理的な比率を持つ高カリウム・低ナトリウム塩についてヒト試験を実施（この目的は、食事中のナトリウム・カリウム比を大幅に引き下げることで、血圧を引き下げ、心血管を保護し、心臓・脳血管関係の急性疾患を予防すること)。現在、米国生理学会会員、ヨーロッパ心臓病学会会員、世界塩分・健康アクション(WASH)会員、北京海外聯誼会理事会理事。

1 高血圧及び心血管疾患による負担及び課題

生活様式の変化、都市化、高齢化により、心血管疾患や腫瘍、糖尿病等の非感染性慢性疾患が世界の主な死因となった。世界保健機関(WHO)の予測では、2030年までに世界の慢性疾患による死亡は全死亡者数(6700万)の56%を占めるまでになり、がんによる死亡は2004年の740万人から2030年には1180万人に、心血管疾患による死亡は2004年の1710万人から2030年には2340万人に増加し、主な死因である虚血性心疾患及び脳卒中のうち、80%は中・低収入の発展途上国が占める。高血圧は、心血管疾患の発症及び死亡の最も重要なリスク因子であり、脳卒中の約60%と冠動脈性心疾患の約50%を引き起こす。冠動脈性心疾患は収縮圧/拡張圧115/75mmHgで発症し、世界の成人の80%が冠動脈性心疾患発症のリスクにある。現在、世界の成人の高血圧罹患率は25%であるが、2025年までに60%に上昇すると考えられている。2002年の中国住民の栄養・健康状況調査によれば、成人の高血圧罹患率は18.8%であることから、中国の高血圧患者は少なくとも2億人いると推測されるが、血圧コントロール率はわずか6%前後しかない。2007年の中国心血管疾患レポートによれば、中国における心血管疾患死亡者数は300万人/年(通年の疾病死亡者数の30%以上)に達し、心血管疾患で10.5秒ごとに1人が死亡している計算になる。WHOの予測では、2005～2015年にかけ、中国では脳卒中、心臓病、がん、糖尿病による国民所得の損失は累計5580億米ドルに達するが、同時に、脳卒中、心臓病、糖尿病患者の少なくとも80%は、健康的な食事や適切な運動、禁煙によって予防ができる。高ナトリウム・低カリウム食は高血圧及び心臓・脳血管障害の重要な環境因子である。最近の研究によれば、高いNa/K排泄率による心血管疾患リスクの増加は、ナトリウム又はカリウム単体によるリスクよりも高い。高血圧、脳卒中及び虚血性心疾患の予防のために、WHO及び米国の食事ガイドラインは成人に対し、塩分とカリウムの一日摂取量をそれぞれ5g及び4.7gとし、Na/Kを1に近づけるよう提唱している。中国の国情に合った減塩・カリウム補充療法を研究し、中国住民の深刻な悪しき高ナトリウム・低カリウム食の状況(272mmol Na+/天或15.9g塩分/天，47.9mmol或1.9g K+/天，Na/K= 5.7)を改善し、高血圧及び心臓・脳血管障害を減らすことは、中国が直面する深刻な急務であり、中国政府及び国民による高い注目と積極的な関与が求められている。

2 高血圧及び脳卒中発症の重要な環境因子である高塩分(高ナトリウム)低カリウム食

歴史に基づけば、森林で生活していた原始人（現在から350万年～1万年前）は狩りを生活の糧とし、低塩分(1.5～1.8g/日)・高カリウム(8～11g/日)の自然食を摂取しており、食品中のNa/K値はわずか0.1であった。1万年前には人類は高塩分・低カリウムの加工食品を摂取し始め、塩分及びカリウムの一日摂取量はそれぞれ9～12g及び1.2～2.5gとなり、Na/K値は往々にして3以上となった。大量の動物実験、臨床研究、疫学調査によれば、塩分摂取過多は腎臓及び心血管の付加増大による動脈血圧の上昇ばかりでなく、腎臓及び心血管組織に直接損傷を与え、心臓・脳血管疾患及び腎疾患を悪化させ続けるが、高カリウム食なら血圧を低下させる上、組織・器官に対する直接的な保護作用を果たす可能性がある。脳卒中の発生は動脈血圧レベルと正相関を、カリウム摂取量と負相関を示す。収縮期圧が10mmHg上昇するごとに脳卒中発生の相対リスクは49%、拡張期圧が5mmHg上昇するごとに脳卒中のリスクは46%増加する。1966～2007年に実施された147の血圧降下剤を使った無作為割付臨床試験(約百万人を対象)、すなわち最大のメタ分析によれば、収縮期圧を10mmHg又は拡張期圧を5mmHg下げるごとに、冠動脈性心

疾患を25%、突発的な脳卒中を36%減らすことができる。有名なDASH研究によれば、高カリウム・低脂肪食(カリウム4.7g/日、脂肪27g/日)を実施すれば、高塩分摂取条件下でも健康的な成人の収縮期圧及び拡張期圧をそれぞれ5.5mmHg及び3mmHg、高血圧患者の収縮期圧及び拡張期圧をそれぞれ11.5mmHg及び5mmHg減らすことができる。DASH食と低塩分摂取の結合では、さらに顕著な血圧降下効果がある。このほか、台湾の高齢兵士に対する臨床試験によれば、長期間(31ヶ月)にわたり高カリウム・低ナトリウム（低塩分）(NaCl 49%、KCl 49%、その他添加物2%)食を摂取した後の心血管疾患死亡率は、塩分の普通量摂取群に比べて40%減少した。南アメリカ大陸、アフリカ、大洋州で暮らすインディアンの集団、例えばベネズエラやブラジルのYanomamo集落で暮らす民族は現在でも狩猟を糧とする高カリウム・低ナトリウム自然食を主としており、高血圧罹患率は1%に満たず、集落の50歳男性の収縮期圧及び拡張期圧はわずか100mmHg及び64mmHgしかない。

3 EU諸国の減塩政策及び中国の高ナトリウム･低カリウム食の特徴

生活様式の改善による高血圧及び心臓・脳血管障害の予防は、世界でますます重視されてきており、一部の先進国の政府、研究者、企業関係者による減塩・カリウム補充分野での協力はめざましい成果を挙げている。例えば、フィンランドでは1972年以降、マスコミによる宣伝や食品中の塩分に関するラベル表示、低ナトリウム・高カリウム混合塩分(Pansalt®:56 % NaCl+28 % KCl+12 % MgSO4)等の政策を採用したことで、2002年までに全国民の一人あたり平均塩分一日摂取量を6g減らし、拡張期圧を10mmHg、脳卒中及び心臓病死亡率を約80%低下させた。EUでは、2008年から4年をかけて、加工食品中の塩分添加量減少により塩分摂取量を16%減らすことを提唱し、フランス、ドイツ、イタリア、スペイン等のEU加盟国20ヶ国が賛同した。カナダ当局及び公共食料当局も食品中の減塩政策を公布すると、食品業界は食品中の塩分含有量をすでに減らし、例えば穀物やパン等の製品の一部では塩分含有量は25%減少している。また、英国では近年、スーパーで販売される多くの加工食品中の塩分を20%～30%減らすことに成功しており、2012年までに塩分の一日摂取量を9gから6gに減らす計画である。こうして、1日当たり3gの塩分摂取を減らせば、脳卒中及び虚血性心疾患による急性疾患をそれぞれ13%及び10%減らすことができる。

中国住民のナトリウム及びカリウムの摂取状況は非常に特殊である。すなわち、(1) 食事に深刻な高ナトリウム(塩分)・低カリウム現象があり(272mmol Na+又は15.9g塩分/日、47.9mmol又は1.9g K+/日)、かつ、北部の一日平均塩分摂取量は南部より高い。尿中の平均Na/Kは6に迫り、EU諸国の約2倍であるため、中国では減塩の際、さらにカリウム補充に注意する必要がある。(2)欧米の先進国の塩分摂取は70%以上が加工食品に由来するが、中国では70%が家庭での調理に由来するため、減塩・カリウム補充政策の中心は調理及び宣伝・教育に置く必要がある。高カリウム・低ナトリウム塩のしょう油等調味料の開発が非常に重要である。近年、高Na/K排泄率による心血管疾患のリスク増大はナトリウム又はカリウム単体によるリスクを上回っている、しかし、現時点では、中国はまだ減塩・カリウム補充政策を系統的に制定または実施していない。その原因は、次のとおりと考えられる。すなわち、(1)高ナトリウム・低カリウム食状況に対する著しい認識不足。(2)高カリウム・低ナトリウム塩等の関連製品の開発が強化されておらず、充分な科学的根拠が未だ得られていないためである。

4 中国における高カリウム･低ナトリウム塩及び関連製品の開発及び応用

ナトリウム及びカリウム摂取のバランスを実現するために、欧米市場ではすでにさまざまな含有比率の異なる高カリウム・低ナトリウム塩製品を発売しており、食品中のNa/Kを減らしている。例としては、米国のLite Salt (Na/K=1.2:1)、フィンランドのPan Salt (Na/K=2:1)、英国のLo SALT (Na/K= 0.39:1)、フランスのMinisel (Na/K=1:3)等がある。中国では国情に見合った高カリウム・低ナトリウム塩及びしょう油等調味料の開発が急務であり、これにより国民の深刻な高ナトリウム・低カリウム食情況を改善し、食事及び尿中のNa/Kを減らすことで、動脈血圧を低下させ、脳卒中及び心臓病等の発作及びそれによる死亡を減らす必要がある。このために、次のことを提案する。

（ｉ）「中国の減塩と健康」に関する特別基金及び専門家委員会、関連機関を設置し、高カリウム・低ナトリウム塩に関する大規模介入試験並びに高カリウム・低ナトリウム塩及び関連製品の開発・応用を加速し、マクロ政策の制定、高カリウム・低ナトリウム塩及び関連製品の推進・使用に科学的根拠を築くこと。中国住民の食事中の合理的なナトリウム・カリウム比率及び減塩・カリウム補充方法を科学的に決定するためには、高カリウム・低ナトリウム塩の大規模介入試験を実施し、食事中のNa/Kの改善による血圧レベル、心臓・脳血管障害の発生及びこれによる死亡に対する長期的影響や、高カリウム・低ナトリウム塩の長期的食用におけるコンプライアンス性及び安全性をモニタリングし、一般人における高カリウム・低ナトリウム塩の使用推進による高血圧及び心臓・脳血管障害の予防に対するフィージビリティ及び効果を立証する必要がある。これは、中国における高血圧及び心臓・脳血管障害予防の最も

安価で実効性の高い政策となりうる。「中国の減塩と健康」政策の効率及び統一的管理のためには、特別基金(又は特別資金支援の調整)及び学術団体(中国高血圧連盟等)の専門家、政府当局の制作決定者、企業関係者及びレストラン協会、婦女連合会等の代表により組織される「中国の減塩と健康」専門家指導委員会を設置する必要がある。専門家指導委員会は次の仕事に当たる。すなわち、(1)高カリウム・低ナトリウム塩の大規模介入試験(農村家庭、学校、軍隊、養老院、レストラン、児童を重点対象に含む)及び評価を実施し、かつ、「中国の減塩と健康」における高カリウム・低ナトリウム食政策及びその方法の制定に関わり、第12次5ヵ年計画期間中に中国の現状に見合った高カリウム・低ナトリウム塩及び関連製品の研究開発・試用業務を基本的に完了するよう努めること。また、高カリウム・低ナトリウム塩による尿中のNa/K低減、血圧降下、高血圧及び脳卒中等の心血管障害の減少における効果の一応の顕在化を実現すること。(2)「中国の減塩と健康」における宣伝・教育に関与し、特にナトリウム・カリウムのバランス実現による健康上の意義を宣伝し、庶民の塩分及びカリウム摂取と高血圧及び標的器官傷害、心血管障害との関係に関する正確な認識及び認知率を向上させること。塩分の一日摂取量が5gを超えないことを強調すると同時に、果物や野菜など、カリウムを豊富に含む食品の摂取を提唱し、高カリウム・低ナトリウム塩等の調味料の使用を推奨すること。(3)動物実験をさらに行い、ナトリウム・カリウムが塩分に敏感な高血圧の発症と血管、心臓、脳、腎臓等の標的器官の損傷及び保護に果たす作用及びメカニズムを重点的に研究し、臨床研究及び実践において科学的根拠を提供すること。

（ⅱ）食事中のナトリウム・カリウムバランスによる健康への意義を大いに宣伝し、減塩・カリウム補充政策及び方法を制定・実施し、関連産業を発展させること。新聞やラジオ、テレビ等のメディアを通じ、専門家による講演や教育、教科書等の手段によって「中国の減塩と健康」に関する全民教育を実施し、民衆、特に飲食・食品加工業に従事する経営者や料理人、主婦、教師、農民等を対象に塩分及びカリウムと高血圧及び心血管疾患との関係について正しい認識を高めること。成功を納めているEUの減塩政策の経験から学び、関連する食品衛生政策及び法規を制定し、食品工業および関連当局の協調により、食品ラベル、特に食品中のNa+，K+，Mg++，Ca++含有量及びエネルギーの表示を整備し、中国の塩分摂取の30%を占める加工食品中の塩分を毎年5%減らすこと。また、中国の深刻な高ナトリウム・低カリウムという特徴を持つ食生活については、低ナトリウム・高カリウム食事計画を実施し、塩分摂取の70%を占めるレストラン及び家庭での調理については減塩・カリウム補充の持つ健康上の意義を大いに宣伝する必要がある。また同時に、市場にすでに流通している高カリウム・低ナトリウム塩(70% NaCl + 30% KCl，Na/K=1.8:1)の使用、ならびに現在開発中の高カリウム・低ナトリウム塩(NaCl/KCl=1:1，Na/K= 0.8:1)及び開発が待たれる高カリウム低ナトリウムしょう油、漬物野菜等の関連調味料を大いに支持するよう国民に呼びかける必要がある。第12次5ヵ年計画期間中に一人あたりの塩分一日摂取量をNaClで3g、又はNaで50mmol/日減らし、カリウムの一日摂取量を2g又は50mmol増やして尿中のNa/Kを50%減らして2に近づける必要がある。中国人研究者が研究データ(毎日の塩分摂取量を2g減少すると、収縮期圧及び拡張期圧をそれぞれ2及び1.2mmHg低下)を分析し、回帰分析を行った結果、毎日の塩分摂取を3g減らせば、収縮期圧を3mmHg及び拡張期圧を1.8mmHg減らせることが推測された。このほか、毎日の塩分摂取を3g減らせば、脳卒中及び虚血性心疾患による急性疾患をそれぞれ13%及び10%減らすことができる。高カリウム・低ナトリウム塩に加え、さらに高カリウム低ナトリウムしょう油等関連調味料を開発する必要がある。何故なら、中国は世界最大のしょう油生産・消費国だからである。高カリウム・低ナトリウム塩及びしょう油等の調味料を開発・宣伝する目的は、国民が健康維持に役立つ高カリウム・低ナトリウム食品(例えば野菜、果物等)や高カリウム・低ナトリウム塩及びしょう油等の調味料を積極的に選択できるようにすることにある。これによって、現在の中国における深刻な高ナトリウム・低カリウム食状態を転換して人々のカリウム摂取量を増やし、食事中のNa/K及び血圧を低下させ、高血圧及び脳卒中等の心血管疾患の発生及び死亡を減らすことで国や庶民が疾患により被る経済的・社会的負担を軽減できるだけでなく、関連産業の発展を推進し、総合的な社会・経済効果を生む可能性がある。

（ⅲ）慢性疾患の予防・制御に対する財政投資を増やすこと。現在、中国の死亡者数のうち80%が慢性疾患により亡くなっている。医療技術の急速な発展により、高血圧、心血管疾患、腫瘍、糖尿病等の非感染性・慢性疾患の診断・治療レベルは向上し続けているが、慢性疾患の発症率及びこれによる致死率、死亡率の上昇は依然として効果的に制御できていない。この原因は、以下の通りと考えられる。すなわち、(1)健康に悪い生活様式や都市化、高齢化の進行。(2)慢性疾患予防に対する投資がその診察・治療並びに感染症の予防・制御に対する投資よりはるか

に少ないために、慢性疾患患者数がますます増え、社会的負担が重くなっていることである。一般に医薬品及び医療設備業界は慢性疾患の予防に注目しないため、政府による重視、支援及び投資は非常に重要であり、必要性が高い。政府に対しては、第12次5ヵ年計画期間中に慢性疾患予防（研究開発を含む）に対する投資を強化し、さまざまな慢性疾患の病因・特徴について介入研究を行い、かつ、それらを有機的に結びつける（例えば減塩や体重減少、減煙の融合等）ことで介入効果を高め、慢性疾患が急速に増加しつつある現在の情勢を抑制し、国民の健康レベルとQOLを向上させることで、医療の負担を軽減し、国民生活の改善と調和のとれた社会の発展を推進するよう望む。

中国のヨウ素125粒子の腫瘍への挿入治療の現状及び問題

• Profile •

王　成鋒 Wang Chengfeng ●中国国家がんセンター、中国医学科学院腫瘍医院主任医師・教授

中国国家がんセンター、中国医学科学院腫瘍医院主任、主任医師、教授、大学院指導教授。1962年5月生まれ。1984年、山東医科大学医療系卒業（学士号取得）。すい臓腫瘍手術500例で穿刺針による細胞学的診断で満足な効果。進行期すい臓がん手術200例余りを対象に放射線治療を実施。これはアジア最大の報告症例数で、臨床上、その近期及び遠期の治療効果について研究。すい臓がん症例と健康なヒト合計10000例近くの全ゲノム配列を解読し、Nature Geneticsに発表。主な専門書は5部。現在、中華医学会腫瘍学分会及びすい臓がんグループ常務副グループ長、事務局長。

一．悪性腫瘍の現状

WHOのデータによれば、悪性腫瘍による死亡はすでにヒトの全死亡数の13%を占め、心血管疾患を上回ってヒトの健康を脅かす最大の原因となっている。ヒトの半数近くに腫瘍を患うリスク（男性は約44%、女性は39%）があり、2030年までに腫瘍症例は250万症例超（2008年の2倍）の増加を見せることが予想されている。国家腫瘍予防・治療研究弁公室のデータによれば、悪性腫瘍は21世紀の中国で最も深刻な公衆衛生問題の一つである。死因統計データによれば、2010年には約810万人ががんで死亡したが、2020年にはこれが1036万人に達すると予想されている。中国における腫瘍の診断・治療の現状は決して楽観できるものではなく、これは、5年生存率が欧米の先進国に比べはるかに低いことに顕著に表れている。また、医師に対する専門訓練や学問分野間の協調体制が足りない点や、予防意識・早期診断率が低いために大量の費用・労力が末期腫瘍の治療に費やされている点、化学療法がボトルネックとなり、薬効の高い新薬の開発に限りがある点、臨床治療における過度な治療が深刻である点、莫大な投資を必要とする設備の導入に熱心すぎる点等の問題がある。

二．ヨウ素125粒子の挿入

現時点での腫瘍の主な治療方法には手術による切除、放射線治療、化学療法等がある。放射線治療は腫瘍治療の主な方法であり、ヨウ素125粒子の挿入がその重要な方法の一つである。

1934年にHandleyはすい臓がん治療の成功により、ラジウム針の挿入による治療の先駆けとなった。腫瘍内への放射性粒子の挿入は、その低線量率での連続照射という特性を発揮することで、腫瘍への照射線量を増やし、局所制御率を高めることから、腫瘍の局所治療に効果的な方法である。ヨウ素125粒子の半減期は59.4dであり、半減期が長いほど保存期間も相対的に長くなることから、輸送しやすく、臨床応用に資する。ヨウ素125の産生するγ線は、エネルギーが小さいもののさまざまなステージの腫瘍細胞を殺し得る。放射性粒子の挿入によって、腫瘍が十分な治療線量を得られると同時に、放射距離の短さから（1.7cm）、付近の正常な組織が放射線照射により受ける損傷が小さく、腫瘍治療の効果を高め、隣接組織における副次的損傷を減らす。

ヨウ素125粒子を挿入する方法には、映像（BUS、CT等）による誘導下での挿入、内視鏡下挿入、腹腔鏡下挿入及び術中挿入がある。映像による誘導下での挿入、内視鏡下挿入、腹腔鏡下挿入には侵襲が少なく迅速という利点があるが、我々から見れば、すい臓がん等の位置のやや深い腫瘍には、術中の直視下での挿入なら正確な位置で均一に挿入でき、術前治療計画に基づいて十分な量を挿入でき合併症が少ない等の長所がある。我々の経験に基づけば、術中にヨウ素125粒子を挿入した場合は、手術期前後の厳密なモニタリングによれば、治療群の血液、肝臓、腎臓、すい臓等の臓器及びシステム機能のいずれも顕著な毒性を有さず、副次的な合併症も発生しないことから、術中におけるヨウ素125粒子挿入治療は安全であることが証明されている。

ヨウ素125粒子の挿入における職業被ばく及び環境被ばくからの防護は、主に挿入時の安全防護であり、これには鉛製の防護衣・手袋、専用の防護用メガネの着用等、操作規範及びプロセスの厳格な順守、粒子数の厳密な照合・粒子消失の防止が含まれる。患者の周囲環境における防護は、主に術後の厳密なモニタリング、データの表示がある。患者から近距離の周囲環境における放射強度は最大でも2.2mrad/hrとしており、これは国の定める放射線防護標準よりはるかに低い。放射線技師の防護は、次のとおりである。すなわち、粒子の総活量が1回あたり平均で10mCi（15～20枚）で、医師と照射源との距離が30cm、医師と照射源との接触時間が30minで、1週間に2回（100回/年）照射を行い、一年間に受ける放射線量が約14mSvであること。0.1mmの鉛製防護衣を着るなら照射量を30倍減らせるため年間照射線量は0.4～0.5mSvであるが、国

の要求する年間線量の上限は50mSvである。このことは、ヨウ素125粒子の挿入は放射線技師にとって安全であることを証明している。患者の家族等に対する防護は、粒子が患者の体内に挿入される深さ(10cm)に従い(10mCi)、看病する家族と患者との距離は1メートルとし、毎日12時間にわたり密接に接触した場合、粒子の体内被ばくは減衰から消失まで（約1年）であり、家族が受ける総線量は約0.3～1mSvであるが、胸部レントゲンを1回行った場合の線量が2~2.5mSvであることから、ヨウ素125粒子の挿入は家族等の付き添い介護者にとっても安全であることが証明される。

三．ヨウ素125粒子の挿入における注意事項

ヨウ素125粒子の挿入は一部のタイプの腫瘍に良好な効果を示し、深刻な合併症もなく、安全で効果的な治療方法である。しかし、治療においては次の点に注意するべきである。

1. 挿入前の組織細胞学的診断データがあること。
2. さまざまな分野の専門家(多職種専門チーム、MDT)が治療プランの策定に関わること。特に、アイソトープ及び/又は放射線治療科の医師及び/又は医学物理士が関わっていること。
3. 科学的かつ合理的な治療計画を策定すること。挿入前に映像データに基づき、ヨウ素125粒子挿入計画設計システム(TPS)を採用して挿入計画を策定し、提供されたヨウ素125の1粒子ごとの放射活性に基づき、ヨウ素125粒子の挿入数等を算出すること。
4. 治療の過程においては、アイソトープ専門技師、外科医、手術看護士が粒子数の照合および記録を行うこと。
5. 挿入後のモニタリング。挿入完了後は全ての医療用品・機器等の検査を行い、粒子の遺漏、環境汚染を防止すること。手術1日後にはX線又はCT検査を実施し、粒子の位置と数を観察すること。術中、術後は患者の体外放射活性を定期的に測定し、患者及び周囲の人間の安全を確保すること。

四．ヨウ素125放射性粒子の挿入の現状

1998年以降、中国では、ヨウ素125放射性粒子の挿入が雨後の筍のように全国の多くの病院に普及し、良好な治療効果を挙げた。しかし、地域の発展水準により、治療を行う病院や医局、医師のレベルには大きな差があるため、ヨウ素125放射性粒子の挿入の現状は、喜憂が相半するものである。

「万方医学データベース」及び「中国之網」上で、1998年1月～2010年1月に中国国内で発表された中国語論文を対象に、ヨウ素125放射性粒子、組織挿入、悪性腫瘍等をキーワードに検索を行い、発症率・死亡率等を変数として、次の点について統計分析を行った。すなわち、病院の等級及び種類（総合病院、腫瘍専門病院、教育機関付属病院等)、関係医局（アイソトープ室、放射線物理士が関与しているか等)、主な医師（外科、放射線の撮影科、又は量子介入治療科等が主体となっているか。あるいはさまざまな分野の医師の関与があるか)、組織細胞学的検査結果（組織細胞学的診断の有無)、TPS治療計画システムの応用(放射性粒子の挿入線量及び強度がTPS下で策定されているか否か)。その結果は次の通りであった。

1. ヨウ素125放射性粒子の挿入を実施する病院の状況：実施病院は165ヶ所。内訳：腫瘍専門病院2ヶ所、省レベル及びそれ以上の病院20ヶ所（うち、腫瘍専門科のある病院6ヶ所)、市レベルの病院37ヶ所（うち、腫瘍専門科のある病院4ヶ所)、県レベルの病院4ヶ所、産業病院3ヶ所、教育機関附属病院93ヶ所、軍付属病院6ヶ所。病院ごとの腫瘍治療数は平均26.3例（4343/165)。
2. ヨウ素125放射性粒子を挿入した患者の状況：全患者数4343例、うち男性2721例、女性1622例。内訳：肺がん2257例、すい臓がん704例、結腸・直腸がん347例、前立腺がん288例、転移性骨腫瘍207例、神経膠腫193例、リンパ節転移がん156例、食道がん124例、乳がん97例、鼻咽頭がん67例、胃がん65例、膀胱がん41例、胆管がん37例、婦人科腫瘍（子宮頸がん、子宮体がん）29例、口腔がん20例、舌がん13例、軟部組織肉腫12例、胸膜中皮腫12例、腎臓がん11例、甲状腺がん7例、鼻腔横紋筋肉腫2例、耳下腺がん1例。

   組織細胞学的根拠のあったものは全症例のわずか43.8%（1901/4343）であった。
3. ヨウ素125放射性粒子の挿入による治療状況：TPS治療計画システムを応用した症例は84.1%（3651/4343)。放射線学科の医師が関与する病院は3.6%（6/165）で、関わった症例は9.1%（395/4343)。多職種専門チーム（MDT）が診断・治療に関与した病院は3.6%(6/165)、関わった症例は9.4%(409/4343)。

   挿入方法：映像（BUS、CT、X線等）による誘導下での挿入が大多数の約76.3%(3314/4343)を占め、他の挿入方法は術中直視下の挿入が20.1%（873/4343)、内視鏡下の挿入が3.6%（156/4343）であった。
4. ヨウ素125放射性粒子挿入の合併症：合併症発生率は全体の21.8%（946/4343）であった。内訳：甲状腺がん42.9%（3/7)、口腔がん30%（6/30)、肺がん27%（610/2257)、食道がん26.8%（33/124)、鼻咽頭がん23.9%（16/67)、すい臓がん16.8%（118/704)、乳がん16.5%（16/97)、前立腺がん14.9%（43/288)、胃がん9.2%（6/65)、軟部組織肉腫8.3%（1/12)、結腸・直腸がん7.2%（25/347)、婦人科腫瘍6.9%（2/29)、神経膠腫5.7%（11/193)、胆管がん5.4%（2/37)、膀

胱がん4.9%(2/41)、リンパ節転移がん4.5%(7/156)、転移性骨腫瘍3.9%（8/207)。胸膜中皮腫、鼻腔横紋筋肉腫、耳下腺がん、舌がん、腎臓がん等には合併症の発生がなかった。

5. ヨウ素125放射性粒子の挿入に関する論文：中国国内の同論文は179本。うち、論説160本、症例報告5本、総論4本。病院ごとの発表論文数は平均で1.1本（179/165）であった。

五．ヨウ素125放射性粒子挿入の問題

1. 過度の治療：組織細胞学的診断のなされた患者は43.8%しか存在せず、半数以上の患者に過度の治療の疑いがある。
2. 盲目的な治療：TPS事業計画システムを用いた患者は84.1%で、患者の15.9%には医師の経験だけに基づく治療が行われ、EBM（Evidence-based medicine）の原則に適合しない。
3. 分野を跨いだ協力の欠如：治療を行った医療機関のうち、放射線医学科の関与した病院は3.6%、関わった症例は9.1%であり、さまざまな分野による関与のあった病院は3.6%、関わった症例は9.4%であった。
4. 合併症発生率の高さ：大まかな統計によれば、粒子挿入後の合併症発症率は全症例の21.8%にも達した。
5. 中国全国を対象範囲とした、大規模で多機関が関与する前向き研究及びランダム対照研究が欠如している。
6. 発表された関連論文に研究テーマの厳密なデザインが欠如し、サンプル数が少なく、データが不完全で、大多数が単一医療機関内で完結しているため、結論に科学性が欠如している。

六．ヨウ素125放射性粒子挿入の管理の標準化

ヨウ素125放射性粒子の挿入の問題については、衛生部はこの治療法を第三類医療技術に分類し、厳しい管理を加える必要がある技術として専門家による検討・論証の機会を多数回組織し、相応の規則及び制度を制定した。中国のヨウ素125放射性粒子の挿入の現状については、国の定めた関連の規則・制度を遵守し、治療手順を厳しく標準化しなければならず、以下の条件を果たさなければならない。

1. ヨウ素125放射性粒子の挿入による治療を行う予定のすべての症例に対し、組織細胞学的診断を行うこと。
2. さまざまな分野の医師（外科、放射線治療科、介入治療科、アイソトープ専門技師又は放射線物理士、撮影可医師等）による共同の診察を行うこと。EBMの原則を順守し、一般の診療常識と適合し、かつ、個別の症例を対象とする標準的な治療プランを策定すること。
3. 標準的な治療プランを遵守することを前提に、科学的かつ合理的な治療計画を策定すること。TPS治療計画システムを利用し、粒子挿入における放射線量、粒子数、粒子の三次元空間位置等を算出すること。
4. 放射性粒子に対して厳格な管理を行うこと。
5. 挿入後の患者及び周辺環境に対する厳密なモニタリングを強化し、放射性粒子の挿入を受けた患者に対して厳密なフォローアップを行うこと。
6. 前向きで、多機関の関与する、大型のランダム対照研究を強化すること。

総括すれば、ヨウ素125放射性粒子挿入は歴史がある上に新たな活力を持つ診療技術であるため、一部の腫瘍にはプラスの治療効果を示すが、実際の運用では標準化された診断・治療手順が欠如している。このため、ヨウ素125放射性粒子の挿入においては、管理を強化し、最大の治療効果を発揮させることで、よりよい形で社会に奉仕する必要がある。また、問題発生を回避し、患者へのる副作用を減らすことに重要な意味がある。

慢性心不全の診断及び治療：2012年の現状及び進歩

• Profile •

黄　峻 Huang Jun ●南京医科大学第一付属医院教授、主任医師

南京医科大学第一付属医院（江蘇省人民医院）教授、主任医師、博士課程指導教員。1945年10月10日生まれ。1969年、南京医科大学卒業（臨床医学専攻）。1978-1981年、同校修士課程（修士号取得）。1983-1986年、米国セントルイス大学医学部で心血管の基礎・臨床研究に従事。1986年～南京医科大学第一付属医院（江蘇省人民医院）で主治医、副主任医師、主任医師を歴任、副教授、教授を兼任。当医院院長、南京医科大学副校長を歴任。現在は、中華医学会心血管症分科会常任委員、心不全専門グループ長、中華医学会心血管症分科会専門委員、中国高血圧連盟副主席・江蘇省分科会主任、米国心臓病学会フェロー（FACC）。中華医学会心血管症分化会の委託により、中国「慢性心不全診断及び治療ガイドライン（2007年）」、「β-アドレナリン受容体遮断薬の心血管疾患における応用に関する専門家のコンセンサス（2009年）」、「急性心不全診断及び治療ガイドライン（2010年）」の編纂を主導。多くの国際的・多機関による研究を含む臨床研究数十件を指導・参加。「EBMに基づく現代の心臓病学」、「心臓伝達系疾患」等の専門書を執筆。この他、専門書13冊を主編、編集に関わった教科書・専門書は17冊。

1．脳性ナトリウム利尿ペプチド/脳性ナトリウム利尿ポリペプチド前駆体N端フラグメントは慢性心不全の治療の指針となるか

脳性ナトリウム利尿ペプチド（BNP)/ 脳性ナトリウム利尿ポリペプチド前駆体N端フラグメント（NT-proBNP）の動態モニタリングは高く評価されている。しかし、臨床試験の結果とは決して一致しない。中国の慢性心不全ガイドライン（2007年）及び急性心不全ガイドライン（2010年）のいずれもこの評価方法を推奨しており、特に症状が深刻で、回復が遅れ病状が長く続いている心不全患者に対しては、長期にわたる治療中にこれら生物学的指標による評価を増やすことは疑いなく必要かつ有益であるが、依然として強力な根拠を欠いている。

一方、近年報告されたメタ分析には重大な意味がある。BNP/NT-proBNPを応用して心不全治療を評価した400件の研究から、以下の条件に適合する試験20件をスクリーニングした。すなわち、サンプル数が多く、RCT法を採用し、全死亡率を観察ゴールの1つとし、フォローアップ期間の比較的長いものである。スクリーニングされた臨床研究には、2009年発表の中性的結果を示すTIMI-CHF試験がある。これによれば、一般の臨床評価と比較すると、BNP/NT-proBNPの動態モニタリングは心不全治療に有益であり、全死亡率及び心不全の悪化による再入院率のいずれも低下した。抗心不全薬（アンジオテンシン変換酵素阻害薬(ACE阻害薬、ACEI)、β遮断薬等）の応用及び最終投与量も比較的多かった。

2．薬物治療の第四段階は如何に進めるべきか

慢性心不全治療の段取りは以下の通りである。すなわち、第一段階で利尿薬を、第二段階でACEI又はβ遮断薬を、そして第三段階ではACEI及びβ遮断薬を併用する。心不全の標準的な治療又は基礎治療とは、利尿薬、ACEI及びβ遮断薬を合わせた適用を言う。最良の効果を得るために、利尿薬は患者体内の液体滞留が消失するまで（体重に基づき評価）、すなわち「乾燥重量」状態に置かれるまで使用されるべきである。また、ACEI及びβ遮断薬は目標投与量又は最大耐用量まで使用されるべきである。こうして、標準的な治療は最適化レベルに達し、標準的及び優先的治療法と呼び得る。

標準療法及び至適療法後も患者の状態が思わしくない場合、例えば臨床症状の改善が思わしくなく、あるいは心不全の生物学的指標であるBNP/NT-proBNPの検査結果が思わしくない場合、すなわち治療後の減少幅が30%～40%に達していない場合は、いずれも薬物治療の効果が優れず、治療を更に一段階強化する必要があることを示している。

更なる治療の強化、すなわち心不全治療の第四段階では、現時点では3種類の薬品の選択肢がある。すなわち、ジゴキシン、アルドステロン受容体拮抗薬、ARBである。臨床試験データに基づき、次のような使用を推奨する。すなわち、(1) NYHA分類心機能分類Ⅱ度の患者にはジゴキシン（DIG試験）の追加がふさわしく、(2) NYHA分類Ⅱ～Ⅳ度の患者にはアルドステロン受容体拮抗薬(RALES、EPHESUS和EMPHUSIS試験)又はARB(CHARM試験)を追加して良いが、前者がよりふさわしい。

初期に実施された大規模臨床試験によれば、アルドステロン受容体拮抗薬の追加は標準療法及び至適療法後のNYHA分類Ⅲ～Ⅳ度の患者に有益であり、全死亡率を低下させる（RALES、EPHASUS試験）。近年実施されたEMPHUSIS試験により、NYHA分類Ⅱ度の患者にも有益であることが証明された。

３．β遮断薬をACEIより先に応用しても良いか

慢性心不全治療では一般にまずACEIを用いる。これは、初めて実施された臨床研究が1991年のACEIを用いた心不全治療（SOLVD-治療試験）であったためで、利尿薬及びジゴキシンによる基礎治療に加えてカプトプリルを用いたところ、プラセボ対照群と比べて全死亡率リスクを25%まで顕著に引き下げた。また、その後のCONSENSUS、SAVE等のいくつかのACEI臨床試験でも心不全患者にとって同じように有益であることが証明され、その効果はSOLVD試験の結果と似通っていることがわかった。これら試験においても、ACEIは利尿薬及びジゴキシンの基礎治療に追加して使用された。

しかし、この応用手順にはその後、課題が突き付けられた。CIBISⅢ試験とは、先にACEI（エナラプリル）を投与してからβ遮断薬を投与すべきか、あるいは先にβ遮断薬を投与してからACEIを投与すべきかという、慢性心不全患者に対するこれら2プランの治療効果に関する臨床研究であり、この結果、いずれのプランでも効果面で有意差がないことが分かった。しかし、軽中度心不全患者のサブグループを分析した結果、先にβ遮断薬を用いた患者への効果が最も高く、かつ、心臓疾患由来の突然死を明らかに減らすことができた。

心不全由来の心臓突然死の予防・治療研究においても先にβ遮断薬を使用することが支持されているようだ。MERIT-HF試験で心不全患者の死亡モデルと心機能NYHA分類との関係についてサブグループ分析を行った結果、慢性心不全患者では心臓突然死が極めて頻繁に見られ、さらには心機能Ⅱ度、Ⅲ度及びⅣ度患者の死亡モデルにおいて心臓突然死がそれぞれ64%、59%、33%を占めたが、心不全の加重による死亡はそれぞれ12%、26%、56%であった。このことによって、心機能の状態が比較的良好（例えばNYHA分類Ⅱ度）であっても心臓突然死は生じうる上、突然死はこれら患者の主な死亡タイプであることが証明されている。現時点では、β遮断薬は全死亡率及び心血管死亡率を低減させるのみならず、突然死率を約45%と大幅に引き下げることが立証されている（CIBISⅡ、MERIT-HF、US Carvidilol試験等）。このため、β遮断薬の早期適用は、心機能状態の良好なⅡ度患者における適用も含め、必要性があり合理的でもある。

基礎研究においても先にβ遮断薬を使用することが支持されている。研究によれば、慢性心不全の主な機序としての心筋再構築は、主にレニン-アンジオテンシン-アルドステロン系（RAAS）及び交感神経系の過度の興奮による。これら2系統の活性化及び過度の興奮は同時に発生せず、交感神経系の興奮が先で、続いてRAASが興奮する。このため、ACEIの前に先にβ遮断薬を適用することが良好な選択である。

総合的に見れば、実は、先に使用するのはACEIとβ遮断薬のいずれでもよく、臨床上、実際の状況を見て決めるべきことである。患者の血圧が高く、心拍数が遅く、かつ、心房細動又はその他の頻脈性不整脈がない場合はACEIを先に使用するのが適している。β遮断薬を先に使用するのは、心不全に明らかな交感神経系の興奮を伴い、心拍数が速く、心房細動又はその他の不整脈を併発し、冠動脈性心疾患を主訴とする患者である。

４．イバブラジンの慢性心不全治療における地位

当該薬品は当初、冠動脈性心疾患の治療に用いられた後、洞房結節If電流に対する抑制作用により顕著に心拍数を遅らせることが見出されたため、心不全の治療に使用され始めた。2010年に公表されたSHIFT試験の対象者は心不全患者であり、これによれば、当該薬品ではプラセボに比べ、死亡及び心不全の悪化による入院率の複合エンドポイントが18%と顕著に減少した。最近、SHIFT試験について更に一段階進んで実施されたサブグループ分析によれば、当該薬品の応用は心不全患者の心筋再構築及びQOLに有益な効果をもたらすことが証明されている。SHIFT研究は、現時点では、心拍数の低下による心不全の臨床的アウトカムに関する初めての前向き研究であり、単純に心拍数を低下させるだけの医薬品(イバブラジン)にも心不全の予後を改善する効果があることを始めて証明した研究でもある。

では、イバブラジンはβ遮断薬の代替となりうるか。あるいは、これら2薬剤の作用及び治療効果は同等であるのか。β遮断薬はさまざまな臨床試験（MERIT-HF、CIBIS-Ⅱ及びUS Carvidilol試験等）において、心不全患者の全死亡率及び突然死率を有意に減らすことが証明されているが、SHIFT試験においては、イバブラジンとプラセボを比較しても、全死亡率及び突然死率のいずれも減少していない。さらに、基礎治療においてβ遮断薬を、例えば目標投与量あるいは目標投与量の1/2と、比較的大量に投与したサブグループにおいては、イバブラジンは死亡及び心不全による入院の複合エンドポイントを低減させていない。このことは、イバブラジンの心不全患者に対する治療効果はβ遮断薬に及ばないことを証明しており、当然ながらβ遮断薬の完全な代替にはなり得ず、β遮断薬適用を基礎に、薬効が発揮されることを物語っている。

このため、イバブラジンはβ遮断薬を適用できず、あるいは目標投与量又は最大耐用量に到達できない患者に適用される。この際、患者の心拍数が明らかに速い場合(例えば≥70回/min)にイバブラジンを追加使用し、かつ、心拍数が55～60回/minに減少するまで、徐々に投与量を増加させてもよい。

５．ARBはACEIの完全な代替になるか

中国内外のガイドラインでは、一般にいずれもACEI適

用の優先性を強調しており、ARBを（例えば、咳の発生により）ACEIの使用に耐えられない患者の一種の代替治療として挙げている。この際のARBによる治療効果も大変良く、ACEIと異なる点はない（CHARM代替試験）。

しかし、この見方にも最近、大きな課題が突きつけられている。第1に、ACEIの主な副作用である咳の発生率はアジア人において比較的高い。心不全患者は年齢が高く、肺にうっ血がよく見られ、時には慢性閉塞性肺疾患を伴うために咳の発生率がさらに高くなる。確証的な研究データはないものの、一般に30%に達し、時にはこれを上回る。第2に、2000年以降に行われたRAAS遮断薬による心不全治療の研究の殆どにARBが適用されたことは、十分な薬効のみならず（Val-HeFT、CHARM、HEEAL試験等）、非常に安全で患者への適応性が高く、副作用の発生率も低いことを示しており、中性的な結果を示すARB研究（例としてはI-PRESERVE試験。主な対象は拡張性心不全）でさえも、副作用が低く、服薬コンプライアンスが高いと言う顕著な長所があり、これはACEIと明らかな対比を示している。第3に、ACEIではかつて、主にカプトプリル及びエナラプリルを用いてプラセボ対照群との大規模臨床試験を実施したことがあるが、後に登場したACEIについてはこのような大規模研究を行ったことはない。臨床上のモニタリングによれば、カプトプリルは咳の発生率が高く、一日2～3回服用する必要がある等、用薬も不便であるが、一方、エナラプリルの臨床効果も思わしくない。第4に、米国のAHA/ACC心不全ガイドラインでも支持されており、さまざまな原因による高血圧や心房細動、心筋梗塞においてすでにARBを適用した患者に心不全が発生した場合は、ARBの使用を止める必要はなく、ACEIに改めれば、ARBを使用し続けることができる。第5に、欧米のガイドラインでARBの使用を第一に推薦するのは経済面を考慮しているからである。ACEIはARBに比べはるかに安いが、中国ではこれら2剤の価格はほとんど同じである。

このため、ここ数年、中国の心不全臨床治療における傾向として、ACEIの使用に耐えられない患者のみならず、すべての患者にARBを直接適用する医師が一部に存在する。しかし、筆者は依然として、ACEIを優先的な選択肢とするべきと考える。しかし、ARBを直接又は優先的に適用する方法も、筆者は不当なわけでもないと見做し、反対する必要も積極的に賛成する必要もなく、医師が具体的な状況を斟酌して決めてよいと考える。

６．ACEI又はARBは目標投与量又は最大耐用量まで使用すべきか

当初、ACEIによる心不全治療及びプラセボとの対照臨床試験においては、いずれも大量投与を適用していた。これは、これら投与量下で患者に利益があったためで、国内外のガイドラインではいずれも上記水準への到達又は少なくとも接近を要求しており、かつ、これら用量を目標投与量に設定していた。では、少量投与も同じように有益であるか否かだが、大量投与と少量投与と対比させた比較研究はまだ出されていない。

最近のHEEAL研究において、ARBの大量投与と少量投与による慢性心不全への影響を一対一で対比させた結果、大量投与（ロサルタン150 mg/d）は少量投与に比べ（ロサルタン50 mg/d）、死亡及び心不全による入院の複合エンドポイントを顕著に引き下げている。この研究により、心不全治療においてはARBの投与量は多いべきであることが証明されたようだ。このため、これまでのELITE Ⅱ試験においても、ロサルタン（50 mg/d）少量投与群とカプトプリル群を対比したところ、心不全患者の主要エンドポイントには差がなかった。

慢性心不全の病理学的・生理学的機序の分析によっても、RAAS遮断薬は大量投与を行うべきという考え方が支持されている。心不全の病理機序は心筋再構築にあり、RAAS及び交感神経系の過度な興奮が心筋再構築の主な機序である。効果的かつ充分にRAASを遮断するためには、有害な病理学的・生理学的プロセスを明らかに逆転させて心不全の進行を減速又は遮断する必要があり、これにはACEI又はARBの大量投与が必要となる。

しかし、臨床試験においては、このような大量投与には大きな課題がある。RAAS遮断薬の投与量の増加に伴い副作用発生の機会も増えるためである。この傾向はACEIに顕著である。副作用には、第1に血圧の降下、第2に生化学的検査における血中カリウムレベル、血中クレアチニン濃度の上昇があり、腎機能障害が引き起こされる可能性さえある。大量投与に到達するまでに、相当の患者が困難に直面するだろう。このため、心不全の臨床に携わる医師の間には、ACEI又はARBは少量から中用量までの使用でも患者に有益であり、投与量は必ずしも目標投与量に達する必要はないとする、ある種のコンセンサスも存在する。これは、β遮断薬の適用と異なる点である。筆者の考えでは、このような認識に不当はないが、患者が投与に耐え得るなら、なるべく目標投与量に達するまで投与すべきと考える。

７．拡張性心不全の診断 治療

拡張性心不全の正確な診断は如何に行うべきか。心エコー図は患者の拡張機能の評価に用いることができるため、拡張性心不全においても重要な診断方法であるのは自然の流れである。しかし、心エコー図上の拡張機能に対する評価は、特に現場の医師にとっては、患者が拡張性心不全を発症しているか否かを診断する不可欠条件ではない。拡張性心不全の診断は、臨床症状によっても行うことができる。

中国の「慢性心不全診断及び治療ガイドライン（2007年）」に提示される拡張性心不全の主な診断指標は次のと

おりである。すなわち、(1) 心不全の症状及び兆候を呈していること、(2) LVEF≥45%であること、(3) 心臓の大きさは正常で、特に左室の大きさが正常であり、心エコー図上で測定した左室収縮末期容積及び拡張末期容積のいずれも正常範囲にあること。左房に軽度の肥大があっても良い。(4) 心臓弁疾患、心筋症、心膜疾患の可能性が排除できること。これら疾患は拡張機能の低下及び拡張性心不全を引き起こし得る。

拡張性心不全の診断に有益な方法は他にも存在する。大量の疫学研究によれば、拡張性心不全患者には往々にして次の特徴がある。すなわち、(1) ほとんどが高齢者である。(2) 女性が多い。患者の2/3は女性である。(3) 拡張性心不全の病因は主に高血圧、又は患者に高血圧の既往歴があることである（約2/3を占める）。(4) 患者には、次の症状の併発が良く見られること。すなわち、肥満、心房細動、冠動脈性心疾患又は脳血管疾患等の末梢動脈疾患。疑似患者に対しては、BNP/NT-proBNP検査を行うべきである。なぜなら、拡張性心不全患者はこの指標が明らかに高くなるはずであるが、一般的に、上昇幅は往々にして収縮性心不全ほど大きくない。しかし、間違いなく上昇し、病状の重い者ほど上昇幅も大きくなる。

では拡張性心不全は如何に治療すべきか。利尿薬は症状改善を助け、体内に滞留する液体を効果的に排出させ、心臓の負荷を減らすが、長期的かつ生涯服用が必要となる。血圧の積極的な引き下げの必要性は高い。血圧は＜130/80 mm Hg（1 mm Hg=0.133 3 kPa）に維持する必要がある。血圧の指標達成は心不全の再発予防に効果的で、拡張性心不全の病理学的・生理学的機序にも有利な影響をもたらす。β遮断薬も効果を示す可能性がある（SENION試験。冠動脈性心疾患、心房細動等の合併症をコントロールする必要がある。肥満者は体重を減らす必要がある。ジギタリス系医薬品、例えばジゴキシンの使用は推奨されない)。

現時点では、拡張性心不全の鍵となる病理学的・生理学的機序はまだ明らかになっていないため、治療理念及び方法にブレイクスルーは見られておらず、収縮性心不全対処の基本モデルの域からも出ていない。今後、この分野における更に深くかつ広範な研究が待たれる。

８．心臓再同期療法はNYHA分類Ⅱ度の患者に標準適用可能か

心臓再同期療法（CRT）の適応症に関しては、2009年以前に公表された海外の関連ガイドラインのいずれも、患者の心機能をNYHA分類Ⅲ～Ⅳ度に限定していた。

最近、CRTを応用して心不全治療を行った3つの臨床研究(REVERSE、MADIT-CRT、 RAFT試験）（NYHA分類Ⅰ～Ⅱ度、主にⅡ度を対象とした）のいずれの結果でも、CRTは心不全の顕著な症状を呈する患者だけに有益な治療法ではなく、心不全の進行を予防する有効な方法であり得ることが示された。このため、2010年に欧州ESC及び米国ACC/AHAは双方とも、心不全の非薬物治療ガイドラインを改正し、NYHA分類Ⅱ度の患者に対するCRTの使用を奨励した。

しかし、RAFT試験によれば、CRTはNYHA分類Ⅱ度の一般の患者への使用は適さず、NYHA分類Ⅱ度の中でも病状の重い患者、すなわち、LVEFが非常に低く（＜20％又は少なくとも＜25％)、心室非同期性が顕著な患者(QRS波が150msに達し、又は左脚ブロックを併発)が主な対象として適している。このほか、CRTは高価で無反応患者が30%にも達する上、これら患者にとってCRT治療が有益か無益かを確定できる信頼性の高い指標は、現時点では存在しない。このため、筆者は、NYHA分類Ⅱ度で、かつ適応症のある心不全患者には使用を検討してよいが、適応症については厳密に把握する必要があると考える。

糖尿病患者の脂質調整治療と心血管の保護

• Profile •

胡　大一 Hu Dayi　●北京大学人民医院心臓センター主任、心血管疾患研究所所長、教授

国際欧亜科学院院士、中華医学会心血管疾患分科会主任委員。北京大学人民医院心臓センター主任、教授、主任医師。1946年7月生まれ。1970年、北京医学院（現在の北京大学医学部）医療系卒業、学士号取得（医療専攻）。1990年～1993年、北京医科大学第一付属医院心臓内科にて主任医師、教授。1993年～2000年、首都医科大学付属北京朝陽医院にて主任医師、教授、博士課程指導教員。現在、首都医科大学心血管疾患研究所所長、北京大学心血管疾患研究所所長、北京大学人民医院心臓センター主任、博士課程指導教員、復旦大学公共衛生学院臨床流行病学研究センター主任。受賞及び称号歴は、「高周波カテーテルアブレーション（RFCA）による頻脈性不整脈の治療及び急性心筋梗塞による死亡への直接経皮介入治療」で国家科学技術2等賞、著書「健康は気持ちから」で国家科学技術進歩2等賞を2回、2010年には第4回両岸四地（大陸、香港、マカオ、台湾）の2010年度「華人タバコ害予防・制御貢献賞」、「中華医学会優秀医学普及従事者」。著書「国民健康携帯号」は「中華医学会優秀医学普及作品」に指定。現在、中国全国を対象に心血管疾患の予防及び学際総合研究を積極的に推進。

糖尿病は、ヒトの健康を著しく害する非感染性慢性疾患として世界で広く流行しており、アジアでは中国とインドの2か国で発生率が高い。1996年における中国の統計データによれば、25～64歳の糖尿病発生率は3.21%であった。中国では糖尿病はすでに重要な公衆衛生問題となっており、ターゲット的な予防・治療戦略とその実施が急務となっている。

1　軽視できない糖尿病患者の血中脂質異常

糖尿病介入における伝統的な戦略及びアクションは主に血糖降下であるが、イギリスの糖尿病前向き研究（UKPDS）によれば、血糖降下治療の強化により（網膜の病変等の）微小血管症の発症を低減できても、大血管の病変リスクには有意な低減は見られなかった。一方で、血圧をより厳しく制御すれば大血管疾患を有意に減らせることがわかった。同研究はさらに、糖尿病患者の血中脂質異常の管理は軽視すべきでないとした。糖尿病は単純な糖代謝疾患に終始しないため、血糖、血圧、血中脂質異常の総合的制御が必要である。運動や理性的な食事による体重コントロールが糖尿病の基礎的な予防措置となる。

糖尿病は心血管疾患（cardiovascular disease，CVD）と密接な関係があり、CVDの発症リスクが明らかに上昇する。糖尿病患者のCVD死亡率は健康なヒトの2～3倍で、世界では毎年380万人が糖尿病で死亡し、うち約80%がCVDで死亡している。研究の結果、単純性糖尿病患者が10年以内に心筋梗塞又は冠動脈疾患により死亡するリスクは陳旧性心筋梗塞患者に相当するが、糖尿病患者における急性心筋梗塞の短期あるいは長期予後は非糖尿病患者に比べ劣る。中国心血管疾患レポート2007によれば、中国の糖尿病患者における虚血性脳卒中の発症リスクは非糖尿病患者に比べ明らかに高い（92.1%対71.3%）。糖尿病は下肢動脈硬化症の主なリスク因子でもある。このため、米国のナショナルコレステロール教育プログラム（NCEP）成人治療委員会がまとめたガイドライン（ATPⅢ）及び2007年公布の「中国成人の血中脂質異常予防ガイドライン」のいずれも糖尿病を冠動脈性心疾患の同等の疾患と見做し、糖尿病患者に対する積極的な脂質調整治療を強調している。

糖尿病、血中脂質代謝の異常、高血圧、喫煙、肥満はCVDの5大リスク因子であり、CVD発症及び死亡の主因でもあるが、2型糖尿病の血中脂質代謝異常患者にはこのうち2つの重要なリスク因子が集中している。血中脂質異常は糖尿病患者において大血管に病変が生じる主なリスク因子の一つである。UKPDSの研究結果によれば、糖尿病患者に致死的及び非致死的心筋梗塞が生じるリスク因子のうち、第一位及び第二位はそれぞれLDLコレステロール（LDL-C）レベルの増加及びHDLコレステロール（HDL-C）レベルの低下であり、これに拡張期血圧の増加と喫煙が続く。糖尿病による心血管リスク抑制アクション（ACCORD）研究によれば、厳しい血糖コントロールも2型糖尿病患者の大血管疾患併発の予防において有意な効果を示していない。大慶市の調査データによれば、中性脂肪（TG）≥220 mg/dlのヒトの糖尿病発生率はTG≤62 mg/dlのヒトの2.3倍である。このため、糖尿病患者の血中脂質異常への介入は冠動脈性心疾患の予防・治療に重要な意味を持つ。

心血管医による糖尿病の処理は2つの大きな問題に直面している。第1には冠動脈性心疾患患者には普遍的に2型糖尿病又は明確に診断できない糖代謝異常があり、これら糖代謝異常は往々にして見過ごされる点であり、第2には糖尿病に急性冠動脈症候群又は慢性冠動脈性心疾患を併発する患者に対する介入治療は、効果が思わしくない点である。

米国糖尿病学会（American Diabetes Association，ADA）が2型糖尿病の典型的な血中脂質値の特徴について行った描写によれば、TGを豊富に含む脂質タンパクレベルが上昇するとHDL-Cレベルは低下し、LDL-Cレベルは正常

又はやや上昇する。低比重リポタンパク（LDL）の比重が増えると粒子は小さくなる（小粒子低比重リポタンパク，sLDL）。中華医学会糖尿病分会が編纂した2007年版の「中国2型糖尿病の予防・治療ガイダンス」によれば、2型糖尿病患者によく見られる血中脂質異常はTGレベルの上昇及びHDL-Cレベルの低下である。このため、糖尿病患者の異常血中脂質に関する各パラメータを全面的に調整することは、冠動脈性心疾患の予防・治療に重要な意義を持つ。

2　脂質の調整 治療による糖尿病患者の心血管疾患リスクの低減

血中脂質異常は糖尿病患者によく見られる合併症であり、CVDの主なリスク因子である。臨床試験によれば、脂質の調整・治療により糖尿病患者における心血管疾患発祥のリスクを有意に低減できる。

「英国医師会雑誌」（BMJ）掲載のメタ分析によれば、血中脂肪の低下によって（大部分でスタチンを応用）糖尿病及び非糖尿病患者の心血管疾患リスクを大幅に低減できる。また、1次予防であると2次予防であるとを問わず、糖尿病患者の受益が最も大きい。スカンジナビアにおけるシンバスタチン生存率研究（4S）の糖尿病サブグループによれば、糖尿病患者がスタチンを服用した後の冠動脈性心疾患リスクは55%（P＝0.002）、全死亡率は43%（P＝0.087）低下する。イギリスにおける心臓の保護に関する研究（Heart Protection Study，HPS）によれば、シンバスタチンによる治療で心血管疾患のリスクが27%（P＜0.0001）低下することにより、糖尿病患者の血中脂質異常（第一の目標はLDL-Cの低減）に対する積極的な干渉によってCVDの発症を遅らせ、又は予防できることが証明されている。アトルバスタチンと糖尿病の協調研究（CARDS）ではさまざまな心血管リスク因子を伴う2型糖尿病患者2838例を対象とした結果、アトルバスタチン10 mgによって主なエンドポイントは37%、すべての心血管疾患は32%、全死亡者数は27%、脳卒中は48%減少したことから、スタチン治療は糖尿病患者におけるCVDの一次予防に有効であることが証明された。

中国における冠動脈性心疾患二次予防研究（CCSPS）においては、心筋梗塞による脂肪患者4870例を対象とし、うち591例を糖尿病患者として平均4年間にわたりフォローアップした。その結果、糖尿病患者は長期にわたり通常用量の血脂康カプセルで治療を受ければ大血管疾患の併発リスクを低減でき、冠動脈疾患はプラセボ群に比べ50.8%（P＜0.001）、冠動脈性心疾患による死亡は44.1%（P＝0.025）、全死亡率は44.1%（P＝0.009）減少した。この大規模臨床研究の結果により、中国の糖尿病患者で冠動脈性心疾患を併発した症例では、血脂康カプセルを使った全面的な脂質調整によって大血管疾患の併発を効果的に減らすことができ、ベネフィットが多いことが分かった。

現時点では、糖尿病患者の冠動脈性心疾患の予防における最初の選択は依然としてスタチン系薬剤である。この種の医薬品はエンドポイントを減少し、大血管疾患の予後に対する効果がフィブラート系薬剤に比べはるかに顕著である。フェノフィブラートによる介入及び糖尿病疾患低減研究（FIELD）でもこの点は説明されている。スタチン系薬剤を使うか使わないかの判断においては、設定されたLDL-Cの閾値を遵守するべきである。そして、さらに重要なのは心血管リスク因子に対する全面的評価である。

3　2型糖尿病患者の脂質調整戦略―全面的脂質調整

中国内外における脂質調整治療のガイダンスはいずれも脂質を減らして「基準に到達」させる必要があり、又はLDL-Cレベルを投薬前に比べて30%～40%減らす必要があることを強調している。脂質調整治療の最初の目標はLDL-Cレベルの低下であるが、LDL-Cレベルの低減幅は脂質調整治療による利益の大きさを果たして反映しているのだろうか。

2008年、ADA及び米国心臓学会（American College of Cardiology，ACC）は、糖尿病に確定診断を受けたCVDを併発している患者、並びにCVDの臨床症状はないものの1つ又は複数のリスク因子を持つ患者をCVDハイリスク患者と見なすことを推奨し、LDL-C目標値は＜70 mg/dlであるべきとした。また、糖尿病にかかっておらず、若しくはCVDの臨床症状はないものの、2つ若しくはより多くのリスク因子を持つ患者、又は糖尿病を発生しているものの他のリスク因子のない患者をCVDハイリスク群と見なすことを推奨し、LDL-C目標値は＜100 mg/dlであるべきとした。LDL-Cの基準値達成と同時に非HDL-C（アテローム性動脈硬化を導くすべてのリポタンパクを含む）レベルの制御にも注意する必要があり、すなわち、ハイリスク群の非HDL-Cは＜130 mg/dl、超ハイリスク群の非HDL-Cは＜100 mg/dlに制御する必要がある。

CCSPS研究（血脂康カプセル1.2 g/dを投与）では、糖尿病サブグループのLDL-Cは16.9%減少し（108 mg/dlまで減少）、糖尿病患者は脂質調整治療後、冠動脈疾患が50.8%減少した（P＜0.001）。このため、R3i（残余リスクによる問題の減少を目指す）国際運営委員会委員は、現在の標準的治療にはLDL-Cの基準達成や血圧・血糖制御の強化が含まれるとは言え、大血管疾患及び微小血管症の合併症の残余リスクは依然として大多数の患者に存在すると考えた。LDL-Cの低下にだけ注目しても、低HDL-C及び高TG間に相関する血管の残余リスクは解決できず、臨床上、心血管症例の低下率不足という問題が依然として存在する。糖尿病患者の血中脂質異常の全面的な調節がますます注目されるようになってきている。

学術誌「diabetes care」に掲載されたある研究では、冠動脈造影を実施した患者750例の血中脂質指標及び冠動脈狭窄や変質等の主な血管疾患を観察し、2～3年のフォローアップの結果、HDL相関因子と2型糖尿病患者の冠動脈狭窄又は血管疾患との相関性はLDL相関因子よりも密接であった。sLDLは通常のLDLに比べて強いアテローム性動脈硬化作用があり、冠動脈性心疾患リスクを4倍、心筋梗塞による死亡リスクを6倍以上強化させる。4S、虚血性心疾患に対するプラバスタチン長期介入試験（LIPID）、腎臓病患者に対する心血管造影研究（CARE）及び西スコットランドにおける冠動脈性心疾患予防研究（WOSCOPS）のいずれも、スタチン介入で冠動脈疾患を減少させられるが、ベネフィットの程度はHDLレベルによることを示しており、HDLが正常又はやや高い時のベネフィットが最も顕著であった。スタチンを単独で使用した研究によれば、これら治療は心血管疾患リスクを20%～40%減らすが、60%～80%の残余リスクがなお存在する。高比重リポタンパクによる動脈硬化症治療の研究（HATS）及び家族性のアテローム性動脈硬化に対する治療研究（FATS）によれば、スタチンの使用によるLDL-C低下を基礎に、ナイアシンを用いてHDL-Cを高めることで心血管疾患リスクを一層低減することができる。

LDL-C及びHDL-Cがますます注目される中で、TGも軽視できない因子である。プラバスタチン/アトルバスタチンによる治療効果の評価及び抗炎治療研究（PROVE IT-TIMI 22）において、高用量のスタチン類薬品はLDL-Cを＜70 mg/dlまで低減させるものの、TG≧200 mg/dl（2.3 mmol/L）の患者の死亡、心筋梗塞による死亡、急性冠動脈症候群のリスクはTG＜200 mg/dlの患者に比べて50%上昇することから、TGは大血管疾患における残余リスクの重要因子であることがさらに証明された。

今年発表されたACCORD研究のサブグループ分析結果によれば、TG≧204 mg/dl、HDL-C≦34 mg/dlの2型糖尿病患者に対しては、プラセボを併用した際と比べ、シンバスタチンにフェノフィブラート併用治療した方が主な心血管疾患リスクを31%と有意に引き下げた。

糖尿病患者の脂質調整治療については、特に深刻な血中脂質異常を除き、一般的にはスタチン治療を最初の選択とすべきである。そして必要に応じ、特に混合型血中脂質異常が存在する場合は、生活様式の変化を通じても効果が思わしくない際に薬を併用することは安全ではあるが、最初の投与量は少なくし、かつ、密接なモニタリングとフォローアップを行うべきである。スタチン系薬剤（血脂康カプセルを含む）をフィブラート系薬剤と併用する際は、ゲムフィブロジルではなく、フェノフィブラートを最初の選択とするべきであり、フォローアップ中は肝臓酵素のモニタリング以外に、患者に筋無力症や筋肉痛等の症状を確認し、明らかな異常がある場合には即座に評価し、処置を行う必要がある。軽・中度混合型血中脂質異常（総コレステロール及びTGが同時に上昇するケース）に対しても、血脂康カプセルを最初の選択肢として単剤治療を行っても良い。血脂康カプセルには天然由来のスタチン及びさまざまな成分が含まれており、TG低減作用は通常用量のスタチン系薬剤より強い上に、sLDL含有量を減らすことができ、糖尿病患者のインシュリン感度を高め、糖尿病患者に多くのベネフィットをもたらす。

糖尿病は冠動脈性心疾患等の危険因子であり、糖尿病患者は心血管疾患を発症しやすい。血中脂質の異常は糖尿病に大血管疾患の併発リスクを高めるため、心臓内科及び内分泌科医師のいずれも積極的に対応する必要がある。冠動脈性心疾患に糖尿病を併発する患者の血中脂質異常に全面的に介入することにより、患者の心血管予後を顕著に改善することができることから、脂質代謝異常の治療状況を糖尿病患者の予後評価の重要指標とするべきである。中国で実施されたCCSPS研究からは、一般用量の血脂康カプセルによる脂質全体の調整により、中国における糖尿病患者の大血管疾患合併症の発生を効果的に低減できたことから、そのベネフィットは有意であることがわかった。

中国の大気汚染と肺がんの関係に関する疫学研究の歴史

• Profile •

闕　海東 Zhou Xiaonong ●復旦大学公衆衛生学院公衆衛生安全教育部重点実験室教授

復旦大学公衆衛生学院教授、博士課程指導教員。1974年7月生まれ。1992年9月～1997年7月、上海医科大学公衆衛生学院予防医学専攻（学士）。1997年9月～2000年7月、復旦大学公衆衛生学院環境衛生学専攻（修士）。2000年9月～2003年7月、復旦大学公衆衛生学院環境衛生学専攻（博士）。Environmental Health Perspectives誌のエリア主編、国家環境・健康専門家コンサルティング委員会委員。米国の中華医学基金会（CMB）で優秀教授賞、アメリカ胸部疾患学会 (ATS) David Bates賞、教育部新世紀優秀人材、上海市科学技術進歩2等賞（うち序列第1位）等を受賞。主な研究対象は、大気汚染及び気候変動による住民の健康に対する影響及び機序。

共著者：陳仁傑、張金良

1970年代以降、中国の肺がんは明らかな増加傾向を呈し、今では多くの地域（特に都市部）住民の主な死因の一つとなっている。これまでに3回実施された中国の全死因遡及的調査(1973～1975年、1990～1992年、2004～2005年)のデータによれば、肺がん死亡率は1970年代の7.17/10万(都市住民は12.61/10万)から1990年代初頭には15.19/10万に、2006年には30.84/10万と上昇を止められず、肝臓がんに代わり中国の悪性腫瘍による死因のトップとなった。都市部の肺がん発生率及び死亡率は農村をはるかに上回った。

ここ20年余り、多くの疫学研究により、大気汚染とヒトの肺がん発生/死亡率の増加には有意な関係があることが証明されている。米国がん学会が1982～1998年に50万人もを対象に実施したコホート研究によれば、微小粒子($PM_{2.5}$)の年平均濃度が10μg/m^3増加するごとにヒトの肺がん死亡率は8%(RR=1.08，95%CI:1.01～1.16)上昇した。しかし、海外に比べ中国では、大気汚染と肺がんとの関係について厳密にデザインされた疫学研究がほとんど見られず、研究の大部分は大気汚染物質と肺がんの発生/死亡率について相関/回帰分析または単純な比較分析を行っているに過ぎない。本稿では、中国の大気汚染と肺がんの関係に関する疫学研究を系統的に回顧し、今後の更なる研究に向け若干の根拠を提供する。

1 中国の大気汚染レベル

中国は世界でも大気汚染の最も深刻な国の一つである。環境保護の専門家たちの努力により、この30年間で中国では、主な大気汚染物質の濃度は窒素酸化物(NOx)を除き明らかに減少した。2008年における中国各地の省都31都市における呼吸域粉塵(PM_{10})及び二酸化硫黄(SO_2)の平均レベルは、2001年に比べそれぞれ19.46%及び20.73%減少したが、二酸化窒素(NO_2)レベルは1.32%しか減少せず、やや増加した年さえあった。図1は環境保護重点都市113ヶ所における2008年の平均汚染レベルと中国の国家標準、WHOの基準、米国の国家基準との比較である。図によれば、都市の空気品質はこの時点では中国の環境空気品質2級標準を基本的に満たしているが、国際基準と比べれば、特にPM_{10}に大きな差があることが分かる。

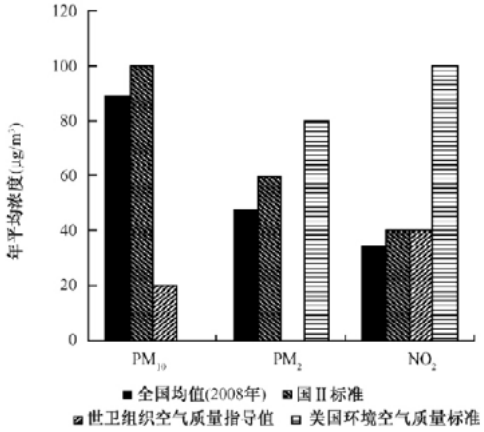


図1　中国の大気汚染レベルと国家/国際標準との比較

グラフ縦軸：年平均濃度（μg/m^3）

グラフ横軸：全国平均（2008年）、中国の環境空気品質2級標準、WHO空気品質ガイドライン値、米国の環境空気品質基準

2 さまざまな大気汚染物質と肺がんとの関係

2.1 総合的な大気汚染

中国では現在、大気汚染と肺がんとの関係に関する研究のかなりの部分は具体的な汚染物質を対象とせず、全体的な汚染レベルに基づき、各地域を汚染地域と非汚染地域に分けて研究を行っている。大気汚染と肺がんの発生リスクに関する定量分析は非常に少ない。瀋陽、鞍山における10年研究(1980～1989年)によれば、喫煙エリアのある都市住民の肺がん発生リスクは非汚染地域に比べて30%増加し、冶金等の重工業工場や炭鉱付近の住民のOR値は居住年数の長さに比例して上昇した。遼寧省の複数の都市の大気汚染と住民の健康に関する横断的研究の結果、汚染地域と非汚染地域を比べると肺がん発生のOR値

は1.0～1.5の間にあることがわかった。一方、瀋陽での別の研究では、肺がんは汚染の深刻化と比例して増加傾向にあることがわかったが、症例数が少なく、統計的有意性を見出すまでに至っていない。広州市、成都市、南寧市、上海市の研究結果でも、大気汚染の深刻な地域ほど肺がん死亡率が高いことが分かったが、統計的有意性に関する検証はまだ行われていない。

また、一部の研究では大気品質指数と肺がんの発生/死亡率との相関関係を推算している。青島市の研究によれば、1981～1988年の大気汚染総合指数(すなわち、SO_2、浮遊粉じん、降下ばいじん、NOx、COの分数指数平均値)と4年後、すなわち1985～1992年の肺がん発生率及び死亡率は顕著な相関を示しており、相関係数(r)はそれぞれ0.976及び0.970にも達した。別の研究によれば、青島市における1980～1984年の大気品質指数(SO_2、NOx、TSP、降下ばいじん)は5年後の肺がん死亡率と顕著な相関を示した(r=0.852)。西安市、銅川市、宝鶏市等の研究でも、大気汚染総合指数(SO_2、NOx、浮遊粉じん、B［a］P的分数指数平均値)と肺がん発生率は有意な正相関を示した(r=0.972)。厳密に言えば、肺がんの影響因子は不確定な灰色システムである。灰色分析（Grey relation analysis）を運用した結果、杭州市の大気品質指数とタイムラグ4年後の肺がん死亡率との相関性が最も強かった(r=0.980)。エアロゾルはさまざまな大気汚染物質と関連性がある。1954～2005年の広州市の地表でのスモッグに対するモニタリングデータを分析した結果、タイムラグを7年とした場合、エアロゾル消散係数と肺がん死亡率のrは0.970であった。

2.2 粒子状物質

大気粒子状物質(PM)の発生源は複雑だが、中国の最も重要な大気汚染物質である。粒子径が小さいほど、健康リスクに対する効果は顕著である。中国では2000年6月以降、PM_{10}(すなわち空気動力学径が10μmより小さい粒子状物質)が浮遊粒子状物質総量(TSP)に代わり大気中の法定モニタリング物質となった。1985～1990年における重慶市中心部の大気汚染モニタリングデータ及び1988～1990年の肺がん死亡率について段階的回帰分析を行った結果、TSP、SO_2、NOxの3つの変量のうち、TSPだけが肺がん死亡率の増加と有意な相関を示し、郊外の4つのモニタリングポイントに比べ、市中心部住民の肺がん死亡率はRR=5.6であった。青島市の研究でも、これら市街地と郊外との間には有意な差があった。さらに、他のいくつかの研究では存在しうる相関性について分析を行った。1984～1993年における福州市市街地のTSP年平均濃度と肺がん死亡率のrは0.603(P<0.05)であった。1990～1992年における合肥市の肺がん死亡率と1985～1992年における大気汚染物質レベルのrは0.938(P<0.01)に達した。大気汚染物質相互間には往々にして強い関係性があり、リッジ回帰モデルを運用した結果、1980～1991年における徐州市の大気汚染物質中のTSPと肺がん死亡率との相関関係が最も強いことがわかった。天津市の灰色分析の結果、1984～1988年の大気中のTSPの年平均濃度は、タイムラグ12年後の肺がん発生率との時系列での相関が最も大きかった。厦門市の毎年の肺がん標準化罹患比（SMR）と大気汚染データを重複測定データと見なし、かつ、一般化推定方程式に基づきシミュレーションした結果、TSPによる有意な作用が見出された。

2.3 二酸化硫黄

大気中の二酸化硫黄(SO_2)は、主に化石燃料燃焼による汚染に由来し、粒子状物質とは別の主な大気汚染物質であり、補助的発がん性物質でもある。1976～1981年に計測した、撫順市のモニタリングポイント12ヶ所におけるSO_2濃度及び同市内の街道（コミュニティ）における1987年の肺がん標準化罹患比のrは0.858で統計的有意性があり、SO_2と肺がん発生との間には相関関係があるだろうことを示している。灰色分析による天津市の相関研究によれば、1996～2000年の肺がん発生率は13年前の大気中のSO_2年平均濃度との関連性が最も強い。厦門市の一般化推定方程式に基づくシミュレーション研究によれば、SO_2と肺がん発生率は有意に関係し、かつ、関係性はTSPより大きい。別の研究では、1978～1989年に山東省の13都市の肺がん死亡データと例年の大気汚染モニタリングデータを分析したところ、大気汚染物質のうちSO_2だけが段階的重回帰分析に帰すことができ、肺がん死亡率とのrは0.823で、統計的有意性があった。合肥市で行われた分析でも、大気汚染物質のうちSO_2だけが回帰分析に帰すことができ、かつ、肺がん死亡率とのrは0.938(P<0.01)にも達した。ウルムチ市の住民を対象に1979～1992年に行われた肺がん死亡率の分析によれば、SO_2は段階的重回帰分析にも帰すことができ、r=0.715(P<0.05)であった。広州市及び浙江省海寧市のいずれでも、肺がんの標準化死亡比とSO_2は顕著な相関関係を示した。Eviewsソフトウェアに1982～2006年における北京市内の大気汚染データと住民の肺がん死亡データの分布ラグモデルをフィッティングさせたところ、SO_2レベルはタイムラグ7年後の肺がん死亡率との相関関係が最も強かった。SO_2は大気中に排出された後、一連の化学反応を経て硫酸塩を生成し得る。北京市の1980～1992年における硫酸塩濃度(SO_{2-4})と1992年の肺がん死亡率について相関性分析を行ったところ、男性のrは0.620で統計的有意性はなかったが、女性ではrは0.800(P<0.05)にも達した。

2.4 窒素酸化物

さまざまな鉱物燃料の燃焼、特に自動車の排気ガスは大気中の窒素酸化物(NOx)の重要な源である。中国では2000年6月以降、NOx中毒性の比較的高い二酸化窒素(NO_2)を大気中の法定モニタリング物質に定めている。研究者たちは地理情報システム（GIS）の空間予測機能を利用し、江蘇省における肺がん由来の死亡と大気汚染の空間地理分布図との相関性を分析した結果、大気汚染物質のうち、

NOx濃度と肺がんの標準化死亡比との相関性にのみ統計的有意性(P<0.01)があり、rは0.454であった。陝西省西安市等の研究でも、NOx濃度と肺がんの標準化死亡比の間には有意な正の相関関係があり(r=0.611)、肺がん発生の主要因子の一つであることを示した。江蘇省徐州市で1980～1991年に行われたリッジ回帰分析でも、住民の肺がん死亡率と大気中のNOxには有意な正の相関関係があることが示されたが、相関性はTSPより弱かった。このほか、ウルムチ市の研究においても、NOxと肺がん死亡率との相関性はさまざまな汚染物質の中で最も強い(r=0.921)ことが示されたが、その後の多因子分析及び段階的重回帰分析のいずれでもモデルに当てはまらなかったことから、NOxは他の汚染物質と比較的強い相互作用があるかもしれない。研究者たちは灰色分析の結果、ウルムチ市の肺がん死亡率とNOxの関係が最も近いことを見出した。武漢市における灰色分析も、NOxは肺がんの損失生存年数との関連性が最も強いことを示した。

2.5 多環芳香族炭化水素

ベンゾ(a)ピレン［B(a)P］は、多環芳香族炭化水素類化合物(PAHs)のうち発がん性が最も強く、粒子状物質の発がん毒性の主な成分の一つと考えられている。研究に基づけば、1985～1989年の山東省済南市、青島市、淄博市の3市における肺がん死亡率と大気中のB(a)P含有量の変化傾向は基本的に平行であったことから、両者には一定の相関関係があるかもしれない。別の研究では、長沙市の市街地について、郊外を対照群として1976～1979年の大気汚染レベルと肺がん死亡率の関係を比較したところ、B(a)P濃度だけが肺がん死亡率との間に有意な相関関係(r=0.900)を示した。遼寧省撫順市や陝西省西安市等の研究でも、大気中B(a)P濃度は肺がん死亡率と有意な関係を示し、相関係数はそれぞれ0.685及び0.738であった。研究者たちはEuler大気伝播モデルを用い、中国の地表レベルの多環芳香族炭化水素濃度レベルを推算し、さらにヒトの暴露レベル、呼吸率及び感受性等の因子を調整した結果、多環芳香族炭化水素の吸入暴露による肺がんの人口寄与割合（Population Attributable Fraction, PAF）は1.6%で、2003年に中国住民の肺がん発生率の0.65/10万上昇を導いたことにほぼ相当する結果となった。

3 まとめ及び展望

ここ20年余りで、中国では多くの疫学研究により大気汚染と肺がん発生/死亡率との相関関係が報告されているが、相関性の強さと統計的有意性にはばらつきがあり、同じ汚染物質と肺がんとの関係も研究により大きな差がある。これは、各地の大気汚染レベル及び物質の構成、汚染及び健康データの正確さ、研究方法の統一性並びに潜伏期間の存在やその長さ等との関係を検討しているか否か等に関係する。ただし、ほとんどの研究では大気汚染と肺がんの相関関係に基本的に陽性の結論を出している。研究デザインから言えば、中国におけるこの種の研究はいずれも生態学的研究に属すことから、生態学的に固有のバイアスを回避することはできず、交絡因子のかなり多くは充分に制御されていない。その上、上述した研究の大部分は1980～90年代に実施されたもので、モニタリング対象となっている汚染物質の種類、構成、毒性、並びにヒトの社会経済的地位等、いずれも現代社会とは大きくかけ離れている。このため、これら研究結果を利用し、評価する上では慎重な態度をとる必要がある。大気汚染物質の種類は多く、毒性はそれぞれ異なり、肺がんに対する影響もさまざまだが、すべて同じ大気システム中に存在する。現在の研究のほとんどは単体の汚染物質に基づいたもので、各汚染物質間及び汚染物質と気象等の因子間との相互関係を無視しているため、研究結果には大きな偏りがある。例えば、ある研究によれば、中国の多環芳香族炭化水素による肺がん発生群の人口寄与割合（PAF）は1.6%であるが、多環芳香族炭化水素は大気粒子状物質の主な毒性成分の一つに過ぎないため、大気汚染がどの程度、中国の住民の肺がん発生に影響しているかは依然として未解決の問題である。組織病理学的に見れば、肺がんは小細胞がんと非小細胞がんに分類されるが、臨床学的に見れば、肺がんはさらに肺扁平上皮がん、肺腺がん、未分化がん、気管支肺胞上皮肺がん（BAC）に分類される。肺がんはさまざまな分化又は分類により、大気汚染との関係でいくぶんの差があり、これらの差が肺がんの病因学、臨床治療、予後等の面で持ちうる意義は未だはっきりしない。住民の健康をより合理的に守るためには、大気汚染と肺がんの間のさらなる確証的な研究が必要である。例えば、典型的な地域を選んで大規模な前向きコホート研究を行うことで、中国の大気汚染物質と肺がんとの暴露反応関係を算出する。また、地理情報システム等の最新の研究ツールと組み合わせることで、典型的な地域で大気汚染モデル研究を実施し、全国を対象に主な大気汚染物質のヒトにおける暴露濃度を明確にすることである。

【特集関連トピックス】

中日友好医院、肺がん治療の新技術を発表

中日友好医院と医師協会内視鏡医師分会胸部外科内視鏡・低侵襲医療専門委員会が共催した「胸部外科の新進捗・新技術の発表会」の席上で、中国医師協会胸部外科医師分会常務委員、中国衛生部中日友好医院胸部外科主任の劉徳若教授は、「中国第4回全国衛生サービス調査の調査統計データによると、肺がんにより2005年の予想平均寿命が0.5歳短縮された。肺がんは中国において、悪性腫瘍の発病率・死亡率で1位となっている」と指摘した。

劉教授は同発表会で、中国胸部外科および低侵襲医療医師の診療行為規範、全国の内視鏡・低侵襲医療専門家の評価基準および技術基準、技術研修拠点の建設計画を発表した。「内視鏡・低侵襲医療は、傷が小さく、回復が早く、かつ併発症が少ないことを特長とし、高齢者や心肺機能の低下した胸部外科患者に適している。中国は現在、大規模な胸部外科内視鏡・低侵襲医療の医療グループを持ち、臨床医学の新たな特殊業界を形成している。しかし地区や病院によって差があり、医師の診療水準もまちまちだ。科学的かつ公正な内視鏡・低侵襲医療医師の評価制度を定め、専門技術水準を高め、医療品質と安全性を確保することが、即刻解決されるべき課題である」。

近年、中日友好医院胸部外科（肺がんセンター）は、肺がんおよびその他の末期性肺病等、慢性的疾病の予防に関する研究に取り組んでいる。劉教授、郭永慶氏、石彬氏等の著名専門家の指導を受け、中国で最も早く肺気腫・肺容量減少術、肺移植手術、気管支鏡による中・末期肺がん治療、術中の肋間神経冷凍止痛技術等を実施した。近年、内視鏡一体化低侵襲医療プラットフォームを基礎とし、肺がんの基準化・固体化・低侵襲化の診断と治療の新方式を開発中だ。肺がん診療の手順の簡略化と標準化により、一体化された手術室内で肺がんの診断と外科治療をスムーズに行うことができる。

広東省と香港、幹細胞技術の臨床応用で提携

「粤港幹細胞・再生医学研究センター」がこのほど設立された。同センターの設立は、広東省と香港のさらなる科学技術提携となった。

同センターの設立は中国科学院と香港大学が共同で中国科技部に申請したもので、広東省・香港が得意とする幹細胞・再生医学分野で相互補完を行うことを目的とし設立された。同センターは幹細胞技術の臨床応用を最終目標とし、広東省・香港の関連分野の長所を集め、国際的な知名度を持つ専門的な幹細胞・再生医学研究センターを設立し、両地区の再生医学分野の国際競争力を高める。

情報によると、中国科学院広州バイオ医薬健康研究院は、幹細胞と再生医学を重要な発展方針としており、学歴および技術レベルの高い優秀な学術チームを持つ。現在までに華南幹細胞・再生医学研究所、化学生物学研究所が設立され、国家および地方の一連の幹細胞関連課題を担当している。動物の遺伝子大模型、膵腺発育、造血、神経、遺伝子修復、化学薬物合成等、多能幹細胞技術の誘導を特色とする26の研究チームが結成されている。

香港大学は幹細胞・再生医学分野で、すでに150人余りの幅広い専門を持つグループを結成している。その幹細胞・再生医学研究センターは、多様性の高い高度集約型の専門優勢を持ち、22件のプロジェクトで香港大学からの資金援助を得ている。香港特別行政区政府大学資金援助局はこのほど、テーマ研究プロジェクトを通じ、2件の再生医学プロジェクトに対して、5年間計1億香港ドル（約10億6000万円）の資金援助を行った。

情報によると、幹細胞基礎研究を得意とする広州バイオ医薬健康研究院、臨床応用を得意とする香港大学の双方は、心臓再生、血液疾病幹細胞治療、神経再生、その他の組織器官の再生といった、4つの研究方針を定めた。

狂犬病ウイルス予防の新抗体、中国人研究者が開発

肝臓がん診断の新試薬、中国が開発

解放軍第302医院が開発した新型の「ゴルジタンパク質GP73定量測定試薬」がこのほど、臨床肝臓がん検査への使用を許可された。同試薬はヒトの血液に含まれるGP73の含有量を正確に定量測定することができ、肝臓病患者に対して、肝臓がん予防に必要な信頼性の高いデータを提供できる。

肝臓がんは早期発見が困難で、中・末期にならなければ症状が現れず、治療が非常に困難である。研究者らは近年、肝臓病患者の血液中のGP73の含有量の異常が、肝腫瘍の発生と密接に関連していることを発見した。多くの肝臓がん患者の血清に含まれるGP73の数値が高まったのだ。特に早期肝臓がんの診断において、GP73による検査はこれまでのAFPより結果が早く得られ、より診断に適していることから、肝臓がん早期発見の血清マーカーとされている。解放軍第302医院臨床検査医学センターの専門家らは研究と試験により、特異性と敏感度の高いGP73のモノクローナル抗体を選び、GP73定量測定試薬を開発した。同センターの毛遠麗主任は、「これまでの肝臓がんの血清を利用した診断では、主にAFPが利用されていた。しかしAFPは患者の腫瘍がある程度の大きさにならなければ、異常な数値を示さない。また肝臓がん患者以外の血清でも時に異常値を示すことがあるため、正確な診断が実現できなかった」と述べた。同病院が開発した同試薬は主にGP73の測定に用いられ、AFPと比べ肝臓がんの早期発見が可能となった。これは肝臓病患者、特に肝炎・肝硬化の患者の肝臓がん早期発見に役立ち、貴重な治療時間を確保することができる。

同試薬は現在、中国の6ヶ所の病院が参加した臨床研究による証明を完了しており、肝臓がんとその他の良性肝臓病を区別することができる。同試薬によりGP73含有量の異常が発見された患者は、肝臓がんにかかる危険性が一般人の8.95倍に達する。肝臓がん手術後に測定されたGP73含有量が依然として高い患者の場合、GP73含有量の低い患者と比べ死亡率が高くなる。同試薬と既存のAFPを同時に使用することで、肝臓がんの測定率を88％まで高めることが可能だ。

モンゴル族の伝統薬、冠動脈疾患の治療に有効

冠動脈疾患は一般的に見られる疾病の一つで、その治療は臨床医学の最重要課題となっている。内モンゴル蒙医学院元院長、中国国務院政府特別手当取得者の蘇栄扎布氏（モンゴル族）は、モンゴル族の伝統的処方を整理し、二次研究・開発を行った。うち内モンゴルの草原に広く伝わる「八味沈香散」をはじめとする心臓病治療薬で画期的な進展を遂げ、冠動脈疾患、狭心症、肺性心の臨床治療に幅広く用いられている。これにより冠状動脈疾患によるさまざまな症状が緩和され、血管の心臓に対する正常な血液・酸素供給を回復し、心臓病の突発的な発生を防ぐことができる。

蘇栄扎布氏は、「モンゴル族の医学理論によると、心臓と脳の血管病の主な内的要因は、赫依、希拉、巴達干と呼ばれる3本の間でバランスが失われ、機能に乱れが出ることだ。これにより血流が滞り不整脈が生じ、動悸、めまい、胸のしびれ等が生じる」と述べた。ゆえにモンゴル族の医学は、心臓・脳血管の治療をする際に総合的な治療を重視しており、治療の効果を高めようとする。「中国実用医薬」2009年9月第4巻第25期で発表された「八味沈香散による冠動脈疾患・狭心症の治療効果に関する観察」によると、八味沈香散には心熱を下げる効果があり、主に心熱症、前胸部と背中の痛み、動悸息切れ、心臓の損傷等を効果的に治療する。また肝臓・腎臓機能に対しても副作用を持たない。うち呼吸窮迫症に対する有効率は88％、動悸は89.11％、息切れは79.16％、めまいは71.19％、狭心症は78.16％、心筋虚血症は81.3％、不眠症の緩和は76.12％に達した。また急性心筋梗塞を改善し、心電図のT波とST部分の上昇を抑制する効果がある。八味沈香散はまた、Nhにより誘発された冠動脈疾患による心電図のT波・ST部分の上昇に対しても効果的な抑制作用を発揮し、急性心筋虚血症を迅速に治療することができる。

中国伝統医学の応用、コンピューターで「四診合参」を実現

「望聞問切」(「望」は診ること、「聞」は聞くことと臭いをかぐこと、「問」は患者に尋ねること、「切」は脈拍など手による診断のこと。これらの「四診」により総合的に判断を下すことを「四診合参」と呼ぶ）は伝統的な中国医学の臨床診断であるが、パソコンでも「望聞問切」ができるならば意外なことと言えよう。第11次五カ年計画国家重大科技成果展の会場で、「望聞問切」を可能とする治療補助器が展示された。

一見したところ一般的なパソコンに見えるこの器具の前に座ると、現場の職員が体験者の氏名や年齢等の情報を入力し、センサーが取り付けられた布帯を腕に巻き付け、マウス操作でパソコンを起動する。

画面にはすぐに体験者の心電図が表示され、一般的な心電図と同じく、心拍数等の情報が下方に表示される。

脈拍の後、コンピューターは体験者の舌苔の画像と声の情報を分析する。最後に職員が体験者の主な症状（発熱や咳等）を入力すると、コンピューターはこれまでの情報と総合し、診断結果と処方箋を提供する。

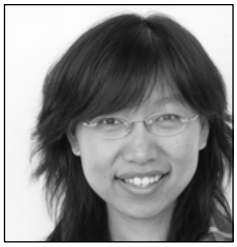
同器具の研究開発を担当した北京中医薬大学の楊学智教授は、「同器具は中国国家第11次五カ年計画科技支援計画重大プロジェクト『携帯型四診合参治療補助器』プロジェクトの研究成果であり、2010年2月に中国国家食品薬品監督管理局の批准を経て登録された、中国初の四診合参治療補助器である」と説明した。

楊教授はまた、「中国医学の伝統的な診断には基準がなく主観的であることから、その科学性を疑う声がある。四診合参治療補助器を用い、デジタル化・量化された情報を獲得し、具体的なデータと症状等に基づき中国医学の診断と治療評価を行うことで、中国医学の診断技術の基準化・法制化を促すことができる。また中国医学の四診の客観的情報を、現代医学検査基準と結びつけて研究を進めることで、両者の間に存在する生命科学法則の一致性が発見される可能性がある。これにより既存の現代理論により、中国医学理論の科学性を証明することができる」と述べた。

森林の科学

森林地上部バイオマスのリモートセンシング予測に関する研究の状況

• Profile •



曽　源 Zeng Yuan ●中国科学院リモートセンシング応用研究所　副研究員

1979年生まれ。中国科学院リモートセンシング応用研究所副研究員。2008年、オランダ・ワーニンゲン大学リモートセンシング専攻で博士号を取得。主に、リモートセンシングによる植生の定量モニタリング、リモートセンシング物理モデルによる逆解析、生態環境におけるリモートセンシングの応用などを研究。中国科学院の戦略的先導「炭素」サブテーマ、同科学院の重要な「三北防護林モニタリング」プロジェクト、科学技術部の973計画の研究テーマ「地域的生態パラメータのモニタリング」、国務院三峡プロジェクト弁公室の「三峡プロジェクトの生態・環境におけるリモートセンシングによる動態モニタリング」プロジェクトと中国科学院青年人材などの研究プロジェクトを主宰または参画。オランダISPRS国際リモートセンシング会議で最優秀論文賞を受賞。スイス連邦政府からSSSTC Program（Sino-Swiss Science and Technology Cooperation）による研究補助を受ける。

共著者：婁　雪婷、呉　炳方

森林の分布面積は広く、陸上生物圏と大気圏間の炭素循環プロセスで重要な役割を果たしている。

森林バイオマスは陸上生態系バイオマスの約90%を占め、森林生態系全体のエネルギーの基盤と栄養物質の源であり、陸上生物圏とその他の地表プロセスに大きな影響を与えている。

森林バイオマスは、その起源によって根、幹、枝、葉のバイオマスに分けられる。このうち、幹、枝、葉のバイオマスを総称して森林地上部バイオマスと言う。森林地上部バイオマスは寿命が長く、体積が大きいうえに、炭素保管庫に長期的かつ大きな影響を及ぼすため、森林の炭素循環を研究し、森林の炭素収支を評価する基盤であり、地球全体の気候変動を研究するうえで重要な意義を持つ。

本稿では既存の地表実測法を総括し、それを基礎にリモートセンシング技術に基づく森林地上部バイオマスの推計方法を検討する。さまざまな方法の適応性と不確実性について考察したうえで、総合的なモデル手法を示したい。

１．森林地上部バイオマス抽出方法の概論

森林地上部バイオマスの抽出に関する研究は、1960年代以降は一時、統計モデルによる研究が主流となった。その後、国際生物学事業計画（IBP）と人間と生物圏計画（MAB計画）の実施に伴い、リモートセンシングによるモニタリング技術が森林地上部バイオマス研究の新たな手段となった。

研究エリア内の単位面積当たりの林木重量の測定を主とし、主に皆伐実測法、無作為抽出法、木質バイオマス平均法、バイオマス拡大係数（BEF）法、相対生長モデル法とガス交換法の６種類がある。各方法の原理、長所、短所、適用性は表１のとおり。

表1　6種類の地表実測法の比較

抽出方法	原理と説明	長所	短所	適用性
皆伐実測法	サンプル区域内の林木をすべて伐採し、器官ごとに分けて重量を量り、かつ、乾燥させて乾燥重量比を導く	測定精度が高い	作業量が莫大。林分にマイナス影響を及ぼす	他の測定方法の精度を検証
無作為抽出法	バイオマス=無作為抽出した木質サンプルの重量×サンプル地域の単位面積当たり株数	作業量が少ないため、実行可能性が高い	精度保証の仕様がない	自然林、複層林
木質バイオマス平均法	バイオマス=$\sum_{径階数}$（サンプル木質重量×株数）	層化抽出理論に基づき、森林バイオマスの測定精度を保証	サンプル区域内であらかじめ各樹木のサイズ計測が必要	すべての区域
バイオマス拡大係数（BEF）法	バイオマス=（林分バイオマス/林分木材材積）×蓄積量	人工林に対しては、林分バイオマス/林分木材材積の平均値が安定しており、かつ、導きやすい	自然林、複層林には適さない	人工林、単層林
相対生長モデル法	単木の幹径、樹高、樹冠幅等の樹木測定因子を実測することで単木の木質バイオマスとの回帰関係を構築し、単木の木質バイオマスを計算する。各木質バイオマスを累加すればサンプル区域の総バイオマスが得られる	推算された樹幹バイオマスは皆伐法と比べ、誤差は5%を上回らない	モデル形式が多岐にわたり、植生タイプの影響を受けやすい	すべての区域
ガス交換法	赤外線ガス分析計と他の微気象学的手法を用い、森林群落の光合成と呼吸作用によるCO_2交換量を測定することで森林バイオマスを計算する	測樹学的方法では反映され得ない短期の森林生産力を導く	測定設備が高価。単点計測しかできない	小さいスケールでの科学研究

しかし、従来の地表実測法では一般に点データしか得られないうえに、労力が大きく、コストが高いため、バイオマスの空間分布と変化の研究には向かない。

更に実用上、林業用測定機器には誤差があることや、空間分布上、サンプル区域に代表性が足りない等の問題により、区域スケールでの森林地上部バイオマスは研究の難度が高まっている。それでも、従来の地表実測法で得られたデータをバイオマスのリモートセンシング抽出モデルにおける入力パラメータとして検証することは、今もなお重要である。近年、従来型の地表実測法をリモートセンシング技術や空間定位技術と絶えず結びつけることで、リモートセンシングによる森林地上部バイオマスのモニタリングの基盤が築かれてきた。

リモートセンシングは、日々成熟を見せる対地上観測技術として、迅速かつ定量的に区域スケールの森林地上部バイオマスを得られるだけでなく、その変化に対して広範囲かつ多面的なスケールによるデータを提供することができ、更には地表パラメータに対するリアルタイム・モニタリングを実現できることから、森林バイオマスの時空構成と変化傾向の分析と評価に適している。リモートセンシングには現在、主に統計モデル、物理モデルと総合モデルの三つの方法がある。

統計モデルは、実験エリア内のサンプル区域におけるバイオマスとリモートセンシング画像上の植生の物理パラメータ、反射スペクトル特性又はさまざまなレーダーチャネルのデータとの間の相関関係について回帰分析を行い、ピクチャエレメントに基づきバイオマスを計算する方法である。

統計モデルを応用する明らかな長所は、植生バイオマスをマクロ的かつ連続的にモニタリングできる点にある。しかし、その限界性も無視できない。第１に、大気、リモートセンサによる較正、太陽の幾何学的な照射、土壌の湿度、輝度、色はそれぞれのエリアで時々刻々と変化しており、統計関係の適用性も往々にして不安定であるため、応用エリアごとに適切なデータ源とその波長域との組み合わせを選択する必要がある。第２に、樹木の生長は温度や光の照射、水分等の因子により制限されるため、季節ごとの樹幹、樹枝、樹冠バイオマス間の統計関係にも変化が生じる可能性がある。

バイオマスとは、生態系により蓄積された活性有機物の総量である。一方、植生の純１次生産力(NPP)とは、一定期間内に独立栄養生物が産生した純有機物重量を指し、枯死・脱落による損失量と草食性動物に食べられた消耗量を含む総和である(通常、草食性動物に食べられた消耗

量は無視して計上しない)。このため、ある一定時点以前の長期間のシークエンスNPPを累計し、枯死・脱落により損失したバイオマスを差し引けば森林地上部バイオマスを得ることができる。

森林生態系の安定した情況下では、林分バイオマスは周期性変動を示す。しかし、リモートセンシングによるピクチャエレメントのスケール下では、如何に複雑なモデルを構築しても、このような法則を充分に体現し難い。このため、生態的意義を持ち、かつ、リモートセンシングデータと結合し得る推算モデルを選択することがリモートセンシングによる森林地上部バイオマス推算の研究課題となっている。

２．リモートセンシングによるバイオマス抽出の不確実性に関する分析

現在、マルチスペクトルによるリモートセンシングデータは、すでに森林植生バイオマスの推算に広く利用されているが、ハイパースペクトルによるリモートセンシングデータとSARデータはさまざまな長所により、この研究分野における応用が徐々に拡大している。大量の新しいリモートセンシングデータ源は、バイオマスの抽出により多くの情報をもたらすだけでなく、多くの不確実性ももたらしている。

ハイパースペクトルによるリモートセンシングデータは、植生の精密な各種生物的・物理的パラメータを入手すると同時に、大気の放射伝達、機器の構造と性能、植生のスペクトル角度効果等の面でいくらかの誤差を生む。このため、ハイパースペクトルによる安定的な植生指数の構築に関しては、更なる研究が待たれる。

３．今後の展望

森林バイオマスは、生態系生産力を評価する重要な指標の一つであり、森林生態系の物質循環を研究するうえで重要な基盤である。

しかし、森林は構造が複雑で、バイオマスの蓄積過程も多様な要素の影響を受けるため、研究者たちは森林地上部バイオマスのさまざまな予測方法を構築している。従来型の地表実測法は原理がシンプルで実践しやすく、予測結果の精度も高いが労働強度が大きく、コストも高い。

一方、リモートセンシング技術にはマクロ的、総合的、迅速、動態観察、正確と言う長所があり、森林バイオマスの研究に先進的な技術手段を提供し、研究範囲や精度、リアルタイム性を向上させた。リモートセンシングに基づくモニタリング法は主に統計モデル法、物理モデル法、総合モデル法の三つのタイプに分類される。総合モデルでは生態系の法則をガイドに、リモートセンシングデータを入力できるだけでなく、顕著な生態学的意義を有する。

森林は人類に対し生態系サービス機能を提供し、人類の生活と密接な関係にある。森林地上部バイオマスの予測精度を向上させるための研究には、次の面で更なる研究が待たれる。

（１）標準化した観測システムと観測方法の構築。より豊富で高品質な基礎観測データの蓄積。

（２）光学リモートセンシング、ハイパースペクトルリモートセンシングとマイクロ波リモートセンシング等は植生の観測面でそれぞれ長所があるため、研究エリアと研究対象の特徴に応じ、さまざまなリモートセンシングデータの優位性を発揮することは、バイオマスの推算精度向上に資するだろう。

（３）森林生態系の研究には、種群、群落、景観、生態系等のスケール効率を考慮する必要がある。広範囲・大スケールでの森林バイオマス推算は非常に複雑で、森林生態学研究の課題の一つである。海外の研究者が提起する機序・モデルは、植生のタイプ、モデルのパラメータ等の違いから、中国では適用できない。このため、中国の地域的特徴を基礎に、豊富かつ信頼できる観測データを利用し、機序に基づく森林バイオマスモデルを構築することが今後の研究における関心事となろう。

大興安嶺森林地帯の害虫ツガカレハ対策

• Profile •

胡　遠満 Hu Yuanman　●中国科学院　瀋陽応用生態研究所　森林生態林業生態工程センター　副主任

研究員、博士課程指導教員。中国科学院瀋陽応用生態研究所森林生態林業生態工程センター副主任、景観生態グループ長。国際景観生態学会会員、中国分会副理事長。中国生態学会景観生態専門委員会副主任、中国地理学会環境リモートセンシング分会常務理事、中国自然資源学会湿地資源専門委員会副主任。1965年生まれ。1987年、北京大学地理学部卒。1997年、中国科学院瀋陽応用生態研究所理学博士。2003年3～6月と2010年9月～2011年3月に米国で研究。遼寧省「百千万人材工程」の人材に選ばれる。

共著者：陳　宏偉

ツガカレハは、よく見られる森林害虫の一つであり、主にグイマツ、モンゴリマツ、マンシュウクロマツ、チョウセンゴヨウ、モミなどの針葉樹に害をもたらす。中国のツガカレハの年間発生面積は約200万～280万ヘクタール、発生周期は約14年であり、1ヘクタール当たりの生長量を年1.38m^3、木材生長量を276-368万m^3減少させ、中国の木材生産に大きな損害を与えている。

中国では主に大興安嶺の森林地帯で大量発生することから、本稿では大興安嶺地区について総合的に論述し、ツガカレハの総合的な駆除と森林の持続可能な経営に理論的な根拠を提供したい。

1. ツガカレハの発生と環境条件との関係

大興安嶺の森林地帯では、主に標高700メートル以下の山や丘陵地帯で発生する。風が吹かず、南向きで太陽が充分に当たり、土壌が痩せている条件の下で、ツガカレハは猛威を振るいやすい。特に三方を山に囲まれた谷間のなだらかな斜面の林で、深刻な被害をもたらす。

現在の研究は、定性的な分析に集中し、定量的な分析報告がほとんどない。今後は、典型的な虫害発生地域を選択し、長期的に定点観測をして、ツガカレハの発生と立地条件・林分条件との関係を定量的に研究する必要がある。

ツガカレハの繁殖と発育は、気象条件とも密接な関係がある。地球温暖化の影響を受け、中国東北部のほとんどの地域では、気温が年々上昇し、降雨が徐々に減少している。こうした気象条件が続くと、ツガカレハの大量発生につながる。

大興安嶺地区の自然林では、開発によって過熟林の面積が徐々に減少し、林分密度が低下した。こうしたことも、ツガカレハの成長、発育、繁殖には有利な条件となる。鉄道、道路網、居住区の整備に伴って、ツガカレハの伝播と拡散が容易になるためだ。

人間による過度な伐採によって、原生林の面積が減っている。伐採後は、大規模な人工グイマツ純林が取って代わり、これもツガカレハの成長・発育に有利な環境条件となっている。現在、森林開発に関する研究は、伐採と道路建設に限られており、計画的な野焼き、森林育成などの間接的な影響はほとんど考慮されていない。人間の活動について多方面にわたって研究する必要がある。

2. ツガカレハの生物学的特性

大興安嶺地区では、卵、幼虫、サナギ、成虫の四つの時期を経て、２年で一世代となる。幼虫は一般に９齢幼虫（８回脱皮した個体）まであり、１年目は２～４齢で越冬する。３齢が中心で、越冬幼虫の約70%を占める。

２年目の春、４月下旬から木に登り始め、グイマツの松かさが開いてから９月下旬に落葉するまでこれが続き、９月下旬に幼虫は、５～７齢で再び木から降りて越冬するが、この時は６齢が中心となる。３年目の春、４月下旬に再び木に登り、5月下旬から繭を作り、サナギになる。幼虫期は約720日間で、うち活動期は約300日、蛹期は約20日間で、6月中旬に羽化し始める。一方、6月下旬には孵化が始まる。

3. ツガカレハの駆除 制御

ツガカレハによる被害面積が小さい場合は、人力と簡単な工具により、直接除去する。ツガカレハが木から降りて越冬する習性を利用して松葉を掃き、集中的な野焼きによって生体密度を低減させることができる。ツガカレハは多くの場合、樹木の中部・下部に産卵する。中齢・幼齢林では、はしごやカギ竿など簡単な道具を利用して、卵を除去する。

照明を利用し、成虫をおびき寄せて殺す方法もある。成虫の羽化初期に、電気式殺虫機で殺す方法で、生体密度を効果的に低減できる。

化学的な駆除・制御は、ツガカレハが広い面積で発生した際に採用される。樹幹に殺虫剤を施した縄などをかける駆除方法や、マイクロカプセル製剤による駆除方法、機械・飛行機による噴霧などである。

生物学的駆除は、森林の生態環境への影響が比較的小さく、人や家畜にも安全であるため、比較的広く応用さ

れている駆除方法である。よく利用される微生物学的駆除方法には、真菌、細菌、ウイルス及び抗生物質を分泌し得る抗菌剤がある。例えば、白きょう病菌(真菌)やバチルス・チューリンゲンシス(細菌)、又はウイルス抽出液(ウイルス)を使ったツガカレハ駆除法がある。

寄生性の天敵によっても、効果的に駆除できる。寄生性の天敵には、寄生バチ、寄生バエがあり、タマゴコバチ、ヤドリバエなどがよく見られる。捕食性の天敵を利用した駆除方法もあり、主にシジュウカラ、オナガなどの鳥類に幼虫を捕食させる。林の中に鳥の巣を設置し、鳥を誘引すると同時に混合林を造成し、天敵が生息する環境をつくれば、長期的にツガカレハの数を制御できる。

合理的な造林によって、発生を一定程度抑制できるため、混交林を極力造成すべきである。混交林には蜜源植物が多く、天敵昆虫も多いため、ツガカレハ個体群の増加を制御できる。混交林の造成ではその土地に合った措置を講じ、適地適木の原則に基づき、帯状・塊状等の造成、または二次林との混交により、大規模なグイマツ純林の造成を回避すべきである。

４．ツガカレハの予測 予報

ツガカレハに関する予測と予報について紹介する。予報は、短期、中期、長期の観測・予報に分類できる。短期予測は、前の成長段階の虫の発生状況から、次の成長段階の虫の発生状況を予測し、中期予測は一世代前の発生状況から、次の世代の発生状況を予測するもので、予測期間は一般的に１年である。

長期予測は秋季または春季の発生状況に基づき、当該年または翌年の発生傾向と今後数年間の状況を予測するものである。

ツガカレハの成長・発育には一定の規則性があることから、一定の期間・地域と適切な自然条件の下でサンプリングして初めて満足な効果が得られる。

また、ツガカレハは大量発生する害虫であるため、正確な調査と現地の発生のリズムに基づいて、タイムリーに予報を発出し、効果的な措置を講じなければ、短期間に広範囲の被害を受けることになる。

ツガカレハの発生と成長のリズムを把握し、短期、中期、長期の予測・予報を出すことが、駆除対策の鍵を握る。

観測・予報方法には、マルコフ連鎖と呼ばれる計算によって予測する方法、リモートセンシング（遠隔探査)、地理情報システム（GIS）などの方法がある。

リモートセンシング技術は、遠隔測定によって、虫の発生源や虫害増加の兆候を継続的に監視することで、森林病虫害を予報する。

近年は、GIS技術も応用されている。地理的な位置を手がかりに、病虫害の空間分布、空間相関分析、病虫害の発生動態のシミュレーション、データベース管理などの作業ができるため、病害虫の研究に新たな道筋と方法を提供している。

ツガカレハの予測・予報に関する研究は多いとはいえ、ほとんどは単一因子に基づく予測・予報に集中している。気象因子や林分条件、人間や自然による干渉など多くの因子を結びつけて総合的に予測することでその精度を高め、より正確な情報を提供する必要がある。

中国におけるユーカリの育種研究の進展と戦略

• Profile •

謝　耀堅 Xie Yaojian ●国家林業局ユーカリ研究開発センター　党委書記、副主任、研究員

1961年生まれ。国家林業局ユーカリ研究開発センター、党委書記、副主任、研究員、学術委員会主任。中国林科院博士課程指導教員、職位評価委員会委員。中国林学会ユーカリ専門委員会主任委員、湛江市政協委員。1982年、中南林学院卒。2008年、中南林業科学技術大学博士課程修了。1995年、スウェーデン農業大学客員研究員。2006年、「全国優秀林業科学技術工作者」の称号を受ける。

ユーカリは、フトモモ科に属し、計945の樹種、亜種、変種からなる。大部分はオーストラリアに分布し、5種だけがオーストラリア以外の国・地域にある。例を挙げると、パプアニューギニア、インドネシア、フィリピンに分布するカメレレ、インドネシア原産のウロフィラユーカリがある。

ユーカリは種類が多く、成長が速く、適応性が強い。世界の多くの地域で優良品種が導入され、現在、世界のユーカリ人工林の面積は2046万ヘクタールに達している。

中国では1890年に初めて導入され、120年以上の歴史がある。中国の人工林の面積は360万ヘクタール余りで、ブラジルとインドに次ぎ世界第3位である。ユーカリは、中国の重要な造林樹種の一つである。

1．ユーカリの遺伝資源の収集及び保存

中国で導入されたユーカリは300種余り。育苗・造林したことがあるものは200種余りで、国土の大部分に導入され、行政区画で言えば、17の省・直轄市・自治区に及ぶ。ユーカリは中国では外来種である。1970年代以降、ユーカリの研究を始め、国家林業局ユーカリ研究開発センターなどの機関が主導して、遺伝資源・系統試験が実施されてきた。ユーカリ研究開発センターでは、「第7次5カ年計画」及び「第8次5カ年計画」以降、とくに「第9次5カ年計画」では、国家的な重要テーマである「ユーカリの紙パルプ用材樹種の優良品種の選抜育種及び栽培技術研究」を受託。

オーストラリアやインドネシアなどから、優良ユーカリ7種と107個の遺伝資源、1301系統を導入している。また、中国国内で、ウロフィラユーカリの優良系統150の単株種子を収集している。1995～98年の間、研究センターの試験場に、遺伝資源・系統試験林が設置され、面積は81.7hm^{2}に達した。

1980年代以降、中国林業科学研究院（林科院）は、オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）と協力し、ユーカリの導入と栽培研究事業を実施。中国のユーカリ資源収集、保存、遺伝学的改良事業は新たな段階に入った。「第7次5ヵ年計画」から「第10次5ヵ年計画」の20年間に、海外から新たにユーカリ100種余り、遺伝資源600種余りと4000余りの系統を導入した。導入されたのは、中国南方の熱帯及び亜熱帯地域で、広東、広西、福建、海南、雲南、浙江、江西、湖南、四川といった省・自治区である。

2．ユーカリの選抜育種

中国では1970年代初めからユーカリ遺伝資源の選抜研究を行っている。試験を実施した遺伝資源は483種で、遺伝資源試験を経てスクリーニングされた優良遺伝資源は116種である。

優良遺伝資源の選抜指標には主に、生長量、木材特性、適応性、抵抗性、ユーカリ葉油抽出率、生産力などであり、選択目標により重きを置く選択指標が異なる。「第10次5カ年計画」では、国家ユーカリセンターと熱帯林業研究所の協力により、さまざまな生態区域で樹種、遺伝資源/系統試験を行った結果、7優良樹種、15優良遺伝資源がスクリーニングされた。このうち、5～7年生の優良系統は92種、平均樹高は13.61～17.51m、平均幹径は12.66～15.6cm、平均蓄積量は153.3～485.6 m^3/hm^2、年均蓄積成長量は40.0～54.6m^3/hm^{2}で、木材密度はいずれも0.5g/cm^{3}以上であった。

国家ユーカリセンター等の機関により実施された「耐寒性のユーカリ遺伝資源の改良と栽培技術に関する研究」事業では、49樹種、269遺伝資源の生長、耐寒性について試験研究を行い、耐寒能力が-8℃から-10℃間のE.ダニアイ、E.ベンタミイ、E.スミシー、E.グランディス等の8樹種及びその優良遺伝資源をスクリーニングし、新たに14の耐寒ユーカリスクリーニング試験ポイントを設定し、5種の耐寒性ユーカリの遺伝データの合計68遺伝資源/676系統を導入し、新たに採種園13ヶ所を建設した。

3．ユーカリの交雑育種

生産上、最も多く応用されているユーカリは、主にシムファイオマイルタス亜属（*Subgenus symphymyrtus*）の3つのグループ、即ち、*Transversara*グループ、窿縁グループ、そしてE.グロブルスの各グループに属する。また、

少数ではあるが*Corymbia*亜属に属する樹種もあり、例えばE.シトリオドラやE.トレリアーナがある。一部の観賞用ユーカリは、主に*Eudesmia*亜属に属し、例としては橙花ユーカリ（和名不明）があり、*Corymbia*亜属に属するベニバナユーカリ、E.プティコカルパがある。モノカリプタス亜属に属する非常に多くのユーカリ、例えばセイタカユーカリ、E.グランディス（*E.s grandis W. Hill ex Maiden*）、E.パウキフロラはオーストラリアで非常に良く生育するが、気候タイプの差により、中国での導入・順化の成功は非常に難しい。

交雑育種は伝統的で、かつ、一貫して最も有効な育種方法である。現在、中国の農業・林業生産上、応用されている品種の殆どは交雑育種法を通じて選抜育種されたものである。

「第10次5カ年計画」で、国家林業局ユーカリセンターと中国林科院熱帯林業研究所などの機関は、累計546個の組み合わせの種間、種内の交雑育種を実施し、広東、広西で5カ所の交雑第2世代測定林を造林し、試験の結果、この中から年平均蓄積成長量が30 m^3/hm^2を上回る優良雑種系統を10種スクリーニングした。なかでも、最も良い交雑系統の樹齢4年時の年平均蓄積成長量は60.0 m^3/hm^2以上に達した。すでに優良個体128株をスクリーニングし、無性系統32種の栽培に成功しており、年平均蓄積成長量は40～54 m^3/hm^2で、木材密度はいずれも0.5g/cm^3以上で、優良無性系統の総合遺伝的獲得量はいずれも20%を上回った。

４．中国のユーカリ育種におけるマクロ戦略

筆者は、ユーカリ育種のマクロ戦略として、育種目標を明確にし、育種計画を設定するよう提案する。育種目標の明確化と、育種計画の設定は、まずはユーカリ栽培の方向性を定めることであり、主に工業繊維材と材木用途である。

2006年に、国家林業局ユーカリ研究開発センターなどの提唱によって設立された「中国ユーカリ育種連盟」は、産学連携モデルであり、ユーカリの育種と栽培に従事する研究機関と企業が自発的に組織した全国的なユーカリ育種技術協力組織である。

「連盟」は、企業の資金力と市場指向性を生かし、同時にユーカリの育種資源と研究を結びつけることで、共同で難関を突破し、自己革新と持続可能な発展を目指している。「連盟」の新たな枠組みとモデルによって、部門間の意思疎通不足や研究開発資金不足といった問題の解決に重要な役割を果たすだろう。

【特集関連トピックス】

中国の森林の生態系サービス価値は年間10兆元に

中国国家林業局の発表によると、中国の森林に由来する「生態系サービス」 の経済的価値は、毎年10兆元に達する、という。この額は、中国の国内総生産（GDP）の約3分の1に相当する。中国科学院院士で、中国林業科学研究院研究員の蒋有緒氏によると、生態系サービスは、①水源涵養機能②土壌の保全③炭素固定と酸素発生④栄養素の蓄積⑤大気の浄化⑥生物多様性の保護を含んでいる。

① 水源の涵養機能は、年間4947億6600万立方㍍に達し、三峡ダム12個分の貯水量に相当する。経済的価値は4兆600億元。
② 土壌の保全は、年間70億3500万トンに達し、1平方㌔メートル当たり730トンの土壌流失を防いでいる。土壌の厚さを40㌢メートルとして計算すると、毎年351万7500ヘクタールの土壌浸食を防いでいる。土壌の保肥は年間3億6400万トンに達し、窒素含量を14%とすると、窒素肥料26億トン分の換算となる。土壌保全の経済的価値は9900億元。
③ 炭素固定量は年間3億5900万トン、酸素発生量は12億2400万トンで、その経済的価値は1兆5600億元。
④ 栄養素の蓄積では、年間1700万トンを蓄積し、経済的価値は2100億元。
⑤ 大気の浄化は、汚染物質を年間3200万トン吸収し、微粒子の抑制は50億100万トンに達し、億単位の空気浄化設備に相当する。経済的価値は7900億元。
⑥ 生物多様性の保護による経済的価値は2兆4000億元。

エコロジカルサービス、生態系の公益的機能ともいう。英語はecosystem services。

出典：国家林業局の記者会見
http://www.china.com.cn/zhibo/2010-05/20/content_20066432.htm?show=t

［キーワード　森林　生態系サービス　水源　土壌　大気　生物多様性］

（CRC鈴木記）

鉄　道

都市鉄道輸送の安全基準

• Profile •

丁　烈雲 Ding Lieyun　●中国東北大学学長

東北大学学長（遼寧省瀋陽市）、華中科技大学BIM工程センター主任、教授。同済大学博士（マネジメントサイエンス・エンジニアリング）。1955年12月生まれ。武漢工業大、武漢城建学院、華中科技大、華中師範大、東北大に勤務。武漢城建学院副院長、同院長、華中科技大副学長、華中師範大学校務委員会主任を歴任。2011年1月、東北大学長に就任。教育部科技委委員・管理学部副主任、中国建築学会工程管理研究分会理事長、中国金属学会副理事長、「土木工程与管理学報」編集委員会主任などを務める。主な研究対象は、建設工程管理情報化、リスクと安全管理。

１．都市鉄道輸送の安全基準体系構築上の原則

安全基準は、中国の現行の設計、建設、運行の水準、および国内外の関連技術水準の向上に基づいて決定しなければいけない。安全基準体系を構築するうえで、以下の原則を十分考慮する必要がある。

（１）調和の原則

安全基準は、中国の現行の安全に関する法律、基準に合致させるとともに、安全基準と法律および政策の不一致を回避し、同時に、市場経済の要請と国外の基準の進展動向との整合性を図らなければいけない。

（２）使い勝手と先進性の原則

安全基準は、一定期間における経済発展水準と都市鉄道輸送の設計、施工、運行技術水準と合致させなければならず、基準実施の際は、経済的な可能性と技術的な使い勝手を十分考慮し、かつ、基準の制定過程においては、一定の先進性を考慮し、新技術の発展と普及に適応させなければならない。

（３）分野別指導の原則

安全基準は、分野別の指導が必要である。まず技術、管理、行為の三つの大分類について枠組みを構築し、次に、三つの大分類に基づき、さまざまな専門分野や実施段階について、相応の基準を制定する。それによって、安全基準における分野別の指導と使い勝手を強化する。

（４）　段階的推進・重点強調の原則

安全基準の構築は、絶えず改善が必要な発展過程であるため、安全基準は系統的な枠組みの基礎の上に、作業の重要性と緊急性に基づいて、短期、中期、長期の段階に分け、系統的に整備された基準を徐々に構築することで、安全基準の管理業務を常に新しい段階に向けて推進する必要がある。

準が含まれる。基礎基準には、各分野における基礎基準が含まれ、安全基準の基礎も含まれる。

制定済みの基礎基準には「都市公共交通マーク・地下鉄マーク」（GB/T 5845.5-1986）、「地下鉄旅客輸送サービスマーク」（GB/T 18574-2001）、「都市交通分類基準」（CJJ/T 114-2007）、「都市公共交通工程専門用語基準」（CJJ/T 119-2008）、「地下鉄限界基準」（CJJ 96-2003）及び制定中の国家基準「都市鉄道輸送工程基本専門用語基準」がある。このうち1986年に公布・施行された「都市公共交通マーク・地下鉄道マーク」は現在も利用されているが、古すぎるため、早急な改正が必要である。

（２）汎用基準

汎用基準は、標準化に関する共通基準である。安全技術汎用基準、安全管理汎用基準、安全行為汎用基準の三つに分類される。

安全汎用基準は現在、徐々に改善されている。安全技術汎用基準には「都市鉄道輸送技術規範」（GB50490-2009）及び制定中の国家基準「都市鉄道輸送安全技術危険防止汎用規範」などがあり、安全管理汎用基準には公布済みの国家基準「都市鉄道輸送建設プロジェクト管理規範」（GB 50722-2011）があるが、安全行為汎用基準は制定が待たれている。

中国は、まず都市鉄道輸送安全技術基準、安全管理基準、安全行為基準の三分野の汎用基準を整備しなければならない。これらの基準は全体として、建設、運行上、要求される技術及び管理方法を規定する。都市鉄道輸送の各システムの安全に関するルールの集大成であり、建設工事の品質、安全及び人々の生命、財産、健康に直接関わるため、強制的な基準とすべきである。

（３）専用基準

専用基準は、三つの汎用基準の下、各段階、各専門領域に対する独立した基準によって構成される。専用基準は内容によって、強制的な基準、あるいは推奨基準とすることができる。

安全専用基準は、汎用基準の補充、延長であり、適用範囲は小さいが、対象が非常にはっきりしている。

① 技術に関する基準

安全に特化した内容について、独立した安全技術規範を制定することができる。典型例としては、土木工事専用技術基準の「地下鉄設計規範」（GB50157-2003）、「地下鉄工事施工及び検収規範」（GB50299-1999〈2003年版〉）、「都市鉄道輸送建設測量規範」（GB50308-2008）などがあり、いずれも多くの安全条項を含む。「施工現場臨時電力使用安全技術規範」(JGJ462005)は、独立した安全技術規範である。中国の現行の技術基準は内容が一部古くなっているため、基準を更新し、新技術、新素材、新工程を反映するべきである。

② 安全管理に関する基準

安全管理に関する専用基準について、中国は近年、評価基準制定を重視している。例えば、「地下鉄運行安全評価基準」（GB/T50483-2007）、「都市鉄道輸送安全事前評価細則」（AQ8004-2007）、「都市鉄道輸送安全検収評価細則」（AQ8005-2007）並びに制定中の国家基準「地下鉄建設工事施工安全評価基準」などがあり、安全評価のシステムが徐々に整備されている。

リスク管理基準も、例えば「地下鉄及び地下工事リスク管理ガイドライン」や、制定中の国家基準「都市鉄道輸送地下工事リスク管理規範」がある。しかし、一部の評価基準は不完全で、リスク管理に関する細かい規定が不十分であり、専門的な緊急対応要領の管理基準が欠落している。

③ 安全行為に関する基準

中国の安全行為基準には欠陥があるため、相応の規範を制定して各関係者の責任の範囲を明確にし、安全を確保するため、具体的な規定を置く必要がある。工事関係機関は一定の内部規定があるが、実効性には限界があるため、国家基準として、関係者の安全責任体系や、安全検査、特に作業員の安全訓練と安全確保について、ルール化を図り、実効性を高めなければいけない。また、「安全責任体系基準」、「人員安全訓練基準」、「安全操作行為基準」、「人員安全検査評価基準」、「人員安全保障基準」などの基準も制定する必要がある。

中国高速鉄道の技術革新

• Profile •

沈　志雲 Shen Zhiyun ●西南交通大学牽引動力国家重点実験室教授

西南交通大学牽引動力国家重点実験室教授、中国科学院院士、中国工程院院士。1929年5月生まれ。57-61年、旧ソ連レニングラード鉄道学院大学院在籍、博士号取得。82-84年、米マサチューセッツ工科大学訪問学者。88-95年、時速450kmの機関車研究開発を主宰（現在、目標は時速600km）。83年、計算モデル（Shen,Hedrick and Elkins）を発表。2006年、中国高速列車技術「導入・消化・吸収・更なる革新」専門家グループ長を務める。

中国の国内総生産（GDP）は2010年に日本を抜いて世界第二の経済大国となり、都市化率も急増して49%に達した。GDPと都市人口の急増は、中国が先進国入りしたことを示すものである。そこで最初に直面する問題は、交通輸送需要の急速な上昇に対して、近代的な総合交通輸送システムをいかに構築し、また、どのようなシステムを構築するか、ということである。

米国が採った手法、すなわち旅客輸送は高速道路と民間航空に頼り、鉄道は貨物輸送に限るのか、あるいは中国の国情と環境対策を考慮して、鉄道輸送を中核に据えるかどうか、ということである。

2004年、国務院は鉄道網計画を発表したが、まさに、中国の国情と長期の見通しを考慮したものであり、鉄道輸送を中核とした戦略を決定したのである。

計画が実施された2004～10年の7年間に、中国の高速鉄道は大きな発展を遂げた。時速200km以上の高速鉄道は8,358kmに達し、このうち時速300～350kmの高規格高速鉄道は2,197km、時速250～300kmの高速鉄道は2,477km。そのほか3,679kmについては、主に在来線の速度を時速200km以上に引き上げた。

技術導入と研究開発によって、「和諧号」高速列車1000両余りを投入した。最初のCRH（中国列車高速）シリーズは、主に共同設計・製造による国外からの導入だった。まもなく、技術を消化、吸収し、技術の更なる革新によって、CRHの300シリーズの高速車両の自主開発に成功し、最高時速は350kmに達した。

京津線（北京-天津）、武広線（武漢-広州）、鄭西線（鄭州-西安）における実際の運行と試験の後、さらに次世代のCRH380シリーズの高速車両を開発し、滬杭線（上海-杭州）、滬寧線（上海-南京）、京滬線（北京-上海）で時速350～380kmの長距離運行を実現した。この4年間で、高速鉄道の営業運転は4億km余り、旅客輸送数は6億人余り、最高時速は350kmに達している。

中国の鉄道は長年、資金調達に苦しみ、国の投資は少なく、運賃も改訂されず、1994年時点で、鉄道部が管轄する各部門はすべて赤字であった。鉄道は自力での発展が難しかったため著しく立ち遅れ、中国の経済発展のボトルネックとなっていた。国の支援の下、2010年末時点で時速200km以上の高速鉄道は8,358kmであり、約8万kmの高速道路と比べれば、非常に短い。

■先進技術の導入と中国ブランドの構築

国務院は「先進技術の導入と共同設計・製造によって中国ブランドを構築する」という方針を決定し、それに基づいて、海外からの新技術導入が実現し、国による導入資金には研究開発費（外資に支払う技術譲渡費ではない）が含まれるようになった。

国内で製造することによって企業の近代化が進み、近代的な高速列車の製造拠点ができた。中国ブランドが生まれ、知的財産権も獲得した。わずか数年の間に、高速鉄道は中国独自の道を歩み始め、成果を挙げている。

技術革新の主体は企業である。四方、長春、唐山の三つの基幹工場が牽引役となり、30の支援工場を中核として、500社余りの関連企業による高速鉄道生産チェーンが革新の強力な基盤となっている。

CRH380の開発過程では、工程設計段階で260余りの試験研究、部品研究開発では650余りの試験研究を実施した。

新形の前頭部形状研究では二十数件のプランを試験し、武広線、鄭西線で20種類279項目の試験研究を実施し、滬杭線では最高試験速度が416.6km/h、京滬線では486.1km/hに達した。

国の技術革新の力は、CRH380の開発で十分に示された。これは科学技術部、鉄道部の共同計画によって支援された目標であり、全国の数多くの科学技術者と職員が関わり、短期間で開発に成功した世界一流の製品である。最高運行時速380km、最高試験速度486.1km、脱線係数等の一連のパラメータはいずれも規定の基準を満たしている。

多くの人が中国の独自開発であることを信じようとしないが、CRH380は延べ1億km余りを運行し、延べ2億人余りを運び、最高時速は350 kmで、人身事故を起こしていない、という実績がある。

21世紀になって、各国は時速350kmの次世代高速列車を研究しているが、商業営業を実現した国はない。時速250km前後、300km前後及び350km以上の列車をそれぞれ

表1　世界の高速列車

世代	日本	フランス	ドイツ	中国
第一世代 250 km/h前後	S-100 270km/h（75年） E2 275km/h （97年）	TGV-PSE 280km/h（81年） TGV-A 300km/h（96年）	ICE-1 250km/h （91年） ICE-2 280km/h （96年）	CRH1 200km/h CRH2 200km/h CRH5 200km/h （07年）
第二世代 300 km/h前後	S-500 300km/h （98年）	TGV地中海線 320km/h （01年） TGV東部線 320km/h （07年）	ICE-3 300km/h （02年）	CRH2-300 CRH3-300 （08年）
第三世代 350 km/h以上	Fastech360（98~09年） 360 km/hは未実現 E5 300km/h（11年） 320km/h（12年）	AGV360 350km/h（08年） 未運行	ICE350E 350km/h （06年） 未運行	CRH380-A CRH380-B 350-380km/h （10年） 商業運転開始

第一世代、第二世代、第三世代高速列車と分類するなら、

この数年の最大の進歩は、CRH380のような高速列車を開発できたことよりも、このような車両を研究開発できる国の技術革新システムを構築できたことであろう。たとえ、現在はスランプでも、近い将来、高速鉄道技術の頂点に立つことができるであろう。今日の一歩後退は明日の二歩前進のためにある。運行速度を落とし、徹底的に誤りを正し、改善を図り、安全技術を強固にすれば、より安全な高速化が実現できる。

人によっては、速ければ速いほど良いわけではなく、時速270～310kmが最も経済的な速度だと言う見方もある。しかし、高速化は交通運輸の永遠のテーマである。「表1」が示すように、21世紀に入って、高速鉄道分野の先進国は、いずれも時速360kmの高速列車を研究しているが、軌道の制約により、商業営業速度を下げている。

フランスは新線を建設して時速320kmまで引き上げることができたが、在来線は依然として時速300kmである。日本とイギリスは、時速402km(250mile)の高速鉄道の建設を計画している。

北京交通大学の趙堅教授は、京滬（北京-上海）高速鉄道建設専門家評価委員会において、「高速鉄道プロジェクトを審査する際、国外では主に、どれだけ時間が節約できるのかを見る。節約による社会的な効果が建設コストを上回れば、承認可能になる」と紹介した。大気圏内で代表的な列車は次のようにまとめることができる（表1参照）。

は、時速400kmを超えなければ、経済的な速度を見つけ出すことができる。

京滬高速鉄道の計画年間輸送量は、双方向で1.6億人、運行速度を時速350kmから300kmに減速すれば、運賃は5%値下げできるが、乗車時間は4時間から5時間に増える。1.6億人が1時間余分に乗車するなら、その社会的な影響は、たとえ中国の最低賃金で計算しても驚くべき数字になろう。

日本は以前、経済速度は時速210kmで、極限速度は270kmと考えていたが、まもなく考え方を変えた。高速鉄道の安全性は、技術によって保障されるもので、速度が遅ければ遅いほど安全であるというわけではない。

「7・23列車追突事故」（2011年7月23日に温州市で起きた高速鉄道衝突脱線事故）の後まもなく、インドでも追突事故が発生したが、この時の速度はわずか時速30kmだった。

厳しい検査を経て徹底的に改善し、安全管理のメカニズムが実施できれば、安全運行は保証できる。この前提の下で、設計時速の350kmに戻し、さらに380kmまで加速することは、理にかなっている。

■中国の高速鉄道の優位性

技術レベルから言えば、中国の高速鉄道には次のような優位性がある。

（１）　高速鉄道のネットワーク化と世界最大の旅客輸送市場。

中長期鉄道網計画によれば、高速鉄道網は人口の90%以上をカバーし、人口50万以上の全都市を結ぶ。高速鉄道

表2　高速鉄道線路の主な標準の比較

	中国		日本		フランス			ドイツ		
項目	300～350km/h	200～250km/h	東海道270km/h	山陽東北300km/h	南東線280km/h	北線300km/h	地中海線280km/h	ハノーファー～ヴュルツブルク線250km/h	ハノーファー～ベルリン線280km/h	ケルン線300km/h
最小曲線半径	9000～7000m	5500～4500m	2500m	4000m	4000m	6000m	7700～2000m	7000m	4400m	3500m
線路間距離	5.0m	4.6m	4.2m	4.3m	4.2～4.3m	4.5m	4.8m	4.7m	4.7m	4.5m
トンネル断面積	100m^2	92～80m^2	64m^2	64m^2	71m^2	100m^2	100m^2	82m^2	82m^2	92m^2

網は、環境配慮型交通の中核となるだろう。中国の人口はまもなく14億を超え、都市化率も50%を上回り、将来的には60%以上に達するだろう。高速鉄道網が誘発する旅客市場は世界最大となり、たとえ世界の高速鉄道が赤字になっても、中国の高速鉄道は黒字になるだろう。

（２）　線路規格が高く、高速化の余地がある。

建設後は変更が難しい最小曲線半径、線路間距離及び複線トンネル断面積という三つの主な指標から言えば、中国の規格は世界最高である(表2参照)。

日本の高速鉄道は最も早く建設されたため、規格は最も低い。現在、世界の趨勢は時速350km以上となっているが、日本は線路規格の低さという制約に直面している。実際、高速鉄道のコストは高速道路とあまり変わらず、今後は高速道路より安くなる可能性がある。高速道路は占有面積が広く、土地収用のコストがますます高くなるためである。

京滬高速鉄道の建設予算は当初1300億元だったが、後に1700億元に引き上げられ、最終的には2200億元にふくらんだ。これは主に土地収用と移転補償費の膨張が原因だった。貴重な土地に高速鉄道を建設するなら、標準を可能な限り高め、今後の高速化の余地を残すべきである。

（３）　基礎研究に強く、発展の潜在性がある。

「高速列車国家技術革新体系」は今後、充実とレベルアップが図られるだろう。京滬線、武広線、京津線では現在、3年を期限とするフォローアップ試験が実施されている。国家実験室は国による公開の研究の場であり、国の技術革新に牽引的役割を果たす。

（４）　情報化と近代化の促進。

輸送管理システムは、温州市で発生した7・23列車追突事故の教訓を受け、CTCS2及びCTCS3システムを徹底的に検査し、改善した。現在、リアルタイム安全モニターセンターの構築を準備している。我々は貴重な成果を大切にし、自信をもつ必要がある。我々は中国独自の高速鉄道を必要としており、世界も中国の高速鉄道を必要としている。

【付記】

論考の中で表明された意見等は執筆者の見解であり、科学技術振興機構の見解ではありません。

都市鉄道輸送の車両

• Profile •

王曰凡 Wang Yuefan ●上海申通地下鉄グループ技術センター顧問・総工程師

上海申通地下鉄グループ技術センター顧問・総工程師、同済大学兼職教授、国家発展改革委員会都市軌道交通装備国産化専門家グループ専門家、国家登録建築工程監理工程師。1942年2月生まれ。66年、唐山鉄道学院電気機関車専攻卒業。1985～87年、独ベルリン工科大学訪問学者、旧西独国鉄などで研修。電気機関車の研究、開発、設計、製造、都市鉄道輸送の車両技術研究に従事。上海地下鉄の車両技術などを担当。

米国のある研究者が住民を対象に、許容可能な移動時間について調べたところ、45分という結論を得た。都市は規模に見合った速度で走る交通手段が必要であることを示すものである。

現在、人口が1000万を超える都市は世界に約20、100万を超える都市は300余りあり、都市圏が直径50kmを超えるところが多い。最高時速が80kmあれば、基本的に条件を満たすことになる。これが可能なのは、都市鉄道輸送である。乗客を乗せる車両は、設計製造技術、性能、機能面で、いずれも発展を続けてきた。

■車輪式の車両

車輪式の車両には、鉄輪とタイヤの２種類がある。従来型の都市鉄道輸送は鉄輪を採用している。タイヤの車両は、駆動用と案内用のタイヤを取り付けており、騒音は相対的に小さく、登坂能力は通常の鉄輪、鉄軌道方式より高い。

しかし、タイヤは環境を汚染し、寿命が短い、という致命的な欠点があるため、鉄輪、鉄軌道方式が絶対的な優位にある。

車輪式の特殊な例としては、リニアモーター車両がある。1980年代に登場し、リニア誘導モーターによって、起動加速度及び制動減速度が向上し、登坂能力が高く、モーターの構造がシンプルで、曲線半径50mのカーブに適応可能である。また、直径の短い車輪を採用すれば、車両の高さを低くでき、直径の小さいトンネルに適応可能である。自重が軽く、軌道に対する衝撃が小さく、運行時の騒音も小さい。リニアモーター車両は、モーターの効率の制約によって、車両が相対的に小さく、定員も少ない。

■ライトレール（軽量軌道、LRT）の車両

路面電車は、軽量軌道の前身である。1970年代以降、一部の国では旧式の路面電車を技術改造し、新型の軽量軌道を建設した。軌道は専用、あるいは半ば専用とし、コンピュータ制御によって、システムの安全性、信頼性及び快適性を向上させた。同時に、運行速度を速くした。

現在、300以上の都市で軽量軌道が走っている。ライトレールは通常、小型車両、低床車両が採用され、駅は簡易なつくりで、線路の敷設に柔軟性があり、多くは最高時速70kmである。近代的な軽量軌道は、モジュール化された連結式車両を採用している。

■モノレール

モノレールは、単軌道上を運行するもので、跨座式と懸垂式の2種類がある。モノレールの最高時速は80kmに達し、4～6両編成が可能で、登坂能力が高く、半径の小さい曲線の走行が容易で、環境への影響が小さい。しかし、エネルギー消費が大きく、走行装置の構造が複雑で、コストが高く、タイヤの寿命が短い。一般に、輸送能力は1時間当たり片道延べ1万～2万5000人に達する。

■新交通システムの車両

都市の騒音及び排気汚染等の公害を減らすために、新交通システムが開発された。高度に自動化された旅客輸送システムで、車両は専用軌道上で定時に自動運行され、駅は無人管理。管制センターのコンピュータで集中制御されている。

一般に車両は小さく、列車の編成も比較的短く、輸送能力も小さい。軌道には中央案内軌条と側壁案内軌条の2つの方式があり、車輪はタイヤで、騒音が小さく、登坂能力が高く、曲線半径の小さい線路に適応する。空港内や、小さな区域内で利用され、他の交通機関への接続に用いられる例が多い。

■磁気浮上式の車両

2002年12月、上海で高速磁気浮上式列車が開通した。日本では、すでに中低速磁気浮上式路線が運行されている。

■中国の都市鉄道輸送の車両

この20年間、中国の都市鉄道輸送は、急速な発展を遂

げた。北京、上海、天津、広州など10以上の都市で、さまざまなモデルの都市鉄道、計40路線余りが相次いで建設され、運行距離は1,500kmを超えた。1990年代、中国の地下鉄車両は基本的に輸入に依存していたが、10年余りの国産化の努力を経て、自主設計・製造が可能な車両生産基地が生まれ、現在は輸出もしている。

地下鉄は、鉄輪、鉄軌道方式が主要モデルである。中国では車両はA型、B型、C型の3種類に分類され、旅客が比較的多い路線にはA型が採用され、主に上海、南京、広州、深圳に集中している。その他の路線は、多くがB型を採用している。

軽量軌道は中小都市にふさわしく、大都市では近郊、もしくは地下鉄と接続する路線、又は地域内の路線にふさわしい。大連、長春、天津、上海では、すでに軽量軌道が建設されている。

重慶は別名「山城」と呼ばれ、市内はビルが密集し、道路は狭く、勾配がきついため、モノレール方式が適している。中国初の跨座式モノレールが建設されている。北京と広州では、リニアモーター方式の鉄道が建設され、営業している。北京首都空港第3ターミナルと広州市内には、それぞれAPM（無人の新交通システム）が敷設されている。

無線センサネットワーク技術と地下鉄トンネルへの応用

• Profile •

謝　雄耀 Xie Xiongyao ●同済大学地下建築工程系副主任

同済大学地下建築工程系副主任、教授、博士課程指導教員。1972年12月生まれ。2001年、同済大学構造工程専攻修了、工学博士。04年、仏リール科学技術大学LMLラボラトリーでポスドク研究。08年9月～09年9月、米ノースウェスタン大学土木環境エンジニアリング学科訪問学者。主な研究分野は、トンネル及び地下工事のリスク及び防災。現在は中国岩石力学工程学会青年工作委員会秘書長、中国土木工程学会リスク保険専門委員会理事。

中国の都市鉄道輸送の建設は、急速な発展段階にある。住房和城郷建設部（住宅・都市農村建設部）発表によれば、2011年時点で、北京、上海など25都市で建設されている鉄道は約62路線で、建設規模は世界一であり、運行距離は1,395kmに達している。

2015年までに、北京、上海、広州など22都市で79本路線が新たに建設され、総投資は１兆元を超え、総運行距離は2,260kmに達し、世界一の規模となる予定である。鉄道の建設と運行に伴い、都市交通の要として、その地下構造の健全性は、都市の正常な運営にとって極めて大切であり、社会の関心はますます高まっている。

都市鉄道輸送の発展は非常に早いうえ、列車の運行密度が極めて高く、運行条件は過酷で、かつ、構造の連結部及び構造そのものに施工上の欠陥があると、材料の劣化等によって脆弱性が露わになり、構造が一度損壊すると交換は難しく、あるいは不可能であり、悲惨な突発事故が起きる可能性がある。

このため、都市鉄道輸送の健全性には非常に高い規格が求められており、トンネルについて連続的、長期的かつリアルタイムのモニタリングを実施し、末梢神経のように絶えず感知することで、地下鉄トンネル構造の全体的な健全性を把握する必要があり、これを構造健全性モニタリング技術という。

■構造健全性モニタリング技術

既存の構造健全性モニタリング技術で採用されたのは、有線センサネットワークであり、一連のセンサはケーブルによってデータを送信し、かつ、電力の供給を受ける。ケーブル及びセンサノードの設置はコストが極めて高いだけでなく、設置作業が煩雑で誤りやすく、作業量も大きく、システム拡大の難度が高い上に、モニターシステムの設置及びケーブルの敷設がトンネルの運用に影響を与え、深刻な事故を引き起こすことさえある。

トンネル交通の地下構造の運用期間における健全性モニタリングの要求に応えるためには、すでに実現している構造性能のスマートセンシングに関する新たな理論を発展させる必要がある。

無線センサネットワーク（WSN）の無線送信能力によって、ケーブルの使用が節約できるため、設置コスト及び設置作業量を大幅に減らし、設置時間を節約できる。モニタリングエリア内には大量のセンサを設置して大規模ネットワークが構築できるため、設置の柔軟性が高まり、かつ、良好な拡張可能性を実現した。

スマートセンシングノードは、MEMS（マイクロエレクトロ・メカニカルシステムズメムス技術に基づくもので、サイズが小さく、コストが安く、構造モニタリングのスマート化が促進された。大型土木工事によるインフラ設備に、スマートセンシングノードを設置し、無線センサネットワークを構成してモニタリングを実施する。

無線センサネットワーク技術は、土木工事の構造モニタリング分野での応用が、研究者の関心事となっているが、応用段階には遠く至っておらず、特に地下鉄トンネルの構造モニタリングにおける応用は始まったばかりである。

地下鉄トンネルの構造は置かれている環境が複雑で、水分を多く含む柔らかい地層においては、構造特性は土壌と地下水の組み合わせと関係するため、地下鉄の振動・循環荷重の影響により、構造応答及び損傷ポイントの位置は複雑で判断が難しく、経済的かつ効率的なモニタリング方法やトンネル構造性能を全体的にカバーするスマートセンシングが急務となっている。

しかし、既存のモニタリング手段や方法にこれを求めることは、ほとんど不可能である。一方、スマートセンシングノード技術は、これらの要求を完全に満たすことができるため、都市地下鉄トンネル構造のスマートセンシング理論及び方法の研究は重要な意義を持つ。

■超長線状地下構造性能のスマートセンシング

上海の地下鉄トンネルは、主にシールド工法によって施工されている。地下鉄トンネルは典型的な軟土層にあ

り、建設後、自重及び上部の覆土による重力作用で不等沈下が極めて発生しやすく、トンネル内で断層を引き起こす。

上海は地下水位が高く、トンネル構造は全体的に地下水位より下に位置し、ジョイントセグメントの位置と構造本体に存在する初期の欠陥位置及び施工過程で生じた構造の微小な損傷位置は、いずれも深刻な浸水・漏水の脅威に直面している。

地下鉄トンネル構造は、内部で列車の往復による影響を受け、循環振動の荷重によって、ジョイントセグメントの開口及びセグメント本体にクラックが生じ、トンネル構造の老化を加速する。これら因子の影響は、単独では作用せず、組み合わせとして存在し、不等沈下によって起きた断層や、振動によって生じたジョイント部の開口及びクラックは、いずれも浸水・漏水のルートとなる可能性があり、漏水・浸水の発生を加速する。

また、地下水の浸入によって、コンクリート構造とジョイントボルトの腐食が生じ、性能が低下するため、振動荷重及び不等沈下に対する抗力が減少することも、ジョイント部の開口、クラック及び断層の発生を加速する。

■MEMS技術に基づく地下鉄トンネル構造のスマート損傷識別理論

地下鉄トンネルは建設後、構造と土壌、地下水は、相互作用があるため、測量情報に基づく損傷探査・識別は、更に複雑で難しくなる。トンネルは超長線状構造であり、構造の縦方向には、顕著な脆弱ポイントや損傷しやすいポイントは存在しないため、破壊が発生する位置は予測が難しい。

研究者たちが提起しているさまざまな損傷識別理論は、トラス又は簡単な橋梁構造での検証にしか成功していないため、地下鉄トンネル構造については、応用例が少ない。地下鉄トンネル構造及び環境については、既存の損傷識別アルゴリズムを改善することが、MEMS技術に基づく超長線状地下構造性能スマートセンシング理論を構築する上で、挑戦しなければならない課題であり、非常に意義がある仕事でもある。

都市鉄道輸送の制動エネルギー回収技術

• Profile •

楊　儉 Yang Jian ●上海工程技術大学教授

上海工程技術大学三級教授、学科主任、工学博士、大学院生指導教員。1962年2月生まれ。2005年、浙江大学流体動力・機電系統国家重点実験室機械電子工程専攻、工学博士。05年7月以来、上海工程技術大学都市軌道交通学院に勤務。主な研究分野は、都市軌道車両の制動エネルギー回収技術を巡る基礎研究。現在の主な研究目標は、都市軌道交通車両の運行における省エネ技術。

都市鉄道輸送は、輸送量が大きい、運行速度が速い、快適性に優れている、といった長所がある。また、電気駆動を採用し、汚染や排出が少ないため、大都市では優先的に選ばれる交通手段となっている。

都市鉄道輸送は、先進国の大都市だけでなく、中国、インド、ブラジルの大都市でも、急速に普及している。中国では、北京、上海、天津、広州、深圳、大連、南京で営業運行され、さらに多くの都市で計画されている。都市鉄道輸送の環境配慮と省エネ問題の重要性への関心が高まっている。

都市鉄道輸送は、駅間距離が短い、運行密度が高い、といった特徴があり、頻繁に加速と減速を繰り返す過程で、相当の運動エネルギーが生じる。回生ブレーキを作動させた際に生じる運動エネルギーは、電動機によって電気エネルギーに転換され、架線（あるいは第三軌条）に戻され、大部分が他の列車によって利用される。

一般的には、30%～50%の制動エネルギーしか利用されていないが、制動エネルギーの利用効率向上によって、省エネが図られるだけでなく、安定運行にも役立つ。

■車両の制動方式及び制動過程

車両の制動は、回生ブレーキ、発電ブレーキ、機械ブレーキの三つに分類される。

列車は制動を開始する際、架線（第三軌条）からの受電を停止し、モーターが発電モードに変わって、運動エネルギーを電気エネルギーに転換して制動力を生じることで、列車を減速させる。

架線の電圧が過電圧、もしくは電圧低下、あるいは一定距離内に他の車両がなく、エネルギーが吸収されないときは、回生ブレーキを実施することができない。その際、列車は自動的に回路を切断し、発電ブレーキを実施する。

列車の速度が時速約8kmを下回る際は、圧縮空気をエネルギー源として利用し、列車が停止するまで、機械ブレーキを作動させる。

都市鉄道輸送の制動では、回生ブレーキを優先的に採用し、回生ブレーキが作動できない時は、発電ブレーキを採用する。回生ブレーキと発電ブレーキは通常、電気ブレーキという。

■制動エネルギー回収技術の現状

実際の車両運行では、以下のような制約から、回生制動エネルギー回収効率が低い。

（1）電力蓄積装置の体積が巨大であること。

電力蓄積装置型の制動エネルギー回収技術には、車両又は変電所に、電力を蓄積する設備を設置する必要がある。しかし、都市鉄道輸送は空間に限りがあるため、車両又は変電所の改造は非常に困難である。

（2）列車の回生ブレーキ作動時の非線形性。

回生ブレーキで生じるエネルギー分布は、システムの非線形性によって、制動時のモデリングは非常に複雑になる。

（3）回収効率の改善策は実用化に向けた評価が必要である。

（4）技術研究領域の注目度が不十分である。

発電ブレーキは、運動エネルギーを電気エネルギーに転化したものであり、抵抗器によって熱を発生させ、エネルギーを捨てる制動方式である。エネルギー消散型は、国内外で広く応用されている方式である。

これは、制御が簡単で、コストが低く、動作が安定的で、信頼性がある、といった長所がある。しかし、消散される熱エネルギーは、周辺の環境温度を上昇させ、駅の空調システムや変電所の空調システムの電力消費量を増加させる上、制動エネルギーは回収されないため、エネルギーの利用効率を大きく低下させる。

■今後の研究の見通し

今後の制動エネルギー回収技術の研究は、以下のような点で注目を集めるだろう。

（1）列車の運行方法の改善によるエネルギー利用効率の向上。

回生ブレーキ作動には、付近の列車によるエネルギー吸収が必要であるため、列車のダイヤ編成の改善は重要である。実現可能な省エネ型の時刻表により、回

生エネルギーの利用効率が改善するだろう。

（2）回生ブレーキと発電ブレーキの総合利用。

発電ブレーキは、電気ブレーキの中で比較的大きな比率を占めるため、回生ブレーキだけを考慮しても、一層の省エネに対する要求を満たすことはできない。発電ブレーキのエネルギー回収は、関心の高い研究テーマである。

（3）制動エネルギー回収システムを送電網の中での分布式供給システムとすること。

制動エネルギー回収システムによって、制動エネルギーの自給自足が可能となるため、分布式エネルギー供給システムの基本概念を満足させることができる。近い将来、都市鉄道輸送と鉄道周辺の住宅地区、又は工業地区の電源を組み合わせて、コンビネーション型の分布式エネルギー供給システムに発展させることで、エネルギー供給システムの安全性及び経済性を向上させられる可能性がある。

（4）制動エネルギー回収システムの研究開発機関と車両メーカーが、効果的な交流及び技術協力を行うことで、回収システムと車両組み立ての全体的な改善を図り、車両組み立て技術の改善が実現できる。

克服すべき困難には、以下のような点がある。

（1）列車の数と運行環境による制約。

（2）部品に対する強い電流の衝撃。

（3）分布式エネルギー供給システム理論の改善、及び使い勝手に対する検証。

（4）車両メーカーと制動エネルギー回収システムの研究機関が良好な協力を推進できるかどうかが、省エネ効果を最大限に発揮できるかどうか、の鍵を握っている。

■結び

都市鉄道輸送の普及、整備に伴って、制動エネルギーの回収利用は、関心を集めるようになった。部品製造技術の飛躍的な発展により、制動エネルギー回収システムは多様化し、研究開発の選択肢が広がっている。回収技術と応用には、技術的な制約が存在するが、技術革新や商品化の推進に伴い、経済面や環境面の効果が現れ、さまざまなタイプの車両に応用されることによって、社会的な効果が生まれるだろう。

中国の医薬品

中国伝統医薬（中薬）、植物性医薬品の国際的な研究開発

• Profile •

趙利斌 Zhao Libin ●天津天士力集団公司研究院 助理総監

天津天士力集団公司研究院助理総監。1973年3月生まれ。2005年、天津大学製薬工程専攻薬学博士。2001年より天津天士力集団有限公司勤務。研究所高級専門員、所長助理等を歴任。

共著者：何毅、郭治昕、孫鶴

生活習慣と生活様式の大きな変化に伴って、人類の疾患は、感染性等の単因子疾患から、代謝及び調節障害を主とする慢性的で複雑な多因子疾患へと転換している。腫瘍、糖尿病、心血管疾患、神経系、心理的障害等の精神疾患の増加等、慢性疾患、老人性疾患、生活習慣病の発生率が増加しているため、関連治療薬が新薬開発の注目点となっている。

1996～2005年は、感染症や腫瘍、神経系、心血管系、消化器系が新薬開発の前列にあったが、05～08年になると、この順序に変化が表れ、開発・実用化される新薬の多くは、腫瘍、神経系疾患、心血管疾患の薬に転換していった。そのうち内分泌系（糖尿病）の薬は、研究開発が最も急増した分野である。

西洋医学の考え方を指針とする新薬開発モデルは現在、厳しい挑戦に直面している。この数巡年間、発見・合成された化合物と創薬標的は増え、投資も拡大しているが、薬品開発の効率は低下し続けている。

60年代は世界で844の新規化合物（NCE）が開発され、年間平均で約84個だった。90年代は世界で400の新薬が実用化されたが、年間平均約40まで減少した。00～06年は、わずか241個しか新薬は実用化されず、年間平均24まで減少した。

新薬開発が難しくなった理由は、開発にかかる時間が長くなり、経費がまかなえなくなってきたからである。

60年代、新薬の開発は平均約8年だったが、00年以降は14年にまで延び、平均の開発経費は60年代の1.37億米ドルから。2000年前後には8億米ドルまで増加した。

世界の薬事法や審査手続が一層複雑になり、創薬資源も枯渇しつつある。従来型の「全スクリーニング」方式の開発が難しくなっており、研究開発過程の失敗率も上がり続けていることが最も直接的な原因である。

第二に、現代医薬という単一的な、対症療法を主とする治療は、多くの多因子疾患の治療に対して弱点となっている。医学が疾病治療を主とする生物モデルから、予防、治療、健康維持、リハビリテーションが融合した「生物－心理－社会」モデルへ全面的に転換している中で、現代医薬は、新たな要請に応えられず、より多くの挑戦に直面している。

中国伝統医薬と植物性医薬品は、世界の伝統医薬の重要な構成要素として、多くの国で利用されている。臨床例を見ると、中国伝統医薬と植物性医薬品の特徴である全体的で多標的型の治療は、西洋医薬では手の施しようのない一般的な疾患や老人性疾患、慢性多発疾患等に対し、優位性を持つことが明らかになっている。

西洋の人々の間で植物性医薬品ブームが再燃し、植物性医薬品への世界的な回帰の時代を迎えている。ファイザーやノバルティスといった世界的な製薬企業も、中国伝統医薬や天然薬の開発に期待している。

植物性医薬品の利用を奨励し、促進するため、多くの国が植物性医薬品に関する法規制を見直し、審査と実用化に関する規制を緩和してきたが、具体的な法適応については国によって大きな差がある。

米国の場合、食品医薬品局（FDA）医薬品評価研究センター（CDER）は04年6月に公布した「植物性医薬品産業ガイドライン」（以下、「ガイドライン」）において、米国で植物性医薬品をOTC医薬品（一般用医薬品）又は新薬の形式で販売することを許可した。

「ガイドライン」は、植物性医薬品について、合成薬、半合成薬及び高純度薬品とは異なる特性を認めている。すなわち、植物性医薬品は、単体の植物または複数の植物の中にある多成分化学物質をさらに純化する必要はなく、各成分を識別して薬効を研究する必要はないとしている。また、合理的な処方を経た混合中国伝統医薬（中薬）は認められる、としている。

同時に「ガイドライン」は、植物性医薬品の特性及び研究開発過程の実状に基づき、初期及び拡大臨床研究の申請（Investigation New Drug＝IND）について、詳細な説明を加えており、植物性医薬品の一部の臨床前評価研究は、臨床研究と同時か、臨床研究の後になってもよい、としている。

「ガイドライン」の公布によって、米国における植物

性医薬品の研究が進んだ。FDAの統計によれば、90～98年は植物性医薬品のIND申請はわずか64件で、年平均10件未満だった。

98～2004年はIND申請が139件に達し、年平均20件前後まで増加した。04～07年は211件の申請があり、年平均50件を超えた。

EUとカナダでは、欧州医薬品庁EMAとカナダ衛生省が2004年に相継いで「伝統植物薬指令」及び「自然健康製品規則」を公布し、植物製品を単独で「伝統植物薬製剤」及び「自然健康製品」として分類することになった。EUとカナダは、植物製品を薬品として販売することを許可した。上記3カ国・地域のルールについては、表1を参照してほしい。

植物性医薬品に関する新ルールによって、植物性医薬品に対する統一的な規制が実施され、植物性医薬品に関する管理態勢が改善された。EUとカナダでは、販売前の厳しい審査手続を通じて、市場参入条件が引き上げられ、安全性と薬効が基準を満たさない大量の製品が淘汰された。

表１　カナダ、米国、EUの中国伝統医薬（中薬）及び植物性医薬品管理政策の比較

	カナダ	米国	EU
製品分類	天然薬（OTCとして管理）	栄養補助剤又は薬品	伝統薬（OTCとして管理）
製品の範囲	比較的広い：植物性医薬品、ビタミン、ミネラル、ホメオパシー製品等	比較的広い：植物性医薬品、ビタミン、ミネラル、アミノ酸等	狭い：伝統植物性医薬品
販売前審査	有	栄養補助剤：無 薬品：有	有
販売申請手続	伝統的申請（50年）、非伝統的申請、専門テーマ申請等	栄養補助剤：申請の必要なし。登録制 薬品：有	伝統申請（30年）、専門テーマ評価（30年以内）
治療効果	有（中医適応症を認める）	栄養補助剤：無 薬品：有	有（現代医学として）
保険適用	自費または商業保険	栄養補助剤：無 薬品：適用可	－
製造・品質管理基準GMP	天然健康製品GMP／認可薬品GMP	栄養補助剤GMP（推奨）	薬品GMP
登録製品に対する専門的な要求	有	無	有
申請費用	現時点では無	有	有

中国では95年、「中国伝統医薬（中薬）現代化発展戦略」が発表され、2～3種の中国伝統医薬（中薬）の国際市場参入という目標が打ち出された。96年、国家科学技術委員会（現科学技術部）の主導によって、代表的な中国伝統医薬（中薬）のモデル的な製品が選抜され、米FDAへの組織的な申請が実施された。中国伝統医薬製剤（中成薬）は、新薬として先進国市場への参入を果たしていないが、一部の製品は事実上、国際臨床研究段階に入っている。（表2参照）

表２　中国伝統医薬（中薬）製品のFDA臨床研究の進捗状況

企業名	薬品名	適応症	FDA臨床段階の進捗状況
康縁薬業	桂枝茯苓		
胶囊	活血化瘀	第Ⅱ期終了	
同済堂製薬	仙霊骨葆膠囊	滋補肝腎、接骨続筋	IND申請開始
上海中医薬大学	扶正化瘀片	活血祛瘀、益精養肝	第Ⅱ期
天士力	復方丹参滴丸	活血化瘀、理気止痛	第Ⅱ期終了、第Ⅲ期開始
北大維信生物	血脂康	除湿祛痰、活血化瘀，健脾消食	第Ⅱ期
和記黄埔	HMPL-004	潰瘍性結腸炎	
大腸炎	第Ⅱ期		
和記黄埔	HMPL-002	頭頸部がん	第Ⅱ期
華頤薬業	威麦寧膠囊	活血化瘀、清熱解毒、祛邪膚正	第Ⅱ期
浙江康莱特	康莱特注射液	肺がん、肝臓がん、結腸がん、肺転移がん	第Ⅱ期
雲河薬業	龍血歇	活血化瘀、消腫止痛等	第Ⅰ期

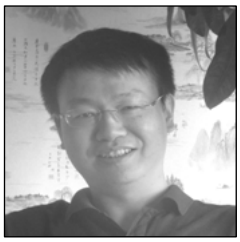
出典：企業年報、申銀万国等。
注：本表は不完全である。

米FDAは、新薬研究に関する規制を厳格化し続け、薬品の研究開発過程はより煩雑になり、時間も経費も高くなっている。こうしたリスクによって、中国伝統医薬（中薬）の国際化の道は、厳しい状況となっている。

もし、国内外の企業・研究機関との提携を拡大し、より多くの企業と優秀な製品を我々の陣営に加えることができれば、先進的な中国伝統医薬（中薬）を段階的に開発することができるだろう。そうすれば、中国伝統医薬（中薬）製品の研究開発リスクを低減し、中国の医薬産業の国際競争力獲得に結びつくだろう。

モノアミン再取り込み阻害薬の抗抑うつ薬作用

• Profile •



張　有志 Zhang Youzhi ●北京毒物薬物研究所 副研究員

北京毒物薬物研究所副研究員。1971年1月生まれ。2001年、北京中医薬大学中医臨床基礎専攻（博士）。2001～02年、北京中医薬大学で新薬研究開発管理業務に従事。02～04年、北京毒物薬物研究所でポスドク研究。1998年から抗抑うつ等精神薬の新薬研究開発及び作用機序の研究に従事。

共著者　薛瑞

抑うつ症は、罹患率、再発率、自殺率が高く、患者及び社会に深刻な経済的・精神的負担をもたらす。抑うつ症の発症機序は複雑で、現在でも完全には解明されていない。早期の研究としては、モノアミン伝達物質の欠乏が抑うつ症の発生及び治療と密接に関係するというモノアミン仮説がある。この仮説は提唱後、多くの臨床データにより裏付けられた。多くの課題に直面しているものの、現行の臨床抗抑うつ薬は、いずれもモノアミンを標的に設計されている上、モノアミン再取り込み阻害薬（Monoamine reuptake inhibitor,MRI）はなお、抗抑うつ薬開発の注目点である。

抗抑うつ薬の薬効学的評価は、主に抑うつ症動物モデルの構築及び行動学的検査に依拠する。理想的な抑うつ動物モデルは次の三つの条件、すなわち、表面的妥当性（face validity）、予測的妥当性（predictive validity）及び構成概念妥当性(construct validity)を満たす必要がある。

簡単に説明すると、表面的妥当性とはモデル動物の行動表現は抑うつ症患者の症状と相似性があるべきこと、予測的妥当性とはモデル動物及び臨床患者における薬効表現には一致性があるべきこと、そして構成概念妥当性とは動物モデルは抑うつ症の臨床的病因、治療プロセス及び病理学的機序を良好にシミュレート可能であるべきことである。

抑うつ症の発症機序は複雑なため、上記3点の条件を同時に満たす抑うつ動物モデルは今なお実現できておらず、これも抗抑うつ薬の研究開発を著しく制限している。このため、モノアミン再取り込み阻害薬の評価及びスクリーニングには、正確な評価結果を得るために複数モデルによる評価体系を採用する必要がある。

よく用いられる抑うつ症動物モデルには主にストレスモデル、薬物誘発性抑うつモデル、脳損傷モデル、行動操作モデル及び遺伝型抑うつ動物モデル等があり、中でもストレスモデルが最もよく使用される。ストレスモデルには主に行動絶望モデル（behavioral despair models）、学習性無力感モデル（learned helpless,LH）、慢性予測不能ストレスモデル（chronic unpredictable stress, CUS）及び慢性軽度ストレスモデル（chronic mild stress, CMS）がある。

抗抑うつ薬の最初のスクリーニングの際は一般的に行動絶望モデルを選択する。これにはマウス尾懸垂試験（Tail suspension test，TST）、ラット/マウス強制水泳試験（Forced swimming test，FST）が含まれる。行動絶望モデルの特徴は簡単でスピーディである上に臨床的治療効果と良好な一致性があることである。しかし、注意すべきはSSRIs及びSNRIsはFSTでは感受性がなく、再現性に劣る点である。近年、研究者たちはさまざまな方法によりFST中のSSRIs及びSNRIsの感受性の向上を試みている。慢性ストレスモデルは、抗抑うつ薬の薬効評価及び作用機序の検討によく用いられる。

新薬の評価及びスクリーニング研究においては、陰性対照薬の種類及び用量の選択が非常に重要である。動物モデルにより陰性対照薬の感受性は異なるため、まずさまざまなモデルで陰性対照薬の供与量効果関係研究を行うことを勧める。こうすれば、陰性対照薬の有効用量範囲を決められるだけでなく、MED（最小有効量）又はED50（半数有効量）も確定でき、被験薬物と並行して比較できるため、このことは“me too”又は“me better”薬物評価でより重要となる。この他、ヒトの体内での薬物処理は複雑で、薬物の吸収、分布、代謝、排泄（即ちADME）プロセスが薬理作用に間接的に影響することから、薬効学評価には薬物動態学パラメータを用いて試験をデザインする必要がある。例えば投薬頻度は半減期の消滅を参考にすることができ、血中濃度又は脳内薬物濃度は投薬用量の根拠となり得る。

上述の通り、モノアミン再取り込み阻害薬はモノアミン伝達物質（5-HT、NE又はDA）の再取り込みを抑制することでシナプス間隙の伝達物質レベルを高め、抗抑うつ薬作用を発揮する。

本稿では、よく用いられるモノアミン神経伝達物質の選択性消耗剤（表1を参照）及び薬物干渉モデルの調製に関する要点を以下の通り総括する。

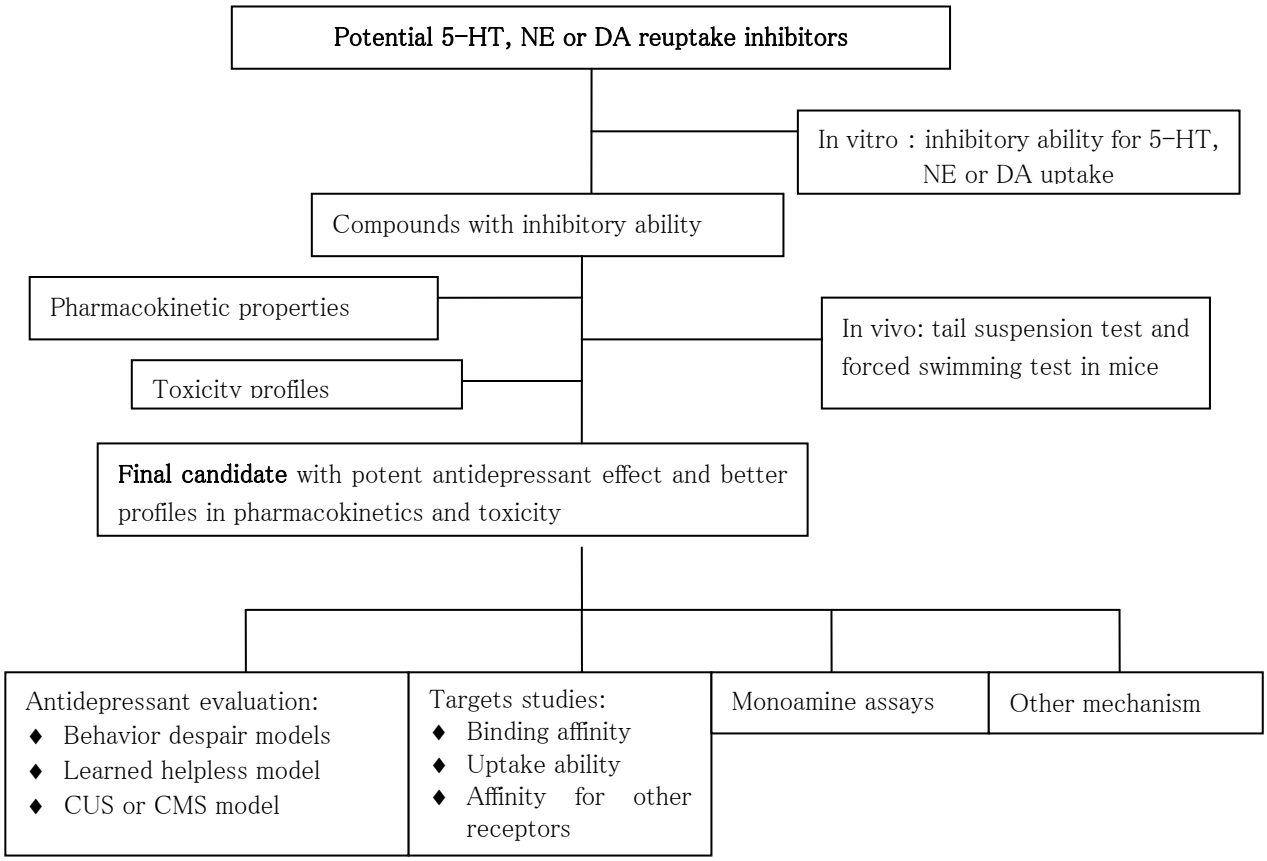
6-ヒドロキシドーパミン（6-hydroxydopamine, 6-OHDA）及び5,6-ジヒドロキシトリプタミン（5,6-dihydroxy tryptamine，5,6-DHT）は、カテコラミン

表１　モノアミン神経伝達物質の選択的消耗剤

名 称	種 類	投薬方式	作用標的
6-ヒドロキシドーパミン	化学的切断剤	i.c.v.	カテコラミンニューロン
5,6-ジヒドロキシトリプタミン	化学的切断剤	i.c.v.	5-HTニューロン
パラクロロフェニルアラニン	トリプトファン水酸化酵素抑制剤	i.p.	5-HTの合成
レセルピン	小胞再取り込み阻害薬	i.p., s.c.	5-HT、NE、DAの代謝
α-メチル-p-チロシン	チロシン水酸化酵素抑制剤	i.p.	NE、DAの合成

i.c.v.，脳室内注射；i.p.，腹腔注射；s.c.，皮下注射

図1　モノアミン再取り込み阻害薬のスクリーニング体系



ニューロン及び5-HTニューロンの化学的切断剤に分類され、両者の共通点はいずれも血液脳関門を透過できない点にあるため、脳室注射又は脳内特異核への注射が一般に選択され、投薬方式は相対的に複雑で、現在はニューロン形態学研究に多く用いられている。

パラクロロフェニルアラニン（parachloro phenylalanine, PCPA）は、トリプトファン水酸化酵素の抑制を通じて5-HTの合成を遮断し、脳内の5-HTレベルを消耗するが、NE及びDAへの影響は小さい。

α－メチル－p-チロシン（α-methyl-para-tyrosine, α-MPT）はチロシン水酸化酵素抑制剤であり、チロシン水酸化酵素を選択的に抑制でき、カテコラミンの合成を遮断する。レセルピン（reserpine）は小胞再取り込み阻害薬であり、小胞の5-HT、NE、DAに対する再取り込みを遮断することで伝達物質が酵素分解により破壊され、脳内の伝達物質含有量の大幅な減少をもたらす。

新薬は開発周期が長く、投資費用が高く、リスクが大きいため、薬物スクリーニング及び臨床前評価を如何に迅速かつ正確に終わらせるかが非常に重要である。伝統的な新薬発見ルートは主に偶然の発見に依存し、スクリーニングモデルは評価を主としていた。化学研究と受容体を結びつける技術の発展に伴い、指向的合成が主な新薬発見ルートとなり、高密度なスクリーニング技術が動物の体内モデル全体を対象としたスクリーニングという伝統的なモデルに取って代わった。

本研究グループは長年にわたり抗抑うつ新薬の評価に力を入れ、抗抑うつ薬の薬効学評価、作用標的研究、モノアミン伝達物質の含有量検査及びニューロンの電気活動研究等の評価法を整備し、これに基づきモノアミン再取り込み阻害薬の評価及びスクリーニング体系を確立した（図1を参照）。

この体系では体外での高密度スクリーニング及び動物の体内全体を対象とした薬効学的検証を結びつけた評価モデルを採用すると同時に、薬物動態学及び毒理学的データを応用し、開発に将来性のある候補化合物を効率的かつ正確に予測する。候補化合物の臨床前評価では、本体系はさまざまなモデルによる抗抑うつ活性評価や、さまざまなレベルでの標的研究及びモノアミン伝達物質の含有量検査に基づき、モノアミン再取り込み阻害薬の全面的な評価を迅速に行う。遺伝生物学及び神経生物学の発展並びに抑うつ症発症機序の解明につれ、新薬研究開発モデルの転換に従い、この体系も引き続き整備していく。

天然薬の研究開発過程における薬理学上の問題

• Profile •

殷　明 Yin Ming ●上海交通大学薬学院教授

上海交通大学薬学院教授。1954年7月生まれ。89年、第二軍医大学薬理学（医学博士）。199294年、米ピッツバーグ大学でポスドク研究。2003年から上海交通大学薬学院薬理学教授。国家自然科学基金委員会及び上海市科学技術委員会の資金で神経系薬理学等を研究。中国薬理学会神経薬理専門委員会常務委員、中国薬理学会抗加齢・抗老人性認知症専門委員会委員、上海市薬理学会常務理事。

共著者：陳仁海

天然物は薬の豊かな源である。技術の進歩や研究資金の増加に伴い、社会全体に「革新」意識が高まり、中国伝統医薬（中薬）を主とする天然由来の動植物からの分離化合物又は薬物抽出物や有効部位の合成を通じた新薬開発への意欲が高まっている。本稿では、新薬研究開発過程での薬理学について、思考方法やデータ判読などのうえで注意すべき問題を論じてみたい。

合成化合物による新薬開発について見ると、既存化合物が新薬開発の臨床試験II期、III期に至るまでの損耗率（attrition rate、失敗率ともいう）が高止まりしている原因を分析・研究したところ、化合物が研究開発過程を成功裡に通過するためには、化合物を選択する上で、まず大体の基準を確立する必要があり、作用機序が明確で、薬効が顕著であり、安全性が許容範囲にある、という性質以外に、その他の物性や生物学的性質、例えば分子量、物理化学的安定性、油水分配係数、水素結合数、溶解度、膜透過性並びに血漿及び肝ミクロソーム代謝安定性等を備える必要がある。

そこで、「創薬標的となり得る」（druggable）又は「医薬品らしい」（drug-like）化合物という定義が生まれた。新薬開発を更に進めるべきかどうかは、新薬候補物質が相応のドラッガビリティを満たすかどうか、などによって決まる。

天然化合物は数が膨大で、構造も多様であり、生物学的な角度から見れば、分離、精製後のモノマー又は成分について、相応の生理活性検査を行うことで、様々なレベルの活性や疾病治療効果を得ることができる。

しかし、大多数の天然化合物は生理活性が弱く、標的に対する作用が幅広く、すなわち、特異性が顕著でなく、作用標的が明確でなく、最大の欠点はドラッガビリティが弱い点にある。

このため、物性や薬物動態学、薬効学等の因子や条件の影響によって、生理活性を持つ大部分の天然化合物が、研究開発の価値があるとは限らない。

中国の研究結果と海外の先行研究の再現性は非常に良いと言えるだろう。しかし、筆者が不思議に思うのは、中国研究者はこの数年、海外ですでに存在する研究をなぜ繰り返しているのかという点である。

科学界ではすでに、レスベラトロールの物性、薬効、安全性、薬物動態学的性質が基本的に解明されており、一部では更に深く、分子機序に関する研究も行われている。中国人研究者の目的がレスベラトロールを用いた新薬の開発であるなら、レスベラトロールの薬効は顕著でなく、作用範囲が広く、ドラッガビリティに劣るという特性があり、プロジェクト立ち上げの目的や根拠は、明確なのではないだろうか。

動物の体全体を用いた薬効学的研究を実施するのに充分な理由があったとしても、できるだけ認知度の高い動物モデルを採用すべきである。中国の薬効学的研究の多くは。モデルが時代遅れで、条件の制御も悪く、データの信頼性は大きな影響を受けている。

天然抽出物又は有効部位の新薬開発に向けた主要制約企業の歩みが遅い原因は、大きく分けて次の三つが挙げられる。

第一に、高度に特殊化し、莫大な経費がかかる分析測定技術によって、生理活性成分を確定し、品質管理の基準を決める必要があること。緑茶、紅茶成分の分析が良い例である。様々な成分の存在がすでに報道されているが、完全なクロマトグラムがない現状では、研究データの再現性が悪い。

第二に、作用機序の解明には、生物学的測定と分子技術の結合が必要であること。

第三に、現在分離されている成分を改めて混合しても、抽出物の作用は再現が難しい。微量又は評価前の成分が存在し、これら成分によって相乗作用又は拮抗作用が起きている可能性がある。

薬効学の見地から見れば、抽出された化合物は相乗効果を発揮する可能性があるが、現状では実験でこれを明らかにすることは難しい。これら化合物の効果は単一の純粋化合物で再現することもできない。

伝統的な中国伝統医薬（中薬）の附子（ぶす）を例に

とると、その効能は回陽救逆、温補脾腎，散寒止痛だが、現代医学では、脳下垂体-副腎皮質系への興奮作用、強心作用、耐酸欠作用等と総括できる。

筆者がかつて勤務した教学研究室で、研究グループが附子を研究した結果、粗抽出液には顕著な強心作用があったが、分離されたモノマーでは、粗抽出液の強心作用を再現できず、用量を増やすと心臓毒性が現れた。

つまり、心臓に対する附子の作用には、含まれる様々な成分の相乗作用があって初めて薬効作用を生じ、毒性の発生を減らすのである（未発表データ）。

そのうえ、あるデータによれば、炎症の発生や進行はある意味で滝のようなプロセスであり、天然物は炎症の様々な段階で、より精巧に、かつ、広く影響するのであり、単一の化合物が一つの段階のみ影響するのとは異なる。

多くの複雑な疾病は、単一の標的への干渉のみでは、効果的な治療は得られない。疾病の発生・進行のカギを握る様々なタンパク質を選択又は推定し、化合物を応用して、多くの標的に影響を及ぼし、系統的に疾病の進行を変え、同時に、薬物を中和する作用を回避すれば、疾病の治癒作用が得られるだろう。これがシステム薬理学又は複合薬物薬理学の基本概念である。

脳を標的とする経鼻投与薬

• Profile •

楊　俊 Yang Jun ●新郷医学院薬学院院長、特別招聘教授、主任薬剤師

新郷医学院薬学院（河南省）院長、薬理学特別招聘教授、主任薬剤師。中国林業学会林木抽出物利用分会副理事長、河南省薬理学会副理事長、湖南省発明学会副理事長等を務める。1987年、第二軍医大学卒（臨床医療専攻、神経生物学博士課程で学ぶ）。2005年、カナダ国立研究機構（NRC）でポスドク研究。主に神経精神薬理学の研究及び新薬開発に従事。

共著者：潘艶娟，劉小双

大脳や脊髄を含む中枢神経系（Central nervous system,CNS）は、神経活動の中心であるだけでなく、神経系で最も複雑な部分である。CNSと血液との間には生理的障壁、血液脳関門（blood-brain barrier, BBB）が存在する。

血液脳関門は大脳及び脊髄に進入する際の最大の障壁である。高分子薬物のほとんどがBBBを通過できず、低分子薬物の98%も通過が難しく、CNSに進入できない。効果的なCNS疾患の治療のため、BBBを回避してCNSに直接輸送できる投薬方式及び脳標的薬剤が注目される研究テーマの一つとなっている。

経鼻投与は脳標的性のある投薬経路であり、この投薬方法は生物学的利用能が高く、使い勝手が良く、胃腸への刺激及び肝初回通過効果を回避できることから、薬物がBBBを透過して迅速にCNSに進入できる。

現在、国内外で承認されている薬物の経鼻投与による脳への中継輸送ルートは、嗅神経ルート、嗅粘膜上皮ルート、血液循環ルートがある。広義のCNS疾患には、老人性認知症、パーキンソン病、ハンチントン病、筋萎縮性側索硬化症、てんかん、偏頭痛、脳卒中、脊髄損傷等がある。

中国伝統医薬（中薬）の経鼻投与は、鼻療法と言い、数千年の歴史がある。滴、灌、点、塞、塗、拭、擦、抹、敷、納、暗、吹、吸、嗅、聞、燻、蒸、刺、探、嚏、香佩はいずれも鼻療法のことである。

中国伝統医学（中医）では、頭部七竅（頭部にある七つの穴）の思想があり、この七竅は脳が支配する。鼻は七竅の一つであり、鼻竅は脳に支配される。鼻は脳と密接につながっている。脳は元神之府とも言われ、人体の最高支配者である。

薬物は鼻に入った後、鼻から脳に達する経路で神経に作用し、神経の調節作用を経て治療目的を果たす。古くは漢代の張仲景が「薤搗汁、灌鼻中」の方法によって、開竅回蘇（穴を通じて回復する）という救急医療を施した。

「本草綱目」には、「頭風疼痛……先塗姜汁在鼻、立癒」（頭痛にはショウガ汁を鼻に塗ればたちまち治癒する）とある。また、「本草綱目拾遺」には、中国伝統医薬（中薬）の路路通（ロロツウ）の効能として、「辟瘴却瘟。明目除湿，舒経絡拘攣。周身痹痛，手脚及腰痛。焚之嗅其煙気，皆愈」とある。

一般に脳出血、脳血栓、脳梗塞等の脳血管疾患は、中国伝統医学では「脳卒中の範疇」に属すると考える。脳出血、脳血栓といった「脳卒中」の治療は、「破瘀通絡、活血化瘀」によって「脳腑之瘀」を取り除くことを主とする。「行気活血、化瘀散結、開竅醒神」等の効能のある中国伝統医薬（中薬）を用いれば、「血脈不通」、「気血瘀阻」等を治療できる。近年、中国伝統医薬（中薬）の復方経鼻投与製剤の応用事例の報告が続いている(表1参照)。

表１　中薬の経鼻投与製剤の応用事例

応用機関	薬品名	適応症
中国薬典（2010）	通関散（猪牙皂、鶯不食草、細辛）	脳卒中、気絶
李如奎（上海中医薬大学附属上海市中医医院）	中風一号（大黄、知母、山梔、沢瀉、生蒲黄、胆南星、葶藶子、氷片）	虚血性脳卒中
陳宏珪（広州中医薬大学第一附属医院）	脳覚醒用スプレー式点鼻薬（川芎、石菖蒲等）	急性虚血性脳卒中
張沁園（山東中医薬大学）	脳通点鼻薬（麝香、皂●、川芎、石菖蒲、胆南星、氷片、水蛭）	虚血性脳卒中（急性期）
長春中医学院	頭痛用点鼻薬（川芎、白芷、細辛等）	中老年の偏頭痛
山東中医薬大学	逍遥点鼻薬	偏頭痛

国内外の研究を見ると、経鼻投与による脳への標的指向性研究は、動物実験に関する研究がほとんどであり、臨床試験や安全性、有効性に対する評価が必要である。

コンピュータ支援医薬品設計による新薬研究開発

• Profile •

劉　艾林 Liu Ailin ●中国医学科学院、北京協和医学院薬物研究所研究員

中国医学科学院薬物研究所研究員、博士課程指導教員。1968年2月生まれ。2005～09年、マカオ大学中華医薬研究院（生物医薬博士）。95年から薬物研究所に勤務。コンピュータ支援医薬品設計、薬品のバーチャルスクリーニング、薬学情報学、抗インフルエンザウイルス薬及び抗アルツハイマー病薬の発見及び機序の研究に従事。

共著者：杜冠華、高麗

分子生物学及びX線結晶学の発展に伴って、疾病と関係する多数の生体高分子の三次元構造が分かってきた。また、コンピュータによるデータマイニング、機械学習技術の進歩によって、コンピュータ支援医薬品設計（Computer-Aided Drug Design, CADD）が誕生し、新薬開発のさまざまな段階に活用されている。

CADDは医薬品研究開発の成功率を高め、開発コストを減らし、開発周期の短縮が可能となるため、創薬の核心技術の一つとなっている。CADDは、理論や思考をイメージ化し、医薬品設計をより直感的で、迅速かつ効果的にする。

創薬標的の発見及び確証は、新薬研究開発の第一歩であり、創薬プロセスのボトルネックの一つでもある。CADDの応用によって、標的発見のスピードや正確性を高めることで、新薬の研究開発を促進することができる。バイオインフォマティクス（生物情報科学）は、ゲノミクス（ゲノム科学）、プロテオミクス（プロテオーム解析）等のデータをコンピュータで収集、保存、分析、処理し、標的の分類を実行する。

構造に基づく医薬品設計（Structure-Based Drug Design, SBDD）とは、創薬標的の構造に基づき、受容体と小分子の間の相互作用を研究することで、活性ポケットと相補関係にある新分子を設計し、又は新型の先導化合物を探す技術である。SBDD法には分子ドッキング、新規医薬品設計等が含まれる。

国内外でのSBDD技術の応用は、顕著な実績を挙げており、多くの薬品が実用化され、あるいは臨床研究段階に入っている。成功した典型例を表1に列記する。

表１　SBDD技術の応用による典型的な成功例

薬品名	疾病	標的
カプトプリル	高血圧	アンジオテンシン変換酵素
ドルゾラミド	緑内障	炭酸脱水酵素
サキナビル	エイズ	HIVプロテアーゼ
ザナミビル	インフルエンザ	ノイラミニダーゼ
グリベック	慢性骨髄性白血病	チロシンキナーゼ
アリスキレン	高血圧	レニン
ニロチニブ	慢性骨髄性白血病	チロシンキナーゼ
ビクトレリス（ボセプレビル）	C型肝炎	HCVプロテアーゼ
ノラトレキセド	肝臓がん	チミジル酸合成酵素
TMI-005	リウマチ様関節炎	TNF-α
LY-517717	静脈血栓塞栓	Xa因子
NVP-AUY922	腫瘍	熱ショックタンパク90

新薬の研究開発におけるCADDの応用は喜ばしい成果を挙げており、将来性が期待できる。しかし、CADDは新しい技術であるため多くの限界があり、改善が待たれる。また、CADDは新薬開発の支援方法の一つに過ぎず、万能ではなく、計算結果は実験データの代替とはならず、医薬品設計は最終的に実験で検証する必要があり、実験結果に基づいてCADDを改善する必要がある。

サルビアノリン酸Aの研究

• Profile •

杜　冠華 Du Guanhua ●中国医学科学院、北京協和医学院薬物研究院副院長、研究員

博士、研究員、博士課程指導教員。1956年12月生まれ。中国医学科学院、北京協和医学院薬物研究院副院長、薬物スクリーニングセンター主任。中国薬理学会理事長、アジア太平洋地域薬理学家聯合会執行委員会委員、国家科学技術重大事業「重大新薬創薬」専門家グループ専門家等を兼任。78～82年、山東医科大学薬学院薬学専攻（学士）。86～89年、同済医科大学薬理学専攻（医学修士）。92～95年、北京協和医学院薬理学専攻（博士）。95～98年、ベルギーのリエージュ大学でポスドク研究。現在、主に薬物の発見、高密度薬物スクリーニング、神経薬理学、心臓・脳血管系薬理学を研究。

共著者：張莉、張維庫、趙瑩、楊秀穎、方蓮花、王守宝、時麗麗、於暁彦、王夙博、楊海光、孫加琳、田碩

サルビアノリン酸A（Salvianolic acid A,SAA）は、シソ科植物の丹参（タンジン）の乾燥根及び根茎中に含まれる化合物である。SAAには顕著な抗酸化、心筋虚血の保護、抗血栓、神経の保護、抗肝線維化並びに糖尿病及び合併症の予防・治療等の薬理活性がある。

初期のSAA研究は主に心血管系疾患に関係し、主に丹参の臨床応用上の特徴や治療効果を基礎に行われた。研究の結果、SAAは心血管系疾患に良好な予防・治療効果があることが証明され、丹参の臨床作用における物質的基盤を解明する根拠となった。

研究により、SAAは脳の虚血-再灌流損傷、学習記憶障害、神経変性疾患のいずれにも良好な予防・治療作用があることが証明され、SAAの更なる臨床応用に科学的基盤を築いた。

本研究室では、ラットのガラクトース糖白内障モデルに局部的にSAAを応用した結果、白内障形成に一定の抑制作用があり、白内障形成プロセスを減速させる上に、SAA群の動物細胞結晶内では過酸化水素及びMDA含有量が減り、タンパク中スルフヒドリル基及び総スルフヒドリル基が増加することが分かった。SAAはアルドース還元酵素に一定の抑制作用があり、糖白内障の予防・治療に一定の意義を持つことが分かった。また、本研究室の研究の結果、SAAは低用量でも糖尿病における末梢神経系の病変、腎線維化、肝線維化に良好な予防・治療効果を示した。

SAAには広範な薬理活性があり、心臓・脳血管系疾患、肝線維化、糖尿病及び合併症、腫瘍等の疾患に良好な予防・治療効果を表し、心筋虚血の保護作用はサルビアノリン酸Bより優れる。

上記疾患のいずれでも酸化ストレスが重要な役割を果たすため、多くの作用機序の分析では、SAAのこれら薬理作用は強い抗酸化活性と不可分の関係にあると認識された。SAAは多くのフェノール性水酸基を持つため、活性酸素の除去により脂質の過酸化を軽減し、疾病への酸化ストレスの影響を改善できる。

SAAの化学研究はこの数年大きな進展を遂げており、特に現行技術では生薬中の含有量がわずか0.01％～0.03％のSAAの抽出率をすでに0.5％以上まで引き上げ、純度も90％以上に達している。SAAの薬理作用研究や薬物動態学研究のスタートはやや遅かったものの、生体内におけるSAAの基本的な薬物動態特徴はすでに明確になりつつあり、上記研究により、SAAのピーク到達時間は比較的早く、半減期は短く、主な代謝経路はメチル基化及びグルクロニダーゼ化であることが分かる。

SAAの強い薬理活性に鑑み、SAAを使用した心臓・脳血管系疾病、糖尿病及び合併症等の予防・治療新薬の開発はすでに研究の関心事となっているが、可能となる作用機序については更なる研究が待たれる。

本研究室の既存の実験結果によれば、SAAは心血管疾患、糖尿病及び合併症の予防・治療の面で抗酸化活性と完全に関係があるわけではなく、ミトコンドリア機能の調節及び炎性因子生成の抑制等の活性により、SAAはさまざまな経路から作用を及ぼす可能性があることが示されている。SAAの現行製造技術は抽出率が顕著に高まっているとは言え、多くはやや複雑で産業化が困難であり、生産コストが高いため、抽出率及び純度要求を保証した上で生産プロセスを如何に簡略化するかが今後の化学研究の関心事となろう。この他、SAAの薬物動態学的特徴はまだ完全に解明されていないため、適切な剤型の選択もSAAの吸収等に影響を及ぼすだろう。SAAの化学、薬理、薬物動態等の研究が全面的に進められるにつれ、SAAが心臓・脳血管系疾患、糖尿病及び合併症等で確実な薬効を有し、安全で信頼性の高い新薬が開発されることを確信する。

サルビアノリン酸A（Salvianolic acid A, SAA）は、シソ科植物の丹参（タンジン）の乾燥根及び根茎中に含まれる化合物である。SAAには顕著な抗酸化、心筋虚血の保護、抗血栓、神経の保護、抗肝線維化並びに糖尿病及び合併症の予防・治療等の薬理活性がある。

初期のSAA研究は主に心血管系疾患に関係し、主に丹参の臨床応用上の特徴や治療効果を基礎に行われた。研究の結果、SAAは心血管系疾患に良好な予防・治療効果があることが証明され、丹参の臨床作用における物質的基盤を解明する根拠となった。

研究により、SAAは脳の虚血-再灌流損傷、学習記憶障害、神経変性疾患のいずれにも良好な予防・治療作用があることが証明され、SAAの更なる臨床応用に科学的基盤を築いた。

本研究室では、ラットのガラクトース糖白内障モデルに局部的にSAAを応用した結果、白内障形成に一定の抑制作用があり、白内障形成プロセスを減速させる上に、SAA群の動物細胞結晶内では過酸化水素及びMDA含有量が減り、タンパク中スルフヒドリル基及び総スルフヒドリル基が増加することが分かった。SAAはアルドース還元酵素に一定の抑制作用があり、糖白内障の予防・治療に一定の意義を持つことが分かった。また、本研究室の研究の結果、SAAは低用量でも糖尿病における末梢神経系の病変、腎線維化、肝線維化に良好な予防・治療効果を示した。

SAAには広範な薬理活性があり、心臓・脳血管系疾患、肝線維化、糖尿病及び合併症、腫瘍等の疾患に良好な予防・治療効果を表し、心筋虚血の保護作用はサルビアノリン酸Bより優れる。

上記疾患のいずれでも酸化ストレスが重要な役割を果たすため、多くの作用機序の分析では、SAAのこれら薬理作用は強い抗酸化活性と不可分の関係にあると認識された。SAAは多くのフェノール性水酸基を持つため、活性酸素の除去により脂質の過酸化を軽減し、疾病への酸化ストレスの影響を改善できる。

SAAの化学研究はこの数年大きな進展を遂げており、特に現行技術では生薬中の含有量がわずか0.01%～0.03%のSAAの抽出率をすでに0.5%以上まで引き上げ、純度も90%以上に達している。SAAの薬理作用研究や薬物動態学研究のスタートはやや遅かったものの、生体内におけるSAAの基本的な薬物動態特徴はすでに明確になりつつあり、上記研究により、SAAのピーク到達時間は比較的早く、半減期は短く、主な代謝経路はメチル基化及びグルクロニダーゼ化であることが分かる。

SAAの強い薬理活性に鑑み、SAAを使用した心臓・脳血管系疾病、糖尿病及び合併症等の予防・治療新薬の開発はすでに研究の関心事となっているが、可能となる作用機序については更なる研究が待たれる。

本研究室の既存の実験結果によれば、SAAは心血管疾患、糖尿病及び合併症の予防・治療の面で抗酸化活性と完全に関係があるわけではなく、ミトコンドリア機能の調節及び炎性因子生成の抑制等の活性により、SAAはさまざまな経路から作用を及ぼす可能性があることが示されている。SAAの現行製造技術は抽出率が顕著に高まっているとは言え、多くはやや複雑で産業化が困難であり、生産コストが高いため、抽出率及び純度要求を保証した上で生産プロセスを如何に簡略化するかが今後の化学研究の関心事となろう。この他、SAAの薬物動態学的特徴はまだ完全に解明されていないため、適切な剤型の選択もSAAの吸収等に影響を及ぼすだろう。SAAの化学、薬理、薬物動態等の研究が全面的に進められるにつれ、SAAが心臓・脳血管系疾患、糖尿病及び合併症等で確実な薬効を有し、安全で信頼性の高い新薬が開発されることを確信する。

研究開発施設 現地調査レポート

現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設 核融合研究施設「EAST」

● Profile ●

寺岡 伸章 てらおか・のぶあき ●日本原子力研究開発機構技術主席

（独）日本原子力研究開発機構核物質管理科学技術推進部技術主席。1956年熊本県八代市生まれ。東京工業大学電子化学専攻修士課程修了。1982年科学技術庁（現文部科学省）入庁。科学技術庁大型放射光施設推進室長、タイ国家科学技術開発長官顧問、国立極地研究所事業部長、（独）理化学研究所中国事務所準備室長（北京）などを経て現職。個人ブログで中国ハイテク論等を展開中。

1．世界の核融合研究

核融合とは、重水素と3重水素を1億度まで加熱してプラズマ状態とし、原子核を融合させる反応である。核融合発電は、核融合反応で得られるエネルギーを、水、ヘリウムなどの冷却材で取り出し、タービンを回転させて電気を得ることであり、1グラムの核融合反応によって得られるエネルギーは石油8トン分のエネルギーに相当する巨大なものとなる。

1980年代、日欧米の三大トカマク実験装置であるJT-60U（日本原子力研究開発機構）、JET（EU、英国カラム研究所）、TFTR（米国プリンストン大学プラズマ物理研究所）を使った実験によってプラズマ挙動の基礎研究が大きく進展し、JETは1991年、JT-60Uは1996年にそれぞれ臨界プラズマ条件をクリアした。

日欧米の研究により、核融合反応が持続する自己点火条件の実現の見通しができるようになったため、自己点火条件の達成を目指した国際熱核融合実験炉（ITER）計画が日欧米露中韓印の7極により合意され、現在、フランスで建設が進められており、運転開始は2020年、核融合反応の実現は2027年の予定である。

2．中国の核融合研究

中国の核融合研究は主に、安徽省の合肥の科学院プラズマ物理研究所のEASTで行われている。EASTは実験「Experimental」、先進「Advanced」、超伝導「Superconducting」、トカマク「Tokamak」の頭文字を組み合わせたものである。直訳すると「先進実験超伝導トカマク」である。

EASTは、世界で初めて超伝導技術を用いたトカマク装置である。2009年、核融合実験装置のコイルを超伝導化し、中国は世界に意地を見せつけた。中国は核融合研究の後発組であるがゆえに、最先端の超伝導技術を導入することができたともいえ、僥倖というべきものであろう。この超伝導による装置を実現した意義は大きく、ITERの設計にも活かされることになっている。また将来的な核融合の実用化においては、超伝導技術の使用が不可欠と考えられることから、超伝導に関連する各種技術で世界に一歩先んじたことは、大いに評価できる。

しかし、中国は、先進国と比較して実験装置の開発の着手が遅れたため、プラズマ加熱技術、プラズマ計測診断技術などの基盤的な要素技術で10～20年遅れている、ともいわれる。

プラズマ物理研究所によると、EASTの製造部品の9割は研究所の自主開発技術であり、残り1割のうち、装置の設計はプリンストン大学と米GA社の協力を得、超伝導材はロシアから導入してケーブルにしたという。EASTは今でも、プラズマ条件の大幅な実験変更にはプリンストン大学の支援が必要といわれているように、完全に自立した装置とは言い難い。

EASTを構成する機器や資材の開発は、中国の民間企業の技術力が満足すべき標準に達していないことや、予算上の制約から、研究者自ら実施してきた経緯がある。今でもプラズマ物理研究所内には、超伝導導体の製造等の工場があり、研究者と技術者が協力しながら作業を進めている。

EASTの目標は、プラズマ安定運転モードに関する科学及びエンジニアリングの達成である。EASTは独特な非円形切断面、超伝導、冷却内部構造の三大特性を兼ね備え、プラズマの安定的な実験運転に有利である、とされる。EASTの特徴は、廉価なコストで建造され、安全・安定運転が実現できていることである。

核融合の実現には、プラズマの超高温（1億度以上）、高密度、長閉じ込め時間の三要素の実現が重要である。EASTは2011年、プラズマの持続時間100秒、プラズマ温度4,000万度を達成し、次の目標は持続時間400～1,000秒、高効率加熱を受けた場合のプラズマ温度は1億度に設定している。

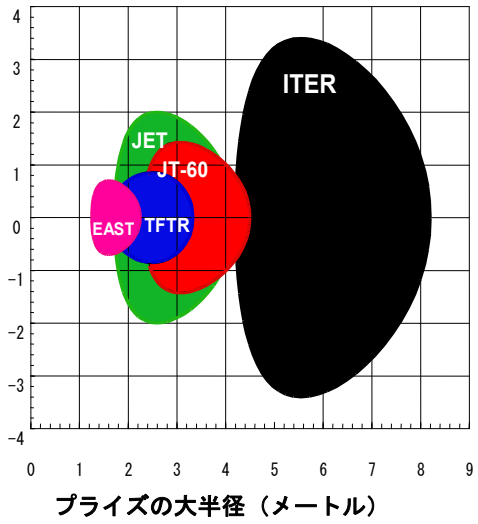


図１　代表的なトカマク装置のプラズマ断面

出典：日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門提供

プラズマ研究にもっとも大きな影響を及ぼすのは、実験装置の炉心容量である。図1から分かるように、EASTは日欧米の実験装置と比較して一回り小さい。原子核の動きを超高速度にして、相互のクーロン力による反発を超えて原子核を衝突させ、核融合反応を起こさなければならない。

コップのお湯より風呂のお湯の方が冷めにくいように、容量が大きいほど温度が高く、優れたプラズマ状態を実現でき、研究の大きな進展をもたらす。容量を大きくするためには真空容器を大きくするだけではなく、磁場を作るコイル、プラズマを超高温にするビーム加熱、高周波加熱、プラズマ計測システムなど各種基盤技術の開発が必要である。日欧米は世界三大トカマク実験装置の開発に果敢に挑戦してきたため、これを支える基盤技術も並行して進展してきたのだ。

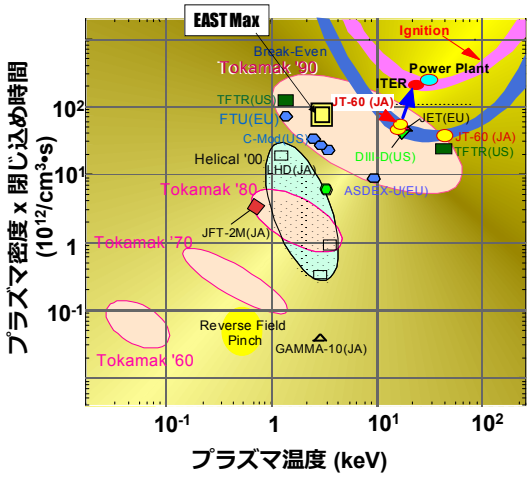


図２　EASTの最大性能

出典：日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門提供

図2に示すように、日米欧のトカマク型核融合研究では、プラズマ温度、密度、閉じ込め時間等実験装置の性能が、1969年代から10年毎に1桁ずつ高くなっている。中国のEASTは最高の性能を発揮しても、日米欧が1990年代に記録した性能を実現するのが限界であり、プラズマ臨界条件の達成は難しい、と言われている。

３．今後の核融合研究計画

中国の核融合研究は、日欧米に遅れてスタートしたこともあり、キャッチアップに専念してきた経緯がある。これがある程度功を奏し、EASTの完成にみられるように、世界的にみても日欧米に次ぐレベルに達しつつある、と考えられる。しかし、課題はこれからである。世界の先頭を走る者は、必死の試行錯誤により研究開発に取り組むこともあって、自ら未知の分野を開拓する手法を取得していると考えられるが、追いつこうとする者は、ややもすると他国の技術の模倣や単純な導入に走ってしまう恐れがある。また、中国の研究論文の質は、各種国際会議などでの論文発表で見る限り、現時点では主要先進国に追いつきそうなレベルにあるとは言い難い。

ITER計画に参加することにより、中国は世界最高水準のプラズマ関連のデータを入手することができ、かつ実験経験も蓄積しうるため、ITER計画が本格的に動き出す2020年代後半には、実験炉を構成する炉工学の基盤技術は別としても、中国のプラズマ研究は世界レベルに達する可能性が高いと思われる。

中国は経済成長を支えるためにエネルギーを得たいという強い動機から、核融合で発生した高速中性子をウランやプルトニウムに照射して、その核分裂から熱を得るハイブリッド炉を開発する可能性が指摘されている。核融合反応のみによる発電方式は、安全性が高く、高レベル放射性廃棄物を生成せず、核兵器に利用されないといったメリットを持つが、ハイブリッド発電の場合には核分裂反応も併せ利用するため、このメリットを放棄することにつながるので、慎重な判断が必要となる。

４．核融合研究の課題

中国は先進国へのキャッチアップを目指し、急いで核融合研究を行ってきたため、時間と手間をかけてきた先進国の日欧米と比べれば、深いところまで達していない。中国は、若手を一人前の研究者に教育できる段階に達しておらず、海外の大学や研究所に派遣して核融合の関連技術を習得させている段階にある。また、核融合分野に限らないが、先進国にあるような学会が中国国内で十分に活動していないため、大学院生や若手研究者が研究成果を発表し、議論を戦わせる場が乏しく、人材育成上、大きな損失を生んでいる。

中国の核融合研究の歴史が短いことは、中国の研究水準や技術レベルのハンディの大きな原因となっている。

ただし、中国の核融合戦略と豊富な人材、潤沢な研究費の投下は低く評価されるべきではない。現在、中国で核融合研究を担っている人材で、世界トップレベルに達している人は少ないかもしれないが、欧米で活躍している中国人が多数帰国するようになれば、飛躍的な研究の進展が実現できよう。

欧米の研究機関等において世界レベルの中国人研究者が活躍しているが、中国国内の研究環境や子女の教育問題などを改善するための中国政府による帰国奨励策がうまく機能していない、とも聞く。これを補うものとして、外国との共同研究や短期間の研究指導などにより海外の知見や技術を吸収する努力が行われていることに留意すべきである。

今回の調査（2012年1月）で気になったのは、日中両国の政策担当者や研究者の発想の違いである。その違いは歴史的、文化的背景にも依存しているが、政治体制の影響も無視できないと思われる。中国は共産党の一党独裁国家であり、政治経済を含めて共産党の指導が大前提となっているため、自由な発想と自由な議論が十分に保障されているとは言い難い。

科学の発展には自由な発想と自由な議論が不可欠であるのは言うまでもないが、中国人の学生や研究者が自由な発想の下で教育され、自由に議論を行う環境が整備されているのかどうか、懸念されるところである。自由な発想と自由な議論が無い環境では、既存の技術や知的権威に果敢に挑戦することで実現するイノベーション（創新）を期待することは難しい、と考えられる。

５．今後の日中協力

中国側の最大の関心事項は、テストブランケットモジュールの開発における日中協力の可能性である。日中ともに開発を行ってきたヘリウム冷却固体増殖方式のみならず、日本独自の概念である水冷却固体増殖方式、さらには日本が開発したブランケット構造材料についても、中国側は協力への希望を表明している。特に、日本独自のブランケット関連技術はハイブリッド炉に極めて有効なものと考えられるため、ハイブリッド炉による早期の発電を狙っていると思われる中国への協力には留意が必要である。

一方、日本側から希望する協力課題としては、超伝導トカマクEASTに日本人研究者が参加して、超伝導方式特有の炉心制御技術を習得すること、超伝導方式で真空断熱容器に装置全体が覆われているため困難度が増す配管類・ケーブル類などの修理、真空漏れなどの保守技術を習得することなどが想定され、世界初の超伝導トカマクであるEASTでの共同研究を通じてこれらの技術ノウハウ習得に期待がかけられている。

また、将来的な原型炉の開発には、高速中性子による炉材料の劣化を検証することは不可欠である。日欧は協力して国際核融合材料照射施設IFMIFの工学実証及び工学設計を進めているが、これに中国の研究者の招聘も検討するべきと考えられる。

アジアの科学技術大国である日中両国が協力し、核融合発電をアジアにおいて最初に実現する日を望んでいる。

［編集部注］

図３　EAST炉心の実物大の断面模型（右が筆者）

中国が世界に誇るトップレベルの研究開発施設を日本の専門家、研究者が訪問し、その状況を調査した。調査期間は2011年12月～2012年3月。科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）の海外動向報告書「中国の科学技術力について～世界トップレベル研究開発施設～」（2012年6月刊）にまとめられた成果を基に、執筆者にリライトしてもらい、当ウエブサイトで紹介する。（中国総合研究センター　鈴木暁彦）

現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設 有人潜水調査船「蛟竜」

• Profile •

植田 秀史 うえた・しゅうし ●科学技術振興機構 研究開発戦略センター副センター長

（独）科学技術振興機構 研究開発戦略センター副センター長。1976年東京大学工学系大学院修士課程修了。同年科学技術庁（現文部科学省）入庁。2004年内閣衛星情報センター管制部長。2008年より現職。

１．世界記録を更新した中国の有人潜水調査船

有人潜水調査船は、宇宙と並んで人類の未知の世界である深海を、人間の眼で直接観察できる有力な手段であり、世界の主要国が開発を進めてきた。現在、4000m以深の深海に潜航可能な有人潜水調査船を保有しているのは、日本、米国、フランス、ロシア、中国に限られる。

このうち日本は、「しんかい6500」を保有し、1989年に6,527mまで潜航し、当時の世界最深記録を達成、また、20年以上に亘って運用し、1,270回を超える潜航実績を持っている。

この日本の「しんかい6500」を追い抜いて世界最深記録を更新したのが、中国の有人潜水調査船「蛟竜」（こうりょう）である。「蛟竜」は、2012年6月24日に、7,020mまで潜航した。深度の観点からは中国、日本が世界の一位、二位を占めることになった。

表１　世界の深海潜水調査船

名前	しんかい6500	蛟竜	Alvin	Nautile	Mir1,2
国籍	日本	中国	米国	フランス	ロシア
建造年	１９８９	２００９	１９６４	１９８４	１９８７
運用者	JAMSTEC	COMRA	WHOI	IFRMER	ロシア科学アカデミー
潜航深度（m）	６５００	７０００	４５００	６０００	６０００
乗員数（うち研究者）	３（１）	３（２）	３（２）	３	３（２）

出典：平成21年版「中国の科学技術力について（ビッグ・プロジェクト編）」（科学技術振興機構 中国総合研究センター）

２．「蛟竜」の概要

（１）「蛟竜」の視察

2012年1月13日（金）に、中国江蘇省無錫市近郊にあるChina Ship Scientific Research Center(CSSRC、中国船舶重工集団公司第七〇二研究所)を訪問した。「蛟竜」は、CSSRCでメンテナンス中であった。

日本からは、我々、科学技術振興機構 研究開発戦略センターから２名のほか、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の専門家２名も同行してくれた。

中国からは、「蛟竜」を保有し、運航を行っているChina Ocean Mineral Resources R & D Association（COMRA、中国大洋礦産資源研究開発協会）のLiu Feng（劉 峰）氏、CSSRCのCui Weicheng（崔 維成）氏、Xu Qinan（徐 芑南）氏が対応してくれた。

（２）「蛟竜」の開発経緯

1992年に有人潜水調査船の開発提案がCSSRCなどの研究者、技術者からなされ、政府部内での検討の後、2002年に開発が開始された。この間、10年が経過しており、提案を行った研究者、技術者たちにとっては、大変長い間、待たされたことになる。

当時中国では、300mの有人潜水調査船の実績しかなく、CSSRCとしては6,000mの開発を考えていた。しかし、政府部内で、既に日本が6,500mを達成していたので、それを上回る7,000mを目標とすることになったと

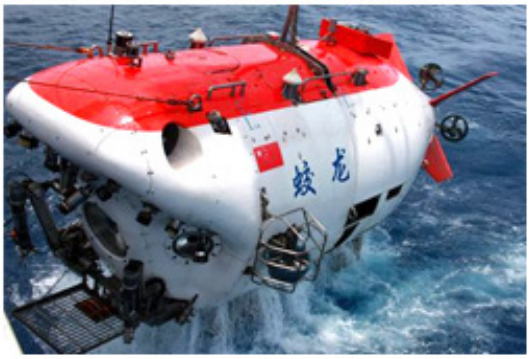


写真１　「蛟竜」の外観

出典：中国国家海洋局ホームページ

のことである。

ちなみに日本は、600m→2,000m→6,500mとステップを踏んで開発を行っており、この点、中国は大幅な技術的ジャンプを行っている。

（３）使用技術・部品

有人深海潜水船の最も重要なパーツである耐圧殻は、「しんかい6500」は日本製であるが、「蛟竜」はロシア製である。この点から、中国が有人深海潜水船のキーとなる技術を保有していない、との解釈も可能である。また、インターネットからの情報によれば、今回面会したCui Weicheng氏が、「蛟竜」のパーツの国産化率は58.6％と話した、とされている。

(http://memo-no-memo.cocolog-nifty.com/blog/2012/06/7000m-a28a.html 参照)。

しかし、有人深海潜水船は定期的に建造されるものではなく、日本においても「しんかい6500」以降、20年以上建造されていない。また、「しんかい6500」でも多くの輸入部品が使われている。

写真２　「蛟竜」の保管場所の外観

従って、世界中からベストな部品を集めて有人深海潜水船を建造する、というのも一つの方法であり、中国はその方法で、少なくともこれまでは成功しており、トータルとしての技術力は十分保有している、と考えられる。

（４）現状及び今後の計画

「蛟竜」は、2009年8月に海上試験出港式が行われ、2010年8月には3,759m、2011年7月には、5,057mの潜航に成功し、2012年に、7,020mの潜航に成功した。

これまでも、試験中ではあるものの、並行して調査運航も行われているとのことである。具体的には、中国や日本も参加している国際機関であるInternational Seabed Authority（ISA、国際海底機構）からの契約に基づく調査も実施している。

本格的な運用時には、公募で調査の提案を募り、専門委員会で審査して、運航計画を決める予定とのこと。運用に当たっては、海外にもオープンにしたいとのことであり、海外の研究者が安心して搭乗できるよう、船舶として認証されるため船籍を取得する予定。

３．「蛟竜」と「しんかい6500」の比較

全般的には、「蛟竜」と「しんかい6500」は似ているが、20年以上の開発時期の差があり、「蛟竜」は、その間の電子技術の進歩等を活用し、「しんかい6500」より、性能が優れている点が散見される。以下、主な点について説明する。

（１）重量

「蛟竜」は22～23トンで、「しんかい6500」(26.7トン)より軽い。軽量化の理由は、船体の長さを短くしたこと、部品の軽量化を進めたことによるとのこと。

（２）乗員

「蛟竜」は乗員3名のうち研究者が2名、パイロット1名。「しんかい6500」は逆で、研究者が1名、パイロット2名。同行した海洋研究開発機構の専門家は、パイロットの負担が大きくならないか、を気にしていた。この点について、中国側の説明は、米国のアルビンの例を参考に、研究者を２名とし、さらに自動操縦を採用してパイロットの負担を軽減した、とのことであり、同乗する研究者にも一部の操作を手伝ってもらう、とのことであった。

（３）のぞき窓

ともに３個だが、「蛟竜」は中央が大きく（200mm)、また、視野がサイドの窓と重なっている。「しんかい6500」は３個とも120mmで、視野の重なりがない。「蛟竜」の場合、両サイドの窓から研究者が観察し、パイロットに希望する針路を伝えやすい、と思われる。

（４）最大深度での作業時間

「蛟竜」は6時間、「しんかい6500」は3時間。「蛟竜」の場合、全体のオペレーション（着水から揚収まで）に12時間と想定している（「しんかい6500」は8時間)。海洋研究開発機構からの同行者は、パイロットが一人のため負担が大きいことや電池の充電時間等を考えると、連日運航するのは大変ではないか、との印象を持っていた。今後、計画どおりの運航が可能か、推移を見る必要がある。

（５）電池

電池については、「しんかい6500」は、銀亜鉛電池からメンテナンスに優れたリチウムイオン電池に変更しており、「蛟竜」もその方向で検討中である、とのことであった。

４．今後の日中協力

日中協力の可能性は大いにある、と言える。中国側にとっては、「しんかい6500」の運用実績は貴重なものであり、日本からの情報入手を期待している。今回の訪問時においても、具体的にリチウムイオン電池についての情報提供を求められており、今後、COMRA/CSSRC－海洋研究開発機構間の運用技術面での協力は十分可能性がある。

また、有人深海潜水調査船は世界に数隻しかなく、中国も世界の研究者に利用してもらいたい、と考えていることから、世界の科学者コミュニティを対象に、日中が協力して運航計画を検討する、といった運用協力も考えられる。

［キーワード：有人潜水調査船　深海潜水船　世界記録　しんかい6500］

［編集部注］

本稿は、科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）の海外動向報告書「中国の科学技術力について～世界トップレベル研究開発施設～」（2012年6月刊）にまとめられた成果を基に、執筆者にリライトを依頼し、掲載したものである。（中国総合研究センター　鈴木暁彦）

現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設 スパコン「天河1A」「星雲」

• Profile •

豊内　順一 とよううち じゅんいち　●科学技術振興機構 研究開発戦略センターフェロー

（独）科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー（システム科学ユニット担当）。東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。1991年日立製作所入社。高信頼システムアーキテクチャ、分散コンピューティング基盤などの研究開発、および国際標準化に従事。2011年9月から現職。

１．世界と中国のスパコン開発状況

コンピュータ・シミュレーションは、「理論」、「実験・観測」に次ぐ第三の科学的手法として、現代の研究開発には欠かせない基盤ツールとなっている。素粒子・天文研究、気象予報、創薬、半導体材料開発、空力解析など幅広い分野において、スーパーコンピュータ（以下「スパコン」）の能力を活用することで、新しい研究成果が次々に生み出されている。

アメリカと日本は、スパコンの性能が国際競争力の源泉である、との認識に立ち、国策によって1960年代から、スパコンのハードとソフト双方の研究開発に注力してきた。一方、欧州各国はスパコンの重要性は認識しつつも、1980年代以降は、ハードは米日から購入するという割り切りを行って、ソフトと利用技術を中心とした研究開発戦略を採っている。このように国産スパコンを構築できたのは、これまでは米日の二国だけであったが、近年、中国、フランス、ロシア、インドでも国産化の動きが活発となってきた。

中国がスパコンの自主技術に注力する背景には、1986年に政府自ら研究を進める「国家ハイテク研究プログラム」の対象の一つに、スパコンが選定されたことがある。1990年以降、5カ年計画の一環として、スパコンの研究計画も策定されており、研究と産業の両輪によるスパコンの研究開発がうたわれている。これらの方針を受け、現在は国防大学、中国科学院、国家並行計算機工程技術研究中心の三者が、スパコンの開発競争を行っている。

表１　「京」「天河1A」「星雲」の比較

項目	京	天河 1A	星雲
TOP500 順位*	1（2）	2（5）	4（10）
設置場所	理化学研究所 神戸	天津スパコンセンター	深圳スパコンセンター
ベンダ	富士通	国防科学技術大学	曙光信息
完成年(ﾊｰﾄﾞｳｪｱ)	2011	2010	2010
プロセッサ(CPU)	SPARC64 VIIIfx	Intel Xeon X5670	Intel Xeon X5650
ｱｸｾﾗﾚｰﾀ(GPU)	なし	NVIDIA Tesla 2050	NVIDIA Tesla 2050
LINPACK(Rmax)	10.5 ペタ FLOPS**	25.7 ペタ FLOPS	12.7 ペタ FLOPS
消費電力	12.66MW	4.04MW	2.58MW

*2011/11時点（2012/6時点）の順位

**FLOPS：floating point operations per secondの略。1秒あたりに実行できる浮動小数点数の演算回数。この値が大きいほど演算速度が速い。1ペタFLOPSは1秒当たり10の15乗（千兆）回。

中国のスパコンの性能は長い間、米日に比すると数世代の差があったが、2004年に中国科学院の「曙光4000A」（Dawning 4000A）が、スパコンの計算性能の順位を発表しているプロジェクトTOP500（http://www.top500.org/）で、初めてTOP10入りした。2010年11月には、国防科学技術大学の「天河1A」（Tianhe-1A）がTOP500の首位に立ち、曙光の後継機である「星雲」（Nebulae）も、世界第3位につけた。翌年6月には日本の理化学研究所の「京」（Kei）が、天河1Aの約３倍の性能で首位の座を奪うものの、中国のスパコンが半年間だけでもトップを維持したことは、非常に印象的な出来事であった。

２．中国スパコン調査

これまで、中国のスパコンの研究開発体制、運用の実態などに関しては、詳細な報道がほとんどなく、断片的な情報しかなかった。今回、天津と深圳のスパコンセンターを訪問し、「天河1A」と「星雲」の利用状況、運用実態等について調査するとともに、担当者へのインタビューなどから施設・研究の将来性、課題そして今後の日中協力の可能性を検討した。

２．１　「天河1A」視察

（１）施設の概要

2012年3月7日に、「天河1A」が設置されている天津スパコンセンターを訪問した。同センターは、天津市中心部から電車で50分ほど離れた天津浜海新区のリサーチパークにある。

天津スパコンセンターは、もとは別の目的で建設された建物を流用したとのことで、サーバールームも元の床から数十cm床上げしただけのフリーアクセスのフロアであった。プレゼンルームには、見学者向けに、「天河1A」を構成するチップやボードなどのハードウェア、応用アプリケーションのパネルが展示してあり、紹介ビデオなどを見ることが出来た。「天河1A」は開発を完了しており、これ以上の拡張予定はないため、同センターに常駐している職員は十数名のみ。研究者は外部からネットワーク経由でスパコンを利用している。

写真１　天津スパコンセンター外観

写真２　サーバールームの「天河1A」本体

（２）計算機の構成と活用状況

「天河1A」のプロセッサの構成は、IntelのCPUに、アクセラレータとしてNVIDIAのGPU、そしてインターコネクト用のGalaxy FT-1000という3種類からなる。ここでいうアクセラレータとは、CPUと組み合わせて計算を加速するために用いるプロセッサである。

近年は、元々は画像処理用に開発された汎用品のGPUをアクセラレータとして活用したハイブリッド構成により、コストと消費電力の削減を図ることが、一つの流れとなっている。また、インターコネクトとは、複数のCPUやGPUを相互に連結することであり、プロセッサの性能を効果的に引き出すために重要な役割を果たす。「天河1A」のCPUとGPUは言うまでもなく米国製であるが、Galaxy FT-1000は中国が独自開発したプロセッサである。

「天河1A」の利用者は、国内の学生を含む研究者、企業など。申請すれば誰でも使える。資金の潤沢な研究室からは所定の費用を貰っているが、学生は無料で利用可能。また、込んでいないので、基本的に待ち行列はないとのこと。

活用分野としてパネルに記載された応用アプリケーションは、石油探査、製造技術、医療バイオ、衛星画像処理、核融合、航空・宇宙機熱流体系計算、気象予測、金融リスク予測、海洋環境、基礎科学（新材料、宇宙）などがあった。

２．２　星雲視察

（１）施設の概要

2012年3月8日に、「星雲」が設置されている深圳スパコンセンターを訪問した。同センターは、深圳市南山区北部の学園エリアにあり、北京大学や清華大学の研究院などが近隣に並ぶ。５階建てと９階建ての新しい立派な建物で、星雲の本体が設置されたサーバールームとシステムコントロール室（監視室）は、５階建ての建屋の２階にあった。

同センターの正式な完成と検収合格は2012年１月で、「星雲」自体も2011年11月に稼働を開始したばかりのため、まだ見学用の設備やパネルは十分ではなかった。一方で、本稼動に向け、サーバールームには多くの研究者や技術者が開発作業を行っていた。

写真３　深圳スパコンセンター

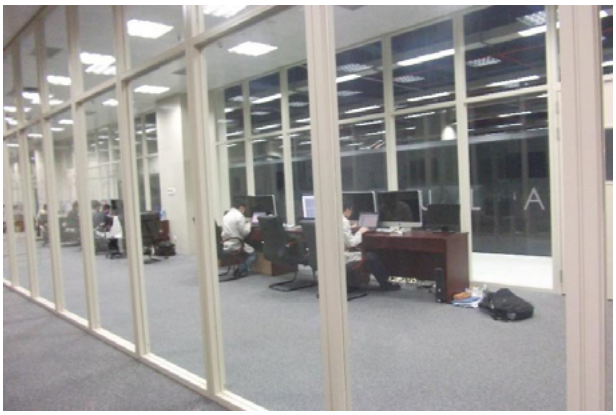


写真４　星雲とサーバールームで作業する研究者・技術者

（２）計算機の構成と活用状況

「星雲」は、中国科学院系のメーカー、曙光信息産業有限公司（中科曙光、Sugon）の製品「曙光」シリーズで構成されたシステムである。「曙光」には国産の龍芯プロセッサ（Loongson）の最新タイプが用いられているという。しかし、TOP500の情報では、「星雲」は主に、IntelのXenon CPUとNVIDIAのGPUで実現されていると記載されており、龍芯プロセッサの能力が星雲にどの程度寄与しているのかは、明確でない。

深圳スパコンセンターは、「クラウド・コンピューティングセンター」でもあることを強調しており、「星雲」の能力を専門家や企業のみならず、幅広い利用者にクラウドサービスとして提供することを指向している。

「星雲」は正式稼動を開始したとはいえ、現状はまだ準備段階であり、能力の10%も使われていないとのこと。利用者は、国内の学生を含む研究者、企業などに加えて、自治体や深圳市民向けのサービスも予定している。

現状はWebから申請すれば誰でも使える状態であり、専門分野の研究者用の数値計算などのパッケージソフトも充実している。新エネルギー開発、新物質・材料の研究開発、自然災害の予知、天気予報、地質探査など幅広い分野のアプリケーションを想定している。

２．３　将来性および課題

「天河1A」と「星雲」は、ほぼ同様のハイブリッド型システムであり、計算性能の主軸をGPUに置いている。安価に高性能を実現し、TOP500の上位を獲得するには、合理的な選択であるとも言える。ただし、現状は、折角の計算力が国内の研究開発に有効に活用されていない状況であり、利用環境の整備や、計算機の性能を活かし切る応用アプリケーションの開発など、地味ではあっても本質的なスパコン利用技術の推進が求められる。

また、自主開発技術と言いつつも、米国のプロセッサに依存する一方で、中国は国産CPUの開発も進めている。この状況において、これまで通りアクセラレータ（GPU）を軸とするハイブリッド型でいくのか、CPU主体のシステムに移行していくのか、中国は総合的なスパコン戦略を早期に明確にする必要がある。システムの構成の差によって、それぞれに適したアプリケーションの書き方が違うため、国のスパコン戦略が明確でないと、スパコンユーザが成果を出しにくい状態になる危険性があるからである。

３．今後の日中協力

中国は、「天河1A」についても、「星雲」についても、その計算能力をもっと有効活用したいと考えており、日本のハイブリッド型のシステムの応用アプリケーションの事例やノウハウの詰まったライブラリなどは、中国の研究者にとって貴重な情報であろう。従って、協力の可能性は十分にあるが、その場合に日本側にどのようなメリットがあるのか、現段階では不明確である。

一方で、中国においては、研究成果をビジネスにつなげようとする姿勢が強い。例えば、「星雲」の製造主体である中科曙光は、2010年に商用スパコンや高性能サーバーの製造工場を天津で稼働させたが、曙光5000シリーズなどの中国国内でのセールスは非常に好調とのこと。日本ではスパコン国家プロジェクトを通じて得た成果を汎用品ビジネスに生かし、投資を十分に回収することが、残念ながらできていないようなので、中科曙光の姿勢には学ぶものがある、と感じた。

［キーワード：スパコン　曙光4000A　天河1A　星雲　天津スパコンセンター　深圳スパコンセンター］

［編集部注］

本稿は、科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）の海外動向報告書「中国の科学技術力について～世界トップレベル研究開発施設～」（2012年6月刊）にまとめられた成果を基に、執筆者にリライトを依頼し、掲載したものである。（中国総合研究センター 鈴木暁彦）

現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設 太陽光・太陽熱利用

• Profile •

秦　舟 しん しゅう ●科学技術振興機構 中国総合研究センターフェロー

（独）科学技術振興機構中国総合研究センターフェロー兼研究開発戦略センターフェロー。1976年北京生まれ。1994年来日。2008年3月東京大学総合文化研究科国際社会科学専攻博士課程単位取得満期退学。2008年3月より現職。現在、調査研究プロジェクト及びウエブサイトの情報発信を担当。

１．世界の太陽エネルギー利用

太陽エネルギー利用は、大きく太陽光利用と太陽熱利用に分けられる。太陽光利用は主に太陽光発電(PV)となり、太陽熱利用は集光型太陽熱発電（GSP）及び太陽熱給湯と暖房（太陽熱温水器等）が挙げられる。太陽エネルギーを、他の水力、風力、バイオマス、地熱等と合わせて自然エネルギーという。

世界のエネルギー供給源をみると、石炭、石油などの化石燃料が全体の81％を占め、自然エネルギーは16％、原子力が3％である。自然エネルギーのうち、伝統的なバイオマスが10％、水力発電は3.4％、残りの2.8％を太陽熱、地熱、風力などが占める。

電力の供給源をみると、2010年の世界の総発電容量は4950GWで、約1/4に当たる1320GW分は、自然エネルギーに由来している。その大半が水力発電によるもので、水力を除く自然エネルギーの発電容量は312GWとなっている。そのうち風力発電は198GW。また、太陽光発電は40GWで、総発電容量の0.8％に過ぎない。しかし、2005年から2010年の間に、太陽光発電、太陽熱発電、太陽熱温水器などの太陽エネルギー関連分野は、年平均15～50％の高成長を遂げ、特に太陽光・太陽熱発電分野の成長は著しく、2010年の成長率は70％を超え、今後の成長が期待されている。

（注）1GW（ギガワット）は100万KW（キロワット）で、一般的な原子力発電所1基分に相当する。

２．中国の太陽エネルギー利用

（１）太陽光発電

世界の太陽光発電設備容量は40GW（4000万KW）、うちドイツは17.3GWで、世界の約半分の太陽光発電容量を有する。日本はスペインに次ぐ世界3位の設備容量（3.6GW）を有している。中国は0.9GWで第8位であり、世界全体の2％程度となっている。

中国のエネルギー中長期計画では2020年までに非化石エネルギー消費量を全体の15％に引き上げ、そのうち太陽光と太陽熱発電の設備容量を現在の約20倍（20GW）に引き上げる目標を掲げている。日本の2020年の目標値は14GWで、日本より意欲的な目標となっている。

（注）REN21「自然エネルギー世界白書2011」を基に筆者作成

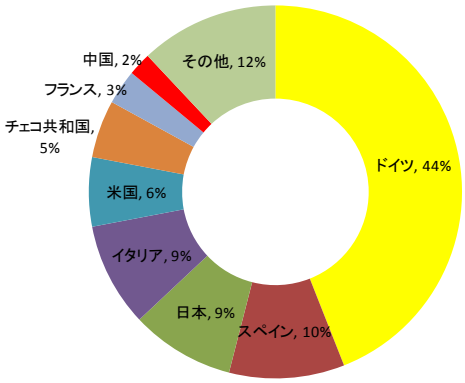


図１　主要国の太陽光発電設備容量（2010年）

（２）太陽熱温水・暖房設備

太陽光発電と比べ、太陽熱発電の規模は遥かに小さく、現在はまだ研究開発段階にあるといえる。一方、直接の熱利用である太陽熱温水・暖房設備の容量は、太陽熱発電の規模よりかなり大きく、2010年では世界全体で約185GWth（ギガワット熱）となっている。国別では、中国が最も大きく、118GWthで、世界全体の64％を占める次いでEU全体で14％、うちドイツが5％を占めている。そのほか、トルコが5％、日本、ギリシャ、イスラエル、ブラジル、オーストリアがそれぞれ2％となっている。

（注）REN21「自然エネルギー世界白書2011」を基に筆者作成

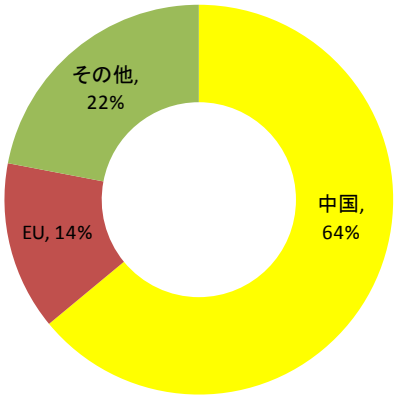


図２　世界の太陽熱温水・暖房設備の容量（2010年）

（３）太陽電池製造企業

図３は、太陽光発電に使用される太陽電池モジュール製造業者の世界市場シェアである。中国企業と台湾企業は、世界トップ10のうち7社を占める。

後述するサンテックパワー（江蘇省無錫市）の市場シェアは、2010年で世界一。米国のFirst Solarは、生産が増加し続けたにも関わらず、前年の1位から3位へと後退した。

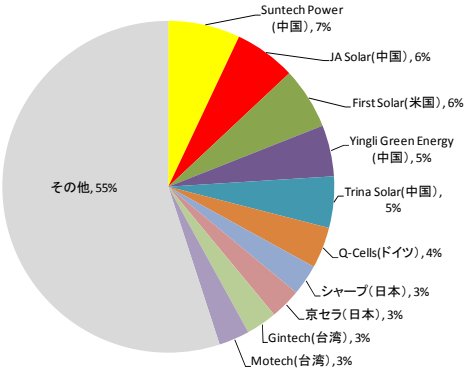


図３　太陽電池製造業者の市場シェア（2010年）

（注）REN21「自然エネルギー世界白書2011」を基に筆者作成

太陽電池産業の世界生産量は2010年、前年の2倍以上に拡大した。生産の急拡大は、太陽電池の大幅な価格下落をもたらし、2009年に前年より約4割下落したのに続き、2010年はさらに14％下がった。価格低下背景には、太陽電池の素材である多結晶シリコン等の供給拡大と、中国系企業をはじめとするメーカーの生産能力の急拡大がある、と指摘されている。

中国企業躍進には、二つの理由が考えられる。一つは生産能力の急拡大である。2010年に世界全体で増設された生産設備のうち、中国本土企業が50％近く、台湾企業が約15％をそれぞれ占めた。また、中国政府の太陽エネルギー関連プロジェクト支援政策により、太陽電池製品が大幅にコストダウンしたことも大きい。

（４）太陽熱温水・暖房産業

太陽熱温水・暖房産業は、前述したように、中国が世界全体の設備容量の64％を占め、また、製造者としても先導的な地位を保っている。中国では、5000以上の企業が太陽熱温水器の製造に関わっており、約20の企業が海外進出を果たしている。その中で、山東省徳州市に拠点を置く皇明太陽エネルギー集団（皇明集団、Himin）は、世界最大の太陽熱温水器製造業者となっている。

今回、皇明集団と、世界最大の太陽電池メーカー、サンテックパワーの日本子会社、サンテックパワージャパン（SPJ）を訪問した。現地調査の結果を踏まえて分析したい。

３．現地訪問（その１　太陽バレー）

日　時：2011年12月21～22日
場　所：山東省徳州市太陽バレー（中国語は「太陽谷」）
対応者：趙志耘（中国科学技術情報研究所副所長）
張 旭（同研究所戦略研究センター長）
烏 雲（同センター研究員）
張 書鵬（徳州市科学技術局長）
王 学軍（皇明集団プロジェクトマネジャー）
張 立峰（皇明集団技術開発センター チーフエンジニア）

（１）皇明集団の概要

皇明集団は、石油掘削の技術者だった黄鳴氏が1995年6月に民営企業従業員数は約4000名、年商20億元（約246億円）。年間集熱面積300万m2相当の温水器を生産・販売。中国財政部と科学技術部、国家エネルギー局が実施する「金太陽実証プロジェクト」にも参画している。同プロジェクトは、太陽光発電システムを既存の電力網に接続するもので、投資額の50％の補助金がある。電気が通っていない遠隔地で、独立した太陽光発電システムを立ち上げるプロジェクトも含まれており、投資額の70％は補助金が充てられる。

（２）太陽バレーの概要

太陽バレーは山東省徳州市北部に位置し、面積は90万m^2に達し、「中国太陽城」とも呼ばれている。皇明集団が2005年から徳州市政府とともに、8億ドルを投じて太陽バレーを建設してきた。太陽バレーは世界最大の太陽エネルギー研究開発、産業拠点となっており、研究開発、産業、科学知識の普及、観光、国際会議の五つのゾーンで構成されている。

現在、100以上の地元太陽エネルギー関連企業が進出し、年間生産額は1000億元（約1兆2300億円）に達し、太陽エネルギー産業クラスターとなっている。

写真１　太陽バレー（皇明集団提供）

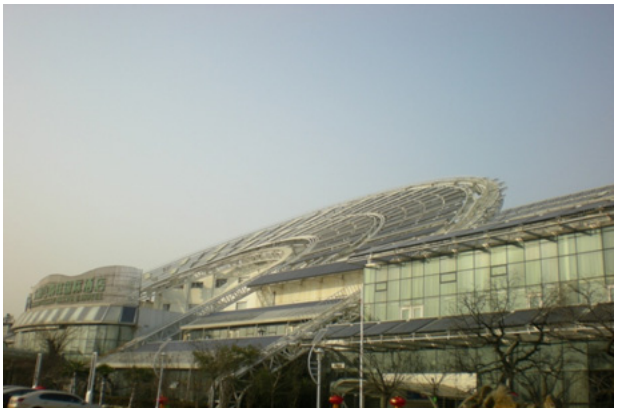


写真２　太陽エネルギーホテル「日月潭」

太陽バレーを実際見てみると、観光スポット的なイメージが強く、テーマパークのように感じられた。太陽熱利用だけではなく、太陽光地熱、風力など多くの自然エネルギー要素が取り込まれている。

先方の説明によると、研究開発において、太陽バレーは世界トップ水準の太陽エネルギー利用技術を集約しており、干渉膜コーティング、高温熱発電、エコガラス、太陽熱利用および建築省エネ等に関するコア技術が開発され、年間500件以上の新技術が製品化されている。なかでも、世界初という皇明集団の真空管自動化生産工場、および中国最大のテストラボが注目されているという。しかし、研究開発の現場は見学できなかった。

（３）太陽エネルギーホテル「日月潭」

太陽バレーには、太陽エネルギーホテル「日月潭」がある。「日月潭」は中国太陽バレーのシンボル的な建築物で、皇明集団が建設した。建築面積は約7.5万m^2。「日月潭」は、台湾の景勝地「日月潭」の湖に形が似ていることから名付けられた。

日月潭は、ホテル、会議、研修、展示場等の機能を一体化し、太陽熱による給湯システム、暖房、冷房、太陽光発電等の技術を建築物と融合させた、という。正面入り口の屋上部分は太陽エネルギー集熱管に覆われ、ホテルの温水、熱供給等がこれで賄われている。また、入り口の左右屋上部分は太陽光発電パネルに覆われ、ホテル内の一部の電力を供給している。建物全体の省エネ率は70％以上、これに60％を占める太陽熱利用の冷暖房を加えると、省エネ効率全体では88％に達するという。中国内では、太陽エネルギー総合利用技術と建築省エネ技術を結びつけた建築の模範と評されている。

2010年11月に開かれた第4回世界太陽都市大会のメーン会場は「日月潭」だった。

（４）集熱真空管工場と屋上の太陽熱発電設備

皇明集団の集熱真空管工場は、生産ラインが自動化され、年産2000万セットに達している。

この工場の屋上には、太陽熱による発電設備が設置されている。この設備に用いられている技術は、フレネル型太陽熱発電技術で、反射鏡を利用して太陽熱を収集し、その熱により蒸気を発生させてタービンで発電を行うものである。皇明集団は、このフレネル型太陽熱発電技術に関し、100％の知的財産権を持っているという。

ただ、今回は工場内部の見学ができず、車内から屋上に建設中の太陽熱発電施設を見学しただけであった。その後、皇明集団より提供された写真３を見ると、2010年に設置が始まって1年以上経過しているが、太陽熱パネルは屋上スペースのほんの一部にしか設置されていないことが判る。まだこれからという感じである。太陽熱発電は太陽光発電に比べ、原理が簡単なものの工程は複雑なため、設置に手間取っている可能性がある。

写真３　工場の屋上に設置された太陽熱発電施設（皇明集団提供）

（５）検査センター

皇明集団は18の太陽熱温水器関連技術検査センターを持ち、2009年1月、中国合格評定国家認可委員会の許可を得て、国家承認の技術検査機関となった。中国全国の太陽熱温水器の品質評価を管理し、原材料・部品・完成品の検査項目が1000件以上に達している。同センターが発行する検査報告は、中国国内はもちろん、米国、英国、

オーストラリア、ドイツ、日本等の主要45カ国で承認されている。

今回この検査センターをいくつか見学できた。外見的にはかなり広い感じであった。建物1階に、写真４のような窓ガラスで囲まれた実験室が20以上に並んでいた。

写真４　検査センター

我々が見学した際には、研究者や検査員などの姿は見えず、閑散としていた。検査を受ける物品が大量に置いてある状況でもなかった。たまたま、スケジュール的に暇な時期だったのかもしれないが、中国全土の温水器の品質評価を管理するとともに、日本や米国などにも承認されているという触れ込みにしては、寂しい状況であった。

（６）皇明集団の技術

皇明集団技術開発センターの張立峰チーフエンジニアの話や、その後提供を受けた資料などを総合すると、皇明集団の強みは、以下のようにまとめられる。

従来の太陽熱温水器には「冬の水温が上がらず、温水量が減少する」という「冬眠症」問題が存在した。この「冬眠症」の原因はさまざまで、保温層の保温効果低下、パイプの凍結等があるが、最も大きな問題はコア部品である集熱真空管の熱収集不足だという。

集熱真空管の性能は、コーティング技術にかかっているため、皇明集団はこの問題を解決するため、2002年、シドニー大学の章其初博士の特許であるコーティング技術「干渉膜技術」を買い取り、引き続きシドニー大学、フラウンホーファー研究所との共同研究により、製品レベルの集熱真空管を開発してきた。

それまでの集熱真空管は、熱吸収性能を高めるため、熱吸収層となる多層化した熱膜層を持っていた。多層化熱膜層を持つ集熱真空管は、熱吸収性能が高まる反面、層が多いため放熱比（吸収されない熱の比率）も大幅に上昇し、外に放出された熱は熱膜層の脱落につながり、結局、集熱真空管全体の熱収集不足をもたらし、温水器の使用寿命も縮めることになっていた。

それに対して、干渉膜技術は、熱膜層2層のみであるが、2層は異なる金属成分比により互いに干渉作用を起こし、吸収率が大幅に高まると同時に、放熱比を下げることができる。さらに光反射を減少させる層により、光反射と放熱を低減し、高吸収率・低放熱比を実現し、熱収集効率を高めた。また、熱膜層を厚くすることにより、2層のみでも、高温環境下において、その安定性が保てる。この干渉膜技術により作られた皇明集団の集熱真空管は、それまでの集熱真空管より熱吸収率を10％以上高めることができたという。

（７）課題

干渉膜技術について、日本のメーカーの意見を聞いたところ、皇明集団のコーティング技術はそれなりのものと評価できるが、世界の他のメーカーと比べて大きな差があるとはいえない、とのことであった。製品価格が断然安い点が皇明集団の優位性である

４．現地訪問（その２　サンテックパワージャパン）

日　時：2012年5月28日
場　所：サンテックパワージャパン（SPJ）本社
対応者：三澤邦子（SPJマーケティング本部ゼネラルマネジャー）

（１）サンテックパワージャパンの概要

サンテックパワージャパン（以下「SPJ」と略す）の前身は、日本のMSKである。1967年に電子部品メーカーとして創業したMSKは、81年に太陽エネルギー電卓の開発・販売を始め、90年から太陽光モジュールの開発を始めた。MSKの笠原唯男社長とサンテックパワー創業者の施正栄氏は、太陽エネルギー関連学会・イベントで顔を合わせた旧知の仲であった。2009年、MSKはサンテックパワーの100％子会社になり、SPJと社名変更した。

（２）サンテックパワーの概要

サンテックパワー（Suntech Power、中国名は無錫尚徳太陽能電力有限公司）は、江蘇省無錫市に立地するハイテク太陽エネルギー企業であり、2001年1月に設立された。同社は、結晶シリコン太陽電池およびモジュール、太陽光発電システム、その他太陽光応用製品に関して、研究・製造・販売等を主な業務としている。同社は、現在、無錫、洛陽、青海省、上海、長野県に生産拠点を構えており、従業員数は1万1000人。また年商31.5億ドル（約2450億円、2011年）となっている。

創業者の施正栄博士は江蘇省揚中出身で、1988年にオーストラリアに渡り、ニューサウスウェールズ大学で太陽エネルギー分野の権威マーティン・グリーン博士（Martin Green）に師事し、91年に博士号取得。2001年1月に帰国し、同年9月サンテックパワーを設立し、CEOとなった。施正栄氏はオーストラリア国籍を取得していた

ため、中国国内ではサンテックパワーは外資企業として登録された。

サンテックパワーは2002年9月、多結晶シリコン太陽電池生産ラインを稼働。2年後には50MW、2005年150MW、2006年300MWと、世界有数の太陽光発電メーカーになっていった。2005年12月14日、中国の外資系民営企業として初めてニューヨーク証券取引所で上場を果たし、同年、アジア企業トップ100に入り太陽電池分野では世界6位となった。2011年9月に、サンテックパワーの生産規模は約2400MWに達し、太陽エネルギー製品・太陽電池における世界最大のメーカーとなった。サンテックパワーの現在の主な競合他社は、シャープ、京セラ、独Q-cellsだという。

（３）強み

三澤氏へのインタビューの結果を踏まえたサンテックパワーの特徴と強みは以下の通りである。

①　グローバルな経営

単なる中国の企業としてではなく、グローバルな企業として発展しようとする意欲が強い。傘下企業は、北京、上海、サンフランシスコ、東京、ミュンヘン、ローマ、マドリード、ソウル、シドニー等の世界主要都市にある。技術関係の責任者となるCTOは、豪ニューサウスウェールズ大学のスチュアート・ウェンハム教授（Stuart Wenham）が兼任し、経営、財務関係のCCOとCFOも経験豊富な米国人が就任するなどグローバルな経営体制となっている。

②世界トップレベルの技術

太陽光発電モジュールの製造に最も重要なのは、変換効率の高いセルの開発である。セルは太陽光電池一枚一枚のこと、モジュールは、数十枚のセルを一枚のパネルに取り込んだ装置である。

セルの変換率は、太陽光をどれだけ電気に変えられるかを示す比率のことであり、2010年時点の実験室の世界記録（単結晶シリコンセル）は約25％となっている。セル変換率の世界記録は、サンテックパワーのCTOを兼務する豪ニューサウスウェールズ大学のウェンハム教授の研究室である。同研究室は80年代から、米国スタンフォード大学（米サンパワー社の委託）と競争して、セルの変換効率を高めてきた。研究室レベルの変換効率の高いセルを工場で量産するため、サンテックパワーは無錫本社に380人の研究チームを設置している。独自のセル表面設計・表面加工技術を開発するとともに、生産設備の設計能力を高めてきた。

コストの低い薄膜太陽電池の開発・生産にも注力している。2006年、上海に薄膜太陽電池研究・製造センターを立ち上げ、2009年に四川大学の光電研究所と合弁企業を設立した。同社では、CdTe（カドミウムテルル）型太陽電池の開発を進めている。

③世界販売力

最大の強みは、世界市場における競争力である。徹底した海外現地販売戦略とアフターサービス強化で、中国で製造したモジュールを世界各国に輸出してきた。サンテックパワーは2001年創業以来、累計、世界80ヶ国以上に2,000万枚以上のモジュールを出荷し、2010年には世界シェア1位となった。図３は、2010年の太陽電池製造業者の市場シェアだが、サンテックパワーが７％を占めて世界一である。ドイツとフランス、米国等が得意先であり、製品は世界各地の太陽光発電所の部品として使われている。

（４）課題

①赤字転落

サンテックパワーは2011年約6.5億ドルの赤字を出している。SPJの三澤氏によれば、原因は以下の3つと考えられるという。

一つは、急激な生産規模の拡大による投資の重みである。2010年の生産規模1.8GWに対して、0.6GW分の追加設備投資を行い、2011年に生産規模を2.4GWにまで拡大した。しかし、リーマンショックやユーロ危機などの影響を受け、太陽電池市場が予想の規模拡大にはならなかったため、結果として投資が経営を圧迫することになった。そのため、2012年は生産規模の拡大を行わず、2.4GW体制を維持することにしている。

二つ目は、材料調達先の変更に伴う違約金の支払いである。従来サンテックパワーは、10年契約に基づいて米MEMC社から結晶シリコン材の供給を受けていたが、もっと低コストのシリコン素材を確保するため他社の供給を考え、米MEMC社との契約を5年間で停止した。これに伴い膨大な違約金を払うことになった。

最後は、モジュール世界市場価格の下落による利益減である。現在の太陽電池メーカーの市場競争が非常に厳しく、中国、米国、日本などの主要企業が市場シェアを奪い合っている状況である。また、世界各国から多くの新規企業が参入し、素材、部品メーカーも含め、価格競争が一層厳しくなってきている。

②ブランドイメージの低さ

日本法人のSPJ販売員が一番苦労しているのは、中国製品のトータルブランドイメージの低さである。日本企業の強さもあって、SPJの日本市場シェアは現在約6％で、市場シェア拡大がSPJの最大目標だという。

③開発能力の向上

地元工場の人件費の安さ、中国政府の優遇策など

を考えると、外国トップメーカーと同レベルの製品を製造しているとしても、原価は安いはずである。それでも赤字を出しているのは、現在世界市場の競争の厳しさを象徴している。市場競争に勝ち残るためには、モジュール構成素材の研究開発に注力すべきであるというのが、現在のサンテックパワーの考え方である。

太陽エネルギー研究の専門家である科学技術振興機構研究開発センターの河村誠一郎フェローによれば、サンテックパワーの研究開発に関し、太陽電池セル基盤技術と量産化技術について以下のようにコメントしている。

セル技術（変換効率）について、豪州ニューサウスウェールズ大学の技術をベースにした高い技術を保有していることは共通認識となっており、これは中国メーカーの中ではトップであるといえる。ただし、この技術の優位性が事業に結びついていないのが実態であり、サンテックパワーは量産品への展開という点で他社とそれほど大きな差があるとは思えない。現時点では低コスト故に、市場シェアを獲得しているのが実態であろう。

④調達と自社開発のバランス

サンテックパワーは、高品質な太陽電池モジュールの構成素材を世界各地からカスタムメードで調達できるという強みがあるが、高い設計能力を持っていることを考慮すれば、中間膜、ガラス、バックシートなどの素材を自社開発してコスト節約につなげることも考えられる。特に、現在高品質な構成素材はかなり高価格であり、サンテックパワーもその調達にかなりの資金を投じている。研究開発、及びそれに伴う設備投資には人材と資金力が必要となるが、長期的に考えると原材料・構成素材も含む自社開発能力の向上が大きな課題となるであろう。

［編集部注］

本稿は、科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）の海外動向報告書「中国の科学技術力について～世界トップレベル研究開発施設～」（2012年6月刊）にまとめられた成果を基に、執筆者にリライトを依頼し、掲載したものである。（中国総合研究センター 鈴木暁彦）

現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設 光学天文台「LAMOST」

• Profile •

辻野 照久 つじの てるひさ ●中国疾病予防コントロールセンター寄生虫病予防コントロール所所長

（独）科学技術振興機構研究開発戦略センター特任フェロー（海外動向ユニット）。1973年東北大学工学部卒。同年日本国有鉄道入社。1986年より宇宙航空研究開発機構（旧・宇宙開発事業団）。2011年より同機構国際部特任担当役。科学技術政策研究所客員研究官を兼任。この間（財）日本宇宙フォーラムにて月周回機「かぐや」の開発や岡山県の宇宙デブリ観測施設（レーダ・光学）の建設に従事。

1．LAMOSTとは

中国は1993年以来、多数の恒星や銀河のスペクトルを効率よく観測できるユニークな全天観測用大型光学望遠鏡の開発を国家プロジェクトとして実施してきた。中国語では「大天区面積 多目標 光繊 光譜 天文望遠鏡」と表記され、英語名（Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope）の頭文字をとって「LAMOST」と称されている。また2009年の完成後は、中世の天文学者の名前にちなんで「郭守敬（Guo Shoujing）望遠鏡」とも呼ばれている。

LAMOSTの光学的な口径は約4m相当で、我が国の「すばる」（口径8.3m）や米国の大双眼望遠鏡（口径11.9m）には及ばないが、全天観測の視野角が5度と世界最大であり、1回の観測で4000個の恒星のスペクトルを同時に取得できる。一夜で最大5回観測でき、観測効率が世界最高であることがこの望遠鏡の最大の特徴である。全天サーベイを効率よく行うことができる天文台として注目に値する。

中国が国家の最優先の一大科学技術プロジェクトとして建設を開始してから約10年の歳月をかけて完成させたLAMOSTは、今回の視察で、設計通りの性能を実現したことが確認できた。

2．LAMOST開発の経緯

1993年4月、国家天文台の王綬琯（元北京天文台長）と南京大学の蘇定強が、中国の天文分野における重要観測施設としてLAMOSTプロジェクト計画を国に提出した。2001年9月に建設工事が開始され、2008年8月にすべてのハードウェアの設置が完了し、同年10月に落成した。LAMOSTの開発予算は2億3500万元で、全て中国科学院が拠出している。運用主体は中国科学院国家天文台のLAMOST運用・発展センター（郭守敬望遠鏡運行和発展中心）である。

3．設置場所

LAMOSTが設置されている河北省興隆県は、北京の東北東約120kmのところにあり、町の中心部は海抜400m程度である、LAMOSTは町の東部の山頂にある。北京からは、自動車で京承高速道路を経由して、約3時間で行くことができる。

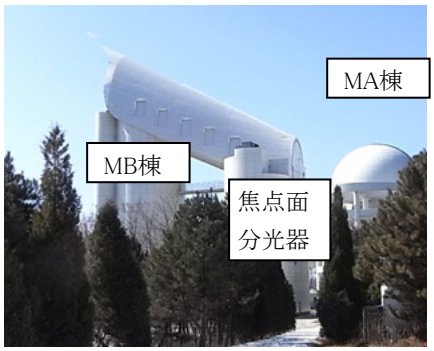
4．建物構成

LAMOSTの建物は三つに分かれている。外部から光を取り込む補正鏡があるMA棟、焦点面・分光器・データ処理用計算機などがある中央棟、球面主鏡のあるMB棟である。

5．光学系の構成

LAMOSTの光学系は三つのサブシステムからなる。補

建物外観と内部構造



開状態のドーム（半分）

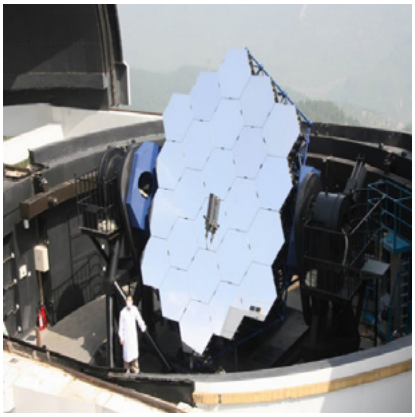
辻野撮影

出典：NAOC資料より

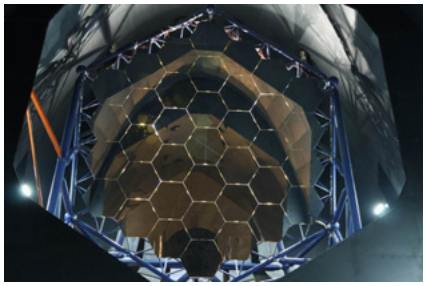
正鏡MAは天空からの微かな光を取り込む非球面の反射鏡であり、直径1.1mの六角形の子鏡24枚で構成されている。MAの台座は軸周りに上下左右に回転でき、100度の範囲で天空の任意の方向に向けることができる。球面主鏡MBはMAからの光を焦点面に反射させる鏡であり、直径1.1mの六角形の子鏡37枚で構成されている。焦点面は4000本の可動式の受光素子を直径1.75mの円形のテーブルに配置したもので、最大4000個の恒星や銀河の位置合わせをして集光し、光ファイバにより階下の分光器に導いてスペクトル情報に変換する。

６．観測ミッション

LAMOSTは数年間で全天サーベイを行って1000万個の恒星と1000万個の銀河のスペクトルを取得することを目標としている。そのような観測を行う目的は次の三つである。



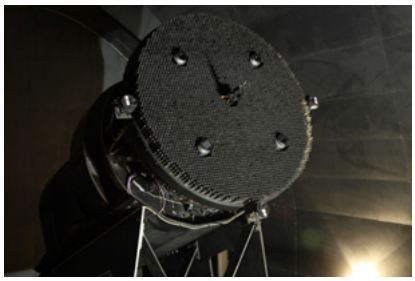
補正鏡MAの外観　出典：NAOC資料より



球面主鏡MBの外観　出典：NAOC資料より

（１）ミッション１：銀河の赤方偏移の全天サーベイ及び物理的特性の研究

銀河のスペクトルを取得することで銀河の赤方偏移を得ることができ、赤方偏移が分かれば地球からの距離を知ることができ、距離と方向が分かれば恒星の三次元分布が分かり、このようにして宇宙の構造全体を理解できるようになる。



焦点面の外観　出典：NAOC資料より

（２）ミッション２：恒星と銀河の構造の特徴の研究

主に暗い恒星について、観測数を多くすることで銀河系のより遠くの恒星の分布や運動状況を理解することができ、銀河の構造を理解することができる。

（３）ミッション３：可視光以外で発見された天体のクロス認証

クロス認証とは、電波・赤外線・X線・ガンマ線など可視光以外の帯域で発見された天体資料を可視光で確認することである。

７．運用

2009年から2011年にかけての試験を経て、2011年10月から正式に全天サーベイが開始された。2012年2月までに30万個の恒星のスペクトルが取得できたとのことであった。毎回の観測では、星表に基づいて視野角5度の範囲内で4000個の恒星を同時に観測する。1回の観測時間は1時間30分で、前後に30分ずつ準備時間があり、冬だと一夜で最大5回の観測を行うことができる。データ処理室は、興隆天文台の入口近くの管制棟内にある。制御卓は2列あり、前列に望遠鏡を操作する技術者、後列に観測戦略に基づいて指示を出す科学者が座る。処理結果は北京の国家天文台にも専用線で送られる。

８．他の望遠鏡との比較

LAMOSTは中国が誇るユニークな光学望遠鏡であり、他の望遠鏡と性能を比較することはあまり意味がない。LAMOSTの特徴を理解するための一助として、四つの観点から他の望遠鏡と比較してみた。

（１）「すばる望遠鏡」との対比～口径の大きさ

我が国で最大の口径を持つ望遠鏡はハワイに設置されている「すばる望遠鏡」である。口径は８ｍであり、LAMOSTが実質4mなので、大きさだけでいえば「すばる望遠鏡」の方が4倍の面積を持っている。しかも「すばる」はこの巨大な面積を1枚のガラス板で製作している。LAMOSTは鏡面を小さな面に分割し、モザイク接合している。両者の本質的な相違は、科学ミッションの目標設定にある。すなわち、「すばる」は天空の狭い

区画を指向して分解能の高い画像を得ることを目的にしているのに対し、LAMOSTは全天サーベイを効率よく行って恒星や銀河のスペクトルを取得することを目的としている。

今後ハワイに建設される予定の米国・欧州・日本・中国が参加する世界最大の口径30m光学望遠鏡（TMT）には、LAMOSTより一回り大きい直径1.5mの六角形の子鏡を492枚接合した能動光学システムが採用される。中国はTMTの子鏡のガラス材料を提供する計画であり、LAMOSTの成果を踏まえて国際プロジェクトで重要な要素を担う立場になったといえる。

（2）「スペースガード望遠鏡」との対比～視野角の大きさ

我が国で比較的大きな視野角を持つ光学望遠鏡としては、岡山県井原市美星（びせい）町の「スペースガード望遠鏡」がある。「スペースガード望遠鏡」は主鏡の口径が1mのカセグレン式望遠鏡で、視野角は2.4度と非常に大きく、このような光学系を設計し実現することはかなり困難であった。この望遠鏡は基本的に静止軌道近辺の宇宙デブリ観測用として設計され、空き時間で地球近傍小惑星の観測も行っている。LAMOSTは遠方の天体を観測することを目的としているため、地球近傍を高速で移動する小惑星の追跡観測を同時に複数個行うことは不可能である。ただし、スペースガード望遠鏡の観測要求も天文観測から見ればユニークであり、それぞれ目的の違いに起因する性能の差異であるといえる。

（3）シュミット望遠鏡との対比～光学システム

LAMOSTはシュミット望遠鏡の一種であるが、中国は「LAMOST型望遠鏡」という分類名を提起し、シュミット望遠鏡と一線を画そうとしている。我が国最大の国立天文台木曽観測所の口径1.05mのシュミット望遠鏡と比較すると、LAMOSTは圧倒的な大きさである。また将来の拡張性も高く、口径30m級の超大型望遠鏡を中国国内の晴天率の高い場所に新たに建設する構想もある。木曽観測所の望遠鏡の観測目的は「すばる」と同様、観測したい方向に向けて指向観測を行うための望遠鏡であり、LAMOSTの観測ミッションとは異なる。

（4）赤外線天文観測衛星「あかり」との対比～全天サーベイ

LAMOSTの科学ミッションに比較的近いのは、我が国の場合、地上の天文台ではなく、全天サーベイをミッションとする天文観測衛星である。我が国では赤外線観測衛星「あかり」が全天の90%をサーベイした。LAMOSTと比較すると、衛星の方が天球の南半分も見えるので観測対象が広くなる。また真空中を飛行するため、地上の望遠鏡観測で妨げとなる大気や雲や周囲の光の影響がない。一方、衛星で不利な点は、設計寿命が「あかり」では3年と短く、地上設備のようにメンテナンスして継続使用することができないことや、開発費用が10倍以上とかなり高いこと、打上げ失敗などのリスクを伴うことなどである。

基本的にはLAMOSTは可視光での観測であり、我が国の天文衛星が赤外線やX線での観測であることから、性能比較を行うよりもクロス認証による補完関係を活用することの方が重要である。

7．今後の日中協力

LAMOSTを利用して研究を行っている国は今のところ米国とドイツなどであるが、日本は国立天文台がマンパワー不足のため、研究協力していないようである。しかし中国側は、日本も含めて外国研究者を広く受け入れることを表明している。LAMOSTを活用するには、現地に常時滞在する必要はないことから、純粋な科学目的の観測に日本人が参加する機会を得ることは可能であると思われる。中国も日本のすばる望遠鏡を利用しており、観測施設の共同利用を通じて両国が人的に交流することは有意義であると考える。

［キーワード：光学望遠鏡　LAMOST　能動光学　スペクトル　全天サーベイ　すばる　あかり］

［編集部注］

本稿は、科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）の海外動向報告書「中国の科学技術力について～世界トップレベル研究開発施設～」（2012年6月刊）にまとめられた成果を基に、執筆者にリライトを依頼し、掲載したものである。（中国総合研究センター 鈴木暁彦）

現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設 中国エコシティの現状について

• Profile •

和田　智明 わだ ともあき ●東京理科大学特命教授

東京理科大学特命教授 兼 科学技術振興機構研究開発戦略センター 特任フェロー（海外動向ユニット）。1977年4月科学技術庁計画局入庁。原子力局原子力開発機関監理官、科学技術振興局科学技術情報課長、神奈川県企画部科学技術政策室長、科学技術庁原子力局動力炉開発課長、文部科学省研究開発局原子力課長、開発企画課長、大臣官房政策課長、内閣府大臣官房審議官（沖縄政策担当）、独立行政法人日本原子力研究開発機構執行役、文部科学省科学技術政策研究所長を経て、2010年4月政策研究大学院大学政策研究科連携教授。同年10月東京理科大学特命教授、科学技術政策研究所客員研究員、科学技術振興機構特任フェロー。11年8月国立極地研究所北極気候変動研究事業運営会議委員。

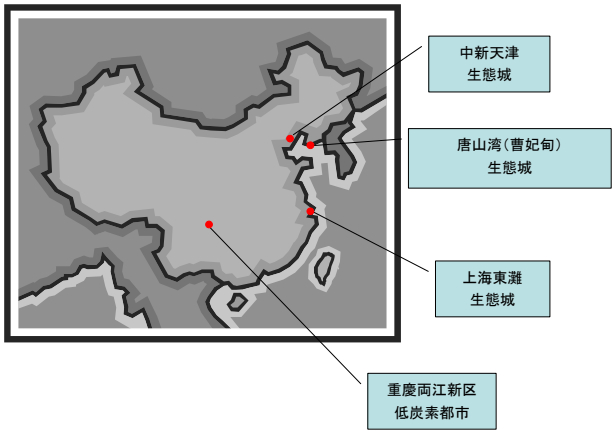
１．中国エコシティの状況

中国では、農村部からの人口の流入により、急速な都市化が進展しており、2020年には人口100万人以上の都市が200以上になると予測されている。このような都市人口の急増に対応して、雇用の創出や住宅の確保など新たな都市開発が喫緊の課題となっており、現在、環境配慮やエコを理念として掲げる「エコシティ」計画が全国各地で進められている。

その数は200近くに上り、「低炭素都市開発」（国家発展改革委員会）、「エコ工業園区」「環境保護モデルシティ」（環境保護部）、「スマートグリッドパーク」（中国国家電網）、そして主に各地方政府が自主的に進めている「生態城（エコシティ）」等に関する計画が併存しており、モデル事業としてはいささか乱立気味の状態にある。

今回、そのような数あるエコシティ建設計画の中で、規模が大きく、歴史があり、国家・省レベルの何らかの関与が認められるモデルのうち、地域性（南北沿海部、内陸部）も考慮して4地域を選び、プロジェクトの概要（開発の経緯・政策上の位置づけ、環境上の達成目標、進出企業等の状況等）と、グリーンエネルギー等新技術の導入計画を中心に調査を行った。参考までに、今回選択した四つの地域の場所を図1に示す。

図1　今回調査したエコシティの位置



この四つの地域の中で、開発が進んでいるのは、中新天津生態城（天津市濱海新区）と曹妃甸国際生態城（河北省唐山市曹妃甸新区）であるが、この二つの地域では環境上の技術達成目標を設けるとともに（中新天津生態城の場合は22、曹妃甸国際生態城の場合は141）、それに伴うグリーンエネルギー技術の導入計画を有している。

これらを明確に示すことにより、環境配慮型の企業の誘致を積極的に行うとともに、新都市に居住する住民のための住宅開発を着々と行っている。日本企業をはじめ、内外の企業が将来の市場拡大を期待して大きな関心を有しており、技術供与を行うとともに、進出を検討している状況にある。（詳細については、JST「中国の科学技術力について～世界トップレベル研究開発施設～」第5章を参照されたい。）

和田撮影
写真1　天津エコシティの完成予想模型

和田撮影
写真2　曹妃甸エコシティの完成予想模型

2．中国都市開発の歴史とエコシティのねらい

過去において、国土が広大な中国における改革の多くは、いくつかの先進的なモデルを作り、そこでの成功体験、得られた知識・ノウハウを政府として広く宣伝するとともに、それを全土に広げる形で進められてきた。中国では長い社会主義体制の下で保守的な考え方が根強く、最も効果的な時・場所でのモデル事業の展開が、現状維持勢力に対して突破口を開く推進力となることが期待されるからである。

具体的には、1980年代における“深圳”での経済特区の建設、90年代の“上海・浦東地区”における対外開放都市の建設が成功モデルとして挙げられる。しかしながら、2000年代にかけて全土に多くの“経済技術開発区”が作られると、各種の概念に基づくモデル都市・地域の乱立が目立つようになってきた。

そのような流れの中で、中国のエコシティの現状は、産業団地、住宅団地の形成計画の中で、「エコ」という看板の下にグリーンエネルギー技術導入をショーケース的に行い、企業の誘致や住民の定着を図っていくというものである。

今回の4地点の調査で中国エコシティの全貌が明らかになったわけではないが、中国においてエコシティ（生態城等）が200近く存在していることにより、中国のこれらの都市が市民のエコ意識の高まりの下、環境上の配慮を至上目標にして、新エネルギーの導入やCO2の発生を抑制する施策を積極的に導入しようとしているととらえる向きが我が国にあるが、これは正確ではない。

今回の調査では訪問していないが、NEDO北京事務所による調査では、低炭素モデル都市に指定されている某都市では、低炭素開発区に低炭素製品交易所、低炭素国際会議場、低炭素研修センターなど低炭素と名前がついているのみで、実質は普通と変わらない建物があるだけ、との報告もあり、また、別の生態城ではこれまでの地区開発の看板の上に「生態」というスローガンを追加して貼り付けただけのものもある、とのことであった。

エコシティが成り立っていくためには、住民のエコへの協力が不可欠であるが、住民のエコ意識の醸成のための努力は現時点で十分とはいえず、今後もかなり困難を要するものと考えられる。

3．エコシティ乱立の背景と今後の予測

第12次5カ年計画では、第19章「主体的機能区戦略の実施」の項目の中で、「最適開発をすすめる都市化した地区については、経済構造、科学技術革新、資源利用、環境保護などの評価を強める。重点的に開発する都市化した地区については、経済成長、産業構造、質・効率、省エネ・排出削減、環境保護及び人口受け入れなどを総合的に評価する」との都市の評価基準が明確に示されており、経済成長が評価の第一項目となっている。

このような共産党の方針の下で、中国のエコシティが乱立する背景には、天津や重慶のような中央直轄都市の市長は共産党中央によって、唐山市のような地方都市の市長は省レベルの共産党によってそれぞれ実質的に任命されていることが深く関係していると推測される。共産党内の出世競争と都市間競争、差別化競争の中で、「低炭素」「エコ」などを看板に掲げて他の都市と差別化し、国や省の支援を獲得することが大きな目的となっている。

各市の本音は企業等の投資誘致、工場誘致と雇用の増大による域内GDPの拡大にあり、実質的に「エコ」はそのためのスローガンとして掲げられているのが実態であると考えられる。エコシティはこのように誕生してきたため、例えば曹妃甸国際生態城における再生可能エネルギーの利用率の目標は90％で、実現不可能な数値となっている。現場の技術開発の責任者とすれば、一旦設定した技術上の目標を現実的に実行可能な数値に変更しなければならないが、施政者と現場の間に立って苦慮すると

いう事態が生じている。こうしたことは今後、他のエコシティでも生じてくる問題であると予測できる。

このようなエコシティ誕生の経緯を考えると、実際にエコシティに住む住民にどれだけ環境保護や温暖化ガス排出抑制に対する意識が浸透するかは大いに疑問がある。

４．新技術の導入

一方で、過去の経済特区や対外開放都市がモデル都市としてスタートし、各地に広まった実態を考えると、今回の場合も数カ所の先進的エコシティに導入された先端的技術と技術達成目標が、中国各地の生態城、エコシティに採用されていく可能性があるといえる。新エネルギー開発の面からみれば、中国での国産技術の発展は目覚ましく、2010年には既に、太陽光発電市場においてサンテックパワーを初めとする中国企業が世界の四分の一以上の生産量で第1位を誇り、また風力発電においても世界第3位の国内設備容量を達成、世界トップテンの製造企業に3社の中国企業が名を連ねている。

エコシティのモデル事業の展開を通して、世界の企業から導入された個々の先端技術が、中国が自主技術として吸収するのに要する時間は、現在の中国の技術力から判断すれば、それほど長くはないと考えられる。

５．日本の技術導入の可能性

（１）日本のスマートコミュニティ技術との比較

現在、日本では、北九州市、豊田市、横浜市、けいはんな地区（関西文化学術研究都市）で、スマートコミュニティの実証試験が2011年度からスタートしており、各地域で、新エネルギーの導入、電力の効率的管理システムの導入等の実証が展開されつつある。

現在利用されている太陽光、太陽熱、風力について比較した場合、日中間の技術レベルに大差はないと考えられる。またCEMS（地域節電所）、BEMS（スマートビル）、HEMS（スマートハウス）等のエネルギー管理システム、EV（電気自動車）、PHV（プラグイン・ハイブリッドカー）と家庭の電力との連結システム（豊田市）、電力料金が需給関係によって毎日変わるダイナミックプライシング（北九州市及び豊田市）などでは、日本の技術レベルが一歩先を行っているが、効果的に中国に導入されれば規模拡大の可能性を十分に有している。

（２）導入の方策と市場規模

今回の訪問先での議論では、中国でエコシティとして一番進んでいるのは天津エコシティであり、曹妃甸国際生態城、無錫、深圳等が天津に追いつこうとしているとの感触をもったが、このような先進的エコシティの導入技術に日本が協力していくことは、市場の拡大という点から見れば重要である。各地のエコシティの実施主体となっているのは、市政府（官）、開発会社（民）、不動産会社（民）、運営会社（民）であり、これらの組織と緊密な連携をとりつつ、我が国の技術を売り込む努力が必要であろう。また、個々の技術の売り込みだけでなく、シンガポール政府等のように計画の初期段階から、エコシティ計画全体に深く関与していくことも、我が国の技術を中国に普及するために必要と考える。

現時点で将来の市場規模については予測不可能であるが、上述したように、ほとんどのエコシティ計画はトップダウン方式で進められ、経済成長を第一義の目的としており、市民サイドのエコ意識が醸成されていない状況では、導入された技術をエコシティ全体に普及させることは難しく、限定的な範囲に留まる可能性があることにも留意する必要がある。

［キーワード：エコシティ　生態城　モデル都市　グリーンエネルギー　スマートコミュニティ］

［編集部注］

本稿は、科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）の海外動向報告書「中国の科学技術力について～世界トップレベル研究開発施設～」（2012年6月刊）にまとめられた成果を基に、執筆者にリライトを依頼し、掲載したものである。（中国総合研究センター 鈴木暁彦）

現地調査報告・中国の世界トップレベル研究開発施設 ゲノム科学

• Profile •

佐藤　真輔 さとう しんすけ ●文部科学省研究振興局ライフサイエンス研究振興分析官

文部科学省研究振興局ライフサイエンス研究振興分析官。1985年科学技術庁入庁後、広範な科学技術分野の政策の企画立案等に携わる。現在はライフサイエンス分野の海外動向等の調査・分析業務を実施。。

１．はじめに

BGI（華大基因）は中国の一民間機関であるが、多数のシーケンサー（塩基配列解析装置）を用いて大量のゲノム解読を行い、世界最大のゲノム情報生産拠点となっている。世界各国との共同研究も進め、その成果を次々と有名誌に掲載している。一方、かかるBGIの活動については、単に大型のシーケンサーを並べて機械的に読み取るだけの工場ではないか、という意見もある。

このため、BGIの実態を知り、今後の展開を予測するとともに、我が国の対応について検討するため、2012年2月、BGI（深圳本部、香港支部）を訪問し、関係者から意見聴取するとともに、施設の視察調査を行った。以下、その調査状況も踏まえつつ考察を行う。

２．BGIの発展経緯

BGIは1999年9月に北京に設立された。現理事長の楊煥明博士は、中国政府に働きかけて当時進行中のヒトゲノム計画に中国を途中参入させ、同計画での中国への割り当てとなったヒトゲノムの1%分の解読をBGIで請け負った。

その後、2002年にイネゲノムの解読を発表、中国政府からニワトリ、カイコ、パンダ等のゲノム解読のための資金拠出を受けた。さらに2003年2月の重症急性呼吸器症候群（SARS）発生時に原因ウイルスのゲノム解読を行い、また2004年のスマトラ沖地震発生時にはDNA解析を用いて身元確認に大きく貢献した。

このような活動が認められ、2003年末、BGIは中国科学院（CAS）の研究機関となったが、CASのガバナンスと相容れず、すぐに離脱した。その後、国からの拠出の見込みがほとんどなかったため、BGIは増えつつあったスタッフを抱え、窮地に陥った。

これを救ったのが深圳市で、BGIに資金を拠出、靴工場の跡地を提供して2007年4月、本部を移転させた。その後、BGIはアジア人初のゲノム解読を行ったほか、1,000人ゲノム計画への参加、国際協力等を通じて次々に各種のゲノムの解読を進めた。

2010年、中国開発銀行が100億人民元の信用供与枠をBGIに設定すると、BGIはそれを用いて販売開始直後のイルミナ社の超高速シーケンサーHiSeq2000を128台も大量購入し、そのゲノム解読・解析能力を大幅に増強させるとともに、存在を全世界に知らしめた。

３．BGIでのゲノム解読 解析の流れ

海外からの試料は、まず香港支部に送られる。そこで荷物の引き取り、梱包解体、ゲノム状態の検査、前処理等が行われる。

その後、シーケンサーが整然と並んだ部屋（図1）で一挙に、大量にゲノム解読のための作業が行われる。いったん試料を装填したらあとは全て自動化工程となる。

図1　大量のシーケンサーが並ぶ

シーケンサで読み取られた生データはサーバ室（図2）の巨大容量を持つサーバに蓄えられるが、通常、その並べ替え等による解読や解析は深圳本部で行われる。

同本部には、研究者やバイオインフォマティシャンが集中しており（図3）、高速回線を通じ、遠隔で解読・解析ができるため、距離感を全く感じさせずに一体化した

対応が図られる。香港支部ではこうして得られたゲノム解読・解析データを発注者に届ける。

図2　大容量のサーバ室

図3　研究者や研究補助員がフロアに集まる

日本支所では土日以外はゲノム解読の発注を受けるが、月曜に試料を受けると、その日のうちに香港に試料が送付され、週末に発注者の手元に解読・解析結果を届けることも可能とのことだ。

4．BGIの特色と最近の業務状況

（1）迅速な意思決定

BGIの幹部は、先述の楊理事長と、院長の汪建博士、執行院長の王俊博士で、この3人で基本方針を決めており、その決断は速い。また、二重らせん構造のワトソン博士、米国ブロード研所長のランダー博士、最初の直接ゲノム配列決定法を開発したチャーチ博士等、著名な研究者が顧問に並び、貴重なアドバイスとともにBGIの国際信頼性を高めている。

（2）若手中心の膨大なスタッフ

BGIのスタッフは合計3,500人、うち研究者は約700人、バイオインフォマティシャン約450人、テクニシャンは1,000人弱になっている。本分野では英国サンガー研が900人、米国国立衛生研（NIH）のヒトゲノム研は100人以下、日本最大の産業技術総合研究所臨海副都心センターも100人以下であることを考えると、圧倒的に多い。また、スタッフの平均年齢は25～26歳と若く、学位を持たない大卒者や高卒者を採用し、その教育訓練を自ら行っている。

（3）最近の業務の進展

最近では1,000動植物プロジェクト、1,000微生物ゲノムプロジェクト、1,000植物de novoトランスクリプトームプロジェクト等の国際協力において中心的役割を果たしている。また、ゲノム解読･解析だけでなく、RNA解析やエピジェネティック解析等のシーケンサー利用業務、さらに深圳本部を中心としてタンパク質関連業務にも進出している。また、膨大なゲノム情報の保管を求める顧客のため、クラウド型コンピューティングサービスも開始した。

国内外にも多くの支所を設立し続けており、日本にも2011年9月、神戸医療産業都市内にBGI JAPANがオープンした。

さらに、オープンアクセスジャーナルを発行するほか、深圳市の認可を得て、ゲノム関連に特化した大学を設立しようとしており、その活動をさらに拡張している。

5．BGIの成功要因

これまでのところ、BGIの事業拡大は成功しているように思われる。要因はいくつかある。

まずライフサイエンスの研究手法の変化やシーケンサーの重要性を早くから見抜き、特にシーケンシングとバイオインフォマティクスに焦点を絞って活動してきたこと、また機器購入のタイミングを誤らなかったことである。（BGIが大量購入した機器はその後長く業界標準となった。）

集積によるスケールメリットも大きい。香港支部にはメーカのスタッフも常駐し、故障等に迅速に対応でき、人も集積するため研修等をシステマティックに行える。

また、BGIにいればシーケンシング技術をはじめゲノム解読に関する知識が身につき、しかも論文にも名前が掲載されることで、安い給料にもかかわらず多くの若手が集まってくる。

さらに、先述のようにイネゲノム、アジア人初のゲノム、パンダゲノム等特徴的なゲノムの解読や、災害時の国際貢献、各種シンポジウムの開催等、効果的な広報戦略により注目を集めてきたことも成功要因となっている。

6．BGIに対する批判と今後の課題

BGIは工場であって創造性がない、という批判があるが、

ヒトゲノムプロジェクト以来、今やライフサイエンスの手法自体が大幅に変わり、まず情報を大量に集めてその中から利用できるものを探っていくという方法に転換してきた現在、BGIのやり方はひとつの合理的手法であろう。

また、BGIは自らシーケンサー開発は行っていないが、楊理事長によると、空港ビジネスと同じで、安く装置を買い込んで世界のハブになればそれでよいとのことで、合理的な考えが見て取れる。

また、解読精度やアフターケアにおいて劣るという批判もあったが、最新鋭の機器を用い、システマティックな訓練を受けた人々が解読を行い、さらに日本支部が顧客サービスを行っており、むしろ他よりも精度や丁寧さにおいて上回っている。

さらに、ゲノム解読以降の高度な解析においてBGIは劣るという批判もあるが、基本的な解析技術は十分有しており、多数いる研究者やバイオインフォマティシャンが切磋琢磨し、世界各国との連携により解析手法のノウハウを磨いており、ポテンシャルは高い。

ただ、今後、ローンの返済を行いつつ多数のスタッフを養っていくには、政府からのグラント獲得や各国との協力、ゲノム解読・解析の受託等で走り続ける必要がある。そのためには今後一層の業務の効率化とスピードアップ、さらにゲノム解読で培ったノウハウを活かして新たな分野への拡張することも必要だろう。そのため４の（３）で記した方向性は間違ってはいないだろう。

７．我が国のとるべき方策

我が国としては、たとえシーケンサーを大量購入し、大規模な装置を設置しても、BGIのように低廉な施設費や人件費は望めないため、ビジネスとして対抗するのは難しく、むしろ顧客としてBGIを効果的に利用する方が得策だろう。定型的な作業を任せる秘書としての活用である。

我が国においてもシーケンサーの集中そのものは、スケールメリットや人材育成等を図る上で有用である。特にBGIには委託できない、国外と厳しく競争しているテーマや、極めて迅速に結果を得なければならない試料については国内対応が必要である。（その場合、個別の解析自体は、ノウハウを有する個々の研究室等でバイオインフォマティシャンと研究者が一緒に行うことが望ましい。）また、BGIでは行っていないような、たとえば理研で開発中の1分子DNAシーケンサー（1細胞シーケンサー）等は大いに推進していくべきだろう。

いずれにしても、今後、BGIの動向も見極めつつ、我が国の方向性を探っていく必要があるだろう。

［キーワード：BGI　シーケンサー　ゲノム解読　世界最大　ゲノム情報生産拠点］

［編集部注］

本稿は、科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）の海外動向報告書「中国の科学技術力について～世界トップレベル研究開発施設～」（2012年6月刊）にまとめられた成果を基に、執筆者にリライトを依頼し、掲載したものである。（中国総合研究センター 鈴木暁彦）

中国の宇宙開発事情 現地調査レポート

中国の宇宙開発事情
宇宙輸送

• Profile •

辻野　照久 つじの てるひさ　●科学技術振興機構研究開発戦略センター 特任フェロー

はじめに

中国の宇宙開発は、2003年に自力での有人宇宙飛行を成功させたことにより世界中から注目を浴びるようになった。最近の頻繁なロケット打上げやインターネットで中継される有人宇宙活動の様子などから、今や米国とロシアという二大宇宙大国に割って入る勢いであると感じられる。

科学技術振興機構（JST）において2009年にとりまとめた「中国の宇宙開発の現状」[1]は、同年9月末時点での中国の状況を紹介することを目的としていた。その後2012年10月までの3年間に、中国は実に50回にも及ぶ打上げを行っており、有人宇宙飛行・月探査・通信放送・地球観測・航行測位の各分野で宇宙探査・宇宙利用の技術水準を着々と高めている。

2012年の世界のロケット打上げ回数（10月末まで）は60回で、そのうちロシアは18回、中国は15回、米国は12回で、中国は2位に食い込んでいる。衛星の数でも、2012年に全世界で打上げられた109機のうち、米国28機（うち12機は超小型衛星）、中国18機、ロシア16機で、中国は2位である。宇宙飛行士は2012年に計12名が出発しており、その国別内訳はロシア5名、米国3名、中国3名、日本1名で、ここでも中国は2位タイとなっている。

このような中国の宇宙開発の最新状況を断片的ではあるが、2012年末前後で切り取って読者の参考に供したい。宇宙輸送や有人宇宙活動など分野別に順不同で掲載していく予定である。毎回最新情報を反映させるため、全体として見ると時期がばらばらになるが、最終的に2013年3月末時点でアップデートしたいと考えている。

1．宇宙輸送

2009年にJSTで作成した「中国の宇宙開発の現状」では、中国の宇宙輸送分野に関して、運用中のロケット、新型ロケット、射場、着陸場などの概況を示した。当時はロケットの打上げ数が増加傾向ではあったが、米国やロシアとは大きな差があり、中国がいずれ米ロに追いつき追い越すと予想した人はまだ少なかったと思う。しかし、翌2010年に米国と同じ打上げ回数になり、2011年にはついに年間打上げ数で米国を1機上回った。

■2012年も年間打上げ数で米国を上回る見込み

中国は2012年に年間20回の打上げを計画しており、既に10か月間で15回の打上げを行いすべて成功した。残る2カ月で4～6回の打上げ計画がある。一方米国はまだ12機しか打ち上げていない状況で、残る2カ月で予定は2回しかなく、中国が米国を上回ることは確定的である（図表1-1参照）。中国の強みは、主エンジンやストラップオン・ブースタなど共通部品の多い3種類のロケットを3か所の射場から目的に応じて打ち分けるところにある。

宇宙産業の雇用人数が20万人規模で目立った増員がない中で、打上げ回数が2倍から3倍に増加したことは、高学歴の技術者の大量採用や生産性向上の努力などの結果であろうと思われる。インターネットの投稿や雑誌の記事などからも、衛星製造や打上げの実務を遂行する担当者が東奔西走している様子がうかがえる。

図表1-1　主要国の最近の打上げ実績

国 名＼年	2008	2009	2010	2011	2012*
ロシア	26	29	31	33	19
米　国	15	25	15	18	12
欧　州	6	7	6	7	7
日　本	1	3	2	3	2
中　国	11	6	15	19	15
インド	3	2	1	3	2

（注：この表以外の打上げはイスラエル、イラン、シーロンチ社が行っている。＊2012年は10月末まで。出典：各種資料より辻野作成）

■長征5型ロケット実現へ

次世代打上げロケットも準備が進んでいる。2012年には3種類の次世代ロケットに共通して使われる主エンジン（YF-100）の燃焼試験に成功し、低公害型で世界最強の打上げロケットの実現に向けての技術的課題の一つをクリアした。

図表1-2　長征5・6・7型のミッションと構成

<table>
<tr><td>構成＼ロケット名</td><td colspan="6">長征5型A-F</td><td>長征6型</td><td>長征7型</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主なミッション</td><td colspan="4">A･B･C</td><td colspan="2">D･E･F</td><td rowspan="2">極軌道衛星</td><td rowspan="2">有人宇宙船</td></tr>
<tr><td colspan="4">低軌道衛星</td><td colspan="2">静止衛星</td></tr>
<tr><td>機体直径（1段･2段）</td><td colspan="6">5m</td><td>2.25m</td><td>3.35m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">第1段主エンジン（ケロシン／液酸）</td><td colspan="4">A・B・D・E</td><td colspan="2">C・F</td><td rowspan="2">YF-100</td><td rowspan="2">YF-100×2</td></tr>
<tr><td colspan="4">YF-100×2</td><td colspan="2">YF-100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ストラップオン・ブースタ</td><td colspan="2">A･D</td><td colspan="2">B・E</td><td colspan="2">C･F</td><td rowspan="2">無</td><td rowspan="2">2.25m×4</td></tr>
<tr><td colspan="2">3.35m×2
2.25m×2</td><td colspan="2">3.35m×4</td><td colspan="2">2.25m×4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">第2段エンジン</td><td colspan="3">A･B･C</td><td colspan="3">D･E･F</td><td rowspan="2">無</td><td rowspan="2">無</td></tr>
<tr><td colspan="3">無</td><td colspan="3">静止軌道投入用エンジン（液酸／液水）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">打上げ能力（トン）</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td><td>F</td><td>SSO</td><td>LEO</td></tr>
<tr><td>18</td><td>25</td><td>10</td><td>10</td><td>14</td><td>6</td><td>1.1</td><td>10</td></tr>
</table>

（注：＊長征5型は第1段エンジンの数、ストラップオン・ブースタの組合せ及び静止軌道投入用エンジンの有無により計6種類の構成があり、長征5Aから長征5Fに細分化される。基本形は長征5D型である。出典　CALTのHP情報より辻野作成）

中国の次世代打上げロケット開発を主導する組織は、中国航天科技集団公司（CASC）傘下の中国運載火箭技術研究院（CALT）である。海南島の文昌（Wenchang）射場建設も順調に進んでおり、2014年には完成する予定である。

天津市浜海新区に建設された宇宙産業基地では、宇宙船やロケットが製造されている。天津市中心部から50km離れた臨海工業地帯から海南島まで、船で直径5m級の大型ロケットや大型衛星を輸送する。

有人打上げ用の直径3.35mの長征7型打上げロケット（CZ-7）も海南島から打ち上げられる。このロケットの第1段は長征5型の直径3.35mのストラップオン・ブースタと同一である。これまで長征2F型が打ち上げられていた酒泉射場（甘粛省）は高地にあり乾燥した低温の環境であるが、海南島は高温多湿であるため、その対策を行っている。

機体の直径が2.25mの長征6型打上げロケット（CZ-6）は、既に主エンジンの燃焼試験に成功し、2013年にも試験打上げのために射場へ搬出されると予想される。このロケットの第1段は長征5型の直径2.25mのストラップオン・ブースタと同一である。

図表1-3にこれらの新型ロケットのミッション及び構成の概要を示す。

■信頼性の高い長征ロケット

宇宙輸送の信頼性という観点では、中国は世界的な水準である成功率95%以上をずっと確保している。成功率95%とは、言い換えれば20回の打上げ中1回は失敗するということである。中国では最近2回、打上げロケットの不具合による失敗があった。

2008年の失敗は部分的なもので、再着火に失敗した第2段ロケットの不具合により予定より低い軌道に投入されたインドネシアの衛星は、衛星自身の燃料を使ったために寿命を縮めたものの、静止軌道への到達には成功した。中国ではこれを「部分失敗」とは言わず「基本成功」という表現で完全な「成功」と区別している。

続いて2011年の長征2C型ロケットの打上げ失敗は、まさに完全な失敗であり、これは1996年以来15年ぶりであった。この間「基本成功」（部分失敗）も含めて102回の打上げが行われている。2011年の失敗以降も25回連続して打上げに成功しており、成功率95%以上を維持している。21世紀に入ってからの各国の打上げ成功数、打上げ失敗数及び打上げ成功率を図表1-3に示す。

なお、打上げ成功率は打上げ成功数÷（打上げ成功数＋打上げ失敗数）×100（%）で計算する。

図表1-3　各国の打上げ成功率（2001年1月から2012年10月末まで）

	米国	欧州	ロシア	日本	中国	インド
打上げ成功数	204	75	289	27	104	20
打上げ失敗数	4	1	15	1	2	4
打上げ成功率	98.1%	98.7%	95.1%	96.4%	98.1%	83.3%

（出典：各種資料より辻野作成）

■外国衛星の打上げサービス

国際協力あるいは外国との競争という観点では、中国の打上げロケットによる外国衛星の打上げも着々と実績をあげている。このような商業打上げサービスは中国長城工業集団有限公司（CGWIC）が担当している。CGWICの資料 によれば、2011年までに商業打上げ回数は33回行われ、39機の衛星を打ち上げたという（ただし中国企業の衛星も商業打上げに含めている）。2011年には、初めて欧州の通信衛星運営企業ユーテルサット社（Eutelsat）の大型商業衛星の打上げを行った。中国は1990年代には米国製の衛星を多数打ち上げていたが、現在では米国の国際武器取引規則（ITAR）に基づく輸出規制のために米国製の衛星を中国に輸出することが禁じられている。しかし、ITAR規制に抵触しない欧州衛星は、中国の打上げロケットで打上げ可能であり、ユーザーにとってはアリアンロケットよりも低価格で打ち上げられるというメリッ

トがある。また、新興国や開発途上国向けには、中国が製造した衛星を中国の打上げロケットで打ち上げ、顧客国の地上設備の建設や管制要員の研修、さらには衛星開発費の融資や打上げ保険までセットにして売り込むサービスも行っている。2012年には、ベネズエラの小型地球観測衛星VRSS-1「Francisco de Miranda（フランシスコ・ミランダ）」（中国製）の商業打上げを行った。CGWICが最近打ち上げた外国衛星を図表1-4に示す。

図表1-4　中国が打ち上げた最近の外国衛星

衛星名	国名	ロケット	打上げ日	備考
Simon Bolivar 1	ベネズエラ	長征3B/E	2008年10月30日	
PALAPA-D	インドネシア	長征3B	2009年8月31日	基本成功*
Paksat-1R	パキスタン	長征3B/E	2011年8月12日	
Eutelsat W3C	ユーテルサット	長征3B/E	2011年10月7日	
NIGCOMSAT-1R	ナイジェリア	長征3B/E	2011年12月20日	
VRSS-1	ベネズエラ	長征2D	2012年9月29日	

（注：＊第2段エンジンの不具合により所定の軌道投入に失敗したが、衛星は静止化に成功。出典：CGWICの資料2）を基に辻野作成）

今後の外国衛星打上げ計画として、東方紅4型衛星バスを利用した大型通信衛星をボリビア・バングラデシュ・ベラルーシ・ラオス・トルクメニスタン・スリランカなどから受注している。これらの開発途上国では、中国の宇宙技術により宇宙利用レベルが一挙に引き上げられ、国家の経済的発展や国民生活の向上に資することになろう。ここでも経済性やITAR規制のために衛星輸出を伸ばせないでいる米国や、衛星製造技術力が欧米に比べて著しく後れをとっているロシアに比べて、中国の躍進ぶり・堅実さが際立っている。

[1] 「宇宙航空研究開発機構特別資料　世界の宇宙技術力比較と中国の宇宙開発の現状について」（JST中国総合研究センター作成の「中国の科学技術力（ビッグプロジェクト編）」からの抜粋）2010年2月

[2] 中国運載火箭技術研究院（CALT）のHP：http://www.calt.com/

[3] 中国長城工業集団有限公司（CGWIC）のHP「長征ロケット国際商業打上げ記録」http://cn.cgwic.com/LaunchServices/LaunchRecord/Commercial.html

中国の宇宙開発事情
有人宇宙飛行

• Profile •

辻野　照久 つじの てるひさ ●中科学技術振興機構研究開発戦略センター 特任フェロー

科学技術振興機構（JST）が2009年にとりまとめた「中国の宇宙開発の現状」[1] では、中国の有人宇宙活動について、「神舟7号」までの中国の有人宇宙船開発状況と、6人の宇宙飛行士を紹介した。この時点で、中国は有人宇宙飛行の第1段階を終え、第2段階の準備を行う段階に入ったところであった。

■天宮1号と神舟のドッキング

第2段階の目標は、有人宇宙船と宇宙ステーションとのランデブー・ドッキングである。

中国は2011年9月に宇宙ステーション実験機（ドッキング目標機）「天宮1号」[2] 、同年11月に無人宇宙船（ドッキング追跡機）「神舟8号」の打上げを行い、中国としては初めてとなる2機の衛星の宇宙でのランデブー（空間交会）と自動ドッキング（対接）に成功した。さらに2012年6月には4回目の有人宇宙船となる「神舟9号」を打ち上げ、13日間の飛行中、「天宮1号」との手動ドッキングに成功した。

これによって中国はロシアと米国に比肩しうる有人宇宙飛行技術を有する国となった。「神舟5号」以降の有人宇宙船の開発経緯を図表２－１に示す。

図表２－１　中国の有人宇宙船の開発経緯

宇宙機名称	漢字表記	日付(GMT)	打上げロケット	備考
Shenzhou 5	神舟5	2003/10/15	長征 2F	1名搭乗
Shenzhou 6	神舟6	2005/10/12	長征 2F	2名搭乗
Shenzhou 7	神舟7	2008/ 9/25	長征 2F	3名搭乗、船外活動実施
Tiangong 1	天宮1	2011/9/29	長征 2F/G	打上げ時無人、ドッキングターゲット、2013年まで周回飛行
Shenzhou 8	神舟8	2011/11/1	長征 2F/H	無人、天宮1号との初のドッキング
Shenzhou 9	神舟9	2012/6/16	長征 2F	3名搭乗（初の女性を含む）、天宮1号と手動ドッキング

出典：各種資料を基に辻野作成

■中国初の女性宇宙飛行士

神舟9号に搭乗した3名の宇宙飛行士は、景海鵬（Jing Haipeng、2回目）、劉旺（Liu Wang）及び劉洋（Liu Yang）である。実際に宇宙飛行を行った中国の宇宙飛行士は8名になった。このうち劉洋は中国初の女性宇宙飛行士である。

劉洋は2009年に人民解放軍の航空パイロットから宇宙飛行士候補に選抜され、2010年から宇宙飛行士の訓練を開始した[3]。神舟9号に1名の女性が搭乗することになり、7名の女性宇宙飛行士候補の中から2名の候補が選ばれた（1名はバックアップ）。

事前の情報では、初の女性宇宙飛行士は神舟10号に搭乗するとされていたが、これは宇宙飛行士の訓練に最低4年は必要で、神舟9号の計画された打上げ日に間に合わないと判断されていたためと考えられる。しかし、劉洋らの場合は選抜以前に2年以上の航空機パイロット経験があり、神舟9号の打上げが遅れている間に2年間の宇宙飛行士訓練が終了したため、急遽計画を繰り上げたようだ。劉洋は宇宙飛行士に要求される肉体的・精神的な素質をすべて備えているだけでなく、数十科目に及ぶ訓練において優秀な成績をあげたという。

■宇宙飛行実績の世界ランキングはまだ低い

有人宇宙活動の実績は米ロが圧倒的で、中国はまだほんの駆け出しに過ぎない。図表２－２に各国の宇宙飛行士数・延べ出発人数・宇宙滞在日数の比較を示す。2020年までの8年間で、累積宇宙滞在日数がロシアは約7,000日、米国は約5,000日、日本は約1,000日増える見込みであり、中国が宇宙ステーションの本格運用を開始しても第3位になるまでには少し時間がかかりそうである。

図表２－２　国別の宇宙飛行士数と宇宙滞在日数
（2012年11月19日現在）

	米国	ロシア	日本	ドイツ	フランス	カナダ	中国	世界計
飛行士数 （うち女性）	334 (45)	113 (3)	9 (2)	10	9 (1)	9 (2)	8 (1)	529 (56)
出発人数	828	234	16	14	17	16	9	1,184
滞在日数*	約 15,700	約 22,000	740	494	432	359	59	約 41,000

＊カナダと中国の間にカザフスタン・イタリア・オランダ・ベルギーが200日以上で入り、中国は国別累積宇宙滞在日数で現在世界第11位である。

出典：各種資料を基に辻野作成

■神舟10号を2013年6月に打上げ

中国の今後の計画として、2013年6月に有人宇宙船「神舟10号」が打ち上げられ、「天宮1号」とドッキングして、科学実験や科学普及のための地上との交信などのミッションを行う。搭乗員は男性2名、女性１名と発表されている。「神舟10号」のミッション終了後、「天宮1号」は大気圏に再突入し、安全な海域において消失させることになっている。これは中国の宇宙デブリ対策の一環である。

■本格的な宇宙ステーションの建設

第3段階の有人宇宙飛行は本格的な宇宙ステーションの建設から始まる。完成時期は2020年を予定している。基本モジュールは長征5型ロケットにより打ち上げられ、「天宮2号」と命名されるものと思われる。その両側のドッキングポートに、ノードや実験モジュールが次々と取り付けられ、有人宇宙船（酒泉から打上げ）と物資補給船（海南島から打上げ）による長期宇宙滞在が行われるようになる。これは旧ソ連が1986年に打ち上げた「ミール」宇宙ステーションと軌を一にするものである。

ISSの運用は2020年以降継続されるかどうか決まっていない中で、中国はその時期から独自の宇宙ステーションを本格的に運用しようとしているのである。旧ソ連がインターコスモス計画や国際共同飛行計画で共産圏や友好国の宇宙飛行士を宇宙ステーションに滞在させたのと同様に、中国の宇宙ステーションにもさまざまな国の宇宙飛行士あるいは旅行者が入れ替わり立ち替わり搭乗するようになる可能性がある。特にドイツは有人宇宙飛行で中国との連携強化を図っており、中国からもドイツ航空宇宙センター（DLR）を訪問している[4]。

■有人宇宙活動を主導する組織

中国の有人宇宙プログラムは、総指揮の下に設置された載人航天工程弁公室（CMSEO＝有人宇宙飛行プロジェクト室）が実務を担っている。有人宇宙プログラムの主要な役職と任命されている人物を図表２－３に示す。

図表２－３　有人宇宙プログラムの体制

役職	人物（所属または出身組織）
工程総指揮	張又侠（人民解放軍総装備部長、中央軍事委員会委員）
工程副総指揮（6名）	牛紅光（人民解放軍総装備部副部長）、陳求発（MIIT副部長）、陰和俊（CAS副院長）、馬興瑞（CASC総経理）、許達哲（CASIC総経理）、熊群力（電子科技集団公司総経理）
工程総設計師	周建平
工程副総設計師（3名）	趙宇棋、王忠貴、鄭敏
弁公室主任	王兆耀（人民解放軍総装備部）
弁公室副主任（2名）	楊利偉（人民解放軍宇宙飛行士大隊）、武平（旧航天工業部）

出典：各種資料を基に辻野作成

このうち、工業・情報化部（MIIT）の陳求発副部長（副大臣）はMIIT傘下の国防科技工業局（SASTIND）主任と国家航天局（CNSA）主任も兼務している。

中国科学院（CAS）の陰和俊副院長の下では、中国空間科学・応用総体部、長春光学精密機械・物理研究所（CIOMP）、上海技術物理研究所（SITP）、空間科学・応用研究センター（CSSAR）、物理研究所（IOP）、上海珪酸塩研究所（SIC）、成都光電技術研究所（IOE）など各地の研究組織が、微小重力利用など有人宇宙活動に関連する研究に参加している。

国有企業群としては、当初から参加している中国航天科技集団公司（CASC）に続いて、2011年からは中国航天科工集団公司（CASIC）・中国電子科技集団公司（CETC）からも副総指揮が任命されている。

2012年にCMSEOの副主任から主任に昇格した王兆耀は、中国人民解放軍（PLA）では現役の少将である。後任の副主任に登用された武平は、1993年のCMSEO設置時に旧航天工業部から移籍した女性で、航天工業部ではロケットの開発を担当していたエンジニアである。人民解放軍が宇宙飛行士や射場設備・管制設備など有人宇宙活動に直接的に係わっていることはいうまでもない。

■有人宇宙活動の予算

欧米や日本では、有人宇宙活動には巨額の予算が必要だということは常識である。中国の宇宙開発予算は年間およそ200億元（約2600億円）と分析されているが、有人宇宙プログラムに対しては1992年からの20年間で390億元が投じられたという。最近8年間では約半分の190億元が投じられており、年平均24億元（約312億円）となる。これは欧米では静止通信衛星1機分程度の金額であり、民間でも実施可能なレベルである。

また、スペースシャトルの開発費や国際宇宙ステーシ

ョンの建設費からみればはるかに少ない額である。ただし、この金額は宇宙事業全体の一部である可能性がある。たとえば有人宇宙活動に係わる宇宙関連企業や人民解放軍の人件費、宇宙関連企業の一般管理費のような経費を計上せず、材料費や部品購入費など直接的な経費だけを計上した場合、人件費が高い欧米に比べてはるかに安価になることは確実である。

とはいえ、中国も有人宇宙飛行に対して無闇に予算を投入しているわけではない。中国の宇宙開発は国民生活に直結する衛星通信・地球観測・航行測位などの実利用が第一で、有人宇宙飛行や月惑星探査など直接的な経済的見返りの少ない宇宙活動は「ほどほどに」行うように自制しているようである。

■ロシアの長期閉鎖環境実験にも参加

長期間の宇宙滞在の実績が豊富なロシアは、2010年6月から2011年11月にかけて、520日間の火星往復飛行を模擬した「MARS-500」計画を実施した。6名の模擬宇宙飛行士の1人として中国人が参加し、3名のロシア人と2名の欧州人とともに閉鎖環境で長期間生活する実験を行った。この中国人は中国では宇宙飛行士の訓練を担当していたとのことである。

■中国が有人宇宙活動を追求する目的は？

有人宇宙活動は膨大なコストと人命に対する危険が伴う割には直接的な見返りが少ないといった理由から、必ずしも一般市民から全面的な支持を得ているわけではない。欧州でも経済危機の中で国際宇宙ステーション関係のプログラムに対して経費縮減が求められている。

中国において有人宇宙活動を継続する可能性が高いと判断する理由は、相対的に高い経済成長率を維持しており、人件費もまだ安く、かつ近年急速に生産性を高めている国有企業が有人宇宙活動に必要な機材を製造し、大学卒業者が多数入隊している人民解放軍において宇宙飛行士が養成されるなど、欧米の常識では想像も付かない条件が揃っているからである。

有人宇宙活動の先行きが不透明な欧米に比べて、中国なら有人火星着陸にまで及ぶ壮大な構想も、段階を追って実現しうるのではないかと思えてくる。

政治的な動機や経済性などを離れて、素朴な「夢」や「憧れ」も宇宙開発の動機の一つとなる。中国では2000年も昔に既に月へ駆けのぼる女性の神話伝説（嫦娥奔月）が記録されており、宇宙への憧れが中国人に有人宇宙飛行技術を追求させているように思われる。

上図の説明：

中国の切手。約2000年前、後漢時代に石に描かれた「嫦娥奔月」の絵をデザインしている。嫦娥は、夫が西王母（仙女）からもらった不死の薬を飲み、月に昇った。

[1] 「宇宙航空研究開発機構特別資料 世界の宇宙技術力比較と中国の宇宙開発の現状について」（JST 中国総合研究センター作成の「中国の科学技術力（ビッグプロジェクト編）」からの抜粋）2010 年 2 月 http://repository.tksc.jaxa.jp/dr/prc/japan/contents/AA0064502000/64502000.pdf

[2] （中国語の記事）天宮一号目標飛行器完成総装　2011年発射　2010年8月17日中国載人航天工程網CMSEO（http://www.cmse.gov.cn/news/show.php?itemid=976）

[3] （中国語の記事）我国第二批航天員産生－共選出5名男航天員、2名女航天員　2010年5月7日CMSEO（http://www.cmse.gov.cn/news/show.php?itemid=726）

[4] （中国語の記事）王文宝率団訪問徳国宇航中心 2011年4月7日CMSEO（http://www.cmse.gov.cn/news/show.php?itemid=1308）

中国の宇宙開発事情
月探査

• Profile •

辻野　照久 つじの てるひさ　●科学技術振興機構研究開発戦略センター 特任フェロー

科学技術振興機構（JST）が2009年にとりまとめた「中国の宇宙開発の現状」[1] では、宇宙科学分野の中で月探査機「嫦娥1号」（Chang'e-1）を紹介した。今回は「嫦娥2号」以降の進捗状況を取り上げる。

■嫦娥2号は小惑星に最接近

中国は「嫦娥1号」の開発と同時に地上予備機も製造していた。「嫦娥1号」のミッションが終了した後、この地上予備機にいくつかの改良を加えて2010年10月に「嫦娥2号」（Chang'e-2）として月周回軌道に投入した。「嫦娥1号」は月面高度約200kmで周回したが、「嫦娥2号」は日本の「かぐや」と同じ高度約100kmで周回した。約1年間の月周回期間中、「嫦娥1号」よりも高精度の観測を行い、次の着陸ミッションで必要となる着陸予定地点の詳細な観測も行った。中国の月探査の第1段階の第1フェーズはこのミッションで完了した。

「嫦娥2号」は月軌道投入に要した探査機自身の燃料が最小限で済み、搭載燃料がかなり多く余ったため、月を起点とする新たなミッションが追加された。それは、地球公転軌道から150万km外側の太陽－地球系第2ラグランジュ点（SEL-2）で天文観測を行い、さらに「トータティス」（Toutatis）という地球近傍小惑星（小惑星番号4179）にランデブーするというものである[2]。SEL-2での観測は既に終了した。米国のNASAが現在地球－月系第2ラグランジュ点（EML-2）でのミッションを検討しており、今後SEL-2とEML-2という2種類のL-2点を識別する必要がある。

嫦娥2号は「トータティス」へ向けて飛行していたが、12月13日に3.2kmの距離まで接近して写真撮影を行った。NASAも地上のレーダデータで画像を合成した。

図1　嫦娥2号が撮影したトータティス（©MIIT）

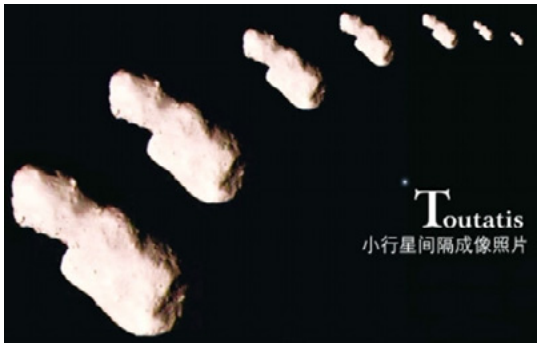
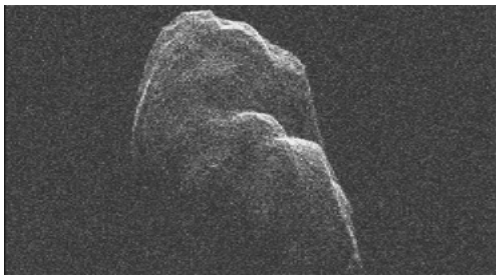


図2　JPLが地上レーダで合成した画像（©NASA）



■月面着陸と月面調査

中国は既に月探査第1段階の第2フェーズ及び第3フェーズの計画として「嫦娥3号(Chang'e-3)」から「嫦娥5号(Chang'e-5)」までの開発に着手しており、2013年後半には月着陸機「嫦娥3号」を打ち上げる予定である。着陸地点は「虹の入り江」（Bay of Rainbows）で、着陸後は探査ローバにより月面調査を行う。この成果は将来の月面基地建設の候補地選定のために活用されるとみられる。

■原子力電池を搭載

「嫦娥3号」で月に運ばれる月面探査ローバの電源は原子力電池である。月の1日は地球の1カ月に相当する。すなわち太陽が昇り始めると半月間は昼間が続き、太陽が沈むと半月間は夜間が続く。1カ月後にまた太陽が昇り始める。極寒となる半月間の夜間の動力や保温のための電源を太陽電池に頼ることは無理で、月探査における最大の技術的課題の一つである。中国はそれを原子力電池利用で乗り切ろうとしている。また月面探査の面では、ローバの底部にレーダ装置を設け、月面を走行しながら月

面地下約100mの調査を行うという。また、「嫦娥4号」（Chang'e-4）は「嫦娥3号」のバックアップ（地上予備）となる。

■月面からの再打上げ

「嫦娥5号」は、2017年頃までに開発され、長征5型ロケットにより海南島の文昌衛星発射センターから打ち上げられる予定である。「嫦娥5号」は月のサンプル採取・回収ミッションを行う。月面で採取した2kg程度の土壌・岩石サンプルを地球に持ち帰ることが計画されている。ここで最大の課題は月からの再打上げである。月の重力は地球の約6分の１と非常に小さく、空気もないので、地球では使えないような低出力の推進エンジンでも打上げ可能だが、発射装置まで含めた打上げシステム全体を安全に着陸させ、回収試料搭載や打上げ準備などを地球からの遠隔操作で行う必要があり、技術的なハードルはかなり高い。2012年10月に再打上げ用の推進エンジンとなる出力3キロニュートン（kN）のスラスタの燃焼試験を実施した。

サンプル採取のためのローバの遠隔操縦は既に1960年代にロシアが「ルノホート」で実施しているが、通信技術の発達した現在でも地球からの遠隔操作と月面でのローバ自身の自律制御をうまく組み合わせるには相当の開発努力を要するであろう。米国ではNASAのジェット推進研究所（JPL）が火星の無人探査を行っており、アポロ計画以降の火星探査機で実績のある無人探査技術を参考にすることもあるだろう。

■月面着陸とサンプルリターンを並行開発

中国は月探査の第１段階の第２フェーズと第３フェーズを同時並行で開発している。これにより第1段階の全体的な開発期間を短縮しようとしている。それを可能にするだけの人材が揃っているということも中国の実力の一面と考えられる。

■第２段階以降の有人月探査の展望

中国は既に第２段階（2025年～2030年）で短期の有人滞在、第３段階（2030年以降）で長期滞在の有人月面基地の構想を持っており、現時点ではまだ目立った動きはないが、月探査に関する第1段階の技術成果と宇宙ステーションなど有人宇宙活動のための技術成果が順調に獲得されていけば、それらの技術を組み合わせて有人月探査に本格的に取り組み始める時期がいずれ来るだろう。

中国が有人月面着陸を目指す目的は明らかではない。核融合発電に用いるヘリウム３の採取、月面での権益確保、火星への中継基地としての利用、産業界への技術移転などさまざまな理由が推測されている。月面は南極大陸と同様にいずれの国も領有できないことになっているが、科学観測目的で建物を設置するといった活動を行うことは可能である。

■月探査を主導する組織

このような月探査を推進している組織は、工業・情報化部（MIIT）に属する国家国防科技工業局（SASTIND）が直轄している「中国探月」（CLEP）という月探査プロジェクト室である。

CLEPには有人宇宙活動と同様に、ロケット打上げを行う人民解放軍、宇宙機の開発を行う中国航天科技集団公司（CASC）の研究者・技術者、科学成果を追求する中国科学院（CAS）の科学者らが参加している。特にCASの院士である欧陽自遠は「嫦娥1号」の観測データを基に月の全球地図を発表するなど、月探査プロジェクトの科学目的を主導している。

図3　CLEPのロゴマーク

■各国の月探査実績比較

月探査で圧倒的な実績を誇っているのは米国である。それに続くロシアも、有人月面着陸は果たせなかったものの、月の裏側の撮影、軟着陸、サンプルリターンなど豊富な探査実績がある。図表3-1は欧州・日本・インドも含め、世界の月探査の実績を比較したものである。中国の月探査はまだ緒に就いたばかりであるが、これまで大型プロジェクトを確実に実行し、成功させてきた実績があり、米ロへのキャッチアップとなる第1段階完遂の実現性は高いと見られる。

図表3-1　各国の月探査実績（軌道投入失敗も含む）

比較項目	米国	欧州	ロシア	日本	中国	インド
月探査機（無人）	33機（Ranger, Pioneer他多数）	1機（Smart-1）	31機（Luna, Zond）	2機（ひてん、かぐや）	2機（嫦娥）	1機（Chandrayaan）
月探査機（有人）	9回*（Apollo）	0	0	0	0	0

＊アポロ計画で月軌道に向けて打ち上げた回数。内訳は有人月周回2回（アポロ8号、10号）、月着陸成功6回（アポロ11～12号、14～17号）、着陸断念1回（アポロ13号）。

[1] 「宇宙航空研究開発機構特別資料　世界の宇宙技術力比較と中国の宇宙開発の現状について」（JST中国総合研究センター作成の「中国の科学技術力（ビッグプロジェクト編）」からの抜粋）2010年2月
http://repository.tksc.jaxa.jp/dr/prc/japan/contents/AA0064502000/64502000.pdf

[2] Chang'E 2 has departed Earth's neighborhood for..... asteroid Toutatis!?
http://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2012/20120614-change-2-toutatis.html

その他

中国特色的インターネットの発展

• Profile •

遊川 和郎 ゆかわ・かずお ●亜細亜大学アジア研究所教授

亜細亜大学アジア研究所教授。1959年広島県生まれ。81～83年上海・復旦大学留学。84年東京外国語大学中国語学科卒。1991～94年外務省専門調査員（香港）、94年(株)日興リサーチセンター上海駐在員事務所長、98年北海道大学言語文化部助教授、2001～03年外務省専門調査員（北京）。北海道大学大学院メディア・コミュニケーション研究院准教授、同教授を経て2012年4月から現職。著作（単著）に『中国を知る ビジネスのための新しい常識』（07年、日本経済新聞出版社）、『強欲社会主義 中国全球化の功罪』（09年、小学館101新書）、『中国を知る第2版 巨大経済の読み解き方』（11年、日本経済新聞出版社）。

中国において西暦2000年の前と後で異なることが二つある。一つは経済の中における不動産の存在であり、もう一つはインターネットが人々の生活の中に存在しているかどうかである。1999年末で890万だったネット人口は、今年6月現在5億3800万。この10年間で5億人という、それまでにはいなかった人たちが新たに出現したということである。それによって、中国社会の情報伝達、各種の利便性、人々の行動様式は大きく変化した。

1．ネット人口の爆発期は2007~10年

2000年代前半、毎年1000万人台～2000万人台の増加だったネット人口が急膨張したのが、2007年から10年にかけてである。それに先立つ04年から、ブロードバンドの急激な普及が始まり、それに呼応してネット人口も急増した。07年の増加数は前年の2600万から7300万へと急拡大、一日当たり20万の新規ユーザーが生まれた勘定である。

翌08年はさらに8800万増（過去最大）で記録ずくめの1年だった。08年6月時点のデータで、米国を抜いて世界一のネット大国（2億5300万）となり、12月には中国のネット普及率（22.6%）が、初めて世界平均（21.9%）を上回った。

09年も8600万、10年7300万増加したが、11年は5600万、12年上半期2450万と増加のピークは越えたといえる。これは都市部の若年層、高学歴（大卒）層にほぼ行き渡ったためで、さらなる拡大は農村部、低学歴層への浸透次第となる。（図1参照）

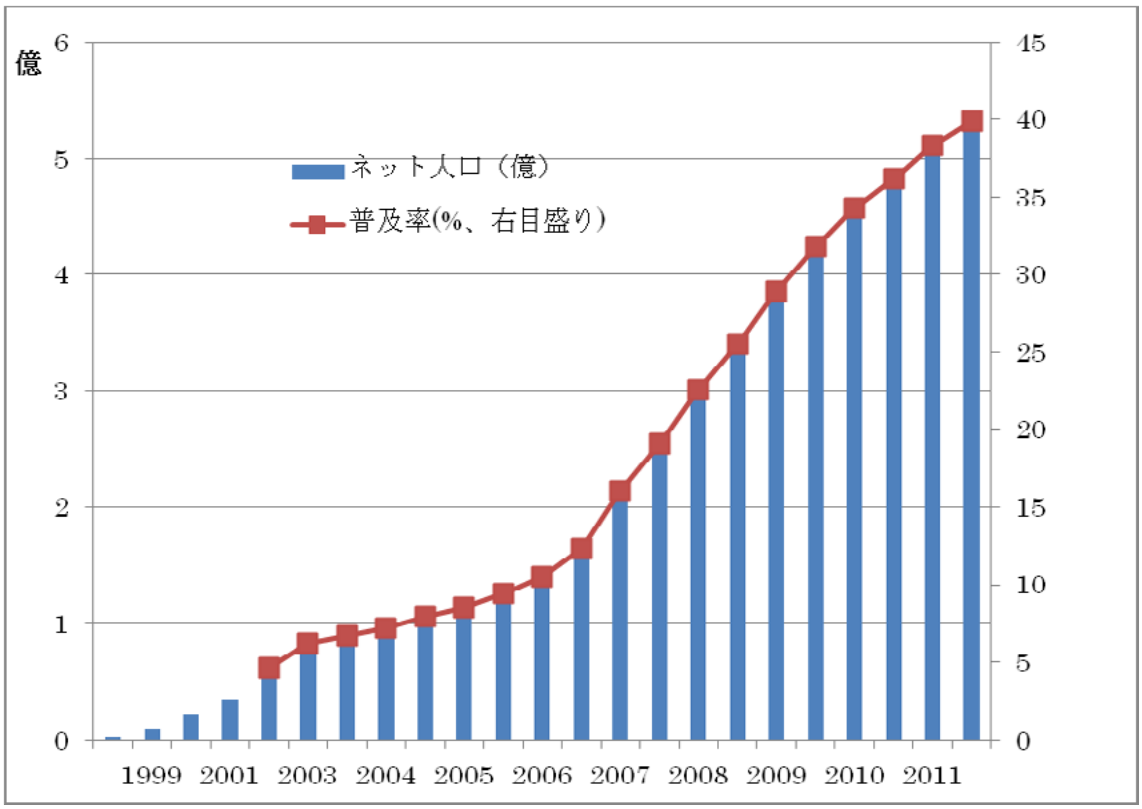


図1　ネット人口と普及率の推移

２．デスクトップからモバイルへ

モバイル端末からのインターネット接続ユーザーは、2007年1月に初めて報告され（2006年で1700万）、そこから直近（12年6月）の3億8800万へと、わずか5年余りで急拡大した。契機となったのは09年1月開始の3Gサービスで、09年だけで1億2000万のモバイル・ネットユーザーが誕生した（うち09年後半で7800万）。

ネットへのアクセス端末で見た場合、07年までは全ユーザーの9割以上が利用していたデスクトップPCは、直近では70.7%に下がり、モバイル端末からが同72.2%と初めて最多となった。（図2参照）

ネットを利用する場所といえば、網吧（ワンバ＝ネットカフェ）をイメージする人も多いだろう。燎原の火の如く広がった網吧によって、ネットは若年層に浸透した。しかし、08年には4割以上が利用していた網吧も、その後モバイル端末の普及によってその役割は縮小し、直近では25.8%にまで低下している。

３．最大の用途はＩＭ

以上のようなネット環境の整備やユーザー数拡大だけではなく、その用途についても中国的特色がみられる。もともと中国では、ネットを使ったメールのやり取りというのは主流ではない。携帯端末から携帯電話番号で発信する「短信（ショートメッセージ）」が一般的に使用され、ＰＣでは「即時通信」と呼ばれるＩＭ（インスタントメッセンジャー）でのやりとりが主流である（たとえばＱＱなど）。さらにモバイル端末の浸透によって、ＩＭの利便性も飛躍的に向上し、単なるチャットのツールではなく、プラットフォームとしての役割を担うに至っている。

2011年には、検索エンジン、音楽配信、ニュース、動画といった他の主要用途を上回り、ＩＭがネットユーザーに最も利用されているサービスとなった。直近（今年6月）ではＩＭの利用者数は4億4500万で、ネットユーザー中82.8%が利用している。

４．「博客」から「微博」へ

中国のネットの発展の中でもう一つの特筆すべき現象は博客（ボークー＝ブログ）と微博（ウエイボー＝マイクロ・ブログ。ミニ・ブログとも）の爆発的な普及である。博客は2002年にサービス開始後、04年に新浪（sina）、搜狐（sohu）といった大手ポータルサイトが参入して普及し始め、08年にはネット人口の半数を超える1億6200万人がブログページを持つに至った。

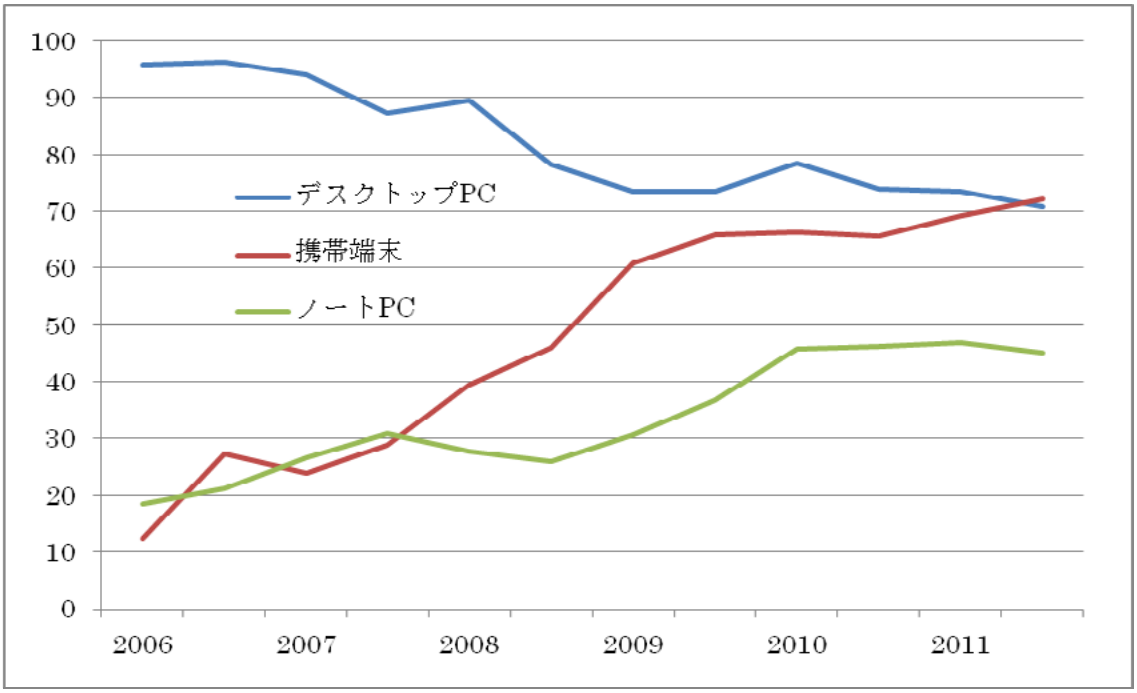


図2　インターネット接続方法別の比率の推移

一方、米国のTwitter（ツイッター）が2006年に誕生し、中国でも有象無象の中国版ツイッターが乱立した。しかし、09年7月のウイグル騒乱を機に、国内微博の閉鎖やSNSへのアクセス遮断が相次ぎ、その直後から新浪が微博サービスを開始し、半ば「公認微博」の地位を確立した。微博といえば一般に新浪を指すことも多い。

新浪は2010年を「微博元年」と命名、新浪の微博登録ユーザーは10月に5000万を突破し、翌11年は前半で1億3000万増加（新浪以外の微博を含む）の大ブレイクとなり、11年末で2億5000万へと急拡大した。しかし、今年に入ってからは急激に落ち着き始めている。Web2.0時代の代表的存在の博客から、微博へ代替わりが起きたと言える。（図3参照）

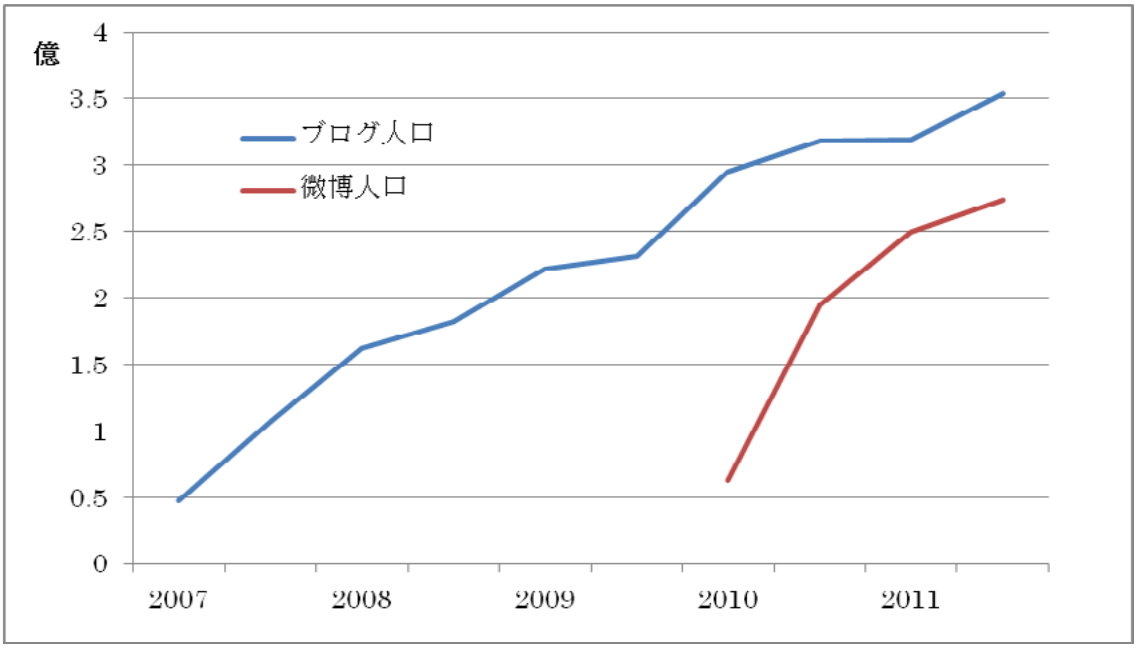


図3　ブログと「微博」利用人口の推移

産業経済論から中国のエネルギー問題の深層を照らす
2000年代に進んだ中国エネルギー問題の構造変化

• Profile •

堀井　伸浩 ほりい のぶひろ ●九州大学大学院経済学研究院 准教授

九州大学大学院経済学研究院准教授。慶應義塾大学法学研究科前期博士課程修了。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。07年4月から現職。この間、中国清華大学客員研究員（99～02年）、朝日新聞社アジアネットワーク（AAN）客員研究員、国際エネルギー機関（IEA）コンサルタント、東京大学社会科学研究所客員准教授、総合資源エネルギー調査会臨時委員、世界銀行短期コンサルタント、国際協力銀行エネルギー経済専門家を歴任。

世界のエネルギー需給を左右する中国の消費増

2010年時点で世界のエネルギー消費量の多い国を上から10カ国並べてみたのが下の図1である。中国はまさに、この2010年にアメリカを抜いて世界最大のエネルギー消費国となった。

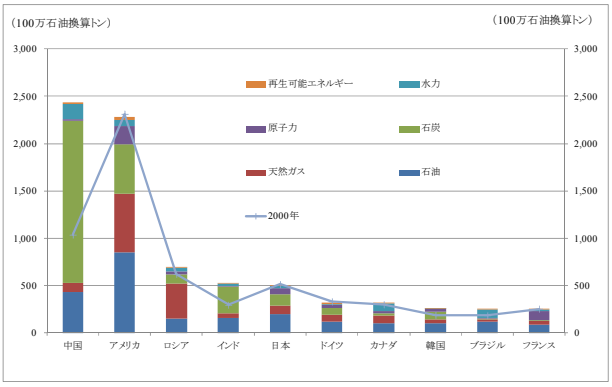


図１　世界の主要エネルギー消費国のエネルギー消費状況

（出所）BP, Statistical review of world energy full report 2011, http://www.bp.comより作成

2010年の消費量は棒グラフで示してあるが、図を見れば一目瞭然、中国とアメリカの両国が圧倒的な消費量となっていることが分かる。両国のエネルギー消費が世界全体に占める比率は39.3%に及ぶ。その後にロシア、インドが続き、我が国は第5位である。

折れ線で示したのは2000年時点での消費量の合計であるが、棒グラフと比較してみることで、中国の2000年代のエネルギー消費量の急増ぶりが際立っていることが理解できる。中国はこの10年間で、ドイツ以下、2010年時点の世界の第5位から第10位の国々のエネルギー消費量を足し合わせた量とほぼ匹敵するエネルギーの消費を増加させることとなったのである。

この10年間でエネルギー消費量の増減を区分けしてみると、減少したのはアメリカ、日本、ドイツ、フランスであり、増加したのは中国、ロシア、インド、カナダ、韓国、ブラジルであった。カナダはほぼ横ばいと言ってよい微増であるので、概ね先進国におけるエネルギー消費は成熟化し、安定ないし産業構造の転換などによって減少している一方、新興国でエネルギー消費が急増している構図と言える（韓国はOECD加盟国であるが、依然エネルギー消費量は高い成長率となっているのが例外的である）。その新興国の中でも増加が目立つのは、中国とインドの2カ国ということになる。

中印両国はしばしば一括りにされて取り上げられがちだが、両国のエネルギー問題を一緒にするのは、インドに対して少々気の毒という気がしてくる。インドの場合、元々2000年の水準が2億9580万トン（石油換算、以下同じ）に過ぎず（同年の順位は世界第7位）、2010年までに77.2%も増加したとはいえ、5億2420万トンに止まっている。

他方、中国の場合は、2000年の水準が10億3820万トンと既に相当の量に達していたのに加え、10年間で134.3%増加したことで24億3220万トンにまで消費量が巨大化することとなった。2000年時点ではアメリカの半分以下の水準であったのに、わずか10年で追い抜いてしまったという事実は、改めてこの10年間の中国のエネルギー消費の急増のすさまじさを感じさせるものである。

中国の石油輸入の増加

消費量の急増は、自ずと中国によるエネルギー輸入量を増加させることとなった。図2は中国の石油輸出入量および原油対外依存度の推移を示したものであるが、特に2000年代半ば頃から中国の石油輸入が大きく増大してきたことが分かる。

2000年から2010年にかけての期間、世界の石油貿易量の増加分の37.6%を中国一国の輸入増が占めることとなった。ちょうど中国の国有石油企業による海外進出、海外の石油開発プロジェクトの権益獲得の動きが活発だったこともあり、中国による石油買占めが、「爆食」（桁外

れの大食い）として、大いに注目を集めることとなった。

あまり認知されていないようだが、中国は世界第5位の産油国であり、しかも2000年から2010年にかけては年平均2.2%で増産してきた（世界の石油生産の成長率は0.8%に止まる）。しかし、それ以上に石油消費が急増したことで図2の通り、原油の対外依存度は増加の一途を辿り、1990年には3%未満であった同値は2010年には54.5%にまで上昇している。中国はいまや、過半の原油を海外からの輸入に依存している状況となっている。

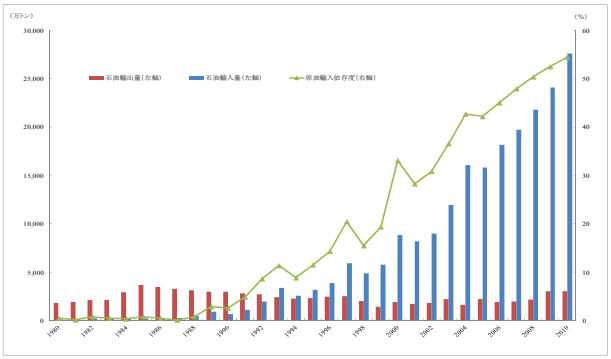


図2　中国の石油輸出入量および原油対外依存度の推移

（出所）中国海関（税関）資料より作成

エネルギー需給を支える根幹＝石炭さえも輸入に

近年、更に大きな変化があった。主要エネルギーである石炭についても、中国は輸入を急増させているのだ。図3の通り、2009年に石炭の輸入量は突如急増し、2010年も引き続き増加している。2011年には中国の石炭輸入量は1億8240万トンとなり、長年、世界最大の石炭輸入国であった日本の1億7522万トンを上回り、世界最大の石炭輸入国となった。

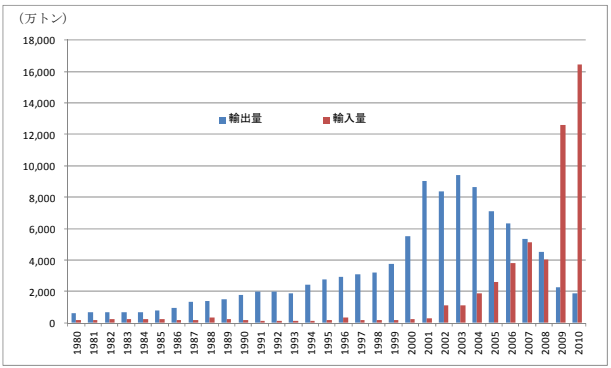


図3　中国の石炭輸出入量の推移

（出所）中国海関（税関）資料より作成

図3の通り、かつて2000年代前半には、中国はかなりの量の石炭を輸出しており、当時はオーストラリアに次ぐ、世界第2位の輸出国であった。大輸出国転じて大輸入国となることのインパクト、特にアジア市場に対する衝撃は無視しえない大きさがある。

中国のエネルギー問題をどう理解するか？

以上の状況を踏まえれば、今後の世界のエネルギー需給を考える上で中国が決定的に重要であるという点については、ほぼ異論のないところであろう。とりわけ、同じ東アジアに位置するエネルギー輸入大国である（また脱原発依存から火力への依存度が高まる）我が国にとって、中国のエネルギー輸入が今後どのように推移するかは重要な課題である。したがって中国がエネルギー消費を増加させ、輸入も急増させているという現象だけに関心をとどめるのではなく、その背景にある要因にまで踏み込んだ分析が必要である。

中国は、石油・石炭、そして天然ガスも今後数年間でかなりの量を輸入すると見込まれているが、そうした現象を引き起こしている原因についての分析がなければ、今後、中国が果たしてどの程度の量を輸入してくる可能性があるのかを見通すことはできないからである。

本連載は、特に中国国内のエネルギー供給力を左右する要因に注目し、エネルギー産業を産業経済論の観点から分析することで、今後の中国のエネルギー輸入がどのように推移していくのか、展望することを目的とする。

各エネルギーの需給を産業の観点から見ることで、様々な点で通説と異なる中国のエネルギー問題の構造が見えてくるはずである。一例を挙げれば、近年、石炭輸入は急増している一方、国内の生産能力にはかなりの供給余力が存在していた、という論点がある。

2009年以降の石炭輸入の急増は、国内価格に比して国際価格が割安となったため、主に沿海部で輸入が拡大したという構図が指摘できる。国内価格の上昇は、中小炭鉱の整理、大型炭鉱への統合政策や、産炭地の地理的分布の変化など様々な要因が関係している。

統計データをきちんと押さえ、現場でのフィールド調査も反映した分析を次回以降、展開していきたい。

［キーワード：エネルギー輸入　産業経済論　爆食　原油対外依存度　石炭輸入の急増］

主要著書・論文等

・中嶋誠一・堀井伸浩・郭四志・寺田強共著『中国のエネルギー産業－危機の構造と国家戦略－』重化学工業通信社、2005年11月15日、340頁。
・小島麗逸・堀井伸浩共編『巨大化する中国経済と世界』日本貿易振興機構アジア経済研究所、2007年5月、306頁。
・堀井伸浩編『中国の持続可能な成長－資源・環境制約の克服は可能か？』日本貿易振興機構アジア経済研究所、2010年3月、ix+287頁。
・堀井伸浩「中国の石油産業－市場経済化により変容する国家・企業関係－」（坂口安紀編『途上国石油産業の政治経済分析』第4章）岩波書店、2010年3月、pp.111-142。

・堀井伸浩「中国セメントメジャーのM&A戦略」（田島俊雄・朱蔭貴・加島潤編著『中国セメント産業の発展－産業組織と構造変化』第10章）お茶の水書房、2010年3月、pp. 285-321。
・堀井伸浩「「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」（『中国経済』2010年6月号）、日本貿易振興機構、2010年6月、pp.35-60。

「大卒インフレ」の悪循環

● Profile ●

遊川　和郎 ゆかわ・かずお　●亜細亜大学アジア研究所教授

亜細亜大学アジア研究所教授。1959年広島県生まれ。81～83年上海・復旦大学留学。84年東京外国語大学中国語学科卒。91～94年外務省専門調査員（香港）、94年(株)日興リサーチセンター上海駐在員事務所長、98年北海道大学言語文化部助教授、2001～03年外務省専門調査員（北京）。北海道大学大学院メディア・コミュニケーション研究院准教授、同教授を経て2012年4月から現職。著作（単著）に『中国を知る ビジネスのための新しい常識』（2007年、日本経済新聞出版社）、『強欲社会主義 中国全球化の功罪』（2009年、小学館101新書）、『中国を知る第2版 巨大経済の読み解き方』（11年、日本経済新聞出版社）。

1．大学受験者の減少

中国では毎年6月7日から全国大学統一入学試験（全国普通高等学校招生入学考試＝高考）が行われる。元々は7月7日から行われていたが、猛暑の最中で受験生が可哀そうだ、という保護者の訴えを受け、2003年から1か月前倒しされたものである。大学入試をめぐっては、シーズンになると、受験生親子をターゲットにした新ビジネスが流行ったり、大がかりな不正行為が発覚したり、その過熱ぶりは日本でもよく報じられている。

大学受験が特に過熱したのは、皮肉にも大学定員数が年々増加した時期と重なる。1998年に就任した朱鎔基首相（当時）が「科学技術と教育による国興し」（科技興国）を唱えたのに端を発し、1998年に108万だった大学入学定員数は、2012年では約700万となった。

一方で受験者数は、2008年の1050万をピークに4年連続で減少し、今年は約900万まで落ち込んだ（図1参照）。受験者数減少の最大の理由は少子化である。1990年には2354万人だった出生数は、2000年代に入り、1600万人前後で推移しており、18歳人口の減少傾向は今後も続く。90年に76万6000校あった小学校は、2011年には24万1000と、3分の１弱に激減している。

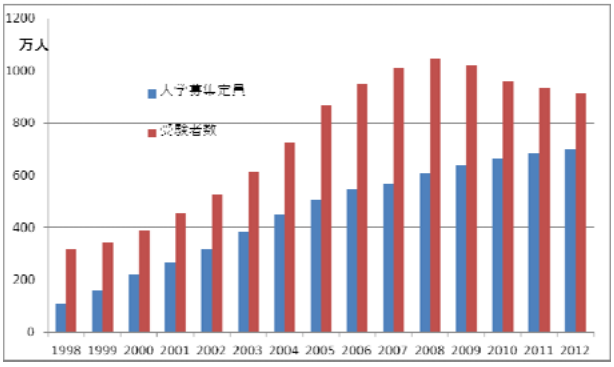


図1　大学募集定員と受験者数の推移

出典：「大学募集定員」は『中国統計摘要2012』、「受験者数」は各年の新聞報道から筆者作成

2．少子化だけではない原因

しかし、受験者数の減少は、少子化だけでは片付けられない。まず、新卒（現役）のみならず、既卒の受験も減少している、と見られている。中国の場合、既卒といっても、日本のような単なる受験浪人ではなく、様々な理由で大学進学を断念していた既卒者が、再び大学受験に挑戦する例も多いのだが、この部分の減少も目立ってきているという。受験制度やカリキュラムの変更で既卒に不利、ということも一因らしい。受験者の現役と既卒の割合は不明だが、湖北省で2010年、全受験申込者数49万2000人中、現役が40万4000人（＝全体の82%、既卒は8万8000人）というデータが一つの参考になるだろう。

次に、そもそも新卒の大学進学へのこだわりが薄れている。受験のプレッシャーに耐えかねて進学を諦めたり、学力不足を自覚して就職を志向したりするケースもある。一部の高校では、大学受験合格率の数字を上げるために、合格の見込みがない生徒には受験辞退を勧めることも普通の現象となっている。

統一入試を受験しても、自分の得点が希望大学の合格ラインに達していなければ進学そのものを断念したり、合格しても入学手続きをしなかったり、という例が珍しくなくなった。関係部門の統計によれば、2006年、合格通知を受け取りながら入学手続きをしない学生が40万人に上った。当初は選考基準が低い（入りやすい）大学がほとんどだったが、2010年には、一部の難関校でも「専攻が合わない」等の理由で入学辞退が発生しているという（武漢大学では63人が辞退）。入学辞退者の続出で、合格ラインが下がり、低得点での合格が話題になることもある。

3．進む大学離れ

こうした大学離れが進む理由について、「新京報」（2010年6月19日付）は、学力不足が8%、国内の大学より海外留学を選ぶが21%、大卒の就職難が65%に上った、と報じている。

留学については、近年、海外の大学に進学する留学生

が急増しており、2008年の18万人から2012年には40万人に達する、と見られている（図2参照）。

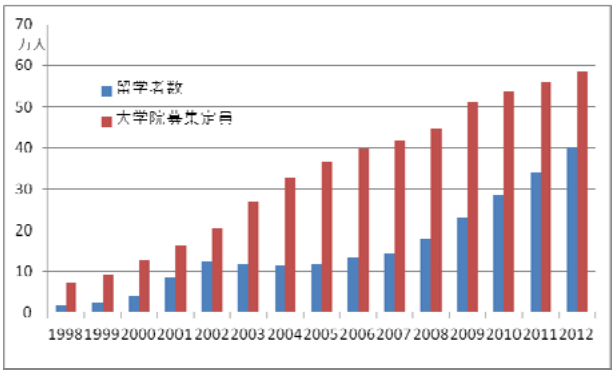


図2　中国からの留学生と大学院募集定員の推移

出典：『中国統計摘要2012』から筆者作成（2012年は新聞報道）

2009年、北京市西城区では大学統一試験の実際の受験者が応募時から100人少なかったが、留学に流れたものである。重慶市でも同様に約300人が中国での大学受験を止め、留学を選択した。

大都市では、海外留学に直結した「国際班」を設置する高校が次々と誕生している。江蘇省無錫市では、6校が「国際班」を開設しているように、より早い段階で留学を目指す動きが出ている。また、中国国内の受験競争が激しいため、保護者が子供の挫折を恐れて、「国際班」に入れたり、成績が芳しくない子供については国内での受験をあきらめ、最初から直接留学を目指したりするケースもある、という。さらに中国の大学ではこの10年、相次いで発覚した入学や学位授与に係る醜聞や論文の盗用、捏造疑惑など、大学の権威が失墜したこともある。

就職については、卒業半年後の就職率を見ると、2007年が87.5%、08年は85.6%、09年86.6%、10年89.6%と、表向きの数字はそれほど悪くは見えない（教育機関が発表する就職率は、大学院進学、海外留学者も分母分子に加えている）。卒業半年後の月収は、リーマンショック前（2007年）の2064元から、08年1890元、09年2130元、10年2479元と回復してはいる（1元＝約12.3円）。

多くの国民にとっては、そもそも大学進学にかかる経済的な負担が重すぎる、という問題がある。ここ数年、農民（農村出身者）の純収入は増加してきたが、年収6977元（2011年）という額は、大学1年分の学費と大差ない。もちろん、実際に大学に進学するとなると、寄宿生活費、教材代、交通費をはじめ、諸々の出費が必要となる。国際的にみても、国民の経済力と比べた大学の学費の水準は高い。その一方で、大学を出たからといって、得られる経済的なメリットは小さくなっている。大学定員拡大以前は、大卒者と、そうでない人の賃金は倍以上の差があったが、その差は明らかに縮小している。

近年は、卒業生の４割が大学の専攻と関係のない仕事に就いており、2010年に卒業した人の34%が、卒業後半年以内に仕事を辞め、60%は、卒業後半年の仕事が自分の期待していたものと違うと思っている、という調査結果もある。教育部は、2年連続で就職率が60%に達しなかった専攻に対し、入学定員の削減あるいは募集停止という措置に乗り出したが、「就職力」の低い学部は、それでもゾンビのように生き続け、簡単にはなくならない。

就職難の一部受け皿は大学院である。2012今年の大学院生の募集規模は58万4416人で、と10年前の2倍以上となり、博士が6万7216人、修士が51万7200人に上っている。規模は拡大しても、質の向上が置き去りにされる懸念を指摘する声も大きい。「大卒インフレ」（学歴インフレ）ともいえる悪循環の正常化に乗り出す時期に、中国は来ているようだ。

〈参考資料〉

王伯慶·門垚「中国大学畢業生就業状況分析与職業発展研究」「中国人力資源発展報告2011-12」社会科学文献出版社

熊丙奇「高考人数減少対高等教育的挑戦」「中国教育発展報告2011」社会科学文献出版社

［キーワード：大卒インフレ、高考、入学定員、受験者数、大学離れ、海外留学、国際班、就職難］

緊迫した交渉が続く生物多様性条約
―「愛知ターゲット」と「名古屋議定書」の進展を中心に―

• Profile •

渡邊　幹彦 わたなべ みきひこ　●山梨大学生命環境学部教授

本稿は、3回に亘り、生物多様性条約を解説する。第1回は、「生物多様性条約の概観」、第2回は、「生物多様性条約第11回締約国会議の結果」、第3回は、「生物多様性条約の今後の展望」である。これらを通じて、生物多様性条約とその動向について解説するとともに、注目すべき点について論ずる。中国が、この分野でどのような姿勢を保持しているかについて、適宜、触れる。

2010年に愛知県名古屋市にて開催された生物多様性条約・第10回締約国会議（CBD COP10）は、大変注目された。これにより、生物多様性という概念と生物多様性条約は、ある程度、一般に知られるようになった。COP10は、環境保護の歴史の中で、「愛知ターゲット」と「名古屋議定書」の採択という大きな成果を残して終了した。

ここで大事なことは、「生物多様性と生物多様性条約の重要性はそれ以後も変わっていない」ということである。これに反して、本年（2012年）10月にインドのハイデラバードにて開催された第11回締約国会議（COP11）は、COP10ほどには注目されなかった。生物多様性に関して、条約加盟国がなすべきことや、COPにて交渉すべきことは、多数残されており、その交渉の動向には、常に注意がはらわれなければならない。生物多様性条約は、温暖化防止条約である国連気候変動枠組み条約に比して、未だに、その知名度は低いが、気候変動枠組み条約と並んで重要な環境条約であることは決して変わることはないのである。

このような認識に基づき、第1回では、生物多様性条約そのものについて解説する。以下では、最初に、生物多様性及び生物多様性条約について説明する。次に、同条約が持つ2つの議定書について解説する。最後に、広く環境問題全般の観点から、他の条約との関係について触れる。

構成

第１回　生物多様性条約の概観

1　生物多様性条約とは
　1）3つの目的
　2）対象となる生物多様性
2　生物多様性条約の2つの議定書
　1）カルタヘナ議定書
　2）名古屋議定書
3　他の環境条約との関連
　1）リオ条約という考え方
　2）関連条約ITPGRなど

第２回　生物多様性条約第11回締約国会議の結果（予定）

1　COP11までの歴史的経緯
　1）2002年のWSSDと2010年目標
　2）歴史上重要であったCOP10
　3）COP10の成果としての「愛知ターゲット」と「名古屋議定書」
2　COP11の正式な議題
　1）正式議題
　2）愛知ターゲットの進捗のチェック
　3）名古屋議定書の批准状況のチェック
3　COP11が重要な局面となった議題
　1）「資源動員」と「多国間利益配分の仕組み」
4　交渉ポジションが見えにくい中国

第3回　生物多様性条約の今後の展望（予定）

1　資金の問題
2　先行するEU
3　進む海洋生態系の保全（災害防止との関連も）
4　気候変動と生物多様性の関連
5　今後の交渉への視点

第１回　生物多様性条約の概観

1　生物多様性条約とは

1）生物多様性とは

生物多様性条約が対象としている生物多様性について、簡単に説明する。生物多様性とは、端的には、「地球上のすべての生命のつながり」である。「生命」が、「生物多様性」の「生物」に該当し、「つながり」が、「生物多様性」の「多様性」に相当するととらえると、理解しやすい。

まず、生命とは、生物のことである。微生物、植物、動物である。生命は、絶滅危惧種だけではなく、すべての生物を指している。また、微生物が忘れられがちであるが、微生物は生命を考える上で大変重要である。

次に、「つながり」すなわち、「多様性」であることであるが、これは、ひとつひとつの生命がばらばらに生存しているのではなく、さまざまな生物がいることによって、お互いの生存が可能ということを意味している。単純に似たような生物が多数生きているということではなく、「異なった」「さまざまな」「いろいろな」生物が、地球上の、異なった環境で生息しているということである。この「異なった」「さまざまな」「いろいろな」ことが、「多様である」「多様性」と呼ばれ、この点が重要なのである。

この多様性は、3つのレベルに分類される。それらは、種の多様性、生態系の多様性、遺伝子の多様性の3つである。

まず、種の多様性であるが、多くの種を持つ生物が存在することは、一般に知られている。例えば、蝶という昆虫には、18,000種以上の種があり、生物として大変多様である。また、生物すべてについては、現在まで、約175万種が発見されており、未発見の種まで含めると、最大1億もの種が、地球上には存在していると推測されている。次に、遺伝子の多様性であるが、1つの種の中でも、異なる遺伝子をもった多様な生物が存在する。例えば、人間は、1つの種であるが、遺伝的な多様性により、青い目を持った人や、黒髪を持つ人など、遺伝的要因により多様である。最後に、生態系の多様性であるが、地球上には、寒冷の南極から、鬱蒼とした熱帯雨林まで、多様な生態系があり、それぞれの特徴に応じて多様な種が生存している。

この生物多様性について、生物多様性条約の公式な定義によると、「生物多様性とは、すべての生物の変異性をいうものとし、種内の多様性、種間の多様性および生態系の多様性を含む」（生物多様性条約公式ウェブサイト［2012］）とされている。尚、専門家によっては、生物多様性の定義に、生態系を含まないものもある。

2）生物多様性条約とは

生物多様性条約（The Convention on Biological Diversity; CBD）は、1992年に、リオ地球サミットにて採択され、1993年に発効した。2012年10月時点で、約190カ国が締約国となっている（下図参照）。

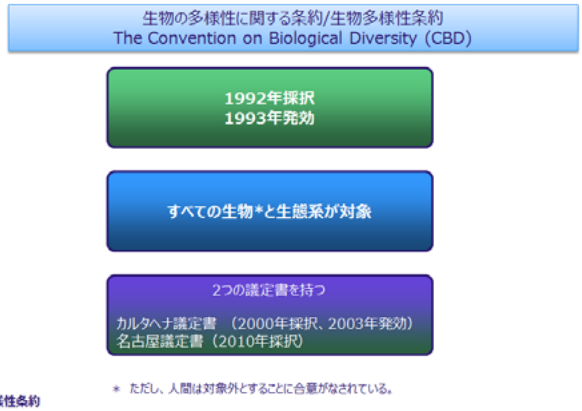


図 生物多様性条約

CBDには、3つの目的がある。それらは、①生物多様性の保全、②その構成要素の持続可能な利用、③遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分である（下図参照）。

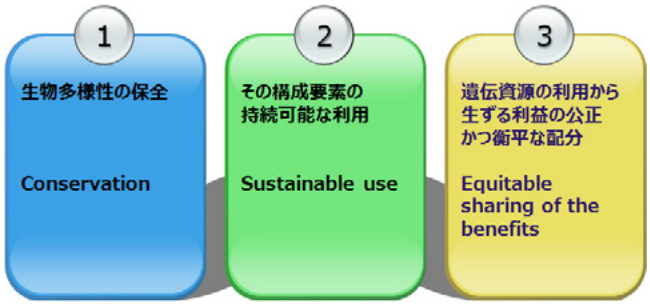


図 CBDの3つの目的

1つ目の「保全」がCBDの目的となるのは必然であろう。現在、生物多様性は、急速に失われており、史上6番目の大絶滅期にあると広く認識されている。この生物多様性の損失を防ぐために、生物多様性の保全が条約の目的となるのは、自明である。

2つ目の「生物多様性の構成要素の持続可能な利用」は、生物多様性が、単に「かけがえのない美しい自然」であるだけでなく、 生物遺伝資源をその構成要素として有しているという認識に基づいている。医薬品、食品（一般の食品、及び、特定保健用食品などの機能性食品）、化粧品、園芸品（花卉）、化成品などの製品は、すべて、もしくは多くの割合が、生物遺伝資源すなわち「生物」を原料としている。伝統的な生物組織（いわば血肉）や機能（発酵など）に加えて、バイオテクノロジー

の発達により、遺伝情報などが製品開発に利用されている。このような生物遺伝資源は、枯渇性資源（石油、石炭、鉱物資源など）と異なり、収穫を一定の範囲内にとどめれば、持続可能な利用が可能である。例えば、作物を採り過ぎないで次の収穫用に種子を残せば、また、漁獲量を制限して継続的に漁業ができるようにすれば、植物の収穫や漁獲は持続的に利用が可能である。この持続可能を目指すのが第2の目的である。

3つ目の「遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分」については、十全な解説が必要であろう。自然界には未知の有用な生物遺伝資源がまだまだ存在すると考えられている。それは、前述の医薬品から花卉までのすべての分野において、存在すると考えられている。ただし、生物遺伝資源が、最初から資源であるとわかっていて利用する場合の他に、ある程度、研究開発をしてから、有用であるとわかる場合が多数ある。このように、現在は有用であるかどうか分からないが、有用である可能性のある新たな生物遺伝資源を求めて、研究機関や企業は、国内のみならず海外に「アクセス」することがある。

例えば、A国の製薬企業が、新たな医薬品開発のためにB国の生物遺伝資源にアクセスする際には、資源提供者と資源利用者が相互に合意する条件で（Mutually Agreed Terms; MAT）、事前の了承を得て（Prior Informed Consent; PIC）、かつ、その資源から製品開発がなされた時には、公正かつ衡平な条件で利益を配分しなければならない（Fair and Equitable Sharing of the Benefits）。（下図参照）CBDは、これを条約の第3の目的としていて、条文でも規定している。尚、このアクセスと利益配分（Access and Benefit-Sharing）は、通称として、ABSと呼ばれる。

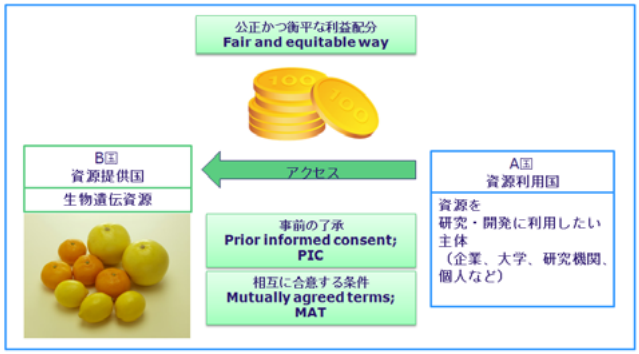


図　ABSの仕組み
出典）渡辺幹彦・二村聡編(2002),p.3に基づき筆者作成

これら3つの目的を達成するために、CBDは国際条約として、主に、第6条から第14条において、保全に関する規定を、主に、第15条から19条において、利用とABSに関する規定を記述している。種の保全においては、保護区の設定などを通じて、なるべく自然の状態（これをin situと呼ぶ）で保全することを推奨している。また、生物や生態系が多様であることから、一律の保全の方法を規定しないで、共通の目標のみを定期的に定め（第2回にて解説）、保全の詳細な目的や計画は、各条約加盟国が定めるようにしている。

2　生物多様性条約の2つの議定書

CBDは、これら3つの目的を達する上で、CBD自体の条文や規定に加えて、現時点で2つの議定書（Protocol）を持っている。カルタヘナ議定書と名古屋議定書である。

1）カルタヘナ議定書

カルタヘナ議定書（The Cartagena Protocol on Biosafety）は、2000年に採択され、2003年に発効し、遺伝子組換え生物（Living Modified Organisms; LMO）の管理を目的としている。同議定書は、特に、遺伝子組み換え生物の輸出入を管理することを通じて、バイオセーフティを確保している。また、生物多様性の損失の原因の1つが、侵略的外来種であるので、侵略的外来種としての遺伝子組換え生物が、生態系に悪影響を与えないようにすることによって、生物多様性の目的に貢献していると言える。

2）名古屋議定書

名古屋議定書（The Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity）は、2010年に採択され、発効はまだである。名古屋議定書は、ABSに関する規定を、CBD自体のものより、詳細にしたものである。しばしばみられる誤解として、「CBD自体には、ABSに関する規定がないので名古屋議定書ができた。」というものがある。まず、CBDは、その15条「遺伝資源へのアクセス（Access to Genetic Resources）」にて、明確にABSに関する根本的な規定を行っている。さらには、8条j項、16条、18条に関連規定がある。あくまで、名古屋議定書は、CBDの補助であり、CBDのABSをより詳細に規定したものなのである。名古屋議定書の特徴的な条項を以下の表に整理した。

表　名古屋議定書の主な内容

正式名称	生物の多様性に関する条約の遺伝資源へのアクセス及びその利用から生じる利益の公正かつ衡平な配分に関する名古屋議定書 The Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity

条項		内容
第1条	目的	遺伝資源の利用から生ずる利益の配分により、CBDの3つの目的に貢献
第2条	用語	遺伝資源の利用とは、その遺伝的な、及び、生化学的な組成に関する研究及び開発の、一方かその両方
第3条	範囲	CBD15条による範囲の遺伝資源と遺伝資源に関連した伝統的知識
第5条	利益配分	遺伝資源及び伝統的知識の利用等から生じる利益を、相互に合意する条件で公正・衡平に配分する。その実施のために、各国は適宜措置をとる。
第6条	遺伝資源へのアクセス	遺伝資源へのアクセスのための法的確実性、明確性、透明性のための措置
第7条	遺伝資源に関連する伝統的知識へのアクセス	遺伝資源に関する伝統的知識へのアクセスが、先住民・地域社会の承認・関与を得て相互に合意する条件で行われるような措置
第9条	保全及び持続可能な利用への貢献	遺伝資源の利用から生ずる利益を生物多様性の保全及びその構成要素の持続可能な利用に振り向けるよう奨励
第10条	多国間利益配分の仕組み	地球規模の多国間利益配分の仕組みの必要性及び態様（modalities)について検討（遺伝資源や伝統的知識が国境を越えて存在する場合）
第12条	伝統的知識	国内法に従い、先住民と地域社会の慣習法を考慮
第22条	能力構築	開発途上国による能力構築ニーズの特定
第23条	技術移転、協働、及び協力	研究及び開発のプログラムにおいて協働する

出典）炭田精造・渡辺順子(2010), pp. 107-108に筆者加筆.

3　他の環境条約との関連

1)「リオ条約」という考え方

CBDを、生態系と生物多様性を保全する条約として、より正確に理解するためには、他の条約との関連を考えることが不可欠である。というのは、生物多様性は、他の自然現象と関係があるからである。

国際連合は、リオ条約（The Rio Conventions）という概念を提唱している。リオ条約は、国連気候変動枠組み条約（UNFCCC)、国連砂漠化防止条約（UNCCD)、CBDの3つである。（下図参照）これらは、互いに関連しており、この関連性に考慮しながら保全を実施すれば、保全の相乗効果や、重複の回避がなされ、望ましい状態と言える。

例えば、生物多様性が豊かな森林の保全を考える。森林の保全は、同時に、温室効果ガスの吸収源の確保につながり、気候変動対策ともなりうる。さらには、森林は、水源涵養機能を持つため、森林の保全は、砂漠化防止にも役立つ。特に、気候変動との関連は、「REDD＋」として、昨今、大変注目されている。（この点について、本稿の第3回にて触れる。）尚、これらが、リオ条約と呼ばれるのは、CBDと国連気候変動枠組み条約は、どちらもリオ地球サミットの時に採択され、国連砂漠化防止条約もリオサミットの時にこそ採択されなかったものの、同サミットとほぼ時を同じくして採択されたからである。

2)「食糧及び農業に用いられる植物遺伝資源に関する条約（ITPGR)」との関連

CBDは、「食糧及び農業に用いられる植物遺伝資源に関する条約（The International Treaty on Plan Genetic Resources on Food and Agriculture; ITPGR)」と密接な関係を保っている。ITPGRは、食物として利用頻度の高い食物種を定め、これを利用した時の利益配分の方法を詳細に定めている。CBDが、すべての生物を対象としていることから、ITPGRの対象植物も管轄の対象となりうるが、ITPGRの対象となった植物遺伝資源については、ITPGRで優先

的に取り扱うとして、不必要な国際法上の交渉や重複を避けている。

以上、第1回では、CBDとは何かについて解説した。第2回と第3回では、遺伝資源を利用する際に、大変重要となるABSとその議定書である名古屋議定書を中心に、COP11での交渉の様子や今後注意すべき議題について解説する。

【参考文献】

[1] 炭田精造・渡辺順子（2011）「CBDにおけるアクセス及び利益配分－ABS会議の変遷と日本の対応」、磯崎博司・炭田精造・渡辺順子・田上麻衣子・安藤勝彦編『生物遺伝資源へのアクセスと利益配分－生物多様性条約の課題』信山社、pp. 107-10

[2] 生物多様性条約公式ウェブサイト
http://www.cbd.int/（2012年11月1日閲覧）

[3] 渡辺幹彦・二村聡（2002）『生物資源アクセス』東洋経済新報社

[4] 渡邊幹彦（2012）「生物多様性条約『名古屋議定書』への持続可能な制度としての期待」、環境経済・政策研究、Vol. 5、No.1、pp. 88-92

時代に合った社会管理を模索する中国

• Profile •

遊川　和郎 ゆかわ かずお ●中亜細亜大学アジア研究所教授

１．「社会管理」の時代

中国の新聞や文献で「社会管理」という用語を目にすることが増えたが、この語の歴史はそんなに長くない。中国の大手ポータルサイト新浪（Sina）で「社会管理」を含むニュースを検索すると、1998年に3件、2001年に3桁（262件）、2003年で2162件まで増え、同年には年末の共産党機関紙『人民日報』社説にも登場した。新型肺炎SARSの発生した年である。

どうやら、2002年の第16回共産党大会のキーワードとなった「小康社会」（比較的安定している社会）あるいは「和諧社会」（調和のとれた社会）といった言葉との関連性が強い。「和諧社会」というのは『現代漢語辞典』では第5版（2006年）で初めて登場した用語で（2002年版には収録なし）、胡錦濤体制になって生まれた概念である。

党の重要会議で使用されたのは、第16期四中全会（2004年9月）で採択された「党の執政能力強化に関する決定」中、一か所「社会管理体制の創新を推進」と触れられたのが最初で、六中全会（2006年10月）では「和諧社会構築に関する決定」の中で「社会管理を整備し社会の安定を維持する」という大項目が立てられた。

そして翌2007年の第17回党大会報告の中でも社会管理の強化が独立した項目として挙げられている。

その後、2011年には高いレベルで突破口となるいくつかの動きがあった。2月の省部級（省長・閣僚級）主要幹部が中央党校に召集され、胡錦濤総書記が冒頭、社会管理業務をさらに突出した位置づけとするよう講話を行った。5月には党政治局における会議、それを受けて7月は党中央と国務院の連名で「社会管理の強化・創新に関する意見（11号文件）」を公布し、その任務が明確にされた。2012年11月の第18回党大会においても、第17回同様に社会管理の重要性が強調されている。

表1.　社会管理の強化をめぐる党と政府の動き

04年９月	第16期四中全会で初めて「社会管理体制の創新推進」が採り上げられる
06年10月	第16期六中全会で「社会管理を整備し社会の安定を維持する」が提起
07年10月	第17回党大会で「党委員会の指導、政府の責任、社会の協同、大衆が参加した社会管理の仕組み」を提起
09年12月	全国政法工作テレビ電話会議で「社会矛盾の解消、社会管理の創新、公正廉潔な法の執行」を要求
10年10月	党中央政法委などが35市・県を全国社会管理創新総合モデルに
11年２月	胡錦濤総書記が省部級主要幹部向け社会管理創新セミナーの開講式で重要講話。「社会管理科学の水準を向上させ、中国の特色ある社会管理体系を建設しよう」
11年３月	「社会管理の創新と強化」が独立した項目で第12次5カ年計画に
11年５月	党中央政治局が社会管理問題の強化と創新について会議招集
11年７月	党と国務院が共同で「社会管理の強化と創新に関する意見」を公布
11年８月	党中央社会治安総合治理委員会が「党中央社会管理総合治理委員会」に組織換え
2012年11月	第18回党大会で「社会管理の強化と創新」を提起

（出所）「十六大以来社会管理工作大事記」（『人民日報』2012年5月18日付）を基に筆者作成

２．社会管理が必要とされる背景

2006年頃から党の文献で「社会管理」が用いられるようになったのは、「突発事件」「ネット時代」といった言葉に象徴される時代の変化がある。

中国では以前から、「上訪」（あるいは「信訪」）と呼ばれる独特の仕組みがあり、官の腐敗や横暴によって権利を侵害された市民や農民は上級政府機関を訪ね、直接陳情して、不平や不満をぶつけてきた。

しかし、格差拡大や権力者の腐敗、深刻な環境汚染、再開発事業に伴う強制的な立ち退きなどを背景に、社会に不満を持つ人たちが公然と抗議活動をする事態が各地に広がり、それが突然、大規模なデモや党・政府機関に対する襲撃に発展するようになった。また、携帯電話やスマートフォンといったモバイル機器の普及によって、告発文書や映像が、だれでも簡単にネットに貼り付けられるようになり、内陸部の国内問題も瞬時に全世界を駆

け巡る時代になった。

大規模な衝突につながる社会矛盾には、①農地の収用、②再開発に伴う強制立ち退き、③不動産管理にまつわるトラブル、④企業制度改革に対する既得権益層の反発、⑤医療を巡る紛争、⑥労使間の紛争、⑦環境汚染、⑧民間金融に絡む紛争、⑨よそ者と地元住民の対立、などが挙げられる[1]。

こうした社会矛盾が拡大したのは、ちょうどインターネットが急激に普及した時期と重なる。(2012年8月掲載記事「中国特色的インターネットの発展」参照、http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/1209/r1209_yukawa.html)。

それ以前にも、2003年のSARS騒動の頃からネットが危機を増幅したり、新たな危機的状況を生み出したりする事態が見られたが、2007年頃からそうした事例は珍しくなくなった。

例えば、児童や知的障碍者が誘拐され、山西省の闇レンガ工場に閉じ込められて、奴隷労働をさせられていた事件は、ネット上での告発が発覚の端緒となった。また、福建省アモイでは、携帯メールによる呼びかけで、化学工場建設反対の大規模デモが起き、事業が中止に追い込まれた（いずれも2007年6月）。ネットが世論を巻き込んで当局に対応を迫るケースは近年、日常的に発生している（表2参照）。

表2. ネットで増幅する危機（2011～12年）

発生年月	事件名	概要
11年6月	郭美美事件	「新浪微博」で贅沢な暮らしぶりをひけらかした「郭美美Baby」が「中国紅十字会商業総経理」を名乗ったことから炎上
同年7月	温州列車追突脱線事故（浙江省）	列車事故発生後、人命救助より証拠隠蔽を優先し、真相究明に消極的だった当局の対応に非難が集中
同年9月	烏坎村事件（広東省）	陸豊市烏坎村で、書記の腐敗と専横に怒った農民が大規模な抗議活動を行い、書記を追放。ネット上での情報拡散により、内外から注目される
同年10月	仏山女児ひき逃げ事件（広東省）	仏山市で2歳の女児がひき逃げされ、通行人十数人がそれを無視して通り過ぎる様子が監視カメラに録画されていた。その映像がテレビやネット上で流れ、道徳心の欠如として国際的な話題に
12年7月	什邡（四川省徳陽）、啓東（江蘇省南通）、寧波（浙江省）事件	いずれも環境汚染を心配して工場建設に反対する住民が、集団で地元政府に抗議し、いずれも計画が撤回された（寧波は10月）。

（出所）新聞報道を基に筆者作成

3．ネット時代の行政

こうした中、政府が自らネット上での情報発信を強化する動きが見られる。新浪微博が認証した政府機関及び政府職員の微博（ミニブログ＝中国版ツイッター）は2012年6月10日現在、4万5021アカウントに上る。内訳は政府機関2万5866、党・政官僚1万9155である。

上海市政府は、政務情報の速やかな発表、役に立つ情報提供による行政サービス向上を図るため、2011年11月、政務ミニブログ「上海発布」を新浪網、騰訊網、東網、新民網に開設した。

「上海発布」のフォロワー数は、これら四つのミニブログを合わせると360万人を超え（2012年7月10日現在）、三つの指標（アクティブ度、伝達度、カバー率）からなる新浪微博のミニブログ影響力ランキングで1位となっている。

地方政府が開設した政務ミニブログのアカウント数は、江蘇（2906）、浙江（1899）、広東（1805）が上位に並ぶ。

頻発している衝突事件は、政府と住民が利害対立の当事者となる時もあれば、利害が対立する複数の当事者の間に政府が立って、暴発を抑える役回りとなる時もある。政府が行う諸々の意思決定の中に、国民、住民の声をどのように取り入れるのか、また、政府の意思決定プロセスをどのように透明化させるのかは、緊急性のある重要な課題である。

問題を根本的に解決しようとすれば、①「良い政府」から「良い統治」（グッドガバナンス）に転換する、②政府の役割の重心を経済発展から民政の改善や社会の公正維持に移す、③政府の権限を法的に制約し、公民社会（市民社会）を建設する、といった政府の機能転換が求められる[2]。

ただし、現状では、矛盾が広がるスピードに政府の機能が追つかず、後手に回っている感が否めない。社会管理の試行錯誤は今後も続くだろう。

（参考資料）『中国社会管理創新報告』（社会管理青書）社会科学文献出版社（2012年9月）

[1] 上記参考資料19～22頁
[2] 上記参考資料31～32頁

中国・日本科学最前線　－　研究の現場から　－　2013 年版

2013 年 3 月 18 日発行

編　　集　　独立行政法人　科学技術振興機構
中国総合研究センター
〒102-0076
東京都千代田区五番町７　K's 五番町 10 階
Tel.03-5214-7556　Fax.03-5214-7385
URL: http://www.spc.jst.go.jp

ＩＳＢＮ９７８－４－８８８９０－３７１－４
2013　Printed in Japan

独立行政法人
科学技術振興機構　中国総合研究センター
China Research Center(CRC),Japan Science and Technology Agency
http://www.spc.jst.go.jp/

中国・日本科学最前線

―研究の現場から―

2013年版

独立行政法人 科学技術振興機構（JST）中国総合研究センター