



国立研究開発法人
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency

《発行》

国立研究開発法人 科学技術振興機構 アジア総合研究センター準備・承継事業推進室
〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ5F
TEL 03-5214-7556 <https://spc.jst.go.jp/>

第140回 研究会

詳報

■ 研究会開催報告 ■

「米国の新興宇宙企業を猛追する中国の宇宙開発」

日 時：2021年2月19日（金）15：00～17：00

開催方法：WEBセミナー（Zoom 利用）

【講演概要】

中国は昨年長征5型ロケットにより火星探査機「天問1号」の打上げと月探査機「嫦娥5号」によるサンプルリターンに成功し、着実に実績を積み重ねた。一方、米国では新興企業のスペースX社が再使用型打上げロケットをフル活用し、年間840機近い自社の通信衛星を打ち上げただけでなく、国際協力で月探査を行う米国主導のアルテミス計画でも主要なプレイヤーになりつつある。中国は3年連続で打上げ回数が世界最多となったが、スペースX社に対しては再使用型ロケット開発や有人月探査などでこれから猛追していく立場にある。着陸技術を中心に中国の宇宙開発の歴史と現状を整理し、今後の展開を予測した。

【講師紹介】辻野 照久（つじの てるひさ）氏

元宇宙航空研究開発機構国際部 参事

<略歴>



1950年大阪府出身。大学教養課程で中国語を履修。1973年東北大学工学部卒業、日本国有鉄道入社。1986年より宇宙開発事業団（現宇宙航空研究開発機構：JAXA）。2011年よりJST/CRDS 特任フェローとして世界の宇宙技術力比較調査や中国の天体望遠鏡LAMOSTの現地調査、タイ及びブルネイの科学技術情勢の調査などを担当。2016年3月にJAXA勤務期間満了。現在はJAXAによる世界の宇宙開発動向調査の一部業務を受託して自宅で現職当時とそう変わらない情報収集・発信環境を維持している。

1. 講演録	2
2. 講演資料	12

1. 講演録

【開会】

(司会)

これより第140回中国研究会を始めさせていただきます。

本日の研究会は元宇宙航空研究開発機構国際部参事の辻野照久氏にご登壇いただく。講演タイトルは「米国の新興宇宙企業を猛追する中国の宇宙開発」である。ご経歴の詳細は割愛させていただきます。それでは辻野先生よろしく申し上げます。

(辻野氏)

本日は中国の宇宙開発動向の最新の状況、全容をできるだけわかりやすくお伝えしたいと思っている。今までに平成22年、27年、29年と、3回ほどJST中国研究会で講演させていただいた。そのたびに中国の宇宙開発が大変発展して、だんだんと幅広い内容となってきた。今回は、前回の講演時より随分と中国の宇宙開発が進んでいるので、その状況をお話したい。

中国は昨年、長征5型ロケットによる火星探査機「天問(Tianwen)1号」の打ち上げや、「嫦娥(Chang'e)5号」による月面からのサンプル・リターン(試料回収)に成功し、着実に実績を積み重ねている。

一方、アメリカでは新興宇宙企業の「スペースX」社が、再使用型打ち上げロケットをフル活用し、年間840機近い自社の通信衛星を打ち上げただけでなく、国際協力で月探査を行う米国主導のアルテミス計画でも主要なプレーヤーになりつつある。中国は3年連続で打ち上げ回数が世界最多となったが、「スペースX」社に対しては、再使用型ロケット開発や有人月探査などでこれから猛追していく立場にある。2049年までに中国はどんな宇宙開発活動を展開するのか、予測を行いたいと思う。

1. 「両弾一星」から「小康社会」へ

最初に、中国はなぜこんなに熱心に宇宙開発をしているのかとよく聞かれるが、その一番最初は「両弾一星」というスローガンから始まった。1950年代に核爆弾とミサイル、そして人工衛星を意味する「両弾一星」という国威発揚のスローガンの下で宇宙開発を開始し、今から50年以上前の1970年にソ連や米国、フランス、日本に次いで、日本に2カ月遅れて、世界で5番目となる自力での人工衛星の打ち上げに成功した。

近年は宇宙開発が国家経済の発展や国民生活の向上など実利面でも役立ち、総合的な国力を高める重要な手段であると認識して、2020年までに「小康社会」を実現することを新たな国威発揚の目標とした。2020年の11月に小康社会が予定通りほぼ達成されたとして、今後は2025年までに全面的に小康社会の実現を目指すという方針を発表した。

このような中国の宇宙開発をいったい誰がやっているのかというところで、中心的な組織、全体の組織の枠組みについて最初にお話します。

行政組織で一番中心になっているのは工業・情報化部(MIIT)という省に相当するところで、この下に国防科技工業局と国家航天局があり、この2つが宇宙関係の最も重要な役割をする局である。人事的には、工業・情報化部の副部長、日本で言えば副大臣にあたる方が、国防科技工業局長と国家航天局長の仕事の3つを兼ねていて、宇宙関係では正にその人がトップである。

軍組織では、中国共産党の軍として人民解放軍があり、その中で設備を担当している所の中に宇宙関係の北京航天飛行管制センター(BACC)がある。実際にロケットを打ち上げる射場は酒泉、西昌、太原、文昌の4カ所にある。

先程の行政ラインでは省の下に2つの国有企業(集团公司)があり、1つが中国航天科技集团公司(CASC)、もう1つが中国航天科工集团公司(CASIC)である。中国航天科技集团公司(CASC)の下に最も重要な大型生産研究院として、中国運載火箭技術研究院(CALT)と中国空間技術研究院(CAST)の2つがある。また、CASCとCASICは集团公司なので、この下にたくさんの企業がある。研究院もあるが他に商業的な事業部門もあり、日本で言えば社団法人のような組織も入るなど、たくさんの組織がある。

地方政府にも宇宙開発をやっている所が出てきて、多くの事例の中で特に目立っているのは吉林省で、長光衛星技術有限公司が「吉林」という衛星を既に12機打ち上げていて、たいへん早いピッチで衛星を打ち上げている。他にもこれから打上げるといふ所がたくさん名乗りを上げている。

大学でも衛星打ち上げを行っていて、1つは教育部所管の大学で、たくさん数がある。それから工業情報化部所管の大学があり、北京航空航天大学、南京航空航天大学といったところなどが宇宙開発に関わっている。また、中央軍事委員会の所管になっているのが国防科技大学である。そして中国科学院所管の中国科学技術大学である。衛星の打ち上げ実績のある大学はかなり増えている。北京理工大学はISS(国際宇宙ステーション)に実験装置を搭載した実績もある。

2. 中国の宇宙開発の足跡

中国は1970年から20世紀最後の30年間で累積衛星数は63機である。その中で、主に大型ロケットの開発・静止通信衛星の開発・回収式衛星による写真撮影・各種の技術試験などを行ってきた。

21世紀に入って2001年から2010年までの間に88機の衛星を打ち上げ、累積151機で日本と同数になった。その間に、ミッションは有人宇宙船や航行測位衛星に広がった。

2011年から2015年まで、第12次5カ年計画の間に131機の衛星を打ち上げ、日本を大きく引き離れた。日本はこの間46機の打ち上げで中国の3分の1程度である。

2016年から2020年までの第13次5カ年計画の間に、なんと314機打ち上げて累積衛星数は596機となった。日本はこの5年間に60機なので中国は5倍のスピードで打ち上げたことになる。

現在は第14次5カ年計画の最初の年が始まったばかりで、2021年2月15日までに中国は6機打ち上げている。そのうち1機はなぜかニュージーランドから打ち上げている。これに対し日本は1機だけで、これはFalcon9で打ち上げたものである。

中国の年間衛星打上げ数と累積数の推移をグラフにしてみた。青い線が毎年の打ち上げ回数で、2018年が最多の95機であった。これを累積していったのが赤い線で、最初の頃はほとんど増えていないように見えるが2010年に151機に達した。この151機は日本と同数であった。日本は今、300機に達しておらず250機程度で、それと比べると中国はこの間に3倍、5倍というスピードで打ち上げて来て、今はもう600機を超えているという状況である。

次に、人工衛星をミッション別に、宇宙輸送、地球観測、通信放送、航行測位、宇宙科学、有人宇宙船、月・惑星探査機で内訳をみていく。今回、技術試験衛星は省略させていただく。2015年までは累積282機で、一番多かったのは地球観測衛星、次が通信放送衛星、そして航行測位衛星という順になっている。もちろん技術試験衛星はかなり多い。その後5年経過して2020年末の時点でみると、2倍以上の累計596機になっている。地球観測衛星は倍以上の213機、通信放送衛星も1.5倍以上の85機、航行測位衛星は2倍以上の59機、その他、宇宙科学衛星も有人宇宙船も少しずつ増えている。主に増えているのは実用衛星と言われる地球観測衛星、通信放送衛星、航行測位衛星の3つである。

中国の累積衛星数は、ロシア、米国に次ぎ世界第3位である。昨年6月3日時点でロシアより55機少なかったアメリカが6月4日に「スペースX」で一気に60機打ち上げたので、打ち上げ数の最も多かったロシアをアメリカが5機上回ることになり、その後も圧倒的な私たちで数を増やし、今やロシアは再度世界一になることはありえない状況になっている。UCS（憂慮する科学者同盟）が不定期に発表するデータベース、昨年8月に発表された最新のデータでは、中国の運用中の衛星数は384機、アメリカが1,440機運用し、大部分が「スペースX」で打ち上げた衛星である。ロシアは175機で、昔はロシアと中国がほぼ並んだといっただけでもかなり皆が驚いていたが、今や中国はロシアの倍以上になっている。この累積衛星数で中国の約600機というのはどうなのかということ、「宇宙切手の展示室」という私が管理して

いるホームページを見ていただければ分かると思うが、去年12月末時点でアメリカが4,192機で7倍の差があり、ロシアが3,500機で5倍の差がある。去年の6月時点ではロシアの方が多くアメリカの方が少なかったが、アメリカに一気に600機も差をつけられたという状況である。

（1）宇宙輸送システムーロケットと衛星の段階的大型化ー

次に中国の宇宙輸送システムの話をする。最初は小型衛星から始まって1970年に「長征1」ロケットで「東方紅1号」という173kgの衛星を打ち上げた。次に1975年に「長征2A」ロケットで中国の衛星としては4号機となる「返回式衛星（FSW）」という1,800kgの衛星を打ち上げて、写真フィルム回収に成功した。1984年には「長征3」という低軌道に5,000kgの衛星を投入できるという非常に強力なロケットで「東方紅2号」という1,340kgの通信衛星を打ち上げ、静止化に成功した。

1996年には「長征3B」というブースターを4個付けている中国最強のロケットで「Intelsat 708」という4,180kgの衛星を打ち上げたが失敗した。次のフィリピン「Agila 2」衛星3,775kgは成功した。2015年に「長征5」ロケット初打ち上げで技術試験衛星「実践17号」の静止化に成功した。この衛星は6トンくらいであったが、「長征5」ロケット自体の設計目標としては静止軌道には13トンの衛星、長征5Bは低軌道に23トンと重い衛星を打ち上げることができる。2020年、昨年の暮れに「長征8」ロケットの初打ち上げを行った。これが太陽同期軌道（SSO）投入能力4.5トンと中量級で、このロケットがもしかすると今から中国で主力になるかもしれない。突然出てきたような感じがしたロケットである。それから、今開発中の「長征9」ロケットは低軌道に100トンの投入能力があり、有人月探査にも対応できると思われ、大型深宇宙探査など、これから火星を目指していく上で必要になっていくと思う。

中国のロケット打ち上げ回数について整理すると、昨年暮れまでで383回の打ち上げを行っていて、大部分が「長征」ロケットである。「長征」ロケットは合計357回で、酒泉、西昌、太原、文昌の4つの射場から打ち上げている。「長征1型」はもう打ち上げは終わってしまったが、「長征2型」は今も運用されているし、「長征8型」まで打ち上げ、今、「長征11型」という固体燃料のロケットまで9種類ある。「長征2型」でいうと、酒泉で打ち上げたり、西昌、太原で打ち上げたり、目的や衛星の種類に応じて使い分けている。383回のうち26回は長征以外のロケットで打ち上げている。最近、「快舟」というロケットがよく打ち上がっているが、去年は2回続けて失敗し、しばらく飛行に成功しておらず停滞気味である。あとは民間企業がたいへん盛んにロケットを開発し、双曲線ロケット、捷龍ロケット、穀神星ロケット、

朱雀ロケット、OS-M ロケットといったいろいろなロケットが競い合い、他の会社もあり、いまからどの会社が一番伸びてくるか注目されている。

先ほど述べた「長征 3B 型」ロケットの失敗は、どんなことが起こったかという、打ち上げ直後から機体が傾き、地上すれすれをほぼ水平飛行して墜落し 6 名が死亡した。この原因はずっと分らなかったが、2016 年にロシアで同様な打ち上げ直後の墜落という大事故が発生し、その様子が中国の事故と同じで、原因は角速度センサーが上下逆に取り付けられていたためと判明した。これによって米国製の静止衛星の打ち上げは翌年 1997 年のフィリピンの衛星が最後となり、その後、米国の低軌道衛星「Iridium」は長征 2C により 6 回で 12 機を打ち上げたが、以後は中国製の衛星打ち上げが主で、例外的に欧州製衛星も打ち上げている。

(2) 地球観測衛星

中国で最初の地球観測衛星は、宇宙から撮影した画像のフィルムを地上で回収する「返回式衛星 (FSW)」である。今のように電波でデータ転送するのが当たり前と思っているかもしれないが、昔はフィルムで回収していた。電波でデータ伝送する地球観測衛星はブラジルと共同の「CBERS-1」の 1999 年打ち上げから始まった。

2015 年 10 月に、国家発展改革委員会、財務部および国防科技工業委員会 (SASTIND) が、2015 年から 2025 年までの国家宇宙インフラ、地球観測衛星の他に通信放送衛星および航行測位衛星も含め整備計画を発表した。地球観測衛星は、観測対象によって陸域・海洋・大気に分類して、それぞれにミッションの異なる複数の衛星群を 2025 年までに整備していくという計画である。このほかに地震電磁波観測衛星や CO2 (二酸化炭素) 観測衛星などの専用衛星を打ち上げた。毎年打ち上げられ、世界有数の衛星群となっているのは、民生用では「高分 (GF)」23 機、軍事用では「遥感 (YG)」53 機である。

返回式衛星 (FSW) について付け加えると、衛星を地上に燃え尽きない状態で中身を回収することは非常に難しいことであったが、周恩来首相から「必ず中国国内に着陸させること」と指示があった。これは、例えば衛星が外国に落ちて損害賠償が起きたり、あるいは中国の技術が漏れてしまったりすると困ることだと思う。大気圏に再突入させるために軌道上で逆噴射するレトロエンジンに点火して着陸態勢に入ることになる。1974 年の最初の衛星打ち上げは「長征 2A 型」ロケット自体に失敗があつて成功しなかった。1975 年に初めて銀塩フィルムの回収に成功したが、これは成功と言うものの、実際は冷や汗ものの奇跡的な成功だった。ちなみに、衛星回収を描いた切手も発行されている。その後も、川底に沈んだり、山中に落下することを避けるため 1 日長く周回させたり、ロケットの暴走で 1 日早く落下させたり

し、1993 年にはレトロエンジン噴射ミスがあり制御不能となり、太平洋に自然落下して回収に失敗した。

返回式衛星の打ち上げ記録を見ると、1 号機では落下した場所は貴州省六枝地区という場所で、炭坑夫が昼食中に火の玉の落下を発見して通報し、予定地から 400km 離れた場所で何日かかけて回収し成功ということになっている。他にも予定外の状況がいろいろあったが、だいたい成功している。

地球観測衛星の種類別・期間別打ち上げ数をみると、2015 年までは 96 機、第 13 次 5 カ年計画期間の 2016 年から 2020 年は 117 機である。どの種類が増えているかというと、「高分」衛星とリモートセンシングを意味する「遥感」衛星で、陸域観測、海洋観測、大気観測の 3 つの分野でそれぞれ衛星を打ち上げてきている。民生用地球観測衛星の整備計画、分類を見ると、陸域では光学の解像度とレーダーなど観測機器で 3 つに分けている。海洋観測は海色の観測や、海洋動力学的の研究をするといった目的で 2 つに分けている。大気観測は天気観測、気象観測と、ミッション別に 2 つに分けている。専用衛星は陸域でいうと地震の発生を予測するような電磁場観測、海洋では海洋環境監視観測、大気では二酸化炭素などの大気成分観測などがある。

(3) 静止通信衛星

1986 年に東方紅 2 型バスを改良した東方紅 2A 型バスで静止通信衛星「東方紅 2 号 (または試験同歩通信衛星 1 号)」を打ち上げ、最初の実用静止通信衛星となった。姿勢制御はスピン安定式を採用していた。これは記念切手にも描かれている。その後 1994 年に打ち上げた「東方紅 3 号」は、東方紅 3 型バスに中継器 (トランスポンダ) を 24 本搭載し、三軸姿勢制御方式の本格的な静止通信衛星となり、太陽電池を一定方向に向けられる形になっている。更に設計寿命を 15 年に倍増した東方紅 4 型バスを開発し、2006 年に鑫諾 (Xinnuo) 衛星通信有限公司 (Sinosat) の「鑫諾 2 号 (Sinosat-2)」に初めて適用し世界標準に到達した。2017 年には長征 5 ロケット (試験 2 号機) で世界最大クラスの東方紅 5 型バスを用いた「実践 18 号」を打ち上げたが失敗に終わった。長征 5 ロケット (試験 3 号機) は 2019 年に「実践 20 号」の打ち上げに成功し、これでようやく長征 5 型ロケットが運用段階に入った。通信放送衛星は 2015 年までの 45 年間と 2016 年からの 5 年間で比べると、最近では低軌道の衛星がたくさん打ち上げられている。商業通信衛星は、中国航天科技集团有限公司 (CASC) に属する中国衛星通信集团有限公司 (ChinaSatCom) が軍事用も含めて運用している。香港企業の亜太衛星公司 (APStar) および亜州衛星公司 (Asiasat) は 1997 年の香港返還以後は中国企業となり、中国の衛星としてカウントしている。アジア放送衛星 (ABS) も香港に地域本社を置いて商業通信を行っている。本拠はバミューダで

ある。小型衛星群によるインターネット通信やIoT（モノのインターネット）通信を構築しようとする企業が増加している。地方政府も支援している。通信の中で将来的な話として、宇宙経由の量子暗号通信の実験を中国はいち早く行っている。2017年8月には、量子科学実験衛星「墨子（Mozi）」（旧称 QUESS）を経由して7,600キロ離れた中国とオーストリアの間で衛星から地上への量子鍵配送と地上から衛星への量子テレポーテーションの実現に初めて成功した。普通のケーブルでは、せいぜい20キロから30キロが限界で100キロなどとても届かないが、宇宙を経由すると、大気層を上昇・下降する約20キロを通り抜ければ空気が無く、電波がどこまでも飛んでいくことを利用して宇宙で遠距離の量子暗号通信を行ったということである。これが将来的には量子通信ネットワークを構築し、将来、世界の通信ネットワークの主流となる可能性がある。

（4）航行測位衛星

航行測位衛星は「北斗（Beidou）」という航行測位システムで、2012年12月にアジア・太平洋地域のユーザ向けに無料のPNT（測位・航法およびタイミング）サービスの提供を正式に開始し、2020年に北斗3型衛星35機の衛星群を完成させた。北斗衛星をたくさん打ち上げて運用しているという切手も発行されている。北斗3型衛星は35機あり、その内訳は、周回衛星27機、静止衛星3機、軌道傾斜角付き地球同期衛星5機（準天頂衛星）である。航行測位衛星の機種別打ち上げ数について年を追ってみると、今まで59機打ち上げて、初期の衛星はだんだんと運用を終了しているが、最近打ち上げた衛星は全て順調に稼働し、現在51機が運用中である。準天頂衛星は北斗2Iと北斗3Iで12機ある。先週、どの位置にあるかデータを調べて地図上に描いてみると、8の字を逆に書くような形で、中心経度の両側の狭い幅を持って回っている。中心が東経95度の西側と、中心が東経115度の東側の2組があって8の字を書いて飛んでいる。東側是北京と香港をほぼ結ぶ線の上を飛んでいる。3基あれば準天頂衛星の役割を果たすが、東側は北斗2型をまず3機打ち上げて、3型を3機追加し、性能の高い衛星と低い衛星とセットで運用している。北斗2-I7号機も1つだけあるが、これは何か試験的な意味があったのかと思う。西側は5機で、2型が3機、3型が2機しかないが、これは日本の準天頂衛星システム「みちびき」をあてにしているのではないかと私は見ている。

（5）宇宙科学—天文観測衛星

2017年6月15日に打ち上げた「慧眼（HXMT）」という硬X線調制望遠鏡が中国で初めての天文観測衛星である。主要なミッションは、高エネルギー天体の発見やブラックホールの観測などである。衛星バスは中国空間技術研究院（CAST）が開発し、X線望遠鏡は中国科学

院高エネルギー物理研究所（IHEP）と清華大学が共同で制作した。

最初の宇宙探査衛星は「悟空（DAMPE）」という暗黒物質粒子を探索する衛星である。DAMPEは、中国空間科学研究所（NSSC）と上海小型衛星工程センターが開発したもので、2015年12月17日に打ち上げられた。翌年3月には軌道上試験を完了し、中国科学院国家天文台（NAOC）に属する紫金山天文台（江蘇省南京市）へ引き渡された。ミッションは、暗黒物質（ダークマター）粒子の研究、宇宙線の起源の探査、高エネルギーガンマ線観測など。運用期間は3年で、最初の2年間で全天観測を行い、その後定点観測を行っている。

重力波観測衛星の「太極（KX-9）」を2019年9月、重力波観測ミッションの1号機として打ち上げている。更に、「怀柔（GECAM）」というIHEPが開発した重力波対応高エネルギー電磁波全天観測衛星を2020年12月に2機同時に打ち上げた。

計画中の宇宙科学ミッションもたくさんあって、特に注目されているのは中国科学院とESA（欧州宇宙機関）による太陽風・磁気圏・電離圏の相互作用観測ミッション「SMILE（Solar wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer）」で、他にもたくさんのプロジェクトが同時進行している状況である。

微小重力実験の衛星は、FSW16号機以降が主体となってFSW22号機まで飛行し、その後は専用衛星として実践（SJ）衛星8号機が2006年、最新の10号機が2016年と、10年の間をおいて打ち上げられた。国際宇宙ステーションがまだない頃、「神舟」がまだ飛んでいない頃の実験も中国は行ってきたという事である。

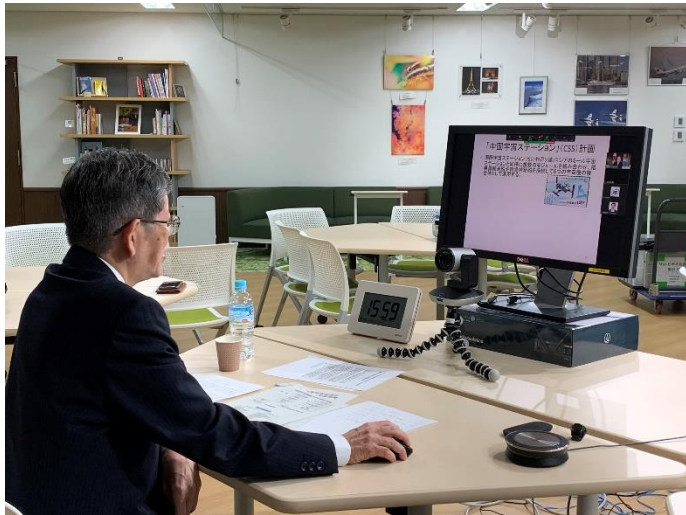
（6）有人宇宙活動

中国は有人宇宙船として「神舟」、ドッキングターゲットの「天宮」、貨物輸送船「天舟」の3種類を打ち上げている。最初の「神舟」、そして2号、3号、4号と無人で試験をして目途が立ったということで、「神舟」5号に楊利偉（ヤン・リウウェイ）という宇宙飛行士1名を乗せて2003年に飛行した。6号機では2名、7号機では上限の3名と人数を増やし、その後「天宮」1号というドッキングターゲットを打ち上げた。2011年には無人の「神舟」8号と「天宮」1号のドッキングを行った。これは将来宇宙ステーションにドッキングするということを想定して行った実験である。「天宮」1号は制御が不能となり、自然落下で被害を及ぼすことなく2018年に落下した。「神舟」9号には3名搭乗のうち初めて女性が搭乗した。「神舟」10号にも女性が搭乗し宇宙教師という役割をさせた。また、天宮1号の周りを周回する初の周回ランデブー試験も行った。その後「天宮」2号を打ち上げ、「神舟」11号も続けて打ち上げ、「神舟」11号から宇宙飛行士が「天宮」2号へ移乗することも行っている。

「天宮」2号は2019年に制御下で再突入した。一番新し

いのが2017年の「天舟」1号で、「天宮」2号とのドッキングや衛星の放出も無人で行い、半年間の運用で2017年9月に再突入させた。

宇宙飛行士はこれまでに11人、うち女性は2人。延べ飛行回数は14回、聶海勝飛行士が「神舟」6号と10号と2回の搭乗、景海鵬飛行士が「神舟」7号、9号、11号と3回搭乗し、宇宙滞在日数は延べ168日である。10人目までの宇宙飛行士は宇宙郵便局を名乗る民間団体が作った切手シールにもなっている。最新の話題では2020年10月に第3期宇宙飛行士を選抜した。選抜した組織は有人宇宙弁公室（CMSEO）といって2017年から第3グループの宇宙飛行士選抜を開始し、2020年10月に女性1名を含む18名を選抜した。その内訳は、パイロット宇宙飛行士7名、フライトエンジニア7名、ペイロードスペシャリスト4名で、これまでは空軍パイロットだけだったが、今後の宇宙ステーション運用のため、一般の科学者や技術者も選抜の対象にした。



今年起こってくることは、6月までにあるかもしれないが、「中国宇宙ステーション」（CSS）が計画されていて、全部で5つのモジュールを組み合わさるのではないかとわれ、形状が描かれた切手も発行されている。最初のモジュールから打ち上げられて、そこに貨物輸送船や搭乗員輸送船が繋がり、更に来年再来年と両側のモジュールが付いていくことになり、一時的な滞在ではなく年間を通じて有人活動を行うことが可能になる。国連宇宙部（UNOOSA）との協力の枠組みをつくっており、中国人以外の宇宙飛行士を搭乗させる計画もある。日本人が搭乗するわけではないが、日本と中国が共同で日本の研究テーマで中国に依頼して宇宙実験を行う計画もある。中国宇宙ステーション「天宮」の3つのモジュールは「天和」、「夢天」、「問天」という名称である。今年2021年に「天和」から構築を開始して、来年2022年ごろ完成見込みであり、本当に完成するかどうかは分からないが、相当なスピードで進むと思う。ちなみに、「天

和」、「巡天」、「問天」と接続すると言われていたが、今、天文観測モジュール「巡天」は同一軌道で単独飛行をする計画に変わっている。

CSSにおける日本との共同宇宙実験は、17カ国から募集した9件の宇宙実験を受け入れると発表された。欧州9カ国・ロシア・インドの他、サウジアラビア、ケニア、メキシコ、ペルーなど宇宙新興国の参加も受け入れ、宇宙創薬、天文学、生命科学、微小重力実験、地球科学、宇宙技術などの実験を行う。

これは旧ソ連のインターコスモス計画に匹敵するもので、中国宇宙ステーションの利用機会を外国にも提供することによって、宇宙活動における中国の地位を高める狙いがあると考えられる。日本からは東京大学工学部の中谷辰爾准教授が研究している燃焼の安定性に関する実験を行う。

少し面白いのは、既に物資補給船「天舟」を持っているにもかかわらず、昨年の2020年に民間からCSSへの効率的な貨物輸送のアイデアを募集したことである。もし私が聞かれたらこう答えると「辻野案」をつくってみた。私の案は、スペースX社に貨物船の開発および打ち上げを発注する。ドッキング機構（通路部分）は中国が現物支給する。このような受注を米国政府が許容するかどうか、中国の衛星を米国で製造して輸出できるかどうか、クリアすべき関門は多いが、実現すれば「ベルリンの壁」崩壊に匹敵し、米中関係の新たな展開が期待できるのではないかと、という考えである。

有人宇宙飛行での国際協力を考えると、中国は既に多くの国と宇宙平和利用の協力協定を締結し、BRICS、東南アジア諸国連合（ASEAN）、アジア太平洋宇宙協力機構（APSCO）、アラブ連盟に加盟する国や機構などとの多国間協力も強化している。外国衛星の打ち上げは27カ国・国際機関に及んでいる。国連宇宙空間平和利用委員会（UNCOPUOS）、地球観測に関する政府間会合

（GEO）、地球観測衛星委員会（CEOS）、国際災害チャーターに参加もしている。日本が主導しているアジア・太平洋地域宇宙機関会議（APRISAF）には、国家航天局（CNSA）や中国空間技術研究院（CAST）なども参加した実績がある。よって有人宇宙飛行の国際協力を行う下地は既にできているといえる。以前は「天宮」に外国モジュールを接続する可能性にも言及しているが、現在は不明である。ロシアとは有人宇宙飛行での部品の共通化などで交渉を行っている。

日本との宇宙協力の状況については、あまり強力な宇宙協力はできていないが、2007年には、JAXAの月周回衛星「かぐや」打ち上げ時に中国の宇宙関係者が種子島宇宙センターを訪問し、中国の「嫦娥1号」打ち上げの際にはJAXAから西昌射場を訪問した。その後、中国科学院とJAXAの相互訪問を行い、地球観測や微小重力実験を含む宇宙科学分野での協力について協議を行った。

今に至っても地球観測や天文観測などでの協力はまだ具体化していないが、微小重力実験での日本との協力はJAXA以外との間で具体化してきたので、希望はあるかと思う。

(7) 月惑星探査

皆さんにとっては常識かもしれないが、太陽系には8つの惑星、5つの準惑星、惑星の衛星、小惑星などがある。惑星は地球より内側の水星と金星の内惑星、地球より外側にある火星、木星、土星、天王星、海王星の外惑星、準惑星の冥王星、エリス、ケレス、マケマケ、ハウメア、惑星の衛星は地球の月、火星のフォボス、木星のエウロパ、土星のタイタンなど、小惑星の大部分は火星と木星の間に存在するが地球軌道と交差または接近する地球近傍小惑星もある。月探査に関しては、ソ連、アメリカ、ヨーロッパ、日本、インドが行ってきて、月周回も行っている。月着陸はソ連とアメリカが同じ年に相次いで行い、その後ずっとどの国も行っていなかったが、2013年に世界で3番目に中国が「嫦娥3号」で月に着陸した。サンプルリターンも随分古い時期にソ連とアメリカが行っているが、中国は2020年に「嫦娥5号」で成功し、世界で3番目になった。ヨーロッパ、日本、インドはサンプルリターンをまだ出来ていない。有人月着陸はアメリカがアポロ計画で実現しただけである。

中国の月探査機「嫦娥」は開発に当たって繞（にょう）・落・回の三歩走、3段階で開発するという戦略をとった。「繞」は巡るという意味で「嫦娥1号」と「嫦娥2号」、落は「嫦娥3号」と「嫦娥4号」、回は「嫦娥5号」である。2007年に「嫦娥1号」が月周回に成功し、2012年にも「嫦娥2号」で月周回に成功した。2013年に「嫦娥3号」で世界3番目に月着陸に成功した。「玉兔」というローバーを送り出したが保温の不具合のため2日で走行不能になってしまった。その後、2018年12月に予備機を使った「嫦娥4号」を打ち上げ、2019年1月3日に月の裏側着陸に成功した。これはあらかじめ2018年5月にデータ中継衛星「鵲橋（Queqiao）」を打ち上げて成功させたものである。昨年2020年11月には「嫦娥5号」を打ち上げ、12月に試料回収（サンプルリターン・ミッション）に成功した。

「嫦娥1号」と「嫦娥2号」の月周回については、第1フェーズとして2007年10月に初の月探査衛星「嫦娥1号」を長征3Aロケットで打ち上げ、月周回軌道への投入に成功した。この衛星は通信衛星とよく似た形をしているが、実は「東方紅3号」のバスを使っている。それから予備機を使った「嫦娥2号」は観測精度を大幅に向上させて、次の段階で計画している着陸予定地点の詳細な観測を行った。燃料が十分に余っているということで、月面観測の後、地球から150万キロ離れた太陽―地球系の第2ラグランジュ点（SEL-2）において天文観測

を行い、さらに小惑星「トータチス」に接近して写真撮影を行った。

「嫦娥3号」は三歩走の二番目の「落」であるが、2013年12月1日に打ち上げ、同月14日に月面への軟着陸に世界で3番目に成功した。探査ローバー「玉兔（Yutu）」の送り出しにも成功した。資料図のように左側の「嫦娥3号」と右側の「玉兔」が相互に写真を撮影し、地上に伝送した。本当は「玉兔」が走り回って地下構造をレーダーで探索するというミッションであったが、2日間しか走行できず、止まった状態で地球との通信を行っていた。

「嫦娥4号」は世界で初めて月の裏側に着陸した。月は自転周期と地球公転周期が全く同じで、常に地球に同じ面を見せている。裏側は起伏が激しい場所が多いが、「嫦娥4号」は月の裏側の南極エイトケン盆地に着陸機と月面車を着陸させた。

先ほど述べたデータ中継衛星「鵲橋」は地球の電波を受けて月の裏側にいる「嫦娥4号」に送り、「嫦娥4号」が集めたデータを「鵲橋」を通して地球に返した。あらかじめ打ち上げられた425kgの割と軽い衛星で、軌道は地球―月系の第2ラグランジュ点（EML-2）を周回するHalo軌道を通っている。ミッション機器は、直径4.2mの送受信アンテナ、中継装置、オランダがつくった低周波観測装置（NCLE）である。打ち上げロケットが

「長征4C」という普通は地球観測衛星を打ち上げているロケットで、射場は「長征4型」で初めて西昌衛星発射センターから2018年5月20日に打上げられ成功している。月は太陽から見ると地球に引きずられるように蛇行しながら進むので「鵲橋」は月の裏側を見ながら地球も一緒に見える位置に常にいるように飛んでいることが分かる。

次に「嫦娥5号」は長征5型ロケットにより11月23日に打ち上げられ、月着陸後すぐに月面の試料採取に成功し、12月16日地球に帰還して、米国、ロシアに次ぎ世界で3番目となる月サンプルリターンに成功した。2kgのサンプルを採取すると前から言っていたが、この時に採取した試料は1,731gであった。打ち上げから着陸、月面からの打ち上げなどの手順はNASAのアポロ計画に類似し、ロシアとは大分違うやり方をしている。無人での試料採取はロシアに次いで2番目になる。米国は色々なことをやっているように見えて、実は有人採取を行っているので、無人で試料採取に行く必要は無く、無人では行っていない。中国、米国、ロシアの月サンプルリターンでは、中国は「嫦娥5号」、米国は「アポロ11号」、ロシアは「ルナ16号」となるが、中国の衛星の形はロシアよりも米国に近いと思う。

中国は月探査に続いて惑星探査の最初として火星探査機を昨年2020年7月に打ち上げた。これは「天問1号」という名前である。ちなみに今後、天問2号、3号となるが、その際は火星ではなく金星や木星を目指す。

「天問1号」は、つい最近の2021年2月10日に火星周回軌道投入に成功し、5月に火星着陸を予定している。周回機に7種類、着陸機に6種類のペイロードを搭載し、火星の環境、形態学的特徴、表面構造等に関する研究を実施する。昨年の2020年10月1日、国慶節を記念して、計測センサーに取り付けられたカメラで「天問1号」自身の画像を撮影した。

火星探査はこれまで米国が「Mars」シリーズで周回・着陸を実現。多数の火星ローバーを運用中で、昨年打ち上げの「Mars 2020」は2月18日に着陸の予定である。サンプルリターンはまだ達成していない。ロシアは「Mars 3」で火星に着陸したが短時間で故障し、まだ科学観測は行っていない。日本は1998年に「のぞみ」を打ち上げたが火星到達に失敗し、2020年代前半に火星衛星探査計画(MMX)でサンプルリターンを目指している。欧州は2003年打ち上げの「Mars Express」で火星周回に成功、「ExoMars 2016」は着陸失敗。インドは「Mangalyaan」で2014年に火星周回に成功。周回では4カ国目、アジア初となったが、着陸はしていない。UAEは昨年H-2Aロケットで「Al-Amal (HOPE)」を打ち上げ、中国より1日早い2月9日に火星周回軌道投入に成功。周回では5カ国目となったが着陸はしない。中国は「天問1号」が2月10日に火星周回軌道に投入され、周回で6カ国目となり、5月に3カ国目の着陸を目指す。



3. スペースX社の台頭

中国の宇宙開発の足跡の次に、スペースXについて述べる。イーロン・マスクがインターネット決済システムのペイパルを売って宇宙・自動車・太陽光発電事業に参入した。宇宙部門がスペースX社、電気自動車・太陽光

発電はテスラ社である。これらの事業の共通点、究極的な目的は火星移住である。スペースX社は若い企業であるが年々業績実績を拡大しており、まずは「ファルコン(Falcon) 1」でマーリン(Merlin)エンジンの開発に注力し、3回の失敗後、4回目で衛星の軌道投入に成功した。続いて1段機体にMerlinエンジンを9個並べた「Falcon9」を開発し、その後、貨物輸送船「ドラゴン(Dragon)」、搭乗員輸送船「クルー・ドラゴン(Crew Dragon)」を開発した。「Crew Dragon」の昨年11月の打ち上げに、日本からJAXAの野口宇宙飛行士が搭乗したのはご存知かと思う。その他に、米国の国防総省と交渉し、軍事衛星(GPS、NROなど)の打ち上げに参入した。

そして最も大きな出来事がロケット機体の再使用に世界で初めて成功したことで、これはゲームチェンジ的なキー技術となった。こういった実績ができたので、米国主導で有人月活動を目指すアルテミス計画でも最初のモジュールの打ち上げを受注し、物資輸送でも主力となる見込みである。更に今、14,000機以上の低軌道通信衛星群「スターリンク(Starlink)」によるインターネット通信事業も開始しており、既に1,000機以上打ち上げている。

スペースX社のロケット運用実績であるが、最初のころ、マレーシア衛星を打ち上げるまでFalcon 1ロケットで、1個のエンジンを作ることに全力を上げていた。それを9個束ねてFalcon9ができて、2010年に初飛行が成功した。2012年には初のドラゴン宇宙船の打ち上げに成功した。そして2015年に1回打ち上げ失敗があったが、その後、ロケット機体の回収に初めて成功した。2016年には打ち上げ直前の点検中に、イスラエル衛星を搭載したFalcon9が射場で爆発炎上した。これは失敗に入っておらず打ち上げ前の事故となっている。2017年3月に初の再使用打ち上げを行った。2017年12月には再使用ロケットで再使用宇宙船を打ち上げた。その後、2018年にファルコンヘビーロケットでCEOのイーロン・マスク個人所有の自動車を火星遷移軌道に投入した。これから数百万年飛んで、地球は年に1回この軌道付近を通るので、もしかしたらいつかは割と近くに見える時があるかもしれない。2019年12月までの2年間で34回打ち上げ、それに対し昨年2020年はこの1年間にStarlink衛星を833機も打ち上げた。これは科学者同盟(UCS)のデータベースに載っている衛星の半分近くを占めている。この他、25回打ち上げで成功率100%、機体回収は23回中2回失敗しただけで成功率92%である。この間に使ったロケットは新しく作ったものも含め10機しかなく、それだけで25回の打ち上げを行っている。その中のいくつかは当然残っていて、今年の打ち上げにも使っている。今年2021年は2月16日までに7回打ち上げて、打ち上げは全部成功、回収は3日前に打ち

上げたものが失敗に終わり今年も100%ではなくなったが、打ち上げ成功率は今のところ100%である。

スペースX社は米国主導のアルテミス計画の中心的な要素である月周回有人拠点「月ゲートウェイ」の最初のモジュール打ち上げや補給輸送で中心的な役割を果たし、寄与するであろう。

次に、スペースX社はどのように再使用型ロケット技術を開発してきたかということだが、最初はGrasshopper（バッタ）というロケットを打ち上げ744mまで上昇し、そのまま垂直に戻り脚を開き地上に帰還させる実験を行った。それから30m四方の海上ドローン（着陸場）をつくり着陸実験を行った。最初は4回続けて着陸に失敗したが、この小さな場所にきちんと戻って来るだけでも驚異的だった。着地スピードが速すぎて衝突炎上、脚が弱くて転倒、海が荒れてドローンを避難させた、など毎回失敗理由が違っていた。

昨年と今年2021年2月16日までの「Falcon9」の運用状況を見ると、昨年は25回、月に1回から3回打ち上げている。11月は4回も打ち上げている。今年2021年に入ると既に5回（3月14日時点で8回）上がっていて、もう1機打ち上げを待っている状況である。

今後は今打ち上げている「Falcon9」と「Dragon」は捨ててしまっ、これから宇宙船「Starship」を実現させたいと言っている。しかし、つい最近2回続けて着陸に失敗しており、海上ドローンの失敗と同じく着地スピードが速すぎ止まりきれなくて爆発炎上している。今回爆発したのは9号機で、機体はたくさん作っているようで、今から「Falcon」や「Dragon」をすべて置き換えると計画している。本当か？と思うのであるが、最大100人搭乗の有人宇宙船を打ち上げるといふ計画である。これは昔のアポロ計画のロケット「SaturnV」の118トンを上回る150トン、この下に付くSuper Heavyは250トンまで打ち上げられるとしている。

今、再使用型の開発競争が始まっていて、ニュージーランドのロケットラブ社はエレクトロンロケット1段機体を回収船で回収することに成功し、将来的にはヘリコプターで捕獲して回収船へ輸送することを考えている。中国は長征8型でスペースXとよく似た方式で1段機体の回収を行う。ロシアは2020年から再使用型のアンガラ5VMロケットの開発を開始している。欧州も再使用型ロケット「Themis」のエンジン（Prometheus）をアリアングループが開発中である。日本はフランスとドイツと共同で小型実験機「RV-X」を用いた研究を実施中である。

中国はこれから1段目が再使用可能な「長征8型」をつくる予定である。「長征8型」は「長征7型」の1段目と「長征3B型」の第3段を組み合わせたロケットで、文昌射場から極軌道に4.5トンの打ち上げ能力を有し、昨年2020年12月、初打ち上げに成功した。これか

らは再利用型になったものを打ち上げることになると思う。

再使用型にチェンジできない既成勢力としては、米国ではボーイングやロッキード・マーチン、ロシアではソユーズやプロトン、中国では長征の旧系列や新系列、欧州はアリアン6、日本のH-3などがある。ニュージーランドは再使用をこれから始めようとしているが、他のところはまだ直ぐに再使用になる代物ではない。それぞれ目的があるのでこれらの既成勢力も必要だが、当分はこの間隙を縫ってスペースXのシェアが急速に拡大して、中国は「長征8型」で猛追ができるかどうか、これからの課題であると思う。

私は中国とスペースXに共通点があると考ええる。1つ目は、カリスマ的な指導者の下で従事者が持てる力を発揮する。2つ目は、何回失敗しても成功するまで挑戦する。3つ目は、ノーベル経済学賞を受賞したフリードマンが提唱する「選択の自由」を駆使し、中国は「自力更生」の意味を変化させ、外国製品を利用することも自力更生だとしている。4つ目は、失敗もあるが事前の検討をして成功率は高く、無駄が少ない。5つ目は、ともに有人火星着陸を視野に入れている、という共通点である。

最後になるが、中国は実は国際宇宙ステーション（ISS）に宇宙実験機器を送っている。そこで一役買ったのがスペースX社である。スペースX社の「ドラゴン CRS-11」貨物輸送船で北京理工大学が開発したDNA分析装置「宇宙環境下で、PCR反応におけるDNAミスコーディング法則を研究する科学ペイロード」がISSに搭載され、実験試料の洋上回収に成功した。米国政府はNASAが中国と協力することを規制しているが、規制を受けない民間レベルであれば協力可能であることを示した。外国の力を借りてでも、キー技術を獲得して国際的な分業体制の中で主導権を握ることが戦略的に重要だと私は思う。中国は外国の協力も得ながら自国の飛躍的な発展の姿をオープンな姿勢で世界に実力を示すことにより、スペースX社を追走する能力を持つ、国際的な宇宙開発のリーダーの地位を確保することを目指すだろうと予測している。

中国の着陸技術に関しては、偵察衛星「FSW」で着陸技術を向上させたこと、有人宇宙船「神舟」の着陸、「嫦娥3号」での月着陸、「嫦娥4号」の月の裏側への着陸。5月の「天問1号」火星着陸への挑戦、そしてこれからはあるが、スペースX社の再使用型ロケットに啓発されて長征8型の1段機体の再使用を可能にする計画。洋上のドローンに垂直着地など「着陸」というキーワードが続いている。

4. 2049年中華人民共和国建国100年までの道筋を予測

次に2049年の中国建国100年までの道筋を次のように予測してみる。(1)中国は2025年までに全面的な小康社会の構築と宇宙インフラの整備を完了する。(2)その後2022年以降、宇宙ステーションの恒久的な運用で多くの国の宇宙飛行士を搭乗させる。日本も可能性がある。(3)そして「嫦娥6号」、「嫦娥7号」、「嫦娥8号」で月着陸やサンプル回収はごく当たり前のことになり、月で水を発見できたら良いと考えているのではないか。(4)更に月面に有人基地を構築したい。その場合、米露欧日などとともに国際協力で行うか、または独力で構築するかが世界史的な岐路に立つだろう。(5)長征8型ロケットが再使用可能で国内外衛星打ち上げの主力になり「スペースXに対抗できるのは中国だけ」という世界2強時代になる。中国航天科工集团公司(CASC)の存在感が高まるであろう。(6)金星や木星に向けて探査機を打ち上げるようになる。(7)2050年ごろの火星有人着陸を目指すだろう。その準備がどこまで出来ているかが課題になってくる、と私は思う。

おわりに

中国はこれまでロシアや欧州に教わって実力を高めてきたが、近年は世界初という技術を次々に見せつけており、既に欧州やロシアでは追いつけないレベルに達している。現在の最強のライバルは米国のスペースX社である。これからは世界との競争と協調で月や火星の有人探査に挑む。特に米スペースX社との協力が成立すれば、世界史的な岐路になる可能性もある。

以上で講演を終わらせていただく。

(司会)

ありがとうございました。

では、お寄せいただいた質問の中から、いくつかお伺いしたい。

まず、中国の宇宙開発の国際的な規模感を伺いたい。中国の宇宙開発は国有企業の傘下組織はどれくらいの規模で人数が従事しているのか。その人材育成はどのように行われているのか。

(辻野氏)

資料の6ページ目で、2大国有企業の傘下組織を紹介したが、非常にたくさんあり、組織で少ないところでも2百人から3百人、一番多いところで1万人ほど、中国航天科技集团公司(CASC)で17万人、中国航天科工集团公司(CASIC)が14万人で2つの組織を合わせると合計31万人くらいである。外国と比べると、米国の場合NASA職員は十数万人で産業界を入れると、私もどれくらいか分からない。日本でも日本航空宇宙工業会の会

員企業の中に約6千人いっている。中国の31万人というのは日本と少し数え方が違うので、日本ももっとたくさんいると思う。欧州の数万人と比べても中国は相当多いと思う。教育については、当然ながら衛星打ち上げなどを行っている大学では宇宙分野で即戦力となるような取り組みを行っている。外国に留学に行く人の中で、特に米国のマサチューセッツ工科大学をはじめとする大学で、実は中国人は米国で宇宙開発研究の中心的役割を果たすような立場にあり、大変多くの情報を持っている。中国人がいなかったら、米国の宇宙開発は出来ないとも言われている。そういう人たちの中から、中国では仕事がどんどん増えているので、中国から募集があったら帰ってくる人もいる。そういう人たちが米国仕込みの大変な能力を持っていて、米国以上に大変な能力を発揮しているのだと思う。

(司会)

中国の宇宙開発の技術力は米国と争うように上がってきていると思うが、宇宙開発の技術の中には打ち上げ能力、ロケットの製造能力、衛星の製造技術など様々な技術が絡んでいるかと思う。米国との水準と比較した場合、中国の技術的な強み、もしくは弱みはどういったところか。

(辻野氏)

中国は全般的に言うと、箱を作るのは上手だけれど中身のコアになる部分はなかなか能力を持っていないと自分で言っている分野が多い。だが、宇宙に関してはだんだんと全て自分でやっていけるかな、というくらいである、しかし外国の製品でも自力更生で使っていこうと思っているので、今、宇宙開発をどのようにやっていくかということを考える上で、中国自身のどこが強い弱いという形の技術の問題ではないと思う。むしろ何をしたいのか、どんなビジョンを持って何をしていくのかという方が大事で、今、スペースXが100人乗り宇宙船をつくると言っているが、これに匹敵する構想を出すのかどうか、こちらの方がむしろ技術として、問題として大きいのではないかと思う。私も100人搭乗の宇宙船というのはとてつもない話で、すこし無理ではないかと思っている。

(司会)

先ほど中国の自力更生という話があったが、中国の宇宙開発の部品の自国での調達率は現状でどれくらいなのか。

(辻野氏)

ちょっとそれは分かりません。例えばAという部品を発注したとすると、それは全部中国製かもしれないが、その部品をつくるのに様々な中身が必要になる。それは

他の国から輸入していることもあって、簡単に言えるものではない。日本でも産地偽装の問題が出るのはそういうところで、日本で包装はしたけれど中身は実は外国の物というように、どこまでが国産でどれが外国製なのかは、切り分けるのは大変難しい。

(司会)

宇宙開発の中から出てくる基礎研究的な成果は、例えば月からのサンプルリターンなど月を探索する上での成果など、いろいろあるかもしれないが、それ以外に応用分野の成果、もしくは技術的にスピノフしてくるような部分はあるのか。

(辻野氏)

米国などは NASA がスピノフの報告書を毎年出して、最近こんな成果があったと報告している。例えば宇宙服の技術を応用して消防服を作ったなど、事例が本になっている。中国ではそのような本はあまり見たことはないが、宇宙での技術は裾野が広いので、まず様々な産業分野に発注し作らせるということを通じての技術能力向上もあると思うし、宇宙で使ったものをスピノフして出しているものもあると思う。私もそこまで詳しく調べてはいない。

(司会)

例えば中国の地球観測衛星や衛星利用測位システム (GPS) に使用される通信方位衛星は、日本やアジアでも利用できるのか。もしくは日本の準天頂衛星など日本の衛星と競合する部分もあるのか。

(辻野氏)

地球観測衛星は外国でもよく行われているが、データを交換する協力協定を結んでお互い無償でより多くのデータが見られるようにしている。この点では中国は少なくとも日本の「だいち」のデータを使っているので、中国のデータもお互いに使っていると思う。GPS については、日本は昔米国の GPS を頼っていたが、今、日本は「みちびき」をつくって、中国は「北斗」つくっている。受信機が兼容型であれば全部使える。通信放送衛星は利用料金がかかるので、そう簡単に無料では使えないが、場合によっては電波をやり取りすることが出来るようになるかもしれない。

(司会)

ではそろそろ時間となりましたので終了をさせていただきます。

2. 講演資料

米国の新興宇宙企業を 猛追する中国の宇宙開発

令和3年2月19日
科学技術振興機構第140回中国研究会
元JAXA国際部参事
辻野照久

3

1. 「両弾一星」から「小康社会」へ

- 中国は1950年代から「**両弾一星**」(核爆弾・ミサイル(導弾)及び人工衛星)という国威発揚のローガンの下で宇宙開発を開始し、**1970年4月**、旧ソ連(1957)・米国(1968)・フランス(1964)・日本(1970年2月)に次いで世界で5番目となる自力での人工衛星の打上げに成功した。
- 近年は宇宙開発が国家経済の発展や国民生活の向上など実利面でも役立ち、総合的な国力を高める重要な手段であると認識して、2020年までに「**小康社会**」を実現することを新たな国威発揚の目標とした。2020年11月、小康社会が予定通りほぼ達成されたとして、今後は**2025年までに**全面的に小康社会の実現を目指すという方針を発表した。

4

講師紹介

【辻野 照久】
元 宇宙航空研究開発機構(JAXA) 国際部参事

【略歴】

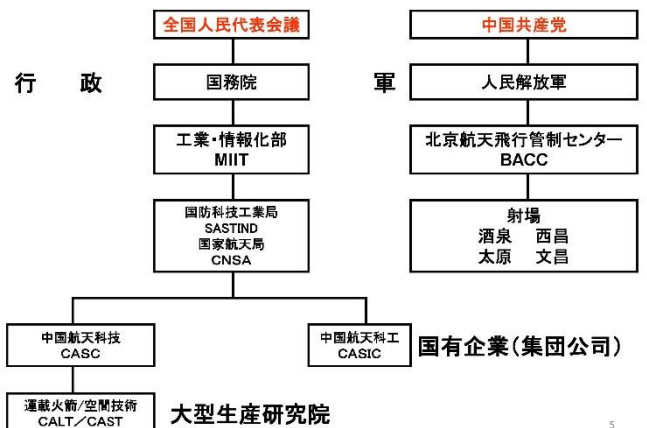
昭和48年 東北大学工学部電気工学科卒業
同年 日本国有鉄道(JNR)入社
昭和61年 宇宙開発事業団(NASDA)入社
平成8年 (財)日本宇宙フォーラム 調査研究部次長・主任研究員
平成16年 文部科学省科学技術政策研究所(NISTEP) 特別研究員
平成19年 宇宙航空研究開発機構(JAXA) 国際部参事
平成23年 定年退職
平成28年 再雇用終了

【主な講演および発表】

平成16年 7月 NISTEP 「急速に発展する中国の宇宙開発」
平成18年 4月 NISTEP 「中国における技術予測」
平成22年 1月 JST 第30回CRCC中国研究会「中国の宇宙開発について」
平成25年 1月 NISTEP 「自動運転自動車の研究開発動向」
平成27年 9月 JST 第85回CRCC中国研究会「中国の宇宙開発動向 2015」
平成29年 3月 JST 第102回中国研究会「飛躍の発展段階に入った中国の宇宙開発」

5

中国宇宙開発の中心組織



5

はじめに

- 中国の宇宙開発は長征5型ロケットにより火星探査機「天問1号」の打上げや月探査機「嫦娥5号」によるサンプルリターンに成功し、着実に実績を積み重ねている。
- 一方、米国では新興宇宙企業の「スペースX」社が再使用型打上げロケットをフル活用し、年間840機近い自社の通信衛星を打ち上げただけでなく、国際協力でも月探査を行う米国主導のアртеミス計画でも主要なプレイヤーになりつつある。
- 中国は3年連続で打上げ回数が世界最多となったが、スペースX社に対しては再使用型ロケット開発や有人月探査などでこれから猛追していく立場にある。
- 2049年までの中国の宇宙開発活動の展開を予測する。

3

2大国有企業の傘下組織



6

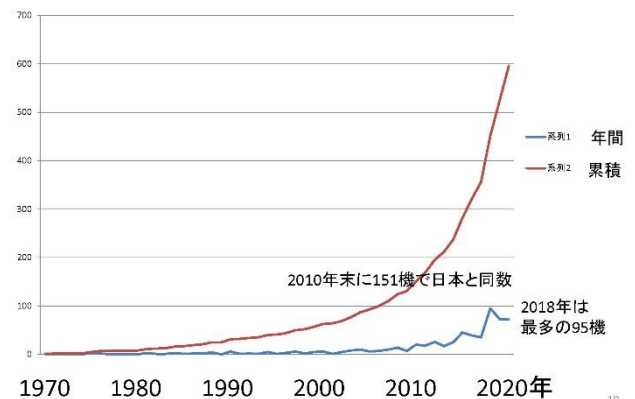
地方政府と地方企業の宇宙開発事例

省名	企業名	衛星名	最初の打上げ年	累積衛星数	備考
吉林省	長光衛星技術有限公司	吉林1(JL) 璽巧(LQ)	2016年	13	
浙江省	浙江利雅电子科技有限公司	麗水1(LS)	2016年	1	
陝西省	西安測繪研究所 其他	絲路101 (SL)	2017年	1	陝西省5機関の 共同開発
河北省	軍民融合小衛星 産業連盟	河北	2021年以降予定	0	16機の衛星群
海南省	三亜中科遙感 研究所	海南、三亜 三沙	2021年予定	0	10機の衛星群
山東省	山東産業技術 研究院	齊魯	2021年以降予定	0	3機の衛星群

7

中国の年間衛星打上げ数と累積数の推移

1970年—2020年



10

衛星打上げなどを行っている大学

教育部(MOE)所管*	工業情報化部(MIT)所管
○★清華大学(Tsinghua University)	○ハルビン工業大学(HIT)
○浙江大学(ZD)	○★北京航空航天大学(BUAA)
○上海科技大学(SKU)	○南京航空航天大学(NUAA)
○南京科技大学(NJUST)	○西北工業大学(NWPU)
○武漢大学(WHU)	※北京理工大学(BIT)
○青島科技大学(UQST)	
○南京理工大学(NJUST)	
★北京大学(PKU)	
○★北京師範大学(BNU)	
★南京大學(NJU)	
★南京師範大学(NNU)	
★香港中文大学(CUHK)	
★華東師範大学(ECNU)	
★上海海洋大学(SHOU)	
★中国海洋大学(OUC)	
○電子科学大学	
△マカオ科学技術大学(MUST)	

○は衛星打上げ実績あり、△は衛星打上げ計画あり
 ☆はドラゴン計画参加実績あり
 ★は長期閉鎖環境滞在実験の実績あり
 ※はISS搭載の実績あり

8

中国の累積衛星数のミッション別の内訳(5年前との比較)

米国・ロシアに次ぎ世界第3位、運用中の衛星数は米国に次ぎ第2位。

(航行測位衛星の静止にはIGSOを含む)

ミッション	主な用途	2015/12/31 衛星数 (うち静止)	2020/12/31 衛星数※2 (うち静止)	2020/8※1 運用中の 衛星数
(2)地球観測衛星	農業・災害・海洋・気象	96(8)	213 (11)	185(5)
(3)通信放送衛星	データ通信・電話・TV	53(45)	85 (61)	52(32)
(4)航行測位衛星	測位・ナビ・タイミング	24(17)	59 (27)	51(21)
(5)宇宙科学衛星	地球近傍観測	18	26	17
(6)有人宇宙船	有人宇宙活動	12	14	0
(7)月・惑星探査機	他天体探査	3	7	4
技術試験衛星	各種の宇宙技術開発	76	192 (3)	75(3)
計		282(70)	596(102)	384(61)

※1 UOS(臺灣の科学者同盟) 2020年8月末時点で 米国の運用中の衛星数は約1440機、ロシアは約175機
 ※2 宇宙切手の展示室 2020年12月31日時点で米国の累積衛星数は4,192機、ロシアは3,575機

11

2. 中国の宇宙開発の足跡

- 20世紀最後の30年間で累積衛星数は63機。(主に大型ロケットの開発・静止通信衛星の開発・回収式衛星による写真撮影・各種の技術試験など)
- 2001年から2010年までの間に88機の衛星を打ち上げ、累積151機で日本と同数になった。ミッションは有人宇宙船や航行測位衛星に広がった。
- 2011年から2015年までの間に131機の衛星を打ち上げ、日本を大きく引き離れた(日本はこの間46機)。
- 2016年から2020年までの間に314機(日本は60機)で累積衛星数は596機となった。
- 現在は第14次5カ年計画の最初の年が始まったばかり。2021年2月15日までの衛星数は中国6機(うち1機はNZから打上げ)に対し日本は1機(Falcon9で打上げ)。

9

(1)宇宙輸送システム

ーロケットと衛星の段階的大型化ー

- 最初は小型衛星から
1970年、「長征1」ロケットにより「**東方紅1号**」(173kg)を打上げ。
- 1975年、「長征2A」ロケットにより「**返回式衛星(FSW)**」(1800kg)を打上げ、写真フィルム回収に成功。
- 1984年、「長征3」ロケット(LEO投入能力 5000kg)により通信衛星「**東方紅2号**」(1340kg)を打ち上げ、静止化に成功。
- 1996年、「長征3B」ロケット初打上げで「Intelsat 708」(4180kg)の打上げに失敗。次のフィリピン「Agila 2」(3775kg)は成功。
- 2015年、「長征5」ロケット初打上げで技術試験衛星「**実践17号**」の静止化に成功。(GEO 13トン、長征5BはLEO 23トン)
- 2020年、「長征8」ロケット初打上げ(SSO投入能力4.5トン)
- 開発中の「長征9」ロケットはLEO 100トン、有人月探査や大型深宇宙探査などを目指す。

12

中国のロケット打上げ回数

- 2020年12月31日までに383回(打上げ失敗を含む)

長征1型(小型) 2(酒泉 2)
 長征2型(中型) 130(酒泉90、西昌19、太原21)
 長征3型(大型) 129(西昌129)
 長征4型(中型) 71(酒泉12、太原58、西昌 1)
 長征5型(超大型) 6(文昌 6)
 長征6型(小型) 4(太原 4)
 長征7型(中型) 3(文昌 3)
 長征8型(中型) 1(文昌 1)
 長征11型(小型) 11(酒泉 7、西昌 2、海上 2)
 長征計357(酒泉111、西昌151、太原83、文昌 10、海上2)

射場の位置



長征以外のロケット(計26回)

- 快舟(小型) 13(酒泉11、太原2)
- 開拓者 2(酒泉2)
- 風暴(小型) 6(酒泉6)
- 民間企業、双曲線、捷龍、穀神星、朱雀、OS-M



13

返回式衛星(FSW)

- 時速2万7千kmで飛行する衛星を地上に燃え尽きない状態で回収することは非常に難しい。
- 周恩来首相の指示「必ず中国国内に着陸させること」。
- 軌道上でレトロエンジンに点火して大気圏に再突入。
- 1974年は長征2A型ロケットによる打上げに失敗。
- 1975年に初めて銀塩フィルムの回収に成功。
- 実際は冷や汗もの。奇跡的な成功と言える。



- その後も、川底に沈んだり、山中に落下することを避けるため1日長く周回させたり、ロケットの暴走で1日早く落下させたりし、1993年にはレトロエンジン噴射ミスにより制御不能となり、太平洋に自然落下して回収に失敗した。

16

長征3B型ロケットの失敗

- 1996年10月、Intelsat衛星(米国製)の打上げで長征3Bの機体が打上げ直後から傾き、ほぼ水平飛行して墜落。6名が死亡。
- 2016年、ロシアで同様な打上げ直後の墜落という大事故が発生し、その様子が中国の事故と同じで、原因は角速度センサが上下逆に取り付けられていたためと判明。
- 米国製の静止衛星の打上げは1997年のフィリピン衛星が最後となった。米国の低軌道衛星「Iridium」は長征2Cにより6回で12機を打上げ。以後は中国製の衛星打上げが主で、例外的に欧州製衛星も打上げ。

14

返回式衛星の打上げ記録

1994年以降は微小重力実験へ

衛星名	打上げ日	回収日	予定日数	着陸場所	予定外の状況
FSW	1974年11月5日	—	—	—	打上げ失敗
FSW 1	1975年11月26日	11月29日	3日	貴州省六枝地区	400km離れた場所に落下。炭坑夫が発見し通報。
FSW 2	1976年12月7日	12月10日	3日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 3	1978年1月26日	1月29日	3日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 4	1982年9月9日	9月14日	5日	四川省内江市	川底に沈没、漁船で引き揚げ。
FSW 5	1983年8月19日	8月24日	5日	四川省内江市	川底に沈没、漁船で引き揚げ。
FSW 6	1984年9月12日	9月17日	5日	四川省内江市	川底に沈没、漁船で引き揚げ。
FSW 7	1985年10月21日	10月26日	5日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 8	1986年10月6日	10月11日	5日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 9	1987年8月5日	8月10日	5日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 10	1987年9月9日	9月17日	8日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 11	1988年8月5日	8月13日	8日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 12	1990年10月5日	10月13日	8日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 13	1992年8月9日	8月25日	16日	四川省遂寧市	周回を1日長くして回収成功
FSW 14	1992年10月6日	10月13日	7日	四川省遂寧市	周回を1日短くして回収成功
FSW 15	1993年10月8日	10月18日	—	太平洋東部	レトロエンジンの噴射方向が逆で制御不能となり、自然落下。

17

(2) 地球観測衛星

- 中国で最初の地球観測衛星は宇宙から撮影した画像のフィルムを地上で回収する「返回式衛星(FSW)」。
- 電波でデータ伝送する地球観測衛星はブラジルと共同の「CBERS-1」(1999年打上げ)から始まった。
- 2015年10月、国家発展改革委員会、財務部及び国防科技工業委員会(SASTIND)は、2015年から2025年までの国家宇宙インフラ(地球観測衛星・通信放送衛星及び航行測位衛星)整備計画を発表した。地球観測衛星は、観測対象によって陸域・海洋・大気に分類し、それぞれにミッションの異なる複数(2つか3つ)の衛星群を2025年までに整備する。
- 地震電磁波観測衛星やCO2観測衛星などの専用衛星を打上げ。
- 毎年打ち上げられ、世界有数の衛星群となっているのは、民生用の「高分(GF)」(23機)と軍事用の「遥感(YG)」(53機)。

15

地球観測衛星の種類別・期間別打上げ数 (2015年までの96機と第13次5カ年計画期間の117機)

分類	衛星名	ミッション	所有機関	2015年まで	2016-2020年
陸域観測	高分	高分解能観測	不明	5	18
	資源・CBERS	資源探査	遥感・数字地球研究所	9	4
	環境	レーダーを含む	中国資源衛星応用センター	3	2
	天絵	立体測量	人民解放軍	3	2
	高景	高分解能観測	四維世景科技	0	4
	遥感	偵察	人民解放軍	39	28
	陸地調査	高分解能観測	CAST	0	4
	張衡	地震電磁波検知	国家地震局	0	1
	返回式	偵察	CAST	15	0
	海洋観測	海色、海洋動力学	国家衛星海洋応用センター	3	4
海洋観測	中仏海洋	海洋観測	CNSA	0	1
	風雲	気象観測	中国気象局	13	3
大気観測	雲海	大気観測	SAST	0	6
	碳衛星	CO2観測	CAST	0	1
地方政府 その他	吉林	陸域観測	長光衛星技術	3	22
	珠海	ビデオ撮影	珠海欧比特控制工程	0	12
	寧夏	陸域観測	寧夏金碁信託技術	0	5
	大気	大気観測	CAST	2	0
	北京	災害監視	清華大学	1	0

18

民生用地球観測衛星の整備計画 (2025年まで)

地球観測衛星分類	陸域観測	海洋観測	大気観測
衛星群(星座)	高分解能光学観測星座	海洋水色観測星座	天候観測衛星星座
	中分解能光学観測星座	海洋動力観測星座	気候観測衛星星座
	合成開口レーダ観測星座		
専用衛星	地球物理場探測衛星(電磁場観測)	海洋環境観測衛星	大気成分探測衛星

<https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201510/W020190905497791202653.pdf>
民生用宇宙インフラ中長期発展計画 p6～p11の記述を表に整理

商業通信衛星

- 中国航天科技集团有限公司(CASC)に属する中国衛星通信集团有限公司(ChinaSatCom)は、「中星」衛星を多数運用している。軍事用も含む。
- 香港企業の亜太衛星公司(APStar)及び亜州衛星公司(Asiasat)は1997年の香港返還以後は中国企業となった。
- アジア放送衛星(ABS)も香港に地域本社を置いて商業通信を行っている。本拠はバーミューダ。
- 小型衛星群によるインターネット通信やIoT(モノのインターネット)通信を構築しようとする企業が増加している。地方政府も支援している。

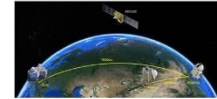
(3) 静止通信衛星

- 1986年に東方紅2型バスを改良した東方紅2A型バスで静止通信衛星「**東方紅2号**(または試験同步通信衛星1号)」を打ち上げ、最初の実用静止通信衛星となった。姿勢制御はスピン安定式を採用した。
- 1994年に打ち上げた「**東方紅3号**」は東方紅3型バスに中継器(トランスポンダ)を24本搭載し、三軸姿勢制御方式の本格的な静止通信衛星となった。
- 設計寿命を15年にした倍増した東方紅4型バスを開発し、2006年に鑫諾衛星通信有限公司(Sinosat)の「**鑫諾2号**(Sinosat-2)」に初めて適用した。
- 2017年に長征5ロケット(試験2号機)により世界最大クラスの東方紅5型バスを用いた「**实践18号**」を打ち上げたが、ロケットの打ち上げが失敗に終わった。長征5試験3号機は2019年に「**实践20号**」の打ち上げに成功し、長征5ロケットが運用段階に入った。



宇宙経由の量子暗号通信の実験

- 量子科学実験衛星「**墨子(Mozi)**」(旧称QUESS)
2017年8月、墨子を経由して7600キロ離れた中国とオーストリアの間で衛星から地上への量子鍵配送と地上から衛星への量子テレポーテーションの実現に初めて成功した。



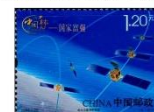
2025-2030年に中国全土を網羅する量子通信ネットワークを構築し、将来、全球を網羅する複数の静止衛星による量子通信ネットワークを構築する可能性がある。

通信放送衛星の種類別期間別打上げ数 (2015年までの53機と第13次5カ年計画期間の32機)

軌道	衛星名	所有機関	2015年まで	2016-2020年
静止	中星	中国通信广播衛星公司	16	3
	APStar	亜太衛星公司	8	1
	Asiasat	亜州衛星公司	8	1
	ABS	人民解放軍	2	1
	天通	CAST	0	2
	天鏈	人民解放軍	3	2
	その他	CAST	6	6
	鑫諾	鑫諾	2	0
	凱盾	北京凱盾環宇科技	0	1
	行雲	CASIC	0	3
LEO	天啓	北京國電高科技	0	10
	銀河	銀河有限公司	0	1
	その他	CAST	8	1

(4) 航行測位衛星

- 全球を網羅する北斗(Beidou)航行測位システムにより、2012年12月にアジア・太平洋地域のユーザ向けに無料のPNT(測位・航法及びタイミング)サービスの提供を正式に開始し、2020年に北斗3型衛星35機の衛星群を完成させた。



- 北斗3型衛星35機の内訳は、周回衛星27機、静止衛星3機、軌道傾斜角付き地球同期衛星5機(準天頂衛星)(次頁の表参照)

航行測位衛星の機種別打上げ数

北斗衛星の年別打上げ状況（赤字は運用終了）

軌道区分	型式	2000	2003	2007	2009	2010	2011	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020	計
静止	1	2	1	1											4
	2G				1	2+1		2		1			1		6+2
軌道傾斜角付き地球同期	3G											1		2	3
	2I					2	3			1		1			7
中高度周回	3I								2				3		5
	2M			1				1+1	2						3+2
計	3M							2		1	2	16	6		27
		2	1	2	1	4+1	3	5+1	4	3	2	18	10	2	51+8

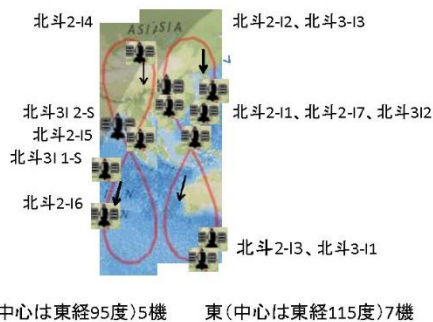
25

計画中の宇宙科学ミッション

- ◆ 中欧共同の太陽風・磁気圏・電離圏の相互作用観測ミッション「SMILE (Solar wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer)」
- ◆ 太陽極軌道電波望遠鏡「SPORT」
- ◆ X線タイミング・偏光観測衛星「eXTP」
- ◆ 太陽系外地球型惑星探査ミッション「STEP」
- ◆ 先端宇宙設置型太陽天文台「ASO-SJ」
- ◆ X線探査衛星「EP (アインシュタイン・プローブ)」
- ◆ 中仏共同のガンマ線バースト観測衛星「SVOM」
- ◆ 系外惑星観測衛星「覓音 (Miyin)」
- ◆ 超長基線電波干渉天文観測 (VLBI)

28

北斗2I/3Iの軌道 (2021年2月10日13時頃)



26

回収式衛星による微小重力実験 — 実践 (SJ) 衛星を含む —

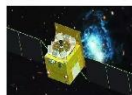
衛星名	打上げ日	回収日	予定日数	着陸場所	備考
FSW 16	1994年7月3日	7月18日	15日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 17	1996年10月20日	11月3日			
FSW 18	2003年11月3日	11月21日	18日		
FSW 19	2004年8月29日	9月25日	27日		
FSW 20	2004年9月27日	10月15日	18日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 21	2005年8月2日	8月29日	27日		
FSW 22	2005年8月29日	10月17日	49日		
SJ-8	2006年9月9日	9月24日	15日		
SJ-10	2016年4月5日	4月18日	13日		

29

(5) 宇宙科学 — 天文観測衛星

① 硬X線調製望遠鏡「慧眼」(HXMT)

中国初の天文観測衛星。HXMTは2017年6月15日に打ち上げた。主要なミッションは、高エネルギー天体の発見やブラックホールの観測など。衛星バスは中国空間技術研究院 (CAST) が開発し、X線望遠鏡は中国科学院高能物理研究所 (IHEP) と清華大学が制作した。



② 暗黒物質粒子探査衛星「悟空」(DAMPE)

DAMPEは、中国空間科学研究所 (NSSC) と上海小型衛星工程センターが開発し、2015年12月17日に打ち上げられた。翌年3月には軌道上試験を完了し、NAOCに属する紫金山天文台 (江蘇省南京市) へ引き渡された。ミッションは、暗黒物質 (ダークマター) 粒子の研究、宇宙線の起源の探査、高エネルギーガンマ線観測など。運用期間は3年で、最初の2年間で全天観測を行い、その後定点点観測を行った。

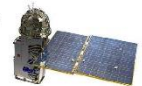


③ 重力波観測衛星「太極」(KX-9)

2019年9月、重力波観測ミッションの1号機として打ち上げた。

④ 重力波対応高エネルギー電磁波全天観測衛星「懷柔」(GECAM)

IHEPが開発、2020年12月、2機同時に打ち上げ。



(6) 有人宇宙活動

- ・ 有人宇宙船「神舟」、ドッキング目標「天宮」、貨物輸送船「天舟」を打上げ

宇宙機名称	国際標準番号	打上げ日 (GMT)	打上げロケット	備考
神舟1	1999-061A	1999/11/19	長征 2F	無人
神舟2	2001-001A	2001/1/9	長征 2F	無人
神舟3	2002-014A	2002/3/25	長征 2F	無人
神舟4	2002-061A	2002/12/29	長征 2F	無人
神舟5	2003-045A	2003/10/15	長征 2F	1名搭乗
神舟6	2005-040A	2005/10/12	長征 2F	2名搭乗
神舟7	2008-047A	2008/9/25	長征 2F	3名搭乗、船外活動実施
天宮1	2011-053A	2011/9/29	長征 2F/G	ドッキングターゲット ・神舟9号・10号の宇宙飛行士が搭乗 ・2015年4月2日再突入
神舟8	2011-063A	2011/10/31	長征 2F/G	無人 ・天宮1号との初のドッキング
神舟9	2012-032A	2012/6/16	長征 2F/G	3名搭乗 (初の女性を含む) ・天宮1号とドッキング
神舟10	2013-028A	2013/6/11	長征 2F/G	3名搭乗 (初の宇宙教師 (女性) を含む) ・天宮1号の回りを周回する初の重現実験
天宮2	2016-057A	2016/9/15	長征 2F/T	宇宙実験室 ・神舟11号の宇宙飛行士が搭乗 ・2019年7月19日再突入
神舟11	2016-061A	2016/10/16	長征 2F/G	2名搭乗 ・天宮2号とドッキング
天舟1	2017-021A	2017/4/20	長征 7	天宮2号と3号ドッキング ・8月1日「緑路1」を放出 ・9月26日再突入

30

宇宙飛行士

- これまでに宇宙飛行した人数は11人(うち女性2人)。延べ飛行回数は14回。宇宙滞在日数は168日。

番号	氏名	宇宙飛行期間	搭乗機
1-1	楊利偉 (Yang Liwei)	2003/10/15	神舟5号
2-1	費俊龍 (Fei Junlong)	2005/10/12~10/16	神舟6号
3-1	聶海勝 (Nie Haisheng)	2005/10/12~10/16	神舟6号
3-2		2013/6/11~6/26	神舟10号
4-1	翟志刚 (Zhai Zhigang)	2008/9/25~9/28	神舟7号
5-1	劉伯明 (Liu Boming)	2008/9/25~9/28	神舟7号
6-1		2008/9/25~9/28	神舟7号
6-2	景海鵬 (Jing haipeng)	2012/6/16~6/29	神舟9号
6-3		2016-10/16-11/17	神舟11号
7-1	劉旺 (Liu Wang)	2012/6/16~6/29	神舟9号
8-1	劉洋 (LiuYang)	2012/6/16~6/29	神舟9号
9-1	張曉光 (Zhang Xiaoguang)	2013/6/11~6/26	神舟10号
10-1	王亜平 (Wang Yaping)	2013/6/11~6/26	神舟10号
11-1	陳冬 (Chen Deng)	2016-10/16-11/17	神舟11号

「中国宇宙ステーション」(CSS)計画

- 国際宇宙ステーション(ISS)や旧ソ連/ロシアのミール宇宙ステーションと同様に複数のモジュールを組み合わせ、搭乗員輸送船や物資補給船を接続して5つの宇宙機の複合体として運用する。



- 一時的な滞在ではなく年間を通じて有人活動を行うことが可能。
- 国連宇宙部(UNOOSA)との協力の枠組みで中国人以外の宇宙飛行士を搭乗させる計画もある。
- 日本を含む外国との共同宇宙実験計画も発表されている。

34

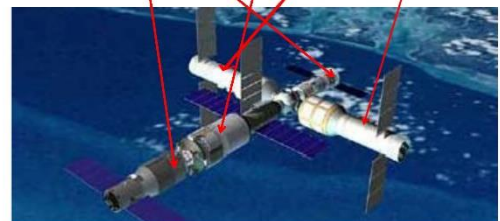
10人目までの宇宙飛行士



32

中国宇宙ステーション「天宮」の構築

- 天宮の3つのモジュール(天和・夢天・問天)
- 有人宇宙船 神舟(2021年に12号)
- 貨物輸送船 天舟(2021年に2号)



- 2021年「天和」から構築開始、2022年頃完成見込み。
- 天文観測モジュール「巡天」は同一軌道で単独飛行。

35

2020年10月 第3期宇宙飛行士選抜

- 有人宇宙弁公室(CMSEO)は2017年から第3グループの宇宙飛行士選抜を開始し、2020年10月に女性1名を含む18名を選抜した。
- 18名の内訳は、パイロット宇宙飛行士7名、フライトエンジニア7名、ペイロードスペシャリスト4名。
- これまでは空軍パイロットだけだったが、今後の宇宙ステーション運用のため、一般の科学者や技術者も選抜の対象にした。

33

CSSにおける日本との共同宇宙実験

2019年6月、中国宇宙ステーションに日本・中国を始め17カ国から募集した9件の宇宙実験を受け入れると発表した。

欧州9カ国・ロシア・インドの他、サウジアラビア、ケニア、メキシコ、ペルーなど宇宙新興国の参加も受け入れ、宇宙創薬、天文学、生命科学、微小重力実験、地球科学、宇宙技術などの実験を行う。

これは旧ソ連のインターコスモス計画に匹敵するもので、中国宇宙ステーションの利用機会を外国にも提供することによって、宇宙活動における中国の地位を高める狙いがあると考えられる。

日本からは東京大学工学部の中谷辰爾准教授が研究している燃焼の安定性に関する実験を行う。

36

民間のアイデアを募集

一求む！CSSへの効率的な物資輸送一

- CSSへの物資補給船として天舟が開発され、2017年に長征7型ロケットによる初飛行に成功した。
- 2020年、中国は民間からCSSへの効率的な貨物輸送のアイデアを募集した。
- (辻野案)スペースX社に貨物船の開発及び打上げを発注する。ドッキング機構(通路部分)は中国が現物支給する。このような受注を米国政府が許容するかどうか、中国の衛星を米国で製造して輸出できるかどうか、クリアすべき関門は多いが、実現すれば「ベルリンの壁」崩壊に匹敵し、米中関係の新たな展開が期待できる。

37

(7)月惑星探査

- 太陽系の天体は8つの惑星、5つの準惑星、惑星の衛星、小惑星などがある。
- 内惑星 地球より内側の水星と金星
- 外惑星 火星・木星・土星・天王星・海王星
- 準惑星 冥王星・エリス・ケレス・マケマケ・ハウメア
- 惑星の衛星 地球の月・火星のフォボス・木星のエウロパ・土星のタイタンなど。
- 小惑星 大部分は火星と木星の間に存在するが地球軌道と交差または接近する地球近傍小惑星もある。

40

有人宇宙飛行での国際協力

- 中国は既に多くの国と宇宙平和利用の協力協定を締結し、BRICS、東南アジア諸国連合(ASEAN)、アジア太平洋宇宙協力機構(APSCO)、及びアラブ連盟に加盟する国や機構などとの多国間協力も強化している。外国衛星の打上げは27か国・国際機関に及んでいる。
- 国連宇宙空間平和利用委員会(UNCOPUOS)、地球観測に関する政府間会合(GEO)、地球観測衛星委員会(CEOS)及び国際災害チャーターに参加している。アジア・太平洋地域宇宙機関会議(APRSAP)には、国家航天局(CNSA)や中国空間技術研究院(CAST)などが参加した実績がある。有人宇宙飛行の国際協力を行う下地は既にできているといえる。
- 天宮に外国モジュールを接続する可能性にも言及している。ロシアとは有人宇宙飛行での部品の共通化などで交渉を行っている。

38

主要国の月探査実績

国名	月周回	月着陸	サンプルリターン	有人月着陸
ソ連 (現ロシア)	1966年 ルナ 10	1966年 ルナ 9	1970年 ルナ 16	未
アメリカ	1966年 ルナ・オービタ 1	1966年 サーベイヤー 1	1969年 アポロ 11(有人)	1969-1972年 6回12人
中国	2007年 嫦娥1 2010年 嫦娥2	2013年 嫦娥3	2020年 嫦娥5	未 (2025年頃?)
ヨーロッパ	2003年 スマート-1	未 (2023年頃)	未	未
日本	1990年 はごろも 2007年 かぐや	未 (2023年頃)	未	未
インド	2008年 チャンドラヤーン1	2018年 着陸失敗	未	未

41

日本との宇宙協力の状況

- 2007年、JAXAの月周回衛星「かぐや」打上げ時に中国の宇宙関係者が種子島宇宙センターを訪問し、中国の「嫦娥1号」打上げの際にはJAXAから西昌射場を訪問した。
- その後中国科学院とJAXAの相互訪問を行い、地球観測や宇宙科学分野(微小重力実験を含む)での協力について協議を行った。
- 地球観測や天文観測などでの協力はまだ具体化していないが、微小重力実験での日本との協力はJAXA以外との間で具体化してきた。

39

月探査機「嫦娥」の三歩走

- 嫦娥計画の三歩走は「繞(によう)・落・回」。
- 繞は「嫦娥1号」と「嫦娥2号」、落は「嫦娥3号」と「嫦娥4号」、回は「嫦娥5号」。
- 2007年に嫦娥1号の月周回に成功、2012年にも嫦娥2号で月周回に成功した。
- 2013年に嫦娥3号で世界で3番目に月着陸に成功。玉兔は保温の不具合のため2日で走行不能に。
- 2018年5月にデータ中継衛星「鵲橋」(Queqiao)を打上げ、12月に「嫦娥4号」を打ち上げ、2019年1月3日に月の裏側着陸に成功。
- 2020年11月に「嫦娥5号」を打上げ、12月に試料回収に成功。

42

嫦娥1号と嫦娥2号の月周回

—嫦娥2号はSEL-2から小惑星へ—

- 第1フェーズとして2007年10月に初の月探査衛星「嫦娥1号 (Chang'e 1、CE 1)」を長征3Aロケットにより打ち上げ、月周回軌道への投入に成功した。
- 嫦娥2号は観測精度を大幅に向上させて、次の段階で計画している着陸予定地点の詳細な観測を行った。月面観測の後、太陽-地球系の第2ラグランジュ点 (SEL-2) において天文観測を行い、さらに小惑星「トータチス」に接近して写真撮影を行った。

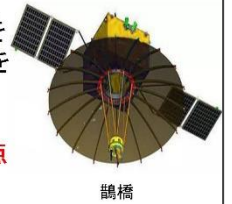


43

3(1)-3 月裏側探査機データ中継衛星

「鵲橋」(Queqiao、じゃつきょう)

- 嫦娥4号の制御を行ったり、データを地球に送るためにデータ中継衛星をあらかじめ打上げ。
- 質量: 425kg
- 軌道: 地球-月系第2ラグランジュ点 (EML-2) を周回するHalo軌道。
- ミッション機器
 - ①直径4.2mの送受信アンテナ
 - ②中継装置 ③低周波観測装置 (NCLE)
- 打上げロケット: 長征4C (GTO 1.5t、地球脱出軌道は初)
- 射場: 西昌衛星発射センター (長征4型で初)
- 2018年5月20日 (日本時間21日6:28) 打上げ成功



45

嫦娥3号の月着陸と玉兔の月面走行

- 嫦娥3号は2013年12月1日に打ち上げ、同月14日に月面への軟着陸に成功した (世界で3番目)。
- 探査ローバ「玉兔」の送り出しにも成功した。
- 嫦娥3号 (下図左) と玉兔 (同右) が相互に写真を撮影。

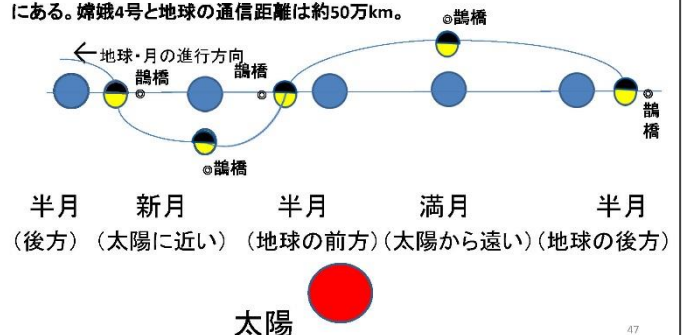


44

月は太陽から見ると蛇行して公転している

地球は1カ月で約8000万km移動する (太陽までの距離の約半分)。

月は地球に引きずられるように蛇行しながら進む。「鵲橋」は月の後方6万km付近にある。嫦娥4号と地球の通信距離は約50万km。



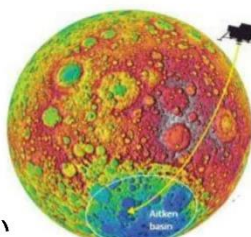
47

嫦娥4号は世界で初めて月の裏側に着陸

- 月は自転周期と地球公転周期が全く同じで、常に地球と同じ面を見せている。裏側は起伏が激しい。



常に月の表側しか見えない



嫦娥4号の着陸場所

45

嫦娥5号のサンプルリターン

- 「嫦娥5号」は長征5型ロケットにより11月23日に打ち上げられ、月着陸後に月面の試料採取に成功し、12月16日地球に帰還して、米国・ロシアに次ぎ世界で3番目となる月サンプルリターン (採取試料は1731g) に成功した。
- 打上げから着陸、月面からの打上げなどの手順はNASAのアポロ計画に類似している。
- 無人での試料採取はロシアに次ぎ2番目。米国は有人でしか行っていない。

48

中国・米国・ロシアの月サンプルリターンの比較

比較項目	中国：嫦娥5号 2020-087A	米国：アポロ11号 1969-059A	ロシア：ルナ16号 1970-072A
宇宙機の構成	探査機本体（嫦娥5号）、 上昇モジュール、月軌道モ ジュール、帰還モジュール	司令・機体船、月着陸 モジュール（イーグ ル）、上昇モジュール （コロンビア）	降下モジュール（放射 台を兼ねる）、上昇モ ジュール（帰還カプセ ルを含む）
打上げ日	2020年11月23日	1969年7月16日	1970年9月12日
月面着陸	12月1日	7月20日	9月20日
採取試料の質量	約1,731g	約21.5kg	約101g
上昇機打上げ	12月2日	7月21日	9月21日
上昇モジュール落下	12月7日	7月21日	N/A（地球へ帰還）
地球帰還日	12月15日	7月24日	9月24日
運用期間	24日間	8日3時間	12日間
ロケット切り離し前 後の外観			
上昇モジュール			

49

3. スペースX社の台頭

- イーロン・マスクはペイパルを売って宇宙・自動車・太陽光発電事業に参入。宇宙部門は**スペースX社**、電気自動車・太陽光発電は**テスラ社**。
 - これらの事業の究極的な目的は**火星移住**。
 - スペースX社は年々業務実績を拡大（次頁参照）
- ①「Falcon1」でMerlinエンジンの開発に注力。3回の失敗後、4回目で衛星の軌道投入に成功。
 - ②1段機体にMerlinエンジンを9個並べた「**Falcon 9**」を開発。
 - ③貨物輸送船「**Dragon**」、搭乗員輸送船「**Crew Dragon**」を開発。
 - ④米国の軍事衛星（GPS、NROなど）打上げに参入。
 - ⑤ロケット機体の再使用に世界で初めて成功し、ゲームチェンジ的なキー技術となった。
 - ⑥有人月活動を目指す**アルテミス計画**でも最初のモジュールの打上げを受注し、物資輸送でも主力となる見込み。
 - ⑦14000機以上の低軌道通信衛星群「**Starlink**」によるインターネット通信事業も開始。既に1000機以上打上げ。

52

中国初の火星探査機打上げ

- 2020年7月「天問1号」を打上げ。2021年2月に火星周回軌道投入に成功、5月に火星着陸を予定。
- 周回機に7種類、着陸機に6種類のペイロードを搭載。
- 火星の環境、形態学的特徴、表面構造等に関する研究を実施。
- 2020年10月1日、国慶節を記念して、計測センサに取り付けられたカメラにより天問1号自身の画像を撮影した。



50

スペースX社のロケット運用実績

年月	できごと	備考
2009年7月	Falcon 1ロケットでマレーシア衛星打上げ成功	ここまで3回失敗、4機目初成功、5回目の打上げが最終号機。
2010年6月	Falcon 9ロケットの初飛行成功	2010年の年間打上げ回数2回（2回目も成功）、2011年0
2012年10月	初のドラゴン宇宙船の打上げ成功	2012年2回、2013年3回、2014年6回打上げ成功。回収失敗2回
2015年6月	ドラゴン宇宙船搭載のFalcon 9ロケットの打上げ失敗	2015年は年間7回打上げ、 打上げ失敗1回 、回収成功1回、回収失敗2回
2015年12月	ロケット機体の回収に初めて成功	
2016年9月	イスラエル衛星を搭載した点検中のFalcon 9が射場で爆発炎上	2016年は8回打上げ成功。うち回収成功4回、回収失敗3回
2017年3月	初の再使用打上げ。	2017年は年間18回打上げ、うち5回再使用、14回収成功（再使用での回収成功1回を含む）、回収失敗なし
2017年12月	再使用ロケットで再使用宇宙船を打上げ	
2018年1月～ 2019年12月	ファルコンヘビーでCEO個人所有の自動車を火星遷移軌道に投入	34回打上げ（成功率100%）6回はex機体回収成功21回（成功率75%）
2020年1月～ 12月	初の有人打上げ（野口さんを含め年間6名）、Starlink衛星を833機打上げ	25回打上げ（成功率100%）機体回収成功23回（成功率92%）
2021年1月～	2月15日までに6回打上げ、搭載衛星数384機	打上げ、回収とも成功率100%

53

各国が競う火星探査

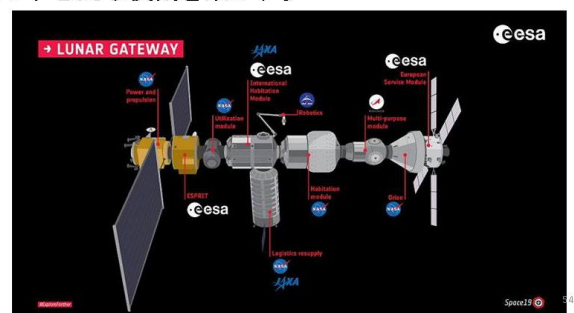
- 米国は「Mars」シリーズで周回・着陸を実現。多数の火星ローバを運用中。昨年打上げの「Mars 2020」は2月18日に着陸の予定。サンプルリターンはまだ達成していない。
- ロシアは「Mars 3」で火星に着陸したが短時間で故障し、まだ科学観測は行えていない。
- 日本は1998年に「のぞみ」を打ち上げたが火星到達に失敗。2020年代前半に火星衛星探査計画（MMX）でサンプルリターンを目指している。
- 欧州は2003年打上げの「Mars Express」で火星周回に成功、「ExoMars 2016」では着陸失敗。
- インドは「Mangalyaan」で2014年に火星周回に成功。周回では4カ国目となったが、着陸はしていない。
- UAEは昨年H-2Aロケットで「Al-Amal (HOPE)」を打ち上げ2月9日に火星周回軌道投入に成功。周回では5カ国目となったが着陸はしない。
- 中国は「天問1号」が2月10日に火星周回軌道に投入され、周回で6カ国目となり、5月に3カ国目の着陸を目指す。

51

スペースX社が寄与するアルテミス計画

月周回有人拠点「月ゲートウェイ」

月ゲートウェイはアルテミス計画の中心的な要素で、スペースX社は最初のモジュールの打上げや補給輸送で中心的な役割を果たす。



54

再使用型ロケット技術の開発

- Grasshopper(バッタ)の打上げ・地上帰還実験(744mまで上昇)
- 海上ドローン(着陸場)30m四方



・最初は4回続けて着陸に失敗したが、この小さな場所にきちんと戻って来ただけでも驚異的だった。
・着地スピードが速すぎて衝突炎上、脚が弱くて顛倒、海が荒れてドローンを避難させた、など毎回失敗理由が違っていた。

55

再使用型の開発競争が始まっている

- ①NZ ロケットラボ社はエレクトロンロケット1段機体をヘリコプターで捕獲し、海に浮かべて回収船で回収することに成功→将来的にはヘリで回収船へ直接輸送。
- ②中国 長征8型はスペースXとよく似た方式で1段機体の回収を行う。
- ③ロシア 2020年から再使用型のアンガラ5VMロケットの開発を開始。
- ④欧州 再使用型ロケット「Themis」のエンジン(Prometheus)をアリアングループが開発中。Themisは2023年打上げ目標。
- ⑤日本 仏CNES・独DLRと共同で小型実験機「RV-X」を用いた研究を実施中。

58

2020年のFalcon 9機体運用状況												
機体No.	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1046 (GD Abort Test)(4回目)												
1049 ●L2			▲L9	5回目で回収失敗		●L7		●L10			●L15	
1051 ●L3						●L6		●L9		●L13	●SXM	
1056 ▲L4			4回目で回収失敗									
1058					●CD DM2	●ANASIS				●L12	●D21	
1059			●D20			●L8		●SAOCOM			●NRO	
1060						●GPS3-3		●L11		●L14		
1061											●CD1(野口)	
1062											●GPS3-4	
1063											●Jason	
打上げ数小計	2	1	2	1	1	3	1	3	1	3	4	3

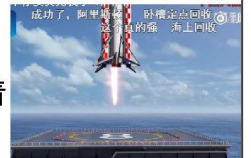
2021年のFalcon 9機体運用状況及び計画												
機体No.	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1049												
1051 ●L16(8回目)												
1056 ●R1(5回目)												
1059												
1060 ●Turk sat 5A												
1061												
1062												
1063												
TBD												
打上げ数小計	3	2										40(見込み)

56

中国の商業打上げの主力となる 1段再使用可能な長征8型

- ・「長征8型」は「長征7型」の1段目(補助ブースターは長征6型2基)と「長征3B型」の第3段(YF75エンジン2機搭載)を組み合わせたロケットで、文昌射場から極軌道に4.5トンの打ち上げ能力を有する。2020年12月に初打上げ成功。YF75は長征5型の第2段にも用いている。

- ・1段機体の再使用のために、着陸脚を展開してドローンに着地する方式を採用。



59

まだ失敗続きだが・・・Starshipは実現するか？

- FalconやDragonをすべて置き換える計画。
- 最大100人搭乗の有人宇宙船を打上げ。
- LEO150t(Saturn Vの118tを上回る)
- Super HeavyはLEO250t



@テキサス州ボカチカ

57

再使用型にチェンジできない既成勢力

- ・米国 Boeing(デルタ)+LM(アトラス)→ULA(両機種による打上げサービス)。
- ・ロシア ソユーズが依然主力。プロトン→アンガラ、ソユーズ→アムールへの移行。
- ・中国 長征旧系列(2-4型)、新系列(5-7型)を運用。
- ・欧州 アリアン5→アリアン6。
- ・日本 H-2A→H-3(今年「だいち3号」打上げ予定)。
- ・NZ エレクトロンを米国からも打上げ。

→当分はスペースXのシェアが急速に拡大、中国は長征8型(長征3と長征7の組み合わせ)で猛迫なるか？

60

中国とスペースXの共通点

1. カリスマ的な指導者の下で従事者が持てる力を発揮する。
2. 何回失敗しても成功するまで挑戦する。
3. 「選択の自由」(フリードマンが提唱)を駆使。
中国は自力更生の意味を変化させ、外国製品を利用することも自力更生だとしている。
4. 失敗もあるが成功率は高く、無駄が少ない。
5. ともに有人火星着陸を視野に入れている。

61

4. 2049年中華人民共和国建国100年までの道筋を予測

- (1) 2025年までに全面的な小康社会の構築と宇宙インフラの整備を完了。
- (2) 2022年以降、宇宙ステーションの恒久的な運用で多くの国の宇宙飛行士を搭乗させる。日本も可能性あり。
- (3) 「嫦娥6号」、「嫦娥7号」、「嫦娥8号」で月着陸やサンプル回収はごく当たり前のことになる。月で水を発見？
- (4) さらに月面有人基地構築を目指す。その場合、米露欧日などとともに国際協力で行うか、または独力で構築するかが世界史的な岐路になる。
- (5) 長征8型ロケットが再使用可能で国内外衛星打上げの主力になる。「スペースXに対抗できるのは中国だけ」という世界2強時代になる。CASCの存在感が高まる。
- (6) 金星や木星に向けて探査機を打ち上げるようになる。
- (7) 2050年頃の火星有人着陸を目指す。どこまで準備できるか？

64

北京理工大学がスペースXの輸送によりISSで宇宙実験を実施

- 2017年6月3日打上げのスペースX社の「ドラゴン CRS-11」貨物輸送船に北京理工大学が開発したDNA分析装置「宇宙環境下で、PCR反応におけるDNAミスマッチング法則を研究する科学ペイロード」が搭載され、実験試料の洋上回収に成功した。
- 米国政府はNASAが中国と協力することを規制しているが、規制を受けない民間レベルであれば協力可能であることを示した。
- 外国の力を借りても、キー技術を獲得して国際的な分業体制の中で主導権を握ることが戦略的に重要。
- 中国は外国の協力も得ながら自国の飛躍的な発展の姿をオープンな姿勢で世界に実力を示すことにより、スペースX社を追走する能力を持つ、国際的な宇宙開発のリーダーの地位を確保することを目指すだろう。



62

おわりに

- 中国はこれまでロシアや欧州に教わって実力を高めてきたが、近年は世界初という技術を見せつけており、既に欧州やロシアでは追いつけないレベルに達している。
- 現在の最強のライバルは米国のスペースX社。
- これからは世界との競争と協調で月や火星の有人探査に挑む。
- 特に米スペースX社との協力が成立すれば、世界史的な岐路になる可能性もある。

65

中国の着陸技術に関するまとめ

- 中国は偵察衛星「FSW」で着陸での予定外の事態が起こっても沈着に対応し、着陸技術を向上させた。
- 1999年から有人宇宙船「神舟」の試験を開始し、2003年に「神舟5号」で最初の宇宙飛行士を打ち上げ、帰還に成功。着陸場は内蒙古の「四子王旗」。
- 2013年に「嫦娥3号」で月着陸に成功。2018年に「嫦娥4号」を打ち上げ、月の裏側(電波が直接届かない)に着陸。「鵲橋」がEML-2点でデータ中継。
- 5月に「天問1号」が火星着陸に挑戦。
- スペースX社の再使用型ロケットに啓発され、商業打上げ用の長征8型の1段機体の再使用を可能にする計画。洋上のドローンに垂直着地。

63

ご清聴ありがとうございました。

- 内容に関するご質問はメールで受け付けます。
tsujino@jcom.home.ne.jp

世界の衛星打上げデータを「宇宙切手の展示室」に随時掲載しています。

<http://spacephila.jp/>

中国の宇宙開発のページ

<http://spacephila.jp/china.htm>

本講演の投影資料

<http://www.spacephila.jp/JST2021.pdf>

66