

科学技術大国 中国

有人宇宙飛行から原子力、iPS 細胞まで

著者 林 幸 秀

「科学技術大国 中国」は、2013年7月25日に中公新書として発行されたものであるが、その後絶版となったため、読者の便と保存のために原稿に戻って再編成し、PDF化したものである。本PDFは閲覧と印刷は可能であるが、編集は不可となっている。

目次

はじめに.....	6
序章 巨人の正体.....	8
科学論文での躍進.....	8
低い専門家の評価.....	9
食い違う像.....	11
科学技術最前線.....	11
第一章 スパコン「天河 1A」、「星雲」.....	13
世界のスパコン開発.....	13
中国はどうか.....	14
「天河 1A」.....	14
「星雲」.....	16
ハイブリッド型の功罪.....	17
画期的な成果だが.....	18
TOP500 ランキングの意義.....	18
HPC チャレンジベンチマークとゴードン・ベル賞.....	19
上がらない利用率.....	20
ビジネス応用で成果を挙げる.....	20
真の世界トップレベルへ.....	21
第二章 有人潜水調査船「蛟竜」と中国の海洋科学技術.....	22
一. 有人潜水調査船「蛟竜」.....	22
未知なる世界、深海.....	22
「バチスカーフ」と「トリエステ」.....	23
科学目的の有人探査船.....	23
兄は海の技術者、弟は宇宙の技術者.....	24
「しんかい 6500」を抜いて世界一に.....	25
記録の意義とは.....	25
利用目的が不明.....	26
重要部品はロシアから.....	26
開発は時間をかけて着実に.....	27
早期の経済的なリターン.....	27
課題は今後の運用.....	28
二. 中国の海洋科学技術.....	29
遅れてきた海洋大国.....	29

海洋調査船と観測衛星.....	30
南極観測の実施.....	30
韓国と世界一を競う造船業.....	31
将来を見据えた海洋石油・天然ガス開発.....	31
第三章 望遠鏡 LAMOST と宇宙開発.....	33
一. 望遠鏡 LAMOST.....	33
天文学の歴史.....	33
LAMOST とは.....	34
建物構成と光学系構成.....	35
光学技術レベルは高いが.....	36
SDSS プロジェクト.....	37
不安材料は観測精度・効率.....	37
データの解析能力の問題.....	38
二. 宇宙開発.....	38
ロケットの打ち上げ.....	39
有人宇宙飛行の誇り.....	40
用意周到な「神舟」計画.....	40
中国版宇宙ステーション「天宮」.....	41
数十年の年月を超えて蘇るソユーズ.....	42
人民解放軍の協力.....	43
中国版 GPS 計画.....	43
弱点を克服するには.....	44
全般的な技術力評価.....	44
第四章 核融合研究装置 EAST と原子力開発.....	47
一. 核融合研究装置 EAST.....	47
核分裂と核融合.....	47
トカマクと ITER 計画の発足.....	48
中国の最新鋭装置「EAST」.....	49
世界初の全超伝導トカマク装置.....	50
容量の限界.....	51
外国の技術や部品も使う.....	52
核融合研究人材をいかに育成するか.....	53
二. 原子力開発.....	54
両弾一星～軍事技術開発.....	54
一周後れの平和利用.....	54
海外技術が中心の原子力発電.....	55

実用化に向けた着実な歩み	56
人材育成の展望	56
住民の反対運動が課題に	56
第五章 iPS 細胞マウス「小小」	58
幹細胞と ES 細胞	58
iPS 細胞の開発	59
クローン研究の実績	60
世界初の iPS 細胞マウス「小小」	60
効率の画期的向上	62
政府による研究支援	63
急激に向上する研究レベル	63
日本を凌駕する臨床応用体制	64
今後の日本との協力関係	64
第六章 遺伝子解析会社 BGI 社	66
遺伝子解析の歩み	66
BGI 社の歴史	67
独特のビジネスモデル	70
インドのインフォシス社	71
BGI 社の科学技術的な意義	72
アカデミックな実力を強化	73
社会にも貢献	74
欧米への窓口、香港支部	74
展望	74
第七章 中国の科学技術の特徴	76
一. 進め方の特徴	76
現在もキャッチアップ主体	76
技術・機器の外国依存	77
着実なプロジェクト実施	77
早急な実用化・商業化	78
自前での製作	79
最新鋭機器導入と運用体制	80
アジアは研究者の不正が多い?	80
信賞必罰で活性化	81
中国共産党の指導との関係は	82
二. 圧倒的な人材の厚み	83
研究者数で世界一	83

世界トップの上海中学生	83
科学オリンピックで世界一	84
大学学生数でも世界を圧倒	85
存在感の大きい中国人留学生	86
清華大学の誕生秘話	88
増大する博士数	89
海外人材の呼び戻し	89
際立つ若さ	91
課題は何か	93
三. 急速に伸びる科学技術投資	94
GDP の伸びを上回る	94
予算は名目で日本に逆転	95
資金力の秘密	96
中国版科研費「NFSC 一般プログラム」	97
民間の研究開発費はどこへ	98
終章 日中共存を求めて	100
世界トップレベルと差のある中国	100
日中協力の意義	100
恐れてはいけないし、侮ってもいけない	101
おわりに	102
参考文献	105

はじめに

中国の科学技術は最近まで、日本を含め世界から注目されることはなかった。一方で、改革開放政策によって、経済の発展は1990年代に始まり、21世紀に入ってますます加速している。中国のGDPは、2010年に日本を追い越し米国に次いで世界第2位となった。経済の発展に応じて科学技術も大きく変化している。中国経済の躍進ぶりはマスコミ等でも紹介される場所が多いが、それにあわせて変化しつつある科学技術の状況は、あまり知られていないのが実情だ。

筆者は、1970年代から、科学技術庁（当時）や文部科学省等で長く科学技術政策に従事してきた。しかし、2000年代初頭までは、中国の科学技術がどのような状況にあり、日本にどのような影響を及ぼすか、日本の政策に取り入れるべき内容はないか、といった疑問や関心を持つことはほとんどなかった。見方を大きく変えるきっかけとなったのは、2003年、日中政府間協力の一環である科学技術行政官交流プログラムで上海市を訪れ、経済発展のすさまじさを目の当たりにしたことである。

上海市は、1992年から始まった浦東地区の大規模開発により一気に現代的な大都市となった。上海市には米国ニューヨーク市マンハッタンの倍以上の高層ビルがあるといわれ、浦東に立つ東方明珠塔の高さ350メートルの展望台から見ると、広大な地平のはるかかなたまでビル群が続いている。そして黄浦地区のバンドと呼ばれる旧租界地区にはヨーロッパ的な優雅さを誇る建物が並び、大勢の中国人が忙しく立ち働く市内のアジア的な喧騒などないまぜになって、上海市の経済発展の強烈さを筆者に伝えてきた。それまでも中国は数度訪問しており、北京市や広東省広州市などを見ているが、上海市での衝撃は全く異次元の経験であった。そこで筆者の頭に浮かんだのが、上海市の急激な経済発展は、中国の科学技術の急成長が支えているのではないかという疑問だったのである。

有史以来、中国は日本にとって競争相手ではなく師匠・先達であり、科学技術も例外ではなかった。明治維新以降、西欧や米国に向けられていた日本の目は、再び急速に発展する中国の科学技術に向きつつある。現在の日中間の科学技術における関係は競争と協力の両側面があり、当分の間これが続くであろう。ライバルとして競争するにせよ、協力して科学技術を進展させるにせよ、まず必要なことは相手を知ることである。相手の力量や科学技術に対する考え方などを知って、初めて競争や協力が可能である。

2003年の上海市での体験以降、中国の科学技術事情を把握すべく調査を重ねてきた。しかし、中国は巨大であり経済社会の変化の速度も速いため、科学技術の実情を把握することは容易ではない。ある科学技術の指標では中国は日本より優れ米国に肉薄していることを示すが、別の調査では中国の科学技術はまだまだ後れているとの結果となる。この辺りの事情は本書の序章で触れた。

この様な状況を打破するため、中国の最先端科学技術の現場に着目し、中国が持つ世界一や世界トップレベルの研究施設などを訪問して調査分析することにより、中国科学技術の実態に迫ろうと試みた。第一章から第六章において、中国の誇る六つの施設、装置、研究を取り上げ、その調査分析結果を記述した。また施設などの内容に加え、中国の海洋、宇宙、原子力のビッグプロジェクトの歴史と現状を、関連の章にあわせて記述した。

現場の調査分析を行ったことで、中国の科学技術の進め方に関する特徴が浮かび上がってきた。加えて、現在の中国の科学技術を支える人材と資金を、数量的なデータを中心に分析した。そして、この進め方、人材、資金の三点について、第七章で記述した。これにより、中国の科学技術の状況がより立体的に把握できたと思う。

中国の科学技術は、米国、欧州の主要国、日本といまだ距離があるというのが、現時点での筆者の率直な感想である。ただし、中国がきわめて大きな科学技術ポテンシャルを有していることはまぎれもない事実であり、このポテンシャルがいつ実際の力となって欧州諸国や日本を凌駕し、トップを独走する米国に迫るかを見極めることが今後の課題となる。そして日本は、大きなポテンシャルを持つ中国とどのように付き合うべきか、を付言したのが終章である。

本書は中国の科学技術の全体像に迫るという意味では初めての試みであると自負している。その意味で、できるだけたくさんの人に読んでいただき、中国の科学技術の現状を知っていただきたい。

序章 巨人の正体

科学論文での躍進

一国の科学技術力を把握するためには、科学技術に関係する研究費や人材数の推移、論文や特許の状況など、さまざまな科学技術指標で評価をする必要がある。

まず「科学研究」の視点から、中国の実力を見たい。科学研究を国別に調べるには、それぞれの国の研究者により発表された科学論文で比較するのが一般的である。文部科学省科学技術政策研究所（以下「科学技術政策研究所」と略す）の調査で、世界の主要国を見たのが表1である。

表1 科学論文の世界シェア

国名	1989 - 1991 年 (平均)		1999 - 2001 年 (平均)		2009 - 2011 年 (平均)	
	シェア (%)	順位	シェア (%)	順位	シェア (%)	順位
米国	34.6	1	31.0	1	26.8	1
中国	1.4	14	3.9	8	12.0	2
ドイツ	7.5	4	8.7	4	7.5	3
英国	8.5	2	9.1	3	7.4	4
日本	7.7	3	9.5	2	6.6	5

(出典) 科学技術政策研究所「科学研究のベンチマーキング 2012」

(注) 整数カウント

米国は論文数のシェアは低下傾向が続いているが、これは近年各国が自国の科学研究を重視するようになったため、それでも全体の三割近くをキープしており、一貫して世界トップの地位にある。日本は、2000年ころには少しシェアを伸ばしたものの、現在は低落傾向が続いている。一方で中国は、急激にシェアや順位を伸ばしており、研究者数や研究費の急激な伸びが今後続くようであれば、世界第一位の米国に近づくであろう。

前記の表1は人文社会科学を除く科学研究全般での比較であるが、中国が得意とする分野で見ると、その発展はさらに明らかである。たとえば材料科学では、2009-2011年での中国の論文数シェアが24.6%（米国は17.2%）であり、また化学分野では20.9%（米国は17.2%）と、すでに両分野で、世界一の論文数シェアを占めている。

このようなデータに対して、中国の論文数が多いのは粗製乱造によるものであって、科

学的なレベルが低く大したことはない、という意見が日本の専門家から出される。確かに論文の質という点では、米国や英国、ドイツなどの欧州勢が、中国より優れているというのは正しい。そこで、具体的なデータを、やはり科学技術政策研究所の資料で示そう。科学技術政策研究所は、その論文がどれだけ引用されているか（被引用数）を考慮した、国別のシェアと順位を公表している。被引用数という尺度が入るため、論文の質も反映される。それを表2で示す。

表2 被引用数上位10%科学論文数の世界シェア

国名	1989 - 1991 年 (平均)		1999 - 2001 年 (平均)		2009 - 2011 年 (平均)	
	シェア (%)	順位	シェア (%)	順位	シェア (%)	順位
米国	56.2	1	48.9	1	41.0	1
英国	9.8	2	11.4	2	11.8	2
ドイツ	6.6	3	10.1	3	11.3	3
中国	0.6	18	2.5	13	10.4	4
日本	6.4	4	7.6	4	5.8	7

(出典) 科学技術政策研究所「科学研究のベンチマーキング 2012」

(注) 整数カウント

米国は、論文総数だけでなく、優れた論文の数においても世界を圧倒している。先に述べたのと同様の理由により、米国は近年少しずつシェアを下げているが、それでも全体のおよそ半分を占めている。日本はあまり高いシェアを示しておらず、特に近年の後退は顕著である。

中国は、論文総数と同様に急激な上昇を示している。2009 - 2011 年のシェアで見ると10.4%と第4位で、米国 (41.0%)、英国 (11.8%)、ドイツ (11.3%) に続く。科学論文の質を勘案した論文数でも、中国は日本より上位にある。つまり一般に言われるほど、中国の論文は粗製濫造ではない。

したがって、この勢いが続くとすれば、科学論文の質を考慮しても、中国が米国に次いで世界第2位の地位を占める日はそう遠くはない。

低い専門家の評価

ところが、「科学技術」の視点から、専門家が中国をどのように見ているかとなると、話は違ってくる。日本と韓国の科学技術専門家が、世界主要国の科学技術のレベルを分野ごとに調査したものを、それぞれ公表している。両者は、国内の専門家の評価・分析を基に調査を行っており、また調査手法も異なっている。しかし、結果はきわめて類似している。

まず日本のデータを紹介しよう。筆者が属する独立行政法人科学技術振興機構（以下「JST」と略す）研究開発戦略センターでは、世界の主要な国と地域の科学技術力を把握するため、およそ二年ごとに先端技術分野での比較調査を実施している。比較を行う対象地域は、日本、米国、欧州、中国、韓国の5カ国・地域。また対象分野は、電子情報通信、ライフサイエンス、臨床医学、環境エネルギー、ナノテクノロジー・材料の5分野である。2011年の報告書を基に、筆者がとりまとめたものが表3である。

表3 日本の専門家による国際比較（2011年）

電子情報通信	米国>欧州~日本>韓国>中国
ライフサイエンス	米国>欧州>日本>中国~韓国
臨床医学	米国>欧州>韓国~日本>中国
環境エネルギー	米国~欧州~日本>韓国~中国
ナノテクノロジー・材料	米国~日本~欧州>韓国>中国

（出典）JST 研究開発戦略センター「日本の専門家による科学技術力の国際比較」

（注）>は左項が優れている、~は同等か左項がわずかに優れていることを示す。

一方、韓国政府傘下の特殊法人である韓国科学技術企画評価院（KISTEP）も、韓国の技術水準を診断し科学技術政策を策定する目的で、国際比較として「国家重点科学技術についての技術水準評価」を行っており、直近では2010年に実施している。このデータを基に、筆者がとりまとめたものが表4である。

表4 韓国の専門家による国際比較（2010年）

情報・電子・通信	米国>欧州~日本>韓国>中国
医療	米国>欧州~日本>韓国>中国
バイオ	米国>欧州~日本>韓国>中国
機械製造工程	米国~日本~欧州>韓国>中国
エネルギー・資源	米国~欧州~日本>韓国>中国
宇宙航空・海洋	米国~欧州~日本>中国~韓国
環境・気象	米国~欧州~日本>韓国>中国
ナノ素材	米国~欧州~日本>韓国>中国
建設・交通	欧州~米国~日本>韓国>中国
災難・災害	米国~欧州~日本>韓国~中国
融合分野	米国>日本~欧州>韓国>中国

（出典）「韓国および日本の専門家による国際比較の対比」を基に作成

（注）>は左項が優れている、~は同等か左項がわずかに優れていることを示す。

日韓の結果を見ると、ほとんどの科学技術分野において米国のレベルが圧倒的であり、続いて欧州、日本が強く、中国は韓国と比較しても劣勢で米欧日の先進諸国と距離がある。

食い違う像

このように中国の科学技術については、日本より優れ米国に肉薄していることを示す指標もあれば、そうではなく中国の科学技術はまだまだ後れているとの調査結果も存在している。

中国の科学技術状況の把握が困難な理由は、いくつかある。

一つ目は、日本を含め世界の科学技術関係者による欧米重視、アジア軽視である。近代の科学技術は欧州で発展し、第二次世界大戦を契機に経済成長と連動する形で米国に重心が移動した。日本でも、明治維新以降、富国強兵の一環として科学技術を積極的に取り入れようとした際、対象となったのは欧米の科学技術であった。これが現在までの欧米重視、アジア軽視につながっており、中国の状況を真剣に把握してこなかった理由である。韓国でも日本と同様、関係者の関心は主として米国や欧州主要国に向いている。

二つ目は、中国の国情に由来している。国土が広く人口も多いことや、近年短期間で爆発的に経済が発展したことなどにより、日本や韓国などの外国人はもとより中国の科学技術関係者ですら、自分たちの国でどのようなことが起こっているかを詳しく把握することが困難である。

三つ目の理由として挙げられるのが、情報公開の後れである。中国の科学技術は軍事技術開発と並行して発展してきた部分も多く、軍事技術に関連する部分は今でも厚いベールに包まれている。また、そもそも欧米流の情報公開の必要性が中国国内で認識されたのは、21世紀に入って経済が発展し、中国と世界の経済がグローバルに関連し始めてからである。

これらの理由から、中国の科学技術の全容を正確につかむことは困難であった。

科学技術最前線

そこで本書では、中国の最先端科学技術の現場に着目した。中国は大国であり、また悠久の歴史を有する国として、人類の様々な活動で世界を牽引してきたし、今後ともその立場を維持発展させようとする意識が強い。科学技術分野でも、常に世界一、そうでなくとも世界トップクラスを意識している。最近の例を挙げれば、日本のスーパーコンピュータ（以下「スパコン」と略す）「京」の前に計算速度で世界一となったのは「天河 1A」という中国のスパコンであるし、中国が開発した有人潜水調査船「蚊竜」は日本の「しんかい 6500」の持つ 6,527 メートルの潜水記録を塗り替え 7,062 メートルに到達した。中国の世界一や世界トップレベルの研究施設などを訪問して調査分析することにより、中国科学技術の実態に迫りたいと考えた。

本書では、第一章から第六章において、中国の誇る六つの施設、装置、研究を取り上げ、

調査分析の結果を記述している。ここで触れた一つ一つの研究施設、装置、研究は必ずしも新規の情報ではないが、同じ時期に同じ手法で調査分析を行っていることが特徴である。

第一章 スパコン「天河1A」、「星雲」

2010年11月に公表された、スパコンの性能世界ランキングTOP500で、中国の「天河1A」と呼ばれるスパコンが世界一となった。この結果は画期的であり、中国の科学技術力の一端を現している。

世界のスパコン開発

スパコンは、地球的規模の気候変動の予測や医薬品の開発などに必須の研究装置である。かつて日本が開発したスパコン「地球シミュレータ」は、気候変動の予測などを目的として開発したものであり、2007年にノーベル平和賞を受賞した「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」にも大きな貢献をしている。

スパコンのハードウェア開発で、先陣を切ってきたのが米国と日本である。米国は、スパコンを含む計算機分野を開拓してきたパイオニアであるとの自負が強く、スパコン開発に全力を注いでいる。「地球シミュレータ」が2002年に世界最高性能を達成した際、米国ではソビエト連邦が1957年に人類初の人工衛星打ち上げに成功した際の「スプートニク・ショック」の再来として、危機感が強く叫ばれた。スパコンは単に一般科学技術に貢献するだけではなく、軍事研究にとっても重要な装置であると米国は見ている。とりわけ核実験が国際世論の批判もあって非常に困難になるなか、計算機上で核実験を模擬しうる手段がスパコンである。この分野で他国に先を越されるのは、国の安全保障からして深刻な事態となるとの認識が広まった。このため米国政府は、官民挙げて世界最高性能のスパコン開発を進め、2年半後に世界一を取り戻した。

米国について、スパコンのハードウェア開発に力を注いでいるのが日本である。2009年、自由民主党政権から民主党政権になった際に行われた事業実施仕分けで、蓮舫参議院議員が「なぜ、スパコンで世界一になる必要があるのでしょうか？ 2位では駄目なんですか？」と発言したのを覚えておられる方も多いと思う。しかし、ノーベル賞化学賞受賞者の野依良治（1938～）博士が理事長である理化学研究所（以下「理研」と略す）はスパコン「京」の開発を続け、ついに2011年6月に世界一を奪還した。12年6月のランキングでは、米国の「セコイア」というスパコンに世界一を奪われたが、それでも日本は「京」の利用をさらに拡大するとともに、次なるプロジェクトの検討を開始している。

これまでのスパコン開発は米日が中心であり、後れをとった欧州諸国はハードウェア開発には注力せず、ソフトウェア開発などに活路を見いだそうとしている。

中国はどうか

中国は遅れてスパコン開発に乗り出したが、その急激な成長ぶりには目を見張るものがある。中国では、三つの系統で技術開発が進められている。一つ目は、国防科学技術大学が開発主体である「銀河シリーズ」。国防科学技術大学は「銀河1号」を1983年に開発し、すでに30年の歴史を持っている。二つ目は中国科学院および曙光信息产业股份有限公司が開発主体である「曙光シリーズ」であり、三つ目は国家並行計算機工程技術研究中心が開発主体である「神威シリーズ」である。

これまでの中国のスパコンは、性能面で比較的凡庸なこともあり、あまり注目されなかった。しかし2004年、曙光シリーズの1つである上海スパコンセンターの「曙光4000A」が、TOP500ランキングで中国のスパコンとして初めてトップテン入りしたことを契機に、徐々に世界トップレベルのスパコンを開発する能力を持つに至っている。

2010年11月には、銀河シリーズの流れをくむ天津スパコンセンターの「天河1A」が、ついにTOP500ランキングで世界最速のスパコンとして認められる快挙を達成した。同じランキングで、曙光シリーズの流れをくむ深圳スパコンセンターの「星雲」も、第3位に入った。日本の理研の「京」がトップとなった2011年6月のランキングでも、「天河1A」は第2位、「星雲」は第4位と、引き続き高い評価を維持した。

「天河1A」

渤海湾に面した天津市の郊外にある天津滨海新区には、ハイテク企業や研究所の集積をめざす広大なリサーチパークが立地している。このリサーチパーク内に「天津スパコンセンター（国家超級計算天津中心）」があり、「天河1A」が設置されている。なお、天津市は中国に4つある直轄市の1つ（他の3つの直轄市は、北京市、上海市、重慶市）で、省と同格の行政単位である。



天津スパコンセンター外観

「天河 1A」を開発したのは、銀河シリーズの開発を進める国防科学技術大学である。中国には、日本の文部科学省に当たる教育部所管の大学以外に、他の組織が所管している大学がある。国防科学技術大学もその1つで、中国人民解放軍の技術系高等教育機関として、1953年内陸部の湖南省長沙市に設立された。

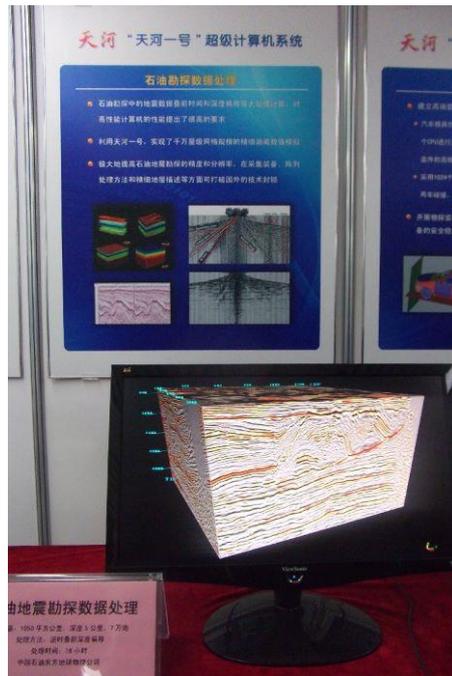
「天河 1A」の開発責任者の一人が、国防科学技術大学の女性教官である卢宇彤氏である。彼女は同大学の計算機学院の教授で、天河プロジェクトの主任設計師である。中国のインターネット・サイトの「新浪網」の2010年12月23日付け記事には、卢宇彤教授は肌が白くすらりと背の高い女性であり、インタビューに応じた関係者の中で「万緑叢中の紅一点」とある。記事には年齢がないが若手の俊才であろう。「天河 1A」の開発担当者の平均年齢も、30歳と非常に若い。

天津スパコンセンターの1階に、スパコンのサーバールームが設置されている。同センターにはハードウェアだけが置いてあり、中国各地のユーザーはネットワークを經由してスパコンにアクセスしている。したがって、センターにいるスタッフ十数名はスパコンの保守管理の技術者が中心であり、ユーザーである研究者や学生などはセンターに常駐していない。

開発費をできるだけ低く抑えるため、建物は既存のビルを転用し、サーバーをおくための部屋も少し床を上げるだけの簡単な改修工事で済ませた。スパコンの心臓部に当たるプロセッサは、大部分が米国インテル社のCPU (Central Processing Unit : 中央演算処理装置) と米国 NVIDIA 社のGPU (Graphics Processing Unit : 画像データ処理集積回路) から成り立っている。CPUだけでなくGPUを多用しているのは中国のスパコンの特徴であるが、これについては後述する。中国オリジナルのプロセッサ「Galaxy FT-1000」も使われているが、数は少ない。

2009年11月のTOP500ランキングで、「天河 1A」の前身である「天河 1」が第5位に入り、一躍脚光を浴びた。その時の計算速度は563テラ FLOPSであったが、モデルチェンジ後の「天河 1A」ではCPU数を追加し、GPUを米国AMD社のチップから現在のNVIDIA社のものに変更して数も追加した結果、計算速度が「天河 1」に比較して5倍程度上昇し(2.57ペタ FLOPS)、2010年11月のTOP500ランキングで世界一となった。なお、コンピュータの処理能力の単位であるFLOPSとは、「floating point operations per second」の略であり、この値が大きいほど計算速度が速い。

ところが、すでに供用開始されている「天河 1A」は、活発に使われている様子がない。天津スパコンセンターにある広報用のパネルには、科学技術のハイテク分野におけるシミュレーションの例示がひと通り展示されているが、実際に使われているかどうかは不明である。したがって、機器開発先行で実用に向けての研究が立ち遅れているという批判があり、「天河 1A」の性能に合ったソフトウェアの開発がこれからの課題といえよう。



スパコンを使って解析した地中の画像データ
石油探索に用いるデータで、後のパネルに
解説が載っている。

「星雲」

「星雲」は、香港行政特別区に近い広東省深圳市に設置されている「深圳スパコンセンター（国家超級計算深圳中心）」に設置されている。深圳市は、1980年に当時の中国の最高指導者であった鄧小平の指示で経済特区に指定され、他の都市に先駆けて経済発展した。中国の有名大学である北京大学や清華大学などは深圳市に分校を設置しており、深圳スパコンセンターはこれらの分校が並ぶ学園エリアにある。「星雲」は、2011年11月に稼働を開始した。

「星雲」は、中国科学院計算機技術研究所が開発し、製造も中国の企業、曙光信息产业股份有限公司が手掛けている。同研究所が2002年から開発する「龍芯プロセッサ」と呼ばれるCPUが使用されている。ただし「天河1A」と同様に、インテル社のCPUとNVIDIA社のGPUも使われており、全体の計算能力は米国社製のチップに頼っているのが実情だ。「星雲」の心臓部に当たるサーバールームは5階建ての建物の2階にあるが、3階および4階にもスペースがあるため、現在の3倍の床面積に拡張することが可能である。ただし、現時点で処理能力の10%程度しか使われていないため、拡張計画はない。



「星雲」のサーバールーム
筐体に「NEBULA (E)」と書かれているのが見える

「星雲」には、「天河 1A」と比較すると、若い研究者や技術者が大勢携わっている。彼らはセンターの職員であり、「星雲」を利用するためのライブラリーの開発、パッケージソフトの開発、セキュリティ対策などを行っている。その他に保守専門の職員もおり、コントロールルームに詰めていた。

ハイブリッド型の功罪

「天河 1A」や「星雲」の大きな特徴は、前述したように GPU を併用していることである。CPU と併せて GPU を利用するスパコン（「ハイブリッド型スパコン」と呼ばれる）は、米国をはじめとする各国で開発されている。日本にも、東京工業大学が「TSUBAME2」という、GPU を併用しているスパコンである。

GPU は、画像データを処理するために開発されたチップである。パソコンでゲームを楽しんだことのある人は、GPU をご存じだと思う。ゲームを楽しむためには、綺麗で精密な画像が必須である。しかし、画像をコンピュータ上で再現しモニターに描出させることは、パソコンの計算リソースを大幅に使うことになる。それを補うのが GPU である。GPU のメーカーとしては、米国の NVIDIA 社が最大手であり、ソニーはかつてゲーム機「プレイステーション」用の GPU を NVIDIA と共同開発した。

ハイブリッド型スパコンは、CPU だけのスパコンに比べ安く作ることができる。なぜなら GPU は、CPU の持っているコンピュータ制御機能をほとんど省き、計算機能に特化したチップだからだ。チップ当たりの計算性能比較では、CPU に比べて圧倒的に高いため、少ないチップ数で安く開発できるのだ。

ただし、GPU だけではスパコンを構成できない。コンピュータ制御機能を持つ CPU を使う必要があるため、ハイブリッド型スパコンは、GPU と CPU をバランスよく協調させることが必要となる。CPU だけのスパコンより利用や運用に困難を伴うのが、ハイブリッ

ド型の課題といえよう。

画期的な成果だが・・・

「天河 1A」は 2010 年 11 月に Top500 ランキングで 1 位を獲得して以来、半年ごとの更新で 2 位、2 位、5 位となり、最新の 2012 年 11 月のランキングでは 8 位と引き続き健闘している。また、「星雲」も 2010 年 6 月に 2 位となって以来、3 位、4 位、4 位、10 位となり、2012 年 11 月のランキングでは 12 位とやはり健闘している。

スパコンの開発では米国が圧倒的な実力を持っており、日本がこれを追いかける構図となっているが、この「天河 1A」や「星雲」の開発により、中国は日米の競争に割って入って来たといえる。中国の場合、大学や国の研究所が開発主体であり、米国の IBM 社やクレイ社、日本の富士通や NEC など、いわゆる大手の電子情報関連会社が関与していない。そのような体制で、日米を抑えて世界トップの計算能力を示すスパコンを開発し得たことは、賞賛に値する。

しかし、快挙であるはずの「天河 1A」の世界一に対して、米国や日本の関係者は、もろ手を挙げて褒め称えたり、脅威に感じたりしていない。

日本の「地球シミュレータ」が開発された際には、米国のマスコミは第 2 のスプートニク・ショックと受け止め、性能で世界トップのスパコンを一刻も早く開発するよう米国政府に強く促したが、「天河 1A」登場のときには、そのような話はほとんど聞かれなかった。日本では、先に触れた蓮舫参議院議員の事業仕分けでの発言が 2009 年暮れにあり、スパコンの自主開発問題が一気に社会問題化した。「天河 1A」のトップ獲得はそのおよそ 1 年後であったが、中国の科学技術力に対する賞嘆や脅威の声は、日本のマスコミ等でもなかった。この辺の事情について、日本の専門家の意見を踏まえ、中国のスパコンの特徴を分析したい。

TOP500 ランキングの意義

スパコンの世界で勲章となっている TOP500 ランキングは、「LINPACK ベンチマーク」で測定した計算速度を基に決められている。LINPACK では、理工学で一般的に用いられる線型方程式を解く速度を測定し、スパコンの演算性能を評価する。1991 年に現在のベンチマークの原型が発表され、2 年後の 1993 年から TOP500 のランキングが公開されている。中国の「天河 1A」や「星雲」は、明らかに TOP500 ランキングを意識し、リストの上位に行くように設計し、チューニングされているのだ。

しかし、LINPACK ベンチマークやそれに基づく TOP500 ランキングについては、公表当初より根強い批判がある。TOP500 ランキングのために最適化されたスパコンが、LINPACK ベンチマーク以外のソフトウェアでも高い性能を示すことができるのか、という批判である。これはスパコンを開発しているものにとっての共通の疑問となっている。しかし、LINPACK に取って代わるベンチマークは、次に述べる HPC チャレンジベンチ

マークなどの試みがあるものの、まだ確立されていない。

中国の本当の科学技術力を測るためには、HPC チャレンジ賞やゴードン・ベル賞（これも後述する）など、複数の評価も合わせて見ていく必要がある。

HPC チャレンジベンチマークとゴードン・ベル賞

TOP500 ランキングに用いられる LINPACK ベンチマークほど有名ではないが、複数の計算特性を評価するための HPC チャレンジベンチマークが、最近米国政府機関とテネシー大学の主導により作成されたのが、HPC チャレンジベンチマークである。2005 年からはこのベンチマークでの評価に基づき、高性能のスパコンに対して「HPC チャレンジ賞」が授与されている。HPC とは「High Performance Computing」の略で、スパコンを含む高性能計算に係る科学技術の総称である。

HPC チャレンジベンチマークは、科学技術計算で多用される計算パターンから抽出した 28 項目の処理性能によって、スパコンの総合的な性能を評価するベンチマークプログラムである。この中でも特に重要な、①大規模な連立 1 次方程式の求解における演算速度、②並列プロセス間でのランダムメモリアクセス性能、③多重負荷時のメモリアクセス速度、④高速フーリエ変換の総合性能の 4 つについて、HPC チャレンジ賞として各部門の第 1 位が表彰される。

HPC チャレンジ賞の受賞スパコンを見ると、TOP500 ランキング上位のスパコンと必ずしも一致していない。たとえば、2010 年 11 月に TOP500 で世界一となった「天河 1A」は 2010 年の HPC チャレンジ賞の 4 部門のいずれにも顔を出しておらず、2 位であった米国オークリッジ研究所のクレイ XT5 というスパコンが HPC チャレンジ賞の 2 部門で受賞している。理研の「京」は 2011 年、TOP500 で 6 月も 11 月もが世界一に輝き、HPC チャレンジ賞でも 4 部門の受賞を独占した。2012 年は、6 月と 11 月の TOP500 で 2 位、3 位と順位を下げたが、HPC チャレンジ賞では 4 部門中 3 部門の受賞を果たしている。

中国の「天河 1A」や「星雲」が HPC チャレンジ賞の受賞リストに入っていないことは、ベンチマークを LINPACK 一本に絞って開発していることを示しており、実際の科学技術計算用途で幅広く活躍するには弱点がある。

また、米国計算機学会（ACM）は、毎年 11 月、スパコンを用いて科学的に価値の高い成果を収めたグループに、ゴードン・ベル賞を授与している。ゴードン・ベル（1934～）は、著名な米国のコンピュータ技術者である。

2011 年のゴードン・ベル賞では日本のグループが大活躍し、「京」がシリコン中の電子の動きを分析した業績で最高性能賞、「TSUBAME2」が金属結晶の成長の様子を再現したシミュレーションで特別賞を受賞している。また「TSUBAME2」は、血管中の血液の流れを再現する別の研究でも奨励賞を受賞し、ダブル受賞となった。2012 年のゴードン・ベル賞でも、やはり「京」が宇宙空間を埋め尽くす謎の暗黒物質（ダークマター）の粒子約 2 兆個が初期の宇宙でどう動いていくかをシミュレーションした業績で、最高性能賞を受賞

した。

ここでも、中国のスパコンを用いたシミュレーション成果が出てきていない。

上がらない利用率

HPC チャレンジ賞やゴードン・ベル賞の結果からわかる通り、「天河 1A」や「星雲」はすでに科学者などに供用を開始しているものの、実際にはそれほど使われていない。「天河 1A」の利用率ははっきりしなかったが、「星雲」の利用率は 10%にも満たない。利用率の向上は今後の大きな課題である。

利用率が低いのは、LINPACK ベンチマークで良い成績を収められるように、スパコンのハードウェア構成を決め、その能力の具体的な利用を十分に想定していなかったことによる。特に GPU を多用するハイブリッド型スパコンの開発は最近活発化したものであり、対応するソフトウェアの開発がそれ程進んでいない。「京」のソフトウェアであれば、「地球シミュレータ」など CPU のみで構成された他のスパコンのソフトウェア資産をかなり継承できる。

中国の開発者も、スパコンの利用方法として気候変動、タンパク解析、災害対応などを挙げているが、実際のユーザーの意見を十分に吸収していなかったため、結果として利用率が低くなっている。日本では、理研の「京」や東工大の「TSUBAME2」のシステム設計時に、ユーザーの意見を十分に取り入れ、開発後もユーザーの要求に応えるよう努力を積み重ねているため、優れた成果を挙げている。

なお、近年、「天河 1A」や「星雲」の設置運用者が、利用率向上を重要視するようになった背景には、運用資金の問題がある。中国では独立採算的な考え方が浸透しており、ハードウェアを設置するまでは国や地方政府が資金を供給してくれるが、いったん運用開始となると自前で資金を調達せねばならず、運転経費を得るために利用率を上げる必要があるのだ。

ビジネス応用で成果を挙げる

しかし、日本の「地球シミュレータ」や「京」の開発と比較して、中国側が明らかに優位に立っているものがある。それは、開発した成果のビジネスへの応用である。たとえば、「星雲」の兄弟スパコン「曙光」5000 シリーズの販売元である曙光信息产业股份有限公司は、商用スパコンと高性能サーバーの工場を天津市で稼働させ、中国国内に供給しているが、その売れ行きがたいへん好調である。

中国のスパコン開発の特徴を単純化していえば、TOP500 ランキングで高いレベルのスパコンを作り上げる一方で、少し性能が低いけど価格の安いものを大量に投入して、中国の国内市場を席巻していく手法である。世界トップレベルのスパコンは必ずしも使い勝手が良いわけではないし、現在の中国国内の大学や研究所のほとんどの研究現場においては、それ程高い性能が要求されていない。そこで、汎用品の安価な CPU や GPU を大量に使っ

て、適度な性能で価格の安いスパコンを国内に供給しているのだ。

日本の「地球シミュレータ」は、スパコン大国の米国に大変なショックを与え、その後の運用においても世界的な成果を出した。しかし「地球シミュレータ」が、開発を担当した NEC に商業上の利益をもたらしたかという点になると疑問符が付く。「地球シミュレータ」の開発に要した資金の回収が、十分になされていないと聞く。日本の関係者は、中国のビジネス感覚に大いに学ぶべきである。

なお、「京」と、これを開発した富士通の場合、開発成果の商業的な応用が大きく改善され、東京大学や分子科学研究所などに「京」の成果を生かしたスパコンが導入される予定である。したがって日本におけるビジネス応用は、もう少し息長く見守っていきたい。

真の世界トップレベルへ

すでに見てきたように、「天河 1A」や「星雲」は、計算速度という尺度では世界トップレベルに追いついてきているが、利用・運用までを含めた総合力では必ずしも世界トップレベルのスパコンではない。スパコンといえども、使われなければただのハコに過ぎない。今後は、単に計算速度を上げるだけでなく、その能力を利用して何をするかが問われる。中国のスパコンの評価は、完成し運用が始まったこれからが勝負となろう。

2013 年に公表された世界スパコンランキングで、広東省広州市にある広州スパコンセンターの「天河 2」が、演算速度で世界一となった。開発者は、本章で取り上げた「天河 1A」と同じ国防科学技術大学である。前回世界一だった米国のスパコンと比較して、およそ 2 倍の演算速度である 33.9 ペタ FLOPS を達成する快挙であった。

ただ、本章でここまで述べてきた内容を大きく覆すものではない。「天河 2」は「天河 1A」と同様にハイブリッド型を継承しており、プロセッサも CPU はインテル社製、GPU は「天河 1A」の NVIDIA 社製からインテル社製に変更しているが、両方とも米国製品である。今後、「天河 2」の詳細をよく調査するとともに、他のベンチマーキングでの評価や科学的な成果を確認していく必要がある。

第二章 有人潜水調査船「蛟竜」と中国の海洋科学技術

2012年6月、中国はある科学技術の分野で世界一となった。深海底などの様子を観察するとともに、深海の試料や生物を採取する有人潜水調査船「蛟竜 (JiaoLong)」が、海中深く潜航した深度で達成した。ここでは「蛟竜」について述べるとともに、あわせて中国の海洋科学技術についても述べたい。



蛟竜の外観（写真：人民网）

一. 有人潜水調査船「蛟竜」

未知なる世界、深海

人類は、未知なる世界に挑戦し続けている。とりわけ20世紀後半は、宇宙への挑戦が際だつ時代であった。ソ連が初めて有人宇宙飛行を行ったのは1961年であり、米国のアポロ11号による月面着陸は8年後の1969年である。現在でも、米国、ロシア、日本、欧州の4極による国際宇宙ステーション・プロジェクトや、中国単独での宇宙ステーション「天宮」計画が進められており、地球近傍の宇宙に対する知見は着実に増えている。

一方、深海の方はどうだろうか。深海は宇宙と並び、人類にとって未知なる世界の代表選手であった。フランスの小説家のジュール・ベルヌ（1828～1905）が「海底2万里」を発表したのが1870年であり、その意味では宇宙より遙かに深海の方が身近であったが、その後は遅々として探査が進まなかった。

深海の探査が宇宙に比べ遅れた理由はいくつかある。まず、地上との通信手段の違いである。宇宙は電波を使うことができるが、深海は電波が全く役に立たない。実用的に使える通信手段は音波だけである。音波に載せて送ることができる情報量は非常に少なく、伝達速度もきわめて遅い。また海中では光がほとんど通らないため、深海に光源を持ち込んだとしても、自分の目で見ることができるのは数メートル先の限られた範囲である。さらに深海の水圧は極めて高く、例えば 1 万メートルの深海での水圧は 1,000 気圧に達する。1,000 気圧とは、1 平方センチメートル当たり 1 トンの圧力がかかる状態を指す。この水圧に耐えて活動を行う必要があるのだ。

「バチスカーフ」と「トリエステ」

深海を自分の目で見るといふ冒険に挑戦したのが、スイスの科学者であるピカール親子である。父のオーギュスト・ピカール（1884～1962）は、1930 年代から深海探査に乗り出し、1947 年に電気推進式の「バチスカーフ」と呼ばれる有人潜水調査船を発明した。1954 年には、「バチスカーフ」に自ら乗って、約 4,000 メートルの深海に到達している。

さらに 1953 年には、「バチスカーフ」と同様の設計思想に基づき、2 人乗りの有人潜水調査船「トリエステ」が進水した。深海の水圧に耐えて人間の乗る空間を維持する耐压殻は潜水調査船の心臓部であり、「トリエステ」の耐压殻はドイツのクルップ社が製造した。直径約 1.8 メートルの球状鋼鉄製で、厚さは 12.7 センチ、全体の重さが約 14 トンであった。この耐压殻により、マリアナ海溝の最深部にあるチャレンジャー海淵での水圧およそ 1,100 気圧に耐える設計となっていた。

「トリエステ」は米国海軍に買い上げられ、1958 年に米国カリフォルニア州のサンディエゴ海軍基地に運ばれた。そこで改修の後、1960 年にチャレンジャー海淵に潜航し、10,911 メートルの深度に到達した。この時の搭乗者は、オーギュスト・ピカールの息子であるジャック・ピカール（1922～2008）と、米国海軍大尉のドン・ウォルシュ（1931～）であった。ただ「トリエステ」は、大量のガソリンを浮力材としているため取り扱いに危険を伴い、海中での動きもきわめて緩慢であった。

科学目的の有人探査船

「トリエステ」の成功は画期的であったが、深海をより科学的に探査しようとする、安全で機動的な有人潜水調査船が必要と考えられた。そこで乗員数を増やし、より安全性と機動性を高めることを意図して開発されたのが、米国の「アルビン」である。米国海軍は、3 人（研究者 2 名、運航者 1 名）乗りで、設計潜航深度 4,500 メートルの「アルビン」を 1964 年に就航させ、マサチューセッツ州ボストン市の近郊にあって、海洋研究で有名なウッズホール海洋研究所に運用を行わせた。

「アルビン」を有名にしたのは、事故により海中に落下した水素爆弾の発見である。1966 年、米国空軍の爆撃機と空中給油機がスペイン南部で空中給油中に衝突事故を起こし、両

機が墜落した。この事故は「パロマレス米軍機墜落事故」と呼ばれているが、墜落した爆撃機には4個の水素爆弾が搭載されており、3個が地上に1個が海中に落下した。海中に落ちた水素爆弾の探索に「アルビン」が投入され、事故の約2ヵ月半後に水素爆弾が発見され、海中より引き上げられた。

また、1912年に冰山との衝突して沈没した豪華客船タイタニック号は、1985年に大西洋の海底3,650メートルに沈んでいるところを米仏の調査団により発見され、翌1986年に「アルビン」による潜水調査が実施されている。

1964年の「アルビン」の就航から20年を経て、ようやく他の国も有人深海探査船の運航に乗り出す。フランスは、1984年にフランス国立海洋研究所(IFREMER)が運用者となって設計潜航深度6,000メートルの「ノチール」を、続いてソ連(現ロシア)は1987年にソ連科学アカデミー(現ロシア科学アカデミー)が運用者となって同じく設計潜航深度6,000メートルの「ミール」を、それぞれ就航させている。

日本は、先行諸国における開発状況を踏まえ、科学目的である有人潜水調査船としての設計潜航深度で、世界一を目指して技術開発を重ねた。まず設計潜航深度が2,000メートルと比較的小さく、運航者や研究者が乗る耐压殻の設計製作が容易である「しんかい2000」を1981年に完成させ、この運用結果を基に1989年に「しんかい6500」を建造した。日本は、世界最深の日本海溝を近傍に抱えていることなどから、設計潜航深度を世界最高となる6,500メートルとした。

兄は海の技術者、弟は宇宙の技術者

「蛟竜」は、中国により開発された有人潜水調査船である。1992年にプロジェクトが提案され、政府部内の検討を経て2002年より開発が行われた。「蛟竜」の設計、開発、試験を行う主体CSSRC(China Ship Scientific Research Center)は、上海市の西北に位置する江蘇省無錫市にあり、中国船舶重工集団公司傘下の研究所である。一方、「蛟竜」を所有し運用を行う主体は、北京市に本部を有するCORMA(China Ocean Mineral Resources R&D Association)である。

「蛟竜」は、まだ竜とならない「蛟(みづち)」のことで、水中にひそみ雷雨に会して天に上る想像上の動物として知られるが、これは日本語としての「蛟竜」であって、中国人にとって「蛟竜」とは、竜の中でも最も優れた強い竜を指す。

CSSRCの副所長で「蛟竜」開発の責任者の一人である崔維成(1963～)博士は、江蘇省海門市で生まれた技術者である。崔は、1986年に北京市の清華大学の工程力学課程を卒業し、英国に留学の後、博士号を取得している。中国の研究所の上層部には留学経験のある人が多いが、彼もその一人である。ちなみに、彼は4人兄弟の長男で、弟の崔維兵は宇宙関連機関の1つである中国航天科工集団公司(CASIC)の技術スタッフで、2012年女性宇宙飛行士らを載せて打ち上げられた「神舟9号」プロジェクトに関連した業務に就いている。つまり兄は海を、弟は宇宙を開発する技術者なのである。



崔維成氏（左、写真：人民網）

「しんかい 6500」を抜いて世界一に

「蛟竜」の開発のねらいは、やはり科学目的の有人潜水調査船において世界一の潜航深度を達成し、中国の科学技術力を誇示することにある。中国側の説明によれば、最深潜航深度を 7,000 メートルとしたのは、政府部内での調整の結果である。当初の最深潜航深度は 6,000 メートルを考えていたが、今更 6,000 メートルの有人潜水調査船を開発したとしても世界的にはあまり評価されないことが予想されたため、世界一となる 7,000 メートルを目指した。

「蛟竜」は、2008 年 1 月に CSSRC の屋外水槽で全体システムの動作試験を終了、2009 年 8 月に海上試験出航式を行い、2012 年 6 月にマリアナ海溝で 7,062 メートルの潜航に成功した。これで、「しんかい 6500」が 1989 年に達成した 6,527 メートルという潜航記録を、「蛟竜」は抜いたことになる。開発した有人潜水調査船が、設計値通りに 7,000 メートルの深海に達することができたのは、中国の科学技術力の確かさの証である。

記録の意義とは

ただ、この快挙には少し留保を付ける必要がある。

先に、潜水調査船の歴史的な経緯のところで述べたように、今から 50 年以上前の 1960 年に、米国の「トリエステ」はマリアナ海溝のチャレンジャー海淵で、10,911 メートルという「蛟竜」よりもはるかに深いところに有人で潜水した記録を有している。また 2012 年 3 月には、映画の「タイタニック」や「アバター」の監督として著名なジェームス・キャ

メロン氏が、「直立魚雷」と自らが呼んでいる 1 人乗りの潜水艇「デープシー・チャレンジャー」でチャレンジャー海淵の潜航に挑戦し、10,898 メートルという「トリエステ」の記録に迫る地点に到達した。そして、数時間深海底に留まり、標本採取、写真・ビデオ撮影などを行った後に、海水面に帰還している。

では、なぜ日本の「しんかい 6500」が世界的に注目されたのかというと、キャメロン監督の挑戦のような単発的かつ冒険的な形ではなく、所要の計測装置などを搭載して、科学調査目的が十分達成できる形で、繰り返し潜航できるようになった点に意義があった。したがって、「蛟竜」が本当に意味のある有人潜水調査船として認められるためには、今後潜航回数を着実に積み上げ、科学的な調査の実績を挙げなければならない。

利用目的が不明

日本では、今回の「蛟竜」が達成した潜航深度記録更新のニュースを、中国の軍事的な意図と重ねて報道する向きがあったが、「蛟竜」はあくまで「アルビン」や「しんかい 6500」と同系統の有人潜水調査船なので、中国は資源探査を含めて科学目的を中心に運用するはずである。しかし現在までの情報では、世界一の設計潜航深度を持つ「蛟竜」を用いて、どのような科学探査を行うかがはっきりしない。

日本の場合、2011 年の東日本大震災を含め、海溝型の大地震が有史以来たびたび発生しており、海溝型地震のメカニズムを知る上で深海底の状況調査は重要である。さらに深海の生態系の調査、深海底に堆積した物質調査、熱水調査などによる物質循環の分析も、気候変動や地球環境保全などの研究につながる。このため、「しんかい 6500」を運用している海洋研究開発機構では、自らも研究チームを有するとともに、大学や他の研究機関の研究者を集めて運用を協議する場を設置している。

今後中国が「蛟竜」を活用していくとなると、国内の研究者を含めた研究コミュニティとの連携が重要と考えられ、そのシステムの構築がこれからの課題となろう。

重要部品はロシアから

「蛟竜」を子細に見ると、中国流の技術開発の特徴が見えてくる。1 つ目の特徴は、自前技術にこだわらないという点である。

もともと中国は深海で活動できる有人潜水調査船の技術を持っておらず、1992 年のプロジェクト計画時点では 300 メートルまでの有人潜水調査船を製造した実績があるだけであった。日本の場合には、6,500 メートルの有人潜水調査船を開発する前段階として自国の技術により「しんかい 2000」を開発し、いろいろな角度から技術実証を進めたうえで、自国の技術を改良しながら次のステップに移っている。一方中国は、最終的な目的達成のためには、自前の技術でなくても問題ないという方針に出た。

有人潜水調査船の建造で技術的に一番重要なのは、深海での水圧に耐えて、乗っている人間の安全を保つ耐圧殻の製造である。日本は耐圧殻を自主開発したが、「蛟竜」はロシア

から輸入している。ロシアには、ニッケル鋼製の「ミール」の耐压殻やチタン合金製の「コンサル」の耐压殻の製造実績を有しており（いずれも設計潜航深度 6,000 メートル）、これをベースとして「蛟竜」の耐压殻を製造し中国に輸出した。

また「蛟竜」の外観はミールによく似ており、全体の設計もロシアの技術が反映されている。さらに、7,000 メートルの深さに対応した浮力材が英国製であるほか、障害物探知ソナーやドプラー式対地速度計（DVL）など主要なセンサーもほとんど外国製である。

開発は時間をかけて着実に

「蛟竜」開発に見られる中国流技術開発の 2 つ目の特徴として、着実に順を追って進めるという姿勢が挙げられる。

「蛟竜」は、2008 年 1 月に全体のシステムの動作試験を終了し、2008 年 8 月に海上試験を開始している。したがって、システム動作試験終了時点から 7,000 メートルの設計潜航深度を達成した 2012 年の 6 月まで、およそ 4 年半の年月が経過している。「しんかい 6500」は 1989 年 1 月に進水式を行っており、同じ年の 8 月には目標であった 6,500 メートルをクリアする 6,527 メートルの潜航深度を達成している。何事につけトップダウン方式と思われる中国が何を手間取っているのだろうか、何か不測の事態でも起きたのだろうか、疑問を持った日本の関係者も多かった。2012 年の 6 月に 7,000 メートルの設計潜航深度をクリアする前、「蛟竜」が 7,000 メートルまで潜航しないのはロシアから輸入した耐压殻に問題があり、乗務員の安全性を考慮して実験を実施しないのだという噂が、日本国内で流れていた。

7,000 メートルの実験航海に出発する前の 2012 年 1 月、我々の関係者が「蛟竜」を視察して中国の開発・運用関係者に会っている。話をした中国側は実に悠然たるもので、課題は 1 つ 1 つ着実にクリアしており、7,000 メートルの達成も慌てることはない、という態度であった。むしろ日本の専門家に対して、今後の「蛟竜」のオペレーションやメンテナンスにおける課題や悩みをぶつけ、日中の協力関係構築の可能性について言及してきた。その後「蛟竜」は実験航海に出航し、2012 年 6 月に 7,062 メートルの記録を打ち立てており、中国関係者の余裕は本物だったのである。

早期の経済的なリターン

3 つ目の特徴は、研究開発の段階にあっても経済的な利益に敏感なことである。

「蛟竜」はシステム動作試験から設計深度の 7,000 メートルに到達するまでの 4 年半は、「開発中」という位置づけだった。しかし、資金回収ができるのであれば運用すべしという考え方から、調査潜航を実施している。具体的には、中国や日本も参加している国際海底機構（ISBA: International Seabed Authority）からの委託契約に基づく調査を実施した。国際海底機構は、国連海洋法条約により人類の共同の財産であると規定された深海底（いずれの国の管轄権も及ばない区域、つまり各国の大陸棚の外側の海底およびその下）

の資源の管理を主たる目的として、1994年に設立された国際機関であり、事務局はジャマイカの首都キングストン市に置かれている。

日本の場合、開発中の潜水調査船が運用されることは想定されない。なぜなら、製造するメーカー（「しんかい 6500」の場合には三菱重工業）と運用主体（独立行政法人海洋研究開発機構）とが厳密に分かれており、設計潜航深度を達成したのちメーカーから運用主体に引き渡され、初めて運用が開始されるからだ。ところが中国では、製造者と運用主体が一体となって開発しているので、このようなやり方ができるというわけだ。

課題は今後の運用

「蛟竜」は、「しんかい 6500」の潜航深度を抜き、科学探査を目的とする有人潜水調査船として世界一となった。しかし、単に設計潜航深度に達しただけでは、有人潜水調査船を作った意味はない。中国側の関係者もその辺の事情は十分に理解しており、「しんかい 6500」の運用開始後における試験、検査や部品の取替え頻度等について、強い関心を持っている。「しんかい 6500」の20年以上にわたる運用実績は、中国側にとって大変参考になる。

今後の運用で気になる点は、「蛟竜」の保管場所である。「蛟竜」の開発、実験を担当するCSSRCは海に面しておらず、「蛟竜」はメンテナンスの度に陸路で保管場所まで運ばれている。一方、「しんかい 6500」の場合は、母船から直ちに海に面するメンテナンス・エリアに移動できる。海に面していないと使い勝手が悪く、運用効率が大幅に減少するおそれがある。また、長時間の陸路輸送の際の振動が、調査船本体に悪影響を与えるおそれもある。今後の検討が必要である。



蛟竜の保管場所 海から離れた場所にあり、輸送リスクが課題

さらに、潜航中の動力源である電池の種類も、運用にとって重要なファクターである。

現在「蛟竜」の電池は、酸化銀亜鉛を用いている。一方、日本の「しんかい 6500」の電池は、リチウムイオン電池を使用している。リチウムイオン電池は、エネルギー密度や寿命などの観点で優れた特性を持っており、中国側としてはこの辺の情報についてもアクセスを期待したいところであろう。



支援母船「よこすか」へ搭載作業中のしんかい 6500

(提供：独立行政法人海洋研究開発機構)

しんかい 6500 は海に近接する保管庫に収納されている

二. 中国の海洋科学技術

ここで、中国の海洋科学技術全般について述べておきたい。中国は基本的には大陸国であるが、領土そのものが大きいゆえに、国土の東南を、渤海、黄海、東シナ海、南シナ海に囲まれ、比較的長い海岸線を有している。近年は資源開発や安全保障の観点から、これらの海洋部分に関する開発が中国にとってきわめて重要となっており、海洋科学技術にも力を入れている。

遅れてきた海洋大国

中国の歴史を振り返ると、中国が強大な海軍力によって南アジア地域ににらみを利かせた時代も存在している。15 世紀初めに明の鄭和（1371～1434）は、時の皇帝永楽帝の命を受けて、大艦隊を組織して現在の東南アジア地域からインド、さらには中東やアフリカ東海岸まで遠征を試みている。これは、ポルトガルの航海者ヴァスコ・ダ・ガマによる、大航海時代の開始を告げる 1498 年のインド航路発見よりも、百年近く前のことであり、鄭和の船団は当時の世界最強船団であった。しかし、鄭和が死亡した後はこれを継ぐものではなく、明の後継王朝である清もほとんど海洋進出に関心を示さなかった。

中国の経済発展が始まる 20 世紀後半以降になり、ようやく中国の海洋進出は強化された。とりわけ、1982 年に採択され 1994 年に発効した国連海洋法条約が引き金となって、

中国においても海洋資源の持続的な利用、海洋環境・生態系の保護、海洋経済・海洋公益サービスの拡大などが重要視されてきた。これを受けて 1996 年に海洋総合管理を目的として「中国海洋アジェンダ 21」が策定され、さらに 2008 年に中国海洋開発の基本政策として「国家海洋事業発展計画」が策定されている。

海洋調査船と観測衛星

海洋管理や海洋権益保護のために、各国とも関連する機関が海洋調査船を運用している。中国も同様に、海岸線調査、海底地形調査、鉱物資源調査、漁業資源を含む生物環境調査などの海洋調査を、それぞれの目的に適した機材を装備した海洋観測船により実施している。

一方、このような国家権益にからんだ海洋調査とは別に、学術調査も行われている。中国の誇る科学調査船は、中国大洋協会所属の「大洋 1 号」であろう。船の全長が 100 メートルを超え、排水量が 5,600 トンの大型船舶であり、1995 年の就航以来、世界一周を数回実施して熱水鉱床や熱水チムニーなどを調査してきた、先進国並みの科学調査船である。

最近の動きとしては、中国科学院により第 11 次 5 カ年計画の一環として総合海洋調査船「科学」の建造が進められ、2011 年 11 月に湖北省武漢市で進水式が行われた。船の全長が約 99.6 メートル、総トン数が 4,864 トン、継続航海能力 60 日、定員 80 名の大型船舶である。2012 年より運航を開始し、向こう 10 年から 20 年の間、中国の海洋科学調査の主力となる。

中国は、海洋観測に特化した人工衛星も所有し、運用している。日本では、地球観測衛星を打ち上げる場合、多くのセンサーを搭載するが、中国は 1 衛星 1 センサーの小型衛星を原則としており、その一環に海洋観測衛星がある。

海洋観測用として、中国は海洋シリーズの人工衛星を 5 基打ち上げることとし、2012 年現在、海洋 1 号 A、海洋 1 号 B、海洋 2 号の 3 基を打ち上げて、運用を行っている。観測の内容は、中国近海での赤潮発生、油漏れ、海氷モニタリング、大陸棚や河口の動態観測などである。

南極観測の実施

海洋科学技術に関連するものの一つに極地観測があり、特に科学技術的な面で実績を積み重ねてきているのが、南極観測である。中国には、中国国家海洋局の傘下に中国極地研究所がある。

中国は日本と同様、南極条約（南極地域の平和的利用を定めた条約。1961 年発効）に加盟し、積極的に南極観測等を実施している。1984 年に初めての南極観測隊を出発させ、翌年に南極海のキング・ジョージ島に長城基地を建設し、南極観測のスタートを切った。さらに、1989 年には中山基地、2009 年には崑崙基地を完成させている。崑崙基地は南極内陸部にあつて、各国の南極基地の中でも最も高度の大きい海拔 4,093 メートルに位置して

いる。

また中国は、極地調査船として「雪竜」という船を保有している。「雪竜」は、元々ウクライナの砕氷船であったが、中国が購入して改造し、1994年に極地調査船として就航させた。

日本の南極観測は、1956年の永田武（1913～91）隊長以下53名の第1次観測隊が最初であり、翌1957年には、昭和基地を開設しているの、中国は日本に比べておおよそ30年の遅れがある。

韓国と世界一を競う造船業

海洋に関連する技術として、造船技術の事例を見てみよう。中国は、近年急速に造船能力を拡大しており、世界トップを走る韓国と覇を競っている。

中国の造船業は、1980年代まで旧態依然たる設備や技術力しかなく、建造対象も自国内航船が中心で、造船量も少なかった。1990年代にいたり、自国貨物は自国の船で輸送し、自国の船は自国で建造することを基本とする「国輸国造政策」が強力に推進され、地方に分散していた造船所が主として「中国船舶重工業集团公司」と「中国船舶工業集团公司」の2つのグループに統合された。江蘇省無錫市で「蛟竜」を建造したCSSRCは、前者の下部機関である。

2つのグループは、海外からの技術や資本導入を通じて着実に競争力を高め、2007年に受注量で世界第1位、手持ち工事量で第2位、竣工量で第3位となり、日本の造船業を抜いて韓国に肉薄した。さらに2010年には、上記の3つの指標いずれにおいても中国は韓国を追い抜き、世界一の造船国である。

ただ中国の造船技術は、造船効率やデジタル化において韓国や日本に後れを取っており、これを安い労働力や船舶用鋼板の国内自給力などで補っている。

将来を見据えた海洋石油・天然ガス開発

世界の石油・天然ガスの開発は、陸地を中心としたものから海洋へと移りつつある。とりわけ最近では、海底掘削技術の進歩によって、より深い海底からの石油・天然ガスの開発が実施されている。

中国で、海洋の石油・天然ガス田の探査、採掘、開発などを実施しているのは、国有石油会社である「中国海洋石油総公司（CNOOC）」である。CNOOCは、これまでのところ渤海、南シナ海などの水深数百メートルの比較的浅いところで石油・天然ガス田の開発を実施してきたが、南シナ海の水深300～3,000メートルに大きな鉱区が発見されており、近年この開発に力を入れている。また、ナイジェリアやアンゴラの沿岸域においても、CNOOCは油田・ガス田開発を行っている。

石油開発技術は多くの先端技術を必要とするが、現在のところ中国の技術は、他の石油掘削先進国に比較すると高くない。しかしCNOOCは、上海交通大学などの国内の大学、

研究機関、あるいはノルウェーなどの外国企業と提携して、技術開発に努めている。この背景には、国内の急激な経済発展に伴うエネルギー需要の増大があることはいうまでもない。

第三章 望遠鏡 LAMOST と宇宙開発

中国は 2003 年、ソ連および米国に次いで有人宇宙ロケットの打ち上げに成功した。このことから、宇宙技術大国としてのイメージが強くなっている。しかしながら、軍事目的を中心に発展してきたがゆえに、機密保持の観点からオープンでない部分も多く、多くの情報が厚いベールに包まれている。このため、宇宙開発関連施設の訪問は困難であるが、宇宙科学の一部である天文学の施設は比較的オープンである。今回、中国が世界に誇る望遠鏡 LAMOST (The Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope : 広視野多目標光ファイバー分光観測天体望遠鏡) を調査できたので、本章では LAMOST について述べるとともに、公表資料をベースに中国における平和目的の宇宙活動の現状を併せて述べる。

一. 望遠鏡 LAMOST

LAMOST は、北京市に近い河北省にある中国科学院国家天文台の望遠鏡であり、約 4,000 個にのぼる天体の可視光スペクトルを一度に観測できる施設として、世界でもユニークな地位を占めている。

天文学の歴史

太陽系や銀河などの宇宙は、人類にとって大きな謎であるとともに、畏敬や恐怖の対象でもあった。この宇宙に科学のメスが入ったのは、ポーランドの天文学者ニコラウス・コペルニクス (1473~1543) や、イタリアの科学者ガリレオ・ガリレイ (1564~1642) の時代以降であり、ガリレオは自ら製作した望遠鏡により天体観測を行った。その後、レンズなどの光学技術の進展とともに、よりはっきり、より遠くまで見られる望遠鏡が開発され、宇宙観測に活用された。

20 世紀に入ると電波望遠鏡が開発され、宇宙観測は転換点を迎えた。また、ロケットや人工衛星の開発により、大気圏外での観測も可能となり、宇宙観測は飛躍的に拡大した。

中国の天文学の歴史は長い。天文学の目的は大きく二つあり、一つは正確な暦の作成、もう一つはときに政治を左右した占星術である。

中国史上の有名な天文学者を挙げると、後漢の張衡 (78~139) と、元の郭守敬 (1231~1316) ということになる。張衡は天文・陰陽・暦算に通じ、宇宙生成説、宇宙論を論じている。一方郭守敬は、元の皇帝世祖フビライに仕え、彼の命を受けて他の学者とと

もに暦の改定作業を行った。当時の世界最先端であったアラビアの天文学を援用し、自ら観測装置を改良して天体観測を続け、1280年に新しい暦である「授時暦」を作成してフビライに提出した。郭守敬は現在の河北省邢台市出身であるため、同じ河北省に設置されたLAMOSTは、この偉大な天文学者にちなみ「郭守敬望遠鏡」とも呼ばれている。

なお日本でも江戸時代に、天文学者渋川春海（1639～1715）が授時暦を非常に優れた暦であるとしたうえで、地球の公転軌道の円から楕円への変更や中国と日本の経度の違いに関わる補正を加えて「大和暦」を作成している。これが1684年に、「貞享暦」として朝廷に採用された。補正と貞享暦採用の経緯に関わるエピソードは、2010年の吉川英治文学新人賞を受賞した小説『天地明察』（沖方丁著）で取り上げられ、また同名の映画が滝田洋二郎監督作品として2012年に公開されている。

過去に先進的な成果を残している中国の天文学であるが、他の科学技術分野と同様、近代的な天文学のレベルは現在世界トップレベルとはいえ、今後LAMOSTなどの大型装置や人工衛星などを用いた観測などで、欧米等の先進国に追いつこうとしている。

LAMOST とは

LAMOSTは、中国科学院国家天文台が所有する望遠鏡の一つである。設置されている河北省承德市興隆県は、北京市の東北約210キロメートルに位置し、北京市内での渋滞がなければ車で二時間程度である。このあたりは高原地帯であるため避暑地として有名であり、承德市内には世界遺産に登録されている「避暑山荘と外八廟」がある。北京市内から興隆県に入ると、リゾートマンションと思われる建物が多く建っていた。

興隆県の中心部の海拔は約400メートルとかなり高地にあり、LAMOSTは興隆県の東部に位置する山の頂（海拔約960メートル）にある。1993年にプロジェクトとして発足し、2001年に装置の製造建設が始まり、2008年に完成した。LAMOSTの特徴である全天サーベイ（空全体をくまなく観測すること）の運用開始は、2011年の10月であった。

LAMOST計画を積極的に進めた女性科学者に、現在中国天文学会理事長の要職にある崔向群（1951年～）博士がいる。彼女は内陸部の重慶市生まれで、1975年に南京理工大学光学機器専攻を卒業し、その後中国科学院紫金山天文台での研究により博士号を取得している。崔博士は、英国やドイツでの天文プロジェクトに参加するなど国際経験も豊富であり、LAMOST計画においても彼女の専門である光学技術を中心にプロジェクトを指導してきた。崔博士は、中国の望遠鏡の研究開発レベルを世界最先端に導いたこと、中国が将来の超大型望遠鏡を開発するための基礎を築いたことなどにより、国家科学技術進歩二等賞、江蘇省科学技術進歩一等賞などを獲得した。また2009年12月には、中国の研究者の名誉である中国科学院院士に、数学物理部門で選ばれている。



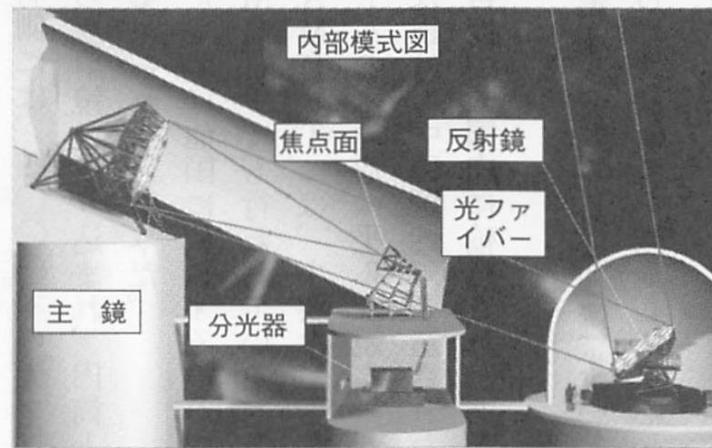
崔向群（写真：人民网）

建物構成と光学系構成

LAMOST の外観を写真に示した。右側の建物上部にある半球型のドームが二つに割れて、建物内にある実効口径 4 メートルの反射鏡（子鏡 24 枚をモザイク状につなげたもの）が露出し、宇宙からの光の取り込み口となる。左の建物には斜めの円筒があるが、これが宇宙から来た光の通り道であり、円筒の左側には主鏡（やはり子鏡 37 枚をモザイク状につなげたもの）が設置されている。円筒の右側には、4,000 本の光ファイバーを設置した焦点面がある。宇宙からの光は右のドームの反射鏡で取り込まれ、円筒上部の主鏡に導かれた後、さらに反射して円筒下部の焦点面に集められる仕組みだ。



LAMOST 外観



内部模式図 提供：中国科学院国家天文台

自国の技術でできないと判断したものは他国に依頼するのが中国の大型研究施設を建設する場合に共通するやり方で、LAMOSTでも行われている。具体的には、望遠鏡の最重要部分である主鏡の研磨である。LAMOSTには、主要な鏡として主鏡と反射鏡の二つがあつて、いずれも対角線 1.1 メートルの六角形の平らな鏡をモザイク結合して作製した合わせ鏡である。構成要素である小さな鏡は、中国国内で製造された。反射鏡は国内で研磨されたが、主鏡はロシアで研磨され、再度中国国内に輸送されたあと、モザイク状に組み合わされ据え付けられている。

鏡の研磨は望遠鏡開発の最重要事項であり、たとえば米国ハワイ州にある日本の「すばる」望遠鏡では、わざわざ日本から研磨技術者を派遣して対応した。そのような重要な技術であっても、抵抗なく他国に委託している。

光学技術レベルは高いが

LAMOSTの特徴は、同時に収集できる天体の可視光スペクトル数である。視野角 5 度の範囲内で、4,000 個の恒星や銀河などの天体を同時観測できる仕組みになっている。湿度が低く空気中のチリなどの不純物が少ない冬の夜であれば、一晩で 5 回の観測が可能となり、2 万個の天体データを収集できる。中国の関係者は、LAMOST が天体スペクトル数取得で世界一の天文台であることを強調している。LAMOST 設置前の記録は、後述する米国のアパッチポイント天文台の反射望遠鏡の例があるが、一回最大で 640 個であった。LAMOST において、大口径と広視野を両立させ大量の天体スペクトルを一度に取得しうるシステムを構築できたことは、中国の光学系を中心とした天文関連技術の高さを示す。

問題は、LAMOST を使って収集した多くの天体データで、何をしようとしているかである。国家天文台の資料には「銀河の赤方偏移の全天サーベイおよび物理的特性」、「恒星

と銀河の構造の特徴」、「可視光以外で発見された天体のクロス認証」の三点が研究のミッションとして挙げられている。しかし、天文学の専門家からは、LAMOST が具体的に何を狙っているのかわからないという意見が聞こえてくる。短時間にこれほど大量の天体データを収集できる望遠鏡は世界に例がないが、収集する科学的な意味がはっきりしない。

SDSS プロジェクト

ここで、宇宙構造全体に迫るプロジェクトとして、SDSS(Sloan Digital Sky Survey) というプロジェクトについて説明したい。このプロジェクトは、米国のスローン財団が資金援助し、米国、ドイツ、日本の三ヵ国共同プロジェクトとして 1990 年代末にスタートした。

2005 年には所期の目標であった全天の四分の一の領域を三次元地図で表すことに成功して、第一段階のプロジェクトを終えている。

SDSS プロジェクトに使われた望遠鏡は、米国ニューメキシコ州のアパッチポイント天文台にあり、口径 2.5 メートルの反射望遠鏡である。また CCD カメラは東京大学宇宙線研究所のグループが作製したもので、400 万画素の CCD が 30 個並んだ大規模カメラである。

SDSS プロジェクトの成果として、銀河は宇宙に一様に分布しておらず、集中している部分とほとんど何もない部分があることや、銀河の集団は洗剤の泡がつながったような形をしており、泡の大きさや膜の厚さもさまざまである、といったことがわかった。現在は第二段階に入っており、第一段階よりさらに広い銀河の三次元構造や宇宙膨張などの解明に取り組んでいる。

LAMOST は、SDSS プロジェクトを念頭に、宇宙の構造に迫るべく天体可視光スペクトルを大量に収集できる望遠鏡を計画したと思われる。ただ、SDSS プロジェクトと比較すると、観測精度・効率やデータ処理まで十分に手が回っておらず、スペクトル収集だけに終わっている可能性がある。

不安材料は観測精度・効率

天文関係の施設は、空気の揺らぎや汚れ、人工的な光の存在の有無、天候の安定性（晴天かどうか）によって大きく観測精度や効率が変わってくるため、できるだけ条件のよいところに設置することが望ましい。

日本の「すばる」天文台は、米国ハワイ州のマウナケア山山頂（4,200 メートル）に設置されている。日本や米国などが参加する国際共同プロジェクトであるアルマ望遠鏡（パラボラアンテナ 66 台を組み合わせた巨大電波望遠鏡）は、チリ共和国北部にあるアタカマ砂漠の標高約 5,000 メートルの高原にある。SDSS プロジェクトで使われているアパッチポイント天文台は、標高 3,000 メートル近い高地にあり、大気の状態もよく、夜空

の暗さでも米国最上位にあって立地条件がよい。さらにアパッチポイントの反射望遠鏡は、大気の揺らぎを抑えるために、LAMOSTのようなドームを持っておらず、格納庫から望遠鏡を引き出して観測している。

LAMOSTは、大都会北京市の近傍にあるので、人工的な光や大気汚染物質の存在が気になる。また河北省は、日本にも達する黄砂の通り道といわれており、黄砂とも戦う必要がある。さらにLAMOSTのある興隆県の晴天率は、冬こそ比較的高いものの、夏は低いといわれている。これらのことが、観測精度や効率に影響してくるのは間違いない。

LAMOSTでは2011年10月に全天サーベイが開始され、一年間で約100万個の恒星スペクトルを得ている。しかし、もともと一晩で2万個にのぼる恒星スペクトルの取得能力を持っているにもかかわらず、100万個のデータ取得に一年もかかっていることから、効率面で苦勞していることがわかる。

データの解析能力の問題

観測によって膨大な天体のデータを集積することはもちろん重要であるが、それをきちんと解析しないと宝の持ち腐れとなる。また観測したデータを迅速に解析して次なる観測目標を定める必要があり、たとえばSDSSプロジェクトの場合、一週間以内の処理を原則としている。アパッチポイント天文台で集められたデータは磁気テープに記録されて、ニューメキシコ州からイリノイ州にあるフェルミ加速器研究所のファイマン計算センターに運んで、スパコンと専用のソフトウェアを用いて解析されている。専用ソフトウェアは、SDSSプロジェクトの中心機関の一つである米国海軍天文台の科学者や、プリンストン大学、シカゴ大学などの科学者が分担して作製している。

LAMOSTの場合、約210キロメートル離れた北京市内にある国家天文台の建物にデータ処理用の計算機が設置されており、望遠鏡と計算機は専用回線で結ばれている。ただし、計算機は高速処理が可能なスパコンではなく、また解析用のソフトウェアも独自のものを開発しておらず、前述のSDSSプロジェクトとの協力に基づき提供されたソフトウェアを援用している。解析能力が十分でなければ、世界最大の天体光スペクトル取得量を誇るLAMOSTも、科学的にはあまり意義がなくなってしまう。LAMOSTは運用を開始したばかりであり、今後の成果を注意深く見ていかなくてはならない。

二. 宇宙開発

ここからはLAMOSTを離れ、中国の宇宙開発について述べたい。2003年の有人宇宙船「神舟五号」の打ち上げ成功が華々しかったので、中国の宇宙技術は有人技術を持たない日本や欧州を凌駕し、米国やロシアに近づいたと思われるかもしれない。本当のところどうなのかを詳しく見たい。

ロケットの打ち上げ

中国のロケット開発は、米ソと同様に軍事技術としてスタートした。1970年に自主開発したロケットである長征一型により、中国初の人工衛星東方紅一号を打ち上げた。その後は、長征シリーズ二型から四型まで、13種類のロケット開発を行っており、現在はそのうち8種類のロケットを実用に供している。

中国のロケットは、開発当初こそ打ち上げ失敗や、衛星の軌道投入失敗などに見舞われたこともあったが、徐々に技術的成熟を遂げ、とりわけ1996年以降75回連続で打ち上げに成功するという輝かしい記録を打ち立てた。しかし、2009年8月に行われた長征三B型ロケットの打ち上げで、三段目のエンジンの着火の不具合により予定の軌道への衛星の投入に失敗し、連続記録が途絶えてしまった。事故原因の究明を行った後、打ち上げを再開したが、それ以降も好成績を挙げている。中国のロケット打ち上げ技術についての信頼性は、非常に高い。



神舟打ち上げ用の長征二F型ロケットの模型
上海交通大学銭学森図書館で開催された展示会での出展物

ところが性能の面では、他の宇宙先進国と比べ、現時点で劣っている。ロケットの打ち上げ性能は、通常地上から宇宙へ輸送できる重量で比較する。米国のスペースシャトルは、過去に静止人工衛星3機を同時に搭載して、高度200キロメートルの軌道上から順次打ち上げるなど、世界最強の輸送手段であったが、運用経費の高さや安全上の懸念から2011年で運用を終了した。スペースシャトルの引退後は米国のデルタロケットが最高

峰であり、ロシアのプロトンロケット、欧州のアリアンロケットが肉薄し、日本のH-II Bロケットが続いている。具体的な数値で見てみよう。これらを地球近傍の低軌道へ投入可能な衛星重量で見ると、デルタが23トン、プロトンが21トン、アリアンが20トン、H-II Bが16.5トンである。中国のロケットでは、最大の打ち上げ性能を持つのが長征三型の11トンで、米国、欧州、ロシアの半分である。ただし中国は、搭載重量25トンを目標とする長征五型の開発を進めており、開発が成功し運用が進めば世界一となる。

中国には現時点で、ロケット打ち上げ射場が三ヶ所ある。酒泉（内モンゴル自治区）、西昌（四川省）、太原（山西省）である。酒泉射場は内モンゴル自治区のエジナにあるが、射場から最も近い都市が甘肅省酒泉市であるため、酒泉の名を冠して呼ばれている。主要国は、小さな実験用ロケット打ち上げ施設を別にすれば、一国一射場が標準的であり、中国のように三ヶ所も有している国はない。中国はその三ヶ所に加えて、最南部にあり静止衛星の打ち上げが有利となる文昌（海南島）に、現在射場を建設している。

なお、後述する有人宇宙船「神舟」の着陸場所は前記の射場ではなく、内モンゴル自治区にある四子王旗に設置されている。着陸場の要件として、広さが十分にあること、平坦であること、立ち木が少ないこと、民家がないことなどがあり、この四子王旗が選定された。

有人宇宙飛行の誇り

宇宙開発における中国の誇りは、ソ連。米国に続いて世界で三番目となった有人宇宙飛行の達成である。

人類が世界で初めて宇宙飛行を行ったのはソ連であり、1961年4月のことである。ユーリイ・アレクセーエヴィチ・ガガーリン（1934～68）宇宙飛行士は「地球は青かった」との言葉とともに、一躍世界の時の人となった。その約一ヵ月後に、米国のアラン・シェパード（1923～98）が宇宙飛行を行ったが、米国は人工衛星の打ち上げに次いで有人宇宙飛行でもソ連に完敗したことになり、これが月到達一番乗りを目指す原動力になっていく。そして1969年に、ニール・アームストロング（1930～2012）、エドウィン・ユージン・オルドリン（1930～）、マイケル・コリソズ（1930～）の3名の米国人宇宙飛行士が、アポロ11号により月に到達する。

中国の有人宇宙飛行の初成功は2003年で、米ソに比べて40年以上の遅れがある。また有人宇宙飛行に使用された宇宙船が、ソ連の宇宙船の技術をベースとしているため、独創性がないとの理由で中国の宇宙技術力を低く見る向きもある。しかしその批判は必ずしも妥当とはいえない。また有人宇宙飛行計画の実施には、中国の科学技術開発の特徴がいかに発揮されている。

用意周到な「神舟」計画

まず述べたいのが、中国の有人宇宙飛行が用意周到な計画により実施されていること

である。

中国の宇宙開発は軍事技術開発を中心に進められてきたが、その成果を踏まえて1980年代後半に有人宇宙技術開発を本格化させ、宇宙船の検討などを進めた。1992年に有人宇宙開発計画「神舟」計画を公表し、1993年には中国国家航天局を設置している。国家航天局は、中国版のNASAといえるが、自らはロケット打ち上げや、衛星追跡・管制などの実施部隊を持たず、企画や国際業務などの本部機能が中心である。

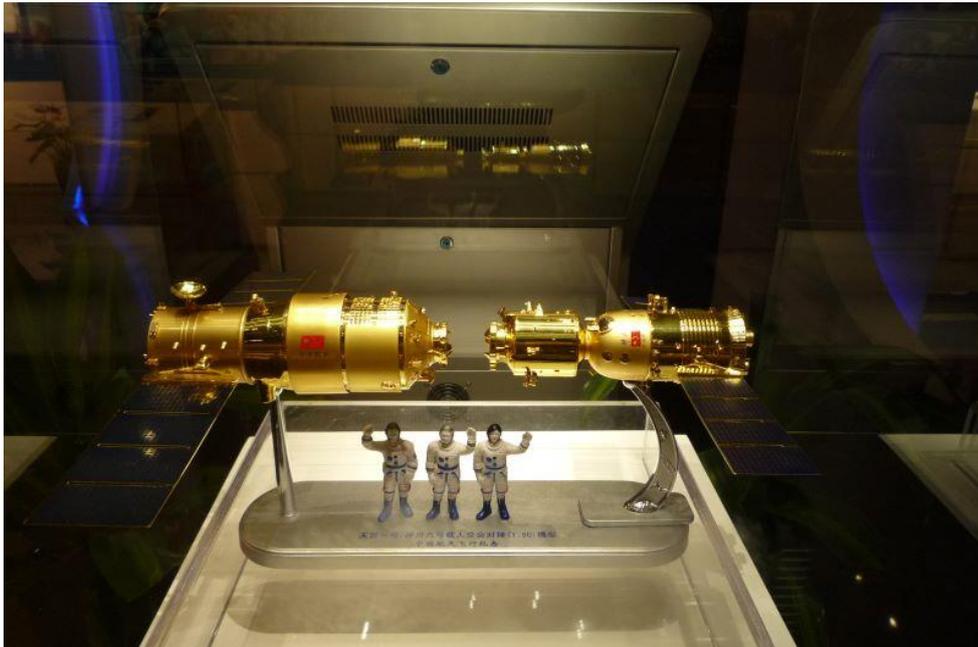
1999年に最初の試験機「神舟一号」を打ち上げ、地球に戻す帰還カプセルの実験を行い、無事に内モンゴル自治区に着陸させた。続いて2001年に、カプセル内の生命維持装置の確認のため、サル、イヌなどの動物を乗せた「神舟二号」を打ち上げ、動物を無事に地球に帰還させている。さらに2002年の「神舟三号」では、宇宙飛行士の代わりにダミー人形を乗せ、独自開発による宇宙服の作動確認を実施している。同じ2002年の暮れには、打ち上げ数時間前まで宇宙飛行士が「神舟四号」に搭乗して準備を行い、最終リハーサルを行った。「神舟四号」はその後、ダミー人形を搭載して打ち上げられ、搭載機器の作動確認を行った。

そして、2003年10月15日、中国人民解放軍の楊利偉（1965～）空軍中佐を搭乗させた「神舟五号」の打ち上げを実施した。日本のマスコミは、この「神舟五号」の打ち上げだけをセンセーショナルに報道したため、中国は国威発揚のため冒険的に有人宇宙飛行を行ったのではという懸念を持つ人も多かったが、実際は前記の通りであり、1992年の計画公表から10年以上、「神舟一号」打ち上げ開始からでも4年後、5度目にして初めて生身の人間を搭乗させている。

「神舟五号」の打ち上げ成功後も着実な実施は続き、2005年の「神舟六号」では宇宙飛行士を2名に増加させ、2008年の「神舟七号」では3名にするとともに、初めての宇宙遊泳を実施した。

中国版宇宙ステーション「天宮」

2008年に「神舟七号」の搭乗宇宙飛行士により宇宙遊泳を行った後、中国の有人宇宙独自の宇宙ステーション「天宮」の建設運用計画に移った。最初の目標は、宇宙船同士のランデブー・ドッキング技術の習得である。2011年に中国初の宇宙ステーション実験機「天宮一号」を打ち上げ、同年それにあわせる形で無人の「神舟八号」を打ち上げ、ドッキング試験を実施した。2011年6月、初めての女性宇宙飛行士劉洋（1978～）を含めた3名の宇宙飛行士を搭乗させた「神舟九号」を打ち上げ、「天宮一号」との自動および手動ドッキングを成功させた後、無事地上に帰還させている。



天宮と神舟の模型

上海交通大学展示会での出展物で、左が天宮、右が神舟

「天宮一号」はそれほど大きくない試験機であるため、「天宮二号」、「天宮三号」を順次打ち上げる。今後、「神舟十号」以降による中国の有人飛行は、「天宮」シリーズによる中国独自の宇宙ステーションの建設・運用を目指す。天宮計画においても着実なステップを踏む中国流の技術開発の姿勢は変わらないであろう。

日米欧などにより国際宇宙ステーションの建設が計画された際には、無重力下での薬品開発や合金製造で画期的な成果がもたらされるとの期待が強かったが、その後の運用実績ではただちに成果の出る無重力実験はあまりないことがはっきりしつつある。このため、膨大な予算を使って国際宇宙ステーションを運用していくことが妥当かどうかの議論が、日本や米国などで常に存在している。一部の関係者には、国際宇宙ステーション計画は単に宇宙飛行士を量産しているに過ぎない、と酷評する人までいる。

中国においては、「天宮」を単独で建設運用することになっているため、多国間で運用する国際宇宙ステーションよりさらに予算的に厳しい状況となろう。現在の中国の技術力をもってすれば、世界トップレベルの科学技術の装置や施設の設置には、困難は伴わないか、運用利用を先進国並みにするには時間がかかる。単独で宇宙ステーション建設を進めるとすれば、利用方策をより幅広く検討しておかねばならない。

数十年の年月を超えて蘇るソユーズ

ところで、中国の宇宙開発で強調すべきは、自前の技術開発に固執しない点である。

1980年代後半に中国で有人宇宙計画が開始された際、大きな課題となったのは宇宙船

の型式の選定である。当時最先端であった、米国スペースシャトルのような有翼式で再使用可能な宇宙船開発も検討したが、結果として技術的に堅実なロシアのソユーズ型を選び、ロシアから技術導入した。すでに見てきたように、目標をはっきり定めたら、それを追求するためには自前技術にこだわらない。

ロシアが 1991 年のソ連崩壊後、外貨不足に悩んでいた時期で、技術導入の交渉は比較的順調に進み、1995 年には取り決めに結んでいる。こうしてでき上がった中国の「神舟」とロシアのソユーズは、数十年の時間差を超えて外見がよく似ているが、中国の「神舟」の方が居住空間は広く、宇宙飛行士にフレンドリーな設計となっており、搭載機器はもちろん最新鋭のものである。

人民解放軍の協力

中国の宇宙開発は、人民解放軍が全面的にバックアップしている。ロケットの打ち上げ射場の建設、整備、運用、維持や、打ち上げた人工衛星の追跡、管制は、宇宙開発の担当機関の国家航天局ではなく、人民解放軍が行っている。

日本のマスコミ等が中国の宇宙開発を報じる際、軍事的な脅威を強調することが多いが、宇宙開発の実施に人民解放軍が直接関与していることがその原因の一つである。確かに 2007 年、中国は人工衛星破壊実験を強行し、軍事的な意味合いで米国等に大きな衝撃を与えるとともに大量の宇宙ゴミを発生させており、そのような懸念は当然であろう。

しかし、他の国であれば軍事ではなく民生的に実施している活動でも、中国では人民解放軍が関与している場合が多い。もともと軍事で実施してきた活動を平和目的に展開する際、人民解放軍の組織力や機動力をそのまま活用したためである。

ちなみに、宇宙飛行をした中国の宇宙飛行士は 2013 年 5 月時点で、8 名（景海鵬〔1966～〕は神舟七号と九号で 2 度宇宙飛行しているため延べ人数では 9 名である）を数えるが、すべてが人民解放軍の空軍パイロットである。また、将来の宇宙飛行士を目指す候補生もやはり空軍所属であり、宇宙飛行士大隊に所属している。

中国版 GPS 計画

中国はまた、米国やロシアに対抗して中国独自の GPS システムを構築する計画のもと、その完成に向けて衛星を着々と打ち上げている。GPS とは、「Global Positioning System: 全地球測位システム」のことで、人工衛星を用いて地球上の現在位置を測定するシステムである。もともと米国の GPS システムは、軍事目的で構築されたものであり、これを一般の民生用に公開することによりカーナビなどの市場が形成された。しかし、より精度が高く軍事用にのみ利用する GPS システムを米国は持っており、さらに有事の際には、米国は一般に公開されている GPS 情報も止める可能性がある。このためロシアは独自に「グローナス」という GPS システムの構築を進め、完成まであと一步の段階にある。

「グローナス」に続くのが中国であり、2011 年末時点で合計 10 機の測位衛星「北斗」

により、中国全体をカバーするシステムの構築を終了している。今後 2020 年ごろまでに、米国の GPS と同様の世界全体をカバーするシステム（中国では「コンパス」と呼ぶ）の完成を目指し、衛星を順次打ち上げる予定である。

弱点を克服するには

中国の天文観測、月・惑星探査などの宇宙科学は、宇宙探査機開発などのハードウェアでも科学論文でも、低いレベルにある。宇宙科学分野では米国が抜きんでており、欧州、ロシア、日本がそれに続き、中国はこれらの国々からは離されている。

しかし、宇宙は広く、まだ解明されていないことが多い。したがって、独創的で優れた着想さえあれば、一気に世界レベルの研究や発見につながることもある。最近では、日本の国内を大いに沸かせた小惑星探査機「はやぶさ」の例がある。月以外の天体でのサンプル採集と地上への帰還という、世界を見渡しても「はやぶさ」チーム以外の誰もが考えつかなかった独創的なアイデアと、長期間をかけ宇宙を旅し不慮の事故により満身創痕となりながらも小惑星の塵を持ち帰った快挙は、科学に比較的関心の薄い一般の日本国民をも熱狂させた。

中国には有能で意欲的な若い研究者が多いので、彼らが将来、日本の「はやぶさ」のような独創的なアイデアで、世界を驚かすことも夢ではない。

また、中国の弱点として、人工衛星の製造技術が挙げられる。衛星の基礎部分で共通して必要となる機体、電源、姿勢制御、推進、通信などの機能を組み合わせた衛星バスにおいては、中国は世界レベルに達している。一方、衛星バスに搭載する各種センサー、太陽電池パドル、部品などは、比較的弱い。ただし、衛星の製造実績に比例してレベルが上がっていくため、中国の驚異的な各種衛星打ち上げ実績を考慮すると、打ち上げや製造実績の少ない日本を飛び越し、米国や欧州の水準に近づくのは時間の問題であろう。

一方、宇宙平和利用の中心である衛星通信や衛星放送においても、中国は遅れてスタートしたため、実績面で劣る。しかし通信や放送分野では、中国内部の巨大マーケットの成長に伴い徐々に力をつけている。最近のトピックスとしては、2008 年に開かれた北京オリンピックを中継、放送するための衛星も打ち上げられた。

全般的な技術力評価

これまで述べてきたことを総合して、中国の宇宙開発の全般的な力はどの程度であろうか。JST 研究開発戦略センターは 2011 年に、主要国の宇宙関連科学技術力の比較調査を実施し、その結果を公表している（表 5）。これは、日本の宇宙開発関係者、研究者、メーカーの技術者などが集まって、宇宙開発に関するいくつかの分野での技術力評価を行い、とりまとめたものである。

表5 宇宙技術力比較調査 評価結果 (100点満点)

評価項目	満点	米国	欧州	ロシア	日本	中国	インド	カナダ
宇宙輸送分野	30	28	23	26	18	21	11	0
宇宙利用分野	30	28	23	14	18	11	8	7
宇宙科学分野	20	19	10	8	7	2	2	2
有人活動分野	20	20	9	17	10	10	1	3
合計	100	95	65	65	53	44	22	12
順位		1	2	2	4	5	6	7

(出典) JST 研究開発戦略センター 「世界の宇宙技術力比較」

これを見てわかるように、中国はそれほど高く位置づけられていない。米国があらゆる分野で圧倒的な力を持っており、それに続くのが欧州とロシアである。欧州は ESA という欧州全体の宇宙開発機関を有するとともに、フランスやドイツは独自の宇宙機関を持っており、有人打ち上げ技術こそないが、ロケット、衛星利用、宇宙科学などで高いレベルを誇っている。ロシアは、スプートニクの打ち上げやガガーリン飛行士を世界で初めて宇宙に運ぶなど、宇宙開発に先鞭をつけた国であり、ソ連崩壊後も依然として高いレベルの宇宙技術を持つ。その次を争うのが日本と中国であるが、この調査では中国は日本にかなりの差をつけられている。

中国は有人のロケット打ち上げができる国であり、その意味で米国、ロシアに次ぐ宇宙大国というイメージが定着しつつあるが、宇宙科学が主要国と比して弱いことや、通信、放送などの宇宙利用がまだ本格化していないため、低い評価をつけられたのである。最大の特徴であるはずの有人活動分野で、日本と同等となっている点に疑問を持つ向きもあろう。これは、有人活動分野が有人ロケット技術の有無で評価されているわけではなく、宇宙医学実験、微小重力科学実験など宇宙空間を利用した実験が現在中国ではほとんどなされていないことによる。

しかし、2012年に入り「天宮一号」が打ち上げられ「神舟」とのランデブー・ドッキング技術も確立されたため、「天宮」シリーズでの実験が近い将来に行われる可能性が出てきている。独自の宇宙ステーションでの実験成果が出てくれば評価が大きく変わってくるであろう。

なおこのような調査は、どのような項目を取り上げ、どのようなファクターで比較するかにより、大きく異なる結果となることが多い。また、これは2011年時点の評価であり、その後の中国の宇宙開発の成果が十分に考慮されていないことに注意する必要もある。

2013年6月、女性1名を含む3名の宇宙飛行士が「神舟十号」で打ち上げられ、「神舟十号」は「天宮一号」とのドッキングに成功し

た。その後、彼らは「天宮一号」に移り、地上の小中学生に向けて宇宙授業などを行った。宇宙開発における中国の着実な歩みは、現在も続いている。

第四章 核融合研究装置 EAST と原子力開発

中国は、EAST という超伝導磁石を用いた核融合研究装置を 2006 年に完成させ、実験を開始した。核融合研究装置のすべての電磁石コイルを超伝導化したのは、米欧日露という核融合研究先進国に先駆けて世界で初めての成果である。本章では EAST に焦点を当て、そのうえで中国の原子力全体を概観する。

一. 核融合研究装置 EAST

核分裂と核融合

原子力の利用には、核分裂反応を利用するものと、核融合反応を利用するものの 2 種類がある。核分裂反応はウランなどの重い元素で起こる反応で、中性子を吸収したウランなどの原子核が 2 つに分裂する際に放出される膨大なエネルギーを利用する。現在稼働中の世界中の原子力発電所で利用されており、1956 年に英国で商業用の原子力発電所が稼働して以来、50 年以上にわたる歴史がある。核分裂による原子力発電は早期に実用化されたものの、ウラン 235 という地球上に偏在する比較的少ない資源を利用する必要があること、分裂した破片が強い放射能を有する物質となり放射性廃棄物が出ること、安全性に議論があることなどの問題を抱えている。日本では、東京電力福島第 1 原子力発電所が、2011 年に東日本大震災で発生した大津波により電源を喪失し、炉心のメルトダウンも含めた重大な原子力事故を発生させたことは記憶に新しい。

一方核融合反応は、水素など非常に軽い元素で起こる反応であり、2 つの原子核がくっつく（融合）ことにより放出される膨大なエネルギーを利用する。我々地上の生物がいろいろな形で利用しているエネルギーの源は、ほとんどが太陽から降り注ぐエネルギーであるが、その太陽のエネルギーの起源が、太陽の内部で行われている核融合反応である。

核融合反応によるエネルギーの利用には、核分裂に比較していくつかの長所がある。一つ目は、利用できる資源が地球に無尽蔵に近く存在することである。必要な元素は水素、重水素、リチウムで、これらは海水や天然資源として地球上に多く存在する。

二つ目の長所は、放射性廃棄物がほとんど発生しないことである。核融合反応の後に発生するのは、ヘリウムという放射能を持たない安定した物質であるため、原理的に放射性廃棄物の問題は避けられる。「ほとんど」と書いたのは、核融合反応で出てくる中性子が原子炉に吸収され、原子炉の材料などが放射能を有するようになるためである。これを物質の放射化と呼ぶが、放射化によって生まれる放射性物質の量や強さは、核分裂反応の場合とは比べものにならないほど小さい。

さらに、万が一原子炉内で不測の事態が発生した際も、安全性などの点で核分裂反応より優れている。福島事故でも分かるように、核分裂反応がいったん停止してもその後長い間冷却し続ける必要があり、また再臨界による暴走という危険性も否定できない。一方核融合反応の場合には、何らかの要因により原子炉内でゆらぎが発生した場合、閉じ込められていたプラズマ（分子が、原子核のプラスイオンと電子に分離し、別々に運動している状態）が拡散し、自動的に核融合反応が継続できなくなるため、暴走することはない。また放射性物質もほとんどないため、反応が停止した後の措置が非常に容易である。

これほど長所がある核融合の実現が、なぜ世界中で進んでいないのであろうか。核融合を起こすには、その名の通り原子核を融合させる必要があるが、原子核はプラスの電気を帯びている。つまり、原子核間の距離が近づけば近づくほど強い反発力が発生し、普通の状態では融合しない。地上で核融合反応を発生させるためには、原料となる水素や重水素を高温、高密度のプラズマ状態にする技術が必要で、このプラズマを一定の場所に閉じ込めておくことか、これまで成功してこなかったのである。ちなみに、太陽の内部では、膨大な量の水素が非常に高温と高密度な状態にあるため、水素の原子核同士がその反発力に打ち勝って近づくことができ、核融合反応が可能となる。

トカマクと ITER 計画の発足

核融合反応をエネルギー源にしようとする研究開発は、第二次世界大戦前から米国やソ連などで軍事研究の一環として開始されたが、大戦後は平和利用を目的として技術が開発されるにいたった。1951年に磁力でプラズマを閉じ込める試みが公表されたが、その後の研究開発の歩みは遅く、プラズマの予想外の不安定性や、不純物の混入に悩まされる時代が続く。

転機となったのは、ソ連の研究者が開発したトカマク型核融合研究装置である。トカマク型装置は、1950年代にソ連の物理学者であるアンドレイ・サハロフ（1921～89）らによって考案されたものであり、「トカマク(tokamak)」は装置の構造を示すロシア語の電流(tok)、容器(kamera)、磁場(magnit)、コイル(katushka)の頭文字を組み合わせた造語である。1966年、IAEA（国際原子力機関）が主催した国際会議においてソ連は、当時としては画期的であった1,000万度というプラズマ温度を、トカマク装置T-3により達成したことを報告した。これが契機となって世界の核融合研究開発は、トカマク型を用いた装置での実験が主流となった。

1970年代にトカマク型の中規模装置であるダブレット-III（米国）やT-10（ソ連）の建設運転を経て、1980年代にはTFTR（米国）、JET（EU）、JT-60（日本）という世界三大トカマク装置の建設運転にいたる。そして1990年代に、世界三大トカマク装置での実験により、プラズマを加熱するための電力などの入力エネルギーと核融合反応による出力エネルギーが等価となる、いわゆる「臨界プラズマ条件」が達成された。

三大トカマク装置が運転され成果を出しつつあった 1985 年、ソ連のミハイル・セルゲーエヴィチ・ゴルバチョフ書記長は、ジュネーブで米国ロナルド・レーガン大統領と首脳会談を行った。その席でゴルバチョフ書記長は、三大トカマクに続く核融合研究装置の開発を、米ソを含む主要先進国による国際協力で行うことを提案した。レーガン大統領はこれに賛意を示し、日本と欧州にも参加を呼びかけ、ITER 計画がスタートすることになった。ITER は、「International Thermonuclear Experimental Reactor」（国際熱核融合実験炉）の略語である。また、ITER はラテン語で、「道」「旅」を意味する。

ITER のその後の歩みはゆっくりしたもので、まず概念設計が 1990 年まで行われた。続いて工学設計が長期間にわたって行われ、2001 年に最終設計報告書がとりまとめられている。この報告書を基に、米国、ロシア（旧ソ連）、日本、EU に、新たに参加を表明した中国と韓国を加えて、実験炉を建設するサイト（場所）を選定する協議が行われ、2005 年に南フランスのプロバンス地方にあるカダラッシエに決定。同年末にはインドも参加することになった。

現在 ITER の建設は、2020 年の運転開始を目指して着々と進んでいる。

中国の最新鋭装置「EAST」

中国の核融合研究は、1950 年代後半、中国西南部に位置する四川省成都市の中国核工業総公司西南物理研究所核融合科学センターで開始された。1978 年には中国科学院が、新たに内陸東部の安徽省合肥市にプラズマ物理研究所を設置し、西南物理研究所とともに中国の核融合研究を先導する。

この時点で、世界の核融合研究の主力装置はトカマク方式の施設になっており、以降、中国の両研究所ともトカマク型の装置の建設運用を中心に研究を進めている。中国の課題は、米欧日露にいかにかッチアップするかである。四川省成都市の西南物理研究所は HL-1、HL-2A、安徽省合肥市のプラズマ物理研究所は HT-7 といったトカマク型の実験装置を設置し、研究の蓄積を行ってきた。

安徽省合肥市は、比較的発展の遅れている内陸部にあるが、人口は 400 万を超えており、市内に広大な工業団地が造成されつつある。中国科学院プラズマ物理研究所は、合肥市の郊外にある湖の一部突き出た半島に設置された。半島の付け根がそれほど大きくなく、あたかも湖に浮かぶ島のような形であるため、プラズマ物理研究所を含め、中国科学院傘下の五つの研究所がある敷地全体は科学島と呼ばれている。

車で科学島に入るとまず目に飛び込んでくるのが、小さな子供たちが大勢遊んでいる風景である。そこは、中国科学院が運営している、科学島に住む人たちのための保育園である。旧ソ連の方式を導入し、研究所が研究機能だけではなく、学校、場合によっては農場なども持っている例がある。この保育園もそのたぐいである。



科学島入り口の石碑
江沢民元中国国家主席の署名がある

プラズマ物理研究所は、職員数が 500 名前後、学生が 300 名程度いる。中国科学院傘下の研究所は、学生を受け入れて研究に従事させ、その間の研究実績により博士号を授与できるシステムを持つ。

プラズマ物理研究所の誇る、最新鋭のトカマク型核融合研究装置が EAST である。EAST という名称は、「Experiment : 実験」「Advanced : 先進」「Superconducting : 超伝導」「Tokamak : トカマク」の頭文字をつなぎ合わせたものであるが、他方、四川省成都市にある西南物理研究所が中国の西部にあるのに対し、安徽省合肥市のプラズマ物理研究所が東部 (EAST) にあることにもよる。

プラズマ物理研究所の李建剛 (1961~) 所長は、英国の核融合研究のメッカであるカラム研究所で勤務した後、2005 年からこの研究所の所長を務めている。所長就任は 40 歳代前半ときわめて若い。

世界初の全超伝導トカマク装置

核融合反応を起こすためには、水素などの元素をプラズマにして一定の場所に閉じ込める必要があるが、それには強力な電磁石による磁力が不可欠である。電磁石を普通 (常伝導) の銅材で作ると大量の電力を消費してしまうことになる。生産された電力より投入された電力が大きくなれば、結果的には発電したことにはならない。実用化のためには、電力の消費を少なく抑えられる超伝導材料で磁石を作り、プラズマを閉じ込める必要があった。

1980 年代当時は超伝導の技術開発がそれほど進んでおらず、世界三大トカマク装置も、磁石が銅材で作られていた。中国はこれに着目し、EAST の建設にあたってすべてのコイルを世界で初めて超伝導化することを決断した。2006 年に建設を終了し、同年最初のプラズマ発生に成功して、世界初の超伝導トカマク装置を完成させた。ちなみに EAST

完成の翌年に韓国は、K-STAR というやはりすべてのコイルを超伝導化したトカマク装置を完成している。K-STAR の大きさは、EAST とほとんど同じ程度である。



EAST の前に立つ李建剛氏（右）と筆者

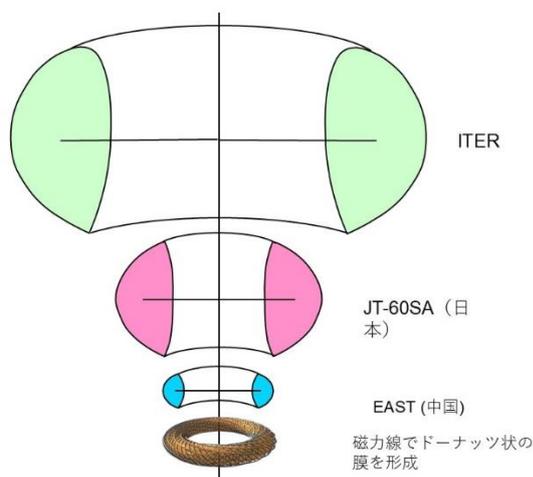
核融合反応を実用化していくためには超伝導コイルが不可欠であり、その意味で EAST の完成は、世界的に見ても画期的な業績である。EAST により、超伝導施設に特有の技術開発や人材養成に取り組むことができるため、中国は核融合の実用化に向けてよいポジションを確保できたといえよう。ITER への貢献に関し、超伝導関連試験施設としての EAST の有効性を、中国は強調している。

中国は、この EAST の建設運転の成功をたいへん誇りにしている。2007 年には「中国基礎研究十大ニュース」に選ばれ、さらに 2008 年には中国科学院の「2007 年度傑出科技成果賞」を獲得している。

容量の限界

しかし EAST の完成により、中国の核融合に関する実力が米欧日などの核融合先進国と肩を並べるまでになったかという点、必ずしもそうではない。その大きな理由は、EAST の大きさである。現在最先端のトカマク装置はドーナツ状をしており、その断面は単純な円形ではなくおむすび型で、ITER、三大トカマク装置 (TFTR、JET、JT-60)、

EAST も同様である。ITER、JT-60SA (JT-60 を改造中の施設で、SA は Super Advanced の略)、EAST のそれぞれの断面を比較したものを図示した。



トカマクの直径・断面比較図

どの装置も一番下の図の通りドーナツ状である

三大トカマク装置や ITER と比較すると、EAST はそれほど大きくない装置である。プラズマを閉じ込めて核融合を起こさせるためには、ドーナツ状の容器の容量が大きいことが望ましいが、ITER の容量は約 1,000 立方メートル、JT-60 で約 60 立方メートルであるのに対し、EAST は約 10 立方メートルに過ぎない。核融合の実用化のためには、電磁石などに使用する電力（入力エネルギーより、核融合反応によるエネルギー（出力エネルギー）が大きくなければいけない。そのためには、核融合研究装置全体の容量も一定以上の規模が必要である。大きな容器の中でプラズマを安定的に閉じ込め高温と高密度にするためには、磁石の大型化、加熱システムの強化、計測システムの精密化などの技術開発が欠かせない。したがって、より大きな実験装置を作製し、その装置によって研究開発を進めることが重要なのだ。そのためには、EAST では大きさの点で限界がある。

ITER プロジェクトの関係者も、この事情をよく認識している。全超伝導トカマクとして先行した EAST や韓国の K-STAR などの運転経験や研究開発成果の有効活用を考慮しつつも、より大きな容量を持つ日本の JT-60 を、2014 年度末までに日欧の協力のもと、全超伝導トカマク装置に改造する予定だ。それが、先に少しだけ紹介した JT-60SA である。

外国の技術や部品も使う

中国流の科学技術の典型的な手法は、EAST の開発でも見られる。1994 年に、EAST の前段階としてプラズマ物理研究所に設置されたトカマク装置 (HT-7) には、一部超伝

導のコイルが採用されているのだが、HT-7はもともとロシア（旧ソ連）が開発した装置であった。これを合肥市のプラズマ物理研究所に輸入のうえ、一部改良を加えて実験を行ったのである。

EASTの開発は、HT-7の成果を踏まえて行われたが、設計には米国のプリンストン大学とゼネラル・アトミックス社の協力があつた。さらに、EASTの最大の特徴である超伝導磁石の材料は、ロシアから輸入している。しかしEASTの関係者は、一部を外国に依存していることなどまったく意に介していない。むしろ、超伝導材料をコイルとして成型加工することや他の部品をすべて自前で製作したことを強調しており、全体の国産化率は九割に達すると意気軒昂であつた。

また、中国独特と思われるのは、EASTのような大型装置であっても、重要な部品の製造や組み立てを研究所の職員自らが実施することである。欧米諸国、日本、さらには韓国などでは、大型のトカマク装置の製造建設は電機メーカーなどに委託するのが普通である。しかし、EASTの場合には研究所の職員が動員され、たとえばドーナツ状の真空装置の内側のタイルは職員たちが一つ一つ貼り付けていった。また超伝導コイルは、材料こそロシアから輸入したものの、研究所敷地内に製造組み立て工場を設置し、巻き線処理、コイル化などはそで行っている。自分たちで製作する理由としては、中国国内に能力のあるメーカーが存在しなかったことと、予算的な制約があつたことなどによる。

核融合研究人材をいかに育成するか

EASTのあるプラズマ物理研究所は、博士号取得を目指す大学院生を大量に受け入れており、研究所の活性化につながっている。また、ITERに中国が参加し、EASTもITERプロジェクトでしかるべく役割を果たすことになっていることが、プラズマ物理研究所の人材育成によい影響を与えている。

中国政府は、2020年までの10年間で、核融合研究人材を2,000名程度育成することを目標にし、北京大学、清華大学、上海交通大学、復旦大学、中国科学技術大学といった一流5大学に核融合専門の学科を設置するとともに、200名にのぼる博士課程学生を支援する政策を打ち出している。このような人材育成が進めば、現在欧米や日本に比べて弱いと考えられる学術的なレベルも、確実に上昇していくものと期待される。

ただ、人口の多い中国にあつても、優秀な人材の確保には苦勞を伴う。プラズマ物理研究所はEASTを擁し世界最先端の研究をしているので、中国全土から核融合研究を目指す若者が殺到しているのではと、研究所幹部に聞いたところ、返ってきた答えが次のように意外なものであつた。

中国では中年以上の研究者の層が薄いため、若手の採用と育成が人材確保の中心となる。プラズマ物理研究所にいる学生の多くは博士号を取得する目的で研究しているため、博士号を取った後も彼らに居続けてもらうことが課題である。しかし、研究所は合肥市と

いう、大都会ではないところに位置しているため、若くて優秀な学生は外国や大都会の民間企業などに移っていく傾向が強い。

研究所側では彼らを引き止めるべく。給与や住宅の質の改善、学会や研究協力の打ち合わせのための外国出張の機会を増やすことなどは当然として、若者の自動車運転免許の取得を援助するためのプログラムまで実施するなど、涙ぐましい努力を行っている。日本の科学技術関係者も若手人材の確保に苦勞しているが、人材の層の厚い中国でもこのような努力がなされているのだ。

二. 原子力開発

EAST を中心に中国の核融合研究を見てきたが、ここからは原子力全般について触れておきたい。

両弾一星～軍事技術開発

中国では、清朝末の混乱、日本との戦争、中国国民党と共産党との内戦、新中国建国後の混乱と、近代化以降も科学技術振興にまで手が回らない状況が続いた。しかし軍事技術開発だけは例外である。1950年代以降、当時の最高指導者である毛沢東の強力なイニシアティブの下、「両弾一星」というスローガンにより核兵器およびミサイルの開発が強力に推進された。両弾とは原子・水素爆弾と弾道ミサイルであり、一星とは人工衛星である。

人工衛星とは、衛星だけではなく打ち上げ能力をも指すものであり、軍事的な弾道ミサイルを発射しうるロケットの開発も含まれている。その成果として、1964年に原子爆弾による核実験を、1967年には水素爆弾による核実験を成功させるとともに、1970年には自主開発の長征一型ロケットにより中国初の人工衛星である「東方紅一号」を打ち上げた。

一周後れの平和利用

軍事技術としての原子力開発は着々と進んだが、原子力技術の民生利用は遅れてスタートした。とりわけ、原子力発電所の建設着工は非常に遅く、1980年代に入ってからようやく始まった。中国の電力源の主体は火力発電で、原子力発電に代替していくとなると国内の石炭産業に打撃を与える可能性があったからである。しかし、1980年代に改革開放路線が定着し経済が拡大してからは、大幅な電力不足に陥ったため、政府は原子力発電の導入に踏み切った。

現在でも、原子力発電の設備容量はそれほど大きくなく、2012年1月現在で、運転中の原子力発電所は14基、設備容量1,195万キロワットに過ぎず、世界第九位である。ただし、21世紀に入ってからの経済発展を受け、原子力発電への傾斜が強まっている。現在世界で建設中の原子力発電所75基、約7,600万キロワットのうち、実に半分近くとなる30

基、3,300 万キロワットにのぼる原子力発電所が、中国で建設されている。

核燃料関連の技術開発についていえば、核兵器の開発から原子力開発が進んだこともあって、着実に前進しているといっていいただろう。平和目的でのプルトニウム利用も、欧米などではコストや核不拡散の観点から消極的であるが、中国ではプルトニウムを利用する高速増殖炉の開発が続けられている。

現在の軽水炉原子力発電所を支える核燃料関連事業についても、ウランの精錬・転換・濃縮、核燃料加工などの工場を国内に保有し、ほとんどが自前だ。ただ天然ウラン資源は、国内の埋蔵量が多くないため、オーストラリアやカザフスタンなどから購入している。

海外技術が中心の原子力発電

中国における原子力発電導入の一つの流れが自主開発路線、もう一つは海外導入路線である。

自主開発路線は、上海市の南に位置する浙江省嘉興市海塩県秦山鎮にある秦山原子力発電所で進められた。自主開発路線なので、発電所のメインコントラクターは中国企業だが、中国の技術のみでゼロから建設されたのではない。原子炉設計は、米国のウェスティングハウス社の旧式PWRの公開資料で行われているし、主要機器は外国から輸入され、日本の三菱重工からも原子炉の中心部分である圧力容器が納入された。開発の第一期で 30 万キロワット級の発電所建設に成功し、第二期にはそれを 60 万キロワットまでスケールアップした技術で建設されているが、国産技術による原子力発電所の建設はその後停滞している。

秦山一号原子力発電所は 1985 年に着工し、1991 年に発送電を開始、1994 年に営業運転を開始したが、この秦山一号の建設中だった 1989 年に、同型の原子力発電所をパキスタンに売り込み、二基輸出することに成功している。

その後、パキスタンの発電所は順調に建設が進み、2000 年に運転開始し、現在にいたるまで順調に稼働している。パキスタンは、同じ規模の原子力発電所を続けて中国に発注しているが、中国国内で秦山一号と同型の原子力発電所はその後建設されていない。

一方、海外導入路線は、中国南部広東省の南シナ海に面した大亜湾の原子力発電所建設で開始された。最初の二基はフランスからの輸入技術であるが、その後、ロシアやカナダ、米国からの技術も導入されている。導入路線といえども、ずっと技術を外国に依存するのではなく、段階を踏んで国産化比率を高めていく予定であり、最終目標は自主開発の国産化路線と大差ない。

現在の状況は、国産技術による建設が進んでおらず、導入路線が主体である。ただ。短期間に多くの国から違った型の原子炉を導入したことや、フランスのアレバ社や米国のウェスティングハウス社などが、将来の大きな市場をにらんで最新鋭の原子炉技術を投入してきているため、導入した技術を完全には消化できない状況が続いている。

つまり、フランス、米国、ロシア、カナダといった四つの国の違った原子炉設計思想が

中国に存立し、さらに主要な構成部品も日本、韓国、スペインなどから輸入されるという、きわめて複雑な状況におかれているのだ。これは、もとはといえば、特定の国やメーカーに主導権が渡らないよう相互牽制をさせながら、中国国内の企業に原子炉の設計、部品等の製造、発電所の建設などの能力をつけさせようとの意図によるものである。しかし、導入した原子炉の形式があまりにも多すぎて、技術習得が効率的ではない。また、設計思想が違くと安全思想、安全基準、安全装置などが異なるため、結果として安全確保に支障をきたすおそれも無視できない。

実用化に向けた着実な歩み

中国は、原子力発電での開発の後れを取り戻すために、積極的に外国からの導入を行ってきたが、基礎的な研究開発においては、中国原子能科学研究院、中国科学院、大学などを中心に、着実に成果を積み上げている。研究所や大学において、軽水炉の次の原子炉技術といえる高速増殖炉、高温ガス炉、さらには既述した核融合の研究開発を実施している。

中国の大学が原子力開発に重要な役割を担っている例として、清華大学における高温ガス炉のプロジェクトがある。清華大学は、ドイツのユーリッヒ研究所や日本原子力研究開発機構との協力を進め、熱出力 10 メガワットの高温ガス炉実験炉を建設した。日本でも日本原子力研究開発機構が、茨城県大洗町に高温ガス炉実験施設を建設し運転したが、コストなどの点で実用化の見通しが立っていない。中国は、日本で行っていない発電にも成功しており、2013 年 1 月 8 日の『日本経済新聞』によれば、山東省榮成市石島湾で、この技術を生かした原子力発電所の建設工事を開始したとのことである。

人材育成の展望

中国の科学技術の強みである豊富な人材の育成は、原子力開発でも見られる。中国が原子力の商業利用を開始したころ、人材供給のため大学や専門学校、職業学校などが次々と設立されたが、1980 年代後半に発生した世界的な原子力スローダウン時代には、大学の原子力工学科閉鎖などが相次いだ。

しかし 2000 年以降には、原子力拡大時代に入り、中国でも大学の原子力工学科の復権が目立っている。原子力工学科を有する大学は 2007 年現在で 14 校を数え、各々数百名の学生を育成している。清華大学、上海交通大学、西安交通大学、中国科学技術大学などの有名校が含まれており、ハルビン工程大学では学部学生数が 1,000 名、大学院も入れると 1,300 名を超える学生が在学している。

住民の反対運動が課題に

中国は、あらゆる点で上意下達が徹底しているトップダウンの国であるため、他の欧米や日本などの西側先進国と比較すると、原子力発電所などの立地に苦しみことかないというのが、これまでの定説であった。また、中国において土地は国家のものであり、個人は

土地の使用権を持つことはできるが所有することができない。このため、たとえば都市部にオフィスビルやマンションなどを建設する場合でも、そこに住んでいる住民には反対をする術がなかった。

しかし、最近の報道によるとこうした状況にも変化が見られるようだ。工場の立地などをめぐり、住民と地方政府の間にトラブルが発生し、地方政府が住民の意向を受け入れて計画を変更する場合も出てきている。住民が大きな力とたのんでいるのが、中国でも爆発的に普及しているインターネットや携帯電話による情報伝達能力である。

2011年の福島第一原子力発電所の事故は、地球温暖化対策の切り札として世界で進みつつあった原子力発電の拡大に見直しを迫る結果になった。日本国内はもちろんのこと、ドイツでも原子力発電全面撤退となっており、他の国にも大きな影響を与えつつある。中国においては、まだ経済規模に比べて原子力発電所が多くないため、現在のところ原子力発電所の立地問題が顕在化していない。しかし、住民がインターネットなどによる情報発信という手段を持った現在、福島の事故以前に計画していた急激な原子力発電拡大路線を、そのまま維持できるかどうか注目されている。

第五章 iPS 細胞マウス「小小」

京都大学の山中伸弥（1962～）教授らにより開発された iPS 細胞は、世界の研究者に大きなインパクトを与えた。中国も例外ではなく、iPS 細胞の研究が熱心に行われ、大きな成果も挙げた。その一つが iPS 細胞から「小小」と呼ばれるマウス作製に世界で初めて成功したことである。本章では、「小小」を作製した研究者らを紹介するとともに、中国の iPS 細胞研究の現状を見てみたい。

幹細胞と ES 細胞

すべての生物は数多くの細胞から成り立っており、たとえば人間の場合、約 60 兆個の細胞から構成されている。しかし、60 兆個の細胞ももとをただせば、受精卵というたった一つの細胞であり、これが「胚」という細胞のかたまりを経て、頭、手足など、あらゆる組織に分化していく。細胞は「体細胞」と「幹細胞」に大きく分けられ、体細胞はそれぞれの組織の機能を担当する。一方、幹細胞は複数系統の細胞に分化できる能力を持つ細胞であり、細胞分裂すると一方は体細胞に分化するが他方は再び幹細胞となる。幹細胞の代表的な例は造血幹細胞で、骨髄に存在して赤血球や白血球などの血液細胞を常に生み出し続けている。他にも皮膚の幹細胞、肝臓の幹細胞など多様な幹細胞がある。

特定の組織に分化した後の幹細胞は他の組織の細胞には分化できないが、胚の段階ではさまざまな組織に分化できる細胞が存在しうると考えられた。1981 年、英国の科学者であるマーティン・エバンス（1941～）博士は、マウスの受精卵が細胞分割を始め胎児となる前の「胚」の状態から細胞を取り出し、その細胞を培養して ES 細胞（Embryonic stem cells：胚性幹細胞）を作製した。この ES 細胞は、ほぼ無限に増やすことができ、さまざまな組織の細胞を作ることのできる多能性細胞であることがわかった。さらに 1998 年、米国の発生生物学者のジェームズ・トムソン（1958～）博士らは、ヒトの受精卵から ES 細胞を作製することに成功した。このヒト ES 細胞を使って、病気や老化、さらには事故によって機能を失った臓器などを再生させることができる可能性が、期待されるようになった。

しかし、ここから ES 細胞の研究は、政治問題と化してしまう。ES 細胞は受精した後の細胞を操作して作られるため、ヒト ES 細胞の作製は、生命を消滅させるものとの批判が生まれ、殺人と同じ行為ではないかという倫理的な問題が提起された。ローマ法王庁はヒト ES 細胞研究に強い反対を表明しており、さらに 2001 年に就任したジョージ・ウォーカー・ブッシュ米国大統領は、ヒト ES 細胞の研究に反対の立場に立って、ヒト ES 細胞研究への連邦予算の凍結を決定した。ブッシュ大統領は共和党出身であり、共和党はキリ

スト教右派を支持基盤として、中絶反対など保守主義の立場を取っているためである。それ以外の欧州諸国でも、カトリックの影響力の強い国々を中心としてヒトクローン胚による研究を禁止しているところが多かった。

ヒト ES 細胞研究への強い反対を貫くブッシュ政権に対し、研究者側から米国での研究が立ち後れることに対する強い懸念が表明され、それが米国連邦議会を動かすことになり、連邦助成を拡大する法案が、2005年5月に下院で、2006年7月に上院で可決される。ところがブッシュ大統領は、就任後初めての拒否権の発動を行い、法案を葬り去った。

iPS 細胞の開発

ヒト ES 細胞研究をめぐって侃々諤々の議論が行われていた時、彗星のように現れたのが、2006年8月に山中教授らによって開発された iPS 細胞である。iPS 細胞の開発は世界中の人々に衝撃をもって迎えられた。

iPS 細胞の正式名称は、「induced pluripotent stem cell」であり、これを訳すと「人工多能性幹細胞」となる。山中教授らは、マウスのしっぽの皮膚細胞に四つの遺伝子を入れて培養した細胞が、さまざまな組織に分化する万能性を有することを確認した。さらに翌2007年には、山中教授らおよび、前述のヒト ES 細胞樹立に成功したトムソン教授らが、同時期にヒト iPS 細胞の樹立に成功した。山中教授は、これらの研究成果により 2012 年のノーベル生理学・医学賞を受賞している。

iPS 細胞の特徴は、受精卵由来でないことである。受精卵を用いるヒト ES 細胞では、生命の破壊という倫理的な問題がつかまとう。また、受精した後に母体内から受精卵を取り出す場合、母体に負担がかかるという問題もある。しかし、iPS 細胞ならこのような問題を完全に回避できるのだ。

もう一つの利点は、拒絶反応の問題である。仮にヒト ES 細胞由来で移植に必要な臓器が再生されたとしても、臓器を必要とする患者本人の細胞ではないため、移植手術をした際の拒絶反応が問題になる。しかし iPS 細胞の場合には、患者自身の細胞を用いて臓器を作製するので、原理的に拒絶反応のおそれはない。

これらの理由から iPS 細胞は魔法の細胞と称された。ヒト ES 細胞の研究に強く反対していた米国ホワイトハウスやローマ法王庁は、「人を殺さず、たくさんの病気を治すことにつながる重要な発見である」と賛辞を送っている。

各方面から強い期待を受けて開始された iPS 細胞研究であるが、当然課題もある。最大の課題は、iPS 細胞由来の細胞のがん化である。山中教授らが最初に iPS 細胞を樹立した際に用いた4つの遺伝子に、がんに関わる遺伝子が入っていることや、iPS 細胞の作製にレトロウイルス（エイズや成人T細胞白血病などを引き起こすウイルスの種類で、ウイルスの遺伝子である RNA をもとにして DNA を作り増殖する特徴を持つ）を使用するためであるといわれている。現在世界の研究者は、がん化しない iPS 細胞の作製をめぐってしのぎを削っている。

山中教授らは、がんに関係の深い遺伝子を除いたやり方で iPS 細胞の樹立に成功しているが、そうすると今度は細胞を増加させる効率が低下してしまい、臓器などの再生にも時間がかかり過ぎてしまう。このため、iPS 細胞の作製効率を高める研究も、同時に進められている。

なお、将来 iPS 細胞研究が進めば ES 細胞の研究はまったく必要ないかという点、そうではない。iPS 細胞研究と比較対照するためにも、ES 細胞研究は続ける必要がある。

クローン研究の実績

中国には、クローンに関わる研究に歴史と蓄積がある。クローン技術は「羊のドリー」が有名だが、クローンという言葉は「挿し木」という意味のギリシヤ語であり、クローン・システムは自然にもともと存在するものである。動物で初めてクローンが作製されたのがウニで、1891 年、ドイツの生物学者ハンス・ドリーシュ（1867～1941）の手によるものだった。

魚類の最初のクローンは、中国の童第周（1902～79）博士により作製された。童は復旦大学を卒業し、ブリュッセル自由大学で博士号を取得した研究者である。1963 年、童博士はオスのフナの DNA を抽出しメスのフナの卵に移植することにより、クローンの作製に世界で初めて成功した。童博士は、中国科学院の海洋学研究所初代所長を務めるとともに、その後中国科学院副院長も務めている。

クローン研究は、幹細胞研究とともに発生学に分類される研究であり、クローン研究のレベルが高いことは幹細胞研究でも大きな意味を持つ。中国では童博士の画期的な成果を受けて、他の動物（ウシ、ヒツジなど）でのクローン研究が、中国科学院の研究所や中国農業大学などで継続的に進められていた。このような背景があったため、マウスやヒトの ES 細胞の樹立という世界的な幹細胞研究の流れにも、中国の研究者は素早くキャッチアップしてきた。国内の研究室でマウスやヒトの ES 細胞樹立に成功させるのと並行して、政府のバックアップによる幹細胞バンクの設立も進めてきた。山中博士らによる iPS 細胞の開発後も同様であり、それまでの研究の経験と蓄積を続けている。

世界初の iPS 細胞マウス「小小」

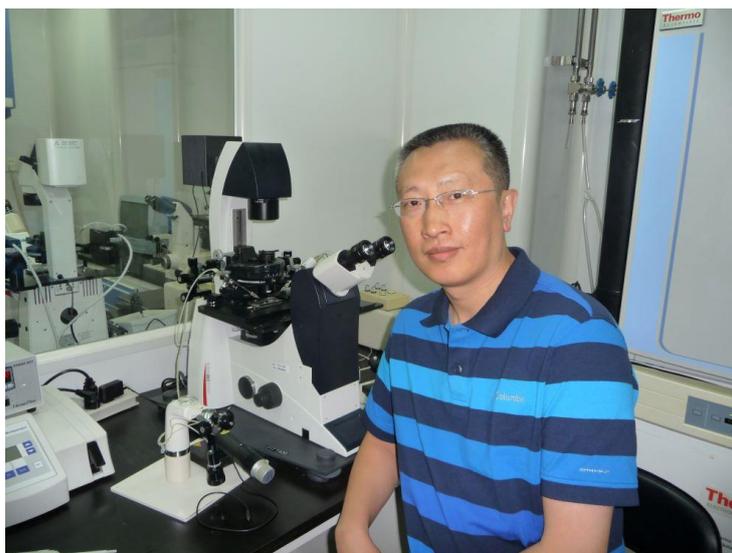
2009 年、iPS 細胞研究で、中国の研究チームが世界を驚かせる成果を挙げる。マウスの皮膚細胞から iPS 細胞を樹立し、「四倍体胚補完法」という技術を用いて、世界で初めて iPS 細胞由来のマウスを作製することに成功したのだ。iPS 細胞が、ES 細胞と同様の多能性細胞であると証明するには、iPS 細胞で丸ごとマウスを作製することが重要であった。しかし、日本や欧米の研究者の必死の努力にもかかわらず、なかなかうまくいかなかった。このため、欧米の学者の一部からは、iPS 細胞は ES 細胞とは違い多能性を十分に持った細胞ではない、という主張も出ていた。

そんななか、中国科学院動物研究所の周琪（1970～）研究員らのチームが世界に先駆け

て iPS 細胞由来のマウスの作製に成功し、2009 年 7 月 Nature (461 号、86～90 ページ) に発表した。さらにほぼ同時期に、やはり中国の北京生命科学研究所の高紹榮 (1971～) 研究員らのチームが同様のマウスの作製に成功し、ライフサイエンスの学術誌として有名な Cell Stem Cell (5 [2] 号、135～138 ページ) に発表した。欧米や日本の研究者を尻目に、中国の二つの研究チームが、世界初の研究成果をほぼ同時に達成したのである。

周琪研究員は、もともと動物クローンの研究者である。周琪は、1996 年に中国黒竜江省ハルビン市にある東北農業大学で博士号を取得し、その後フランスの国立農業研究所で研究を行っていた。2003 年、中国科学院の海外人材帰国政策である「百人計画」に採択されて帰国し、中国科学院動物研究所の幹細胞研究部門を立ち上げた。

北京市の北にある朝陽区に、中国科学院傘下の国立天文台や微生物研究所などが同じ敷地に立地しており、その一角に動物研究所がある。周琪は、大柄の人が多いという中国東北地方の出身らしく、身長 186 センチメートルと長身で、ゆったりとした風貌の人であった。



「小小」を誕生させた顕微鏡の前に座る周琪氏

周によれば、2006 年の山中教授による iPS 細胞の開発以降、中国でも高い関心をもって研究が行われており、自分も幹細胞研究の一環として取り組んできた。そのなかで、iPS 細胞を起源としたマウスがまだ作製されていなかったため、これに取り組んだとのことである。世界で最初に iPS 細胞から作られた動物 (マウス) の名前を、「小小(Xiao Xiao)」、英語名「Tiny」と付けた。

「マウスの名前を『小小』と付けた理由は、マウスの体が小さかったからか？」との質問に対し、「成果としては大したことではないから」と謙虚に答えている。しかし周琪研究員の謙遜とは違い、「小小」の作製は大きな賞嘆の声により世界に迎えられ、たとえば米国

の週刊誌 TIME は、2009 年度の「医学分野におけるブレイクスルー」トップ 10 の発表で、この「iPS 細胞誘発によるマウス育成の研究」を第 5 位にランクインさせている。



小小（提供：周琪中国科学院動物研究処研究員）

周琪研究員によれば、iPS 細胞由来のマウスは通常のマウスに比べて、記憶力等の発達には差はないが、がん化の割合が 15～20 パーセント以上高く、その子孫のがん化の割合も高いとのことで、この問題の克服が iPS 細胞の臨床応用につながると述べている。

効率の画期的向上

中国の研究者は、iPS 細胞の別の研究でも、世界トップレベルに並ぶ研究を発表している。たとえば、北京大学の鄧宏魁（1963～）教授が実施し、2008 年に Cell Stem Cell（3 [5] 号、475～479 ページ）に発表したものを紹介しよう。具体的には、ヒト iPS 細胞の樹立において、がん抑制遺伝子の制御により細胞の増殖効率を約 100 倍高めることができるとの研究である。iPS 細胞マウスの作製に比べると地味な成果ではあるが、将来の臨床応用を考えると重要な成果で、日本や欧米の研究者にもたいへん注目された。

鄧宏魁教授は米国留学組であり、カリフォルニア大学ロサンゼルス校で、1995 年に HIV の研究により博士号を取得している。その後、米国のベンチャー企業等で研究していたが、2000 年、北京大学に幹細胞研究センターが設立された際、中国政府の研究者帰国制度である「長江学者奨励計画」で帰国した。疾患モデル動物研究分野では中国の第一人者であり、2003 年の SARS（重症急性呼吸器症候群）発生時には中国政府のアドバイザーを務めている。2006 年の山中教授の iPS 細胞に関する研究を受けて、中国で最初に幹細胞研究を始めた一人でもある。マウスやサル、ラット等の実験動物を使った基礎的な研究を行うとともに、細胞の初期化、ヒト ES 細胞の分化誘導、再生医療を中心に研究している。

彼は、自分が所属する北京大学の研究環境を高く評価している。北京大学は、中国屈指の医学部と九つの附属病院（うち一つは建設中）があり、医学部と附属病院との連携がうまく機能しているため、臨床応用で有利である。また、北京大学は他の学部も充実してい

るため、医学、生物学、材料等の異分野の横断的な研究ができる。さらに、大学敷地内にマウス等の共同利用の実験動物センターがあり。いろいろな実験の便がいい。なお、豚などの大型の動物については、学外で飼育している。

政府による研究支援

中国研究者による成果を踏まえ、中国政府は iPS 細胞研究を含めた幹細胞研究を支える予算や拠点整備を積極的に強化している。

第十一次五ヵ年科学技術計画では、幹細胞研究に対して 5 年間で約 30 億元（約 400 億円）を投入する計画である。研究の実施主体である中国科学院は、2011 年 1 月より、北京市、上海市、広東省広州市、雲南省昆明市にある傘下の研究所四ヵ所にコア研究センターを設置し、幹細胞と再生医療研究における世界レベルの研究プラットフォームの構築を進めている。中国科学院は、これらコア研究センターの設置を含めて幹細胞・再生医学関連研究に、五年間で約 9.4 億元（約 130 億円）の予算を支出する計画である。

また、iPS 細胞を含む幹細胞バンクは研究の基盤となる重要な共通施設であるが、中国政府は北京市（周琪研究員の属する中国科学院動物研究所）、上海市（2 ヲ所）、広東省広州市、天津市、湖南省長沙市の 6 ヲ所で整備を進めている。

急激に向上する研究レベル

山中教授らが世界で初めて iPS 細胞を開発したことからわかる通り、日本の iPS 細胞研究のレベルは非常に高く、また研究者の層も厚い。日本の iPS 細胞研究者は、中国の研究者をどのように見ているのであろうか。

ほとんどの専門家は、中国の急激な研究レベルの向上を強調する。数年前までは研究のオリジナリティがなく質も低いため、注目するほどの成果はなかった。しかし 2008 年以降、特にこの 1、2 年の中国の勢いはすさまじい。研究論文の質は、スタンダードレベルのものから、一部は世界トップレベルのものが出てきている。前述の、中国科学院動物研究所の周琪研究員や北京大学の鄧宏魁教授の研究成果がその代表的な例で、トップレベル研究者の論文が *Nature* や *Science*、*Cell Stem Cell* などの一流誌に掲載されている。欧米等に留学していた優秀な研究者が帰国し、研究レベルが上がったことが主な理由である。

研究者の層も厚くなっており、2011 年の iPS 細胞関連の発表論文数を見ると、米国の 172 件、日本の 86 件に次いで、中国が 29 件と世界第 3 位である。さらにこれを 2010 年の幹細胞研究全体で見ると、米国 3,643 件、日本 741 件に次いで中国が 677 件とやはり世界第 3 位である。中国研究者の世界での存在感は、確実に増している。

しかし、中国の研究者を、欧米の研究者と同様にライバルとして見ているかというところでもないようだ。理由として挙げられるのが、オリジナリティが今一步という点である。一般的に、中国の iPS 細胞研究の多くはまったく新しい発見というより、培養条件等を変更したり初期化の効率等を高めたりする研究や、ヒトやマウス以外の別の種で個体化を試

みたりする研究が多い。

今後、中国においてオリジナリティの高い研究が進められるためには、欧米等に留学した研究者が中国国内で研究拠点を立ち上げ、留学先で受けてきた指導から独立した研究を実施する必要がある。そのような拠点で育てられた若い研究者が、次の世代のPI（主任研究員）として論文を出すようになって、初めて真にオリジナルなものが出てくるのではないだろうか。

日本を凌駕する臨床応用体制

日本の専門家が注目しているのは、中国の臨床応用体制である。臨床研究等の実施体制にあてられた中国の予算の伸びは急激である。今後の臨床研究を支える病院として、北京大学、清華大学（北京市）、同済大学（上海市）、中山大学（広東省広州市）等に、数千床規模の大学病院を新設している。日本で最大の東大病院が1,200床に過ぎず、現在中国国内で新設中の数千床の病院と比較すると、小規模である。

さらに、幹細胞研究を安定的に進めるためには、幹細胞を利用した臨床研究に関するガイドラインを定めることが必須であるが、中国政府は2003年に、衛生部、科学技術部などが連名で、「ヒト胚性幹細胞研究倫理指導原則」を制定した。日本では現在できないような治療用のクローン作製が中国では可能になっている。

このように、臨床研究を取り巻く環境整備が日本と中国では差が開いており、せっかく日本の研究者がアカデミックな論文でよい成果を出したとしても、その成果を応用する臨床のところで、中国に後れをとる可能性が増大している。

今後の日本との協力関係

中国のダイナミックな動きに対し、日本の専門家のなかでは、臨床研究、ガイドラインや細胞バンクの共同利用・標準化等、日中双方にとってメリットがある分野を中心に、積極的に連携すべきとの意見が強い。

特に強調されるのが、日中間における優秀な人材の交流である。最近では、欧米や日本に留学した優秀な人材が、中国国内に活躍の場が整備されてきたことによって帰国し、これが中国の研究レベルの向上につながっている。中国に帰国後、留学先の国との共同研究等の連携の中心となって活躍するなど、両者をつなぐ役割を担っているケースも多く見られる。日本でも、留学生や研究者の受け入れをきっかけに、共同で臨床研究を進める計画が検討されるなど、さまざまな取り組みが始まっている。他方日本の研究者は一般的に、中国の研究者との直接の交流が少なく、まずはお互いに理解を深めることも重要であろう。

患者の数が多く欧米並みに治験の体制が整いつつある中国で、臨床研究を実施するメリットはきわめて大きい。また欧米に比べて、臨床研究の前段階である動物実験を行いやすいため、たとえば霊長類を使った前臨床研究分野で中国と連携することも視野に入れるべきである。

なお、iPS 細胞研究の臨床応用は特許等知的所有権に関わる点で、両国の制度がまだ十分に調和がとれていない。協力を進める際には知的所有権を十分に考慮する必要がある。

第六章 遺伝子解析会社 BGI 社

BGI 社というのは、遺伝子情報の解読を商業的に行っている中国の民間会社である。近年、装置や人員の面で大規模な発展を続けており、世界に類を見ないユニークな拠点であるといえよう。そこで、本章ではこの BGI 社を取り上げる。

遺伝子解析の歩み

遺伝子研究の大きな転機として、米国の生物学者ジェームズ・ワトソン（1928～）と英国の生物学者フランシス・クリック（1916～2004）による、1953 年の DNA の二重らせん構造発見が挙げられる。DNA は、A（アデニン）、T（チミン）、G（グアニン）、C（シトシン）という 4 つの塩基からなる長い紐のようなもので構成されており、その長い紐が対になってらせん状に絡み合った構造であることが発見された。そして、この 4 つの塩基の並び方により、対応するアミノ酸を通じてタンパク質が合成される。つまり DNA にある情報が、生物を樹成するタンパク質の合成をつかさどっているというわけだ。

1977 年には、英国の生化学者フレデリック・サンガー（1918～）と米国の物理・生物学者ウォルター・ギルバート（1932～）の二人が、ほぼ同時に DNA にある塩基の並び方を確定する方法を樹立した。この方法を DNA のシーケンスと呼ぶ。この業績に対して、異例の早さともいえる 3 年後の 1980 年に、二人はノーベル化学賞を受賞している。

シーケンス方法の樹立により、多くの研究者が、DNA のどの部分がどのタンパク質を発現させるのかの特定を試みることになる。たとえば、疾病に関連する DNA を見つけることで、その疾病を治療するための医薬品の開発が可能となる。

しかし、1980 年代初めのシーケンスは、たいへんな労力と時間を要する作業であった。1,000 塩基をシーケンスするのに、専門家一人の作業で、おおよそ 3 日かかるという具合だった。その効率を上げるため、和田昭允（1929～）東京大学教授は、科学技術庁（現文部科学省）のプロジェクトとして、DNA 塩基配列決定の自動解析システムの開発を進め、その成果を基に「日本は DNA 塩基配列決定の自動化について基本的な技術確立した」という論文を、1987 年 *Nature*（325 号、771～772 ページ）に発表している。ただ、このシーケンサー（シーケンスを自動的に決定する装置）は、機動性に欠ける巨大なロボットであり、まもなく米国のベンチャー企業によって改良開発された小型で大容量の機動性のある装置におきかえられていく。

シーケンサー開発の進展を受けて、米国、日本、欧州などの研究者から、ヒトの遺伝子全体を読もうという声が増え、1988 年には、スイスのモン

トルーで HuGO (Human Genome Organization) が設立され、国際協力によりヒトの染色体の塩基配列をすべて解読しようとする計画が立案された。HuGO や各国政府での検討を踏まえ、1991 年に実際の解読作業が開始された。ヒトのゲノムを構成する染色体は 24 本あり、塩基数にするとおよそ 30 億である。

当時のシーケンサーは、一回の作業で 500 塩基程度しか解読できなかったため、30 億塩基を正確に解読するためには、確認のための作業の重複も考えて、約一億回のシーケンサー作業が必要であると想定された。このため、15 年間かけてヒトの染色体のすべての塩基を読み終える計画であった。しかし、その後シーケンサーの自動化・高速化が進むとともに、データの解析などに使われるスパコンの性能が大幅に進歩し、予定より 3 年早い 12 年後の 2003 年に成果を公表して、ヒトゲノム計画は終了した。

BGI 社の歴史

中国でのシーケンサーを用いた遺伝子解析は、これから紹介する BGI 社の歴史と重なる部分が多い。1990 年代前半には、中国でも欧米から帰国した研究者を中心として、実験室レベルでシーケンサーによる遺伝子解析が行われていた。



深圳市にある BGI 本部外観

しかし、遺伝子解析で新たな手法を開発するとか、シーケンサーの開発競争に加わるといった状況にはなく、米国や日本に後れをとっていた。

根本から状況を変化させたのが、前述のヒトゲノム計画への中国の途中参加と、中国側

の貢献を担う BGI 社の設立である。BGI 社は「Beijing Genomics Institute : 北京ゲノム研究所」として、1999 年 9 月 9 日、同社の現理事長である楊煥明（1952～）博士らにより設立された。ヒトゲノム計画は 1991 年から開始されており、BGI 社が設立された 1999 年には日米欧の各国でかなりの作業が進んでいたが、楊博士はこれに臆することなく中国政府に働きかけ、DNA 解読の 1 パーセント分を中国の担当分として国際的に約束させ、必要な資金援助を受けることとした。BGI 社の参加により中国は、ヒトゲノム計画に参加していた米国、英国、ドイツ、フランス、日本という遺伝子解析先進国と、肩を並べる地位を獲得した。ヒトゲノム計画に続き 2002 年に開始された国際ハプロタイプ・マップ・プロジェクト（ハップマップ計画：ヒトの病気や薬に対する反応性に関わる遺伝子を発見するための基盤を整備するプロジェクト）では、中国は BGI 社を中心に国際貢献度をさらに強化し、全体の 10 パーセントを担うまでになった。



楊煥明氏（写真：人民網）

BGI 社の特徴は、大量のシーケンサーを導入し、若手を中心とした数多くのスタッフが組織的に遺伝子解析を行うところにある。ヒトゲノム計画やハップマップ計画への貢献でその片鱗を見せていたが、本格化するのには中国政府の関与が小さくなってからである。中国の科学技術政策を規定する第 11 次科学技術五ヵ年計画（2007～11 年）では、BGI 社の強い要請にもかかわらず、シーケンスについての国からの資金拠出がほとんど明記されなかったため、BGI 社は窮地に陥る。楊博士以下は、中国でのシーケンス事業の発展を念頭にスタッフの大幅な拡充をすでに開始していた。

BGI 社を救ったのは、広東省深圳市であった。深圳市は BGI 社の実力を評価し、2007 年に 4 年間で 2,000 万元（約 3 億円）の拠出を約束するとともに、本部用の土地として靴工場の跡地を提供した。深圳市の協力に応じて BGI 社は本部を北京市から深圳市に移し、それまでの正式名称であった「Beijing Genomics Institute」を廃止して、略称であった BGI を正式名称とした。

BGI 社の名を一躍世界レベルに押し上げたのが、2010 年の超高速シーケンサーの大量導入である。当時、世界の大型高速シーケンサー開発競争が頂点に達しており、米国イルミナ社、米国ライフテクノロジー社、スイスのロッシュ・ダイアグノスティクス社の 3 社がしのぎを削って新機種を開発していた。BGI 社はこの競争の行き先を見極め、イルミナ社の最新鋭シーケンサーである HiSeq2000 の大量発注を行った。BGI 社は、中国開発銀行から 100 億元（約 1,300 億円）という巨額の信用供与を受けて、128 台の HiSeq2000 を一括購入した。世界最先端の DNA 研究機関は米国ブロード研究所、英国サンガー研究所などであるが、当時これらの世界的な研究所が所有している最新鋭高速シーケンサーは 50 台程度であった。日本では、理研が十数台を所有していたに過ぎない。



シーケンサー室 HiSeq2000 がずらりと並んでいる

BGI 社は、米英の世界トップレベル研究所の 3 倍近くの台数を、一気に導入したのだ。機種選定もきわめて適切で、HiSeq2000 は高速シーケンサーとして現在でも十分に現役で活躍している。2010 年の HiSeq2000 の 128 台の大量導入は、世界のライフサイエンス関係者に大きな衝撃を与え、以降 BGI 社の名前が世界に広がった。

独特のビジネスモデル

シーケンスという作業は、1980年代から1990年代を通じて、ライフサイエンス系の若い研究者、ポスドク、大学院生などの怨嗟の的であった。シーケンスに時間と労力をかけて得られる成果は、単に ATGC の 4 つのアルファベットの羅列に過ぎないが、これがわからないと、次のステップである遺伝子、タンパク質などの研究につながらない。世界中の研究室でシーケンス作業が行われたが、その時にかり出されたのが若手スタッフや大学院生たちであった。

このため、作業をできる限り自動化しようとする試みが続けられ、シーケンサーの開発につながっていく。BGI 社はこの方向を徹底させたもので、適当な対価を出せば大量の機械と大勢の人力がシーケンスを代行してくれ、若手の研究者たちを単純労働の労苦から解放してくれる。

では、BGI 社の規模はどれほどのものなのか。2013 年 5 月の時点で、BGI 社のスタッフ数は全体で約 4,000 名、うち研究者は約 700 名、バイオ・インフォマティクスの研究者が約 1,000 名、技術者約 1,000 名である。ライフサイエンス専門の研究所としてこの 4,000 名という数字は世界トップレベルであるが、さらに遺伝子解析に特化した専門機関としては世界に例のない大きさである。



オフィスの様子 若いスタッフが多い

バイオ・インフォマティクスとは、大量に解読された遺伝子情報の生物学的意味の抽

出を目的として、応用数学、統計学、コンピュータサイエンスなどを駆使して行う研究である。日本では、東京都のお台場にある産業技術総合研究所生命情報工学研究センターに、最も多くのバイオ・インフォマティクスが集結しているが、それでも数十名程度であることを考えると、BGI社の約1,000名という数字は衝撃的である。

2010年にNatureはBGI社を取り上げた記事(464号、22~24ページ)を掲載しているが、その時の着眼点はBGI社のスタッフの若さであった。2013年時点でも、スタッフの平均年齢は27歳ときわめて若い。BGI社は、即戦力として研究者や技術者を雇うのではなく、大学卒業生や場合によっては高校卒業生を雇い、その後社内に完備した施設で教育研修を行ったうえで、シーケンス作業を行わせる。たとえばバイオ・インフォマティクスの場合には、3ヵ月間研修を行い、研修終了後に部署に配置する。BGI社は、教育研修をさらに徹底させるため、独自の大学設立も計画しており、深圳市内で建設計画が進んでいる。なおBGI社の給与は、外資系企業と比較すると見劣りがするが、中国の国内企業一般よりは恵まれている。

インドのインフォシス社

筆者は、2012年の春にインド南部のカルナータカ州にあるバンガロール市に出張し、巨大ソフトウェア産業の一つであるインフォシス社を訪問した。

インフォシス社は、1981年、ソフトウェアに特化した会社として設立されたが、当初は米国のシリコンバレーの下請け業務が中心であり、スタッフの規模や売り上げや利益も少なく、成功した企業とはいえなかった。転機となったのは、西暦2000年を迎える際、世界中のコンピュータで誤作動の起きる可能性が危惧された2000年問題である。2000年問題はきわめて広範な問題であったため、国内だけでは処理しきれないと考えた米国企業は、下請け業務で実績のあったインフォシス社を含むインド企業の積極的活用を決断した。インド企業は期待に応え、見事に2000年問題に対応した。これを契機として、インドのソフトウェア産業は豊富な低コスト人材、米国との時差などを武器として、ITのオフショア産業として大発展してきた。

2012年春の時点で、インフォシス社の従業員数は約14万人で、ここ数年は毎年一万人程度の増員を行っている。インド人は数学能力に秀で、また英語を理解できるため、英語ベースのソフトウェア開発に適している。

中国のBGI社は、規模が少し小さいものの、インドのインフォシス社にビジネスモデルがよく似ていると筆者は思っている。どちらも若者を大量に採用し、バイオやソフトウェアに関連する知的労働で、人海戦術を行っている。またインフォシス社は、600名を上回る専任講師を擁する世界最大級の研修施設であるGlobal Education Centerを設置し、ここで半年間の新人研修を行っている。さらにインフォシス社は、大学を設立する計画を持っている。このように、人材の育成に力を入れているところもBGI社とよく似ている。

BGI 社の科学技術的な意義

これまでの説明では、BGI 社はひたすらデータ解析を行う、工場のベルトコンベアのような単純労働を行っているだけというイメージを持たれるかもしれない。では、同社は中国の科学技術にとって、どのような意味を持つのか。

まず、対価を取ってシーケンス業務を実施している点。1970 年ごろ、筆者が大学院生の時代には、実験に必要な機器を作製するためガラス細工が必要なことがあったが、ガラス細工はテクニックを要するため研究室のベテラン技官にお願いするが、それでもできない場合には外部の業者に委託していた。BGI 社の業務は、研究室から委託されるガラス細工に似ている。ガラス細工は研究に必要な作業ではあるが、これを請け負った業者が研究開発を行っているわけではない。つまり、BGI 社は単に塩基配列を機械的に解読するだけで、その後のアミノ酸やタンパク質の同定、タンパク質の立体構造の解明や疾病・遺伝への関連などの研究は、委託元の研究者が行う。したがって、受託業務に限っていえば、塩基配列の受委託が終了した段階で BGI 社に残るのは、膨大な塩基配列のデータと報酬のお金のみであり、これだけでは科学技術的な成果とはならない。

次に、業務を請け負う相手の範囲が、全世界にオープンになっている点である。BGI 社は、中国に本社があり中国人のスタッフを使っているが、仕事は全世界の研究者のために行われる。中国人の雇用は促進しても、中国の研究開発能力を高めているわけではない。世界のために貢献するということはもちろん有意義なことであるが、研究成果とイノベーションを結び付け、他国との競争に打ち勝とうとしている現在の科学技術の方向と大きく異なる。

さらに、トップレベルのシーケンサーを大量に外国のメーカーから購入しているにもかかわらず、自社では工程やシステム管理の改善などを除いて、あまりシーケンサーの開発に関心がない点である。これも、BGI 社の科学技術的なステータスが低い理由の一つになる。科学技術関連機器の開発は、どの国においても科学技術力を表すものとして重要視されている。とりわけ日本においては、機械製造が産業分野を国際的なレベルに押し上げ、日本の国際競争力を引っ張ってきたという経緯もあって、計測機器などを中心に科学技術関連機器開発への思い入れが強い。最近、米国や欧州のベンチャー企業が世界的なマーケットで高いシェアを占めているため、国を挙げてこれら計測機器などの開発に力を入れてきている。

しかし、BGI 社の楊煥明理事長は、自分たちの仕事はいわば航空機で旅客を運ぶことであって、飛行機を製造する会社からできるだけ性能が高く安い飛行機を導入すればよく、自ら作る必要がない。シーケンサーも同様で高性能のシーケンサーを開発する必要はなく、よい装置ができればそれを導入するのだと述べている。

こういった観点から日本の関係者には、BGI 社の業務は単なる商売であるとの見方が強

く、科学技術活動と考えている人は比較的少ない。

アカデミックな実力を強化

しかし BGI 社は、塩基配列解読の受託だけに頼ることに将来性の危うさを認識し、自らの科学技術的な実力を徐々に蓄えようとしている。

BGI 社は商業契約として塩基配列の解析を請け負っているが、その際ポリシーとして共同研究をあわせて実施するよう努力している。また、単に塩基配列解読だけではなく、より付加価値の高い業務の受託も目指している。なにせ研究者の数が約 700 名、バイオ・インフォマティシャンが約 1,000 名である。これらのスタッフが、下請け的な形とはいえ世界トップレベルの研究者とやりとりしながら業務を進めることになれば、研究能力が格段に向上すると想定される。

BGI 社は国際的な協力プロジェクトにも、積極的に参加貢献している。BGI 社のホームページによれば、たとえば動植物 1,000 種ゲノムプロジェクトや、「単一性遺伝子疾患・複雑疾患の原因となる一般・まれな変異の発見」に関するデジタルライブラリーの構築などで、国際貢献を行っている。この国際貢献は、政府などの資金を当てにしておらず、すべて自主的に行われている。

アカデミックな研究能力は経験の積み重ねがものをいう面があり、一朝一夕に獲得できるものではない。大量の先端機器と大勢のスタッフを抱えたからといって、ただちに世界最前線の研究はできない。しかし、世界最先端の委託先との共同研究や、国際プロジェクトへの参加などを経て、いろいろな情報やノウハウ、解析手法などが BGI 社に移転され、蓄積されていく可能性は十分にある。すでにその兆候は現れており、BGI 社が *Cell*、*Science*、*Nature*、*New England Journal of Medicine* の主要 4 誌に発表した論文数は、201 年で 14 報、2011 年で 18 報、2012 年で 36 報と加速度的に増加している。また *Nature* だけで見ると、2012 年で BGI 社は中国科学院、中国科学技術大学、清華大学、北京大学に次いで、中国第 5 位となっている。

さらに、BGI 社は研究能力を高めるため、国際的に著名な研究者とのつながりを大切にしている。DNA 構造の発見者の一人である米国のジェームズ・ワトソン博士、器官発生とプログラム細胞死の遺伝制御に関する発見で、2002 年のノーベル生理学・医学賞を受賞した英国の生物学者ジョン・サルストン博士、ヒトゲノムの創薬応用研究に大きく貢献し現在米国ブロード研究所所長であるエリック・ランダー博士、1984 年に最初の直接ゲノム配列決定法を開発した、米国の分子遺伝学者のジョージ・チャーチ博士などを顧問に迎えている。

BGI 社は、経営体質を高めるため業務の多角化も進めている。ターゲットとなっている分野は、健康医学分野と農業分野である。BGI 社としては、遺伝子解析のノウハウを生かし、より付加価値のある分野で、業務を拡大したいという思惑であろう。

社会にも貢献

BGI 社を語るときに忘れてはならないのが、同社による社会貢献である。単に科学的な業務を行う民間企業ではなく、BGI 社は非常に機敏に社会的な要請に対応してきた歴史がある。

2003 年に、SARS（重症急性呼吸器症候群）が中国で発生した際、BGI 社は SARS ウイルスのサンプルを入手して 36 時間以内に、ゲノム配列解析を終了し、SARS ウイルスを検出する臨床応用診断キットを開発して、中国政府にこのキットを 30 万本寄贈している。

また 2004 年に、インド洋スマトラ沖大地震が発生した際、BGI 社は津波後の救援活動を支援するため 5 人のチームをタイに派遣し、無償で DNA 同定による犠牲者の身元確認を行っている。

もう一つ興味深い例を挙げると、BGI 社の汪建（1954～）博士を含めた登山隊が、2010 年 5 月 22 日にエベレストの頂上に登単し、同年に開催された上海万博の旗を掲げている。BGI 社の科学者たちは、登山の途中、科学分析と研究のために標高別に血液や微生物のサンプルを採取したのだ。

欧米への窓口、香港支部

BGI 社の本部は前述の経緯もあって広東省深圳市に置かれているが、2009 年には香港特別行政区に支部が開設された。深圳本部が靴工場の跡地であったのと同様、香港支部も印刷工場の跡地に建てられている。

BGI 社は、2010 年のシーケンサーの大量導入以降も設備投資を引き続き行っており、2012 年 7 月時点で所有している大型シーケンサーは約 200 台にのぼる。このうちほぼ半数の 100 台を香港支部に設置し、欧米を中心とした世界各国から依頼を受け、塩基配列を読み取る作業を行っている。詳しい解析が必要な場合には、深圳本部にデータを転送して所要の解析業務を行い、その結果を香港支部に戻してから各国に返送する。

香港は英国から返還された後も一国二制度の特別な地位が与えられており、外国から物品を持ち込む場合に必要な手続きが軽減されていることや、情報の取り扱いなどの面で欧米化しており、依頼する外国の機関にとって安心感があるということなどの利点がある。ちなみに香港と深圳市は隣り合っており、行き来に不便はない。

展望

BGI 社は、巨額の設備投資を常に行っているため、巨額のローンが現在でも残っている。日本の関係者のなかには、将来 BGI 社が経営に行き詰まる可能性を指摘する向きもある。

しかし、DNA の塩基配列の解読作業のみを、これほど徹底的に追求している企業は、世界広しといえども BGI 社をおいてない。また、若手研究者を多数擁しており、彼らはライフサイエンス研究の世界最先端の情報に常に接しうる立場にある。

米国や欧州の大学や研究所も、BGI 社をいかに取り込んで世界の研究競争に勝つか、と

いう戦略を立てている。日本としては、塩基配列を解読する作業を請け負う BGI 社の優位性を認め、いかにそのポテンシャルを日本の研究に組み込んでいくかを考える時期に来ている。BGI 社に科学的なイニシアティブを取られないようにしつつも、同社の活力を十分に利用するシナリオの構築が重要である。

第七章 中国の科学技術の特徴

前章までで、中国における最先端の科学技術現場と、宇宙や原子力などのビッグプロジェクトの状況を見てきた。これを横並びで見ると、科学技術に関する進め方の特徴が浮かび上がってくる。本章では、中国の科学技術の進め方の特徴をまとめるとともに、いくつかの資料やデータにより科学技術の躍進を支える人材と資金の状況を述べる。

一. 進め方の特徴

現在もキャッチアップ主体

現在の中国には、世界トでフレベルの科学技術関連施設や装置が、相当数存在している。そのうち、世界一の称号を持つものは、スパコンの「天河1A」、有人潜水調査船「蛟竜」、望遠鏡LAMOSTがあり、世界初のものは核融合研究装置EASTがある。さらに、前章までに取り上げなかったが、物質の種類、構造、性質を分析できる放射光施設である上海市の上海光源(SSRF)や、材料開発に用いられる湖北省武漢市のパルス強磁場施設など、性能の面で世界的にも遜色ない施設がいくつもある。

現代中国で科学技術活動が本格化したのは1977年の文化大革命終了以降であり、まだそれから30年程度しか経っていない。それにもかかわらず、急激な発展を遂げ一部では世界トップレベルの施設や装置が実現していることは、賞嘆に値する。短期間のうちに世界レベルに追いついた理由として、中国の科学技術力の確かさだけでなく、後述する自前技術にこだわらない姿勢もある。

一方、世界レベルとなった装置や施設を用いて世界レベルの研究が行われているかという点、疑問符の付くものが多い。たとえば、スパコンの「天河1A」や「星雲」は、ソフトウェア開発が後回しにされ、有人潜水調査船「蛟竜」は、世界一の潜航深度を達成した後の計画が見えない。望遠鏡LAMOSTは光学的に優れた装置といえるが、何を目指した研究を行うか明確でない。

ハードウェアが先行し、運用・利用が後れているのは、中国の科学技術が欧米先進国に対するキャッチアップ型であることが大きな原因であろう。必要な資金と訓練された人員が供給されれば、施設や装置を建設、製造することは比較的容易である。しかし、ハードウェアを運用し、欧米先進国並みの成果を挙げるのは簡単なことではない。とりわけ科学(サイエンス)は、文化的な背景も含めて社会に定着しないと、本物は出てこない。日本も明治維新以来、欧米の科学技術の取り込みを積極的に図ってきたが、140年以上たった現在でも、キャッチアップ的な考えはまだ抜けていないとの批判がある。中国の場合には、

先進国で教育訓練を受けた帰国研究者が科学技術の主たる担い手であり、日本などよりはるかに早く科学技術文化が根付くと予想されるが、それでももう少し時間がかかるであろう。

中国政府の政策担当者は、中国は科学技術で世界トップレベルに近づいているという評価に対して、まだまだ後れており大事なものはこれからである、ときわめて謙虚に答えることが多いが、この辺の事情をよく理解しての発言である。

技術・機器の外国依存

中国が科学技術を進展させるうえでの特徴の一つに、最終的に目標を達成できれば、技術や装置を外国に依存してもかまわないという点がある。

前章までに見た点を再度確認すると、スパコンを開発する場合、日本は他の国の同種プロジェクトとの差別化を図ろうとして、部品などの細部の違いにまでこだわる。たとえば、ついこの間まで世界一の演算速度を誇っていた日本のスパコン「京」のチップは、国内で開発し製造したものを使っている。

一方、中国は、最終的な性能が世界レベルであるかどうか重要で、機器の一部を構成する部品が中国製であろうがなかろうが、あまり問題にしない。「天河1A」のチップは、米国のインテル製のCPUと米国のNVIDIA製のGPUが中心である。また、有人潜水調査船「蛟竜」の中核部品であるチタン合金製圧力殻は、ロシアで製作されて輸入されたものを使用している。潜水調査船として一番重要な技術までも外国から輸入して、世界トップレベルを目指すというのが中国流である。核融合研究装置EASTは世界で初めての全超伝導磁石のトカマクであるが、その超伝導磁石の材料はロシア製だ。また宇宙船「神舟」も、ロシアとの技術提携を踏まえて製作された。

現在はオープン・イノベーションが主流となっており、世界の最先端の技術を横並びで見、優秀な技術を容易に利用できる環境にある。このような環境においては、中国流のやり方は早く、かつ低い予算規模でプロジェクトの達成が可能である。また、間違った技術を選択しても、自前で多大な開発投資をしていないため、その是正が容易だ。

自前の研究開発がすべてで、それなしには日本の科学技術の未来はないという思いが強い筆者などには、中国式のやり方は何とも不思議なものに見えるが、研究開発の内容によっては、中国流の進め方を参考にすべきと思う。一方で、このような研究開発は、コアの技術や装置・部品を外国に依存せざるを得なくなることや、自国だけでは次のステップに進めなくなるリスクもあるだろう。したがって、キャッチアップでは威力を発揮するが、世界でまだ開発されていないものをフロントランナーとして独自で開発する場合には、壁に突き当たる可能性が大きいことを念頭におかねばならない。

着実なプロジェクト実施

着実なプロジェクトの進め方も、中国流の科学技術の特徴の一つである。共産党の一角

支配のもと、トップダウン式に無理をしてでも早く成果を出し、早く施設などを完成させようとしているのではないかと推測して現場に行くと、よい意味で裏切られることが多い。

たとえば、有人潜水調査船「蛟竜」は、1992年に開発計画が決定され、2002年に開発着手、2008年完成、2009年海上試験開始、2010年3,759メートル潜水、2011年5,057メートル潜水と着実にステップを踏んで、2012年6月によりやく潜航深度目標の7,000メートルをクリア、7,062メートルの潜水記録を打ち立てている。完成してから5年、海上での試験開始からでも3年が経過している。一方、日本の「しんかい6500」は1989年1月に進水式を行っており、同じ年の8月には目標であった6,500メートルをクリアする6,527メートルの潜航深度を達成した。「蛟竜」は目標達成のためにたいへん苦勞したように見えるが、担当者はいたって意気軒昂で、むしろ将来を見据え目標達成後のオペレーションやメンテナンスを心配している。

宇宙における有人飛行についても、同様のことがいえる。中国は神舟シリーズにより有人宇宙飛行を遂行しているが、1999年の神舟打ち上げから始まり、2002年末の神舟四号まですべて無人の宇宙船を飛ばし、技術的なステップを踏んで着実に実績を積み上げた。そのうえで、神舟打ち上げから4年後の2003年10月、初めて宇宙飛行士を乗せた神舟五号を打ち上げた。

このように、研究開発の分野では、政治におけるトップダウンとは異質な進め方が見られる。日本では、計画が予定より遅れると予算獲得やプロジェクト評価などで不利になるため、無理をしてでも予定通りに運ぼうとする誘惑にかられる。心すべきことである。

早急な実用化・商業化

日本との最も顕著な違いとして、技術開発と実用化・商業化との距離感がある。日本の場合には、技術開発を徹底的に行うことを優先するが、中国の場合、できるだけ早く実用化・商業化につなげようとして、技術開発の途中で、あるいは並行して商業化のプロセスに入ることが多い。

最もはっきりした例が、第四章で述べた原子力発電所のパキスタンへの輸出である。中国最初の原子力発電所である秦山一号発電所は、国産技術を中心にして1985年に着工し、1991年に発送電を開始、1994年に営業運転を開始している。ところが、建設途上にあつた1989年には、同型の原子力発電所をパキスタンに売り込み、2基輸出することに成功している。日本であれば、運転開始後数年間は実績作りを行い、そのうえで各国に販売攻勢をかける。建設途上の原子力発電所を外国に輸出したのは驚きである。

中国のスパコン開発は、世界トップレベルの演算性能を目指すとともに、もう一方では、そこそこの性能であるが比較的安価なスパコンを売り出し、大きくなりつつある国内マーケットで勝負している。また、有人潜水調査船「蛟竜」の場合には、所期の目標の達成前に国際機関からの受託事業を有料で実施している。

最近日本でも話題となった事例でいえば、高速鉄道技術がある。高速鉄道の世界でのメ

インプレーヤーは日本とフランスであり、最近ドイツも力をつけてきている。中国は、日本やフランス、ドイツなどからの技術導入により建設を行い、2005年に実用化したばかりの高速鉄道技術を国内で利用するだけでなく、外国に輸出しようとしていることが明らかとなった。その後、2011年7月に浙江省温州市で40人もの乗客が死亡する追突事後が発生し、高速鉄道技術の輸出は立ち消えと思われたが、2012年4月、バングラデシュから高速鉄道の車両60両と列車制御や運行システムなどの関連設備を受注したと、中国のメーカーが発表した。

中国人は一般に経済的な感覚が鋭く、外国から技術を導入したり継ぎ合わせたものであっても、中国の技術、資本、知恵が入った段階で中国のものとなったのであり、それをできるだけ早く実用化・商業化するのは当然の権利で、場合によっては義務であるとさえ考えている。

日本の関係者であれば、安全性に問題が出てくるかもしれない、所期の性能が出ないかもしれない、そのような懸念を想定して、中途半端な技術に基づく製品や技術を世に出すことを非常に警戒する。技術に対するこのような日本人の姿勢が、技術立国を支えてきた。

しかし、昨今の中国の経済発展のすさまじさを見てみると、日本の姿勢だけが世界標準ではないという考えも出てくる。試験管を振って研究開発していた時代であればまだしも、今や基礎研究であっても、研究材料や研究装置に多額の研究費を要する。ましてや、事例として挙げたような原子力や高速鉄道の場合には、膨大な費用と人員がつき込まれている。研究開発段階にじっくりと時間と費用をかけて商品化するという日本式のやり方は、「ガラパゴス化」の一例ではないかと疑ってみることも重要であろう。

自前での製作

中国では、大きな実験装置などを建設する際、民間の企業の助力を得ずに、研究開発現場にいる内部の人たちで作ろうとする傾向がある。先に述べた技術導入や海外からの部品調達を厭わないということと矛盾すると思われるかもしれないが、中国の研究開発現場ではうまく共存している。おそらく、大きな実験装置の建設を計画した際、ここは自分でやろう、ここは外国に依存しようとして明確に仕分けし、そのうえで建設に取りかかっているであろう。

例を挙げると、核融合研究装置 EAST の一部は、研究所の職員が自力で製作している。核融合研究装置の難しいところは、大きな真空装置やその外側にある磁石に巻きつけるコイルの製造である。真空装置は内側にタイルを貼り付ける必要があるが、これを研究所の職員たちが一つ一つ貼り付けたというし、コイルは超伝導材料であるニオブ・チタン材をロシアから輸入したが、巻き線処理、コイル化などは研究所敷地内の工場で行って製作している。その結果 EAST の建設費は、他国の同様の施設に比較してはるかに安く、自らの手で製作しているため仮にトラブルが発生しても対応が容易である。

日本では、日本原子力研究開発機構が茨城県那珂市に、また自然科学研究機構核融合科

学研究所が岐阜県土岐市に同種の装置を建設しているが、いずれも真空装置の製作やコイルの製作は国内メーカーに発注している。このため、どうしても建設費が高くなってしまふ。また、トラブルの解決などでは、メーカーに頼らざるを得ない。

しかし、研究所の使命はあくまで研究を実施して研究成果を出すことにあり、中国の場合、製作した際の技術を維持し発展させることまで手が回らない。そうすると、次のステップの装置製造や別の分野への技術展開ができない。冷戦時代に米ソは、しのぎを削って宇宙開発に取り組んだが、米国の技術開発は民間と一体になった開発であったため、開発の成果がその後いろいろなところで利用された。カリフォルニア州のシリコンバレーの興隆も、宇宙開発の隠れた成果であるという人までいる。一方ソ連は、宇宙開発専門機関が中心となり自らの力で開発したため、その後産業として育たなかった。

かつての中国は、経済力が十分ではなく人海戦術をとっていたことや、旧ソ連に倣って国の機関だけで研究開発を進めていた。この方式が現在のシステムを作り出してきたのであろうが、経済成長を遂げ民間の技術力も大幅に強化されている現在、そろそろ転換の時期に来ている。

最新鋭機器導入と運用体制

中国の研究室が真の意味で世界の一流レベルとなるためには、最新鋭の機器類のスムーズな運用が重要である。

トップレベルの研究室には、欧米や日本の研究室と同等あるいはそれ以上の実験機器、分析機器、測定機器などがずらりと並んでいる。中国の研究現場を訪問すると、誇らしげに研究室を案内し、最新鋭の研究機器を見せてくれる。最新鋭の研究機器を思い切って投入できる理由として、欧米や日本と比べ半周後れで研究開発が始まったため、古い研究機器やしがらみがなく、思い切って世界最先端のものが導入できることが挙げられる。また、中国自前の技術や製品へのこだわりがないことも、国際的に最新鋭の研究機器を新規に導入することを躊躇させない。

ただ、日本の専門家の印象を聞くと、世界的レベルの研究機器が十分に使用されていないという。あまり使い込んだ様子が見えないのである。施設の研究スタッフからは、うまく動かないので現在使用を中止しているといった声が聞こえてくる。一般に、世界水準の研究機器は設置するのにも高額な経費がかかるが、運用し維持していくためにも、経費やノウハウ、さらには装置を熟知した技術者が必要である。中国の場合、この装置購入設置後の運用・維持が弱い。日本国内に比べて、アフターサービスの面でこまめに対応してくれる会社が、現状では少ない。

アジアは研究者の不正が多い？

最近欧米では、中国人研究者の科学論文について、データの捏造や盗作などの不正事件が多いことが話題になる。科学論文の総数で米国に次ぐ世界第二位の地位を確保した中国

に対する嫉妬が背景にあるのか、ずいぶん悪意に満ちたいわれ方も多い。

当然のことながら、研究者の不正（英語では **misconduct** と呼ぶ）は、なにも中国に限ったことではなく、日本でもあるいはお隣の韓国でもしばしば見られる現象である。近年の例でいえば、2005年に起きた韓国ソウル大学の黄禹錫教授（1952～）による ES 細胞論文不正事件は、韓国の科学技術関係者だけでなく政官界を揺るがす大事件になった。日本でも、このような極端な例こそ発覚していないが、論文の不正引用やデータ捏造などの不正行為が、時々マスコミ報道をにぎわす。

では欧米で、このような研究者の不正がないかという点、それはまったくの間違いである。最近では、ドイツの大学で博士号を取得し、米国のベル研究所に所属していたヤン・ヘンドリック・シェーン（1970～）の例が有名である。彼は超伝導の研究者であり、有機物による超伝導の実験でいわゆるチャンピオンデータを 2000 年ころから出し続け、それを **Nature** や **Science** に論文として発表した。このため一時は、ノーベル物理学賞間違いなしとまでいわれたが、結局そのような超伝導のデータは存在せずでっち上げに過ぎないことがわかった。

研究者の不正という問題は、科学技術が地球レベルでの激しい競争となっていることや、優れた研究成果を挙げた場合に得られる富と名声が大きな魅力であることなどから生じている。研究者の不正は、人間が持つ業のようなものであり、泥棒がなくならないように倫理的な締め付けを行っただけでは解決しない。

しかしながら、韓国の黄禹錫教授のデータ捏造事件などを契機として、一部の欧米の研究者からアジア人の不正行為を強調するような声が聞かれ始めたのも事実である。たとえば、国際的な科学技術を論ずる米国の著名な会議で、アジア諸国の科学技術分野での躍進が話題になるなかで、基礎科学に対する文化の歴史が浅いことに由来する不正行為への懸念が表明された。こういった指弾を受けていることについて日中韓できちんと議論をし、反論すべきは反論し、改めるべきものは改めながら、共同歩調をとっていくことが今後の課題ではないだろうか。

信賞必罰で活性化

中国の研究者と付き合いの多い日本の研究者がよく口にするのが、中国では世界一流の科学誌に研究論文が掲載された場合、所属する研究所や大学から報奨金がもらえるという話である。ある研究所では、**Nature** や **Science** に研究論文が掲載されると 10 万元（約 120 万円）の報奨金がもらえるとのことであった。中国の 1 人当たりの GDP が現在日本の 10 分の 1 程度であることを考慮すると、相当高額な報奨金である。その他の国際的な科学誌や国内科学誌などに研究論文が掲載された場合でも、報奨金が出るということなので、論文投稿のモチベーションが非常に大きくなる。韓国でもやはり **Nature** や **Science** に研究論文が掲載されると報奨金が出るという話を聞いている。

また、報奨金制度によって論文投稿のインセンティブを与えているのは、レベルがそれほど高くない大学や研究所で、北京大学、清華大学などの一流大学では現在報奨金が出されていないという話もある。廃止になった理由は、著名な科学誌に論文が掲載されることが珍しくなくなったからである。

一方、成果の出せない研究者に対する処罰もはっきりしている。深圳市にある中国科学院深圳先進技術研究院の所長によれば、毎年厳しい評価が実施されている。具体的には、研究者をABCの3ランクで評価し、Aは20%、Bは70%、Cは10%と枠を設定している。そして、Cの内、半分の5%となった研究者は強制的に退職に追い込まれる。そして、Cの内、半分の5%となった研究者は強制的に退職に追い込まれる。毎年5%というと、単純計算で5年で4分の1、10年で全研究者の半分以上が退職に追い込まれ、入れ替わる。大変厳しい評価システムである。深圳先進技術研究院は他の研究所と比べて、きわめて高いレベルの研究を維持するために実験的な運営を模索しており、そのためこのような厳しい評価が行われている。

中国共産党の指導との関係は

科学技術と政治の世界は関係が薄いと思われるかもしれないが、研究者も社会の一員であり、とりわけ研究資金が大きくなる現代においては、大きな資金を獲得するためには社会との関係を持たざるを得ない。結果として、科学技術も政治のあり方に左右される。

科学技術先進国である欧米や日本などと違うのは、中国が中国共産党による一党支配という政治体制をとっていることである。中国共産党の権威は絶大であり、憲法の前文には党による国家運営の指導的役割が明記されている。さらに、立法においても中国共産党の指導を堅持することとなっており、いわば中国共産党が法律の上位概念として存在している。そしてこの規定を担保する手段として、地方政府や国営企業などにも中国共産党から幹部が派遣されており、当該の組織の指導にあたっている。科学技術や教育の世界でも同様であり、中国科学院などの研究機関や大学などにも、幹部が派遣されている。

これまで会った中国の研究者や大学人で、中国共産党からの派遣や、派遣者の言動などについて不満を表明した人はいない。むしろ、自分たちの組織と中国共産党との親密な関係を誇示する話を聞く場合が多かった。伸び盛りである中国の経済状況の下で、科学技術の関係者と中国共産党からの派遣幹部が利害対立する局面はそれほどないと思われ、平和裏に共存できているのであろう。研究者にとって、予算をより多く獲得することや、実施しているプロジェクトが円滑に進むことがきわめて重要であり、そのためにも中国共産党の意向、あるいは中国共産党の権威をうまく利用したいといった思惑から、共産党からの派遣者はたいへん重宝されていると考えられる。

ただし万が一、経済発展が円滑に進まなかったり、あるいは政治が混乱したりすると、中国共産党としての意向と科学者研究者集団の意思がずれてくる可能性は否定できない。

今後、中国共産党の指導が科学技術の発展や進歩にどのような影響を与えるか、十分に注視していく必要がある。

二. 圧倒的な人材の厚み

最先端科学技術を進めるためには、人材の確保が重要である。今この国には、きわめて優秀な人材が大量に存在している。

研究者数で世界一

科学技術を支える研究者数は、国の科学技術力の重要な指標である。中国の研究者数は、2007年に米国を抜き去り世界トップである。表6にある2008年のデータでは、EUに加盟している27ヵ国全体の研究者数よりも大きい。日本は2002年に追い越されており、現時点では中国の半分以下の研究者しかいない。

表6 主要国の研究者数(2008年)

	中国	米国 (2007年)	欧州 (EU-27)	日本
研究者総数(万人)	159.2	141.3	151.5	64.7
労働人口1万人当たりの研究者数	20.3	92.3	63.6	97.3

(出典) 科学技術政策研究所「科学技術指標 2011」

(注) 日本は専従換算

これからも中国では、研究者数が増大していくことは確実である。たとえば表6の労働力人口1万人当たりの数字を見ると、中国は米国や日本のおよそ5分の1にとどまっており、このまま経済成長が進み、米国や日本並みに社会全体で研究開発に力を入れるようになると、5倍に増える可能性を秘めている。

世界トップの上海中学生

中学生の学力到達度を国際的に比較するため、OECD（経済協力開発機構）が音頭を取って実施している調査に、PISA（Programme for International Student Assessment）がある。これは、OECD加盟国の義務教育修了時（15歳）における学習到達度を調査するもので、比較のために非加盟国・地域の生徒も対象として、3年に1度世界的に実施している。直近では2009年に、65カ国・地域の約47万人を調査対象として実施した。

表7に示した2009年の調査結果で目を引くのは、今回初めて参加した中国上海市の生徒の成績である。調査の対象である読解力、数学的リテラシー、科学的リテラシーの3分野において、すべてトップの成績を収めた。日本、韓国、シンガポール、台湾、香港など、アジアの国や地域はトップレベルにあるが、これらのすべての国・地域を中国上海市が上回る結果となった。

経済発展の著しい上海市は、中国のなかでは異質かもしれないし、またPISA調査にあたりかなり準備をしたかもしれない。それでも初出場ですべての分野のトップをとった事実、改めて中国の底力を見た気がする。

表7 PISAの平均得点の国際比較(09年)

順位	総合読解力	得点	数学的リテラシー	得点	科学的リテラシー	得点
1	上海	556	上海	600	上海	575
2	韓国	539	シンガポール	562	フィンランド	554
3	フィンランド	536	香港	555	香港	549
4	香港	533	韓国	546	シンガポール	542
5	シンガポール	526	台湾	543	日本	539
6	カナダ	524	フィンランド	541	韓国	538
7	ニュージーランド	521	リヒテンシュタイン	536	ニュージーランド	532
8	日本	520	スイス	534	カナダ	529
9	オーストラリア	515	日本	529	エストニア	528
10	オランダ	508	カナダ	527	オーストラリア	527

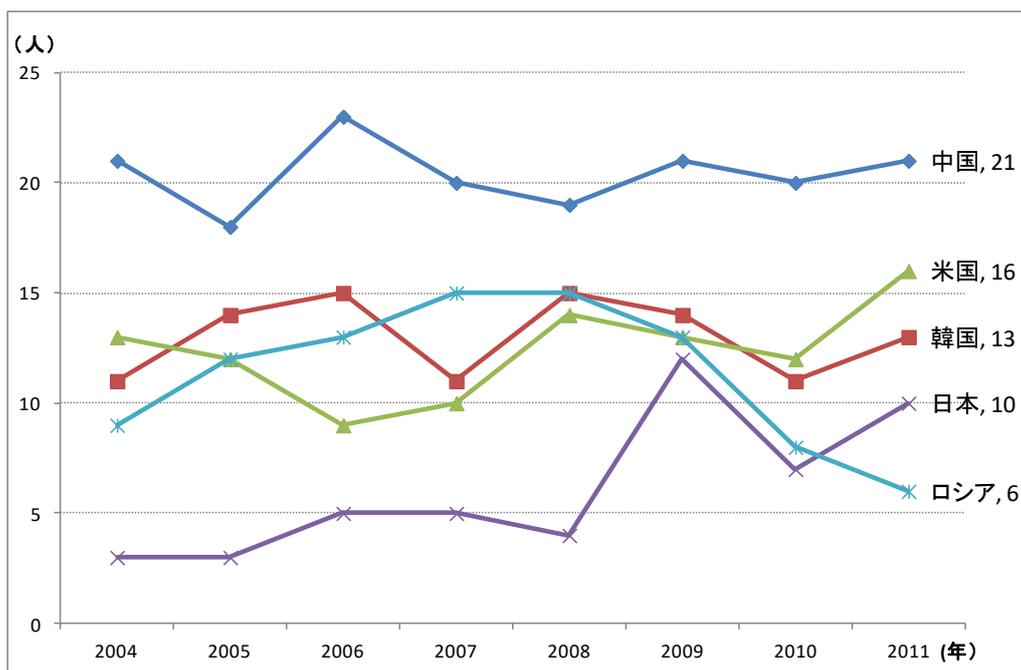
(出典) 文部科学省「OECD生徒の学習到達度調査(PISA)2009年度調査結果の要約」

科学オリンピックで世界一

オリンピックはスポーツの世界で頂点に立つ競技会であるが、高校生の参加する国際科学オリンピックも、科学技術に優れた若者たちが世界の頂点を目指す大会である。ここで、中国の高校生たちは圧倒的に優秀な成績を収めている。

現在国際科学オリンピックは、数学、物理、化学、情報、生物学、地理、地学の七分野で行われており、筆記試験などを含めて競争し、上位一割以内に入った生徒に金メダルが授与される。次の二割の生徒には銀メダル、さらに次の三割の生徒には銅メダルが授与される。これらの国際科学オリンピックのうちで、比較的歴史のある数学、物理、化学、情報、生物学の五分野の金メダル数の推移を、図1に示した。中国は一貫して他国を圧倒してトップの座にあり、ロシア、米国、日本、韓国などを凌駕している。

図1 主要国の国際科学オリンピック金メダル（数学、物理、化学、情報、生物学）獲得者数推移



(出典) 国際数学オリンピック (IMO)、国際物理オリンピック (IPhO)、国際化学オリンピック (IChO)、国際生物オリンピック (IBO)、国際情報学オリンピック (IOI) のホームページより作成

(注) 5 分野のオリンピックにすべて参加した場合、各国の選手数は合計 23 名。中国は 2005 年の化学オリンピックに不参加、日本は生物学・物理オリンピックにそれぞれ 2005 年、2006 年より参加。

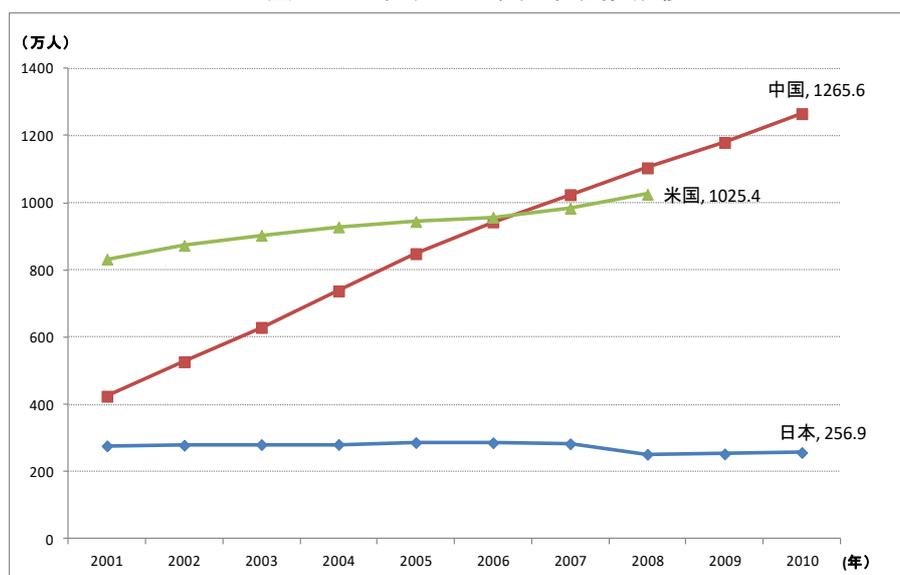
大学学生数でも世界を圧倒

研究者の供給源は大学である。中国が高等教育後進国であったのは過去の話であり、経済の発展や生活レベルの向上に伴い、今では高等教育大国である。図 2 は、21 世紀に入ってから中国、米国、日本の大学生数の推移である。21 世紀初頭、中国は大学生数で日本と差がなく、米国にかなり離されていた。しかし近年、急激に学生数が伸び、2007 年には米国大学生数を追い越し、現在中国の大学生数は約 1,200 万人に達している。日本の大学生数は約 250 万人なので、中国は約 5 倍である。中国の学生数は、将来まだ伸び

る余地がある。欧米や日本における大学の進学率は五割から六割であるのに対し、中国では 25 パーセント程度と半分以下だからである。

さらに、研究開発を担うのは主として理科系学部（理学、工学、農学、医学）の卒業生であるが、表 8 の通り中国の理科系学生の比率は五割を超えている。英国やドイツは比較的高いが、日本で三割、フランスで 24 パーセントなので、中国の人材における研究開発ポテンシャルは高い。

図 2 日中米の大学在学者数推移



(出典) 「文部科学統計要覧」「教育指標の国際比較」 2005～2011 年、「中国統計年鑑」 2005～2011 年より作成。

表 8 主要国の理科系学部学生の比率 (%)

国名	中国	英国	フランス	ドイツ	日本
比率	51.2	43.6	24.4	43.4	31.5

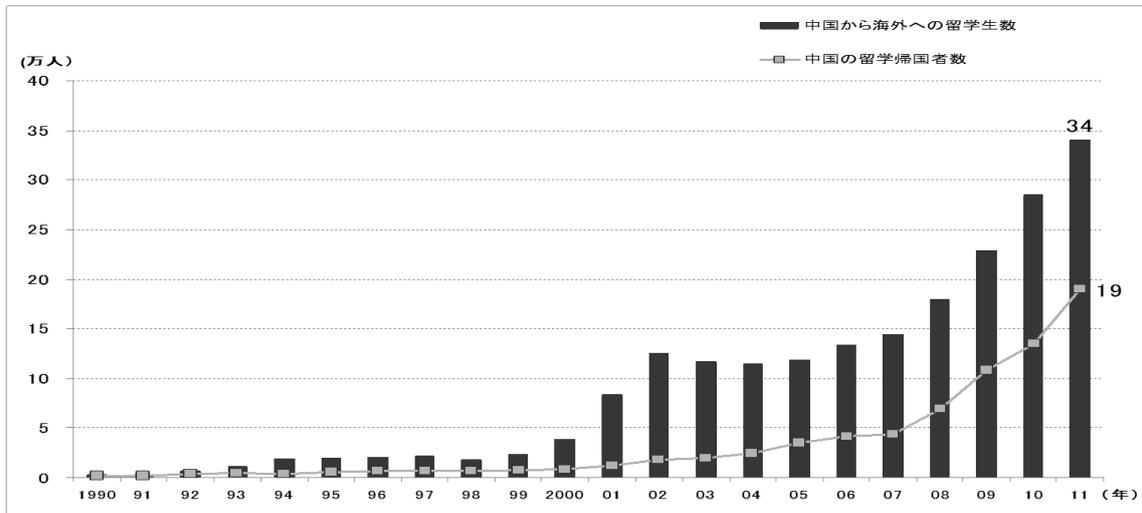
(出典) 文部科学省「教育指標の国際比較 平成 24 年版」より作成

存在感の大きい中国人留学生

変化は国内にとどまらない。中国では 2003 年に私費留学の大幅緩和措置がとられるとともに、翌 2004 年に留学促進政策が実施されたため、国外に留学する学生が急増した。

図 3 は、年度ごとの留学生数を示している。中国からの留学生数は 2000 年までは少なかったが、徐々に増え、とりわけ政府の方針転換があった 2005 年以降、急激に増加している。

図3 中国の海外留学生数および留学帰国者数の推移（万人）



出典：「中国統計年鑑（2012）」より作成

急激に増加する中国の留学生であるが、彼らの留学先の統計を表9で見てみよう。中国の留学生は米国に最も多く滞在し、日本が二番目である。それに続いて、オーストラリア、英国、韓国、フランス、ドイツ、カナダである。

表には、受け入れ国側から見た中国人留学生の存在感もあわせて示してある。主要国での中国人留学生数の比率は高く、ここに掲げたすべての国で最も多い。なかでも、日本で六割、韓国では八割近い数字を占めている。

表9 主要国における中国人留学生の数と比率、順位（2009年）

国名	中国からの留学生数（人）	留学生全体に占める中国人の比率（%）
米国	124,225	18.8
日本	79,394	60.3
オーストラリア	70,357	27.3
英国	47,033	12.9
韓国	39,309	78.6
フランス	23,590	9.5
ドイツ	21,198	11.8
カナダ	119,961	21.4

（出典）OECD「Education at a Glance 2011」および OECD.Stat より作成

清華大学の誕生秘話

外国への留学に関連して、中国と米国の強いきずなを示すエピソードを紹介したい。清朝末期に、キリスト教宣教師への反発を思想的な根拠とする義和団事変(1900～01年)が勃発した。清朝政府と義和団は日本、米国、英国、フランス、ロシアなどの列強八カ国の連合軍と戦ったが敗れ、北京は占領されてしまった。和平のために結ばれた北京議定書で清朝政府は、当時の国家予算の数倍にあたる賠償金の支払いを約束させられた。

この賠償金の支払いが清朝政府を苦しめることになり、結果として孫文の辛亥革命に結び付いていくが、国際的にも莫大な賠償金の支払いは過酷すぎるとした意見も出て、米国は兵士の派遣費や事変で被害を受けた米国人への損害賠償金を除いて、残りの賠償金を条件付きで中国に返還することとした。その条件というのが、返還される賠償金を中国人学生の米国への留学費用に充てることであった。1908年に賠償金返還法案が米国議会で承認され、セオドア・ルーズベルト大統領の署名を経て、1909年に返還が正式に決定された。

この決定を受け清朝政府は1911年に、清朝の庭園であった清華園の敷地の一部に、中国人学生の米国留学の準備のための学校として、「清華学堂」を設置した。辛亥革命の幕開きとなる武昌蜂起が同年に起きると、清朝政府は米国からの返還金を軍備に流用したため清華学堂は一時的に閉鎖された。その後辛亥革命が成功し、中華民国は返還金を留学費用に充当することを再開するとともに、清華学堂の名称を清華学校と改めた。1928年には現在の名称である清華大学となった。



清華学堂（提供：清華大学）

清華大学の始まりである清華学堂の建物、北京のキャンパス内に現存する

清華大学は現在北京大学と並んで中国トップの大学であり、特に優れた理工系人材を輩出している。また国家指導者も多く輩出しており、胡錦濤前総書記、呉邦国前全国人民代表大会委員長や、現在の習近平総書記は、いずれも清華大学出身である。

増大する博士数

科学技術を支える人材の質として世界的に重要視されるのは、博士号である。日本では、民間企業や官庁などでは博士号を持っていても優遇されず、逆に博士号取得のために費やした時間と資金が負担である例が多いが、欧米では博士号は科学技術の世界での重要な経歴である。中国でも博士号取得者はたいへん優遇される。この博士号取得者数についても、表 10 の通り中国はドイツ、英国等の欧州主要国や日本、韓国をはるかに凌駕し、米国に迫りつつある。

表 10 主要国の科学工学系博士号取得者数 (2007 年)

国名	中国	米国	ドイツ	英国	日本	韓国
取得者数	26,582	33,643	10,469	10,310	8,017	3,649

(出典) 米国 NSF Science and Engineering Indicators 2012

さらに、世界一の博士号取得者数を誇る米国の大学では、全世界から留学生が学んでおり、米国国籍の学生だけではなく留学生も博士号を取得している。米国の大学での博士号取得者で、どれくらい外国人留学生がいるかを見たのが表 11 である。この表にある数字は、前記米国の博士号取得者数の内数である。これで見ても中国人の留学生が圧倒的であり、インド人の約二倍、韓国人の約四倍、日本人と比較すると約 20 倍以上になっている。

このように、中国人の博士号取得者数は国内の教育および米国等への留学により、着実に増加しており、将来の中国の科学技術を支える大きなポテンシャルである。

表 11 外国人留学生の米国での科学工学系博士号取得者数 (2007 年)

国名	中国	インド	韓国	台湾	日本
取得者数	4,308	1,921	1,128	477	210

(出典) 米国 NSF Science and Engineering Indicators 2012

海外人材の呼び戻し

第二次大戦後しばらくの間、中国は一部の軍事技術に関連する分野を除き科学技術の強い国ではなく、人材も多く必要ではなかった。さらに、1966 年から 77 年まで 10 年以上にわたって続いた文化大革命では、科学者を含めた知識人が弾圧の対象となり、国内ではほとんど科学技術者が育成されなかった。そのため、経済が急拡大を遂げた 20 世紀末以

降、科学技術を強化する必要が生じたにもかかわらず、国内の人材が不足するようになった。これを解決しようとして中国政府のとった政策が、海外人材の呼び戻し政策である。ちなみに、海外から帰国するという意味を持つ「海帰」と同音の「海亀」をもじって、帰国奨励策を「海亀政策」と呼ぶことがある。

中国で海外への留学奨励策がとられたのは 21 世紀に入ってからであるが、それまでも中国の意欲のある研究者は、いろいろなツテを頼って海外に留学し、欧米や日本の大学や研究機関で活躍していた。米国の理工系の有名大学には、中国系の教授、研究者、学生は多い。筆者が米国イリノイ大学工学系大学院に留学したのは 1977 年であるが、その時点でも理工系の学部では中国系の教官や学生は目立つ存在であった。すべてが中国本土出身ではなく、米国国籍を持つ中国系米国人の場合もあるし、香港などの出身者もいた。中国政府はこれら在外中国人に着目し、彼らに対して優遇措置をとることを前提として、帰国を促す政策を大々的に展開した。



中国科学院本部の外観

中国の帰国への強い呼びかけに応じた研究者は、かなりの数にのぼっている。前に掲げた図 3 をもう一度見ていただきたい。この図には、すでに説明した留学生数だけでなく、帰国した中国人の数も合わせて示してある。帰国数者は 21 世紀に入って増加を続け、特に近年は爆発的に増加している。さらに、一貫して留学生数が帰国者数を大幅に上回っているため、在外の中国人留学生総数は引き続き増加しているのだ。中国の経済がさらに拡大し、国内での科学技術人材の需要が増加しても、十分に対応できるだけのストックが海外にあるといえよう。

欧米や日本からの帰国組は、中国最大の研究機関である中国科学院傘下の研究所や有名大学の中心的な研究者として起用され、さらにその中のトップエリートは大臣、研究所長

や学長に登用されていった。例を挙げると、現在の科学技術部長（科学技術大臣）である万鋼（1952～）はドイツ留学組であり、1991年に工学博士号を取得し、ドイツの自動車会社であるアウディ社に10年間勤務した。その後、中国に戻り上海市にある同済大学の学長を経て、2007年より科学技術部長を務めている。また、現在の衛生部長（厚生大臣）である陳竺（1953～）は1981年上海第二医科大学修士課程を卒業して、1989年フランス・パリ第七大学で博士号を取得したフランス留学組である。中国に戻って2000年から中国科学院の副院長を務め、その後2007年から衛生部長を務めている。

表12に、約100カ所にのぼる中国科学院傘下の研究所長と、世界トップレベル大学の育成を目的とする211プロジェクトに中国政府から認定された、約100カ所の大学の学長の留学経歴を示した。双方とも、約四分の三が留学組であることを示している

表12 中国科学院各研究所長および211プロジェクト認定大学学長の留学歴（2012年7月現在）

留学先	中国科学院	211プロジェクト認定大学
米国	21	26
日本	11	15
ドイツ	11	10
英国	10	11
その他	18	14
なし	23	36

（出典）各ホームページより作成

際立つ若さ

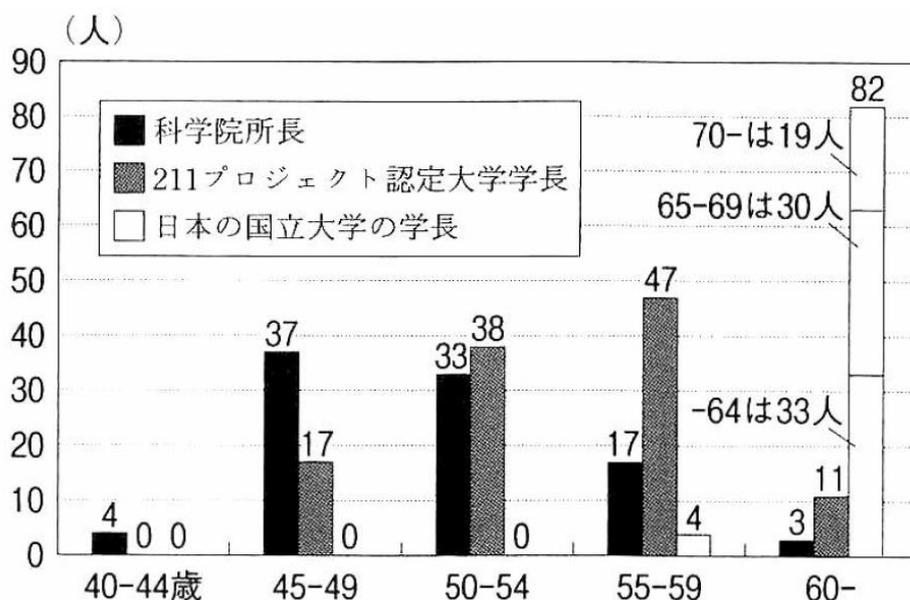
中国の研究現場、生産現場などを視察した日本人が一様に持つ感想は、中国の大学、研究所、工場などで精力的に研究開発をしている研究者・技術者が、非常に若くて元気に満ちあふれていることである。研究所の所長や大学の学長なども、こちらがショックを受けるといえるほど若い人が多い。たとえば第六章で取り上げたBGI社は、その典型的な例である。全体で約4,000名を数える研究者・技術者の平均年齢が、27歳と聞くと圧倒されてしまう。また、核融合研究装置EASTにおいても、若い研究者や大学院生が目立った。先に見た中国最高峰の大学である清華大学の陳吉寧現学長は1964年生まれで、学長に就任した2012年当時は48歳という若さであった。

現在、中国は研究者・技術者にとってきわめて幸福な時代が到来しており、中国経済の発展に伴い、研究者・技術者のニーズが拡大を続けていることが、このような状況をもたらしている。また、大学進学率の急上昇、留学制度の充実と留学生の帰国奨励策などもこれに拍車をかけている。

図4に、中国科学院傘下の各研究所長と211プロジェクト認定大学の学長の年齢分布を示した。中国科学院の研究所長は40代、大学の学長は40代後半から50代前半が半分近くを占めている。トップの年齢から、その下の研究者や教官も若い人が圧倒的であろうことは容易に想像できる。

比較のために、日本の国立大学の学長の年齢構成も併せて示しておいたが、日本の国立大学学長はほとんどが60歳以上であり、70歳を超えた学長が20パーセント以上いる。中国の211プロジェクト認定大学の学長と比較すると、平均で10歳以上年齢が高い。主要な研究所の所長の年齢構成は手元にないが、同様の傾向にあるのではないだろうか。

図4 中国科学院研究所長、211プロジェクト認定大学学長
および日本の国立大学学長の年齢



(出典) 各ホームページより作成 (2012年7月現在)

中国社会では年功序列が重視され、欧米社会のように若い人の抜擢は一般的でない。それにもかかわらず、中国科学院傘下の研究所や中国の一流大学のトップが比較的若い理由は、文化大革命の影響による科学技術人材の欠落であろう。文化大革命が終了した1977年に、高校入学年次の15歳に達していた人は、現在50歳である。したがって、おおよそ50歳以上の人たちは何らかの形で文化大革命の影響を受けていると考えられる。

研究者・技術者の若さは、中国に何をもたらすのか。日本でも明治維新や、第二次大戦後の公職追放で、トップエリートを含め社会の指導層が大幅に若返った。維新直後は若干の混乱が見られたが、結果的には改革が大幅に進んだ。科学技術の世界では、研究のピー

クは 30 歳代から 40 歳代であるので、中国の人材は大きなアドバンテージを持っている。

科学技術の人材王国といえば、真っ先に挙げられるのは米国である。米国は強い経済力を背景に、世界中から優秀で意欲的な科学技術人材を吸収し、彼らを適切に処遇することによって人材王国として君臨している。また欧州は、ドイツ、英国など個別では日本などに量的に劣るが、EU として欧州全体で交流し人材を集めることにより、米国に追いつこうとしている。中国はもともと人口の大きな国であり、経済が拡大し、これまで見てきたような科学技術人材の養成・活用のシステムがより進化すれば、米国や欧州といった科学技術人材王国と十分に競争できるようになるだろう。

課題は何か

では中国の科学技術人材に関し、まったく懸念や課題がないかという点、そうではないと思う。

まず挙げなくてはならないのが、産業界の、科学技術人材の獲得や育成に対する方針がよく見えない点である。中国は、改革開放以降世界の製造工場として一気に経済を拡大してきたが、では中国の科学技術者が本当に「ものづくり」に誇りを持ち、「ものづくり」に命をかけようとしているといえるかどうか。中国で世界の工場を支えているのは、多くは低賃金の女性労働者たちであり、一流大学を出て科学技術を学んだ人はそのような職場にはほとんど行かない。日本人の場合、大学出であっても作業着を着て現場の工場勤務するのが常識であるが、中国の場合には、大学を出たら研究職やホワイトカラーを最初から目指す。現在のように、欧米や日本の高い技術と労働者の低賃金によって国際競争力が保てる段階では問題ないが、今後独自技術により世界の工場の地位を維持しようとするれば、生産工程と研究開発の橋渡しができる技術者の存在が不可欠となるだろう。

二つ目は、中国の大学・大学院教育の課題である。中国の人材の弱点として、受験戦争を勝ち抜くための記憶力が強化され、結果として記憶力抜群であるが創造性に欠ける人材ばかりであるといわれる。日本の大学関係者も、中国の大学生は日本の大学生とは比較にならないほどよく勉強するが、自らの考えを持って課題に立ち向かうという能力に欠けていると指摘する。中国の大学での教育システムがいまだ十分に確立しておらず、高校教育の延長的な教育が大学でも行われている。

また、中国のトップ大学である北京大学や清華大学では、ほとんどの学生が大学所有の学生寮で生活し、故郷への帰省以外北京の街に繰り出すこともせず、一般社会と隔絶した形で徹底した詰め込みが行われる。キャッチアップしている際には、すでに先人が築いてくれた資産を徹底的に吸収することが重要であるが、それだけではフロントランナーにはなれない。現在の中国の大学生のように、大学外部との付き合いを絶ちひたすら勉学に励むだけでは、新たな方向を見いだす発想を狭めることになりかねない。

ただ、現在の中国の学生は海外の大学での勉強機会を拡大しており、中国の大学でひたすら詰め込みに終始したとしても、留学先の欧米の大学の優れた教育により才能が一気に花開く可能性もある。また中国の大学システムは、日本と比べても歴史が浅く未完成であるが、大学自らが改善しようとする強い意欲を持つ。詰め込みだけで創造力に欠けるといふ欠点に正面から向き合い、米国や欧州のような創造力あふれる人材を輩出する日が来るのもそう遠くないであろう。

三つ目は、新陳代謝の問題である。21世紀に入り急成長を遂げた科学技術人材の市場であるが、最近になり拡大のペースが少し落ち着いてきた。その結果、従来のように大学や大学院を出たら一流の企業や研究所に就職できるという状況ではなくなりつつある。今後うまく新陳代謝を考え、日本や欧米諸国に比較して非常に若いトップレベルの研究者・技術者が活躍できる環境を維持する必要がある。

三. 急速に伸びる科学技術投資

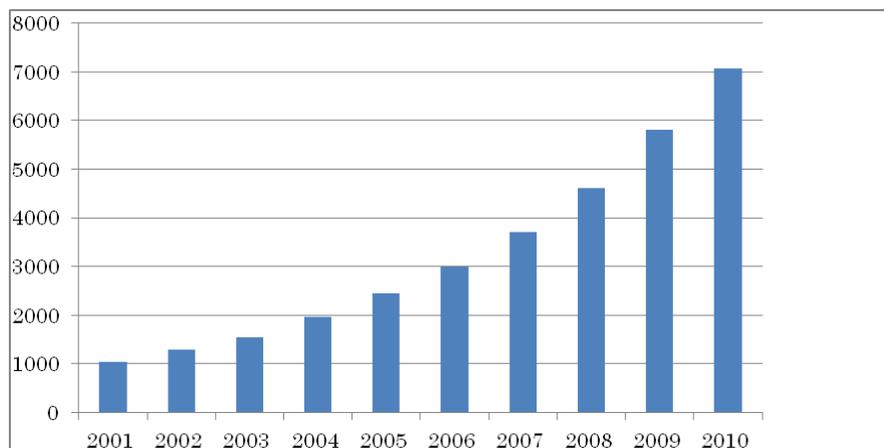
次に科学技術を支える重要な要素である、科学技術投資（研究開発費とも呼ぶ）について見てみたい。中国の経済発展はたいへんな勢いであり、21世紀に入ってさらに加速した。それに伴い、中国の科学技術投資も大幅に拡大してきている。

GDP の伸びを上回る

科学技術推進を国家の重要事項と定めている中国ならではの法律として、「科学技術進歩法」がある。1993年に法律として発効し、2008年に改定されているが、その中に「科学技術投資の増加率は国家財政収入の増加率を上回る」との規定があり、また「国内総生産に占める研究開発費の比率についても逐次引き上げる」と規定されている。

図5のグラフに、21世紀に入ってから中国全体の研究開発費を示した。毎年ほぼ20パーセントを超えるペースで増加しており、2001年から2010年までの10年間で、およそ6.7倍という驚異的な伸びとなった。

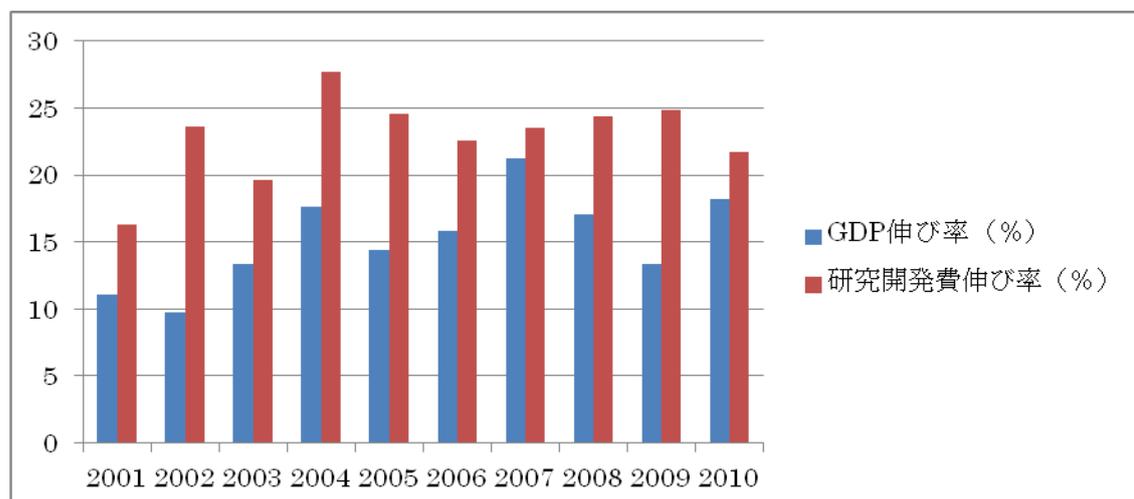
図5 中国の研究開発費の推移



(出典)「中国統計年鑑 2011」より作成

GDP と研究開発費の伸び率を対比したのが、図6である。21世紀に入ってから、毎年研究開発費の伸び率がGDPの伸び率を圧倒している。GDPは平均15.7パーセントという驚異的な伸び率で拡大し、2001年の約11兆元が2010年で約40兆元と約4倍となったが、研究開発費はGDPの伸びをはるかに上回って、前述の通りおよそ6.8倍となっている。科学技術進歩法の規定が、きちんと履行されていることになる。

図6 GDPと研究開発費の伸び率の対比



(出典) 文部科学省「科学技術要覧」2012年より作成

予算は名目で日本に逆転

2010年の中国の研究開発費総額は、7,063億元（約9.15兆円）である。2010年における日本の研究開発費総額は17.1兆円なので、中国はその約2分の1強であり、決して

多くない。また、政府予算だけで比較しても、中国は2010年で1,696億元（約2.20兆円）、日本は3.59兆円である。

しかし、物価を考慮した購買力平価でこの数字を円換算すると、中国の2010年の研究開発費総額は19.93兆円、政府予算が4.79兆円となり、日本のそれより総額、政府予算ともに大きくなる。他の主要国とも比較するため、ドルベースの購買力平価換算で主要国の研究開発費を比較したのが表13である。中国が米国の半分近くとなっていることがわかるだろう。

表13 主要国の研究開発費（購買力平価換算、2010年、億ドル）

国名	米国	中国	日本	ドイツ	韓国	フランス	英国
研究開発費	4,016	1,790	1,535	863	532	500	391

（出典）OECD Main Science and Technology Indicators 2012 より作成

（注）日本の数字は総務省統計をベースに換算

ただし、この購買力平価での比較について、疑問を呈する向きもある。人件費など物価に大まかに連動するものは、購買力平価で比べた方がより正確である。一方、現在の科学技術研究開発で最も経費を要するのは、高額な研究装置や研究材料である。これらの価格は、今や世界で平準化されており、たとえば最先端のライフサイエンスの実験装置や実験材料は、日本で買っても中国で買ってもそれほど変わらない。したがって、購買力平価だけの比較には、十分な注意を要する。

資金力の秘密

このような状況を反映してか、中国の研究現場に行くと驚くほど金回りがよい。ほんの数年前までは中国との共同協力という、日本側の研究費を期待しているだけとか、日本で研究したいので日本への旅費を面倒見てほしいといったたぐいの話が多かった。ところが近年は様相がまったく違う。日本のしかるべき研究者と見ると協力したいと申し出て、研究費は自分で手当てする、あるいはすでに中国政府や中国側の企業から受け取っているので問題ないといった例が多くなっている。逆に日本側は、相当に実力や実績のある研究者であっても手元不如意なことが多い。こういった時、日本側の研究者はまじめなもので、自分のところに研究資金がないとなると、どうしても腰が引けてしまうようだ。

なぜこのように、彼らには、日本の有力研究者もうらやむような大きな研究資金が投入されるのか。中国全体の研究資金は、名目では日本に及ばない。購買力平価換算での比較では、近年日本を抜き去ったが、購買力平価での換算の問題点も先に見た通りである。また、仮に研究資金が日本と同等であったとしても、研究者が日本のざっと倍はいるので、個々の研究者への研究費はそれほどでないはずだ。

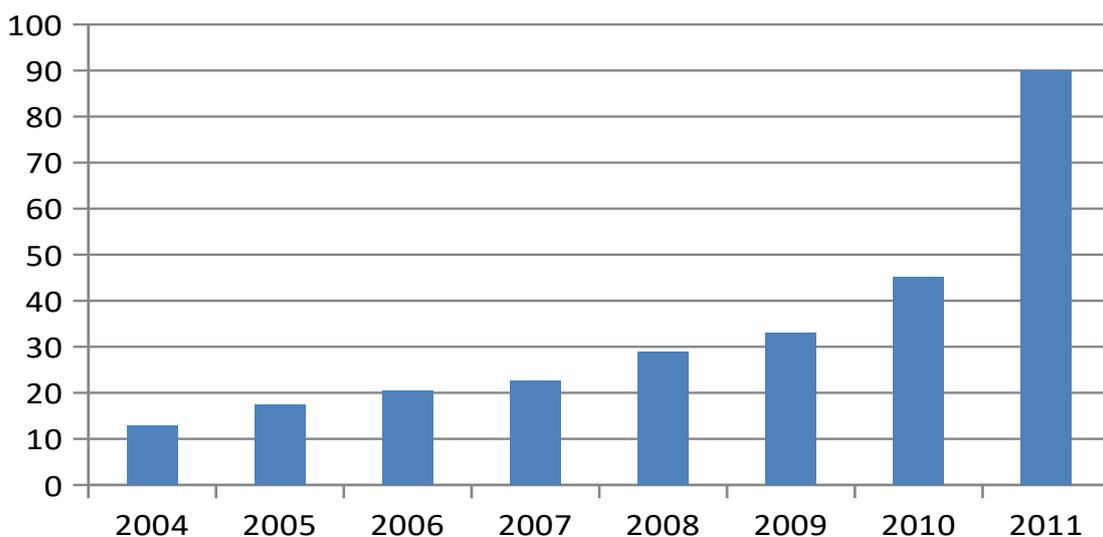
中国版科研費「NFSC 一般プログラム」

この疑問を解くため、研究資金のうち研究者が比較的自由に使用できる資金に焦点を当ててみる。

大学等の研究者を支える資金として、日本では科学研究費補助金（通称「科研費」）という予算があるが、科研費に対応する中国の研究助成金として、国家自然科学基金委員会（NSFC）という機関が配分している一般プログラム資金がある。NSFCの一般プログラム予算は、2011年で約90億元（約1,110億円）、日本の科研費約2,000億円の半分であるが、伸び率は研究開発予算の伸びを反映してきわめて大きい。図7に、一般プログラム予算の経年変化を示した。2004年に約13億元だった予算が、7年後の2011年に約7倍の約90億元に達している。直近の2010年と比べても、ちょうど2倍である。

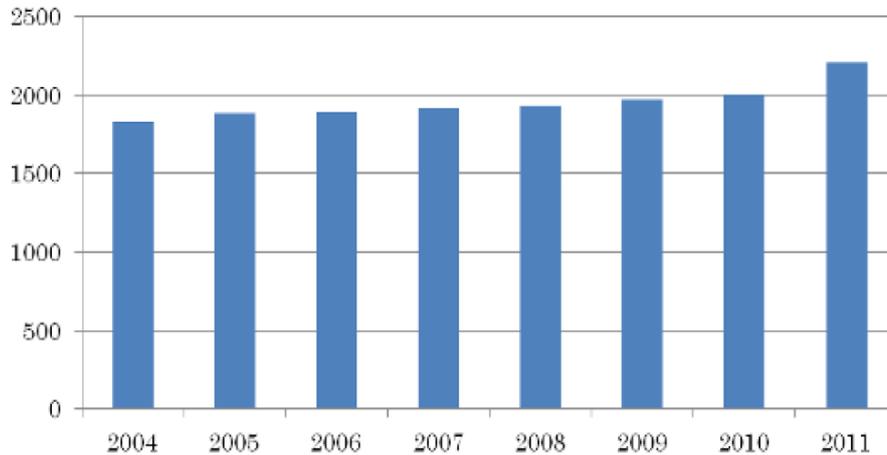
現時点で、中国の有力研究者が日本の有力研究者よりはるかに資金力に優れている理由の一端が、ここにあると筆者は考えている。図8は、日本の科研費の予算の推移を示している。2011年には補正予算もあり少し増加しているが、それ以前はわずかな増額での推移であった。もともと科研費は、日本の研究者にとってかけがえのない予算であるがゆえに、日本全体の研究者にある程度満遍なく配分され、かつ既得権化している部分もあるため、科研費の総額が少しくらい伸びたところで、ほとんど影響が出ない。一方中国では、研究開発費全体、なかんずく競争的資金であるNSFCの一般プロジェクト予算が急激に増大したため、研究者全体に薄く広く配分するのではなく、力のある有名研究者に絞ることができたのではないか。金額的にはまだ日本に追いついてはいないが、可処分予算額は中国の方が圧倒的に大きい。

図7 NFSC 一般プログラムの予算推移（単位：億元）



（出典）NSFCのホームページより作成

図8 科研費の予算



(出典) 日本学術振興会のホームページより作成

(注) 2011年は助成額分であり、基金化分が別途429億円措置された。

民間の研究開発費はどこへ

中国の科学技術の現状を見ると、常に問題となるのか、国内民間企業の研究開発費である。統計的に中国の研究開発費を見ると、民間企業はおよそ中国全体の七割を支出し、またほぼ同規模の額を使っている。ところが、世界的に目立つ開発成果を挙げているのは、中国科学院であり、近年急速に研究機関として力をつけてきている大学なのである。

では、民間企業が支出し使用している巨額の研究開発費の正体は何か。米国のIBM、日本のトヨタ、ホンダ、ソニー、韓国のサムスン電子、LG電子などは、研究開発で存在感を示し、取得特許も多い。しかし、中国ではHuaweiやZTEが特許などで有名であるが、それ以外に研究開発成果で目立つ企業が見当たらない。

大胆な仮説を立てると、中国の民間企業の研究開発費には、欧米、日本、韓国などの諸国とは、いささか趣を異にする資金も合わせてカウントされているのではなかろうか。中国では、研究開発を奨励する立場から、それらの資金に対する税金の減免措置が行われており、これを目当てに比較的關係性の薄い支出も、研究開発費として計上されている可能性が高い。また中国の民間企業は、世界トップレベルの製造ラインを作ることに強いこだわりがあり、そのためには欧米や日本などから技術導入を厭わない。このような技術導入に関わる経費も、研究開発費に計上されていると思われる。

さらに民間企業の研究開発費には、共同研究などを通じて国内の大学で使用されている部分がかかなりある。これらの企業は急激に発展したために自前の研究施設や研究者を十分に擁していないと想定され、比較的研究開発体制が整いつつある大学に研究開発を肩代わりさせている。実際、中国の大学における研究開発費の内、民間からの流入資金は全体の33.2%を占めている。他の主要国の数字を見ると、日本が2.6%、米国が5.2%、韓国が

11.3%、ドイツが 14.2%などとなっており、中国の数字が突出していることがわかる
(2010 年の数字。OECD 調査による)。

いずれにせよ、民間企業の研究開発費の具体的な内容は、中国の科学技術の現状を知る
ためには重要であり、今後解明が進むことを期待したい。

終章 日中共存を求めて

世界トップレベルと差のある中国

中国の科学技術力を世界トップレベルの施設やビッグプロジェクト、さらには中国の科学技術全般の特徴を概観してきた。現時点において中国は、欧米流の科学技術の歴史、経験、蓄積などが浅く少ないために、米国や欧州、さらには日本の後塵を拝している。科学技術の面でも中国は遅れてきた巨人であり、まだキャッチアップの途上にある。しかし、巨大な科学技術のポテンシャルは、将来の科学技術大国・強国を予感させる。

日中協力の意義

では、日本はこの国とどのように向き合うべきか。現在の経済成長が順調に継続すれば、中国は今世紀の比較的早い時期に世界のスーパーパワーとして発展し、科学技術についてもフルセットの政策を推し進める体力のある国となる。つまり、科学技術の全分野において、単独で米国や欧州主要国と競争していくことになり、中国の歴史や人口からしてそのような潜在的な能力があることは明白である。

このような将来が展望されるなか、中国にとって日本との協力でどのようなメリットが考えられるか。施設や装置そのものの外形的な性能は確かに世界レベルに近づきつつある。しかし、それを使いこなすとなると、現時点で直ちに世界と互角に競う状況になく、日本にもまだ後れている部分も多い。したがって当面、日本と研究開発協力や人材交流を進めることは、中国にとって意義がある。

一方、日本にとって、中国と科学技術協力を行うことのメリットは、何といても人材であろう。少子高齢化が加速度的に進展している日本では、優秀な研究人材をこれまでのように維持確保していくことは、非常に困難になることが想像される。中国と研究協力や人材交流を進めるといって、技術流出や国内人材の空洞化といった懸念を指摘する向きもあるが、そのような懸念を考慮しても、日本が科学技術一流国としての地位を維持・確保するためには、研究者数を一定の水準以上で確保し続けることがきわめて重要である。また、科学技術の出口である産業化、イノベーションを考えた場合に、巨大な人口を擁する中国の市場は魅力的である。

さらに、中国人の経済的センスは日本人を遙かに凌駕している。技術的な観点から見ると乱暴な部分も見受けられるが、中国式のあり方は結果的に商売に結びつき、さらに技術開発投資にもつながっていく。他方、我々日本人の技術に対するこだわりも世界有数である。したがって、日中両国民がそれぞれの長所を生かし、うまくタッグを組むことが出来れば、十分にウィン・ウィンの関係となりうるはずだ。

恐れてはいけないし、侮ってもいけない

2012 年秋に発生した沖縄県尖閣諸島問題を契機に、日本と中国の関係は一気に冷え込んでしまった。残念なことであるが、科学技術もまた政治、経済、社会などの影響を受ける営みである以上、今後協力が停滞するのはやむを得ない。

しかし尖閣問題があるからといって、日中間の科学技術協力を長期間にわたり中断したり棚上げにするべきではない。40 年前の日中国交正常化の際に、周恩来元総理が言った「小異を残して大同につく」という言葉を、改めて噛み締めなければならない。中国を恐れてはいけないし、侮ってもいけない。等身大の中国と正面から向かい合い、対等な関係を維持しつつ、相互の平和と繁栄を模索すべきである。

現在の中国は共産党一党支配国家であり、民主主義国家である日本とは違う。また、太平洋戦争終結までに日本が中国に犯した行いの責任は非常に重く、今回の尖閣問題で噴出したように当面は日中間の足かせとなるであろう。しかし、それでも日中関係は重要であり、これなくして日本の将来は危ういという気構えで協力を進めるべきである。

おわりに

本書は、2021年6月に発行されたJST研究開発戦略センター編『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』という報告書をベースとし、これに筆者独自の分析と調査を加えたものである。

筆者は、序章でも述べたように中国の科学技術事情を把握すべく長年の努力を重ねてきたが、より納得できる全体像に迫りたいと考え、JSTにおいて中国の現場に焦点を当てた調査を企画した。調査対象として、中国が現時点で世界トップレベルを誇る科学技術上の施設・装置・研究から、12のテーマを取り上げた。調査の方法は、中国の現地の関係者にインタビューを行い、並行して日本にある同様の施設や日本で行われている研究を視察し、中国の調査結果をより客観的に評価分析するというものである。

この調査報告書について、全体で12もの施設・装置等を取り上げていること、過度に専門的な内容に立ち入っていること、全体を見渡した分析が欠如しているとの指摘があった。そこで、報告書で取り上げた中から、中国の科学技術力をよりはっきり示すと考えられる6個のテーマを選び直し、記述内容もできる限り一般の人にわかりやすく書き直すとともに、これらに共通する中国流の科学技術の特徴として筆者が分析したものを記述したのが本書である。

ここで、筆者と中国との縁に触れておきたい。一つ目は、亡くなった父のことである。父林安治は富山県福光町（現南砺市）に生まれ、太平洋戦争末期に旧制高岡高等商業（現在の富山大学経済学部）を卒業し就職したが、ただちに徴兵されて旧満州の牡丹江の近くに陸軍主計少尉として派遣された。派遣当初は戦闘もなく平和であったが、1945年8月9日のソ連軍の侵攻で状況が一変する。すぐに自ら武装解除した父は、現地人に紛れ込んでソ連兵の捜索を免れた。捕まっていればシベリア抑留で、四年から五年は強制労働、病死などで帰国できない者が多数という過酷な状況が待っていたはずである。父は、薪割りなどの仕事をもらうことで中国や朝鮮の人たちに助けられ、旧満州と朝鮮半島を一年かけて南下し、終戦の翌年に郷里福光に無事帰還している。筆者が小さいころ、平和な時代の旧満州での冬の厳しさや生活ぶりをよく聞かされた。

二つ目は、中国との国交回復に尽力した政治家である松村謙三先生である。松村謙三先生といっても、もはや知る人も少なくなっているが、戦前には民政党の代議士として農政関係を中心に活躍し、戦後農林大臣や文部大臣などを務め自由民主党の総裁候補ともなった大物政治家の一人であり、最晩年は中国との国交回復に尽力した。残念ながら、1972年の田中角栄総理による日中国交回復正常化を見ることなく、その前年に亡くなっている。松村先生は筆者の郷里の福光町出身であり、前述の父も熱心な松村信者として選挙のたびに選挙区を駆けずりまわっていた。このため今でも実家には、選挙応援に感謝する旨を記

した松村先生から父に宛てられた書簡が飾られている。



郭沫若旧邸の前で

郭沫若は中国科学院の初代院長、松村謙三先生と親交があった

このような絆があったにもかかわらず、中国への関心は最近までそれほど大きくなかった。学生時代は文化大革命の真っ只中で、収束後も中国への旅行は簡単なものではなかった。その後、「はじめに」で述べた上海市での衝撃的な体験が、中国への眼を開かせてくれた。亡き父や松村先生と中国との関係を思い起こしつつ、遅まきながら筆者も科学技術分野における中国との関係強化への思いをあらたにしている。

本書の刊行に至るまでに多くの方々にご助力いただいた。

とりわけ、JSTの同僚である秦舟氏には、現地調査のアレンジ、通訳としての同行、本書における人材や予算の関連データの収集整理をお願いしており、彼の助力なくして本書はできなかった。秦舟氏をはじめとして、JSTの調査で6つのテーマを担当した豊内順一、植田秀史、辻野照久、寺岡伸章、渡辺泰司、佐藤真輔の各氏、取りまとめやデータ整理などをお願いした岡山純子、チャップマン純子、米山春子の各氏、さらには専門家として快く相談に乗っていただいた黒川知佳、磯崎芳男、堀田平、渡部潤一、牛草健吉、石井哲也、林崎良英、油谷浩幸の各氏に深く感謝する。

また、中央公論新社の藤吉亮平氏、先輩・友人の馬場錬成、石田寛人、間宮馨、上野慶

夫、小林忠造、丸山剛司の各氏にも大変お世話になった。

最後に、本書の作製に際し適切なアドバイスをしてくれた妻玲子、執筆への意欲を高めてくれたあや乃、梨央、鈴乃の三人の孫たちに、お礼を言いたい。

平成 25 年 7 月

林 幸秀

参考文献

全般

- JST 中国総合研究センター『中国の科学技術力について～総論編』 2010 年
JST 中国総合研究センター『中国の科学技術力について～ビッグ・プロジェクト編』 2010 年
JST 研究開発戦略センター『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
伊佐進一『「科学技術大国」中国の真実』講談社現代新書、2010 年
日本貿易振興機構『中国新時代の経営戦略』 2013 年

序章

- 文部科学省科学技術政策研究所『科学研究のベンチマーキング 2012』 2012 年
JST 研究開発戦略センター『日本の専門家による科学技術力の国際比較』 2011 年
JST 研究開発戦略センター『韓国および日本の専門家による国際比較の対比』 2011 年

第一章

- 海洋研究開発機構『地球シミュレータ開発史』 2010 年
HPL <http://icl.cs.utk.edu/hpl/index.html>
理化学研究所プレスリリース『スーパーコンピュータ「京」で HPC チャレンジ賞 3 部門の第 1 位を獲得』 2012 年 11 月 14 日

第二章

- 工藤君明「海外における深海有人潜水船の開発動向と我が国の進むべき道」文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向 No.78、2007 年
Naval History & Heritage <http://www.history.navy.mil/danfs/t8/trieste.htm>
外務省「国際海底機構 <http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kaiyo/isba.html>
社団法人日本中小型造船工業会、財団法人日本船舶技術研究協会『中国造船事情 2010』 2011 年
社団法人日本中小型造船工業会『中国における造船産業に関する国際競争力調査報告書』 2009 年

第三章

- 渡部潤一（監修）『宇宙のしくみと謎』永岡書店、2009 年
JST 研究開発戦略センター『世界の宇宙技術力比較』 2011 年

第四章

井上信幸、芳野隆治『核融合エネルギーの本』日刊工業新聞社、2005年

長倉三郎他編『岩波理化学辞典』（第5版）岩波書店、2006年

第五章

朝日新聞大阪本社科学医療グループ『iPS細胞とは何か』講談社ブルーバックス、2011年

大拙博善『ES細胞』文春新書、2000年

第六章

榊佳之『ゲノムサイエンス』講談社ブルーバックス、2007年

（独）科学技術振興機構研究開発戦略センター ライフサイエンス分野 科学技術・研究開発の国際比較 2012年版』2012年

第七章

村松秀『論文握造』中公新書ラクレ、2006年

福島香織、石平『中国経済の真実』PHP研究所、2012年

文部科学省科学技術政策研究所『科学技術指標 2011』2011年

文部科学省『OECD生徒の学習到達度調査（PISA）2009年度調査の結果について』2010年

文部科学省『文部科学統計要覧』

文部科学省『教育指標の国際比較』

中国国家统计局『中国統計年鑑』

OECD（経済協力開発機構）『Education at a Glance』2011年

譚聡美『日中百年の群像革命いまだならず』下、新潮社、2012年

NSF（全米科学財団） Science and Engineering Indicators、2012年

（了）