

中国の ライフサイエンス研究

著者 林 幸秀

「中国のライフサイエンス研究」は、2020年4月1日にライフサイエンス振興財団より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、書籍をデジタルスキャンしてPDF化した。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。また、原本であることを明示するため、透かしが入る。

はじめに

中国は古代以来優れた文明を育んできた地域であり、科学技術についても4大発明の発祥の地であることなどで世界最先端を誇っていた。ライフサイエンスにおいては、現在アジアの膨大な人口を育む稲の栽培が約1万年前の長江流域の湖南省周辺地域を起源とすると考えられている。また、はるか2000年以上も前より伝統医学による医療や投薬が行われ、医学書なども編纂されてきている。しかし、その後の様々な王朝の興廃や異民族の支配などの混乱もあつて、最後の王朝たる清の時代にはルネサンスや産業革命を経験した西洋列強に軍事、経済、科学技術などで後塵を拝することになった。欧米流の新しい科学技術を導入する必要性を痛感し、それを進めることとなつたのは清朝末期から辛亥革命後であるが、政治的な混乱などから思うように欧米流科学技術の定着は進まなかつた。

1949年の毛沢東率いる中国共産党による中華人民共和国の建国後、軍事、農業、科学技術などが体制維持の観点から国家の優先事項とされた。しかし、経済の停滞や文化大革命中の知識人待遇・敵視政策により、中国の科学技術は低迷した。1977年の文革終了後、改革開放政策が進展し経済が拡大するに従い中国の科学技術は発展してきたが、20世紀末までは天安門事件などの影響もあり、ライフサイエンス研究を含めた中国の科学技術は、宇宙などの軍事技術に関連する開発を除いて停滞していた。

しかし、20世紀末から今世紀にかけての経済発展の結果、中国の研究開発費や研究者数が急激に増大し、科学装置や施設なども世界最新鋭となつてきている。かつては欧米や日本に滞在していた優秀な科学者・研究者も、中国の研究開発体制が充実してきたことから続々と帰国した。これを受けて、今世紀に入つてからの科学技術の爆発的な発展には目を見張るものがある。科学論文数や被引用数さらには特許数などが典型であるが、最近特に進展著しいのはゲノム編集などの最先端技術を用いたライフサイエンス研究である。ゲノム編集に関する論文数では、すでに英国などの欧州勢や日本などを圧倒し、米国との二強体制が確立している状況にある。それ以外の最先端のライフサイエンス研究、例えば再生医療、精密医療などの分野でも圧倒的な物量作戦もあり、やはり米国と肩を並べている。

ただ中国のライフサイエンス研究の発展ぶりを、欧米の関係者は少し冷めた目で見ていることも事実である。数量面で圧倒的な科学論文や特許において、どの程度オリジナリティがあり独自のイノベーションにつながる成果があつたかについて、疑義を唱える声がある。また、特定の目立つ分野に大勢の研究者が群がり、逆にそれ程日の当たらない分野は手薄になつていとの意見もある。さらには、昨年のゲノム編集による双子のベビー誕生のように、倫理に関わる仕組みが厳格に運用されていない事例があるという指摘もある。

本書は、ライフサイエンス研究を中心とした中国の現状と実力、さらにはその特徴を取りまとめたものである。本書の構成であるが、中国のライフサイエンス研究の沿革を紹介した後、関連機関、ライフサイエンス政策、インプットとアウトプット、主な研究実施機関、研究インフラ、著名な現役の

研究者を取り上げた。続いて、中国のライフサイエンス研究を取り巻く現状をいくつかのトピックスで紹介し、そのうえで中国のライフサイエンス研究の特徴を記述した。

なお本書の第八章のトピックスについては、文部科学省のライフサイエンス担当分析官である佐藤真輔氏より資料や情報提供をいただき、そのうえで筆者がとりまとめたものである。したがって、佐藤氏は本書作成の協力者であることをここに記し、感謝の意を表したい。

本書をお読みいただき、中国のライフサイエンス研究の現状についての理解の一助になれば幸いである。

本書作成の最終段階で、湖北省武漢市を中心に新型コロナウイルスによる肺炎患者が多数発生し、現在日本などに拡大しつつある。本書で取り上げたSARS対応の陣頭指揮を執った鐘南山博士や中国版CDC主任の高福博士が、再度この新型肺炎と戦いの最前線に加わっている。本件については改めて取り上げることとし、本書では記述しないこととしたい。

2020年3月

公益財団法人ライフサイエンス振興財団

理事長兼上席研究フェロー

林 幸 秀

3	人民解放軍と中央軍事委員会	30
4	その他	31
第三章 ライフサイエンス政策		
1	政策策定機関	33
2	現在の政策の基礎	34
3	個別の政策	41
第四章 ライフサイエンス研究のインプットとアウトプット		
1	インプット	51
2	アウトプット	53
第五章 ライフサイエンス研究機関		
1	各種指標での研究機関比較	67
2	中国科学院	67
3	大学	79
4	国家衛生健康委員会関係の研究機関	84
5	農林漁業関係の研究機関	90

6	人民解放軍、中央軍事委員会関係の研究機関	95
7	北京生命科学研究所	98
8	民間企業	99
第六章 ライフサイエンス研究関連インフラ		
1	国家タンパク質科学センター	101
2	国家農業生物安全科学センター	102
3	トランスレーショナル医療研究施設	103
4	実験動物の表現型と遺伝子分析施設	104
5	武漢国家生物安全実験室	105
6	中国西南野生生物資源庫	106
7	国家遺伝子バンク	107
第七章 優れた成果を挙げている近年の研究者		
1	許智宏	109
2	高福	111
3	鄧宏魁	112
4	王曉東	113

5	施一公	114
6	陳化蘭	116
7	周琪	117
8	邵峰	118
9	湯富酬	119
10	顏寧	120
第八章 ライフサイエンス研究の最近のトピックス		
1	中国のゲノム編集技術	123
2	ゲノム編集によるベビーの誕生	130
3	世界に誇るシーケンス技術を有するBGI	138
4	中国の精密医療	147
5	中国の遺伝子組換え(GM)作物	159
6	中国での脳研究と霊長類実験	165
7	中国の幹細胞医療研究	172
第九章 中国のライフサイエンス研究の特徴		
1	豊富な資金	177

2	圧倒的なマンパワー	179
3	研究資材が世界一流	181
4	選択と集中	182
5	米国等との強いつながり	182
6	大学附属病院の多さと圧倒的な患者数	183
7	急激に拡大するライフサイエンス産業	185
8	希少資源や規制環境での優位性	186
9	研究の蓄積とオリジナリテイの不足	188
10	イノベーションを甘く見ていないか	190
11	米中貿易摩擦をどう考えるか	192
	参考文献	193
	あとがき	196
	著者紹介	198

第一章 ライフサイエンス研究の沿革

1 新中国建国以前

(1) 中医学の伝統

中国での医学や薬学の伝統は古く、紀元前の春秋戦国や前漢の時代にさかのぼり、医学書の編纂も確認されている。その後、様々な医学者や薬学者が出て体系化してきたものが、現在にも続いている中国医学（中医学）である。この中国医学を基に、日本で発展したのが漢方医学である。

中国医学は、全身を見て治療を行うこと、生薬などを用い人間の心身が持っている自然治癒力を高めることで治療に導くこと、体を侵襲しないことなどの特徴があるが、これらの点は科学的な根拠に基づき近代的な西洋医学治療とは一線を画すものであった。

1949年に中華人民共和国が建国されてからも、中国医学は国策として推進され、「中医学」としてまとめられた。現在でも、西洋医学を行う通常の医師と、伝統医学を行う「中醫師」の2つの医師資格が併置されている。

(2) 大学の設立と留學生の派遣

中国の近代科学技術の研究活動は清の時代にさかのぼる。清朝末期、光緒帝による戊戌の変法の成果として残ったのが1898年の京師大学堂の設立で、これが北京大学の前身である。京師大学堂設立と前後して、1896年の南洋公学（現上海交通大学）、1897年の求是書院（現浙江大学）、1902年の三江師範学堂（現南京大学）、1905年の復旦公学（現復旦大学）などの設立が相次いだ。大学の設立に併せ、優れた人材の日本や欧米への留学も積極的に行われた。とりわけ、日本は距離的にも近く留学費用も欧米と比して安価であったため、清朝政府は日清戦争の敗戦直後の1896年から官費留學生を日本に派遣し、多くの有為な青年が上海や天津の港から船で日本へ渡り、早稲田大学や東京大学などへ入学した。中国共産党の創設メンバーである李大釗や陳独秀も日本留学組である。20世紀初頭に日本に留学した学生数は、1万人に達したと言われている。

なお、日本も欧米から多くを学んだのであり欧米から直接学ぶべきだとの主張も清朝政府内にあつて、言語能力のある若者を欧米へ留学させている。しかし、欧米留学は多額の費用がかかることから、例えば1903年と1904年の2年間に欧米へ国費留学した中国人は、米国11人、ドイツ24人、フランス11人など少数であつた。この状況を変化させ特に米国への留学を加速させたのが、義和団事件後に北京議定書で清に義務付けられた賠償金の米国による一部返還である。この賠償金の返還資金により、1909年に47人、1910年に70人、1911年に62人が、米国のコロンビア大学、ハーバード大学などに留学している。また1911年に、この返還資金を元手に米国留学準備のため設置され

た学校が清華学堂であり、現在の清華大学の起源となっている。以降、とりわけ優秀な学生は清華学堂に学んだ後、米国に留学していくことになった。

これらの日本や米国などへの留学生から、次の世代の科学技術を担う研究者や技術者が輩出している。

(3) 中央研究院と北平研究院の設置

1911年に辛亥革命が成功して中華民国が成立し、袁世凱や軍閥の台頭などの混乱期を経て、1925年に国民党による国民政府が成立した。清末から辛亥革命以降に作られた大学は、欧米や日本との交流を通じて研究力、教育力の向上を目指した。

1927年に国民政府は、学術研究振興の重要さに鑑み「中央研究院」を政府直属の最高研究機関として設立し、傘下に物理、化学、工学、地質、天文、動物、植物などの14研究所を南京や上海に設置した。さらに1929年に国民政府は、北平（現在の北京）地域に依拠した研究機関として、北平大学の研究機構を一部統合整理して「北平研究院」を設立し、物理、化学、ラジウム、薬物、生理、動物、植物などの9つの研究所を傘下に設けた。

清朝末から国民政府の時代、ライフサイエンス研究は動物学や植物学が中心であり、それに加えて生理学や薬学などの研究が実施されていた。

(4) 著名なライフサイエンス研究者

清朝末期から新中国建国初期までの期間に、ライフサイエンス分野で活躍した著名な研究者を紹介したい。

まず植物学では、鍾觀光（1868年～1940年）、陳煥鏞（1890年～1971年）、胡先驕（1894年～1968年）、湯佩松（1903年～2001年）らがいる。いずれも、植物分類学などを中国に導入し、植物標本や植物園を設置し、その後の植物学や農学の発展に寄与している。動物学では、秉志（1889年～1965年）、朱洗（1900年～1962年）、貝時璋（1903年～2009年）らである。

医学関係では、細菌学・微生物学の湯飛凡（1897年～1958年）、内科・消化器内科などに近代西洋医学を導入した張孝騫（1897年～1987年）、初期の女性医師として著名な林巧稚（1901年～1983年）らが有名である。

農学関係では、林学の梁希（1883年～1958年）と韓安（1883年～1961年）、稲の品種改良の丁颖（1888年～1964年）、小麦の育種研究の金善宝（1895年～1997年）、植物病理学の涂治（1901年～1976年）らが著名である。

これらの研究者で、留学経験のない鍾觀光を除いた14名の留学先は以下のとおりであり、米国への留学が圧倒的であることが分かる。

・ 米国10名…陳煥鏞（ハーバード大学）、胡先驕（カリフォルニア大学及びハーバード大学）、湯佩

2 新中国建国初期

辛亥革命以降の政治的な混乱に乗じた日本の侵略と日中戦争、日本敗戦後の国共内戦を経て、1949年10月天安門で毛沢東により中華人民共和国の建国が宣言された。新中国となつてからは、科学技術や農業の振興、国防の発展が国家の重要任務となり、優先的に人材や資金が国の研究機関や大学に配分された。

新中国建国直後に、中央人民政府により中国科学院が設置された。中国科学院は、全国の自然科学及び社会科学分野の研究の中心であり、科学・教育・生産の緊密な連携を目指すものと位置付けられた。中国科学院は、それまでの科学技術・学術研究の遺産ともいえる中央研究院と北平研究院の施設

- ・ 松（ジョンズ・ホプキンス大学）、秉志（コーネル大学）、湯飛凡（ハーバード大学）、張孝騫（ジョンズ・ホプキンス大学）、林巧稚（シカゴ大学）、韓安（コーネル大学）、金善宝（コーネル大学）及びミネソタ大学）、涂治（ミネソタ大学）
- ・ 日本2名…梁希（東京大学）、丁穎（東京大学）
- ・ フランス1名…朱洗（モンペリエ大学）
- ・ ドイツ1名…貝時璋（ミュンヘン大学）

や人員の接收を直ちに実施し、1950年6月にはライフサイエンス研究関係の生理生化学研究所、実験生物研究所、水生生物研究所、植物分類研究所などを含む15の研究所を傘下に設置した。中国科学院は、その後急激に人員や予算を拡大し、やはり新中国建国後に充実強化されていた各地の大学とともに、ライフサイエンスにおける基礎研究や先端的な研究を担っていった。

一方1956年に、医学・薬学を扱う研究機関として中国医学科学院が北京に設置された。これとは別に、中国の伝統的な医学・薬学を研究する組織として1955年に中国中医科学院が設置されている。さらに農業技術を扱う研究機関として、1957年に中国農業科学院が設置された。また人民解放軍の中にも、軍事医学を中心とした軍医大学などが設立された。

1953年に「第1次五か年計画」が策定され、1954年には周恩来首相により工業、農業、交通輸送業、国防に関する「4つの近代化」が提唱された。1956年、科学技術政策の企画立案を任務とする「国家技術委員会」（現在の科学技術部）が國務院に設置され、建国後初の科学技術長期計画である「科学技術発展遠景計画綱要（1956年～1967年）」が決定された。この綱要において、原水爆やミサイル開発政策である「両弾一星」戦略を含む12の重点課題が提唱され、ライフサイエンス関係では「農業、林業及び畜産業」と「医療及び健康」の2課題が重点課題として位置付けられている。また、これら2つの重点課題を支える研究として生物学が言及され、生物学は農業、林業、医療などの科学技術の理論的基盤であり、植物学、動物学、微生物学、昆虫学、人間と動物の生理学、植物生理学、遺伝学、生化学、生物物理学、細胞科学、心理学、人類学と土壤科学に焦点を当てるべ

きとされた。

3 文革の混乱とその收拾

1960年代後半から文化大革命が始まり、中国の科学技術やそれを支える高等教育のシステムが根底から覆された。大学や研究所などの施設や装置は破壊され、新規の学生の入学や研究者・技術者の採用はストップとなり、職員の迫害・追放・下放が相次いだ。

1977年の文革終了後、中国科学院などの国の研究機関や大学は、研究や教育システムの立て直しに全力を挙げることになる。1978年3月、鄧小平が全国科学大会で「科学技術は第一の生産力である」とし、「できるだけ早く世界レベルの科学技術専門家を育成することが重要課題である」と主張し、中国に「科学の春」をもたらした。多数の科学者・研究者に対する文革中の罪が晴らされ、教壇や研究室に復帰した。中国科学院では地方に移管された研究機関が再び戻り、また数多くの新しい研究機関が設立された。文革中にはほとんど活動を停止していた大学などの平常業務への復帰が急ピッチで進み、全国大学統一入学試験（高考）が数年ぶりに再開された。また西側諸国との国際連携が復活し、優秀な人材が欧米や日本に国費留学生として派遣された。

文革終了後も政治的な混乱は続き、鄧小平と保守派との対立や1989年の天安門事件が発生した

が、1992年の鄧小平の南巡講話により漸く改革開放路線が定着した。20世紀末の時点で見ると、中国の人材養成システムや科学技術レベルは、依然として欧米や日本に比較して大きく後れていたことは否めない。ライフサイエンス研究に関しては、文革の被害が回復するに伴って、動植物学を中心とした基礎生物学、農林学、漢方を含めた医学などは伝統的な学問の範囲内で発展していったが、DNA解析を中心とした分子生物学などは文革時代の空白のため欧米に決定的に後れた状況となり、1990年代後半までは目立った動きがなかった。

4 海亀政策と科教興国戦略

文革時代の約10年間の空白は大きく、中堅若手の人材が決定的に不足していた。そこで中国政府が取り組んだのは、海外にいて優れた成果を上げた中国人研究者の呼び戻しであった。この呼び戻し政策は「海亀政策（回帰政策）」と呼ばれ、1994年に中国科学院によって開始された「百人計画」がその最初を飾る。中国政府の求めに応じて、優れた人材が続々と帰国し、非常に若くして研究責任者、研究室長、大学教授などに就いた。

1995年中国政府は、これから主に科学技術と教育によって経済の発展と社会の進歩を促進すべきであるとする「科教興国戦略（科学・教育立国戦略）」を示した。1997年、重点基礎研究

発展計画（973計画）を開始し、経済・社会発展における重大な科学問題を解決しようとした。1998年、21世紀に向けて高等教育を発展させる「211プロジェクト」ならびに世界一流レベルの大学を建設する「985プロジェクト」を開始した。

ライフサイエンス研究も、この時期から画期的に拡大していく。欧米や日本において、分子生物学、構造生物学などの新しい生物学を学んだ気鋭の科学者や研究者が帰国し、大学や研究所の研究責任者に就いていった。政府は設備装置や研究費の面で彼らを支援し、それに応えて彼らは優れた成果を上げていった。鄧小平が主導した改革開放路線による経済政策が成功し、2001年に中国が世界貿易機関（WTO）に加盟すると経済がさらに急激に発展し、研究成果が質量ともに急激に増大するとともに、海亀組の人材が研究所長や大学学長に続々と就任していった。

5 SARSへの対応

今世紀に入り中国は経済的に発展していったが、その途上で中国社会を大きく揺るがした事件として記憶されるのがSARSである。SARSは「重症急性呼吸器症候群（Severe Acute Respiratory Syndrome）」のことであり、2002年11月に広東省で非定型性肺炎の患者が報告されたのに端を発し、インド以东のアジア諸国とカナダを中心に、多くの地域や国々へ拡大した。中国では初期に



国家表彰を受け、胡錦濤総書記から祝福される鐘南山博士（©百度）

305人の患者が発生し、うち5人が死亡した。翌2003年3月には、旅行者を介してベトナムや香港に飛び火した。世界保健機関（WHO）はこの時点で、原因不明の重症呼吸器疾患をSARSと名付け、全世界に向けて流行に関する注意喚起を行い、異例の旅行中止勧告を発表した。原因究明が進められた結果、同年6月には新型コロナウイルスによる病気と特定された。2003年7月にWHOによって終息宣言が出されたが、WHOの報告によると香港を中心に8096人が感染し37か国で774人（致死率は約9.6%）が死亡したとされている。

このSARSアウトブレイク対応で、中国国内の陣頭指揮を執ったのが鐘南山（Zhong Nanshan）博士である。鐘博士は、1936年江蘇省南京市に生まれ、1960年に北京医学院（現北京大學医学部）を卒業し、同校の助教を務めたのち、1971年からは、広東省広州医学院第一附属医院の内科医となった。文化大革命が終了した直後の1979年から約2年間、英国ロンドン聖バーソロミュー病院やエジンバラ大学医学部に留学している。英国から帰国後の1986年に広州医学院呼吸内科教授に、

さらに1995年に北京医科大学（現北京大学医学部）の呼吸内科教授となった。専門は、慢性気管支炎や喘息などの呼吸器疾患である。鐘博士は、SARSウイルスの発見にも寄与し、終息に尽力したことにより「SARSとの戦いの英雄」と呼ばれている。

6 食品の安全性への対応

ライフサイエンス関係で、もう一つ中国社会を大きく揺るがした事件として挙げられるのが食品の安全性問題である。計画経済時代の食料政策は量的確保が重視されたため、衛生面や品質面は軽視され制度的整備も十分ではなかった。改革開放以降の1995年になって、ようやく食品衛生法が制定された。2001年にWTOに加盟し経済が発展するにつれ、都市部の消費者を中心とした国民が生活の質への向上を強く求めるようになり、生活の高度化・多様化が急速に進み、肉製品、乳製品、缶詰の生産額が増大した。

その様な中で経済的利益追求のために悪徳業者が横行し、人体に健康被害をもたらす有害な食品が多数流通し、食品汚染問題が多発するようになった。具体例を挙げると、2003年に各国で使用が禁止されているDDTが中国茶から検出され、2004年には安徽省で偽粉ミルクにより幼児が死亡する事件が発生した。同年、四川省で作られた漬物から残留農薬が検出され、また理髪店から回収さ



陳竺博士（右）と岩本東大名譽教授（©岩本愛吉）

れた人毛からアミノ酸を抽出加工して作られた人毛醬油が日本など外国へ輸出されていると報道された。2005年には禁止されている着色料スーダンレッドが、食品添加物として使用されていることが判明した。

中国政府は、2003年3月に「食品安全プロジェクト」や「食品安全行動計画」を策定したが、相次ぐ事件の発覚で国民の不安は収まらず、2007年6月、当時の高強衛生部長（現在の国家衛生健康委员会主任、日本の旧厚生大臣に当たる）を降格させ、医師で血液学の研究者であった陳竺（Chen Zhu）中国科学院副院长を同部長に抜擢した。陳竺博士は中国共産党員ではなく、無党派の閣僚就任は建国以来3人目であった。

陳博士は1953年に江蘇省に生まれ、1981年に上海第二医科大学（現在の上海交通大学医学院）で修士号を取得の後フランスに留学し、1989年パリ第7大学で博士号を取得している。その後1990年に上海に帰国し、上海第二医科大学附属瑞金病院の教授となり、2000年10月から中国科学院副院长を務めていた。専門は血液学、分子生物学で、臨床経験も持つ。日本との関係も深く、

写真は東京大学と中国科学院の協力プロジェクト発足式のものである。

陳竺部長の尽力もあり、2007年に国家食品薬品安全第11期五か年計画が発表され、2009年には食品安全法が施行された。陳博士は2013年に衛生部長を退任したのち、中国共産党以外で認められている党派の一つである農工民主党主席として、中国の国会に当たる全国人民代表大会の常務委員会で14名いる副委員長を務めている。

7 21世紀における科学技術の発展

現在、中華人民共和国が成立して70年が推移し、特に改革開放以来の弛まぬ努力を経て、中国の科学技術は世界的な注目を集めるほど大きな成果を挙げており、科学技術の全体的な能力は向上し続けている。中国の科学技術のレベルは、重要な分野で世界の上位に躍り出ており、一部の先端分野で先進国をリードする段階に入ようになった。とりわけ論文や特許などの面では、現在欧州諸国や日本を凌駕し、世界ナンバーワンの米国に迫る勢いとなっている。

ライフサイエンス研究も同様であり、20世紀末までは動植物学や中医学を中心とした医学、農学といった新中国建国以前から存在していた学問が中心であり、近代臨床医学や、基礎生物学の中でも細胞生物学、分子生物学、再生生物学などの分野は、文革の空白期の影響もあって欧米がはるかに先を

行っており中国の研究は後れている状況にあった。しかしその後の中国政府の積極的な政策もあり、欧米や日本で研鑽を積んでいた有力な研究者が続々と帰国し、21世紀に入ってから中国国内の基礎生物学、医学、農学などの分野の研究を世界的な水準に押し上げている。とりわけ最先端のゲノム科学やゲノム編集の研究は第八章で詳述するように、世界でも米国と同等の成果を挙げていると言われている。

ただ、ノーベル賞受賞者などのいわゆる世界トップレベルの研究者については、研究の蓄積がまだ足りないこともあり、それほど多くない。さらに、近年発生したゲノム編集技術による人間のベビーの誕生など、他の国では忌避されている研究が行われてきたことなどが、国際的な話題となっている。

8 建国期から経済成長前までの優れた成果

ここでは、新中国建国期から経済発展前の20世紀後半までにおける、ライフサイエンス研究の主な成果と研究者を概観したい。近年の研究者については第七章で述べる。

(1) 世界初の魚類クローン作製

1963年、山東省青島市にある中国科学院海洋研究所長の童第周 (Tong Dizhou) 博士は、世



童第周博士 (©百度)

また1952年にはカエルのクローンが作られた。

これらの成果を踏まえ1963年に童博士は、オスのアジア鯉のDNAを抽出しメスのアジア鯉の卵に移植して、世界初の魚類のクローン作製に成功したのである。さらに1973年には、オスのアジア鯉のDNAをメスのヨーロッパ鯉の卵に移植し、初めての生物種間をまたがるクローンも作製している。

童博士は1902年に浙江省に生まれ、1927年に上海の復旦大学を卒業した。1930年にベルギーのブリュッセル自由大学に留学し1934年に博士号を取得の後、英国ケンブリッジ大学への短期間訪問を経て中国に帰国して山東大学に勤務している。新中国建国後、1950年に青島海洋生物学研究室の主任となつて以来、一貫して青島市の研究チームを指導し、1959年青島市に設置された中国科学院海洋研究所の初代所長に就任し、1978年まで務めている。その間1955年には

界で初めて魚類のクローン作製に成功した。クローンとは、分子・DNA・細胞・生体などのコピーである。もとは植物の小枝の集まりを意味するギリシア語に由来する。植物については、古くから挿し木などのクローン技術が農業、園芸で利用されているが、動物では胚や体細胞から取り出したDNAを含む細胞核を未受精卵に移植する「核移植」によつてクローンを作製している。人工的な動物個体のクローンは、1891年にウニの胚分割により初めて作製された。

中国科学院学部委員（現在の中国科学院院士）に当選しており、また1978年に中国科学院の副院長になったが、1979年3月浙江省杭州市の集会で倒れ同月北京で病没した。

（2）世界初のウシ・インスリン人工合成

血糖調整に重要な働きをするインスリンは、動物の膵臓から分泌される一種のタンパク質である。タンパク質は生命現象において最も重要な基礎となる物質であり、タンパク質の構造及び機能の研究はライフサイエンスの基本的な研究課題である。ウシ・インスリンを人工的に合成することは科学的に大きな意義を有し、糖尿病患者の特効薬として多くの生命を救うことが期待できた。

1964年、中国科学院上海生物化学研究所の鈕經義と龚岳亭らは、ポリペプチドを使ってウシ・インスリンのB鎖を人工合成し、これと天然のA鎖の再編することにより、インスリンを作り上げること成功した。続いて1965年、中国科学院上海有機化学研究所汪猷研究者と北京大学化学部の邢其毅教授は協力して、インスリンA鎖の化学合成を完成させ、これと先に上海生物化学研究所で人工合成に成功していたB鎖を再編することにより、ウシ・インスリンの完全な人工合成に成功した。この人工合成したインスリンを純化して測定したところ、天然のインスリンと全く同様の活性と抗原性を有し、しかもその結晶の形が天然と同一であった。これらの成果を上海生



曹天欽博士（©百度）

物化学研究所の曹天欽 (Cao Tianqin) 副所長らが、1965年11月に「中国の科学」誌に短信を、1966年4月に全文を発表した。

この研究成果は、中国のポリペプチド・タンパク質合成分野における研究が、世界の先端レベルに達したことを示すものであり、これによってインスリンに関するホルモンの研究や応用も加速し、インスリンの作用原理やインスリン結晶構造の研究も促され、生化学試験や生化学薬物の発展にもつながった。

(3) マラリアの特効薬アルテミシニンの開発

マラリア (中国語で「疟疾」) は、熱帯から亜熱帯に広く分布する原虫感染症であり、高熱や頭痛、吐き気などの症状を呈し、悪性の場合には意識障害や腎不全などを起こし死亡することもある。以前は中国でも海南島、雲南省、広西省、広東省等の南部の地域で、マラリアは主な死因の一つだった。1960年代に入つて徐々に本格化したベトナム戦争において、中国はソ連とともに北ベトナムの同盟国として軍事的な支援を行った。この北ベトナムでもマラリアは兵士や一般庶民を苦しめる病気であり、従来から特効薬として用いられていたクロロキンは原虫に耐性が出始めていた。そこで中国は、自国民の治療だけでなく同盟国の北ベトナムを支援すべく、関係機関にマラリアに対する新薬開発を命じた。

マラリア新薬の開発を命ぜられた機関の一つが、國務院の中医研究院 (現在の中国中医科学院) で



ノーベル賞授賞式での屠呦呦氏(右) (©百度)

あり、そこに発足したプロジェクトチームのリーダーに指名されたのが、女性研究者である屠呦呦 (Tu Youyou) 研究員であった。屠研究員は1930年浙江省寧波市に生まれ、1955年に北京大学医学部薬学科を卒業し、中医研究院の研究者となった。1969年にチームが発足すると、屠氏は約2000の伝統的な漢方の調剤法を調べた。その過程で1971年に、ヨモギの一種「黄花蒿」(日本名ではクソニンジン) から抽出された物質が、動物体内でのマラリア原虫の活動を劇的に抑制することを突き止めた。翌1972年に屠たちはその純物質を取り出し、「青蒿素」と名付けた。これは欧米では「アルテミシニン」と呼ばれている。屠氏は2015年に、日本の大村智博士らとともにノーベル生理学・医学賞を受賞した。

余談であるが、ノーベル賞受賞後の中国科学界の反応は必ずしも屠呦呦氏に対し好意的なものではなかった。それは、彼女が「三無科学者」と呼ばれたことでも分かる。まず彼女は博士号取得者ではなかった。また海外での教育・研究経験がない。そして中国科学院の院士ではない。これらは中国における正統



稲の発育状況を視察する袁隆平氏（©百度）

派の学者・研究者とはかけ離れた経歴であり、そういった人たちから嫉妬を含む反感が彼女に浴びせられたのである。しかし、時間が経つうちにこのような反感が徐々に収まってきており、2017年1月には国家最高科学技術賞を受賞している。

（4）稲の品種改良

桁外れの人口を擁している中国では、国民の食糧を如何にして確保するかは古代より国家の最大の政策目標の一つであった。新中国においても、毛沢東の大躍進政策の失敗などにより大量の餓死者が出た時期があり、急激な経済発展の前は全国民の食糧の確保が中国共産党にとって統治の正当性を示す重要な事項であった。このため、周恩来や鄧小平は4つの近代化という国の基本的な政策で、国防や科学技術と並んで農業の振興を強調している。

この農業技術で世界的な業績と言われるのが、袁隆平（Yuan Longping）研究者によるハイブリッド米の開発である。ハイブリッド米とは、稲の品種改良において、雑種第一代に現れる

雑種強勢を利用して育種した収穫量の多い米を指す。袁氏は、1964年にハイブリッド米の研究に着手し、1973年に優良品種「南優2号」を開発した。この研究成果は、中国の食糧問題を大幅に解決しただけでなく、世界的な食糧不足問題を解決する切り札とみなされ、「第二次緑の革命」などと賞賛する声もある。

袁隆平氏は、1930年に北京で生まれ、1953年に重慶市にある西南農学院（現西南大学）を卒業し、湖南省の農業学校の教師となった。1960年に発生した大規模な飢饉を目の当たりにし稲の品種改良を思い立った。1973年のハイブリッド米開発は、中国の農業に革命的な成果をもたらし、中国国内の数々の賞のほか、国連教育科学文化機関（UNESCO）科学賞、国連食糧農業機関（FAO）の食糧安全保障貢献賞、日経アジア賞などを受賞している。また2004年には、農業技術関係のノーベル賞と言われるウルフ賞を受賞している。

袁氏は90歳近い現在でも活発な研究活動を行っていて、2018年に1ムー（15分の1ヘクタール）当たり1152.3キログラムという水稻栽培収量の世界記録を達成しており、また塩害に強い海水稲の開発普及にも積極的に取り組んでいる。

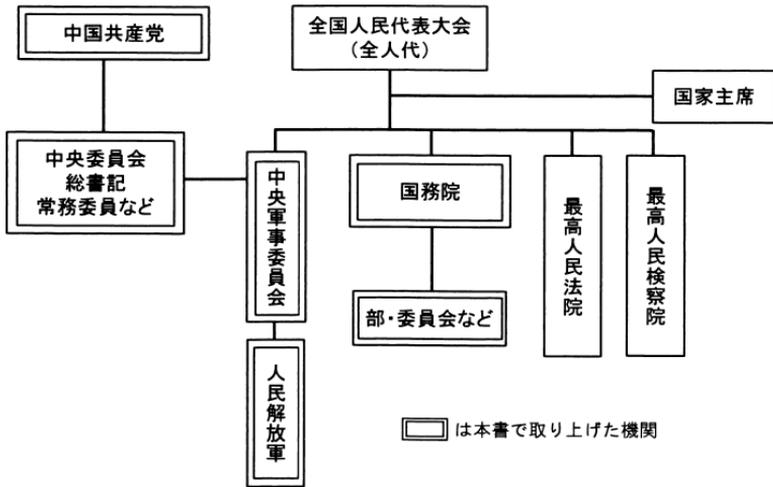
第二章 ライフサイエンス関連機関

中国においてライフサイエンスに携わっている組織を紹介する。なお、研究開発を実施する主な機関については、第五章で詳述する。

1 政治行政体制と中国共産党

中国の政治行政体制では、中国共産党、国務院、人民解放軍が重要である。中国の政治行政体制の仕組みを表したのが次ページの図表1である。

中国は中国共産党による一党支配の国家であり、憲法に「中国共産党が国家を領導する」と明記されており、中国共産党が国家を指導している。中国共産党の最高指導機関として中央委員会がおり、同委員会の委員は5年ごとに開催される全国代表大会（党大会）によって選出される。この中国共産党中央委員会を、「党中央」とか「中共中央」と略称することがある。現在の第19期中央委員は



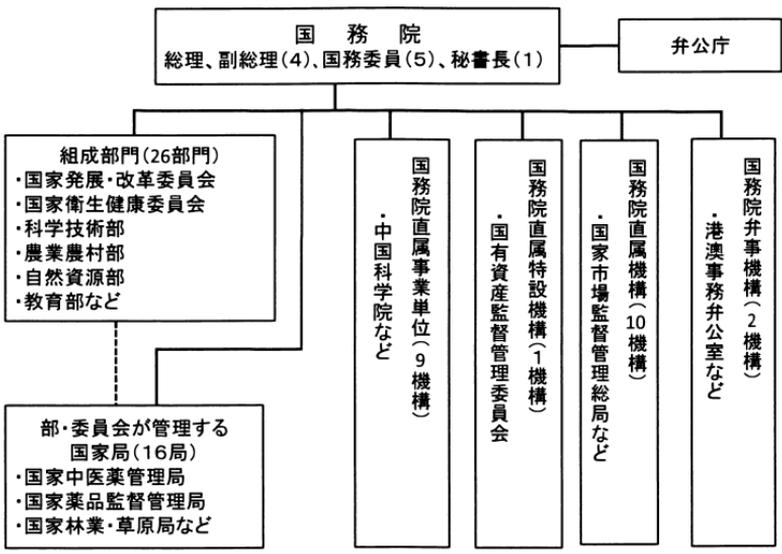
図表1 中国の政治行政体制

(出典) 各種資料に基づき筆者作成

204名、候補委員は172名である。

中央委員会全体会議も年1回の開催であるため、同会議で選出された中国共産党中央政治局とその上位機関である中央政治局常務委員会が職権を代行する。この常務委員会のメンバーは2020年3月現在、最高位の習近平総書記、國務院総理を兼ねる李克強、栗戰書、汪洋、王滬寧、趙樂際、韓正の7名であり、彼らが中国の最高指導部である。さらに習近平総書記は、人民解放軍を監督する中央軍事委員会の主席と国家主席を兼ねている。

中国では、中国共産党が国家の様々な政策に深く関与しており、ライフサイエンス研究や関連産業の振興などについても、党が行政部門である國務院を指導し、又は共同で政策の策定に当たっている。さらに、國務院の各部署、研究機関、大学などの組織内に「党委」中国共産党



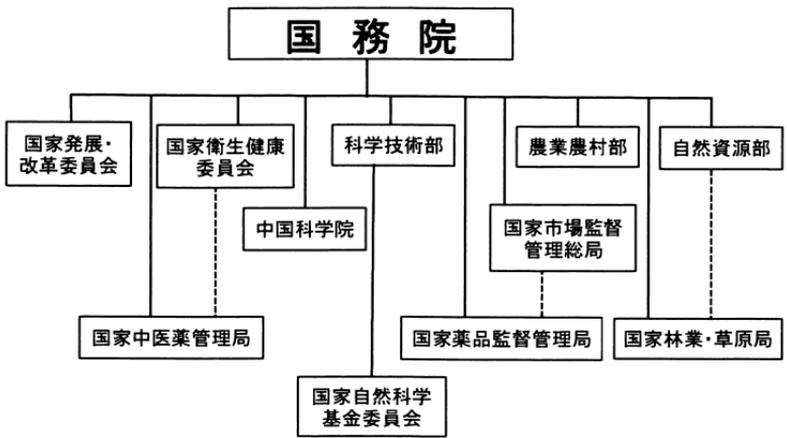
図表2 国务院の組織図

(出典) 各種資料に基づき筆者作成

2 国务院

「委員会」と呼ばれる組織があり、党委は共産党を代表してその組織を指導する。党委のトップである書記は、当該組織の長である部長、主任、所長、学長などと同一人物の場合もあるが、まったく別の人物が就任している場合もある。

日本の内閣に当たる国务院全体の組織図を示したのが図表2である。図の中で、組成部門と呼ぶ部・委員会(26部門)が日本という政府省庁であり、ライフサイエンス関係では、国家発展・改革委員会、国家衛生健康委員会(旧衛生部)、科学技術部、農業農村部が重要である。また、研究開発



註：大学は除外（中国では国の大学は教育部だけではなく、軍や他の省庁も所管できる。）

図表3 国务院内のライフサイエンス関連組織

（出典）各種資料に基づき筆者作成

などを担当する中国科学院は直属事業単位、医薬品の審査を行う国家藥品監督管理局を管理する国家市場監督管理総局は直属機構である。さらに、部・委員会が管理するものの独立的な色彩の強い部局として、国家中医药管理局、国家藥品監督管理局、国家林業・草原局がある。

国务院のライフサイエンス関連組織だけを取り出して図示したのが図表3である。以下この組織図をもとに、それぞれの組織を説明していきたい。

（1）国家發展・改革委員会

1949年の建国以来、中国は旧ソビエト連邦に倣って計画経済を基本としており、鄧小平の改革開放路線による社会主義市場経済となつて以降も、経済の枠組みは中国共産党と国务院を中心とする中央政府が立案し決定する諸計画に従っている。最も重要な計画は五か年計画であり、この五

か年計画を国務院側で主管しているのが国家発展・改革委員会である。同委員会は「発改委」と略称され、経済と社会の政策の研究、経済のマクロ調整などを行っている。

前身は1952年に成立した国家計画委員会で、成立当初は国務院と並立する機関であったが、1954年に国務院の内部門として国家計画委員会となり、1998年に国家発展計画委員会に、さらに2003年に現在の名称となった。

(2) 国家衛生健康委員会

国家衛生健康委員会は国務院に設置された行政部局で、国民の健康、医療、疾病対策などを業務としており、日本の旧厚生省に当たる。国家衛生健康委員会は、かつて衛生部と呼ばれていたが、2013年に国家健康・家族計画委員会となり、さらに2018年に現在の名称となった。

(3) 科学技術部

科学技術部は国務院に属する部門であり、科学技術関連の行政を管轄している。日本の旧科学技術庁に当たる役所である。1956年に科学規格委員会と国家技術委員会の2部門が設立され、2年後の1958年に両委員会が合併して国家科学技術委員会、1970年に中国科学院と合併、1977年に分離して再び国家科学技術委員会と変遷を重ねてきたが、1998年に現名称である科学技術部となった。

科学技術部は科学技術に関する基本的な政策の立案を行うほか、その政策に基づき科学技術関連のプロジェクトの資金を直接配分している。

(4) 国家自然科学基金委員会 (NSFC)

国家自然科学基金委員会は、基礎研究と応用研究の一部を国の財政資金で助成する機関として、1986年2月に国務院に設立された。米国立科学財団 (NSF: National Science Foundation) をモデルとして設立されたこともあって、NSFC (Natural Science Foundation of China) と略称される。NSFCは、中国の大学や中国科学院などの国の機関の研究を支える資金源として重要な役割を有している。従来は中国科学院と同格で国務院に直属する部局であったが、競争的な資金改革の一環で2018年に科学技術部の外局としての位置付けに変更された。NSFCの主任は科学技術部の副部長を兼務しているが、2020年3月現在ではまだ独立的に業務を行っている。

(5) 農業農村部

農業農村部は国務院に属する行政部門であり、日本の農林水産省に概ね相当する。農業、畜産、漁業に係る行政、農水産企業や農産品の認可、技術の試験、農業科学の研究と応用、農機の鑑定、獣医・獣薬・飼料・肥料・種子、農薬の監理などを行う。

(6) 自然資源部と国家林業・草原局

自然資源部は、土地利用政策、資源政策を管轄する國務院の部局である。2018年に、従来の国土資源部・国家海洋局・国家測量地理情報局が統合され、自然資源部が新設された。

国家林業・草原局は國務院にある独立した機関であるが、他の部や委員会の監督を受ける機関の一つであり、自然資源部の監督を受ける。国家林業・草原局は林業に係る業務を所管する部局であり、日本の林野庁に相当する。

(7) 中国科学院

中国科学院 (C A S : Chinese Academy of Sciences) は、第一章でも述べたように新中国の科学技術の中心組織として建国直後に設置された。國務院に直屬し、研究開発実施機関としては世界最大級である。研究機能の詳細は第五章で述べる。

中国科学院は、顕著な業績を挙げた科学者を顕彰する「院士」という制度を有し、これら有力科学者の大所高所からの意見を集約する機関でもある。中国科学院院士は、1955年に「中国科学院学部委員」としてスタートしたが、1993年に現在の名称となった。院士は終身称号であり、2年おきに中国国内外のトップ研究者・科学者から選ばれる。

さらに中国科学院は、傘下に中国科学技术大学 (安徽省合肥市)、中国科学院大学 (北京市)、上海科技大学 (上海市と共管) の3大学を有している。

(8) 国家中医薬管理局

国家中医薬管理局は國務院にある独立した機関であるが、他の部や委員会の監督を受ける機関の一つであり、すでに述べた国家衛生健康委員会の監督を受ける。同局の具体的な任務は、中国医学や漢方薬の発展のための政策の策定、中国医学による治療・予防・健康管理・リハビリテーション・臨床治療の管理、中国医学と西洋医学の統合の調整、中国医学や漢方薬の科学的な解明などである。

(9) 国家市場監督管理総局

国家市場監督管理総局は、國務院の直属機構として2019年3月に設置された新しい役所である。中国政府の構造改革の一環で、会社の設立や商標の登録などを行っていた国家工商行政管理総局の業務や商務部などにあつた独禁法関連の業務などに併せて、食品と医薬品の安全性管理を行う国家食品薬品監督管理総局の機能を国家市場監督管理総局へ移管している。

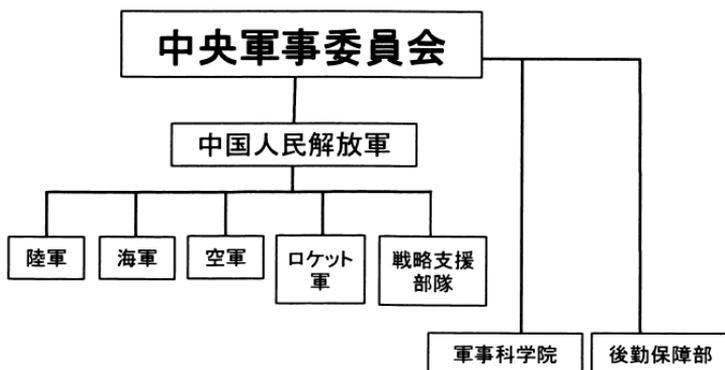
ライフサイエンスに関係する業務としては、食品と医薬品の安全性管理があるが、このうち食品の安全業務はこの総局で直接実施しており、医薬品の安全業務については次項の国家薬品監督管理局で実施している。食品の安全業務は国民にとって関心の高い事項であり、國務院全体の諮問機関として食品安全委員会が設置され、同総局が事務局を担っている。

(10) 国家薬品监督管理局

国家薬品监督管理局は國務院にある独立した機関であるが、他の部や委員会の監督を受ける機関の一つであり、前項の国家市场监督管理总局の監督を受ける。元々は「国家食品藥品監督管理局」で、食品の安全性と医薬品の安全性の両方の業務を実施していたが、2019年の行政改革でこれらの業務が国家市场监督管理总局に移行し、そのうちでも医薬品については国家薬品监督管理局として半ば独立した組織となった。主要業務は、漢方薬を含む薬品、医療機器、化粧品などの安全確認である。薬剤師の管理登録も行っている。

(11) 大学

中国でも、ライフサイエンスの基礎研究の実施や研究者の育成は大学が主体である。大学全体の3分の2が国公立である(2018年現在、国公立826校、私立419校)。中国の有力大学は國務院の旧文部省に相当する教育部所管が多いが、日本と違い教育部以外の部や委員会なども大学を所管している。またライフサイエンス関係では、大学そのものは教育部所管であるが、北京大学、復旦大学、吉林大学などのように附属病院が国家衛生健康委員会直属病院となっている例もある。研究面で有力な大学については第五章で述べる。



図表4 人民解放軍と中央軍事委員会の組織

(出典) 各種資料に基づき筆者作成

3 人民解放軍と中央軍事委員会

人民解放軍は、中国共産党が指導する中国の軍隊である。中央軍事委員会は人民解放軍を指導する共産党の機関で、メンバーは主席、副主席、委員の合計7名により構成される。現在の主席は、共産党総書記である習近平が兼務している。

人民解放軍は、陸軍・海軍・空軍・ロケット軍・戦略支援部隊の5軍からなる。これとは別に中央軍事委員会の直属機関として軍事科学院があり、軍の作戦能力を向上させるために1958年に北京に設置された。軍事科学、軍事戦略及び戦術の研究機関・シンクタンクで、初代院長は文革終了時に四人組逮捕を指揮した葉劍英元帥である。また中央軍事委員会に直属する後勤保障部がある。これらの関係組織を図示したのが図表4である。

ライフサイエンス関係の機関として、人民解放軍の陸海空の3軍がそれぞれ軍医大学を所管している。また軍事科

学院と後勤保障部は、軍事医学関係の研究機関、教育機関、病院を有しており、これらは第五章で詳述する。

4 その他

(1) 地方政府

中国の地方政府は、中央政府と協力しつつも独立してライフサイエンス研究の振興政策を実施している。とりわけ北京市、上海市、深圳市、あるいは広東省、江蘇省などの比較的豊かな市や省は、自らの地域の特性を生かして中央政府に匹敵するような研究開発や施設への投資を実施している。

(2) 民間企業

各国のライフサイエンスに関する民間企業として製薬メーカーが重要であり、メガファーマと呼ばれる巨大製薬メーカーは非常に大きな売上高を誇るとともに、活発な研究開発活動を実施している。米国のファイザー、メルク、ジョンソン・エンド・ジョンソン、英国のグラクソ・スミスクライン、アストラゼネカ、フランスのサノファイ、スイスのノバルティス、ロシュなどが挙げられる。

一方米国IQVIAレポートによれば、中国の医薬品市場の規模は2018年で米国の約

5000億ドルに次いで世界第二位の約1300億ドルに達しており、日本の約900億ドルを凌駕している。この大きな市場を獲得するため、外国の医薬品メーカーや国内のメーカーが競っている状況にある。

中国の代表的な国内メーカーとして、国薬集団（シノファーム）という巨大国有企業がある。2019年のフォーチュン500の194位で、米国のメガファーマであるファイザー198位より上位になっている。しかし、この国薬集団を含め中国国内メーカーはそれほど高い研究開発能力を有しておらず、輸入医薬品や後発医薬品（ジェネリック）を中心に製造販売しているのが現状である。

第三章 ライフサイエンス政策

1 政策策定機関

中国の国家政策は、中国共産党の指導の下に政策の実施を担当する國務院の協力を得て、各部署の専門家を招集し議論を十分に重ねたうえで決定される。基本的な政策は中国共産党中央委員会と國務院の名前で、各分野の個別の政策は國務院の各部署の名前で公表されることが多い。ライフサイエンス研究においても同様である。

現在のライフサイエンス政策は、国全体の五か年計画とその時期をカバーする中長期計画を基本とし、科学技術全般の五か年計画とライフサイエンスのいくつかの分野に係る五か年計画が個別分野の政策となっている。國務院のライフサイエンス政策関係部局としては、国家発展・改革委員会が国全体の経済社会の計画である五か年計画所管の立場から、科学技術部が科学技術全般の立場から、国家衛生健康委員会が医療や健康の立場から、農業農村部が農業政策の立場から政策決定に関与している。

2 現在の政策の基礎

(1) 概観

1949年に建国以来、中国は旧ソビエト連邦に倣って計画経済を基本としており、鄧小平の改革开放路線による社会主義市場経済となつて以降も、中国共産党と國務院が立案し決定する諸計画に従っている。これらの諸計画のうち最も重要な計画は五か年計画であり、現在は2016年から2020年をカバーする「国民経済・社会发展第13次五か年計画」の期間中である。この計画のもとに各分野をカバーする五か年計画があり、科学技術分野では「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画（2016年～2020年）」が策定されている。

これとは別に、科学技術や産業などの特定の分野に関し、10年から30年程度を見通して中長期計画が策定されることもあり、現在のライフサイエンス関係で重要なものとして、「国家中长期科学技術发展計画纲要（2006年～2020年）」、「中国製造2025（Made in China 2025）」、「国家イノベーション駆動型发展战略纲要（2016年～2030年）」、「健康中国2030」などがある。

(2) 国民経済・社会发展第13次五か年計画

2016年3月、全体で20篇80章からなる「国民経済・社会发展第13次五か年計画」が決定された。同計画では、2016年から2020年を「小康社会（衣食住が足りたうえでややゆとりのある社会）」

を達成すべき期間であるとし、同期間5年間の実質経済成長率は年平均6.5%以上を目標に設定している。また中国を製造強国とするため、「中国製造2025」、「インターネット+」、「宇宙強国」などの国家戦略を推進することとしている。イノベーションについては、「科学技術イノベーション」を核心とし、科学技術イノベーションと『大衆創業、万衆創新（大衆による創業、万人によるイノベーション）』の有機的結合を推進することによって、イノベーション駆動型発展を創造する」としている。

ライフサイエンスの分野では、バイオ医薬、ヘルスケア・介護を重点的な分野として挙げるとともに、生命の起源、脳と認知等の最先端科学における基礎研究を強化している。5つの重大科学技術プロジェクトの一つとして「脳科学と脳模倣知能研究」が、さらに9つの重大プロジェクトの中に「種苗業における自主イノベーション」及び「健康増進」が挙げられている。

（3）国家中長期科学技術発展計画綱要（2006年～2020年）

21世紀に入り、経済の爆発的な発展や百人計画による優秀な人材の帰国などを受け、中国の科学技術システムは急激に欧米や日本との距離を縮めてきた。この状況を踏まえ、2006年に中国共産党中央委員会と国務院は、「国家中長期科学技術発展計画綱要（2006年～2020年）」を発表した。

同計画では、2020年までの科学技術発展の目標として、基礎科学と最先端技術における研究力を高め、小康社会の建設に寄与し、世界的な科学技術強国への基盤を固めることを挙げている。そして、2020年までにGDPに占める研究開発投資の割合を2.5%以上に引き上げ、対外技術依存

度を30%以下に引き下げ、特許取得件数と科学論文の被引用数をいずれも世界5位以内にすることを目指すとしている。

この概要では、2020年までに実現すべきライフサイエンス分野の目標として、以下の2点を掲げている。

○農業分野での科学技術の総合力で世界のトップレベル入りを果たし、農業生産力の向上を促進し、国の食糧安全保障に寄与する。

○エイズ、肝炎等の重大な疾病の予防と治療レベルを向上させ、新薬と医療機器の開発で飛躍的な進歩を達成し、産業として発展させる。

さらに、ライフサイエンス分野の基礎研究の課題として、生命プロセスの定量研究及びシステム統合、脳科学及び認知科学の2つのテーマを挙げている。また、国家の重大な戦略ニーズに対応した研究テーマとして、人類の健康及び疾病の生物学的基礎、農業生物の遺伝改良及び農業の持続可能な発展のための科学的な課題を挙げている。このほか、従来から推進されているタンパク質研究に加え、発育及び生殖研究を重大科学研究計画として定めている。

(4) 中国製造2025

2015年5月国務院は、強力な産業政策である「中国製造2025 (Made in China 2025)」を公表した。中国の製造業は建国以来持続的に成長してきたが、世界の最先端と比べれば規模が大きい

ものはまだ強いとは言えず、自主的イノベーション能力、産業構造、情報化、品質、生産効率などで大きく後れを取っている。建国百年を迎える2049年までに、中国を世界の製造業の発展を率いる製造強国へと発展させ、中華民族の偉大な復興という「中国の夢」の実現を目指すというのが中国製造2025の基本的な考え方である。

中国製造2025では次の三段階で製造強国の実現を図るとしている。

○第一段階…2025年までに世界の製造強国の仲間入りをする。

○第二段階…2035年までに世界の製造強国の中等レベルに到達させる。

○第三段階…2049年までに世界の製造強国の先頭グループに入る。

中国製造2025では、次世代ICT技術、ロボット、航空産業、宇宙産業など10分野の産業を優先分野として列記しており、ライフサイエンス関係としては「生物医薬と高性能医療機器」を挙げている。

生物医薬とは、重大疾患のための化学医薬品、漢方薬、生物製剤などの新しい製品を開発するものであり、新しい作用メカニズムと新しい標的に対応する化学医薬品、抗生物質、抗体薬物複合体（ADC）、構造タンパク質及びポリペプチド製剤、新型ワクチン、新型創製漢方薬、オーダーメイド治療用薬品などが含まれる。

一方、高性能医療機器とは、画像装置、医療用ロボットなどの高性能診療設備、完全生分解性の血管内ステントなどの高額医用消耗品、装着可能医療機器、遠隔診療などに用いるモバイル医療製品な

などを重点的に開発するものであり、3Dバイオプリンティング、iPS細胞などの新しい技術の研究とその応用を併せて行う。

(5) 国家イノベーション駆動型発展戦略綱要(2016年～2030年)

2016年5月、中国共産党中央委員会と国務院は「国家イノベーション駆動型発展戦略綱要(2016年～2030年)」を発表した。本綱要は、すでに上記(3)で述べた「国家中長期科学技術発展計画綱要(2006年～2020年)」と対象期間が一部重なっているが、本綱要は最新の知見や国内外の情勢を踏まえて前の綱要を修正・補完したものと考えられる。

本綱要は、2050年までに中華民族の偉大な復興という中国の夢を実現するため、以下の三段階の目標を設定している。

○第一段階…2020年までにイノベーション型国家の上位20位に入る。

○第二段階…2030年までにイノベーション型国家の上位10位に入る。

○第三段階…2050年までに世界に冠たる科学技術イノベーション強国となる。

本綱要では国際社会での競争力の優位性の確立するための重点領域として、次世代ICT技術、スマート・グリーン製造技術など10項目が挙げられており、この中では、先端農業技術とヘルスケア技術の2領域がライフサイエンス関係となっている。

(6) 健康中国2030

2016年8月、国民の健康増進を目的として「健康中国2030」計画綱要が公表された。経済の発展に伴い社会や市民の生活環境が変化し、運動不足、偏った食生活、ストレスの増大などに伴う生活習慣病が増加するとともに高齢化が問題になっており、これらを中長期的に解決していくのがこの計画の狙いとなる。併せて政府の全面的バックアップにより、医薬品・医療、スポーツ、食品、環境セクターなどヘルスケアを中心とした幅広い産業を振興しようとするものである。

健康中国2030では、次の目標が掲げられている。

- 現在の平均寿命76・3歳を、2020年に77・3歳、2030年に79・0歳へ伸ばす。
 - 健康サービス産業の規模を2020年に8兆元、2030年に16兆元まで拡大する。
 - 生活習慣病などを減らすため、日常的に運動する人を2014年の3・6億人から2020年の4・4億人、2030年の5・3億人へと増やす。
- ライフサイエンス関係の施策として、次のものが挙げられている。
- 重大疾病や慢性疾患の検査と早期発見を強化する。
 - 中国医学と西洋医学を結合させ難病や重病の治療効果を高める。中国医学の海外進出を後押しする。漢方薬の国際化を推進する。
 - 食品と医薬品の安全基準の整備や審査基準の向上を進める。
 - 各種健康医療データの体系化を通じてビッグデータ応用の新業種を創出する。

(7) 国家科学技術イノベーション第13次五か年計画

「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画」は、「国家中長期科学技術発展計画綱要(2006年～2020年)」や「国家イノベーション駆動型発展戦略綱要(2016年～2030年)」などの中長期的な科学技術関連計画を背景とし、「国民経済・社会発展第13次五か年計画」の個別分野の計画として、2016年8月に決定された。

同計画では、重点的に進めるべき科学技術分野が網羅的にリストアップされ、2020年までに中国のイノベーション創出能力を世界15位までに引き上げイノベーション型国家の仲間入りを果たす等の目標が設定されている。本計画で初めて科学技術関係の計画名の中に「イノベーション」という言葉が追加された。このことは、科学技術とイノベーションを結合させ、研究・開発から産業化までのイノベーション創出の全過程を視野に入れて計画を策定したことを意味している。

重点領域については、「重大科学技術プロジェクト」、「産業技術の国際競争力向上」、「国民生活の向上と社会課題の解決」、「国家安全に関わる技術」、「基礎研究の強化」という5つの独立した柱が設定されており、それぞれの柱に具体的な研究分野やテーマが選定されている。

重大科学技術プロジェクトでは、「大型航空機エンジン及びガスタービンの研究開発」、「量子通信と量子コンピューター」など15のプロジェクトが提示されている。この中で、ライフサイエンス関係は「脳科学と脳模倣知能研究」、「育種技術・種子産業の自主的イノベーション」、「ビッグデータ関連技術」、「健康福祉に関わる技術」の4つである。

産業技術の国際競争力向上では、「次世代情報通信技術」など10の技術が提示されており、ライフサイエンス関係は「先進的農業技術」、「先進的バイオ技術」、「先進的食品製造技術」の3つである。国民生活の向上と社会課題の解決では5つ、国家安全に関わる技術では3つの技術が提示されているが、ライフサイエンス関係はない。

基礎研究の強化では、社会ニーズに向けた戦略的基礎研究が9つ、先端的な基礎研究が13提示されている。このうち、ライフサイエンス関係の戦略的基礎研究では「農産物の遺伝的改良」、「医学・免疫学」の2つ、先端的基礎研究では「タンパク質複合体と生命過程の制御」、「幹細胞研究及びその臨床へのトランスレーション」、「発育の遺伝と環境制御」、「合成生物学」、「ゲノム編集」の5つが掲げられている。

3 個別的政策

現在のライフサイエンス関係の政策は、すでに述べた国全体の五か年計画と中長期的な関連計画をもとに作成されている「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画」を基本とし、さらに個別の五か年計画により詳細化されている。ここでは中国の現在のライフサイエンス政策を、農業、バイオテクノロジー、国民の健康、基礎研究の4つの視点からまとめてみたい。

(1) 農業

農業についての研究開発の基本的な考え方は、中長期計画や国の五か年計画をベースとして、「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画」、「農業農村科学技術イノベーション第13次五か年計画」に述べられている。新中国建国以来、政府の重要な政策課題の一つが国民の食糧の確保であった。このため農業技術の改良改革は科学技術上の極めて大きな課題であり、現在でもその重要性は維持されている。

農業は小康社会の建設と近代化実現の基礎と認識し、科学技術イノベーションの強化により農業の主要技術及び共通技術に関する研究を進め、農業の近代化、食料安全保障、農家の収入増を目指す。また、家畜や作物の繁殖のための重要な技術を開発し、優良品種を育成し、種子産業を強化する。さらに、農業バイオ技術、インテリジェント農業生産、インテリジェント農業機械などの開発に取り組む、節水農業・循環型農業・農業公害防止などの技術を開発して農業のグリーン開発を達成する。

具体的なテーマとして、①農産物や家畜の繁殖技術、②穀物の生産効率の向上、③高収量の農産物の開発、④海水・淡水水産技術、⑤安全かつ効率的な畜産技術、⑥森林資源の効率的な利用、⑦農地の汚染防止技術、⑧森林資源の持続的利用技術、⑨アルカリ土壌改良技術、⑩農薬・飼料などに係るバイオ技術、⑪農業機械のインテリジェント化、⑫効率的な植物バイオマス、⑬インテリジェント農業技術を挙げている。

(2) バイオテクノロジー

バイオテクノロジーについての研究開発の基本的な考え方は、中長期計画や国の五か年計画をベースとして、「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画」、「バイオ技術イノベーション第13次五か年特別計画」、「バイオ産業発展第13次五か年計画」に述べられている。現在、バイオテクノロジーは世界の製造産業の分野において革命的な変革を起こしているとの認識から、中国もその潮流に乗り、先進的なバイオテクノロジーを開発しようとしている。

具体的な施策の1つ目は最先端のバイオテクノロジーの開発である。ゲノミクス、合成バイオテクノロジー、生物学的ビッグデータ、3Dバイオプリンティング技術、脳科学と人工知能、遺伝子編集技術、構造生物学など、ライフサイエンス研究におけるキーテクノロジーの技術開発を強化し、国際的なバイオテクノロジー競争に伍していく。

2つ目は新しい生物医学技術の開発である。新型ワクチン・抗体開発、免疫療法、遺伝子治療、細胞療法、幹細胞と再生医療、ヒトの遺伝子分析と規制、革新的な医薬品・生物薬剤などの研究開発を行い、先進バイオ産業を強化する。

3つ目はバイオ医療材料の開発である。3Dバイオプリンティング、材料表面のバイオ機能化と修正、新世代のバイオ素材などの開発を加速することにより、組織の置き換えや機能の修復などのキーテクノロジーの進歩を加速する。また、埋め込み型医療機器や人工臓器などの医療製品を開発し、バイオ医療材料産業の競争力を高める。

4 つ目はグリーンバイオ製造技術である。主要化学製品のバイオ製造、新しいバイオエネルギーの開発、有機性廃棄物とガス状炭素酸化物資源のバイオ変換、汚染産業におけるバイオプロセスの置換などに関する研究を行い、バイオプロセス効率化、バイオ製造コストなどの技術を開発する。

5 つ目は生物資源の利用技術である。戦略的な生物資源プール及び情報サービスプラットフォームを構築し、バイオ産業の持続可能な開発のための資源を提供する。

6 つ目はバイオセキユリティ技術である。バイオハザードのリスク評価、監視と早期警戒、検出とトレースビリティ、緊急対応などの関連技術開発を行い、高度に統合されたバイオセーフティ防衛システムを構築する。

(3) 国民の健康

国民の健康についての研究開発の基本的な考え方は、中長期計画や国の五か年計画をベースとして、「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画」、「衛生・健康科学技術イノベーション第13次五か年特別計画」、「健康産業科学技術イノベーション第13次五か年特別計画」、「医薬科学技術イノベーション第13次五か年特別計画」、「医療機器科学技術イノベーション第13次五か年特別計画」に述べられている。

医療衛生制度を構築・健全化し、国民全てが基本的な医療衛生サービスを享受し、健康レベルを向上させることを目指す。臨床医学研究センター及び疾病共同研究ネットワークを構築することにより、

医学研究と技術開発の結合を促進し、革新的かつ総合的な研究を実施する。疾病の予防と管理、精密医療、リハビリテーション、医薬品の品質と安全性確保、革新的な医薬品開発、伝統的な中国医薬の近代化に重点を置く。

具体的な施策の1つ目は疾病の予防と制御である。予防と治療技術、基礎研究、臨床応用、エビデンスに基づく評価研究などを強化する。

2つ目は精密医療である。バイオテクノロジーと情報技術を統合して数百万人規模で健康な人々と疾患患者のデータを収集し、高速な遺伝子シーケンス技術を用いて、高度な疾患スクリーニング、分子タイピング、個別化治療、有効性予測、正確な応用ソリューションと意思決定支援システムなどを開発する。

3つ目はリプロダクティブ・ヘルス（性と生殖に関する健康）である。先天性欠損症、不妊症及び避妊の問題を解決する。

4つ目はデジタル医療機器の開発である。分子イメージング、磁気共鳴イメージング、新しいX線コンピュータ断層撮影、超音波イメージング、低線量X線イメージング、複合スベキュラムイメージングなどの新しいイメージング機器、低侵襲診断・治療に焦点を当てたマイクロイメージング、大規模放射線治療機器、手術ロボット、医療用埋め込み型機器などのデジタル診断機器の研究開発及びブランド化を加速する。

5つ目はインビトロ診断製品の開発である。マイクロ流体チップ、単一分子検出、自動核酸検出技

術、ハイスルーブット液体懸濁チップ、医療用生体質量分析、高速病理診断システム、疾病の早期診断・治療診断試薬などを開発する。

6つ目は健康増進に係る技術の開発である。非侵襲的検出、ウェアラブルモニタリング、バイオセンシング、健康に関するインターネット十などの技術と製品を開発する。

7つ目は健康サービス技術の開発である。情報技術と医療サービスの統合、ネットワークコラボレーションや分散サポートシステムなどの技術、プライバシー保護と情報セキュリティ標準及び技術仕様の開発を促進する。

8つ目は医薬品の品質と安全性である。ジェネリック医薬品の評価、小児用医薬品や補助薬の品質と有効性の評価、有害薬物反応のモニタリングと評価、医薬品品質管理などの開発を進める。

9つ目は老人保健への貢献である。インテリジェントサービス、機能的リハビリテーション、ヒューマンIIコンピュータ・インタラクション、ニューロIIマシンのインターフェイス、マルチ情報融合及びインテリジェント制御などの技術を開発し、心理学と生理学による総合的な評価とモニタリングを改善する。

10個目は中国医学（漢方）の近代化である。伝統的な漢方薬の科学的解明を強化し、新たな漢方薬を開発する。漢方薬の臨床研究や国際協力を実施し、漢方薬の近代化と健康産業への発展を促進する。

(4) 基礎研究

ライフサイエンスの基礎研究についての基本的な考え方は、中長期計画や国の五か年計画をベースとして、「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画」、「国家基礎研究第13次五か年特別計画」に述べられている。2016年から2020年までの期間における基礎研究全般の強化については、次の3つのカテゴリーが示されている。

① 科学技術プロジェクト

国の主要な戦略的ニーズに合わせた基礎研究として、「量子通信と量子コンピュータ」と「脳科学と脳研究」が挙げられ、ライフサイエンス研究に関係する「脳科学と脳研究」では、脳と認知、脳の知能、脳の健康という3つの課題が挙げられている。具体的には、ヒトの脳の巨視的神経回路網、モデル動物の神経回路網の構造と機能、計算理論、脳知能システム（脳シミュレーション）、ネットワーク構造と脳認知機能、高度な知能機械と情報処理技術研究、知的発達の促進、脳疾患と外傷の予防（脳の保護）、重度の脳疾患メカニズムなどの研究が挙げられている。

② 社会ニーズを踏まえた戦略的基礎研究

戦略的基礎研究では、エネルギーのグリーン利用、モノのインターネットなど6つの重点領域を挙げており、その中にライフサイエンス関係として「近代農業」と「国民の健康増進」の2つの領域が挙げられている。

近代農業としては、高収量の食料生産、インテリジェント農業機械設備、林業資源耕作及び効率の

利用、高品質・高収量作物、化学肥料及び農薬削減、農業害虫の防除、精密栽培の展開、分子遺伝的変異、優良形質の形成、種間相互作用及び指向性栽培基礎研究などの実施が挙げられている。

国民の健康増進としては、非感染性疾患、精密医療、生物学的製剤及び生物学的治療、漢方薬の近代化、リプロダクティブヘルス及び主要な先天性欠損症、高齢化対応、バイオセーフティ、移動医療、生物医学的材料及び組織・臓器修復代替品、食品及び薬品の安全性、デジタル診断・治療装置、個別化医療などが挙げられている。

③ 国家のイノベーション基盤を構築する先端的基础研究

最後に先端的な基礎研究であるが、全分野での基礎研究として量子制御と量子情報、ナノテクノロジーなど13の重点領域が挙げられており、この中にライフサイエンス関係として、タンパク質複合体と生命過程の制御、幹細胞とトランスレーショナル研究、合成生物学、発達における遺伝と環境の相互作用、微生物学の5つの領域が挙げられている。

まず1つ目のタンパク質複合体と生命過程の制御であるが、タンパク質機構の複雑な構造と機能を明らかにし、ネットワークの調節、動的变化の制御、オルガネラ（細胞小器官）細胞の内部で特に分化した形態や機能を持つ構造の総称）やバイオフィルム関連タンパク質機械、高解像度低温電子顕微鏡、磁気共鳴技術などの技術的方法の開発が挙げられている。

2つ目の幹細胞とトランスレーショナル研究であるが、組織幹細胞の獲得、機能と制御、幹細胞の分化と細胞の分化転換、幹細胞移植後のイン・ビボ機能の確立と制御、幹細胞ベースの組織と臓器機

能の再構築、幹細胞リソースバンク、動物モデルを用いた幹細胞の前臨床評価、幹細胞の臨床研究などが挙げられている。

3 つ目の合成生物学であるが、人工遺伝子系、人工生物系デバイス、人工細胞などの創出、病気の診断と治療、人工的な生物学的炭素固定、薬物の高効率規模合成、化学物質の構築に対する科学的支援などが挙げられている。

4 つ目の発達における遺伝と環境の相互作用であるが、生命体の発達と代謝メカニズム、胚と組織と器官の発達、成体の組織と器官の可塑性、老化と胚と組織発達の代謝調節、識別の発達、大型動物の遺伝的に改変された株の作製などが挙げられている。

5 つ目の微生物学であるが、微生物形成、遺伝的安定性及び環境との相互作用メカニズム、農業微生物群と作物の成長及び発達との関係、環境ストレス及び害虫に抵抗するメカニズム、生態環境汚染モニタリング、中国人集団における微生物群と健康関連機能に関する研究科学などが挙げられている。

第四章 ライフサイエンス研究のインプットとアウトプット

図表5 主要国の研究開発費2016年
(IMFレート換算、単位兆円)

順位	国名	研究開発費
1	米国	55.6
2	中国	25.7
3	日本	18.4
4	ドイツ	11.1
5	韓国	6.5

(出典) 文部科学省「科学技術要覧2018」

1 インプット

急激な経済成長を受けて、現在の中国のライフサイエンス関係の研究開発費や人員は巨大になっている。

(1) 研究開発費

ライフサイエンス研究を含む研究開発費全体の世界でのランキングを示したのが、図表5である。この表では、IMFレートで換算しているが、OECDの購買力平価で換算すると、米国は51・9兆円に対し、中国は46・1兆円、日本が18・4兆円であり、中国は米国の90%近くにまで達し、日本の2・5倍である。

このうちライフサイエンス関係にどの程度研究開発費が投入さ

図表6 主要国の研究者数2016年（単位万人）

順位	国名	研究者数
1	中国	169.2
2	米国（2015年）	138.0
3	日本	66.6
4	ロシア	42.9
5	ドイツ	40.1

（出典）文部科学省「科学技術要覧2018」

れているかであるが、「中国科技統計年鑑2018」のデータから筆者が類推した数字では、全体の10%程度の約2.5兆円である。一方、米国は全体の25%程度で約13.9兆円、日本は全体の17%程度で約3.1兆円と見込まれている。従って中国のライフサイエンス研究経費は、現在のところ日本と同程度であり米国とはかなりの差がある。中国では、多額の研究開発費を投入する医薬品産業がまだ存在していないためと考えられる。

（2）研究者数

次に、ライフサイエンスを含む研究者数全体の世界でのランキングを示したのが、図表6である。中国はダントツの世界一である。このうち、ライフサイエンス関係にどの程度研究者が携わっているかであるが、「中国科技統計年鑑2018」の数字から類推すると全体の17%程度であり、約30万人である。一方、日本は全体の30%程度で約20万人と見込まれている。米国のライフサイエンス研究者の割合を示す資料がないので日本の同程度の30%と仮定すると、約40万人である。従って中国のライフサイエンス研究者

図表 7 臨床医学の論文数比較（2015年～2017年、分数カウント）

順位	国名	世界シェア (%)
1	米国	25.9
2	中国	11.7
3	英国	5.4
4	日本	5.3
5	ドイツ	4.9
6	韓国	3.5
7	フランス	3.1

（出典）文部科学省科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2019」

数は、現在のところ米国と日本の間にある。

2 アウトプット

（1）論文数の国別比較

ライフサイエンス研究の科学論文で中国の現状を見た。文部科学省科学技術・学術政策研究所の「科学技術指標2019」は、クラリベイト・アナリティクス社のESIデータを基に、米国、中国、日本を含む主要7か国の臨床医学と基礎生命科学に関する論文数（分数カウント）の世界シェアを図表7と8のとおり記載している。臨床医学にはESIデータの22分野の臨床医学と精神医学／心理学を含んでおり、基礎生命科学には農業科学、生物学・生化学、免疫学、微生物学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬理学・毒性学、植物・動物学を含む。なお分数カウントとは、一つの論文を共著者が属する国の数で除して計算する方法でカウ

図表8 基礎生命科学の論文数比較（2015年～2017年、分数カウント）

順位	国名	世界シェア (%)
1	米国	21.4
2	中国	14.6
3	ドイツ	4.6
4	日本	4.4
5	英国	4.1
6	フランス	2.9
7	韓国	2.7

（出典）文部科学省科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2019」

ントした論文数である。また、これらの順位は7か国だけで比較したものであり、他の有力国であるカナダ、オーストラリアなどが入る世界的な順位は少し変動すると考えられる。これら見ると、臨床医学と基礎生命科学の両分野での論文数における中国の存在感は、米国には劣るものの他の主要国と比較して圧倒的である。

（2）トップ10%論文数比較

中国は論文量では世界第2位の地位にあることが分かったが、質を考えた場合にはどうであろうか。「科学技術指標2019」は、トップ10%論文数（分数カウント）を米国、中国、日本を含む主要7か国で比較したデータを図表9と10のとおり記載している。トップ10%論文とは、各論文を被引用数の多さでランク付けした時に上位10%に入る論文であり、より質の高い論文を指すと考えられている。

これで見ると中国は単純論文数ほどではないものの、やはり両分野で米国に次いで世界第2位の地位にあり、質的にも

図表9 臨床医学のトップ10%論文比率の比較(2015年～2017年、
分数カウント)

順位	国名	世界シェア (%)
1	米国	36.0
2	中国	9.1
3	英国	7.7
4	ドイツ	5.1
5	フランス	3.6
6	日本	3.3
7	韓国	1.6

(出典) 文部科学省科学技術・学術政策研究所「科学技術指標 2019」

図表10 基礎生命科学のトップ10%論文比率の比較(2015年～2017年、
分数カウント)

順位	国名	世界シェア (%)
1	米国	30.7
2	中国	12.1
3	英国	6.5
4	ドイツ	5.9
5	フランス	3.5
6	日本	2.5
7	韓国	1.7

(出典) 文部科学省科学技術・学術政策研究所「科学技術指標 2019」

図表 11 ネイチャー・インデックス 2019（ライフサイエンス分野）

順位	国名	論文数（分数カウント）
1	米国	9,030.22
2	英国	1,551.37
3	中国	1,447.47
4	ドイツ	1,328.86
5	日本	721.78

（出典）Nature Index HP

かなり優れた論文が生産されていることを示している。

（3）ネイチャー・インデックス

前記（1）及び（2）は、多数の学術誌に掲載された論文を考慮したものであるが、英国の科学雑誌ネイチャーは、世界トップクラスに位置付けられる自然科学系の学術誌82誌に掲載された論文を国別や研究機関別にカウントし、ネイチャー・インデックスとして毎年公表している。82誌には、ネイチャー及びその関連の専門誌だけではなく、他の一流学術誌・科学雑誌であるセル、サイエンスなども含まれている。このネイチャー・インデックスで、2018年一年間におけるライフサイエンス関連の掲載論文（分数カウント）を、著者の所属する国別にランキングしたのが図表11である。ここでも中国は米国と差がかなりあるものの、英国とはほぼ同等の世界第3位となっている。

図表12 ライフサイエンス関係特許の国別出願数（2017）

順位	国名	出願数
1	米国	34,773
2	中国	32,879
3	日本	8,252
4	韓国	4,801
5	ドイツ	3,182

（出典）科学出版社「2018中国生命科学・生物技術発展報告」

図表13 ライフサイエンス関係特許の国別登録数（2017）

順位	国名	登録数
1	米国	16,878
2	中国	11,212
3	韓国	3,718
4	日本	3,684
5	ドイツ	1,486

（出典）科学出版社「2018中国生命科学・生物技術発展報告」

（4）特許出願件数の国別比較

次にライフサイエンス関係の特許を比較すると、図表12は自国及び他国の特許当局に対する特許出願数を、出願者の国籍別に集計してランキングしたものである。データは2017年の世界的所有権機関（WIPO）の資料である。中国は米国と首位争いを行っている。

（5）特許登録件数の国別比較

図表13は自国及び他国の特許当局において登録された特許数を、被登録人の国籍別に集計してランキングしたものである。データはやはり2017年のWIPOの資料である。中国は登録数においても米国に次いで第2位にある。

(6) パテントファミリー分析による国別比較

前記の(4)や(5)は、一つの特許内容に関しいくつもの国の特許当局に申請したものを別々に数えており、この重複を補正するための分析手法がパテントファミリーである。パテントファミリーは、優先権によつて直接・間接的に結びつけられた2か国以上への特許出願を束にしたもので、複数の国に申請している同様の特許を一つとしてカウントする。ただパテントファミリーの手法では、単一国への申請特許はカウントされない。

通常特許を取得しそれを経済活動につなげようとする場合、まず自らの国での取得を目指す。そのうえで内容的により質の高い特許の場合には、自国に加えて市場の大きな米国、中国、日本などでの取得を目指すことになる。したがつてパテントファミリーの数が多いことは、特許の質が高いことを示すとされる。

科学技術・学術政策研究所の「科学技術指標2019」は、欧州特許庁がパテントファミリーで分析したバイオ医療機器とバイオテクノロジー・医薬品の特許(2012年〜2014年)について、米国、中国を含む7か国の世界シェア比較を掲載している。バイオ医療機器は、WIPPOの35技術分野のうち生体情報・計測と医療技術を合わせたものであり、その比較表は図表14のとおりである。またバイオテクノロジー・医薬品は、WIPPOの35技術分野のうちバイオテクノロジー、医薬品、高分子化学・ポリマーを合わせたものであり、その比較表は図表15のとおりである。

これで見ると中国は非常に少なく、特許の質が米国や日本に比して低いとの見方ができる。ただし中

図表14 バイオ医療機器のpatentファミリー数シェアの比較

順位	国名	世界シェア (%)
1	米国	37.9
2	日本	17.8
3	ドイツ	12.2
4	英国	5.8
5	韓国	5.4
6	フランス	4.1
7	中国	3.7

(出典) 文部科学省科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2019」

図表15 バイオテクノロジー・医薬品のpatentファミリー数シェアの比較

順位	国名	世界シェア (%)
1	米国	36.3
2	日本	18.3
3	ドイツ	10.8
4	中国	7.1
5	韓国	6.7
6	フランス	6.6
7	英国	5.6

(出典) 文部科学省科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2019」

図表 16 ノーベル生理学・医学賞国別受賞者（2001年～2019年）

順位	国名	受賞者数
1	米国	22
2	英国	8
3	日本	4
4	フランス	3
	オーストラリア	3
6	ノルウェー	2
7	中国	1
	カナダ	1
	ドイツ	1
	南アフリカ	1
	アイルランド	1

（出典）各種資料に基づき筆者作成

国の場合自国の市場が大きいため、自国以外の特許取得にそれほど熱心ではないことも想定される。

（7）ノーベル賞

ライフサイエンス研究者にとつての最高の榮譽であるノーベル生理学・医学賞の、21世紀に入つてからの受賞者数を示したのが図表16である。米国と英国が圧倒的であり、日本がそれに続いている。中国では第一章に述べたように、2015年に屠呦呦氏が日本の大村智博士やアイルランドのウィリアム・C・キャンベル博士と一緒に同賞を受賞しているのが唯一である。ノーベル賞は研究成果公表後数十年後に受賞となるのが普通であり、中国の爆発的な科学技術の進展が始まったのが今世紀に入つてからであることから、中国の研究者が多数同賞を受賞するのはもう少し時間がかかると思われる。



張鋒MIT教授 (©百度)

(8) クラリベイト・アナリティクス引用栄誉賞

クラリベイト・アナリティクス引用栄誉賞は、2002年からクラリベイト・アナリティクス社がノーベル賞受賞者の発表に先立つ毎年9月に、研究者の論文の被引用数や重要度の観点からノーベル賞受賞の有力候補者を選出している学術賞である。

現在までのところ、同賞を獲得した中国大陸の研究者はいない。この賞の受賞者が少ないのもノーベル賞と同じ理由であり、研究開発の実績と蓄積がまだ中国で足りないからであろう。比較のために日本人の同賞受賞者を見ると、西塚泰美(2002〜2005年)、審良静男(2008年)、小川誠二(2009年)、山中伸弥(2010年)、竹市雅俊(2012年)、大隅良典(2013年)、水島昇(2013年)、森和俊(2015年)、坂口志文(2015年)、本庶佑(2016年)、金久實(2018年)の11名であり、このうち3名が実際にノーベル生理学・医学賞を受賞している。

範囲を広げて中国系の研究者では、張鋒(Feng Zhang)博士が、2016年にノーベル化学賞候補として同賞を受賞している。張

博士は、1981年の河北省石家荘市生まれであるが、1993年に家族とともにアイオワ州デモインに移住し米国籍となっている。2004年にハーバード大学を卒業後、2009年にスタンフォード大学大学院で化学の博士号を取得した。その後、ハーバード大学医学大学院でポストドク研究を行った後、2011年にマサチューセッツ工科大学准教授兼ブロード研究所研究員となっている。張博士は元々光遺伝学が専門で、哺乳類におけるCRISPR/Cas9システムを開発し医学研究への応用を切り開いたことが功績として挙げられているため、生理学・医学賞を受賞する可能性もある。張博士は、ガードナー国際賞や慶応医学賞などを受賞している。

なお、誰が最初にCRISPR/Cas9を発明したのかについて特許の世界で激しい争いが生じており、その主役は張鋒博士率いるブロード研究所とジェニファー・ダウドナ博士率いるカリフォルニア大学バークレー校である。ダウドナ博士も、この引用榮譽賞とともにガードナー国際賞や日本国際賞などを受賞している。

(9) 著名な国際賞

筆者が科学技術振興機構（JST）の研究開発戦略センター（CRDS）に在籍していた際に、世界的に著名で歴史のある国際賞34賞を選び、1996年から2015年にわたる20年間の国別受賞者数を調査した。対象とした34賞には、ノーベル賞、ウルフ賞、ラスカー賞、ガードナー国際賞、フィールズ賞、プリツカー賞、日本国際賞などが含まれている。その結果を示したのが図表17である。米

図表17 国別の著名な国際賞受賞者数（1996年～2015年）

順位	国名	受賞者数
1	米国	786
2	英国	126
3	日本	86
4	フランス	56
5	ドイツ	52

（出典）「高い被引用回数の論文を著した研究者に関する調査報告書」

が圧倒的で、英国、日本と続いている。中国は10位以内には入っておらずこの表には出てこない。やはり研究開発の実績と蓄積がまだ中国で足りないからであろう。

香港と台湾を除く、中国大陸出身の科学者の受賞は延べ4名で、以下のとおりである。このうち、屠呦呦氏と袁隆平氏については第一章で述べた。

- ・2004年 袁隆平 湖南省農業科学院 ウルフ賞（農業）
- ・2011年 屠呦呦 中国中医科学院 ラスカール賞（臨床医学）
- ・2012年 王澍 中国美术学院建築芸術学院 プリツカー賞

（建築学）

- ・2015年 屠呦呦 中国中医科学院 ノーベル生理学医学賞

（10）日本の専門家による中国の研究レベル評価

最後に、種々のアウトプットを踏まえた中国のライフサイエンス研究の国際的なレベルを紹介する。JSTのCRDSでは、研究開発の大きな流れを研究開発立案の基礎資料とすることを目的として俯瞰報告書を取りまとめている。2019年の場合には、①環境・

図表18 ライフサイエンス・臨床医学分野の国際比較 (2019)

全般	米国>欧州>日本~中国>韓国
基礎	米国>欧州>日本>中国>韓国
応用・開発	米国>欧州>日本~中国>韓国

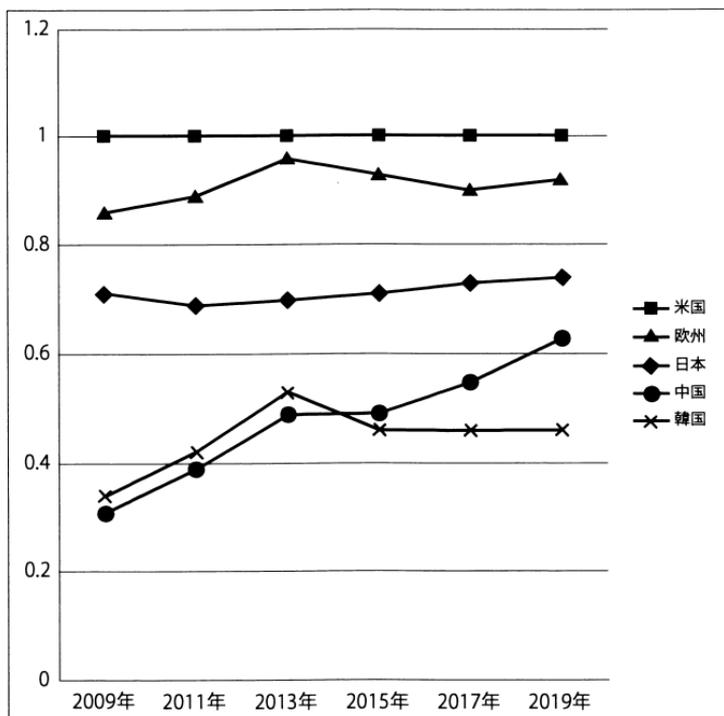
(出典)「研究開発の俯瞰報告書 統合版(2019年)」に基づき筆者作成

エネルギー分野、②システム・情報科学技術分野、③ナノテクノロジー・材料分野、④ライフサイエンス・臨床医学分野の4分野に分け、俯瞰報告書を作成した。俯瞰報告書では、それぞれの分野の日本人専門家との意見交換やワークショップでの情報に基づき、主要国（原則として日本、米国、欧州、中国、韓国）を対象とした研究開発領域ごとの国際比較を掲載している。この俯瞰報告書の国際比較のデータを基に、筆者がライフサイエンス・臨床医学分野の国別比較を行った結果が図表18である。これで見ると、中国は米国や欧州とは距離があるもの日本とはほぼ同等となっている。

俯瞰報告において、中国が他国に比べて顕著な活動・成果があると評価された（俯瞰報告書では◎）ライフサイエンス・臨床医学分野の研究開発領域は、以下のとおりである。

○基礎

- ・ 畜産
- ・ AI創薬・創薬インフォマティクス・インシリコ創薬
- ・ 構造解析技術
- ・ 免疫科学
- ・ 微生物叢（マイクロバイオーム）



図表 19 ライフサイエンス・臨床医学分野の国際比較の経年変化
 (出典)「研究開発の俯瞰報告書 統合版(2019年)」などに基づき筆者作成

同じ資料を基に、経年的な変化を見たのが図表19である。中国が2015年頃から急激に上昇しているのが分かる。

- 応用・開発
 - ・ 電子顕微鏡
 - ・ 計測データ解析(AI)
- ・ 畜産
- ・ AI創薬・創薬インフォマティクス・インシリコ創薬
- ・ 遺伝子治療・細胞治療
- ・ ゲノム編集
- ・ 計測データ解析(AI)

第五章 ライフサイエンス研究機関

中国には、この書籍では一つ一つ紹介できないほどライフサイエンス研究を行っている研究機関や大学が多い。そこでいくつかの指標で分析し、そのうえで重要と考えられる研究機関や大学を選択して詳述する。

1 各種指標での研究機関比較

(1) NSFCの面上項目予算獲得額

一つ目は、国家自然科学基金委員会（NSFC）面上項目予算の獲得ランキングである。NSFCは、すでに述べたように米国のNSFやNIH、日本学術振興会（JSPS）などと並び、競争的資金を配分する中国の重要なファンディング機関である。このNSFCの予算全体（2018年で約268億元）の半分近くを占めるのが面上項目予算である。面上項目とは一般的なテーマの予算とい

う意味であり、日本の科研費とよく似ている。この予算をどの程度獲得したかを見れば、その機関の実力がある程度推定される。面上項目は、数理科学、化学科学、生命科学、地球科学、工程・材料科学、情報科学、管理科学、医学科学の8分野に分かれており、本書に関係のある分野は生命科学と医学科学である。2018年の面上項目予算の全体額111.5億元に対し、生命科学は17.7億元(15.9%)、医学科学は25.2億元(22.6%)であり、両者の合計は42.9億元(38.5%)である。

まず、生命科学の獲得額ランキングを見たのが図表20である。これで見ると、農業関係の大学や研究所が並んでいるのが特徴である。

続いて、医学科学のランキングを見たのが図表21である。ここでは、医学部を有する総合大学と単科医科大学が上位に來ている。

(2) 国家重点實驗室指定数

国家重点實驗室(State Key Laboratory)は、国際競争力の強化や科学技術・イノベーション創造能力の強化を目指し、国家計画委員会(現国家発展・改革委員会)が1984年にスタートさせた制度である。国内の大学や研究所に対し、特定分野における研究施設や装置などの支援を行うことにより、その分野での世界一流を目指すものである。現在は科学技術部がその実務を行っており、2017年末で260の国家重点實驗室が中国全土で指定されている。直接的な予算の規模は、2017年度で総額約45億元である。

図表20 2018年NSFC面上項目獲得（生命科学）順位

順位	研究機関名	金額（万元）	件数
1	華中農業大学（湖北省武漢市）	6,393	108
2	浙江大学（浙江省杭州市）	6,087	104
3	南京農業大学（江蘇省南京市）	5,764	99
4	中国農業大学（北京市）	4,762	81
5	西北農林科技大学（陝西省咸陽市）	3,671	62
6	華南農業大学（広東省広州市）	3,513	60
7	中国科学院上海生命科学研究院	3,330	56
8	上海交通大学	3,178	54
9	北京大学	2,773	47
10	復旦大学（上海市）	2,618	44

（出典）NSFCのHPの資料に基づき筆者作成

図表21 2018年NSFC面上項目獲得（医学科学）順位

順位	研究機関名	金額（万元）	件数
1	上海交通大学	16,313	287
2	中山大学（広東省広州市）	13,131	231
3	復旦大学	11,861	212
4	華中科技大学（湖北省武漢市）	8,898	158
5	浙江大学	8,572	151
6	北京大学	7,883	142
7	中南大学（湖南省長沙市）	7,360	131
8	南京医科大学（江蘇省南京市）	6,908	124
9	南方医科大学（広東省広州市）	6,889	122
10	首都医科大学（北京市）	6,310	114

（出典）NSFCのHPの資料に基づき筆者作成

指定される分野としては、化学、数理、地学、生物、情報、材料、工程、医学の8分野となっており、ライフサイエンス研究分野は生物と医学であり生物の中に農業技術関係が含まれている。国家重点実験室は大学や中国科学院直属の研究所などが単独で指定される場合が多いが、複数の研究所や大学が連携して指定を受けるケースもある。

指定を受けた実験室のスタッフ数は常勤の研究者は大体50名から100名であり、これに加え大学院生が常勤の研究者と同程度から倍以上、ポスドク研究者が20名前後、客員研究員が20名前後で行っている。実例を見ると、上海生命科学研究院では分子生物学 (Molecular Biology) の研究室が指定されているが、規模は常勤研究者137名、大学院生175名、ポスドク研究者24名、客員研究員4名で、総計340名となる。日本など他の国の一つの研究所程度の研究者を擁している。

国家重点実験室の指定を受けることは当該の研究所や大学がその分野で優れた研究能力を有すると考えられるため、この指定数を指標としてランキングをしたのが図表22である。中国科学院が圧倒的であり、人民解放軍、中国農業科学院、中国医学科学院、医学部や農学部を有する大学などが続いている。

(3) 国家実験室

1984年、中国政府は国家重点実験室の成功をベースとして、国家戦略に基づいて新興先端領域や中国が優勢な領域などを目標領域として設定し、イノベーション能力を向上させる目的で国家実験

図表 22 国家重点実験室指定数

順位	研究機関名	実験室数	備考(他機関と合同実験室を含む)
1	中国科学院	21	上海生命科学研究院4、微生物研究所3、動物研究所3、遺伝・発生生物学研究所3、生物物理研究所2、植物研究所、水生生物研究所、上海薬物研究所、プロセス工学研究所、昆明植物研究所、武漢病毒研究所、昆明動物研究所それぞれ1
2	人民解放軍	6	軍事医学科学院2、人民解放軍総医院(301医院)、海軍軍医大学、陸軍軍医大学、空軍軍医大学それぞれ1
	中国農業科学院	6	植物保護研究所、北京畜牧獸医研究所、ハルビン獣医学研究所、綿花研究所、蘭州獣医研究所、中国水稻研究所それぞれ1
4	中国医学科学院	5	腫瘍医院腫瘍研究所、基礎医学研究所、心臓血管外科医院、薬物研究所、血液病医院血液学研究所それぞれ1
5	北京大学	3	
	浙江大学	3	
	中山大学	3	
	中国農業大学	3	
9	復旦大学	2	
	上海交通大学	2	
	四川大学	2	
	武漢大学	2	
	華中農業大学	2	

(出典)「2018 中国生物技術基地平台報告」の資料に基づき筆者作成

室 (National Laboratory) の設置を決定した。これまでに加速器関係の施設を中心に5つの国家実験室を設置・稼働させた。これらの国家実験室の成果を勘案し、科学技術部は2003年までに5か所、さらに2006年までに10か所の指定を行つた。この15か所の中に、次の3か所のライフサイエンス研究関係の国家実験室が含まれている。

- ・ 重大疾病研究国家実験室 (筹) 中国医学科学院
- ・ タンパク質科学国家実験室 (筹) 中国科学院生物物理研究所
- ・ 現代農業国家実験室 (筹) 中国農業大学

したがって、中国医学科学院、中国科学院生物物理研究所、中国農業大学の3つの機関は、それぞれの分野でリーディング的な研究機関と想定される。

なお、これらの国家実験室名の後に (筹) が付されているが、これは準備中との意味であり、現在、國務院の最終的な承認を待っている状況にある。最初に指定・稼働した5つの国家実験室は、前記の国家重点実験室を同規模か少し大きめのものであつたが、その後政府の方針が変更され、従来承認された実験室のような小さな規模のものではなく米国の国立研究所のような1000名から5000名に達する巨大な実験室 (巨大な研究所) を想定しているため、現在各研究所が準備を進めている規模の実験室では物足りないので承認できないと言われている。

図表 23 ライフサイエンス分野全体の論文数 (2009.1 ~ 2019.4)

順位	研究機関名	論文数	被引用数
1	中国科学院 (全体)	73,009	1,088,525
2	上海交通大学	37,254	498,762
3	浙江大学	30,236	359,219
4	復旦大学	29,949	399,887
5	中山大学	28,947	369,505
6	北京大学	25,999	375,812
7	中国医学科学院・北京協和医学院	22,376	322,188
8	首都医科大学	21,594	210,934

(出典) Essential Science Indicators を基に筆者作成

(4) 論文数

研究機関や大学の實力を評価するためには、研究のアウトプットである論文を比較することも重要である。図表 23 は、科学を 22 分野に分けて集計したクラリベイト・アナリティクス社作成の ESI データ (2019 年 7 月) から、ライフサイエンスに関連する分野として、農業科学、生物学・生化学、臨床医学、免疫学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬学・毒性学、植物・動物学、微生物学の 9 分野の論文数を集計したものである。期間は 2009 年 1 月から 2019 年 4 月末までの 10 年 4 か月間である。

次に同じクラリベイト・アナリティクス社データで、農学分野だけのデータを集計したのが次ページの図表 24 である。中国農業科学院や農業を中心とする大学が上位にきている。さらに、臨床医学だけのデータを集計したのが図表 25 である。中国科学院を別として、医学部を有する総合大学が上位にきている。

図表 24 農学分野の論文数（2009.1～2019.4）

順位	研究機関名	論文数	被引用数
1	中国科学院（全体）	8,133	98,409
2	中国農業科学院（全体）	4,785	41,831
3	中国農業大学	4,759	52,484
4	西北農業林業大学	3,184	30,798
5	南京農業大学	3,018	32,394

（出典） Essential Science Indicators を基に筆者作成

図表 25 臨床医学分野の論文数（2009.1～2019.4）

順位	研究機関名	論文数	被引用数
1	上海交通大学	24,291	316,120
2	中国科学院（全体）	21,561	338,323
3	復旦大学	18,566	230,880
4	中山大学	17,964	227,113
5	北京大学	16,145	204,652

（出典） Essential Science Indicators を基に筆者作成

図表 26 ネイチャー・インデックス 2019 での研究機関別順位

世界順位	研究機関名	論文数（分数カウント）
5	中国科学院（全体）	252.84
39	北京大学	87.09
57	清華大学	69.01
69	浙江大學	56.28
70	復旦大学	54.74
72	上海交通大学	53.86
73	中山大学	53.85

（出典）Nature Index HP

（5）ネイチャー・インデックス

2018年一年間に世界トップクラスの学術誌に掲載されたライフサイエンス論文を著者の所属研究機関別に集計したデータ（ネイチャー・インデックス2019）で、中国の研究機関の順位だけを示したのが図表26である。中国科学院と、北京大学や清華大学などの総合大学が上位にある。

なお、ネイチャー・インデックスについては、第四章の56ページを参照されたい。

図表 27 中国生命十大進展、中国科学十大進展の選定数

順位	研究所名	生命十大	科学十大
1	中国科学院 上海生命科学研究院	8	7
	中国科学院 動物研究所	3	0
	中国科学院 植物研究所	3	0
	中国科学院 生物物理研究所	2	1
	中国科学院 微生物研究所	1	1
	中国科学院 遺伝・発生生物学研究所	1	1
2	北京大学	6	4
3	清華大学	4	2
4	北京生命科学研究院	2	1
5	廈門大学	2	0
6	軍事医学科学院	1	1
	浙江大学	1	1

(出典) 中国生命十大進展、中国科学十大進展の HP を基に筆者作成

(6) 生命十大進展と科学十大進展

中国の関係者によりピックアップされた、国内での極めて優れたライフサイエンス研究の実績を見る。まず中国生命十大進展であるが、中国科学技術協会が22の生命科学技術関連学会の推薦を得て、毎年10に上る優れた業績を公表しているものである。HP上には2015年から2018年までの4年間の業績が列挙されている。もう一つの中国科学十大進展は、国務院の科学技術部基礎研究センターが中心となり、毎年10に上る基礎研究に係る優れた業績を公表しているものである。

この2つの十大進展でライフサイエンス研究に係るものを、研究機関、大学別にリストアップしたのが図表27である。これで見ると中国科学院が圧倒的であり、中でも

図表 28 QS 国際大学ランキング 2019 (ライフサイエンス・医学)

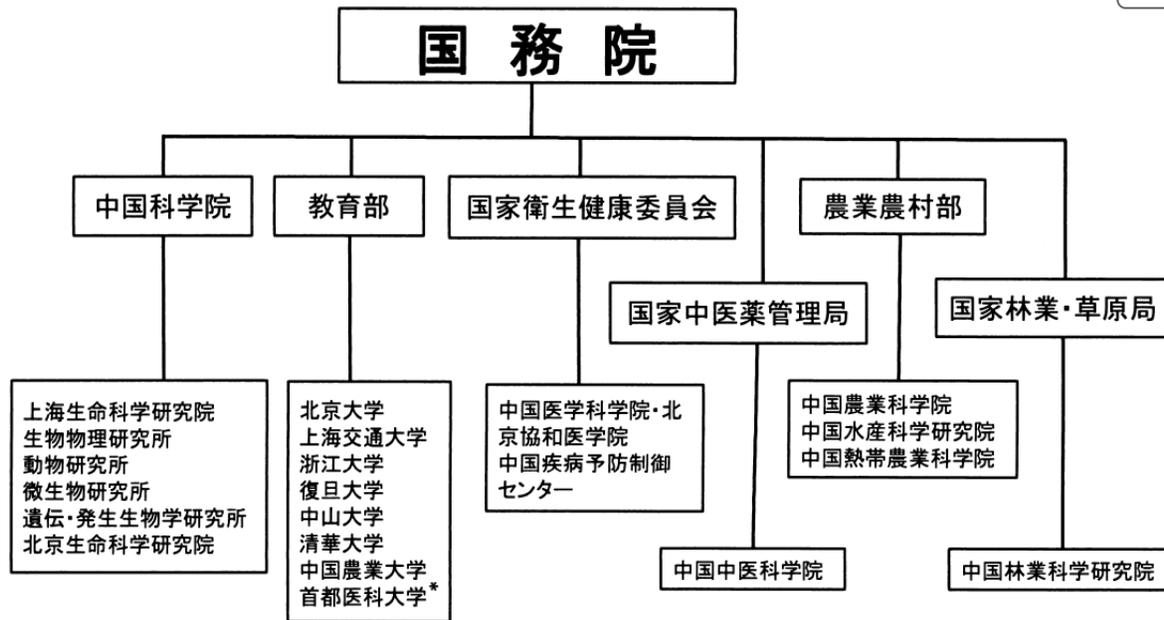
世界順位	中国国内順位	大学名
58	1	北京大学
81	2	復旦大学
106	3	上海交通大学
136	4	清華大学
156	5	浙江大学
161	6	中山大学

(出典) QS University Ranking HP

上海生命科学研究院が優れた業績を挙げている。中国科学院以外では、北京大学と清華大学が抜きんでている。また第4位の北京生命科学研究所は、米国的な研究スタイルによる北京市所管の優れた研究所である。

(7) QS 国際大学ランキング 2019

英国のQS社は、毎年世界の大学の実力をいくつかの指標をもとにランキングし、結果を公表している。直近2019年のライフサイエンス・医学の分野において、ランキング200位までに入っている中国の大学を見たのが図表28である。北京大学など伝統的な総合大学が上位を占めている。



* : 首都医科大学は北京市所管であり、同市と教育部・国家卫生健康委員会が共同で運営している。

図表 29 国务院関係の研究機関

(出典) 各種資料を基に筆者作成

これらの指標をもとに、大学を含む国務院関連のライフサイエンス研究機関を图示したのが前ページの図表29である。この図表は図表3をベースに作成したが、政策やファンディングを中心とした機関などを省略している。人民解放軍関連の研究機関は95ページの図表30に示した。図表29及び図表30に基づいて以下に各研究機関を概説する。

2 中国科学院

前記の指標でみると、中国科学院が他の研究機関や大学を圧倒している。中国科学院は傘下に100以上の研究所を擁し、2016年で職員数が約7万名、予算額が約520億元（約8500億円）と世界的に見ても巨大な研究機関である。さらに中国科学院は、傘下の研究機関に大学院生を受け入れ、彼らに学位を授与することができる。このため、正規の職員以外に中国科学院全体で約4・5万人の大学院生があり、彼らも正規の職員とともに研究活動を行っている。

元々は、ソ連（現ロシア）の科学アカデミーを模範として設立された。ライフサイエンス研究としては、基礎生物学、動植物学、基礎医学などの研究を実施している。中国科学院において、約7万名の職員のうち約1・1万名（16%）が、約520億元の予算のうち約80億元（15%）が、ライフサイエンス研究に充当されている。ライフサイエンス研究に関し中国科学院の弱点と言える点は附属病院

を有していないところであり、臨床研究を行う場合には他の大学や研究機関との連携をとる必要がある。

中国科学院で優れた研究ポテンシャルを有する傘下の研究所を、以下にいくつか紹介する。

(1) 上海生命科学研究院

上海生命科学研究院は、1999年7月に上海生物化学研究所、上海細胞生物学研究所、上海生理研究所、上海脳研究所などを統合して設立された生命科学の一大拠点である。

現在内部機構として、生物化学・細胞生物学研究所、神経科学研究所、植物生理・生態研究所、上海パスツール研究所など8研究所、上海臨床研究センター、上海実験動物センターなど5つの研究センターを有している。2018年現在での上海生命科学研究院の職員数は約2100人であり、総予算は約15億元に達する。分子生物学（生物化学・細胞生物学研究所）、細胞生物学（生物化学・細胞生物学研究所）、植物分子遺伝（植物生理・生態研究所）、神経科学（神経科学研究所）の分野で、4つの国家重点実験室を有している。

欧米との国際協力も盛んであり、ドイツのマックス・プランク研究所、フランスのパスツール研究所、米国カリフォルニア大学バークレー校、英国ジョン・イネス研究所などとの研究協力を実施している。

(2) 生物物理研究所

生物物理研究所は、1957年に北京に設立された北京実験生物研究所が前身であり、翌1958年に現在の名称となった。生物物理研究所の研究テーマは、タンパク質科学、脳科学、認知科学、感染症、免疫学などである。2018年現在での生物物理研究所の職員数は約600人であり、総予算は約5億元である。

生物大分子、脳・認知科学の2つのテーマで国家重点実験室を有している。また、将来の大構想としてタンパク質科学国家重点実験室を準備中である。

この生物物理研究所は、次項で述べる微生物研究所及び中国農業科学院のハルビン獣医学研究所とともに、東京大学医科学研究所アジア感染症研究拠点と連携して「中国との連携を基軸とした新興・再興感染症の研究」と題した共同研究を行っている。

(3) 微生物研究所

微生物研究所は、応用真菌研究所と北京微生物研究室を前身とし、1958年に両組織が合体して設立された。微生物研究所の研究テーマは、微生物資源、微生物バイオテクノロジー、病原性微生物及び免疫などである。2018年現在での微生物研究所の職員数は約530人であり、総予算は約3億元である。

微生物資源開発、植物ゲノム、真菌学の3つのテーマで国家重点実験室を有しており、このうち植

物ゲノムの国家重点実験室は同じ中国科学院の遺伝・発生物学研究所と共同の実験室である。

微生物研究所も、東京大学医科学研究所アジア感染症研究拠点と連携して共同研究を行っている。

(4) 動物研究所

動物研究所は、1928年設立の静生生物調査所、1929年設立の北平研究院動物学研究
所、1930年設立の中央研究院動物研究所の3つの研究機関を母体としている。新中国建国
後、1950年にこれら3機関の研究機材や標本などを接収して新たに昆虫研究所などを設立し、
1962年に現在の動物研究所となった。天然資源調査、自然保護区の設立、害虫駆除、希少及び絶
滅危惧動物保護、生殖避妊などの分野で重要な貢献を果たしてきた。現在は、野生生物とモデル動物
を研究対象として、生物多様性の保全など現代の動物学研究を行っている。より具体的なテーマとし
ては、幹細胞と再生医療、害虫とラットの行動制御、動物の進化と保護が挙げられている。2018
年現在の動物研究所の職員数は約420人であり、総予算は約3・4億元である。

農業虫害鼠害、膜生物学、幹細胞・生殖生物学の3つのテーマで国家重点実験室を有しており、こ
のうち膜生物学国家重点実験室は北京大学、清華大学と共同の実験室である。

現在の動物研究所の所長は、山中伸弥京都大学教授のノーベル賞受賞に貢献があったと言われている周琪博士であり、第七章で詳述する。

(5) 遺伝・発生生物学研究所

遺伝・発生生物学研究所は、1959年に設立された遺伝研究所が母体であり、その後2001年に発生生物学研究所、2002年に石家荘農業近代化研究所と統合して、現在の研究所となった。2018年現在での同研究所の職員数は約540人であり、総予算は約8億元である。

植物細胞・染色体工学、植物ゲノム、分子発生生物学の3つのテーマで国家重点実験室を有しており、このうち植物ゲノムの国家重点実験室は同じ中国科学院の微生物研究所と合同の実験室である。

(6) 北京生命科学研究院

北京生命科学研究院は、北京にある中国科学院傘下の7つの研究所、具体的には生物物理研究所、植物研究所、動物研究所、微生物研究所、遺伝・発生生物学研究所、北京ゲノム研究所、心理研究所における研究支援、国際協力、大学院教育などを実施するプラットフォームとして、2009年に設立された。優れた成果を挙げている上海生命科学研究院に対抗するため北京のライフサイエンス研究機関が団結したものであるが、100を超える中国科学院傘下の研究所としては数えられておらず、研究実施機関というよりは支援的な役割を果たしている機関と考えられる。

3 大学

前記の指標での比較結果を勘案し、高いライフサイエンス研究能力を有する大学として、北京、上海交通、浙江、復旦、中山、清華の6つの総合大学と、農学系の中国農業大学、医学系の首都医科大学を取り上げる。

(1) 北京大学

北京大学の起源は、清朝末期の光緒帝の勅書によって1898年に設立された京師大学堂である。辛亥革命の翌年となる1912年に国立北京大学と改称し、中国最初の国立大学となった。1952年に、中国政府による大学と学部・学科の再構築の方針の中で、北京大学は理学と社会・人文学に重点を置き、清華大学の文学部、理学部、法学部を北京大学に統合する一方、北京大学の工学部は清華大学と天津大学に移された。医学部は分離され北京医学院(1985年に北京医科大学に改名)となり、農学部は清華大学農学部、華北大学農学部と合併して、北京農業大学(現在の中国農業大学)となった。しかしその後、経済発展や社会変化に伴い北京医科大学を2000年に再度吸収するなど、総合大学となっている。

在校生約5・2万人、うち大学院生は約2・6万人である。ライフサイエンス関連の学部・大学院としては、理学、生命科学、医学、人口学、分子医学などがある。附属病院は10を数えるが、このうち

の第一医院、人民医院、第三医院、口腔医院、第六医院は、国家卫生健康委員会の直属医院となっている。

ライフサイエンス研究の国家重点実験室は、天然薬物・生物製剤、タンパク質工程・植物ゲノム、膜生物学の3実験室があり、このうち膜生物学は中国科学院動物研究所及び清華大学との合同実験室である。

(2) 上海交通大学

上海交通大学は、1896年上海に創立された南洋公学を起源とする。その後、南洋大学、交通部上海工業専門学校、交通大学上海分校と改称したが、1956年に大学の一部が陝西省西安に移転し、交通大学上海分校と西安分校に分離した。1959年に上海、西安それぞれ独立組織となり、上海分校は上海交通大学となった。1999年に上海農学院を、2005年に上海第二医科大学を併合し、完全な総合大学となった。

在校生約4・6万人、うち大学院生は約3万人である。ライフサイエンス関連の学部・大学院としては、生物医療工学、生命科学技術、農業・生物学、医学、薬学、系統生物医学、トランスレーショナル医学などがある。附属病院は、瑞金医院、仁濟医院など13を数える。

ライフサイエンス研究の国家重点実験室は、微生物代謝、医療ゲノム学実験室の2実験室である。

(3) 浙江大学

浙江大学の前身は1897年に創設された求是書院で、1928年に正式に国立浙江大学と命名され、中国で最も古い国立大学の一つである。1950年代初頭の全国的な大学再編の際に、浙江大学は複数の単科大学に分けられた。そのうち浙江省の省都である杭州市の4校（旧浙江大学、杭州大学、浙江農業大学、浙江医科大学）は、1998年9月の合併で新たな浙江大学となった。浙江大学は5つのキャンパス（玉泉、西溪、華家池、之江、紫金港）を有しているが、いずれも杭州市内にある。

在校生約5・5万人、うち大学院生は約2・9万人である。ライフサイエンス関係の学部・大学院としては、心理・行動科学、化学工学・生物工学、生物医療工学・測定科学、生命科学、生物システム工学・食品科学、農業・生物技術学、動物科学、医学、薬学などがある。附属病院は、附属第一医院ほか7を数える。

ライフサイエンス研究の国家重点実験室は、水稻生物学、伝染病診療治療、植物生理学・植物化学の3実験室であり、このうち水稻生物学は中国農業科学院水稻研究所と、植物生理学・植物化学は中国農業大学との共同実験室である。

(4) 復旦大学

復旦大学は上海にある総合大学であり、1905年に創設された「復旦公学」が前身である。1917年に復旦大学と改称、1950年と1952年の学部調整で復旦大学の海洋学部や法学

部などが分離され、華東地域（上海市、浙江省、江蘇省）の15の大学から学科の編入が行われた。2000年に上海医科大学と合併して現在に至っている。

在校生約3・6万人、うち大学院生は約2・3万人である。ライフサイエンス関係の学部・大学院としては、生物学、基礎医学、医学、映像医学、流行病及び衛生統計学、薬剤学、社会医学、衛生事業管理学などがある。附属病院は13を数え、このうちの中山医院、華山医院、小児科医院、産婦人科医院、眼科耳鼻咽喉科医院、腫瘍医院の6病院は、国家衛生健康委員会の直属病院となっている。同大学ではさらに4つの附属病院を建設中である。

ライフサイエンス研究の国家重点実験室は、遺伝工程、医学神経生物学の2実験室である。

（5）中山大学

中山大学は、広東省広州市にある総合大学であり、1924年に孫中山（孫文、孫逸仙）が創立した広東大学が前身である。英語ではSun Yat-sen Universityと称している。1925年に広東公立医科大学を編入し、1926年に国立中山大学に改称した。2001年に、中山大学と中山医科大学の合併により現在の中山大学が設立された。

学生数は全体で約5・4万人を数え、そのうち大学院生は約2・2万人である。広州、珠海、深圳の3つのキャンパスがあり、広州キャンパスには、生命科学、医学、口腔医学、公共衛生学、薬学、看護学の学部・大学院を、深圳キャンパスには、基礎医学、臨床医学、薬学の学部・大学院をそれぞれ

有している。附属病院は10を数えるが、このうちの附属第一医院、孫逸仙記念医院、附属第三医院、腫瘍予防治療センター、中山眼科センター、口腔医院の6病院は、国家衛生健康委員会の直屬病院となっている。

ライフサイエンス研究の国家重点実験室は、華南腫瘍学、眼科学、有害生物制御・資源利用の3実験室である。

(6) 清華大学

清華大学は、1911年に米国政府より返還された義和団事件の賠償金を基に北京に設立された清華学堂が前身で、その後1912年、名称は「清華学校」に変更、米留学予備校となった。1928年に国立清華大学と改名され、翌1929年に大学院も開設された。1946年、文、法、理、工、農の5学部、26学科に及ぶ総合大学となった。中華人民共和国成立後、1952年の大学体制改革の結果、工学系大学として編成された。1976年から、逐次、理学系及び人文・社会科学関連の学科を増設してきた。また、2001年に医学院、2009年に生命科学学院、2015年に薬学院を新設した。

在校生約5万人、うち大学院生は約3.3万人である。ライフサイエンス関係の学部・大学院としては、医学、理学、生命科学などがある。附属病院は華信医院など3となっている。

ライフサイエンス研究の国家重点実験室は、中国科学院動物研究所及び北京大学との合同実験室で

ある膜生物学実験室のみである。

(7) 中国農業大学

中国農業大学は北京に位置する大学であり、農学、生命科学及び農業工学、資源環境科学、農業オトメーション科学などを専門に扱う研究型大学となっている。1905年に成立された京師大学堂（北京大学）農科学部が前身で、1952年に北京大学農学部、清華大学農学部、華北大学農学部が合併して、北京農業大学が設立された。さらに1995年に、北京農業工科大学と合併して現在の中国農業大学となった。

学生数は全体で約2万人、うち大学院生は約8千人である。農学、園芸学、植物保護学、生物学、資源・環境学、動物科学技術、動物医学、食品科学・栄養工学、理学の各学部・大学院を有している。

ライフサイエンス研究の国家重点実験室は、農業生物技術、動物栄養学、植物生理学・植物化学の3実験室で、このうち動物栄養学は中国農業科学院の北京畜牧獸医研究所、植物生理学・植物化学は浙江大学との共同実験室である。

(8) 首都医科大学

首都医科大学は、北京にある医科大学である。北京市に属し、教育部、国家衛生健康委員会が共同運営する医科大学である。前身は1960年創立の北京第二医学院で、1985年に「首都医学院」

に改称し、1994年に現在の首都医科大学に改称した。臨床応用を中心とした予防、リハビリ、生物医学工学、医学基礎などの分野で多くの優秀な医療人材を育成している。

学生数は全体で約1・2万人、大学院生は約4600人である。学部としては、基礎医学、薬学、公共衛生学、生物医学工学、漢方医学・薬学、衛生管理・教育学、看護学、継続教育学、国際学を有している。宣武医院、北京友谊医院、北京朝陽医院、北京同仁医院、北京天壇医院など19に上る附属病院を有している。

4 国家衛生健康委員会関係の研究機関

(1) 中国医学科学院・北京協和医学院

国家衛生健康委員会の直屬組織で医学関係の重要な組織が、中国医学科学院・北京協和医学院である。

北京協和医学院は医科大学で、歴史は新中国建国前にさかのぼり米国ロックフェラー財団により1917年に設立された。一方、中国医学科学院は国家レベルの医学学術研究機関であり、1932年に国民政府が設置した中央衛生実験所を起源としており、その後国立中央衛生実験院となつた後に新中国が建国となり、1950年に中央衛生研究院と改名された組織が直接の母体である。この2つ

の組織は連携して運用されており、それぞれのトップである中国医学科学院の院長と北京協和医学院の校長（学長）は同一人物が兼務している。

中国医学科学院・北京協和医学院は、基礎医学研究所、薬物研究所、臨床医学研究所など19の研究所以と附属図書館を有しており、さらに臨床のための病院として北京協和医院、心臓血管外科医院、腫瘍医院、整形外科医院、血液病医院（天津市）、皮膚病医院（江蘇省南京市）の6つの病院を有している。北京協和医学院の学生数は約31000人である。

北京協和医院は北京協和医学院の附属病院の一つとの位置付けであるが、併せて中国医学科学院の臨床医学研究所としての使命も有している。同医院は4千人のスタッフと2千の病床数を擁し、年間手術数約6万、年間患者数約10万人という巨大病院である。

中国医学科学院は傘下の研究所内に5つの国家重点実験室を有している。具体的には、分子腫瘍学が腫瘍医院腫瘍研究所に、医学分子生物学が基礎医学研究所に、心臓血管疾病が心臓血管外科医院に、天然薬物活性物質・効能が薬物研究所に、実験血液学が血液病医院血液学研究所に、それぞれ設置されている。

（2）中国疾病予防制御センター

中国疾病予防制御センター（中国版CDC、CDCは米国アトランタにある感染症対策の総合機関）は国家衛生健康委員会の直属単位で、1983年に旧衛生部の直属組織として設立された。主な業務

は、疾病や感染症の予防と管理、公衆衛生の緊急事態対応、公衆衛生の教育などである。中国疾病予防制御センターには本部機構のほか、直属単位として感染症予防制御研究所、ウイルス病予防制御研究所、寄生虫予防対策研究所、STD/AIDS予防制御センターなどの11組織、所属単位としてハルセン病管理センター、老人保健センター、精神保健センターなど8組織を有している。また、伝染病予防制御の国家重点実験室を有している。この中国疾病予防制御センターの主任は高福博士であり、第七章で述べる。

(3) 中国中医科学院

国家衛生健康委員会の監督を受けつつも國務院の独立した機関である国家中醫藥管理局に、中国中医科学院が設置されている。同院は、漢方の医療や薬品に関する研究と治療を一体的に進めるため、1955年に中医研究院として設置され、1971年に北京中医学院と合併し中国中医研究院に、さらに2005年に中国中医科学院となった。現在同院には、漢方薬研究所、鍼灸研究所など14の研究所、西苑医院など6つの医療機関が設置され、約3500人の専門家と技術者を含む約6000人の職員がいる。2015年にノーベル生理学・医学賞を受賞した屠呦呦氏は、第一章で述べたようにこの中国中医科学院で研究を行った。

5 農林漁業関係の研究機関

(1) 中国農業科学院

農業農村部の傘下にある中国農業科学院は、北京市に本部を有する総合農業科学研究機関であり、全国の農業科学研究の中心である。1957年3月に設立され、農業と農業科学の発展戦略研究、農業経済建設における重要な科学技術問題の解決、基礎的な研究などを主要な任務とし、中国の農業現代化に貢献している。

直属の研究所は作物科学研究所、農産物加工研究所、動物科学獣医学研究所、土壤肥料研究所、生物技術研究所など34組織に上り、職員は約1万人（うち研究者5千人）である。

国家重点実験室を6つ有しており、植物病虫害生物学が植物保護研究所に、動物栄養学が中国農業大学と共同で北京畜牧獣医研究所に、家畜疫病病原生物学が蘭州獣医研究所に、獣医生物技術がハルビン獣医研究所に、綿花生物学が華南大学と共同で綿花研究所に、水稻生物学が浙江大学と共同で中国水稻研究所に、それぞれ設置されている。

なお、この中国農業科学院のハルビン獣医研究所と東京大学医科学研究所アジア感染症研究拠点は、中国の鳥インフルエンザ研究を共同で行っており、中国側の責任者の陳化蘭博士については第七章で述べる。

(2) 中国水産科学研究院

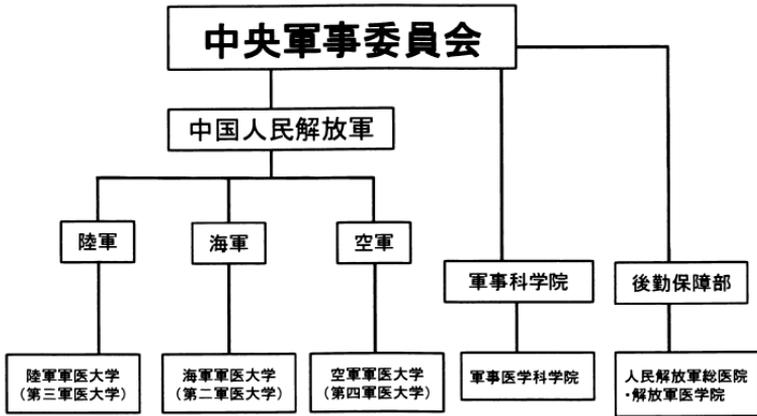
農業農村部の傘下にある中国水産科学研究院は水産業に係る研究開発を担う機関であり、新中国建国前の1947年に母体となる組織が設立されている。黄海（山東省青島市）・東海（上海市）・南海（広東省広州市）の3海域研究所、黒龍江（黒竜江省ハルビン市）・長江（湖北省荊州市）・珠江（広東省広州市）・黄河（陝西省西安市）の4河川流域研究所などを有しており、職員約3千人を擁する。

(3) 中国熱帯農業科学院

農業農村部の傘下にある中国熱帯農業科学院は、1954年に設立された研究機関で、本部のある海南省を中心に18の関連機関を有している。また2016年初めの時点で、約4千人の職員を有している。

(4) 中国林業科学研究院

自然資源部の監督を受けつつも國務院の独立した機関である国家林業・草原局の直屬機関として、中国林業科学研究院が設置されている。1958年に、旧中央林業部の林業科学研究所として設立され、中国の林業開発と生態系構築を目的として、主に林業の基礎研究、応用・技術開発研究を行っている。同院には傘下に22の研究機関やセンターがあり、約3千人（うち研究者約2千人）の職員を有している。また、材木遺伝育成国家重点實驗室を東北林業大学と共同で設置している。



註：南方医科大学(旧第一軍医大学)は、広東省所管となっている。

図表 30 人民解放軍、中央軍事委員会関連の研究機関

(出典) 各種資料に基づき筆者作成

6 人民解放軍、中央軍事委員会関係の研究機関

人民解放軍と中央軍事委員会関連の研究機関を
図示したが、図表30である。

(1) 軍医大学と南方医科大学

軍医大学は、人民解放軍の軍医などを教育するための機関である。中国共産党成立以来、軍事医療整備を目的として徐々に発展してきた。軍事、漢方、薬局、看護、健康管理、伝染病予防、医療検査、口腔病学、放射線治療、医用電子工学などの教育訓練を行っている。また最先端の設備、機器を有し、著名な専門家や研究者が臨床及び科学研究で優れた業績を上げている。

陸軍の所管する大学は陸軍軍医大学であり、国際的には第三軍医大学という名称を用いている。

所在地は重慶市であり、基礎医学、公共衛生・軍事予防医学、薬学、生物医学工学、医学心理学、高原軍事医学、医学検査学、医学映像学、看護学、核医学の各学部を有し、西南医院など3つの附属病院を有している。また、火傷・創傷・複合傷研究国家重点実験室を有している。

海軍の所管する大学は海軍軍医大学であり、国際的には第二軍医大学という名称を用いている。所在地は上海であり、基礎医学、海軍医学、薬学、衛生勤務学、看護学、心理・精神衛生学、熱帯医学・公共衛生学、中医学の各学部を有し、長海医院など3つの附属病院を有している。また、医学免疫学国家重点実験室を有している。

空軍の所管する大学は空軍軍医大学であり、国際的には第四軍医大学という名称を用いている。所在地は陝西省西安市であり、基礎医学、航空宇宙医学、生物医学工学、軍事予防医学、薬学、看護学、医学心理学の各学部を有し、西京医院など3つの附属病院を有している。また、腫瘍生物学国家重点実験室を有している。

なお、従来第一軍医大学と呼ばれていた大学は、2004年から南方医科大学となっている。南方医科大学は広東省に属し、國務院の国家衛生健康委員会と教育部が共同管理する重点大学であり、広州市に本部を持ち広州市、深圳市、仏山市に11の附属病院を有している。学生数は約2万人で、臨床医学、薬理学、毒理学の研究レベルが高い。また、多臓器不全防止国家重点実験室を有している。

(2) 軍事医学科学院

軍事医学科学院は、中央軍事委員会に直属する軍事科学院の傘下の研究機関の一つであり、中国人民解放軍の最高の医学研究機関として1951年に上海に設置され、1958年に北京に移転している。これとは別に軍事医学科学院は、北京のほか天津市、吉林省、黒竜江省の4つの省と市に、野戦輸血研究所、軍事獣医研究所など11の直属研究所、一つの病院(307医院)、実験動物センターなどを有している。主に軍事医学、基礎医学、バイオテクノロジー、健康機器及び薬物研究業務を実施している。また、病原微生物物安全、タンパク質組成学の2つの国家重点実験室を有している。

(3) 人民解放軍総医院・解放軍医学院

やはり中央軍事委員会直属の人民解放軍総医院(301医院とも呼ぶ)は、1953年に北京で設立された医療、健康管理を統合した大規模で近代的な総合病院である。重要なヘルスケア拠点であり、中央軍事委員会、部隊、将校、兵士の医療、前線での困難な病気の診断と治療を行っている。また同医院は教育機能も有しており、およそ4千人の学生を教育している。教育機関としての名称は解放軍医学院であるが、実際は総医院と同じ組織である。腎臓病国家重点実験室を有する。

7 北京生命科学研究所

北京生命科学研究所は、北京市政府が中心となり、國務院の科学技術部、国家衛生健康委員会、国家發展・改革委員会、中国科学院、中国医学科学院などが支援する研究機関で、北京市の西部で北京大学や清華大学などがある中関村に位置している。

政府主導で世界最先端の生命研究を目指す研究所として2003年に設置され、テキサス大学サウスウェスタン医療センターの細胞生物学者である王曉東博士とイェール大学の植物分子生物学者である鄧興旺博士が、米国での職に就いたまま共同で初代の研究所長として任命された。2010年から、王曉東博士がテキサス大学の職を辞した後、単独の研究所長として再任され、現在に至っている。北京生命科学研究所は、研究者数200名程度の比較的小さな研究所であり、米国流のPI制度を導入し、世界一流の研究施設や研究装置を整え、従来の数量的な評価などにとらわれない研究環境で、世界トップクラスの研究成果を目指している。王曉東所長と研究担当副所長邵峰博士については、第七章に述べる。

8 民間企業

現状では、中国の国内メーカーはそれほど高い研究開発能力を有しておらず、輸入医薬品や後発医薬品（ジェネリック）を中心に製造販売している。中国政府は、このような状況を打破し医薬品産業でも高い競争力を確保するため、様々な政策をすでに実行しつつある。

中国では、外国のメガファーマが実施しているような息の長い研究開発を経て新薬を開発するということよりは、より短期間で製造販売に結びつく生物学的製剤などの開発をベンチャー的な手法で実施するのが主流になっている。このような会社をいくつか列挙すると、江蘇恒瑞医薬 (Jiangsu Hengrui) は、1997年に設立され、江蘇省連雲港市に本社を置いており、主に抗がん剤や麻酔薬、造影剤などの研究・開発及び製造を手掛ける。米国の業界誌ファーマシューティカル・エグゼクティブの調べによると、同社は2018年に中国企業として初めて世界製薬企業トップ50入りを果たした（売上高順、第42位）。また百濟神州 (Bei Gene) は、がん治療のための革新的で分子標的化された免疫腫瘍薬の開発を目的として2010年に北京で設立されたベンチャー企業である。すでにいくつかの新薬を開発し蘇州に製造工場を建設したほか、米国や欧州にも進出している。信达生物製薬 (Innovent) は、2011年に江蘇省蘇州市に設立されたベンチャー企業で、がん、代謝性疾患その他の主要な治療のための新薬開発を活発に行っている。

また、急激に発展した国内の機器製造業や情報産業の能力を生かし、医療機器の開発や健康データ・

遺伝子データなどと健康産業を結びつけるベンチャーの育成などが行われている。その代表例が深圳にあるBGIであり、第八章で詳述する。

第六章 ライフサイエンス研究関連インフラ

経済成長と科学技術全般のレベルアップにつれて、中国国内でライフサイエンス研究関連の共通基盤施設が着々と整備されている。以下に代表的なものを列挙する。

1 国家タンパク質科学センター

国家タンパク質科学センターは、「国家自主イノベーション基礎能力建設第11次五か年計画（2006年～2010年）」で設定されたライフサイエンス研究のインフラで、上海と北京に設置されている。上海の国家タンパク質科学センターは、中国科学院の上海生命科学研究院に設置され、上海市浦東の張江ハイテクパーク内にあり、第3世代放射光施設の上海光源に隣接している。タンパク質の3次元構造決定、タンパク質の動的プロセスの研究、機能的画像解析のために、上海光源からの5つのビームラインを利用している。上海施設の総投資額は7億元であり、2015年11月より運用

を開始している。

もう一つの施設は、北京の国家タンパク質科学センターであり、軍事医学科学院、清华大学、北京大学、中国科学院生物物理研究所が共同で建設し、2015年10月から運用している。設置場所は、北京生命科学研究所、北京大学国際医院などがある中関村生命科学園内にあり、プロテオーム解析システムと機能的プロテオミクス研究システムの構築に焦点を当てると同時に、バイオインフォマティクス、タンパク質・抗体調製、生物資源バンク、モデル動物を中心としたサポートシステムを構築している。なお、「国家重大科技基礎施設建設第13次五年計画」の一つとして、北京郊外の怀柔区（APEECを開催した場所）サイエンスパーク内に第四世代放射光施設が整備されている。この放射光施設は、高能同歩放射光源（HEPS）と呼ばれ、6 GeVの電子エネルギーを持つシンクロトロン放射光源であり、ライフサイエンス研究にも用いられる。

2 国家農業生物安全科学センター

国家農業生物安全科学センターは、「国家自主イノベーション基礎能力建設第11次五年計画（2006年～2010年）」で設定されたライフサイエンス研究のインフラで、中国農業科学院の植物保護研究所にある。同センターは北京市海淀区に位置し、2013年に完成し運用されている。

同センターの機能は、農業や林業害虫における包括的なハイリスク研究に特化した、農業、林業、環境保護のための重要なインフラであり、外来の森林生物に対する様々なレベルの安全研究、農業及び林業における突然変異体及び遺伝子組換え生物の安全研究、バイオセーフティ情報サービス、農業及び林業のバイオセーフティに関する高度人材の育成、国内外の協力・交流を進めるものである。

3 トランスレーショナル医療研究施設

トランスレーショナル医療研究施設は、「国家重大科学基礎建設中長期計画（2012年～2030年）」で設定されたライフサイエンス研究のインフラで、上海、四川省成都市、北京（2か所）、及び陝西省西安市の5か所に設置されている。

トランスレーショナル医療研究施設は、生物学・医学的基礎研究を通じて人間の疾患の発生や進展などのメカニズムを理解し、臨床・診断・治療への展開を促進するものである。

上海のトランスレーショナル医療研究施設は、復旦大学、同済大学、中国科学院上海生命科学研究院などとの連携のもとで上海交通大学瑞金病院に設置されており、国務院と上海市が共同で所管している。2014年10月に施設の建設が着工し、10億元を投じて2017年に竣工した。主任科学者10数人、研究者50人の体制で、300床の臨床研究病棟を有する。主要な疾患として、がん（主に白血

病、胃腸腫瘍、小児がんなどの造血管腫瘍)、代謝性疾患(主に内分泌及び代謝性疾患)、心血管・脳血管疾患の分野などに焦点を当て、その診断と治療における技術の確立を目指している。さらに、高血圧や先天性心疾患などの疾患を研究し、疾患の予測、予防、早期診断、個別治療に関する理論・モデル・方法の確立を目指している。

同様の施設が、四川省成都市の四川大学華西医院、北京市の北京協和医院、北京市の人民解放軍総医院、陝西省西安市の空軍軍医大学の4か所に設置されている。

4 実験動物の表現型と遺伝子分析施設

実験動物の表現型と遺伝子分析施設は、「国家重大科学基盤建設中長期計画(2012年～2030年)」で設定されたライフサイエンス研究のインフラで、中国農業大学と中国科学院昆明動物研究所の2か所に設置されている。

中国農業大学の施設は河北省涿州市に設置され、総投資額は約7.6億元である。中国農業大学はブタを研究対象とし、中国で初めて体細胞クローニングを実現し、大型動物幹細胞、疾患モデル構築、育種などに関する研究を実施している。この施設を運用することにより、ブタを実験動物とする試みを実現し、本格的なブタの生産に応用する。さらにこの施設により、ヒトの循環器疾患、代謝性疾患、

臓器移植などの展開を促進する。

もう一つの施設は、2016年に雲南省昆明市にある中国科学院昆明動物研究所に設置され、霊長類を実験動物として利用することを目指すものである。同研究所では、カニクイザルとアカゲザルが飼育されていて、多くのサルに遺伝子変化が施され、病院のように手術を行ったり、遺伝子解析を行ったり、画像診断を行ったりする部屋が設置されている。実験動物となったサルたちは、各部屋の間をベルトコンベヤーで運ばれ、体温、心拍数等の生理学的データが測定されている。

5 武漢国家生物安全実験室

武漢国家生物安全実験室は、湖北省武漢市にある中国科学院武漢病毒研究所に設置された施設であり、BSL（バイオセーフティレベル）4という最高危険レベルの感染症に対応する研究環境を提供するものである。SARSのパンデミックを経験し、鳥インフルエンザが後を絶たない中国において、感染症や伝染病に関する研究は非常に重要だと認識されており、2003年7月中国政府は同実験室の建設を開始し、2015年に完成した。この実験室は、フランスのリヨンP4実験室の技術と設備を導入しており、中国とフランスが共同で設計を行った。

同実験室は4つの層から成り、第1層は下水処理・配電設備、第2層は3つの細胞レベルの研究室、

2つの動物研究室、1つの細菌培養保存室、第3層は空気分配ダクト、第4層はHVAC（暖房、換気、空調）機器と給排気施設である。研究のメインは第2層であり、3つの病原体研究を同時に実行でき、また中小規模の動物感染の病理学及び薬効評価を実施できるとともに、有毒種の保存機能を有する。重要な実験エリアの壁はレーザー溶接され、耐食ステンレス鋼で接合されている。この施設で研究する場合には、研究者は宇宙服に似た陽圧防護服で保護され、呼吸に必要な空気は呼吸用空気供給ステーションによって完全に制御されているため、研究者は潜在的に汚染された環境から完全に隔離され安全である。

同実験室は現在運用を開始しており、エボラウイルスやその他の新しいウイルスを対象として検出システム、分子疫学、感染性病原体微生物学などに関する研究を実施している。

6 中国西南野生生物資源庫

中国西南野生生物資源庫は、中国科学院と雲南省が共同で雲南省昆明市に設置し中国科学院昆明植物研究所が管理するライフサイエンス研究の重要インフラの一つである。設置目的は、野生生物遺伝資源を適切かつ安全に確保し、関連情報の提供と人材育成を継続的に行い、中国のバイオテクノロジー産業とライフサイエンス研究に寄与することである。また、生物多様性の効果的な保全を実現し、持

続可能な開発戦略を実施することも併せて目的としている。

収集保存するものとして、種子、植物のインビトロ・ライブラリー、DNAライブラリー、微生物ライブラリー、植物ゲノムなどが含まれる。2009年から運用を開始しており、最初の5年間で約6・7万種の收拾保存に成功し、次の15年間で約2万種の追加的な收拾保存を目指している。

7 国家遺伝子バンク

国家発展・改革委員会、財政部、工業・情報化部、国家衛生健康委員会（旧衛生部）は2011年に、広東省深圳市に国家遺伝子バンクを設置することとし、深圳市が10億ドルかけて整備したのち、同バンクの運営をBGI（華大基因）に委託することを決定した。同バンクは、深圳の中心部から東50キロにある大鵬新区の5ヘクタールの土地に、世界最大の遺伝子バンクとして開設され、2016年9月から稼働している。

同バンクは、3つのライブラリーと2つのプラットフォームを有している。3つのライブラリーとは、①遺伝子、タンパク質、分子、画像などのバイオインフォマティクスデータベース、②多様化された生物学的サンプル及び種遺伝リソース、③動物資源、植物資源、微生物資源、海洋資源などである。また2つのプラットフォームとは、①デジタルプラットフォーム、②合成・編集プラットフォームを



国家遺伝子バンク（深圳市）

指す。現在すでに、ヒト（様々なヒト細胞）、動物（100万種）、植物（30万種）、微生物（100万種）等の生物資源サンプルのマルチ温度保存能力を実現し、マンモス標本も展示している。この遺伝子バンクは、中国におけるデジタル健康管理、臨床検査、疾病予防、高効率農業、種の多様性保護などに関する研究開発を支えている。

この遺伝子バンクは、米国のNIHのNCBI、欧州分子生物学研究所（EBI）、日本DNAデータベース（DDJ）などとデータを交換及び共有している。また、ドイツのハイデルベルク大学、米国のスミソニアン協会その他とグローバルな協力体制を確立している。



許智宏北京大学元学長 (©百度)

第七章 優れた成果を挙げている近年の研究者

ここでは、改革開放以降に優れた科学的成果を挙げているライフサイエンス研究者を紹介したい。

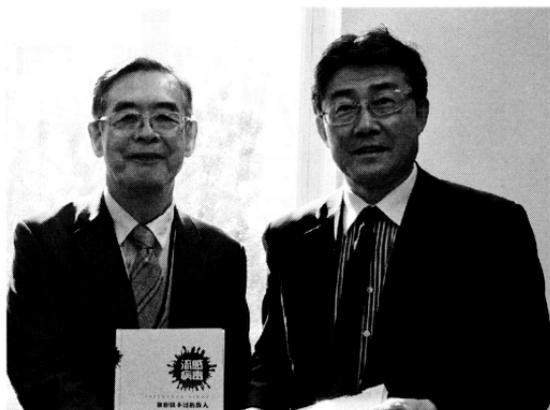
1 許智宏

許智宏 (Xu Zhong) 博士は、1942年に江蘇省無錫市に生まれた植物生理学者である。1965年に北京大学を卒業した後、中国科学院上海植物生理研究所に入り、修士号を取得した。その後文化大革命が勃発したため、1968年8月から1970年2月まで天津の人民解放軍4701部隊に下放され、軍事訓練を経験するなど、苦勞を重ねている。文革終了後の1979年に英国に留学し、ジョン・イネス研究所やノッティンガム大学の植物学部で客員研究員となった。このように留学

組ではあるが、いわゆる海亀組ではなく、むしろ英国から帰国後、中国科学院で百人計画などを立案した一人である。

英国から帰国後は、中国科学院上海植物生理研究所所長などを経て、1992年から中国科学院副院長を務めた。専門は植物分子遺伝学で、植物発生生物学、植物細胞培養、遺伝子操作、植物生物工学の研究に長い間携わってきた。主な成果としては、大豆、落花生、白ポプラなど15の重要な作物や木のプロトプラスト（植物細胞から細胞壁を取り除いた細胞）から初めて植物を再生し、またオーキシン（植物の成長を促す植物ホルモン）の極性輸送について胚発生と葉の両側の対称成長を初めて明らかにしている。

1999年から9年間北京大学の学長を務め、それまで文科系と理学部系の大学と言われていた同大学に50年ぶりとなる工学部を復活させ、内部の交流をスムーズにし、学際的研究を重視する総合大学化を主導した。教育改革へも力を入れ、大学に入つて一年あるいは二年基礎知識を勉強してから専攻を選ぶ、新しい人材育成理念の「元培学院」を成功させた。現在は、北京大学の現代農学院院長を務めている。



高福博士(右)と筆者

2 高福

高福 (Gao Fu) 博士は1961年山西省に生まれ、1983年山西農業大学を卒業し、1991年に英国オックスフォード大学で生物化学の博士号を取得の後、米国ハーバード大学などでポストドク研究者を経て、2004年に百人計画により中国科学院の微生物研究所所長として帰国した。2013年に中国科学院の院士となり、2017年に中国疾病予防制御センター主任に就任している。

主な研究分野は、T細胞認識、インフルエンザウイルスなどのエンペロープウイルスの侵入の分子メカニズム、鳥インフルエンザなどの動物由来の病原微生物の種間感染メカニズム及び分子免疫学である。2005年には、微生物研究所と東大医科研との間で協力研究を開始しており、これらの成果により2014年に日経アジア賞、2018年には日本の外

務大臣表彰を受けている。

高博士は、すでに中国におけるライフサイエンス研究の重要人物の一人となっており、現在中国疾病予防制御センター主任のほか、国家自然科学基金委員会副主任、英国オックスフォード大学客員教授を兼ねている。

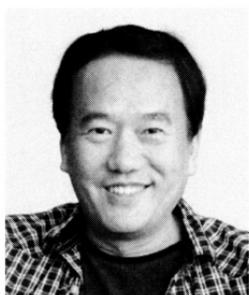
3 鄧宏魁



鄧宏魁博士 (©百度)

鄧宏魁 (Deng Hongkui) 博士は、出生地や生年月日を公表していないが1962年頃の生まれで、1984年に武漢大学で学士、1987年に上海第二医科大学で修士号を取得の後、1989年から米国に留学している。米国では、カリフォルニア大学のロサンゼルス校 (UCLA) で博士号を取得した後、UCLAやニューヨーク大学でポストドク研究者などを務めた後、2001年に長江特別招聘教授として北京大学に入っている。

鄧博士は幹細胞研究の分野で数々の先駆的な貢献をしており、細胞運命の変化を誘発する小分子化合物に関して世界で先駆的な研究を行ってきた。鄧博士らは人民解放軍総医院や首都医科大学の



王晓东博士 (©百度)

4 王晓东

協力を得て、ゲノム編集によりヒトの造血幹細胞のCCR5遺伝子を不活化させた後、HIV感染を伴った急性リンパ性白血病の患者の体内に移植する治療を世界で初めて行った。鄧博士はこの成果を2019年9月にニューヨーク・ジャーナル・オブ・メディシン誌に論文として発表し、2019年のネイチャー誌世界トップテン科学者の一人に選ばれた。

第五章に述べた北京生命科学研究所は、北京市政府が中心となり國務院の各部署の支援を得て、世界トップクラスの研究所を目指して設立されたが、その所長の王晓东 (Wang Xiaodong) 博士は、米国籍ではあるが現在中国を拠点に活躍している世界トップレベルの研究者である。

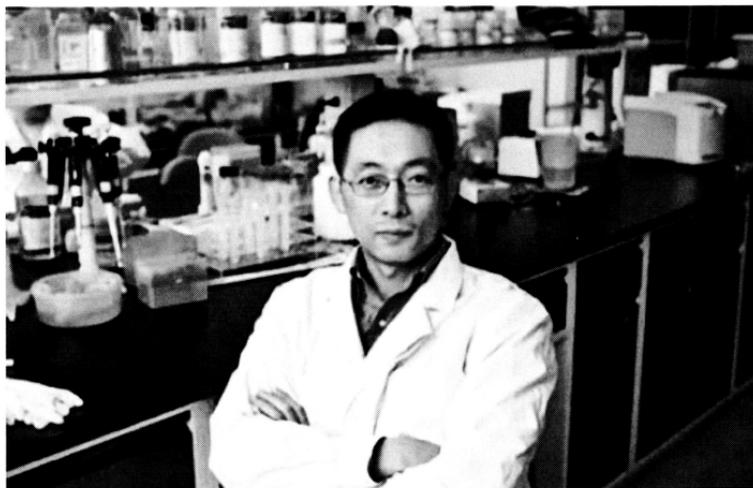
王博士は、1963年に河南省新郷市で生まれ、1980年に北京師範大学に入学し、1985年に米国に留学した。1991年にテキサス大学サウスウェスタン医療センターで生化学の博士号を取得し、2002年にはハワード・ヒューズ医学研究所の研究者となった。2003年には、植物学者の鄧興旺博士とともに北京生命科学

研究所の共同所長となり、2010年からは米国の職を辞して、同研究所の専任所長となっている。専門はアポトーシスの生化学的経路と生化学的プロセスの研究で、2006年には香港の映画・メディア王である邵逸夫にちなむ財団が授与するシヨウ賞の生命科学及び医学部門で受賞している。ちなみにこの賞は、2008年に山中伸弥博士が、2014年に京都大学の森和俊博士がそれぞれ受賞しており、東洋のノーベル賞と呼ぶ人もいる。

5 施一公

施一公 (Shi Yigong) 博士は、1967年に河南省鄭州市に生まれ、高校時代から数学の天才の名をほしいままにし、1989年に清華大学を卒業、1995年に米国ジョンズ・ホプキンス大学で博士号を取得後スローンケタリング記念がんセンターでポストドクとなった。1998年にはプリンストン大学で准教授となり、その後教授に昇進したが、2008年に帰国し、清華大学の教授となった。2015年に清華大学の副学長となり、2018年からは浙江省杭州市にある西湖大学の学長を務めている。

施博士の主たる研究テーマは、アポトーシスと膜タンパクである。構造生物学と生化学を用いて、腫瘍抑制因子とアポトーシス調節タンパク質の構造と機能に焦点を当てた分子メカニズムの研究にお



施一公博士 (©百度)

いて、施は世界の第一人者と言われている。

施博士は、米国から帰国後、中国の科学技術システム改革についても積極的に発言している。北京大学生命科学院院長・饒毅と連名でサイエンスに発表した論文によると、中国の大型の研究開発プロジェクトでは、学識経験や研究能力の優劣ではなく、関連機関の職員と学閥的な科学者が決定権を有しており、人脈優先となっているとして、海外留学から帰国したばかりの若い学者の多くは、精力を人脈作りのために投入しており、学会参加や研究、学生指導に専念できなくなっているという。そして、研究費の配分制度に存在している問題を認識し、中国の新しい創造力を有効に発揮できるよう呼びかけた。この論文は中国国内のネットなどで広く伝えられ、多大な反響を呼んだ。

6 陳化蘭

陳化蘭 (Chen Hualan) 博士は、1969年甘肅省白銀市生まれで、1994年甘肅農業大学で修士号を取得し、1997年に中国農業科学院で感染症の予防研究により獣医学の博士号を取得した。その後、米国疾病管理センター (CDC) でポストドク研究を行い、2002年に中国農業科学院ハルビン獣医学研究所の研究員となった。

専門は、鳥インフルエンザウイルスの異種間感染とその病原性の分子遺伝学的及び分子病原性メカニズムである。陳博士は、2005年に中国青年女性科学者賞を受賞し、2016年にはロレアル・ユネスコ女性科学賞を受賞している。ロレアル・ユネスコ女性科学賞は、フランスの化粧品会社ロレ

アルと国際機関のユネスコが科学の進歩に貢献した優れた女性科学者を表彰する賞で、アジア太平洋地区を含めた5つの地域で生命科学と物質科学の分野から交互に毎年5名ずつを選出しており、受賞者には10万ドルの研究助成金が授与される。日本からは、かつて岡崎恒子博士、米沢富美子博士らが受賞しており、2019年には川合真紀博士が受賞している。

陳博士は、ハルビン獣医学研究所と東京大学医科学研究所アジア感染症研究拠点との共同プロジェクトに参加しており、東京大学の



陳化蘭博士 (©百度)

河岡義裕教授とともに共同研究を行なっている。

7 周琪

現在、中国科学院動物研究所の所長を務める周琪 (Zhou Qi) 博士は1970年生まれで、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た。2003年、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。2017年からは、同研究所の所長を務めている。



周琪博士 (©百度)

彼は元々動物クローンの研究者で、2009年にマウスの皮膚細胞からiPS細胞を樹立し、それを「4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、ネイチャーに発表した。当時、山中博士が発見したiPS細胞がES細胞と同様の多機能細胞であると証明するためには、iPS細胞由来の丸ごとマウスの作製が重要であったが、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には、iPS細胞はES細胞とは違い多機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。iPS細胞由来マ

ウスの作製は大きな賞嘆の声により世界に迎えられ、例えばタイム誌は、2009年度の「医学分野におけるブレークスルー」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。周琪は丸ごとマウスの作製を実証して見せたことにより、2012年の山中教授のノーベル賞受賞に大きな影響を与えたと考えられる。

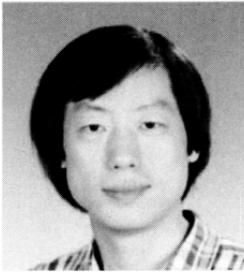
8 邵峰



邵峰博士 (©百度)

前述した王曉東博士とともに、北京生命科学研究所の研究担当副所長として活躍する邵峰 (Shao Feng) 博士も、気鋭の研究者である。邵博士は、1972年1月に江蘇省淮安市で生まれ、1996年に北京大学技術物理系の応用化学科を卒業し、1999年に中国科学院生物物理研究所で修士号を取得した。その後米国に留学し2003年にミシガン大学医学部で博士号を取得し、カリフォルニア大学サンディエゴ校やハーバード大学でポストドク研究の後、2005年に帰国して北京生命科学研究所のPIとなつている。

邵博士は、病原体と宿主間の相互作用のメカニズムの研究が専門



湯富酬博士 (©百度)

9 湯富酬

であり、近年中国の科学全般やライフサイエンス研究の十大進展に、次のとおり3度選定されている。

- 中国科学十大進展2015…細胞性炎症壊死のメカニズムに関する研究
- 中国生命科学十大進展2015…細胞性炎症壊死のメカニズムに関する研究
- 中国生命科学十大進展2017…化学療法薬カスパーゼ3によって誘発される細胞死などの副作用

北京大学教授の湯富酬 (Tang Fuchou) 博士は、出身地や生年が公表されていないが、1998年に北京大学遺伝学科を卒業し、2003年には北京大学細胞生物学専攻で博士号を取得している。その後英国に留学し、ケンブリッジ大学のガードン研究所でポストドク研究に従事した。2010年に帰国し、北京大学の生命科学学院の教授、2015年からは北京大学Ⅱ清華大学の連合研究所教授などを務めている。

湯博士は、ヒトの初期の胚発生を研究しており、細胞の更新と多機

能制御の分子機構、特に伝達制御機構と関連する生殖細胞の発生過程を研究しており、近年中国の科学全般やライフサイエンス研究の十大進展に、次のとおり3度選定されている。

- 中国科学十大進展2014…極体高通過量測定結果を活用した母体の遺伝子群の情報伝達
- 中国科学十大進展2015…ヒト始原生殖細胞遺伝子発現のエピジェネティック制御
- 中国生命科学十大進展2015…ヒト始原生殖細胞遺伝子発現のエピジェネティック制御

10 顔寧



顔寧博士 (©百度)

最後に、若手の研究者の中から優れた女性研究者を紹介したい。顔寧 (Yan Ning) 博士は、1977年に山東省市萊蕪市に生まれ、2000年に清華大学生物科学技術学科を卒業の後、米国のプリンストン大学分子生物学科に留学し、2004年には同学科で博士号を取得している。その後、プリンストン大学でポストドク研究を行った後、2007年に中国に帰国し30歳の若さで清

華大学の教授となった。2017年からは再び渡米し、プリンストン大学の教授に就任している。

顔博士の専門は、ヒトゲノムにコードされる全てのタンパク質の約30%を占める膜タンパク質の構造と機能の研究である。2016年、膜タンパク質が原子レベルでどのように機能するかを追跡した研究は、ネイチャーにも取り上げられ、中国の科学の星 (Science stars of China) と称された。

2015年には、イスラエルのレイモンド・アンド・ビバリー・サックラー国際生物物理学賞を受賞した。この賞は、独創的で傑出した生物物理学研究を行った45歳未満の科学者に贈られるもので、2010年にはすでに述べた施一公博士が受賞している。

第八章 ライフサイエンス研究の最近のトピックス

本章では、先端的な分野を中心に中国のライフサイエンス研究の勢いとエネルギーを示すトピックスを取り上げる。なお、「はじめに」でも述べたように、本章は文部科学省の佐藤真輔氏より資料や情報の提供を受けて作成したことを再度確認しておきたい。

1 中国のゲノム編集技術

ゲノム編集技術は現在の最先端ライフサイエンス技術であり、さらに関連する資材が安価で誰にも簡単に扱えることから、同技術は世界の研究現場に急速に普及してきた。特に中国においては、同技術の利用や関連の技術開発は関連規制の緩さや同国内での競争の激しさもあって急速に進展し、今や論文数では米国と肩を並べるほどになっている。さらに、国の五か年計画の中で「ゲノム編集」が特記されており、中国は国家をあげて同技術を推進している。ここでは、近年の中国でのゲノム編集

の実例をいくつか取り上げる。なお、世界に衝撃を与えたゲノム編集による双子のベビーの誕生は、次項で説明するほか、同技術を用いた実験動物や農作物の改変については関連の項で記載する。

(1) ゲノム編集研究の実例1〜ヒト受精卵改変(中山大学の例)

2015年4月、広東省広州市にある中山大学の研究者らが、プロテイン・アンド・セル誌に、ゲノム編集技術によりヒトの受精卵を改変した旨の論文を発表した。同研究は、βサラミアという血液疾患の原因となる変異のあるβグロビン遺伝子を除去して、正常な遺伝子を導入したというものであった。彼らは研究材料として、生殖補助医療の過程で生じた受精卵を用いていた。それは普通の受精卵と違い、2つの精子による受精によってできたものであり、染色体数が通常の体細胞の1.5倍になっているため、本来胎児にまでは成長できないものだったが、生命倫理面や安全面から大きな反響を呼んだ。当時、世界の約40の国々でヒトの生殖系(精子・卵・胚)の遺伝子研究を法律で禁止するか又は実質的にできなくしており、特に欧州では15か国が生殖系の改変を法律で禁止していた。しかし中国ではこのような規制が無いことから、この研究が実施されてしまったのである。また、同研究でのゲノム編集技術の不熟さも批判対象となった。同研究によりできた胚は、目的の場所に遺伝子が置換されていなかったり、予期せぬ変異が起きていたりしたことが分かった。

米国では中山大学の研究発表を受けNIHの組換えDNA諮問委員会で、ヒト生殖系の改変を伴う研究の提案については審査を受け付けけない意向を示した。また同年5月米国大統領府は、「ヒト受精

卵の遺伝子改変については将来世代への影響が不透明であり、行うべきでない」との見解を発表した。ところが2015年12月、米国科学アカデミー（NAS）の主催のもと、各国の関係者を集めて「ヒトのゲノム編集に関する第1回国際サミット」が開催された。同会合では、「2つの条件（安全性・有効性の実証、プロセスの妥当性に関する幅広い社会的合意）が満たされるまでは、ヒトの精子・卵子・胚等の生殖細胞を対象とするゲノム編集の臨床応用は無責任である」とされ、そのうえで「妊娠に至らない基礎研究や非臨床研究は一定の条件下で進められるべき」とされた。

これにより、ゲノム編集を生殖細胞に用いた研究は全否定ではなく部分的にお墨付きをもらった格好となり、その後いくつかの国で同様の研究が認可されたり計画されたりするようになった。例えば英国のフランシス・クリック研究所の研究者らは、CRISPR/Cas9を用いて受精卵のゲノムの修飾を行うことについて、2016年2月に審査機関であるヒト受精・胚研究認可局（HFEA）から承認を得た。同研究は、胚の発生後数日間の主要遺伝子の役割解明を目指すものだった。また、スウェーデンのカロリンスカ研究所の研究者らは血液疾患の治療研究のためヒト胚の遺伝子編集を目指した。

米国科学アカデミー及び医学アカデミー（NAM）は、2017年2月に「ヒトのゲノム編集・科学・倫理・ガバナンス」という報告書を発表し、ゲノム編集ベビーに関しては、合理的な代替の選択肢がない深刻な疾患や病状を防ぐという目的に限定する等、一定の条件の下でのみ許されるべきであるとした。すでに述べたように、米国NIHはヒト胚を用いた次世代に遺伝するゲノム編集研究に対する資金拠出を認めておらず、研究は事実上禁止になっている。したがってこの報告書は、将来的に

かかる審査が認められた場合でも、一定の要件を満たさぬ限り臨床研究は行われるべきではないとしたものである。

(2) ゲノム編集研究の実例2〜ヒト受精卵改変（広州医科大学の例）

2016年4月、2例目のヒト受精卵改変による研究成果として、やはり広東省広州市にある広州医科大学の研究者らの論文が、アソシエイト・プロダクション・アンド・ゲノミクス誌に掲載された。同論文は免疫細胞で働くCCR5という遺伝子（エイズウイルスが細胞に入るのを助けるタンパク質をコード）に変異を加えたうえで、ゲノム編集技術であるCRISPR/Cas9技術によりヒト胚に導入し、それによりエイズウイルスの細胞への感染・侵入を防ぐというものだった。87人の患者から提供された213個の受精卵（余分な染色体をもち胚から成長できない）を用い、作出後3日目に廃棄した。この結果、調査した26個のヒト胚のうち4個に変異が導入されたことが分かった。この2例目のヒト受精卵改変についても、もともと用いた胚はたとえ育てても出生につながらないもので、構造的に安全対策が取られていた。また結果的には成功率は低かった。

2017年になって、同じく広州医科大学の研究者は、今度は出生可能な卵を用いて研究した成果を発表した。遺伝病を有する欠陥遺伝子をCRISPR/Cas9を用いて修復するものだった。その結果、用いた6つの胚のうち、3つの胚で一定の成功を収めた。具体的には1つの胚では全ての細胞の遺伝子が修復され、2つの胚では部分的に修復されていた。ただこれらの胚も、体外で取り扱われるだけ

で出生につながることはなく、一定のルールは守られていた。

(3) ゲノム編集研究の実例③ゲノム編集用の新たな酵素の開発

2016年5月、河北省石家荘市にある河北科技大学の韓春雨 (Han Chunyu) 副教授からは、CRISPR/Cas9に代わるアルゴノート (NgAgo) という新たな酵素が哺乳類のゲノム編集に用いることができるとして、ネイチャー・バイオテクノロジー誌に発表した。同誌によると、非常に正確に目的の遺伝子を編集でき、CRISPR/Cas9のように読み違えるケースはほとんどなく、認識できる範囲も広く用途が広がるとされ、脚光を浴びた。

だが同技術について、他の研究室で十分な再現性が得られず、当該論文が捏造ではないかと物議を醸した。この状況に対応するため、韓博士らは8月にネット上にその詳細なプロトコルを掲載した。しかし、同年11月、プロテイン・アンド・セル誌とセル・リサーチ誌に、韓博士らの論文を否定する旨の論文が掲載された。前者はうまくいかなかった再現実験をリスト化したものであり、後者はゼブラフィッシュでの実験結果を踏まえNgAgo技術は遺伝子の発現を抑えることはできるが編集はできないとするものだった。さらに、最初に韓博士らの論文を掲載したネイチャー・バイオテクノロジー誌も不成功に終わった再現実験に関するレポートを掲載し、韓博士らに不明な点を明らかにするよう求めた。

2017年8月、韓博士らはネイチャー・バイオテクノロジー誌に声明を投稿し、自分自身も含め

研究コミュニティによる再現実験できない状態が続いたことを理由に、研究成果の撤回を宣言した。河北科技大学では、韓博士らの業績により2億24百萬元を拠出して遺伝子編集センターを設立する予定だったが、同計画は暗礁に乗り上げた。また、産業用酵素製品を扱う世界的な企業であるノボザイム社は、河北科技大学に特許使用料を支払って同技術による酵素製造を行う意向だったが、同様に頓挫している。

これまでゲノム編集技術の主要な発明は米国の機関によってなされてきており、とりわけ最も有名なCRISPR/Cas9の特許は米国ブロード研究所のグループ(第四章で紹介した張鋒博士が率いている)とカリフォルニア大学バークレー校のグループが激しい主導権争いを演じてきた。本技術は生命科学研究には不可欠な技術となり、個々の研究者がキットを用いて容易に利用できることから、市場が拡大している。NEBAOはその寡占状態に風穴を開け、シェアを大きく変えうる存在になる可能性があったものであり、こうした新技術開発への試みを中国の研究者が行ったことは注目に値する。中国の研究は一般的に米国等の研究の追従であり、実験系や使用動物・組織・細胞等を変えて研究するものが大部分だった。それゆえこうした試みがなされることは、同国の科学技術の進展を示すものといえる。一方で、各種状況を踏まえると韓博士らは意図的に不正を行おうとしたわけではなかったと考えられるが、競争の激しさから功を焦るあまり慎重に実験を繰り返すことなしに投稿したことも否めない。

(4) ゲノム編集研究の実例 4-1 遺伝子治療の臨床試験

中国では、ゲノム編集技術を用いた遺伝子治療の臨床試験も始まっている。四川省成都市にある四川大学の研究者らは、転移性の非小細胞肺がんの患者に対し CRISPR/Cas9 を用いて遺伝子治療の臨床試験を行うことについて、2016年7月に大学内審査委員会の認可を得、同年10月から同大学附属华西医院で臨床試験を開始した。これは CRISPR/Cas9 技術による遺伝子治療としては世界でも初の試みになった。

この試験は、同がん患者のうち化学療法や放射線療法の効果がなかった者に対し、患者自身の免疫細胞を取り出して CRISPR/Cas9 技術によりゲノム改変を行い、それを再び患者に投与するものだった。標的とする遺伝子は PD-1 という細胞の免疫反応を抑制するタンパク質をコードするものであり、同タンパク質が機能するとがん細胞が増殖する一因になる。このため CRISPR/Cas9 技術により当該遺伝子をノックアウトすることで、免疫細胞ががん細胞を攻撃するようになることを狙ったものである。

また2019年9月には、第七章で紹介した北京大学の鄧宏魁博士のグループにより、CRISPR/Cas9 を用いて造血幹細胞を HIV 耐性にして、HIV 感染患者に戻す臨床試験の結果が米国の科学誌に発表された。移植にはゲノム編集できた細胞とできなかった細胞との混合物が用いられたため、結果的に患者の HIV 感染状態が維持され効果は限定的だったが、ゲノム編集技術で懸念されている意図しない遺伝子の改変や遺伝子改変による副作用はなかったとされた。

これら遺伝子治療については、あくまでゲノム編集技術を用いて体細胞の遺伝子を変えるものであり、子孫には新たに獲得した性質は遺伝せず、次節で述べる生殖細胞にゲノム編集を用いる研究とは一線を画すものである。

2 ゲノム編集によるベビーの誕生

2018年末に発信されたゲノム編集による受精卵からの双子のベビー誕生のニュースは、中国だけではなく世界に大きなショックを与えた。本件は現在もまだ続いている事例であり、経緯を含めて少し詳しく述べたい。

(1) ゲノム編集ベビー誕生の公表

2018年11月25日、広東省深圳市にある南方科技大学の賀建奎 (He Jiankui) 副教授がゲノム編集をした受精卵からベビーを誕生させる臨床研究を実施したという記事が、MITテクノロジー誌に掲載された。そして翌11月26日には賀博士への独占インタビューをもとに、すでに数週間前に双子が誕生しルルとナナと命名した旨のスクープ記事を、AP通信が報じた。また、賀博士が語る動画もインターネット上で公開された。

同研究は、エイズウイルス（HIV）への感染防止を目的とした遺伝子改変だった。方法は先述の広州医科大学と同様に、CCR5と呼ばれる遺伝子に変異をもたらすことで正常細胞をHIV感染から保護しようとするものだった。

同博士は2016年6月、生殖を目的としてヒト胚の遺伝子を編集するプロジェクトを立ち上げ、2017年3月からエイズ患者の支援団体を介して夫だけがHIVに感染した夫婦を募集した。そうして集められた不妊治療中の7組のカップルについて、受精卵31個にゲノム編集を施し、7割で改変に成功、そのうち1組から双子が誕生したとのことだった。生まれた双子のうち、1人は相同染色体上にあるCCR5遺伝子の両方のコピーが取り除かれておりHIVに耐性だが、もう1人はCCR5のコピーの一つが除去されておらず、その子には依然としてHIV感染の可能性は残っているとのことであった。

（2）賀博士の考え

賀博士は、米国テキサス州のライス大学で細胞防御機構としてのCRISPR/Cas9の進化についての論文を発表し、博士号を取得した。その後中国政府の千人計画に選抜され、南方科技大学の副教授に就いた。

AP通信によると賀博士は「これが世界初となるだけでなく前例となることに強い責任を感じている」と語っており、一方新華社通信によると賀氏は世界初という「個人的な名声」を得ることを望ん

でいたとしている。

賀博士自身はゲノム編集を容認できる場合とそうでない場合に一定の線引きをし、「胚でのゲノム編集の利用については病気に関連する場合にのみ容認するが、知能を高めたり髪の色や目の色などの形質を選択したりするための遺伝的調整は禁止すべき」と述べており、エンハンスメント（機能増強）でなく病気の治療なら良いという考え方である。ただし、父親がHIV陽性でベビーへの感染を回避する他の方法として体外受精があり、それにより子への感染リスクはほぼゼロにできる。このため、両親からの感染防止のためにわざわざゲノム編集まで行う必要はない。

(3) 発表後の反応

AP通信が賀博士への独占インタビューを実施した直後、香港で「ヒトのゲノム編集に関する第2回国際サミット」が開催された。賀博士は2日目に登壇、スライドでデータを示しつつ研究成果を発表し、さらに2人目の女性がゲノム編集されたベビーを妊娠していることも表明した。ネイチャー誌の記事(2019/2/28)では、2人目の女性から双子に続き3人目のベビーが2019年8月に生まれる予定と記載されている。

同サミットの最後に、8か国からの代表からなる同サミット組織委員会は「賀博士の実験は無責任であり国際規範に違反し倫理基準を満たさなかった。また十分な医学的正当性を持たず透明性を欠いた」とする見解を出した。なお同見解では生殖細胞系列のゲノム編集が極めて危険な旨表明したもの

の、嚴重なモラトリアムを要請せず、かかる臨床試験の実現に向けた厳格な責任ある行動を要求したただだったため、一部参加者の失望を誘ったとされる。

(4) 中国国内の研究コミュニティの反応

中国国内では、公表直後に1000人以上の生物医学研究者らが賀博士の主張を強く非難する旨の声明をオンラインで発表し、中国当局に対しこの事件を調査し厳格な規制を導入するよう求めた。さらに「生物医学研究の分野において、国際的な評判と中国の科学の発展にとって大きな打撃」であり、「倫理的限界を遵守しながら研究と革新を追求している中国の大多数の勤勉で良心的な研究者にとって極めて不公平」との見解も表明している。中国科学院も賀博士の研究を非難する声明を発表し、また中国遺伝学会と中国幹細胞研究学会は共同で、この実験は「ヒトの実験と人権法を規制する国際的に認められた倫理原則に違反する」との声明を出し、中国細胞生物学会は同研究を「中国政府の法規制や科学界のコンセンサスに対する重大な違反」と批判した。

(5) 中国政府の対応

事態を深刻に見た国务院の国家衛生健康委員会は、南方科技大学がある広東省の衛生委員会に調査を指示するとともに、賀博士に研究の中止を直接求めた。また中国の研究者は、一定の条件を満たす臨床試験について政府の中国臨床試験登録センターへの申請が必要とされ、申請のあったものについ

て同センターが科学性・安全性を審査しているが、同センターは賀氏が臨床試験のデータを提出しておらず規則違反であることを明らかにした。

2019年1月、国家衛生健康委員会の指示で調査を行っていた広東省衛生委員会は、新華社通信のインタビュアーに答える形で予備調査結果を明らかにし、賀博士は「意図的に監督を回避し、資金を調達し、関連する規制により明示的に禁止されている生殖を意図したヒト胚遺伝子編集を実行するために研究チームを自ら組織した」と結論付けた。それを受け、国家衛生健康委員会は「本件は国内の法律・規制及び倫理的ガイドラインに対する重大な違反である」旨の意見を表明した。

(6) 南方科技大学の対応

賀博士の所属する南方科技大学は、「事前に報告を受けておらず衝撃を受けた」として、「研究倫理及び研究規制に対する重大な違反の可能性がある」ことから、独立した調査委員会を設置することを発表した。また、賀博士が同臨床研究について承認を得て登録・実施したと述べた病院は、そのような承認はしていない旨発表した。

賀博士は約半年前の2018年2月から、副教授の職にある南方科大を無給休職していたが、ゲノム編集ベビー誕生公表後の2018年11月以来、移動を制限され大学のキャンパス内の彼のアパートの外には警備員が張り付いている状態になった。そして2019年1月、先述の広東省衛生委員会による予備調査結果の公表から数時間経った後、同大学は賀博士との副教授としての契約を取り消し、

研究・教育活動を終わらせたと発表した。

(7) 本件は防げなかったのか

本件の賀博士の改変胚の移植に関しては、報道があるまで公的な場で明らかになっていなかった。また南方科技大学は、同研究が行われた場所は同大学の研究室ではないとしているが、家族のプライバシーを保護するために関与する病院は公表していない。

賀博士の研究をあらかじめ知っていたものが何人かいた。特に、賀博士の元アドバイザーで賀博士の実験を説明した未公表の論文の首席著者だと言われている米国ライス大学の生物物理学者マイケル・デイム博士は、なぜ同博士の暴走を防げなかったのかについて批判を受けている。デイム博士の弁護団は、同博士が賀博士の論文に時々コメントしていたことは認めているが、デイム博士自身はヒト胚に関連した研究はしておらず本件には関わっていないと主張している。

また賀博士は、スタンフォード大学の3人の研究者やマサチューセッツ大学医学部のノーベル賞受賞者であるクレイグ・メロー博士に自身の研究を話したとしている。彼らのほとんどは賀博士が研究を慎重に進めることを忠告したと主張しているが、米国イェール大学のコフラー博士は彼らがもつと積極的に行動すべきだったとしている。カナダのマギル大学キンマーマン博士も、「沈黙していることは共犯と同じであり大きな失敗があつて初めて認識される」と述べている。

なお、ウィスコンシン大学で生命倫理を専攻するチャオ博士によると、「もし同研究が米国で行わ

れていたならば、通常の良識ある科学者なら政府の関連部局に連絡しただろうが、外国で行われているとその国の規制に精通していない可能性があり、特に中国にはさまざまな価値観や不透明な規制があるため積極的な行動は難しかったかもしれない」と述べている。

(8) その後の国際・研究動向

WHOは2019年にジュネーブで、本件を議論するため専門家からなる委員会を開催した。その結果、全世界的規模でヒトゲノム編集に関する全ての研究を至急登録してデータベースを作成することを提唱し、研究資金拠出者や科学論文の出版社も研究者にそれを促すよう推奨した。一方、ヒト生殖細胞系のゲノム編集の臨床利用については無責任であるとした。同委員会は、各国の研究者が利用できるようなゲノム編集技術のヒトへの応用に関する国際基準を1年半以内に作成し、WHO事務局長に報告するとしている。

その後ネイチャー・メディシン誌(2019/6/3)に発表された論文で、ゲノム編集ベビーはCCR5遺伝子改変を行ったことにより寿命が短くなる可能性が指摘された。同研究は英国のバイオ研究プロジェクトに参加している41万人の遺伝・健康データの分析によるもので、CCR5遺伝子が2つとも変異を起し機能を失った人は1つだけ変異を起した人に比べ76歳以下で死亡する確率が21%増加することであった。だがその後、同研究に利用した英国のデータの取扱いに誤りがあることが分かり、同論文は撤回された。

なお、ネイチャー誌(2019/6/13)は、ロシアのピロゴフ名称国立研究医科大学のレブリコフ博士が、賀博士が用いたのと同じ遺伝子を編集してHIV耐性のベビーを作成する計画を有していることを報じている。専門家は、レブリコフ博士の主張の信頼性やリスクに対する理解について疑問を投げかけている。とは言えこのことで、先の賀氏のような行為が決して例外的で特殊なものではなく、倫理的に忌避になっている行為でも、いったん行われると他の研究者もそれに追従する場合があることが示され、WHOの検討の加速の必要性が一層高まったものと思われる。

(9) 遺伝子編集ベビーの今後

2019年12月30日、広東省深圳市の裁判所が賀氏に対して営利目的による違法医療行為で懲役3年の実刑、罰金300万人民元の判決を下した。判決文によると、賀氏は医療機関に勤める2人と共謀し、全員医師資格がないにもかかわらず安全性や有効性が確認されていない受精卵のゲノム編集を行い、その結果2人が妊娠しゲノム編集ベビー3人が生まれたとしている。

気になる遺伝子編集ベビーの今後であるが、賀博士のチームはこれらベビーの健康を長期追跡していく計画があるとのことだが、賀博士は誰にそれを実施してもらおうか等詳細について言及していない。一方、中国政府は遺伝子編集ベビーは医学的な観察下にあるとしているが、健康状態について言及していない。

賀博士の実験は、基本的に第三者による裏付けがされておらず、また、他の専門家が査読する学術

ジャーナルでの論文発表もしていない。本件に関し、ネイチャー誌は2019年最初の号で、双子でゲノム編集が本当になされたか否かの確認から始まるとしている。さらに、別のネイチャー(2019/2/28)の記事でも、「実際に遺伝子を修正することに成功したという明白な証拠はまだない」としている。

2019年12月になつて、賀博士の研究論文の一部が米国のMITテクノロジーレビュー誌に掲載された。この研究論文を精査したカリフォルニア大学バークレー校のウルノフ博士は、実施されたゲノム編集がCCR5に変異を作り出しHIVに耐性を持たせるといふ本来の目的を達成しておらず、逆に意図したのではない遺伝子変異をもたらした可能性がある旨指摘している。いずれにせよ、ゲノム編集が本当になされたか否かの第三者による確認が重要であろう。

3 世界に誇るシーケンス技術を有するBGI

中国のゲノム科学を語るうえで欠かすことのできない機関として、広東省深圳市を拠点とするBGI(華大基因)がある。BGIは、世界最多の次世代シーケンサーを有し、若い研究者・技術者たちにより迅速かつ着実なシーケンス及び解析を行い、中国国内や世界各国のシーケンスの受託を行い、世界のシーケンス工場の名をほしいままにしてきた。また他の研究機関との協力を基に、タンパク質

やエピゲノム解析等の研究にも幅を広げてきており、現在の中国のライフサイエンス研究を象徴する民間の研究組織である。

(1) BGIの沿革と世界レベルのゲノム研究機関へ

BGIは、北京ゲノミクス研究所 (Beijing Genomics Institute) の略称であり、1999年9月に北京に設置された。BGIが設立された当時、世界の生命科学は大きな変革のさなかにあつた。1990年から、生命科学分野では初めてと云つてよい大型国際協力プロジェクトである「ヒトゲノム計画」が、米国の主導により日本や欧州の国々の参加を得て開始されていた。BGIはシーケンス技術の意義や重要性を敏感に感じ取り、当時終盤にさしかかっていたヒトゲノム計画への途中参加を中国政府に働きかけて資金拠出を約束させ、同計画で中国へ割り当てられた1%分のゲノム解読をBGIが全て行ったことにより、BGIは中国国内のみならず国際的な信用を得た。

ヒトゲノムの解読争いが行われていた頃、世界の科学者の間で多数のヒトゲノムを元に疾病になりやすさ等の体質に関わる遺伝子をゲノム上で特定しようという「HapMap計画」が構想され、2002年10月にスタートした。中国は、このHapMap計画に米国、英国、カナダ、ナイジェリア、日本とともに当初から参画し、BGIの楊煥明 (Yang Huaming) 理事長が中国側の責任者となり、中国の担当分である全体の10%のうち相当部分の解析を行った。

BGIは、こうしたアカデミックなゲノム解読だけでなく、社会の危急時に自らの武器を用いて

迅速な貢献を行うことにより、その存在を大きくアピールした。2003年2月には、第一章でも触れたように広東省で世界を脅威に陥れたSARSが発生した。これに対しBGIは、発生直後の同年4月に当該ウイルスのゲノム解読を行うとともに、そのタンパク質解析を行った。さらにウイルス検査キットの開発を行い、検査キット30万本を中国政府に寄贈した。2004年にスマトラ島沖地震が発生し大津波により20万人以上が死亡した際も、BGIはチームをタイに派遣し、DNA解析を用いることにより身元確認に多大な貢献を行った。

このような学問的な貢献と社会的な貢献が中国国内で評価され、2003年末には民間の機関から政府直轄機関として中国科学院の研究機関に格上げされた。しかし中国科学院傘下の研究機関は、シニアの科学者が率いるいくつかの小チームが独立して研究を行うという進め方だったのに対し、BGIは多数のプログラマーやバイオインフォマティシャンを用いて大量のシーケンスを組織的に行うという進め方だったため、業務の実施で意見対立が発生した。その結果中国政府から冷遇され、2006年3月に策定された「国家科学技術第11次五か年計画（2006年～2010年）」では、BGIが要望したプログラムが全く採用されず、結果として中国政府からの拠出はほとんど無くなってしまう。

そのようなBGIの窮地を救ったのが深圳市だった。同市は、BGIに対し4年間で2千万元（約3・2億円）の資金を拠出し、2007年4月には靴工場の跡地を提供してBGIの本部を北京から深圳に移転させた。それ以降、BGIは北京ゲノミクス研究所というかつての正式名で呼ばれること

はなくなり、略称であったBGI自体が正式名称になっており、中国語で「華大基因」と呼ぶ。この新たな地において、BGIは再び精力的な活動を始めた。2008年5月には四川省で大地震が発生した。先のスマトラ島沖地震の経験を踏まえ、BGIは犠牲者の身元確認を進めるため現地にスタッフを派遣した。2008年11月には、ヒトゲノム解読をアジアで初めて行つた。ある漢民族の中国人について、2倍体ゲノム（すなわち父親由来と母親由来のゲノム）の解読を行つたのである。BGI等による中国人のゲノム解読の結果はネイチャー誌に掲載された。2010年1月には、パンダゲノムの解読がやはりネイチャー誌に発表された。

(2) BGIの沿革2 ～世界のゲノム解析工場へ

2010年、中国国家開発銀行はBGIに対し百億元の信用供与枠を供与した。BGIはその資金を用いて、販売が開始されたばかりの最新の機能を有する米国イルミナ社のシーケンサー「HiSeq2001」を128台も大量購入し、BGI一社だけで米国全体のシーケンサー能力を凌駕する規模となった。これはBGIの存在を全世界に知らしめた出来事であり、大量のシーケンサーを用いてシーケンサーを行うことにより、世界のシーケンサー工場としての地位を確立した。

BGIは、2011年7月から11月にかけて、デンマークのコペンハーゲン、米国のサクラメント及びフィラデルフィアにシーケンサーセンターを開設した。日本にも2011年12月、神戸市の神戸医療産業都市内に、海外では4か所目の拠点として日本支部を開設した。現在、国立大学法人を含め全

国で60以上の研究機関が、同支部を通じてBGIの顧客になっている。その後BGIは、南ヨーロッパやオーストラリア等にも支部を開設し、BGIは2014年には世界のゲノムデータの少なくとも4分の1を生み出すまでになった。

(3) BGIの沿革3、シーケンサーの開発など新たなビジネスへ

高速シーケンサーの大量導入とアカデミックな研究における貢献、さらには社会的な貢献を果たしてきたBGIであるが、近年いくつかの点で転換点にある。

イルミナ社は2014年に、BGIが2010年に大量導入したシーケンサーHiSeq2000を性能的に遙かにしのぐシーケンサーHiSeqXの販売を発表した。このHiSeqXの販売を機に中国国内では、ノボジーン社（北京）、ウーシー・ファーマテック社（上海）等の同機器を買い揃えた企業が次々に設立され、BGIに対抗して安価な値段でシーケンスを請け負い始めた。しかし、すでに一世代前のシーケンサーHiSeq2000を大量に整備していたBGIには新たな機種HiSeqXを購入する余力がなく、型落ちした機器による作業を続けていくしかなかった。

このような新規企業の台頭に対抗すべくBGIが進めたのが、新しいシーケンサーの独自開発である。BGIは、創設以来シーケンス請負業務に特化し独自のシーケンサー開発は行おうとしていなかったが、2013年に米国のコンプリート・ゲノミクス社を買収し、2015年後半にはBGISEQ-500というシーケンサーを発表した。このBGISEQ-500が2016年に中国政府から医療



BGISEQ-500 が並ぶ国家遺伝子バンクの内部

器具として承認され、臨床遺伝子検査での使用が許可された。BGIは、こうしたシーケンサー開発を専門に行う部門をMGI社として独立させている。

また、一般の人々や患者を対象とした遺伝子検査業務への進出も果たした。なかでも新型出生前診断（母体血胎児染色体検査…NIPIT）に力を入れ、2015年には広東省深圳市、湖北省武漢市、天津市の各検査センターでNIPITやがん関連の遺伝子検査をできるようにした。これによりBGIは、2018年5月末までに全世界で313万人に出生前診断を実施したとされる。BGIは、遺伝子検査やシーケンスの受託業務を行う部門をBGIジェノミクス社として独立させた。

BGIの新たな仕事として注目されるものに、広東省深圳市に設置された国家遺伝子バンク（第六章参照）の運営受託がある。この国家遺伝子バンクは2016年に完成し、中国におけるデジタル健康管理、臨床検査、疾病予防、高効率農業、種の多様性保護などを支えている。

る。国家遺伝子バンクはゲノム解読拠点としても機能しており、施設内部にはBGIが独自開発したBGISEQ-500などが100台以上並んでいる。

(4) BGIの進展の背景

BGIが発展してきた背景として、BGIの効率的な運営体制と適時・適切な方針決定が挙げられる。とりわけシーケンサーの重要性を早くから見抜き、シーケンスとバイオインフォマティクスに焦点を絞って活動を行ってきたことが重要である。

BGIの初期の運営で特徴的なことは、ゲノム研究そのものにはそれほど重きを置かずシーケンス作業を定型的な作業をサービスとして請け負うというもので、関係者の中にはBGIは工場であつて研究所ではなく創造性がないという非難がなされた。しかしイルミナ社に大量発注した時点を考えるとなつたな機器開発では米国がはるか先を進んでおり、BGIは開発された機器を見極めて多く購入しそれを用いて多くのゲノム解読を行うことに意義があると考えたのであり、効率を考えると頷けるものだった。

現在においてもBGIの特徴は、多くの人員を雇用して大量かつ組織的に解読を行うということにある。現有スタッフは、世界全体で約7000人、中国本土に約5000人である。また、BGIのスタッフの年齢は非常に若い。2012年時点で、平均年齢は25歳から26歳であった。BGIはグループ内部に、バイオ分野の人材を育てる教育機関「華大基因学院」を設置し、学位を持たない者でも短

期間にゲノム解析やバイオインフォマティクスを習熟できるように体制を整えている。例えばバイオインフォマティシヤンの場合、最初の3か月でみっちりトレーニングを行い、基本的ノウハウをほぼ完璧にマスターできる。

なお業務のやり方は、現在の中国の特殊な事情を反映したものとなっている。中国本土の深圳本部その他の支部では中国国内からのシーケンス受託を行っているのに対し、深圳市と隣接する香港にある支部では海外からの受託を一手に引き受けている。

香港支部では、まず世界各国からの依頼による試料を郵送により引き取る。ゲノムの状態を検査した後、DNAをばらばらに切断して分注し、シーケンスが可能となるよう酵素増殖を行う。次にシーケンサーが並ぶ部屋に試料を移し、シーケンスの主要工程をオートメーションで行う。その後インフォマティシヤンにより解析を行い、サーバーに保存する。そして、同支部からそのシーケンス結果を各国の発注者に返送する。

海外からの発注を香港支部に集中させるのは、試料を中国本土の深圳に持ち込むと各種手続きが必ずとなり作業が遅くなることもあるが、発注者が共産圏である中国本土でシーケンスや解析を行わせることに懸念をもつ場合もあるからである。つまり、香港が一国二制度により西側諸国と同様と考えられる状況を前提に制度設計されているが、2019年からの香港騒乱によりBGIは海外からの顧客への対応を変更させる必要が出てくる可能性もある。

(5) BGIの将来

BGIによるシーケンス受託事業については、現在のところイルミナ社の最新鋭機HiSeqXを導入した他社と比較して、シーケンスの価格は遜色ない。例えば、2017年に日本の学会で配布されていたチラシによると、BGIは自ら開発したBGISEQ50Sを用いて、全ゲノムシーケンスを8万9千円で受託するとしており、当時の競合他社よりも安価であった。今後シーケンス需要は、出生時診断、人間ドックのオプションへの組入れ、ゲノム情報を生かした精密医療など、ヘルスケア市場で大きく広がることが期待される。後述するように中国政府は2017年、精密医療に関して大規模なプロジェクトを発表した。同計画によると、数百万人の国民のゲノムを解析し、費用は政府が負担するという。これほど膨大なデータとなればシーケンサーが大いに役立つのは間違いなく、BGIはこれまでに培った経験と実績を活かすチャンスとなり得る。

シーケンサー開発企業としての将来はどうだろうか。かつてBGIはイルミナ社の最上級の顧客であり、機器や試薬を含め同社の売り上げの4割弱は中国が占めていたが、そのかなりの部分をBGIが買っていた。BGIは自社で行うシーケンスに関し、イルミナ社のシーケンサーもごく一部残してはいるが、すでに大部分は自社グループ(MGI社)の機器に切り替えている。BGIグループのシーケンサーをイルミナ社の製品と比較した場合、精度に関してはほとんど遜色ないとBGIは主張している。またイルミナ社の製品に比べ試薬代が安価であり、シーケンスをすればするほど費用対効果の面で優越する。シーケンサーの買い替えサイクルが5年程度であることを考えると、将来的にはBGI

Iグループの製品がイルミナ社と十分競つていけることも想定され、そのためには徹底的に価格や性能に磨きをかける必要がある。

なお、BGIがイルミナ社に対抗してシーケンサー開発を続ける場合、その市場は中国国内以外でまず米国が標的になる。ただ現在、米中間にはハイテク分野における貿易摩擦が生じている。米国では2018年8月、政府機関が安全保障上問題のある外国製品を使うのを禁じる国防権限法が成立している。同法では今のところシーケンサーは対象とはされていないが、それにより個人情報であるゲノム情報を大量に生みだされることを考えると、中国製シーケンサーの使用は将来の安全保障上のリスク要因として敬遠される可能性がある。BGI社が今後活路を開いていくためには、こうした懸念にも対応していく必要があるだろう。

4 中国の精密医療

ゲノム科学の成果の実用化として、近年注目されているものに精密医療がある。中国は2016年より、国家科学技術イノベーション第13次五か年計画及びその関連計画のもとで、精密医療プロジェクトを実施している。

(1) 精密医療とは

精密医療 (precision medicine) とは、いわゆる個の医療 (personalized medicine) を意味し、個人の特性に応じた医療を指す。人々をゲノムデータのほか、臨床データ、健康データ、環境データ等を踏まえて類型化し、その特性に合った適切な予防・治療を選択していくものである。個の医療の基となる概念は特段新しいものではなく、例えば一世紀以上前から行われている血液型に応じた輸血治療等、医療従事者はこれまでも患者の特性を見つつそれに適した療法を選択してきた。

近年、患者の遺伝子型 (ジェノタイプ) の違いに応じた医療が可能になるにつれ、それはオーダーメイド医療、テーラーメイド医療など、様々な名称で呼ばれてきた。オーダーメイド医療等は、ゲノム情報をもとに患者にあつた特別の治療を一から構築していくという意味合いがあつたが、精密医療は、特定の疾病への罹患のしやすさ、予後の状況、特定の治療に対する反応は個々で異なるため、それによつて人々を区分することで予防や治療のための介入を行う者を行わない者を分類し、無駄な治療の防止やそれによる費用の軽減を図るという意味合いもある。そのために、人々をゲノムだけでなく各種のオミックス、医療データ、健康データ、環境データ等、できるだけ多くの情報・データをもとに類型化したうえで、いくつかの選択肢の中からその個人に最も適した予防法や治療法を選択していくものである。精密医療に参加する人数が増えれば増えるほど、同じ分類に入る者が多くなるため、1人当たりの費用は安くなりメリットは大きくなる。



演説するオバマ米大統領 (© NIH)

(2) 先行する国々における精密医療

① アイスランド

多くの国民の遺伝子解析を世界に先駆けて実施したのは、北大西洋に位置する小さな島国のアイスランドである。アイスランドの企業である deCODE 社は、同国人のゲノム収集・分析を 1998 年以降より実施し、国民全体 33・3 万人の 3 分の 1 をカバーする 10 万人以上の遺伝子配列を特定した。このアイスランドの動きは、精密医療の先鞭をつけたものと言われている。

② 米国

精密医療という名称が初めて出現したのは、2015 年 1 月の米国オバマ大統領の一般教書演説であった。同演説の中でオバマ大統領は、精密医療イニシアチブ (Precision Medicine Initiative) に触れ、米国立衛生研究所 (NIH) を中心として国民の各種データを収集・分析し精

密医療を推進しようと提唱した。

精密医療イニシアチブでは、以下の5つの取組みを行うこととしている。

○参加者の全ゲノム解析を行う。

○電子カルテの情報に加え、健康に関する様々な生体情報を収集する。

○ウェアラブル機器をはじめとする様々な機器開発を行う。

○膨大なデータを収集し解釈する情報科学を進展させる。

○個人情報保護、倫理的問題の解決等、研究参加者から理解を得るための社会的取組みを行う。

同イニシアチブでは、百万人以上の米国人ボランティアを参加させ、ゲノムをはじめとする生体情報等を含めたコホート研究を行うことにより、健康や疾病の理解を促進し、データ共有を通じて新たな研究の基盤を構築していく活動（「All for US Research Program」と命名されている）を進めている。

③ 英国

英国ではオバマ演説より前の2012年に、ヒトゲノム戦略グループの報告書として10万人ゲノム（UK10K）が提案され、2013年にゲノミックス・イングランドという非営利組織が発足した。同組織を中心に、国民保険サービス（NHS：National Health Service）のカルテ情報データベースと診療ネットワークを駆使して10万人の全ゲノム解析を行い、そのデータベースに基づく個の医療と医療費の最適配分を目指している。当面は、がん患者（正常組織とがん組織）と希少病患者（発端者とその両親のトリオ解析）に焦点を当てて、患者のゲノム情報とカルテ情報を収集してきている。

さらに、2023年を目途に500万人のゲノム解析を行うべくプロジェクトが進行している。

なおNHSの電子カルテ情報については、NHSの患者であれば自身の診療情報にアクセスすることができ、仕組みも整備された。英国は単なる研究としてではなく、ゲノム情報を医療に還元しようと努力している。

④ 欧州（EU）

EUにおいては、2014年から2020年までの研究・イノベーション推進のための枠組み計画であるHorizon2020のもと、関連のプロジェクトが行われている。ヘルスケア関連では、欧州版の精密医療に相当する「個別化された健康とケア」プロジェクトにより、健康的かつ社会参加を続けられるようなエイジングを促進するため、ブレイクスルーとなる研究や抜本的な発明のための支援が行われている。ただここでは、同プロジェクトでは米国や英国のように大規模コホート等を欧州全体で行うことは想定されていない。

また現在、Horizon2020の後継となる計画Horizon Europeの策定に向け、10億ユーロの科学イニシアチブの選定が行われているが、候補の1つに「個別化医療イニシアチブ」がある。同イニシアチブでは、個別化医療のためのプラットフォーム作成が提唱され、ヒトの疾病と治療の過程で個々の細胞と組織がどのように変化するかを測定し、AIと機械学習を利用して、生物学的に意味のあるデータの重要パターンを明らかにすることを目指している。

その他、欧州内での協力活動として2018年に、「百万以上ゲノムイニシアチブ」が発足した。

英国等を含め約20か国が参加し、技術面・倫理面等での課題解決を目指すプロジェクトである。加盟国内で個人データの保護等にも十分配慮しつつ、2022年までに少なくとも百万個の配列決定されたゲノムを利用可能にすることを目指しており、精密医療の推進に役立つものと期待される。

(3) 中国の精密医療プロジェクト

① 概要

中国は2016年3月、精密医療を第13次五か年計画の目玉プロジェクトとして立ち上げ、2016年から2020年までの5年間に12億元(約200億円)の資金を投入することとした。同プロジェクトでは、2030年までに600億元(約1兆円)の投資が予想されており、かつてない規模の巨大プロジェクトになる見込みである。

② プロジェクトの項目と目標

同プロジェクト全体の項目は以下の5点であり、これらの活動により国民の健康レベルを大きく向上させ、過剰医療や有害な医療を減らし、医療費の急激な増加を抑制することを目標としている。

- 大規模コホート研究の実施…中国において発症率の高い疾患、重大なリスクを有する疾患及び相対的に有病率の高い希少疾患を切り口に、百万人以上の大型健康コホート、重大疾患コホート及び専門疾患コホートを構築する。

- 精密医療ビッグデータ統合利用と共有プラットフォームの整備…多層的な精密医療知識基盤シス

テムと、安定的で操作可能な共有プラットフォームを作り上げる。また、精密医療の全プロセスに利用できる生物医学ビッグデータや、臨床における判断と意志決定に使用できるプラットフォームを形成する。

○臨床用フィジオーム…臨床応用技術と生物医学ビッグデータ分析技術を開発することで、革新的な疾病早期アラート・システム、診断、治療と治療効果評価の生物マーカー、製剤の実験・分析の技術体系などにより次世代のフィジオーム(生命・生体の生理機能の総体のこと)を作り上げる。

○予防・診療ソリューションと臨床意志決定システム…重大な疾患の分類、リスク評価、予測・早期警報、早期スクリーニング、個別化医療の治療効果と安全性予測及び監視等のため、予防・診療ソリューションと臨床意志決定システムを形成する。

○精密医療の奨励…中国人の集団における典型的な病気への臨床的対応のデモンストレーション、応用とプロモーション・システムを建設し、治療薬物、検査、測定装置などの保険適用を推進する。

③ 研究の実施段階

精密医療研究の実施に関し、基礎研究と臨床応用・実証研究の進行に応じて段階を設けている。

○基礎研究

- ・ 第1段階…マルチオミックス技術開発とその統合化
- ・ 第2段階…精密医療を実現するためのコホート研究の立ち上げ
- ・ 第3段階…データセンター構築

○臨床応用・実証研究

- ・第4段階…疾患治療のための精密な臨床実験計画や精密診断システム構築
- ・第5段階…臨床研究を通じ病態を示すバイオマーカーや疾患標的の発見
- ・第6段階…これら全てを統合した臨床プラットフォームの構築

④ プロジェクトの実施状況

同プロジェクトには中国科学院上海生命科学研究院、中国科学院北京ゲノム研究所、四川大学、復旦大学など、全体で20の大学・研究所・企業から160人以上の専門家が参加している。プロジェクトの現状は以下のとおりである。

○大規模コホート研究…大規模コホート研究は、プロジェクト全体の中でも重要な位置付けになる。巨大な人口を抱え、また治安等の目的で住民の情報を把握している中国は、他国に比べ比較的内容にコホート研究に取り組むことができると思われる。現在、約2・5億元（約40億円）の拠出により、以下の「大規模自然コホート・デモンストレーション研究」と「区域自然集団コホート研究」という2つの研究が行われている。これらの研究を用いて作り上げた試料とデータをプロジェクト内で共有し、精密医療ビッグデータのプラットフォームで統一的に管理している。

・大規模自然コホート・デモンストレーション研究

大規模コホートを作るための基準と研究フローを確立し、モデル・コホートを構築する。このモデル・コホートを長期的にフォローアップすることによって、生命活動全体のデータベ-

スと知識基盤のフレームワーク・システムを構築する。この研究を通じて、基準の統一と情報共有を行うとともに、サンプルとデータ共有の仕組みを作り上げる。

・住民コホート研究

住民コホート研究は、特定疾患等の特徴から選定した集団ではなく、中国全土をいくつかの区域に分けた住民に対する研究である。主な研究内容は、各区域において少なくとも10万人に上るコホートを作り、5年を超える期間でコホート研究を行うものである。その間の脱落率を10%以内に抑えるようにする。また、上記のデモンストラーション研究で得られた技術や標準化された仕様を用いて、効率的な追跡システムを作り上げる。

○中国人独自のゲノム多型地図の開発…これまでのゲノムデータや表現型の試料としては欧米のデータや試料が多く、中国やアジアの試料が少ないため、データの解釈や医療・臨床開発等で苦労していた。ハルビン工業大学の研究者らは、ゲノム研究グループ、暴露研究グループ、表現型研究グループ等によりゲノム多型、集団多型、影響等について調べ、中国人独自のゲノム多型地図を構築した。現在中国では、大量のシーケンスデータと健康や疾患等との相関性を解析できる人材や技術者自体が不足しているが、将来的には先端医療として国民の健康増進や疾病予防等への寄与が期待される。

○データセンター構築…精密医療プロジェクトは膨大なデータを取り扱うため、データを解析し、蓄積・保管するデータセンターの構築が重要である。四川省成都市にある四川大学华西医院は、

肺がん等の10種の疾病に焦点を当て、百万個のヒトゲノムのシーケンスを計画している。

○バイオメーカーの発見…精密医療では、患者をバイオメーカーに応じ類型化し、それに応じた治療を行うことになるため、バイオメーカーの発見が重要となる。例えば、がん患者のうち特定の集団は特定の遺伝子変異を持っていたり特定の遺伝子が多く発現したりしているため、治療から利益を得る患者を特定するには、バイオメーカーを開発する必要がある。上海の民間機関である上海ジェノミクスが、2000万元（約3200万円）の助成金を得て、特発性肺線維症（IPF）を含む間質性肺疾患の新たなバイオメーカーの開発に関する研究に参画していると言われている。

（4）中国系民間企業の動き

英国のバイオインダストリー協会の市場予測によると、2015年の精密医療（個の医療）の世界市場は819億ドルだが、2020年には1457億ドル、そして2025年には2995億ドルに成長するとされる（年率30%の成長率）。このような巨大な市場に成長する可能性を秘めた精密医療に対し、中国は大きな魅力を感じている。国が先導することで企業もどんどん関連分野に進出し、しかも膨大なDNA情報等の囲い込みも行われれば、中国がヘルスケア産業で世界の覇権を握る可能性もあると考えている。

中国政府が精密医療を国家プロジェクトとして押し出したことで、国内の民間企業も同国でのヘル

スケア産業の発展性を認識し、関連の研究・技術開発や事業化に積極的に取り組み始めている。例えば、上海の大手バイオテック企業である薬明康德 (WuXi App Tec) 社は、中国のICT大手の華為 (ファーウェイ Huawei) 社と契約を結び、膨大な量の精密医療関連のゲノムデータの取扱いを容易にするクラウド環境を構築し、2016年3月にヘルス・クラウド・サービスを開始した。また、薬明康德の子会社で米国マサチューセッツ州に拠点を置くウーシー・ネクストコード (WuXi NextCODE) 社は、シーケンスデータを利用する主要なゲノム情報企業になっており、これまでも英国の10万ゲノムプロジェクト、カタールのゲノムプロジェクト、復旦大学小児病院とボストン小児病院での小児疾患プロジェクト等に取り組んでいる。一方ファーウェイは現在、中国の15都市にデータセンターを置くクラウドプラットフォームにより、同国の5万人にサービスを提供している。

この他、前記のBGIの関連会社である碳雲知能 (CarbonX) 社は、遺伝情報を手掛かりとして自分の体についてより深く理解するサービスを消費者に提供を開始している。同社では、AIを用いて顧客一人一人にあつた健康管理を行うことを目指しており、注目される。この他、血液中のマーカーを用いてがんを検出しようと試みるリキッド・バイオプシー (液体生検) 等、新技術市場で優位に立つことを狙っている企業も出てきている。

(5) 遺伝子管理法の制定

精密医療に関連した中国の動きとして興味深いのは、遺伝子管理法の制定である。中国は2019

年7月、遺伝資源管理法を施行した。中国政府は、DNAやゲノム情報などの遺伝資源を重要と考えており、従来から政令などにより外国人による中国人の遺伝資源の取り扱いを規制していたが、今回は罰則を有する法律を新たに制定したのである。

従来は、海外の企業や研究機関が単独で中国国内でDNAを収集・保存すること、そして海外に持ち出すことが禁止されていた。今回この法律が制定されたことにより、外国人や外国企業は中国の研究機関や企業との共同研究を行うことで、中国人のDNAを解析することが可能となった。ただし共同研究を実施する場合には、研究のプロトコルや研究結果の公表、知的財産権の分配等について、国務院の科学技術行政部門の事前審査と承認が必要とされている。また共同研究が認可された場合でも、ヒト遺伝子資源のバックアップを中国政府に提供することが要請され、さらに中国人のDNA試料やDNA情報の売買は禁止となっている。

中国政府が自国民のDNAの保護等をこのように厳格に規制するのは、中国人の膨大な遺伝資源をベースとし、今後急速に拡大する医薬産業、先端医療産業などの育成において、海外企業を凌駕し中国企業が制覇することにねらいがある。国民の遺伝資源は国家間の競争力に影響する資源であることを、中国政府は明確に認識している。

5 中国の遺伝子組換え (GM) 作物

(1) GM作物の位置付け

農業でのライフサイエンス利用の中で特徴的なものの一つとして、遺伝子組換え (GM: Gene Modified) 作物、及びそれから作られるGM食品がある。植物の遺伝子を組換えることで、防虫・防カビ性、暑さ・寒さ・乾燥等への耐性を持つものを開発し、生産性を大きく向上させようとするものである。例えば抗虫性を持つGM作物は、一般に枯草菌 (B.t.: *Bacillus thuringiensis*) の毒素遺伝子が組み込まれている。昆虫は同毒素に対する耐性を持たないため、それを食べることにより死ぬ。一方ヒトを含めた哺乳類では、消化メカニズムが昆虫と違うため害はないとされる。また、GM作物は農薬の使用を減らすことができるため、農業従事者の健康を改善するという研究もなされている。

中国では、バイオテクノロジーを主要産業の1つに育成しようとする政策が採られ、1990年代から遺伝子組換えによるGM作物の作製がなされてきている。いくつかの事例を列挙すると、GMタバコ (ウイルス抵抗性: 1992年)、GM綿花 (抗虫性: 1998年)、GMトマト (ウイルス抵抗性: 1998年、劣化防止: 1997年、2000年)、GMピーマン (ウイルス抵抗性: 1998年)、GMペチュニア (多様な色: 1998年)、GMパイヤ (ウイルス抵抗性: 2006年)、GMポプラ (抗虫性: 2003年)、GMコメ (抗虫性: 2010年)、GMトウモロコシ (抗虫性: 2010年)

年)である。これらの中では、中国農業科学院の研究者らが枯草菌由来の毒素遺伝子を組み込んだGM作物であるBt綿花が重要であり、国内の綿花栽培総面積の4分の3以上にまで増加している。

(2) GM作物の商用栽培に関する安全性

GM植物の商用栽培に関し、2001年に国務院により「農業遺伝子組換え生物安全管理条例」が公布され、また2002年には農業部(現在の農業農村部)によりその関連規則として、国内栽培のための「農業遺伝子組換え生物安全管理規則」、輸入のための「農業遺伝子組換え生物輸入安全管理規則」、表示のための「農業遺伝子組換え生物安全管理規則」が制定された。さらに2006年には加工のための「農業遺伝子組換え生物加工管理規則」が制定された。

規制の基本方針は農業農村部、国家衛生健康委員会、科学技術部、生態環境部、商務部、国家発展・改革委員会、国家市場監督管理総局の7部局の代表からなる「遺伝子組換え生物の安全管理部門間合同会議」で協議されるが、個々の計画の審査は農業農村部に設置された「農業遺伝子組換え生物安全委員会」による安全性評価に委ねられる。

安全性評価は、実験室レベルでの研究開発後、環境での試験について①中間試験、②環境放出試験、③生産性試験の3段階で審査され、各段階で農業農村部への申請が必要となる。生産性試験の審査を通ると「農業遺伝子組換え生物安全証書」を取得できる(通常は5年ごとに更新)。その後、商業化段階の審査(生産・加工↓商業経営)を申請でき、通常数年で許可が取得できるとされる。

図表31 各国のGM作物栽培状況（2018年）

順位	国名	栽培面積 (万ha)	主な栽培GM作物
1	米国	7,500	大豆、トウモロコシ、綿花、 アルファルファなど
2	ブラジル	5,130	大豆、トウモロコシ、綿花など
3	アルゼンチン	2,390	大豆、綿花、トウモロコシ
4	カナダ	1,270	大豆、トウモロコシ、キャノーラ、 テンサイなど
5	インド	1,160	綿花
6	パラグアイ	380	大豆、トウモロコシ、綿花
7	中国	290	綿花、パパイヤ

（出典）ISAAA報告書「GM Crops2018」を基に作成

（3）GM作物の商業栽培状況

2018年に国際アグリバイオ事業団(ISAAA: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications)が公表したデータを基に、各国のGM作物の栽培面積を取りまとめたものが図表31である。

中国は第7位となっているものの、米国、ブラジル、アルゼンチン等に大きく差をつけられている。米国やブラジルで大きな栽培面積を占める大豆、トウモロコシ等のGM作物は、中国国内での商業栽培が許可されていないことが理由と考えられる。現在、研究開発を終了し安全性を評価したのうち商業栽培にこぎつけているGM作物は、綿花とパパイヤに限られている。ただし大豆とトウモロコシについては、GM作物を輸入し加工して販売することについて安全性が確認され承認されている。

(4) GM作物に関する不祥事の発生

すでに第一章で述べたように、中国では今世紀に入り経済が発展するにつれ食生活が高度化し、生活の質の向上と安全性をより強く求めるようになってきた。一方、経済的利益追求のために悪徳業者が横行し、人体に健康被害をもたらす有害な食品が多数流通し、食品汚染問題が多発するようになった。中国政府も食品の安全性強化に努めたが、相次ぐ事件の発覚で2007年6月、担当の大臣が降格となり、代わって研究者出身の大臣が就任する事態が発生している。そういった背景から、国民にGM作物という未知の技術に対する得体の知れない漠然とした不安感が高まり、不安を避けることを優先する傾向がある。例えば、中国のシンクタンクが行ったアンケート調査では、中国人の70%以上が明確にGM作物に反対の立場を示しているという。

中国でのGM作物に対する反対の中心はコメに係るものである。2008年に米国タフツ大学の唐博士は、遺伝子組換えによりビタミンA(βカロチン)を強化したゴールデンライスという米を湖南省の学校給食で子供たちに食べさせその影響を調べた。ところが2012年になって、同研究を行うことについて中国政府から正式に了承を得ておらず、また事前に保護者らに十分に説明していなかったことが分かり、中国国内で大きな騒ぎとなった。結果的にゴールデンライス自体は安全性に問題はないとされたが、2013年9月タフツ大学は、この研究が同大学の審査委員会の審査・承認を得ておらず大学や米国連邦政府の規制に反するとして、その後2年間、同博士がヒトを用いた研究を行うことを禁止した。また2014年7月、華中農業大学で開発された昆虫耐性のGMコメが、同大学のある湖北省武漢

市の大手スーパーマーケットで販売されていることが発見された。開発に関係した民間会社が、GM コメの種子を違法に持ち帰り増やした可能性が指摘された。

一方EUは2012年から中国産コメの入境検査を厳格化しているが、2013年には同国から輸出されたコメから遺伝子組換え成分が25回も検出されたという。このことは、中国国内でヤミのGM コメが栽培され、販売されている可能性を物語っている。

(5) 中国企業によるシンジエンタ社の買収

政府としては、イノベーション強化政策や外国企業に中国の農産物市場を支配されたくないという思いがあり、将来の農業バイオの中心的な技術になりうるGM作物への対応も徐々に変化しつつある。中国では従来から、農業バイオ研究は研究開発の重要な柱の一つであり、すでに2013年の段階で中国の農業研究に対する公的資金は100億ドルと米国の公的資金の2倍以上に達しており、100以上の農業研究機関を支援している。

2017年には、国有企業で石油化学を含む総合化学メーカーである中国化工集団 (Chem China) が、スイスに本拠地を置く多国籍企業シンジエンタ (Syngenta) 社を430億ドルで買収した。同社は農薬や種子を主力商品とするアグリビジネスを展開している企業であり、農薬業界では世界最
大手、種苗業界でもモンサント、デュポンに次ぐ世界第3位となっている。同社はGM作物のタネの
開発も手掛け、これまで乾燥耐性の作物やバイペテラというGMトウモロコシの開発を行ってきた。

買収前、同社の世界におけるタネの取引きのうち、GM作物関連は約40%に相当する数十億ドル規模になっていた。この買収はこれまで中国が手掛けた買収のうちの最大規模のものとなったが、これにより中国は農業バイオ技術で先進的な地位を確保したと考えられる。

(6) ゲノム編集作物の進展

最近では多くの中国人研究者が、CRISPR/Cas9技術を用いて種子の迅速かつ正確な改変を行おうと取り組んでいる。そのようなグループは中国内に約20あり、現在中国はCRISPR/Cas9関連の農業技術論文を世界一多く発表しており、2番目の米国の2倍に達している。

中国政府も2016年の五か年計画の中で植物のゲノム編集を支援することを明記しており、先のシンジエンタ社の買収にもそれが表れている。中国では昆虫被害などによりトウモロコシ生産効率が米国の60%にすぎず、家畜用穀物として米国から大量にGMトウモロコシを輸入しているが、同社はCRISPR/Cas9改変の昆虫耐性トウモロコシ等の実績があり、同国内でそれが実用化されれば大きな食糧改革につながると期待される。

ただ、そのためにはゲノム編集作物に対する規制の明確化が必要である。各国の状況を見ると、欧州では裁判所が遺伝子組換え作物と同様な規制をする必要がある旨の裁定を下しているが、米国農務省は他種からの遺伝子導入ではなく自然又は従来の育種によるものと同様の変異を生じるゲノム編集作物について規制対象外としている。また日本は遺伝子機能を喪失させるゲノム編集作物についての

み規制対象外としている。中国はゲノム編集技術の規制についてまだ明確にしておらず、検討の促進が求められている。

6 中国での脳研究と霊長類実験

脳のメカニズムは複雑で、意識、自由意思、睡眠、精神疾患、認知症等まだまだ分からない部分が多く、人体に残された最後の秘境と言われる。近年中国の研究者も脳研究に積極的に取り組んでいる。また脳研究などのための霊長類研究も盛んである。

(1) 世界の脳研究

世界の脳研究プロジェクトの現状を見てみよう。まず米国であるが、2013年からオバマ前大統領の提唱により先進・革新的神経技術による脳研究(BRAIN: Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies)イニシアチブが開始された。これは脳の活動を司る多数のニューロンの活動を記録することにより、脳活動地図(BAM: Brain Activity Map)と呼ばれる脳内の地図作りを行うもので、ショウジョウバエのような小さな脳から始めて、次第にマウスの網膜システム、マウスの皮質、さらに霊長類、最終的にはヒトのBAM作製を目指すものである。同

イニシアチブでは関連するさまざまな技術開発も行われており、2025年までに総額45億ドルを投じる計画が示されている。

欧州では2013年に、ヒト脳プロジェクト (Human Brain Project) が開始された。約90の機関が参画し、遺伝子、タンパク質、シグナル回路、シナプス間のコネクトーム等のさまざまな研究データ・知見を踏まえ、それを一つのスパコンに結集させ、可能なかぎり正確な脳のシミュレーションを行おうとしている。その成果を用いて、神経変性疾患その他の神経系の障害の解明や新薬の開発を目指している。当初計画では開始から10年間で12億ユーロの拠出が予定されている。

日本でも2014年度から、理化学研究所を中心に「革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明(革新脳)」プロジェクトが行われている。これは小型の霊長類であるマーモセットを用いて、そのマクロレベルでの構造と活動地図作りを行うとともに、そのための技術開発も行うもので、10年間で総額約400億円の規模で行われている。このほか日本では、「臨床と基礎研究の連携強化による精神・神経疾患の克服(融合脳)」、「柔軟な環境適応を可能とする意思決定・行動選択の神経システム(意思決定)」等の研究が、政府主導型のプロジェクトとして行われている。

これら脳研究のビッグプロジェクトについては、それぞれが独自に研究を行うより、情報・データや人材を相互に交流したり施設の共同利用を図ったりすることで、より効率より大きな成果が得られる。このため2016年5月開催のG7伊勢志摩サミット首脳宣言付属文書等において、脳科学研究における日米欧の国際連携の重要性が認識されている。

(2) 中国の脳研究

中国には、以前はほとんどトップレベルの研究者はおらず、脳科学研究のレベルはそれほど高いものではなかった。しかし近年、海外で教育を受けポストドク等で活躍した研究者を本国に呼び戻したり、欧米の優れた研究者を招き入れたりすることにより、システム神経科学や脳機能イメージング等の研究分野でインパクトの大きい研究成果が急増している。

政府はこのような状況を受け、「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画（2016年～2020年）で、15ある重大科学技術プロジェクトの一つとして「脳科学と脳模倣知能研究（Brain Science and Brain-Inspired Intelligence Technology）」を取り上げ、2017年よりプロジェクトを開始した。認知機能の神経基盤に関する基礎研究、脳障害の診断と介入の方法に関する応用研究、脳にヒントを得たコンピューティングの方法とデバイス開発という3本立ての研究開発体制になっている。

(3) 欧米の霊長類実験

こうした脳研究に欠かすことのできないのが、サルなどの霊長類を用いた研究である。ライフサイエンス研究で用いられる実験動物は、扱いやすさなどの観点からマウスやラット、さらにはイヌやブタなどが一般的である。一方、サルなどの霊長類を実験動物とすることは飼育などの点で困難を伴うが、マウスやイヌなどに比べてはるかにヒトに似ており、各種条件設定のもとで霊長類の行動や反応

を調べることで、ヒトだとどうなるかを類推できる。特に脳研究において、ヒトの共感、意識、言語等の高度な脳の機能や精神疾患等の原因・メカニズムを解明するには、脳の発達した霊長類を用いた研究が欠かせない。

これら霊長類のうち最も人間に近いものは類人猿と呼ばれ、オランウータン、ゴリラ、チンパンジー、ボノボ、テナガザルの5種類がある。これらはあまりにヒトに近すぎるため、世界のほぼ全ての国で侵襲研究（投薬、医療機器の埋込み、手術等を伴う研究）は行われていない。米国では最近までチンパンジーについて、主要国で唯一、侵襲研究が行われていた。しかし2015年には、同国内務省魚類野生生物局（FWS）の新ルールにより研究に用いられているものも含めチンパンジーが絶滅危惧種に分類され、侵襲実験を行う場合にはFWSへの許可申請が必要となった。さらに同年12月、NIH（米国立衛生研究所）は今後そのような侵襲研究には資金拠出をしない旨発表しており、かかる研究が行われる見込みは実質的になくなった。

一方、類人猿以外の一般的なサルについては侵襲研究が否定されていないが、欧州では強い反対運動がある。このため研究実施には合理的な理由が求められ、培養細胞等で代替することができずならばそれを行い、やむを得ず実施するにしてもできるだけ利用数を少なくしたり苦痛を減らしたりする努力が必要となる。欧州では2008年から2011年の間に研究に利用されたサルの数は28%も減少し、また多くの研究者がサルを用いた研究自体を取り止めている。

このように、欧米では霊長類を用いた研究に対する風当たりは強くなっている。

(4) 中国の霊長類実験

これに対して中国では数十万匹もの研究用の霊長類が飼育されており、特に多いのは研究で最も一般的に用いられているマカクザルである。マカクザルは、オナガザル科に属するサルで、中国、インド、日本、東南アジアなどに広く生息している。日本にいるマカクザルはニホンザルとも呼ばれる。

中国の中央政府や地方政府は近年、マカクザルを中心とした霊長類の飼育施設や研究施設を設置してきている。これらの施設では多数の研究用サルを供与するほか、ハイテクを駆使して質の高い動物ケアや最先端の設備を提供している。代表的な例は雲南省であり、同省は雲南霊長類生物学研究所を設置し大量のサルを研究用に飼育していたが、第六章で述べたように2016年に国家プロジェクトとして同省昆明市にある中国科学院昆明動物研究所に霊長類の研究施設が設置された。これ以外にも、広東省深圳市、広東省広州市、浙江省杭州市、江蘇省蘇州市などに、マカクザルを中心とした霊長類の飼育施設や研究施設を設置してきている。

中国では霊長類の飼育や研究において、コスト、規制、生命倫理等のハードルが低い。まずコストであるが、例えば、2008年に米国エモリー大学の研究者らが世界初のハンチントン病の病態モデルザルを作出した時、購入に1匹あたり6000ドル、飼育に1日1匹当たり20ドルかかったが、中国では購入に1000ドル、飼育に5ドルというデータがあり、約5分の1程度である。また遺伝子編集による双子のベビー誕生に見られるように規制や倫理的な圧力が他の国と比較して緩いという特徴があり、サルなどの霊長類の遺伝子に最先端の遺伝子組換えやゲノム編集の技術を用いて疾病の原

困となる遺伝子を導入することができる。このためゲノム変換をしたサルに関する報告の大部分は中国で行われたものであり、自閉症などの精神疾患の特徴を模擬したサルのモデル実験動物も作出されている。

注目すべきは、最近急速に利用が進展しているゲノム編集技術を霊長類の変換に用いる試みも同国で進展していることである。雲南省昆明市にある雲南中科院霊長類生物学重点实验室（省級）の研究者らは2014年に世界で初めてCRISPR/Cas9技術をサルに用いたことでこの分野を牽引してきたが、さらに2018年には中国科学院上海神经科学研究所との共同研究により遺伝子導入（ノックイン）を世界で初めて行ったとしてセル・リサーチ誌に発表した。

ただ、このような同国での研究の進展は、思わぬ倫理的問題を生ずることもある。2019年3月、中国科学院昆明動物研究所と米国立ノースカロライナ大学らの共同研究チームは、中国の科学誌ナショナル・サイエンス・レビューに、ヒトの脳の発達において重要な役割を担うマイクロセファリン（MCPHL1）という遺伝子を組み込んだアカゲザル（マカクザルの一種で中国南部やインドに生息）11匹を誕生させ（うち8匹が第1世代、3匹が第2世代）、誕生したサルは野生のサルに比べ短期記憶が良く反応時間も短くなるという結果が得られたとの論文を発表した。同チームは、今回の研究におけるサルへのヒトの遺伝子の移植は、「何がヒトを特異にしているのか」という基本的な問いを解き明かすうえで重要な手がかりをもたらず可能性があるとしている。そして同チームは、アカゲザルはマウスなどのげっ歯類よりは遺伝的にヒトに近いが倫理上の問題が生じるほどの近さではなく、ま

た、実験内容については大学の倫理委員会から審査を受け動物の権利に関する国際基準にも従った旨主張している。

しかし、この実験に対して米国の研究者から厳しい批判が浴びせられた。米コロラド大学デンバー校のジェームズ・シカラ教授らは、かつて2011年に「チンパンジー等の類人猿はヒトと非常に近いヒトの脳で機能する遺伝子を類人猿に移植するべきではない」との研究論文を発表しており、本件の中国での実験についても「脳の進化にまつわるヒトの遺伝子を研究する目的でヒトの遺伝子をサルに移植することは非常に危険だ」と強く非難している。また本実験の信頼性についても議論があり、米国の科学雑誌MCIレビューでは、MCPHI 遺伝子を移植されたサルが5匹しか実験過程において生存しておらず一般のサルと比較して明確な結論は得にくい旨述べている。

中国では脳のメカニズム解明のため、このほかニューロン間の結合を強める働きをする遺伝子SPGAP2や言語能力に関与する遺伝子FOXP2等をサルに導入する試みも行われている。各国が安全規制、倫理などの観点で手をこまねいている間に、このような実験が中国で堂々と可能であることにより、海外の研究者が中国と研究協力を行ったり中国にラボを設置したりする場合が増えてきた。例えば広東省深圳市には米国MITと共同で霊長類研究センターが建設されている。これらのラボで海外からの研究者と中国の研究者が共同で研究を行っている。大規模なマカクザルを用いたヒト疾患モデルの開発は、共感、意識、言語等の高次認知機能、脳障害の病原性メカニズム及び介入アプローチに対して重要な研究手段を提供するもので、研究者にとって魅力的である。中国の関係者も自らの

優位性を自覚し、スイスにあるCERNの加速器を範として、自分たちの施設を世界の霊長類研究施設のハブにしようと考えている。各施設では海外でも通用するよう科学研究における動物の人道的な取り扱いを推進する非営利団体AALACインターナショナルが認証する国際標準を取得しようとしており、いくつかの施設はすでに取得しているようである。

現在まだ優位にある欧米の脳研究も、中国に急速に追撃を受ける恐れがあることに留意する必要がある。欧米の優秀な研究者が続々と中国に移動し、霊長類を用いた研究が中国で行われるようになるからである。

7 中国の幹細胞医療研究

幹細胞医療とは、ケガや病気などによつて失われた機能を幹細胞により元どおりにすることを指す医療である。幹細胞は、もともと身体に存在する「体性幹細胞」、胚（受精卵）から培養して作る「ES細胞」、人工的に作製される「iPS細胞」の3種類がある。

(1) 幹細胞研究の政策動向

「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画」の中で、中国は「幹細胞とトランスレーショナル研究」

と呼ばれるイニシアチブを開始した。その前の第12次五か年計画において、幹細胞研究に約30億人民元を投資しているが、今回のイニシアチブではその額は大幅に増加するものと考えられている。

また2016年には「健康中国2030」を策定し幅広い健康サービス産業の育成強化を図ることとしたが、その一環で国際競争力のある健康医療観光地を創り出すという目標を設定した。中国の最南部にある海南島が対象となつて、同島が医療特別区として指定され未承認薬の早期使用が可能になつている。2018年には、中国初の幹細胞治療の専門病院である中国幹細胞集団海南ボアオ附属幹細胞医院が同島に開業した。ボアオは海南島にある中国有数の複合リゾート地の地名で、毎年ボアオ・アジア・フォーラムが開催されることでも有名である。同医院はトップレベルの層流無菌病室を100室設置し、年間1千件を超える造血幹細胞移植を実施する計画である。今後同島に、幹細胞研究の成果を臨床で実用化する国家レベルのプラットフォームの建設も予定されている。

(2) 幹細胞研究の動向

中国に幹細胞研究を行う研究室が多数存在するが、研究の中心はやはり北京であり、そのうちでも北京大学と中国科学院動物研究所が重要である。北京以外では中国科学院上海生命科学研究所、中国科学院广州生物医薬・健康研究院が幹細胞研究の拠点とされる。

このような体制の下、中国の幹細胞関係の論文の数は飛躍的に伸びている。10年ほど前は中国全体の論文数で、米国はおろか日本、ドイツ、英国などの後塵を拝していたが、現在は欧州諸国や日本を

追い抜き米国に近づいている。特に中国は体性幹細胞研究の論文が多く、順位の上昇に大きく寄与したと思われる。

幹細胞を用いたヒトへの治療であるが、中国ではまだES細胞やiPS細胞の臨床試験について行われているとの報告はない。また現在世界では米国、EU、日本等から10種類以上の幹細胞製剤が発売されているが、中国ではまだ1つも販売に至っていない。国内で有力なのは、「中源協和(VCANBIO CELL & GENE ENGINEERING)」と「漢氏聯合(Health & Biotech)」の2社である。国家薬品監督管理局・薬品審査評価センターは、幹細胞製剤の関係で受理している製品19種類のうち、両社から各3種類ずつ製品の申請を受理している旨公表している。ただ申請年を見ると、2社の製品それぞれ1種類は2018年であるが、残りの17種類は全て2014年であり、幹細胞製剤の臨床研究に大きな進展がないことが分かる。

なお幹細胞バンクは中国全体で6つあり、うち5つを科学技術部が支援している。特に中国科学院動物研究所には中国初の臨床級幹細胞バンクが構築され、中国の幹細胞分野の研究の規範化・標準化が推進された。2017年には中国初の幹細胞汎用基準が発表され、さらに2019年には中国初の胚性幹細胞(ES細胞)の製品基準が発表された。

(3) 違法な幹細胞治療の横行

第七章で述べたように北京大学の鄧宏魁博士らは、HIV感染を伴った急性性リンパ性白血病の患者

に対しゲノム編集したヒトの造血幹細胞の移植治療を世界で初めて行っている。その一方で無認可での幹細胞治療は昔から行われてきた。

2012年4月のネイチャー誌で、胎児のへその尾から採取した幹細胞を用いて高額で未承認の治療を行うクリニックが中国各地に広がっているとの報告がなされた。一部のクリニックは幹細胞の注射でアルツハイマー病や自閉症の症状が改善したと宣伝していたが、同誌は「治療効果が期待できないだけでなく、深刻な副作用のおそれもある」とする専門家の見方を紹介して注意を呼びかけた。治療を受けたとする患者の体験談によると、アルツハイマー病治療では1回当たり60万円から100万円の注射を4回から8回実施することであった。自閉症の治療の場合には、種類が異なる幹細胞を用いて500万円近い出費を求めるケースもあった。アルツハイマー病の専門家は注射された幹細胞が体内で数日生きるかどうか不明だとし、また自閉症の専門家は幹細胞で自閉症が改善するとの根拠はながんや自己免疫疾患を引き起こす可能性があるとしている。

幹細胞療法では、細胞の変異が制御不能になり最終的に腫瘍化を引き起こしたり、急性や慢性の合併症を引き起こしたりして、最終的には死亡につながる可能性もある。このため多くの国では、幹細胞療法は厳格な臨床試験を経て規制当局が承認する前に安全かつ効果的であることを証明する必要がある。中国も国際動向にも配慮する姿勢を見せ、2007年に国際幹細胞学会（ISSCR）に加盟したうえで、国家衛生健康委員会や国家薬品监督管理局などが規制体制の確立を目指し努力している。

第九章 中国のライフサイエンス研究の特徴

これまでの各章では沿革や事実関係を中心に記述してきたが、これらを踏まえて筆者が考える中国のライフサイエンス研究の特徴を述べたい。

1 豊富な資金

中国の科学技術における現在の最大の強みは、研究開発資金の豊富さであろう。中国の経済発展は20世紀末に始まり21世紀に入って加速した。ここ数年は成長率が鈍化し中国指導部自らが経済状況を「ニューノーマル（新常态）」と呼ぶ状況にあるが、それでも政府発表の成長率は6%を超えている。このような経済の拡大発展を受け、中国の研究開発費の増加は急激かつ膨大である。現時点で中国全体の研究開発費は米国に次いで第2位となっており、IMFレポートで米国の半分のところまで来ている。ちなみに日本は長い間米国を追いかけていたが、現在は中国に次いで第3位に低下している。

第四章のインパクトで見たように、ライフサイエンス研究費の比重は中国全体の研究開発費の10%程度で、米国(25%)や日本(17%)などと比較してそれほど高くない。中国では、研究開発に力を入れる大きな医薬品企業がまだ存在していないためと考えられる。しかし実際の研究現場では、中国の他の分野と同様に豊富な研究開発費を彷彿とさせるエピソードに出くわすことが多い。その大きな理由が、力のある研究者に対する研究資金の傾斜的な配分である。中国では、米国のグラント・システムを取り入れた競争的な研究資金が急激に拡大強化されてきたため、研究者全体に万遍なく配分されるのではなく、力のある有名研究者に絞って重点的に配分されてきている。このため現時点においては、中国の有力研究者は日本の有力研究者よりはるかに資金力に優れている。

圧倒的な資金力を誇る中国ならではの話を紹介したい。エボラ出血熱という感染症は、最強の感染性と毒性を持つエボラウイルスにより引き起こされ、致死率が極めて高い恐ろしい病気である。このエボラ出血熱がギニアをはじめとする西アフリカで2013年12月頃から流行しはじめ、2014年6月頃より感染が急拡大して深刻な事態となった。2015年10月のWHOの発表によると、感染疑い例も含め2万8512名が感染し1万1313名が死亡(死亡率40%)したという。このため、米国のCDCをはじめとする世界中の感染症対策機関が協力し支援を行った。中国にも中国版CDCと呼ばれる中国疾病予防制御センターがあり、主任は第七章で紹介した高福博士である。高福博士によると、この西アフリカにおけるエボラ出血熱の流行の際、中国疾病予防制御センターが支援と研究を実施するため、なんと同センターのスタッフ60名や関連資材などをチャーター機に乗せパンデ

ミック状態にあったシエラレオネに派遣し、その後2か月間にわたり治療と研究に当たったという。高博士は筆者に対し、共産党幹部が感染症対策の重要性を十分に理解した優れた対応であったと述べていた。

2 圧倒的なマンパワー

元々中国は14億人の民を抱え世界最大の人口国であるが、経済発展前の2000年以前は科学技術人材王国ではなかった。最大の理由は、科学技術を推進する経済的な余裕がなく、研究開発のための人材を雇う資金が乏しかったため、研究者のポストが圧倒的に少なかった。また1966年に始まり1976年まで続いた文化大革命では、知識人への憎悪から教育や研究開発は悪影響を免れ得なかった。文化大革命は科学者・技術者などの人材を否定するものであったため、科学者・技術者の育成は壊滅的な打撃を受けた。

中国の経済発展が進行するに従って状況が大きく変化し、2000年代に入り急激に中国の研究人数が増大を始める。2000年で70万人前後と日本と同等であった研究者数が、2016年で約170万人を数え、米国の約140万人、日本の約70万人を抜いて世界一となっている。また、大学進学率も増加し、米国等に留学して博士号を取得する人も増えていることから、単に量だけではなく

質的にも大幅にグレードアップされている。

このうち、ライフサイエンス研究にどの程度研究者が携わっているかであるが、第四章で見たように全体の17%程度であり、約30万人である。一方、日本は全体の30%程度で約20万人、米国は約40万人程度と推定される。中国全体の研究者数が日本や米国と比較して多いにもかかわらず、ライフサイエンス研究者数が米国より少なく日本とも差がないのは、研究開発費と同様に研究開発に力を入れる大きな医薬品企業がまだ存在していないことが大きい。

ただ中国の研究所や大学における研究開発のマンパワーを考える際、そこで修士号や博士号の取得を目指す大学院生の存在を忘れてはならない。中国の理系大学院生が恵まれているのは、大学院の授業料はほとんどの院生で実質無料であり、これに加えて所属する研究室から生活費が支給される。生活費を支給された大学院生は、必死に実験等に励む。ライフサイエンス研究を目指す大学院生も例外ではない。中国科学院を例としてみると、傘下の中国科学技術大学や中国科学院大学だけでなく、研究所においても大学院生を教育できるシステムを採用している。研究生と呼ばれるこれらの大学院生の数は現在約4・5万名に達しており、その半分が博士課程の学生である。したがって、正規の研究者約5・7万名に加えこの4・5万名が研究チームを構成するため、名目のおよそ倍のマンパワーとなる。さらにこれらの研究生は、全体に万遍なく配置されるのではなく、国家重点実験室などの重要なプログラムに重点配分されるのである。

3 研究資材が世界一流

ライフサイエンス関係の国の研究所や大学のトップレベル研究室には、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。近年の研究開発費の増大もあるが、最新鋭の研究機器を思い切つ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つたため、古い研究機器にしがらみがなく、思い切つて世界最先端のものが導入できることも重要である。また、中国自前の技術や製品へのこだわりがないため、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しない。大型装置や共通先端装置などの建設も順調に進んでいる。

本件について、最近日本の研究者から聞いたエピソードを紹介したい。近年のライフサイエンス研究では、たんぱく質の構造解析が重要な位置を占めている。最近まで、たんぱく質の構造解析は結晶を作り解析していたが、近年では電子顕微鏡の技術が発展し、新しい電子顕微鏡が開発された。これは「クライオ電子顕微鏡」と呼ばれ、水を含む生きた状態のたんぱく質を観察することが出来る画期的なものである。ただ、この電子顕微鏡は一台数億円もする非常に高価な装置であるため、日本にもあるが現在数台程度である。ところが中国科学院生物物理研究所を訪問したところ、この600名程度の研究所にクライオ電子顕微鏡が3台も置かれていた。中国全体では数十台に達しており、米国や欧州諸国を遙かにしのぎ世界一の設置台数を誇っている。中国のトップレベルの研究室に、如何に資金力があるかの例証であろう。

4 選択と集中

このように圧倒的な研究資金とマンパワー、決断の早さ、最新鋭の施設・装置を上手く活かす戦術が、「選択と集中」である。中国は科学技術の後発国であり、欧米の科学技術先進国に早く追いつくため、この選択と集中の戦略を取っている。世界で話題となった研究分野に、豊富な研究資金とマンパワーを迅速かつ大胆に集中投下し、短期間で世界のトップレベルまで引き上げるといふ戦略であり、確実にかつ短期間に世界トップクラスのレベルにまで引き上げることが出来る。

ライフサイエンスでも同様の手法が用いられており、現在世界的な注目を浴びている分野に人材と資金を投入して、人海戦術的な手法で欧米や日本に対抗している。実際、ゲノム編集の論文の量においては、ライフサイエンスで強い伝統を有する英国などをはるかに凌駕し、米国と肩を並べる状況にある。

5 米国等との強いつながり

またここ20年から30年の間に、中国と米国等の科学技術先進国との間で形成された人材循環システムにも注意を払うべきである。中国では、トップレベルの学生は北京大学や清華大学などに入学し、

必死で勉学に励む。学部を卒業した後、優秀な成績を修めた学生は米国の有名大学などに留学する。また国内で博士号を取得した学生も、やはり米国などにポストドク修行に出かける。

このように優秀な学生が米国などを目指すのは、国の研究所の幹部研究員や北京大学や清華大学等の有力大学の教授になろうとすると、米国などでの留学や研究経験が不可欠であり、中国国内に留まって研究を続けても高いレベルのポストに就くことが困難であるためである。

個々の研究者にとつては大変負担の大きいシステムであるうが、異文化に接することにより研究者としての資質が鍛えられる、欧米にいる研究者コミュニティと連携をすることができる、共同研究などが可能となり国際共著論文作成が増加するなどのメリットがあり、中国の科学技術レベルの向上という意味では大変重要である。とりわけ分子生物学を始めとする近代生物学の研究者はほとんど留学や外国での研究経験を有しており、世界の研究レベルを十分に認識したうえで自分たちはトップレベルを走っているとの強い自信を持っている。

6 大学附属病院の多さと圧倒的な患者数

中国では、第五章の大学や公的な研究機関のところで見たとように、それぞれが学生の研修や臨床研究のために抱えている附属病院の数が尋常ではない。例えば首都医科大学では、なんと19に上る附属

図表32 大学の附属病院数

順位	大学名	附属病院数
1	首都医科大学	19
2	復旦大学	13
	上海交通大学	13
4	南方医科大学	11
5	北京大学	10
	中山大学	10

(出典) 大学のHPなどを基に、筆者作成

病院を有している。第四章で取り上げた大学で見ると、10か所以上の附属病院を有している大学は、図表32のとおりである。

日本では、国立大学は東京大学を除き1大学1附属病院である。医科系の私立大学では、昭和大学の8附属病院など多い例も見られるが、本院を別にすると小さな単科的な病院が含まれている例が多い。明治以来日本の大学は、各医局（診療科）がいわゆる医局システムを通じて地域の関連病院に医局員を派遣し各地域の医療体系の構築と維持に深く関与しており、附属病院だけでなく関連病院と一体となつて臨床や研究に取り組んできている。したがって、関連病院が附属病院の代替的な役割を果たしているとの意見もある。しかし自ら設置する附属病院と違い、新しい施設・設備の建設や病床数の増減、診療科の変更など病院の運営には直接関与できないことに留意する必要がある。

また中国では、これらの附属病院などの患者の多さも尋常ではない。人は誰でも病気になるものであり、一定の生活レベルに到達した国では適切な医療システムが確立し、結果として

人口の多さは病院にかかる患者の多さにつながる。筆者も何度か中国の病院を視察したことがあるが、その患者数に圧倒された。通院患者の多さもさることながら、入院患者のベッドが廊下やエレベーターホールにまで溢れ出ているのである。中国では他の国に比較して個人での医院開業が活発でなく、患者は大学の附属病院など大きな病院に頼ることになるからと言われている。

中国における大学の附属病院数や患者の多さは、大学の資金面での需要を満たすことや医学生生の教育訓練の場としても重要であろうが、臨床研究や精密医療研究などで大きな貢献を果たす可能性があらう。

7 急激に拡大するライフサイエンス産業

圧倒的な患者数は、医薬品産業やヘルスケア産業成長の大きな原動力となろう。米国のIQVIAという医療産業メディアの2018年のレポートによれば、中国の医薬品の市場規模はすでに米国に次いで世界第二位であり、第三位の日本の倍近い数字となっている。これは人口の多さから見て当然のことであり、将来的には米国を遥かに凌駕することも考えられる。

現在中国国内には、ファイザーなどのように研究開発を積極的に実施するいわゆるメガファーマは存在しておらず、国内で承認された輸入製薬やジェネリックなどを製造販売する企業が中心となつて

いる。しかし、中国政府はこのような状況に満足しておらず、医薬品製造においても世界に冠たる企業を育てようとしている。すでにその芽となる成果が出つつあり、生物製剤などの研究開発分野での特許取得数は世界的に見てもトップレベルにあるほか、世界のライフサイエンス系のベンチャー買収においても中国マネーは大きな存在感を有している。したがって、米国や欧州諸国に後れを取つてきたこれらのビジネスは、今後飛躍的に拡大すると思われる。

8 希少資源や規制環境での優位性

これまでに述べてきた優位性に加えて、中国にはさらにライフサイエンス研究での優位性を示す特長がある。

一つ目は、動植物の多様性である。中国は非常に広い国土を有し、亜熱帯から寒帯までの幅広い気候帯にあり、砂漠、ステップ、熱帯雨林など様々な地理的環境を有している。このため、そこに生息している動物や植物は、世界中の他のどの国よりも多様である。この生物多様性は、中国の将来のライフサイエンス研究を支える大きな財産となる。中国政府は、その点を十分に意識し、第六章で見たようにライフサイエンス研究のインフラとして、様々な生物を収集し、ゲノム解析などを行い、分析データベース化している。現在のところ、これらからまだ目立った成果が出ているわけではないが、

将来的に中国の研究ポテンシャルが上昇してくれば、極めて大きなメリットとなる。

二つ目は、既存の固定観念にとらわれない研究の進め方である。米国や欧州、さらにはそれを範としてきた日本では、ライフサイエンスを含めた研究について様々な規制や規制的な考えがあり、結果として思ったように研究が進まなかった場合もある。とりわけ、キリスト教文化が強い社会では、生命という人間の根源に関わるライフサイエンス研究に関する規制が厳しい状況がある。一方、中国では比較的遅れて近代的な生物学が発展してきたこともあり、欧米より規制が緩い状況にある。このため、欧米で規制のため停滞していた研究や実験が、中国でこともなげに実施される例が目立ち始めている。例えば、ゲノム編集を用いたヒト受精卵に対する実験、サルなどの霊長類を用いた実験などである。さすがに、一昨年の深圳でのゲノム編集を用いた双子のベビー誕生は中国でも強烈な批判を受けたが、それでも欧米とは違う規制の考え方により、中国でのライフサイエンス研究が世界最先端となる可能性は排除できない。

三つ目は、技術開発と実用化・商業化との距離感である。欧米や日本の場合には、技術開発を徹底的に行い、完成品を実用化・商業化へ持っていく。安全性に問題が出てくるかもしれない、所期の目的が果たせないかもしれない、他の研究者から倫理的に糾弾されるかもしれない、といった懸念を想定して、中途半端な技術に基づく応用や実用化を非常に警戒する。しかし中国の場合、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、あるいは技術開発と並行して商業化のプロセスに入ることが多い。ライフサイエンスにおいても、他の科学技術分野と同様、きわめて早期の

段階で実用化・商業化の話が入ってくるのである。これが行き過ぎて、時々トラブルとなることもある。ただ気を付けなければならぬのは、このような万全ではないやり方であっても他国に先駆けて実施することとなり、結果として大きな科学的な進展をもたらし商業的な利益に結び付くこともありうる。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。ましてや精密医療、新薬開発などには、膨大な費用と人員が必要である。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これまでのやり方は、ひよつとしたら通じないのではないかと疑ってみることも重要であろう。

9 研究の蓄積とオリジナリテイの不足

それでは、中国のライフサイエンス研究の課題は何か。まず挙げなければならないのは、他の科学技術分野でも見られるオリジナリテイの不足である。圧倒的な経済発展を背景に、世界トップレベルを目指している中国であるが、一つ一つの研究でオリジナリテイを出していくという点では、まだ欧米などの一流大学や研究機関に及ばない。

1の状況のものを10にする研究と、ゼロのものを1にする研究とは本質的に違う。画期的でオリジナルな研究は、研究資金やマンパワーが豊富であつたり研究設備が最新鋭であつたり、さらには米国

等の外国に行つて研究をした経験があるなどという環境条件だけでは達成できない。すでに見てきたとおり研究論文数や被引用数では米国に近づきつつあるものの、ノーベル賞受賞者数やその候補者の数で見際には、中国の研究者は米国、欧州諸国や日本などに遠く及ばない。中国の科学技術が短期間で急激に発展したため、長い期間における研究業績が評価されるノーベル賞の選考にはまだタイムラグがあるという見方もあるが、ノーベル賞の求める画期的かつオリジナルティがある研究が少ないということも見逃せない。

どのような研究分野でもそうであるが、オリジナルティのある研究開発にはある種の危険を伴う。人類初めてのことをやろうとするわけであり、本来にできるかどうか分からないことが多い。長い年月をかけて研究開発を行つても、結果として達成できない可能性がある。むしろ達成できない方が圧倒的に多い。そうすると、そのような研究開発に携わつた人たちは、結果として意味の無い研究開発を行つてきたことになり、社会的にも葬り去られてしまふことになる。そのように社会的に葬り去れることに耐えることを厭わない人がいて、そしてそのような人たちにも温かい目を向けてくれる社会でなければ、オリジナルティのある研究開発はできない。オリジナルティが発揮できるようになるには、その国における研究開発の歴史と科学文化の蓄積が必要である。

日本においても、欧米から自分たちの猿まねにすぎないと常に蔑まれながら、明治維新以降學術や基礎研究の経験を徐々に蓄積してきた結果、近年ようやくオリジナルと評価されるものが出てきている。その点、文化大革命以降極めて短期間に立ち上がった中国において、オリジナルティを支える学

術や基礎研究の蓄積がまだ足りないであろう。とはいえ時間が解決してくれる問題とも考えられ、将来それ程遠くない時期に中国でもオリジナルと評価される研究が出現することを期待したい。

10 イノベーションを甘く見ていないか

中国政府は、科学技術分野に膨大な資金と人材を供給し、研究者らが中国の経済や社会にイノベーションを起こすことを強く期待している。ライフサイエンス研究についても、ライフサイエンス関連産業を将来の重要な成長産業と位置付け、イノベーションを起こすべく国の研究機関や大学に対して強力な支援を行っている。世界的に見れば、科学技術活動が国民からの税金によって支えられているがゆえに、経済や社会への見返りを明示的に示さない限り科学技術への支出が正当化されなくなってきたおり、米国でも欧州でも日本でもイノベーション創出が常套句となつている。中国もその方向に向かつているわけであり、これ自身は非難するべきことではない。

イノベーションが科学技術や研究開発と密接に関連することは事実であるが、その道筋は明確ではなく、定まったものがない。基礎研究や技術開発で良い成果が出ても、それが優れた実用化に結びつくとはいえず、イノベーションとなるとさらに関連がはつきりしなくなる。どうすればイノベーションが成功するのかの「法則」はなく、試行錯誤が繰り返されることとなり、欧米でも日本でも研究者、

行政当局者、企業関係者が大いに苦しんできた。この状況をよく表している言葉が、魔の川、死の谷、ダーウィンの海などであるが、追加的な資金や人材の投入が必要であるにもかかわらず、前途の見通しが立たないことから、折角優れた研究開発の成果を持つていたとしても、活かされない状況でストップしてしまふことを指している。

中国の研究機関や大学は、このような魔の川、死の谷、ダーウィンの海といった状況に陥つた経験をほとんど持つていない。中国は遅れて経済発展してきたため、すでに欧米や日本で魔の川、死の谷、ダーウィンの海といった状況を克服して実用化された技術を手に取り入れ、選択と集中により大量の資金と人材を注ぎ込み、世界最大の市場をも味方にして国内での実用化・産業化に成功してきた。しかし、中国の経済が発展し世界の先頭に並んだ現在では、このような方式は通用しなくなりつつある。中国では、人海戦術的に強引に研究開発を進めればイノベーションも達成しうると考えていると思われる節があるが、欧米や日本では直線的に研究開発を進めても達成できなかった苦い経験をいくつも有している。巨大な研究開発費を投入しても全く実用化されなかつたり、最終的な果実を他国の企業により奪われたりした例は枚挙のいとまがない。中国もこのようなイノベーションの罫を十分に認識すべきであろう。

11 米中貿易摩擦をどう考えるか

本章の5で紹介したように、中国と米国の科学技術上の交流は広範多岐にわたっており、ライフサイエンス研究においても同様である。しかし、米国においてトランプ政権が登場して以降、この協力・交流関係に暗雲が漂っている。

中国の科学技術人材の育成システムは、米国の科学技術システムに極めて深くリンクしており、今世紀に入つての中国の科学技術の急激な進展は米国との交流のたまものである。他方、授業料の高額な米国の有力大学に中国人留学生の存在感が大きいことや、中国の優秀で労を厭わない人材により米国の研究現場が支えられていることも事実である。科学技術面だけで考えると双方にメリットのある米中間の交流であり、中国はもちろん米国の関係者にもこれを断ち切ることに強い反発が見られる。しかし現在の米国での議論は、単なる貿易の問題を超えグローバルな覇権争いの様相を呈していることを考えると、中国の科学技術政策にも甚大な影響が出ることを覚悟する必要があるであろう。

参考文献

- ・林幸秀 『科学技術大国中国』 中央公論新社 2013年
- ・林幸秀 『北京大学と清華大学』 丸善プラネット社 2014年
- ・林幸秀 『中国科学院』 丸善プラネット社 2017年
- ・林幸秀 『中国の宇宙開発』 アドスリー社 2019年
- ・JST/CRDS 『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

第三章

- ・「国民経済・社会発展第13次五か年計画」
- ・「中長期科学技術発展計画綱要（2006年〜2020年）」
- ・「中国製造2025 (Made in China 2025)」
- ・「国家イノベーション駆動型発展戦略綱要（2016年〜2030年）」
- ・「健康中国2030」
- ・「国家科学技術イノベーション第13次五か年計画（2016年〜2020年）」
- ・「農業農村科学技術イノベーション第13次五か年計画」
- ・「バイオ技術イノベーション第13次五か年特別計画」

- ・「衛生・健康科学技術イノベーション第13次五か年特別計画」
- ・「健康産業科学技術イノベーション第13次五か年特別計画」
- ・「中医薬科学技術イノベーション第13次五か年特別計画」
- ・「医療機器科学技術イノベーション第13次五か年特別計画」
- ・「国家基礎研究第13次五か年特別計画」

第四章

- ・文部科学省『科学技術要覧2018』
- ・文部科学省科学技術・学術政策研究所『科学技術指標2019』
- ・中国統計出版社『2017中国科技統計年鑑』
- ・科学出版社『2018中国生命科学・生物技術發展報告』
- ・Nature Index <https://www.natureindex.com/>
- ・JST/CRDS『高い被引用回数の論文を著した研究者に関する調査報告書』
- ・JST/CRDS『研究開発の俯瞰報告書 統合版(2019年)』

第五章

- ・国家自然科学基金委員会(NSFC) <http://www.nsf.gov.cn/>

- ・ 科学技術文献出版社『2018 中国生物技術基地平台報告』 2018年
- ・ クラリベイト・アナリティクス Essential Science Indicators
- ・ Nature Index <https://www.natureindex.com/>
- ・ QS University Ranking <https://www.topuniversities.com/university-rankings>
- ・ 科学出版社『中国科学院統計年鑑2017』

その他、関係のHP、ネイチャーやサイエンス誌の記事などを参考とした。

あとがき

本書は、筆者が理事長兼上席研究フェローとして在職する公益財団法人ライフサイエンス振興財団の業務の一環としてとりまとめたものである。

筆者は本書の執筆に関係して、「中国におけるゲノム関連科学技術の現状分析と日本の同科学技術の振興への示唆」という課題で一般財団法人新技術振興渡辺記念会より平成31年度上半期の研究助成を受けている。この研究助成を基に、中国におけるゲノム関連科学技術の資料とデータを収集し、中国の北京と深圳の関連施設の訪問と関係者ヒアリングを実施した。その成果は本書の「はじめに」で紹介したように、文部科学省ライフサイエンス担当分析官の佐藤真輔氏の協力を得て本書第八章などに反映されている。同記念会の高木喜一郎理事兼審議役、下田隆二技術参事、倉並真一技術参事及び文部科学省の佐藤真輔分析官に、改めて謝意を表したい。

そのほか、岩本愛吉東京大学名誉教授や東京大学医科学研究所アジア感染症研究拠点の松田善衛、林光江両特任教授には、中国での現地調査準備やインタビューで協力いただくと共に本書籍に対して貴重なご意見をいただいた。公益社団法人科学技術国際交流センターの秦舟氏には、中国の現地調査でお世話になった。国立研究開発法人科学技術振興機構北京事務所の茶山秀一所長、横山聡副所長・次席代表、李清副所長、国立研究開発法人理化学研究所北京事務所の油谷泰明所長には、現地調査準備で協力いただくと共に本書籍に対して貴重なご意見をいただいた。また、理化学研究所の林崎良英

プログラムディレクター及び池川志郎チームリーダー、文部科学省国立教育政策研究所の新井聡フェロー、金沢先進医学センターの富田勝郎理事長、中国科学院上海植物逆境生物学研究センターの河野洋治准教授からも、本書籍に対して貴重なご意見をいただいた。さらに、ライフサイエンス振興財団の塚本勝常務理事、村田知子氏には、新技術振興渡辺記念会の研究助成に係わる事務作業でお世話になった。

これらの方々に深く感謝申し上げます。

2020年3月

国際科学技術アナリスト

林 幸 秀

著者紹介

林 幸秀 (はやし ゆきひで)

公益財団法人ライフサイエンス振興財団理事長兼上席研究フェロー。国際科学技術アナリスト。1973年東京大学大学院工学系研究科修士課程原子力工学専攻卒。文部科学省科学技術・学術政策局長、内閣府政策統括官(科学技術政策担当)、文部科学審議官、宇宙航空研究開発機構(JAXA)副理事長などを経て、2017年より現職。著書に『科学技術大国中国く有人宇宙飛行から、原子力、iPS細胞まで』、『北京大学と清華大学く歴史、現況、学生生活、優れた点と課題』、『中国科学院く世界最大の科学技術機関の全容、優れた点と課題』、『中国の宇宙開発く中国は米国やロシアにどの程度近づいたか』など。

中国のライフサイエンス研究

2020年4月1日 初版第1刷発行

著者 林 幸秀
発行者 公益社団法人 ライフサイエンス振興財団
〒102-0083 東京都千代田区麴町2-12-1
KDXレジデンス半蔵門702
TEL 03-3265-2641 FAX 03-3265-2645
URL:<http://www.lifesci-found.com>
販売所 株式会社実業公報社
〒101-0051 東京都千代田区神田神保町2-40
TEL 03-3265-0951 FAX 03-3265-0952
Email:j-k@jitsugyo-koho.co.jp

© 2020 林 幸秀 Printed in Japan

乱丁本・落丁本はお手数ですが小社宛にお送りください。

送料小社負担にてお取り替えいたします。

ISBN978-4-88038-062-9