

科学技術動向

2004

7

No.40

科学技術トピックス

▶ ライフサイエンス分野

- ① チンパンジーゲノムとヒトゲノムの間で
予想外に大きな違い明らかになる
- ② SNPs データについての国際標準化の動き

▶ 情報通信分野

- ① 情報漏洩事件多発とその対策

▶ ナノテク・材料分野

- ① 欧州委員会がナノテクノロジー戦略を発表
- ② 米国の大規模ナノテクノロジー研究開発拠点 ALBANY NanoTech が
まもなく稼動

▶ エネルギー分野

- ① 超臨界流体を用いるバイオディーゼル燃料合成技術開発の動向

▶ 製造技術分野

- ① カーボンナノチューブ (CNT) 製造技術の進展

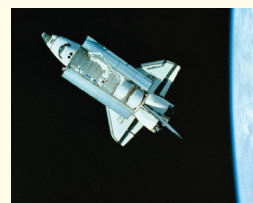
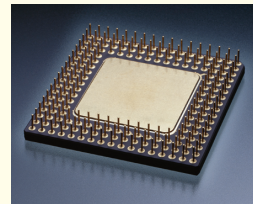
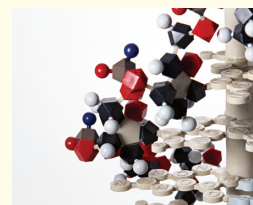
▶ フロンティア分野

- ① エルニーニョ発生の予測可能性を
148 年間の海面水温データにより検証

特集 1 心の科学としての認知科学

特集 2 エネルギー・環境分野における 日中技術協力動向と今後の展望 —地球環境問題とエネルギー安全保障の観点から—

特集 3 急速に発展する中国の宇宙開発



科学技術トピックス

ライフサイエンス分野

6

① チンパンジーゲノムとヒトゲノムの間で予想外に大きな違い明らかになる

理化学研究所が中心となり組織された「国際チンパンジーゲノム 22 番染色体解読コンソーシアム」は、チンパンジーの 22 番染色体のゲノム配列を高い精度で解読し、これに対応するヒト 21 番染色体のゲノム配列との比較を行った。これまで、ヒトとチンパンジーのゲノム間では、アミノ酸配列を変化させるような違いはそれほど多くないと考えられていた。しかし、今回の比較の結果、多くの違いが存在することが示された。ヒトとチンパンジーのゲノムの比較は、認知機能や複雑な言語の使用などの人間に特異的な能力の獲得に関係した遺伝的変異を解明する上で重要な意味をもっている。

② SNPs データについての国際標準化の動き

近年、ゲノム研究にとって、多量のバイオデータが管理された個々のデータベースの共同利用や、バイオデータ交換の円滑な推進が不可欠である。社団法人バイオ産業情報化コンソーシアム (JBIC) は、塩基配列の個体毎のわずかな違いを示す SNPs データの相互交換を可能にする PML (Polymorphism Markup Language) を開発し、2003 年には欧州生物情報科学研究所 (EBI) と共同で、OMG (オブジェクト技術標準化に関する国際団体) に PML を国際標準とする案を提案した。先頃、OMG はこの提案についての評価レポートを公表したが、JBIC はこれを受け、国内外のデータベース関係機関が参加した国際会議で PML 国際標準案の修正案について検討した。今年度中には、国際的なコンセンサスを得た標準化の最終案が策定されると見込まれる。

情報通信分野

7

① 情報漏洩事件多発とその対策

最近、情報漏洩事件が多発している。情報セキュリティに関連する犯罪に関しては、情報システムの専門家による趣味的犯罪から、個人情報盗取などの金銭目的の犯罪に至るまで、多様な犯罪が増加している。この背景には、情報セキュリティ技術面での対策が進みつつある反面、組織内部での情報セキュリティ管理の甘さを突いた面がある。2005 年 4 月には個人情報保護法が施行され、個人情報の適正な取り扱いに違反した場合は罰則が科せられる。しかし、施行を待たず既に個人情報取扱者は情報セキュリティ管理の強化が求められている。可搬で小型の情報機器が普及しているため、厳格な物品管理が必須となる。さらに、情報セキュリティ技術の面でも、記憶装置を持たない端末であるシン・クライアント、個人情報アクセス管理、情報の分散保存管理など最新の個人情報管理技術の導入を検討し管理システムの強化を図ることが求められている。

ナノテク・材料分野

8

①欧州委員会がナノテクノロジー戦略を発表

欧州委員会は、2004 年 5 月 12 日に「欧州ナノテクノロジー戦略に向けて (Towards a European strategy for nanotechnology)」(COM (2004) 第 338 号最終版) を発表した。諸外国との研究開発投入資金の比較において低水準であることや研究拠点の不足を指摘し、欧州連合 (EU) が今の地位を維持できるかどうかを疑問視している。EU の優位性は、最終的には商品や製法の実用化という形で具体化しなければならないとし、技術革新を生み出しやすい環境作りを重要視している。また、社会的影響、健康面、安全面、環境面のリスクについても言及し、研究開発活動で生み出された知識を社会の利益になる方向で活用するために、施策の一貫性や制度レベルの論議を促す内容となっている。

②米国の大規模ナノテクノロジー研究開発拠点 ALBANY NanoTech がまもなく稼動

米国ニューヨーク州は、NYSTER (ナイスター) と呼ばれる産学官連携の地域振興策の一環として、ニューヨーク州立大学オルバニー校に、大型のナノテクノロジー研究開発拠点 ALBANY NanoTech を設けた。この施設は、2004 年 10 月から本格稼動する予定である。日本からは製造装置企業として東京エレクトロン(株)が参加しており、同校内に開発センター (TEL Technology Center, America = TTCA) を開設した。この開発センターは同プロジェクトにおける日本側の窓口の役割も果たすことになる。ナノエレクトロニクス研究開発における世界的な傾向として、大型の共同利用設備に世界中から参加者が集まるという形が定着しつつある。

エネルギー分野

9

①超臨界流体を用いるバイオディーゼル燃料合成技術開発の動向

軽油代替バイオディーゼル燃料 (BDF) は、自動車から排出される炭酸ガスや硫酸酸化物を低減できる石油代替クリーン燃料として着目されており、ナタネやコーンなどの植物油や廃食用油から BDF を効率よく製造する次世代技術の開発が活発になっている。京都大学が 5 年前に超臨界メタノール流体を用いて反応を起こす次世代基礎技術開発に成功し、現在では、必要な温度・圧力は 350℃・420 気圧から 270℃・150 気圧と開発初期に比べてかなり下がり、実用化プラントが視野に入ってきた。その実用化プラント実験が、京大、中央農業総合研究センターなどで最近始まった。生産コストは軽油並の 60～70 円/リットルを目標とし、2005 年度中に実用化のめどを付ける。環境への負荷の少ないクリーンなエネルギーの有望な技術の 1 つとして、今後の開発の進展が期待される。

製造技術分野

10

①カーボンナノチューブ (CNT) 製造技術の進展

ナノデバイス材料として期待の大きいカーボンナノチューブ (CNT) において、最近、次世代ディスプレイ技術の 1 つ FED 用の電子放出材料への応用を目指した研究が活発である。東京大学丸山茂夫助教授らは、原料にアルコールを用い、650℃と比較的低温で単層ナノチューブ (Single-Walled carbon Nanotubes=SWNT) を生成できる ACCVD (Alcohol CCVD) 法により、デバイス応用に必要とされる材料形成の基本条件に近づく結果を得た。これは、現状で最も有用と考えられる、米国ベンチャー企業が保有する製造法と比較して消費エネルギーやデバイス性能に与える影響などの点で優れている。今後の CNT 応用デバイスに有力な製造法として期待される。

①エルニーニョ発生の予測可能性を 148 年間の海面水温データにより検証

エルニーニョは南米ペルー沖の海面水温が異常に上昇する現象で、わが国を含め環太平洋諸国へ異常気象をもたらす。エルニーニョ現象発生の引き金には、熱帯西部太平洋での西風バーストが関係していることがわかっている。コロンビア大学 Chen らは、1856 年から 2003 年までの 148 年間にわたる熱帯太平洋の海面水温データを再構成し、この期間について最大 2 年間のリードタイムで主なエルニーニョ現象は予測可能であったとし、さらにエルニーニョは、西風バーストのような、いわば大気ノイズが本質的な原因ではなく、自律的な海洋内部の力学によって制御されていると結論付けた。エルニーニョの予測可能性が高まれば、長期気象予報の確度が向上するものと期待される。

特集—1 心の科学としての認知科学

— 12

認知科学と神経科学は、個人の心を、そのヒトの脳をはじめとする身体的状態で説明する学問である。特に、認知科学は情報の獲得・変更・保持・活用など心のソフトウェアの解析を行っており、思考・言語能力・学習・意識・他人と区別される自己の概念・価値判断・他者との意思疎通などの仕組みを解明することを目指している。情報科学・心理学・言語・神経科学・哲学・教育・社会学・人類学など、多様な専門分野から研究者が参加している。近年非侵襲性の脳活動測定方法が進歩し、期待を集めている。この方法を用いて有用な知見を得るためには、認知心理学・情報科学・臨床医学・神経科学などの協同が必要とされている。日本では、心理学が文学部や教育学部に属し、これまで他の医・理工系分野との交流が円滑とは言えなかった。実証的な心理学の位置づけを再検討し、理系分野と協同するための体制を整備することが必要とされている。

心に関する知見は、社会的に多大な影響を及ぼし得るため、遺伝子や神経調節因子、細胞・組織などの微視的階層の議論と、個体・社会などの巨視的階層の議論の関係を慎重に取り扱う事が必要となっている。個人の判断能力や行動責任などの概念を、認知科学的知見を踏まえて検討しなおす事が必要となる可能性がある。

認知科学の成立は、西洋社会にとっては、伝統的哲学や心理学の系譜にある。日本では心身の捉え方や思考様式が異なり、社会的要請も異なるのであるから、独自の課題設定をして研究してゆく事が得策である。認知科学で明らかにされる認知機構は、日本人の伝統的考え方の特徴を理解する上で非常に参考になり、日本にとっては伝統的社会の崩壊に伴って揺らいでいる問題解決方法や意思疎通様式を見直して再構築する良い手立てとなる。但し、現時点の日本では、自己の思考方法を意識的に制御する能力を活用しないが為に障害に直面し解決策に窮する場面が増えているので、西洋の採ってきた、思考過程を意識化・明言化してゆく方法を導入することは急務とされる。

神経科学も、心を脳をはじめとする身体の状態から説明するが、生物学的実態として脳の微視的構造・機能の解析から着手し、心のハードウェアを研究してきた。脳に関する膨大で複雑な知見を集積・統合するため、情報科学的手法としてニューロインフォマティクスが提案され、数理シミュレーションを用いて微視的階層の知見から、それより巨視的階層での解釈へと理論が組み立てられている。次第に認知科学と神経科学との隔たりが薄れ、認知過程の物質的基盤を研究することが可能になりつつある。

2004 年 1 月、経済協力開発機構 OECD 閣僚級会議において、脳研究に関する総合データベースシステムの構築と、その運用を推進する機構として国際ニューロインフォマティクス統合機構 (INCF) の設置が決定された。日本でも、ニューロインフォマティクス・システムの開発が進められており、国際貢献できる状況にある。

2004 年の米国 AAAS 科学技術政策年次フォーラムで強調された、ナノ技術・生物学・情報工学・認知科学・社会科学の収斂構想（NIBCS）では、分野を越えた協同によってヒトの心を解明する計画を the Human Cognome Project と名付けており、ヒト・ゲノム計画の成功を継いで、大規模な推進を繰り広げる意向が認められる。認知科学の作業は膨大であり、自国の及ばぬ範囲に関して、他国の成果を活用して行くことは得策であるが、日本としては羅列的情報の量に左右されず、有用な内容の情報を選択して活用してゆく事が重要である。

特集-2

エネルギー・環境分野における 日中技術協力動向と今後の展望

—— 22

—地球環境問題とエネルギー安全保障の観点から—

エネルギー・環境・経済に関する 3E（Energy Security, Environmental Preservation, Sustainable Economic Growth）問題の同時解決は、21 世紀の国際社会が取り組むべき最大の課題である。高い経済成長を遂げたアジア諸国は、世界のエネルギー需給において大きなインパクトを持つようになってきており、アジア地域が将来、地球環境負荷の大きなウェートを占めることが確実視されている。中でも中国は、2020 年にアジアの 1 次エネルギー消費の 45% を占めると予測されている。

2020 年の世界の CO₂ 排出量は 2000 年の約 1.5 倍に達し、その増加分の約 5 割をアジアが占める。今後穏やかな経済成長の見込まれる日本は、このアジア増分の約 2 % しか占めないが、中国はアジア増分の約 53% に寄与する。また、中国の硫黄酸化物や窒素酸化物などによる大気汚染は、隣国の日本への影響も含めて深刻である。3E 問題は日本の問題に止まらず、日本が如何にアジア諸国、特に、中国と協調しながら解決に貢献していくかが重要である。

これまで、エネルギー・環境分野の日中協力事業や研究交流で、日本は大きな貢献をしつつあるが、移転技術のミスマッチや現地でのメンテナンス技術者不足等の多くの課題も出てきた。このような日中技術協力動向と課題を、協力体制や石炭利用・クリーン化、天然ガス利用、原子力利用、再生可能エネルギー利用、環境対策技術の観点からまとめ、今後の日本および中国の 3E 問題に対する取り組みの方向性を示す。この方向性のひとつとして下記 4 点を提言する。

①日本の実用化技術移転

中国の 3E 問題解決のために、石炭高効率利用発電技術、石炭ガス化・液化技術などの石炭利用・クリーン化技術、天然ガス利用技術、原子力利用技術、再生可能エネルギー利用技術、環境対策技術に関する日本の実用化技術を日本から中国へ移転する。技術移転やメンテナンス人材育成をスムーズに行うため、日本の専門家を長期派遣して技術研修や現場の情報交換が行えるエネルギー・環境技術センターを日中両政府合意のもとに設置、推進する。

②温室効果ガス削減に関する日中間制度構築

①において日本から中国へ移転した環境対策技術やエネルギー高効率化技術による中国での CO₂ 排出低減効果を日本の排出低減量に加算できるクリーン開発メカニズム（CDM）制度を日中間で構築、運用する。この制度運用では、技術移転事業による CO₂ 削減実績の評価・認証といった枠組みが必要であり、両政府が、政策的な協調や合意により環境を整備する。

③戦略的共同研究開発プロジェクト

日中共同でエネルギー・環境分野の産学官連携研究開発戦略プロジェクトを推進する。例えば、東アジア地域の広域大気汚染に関する研究や、高効率石炭ガス化複合発電技術や石炭灰有効利用技術を含むクリーンコールテクノロジーなど出口を明確にした先進技術育成を日中共同で実施する。開発した成果は、両国政府合意のもとで知的財産権として保護する。

④中長期的人材育成

3E 問題の意識を持つ人材を日中間で中長期的に育成するため、日本、中国両方の大学あるいは大学院において、3E 問題に関連した科学技術系人材交換留学プログラムを推進する。日中両政府が、相手国の留学生に対して独立したスカラーシップをつくる。

上記提案では、中国にとって、①電力供給分散化、②産炭地等の内部発展、③高度技術の利用 / 普及のメリットがあり、日本の利点は、①実効ある炭酸ガス削減、②産業競争力の維持 / 強化である。また、両国にとって、①環境保全、②持続的な経済発展の利益がある。

特集－3

急速に発展する中国の宇宙開発

— 31

中国は 2003 年 10 月に有人宇宙船「神舟 5 号」の打上げ及び回収に成功し、米ロに次ぎ世界で 3 番目の有人宇宙船打上げ国となった。その背景には中国が過去 40 年にわたり宇宙を目指して着実に成果を積み重ねた技術的実績だけでなく、科学技術体制の刷新など社会体制の急速な変容がある。

中国の宇宙開発計画を主導する組織は国家航天局（CNSA）であるが、実際に研究開発を行うのは国営企業である中国航天科技集团公司（CASC）などであり、人工衛星の開発においては傘下の中国空間技術研究院（CAST）が中核となっている。

中国は 1970 年の最初の打上げから 2004 年 4 月の直近の打上げまで、主に長征ロケットによって 60 個の中国独自衛星の軌道投入に成功している。長征ロケットの打上げ数は商業打上げも含め 76 機で、途中 8 回の失敗があり、打上げ成功率は 89.5% である。96 年 8 月の失敗以降は、2004 年 4 月まで 34 回連続で打上げに成功している。

中国独自の衛星としては、回収式衛星、気象観測衛星、地球観測衛星、通信放送衛星、測位衛星、有人宇宙船などがある。今後の宇宙開発計画として、国力増強につながる各種の宇宙機プロジェクトを実施し、その中でミッション機器の発展、衛星プラットフォームの共通化、衛星設計の高度化などの開発目標を掲げている。さらに新しい分野として月探査や宇宙環境計測なども構想に含まれる。また、アジア・太平洋諸国に対する減災のための協力も行うようになる。

中国の実際の宇宙開発動向を伝える資料として、中国空間技術研究院が発行している「中国空間科学技術」誌の 2003 年刊行分から、研究分野の分布、著者所属機関の分布及び引用文献の種類などの分析を行った。その中には、有人宇宙活動に関連する単段式宇宙輸送システム（SSTO）、宇宙ランデブー、有人宇宙船の操作におけるヒューマンエラー、地球観測画像の解析手法など、幅広い分野の研究論文が含まれており、中国が米・ロ・欧・日に伍して意欲的な研究を行っていることがわかる。

中国は 2010 年を目指して科学技術体制の刷新に着手し、国内経済も旧弊を改めて改革路線を進めており、今後も持続的な経済発展を維持しようとしている。

我が国は中国の宇宙開発における最近数年間の急速な発展を横目で見ているだけではなく、中国の研究開発動向や社会体制の変化から何か学び取るべきものがあるという眼で見る必要がある。

科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿（7 月号は 2004 年 6 月 5 日より 7 月 2 日まで）を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

ライフサイエンス分野

① チンパンジーゲノムとヒトゲノムの間で予想外に大きな違い明らかに

理化学研究所が中心となって組織された「国際チンパンジーゲノム 22 番染色体解読コンソーシアム (The International Chimpanzee Chromosome 22 Consortium)」は、チンパンジーの 22 番染色体の解読を終了し、その結果を報告した (Nature, vol.429, pp382 - 384)。さらに、チンパンジーの 22 番染色体に相当するのは、ヒトでは 21 番染色体であり、これらの両ゲノムの比較も行われた。

高度に発達した認知機能、直立歩行、複雑な言語の使用などの、人間に特異的な能力獲得に関係した遺伝的変異は何であるかを解明するためには、ヒトとチンパンジーのゲノムの比較研究が不可欠である。このためには、利用可能なゲノム配列の解読データが十分な量あり、かつ質が高いことが重要である。チンパンジーゲノムのドラフト配列は 2003 年 8 月に公表されていたが、ゲノムにギャップなどの不明瞭な部分があり、詳細な解析には不十分であった。

同コンソーシアムは、ヒト 21

番染色体と同様の高精度でチンパンジー 22 番染色体の解読を行い、その結果 3,350 万塩基にわたる全配列を 99.998% の精度で決定し、ヒトとチンパンジーのゲノム配列を比較した。

比較の結果、ヒトとチンパンジーの間には、1.44% の一塩基置換と、約 68,000 カ所において、塩基の挿入や欠損という違いが存在した。比較された 231 個の遺伝子のうち 83% の遺伝子においては、タンパク質レベルでアミノ酸の配列が異なっていた。一塩基置換の数は、従来の研究で示されていた程度であったが、挿入や欠損の頻度やこれらが生じている領域の広さが予想以上に大きかった。

これまでは、アミノ酸配列を変化させるようなゲノムの違いは、ヒトとチンパンジーにおいては、それほど多くないと考えられていたが、予想以上に数多くの相違点があると示されたことは、驚くべき事である。22 番染色体の総塩基数は全染色体の内の 1% 程度であるが、この成果は価値あるものであり、ヒトとチンパンジーのゲノム比較からヒトの進化の過程を探る研究は、今後ますます活発化することが期待される。

(参考文献: "DNA sequence and comparative analysis of chimpanzee

chromosome 22", The International Chimpanzee Chromosome 22 Consortium, Nature Vol.429, p382 "Differences with the relatives", Jean Weissenbach, Nature Vol.429, p353)

(味の素株) 都河 龍一郎氏)

② SNPs データについての国際標準化の動き

実験で得られた多量のバイオデータ（その多くは遺伝子情報）はデータベースで管理される。近年、これらデータベースの研究者間での共同利用や、個々の研究者が所有するバイオデータの交換などが円滑に行えることが、ゲノム研究を推進する上で極めて重要になっている。

通常、各々の研究室ごとにローカルなデータベースを構築し、実験情報と遺伝子情報を保存している。こうしたデータベースから、公共のデータベースや他の研究室のローカルなデータベースとの間でデータ交換をする場合、同じデータ構造であれば比較的容易に相互のデータの保存や分析が可能である。ところが、多くの場合は、データ保存などの形式に用いられるコンピュータプログラムは研究室ごとに異なり、送り手側あるい

は受け手側がデータの形式を変換しなければ利用できない。

また、近年のバイオデータは、1つずつが画像データ、実験条件、実験材料や患者に関する臨床情報、バイオデータの解釈など、多くの複雑な情報から構成され、これらの全ての情報を包括してデータベース化する必要がある。国際的な標準化規格として広く認知されている DNA 配列のデータベースは存在するが、近年の複雑なバイオデータに対応可能で、かつ標準規格として認識され得る公的なデータベースはまだ存在しない。

このような問題に対して、研究の効率化を図るため、まず、国際的にバイオデータの規格を標準化しようという議論が起こっている。例えば、欧州の研究者主導で形成された検討グループが、マイクロアレイによるバイオデータの国際的な標準化に向けた議論を進めている (Nature genetics vol.32 469 - 473, 2002)。

SNPs (Single Nucleotide Polymorphisms、一塩基多型) のデータの標準化についても議論も高まっている。テーラーメイド医療の実現に向け、様々な疾病の患者についての SNPs データの収集は重要であり、そのための公共

用語説明

① OMG (Object Management Group)

分散コンピューティングシステムの開発におけるオブジェクト技術の標準化の推進と調査研究を実施する非営利団体である。設立メンバーは、Hewlett-Packard、SUN Microsystems、Unysis など 8 社。現在は、医療、金融、製造、テレコミュニケーション、輸送 などに関わる 800 社以上が参加している。

の SNPs データベースの構築が求められている。現在、米英の産学連携で実施されている The SNP Consortium (<http://snp.cshl.org>) においては、大規模な SNPs データベースの構築が進んでいるものの、標準化についての議論は特にされていない。

こうした中、2002 年に SNPs のデータの標準化のために PML (Polymorphism Markup Language) を開発した社団法人バイオ産業情報化コンソーシアム (JBIC) は、SNPs データの国際標準化を推進している。2003 年には、PML を SNPs データの国際規格とする PML 標準化案を、バイオデータベースの構築に関して実績のある欧州分子生物学研究所 (EMBL) の欧州生物情報科学研究所 (EBI) と共同で、国際標準化推進団体である OMG (Object Management Group^①) に提案した。それを受けて OMG 内に SNPs データ標準化のための WG (作業部会) が設

立され、本格的な標準化案の検討が開始された。

先頃、OMG からこの PML 標準化案に対する評価レポートが提出され、JBIC により開催された第 2 回バイオデータ相互運用性国際会議 (6 月 8 ~ 10 日 東京) において、このレポートに基づいた PML 標準化案の修正案が検討された。同会議には、国内から国立遺伝研、国立がんセンター、JST、東工大、海外からはコールドスプリングハーバー研究所 (米国)、NCBI (米国)、スタンフォード大 (米国)、エール大 (米国)、EBI (英国)、カロリンスカ研究所 (スウェーデン) などバイオデータベースの関連機関が参加し、活発な討論が行われた。

今年度中には、JBIC 主導により、国際的なコンセンサスを得た PML 標準化案の最終案が策定されると見込まれる。

情報通信分野

① 情報漏洩事件多発とその対策

最近、情報漏洩事件が多発、多量の個人情報漏洩している事実が判明している。従来、情報セキュリティに関連する犯罪は、情報システムの専門知識を持つハッカーによる趣味的犯罪が多かったが、最近では個人情報を盗取し闇で売買するような金銭目的の犯罪が増加している。

この背景には、情報セキュリティ技術面での対策が進みつつある反面、組織内部での情報セキュリティ管理の甘さを突いた面がある。すなわち、情報セキュリティ技術に関しては、ウイルス対策ソフトウェアやファイアウォールの普及などのコンピュータウイルス対策や、OS やアプリケーションに存在するセキュリティホールを取り除くソフトウェア脆弱性対策などが進み、外部からネットワークを介して情報を盗取することは簡

単ではなくなっている。一方、可搬で小型の情報機器が普及し、ノート PC やメモリデバイスなどにより大量の情報を外部へ簡単に持ち出すことが容易になっており、情報データや情報機器の管理の甘さを突いた内部の人間が関与した情報漏洩事件が多くなっている。

情報セキュリティ管理面では、2002 年 4 月に経産省が情報セキュリティマネジメントシステム (ISMS) 適合性評価制度を創設している。この制度に従って、登録

された審査機関が、国際的に整合の取れた基準を基に事業者の適合性を審査・認証している。また、個人情報保護法が 2005 年 4 月に施行される。これによって、個人情報の適正な取り扱いに違反した場合は、罰則が科せられるようになり、個人情報の販売も禁止される。現在、事業者が具体的にどのような対応を行えばよいかそのガイドラインを策定中である。

このように、法制度やガイドラインなどの整備は進んでいるが、事業者にとって情報セキュリティ管理強化はコスト増や管理負担増となり、その対応が不十分な事業者が数多く見られる。実際、情報漏洩事件を起こした企業は情報セキュリティ管理基準を満たしていなかった。特に個人情報を取り扱う部門では情報セキュリティ管理の強化が求められている。

一方、情報セキュリティ技術の強化も必要である。悪意を持った行為に対しては強靱な技術も破られる面もあるが、簡単には破れない技術を用意することが犯罪の抑止力となる。例えば、個人情報を取り扱う部門では、記憶装置を持たないシン・クライアント①の導入が始まっている。このシン・クライアントは、1990 年代後半にアプリケーションソフトのインストールやバージョンアップなど複雑化する端末装置のメンテナンスに係るコストを低減させることを目的に登場した端末装置である。しかし、管理用のサーバーのコストが増加することやその後の PC の価格の下落から、シン・クライアントは普及しなかった。最近になって、情報セキュリティの観点からシン・クライアントが見直され、取り扱うデータが端末に残らずサ

用語説明

①シン・クライアント

記憶装置を持たない端末であり、データ入力と通信機能のみを提供し、データの保存とアプリケーションの実行は中央のサーバーで行なわれる。

この端末を使用することによって、データは中央での管理となり、セキュリティ管理がやりやすくなる。

ーバー側で一元管理できる利点が注目されている。

個人情報を取り扱う部門の情報システムには、個人情報データへのアクセス制限・記録、プリンターや外部ファイルなどの機器使用制御、個人情報データの分散保存管理などの最新の情報セキュリティ技術の導入を検討し、管理システムの強化を図ることが求められている。

ナノテク・材料分野

①欧州委員会がナノテクノロジー戦略を発表

欧州委員会は、2004 年 5 月 12 日に「欧州ナノテクノロジー戦略に向けて (Towards a European strategy for nanotechnology)」(COM (2004) 第 338 号最終版) を発表した。その要旨は、以下のようなものである。

ナノテクノロジーの実用化は現在進行中であり、今後は市民生活にも影響を及ぼしていくと思われるが、欧州連合 (EU) が研究開発において今までの地位を今後も維持できるかどうかは疑問である。なぜなら、EU 内の研究開発投資額は急速に伸びているものの、その投入総額は諸外国 (日米) に比べ相対的に低い水準であり、インフラ (研究拠点) も不足しているからである。

ナノサイエンス分野におけるヨーロッパの優位性は、最終的には商品や製法の実用化という形で具体化しなければならない。重要なことは、技術革新を生み出しやすい環境を作り出すことであり、特に中小企業に対して有利な環境を整備することである。

一方、ナノテクノロジーの開発活動は、安全かつ信頼できる方法で行なわなければならない。倫理規範を遵守しなければならない。社会的影響を検討した上で、今後の規制に向けての準備を行なうために、健康面、安全面、環境面のリスクを科学的視点で検討しなければならない。現実の問題点を重視する意味で、一般人との対話も必要不可欠である。

研究開発活動で生み出された知識を社会の利益になる方向で活用するために、施策を一貫性のある形で実施する一方で、制

度レベルの論議も始める時期が到来している。

以上のような内容には、2003 年 12 月に立法化された米国「21 世紀ナノテクノロジー研究開発法」の影響が色濃く現れている。

②米国の大規模ナノテクノロジー研究開発拠点 ALBANY NanoTech がまもなく稼動

米国ニューヨーク州は、1999 年から NYSTER (ナイスター) と呼ばれる産学官連携の地域振興策を、ナノテクノロジーとバイオテクノロジー分野で展開中である。ニューヨーク州は、バイオテクノロジー分野は複数大学の分散型で進めているが、ナノテクノロジーに関してはナノエレクトロニクス分野に特化し、ニューヨーク州立大学オルバニー校の ALBANY

NanoTech に集中投資している。

ALBANY NanoTech における産学官連携の目指すコンセプトとして、a virtual “one-stop-shop”、つまり、ここに来れば何でも揃うという体制を整えることが掲げられている。大学としてはニューヨーク州立大学のほか、レンスラー工科大学が参加し、資金面の主な推進役はニューヨーク州のほか、SEMATEC（民間企業から成る半導体共同開発組織）、IBM 社（同州に本社）、東京エレクトロン(株)である。施設規模としては、

200mm と 300mm のシリコンウエハを取り扱う 4 つのナノファブ（延床面積約 40000m²、クリーンルーム総面積約 6300m²）が用意されている。すでに一部は稼動しているが、全体としては 2004 年 10 月から稼動予定である。

日本企業である東京エレクトロン(株)は、現在、世界第 2 位の半導体製造装置企業であり、今回は ALBANY NanoTech に開発センター（TEL Technology Center, America = TTCA）を LLC（日本には無い有限責任会社の形）とし

て設けた。この開発センターだけでも当初 7 年間で 200 億円以上の研究予算が投資され、延べ 200 人程度の研究スタッフが参加する計画であり、現在、第一弾の試験設備を立ち上げ中である。この開発センターは、同プロジェクトにおける日本側の窓口の役割も果たすことになる。

ナノエレクトロニクスの研究開発における世界的な傾向として、大型の共同利用設備に世界中から参加者が集まる、という形が定着しつつある。

エネルギー分野

①超臨界流体を用いるバイオディーゼル燃料合成技術開発の動向

ナタネやコーンなどの植物油や廃食用油を原料として製造される軽油代替バイオディーゼル燃料（BDF）は、再生可能かつカーボンニュートラルで硫黄含有量も低いことから、自動車から排出される炭酸ガスや硫黄酸化物を低減できる石油代替クリーン燃料として着目されている。自動車燃料の大半を担っているガソリン燃料へエタノールを添加（E10、エタノール 10% 添加）することによって、輸送用燃料から排出される CO₂ の削減に大きく貢献できる可能性がある。

従来、触媒を使って植物油などとメタノールを反応させて作る手法が実用化されていたが、①除去や廃水処理が必要になるせっけん成分が副生成物としてできる、②触媒自体のコストもかかるなどの課題があった。京都大学では、触

媒を使わない次世代技術として、植物油などを加水分解（第 1 反応）後、超臨界メタノール処理（第 2 反応）して BDF を製造する 2 段階超臨界メタノール法の基礎技術開発に 5 年前に成功、現在、必要な温度・圧力は 350℃・420 気圧から 270℃・150 気圧と開発初期に比べてかなり下がり、実用化プラントが視野に入ってきた。2002 年度文科省 21 世紀 COE プログラムのテーマ「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」にも採択されている。超臨界は液体と気体の性質を併せ持つ高温高压で非常に活性が高い状態で、有害物質の無害化や有用物質の抽出などにも利用されている。

この超臨界メタノール法は、せっけん成分が出ず、その分、触媒法に比べ BDF 収集率が高く、反応時間も触媒法の数時間に対し数分程度と短いなどの利点があるが、工業原料でもあるグリセリンが副産物として発生する。製造プラントを農協や村落に設置、地元産の植物油や廃食油からバイオデ

ィーゼルを生産、農業機械の燃料などに自家消費するケースを考えると、副産物の処理が課題となる。中央農業総合研究センターは、上記超臨海メタノール法をベースに、温度圧力は約 300～500℃、200～500 気圧とかなり高いが、グリセリンの発生を抑えられる新技術を開発し、2004 年 4 月に完成したバイオディーゼルの産学連携実験施設でプラント実験を開始した。BDF プラント価格は 500 万～800 万円（毎時 5～6 L）、生産コストは軽油並のリットルあたり 60～70 円が目標で、2005 年度中に実用化のめどを付ける。

各実験プラントの運転実績がまとまれば、経済性や実現可能性適した利用分野などが見通せるようになり、今後は、こうしたデータをもとにしてバイオディーゼルの流通システムや関連制度などについての検討も本格化すると考えられる。環境への負荷の少ないクリーンなエネルギーの有望な技術の 1 つとして、今後の開発の進展が期待される。

製造技術分野

① カーボンナノチューブ (CNT) 製造技術の進展

直径 1 nm ～数 nm と超微細なカーボンナノチューブ (CNT) は、機械的強度、電気伝導率、熱伝導率などで極めて優れた性能を示すためナノデバイス材料としての期待が大きい。最近では、次世代ディスプレイ技術の 1 つ FED (Field Emission Display) 用の電子放出材料への応用を目指した研究が活発であり、例えば新エネルギー・産業技術総合開発機構ではカーボンナノチューブ FED プロジェクトを推進している。

デバイス材料への応用には、所望の場所に、制御された状態で、効率よく作製する技術が最も重要である。こうした技術について、東京大学丸山茂夫助教授らのグループは、CCVD (Catalytic Chemical Vapor Deposition = CCVD) 法の 1 つである ACCVD (Alcohol CCVD) 法を用いて、デバイス応用に必要とされる材料

形成の基本条件に近づく結果を得た。この手法は、原料にアルコールを用い、650℃と比較的低温で単層ナノチューブ (Single-Walled carbon Nanotubes = SWNT) を生成できる。今回の結果の中でも重要な点は以下である。

- ① 反応容器全体を加熱しなくても、触媒を塗布した基板への通電加熱のみで CNT を生成。
- ② 鉄などの触媒が検出限界以下の量でも効率的に CNT を生成可能なため、電子デバイスや光デバイスに触媒の悪い影響をもたらしさない。
- ③ 石英基板に垂直配向した、直径 1 nm ～2 nm、長さ 5 μ m 以上の単層カーボンナノチューブ膜の合成が可能。

7 月 28 ～29 日に東京大学で開催される第 27 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウムでは、最近の重要な成果が数多く発表される。丸山助教授は、CNT は FED 用電子放出材料ばかりで

なく、光短パルスレーザや光ノイズフィルターなどのデバイス応用も遠くないと見ている。

現在、デバイスに最も有用といわれる良質な SWNT の量産試作と供給については、ライス大学 Richard Smalley 博士 (1996 年ノーベル化学賞受賞) らによって 2000 年 2 月に設立された米国テキサス州ヒューストンのベンチャー企業 CNI 社 (Carbon Nanotechnologies Inc.) が有力であり、積極的なビジネス展開を図っている。CNI 社の製造法は一酸化炭素の不均化反応を利用し、高温、高圧条件で生成する HiPco (High Pressure CO Disproportionation) 法であり、これと比較して、丸山助教授らの ACCVD 法は、安全性、製造に必要な消費エネルギー、デバイス性能に与える影響などの点で優れていると考えられる。

ACCVD 法は、CNT を発見したわが国が、今後も研究開発をリードするために必要な製造技術と考えられ、研究開発の加速が期待される。

フロンティア分野

① エルニーニョ発生の予測可能性を 148 年間の海面水温データにより検証

エルニーニョは南米ペルー沖で海面水温が異常に上昇する現象で 12 月下旬頃発生する。アジアや南北アメリカなど環太平洋諸国の気象に大きな影響を及ぼし、日本においてはエルニーニョが発生する年は長梅雨、冷夏、暖冬になりやすいといわれている。気象庁気候・海洋気象部ではエルニーニョ監視

速報を毎月 10 日に公表している。因みに気象庁では監視海域の海面水温の偏差の 5 か月移動平均値が 6 か月以上続けて 0.5℃以上となった場合を“エルニーニョ”(男の子)、6 か月以上続けて -0.5℃以下となった場合を“ラニーニャ”(女の子)と判定している。

エルニーニョは海洋と大気の間相互作用で発生すると見られ、海洋観測衛星からの風向風速観測によって、エルニーニョ発生の引き金には、熱帯西部太平洋での強い西風 (西風バースト) が関係してい

ることがわかっている。もし、こうした西風バースト、すなわち予測モデルにおいては確率的に発生する大気ノイズ (風) がエルニーニョ発生の主要因であるとする、まさに予測は風任せとなり、精度を高めることは難しい。一方、エルニーニョは本質的に自律的な海洋内部の力学で制御されているとの説もあり、この場合はある程度長期に渡って予測が可能となる。

最近になって、コロンビア大学 Chen らは、1856 年から 2003 年までの 148 年間にわたる熱帯太平

洋の海面水温データから、海洋 - 大気結合モデルを用いて、最大 2 年間のリードタイムでこの期間内の主なエルニーニョ現象は予測可能であったと発表した (Nature, Vol.428, p733 (2004))。Chen らはこのデータから、エルニーニョの発生は、確率的な大気のノイズが本質的なのではなく、自律的な海洋内部の力学によって制御されていると結論した。従来の研究では、予測には海面水温データだけでなく海洋内部の水温データも必要

とされていたので、予測実験が可能なのは過去 50 年程度であった。今回の研究では、過去の断片的なデータを再構成して対象期間を延ばすとともに、過去の海面水温データから海洋内部の状態と海洋表面の風を推定することで、長期間の予測実験を可能とした。

海洋 - 大気相互作用を研究している北海道大学の見延庄士郎助教授によれば、Chen らの研究により海面水温のみからでもエルニーニョ予測が可能とされたこと、19

世紀末の大きなエルニーニョを 20 世紀末の大きなエルニーニョとともに予測できたことは高く評価でき、もし彼らの結論が正しければ、西風バーストはエルニーニョ発生の最後の一押しに過ぎないと考えられるという。

長期気象予報は、製造業、流通・小売など産業活動にとって経営戦略を左右する重要な情報である。エルニーニョの予測可能性が高まれば、長期気象予報の確度も高くなるものと期待される。

.....

特集①

心の科学としての認知科学

ライフサイエンス・医療ユニット 石井加代子



1. はじめに

認知科学と神経科学は、個人の心を、そのヒトの脳をはじめとする身体的状態で説明する学問である。他にも心について知る方法は様々あるだろうが、少なくとも両者は、このような原則に基づいている。特に認知科学は、情報の獲得・変更・保持・活用など心のソフトウェアとしての面を解明する学問であり、思考、言語能力、学習、意識、他人と区別される自己の概念、価値判断、他者との意思疎通などの仕組みを研究している。

認知科学は、西洋では、心を知るための学問であるギリシャ哲学、デカルト Descartes の心身二元論

への反論、実証的学問としての心理学の哲学からの独立、行動主義心理学への反動、計算理論に影響された認知心理学の成立という系譜上にある。日本では、デカルトの説のような長年、広範囲に影響を及ぼした心身二元論は見うけられず、むしろ心と身体は連続的なものと捉えられてきた。日本人は伝統的に、曖昧な概念や非言語的思考を上手く取り扱ってきており、他者の心理的状況の推測に長じていたのであり、認知科学的知見を既に活用していたといえる。しかし、日本では自らの思考過程を、意識化・明文化する習慣が一般的

ではなく、過去数十年間の伝統的社会構造の消失と近年の科学推進の要請に直面して、対応策に窮している。自らの思考過程を解明することにより、新たな解決策を構築してゆく事が必要となっている。

認知科学全般の歴史と産業への応用に関しては、亘理の報告があるが¹⁾、ここでは、認知科学領域内の異なる専門分野の相互作用による展開という点から概観し、ヒトの心の働きに関する知識を社会に供給し、心や社会の問題を解決するための手段としての面を考察する。

2. 認知科学という領域の形成

2 - 1

構成分野

1979 年米国認知科学会 Cognitive Science Society が設立された際、認知科学は「人工知能、心理学、及び言語学の学際的領域」と定義され²⁾、初期の主要な関心事は、初回大会のテーマ「知識、内部および論理表現、記号情報処理、機能主義」に見るように情報科学的話題が多かった³⁾。やがて、実体としての生物学的脳やヒトの経験・知識の蓄積が認知機能に欠かせないことが重要視されるように

なった。現在、各国の認知科学研究には、情報科学・心理学・言語・神経科学・哲学・教育・社会学・人類学などの分野から研究者が参加している（図表 1）。日本では、1983 年に日本認知科学会が設立され、2004 年現在で約 1,500 名の会員を擁している（図表 2）⁴⁾。脳・神経科学者の認知科学会への参加は少なく、別に認知神経科学会として、神経心理学、神経生理学、神経科学、脳画像、教育学、心理学、脳外科学、神経内科学、精神医学など、比較的専門性の近い分野間で交流している。

2 - 2

学際性の効用

様々な国で、認知科学会は成立当初から学際的 (multidisciplinary) と定義され、成立後 20 年以上経った現在でも、学際的であることを重要視している。認知科学が未だに学際的領域だと云う根拠は、構成する専門分野が経時的に変化し（図表 1）、教育・研究機関を通じて、他分野からの人の流入が起こっていることである。この為、各専門分野の方法論や専門的知識の貢献度や影響も変化し、認知科

図表 1 各地の認知科学会による学会の構成分野の定義

	設立年	情報科学	心理学	言語	神経科学	哲学	社会学	教育	人類学	人間工学	論理学	認知科学
英国 AISB	1964	○										
米国 CSS	1979	○	○	○								
	1984*	○	○	○	○	○						
	1997*	○	○	○	○	○		○	○			
仏 ARCo	1981	○	○	○	○	○	○				○	
日本 JCSS	1983	○	○	○	○	○	○					
欧州 ESSCS	1983	○	○	○	○	○		○		○		
韓国 KSCS	1987	○	○	○	○	○						
独 GK	1994											○

*：転換期

科学技術動向研究センターにて作成

AISB: the Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behaviour

CSS: Cognitive Science Society

ARCo: Association pour la Recherche Cognitive

JCSS: the Japanese Cognitive Science Society

ESSCS: the European Society for the Study of Cognitive System

KSCS: the Korean Society for Cognitive Science

GK: Gesellschaft für Kognitionswissenschaft

図表 2 各国の認知科学会の会員数

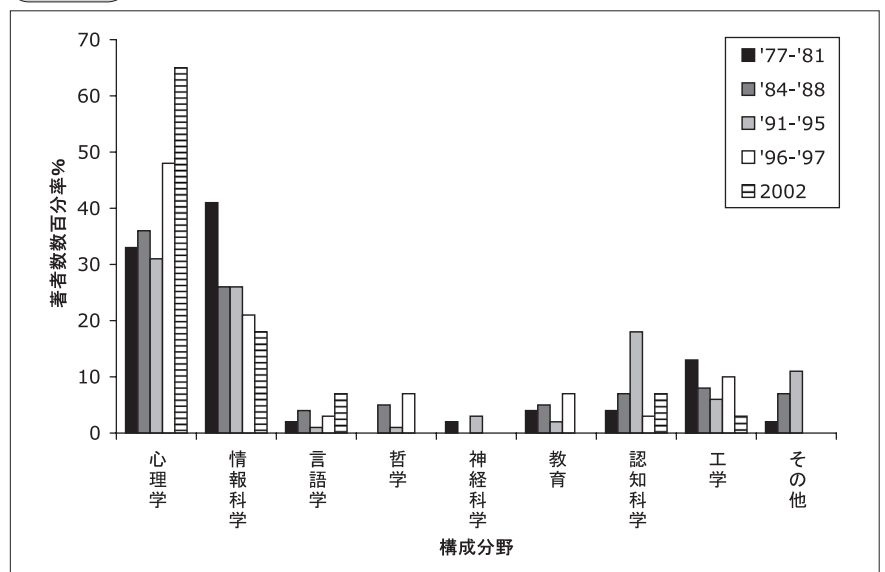
	会員概数
英国 AISB	500
米国 CSS	1,100
仏 ARCo	350
日本 JCSS	1,500
韓国 KCSS	500

科学技術動向研究センターにて作成

学界から出される学問的成果の内容にも変化がある。

現在、認知科学領域の研究者数では、心理学と情報科学の二分野が過半数を占めている。各国で、情報科学者は減少傾向にあり、心理学及び言語学分野が増加する傾向にある。雑誌 Cognitive Science に掲載された論文の筆頭著者の所属機関で見ると、心理学者と情報科学者の割合は、それぞれ 33%と 41% (1977～1981)、48%と 21% (1996～1997 年)、65%と 18% (2002 年) となっている (図表 3)²⁾。方法論的には、長年人間の認知をコンピュータの働きになぞらえて解析する情報処理論的手法が主流であったが、認知活動の状況依存性を強調する状況論や社会や文化の視点を取り入れた社会文化的ア

図表 3 Cognitive Science 誌掲載論文筆頭著者の構成分野分布



Schunn, Crowley & Okada 等の 1998 年の論文²⁾ による。参考のため、それ以降 ('96～'97, 2002) のデータも示した。

プローチの台頭に伴い、10 年程前から現場のデータに基づいた記述的手法も増加している。さらには、神経科学分野からの参加人員の増加と相関して、近年は脳の活動の指標も積極的に取り入れられるようになってきている。このような新しいアプローチや方法論の台頭は、研究課題にも影響を及ぼしている。すなわち、創成期以来認知科学では、個人の思考・推論・記憶などの過程が主要な課題であっ

たが、近年、対人認識や、集団における協同の認知・思考過程に関する研究が増加している。また、研究成果の社会への応用性が要求されるようになっている。論文審査に分野の異なる複数の研究者が当たることにより、伝統的専門分野内の学術的興味に終始した内容を回避し、他分野や社会に対して説明可能性のある論文を選択することが心がけられている。

3. 認知科学の方法論

3 - 1

心の科学の階層構造

ヒトの心の働きには、分子から細胞・神経回路網・脳・個体・人間集団まで、様々な階層での現象が含まれる（図表4）。認知科学は、心のソフトウェアの解析を目指し、最初から個体以上の巨視的階層を対象としている。生命科学の一員であり、心のハードウェアを解析する神経科学は、神経伝達物質や神経特異的遺伝子発現などの分子・細胞・電気生理的信号伝達といった、微視的階層の解明から着手している。

3 - 2

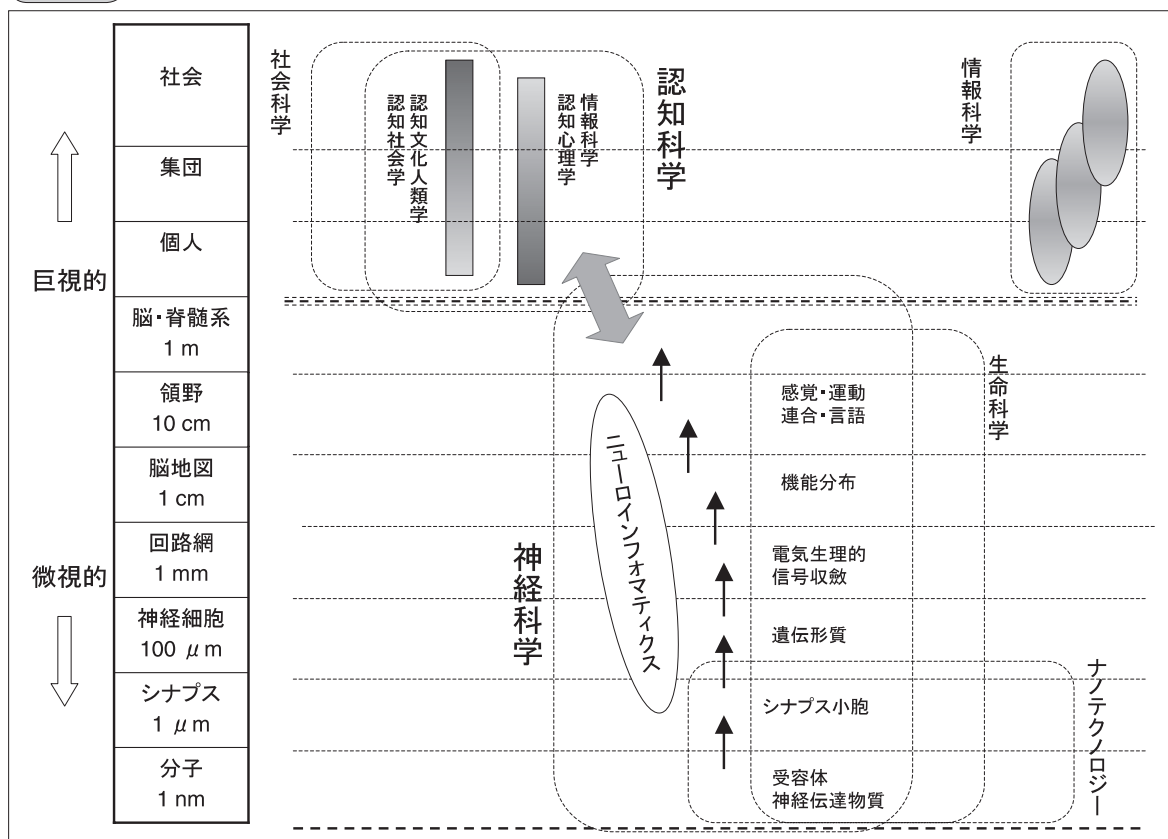
心理学は文学か？

心理学は、巨視的階層である個体や社会を対象とし、記述論的方法を用いることがあるため、他の微視的階層の解析を行う実証的学問の研究者にとって、自然科学としての厳密性や妥当性があまり認められていなかった。本来実証的学問を志向して哲学から分離した心理学ではあるが、諸学派の中には、思弁的で独自の用語や概念系統を創出し、学派外の人間には理解し難く、検証の方法も無いものもあった。認知心理学の場合、対象とする認知過程が行われるのは、被験者や実験動物の体内であり、取り扱い上ブラックボックス

に近い。そこで、被験者に情報が入力する際の条件の厳密性や妥当性、出力データの処理の厳密性や解釈の妥当性を向上させる方法が工夫されている。ヒトに関する実験研究は制約が多く、かつては病態と正常の比較など殆ど医学分野の解析に限られていた。認知心理学的手法の発達に伴い、医学・心理学・情報科学間の協同作業が理論的に可能となっている。

日本では、西洋的一般教養育成を重視した明治政府が、1876 年以降海外留学帰国者を帝国大学文学部教官に採用し、教養科目の哲学の一部として心理学が教えられるようになった。米国で実証心理学を修めた元良勇次郎により、1893 年帝国大学文学部に心理学講座が開設されて後、研究としての心理

図表 4 心に関わる事象の階層図



認知科学の構成分野としての、認知社会学や認知文化人類学では社会の解析に比較的重点が置かれ、認知心理学や情報科学では個人の解析に比較的重点が置かれる。認知科学の心理学・情報科学分野と神経科学のニューロインフォマティクスや無侵襲性脳活動測定の間で次第に境界が薄れつつあり、両領域の知見や方法を融合する可能性が高まっている。

科学技術動向研究センターにて作成

学も文学部内に制度化されていった⁵⁾。また、普通教育を普及させる目的で、1875～78年米国へ視察団が派遣され、派遣先機関で教師養成過程に心理学が組み込まれていたため、師範学校の教師養成課程へ心理学が採用された結果、現在も教育学部に心理学講座が存在する。そもそも心理学は、生理学の影響を受け、思弁の哲学から分離したので、英国ケンブリッジ大学では、心理学は生理学分野から発展している。日本では、心理学が医学・生理学を含む他の理系分野と方法論的に協力・融合可能な学問であるという認識が、双方の研究者で低く、交流を妨げている。まずは日本の実証的な心理学

の位置づけを再検討し、他分野と協同し易い体制を整える必要がある。

3 - 3

心理学と情報科学の協同

認知科学領域では、心理学的実験と計算理論による情報科学的シミュレーションの組み合わせが多くおこなわれてきた。情報科学では、認知過程はプログラムに翻訳され、変数を自由に設定・変更できる。そこで研究者が重視し労力を注ぐのは、入力と出力の間の過程をどのようなプログラムや変数を用いて説明する系を作るかということである。心理学者と情報科

学者が協同を始める時点では、視点の異なることが障害となり易いが、協同作業を遂行する過程で、互いの分野の視点を組み込んだ方法論の修正が行われている。例えば情報科学者は、認知心理学的に観察された人の状況に出来るだけ近い状況をシミュレーションで設定し、変数を操作する。また、心理学的手法で得られたデータが有用であるが、統計的に処理して仮説を証明するほど例数がない場合、情報科学的にシミュレーションを行って仮説の妥当性を補うなどの方法を創出している。視点の異なることが、新たな科学的概念の創出を助長するという好条件となっている。

4. 認知科学の研究課題

認知科学で研究されている課題の数例を挙げる。

4 - 1

言語・非言語的思考

言語学者の Norm Chomsky は、言語の普遍的構造の解析から更に進んで、「ヒトは言語を自発的に獲得する生得的能力を持っている」という生物学的洞察を展開した⁶⁾。これにより「ヒトの高次精神機能を、実証科学的に解明できる」可能性が示唆されたため、多様な分野の研究が触発された。思考を実証的に解析する手段の無い時代には、言語が思考を規定するという言語決定論的考え方が存在したが、実際には、多くの科学者や芸術家が、心的イメージで考えて重要な概念を得ている。Michael Faraday は、力線を中空で曲がりくねる細い管として思い浮かべて、電場と磁場の概念を形成し、抽象理論数学者である James Clerk Maxwell は、薄片と流体の心的イメージを操作して電

磁場の概念を数式化した⁷⁾。認知科学によって非言語過程である心的イメージを用いた思考の存在が証明され、言語を用いた過程は思考の一部である事が示された。最も初期の実験は、様々な回転角度で提示された‘F’とその鏡像の弁別課題で、回答するまでの反応時間は像の回転角度と相関しており、被験者は提示像を直立位置まで心の中で回転して判断している事が示された⁷⁾。一方、ヒトの言語処理過程が、認知機能を解析する有効な手段であることは確かであり、膨大な研究が行われている。

4 - 2

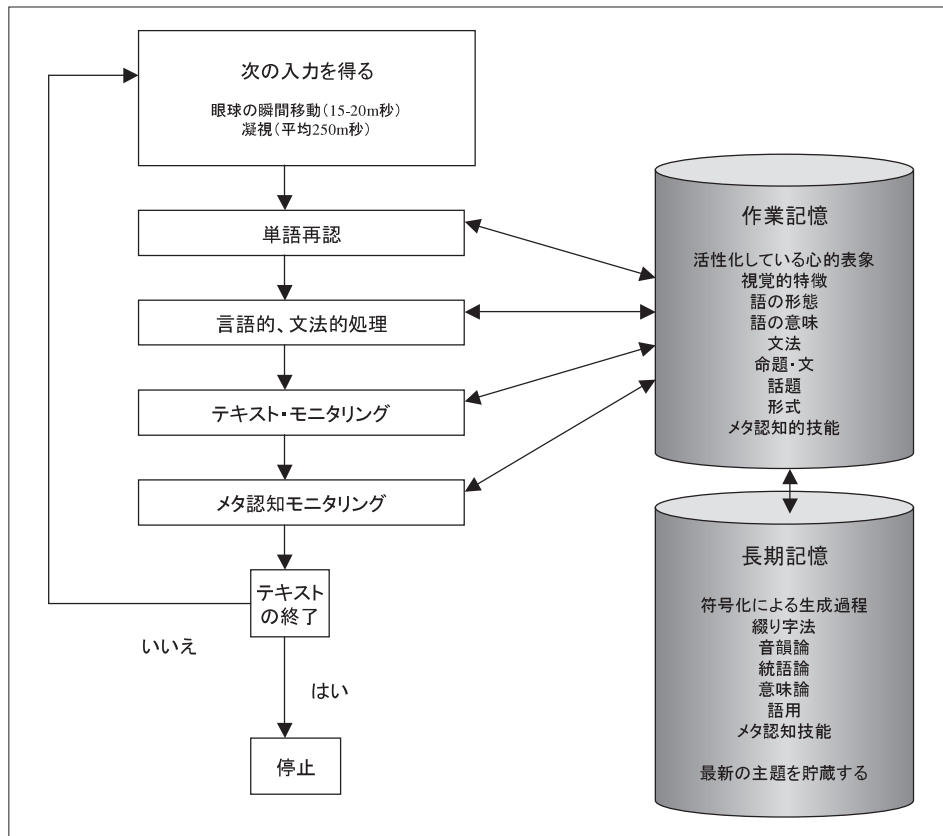
読字の認知機構

日本における論語、イスラム社会でのコーランに見るように、伝統的学習では書字を読むことは、重要な訓練課程である。現時点でも、読字に問題のある児童は、他の能力に問題がないとしても、学習を進める事が非常に困難である。情報の横溢する現代社会では、

会議書類や作業規約など、益々読字の必要性は増しており、専門的な内容を読解出来る人口の比率が、科学技術の基盤を左右する。

一方、初等・中等教育の現場では、話し言葉による意思疎通は正常で、特記すべき障害が認められないにも関わらず、読字に困難を覚えたり、音読出来ても文章の意味を理解できない子供が5～10%存在する。教師や親など、読字を習得してしまった人々は意識していないが、認知科学的に解析すると、読字は多段階の複雑で迅速な情報処理の並列過程から構成されている(図表5)。読字の困難な児童は、これら過程の一部に障害のある事が判明した。例えば、通常の読字にはミリ秒段階の情報処理が要求されるが、速い感覚情報処理に障害のある子供は、言語要素の再認に労力を取られ、意味へ符号化することが困難である。障害のある認知過程を強化することにより、読字能力を向上させる事が可能となっている。

図表 5 読字の認知過程模式図



Bruer の論文⁸⁾ に基づき科学技術動向研究センターにて作成

4 - 3

学習の理論

(1) 領域固有な知識

認知科学の分野では、問題解決行動に於ける熟達者と初心者と比較から、「初心者が熟達者になる過程」すなわち学習の機構が解析されている⁸⁾。初期の人工知能は、数学・幾何やチェスのような形式的・論理的問題解決に成功を収めたが、1970年代、物理や医学など事実知識を多量に要求される分野の問題解決に取り組むと、上手く機能しない事が分かってきた。この差及びヒトの問題解決の過程を比較検討した結果、ヒトの現実的な問題解決には、豊富な領域固有知識が必要であり、他の領域固有知識を習得したり、複数の領域で通用する一般的知識を蓄積しても、補完出来ない部分がある事が示された。このような認知科学の知見に基づいて、中高生の教養不

足を憂う英語学者が1987年に著した「文化としての教養」⁹⁾は、アメリカ人の教養の中身を知る参考書として、長く読み継がれている。

(2) メタ認知

1980年頃、認知科学領域では、成熟したヒトの認知過程には、思考について思考する能力であるメタ認知があることが提唱された。これは、自己あるいは他者の問題解決行為について意識的に気づく能力であり、自分の心的過程を監視し、制御する能力である。幼児に学習項目の一覧表を渡して、必要なだけ時間を使って全部記憶出来たと思ったら知らせるように指示すると、子供が完了したと宣言した時点で記憶内容を検証しても、実際の成績ははるかに低い。子供にお話を記憶させて再現させると、年少児の記憶の仕方は羅列的で、要点を把握するための重要な内容を記憶していないなど効率が悪い。しかし通常12歳以上になると、子

供がある課題を学習したと宣言する時、ほぼ申請内容に一致して再現できるようになり、子供が自分の達成度を認識している事が分かる。更に、子供は与えられたお話し of 諸要素の関連を探り、重要な部分を見出し、その点に注意を注ぎながら記憶してゆくことを知っている。ある領域でメタ認知を獲得すると、新たに他の領域を学習するときも学習が速やかである。

メタ認知を必要とするのは、発達過程だけでなく、どの年齢になっても、その利用程度が学習効率を左右している。Karl Popperの説くように、科学は不確かな初期仮説にたいし反対仮説を提示して検証し、仮説の修正を行う過程を繰り返す事が重要であり¹⁰⁾、メタ認知は科学的研究の場でも重要である。他者の作業に対して助言を与える際にも活用される。また、協同作業において、構成人員の間で得意な作業種や遂行速度に差があるが、自分を含む構成員の作業能力に関する

メタ認知が欠如あるいは不足していると作業能率の損失を来す。

4 - 4

心の理論

ヒトは、無意識に他者の心的状況を推測したり、他者に同調したりする。それが勘違いであることは概して少ないため、対人関係が煩雑な言語的説明を要せずに円滑に進む。このように、自分や他者の心的状態を認知する能力、すなわち「心の理論 theory of mind」に関する研究が進められており、通常、3～5歳までに確立する事が分かっている。例えば、心の理論によって、「誰かの事実に関する

把握内容は、必ずしも真実ではなく、その人が心に抱いている内容であることを理解する」ので、この能力の発達は、子供に簡単な逸話の状況図を見せ、登場人物（あるいは動物）が「間違った把握内容 false belief」を持っていることを見分けられるか否かによって検査できる。

ごく初期の新生児も自己—非自己環境を区別する神経学的特性は持ち合わせているが、主観的な自己—他者の認知は生後18～24ヵ月頃に出現する。共同注意 (joint-attention) 能力の発達過程では、先ず単に他者の注意を引くため、あるいは特定の対象に向けさせるために、指差す行動が12ヵ月ま

でに出現する。次いで、他人の視線を自分と離れた空間まで追跡するようになり、18ヵ月頃までには、他者がある対象を注視している時、「その人が対象のことを心の中で考えているのだ」というように、他者と対象を関連付けられるようになる。自閉症の人々は、自己や他者の心的状態を推測する事が困難である。「心の理論」の心理学的検査によって、自閉症の早期診断が可能となった。また、「心の理論」検査と無侵襲性脳活動測定との併用により、自分や他者の心的状況に注意し推測する能力を担う前頭葉の部位の機能が解析されている。

5. 脳・神経科学分野の関与

5 - 1

微視的神経科学と巨視的認知研究

脳の問題を主な対象とする神経科学は、日本の神経科学学会と神経化学会の会員を合計すると約5,600名、米国神経科学会では海外会員も含め約32,000名と多数の研究者を擁し、その中には、認知過程の解明を目指して研究している者も少なからずいるが、これまで認知科学会への参与は少なかった。それは先ず、神経科学が、認知過程のいわばハードウェアである、生物学的実体としての脳を対象として解析を行い、分子・細胞・局所的神経回路などといった微視的階層からの知見の積み上げから着手しているため、認知科学での個体という巨視的階層の解析と具体的接点が無かったためである(図表4)。しかし神経科学も最終的には、脳の領野・脳全体・個体という巨視的階層での解明を目指している。何故なら、

- ①感覚器での光エネルギー・振動・圧力・歪曲などの物理エネルギーの受容や、酸・塩など数十万種類の分子の化学受容は、電気的信号に変換されて脳に伝達され、脳の大脳皮質で情報が変換されて初めて、視覚像・音・寒暖・匂い・味・姿勢等の感覚として知覚される
- ②ヒトは感覚入力誘因が無い場合も、脳内で自発的に想起し、記憶内容を利用している、
- ③このような巨視的階層の状態が、微視的階層での現象を制御している

からである。③のようなトップ・ダウン式制御の例として、注意・期待・不安・長期記憶内容により、同じ刺激が異なって知覚される事が挙げられる。機械と異なり、ヒトではトップ・ダウン機構が、円滑で柔軟な情報処理に役立っている。

神経生理学の分野で、伊藤正男が小脳の長期抑制を実験的に実証する際、「小脳皮質に特殊なシナプス可塑性が存在すると仮定し、これによって小脳皮質の神経回路網

が学習能力を持つことを導き出す」Marr-Albus 理論に啓発された事がよく知られている。この後、各々の微視的階層での解析に理論科学的方法が利用されてきた。特に神経回路網での電気生理学的刺激の収斂や発散などの解析には、情報科学的方法が有力な手段で、ある微視的階層の情報から、それよりも巨視的階層の情報への組み合わせ・生成に貢献している。ここで、シミュレートされるのは神経情報であり、生物学的な神経回路ではない。

近年、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI)・近赤外光脳血流計測法 (NIRS)、脳磁波測定法 (MEG) など、無侵襲性な脳活動測定法や、低侵襲性な単光子放出コンピュータ断層撮影法 (SPECT) の感度・解像度・走査速度が向上し、健常な個人の自然な状態の脳を対象として、脳内部位という微視的階層での現象が解析されるようになった(図表6)。このため、脳のハードウェアに関する神経科学的知見と、ソフトウェアに関する認知科学的知見に接点が見出せるので

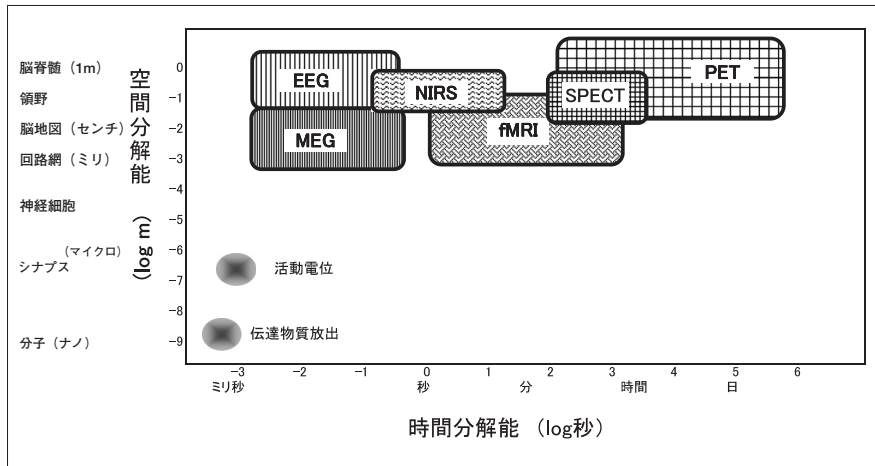
はないかという期待が高まり、5 年ほど前から神経科学者の認知科学会への参加が増大している。

5 - 2

脳・神経の情報科学

ヒトの場合、脳だけに注目しても、神経細胞数はおおよそ 10^{12} 個であり、各神経細胞あたり数千から 1～2 万個のシナプスを介して他の神経細胞からの情報が入力している。シナプスでの情報担体である神経伝達物質や神経修飾物質は、現時点では数十種類知られている。一種の神経伝達物質に対し、複数種の特異的受容体が存在し、異なった細胞内二次情報伝達系と共役することにより、情報の伝達様式が多様化している。現在研究者が比喩的に言及する「お祖母さん細胞」は、「脳内には、その細胞の活動だけで、（例えば）お祖母さんの顔を想起させる神経細胞があり得る」という考え方だが、実際には神経情報の内容は、神経回路網の中に伝播する神経活動の経時的変化によって決定される。更に脳の情報処理は、知覚入力側からのボトム・アップ的変換だけでなく、注意・期待・記憶・自発

図表 6 脳活動測定法の時間・空間分解能



無侵襲性：fMRI：機能的磁気共鳴画像法、NIRS：近赤外光脳血流計測法、MEG：脳磁波測定法、EEG：脳波測定法

低侵襲性：SPECT：単光子放出コンピュータ断層撮影法

※参考：神経伝達物質を含有した膜小胞の放出に要する時間と、シナプスでの活動電位発生時間を示した。

的想起などによって選択・変更の起こるトップ・ダウン的調節が同時進行している。

脳神経系の行う情報処理は膨大かつ複雑であるため、これを記述するためには、情報科学の方法論を活用した統合作業であるインフォマティクスが必須となった。理化学研究所脳科学総合研究センターではニューロインフォマティクスの現状調査と視覚系ニューロインフォマティクス・システム開発が行われている¹¹⁾。

ニューロインフォマティクスが

議論され始めた当時は、「実験データを集積・統合する手段」という印象が強かったが、近年、神経系の情報学的モデル・シミュレーションが巨視的階層まで及んでおり、認知科学における個体の認知過程の情報学的解析と融合する可能性が大きくなってきた。このため、ニューロインフォマティクスと認知科学の研究活動や推進方法の重複による損失を減じ、資材・施設や知見を有効に活用するために、両分野の間で交流を促進する必要がある。

6. 社会での応用

6 - 1

Stephen Mobley の事例

1991 年、Stephen Mobley はピザ屋の店員を殺し、殺人・強盗罪に問われた。特記すべき医学・心理学・社会学的誘因は認められず、暴行歴は無く、知能は正常。性格としては衝動的・狡猾・自己中心的で放火癖・動物虐待歴が知られていた。彼の弁護士は、オランダの犯罪歴の顕著な家系で、「神経伝達物質であるセロトニン・ドーパミン・ノルアドレナリンを代謝する

モノアミン酸化酵素遺伝子の点変異が、遺伝性の攻撃行動に関与する可能性がある」という Brunner 等の 1993 年の報告¹²⁾を見出した。Mobley の家系を調べたところ、3 代に渡って衝動的で反社会的な行動歴が認められた。件の遺伝変異が Mobley にも存在する可能性を遺伝子解析すべきか、遺伝性が認められれば刑軽減事由になるか否かという点が問題化した。結局遺伝子解析は行われず、Mobley には死刑が宣告された。

この事件は、単一、あるいは少数の遺伝的形質がヒトの行動を決

定するか否かという問題、脳の活動を左右する物質に遺伝性の障害がある個人が罪を犯した場合、当該個人は法的責任を問われないかという問題を提起した。この後 Brunner は 1996 年、「単一遺伝子が行動を規定する事は現実的でない」という見解を表明している¹³⁾。一方、上記モノアミン系の神経伝達は、うつ病や不安など広範な精神的障害に深く関わっており、医・薬領域で研究開発が広範且つ重点的に推進されている。診断及び治療方法の開発のためには、遺伝的変異と個体段階での形

質発現の確実な因果関係を明示しなければならない¹⁴⁾。Mobleyの場合には回避された議論が、近い将来現実のものとなるに違いない。

い。遺伝子や神経調節因子、細胞・組織などの微視的階層の議論と、個体・社会などの巨視的階層の議論の関係を慎重に取り扱う事が必

要となっている。認知科学の知見を踏まえて、個人の判断能力や行動責任の概念を再検討する必要があるだろう。

7. 認知科学を支援する体制

7 - 1

広 報

心の科学としての認知科学は、社会的影響も大きい。心の働きを解明する学問として認知科学という領域が存在することを広報して、一般社会の理解を求める必要がある。ひとたび一般社会が関心を持つと、過度の期待を寄せる可能性があるが、認知科学には何が出来て、何が出来ないかという説明と、心について何を・何処まで知るべきかという検討を繰り返す必要がある。先ずは、認知科学者集団が、「興味を持ってくれる・理解してくれる能力の有る部外者が見れば気づく程度に」理解可能な表現で情報を発信することが有効である。発信母体の規模が十分大きければ、専属の科学記事作者を置くことも有効だろう。また、様々な分野の人々がこのような情報を検索できるインフォマティクスを整備する必要がある。

7 - 2

検証機会の提供

認知科学研究が、実社会への応用を志向するものであるからには、実用の前段階で社会との協同が必要となる。科学者の社会では、「仮説 - 検証 - 仮説再構築」は正当な手順であり、試行錯誤が許容されるのに対し、科学的知見を応用される側の個人にとっては、学校のカリキュラム・製品化・診断・投薬など、やり直しの効かない、あるいは容易でない場合が多い。科学者は、社会の側にも視点が異

なるものの厳密な評価基準がある事を認識し、双方の評価基準の協調を図る必要がある。

認知科学者は広報によって社会の理解を獲得し、科学的知見を実社会段階で検証する場を供与してもらう必要がある。例えば、大学付属初等・中等教育機関で単独学習・協同学習・教授法などに関する認知科学的仮説を検証し、有効性が実証されれば、広範に実用化するための手順を更に検討する。また、企業の製品開発の場面でも、認知科学的知見や検査方法を活用・評価する機会を設けることである¹⁾。

7 - 3

応用志向性と科学者の自主性

現在、認知科学領域の成果は米国で大量に産生されているが、米国ではNSF (National Science Foundation)の他、DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)・ONR (Office of Naval Research)・AFOSR (Air Force Office of Science Research)などの軍事機関が研究支援をしている。研究成果の応用に関する方針には国それぞれの事情があり、日本としては羅列的情報の量に左右されず、有用な内容の情報を選択して活用してゆく事が重要である。また、米国のMcDonnell, Mellon, Spencerなどの私設財団は、援助研究に対し応用への志向性 (applied bent) を明確に要求している。1983年の教育の優秀性に関する全米委員会の報告書「危機に立つ国家」¹⁵⁾を契機に、公教育の危機的状況に対する社会的関心が高まり、教育・学習方法

の改革に利用できる、強力な理論的・実証的基盤を持った提案が求められた。丁度この時期、認知科学界では、学習に関する研究が新たな理論を生み出し始め、それ以来米国の教育方法に有力な知識・理論を提供している。一方、認知科学研究者が教育の課題に偏ってしまうという弊害がある。社会の要求を科学者集団に提示する事は必要だが、具体的な研究課題の選択や遂行方法は研究者の自主に任せる事が、日本には適した方策である。英国も2002年～2003年、科学技術局の特別企画 Foresight Cognitive Systemにより、認知科学推進の基盤作りを行ったが、実際の推進内容は科学者の自主に任せるとしている¹⁶⁾。

7 - 4

国際的データベース

脳に関する膨大な科学的知見を、各国が独力で網羅的に統合することは困難であるため、国際協力が有効である。1996年から経済協力開発機構 OECD のメガサイエンス・フォーラム (その後グローバルサイエンス・フォーラム)、バイオ・インフォマティクス検討会の分科会にて、ニューロインフォマティクスの問題が検討され、日本は委員会発足当初より、積極的に寄与して来た。2004年1月、科学技術政策委員会閣僚級会議において、脳研究に関する総合データベースシステムの構築とその運用に当たる機構である国際ニューロインフォマティクス統合機構 (INCF) の設置が決定された¹⁷⁾。現在参与国が調印する段階と

っており、参与国には国内拠点の設置が要請される。前述のように、日本では特定の専門分野で高い水準のニューロインフォマティクス・システムの開発が進んでおり、このような計画を推進することは、国内の研究を奨励し、技術・知識の発信源として国際貢献度を高めることにつながる。

7 - 5

日本独自の研究推進

米国AAAS (American Association for the Advancement of Science) の2004 年科学技術政策年次フォーラ

ムでは、ナノテクノロジー・生物工学・情報工学・認知科学・社会科学の収斂構想 (NIBCS)¹⁸⁾ の下に認知科学の重要性が強調された¹⁹⁾。上記分野の協調した発展によって、ヒトの心の解明を目指す計画を the Human Cognome Project と名付けている。これはヒト・ゲノム計画からの類推であり、大規模な推進事業を展開する事が予想される。核酸の塩基配列やコドンの組み合わせで無限に異なった情報を生成できることは、言語の文法的組み合わせと似ており、情報科学的に処理し易い。認知科学領域の情報は性質が異なっ

ており、ゲノム計画より遥かに膨大な作業が予測される。しかし、高度に網羅的な系を作ることは、必ずしも有意義であるとは限らない。すなわち、深く関連し合いながらも其々特殊な脳の情報処理系を、単一の標準化した方法で統合した系は、百科事典的で、個々の特殊な問題に対応できない可能性もある。日本は、他国で得られた知見が有用ならば、それを利用するのは良いことだろうが、それとは独自に、自らの必要とする専門性の高い計画を重点的に推進する事が得策と思われる。

8. おわりに

ヒトの心を、脳をはじめとする身体の状態で説明する企てには、二つの科学領域が関与する。すなわち認知科学は、個人や集団など巨視的階層を対象として心のソフトウェアを解析し、神経科学は、生物学的脳の分子・細胞・神経回路など微視的階層から着手して心のハードウェアを解析してきた。近年、両領域の隔たりは縮小してきており、ヒトの認知能力が物質的・生理的に解明される可能性が具体的なものとなってきた。両領域の接近は、各構成分野で蓄積しつつある膨大な知見・情報科学的統合・無侵襲性の脳活動測定方法の進歩等に負うところが大きい。そこで、両領域での知見を効率よく集積・貯蔵・活用する体制を整備する事、無侵襲性の脳活動測定実験などから有効な知識を産生できるように、心理学や医学、情報科学など関連分野の協同の基盤整備をすることが重要となっている。

現在の日本人は認知科学を必要としており、これを独自の方法で推進する必要がある。

(1) 考えの明言化

日本人は千年以上に渡って高水準の知的・経済的生産を続けており、優れた思考能力を持っている事は確かである。そして、この思考様式を意識し、明確な言葉で表現する習慣が希薄であり、物事の過程に関して、言語で説明することを避ける傾向があった。しかし、次々と新たな概念や問題解決方法を創出することが要求される現在の日本では、作業過程を明確に意識しないことが障害となっている。特に科学研究は、有意義だと考えられる問題に注目し、その問題を解決するための具体的方法を既に持っているかあるいは入手可能か展望して目標設定し、自己検証しながら作業を遂行し、実証して理論形成する作業であり、まさにメタ認知が要求される分野である。メタ認知に欠ける社会では、研究者は、自分の研究の意義を説明できず、採択可能で最も効率的な方法を探して選ぶ事が出来ず、特定の知識を異なった状況下で活用することが不得手、という徴候を示す。これは、科学を推進して社会の発展を目指す国家では、重

大な障害である。現時点で日本人は、自らの思考過程がどの様なものか意識的に知り制御する習慣を身に付ける必要がある。

(2) 伝統的英知の活用

一方、認知科学によると、ヒトの思考様式は、かつて西洋人が考えたように「合理・論理的で自己の意思によって意識的に行われるだけ」のものでは無い事が示されている (補記参照)。世界で将来求められることは、曖昧で状況依存的な事象にも対応可能で、ヒトの感情や必要性を考慮した社会組織やもの造りである。日本人は、物事の定式化を避け、保留や柔軟な行動修正をもって対応してきた。発話言語だけでなく仕草・表情・間も情報として活用する日本人の伝統的な意思疎通様式は、相手の感情の機微を汲み取る高度な認知様式である。日本人は他者の気持ちを察することを尊重してきたからこそ、受け手の必要とする事を予測して用意し、供給する事が可能であった。また、日本人の特色として定評のある、色や形に関する細やかさや手先の器用さは、卓越した認知様式の表れであ

る。このように、日本人は足下を見つめれば、新しい社会組織の創出やもの造りのための豊かな知的資源が存在しているのであり、伝統的な認知過程を解明して活用しないのは、多大な損失である。

参考文献

- 1) 亙理誠夫；「人を支援する知的コンピュータ”を作るには」科学技術動向 2004 年 5 月号：
<http://nistep.go.jp/index-j.html>
- 2) Schunn, C.D, Crowley, K, & Okada, T ‘The Growth of Multidisciplinarity in the Cognitive Science Society’ Cognitive Science 22, 107 - 130 (1998)
- 3) <http://www.cognitivesciencesociety.org/>
- 4) <http://logos.mind.sccs.chukyo-u.ac.jp/jcss/>
- 5) サトウタツヤ・高砂美樹「心理学史」有斐閣
- 6) Chomsky, N. ‘Language and mind’ Thomson Learning, Harcourt Brace Jovanovich, Inc. New York 1972
- 7) Steven Pinker ‘The Language Instinct’ Penguin Books 1994
- 8) John T. Bruer, ‘Schools for Thought. A Science of Learning in the Classroom’ The MIT Press, 1993, 「授業が変わる—認知心理学と教育実践が手を結ぶとき—」松田文子・森敏昭（訳）北大路書房
- 9) Hirsch, E.D. ‘Cultural Literacy: What Every American Needs to Know’, 1987 Houghton Mifflin 「教養が国をつくる」中村保雄（訳）TBS プリタニカ
- 10) Popper, K. The logic of scientific discovery, Routledge Classic, London 2002 年
- 11) 臼井支朗「ニューロインフォマティクス：動向と展望」生体の科学、2003 年 10 月、特集 ‘創薬ゲノミクス・創薬インフォマティクス’
- 12) Brunner H.G., Nelsen M., Breakefield X.O., Ropers H.H., van Oost B.A., ‘Abnormal behavior associated with a point mutation in the structural gene for monoamin oxidase A.’ Science 1993, 262, 578 - 80
- 13) Brunner H.G. ‘MAOA deficiency and abnormal behaviour. perspectives on an association.’ Ciba Found Symp. 1996, 194. 155 - 64
- 14) 「うつ病の遺伝的解明のための大型プロジェクト」科学技術動向 2004 年 6 月号：
<http://nistep.go.jp/index-j.html>
- 15) 教育の優秀性に関する全米委員会「危機に立つ国家—日本教育への挑戦」橋爪貞雄（訳）黎明書房
- 16) <http://www.foresight.gov.uk/cognitive.html>
- 17) http://www.oecd.org/document/15/0,2340,en_2649_201185_25998799_119690_1_1_1,0.html
- 18) <http://wttec.org/ConvergingTechnologies/>
- 19) <http://www.aaas.org/spp/rd/forum.htm>、伊神正貫；「科学技術動向 2004 年 5 月号：
<http://nistep.go.jp/index-j.html>

《補記》

てんかん治療手術のため、左右の脳半球間の神経連絡がなくなった患者に、様々な特徴を指示して、対応する物体を選ばせる認知心理学的実験を行うと、自分が何をしているのかという意識がなくとも、正しく選択し物体を手にとることは出来ることから、無意識の思考過程の存在が実験的に証明された。無意識の思考内容は、言葉よりも身振り・手振りなど身体的表現で表出する傾向がある。また外傷や腫瘍で特定の脳部位が欠損した患者では、知的概念操作は可能だが、感情が無くなる事がある。このような患者は、個々には正しい知的内容を意味の有る行動に統合できないことから、感情が判断や遂行能力に必要な事が分かって来た。健常人でも、特定の刺激を認識するよう求める検査で、先行あるいは並行して別の干渉刺激を与えると、干渉刺激の内容に応じて期待や類推が生じ、本来判断する

よう求められている刺激の判断内容が異なってくる。また、干渉刺激の効果により、本来与えられていない刺激を認識することもあるが、これは日常生活では、部分的に隠れている対象の全体像を類推したり、紛らわしい地の上にある対象を速やかに判断する際に使われている認知機能である。検査室で被験者に自発的に話をさせた時、特定の単語を使ったときのみ検査者が好意的に反応すると、その単語の使用頻度は増加し、別の単語を使ったとき検査者が無視すると使用頻度は低下するが、被験者は対話者の関心に応じて自己修正していることに気付いていない。このような認知過程は、実社会の協同作業の場面では、他者の意見や行動に自分の発言や行為を合わせようという同調バイアスとして働いている。

特集②

エネルギー・環境分野における 日中技術協力動向と今後の展望 —地球環境問題とエネルギー安全保障の観点から—

環境・エネルギーユニット 大平 竜也



1. まえがき

21 世紀の国際社会において、エネルギー・環境・経済に関する 3E (Energy Security, Environmental Preservation, Sustainable Economic Growth) 問題の同時解決は、地球的規模で人類が取り組むべき最大の課題である。冷戦終結後の世界経済において、情報技術 (IT) の進展などを背景にグローバル化が急速に進展し、高い経済成長を遂げたアジア諸国は、世界のエネルギー需給において大きなインパクトを持つようになってきた。今後も引き続き高い経済成長が見込まれ、エネルギー需要も急速に増大していくことから、アジア地域が将来、地球環境負荷に大きなウェイトを占めることが確実視されている。中でも中国は、2020 年にアジアの 1 次エネルギー消費の約 45%、アジアの CO₂ 排出量の約 50% を占めると予測され¹⁾、硫酸化合物や窒素化合物の大気汚

染問題も隣国の日本への影響を含め深刻である。日本としても 3E 問題の解決に向けて、エネルギー安定確保とエネルギーに関わる環境問題を中国と協調しながら解決することが極めて重要である。

中国においては、改革開放路線下の目覚ましい経済発展の裏で、電力不足、資源の浪費やそれに伴う環境破壊が深刻化している。このままでは、今後の経済社会の発展にとって重大な制約要因になりかねないとの危機感があり、持続可能な発展戦略の一環として、経済発展モデルの転換を視野に入れた「循環経済」の実現に取り組みつつある。この実現は、地球環境保全の観点からも強く要請され、環境技術に力を入れてきた日本の協力も今後一層期待されている。

日本は、中国へのエネルギー・環境分野における技術協力を、政府開発援助 (ODA) で実施して

きた。技術協力事業を行う法人は、国際協力事業団 (JICA) の他に、日本貿易振興会 (JETRO)、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 等があり、中国において各機関の専門分野で大きな貢献をしつつあるが、移転技術のミスマッチや現地でのメンテナンス技術者不足等の多くの課題も出てきている。

本稿では、3E 問題を中国、日本の現況から概観すると同時に、エネルギー・環境分野におけるこれまでの日中技術協力の動向と課題を、協力体制や石炭利用クリーン化技術、天然ガス利用技術、原子力利用技術、再生可能エネルギー利用技術、環境対策技術の観点からまとめ、今後、日本と中国が 3E 問題をいかに協力して解決すべきか、その取り組みの展望を述べる。

2. 中国・日本のエネルギー・環境・経済に関する状況

2 - 1

中国の現況

中国経済は、旺盛な内需を背景に 1990 年代を通じて高い経済成長を維持し、2000 年代にはいっても WTO (World Trade Organization: 世界貿易機関) 加盟後、7～9% の成長率を維持している。長期

的には、国内経済格差、国有企業改革、失業、不良債権などの問題を抱えつつも、これまでのような適切なマクロ経済運営がなされれば、年率 7.2% の成長が予測されている¹⁾。

高度経済成長とモータリゼーションの進展により、エネルギー需要は増大し、中国は、既に、世界第 2 位の 1 次エネルギー消費

国である。2020 年には、石油換算 20.6 億トン¹⁾ (IEA、World Energy Outlook2002 によると 17 億トン) の消費が見込まれる。これによれば、世界の 1 次エネルギー消費に対する中国のシェアは約 15% に達する見通しで、図表 1 に示すようにアジアでみると、1 次エネルギー消費に占める中国のシェアは、2000 年の 38% から 2020 年に

は45%へ増加する¹⁾。

エネルギー種別では、現状で石炭が1次エネルギーの約70%、石油が約20%を占める。中国国内には、豊富な石炭資源が存在し、安価な石炭が安定的に供給されている。2020年へ向けて、天然ガスや原子力のシェア拡大に伴い、石炭への依存度は56%程度へ低下するが、石炭は、今後も主要エネルギー源である。発電構成シェアでも、2000年で石炭火力78%、水力16%、石油火力3.4%、原子力1.2%と石炭火力が大きなウェイトを占め^{1,5)}、2020年においても石

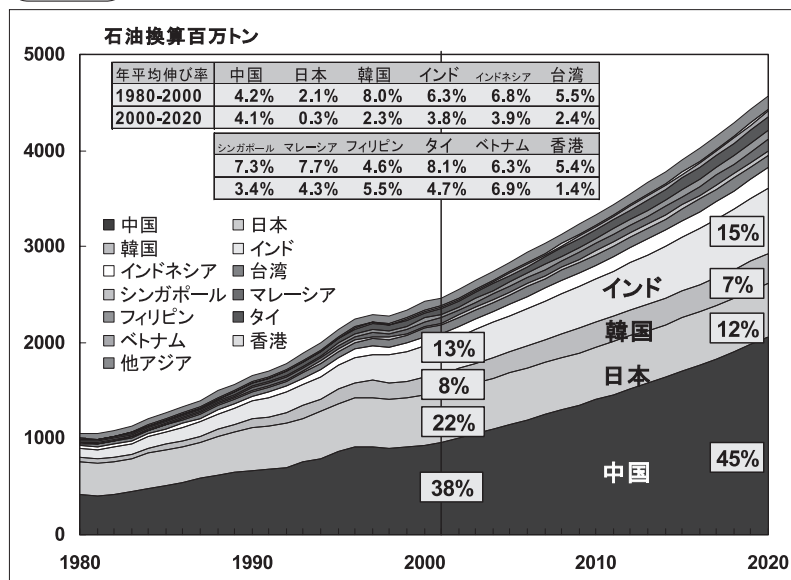
炭火力は70%の予測である¹⁾。

世界のCO₂排出量は、2000年の炭素換算65億トンから2020年には同99億トンにまで増加し、約1.5倍に達する。この増加分の約5割をアジアが占める。中でも中国のCO₂排出量は、アメリカに次いで世界第2位で、2020年には、中国のCO₂全排出量は炭素換算約18億トン¹⁾(参考文献²⁾)によると約15億トン)と予測されている。図表2からわかるように、アジアにおける中国のCO₂排出量割合は2000年で47%、2020年に向けて50%に増大する。2000年と2020

年を比較すると、アジアにおけるCO₂排出量増分は、炭素換算約17億トンであるが、その約53%を中国が占める。排出源は、現在、主に発電部門と産業部門であり、モータリゼーションによって輸送部門のシェアが高まっていくとみられている。中国の炭酸ガス排出増大が、今後の地球温暖化に与える影響は大きい。

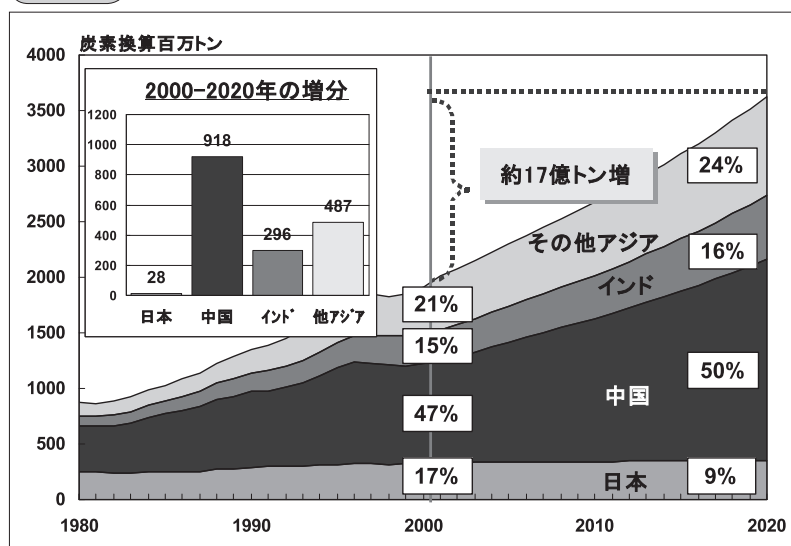
硫黄酸化物(SO_x)排出量は、1980年代から1990年代前半にかけて増加傾向にあったものの、産業構造の調整、エネルギー効率上昇、環境規制の厳格化などで、1996～1997年をピークに減少している²⁾。しかしながら、1998年世界保健機構の調査で、世界の大気汚染が最も深刻な10都市のうち中国が7都市を占めるなど、大気汚染は大きな問題となっている。中国政府は改善の取り組みを推進しているが、汚染への対策は十分でない。また、前述のように、中国では現在急速にモータリゼーションが進んでおり、経済成長に伴い大気汚染問題が隣国の日本への影響も含めて、深刻化していく可能性もある¹⁷⁾。

図表1 アジアの1次エネルギー消費(地域別)



参考文献¹⁾ 日本エネルギー経済研究所より

図表2 アジアのCO₂排出量推移



参考文献¹⁾ 日本エネルギー経済研究所より

2-2 日本の現況

日本では、エネルギー安全保障が、政策の優先課題であったため、過去30年間で、石油から原子力、天然ガス、石炭への急激なシフトや産業部門を中心にした省エネルギーが進展し、エネルギーの石油依存度が77%から49%まで減少した。今後は、穏やかな経済成長(年率1.3%)と、少子高齢化による人口減少および省エネルギー化が進み、エネルギー消費量は横這いまたは減少の見込みである。図表1に示したように、アジアでの1次エネルギー消費シェアも2000年の22%から2020年12%へ低下する。

近年、地球温暖化防止が最優先

課題になっているが、現時点では、地球温暖化大綱（京都議定書）における 2008～2012 年温室効果ガス削減率 6%（1990 年比、5 年間平均値）の目標達成は困難と見られている。しかし、図表 2 からわかるように、中長期的には、アジアでの日本の炭酸ガス排出量割合は、

2000 年時点の 17%から 2020 年には 9%に低下する。一方、中国での炭酸ガス排出量割合は、2 - 1 節で述べたように増大することから、日本国内でも引き続き炭酸ガス排出量抑制努力を行うことはもちろんであるが、アジア域での取り組み、特に、中国との共同取り

組みが不可欠である。

日本は石炭利用・クリーン化、天然ガス利用、原子力利用、再生可能エネルギー利用、環境対策技術の先進技術を有している。これを、アジア諸国、特に、中国で有効活用してもらうことが重要である。

3. 日中技術協力動向と課題

3 - 1

これまでの日中技術協力の動向

ここでは、日中技術協力の動向を経済協力、研究交流、企業の対中投資という観点から述べる。

(1)経済協力

日本は、エネルギー・環境分野における中国への技術協力を、政府開発援助（ODA）という形で実施してきている¹⁰⁾。図表 3 に示すように、ODA には、開発途上国に対して直接支援を実施する二国間援助と、国際機関を通じた援助（多国間援助：国際機関に対する出資や拠出）があり、さらに、二国間援助には贈与の「無償資金協力」と「技術協力」、二国間貸付の「有償資金協力（円借款）」がある。図表 3 には、2001 年実績ベースの全金額と総額に対する割

合を記してあるが、無償資金協力や技術協力の贈与の割合が約半分となっている。

エネルギー・環境分野における ODA を用いた日中技術協力の一例を図表 4 に示す。エネルギー分野では、主に、NEDO が中心となって石炭利用、天然ガス利用、水力利用、エネルギー有効利用に関して、中国への協力を進めており、特に、中国の主要エネルギーである石炭の有効利用に関する協力事業、すなわち、循環流動床ボイラ導入支援事業や脱硫型 CWM (Coal Water Mixture) 設備共同実証事業等が実施されてきた。一方、環境分野では、環境省、JICA がリードして、大気汚染、酸性雨、水、一般廃棄物、化学物質、環境管理政策等、様々な分野での環境対策協力を実施しつつある。しかしながら、これらの技術協力は、例えば、脱硫技術移転でみると、パイ

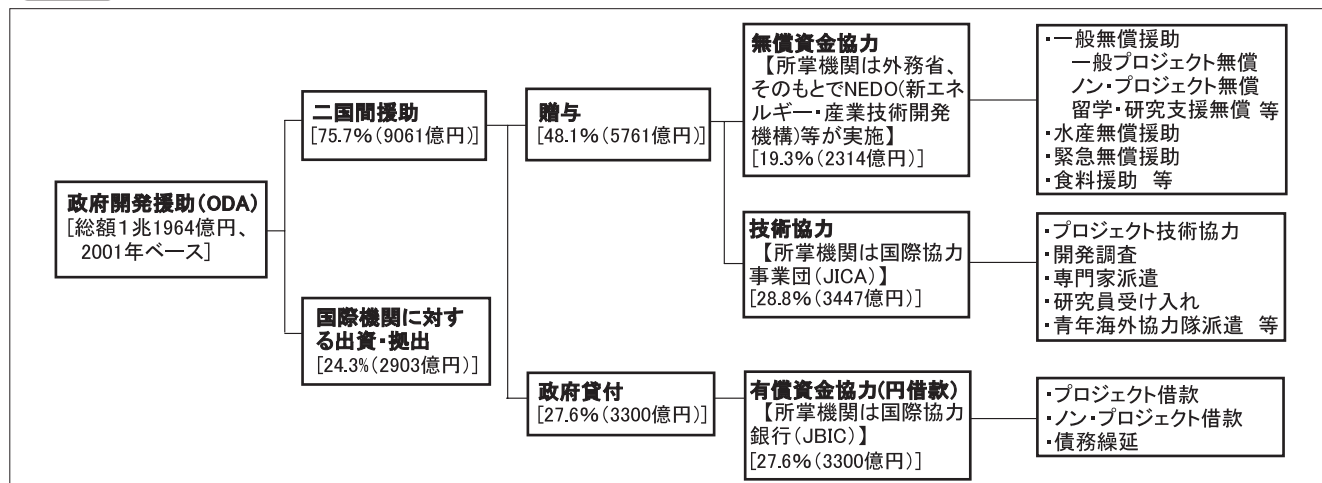
ロットプラント的な意味合いが強く、本格的な導入にまでは至っておらず、技術協力の成果を定量的に把握することは難しいのが現状である²⁾。

(2)研究交流

大学や試験研究機関の日中研究交流がどのような状況かを把握するため、日本の大学と世界の大学との大学間交流協定締結件数状況（平成 14 年 10 月 1 日現在、技術分野はエネルギー・環境分野を含む全分野）を定量的に調査した¹⁹⁾。日本の大学は、主に、アジア、ヨーロッパ、北米の大学と研究交流協定を結んでいる。特に、アジアの中で中国の大学は約 44%と大きなウェイトを占めている。

日本と中国は、1980 年 5 月に科学技術協力協定を締結、定期的に科学技術協力合同委員会を開催してきており、直近では 2003 年 2

図表 3 日本の政府開発援助（ODA）実施体制の仕組み



月に環境・エネルギー分野を含む重点 4 分野で意見交換し、「環境保全及び環境低負荷型社会の構築のための科学技術」で研究協力を進めていくことを決定した。

次に、大学や試験研究機関等における実際の国際研究交流の状況を、研究者の派遣・受入実績数で国別に調べた。研究交流実績上位 5 カ国の推移を図表 5 に示す。図表 5 からわかるように日本への受入については、中国は第一位である。逆に、日本からの派遣については、中国は、アメリカ合衆国に次いで第二位で、その派遣数はアメリカ合衆国の約 4 割である。

(3) 企業の対中投資

企業の総投資活動を把握するため、日系企業が、中国への投資をどれぐらい行っているかを EU 系、米国系、アジア諸国系企業と比較して調べた。図表 6 にエネルギー・環境技術を含む全技術分野における対中投資金額（実行ベース）推移を示す。日系企業の投資は、香港系、EU 系企業に比べて小さい。中国でのヒアリング調査結果をまとめた富士通総研金堅敏氏によると、この原因として、日系企業の中国での現地情報収集能力、営業力、販売力が、EU 系

企業に比べて低下していることが挙げられている¹¹⁾。

3 - 2

日中協力における課題と対策

日中技術協力動向を経済協力、研究交流、企業の対中投資から調査してみると、エネルギー・環境分野ならびにそれ以外の分野も含めて、日中技術交流が進みつつあることがわかったが、政府ベースおよび民間ベース両方で日中協力における課題も図表 7 のように出てきている^{2, 3)}。1 つは、適合技術移転、もう 1 つは、メンテナンス技術者育

図表 4 エネルギー・環境分野における日中技術協力の一例^{*1}

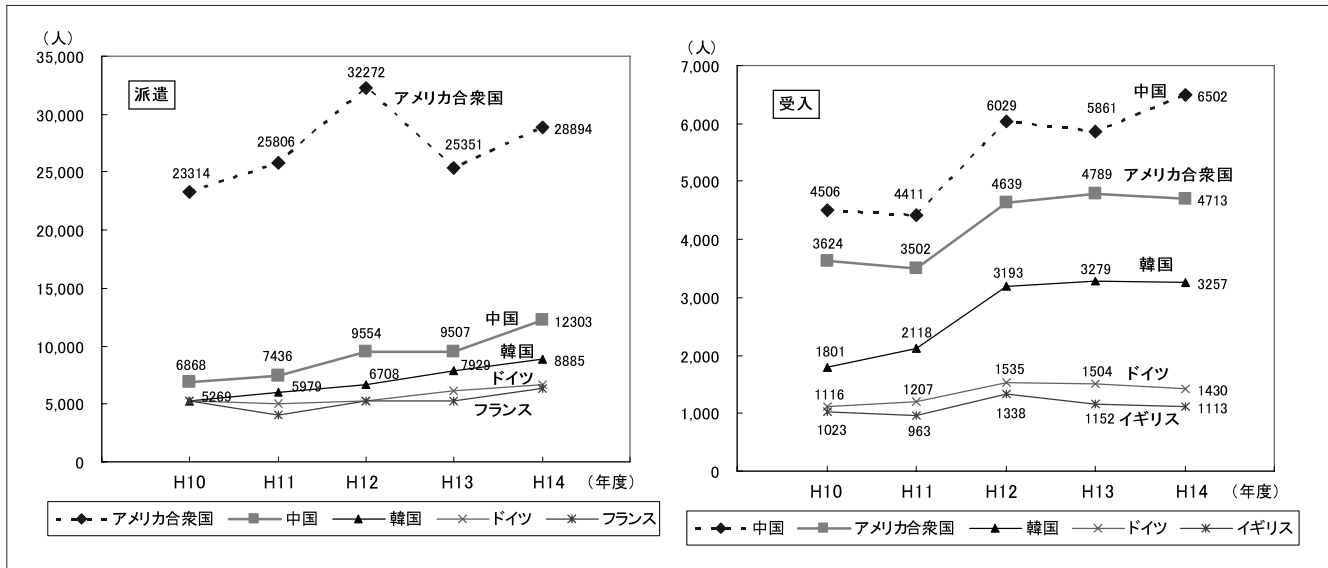
分 野		件 名	関係機関		有償 無償	時 期
			日 本	中 国		
エ ネ ル ギ ー	環境調和型 石炭利用	●循環流動床ボイラ導入支援事業	NEDO	房山服装集团公司他	無償	1993 ～ 1998、 2002 ～ 2004
		●脱硫型 CWM (Coal Water Mixture) 設備共同実証事業	NEDO	北京燕山石油化工有限公司	無償	1998 ～ 2002
	天然ガス 利用	●天然ガス供給設備建設事業（河南省大気環境改善計画）	JBIC*2	河南省人民政府（財政庁）	有償	2002
		●天然ガス供給設備建設事業（安徽省大気環境改善計画）	JBIC	国家発展計画委員会	有償	2002
	水力利用	●湖北省小水力発電所建設計画	JBIC	湖北省人民政府（財政庁）	有償	2000
		●甘肅省小水力発電所建設計画	JBIC	甘肅省人民政府（財政庁）	有償	2000
	電力網	●ハルビン電力網拡充計画	JBIC	国家電力公司	有償	1999
	エネルギー 有効利用	●コークス乾式消化設備モデル事業（AIJ*3）	NEDO	国家発展計画委員会	無償	1996 ～ 2000
●合金鉄電気炉省エネルギー化設備モデル事業（AIJ）		NEDO	国家発展計画委員会	無償	1997 ～ 2000	
環 境	大気汚染	●大気汚染防止固定発生源対策マニュアル策定事業	JICA、環境省	国家環境保護総局	無償	1996 ～ 1997
		●広域的広がりを持つ大気汚染問題（酸性雨、黄砂、粒子状物質）への対応事業	JICA	国家環境保護総局	無償	2002 ～ 2006
	酸性雨	●酸性雨モニタリングネットワークモデル戦略・計画策定支援事業	JICA、環境省	国家環境保護総局	無償	1996 ～ 1999
		●東アジア酸性雨原因物質排出制御手法の開発と環境への影響評価に関する研究	JICA	国家環境保護総局	無償	1998 ～ 1999
	都市	●大連環境モデル都市調査の自動車排気ガス係数測定・算出受託事業	JICA	国家環境保護総局	無償	1997
		●日中環境開発モデル都市構造プロジェクト	外務省	国家環境保護総局	無償	1998 ～ 1999
	水	●バイオ利用による抗廃水処理技術に関する研究協力	NEDO	国家発展計画委員会	無償	1993 ～ 1998
		●蘇州市水質環境総合対策計画	JBIC	蘇州市人民政府	有償	1999
	一般廃棄物	●北京市における一般廃棄物処理に関する共同研究	JICA	国家環境保護総局	無償	1998 ～ 2000
	化学物質	●ダイオキシン、環境ホルモン等新たな脅威となっている化学物質への対応事業	JICA	国家環境保護総局	無償	2002 ～ 2006
	環境管理 政策	●環境情報ネットワーク整備プロジェクト	外務省、JICA	国家環境保護総局	無償	1998 ～ 1999
		●環境管理水準向上のための対応事業（ISO14000 推進策、公害防止管理者制度試行等）	JICA	国家環境保護総局	無償	2002 ～ 2006

* 1 ODA ホームページ (<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/index.html>) と新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) ホームページ (http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/nenshi/3color/1999_2000/kokusai/01tojiyou.html)、国際協力事業団 (JICA) 日中友好環境保全センタープロジェクト (<http://www.zhb.gov.cn/japan/fulezu2syokukai.htm>) のデータをもとに科学技術動向研究センターにて作成。

* 2 国際協力銀行

* 3 国際連合機構変動枠組条約に係る共同実施活動

図表 5 国別国際研究交流実績上位 5 カ国の推移（大学、試験研究機関等）



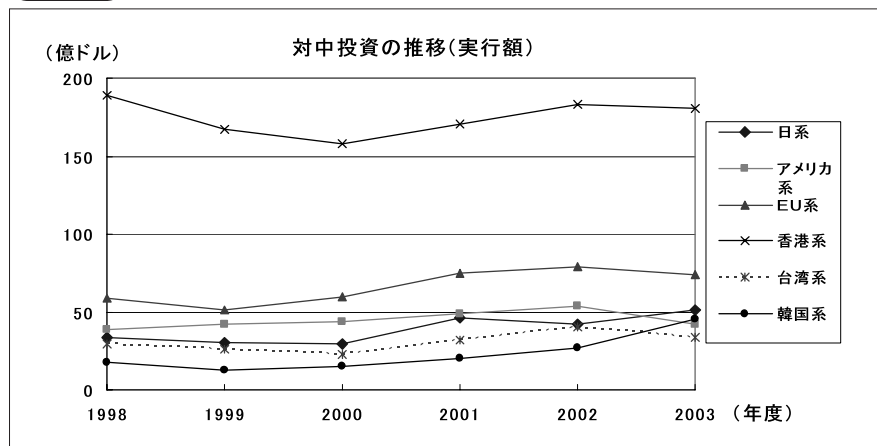
大学は、国立大学、大学共同利用機関、国立短大、国立高等専門学校、公・私立大学を含む。試験研究機関等は、国立試験研究機関、独立行政法人、研究開発特殊法人を指す。公・私立大学、国立短大は平成9年度から、国立高専、国立試験研究機関、研究開発特殊法人等は平成12年度から調査対象に追加。

参考文献¹⁹⁾をもとに科学技術動向研究センターで作成

成である。1点目は、日本の協力内容と中国の実態がうまく整合していないという課題で、①中国側の資金面、制度面の問題からインフラ整備が追いついていない、一方、②技術や製品を提供する日本企業側は、現地情報の収集能力や営業力、販売力が低下しており、移転技術のミスマッチが起きている。2点目は、中国の現場技術者、研究者に移転技術やノウハウが届いていないという課題で、①日本の企業や大学からの専門家派遣数や派遣回数が少ない、②技術やノウハウを教える研修設備拠点が少ないという問題点がある。

この課題への対策として、エネルギー・環境技術センターの設置・推進が必要である。日中両政府合意のもとに、上記センターを設置、中国での現場拠点にする。中国の全地域をカバーできるような拠点数とする。日本の企業、大学等が得意技術・製品を展示、説明するとともに、省エネルギーを含むエネルギー管理や環境管理の研修も幅広く行う。研修センターがあれば、現場の中堅技術者にノウハウを提供でき、研修生は現場にそれを広く伝達できる。企業は、実際

図表 6 企業の対中投資金額推移



日中投資促進機構 (<http://www.jcipo.org/>) の統計データをもとに科学技術動向研究センターで作成

図表 7 日中技術協力における課題と対策

項目	課題	対策
適合技術移転	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本の移転技術が中国の現状に適合していない。 <ul style="list-style-type: none"> ○ 中国のインフラ整備など資金面、技術面、制度面の問題 ○ 日本企業の現地情報収集能力、営業力、販売力の低下 	<ul style="list-style-type: none"> ● エネルギー・環境技術センターの設置 <ul style="list-style-type: none"> ○ 日本の企業、大学等が得意技術・製品を展示、説明、宣伝 ○ エネルギー管理や環境管理の研修
技術者育成	<ul style="list-style-type: none"> ● 中国の現場技術者、研究者に移転技術やノウハウが届いていない。 <ul style="list-style-type: none"> ○ 日本からの専門家派遣数、派遣回数が少ない ○ 研修設備拠点が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 中国の現場視察による周辺環境・必要条件把握、現場の生情報収集 ○ 移転技術の知的財産権保護や技術移転に伴う投資環境整備等を中国政府へ働きかけ

の現場を視察して周辺環境や必要条件を把握し、それに適合した工夫も可能である。また、今後、日本から中国へ移転する実用化技術の知的財産権保護や、中国への技

術移転に伴う投資環境整備も重要であり、日本が本センターを通して中国政府へこれらを働きかけることができるようにする。

地球環境問題やエネルギー安全

保障問題において、日中両国の高所大所からの共同取り組みが必要になりつつある現在、上記センタ

ーを通して、日本の有する石炭利用・クリーン化、天然ガス利用、原子力利用、再生可能エネルギー

利用、環境対策に関する先進技術を、中国に普及してもらうことが非常に大切である。

4. 日本が提供できる先進的クリーンエネルギー・環境技術

中国のエネルギー・環境問題解決のため、日本が提供できるクリーンエネルギー・環境先進技術を以下に紹介する。

4 - 1

石炭利用・クリーン化技術

中国では、今後も長期的に石炭に依存せざるを得ず⁷⁾、石炭のクリーン利用技術（クリーンコールテクノロジー）が重要である。クリーンコールテクノロジーは、①熱効率向上に資する技術、②脱硫・脱硝技術、③石炭液化、ガス化、スラリー化に関する石炭ハンドリング技術、④石炭灰有効利用技術からなる。①、②に関して、日本では(1)超臨界圧微粉炭火力発電方式が既存実用技術で、(2)超々臨界圧微粉炭火力や(3)加圧流動床ボイラー複合発電PFBC (Pressurized Fluidized Bed Combustion Combined Cycle) は、ほぼ実用化した技術である。(4)石炭ガス化複合発電は2010年頃商用化される予定の技術で、(5)石炭ガス化燃料電池の商用化は2020年頃と予想されている²⁾。

③は、石炭から付加価値の高い化成品原料（メタノール、アンモニア、活性炭等）、自動車用液体燃料や家庭用燃料（軽油、灯油、ジメチルエーテル（液化石油ガス（LPG）代替燃料）等）を製造する技術で、①と併せて図表8に示すような石炭活用エネルギー・化成品チェーンにまとめることができる。日本では、80～120万トンクラスの石炭ガス化液化メタノール製造プラントが実用化されており、中国で当面必要となる40～60万トンメタノール製造プラント

技術の輸出が可能である。

中国では、豊富な石炭をそのまま燃料として使用するだけでなく、上記のように石炭を活用した、付加価値の高い産業を新たに育成する計画が推進されていることから、今後、クリーンコールテクノロジーが重要になると考えられる。

4 - 2

天然ガス利用技術

中国では、天然ガス需要は1次エネルギー需要の約27%（2002年）に過ぎないが、石油代替の観点から、エネルギー安定供給政策として天然ガス利用促進政策を挙げている⁴⁾。天然ガス利用が、中国政府の予測通り大幅に増えるとは限らないが、沿海地域の電力価格安定化と環境保護強化に伴い、天然ガス火力発電の比率は高くなると予想される⁵⁾。

中国は、国産の天然ガス火力発電技術を有しておらず、その導入にあたっては海外の技術に依存す

ると予想され、ガスタービン複合発電方式をはじめとするガスタービン技術を有する日本は、天然ガス火力の新設に関して技術的に大いに貢献できる。ガスタービン複合発電の特徴である高い発電効率は、ガスタービン入口の燃焼ガス温度の高温化によって実現されてきている。現在、入口温度1450～1500℃の第三世代は、発電効率50%を超え、1700℃級ガスタービンに向けた研究開発も開始されている。図表9に、天然ガス火力発電効率状況を石炭火力発電システムと比較して示す。

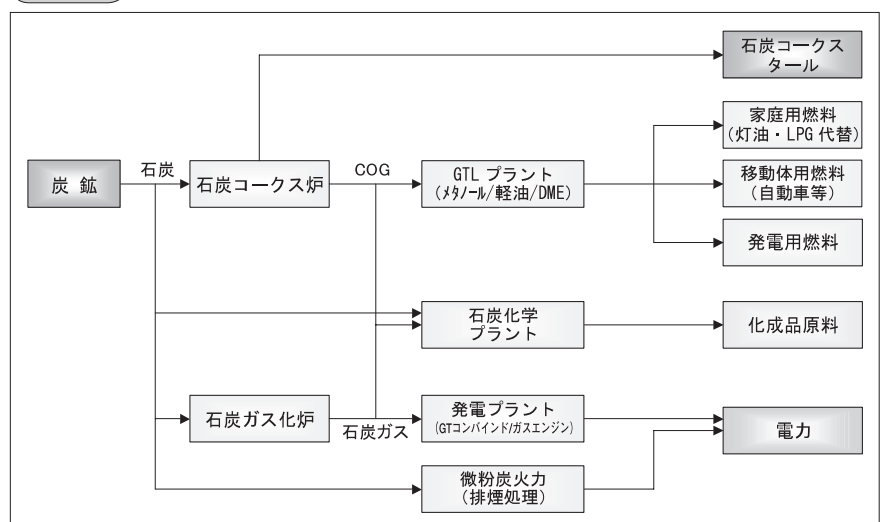
天然ガス利用のその他分野としては、空調利用や交通、さらには燃料電池などの分散型電源などがあり、この分野でも日本の技術で寄与できると考えられる。

4 - 3

原子力利用技術

中国の国家発展・改革委員会能源局（2003年3月設置）は、電力

図表8 石炭活用エネルギー・化成品チェーン



COG：Coke-oven Gas、コークス炉ガス、GTL：Gas to Liquids、ガスの液体燃料化、GT：ガスタービン、DME: Dimethyl Ether、ジメチルエーテル

参考文献⁸⁾より科学技術動向研究センターで作成

事業の発展原則の1つとして原子力発電を積極的に開発し、2020年までに総発電容量の4%、36百万kW（約31基）を原子力発電で賄う計画である^{6, 12)}。純国産で原子炉を造る技術は、まだ、確立されておらず、当面、外国から原子炉を輸入することになる。一方、日本の原子力（軽水炉；LWR）は1970年から順次投入され、現在では1次エネルギーの約15%、総発電量の約1/3を基幹電源として供給しており、軽水炉技術で日本は中国へ貢献できる。

中国は、2004年、原子力設備の輸出入を制限する国際的な核不拡散の枠組みであるロンドンガイドライン^{★1}に加盟することを決定したため、今後、日本からも中国へ原子力技術、製品を輸出することが可能になる。ただ、EU、米国も自前の原子力技術、製品を、国を挙げて売り込む動きを見せており、日本も政府の後押しが必要である。

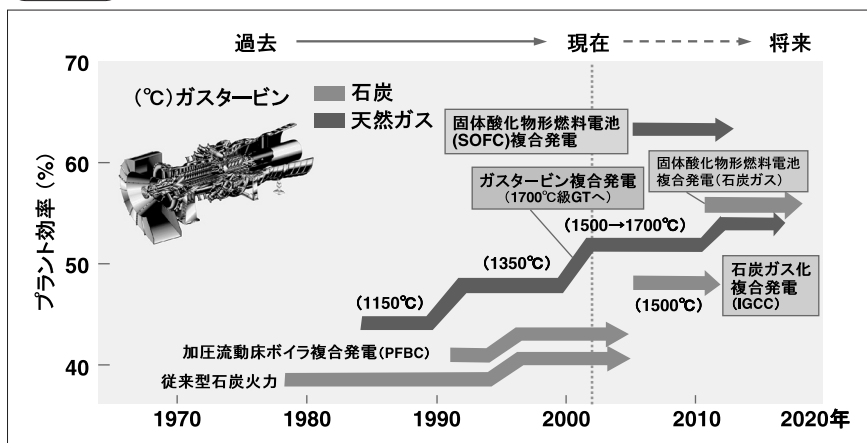
4 - 4

再生可能エネルギー利用技術

再生可能エネルギーは、エネルギー密度は低いものの、環境への負荷が極端に小さいことから、その導入の重要性が広く認識されており、中国でも、2000年から太陽光、風力、バイオマス等の再生可能エネルギー発電技術開発に重点的に取り組み始めた⁹⁾。しかしながら、実用化技術では依然、日本は先行しており¹⁴⁾、環境協力という意味でも中国へ貢献できる部分が多い。

再生可能エネルギーは、小・中規模容量の技術が中心で、設置台数を調整すると、一般家庭から中規模発電所まで幅広い分野での導入が可能である。これは、協力内容の多様性を意味し、協力対象選定の自由度が広がる。特に、日本のエネルギー関連企業や商社が、

図表9 天然ガス火力と石炭火力発電システムの効率状況



参考文献¹⁵⁾より

エネルギー需要の伸びに限界のある国内市場から、エネルギー・環境市場として有望な中国に目を向け始めており、進出の足がかりとして事業リスクが小さく自由度の高い小規模再生可能エネルギープロジェクトに取り組むことも十分考えられる²⁾。

4 - 5

環境対策技術

環境対策技術として、中国で問題となっている大気汚染原因物質SOxおよび窒素酸化物（NOx）を除去する脱硫、脱硝技術、ならびにCO₂放出削減を狙った火力発電プラントでのCO₂分離回収技術について述べる。日本では、欧米先進国に先んじて、20年以上も前から技術開発を進めてきており、現在では、世界トップレベルにある。

脱硫技術¹³⁾は大きく、①事前

脱硫法、②炉内脱硫法、③排煙脱硫法の3つに分類され、さらに、排煙脱硫法には湿式法と乾式法がある。湿式法の中で、石灰スラリー法と呼ばれる方法が、脱硫率が最も高く、日本では広く用いられている。脱硝技術には大きく、①低NOx燃焼法、②炉内脱硝法、③排煙脱硝法の3つがあり、排煙脱硝法は、燃焼後の排ガスからNOxを除去する方法で、脱硫プロセスと同様、湿式法と乾式法があるが、現状では、NOxと触媒を組み合わせた選択触媒法が主流である。日本の脱硫、脱硝技術を中国へ移転する場合には、複数の脱硫、脱硝技術の中から中国の現場ニーズに適した技術を選択していく必要がある。

CO₂分離回収技術についても、アルコールアミンというCO₂を吸収しやすい液体を使った技術¹⁶⁾で、日本は世界トップクラスであ

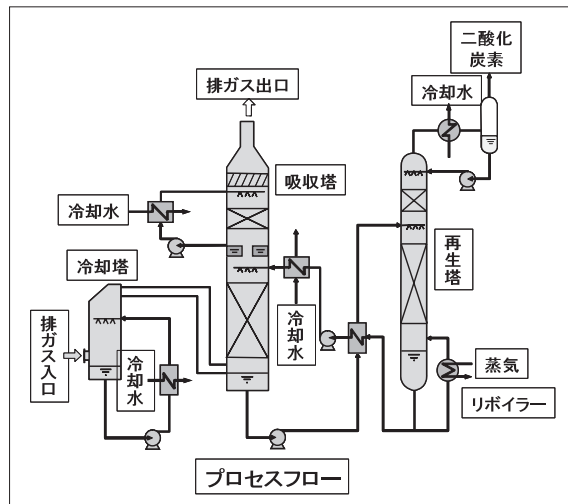
用語説明

★1 ロンドンガイドライン (London guideline)

インドの核実験を契機として、核物質の核兵器への転用を防ぐために1975年、日、米、旧ソ連、等7カ国がロンドンに集まって対策を協議し、その後、計15カ国が参加して非核兵器国への原子力関連輸出に適用されるガイドラインに合意した。これをロンドンガイドラインといい、1978年IAEAから公表された（現在は27ヶ国）。その内容は核物質について、①これを核爆発に使用しない旨の確約を取り付ける、②IAEAの保障措置を適用する、③適切な核物質防護措置を実施する、④濃縮、再処理等の技術移転を規制する、⑤再移転を規制する等である。その後イラクの核兵器開発計画の発覚から輸出規制の範囲を広げた。パート2が1992年ワルシャワで合意され発効した。

る。図表 10 に示すように、「冷却塔」で火力発電所やボイラーの排出ガスを 45℃ まで冷やし、「吸収塔」でアミンに CO₂ を吸収させる。CO₂ を含んだアミンは、「再生塔」で約 130℃ に加熱され、CO₂ を吐き出す仕組みになっている。分離回収した CO₂ の応用先としては、油田への注入で原油の生産を増やす石油回収増進法（EOR）への適用が有望視されている。本技術は、中国での CO₂ 削減に寄与できることから、日中両国にとって有益である。

図表 10 火力発電プラント CO₂ 分離回収技術



参考文献¹⁵⁾より

5. 政策提案

エネルギー・環境・経済に関する 3E 問題は、21 世紀国際社会の最大の課題であり、今後、エネルギー需要、環境負荷が増大するアジア域での取り組み、特に、中国との大局的な共同取り組みが不可欠である。本稿では、中国、日本の現況から 3E 問題を概観し、エネルギー・環境分野におけるこれまでの日中技術協力動向と課題を、協力体制や石炭利用・クリーン化技術、天然ガス利用技術、原子力利用技術、再生可能エネルギー利用技術、環境対策技術の観点からまとめた。

- 世界の CO₂ 排出量は 2000 年の炭素換算 65 億トンから 2020 年には同 99 億トンにまで増加、約 1.5 倍に達し、アジアだけで約 5 割の増分に寄与する。今後穏やかな経済成長の見込まれる日本は、このアジアの増分に約 2% しか影響を与えないが、高い経済成長が見込まれる中国はアジア増分の約 53% に寄与する。
- 日本国内で CO₂ 排出量抑制努力を行うことはもちろん、アジア域での取り組み、特に、中国との共同取り組みが必要である。日本は石炭利用・クリーン化、

天然ガス、原子力、再生可能エネルギー、環境対策技術の実用化技術を有しており、これを、中国を含むアジアで有効活用してもらうことが重要である。

- 日本は、中国に対し、政府開発援助（ODA）等の形で、エネルギー・環境分野、特に、石炭有効利用技術、大気汚染対策技術分野などで技術協力してきたが、①日本の協力内容と中国の実態がうまく整合していない、②中国の現場技術者、研究者に移転技術やノウハウが届いていないなどの課題が出てきた。

日中技術協力の動向と課題を踏まえ、今後、日本及び中国の 3E 問題を解決する取り組みとして、①日本の実用化技術移転、②温室効果ガス削減に関する日中間制度構築、③戦略的共同研究開発プロジェクト、④中長期的人材育成の 4 点を提言する。これは、従来の「協力」の意味合いを、与えるばかりの「アシスタンス」から相互利益的な「コラボレーション」へと変えていく取り組みである。

①日本の実用化技術移転

中国の 3E 問題解決のために、

石炭高効率利用発電技術、石炭ガス化・液化技術などの石炭利用クリーン化技術、天然ガス利用技術、原子力利用技術、再生可能エネルギー利用技術、環境対策技術に関する日本の実用化技術を日本から中国へ移転する。技術投資資金としては、原則、民間資金を主体としたファンドとするが、投資リスクが高い場合、政策投資銀行や国際協力銀行等政府出資の利用も考える。技術移転やメンテナンス人材育成をスムーズに行うため、日本の専門家を長期派遣して技術研修や現場の情報交換が行えるエネルギー・環境技術センターを日中両政府合意のもとに設置、推進する。本センターを中国での現場拠点にし、中国の全地域をカバーできるように拠点数とする。本センターでは、移転する日本の実用化技術の知的財産権保護や、中国への技術移転に伴う投資環境整備を中国政府へ働きかける機関とする。

②温室効果ガス削減に関する日中間制度構築

①において日本から中国へ移転した環境対策技術やエネルギー高効率化技術による中国での CO₂ 排出低減効果を日本の排出低減量に

加算できるクリーン開発メカニズム (CDM) 制度^{★★2}を日中間で構築、運用する。この制度運用では、技術移転事業による CO₂ 削減実績の評価・認証といった枠組みが必要であり、両政府が、政策的な協調や合意により環境を整備する。

③戦略的共同研究開発

プロジェクト

日中共同でエネルギー・環境分野の産学官連携研究開発戦略プロジェクトを推進する。例えば、東アジア地域大気汚染物質 (SO_x、NO_x 等) の航空機観測による発生源、発生分布実態解明などの広域大気汚染に関する研究¹⁸⁾ や、高効率石炭ガス化複合発電技術や石炭灰有効利用技術を含むクリーンコールテクノロジーなど出口を明確にした先進技術育成を日中共同で実施する。開発した成果は、両国政府合意のもとで知的財産権として保護する。

④中長期の人材育成

3E 問題の意識を持つ人材を日中間で中長期的に育成するため、日本、中国両方の大学あるいは大学院において、3E 問題に関連した科学技術系人材交換留学プログラムを推進する。日中両政府が、相手国の留学生に対して独立したスカラシップをつくる。

上記提言では、日本の実用化保有技術や日中共同開発技術による中国石炭資源の中国国内高度利用、中国での環境汚染対策・炭酸ガス削減で日中両国の 3E 同時実

現を図る。中国にとっては、①電力供給分散化、②産炭地等の内部発展、③高度技術の利用／普及のメリットがあり、日本の利点は、①実効ある炭酸ガス削減、②産業競争力の維持／強化である。また、両国にとって、①環境保全、②持続的な経済発展の利益がある。

謝 辞

本稿をまとめるに当たり、東京大学生産技術研究所の山本良一教授、政策研究大学院大学の角南助教授、三菱重工技術本部技術企画部の大木主幹、古屋主席、藤村主任のご意見もご参考にさせていただきました。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 財団法人日本エネルギー経済研究所、「アジア／世界エネルギーアウトLOOK ―急成長するアジア経済と変化するエネルギー需給構造―」、2004 年 3 月
- 2) NIRA 北東アジア環境配慮型エネルギー利用研究会編、「北東アジアの環境戦略」、日本経済評論社、2004 年
- 3) 小川芳樹、財団法人日本エネルギー経済研究所、「東アジアのエネルギーと環境問題」：<http://www.esri.go.jp/jp/tie/ea/ea4.pdf>
- 4) Keii CHO、「Demand and Supply Trends in China's Natural Gas Market」, J. Jpn. Inst. Energy, Vol.83, 109 - 117 (2004)
- 5) 張 継偉、「中国の電力産業の動向」、エネルギー経済、第 30 巻第 2 号 (2004 年春季)

- 6) 諸岡秀行、船越節彦、「中国の電力・原子力発電の動向」、海外事務所報告 1、4 - 20、2004 年
- 7) 曲曉光、「全人代後の中国エネルギー政策、需給の安定化策を探る」、NEDO 海外レポート、No.928、2004 年
- 8) 柘植綾夫、「21 世紀のエネルギー環境社会の構築に向けて」、第 42 回原子力総合シンポジウム予稿集、59 - 68、2004 年
- 9) Yusheng XIE, Shufeng YE, Kuniyuki KITAGAWA, and Kali WANG, 「The Developing Strategy and Research for Chinese Energy Resources」, J. Jpn. Inst. Energy, Vol.83, 207 - 211 (2004)
- 10) 外務省ホームページ：<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/>
- 11) 金賢敏、「日米欧企業の対中投資戦略・マネジメントの比較」、2001 年：http://www.rieti.go.jp/jp/events/bbl/010620_03.pdf
- 12) 中国新聞社、2004 年 5 月 25 日付：http://news.searchina.ne.jp/2004/0526/business_0526_001.shtml
- 13) 地球環境工学ハンドブック、オーム社、1991 年
- 14) 駒橋徐、「新エネルギー・創造から普及へ」、日刊工業新聞社、2004 年
- 15) 三菱重工技報、；vol.38 No.1、2001；Vol.40 No.1、2003；vol.40 No.4、2003
- 16) 本命技術、「二酸化炭素の分離・固定」、日経エコロジー、p.138 - 141、2004 年 7 月号
- 17) 市川陽一、速水 洋、Markus Amann、杉山大志、「わが国における酸性沈着量の将来予測」、電力中央研究所報告 報告書番号 T00022、2001 年
- 18) 環境儀、国立環境研究所、No.12 April 2004
- 19) 文部科学省科学技術・学術審議会 第 2 期国際化推進委員会 (H 16 年第 3 回) 議事次第配布資料

用語説明

★★2 クリーン開発メカニズム (CDM) 制度

京都議定書参加国と非参加国との間で、温室効果ガス削減プロジェクトなどの共同の事業を実施し、削減分を参加国が譲り受けることを認める制度。非参加国にとっては、参加国の投資を通じて、自国の環境対策推進や技術移転といったメリットがあると考えられている。

特集3

急速に発展する中国の宇宙開発



総括ユニット 辻野 照久

1. はじめに

中国は2003年10月に有人宇宙船「神舟5号」の打上げ及び回収に成功し、米口に次ぎ世界で3番目の有人宇宙船打上げ国となった。その背景には中国が過去40年にわたり宇宙を目指して着実な成果を積み重ねた技術的実績だけ

でなく、科学技術体制の刷新など社会体制の急速な変容がある。持続的な経済発展政策の下で、今後も特に有人宇宙飛行の分野で意欲的な研究開発や運用が行われると見られる。本稿では、活況を呈する中国の宇宙開発の背景にある組

織体制、過去の成果や今後の展望を分析するとともに、中国の主要な宇宙技術研究機関が発行している論文集に着目し、テーマの広がりや著者の地域的分布などから中国の宇宙技術研究動向の一断面を紹介する。

2. 中国の宇宙開発体制と研究組織

中国の宇宙開発体制は、以前は航天航空工業部（省に相当）が中心であったが、1993年6月に国務院直属機構である国家航天局（CNSA）が設立され、また宇宙活動の実施部門は政府から切り離されて、国営企業である中国航天航空総公司に移管された。その後再編成や名称変更を経て、現在は図表1に示すように、CNSAは国務院直属機構ではなく、国防科学技術工業委員会（COSTIND）の傘下となっている。また中国航天航空総公司は中国航天科技集团

公司（CASC）と中国航天科工集团公司（CASIC）に分かれている。

CASCは有人宇宙船や静止衛星など中国の宇宙活動の中心となる宇宙機の研究開発及び製造を一手に引き受ける宇宙に特化した企業であり、傘下に中国長城工業総公司（CGWIC）などの重工業メーカーや中国空間技術研究院（CAST）及び中国ロケット技術研究院（CALT）などの研究機関を擁している。今回着目した論文集はCASTが発行したものである。

一方、打上げロケットにより衛

星の打上げを担う組織は、国家中央軍事委員会直属の人民解放軍総装備部の傘下に中国衛星発射测控系統部（CLTC）があり、西昌・酒泉・太原の3箇所の打上げ基地（発射中心）と追跡管制センター（衛星测控中心）を擁している。

宇宙関係の研究機関としてはこの他に国務院直属事業部門である中国科学院（CAS）傘下の遥観（リモートセンシング）応用研究所や、科学技術部（MOST、省に相当）傘下の国家遥観中心（リモートセンシングセンター）などがある。

略

語

CALT : China Academy of Launch Vehicle Technology

CAS : China Academy of Science

CASC : China AeroSpace Corporation

CASIC : China Aerospace Science and Industry Corporation

CAST : China Academy of Space Technology

CGWIC : China Great Wall Industry Company

CLTC : China satellite Launch and Tracking Control General

CNSA : China National Space Administration

COSTIND : Committee on Science and Technology Industry for National Defense

ESA : European Space Agency

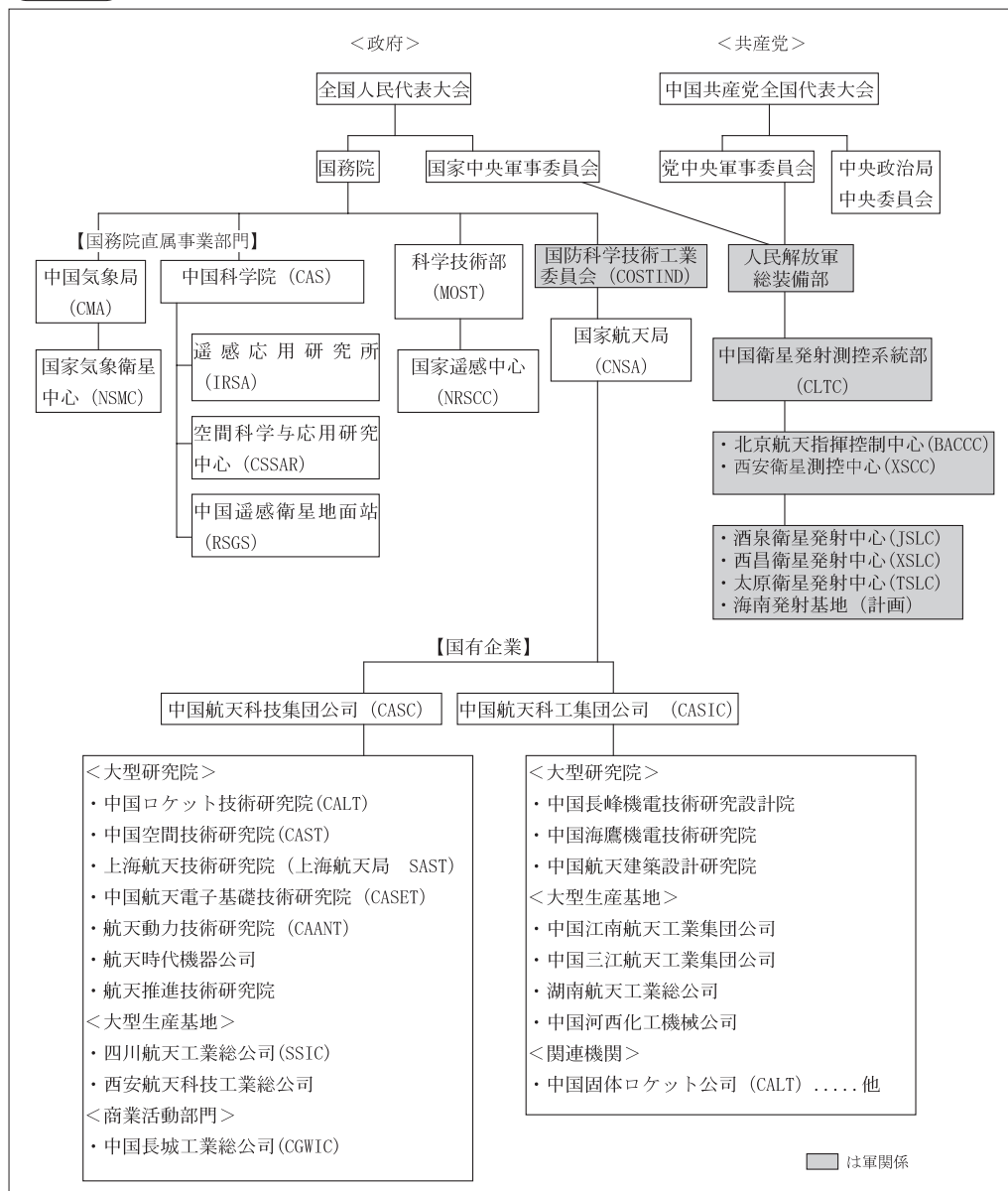
MOST : Ministry of Science & Technology

MTCR : Missile Technology Control Regime

NSG : Nuclear Suppliers Group

SSTO : Single Stage To Orbit

図表 1 中国の宇宙開発関連組織



3. 中国の宇宙開発実績の概観

3 - 1

中国の衛星打上げの実績

中国の最初の打上げ（1970 年）から最近（2004 年 4 月）まで、主に長征ロケットにより打ち上げられた中国衛星の状況を図表 2 に示す。この間に所定の軌道への投入に成功した中国衛星は 60 機である。

2000 年以降、ミッションの種類が大幅に増えていることがわかる。なお、中国が所有する衛星としては、この表に示した以外に

図表 2 中国が打ち上げた衛星数の推移（5 年間毎の期間打上げ数）

年代	衛星数 (うち軌道投入失敗数)	軌道投入に成功した衛星の名称 (数量)
1970 ～ 74	2	東方紅 1、実践 1
1975 ～ 79	3	回収式 (3 機)
1980 ～ 84	8 (1)	東方紅 2、回収式 (3 機)、実践 2 (3 機)
1985 ～ 89	9	東方紅 2 甲 (3 機)、風雲 1A、回収式 (5 機)
1990 ～ 94	11 (1)	東方紅 2 甲、東方紅 3、風雲 1B、実践 4、回収式 (5 機)、技術試験
1995 ～ 99	10 (1)	東方紅 3、風雲 1C、風雲 2A、回収式、実践 5、資源 1 (CBERS 1)、神舟、通信衛星 (2 機)
2000 ～ 04 (4 月まで)	20	神舟 (4 機)、風雲 1D、風雲 2B、北斗 (3 機)、中星 (2 機)、回収式、CBERS 2、資源 2 (2 機)、海洋 1、創新 1、探測 1、試験 1、納星 1
計	63 (3)	

長征ロケットまたは外国ロケット（米国のアトラスなど）で打ち上げられた香港企業が所有する商業通信衛星やロシアのコスモスロケットで打ち上げられた小型衛星等がある。

次に長征ロケットの打上げ数を射場別に見ると、図表3に示すように静止衛星を打ち上げる西昌（XiChang）から36機、極軌道衛星を打ち上げる太原（TaiYuan）から15機、低軌道周回衛星を打ち上げる酒泉（JiuQuan）から25機となっている。このうち打上げ失敗（部分的失敗も含む）回数は8回で、長征（ChangZheng）ロケット全体の成功率は89.5%である（失敗回数を7.5回として90%とする場合もある）。96年8月の失敗以降は、2004年4月まで34回連続で打上げに成功している。

中国の打上げロケットを他国のロケットと比較するために、図表4に主要なロケットの打上げ成功率の推移を示した。同じ条件で比較できるように、各ロケットの打上げ機数10機ごとの時点での打上げ成功率を示した。中国のロケットは、欧米のロケットと同様に、初期の数回の失敗を克服して成功

率を高めてきていることが分かる。

3 - 2

これまでの衛星ミッションの概要

(1)回収式衛星

中国では返回式（FanhuiShi）衛星すなわち回収式衛星を1975年以来2003年11月までに18機打ち上げており、ミッションは写真撮像（フィルムを回収）と微小重力実験（材料科学及びライフサイエンス試料を回収）である。微小重力実験は自国だけでなく、フランスやドイツの実験も行

っている。軌道離脱時にレトロエンジンで減速してパラシュートで降下する方法はロシアのソユーズと同じである。有人宇宙船「神舟（ShenZhou）」の実現にはこの回収式衛星の経験が相当活用されていると思われる。

回収式衛星のミッション期間は技術的進歩により当初3日から15日に延長された。回収式衛星は太陽電池を備えていないので、1次電池の容量増大により実現したものと思われる。

18機の回収式衛星のうち、1機は回収に失敗した。1993年に打ち上げられた回収式衛星15号機「尖

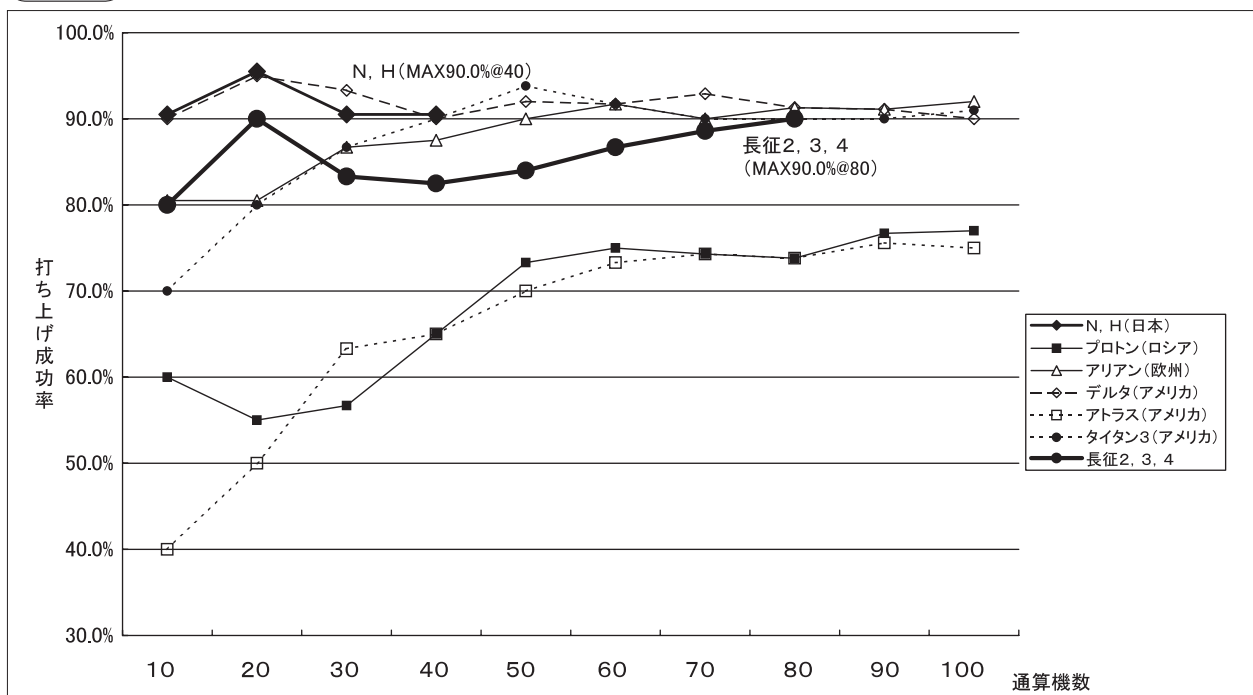
図表3 中国のロケット打上げ数の推移（射場別）

年代	西昌	太原	酒泉	打上合計
1970～74			3（1）	3（1）
1975～79			3	3
1980～84	3（1）		2	5（1）
1985～89	3	1	5	9
1990～94	10（3*）	1	5	16（3）
1995～99	12（3）	9	2	23（3）
2000～04 （4月まで）	8	4	5	17
計	36（7）	15	25（1）	76（8）

（ ）内は打上げ失敗数内訳

* 1990年7月の打上げでペイロード2個中1個が失敗

図表4 各国ロケットの打上げ10機毎の時点での成功率の比較



兵 (JianBing)」は、軌道離脱時に地球に再突入するように噴射すべきレトロエンジンを、地球から遠ざかる方向に噴射したため、制御不能の軌道に入ってしまった。世界各国は大気中で燃え尽きない宇宙機がどこに落下するか予想がつかないという危機に見舞われた。最終的に南太平洋に突入して被害はなかったが、その直前に日本上空を数回飛行していた。

(2)地球観測分野

気象観測衛星は極軌道の「風雲 (FengYun) 1号」を4機、静止衛星の「風雲2号」を2機打ち上げている。また、ブラジルと共同で開発した「CBERS」(中国・ブラジル地球観測衛星)から発展して、「資源 (ZiYuan)」、「海洋 (HaiYang)」などの地球観測衛星が最近続々と打ち上げられている。これらの衛星は比較的小型であるがマルチバンド CCD カメラなど複数の観測機器を搭載している。

また、2003 年 12 月、欧州宇宙機関 (ESA) と共同開発の地球環境観測衛星「探測 (TanCe) 1号」を赤道軌道に打ち上げた。極軌道の2号機と合わせて「双星 (ShuangXing)」とも呼ばれる¹⁾。2004 年 4 月には科学技術部と ESA によるシンポジウムが開催され、ESA が提供する環境観測衛星 ENVISAT のデータを利用して水害・空気汚染、森林、海洋、水資源などの研究を行う「龍計画」が開始された²⁾。

(3)通信放送分野

中国独自の静止通信衛星としては、1984 年から「東方紅 (DongFangHong) 2号」、同2号甲、同3号と打ち上げており、中国の宇宙機開発技術と衛星通信利用技術の発展に貢献したと中国国内で評価されている。「東方紅3号」は中継器 (トランスポンダー) を24本搭載し、三軸姿勢制御方式の本格的な静止通信衛星である。1994年に打ち上げられた1号機は、その翌年に燃料漏れで運用を中断したものの、1997年に打ち上げられた2号機は、既に7年間運用されている。なお、設計寿命は8年である。

中国では、携帯電話が毎月500万件加入契約されるなど、通信需要が急速に伸びており、衛星通信についても中国が独自に打ち上げる通信衛星だけでなく、外国衛星の新規購入、外国企業所有衛星のリースあるいは所有権を移動する軌道上承継など衛星ラインナップの充実を積極的に行っている。

(4)測位分野

全球位置決めシステム (GPS) で使われる衛星は現在米国の NAVSTAR とロシアの GLONASS がある。さらに、欧州がガリレオ計画を推進しようとしている。中国は独自の航法衛星として静止衛星「北斗 (BeiDou)」を3機打ち上げている。この衛星の諸元は公表されていないが、静止位置は東経80度、110度及び140度にあり、道路交通、鉄道輸送、海上作業に

おけるナビゲーション業務に用いられている。静止衛星の場合、周回衛星と異なり衛星位置情報を送信する必要がないので、システムはかなり異なったものとなる。またこれらの衛星だけで位置決めを行うことはできないと思われる。

(5)有人宇宙船

1999年に最初の試験機「神舟」を打ち上げ、2002年までにさらに3機の試験機を打ち上げて、有人打ち上げの準備を完了した。2003年10月に最初の有人宇宙船を打ち上げ、回収に成功した。中国初の宇宙飛行士となった楊利偉 (38歳) は人民解放軍宇宙飛行士大隊に所属する上校 (大佐) である。

なお、「神舟5号」には、軌道周回モジュール、地上帰還カプセル、推進モジュール、附加部分の4つのモジュールがある。そのうち、地上帰還カプセル切り離し後に引き続き軌道上で宇宙環境計測実験を行う軌道周回モジュールについては、約6ヶ月にわたり周回飛行を行い、本年3月までに実験を完了させた³⁾。

(6)技術試験衛星

2004年4月に打ち上げられた「納星 (NaXing)」は清華大学が開発した25Kgの超小型衛星で、「納」とはナノを意味する。CMOS カメラで地形をスキャンし、高解像度の立体地図作成を試みるものである⁴⁾。この他、「創新 (ChuangXin)」、「試験 (ShiYan)」などがある。

4. 今後の宇宙開発の展望

中国空間技術研究院の徐福祥^{シェ フー シアン}は、宇宙開発の長期的展望として、宇宙技術と宇宙応用が産業化及び市場化され、宇宙資源の開発利用により経済力向上、安全保障、科学技術の発展など幅広

い要求を満たすようになるとしている⁵⁾。各種の機能と軌道を組み合わせた多様な衛星システムにより宇宙インフラストラクチャーを整備し、宇宙と地上が一体となったネットワークシステムを

構築することを目標としている。このような展望の下で、当面はいくつかのミッション及び衛星技術開発が進むものと見られる。

4 - 1

ミッション別の発展目標

最近の人民日報、北京週報、中国新聞などを見ると、さまざまなミッションの将来計画が盛んに報じられている。

(1)地球観測衛星

欧州宇宙機関 (ESA) と共同開発の地球環境観測衛星「探測 2 号」を 7 月末に極軌道に打ち上げる予定である⁶⁾。ブラジルと共同で打ち上げる資源探査衛星「CBERS」も定常運用を目指して 3 号機、4 号機を打ち上げる計画がある⁷⁾。今後も科学技術部傘下の国家リモートセンシングセンターを中心に、各種の地球観測衛星データを活用して安定した観測の実施を目指すものと思われる。

(2)通信放送衛星

現在、2005 年打ち上げに向けて「東方紅 4 号」の開発を進めている。「東方紅 3 号」より中継器数が大幅に増え、C バンド (電話用) 38 本と Ku バンド (TV 放送用) 16 本となる予定である。また設計寿命も 15 年と 2 倍近く長くなる見込みである⁸⁾。

(3)衛星測位システム

中国は自国の静止航法衛星「北斗」に加えて欧州のガリレオ計画への協力を開始している。2004 年 6 月に米国と欧州が測位衛星での協力を合意したことで中国を含め、世界的に測位衛星利用が加速すると思われる。

(4)有人宇宙飛行と微小重力実験

2005 年に 2 名の搭乗人員による数日間の宇宙飛行を計画している。2006 年頃には 3 名で数日間の宇宙飛行を目指している。現在 14 名の宇宙飛行士候補者が訓練を受けているところである⁹⁾。今後は

有人宇宙船において、これまで無人で行われていた宇宙材料科学、ライフサイエンスなどの科学実験が宇宙飛行士の支援を受けて行われるようになると予想される。

(5)宇宙環境計測

2004 年 6 月、中国科学院は 2011 年までに高度 700km、50,000km、150,000km の異なった軌道に 1 回の打ち上げで同時に 3 個の太陽風観測衛星を投入する計画を発表した。これまで米・ロ・欧・日が共同で行っていた太陽地球系物理学国際共同観測計画 (ILWS) に加わり太陽風などの宇宙環境計測を行おうとしている。

(6)深宇宙探査

2004 年 2 月、国防科学技術工業委員会は月面探査機「嫦娥 (ChangE) 1 号」について、2006 年 12 月の打ち上げを目指すとして発表した¹⁰⁾。1 号機は外国との協力は行わない方針で、すべて国産品により、観測機器の製造及び試験まで既に完了したという。2 号機以降は外国との共同開発も考慮している。2010 年頃までに月面ローバを着陸させ、2020 年までには帰還段階を実施し、将来的にはヘリウム 3 などの有用資源を採取してエネルギー源とすることまで考えている。2 号機以降の中国の月探査計画に対し、米国や欧州も関心を寄せている。

月より遠い深宇宙探査ミッションはまだこれからであるが、既に火星探査機を 2020 年までに打ち上げることが表明している。長期的には世界の宇宙科学の領域で相対的に重要な地位を占めるようになり、特色のある研究を展開することを目標としている。

4 - 2

衛星開発の技術的目標

中国が考えている、衛星ミッシ

ョンに共通する技術的な開発目標を以下に列挙する⁵⁾。

- ①衛星搭載のミッション機器の技術を優先的に発展させること。
- ②衛星の共通プラットフォームを発展させること。静止衛星、極軌道衛星、回収式衛星など衛星シリーズに応じて数種類のプラットフォームから選択することにより、衛星の開発期間を短縮し、コストを下げ、信頼性を向上させるなど。
- ③衛星全体の最適化設計、高精度の姿勢制御、新しい太陽電池技術、宇宙マイクロエレクトロニクス技術、宇宙データ安全技術、衛星自律航行、宇宙軽量構造及び機構、大型展開式およびマルチバンドアンテナ、先端的な宇宙用冷凍機など。
- ④ GPS や通信放送など衛星応用技術の研究開発を強化すること。

4 - 3

アジア太平洋諸国に対する衛星取得データの提供

2004 年 4 月、中国国家航天局長の ルアン エン チェ 楽恩杰は第 60 回アジア太平洋経済社会会議 (ESCAP) において、中国が有する小型地球観測衛星群 (コンステレーション) の観測データを災害時の被害低減などの目的でアジア太平洋の発展途上国に提供する意向であることを表明した。中国は 2003 年だけで、自然災害により年間 2 億人が被災し、損害額は 1,800 億元以上に達するという¹¹⁾。そのような被害を減少させるため、宇宙技術による取得データを積極的に活用しようとしている。ここ数年間で急速に発展した中国の宇宙開発活動により、中国は既に「持てる国」になっており、自国の減災対策だけでなく、周辺のアジア太平洋にも恩恵を及ぼそうとしている。

5. 宇宙開発に関する論文の分析

以上に述べてきた中国の実績や今後の展望の裏に、どのような技術研究の裏付けがあるのかを知る必要がある。以下にその一断面を分析した結果を示す。

5 - 1

技術分野別の概況

「中国空間科学技術」誌（中国空間技術研究院発行）は内容的に中国でも最先端の宇宙関係論文の発表媒体であると思われる。1981年から刊行されており、昨年は隔月刊で6回発行されている。これを見ると、中国の各地においてどのような研究が行われているかの一端を知ることができる。

2003年に刊行された6冊の同誌には71報が掲載されており、その分野の分布状況を図表5に示す。

以下に個別の論文から興味深い研究内容をいくつか紹介する。

(1) 単段式宇宙輸送システム (SSTO = 単級入軌) 用エンジンのパラメータ最適化

単段式宇宙輸送システムとは、1段式のロケット自体で衛星を軌道に投入し、機体を完全に元のままで地上に回収する打上げ手段をいう。西北工業大学（陝西省西安市）の譚松林（37歳）らの研究で、打上げ・回収方式として垂直離陸・水平着陸（VTHL）を考えている。水平着陸のためには主翼などが必要で、重量は1,007 t、推進力は石油系・液体水素（液氢）の2種類の推進剤と液体酸素（液氧）を用いる推力200 tのトリプロペラント・エンジン（三組元发动机）を7台装備するものとしている。トリプロペラント・エンジンは米国の企業で考案され、空気密度の濃い地上付近は石油系燃料を用い、高空では水素を燃料にする

ことで効率よく総合推力を得ようとするものである。機体、タンクなど各部の質量や、推力、燃焼時間、燃料切り替え時期などを変数として最適化設計を行い、低軌道（LEO）に15 tの衛星投入が可能となるパラメータを見出したとしている¹²⁾。

(2) 有人機の宇宙ランデブー

2機以上の宇宙機が宇宙空間で接近する宇宙ランデブーは、中国ではまだ実際に行ったことはない

が、将来的には独自の宇宙ステーションに有人宇宙船や物資補給船などをランデブー・ドッキングさせる可能性がある。北京航空航天大学（北京市）の朱人璋（62歳）らは、有人宇宙機の宇宙ランデブー（空間交会）における接近時の加速・減速に関する研究を行った。チェイサー衛星（追跡衛星）から見てターゲット衛星（目標衛星）に近づいた時に、宇宙飛行士の視界角（航空機の着陸時の迎角に相当）を小さくするようにエン

図表5 2003年の「中国空間科学技術」掲載論文の対象分野と主なキーワード

	分野	論文数	主なキーワード
全体 1	全体計画	1	◎成就与展望（成果と展望）（著者は徐福祥）
宇宙基幹システム 19	有人飛行	1	◎人的失误（ヒューマンエラー）
	推進	3	◎単級入軌（SSTO） ◎三組元发动机（トリプロペラント・エンジン） ◎液氧（液体酸素）液氢（液体水素） 微爆轰推力（マイクロデトネーションスラスタ）
	パラシュート	2	剛体模型（剛体モデル） 膨張模擬（膨張シミュレーション）
	再突入機	9	再入飛行器（再突入機）
	追跡管制	4	定軌算法（軌道決定アルゴリズム）
宇宙利用システム 18	衛星設計	2	模糊推理（ファジー理論）
	宇宙実験	3	突変体（突然変異体）
	地球観測	3	◎小波变换（ウェーブレット変換）
	通信	3	円柱阵电子消旋天线（コラムアレイ・デスパンアンテナ）
	軌道設計	7	编队飞行（フォーメーションフライト） 遗传算法（遺伝的アルゴリズム）
技術研究 33	信頼性	1	神经网络（ニューラルネットワーク）
	センサ	1	合成孔径雷达（合成開口レーダ）
	電気	1	太阳能电池阵（太陽電池パネル）
	宇宙環境	2	原子氧（原子状酸素）、空間碎片（宇宙デブリ）
	構造	2	模态价值分析（モーダルコスト分析）
	情報処理	2	ATM（非同期転送モデル）
	熱制御	3	接触导热（熱接触抵抗）、涂层（コーティング）
	姿勢制御	4	二阶非线性滤波（二次非線形フィルター） Kalman 滤波（カルマンフィルター）
	機構	4	轮控系统（フライホイール） 脉冲管制冷机（パルス管冷凍機）
	誘導制御	13	◎空間交会（宇宙ランデブー） ◎追跡衛星（チェイサー衛星） ◎目標衛星（ターゲット衛星）

◎は本文中で紹介

ジンの噴射法を検討しているところがユニークである¹³⁾。

(3) 有人宇宙船における ヒューマンエラーの分析

上海交通大学（上海市）の周前祥（34歳）らは、中国の有人宇宙活動が今後長時間化することを前提に、米国のアポロ宇宙船や旧ソ連のソユーズ宇宙船などで発生したヒューマンエラーを分析し、今後の宇宙機設計で対策を講じるように提言している¹⁴⁾。

まず宇宙活動におけるヒューマンエラーの実例や発生時期の統計などを紹介し、次に人間の認識過程や注意力について評価し、ヒューマンエラー防止対策としてマンマシンの役割分担、ディスプレイの応答時間などの検討を行っている。宇宙飛行士が作業をすることはどうしても必要であるが、ロボットや人工知能などの「助手」との分担を最適化して、宇宙飛行士にはできるだけ高度な判断業務をさせるべきだとしている。

注目される点としては、宇宙飛行士の隣に「陌生（見知らぬ人）」が乗る場合の空間隔離などの検討を行っている点である。これは今後行われる3名での宇宙飛行において、軍の同僚である宇宙飛行士だけが搭乗するのではなく、何らかの目的で一般人を搭乗させる可能性があることを示唆している。

本論文自体に技術的に目新しい点はないが、中国は有人宇宙飛行でミニマム必要なこと以上に信頼性向上につながる研究をしているように思われる。

(4) ウェーブレット変換

近年、時間情報と周波数情報の

両方を同時に解析できるウェーブレット変換（小波変換）がいろいろな用途で用いられている。国防科技大学（湖南省長沙市）の鍾平（24歳）らは、雑音の多い画像データから意味のある輪郭を見出すために、ウェーブレット変換を適用する研究を行い、ソーベルフィルタなど従来の解析手法に比べてより詳細な輪郭図が得られることを示した¹⁵⁾。

大学院生の論文とはいえ、軍関係の研究機関から偵察に直結する画像解析技術に関する研究内容を公表することは珍しいと思われる。

5 - 2

著者所属機関の分布

著者の所属機関について、掲載数の多いトップ5機関を図表6に示す。

トップ5で全体の約6割を占めている。最も掲載数が多い機関は人民解放軍傘下の国防科技大学である。本論文集の発行機関である中国空間技術研究院（CAST）は2位である。第3位から第5位の3大学はいずれも国防科学技術工業委員会直属大学であることは注目に値する。第6位以下に含まれる北京大学など多くの大学は教育部（省に相当）に属する。

CASTは軍の組織と一線を画しているが、実務的な研究の現場においては、軍民両用（デュアルユース）以上に密接な産学軍連携を行っていることが窺える。

軍関係の大学の研究内容を見ると、ロケット打上げなどに関係する誘導制御や情報処理のみならず、早期警戒衛星に関連した地球観測技術や衛星機構部の研究まで

図表6 2003年の71報の実施機関別論文数（トップ5）

国防科技大学（湖南省）	15
中国空間技術研究院（北京市）	10
北京航空航天大学（北京市）	9
ハルビン工業大学（黒龍江省）	7
南京航空航天大学（江蘇省）	6

図表7 参考文献における種類別引用数

中国国内雑誌	102
中国国内出版物	103
外国論文	191
外国出版物	30
会議プロシーディング	21

非常に幅広く行われていることが分かる。

5 - 3

引用文献の分析

71報のそれぞれに引用されている参考文献を分類した結果を図表7に示す。

中国国内の文献引用は約200件で、国内雑誌掲載論文と書籍等の出版物からの引用がほぼ同数である。

外国論文からの引用の中で特に多いものとして、IEEE（米国電気電子技術者協会）52件、AIAA（米国航空宇宙学会）30件などがあり、NASAレポートも7件含まれる。著者が日本人である引用文献は見あたらなかった。

過去には中国の宇宙技術は旧ソ連から入手したものが多かったと見られるが、最近は米国などへの留学生が多数帰国して研究に従事するようになり、技術革新が著しい欧米の最新情報に注目しているものと思われる。

6. 急速に発展する宇宙開発の背景にある社会的変化

中国は科学技術体制の刷新に着手し、国営企業の旧弊を改め、持続的な経済的發展を目指す政策を掲げている。さらに貿易管理制度の整備も積極的に進めている。中国の宇宙開発が急速に発展している背景に、中国の社会体制の急速な変容があることは見逃せない。以下にいくつかの動きを紹介する。

(1) 科学技術体制の刷新

2003 年 8 月、中国科学院科技政策局の沈^{シェン} 華は東京において中国の科学技術体制を刷新する旨の講演を行った¹⁶⁾。その中で、2010 年までに国家の研究機構の最適化に向けて全面的に改革を推進し、80 箇所程度の研究基地を整備するとの目標を掲げた。それに伴って、優秀な人材を吸引する施策を実施するとともに、人事制度面で業績に見合った待遇や競争的な選択を行うなど、人材の積極性を引き出すような評価システムを導入するとしている。

(2) 国営企業の弊害除去

国営企業において国家経済發展上の弊害となっている既得権益のことを「三鉄」という。三鉄とは、「鉄飯碗」（倒産することがない）「鉄工資」（賃金保証）「鉄交椅」（終身雇用）のことで、宇宙分野の国営企業もかつてはこのような弊害を有していたと思われるが、昨今では既得権益を失っていく人々の悲鳴が我が国でも人づてに聞かれることから、現実には改革が進んでいることが察せられる。

(3) 持続的な経済發展

急速に發展する国内經濟に対して、国内からも他の国からも、エネルギー、水、食糧などの資源の制約で成長の限界という壁におつかることが懸念されている。農村部人口が大幅に都市部へ移動することで、エネルギーなどの主要問題はいつそう深刻な課題になると思われる。これに対し中国政府は、持続可能な經濟成長を図ること

を国家戦略として、機会あるごとにさまざまな政策誘導を行っている。地球観測・測位などの宇宙技術の利用がいつそう必要になると思われる。

(4) 新しい貿易管理体制

2004 年 1 月 1 日より外国貿易法などに基づき、商務部と海関総署の連名で「機微品目及び技術輸出許可証管理目録」を施行した。これにより原子力供給国グループ (NSG) やミサイル関連技術輸出規制 (MTCR) に加盟するために必要となる国内法の整備が行われたことになる。続いて、5 月にスウェーデンで行われた NSG 会議において、中国の NSG 加盟が実現した。さらに、中国は 6 月に MTCR 加盟の意思を公式に表明した。加盟が実現すれば、ミサイルや再突入機の製造に直結する技術であっても、許可を受けて日本から中国へ輸出したり、逆に中国から日本へ輸出することもできるようになる。

7. まとめ

約 40 年にわたる中国の宇宙開発活動の実績、現在の組織体制、今後の目標、背景にある社会の変化などを概観した。特に近年において、有人宇宙飛行の実現に象徴されるように、急速に發展する国家經濟の中で宇宙開発や宇宙利用が目に見える形で効果を発揮し始めていると感じられる。

衛星ミッションの種類が急増しており、月探査や宇宙環境計測など、これまで実績のない分野でも新しいプロジェクトがハイペースで進んでいる。宇宙輸送については長征ロケットが連続成功していることから、打上げ成功率が 90% 台に達するものと思われる。

国際協力は既にブラジルとの間で地球観測衛星の共同製作・打上げを行った実績があるが、今後は欧州連合 (EU) との協力が目立ってくると思われる。国際貢献の面では、自国の宇宙技術の成果をアジア太平洋諸国にどのような形で利用させるかが「持てる国」中国の課題となると思われる。既にアジア・太平洋諸国に対して中国の小型地球観測衛星群により減災のための情報を提供することを表明するまでになっている。

また、宇宙開発に関する研究論文を通じて、中国では米・ロ・欧・日に伍して独自の宇宙開発・宇宙利用研究が幅広く行われてお

り、特に有人宇宙飛行の分野で他国にも増して意欲的な研究が行われているという感触が得られた。SSTO のような革新的な輸送システムが実現に向けて動き出せば、世界の宇宙開発に大きなインパクトを与える可能性がある。

中国の宇宙開発分野における發展は技術力の向上だけでは説明しきれない。その裏には、科学技術研究体制における人事制度の改革、国家全体の持続的經濟成長路線の維持、貿易管理制度の整備など、20 世紀末に比べて社会体制が顕著に変化しているという背景がある。

我が国は中国の宇宙開発におけ

る最近数年間の急速な発展を横目で見ていただけではなく、中国の研究開発動向や社会体制の変化から何か学び取るべきものがあるという眼で見る必要がある。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、政策研究大学院大学の角南篤助教授及び宇宙航空研究開発機構国際部、総合技術研究本部その他複数の関係者に助言や討議をいただきました。ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「双星計画」初の衛星、年内にも打上げ：北京週報 2003 年 49 号：
<http://www.pekinshuho.com/Jp/2003.49/200349-week6.htm>
- 2) 中国・ESA 遠隔探査分野の最大規模協力プロジェクト「龍計画」始動：東方ネット 2004 年 4 月 28 日：
<http://jpeastday.com/node2/node3/node15/userobject1ai8918.html>
- 3) 「神舟 5 号」：軌道モジュール実験で、研究に成果／中国情報局（サーチナ）2004 年 3 月 16 日：
http://news.searchina.ne.jp/2004/0316/national_0316_007.shtml
- 4) 小型衛星打ち上げ成功 理工系 2 大学が科学実験用で／中国：日本工業新聞、2004 年 4 月 20 日
- 5) 徐福祥「中国航天器工程の成就と展望」中国空間科学技術 2003 年第 1 期 pp 1～6
- 6) 中国「探測 2 号」、7 月末に打ち上げへ／日中グローバル経済通信、2004 年 6 月 30 日：
<http://nikkeibp.jp/wcs/leaf/CID/onair/jp/mech/316170>
- 7) 中国・ブラジル、3、4 基目の資源探測衛星を開発へ／人民網日本語版：
<http://nikkeibp.jp/wcs/leaf/CID/onair/biztech/mech/310152>
- 8) 通信衛星「東方紅 4 号」技術問題をすべてクリア／人民網日本語版、2003 年 7 月 3 日
- 9) 「神舟 6 号」飛行士チームを選抜、春節後に訓練開始／人民網日本語版、2003 年 12 月 19 日
- 10) 月面探査、2007 年までに衛星打上げへ／中国情報局（サーチナ）、2004 年 2 月 26 日
- 11) 中国承認利用其空間技術資源 幫助 亞 太 国家 減 災 中華人民共和國 科学技术部 > 动态与要闻：
http://www.most.gov.cn/dtyyw/t20040429_13327.htm
- 12) 譚松林他「用于单级入轨的三组元发动机参数优化」中国空間科学技術 2003 年第 3 期 pp19～26
- 13) 朱人璋他「空间交会 V-bar 接近冲量机动运动分析」中国空間科学技術 2003 年第 3 期 pp 1～6
- 14) 周前祥他「载人航天中人的失误分析及研究对策」中国空間科学技術 2003 年第 6 期 pp52～57
- 15) 钟平他「基于小波变换的含噪图片的自适应边缘提取」中国空間科学技術 2003 年第 5 期 pp45～50
- 16) 講演資料「中国国家创新体系建设与中国科学院」、2003 年 8 月、中国科学院科技政策局

《参考地図》中国の宇宙開発活動の拠点



SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

July 2004
(NO.40)

Science & Technology Foresight Center

National Institute of Science and
Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports,
Science and Technology

※このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき「報告書一覧 科学技術動向・月報」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

連絡先：〒 100 - 0005 東京都千代田区丸の内 2 - 5 - 1

電話 03 - 3581 - 0605 FAX 03 - 3503 - 3996

URL <http://www.nistep.go.jp>

Email stfc@nistep.go.jp

- ▶ Life Sciences
- ▶ Information & Communication Technologies
- ▶ Environmental Sciences
- ▶ Nanotechnology & Materials
- ▶ Energy
- ▶ Manufacturing Technology
- ▶ Infrastructure
- ▶ Frontier