

# 科学技術動向

## 科学技術動向研究

### 日本の医工連携イノベーションの推進

—OCTの産学官連携を事例に—

P.1

P.14

### 黄砂現象に関する最近の動き

—自然現象か人為的影響か  
古くて新しい問題の解決に向けて—

P.2

P.24

### 中国の直面する環境・エネルギー問題と

日中技術協力の可能性

P.3

P.36

## トピックス

### ライフサイエンス分野

P.5

1 HIV-1に酷似するウイルスをもつ野生のチンパンジーを発見

### 情報通信分野

P.6

2 実行段階に入った欧州の光技術プラットフォーム“Photonics21”

### 環境分野

P.7

3 大気中の多環芳香族炭化水素の発生源

4 京都議定書第一約束期間に向けたIPCCの動向

### ナノテク・材料分野

P.9

5 磁場で大きな力を発生する磁性形状記憶合金

### 社会基盤分野

P.10

6 首都圏外郭放水路の洪水被害軽減効果

### フロンティア分野

P.11

7 海洋調査船が深海底の火山噴火現場を観測

8 国際災害チャーターへの陸域観測衛星「だいち」の貢献

### その他の分野

P.13

9 米国では産業界から大学への直接研究支援が減少傾向

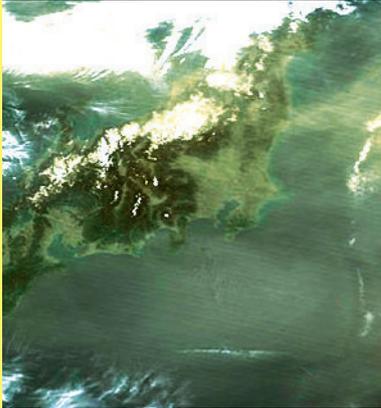
## シンポジウム報告

### 礎(いしずえ)の学問：数学

—数学研究と諸科学・産業技術との連携—

P.4

P.43





## 日本の医工連携イノベーションの推進 —OCT の産学官連携を事例に—

眼の疾患である緑内障などの診断に威力を発揮している OCT (Optical Coherence Tomography / 光干渉断層法) 応用の眼底検査装置は、医工連携分野における産学連携の典型的な成果である。この装置の原理の発明は、1990 年に山形大学元教授の丹野直弘氏らによって世界で初めて日本の特許庁に出願された。その意味で OCT は日本の地方からの医工連携イノベーションの先駆けとして、日本の大学発ベンチャーがビジネスでも成功するチャンスを萌芽していた。ところが、欧米では、MIT が 1 年後の 1991 年に独自に米国出願し、5 年後の 1996 年には発売開始となった。これに対し日本初の製品化は、出願後 14 年の 2004 年のことであり、欧米に比べて実に 8 年遅れた。そして、2006 年の現在世界シェアの 90% は欧米の企業に奪われている。

しかし、この事例は、「研究の芽は欧米から、製品化とビジネスは日本で」という 1970 年代から 80 年代にかけて見られ、欧米の先進国から「基礎研究ただ乗り」と揶揄されていた技術移転パターンとは異なる現象の証拠の一つである。そしてこの事実は、90 年代はじめに日本の地方で医療機器に関する最先端の研究の芽が出る土壌が熟成されていたことを意味し、科学技術創造立国を標榜する我が国として称賛すべきであり、また、自信を新たに事例として見ることもできる。

このような第一世代 OCT に対し、第二世代の高速 OCT では、日本の TLO 法が産学連携体制で適切に運営され、一旦は遅れをとった欧米に、追いつき、追い越せる段階にまで来ている。そして、OCT 技術は、眼科応用だけでなく、皮膚科、歯科、消化器外科応用など、第三世代ともいべき新たな世界的競争を展開しており、その応用は益々広がっている。

本報告では、このような特徴を持つ OCT 技術の発明から製品化までの経緯を調べ、産学官連携と医工連携の経過を日本と欧米で比較分析した。そして、我が国の第三期科学技術基本計画における戦略、すなわち、「その戦略の基本は、質の高い研究を層厚く生み出す人材育成と競争的環境の醸成、科学の発展と絶えざるイノベーションの創出に向けた戦略的投資及びそれらの成果還元に向けた制度・運用上の隘路の解消であり、このような多様な政策課題への挑戦が今後 5 年間の科学技術の使命である」の観点から、大学からの技術移転、および、医療機器の開発に特有の、法制度の運用に課題がないか吟味する。

技術やビジネスがグローバル化している今日にあって、日本での薬事法の審査が諸外国に比べて必要以上に日時を要するようなことであれば、日本の企業は、先に外国でその国の治験や販売認可を受け、その後、国内で普及させる事態から脱却できない。それは、日本の医療水準の低下をまねき、医療機器開発の自立性を損なうことにつながる。日本における医工連携イノベーションの一層の推進のためには、TLO (技術移転) 法の一層の活用は勿論のこと、「進めるべきものは迅速に進め、止めるべきは早期に止める」という法制度運用の高度化が一層期待され、そのための人的、予算的支援が急務である。

## 黄砂現象に関する最近の動き

### —自然現象か人為的影響か古くて新しい問題の解決に向けて—

2006年春、4年ぶりに猛威をふるい、中国では死者が出るほどの被害をもたらした黄砂だが、日本人にとっては、春一番とともに春の風物詩というのどかなイメージがある。従来、黄砂は自然現象と考えられていたが、中国等において被害が急激に拡大していることから、人為的な要因も影響しているとの指摘もあり、より詳細な現象解明が求められている。しかし、現時点では、黄砂の物理的、化学的な性質等について、必ずしも充分に解明されていない。その一方で近年、この黄砂が地球環境問題の一つとしても注目されるようになってきている。

黄砂問題は、国によって認識の程度が異なる。中国では、死者が出るほどの重大な被害が出ており、また、土地劣化や砂漠化の問題として強く認識されている。日本の場合、国民レベルでは、視程の悪化、自動車や洗濯物への付着程度であるが、研究者レベルでは、大気汚染の一種としての認識が強い。韓国は、日本と同様、国内に発生源を持たないものの、気象災害としての側面が注目されている。また、モンゴルにおいては、砂の移動が直接地域住民の生活基盤を脅かしている。

黄砂が環境や産業などに与える短期的かつ直接的な影響は比較的明らかになっているが、気候変動に関連するような長期的影響や黄砂の物質循環に関連する影響についてはまだ明らかでない部分が多い。そのため、今後、日本の黄砂問題に対する取組みとして、現象の解明、モニタリング、対策等が基本戦略として重要となってくる。

黄砂対策には、黄砂の影響を直接受けるため黄砂の発生・発達過程そのものを改変し黄砂の発生を抑制することを目的とする発生源対策と、黄砂予報や警報といった黄砂影響地域の被害を緩和することを目的とする対策とに分けて考えられる。

黄砂対策の推進のためには、日本国内では省庁間の連携を進めることが重要であるとともに、発生源対策や黄砂予報に有効なモニタリングを行うための多国間連携が必要となる。そのためには、各機関が所有する黄砂関連データの共有化を図り、黄砂モニタリングネットワークを確立し、各国の効果的な黄砂対策に資することが国際協調を促進すると考えられる。特に、黄砂発源地域の住民や地方公共団体の技術者などを対象に、黄砂問題に関する基礎的な知識の習得や普及を図ることが、黄砂対策を効果的に進める上では最も重要である。黄砂発源地域における抑制対策は喫緊の問題である。

今後、北東アジアの生産活動が活発化していくにしたがって、黄砂と社会・経済との関係が現在よりも密接になってくることが予想され、関係各国の問題として解決に当たるべく対応が求められている。

## 中国の直面する環境・エネルギー問題と 日中技術協力の可能性

大量のエネルギー消費に支えられ、急速な経済発展をとげる中国は、深刻な環境・エネルギー問題に直面しつつある。このため中国の従来エネルギー政策ではエネルギー生産拡大による経済発展を最優先課題としていたが、2006年3月に採択された第11次五年計画（十一・五計画）においては、経済の安定成長維持につながる資源節約型社会構築へと大きく方針転換している。

これまでの日中間のエネルギー協力は、政府開発援助（ODA）によるインフラ整備や資源開発等の「供給」に重点をおいた協力関係が中心であったが、省エネ・環境分野における新たな技術協力関係構築への機運が急速に高まっている。このような背景の中、2006年5月29日から31日に東京にて両国政府共催で「日中省エネルギー・環境総合フォーラム（以下「日中省エネフォーラム」）」が開催され、両国の産学官の関係者が集まり、日中技術協力について様々な観点での議論がなされた。

本レポートでは、中国における環境・エネルギー問題の現状と課題を整理し、日中省エネフォーラムでの議論も踏まえて、今後の日中技術協力の可能性について取りまとめた。

両国の認識は、「二度のオイルショックを克服して世界トップの省エネ型社会を構築した日本の経験や技術を中国の環境・エネルギー問題解決に生かす」という総論の面では一致しており、長年の技術協力関係の発展的な拡大が見込まれる。その一方で、「コア技術の日本企業囲い込み」や「投資者保護や知的財産権保護」など、民間の産業技術を中心とした技術協力をする際に避けて通れない問題点も浮き彫りになりつつある。

中国におけるイノベーションプラットフォームは独自の発展をとげており、日本にとって学ぶべき点も多い。今回の日中省エネフォーラムでは、産業技術分野での協力関係を中心に議論がなされたが、中国側から「モデル研究機関設立」の提案が出ていることから、今後は基礎研究領域やイノベーションの側面からも同時並行に議論することで、今後あるべき両国の補完関係がより具体的となり、円滑な協力関係を構築可能であると考える。

## シンポジウム報告

# 礎（いしずえ）の学問：数学

### —数学研究と諸科学・産業技術との連携—

平成 18 年 5 月 17 日（水）、日本学術会議講堂において(社)日本数学会と日本学術会議数学委員会によるシンポジウム「礎（いしずえ）の学問：数学—数学研究と諸科学・産業技術との連携—」が科学技術政策研究所の後援のもと開催された。本シンポジウムの趣旨は、諸科学の礎である数学の創造及びその自在な活用が先端科学技術の大きな飛躍のための鍵となることを踏まえ、我が国における今後の数学研究の充実や諸科学・産業技術との連携推進に何が必要かを議論することである。シンポジウム当日には、数学研究者のみならず産学官の研究者や行政関係者など 174 名が集まり、活発な意見交換が行われた。

第 1 部では、諸科学や産業技術の飛躍的発展のためには、複雑化する研究対象の中に潜む論理構造を見出す必要があり、様々な現代数学の活用、また更なる高度な数学の創造が不可欠であること、欧米諸国では研究開発戦略における数学の重要性を既に認識し、数学と諸科学・産業技術との連携を進めるための研究所の設置や、数学研究の国家プログラムなどを実施していることなどが報告された。

第 2 部では、数学研究振興や産業技術への数学研究の活用のための方策が提案され、その後、どのような方策が採られるべきかについてパネルディスカッションによる活発な議論が展開された。

以上の議論をもとに、会場アンケートによる傍聴者からの意見も参考にして、提言が確定された。この提言では、以下の 4 点をポイントとする「ネットワーク型科学技術数学研究拠点構想」を支持している。

- ① 諸科学・産業技術研究者と数学研究者が連携する場の構築と、それを支える最高水準の数学研究交流の場を提供すること
- ② 最先端の諸科学・産業技術を数学的にサポートする全国ネットワーク型の数学研究者チームを結成すること
- ③ 数学情報文献ネットワークをはじめとする科学技術者向け現代数学普及のための実用システムを開発すること
- ④ 高度の思索のための継続した研究時間を数学研究者に与えるための方策の実施

アフリカ中西部のカメルーンに棲息する野生チンパンジーの 1 亜種が、ヒト免疫不全ウイルス (HIV) のうち、世界的に流行している 1 型に極めて近縁なウイルスを保有していることが明らかになり、米アラバマ大を中心とする国際研究チームが 2006 年 5 月 26 日付けのサイエンス電子版にて発表した。HIV はヒトの後天性免疫不全症候群 (AIDS) の原因であり、これまで同ウイルスの由来を明らかにするための研究が進められてきた。今回の結果は、従来から唱えられていた「チンパンジーからヒトに種の壁を越えてウイルスが感染した」とする説を裏付けるものと言える。

## トピックス 1 HIV - 1 に酷似するウイルスをもつ野生のチンパンジーを発見

ヒトの後天性免疫不全症候群 (以下、AIDS) の原因であるヒト免疫不全ウイルス (以下、HIV) は系統上、多様なウイルス集団であることが明らかになっている。このうち、世界的に流行しているタイプは 1 型 (以下、HIV - 1) であり、これまで、同ウイルスの由来を明らかにするための研究が進められてきた。この度、米アラバマ大を中心とする国際研究チームは、アフリカ中西部のカメルーン南東部に棲息する野生のチンパンジーの 1 亜種 (*Pan troglodytes troglodytes*、以下 *P.t. troglodytes*) が、HIV - 1 に酷似するサル免疫不全ウイルス (以下、SIV) を保有していることを突き止め、米科学誌サイエンスの電子版に 2006 年 5 月 26 日発表した。

これまでの分子系統学的研究により、HIV - 1 は、世界中で流行しているグループ M (major の意)、中央アフリカに限局するグループ O (outlayer の意)、N (non - M/non - O, new の意) の 3 つに分けられている。また同ウイルスは、SIV と極めて近縁であることが示されている。

SIV は、HIV が属する「レンチウイルス」のうち、霊長類に感染するウイルスの総称であり、霊長類の種類ごとに、感染する SIV は少しずつ遺伝子が異なる。これら SIV のなかで、チンパンジーに感染するウイルス (以下、SIVcpz) は、アフリカのガボンやカメルーンで捕獲されたチンパンジーに自然感染していたことが既に明らかになっており、SIVcpz がアフリカのチンパンジーからヒトに種の壁を越えて感染した結果、HIV - 1 が生まれたとする説が唱えられていた。しかし、野生状態で棲息するチンパンジーにおいて、HIV - 1 が存在している証拠はこれまで見出されていなかった。この度、国際研究チームはカメルーンで疫学調査を行い、初めて野生チンパンジーの SIVcpz 感染の実態を明らかにした。野生チンパンジーの特定の群れで、HIV - 1 遺伝子の塩基配列に酷似する SIVcpz を検出したことは、上記の仮説を後押しするものである。

同研究チームは、カメルーン南部の 10 地区

に棲息するチンパンジーの糞を 599 サンプル集め、SIVcpz に対する抗体やウイルス遺伝子を分析するとともに、ミトコンドリア DNA を用いて、SIVcpz を保有するチンパンジーの亜種と個体の特定を試みた。その結果、同国内の 5 地区に棲息するチンパンジーが SIVcpz に自然感染し、その感染率は最大 35% にのぼることを明らかにした。加えて、それらのチンパンジーは全て *P.t. troglodytes* という 1 亜種であることも示した。

さらに同研究チームは、*P.t. troglodytes* から検出された SIVcpz 遺伝子の塩基配列に地域差があることを突き止め、カメルーン南東地区に棲むチンパンジーから検出された SIVcpz が HIV - 1 の M グループに酷似し、同国の南部中央から検出された SIVcpz が N グループに酷似することも明らかにした。

SIVcpz は、アフリカに自然棲息するチンパンジーに対して AIDS のような症状を起こさず、チンパンジーは感染しても無症状のまま SIV を保有し続けることが知られている。同研究チームでは、この度の調査地区以外の西中央アフリカ地域に棲息する野生のチンパンジーも、ヒトへの感染性を有し、かつ、この度同定された以外の系統の SIVcpz を保有し続けている可能性があると考えており、今後も引き続いて、アフリカに棲息する野生のチンパンジーを対象とした SIVcpz の疫学調査をする必要があると示唆している。

### 参 考

- 1) Chimpanzee reservoirs of pandemic and nonpandemic HIV-1 :  
[http://www.sciencexpress.org/25May2006/  
Page1/10.1126/science.1126531](http://www.sciencexpress.org/25May2006/Page1/10.1126/science.1126531)
- 2) HIV-like virus found in wild chimps :  
[http://www.nature.com/news/2006/060522/  
full/060522-17.html](http://www.nature.com/news/2006/060522/full/060522-17.html)

欧州の光技術に関連する関係者のためのプラットフォームである“Photonics 21”が活動を開始した。欧州 27 カ国・350 団体から構成されているこのプラットフォームでは、欧州で光技術に関連する全ての機関が参加すること、分野融合の応用や分野間シナジーを目指すこと、多様化している分野間の共通点を見出すことを戦略としている。10年のタイムスパンを短・中・長期に分けて、ワーキンググループ毎の達成目標を掲げている。欧州がリードする技術として、LED 照明やレーザ加工などの分野をさらに強化し、経済成長だけでなく、雇用の促進もめざしている。欧州を世界で最も競争力のある経済圏にするというリスボン宣言のゴールに向け、民間投資の継続と欧州委員会からの投資の増額を要求している。

## トピックス 2 実行段階に入った欧州の光技術プラットフォーム “Photonics 21”

欧州におけるフォトニクス産業<sup>注1)</sup>と科学技術の関係を示すロードマップは、これまで光通信など分野ごとに別々に作成されていたが、光技術プラットフォーム“Photonics 21”がこれらを統合し、2006年4月より実行段階に入った。“Photonics 21”は、産学官のフォトニクス分野の専門家から成る委員会により組織され、欧州 27 カ国の経済価値創出の連鎖に関わる 350 団体からの代表が実行メンバーとなり、産業界の主導で推進される。

“Photonics 21”は、図のように、応用技術分野に対応する四つのワーキンググループを横系とし、要素分野ごとに三つのグループを縦系として立体的に組織されている。10年のタイムスパンを、1～3年の短期、4～7年の中期、8～10年の長期にわけて各々目標を立てている<sup>1)</sup>。

現状の欧州のフォトニクス技術は、多様化しており、応用分野も多岐にわたっている。“Photonics 21”はこれらを共通化し、束ねるために次の四つの戦略を打ち出している。①欧州の力強いイノベーション促進へ向け、経済価値創出の連鎖に関わる全ての機関が協力すべきであること。②実用を主導とした分野融合を推進すること。③異分野間のシナジー効果を引き出すこと。④欧州のフォトニクス技術開発の体制は分散状態にあるが、それらの中に共通点を見出すことである。

一方、フォトニクス産業の世界市場規模は、2005年で約 20 兆円 (150 billion ユーロ) であり、そのうちの 40%は、光情報通信技術である。年次成長率は、経済成長の平均を上回っており、過去 10 年間、レーザ分野で 14%、ライフサイエンス分野で 38%を越え、将来、特に有機 LED では、今後の 5 年間で 40%を越えるとされている。フォトニクス産業全体の世界市場は、今後の 10 年間で少なくとも 3 倍に増大すると予想されている。

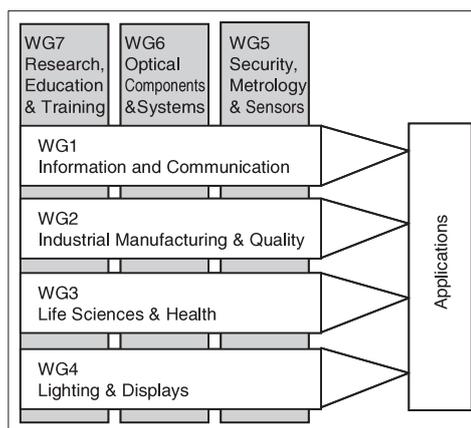
このような世界市場の中で、現在、欧州が世界をリードしている分野は少なくとも二つあり、LED 照明は、世界シェアの 30%を確保し、レーザ

加工は 50%のシェアを持っている。

最近の経済分析では、経済成長はかならずしも雇用の拡大に結びつかないとされているが、フォトニクス産業の場合は、成長と雇用の相関が平均よりも高く、EU 加盟国外の低賃金諸国の影響を受けにくいとしており、現在、欧州では、およそ 20 万人がフォトニクス産業に従事しており、関連の製造業を含めると 200 万人の雇用を生んでいるとしている。

欧州のフォトニクス分野への投資の現状は、民公比が 15：1 と偏っている。“Photonics 21”では、大競争時代に勝つために、現状の民間投資、約 4500 億円 (3.3 billion ユーロ) を年次 10%増加し、欧州委員会からの公的投資を FP6<sup>注2)</sup> の 2 倍要求し、欧州リスボン宣言<sup>注3)</sup> のゴールに向けて、持続的発展に寄与する意気込みと戦略を示している。

プラットフォーム “Photonics 21” の構成<sup>1)</sup>



注1 フォトニクス産業：Photonics 21によれば、フォトニクス産業とは、光通信、光ディスク、照明、ディスプレイ、レーザ加工、医療機器など光が関係する全ての産業を含む。

注2 FP6：http://jpn.cec.eu.int

注3 リスボン宣言：http://www.eu-info.jp/law/lisbon.html

参考 1) http://www.photonics21.org

2006年6月、東京薬科大学、(独) 海洋研究開発機構、(独) 国立環境研究所の共同研究グループは、東京郊外の大気中に浮遊する粒子状物質に含まれる多環芳香族炭化水素 (PAH) の2~4割が、動植物を由来とするバイオマスの燃焼によることを明らかにしたと発表した。PAHは化石燃料やバイオマスの燃焼の過程で大気中に放出され、ヒトの発がん性等に関係する物質として懸念されている。今回の研究では、PAHに含まれる放射性炭素同位体 (炭素14) の存在比率を測定することにより、PAHの発生源が化石燃料かバイオマスかを調べた。その結果、バイオマスを起源とするPAHが予想を遥かに上回る比率で存在していた。このことは、現在把握できていない、PAH発生に寄与するバイオマスの存在を示唆している。今後、PAHの軽減に向けて、多くの地域における観測と発生源毎の定量的な把握が望まれる。

### トピックス 3 大気中の多環芳香族炭化水素の発生源

2006年6月、東京薬科大学、(独) 海洋研究開発機構、(独) 国立環境研究所の共同研究グループは、東京郊外の大気中の浮遊粒子状物質に含まれる多環芳香族炭化水素 (PAH: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) の2~4割が、動植物を由来とするバイオマスの燃焼によることを明らかにした。

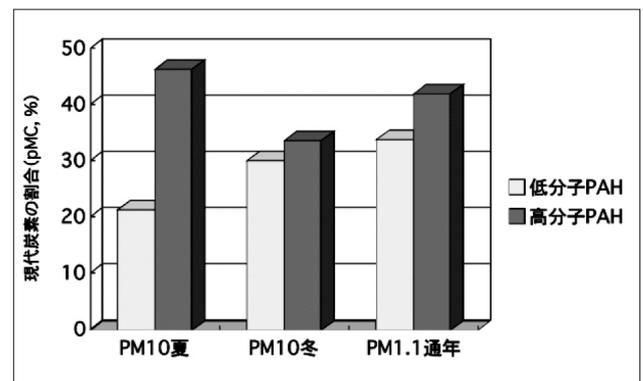
PAHは、ベンゼン環が2個以上結合した構造をもつ化合物の総称であり、石油や石炭といった化石燃料や動植物を由来とするバイオマスが不完全燃焼を起こしたときに生成され、大気中に放出される。生成されるPAHは、2~6環のものが主であり、特に4環以上の高分子PAHは、人体に対して、発がん性、変異原性、内分泌攪乱などの影響を及ぼす可能性が指摘されており、大気中のPAHは大気汚染問題の一つになっている。その軽減に向けては、これまでは化石燃料を利用したエンジン等から排出される粒子状物質の削減を目標とする技術開発が積極的に進められている。

今回の研究では、PAHに含まれる放射性炭素同位体 (炭素14)<sup>注1)</sup> の存在比率を測定することにより、PAHの発生源が、化石燃料かバイオマスかを調べた。測定では、東京都八王子市において、6~15万m<sup>3</sup> (大気採取回数は4回) の大気を吸引し、粒径10μm以下 (PM10) と粒径1.1μm以下 (PM1.1) の粒子状物質を採取した。その後、採取された試料からPAHを抽出し、加速器質量分析計を用いて炭素14の存在比率を求めた。

今回の測定結果から、バイオマス起源の炭素 (現代炭素<sup>注2)</sup>) が21~46%の割合を占めることが明らかになった。この割合は、エネルギー需給割合の統計値から推定される“バイオマス/化石燃料”の比 (2%未満) に比べて著しく高い結果となっていた。このことは、現在は把握できていない、PAH発生に大きな影響を与えているバイオマスが

存在することを示唆している。今後、PAHの軽減に向けて、より多くの地域における観測を実施し、野焼きやゴミ焼却、污泥焼却等、発生源毎の定量的な把握が必要である。また、大規模な森林・草原火災などに伴う海外からのPAHの越境移動に関する研究も望まれる。

浮遊粒子状物質中のPAHの炭素14の測定結果



(独) 国立環境研究所ホームページ

<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2006/20060606/zu1-5.pdf> より

**注1 放射性炭素同位体 (炭素14):** 炭素14は、宇宙線の作用により定常的に生成される天然放射性核種であり、地球表層の炭素循環に組み込まれて生体に採取される。しかし、生物が死ぬと炭素14は取り込まれなくなり、生前に取り込まれていた炭素14は放射改変によって、減少し続ける (半減期5,730年)。つまり、大昔の生物の遺骸である化石燃料には実質的に炭素14は含まれておらず、バイオマス燃料には一定割合で炭素14が含まれている。よって、分析試料中の炭素14含有量を測定することにより、化石燃料とバイオマス燃料の由来の比率を求めることが可能となる。

**注2 現代炭素:** 現在の地球表層を循環する炭素のことを現代炭素と言う。バイオマスに含まれる炭素は現代炭素に属する。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第25回総会が、2006年4月26日から28日に開催された。本総会では、2008年に迫った京都議定書第一約束期間に向けた重要な動きとして、温室効果ガス排出量の算出方法である「2006年版国別温室効果ガスインベントリガイドライン（2006年ガイドライン）」が決定した。また地球温暖化に関する「第四次評価報告書」の概要が明らかになったほか、第五次評価報告書に向けて新排出シナリオ技術評価レポートを取りまとめることなどが決まった。

## トピックス 4 京都議定書第一約束期間に向けた IPCC の動向

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第25回総会が2006年4月26～28日、モーリシャスのポートルイスにて開催され、各国政府、国連機関等から約270名が参加した。

1988年に世界気象機関（WMO）および国連環境計画（UNEP）により設立されたIPCCは、気候変動を科学的な側面から中立的立場で分析することを目的としており、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）ならびに各国の地球温暖化対策に関わる政策決定に多大な影響を与えている。今回の総会では、2008年に迫った京都議定書第一約束期間に向け、以下のような動きがあった。

(1) 2006年版国別温室効果ガスインベントリガイドライン（2006年ガイドライン）を決定した

UNFCCC締約国は、2008年以降の第一約束期間において自国の温室効果ガス排出量の削減義務が課せられる。IPCCでは、その際に必要となる国際的に合意された温室効果ガス排出量の算出方法として、「2006年ガイドライン」を決定した。森林での吸収／排出量、二酸化炭素の地中貯留、代替フロンガスなどについては、本ガイドラインの決定によって初めて定量的な算出方法および取扱法が明確化した。

(2) 第四次評価報告書の記載内容が示された

UNFCCC締約国は昨年からの京都議定書第一約束期間以降の枠組みに関する議論を開始しているが、IPCCではその際に必要となる科学的根拠を集大成する目的で、地球温暖化に関する第四次評価報告書を取りまとめており、このほど報告書の概要が明らかになった。第四次評価報告書にて新たに付け加えられた内容として、①地域ごとの温暖化影響評価、②炭素税、排出権取引、トップランナー方式など、温暖化緩和対策に向けた具体的な政策の導入効果、③地域別、業界別の温暖化対策政策導入効果、が報告されている。また、21世紀中の平均気温上昇はこれまでの報告よりさらに深刻化する予測が示される予定である。

IPCCではこれまで第一次評価報告書（1990年）、第二次評価報告書（1995年）、第三次評価報

告書（2001年）を発表してきたが、これらはそれぞれ、1992年リオ会議でのUNFCCC採択、1997年の京都議定書採択、京都議定書運用則策定など、UNFCCC締約国の政策決定に多大な影響を与えてきた。今回明らかにされた第四次評価報告書については、UNFCCCの締約国会議における京都議定書以降の枠組みに関する今後の議論に大きく影響を及ぼすものとして注目を集めている。2007年中に最終的な報告書の取りまとめおよび発表がなされる予定である。

(3) 新排出シナリオ策定における IPCC 役割が明確化された

将来の温室効果ガス排出量の推計には、人口変化、経済発展、技術変化など、将来起こりうる発展方向を仮定したシナリオが必要である。IPCCでは2000年に「排出シナリオに関する特別報告書（SRES）」として4種の排出シナリオを取りまとめたが、第三次評価報告書をはじめその後の気候変動研究に大きく影響を与えてきた。2000年以降の大きな社会情勢等の変化を受けて、近年、IPCCに対して新排出シナリオ策定の要請が高まっている。これに対し、IPCCとしては自ら新排出シナリオを策定せず、第五次評価報告書に向けて他研究機関等により公表されたシナリオのアセスメントをまとめた技術レポートを作成するという決定がなされた。

(4) 再生可能エネルギーを温暖化緩和対策として検討開始

再生可能エネルギー資源および技術を、気候温暖化緩和策として取り上げることをドイツが提案し、多くの参加国の支持を得た。今後、第四次評価報告書完成後、具体的な検討を開始することで合意した。

- 参考
- 1) IPCC 地球温暖化第三次レポート、IPCC 編
  - 2) IPCC ホームページ：  
<http://www.ipcc.ch/meet/session25.htm>
  - 3) IPCC 第25回全体会合報告、財地球産業文化研究所：  
[http://www.gispri.or.jp/kanky/ipcc/pdf/IPCC25houkoku\\_final.pdf](http://www.gispri.or.jp/kanky/ipcc/pdf/IPCC25houkoku_final.pdf)

東北大学大学院工学研究科の石田清仁教授らは、ニッケル、マンガン、インジウム、コバルトから構成される、室温において作動する磁性形状記憶合金を見出した。現在、チタン-ニッケル系形状記憶合金は熱の変化により駆動されるアクチュエータなどに利用されているが、冷却時における応答速度が遅いという問題点がある。磁場の変化により材料の微視的構造が変化することを利用すると、高速作動で大きな力を発生させることが可能になるが、これまでこのような特性を有する材料は見つからなかった。今回見出した試料に約3%の変形を与えた後に磁場を印加したところ、ほぼ完全な形状に回復する効果が認められた。これは、従来のニッケル-マンガン-ガリウム系磁性形状記憶合金に比べて、50倍以上の力を発生させることに相当する。このニッケル-マンガン-インジウム-コバルト系磁性形状記憶合金を応用すると、磁場により変位を高速制御することが実現でき、磁性駆動アクチュエータ、高出力振動子などの様々な応用展開が可能となる。

## トピックス 5 磁場で大きな力を発生する磁性形状記憶合金

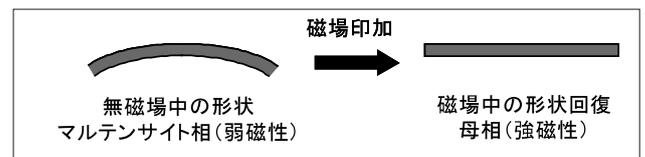
現在、実用されている形状記憶合金のほとんどは、チタン (Ti) - ニッケル (Ni) 系合金であり、熱の変化により駆動されるマルテンサイト変態<sup>注1)</sup>による大きな変位を利用したアクチュエータなどに利用されている。しかし、Ti - Ni 系形状記憶合金を用いたアクチュエータでは、温度変化により変位を制御するため、冷却時における応答速度が遅いという問題がある。セラミックス系圧電素子では、高速駆動が可能であるが、動作力と変位量が小さいという欠点があり、形状記憶合金に見られる大きな仕事量は確保できない。このような問題を解決するため、磁場の変化で材料の微視的構造が変化することで高速応答する磁性形状記憶合金の研究開発がなされてきた。それらの一つに Ni (ニッケル) - Mn (マンガン) - Ga (ガリウム) 系磁性形状記憶合金があるが、双晶界面<sup>注2)</sup>の移動を駆動原理とすることから、この合金は室温では3MPa程度の応力しか発生せず、それが実用への障害となっていた。

東北大学大学院工学研究科の石田清仁教授らは、Ni、Mn、In (インジウム)、Co (コバルト) から構成される材料の状態図<sup>注3)</sup>を計算機シミュレーションで予測し、その結果に基づいた合金設計により、室温において作動する磁性形状記憶合金を見出した。この Ni - Mn - In - Co 系磁性形状記憶合金は強磁性<sup>注4)</sup>の母相から弱磁性のマルテンサイト相へ変態する性質を有し、母相のキュリー温度<sup>注5)</sup>は100℃以上である。さらに、変態温度付近で磁場が印加されると、マルテンサイト相から母相への逆変態の性質が確認された。予めマルテンサイト相状態で約3%変形させた試料に磁場を印加したところ、ほぼ完全な形状に回復する形状記憶効果が認められた。この効果は、無磁場では安定な弱磁性マルテンサイト相が存在し、磁場によりこの

相が強磁性を有する母相に変化し、形状が元に戻るメカニズムによる。このように、磁場誘起逆変態の機能を有する磁性形状記憶は今までに無く、7テスラ<sup>注6)</sup>の磁場中で100MPaもの大きな応力を発生させることができる。この Ni - Mn - In - Co 系磁性形状記憶合金により、従来の Ni - Mn - Ga 系磁性形状記憶合金に比べて、50倍以上の力を発生させることができる。

Ni - Mn - In - Co 系磁性形状記憶合金を応用すると、磁場により変位を高速制御することが実現でき、磁性駆動アクチュエータ、高出力振動子、磁気により駆動するエンジンなどの様々な応用展開が可能となる。本成果は、2006年2月23日付のネイチャー誌に掲載された。

### 磁場による形状記憶効果の模式図



約3%変形させた試料に2テスラの磁場を印加すると、歪が回復し始め、8テスラでほぼ完全に歪が回復

注1 マルテンサイト変態：結晶中の各原子が拡散しないことで共同的に移動することにより新しい結晶に変わる変態。

注2 双晶界面：形状記憶合金を構成する結晶中に見られる格子欠陥の一種であり、この欠陥は外力により容易に移動。

注3 状態図：温度、組成、圧力などの条件下で、どのような状態が化合物としての材料が安定なのかを示す図。

注4 強磁性：外部磁場を加えると磁化し、磁場を加えることを止めても、自ら磁化をもち続ける性質。外部磁場がなくなると磁化もなくなる性質を弱磁性と称す。

注5 キュリー温度：強磁性材料が磁化を失う温度。

注6 テスラ：磁束密度の単位で、透磁率と磁場の強さの積。

シミュレーションにより降雨時の浸水被害を予測し、放水路の機能効果を最大限に発揮する設計とした首都圏外郭放水路が2006年6月10日、13年間の工事期間を経て埼玉県東部の中川中流域に完成した。この地域では、大雨のたびに浸水の被害を受けてきたため、国土交通省は、浸水被害の解消を目的に「大都市地域における住宅及び宅地供給の推進に関する特別措置法」に基づくプロジェクトとして、この放水路を建設してきた。これは中川等からの洪水を地下約50mの放水路に取り込み、トンネルを通じて江戸川に排水する延長6.3kmの地下河川として、世界最大級の洪水防止施設である。この放水路の完成により、流域面積242km<sup>2</sup>流域人口60万人の安全、安心を確保することが期待されている。

## トピックス 6 首都圏外郭放水路の洪水被害軽減効果

埼玉県東部の中川中流域は、大河川である利根川、江戸川、荒川に囲まれたお皿の底のような低い平地にあたるため、河川の勾配は緩やかで水が流れにくい地域である。また、高度成長期以降、急激に市街化が進み、本来の保水・遊水機能が大幅に低下してきており、ひとたび大雨が降るとすぐには水位が下がらず、これまでにしばしば広い地域で浸水被害が起こってきた。

このため、浸水被害の解消と下流部への洪水の軽減のために「大都市地域における住宅及び宅地供給の推進に関する特別措置法」に基づくプロジェクトとして、国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所は1992年に放水路の建設を計画した。このプロジェクトでは、準線形貯留型モデル法を用いたシミュレーションによる浸水予測に基づき、放水路の機能効果を最大限に発揮する設計を行った。

首都圏外郭放水路は、江戸川と中川、大落古利根川にはさまれた低平地の春日部市上金崎地先から同市小渕地先間にある国道16号の地下約50mの深度に設置された、延長6.3km、内径10mのトンネル式放水路であり、1993年より建設を始め2006年6月10日に完成した。

中川中流域の中川、倉松川、大落古利根川等で洪水が発生した際には、各河川の堤防に設けてある越流堤から自然越流により立坑を経てトンネル内に洪水を流入させ、毎秒50tの排水能力を有する14000PSタービン4台で江戸川に排水する。関東全域に一樣な豪雨があった場合でも、江戸川の水位上昇は中川より時間がかかるため、江戸川の水位が上昇しないうちに中川の洪水を流出させることができる。

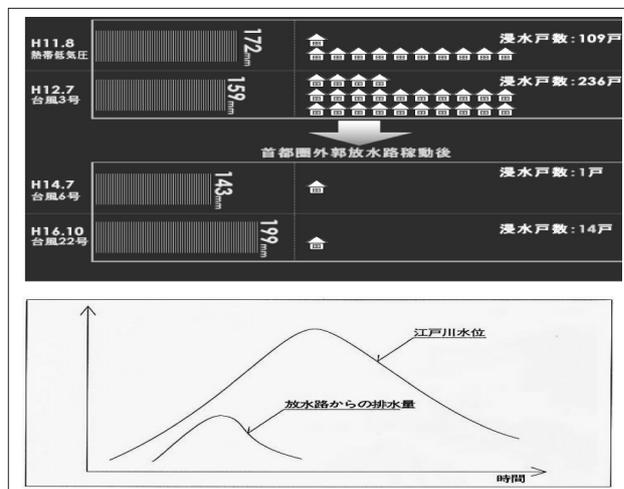
施工においては、新型シールドセグメントの開発や立坑の落下水の衝撃緩和を行う渦流式ドロップシャフトの開発、またコスト縮減のための掘削土の高規格堤防への有効活用などの最新技術を駆使した。新型セグメントは、以後、他のシールド工事でも多用されるようになった。

首都圏外郭放水路は、2002年6月に江戸川の第1立坑から倉松川の第3立坑までの3.3kmについて部分的に完成しており、完成までの4年間にも台風や集中豪雨による洪水調節約3,900万m<sup>3</sup>を行い、洪水被害をかなり減少させるという効果を実証していた。

首都圏外郭放水路の建設において、一般的な地上開水路方式でなく地下放水路方式を採用した理由は、開水路では将来の土地利用、地域分断、用地買収の長期化が懸念され、早期の事業効果の発現及び早期完成の要請に応えるためである。同時に水理・地形特性も考慮している。また、用地取得の必要がない国道などの公共用地の地下50mの深さの安定した洪積地盤にトンネルを設置していることも、放水路建設上の特徴である。

首都圏外郭放水路は、地下河川としてトンネル延長、深さとも世界最大級の放水路であり、流域面積242km<sup>2</sup>流域人口60万人の安全、安心を確保することが期待されている。

部分開通時の洪水被害低減効果（上図）、完成後の江戸川水位と放水路排水量のシミュレーション（下図）



国土省江戸川河川事務所ホームページ：

<http://www.ktr.mlit.go.jp/edogawa/>

(独) 海洋研究開発機構の調査船により、マリアナ海域ロタ島の北西の海底の水深 533 m で海底火山の噴火が観察された。深海底で起こる噴火を直接観測したのは世界で初めてである (Nature ; vol. 441, 25 May 2006)。火山噴火は陸上、海面、海面下ではその様相が大いに異なり、特に深海底で起こる噴火においては、水中の水圧が高いために爆発的な噴火は抑えられると考えられてきた。今回の噴火観測で、深海底の火山噴火は極めて静穏なものであることが確認された。海底噴火は、水中の音で予兆や始まりが観測可能になっており、日本でも機器の整備が望まれる。

## トピックス 7 海洋調査船が深海底の火山噴火現場を観測

人類は過去に多くの火山災害に見舞われてきている。日本でも宝永年間の富士山の噴火、天明年間の浅間山の噴火、最近では昭和新山、桜島、雲仙、大島、三宅島の噴火などの火山災害が起きている。火山の噴火は周辺の住民に大きな災害をもたらすだけでなく、大規模噴火では地球全体の気候に大きな影響を与えることもある。陸上で起こる噴火は人の目に触れるが、海面すれすれや海底で起こる噴火に関しては目撃することが極めて少なく、特に深海底で起こる噴火については、今までに一度も観察されたことがなかった。

深海底で噴火するとどのような現象が起こるのかについては、これまでは、過去に水底で噴火し現在は陸上にある火山岩の詳細な研究、ハワイのように陸から海に流れ込む灼熱の溶岩の挙動の研究、さらには実験室での再現実験の研究などによって推定されてきた。海中では 10m ごとに 1 気圧ずつ水圧が増加するため、水圧がマグマの噴出圧を上回れば、爆発的な噴火は起こらないと考えられている。

2005 年 10 月に、日米合同でマリアナ海域ロタ島北西の沖 60km の NWRota - 1 と名付けられた 517m に頂上を持つ海底火山の周辺で、水深 533m 地点<sup>注1)</sup>の海底調査が行われた。この海山は北マリアナ諸島に属する活火山で、噴火は現在も続いている。2003 年頃から米国大気海洋庁 (NOAA) の研究者等が着目してきた。

今回の海底調査では、(独) 海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の調査船「なつしま」と無人探査機「ハイパードルフィン」によって、世界で初めて深海底で起こっている噴火の様子が直接観測された。様々な観測とともにサンプリングも行われた。

安山岩質のマグマによる噴火は陸地では激しく、雲仙や米国のセントヘレンズでは大きな噴火現象が見られている。しかし、今回の観測によれば、安山岩質のマグマによる NWRota - 1 の噴火は極めて穏やかで、まるで熱水地域や蒸気機関車の煙のようにもくもくと煙が湧き上がり、時折マグマが急冷してできた岩石の塊が飛び散る程度であった。(Nature ; vol. 441, 25 May 2006)。今回の噴火観測によって、十分に深い海底では、大きな噴火が起こってもその周辺は安全であることが確認された。

また、NWRota - 1 の噴火の始まりは、米国の沿岸に設置されたハイドロフォンという水中の音を捉える機器により感知されていた。このように現在では、海底火山の噴火を監視することも可能になっている。今回観察されたマリアナ海域の火山の北の延長は伊豆・小笠原弧という島弧<sup>注2)</sup>につながっており、海底火山が多数存在する。首都圏に近い海底噴火の兆候を知るためには、地震計のネットワーク構築と同時に、このような機器の整備も望まれる。

地球上の火山活動の大部分が、地球の表面積の 70% を占める海洋、特に大洋中央海嶺で発生している。中央海嶺の噴火は、今回観測された火山よりさらに静穏であるが、島弧の海底噴火の際には巨大な津波が起こる可能性もあり、観測を続ける必要がある。

注1：2004 年の観測では推進 555m であったが、今回の観測では 20m 以上も浅い 533m になっていた。

注2：島弧 日本列島のように弓なりに張り出した地形。海洋プレートの沈み込みにより火山や地震の活動が活発な変動帯である。

(独)宇宙航空研究開発機構 (JAXA) は2005年から国際災害チャーターに加入している。JAXA が2006年1月24日に打ち上げた陸域観測衛星「だいち」は、初期機能確認段階で画像取得試験など基本的な機能の確認を行った後、フィリピンの地滑りやインドネシアの火山などの観測を行い、国際災害チャーターに画像を提供することで、災害対応に貢献した。また、2006年5月から初期校正運用段階に入ってまもなく、インドネシアのジャワ島中部で大地震が発生し、「だいち」が観測した地震前後の画像を比較して、被災地域の情報をいち早く提供した。今後とも「だいち」による自然災害対応への国際貢献が期待されるが、設計寿命が3年間と短いため、定常的な観測体制の構築が望まれている。

## トピックス 8 国際災害チャーターへの陸域観測衛星「だいち」の貢献

(独)宇宙航空研究開発機構 (JAXA) は2005年から国際災害チャーターに加入している。国際災害チャーターとは、自然災害等に対する宇宙機関等の貢献を推進する枠組みで、2000年に欧州及びカナダの主導で提唱され、設立された。加入宇宙機関は、災害発生時に最善の努力ベースで地球観測衛星データの無償提供を行うことになっている。日常の画像要求や宇宙機関への観測要求をとりまとめる窓口は、イタリアのフラスカティにある欧州宇宙機関 (ESA) の欧州宇宙研究所 (ESRIN) に常置されている。地震及び火山噴火などの緊急事態に対しては、窓口からの連絡を受けて、参加機関の中から1週間交代で指名された緊急オンコール担当官が、参加機関間の連絡調整や画像のとりまとめにあたる。我が国は2003年に「みどり2号」(ADEOS-II) が太陽電池パネル故障のために観測機能を喪失して、観測画像が提供できる状況になかった。2006年9月には国際災害チャーターから緊急オンコール担当官の訓練を受け、認定される予定である。

2006年1月24日にJAXAはH-IIAロケット8号機により種子島宇宙センターから陸域観測衛星「だいち」を打ち上げた。打上げ後3ヶ月半の初期機能確認段階では、観測装置の画像取得試験など基本的な機能の確認を行った。10月までにデータ校正検証を行い、その後データを公開する。「だいち」には、高性能可視近赤外放射計 (AVNIR-2)、立体視センサ (PRISM)、フェイズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ (PALSAR) の3種類の観測機器が搭載されており、2.5mの分解能でのデジタル地表モデルの作成 (世界最高水準の分解能) や光学・レーダ同時観測 (世界初)、データ中継衛星との間で278Mbpsのデータ通信 (世界最高速) など、世界最先端の技術を織り込んでいる。

試験観測を開始した直後の2月17日に、フィリピンのレイテ島で大規模な地滑りが発生し、「だいち」

はAVNIR-2及びPALSARで被災地域の画像を取得した。この画像は国際災害チャーターにおいてフランスのSPOT衛星の画像などと合わせて解析され、被災地域の特定などに貢献した。

4月下旬には、国際災害チャーターよりインドネシアのメラピ火山に噴火の兆候があるという情報が出され、JAXAは4月29日に「だいち」のAVNIR-2及びPALSARの同時観測により、メラピ火山の噴火口の画像を取得して、国際災害チャーターに提供した。

「だいち」は5月15日から約5ヶ月間の初期校正運用段階に入っており、10月には定常運用段階に入る予定である。初期校正運用段階に入ってから約2週間後の5月27日、インドネシアのジャワ島中部でマグニチュード6.3の地震が発生し、死者5千名以上の大規模な災害となった。「だいち」はこの付近の地震以前 (5月16日) の画像を取得していたため、地震直後 (5月28日) の画像と比較することで、被害地域の状況把握に役立つ情報を提供できた。PALSARのレーダ波の反射強度の分布を、地震の前後で比較すると、震源近くのみならず市街地全般にわたり地震後に反射強度の値が小さくなったことが確認された。一般に、反射強度は市街地で大きく、森林で小さいことが知られており、市街地における反射強度の減少は、人工的な構造物の倒壊によって生じたものであると推定される。夜間や悪天候の場合も、電波で観測するPALSARは昼間晴天時と同様に地上の広域の画像を得ることができるので、被災地の全体的な把握に適している。

今後とも「だいち」は、地震・森林火災・地滑り・火山・洪水などの自然災害対応に貢献することが期待されている。しかし、「だいち」の設計寿命は3年間と短いため、定常的な観測体制を構築することが国際貢献の観点からも望まれている。

2006年4月、米国国立科学財団（NSF）は、大学における2004年度科学・工学研究費の調査結果を発表した。これによると、2004年度の総研究費は429億ドルで前年度比7.2%増であった。このうち64%は連邦政府からの資金で、3年連続で前年度比10%台の増加率となった。一方、産業界からの資金は、前年度2.6%減の21億700万ドルで、1953年の調査開始以降初めて3年連続の減少となった。Science誌では、大学と企業との研究交渉が難しくなっているという産業界の一部の意見を紹介し、企業・大学間での研究成果の分配方法を明確化する必要性について述べている。

その他、分野別では医学並びに生物科学の研究費が全体の半分を占めること、連邦政府資金の中では保健福祉省による資金が半数を占めること、大規模な研究大学に研究資金が集中していること、別組織を経由した資金提供が増加していることが示されている。

## トピックス 9 米国では産業界から大学への直接研究支援が減少傾向

2006年4月、米国NSF（国立科学財団）は、大学における2004年度の科学・工学研究費の調査結果を発表した。調査対象は、科学・工学の博士課程をもつ大学、科学・工学の博士課程をもたないが科学・工学研究費が15万ドル以上の大学等（2004年度は計612大学）である。

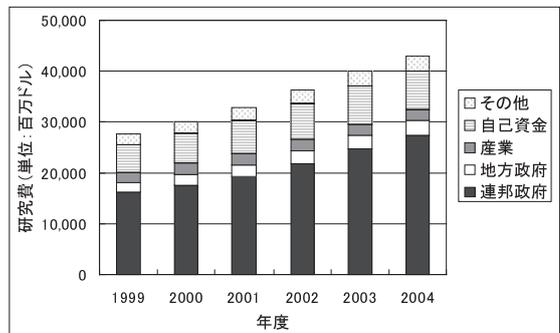
2004年度の大学における科学・工学研究費は総額429億ドル、前年度比7.2%増であった。2002、2003年度と10%台の伸びを見せていたが、やや落ち込みが見られた。このうち、64%は連邦政府からの資金で、3年連続で前年度比10%台の増加率を示している。地方政府からの資金は7.4%増の28億ドル、大学の自己資金は1.5%増の78億ドルであった。

一方、産業界からの資金は前年度比2.6%減の21億700万ドルで、1953年の調査開始以降初めて3年連続の減少となった。産業界資金の割合は、1970、1980年代と徐々に増加し、1990年代には7%程度に達したが、2000年代に入り減少し始め、2004年度は1983年並の4.9%となっている。なおここでは、産業界の研究支援を「営利団体からの研究開発活動のための助成や契約」と定義しており、目的を限定しない助成金や寄付金等は含まれない。NSFによる産業研究開発費の調査によると、産業界全体の研究開発費は、2003年は3%、2004年は7%の伸びであり、産業界の研究開発費全体が減少しているわけではない。

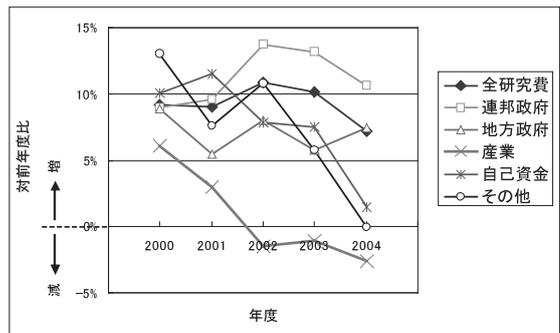
この報告を取り上げたScience誌（vol.312, 5 May 2006）では、減少の要因の一つとして、特許の扱いなどを巡り、大学と企業間の研究の契約交渉が難しく、また、長引くようになっている、との産業界の一部の意見を紹介している。そして、企業が助成した研究の成果を企業・大学間でどのように分配するかを明確にする必要があるかもしれないと述べている。

その他の主な調査結果を見ると、分野別では医学並びに生物科学が最も大きく、この2分野で全研究費の半分を占める状況が続いている。連邦政府資金では、NIH（国立衛生研究所）を抱え、上記2分野への主たる資金提供元となっているDHHS（保健福祉省）が半数を占めている。また、大規模な研究大学に資金が集中する傾向があり、研究費上位20大学に全額の1/3が集中していること、資金源の組織から直接研究費が提供されるのではなく、別組織を経由して提供される例が増加していることも示されている。

大学の科学・工学研究費の推移（資金源別）



大学の科学・工学研究資金源の推移（前年度比）



参考 1) NSF, INFO BREIF 06-315, April 2006  
 2) NSF, Academic Research and Development Expenditures: Fiscal Year 2003

# 日本の医工連携 イノベーションの推進

## —OCTの産学官連携を事例に—

立野 公男  
情報通信ユニット

### 1 緒言

平成18年度よりスタートした第三期科学技術基本計画<sup>1)</sup>において、先ず第一に、イノベーションの重要性が力説されている。そして、先期に続き、学際・融合的研究の重要性が強調されている。その中でも、医工連携は最も重要な課題の一つである。

実際、日本では、少子高齢化が急激に進み、将来の若手労働力の不足が深刻な問題になりつつある。その解決策の一つに挙げられているのが、平成18年度より施行された「改正高齢者雇用安定法」、すなわち、定年延長政策による労働力不足の解消であり、定年延長による年金支出の低減である。これを実あるものにするには、年配の方々が元気に就労できるための健康長寿が不可欠である。また、老若男女を問わず、健康の維持は、これまで肥大し続けてきた医療費支出の削減をもたらす。そして、何よりも、生きることの基本に立ち返れば、健康であること、すなわち、病からの解放は、誰もが幸福な一生を全うするための基本的ニーズであることは明白である。

一方、日本はこれまで、自動車、機械、電気、電子、材料など“ものづくり”を得意とする国として過去数十年間、強い国際競争力を発揮<sup>1, 2)</sup>してきており、医療機器

開発という上記ニーズに答え得る条件のうち、少なくとも技術開発力としては既に高いポテンシャルを有している。しかし、現在、世界の医療機器市場の規模は約20兆円で、日本の市場は約2兆円と推計されているが、平成4年度には、輸出入額がほぼ同額であったのに、平成16年の輸出入額はそれぞれ、4300億円と9550億円であり、輸入額が急速に増えているのが現状<sup>3)</sup>である。

さらに、ゲノム解読プロジェクト終了後の次のステップとして、分子イメージング技術の開発によってもたらされる分子ライブラリ整備の上立った、分子レベル治療や予防医学の推進というロードマップが国内外で描かれている<sup>4, 5)</sup>。このロードマップ上を走らねば日本の医工連携イノベーションの推進はまさに最大の重要課題と言っても過言ではない。

本レポートは、このような潮流の中で翻弄されながら成長しつつあるOCT (Optical Coherence Tomography)<sup>6)</sup>という技術を取り上げる。この技術は、遡って日本の経済がバブルの頂点にあった1980年代の終わりに、日本の地方にある大学の中から世界に先駆けて特許出願された発明であり<sup>7)</sup>、当時から医療機器への応用としてのビジネスチャンスが見え隠れし

ていた。ところが、製品化は、発明としては後発の欧米に大幅に先を越された残念とも言える事例である。

もちろん、日本においても、1998年に技術移転(TLO)法が施行され、2006.3に閣議決定された第三期科学技術基本計画<sup>1)</sup>を引用すると、「産学の共同研究の増加や技術移転機関(TLO)による技術移転実績の増加、大学発ベンチャーの設立数の増加(1,000社達成)など、産学官連携は諸般の制度整備によって着実に進展した」、そして、「産学官連携が十分な成果をあげていくためには、大学知的財産本部やTLOの活動を一層活性化し、効果的なものとする必要がある」とされており、大学スタートアップ振興のための施策は、既に打たれていると考えてよい。そして、このような政策が、もう10年早く80年代の終わりのバブル経済の時期の前に打たれており、昨今叫ばれている技術イノベーションへの公的投資がより早く行われていればビジネスも含めた医療機器開発においても日本と欧米との優位性は現状よりも改善されていたかもしれない。

このように考えると、TLO法の有効性が再確認されるとともに、現状および将来に向けて日本のOCTをはじめとする技術開発

が、この技術移転振興の波に乗り切れているかどうか、今後の進展を妨げる隘路はないかどうかの検証の必要がある。また、厚生労働省の中からも指摘があるように<sup>8)</sup>、新しい医療機器製品の認可に伴う、治験制度を含む薬事法制度の運用に課題がないか、その結果として起業者の開発意欲を削ぐことになり、医療機器開発の日本の国際競争力の低下を招いていないかなどの検討が必要である。

我が国の第三期科学技術基本計画<sup>1)</sup>でも、「その戦略の基本は、質の高い研究を層厚く生み出す人材育成と競争的環境の醸成、科学の発展と絶えざるイノベーションの創出に向けた戦略的投資及びそれらの成果還元に向けた制度・運用上の隘路の解消であり、このような多様な政策課題への挑戦が今後5年間の科学技術の使命である」とされ、具体的な検証の重要性が強調されている。

以上の観点から、本レポートでは、OCTを応用した眼科診断装置を事例として、その発明から製品化までの経緯を日本と欧米で年代順に比較検討する。そして、OCT技術の第一世代のみならず、第二、第三世代へ向けて巻き返しを図っている日本の産学官連携体制の活躍ぶりを見ながら、日本における医工連携型イノベーションのさらなる推進策を提言する。

## 2 OCTの原理と開発経緯

2 - 1

### OCTの原理

OCTはマイケルソン型の光学干渉計を応用した技術である。その原理を図表1に従って簡単に説明する<sup>6)</sup>。光源は、波長が780nm、830nm、1.3 $\mu$ m、あるいは、1.5 $\mu$ m近辺の1~2mm生体内へ浸入する赤外光であり、空間的コヒーレンスは十分高いが、時間的コヒーレンスの低いSLD (Super Luminescent Diode) と呼ばれる電流注入型の半導体光源である。この光源からのビームを、ビーム・スプリッタで二つに分割し、ビームスプリッタを透過した方の光は、試料の表面に至り、内部に

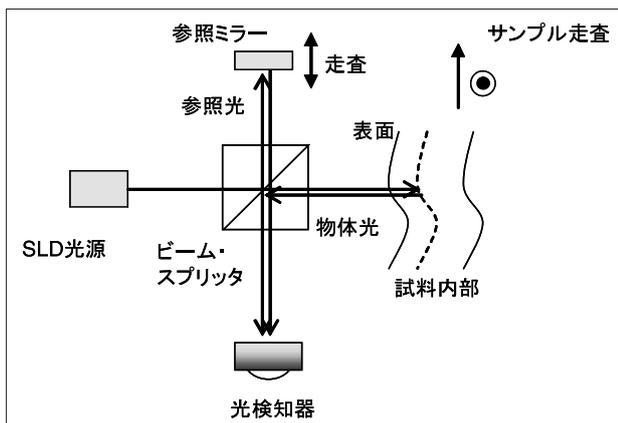
浸入して、屈折率の異なる境界や散乱物があるとそこで反射、あるいは、散乱する。反射、あるいは、散乱して戻った光は、ビームスプリッタで今度は反射され、物体光となって光検知器に至る。ビームスプリッタを反射した方の光は参照ミラー面で反射され、ビームスプリッタを今度は透過し、先の物体光と重ね合わせの原理によって互いに干渉しながら光検知器に至る。

このとき、物体光の経路長 (ビームスプリッタで分岐されてから再び出会うまでの経路の長さ) が参照光の経路長と等しくなった場合 (経路長の差がゼロ) に、二つの波の間で強め合いが生じる。そのため光検知器が受ける光の干渉

強度が、経路長の差がゼロでない場合よりも大きくなる。このような測定を参照ミラーの位置毎に行い、かつ、サンプルを入射光軸と垂直に二次元で走査すれば、サンプル内部の層構造 (屈折率の境界) を三次元的に表示することができる。

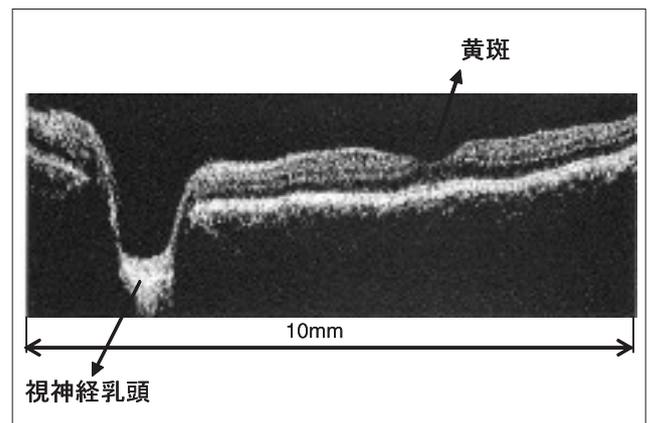
ここでもし、光源がレーザ光のように時間的コヒーレンスが高ければ、参照光と物体光の経路長が等しくなくても干渉の強め合いが発生してしまい、サンプルの層構造を見ることは困難になる。すなわち、光源の時間的コヒーレンスが低いほど、深さ方向の解像度が高くなる。ここが、発明のポイントであり、光源波長のスペクトルの広がり幅 (約50nm) で決まる

図表1 OCTの原理



参考文献<sup>6)</sup>をもとに科学技術動向研究センターで作成

図表2 OCTによって撮影した網膜断層像の例



写真：マイクロトモグラフィ(株)提供

深さ方向の解像度として、10～20 μm が得られる。

2 - 2

### 日本での開発経緯

このような OCT の原理の特許出願として最も早かったのは、1990 年に丹野直弘元山形大学教授によってなされた日本国特許庁への出願特許<sup>7)</sup>である。しかし、この特許は米国など外国への出願はされていなかった。論文としては、1991 年の第 14 回レーザーセンシングシンポジウムで発表された“後方散乱光ヘテロダイントモグラフィ”<sup>9)</sup>が最初である。この論文も日本語であり、英文の発表ではない。これは、2002 年にノーベル化

学賞を受賞した田中耕一氏の場合に、英文で発表された論文が、唯一、中国での学会発表しかなかったためあまり注目されなかったという有名な話と通じるところがある。残念ながら、当時の日本からの学術成果の海外への情報発信活動や知的所有権の主張は、資金的にも不十分であったことが伺え、英文での発表の重要性が改めて認識される。

当時、同教授は、稲場文男元東北大教授が率いる、(株)生体光情報研究所(旧通産省が出資)のキーメンバーの一人として活躍していた。このプロジェクトは、1979 年にノーベル生理学・医学賞を受賞した X 線 CT (Computer Tomography (アラン・コーマック:

理論、ゴッドフリー・ハウズフィールド:装置)) の考え方に触発されて発足しており、X 線をレーザー光に置き換えて人体を含む生物の内部を透過光検知で観察する方法を模索していた。

このプロジェクトの中で、同教授により、レーザー光源の空間的コヒーレンスは活用するが、時間的コヒーレンスは意図的に低下させた光源を干渉計の光源に適用するアイデアが出された。もちろん、白熱電球のような時間的にも空間的にもコヒーレンス度の低い光源を用いた干渉計は古くから市販されていた。しかし、白熱電球は、点光源ではなく広がりを持つ、すなわち、空間的コヒーレンスが低いため、観測物面上での高い解像

図表 3 OCT 開発の経緯・日本と欧米の比較

年代	日本		欧・米
	工学系	医学系	医工連携
1990	丹野教授特許出願 (国内)		
1991	丹野教授、山形テクノポリス財団でアイデア紹介。博士課程がないため、修士課程で計算など指導		Fujimoto 教授特許出願し、サイエンスに血管断層写真掲載。
1992	(株)生体光情報研究所発足		Fujimoto 教授、ハンフリー社 (CZ 社の米子会社) から 600 万ドル出資を受け、画像処理技術 g、リンカーンラボのアイ・センターと連携推進。
1993			'93 Opt.Lett. に眼底写真掲載。
1994	丹野教授ら初めての英文論文発表		
1995			
1996			Fujimoto 教授ら臨床データ集出版。CZ 社眼底検査試作機発出荷
1997		岸教授 CZ 社製 1 号機購入	
1998	TLO 法制定	岸教授ら臨床例報告。	Erlangen 大 G. Hausler ら高速 OCT の原理発表
1999			
2000	筑波大の安野博士ら FD - OCT の方式発表。丹野教授ら地域共同研究事業参加。JST より補助金 (現 MT 社の親会社 MTEX: エムテックスマツムラ(株))		
2001	CZ 社の CEO が丹野教授訪問、特許ライセンス交渉。中小企業創造活動促進法認定。山形県中小企業創造技術研究開発より補助金 (MTEX)		OCT の高速化や多機能性を追求。例えばドップラー効果を利用した血流測定など次世代 OCT の開発を推進
2002	東北経済産業局より補助金 (MTEX)。マイクロトモグラフィ(株)設立		
2003	MT 社・薬事法承認を受ける		
2004	MT 社・眼底検査装置国産発出荷。谷田貝教授ら JST の資金で「生体計測用超高速フーリエ光レーダー顕微鏡」プロジェクトを開始		
2005	NEDO の PJ。“眼底血流、内科疾患検査 PJ”(京都大学、山形テクノポリス財団、トプコン、ニデック、浜フォト) 開始。谷田貝教授ら(株)トプコンと技術提携し「OCT の眼科応用に関する研究」開始		第一世代 OCT 機で CZ 社シェア 90%に
2006	MT 社、山形大学医学部山下英俊教授、工学部湯浅哲也教授らと分光 OCT による生体内酸素飽和度 3 次元断層分布測定装置提案		

MT 社: マイクロトモグラフィ社      CZ 社: カール・ツァイス社

度は得られない。もちろん、白熱電球の後にピンホールを置けば解像度は向上する。しかし、強度が減衰するため光検知器には計測に必要な量の光の信号が到達しない。従って、OCTでは、SLD光源の特徴を生かして空間的コヒーレンスを高く保ち、時間的コヒーレンスを低下させた干渉計測法を用いたところが発明としての由縁である。

また、X線CTは物体の透過光を検出するが、OCTでは逆に反射光を検出し、非侵襲で生きたままの状態 (in vivo) の生体の表面近くの断層の組織情報を画像として捉えることができる。この発想は、当時、(株)生体光情報研究所で主流であったレーザのコヒーレンスを積極的に生かそうという本来の発想とは、一部逆の方向であったため、プロジェクト内では必ずしも歓迎される提案ではなかった。そのため、プロジェクトの成果の柱として取り上げられることがなく、医療機器応用などOCTの活用先への働きかけが優先的に行われたわけではなかった。それでも、同教授らは、OCTの発明の直後から、山形大学医学部に声をかけ、年に数回のセミナーを開催し、工学サイドからの技術シーズの紹介を定期的に行った。

このようなOCTの発明から医療機器として製品化されるまでの日本での経緯と、対応する欧米での開発経緯を年代順に図表3で一覧する。すなわち、丹野元教授らは、その後も山形テクノポリス財団にてOCT技術の紹介を行い、地域企業に向けて半導体の検査装置応用などの可能性も示唆しながら技術シーズの発信を続けた。しかし、研究の実働としては、当時の山形大学には博士課程がなかったため、修士課程の学生にシミュレーションなど計算方法を指導する程度に終始し、1994年に初めての英文の論文を発表した<sup>10)</sup>が、

本格的な実証実験を行うところまでには至らなかった。

このような空白期間とも見える状況が続いていたところ、1996年に、ドイツの光学機器メーカーの老舗であるカール・ツァイス (Carl Zeiss Meditec) 社の米国子会社であるハンフリー (Humphrey) 社が、OCT技術を活用した業界初の眼底断層撮影装置の試作機を発表した。これに目をつけた群馬大学医学部の岸 章治教授らはこの第一号機を購入し、日本で初めての臨床データを採取し、眼底疾患の診断に有効であることを実証して喧伝した<sup>11)</sup>。

これらの報に接した同教授は、眼底断層撮影装置に使われている原理が、自分の発明と同じであることに気づき、カール・ツァイス社に通知した。そして1998年5月に制定された大学等技術移転促進法 (通称 TLO 法) に基づく政府からの支援をバックに、2000年、JST (科学技術振興事業団) から資金援助を受け試作を開始した。さらに、2001年には、カール・ツァイス社の社長の訪問を受け、特許交渉の結果、日本出願が先行している事実を認めさせ、日本での特許使用に対する応分の特許料支払いを引き出し、国内販売の全ての製品に日本特許登録番号を刻印することで合意した。この特許交渉の成功に活気づきながら、2001年には中小企業創造活動促進法認定、東北経済産業局からの補助金、山形県創造技術開発からの補助金など支援を受け製品開発を推進した。そして、2002年、山形大学地域共同研究センター長に就任していた丹野元教授は、取締役としてベンチャー企業、マイクロトモグラフィ (株) を松村澄男社長、長谷川倫郎取締役らと地域の半導体製造装置メーカー、エムテックスマツムラ (株) との共同出資で設立した。その後、2003年に日本の薬事法の承認を受け、最初の発明から14

年後の2004年に日本初の眼底検査装置の製品化をついに達成し、発売を開始した。欧米に遅れること8年である。

2 - 3

## 欧米での開発経緯

以上のような日本における開発経緯に対し、欧米でどのような動きがあったか、図表3に従って説明する。米国における産学連携の拠点で有名なMIT<sup>12)</sup>のJ. Fujimoto教授らが丹野元教授と同様の原理を独自に発明し、1991年に米国特許出願を行い、同じ年のScience誌に“Optical Coherence Tomography”と題する世界初の英文論文を発表した<sup>13)</sup>。現在世界中の専門家の間で使われているOCTという技術用語は、このFujimoto教授らの命名に端を発している。そしてFujimoto教授は、MIT内の画像処理グループや、リンカーンラボのアイセンター (Eye Center) の医学者らと、文字通りの医工連携プロジェクトを組み、1993年に、世界で初めて生きたまま (in vivo) の眼底網膜断層の観察例を発表した<sup>14)</sup>。さらに、同教授は前記ハンフリー社から60万ドルの資金援助を受け、眼底断層撮影装置の製品化に猛進した。そして、1996年、同教授らの主導のもとに、OCT技術を使った眼底断層撮影装置の臨床治験によって採取した厚さ5cmにおよぶ臨床データ集を出版し<sup>15)</sup>、世界中の眼科医を驚かせた。また、ほぼ同時に、ハンフリー社が世界で初めての試作機を発表した。この初出荷以来10年を経た2006年の現在、上記二社に、カナダのOPI (Ophthalmic Technologies Inc.) 社が参入し、これら3社が製造販売している。しかし、世界シェアは、カール・ツァイス社がその子会社であるハンフリー社分を含めて、90%を握っている。

欧米におけるこのスピーディな開発経過は、あたかも、OCTという名のサッカーボールを、ディフェンダー、ミッドフィルダーを経てフォワードに向け、選手から選手へと効率よくパスしながら連携し、発明からシェア占有というゴールまで最短距離を走ったかに見える。大学発イノベーションの

ための分業力と連携力が迅速に、しかも総合的にバランスよく機能した成果である。米国には、医工連携イノベーションのしかけ、すなわち、研究の芽の創出と迅速な技術移転、および、臨床データ採取などの仕組みが、実際の運用を含めてダイナミックなシステムとしてすでに整い、日夜稼働してい

るのである。日本の大学、あるいは、公的機関にある研究者は、米国における産官学グループ間の巧みな連携プレーを謙虚に学び、日本独自のダイナミックな医工連携イノベーションのしかけを着実に育成していく必要がある。

### 3 制度・運用上の課題

ここで、日本の医工連携イノベーションのスピードに影響を与える法的手続きについて述べる。医療機器開発の工程、すなわち、[研究開発(発明)→試作装置→臨床データ収集→申請→薬事法審査→製品化→出荷]の前段階では、前述の技術移転(TLO)法が運用されるが、後段階の臨床データ採集以降は、薬事法が運用されて初めて世に実用される<sup>16)</sup>。眼底検査装置は医療機器であるが、認可は医薬品と同じ薬事法のもとで審査される。

本レポートの事例であるOCT活用の眼底検査装置の開発においても、その装置が臨床的に有効な装置であるかどうか、副作用がなく安全であるかどうかを証拠立てる臨床データ、すなわち、治験(Clinical trial)が事前に必要である。そのためには、リスクを伴う臨床テストを避けることができない。ここで、事故が発生した場合の責任問題が浮上する。そのため、審査には慎重さが求められ、時間と費用がかかる。ところが、米国では、Fujimoto教授らは、5年という短期間で製品化に成功した。これに対し、日本では発明から製品化まで14年の歳月を要している。今後の医工連携イノベーションにおいては、大学からの技術移転の円滑化の問題だけではなく、日米における薬事法の運用の仕方の違いも含めて、総合的に考えて開発

を進めねばならないことを示唆している。例えば、米国では、治験プロセスでの医師や教授の裁量権がより大きく、医師や教授が自らの責任で安全と認めた場合には臨床データ採取を主導できることが認められており、医療機器の安全性と有効性を実証する臨床データをより迅速に、より多く蓄積することが可能である。

本事例における薬事法認可の場合は、カール・ツァイス社がまず欧米で申請して認可を取得し、続いて日本での認可を取得した。カール・ツァイス社は、眼底検査装置開発の成功に続き、OCTを用いた眼球の軸長を計る装置も製品化し、日本の薬事法の認可も他社より先に受けた。これに対し、日本のマイクロトモグラフィ(株)も同種の対抗製品を開発し、眼底検査装置の後発機として2004年11月に薬事法の認可を申請した。しかし、同社の製品の光源の波長が830nm<sup>17)</sup>であり、認可されているカール・ツァイス社の波長780nmと異なる。このため、2005年3月に一旦取り下げることになり、新規として、2005年11月に申請したが2006年6月の時点でまだ認可は下りていない。

また、医工連携の別の典型的な事例として、聴覚の難治性疾患の治療法に関する医師からの報告がある<sup>18)</sup>。この疾患は、鼓膜と脳の聴覚脳幹の間にあって音の振動を

神経電流に変換する機能をもつ蝸牛官の疾患である。その治療法の一つが、患者の蝸牛官に人工内耳を手術で移植し、聴覚を回復させる医工連携の医療技術である。人工内耳は、体内部のレシーバーと電極部分と、体外部のマイク・スピーチプロセッサーと電池からなる。世界では、6万人以上、日本では4000人以上に手術が行われている。この治療法は、開発当初日本がリードしていた。しかし、現在世界で使われている人工内耳デバイスは、オーストラリア、米国、オーストリア、そして、フランス製がメインであると伝えられた。この事例報告は、日本学術会議が主催して日本生体医工学会と共催したMEフォーラム10回記念講演会“異分野の融合と新しい研究の流れ”(2006年1月23日、東京大学 山上会館)においてなされた。

そこでは、厚生労働省医政局の鈴木康裕氏からの報告<sup>8)</sup>があり、引用すると、「…先端的基盤技術に関しては、我が国は欧米と並んで世界をリードしている。一方で、これらの要素技術を臨床側ニーズとマッチさせた新しい医療機器の探索的研究、それらを用いた臨床試験及び治験の基盤、さらにはその薬事審査の体制は、欧米と比して大きな課題を抱えているのが現状である」と述べられている。そして、欧米では、新しい医薬

品や医療機器の申請を審査し認可する審査者の数が多く、例えばアメリカのFDA (Food and Drug Administration) の9,000人に対し、日本では300人であると伝えられた。また、同報告では、「基礎研究からトランスレーショナル研究に至る部分だけでなく、その先の臨床研究や治験を行う環境整備も喫緊の課題であると認識している。“治験の空洞化”といわれて久しいが、アジアにおける急速な治験環境の整備等を背景に、我が国での治験はますます減少の傾向を示している。これは、先端的な医療機器が国民に提供される機会を奪うだけでなく、国内企業のシェア低下にも直結する」とされ、「厚生労働省では、治験のみならず臨床研究を行う基盤を抜本的に整備するために、平成18年度から厚生労働科学研究費補助金において、“臨床研究基盤整備推進研究事業”を立ち上げ、」さらに、「治験を確実に遂行するための環境整備として、医師主導治験のモデル事業を行っている」と述べられており、制度運用の改善策への積極的な取り組み姿勢を読み取ることができる。

また、新しい医療機器や医薬品の認可はいずれも薬事法の審

査のもとで行われ、製品の安全性確保は国民からの強い要求である<sup>19~21)</sup>。平成17年度の厚生労働白書<sup>22)</sup>でも、「…安全かつ有効な医薬品等を国民に供給し、医薬品等の副作用や不良医薬品等から国民の生命、健康を守るべき重大な責務があることを改めて深く自覚し、これらの医薬品等による悲惨な健康被害を再び発生させることがないように、最善、最大の努力を重ねることを確認した」との決意が述べられている。

このような安全性の確保とイノベーションが必要とする迅速性は、一見、相反する要求である。しかし、この重い相反問題は、いずれの国にも共通する最重要課題であり、我が国だけが避けて通るわけにはいかない。その意味で、先の厚生労働省の中からの報告<sup>8)</sup>に、「…優れた医療機器を国内で開発し、臨床データの収集を経て、迅速に審査を行い、臨床導入することは欠かすことのできない流れである。ただし、この流れには、各段階において“リスク”と“責任”が伴う。この“リスク”と“責任”に関する国民的コンセンサスを早急に取ることが、真の意味での医療機器開発に係る課題の克服への早道となるのではないか」との呼

びかけがある。医療機器や医薬品開発の第一の目的は、患者と潜在患者の健康の回復と維持であり、医療機関やメーカーはそれらの供給の担い手であるという当然のことを再確認し、目的と手段を取り違えることのないよう、誰もが納得する透明度の高い解決策を捻出することが国民からの絶えざる要求である。

今後の日本の医工連携イノベーションの推進のためには、審査者の増員や医師主導の透明度の高い治験制度に加え、審査の透明性、すなわち、研究所や現場への立ち入り許可、審査プロセスのさらなる情報公開、審査する方々の裁量権の拡張など制度運用の改善策を模索して行くことが望まれる。そして、そのための予算の増額を行い、関係する産学官の担当部署を支援して行くことが必要である。さらに、中長期的観点からは、法律だけでなく、医学や工学を学んで資格を持つより高いレベルの判断ができる、より多くの人々が、医療機器の研究開発や薬事法の審査に当たれるよう、文理融合の人材育成システムを構築して行くことが望まれる。

## 4 次世代 OCT

4 - 1

### 第二世代高速 OCT

以上述べて来たように、OCT技術は、特許出願としては日本が世界で最も早く、その点では称賛されるべきである。しかし、製品化時期は大幅に遅れ、少なくとも第一世代については、ビジネスとしては苦戦を強いられているのが現状である。そこで、次世代以降のOCTについて日本に巻き返し

の機運があるかどうか検討する。

図表4は、半導体におけるムーアの法則ともいえる、OCT装置性能の年次推移をOCTの処理速度を指標として表示したものである。第一世代のOCT装置の処理速度は、1991年当時の実験室レベルのおよそ1Hzから、1999年には4KHzに向上し、約4千倍も速くなっている。しかし、その後は飽和傾向にある。一方、OCT装置の医療応用では、生きたまま (in vivo) で生体の断層像の実時間の

動画データを採取したいという強いニーズがある。このため、第二世代のOCTでは、処理速度向上の技術競争が繰り広げられ、最近の製品では200KHzに達しており、ビデオ信号レートの実時間で三次元動画記録再生が製品レベルで達成されている。

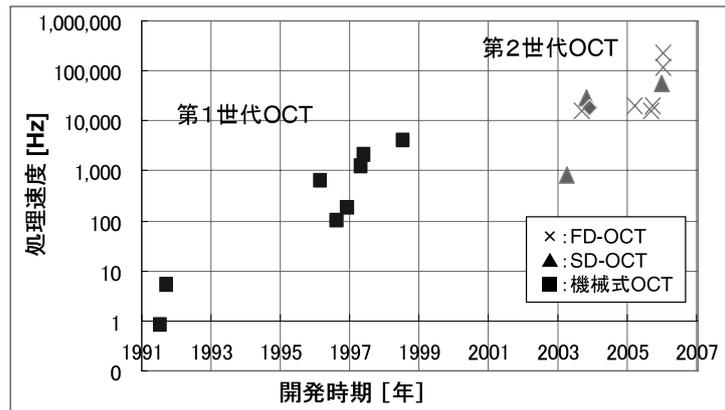
このような高速ニーズを実現する技術のうち最も興味深い方法は、機械的な可動部分を削減するFD-OCT (Fourier Domain OCT)<sup>23, 24)</sup>、あるいは、SD-OCT

(Spectral Domain OCT)<sup>25)</sup>である。第一世代のOCTでは、三次元の断層像を採取するのに、参照ミラー、および、光干渉計からなる可動ヘッドを機械的に走査する必要があり、測定速度を律速していた。ところが、FD-OCTでは、参照ミラーを固定したままで、試料の深さ方向のデータが採取できるという発想である。すなわち、図表1に示した干渉計から得られる干渉光を、回折格子からなる分光器で波長スペクトルに分解して

CCD (Charge Coupled Device) アレーで検出し、その検出信号をコンピュータによって実時間でフーリエ変換して、深さ方向の反射強度分布を、一回の測定でほとんど同時に採取する<sup>25)</sup>。つまり、参照ミラーの機械的走査を削減できるということである。さらに、光学系の強みである空間的な一括並列処理の特徴を生かし、円筒レンズを利用する1次元結像光学系を採用すると、試料面の一軸走査も削減できる。また、波長可変のSLD光源を用いれば、分光器が不要となり、装置の高速化だけでなく小型化も実現できる。

これら、光波特有の特長を生かした高速OCTを使えば、眼底の血流を動的に実時間でしかも三次元的に観察できる。このような光学技術の粋を集めた研究開発は、筑波大学の谷田貝豊彦教授が率いる計算光学グループで活発であり、平成16年度から19年度の期間は「生体計測用超高速フーリエ光レーザ顕微鏡」と題するテーマでJST (科学技術振興機構) の支援を受けて推進されている。さらに、同グループは、産学連携体制による技術移管も進めており、平成17年度より「OCTの眼科応用に関する研究」と題して、(株)トプコンと技術提携し、次世代高速眼底検査装置の製品化を推進した。因みに同社は、OCTが出現する

図表4 OCT装置性能の年次推移



谷田貝教授資料に基づき科学技術動向研究センターで作成

前の従来型の眼底検査装置で世界トップシェアを維持している会社である。この場合の産学連携体制は、MITのFujimoto教授とハンフリー社の関係と類似している。大学側は、工学系と医学系と連携して装置の基本設計までを行い、装置化のためのノウハウや、特許出願を分担し、企業側はマーケティングをはじめ、治験や薬事法申請などの法的手続きを、長年培ってきた経験と実績を生かす形で分担するという体制を採っている。もちろん、大学内での治験データの採取は、平成17年度より開始した大学の倫理委員会にかけて審議するという手続きが取られている。そして、筑波大学側は、高速OCTに関する特許と技術ノウハウをTLO法に準拠して(株)トプコン社に売却し、売却収入を発明者と大学でシェアした。高速OCTの場合は、TLO法が有効に機能した事例であり、いわゆる“死の谷”、“ダーウインの海”を産学連携で果敢に乗り越えた成功例と言える。この製品は、2006年6月、(株)トプコン社により世界で初めて製品化された。今後、OCT活用の眼底断層検査装置全体として、カール・ツァイス社のシェアにどこまで食い込めるか注目を集めている。しかし、現状では残念ながら、この装置を用いた治療には保険が適用されていない。

4 - 2

### OCT 応用の多様化と海外状況 — 第三世代へ —

さらに、糖尿病の悪化は視力劣化に結びつくことは周知であるが、OCTを使って網膜に露出している毛細血管の血中ヘモグロビンの酸素飽和度を測定する方法がマイクロトモグラフィ社から現在提案されている。また、眼底の血流測定装置の開発が、京都大学病院眼科のリーダーシップの下、山形テクノポリス財団、(株)浜松ホトニクス、(株)トプコン、(株)ニデックなどが連携して、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の資金的援助を受けながら推進されており、成功したときのインパクトはさらに大きい。ここでは、眼底の断層像の解像度を回折限界まで改善する目的で、(株)浜松ホトニクスの補償光学技術、すなわち、液晶からなる位相型空間変調器を活用し、眼球の収差を実時間で測定、補正しながらデータを採取する方法も採用されようとしている。

このように、OCT技術は、眼底検査装置への応用がメインであるが、今後、眼科だけでなく、皮膚科、歯科、口腔外科、消化器外科、循環器外科など応用は多岐に渡り、第三世代へ向けて益々応用が

広がる様相を呈している。その一つが、大阪大学の春名正光教授<sup>26)</sup>らが開発中の光源波長  $1.3\mu\text{m}$  や  $1.5\mu\text{m}$  を用いた OCT 技術である。波長  $1.3\mu\text{m}$  や  $1.5\mu\text{m}$  は水分の吸収があるため、眼底検査には使えないが、角膜、皮膚、化粧品開発と関係する顔面の断層、そして、内視鏡と組み合わせて胃壁の断層を非侵襲で観測する装置などへ展開できる。さらに、高速 OCT で連続コマ取りして汗腺や分泌腺のダイナミクスを観察し、生体の生理機能を解明しようとする試み<sup>27)</sup>もなされている。この波長域は光ファイバ通信で使われており、かつての NTT 社をはじめ豊富な研究開発投資が行われたこともあり、波長多重方式や希土類ドープの光ファイバによる光増幅を含めて、光源から光検知器までの最先端デバイス技術の成果を転用できる可能性がある。

米国においては、ゲノム解読プロジェクト終了後の次のステップとして、NIH (National Institute of Health) が分子イメージング

技術の開発によってもたらされる分子ライブラリ整備の上に立った、分子レベル治療や予防医学の推進というロードマップを描いている。現在 Fujimoto 教授は、NIH での業務を兼任しており、OCT 技術の分子イメージング技術への展開を模索している。また、Fujimoto 教授のグループから独立して MGH (Massachusetts General Hospital) に移った de Bore 教授らも、高速 OCT 技術を駆使した医工連携を進めている。さらに、カリフォルニア大学 Irvine 校でも、MGH と同様に医学部と工学部が一体となった医工連携センターが創設されており、米国における医工連携イノベーションは大学の制度としても整備され益々加速されている状況である。欧州では、オーストリアのウーン医科大学の Fercher 教授ら、および、このグループからイギリスの Imperial College に移った Drexler 教授らのグループで、高速 OCT 技術の研究開発が盛んである。

このように、OCT をめぐる世界的な医工連携イノベーション競争は、技術面だけでなく、産学官連携体制の整備や、薬事法の運用を含めて、日増しに激化している。技術もビジネスもグローバル化している今日にあっては、日本の企業が、欧米で先にその国の治験や製品販売の認可を受け、その後、日本国内で普及させるという傾向を止められない。この治験の空洞化を改善するために、先の厚生労働省の中からの報告<sup>8)</sup>にあるように、「治験及び臨床研究等のヒトを対象にした研究を行う場合には、事前にその研究内容を第三者機関に届けなくてはならない」という世界の流れを受け、我が国においても臨床試験登録制度を整備し、その情報を国民に公開する仕組みづくり」が行われている。以上のように日本における医工連携イノベーションのさらなる推進のためには、TLO 法の一層の活用のみならず、薬事法の安全で、迅速かつ透明な運用がこれまで以上に求められる状況である。

## 5 結 言

本報告では OCT 技術を事例に、日本の医工連携イノベーションの推進策を、第三期科学技術基本計画で謳われている「イノベーションの創出に向けた戦略的投資及びそれらの成果還元に向けた制度・運用上の隘路の解消」の観点で検討した。

緑内障や網膜剥離の診断に威力を発揮している眼底検査装置は、大学における医工連携の典型的な事例であり、この装置の原理である OCT (Optical Coherence Tomography) 技術は、1980 年代末に、山形大学の中から世界ではじめて日本で特許出願された。そして、OCT は、医工連携のさきがけとして日本の地方にある大学

発スタートアップが成功するチャンス萌芽していた。その意味で、この事例は、「研究の芽は欧米から、製品化とビジネスは日本で」という 1970 年代から 80 年代にかけて見られた技術移転パターンとは異なる現象の一つである。

しかし、OCT 技術の発明から製品化までの経緯を日本と欧米で比較すると、製品化は欧米に 8 年間の差をつけられ、しかも、2006 年の現在、すでに世界シェアの 90% を奪われている。このような遅れを取り戻すためには、技術移転の問題を解決するだけでなく、医工連携分野に特有の薬事法の審査過程を見直す必要がある。例えば、医師主導の透明度の高い治験

制度の推進、すなわち、治験プロセスでの医師、教授や大学の倫理委員会の裁量権をより大きくし、自らの責任で安全と認めた場合には臨床データ採取を進めることができ、しかも安全が確保できるような仕組みを構築して行くことが望ましい。

現在、第二世代の高速 OCT 技術において、国内外での熾烈な製品開発競争が展開されている。この第二世代では、日本で TLO 法が産官学連携体制で適切に運営され、一旦は遅れをとった欧米に、追いつき、先行できる段階にまで来ている。そして、OCT 技術は、今後の第三世代に向け、現在の眼科応用だけでなく、皮膚科、歯科、

口腔外科、消化器外科、循環器外科などへの応用が広がる様相を呈しており、新たな世界的競争が展開されている。このような OCT をめぐる世界的な医工連携イノベーション競争は、技術面だけでなく、産学官連携体制の整備や治験制度の運用を含めて、日増しに激化している。技術やビジネスがグローバル化している今日においては、厚生労働省の中からの指摘にもあるように、日本での法制度の運用が諸外国に比べて必要以上に日時を要するような状況が続けば、日本の企業が、先に外国でその国の治験や販売認可を受け、その後、国内で普及させるという状況から脱却できない。それは、日本の医療水準の低下をまねき、医療機器開発の自立性を損なうことにつながる。

このような事態を改善していくためにも、例えば、治験及び臨床研究を行う場合には、事前にその研究内容を第三者機関に届けるといった世界の流れを受け、我が国においても臨床試験登録制度を整備し、その情報を国民に公開する仕組みづくりを進める必要があり、そのための予算の増額を支援して行くことが望まれる。また、医学と工学を一緒にした医工連携センターの一層の強化拡充、さらには中長期的観点から、法律だけでなく、医学や工学を学んで資格を持つより高いレベルの判断ができる、より多くの人々が医療機器の研究開発や法制度の運用に当たれるよう、文理融合の人材育成システムの普及が期待される。

以上のように、日本の医工連携イノベーションのさらなる推進のためには、TLO 法の一層の活用は勿論のこと、「進めるべきものは迅速に進め、止めるべきは早期に止める」という、薬事法の安全で迅速かつ透明な運用がこれまで以上に求められ、医工連携イノベ

ーション推進のための透明度の高い、総合的戦略立案が急務である。それは、これらの施策が、日本の医療水準の一層の向上と医療機器開発の国際競争力増強に結びつくと考えるからである。

## 謝 辞

本報告を執筆するにあたり、貴重な情報、ならびに、ご助言を提供頂いた山形大学元教授の丹野直弘氏、マイクロトモグラフィ株式会社社長の松村澄男氏、同取締役の長谷川倫郎氏、筑波大学教授の谷田貝豊彦氏、大阪大学教授の春名正光氏、厚生労働省医政局の鈴木康裕氏、及び、岡田就将氏、帝人(株)の鷺見芳彦博士、そして、(独)物質・材料研究機構の菊池正紀博士の各位に感謝します。

## 参考文献

- 1) 「科学技術基本計画」閣議決定資料 (平成 18 年 3 月 28 日)
- 2) 藤本隆宏：「日本のもの造り哲学」日本経済新聞社、2004
- 3) 堀口 光：「わが国の医療機器産業の現状と方向性」日本学術会議・日本生体医工学会主催、フォーラム 2006 (2006.1. 23)、(於東京大学)
- 4) 松尾泰樹：「平成 18 年度文部科学省ライフサイエンス関係政府予算案の概要」日本学術会議・日本生体医工学会主催、ME フォーラム 2006 (2006 年 .1. 23)、(於東京大学)
- 5) 田村 守：「光による分子イメージングの現状と将来」光学、Vol. 35、No. 2 (2006)
- 6) 丹野直弘：「光コヒーレンス断層画像化法と生体映像への応用」光学 Vol.28、No. 3 (1999)
- 7) 丹野直弘、市川 勉、佐伯昭雄：「光波反射像測定装置」日本特許第 2010042 号 (出願 1990 年)
- 8) 鈴木康裕：「医療機器の新たな地平—厚生労働省の取り組み—」日本学術会議・日本生体医工学会主催、ME フォーラム 2006

- (2006.1. 23)、(於東京大学)
- 9) 千葉慎二、丹野直弘：「後方散乱光ヘテロダイントモグラフィ」、第 14 回レーザセンシングシンポジウム (1991)
- 10) Tan - no, T. Ichimura, T. Funaba, N. Anndo, and Y. Odagiri: "Optical multimode frequency-domain reflectometer", Opt. Lett., (1994)
- 11) 岸 章治、光学、Vol. 28、No. 3 (1999)
- 12) 立野公男：「半導体微細加工装置技術の最新動向—開発研究における日本の産学連携への提言」"科学技術動向" 文部科学省科学技術政策研究所、2004. 5. No. 38
- 13) D. Huang, E. A. Swanson, C. P. Lin, J. S. Schuman, W. G. Puliafito and J. G. Fujimoto: "Optical Coherence Tomography" Science, 254 (1991)
- 14) E. A. Swanson, J. A. Izatt, M. R. Hee, D. Huang, C. P. Lin, J. S. Schuman, C. A. Puliafito and J. G. Fujimoto : "In vivo retinal imaging by optical coherence tomography", Opt. Lett., Vol. 18 (1993)
- 15) C. A. Puliafito, M. R. Hee, J. S. Shuman and J. G. Fujimoto "Optical Coherence Tomography of Ocular Diseases" (Slack Incorporated, NJ, 1996)
- 16) <http://pmda.go.jp/pdf/iryokiki.pdf/>
- 17) (独)産業技術総合研究所監修：「レーザ安全ガイドブック」新技術コミュニケーションズ
- 18) 加我君孝：「人工内耳と人工聴覚脳幹インプラント」日本学術会議、日本生体医工学会主催、ME フォーラム 2006 (2006 年 .1. 23)、(於東京大学)
- 19) 昭和 54 年度、厚生白書：<http://www.hakusyo.mhlw.go.jp/wpdocs/hpaz197901/b0143.html>
- 20) 増山元三郎編「サリドマイド—科学者の証言—」UP 選書、東京大学出版会 (1971)
- 21) 「空前の薬害訴訟：“スモンの教

- 訓”から何を学ぶか」中央公論 (1996)
- 22) 平成 17 年度 厚生労働白書：  
<http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusho/kousei/05/dl/2-9.pdf>
- 23) G. Hausler and M. W. Lindner：  
 “Coherence rader” and “spectral rader” —New tools for dermatological diagnosis,” J. Biomed. Opt., 3 (1998) 21 - 23.
- 24) Y. Yasuno, M. Nakama, Y. Sutoh, M. Itoh, M. Mori, and T. Yatagai：  
 “Optical coherence tomography by spectral interferometric joint transform correlator” Opt. Commun., Vol. 186 (2000)
- 25) 伊藤雅英、安野嘉晃、谷田貝豊彦：  
 「フーリエドメイン光コヒーレンストモグラフィ」視覚の科学 Vol. 23, No. 3 (日本眼科学会雑誌) 2005
- 26) 春名正光：「光コヒーレンストモグラフィ (OCT) の医療応用と技術展開」光設計研究グループ (日本光学会)、第 34 回研究会 (東京大学) (2006)
- 27) M. Ohmi, K. Nohara, Y. Ueda, T. Fuji and M. Haruna：“Dynamic observation of sweat glands of human finger tip using all-optical-fiber high-speed optical coherence tomography,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 26, pp. L854-L856 (2005).

執筆者



情報通信ユニット長

**立野 公男**

科学技術動向研究センター

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



工学博士。(株)日立製作所 中央研究所にて光ディスク、光ファイバ通信など半導体レーザー応用装置の研究開発に従事。現在、科学技術動向研究を通じ、産学連携、標準化、技術イノベーションの観点から政策提言中。応用物理学会、電子情報通信学会、OSA 会員。

# 黄砂現象に関する最近の動き

— 自然現象か人為的影響か古くて新しい問題の解決に向けて —

山本 桂香

環境・エネルギーユニット

## 1 はじめに

日本人にとって黄砂は、春一番とともに春の風物詩というのどかなイメージがある。黄砂は、春先から初夏にかけて、東アジアを経由する低気圧の通過に伴って観測されることが多く、黄砂現象発生時には空が黄色く霞むことなどにより、一般にも広く知られている現象である。2006年の今春も日本各地で観測されたが、東京都心では4月18日に、2000年4月14日以来6年ぶりに黄砂が観測された。翌19日も続き、2日連続は1988年4月14、15日以来18年ぶりとなった（表紙カラー写真参照：NASAの地球観測衛星Aqua/Terra搭載のセンサ

MODISにより観測、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて受信、処理）。中国では、ここ数年では最大規模の砂嵐に見舞われた日もあり、死者が出るほどの被害となっている。

近年、2000年から2002年にかけて、黄砂現象の観測回数が過去30年間の最大値を3年連続で更新したことや、これまで観測の少なかった北日本や秋口にも観測されるなど、黄砂現象への社会的な関心が高まりつつある。

一方で、大気中に浮遊する黄砂は、直接的にも間接的にも地球の気候と深く関係していることが最近の研究により明らかにされつつ

ある。黄砂現象は発生域の自然災害という側面とともに、黄砂が輸送される地域の大気環境や地球規模の気候への影響という様々な側面をもった現象であることがわかってきた<sup>1)</sup>。黄砂は従来、自然現象と考えられていたが、中国等において被害が急激に拡大していることから、人為的な要因も大きく影響しているとの指摘もあり、より詳細な現象解明が求められている。しかし、現時点では、黄砂そのものの物理的、化学的な性質等について、十分な解明はなされていない。

## 2 黄砂現象とは

黄砂は、中国大陸内陸部のタクラマカン砂漠や黄土高原、中国からモンゴルにかけて広がるゴビ砂漠などの乾燥・半乾燥地域で、風によって数千メートルの高度にまで巻き上げられた土壌・鉱物粒子が偏西風に乗って拡散し、日本をはじめ東アジア、西太平洋地域などに飛来し、大気中に浮遊あるいは降下する現象である。

大陸の乾燥・半乾燥地域から風によって大気中に舞い上げられた黄砂は、発生源地域周辺の農業生産や生活環境に重大な被害を与え

るばかりでなく、大気中に浮遊することによって、黄砂粒子を核とした雲の発生や降水過程を通して地球全体の気候に影響を及ぼしている。また、海洋へも降下して、海洋表層のプランクトンへのミネラル分の供給を通して海洋の生態系にも大きな影響を与えている<sup>2)</sup> という説もあるが、その詳細についてはまだ明確にはなっていない。

黄砂現象は、黄河流域および砂漠等から風によって砂塵が運ばれてくる「自然現象」であると理解されてきたが、近年、その頻度と

被害が甚大化しており、急速に広がりがつつある過放牧や農地転換による耕地拡大なども黄砂現象の程度を左右する要因として指摘されてきている。黄砂は、単なる自然現象としてではなく、森林減少、土地の劣化、砂漠化といった人為的影響による環境問題<sup>2)</sup> としても再認識されつつある。

2 - 1

### 黄砂の定義

黄砂という単語は、日本および韓国では使われているが、中国

では一部の研究者を除いて、行政官庁および一般には使われていない<sup>4)</sup>。

図表1に示すように、日本の黄砂は、大気現象として大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂塵が飛揚し天空を覆った状況と大気現象に伴う視程の低下という現象で認識されている。韓国では大気中に浮遊する物質の濃度を基準として3段階に分類し黄砂警報等を発表しており、外出禁止が発令される場合もある。一方、中国では、「砂塵暴天気」として5段階に分類し、風の強さと視程距離による濃度が大きさを程度を表わす基準となっており、砂塵暴（嵐）被害

という認識がなされている。

2 - 2  
黄砂の発生の仕組み

黄砂の発生のメカニズムは、温帯低気圧活動に伴っており、高気圧から低気圧中心や前線帯へ向けての強風が吹いている地域で、砂塵の巻き上がりが盛んに起きることによって黄砂現象が始まる<sup>3)</sup> (図表2参照)。

黄砂現象の発生の有無や黄砂の飛散量は、強風の程度などの気象条件だけでなく、強風下にある地域の表面状態が大きな要因となる。地表面の状態とは、地形をは

じめ、地表の植生の有無、表面粗度や積雪の有無、土壌水分量、地表面の土壤粒径などであり、これらの条件によって飛散量は大きく左右される。日本の気象庁では、黄砂の発生、飛来する量は、①乾燥状況や植生、積雪など発生域の土壤の状態、②発生域における、砂塵を吹き上げる強風の有無、③偏西風の状態、の3点が主に影響するが、どの要素が優位に働くのかといった詳細なメカニズムはいまだ不明としている。

北東アジアを起源とする黄砂粒子は、いったん大気中に舞い上がると、偏西風により輸送され、比較的大きな粒子(直径10 $\mu$ m以上)

図表1 各国の「黄砂」の定義

■中国

視程	「黄砂」が見られる天気の呼称	用語	備考： <a href="http://www.weathercn.com/room/shuyu.jsp">http://www.weathercn.com/room/shuyu.jsp</a> (中国国家気象局「地面気象観測の手引き(2003)」)
10km以下	砂塵天気 砂塵暴天気	浮塵	大気中に浮遊している砂粒子あるいは土壌粒子で、水平視程を10km以下にさせる天気現象
1～10km		揚砂	風により地表砂塵が巻き上げられ、大気が混濁し、水平視程が1～10kmになる天気現象(別称：高吹砂塵)
1km以下		砂塵暴(嵐)	風により地表砂塵が大量に巻き上げられ、大気がかなり混濁し、水平視程が1km以下になる天気現象
500m以下		強砂塵暴(嵐)	大風(強い風)により地表砂塵が巻き上げられ、大気が非常に混濁し、水平視程が500m以下になる天気現象 (参考：大風は一般に風力8級(瞬間風速17.2m/s)以上)
50m以下		極強砂塵暴(嵐)	狂風(非常に強い風)により地表砂塵が大量に巻き上げられ、大気が非常に混濁し、水平視程が50m以下になる天気現象 (参考：狂風は一般に風力10級(瞬間風速24.5m/s)以上)

■韓国

粒径、濃度	「黄砂」が見られる天気の呼称	用語	備考：(韓国気象庁2002、Chu2004)
1～1000 $\mu$ m	ホンサ(黄砂)	砂	無風あるいは弱い風による一様な空中分布
1～10 $\mu$ m		ダスト、黄砂	粒径10 $\mu$ m：数時間～数日間浮遊 粒径1 $\mu$ m：数年間浮遊
		黄砂	主として春季に、アジア大陸のパダインジャラン、テンゲル、ムウス、フンジャンダーク、ケルチン、ゴビ地域及び黄土高原を含む乾燥・半乾燥地域から、砂塵が浮遊・降下し視程・大気質に影響を与える現象 目視の視程観測によって、レベル0、レベル1、レベル2の3段階 予報に当たっては黄砂濃度を利用。今後2時間にわたって時間平均が300 $\mu$ g/m <sup>3</sup> を超えると予想される場合には黄砂注意報を、500 $\mu$ g/m <sup>3</sup> を超える場合には黄砂警報を、1000 $\mu$ g/m <sup>3</sup> を超える場合には警告を出している

■日本

粒径・視程	「黄砂」が見られる天気の呼称	用語	備考：(気象庁2002)
	黄砂	黄砂	主として、大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂塵が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象。甚だしいときは天空が黄かっ色となり、太陽が著しく光輝を失い、雪面は色づき、地物の面には砂じんが積もったりすることもある。視程10km以下で気象台や測候所が目視により判断

参考文献<sup>3,4)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

は重力により速やかに落下するが、小さな粒子（直径数 $\mu\text{m}$ 以下）は上空の風に運ばれ遠くまで輸送される。東アジアで発生した黄砂は、北太平洋を横断し、北米大陸まで輸送されていることが、地球観測衛星から観測されており、さらに、北大西洋を越え、ヨーロッパアルプスまで達した事例も報告されている<sup>1)</sup>。

同様な現象は、土壌粒子が舞い上がる条件さえそろえば世界中の何処でも発生する可能性がある<sup>1)</sup>。黄砂と同様の現象は、世界の多くの地域で観察されており、特に大きな砂漠の周辺で見られる。世界には砂塵の多発地帯が4つあると言われており、中央アジ

ア、北米、アフリカ中部とオーストラリアである<sup>5)</sup>。なかでもアフリカのサハラ砂漠から南イタリアに吹く乾熱風「シロッコ」は大規模なもので、サハラの細粒物質を地中海地域に運び、赤い雨を降らせ、地中海沿岸一帯の赤土（テラロッサ）の母材になっている<sup>3)</sup>。

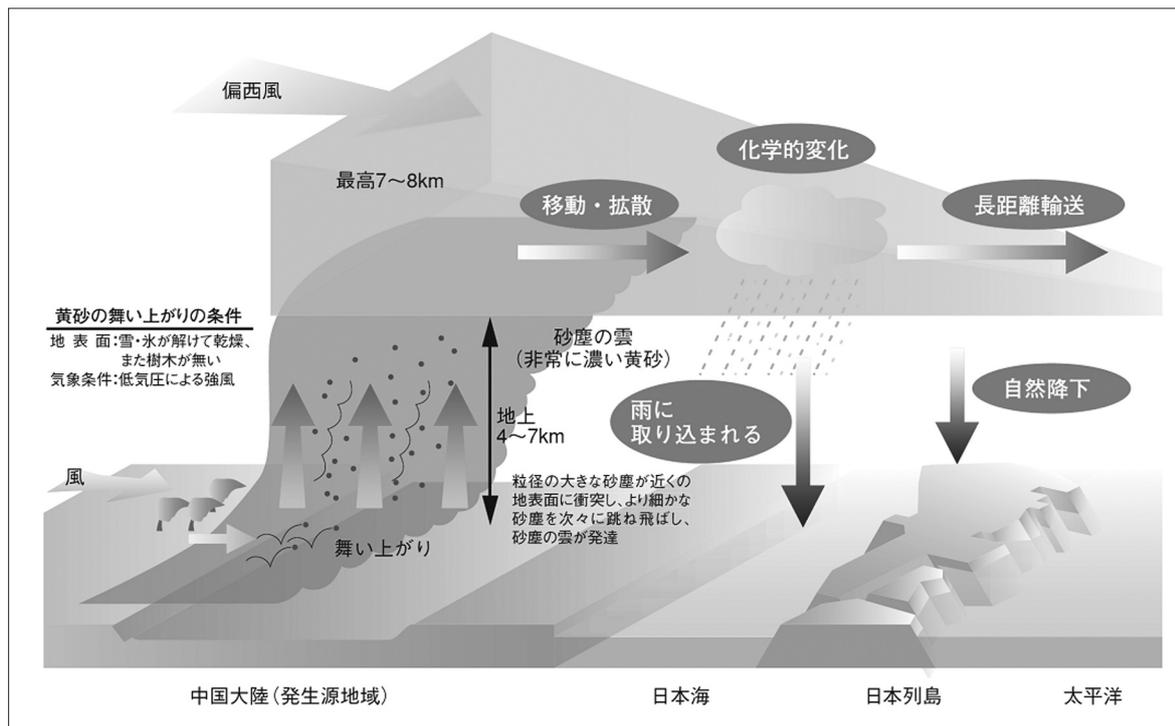
2 - 3

黄砂粒子の性質

大気中の黄砂粒子は、その多くは単純な鉱物粒子だけから成るのではなく、粘土鉱物の構成粒子が相互に凝集したもの、あるいは石英や長石などの粒度の粗い粒子の表面に粘土鉱物が付着した粒子から成るとされている<sup>3)</sup>。

日本上空に飛来する黄砂粒子の鉱物組成を調べると、主要鉱物として、石英や長石などの造岩鉱物や、雲母（イライト）、緑泥石、カオリナイトなどの粘土鉱物が多く含まれている。日本まで到達する黄砂の粒径の分布は、直径 $4\mu\text{m}$ 付近にピークを持っている<sup>2)</sup>。また、黄砂粒子の化学成分分析からは、土壌起源ではないと考えられるアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ )なども検出され、黄砂粒子が輸送途中で人為起源の大気汚染物質を取り込んでいる可能性<sup>2)</sup>も指摘されている。粒子表面は、極めて複雑なプロセスで形成されていると考えられるが、その多くは未解明である。

図表2 黄砂発生メカニズム



環境省「黄砂パンフレット」<sup>2)</sup>より抜粋

3 黄砂現象の影響

3 - 1 黄砂現象の発生頻度

黄砂は、年間を通して日本列島

に飛来しているが、一般的に3月～5月に多く観測される。

日本において、1967年から2006年5月31日までの目視による黄砂の観測回数の経年変化を見

ると（図表3参照）、1991年以降の観測回数は少なかったが、2000年～2002年には急激に増加している。日本全国の103地点での黄砂観測のべ日数の経年変化をみ

ると、1980年代後半まで年間300日を超えることは少なかったが、1988年以降は頻繁に300日を超えており、2000年～2002年の3年間は669日、759日、1,132日と特に多くなっている。今年も、5月末時点で既に600日を超えており、観測日数も40日を超えている。

黄砂発生頻度の変動のメカニズムについては、積雪、土壌水分、植生などの地表面条件の変化や大規模な大気循環場の変動など様々な視点からの研究がなされているが、現時点まではっきりとしたことはわかっていない<sup>1)</sup>。

3 - 2

黄砂現象に対する主な原因

中国北部で2006年の今春、黄砂現象が頻繁に発生した原因として中国国家林業局では以下を挙げている<sup>6)</sup>。①内蒙古自治区中部や新疆ウイグル自治区といった中国北部の砂漠地帯の多くの地域で、春先の気温が例年より1～2℃高かった。このため凍った土の融解が例年より早く、土壌から水分が一気に蒸発した。②昨年冬から今

年春にかけ、中国北部の砂漠地帯の大半の地区で降水量が例年より3～8割減少し、過去50年で2番目に雨が少なかった。このため表土が乾燥し、土壌に含まれる水分が減った。③例年より強いシベリア寒気が頻繁に砂漠地帯を通過し、また、モンゴル付近で発生した低気圧の影響で大量の砂が巻き上がり砂嵐が頻発した。すなわち中国では、天気の変化が主な原因とされている。

従来から、発生源地域のゴビ(中国およびモンゴルの砂礫砂漠)、黄土高原、河西回廊などの半乾燥地では冬季に降雨が少ないこと、および冬から早春まで植生がないこと<sup>3)</sup>が、土壌粒子の舞い上がりやすい条件とされている。黄砂が頻発する要因は、未だ多くの未解明な点があるものの、可能性とし

ては、中国北西部での過耕作、過放牧、過揚水による土地の劣化との関連性が考えられる。

3 - 3

黄砂がもたらす被害の大きさ

黄砂問題は、影響を受ける北東アジア地域の国々での共通した課題であるが、発生源からの距離が近いほど、その被害は大きい(図表4参照)。

①中国における砂塵暴天気がもたらす被害の事例

国内に発生域を抱える中国では、降塵現象というよりも強風を伴った砂塵嵐という気象災害として認識されている(図表1参照)。

近年では、1993年5月、中国北西部に発生した砂塵嵐が、人や家

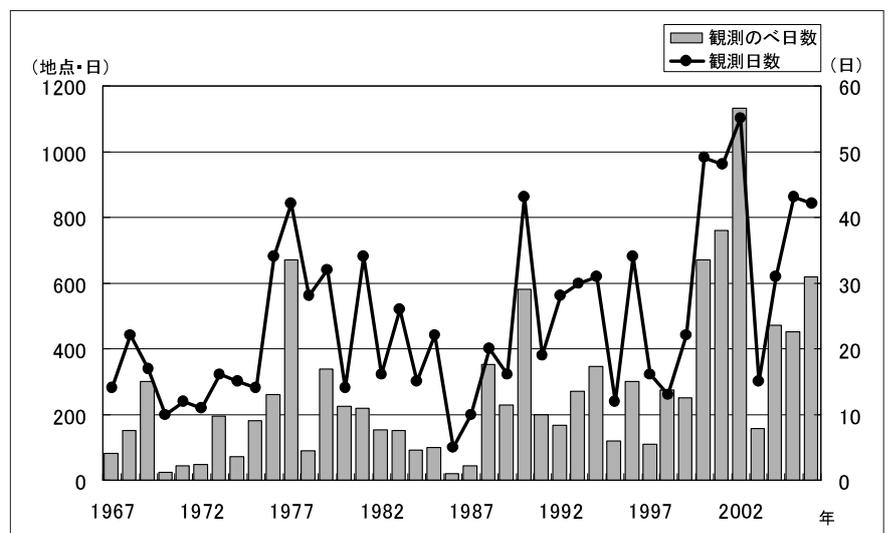
用語説明

注1

観測のべ日数：国内の各観測点で黄砂を観測した日数の合計(同じ日に5地点で観測した場合は5増える)。

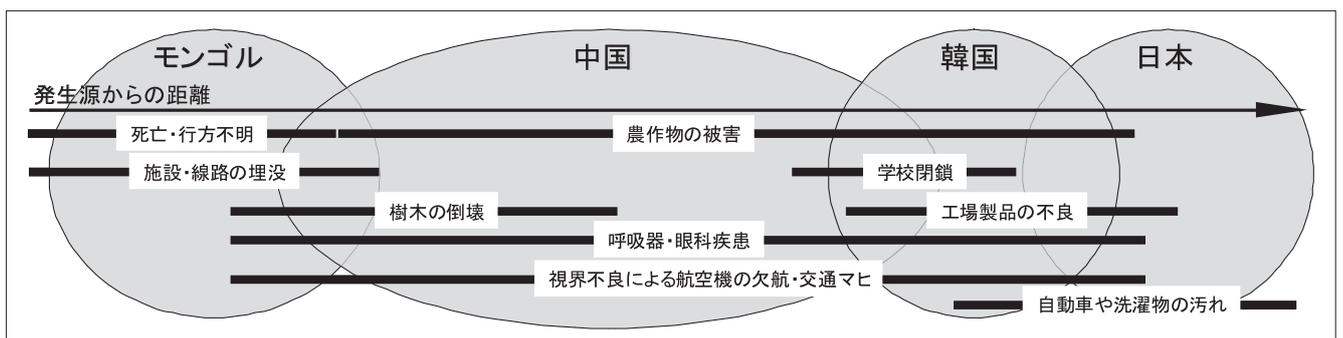
観測日数：国内の各観測点で黄砂を観測した日付の合計(複数地点で観測がある場合も1日と数える)

図表3 年別黄砂観測のべ日数および黄砂観測日数<sup>注1)</sup>



2006年5月31日現在の国内103地点での統計  
気象庁観測データを基に科学技術動向研究センターにて作成

図表4 各国の黄砂の被害状況



参考文献<sup>2)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

畜に対する被害としては最大であった。このときの被害の多くが、家屋の倒壊、線路の埋没、電柱や樹木の倒壊、耕地・果樹園の埋没といった農作物への被害などであった。

この砂塵嵐は、新疆ウイグル、甘肅、内モンゴル、寧夏の計4省・自治区、74市・盟に甚大な被害を与えた。甘肅省では瞬間最大風速34m/sを記録し、砂塵の壁は300mの高さに達し視程はほぼ0mとなった。この砂塵嵐により、交通・通信網が麻痺し、断水や停電が発生し、住宅・施設の崩壊・倒壊、農耕地への砂の堆積などがあった。中国林業省の当時の調査によると、この砂塵嵐により85人が死亡、264人が負傷し、373千haの農作物が被害を受け、12万頭の家畜が死亡・行方不明となった。これらの直接被害額は5.6億元（約73億円：1元＝13円として）と見積もられている。直接的被害に加え、砂丘が1～8m移動し、農地や牧草地に侵入してきた。さらに、吹き上げられた砂塵により周辺住民の健康影響もあったものと推定されている<sup>3)</sup>。

### ②韓国における黄砂の被害の事例

発生域に近い韓国では、黄砂現象の発生により大気中の浮遊粒子状物質の濃度がしばしば環境基準値を超え、黄砂現象は深刻な大気環境問題として認識されている<sup>1)</sup>。特に、2002年の大飛来時には、社会経済面に甚大な被害が報告された。ソウルでは2002年3月にPM10<sup>注2)</sup>の濃度が2,266 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を記録し、黄砂を原因として幼稚園、小中学校、高等学校計4,949校に開校以来はじめて、休校令が出された。また、視程の悪化により航空機が102便欠航し、精密機器工場は操業を見合わせ、病院では、呼吸器科、皮膚科、眼科に通院する患者が急増した。この2002年の黄砂により、韓国

図表5 黄砂の影響

分野	具体例
産業	工場の空調（特に精密機械）
輸送	視程の低下による運輸・交通（特に航空機）の輸送量低下ないしは一時的中止。道路が埋まる。水道・排水・給水設備への被害
学校	時には休校も（通学の安全確保や健康への配慮）
健康	呼吸困難による死亡や健康被害
建築	建物の埋没や倒壊、破損。送電線などへの被害
農業	羊などの家畜の死亡（オリに入れられているために逃げることができない）。あるいは、建物が崩壊したときに下敷きになる）果樹園、畑などへの被害。ビニールハウスへの被害
社会生活	室内空調の必要（外の空気が汚れているために室内の空気の浄化）照明の必要（昼間でも薄暗くなるために）
景観	独特の景観の出現。季節感
海洋	プランクトンへの栄養塩、ミネラルの供給
酸性雨	中和作用
地球温暖化	温暖化を加速するか寒冷化を促すか、場合による（研究がすすめられている）

参考文献<sup>4)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

では黄砂問題についての関心が一気に高まることとなり、黄砂に対応する法整備も行われた<sup>3)</sup>。

### ③日本における黄砂の被害の事例

日本における黄砂による被害は、浮遊粒子状物質による大気汚染、視程の悪化による飛行機の運行障害、自動車や洗濯物への黄砂粒子の付着などが主なものである<sup>3)</sup>。これまでのところ、農畜産物への被害報告は無いとされている。しかし最近では、農作物への被害も懸念されつつあり、黄砂は酸性雨を中和する可能性がある一方で、大気汚染物質を吸着し、輸送する媒体になっているとの指摘も出てきた。

3 - 4

## 黄砂に対する最近の関心

黄砂の環境影響は、規模の拡大や社会の進展とともに多様化している（図表5参照）。科学の発展に伴って最近注目されるようになったものもある。例えば、人の健康への影響等は、かつてはほとんど関心を集めなかったが、黄砂規模が拡大し、人口の多い都市域にも到達するようになり問題が表面

### ■用語説明■

注2

PM10：大気中に浮遊している粒子状物質のうち直径が10 $\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質の総量を示す言葉で、大気汚染、大気環境などの分野で広く使われている用語

化してきた<sup>3)</sup>。中国や韓国では人への健康影響が出始めていることもあって、関心が高まり研究が始まっているのに対して、日本では一般的に関心が低い。

### (1)黄砂の健康への影響

中国の医療専門家は、砂塵は人体の呼吸器系統に対して、最大の危害を与えるものであると報告している。砂塵粒子の鉱物成分のほか、砂塵の中に細菌、菌類、化学汚染物質などを含んでいる可能性があり、砂塵の中の微小粒子は肺の組織に侵入し、特に免疫力が弱い人は影響を受けやすい<sup>3)</sup>こともわかってきた。

また、韓国では、1995年～1998年の3月～5月の3ヶ月について、ソウルで黄砂が観測された期間と観測されなかった期間のヒトの死亡率を調べた結果、65歳以上の高齢者の死亡率が、黄砂が観測

された期間に増加し、特に心臓血管系疾患および気管支疾患が原因の死亡率が高くなったという疫学調査報告がある<sup>3)</sup>。

日本では黄砂による健康影響について疫学的調査報告や研究成果は少ない。しかし最近、マウスの気管内に黄砂を投与し、その病理学的な影響を調べた研究によると、黄砂は肺気道炎症を悪化させる傾向がある<sup>3)</sup>という報告がなされた。さらに、黄砂が花粉症や気管支ぜんそくなどのアレルギー症状を悪化させるといったこともマウス実験で確認され、健康への影響が注目され始めている。日本では黄砂の粒子が韓国と比べて細かいため肺に入りやすく、微量でも吸い込むと悪化する可能性が考えられる。

**(2)黄砂と酸性雨問題との関係**

黄砂が大気中の硫黄酸化物(SOx)や窒素酸化物(NOx)を吸着する可能性は以前から考えられていた<sup>4)</sup>。最近、中国から日本に飛来する黄砂粒子が、窒素酸化物や硫黄酸化物など酸性雨の原因となる大気汚染物質を多く吸着していることが観測により明らかにされつつある。あらかじめ中国大陸で採取した黄砂には、酸性雨の原因物質は含まれていないことがわかっており、中国から日本に飛来する途中で黄砂粒子が工場の煙や車の排ガスなど大気中の硫黄化合物と何らかの反応を起こして、酸性雨の原因となる汚染物質を吸着し、中和作用が働いている可能性が高い。つまり、この吸着作用により黄砂中のアルカリ成分が、酸性雨原因物質を中和し、環境への影響を緩和する役割を果たしているというポジティブな見方もある。

**(3)黄砂と海洋微生物生態との関係**

黄砂は、太平洋へのミネラル・栄養塩の供給という効果を持つ<sup>3)</sup>

という報告がある。黄砂粒子には鉄分をはじめ必須微量元素が含まれているため、海洋表面に降下した黄砂は、海洋表層の植物プランクトンの栄養塩として働き、プランクトンの増殖をコントロールする因子となりうる。海洋表層の植物プランクトンは、大気と海洋の間の炭素循環を担う主要な要素であり、またプランクトンから発生するDMS(ジメチルサルファイド)は海洋上の雲の形成に関係している。このように海洋に降下する黄砂は、間接的に放射強制力の変動に大きな役割を果たしているとも考えられている。こうした関係を明らかにするため、国際的な研究計画(SOLAS: Surface Ocean - Lower Atmosphere Study)も開始され、黄砂が海洋への栄養塩供給を通じて気候系に与える影響の評価が進められつつある<sup>1)</sup>。

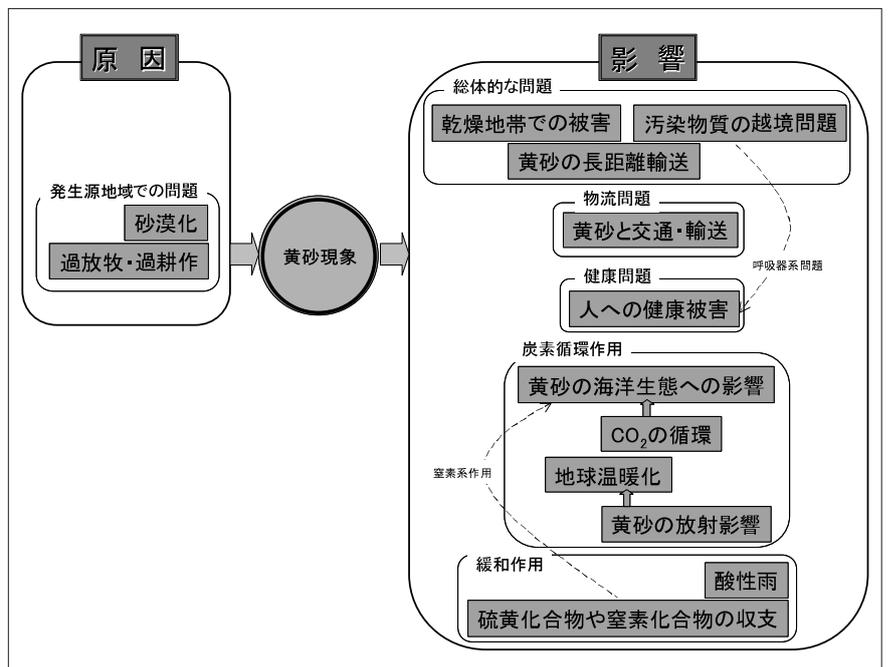
**(4)地球規模の環境問題との関係**

黄砂は近年、地球環境問題の一つとして注目を集めるようになってきている。地球環境問題として取り上げられるようになった理由としては、黄砂粒子が太陽光

を散乱したり吸収したりする効果が、地球の気温に影響を及ぼす重要な要因の一つではないかと考えられるようになってきたためである。黄砂が太陽放射に与える影響は、地球の環境や気候を揺るがすほどのものなのか正確なことはわかっていない<sup>4)</sup>。しかし、黄砂現象は地球環境問題と、様々なプロセスを通して関連しているのではないかと考えられている(図表6参照)。

例えば、大気中の黄砂粒子は、日射と赤外放射の吸収と散乱過程を通して、地球の大気を加熱あるいは冷却する効果(放射強制力直接効果)がある。また、大気上層の黄砂粒子が氷晶核となり絹雲の生成に関係することや、長距離輸送される黄砂粒子の人為起源粒子との混合により雲の雲核となる役割(放射強制力間接効果)が注目され始めている。加熱と冷却のどちらになるかは、大気中の黄砂の粒径ごとの鉛直分布、黄砂粒子の光学特性(散乱と吸収の特性)、あるいは地表面のアルベド(反射率)などによって決まる<sup>1)</sup>と考えられている。しかし現時点では、

図表6 地球環境問題における黄砂



参考文献<sup>4)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

黄砂が全体として地球温暖化を加速するのか、逆に地球を寒冷化させる効果を持つのかははっきりしていない。

黄砂の原因は未解明な点が多くあるが、中国北西部の土地の劣化との関連性も指摘されている。近年、大陸の中国北西部では、少雨と高温が原因で急速に砂漠化が進んでおり、これを発生源として、

大規模な黄砂現象が起きやすくなっているのではないかと考えられている。このため、黄砂は単なる季節的な気象現象から、森林減少、土地の劣化、砂漠化といった環境問題<sup>3)</sup>の一つであるとの認識が日本でも高まっている。

特に、2006年の日本への大量飛来原因の一つは、中国内陸部の高温少雨ではないかと考えられて

いる。気象庁によると、中国東部や中央アジアでは3月の平均気温が平年に比べて高く異常高温となり、高気圧に覆われ晴れて降水量も少なかった。中国内陸部が乾燥している上に、2006年は偏西風の蛇行により日本に黄砂が降りやすい条件となっていたためと見られる。

## 4 黄砂現象への対策

4-1

### 黄砂の社会問題化

黄砂問題は、影響を受ける国々では共通の課題であるものの、国によって認識の程度は異なる。中国では、死者が出るほどの重大な被害が出ており、また、土地劣化や砂漠化の問題として強く認識されている。日本の場合、国民レベルでは、視程の悪化、自動車や洗濯物への付着程度であるが、研究者レベルでは、大気汚染の一種としての認識が強い。韓国は、日本と同様、国内に発生源を持たないものの、黄砂の捉え方は日本とは異なり、特に2002年の大飛来時に大きな経済損失を蒙った経験から、黄砂の気象災害としての側面が注目されている。また、モンゴルにおいては、砂の移動が直接地域住民の生活基盤を脅かしている。このように、各国で異なった社会問題が発生している。

4-2

### 黄砂対策

黄砂対策は、発生源地域における対策と影響地域における対策<sup>3)</sup>とに分けて考えられる。

発生源地域は、黄砂が発生する地域とその周辺で、黄砂など

による直接的な影響を受ける地域であり、中国内陸部とモンゴルが対象である。さらに、発生源地域は、発生防止対策が実施可能な地域（人為的影響によって環境が劣化した地域）と、技術的、経済的に見て対策の実施可能性が低い地域（乾燥・極乾燥気候の砂漠地帯）とに分けられる<sup>3)</sup>。

一方、影響地域は、発生源からは距離があるものの黄砂の影響を受け、その影響は中長期的な気候や環境の変化を通して顕在化すると考えられる地域であり、日本、韓国、中国沿岸部が主な対象地域である<sup>3)</sup>。

また、黄砂対策には、短期的な対策である予報・警報と、長期的な対策である発生源地域の生態系の保全などが考えられる。制御・予防しようとする対象（風速、土壤水分、植被率等）、目的により、効果的な対策は大きく異なる<sup>3)</sup>。そのため、優先度を考慮して短期・中長期的に行うべき対策内容を判断し、計画的に進めていくことが重要である。

#### (1)発生源地域での対策

発生源地域においては、まず、砂塵の舞い上がりを減らすために、黄砂の発生を抑制する植生保全や土地利用の変更など、長期的な観点から実施される対策が重要

である。中国では、現在、黄砂の主な発生源と考えられている地域で、技術による対策と、自然の生態系を保護し樹木や草などの植生の自然な回復を促すことで、砂地を覆う植物を保護する。さらに、燃料として薪の行き過ぎた伐採、放牧、開墾を厳しく禁止する法執行を強化する<sup>7)</sup>。といった対策が取られている。

発生源地域での具体的対策を図表7にまとめる。

一方、黄砂現象は、砂漠化が進む以前の太古からの気象現象として発生していたとされており、地球の大気候区分における砂漠から発生する黄砂に対する防除手段は無い。したがって、黄砂対策を実施する発生源地域とは、乾燥気候の砂漠周辺で新たに土壤の劣化や植生の減少によって飛砂の発生源となっている地域および砂漠化が進行している地域である。黄砂現象は、必ずしも砂漠化のみが発生要因ではないため、全ての対策が応用可能とは限らない。しかし、砂漠化と黄砂の因果関係はまだ未解明な点が多いため、今後、黄砂の発生源対策を検討するに当たって、まずは、これまで砂漠化対策として行われてきた手法が基本となるものと考えられる。

図表7 発生源地域での主な対策

対策	項目	内容
土地被覆状況の改善・復旧	再植林・植草	劣化した土地の再植林・植草を通した裸地の減少
	耕作作物の変更	春の耕起による地表面軟弱化の防止(多年生作物の栽培等)
風による侵食・砂の移動の緩和	防風林帯の形成	防風効果の高い樹種を適正な間隔で植樹
	草方格	麦わらなどを格子状に砂中に差し込む草方格による地表面風速の減退
	砂丘の固定	ほふく性の植物による砂丘の移動の抑制
人為的な影響の緩和	土地の囲い込み	劣化した土地をフェンスで囲い込み、家畜・人間の草地への立ち入り制限(禁牧)による植性回復
	伐採・開墾の禁止、家畜頭数の制限	法制度的な伐採・開墾の禁止
	エネルギーの有効利用、新エネルギーの採用等	燃料としての木材の伐採を防止するための、かまどの熱効率・住宅の断熱効率の改善
	生態移民	劣化した土地からの移転補助
土地の環境容量の改善	施肥	家畜の堆肥などの施肥による土地の生産力向上
	水管理、節水技術	水管理や節水技術の導入による水の効率的な利用
	人工降雨	降雨量を増加

参考文献<sup>2,3)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

(2)影響地域での対策

影響地域では、黄砂による被害を低減させることが目的となる。まず、黄砂の予報や警報を行うことが重要であり、国によって情報の内容は異なる。現在日本では「黄砂情報」、韓国では「黄砂予報」、中国では「砂塵暴天気予報」がそれぞれ出されている。

①中国の砂塵暴天気予報<sup>3)</sup>

砂塵暴天気予報は、現在は衛星からの画像により砂塵の動きを観測することによって行っている。このため、翌日の予報のみを行っている状況である。現在、中国の砂塵天気予報は、予報の精度や期間により、現状と警報、極短期予報と警報、短期予報と警報、中期予報、季節予想の5種類より成る。

②韓国の黄砂予報<sup>3)</sup>

2002年4月から黄砂予報を実施している。黄砂予報を行うために、韓国気象局が黄砂発源地域

上空のダストと気象衛星の映像を分析し、水平分布を監視している。これに加え空気の流れの予測と気圧配置を基に、韓国上空への黄砂の通過や黄砂の沈着を予測している。予報では、韓国環境部と韓国気象局がモニタリングしている10 $\mu$ m以下の粒子状物質濃度の連続測定データを、リアルタイム(5分間隔)で共有できるデータ転送システムを通して利用し、韓国気象局にある気象情報システム上の黄砂予報・警報システムを用いている(図表1参照)。

③日本の黄砂情報

気象庁では、2004年1月から黄砂に関する情報の発表を開始した。黄砂現象によって交通機関などへの影響が予測される場合や、広い範囲で日常生活に影響を及ぼすことが予想される場合には、「黄砂に関する気象情報」などの各種気象情報で発表している<sup>1)</sup>。また、気象庁ホームページ<sup>8)</sup>上に日本周

辺の黄砂現象の観測地点の分布図(黄砂観測実況図)と予測モデルによる黄砂分布の予測図(黄砂予測図)を掲載している。



4-3 黄砂のモニタリングネットワーク

黄砂の発生をいち早くとらえ、その発達状況や移動状況を把握するために、中国大陸北西部から日本列島に至る広い範囲で、国際的な黄砂モニタリングネットワークの整備が始められている。具体的には、10 $\mu$ m以下の粒子状物質濃度、視程(目視可能距離)、およびライダーといった3種類の測定機器を適切に配置し、観測データを関係機関に送ることにより黄砂を確実に、また正確にモニタリングする<sup>2)</sup>ことが重要視されている。

黄砂の発生・輸送は、地域の気象、地勢・地質、土地利用などの複合的な要因によるものであり、その発生メカニズムや輸送プロセスに関する研究が現在進められている<sup>3)</sup>。しかし、現状では個々の黄砂現象の発源地域を正確に特定することすら困難である。そこでまず、黄砂発源地域および黄砂輸送ルートにおける、大気、地表、植生、人間活動などに関するモニタリングデータ<sup>3)</sup>を収集整理する必要がある。また、黄砂現象をもたらす粒子の物理的性状(粒径分布、粒子の形状、表面構造等)や化学的性状(化学組成、鉱物組成、吸着・付着した物質等)<sup>3)</sup>の分析を進め、より多くのデータを収集する必要がある。

研究手法としては、大きく分けて以下の2点が考えられる。

①黄砂モニタリング

現在、黄砂現象の解明および今後の予測を目的として様々なモニ

タリング手法がある。具体的には、リモートセンシングのような連続計測と、黄砂粒子を実際にサンプリングした後、計測・分析するバッチ計測がある。連続計測では主として光学特性や物理的性状が、バッチ計測では主として化学的性状が把握できる<sup>3)</sup> (図表8参照)。

黄砂モニタリングで用いられるリモートセンシングにはライダーと衛星観測等がある。

ライダー (LIDAR: Light Detection And Ranging) は、電磁波の代わりにレーザー光を用いたレーダーで、上空を通過する黄砂を地上で計測が可能なりモートセンシング機器の一種である。地上から放射したレーザー光が空中の微粒子によって散乱される状況を観測するもので、黄砂の垂直方向の濃度分布や、その時間的な変化を知ることができ、黄砂の立体的な構造や輸送状況に関する情報を提供する。また、偏光レーザーを用いる

ことにより、黄砂粒子の形状と一般の大気汚染物質との判別が可能となる。ライダーは、雲や濃い砂塵がある場合を除き、対流圏内の観測点上空を通過する全ての黄砂を、リアルタイムに無人で連続観測できる特徴がある<sup>2)</sup>。

地上ステーションにおける黄砂モニタリングのほかに、飛行機やヘリコプター、気球 (バルーン)、船舶、山岳といった様々なプラットフォームを用いた黄砂モニタリングが行われている。また、黄砂の発生源地域の気象情報や地表面情報として、発生源気象モニタリング、地表面や地下水モニタリングが行われており、これらに加えて、現地調査や社会調査も行われている。

②黄砂輸送モデル

黄砂の発生・輸送を予測し、黄砂の飛来を予報するためには、黄砂輸送モデルによるシミュレーション

が必要となる。近年、黄砂現象は自然現象であると同時に、人為的な影響も受けてその発生頻度が増加していると言われている。そのような複合要因を判別するためにも、黄砂輸送モデルは有益な情報である。黄砂の飛来に関する輸送モデルは、基本的に気象モデルと発生源モデル、移流拡散モデル (場合により沈着モデル) から成っている<sup>3)</sup>。結果は、気象情報に利用されるほか、発生源の推定や将来の気候変動への影響の予測などの目的にも利用されている。

主な黄砂輸送モデルとしては、気象研究所の黄砂輸送モデル (MASINGAR: Model of Aerosol Species in the Global Atmosphere) と九州大学の黄砂輸送モデルなどがある。

MASINGAR は、気象研究所と気象庁で共同開発された全球モデル (MRI/JMA98) に黄砂の放出、輸送、消失過程を組み込んでおり、

図表8 主な黄砂モニタリング手法の概要

		手 法	測定対象
連続計測	光学特性観測	ライダー	●黄砂の高度分布: 黄砂現象の立体的な構造や輸送状況に関する大気動態情報を提供。 ●他起源エアロゾルも同時計測。
		衛星観測	●エアロゾルの光学的厚さ、アルベド、土地被覆状況 (NDVI) 等。
		日射計、放射計類	●太陽からの日射量。地表面・大気中からの赤外線放射量。
		ネフェロメーター、エアロゾル吸光計	●ダストの方位別散乱状況。 ●ダストの吸収係数。
	物理特性計測	質量濃度計、パーティクルカウンター	●エアロゾルの質量濃度・粒径分布。
	化学特性計測	エアロゾル TOF/MS アナライザー	●エアロゾル中のイオン化できる化学成分。
	視程観測	視程距離計	●視程 (地表付近の大気の混濁の程度)。
バッチ計測	サンプリング観測	アンダーセンサンプラー	●ダスト量、粒径分布。 ●捕集試料は、元素分析・鉍物種測定に使用。 ●直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。
		ハイボリウムサンプラー	●ダスト量。微量物質を分析下限値以上にサンプリングする場合に用いられる。 ●捕集試料は、元素分析・鉍物種測定に使用。 ●直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。
		ローボリウムサンプラー	●ダスト量。浮遊ダスト量の長時間平均値を調査するために用いられる。 ●捕集試料は、元素分析・鉍物種測定に使用。 ●直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。
		個々の粒子観測のための各種インパクター	●ダスト粒子の形状・表面状態・サイズ。 ●化学組成 ●鉍物組成
目視観測		気象官署のルーチン観測	●黄砂発生の有無。黄砂の大きさ・強さ。

参考文献<sup>3)</sup> を基に科学技術動向研究センターにて作成

モデルの水平解像度は約 110km、鉛直解像度は 30 層（地表～約 23km）で、粒径 0.1 $\mu\text{m}$ ～10 $\mu\text{m}$  の黄砂を 10 段階に分割している。これらの成果を活用して、2004 年 1 月から気象庁の黄砂現象に関する情報提供に利用されている<sup>1)</sup>。

一方、九州大学で構築された黄砂飛来の予測モデルは、気象モデルに地域気象モデル (RAMS: 米国コロラド州立大学) などを用いて開発されている。そのため、鉛直方向の格子間隔が細かく、大気境界層を詳細に扱うことが可能なため、大気汚染等の予測で広く用いられている<sup>3)</sup>。

4 - 4

## 黄砂対策のための国内外の体制づくりと基盤整備

### (1) 日本国内における体制・基盤

現在、環境省はじめ気象庁、農林水産省、林野庁など関係する省庁による様々な施策が実施されているほか、様々な研究所や大学において、黄砂に関するモニタリング、モデル、発生源対策等をテーマにした研究が進められている。

黄砂問題に関する各種施策について、関係省庁の緊密な連携を図り、これを着実に推進するために 2005 年 2 月に黄砂対策に関する関係省庁連絡会議が設置された<sup>3)</sup>。連絡会議は、外務省、文部科学省、農林水産省、林野庁、気象庁、環境省で構成されている。現在、環境省は黄砂現象の実態解明のための調査を、気象庁では黄砂に関する気象情報の発表を行っている。また、農林水産省は、持続的な農業・農村開発を通じた黄砂発生源対策に関する基礎調査を、林野庁は発生源地域の植生劣化や回復に関する調査をそれぞれ実施している<sup>3)</sup>。今後は、黄砂の気象・気候学的な研究や発生源地域の土地の劣化調査、黄砂粒子の化学組成・鉱物組成に関する研究、

黄砂粒子表面の反応に関する研究といった様々な研究を行っている、日本国内の各研究所や大学と、より有機的な協力・連携を持つ必要がある。

### (2) 国際協力体制

黄砂は、国境を超えた環境問題であることから、効果的な調査・対策を実施するためには、中国、韓国、モンゴルといった関係各国や国際機関との協力、協調が重要である。特に、日本国内は黄砂発生源地域ではないため、発生源情報の収集や対策の実施に関しては、国際連携による共同作業が不可欠である。

#### ① ADB-GEF 黄砂対策プロジェクト

2003 年から 2005 年 3 月にかけて、ADB-GEF 黄砂対策プロジェクトが実施された。これは、地球環境ファシリテーター (GEF) における予備的調査の一つとして、国連環境計画 (UNEP)、国連アジア太平洋経済社会委員会 (UNESCAP)、国連砂漠化対処条約事務局 (UNCCD)、アジア開発銀行 (ADB) の 4 国際機関と日本、中国、韓国、モンゴルの 4 ヶ国により行われた共同プロジェクトである<sup>2)</sup>。GEF および ADB の資金を活用し、黄砂関連情報の収集評価や黄砂対策マスタープランが作成された。このプロジェクトには、GEF の中規模プロジェクトから 50 万ドル、ADB の技術協力資金から 50 万ドルの計 100 万ドルが準備された<sup>3)</sup>。

#### ② 日中韓三ヶ国環境大臣会合<sup>3)</sup>

2001 年 4 月に東京で開催された第 3 回日中韓三ヶ国環境大臣会合 (TEMM) において、黄砂についての解決策を見出すために、系統的な研究協力を推進することについて認識が共有され、第 4 回会合 (2002 年 4 月ソウル) において、三ヶ国が協力して黄砂モニタリ

ングの強化や国際機関との連携強化を図ることが合意されている。さらに、第 5 回会合 (2003 年 12 月北京) では、黄砂対策に向けての地域協力の重要性を再認識し、具体的な取組みについては、ADB-GEF 黄砂対策プロジェクトの成果を適切に踏まえるべきとの認識を共有した。特に、黄砂のモニタリングおよび早期警報システムについては、できるだけ早期に関係各国において検討することが必要とされた。2004 年 12 月 (第 6 回会合) には、日中韓三ヶ国の環境大臣にモンゴル自然環境大臣および ADB-GEF 黄砂対策プロジェクトを実施している 4 国際機関を加え、関係 4 ヶ国間による初の黄砂問題に関する閣僚級会合が東京で行なわれた。黄砂に関する技術的問題を検討するための、専門家のネットワークの立ち上げが必要であるとの見解を共有した。

#### ③ 二国間協力<sup>3)</sup>

1996 年から日中友好環境保全センターと日本の独立行政法人国立環境研究所との協力プロジェクトが実施され、砂漠地帯・乾燥地帯での現地調査、黄砂標準試料の作成、黄砂の粒径分布、モニタリングネットワークの構想、黄砂計測方法等の研究を行った。現在も、黄砂の輸送経路、輸送方式および黄砂発生量、特定地域の大気中の粒子状物質濃度への黄砂の寄与率、黄砂防止に関する提案作りなどの研究が続けられている。

また、2000 年より日中共同 ADEC (Aeolian Dust Experiment on Climate impact) プロジェクトが、風送ダスト<sup>注 3)</sup>の気候への影響を調査する目的で実施された。日本側は気象研究所が中心となり、中

### ■ 用語説明 ■

注 3  
風送ダスト：大気中に浮遊し、輸送される粒子状物質

国側は中国科学院傘下の研究所が中心となって研究協力が行われた。地球規模のスケールのダストモデルを用いて、風送ダストの大気中への供給量、大気中での三次元的分布、地表面に沈着するダスト量などを予測し、放射強制力の直接効果を評価した。

モンゴルと日本の間では、日本の独立行政法人国立環境研究所が中心となって、モンゴル自然環境省の気象観測所に対し、ライダーによる黄砂観測のための協力を行っている。

また、韓国と中国との間では、黄砂の共同観測として、中国国内

に黄砂観測ステーションやモニタリング地点を設置し、韓国に観測データの提供が行われている。また、韓国の支援による中国西部における植林や草原の再生活動といった植林プロジェクトが進められている。

## 5 今後の黄砂対策への取組み

黄砂が環境や産業などに与える短期的かつ直接的な影響は比較的明らかになっているが、気候変動に関連するような長期的影響や黄砂の物質循環に関連する環境科学的影響（酸性雨の中和や栄養塩類の輸送等）についてはまだ明らかでない部分が多い。特に、他の現象との複合効果・影響（黄砂粒子が大気汚染物質を吸着し輸送する現象等）についてはほとんど解明されていない<sup>3)</sup>。そのため、今後、日本の黄砂問題に対する取組みとして、現象の解明、モニタリング、対策等が基本戦略として重要となってくる。

### (1)黄砂対策のための国内外の

#### 連携・協力体制の構築と基盤整備

黄砂対策の効率的な推進のためには、まず、日本国内では、省庁間の連携を進めることが重要である。特に、2005年2月に設置された、前述の黄砂対策に関する関係省庁連絡会議の機能を充実させていくことが必要である。一方、黄砂に関する研究は、大学などの研究機関で取組まれてきたが、それらの知見がまだ政策に十分に活かされていない。行政側から黄砂研究を行っている研究機関へのアプローチの一つとして、行政ニーズの明確な提示が必要である。さらに、研究者側からの技術的アドバイスや国際協力促進に有用な知見を、行政機関にいち早くインプットできる協調体制を構築すること

も不可欠である<sup>3)</sup>。今後、行政と研究機関との情報交換を頻繁に行い、緊密な連携を取ることが必要である。

黄砂は、越境環境問題であることから、関係各国の協調・協力も不可欠である。特に、発生源対策および黄砂予報に有効なモニタリングを行うためには、多国間連携が必要となる。各機関が所有している黄砂関連データの共有化を図り、黄砂モニタリングネットワークを確立し、各国の効果的な黄砂対策に資することが国際協調を促進すると考えられる。さらに、ネットワークの整備に当たっては、モニタリング機器の選定、配備や、得られる情報のリアルタイムでの共有化技術の開発を戦略的に進めることが必要である<sup>3)</sup>。

その一方で、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)<sup>9)</sup> や地球観測ネットワーク<sup>10)</sup> など、黄砂対策と相互に関連する可能性のある既存の取組みや枠組みと、相補的にかつ重複を避けた形で、それぞれが効果的に事業を進めていけるような連携を考えていくことも重要である。

黄砂関係の人的な交流や人材の育成などは、現状、国によって大きく異なっている。まずは、各国の能力向上が必要である。特に、黄砂発生源地域の住民や地方公共団体の技術者などを対象に、黄砂問題に関する基礎的な知識の習得や普及を図ることが、黄砂対策を

効果的に進める上では最も重要である。しかし、発生源対策を行うには、発源地域の判別、対策効果の経済的評価、土地劣化を防止する社会形態や産業構造など、多方面からのアプローチが必要となる。このため、専門家から現地住民まで多くの関係者の協同・協力が不可欠であり、国際的な人的交流が極めて重要になる。

### (2)効率的な調査・研究の推進

黄砂対策は、直接的・間接的効果を定量的に把握することが容易ではないため、科学的に未解明な部分が多い。特に、黄砂現象はリアルタイムでの情報収集が重要であり、必要とされる情報は、気象データ、地表面データ、化学組成等多岐に渡り、その情報の収集、所有も複数の機関にまたがっている。そのため、各国の研究機関が個別に所有している黄砂関連データの共有化や共同研究などによって、効果的な黄砂対策を図っていくことが重要である。また、黄砂対策には、目的に応じて、短期的・一時的な対策と、長期的・恒常的な対策が考えられる。対策手法の選定に当たっては、それぞれの土地の条件に適合したものが求められる。特に、黄砂発源地域における抑制対策は喫緊の問題であり、早急な対応が必要である。

### (3)社会・経済の視点からの検討

短期的・中期的には、農地への

被害など発生源地域および影響地域での一次的な影響とその対策に注力される傾向が強いが、一次的な影響がどのような二次的・副次的な影響を惹起するかについても注目すべきである。今後、北東アジアの生産活動が活発化していくにしたがって、黄砂現象と社会・経済との関係が現在よりも密接になってくることが予想される。そのため、黄砂現象による経済活動や生産活動への影響評価に目を向けていく必要がある。近年、半導体産業のように高度の清浄環境を必要とする工場施設において、黄砂発生時期に不良品率の増加やフィルターが目詰まりなどが発生している<sup>3)</sup>。また、韓国などでは精密機器工場の操業を止めざるをえないような事態も出てきている。一方、黄砂と気候変動との関係では、長距離移動を行う微細粒子が気候に及ぼす影響も考えられている。今後の取組みとしては、まずは気候、環境、健康影響、産業等にカテゴリーを明確に分け、次にこれらの複合影響や複合対策効果などを評価・検討していくことが

必要である。

## 謝 辞

本稿をまとめるに当たり、金沢大学 工学部土木建築工学科 自然計測応用研究センターの岩坂泰信教授、気象庁 地球環境・海洋部 環境気象管理官付の本田耕平調査官のご意見を参考にさせていただきました。ここに深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 気象庁 (2005) : 「近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—」 (通称: 異常気象レポート 2005) : [http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/climate\\_change/2005/index2.html](http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/climate_change/2005/index2.html)
- 2) 環境省「黄砂パンフレット」: <http://www.env.go.jp/earth/dss/pamph/pdf/full.pdf>
- 3) 黄砂問題検討会 (2005) : 「黄砂問題検討会報告書」: <http://www.env.go.jp/earth/dss/report/02/index.html>
- 4) 岩坂泰信 (2006) : 「黄砂 その

- 謎を追う」紀伊國屋書店
- 5) チャイナネット (2006) : 今年の黄砂はなぜ深刻か(2) 表土の露出減少を 2006年4月19日: <http://www.china.com.cn/japanese/233231.htm>
- 6) チャイナネット (2006) : 今年の黄砂はなぜ深刻か(1) 冬場の干ばつ、砂漠化 2006年4月19日: <http://www.china.com.cn/japanese/233224.htm>
- 7) チャイナネット (2006) : 今年の黄砂はなぜ深刻か(3) 生態保全と貧困対策を 2006年4月20日: <http://www.china.com.cn/japanese/233982.htm>
- 8) 気象庁・黄砂情報ページ: <http://www.jma.go.jp/jp/kosa/index.html>
- 9) 福島宏和 (2005) : 「東アジアにおける大気汚染物質モニタリングについて—アジアの環境先進国としての我が国の展開—」科学技術動向 No.52
- 10) 辻野照久 (2005) : 「利用ニーズ主導の統合された地球観測システムの構築」科学技術動向 No.54

## 執 筆 者



環境・エネルギーユニット  
山本 桂香  
科学技術動向研究センター  
<http://www.nistep.go.jp>

●  
行政機関や企業の地球環境問題に関する取組みに従事。気候変動に伴う影響検出の研究も実施。現在気候変動に伴う科学技術政策に関心がある。品川区環境活動推進会議委員。その縁から環境問題を通じたサイエンスコミュニケーションにも興味を持つ。

# 中国の直面する環境・エネルギー問題と 日中技術協力の可能性

前田 征児

環境・エネルギーユニット

## 1 はじめに

中国では、2006年3月、全国人民代表会議（全人代）にて第11次五ヵ年計画（十一・五計画）が採択された。従来、中国のエネルギー政策は経済発展およびエネルギー生産拡大を最優先課題としていたが、十一・五計画では資源節約型社会構築を主要目的としており、大きく方針転換している<sup>1, 2)</sup>。これまでの日中間エネルギー協力は政府開発援助（ODA）による

エネルギー輸送インフラ整備や資源開発等、供給に重点がおかれたものであったが、上記方針転換を受け、省エネ・環境分野において、新たな協力関係構築への機運が急速に高まってきている。

このような背景のもと、両国政府（日本・経済産業省・財団法人日中経済協会及び中国・国家発展改革委員会、商務部、中国大使館）共催により「日中省エネルギー・

環境総合フォーラム（以下「日中省エネフォーラム」）」が2006年5月29日（月）から31日（水）に東京にて開催された<sup>3)</sup>。

本レポートでは、中国の直面する環境・エネルギー問題の現状と課題を整理し、日中省エネフォーラムでの議論も踏まえて、今後の日中技術協力の可能性について取りまとめる。

## 2 中国の環境・エネルギー問題の現状と政策動向

### (1) 中国の環境・エネルギー問題の現状<sup>3)</sup>

急速な経済発展をとげる中国では、エネルギー大量消費が深刻な問題となっており、一次エネルギー総需要は2005年には日本の約3倍に達している。今後の需要も一貫して拡大し続け、2030年には米国を抜いて世界一のエネルギー消費国になると予測されている。現在の電力需要は世界第二位であるが、九州全体の年間電力需要に相当する約140TWhもの電力需要が毎年増加し、今後20年間にわたり著しく拡大し続けると予想されている。

化石エネルギーの大量消費は、すでに深刻な環境およびエネルギー問題をまねいており、「先進国

で100年間に生じた課題が、わずか20年間に集中している（国家環境保護総局李新民副司長）」と言われている。

中国が今後も引き続き経済の安定成長を維持するには、環境保護、資源節約、社会調和が不可欠であるとの強い認識から、中国政府は様々な政策的な対応を行おうとしている（図表1）。

### (2) 第11次五ヵ年計画（十一・五計画）における環境・エネルギー政策<sup>1~3, 5)</sup>

従来、中国のエネルギー政策は、経済発展のためにエネルギー生産を拡大することを最優先課題としていたが、十一・五計画ではGDP成長率7.5%を維持しつつ、同時に資源節約型社会構築を重要

な目的とするように大きく方針転換している。内容を図表2にまとめる。先の十・五計画には無かった点として、エネルギー消費原単位20%低下など、省エネ型社会構築に向けた具体的な数値目標化が挙げられる。

環境・エネルギーに関する重点方針は、①省エネルギーを優先、②石炭を中心とした国産エネルギー供給に立脚、③エネルギー源の多様化、④需給構造の最適化、⑤原子力・再生可能エネルギーの積極導入、となっている。

中国政府の主要なエネルギー関連研究機関である国家発展改革委員会エネルギー研究所は、具体的な数値的根拠に基づき、十一・五計画の省エネルギー目標は実現可能な範囲であると報告している<sup>3)</sup>。

図表1 中国の環境・エネルギー問題の状況と政策対応

課題	状況	政策対応
急増するエネルギー需要に対する安定供給の実現	<ul style="list-style-type: none"> <li>一次エネルギー総需要見通し： 1,426百万石油換算t (2003年) ⇒2,539百万石油換算t (2030年) 〈参考：日本517百万石油換算t (2002年)、 米国2,281百万石油換算t (2002年)〉</li> <li>電力需要見通し： 1,907TWh (2003年) ⇒5,573TWh (2030年)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●政策体制強化 エネルギー政策の最高レベルの意思決定機関として「国家エネルギー指導グループ」設立 (2005年5月、グループ長は温家宝総理)</li> <li>●省エネルギー政策強化 「第11次五カ年計画」(2006～2010) ⇒エネルギー原単位の削減数値目標化 「再生可能エネルギー法」発効 (2006.1.1) ⇒再生可能エネルギーの買取りを義務化し、 2010年には総発電量の10%を賄う</li> <li>●エネルギー技術開発の重点化 「国家中長期科学技術発展計画 (2006～2020年)」 「科技教育発展重点事項規画 (2006～2010年)」 各種国家科学技術プログラム</li> </ul>
原油輸入依存度の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>●国内原油生産量の頭打ち</li> <li>●石油輸入量240万BD(2003年)⇒523万BD以上(2015年)</li> </ul>	
国内環境問題の顕在化	<ul style="list-style-type: none"> <li>●石炭火力発電所の95%が脱硫装置未設置 ⇒二酸化硫黄排出量世界最大 (2,500万t) 国土面積の1/3が酸性雨被害</li> <li>●石炭の乱獲 ⇒土地陥没40万ha、汚水排出量30億m<sup>3</sup> 廃ガス90～120億Nm<sup>3</sup></li> </ul>	

参考文献<sup>1, 3-5)</sup>より科学技術動向研究センターにて作成

図表2 十一・五計画における環境エネルギー政策の内容

視点	目標	内容 (具体的数値目標)
マクロ経済	安定成長の維持	GDP成長率7.5%、2010年のGDP規模2000年比で2倍 失業率5%以下、都市新規雇用4,500万人 サービス業比率3ポイント向上
エネルギー	省エネ型社会の構築	GDPあたりのエネルギー消費原単位20%低下 産業付加価値額あたりの水消費原単位30%低下 産業廃棄物リサイクル率60%向上
環境	汚染拡大阻止	主要汚染物質総排出量10%削減 森林カバー率20%上昇 温室効果ガス排出抑制

参考文献<sup>1, 3-5)</sup>より科学技術動向研究センターにて作成

図表3 国家中長期科学技術発展計画の「三段階戦略」

	第一段階	第二段階	第三段階
時期	2006～2020	2021～2035	2036～2050
内容	産業構造の最適化、省エネ強化、エネルギー効率向上などの措置を通じ、省エネ型社会を構築する。	エネルギーの多様化 原子力発電比率を現在の世界平均並み16%に拡大。再生可能エネルギー導入促進。 水素燃料電池自動車導入。	持続可能なエネルギー社会の実現。 一次エネルギーに占める石炭比率を50%以下に低減。 再生可能エネルギーおよび原子力の合計比率を30%以上に引き上げる。

参考文献<sup>3)</sup>より科学技術動向研究センターにて作成

図表4 エネルギー関連の優先研究課題

分野	優先研究課題	詳細内容
エネルギー	産業分野の省エネルギー	エネルギー多消費産業 (鉄鋼、化学工業、交通運輸) の省エネルギー技術開発 高効率長寿命のLED照明、エネルギーのカスケード利用技術
	クリーンコールテクノロジー	石炭高効率採掘技術、石炭汚染物質抑制技術 大型ガスタービン、ガス化複合発電 (IGCC) 石炭液化技術、石炭ガス化技術
	石油ガス資源探査開発	大規模な低品位石油ガス資源の開発技術 古い油田の収率向上技術、深度石油ガス資源の探査・開発技術
	再生可能エネルギーの低コスト化、大規模導入	大規模沿海ウィンドファーム技術 低コスト太陽光発電技術、バイオマス、地熱開発利用技術
	超大型規模送電技術	大容量・遠距離直流送電技術、電力品質監視、制御技術 高効率配電および電力供給情報管理技術
交通運輸	低燃費自動車、新エネルギー自動車	ハイブリッド自動車、代替燃料自動車、燃料電池自動車の設計製造技術 高効率、低排ガス内燃機関技術
都市開発	省エネルギー建築物	建築物の省エネルギー化技術開発と設備導入 高断熱建築材料開発、省エネルギー建築物の標準化

参考文献<sup>3, 4)</sup>より科学技術動向研究センターにて作成

図表5 戦略重点研究開発プログラム

計画名	概要
攻関計画 (1982～)	エネルギー、輸送等の国民経済発展に関係の深い重要な科学技術課題を集中的に攻略する研究プログラム。
863計画 (1986～)	ハイテク研究の発展計画で、①国内技術水準を先進国並みに向上、②研究成果の産業化を通じ経済発展に寄与する、③ハイテク産業基盤整備、④戦略思想と学際総能力を併せ持つリーダー的人材育成、が目標。 情報、バイオテクノロジー、新素材、自動化技術、エネルギー、レーザー、海洋が重点分野で、エネルギー分野のテーマは、原子力、再生可能エネルギー、水素、燃料電池、クリーン石炭技術、リチウム二次電池等。
火炬計画 (1988～)	ハイテク研究成果の産業化と国際化を目的とする。全国53箇所のハイテク産業開発区に、3万社のハイテク企業が立地し、約300万人の雇用を創出している。
973計画 (1997～)	重点基礎研究プログラム。大学セクターの基盤研究に用いられる。 エネルギー分野のテーマは、化石燃料高効率クリーン燃焼、石炭ガス化/液化、代替エネルギー。

参考文献<sup>3-4, 7)</sup>より動向センターにて作成

図表6 戦略重点研究開発プログラムの予算推移

単位：億元

	全体合計		基礎研究 計画*	863計画	攻関計画	火炬計画
	エネルギー 分野合計	比率				
	環境分野合計	比率				
1994年	126.58	100.0%	1.23	7.84	14.41	103.10
	12.56	9.9%	0.06	0.89	0.80	10.81
	1.38	1.1%	0.03	0.01	1.34	0.00
1995年	195.19	100.0%	1.45	10.24	22.64	160.86
	21.07	10.8%	0.07	1.25	0.41	19.34
	1.86	1.0%	0.04	0.01	1.81	0.00
1996年	127.90	100.0%	0.45	1.70	9.98	115.77
	21.89	17.1%	0.03	0.83	0.41	20.62
	0.42	0.3%	0.00	0.00	0.42	0.00
1997年	166.54	100.0%	0.52	5.05	16.52	144.45
	10.34	6.2%	0.05	1.10	0.77	8.42
	6.40	3.8%	0.01	0.01	1.58	4.79
1998年	207.19	100.0%	1.05	6.39	21.36	178.39
	13.23	6.4%	0.06	1.68	1.06	10.44
	5.65	2.7%	0.04	0.01	0.98	4.62
1999年	330.55	100.0%	1.71	10.04	28.87	289.93
	19.68	6.0%	0.10	1.69	2.50	15.40
	8.13	2.5%	0.00	0.05	1.37	6.71
2000年	419.43	100.0%	6.88	14.88	35.33	362.35
	26.06	6.2%	1.13	1.21	3.62	20.10
	13.54	3.2%	0.62	0.20	2.12	10.60
2001年	2001年は公表データなし					
2002年	625.57	100.0%	11.01	25.33	125.31	463.92
	43.01	6.9%	1.42	8.97	5.62	27.00
	41.26	6.6%	0.63	1.11	1.69	37.83
2003年	788.69	100.0%	10.72	95.04	146.07	536.86
	61.98	7.9%	1.50	14.55	9.96	35.97
	27.23	3.5%	0.70	4.50	5.56	16.47

\* 「登坂計画」「973計画」を含む 参考文献<sup>8)</sup>より科学技術動向研究センターで作成

その中でエネルギー消費原単位を20%削減するには1.95億トン標準炭に相当するエネルギー消費を削減する必要があるが、中国全体では3.5億トン標準炭に相当する省エネルギーポテンシャルがあると推計している。ただし、省エネルギー関連設備への必要投資総額7,000億元以上と多額な上、着工から新規設備稼働までに必要な工期も考慮すると、五ヵ年計画中の短期に省エネ効果が十分発揮できるかが課題であると指摘している。

### (3) 科学技術政策<sup>2~4,6)</sup>

2006年2月に中国政府が公表した「国家中長期科学技術発展計画」では、図表3に示す「三段階戦略」のエネルギー発展ビジョンが提示されている。2020年までの第一段階についてはエネルギー関連の優先研究課題や先端技術が選定されている。その内容を図表4に示す。

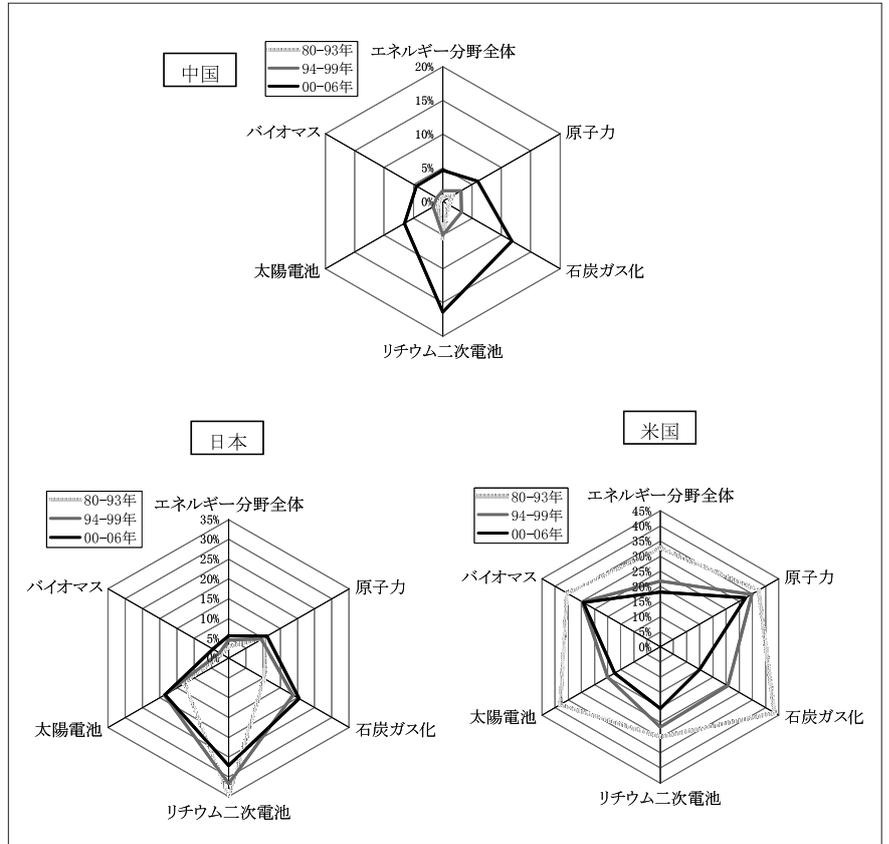
中国では「国家中長期科学技術発展計画」で掲げた全体方針に従い、個別の目的ごとに戦略重点研究開発プログラムが策定および実施されている(図表5)。エネルギーおよび環境分野の開発テーマは、これまでも戦略重点研究開発プログラムに優先研究課題として織り込まれてきたが、エネルギー・環境分野の予算規模および全体に占める割合は2000年以降に高まる傾向を示している(図表6)。

### 3 中国の科学技術論文シェアの推移と国際共著関係

次にエネルギー分野における中国の科学技術政策の成果状況を確認するため、科学技術論文シェアの推移を日米と比較する。その際、エネルギー分野全体でのシェアとともに、代表的な5種の個別エネルギー技術分野でのシェアについて、93年以前、94～99年、2000年以降の各年代での変化を比較して示す(図表7)。

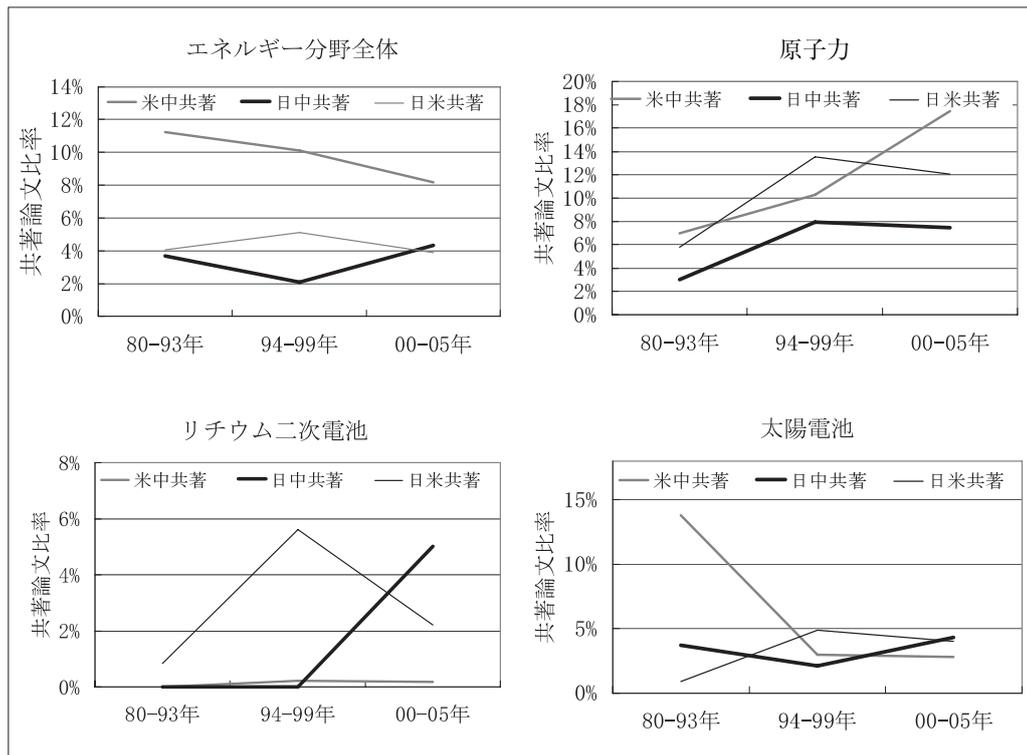
中国のエネルギー分野全体の論文シェアは、90年代初頭までは数%と日米に比較して小さかったが、90年代以降は急激に拡大し、日米との差も縮小してきている。世界第一位の米国には及ばないものの、日本にほぼ肩を並べている。これは先に示した戦略重点研究開発プログラムの成果が顕在化しているもので、科学技術アウトプットの面で日米を始めとする先進国に近づきつつあることを示している。個別エネルギー技術分野の中

図表7 エネルギー分野の科学技術論文の各国シェア推移(中国、日本、米国)



Thomson社“Web of Science”データをもとに科学技術動向研究センターにて作成

図表8 エネルギー分野論文の共著関係推移



Thomson社“Web of Science”データをもとに科学技術動向研究センターにて作成

では、特にリチウム二次電池関連と石炭ガス化関連の技術分野で、論文シェアの伸張が著しく、日米とほぼ肩を並べるまでになってきている。一方、太陽電池関連、原子力関連およびバイオマス関連については、中国と日米の差は依然として大きい。ちなみに90年代中ごろまでは、エネルギー分野全般にわたり米国の論文シェアは世界第一位で、日中両国を圧倒していたが、90年代以降は日本の論文シェアが急伸し、日米の差が急速に縮小および逆転する傾向にある。

次に各年代の、各国のエネルギー分野論文に占める国際共著論文

の比率を示すことで、国際共著関係の推移について見てみる(図表8)。中国の共著関係相手国としては、エネルギー分野全体および個別エネルギー技術分野ともに、従来は米国の比率が最も高かったが、90年代以降は一貫して低下傾向にあり、これに代わる形で日本との国際共著論文比率が高まっている。日本にとってもエネルギー分野の共著相手国として中国の比重が高まっており、2000年以降は日米共著関係をも上回っている。また、環境分野においても同様の傾向が確認されている<sup>9)</sup>。これらの点は、環境・エネルギー分

野の基礎研究開発領域において日中両国の関係が相対的に緊密化していることを示している。中でもリチウム二次電池や太陽電池などの新エネルギー関連技術分野において、日中共著関係の比率が顕著に拡大しているが、図表7に示されるように、これらは日本の論文シェアが最も高い分野である。これに対して、原子力分野については米中共著関係が急速に高まっているが、図表7に示されるようにこの分野については米国の論文シェアが最も高い分野である。

## 4 中国の科学技術発展の成果と背景

中国各地に開設された国家ハイテク産業開発区では、様々な分野の科学技術成果をもとに、多くの新興企業が次々に成長していることで知られている。売上高の約50%は電子・情報技術分野の新興企業であるが、新エネ・省エネ技術や環境保護技術に関連する新興企業もそれに次いで売上高の約20%を占める健闘を見せている(図表9)。新エネ技術の中で例を挙げると、リチウム二次電池のように従来日本の技術力が圧倒的に優位であった分野において、日本製品を駆逐する中国製品も現れてきている。先に図表7では中国のリチウム二次電池の論文シェアが近年急速に高まっていることを示したが、科学技術成果が短期間にハイテク産業開発区の新興企業の売上に結びついている点が特長である。

こうした短期間の発展を支える要因の一つに、過去20年間にわたり中国が独自に構築してきたイノベーションシステムが指摘されている<sup>10)</sup>。これはハイテク産業開発区などのインフラ整備にとどまらず、海外の優秀な中国人研究者

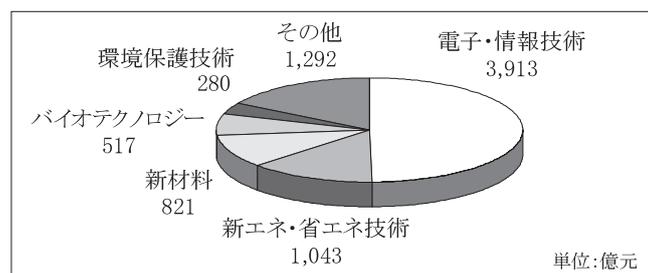
を呼び戻す「海亀政策」などの人的資源拡充にも重点をおくというもので、大学の先端研究成果が速やかに新興企業の事業成長につながる成果をあげている。環境・エネルギー分野でも、新エネ・省エネ技術についてはこうしたイノベーションシステムが有効に機能している可能性が高い。

2005年にはこれまで存在しなかったエネルギーの最高政策決定機関として、温家宝総理を長とする「国家エネルギー指導グループ」が発足し行政組織も拡充された。2006年2月の「国家中長期科学技術発展計画」において、今後5年間で経済の持続発展可能なエネルギー科学技術のイノベーションプラットフォームを

確立することを重点課題に掲げている<sup>12)</sup>。近年ようやく日本においても、国立大学や公的研究機関の独立法人化にみられるようなイノベーションに向けたシステムの抜本的改革を目指す動きが活発化しているが、中国の事例は非常に示唆に富んでいる。

研究開発のグローバル化が進む中、中国における新たなイノベーションプラットフォーム構築の可能性に対し、欧州の官民はいち早く注目しており、ドイツのマックスプランク研究所の「上海高等研究所」設立やマイクロソフトの「長城計画」などに代表されるように、組織的な交流が進展している<sup>10)</sup>。日中間でも長期的視野に立った知識ネットワーク構築が望まれる。

図表9 ハイテク産業開発区企業による売上高と製品技術分野



資料<sup>11)</sup>をもとに科学技術動向研究センターにて作成

## 5 今後の日中技術協力の課題と可能性<sup>3)</sup>

以上のような中国の直面する環境・エネルギー問題の状況を背景に、1章で述べた日中省エネフォーラムが開催された。本フォーラムには関係閣僚をはじめとする関係者約850名（中国側約200名、日本企業約500社）が参加し、省エネ・環境に関する制度、政策、技術、経験などについて幅広く意見交換が行われ、今後の日中技

術協力のあり方について活発に議論された。省エネルギー・環境問題における日中技術協力に対する両国の認識について、基調講演の内容を基に、図表10にまとめる。日中技術協力の意義として、「二度にわたるオイルショックを克服してきた日本の経験と技術をもとに、中国の直面する環境・エネルギー問題に克服に貢献し、中国の

持続可能な経済発展とアジア地域の安定化に貢献する」という点が確認され、協力内容、技術分野などについておおむね両国の認識が一致した。今回の日中省エネフォーラムにおいても具体的な協力事項の合意に至った成果も上がっている（図表11）。

環境・エネルギー問題解決を図る上で、日本政府からは「企業側

図表10 日中技術協力に対する両国の意見

	日本	中国
意義	日本の経験を生かした中国の環境問題克服 日本企業の環境・省エネビジネス展開	日本企業にとって魅力ある市場を提供 中国の持続的相補型経済成長が東アジアの安定化に貢献 CDM 供給国と需要国としての関係強化
成功のポイント	民間のビジネスを通じた協力関係構築 中国内の生産者責任を徹底する法整備、消費者の判断を助ける 情報開示 事後対策より早期対策／未然防止の徹底 企業自主管理促進を主眼とし、エネルギーコスト上昇への危機感や補助金制度による企業の省エネ設備投資モチベーション向上	ビジネス面の協力推進を通じた Win - Win の関係構築 対話メカニズムの確立（政府間政策研究、企業間交流プラットフォーム）
協力内容	技術移転、人材育成協力 環境規制、省エネ促進などの制度設計	技術力、資金力、ノウハウ提供（輸入資源備蓄、環境設備運営）、 省エネ技術開発
技術分野	クリーンコールテクノロジー、新エネ技術 黄砂・酸性雨問題の解決	植林、汚水処理、クリーン生産技術、自動車排ガス予防／モニタリング、燃料クリーン化（代替燃料）、省エネ建築
効果的な施策案	①モデルケースへの財政／税制支援、②ポスト円借款スキームの構築、③省エネ環境保全の技術交流会、④人材交流	①モデル研究機関設立、②技術展示会および交流会開催、③企業間共同研究および共同事業推進、④日中省エネフォーラムの定期開催
懸念事項	中国内のビジネス環境整備 投資者利益の保護（投資協定、知的財産権保護）	厳しい中日関係 中国企業の責任感／モラル向上、市民の意識向上 コア技術の日本企業囲い込み

資料<sup>3)</sup> および合意意見交換内容をもとに科学技術動向研究センターにて作成

図表11 日中省エネ・環境総合フォーラムにおける日中間協力合意事項<sup>14)</sup>

実施主体	合意事項・契約名	内容
経済産業省資源エネルギー庁（日） 国家発展改革委員会（中）	省エネルギー政策に関する政府対話の実施	省エネ推進制度構築や政策課題の意見交換のための「政府対話」の枠組み構築
経済産業省資源エネルギー庁（日） 国家発展改革委員会（中）	省エネルギー分野における人材育成協力	中国の省エネ制度構築・運用を担う人材育成支援のため、日本側で受け入れ研修を実施する（5年間で数百名規模）
経済産業省資源エネルギー庁（日） 国家安全生産監督管理総局国際合作司（中）	石炭の生産・保安分野における研修事業	現在実施中の中国技術者に対する石炭の生産・保安分野の研修事業を平成19年度以降も発展継続する
矢崎総業株式会社（日） 天津経済技術開発区投資公司（中）	合弁会社「浜海中日能源管理有限公司」設立	省エネ診断、技術サービス、管理コンサルタントを行う合弁会社設立
国際環境技術移転研究センター（日） 天津技術開発区管理委員会（中）	国際環境技術移転センター（ICETT）と天津経済技術開発区管理委員会の委託業務契約	天津技術開発区を対象にした調査研究や工業廃水処理技術に関する研修、環境技術セミナーを実施する
日立アプライアンス株式会社（日） 深セン嘉力達実業有限公司（中）	製品調達契約	省エネオフィスビル用空調システム8,400台の導入

の自主管理促進」、「消費者への情報開示」が成功へのポイントとしてあげられたが、中国側の現状として、「中国企業の責任感／モラル向上」、「市民の意識向上」など、市場経済への移行期に特有の問題が阻害要因になっているとの指摘がなされた。

「民間ビジネス主体の協力関係構築の重要性」の点では両国の認識は一致したが、中国側からは日本企業が技術移転する際に、「コア技術の囲い込み」になりがちで発展的な協力関係構築にいたっていないという指摘があった。これに対して日本側からは「投資者保護や知的財産権保護」の懸念が示され、両国の視点に異なる点が見られた。これらは民間の産業技術主体の協力をする際に避けて通れない問題点でもある。

3章で見てきたとおり、環境・エネルギー分野の基礎研究開発領域では、すでに日中の協力関係が進んでいるが、今後も共通の課題に対して両国で協力して取り組む余地は大きい。環境・エネルギー分野の科学技術政策における優先研究課題については、日中両国でほぼ一致している。今回の日中省エネフォーラムでは、産業技術分野での協力関係を中心に議論がなされたが、中国側から「環境・エネルギー分野のモデル研究機関設立」や「政府間政策研究」の提案が出ていることから、今後は基礎研究開発領域やイノベーションの側面からも同時並行に議論することで、今後あるべき両国の補完関係がより具体的となり、円滑な協力関係を構築可能であると考える。

## 謝辞

本報告を執筆するにあたり、貴重な情報ならびにご助言を頂いた政策研究大学院大学の角南篤助教授、ならびにエナックス(株)代表取締役の小沢和典博士に深く感謝いたします。

## 参考文献等

- 1) 張；「中国『第11次5ヵ年計画』について」、エネルギー経済、第32巻第3号（2006年6月）、p.10～19
- 2) 浜；「新5ヵ年計画における中国のエネルギー戦略の転換とその背景」、日中経協ジャーナル、No.148（2006年5月）
- 3) 「日中省エネルギー・環境総合フォーラム」講演資料（2006年5月29日～31日）、経済産業省、(財)日中経済協会、中華人民共和国国家発展改革委員会、中華人民共和国商務部、中華人民共和国駐日本国大使館
- 4) 沈；「中国のエネルギー関連の各種中長期計画」、IEEJ（2006年5月）
- 5) 沈；「エネルギー経済の視点から見た中国『国民経済と社会発展第11次5ヵ年計画綱要』」、IEEJ（2005年8月）
- 6) 「国家中長期科学技術発展規画綱要」、海外科学技術政策 vol.17 No.7、海外科学技術調査会編（2006）
- 7) 井上ら；「中国の研究開発戦略に関する調査」、(独)科学技術振興機構、研究開発戦略センター、調査資料（2005年3月）
- 8) 中国科技統計年鑑（1995～2004年版）、中国統計出版社
- 9) 上野ら；「中国における科学技術活動と日中共著関係」、文部科学

省科学技術政策研究所、調査資料No.123（2006年3月）

- 10) 角南；「中国の科学技術政策とイノベーションシステム—進化する中国版『産学研・合作』—」、PRI Discussion Paper Series. No.03A-17、(独)経済産業研究所（2003年）
- 11) 「中国科学技術指標 2002」、海外科学技術政策 vol.15、No.11-12、海外科学技術調査会編（2004）
- 12) 張；「中国のエネルギー行政組織の強化」、IEEJ（2005年8月）
- 13) 高見澤；「機運高まる日中省エネ協力」日中経協ジャーナル、No.148（2006年5月）
- 14) 「日中省エネ・環境総合フォーラムにおける日中間の協力合意事項について」、経済産業省プレスリリース（平成18年6月2日）

## 執筆者



環境・エネルギーユニット  
前田 征児

科学技術動向研究センター  
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士。企業にてエネルギー関連の貯蔵・変換システム開発および事業開発に従事。専門は電気化学、材料工学。現在、エネルギー・環境分野の科学技術政策およびイノベーションマネジメントに興味を持つ。

# 礎 (いしずえ) の学問：数学

— 数学研究と諸科学・産業技術との連携 —

細坪 護孝

科学技術基盤調査研究室

## 1 シンポジウム開催趣旨

平成 18 年 5 月 17 日 (水)、日本学術会議講堂において(社)日本数学会と日本学術会議数学委員会はシンポジウム「礎 (いしずえ) の学問：数学 — 数学研究と諸科学・産業技術との連携 —」を開催した (<http://www.soc.nii.ac.jp/msj6/gakujutsu/sympo20060517.html>)。科学技術政策研究所は本シンポジウムを後援した。

本シンポジウムの趣旨は、諸科学の礎である数学の創造及びその自在な活用が先端科学技術の大きな飛躍のための鍵となることを踏まえ、我が国における今後の数学研究の充実や諸科学・産業技術との連携推進に何が必要かを議論することであり、以下のように記されている。

『数学は、諸科学の礎 (いしずえ) となる学問である。数学で得られた事実は普遍的であるため、時空を超えて人類の知的財産となる。また、その抽象性ゆえに高い汎用性を有し、例えば全く同じ方程式で記述されたものは物理現象でも経済現象でも統一的に扱うことができる。こうして、数学は諸科学や産業技術における思考基盤や表現言語となっている。

我が国が科学技術創造立国を目指すためには、諸科学や産業技術の根本部分の創出・保持が必要である。そのためには、従来の経験や勘に加え、数学的事実を的確に活用して、現象に内在する論理構造を新たに見出すことが重要となる。ここで、より高度な数学を創造し、それを自在に活用できるよ

うにすることが、先端科学技術の大きな飛躍のための鍵となる。既に欧米諸国では、数学研究と諸科学・産業技術との連携を重視し、数学研究全般を国家として推進している。一方、我が国では数学研究環境は年々悪化している。

このような状況を踏まえ、本シンポジウムは我が国における今後の数学研究の充実や、諸科学・産業技術との連携推進に何が必要かを議論しようとするものである。』(「礎の学問：数学」シンポジウムプログラム趣旨から抜粋)

シンポジウム当日には、数学研究者のみならず産学官の研究者や行政関係者など 174 名 (講演者などの招待者 18 名を含む) が集まり、活発な意見交換が行われた。

## 2 シンポジウム報告

2 - 1

### 来賓挨拶、開会趣旨

冒頭、来賓の阿部博之総合科学技術会議議員、黒川清日本学術会議会長、小田公彦文部科学省科学技術・学術政策局長が挨拶した。続いて、小島定吉(社)日本数学会理事長が開会趣旨を述べた。それぞれの概要は次のとおりである。

#### (1) 阿部博之 総合科学技術会議議員

私の専門分野の一つは殻 (かく) の力学だったが、米国の数学者の論文がヒントとなって一定の結論を得た。私が大学院生だった昭和 30 年代後半、数理的な仕事をしている工学者には R.Courant & D.Hilbert の “Methods of Mathematical Physics” が必読であった。また、昭和 30 年代の

終わり頃から、トランジスタを積んだコンピュータが導入され、コンピュータによる微分方程式の解という世界が出てきた。

私の専門は機械工学だが、工学分野で若手研究者や大学院生の数学への意欲が低下しているのではないだろうか。例えば計算流体力学の先生によると、最近では応用へのシフトが非常に進んでいる。20 年前は基本的なアルゴリズムの時

代だったが、現在ではアプリケーション中心である。一方、私のもう一つの専門である破壊力学では、これからサイエンスが変化していくだろう。D. Hilbert 先生は昔、量子力学の数学的基礎に大変貢献して、物理の世界に出た方である。推測だが、これから生物学でこういうことがどんどん起こるかもしれない。テーマが種々雑多にある工学では、工学者が数学に対して意欲を持たなければ展望が拓けないのではないかと。今の工学分野で徹底的に問題なのは、教員の雑用が多すぎることだと思う。この雑用の問題で日本の大学がダメになるのではないかと思うほどである。特に数理的な仕事をしている方にはより影響が大きいと思う。

今後の新しい学問の創成に対する数学の役割は大きいと思う。一方、日本全体で深い知に対する造詣が低下しているのではないかと心配している。そのためには大学の復権が必要ではないだろうか(図表1)。

**(2)黒川 清 日本学術会議会長**

子ども達は生まれつき様々な才能を持っているが、自分達では分からない。昔から読み書きそろばんと呼ばれるが、子どもの教育では詰め込みではなく、子ども達自身の能力を開発することが重要である。そういう意味で、知性、感性、身体力を磨くことの3つが教育の基本である。数学の基本は、この感性を磨くものとして、子ども達が生まれつき知っている数や空間、時間などをどのように理解して表現するかということである。教育の一番の根本は数学であると思う。今日のテーマは数学がどうやって役に立つか、ということだが、そもそも数学の次元はもっと高いものである。如何なる科学技術政策、イノベーションも実際にするのは人である。私が尊敬する経済学者の宇澤弘文先生はもと

図表1 阿部博之総合科学技術会議議員講演資料から抜粋

- 3. 工学分野
  - (1)数理科学が高く評価されているか?  
例：CFD 基礎から応用へのシフト?
  - (2)若手研究者や大学院生の数学への意欲が低下している
  - (3)教員の雑用が多すぎる
- 4. 数学とそれ以外の科学の新しい接点：学問分野の創成  
キー：人

と数学者であり、彼の著書「日本の教育を考える」には以下の趣旨のくだりがある。『数学は大変役に立つ。何故かという、皆さんは計算をうまくして、儲けを大きくすることだと考えがちだが、それは違う。数学の本質はその時々々の全体の大きな流れを見失うことなく、論理的・理性的に考えを進めることにある。数学は全ての科学の基礎であるだけでなく、私達一人一人が人生を如何に生きるべきかについて大切な役割を果たすものだと言ってもいいでしょう。』

**(3)小田公彦 文部科学省科学技術・学術政策局長**

4月から第三期科学技術基本計画が始まった。この計画では重点推進分野とともに基礎研究の推進が述べられている。これは第3期計画の重要なコンセプトだと思う。基礎研究の推進に当たっては、経済社会の変革に繋がる非連続的なイノベーションの源泉となる知識の創出を目指す、といった視点が大変重要ではないか。特に数学がこのイノベーションに資する重要な分野の一つであることは必ずしも理解されていない。今回のシンポジウムをキックオフとして、このような理解を拡げていけたらよいのではないかと。

米国は中国、インドなどの追い上げに強い危機感を持ち、National Academy Science の報告書では、自国を強くするために数学などを初等中等教育から強化しなければならぬ、としている。

ブッシュ大統領の予算教書の中でも必ず数学が重要なアイテムとして語られている。中国、韓国などでも理数教育の重要性が謳われている。

そういった中で、科学技術政策研究所による第二期科学技術基本計画の成果検証において、日本では材料、物理、化学などでは論文ベースで10%のシェアを擁している一方、数学では5%程度という衝撃的な結果が得られた。関孝和の時代から日本中の頭脳を刺激した日本固有の数学の強さが失われているのではないかと強い危機感が生まれている。本日、科学技術政策研究所は、数学研究に関するより深い調査分析の成果をとりまとめ、公表した<sup>1)</sup>。これは問題提起の出発点である。

純粋数学、応用数学、統計、確率などは、理論・実験の延長上のシミュレーションなどにも通じる。これから数学は様々な面で応用を広げていくことが重要ではないか。今日のシンポジウムでは、純粋数学でない部分も含めて数学の広さ・重要さが訴えられるとともに、議論を踏まえた提言を戴ければ政策担当者として大変ありがたい。

**(4)小島定吉 (社)日本数学会理事長**

本シンポジウムの開催のきっかけは、昨年5月に科学技術政策研究所が主催した「数学の将来シナリオを考える」と題するワークショップである<sup>2)</sup>。これには(社)日本数学会も共催した。このワークショップでは2つの大きな指摘があ

ったと理解している。一つは、21世紀における諸科学及び産業技術の中でその基盤を支える数学、数理学のニーズが高まっているという各界からの指摘である。即ち、数学と諸科学、産業技術の連携の必要性が増しているという現状認識である。もう一つは、(社)日本数学会と諸科学、産業との各界との相互の間にややギャップが見られるという指摘である。これは、連携の道は必ずしも平坦ではなく、今後互いに歯車を寄せ合い、噛み合わせるような議論や作業が必要であるという現状理解である。数学自体にはもともと独自の発想による研究推進の動機があるものの、(社)日本数学会はこれらを大きな宿題と受け止めた。そして、我が国の数学研究の現状や各大学などの地道な取組みを精査し、将来に向けての可能性を検討することに約1年を費やした。昨年のワー

クショップの続編として、今回は日本学術会議数学委員会とともに日本の諸科学、産業技術に対する数学のあり方を問うシンポジウムを実施することとなった。したがって、今回のシンポジウムは、昨年の議論を一步進めて、数学会から新たな材料を提供し、課題に正面から取り組む契機としたいと考えている。

2 - 2

## 第I部：諸外国、諸科学、産業技術における数学

桑原輝隆科学技術政策研究所総務研究官が同日公表の数学研究に関する報告書<sup>1)</sup>について講演し、金森順次郎(財)国際高等研究所長、堀田凱樹情報・システム研究機構長、石岡祥男(株)日立製作所基礎研究所シニアマネージャー、福田敬日本保険・年金リスク学会理事、

中川淳一新日本製鐵(株)主幹研究員が、諸科学や産業における数学の活用例や今後の期待などを講演した。それぞれの講演概要は次のとおりである。

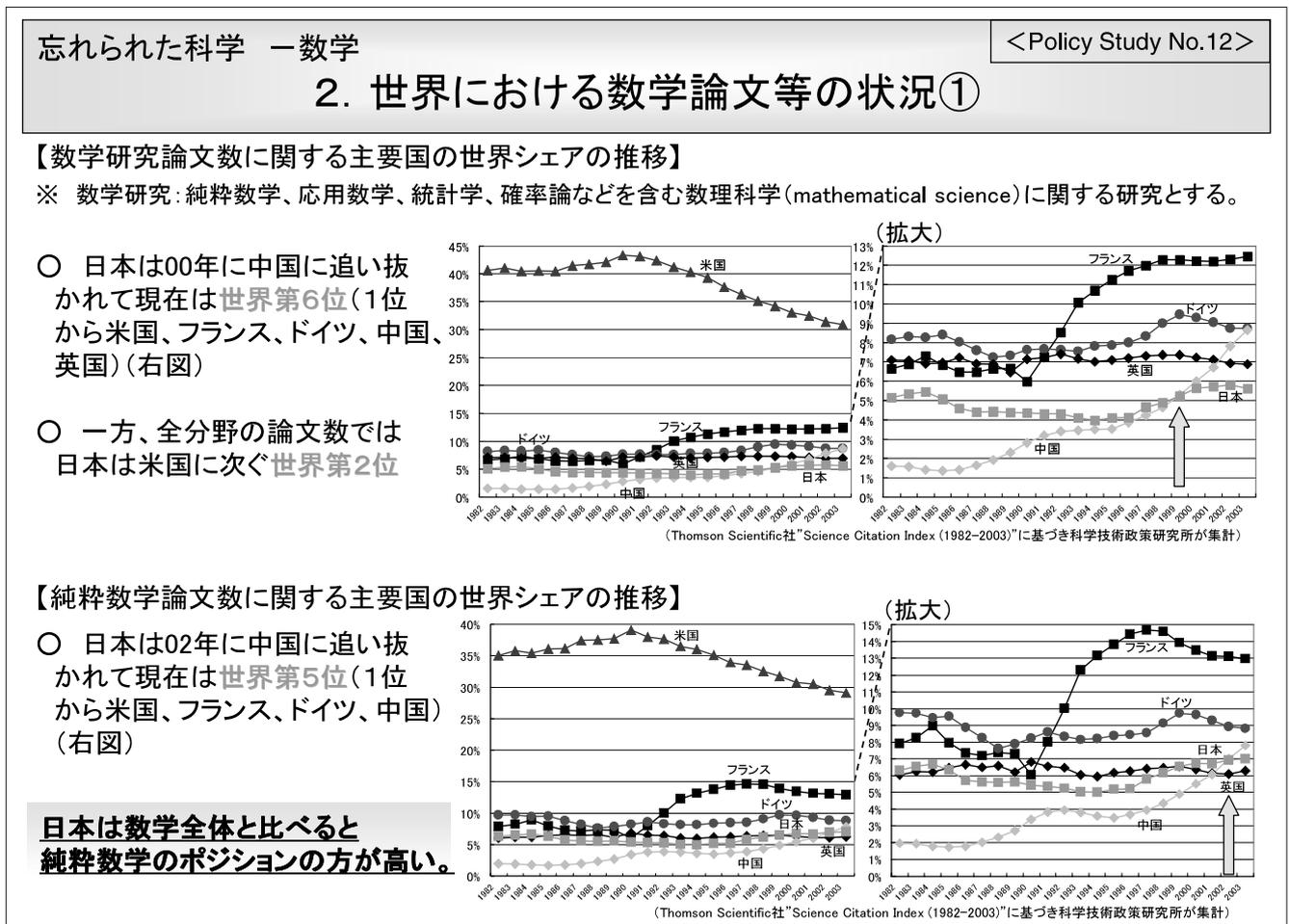
### (1) 『忘れられた科学—数学— ～主要国の数学研究を取り巻く 状況及び我が国の科学における 数学の必要性～』<sup>1)</sup>

桑原輝隆 科学技術政策研究所総務研究官

米、仏、独などと比較して、日本の数学研究の状況は楽観できない(図表2)。米、仏、独などは数学を振興するとともに、その応用も重視し、数学と他分野科学、産業界との連携を強化している。

一方、日本でも、ライフサイエンス、情報工学、ナノテクノロジー等の多くの分野の研究者は、今後の研究発展に対する数学の必要性を痛感している。

図表2 桑原輝隆科学技術政策研究所総務研究官講演資料から抜粋



また、数学研究の振興はイノベーションの可能性を増加させるという意味でも重要である。その背景には、「モノや構造を支配する原理を見出す」ことによるブレークスルーの可能性が、金融工学、サービスサイエンスなどの新たな産業的展開がある。日本が広範な分野の研究開発を推進していく上で、数学研究はその基盤となると考えられる。

数学研究振興の視点としては、基礎となる数学研究自体を強化しつつ、数学と他分野の融合研究をいかに推進するかということが重要な課題である。また、数学研究者が活発に「思考を巡らす」ことを可能とするために必要なことは何かということにも注目しなければならない。一方、基礎的な数学研究から短期間に具体的な効果を求めることができない場合もあることにも留意すべきである。

## (2) 『物性物理学と数学』

金森順次郎 (財)国際高等研究所長

一般に日本では理論研究の意義について理解が不足していると考えられる。私は数学研究者にエールを送ると同時に、数学研究者が自然科学研究者、特に実験研究者の理論を飾りと考えている深層心理への理解を呼びかけたい。

森羅万象に潜む物の理が、既に全て解明されているわけではない。またそれが基本原理から出発した一元的な構造をもっているわけではない。この点についてかつては物理学でも要素還元主義(reductionism)が横行していて、自然の要素(素粒子)とその間の相互作用およびそれらの存在する時空の構造がわかれば、後は応用のみと考える人が多かった。しかし、集団は要素と隔絶した独自の性質を創発するということが認識されるようになり、諸科学の知的独立性が明らかになりつつある。

この物の理の仕組みを理解しないで、数理だけで片付くと考えるのは危険である。物の理と数理の探求はシームレスにつながっている。数学研究者とか物理や化学研究者の区分にとらわれないで問題意識を共有することが、理論研究の意義の理解を促進する。

未来の数学への期待の一例として、合金の原子濃度により配列構造が変わる問題がある。これは局所的な構造と全体の配列というグローバルな構造の関係という問題を提起する。この問題は、固体物理だけでなく生体分子、言語等かなり広範囲に存在するものであり、本質を貫く数理の解明が待望される。

## (3) 『生命科学の三大革命につづく 眞の理論生物学の時代』

堀田凱樹 情報・システム研究機構長

生命科学は3つの革命を経てきた。20世紀初頭のメンデルの法則の再発見、1953年のワトソン、クリックによるDNAの二重らせんの発見、21世紀初頭のゲノム解読時代の到来である。この3つの革命までは全て物理学者が貢献してきた。次の第4の革命は数学の出番ではないかと思う。

私は今こそ眞の理論生物学が求められていると思う。そのためには、まず数学好きな生物学者がシミュレーションやバイオインフォマティクスを駆使する必要がある。次に本格的数学者が数学を実験現場に応用して、実験の指針となる予言力を持つ理論を構築する。更に、生物学と数学の天才がDNAに代わる「統一理論」を構築する。こうすれば、生命科学を分子生物学から救えるだろう。

生命科学の中で理論家の助けを必要とする分野の例として、ゲノムデータ、遺伝子発現データなどの大量データベースからの知識抽出、多数の遺伝子操作の組合せ

実験、現存生物から進化過程の推定、脳その他のシステムの理解、Combinatorial Codeの解読、遺伝子で作る生物の非決定性などがある。このように、生命科学は数学を必要としており、今こそ数学者が参入すべき時である。

## (4) 『産業を支える数学

—役割、事例、これから—

石岡祥男 (株)日立製作所基礎研究所シニアマネージャー

産業界では、研究、開発、設計、製造、検査、さらに製品そのものや経営判断にまで数学が活用されている。また、現場では、自然現象や人工物など理想状態から外れた対象について、時間、コスト、精度などの制約のもとに必要な答えをかならず出さねばならないため、さまざまな工夫が必要で、ここでも数学のセンスが不可欠である。実際に数学の専門知識をもつ多くの研究者、技術者が活躍している。これまで産業界で活用されている数学手法は既知のものが多かったが、今回の構想「数学者ネットワーク」により産業界からの相談に応え、さらに最新の数学手法の紹介と習得の支援もしていただけるなら、産業界にとって朗報であろう。

産学協創を成功させる大事なポイントは産の視点「ニーズからのアプローチ」での課題設定である。世界中から最高の知が結集してくるような魅力的な研究プログラムを走らせ、学会や自発的なフォーラムを活用して情報共有をはかり、成果を発信していただきたい。

## (5) 『知財立国のための高度数理能力資源のマネジメント —比較優位の理論と数学研究へのインプリケーション』

福田敬 日本保険・年金リスク学会理事

今日、先進国の金融専門家のコンセンサスとして、金融業は金

融に関するリスクを扱う業態である、という認識があり、金融業の技術的な基礎は、確率論である。

金融技術開発の効率を上げるためには、理論担当者が開発に専念できるように雑用を極力排除することがポイントになる。そのような運営をする理論的根拠は経済学における比較優位の原理である。これは大学運営にもあてはまると思われる。

一方、数学は第一義的には純粋な知的な動機から研究されている学問であると思うが、これからの100年に少子高齢化や環境問題など、我が国が直面する困難を解決するためには、知財の創出と蓄積が必要であり、その基礎としての数学への期待も大きい。比較優位な科学技術などの知財創出を促すためには、数学などの基礎研究の底上げは非常に重要である。

その意味で、数学者や理論物理学者などの高度な数理能力は、中期的に我が国の危機を回避していく上で、貴重かつ重要な資源であり、これを正しく活用するためのマネジメントが重要であるが、それには、比較優位の原理を念頭に置く必要があると思われる。

また、金融業としての期待は数理ファイナンスの発展と、きちんとした数学の能力をもった人材を社会に供給してもらうための教育である。これらの成果を高めるためにも、大学運営において他国に負けない比較優位のあるマネジメントの確立を期待する。

(6) 『製造業における数学適用の事例紹介と連携についての一提言』

中川淳一 新日本製鐵(株)主幹研究員

製造業は、現場、現物を重視する。数学者と企業研究者とが協力することにより、現場、現物の視点からの現実現象と数理論理とがリンクし、新しいものの見方、考

え方が生まれ、これが現状のプロセスの効率化の極限追求や新しい技術概念の創出に繋がり、翻って非定常の数理といった新しい論理の創出にも繋がるようなシステムが構築されることを期待する。

製造現場の研究者が数学者と協力するためには、現場と数学相互の言語を翻訳した上での対話が必要である。その対話によって、現場現象の数理的本質の抽出などが行われる。その対話の成果は、現場における現象の見方の変革をもたらすだろう。次のステップとしては、製造現場と数学とが互いの言語を共有できる場(産業数学)を創造する必要がある。そして、数学者からの予想を元に、現場現象の近似解法のレベル向上を図り、両者の対話の中から普遍的真理(定理)を見出し、経済合理性に繋げていくべきである。

(7) 第I部の主な質疑応答

○経済財政諮問会議では、サービス業、特に日本の競争力の低い金融業の生産性を上げるという観点から、来年度以降、金融工学において人材養成の一つのキーポイントにする議論が進んでいる。しかし、理学部の同期で金融業に行った人によると、社内でのキャリアパスはあまり無いようだ。そういう状況で人材養成に力を入れることに心配している。

○世界の金融業は非常に数学化が進んでいる。しかし、日本の民間金融機関にとって、数学を専攻した博士は若干歳をとりすぎている。修士までなら雇用の口は大きいだろう。しかし、米国の連邦準備委員会には、博士号を持った金融工学の専門家が500人くらいいる。それに匹敵する日本の金融工学者は50人くらいしかいない。

金融工学者のキャリアパスに

ついては、例えば、100年の歴史がある生命保険会社では、最終的に役員にまでなるケースがある。しかし、一般の銀行とか証券会社で役員まで行った人は寡聞であり、この前、野村證券で金融工学出身者が役員に就いたのが最初の例。サービスの高度化という意味では、数学分野の研究者が金融分野に来ることは重要と考えるが、日本の金融業では法学部へゲモニーが蔓延している。銀行ではリスクを確率過程と認識して、工学のように解析をしなければならないはずであるのに、日本にはその認識がなく、人の力でどうにかするという強い思い込みがある。

○日本の金融業は、市場と監督官庁に大きな問題がある。日本の金融資産の大半が預貯金であり、このままでは金融工学を進めても商品が売れる見込みはないと思う。サービスサイエンスについても同様で、第三次産業という括りでしか使われていないが、十羽一絡げのサービス産業という括りにおいてはうまくいかないだろう。

2 - 3

第II部：数学研究振興や産業技術への数学研究の活用のための方策について

津田一郎北海道大学教授が数学の諸科学への貢献の可能性について講演し、森田康夫(社)日本数学会前理事長が数学者の現状と数学会からの提案を講演した。その後、石井志保子東京工業大学教授、岡本久日本応用数学会理事、儀我美一東京大学教授と全講演者がパネルディスカッションにおいて、どのような方策が採られるべきかについて活発な議論を展開した。それぞれの概要は次のとおりである。

(1)『数学の科学技術諸分野への貢献の可能性』

津田一郎 北海道大学教授

歴史上、数学が他分野に貢献した例は、幾何学と測量、解析学と力学、コンピュータ概念の発見とコンピュータの発明、DNA解析、CTスキヤンの原理、種々の暗号など様々である。

現在の日本においても、東京工業大学、東北大学、京都大学などにおいて、数学が他分野に貢献することを旨とした取り組みが行われている。北海道大学では、大学内の他分野の研究者から数学的質問を受付け、それに対して大学内の関連する数学者とともにセミナーを開催し、数学者と他分野研究者がディスカッションを行って問題解決に寄与する取り組みを行っている。現在まで14件の案件があり、大学の数学教室は手一杯となっている。最も多いのは生命系から持ち込まれた案件である。今までの活動の効果として他分野から挙げられたことは、数学者との討論により問題の論理構造が明確になった、正確な用語の定義を知ることにより論述に確信を持つようになった、などである。一方、この取組みは数学の若手人材育成にも貢献している。さらに、共同研究という形まで進んで成果が挙がったり、具体的な問題から数学の新しい問題の発掘に繋がる可能性もある。互いの分野の特徴を知るようになり、互いに研究者としての幅が広がっている。最終的には、数学を横糸とした諸科学の連携という形に繋がれば理想的であると考えている。

(2)『数学者の現状と数学会からの提案』

森田康夫 (社)日本数学会前理事長

近年、日本の大学では短期間で成果を要求される場合が増え、数学者の研究時間が減ってい

る。小規模の大学にも優秀な研究者はいるが、基盤的研究費の不足で研究活動が十分に実施できていない。

例えば、東北大学理学部数学科では教養教育の講義が多く、学部や大学院教育では一人当たりの仕事量は物理や化学より多い。小規模の大学では、研究費が少ない上に教育負担がさらに大きくなっている。

数学が外部からの刺激を必要としている一方で、科学技術を定量的に取り扱うためには数学が不可欠である。生命科学、情報通信、金融工学、ナノテクなどでは、研究が高度化・複雑化するに伴い、数学に対するニーズが急速に高まっている。このニーズに対応するため、欧米では様々な研究拠点を作られたが、日本の数学者は十分な時間がなく、この様なニーズに対応できていない。

それに対して、優れた数学者が一定期間数学の研究に専念し、他分野の研究者との交流を活発に行えるような環境(組織)を構築することを提案する。その具体的手段としては、数学者の教育負担の一部を肩代わりして貰い、秘書や補助スタッフも配置する。また、文献整備や文献検索ネットワーク開発など基盤整備を実施する。数学では明確な成果の予測は難しいが、これらの方策により、多くの優れた成果を出すことを私は保証できる。この提案の前提として、長期的な視野に立つ人材育成が重要であることを強調したい。

(3)パネルディスカッション：数学者研究振興と諸科学や産業技術への数学研究の活用のための方策について

①『ネットワーク型科学技術数学者研究拠点構想』の提案

儀我美一 東京大学教授

森田先生の発表を受けて、ネットワーク型科学技術数学者研究拠点

構想を提案したい。この前提として、数学は諸科学の基盤となる学問であること、諸科学や産業技術への数学の活用による成果は社会に多大な影響を及ぼしうること、優秀な数学者が国内に分散していること等を挙げることができる。

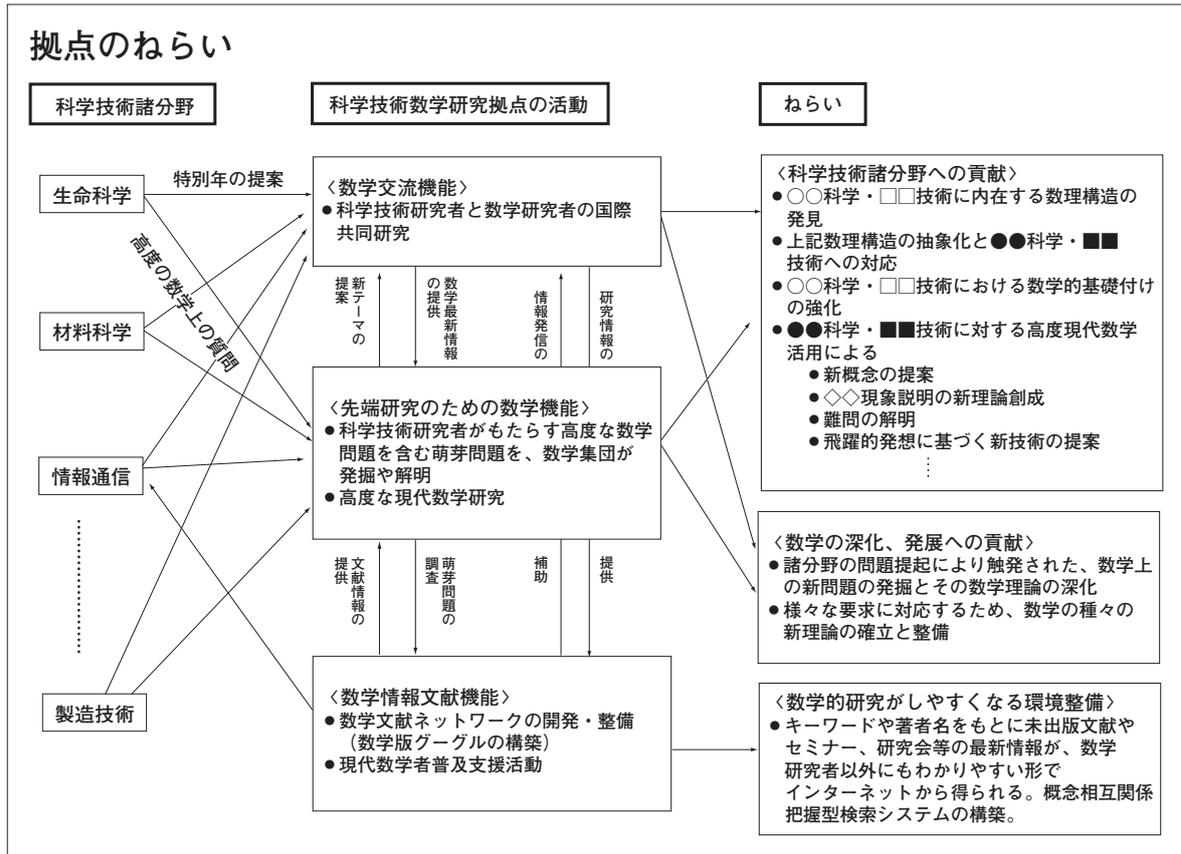
この構想は次の4つの要素で構成される(図表3)。(A)世界中及び全国から集められた優秀な数学者及び他分野研究者が、滞在型グループ形式で年毎の課題(科学技術と数学の連携課題、関連する数学課題)に関する先端的研究を実施する「数学交流機能」、(B)全国に分散している優秀な数学者間でネットワークを構築し、津田先生が講演された北海道大学の取り組みのいわば全国版を実施する「先端研究のための数学機能」、(C)数学者だけでなく他分野研究者も数学における諸概念の関係を容易に調査できる検索システムの構築や、上記2要素の研究などに対して数値計算アルゴリズム支援などを行う「数学情報発信」、(D)数学者の研究時間を捻出するために研究秘書や数学教育者の配置などを行う「数学者研究基盤整備」。

これらの取り組みによって、数学が諸科学の発展に大きく貢献するとともに、我が国の数学がより深く発展することが見込まれる。

②パネルディスカッション

○岡本久 日本応用数理学会理事：例えば、米国ミネソタ大学数学者応用研究所(IMA)は真の学際研究の涵養を謳っている。ここでは、全米から各分野のリーダーとなる研究者が選ばれ、期限付きで滞在研究を行っている。数学者が学際研究をできるように数学者を教育するというミッションもある。私が20年前に経験したIMAの研究集会では、既に毎月のように現場や企業の方々に来ていた。また、リーダーシップの強い所長が長期的

図表3 儀我美—東京大学教授発表資料から抜粋



にその職に就いていることにより、長期プランを立てやすくなり、外部資金を得て挑戦的な研究を実施しやすい。数学内の研究領域の偏りは見られず、女性研究者が日本より多かった。

- 石井志保子 東京工業大学教授：私はこれまでドイツのマックス・プランク研究所（ボン）、米国の日米数学研究所、カナダのバンフ研究所、イタリアのICTP研究所などでの滞在経験があるが、いずれも有能な秘書やコンピュータスタッフが手厚く配置されていて、何か問題が起きても迅速かつ的確に対応してくれた。例えばマックス・プランク研究所では、常勤研究者7人、滞在研究者が多くて70人であるが、これに対し、サポートスタッフ（秘書、コンピュータスタッフ、司書など）が15人いる。一方、東京工業大学では助手から教授まで33人に対して、事務職員が2人しかいない。このように、日本で

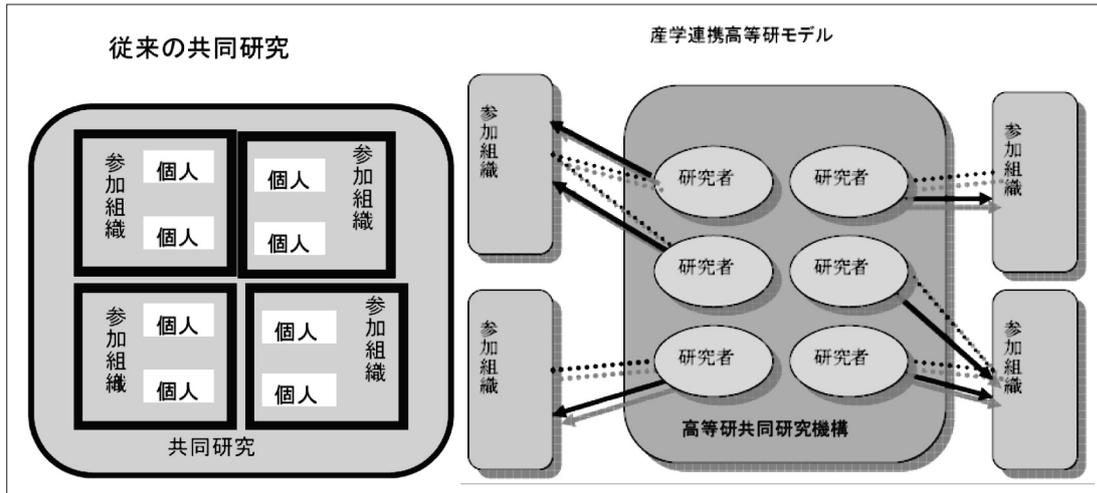
は事務員数が圧倒的に少なく、事務仕事を教授などがやっている。数学研究というのは、純粹数学、諸科学との連携を問わず、時間とエネルギーを湯水のように使って初めてできるものであり、今の日本の大学は独創的な仕事をなかなかできにくい状況にある。

- 金森順次郎 (財)国際高等研究所 長：国際高等研究所の研究資金は主に科学研究費補助金から得ており、研究室26室、レクチャーホールなどを擁する。研究分野としては諸科学全てを覆い、研究者間の自由な議論をモットーとして、長期短期の滞在を通じた研究会などを実施している。特に研究基盤形成関係のプロジェクトや産学連携の契約モデルの構築などを行っている。特に産学連携共同研究に関する国際高等研究所モデルは、今後の大学の数学研究者と産業技術者の共同研究の出発点構築のよい参考になると考えるので紹

介しておきたい (図表4)。

- 福田敬 日本保険・年金リスク学会理事：私が以前勤めていた会社は数学系の人を比較的多く必要としていた。日本全体に金融工学の理論と実務に通じた人が少ないことと昨今の雇用の流動化も伴って、私は100～200人くらいの人と面談した。しかし、結局、素粒子物理などの専門家は多く採用したが、数学の博士は一人も採用しなかった。物理系の方々には「もの」を扱っているため、金融のように困難な課題をどうやって解決するかという視点を持っている。そういったタフさ、あるいは物事を解決しなければならないという意欲が数学の博士には欠如しているように思われる。高度な数理能力を鍛えて自ら研鑽されたはずの人材を民間企業が採用できないというのは勿体ないことである。数学の修士号を取った後に一般社会に適合するように見識を広げることができれば、

図表4 金森順次郎 財国際高等研究所長発表資料から抜粋



産学連携 高等研モデル

- 参加研究員の独自研究と、各自の職務との直接関係を否定
- 参加研究員の守秘義務
- 産学共同研究体内における研究の自由
- 産学共同研究体が知的財産創出判定
- 個人帰属ルール
- 個人帰属後に所属の企業なり大学の職務発明規範による最終帰属
- 二元構造による研究の自由保証

文献：北川善太郎著高等研報告書 205「産学連携高等研モデル」2003年；同「職務発明と産学連携—大学の知的財産ビジネスのために—」コピーマート研究所、2003年

本人にとっても非常に良いのではないだろうか。

- 中川淳一 新日本製鐵(株)主幹研究員：製造現場では大量のデータの中から法則性を見出すことが永遠のテーマである。そういう意味で儀我先生の提案の(B)によって、色々な数学手法を我々の現場で是非試してみたい。それができれば、数学自体には大きな資金はかからないので、それほど大きな投資無しに大きな改善が得られる可能性がある。また、数学は発想の飛躍をもたらす可能性があり、うまくいけば技術のイノベーションが一気に進むと思う。実際の連携で重要なことは対話である。互いを良くしようという志と忍耐も必要である。成果を得るには数年くらいは必要であるが、そういう活動ができれば非常に嬉しい。
- 石岡祥男 (株)日立製作所基礎研究所シニアマネージャー：今回の構想の柱、「純粋数学のレベルアップ」と「産業界に役立つ先端研究推進」はいずれも重要であるが、どちらに力点を置く

かで運営が若干変わるように思う。すばらしい論文を書くことを最終目的とするなら、高度で新しい相談以外是对応しないということもありうるが、産業界に役に立つようなサービス提供を本気で考えるならば、産業界が気軽に相談を持ちかけられる運営が望ましいはずである。産業界からの要望をしっかり受け止めて共同研究に結びつけるためには、双方の橋渡しができる経験豊富なスタッフとかなりのエネルギーが必要である。

基礎研究の質は「人」で決まる。どのようなテーマを柱に選ぶか、どのような研究者を国内外から集めるか、リーダーシップを発揮できる所長と責任ある運営体制で決定してほしい。産業への活用を重視するなら産業界の意見も反映できる運営組織にして、産学が夢を共有できる魅力的なテーマを見つけることが必要ではないか。

- 堀田凱樹 情報・システム研究機構長：数学を全体的に活性化することが必要であり、それが

緊急の課題であることには賛成する。儀我先生の構想の目的は、数学研究の底上げや数学者が自由に考える時間を作ることが目的なのか、それとも、日本の数学界を飛躍させることなのか不明確である。もし諸科学や産業技術との連携、共同研究や質問対応程度が目的ならば、それは数学の成果の利用だけに留まってしまうかもしれない。むしろ例えば、優秀な数学者が生命科学を本当に面白いと思って現場に飛び込んで行き、その中で数学的なテーマを探し出すというようなことが起こる設計にすべきではないか。

- 桑原輝隆 科学技術政策研究所総務研究官：日本の数学を巡る環境が万全ではないことは共通の認識だと思う。このような数学の地位の変化の要因を3つ挙げる。

- ① 20～30年間スケールで国の研究開発のスタイルを考えると、国が貧しいときには紙と鉛筆が中心となり、国力が付いてくると大規模な

実験設備やインフラを使った研究が花形になる。これは歴史的必然である。そのため、現在の日本で数学が相対的に下がっているのは必然とも言える。しかし、ここである種の意志が働けば縮退は避けられる。一方、欧米の一流研究者から日本の科学技術は深さが欠如していると指摘されている。特に新規理論や概念体系構築能力が十分でない理由は、数理が必ずしも強くないことにあると思う。

②この数年間スケールで日本を見れば、1996年から科学技術基本計画が実施され、競争環境を強めるために競争的資金が増やされ、大学も法人化し、産学連携の諸制度も整備された。これらはそれぞれの目的を持って進められたが、ローカルな最適化を積み上げ

ても全体の最適にならないこともある。例えば、競争的資金の重視は重要だが、大学間で獲得資金を勝負するようになると、数学は実験設備など大きな資金を必要としないため、重要視されにくい。また、産学連携でも数学では4～5年間で華々しい効果は出にくい。一方、入試制度が複雑になって数学研究者にシワ寄せが来ている。このように、これまでの制度改革が数学のような一部の基礎科学分野に複合的に負の影響を与えている可能性がある。

③英国の相当数の大学が、学生に人気が無く産学連携や資金獲得においてもポイントが稼げない数学科を止めようとしていると聞いている。米国ですら、全米研究会議(NRC)などのアカデミアが数学を放っておくと将来に禍根を残

す、と必死に発信している。おそらく何処の先進国でも数学のような分野はあまり顧みられない傾向はある。文部科学省でも数学は万全だと思われていた。そこで論文シェアが約5%しかない(これが正確な日本の数学の実力かどうかはともかく)と聞くと皆驚いている。そういう情報の刺激を与えなければならない。設備投資型研究の拠点的推進にはノウハウがあるが、性格が異なる数学などの研究に対しては新しい政策展開が必要である。しかし、どうすればよいのか誰も分からない。そのときに、現状を一番理解していて何がベストかを認識している数学者が自ら情報発信しなければならない。そういう意味でこのシンポジウムは第一歩となると思う。

### 3 シンポジウムを総括する提言

以上の議論をもとに、会場アンケートによる傍聴者からの意見も参考にして、下記の提言が確定された。

#### 日本学術会議シンポジウム 「礎 (いしずえ) の学問：数学—数学研究と諸科学・産業技術との連携—」提言

2006年5月17日本シンポジウム第I部における産学官の方々による講演から、諸科学や産業技術の飛躍的發展のためには、複雑化する研究対象の中に潜む論理構造を見出す必要があり、さまざまな現代数学の活用、またさらなる高度な数学の創造が不可欠であることが改めて明らかとなった。例えば材料科学や生命科学のさまざまな根源的な問題の解明のために、数学的アプローチ

が真剣に試みられ、数学研究者との連携が求められている。また製造現場でも画期的な新技術の創出のために、高度な数学的洞察力と思考力に基づく発想が要求されている。そのため、米国などの欧米諸国では、研究開発戦略における数学の重要性を既に認識し、数学と諸科学・産業技術との連携を進めるための研究機関の設置や、数学研究の国家プログラムなどを実施していることが判明した。

このように、21世紀の現在、数学の可能性は大きく拓けている。科学技術創造立国を目指す我が国にとって、科学技術によるイノベーションの達成のために最新数学の創造と活用は急務ではないだろうか。

しかし、我が国の数学研究を取り巻く状況は極めて厳しい。数学

は現象の科学的記述という諸科学における礎 (いしずえ) の役割を担い、諸科学の発展に直接的又は間接的に大きく貢献してきたにも関わらず、その成果を誰にでも理解しやすい形で伝えることが困難であるために、我が国の科学技術政策では長らく忘れられてきた。一方、発展著しい科学技術を背景に数学教育がますます重要性を増したが、数学研究者はこれに対しても誠実に対応し、学生の数学力の維持に努めてきた。数学研究者の能力を社会に有効に活かすためには、数学研究者に教育と研究に専念できる環境を与えるべきであり、彼らもそれを望んでいる。しかし、教員や事務員の定員削減や事務量の増加等により、数学研究者一人当たりのオブリゲーションがあまりに膨れ上がり、

結果的に教育の事前準備や研究に向けられる時間が大幅に減少してしまった。

そのため第Ⅱ部でも指摘されているように、日本の数学者は能力があるにも関わらず、それを諸科学・産業技術に活かすことが欧米に比べ難しい環境に置かれている。それどころか、世界的に非常に高い研究レベルを誇ってきた我が国の数学に陰りが見え始めるまでに及んでいる。

このような事態を真に打開し、数学研究を活性化し、それを諸科学や産業技術に積極的に活かすためには、数学教員の増員や基盤的研究費の増額など国家レベルの抜本的な対策が必要だろう。しかし、事態の根本的解決とまではゆかずとも、今日の高まる諸科学や産業技術からの要望に応じていくために、我が国の数学研究者がこれまでの流れを変える「きっかけ」として何か出来ることはないであろ

うか。

その「きっかけ」として、本シンポジウム第Ⅱ部において、全国の数学研究者有志が「ネットワーク型科学技術数学研究拠点構想」を提案した。この構想では、我が国の既存の数学研究能力を活用し、数学研究との連携による諸科学・産業技術の振興とともに数学研究の活性化を目指している。そのポイントは次の4点である。

- ① 諸科学・産業技術研究者と数学研究者が連携する場の構築と、それを支える最高水準の数学研究交流の場を提供すること
- ② 最先端の諸科学・産業技術を数学的にサポートする全国ネットワーク型の数学研究者チームを結成すること
- ③ 数学情報文献ネットワークをはじめとする科学技術者向け現代数学普及のための実用システムを開発すること

- ④ 高度の思索のための継続した研究時間を数学研究者に与えるための方策の実施

本シンポジウムは、我が国の数学研究を取り巻く危機的状況を打開し、数学と諸科学や産業技術との連携を実施するための「きっかけ」となり得るこの構想を支持し、その実現をここに提言する。

#### 参考文献

- 1) Policy Study No.12「忘れられた科学 —数学 主要国の数学研究を取り巻く状況及び我が国の科学における数学の必要性」(2006年5月、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、細坪護孝、伊藤裕子、桑原輝隆)：  
<http://www.nistep.go.jp/achievements/jpn/pol012j/idx012j.html>
- 2) 科学技術動向 2005年6月号

#### 執筆者



細坪 護孝

科学技術基盤調査研究室



1998年から文部科学省(科学技術庁、文部省)や内閣府において行政事務に従事。2004年から科学技術政策に関する調査分析活動に従事しており、現在は数学研究に関する調査分析などを実施。

# 科学技術動向研究センターとは

2001年1月より内閣府総合科学技術会議が設置され、従来以上に戦略性を重視する政策立案が検討されています。科学技術政策研究所では、戦略策定に不可欠な重要科学技術分野の動向に関する調査・分析機能を充実・強化するため2001年1月より新たに「科学技術動向研究センター」を設立いたしました。当センターでは、「科学技術基本計画」の策定に資する最新の科学技術動向に係る情報の収集や今後の方向性についての調査・研究に、下図に示すような体制で取り組んでいます。

センターがとりまとめた成果は、適宜、総合科学技術会議、文部科学省へ政策立案に資する資料として提供しております。

センターの具体的な活動は以下の3つです。

## 1 「科学技術専門家ネットワーク」による科学技術動向分析

わが国の産学官の研究者を「専門調査員」に委嘱し、インターネットを利用して科学技術動向に関する幅広い情報を収集・分析する「科学技術専門家ネットワーク」を運営しています。このネットワークを通じ、専門調査員より国内外の学会会合、学術雑誌などで発表される研究成果、注目すべき動向や今後の科学技術の方向性等に関する意見等を広く収集いたします。

これらの情報に、センターが独自に行う調査・研究の結果を加え、毎月1回、「科学技術動向」としてまとめ、総合科学技術会議、文部科学省を始めとした科学技術関係機関等に配布しています。なお、この資料は <http://www.nistep.go.jp> においても公開しています。

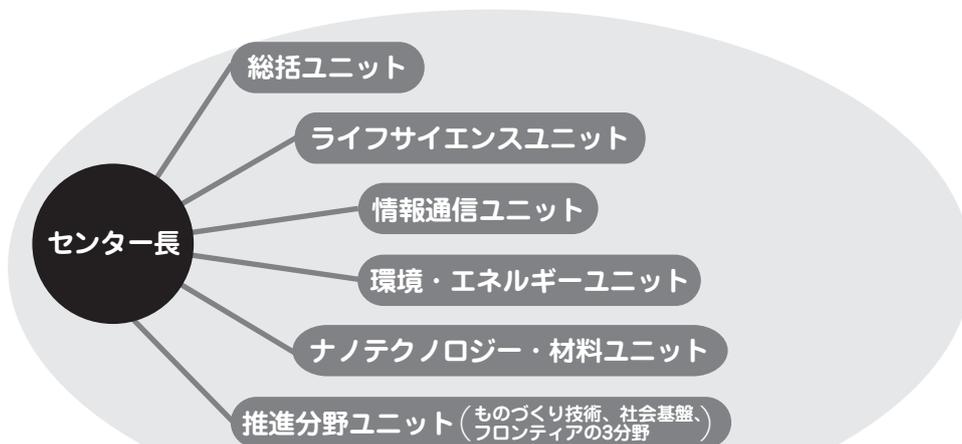
## 2 重要科学技術分野・領域の動向の調査研究

今後、国として取り組むべき重点事項、具体的な研究開発課題等を明確にすることを目的とし、重要な科学技術分野・領域に関するキーテクノロジー等を調査・分析します。

さらに、重要な科学技術分野・領域ごとの科学技術水準を欧米先進国と比較し、わが国の科学技術がどのような位置にあるのかについての調査・分析も行います。

## 3 技術予測に関する調査研究

当研究所では、科学技術の長期的将来動向を総合的に把握するため、デルファイ法を中心とする科学技術予測調査をほぼ5年ごとに実施しています。2005年には2年間にわたった「科学技術の中長期的発展に係る俯瞰的予測調査」を報告しました。



\*それぞれのユニットには、職員その他、客員研究官（非常勤職員）を配置。

\*センターの組織、担当分野などは適宜見直しを行う。

(2006年4月現在)

# SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS



## 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>  
【E-mail】 [stfc@nistep.go.jp](mailto:stfc@nistep.go.jp)





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

---

**科学技術動向2006年7月**