

科学技術動向

2002

4

No.13

科学技術トピックス

▶ ライフサイエンス分野

- ① 幹細胞への逆行性リプログラミング
- ② エピソード記憶にせまる数学

▶ 情報通信分野

- ① 「世間は狭い」～ P2P ネットワークの運用評価～

▶ 環境分野

- ① 自然と人間の共生回復宣言がなされる
— 第 20 回日本環境会議とアジア国際環境会議から —
- ② 内分泌かく乱物質の発生源についての研究成果

▶ ナノテク・材料分野

- ① 有機薄膜上で自己集合により金属ナノワイヤーの合成に成功

▶ エネルギー分野

- ① 核融合研究の工業応用
- ② 日本原子力学会 2002 年春の年会在開催される

▶ 製造技術分野

- ① 印刷プロセスで製造できる有機薄膜トランジスタを開発

▶ 社会基盤分野

- ① 富士山の火山ハザードマップ作成の経緯と現状

▶ フロンティア分野

- ① 自律走行型海中ロボット (AUV) がデモンストレーション航行
- ② 地球下部マントル中には大量の「水」が含まれる

特集 1 がん研究の最近の動向

— 分子標的治療法とトランスレーショナルリサーチ —

特集 2 量子コンピュータの研究開発動向

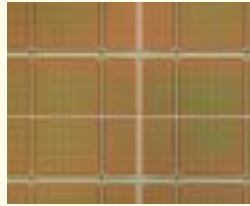
特集 3 ナノバイオロジーの動向

特集 4 災害シミュレーション技術の動向

特集 5 米国科学技術政策の最新動向

— 2002 年 AAAS 年次コロキウム速報 —

特集 6 平成 14 年度科学技術関係予算編成の概要



科学技術トピックス

ライフサイエンス分野

6

① 幹細胞への逆行性リプログラミング

幹細胞から特定の機能を持つ細胞へと分化していくシステム（幹細胞システム）においては、自己複製能を持つ幹細胞がヒエラルキーの頂点に存在し、前駆細胞を経て、最終的に機能する細胞へと分化する。このシステムにおける分化は一方向に進行するものと、頑なに信じられてきた。しかし、2002年3月にCellオンライン版に掲載されたMITのGeorge Q Daleyらの論文では、マウスの造血幹細胞システムにおいて、造血前駆細胞から造血幹細胞へと、すなわち、分化細胞から未分化細胞へと、分化の方向を逆行させうることを示している。

② エピソード記憶にせまる数学

人間は、行事があった日時、場所を正確に記憶していなくとも、そこでどのような人に出会ったかといったことがおきたかといったことは、よく覚えているものである。エピソード記憶とよばれるこの種の記憶は、後に経験するさまざまなノイズに影響されずに、残るものである。北海道大学の津田一郎教授はカントール集合という数学上の概念に着目した数理モデルでエピソード記憶のメカニズム解明を試みている。

数学は何も計算やシミュレーションのためばかりでなく、このような本質的に新しいアイデアを供給する。

情報通信分野

7

① 「世間は狭い」～P2Pネットワークの運用評価～

現在のコンピュータネットワークは基本的に情報を蓄積するサーバと、サーバから情報を受け取る端末コンピュータ（サーバに対してクライアントと呼ばれる）で構成されるサーバ・クライアントモデルである。これに対して端末同士が対等に情報をやりとりするネットワークが最近注目されている。対等な端末（ピアpeer；同等者、同僚という意味）同士がつながるのでP2P（ピア・ツー・ピア）ネットワークと呼ばれる。

PeerからPeerへメッセージをリレー式に送っていくGnutellaなどのPure形P2Pネットワークに関する運用評価によって、送られたメッセージは6～7段のリレーで目的のPeerにたどり着くことがわかった。また、障害やサイバー攻撃に対してロバスト性（堅牢であること。この場合は耐障害性）が高いと考えられていたP2Pネットワークに意外な弱点があることも明らかになった。

環境分野

8

①自然と人間の共生回復宣言がなされる

—第20回「日本環境会議」と「アジア国際環境会議」から—

「21世紀の環境再生のために」をテーマとして、2つの会議がNGOの日本環境会議の主催で開催された。中国の大学研究者による、中国の環境問題と制度に関する発表と西部地域の開発政策とそれに伴う環境破壊に関する発表が注目を集めた。高知大学元学長の立川涼氏は基調講演で、新たな経済社会システムやライフスタイル・価値観が必要とされていることなどを主張した。両会合における議論を総括する形で、「自然と人間の共生関係の回復を目標とする」という大会宣言が採択された。

②内分泌かく乱物質の発生源についての研究成果

水環境学会年会で、内分泌かく乱物質関連の研究成果が注目を集めた。特定地域のサンプリング分析、発生源物質の同定と特性解析、環境への排出経路の解明、影響評価モデルなど、約20件の発表があり、多環芳香族炭化水素（PAHs）、ビスフェノールA、ダイオキシンなどの発生源が徐々に明らかにされつつある。

ナノテク・材料分野

9

①有機薄膜上で自己集合により金属ナノワイヤーの合成に成功

シカゴ大学のW. A. Lopesらは、第1段階で、有機成分の超薄膜上で規則的な構造を自発的に形成させ、第2段階で、無機成分である金属原子を、膜表面のぬれ方の違いにより構造に沿って選択的に凝集させる2段階自己集合プロセスにより金属ナノワイヤーの合成に成功した。(nature、2001年12月13日号)。

エネルギー分野

10

①核融合研究の工業応用

核融合研究での工業応用に関する動向が、電気学会全国大会のシンポジウムにおいて報告された。磁場方式では、超電導、高エネルギービーム、材料加工などで新しい技術が開発されている。また、レーザー方式でのレーザー技術の発展は、大型結晶生成、薄膜生成、光学素子精密加工などの工業技術を進展させている。今後、幅広い分野との情報交換の場を増やし、技術移転を速やかに行える体制を確立していくことが重要である。

②日本原子力学会2002年春の年会が開催される

日本原子力学会2002年春の年会が神戸商船大学で開催された。原子力による水素製造、革新的小型原子炉、ロシア余剰核兵器解体プルトニウム処分、大強度陽子加速器プロジェクト関連のトピックスが注目された。

製造技術分野

11

①印刷プロセスで製造できる有機薄膜トランジスタを開発

産総研は、溶媒に可溶性ポリチオフェンという有機半導体材料を用い、トランジスタ構造を工夫することにより常温・常圧下印刷法で簡便に高性能有機薄膜トランジスタを製造できる方法を開発した。

社会基盤分野

11

①富士山の火山ハザードマップ作成の経緯と現状

富士山は目立った火山活動がないなどの理由で、これまで十分な観測や噴火履歴調査が行われてこなかった。しかし、近年、マグマ活動が発生源とみられる低周波地震が急増し、マグマが依然として生きていること示された。そこで、2001年7月から国の主導で「富士山ハザードマップ検討委員会」が活動を開始し、マップの作成とその防災対策への活用方法が検討されており、2003年度初めには富士山の最初の火山ハザードマップが公表される。

①自律走行型海中ロボット（AUV）がデモンストレーション航行

自律型海中ロボット（AUV）は、索（ケーブル）を持たず海中を自由に航行する探査機であり、氷海下のような環境で広範囲に渡る連続的データを得る観測プラットフォームとして期待されている。先頃、北海道紋別市沖でKDDI所有のAUVがデモンストレーション航行を行ない、氷海域での安定航行と信頼性をアピールした。今後は極地や深海など、さらに環境条件の厳しい領域に活躍の場を広げるべく、技術開発を進めることが重要である。

②地球下部マントル中には大量の「水」が含まれる

現在の地球生成モデルでは、初期地球には重量比にして約2%の水があったとされるが、現在の全海洋の重量は地球の約0.02%に過ぎない。このため、水の大部分は地球から散逸したか、あるいは地球内部に存在すると考えられている。東京工業大学 村上元彦他は、高圧発生装置を用い下部マントルの構成鉱物を合成し、その水分量を測定した結果から、下部マントル全体に全海洋の約5倍の水が含まれる可能性のあることをScience（Vol. 295, Page1885～1887 2002年3月8日）に発表した。

特集—1

がん研究の最近の動向

—分子標的治療法とトランスレーショナルリサーチ—

がんは、我が国における死亡原因の約3割を占めており、がん克服は国民の健康の維持増進を図る上で重要な課題である。

近年、がん細胞の増殖や浸潤・転移などのメカニズムが分子レベルで解明されてきており、このような特定の分子を標的とした新たな治療法（分子標的治療法）の研究が進展してきている。分子標的治療薬は、新しいタイプの抗がん剤として、副作用の低減、難治がんや進行がんの克服、がん治療におけるテーラーメイド医療（患者個人に対する最適な医療）の実現などが期待されている。

分子標的治療法の研究開発の推進には、標的分子や薬剤の探索のために、がん増殖等のメカニズムの解明や、がん遺伝子の探索といった基礎研究をさらに推進する必要がある。また、これらの基礎研究を支援するデータベース等の研究基盤の整備も必要である。

また、医薬品開発には臨床試験が必須であるが、企業が医薬品等の承認取得のために行う臨床試験（治験）の形態では、分子標的治療薬といった先端的医療の研究開発が十分に促進できない面がある。そこで、治験とは異なった臨床試験の形態として、トランスレーショナルリサーチ（先端的医療の開発において、臨床試験を目的とした探索的な基礎研究の成果を臨床試験へ応用するための研究）の推進が必要である。我が国でトランスレーショナルリサーチを推進していくためには、現在進行中の薬事法改正で行われる治験範囲の拡大といった法制の整備、トランスレーショナルリサーチ実施機関において安全性、倫理性、科学性の検証を行い得る体制の整備、インフォームド・コンセントなど被験者への対応業務を行うCRC（Clinical Research Coordinator：治験コーディネーター）の人材育成などの取り組みが必要である。

このような取り組みを通して、分子標的治療薬などの新しい治療法を確立し、副作用の少ないがん治療法やがん治癒率の向上などの早期実現を図っていくことが望まれる。

特集－2 量子コンピュータの研究開発動向 — 19

因数分解を現在のコンピュータで解くことの困難さは公開鍵暗号（RSA 暗号）の安全性の根拠である。量子コンピュータは、因数分解のようなある種の問題に対して、現在のコンピュータに比べ飛躍的に高速な計算を行うことができるとして、注目を集めている。また、量子1個を操作するエネルギーは非常に小さく、時間も短いため、原理的にはナノデバイスと同様、低発熱・超高速のコンピュータとなる可能性がある。

現在、各国で研究が進められているが、ハードウェアは原理確認可能なモデルができた段階である。ソフトウェア（アルゴリズム）的にも、量子的に並列計算が可能という量子コンピュータの利点を生かせるアルゴリズムは限定されている。エラー訂正の問題を含めて、今後の研究による応用分野拡大が求められる。

実用化へは、機能を並列計算に絞ったコンピュータの補助ユニットとして、また量子暗号や量子通信における送受信、中継ユニットとしての応用が考えられる。しかし実用化までには、まだ多くの時間と、多くの問題を解決することが必要である。

一方、研究分野としては多くの分野が交差する境界領域であり、異分野間の交流による新しい発想と技術的ブレークスルーが期待される。

特集－3 ナノバイオロジーの動向 — 27

ナノバイオロジーは、ナノテクノロジーとライフサイエンス両分野にまたがる領域として、(1)微細加工技術などのナノテクノロジーをライフサイエンス分野へ利用・応用する、(2)生体物質などをそのままナノデバイス等に利用する、(3)生体の機能、原理をナノテクノロジーの発展に利用するという3つの研究領域を包含する。(1)の技術を応用して、ポストゲノム以降のライフサイエンス研究を推進すると同時に、(2)、(3)により、ナノテクノロジーをより高いレベルへと育成していくことが望まれる。

特集－4 災害シミュレーション技術の動向 — 33

近年の災害対策は災害発生をくい止める施策から、被害を最小にくい止める「減災」を重視する施策にシフトしている。災害シミュレーション技術はこの「減災」の実現に大きく寄与する技術である。

コンピューター技術の飛躍的進歩に加えて、測量技術の高度化、さらには観測体制の充実により正確なデータを使用できるようになった事から、都市域における内水氾濫解析や東海地震等における強震動解析等事象のシミュレーション精度の向上は顕著である。

減災に向けた対策をより実効性のあるものとするためには、解析技術の精度向上を図る事はもとより、国民一人一人が災害情報に関して、知識・理解を持つことも重要である。これには普段からの解析結果等の広報・啓発を積極的に進めることである。

今後は、防災行政の最先端に位置する各自治体において降雨予測やGISとシミュレーション技術を融合し、リアルタイムで防災情報を提供できかつ管理施設の被害予測が可能なシステムを構築するなど危機管理施策を強力に推進する必要がある。又必要な予算面、技術面での支援も必要である。さらに、細密国土数値情報等を取り込んだ浸水予想図、液状化分布図及びハザードマップ等の作成・公表を進める等住民ニーズに即した生活支援への利活用に努めることも重要である。

特集—5

米国科学技術政策の最新動向

— 39

— 2002年 AAAS 年次コロキウム速報 —
同時多発テロが米国科学技術政策に及ぼした影響
および 2003 年度の重点目標

同時多発テロが米国の科学技術政策に与えた影響は大きく、科学技術の関係省庁はテロ対策 R&D プログラムに優先的に取り組んでいるが、各種プログラムが錯綜し、早急なる調整が求められる。また、大学では National Academies のリードシップの下、テロ対策 R&D が活発に行われているが、同 R&D は同時にテロ手段の供給源となるリスクがあり、心理学的および社会学的視点を取り入れた R&D マネージメントが求められる。

テロ対策以外では、ナノテクノロジーとライフサイエンスが 2003 年度の重点分野である。NIH の予算倍増キャンペーン（2003 年度で終了）の結果、連邦政府の R&D 予算配分がライフサイエンス分野に偏るといった問題が生じているが、従来の分野概念が変わりつつあり、連邦政府は投資先として相応しい次世代を切り拓く技術を暗中模索している。

ただし、赤字財政が拡大する中、政府 R&D 投資の効率化が求められ、Bush 政権が重視する R&D マネージメントの行方が注目される。

特集—6

平成 14 年度科学技術関係予算編成の概要

— 43

新年度となり、第 2 期科学技術基本計画の 2 年目がスタートした。平成 14 年度予算は、新行政体制下での初の予算編成である。

総合科学技術会議は、まず、いくつかの専門調査会を設置して分野別推進戦略及び資源配分の方針の検討を進め、それらを踏まえて概算要求の方針を決定した。次いで、構造改革特別要求の概算要求において、各省庁の予定施策を精査し、優先順位付けを行った。さらに、概算要求全体について検討を行い、予算編成に当たって配慮すべき点を取りまとめた。

このようにして決定された今年度予算では、科学技術関係経費が前年度比 2% 増となった。また、分野別では、主目的施策経費で、金額は小さいものの、ナノテクノロジー・材料分野と環境分野が前年度に比べ大きな伸びを示した。

科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿（4月号は2002年3月9日より2002年4月5日まで）を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

ライフサイエンス分野

① 幹細胞への逆行性 リプログラミング

幹細胞から特定の機能を持つ細胞へと分化していくシステム（幹細胞システム）においては、自己複製能を持つ幹細胞がヒエラルキーの頂点に存在し、前駆細胞を経て、最終的に機能する細胞へと分化する。このシステムにおける分化は一方向に進行するものと、50年におよぶ幹細胞研究において頑なに信じられてきた。しかし、最近、この常識を破る研究が報告された。この報告は、幹細胞学のみではなく、再生医学においても大きなインパクトを与えた。2002年3月にCellオンライン版に掲載されたMITのGeorge Q Daleyらの論文では、造血幹細胞システムにおいて、ある転写因子を一過性に発現させることによって、造血前駆細胞から造血幹細胞へと、すなわち、分化細胞から未分化細胞へと、分化の方向を逆行させるこ

とを示している。

試験管内実験において、マウス胚性幹細胞（ES細胞）を造血前駆細胞や血液細胞に分化誘導させることができる。しかし、マウスES細胞から自己複製能のある造血幹細胞の誘導は不可能であった。Daleyらは、Cre-LoxPシステム^①を巧妙に工夫し、かつテトラサイクリンによるコンディショナル（任意的）遺伝子発現制御システムを組み合わせた実験系を利用し、マウスにHOXB4遺伝子（転写因子の一種：造血幹細胞の自己複製能に機能する）を導入し、造血前駆細胞において強制発現させた。遺伝子操作をおこなった造血前駆細胞を致死量の放射線を照射したマウスに移植したところ、驚くべきことに、造血システムは移植された細胞によって長期間にわたり維持された。すなわち、HOXB4は造血前駆細胞を造血幹細胞へと逆行性に分化させる「リプログラミング」機能があること、また、HOXB4を一過性に発現さ

せるだけで、この逆行性分化が可能であることを示している。

ヒトES細胞においても、試験管内において造血前駆細胞への分化誘導が可能であることが報告されており、同様の遺伝子改変をおこなうことにより、ヒトES細胞から造血幹細胞を産生することが可能になるかもしれない。また、インスリン分泌細胞など他の細胞系列への分化誘導においても、コンディショナル（任意的）遺伝子発現システムの利用は非常に有用な方法になることが期待できる。（大阪大学微生物病研究所 遺伝子動態研究分野 仲野 徹氏）

② エピソード記憶に せまる数学

人間は、行事があった日時、場所を正確に記憶していなくとも、そこでどのような人に会ってどのようなことがおきたかといったことは、よく覚えているものである。エピソード記憶とよばれるこの種の記憶は、後に経験するさまざまなノイズに影響されずに、残るものである。

エピソード記憶のメカニズムが北海道大学大学院理学研究科の津田一郎教授提唱のコントロール・コーディングという形で解明されよ

用語説明

① Cre - LoxPシステム

Cre - LoxPシステムを用いることにより、染色体の特定の部位に遺伝子を導入することができる。この方法を用いて、テトラサイクリンによる遺伝子発現誘導システムを導入することにより、標的遺伝子の発現を時期特異的（コンディショナル（任意的））または組織特異的に調節することができる。

うとしている (2000年のDynamic Brain Forum (California) および Pacific Rim Dynamical Systems Conference 等で口頭発表されており、学術誌では、「Cantor Coding in the Hippocampus」Japan J. Indust. Appl. Math., 18 (2001), 249~258などで論文発表されている)。

津田教授は、フラクタル^①の典型例であるカントール集合^②という数学上の概念に着目し、これを元にした力学系で、アトラクター^③のフラクタル次元がいわゆる位相次元よりはるかに大きいものを作り、そのアトラクターがノイズに強いことを示した。エピソード記憶に関する仮説はこれまでであったが、数理モデルはこれが初めてのものである。

そして、ネズミ脳海馬にカントール集合的なものがあることを示そうとする実験が、玉川大学工学部の塚田稔教授により開始され、肯定的なデータが得られている。また、このアイデアを応用した、

用語説明

①フラクタル
非整数の次元をもつ集合。どんなに微小な部分をとっても全体に相似している (自己相似) ような図形はその一例である。〔数学辞典 (岩波)、(第3版)、項目304 長さ、面積、K 参照〕

②カントール集合
線分を3等分し、中央の線分を取り除く。さらに残った線分をそれぞれ3等分し中央の線分を取り除く。この操作を無限に繰り返して残った点の集合をカントール集合と呼ぶ。〔数学辞典 (岩波)、(第3版)、項目440 連結、D 参照〕

③アトラクター
さまざまな定義がある。幾何学的な定義を述べる。どんな初期値から出発しても集合Aとの距離がゼロに収束する性質をもつ集合Aのうち最小のものをアトラクターという。〔数学辞典 (岩波)、(第3版)、項目424 力学系、F 参照〕

安価で大容量な記憶素子をICチップで実現することが、東京大学大学院新領域創成科学研究科の合原一幸教授らにより行われている。

数学は何も計算やシミュレーションのためばかりでなく、このような本質的に新しいアイデアを供給する。

我が国では数学分野と他の連携が悪く、日本人が開発した、世界でもトップクラスの数学が、なかなか他分野にいかされていない。

その原因のひとつは一般理工系研究者の数学力が低くなってきて数学的道具を有効に使えないことにある。この対策のひとつとして、多数の数学系のオーバードクター (大学院重点化にもかかわらず数学教官数を増やさなかったことにより生じた) を、大学低学年の数学教育の担い手として積極的に用いるようにはできないであろうか。(北海道大学大学院 理学研究科 数学専攻 儀我 美一氏)

情報通信分野

① 「世間は狭い」 ～ P2P ネットワーク の運用評価～

現在のコンピュータネットワークは基本的に情報を蓄積するサーバとサーバから情報を受け取る端末コンピュータ (サーバに対してクライアントと呼ばれる) で構成されるサーバ・クライアントモデルである。これに対して端末同士が対等に情報をやりとりする P2P (ピア・ツー・ピア) ネットワークが最近注目されている。

アプリケーションレベルで新たなネットワーク構築を狙った数々の P2P ネットワーク技術がインターネットを中心に運用され1年以上の歳月がたっている。その中で、

Gnutella や Freenet などの Pure 形 P2P ネットワーク^①に関する運用評価が、IEEE Internet Computing 1月・2月号に特集として記載されている。

P2Pでのネットワークトポロジ構築法は、どれもメッセージやコンテンツにユニークIDを与え、それらIDを論理的に結びつけたものとして考えることができる。

そのID情報を使ってPeerからPeerへメッセージをリレーすることで目指すファイルなどを探索・発見するのだが、ユーザが送ったメッセージは、6~7段で目指すファイルにたどり着く。その際には中心となる (多数のPeerとながっている) Peerが少数いて、そのおかげで6~7段階目で目的のファイルにめぐり合えるという

用語説明

①Pure形P2P
ネットワークに結合されているコンピュータ (Peer) 同士が、対等の立場でデータを直接やりとりする方式をP2P (Peer to Peer) と呼ぶ。この中で、集中管理的な機能を一切持たない方式をPure型P2Pと呼び、その代表的な例としてGnutellaやFreenetがある。

②small world phenomenon
“あるまったく知らない人に連絡するのに、知り合いを通して次々にたずねていくと、6~7段階目までにはその人にたどり着く”という現象。

のが、今回の報告である。

社会心理学でいう small world phenomenon^②が、P2P ネットワークにおいても成り立つということである。また、多くのPeerはその近傍にある少数のPeerとのみ結合しており、広い範囲のPeerと結合している少数のPeerがネットワークの中心的役割を果たしていることもわかった（これを Power law network という）。

Pure型P2Pは大変ロバスト性に優れているといわれていたが、障害やPeerへの攻撃がランダム

な場合にはロバスト性が高いが、特定のPeerをまとめて攻撃するようなよく計画された攻撃には大変弱いということがこの報告である程度証明されたことになる。なお、このような実験・評価は米NSF (National Science Foundation) の予算の中で進められている。

とかくP2Pは、特に日本では違法なファイル交換を実現する手段として捉えがちである。しかし、そこで提案されている技術は、今後のインターネットの発展を左右するものがいくつも含まれてい

る。例えば、P2Pネットワークはアプリケーションレベルのネットワークを実現できる技術を目指しており、IP網の物理的な制約を最小限に抑えた、Peerが中心となった新たなネットワーク構築を提案している。本特集を通して、運用実績を積みながら新たな技術の検討が驚く速さで米国で進められていることを改めて痛感させられるものがある。(NTT未来ねっと研究所 小柳恵一氏)

環境分野

①自然と人間の共生回復宣言がなされる

—第20回「日本環境会議」と「アジア国際環境会議」から—

「21世紀の環境再生のために」をテーマに、アジア国際環境会議松江大会が3月29日に、第20回日本環境会議松江大会が3月30、31日の両日、NGOである日本環境会議の主催により松江市で開催された。両会合には、韓国等からの招待者を含む約700人が参加した。

アジア国際環境会議では、中国の大学研究者による中国の環境問題に関する発表に注目が集まった。1件目は中国が直面している環境問題と制度に関する発表で、土地環境の衰退、水資源の悪化、生物多様性の激減、大気汚染の悪化、廃棄物による汚染、を大きな問題として取り挙げた。特に、酸性雨が国土面積の約1/3に被害をもたらしていること、国土面積の1/5が砂漠化し、かつ増加していること等、深刻な現状が示された。環境保護法によって措置を取りつつも、環境破壊を抑制できない中

国の法制度の弱さが指摘された報告であった。2件目は中国政府が進めている、西部地域（四川省他12の省等）へ経済建設の重心を移す政策とそれに伴う環境破壊の問題の発表である。東部地域との経済格差や貧困問題から環境が犠牲とされていること、砂漠化・森林破壊・表層土流出等の生態環境破壊の深刻さなどが示された。

第20回日本環境会議は、4つの分科会に分かれて発表と討論が行われた。大会冒頭に「巨大技術・社会制度としての化学物質」と題した高知大学元学長の立川涼氏による基調講演が行われた。立川氏は、人工化学物質が生活の利便性や快適性を増し安全性さえも高めてきたこと、また、ダイオキシン、フロン、PCBを例にとった安全の概念などについて論じたうえで、①大量生産・消費・廃棄といった20世紀モデルの延長でない、新たな経済社会システムやライフスタイル・価値観が必要であること、②人工化学物質の総体は巨大技術であり社会制度の一つと捉えることができるため、人工化学物質を安全に使う技術が重要であるこ

と、などを主張した。

3日間にわたる両会合の議論を総括して、最終日に「自然と人間の共生関係の回復を目標とする」とした松江大会宣言が採択された。また、宣言の中で、前回大会で提起された「環境再生」の理念が今後の日本およびアジアにおいて重要になるとした。行政に対しては、NGOと協働して住民と事業者の自発的な環境対策を促し、法的な規制や税財政等による誘導も行うことを求めた。

日本企業の生産拠点の移転が中国へと進められる中、中国の環境汚染は、日本と密接に関わる問題として捉えて重要視していくべきであろう。現在の人口規模や経済活動の動向から見て、アジアが今後の地球環境全体の将来を左右する重要な位置を占めるであろうことが想像される。ODAを始めとした国際協力活動等での大きな役割を期待されているNGOだが、本大会宣言中に示された「アジア環境協力機構」という国際組織を作ろうとする試みに、日本環境会議の大いなる飛躍が期待される会合であった。

②内分泌かく乱物質の発生源についての研究成果

3月14日から3日間、第36回水環境学会年会在岡山大学で開催された。発表件数は613件と昨年の558件より大幅に増加し、過去最大規模であった。近年の水環境問題に対する研究者の関心の高まりが伺える。

最近、本学会が注目している研究分野として、内分泌かく乱物質関連の研究が挙げられる。今回の会合では、特定地域のサンプリング分析、発生源物質の同定と特性解析、環境への排出経路の解明、影響評価モデルなど、約20件の口頭発表があった。

特に注目された発表は、道路堆積塵埃中等に存在する多環芳香族

炭化水素（PAHs）に関する研究である。東京大学の古米教授らのグループは、道路堆積物のPAHの組成を分析し、その結果を発生源として想定される、ディーゼルエンジン排出物、ガソリンエンジン排出物、タイヤ、舗装材に含まれるPAH組成と比較した。その結果、道路堆積物中のPAH組成は、ガソリンエンジン排出物とは大きく異なり、舗装材およびディーゼルエンジン排出物と類似していることが明らかとなった。これにより、舗装材およびディーゼルエンジン排出物が道路堆積物中のPAHの主な発生源である可能性が高いことが示された。今後はデータのばらつきを考慮した解析を実施する方針とのことであった。

この他、ビスフェノールA、ノニルフェノール、ダイオキシンなどの内分泌かく乱物質、あるいは、

女性ホルモンを対象物質とした研究発表が多くなされた。研究対象である微量化学物質の発生源は徐々に明らかにされつつあると言える。

横浜国立大学の中西教授らのグループは、鶴見川で採取した水に含まれているダイオキシン類の異性体組成を測定し、発生源の解析を行った。河川水と大気沈着物に含まれる各種の異性体の組成を比較したところ、非常に類似した傾向が見られた。このことから、鶴見川の河川水中のダイオキシンは大気沈着物から流れ出たものであり、そもそもは廃棄物などの燃焼に由来するダイオキシンと考えられる。ただし、一部の異性体については他の発生源（殺菌剤・防腐剤に用いられているトリクロサンの可能性）に由来することも示唆された。

ナノテク・材料分野

①有機薄膜上で自己集合により金属ナノワイヤーの合成に成功

シカゴ大学のW. A. Lopesらは、2段階自己集合プロセスで金属ナノワイヤーの合成に成功した（nature、2001年12月13日号）。

デバイスの高密度集積化が進む中で、ナノメートル程度の寸法でも動作可能な新しい概念の素子の開発がいま世界中で精力的に進められている。例えば、電子1個でスイッチのオン・オフを制御する単電子素子や、有機分子を素子として用いる分子デバイスなどが提案されているが、これら新しい概念のナノ電子素子が実用化されるためには、まだ多くの課題を解決しなければならず、そのひとつの

大きな問題は、個々の素子を電気的に連結する有効な技術がないことであった。ナノワイヤーは、ナノメートル程度の極微小な幅を持ち、電気をよく通す材料で、ナノ電子素子を実現するキー技術と考えられている。

ナノワイヤーの合成方法としては、有機分子膜の分子に走査トンネル顕微鏡の探針によって電圧パルスを加え、分子がドミノ倒しの次に次々と化学結合して行く連鎖重合反応を起こさせることでナノワイヤーを合成する方法が知られている。

Lopesらの手法は、第1段階で、有機成分の超薄膜であるポリスチレン（PS）・ポリメチルメタアクリレート（PMMA）のブロック共重合体を用いて、相分離途上でPMMAとPSの縞状のドメインが

交互に現れる規則的な構造を自発的に形成させ、第2段階では、無機成分である金属原子が、膜表面のぬれ方の違いにより構造に沿って選択的に凝集させた。この2段階の自己集合手法により、金属ナノ粒子の鎖、またはナノワイヤーが形成されることを実証した。粒子鎖ではトンネル効果による非線形導電現象が観測されるが、ワイヤーの場合、オーム則を満たし、高い導電性が得られる。

ナノワイヤーの合成法は、科学技術動向2001年11月号でも採り上げたが、今回の方法は、有機物質のつくる拘束空間に無機物質からなるナノ構造を大面積にわたって自己集合させる方法の一つとして、興味深く、今後の進展が期待される。

エネルギー分野

①核融合研究の工業応用

科学技術を中心とした経済の活性化が叫ばれ、研究開発の成果を産業・企業体に結びつけていくことが求められているなか、世界をリードする研究水準にある核融合研究の工業応用に関する動向を、(財)電力中央研究所の岡野邦彦氏が次のように報告した。

3月26～29日、工学院大学で開催された電気学会全国大会において、「原子力・核融合における電力技術の最前線」と題されたシンポジウムが開催された。このなかで、核融合に関しては核融合研究そのものの動向ではなく、核融合研究で開発されてきた先端技術とその他分野への応用についての講演が行われた。核融合のように長期にわたる開発においては、プロジェクトの実現をめざすだけでなく、その開発過程で得られた先端技術を速やかに社会に還元していく努力が重要であり、その意味で今回のような一般向けの講演会は意義がある。講演は、磁場方式核融合研究における先端技術（松田慎三郎 原研・那珂研究所長）とレーザー核融合研究における先端技術（中塚正大 大阪大学教授）の2件に分けて行われた。前者では超電導、高エネルギービーム、材料加工などで新しい技術が開発されている。いずれも次世代技術のため工業応用で開花するには少し熟成を要するが、ビーム工学などの一部技術ではすでに工業化の動きがあることも紹介された。レーザー核融合に関しては、レーザー開発に伴って大型結晶生成、薄膜生成、光学素子精密加工などの工業技術が進展しており、これら

は既に工業化されているものが多いという。将来、大出力レーザーのコストダウンが可能となれば加工などにも広く使われるようになり、工業的応用は大きく広がることも紹介された。

核融合技術は非常に広い範囲に及ぶ上に、いずれも超最先端であるが、意外にその成果が他分野に応用されていないように感じていた。今後は今回のシンポジウムのような他分野との情報交換の場を増やし、技術移転を速やかに行える体制を確立していくことが重要である。

②日本原子力学会 2002年春の年会在 開催される

3月27日から3日間、日本原子力学会2002年春の年会在が神戸商船大学で開催された。

総合報告として企画されたテーマは、原子力による水素製造が2件、革新的小型原子炉システムが1件、ロシア余剰核兵器解体プルトニウム処分が1件の合計4件であった。

原子力による水素製造は、電力生産以外への原子力エネルギーの利用として、大きな関心を集めている。特に、高温ガス炉からの熱と水だけで水素を製造するISプロセスは、化石燃料からの水素製造と異なり、二酸化炭素を実質的に排出しない。現在、日本原子力研究所の高温工学実験炉（HTTR）を用いた実証試験が計画されている。この他、高速増殖炉を熱源とした天然ガス（メタン）の低温水蒸気改質反応による水素製造に関する発表も見られた。今後は軽水炉を熱源としうる水素製造サイク

ルや水素の貯蔵・輸送手段の開発などが課題となろう。

革新的小型原子炉は、エネルギー市場の自由化の進展が見込まれる中、初期コストが小さい点で注目を集めている。また、受動的な安全機能が導入しやすい利点もある。本年会では軽水炉、高速炉、ガス炉など多様な炉型概念が紹介された。

ロシア余剰核兵器解体プルトニウム処分に関しては、核燃料サイクル開発機構が協力しているロシア高速炉BN600を用いた燃焼処分計画の概要と関連技術が紹介された。本計画では振動充填（バイバック）法により、MOX燃料を製造する。バイバック法は燃料製造コストが低く、我が国の将来のMOX燃料製造法としても有望である。

一般口頭発表では、高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所が共同で進めている大強度陽子加速器プロジェクトの核変換実験関連、小型炉や加速器駆動核変換システムの冷却材候補である鉛-ビスマスの特性についての発表が注目された。

この他、ユニークな企画に、本年会参加者が原子力委員会および原子力安全委員会とそれぞれ交流を図るセッションがあった。藤家洋一原子力委員長は21世紀の原子力開発理念、原研とサイクル機構の統合問題、原子力の国際展開について、松浦祥次郎原子力安全委員長は原子力安全委員会の政策目標、実施体制、この1年間の歩みについて、それぞれ講演を行った。これらのセッションは、両委員会と学会の交流を深めるという観点から大きな意義があり、継続開催を期待したい。

製造技術分野

①印刷プロセスで製造できる有機薄膜トランジスタを開発

有機薄膜トランジスタは、シリコン等の無機半導体材料ではなく導電性高分子などの有機材料を用いた薄膜トランジスタで、柔軟性が高いことから折り曲げ可能な紙のような表示装置の実現に向けて期待を集めている。しかしながら、従来技術では有機薄膜トランジスタの性能を向上させる為には微細

加工技術および真空プロセスを適用する必要があった。

独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）は、常温・常圧で印刷法により簡便に高性能有機薄膜トランジスタを製造できる方法を開発したと発表した。即ち、溶媒に可溶性ポリチオフェンという有機半導体材料を用い、トランジスタ構造を通常の同一平面状に電極を設ける構造ではなく立体的に斜めに電極を配置する構造とすることにより、印刷法で電極間の距離 $0.5 \mu\text{m}$ （従来は $10 \mu\text{m}$ 程度）を

実現し、 1V 以下の低電圧で駆動する高性能薄膜トランジスタを開発した。産総研は、本方法によれば微細加工技術を用いることなく常温・常圧下で簡便に製造出来るので、集積回路製造プロセスの大幅な簡素化、製造コストの低減化が可能になるとしている。

今後、動作安定化、集積回路化などの検討が必要となるが、印刷技術を利用できる簡便な有機薄膜トランジスタ製造法としてこれからの展開が注目される。

社会基盤分野

①富士山の火山ハザードマップ作成の経緯と現状

富士山は、過去2000年間に数十回の噴火を繰り返した証拠があり、今後も確実に噴火を繰り返すであろう活火山として、30年ほど前から気象庁のリストに掲載されてきた。ところが、目立った地熱活動がないことや火山下の地震活動も低調であることから、機器観測はおろか噴火履歴調査についても限られたものしか行われてこなかった。山体が大きいことや、五合目より上では地形や気象条件が厳しいことも、調査・観測の妨げとなっていた。

そんな折り、富士山の地下深部（ $10 \sim 20\text{km}$ 程度）で起きる低周波地震（通常の地震よりもゆっくりした揺れが卓越し、マグマ活動

が発生源とみられている小地震）が、2000年秋～冬と2001年初夏の2回にわたって急増し、富士山下のマグマが依然として生きることが如実に示されたため、大きな関心呼んだ。

これまで日本の火山ハザードマップは、地元自治体（あるいは自治体の連合組織）が主体となって作成されるのが普通であった。ところが、富士山の場合は注目度が高く首都圏にも近いせいか、国（内閣府、国土交通省、総務省消防庁）が舵取りをする形で、行政官と学識経験者からなる富士山ハザードマップ検討委員会が2001年7月から活動を開始した。検討委員会の下には、マップそのものを検討・作成する基図部会と、マップを実際に防災対策に役立てる方法を検討する活用部会が組織され、それぞれが月1度程度の正式

会合をもつ他に、勉強会や地元自治体の防災担当者も交えた検討会を開催するなどして、精力的な調査・検討作業を続けている。また、富士山の噴火履歴調査が遅れていたことを重く見て、マップ作成に必要な基礎データを緊急に得るための野外地質調査や古文書調査も並行して行われつつあり、北東山麓で新たな火砕流堆積物が確認されるなどの大きな成果が得られつつある。

これらの検討作業は2002年度一杯まで続けられ、2003年度初めには富士山の最初の火山ハザードマップが公表される予定である。また、マップ作成と並行して噴火シナリオ・防災ガイドラインの作成や被害想定も進められつつある。

（静岡大学教育学部 小山 真人氏）

フロンティア分野

① 自律走行型海中ロボット (AUV) がデモンストレーション航行

自律型海中ロボット (AUV) については、科学技術動向2001年4月号で「次世代海洋探査機の技術課題」の中で紹介している。その最近の動向について、東京大学生産技術研究所 藤井輝夫氏から以下の報告があった。

自律型海中ロボット (AUV) の特徴は、索を持たないために自由に泳ぎまわられる点にあるので、極地等における氷海下の観測プラットフォームとして期待されている。今回は国立極地研究所、オホーツク流水科学研究所、KDDI研究所、三井造船(株)、国際ケーブルシップ(株)の共同研究チームが、氷海下における AUV の可能性を示す目的で、北海道紋別市にあるオホーツクタワー周辺海域において、KDDI 所有の「AQUA EXPLORER II」を航行させ、その安定した航行可能性と信頼性をアピールした。

これまで、氷海下の観測に関しては手段が限られてきたため、広範囲に渡る連続的なデータを得ることは困難であったが、こうした観測プラットフォームを用いることによって、例えば氷厚の連続測

定や微量金属元素等、海水の化学的組成などの観測が期待できる。このことは、地球環境をとらえる上で重要な要素である極地ならびに氷海下における環境変動メカニズムの理解をより一層進めることに大きく貢献するものである。ロボットを用いる観測技術は、船舶や人工衛星等を用いる現存の技術では網羅できない、きめの細かい観測データを与えるものであり、今後は極地や深海など、さらに環境条件の厳しい領域に、活躍の場を広げるべく、技術開発を進めることが重要である。

② 地球下部マントル中には大量の「水」が含まれる

東京工業大学 村上元彦他は、*Science* (Vol.295, Page1885～1887 2002年3月8日) に初期地球に存在した水の一部は下部マントル中に形を変えて含まれていると発表した。

現在の地球生成モデルでは、初期地球は重量比で約2%の水を有していたと考えられているが、現在の海洋の重量は地球の約0.02%に過ぎない。このため、水の大部分は地球から散逸したか、地球内部に保持されていると考えられている。

そこで、下部マントルの構成鉱物を高圧発生装置で合成し、その水分量を二次イオン質量分析計で測定した。その結果、 $MgSiO_3$ に富むペロブスカイトとマグネシオ・ウスタイトは約0.2重量%の水を、 $CaSiO_3$ に富むペロブスカイトは0.4重量%の水を含むことが判明した。これは、試料表面や微小割れ目に存在するものではないことを確認しており、結晶内部に含まれるものである。

また、合成した鉱物の単結晶を用いた赤外線分光測定でも OH 基の存在が確認された。この測定から推定される水分量は、Mg - ペロブスカイトで0.1重量%、マグネシオ・ウスタイトで0.2重量%であり、二次イオン質量分析計の測定結果に類似する。

これらの結果から、下部マントルは0.2%程度の水を含む可能性があり、下部マントル全体で同じ割合で水が含まれているとすると、全海洋の約5倍の水を持つことが明らかになった。

結晶内部に水が存在すると鉱物の強度が減少する。また、水は沈み込むプレートによってもたらされる可能性があるほか、外核からもたらされたと考えられる。従って、下部マントルでは、沈み込むプレートやマントル底部で物質の移動が生じている可能性が考えられる。

《お知らせ》

科学技術動向2002年3月号の科学トピックス「中国がイネゲノムのドラフト配列を公開」の筆者、かずさDNA研究所 柴田大輔氏より一部の記述につきまして以下の通り修正することのご連絡がありました。

修正の内容 (2) 中国がイネゲノムのドラフト配列を公開

原文：本文第3文節の12行から17行まで
 2002年2月12日の時点で、全体の26% (120Mb) の配列が公開されている。
<http://rgp.dna.affrc.go.jp/cgi-bin/statusdb/status.pl>

修正文：左記箇所を以下の通り修正
 農林水産省の貢献度は大きく、Rice Genome Research Program (RGP) からは、2002年2月12日の時点で、全体の28% (120Mb) の配列が公開されている。
<http://rgp.dna.affrc.go.jp/cgi-bin/statusdb/status.pl>
 また、International Rice Genome Sequencing Project 全体では、56% (239.3Mb) が公開されている。
<http://rgp.dna.affrc.go.jp/cgi-bin/statusdb/seqcollab.pl>

特集①

がん研究の最近の動向

~分子標的治療法とトランスレーショナルリサーチ~

ライフサイエンス・医療ユニット
庄司真理子*、茂木 伸一



はじめに

がんは、我が国における死亡原因の約3割を占めており、がん克服は国民の健康の維持増進を図る上で重要な課題である。

近年、がん細胞の増殖や浸潤・転移などのメカニズムが分子レベルで解明されてきており、このような特定の分子を標的とした新たな治療法（分子標的治療法）の研究が進展してきている。分子標的治療薬による治療法は、副作用の

低減や既存の治療法では限界が見えてきた難治がん、進行がんなどの治療に結びつくと期待されている。分子標的治療薬の開発は、世界的にも加速しており、我が国でも推進していく必要がある。

しかし、我が国では、探索的な基礎研究の成果を臨床につなげる部分が不十分であるとの問題意識が「今後のがん研究のあり方に関する有識者会議」等に

おいても指摘されており、基礎研究を臨床に橋渡しするトランスレーショナルリサーチ（translational research：探索医療あるいは探索的臨床研究）の必要性が重要視されてきている。

本稿では、新たな治療法として期待される分子標的治療薬について、研究開発の動向を述べるとともに、その研究開発を推進していくための方策を検討する。

がん研究の推進体制

我が国における取組

我が国においてがん研究は、「対がん10カ年総合戦略（昭和59～平成5年度（研究費実績 累計1,024億円）」、「がん克服新10カ年戦略（平成6～15年度（研究費実績（平成6～13年度）累計1,471億円）」を中心に、省庁横断的に推進が図られてきている。ま

た、ミレニアム・プロジェクトにおいてもがん研究がテーマの一つに取り上げられ、2004年度までの課題として、図表1のような目標をあげている。

我が国では、これらの政策をもとに文部科学省の科学研究費補助金や厚生労働省の厚生科学研究費、がん研究助成金などにより、がん研究を推進してきている。

また、文部科学省と厚生労働省

が合同で設置している「今後のがん研究のあり方に関する有識者会議」において、「がん克服新10カ年戦略」に続く我が国の今後のがん研究のあり方等について、現在検討がなされているところである。

米国における取組

米国は、ニクソン政権下において National Cancer Act を 1971 年に制定して以来、国立がん研究所（NCI）を中心にがん研究の推進に国家的に取り組んでいる。NCI は国立衛生研究所（NIH）の中でも最大の研究所である。NCI の予算は年々増加の傾向にあり、2002 年度には約 41 億 8 千万ドル（約 5,010 億円）が計上されている。

図表1 がん研究におけるミレニアム・プロジェクトの目標

- 疾患関連遺伝子・薬剤反応性関連遺伝子を合わせて50以上発見
- 患者個人に対する最適な投薬（オーダーメイド医療）等により、嘔吐、頭痛等抗がん剤による副作用の発生を50%削減
- 患者個人に対する最適な投薬等による治療成績の向上
- 5年生存率を20%改善する等の画期的な新薬の開発に着手

（「ミレニアム・プロジェクト（新しい千年紀プロジェクト）について（1999年12月19日内閣総理大臣決定）」より引用）

がんの特徴と治療法

がんの特徴

がんは、発がん物質と呼ばれる化学物質や放射線など何らかの引き金により起こる遺伝子異常が原因となる疾患である。ほとんどのがん細胞が、図表2に示したように、複数の遺伝子変化と細胞増殖とを繰り返すことにより形成される。また、乳がんや大腸がんの一部など、一部のがんには遺伝性のももある。

がん細胞には、主に以下の特徴があり、近年、これらの特徴に関連する分子が多数解明されてきている（図表3）。

- ①細胞周期、シグナル伝達系、細胞分化、細胞死（アポトーシス）などの異常による異常な細胞増殖
- ②細胞接着の異常とそれによる周辺の臓器への浸潤・転移による二次腫瘍の形成
- ③酸素・栄養の確保のために新たな血管を形成する血管新生
- ④薬が効かなくなる薬剤耐性

がんの治療法

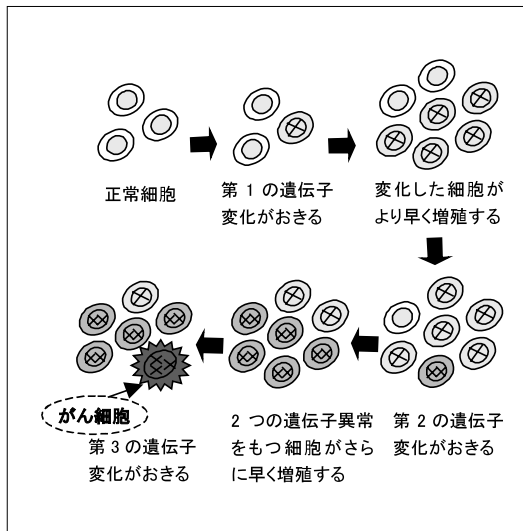
がんの主な治療法を図表4に示した。実際の治療においては、複数の治療法を組み合わせることも行われている。

分子標的治療薬

現在一般に用いられている抗がん剤は、がん細胞の特徴である異常な細胞増殖を抑制・阻止し、がん細胞を殺す。

細胞が増殖する際には、①細胞周期の休止期および細胞の分化期（G1期）、②DNA合成期（S期）、③細胞分裂準備期（G2期）、④細胞分裂期（M期）、という4段階の細胞周期がある。

図表2 多段階発がん過程の概念図



（がん研究助成金、がん克服新10年戦略「がん・厚生科学の挑戦」（1998年）より引用）

図表3 がん細胞の主な生物学的特徴と関連分子

特徴	関連する分子
異常な細胞増殖	増殖関連分子、シグナル伝達分子など
浸潤・転移	接着分子、タンパク質分解酵素、骨転移関連分子など
血管新生	シグナル伝達分子、タンパク質分解酵素、接着分子など
薬剤耐性	膜輸送タンパク質など

（科学技術動向研究センターにて作成）

図表4 がんの主な治療法とその概要

がんの治療法	概要
化学療法	がん細胞に作用する抗がん剤を用いる方法。複数の抗がん剤を併用することが多い。
外科治療	がん細胞を手術によって取り除く方法。近年では低侵襲性である内視鏡手術により患者のQOLの向上が図られている。
放射線治療	放射線を照射することにより、がん細胞を殺す方法。できるだけ放射線を病巣に集中させ、周辺の正常な細胞への障害を減らすことを目的として、ガンマナイフや粒子線を用いる方法が近年急速に発達している。
免疫治療	非自己と認識された分子や病原体を発見し攻撃する免疫システムを利用する方法。モノクローナル抗体を薬として用いる方法や、ペプチドワクチンを用いる方法などが発展してきている。
遺伝子治療	レトロウイルスベクターなどを用いて、がんの発生を抑えるがん抑制遺伝子を導入したり、免疫に関する遺伝子を導入することで、がんに対する患者の免疫力を高めたりする方法。

（科学技術動向研究センターにて作成）

多くの抗がん剤は、細胞周期を頻繁に繰り返す細胞に対して、DNA合成や細胞分裂を妨げる働きをもつ。例えば、「タキソール」という抗がん剤は、M期の進行を止める作用をもつ。しかし、細胞周期を頻繁に繰り返す細胞は、が

ん細胞だけではなく、骨髄中の造血細胞や毛根細胞などの正常細胞にもある。そのため、多くの抗がん剤は正常細胞をも殺してしまうことから、副作用が生じてしまう。一方、分子標的治療法は、がん細胞に特徴的な分子（図表3）を

図表5 分子標的治療薬と一般の抗がん剤との比較

対象項目	一般的な抗がん剤	分子標的治療薬
効果の仮説	経験的	理論に基づく
主な作用	増殖が活発な細胞を殺す	がん細胞に特徴的な分子の作用の抑制・阻害・追加など
投与量設定	多いほどよく、副作用との兼ね合い	標的分子に働きかけ得る至適量
対象とするがんの種類	固形がんなど全てのがん	標的分子の存在するがん
主な効果	がん縮小	がん進展の阻害

(徳島大学医学部 曾根三郎教授作成資料をもとに科学技術動向研究センターにて作成)

標的とした治療法であることから、副作用の低減などが期待される。さらに、分子標的治療薬によって、既存の治療法では限界が見えてきた進行がんや肺がんといった難治がんなどの克服の可能性がでてきている。

また、分子標的治療薬は、患者個人の遺伝子異常やタンパク質の過剰発現などに基づいて用いられることから、テーラーメイド医療(患者個人に対する最適な医療)としての側面もあり、今後のがん治療の理想的な姿として期待される。

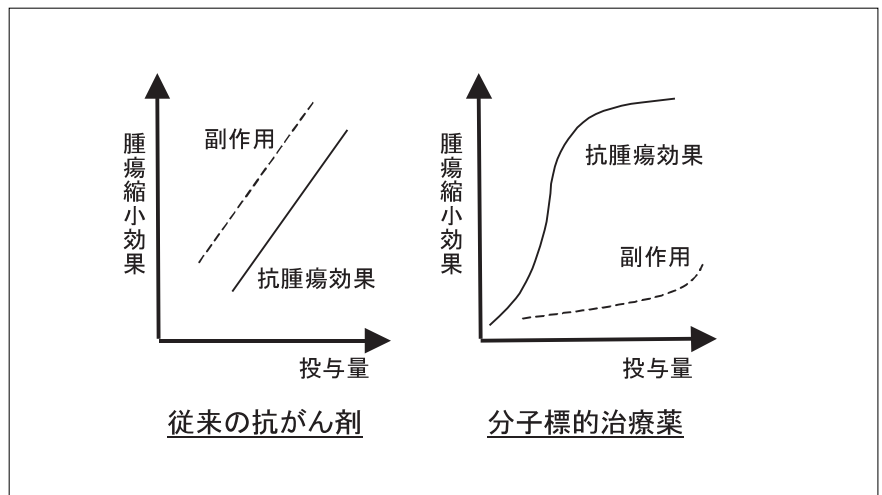
図表5および図表6では、一般的な抗がん剤と分子標的治療薬との特徴の比較を示した。

このようなことから、分子標的治療薬は新しいタイプの抗がん剤として期待されており、世界的に研究開発が加速している。

例えば、スイスのノバルティスファーマ社が開発した慢性骨髄性白血病の治療薬 STI571 (商品名: グリベック) は、臨床試験開始からわずか3年で米国食品医薬品局 (FDA) に承認された (2001年5月)。この薬は、慢性骨髄性白血病の原因となる BCR-ABL 遺伝子の異常により生じた遺伝子産物 (白血病細胞の異常増殖や血液細胞のアポトーシス阻害などの作用をもつタンパク質) のみに働きかける分子標的治療薬である。

また、米国のジェネンテック社が開発した抗HER2ヒト化モノクローナル抗体乳がん治療薬のトラ

図表6 分子標的治療薬と一般の抗がん剤の腫瘍縮小効果と副作用発現との関係



(徳島大学医学部 曾根三郎教授作成資料より引用)

スズマブ (商品名: ハーセプチン) は、HER2というタンパク質を過剰に発現した転移性乳がんを対象とした分子標的治療薬である。HER2は約20~25%の乳がんに過剰に発現している。ハーセプチンはこのHER2に選択的に結合し、そのがん細胞を傷害、または増殖を抑制する作用をもつ。

分子標的治療薬の開発における課題

図表5で示したとおり、一般的な抗がん剤の効果ががんの縮小効果であることに対して、分子標的治療薬は、主にがん進展の阻害を目的としていることから、必ずしも縮小効果が望めない。

しかし、臨床試験における抗がん剤の評価は、従来どおり、がんの縮小効果が主であることから、

分子標的治療薬の治療効果でよく示される、stable disease (がんが増悪しない状態)、time to progression (がんがもう一度悪性化するまでの時間)、tumor dormancy (がんの増殖が沈静化している状態) などは、治療上の臨床評価として認められていない。今後は、有効な臨床評価の指標に対する検討も必要であろう。

また、分子標的治療薬の開発は、探索的な基礎研究に基づいたものであり、治療法として臨床試験へ応用する段階では高いリスクが伴う。従って、分子標的治療薬といった先端的医療の研究開発を促進していくには、後述する企業が主体となる治験だけでは困難な面があり、治験とは異なる形態の臨床試験が求められている。そこで、トランスレーショナルリサーチの必要性が急速に増している。

分子標的治療薬の開発の推進体制

～トランスレーショナルリサーチの推進～

トランスレーショナルリサーチとは

トランスレーショナルリサーチの定義は、世界的なコンセンサスを得たものがまだないことから、本稿では、分子標的治療薬や再生医療などの先端医療の開発において、臨床試験を目的とした探索的な基礎研究の成果を臨床試験へ応用するための研究を言い、医薬品等の承認取得のための治験とは区別する。

図表7には、分子標的治療薬の研究開発における過程を示した。医薬品の研究開発は、基礎的研究、非臨床試験、臨床試験を経る。トランスレーショナルリサーチは、非臨床試験から、ヒトへの有効性が確認できる第二相試験くらいまでの範囲と考えられる。

トランスレーショナルリサーチは、現在の法体系においては、後述するように薬事法の規制外にある。しかし、トランスレーショナルリサーチは新たな治療法の確立を目的としていること、臨床研究には倫理性や科学性の十分な確保が必要であることなどから、トランスレーショナルリサーチにおいても、薬事法での規定に則した研究の実施や、実施体制の整備が必要である。

トランスレーショナルリサーチに関する法制の整備

医薬品の研究開発には、薬事法に基づいた省令のもと、いくつもの規制が規定されている。特に、医薬品等の承認取得のために製薬企業が医療機関に依頼して行う臨床試験（治験）は、「医薬品の臨床試験の実施の基準に関する省

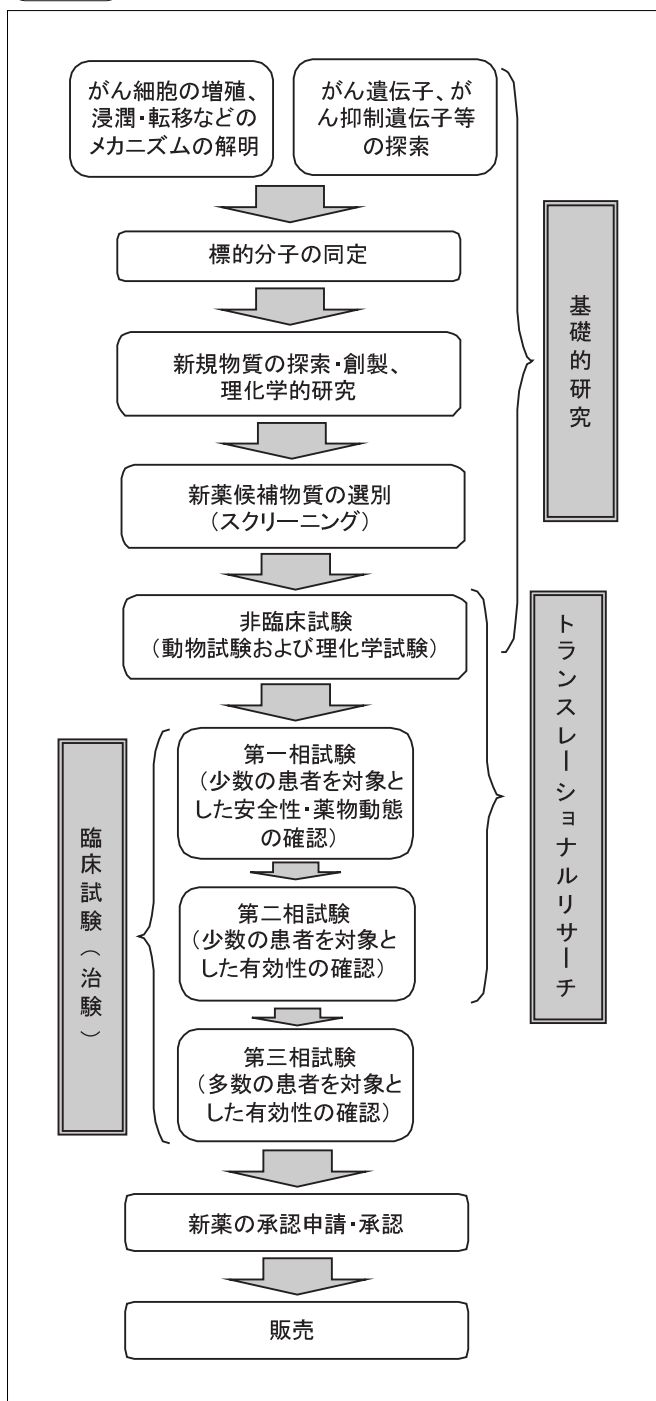
令」(GCP ; Good Clinical Practice) に基づいて、倫理性および科学性を厳格に確保しつつ行われている。

一方、大学や医療機関などの研究者が主体となって行う臨床研究は、GCPの適用外とされており、ここでの研究データを医薬品の承

認申請に用いることはできない。

そのため、大学や医療機関などが主体となる臨床研究においては、研究成果が円滑に医薬品開発に結びつかないことや、GCP規定に準じる必要がないことから、患者への倫理性・安全性や科学的

図表7 分子標的治療薬の研究開発の過程



(科学技術動向研究センターにて作成)

妥当性などが十分に検討されずに臨床研究が行い得る状況にあったことなどが問題点として指摘されていた。

これらの現状などを背景に、厚生労働省では、臨床研究に係る成果の活用範囲を広げることを盛り込んだ薬事法の改正を進めている。この改正案は閣議決定され、今期通常国会に提出された。

この改正案では、治験の範囲を、将来的に治験への申請を意図した医師や医療機関主体の臨床研究（治験型臨床研究）にまで拡大することとしている。これにより、トランスレーショナルリサーチで行われる成果が申請データの一部として使用可能になることや、新しい医療技術を安全性・倫理性を確保しつつ、患者に早い段階で提供できることなどが期待される。

従って、トランスレーショナルリサーチの成果が治験へ結びつきやすくなることから、分子標的治療薬等の開発の促進が期待される。

トランスレーショナルリサーチの実施体制の整備

大学病院等の医療機関においても、トランスレーショナルリサーチ

チを行うための体制整備への取組が始められてきている。

我が国初のトランスレーショナルリサーチの拠点として、2001年4月に京都大学医学部附属病院に、探索医療センター（Translational Research Center）が設置された。探索医療センターでは、公募型の「流動プロジェクト」を実施し、採用プロジェクトのプロトコル等の作成および安全性の検討を行う機能、実際に臨床応用を実施する機能、安全・倫理面を監視する機能、生物統計を解析する機能を備えた体制を備えている。

また、医療産業都市構想を進行中の神戸市では、文部科学省との連携のもと、日本人を対象とした臨床研究データベース等の整備を目指すトランスレーショナルリサーチ・インフォマティクスセンターを平成14年度に設立する予定である。

総合科学技術会議では、第2期科学技術基本計画（2001年3月30日閣議決定）に基づいたライフサイエンス分野の推進戦略（2001年9月21日）において、トランスレーショナルリサーチを国家的な取組を強化をすべき分野の1つとして取り上げ、推進のための施策を

始めている。

米国におけるトランスレーショナルリサーチへの取組

米国においても、先端的医療範囲の拡大に伴い、トランスレーショナルリサーチへの取組を加速している。

国立がん研究所（NCI）では、米国内にある約1,700の病院やがんセンターで約1万名の研究者によって行われている臨床研究をサポートしている。

NCIでは、すでにトランスレーショナルリサーチのためのプログラムをいくつか進行させている。例えば、がん研究におけるトランスレーショナルリサーチの促進のためのSPOREs（Specialized Programs of Research Excellence）を1992年から開始し、特定のヒトがんに対するトランスレーショナルリサーチの学際的な研究チームを、公募等によりサポートしている。SPOREsの2002年度予算は約1億700万ドル（約128億円）であり、今後さらに増額されることが見込まれている。

おわりに

がん克服は国民の健康の維持増進を図る上で重要な課題であり、特に、副作用の少ない治療法や難治がん、進行がんなどの治療法の確立が望まれている。

本稿で取り上げた分子標的治療薬の研究開発は、新しいがん治療を切り拓くものとして、我が国にとって重要なものである。分子標的治療法の開発には、基礎研究の推進と同時に、臨床試験を促進していくためにトランスレーショナルリサーチが必要である。

分子標的治療法の開発を推進していくためには、以下のような取

組が必要と考えられる。

- ① 臨床応用を目標とした探索的な基礎研究の推進
 - 各種がんの増殖、浸潤、転移などのメカニズムの解明、がん遺伝子・がん抑制遺伝子の探索などによる標的分子の同定
 - 薬剤反応性遺伝子などの探索や、新規物質の探索・創製
- ② 研究支援体制の整備
 - がんに特化したデータベースなどの情報管理体制の整備
 - 遺伝子や細胞などの研究資材（バイオリソース）の管理体

制の整備

- ③ トランスレーショナルリサーチの実施体制の整備
 - 現在進行中の薬事法改正に伴い、新たに拡大される治験の範囲についての法制整備
 - 大学病院などのトランスレーショナルリサーチ実施機関において、科学的な妥当性および安全性、倫理性を検証できる体制や、探索的な医療はハイリスクであることから、不測の緊急事態に対応することのできる体制等の整備
 - 効果的にトランスレーショナル

リサーチを推進するための実施チームの整備（基礎分子生物学、基礎薬効薬理、臨床等の研究者）

- インフォームド・コンセントなど被験者への対応業務を行う CRC（Clinical Research Coordinator：治験コーディネーター）やデータの管理・解析等を行う人材の確保
- 被験者を集まりやすくするための臨床試験に対する国民への理解促進

このような取組を通して、分子標的治療薬などの新しい治療法を

確立し、副作用の少ないがん治療法やがん治癒率の向上などの早期実現を図っていくことが望まれる。

謝辞

本稿は、科学技術政策研究所において2002年3月22日に行われた東京大学分子細胞生物学研究所長鶴尾隆氏による講演会「大学等におけるがん研究の最近の動向」をもとに、我々の調査を加えてまとめたものである。

本稿をまとめるにあたって、鶴尾所長には、ご指導をいただくとともに、関連資料を快く御提供い

ただきました。また、京都大学医学部附属病院の田中絃一病院長、清水章教授、徳島大学医学部の曾根三郎教授、久留米大学医学部の伊東恭悟教授、聖マリアンナ医科大学の川合眞一教授、武田薬品工業株式会社医薬開発本部の池田幹彦様、水野清史様、山浦章様、日本CRO協会の酒井杏郎様、赤堀眞様、神戸市企画調整局の石田京子様には各種情報をいただきました。文末にはなりますが、ここに深甚な感謝の意を表します。



特集②

量子コンピュータの研究開発動向



情報通信ユニット
山崎 哲也

はじめに

MIT（米マサチューセッツ工科大学）とIBMの研究グループは、量子コンピュータを使って簡単な因数分解を行なう基礎実験に成功したと2001年12月20日付けの英科学誌「ネイチャー」に発表した。実際に行われたのは $15 = 3 \times 5$ というごく簡単なものである。ではなぜこれがネイチャーに載るほど重要かというと、現在のコンピュータとは全く違う原理で稼働する量子コンピュータによってこの計算が行われたためである。

Siを基盤とした半導体デバイスとそれを用いたコンピュータはムーアの法則に乗って急速な発展を遂げてきた。しかし、微細化と発熱の問題から限界が近いといわれる。現在の状況では2010年ごろには微細化の限界が、これを突破できても2020年ごろには発熱の問題から限界に達すると言われている。この限界を突破する方法としてナノデバイスや分子デバイスが注目されている。

現在のコンピュータには他にもいくつかの限界がある。大きな数の因数分解もその一つで、現在のコンピュータでは膨大な時間がかかって事実上不可能である。たとえば、200桁の整数の因数分解は現在最速のコンピュータを使っても数億年かかると言う。最近10年間で、コンピュータの計算速度は約200倍程度速くなっているが、同じ速度でコンピュータが進化して、10年後に現在の200倍の速度を持つコンピュータができたとしても、まだ数百万年かかることになり、事実上不可能なことは同じである。ところが、100MHz程度のクロックで稼働する量子コンピュータが実現すれば、200桁の因数分解を数分で行うことが可能だという。

因数分解の困難さは現在インターネット上で広く使われている公開鍵暗号（RSA暗号）の安全性の根拠であり、量子コンピュータが実用化されれば、公開鍵暗号の安

全性は失われることになる。94年にP. Shorが、量子コンピュータを使った因数分解アルゴリズムを発表し、因数分解が高速にできることを理論的に示したことに刺激されて、量子コンピュータの研究が盛んになった。

このように量子コンピュータは、ある種の問題に対しては現在のコンピュータ（量子コンピュータに対して古典的コンピュータと呼ばれる）より飛躍的に速く計算を行うことができる。また、量子1個を操作するエネルギーは非常に小さく、時間も短いため、原理的にはナノデバイスと同様、低発熱・超高速のコンピュータとなる可能性がある。しかし、実用化されるまでにはまだ多くの時間と、多くの問題を解決することが必要である。

ここでは、量子コンピュータの原理と研究動向を解説するとともに、実用化に向けた今後の展開を考える。

量子コンピュータとは

量子コンピュータと従来のコンピュータの違い

現在のコンピュータはデータを蓄えるビット（メモリ）とビットを操作するための論理ゲート（トランジスタの組み合わせ）によっ

て構成されている。ビットは基本的にコンデンサで、そこに電荷つまり電子があるかないかで1か0かが決まる。一つのビットは1か0のどちらかを示し、 n 個のビットは n 桁の2進数1つを表現する。

一方、量子コンピュータもビット（量子ビット、キュビットと呼

ばれる）とキュビットを操作・観測するための機構から構成される。キュビットとして、量子力学的な2個の状態が1/0の表現に用いられる（3個以上の状態を用いる量子コンピュータも可能である）。キュビットには、電子や核のスピンの向き、量子ドットの電子

のエネルギー準位、光子の偏光状態、量子化した磁束の向き、原子の電子軌道の基底・励起状態など様々な系が利用できる。また、キュビットに応じてそれを操作する方法も様々である。キュビットの便宜的な表現として図表1.(b)の様な表現がよく用いられるが、その正確な理解には量子力学に基づいた波動関数での表現が必要である(図表1)。

量子コンピュータで重要になる量子力学の基本的な性質は次の4つである。

(a)重ね合わせ

2個のスリットを同じ確率で通過するように光子や電子を一個ずつ送り、スリットを通過した粒子がどこに到達するかを観測する。古典的には各スリットに対応した位置で観測されるはずだが、多数の粒子を観測するとスリットによる波の干渉縞と同様なパターンが観測される。この場合、個々の粒子はスリットのどちらか一方を通過したのではなく、それぞれのスリットを通過した状態が重ね合わせの状態になっていて、波の干渉と同じことがおきていることになる。

(b)波束の収束

上記の実験において量子力学が予言するのは、ある位置において干渉縞の強さに対応したある確率で粒子が観測されるということだけである。個々の粒子がどこで観測されるかはわからない。しかし、実際に観測すれば、個々の粒子が検出された位置を知ることができる。これは、観測されるまでは干渉縞状に広がっていた波動関数が、観測によって、ある一点に収束したと考えることができる。

(c)不確定性

古典力学では粒子の位置と運動量はそれぞれ任意の精度で観測することができた。しかし、量子力

学では位置を決めようとする運動量が、運動量を決めようとする位置が不確かになるというようにそれぞれの量を同時には決めることができない。

(d)量子のもつれ合い (エンタングル)

複数のキュビット間で特殊な相関関係が生じること。2個の電子のスピンの(磁化)の方向で考えると、それぞれどちらの方向を向く確率も等しいが、それら二つの向きを観測すると必ず反対方向を向いているという状態。波動関数で表現すると、二つのキュビットの波動関数は独立ではなく、重なった一つの波動関数として表される。一度エンタングル状態になった粒子は離れていてもその性質を失わない。ただし、外乱によって、この相関が失われる場合がある。これをデコヒーレンスという。

量子コンピュータでは特に(a)が重要である。重ね合わせによって1個のキュビットは0と1の両方の状態を取ることができる。ただしアナログコンピュータとの違いは、このキュビットを観測したときに得られる答は0か1かのいずれかであるということである。

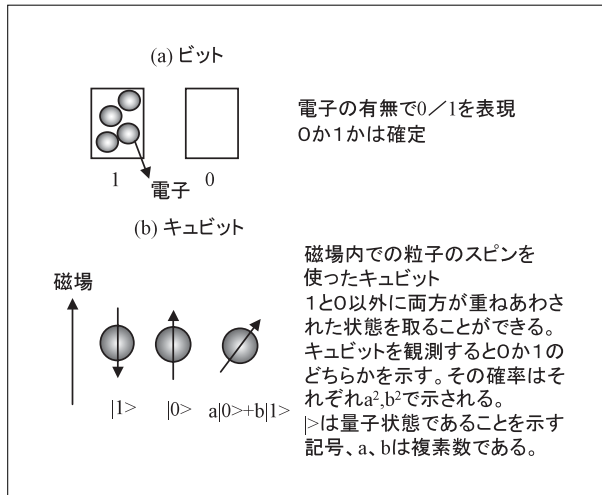
この重ね合わせをN個のキュビ

ットに拡張すると、N桁の二進数 2^N 個の状態を同時に表現することができる。このキュビット群で計算を行うと、一回の計算で 2^N 個の答を得ることができる。これは量子並列計算と呼ばれ、量子コンピュータが古典的コンピュータに対して優れている点の一つである(図表2)。

ただし、答も 2^N 個の重ね合わせである。答を観測することによって、(b)の波束の収束によって重ね合わせからある値へ収束する。この時、重ね合わせの中のどの答が得られるかは確率的に決まるため、必要とする答に高い確率で波束が収束するようにアルゴリズムを考える必要がある。また、重ね合わせだった答が一つの値に収束すると同時に、重ね合わせだった入力値も答に対応する値に収束する。このような入力と出力の相関がd)の量子もつれ合い(波動関数の重なり)によって常に保たれているのも量子コンピュータの特徴である。非常に単純化すれば、複数のキュビットで構成される波動関数を多数重ね、これを操作して答となる波動関数を取り出すのが量子コンピュータであるといえる。

なお量子コンピュータ以外では(c)は量子暗号の基礎原理であり、(d)は量子テレポートという量子通

図表1 ビットとキュビットの違い



(出典：C.P. ウィリアムズ他「量子コンピューティング」等から科学技術動向研究センターにて作成)

信に使用される。

実際の量子コンピュータにおいてキュビットを操作するためには量子ゲートを構成しなくてはならない。量子ゲートは位相シフタ（位相ゲートとも呼ばれる）と制御NOTゲートの2種類で、これは現在のコンピュータの基本論理ゲートであるANDとNOT（またはORとNOT）に相当する（図表3）。この二つが実現できれば、計算可能なアルゴリズムであればすべて量子コンピュータで計算が可能になる（図表3）。

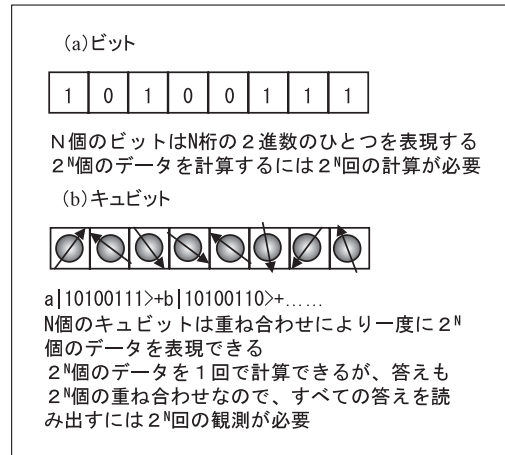
図表4に量子コンピュータのアルゴリズムの一例を示す。

量子コンピュータの歴史

量子コンピュータは、その可能性は比較的早くから指摘されていたが、具体的な研究が始まったのは70年代に入ってからである。現在のLSIが、量子効果が支配的になる大きさまで縮小したらどうなるかというところから研究が始められた。理論的には現在のコンピュータと同じくすべての論理ゲートを実現できることが1970～80年代に示された。しかし、ハードウェアを実現することが困難なこと、現在のコンピュータに比べて優位となる点が見つからないことなどから80年代後半には研究が下火となっていた。

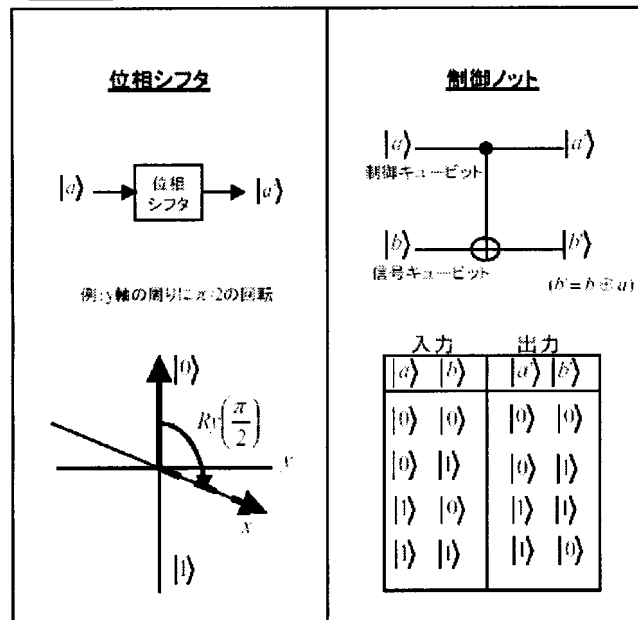
量子コンピュータが再度脚光を浴びるのは、94年にAT&T（現ルーセント）ベル研究所のP. Shorが、現在のコンピュータでは計算が困難な、大きな数の因数分解を、量子コンピュータを用いれば実用的な時間内で計算できることを理論的に示してからである。因数分解の困難さは、現在インターネットで広く使用されている公開鍵暗号の基礎となっており、量子コンピュータが実現すれば、公開鍵暗号が簡単に解けることになる。この研究により、量子コンピ

図表2 キュビットにおける重ね合わせ



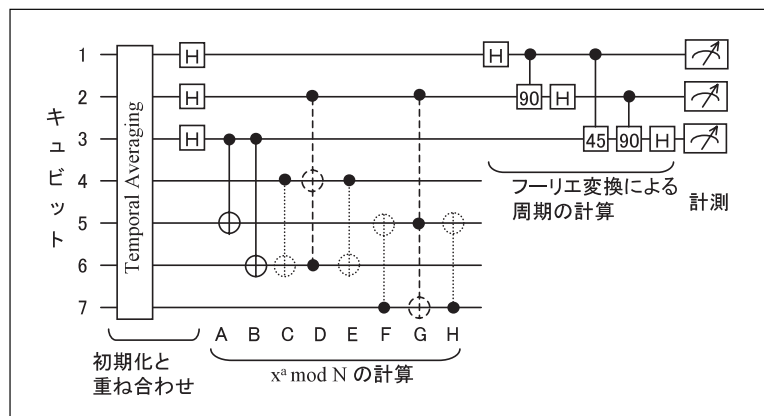
(出典：C.P.ウィリアムズ他「量子コンピューティング」等から科学技術動向研究センターにて作成)

図表3 量子ゲート



位相シフタは量子状態の重ね合わせを実現するのに使用される。制御NOTは一見0, 1の論理回路であるが、重ね合わせ状態を許容する点が異なっている (出典：情報処理振興事業協会調査報告書「量子計算機の研究動向に関する調査」)

図表4 量子コンピュータのアルゴリズムの一例 (ChuangらによるShorの因数分解アルゴリズム)



■は重ね合わせの生成、45、90はそれぞれの角度の位相シフトを表す。点線は最適化によって省略された計算、破線はより単純な操作に変換された。

(出典：L. M. K. Vandersypen 他 Nature Vol.414 p 833 (2001. 12. 20))

ュータが実際に役に立つものであるという認識が広まり、各国で活発な研究が行われるようになって

た。同時期に量子暗号や量子通信といった量子力学を基礎とする情報通信技術の研究も進み、量子情

報理論、量子情報技術（QIT）という新しい分野が出現している。

量子コンピュータの具体例

ハードウェア

量子コンピュータを構成するための条件として以下の5つが挙げられている。

- (1) キュビットが実際の物理系として実現でき、かつ集積できること（1000ビットの数字の因数分解には5000個のキュビットが必要）
- (2) 個々のキュビットを測定できること
- (3) 個々のキュビットを操作できること（基本量子ゲートの演算が可能であること）
- (4) キュビット間の相互作用がある時間（デコヒーレンス時間）が計算時間（1回のキュビット操作の時間×操作回数）に比べ十分に長いこと（最低でも1000倍～10000倍の比が必要といわれる。1000ビットの因数分解では 5×10^{11} 回の操作が必要）

- (5) キュビットの初期化が可能なこと

これらの条件を満たす量子コンピュータの候補として図表5のようなものが現在研究されている。いずれも基礎的研究の段階であるが、もっとも進んでいるのはIBMを中心としたグループの有機分子とNMRを組み合わせる方式である。しかし、この方式は多ビット化が非常に困難で、10キュビット程度にひとつの壁があるといわれる。他の方式も現状では一長一短であり、次のブレークスルーに向けてさまざまな提案がなされている状況である。また、分子デバイス自体を量子コンピュータに使用しようという提案もある。

アルゴリズム

前述したように2つの基本量子ゲートが実現できればそれを組み合わせるとどのようなアルゴリズム

も量子コンピュータで計算可能である。しかし、現在のコンピュータと同じアルゴリズムを用いるのであれば、量子コンピュータである必然性はない。現時点で古典的コンピュータより量子コンピュータが飛躍的に効率のよい計算が行えるアルゴリズムは大きく分けて以下の3種類（および、いくつかの類似問題）である。

- (1) 因数分解 (Shorのアルゴリズム)
- (2) データベース検索 (Gloverのアルゴリズム)
- (3) 巡回セールスマン問題（多数の都市とそれを結ぶ交通路の組み合わせにおいて、すべての都市を1回ずつ訪れる最短経路を求める問題）

これらの問題は基本的に多数の候補の中から1つを選ぶ問題であり、量子並列計算を用いて大量の計算を少ないステップ数で行えるという、量子コンピュータの特徴

図表5 研究されている量子コンピュータの候補と特徴

方式	キュビット	利点	問題点	現状
イオントラップ	真空中で電磁場により固定されたイオンの重心振動モード	デコヒーレンス時間が長い	多キュビット化が困難 真空中で動作	4キュビットでのエンタングル確認
NMR (核磁気共鳴)	溶液中の有機分子の原子核スピン（1個の分子が1個の量子コンピュータ）	常温で動作可能 多数の分子（量子コンピュータ）を同時測定可能 NMR装置で実現可能	多キュビット化が困難（分子設計が必要） キュビットが増えると測定結果の解析が難しい	7キュビットでShorのアルゴリズム実現
	結晶や原子細線の原子核スピン	多キュビット化が比較的容易 デコヒーレンス時間が長い？	測定結果の解析が難しい 極低温で動作 素子の作成が困難	素子開発中
量子ドット	量子ドットに閉じ込められた電子のスピン	多キュビット化が比較的容易 デコヒーレンス時間が長い？	極低温で動作 素子の作成が困難	素子開発中
超伝導素子	超伝導体に発生する磁束、クーパ対	多キュビット化が比較的容易 デコヒーレンス時間が長い	極低温で動作	2キュビットでのエンタングル確認
光子	光子の偏光状態他	デコヒーレンス時間が長い 常温で動作	量子間の相互作用が弱い 多キュビット化が困難	3キュビットでの実験

(出典：情報処理振興事業協会調査報告書「量子計算機の研究動向に関する調査」等から科学技術動向研究センターにて作成)

をうまく利用している。しかし、計算した結果も重ねあわせの状態を観測されるため、答となる波動関数がひとつ、少なくとも解析できる程度の少数に収束することが必要になる。この点が量子コンピュータのアルゴリズムで難しい点のひとつである（補足参照）。

また、量子コンピュータは間違

った答を観測してしまう確率を0にすることは原理的にできない。さらに、キュビット間の重ね合わせも確率的に破壊される（デコヒーレンス）ため、計算エラーが起こる可能性もある。そのため、複数回の計算による誤り率の減少やエラー訂正の手法が必要となる。そしてこれらの余分な手間を含め

ても効率のよいアルゴリズムの範囲に収まることが要求される。

逆にいえば、現時点ではこの三つ（とその類似問題）しか、量子コンピュータの応用先がなく、より広い問題に対するアルゴリズムの開発が期待される。また、効率のよいエラー訂正アルゴリズムの開発も重要である。

《補足》量子コンピュータにおける因数分解の手法

因数分解の場合、最も単純なアルゴリズムは因数分解する数 N を 2 以上 $N^{1/2} + 1$ 以下までのすべての整数 a で割ってみるというものである。これを量子コンピュータで行う場合、

- 1) 第1の量子メモリに N 、第2の量子メモリに 2 以上 $N^{1/2} + 1$ 以下の整数の重ね合わせを格納する
- 2) 第1メモリを第2メモリで割ってその剰りを第3の量子メモリに格納する
- 3) 第3メモリを観測して0となるとき第2メモリが示す数字（第3メモリの観測によって、第2メモリが収束する）が求める因数の一つである

この方法では、割り算は重ね合わせによって1ステップで可能だが、第3メモリが0以外の場合を読み出す確率が圧倒的に高く、結局0を観測するまで観測を繰り返すのと、古典的に割り算を繰り返すのとほとんど同じステップが必要になる（ N が 10000 のオーダーで、2個の素数の積であるとすると、 $N^{1/2} \sim 100$ の重ね合わせの中で剰り0となるのは1つの場合だけである。この場合、100回までの繰り返しで0を観測する確率は高々63%にすぎない。一方、古典的に割り算を繰り返せば、100回の計算で必ず答を得ることができる）。

そこで Shor のアルゴリズムでは以下のような整数の性質を用いる。

- 1) 互いに素である（1以外に公約数を持たない）整数 x , y に対して $x^a \bmod y$ ($X^a \bmod y$ は X^a を y で割った剰りを求める関数、 a は任意の整数) は a の周期関数になる
- 2) 1) において $x^{nr} \bmod y = 1$ (r は整数、 n は 0, 1, 2, 3...) となるような周期 r があって、 r が偶数の場合、

$$(x^r - 1) \bmod y = \{(x^{r/2} - 1)(x^{r/2} + 1)\} \bmod y = 0$$

であるので、 $x^{r/2} - 1$, $x^{r/2} + 1$ の少なくとも片方と y は 1 でない公約数を持っている

実際には、以下のような計算を行う。

- 1) 因数分解する整数 N と互いに素な整数 x ($N > x$) をランダムに選ぶ。
- 2) $N^2 < q < 2N^2$ なる適当な整数 q を選ぶ
- 3) $y = x^a \bmod N$ ($a=0, 1, 2, \dots, q-1$) をすべての a に対して量子並列計算で計算する。この段階で y を観測して値 k を得たとすると、 a は $x^{l+nr} \bmod N = k$ を満たす整数 $l+nr$ (l は整数、 r は周期、 $n=0, 1, 2, \dots$) の重ね合わせになるが、 l, r, n がいずれも未知なので r を求めることができない
- 4) a に対してフーリエ変換を行う。詳細は省くが、その値は mq/r ($m=0, 1, 2, \dots, r-1$) の重ね合わせとなる
- 5) 4) を観測して $c = m_0 q/r$ ($m_0=0, 1, 2, \dots, r-1$ のいずれか) なる一つの値 c を得る。
- 6) m_0 と r が互いに素であれば、 c/q (ともに既知) を約分する事で r を計算できる。 m_0 と r が互いに素である確率は繰り返しによって高めることができる
- 7) r が偶数であれば $x^{r/2} - 1$, $x^{r/2} + 1$ と N の最大公約数を求める

(出典：参考文献^{1, 2, 5}) より科学技術動向研究センターにて作成)

各国における量子コンピュータの研究開発状況

量子コンピュータは、将来のコンピュータ技術としてだけでなく、量子暗号、量子通信を含めた量子情報通信技術やナノテクノロジーの一部として位置付けられることが多い。ここでは比較的量子コンピュータに絞ったプロジェクトを取り上げている。

米国

米国には、前述したNMRのIBM、アルゴリズムのベル研(AT&T→ルーセント)、イオントラップのNIST、量子ドットのロスアラモス研とビッグネームが多い。政府プロジェクトとしては、毎年発表されている米国情報通信政策の予算要求書(Blue Book) FY1997(1996年11月)及び実行計画書(Implementation Plan)(1997年1月)の中でHigh End Computing and Computation(HECC)プログラムの一つとして初めて量子コンピュータが取り上げられている。ここでは、バイオ、光コンピュータとともに研究をサポートすべき将来技術として扱われており、この点はFY2002予算要求書でも変わっていない。また1999年に発表されたIT²計画において、量子情報通信技術は、基盤的な情報通信技術としてその研究開発を進めるべきであると提言されている。

HECC分野での中心機関はNSF、DARPA、NIST、NSA、DOE、NOAA、NASAなどであるが、量子コンピュータ関連では、量子コンピュータによる暗号解読や量子暗号に注目したNSAが中心になってプロジェクトを行っている。1994～1999年に、9以上の大学、企業と、DARPA、NISTなどの政府機関との共同で第一次プロジェクトが行われた。引き続き現在は第2次プロジェクトが行

図表6 NSFの量子コンピュータ関連研究採択件数

年	採択件数	総額(\$)	金額/件	期間
1995	23	4,930,629	214,375	1～4年
1996	20	5,851,012	292,551	2～4年
1997	23	5,923,848	257,559	0.8～4年
1998	25	6,504,615	260,185	2～4年
1999	22	4,808,112	218,551	2.8～4年
2000(注)	6	1,361,800	226,967	3年
総計	119	29,380,016	246,891	0.8～4年
現在進行中のプログラム	61	15,435,106	253,035	

注) 2000年は4月時点でのデータ

(出典：郵政省(現総務省)調査報告書「21世紀の革命的な量子情報通信技術の創生に向けて」)

われている。個別プロジェクトの予算額は不明であるが、NSAのHECC全体の予算額は20～25M\$/年程度である。

またDARPAはFY2001より「Microelectronic Device Technology」プロジェクトの下で、「Beyond Silicon」と題して、量子コンピュータを含む一連の次世代技術の研究開発を開始し、FY2002には「Beyond Silicon」をプロジェクトに格上げしている。「Beyond Silicon」プロジェクトのテーマ中で量子コンピュータ、量子通信技術に直接関連するのは「The Quantum Information Science and Technology」で、FY2001は予算実績約14.3M\$、FY2002の要求予算23.8M\$であり、FY2003には27.1M\$の予算要求を予定している。これ以外にもナノテク関連の研究プロジェクト「Materials Science」やコンピュータサイエンス関連の「High Performance and Global Scale System」などのテーマ中に量子ドットや量子アルゴリズムなどの量子コンピュータ関連技術が上げられている。

このほか、NISTは麾下の研究所で量子コンピュータ、量子通信の研究を行っており、特にイオントラップ方式で有名である。図表

6にNSFの量子コンピュータに関する助成件数を示す。

欧州

ECにおいては、1984年以来、4年ごとに地域全体の研究計画(フレームワーク)を策定し実行しており、現在は第5次フレームワークが進行している。量子コンピュータを含む情報通信技術については、第1次から第4次フレームワークにおいてESPRITプロジェクトの一環として研究開発が行われてきた。

第5次フレームワーク(1998～2002年)においては、4つの垂直分野と3つの水平分野に分けられており、量子コンピュータを含む情報通信技術関連は、IST(Information Society Technology research)として実施されている。

ISTのプログラムは、技術分野別に既存技術4、新規技術1の5種類、研究補助を主目的とした活動形式による4種類の計9種類に分けられる。量子情報通信は新規技術分野であるFuture and Emerging Technologies(FET)内のQuantum Information Processing & Communications(QIPC)プロジェクトで行われている。

現在QIPCは1999年に募集された12研究プロジェクト(1999～2000初開始、期間は3～4年)の他、FET-OPENという、研究プロジェクトを随時募集する制度で4プロジェクト(期間は1～3年)が行われている。郵政省調査報告書「21世紀の革命的な量子情報通信技術の創生に向けて」によると、QIPC全体の研究資金は、総額約22.4M Euroが見込まれており、そのうちECの負担額は、約17.2M Euro(総額の約77%)である。

ECの研究プロジェクトの特徴として参加機関が多国間に渡る点がある。ISTには参加研究機関の連携を強め、かつ産業界へのフィードバックを活発にすることを目的としたNetwork of Excellenceプログラムがあり、QIPCでもThe Physics of Quantum Information European Research Net-

work (QUIPROCONE) というネットワークプロジェクトを持っている。期間は2000年7月から3年間である。

なお、2002～2006年の第6次フレームワークでもISTとQIPCは継続され、2002年3月に第二次の研究プロジェクト募集が行われている。

ECのプログラム以外の動きとして、1995年ごろから英オックスフォード大学を中心とした欧州各国の大学間研究ネットワークが自発的に広がっている。

日本

日本国内では、1990年頃までは一部グループによる理論的研究が主であったが、1994年度ころから、科学技術振興事業団のCREST(戦略的基礎研究推進事

業)やERATO(創造科学技術推進事業)の採択テーマの一部として量子コンピュータ関連の研究が行われるようになった。1999年には電子情報通信学会の下に時限的研究会として量子情報技術研究会が組織され、理学系、工学系のさまざまな分野の研究者間の情報交換や研究協力の体制が立ち上がっている。また2000年2月に情報処理振興事業協会が「量子計算機における研究開発に関する調査」、同6月に郵政省(現総務省)が「21世紀の革命的な量子情報通信技術の創生に向けて」と題した調査報告書を出版している。現在のプロジェクトとしては、図表7のようなものがある。総務省の公募研究は量子暗号、量子通信を含む量子情報通信技術全体を対象としている。

図表7 日本における量子コンピュータ、量子通信関連の主な研究プロジェクト

研究開発スキーム	テーマ	研究機関(研究期間)	備考
科学技術振興事業団 国際共同研究	量子遷移プロジェクト	東京大学 ノートルダム大学カリフォルニア大学 (平成6年から5年間)	
科学技術振興事業団 戦略的基礎研究	相関エレクトロニクス	N T T、東京大学、総合研究大学院大学、 電総研 (平成10年から5年間)	
科学技術振興事業団 国際共同研究	量子もつれ	スタンフォード大学 CNRS(仏国立科学研究センター (平成11年から5年間)	日本側が、5年間で10億円を負担。
科学技術振興事業団 戦略的基礎研究	量子相関機能の ダイナミクス制御	理化学研究所 (平成11年開始)	
科学技術振興事業団 戦略的基礎研究	核スピンネットワーク 量子コンピュータ	大阪大学 (平成12年開始)	
科学技術振興事業団 創造科学技術推進	今井量子計算機構	東京大学 (平成13年度開始)	
総務省 公募研究	量子情報通信技術の 研究開発	平成13年度開始の公募研究	予算250M万円

(出典：郵政省(現総務省)調査報告書「21世紀の革命的な量子情報通信技術の創生に向けて」を参考に科学技術動向研究センターにて作成)

最後に —量子コンピュータ実現に向けて—

現在のコンピュータの、直接の後継者はナノ・分子デバイスであり、ナノ・分子デバイスにより高い集積度で発熱量のきわめて少ないコンピュータが実現されると考えられる。では量子コンピュータはどのような位置付けとなるのだろうか。

最初に考えられるのが、量子コンピュータで効率よく解ける問題を専門とするコンピュータのサブセットとしての応用である。しかし、そのためにはある程度のキュビット数を集積し、古典的コンピュータと比較して十分な計算速度の優位性を実現する必要があるが、それにはまだ時間がかかるであろう。また、現在開発されているアルゴリズムでは応用先が限定されすぎるといった問題もある。

そこで、比較的少ないキュビット数でも実用になる応用先のひとつとして量子通信、量子暗号システムにおける、送、受信機や中継装置等が考えられている。量子暗号システムは、現時点でもコストや通信距離の制限を除けば実用化可能であり、特に光子方式の量子コンピュータは量子暗号システムとの相性がよい。実際ハードウェア的には、単光子の発生、検出機構など両方で共通に使用される技術も多い。

一方、まったく新しいアルゴリズムが発見されれば、急速に実用

化が進む可能性もある。ひとつのアイデアとして、量子状態のシミュレーションによる材料開発に量子コンピュータを使用できないかというものがある。古典的コンピュータでは原子1000個のシミュレーションにペタフロップクラスが必要になるが(科学技術動向2001年12月号参照)、元々量子状態を計算に用いる量子コンピュータならより効率の良い計算ができるのではないかと考えられている。まだ具体的な成果は発表されていないが、いくつかの研究グループが研究を行っている模様である。

このように、新しい応用先やブレークスルーを探しつつ、実用化できる点から実用化を進めていくことが重要であると考えられる。

一方、研究分野としての量子コンピュータ、量子情報技術を考えてみると、理論計算機科学や情報理論、数学などの理論、物理、化学、光学から製造技術などの工学までの広い範囲を含む分野である。つまり、多くの分野の間から、新しいアイデアが生まれやすい境界領域の一つとすることができる。また、研究分野として新しいため、まだ手が着けられていない、魅力的な部分が多く残っている可能性が高い。そういう意味では新しい発想を取り入れたプロジェクトを数多く進めていくような方式が必要ではないだろうか。

参考文献

- 1) C. P. ウィリアムズ他、「量子コンピューティング」、シュプリンガー・フェアラーク東京、2000年
- 2) 西野哲朗、「量子コンピュータと量子暗号」、岩波書店、2002年
- 3) 特集「量子情報と量子コンピュータ」、数理科学No.456, p5, (2001年6月号)
- 4) 竹内繁樹、電子情報通信学会誌 Vlo. 84, No.1, p17 (2001年1月)
- 5) L. M. K. Vandersypen 他 Nature Vol. 414, p833 (2001. 12. 20)
- 6) 情報処理振興事業協会調査報告書「量子計算機における研究開発に関する調査」(2001年2月)
- 7) 郵政省調査研究会報告書「21世紀の革命的な量子情報通信技術の創生に向けて」(2001年6月)
- 8) 10th JST International Symposium "Quantum Computing" Abstracts (2002. 3. 12-14)



特集3

ナノバイオロジーの動向

*



材料・製造技術ユニット
名嘉 節*、多田 国之

はじめに

2000年1月には、クリントン大統領から National Nanotechnology Initiative が発表されて以来、多くの国々で国家的なナノテクノロジー研究推進施策が発表されている。ナノテクノロジーに求められていることの一つは、近々にその微細化限界が予見されている半導体デバイスを超えるものを生み出

すことである。分子エレクトロニクス素子などいくつかの候補があるが、量子コンピューター、DNA コンピューターなどこれまでは異なる原理を用いるものの可能性も議論されている。一方、そのナノテクノロジーの成果である微細加工技術や一分子計測技術が、近年創薬や遺伝子機能解析、

生体内の情報伝達の研究などライフサイエンス領域でも利用され始めている。

本稿では、ライフサイエンスとナノテクノロジーの境界領域として、最近注目されているナノバイオロジーの動向について紹介する。

ナノバイオロジーとは何か

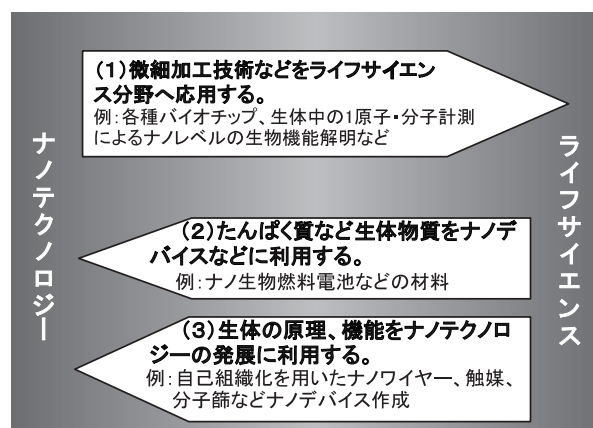
総合科学技術会議の分野別推進戦略では、ナノテクノロジー・材料分野の5つある重点領域のひとつとして「医療用極小システム・材料、生物のメカニズムを活用し制御するナノバイオロジー」を掲げている。この中で、ナノバイオロジーにおける重点目標を「生体分子の構造、動作原理を活用した高効率、超集積度システム構築のための基礎原理の解明」においている。

米国ではコーネル大学など6つの教育・研究機関は、ナノバイオテクノロジーセンター (NBTC) を設立している。そこではナノバイオテクノロジー (Nanobiotechnology) という言葉を用いており、その意味を「生体システムを、ナノ・マイクロデバイスの作成技術とツールを用いて研究すると同時に、より高度なナノ・マイクロデバイスを作成する方法を生物から学ぶ」こととしている¹⁾。

また、ナノバイオテクノロジーより限定的な領域を表す言葉もある。現在、ナノテクノロジーに関する技術予測調査が APEC 技術予測センターで進行中であるが、ナノバイオシステム (Nanobiosystems) という領域の動向調査が報告されている。同センターの報告では、ナノバイオシステムは、「ナノテク

ロジーの発展に生物を利用すること」としているが、その中にも2つのレベルがあるとしている²⁾。一つは、生体物質そのものを、デバイスや機能材料として用いることである。例えば、高い特異性と触媒能を持つ酵素をナノ構造化することにより、ナノ燃料電池やバイオエレクトロニクス素子を作り

図表1 ナノテクノロジーとライフサイエンスにまたがる3つの領域



(科学技術動向研究センターにて作成)

出すことなどである。もう一つは、生物を理解し応用するために、生物が用いている原理を見出すことである。例えば、イオンチャンネルの化学検出機能を解明し、その構造・特性を模倣することにより、高度な機能性ナノセンサーをつくることなどである。

まだこの領域は新しいため、その意味するところはまだ十分に固まっていないと考えられるが、ナノバイオロジーやナノバイオテクノロジーは、ナノテクノロジーとライフサイエンス両分野にまたがる領域として、図表1に示すように、つぎの3つを包含する領域と

して考えることができよう。(1)微細加工技術などのナノテクノロジーをライフサイエンス分野へ利用・応用する、(2)生体物質などをそのままナノデバイス等に利用する、(3)生体の機能、原理をナノテクノロジーの発展に利用するの3つである。

ナノテクノロジーへのライフサイエンスの成果の応用

ここでは、図表1の(2)、(3)に関する研究、応用例を紹介する。この領域はナノバイオシステム研究と呼べる。概観するために、APEC技術予測センターの報告で取り上げられた研究項目とその具体例を図表2に示す。

図表2には、生体中の細胞や酵素などの生体中の物質をそのまま用いる場合から、生物機能を模倣して生体中の物質を用いることなく新しいデバイスを作成する場合まで含まれていることに注意する必要がある²⁾。以下、いくつか詳しい内容を見てみよう。

生体中の物質を利用した例： ナノ生物燃料電池

白金触媒のかわりに、生体内で働いている触媒（酵素）を用いて微小な燃料電池を作成することが試みられている。生体中には、酸

化還元反応をスムーズに進行させるために多くの酵素が存在する。水素と酸素を用いる燃料電池の場合、水素の酸化反応と酸素の還元反応にそれぞれ異なる生体出自の酵素を用いるが、出来るだけ大きなエネルギーを取り出せるようにするためには、多くの技術的問題がある。そのためには、酵素の活性中心、基質や補助因子を最適に配置したナノスケールの精密な構造を作成しなければならない。現在、そのような最適配置構造を見つけて実際に作ることが課題となっている²⁾。

自己組織化を利用した例： 銀ナノワイヤーの形成

生物の持つ機能の中で、ナノテクノロジーに応用が期待されているのは自己組織化を用いたナノデバイスの作成機能である。原子間

力顕微鏡（AFM）などを用い個々の原子・分子を積み上げてナノ構造物を作成するアプローチは、任意の構築物が作りやすい反面、大きな構造物を作成することや、大量生産につなげる上で大きな技術的障壁があることが指摘されている。一方、自己組織化を用いると、大量生産につなげることは比較的容易であると考えられている³⁾。

自己組織化によるデバイスの作成は、自己組織化をうまく使っている生物の中に存在する物質を用いることも多い。ここでは、生体中のエネルギー変換に関与しているハイドロキノンという生体関連物質を用いた例を紹介する。

韓国のPohang科学技術大学のB. H. Hong他は、ハイドロキノンを含んだテンプレート（鋳型）を用い、直径が約0.4nm、長さ数ミクロンの銀ナノワイヤーを作製している⁴⁾。金属ナノワイヤーは、超微細電子回路の形成に利用できる可能性からナノエレクトロニクス材料として興味を持たれている。まず、ハイドロキノンを含む化合物（正式には、“カリックス[4]ハイドロキノン”）を自己組織化させ、ナノレベルの径の筒孔を持ったテンプレートを作製した。この化合物は、ハイドロキノン4分子から形成され、カリックス（ギリシャの聖杯のように飲口が広がったカップ様）状の形をした分子である。このテンプレートに硝酸銀の水溶液を吸収させ、30秒間紫外

図表2 APEC Nanotechnology Position Paperに取り上げられたナノバイオシステム研究

研究項目	具体例
既存分野への生物原理応用	酵素トランジスター、細胞コンピューター、DNAコンピューター
バイオ/化学センサー	レセプターを使用した物理計測センサー、バイオミメティックセンサー
バイオエレクトロニクス	酵素・抗体・抗原・DNAなどを用いたエレクトロニクス素子・回路部品、ナノ生物燃料電池
光・バイオシステム	バイオコンピューター素子、光・バイオエレクトロニクス素子
生体ナノマシン	NEMS/MEMS部品、化学チップ部品、DDS
自己組織化による生体分子ナノ構造の構築	分子篩、触媒
生物機能を応用した人工臓器・筋肉	アクチュエーター、再生医療用の組織

(参考文献²⁾をもとに科学技術動向研究センターにて作成)

線照射し銀イオンを還元することにより、ナノワイヤーを形成させる。テンプレートの断面は、筒孔が規則正しく正方格子を作っており、銀ナノワイヤーはこの筒孔内に成長する。金、パラジウム、プラチナ、水銀イオンにおいて同様のナノワイヤーが形成できる可能性があるという。

生物機能を模倣した例： 人工イオンチャンネルを用いた 化学センサー

イオンチャンネルは、さまざまな刺激を細胞内の電氣的、化学的

信号に変換する分子である。生体膜を貫通するナノスケールの筒状の構造をしていおり、中心部にはイオンの通り道になる孔が開いている。その孔にはイオン選択機能（フィルター）がついており、特定のイオンしか透過させない。そこには、センサーつきの扉が付いており、外部の刺激に応じて開閉を制御している。このようなイオンチャンネルの機能を用い、高度なイオンセンサーや電気化学信号の増幅器をつくる研究が行われている。しかし、イオンチャンネルの原理はまだ十分には解明されて

いない⁵⁾。

イオンチャンネル機能を理解するために、より単純な構造で合成が容易な人工イオンチャンネルの合成が試みられている。生体中のイオンチャンネルのようにペプチドを用いた人工チャンネルの研究は多いが、ペプチドを用いないより単純な構造（親水性と疎水性の2種の鎖状分子からなる）分子の人工チャンネルを合成し、イオンチャンネルの本質的な原理を理解し応用しようという曾我部等（名古屋大学大学院医学研究科）の研究もある⁵⁾。

ライフサイエンスへのナノテクノロジー応用の具体例

ここでは、図表1の(1)の領域の具体的な研究例を紹介する。

一分子計測技術による 筋肉分子の運動の解明

筋肉などの運動を担っている分子のような生物機械の機能を分子レベルで解明するために、大きさが数十ナノメートルしかないタンパク質分子の個々の挙動を計測・制御することが必要である。そのため、AFMや光ピンセットなどのナノテクノロジーを駆使した高度な計測および分子操作技術の開発・応用が進められてきている。この「一分子計測技術」を用いて、分子機械の一種である分子モーターが精力的に研究されている。これらの研究から、分子機械のユニ

ークな仕組みが徐々に明らかになってきた⁶⁾。

分子モーターの例として、最初にミオシンというタンパク質の運動の仕組みを見てみよう。ミオシンは、アクチンと呼ばれる別のタンパク質が数珠状につながったアクチンフィラメントの上を動く（図表3）。その際に、生体中のエネルギー源であるATP（アデノシン三リン酸）と結合・かい離するときに生じる化学エネルギーを使っている。最近一分子計測により、ミオシン分子の運動の様子と、ATPとの化学エネルギーのやり取りが明らかになった。ATPからエネルギーをもらう前は、ミオシンはアクチンフィラメント上をブラウン運動で確率的に移動している。その場合、ミオシンは前後に等しい確率でランダムに動くので運動の方向は定まらない。ところが、一分子計測技術を用いた研究により、ATPの化学エネルギーを使って、でたらめなブラウン運動をするミオシンの運動から、一方向の運動を効率良く取り出していることが明らかになった。これは、これまでの定説を覆す発見である。この研究から人工機械とは異なる、分子機械のユニークな

メカニズムが明らかになったと考えられる⁶⁾。人工筋肉やロボットに用いられるアクチュエーターへの応用が期待されている。

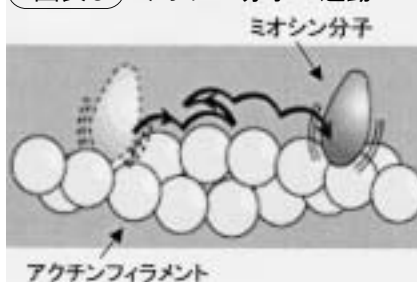
ナノ・マイクロチップ技術の ライフサイエンス分野への 応用

ここでは、最も実用化が近いと期待されているナノ・マイクロチップテクノロジーを見てみよう。DNA塩基配列解析以降の研究では、高集積化、高速化による大量処理、解析・反応時間の短縮が求められている。特に、ヒトの遺伝子（3万から4万個）から発現されるタンパク質は約10万種とも100万種とも言われている⁷⁾。今後このような莫大な数のタンパク質を解析するばかりでなく、タンパク質を単離・精製する必要もあり、次のような、ナノ・マイクロチップ技術を用いた高効率機能評価法（high throughput screening）が検討されている⁸⁾。

マイクロチャンパーアレイ

タンパク質に作用する薬を見出すための、ナノ・マイクロチップ技術の利用例を紹介する。薬を開

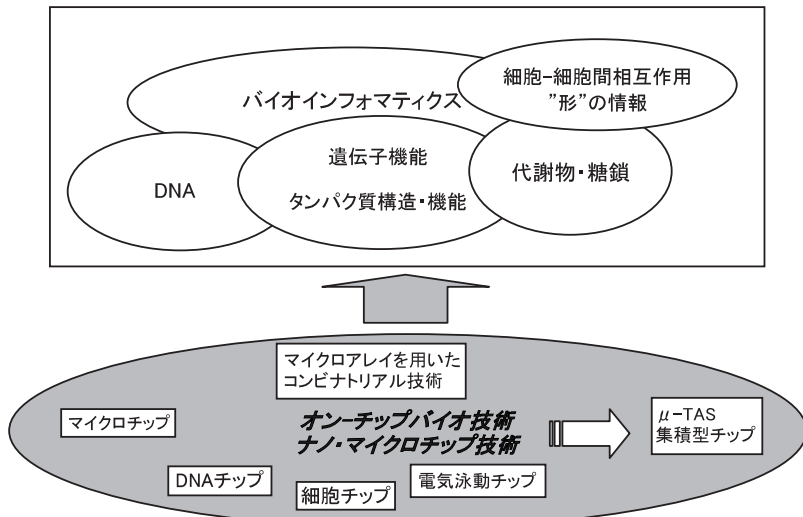
図表3 ミオシン分子の運動



（柳田敏雄教授の資料⁶⁾をもとに科学技術動向研究センターにて作成）

発する場合、実際に合成した多くの化合物（薬の候補）の有効性を迅速に見出さなければならない。そのため、半導体の微細加工技術を応用して個々の反応器の大きさをマイクロメートル～ナノメートルレベルに微小化したアレイ（マイクロチャンバーアレイ）を作成し、個々の反応器に異なる化合物を並べて同時並行に処理（試薬の注入や試料の採取）し、有効な化合物を絞り込むことが可能である。一枚のチップ上に数千から数百万個の反応器を高集積化することにより、分析時間の短縮、試薬の節約、高感度化が期待されている⁸⁾。

図表4 ライフサイエンスにおけるナノ・マイクロチップ技術の応用



(参考文献^{9), 11)} をもとに科学技術動向研究センターにて作成)

プロテインチップ

昨年2月にヒトゲノムのドラフト（下書き）シーケンスが発表され、ヒト遺伝子の翻訳産物（タンパク質）は、3～4万程度であろうと言われている。そのうち60%はある程度機能が明らかであるが、残りの40%は機能がわかっていない。これらの機能が未知のたんぱく質について、立体構造、発現量、たんぱく質相互作用などの解析が進められている。

タンパク質相互作用の解析には、表面プラズモン共鳴測定装置（生体物質の相互作用をリアルタイムに分析する装置）や質量分析装置とともにプロテインチップが使用されている。チップ上にリガンド（抗体、酵素、ホルモンなど）

を固定し、タンパク質を含む試料溶液を添加し、リガンドと相互作用するタンパク質を質量分析装置で分析する。現在は、1枚のチップにのった20～30個の試料を10分程度で分析できる。将来、数千の試料を短時間で分析できるチップの開発が望まれている⁹⁾。

遺伝子機能解析には、チップ技術がすでに用いられており、タンパク質をはじめ代謝物、細胞—細胞相互作用などの解析でも、ナノ・マイクロチップ技術の応用は重要であると考えられる。さらに、現在実験室でさまざまな解析機器を使用して段階的な操作を行って実現していた分析などを、対応する機器をコンパクトにまとめてチップ化・自動化する技術（オン-

チップ技術）の研究が進められている。 μ -TAS（Total Analysis System）はそのようなシステムの一例である（図表4）。

ナノ・マイクロチップ技術は、半導体微細加工技術が応用されている。これまで育まれてきたシリコンテクノロジーは、一方では各種バイオチップ、 μ -TASの開発に応用され、その一部はすでに実用化されている。当面の間、これらのチップの微細化は半導体の場合と同様に発展するという予測がなされている¹⁰⁾。今後大きな成長が見込めるライフサイエンス関連の市場をにらみ、各種バイオチップの研究開発へいくつかの企業が参入している。

ナノバイオロジーに関する議論

ナノバイオロジーの研究は、人工機械にない生物の機能・原理を導入することにより、ナノテクノロジーに質的な変化をもたらすと期待されている。例えば、ナノテクノロジーは、半導体素子の研究開発のように、個人レベルの研究をはるかに超えた巨大で高額の研究が必要なものになると考えがちであるが、ナノバイオロジー研究

によって質的に変化した場合、小規模で安価な技術になる可能性が指摘されている^{2), 3)}。しかし、現時点では、長期的な技術的・経済的インパクトの予測は困難である。

特に、ライフサイエンスの成果をナノテクノロジーに利用する研究（図表2に掲げた具体例）のうちバイオ／化学センサーを除いた大部分は、これらが比較的環境に

やさしいものになるというコンセプトも含め、まだ基礎研究レベルである²⁾。

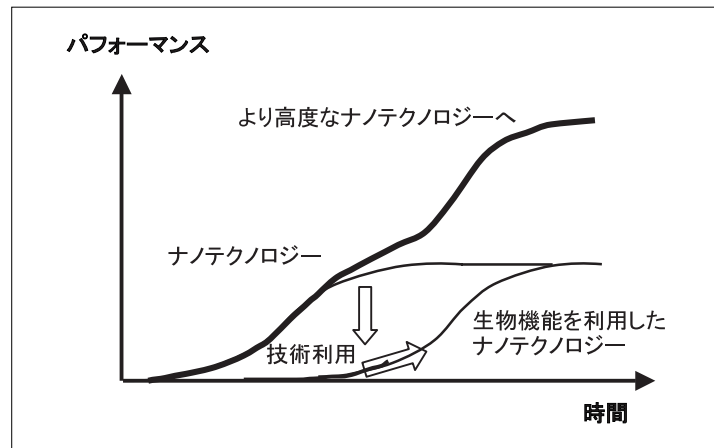
最も興味深いことは、どのようにナノバイオロジー研究をオーガナイズするかということであろう。ナノテクノロジーの研究開発や教育においては、複数の分野間に新たな領域を形成することや、分野横断的な取り組みが必要であるこ

とが多く指摘されている。

ナノテクノロジーとライフサイエンスの境界領域において、人工機械とは異なる生体中の分子機械のユニークな機能が明らかになりつつある。その機能をナノテクノロジーに利用することを目指して数多くの研究例があるが、その多くはまだ基礎研究レベルである。一方、既存ナノテクノロジーの応用分野の一つであるナノ・マイクロチップ技術の応用分野は、実用化をめざしロードマップも作成されている¹²⁾。

ナノバイオロジーは、既存ナノテクノロジーを利用した生物機能の研究を経ながら、生物機能を利

図表5 生物機能を利用したナノテクノロジーの発展概念



(科学技術動向研究センターにて作成)

用した応用研究へとシフトしていくことが予想される。生物のユニークな機能を積極的に利用す

ることにより、将来、より高いレベルのナノテクノロジーを育成していくことが望まれる (図表5)。

おわりに

「21世紀の科学はバイオロジーか?」という問いに対して、デルフト工科大学の生物分子物理学科のC. Dekker教授はYesでもありNoでもあると答え、その理由をこう説明している¹³⁾。20世紀は学問の深化と同時に専門分野の細分化が進んだ。その過程でそれぞれの各分野は独自の文化とも呼べる体系を育んできた。しかし、21世紀は、逆に生物システムの機能解明という目標のもとに、あらゆる分野が集まって取り組む必要がある。現在の生物学と呼ばれる分野だけでは生物システムの機能解明は困難であり、物理学などの他分野との協働が不可欠であると考えられている。つまり、21世紀は単に「生物学の世紀」になるのではないという意味でNoである。しかし、研究の対象となるのが生物の仕組みの解明になるという意味ではYesである。

ナノテクノロジーにより、生体中の分子の挙動を微視的に計測・制御することが可能になった。生体中では物理研究者は生体分子の構造や運動を、化学研究者は生

学反応を、生物学研究者は生体固有の現象を、同じステージで見ることナノテクノロジーは可能にしつつある。ナノテクノロジーという分野融合的な新しい枠組みの中で、「生体機能」解明の新たな進展が期待される。

生物機能の解明には、例えば、ソフトマターの理解も必要であると考えられている。ソフトマターとは、液晶、高分子、ゲル、コロイドなどであり、物質科学の分野で研究されている物質・材料である。しかし、ソフトマターの物理的理解はまだまだ浅く、取り組むべき課題が山積しているという¹⁴⁾。

また、ナノテクノロジーへの応用上でも重要だと考えられている「自己組織化」という概念自身、科学的なコンセンサスはまだ得られていない。1999年に開催された「化学におけるカオスと秩序に関する国際シンポジウム」では、分子デザインから化学カオスまでの幅広い研究者たちが「自己組織化」を再考したが、十分なコンセンサスの得られる定義は得られなかった¹⁵⁾。

このように、生体機能を理解するには、ソフトマターの理解や自己組織化の理解や概念の再構築をはじめ、複数の分野・領域にわたった難問が横たわっている。上述したDekker教授の両義的な答えは、このような背景を踏まえたものであると考えられよう。

最新の研究成果が議論される国際的な会議やスクーリングなどの研究の最前線では、分野融合的な試みが始められている。最近、分子科学研究所が主催するアジア冬の学校「生物物理化学の最前線」では、主にアジアの国々から生物・物理・化学を研究する大学院生など若手の研究者が集い、ナノバイオロジーをはじめとする最新の生命科学を学び議論する場が持たれている。

これらの議論からもわかるように、ナノバイオロジーはまだまだ多くの模索を必要とする新しい領域であるが、その大きな可能性の実現へ向けて、異分野融合的、あるいは境界横断的な研究領域として育成し飛躍させていくことは必要である。

謝辞

本稿のナノバイオロジーに関する記述および図表の一部は大阪大学大学院医学系研究科の柳田敏雄教授の科学技術政策研究所における講演会（2001年12月19日開催）の内容とその資料を元にしております。また、ライフサイエンスにおけるナノ・マイクロチップ技術の応用に関しては、北陸先端科学技術大学院大学の民谷栄一教授に多くの情報と資料のご提供をいただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) N B T C ホーム ページ、
<http://www.nbtc.cornell.edu/>
- 2) V. Braach-Maksvytis and B. Raguse, "APEC Nanotechnology Position Paper, Nanobiosystem", A Background Document for the APEC Meeting on Nanotechnology, Nov. 5-7, 2001.
- 3) 難波啓一、「細菌べん毛のらせん構造をつくるラフジェリンの高精度スイッチ機能」、パリティー、2002年1月号、49ページ
- 4) B. H. Hong 他, Science, 2001年10月12日号.
- 5) 曾我部正博、威 智、「生体ナノマシンの分子設計」第2章5節、共立出版（2001年）
- 6) 柳田敏雄、「ナノテクノロジーの動向と今後の課題」、科学技術政策研究所講演会、2001年12月19日；柳田敏雄、「ブラウン運動を巧みに使う筋肉分子」、日経サイエンス、2001年10月号、30ページ
- 7) 美宅成樹、「遺伝子からタンパク質の機能は予測できるか？」、ILLUME、No.25（2001）4.
- 8) 民谷栄一、二木史朗、吉田和哉、「コンビナトリアル・バイオエンジニアリングの向かう未来」、現代化学、2002年3月、23ページ
- 9) 平野 久（横浜市立大学木原生物研究所教授）、「プロテオーム研究で何がわかるか？」（2001年5月）、第一化学薬品、<http://www2.a-m-i.co.jp/daiichi-p/hirano/mokuji.html>
- 10) “応用物理学会スクール「バイオ・分子テクノロジーと応用新技術」開催される”、ナノテク・材料分野のトピックス、科学技術動向、科学技術政策研究所科学技術動向研究センター、2001年6月号
- 11) 庄司真理子、茂木伸一、「バイオインフォマティクスの動向」、科学技術動向、2001年12月号、科学技術動向研究センター、科学技術政策研究所；庄司真理子、蛭原弘子、茂木伸一、「第三の生命糖鎖とポストゲノム解析」、科学技術動向、2002年1月号、科学技術動向研究センター、科学技術政策研究所
- 12) 馬場嘉信、「マイクロ・ナノ領域から生まれる新しいバイオテクノロジー」、ワークショップ「マイクロ・ナノ融合領域の新技術」、マイクロマシンセンター、NEDO（2002年1月29日、御茶ノ水スクウェア）
- 13) C. Dekker, “The small is great”, Antoni van Leeuwenhoek 教授就任講演（1999）. 原文 “Het kline is groots” はオランダ語。（<http://www.mb.tn.tudelft.nl/user/dekker/index.html>）
- 14) 土井正男、シンポジウム「ソフトマター物理の挑戦」、日本物理学会第57回年次会（2002年3月15日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス）
- 15) 山口智彦、「自己組織化再考—自己集合と散逸構造の統合的な理解へ向けて—」、化学と工業、第54巻、第12号（2001）1363.



特集④

災害シミュレーション技術の動向



総括ユニット
山口 充弘

はじめに

我が国は、国土面積の10%を占める河川氾濫域（沖積平野）に人口の50%が居住し、資産の75%が集積している。この沖積平野は大部分が低平地で、新しく柔らかい地層である。このような、地形、地質等の自然的条件から自然災害の発生は宿命的なものである。

国民の「安全」を確保する上で災害対策は喫緊の課題である。従来は災害発生をくい止める施策が主流であったが、莫大な予算と長期にわたる施設整備を必要とする事から、近年は被害を最小限に止めるための「減災」を重視する施策にシフトしている。

この減災を実現するためには必要な施設整備もさることながら、災害時の避難や救護などを支援する防災計画を立案する必要がある。

防災計画の基盤情報としての被害想定や現象の予測等を行うシミュレーション技術は有効な手段である。

シミュレーション技術はコンピュータ技術の発展が大きな支えとなっており、事象の複雑な処理を短時間で行うことができ、スーパーコンピュータによる数値解析は地震の解析や気象予測等の分野で大きな力を発揮している。

一方、総理府による「防災と情

報に関する世論調査」において52%の国民が知識・理解を持ちたい情報として浸水予想図、地震被害想定図及びハザードマップなどを要望している。このような社会的ニーズに応えるべく近年、浸水予想図、地震被害想定図等の解析結果はインターネットを通じて広く公表している。特に、地震被害想定については詳細なデータに至るまで掲載し住民のニーズに応えている。

本稿では、災害シミュレーション技術の現状と社会的背景からの近年の動向について報告すると共に、利活用方策等について考察する。

基盤情報活用技術の現状

国土数値情報について

国土数値情報は国土地理院が作成しているもので、土地の形状や土地利用等をメッシュに区分しデジタル情報として保有している。この情報は基本的には国勢調査等に合わせ、5年毎に更新される。従来は100m～500mメッシュ情報を解析に利用してきた。例えば標高の取り扱いでは、メッシュ内の数箇所から平均値を出し、これを代表標高とする。これでは、細部の土地形状を捉えることができず、かなり粗い精度になっていた。

そこで、国土地理院では、首都

圏、中部圏、近畿圏において、空中写真から判読した土地利用情報を10mメッシュのデジタル情報として新たに「細密数値情報」を作成した。これは、約5年毎に行われる「宅地利用動向調査」を基に作成され、CD-ROMで一般にも販売されている。

又最近、航空機からレーザを照射し、地上からの反射レーザの時間差を解析して地形地物の位置、高さを測り、同時にデジタルカメラにより画像の取得を行う技術が開発された。航空機はGPS基準局と連動しており、レーザ計測点及びデジタル画像主点の三次元座標が算出される。この技術により

2mメッシュのデジタル情報が得られるので、氾濫シミュレーション等の解析精度は飛躍的に向上するものと思われる。

地理情報システム (GIS : Geographic Information System) 技術の現状

地理情報システム (GIS : 「以下GISという」) 技術は1990年代に始まり、その後の社会的ニーズの高まりから今や多種多様な分野でその機能を発揮している。

国のIT基本戦略「e-Japan戦略」にGIS推進が取り上げられ、重要

な課題として推進されている。

具体的には国の行政機関では河川、下水道等のインフラ関連でGIS整備を実施しており、自治体においても管理施設や土地利用区分などについてのGIS整備を進めている。

GISは地図や画像との一体的なデータ管理やデータの重ね合わせも可能であり、

多様な加工処理を施すことによ

り施設・土地利用状況等の管理事務の効率化に一役かっている。

特に、現象の高さ方向への広がりを分析したりする場合、3次元マップが非常に有効な情報を与えてくれる。例えば、従来の洪水氾濫解析では、氾濫水の流速、浸水深等は把握できるが、これらはあくまで2次元での影響把握であった。しかし、3次元マップをリンクさせることにより、洪水氾濫流

の深さ方向の流速分布が把握できる。氾濫水の衝撃力による木造やコンクリート造等の構造の違いによる建物への影響や建物内部の利用形態による影響を予測可能となり、地下施設の被害想定や病院、福祉施設など災害要援護者への影響等個々の建物での影響分析を高精度かつ高密度に行うことができる。

各種災害シミュレーション技術の現状と動向

災害シミュレーション技術の概要

各種の災害シミュレーション技術の進歩は、コンピュータのハードウェアや計測・観測技術の進歩と融合して、将来シミュレーションによる自然現象・災害のリアルタイム予測も可能にすることも期待されており、防災・危機管理に果たす役割は今後ますます大き

くなるものと思われる。各種災害シミュレーションの解析対象とその内容について図表1に示す。

解析に当たっては、地形、地質等の特性を考慮して、各種の計算定数や係数等を設定し、解析を行っているが、過去の実現象に当てはめ定数等の仮定値の妥当性を検証して精度の確保を図っている。

又、被害予測についても前章で紹介した国土数値情報等を利用し、現象と関連づけて必要な解析

を行っている。

災害シミュレーション技術の動向

ここでは、各種災害シミュレーション技術の現状と課題解決に向けた技術開発について概観する。洪水、土砂災害、火山噴火、地震、津波、高潮のそれぞれについて主要事項をまとめると図表2の通りとなる。

図表1 各種災害シミュレーション解析の概要

災害種別	現象	主なインプットデータ	主なアウトプットデータ
洪水	洪水流出※1	流域分布雨量、流域形状、地形データ、土壌・植生等データ	河川各地点の流量
	外水氾濫※2	河道流量、破堤形状、氾濫域地形等データ	氾濫流量、浸水深、氾濫範囲、流速、到達時間
	内水氾濫※3	流域地形、排水施設緒元、河道流量	同上
土砂災害	土石流	降雨量、地形・地質、植生等河道流量、流速、掃流力	流出土砂量、流速堆積厚、到達距離
	地滑り	降雨量、地形・地質・植生等、間隙水圧	滑り形状、崩落土砂量到達距離
火山噴火	溶岩流	大気データ、地形、地質	堆積厚、流下範囲、流速
	噴石火山弾	山体構造	到達距離、速度、衝撃力
	降下火砕物	山体構造、大気データ	到達距離、堆積厚
	火山泥流	降雨量、火山灰堆積量、地形	流下範囲、堆積厚、速度
	火砕流	山体構造、大気データ、地形	到達範囲、速度、温度堆積厚
地震	強震動	震源、規模、地質、地盤構造	加速度分布、震度分布、液状化発生分布
津波	越波	陸域地形、波高、継続時間、越波量	浸水深、到達距離、流体力
高潮	越流氾濫	流域地形、河川内流量、海域地形、潮位気象データ	浸水深、氾濫流量、到達時間、氾濫範囲

(科学技術動向センターにて作成)

※1：流域から河川へ降雨が流出する現象。

※2：洪水時破堤などで河川内の水が街側へ氾濫する現象。

※3：集中豪雨時などで、下水道から雨水が街側へ氾濫する現象。

図表2 各種災害シミュレーション技術の動向

災害種別	技術の現状	技術開発課題
洪水	<ul style="list-style-type: none"> ● 氾濫水の流出量、流速、水深氾濫範囲を時系列で表現可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 下水道流出、排水ポンプ稼働状況等と流域からの流出を一体的に取り扱う内水氾濫シミュレーションの実用化（一部利用開始）
土砂災害	<ul style="list-style-type: none"> ● 巨礫を含む土砂の掃流力や山腹の洗掘等を評価可能 ● 地盤が不均質な場合のすべり現象は有限要素法が用いられている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● なだれ現象の土砂粒子間摩擦係数等の適用に精度上の課題がある。 ● 有限要素法を亀裂や断層が主体となる岩盤等の崩落現象に適用すべく開発。
火山噴火	<ul style="list-style-type: none"> ● 噴火に伴う個々の現象（図表1）については、数値解析は可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 噴火の推移やそれに伴う想定される被害予測の数値解析の開発。 ● 混相流体であるマグマの挙動予測が大きな課題。
地震	<ul style="list-style-type: none"> ● 地表面の揺れを予測する強震動シミュレーションはかなりの精度で解析可能。 ● 構造物の動的挙動は有限要素法による解析が実用化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 複雑な地下構造を精度良く反映した地震波動伝搬数値解析を開発。 ● 液状化の発生や規模を予測する解析技術の開発 ● 断層の破壊過程や破壊が地表に達した地表地震断層の形成過程を予測する解析技術の開発
津波	<ul style="list-style-type: none"> ● 矩形断層面を仮定した断層モデルにより最終海底変動量を算出可能 ● 津波伝搬解析は、伝搬方程式により、時々刻々の水位を算出可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 被害予測における陸上への遡上解析のための波先端条件と陸上の粗度が関係するエネルギー損失のモデル化を開発。 ● 海底地形の細密データや沖合での観測値を入力情報として瞬時に数値予測を行う技術開発
高潮	<ul style="list-style-type: none"> ● 海底地形細密データや潮位観測データの蓄積が飛躍的に増大し、波浪推算解析が実用化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 想定した台風規模とコースによる高潮と洪水を一体的に評価するモデルによる数値予測の開発。

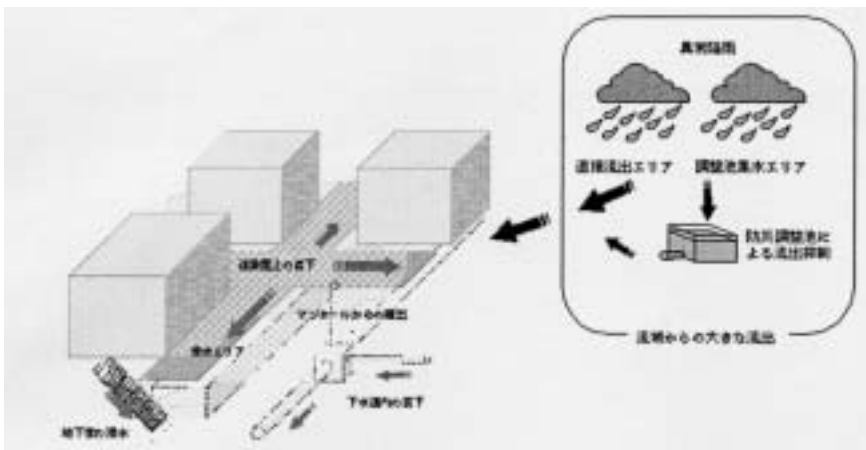
(科学技術動向研究センターにて作成)

最近のシミュレーション技術の事例

鶴見川における内水氾濫シミュレーション

従来下水道等の施設を含む流域の内水氾濫では複雑な管路網での雨水の解析が困難であったが、デンマーク水理研究所が開発してきた都市域・氾濫解析ソフト(Mouse)の高精度版が2000年に開発され、河川での流域流出量解

図表3 解析概念図



(国土交通省資料より)

用語説明

①準線形流出計算モデル

流域から河川へ流出する降雨の流出状況をシミュレートする従来の流出モデルに加え、流域内の土地利用毎に降雨の貯留や浸透など、土地利用変化を評価できるモデル。

析「準線形流出計算モデル^①」における流域流出量を境界条件として入力することにより、一体的な解析手法による内水氾濫シミュレーションが可能となった。このシ

ミュレーションは、以下の特徴を有するものである。

- 任意の地点における流量、水位等を時系列で把握可能
- 管路網（ループ管等）や堰・ポンプ施設等を組み込める。
- 下水管の流れと道路等の浸水域の流れを同時に解析が可能で、地下施設への進入状況等が把握可能。
- 解析結果のグラフ・アニメーション表示等多彩なプレゼンテーションが可能

上記シミュレーション技術を使って、鶴見川の低地地域（ポンプによる強制排水が必要な地域）に

集中豪雨が発生した場合の内水氾濫解析を示す。

図表4 流域現況と対象降雨

流域面積	709 ha
市街地率	約99%
地下街	1ヵ所
地下室	18ヵ所
排水	ポンプ排水
防災調整池容量	22,758 m ³
対象降雨	88 mm/hr

(国土交通省資料より)

解析概要は下記の通りであり、従来は不可能であった以下の様な評価が行える様になった。

- 図表5に示す通り、低地地域のほぼ全域で浸水し、局所的ではあるが、2.0m以上浸水する所も有る。
- 図表6に示す通り浸水は約40分で60cmに達し、素早い避難行動が要求される。
- 新横浜周辺では18ヵ所の地下施設全てが浸水する。

図表5 浸水状況図



(国土交通省資料より)

(参考) 浸水時における地下室の危険性について

内水氾濫においては、短時間に地下施設が浸水する可能性が有ること、又福岡等で地下室の浸水により死傷者がでていたことから、地下施設の危険性が指摘されている。

ここでは、浸水時における地下室の危険性について、実証実験に基づく解析を紹介する。

①水は非常に早く流入する。

街側の浸水上昇速度が0.02m/分、出入り口の段差が無いものとする、地下室内の浸水深を地下室面積と出入り口幅の比(S0/B0)との関係で見ると図表7のようになる。例えば、10m²の地下室で1m幅の入り口の場合、約8分で1.5mまで浸水する。

②浸水が始まると扉は直ぐに開かなくなる。

地下室の多くは入り口に扉が有り、入り口前の狭い前室に水が溜まる。この様な時、扉の開閉がどうなるかを見ると、

(1)外開き扉の場合

前室に水が溜まった状態で扉を押し開けるために力が必要とな

る。この力は大人で10~20kgf、老人・子供では最低4~6kgf程度とされている。ここで仮に力を15kgfとすると対応する水位は26cm程度となり、①の地下室の場合、浸水が始まりわずか4分程度で扉を開ける事が出来なくなる事態が発生する。

(2)内開き扉の場合

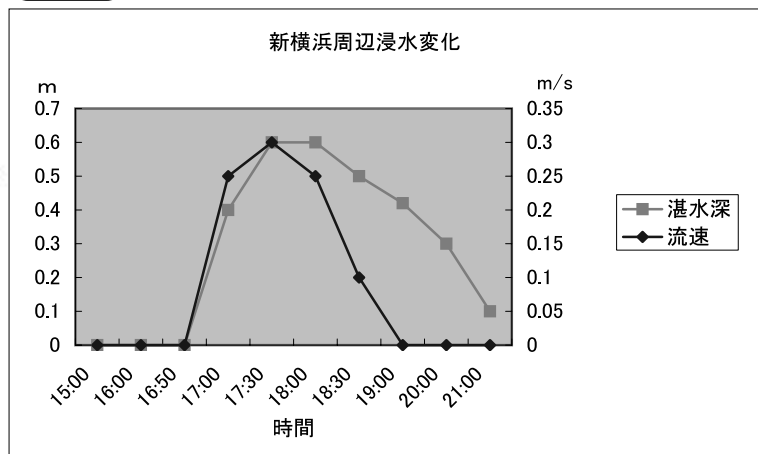
前室に溜まった水の水压によりドアノブを回すのに大きな力が必要となる。女性の場合その力は20~30kgf・cmとされているが、仮に水压により50kgfの力が作用すると、対応する水位は47cmとなり、5分程度でドアノブを回す事が出来なくなる。

③浸水により、電気系統が停止し機械が止まる。

地下室が浸水した場合、水による絶縁の劣化→短絡・漏電→遮断機による回路の遮断→停電というプロセスをたどり機能停止に陥る。又、非常用照明装置も機器や配線自体が浸水すると機能が停止する可能性が高い。

④流入してくる水に逆らって階段を上る事は非常に危険である。階段の上から流れてくる場合は水の

図表6 新横浜周辺浸水変化図



勢いはさらに強くなる。

東京都における南関東地域直下の地震解析シミュレーション

中央防災会議において切迫性が指摘され、かつ最も大きな被害が予想されるフィリピン海プレート上面に沿うプレート境界型地震を想定し、最新の強震動数値解析を基に震度分析や液状化分布を把握すると共に兵庫県南部地震での詳細な被害実態を反映したものとなっている。被害想定に当たっては、兵庫県南部地震等の被害データに基づき被害項目毎に原因と結果の関係を分析し、被害推定式を作成、次に500mメッシュの国土数値情報を推定式に投入し被害量を算定した。作成・公表は2001年、国土数値情報は1998年のデータを活用している。

地震及び被害想定的前提条件は下記の通りである。

震源：
 区部直下、多摩直下、神奈川県境、埼玉県境の4ケース

規模：
 マグニチュード (M) 7.2

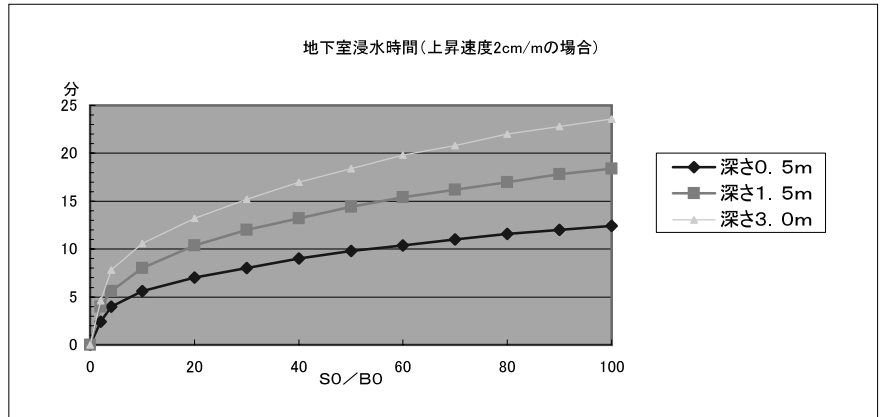
震源の深さ：
 地下20km～30km

震源域（岩盤の破壊面積）：
 長さ40km×幅20km程度

発生時刻と気象条件：
 冬の平日午後6時、晴れ、
 風速6m/s

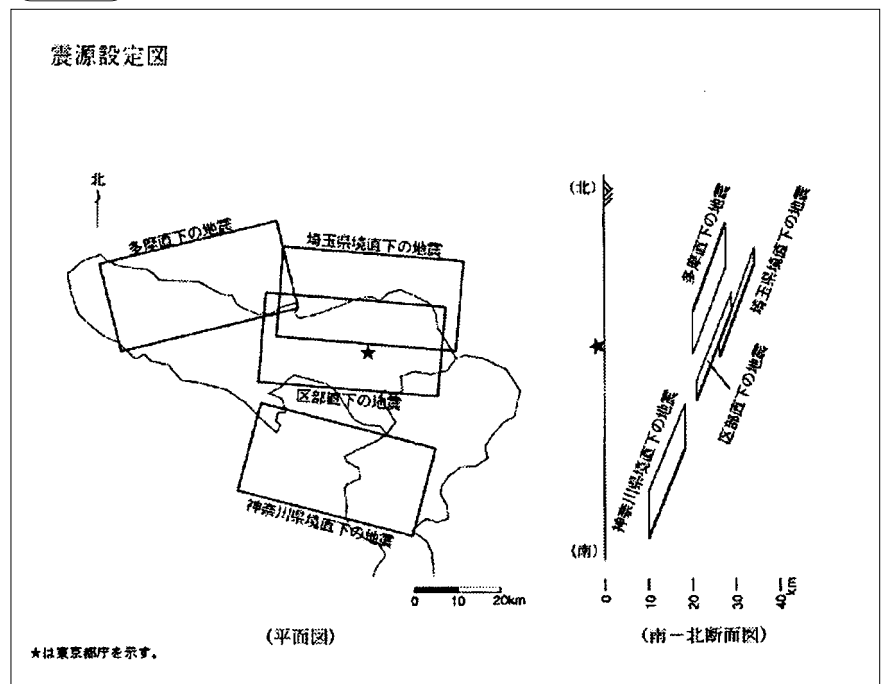
- 想定項目は、①ゆれ、液状化、津波及び地震水害、②建物等の被害、③火災、④鉄道・道路等被害、⑤ライフライン被害、⑥人的被害、⑦社会生活上の被害（食料、医療等）である。
- 被害想定算出に当たっては、建物については地表最大加速度

図表7 地下室浸水関係図



(財団法人：日本建築防災協会作成資料より)

図表8 南関東直下型地震震源想定図



(東京都作成資料より)

を、ライフラインについては、地表最大速度を、鉄道・道路については震度をそれぞれ指標としている。

想定解析結果の概要

- 想定地震の震源断層は地表から20～30kmと深い位置に設定された事から、4つのケースによる最大震度はいずれも震度6強である。
- 東京直下のフィリピン海プレートは水平に近い角度で沈み込ん

でいて、想定地震の断層運動も水平に近い状態で発生。その結果ゆれは面的な広がりを持ち、直下地震といえども都域における被害は広範囲に及ぶ。

- 建物被害が多数発生し、環状7号線沿線、中央線沿線等木造家屋密集地域での延焼被害が大きい。

区部直下のケースにおける被害想定を都区部の代表区についてまとめたものが図表9である。

図表9 被害予測結果

区名	夕方の推定人口	面積 km ²	震度面積率 (%)			液状化可能性面積率 (%)		
			5強	6弱	6強	A	B	無し
千代田区	837,243	11.64	34.1	65.9	0.0	27.3	20.5	43.2
江東区	476,981	39.2	0.0	37.5	62.5	65.1	33.9	0.0
大田区	706,786	59.46	0.0	70.0	30.0	78.6	0.0	21.4
杉並区	413,387	34.02	59.9	40.1	0.0	0.0	0.0	100
区部全体	11,222,592	616.35	26.6	59.1	14.3	46.4	6.6	45.7
都内全体	14,404,325	1,776.25	30.0	31.1	5.1	16.8	2.4	80.4

※液状化面積のランクAはメッシュ内の18%、ランクBは5%がそれぞれ液状化する。

区名	建物全壊率 (%)	ライフライン支障率 (%)				消失面積 km ²	死者数	重軽傷者	帰宅困難者
		上水道	都市ガス	電力	電話				
千代田区	3.3	33	66	16	4	0.00	114	8,868	603,930
江東区	4.4	62	100	15	33	2.63	227	9,689	71,265
大田区	3.1	46	82	27	59	10.76	1,104	11,822	118,967
杉並区	0.8	11	0	29	53	8.69	478	4,962	53,331
区部全体	2.2	31	32	20	30	74.85	6,717	136,825	3,348,023
都内全体	1.6	27	25	17	27	95.75	7,159	158,032	3,714,134

(東京都資料より科学技術動向研究センターにて作成)

おわりに

本稿では、災害シミュレーション技術の現状と動向について解析技術を支える基盤情報の動向も含めて概観した。以下、今後推進すべき事項を整理する。

①リアルタイム防災情報提供システムの構築等

- 短時間降雨予測や細密国土数値情報さらにはGIS技術を取り込んだリアルタイムの防災情報を国民に提供できるシステムを構築することが危機管理上重要である。
- 地震・断層発生メカニズムのさらなる解明と現象を再現・予測するシミュレーション技術の確立を推進する。

②最前線に位置する自治体での取り組み

- 水防法の改正により国や県が管理する河川について洪水氾濫想定図の作成・公表が義務づけられた。同様に洪水予測を行う指定河川が県管理河川へ拡大された。今後2万を超える県管理河川について洪水氾濫想定図の作成や降雨予測

も含め短時間での予測発表が必要となる。

- 災害は人的被害や構造物被害はもとより、都市の経済活動や市民生活にも長期にわたって甚大な被害をもたらす。自然現象の再現等とは別に、発生時の避難、救出、救護等の活動を支援するシミュレーションの開発も推進すべきである。
- 災害シミュレーションを基盤情報として、ハザードマップの作成・公表が行われており洪水関係で2割弱、土砂災害関係で3割弱、火山噴火関係で5割弱の作成状況であるが、今後作成・公表にむけて強気に推進すべきである。
- シミュレーション解析やハザードマップの作成に当たっては、学識者による専門的知識や技術の支援、国による予算面での支援も必要である。

③応用の拡大

- ハザードマップ、防災計画書への利活用は行われているが、その他においては特筆すべき施策は行われていないの

が現状である。今後はより広範な利活用を考えるべきで、例えば、シミュレーションで評価された危険性については広報を積極的に進めることや、住宅取得時における宅地建物取引業務法の「重要説明事項」の説明に災害シミュレーションに基づく情報を加えることの義務化、また、浸水シミュレーション結果を地下室構造の建築基準へ反映させるといった利活用を図ることが必要であろう。

- 浸水予想図等の基盤図は2万5千分の1国土基本図を用い、500m程度のメッシュ状での表示に留まっているが、今後は細密国土数値情報、GIS技術を最大限に活かした氾濫図や液状化分布図等を住宅地図等の高縮尺情報図に表示し公表する。

参考文献

- 1) 計算工学 Vol. 6, No. 3 2001, 計算工学会

特集5

米国科学技術政策の最新動向

—2002年 AAAS年次コロキウム速報—

同時多発テロが米国科学技術政策に及ぼした影響
および2003年度の重点目標総括ユニット
清貞 智会

はじめに

2002年4月11～12日、ワシントンDCにてAAAS (American Association for the Advancement of Science) のコロキウム「脆弱な世界における科学技術—科学技術政策の再考— (Science and Technology in a Vulnerable World—Rethinking Our Roles—)」が開催された。毎年春に開催される同コロキウムは今年で27回目にあ

たり、科学技術政策をテーマとした会議としては全米で最大規模を誇る。

今年度は2001年10月に大統領科学補佐官に就任した John H. Marburger 博士をはじめとする米政府の関係者、大学、研究機関およびR&D企業等の研究者および管理者、政策シンクタンクのアナリスト、さらに諸外国の科学技術

政策の関係者等、計500名以上が参加し、①同時多発テロ後の科学技術政策のあり方や、②2003年度の米連邦政府R&D予算の編成動向等を討議した。

本稿では同コロキウムでの討議内容や関係者へのインタビュー調査をもとに、米国の科学技術政策の最新動向を紹介する。

同時多発テロ後の科学技術政策

学・官による取り組み

同時多発テロ以降、Bush政権は最優先でテロ対策に取り組んでいる。科学界を代表してこれにいち早く対応したのが、National Academies¹⁾である。

(1) National Academiesの対応

National Academiesは、2001年9月20日、Bush大統領に科学界の英知を結集してテロ対策に協力することを申し出た²⁾とともに、テロ対策への科学の貢献を検討する内部委員会を設置した。同委員会は、Harvard大学名誉教授のLewis Branscomb博士およびNCI (National Cancer Institute) 前所長のRichard Klausner博士の共同委員長の下、2002年夏を目処に連邦政府に最終報告書を提出する予

定である。同委員会は2001年9月に第一回目の会合を開催し、連邦政府に対して省庁横断型のテロ対策R&Dの推進を提言した。

(2) 政府テロ対策R&Dタスクフォースの新設

Marburger補佐官は前述のNational Academiesによる提言を受け、NSTC (National Science and Technology Council)³⁾の下にテロ対策R&Dを推進する5つのタスクフォースを設置した。

5つのタスクフォースのうち4つはそれぞれ以下のテーマを担当する。

- 生物および化学物質の検出・対処
- 核物質の検出・対処
- 重要インフラ保護
- 社会科学、人間工学によるテロ心理の研究

5つ目のタスクフォースは、各省庁が提出したテロ対策R&Dプロポーザルに技術評価を加え、データベース化する。

テロ対策R&Dは学際領域のものが多いため、同データベースの構築は、省庁間のプログラム重複の回避と、各省庁によるプログラム設計の効率化に貢献することが期待されている。

(3) 政府テロ対策R&Dプログラムの中間評価

同時多発テロ以降、いくつかの省庁が手探り状態でテロ対策R&Dプログラムをスタートさせた。Marburger補佐官は、これらの取り組みの効率化を図るため、現在進行中のプログラムの中間評価をシンクタンクのRAND社に依頼した。RAND社はこれらのプログラムを共通フォーマットのス

プレッドシートにまとめ、プログラムの重複、関連省庁間のギャップおよび省庁間の協力可能性等を明確にしながら、中間評価の準備を進めている⁴⁾。

(4)人材発掘

同時多発テロ以降、一般市民から数多くのテロ対策R&Dプロポーザルが連邦政府へ寄せられている。OSTP (President's Office of Science and Technology Policy) と、連邦政府のITイニシアチブ “Networking and for Information

Technology R&D” を統括するNCO (National Coordination Office) は、上記プロポーザルの提案者に関する情報を集め、データベース化を進めている。テロ対策に必要な民間人の新規雇用に意欲的なBush大統領の下、各省庁は同データベースを利用して必要な人材を集めている。

テロ対策R&D予算

同時多発テロ以降、テロ対策R&D予算は大幅に増えている

図表1 テロ対策R&D予算の推移

	テロ対策R&D予算 (億ドル)	対前年 増加率 (%)
2001年度	5.8	—
2002年度	15	159
2003年度	28	87

(出典) AAAS Report XXVII: Research and Development FY 2003

(図表1)。

2003年度は、テロ対策R&D予算の大部分がNIHのバイオテロ対策R&Dに充てられる見通しである。

同時多発テロによる大学への影響

大学の国際性への影響

AAASの講演で、Georgia工科大学のG. Wayne Clough学長は、「同時多発テロ後、留学生へのビザ発給審査が厳しくなっている。また国際共同研究の推進にも支障を来している。」と指摘した。また、カリフォルニア大学Santa Cruz校のGreenwood学長は、「同時多発テロ後、大学ではイスラム系を中心に留学生への風当たりが強くなり、多くの留学生が帰国した。」と指摘した。

さらに米議会では現在、大学で科学技術を学ぶ学生（米国市民および永住者限定）を支援する “Technology Talent Act” の制定が検討されており、同法案が可決されれば、大学の諸外国に対する閉鎖性が強まる懸念される。

大学に期待される役割

テロ攻撃は従来型の戦争と異なっており、敵が誰なのか、またどこから、どうやって攻めてくるのか不確かな要素が多い。このため、テロ心理の研究や、テロに関する情報の収集、分析、データベース化等が大学に期待されている。また、炭疽菌等のワクチンのR&D、人物照会の精度を高めるバイオメトリックス研究、危険物を検知するセンサー精度の向上等も大学等に期待されている。

これに対して、Branscomb名誉教授はAAASの講演で、「大学は積極的にテロ対策R&Dを進め、米社会の健全性の維持に貢献すべきである。ただし、これらのR&Dは学際性が高いものが多く、評価方法の整備が急がれる。」と

指摘している。

テロ手段供給源としての危険性

Marburger補佐官はAAASの講演で、「テロ対策における大学への期待が大き一方で、大学は生物兵器等のテロ手段の供給源となる危険性がある。」と指摘した。

こうしたリスクを軽減するため、2001年10月26日、大学やNCES (National Center for Educational Statistics) に、FBIやCIA等の要求に応じて、研究者の個人データを提供することを求める “USA Patriot Act” が制定された。これについて、Branscomb名誉教授は、「同法はテロを事前に防ぐ効果があるが、研究者のプライバシーが侵害される恐れがある。」とAAASの講演でコメントした。

2003年度政府R&D予算

予算編成動向

2002年2月4日、Bush大統領は2003年度予算教書発表した（2003年度は2002年10月～2003年9

月）。同予算教書では2003年度R&D予算が対前年比8.6%増の1120億ドルで、特に予算増が顕著な機関は、対前年比9.9%増のDOD (Department of Defense) と、同じく16%増のNIH (National

Institute of Health) である（2003年度大統領予算教書におけるR&D予算の詳細は、科学技術動向2002年2月号の特集「米国R&D政策動向—連邦政府R&D予算配分に見る重点領域の推移—」参照）。

2003年度の重点領域

2003年度の重点領域は、ナノテクノロジーとライフサイエンスである。

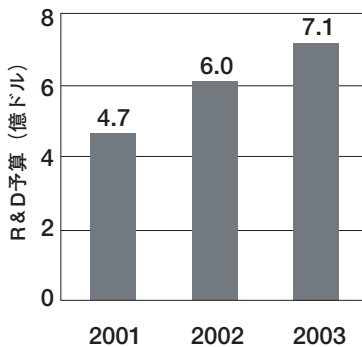
(1) ナノテクノロジー

2003年度予算教書は対前年増のNNI予算を要求している(図表2)。

また、Marburger補佐官はAAASの講演で、2003年度科学技術政策の重点テーマの一つにNNI(National Nanotechnology Initiative)の推進を挙げた。特に2003年度予算教書では、新たに下記テーマを計上している。

- ナノスケールでの製造プロセス
- ナノテクノロジーを利用した化学・生物・核爆弾の検出および処理
- ナノスペースを対象とした計

図表2 NNI予算の推移



(出典) AAAS Report XXVII: Research and Development FY 2003

測法および計測器の開発

さらに同教書は、これまでNNIで取り組んできた標準化、人材育成および産学官連携の強化を求めている。

なお、連邦政府においては“ナノ”に関する分野概念がまだ流動的な状態にあると見られる。例えば、NNIの真中の頭文字“N”は一般的に“Nanotechnology”を表すが、NNI事務局のNEST(Nanoscale Science, Engineering and Technology)分科会⁵⁾が発表した“National Nanotechnology Investment in the FY 2003 Budget Request by the President”には、“Nanoscale science, engineering and technology”を指す場合もあることが記載されている。さらに、Marburger補佐官はナノサイエンスという概念を提起し、これは有機ナノサイエンス(バイオテクノロジー)と無機ナノサイエンス(ナノテクノロジー)から構成される領域であるとコメントしている⁶⁾。

(2) ライフサイエンス

2003年度は1999年度からはじまるNIH予算倍増5カ年キャンペーンの最終年度にあたり、2003年度予算教書ではちょうど同目標が達成されている。AAASのR&D予算・政策プログラムのKoizumiディレクターは、「NIHへの投資は国民の支持を得やすい。特に連

邦議会は今年の秋に選挙を控えているため、予算教書で要求されたNIH予算を減らす可能性は低く、むしろ増やすであろう。」とコメントしている。

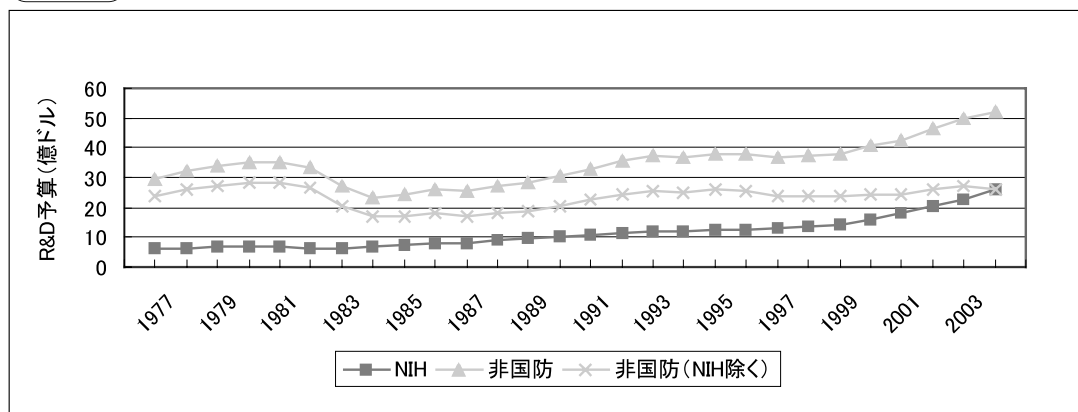
この結果、非国防R&D予算に占めるNIHのシェアが拡大し(図表3)、分野間のバランス問題が生じている。

分野間のバランス問題

NIHの予算倍増キャンペーンの終了を控え、NSFや議会の一部から、エンジニアリングや物理学分野へのR&D予算増加を狙ったNSF予算倍増キャンペーンを求める声が挙がっている。しかしMarburger補佐官は、分野間のアンバランスを改善する必要性を唱えながらも、同NSF予算倍増キャンペーン案には反対の意を示している⁴⁾。

この背景には、「ライフサイエンス予算を増やせば同じように物理分野の予算も増やすべし」という問題ではない。ITの発展がゲノム解析を飛躍的に前進させ、またナノテクノロジーの発展が材料の新機能を引き出し、さらに新たな生命現象のメカニズムを解明したように、様々な分野が複雑に絡みながら発展している。こうした観点に立つと、今後もライフサイエンス分野には積極的にR&D投資することが大切である。おなじくナノテクノロジーやITにも同様

図表3 非国防予算におけるNIHシェアの推移



に重点投資することが大切である。」との同補佐官の考えがある。同方針について、SRI Interna-

tional社のPetersonディレクターは、「先見性が高く、今後の科学技術政策の展開が楽しみである。」

とコメントしている。

政府R&Dマネジメントの見直し

Bush政権はR&Dマネジメントを重視し、OMB (Office of Management and Budget) を通じて各省庁に①R&D投資のクライテリアの開発、②同クライテリアを用いた各R&Dプロジェクトの評価、③同評価結果の次年度予算要求への反映を命じた。

既にBush大統領は2001年5月に発表したNEP (National Energy Policy) において、DOE (Department Of Energy) にこれらの作業を命じており、DOEが開発した応用研究と開発の投資クライテリアはその他省庁にも適用され、基

礎研究の投資クライテリアは各省庁が独自に開発することになっている。DOEの評価結果は2003年度予算要求に反映される予定であったが、DOEが基礎研究の投資クライテリアの開発に手間取ったため、評価結果の反映は2004年度予算要求に先延ばしとなった。

これに対して、NAS (National Academy of Sciences) は2002年2月、DOEやOMBの関係者や産学の有識者を集め、基礎研究の投資クライテリアの開発について議論するワークショップを開いたが、参加者は総論ではOMBの要求を

支持するものの、長期的かつリスクの高い基礎研究への投資効果を簡単なクライテリアで評価できるのか、あるいは萌芽的な研究を潰すのではないかな等の懸念を示した。

Marburger補佐官はAAASの講演で、各省庁のR&Dプロジェクトの審査で用いられるピアレビューを効果的に行うため、評価クライテリアの開発・整備に意欲を示したが、サイエンスコミュニティからは「ピアレビューで詳細なクライテリアを設定することは、評価の形骸化につながる。」との懸念が湧き上がっている。

おわりに

同時多発テロが米国の科学技術政策に与えた影響は大きく、様々なテロ対策R&Dプログラムが実施・計画されているが、かなり錯綜しており早急な調整が求められている。

また2003年度、Bush政権はナノテクノロジーとライフサイエンスを重点化する予定であり、この傾向は当面続く見通しである。ただし、拡大する赤字財政を考慮すれば、政府のR&D投資の効率化・見直しが必要であり、Bush政権が重視するR&Dマネジメントの行方が注目される。

- 1) 米国のサイエンスコミュニティを代表する研究者等で構成。
- 2) "Federal Research and Development for Counter Terrorism: Organization, Funding, and Options", November 26, 2001, CRS Report for Congress
- 3) ホワイトハウスに設置された委員会。主に連邦政府のR&D資源配分の調整を行う。メンバーには副大統領、大統領科学補佐官、科学技術関連省庁の長官、関係部局長、その他ホワイトハウス高官および大統領が任命した有識者

- 等が含まれる。
- 4) "Statement of The Honorable John H. Marburger, III, Director, OSTP", December 5, 2001, House Committee On Science
 - 5) NSTCの下に設置
 - 6) "Speech of Dr. John Marburger; Science Based Science Policy", February 15, 2002, Boston, Massachusetts
 - 7) "University Research in the News", 02-04 February 8, 2002, Association of American Universities



特集⑥

平成14年度科学技術関係予算編成の概要



総括ユニット
横尾 淑子

はじめに

新年度となり、第2期科学技術基本計画（以下、基本計画）の2年目がスタートした。新しい科学技術行政体制も軌道に乗り、基本計画の具現化に向けての本格的な

取り組みが始まった。

そこで、ここでは、平成14年度科学技術関係予算の編成プロセスを総合科学技術会議の活動を中心に概観する。これは、新行政体

制下での初の予算編成であり、来年度以降の予算編成のプロトタイプの性格を持っている。併せて、平成14年度科学技術関係予算の概要を紹介する。

新体制での予算編成

—総合科学技術会議の活動—

平成13年3月の総合科学技術会議本会議において、諮問第1号「科学技術に関する総合的戦略について」の答申が示され、これを受けて政府は第2期科学技術基本計画を決定した。

また、総合科学技術会議が発足して本会議が毎月開催されるようになり、重要事項は本会議において審議、決定されるようになった。

ここでは、平成14年度予算編成の過程を総合科学技術会議の政策審議、決定との関連から見ていくこととする。

総合科学技術会議は、平成14年度予算の編成に当たり、「分野別推進戦略の検討」→「予算、人材等の資源配分の方針提示」→「資源配分の方針の施策への反映状況の確認」という審議スケジュールで臨んだ。

まず、5月の本会議において、平成14年度予算に向けた課題が審議された。併せて、①概算要求前の早い段階に資源配分方針を作成し、これに基づき予算要求が行われるようにすること、②関係省庁から行われた概算要求事項の内

容を評価し、優先順位を付けて、財務当局との連携の下に、資源配分が行われるようにすること、が決定された。

基本計画に示された重点分野の分野別推進戦略については、3月の本会議での決定に基づき、検討のための重点分野推進戦略専門調査会が設置された。同専門調査会は、分野ごとにプロジェクトを設置して検討を行い、毎月の本会議において、各分野においてどこに重点を置くべきかを中心に検討状況を報告した。資源配分の方針については、重点分野推進戦略専門調査会が、科学技術システム改革専門調査会及び評価専門調査会と連携して、調査、検討を進めた。

これらを踏まえて、7月の本会議では、概算要求の基本的な考え方を示した「平成14年度の科学技術に関する予算、人材等の資源配分の方針」（以下、資源配分方針）が決定された。ここでは、基本計画で示された重点分野等についてメリハリをつけて重点化を図ること、並びに、世界最高水準の成果を生み出す研究環境構築のた

めのシステム改革が示された。そして、各省庁は概算要求にこの方針を十分に反映させ、また、総合科学技術会議は、予算編成過程において必要に応じて財務当局と連携を図る等の対応をとることとした。

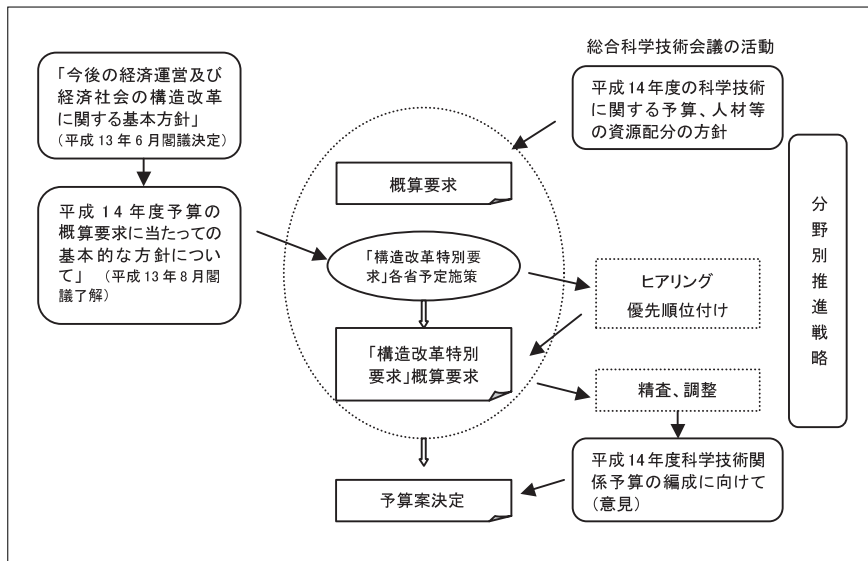
8月には、政府が「平成14年度予算の概算要求に当たっての基本的な方針について」（平成13年8月10日閣議了解）を決定した。これにより、重点7分野（環境問題への対応、少子・高齢化への対応、地方の活性化、都市の再生、科学技術の振興、人材育成・教育・文化、IT国家の実現）に手厚く配分することを趣旨とする「構造改革特別要求」が認められた。総合科学技術会議は、この特別要求について、資源配分方針に則って科学技術振興に関連する予定施策の精査を行うこと、公共投資重点化措置に関して科学技術振興の観点から施策を点検すること等を決定した。

9月には、各省庁から出された特別要求の予定施策について、科学技術政策担当大臣並びに総合科学技術会議有識者議員がヒアリン

グを行った。そして、資源配分方針並びに構造改革の視点から優先順位付けを行った。他分野の検討結果と併せ、内閣官房から最終的な調整結果が各省庁に提示され、構造改革特別要求の概算要求が行われた。

その後、総合科学技術会議は、概算要求全体についての精査を行った。資源配分方針並びに9月の本会議で審議・決定された「分野別推進戦略」に沿って、施策を体系的に整理し、積極的に推進すべき施策、連携して実施すべき施策の進め方の検討を行った。11月の本会議では、「平成14年度科学技術関係予算の編成に向けて（意見）」として、予算編成に当たって配慮すべき点を取りまとめた。概算要求において、全体として科学技術の重要性が反映されているが、国立大学等の施設整備のように一層の充実が求められる施策も

図表1 予算案決定までの流れ



(科学技術動向研究センターにて作成)

あるとされ、また、科学技術の戦略的重点化、システム改革について重視すべき事項が示された。

こうした過程を経て、今年度予算案が決定された。総合科学技術会議は、総合的な運用を図るべき

施策、引き続き内容の精査、戦略体制の具体化が必要な施策等について、資源配分方針、分野別推進戦略等に沿った施策の推進がなされるよう、実施状況を把握し、調整を図ることとした。

今年度科学技術関係予算の概要

科学技術関係経費総額

科学技術関係経費とは、国の予算のうち、大学における研究に必要な経費、国立試験研究機関等（独立行政法人、特殊法人の研究機関含む）に必要な経費、研究開発に必要な補助金、交付金及び委託費、その他研究開発に関する行政に必要な経費等、科学技術の振興に寄与する経費である（ここでいう経費とは、人件費、謝金、旅費、試験研究費、庁費、設備費、施設費、委託費、補助金、出資金等の予算上の全ての目を含めたものである）とされている。科学技術振興費とは、一般会計予算のうち主として歳出の目的が科学技術の振興にある経費のことであり、科学技術関係経費は、科学技術振興費に、一般会計中のその他の研究関係費（エネルギー対策費等）

及び特別会計（国立学校特別会計、電源開発促進特別会計等）中の科学技術関係費を加えた経費で、文部科学省が集計している。

今年度予算の一般会計総額は81兆円（前年度比1.7%減）、そのうち一般歳出は47.5兆円（同2.3%減）である。そうした中で、科学技術振興費は、1.2兆円（前年度比5.8%増）と大きな伸びを示している。科学技術関係経費総額は3.5兆円で、前年度比2%増となっている。

なお、重点配分を行うとした構造改革特別要求について見ると、総額約2.7兆円のうち、「科学技術・教育・ITの推進」に約0.9兆円が配分された。そのうち科学技術関係の施策例を以下に挙げる。

- 世界最高水準の大学づくりの推進 ……182億円
- 私立大学等の教育研究高度化の推進 [制度改正による新設] ……645億円
- タンパク3000プロジェクト等に

図表2 今年度予算案における科学技術関係経費

(単位：億円)

	平成13年度	平成14年度	増減率
一般会計	18,376	18,513	0.7%
科学技術振興費	11,124	11,774	5.8%
その他	7,252	6,739	-7.1%
特別会計	16,309	16,874	3.5%
総額	34,685	35,387	2.0%

(資料：文部科学省科学技術・学術政策局調査調整課報道発表資料)

図表3 省庁別予算

	経費 (億円)	割合	増減率
文部科学省	22,644	64%	2.4%
経済産業省	5,972	17%	6.4%
防衛庁	1,435	4%	-3.7%
厚生労働省	1,281	4%	3.4%
農林水産省	1,224	3%	-0.1%
計	35,387	100%	2.0%

(資料：文部科学省科学技術・学術政策局調査調整課報道発表資料)

省庁別予算

科学技術関係経費を省庁別に見ると、文部科学省が2.3兆円と総額の64%を占め、次いで、経済産業省5,972億円、防衛庁1,435億円、厚生労働省1,281億円、農林水産省1,224億円となっている。前年度からの増減率では、経済産業省が6.4% (359億円) 増と最も高く、次いで厚生労働省3.4% (42億円) 増、文部科学省2.4% (523億円) 増となっている。一方、防衛庁は3.7% (55億円) 減となっている。

重点分野の経費

基本計画で示された重点分野に従って分類した結果を図表4に示す。

主目的の経費は、エネルギー分野が最も多く6,841億円(相対比率45%)、次いでフロンティア分野2,780億円(18%)、社会基盤

2,005億円(13%)となっている。関連施策として分類された額、独立行政法人(参考値)、競争的資金(参考値)を加えた計を見ると、環境分野が最も多く7,643億円(相対比率26%)、次いで、エネルギー分野(7,033億円、24%)、ライフサイエンス分野(4,336億円、15%)となっている。

ナノテクノロジー・材料分野は、主目的施策で115億円、計で1,232億円とわずかを占めるに過ぎないが、前年度と比較すると、主目的施策経費で58%、関連施策経費で35%、計で13%と、飛び抜けて大きな伸びを示している。主たる施策としては、(独)物質・材料研究機構運営費交付金(文部科学省)167億円の他、経済産業省のナノテクノロジープログラム(83億円)や文部科学省のナノテクノロジー総合支援プロジェクト(38億円)などが挙げられている。また、環境分野も主目的施策経費が33%と大きく伸びた。

- よるライフサイエンスの推進
……205億円
- 萌芽的先端医療技術推進研究事業
……28億円
- 燃料電池技術の開発・実証実験等
……52億円
- ナノテクノロジー総合支援プロジェクト
……38億円
- 産学・産官共同研究推進(マッチングファンド)の創設
……50億円
- 知的クラスター創成事業等
……86億円

図表4 分野別の科学技術関係経費

(単位：億円)

	主目的	関連施策	独立行政法人 (参考)	競争的資金 (参考)	計 (参考)	相対比率 (主目的)	増減率 (主目的)	増減率 (計)
ライフサイエンス	1,663	254	635	1,815	4,366	11%	8%	4%
情報通信	1,155	677	292	332	2,456	8%	-1%	-2%
環境	507	6,647	267	222	7,643	3%	33%	6%
ナノテク・材料	115	384	286	447	1,232	1%	58%	13%
エネルギー	6,841	42	59	92	7,033	45%	2%	2%
製造	26	376	21	170	594	0.2%	-43%	-1%
社会基盤	2,005	240	558	45	2,848	13%	-4%	-2%
フロンティア	2,780	341	5	58	3,184	18%	-7%	-7%

- 注：1) 本資料は、各府省から提出されたデータを基に、内閣府と調整の上、文部科学省がとりまとめを行ったものである。
- 2) 「主目的」とは、独立行政法人及び競争的資金に関する経費その他を除いた経費のうち、当該経費により実施される研究等の本来の目的に照らして分類したものである。
- 3) 「関連施策」とは、独立行政法人及び競争的資金に関する経費その他を除いた経費のうち、当該経費により実施される研究等の内容に照らし、本来の目的以外に関連する分野がある場合に分類したものである。
- 4) 「独立行政法人」については、各独立行政法人に対して、分野別研究費の配分予定額をアンケート調査した結果を基に、文部科学省が算出したものであり、参考値である。(なお、平成14年度予算案については、平成13年度予算の配分予定額に基づいて按分したものである。)
- 5) 「競争的資金」については、当該競争的資金の性格及び直近の年度(今回の調査については平成12年度)の配分実績に基づき、各年度の予算額を按分して文部科学省が算出したものであり、参考値である。
- 6) 上記以外に、分野横断的に実施される施策事業や予算編成段階では配分が未定の経費及び国立学校特別会計の一部の経費等が約1兆5,800億円ある。
- 7) 上記経費には、特殊法人等の自己財源等、国庫支出以外の経費748億円が含まれている。

(資料：文部科学省科学技術・学術政策局調査調整課報道発表資料)

競争的資金

競争的資金は、前年度比5.5%増の3,446億円と拡充が図られた。そのうち、科学研究費補助金は7.8%増、科学技術振興調整費は6.4%増となっている。

産業競争力強化・産学官連携

産業競争力強化・産学官連携に関する今年度予算は3384億円で、前年度比29%増と大幅に増加した。主な施策としては、経済産業省

図表5 競争的資金 (単位:億円)

	平成13年度	平成14年度	増減率
計	3,265	3,446	5.5%
うち科学研究費	1,580	1,703	7.8%
うち振興調整費	343	365	6.4%

(資料:財務省「平成14年度予算の各経費のポイント」)

の産業技術研究開発委託費(95億円)や、文部科学省の産学官連携イノベーション創出事業(71億円)

などがある。

地域科学技術振興

地域科学技術振興に関する今年度予算は688億円で、前年度比40%増と産学官連携にも増して大きな伸びを示した。主な施策としては、経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業(88億円)や、文部科学省の地域科学技術振興に関する事業の推進に必要な経費(86億円)などがある。

おわりに

平成14年度予算は、以上のようにして決定された。総合科学技術会議は、この予算のフォローアップ作業として、各省庁の具体施

策のヒアリング、とりまとめ等を進めている。科学技術予算について、ひとつの流れが確立しつつあるが、平成15年度予算編成に向

けて、研究テーマの事前、事後等の評価などを組み込んでいくなどの課題が残されている。



科学技術動向研究センターより

昨年4月に創刊した科学技術動向も2年目を迎えることとなりました。これも皆様のご支援、ご指導のお陰と心より感謝いたしております。

昨年度は、科学技術動向（冊子体）を毎月約1,500部、文部科学省、総合科学技術会議など行政部局、政府関係研究機関、シンクタンク、在京大使館、マスコミ等へ提供し、さらに科学技術政策研究所Webサイトにおいて一般に公開しました。こうした成果は、例えば、文部科学省、総合科学技術会議において参考とされ、また、新聞各紙や専門誌等で科学技術の注目動向として紹介、引用されております。

さて、「よりわかりやすく、見やすくする」ため、今月号より表紙、レイアウトを一新いたしました。これは、昨年12月に「読者」の皆様にご覧いただき「文章の分量、わかりやすさ（論旨の明確さ、用語等）、見やすさ（レイアウト、文字の大小、行間等）」や「本誌に対するご意見」をアンケートでお聞きした結果に基づき、編集の専門家と検討したものです。

今年度も、科学技術動向では、先端科学技術の研究開発や科学技術政策の動向についてより充実した内容を、わかりやすくご提供するよう努めます。ご期待ください。

昨年度の特集一覧

科学技術動向2001年4月号（No.1）～2002年3月号（No.12）で組みました33件の特集一覧です。バックナンバーは<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>でご覧いただけます。

▶ ライフサイエンス・医療分野

- ヒトゲノム解読を巡る国際解析チームとセセラ社の動向及びわが国の今後の動き（2001年5月号 No.2）
- 遺伝子組換え植物・食品に関する動向（2001年8月号 No.5）
- 再生医学の最近の動向－幹細胞を用いた再生医学について－（2001年11月号 No.8）
- バイオインフォマティクスの動向（2001年12月号 No.9）
- 第三の生命鎖糖鎖とポストゲノム解析（2002年1月号 No.10）
- 痴呆研究の動向－アルツハイマー病を中心に－（2002年2月号 No.11）
- 機能性食品の研究開発の動向（2002年3月号 No.12）

▶ 情報通信分野

- 移動通信システムの研究開発動向（2001年4月号 No.1）
- 次世代LSI用リソグラフィ技術の研究開発動向（2001年5月号 No.2）
- 次世代Si-MOSデバイスの研究開発動向（2001年7月号 No.4）
- 通信技術の研究開発動向（2001年8月号 No.5）
- 猛威を振るうコンピュータウイルス（2001年9月号 No.6）
- スーパーコンピュータの動向（2001年10月号 No.7）
- サイバーセキュリティ対策－国家の重要インフラをいかにサイバー攻撃から守るか－（2001年10月号 No.7）
- 次世代デバイスの研究開発動向－IEEE IEDMより－（2002年1月号 No.10）
- 音声認識・合成と自然言語処理の研究開発動向－人に優しいヒューマンインターフェース実現への課題－（2002年3月号 No.12）

▶ 環境・エネルギー分野

- 可燃性廃棄物を熱利用する廃棄物焼却処理技術の動向と

課題（2001年6月号 No.3）

- 米国の新国家エネルギー政策－供給重視の論理と各エネルギー源の位置付け－（2001年6月号 No.3）
- 環境中の微量有害物質の計測に関する動向（2001年9月号 No.6）
- バイオエネルギー利用の動向と展望（2001年12月号 No.9）
- 汚染された土壌環境の対策技術の動向（2002年3月号 No.12）

▶ ナノテク・材料・製造分野

- 新規超伝導体MgB₂と研究開発動向（2001年7月号 No.4）
- カーボンナノチューブ製造技術開発の動向（2001年7月号 No.4）
- マテリアル・シミュレーションの動向－第一原理計算を中心として－（2001年12月号 No.9）

▶ 科学技術政策全般

- 日米欧の政府R&D予算に関する政策動向（2001年5月号 No.2）
- 米国の科学技術政策動向（2001年6月号 No.3）
- カリフォルニア州技術革新イニシアティブの動向（2001年8月号 No.5）
- カナダの科学技術政策動向（2001年9月号 No.6）
- 米国2002年度政府R&D予算編成の動向（2001年9月号 No.6）
- 科学コミュニケーションの動向－科学ジャーナルを取り巻く状況－（2001年11月号 No.8）
- わが国の研究成果（論文）に対する国際評価－日本発の“一流論文”の増加－（2001年11月号 No.8）
- 米国R&D政策動向－連邦政府R&D予算配分に見る重点領域の推移－（2002年2月号 No.11）
- フランスの科学技術・イノベーション政策動向－産学官ナノテクノロジー・イノベーション・センター・プロジェクトMINATEC－（2002年3月 No.12 No.11）

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

April 2002
(NO.13)

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：〒100-0013 東京都千代田区霞が関1-3-2
電話 03-3581-0605 FAX 03-3503-3996
URL <http://www.nistep.go.jp>
Email stfc@nistep.go.jp