

科学技術動向

科学技術動向研究

米国における数学と生命科学の研究協力促進のための科学技術政策

P.1

P.11

数学の知識が取り入れられることで、物理学や化学などの分野は大きく発展した。近年、米国では、生命科学において、同様な効果を期待した政策が実施されている。

サービス記述と知識処理を行うセマンティックウェブ関連技術

P.2

P.22

セマンティックウェブ技術で、ネットを介した「知識の共有」など高度な情報処理環境が実現できる。この技術は、多様なサービス提供に応用できるだろう。

トピックス

ライフサイエンス分野

P.3

- 1 新しい非ステロイド抗炎症薬「COX-2阻害薬」に予期しない副作用
- 2 子供の心的ストレス測定のための比較検討が着手された

情報通信分野

P.5

- 3 TCP/IPの開発者が、2004年ACMチューリング賞を受賞
- 4 EUが情報通信技術予測プロジェクト「FISTERA」を終了

環境分野

P.7

- 5 日本の環境持続可能性は世界30位

エネルギー分野

P.8

- 6 次世代原子炉の開発を進める中国

製造技術分野

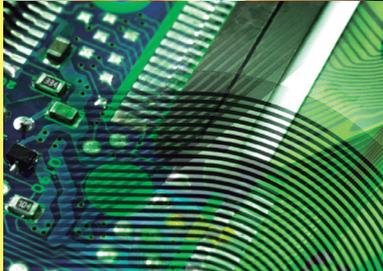
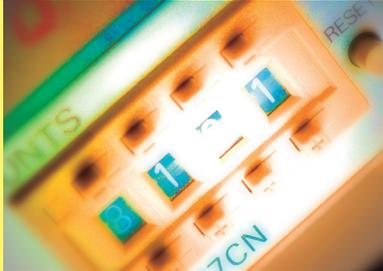
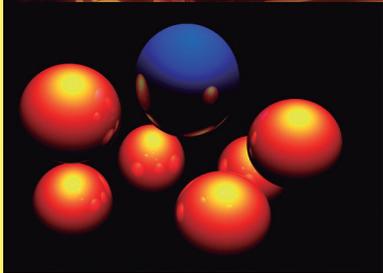
P.9

- 7 SiCで世界最高性能のパワートランジスタを開発

フロンティア分野

P.10

- 8 実現の可能性出てきた宇宙エレベータ



米国における数学と生命科学の 研究協力促進のための科学技術政策

ヒトゲノムプロジェクトにおいて、コンピュータ科学、数学、情報科学といった学問が研究の進展を大幅に早めたことは記憶に新しい。欧米では、今後の生命科学の発展に数学と生命科学の研究協力が重要と考えられており、近年そのための科学技術政策が具体化してきている。一方、日本には数学と生命科学の融合を推進する科学技術政策はなく、このままでは諸外国に生命科学分野で後れを取る恐れがある。

米国政府支援の数学とコンピュータ科学分野の研究資金 (funding) は合計で約 3 億 7,500 万ドルである。ライフサイエンス分野の 1/10 程度であるが、最近 10 年間は緩やかな増額傾向にある。その約半分が全米科学財団 (NSF) によるもので、残りは国防総省 (DOD)、国立衛生研究所 (NIH)、エネルギー省 (DOE) が行っている。NIH は 6,300 万ドル (約 66 億円) の研究費支援を行っており、生命科学と数学の融合分野などの研究を支援している。

2003 年 2 月には NSF と国立衛生研究所 (NIH) の合同シンポジウム、「数学と生物学の研究協力の促進 (Accelerating Mathematical-Biological Linkages)」が開催された。そこで数学と生物学の研究協力の促進のために、(1)組織のとりべき行動として、① NSF と NIH との協力の拡大、数学と生命科学の境界領域を研究する国立のセンター設立、② ゲノムやプロテオミクスなど生命科学研究上のあらゆるデータを統合したデータベースの確立など、(2)教育においてとりべき行動として、①境界領域を研究するポスドク対象の新しいプログラム作成、②数学関連や生命科学関連学部の学部長を対象にした学際的な学部教育カリキュラム作成のためのワークショップ開催など、(3)研究においてとりべき行動として、数理生物学領域でチャレンジングなトップ 10 の研究課題のリスト作成などが合意された。

さらに米国では、様々な大学で「数学の能力をもった生命科学者」を育成するための学部教育カリキュラム策定の取り組みが実施されている。一方日本では、数学と生命科学の研究協力、分野融合に関する国家レベルの施策や動きはない。

新しい分野の研究を進展させるためには、一定数以上の研究者数が必要である。そのクリティカル・マスを確保するために、大勢の研究者や学生を対象とした育成プログラムの策定が必要である。国家レベルでの生命科学と数学研究の連携の推進のために、①数学分野の推進・支援を担当する部署を省庁内に設ける、②生命科学専攻の学生に対する数学教育の充実、③生命科学研究者と数学研究者が共同研究できる場 (研究所) の創生、を提言する。

本文は p.11 へ

レポート
概要

新たな融合研究 セマンティックウェブ

サービス記述と知識処理を行う セマンティックウェブ関連技術

現在、ウェブで提供される情報量は爆発的に増大しており、今後数年で100倍規模の増大となることが予想されている。こうして蓄積された文書データを複合的に連携させて、革新的なサービスを提供しようとする技術が「ウェブサービス」である。ウェブサービスが目指すのは、蓄積される情報の表現形式の差異を吸収し、求められるサービス毎にそれぞれのサービスに合致した表現形式を提供することである。

だが、増大する情報量によって、求める情報にたどり着くのが難しくなっている。既に統計学的な操作によって検索情報の順位を定める一般的な情報検索エンジンでは、満足できる情報検索結果が得られないという問題が生じている。こうした問題に対処するため、1998年にウェブの生みの親である Tim Berners-Lee によって構想が示されたのが、知識処理を実現する「セマンティックウェブ」の概念である。セマンティックウェブは、「意味（セマンティック）」を取り扱う技術である。狭義には国際標準化団体である W3C の定める情報共有のための文書公開手段に係る規格であり、広義には公開文書のオントロジーなど「意味」を取り扱う幅広い技術を指す。

セマンティックウェブ技術を利用することによって、インターネットを介した「知識の共有」など高度な情報処理環境が実現できる可能性がある。現在のウェブ関連技術の潮流によって、より高度な知識処理を実施し、多様なサービスの実現に応用できる環境が整備されつつある。

現在、先進的な科学技術分野では、研究活動に付随して蓄積される文書情報が膨大となっている。例えば創薬研究においては、薬効性能が期待できる反応の膨大な組み合わせ可能性の中から実験による検証を実施するための絞り込みが必要である。セマンティックウェブ技術の確立によって、情報を構造化し、異なる地域・組織に分散して存在する情報に対して、半自動的な絞り込みが実施できる。こうした共通の規格に基づく情報共有によって、宇宙探査、バイオインフォマティクス、ナノテクノロジーなどの分野において、研究開発の生産性が飛躍的に向上する可能性がある。

セマンティックウェブ技術をはじめとするウェブ関連技術の研究推進のためには、融合分野の研究に合致した、ミッションを明確にしたプロジェクト型の推進体制が必要である。

本文は p.22 へ

リウマチ性疾患をはじめ多くの疾患の治療に使用されている非ステロイド抗炎症薬には、主な副作用として重症消化管障害がある。1999年より、副作用が少ない非ステロイド抗炎症薬として、標的分子であるシクロオキシゲナーゼ (COX) の内、炎症部位特異的に発現が増加する COX - 2 を選択的に抑える COX - 2 阻害薬セレコキシブとロフェコキシブが発売され、臨床で広く利用されていた。しかし、2004年9月30日、ロフェコキシブを製造している米国メルク社は、ロフェコキシブの服用で心筋梗塞発症のリスクが増加することを理由に販売を中止することを表明した。本件に関する研究論文は2005年2月25日にウェブ版の New England Journal of Medicine 誌に発表された。この新たな副作用が、ロフェコキシブだけのものか、COX - 2 を強く阻害する薬物に共通のものかは議論されている段階である。新しい作用メカニズムをもつ薬物に対しては、市販後も、新たな副作用が起こり得る可能性を考えて臨床研究などを通じた十分なモニタリングが重要である。

トピックス / 新しい非ステロイド抗炎症薬「COX - 2 阻害薬」に予期しない副作用

非ステロイド抗炎症薬 (NSAID) は、リウマチ性疾患をはじめ多くの疾患の治療に使用されているが、主な副作用として胃や十二指腸、さらに小腸や大腸などの消化管に潰瘍を引き起こすことがあり、それによる大出血や腸管の穿孔などによる死亡例もときに見受けられる。その欠点を補うべく登場したのが、非ステロイド抗炎症薬の標的分子であるシクロオキシゲナーゼ (COX) の中で、炎症部位特異的に発現が増加する COX - 2 を選択的に抑える薬物である。このようなセレコキシブとロフェコキシブという2つの選択的 COX - 2 阻害薬が、1999年に米国で、その後他の国でも市販された。これらは、副作用の重症消化管障害は明らかに少ないということがわかり、臨床で広く使われるようになった。日本ではセレコキシブが承認申請中である (ロフェコキシブは日本では未承認)。

ところが2004年9月30日に、ロフェコキシブを製造している米国メルク社は、世界的に年間3,000億円売れているこの薬物を市場から撤退させると発表した。これは、テキサス大学 M.D. アンダーソン癌センターの Bresalier 博士等とメルク社等による研究により、ロフェコキシブの服用者に心筋梗塞の発症リスクが高いことがわかったからである (New England Journal of Medicine, vol.352, 1092 - 1102, 2005)。この研究をまとめた論文はウェブ版では2005年2月25日に発表された (雑誌では3月17日号発表)。

実はロフェコキシブの服用者に心筋梗塞が多いことについては、既に2000年の従来薬の非ステロイド抗炎症薬であるナプロキセンとの比較研究で有意差が出ていた。それにも関わらず発売中止にな

らなかったのは、ロフェコキシブのリスクを考慮するよりも、比較相手のナプロキサンが心筋梗塞を防ぐ作用をもつと考えたことによる。今回の研究では、プラセボとの比較で、有意にロフェコキシブ服用者に心筋梗塞が発症していたことが示されたため、市場からの撤退を余儀なくされた。迅速な対応のように思われるが、発売中止の発表後には、「副作用の臨床試験データが既に蓄積されていたのに対応が遅かった」との批判が臨床系の多くの学術誌で展開された。

この新たな副作用はロフェコキシブだけのものか、COX - 2 を強く阻害する薬物に共通のものかの議論が盛んである。しかし、COX - 2 のみを抑える薬には予想できる副作用であることから、程度の差はあるとしてもロフェコキシブのみの副作用であるとする議論は分が悪い。実際、同じく2月25日付のウェブ版の New England Journal of Medicine には、セレコキシブもプラセボに比べて心筋梗塞の発症例が多かったとする臨床試験の結果も発表されている。さらに、4月7日にはファイザー社は米国医薬品局 (FDA) の要請を受け入れ、同様な副作用を示した別の COX - 2 阻害薬の発売中止を発表した。

このことは、新しい作用メカニズムをもつ薬物に対しては、市販された後も、新たな副作用が起こり得る可能性を考えて、臨床研究などを通じてモニタリングを十分にすることが重要であることを示している。また、副作用などの知見が得られた時には、発売中止などの迅速な対応を取り得るシステムを備えていることが必要である。

参考文献: New England Journal of Medicine, vol.352, 1092-1102, 2005 (東邦大学 医学部教授 川合眞一氏のご投稿より)

2005年3月26日に開催された、科学技術振興機構「脳科学と教育」研究プログラムの経過報告で、心的ストレスに相関して変動する遺伝子発現を指標に、成人の心的ストレスを科学的に測定する方法と、うつ病の診断法開発の成果が紹介された。ヒト・ゲノム全解析の結果、ストレス反応に関与する遺伝子が同定された。ストレス関連遺伝子の発現を解析するためのDNAチップ解析技術がほぼ完成し、脳内の変化（心的ストレス）を少量（現時点の感度で2.5ml）の末梢血で解析する事が可能になった。

大人の心的ストレス測定は進んでいるが、社会的な関心事となっている小児の心的ストレスに関する、科学的な評価基準や解決方法の策定は進んでいない。問題を抱える小児とその保護者の協力は得られているが、対照となる健常児の協力が得難い事が、研究の障害となっている。新たな科学的知見・技術の出現に伴い、その社会への応用を検討するためには、新たな検証体制や、厳正な安全性・適正評価基準の策定が必要である。

トピックス 2 子供の心的ストレス測定のための比較検討が着手された

科学技術振興機構の「脳科学と教育」研究プログラムでは、「過剰なストレスから脳を守り、健全に発達させる方策」を目標に挙げている。第9回社会技術研究フォーラム（2005年3月26日）でその成果が発表された。

近年「ストレス」は、外部からの刺激などに対して、生体が恒常性を保つために示す基本的な生体反応（ストレス反応）の面から、生物学的に研究されている。通常、刺激の後、ストレス反応が数時間おこり、刺激や変化の消失後は数時間で定常の水準に戻る。病的状態では、①ストレス反応が本来必要でない時に起こるか過敏に起こる、②過剰なストレス反応が生じ終息しない、③逆にストレス反応が生じない、などが挙げられる。従来、個人にかかるストレスは、性格や心理テスト、生化学的測定、生理学的検査、臨床医学的評価などで総合的に行われてきたが、時間・手間がかかり、感度や客観性に問題があった。

ヒト・ゲノム全解析の結果、ストレス応答を調整するストレス関連遺伝子が同定された。心的ストレスによる脳内の変化は、神経情報や血中へのストレス関連因子の放出により身体各所に伝えられる。末梢血中の白血球は、この因子に対する受容体を数多く発現しており、脳内の変化（心的ストレス）を少量（現時点の感度で2.5ml）の末梢血で解析できる。通常、ストレス関連遺伝子の発現が増加あるいは減少すると、ストレス反応を惹起し、定常の水準に戻ることでストレス反応は消失

する。

「教育支援のためのバイオメンタル技術の開発」研究班（代表、六反一仁氏）は、ストレス関連遺伝子やストレス反応に関与する遺伝子の発現を解析するDNAチップ解析技術をほぼ完成させている。大学生を対象に、遺伝子発現の変動に関する解析、身体・心理及び脳活動の変動に関する解析を組み合わせ、心的ストレスを測定出来る事が示された。

近年、保護者と子供の心の問題は、社会的な関心事となっている。子供が過剰なストレスを感じる事、あるいは必要な心的緊張（ストレス）を抱けないことは、健全な心の成長と学習を妨げる可能性がある。その原因を解明し、解決方法を見出すために、子供の心的ストレスを科学的に測定し、客観的評価基準を作成する事が必至である。上記の研究班は既に、過剰なストレスに晒されている、あるいはストレス感受性の逸脱を示す小児の協力を得、解析を行っており、小児医療機関と協同で、対照例も含めた比較検討を計画している。しかし成人と異なり、現状では対照例となる健常児を募る事が困難で、研究進展の障害となっている。

「脳科学と教育」研究プログラム全体として、開発された技術を、子供の養育や教育に実用化するために先立ち、技術の内容や適用方法に関して、厳正な適正評価（アセスメント）を行なう事が強調されている。

参考：「第9回社会技術研究フォーラム」：<http://www.ristex.jp/schedule/newpage1.htm>、六反一仁「教育支援のためのバイオメンタル技術の開発」

‘Expression analysis of psychological stress-associated genes in peripheral blood leukocytes.’ Morita K et al, Neuroscience Letters, in press (2005)

2004年度のACMチューリング賞が、TCP/IPプロトコルの共同開発者である、Vinton G. CerfとRobert E. Kahnの2氏に授与されることになった。チューリング賞は、コンピュータサイエンス分野における最も権威のある賞とされている。今回の受賞は、ネットワーク分野で初の同賞受賞となる。

両氏が設計したTCP/IPプロトコルは、インターネットによる通信機能の核となる技術であり、データ転送の効率化と信頼性向上に大きく寄与した功績が認められた。両氏はTCP/IPプロトコル完成後も、インターネットの構築とその発展に指導的な役割を演じてきた。授賞式は6月にサンフランシスコで行われる。

トピックス 3 TCP/IPの開発者が、2004年ACMチューリング賞を受賞

2004年度のチューリング賞は、Vinton G. CerfとRobert E. Kahnの2氏に授与されることが発表された（2月16日）。彼らは、初期のインターネットの構築に先駆的な貢献をし、TCP/IPと呼ばれる基本的な通信プロトコルを設計し、その後その実装とインターネットの発達に関して指導的な役割を演じてきた。

チューリング賞とは、コンピュータサイエンス分野における最も権威のある賞とされており、ACM（米国に本部を置く世界最大規模の計算機学会：Association for Computing Machinery）によって毎年、計算機科学の発展に寄与した人物に与えられてきた。同賞は、計算機の原理を考案したチューリング（Alan M. Turing、1912 - 1954）を讃えて設立され、1966年以来続いている。図表に過去5年間の同賞の受賞者の氏名と授賞対象となった業績の概要を示す。同賞の授与は、今年6月にサンフランシスコで開催されるACMの表彰式において行われる予定である。

今回の受賞者であるCerf氏は、スタンフォード大学で数学の学士を得た後、UCLAにおいてコンピュータサイエンスで、修士号および博士号（1972年）を取得している。一方、Kahn氏は、ニューヨーク市立大学を経て、プリンストン大学で修士号および博士号（1964年）を取得している。現在、Cerf氏は情報ネットワーク関連の米MCI社の副社長、Kahn氏は国防関連の米CNRI（Corporation for National Research Initiatives）社のCEO兼社長を務める。

2人は、インターネットの前身であるARPAネ

ットプロジェクトに参加し、システムの設計、運用、方式の普及において中心的な役割を演じてきた。1974年に、連名でTCP（Transmission Control Protocol）とよばれるメッセージ交換のための通信手段に関する論文を発表している。インターネットにおける通信の単位は、IP（Internet Protocol）パケットとよばれる。通信に際して障害が発生しても、IPに分解されたメッセージを正確に通信するためには、論理的回線を構成し、障害を回避・訂正する機が必要である。TCPは、この機能を提供する。TCPとIPおよび関連する通信制御機能（通信プロトコル）は通常TCP/IPと記されインターネットの核となる通信プロトコルである。

最近5年間のチューリング賞受賞者の氏名および受賞内容

年度	受賞者	受賞内容
03	Alan Key	コンピュータの世界に利用者を中心の概念を導入しパーソナルコンピュータなど様々な利用環境を考案した。
02	Ronald L. Rivest, Adi Shamir, Leonard M. Adleman	RAS暗号の開発とその後の暗号技術の発展に寄与した。
01	Kristen Nygaard, Ole-Johan Dahl	「Simula I」などのプログラミング言語の開発を通じてオブジェクト指向プログラムの考え方の基礎を確立した。
00	Andrew Chi-Chih Yao	計算理論分野で特に擬似乱数の生成理論に基づく計算の複雑さ、暗号、通信複雑度に関する研究。
99	Frederick P. Brooks, Jr.	計算機アーキテクチャ、オペレーティングシステムおよびソフトウェア工学への貢献。

EUが2002年から150万ユーロを投じて実施してきた情報通信分野に関する技術予測調査が最終段階を迎えている。3月に予備調査が終了し、総論となる「情報社会の今後5年間の見通し」をはじめ、ネットワークや情報技術分野の人材問題など各種報告書が公開された。6月に総括となるワークショップが開催され、欧州が2010年までに「『知識』にもとづく最も競争力のある社会」となることを謳った「リスボン宣言」の実現に向けて具体的な科学技術政策に反映される見込みである。本調査では、「Technology Trajectories : 技術軌道」という分析概念を導入し、「情報蓄積」「演算処理」などの技術領域が、「医療・健康」「高齢化」「教育」「文化の多様性」などの対象分野にどのように影響するかを分析している。

トピックス 4 EUが情報通信技術予測プロジェクト「FISTERA」を終了

EU^①の IPTS^②は、「欧州における情報化社会の科学技術に関する科学技術予測プロジェクト、FISTERA^③」を実施してきた。これは、欧州連合諸国の情報通信分野における競争力と関連する技術が今後社会へ及ぼす影響等を分析するものである。本プロジェクトは、2002年から3年間総額約150万ユーロを投じて実施された。

2005年3月現在、専門家に対するオンラインの「デルファイ調査」、ワークショップによる「シナリオ作成」等、予測に利用される一連のデータ収集が終了した。また、IPTSは、来る6月に「欧州における知識社会の実現：先進的情報通信技術による既存課題の解決—リスボン宣言から5年を経て—」と題する有識者のワークショップをスペインのセビリアで実施する予定であり、この場で本プロジェクトの総括が行われる模様。

これまで、分析結果の総論をまとめた「“i 2010” The next five years in Information Society (情報社会の今後5年間の見通し)」と題した報告書が公開されている。また、専門家のグループに対するオンラインデルファイ調査の結果をまとめ

た「Synthesis Report on the FISTERA thematic network study 2002 - 2004」、人材問題に焦点をあてたワークショップの結果をまとめた「The Human Resource Factor in the Information Society Future」等の報告書が公開されている。これらの分析は、英国 PREST^④、ドイツ Fraunhofer 研究所^⑤等のメンバーによる汎EUの予測調査専門家チームによる。FISTERAに関する報告書等の文献は、<http://fisterajrc.es/> で入手可能である。

具体的な技術動向の予測に関しては、「Technology Trajectories : 技術軌道」という分析概念を導入し、「情報蓄積」「演算処理」などの技術領域が、「医療・健康」「高齢化」「教育」「文化の多様性」など対象分野にどのように影響するかをデルファイ法やシナリオ作成などの手法を用いて分析した。FISTERAで扱った技術軌道と対象分野を図表に示す。

一連の予測調査結果にもとづいて、欧州が2010年までに「『知識』にもとづく最も競争力のある社会」となることを謳った「リスボン宣言^⑥」の実現に向けて具体的な政策が検討される見通しである。

- ① 【EU : European Union】 欧州連合。
- ② 【IPTS : Institute Prospective Technology Study】 未来技術研究所。EUの下部組織。
- ③ 【FISTERA : Foresight on Information Society Technologies in the European Research Area】 欧州の研究領域における情報社会技術に関する予測調査プロジェクト。
- ④ 【PREST】 科学技術政策、技術戦略等の研究機関。英国マンチェスター大学の付置研究所。
- ⑤ 【Fraunhofer 研究所】 ドイツに本拠を置く情報公開と情報システムに関する研究所。
- ⑥ 【リスボン宣言】 2000年9月に欧州の閣僚がポルトガルのリスボンに集い、2010年の欧州のあるべき姿を描いた宣言文。情報通信技術が果たす役割の重要性が指摘されている。

FISTERAにおける技術軌道と対象分野

技術軌道	Storage (情報蓄積)、Processing (演算処理)、Communications (通信)、Info Visual Display (情報ディスプレイ技術)、Printing (印刷・表示技術)、Human interfacing (マン・マシンインターフェース)、Bandwidth (広帯域通信)、Info retrieval (情報検索技術)、Data capturing (データ獲得技術)、Pin pointing (位置情報処理)
対象分野	Leisure and recreation (遊び・娯楽)、Social / family relationships (社会生活、家族関係)、Cultural diversity (文化の多様性)、Transport (交通手段)、Health (健康・医療)、Ageing (高齢化)、Social welfare / public services (社会福祉・公共サービス)、Security (安全・安心)、Work organization (就業組織) Management (経営)、Government (政府)、Education and learning (教育・学習)

2005年の世界経済フォーラムにおいて、各国の環境持続可能性に関するランキングが発表された。世界146ヶ国中、第1位はフィンランド、日本は30位（アジアではトップ）、米国は45位であった。このランキングは、米国の研究者により考案された21の指標（76項目）からなる、環境持続可能性指数（ESI）に基づくものである。ESIの特徴は、環境システム面、環境ストレス面、人間に対する影響面、社会組織の許容能力面、国際貢献面に分類される多面的な評価を行っている点にある。国別、指標別に環境パフォーマンスを比較できるため、政策ツールとしての価値が高い。日本は、環境システム面と環境ストレス面は低い評価結果であったが、前回の2002年のESI評価結果（78位）と比較すると、国際貢献面の高い評価により順位を上げている。

トピックス 5 日本の環境持続可能性は世界30位

2005年1月27日にスイスのダボスで開催された世界経済フォーラムにおいて、環境持続可能性に関する各国のランキングが発表された。このランキングは、米国イェール大学とコロンビア大学の研究者により考案された21の指標（76項目）からなる、環境持続可能性指数（ESI: Environmental Sustainability Index）に基づくものである。その内容として、環境システム面（大気・水質・生物多様性・土地・水質・水量）、環境ストレス面（大気汚染物質排出量・生態系ストレス・人口・廃棄と消費・水に関するストレス・天然資源の管理）、人間に対する影響面（健康・食糧・天災）、社会組織の許容能力面（環境施策・環境的効率・民間企業活動・科学技術）、国際貢献面（国際プロジェクトへの参加・温室効果ガス・環境負荷物質の越境）の評価が含まれている。ランキングにおいて、世界146ヶ国中、第1位はフィンランド、2位から5位はノルウェー、ウルグアイ、スウェーデン、アイスランドであり、日本は30位（アジアの中ではトップ）であった。また、米国は45位、中国は133位、そして下位国には、イラク、台湾、朝鮮民主主義人民共和国がリストされた。

ESIの結果によると、先進国が直面する環境面の課題は、公害による環境ストレスや廃棄物関連の問題に特化しているが、発展途上国においては資源の枯渇や公害防止の能力欠如等が主な懸念事項となっている。また、ランキング上位国に共通している点は、天然資源の豊富な埋蔵量、低い人口密度、環境と開発に関わる問題への適切な対応であった。一方、ランキング下位国は、自然発生的要因・人的要因の両面で多くの課題を抱えており、これらの対策が適切に行われていなかった。

ESIの考案者であるイェール大学のDaniel C. Esty教授は、「ESIを基準として国別、指標別に環境パフォーマンスを比較でき、価値ある政策ツールを得ることが可能になる。また、ESIの評価を通

して環境持続性を向上させるような取り組みをおこなう国とそうでない国との差が浮き彫りになり、より良い成果を達成するためのプレッシャーが生じる」と述べている。

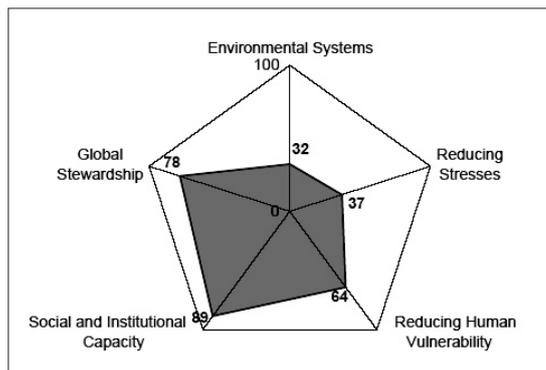
日本は、2002年発表のESIランキングでは78位であったが、今回は特に国際貢献面の評価を上げて30位となった。しかし、環境システム面（特に、生物多様性・土地・水量）と環境ストレス面（特に、大気汚染物質排出量・水・天然資源の管理）の評価は低い結果として示されており、今後こうした分野への一層の取り組みが期待される。

ESI ランキング抜粋

ESI Rank	Country Name	ESI Score						
1	Finland	75.1	25	Central Afr. Rep.	58.7	137	Yemen	37.3
2	Norway	73.4	26	Denmark	58.2	138	Kuwait	36.6
3	Uruguay	71.8	27	Estonia	58.2	139	Trinidad & Tobago	36.3
4	Sweden	71.7	28	Panama	57.7	140	Sudan	35.9
5	Iceland	70.8	29	Slovenia	57.5	141	Haiti	34.8
6	Canada	64.4	30	Japan	57.3	142	Uzbekistan	34.4
7	Switzerland	63.7	31	Germany	56.9	143	Iraq	33.6
8	Guyana	62.9	32	Namibia	56.7	144	Turkmenistan	33.1
9	Argentina	62.7	33	Russia	56.1	145	Taiwan	32.7
10	Austria	62.7	34	Botswana	55.9	146	North Korea	29.2

http://www.yale.edu/esi/ESI2005_Main_Report.pdf より

日本のESI大分類別評価



http://www.yale.edu/esi/b_countryprofiles.pdf より

中国は、本年2月、高速増殖炉および高温ガス炉の新型炉開発に関する新たな計画を正式に発表した。2020年ごろに高速増殖原型炉の完成を目指し、現在は高速増殖実験炉を北京郊外に建設中である。開発を担うのは中国核工業集団である。また高温ガス炉については、ペブルベッド型高温ガス炉の世界初の商業用発電所の建設認可申請が進んでいる。次世代ペブルベッド（被覆球状燃料）型高温ガス炉^①は、他の高温ガス炉形式より安全性が高く、経済性にも優れるとされ、プラント建設母体となる華能国際電力（Huaneng Power International）率いるベンチャー組織が、熱出力200MWの商業炉用敷地として山東省北東沿岸部の威海市を選定した。

中国は中長期的にエネルギー、電力需要の大幅な増大が見込まれている。原子力発電所の大規模増設や、高速増殖炉、高温ガス炉などの次世代型原子炉開発政策を推進しており、今後の動向が注目される。

トピックス 6 次世代原子炉の開発進める中国

中国は、本年2月、高速増殖炉および高温ガス炉の新型炉開発について新たな計画を正式に発表した。中国の原子力開発を担う中国核工業集団は、2020年ごろに高速増殖原型炉の完成を目指すことになった。高温ガス炉については、プラント建設母体となる華能国際電力（Huaneng Power International）率いるベンチャー組織が、他の高温ガス炉形式より安全性が高く、経済性にも優れた次世代のペブルベッド（被覆球状燃料）型高温ガス炉^①の商業炉用敷地として山東省北東沿岸部の威海市を選定した。これらの新型炉開発は、中国におけるエネルギー技術開発の一環として、1986年3月に国務院が承認した高技術研究発展計画^②に組み込まれている。

上記高速増殖原型炉の前段階である実験炉に関しては、国民経済の次期中期計画「第11次5ヵ年計画」（'06～'10年）の早い時期に、電気出力20MWのロシア製実験炉を完成、稼働させる予定で、現在、北京郊外の中国原子能科学研究院に建設中である。投資額は13億8800万元（約173億円）と見積もられている。原型炉建設は、中国原子能科学研究院により昨年2月に申請され、今回、電気出力600MWのロシア製高速炉BN-600の導入が承認された。ロシアからの移転技術をもとに、自主技術開発を進める。高速増殖炉は経済性向上や安全性確保が困難などとして実用化を断念する国が過去に続出したが、エネルギー不足を背景に原子力発電所の大規模増設を目指す中国は、その推進姿勢を明確にした。

一方、華能国際電力率いるベンチャー組織は、世界第1号の商業用発電所となる熱出力200MWのペブルベッド型高温ガス炉の建設認可申請を進めている。このプロジェクトには、CNEC（China

Nuclear Engineering and Construction）と清華大学も参加する。華能国際電力は、プラント建設にかかる費用として、50%をベンチャー組織が、35%をCNECが、5%を清華大学が分担し、残りの10%を外部の投資家に求めている。プラントの初期建設単価は、電気出力1キロワット当たり\$1,500（約156,000円）と推定され、建設から運転開始まで5年以内で実現可能とされている。清華大学の原子力・新エネルギー技術研究所は、北京郊外に10MWのペブルベッド型高温ガス実験炉を運転中であり、技術と経験を上記建設に反映する。運転中のペブルベッド型高温ガス炉をもつのは、現在世界で中国だけである。

中国は、中長期的にエネルギー、電力需要の大幅な増大が見込まれている。原子力発電所の大規模増設や、高速増殖炉、高温ガス炉などの次世代原子炉開発政策に関して、今後の動向が注目される。

①高温ガス炉の一種。核反応でヘリウムガスを高温に熱し、発電機のタービンを回す仕組み。燃料には、二酸化ウランをシリコンカーバイドなどで三重に被覆した多数の粒子（直径約1ミリ）を、直径六センチの黒鉛のカプセルで包んだ炭団状の球（ペブル）を使う。「心臓部」である原子炉圧力容器の内面は耐熱性の高い黒鉛のレンガがはられ、燃料を上から入れ自然落下させて燃やす流動式。運転中でも燃料が装荷でき、六年間連続運転が可能。出力は一基当たり125～165MWと小型だが、電力需要に合わせて増設しやすく、8基組み合わせれば1,000MW級の前炉と同じ規模になる。

②863計画ともいう。1986年3月に、世界の先進技術レベルに追いつき、中国のハイテク技術を発展させようという著名学者の提案を受け、中国国務院が認めた計画。

独立行政法人産業技術総合研究所と国立大学法人山梨大学は、シリコンカーバイド (SiC) を用いた、世界でもっとも損失の小さいパワー用スイッチング素子を共同で開発した。シリコンカーバイド半導体には、2020年時点で我が国の1990年全炭酸ガス排出量の約1%を削減する大きな省エネ効果が期待されている。

今回開発したパワートランジスタでは、インバータ回路に採用した場合、従来のシリコン (Si) パワートランジスタの1/12の電力損失に相当する、耐圧700V、オン抵抗 $1.01\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ を実現した。独自に開発した製造プロセスを使い、微細な溝構造を形成するエッチングプロセス条件の最適化と、溝構造の上でのエピタキシャル成長を可能とする条件を見出した。

このスイッチング素子には、家電機器、無停電電源、ハイブリッド車などの電動車両、産業用大型モーターなどのインバーターや分散電源など、広範囲にわたる応用が見込まれている。

トピックス 7 SiC で世界最高性能のパワートランジスタを開発

産業技術総合研究所のパワーエレクトロニクス研究センターと山梨大学大学院 医学工学総合研究部は共同で六方晶-4Hといわれる結晶形を持つ炭化珪素 (4H-SiC) を使って、 p^+ ゲート領域を埋め込んだ構造の静電誘導型トランジスタ (埋込ゲート型 SiC-SIT: SiC-Static Induction Transistor) を開発した。独自の製造プロセスを使って作製し、耐圧700V、オン抵抗 $1.01\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ の性能が得られた。この特性は現在のインバータ回路で用いられているシリコン(Si)のIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と比較して、電力損失が1/12と大幅に低減するものと期待される。

SiCはシリコン(Si)の約3倍のバンドギャップを持つため、耐電圧性、耐熱性が良いことに加え、熱伝導性もSiより3倍以上良いため、パワー用Siトランジスタの性能限界を超えることが出来る。同一の耐圧を持つパワーデバイスを作製するとSiによるデバイスよりも低損失の素子を実現できるとして、並行して開発されているMOS型のSiCトランジスタと共に将来の省エネデバイスとして期待されてきた。

製造プロセスのポイントは非常に硬い材質で加工が困難であるSiCの微細加工と、段差のある溝構造へのエピタキシャル成長 (基板など元となる結晶と特定の方角関係にある結晶膜を堆積成長させる方法) の最適条件を見出したことである。

素子の製造工程の概要は以下の通りである。 n^+4H^- SiC基板の上に n^- ドリフト層、更にその上に p^+ ゲート層をエピタキシャル成長させた後、ドライエッチング法により p^+ ゲート層のみを分離させ、微細な溝構造を形成する。その段差のある溝の上から n^- チャンネル領域をエピタキシャル成長により形成する。その後、 n^+ ソース領域をイオン注入により形成し、活性化熱処理後、ソース電極及

びドレイン電極を形成し、素子が完成する。

微細な溝構造の形成は、エッチングマスク材の選定及びエッチング条件 (ガス種、ガス圧力、ガス流量、エッチング時間) の最適化を図ることにより可能となった。

このエッチングプロセスの精度が素子特性をほぼ決定する。

また通常、エピタキシャル成長は平坦な基板に行われるが、SiC基板の結晶方位、温度やガス流量等の条件を最適化することによりエピタキシャル成長が可能となった。このようにして作製された素子の断面を電子顕微鏡で観察すると、 p^+ ゲート領域は完全に埋込まれ、それらの間にサブミクロンの幅で n^- チャンネル領域が形成されていることが分かった。

この開発で産業技術総合研究所は素子作製プロセスを、山梨大学は各部の寸法、ドーピング濃度などと素子特性の関係のシミュレーションを担当した。

開発したトランジスタの応用は家電機器、無停電電源、ハイブリッド車などの電動車両、産業用大型モーターなどのインバーターや分散電源など広範囲にわたる。

今回の開発で達成したオン抵抗値のSiCトランジスタは平成14年度に完了した国家プロジェクト「超低損失電力素子技術開発」で省エネ効果を試算した時に用いた性能であり、例えばモータ制御に使われる汎用インバータに適用された場合、その2020年時点での省エネ効果は、導入量が4,100万台として、年間366万トンの炭酸ガス排出量に相当し、これは我が国の1990年全炭酸ガス排出量の約0.3%に当たる。その他の応用分野を含めた場合、我が国では同約1%の削減が見積れるという。

宇宙空間にペイロードを打ち上げる実用的な方法は、これまで化学ロケットしかなかった。しかし化学ロケットの場合、打ち上げられる質量のほとんどはペイロードではなく、燃料と酸化剤である。より効率的な宇宙輸送システムとして考案されたものの一つが「宇宙エレベータ」である。遠心力と引力がバランスしたケーブルで地上と宇宙空間をつなぎ、このケーブルを使ってペイロードを輸送する。これまでは、ケーブル材料の比重と強度の関係から実現不可能と考えられていたが、ケーブルにカーボンナノチューブを使用することで実現可能性が高まってきた。

本年3月、NASAが宇宙エレベータのキーとなる技術について、懸賞プログラムを開始した。契約の手間やコストをかけずに、民間から斬新なアイデアが得られる可能性がある。また本年10月に福岡市で開催される第56回国際宇宙会議においても、宇宙エレベータに関するレクチャーが一般公開される予定である。急速に開発が進展している技術テーマとして注目される。

トピックス 8 実現の可能性出てきた宇宙エレベータ

化学反応を用いない宇宙輸送システムの1つである「宇宙エレベータ」の概念は1960年頃に旧ソ連の個人が発案したといわれる。静止軌道上のステーションを重心として、地上側と宇宙側に「テザ」(ひも)を伸展させ、地上まで到達したところでアンカに固定するとエレベータとしての骨格ができあがる。静止軌道までは35,000km以上あり、テザに用いる材料の比重と強度の関係から、これまでは実現不可能と考えられていた。しかし、最近になってテザの素材としてカーボンナノチューブ(CNT)を主体とする複合材料の開発に成功したことで、一挙に実現可能性が高まってきた。このテザに沿って、ペイロードを搭載して昇降する装置を「クライマ」という。

NASAは2005年3月23日に「Centennial Challenges' Prize」という懸賞プログラムを開始した。最初の懸賞テーマとなったのは、宇宙エレベータの基本的な要素である「テザ」と「クライマ」の2つである。2005年から毎年、徐々に条件を厳しくして競技参加者を募集する。「テザ」については、参加者が競技場に持ち寄った重さ25g以内・長さ25mのループ状のテザ同士を引っ張り合わせ、勝ち残った者が優勝となる。目標張力は同一重量の鋼鉄線の400倍である。「クライマ」は60mの高さの薄いリボンに沿って3分以内に上昇するという条件で運搬重量を競う。重量が50kg以内に制限されたクライマの動力源は地上から照らされるキセノンランプで、太陽電池パネルと動力機構を備えることが要求される。このように明快な基準で競技を行うことにより、契約などの手間をかけずに少ないコストで公正な競争ができる。

宇宙エレベータ実現の最大の障害は宇宙デブリ及び流星塵である。高度が100km～200kmと低いところほど宇宙デブリの速度が速く、大量に存在するミリクラスの宇宙デブリや流星塵と衝突することは避けられない。宇宙デブリ対策の一案として、テザを幅1mのリボン状にすることで、部分的に損傷が生じても全体がつながった状態を保つことができると考えられている。

宇宙エレベータの研究は米国の科学調査研究所(ISR)という民間企業や欧州宇宙機関(ESA)などが実施しており、2002年以来国際会議が3回開催されている。反対意見や懐疑的意見を持つ者とも積極的に議論するという姿勢で運営されている。

本年10月17日から21日まで福岡市で開催される第56回国際宇宙会議(IAC)においては、宇宙エレベータに関する2つのセッションが行われ、さらに一般市民も参加できるハイライトレクチャーにもこのテーマが選ばれた。急速に開発が進展している技術テーマとして注目される。

将来の宇宙エレベータの想像図



Photo by NASA

[IAC] International Astronautical Congress

[ISR] Institute for Scientific Research, Inc

米国における数学と 生命科学の研究協力促進の ための科学技術政策

伊藤裕子

ライフサイエンス・医療ユニット

1 はじめに

数学は、歴史的に生命科学の発展に重要な役割を果たして来た。特にメンデル以降の遺伝学や分子生物学においては、複雑な生命現象や遺伝現象を分析および解明するために多くの法則やモデルが提唱され、これらに数学や数学者が貢献した^{1, 2)}。

近年では、ヒトゲノムプロジェクトにおいて、数学を教育および研究バックグラウンドに持つ分子生物学者エリック・ランダー所長(MIT: Broad Institute)が「遺伝子解析の数学モデル」でプロジェクト推進に多大な貢献をしたことは記憶に新しい³⁾。

欧米では、複数の研究分野の境界領域や融合領域の研究を推進することが伝統的におこなわれてお

り、研究者自身も新しい研究分野に参入することに積極的である。例を挙げると「分子生物学」を発展させるのに中心的な役割を果たしたのは、当時の遺伝学研究者ではなく、生命科学分野に新規参入してきた物理学のバックグラウンドを持った研究者であった⁴⁾。

1990年代以降、生命科学の進展が、国家に経済の維持・向上をもたらすと考えられるようになってから、生命科学の重要性が増すようになった。その結果、各国とも生命科学に多額の政府予算を投入するようになり、国家は更なる生命科学の発展のための政策に力を注ぐようになった。

生命科学の初の大型プロジェクトであったヒトゲノムプロジェク

トは、「従来の個人主体の研究から、グループ主体の研究へ」というように、生命科学研究のスタイルの転換点になったと言われている。しかしそれだけではなく、ヒトゲノムプロジェクトは、他分野と生命科学とが連携して融合領域や境界領域を形成することにより、生命科学自体が大きく発展することを証明した例であると考えられる。ヒトゲノムプロジェクトの推進に大きく貢献したのは、コンピュータ科学、数学、情報科学といった学問であることから、今後の生命科学の発展においても、これらの学問と生命科学の連携が重要ではないかと欧米では考えられており、近年、様々な科学技術政策が検討され始めた。米国科学振興協会(AAAS)が発行している学術誌サイエンス Science (vol.303, No.5659, 2004)においても、Mathematics in Biologyの特集が組まれている(参考1)。

本論では、最近の米国政府による数学研究費の支援状況、生命科学研究と数学研究を研究協力させる取り組み、および数学能力をもつ生命科学者の育成策を紹介し、今後、より一層、生命科学を進展させるために必要であると考えられる、日本における数学と生命科学の研究協力の方策を検討する。

参考1 Science vol.303, No.5659, 2004

生物学における数学
Biology by the numbers; 生物学の課題を数学で解決する試みの現状と重要性の紹介
Life's patterns: No need to spell out?; 生物が示すあらゆる構造のシミュレーション化
The new math of clinical trials; 過去に集めた臨床治験のデータと現在のデータを統合するための数学
Making sense of a heart disease gone wild; コンピュータモデルで作成した心臓を用いた心疾患の解析
Introductory science and mathematics education for 21st-century biologists; 21世紀の生物学者に対する数学教育の必要性
Uses and abuses of mathematics in biology; 近年の生物学と数学の係わり合い
Evolutionary dynamics of biological games; ゲーム理論による生物進化の解析
Inferring cellular networks using probabilistic graphical models; 数学を用いた遺伝子および代謝経路ネットワークの解析

科学技術動向研究センターにて作成

2 米国における数学研究予算

米国の数学研究支援の状況を明確にするために、米国政府予算の分野別の研究関連予算および政府機関別に支援された数学研究費(研究ファンド)の金額を示した。

2 - 1

米国の分野別研究予算

米国の分野別の研究予算は、図表1のようにライフサイエンス分野の伸びが著しい。特に1998年から急激にライフサイエンス分野の研究費が拡大している。これは、1999年度から5ヵ年計画で実施されたNIH予算の倍增計画による。2003年度は計画の最終年であり、

翌年の2004年では予算の伸び率は頭打ちになっているが、全体の割合からすると依然として、ライフサイエンス重点化は変わっていない(2003年では286億ドル、約3兆円)。ちなみに2003年の日本のライフサイエンス分野の研究予算は4,362億円であり、米国の約7分の1である。

米国の工学分野では、2001年に研究費が増額され、その額は安定的に維持されている。数学&計算機科学分野の研究予算は、ライフサイエンス分野と比較すると1/10であり、金額は非常に少ない(2003年では33億ドル、約3,500億円)。しかし、最近10年間はややかな

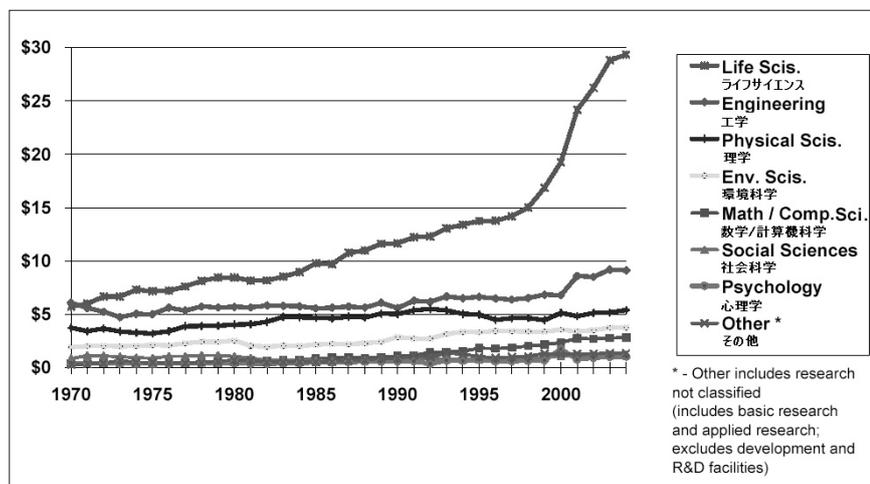
増額傾向にあり、環境科学研究予算に迫ってきている⁵⁾。

2 - 2

米国政府の数学関連の研究資金支援 (Funding)

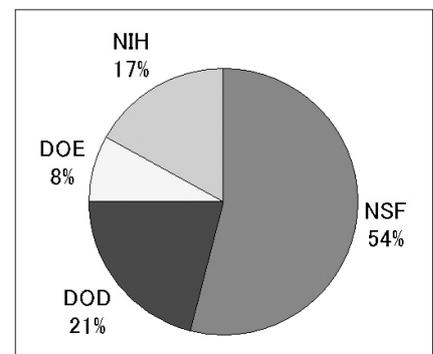
米国政府支援の数学関連の研究資金(funding)は合計で約3億7,500万ドルである⁶⁾。その半分以上を全米科学財団(NSF)が行い、残りは国防総省(DOD)、国立衛生研究所(NIH)、エネルギー省(DOE)が行っている。また、米国航空宇宙局(NASA)、米国環境保護局(EPA)、商務省の国立標準技術研究所(NIST)も少額

図表1 米国政府資金による分野別研究予算の推移 (\$ billion)



全米科学振興協会 AAAS の HP 参照

図表2 FY2005の米国省庁別の政府支援の数学研究資金 (全省庁合計: \$ 374.5 億ドル)*



* FY2005 大統領教書より参考文献⁶⁾を参照し、科学技術動向研究センターにて作成

図表3 数学研究に funding している米国政府機関 (FY2005)

政府機関名	部署名	金額 (百万ドル)
NSF	Division of Mathematical Sciences (DMS) 数科学部門	202.3 (212 億円)
DOD	AFOSR: 空軍科学研究局	30.9 (32 億円)
	ARO: 陸軍研究室	10 (11 億円)
	DARPA: 国防先端研究事業庁	23 (24 億円)
	NSA: 国家安全保障局	3.5 (4 億円)
	ONR: 海軍研究室	12.4 (13 億円)
DOE	Mathematical, Information, and Computational Sciences Division (MICS) 数学・情報・計算機科学部門	29.3 (31 億円)
NIH	NIGMS: 国立一般医学研究所	35 (37 億円)
	NIBIB: 国立生体医学画像・生体工学研究所	28.1 (30 億円)

1 ドル = 105 円

参考文献を参照し、科学技術動向研究センターにて作成

ではあるが、数学研究に対する funding を行っている。

興味深いのは、米国最大の生物医学研究所である NIH が 6,300 万ドル(約 66 億円、1 ドル=105 円)の研究費を支援していることである。

これらの研究費は、NIH の研

究所に属する国立一般医科学研究所 (NIGMS) および国立生体医学画像・生体工学研究所 (NIBIB) を通して、研究資金 (ファンド) として研究者に配分されている。支援対象の研究領域は、NIGMS では生物資源学 (population biology)、システムバイオロジー、

巨大分子構造 (macro-molecular structures)、バイオインフォマティクス、NIBIB ではコンピュータ科学、モデル開発 (model development)、バイオインフォマティクスが中心であると言われている⁶⁾。

3 数学と生命科学の研究協力を促進させる米国の取り組み ●●●●●●●●●●

ここ数年、米国では、数学と生命科学の研究協力の重要性が取り上げられるようになった。背景としていくつか考えられる。ひとつは、生命科学分野への研究予算の重点化にも関わらず、国民の目に見えるような社会的効果が上がっていないこと。例えば、がんなどの生活習慣病に罹患する人の割合は減少していないし、AIDS の完治のための薬はまだ開発されていない。世界規模で見れば、新興および再興感染症の大規模発生がみられる。また、生命科学分野の研究は進展しているのに、市場に出てくる新薬の数が 10 年前より少なくなっている。

これらの状況を打開するためには、生命科学に新しい血が必要と考えることは自然である。そのために他分野と生命科学分野の融合を図ることが効果的と考えられたのではないかと推測する。

数学と生命科学の研究協力については、ロックフェラー大学およびコロンビア大学の Cohen 教授が、「数学は生命科学にとってかつての顕微鏡であり、生命科学は数学にとってかつての物理学である」と期待を述べている。

次に、米国の政府機関において実施されている数学と生命科学の研究協力を促進させる取り組みについて紹介する。

3 - 1 米国政府機関主催のワークショップ

2003 年 2 月 12 日 ~ 13 日に NIH において、「数学と生物学の研究協力の促進 (Accelerating Mathematical-Biological Linkages)」というテーマで、NSF と NIH の合同シンポジウムが開催された。会議では、数学-生物学の研究協力推進の方策や対象とする研究領域について討論がされた。

参加者の定員は 150 人であったが、170 人以上の生命科学や数学に関連する分野の研究者、技術者、教育者が集まった⁷⁾。

ワークショップにおいて、①組織のとりべき行動 (Institutional Action)、②教育においてとりべき行動 (Education Action)、③研究においてとりべき行動 (Researchers Action) について討論が行われ、様々な提案がなされた。

(1) 組織のとりべき行動

(Institutional Action)

- ① NSF と NIH との連携の拡大(研究ファンドなど)、および数学と生命科学との境界領域の研究のための国立のセンターの設立。
- ② ゲノムやプロテオミクスなど生命科学研究上のあらゆるデータを統合したデータベースの確立。

- ③ 研究者が論文発表したデータやモデル同士を比較可能にするための標準化の策定。

- ④ 数学と生命科学の連携を目的としている学協会や教育機関同士の連合。

(2) 教育においてとりべき行動 (Education Action)

- ① 境界領域を研究するポスドクを対象にした新しいプログラムの作成。
- ② 数学関連の学部や生命科学関連の学部の学部長を対象にした学際的な学部教育カリキュラムの作成のためのワークショップの開催。
- ③ 生命科学と数学の境界領域の教員のポジションの創生。
- ④ 高校生を対象とした数学と生命科学の連携の夏期教育プログラムの作成。
- ⑤ 初等中等教育における数学と生命科学の連携に関する教材の作成。

(3) 研究においてとりべき行動 (Researchers Action)

- ① 数理生物学領域でチャレンジングなトップ 10 の研究課題のリストの作成。
 - ① 細胞から人や社会環境まで、様々なレベルのシステムにおけるモデルの構築
 - ② 複雑な代謝経路、シグナル伝達、生体物質の相互作用のネットワークのモデル化

- ③不確実性やリスクの理解のための確率理論の統合
 - ④コンピュータ科学の更なる理解—エージェントモデルやコンピュータ計算からの理論
 - ⑤データマイニングと同時干渉の理解 (Bonferroni法を超えるような理論が必要)
 - ⑥グラフ理論的なアプローチによる遺伝子や蛋白構造
 - ⑦脳機能のモデル化
 - ⑧様々な空間的および時間的なサイズをもつ生命現象の過程をモデル化することを可能にする計算科学的な手法の開発
 - ⑨生態学における予測手法
 - ⑩生命科学の理解におけるエラーデータの効果 (どの程度の間違いデータが生命科学の正しい理解に影響をしているか、例：シーケンスの解読間違いなど)
- ②生命科学と数学の境界分野に関する国内学会の開催。
- ③数学者が生命科学を学び、生命科学者が数学を学ぶことができるような研究者の教育を目的とした学会やワークショップの開催。
- ④数学と生命科学の境界領域の論文出版を促進するために、これらに関するデータベースやオンラインジャーナルを統合すること。

3 - 2

研究費分配機関 (ファンディングエージェンシー) における取り組み

(1) 生命科学と数学の融合研究を推進する研究グラント

NSF と NIH は、数学と生命科学の融合領域における更なる研究の必要性を認識しており、この領域の研究を推進するために2002年から共同で研究グラントのプログラムを立ち上げている。2002年から2004年まで年1回、計3回

の研究申請書の募集を行い、次回は2005年6月30日が申請書の応募の締め切りである。

2003年までのプログラム名は Joint DMS/NIGMS Initiative to Support Research in the Area of Mathematical Biology であったが、2004年から Joint DMS/BIO/NIGMS Initiative to Support Research in the Area of Mathematical Biology となり、NSF の生物科学部門 (BIO) が本プログラムに参加するようになった。

ファンドの年間予算は650万ドル (6.8億円) であり、NSF が250万ドル (2.6億円)、NIH に属する研究所である国立一般医学研究所 (NIGMS) が400万ドル (4.2億円) と分割して出資している。年間20人に研究費を支援しており、一件当たりの研究費は年間10万ドル～40万ドル (1,050万円～4,200万円) で、支援期間は4～5年である。

プログラムディレクターは博士号を持つ生命科学担当と数学担当が3人ずつ、計6人であり、提案する研究内容がプログラムに適合しているかなどの質問を受け付けている⁸⁾。

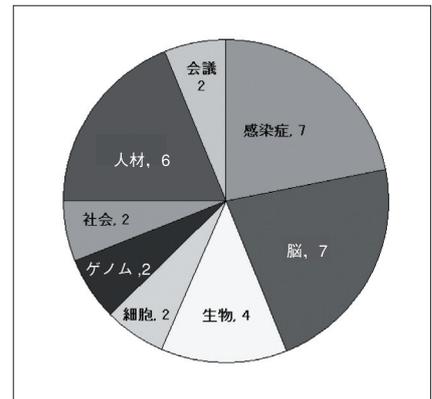
(2) NSF 支援の数学研究費における生命科学関連研究課題の内容分析

既に述べたように、全米の公的資金による数学研究のファンディングの半分以上を NSF が占める。NSF では、2000年から2006年まで数学重点化策を打ち出しており、数学研究予算の増大を図りたいとしている。

この節では、生命科学と数学研究の融合研究領域が、研究レベルで実際に生じているのかを分析するために、NSF に採択された研究課題の内、数学と生命科学の両方に関連した研究課題の内容の分析を試みた。

NSF グラント検索システム

図表4 2004年から開始された数理生物学の研究課題の研究領域分類



科学技術動向研究センターにて作成

(Award search) を利用した。まず、キーワードとして「*bio* and *math*」を用いて、2001年以降開始された standard grant の研究課題の検索を行った。Standard grant は研究者個人が申請する通常の研究グラントである。2001年以降に開始された研究課題は1,000課題あり、その内の4割以上である417課題がキーワードで抽出された。その中には、「生態学 (Ecology)」、「数理生物学 (Mathematical Biology)」、「システムバイオロジー & 生物多様性 (System Biology & Biodiversity)」、「人口動態 (Population Dynamics)」、「計算機数学 (Computational Mathematics)」、「応用数学 (Applied Mathematics)」などに属する研究課題が含まれていた。これは、生命科学に関連する様々な研究領域と、数学の境界領域や融合領域の研究が進展している状況を示していると考えられた。

具体的な数学と生命科学の融合領域の研究課題を分析するために、「数理生物学」の研究プログラムで採択された研究課題について分析を行った。

2001年から開始された課題の内、数理生物学の研究プログラムは51件であった。その内の半分以上である32件が2004年から開始された研究課題であった。

研究領域別に分類すると、感染

症と脳に関する研究が同程度に多かった。感染症では感染伝播のモデル、脳ではニューロネットワークの解析研究が主に実施されてい

た。また、数学と生命科学の境界および融合分野の人材育成のための教育プログラムの開発に関する研究課題の割合も多かった（図表

4）。参考までに、生物および細胞に関連する研究課題名のリストを示した（図表5）。

図表5 2004年に採択された数理生物学の研究課題の内、生物または細胞に関する研究領域に分類される研究課題名のリスト

領域	研究課題名	研究機関
細胞	Two-dimensional cell motility model 二次元細胞移動モデル	Worcester Polytechnic Institute
	Dynamic regulation of the cell cycle by the proliferation control (RB) and death control (p53) oncogenes 細胞成長と細胞死の制御を行うがん関連遺伝子による細胞周期の動的な調節	Virginia Polytechnic Institute and State University
生物	Dynamical systems in biology 生物における力学的なシステム	Arizona State University
	Competitive coexistence and life cycle stages 競争的な共生と世代交代の段階	University of Arizona
	Nonlinear dynamics of oscillator networks オシレーターネットワークの非線形力学（心筋細胞の共振メカニズムや生物時計）	Cornell University
	Spatial Heterogeneity, nonlocal interactions and time delay in epidemiological and biological spread 疫学および生物学的拡散における空間的な多様性、非局所的な相互作用および時間的なずれ	University of Miami

科学技術動向研究センターにて作成

4 数学能力をもつ生命科学者の育成のための学部教育プログラム

数学能力を身につけた次世代の生命科学研究者の人材育成のために、大学の学部教育を中心とした改革が実施されている。

4 - 1

大学の生物系学部での数学教育の必要性の提言

プリンストン大学の分子生物学部の Botstein 教授らは、21 世紀に活躍する生物学研究者のために数学教育が必要であると提唱している⁹⁾。生物学専攻（医学部進学者を含む）の学生は、一般的に必修科目として、1 セメスター（学期）から 2 セメスターで数学および物理学を履修し、2 セメスターから 4 セメスターで化学を履修している。大部分の学生はあまり熱心ではない。教師側も物理、化学、工学専攻の学生に対する「物理・化学・数学」教育とは、当然熱の入れ方が異なるし、カリキ

ュラム上で履修する時間数も大きく異なる。

Botstein 教授らは、「自然という書物を記述している言語は数学である」というガリレオの言葉を引用して、数量的思考を身につけるための自然科学教育から、生物学専攻の学生が取り残されていることに危惧している。なぜなら、生命や生物という複雑なシステムの理解には、数量的思考が必要であるからである。

Botstein 教授は、生物系学部において、数量的思考を十分に身につけられる統合的な科学の入門レベル（学部 1 および 2 年次）のカリキュラムの必要性を提唱している。従来の「物理学」「化学」「数学」を独立して教えていたカリキュラムの代わりに、生物学上の未解決な課題に対して、「物理・化学・数学」がどのように関連しているかを体系的に示す内容が望ましいと提案している。

4 - 2

生物学専攻の学生のための数学教育プログラム

テネシー大学の Gross 教授（Professor of Ecology and Evolutionary Biology and Mathematics）は、数理生物学会（The Society for Mathematical Biology）の会長でもあるが、生命科学専攻の学生に対する数学教育に力を入れている。

Gross 教授は、個人ホームページにおいて、「生物学専攻の学生のための数学教育リンク集（Resources for Mathematics Education for Biology Student）」を公開している。様々な大学において生物学専攻の学生向けに行われている講義内容などが、自由に閲覧およびダウンロードできる（リンク切れもあり）。

Gross 教授自身も、テネシー大学において生命科学専攻の学生に

図表6 生物学専攻の学生のための数学講義の例

大学名	講義名
Florida State University http://www.math.fsu.edu/~mesterto/biocalc.html	Biocalculus (生物微積分)
Kennesaw State University http://science.kennesaw.edu/~mburke/modules/	Mathematical Modules in Biology and Chemistry (生物学と化学における数学的モジュール)
University of British Columbia (カナダ) http://www.bcu.ubc.ca/~otto/Bio301.html	Biomathematics (バイオ数学)
University of South Carolina http://www.math.sc.edu/~miller/411/411.html	Mathematical biology (数理生物学)
North Shore Long Island Jewish Health System Bio-repository http://www.nslj-genetics.org/bioinfotraining/	ウェブでの Bioinformatics (バイオインフォマティクス) コースのリスト集

(Webのリンクは2005年4月11日に確認)

HP参照により、科学技術動向研究センターにて作成

対し、数学と生命科学を融合した内容の講義を実施している。例えば、学生に屋外の木の葉のサイズのデータを集めさせて、「葉の幅と長さの関係はあるか?」、「どの種類の樹木も同様な関係はあるか?」、「何が葉のサイズに影響するか?」、「何故、ある種の樹木は他の樹木よりも長い葉をもつのか?」などの質問をし、多くの仮説を立てさせた後、葉のサイズのデータの分析結果に基づいてそれぞれの仮説の評価をさせている¹⁰⁾。



報告書 BIO2010

将来(2010年)の生命科学研究者を育成するための学部教育の改革として、2003年に報告書「Bio 2010: Transforming Undergraduate Education for future Research Biologists」が、米国国立アカデミー(The National Academies)から発表された¹¹⁾。報告書のスポンサーは、NIHとハワードヒューズ医学研究所(Howard Hughes

Medical Institutes)である。どちらも医学生物学研究分野に多額の研究費支援を行っていることで知られている^{9, 10)}。

報告書の中で、今後の生命科学の発展のために、生命科学と他分野との研究協力の必要性が強調された。研究協力が重要であるとして挙げられた研究分野は、「数学&計算機科学」、「化学」、「物理学」、「工学」であった。これらの学問分野と生命科学の境界領域の学部教育を可能にするために、カリキュラムの改革が必要とされた。

5 生命科学と数学の連携における日本の状況

日本における「生命科学と数学との研究協力」および「数学能力をもつ生命科学者の育成」はどうか。本章では、日本の現状について分析する。



生命科学分野の研究者の分野融合に対する意識

我が国の生命科学分野の研究者は、数学に限らず、他分野との連携や融合研究を望んでいるのだろうか?

研究者の融合的、分野横断的研究への関心を問うアンケートが、文部科学省学術政策局調査調整課

「我が国の研究活動の実態に関する調査報告(平成15年度)」の中で実施された¹²⁾。

その結果、融合的研究への関心を持つ研究者は全体で6割以上であることがわかった(図表7)。さらに、研究者の研究分野別で比較すると、ライフサイエンス分野の研究者で「関心がある」と答えた研究者の割合は、情報通信、環境、エネルギー、材料・ナノテク分野などの研究者の割合に比べて低いことが示された。

また、「関心がある」と答えた研究者にその理由を尋ねている。回答として一番多く選ばれたのが、「社会的課題へ対応した研究

を進めるために必要不可欠と思うから」であり、二番目は「新たな研究領域・分野を切り開くため」であった。



生命科学と数学の融合分野の促進の動きはあるのか?

我が国では、政府機関や研究費分配機関(ファンディングエージェンシー)において、生命科学と数学の融合分野の促進策は実施されていない。

平成16年度予算の科学技術関係経費において、生命科学と数学の融合領域のプロジェクト(事業)

に該当すると考えられるものを調べたところ、4課題であった(図表8)。これらの研究領域は、バイオインフォマティクスとシミュレーションが中心であり、生命科学と数学の融合研究の促進を目的としたプロジェクトは無かった。

また、JSTの戦略的創造研究推進事業・創造科学技術推進事業(ERATO)において実施されている研究プロジェクトでは、生物をシステムとして理解し、これを計算機科学で解析するシステムバイオロジーの「北野共生システム(1998～2003年)」、応用研究として生命情報ネットワークの動的情報処理原理の確立を含む複雑系コンピューティングの「合原複雑数理モデル(2003～2008年)」、学習メカニズムの脳科学の「下条潜在機能(2004～2009年)」が、数学と生命科学の融合分野の研究であると考えられる。さらに、理研の発生・再生科学総合センターの創造的研究推進プログラムにシステムバイオロジー研究チームがある。

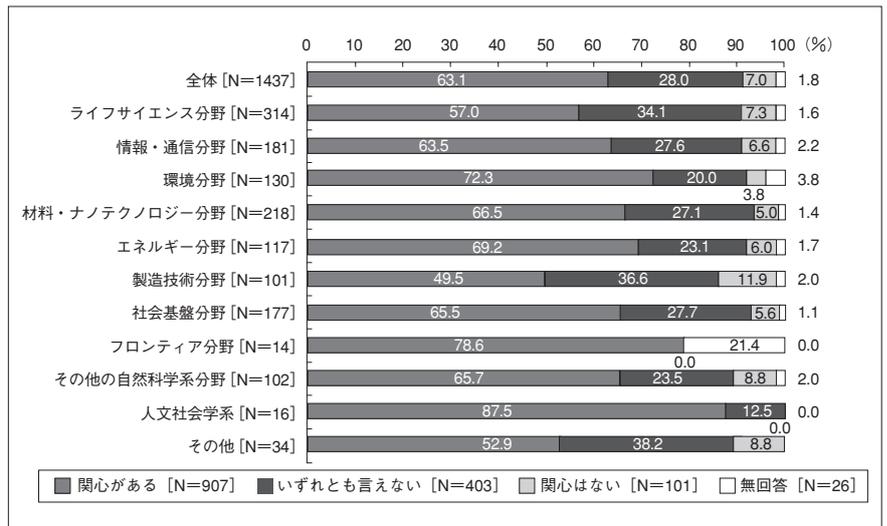
しかし、これらは研究者個人の発想に基づくプロジェクトであり、米国のように公的組織の科学技術政策として数学と生命科学の融合を推進する動きは、日本にはまだ無い。

5 - 3

数学能力をもつ生命科学者の育成の動きはあるのか?

日本の大学において、生命科学専攻の学生に数学能力を身につけさせるという学部教育の動きは無い。しかし、生命科学と情報科学の融合領域であるバイオインフォマティクスに特化した人材育成の

図表7 文理融合、分野横断的研究への関心(研究分野別)



参考文献¹²⁾より

図表8 平成16年度予算の科学技術関係経費における生命科学と数学の融合領域と考えられるプロジェクト例

プロジェクト名	省庁名	研究機関名
細胞・生体機能シミュレーションプロジェクト	文部科学省	慶応大学 他
バイオインフォマティクス推進センター	文部科学省	JST
バイオインフォマティクス知的基盤整備	経済産業省	バイオ産業情報化コンソーシアム
細胞内ネットワークのダイナミズム解析技術開発	経済産業省	NEDO

科学技術動向研究センターにて作成

取り組みはある。

文部科学省科学技術振興調整費により平成13年度(2001年)から「東京大学理学部生物情報科学学部教育特別プログラム」が始まっている。このプログラムの目的は、バイオインフォマティクス分野の人材養成を学部教育として、情報科学と生命科学の専門教官の強力な支援のもとで行うことである。バイオインフォマティクス教育には、①バイオインフォマティクスの専門教育、②情報科学の基盤教育、③生命科学の基盤教育、のバランスが必要であると考え、これらはカリキュラムに反映されている。さらに、同科学技術振興

調整費により、京都大学化学研究所バイオインフォマティクスセンターでは、平成14年度からゲノム情報科学研究教育機構がバイオインフォマティクス人材養成プログラムを開始している。

また、慶応大学湘南藤沢キャンパスの研究クラスターであるバイオインフォマティクスでは、遺伝子・ゲノム・細胞をシミュレートすることにより、生命をコンピュータで解明することを目指している。研究テーマとして、生命情報論、E-Cellプロジェクト、E-Neuronプロジェクトがある。

6 日本と米国の科学技術政策における違い

日本と米国における生命科学と数学の研究連携に関する科学技術政策の違いを明らかにし、今後、日本がとるべき方向性を検討する。

6 - 1

米国と日本の生命科学と数学の研究協力推進の方向性

米国と日本の生命科学と数学の研究協力の推進の方向性には大きな違いがある。米国では、①学部教育のカリキュラムの変更により、数学の知識をもった生命科学者を育成することを考えており、②既に生命学者や数学者になっている者やポストクに対しては、数学や生命科学の知識を付与するようなプログラムを策定することにより、研究者が研究領域を広げることを助けている。また、③数学と生命科学の融合領域の研究にファンディングを行うことにより、新しい分野に研究者を呼び込むことを試みている。これらの方策は、対象としている研究者が限定されないため、結果的にこの新領域に参入してくる研究者数は今後増加するだろうと予想される。

一方、日本の場合は、「生命科学」と「情報科学または計算機科学」との融合分野である「バイオインフォマティクス」や「システムバイオロジー」に特化した少数精鋭の研究人材の育成に力を入れている。近年、国際的にシステム

バイオロジー研究の重要性が提唱されている¹³⁾。日本は当該分野の先鞭をつけたと国際的に評価されているが、安穩としていられる状況ではない。米国は世界に先駆けてハーバード大学のメディカルスクール（医学部）にシステムバイオロジー学部を創設し、数学と生命科学の連携推進をしているNIHのNIGMSもシステムバイオロジーを支援している。現在、米国における中心的なシステムバイオロジー関連の研究プログラムや拠点は、官民を含めて十数機関存在する¹⁴⁾など、米国の勢いはすさまじい。このように素早く対応できる理由の一つは、米国には、数学と他分野の連携に関する科学技術政策の歴史があるからかもしれない。

6 - 2

今後の日本における生命科学と数学の研究協力

このような状況を踏まえて、今後は、少数精鋭の人材育成から、「生命科学」と「数学」との融合分野である「新領域」で研究を実施することができる多くの優れた人材の育成に変えていく必要があると考えられる。これらの人材は、「バイオインフォマティクス」および「システムバイオロジー」、加えてそれ以外の数学を知識基盤にもつ新しい研究領域の創生およ

び進展においても重要な役割を果たすと考えられる。

新しい分野の研究を進展させるためには、一定数以上の研究者数が必要である。そのクリティカル・マスを確保するためには、大勢の研究者や学生を対象とした「数学能力をもつ生命科学」人材育成プログラムの策定が必要であると考えられる。

日本の大学や学協会からの生命科学と他分野との研究協力の提言があまり挙がって来ないのは、生命科学分野の研究者が他分野との融合に対してあまり関心が高くないことに原因があるのかもしれない。それと同様に日本の数学者も、他分野との研究協力を消極的であるとか、応用数学分野の研究を避ける傾向にあるとかなども理由として考えられる。従って、研究者自身の意識改革が重要であると考えられる。意識改革には、産業界のニーズに対応する小規模の研究プロジェクトを数学者と生命科学者で試験的に協力実行して成功させ、その経験を積み重ねることが必要かもしれない。

また、次世代の新しい生命科学者の育成のために、小中学生や高校生を対象とした数学と生命科学の連携教育プログラムなどの数学教育の充実も必要であると考えられる。

7 提言

我が国において生命科学と数学の連携をおこなう方策を以下に提言する。

(1)省庁内に数学分野の推進・支援を担当する部署を設置

米国には、DOEの数学・情報科学・計算機科学部門 (Division

of Mathematical, Information, and Computational Sciences)、NSFの数理科学部門 (Division of Mathematical Sciences)、NISTの情報技術研究室 (Information

Technology Laboratory) の数学・計算機科学部門 (Mathematical and Computational Sciences Division)、AFOSR (空軍科学研究所)、ARO (陸軍研究局)、DARPA (国防総省高等研究計画局) など数学分野の研究支援を担当する部署が多い (図表 9)。生命科学と数学の連携研究の支援のために、従来の縦割り型の研究費支援ではなく、NIH と NSF の連携のように研究支援機関横断的な研究費支援が実施されている。

一方、日本の政府機関には、米国のような数学研究支援を担当する部署はなく、数学分野に関する科学技術政策を立案するシステム自体が存在しない。数学と生命科学の境界領域や融合領域を育てるためには、まず、数学分野の支援を担当する部署を省庁内に設ける必要がある。また、数学と生命科学の境界領域や融合領域を支援する競争的研究資金を拡大し、研究者をこの新分野に呼び込むような策が必要である。

**(2)生命科学専攻の学生に対する
数学教育の充実**

生命科学分野と数学分野との連携を促進させるためには、生命科学分野の専攻の学生に対する数学教育が重要であると考えられる。従来の基礎課目としての数学以外

に、生命科学の諸問題を数学により解析するなどの分野融合的な教育プログラムの策定が必要であると考えられる。

また、数学分野の専攻の学生が生命科学分野の知識を得られる機会をつくることも重要である。

これらの教育プログラムの策定や実行のための教員などの人材が日本に不足しているのであれば、海外から呼ぶことも検討すべきである。

**(3)生命科学研究者と数学研究者が
共同研究できる場 (研究所) の
創生**

新しい研究分野の創生には、異分野の研究者同士の密なアイデア交換が必要である。そのために、生命科学研究者と数学研究者が共同研究できる場をつくる必要がある。

既存の生命科学分野の研究所で数学研究者を、または数学研究所で生命科学研究者を受け入れて共同研究を実施することを目的とした研究費支援制度の設立が効果的であると考えられる。

米国には多くの国際レベルの数学研究所があり、生命科学だけでなく様々な分野との共同研究を実施する応用数学が盛んである。近年、英国では、CoMPLEX (Centre for Mathematics and

Physics in the Life Sciences and Experimental Biology) という研究所が設立され、生命科学者や医学研究者と数学者、物理学者や計算機科学者および技術者が、チャレンジな生命科学や医学の研究課題に共同で研究を実施する試みが始まっている。この研究所は教育機能を持ち、2004 年から博士課程が開始された。

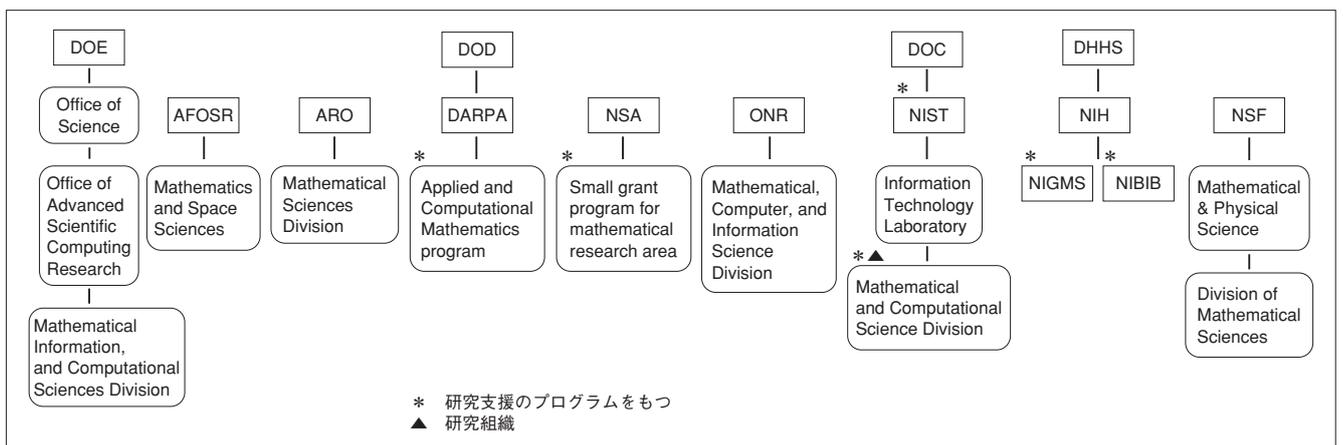
一方、日本では、京都大学の数理解析研究所が唯一の国際レベルの数学研究所である。しかし、数理解析研究所では純粋数学の研究が主に実施されており、結果的に応用数学や数学の境界領域の研究を行うことを目的とした研究機関は、日本には一つもないということになる。従って、応用数学を中心に研究する数学研究所の創設は重要であり、生命科学を含めた様々な分野との境界領域の研究を実施することは、日本の科学技術の将来の発展を促進すると考えられる。

また、数学分野の発展のためには、以下のことが必要であると考えられる。

(4)企業と大学の研究協力の強化

企業と大学の研究協力を深め、産業上で生じた問題を数学研究者と企業の他分野の研究者との連携で解決することを可能とする

図表 9 数学関連の研究を支援する米国の公的機関および担当部署



科学技術動向研究センターにて作成

システムをつくる。これは、数学の産業応用の推進および新分野の創生を促すと考えられるので重要である。

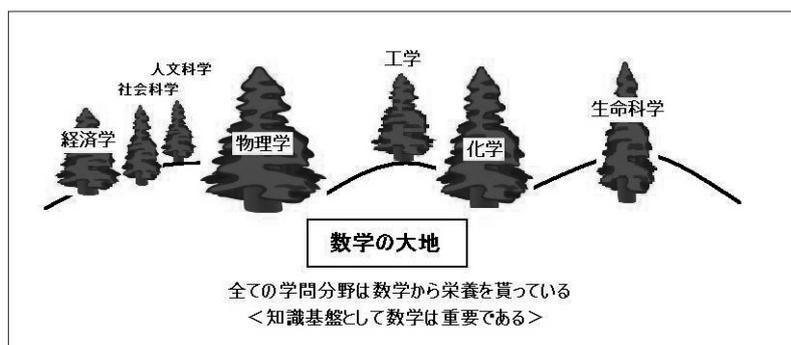
(5) 数学に対する国民の理解の向上

数学を学ぶ重要性や意義をあらゆる分野の学生や国民が認識するような国家レベルの取り組みが必要である。これは、様々な分野への数学の適用・応用や他分野との研究の連携・融合のための知識基盤や産業基盤をつくるために重要である (参考2)。

参考文献等

- 01) 「数学で何ができるか—なぜ科学技術に重要か、どうすれば有効に活用できるか—」 文部科学省 科学技術政策研究所 講演録—147 (2004年11月)
- 02) Malkevitch, J., Feature Column Archive, “Mathematics and Genome” (American Mathematical Society) : www.ams.org/new-in-math/cover/genome1.html
- 03) Eric Lander, Unraveling the Threads of Life, p80-81, TIME Magazine April, 2004
- 04) Jonathan Weiner, “Time, Love, Memory : A Great Biologist and his quest for the origins of behavior”, Knopf, 1999.
- 05) Kei Koizumi, An Update on R&D in the FY2005 Budget for the ASTRA Board of Directors. November 23, 2004. : <http://www.aaas.org/spp/rd/present.htm>(2005年4月11日現在) <http://www.aaas.org/spp/rd/prastral104.pdf> (2005年4月11日現在)
- 06) AAAS Report XXIX : Research and Development FY2005, Mathematical Sciences in the FY2005 Budget : <http://www.aaas.org/spp/rd/rd05main.htm> (2005年4月11日

参考2 数学の大地



科学技術動向研究センターにて作成

- 現在) <http://www.aaas.org/spp/rd/05pch23.htm> (2005年4月11日現在)
- 07) Accelerating mathematical-biological linkages : Report of a joint NSF-NIH workshop : <http://www.palmerlab.umd.edu/report.pdf>(2005年4月11日現在)
- 08) Joint DMS/BIO/NIGMS Initiative to Support Research in the Area of Mathematical Biology : www.nsf.gov/pubs/2004/nsf04572/nsf04572.htm (2005年4月11日現在)
- 09) Bialek, W. and Botstein, D., Introductory Science and Mathematics Education for 21st-Century Biologists. Science, Vol. 303, 788 - 790, 2004
- 10) Bio2010, Transforming undergraduate education for future research biologists, The National Academies
- 11) BIO2010 : Transforming undergraduate education for future research biologists, The National Academies : <http://books.nap.edu/catalog/10497.html>(2005年4月11日現在)
- 12) 「我が国の研究活動の実態に関する調査報告 (平成15年度)」 文部科学省学術政策局調査調整課
- 13) Hood, L., Heath, J.R., Phelps, M.E., and Lin, B., Systems biology and new technologies enable predictive and preventative medicine. Science, Vol. 306, 640 - 643, 2004
- 14) 米国のシステムバイオロジー関連の研究施設および研究プロジェクト: Genomes to Life (DOE) : <http://doegenomestolife.org/> (2005年4月11日現在) Microbial Cell Project (DOE) : <http://microbialcellproject.org> (2005年4月11日現在) Complex Biological Systems Initiatives (NIGMS) : www.nigms.nih.gov/funding/complex_systems.html (2005年4月11日現在) MIT Computational and Systems Biology Initiative : <http://csbi.mit.edu/> (2005年4月11日現在) Bio-X, Stanford University : <http://biox.stanford.edu/index.html> (2005年4月11日現在) Pacific Northwest National Laboratory : www.sysbio.org/ (2005年4月11日現在) Department of Systems Biology, Harvard Medical School : <http://sysbio.med.harvard.edu/> (2005年4月11日現在) Lewis-Sigler Institute for Integrative Genomics, Princeton University : <http://genomics.princeton.edu/> (2005年4月11日現在) IBM Research : www.research.ibm.com/FunGen/ (2005年4月11日現在) The Molecular Science Institute, Berkeley, : www.molsci.org/

welcome.shtml (2005年4月11日現在)
Institute for Systems Biology,
Seattle : www.systemsbiology.org

(2005年4月11日現在)
Alliance for Cellular Signaling,
www.cellularsignaling.org (2005
年4月11日現在)

Cell Systems Initiative, Seattle :
<http://csi.washington.edu/about/>
(2005年4月11日現在)

執筆者



ライフサイエンス・医療ユニット

伊藤 裕子

科学技術動向研究センター

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>



薬学博士。ヒト染色体の構造・機能などの研究に従事。現在の専門は科学技術政策。ライフサイエンス分野の先端科学のリスクとベネフィット、競争的研究資金制度、科学技術政策のアウトカム分析に関心がある。

（サービス記述と知識処理を行う セマンティックウェブ関連技術）

藤井章博
情報通信ユニット

1 はじめに

「ウェブサービス」は、ウェブ上に蓄積された文書データを複合的に連携させて、利用者には何らかの情報サービスを提供する技術である。また、「セマンティックウェブ」とは、「意味（セマンティック）」を取り扱う技術で、狭義には国際標準化団体である W3C の定める情報共有のための文書公開手段に係る規格であり、広義には公開文書のオントロジーなど「意味」を取り扱う技術を指す。こうした技術を利用することによって、インターネットを介した「知識の共有」など高度な情報処理環境が実現できる可能性がある。現在のウェブ関連技術の潮流は、より高度な知識処理を実施し、多様なサービスの実現に応用できる環境が整備されつつある。

この技術は、近年急速に標準化が進展し、産業技術としても重要性が増している。ウェブサービスという名称で示される技術体系は幅があるが、本稿では特に、「セマンティックウェブ」の技術動向を中心に紹介する。セマンティックウェブが目的とする「知識処理」は、科学技術研究のいくつかの領域でその必要性が急速に高まっており、この技術領域における一つの先進的な要素技術である。具体的には、バイオインフォマティクス分野に代表されるように、研究成果を蓄積した膨大な量のデータベースから次の研究指針を導き出すような機能を提供する技術としてその重要性が増している。

まず、2では、知識処理が視野に入った情報流通技術の潮流につ

いて説明する。すなわち、最近のウェブ技術の進展が情報流通を効率的に実現することによって、ビジネス上のサービスの高度化や学術研究分野での情報活用に新しい可能性を生み出している状況を述べる。

3では、ウェブサービス関連技術の中で特に、知識処理を指向して「オントロジー」を利用する「セマンティックウェブ」技術の概要を説明する。この技術は、現在国際的な標準化が進められおり、この体系を利用した科学技術研究が盛んになっている。4では、最近開かれたセマンティックウェブについての重要な国際会議の研究発表を中心に研究動向の概説および研究振興のあり方を述べる。5はむすびである。

2 ウェブサービス技術に関する技術の潮流

まずウェブサービス関連技術のこれまでの進展を概観する。つぎに、インターネットを介したサービスが、理想的にはどのような形態を目指しているのか、具体的な例で説明する。そのうえで、ウェブサービスによってもたらされる利点について検討する。

2 - 1

ウェブによるサービスの提供という潮流

インターネット上での公開情報を取り扱う技術は、これまでいくつかの段階を経て進化してきた。まず、90年代の初頭に電子メールが一般に利用されるようになったことに加えて、HTML (HyperText

Markup Language) によって書式を整えた電子文書の公開、すなわち WWW (ワールドワイドウェブ) が登場した。この HTML 文書の特徴の一つは、他の文書への入り口を示す「ハイパーリンク」を提供することである。しかし、この機能だけでは、公開された文書間の連携をとるという目的のためには不十分である。

そこで、複数の主体によって作

成される電子情報に共通の表現形式を与える機能をもった、XML (eXtensible Markup Language) が登場した。例えば、文書のなかで商品名と価格を表す部分を、XML の機能によってそれぞれ「商品名」「価格」であることを明示することができる。これにより、複数の会社が商品の流通などに関与する場合に、帳票などの関連する文書を電子的に共有できる。さらに、XML は、情報を構造もって蓄積・利用するのに役立つ。構造化されて蓄積される情報は、その2次加工が容易である。これらの技術進化により、情報を蓄積したデータベースは、多様な用途に利用できるようになった。

文書の共有化・構造化と並行して、文書の加工や情報の相互運用に関する環境も整備されていった。例えば、Java というプログラミング言語は、XML に蓄積された情報を加工し、書面に動きのあるダイナミックな文書表示や、遠隔地からの情報入力を行う機能を提供する。すなわち、ウェブの画面上で、豊富な定型書式の文書の運用が行え、そうした文書情報の大規模なデータベースへアクセスする機能が実現された。

2 - 2

理想的なサービスの提供

これらの技術を利用することで、電子的に蓄積された情報や文書の統合的な運用環境が実現できる。特に電子商取引分野では、流通過程の管理に電子的な情報共有が積極的に導入されている。そこで実現されるサービスとは、提供される情報の内容にほかならない。そこで、インターネットが提供することができるサービスすなわち情報は、理想的にはどのようなものとなり得るであろうか。やや空想的であるが以下でその理想形を考えてみよう。

例えば、長期の休暇を取ることができ、旅行に行くことにする。旅行代理店で旅行のプランを相談する状況を思い描いてみよう。旅行プランを作成するための「必須事項」は、まず、どこにいつ行くのかということである。つぎに「制約条件」としては予算などが挙げられる。さらに「好ましい条件」として好きな航空会社や座席の種類などがある。旅行プランの作成と種々の申し込みというサービスを受けるためには、これらの情報を旅行代理店のエージェントに説明することになる。

良いエージェントの条件としてまず重要なのは、利用者とのコミュニケーションが活発であることである。しごく当然のことであるが、エージェントと利用者は、同じ言葉や語彙、用語を共有しなければならない。これは人間同士のコミュニケーションでは、暗黙の前提となっている。つぎに、利用者の好みを知った上での「提案」ができなければならない。これが実現できるためには、「お薦め情報の提供」といった一方的な情報提供に留まらず、利用者側の条件を知った上で、例えばクーポン券の利用できるサービスを選択するなど利用者に合致したサービスがありがたい。さらに、利用者の個別の好みなどを記憶し、次のプランの作成に反映できればなお良い。また、利用者が常に見ていなくても必要な作業を自律的に実施

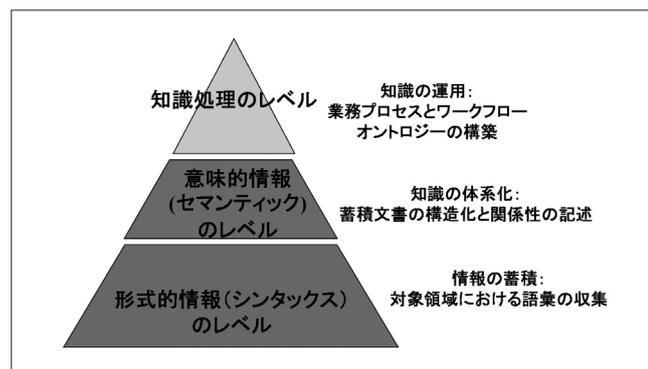
するのが望ましい。ホテルの予約、切符の予約など問い合わせ時間がかかる場合に、利用者に代わって待ち合わせるのである。

すなわち、よい代理人とは、鍵となる情報を収集し、利用者が望むような選択肢を選び、利用者の意向を確認しながら、予約などのサービスを提供してくれる。その際、情報提供者や利用者との語彙の共有や得られている情報に基づいた判断が求められる。

現在、インターネットを介してウェブを通じて提供される情報量は爆発的に増大しており、今後数年で100倍規模の増大が予想されている。情報検索によって、「ヒット」する情報は膨大となりその絞込みに必要な労力が膨大となることは目に見えている。そうなること、現在のように統計学的な操作によって検索情報の順位を定める一般的な情報検索エンジンでは、満足できる情報検索結果が得られないという問題が生じてくる。せっかく有用な情報がネット上に存在しても、それにたどり着けないという矛盾が生じるであろう。

ウェブサービスが目指すのは、蓄積される情報の表現形式の差異を吸収し、求められるサービス毎にそれぞれのサービスに合致した表現形式を提供することである。これによって、膨大な情報空間から利用者のニーズに合致したサービスを選択できる。こうした技術が成熟すると、具体的には次のよ

図表1 セマンティックウェブによる知識処理の概念図



科学技術動向研究センターにて作成

うなウェブサービスが提供できる
といわれている。

- ① IT 技術に弱い人に優しい情報入出力のための環境が実現する
- ② 巨大な分散型の知識データベースとしてインターネットの世界が利用できる
- ③ 本来別々の目的で構築されたデータを統合して、新しいサービスが生まれる

これらの特徴は、デジタルデバイドへの対処、高齢化社会への対応、生涯学習の支援、多種多様な情報端末とロボットなどの制御、といった機能の提供に役立ち、我々の日常生活に密接した支援に結びつくはずである。

2 - 3

セマンティックウェブ技術の全体像

図表1は、こうした高度なサービスの提供を実現するための技術の全体像を概念的にあらわしたものである。体系を3つ階層で表現すると、下位層から①形式的情報のレベル、②意味的情報のレベル、③知識処理のレベル、で表される。ソフトウェアの体系を階層的

に記述する場合は次の2点に留意する。第一に、上位の階層はその一つ下の階層の機能を利用して自分の階層に求められている機能を実現するという点である。第二に、異なる階層の間では機能の定義は独立に行われるということである。すなわち、XML等によって構築されたデータベースの機能を利用して「セマンティック」の世界が記述され、それにもとづいて知識処理が実現されるのである。

知識処理に基づくサービスは、最上位の形式的情報レベルで、「オントロジー」と呼ばれる語彙の体系を構築すること、およびそれらの間の関係を規定するサービスの記述によって実現される。現実には、これらの階層は、より細分化された階層に分けられ、標準技術としてその仕様が規定されている。詳細化した階層は、「レイヤケーキ」と呼ばれるもので、以下3でより詳しく解説する。

2 - 4

注目される科学技術領域におけるウェブサービスの可能性

いま「サービス」に関する科学がイノベーション政策の観点からも重要であるという指摘がある。

特にITの技術進化の方向として、サービスを指向することは重要であると考えられている¹⁾。

例えば、科学技術政策研究所が実施している技術予測調査を取り上げてみよう。科学技術全体の中で、今後10年程度を視野に入れた上で、重要であると考えられる130の「注目科学技術領域」を抽出した。この領域の内容を検討すると、多数の領域でウェブサービスのような大規模な情報検索機能の存在が技術領域の実現にとって有効であるか、あるいはその存在を前提としている。

調査の対象分野の情報通信分野では、「人間の知能支援」に関する領域が将来にこの技術に該当し、同じく、ライフサイエンス分野では、「テーラーメイド医療」や「バイオメトリックによる個人認証」などの技術課題がウェブサービスが有効に寄与しそうな課題である。

欧州で最近行われた科学技術予測調査でも、サービス指向が情報技術の進化において重要であるという指摘が、識者による検討の結果として読み取れる¹⁰⁾。すなわち、ウェブサービス関連技術は、単に情報技術分野内の技術進化に留まらず、他の分野・領域との融合のあり方を具体的に議論することが求められる技術分野である。

3 セマンティックウェブ技術の体系

ウェブサービスを実現するために技術体系は、主要なものとして、「セマンティックウェブ」と後述する「UDDI」が存在する。まず以下では、前者を主に説明する。その技術の中心的な役割を担う「オントロジー」、知識処理の基本となるRDFと呼ばれる言語の概要およびサービス提供のモデルについて解説する。後にUDDIとの関係について説明する。

3 - 1

オントロジーに基づく連携

実用に供することが出来る規模のデータベースに対して、代理人の例で述べたような高度な情報検索機能を実現するには、以下で述べる「オントロジー」の構築がもっとも重要な課題となる。

オントロジーとは、語彙の体系を現す人工知能分野の専門用語で

ある。例えば、「ニュートン力学」という語彙について検索するとする。検索のために普通に採られる手法は、語彙を表現する文字データの一致／不一致の判定に過ぎない。オントロジーを利用して、より進んだ情報検索を実現するということは、例えば、「ニュートン力学」に対して、その「物理学」との関係や同じ物理学に属する別の知識である「相対性理論」との関係を利用するというこ

る。この関係性の記述には、「論理式」と呼ばれる一定のルールに基づいた情報の蓄積が必要となる。すなわち、オントロジーに基づく知識処理とは、こうして蓄積された体系を利用して、多様な問い合わせに対して回答を得られるシステムを構築することになる。

3 - 2

レイヤケーキ

セマンティックウェブでは、これまで説明したように情報の蓄積と利用は構造化されて行われる。図表2に示す「レイヤケーキ」と呼ばれる体系は、この構造化を規定するものである。この階層構造は、現在まで下位層から順次仕様が定められ、現在5番目のオント

ロジー層まで固まっている。この技術体系に関する国際的は、W3C (World Wide Web コンソーシアム) と呼ばれる標準化団体によって検討されてきた¹¹⁾。

ウェブで取り扱われる情報は、基本的にはテキストとグラフィックスなどの情報であり、「シンタックス」に属するレベルの情報である。これらの情報は表示のための構文によって記述されている。構文として広く利用されているのが、HTML や XML である。

さらに、「セマンティック」を取り扱うために、後述する RDF と呼ばれる階層を設けている。これは、一定のルールに基づいた知識の体系が記述される。RDF については後述する。

さらにその上位に位置するの

が「オントロジー層」である。この層では、注目する知識体系を RDF によって集積された語彙とそれらに対するルールの体系として構築する。以下で解説するゲノムなどの応用分野は、こうして構築されたオントロジーとその利用システムの事例である。

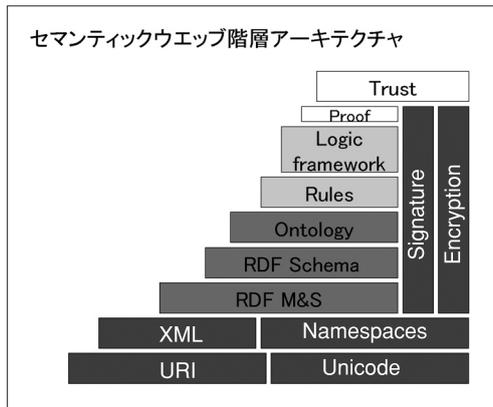
3 - 3

RDF (Resource Definition Framework)

ここで簡単に「知識の記述」の例を説明する。図表3に示すのは、RDF グラフと呼ばれる三項組みの構文である。RDF は、Resource Definition Framework の略で知識体系の定義を行うのに使われる。知識の断片は、主語 (Subject)、述語 (Predicate)、目的語 (Object) の三つの部分から構成される文法によって記述される。この構造を記述する方法が幾つか存在する。

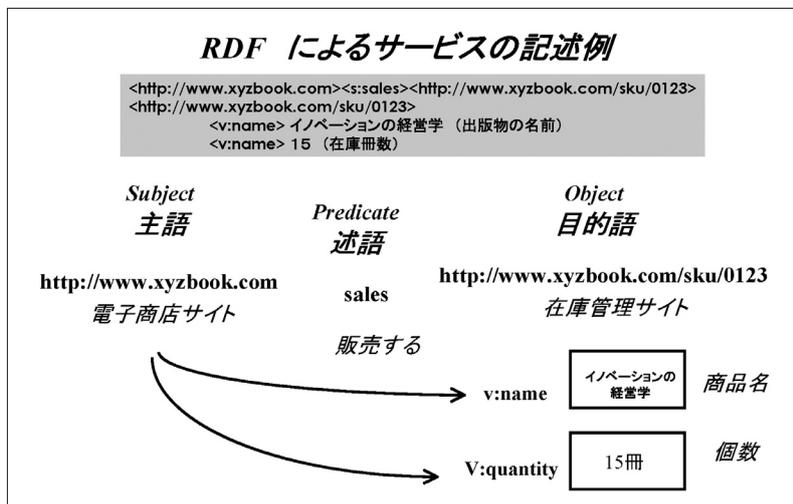
図表に示した例では、書籍の電子店舗の例である。まず、主語で示された書籍の集合が存在する。これは、例えば、店舗における商品の陳列を表す。述語に相当する部分では、陳列されている商品の「在庫情報」をもとに「販売(sales)」を実施するというルールが規定されている。そこで、述語で示されたウェブページに記述されているのは、個別の書籍データの属性となる目的語として、「イノベーションの経営学」という書籍名と「15冊」という在庫数が参照できることを表している。この例は、小売店と卸業者が別々のデータベースを持って商品を管理している状況を表している。この例は、電子商店にとって、「在庫品の引き当て」というサービスをセマンティックウェブの機能を利用して実現したことを表している。

図表2 レイヤケーキ



文献¹¹⁾を参照し科学技術動向研究センターにて作成

図表3 オントロジー構築のためのロジック



科学技術動向研究センターにて作成

3 - 4

サービス提供のモデル

ウェブによるサービスの提供は、単純に情報提供者とその利用者の二者間だけで成り立つのではない。たとえば、ある分野の商品に関する在庫情報などサービスに結びつく情報の提供者は、販売を生業とする事業者と異なる可能性がある。この場合消費者により高度なサービスが提供されるためには、この情報が一定のルールの上で共有される必要がある。在庫情報であれば、販売以外の目的は想定しにくい。が、学術研究のデータは、利用形態があらかじめ特定されていない場合もありうるため、サービス内容の広がり期待できる。

すなわち、ウェブサービスでは、データを提供するもの、サービスを提供するもの、サービスを利用するもの、の三者が独立した主体でありうる。このため、何らかのサービスを販売する「サービス・ブローカ」というというビジネスが成り立つ可能性がある。図表4はこれらの関係を概念的に表現したものである。

現在、電子商取引を推進する立

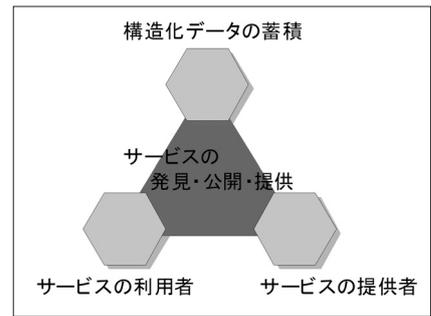
場の技術者は、こうした構造によって、ビジネス上の多様なサービスが効率的に提供できると考えている。同様に、学術研究の分野でも、ある研究分野で別々の目的を持って蓄積された大規模な情報データベースから新しい学術的知見を導き出すという作業をコンピュータが支援することが考えられる。

3 - 5

関連する技術体系

セマンティックウェブに関しては、W3Cが世界的な標準を規定しており¹⁾、周辺の技術仕様とともに勧告が公開されている。セマンティックウェブの規格による体系と共存する形で、UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) と呼ばれる規格が存在する⁹⁾。この体系は、2000年に発足したオアシス・コンソーシアムによって規定されている。この規約は、まず「ビジネスレジストリ」と呼ばれるデータベースに格納するデータの構造を定義する部分 (UDDI Data Structure Reference)、つぎにデータを利用するアプリケーションを作成するためのアプリケーションプログラミングインターフェース (UDDI

図表4 サービスブローカ概念図



科学技術動向研究センターにて作成

Prorammer's API) からなる。プログラマは、このインターフェースの部分にサービス内容に関連するソフトウェアを開発することになる。UDDIは、特に電子商取引の分野において、ウェブによる高度なサービスの提供を目指している。UDDIの規格のもとでは、オントロジーのレベルを規定していない。つまり、サービスの「意味」については、UDDIの体系では自然言語による記述に託されているということである。

やはりこの技術体系でも、データ提供とそのデータに基づくサービスは独立していること、さらに、サービスの構築はそれ自体が一つのビジネスとして成立しうることを想定している。こうした考え方は、ウェブサービス技術全体に共通の特徴である。

4 セマンティックウェブに関する研究動向

以下では、セマンティックウェブ技術の研究とこの技術を他分野の研究に応用する研究をそれぞれ紹介し、研究振興について考察する。

4 - 1

セマンティックウェブの理論的研究

理論的な研究として、幾つかの課題を分け、その動向を簡単に述べる。つぎに、応用分野へ適用す

る研究の事例として「バイオインフォマティクス」分野の応用事例を取り上げる。さらに、国内で公的資金によって現在実施されている研究プロジェクトを簡単に紹介する。

(1) 意味的統合

セマンティックウェブでは、共通の領域に関して複数のオントロジーが作成される場合がある。例えば長年にわたって、複数の研究所で蓄積されてきた文献データ

ベースを統合して運用する場合にこうした状況が生じる。この場合、オントロジー間の対応関係を構築するといったことなど、複数の「セマンティック」の統合技術が重要である。オントロジー間の対応の取り方、大局的なオントロジーと局所的なオントロジーがある場合の対応の取り方、などの研究が重要である。これらの研究は、人工知能分野のデータベース分野におけるデータ統合研究の発展形と位置づけられている。

(2)記述論理に基づく推論系

オントロジーを記述するためには、「論理式」を構成することになる。これは「述語論理」と呼ばれる文法を利用して実現される。オントロジーを記述する言語は、OWL (Web Ontology Writing Language: オントロジー言語) と呼ばれ、W3Cによって標準化が進んでいる。述語論理によって知識体系を記述することは、「AならばBである」といった関係の集合を構築することに対応している。こうして作られた集合がデータベースとして、セマンティックウェブにおける知識処理の基本となる。

述語論理を利用した知識処理は、「AならばBである」「BならばCである」…という断片的な知識の集合から、「AならばZであるか?」といった問い合わせに対して回答を出力する、という形で実現される。こうした操作は推論機構と呼ばれる。つまり、対象となる知識領域のオントロジーデータベースを構築した上で、OWLを利用した推論機能を領域毎に効果的に実現するための研究がセマンティックウェブでは重要である。

(3)サービスの発見・連携・実行

必要とするサービスをネット上で発見し、サービスの提供を受けられるまでの過程は、利用者が何らかのキーワードによってネット上のサービスを検索し処理を実行することである。このことは、インターネットの検索エンジンにキーワードを記入し、関連するホームページを見つけるという行為を発展させた状況といえる。このとき、要求されるサービスの記述は一定の構造をもつデータである。そこで、求めるサービスが、サービスを提供する側の記述と合致するかどうかの判定方法やその効率など

が研究の対象となっている。

問い合わせの方式の具体的な各種のアプリケーションへの適用やベンチマークなどを進めている研究が行われている。また、推論エンジンを用いて、サービスの組み合わせを動的に構成する試みもある。例えば、サービスに付けられサービスの内容を説明するメタデータ間の関係を判定するアルゴリズムの研究がこれにあたる。他にサービス条件の比較や、文法レベルの比較を併用するものもある。

4 - 2

応用研究事例

(1) eScience

米国メリーランド大学のHendlerらは、セマンティックウェブを用いて、グリッド型のコンピュータシステム上で多様な科学的領域における問題解決を行う研究を「eScience」と呼び、新しい研究の方向を提唱している。念のため、ここで取り上げる「eScience」は、英国で実施中の科学とコンピュータについてのプロジェクトとは別である⁷⁾。

グリッドコンピューティングとは、汎用のCPUを多数接続し、計算処理を並列的に実行する考え方である。例えば、ある結晶の特性を予想する際、研究者は化学物質の構造を既存のデータベースで調べる必要が生じる。グリッドコンピューティングは、大規模なデータベースの検索とその上での比較的軽い推論処理を実施することに非常に適している。このため、グリッドコンピューティングは、セマンティックウェブにおける処理のためのエンジンとして有望であると考えられている。

一方、専門知識に関するデータベースというものは、従来からの蓄積があるが、これらは必ずしも統一的に構築されてきたわけではない。そうしたデータベースの

データ形式や操作手順は様々である。すなわち、データの規模、サービスを提供するために必要な計算量、他の操作との協調の方法などがデータベース毎に異なる。そこで、「相互運用性」を提供する機能が必要である。数値シミュレーションなどの結果をセマンティックウェブによって記述し、その結果を利用するようなサービスの提供を実施するプラットフォームの構築が重要である。

eScienceでは、幾つかの具体的な科学技術データベースに関して、セマンティックウェブ技術を導入し、共通の情報基盤を構築することを試みている。既存の情報の断片的部分から、研究者が望む知識を取り出すためには、多岐に亘るデータベースを通じて共通のセマンティックスが規定されなければならない。これによって、幅広い領域にまたがる科学技術研究のためのサービスが提供できるとしている。

(2) バイオインフォマティクス分野における応用事例

バイオインフォマティクス分野でのセマンティックウェブの応用事例としては、myGrid、MBOY-Service、Semantic-MBOYという三つの「GO:ゲノム・オントロジー」がその代表例である。これらのGOは、データ同士の関係から生体内で起こっている多種の反応経路（例えば、代謝経路など）に関するネットワーク関係を導出するシステムである。

生体内には、多種多様な物質の反応経路が存在し、それらが更にネットワークをもつという複雑な制御が行われていると考えられる。実際、研究により現在約17,000項目の、反応に関するルートが蓄積されている。この反応経路は「パスウェイ」と呼ばれるシグナル伝達経路である。GOに基づくシステムは、パスウェイを文

献から効果的に検索するためのツールといえる。これを用いることで、数100万の化学反応の中から、着目している効果に有効な塩基対や蛋白質に関するルールを検索することができる。

これらの研究プロジェクトで共通に検討されている機能は、自動的な情報サービス、構造化されたメッセージの提供とミドルウェアの存在、情報サービス結果の表示とそのためインターフェースのあり方、利用者の個別の要求に合致させるための方策、複雑なオントロジーの構築などである。

(3)国内の研究事例

以下は、人工知能学会の研究発表に基づいて調査した、国内における科学技術分野のオントロジー構築の事例である。2つの事例を簡単に紹介する。

大阪大学の産業科学研究所では、ナノテク材料技術に関する知識の構造化を目指して、オントロジーの構築とその利用が行われている。ナノテク分野の研究では、既存の幾つかの研究領域が幅広く関与するものである。そこで、複数の分野を横断した共通概念の提供を目指して、『概念レベル』のインターフェースの実現を目標としている。現在具体的には、特許情報などの分析により知識の体系化を進めている。

また、ゲノム総合科学研究センターでは、薬のもつ分子レベルでの反応経路(パスウェイ)の知識ベースを構築している。まず、個別の物質間の相互作用をRDFの枠組みにより「薬物」、「生体物質」「相互作用によって生成される出力」3項関係で記述する。このようにして蓄積された関係のデータベース上に、薬機能に関するオントロジーを実装する。相互作用の組み合わせに関する基本的なルールを設定し、データベース上で推

図表5 国内のセマンティックウェブ研究プロジェクトの例

研究内容	研究者の所属機関
ナノテク材料技術の知識構造化	大阪大学 産業科学研究所
宇宙システムの開発・運用支援	宇宙航空研究開発機構、大阪大学
バイオロジーにおける知識体系化	産業技術総合研究所 生命情報科学研究センター
薬機能	理化学研究所 ゲノム総合科学研究センター

科学技術動向研究センターにて作成

論機能を実現する。これによって薬物に関する相互作用の関係に対する効果的な問い合わせが実現できる。研究者は、これを利用して、絞り込まれた相互作用から反応経路を推定することで新たな反応経路を発見できる。

(4)バイオインフォマティクス分野での、セマンティックウェブ研究の意義

バイオインフォマティクス分野でのある研究発表によると、彼らが行ったセマンティックウェブの応用という研究活動から、一般的な知見として次のようなことが言えるとしている。

まず、分野固有の知識体系に関するオントロジーの構築は、非常に困難な作業である。特に、すでにデータベース資産が存在しているような場合に、既存のデータ形式との整合性などを考慮する必要がありさらに困難となる。そこで、この分野の研究には、多くの人材の投入と時間が掛かると述べている。また、セマンティックウェブの利用者が、その求めるサービスをセマンティックウェブの文法で記述しその表記法を通じて、提供されるサービスを発見するという方策は、他の多くの領域に応用できる可能性があり期待される。セマンティックウェブの先駆的な研究事例としてバイオインフォマティクス分野が代表的である。大規模なデータベースを利用して知識処理を伴う検索機能を導入することは、今後他の専門領域に波及し

ていくと思われる。このため、バイオインフォマティクス分野で培われた研究手法は、各種の専門的なデータベースの研究に関して波及効果が期待できるといえよう。

4 - 3

研究振興のあり方

セマンティックウェブ関連技術の研究で最も重要な国際会議の一つであるISWC2004(The 3rd International Semantic Web Conference, 2004)が昨年11月に広島で開催された。参加者は、総勢450名の参加者の内、海外からの参加が300名を越え、日本国内で開催される国際会議としてはめずらしく国際色が豊かであった。発表された論文の質はどれも高く、20代と思しき研究者の発表が印象深かった。

この会議で基調講演を行ったのは、人工知能の父と呼ばれ、1994年のチューリング賞受賞者であるスタンフォード大学のFeigenbaum教授である。教授の講演では、この分野の研究振興のあり方が明確に示された。教授の言葉を借りると、セマンティックウェブ研究のあり方に関するメッセージとして、「Give me something working!」と強く述べていた。オントロジーの構築と運用・管理に見られるように、セマンティックウェブ研究では、高度な人工知能研究の成果が応用される。教授のメッセージは、ともすると言語モデルなど理論的な研究

に終始しがちなこの研究分野において、実践的応用の重要性を主張したものと思われる。単に実践的な応用の重要性のみを主張しているのではなく、「理論と実践の間の螺旋的な進展を期待する」と補足している。

いま仮に、研究の推進体制をディシプリン型とミッション型に分けて考えてみると、前者は既存の学会活動のなかで自発的に行われるもので、後者は何らかのトップマネージメントが介在し、プロジェクトの推進の中で、既存の専門性の枠を超えて行われるといえよう。教授という螺旋的な進展には、ミッション型のプロジェクトの設定が必要であろう。

例えば、セマンティックウェブの有効性を知らしめる実証実験の事例として、Semantic Web Challenge とよばれる応用システムのコンペが国際的に行われている⁸⁾。これは、セマンティックウェブ技術への一般社会の理解を高めるとともに、研究者の研究活動を刺激してより高い目標設定を促すといった目的で、いくつかの学

会の支援のもとで研究者有志が実施しているコンペである。

開始された2003年度は、10プロジェクトの参加があり、優勝は、英国 University of Southampton の CS AKTive Space と呼ばれるアプリケーションであった。これは、英国のコンピュータ科学研究者を検索するシステムである。2004年のコンペに対しては、12月現在で、18のプロジェクトが参加している。日本からの参加は、2003年の国立情報学研究所からの「Semblog」1件である。今後こうしたプロジェクトに対する、我が国の大学からの積極的な参加が望まれる。

もう一度 Feigenbaum 教授の言葉を借りると、応用分野との接点が重要なこの分野の研究上の進展のためには、研究計画の立案にあたって、研究の「道筋 (path)」の設定が重要である。例えば、教授は、ロボットチームによるサッカー競技を例にあげて道筋の説明をした。こうした競技会を設定することは、当初は研究者の失笑を買ったのかもしれないが、引

き続き実施されていくに従って、「分散人工知能」分野における研究上の蓄積が着実に達成されてきたと説明している。一方、反対の例としてある種のパターン認識の研究を道筋が行き詰った例として挙げた。認識精度のみをコンマ数%のオーダーで追求することは、処理能力が向上した現在では研究上の意義が乏しいと説明した。

知識処理に関する日本の学界活動のレベルは、大きなプロジェクトが推進された80年代の人工知能研究のブーム以来、決して低くないと考えられる。しかし多くの研究活動が、ディシプリン型で実施されているように見受けられる。今後のこの分野の振興には、教授のメッセージにもあるような、ミッションを明確にした、分野融合研究のマネージメントが求められていると考える。すなわち、螺旋的な道筋の先に、理論的にも応用的にも意義のある成果がもたらされるような環境設定・目標設定が重要性であると考えられる。

5 むすび

本稿で特に、セマンティックウェブ技術に着目した理由は、この技術のもつサービス指向という性格が、今後のITの技術進化の方向のみならず多くの科学技術領域の融合研究テーマとして重要であると考えられるからである。

現在、第3期基本計画の実施に向けた検討が盛んである。情報通信技術分野は、引き続き科学技術政策上の重点分野の一つとみなされており、特に他分野との融合領域において、多くの重要な技術開発課題が認識されている。

融合領域の研究を振興するにあたっては、「道筋」を意識したミ

ッション型のマネージメントが重要であり、セマンティックウェブ研究には将にこうしたマネージメントが求められている。

参考文献

- 1) National Innovation Initiative “Innovate America : Thriving in a World of Challenges and Change”, Dec. 2004
- 2) 赤植淳一、和泉憲明、川村隆浩、武田英明「ISWC2003に見るセマンティックウェブ研究動向」人工知能学会研究会資料、SIG-SW&ONT - A302 - 10
- 3) 財情報処理相互運用技術協会「セ

マンティックウェブ技術の調査研究報告書」、平成15年3月

- 4) 萩野達也、「セマンティックウェブとは」情報処理、Vol.43、No.7、2002年7月
- 5) 清野正樹、「セマンティックウェブとオントロジー記述言語」同上
- 6) Sheila A. McIlrith, Dimitris Plexousakis, Frank van Harmelen (Eds.), “The Semantic Web - ISWC2004”, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Nov. 2004
- 7) D. De Roure, Y. Gil, J. Hendler, “E-Science”, IEEE Intelligent

- Systems, 19(1): pp.24 - 25, 2004
- 8) セマンティック・ウェブ・チャレンジのサイト：
<http://challenge.semanticweb.org/>
- 9) オアシス・コンソーシアムのUDDI標準化サイト：
<http://www.uddi.org/>
- 10) 欧州の情報通信技術に関する予測調査プロジェクト：
<http://fistera.jrc.es/>
- 11) セマンティックウェブに関する標準化サイト：
<http://www.w3.org/2001/sw/>
- 12) Tim Berners-Lee, James Hendler
“Publishing on the semantic web” Nature,410, 1023 - 1024 (26 Apr 2001)
-

執筆者



情報通信ユニット

藤井 章博

科学技術動向研究センター

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>



工学博士。分散コンピューティングと通信プロトコルの研究に従事した後、電子商取引システムの構築プロジェクトを実施。現在、情報通信技術のイノベーションが経営や政策に与える影響に興味を持つ。

昨年度特集一覧

科学技術動向 2004年4月号 (No.37) ~ 2005年3月号 (No.48) に掲載した 34 本の特集です。
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。

ライフサイエンス分野

- ▶ 感染症研究の現状と方向性 —分子レベルの感染・発症メカニズムの解明に向けて—: 島田純子 (2004年4月、No.37)
- ▶ 人クローン胚の作成と利用 —治療的クローン (therapeutic cloning) をめぐる現状—: 牧山康志 (2004年5月、No.38)
- ▶ 遺伝子サイレンシング研究の動向: 伊藤裕子 (2004年6月、No.39)
- ▶ 心の科学としての認知科学: 石井加代子 (2004年7月、No.40)
- ▶ 読み書きのみの学習困難 (ディスレキシア) への対応策: 石井加代子 (2004年12月、No.45)
- ▶ 創薬科学者・技術者の育成と現状: 梶本哲也 (2005年1月、No.46)
- ▶ 食物アレルギー研究の動向: 島田純子、矢野裕之、水町功子 (2005年2月、No.47)

情報通信分野

- ▶ 計算機科学の研究動向と日本の課題 —国際級学術賞から—: 藤井章博 (2004年4月、No.37)
- ▶ 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—: 立野公男 (2004年5月、No.38)
- ▶ “知的コンピューティング” に向けた研究動向 —認知科学と人工知能の複合領域研究の推進—: 亘理誠夫 (2004年5月、No.38)
- ▶ 情報処理教育カリキュラムの動向と課題: 藤井章博 (2004年6月、No.39)
- ▶ 平面ディスプレイ技術の研究開発動向: 小松裕司 (2004年8月、No.41)
- ▶ 二つの合理性と日本のソフトウェア工学: 林晋、黒川利明 (2004年9月、No.42)
- ▶ 個人に着目した健康増進活動を支援する情報システム: 刀川真 (2004年10月、No.43)
- ▶ 周波数共用をめぐる技術と政策の動向: 山田肇、藤井章博 (2004年11月、No.44)
- ▶ 光通信技術と産業の動向と今後の進め方への提言 —シーズとニーズの融合を目指して—: 立野公男 (2004年12月、No.45)
- ▶ エレクトロニクスへのナノテクノロジーの応用 —検討が進むシリコン LSI への適用例から—: 小松裕司、小笠原敦 (2005年1月、No.46)
- ▶ 米国政府の高性能コンピューティングへの取り組み: 野村稔 (2005年2月、No.47)
- ▶ LSI 設計技術の研究開発動向 —電子機器の付加価値を支配するシステム LSI 開発のボトルネック—: 小松裕司、野村稔 (2005年3月、No.48)

環境・エネルギー分野

- ▶ 世界をリードする日本型ゼロエミッション・システムの動向 —素材型産業を中核とする循環の形成—: 大迫政浩、吉川邦夫、浦島邦子 (2004年6月、No.39)
- ▶ エネルギー・環境分野における日中技術協力動向と今後の展望 —地球環境問題とエネルギー安全保障の観点から—: 大平竜也 (2004年7月、No.40)
- ▶ オゾン層の現状とオゾン層研究: 中根英昭 (2004年10月、No.43)
- ▶ 石炭利用・クリーン化技術の最新動向と今後の展望 —クリーンコールテクノロジーに注目して—: 大平竜也 (2004年11月、No.44)
- ▶ 米国における大気中微小粒子・ナノ粒子の健康影響に関する研究戦略 —我が国との比較—: 新田裕史、浦島邦子 (2004年12月、No.45)
- ▶ 消防防災に関する科学技術動向 —安心・安全を目指す科学技術の特性と方向性の考察—: 松原美之、浦島邦子 (2005年3月、No.48)

ナノテク・材料分野

- ▶ 構造物保全技術とリスクベースメンテナンス (RBM): 木原重光 (2004年6月、No.39)
- ▶ 材料データベースの課題と将来展望 —世界で使われる材料データベースを目指して—: 八木晃一 (2004年9月、No.42)

フロンティア分野

- ▶ 急速に発展する中国の宇宙開発: 辻野照久 (2004年7月、No.40)
- ▶ 宇宙環境観測・変動監視の研究動向: 辻野照久 (2004年10月、No.43)
- ▶ ユビキタス測位における準天頂衛星の有効性: 辻野照久 (2005年1月、No.46)

社会基盤分野

- ▶ 実大三次元震動破壊実験施設 (E-ディフェンス) について: 菅沼克敏 (2004年8月、No.41)

科学技術政策分野

- ▶ 米国の科学技術政策動向 —AAAS 科学技術政策年次フォーラム速報—: 伊神正貴 (2004年5月、No.38)
- ▶ 科学研究と知的財産の公益性 —「研究利用における特許権の効力の及ばない範囲の現況」について AAAS からの寄稿紹介—: 島田純子、亘理誠夫 (2004年8月、No.41)
- ▶ 科学技術政策をめぐる米国の科学者たち: 浦島邦子 (2004年12月、No.45)

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

4 2005
No.49

Science & Technology Foresight Center

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

今月号より紙面を一新いたしました。読者の皆様へのアンケートや聞き取りによりいただいた多数の貴重なご意見に基づき構成やデザインを検討させていただきました。

内容につきましても一層の充実を図り、わかりやすく、役立つ科学技術動向を目指します。ご期待ください。

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

NISTEP

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2005年4月