

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ト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

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、生命科学を発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予算の増額計画による。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年間は緩やかな

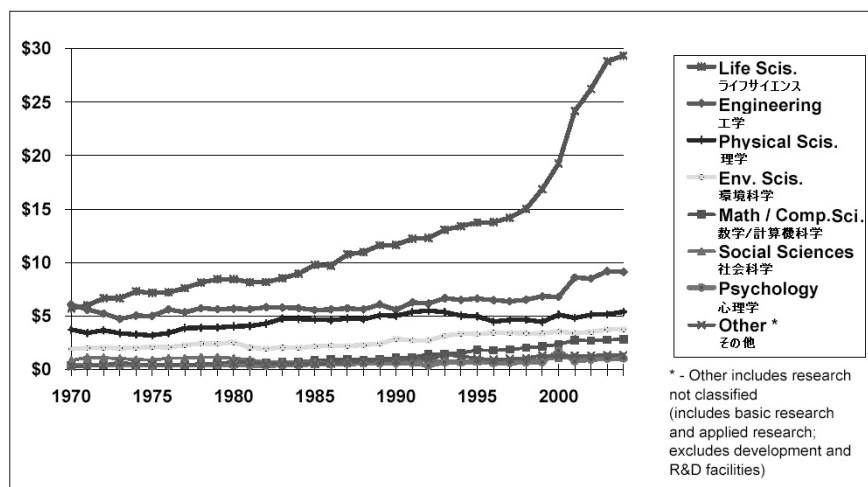
増額傾向にあり、環境科学研究予算に迫ってきている⁵⁾。

2 - 2

米国政府の数学関連の研究資金支援 (Funding)

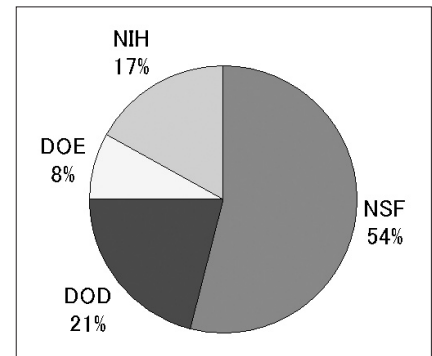
米国政府支援の数学関連の研究資金(funding)は合計で約3億7,500万ドルである⁶⁾。その半分以上を全米科学財団(NSF)が行い、残りは国防総省(DOD)、国立衛生研究所(NIH)、エネルギー省(DOE)が行っている。また、米国航空宇宙局(NASA)、米国環境保護局(EPA)、商務省の国立標準技術研究所(NIST)も少額

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。
 - 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
 - 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⁾。

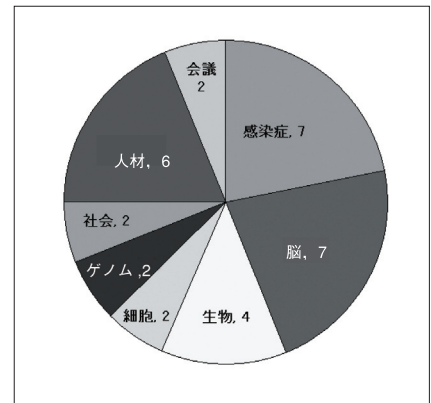
(2) NSF 支援の数学研究費における生命科学関連研究課題の内容分析

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、非局在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。

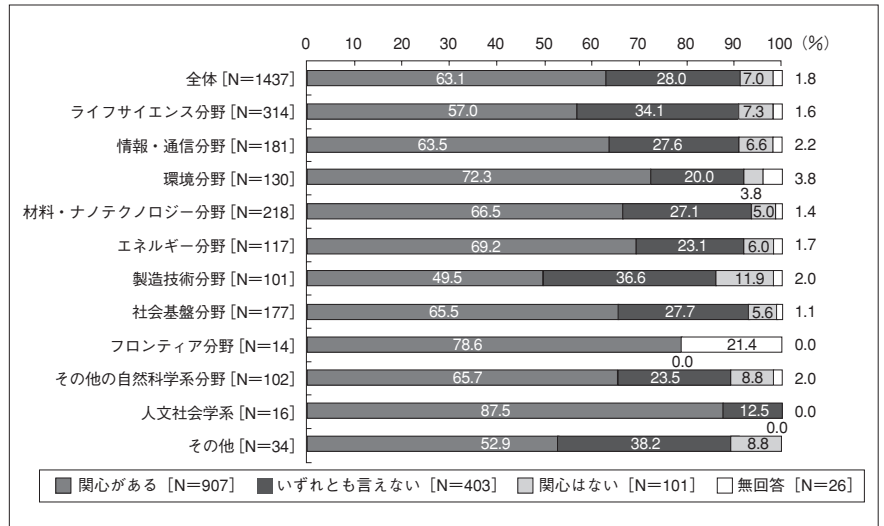
しかし、これらは研究者個人の発想に基づくプロジェクトであり、米国のように公的組織の科学技術政策として数学と生命科学の融合を推進する動きは、日本にはまだ無い。

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。

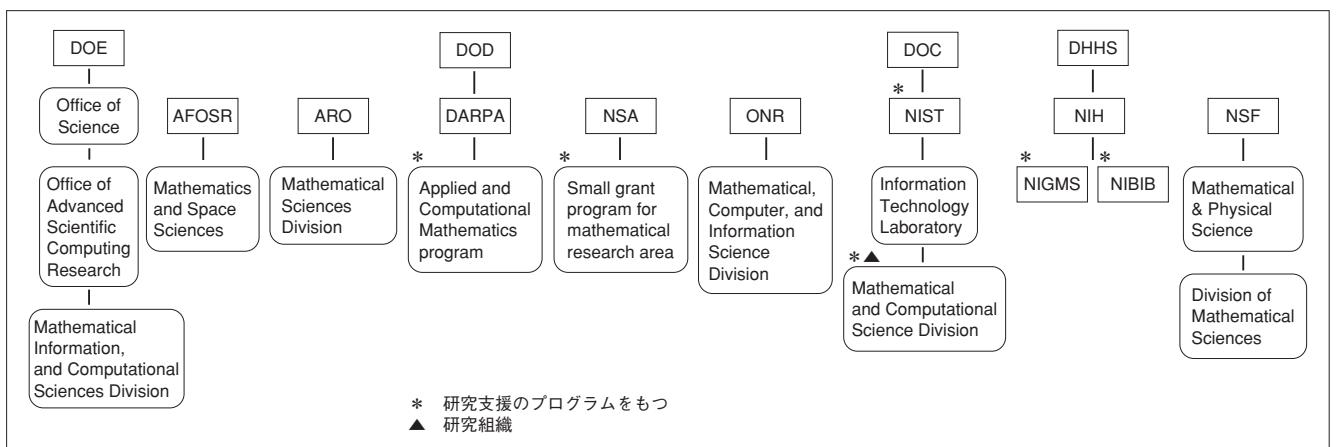
一方、日本では、京都大学の数理解析研究所が唯一の国際レベルの数学研究所である。しかし、数理解析研究所では純粋数学の研究が主に実施されており、結果的に応用数学や数学の境界領域の研究を行うことを目的とした研究機関は、日本には一つもないということになる。従って、応用数学を中心に研究する数学研究所の創設は重要であり、生命科学を含めた様々な分野との境界領域の研究を実施することは、日本の科学技術の将来の発展を促進すると考えられる。

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。

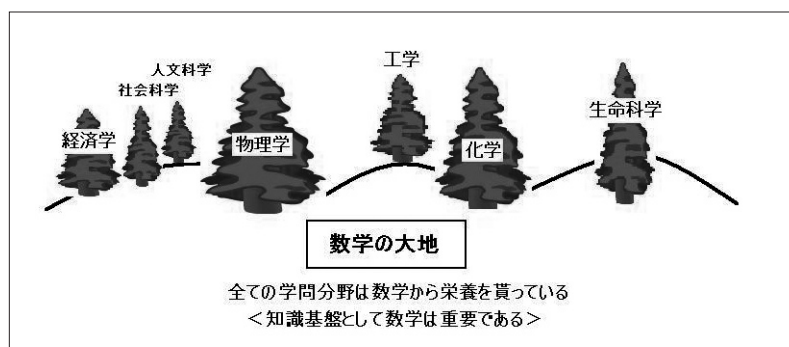
(5) 数学に対する国民の理解の向上

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) 「数学で何が出来るか—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。