

イノベーションの創出のための
数学研究の振興に関する調査

報告書

国立大学法人 北海道大学

平成 20 年 3 月 31 日

目次

イノベーションの創出のための数学研究の振興に関する調査【概要】	4
第 I 部 調査結果	6
第 1 章 はじめに	7
第 2 章 諸外国動向調査結果	8
2.1 調査方法と調査結果の要点	8
2.1.1 調査方法	8
2.1.2 調査結果の要点	9
2.2 代表的な数学研究拠点	12
2.2.1 オーベルボルフファハ数学研究所 (MFO)	12
2.2.2 ミネソタ大学数学・応用研究所 (IMA)	14
2.2.3 アイザック・ニュートン数理科学研究所 (ニュートン研究所)	17
2.2.4 情報工学複雑系数学研究所 (MITACS)	19
2.3 諸外国動向に関するヒアリング調査結果	21
2.3.1 Alejandro Adem 教授 (太平洋数学研究所 (PIMS) 副所長)	22
2.3.2 Jean-Pierre Bourguignon 教授 (フランス高等科学研究所 (IHES) 所長)	23
2.3.3 Danielle Hilhorst 教授 (フランス国立科学研究所 (CNRS) ディレクター / パリ南 大学 (パリ第 11 大学) 教授)	25
2.3.4 Stanisław Janeczko 教授 (ポーランド科学アカデミー数学研究所 (IMPAN) 所長 / ワルシャワ工科大学教授)	27
2.3.5 Hyo Chul Myung 教授 (韓国高等研究所 (KIAS) 所長)	29
2.3.6 William Rundell 教授 (米国 国立科学財団 (NSF) 数理科学課 前課長 / テキサス A&M 大学 教授)	30
2.3.7 Jing Yu (于 靖) 教授 (台湾国立理論科学センター (NCTS) 所長 / 国立清華 大学教授)	31
第 3 章 数学研究に関する情報集積状況調査結果	35
3.1 調査方法と調査結果の要点及び今後とるべき方策	35
3.1.1 調査方法	35
3.1.2 調査結果の要点	35
3.1.3 今後取るべき方策	36
3.2 シェアの高い研究分野	37
3.3 情報発信と学術雑誌	40
3.3.1 国内発行の国際誌	41
3.3.2 学術雑誌の価格高騰に関する問題と解決策	44
3.4 研究分野間の相互関係	45
3.5 引用傾向と数学分野の特徴	46
3.5.1 結果	47
3.6 ヒアリング	47

3.6.1	土屋 俊 氏 (千葉大学文学部教授, 電子ジャーナルタスクフォース)	47
3.6.2	永井 裕子 氏 (日本動物学会事務局長, UniBio Press)	48
3.6.3	Teresa A. Ehling 氏 (ディレクター, Center for Innovative Publishing, Project EUCLID, コーネル大学図書館)	49
3.6.4	鈴木 昌和 氏 (九州大学数理学研究院教授, サイエンスアクセシビリティネット)[7]	50
3.6.5	慶應義塾図書館 (トロント大学図書館との人的交流)	51
3.6.6	高橋 陽一郎 氏 (京都大学数理解析研究所教授, 数学コンソーシアム構想)	51
3.7	SCOAP ³ 報告書要約の抄訳	52
第 4 章	数学研究と他分野等の連携に関する事例調査結果	54
4.1	調査方法と調査結果の要点	54
4.1.1	調査方法	54
4.1.2	調査結果の要点	54
4.2	数学研究と他分野等の連携に関する事例のヒアリング調査	55
4.2.1	甘利 俊一 氏 (理化学研究所 脳科学研究センター センター長)	55
4.2.2	有本 建男 氏 (科学技術振興機構 社会技術研究開発センター長 (兼) 研究開発戦略センター副センター長)	57
4.2.3	池森 俊文 氏 (みずほ第一フィナンシャルテクノロジー 代表取締役)	58
4.2.4	生駒 俊明 氏 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター長)	59
4.2.5	奥村 直樹 氏 (総合科学技術会議 議員)	60
4.2.6	George Kampis 氏 (Eötvös 大学 科学哲学科 学科長)	61
4.2.7	グン・チェンピン 氏 (北海道大学大学院理学研究院生命理学部門教授)	63
4.2.8	二宮 正夫 氏 (岡山光量子科学研究所所長・日本物理学会副会長 (次期会長))	65
4.2.9	宮 健三 氏 (法政大学客員教授, 日本保全学会会長)	66
4.2.10	毛利 哲夫 氏 (北海道大学大学院工学研究科教授)	67
4.2.11	James J. Wright 氏 (Auckland 大学 名誉教授)	69
4.2.12	株式会社日立製作所 関係者	70
4.2.13	新日本製鐵株式会社 関係者	72
4.2.14	東京電力株式会社 関係者	73
4.3	数学の科学技術への歴史上の貢献例	74
4.3.1	数学基礎論における意味論を用いたプログラム導出と検証	76
4.3.2	コンピュータと数学 — 数学によって「限界」に挑む	77
4.3.3	暗号と代数について	78
4.3.4	CT スキャンと逆問題	79
第 5 章	数学研究の振興政策に関する調査結果	82
5.1	調査の方法と調査結果の要点	82
5.1.1	調査方法	82
5.1.2	調査結果の要点	82
5.2	国際シンポジウム「イノベーション創出と数学研究— 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して—」の講演要旨	83
5.2.1	基調講演	83
5.2.2	第 I 部 諸外国における数学研究拠点と数学振興策	83
5.2.3	第 II 部 諸科学のイノベーションの鍵となる数学 大学における実績と可能性	86
5.2.4	第 III 部 産業技術のイノベーションの鍵となる数学 産業界における実績と可能性	88
5.2.5	第 IV 部 我が国の数学界の取り組みの例	90

第 6 章	日本の数学研究者を取り巻く環境に関する調査結果	95
6.1	調査の方法と調査結果の要点	95
6.1.1	調査方法	95
6.1.2	調査結果の要点	95
6.2	日米の大学の就職口数比較	96
6.3	首都圏のある私立大学の例	96
6.4	教員の講義数の分野間比較	97
6.5	国立 22 大学法人数学系教室における研究環境の近況分析	97
第 7 章	結論	102
7.1	現状とその問題点	102
7.2	数学研究と他分野等の連携から成果を生み出すための基本的考え方	102
7.3	諸科学・産業技術のイノベーション創出の鍵となる数学研究振興のための提案	103
第 II 部	参考資料	109
第 8 章	諸外国動向調査参考資料	110
8.1	数学研究所について	110
8.1.1	調査対象候補になった数学研究所リスト	110
8.1.2	韓国高等研究所 (KIAS) のデータ	112
8.1.3	ニュートン研究所 (INI) に関する補足資料	113
8.2	ヒアリング質問項目	114
8.2.1	研究所所長・副所長への質問項目	114
8.2.2	Hilhorst 教授への質問項目	116
第 9 章	数学研究と他分野等の連携に関する事例調査参考資料	117
9.1	ヒアリング質問項目	117
第 10 章	数学研究の振興政策に関する調査参考資料	118
10.1	シンポジウム「イノベーション創出と数学研究 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して」プログラム	118

イノベーションの創出のための数学研究の振興に関する調査【概要】

現状とその問題点

- (1) 数学関連の研究所の「設立ラッシュ」は今も海外で続いている。
- (2) 学際的・分野融合的な研究基盤としての高度な情報サービスを設計かつ実装する主要な母体であるべき大学において、個々の研究環境よりも管理効率を優先することで研究基盤整備が不十分となる傾向にある。
- (3) (i) 分野間コミュニケーションの不足，(ii) 出会いの場の不足，(iii) 時間の不足という「3つの不足」が我が国の数学と諸科学との連携の進行を阻んでいる。
- (4) 数学と諸科学との連携が科学技術の発展にとって、また、数学そのものの深化のためにも重要であるとの認識は、行政・産業界・大学行政人・数学に関連する研究者の間で今までになく広く共有されている。そして、実りある成果を出している連携も少なくない。また、数学と産業界との連携、数学と諸科学との連携に向けての新しい試みがあちこちで始まっている。しかし、全体としてのひとつの方向性をもった大きなうねりを生み出すには至っていない。
- (5) 我が国の場合、外国や他分野研究者と比べて数学研究者の大学内の責務は重い。全般的に責務の量に対応するだけの数学研究者を配置していない大学が多い。

数学研究と他分野との連携から成果を生み出すための基本的考え方

- (1) 他分野の研究者が数学研究者に容易に接触できる場所と時間が必要である。そのために接触の窓口を務める数学研究者が必要である。
- (2) 他分野の研究者と数学研究者が協働する場所においては、固定的なテーマを長い期間、同じメンバーで行うことは避けるべきである。また、数学に「純粋」、「応用」と色をつけて奨励するのは賢明ではない。
- (3) 我が国で数学-他分野連携を進めるには、連携に参加する数学研究者の大学の業務を軽減する工夫が必要である。
- (4) 数学研究者と他分野研究者の間のコミュニケーションは、一種の異文化コミュニケーションであって、話を通じるようになるまでには、長い時間と忍耐を要する。また、すべての分野に開いている垣根の低い研究姿勢と、共通の学問基盤が双方に必要である。そのためにも数学研究者はもっと他分野に興味を持つべきあり、他分野研究者はしっかりした数学の基盤をもつことが必要である。
- (5) 我が国の数学研究者は数学研究の多様性の意義と価値を認め、主要な数学分野全体の振興を引き続き行なうと共に、社会全体に広く理解を求めていく努力が必要である。

諸科学・産業技術のイノベーション創出の鍵となる数学研究振興のための提案

- (1) 我が国に、様々なタイプの複数の数学国際研究所を設置することを提案する。まず、「年次別課題(スペシャルイヤー)方式」すなわち、第一線の研究者からなる委員会の助言指導の下で毎年先駆的課題を選定し、その課題ごとに世界から最高水準の研究者を集めて特定の(半年から1年間程度の)中期間に集中的に研究を行なう方式の中期滞在型主体プロジェクト型研究所(以下、滞在型研究所と略)の設置を提案する。我が国では組織的にはあまり取り組まれてこなかった「数学-他分野連携研究」を目的とした上述の滞在型研究所の設置が急務である。また、連携を支える「多様

な数学研究」の深化発展をねらった滞在型研究所も必要である。さらに、第一線研究者委員会が選定した参加者と焦点を絞ったテーマを対象とする、週替りの国際研究集会を行なう短期研究集会型研究所の設置が非常に重要である。また、多くの一流訪問研究者をひきつける、常勤研究者主体の非プロジェクト型研究所設置も効果的である。各研究所には、外国人研究者や海外研究機関などに対応しうる強力な支援組織が必要である。数学研究者は団結して、その設置に向けて努力すべきである。

- (2) 上記で提案した新研究所が我が国の科学技術に大きく貢献できるようにするために、研究所・大学・産業界の間での研究人材の流動性促進のための制度の改善やより弾力的な運用を行う必要がある。その際、大学において他分野より多くの責務を担う数学研究者の研究時間の確保に配慮が必要である。一方、数学研究者は、数学特有の事情を大学等に訴える必要がある。
- (3) 数学は小さな研究機関でも運営次第で有力な研究者が活躍できる。しかし近年の大学の運営形態では、中小規模大学ならではの特徴を活かした研究活動が不可能になりつつある。このことは、数学研究の多様性を損ね、科学技術におけるイノベーションの基盤を弱くすることにつながる。そこで中小規模大学の数学研究者が研究を続けられる方策が必要である。また、大規模大学の数学系教室は中小規模大学の数学研究者に研究上の便宜を提供し、協力関係を築くことにより、双方の研究のシナジー効果を図るべきであろう。
- (4) 研究資源を有効に活用し、研究者に必要な文献情報の提供など研究環境を充実させるサービスについて、科学的・数学的手法を用いた根本的分析や開発研究、様々な具体案の提示を行う体制を早急に構築する必要がある。これは典型的なサービス・サイエンスの研究課題であろう。
- (5) 他分野研究者がしっかりした数学的基礎を持つことは、数学研究者と他分野研究者の間の深いコミュニケーションに必須である。そのため、大学において、数学科以外の学生への数学教育の質の向上は極めて重要である。日本の大学では(いわゆる理工系であっても)大学1,2年次向けの基礎的な数学の教育のために専任の数学教員をほとんど置かず非非常勤講師主体で済ませている場合があるが、学生の質問にいつでも答えられる環境を整えるためにも常勤の増強は重要であろう。この際、既に常勤として勤務している数学研究者の責務を増やさずに行うことが大前提である。
- (6) 高度な数学力を持った視野の広い学際的研究者を育成することは、数学研究者と他分野研究者が広く深いコミュニケーションをもつために必須である。例えば前述の提案にある滞在型研究所などに、大学院生や若手研究者が参加する機会を増やす必要がある。その際、強制ではなく主体性を持って、他の科学や技術との連携に取り組める様な配慮が大切である。
- (7) 海外では、数学研究者・博士号取得者と、産業界や他分野研究者との共同研究が、近年飛躍的に増加している。科学技術創造立国を目指している我が国でも、数学に対する潜在的需要が非常に多いと推定されるが、依然、少数の先駆的な例にとどまっている。数学関係者は、産業界や他分野研究者さらには社会全体に、数学および数理的思考の重要性を粘り強く訴えていくと共に、数学研究者・博士号取得者との様々な効果的な連携方法を提示していく必要がある。例えばカナダの例(MITACS)の様な、多様な分野の数学研究者がネットワークを組み、そこに産業界や他分野の研究者が参加していく方法を、我が国の事情にあわせて構築することは有効であろう。
- (8) イノベーション創出のためには既に述べたように、数学研究者の増強の必要性は言うまでもないが、数学研究者の能力を最大限に生かすことが重要である。そのためには、数学研究者でなくてはできない活動に数学研究者が専念できるように強力な研究教育支援組織を作るべきである。

第I部

調査結果

第1章 はじめに

本書は、文部科学省委託業務「イノベーションの創出のための数学研究の振興に関する調査」の調査報告書である。

本調査の目的は「分野連携によるイノベーション創出の例として数学研究に着目し、国内外の現状を把握し他分野等との連携事例等や連携施策の方向性についての調査を行う」ことである。これは、日本における数学研究と諸科学・産業技術との連携に関する近年の関心の高まりが反映されている。

調査期間は、平成19年12月10日～平成20年3月31日であって、調査は、諸外国動向調査(第2章)、数学研究に関する情報集積状況調査(第3章)、数学研究と他分野等の連携に関する事例調査(第4章)、数学研究の振興政策に関する調査(第5章)、日本の数学研究者をとりまく環境に関する調査(第6章)の5項目について、Web調査、文献調査、専門家のヒアリング調査、公開ヒアリング(シンポジウム)などでデータを集め、現状と問題点を把握し、それを分析することによって行われた。これらは、調査委員会(第1回:平成19年12月21日、第2回:平成20年1月18日、第3回:平成20年3月21日)によって主に行われた。調査委員は、相川弘明(北大・理学研究院・教授)、井上昭彦(北大・理学研究院・准教授)、小澤徹(北大・理学研究院・教授)、儀我美一(東大・数理科学研究科・教授)、島田伊知朗(北大・理学研究院・准教授)、津田一郎(北大・電子科学研究所・教授)、津田谷公利(北大・理学研究院・准教授)、寺尾宏明(北大・理学研究院・教授、委員長)、行木孝夫(北大・理学研究院・助教)、廣川真男(岡山大・理学研究科・教授)、山口佳三(北大・理学研究院長)、山下博(北大・理学研究院・教授)、山本昌宏(東大・数理科学研究科・准教授)の各氏であった。

公開ヒアリング(シンポジウム)は、平成20年3月11日に札幌で行われ、産官学の国内、国外の責任ある地位におられる方々のお話を調査委員が集中的に聞くことが出来たのは大きな収穫であった。講演者、ご挨拶をいただいた方々が年度末の多忙な時期に、札幌まで足を運んで下さったことに感謝する。また、各界の錚々たる専門家の方々が、お忙しいスケジュールの中を縫って、個別のヒアリングを受けて下さったことにも心からお礼を申し上げる。様々な大学の数学関係者にも大きなご協力をいただいた。

ヒアリング予定の設定にご尽力いただいた志田憲一氏(北大東京オフィス代表)に感謝する。儀我美保(東大・数理科学研究科・COE特任研究員)、小杉聡史(北大・理学研究院・博士研究員)の両氏にはシンポジウム実行の際のみならず、本報告書をまとめる過程でもお世話になった。また、利根川吉廣(北大・理学研究院・准教授)、畠山元彦(北大・理学研究院・学術研究員)、黒田茂(北大・理学研究院・学術研究員)の3氏にも報告書作成を助けていただいた。最後になったが、北大の事務スタッフの献身的な支援がなければ、本調査そのものが不可能であったことをここに記して深謝したい。

本報告書が、日本における数学研究の振興と、数学研究の社会的貢献の一助になれば幸いである。

北海道大学大学院理学研究院長 山口佳三
調査委員会委員長 寺尾宏明

第2章 諸外国動向調査結果

この章では、諸外国の数学研究の動向について調査結果を解説する。まず、第 2.1 節で調査方法と調査結果の要点を述べる。第 2.2 節では代表的な数学研究拠点について、研究拠点自体の発表している年次報告書などをもとに、より詳しい調査の結果を述べる。第 2.3 節では代表的な数学研究所の所長クラスの人々に対するヒアリング内容を各対象者ごとに要約した。

これらの調査から垣間見られることは、次のとおりである。数学関連の研究所の「設立ラッシュ」は今も世界で続いている。たとえば、スペインでは、今年、一度に4つの数学研究所が新設される。また、アジアの研究所（たとえば、KIAS）は順調にその活動を伸ばしている。その中で、日本は、数学研究所の設立においては大きく遅れている。また、数学研究所を有効に運営するための制度も立ち遅れている。

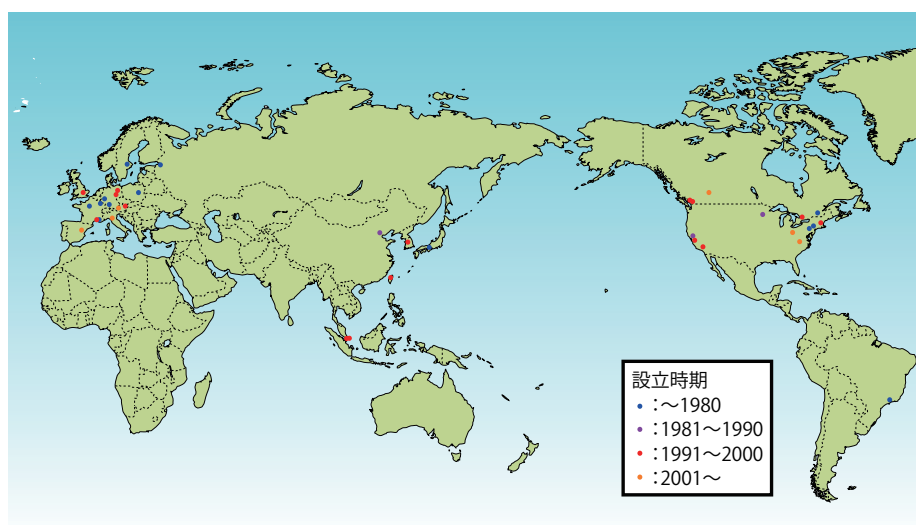
2.1 調査方法と調査結果の要点

2.1.1 調査方法

調査対象の選定：世界中にある数学研究所の中から、代表的なものを選ぶということは容易ではない。そこで、アメリカ数学会 (American Mathematical Society, 略称 AMS) のホームページにある世界の研究所リストを基に、設立年がわかること、数学研究者にとってよく知られていると思われること、国際的に認知されていると思われること、という条件で調査委員会が選んだ。またアジアの研究所もいくつか選んだ。

米国の場合は、連邦政府が直接運営費を交付しているものを含むようにし、小規模の機関は選ばなかった。また後述のインタビューで名前が挙げられる研究所も含めた。(ポーランドについては、下部組織のバナッハセンター (Banach Center) のみを載せた。)

これらの研究所を設立年順に並べた一覧表を第 8.1.1 節に掲載した。また所在地を本ページの世界地図上に記した。



様々なタイプの研究所があるが、代表的な研究所で研究所自体が発行している年次報告書、ホームページから活動内容が明確にわかるものを5つ選び、それを概説した(第 2.2 節)。

一方、代表的な研究所の所長、副所長 5 名と米国国立科学財団 (NSF) の前課長に各研究所の概要と望ましい数学研究所のあり方に関するヒアリング調査を行った (第 2.3 節)。また多くの国際的な数学研究所とは全く異なるタイプの研究機関である、フランス国立科学研究所 (CNRS) のメンバーにもヒアリング調査を行った (第 2.3.3 節)。

2.1.2 調査結果の要点

後述する Bourguignon 教授のインタビュー (第 2.3.2 節) によると、世界にはおそらく 50 以上の数学研究所がある。第 8.1.1 節のリストにある

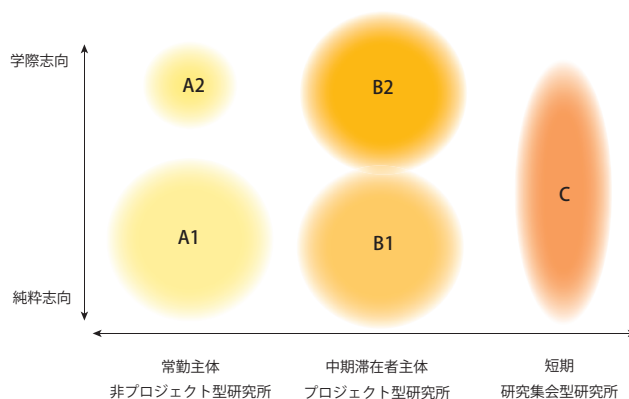
設立年から見てわかるように、アジア諸国も含めて近年、数学主体の研究所が多数設立されている (世界地図参照)。Adem 教授 (第 2.3.1 節) によると、スペインでは今年一度に 4 つの数学研究所が新設される。これに対して日本では、国が直接運営を交付する数学主体の研究所は 1963 年設立の京都大学数理解析研究所を最後に、50 年近く設立されていない (統計数理研究所は 1944 年設立である)。

Bourguignon 教授によると数多くある数学研究所はその運営形態により大きくわけて以下の 3 つのタイプに分類される。

- A 非プロジェクト型研究所：非プロジェクト型には常勤主体が多い。優秀な数学研究者を集め、その人たちが、自由意志で研究活動を行う。
- B (中期滞在主体) プロジェクト型研究所：年次別課題 (スペシャルイヤー、特別年) を決め、それに応じて世界中から専門家を集め、一定期間 (半年から一年) 滞在させ集中的に研究活動を行う。
- C (短期) 研究集会型研究所：環境の良い静かなところで 1 週間程度、様々なトピックについて国際研究集会を開催する。

これらの研究所の志向には大まかに分けると、純粋数学志向と学際的志向がある。概念的にまとめると以下の図のようになる。もちろん、この分類に当てはまらない研究所も存在する。また、志向に違いがあっても数学に「純粋」「応用」の壁を作ろうとするところはない。

ヒアリングおよび文献調査に基づく研究所の分布



A1: プリンストン高等研究所 (IAS), 1930 年設立, 米国
 フランス高等科学研究所 (IHES), 1958 年設立, 仏国
 マックス・プランク数学研究所 (MPIM), 1980 年設立, 独国
 韓国高等研究所 (KIAS), 1996 年設立, 韓国

A2: クーラン数理科学研究所 (CIMS), 1935 年設立, 米国
 マックス・プランク科学数学研究所 (MIS), 1996 年設立, 独国

- B1: ミタックレフラー研究所 (Mittag-Leffler Institute), 1916 年設立, スウェーデン
 カリフォルニア大学バークレー校数理科学研究所 (MSRI), 1982 年設立, 米国
 台湾国立理論科学研究センター (National Center for Theoretical Sciences, 略称 NCTS), 1997 年
 設立, 台湾
- B2: ミネソタ大学数学・応用研究所 (IMA), 1982 年設立, 米国
 アイザック・ニュートン数理科学研究所 (ニュートン研究所, 略称 INI), 1992 年設立, 英国
 カリフォルニア大学ロサンゼルス校純粋・応用数学研究所 (IPAM), 2000 年設立, 米国
- C: オーベルボルファハ数学研究所 (MFO), 1944 年設立, 独国
 数学会合国際センター (CIRM), 1977 年設立, 仏国
 バンプ国際研究ステーション (BIRS), 2003 年設立, カナダ

以上のように, 海外にさまざまな目的をもった研究所が多数設置されている. 特に 1980 年以降は B の中期滞在者主体プロジェクト型研究所が増えてきている. 本年, スペインでは 4 つの研究所が新設される. 数学は人間的要素が非常に重要な学問であり, 直接会って専門家と話すことは特に新しい分野に参入する場合に最も良い方法であるので, 様々な専門家を一定期間一ヶ所に集めることは重要である. 多くの研究所でこの点を重視している. アジアも含めて近年, 数学-他分野連携によるイノベーションが科学技術全体に与える影響は計り知れないという考えの下で様々なタイプの数学研究所が多数設置されている. その中には上記の A, B, C の分類に当てはまらないものもある. たとえば, カナダの情報工学複雑系数学研究所 (MITACS) はネットワーク型の産業数学志向の研究所であり, 様々な産業の問題の解決を目指し, 企業から多額の研究費を受けている. また, ある数学の問題を集中的に議論し, 解決しようとする場を与えることを主目的とする研究所もある. アメリカ数学研究所 (American Institute of Mathematics, 略称 AIM) はこの例である. 一方, カナダの太平洋数学研究所 (Pacific Institute for the Mathematical Sciences, 略称 PIMS) は地域社会に根ざした研究所であり, カナダ西部を中心とする複数の大学研究者の連携と共同研究を奨励する地域拠点である. 学際的で広範な数学の研究を促進する事を主目的としている. また, フランス国立科学研究所 (Centre National de la Recherche Scientifique, 略称 CNRS) のように国が全分野で 1 万人程度の優れた研究者を雇用しその研究者には自由に研究機関を選ばせそこで研究させるシステムは興味深い. 数学研究者は 100 名程度であるが, 彼らは大学での責務が無い. このため彼らの中から非常に良い研究が生まれることが多い. 日本学術振興会 (JSPS) のポスドクを終身にしたような制度である.

いずれにせよ, これらの研究所はそれぞれ異なる機能を持っており, 一つの研究所に沢山の機能を集中させるようなことはしていない.

これに対して我が国では 1963 年に京都大学数理解析研究所が開設されて以来, 独立した数学主体の研究所は設置されていない. 京大数理解析研究所は設立時は A1 タイプであったが, 現時点では A, B, C 全ての機能を持っている. 我が国には, 異なる機能を持つ複数の数学主体の研究所がないのが現状である.

B の中期滞在者主体プロジェクト型研究所は特に数学-他分野連携のために有効と考えられているようだ. もちろん数学内の新領域を開拓する上でも重要であろう. 今回のヒアリング対象者と多くの研究者の共通の認識である. 実際, アメリカの IMA やイギリスの INI はこの方式で世界に大きな影響を与えている. 成果を挙げている中期滞在者主体プロジェクト型研究所の典型的な運営方式はほぼ次のとおりであることがわかった.

毎年研究課題 (年次別課題, 特別年, スペシャルイヤーとも呼ぶ) を決め, それを組織する組織委員会を決める. 組織委員会の構成は課題を遂行する上で最も適切な研究者からなるようにするが, 国際的な場合もある. 例えば西暦 X 年の研究課題の組織委員が決まったら, 委員が X 年に半年間または 1 年間滞在し, 様々なチュートリアルや研究集会を企画し, 科学的な部分に関しては責任を持つ. 教授クラス 20 ~ 30 名に若手ポスドク 20 名が研究のために長期滞在するのが典型的な方式である. 数学-他分野連携の場合にはこの中に数学以外の分野の研究者も含まれる. もちろん, 研究集会にはもっと多くの人を訪れる. 研究所は一定の金額を組織委員会に渡し, その使い方の詳細は組織委員会に任せる. 一年を超えて研究所に滞在する研究者は所長, 副所長だけである場合も多い. 研究所の設置場所は有力大学の数学教室の

周辺であることが多い。その理由は大学の数学教室関係者に接触しやすいことと、図書室などの施設を共用できるからである。ただし、主な経費は政府から直接援助され、運営には大学は直接関与しない。

有力な研究所は支援部門を充実させ、研究所に滞在または所属している研究者の事務的負担は最小になるように工夫されている。多くの研究所で支援部門を充実させ、滞在者が数学の研究に専念できるように配慮している。住居探しから外部評価の書類作成、寄付金の募集まで全てを支援部門が行っている例もあり、単なる支援業務以上の働きを持つ場合が多い。支援部門で働く人々の任期は無く、有能な人材が集まっている。支援業務を外注しているような研究所は見当たらなかった。支援部門が有効に機能するためには研究活動と密接に関連していなくてはならず、支援部門は研究所執行部に直属であるのが普通だ。

多くの有力な研究者が所属大学に迷惑をかけず一定期間研究所で働けるためにリプレースメントパイアウト制などさまざまな柔軟な制度がある。諸外国では一般に特定のプロジェクトに参加する研究者は研究費の一部を自身の給与の一部にあてることができ、それにより大学の責務を減らしてもらっていることが多い。米国の例を挙げると研究所の所長や米国国立科学財団 (National Science Foundation, 略称 NSF) の業務で一定期間大学を離れる研究者に対しては、給与は所属大学が支払ったまま身分は長期出張扱いとする。一方、研究所や NSF が大学に相応の資金を提供し大学はその資金で研究教育補完教員を雇用するなどして、その出張研究者の責務も肩代わりさせることができるようである。この方式はリプレースメントパイアウトなどと呼ばれる場合もあるようだ。これは数学分野では良く見られる方式である。なぜならば、どの国でも数学研究者は数学を専攻しない学生のための数学の講義をも多数受け持っているからである。

目標が明確な研究プロジェクトは通常のグラント、そうでなく、何が起こるかわからないような新たな融合分野の開拓は研究所で行うといった研究費上の住み分けがあるようだ。イノベーションを考えた場合、後者のような研究が必要なことは明らかである。イノベーション創出のためにはどのような分野とどの数学が結びつのが良いかといった試行錯誤の期間が必要である。この試行錯誤の部分を IMA などの研究所が短期プログラムとして関連メンバーを集め、担当する。そこで見込みがあるとすると、より長期のプログラム (スペシャルイヤー) として取り上げる。

中期滞在者主体プロジェクト型研究所で特定のテーマに一定期間集中することはあっても数学の特定分野のみに投資するという事は行われていない。数学は多様性を保つことが重要であるからである。このことは米国の数理科学の国際評価に関する上級評価委員会報告 (通称、オドムレポート [13]) 「忘れられた科学 — 数学」[2] でも指摘されている。そのため小規模大学でも数学の通常の研究は十分できるように設計されている。また、IMA のような主要な研究所は小規模大学での研究者が研究所の活動に参加しやすいように配慮している。

C の短期研究集会型の研究所は、1 週間単位の国際研究集会を定期的開催し、参加者に大きな刺激を与えるという点で重要な役割を果たしている。テーマ及び企画・組織運営を行う研究者グループを研究所理事会等により、公募と審査を経て選ぶシステムをとっている所が多い。研究所には常勤の研究者はほとんどいない。テーマは数学分野全般から選ばれるケースが多い。このような研究所は自然環境が良く、しかも観光地でもない静かな場所にある。数学を考えるぐらいしか他に出来ることが無いような場所にある。自然環境が恵まれた中で、寝食を共にすることにより、インスピレーションを受けやすいだけでなく、お互いの価値観を素直に語り合えるという点や、数学に集中できるといった点が評価されている。また、外国人訪問者が多いため、主要空港から数時間で行けるなど、ある程度の交通の便の良いところにある。常勤研究者をおかない分、習慣が多様な外国人にも対応できる強力な支援組織を持っている。第 2.2.1 節で概説するオーベルボルファハ数学研究所はその典型的な例である。

研究所にかかわる年間運営費は、本調査で分かった範囲ではばらつきが多いが、数億円から 10 億円程度が多いと推定される。各研究所の公表データには運営費を構成する費目等が異なり画一的な比較はできないが、A タイプの IHES は約 7.5 億円、京大数理解析研究所は約 10 億円と公表している。B タイプの IMA は約 5.5 億円、IPAM と MSRI は NSF より数億円の提供を受けている。台湾の NCTS は 1 億円強である。また、C タイプのうち最も稼働率が高いと推定されるオーベルボルファハ数学研究所 (MFO) は約 4.5 億円である。運営費は活動規模の他、研究所立地条件の影響などがあると考えられる。これら

の公表データには、施設建設費や敷地買収費用は含まれていないと推定される。どのタイプにも属さないカナダの MITACS は外部資金と現物投資により約 70 億円 (カナダ政府系機関からの合計約 25 億円と民間からの 30 億円を含む) と公表している。研究者のバックグラウンドも提携団体の地域性も広範囲のネットワーク型研究所であり、企業との参加が非常に多いため、他の研究所と単純な比較はできない。

(本章「北海道大学国際シンポジウム イノベーション創出と数学研究- 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して - 講演資料」[1] の Rundell 教授 / NSF 前課長の講演「米国の数学振興政策の考え方と数学研究拠点の状況」[3] による。)

2.2 代表的な数学研究拠点

この節では世界各国の数学に関する研究拠点のうち、代表的な研究所について、年次報告書などを中心に調査した結果を解説する。上記の 3 つのタイプを網羅し、さらにアジア、アメリカ、ヨーロッパといった複数の地域にまたがるよう、以下の 5 カ所の数学研究拠点を調査対象として選定した。

- オーベルボルファハ数学研究所 (Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, 略称 MFO) (独国)
- ミネソタ大学数学・応用研究所 (Institute for Mathematics and its Applications, 略称 IMA) (米国)
- アイザック・ニュートン数理科学研究所 (Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, 略称 ニュートン研究所 または INI) (英国)
- 韓国高等研究所 (Korea Institute for Advanced Study, 略称 KIAS) (韓国)
- 情報工学複雑系数学研究所 (Mathematics of Information Technology and Complex Systems, 略称 MITACS) (カナダ)

この中で KIAS についての情報は他と異なる形式なので、第 8.1.2 節に載せている。また、ニュートン研究所については補足資料を第 8.1.3 節に載せている。

2.2.1 オーベルボルファハ数学研究所 (MFO)

ここでは、Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach (MFO, Oberwolfach 数学研究所) について、web page (<http://www.mfo.de/>), MFO による 2006 年の年次報告書 [12], および Allyn Jackson による論説 [8] をもとに解説する。

概説

Oberwolfach 数学研究所は南ドイツの風光明媚な山間部の集落 Oberwolfach-Walke に位置する数学研究所である。ゲストハウス、セミナールームおよび図書室を擁する。設立以来、3000 以上の研究集会在ここで開催され、世界中から数学者を引き寄せてきた。

特に図書室は、数学研究のための図書室としては世界的にみても最高水準のものであり、2006 年現在、約 42,500 冊の蔵書と 25,700 巻の製本された数学ジャーナルを所有している。さらに、497 種のジャーナルを講読しており、また、2000 種の電子ジャーナルのライセンスを保持している。

Oberwolfach 数学研究所は 1944 年に、Freiburg 大学の数学者でありドイツ数学会の会長でもあった Wilhelm Süss の努力により設立された。その後 1959 年に、法的な面での代表者および学術面での支援団体として Gesellschaft für Mathematische Forschung e.V. (GMF, 数学研究協会) が設立された。GMF は土地および建物の法的な所有者であり、ドイツ数学会、ドイツ応用数学会、Förderverein の 3 つの法人を含む 70 人のメンバーから構成される。2005 年以降は、非営利団体として登録され、現在、ドイツ

の主要公的研究機関である Leibniz-Gemeinschaft (ライプニッツ協会) のメンバーである¹。さらに、ERCOC (European Research Centers on Mathematics) のメンバーでもある。

現在は、特異点論と代数幾何学の研究において世界的なリーダーである

PROF. DR. GERT-MARTIN GREUEL
(Department of Mathematics, University of Kaiserslautern)

が所長をつとめている。

歳入・歳出の規模は約 3,000,000 ユーロである。収入の多くはドイツ連邦政府および州政府からの援助金 (2006 年は 1,800,000 ユーロ)、および Förderverein des MFO (Friends of Oberwolfach, Oberwolfach 友の会) のメンバーからの寄付 (2006 年は 680,000 ユーロ) が占める。とくに、Baden-Württemberg 州政府からの援助金が重きをなす。

主要な学術的活動

GMF の学術委員会は 20 名の優秀な数学者により構成され、数学の全ての分野を網羅している。所長はこの学術委員会と協力して各年の MFO の学術プログラムを策定する。毎年非常に多くの提案書が MFO に寄せられるので、全てを承認することはできない。学術委員会は厳格な学術的基準のみに基づいて、競争的な手順でどの提案を採択するかを決定する。

MFO の学術プログラムは次の 5 つの部分からなる。

- ワークショッププログラム
- ミニワークショッププログラム
- Arbeitsgemeinschaft
- Oberwolfach セミナー
- Research in Pairs プログラム

2006 年には、世界中から 2500 名以上の研究者がこれらのプログラムに参加した。約 30% がドイツ、約 40% が残りのヨーロッパ、そして 30% がヨーロッパ以外の国からの参加者である。

以下、それぞれのプログラムについて解説する。

ワークショッププログラム。学術プログラムのなかで最も重要なものが、年間約 40 回行われるワークショップである。各ワークショップは一週間単位であり、参加者数は約 50 名である。また、2 つのワークショップを半分の規模で同時並行に行うこともある。各ワークショップは、それぞれの分野における世界的なリーダーにより企画・運営される。すべての参加者はワークショップの主催者の進言に基づいて所長が招聘する。

ワークショップのテーマは

凸体と代数幾何学、微分代数方程式、有限群の表現、4 次元多様体、

などのいわゆる純粋数学のものから、

一般相対性理論の数学的側面、数理生物学、量子化学における数学的・数値的側面、気象海洋学における数学的理論とモデリング、

などの学際的なもの、さらには

¹ ドイツの主要公的研究機関としてはこの他に Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft, Helmholtz-Gemeinschaft などがある。ライプニッツ協会は 82 の研究所からなる協会であり、Oberwolfach 数学研究所の他に、マックスボルン研究所、ハレ経済研究所、ドイツ語研究所、世界経済研究所、ドイツ癌研究センターなどがメンバーとしてふくまれる。

材料力学, トモグラフィにおける数学的方法,

など, 産業面への応用をめざすものまで多岐にわたり, 数学のほぼ全分野を網羅するものとなっている.

特筆すべきは, このワークショップが明確に「研究指向」であることである. 多くの参加者は, このワークショップの刺激的な雰囲気を賞賛している. また, 多くの重要な研究プロジェクトがこのワークショップから生み出されている.

ミニワークショッププログラム. このプログラムは, 一週間単位で年間 12 回行われる. 毎回の参加者数は約 15 名. このミニワークショップは特に若手研究者を対象にしている. 開催のわずか半年前にテーマが決定されるので, 最新の研究動向に対応する事ができる.

Arbeitsgemeinschaft (研究グループ). このプログラムの目標は, 一流の国際的な専門家の指導の下で講演をすることを通して, 最新の研究テーマを学ぶことにある. Arbeitsgemeinschaft は Prof. Christopher Deninger と Prof. Gerd Faltings により企画され, 年間 2 回, それぞれ一週間にわたって行われる. 2006 年度には「微分幾何および代数的 K 理論における Higher Torsion Invariants」および「Twisted K 理論」というテーマが選ばれた.

Oberwolfach セミナー. Oberwolfach セミナーは, 一週間単位で年間 6 回行われる. 各分野の専門家により主催され, 世界中のポストドク研究員や Ph.D の学生を対象にしており, 特に進展の著しい分野の最先端の動向を 25 名の参加者に紹介することを目標としている.

Research in Pairs プログラム. この研究所において二番目に重要な活動が, この Research in Pairs (RiP) プログラムである. このプログラムでは, 2~4 名の研究者を遠くはなれた別々の場所から招聘して小グループを結成し, Oberwolfach において共同研究を行わせる. 期間は 2 週間から最長 3ヶ月までである. 2006 年には合計 238 名が参加した.

その他

Oberwolfach Reports. 「Oberwolfach Reports (OWR)」は, ヨーロッパ数学会と協力して 2004 年に創刊した出版物である. この雑誌は年 4 回, 毎回 300 部出版され, 年間 4 回の出版を合計すると 3000 ページ以上になる. OWR の内容は, 全てのワークショップの公式報告であり, ワークショップで行われた講演についての詳細なアブストラクトも記載されている. 各講演は参考文献も含めて 1~3 ページでまとめられている. 数学の最先端の動向を定期的に報告し, さらにその報告がすべての研究者の手に届くようにすることが目的である.

Oberwolfach 賞. この Oberwolfach 賞は, GMF と Oberwolfach 基金から 35 歳以下のヨーロッパの卓越した若手研究者に贈られる賞である.

Oberwolfach Leibniz Fellows. 2006 年 3 月に MFO が提出および申請した「Oberwolfach Leibniz Fellows」プログラムは Leibniz 協会により支持され, 2006 年 10 月に連邦と州政府から承認された. この博士研究員プログラムは 2007 年 1 月から 2009 年 12 月までの期間で設定されている. 優れた若手研究員に研究者として重要な時期を国際的な環境で過ごし研究をする機会を与えることが目的である. 若手研究者は単独もしくは小グループで 2~6ヶ月の研究計画を申請することができる. 採択された研究者は大学やその他の研究施設において活動的な研究集団に参加することになる. このプログラムはヨーロッパ博士研究員機関 (European Post-Doctoral Institute, EPDI)² に参入することを意図したものである.

2.2.2 ミネソタ大学数学・応用研究所 (IMA)

以下は Institute for Mathematics and its Applications (IMA) について 2004~2005 年の年次報告書 [5], IMA のホームページ [6], 文部科学省科学技術政策研究所のレポート [3] に基づいた解説である.

²EPDI には IHES, Newton-Institute, Max-Planck-Institut, Erwin Schrodinger Institute in Vienna, Banach Center in Warsaw, Centre de Recerca Matematica in Barcelona, Research Institute of ETH Zurich といった, ヨーロッパ中の有名な数学研究機関が参入している.

概説

米国国立科学財団 (NSF) は 1970 年代後半に数学振興を目的として研究拠点を形成することを決め、公募の後に 2 つの研究所を 1982 年に設立した。1 つはカリフォルニア大学バークレー校数理科学研究所 (Mathematical Sciences Research Institute, 略称 MSRI) であり、もう 1 つはミネソタ大学に設立された IMA である。IMA の設立主目的は、他の研究分野や産業から提起される科学技術と数学の諸問題をリンクさせ、学際的な研究を高め、そのような研究を実行できる研究者が集まる拠点を形成することである。その革新性及び優れた人材育成の成果によって設立から 25 年経った現在、他分野連携研究では世界的な研究教育拠点になっている。IMA には常勤研究者はおらず、年間 1000 人を超える訪問研究者の研究活動を主体としている。また 100 名程度の規模を誇るミネソタ大学数学科の教員の参加がその活動の重要な中核となっている。研究所の成果は新しい共同研究、新しい学際的な研究プロジェクトとその結果が挙げられるが、それらはプログラムの間に IMA で撒かれた種から成長するものであり、長い年月を経て、IMA から遠く離れた場所で温められ実を結ぶものである。年間予算規模はおよそ 5.5 百万ドル (2006 年) である。研究所の大きさはキャンパス内の平均的な大きさの建物といえる Lind Hall の上階部分を占めている程度で、位置は数学科の建物に隣接している。研究者が気軽に集えるラウンジを中心として幾つかの講義室や会議室、および長期滞在者用の研究室が数十人分確保されている。研究所の運営役員は専任の Director と数人の補佐的な Deputy Director, Associate Director で構成されており、秘書的業務及び計算機管理は 12 人程度の支援専門員で行われている。現在までの Director は、Hans F. Weinberger (1982-1987), Avner Friedman (1987-1997), Willard Miller, Jr. (1997-2001), Douglas N. Arnold (2001-2008) で、2008 年 7 月より Fadil Santosa が就任する予定である。

研究教育プログラム

IMA は数多くの研究教育プログラムを実行している。役員が専任でこれらプログラムの成功に対して責任をもってあっている。

年次プログラム 毎年、IMA は数学の応用にとって重要と考えられる領域を設定し、10 カ月間のプログラムを実施する。2004-2010 各年のプログラムは *Mathematics of Materials and Macromolecules* (2004-2005), *Imaging* (2005-2006), *Applications of Algebraic Geometry* (2006-2007), *Mathematics of Molecular and Cellular Biology* (2007-2008), *Mathematics and Chemistry* (2008-2009), *Complex Fluids and Complex Flows* (2009-2010) である。これらのプログラムには約 1,000 人が参加し、その中には IMA で 3 カ月から 10 カ月過ごす約 10 名のキーシニアビジターをはじめ、プログラムに関心のある 6~8 人の選ばれたポスドク研究員、そして IMA で 1 カ月以上過ごす約 40 人のビジターが含まれる。6~12 個の約 1 週間のワークショップ (それぞれの参加者は 30~120 人) が行われ、ワークショップが進行していないときも各種のセミナーが行われる。その領域に入ったばかりの新人に今後のワークショップで十分な成果をあげられるようにチュートリアルも行われる。年次プログラムのためには約 5 年前から計画を始め、トピックは各方面の一流科学者グループと共同で決定される。

サマープログラム 毎夏約 100 人が参加する集中的な 2~3 週間のサマープログラムを開催する。2004-2009 年のプログラムは *n-Categories: Foundations and Applications* (2004), *Wireless Communications* (2005), *Symmetries and Overdetermined Systems of Partial Differential Equations* (2006), *Classical and Quantum Approaches in Molecular Modeling* (2007), *Geometrical Singularities and Singular Geometries* (2008), *Nonlinear Conservation Laws and Applications* (2009) である。

ホットトピックワークショップ 年次プログラムやサマープログラムとは関係なく、特定の問題や重要な領域に焦点を当てた 2, 3 日から 1 週間の小規模のワークショップを開催する。例えば 2006 年には *Negative Index Materials* (Oct. 2-4), *The Evolution of Mathematical Communication in the Age of Digital Libraries* (Dec. 8-9) が行われている。

New Directions Visiting Professorship この制度はすでにその分野では著名な数学者が専門知識を活かしながら年次プログラムを通じて新しい分野の数学とその応用を 1 年間没頭して研究出来るようにするものである。毎年数人の数学者が公募で選ばれ、その給与は所属機関から半分以上が支給される

ことが条件になっている。

New Directions Short Course 中程度のキャリアの数学者を対象に、新規応用分野で学際的な研究を行う上で必要な基礎知識を集中的に与える 2 週間のサマーコースを行う。内容は科学界に重要な影響を及ぼす可能性があるもので、新人が研究計画を見つけることができる新規領域、または十分開発されていない領域を特に厳選して行う。定員は 25 名で、旅費と現地でのサポートが提供される。2003-2008 年のトピックは *Cellular Physiology* (2003), *Computational Topology* (2004), *Quantum Computation* (2005), *Biophysical Fluid Dynamics* (2006), *Compressive Sampling and Frontiers in Signal Processing* (2007), *Mathematical Neuroscience* (2008) である。

大学院生向け産業数学モデリングワークショップ 大学院生が産業界からのメンターや IMA 関係の数学者の指導の下で、産業問題に関するチームソリューションとプレゼンテーションを行い、産業数学モデルに触れることができるサマーワークショップを実施している。2006 年を例にとると、参加企業とそのトピックは *Birefringence data analysis* (Corning), *WEB-spline Finite Elements* (Boeing), *Cell-Foreign Particle Interactions* (Medtronic), *Reservoir Model Optimization under Uncertainty* (Exxon), *Blind Deconvolution of Motion Blur in Static Images* (Los Alamos National Lab), *Algorithms for the Carpool Problem* (IBM) で、それぞれのチームに 6 人の大学院生が参加している。

大学院生のための参加機関サマープログラム IMA では参加機関の制度があり、約 30 の大学及び国立研究所が属している。これら参加機関のひとつにおいて毎年、参加機関に属する大学院生のためのサマーコースを開催している。講師には著名な科学者や数学者をオーガナイザーが選ぶ。

ポスドク研究員プログラム 毎年 IMA で 1, 2 年過ごし、IMA の年次プログラムに集中的に参加する博士課程終了の研究者を 6 - 8 名選ぶ。ポスドク研究員は丁寧に指導され、そのうちの何人かは産業界のスポンサーと組んで研究する。このポスドク研究員プログラムに過去に参加した研究者には現在の数学、応用数学界を支えている人物が数多くおり、過去 25 年間の人材育成に関して高い実績を誇っている。

アウトリーチと普及活動 IMA 役員は工業試験場を訪問して、科学者やマネージャに会い、彼らの IMA 訪問を手配することを頻繁に行う。また多くの大学を訪問し、教授陣や経営陣に面会することも行っている。ミネソタ大学の他学部の教授陣が IMA に円滑に参加できるようにするために地元の理事会を結成している。普及活動に関してはこれら一連の研究活動を科学界に知らせ、プログラムの結果を周知させるために、大規模なウェブスペースを維持し、メーリングリストなども用いた広範囲な広報活動を行っている。

他分野・産業界等との連携

産業プログラム IMA は広範囲に産業科学者や企業と協力して活動している。ポスドク研究員を対象とした産業ポスドク研究員プログラムでは、産業界のプロジェクトに労力を 50% 費やし、残りは産業界の指導者の手ほどきを受けながら研究するものである。また産業科学者が数学的問題を提起するフォーラム、産業問題セミナーを開催し、最新の話題や特別なワークショップに関して産業界と連携している。**賛助企業** Boeing, Ford, IBM, Microsoft, 3M などの企業 (2008 年現在 17 社) を賛助企業として様々な活動に参加またはインプットをしてもらっている。これら企業から研究者を一定期間受け入れたり、またポスドク研究員を共同で雇用することも行っている。

研究成果事例 概説で記したように、IMA の研究成果は訪問者主体である為その場で数値的に測れるものではない。以下は [5] にある数多くの研究成果の比較的分かりやすい 1 例である。

数学モデルで数百万ドル節約したモトローラ社 1998 年の産業数学モデリングワークショップで、モトローラの Len Borucki は、彼のチームに属する 6 人の大学院生に、シリコン・ウエハー生産に使う同社の化学的・機械的平坦化システムにパッドウェアをモデル化する際に生じる問題を投げかけた。10 日間のワークショップで、その学生たちは、適切な物理的プロセスを取り入れるシンプルな数学的モデルを開発し、コンピュータ実装した。この結果に感銘を受けた Borucki はそのモデルをモトローラ社で改良し、今ではパッド変化を最小にするために同社に配備されるに至っている。モトローラ社はこのモデルで年間 30 万ドル以上節約できたと非公式に見積っている。一方、学生は数学の力と数学で何ができるのかを知る貴重な教訓を得ることとなった。

運営管理

IMA の運営管理には理事会，賛助機関協議会，産業諮問委員会，ミネソタ大学諮問委員会，人的資源委員会，および科学コミュニティーなどの貢献が欠かせない。

理事会 IMA の運営に関する重要事項を監督し，大学，産業，政府研究機関に属する 12 人の一流数理科学者で構成されている．主に毎年 2 日間の集中会議を行い，一般的な議題としては，年次プログラムなどの各種の IMA で行われるプログラムのレビュー，次期年次プログラムの提案についての投票，ポスドク研究員プログラムのレビュー，新しいプログラムの提案，理事会の新メンバーの選挙と新しい議長の選出などである．

賛助機関協議会 これは約 30 ある賛助機関のなかの大学代表者で構成されており（各大学 1 名）年 1 回召集される．一般的な議題として，年次プログラムのレビューおよび将来の方向性などに関する議論などがある．ちなみにこの賛助機関に属するメリットは IMA におけるプログラムに大学院生が参加できること，参加する為の旅費が支払われる事，IMA の将来計画に影響力を持つることなどである．賛助機関になる為には年間 1 万ドルの賛助費がかかるが，これらは旅費などの形で実質的には還流される．

産業諮問委員会 この委員会は賛助企業と賛助機関の中の国立研究所と賛助企業から 1 名ずつ代表者が集まり構成されており，産業からのインプットと管理を司る．産業ポスドク研究員プログラムや産業数学モデリングワークショップに関する議論も行われる．

人的資源委員会 マイノリティグループとしてあまり脚光を浴びていなかったグループ出身の数学者，科学者を見出し，その発展を目指し，そのような科学者のキャリア開発支援プログラムを実施している．IMA はこの活動を支援するための特別委員会とコンサルタントをシステム化し，女性とマイノリティグループの IMA プログラム参加を増やし，キャリア開発ワークショップを提供するために 2 つの特別委員会を作っている．

2.2.3 アイザック・ニュートン数理科学研究所（ニュートン研究所）

この節は Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences（ニュートン研究所）について 2005～2006 年の年次報告書 [10]，2006～2007 年の年次報告書 [11]，ニュートン研究所のホームページ [7] に基づいた解説である．

概説

ニュートン研究所は 4 年間の準備期間の後，1992 年にケンブリッジに設立されたイギリスの国立国際滞在者型研究機関である．そこでは，科学と技術へ幅広く応用するために数学と数理科学の中から選定されたテーマの研究プログラムを実施している．ニュートン研究所では一定期間共同研究ができるため，イギリス国内だけでなく海外の指導的な数学者や科学者にとって魅力的な研究所の一つになっている．

ニュートン研究所の運営には Scientific Steering Committee（科学運営委員会），(UK) National Advisory Board（国家諮問委員会），Management Committee（実務委員会）の 3 つの委員会が関わっている．それぞれ役割があり，科学運営委員会は実施プログラムの選択，国家諮問委員会は研究所長への助言，実務委員会は研究所のマネジメントとなっている．また，ニュートン研究所の資金援助については，Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC)，ケンブリッジ大学，Leverhulme Trust，および，ロンドン数学会などが主な資金提供機関である．また，ニュートン研究所は他機関とも連携しており，European Post-Doctoral Institute (EPDI)，European Research Centres on Mathematics (ERCOM)，Centre National de la Recherche Scientifique (National Center for Scientific Research, CNRS) などが主な連携機関である．

数学振興方策

ニュートン研究所は数理科学に広い意味で貢献する目的で創設された。この観点は他の国々における同じような研究所と一線を画している。数学が重要な役割を果たす科学の範囲は広範囲にわたるため普通の規模の研究所が一度に適切な形で研究対象を取り上げていくことは困難である。したがって研究テーマを選択することになるが、その際の重要な方針は、主題の無いものはア priori に除外すること、科学的な利益があるかということであり、それらが決定的要因でもある。

多くの他の科学のように、数学研究でも新しい考えを利用して突破口を探し、その後に時間をかけて整理統合する傾向にある。しかし、ニュートン研究所は、魅力的で重要な世界的研究所として存在し続けるために整理統合すること以上に突破口を探すことに力を入れている。したがって、プログラム選択における大事な基準は、該当関連分野が現在の発展の最前線にあるかということになる。ニュートン研究所のプログラムには、2~3年先を見越してテーマが選ばれるが、その時に最前線がどの程度進んでいるか予測することは簡単なことではない。したがって、ニュートン研究所ができることは重要性和多様性が継続しそうな分野を選択し、それに対応できるような世界の指導者を選ぶことである。

ニュートン研究所のもう一つの主な目的は、大学の学部構造のような通常の障壁を克服することである。その結果、研究所で提案される研究プログラムの“科学的なメリット”を判断するための基準が“学際的”であるかどうかという学問的な広がりになっている。このことにより、異なる経歴や専門を持つ研究者たちが一同に集まることになる。

提案されるプログラムの新しさ、学際的な性格は選択の際の重要な基準ではあるが、これらは、最も支配的である「質」の基準に勝ることは無い。かなり広い範囲の分野から選ばれる可能性があるが、その目的は、厳粛で重要な数理科学を反映し世界中から最高の数学者と科学者を引きつけるプログラムを選択することである。しかし、もし確固たる科学的事例になるのであればニュートン研究所は、型破りな提案であっても受け入れることはありうる。

ニュートン研究所は世界的な基盤で運営され、数理科学の総合的な発展に貢献しているが、それは、イギリス数学への貢献とも考えられている。関係者は、各プログラムが、あらゆる方法でイギリス数学界に役立つことを期待している。もしその分野でイギリスが強いなら、イギリスの科学者がプログラムで重要な役割を果たすであろうし、逆にイギリスで比較的弱い分野なら、選択されたプログラムがイギリスの水準をあげることになり、若い研究者や研究生に対する指導コースは重要な役割を果たしていくことになる。EPSRCなどでニュートン研究所をサポートする広い基盤があるため、ニュートン研究所のプログラムは、様々な数学分野間の適切なバランスを可能な限り反映しようとする。数学界と科学界の支持を維持するため、ニュートン研究所は広範囲な分野にわたるプログラムを行い、何年もかけて、このバランスに到達している。しかし、高い質のプログラムを実施することが第一義であるため、そのような配慮は2次的なものになる。

数学研究拠点の運営形態

Scientific Steering Committee (科学運営委員会): ニュートン研究所は、数学と数理科学のどの支部からも研究プログラムの提案を受け入れている。科学運営委員会は、1年に2回開催され、2~3年後に行うプログラム(4週間, 4ヶ月, 6ヶ月プログラム)の提案について協議する。これらの会合で協議される提案は、年に2回の1月31日と7月31日までに提出されたものである。有望と思われる提案については、ディレクターを通じて提案者と科学運営委員会の間で話し合いが持たれる。決定まで科学運営委員会では通常1度以上の協議が行われる。提案者は正式な提案を提出する前に、フィードバックを得る目的で簡単な事前提案を提出してもいいことになっている。科学運営委員会は、次のようなガイドラインで運営されている。

- (a) 異なるバックグラウンドを持つ科学者たちを集めると、本質的には、成功するような会議にはならない。焦点となる明確な共通点を持つ科学者たちでなければならない。
- (b) 各プログラムは、現実的で重要な数学上の内容であるべき。

(c) 各プログラムは、数理科学の幅広い土台から成り立っている。

National Advisory Board (国家諮問委員会): 国家諮問委員会は、数理科学においてニュートン研究所が持っている国立研究所としての役割に関係する全ての案件について、研究所長に助言を行う。特に、研究所の活動が常にイギリス数学界全体の最大の利益になるようにすり合わせる事が国家諮問委員会の重要な役割である。国家諮問委員会によって取り上げられたテーマには次のようなものがある。

- ニュートン研究所のワークショップのトレーニングコースについて。
- ニュートン研究所のプログラムに関して一般の人に背景情報を伝える。
- ニュートン研究所のプログラム終了数年後に開催されるフォローアップ会議。
- EPSRC 優先科学分野。
- STFC と欧州連合からの資金援助更新の反対意見。
- 滞在を断った参加者の数と理由。
- サテライトワークショップとフォローアップ会議で研究所の消費が増大。

Management Committee (実務委員会): 実務委員会は、短期、長期財政計画に関してニュートン研究所の予算全体を管理する責任を持ち、所長は実務委員会に対して責任を持つ。委員会は、資金調達、スタッフ雇用、プログラム主催者の任命、住居提供、ライブラリー、コンピュータ設備、広報、活動の一般管理に関する大事なアドバイスとサポートを行う。実務委員会の目的は、ニュートン研究所とその関連活動全ての滞在者型研究プログラムにおいて、円滑で効果的な運営を可能な限り促進することである。委員会は、特に UK Research Councils, ケンブリッジ大学, ロンドン数学会, Leverhulme Trust や他の機関などの資金調達団体と交渉を担当する。通常、年に 3 回、会議を開く。

研究プログラム

ニュートン研究所への訪問研究者は年間 1100 人ほどで、そのうち 2 週間以上の長期滞在者が 250 人程度である。研究プログラムには 6ヶ月, 4ヶ月, 2ヶ月, 1ヶ月以内のものがあるが、いくつかは並列して実施される。主なタイトルは次のとおり。

6ヶ月: “Symmetric Functions and Macdonald Polynomials”, “Higher Dimensional Complex Geometry”, “Computational Challenges in Partial Differential Equations”, “Statistical Mechanics of Molecular and Cellular Biological Systems”, “Model Theory and Applications to Algebra and Analysis”, “Principles of the Dynamics of Non-Equilibrium Systems”, “Analysis on Graphs and its Applications”.

4ヶ月: “From Individual to Collective Behaviour in Biological Systems”, “New Contexts for Stable Homotopy Theory”, “Granular and Particle-Laden Flows”, “Magnetohydrodynamics of Stellar Interiors”, “Phylogenetics”.

2ヶ月 “Stochastic Computation in the Biological Sciences”.

1ヶ月未満: “Managing Uncertainty”, “Foams and Minimal Surfaces”, “Spaces of Kleinian Groups”, “Magnetic Reconnection Theory”, “Spectral Theory and PDEs”, “Bayesian Non-parametric Regression”.

このように純粋数学から応用まで幅広くバランス良く適度な間隔と期間で実施している。

2.2.4 情報工学複雑系数学研究所 (MITACS)

この節は Mathematics of Information Technology and Complex Systems ([14] 参照) について 2007 年の年次報告書 [15] に基づいた解説である。

概説

MITACS は、Mathematics of Information Technology and Complex Systems の略で、カナダにおける中核的研究機関ネットワークである。研究ネットワークなので関係機関は広大なカナダの各地に散らばっているが、その本部はブリティッシュ・コロンビア州のバーナビー (Burnaby) のサイモン・フレイザー大学 (Simon Fraser University) 内に置かれている。カナダ国内の経済および生活水準を向上させるために、政府、企業、大学との連携を基盤としたネットワークを構築する Network of Centres of Excellence Program (NCE) という大きな構想のひとつであり、唯一の数理科学分野の NCE である。カナダの 3 か所の数学研究拠点である Pacific Institute for the Mathematical Sciences (PIMS)、Fields Institute for Research in Mathematical Sciences (FI)、Centre de Recherches Mathématiques (CRM) が、国内の主要な産業問題を数学的応用により解決するため、カナダ全土に渡るネットワークの設立をビジョンに掲げ、NCE へ申請し、厳格な審査を経て、1999 年 2 月 19 日に実現した。したがって、MITACS は NCE から資金援助を受けている。また、カナダ政府から 2005 年には 2,160 万 (カナダ) ドルの公的助成を受けている。2006 - 2007 年に NCE の International Partnership Initiative (IPI)、International Development Research Centre (IDRC) によって、113 万 6 千ドルの資金援助を受けている。2006 年には、民間企業から 2,700 万ドル以上の資金援助を受け、外部資金と現物投資の合計で 7,000 万ドルの資金を受け入れた。MITACS は、次のような使命に基づき活動している。

- 国際レベルのプログラムの中で、次世代の新たな研究と新たな技術の探求と推進
- 数学の応用が基本的な役割を果たす大学、企業、医療機関、政府との間の連携の促進
- 数学的モデルの発展と応用に優れた質の高い人的資源の拡大
- 経済的、社会的にカナダの恩恵となる研究結果の応用を支援

2006-2007 年には、研究者 487 人、学生 817 人、264 の提携団体、62 の大学が、36 プロジェクトで共同研究を行った。MITACS の最大の特徴は、研究に妥当性があり優れていること、さらに、ネットワークの力で研究者を動員し、問題を解決し、新たな機会を巧みに利用できる点である。同時期に、ネットワーク参加研究機関の 17% の成長が見られ、ネットワーク提携機関は約 25% 増加している。

研究教育プログラム

研究テーマ: 以下の 5 つのテーマに基づいて行われている。

- 生物医学と健康
- 環境と天然資源
- 情報処理
- リスクと金融
- コミュニケーション、ネットワークとセキュリティ関連

過去の実績としては、2003 年の SARS 危機の時には、数学者、公衆衛生当局者、伝染病学者を集め、流行病の広がりを政府が管理する新たな方法を開発している。2005 年には、悪質なソフトウェアやウイルスが、世界規模でコンピュータネットワークに損害を与えたが、MITACS チームは、不正侵入、コンピュータウイルスを感知する新たな方法を開発している。

各研究テーマの研究プロジェクトの例を以下に掲載する。

- 機能的脳撮像への応用のためのリー代数によるイメージプロセッシング (生物医学と健康)
- 地震学的描像における擬似微分演算子理論 (環境と天然資源)

- 化学プロセスの数学的モデル構築の高度パラメータ予測ツール（情報処理）
- 金融モデルとリスク管理の数学的統計モデル（リスクと金融）
- プライバシーと数値理論的暗号（コミュニケーション，ネットワークとセキュリティ関連）

インターンシッププログラム: 2003年に試験的に始まった。大学院生，博士課程修了後の研究生が，複雑な課題に対する革新的数学解決が必要な企業や他の機関でインターンをする。期間は通常は4ヶ月間である。2003年には，わずか18人のインターンしかいなかったが，2006年は153人にまで飛躍的に増加し，学問と産業の連携を推進する力となっている。

ACCELERATE BC (British Columbia): 上記インターンシッププログラムの成功は，2007年2月にブリティッシュ・コロンビア州高等教育省によって認められ，新たな資金援助1,000万ドルが約束された。これにより，ブリティッシュ・コロンビア州の中等後教育の全ての機関，学部，分野で，今後4年間にわたり，650人のインターンシップが可能になる。このようにして誕生したBC大学院研究インターンシッププログラムは，大学と企業間の知識移転を奨励することにより，ブリティッシュ・コロンビア州での将来の研究活動をサポートする。

国際連携

The International Initiative in Mathematical Modeling of Complex Systems (I2M2CS) と名付けられた新たなネットワークプログラムは，MITACSがドイツ，オーストラリア，中国，アメリカ，デンマークの科学者とネットワーク，トレーニング，共同知識開発の機会を構築することを可能にしている。また，これらの活動により，経済や社会福祉の鍵となる研究分野において，カナダ数学者と外国人研究者との連携を可能にする。

企業との提携

一例を挙げる。オンタリオ州のWaterlooに位置する企業であるMaple™は，エンジニア，科学者，教育者，学生などのユーザが用いる数式処理ソフトウェアツールを作っている。米国のMathematica™などのライバル企業との競争に勝ち残るには，ユーザのニーズに素早く応えることが大変重要であり，そのためにMaplesoftとMITACS研究チームの間の密接な共同を通して，MITACSは，カナダの企業の優位性を維持することに貢献している。

運営管理

研究プロジェクトについては，Research Management Committee (研究管理委員会)，産業界との連携については，主に産業人からなるIndustry Advisory Board (産業顧問会議)，国際連携については，カナダ以外のメンバーからなるInternational Scientific Advisory Board (国際科学諮問会議)が担当する。議決機関は，ネットワーク参加研究機関の長などからなる理事会である。ユニークなものとして，Student Advisory Committee = SAC (学生諮問委員会)の存在がある。SACは，カナダ全土の学生の意見を聴取して，ネットワーク上でまとめる。たとえば，前述の5つの研究テーマの範囲内で，関心をもつ研究分野を挙げてもらい，そこに焦点をあてたワークショップなどを企画し開催する。ワークショップなどは，たとえば，パートナー機関であるBIRS (Banff International Research Station)などで行われる。

2.3 諸外国動向に関するヒアリング調査結果

Hilhorst 教授に対しては第8.2.2節の質問項目についてヒアリングを行い，Rundell 教授に対してはシンポジウム講演の補足という形でヒアリングを行った。上記2名以外の5名のヒアリング対象者には第8.2.1節の「第2章ヒアリング対象者への質問項目」に基づいて質問をし，回答を得た。また，番号は質問項目の番号には対応していない。

2.3.1 Alejandro Adem 教授 (太平洋数学研究所 (PIMS) 副所長)

ヒアリング対象者: Alejandro Adem 教授

役職名: 太平洋数学研究所 (PIMS) 副所長 (2008 年
7月1日から所長)

場所: 札幌市内

日時: 2008 年 3 月 13 日

ヒアリング調査員: 寺尾宏明教授, Max Wakefield
博士研究員 (NSF)



寺尾宏明教授 Alejandro Adem 教授

1. 北米, ヨーロッパの数学研究拠点は, 米国では7か所, カナダでは4か所ある. 特に, 著名な研究所として, 北米では, プリンストン高等研究所 (IAS), バークレーの MSRI, ミネアポリスの IMA, トロントのフィールズ研究所, モントリオールの CRM, ヨーロッパでは, ボンの マックス・プランク研究所, ケンブリッジのニュートン研究所, フランスにある IHES, チューリッヒの FIM (Forschungsinstitut für Mathematik) がある. また, アジアでは, 京都大学の数理解析研究所 (RIMS) や南海大学の陳省身数学研究所 (CIM) を挙げたい.

2. 世界的な数学研究拠点の条件として最も重要な要素は, 研究プログラムの質である. ここで「質」というのは, 伝統的な個人の研究の質という意味のみならず, より大きな数学コミュニティとの関わり合いの質のことである. すなわち, 数学における新しい分野の創出やイノベーションの創出につながる研究を立ち上げることにより, 若手研究者・学生を刺激することが重要である.

3. カナダのバンフにある Banff International Research Station (BIRS) は, Oberwolfach 数学研究所をモデルにしている. 南ドイツの美しい自然に囲まれた Oberwolfach 数学研究所では, 専門家が集まり, 1 週間程度のワークショップを通じて, 研究に没頭できる環境が整えられている. このような研究拠点を, 北米に設立したいという機運の高まりを背景に, カナダの PIMS と米国の MSRI による提案に基づき, アルバータ州政府, 米国立科学財団 (NSF), Natural Science and Engineering Research Council of Canada (NSERC) から資金援助を受け, 2003 年, 実現に至ったのである. また, PIMS の創始者である Nassif Ghoussoub 教授のリーダーシップも忘れてはならない. バンフが研究拠点の立地場所として選ばれたのは, 芸術の中心地で, 文化活動が盛んであること, また, 豊かな自然に恵まれており, 数学のみならず多様な活動を享受できるからである. カナダ, および米国における数学の発展に貢献し, 新しい施設とし

て多くの可能性を秘めている.

4. 私の研究所である太平洋数学研究所 (PIMS) の設立の経緯は以下のとおりである. カナダには PIMS (1997 年設立) 以前に, 数学分野の既存研究拠点として, CRM (1968 年設立) と FI (1992 年設立) があった. 1990 年代初頭, カナダ政府による科学の諸分野の研究水準の評価が行われた. その際, 数学は最下位にランクされてしまった. これによって, 自分たちが数学の有用性を政府や社会に向けてうまく説明できていなかった, ということに数学者たちが気づき, 強い危機感をもった. そこで, 国内の数学者たちは団結し, 改善策を模索する中で, PIMS 設立構想が生まれたのである. 確かに, カナダ国内には, すでにフィールズ研究所や CRM があるのに, なぜ新しい研究所をもう一つ設立するのか疑問だ, という声もあったのは事実だ. しかし, PIMS は独創的な提案を行い設立に成功した. すなわち, PIMS は, 地域社会に根ざした組織で, 異なる大学の研究者の協働で, 学際的で広範な数学・広義の数学の研究を促進するという提案を行ったのである. また, カナダ以外の数学者たちからのサポートも大きかったことを忘れてはならない.

5. 私は, カナダ政府の行政人との交流を通して, 政府は現在, カナダの数学研究の現状に非常に満足していることを知っている. 特に, カナダは, 産業界・教育界との連携による数学研究振興という点ではリーダーとみなされている. また, 数学研究は大きな実験機器を必要とせず, 小さな投資で大きな効果が得られるという点も重要である.

6. PIMS 設立の経緯から, 日本の数学界に限らず, 数学コミュニティに対してアドバイスできることは, グローバル化が進む現在, 主体性を備え, 政府に向かって意見陳述できる環境とその手段を持つこと, さらに, コミュニティによる多大な支援, 人材育成が急務だということである.

7. カナダの人口は約 3,000 万人 (日本の約 4 分の 1) なので, カナダ国内に数学研究拠点が 4 か

所もあるのは多すぎるという人があるが、全くそのようなことはない。大切なのは、「多様性は力なり」ということである。もし仮に、伝統的な研究所1か所しかなければ、均一なアイデアや方法しか生まれず、モチベーションも低くなってしまふ。数学者の研究に対する強い欲求に見合う研究拠点が必要だ。PIMSは、その地理的条件から、ワシントン州やカリフォルニア州の研究者との交流が活発である。また、カナダ西部のみならず国際的な結びつきが強い。

8. 多くの国を訪れた経験から、私には以下のことが言える。近年、多くの国の政府が、数学研究拠点やそれに準ずる組織の重要性を認識し始め、数学コミュニティを活性化させ、数学コミュニティと産業・教育機関との連携を深めようとする方向へ進んできている。ここで、教育は非常に需要であり、数学の将来は、優秀な学生、そして、一般市民に数学へ興味を持ってもらうことにかかっているといえる。すなわち、社会における数学の役割の理解を促す広報活動が重要である。しかし、こういった支援や広報を大学が行うのは(本来の教育責務などのため)容易ではないため、研究所がこの重要な役目を負う。たとえば、パークレーの

MSRIでは、サンフランシスコ地域・ベイエリアの学校の生徒への数学の支援・広報活動教育に貢献している。

9. スペインでは、興味深いことに、4か所の数学研究所を一度に立ち上げようという試みがある。同国は、歴史的に地方政府の力が強く、1か所のみというのはかえって困難なため、バルセロナに既にあったCRMに依拠しながら、複数の研究所を立ち上げることに政府は前向きであり、数学研究の振興と国内の様々な地域に研究拠点をもち利点を十分に認識しているのである。その結果、各研究拠点がそれぞれの研究分野、独自の観点、使命に基づき研究を促進することとなる。これが、多様性であり、大きな力となるのである。

10. 今回初めて札幌を訪れたが、きれいで自然豊かな魅力的な街であり、観光地としても世界的に評判が高い。北海道大学は、数学部門に非常に優秀な教授陣を備え、キャンパスは緑が多く、施設も整っている。多くの人が訪れたいと感じるだろう。

注。PIMSの詳細については、このインタビュー以外にも、本報告書第5.2.2節のAdem教授の講演記録を参照されたい。

2.3.2 Jean-Pierre Bourguignon 教授 (フランス高等科学研究所 (IHES) 所長)

ヒアリング対象者: Jean-Pierre Bourguignon 教授

役職名: フランス高等科学研究所 (IHES) 所長

場所: 東京都内

日時: 2008年2月28日

ヒアリング調査員: 儀我 美一 教授, 山本 昌宏 准教授

1. 世界の数学の研究所は50ぐらいあるが、大きく分けて以下の3つの型がある。

A: トップクラスの研究者とポスドクが交流できる特別な場を与えるもの。

B: 一線級の専門家の指導の下、特定の期間に特定のテーマを集中して研究できる機会を与えるもの。

C: 日常的に研究集会を主催するもの。

プリンストン高等研究所や、ドイツのマックス・プランク研究所はAタイプ。ケンブリッジのアイザック・ニュートン数理科学研究所やミネソタの数学・

応用数学研究所、90年以上の歴史を持つ世界一古いスウェーデンのミタックレフラー研究所はBタイプ。ドイツのオーベルボルファハ数学研究所やフランスのマルセイユにあるCIRMはCタイプである。日本の京大数理解析研究所は現時点ではA, B, C全ての機能を持っている。IHESはAタイプである。

2. 一流の研究所の条件は、世界的な研究者がそこで過ごしたい、その企画に参加したいと思うこと、また高い評価を受けるような研究を生み出していける場を提供できるかどうかである。

3. 数学は人間的要素が非常に重要な科学である。数学者が同僚から刺激を受けたり、新しい分野に触れることは重要である。今日、e-mailの発展と共に共同研究の状況は変わりつつあるが、直接会って専門家と話すことは特に新しい分野に参入する場合に最良の方法である。沢山の専門家を一ヶ所に集めることは重要なチャンスを与えることになる。

4. IHESは1958年に一人の産業人により設立されたフランスでは異例の研究所である。最初は

大変小さい規模であった。現在は 5 名の教授を雇用し、他機関が給与を支払っている 6 名の教授 (Collège de France から 1 名、フランス国立科学研究所 (CNRS) より 5 名) を恒常的に受け入れている。これらは IHES の都合で辞めさせる事は出来ない。これらの教員は院生を指導しているが、院生の所属は他機関である。IHES には年間平均 250 名ほどの訪問者がある。ポスドクは 12 名ほど受け入れている。一度に全体で、最大 55 名の科学者を受け入れられる規模である。また、それを受け入れられる宿泊施設を持つ。IHES には特別年のような課題は無く、研究者の自由意志で研究を行う。

技術スタッフや運営業務スタッフは全部で 35 名いる。彼らは研究者の研究補助業務 (TeX 入力等) から広報・資金獲得まで務める。年次報告書の内容作成等も行う。決して単なる補助業務だけではない。彼らはフルタイムで年限付ではない。給与は決して高くないが、労働時間はフレックスである。彼等のおかげで研究者は住居等に心配をせずに安心して赴任し研究に没頭出来る。

5. 年間運営費は 5 百万ユーロ (7 億 5 千万円) である。27 の資金提供団体がある。全体の予算の半分がフランス政府の研究省から提供されている。10 の外国研究機関からの援助やヨーロッパ・コミッションからのグラントもある。5, 6 社の企業から資金提供があるが特定の研究のための援助ではなく、年間会費の形で 1 年間あたり 2 万 5 千ユーロ (370 万円程度) が典型的である。これらの企業は理事会のメンバーになることもある。国際機関の資金支援もあるが、それは主にその国からの訪問者のためである。2001 年から自らの国際基金設立に関わる努力をしている。

6. 教授の終身雇用や訪問者の選定については所長を含む科学評議会 (Scientific Council) の意見を聞き決定する。運営案は 18 名からなる理事会 (Board of Governors) に提出される。現理事長は、アメリカの銀行のフランス部門長である。所長人事も理事会で承認される。所長の任期は 8 年で、その後は 2 年ごとに更新が可能である。

7. IHES 雇用の教授は 4 年ごとに審査を受ける。IHES に研究室を置いている CNRS 雇用の教授は CNRS の審査を受ける。終身雇用の教授の昇給はインフレ分のみである。教授間の給与の差はない。給与は大学教授の最高額と比べても 20% は高い。65 歳が定年だが、外部からの特別なレポートがあれば 70 歳まで務められるような新しい仕組みが導入された。

8. CNRS 雇用の人々は大学での講義責務がないので簡単に招聘できる。大学からは難しいが、以前著名な数学者を大学から 2 年間招聘したことはある。この時、彼の給与の半分を彼の所属大学が支払い、残りを CNRS が支払った。代わりに IHES は、彼の所属大学に、彼の大学での責務を肩代わりするための人を雇用するためなどに使える一定の資金を提供した。契約書を交わしている。

9. 研究省の評価を 4 年ごとに受けている。評価委員は国際性を考慮して選ばれる。自己評価は行わないが、毎年年次報告書を理事会に提出している。IHES の資料を基に評価がなされる。書類より所長の説明が重要である。レベルの高い陣容なので問題が起こったことはない。

10. IHES では理論物理学者と数学者は昔から一緒におり、分野ごとに区別はしなかった。科学哲学を研究したこともある。2000 年からは分子生物学も加わった。産業から派生した問題にも取り組めるように現在 1 つのポストを用意している。

11. 数学はひとつの科学である。社会発展のための科学の役割は、地球規模の問題やシステムの問題が新たに現れたことにより重要になった。一方、経済分野のように数学が他の科学を通じて用いられるのではなく、直接活用されるような状況もある。このように、以前に増して数学が重要になっているが、数学重視のフランス政府といえども十分に認識されているとは言い難い。

12. 数学者が他の科学や技術について関心を持つことは奨励すべきだが、強制するのではなく彼等に主体性を持たせることが大事である。他分野側から何が一番有効なのかを突き止めることは非常に難しいからである。数学に純粋・応用と色を付けて奨励するのは賢明ではない。数学の力強い統合が 20 世紀における数学の大きな発展になった。数学はプロの数学者によってつくられるものである。プロとなるのに磨くべき必要な能力は純粋数学者と応用数学者では異なるが、どちらも同じ数学に根ざしている。壁を作ることは新しい数学の結果を社会に活かす上で障害になる。

13. 数学-他分野連携には数学者が他分野の基礎知識を持たねばならない (このためには初期の教育で広い分野を学ぶべきである。日本では狭い専門になっているようで心配している。さらに忍耐強く討論をしていかなければならない。物理学者との討論は容易であるが生物学者との討論は大変である。というのは定量的な話は少なく定性的であるからである。忍耐は数学者の側だけではなく

生物学者側にも必要である。定性的な議論が多い生命科学では、ちょっとした数学者の助言が大きな進展につながり得る。数学は彼等の実験も含め議論の論理的基礎を与えるものである。

14. 日本は高レベルの数学研究の歴史がある。例えば、代数幾何学、偏微分方程式論、確率論などいくつかの分野で世界最高水準である。京都大学数理解析研究所は世界的に有名であるが、A、B、Cタイプ全てを果たそうとしているので負担が大きい。京大数理研はIHESやプリンストン高等研究所のようにして他の業務は他所で行ったほうが良い。一ヶ所に集めるのは良くない。日本なら様々なタイプの研究所が5つぐらいあるのが自然であろう。数学は小規模でも研究が出来るので、地方の小規模大学でも世界的に有名な数学者が所属することができ、ドイツではこれにより各々の地域の知名度が上がっている。しかし小規模とはいえ一定のスタッフは必要であり、それが整わなければ研究は不可能である。日本の各県の代表的な大学で責務増大にも関わらず人員削減で研究が出来なくなりつつあることは残念である。一定の人員は必要である。確かに研究所がいくつかは必要だが、基礎的な数学研究は小さい大学でも出来るようすべきである。

15. Bourguignon 教授はヨーロッパ研究評議会 (Europe Research Council, ERC と略) 数学審査委員会の長である。ERCでは2007年より7年間で70億ユーロの予算が支出され、新しい企画を行っている。2007年は全体予算が3億ユーロで若手中心の研究費申請を募集した。内訳は、自然科学・工学で1億2千万ユーロ、生命科学で1億ユーロ、人文社会科学で8千万ユーロである。全体で20の審査委員会があり、数学は数学者だけの委員会だが、他の審査委員会は学際的構成である。3,000件程度の応募を予定していたが9,600件もの応募があり、数学だけでも450件の応募があった。それを30件程度にしぼるのは大変であった。というのは75件は極めて優れていたからである。各申請書は14名の委員会のうち2人が目を通し、その2人以外に審査を依頼している。こうして選んだ34件について詳しい申請を書いてもらい、レフリーを行い、さらに3時間の面接を行い24件を選んだ。

数学の金額は1千万ユーロで、自然科学・工学部門の7~8%である。この割合は申請額によって決まる。また研究費で自分の給与の一部を肩代わりして大学の責務を軽くしてもらい、研究により集中することはよくある。審査委員会が認めれば様々な用途に研究費を使える。

2.3.3 Danielle Hilhorst 教授 (フランス国立科学研究所 (CNRS) ディレクター / パリ南大学 (パリ第11大学) 教授)

ヒアリング対象者: Danielle Hilhorst 教授

役職名: フランス国立科学研究所 (CNRS) ディレクター / パリ南大学 (パリ第11大学) 教授

場所: 東京大学大学院 数理科学研究科

日時: 2007年12月13日

ヒアリング調査員: 儀我 美一 教授, 小杉 聡史 研究員, 儀我 美保 研究員

1. 世界的な研究所である条件とは、世界トップクラスの研究者を引きつけ、かつ訪問者向けの研究室スペース、コンピュータや電子ジャーナル利用可能な図書室を十分備えている事である。そのような研究所としては、ミネソタ大学にある数学・応用数学研究所 (IMA) は非常に良い。カナダのバンクーバーの太平洋数学研究所 (PIMS) と、それに付随するバンフのバンフセンター数学研究所も良い。バンフセンターはオーベルボルファッハ数学研究所と同様の研究スタイルで、1週間ごとに国際会議を催している。オーベルボルファッハ数学

研究所も良く、そこには良い図書室がある。またフランス国内ではマルセイユにある CIRM (オーベルボルファッハのフランス版) がよい。フランスの研究所はアンリ・ポアンカレ研究所 (IHP) とフランス高等科学研究所 (IHES) も有名。以上の研究機関には終身雇用の研究者はほとんどいない。

2. CNRSのシステムは近々変更予定だがここでは現システムについて述べる。CNRSは10,000人以上の研究者を雇用している研究者組織であり、本調査対象の他の研究所とはスケールが異なる。そのうち数学研究者は数百人程度だと思ふ。身分には准教授相当の "Chargés de Recherche" と教授相当の "Directeurs de Recherche" がある。私の大学では、数学部門の10パーセントの研究者はCNRS研究員である。CNRSの研究員はCNRSに雇用されているが、大抵どこかの大学に研究室を置いている。自分の研究室を置く研究機関を短期あるいは長期に容易に変える事ができ、受け入れ大学はフ

ランス中に広がっている。

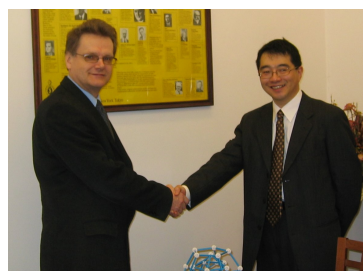
3. CNRS の特徴は教育の義務が無く研究に完全な自由が認められ研究に専念できることである。もちろん希望者は教育に参加可能で、しばしば学位論文の指導者になっている。CNRS の若手数学者は4年から6年過ごした後、大学の教授職を見つけることが多い。この傾向は他分野と異なっており、例えば理論物理では人生をすべてCNRSで過ごす研究者もしばしばいる。
4. CNRS 研究者は CNRS 研究者や大学教員を含む科学者からなる国家委員会により評価される。分野ごとに委員会があり、例えば数学には数学の委員会がある。CNRS 研究者は国家委員会の提案を受け CNRS の方針に従い募集が行われる。CNRS 研究者は若手の最初の年の雇用を除き基本的に終身雇用で、フランス政府の公務員である。CNRS 研究者は毎年小さな報告書を、2年毎には平均的なサイズの報告書を、4年毎には大きなサイズの報告書を提出している。
5. これまでの研究費は想定外の事態への対応などにそれ程柔軟でなかったが、新事務組織 ANR が3~4年間継続の研究費を作ったので、大幅に改善の見通し。ANR はアメリカの NSF に相当するフランスの機関で、大学院生対象のフェローシップやポスドク賃金へも支払い可能。
6. フランスでは会社が数学との共同研究の提案をする事があり、何度か参加した。その中の”汚染された多孔質媒体中の流れ”の研究では、博士課程学生が賃金の一部を会社から受け取った。別のケースでは、ポスドクが CNRS とある小企業から賃金を受け取ることが可能だった。あるシミュレーションのプログラミングを会社は求め、一方、大学では使用アルゴリズムの収束問題を解析した。
7. 数学と他分野の共同研究向けでは、CNRS には GDR や GDRI, PICS, LIA のような国内および国際プロジェクトがある。我々が遂行中の日本 - フランス CNRS 共同研究プロジェクト “ReaDiLab” は LIA のひとつで、数学者と生物学者、化学者、

理論物理学者が参加している。

8. 子供の誕生時には数ヶ月間の有給休職が可能である。他の場合、例えば介護の場合、無給での休職は可能だが有給取得はもっと難しい。
9. フランスでは数学の学位取得者が企業に就職する場合、研究者として大学に戻る事は理論的には可能だが、実際的には大変難しい。数値計算の数学や計算幾何学分野に強ければチャンスはあるかもしれない。しかし産業界の研究所に就職した場合、給料が大学より遥かに高いので大学へ戻ろうと思う人はかなり少ない。
10. 数学 - 産業界の研究の設計で一番大切な事は、学問的な研究と直接の産業的な応用とのバランスを取る事である。特に大学スタイルの研究と産業のための研究の時間感覚の差にうまく対応していく事である。
11. 過去にほとんど成果のない分野で、数学関連の新学際領域における提案に対する評価を行う際の重要な点は、まず、それ自身で十分優れた数学研究を含んでいるか、その結果が数学学術論文誌に出版可能かという点である。またその応用研究は実際の現実的であるか、そのプロジェクトに係わった他分野の研究者の疑問に対応しているかが重要である。
12. 私の大学 Paris-Sud XI (Orsay) の数学教室では研究者の流動性を高めるために、学位取得直後にはその研究者を雇用しない。各大学には独自の方針があり、この方針は国全体の統一の方針によるものではないと思う。
13. 日本に訪問者中心のプラットフォーム型研究所がもっとあると素晴らしい。私は(一週間毎に滞在者が入れ替わって研究会を開く)オーベルポルファッハ数学研究所型よりはむしろ(特別年方式で滞在期間が割合自由に決められる)IMAのような研究所が良いと思う。折角日本に来て1週間滞在するだけでは短すぎるため、もしそのような研究所が設立されれば我々の所で学位を取得した研究者をポスドクとして喜んで派遣するであろう。

2.3.4 Stanisław Janeczko 教授 (ポーランド科学アカデミー数学研究所 (IMPAN) 所長 / ワルシャワ工科大学教授)

ヒアリング対象者: Stanisław Janeczko 教授
役職名: ポーランド科学アカデミー数学研究所 (IMPAN) 所長 / ワルシャワ工科大学教授
場所: ポーランド科学アカデミー数学研究所
日時: 2008年2月19日
ヒアリング調査員: 島田 伊知朗 准教授



Stanisław Janeczko 教授 島田 伊知朗 准教授

1. あるべき数学研究所の姿:世界のトップクラスの数学研究所は、ヨーロッパではフランスのIHES、ドイツのBonnのマックスプランク研究所、CRNS研究所といったところでしょうか。ブラジルのIMPAもよい研究所です。世界的な研究所であるためには、幅広い関心をもち複数の分野にまたがる教育をうけた研究者を採用して、現代数学における野心的なプロジェクトを遂行することが必要です。活動的で創造的な数学者があつまっていれば、そのパーソナリティーによって若い研究者が自然と引き寄せられてくるものです。

2. ポーランド科学アカデミー数学研究所の概要:当研究所は1948年に、第2次世界大戦を生き延びた優秀な数学者のグループにより設立されました。これはポーランド数学学派の夢を実現するものでした。当研究所は現在、研究者81名、支援スタッフ65名、大学院生25名、ポスドク10名からなっています。短期訪問者は年間約900名、長期訪問者は年間約25名ほどです。8棟の建物を所有しており、そのうちのひとつは130人が収容できる会議場です。本部はワルシャワにあり宿泊用の部屋が25部屋あります。おもな資金源は政府です。

3. 研究所の運営について:当研究所の全ての意思決定は、所長が学術委員会(おもに雇用に関して)と諮問委員会(研究者の採用に関して)の助言のもとでおこないます。研究者のうち40パーセントは既に実績を確立した人物を採用します。のこりの60パーセントは、能力に応じて1年から3年の期限付きポジションで雇用します。特別な委員会が、各研究者を、結果の質と論文の出版された雑誌のランクにより評価し、所長に意見を具申することで研究者の給与が決定されます。とりわけ優秀な者には特別昇給があります。1年から3年の期限付きポジションについたものには1年の延長が認められる場合があります。これらの研究者

は大学に職を保持したまま当研究所にやって来ており、研究期間終了後はまたもとの大学にもどります。パートタイムで働くことも可能です。所長は公開競争と研究所の学術委員会による投票を経て、ポーランド科学アカデミー会長により任命されます。任期終了後はもとの職にもどります。

4. 他の研究機関との交流:人的ネットワークを構築するために、数学者の統合を目的とした会合をひらいています。また、小さな大学を支援するために、そのような大学から若い研究者を雇用するための特別なプログラムがあります。当研究所はポーランド国内の主要数学研究機関の共同体(Consortium)のリーダーです。この共同体は数学コミュニティの対社会的な広報活動に責任を負っています。

5. 研究所の評価について:3年に一度、外部評価が行われます。その他に、外部の評価者を交えた公開報告会による自己評価が毎年行われます。

6. 学際的な研究について:学際的な研究の成功例には次のようなものがあります。ファイナンスの分野において、ワルシャワ大学との共同研究により、ポーランド国営銀行のポートフォリオのためのベンチマークを作成しました。また、計算生物学および量子計算機の分野においても成功した研究例があります。学際的な研究をより盛んなものとするために、研究所内に「科学技術のための数学センター」なるサブユニットをもうけています。このユニットは、産業界からの参加者を交えた大きな問題に関する会議を通じて産業との共同研究を組織しています。分子生物学およびナノテクノロジーの分野での新しい数学的方法の開発が強く望まれますが、これは野心的な数学研究の成長によってのみ可能です。

7. 政府による数学振興政策について:数学を振興しなければならない理由は明らかです。科学の基礎的な発展はいわゆる「純粋数学」によってのみ

可能だからです。この関係は、研究者が現象を数学的对象に置き換えることから始まりました。もうひとつの理由は、世界を知的に豊かにする純粋で本質的な創造性への美的な欲求です。政府による重要な科学プロジェクトに数学者は参加すべきです。

8. どのような数学が振興されるべきかについて：数学を「純粋」「応用」「インダストリアル」にわけるとはできません。数学は一つであり、このような分類はきわめて人工的なものです。数学的創造性は常に同じものです。ときとして実在世界からのフィードバックが得られることもありますが、そのときでも数学は同じ数学であり続けます。純粋数学は安易な応用に流れやすい人々や能力の低い数学者からの批判にさらされています。このような状況は変えなければなりません。我々は真の数学を振興するだけです。それは正確さによって我々の知識を本質的な意味で拡大するものです。他分野との統合された研究というのは簡単ではありません。すべての分野とプロジェクトから幅広い関心をもった研究者が参加することが必要です。日本はインダストリアルおよび工学の分野においてきわめて高い創造性を持っています。したがっ

て、他の分野の研究者と進取の気性に富む少数の数学者からなる研究グループを組織することが可能でしょう。我々の研究所でも、他分野の科学者とその分野に近い数学者を集めたワークショップを組織しています。

9. 日本の数学について：日本の数学は大きく進歩していると思います。日本人数学者は高度な素養をもち、世界中の最高の研究所を訪れ、きわめて生産的です。かつて広中平祐教授と議論したことを思い出します。彼は若手研究者に他国の研究者と協力して野心的な研究に乗り出すよう強く勧めていました。日本にも訪問者を主体とするプラットフォーム型の研究所を是非つくるべきです。その研究所は日本独自のスタイルにするべきだと思います。フランスの IHES, Bonn のマックスプランク研究所、そして Princeton の高等研究所から良いところをとればよいと思います。

10. 北大の数学連携研究センターについて：わたしは数学連携研究センターを訪問したいと思います。わたしと日本の数学者との共同研究は非常に成功をおさめてきたからです。また、若い研究者に、是非ポスドクとしてこのセンターに滞在することを強く勧めたいと考えています。

2.3.5 Hyo Chul Myung 教授 (韓国高等研究所 (KIAS) 所長)

ヒアリング対象者: Hyo Chul Myung 教授

役職名: 韓国高等研究所 (KIAS) 所長

場所: 韓国高等研究所

日時: 2008 年 1 月 25 日

ヒアリング調査員: 山口 佳三 北海道大学理学研究
院長



山口佳三教授 Hyo Chul Myung 教授

1. 世界的な数学研究所としては、プリンストンの高等研究所、パークレーの MSRI、京都の RIMS、パリの IHES、ロシアの Steklov 数学研究所、ミネソタの IMA 等が挙げられよう。最近のものとしては、UCLA の IPAM、カナダの PIMS が挙げられると思う。当研究所は、プリンストンの高等研究所をベンチマークとしている。純粋、応用といっても最近では識別できないほど近づいていると感じている。

2. 最も重要なことは、核となる良い研究者集団を形成し、良い研究環境を整えることだと思う。良い研究計画は、良い研究集団が生み出すものだと思う。そして、外部との良いコミュニケーション作りが重要である。

3. 良い研究集団が物理的に同じ場所にいて議論する利点は、他の研究者がどのように考えて行くのかを見るだけでなく、同時に多人数の研究者と意見を交わし生きた思考を通じて新しい問題が生まれていくことにあると思う。

4. 当研究所 (KIAS) は 1996 年 10 月に設立された。この研究所の設立を提議したのは、当時の政府の科学技術担当大臣の Kunmo Chung 氏である。彼は、プリンストンの高等研究所を良く知っていて、基礎科学の研究を行う研究所を設立したいと思い、数学、物理、化学、生物の 4 つの部門からなる研究所を構想した。しかしながら、韓国の IMF 危機を経た経済事情で、数学と物理の 2 部門で発足し、その後、2003 年に計算機科学の部門を付加した。KIAS は運営は完全に独立しているが、公的には KAIST (韓国高等科学技術研究所) の下部機関である。

5. 当研究所の構成人員は、教授 20 名、内 4 名は特別教授、数学の特別教授はフィールズ賞受賞者の Zelmanov 教授、物理の特別教授はノーベル物理学賞受賞者の Susskind 教授、計算科学の部門にはまだいない。支援職員は常勤 22 名、非常勤 10 名である。大学院生はおらず、大学院課程はないが、75 名の PD(ポスドク)を採用している。この

外に、コンピューター技術者が常勤 3 名非常勤 2~3 名と図書館司書が 1 名その補助者 1 名がいる。年間の訪問者は 200~300 名で、約半数が海外からの来訪者である。75 名のポスドクの内 35 名は海外からで、日本、中国、イタリア、イギリス、アメリカ合衆国等から来ている。

6. 当研究所の建物は KAIST から借りている。年間 40 回の国際会議を開き延べ 8000 名の参加者が集う当研究所として、スペースの問題が最も深刻である。取り合えず現在の建物にもう 1 階分増築する予定であるが、できれば新しい自前の建物に移転したいと考えている。宿泊施設としては 15 室のアパートを KAIST キャンパス内に持ってあり、研究所員と来訪者で使っている。それ以外に、歩いて 25~30 分の距離にある Holiday Inn と宿泊の割引契約を結んでおり最近利用を始めた。

7. 当研究所の研究計画は、3 つの部門それぞれで立案する。短期計画として 1~2 年のものを、長期計画として 1~5 年のものを作成する。それぞれの研究所員は 3~4 名のポスドクを指導し、1 つのグループを形成して短期・長期計画を立案する。評価は研究所内のものと毎年の政府 (科学技術担当省) によるものを受ける。政府の評価は A,B,C の 3 段階評価で、C を受けると次年度予算が減額され、A を受けると増額となる。評価過程で、専門評価委員が意見を述べるが、ここで悪い意見を受けないように計画を作らねばならない。

8. 当研究所の予算は 95% が政府による。その他 5% を教育省、韓国科学基金等からの補助金によっている。将来において政府からの予算は 85% 程度となろう。この予算の中で、各研究所員は年間 25000 ドルの研究予算が与えられる。この研究費の内、40% は旅費に使用することができる。政府から直接研究経費が支給されているのは、韓国内で当研究所のみである。

9. 当研究所の意思決定の過程は、いくつかの委員会によってなされるが、重要なものは研究所員会議と運営委員会である。研究所員会議は年に 4 回

開催され副研究所長が議長を務める。運営委員会は各部門の長が集まり、所長が議長を務め、研究所の運営上の重要事項を協議する。

10. 当研究所での雇用とその延長については、内部評価と外部評価によっている。この評価によって毎年のサラリーが所長により決定される。雇用契約は、常勤所員については、最初1~3年であり、契約の切れる半年前に評価書が作成され雇用が1~7年の期間延長される。ポスドクについては雇用契約は2年であり、毎年の評価によってさらに2年の延長がある。教授の雇用は当研究所にとって、研究の駆動力の選択として最も重要な事柄であり、時間と労力のかかる仕事である。公募によって雇うことはなく、いろいろな方面から当研究所の教授にふさわしい人材の情報収集から始める。時によっては、他の機関からの移籍のため、3年以上の期間を要したこともある。

11. 当研究所では、設立当初より政府から雇用形態の自由度を得ており、月単位での雇用が可能である。これを利用して年間3カ月雇用の教授が2名いる。彼らはともにアメリカの大学に籍を持つ韓国人であり、当研究所の対外的活動に大いに貢献している。

12. 当研究所の所長の任期は3年であり、所長の任期終了近くに、所長任用委員会が作られ候補者を選任する。この委員会は科学技術省、研究所理事会、KAISTの3者より選出された委員からなる。所長は国際公募によって選ばれる。候補者に対して、この委員会が面接調査を行い、候補者を2名に絞る。この2名の内から、理事会が最終決定を行う。実際、こうして選ばれた最初の所長は、ジョンズホプキンス大学の物理学の教授であった韓国人であった。

13. 当研究所は国内外の数学研究所・大学と交流協定を結んで、活発な交流ネットワーク作りを行っ

ている。海外とは、パークレーのMSRI、京都のRIMS、東京大学数理科学研究科、カナダのPIMS等と結んでいる。国内では、多くの大学と結んでいるが、これらの機関からの来訪者に対して、客員研究員制度を設けている。客員研究員は年間に、90日、研究所に滞在できる。この制度はよく機能しており、年間200名近くを受け入れている。任期は2年であり、更新可能である。研究所は客員研究員に部屋、旅費、滞在費等を支給し、それによって客員研究員は研究所内の研究所員、ポスドクと自由に共同研究ができる仕組みである。

14. 当研究所は、先程も述べたように、プリンストンの高等研究所をベンチマークとしているが、プリンストンは約80年前に、私的財政基盤のもとに設立されている。プリンストンのスタイルは設立当初から存在した。それは豊かな財政的基盤と学問の自由である。この「豊かな財政的基盤」と「学問の自由」が、どの数学研究所も欲するものである。当研究所は、ほぼ100%、政府の財政援助を受けている。その意味で財政基盤はあるが、自由はない。我々はプリンストンスタイルを直接まねるわけにはいかない。我々は国の援助、従って納税者の援助を受けているので、社会に対する責務がある。また、ドイツのオーベルポルフア研究所、ミネソタのIMA等、数学研究所の運営の仕方はいろいろあるが、その方法を直接コピーすることは不可能で、それぞれの研究所の置かれた国の文化、環境に合わせた運営が必要となる。

15. 当研究所の支援職員の内、女性職員は基本的に英語で対応可能であり、男性職員の3分の1が英語を理解する。当研究所のアパートは韓国風づくりであり、施設の利用マニュアル・交通案内・食事食品案内等を記した外国人訪問者用のガイドブックを毎年更新して配備している。

2.3.6 William Rundell 教授 (米国 国立科学財団 (NSF) 数理科学課 前課長 / テキサス A&M 大学 教授)

ヒアリング対象者: William Rundell 教授

役職名: 連邦政府 国立科学財団 (NSF) 数理科学課 前課長 / テキサス A&M 大学 教授

場所: 札幌市内

日時: 2008年3月12日

ヒアリング調査員: 儀我美一 教授、山本昌宏 准教授

このインタビューに先だち札幌で2008年3月11日に開催されたシンポジウム「イノベーション創出と数学研究 — 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して —」(後述)においてRundell教授は講演されたが、以下のような追加コメントをいただいた。

1. 研究所の重要な任務の一つに、新しい学際領域の探索、開拓がある。これを実現するために、ロサンゼルスにある IPAM (Institute for Pure and Applied Mathematics) とミネソタの IMA (Institute for Mathematics and its Applications) は、特定の期間に特定のテーマを設定し、テーマに応じて世界中からトップクラスの研究者を集め、企画・組織・運営を行い、集中的に研究を行っている。IPAM は学期ごとに新たなテーマを設定する特別学期 (special semester) 方式を、IMA は年ごとの特別年 (special year) 方式を採用している。テーマは、数学が本質的に寄与できる新学際領域開拓にふさわしいものが選ばれる。将来のテーマの候補と考えられるものを、IPAM や IMA では、夏季に短期間開催されるセミナーや、話題のトピックを対象としたワークショップで取り上げ、調査を行うことも多い。

ところで、他の米国の研究所は純粋数学よりの比重を置いて研究を行っているところもある。例えば、プリンストンの IAS (Institute for Advanced Study) やパークレーの MSRI (Mathematical Sciences Research Institute) が挙げられる。この他に AIM (American Institute of Mathematics) では特定のテーマに絞って集中的に研究を行い、数学上の有名な予想の解決に結びついた事がある。カナダのバンフにある BIRS (Banff International

Research Station) はカナダと NSF の共同運営により、1 週間単位の研究集会を様々なテーマについて行う。こうして IMA, IPAM や SAMSI (Statistical and Applied Mathematical Sciences Institute) のような学際的課題を扱う研究所を、数学研究面で補完している。

2. IPAM や IMA では特別学期や特別年ごとに組織委員が結成され、彼らには一定の資金が提供される。この資金の使い方や分配は組織委員が決める。各組織委員には半年間から一年程度の研究所滞在が期待されるが、給与や滞在費などの条件は交渉次第である。組織委員の所属大学における待遇によっては、給与の全額を研究所が支払う可能性もある。中長期滞在者の構成は、教授クラスが 20~30 名、若手が 20 名で、その他に短期訪問滞在者が 100 名以内というケースが典型的である。

3. 私の NSF の課長在任時には、給与は私の所属大学 (テキサス A&M 大学) から全額支給されていた。大学は長期出張扱いであった。しかし NSF と大学の契約により私は 100% NSF の仕事を行っていた。NSF は私の所属大学に私の給与全額分を支払った。大学は私の給与相当額で、私の講義などの責務を肩代わりする講師を雇用するなどしていたと思われる。

2.3.7 Jing Yu (于 靖) 教授 (台湾国立理論科学研究センター (NCTS) 所長 / 国立清華大学教授)

ヒアリング対象者: Jing Yu (于 靖) 教授
役職名: 台湾国立理論科学研究センター (NCTS) 所長 / 国立清華大学教授
場所: 国立清華大学
日時: 2008 年 1 月 28 日
ヒアリング調査員: 山下 博 教授

1. プリンストン高等研究所 (IAS), フランス高等科学研究所 (IHES), ドイツのマックス・プランク研究所, パークレーの数理科学研究所 (MSRI) に滞在経験がある。これらは純粋数学をメインとした世界トップレベルの数学研究所と考える。世界水準の数学研究活動を行い、トップクラスの訪問者を受け入れることが世界レベルの研究所のための要件といえよう。
2. 数学の研究所設立のメリットは他分野の場合と少し異なる。数学においては、研究者が集まって

議論や共同研究を行うことが他分野に比較してより重要であり、また実り多いものとする。世界トップレベルの研究者が短期あるいは長期に研究所を訪問して、最先端の課題に焦点を当てた研究活動を行う。これによって数学の研究が進展する。ここに研究所設立のメリットがあり、数学研究の振興に大変重要な役割をもつ。

3. 数学及び物理学の二部門からなる国立理論科学研究センター (NCTS) は行政院国家科学委員会 (NSC) により 1997 年に設立された。Chen-Ning Yang (ノーベル物理学賞受賞者) や Shing-Tung Yau (フィールズ賞受賞者) の著名研究者が本センターの設立を強く推進した。運営財源は NSC からの政府資金が主であるが、国立清華大学が本センターをホストしている。ホスト大学は、NCTS のためにスペース、図書、インターネット回線を供与している (大学には光熱費等の諸経費のみ支払っ

ている)。さらに、NCTS のセンター科学者はホスト大学等に所属する教員が兼務しており、給与は大学から支払われている。一方、本センターの活動を担うために、センター科学者の所属大学における教育責務は専任者の半分に減らされている。

4. 現時点で NCTS (数学部門、以下同様) には、センター科学者 10 名、事務系職員 4 名、コンピュータ技術員 1 名、ポスドク研究員 5 名が在籍している。その他に大学院学生レベルのリサーチ・アシスタントも雇用している。図書室はホスト大学の数学図書室を利用している。

5. NCTS への来訪者は研究集会などの短期訪問者を含めると年間 100 名を超える。1ヶ月以上の長期滞在者は年間 20 名程度である。これらの訪問者を受け入れるための宿泊施設 (ゲストハウス) や研究室などの施設・スペースは現状では足りていると認識している。

6. NCTS ではテーマを絞った課題プログラムによるプロジェクト研究を行っている。研究課題の選定は、科学顧問委員との意見交換 (場合によっては提案) を経て、国内数学研究者からなる学術委員会及び執行委員会によって行われる。NSC は個別のプロジェクト選定に対して提案を行うことはないが、次の意味で非公式な示唆を与えることがある。例えば「生物数学を取り上げる可能性を検討すべきである」などの提言をとおして、可能な限り学際的研究に誘導しようとする。しかしそれは研究目標を束縛・制限することにもなるため、NSC は強制力を伴ったあからさまな指導を行うことはない。

7. NCTS は NSC を通して政府の財源により運営されている。年間予算は百万 US ドルを超える。財政支援の期間は 5 年を単位とし、5 年毎に外部評価を受けている。最近では 2008 年 1 月上旬に外部評価を受けた。また自己点検評価のために年次報告書を毎年出版している。年次報告のデータに基づき NSC から毎年ヒアリングを受けている。その結果は次年度の予算額の増減に反映され得るものである。

8. NCTS への研究者の選考・招聘にあたっては、シニアの著名研究者から中堅クラス、若手のすべての世代を一様にカバーするように努めている。なかでも、国際交流と数学の発展のためには若手が大変重要であると考え、若手研究者を積極的に招聘している。一方、台湾内部と海外の研究者のバランスも重視している。台湾は小さいため海外からの研究者がどうしても多くなるが、台湾にお

ける数学の発展に資するためには国内の研究者が一定割合以上含まれるようにしたい。台湾の数学研究者が本センターにおいて海外からの訪問者とともに研究活動を行う環境を整えることは NCTS の使命のひとつである。

9. ホスト大学等の数学教員に NCTS のセンター科学者として兼務してもらうには、当該大学の数学教室と合意を交わす必要がある。所属大学での教育責務があるため、長期間の兼務ができないことがしばしばである。教育責務の補完のために非常勤講師を雇った実績はあるが、台湾ではこれを実行するのは容易でない。これは財源確保が問題なのではなく、非常勤講師の任用についての大学の堅いルールが原因である。

10. NCTS の所長は科学顧問委員会の推薦を経て、NSC が任命する。永久職ではなく、任期終了後は所属大学に戻る。

11. 中国系の数学研究者の間に人的ネットワークや共同研究体制を築くことを重視している。そのため、米国在住の中国系数学研究者に NCTS を訪問することを奨励している。台湾内部では、NCTS は第 2 期から台北と台南にサテライトを設け、活動の幅を広げている。一方、台湾東部や南部の小規模大学との交流を活発にするため、これらの大学の数学研究者が NCTS を訪問する際の旅費などをサポートしている。

12. 学際的研究については、過去 5 年間において、数理生物学、及び、科学計算を通じた工学との連携で予期した以上の効果があったと考えている。産業との間は上記の工学を通じた間接的な連携に留まっている。

13. 物理学との連携は若干多義的である。NCTS 物理部門とはフォーラムなどを共同開催しているが、やはり数学者には数学者自身のゴールがあり、物理学者にもそれ自身のゴールがある。数学と物理の間で何かの話題について良い論文が生み出されるなど真の共同研究が進んだ訳ではない。しかし、過去 10 年の間、数学者に物理からの数学的問題を考えることを奨励した結果、数理物理の分野での良い学術誌に載る論文が目に見えて増えた。

14. 数学と他分野との学際的研究が将来ますます重要になるであろうことは万人の認めるところである。しかし、これは非常にゆっくりとステップを踏んで進めていく必要がある。NCTS も試行錯誤の段階であり、この方向での急激な変化や発展を期待してはいない。また、台湾では科学研究者数が少なく、必要数に達していない。現在の数学

研究者数からみても、学際的数学研究の可能性が制約されるのは当然だろう。

15. 数学は文化、科学、技術のいずれにおいても重要であり、その研究を振興する必要がある。これは大部分の学者あるいは科学者が認めるところであり、NSC も数学研究の振興に支援的である。これはひとつには、韓国、香港、シンガポールのアジア諸国（台湾を含めて four little dragons とよばれる）が数学研究に大きく投資しており、これに遅れてはならじとの意識が働いている。

16. 我々は純粋、応用、産業数学など数学全般を振興している。純粋数学に力を入れていると考えられがちだが、意図している訳ではない。ただし、産業は数学との繋がりがより間接的であるし、応用数学の研究には、ときには、設備や計算等のための大きな研究グループが必要になることがある。応用・産業数学はこういった点で束縛条件が大きいのは事実である。なお、数学研究の振興のためには、数学が諸科学や産業に役立つという視点より、文化の礎をなす基礎科学としての視点が強調されるべきと考える。

17. 日本や台湾を含むアジア主要国の数学研究の現状に関連して、NSC への報告のために、10 から 20 の第一級の数学学術誌を抽出し、日本、台湾、

韓国、中国について掲載論文数を人口比で算出した（国別論文総数だけの比較は全く価値がないと考える）。その結果、日本は台湾の上位にランクされた。台湾は韓国より下位ではなく、中国に比べると上位に位置する。現在も日本の数学は台湾が目指すところと考えている。1988 年以降、私は日本を何度も訪れている。台湾の整数論グループも加藤氏や斎藤氏が率いる研究グループに会うためにしばしば日本を訪れる。日本は大変良い伝統をもっており、研究交流や共同研究をさらに推し進めたいと大きく期待している。

18. 日本にはオーベルボルファッハのような研究集会型の数学研究所があると良いと考える。アジア地域にとって、日本にこのような数学研究所があると大変魅力的であると思う。また、北海道は東アジアにおいて大変おもしろい位置にあり、訪問者主体の研究センターを設置するには良い場所である。東京と京都以外の場所にこのような研究センターが出来るのは意味があると思われる。

19. NCTS の事務系職員は訪問者との連絡に英語を実用レベルで使いこなしている。採用時には簡単な英語のテストを行うが、その他に特別なトレーニングを行ってのことではない。事務系職員がこのレベルの英語を話せるのは自然なことである。

参考文献

- [1] 北海道大学国際シンポジウム イノベーション創出と数学研究- 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して - 講演資料, 北海道大学大学院理学研究院数学部門, 2008 年 3 月 11 日
- [2] 細坪護拳, 伊藤裕子, 桑原輝隆: 忘れられた科学 — 数学, 文部科学省科学技術政策研究所, POLICY STUDY No.12, 2006 年 5 月 (<http://www.nistep.go.jp/achiev/abs/jpn/pol012j/pol012aj.html>)
- [3] 細坪護拳, 桑原輝隆: 米国の数学振興政策の考え方と数学研究拠点の状況, 文部科学省科学技術政策研究所, 調査資料 No.131, 2006 年 10 月 (<http://www.nistep.go.jp/notice/nt061024.html>)
- [4] American Mathematical Society (<http://www.ams.org>)
- [5] D. Arnold, A. Scheel, D. Lewis: Institute for Mathematics and its Applications, Annual Report, July 1, 2004 – June 30, 2005
- [6] Institute for Mathematics and its Applications, <http://www.ima.umn.edu>
- [7] Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, <http://www.newton.cam.ac.uk/>
- [8] Allyn Jackson: Oberwolfach, yesterday and today. Notices Amer. Math. Soc. **47** (2000), no. 7, 758–765
- [9] Mathematical Institutes and Centers, <http://www.ams.org/mathweb/mi-inst.html>
- [10] Newton Institute Annual Report 2005–2006, <http://www.newton.cam.ac.uk/reports/annrep0506.pdf>
- [11] Newton Institute Annual Report 2006–2007, <http://www.newton.cam.ac.uk/reports/annrep0607.pdf>
- [12] Oberwolfach, Annual Report 2006, http://www.mfo.de/publications/annual_reports/annual_report_2006.pdf

- [13] The Senior Assessment Panel for the International Assessment of the U. S. Mathematical Sciences, (The “Odom Report” National Academy of Sciences), March 1998, <http://www.nsf.gov/pubs/1998/nsf9895/nsf9895.pdf>
- [14] Mathematics of Information Technology and Complex Systems, <http://www.mitacs.ca/index.htm>
- [15] MITACS Annual Report, http://www.mitacs.ca/CMS/asset/143_2007-10-05-11-10-10.MITACSAR07ENGonline.pdf

第3章 数学研究に関する情報集積状況調査結果

この章では、まず第3.1節で調査方法、調査結果の要点及び今後取るべきと思われる方策について述べる。日本で発行されている数学の国際学術雑誌(大学の紀要も含む)が数学内の分野での国際的存在感があるかどうかの調査、及び分野間の相互関係についての調査結果をまとめた。また第3.6節に数学分野における情報集積、情報発信に関わりの深いと判断できる組織やプロジェクトに関わる方々からヒアリング対象者を選び、インタビュー結果をまとめた。

3.1 調査方法と調査結果の要点及び今後とるべき方策

3.1.1 調査方法

日本の数学研究に関し、書誌情報データベースを利用して以下の調査を行った。

- Math. Review (アメリカ数学会 数学研究レビュー, Mathematical Reviews) データベースによる、日本の研究機関から発表された分野別論文数および全体に対する割合(第3.2節)。
- Math. Review データベースによる、日本の研究機関から発行された国際誌のパフォーマンス、分野別論文数および全体に対する割合(第3.3節)。
- Math. Review データベースによる、数学の研究分野間の相互関連(第3.4節)。
- トムソンコーポレーション SCI (Science Citation Index) データベースによる、引用傾向の他分野比較(第3.5節)。

Math. Review に関しては、MathSci CD-ROM を用いた。CD-ROM 版を用いた理由は、収録データに限定はあるものの、調査目的に即したデータ利用を可能とするからである。

数学分野における情報集積および情報発信に関わりの深いと判断できる組織およびプロジェクトからヒアリング対象者を選定し、インタビューを実施した(第3.6節)。

本章末には、CERN において検討されているコアジャーナルの新たな購読モデル SCOAP³ に関する報告書抄訳を掲載した。調査およびヒアリング結果の詳細は第3.2節から第3.6節にかけて提示する。

3.1.2 調査結果の要点

本調査により、以下の4点が初めて科学的・客観的に実証された。

1. 国内研究機関所属の研究者が執筆した論文総数は、数学の特定分野において世界全体に対して平均以上のシェアを保っている(第3.2節)。
2. 国内大学で発行される紀要を含む、数学分野の国際学術雑誌(ジャーナル)の国際的な存在感は大きい(第3.3節)。第3.3節で論文シェアの大きかった研究分野では、大規模出版社である Springer や Elsevier に匹敵する数の論文を出版していることがわかった。理学系・工学系・医学系における国内学術出版の数字としては極めて異例である。
3. 国内発行の国際学術雑誌で見られる研究分野の相互関連性は、世界的傾向と同様である(第3.4節)。
4. 引用傾向は分野によって大きく異なる。例えば、比較的、数学や動物学は論文が比較的長期にわたって引用されるが、生物化学では引用が短期間になる傾向が高い(第3.5節)。

以上から、数学分野では、大規模出版社のカバーしえない重要な研究資産が国内に存在することが明らかとなったが、この研究資産の活用という点で、国内の研究基盤は電子時代に十分対応できていない。例えば、慶応義塾大学図書館関係者が指摘するように、情報の「可視性」という点で十分ではない。

数学における過去の研究基盤は、数学図書室とそこに長く勤務する職員であった。この時代において、学術雑誌・図書購入の選定は、数学教室の手にあり、図書室の運営は長年の経験による一種のサブジェクト-ライブラリアン¹としての職員によって暗黙裏により維持されたものである。数学教室発行の紀要も彼等により発行されてきた。

時代は既に電子ジャーナル、電子ブックを必須とする。一般的な大学において、これらの購読経費は中央経費として裁量され、契約に際して数学教室のイニシアティブは損なわれている。同時に、図書室の職員は定期的に移動することも当然となった。以前の暗黙知は失われ、何らかのパッケージに属さない単独の国際学術雑誌は存在価値を確立する事が極めて難しくなってきた。

数学と他分野の連携を視野に入れると、豊富な関連分野の研究資産を維持することも重要である。大学内で部局を超えてその様な役割を果たせる機関は、大学附属図書館(あるいは相当する部局)しか存在しない。しかし、かれらは専門分野の知識を十分にもたないで、各分野の重要性と将来の見通しをもつことが難しく、一律の基準で全学的な方針を決定せざるをえない立場にある。この点が、個々の研究分野に応じたきめ細かい方針を策定できる能力を持つ北米の大規模大学との大きな違いである。(Ehling氏ヒアリング、慶應ヒアリングにおけるトロントの例を参照)

数学に関する研究基盤は、大学における一般的な研究基盤・研究環境と考えられる。つまり大学の総合力の一部であるとも言える。数学研究の研究基盤・研究環境整備には、上記のように、大学の所有する貴重な研究資産が広く有効利用される必要があるが、現在は、ややもすると、中央部局による一元管理的な発想が優先され、現場の研究者の研究基盤・研究環境の向上という本来の目的がおろそかになる傾向が見られる。

3.1.3 今後取るべき方策

数学分野における情報集積および情報発信の将来像をどのように設計するかという問題は、数学に関する研究基盤を今後どのように強化していくかという問題であり、学問全体の研究基盤の問題でもある。

電子時代に数学の研究基盤は大きく変わった。大きな問題は、この様な研究基盤の変化に対応する開発型の研究や、個別の成果を実際に適用する研究への支援が不十分であるという点である。

英国のJISC (Joint Information System Committee <http://www.jisc.ac.uk/>) に代表されるような研究教育基盤の強化を図る機関の下に、各研究分野の研究基盤を強化すべきである(この様な機関はネットワーク型か、または相当する制度でも良い)。この活動には、各研究分野の専門家が研究基盤の強化という目標の下に集結する必要がある。

JISCの活動は、新たなテクノロジーとイノベーションを追求することで研究教育をサポートするものである。ホームページによると、提供する主なサービスは次の通りである。

- 世界規模のネットワーク
- 電子的資源へのアクセス
- 革新的な学習教育研究環境の整備
- 研究教育機関の変革へのガイド
- アドバイスおよびコンサルティング

例えば数学分野からも、数学分野の研究基盤の将来像を見通す一層の科学的調査の下にこれらの活動へ参加する必要がある。数学分野の研究基盤に関して、例えば、情報発信および成果公開の基盤としてのジャーナルの形態をどうするか、e-Bookへどう対応するかなどといった問題がある。同時に他の研究分野の特徴を理解したうえで、研究基盤の相違を一層調査し、それを研究者が共有する必要がある。

¹ライブラリアンとは Library Science の学位を持つ専門職としての職名であり、専門分野の学位および Library Science の学位を持つ専門分野の研究者に相当する知識を持つライブラリアンをサブジェクト-ライブラリアンと称し、メタデータ設計および実装などを担える能力を持つ。いずれも日本における司書あるいは図書館員とは意味が異なる。

具体的な例を挙げると、JISC によれば、Network, Access Management, Information Environment, e-Resources, e-Learning, e-Research, e-Administration, Business and Community engagement など 8 テーマを戦略的に推進しているとある。これらは日本でも個別に研究されているテーマであろう。しかし、その成果を実際に活用する場合には、膨大な数の問題が生じる。例えば e-Administration であれば機関ごとの事情に応じた活用の難しさ、機関間の相互運用性の難しさが挙げられる。数学分野に適用するには、数学分野とその研究機関ごとに生じる個別の問題に対処しなければならない。それを解決するためには、JISC のような日本には存在しない機関での活動が参考になる。

このような機関、あるいは制度を確立し、様々な科学的調査や数学モデルを用いた開発研究を行うことで数学分野の研究基盤のみならず、日本全体の研究基盤が改善されることになるはずである。このような科学的手法、数学的手法を用いた分析や開発研究は、サービスサイエンスのレポート [1] を見る限り、サービスサイエンスの典型的な研究課題とも考えられる。

以下に具体例を述べよう。数学分野に多い、国内外の中小規模の有力国際学術雑誌について、どこの機関がどの雑誌を購入し、どの様なコンソーシアムを組むと、研究者にとって効果的なのかという購読モデル案、大学などの研究機関や学会発行の国際学術雑誌の世界へ向けた情報発信力強化をねらった出版モデル案を考察する体制を確立することは急務である。国内で発行される大学紀要を含む数学分野の国際学術雑誌の国際的な存在感は大変大きいことを考慮すべきである。出版モデルについては、関係諸機関²との連携が必要である。永井氏および Ehring 氏のヒアリング結果を参考に方針を考慮すべきである。

これらのモデルの考察のために、数学的手法を用いた研究開発は大変有効であろう。いずれも数学研究者だけの議論には限界があり、研究分野や研究機関の枠を越えた開発研究と実践が重要である。この過程では研究基盤を構築しうる専門家群、すなわち研究組織と事務系組織双方とコミュニケーションを成立しうる組織の構成員を、数学に限らず養成し続けなければならない。このような専門家は、日本においては極めて薄い層でしか存在しないからであり、体系的に輩出する状況ではないからである。

研究基盤のあり方は分野によって異なることは言うまでもない。数学図書室は数学研究にとって重要な基盤である。数学と他分野連携のためには、それがどこであるか事前には予測不可能な連携対象分野の情報を電子的に網羅した学術情報基盤である新たな「図書室」を構築し、数学の情報基盤としての「図書室」とを電子的かつ相互に障壁なく利用可能とすることは極めて重要である。大学などの研究機関は研究環境を提供する際、一律管理型対応ではなく、研究者の能力を最大限引き出すことを目指した戦略的対応を取り入れるべきである。

なお研究環境は、研究者の流動化を阻害するものであってはならない。大規模な研究施設を持たない数学分野といえども、円滑なインターネット接続の確保、および電子ジャーナル、データベース等の利用環境の整備は認証も含めて効率的に行われるべきである。これらの問題は、現在進行中の認証プロジェクト UPKI⁵ および出版社との連携等によって基盤が整備されうる。慶応義塾図書館におけるヒヤリングで明らかになったように、研究機関を超えた研究者の認証環境とローカルロード³に近い形での統合的なアクセス環境の整備が必要である。

3.2 シェアの高い研究分野

1985 年以降に出版された論文の数と国内研究機関から出版された論文の数について、MSC⁴Primary 上位二桁⁵が示す分野について比をとった。1985 年以降とした理由は、Math. Review において著者研究機関を登録するようになった時期が 1980 年であり、その後の数年間のデータには非常に不安定な部分があるからである。

表 3.1 に全期間 (1985 年以降) を通じて国内研究機関から発行された論文のシェアが高い研究分野について示す。これは一定の目安であり、これらの数値が持つ意味は別途検討する必要がある。

²J-STAGE, 国立情報学研究所等。物質材料研究機構科学情報室や医学系の医療情報学講座などの組織のありかたが参考になる。

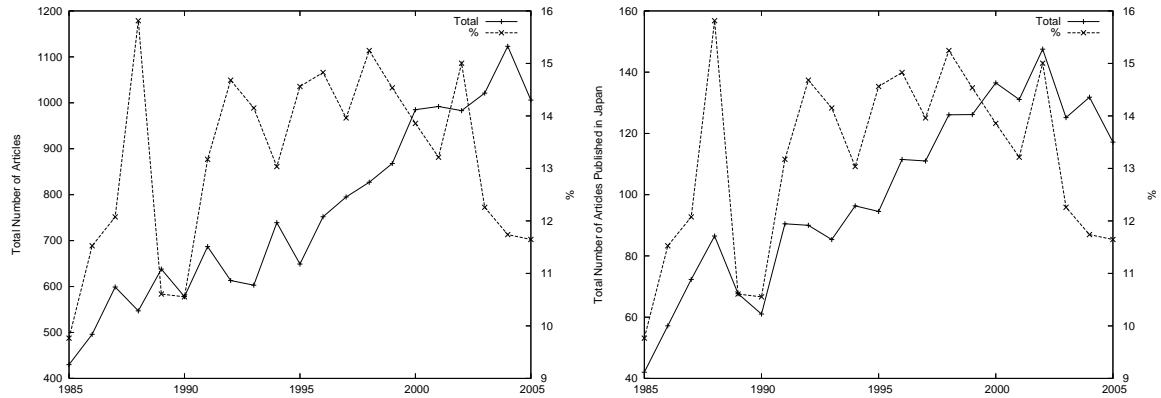
³電子ジャーナル、電子ブックおよびデータベース等の電子的媒体を契約機関の内部に保持する契約形態。

⁴Mathematics Subject Classification の略。

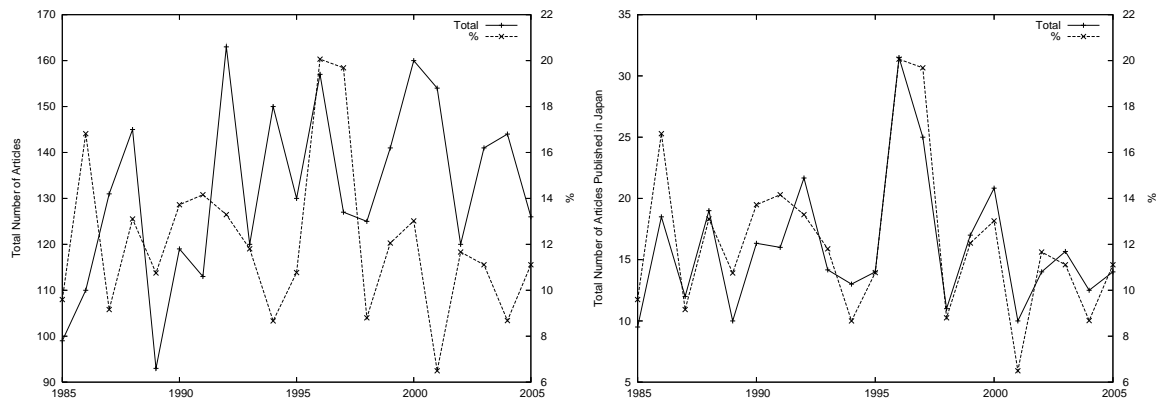
⁵アメリカ数学会発行の Math. Review による数学分野の大分類番号 (<http://www.ams.org/> 参照)。なお日本語訳は <http://coe.math.sci.hokudai.ac.jp/research/field/areas.html.ja> の「数学の分野の紹介と特徴について」にある。

例えば、高シェアを持つ研究分野は発展しつつある分野であるか、成熟した分野であるか等を考えておく必要があると思われる。これは、論文数が伸びているかどうかで判定できる。表 3.1 以下の図を見れば、これらの上位 6 研究分野については発展しつつあるものと考えられる。各分野において、左側の図の実線は年別に全論文数を示し、破線は国内研究機関のシェアを示す。右側の図において実線は国内研究機関の年別論文数を示し、破線はシェアである。

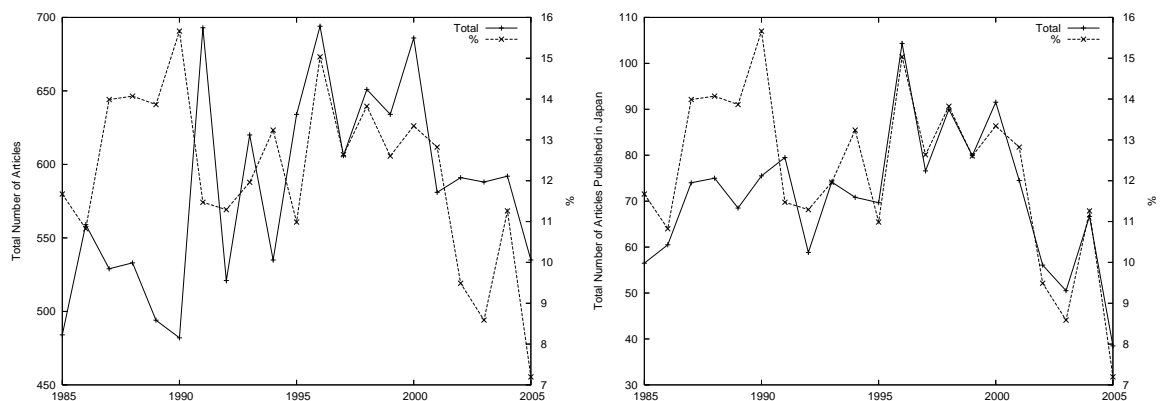
14 Algebraic geometry: 代数幾何学



31 Potential theory: ポテンシャル論



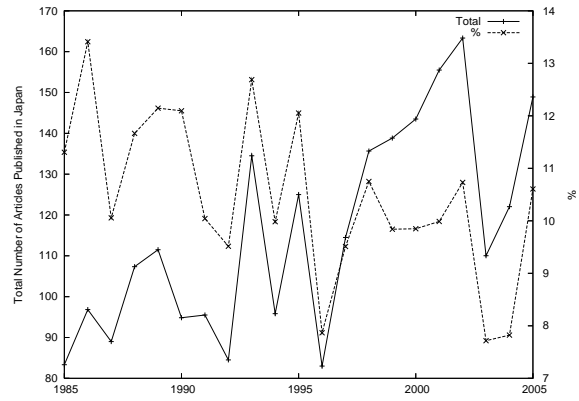
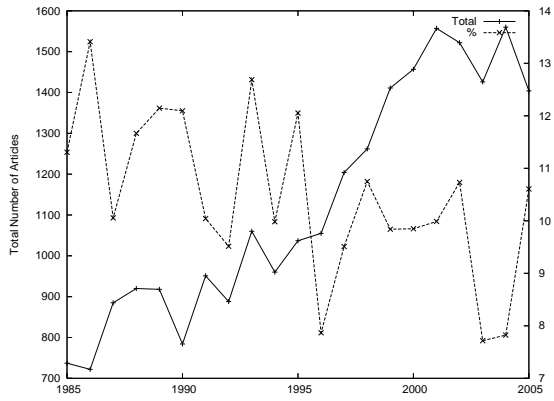
32 Several complex variables and analytic spaces: 複素多変数関数と解析空間



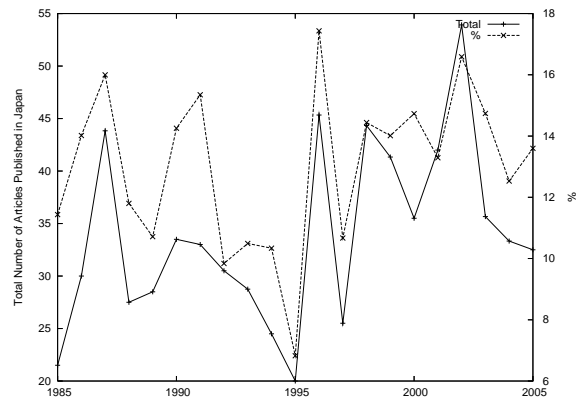
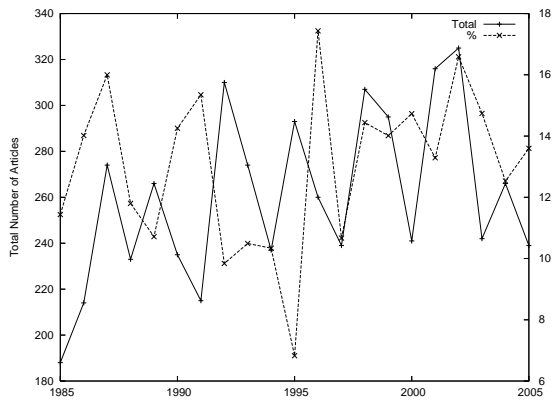
論文数比	論文数/総数	研究分野
16.53	(2040.45/12342)	57 多様体と胞複体
13.23	(2226.33/16826)	14 代数幾何学
13.03	(766.00/5879)	55 代数的位相幾何学
12.31	(1614.62/13116)	32 複素多変数関数と解析空間
12.19	(363.67/2983)	31 ポテンシャル論
10.43	(2625.82/25182)	53 微分幾何学
9.67	(783.08/8094)	13 可換環と可換代数
9.32	(3276.82/35156)	11 数論
8.06	(4924.28/61097)	35 偏微分方程式
7.96	(1367.30/17187)	30 複素一変数関数
7.92	(773.23/9764)	17 非結合的環と代数
7.57	(527.00/6963)	22 位相群, リー群
7.33	(2625.70/35799)	58 大域解析, 多様体上の解析
6.54	(4417.33/67581)	81 量子論
6.45	(1587.07/24589)	82 統計力学, 物質の構造
6.19	(1641.92/26541)	46 関数解析
6.09	(1052.15/17275)	54 一般位相空間論
6.08	(1001.42/16481)	16 結合的環と代数
6.02	(1025.00/17026)	94 情報と通信, 回路
5.67	(717.70/12652)	37 力学系・エルゴード理論
5.56	(613.17/11032)	91 ゲーム理論, 経済学, 社会科学および行動科学
5.19	(343.08/6613)	33 特殊関数
5.15	(1326.00/25740)	47 作用素論
5.02	(2557.92/51002)	90 OR 理論, 数理計画法
4.89	(2197.60/44955)	60 確率論と確率過程
4.85	(123.00/2537)	43 抽象調和解析
4.69	(130.50/2783)	12 体論と多項式
4.65	(2702.85/58101)	68 計算機科学
4.65	(52.50/1129)	19 K 理論
4.53	(690.45/15257)	92 生物学およびその他の自然科学
4.42	(1168.92/26455)	20 群論とその一般化
4.38	(1257.63/28681)	83 相対論と重力理論
4.34	(1755.67/40430)	93 システム理論, 制御
4.04	(2577.37/63719)	62 統計学
4.04	(1242.12/30760)	76 流体力学
4.03	(1661.85/41220)	05 組合せ論
3.92	(267.70/6828)	28 測度と積分
3.82	(1085.39/28424)	03 数理論理及び数学基礎論
3.76	(1362.18/36271)	34 常微分方程式
3.54	(258.57/7313)	52 凸幾何と離散幾何
3.42	(268.42/7839)	26 実関数
3.38	(218.03/6442)	39 差分方程式と関数方程式
3.35	(35.83/1070)	85 天文学と宇宙物理学
3.13	(62.42/1993)	44 積分変換, 演算子法
3.02	(117.25/3888)	45 積分方程式
2.78	(1576.57/56779)	65 数値解析
2.70	(329.10/12191)	01 歴史と伝記
2.54	(290.17/11421)	42 フーリエ解析
2.14	(348.42/16276)	49 変分法, 最適制御, 最適化
2.05	(70.15/3415)	18 カテゴリー論, ホモロジー代数
2.01	(127.50/6344)	78 光学, 電磁気学

表 3.1: 期間を通して 2% 以上の分野

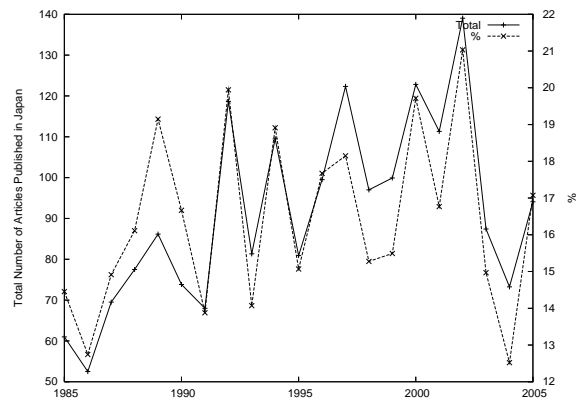
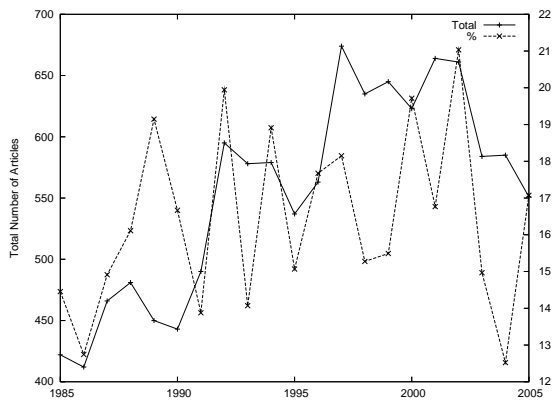
53 Differential geometry: 微分幾何学



55 Algebraic topology: 代数的位相幾何学



57 Manifolds and cell complexes: 多様体と胞複体



3.3 情報発信と学術雑誌

本節では、数学分野における研究成果の情報発信能力、特に学術雑誌に関するパフォーマンスを議論する。

数学分野の学術雑誌に関しては、以下の点が感覚的に述べられている。

- 海外大出版社から発行される学術雑誌にとどまらず、国内外の数学教室から発行される国際誌の重要性が高い。

- 後者は研究分野を限定する専門誌ではなく、研究分野を限定しない国際誌である。
- いわゆるインパクトファクターの値は数学以外の分野に比較して小さい。これはインパクトファクターの性質からみれば当然である。
- 専門誌だからといってインパクトファクターが高いというわけでもない。

これらの点を検証したい。

3.3.1 国内発行の国際誌

例えば、数学分野における特徴として「紀要」として刊行される国際誌の重要性を検証しよう。

まず、分野を問わず論文数を比較する。主要 10 大学の出版するジャーナルの論文数は表 3.2 のようになる。数学全体としては取るに足りないように見える。

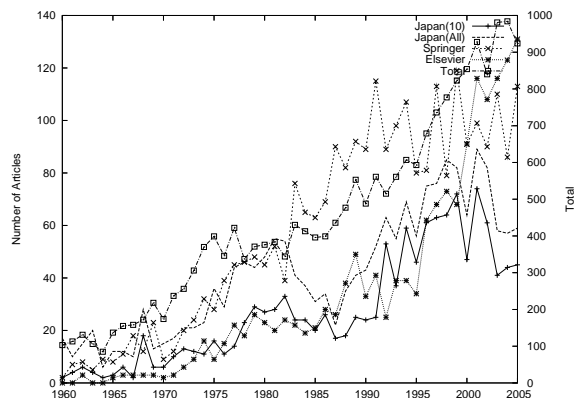
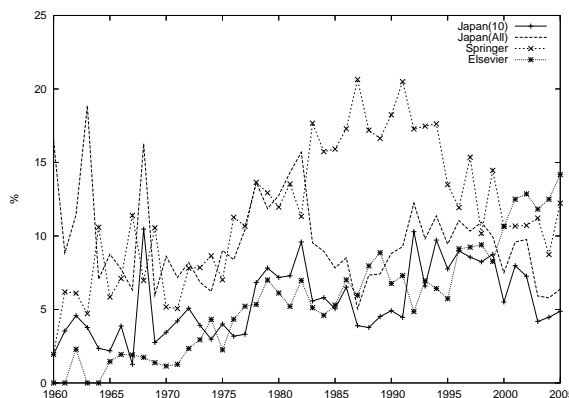
年	国内主要誌	全体論文数	%
1940	150	4772	3.14
1945	52	18101	0.287
1955	451	66995	0.673
1965	526	176689	0.297
1975	956	378491	0.252
1985	1252	694003	0.180
1995	1718	1115942	0.153
2005	1157	1687029	0.068

表 3.2: 主要大学のジャーナルが占めるシェア

しかしながら、個別分野で見ると全く事情が異なる。以下に、主要 10 大学の発行する数学国際誌、およびそれ以外の大学を含めた紀要とよばれる出版物から Math. Review へ登録された論文数を分野別に見る。主要大学に限っても 5% をこえる分野が複数あり、それ以外の大学紀要を含めれば 5% を超える分野は 12 に上り、10% を超える分野も存在する。後に見るように、これは、Elsevier および Springer と比較しうる数値である。

表に続く図において、左側は日本の主要 10 大学の発行するジャーナル、日本の全ジャーナル、Springer、Elsevier の年別シェアを示す。右側の図は、各々の論文数を左軸に示し、全論文数 (Total) を右軸に示した。

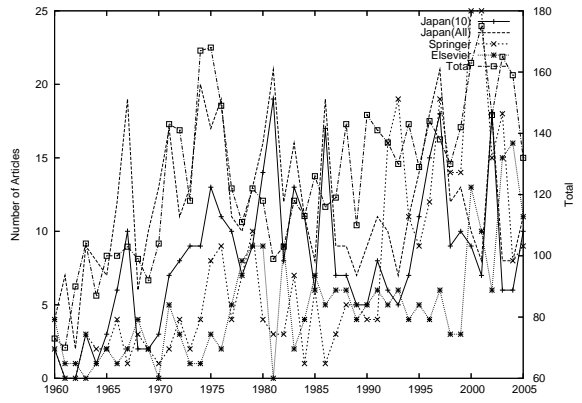
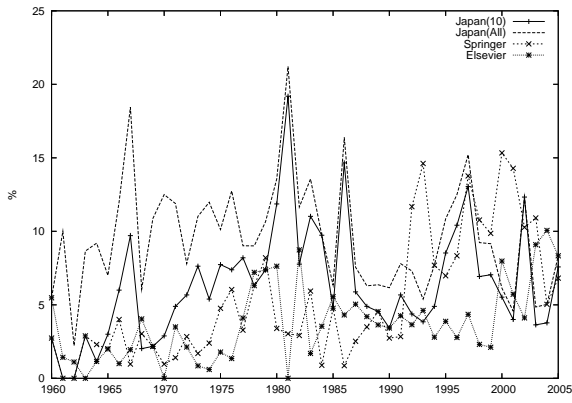
14 Algebraic geometry: 代数幾何学



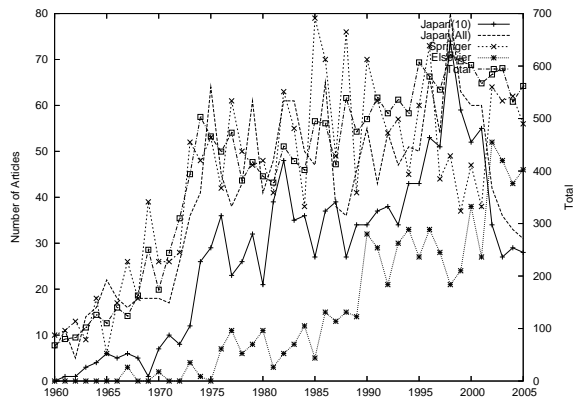
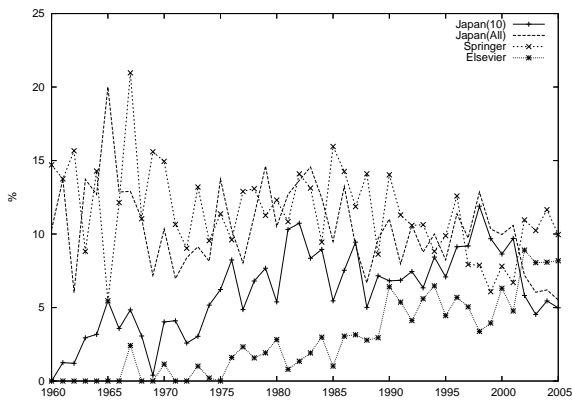
％	論文数/総数	研究分野
10.623	(1923/18103)	57 多様体と胞複体
10.008	(1852/18506)	32 複素多変数関数と解析空間
9.482	(545/5748)	31 ポテンシャル論
9.461	(1048/11077)	55 代数的位相幾何学
9.208	(1902/20655)	14 代数幾何学
8.158	(3307/40538)	53 微分幾何学
7.681	(875/11392)	13 可換環と可換代数
7.456	(525/7041)	12 体論と多項式
6.580	(2301/34968)	11 数論
6.251	(734/11742)	22 位相群, リー群
5.844	(1922/32891)	30 複素一変数関数
5.444	(1305/23970)	16 結合的環と代数
4.949	(219/4425)	43 抽象調和解析
4.304	(1684/39125)	58 大域解析, 多様体上の解析
4.185	(3578/85487)	35 偏微分方程式
3.853	(484/12563)	17 非結合的環と代数
3.588	(1628/45377)	46 関数解析
3.296	(1482/44957)	20 群論とその一般化
3.087	(1293/41883)	47 作用素論
3.020	(974/32248)	54 一般位相空間論
2.739	(337/12303)	28 測度と積分
2.671	(1826/68364)	60 確率論と確率過程
2.661	(324/12174)	37 力学系・エルゴード理論
2.317	(443/19123)	42 フーリエ解析
2.236	(22/984)	19 K 理論
2.175	(262/12047)	06 順序, 束, 順序代数構造
2.143	(613/28609)	94 情報と通信, 回路
2.138	(116/5426)	40 列, 級数, 総和可能性
2.049	(131/6393)	18 カテゴリー論, ホモロジー代数

表 3.3: 各大学発行のジャーナルにおける分野別シェア (2%以上)

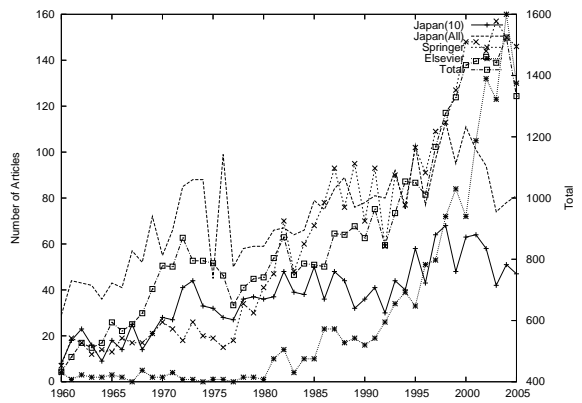
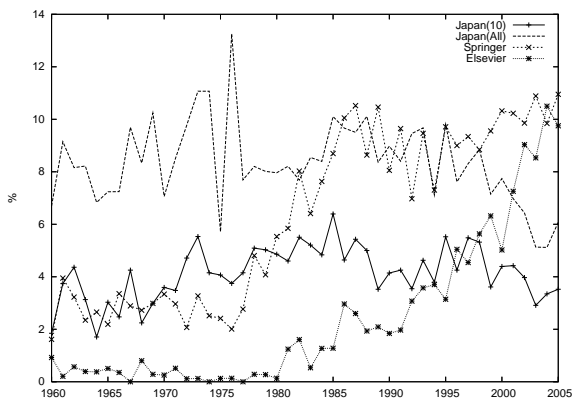
31 Potential theory: ポテンシャル論



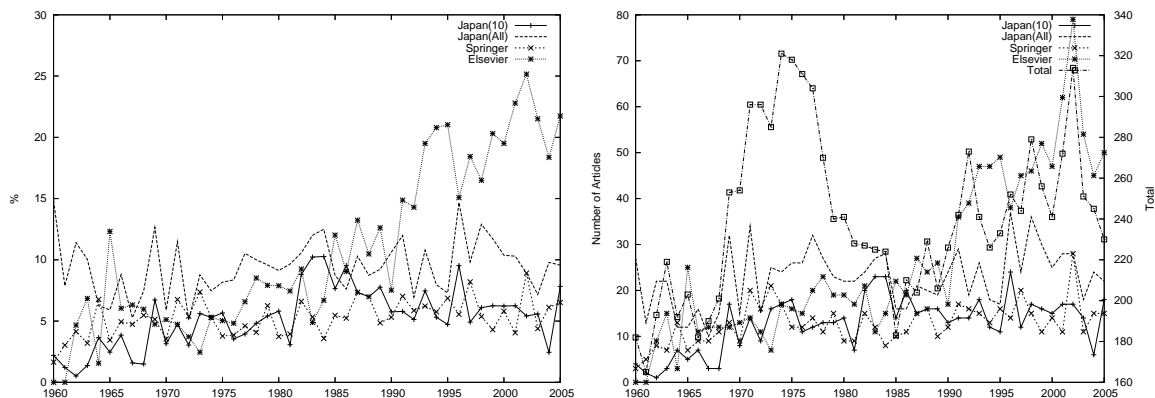
32 Several complex variables and analytic spaces: 複素多変数関数と解析空間



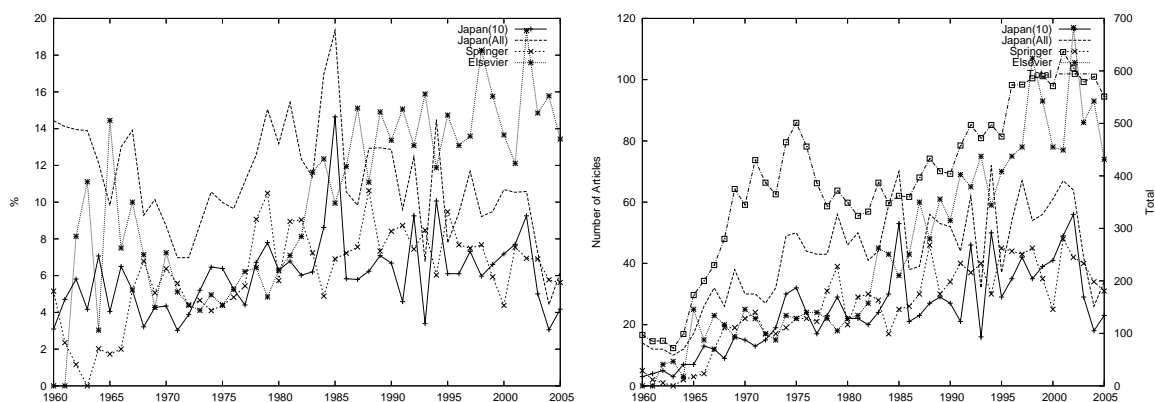
53 Differential geometry: 微分幾何学



55 Algebraic topology: 代数的位相幾何学



57 Manifolds and cell complexes: 多様体と胞複体



3.3.2 学術雑誌の価格高騰に関する問題と解決策

前節の結果を見れば、多くの研究分野において1985年以降の年間論文数は単調に増加している。数倍の論文数になっている分野も多い。この事実は、当該分野において学術雑誌の総ページ数が増加しており、場合によっては数倍になっていることを示している。

誤解されがちな点であるが、いわゆる学術雑誌の価格高騰という問題における主要な要因は、この論文数増加である(第3.6.1節の質問2参照)。ページ数の増加によるタイトル当りの価格高騰、タイトル数の増加による契約金額の高騰は当然と言える。高エネルギー物理学における方向性はCERNが主導するSCOAP³[3]による解決である。コアジャーナルの存在しない数学分野ではSCOAP³的な解決は困難であろう。もちろん、巨大出版社によるパッケージ戦略によって寡占状況を意図的に形成されている点は別に考慮しなければならない。いわゆる「数学分野パッケージ」とされるタイトルがどれだけ実情を反映しているかどうか、実際に検証する必要がある。

注意すべきは、特定分野における国内発行ジャーナルの存在感である。SpringerやElsevierから出版された論文数がそれほど離れていない。理学系、工学系、医学系における国内学術出版の数字としては極めて異例であり、特に80年代以前における過去の論文について顕著である。さらにいえばElsevier, Springerは過去の論文を持っていない。後述する引用寿命の長さを考慮すると、この事実は数学の研究基盤についてElsevierをはじめとする寡占的大規模出版社のライセンス契約へは依存しえないことを示している。Elsevierへの投資額がどれだけ増加しても、国内発行ジャーナルに掲載された論文、研究分野によっては十数%に上る論文はカバーされないのである。同時に、成果公開の場としての国内発行ジャーナルを一層強化する必要がある。専門誌の多くは受理から出版までに数年を要する中で、特に若手の成果を迅速に出版し、キャリアアップを促進する手段としての国内発行ジャーナルの編集能力、重要性を更に向上しなければならない。

3.4 研究分野間の相互関係

同様の主要な 5 研究分野について，他の分野との相関関係を見ることにする．全論文を対象とした結果及び国内の研究機関から出された論文を対象にした結果を示す．両者について比較するに，特に全論文における相関と国内研究機関発の論文における相関とに傾向の違いは認められない．ある意味では世界的な傾向に沿った研究が進んでいると言える．問題は，ここで取り上げた以外の研究分野において分野をまたがる研究が進んでいるか否かである．例えば確率論，偏微分方程式論などに関して何が起きているか，今回取り上げた粒度よりも詳細に見る必要がある．

次の表において各セルの内容は「論文数 (分野番号)」である．表題の研究分野は次の通りである．

14: Algebraic geometry (代数幾何学)

31: Potential theory (ポテンシャル論)

32: Several complex variables and analytic spaces (複素多変数関数と解析空間)

55: Algebraic topology (代数的位相幾何学)

57: Manifolds and cell complexes (多様体と胞複体)

これらを主分類とする論文の中で，副分類としてカッコ内の分野を指定している論文数を示した．上記の主分類ごと，論文数の多い順に 2 件を選択している．代数幾何学においては，分類 32 および分類 11(数論)との関連が強いことがわかる．分類 32 においても代数幾何学との関連が強い．分類 57 も分類 55 および 58 との相関が強いことがわかる．分類 32 の第二項については全論文における相関と国内の研究機関とに相違がある．分類 55 においても同様に，全論文と国内の研究機関とで第二項の相関に相違がある．論文数も一定数を維持しており，この辺りは日本の独自性であるといえることができる．

全論文対象

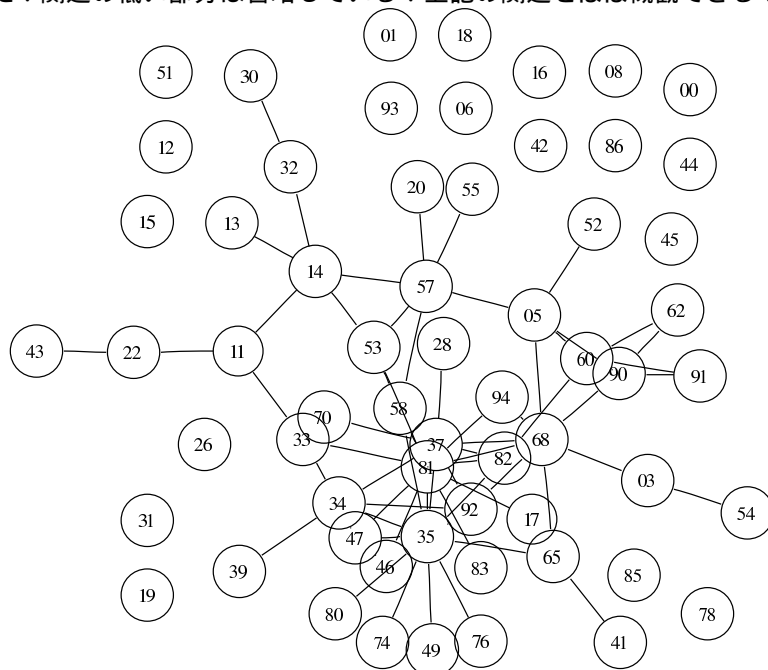
出版年	14-1	14-2	31-1	31-2	32-1	32-2	55-1	55-2	57-1	57-2
1985	75(11)	58(32)	17(30)	12(35)	116(14)	40(57)	40(57)	22(54)	66(55)	50(58)
1986	100(32)	76(11)	18(30)	14(60)	110(14)	55(57)	55(57)	26(54)	62(55)	42(58)
1987	130(32)	84(11)	32(35)	22(30)	118(14)	43(57)	43(57)	38(18)	85(58)	67(55)
1988	118(32)	88(11)	43(35)	18(30)	103(14)	65(57)	65(57)	34(54)	93(58)	67(55)
1989	138(32)	87(11)	26(30)	22(35)	87(14)	62(57)	62(57)	31(54)	94(58)	69(55)
1990	95(32)	56(11)	27(35)	17(30)	89(14)	56(57)	56(57)	21(18)	90(58)	57(20)
1991	91(32)	55(13)	44(35)	20(30)	108(14)	56(57)	56(57)	27(54)	71(58)	64(20)
1992	66(32)	59(11)	31(60)	30(35)	103(14)	71(57)	71(57)	29(54)	86(58)	63(55)
1993	70(32)	60(11)	30(60)	24(35)	105(14)	77(57)	77(57)	24(54)	72(58)	61(20)
1994	77(32)	68(13)	42(35)	30(30)	108(14)	69(57)	69(57)	43(54)	78(58)	63(20)
1995	84(32)	66(11)	40(60)	26(35)	125(14)	72(57)	72(57)	28(18)	102(58)	65(55)
1996	101(32)	65(11)	30(60)	27(30)	139(14)	55(57)	55(57)	36(18)	75(58)	60(20)
1997	94(32)	70(11)	28(60)	26(35)	123(14)	56(57)	56(57)	40(18)	93(58)	66(55)
1998	81(11)	76(32)	46(35)	24(60)	100(14)	55(57)	55(57)	38(18)	74(55)	66(58)
1999	96(32)	85(11)	46(35)	21(30)	80(14)	66(57)	66(57)	60(18)	77(55)	46(20)
2000	115(11)	88(32)	58(35)	34(60)	107(14)	59(57)	59(57)	32(18)	73(55)	66(20)
2001	129(11)	83(32)	65(35)	48(30)	102(14)	64(57)	64(57)	33(18)	81(20)	71(55)
2002	111(32)	96(11)	35(30)	31(35)	111(14)	83(57)	83(57)	49(18)	73(55)	67(20)
2003	110(11)	106(32)	67(35)	22(46)	111(14)	57(57)	57(57)	41(18)	57(55)	55(20)
2004	118(11)	114(32)	49(35)	43(30)	92(14)	78(57)	78(57)	49(18)	80(55)	62(20)
2005	88(11)	72(32)	34(35)	32(30)	111(14)	61(57)	61(57)	27(18)	55(20)	49(53)

国内の研究機関対象

出版年	14-1	14-2	31-1	31-2	32-1	32-2	55-1	55-2	57-1	57-2
1985	9(32)	9(11)	1(60)	1(44)	10(53)	10(14)	2(57)	2(19)	8(58)	3(55)
1986	13(32)	13(11)	5(60)	2(46)	12(14)	6(53)	5(57)	3(19)	4(58)	4(55)
1987	20(32)	12(11)	6(60)	2(46)	24(14)	10(58)	12(57)	4(19)	9(58)	6(32)
1988	22(32)	15(11)	3(30)	2(46)	19(14)	8(58)	9(57)	5(54)	11(58)	8(55)
1989	15(11)	7(32)	4(35)	1(60)	11(14)	10(53)	5(57)	1(54)	15(58)	7(20)
1990	9(32)	3(11)	5(30)	4(35)	18(14)	12(58)	8(57)	2(20)	14(58)	9(55)
1991	13(32)	6(20)	4(35)	1(46)	28(14)	9(30)	10(57)	5(18)	11(58)	7(55)
1992	20(32)	4(11)	6(30)	5(60)	22(14)	10(30)	6(57)	4(54)	22(58)	8(81)
1993	13(11)	12(32)	9(60)	3(28)	22(14)	12(53)	5(19)	3(57)	14(58)	7(55)
1994	18(32)	14(11)	4(30)	3(35)	22(14)	14(30)	5(57)	3(11)	9(58)	7(14)
1995	17(32)	5(11)	4(60)	3(46)	19(14)	9(33)	5(54)	4(57)	13(58)	9(55)
1996	20(32)	11(11)	6(30)	2(60)	31(14)	14(30)	12(57)	6(54)	13(58)	10(55)
1997	18(32)	14(11)	6(35)	3(46)	25(14)	13(33)	4(57)	2(20)	13(58)	13(55)
1998	13(32)	9(11)	8(35)	2(76)	22(14)	10(53)	8(57)	4(54)	10(58)	8(55)
1999	15(32)	14(11)	3(39)	3(35)	9(14)	7(46)	11(57)	2(54)	10(55)	5(58)
2000	16(11)	12(32)	6(35)	5(60)	15(14)	8(46)	5(57)	2(54)	12(55)	8(58)
2001	23(11)	15(32)	4(35)	2(53)	17(14)	12(53)	12(57)	4(54)	10(58)	10(20)
2002	28(32)	16(11)	3(35)	2(30)	9(14)	8(53)	17(57)	7(54)	14(55)	9(20)
2003	17(11)	14(32)	6(35)	5(60)	14(14)	6(35)	12(57)	1(58)	7(55)	6(20)
2004	18(11)	15(32)	7(60)	7(46)	15(14)	10(53)	9(57)	3(19)	11(20)	4(55)
2005	18(32)	15(11)	6(35)	3(46)	9(14)	6(30)	7(57)	3(14)	12(58)	9(20)

関連性の可視化

直観的に関係を観察する目的で、下図に主分類および副分類を区別せずに無向グラフとして関連を示した。関連の低い部分は省略している。上記の関連をほぼ概観できる。



3.5 引用傾向と数学分野の特徴

数学における重要な研究基盤としてはジャーナル及び図書の充実が肝要であると主張されてきた。その理由として、相当に古い論文や書籍も引用されるという点を挙げることが多い。しかしながら、数学者の側からその正当性を根拠付けたことはない。

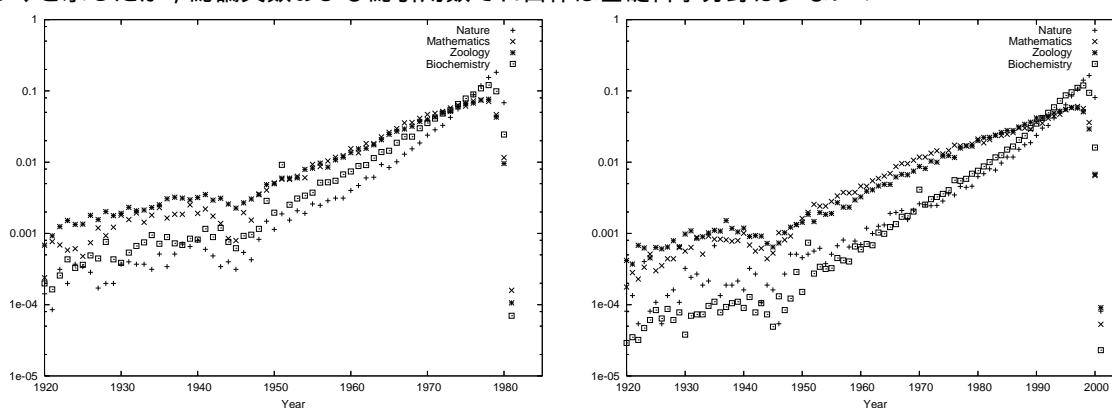
トムソンコーポレーション SCI データベースにより、1980 年に出版された論文および 2000 年に出版された論文が引用した文献の出版年について分布を見た。

3.5.1 結果

図に Mathematics, Zoology, Biochemistry, Nature について分布を片対数で描画した。左が 1980 年，右が 2000 年である。いずれも引用は 1700 年代の論文までを含むのであるが，1920 年以降に限定して表示した。基礎科学分野として数学と動物学とがほぼ同じ分布を示す点に注意したい。実際にデータを見なければわからないことが極めて多いことがよくわかる。一例を挙げれば，1700 年代の引用等がどこまで実効あるものかどうか，判断によっては統計量に一定の影響がある。基礎科学分野に対する妥当な統計量を与える必要はあるだろう。

Nature と Biochemistry とは性格の違う対象だが，数学及び動物学と比較すれば過去へ遡及すると急激に引用数が減る。2000 年に出版された論文が 1970 年の論文を引用する比率には一桁の違いが出ている。

いずれも解釈には注意を要する数値であるが，研究分野の性格として違いがあるという点は明確である。同時に，研究分野を越えて引用傾向を画一的に比較することの危険性を示してもいる。本節では分布のみを示したが，総論文数および総引用数それ自体は基礎科学分野は少ない。



本節では Thomson 社の定義する研究分野を採用したことになるが，それだけでは結局 Thomson 社の定義した枠組から脱出できない。特に，分野連携を目指す場合には既存の枠組を超える指針を要すると考えられる。我々は独自の指標を持つべきであると考えられる。

3.6 ヒアリング

研究者 6 名を対象としたヒアリングを行った。それぞれ情報集積状況に関して主要な立場にいる。

3.6.1 土屋 俊 氏 (千葉大学文学部教授, 電子ジャーナルタスクフォース)

ヒアリング対象者: 土屋 俊 教授

役職名: 千葉大学文学部教授

場所: 北海道大学附属図書館情報システム課会議室

日時: 2008 年 2 月 19 日

ヒアリング調査員: 行木 孝夫 助教

質問 1: 電子ジャーナルタスクフォースの成果は何か。一時期のジャパンプレミアムは解消されたのか。

回答: 電子ジャーナルタスクフォースとは主要出版社との契約条件を国立大学全体として交渉するものである。ジャパンプレミアムと称したものは解消されたと考えてよい。1990 年代に国内の外国雑誌タイトル数が減少した。1989 年頃の調査では，それほど高価ではない。支払い価格は 1 ドル 270 円換算などの代理店の問題が大きかった。実は，ジャパンプレミアムというものは存在しなかったのかもしれない。1990 年代の 10% 程度の値上げ率は現在 5% に留まっている。

質問 2: ジャーナル価格高騰の原因は論文数の増加であるということだが。

回答: その通りであると言わざるをえない。学会等が担ってきた学術出版機能は、新分野、学際領域が出現すれば機能しない。そこを出版社が対応してきた。そうすればジャーナルの数が増える。同時に伝統的な研究分野でも論文数が増える。論文数が増えればページ増、ジャーナル増となる。必然的に出版経費がかさみ、それがそのまま価格へ転嫁された。(調査員注: 編集経費を数学のジャーナルと比較することはナンセンスである。週ごとに1号出版されるようなジャーナルの論文数は数学のジャーナルと比較すれば編集経費は桁違いに嵩む。)

質問 3: 機関購読に変わる契約形態はどのようなものがあるか。

回答: それはわからない。2000年頃、Elsevierは1400タイトル出していたが、日本には1000タイトル弱しか入っていなかった。今は全部である。2000年頃では不可能だった規模で契約できるようになっている。タスクフォースのもとに、地方と東京とで同じ環境が実現した。2008年については、Else-

vier, Springer, Wiley-Blackwellは70大学が全タイトルにアクセスできる。国大図協タスクフォース構成大学は86であるから、ほぼ75%が全体にアクセスできる。これに代わるモデルは難しい。個性という意味はあまりない。利用者から見ると、全学経費の下では負担感が薄い。

質問 4: ローカルロードを日本で実現できない理由は何か。

回答: 北米の有力大学の経営基盤と同列に考えてはいけない。東大がようやく足元にいるのかなのである。

質問 5: SCOAP³ モデルについてどう考えるか。

回答: 意欲的な試みだが、甘い。Elsevierが1円入札して終わるのではないか。

質問 6: 今後の大学あるいは図書館像を

回答: 管理型のスタイルは電子の時代に適応しない。教育研究活動の価値を主体的に示すことになるだろう。例えば、機関リポジトリの登場は図書館の役割を変化させつつある。電子的な学術情報資源は電子ジャーナルだけではなく、極めて多様になった。それをまとめ上げなければならない。

3.6.2 永井 裕子 氏 (日本動物学会事務局長, UniBio Press)

ヒアリング対象者: 永井 裕子氏

役職名: 日本動物学会 事務局長

場所: 日本動物学会事務局

日時: 2008年2月13日

ヒアリング調査員: 行木 孝夫 助教

質問 1: 日本動物学会の Zoological Science に関わる活動全般について。特に、国内のプラットフォームでは不十分な理由は。

回答: 基礎生物学系学会の発行する学会誌による電子ジャーナルパッケージである。プラットフォームは BioOne を利用している。日本動物学会の欧文誌である Zoological Science は1996年頃から電子化を始めた。まず、NII-ELSは電子ジャーナルのプラットフォームではない。当時は J-STAGE しか存在しなかった。無料である上に PubMed へのリンクを張れるなどの利点もあった。しかしながら査読、投稿システムの実装が遅れており、結局は2006年にずれ込んだ。しかも、投稿された論文のステータスがわからないなど、利用者の立場を考えていない。査読投稿システムに限れば、Scholar One, Editorial Manger(Elsevier が利用)、

E-Journal Press(Nature が利用) という3種が世界的には主流である。2003年に国立情報学研究所による SPARC Japan 事業が開始。これに採択される。本来は J-STAGE を利用して海外への情報発信というはずであった。J-STAGE の文書構造が極めて特殊なフォーマットになっている。BioOne へ移す際に機械変換も不可能であった。今や、本文のタグ付け (Deep Indexing) は常識であるはずなのだが、それをできないプラットフォームは利用できない。カレントの状況について説明すると、NIH-DTD に関していえば、その作成経費は海外発注で1ページ4ドルから5ドルである。インドならその半額。J-STAGE の文書構造は別途作成することになる。結局、J-STAGE を使わないことで経費を節減できるという意味不明な状況である。結局、publishing と archiving とを考慮しなければならない。一度 publish すればよいというものではない。up-to-date な形で archiving する。ただ保存するということではない。プラットフォームを選ぶとはそういうことである。Elsevier にまかせればそれでよいというわけではないのだ。

質問 2: UniBio Press[6] について

回答: UniBio Press とは, SPARC 選定誌の 3 誌によるパッケージ販売として開始した。これが 2000 年頃である。生物系には BioOne があつた (数学系には Project EUCLID)。これは 1500 大学が契約している。BioOne 1 というパッケージは ARL 傘下の図書館に購読義務がある。BioOne 2 というパッケージは義務がない。1 に入りたかったが 2 である。UniBio は BioOne 2 を通して 180 大学と契約, 国内は 33 である。購読料は公開する。このような, パッケージ内の独自パッケージというモデルは極めて難しいが, 購読モデルを確立したかった。

海外プラットフォームとの交渉は難しい。2006 年開始を目標としていたが, BioOne 側のトップ交代などがあつて遅れた。その過程で 2 になってしまった。購読料の 39% を BioOne 側が取り, 残りをアクセス数等で配分する。

UniBio は 1 大学 1000 ドルである。これが 33 大学なので 350 万円くらい。半分が BioOne から返ってくる (30% 程を代理店の ProQuest, 十数% を BioOne)。

BioOne を通じた購読は, コンソーシアム契約の支払いが何であるかわからないのだが, 3000 ドルとしている。170 大学で 20 タイトルとすると 1 タイトルで 100 万円位と思われる。UniBio へは 600 万円が返ってきた。そのうち Zoological Science へ 200 万円ほどである。

UniBio の 1000 ドルは破格だと思うが, それでも国内からは購読停止される。それだけ運営が厳しいということだろうが, そのようなところでも Elsevier の Science Direct は契約を続けている。総

額とダウンロード数を比較すれば手頃だということなのだが, そもそも利用数の低い基礎科学系のジャーナルと一律に比較することが間違いではないのだろうか。結局, どこの図書館も同じような内容になっていて, 大学の特徴に合っていないのではないか。

質問 3: ビジネスモデルについて

回答: 基本的に, 日本の学会誌と外国雑誌とはビジネスモデルが違う。画一的に判断されてはたまらない。例えば, 学会誌のモデルの一つがオープンアクセスである。戦略なくただ無料公開するものをフリーと呼んで区別したい。学会費による出版という戦略はありうると思う。科研費 (研究成果公開費) に依存しているにもかかわらずフリーであるという場合は問題だろう。

例えば, ブラックウエルと契約した学会の例として, ブラックウエル側からは「450 万円戻すことになるから 450 万円で印刷する」と提示されたという。明細は何もわからない。これは戦略とは呼ばない。それなりの学会誌であれば Elsevier から声がかかるだろうが, それでよいのか。コンテンツを出すという責任は何か。Journal とは何であるかを考える必要がある。例えば, Zoological Science は BioOne を採用してから冊子体の発行が増えた。

質問 4: ジャーナルの将来について。

回答: 動物学分野の特徴として, 新種の記載論文というものがあるが, 主要なジャーナルは載せない。Zoological Science も, 学士院の紀要も載せない。Natural History 系の図書館が共同でリポジトリを立ち上げつつある。

3.6.3 Teresa A. Ehling 氏 (ディレクター, Center for Innovative Publishing, Project EUCLID, コーネル大学図書館)

ヒアリング対象者: Teresa A. Ehling 氏

役職名: Director, Center for Innovative Publishing, Project EUCLID, Cornell University Library

場所: Cornell University Library / Joint Mathematics Meeting 会場

日時: 2007 年 12 月 12 日 / 2008 年 1 月 6 日

ヒアリング調査員: 行木 孝夫 助教

質問 1: Project EUCLID [8] について。

回答: 電子ジャーナル, 電子ブックのプラットフォームである。現在, およそ 50 タイトルのジャーナ

ルをホスティングしている。うち 10 タイトルは日本のジャーナルであり, その 8 タイトルは現在 SPARC Japan で支援されたものである。出版者は SELECT, PRIME, DIRECT という形態を選択できる。DIRECT はホスティングのみ。SELECT は出版者が販売等を対応する。PRIME は EUCLID が提供するパッケージである。

質問 2: 契約担当者はどれほどか

回答: EUCLID の専任スタッフはいない。そのような購読契約, 出版社側との交渉も図書館のスタッフで分担する。だから, 何人でやっているとは言えない。例えば技術担当の Ruddy 博士も出版査読

システム DPubS など他の仕事もしている．その分の給与も別である．

質問 3: 数学出版に関する問題点は

回答: 多々あるが、交換 (exchange) と販売、電子版の関係は極めて複雑で厄介な問題である．幸か不幸か Cornell は数学のジャーナルを持っていないので交換問題は生じていない．(調査員注: 機関から発行するジャーナルの交換によって数十から百にのぼるジャーナルを得ることができる．販売、電子版の公開時期と交換の関係は難しい．)

質問 4: 図書館の違いについて．例えばサブジェクトライブラリアンは専門分野の修士号を取得してから Library Science の修士号を取得すると聞いたが．

回答: まず、選書権限は図書館側にある．例えば Steven は数学図書室の全タイトルの選定に責任を持つ．教員から購入を依頼されたタイトルも購入するかどうかはライブラリアンが決める．米国では主要な数学教室にサブジェクトライブラリアンがいる．UCB, Ohio, Minnesota などに約 50 人のサブジェクトライブラリアンがいる．AMS の年会などには 3 割程度が出席する．情報交換等に関し、極めて活発である．Association of Research Libraries[9] などの組織を通じた活動も多い．

3.6.4 鈴木 昌和 氏 (九州大学数理学研究院教授、サイエンスアクセシビリティネット)[7]

ヒアリング対象者: 鈴木 昌和 教授

役職名: 九州大学数理学研究院 教授

場所: 筑波技術大学

日時: 2008 年 2 月 16 日

ヒアリング調査員: 行木 孝夫 助教

質問 1: デジタイズの仕様について、日頃よりビットマップを保存するべきであるとの主張をされている．仕様の複雑な PDF は保存に向かない．最低限の解像度として 600dpi、仕様の単純な画像形式として TIFF 形式とのことであるが、これは変わらないか．

回答: その通りである．同時に、可能であればテキストを抽出して保存するべきである． \TeX フォーマットを残せばそれが望ましい．京大数理研の講義録、数学会の ASPM、数学会函数方程式分科会のジャーナル、北大の Hokkaido Mathematical Journal を同様の仕様で全文デジタイズした．数学関係のデジタイズ以外にも、視覚障害者向けに科学教材を点訳してもいる．

一般には学位を二つ持つが、必ずしも修士号を持っているわけではない．実際、Steven は工学畑の出身で特に修士号は持っていないはずだ．

質問 5: EUCLID は DPubS[10] というシステムを利用しているはずだが、他のシステムと比較してどうか．

回答: どれもそれぞれの特色がある．例えば Cornell で開発中の Fedora システム上には出版プラグインとして Topaz が PLoS One で開発されている．PLoS とは図書館中心に運営する非営利の学術出版団体であり、PLoS One とは Open Access かつオープンレビューの実験的ジャーナルである．Open Journal System はカナダで開発されており、Fields Institute のジャーナルのプラットフォームにもなっている．

質問 6: PLoS との関係は

回答: 特にない．

質問 7: 日本には中規模大学の紀要が数百タイトルあり、機関リポジトリベースの電子化プロジェクトを考えている．どう思うか

回答: 非常に興味深い試みである．Project EUCLID としてもサポートしたいし、経費が折り合えばホスティングする．

質問 2: サイエンスアクセシビリティネットについて、見積りから推察するに極めて効率の高いデジタイズを可能にしていると考えられるが．

回答: 開発を続けている InftyReader および InftyEditor をはじめとするデジタイズ技術がそれを支えている．

質問 3: 著作権について何か問題は

回答: 非常に難しい．例えば、成果物に問題が起きない場合でも中間生成物を保存しておくとも問題が起きる場合もある．

質問 4: 海外ではフェアユース という形で避けることが多いのだが

回答: 日本の著作権法にはそのような概念がない．逆に、権利の濫用を禁じる条項はある．

質問 5: 仏あるいはチェコのデジタイズプロジェクトへ協力しているとのことだが

回答: チェコの国会図書館に相当する施設は洪水で冠水したことがある．これを契機に書籍等のデジタイズが国家プロジェクトとして実施されている．

3.6.5 慶應義塾図書館 (トロント大学図書館との人的交流)

ヒアリング対象者: 入江伸, 島田さとる, 酒見, 五十嵐

役職名: 慶應義塾図書館員

場所: 慶應三田メディアセンター

日時: 2008年3月7日

ヒアリング調査員: 行木 孝夫 助教

質問 1: 海外の大学図書館へ職員を派遣し長期研修する意義と効果は何か。

回答: 戦後すぐは日本語資料の目録作成に協力するために要請されて派遣していた。徐々に日本人のライブラリアンが目録を作るようになって、今は勉強のために行っている。UCBの時代もあったが、1990年代からトロントが多い。協定校でもある。図書目録がオンライン化する中、あらゆるレベルの情報化が図書館に入ってくる中で、情報化を学びに行ってくる。慶應は、Information Commonsを粹す中でどんな変化が図書館に起きたかを学んでいる。最近ではe-Bookのローカルロード、出版社との調整であった。技術の部分では追い付いたと思う。環境の違う中で、個人の力量は大差ないことがよくわかる。問題は組織の違い。体力、特にコンテンツ。

次の段階は、共同で何ができるかということになると思う。相互交換でないと難しいが、今は一方向になっている。学生を受け入れることはありうる。異文化の中での学習を通じて図書館の役割を果たす。

傾向として、目録の要求は少なくなった。今は日本で目録を作って向こうがdownloadする。図書+MARC型のビジネスモデルである。酒見は電子資料一般を見てきた。島田はマネージメント特に意志決定と周辺大学とのリーダーシップとを見た。

質問 2: トロントの状況について。特に、北米主要大学と日本の違い。

回答: 1990年代後半にカナダ経済が落ち込んだにもかかわらず大学は増え、同時にデジタルメディアがやってきた。財政基盤が脆弱化し、そこで変化が起きた。現在はむしろバブルに近い。変化は経済要因に外部要因が加わって生じる。

質問 3: 特に契約規模とローカルロードの形態

回答: 後述のScholar Worksというプラットフォームを構築している。財政基盤はオンタリオ州にあるわけだが、トロントが中心的な役割を果たしている。

質問 4: Scholar Works について

回答: 電子ジャーナル、電子ブック、データベースをローカルロードして一元的にユーザへ提供するシステムである。このようなシステムを組むことにより、ProQuestなどの代理店は不要になってしまう。経費規模は、スタートアップとして750万ドル程度、年間経費として250万ドル程度をオンタリオ州から支出される。

質問 5: Google Books に参加したが。

回答: スキャニングは米国でやっている。トロントのような海外の図書館から見ると、日本のデジタルコンテンツにはほとんど可視性がない。中国、韓国は豊富であることに比較すればその差はデジタル鎖国というべきものである。目録としてのメタデータだけあっても日本語のテキストが提供されなければ全く意味がない。

質問 6: 教員あるいは研究者が担うデジタイズとはどうあるべきか

回答: スタートアップを教員が担うことはあっても、サイドワークとして続けるのは難しいだろう。どこが持続的にプラットフォームを担うかは、わからない。

3.6.6 高橋 陽一郎 氏 (京都大学数理解析研究所教授, 数学コンソーシアム構想)

ヒアリング対象者: 高橋 陽一郎 教授

役職名: 京都大学数理解析研究所教授

場所: 北海道大学電子科学研究所 S512 室

日時: 2008年3月12日

ヒアリング調査員: 行木 孝夫 助教

質問 1: 数学コンソーシアムについて

回答: 国内の数学教室全体の研究環境を改善するために数理解析研究所で作成したプランである。相

互貸借、複写依頼に関し迅速な対応をする、ジャーナルやデータベース契約のコンソーシアムとしても機能することを目標にした。

質問 2: 数理解析研究所講究録のデジタイズについて

回答: Infty Project ベースのデジタイズを実施し、京大の機関リポジトリへ搭載している。デジタイズは2年前から開始したが、20万ページ、2万論文

のデジタル化は当初絶望的であった。Infty Project との協力が大きく、デジタル化経費は格段に落ちている。

質問 3: Itô archive について

回答: 野村寄付講座の活動の一環として、伊藤清先生の論文やノートを保存する。同時に、確率論

セミナーノートをデジタル化して保管する。確率論セミナーノートは貴重な講義録も含まれるのだが、利用の多いタイトルは紙が傷んで利用に耐えなくなりつつあった。そのまま本にしている著者もいるので、まずデジタル化である。公開は次の問題だ。

3.7 SCOAP³ 報告書要約の抄訳

高エネルギー物理学におけるオープンアクセス出版に向けて

2007年7月3日ジュネーブ

SCOAP ワーキンググループによる報告書要旨

背景

「オープンアクセス」(OA)は、誰もが研究成果へアクセスできるようにすることが目的である。学術雑誌の出版コストが上昇し続けていることで、研究機関は購読数を減らさざるを得ない状況にあり、研究者は重要な科学文献を閲覧することが難しくなりつつある。

今日、高エネルギー物理学のプレプリントの約90%はレポジトリから入手できる。レポジトリからは最新の研究成果を即座に入手できることから、高エネルギー物理学の科学情報交換の生命線となっている。しかしながら、プレプリントは査読されていない。査読済の出版社版とは必ずしも一致しないのである。

科学研究グループ内では、以下の3点を提供できる質の高い学術雑誌が要求されている。

- ピアレビューを通じた質の管理
- 科学者の評価とキャリアを高める基盤
- 研究グループ及び研究所の質や生産性の方法

電子ジャーナルの価格の大部分はピアレビュー経費と出版費用により決まる。著者負担 OA モデルにおいて大抵の出版社は一論文当たり1,000- 2,000ユーロを定めている。この価格によれば、高エネルギー物理学の出版物をOAにした場合、年間予算は最大1千万ユーロと考えられる。一方、高エネルギー物理学の核となる学術雑誌1冊当たりの年間表示価格は、今日1万ユーロである。高エネルギー物理学を専門に研究している研究機関は世界規模で500ヶ所あるので、年間支出は500万ユーロとなる。

SCOAP モデル

ここでは、質の高い高エネルギー物理学学術雑誌をOAに移行する構想を提案する。以下のとおり、目標を2つ設定している。最終版、さらにはピアレビューされた形式で、全ての高エネルギー物理学研究文献へ自由かつ無制限のアクセスを可能にすること。安定性を維持し競争を活発にすることで、学術雑誌出版の経費を全て賄うこと。

この新モデルでは、多数の研究所から出版社への購読料収入は、一財政支援団体である「素粒子物理学におけるオープンアクセス出版への支援団体」(SCOAP)からの収入に置き換えられる。SCOAPは高エネルギー物理学への資金提供機関、研究室、図書室から成る世界規模のネットワークである。SCOAPのパートナーは、学術雑誌購読の停止をしている現状から再び貢献できるだろう。OAでの論文出版では著者が費用を負担するが、このモデルでは、そのような不都合はない。

SCOAP の財政と管理は大規模な研究協力の例にできる限り倣い、各国は付図に示されているように、科学出版物の数によって貢献している。各国の研究者の出版物を網羅するには、現段階では同団体への寄与はあまり期待できないが、SCOAP 予算額の最高 10%までの割り当てが予想される。

大部分の高エネルギー物理学論文は 4 出版社から 6 学術雑誌として出版されていることから、OA への移行は促進されうらだろう。全 6 誌中、5 誌に高エネルギー物理学の全体像がほぼ含まれている。Physical Review D (米国物理学協会出版)、Physics Letters B、Nuclear Physics B (エルゼヴィアー)、Journal of High Energy Physics (SISSA/IOP)、そして European Physical Journal C (スプリンガー)である。SCOAP モデルの目的は、出版社が高エネルギー物理学の核となる学術雑誌を全て OA へ移行することを支援することである。SCOAP の予算の大半は、この目的達成のために使用されると考えられる。6 誌目の Physical Review Letters (米国物理学協会出版) は広範囲な学術雑誌であり、高エネルギー物理学の内容の 10%を占める。この学術雑誌を OA へ移行することも SCOAP の目的である。同様の取り組みが、高エネルギー物理学の計測機器論文で有名なもう 1 誌の学術雑誌、Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A (エルゼヴィアー)でも行われると考えられ、高エネルギー物理学の内容の 25%を占める。

SCOAP モデルは高エネルギー物理学に関する現在、そして将来における質の高い学術雑誌に適用しうら。その結果、健全な競争が行われ、幅広い選択が可能な市場が形成されることになるだろう。

SCOAP 管理のための年間予算は、入札手続きを経て決定される。入札手続きとそれに伴う出版社との契約によって、OA 論文の利用が開始される。SCOAP の資金提供パートナーが長期的な支援を行うのであれば、出版社の多くは本提案に基づき、交渉を始めることができる。

国別の高エネルギー物理学論文の分布、2005-2006 年平均

米国 24.3%、ドイツ 9.1%、日本 7.1%、イタリア 6.9%、英国 6.6%、中国 5.6%、フランス 3.8%、ロシア 3.4%、スペイン 3.1%、カナダ 2.8%、ブラジル 2.7%、インド 2.7%、欧州原子核共同研究所 (セルソ) 2.1%、韓国 1.8%、スイス 1.3%、ポーランド 1.3%、イスラエル 1.0%、イラン 0.9%、オランダ 0.9%、ポルトガル 0.9%、台湾 0.8%、メキシコ 0.8%、スウェーデン 0.8%、他国 9.5%

参考文献

- [1] 安部忠彦：「サービスサイエンス」とは何か、富士通総研，研究レポート No. 246 (2005)，<http://jp.fujitsu.com/group/fri/report/research/2005/report-246.html>
- [2] Yoshikane Fuyuki, Takayuki Nozawa, and Keita Tsuji: *Comparative analysis of co-authorship networks considering authors' roles in collaboration: differences between the theoretical and application areas*. *Scientometrics*. **68** (2006), No. 3, 643-655
- [3] S. Bianco et. al.: *Towards Open Access Publishing in High Energy Physics, Report of the SCOAP³ Working Party*, CERN (2007)
- [4] 国際学術情報流通基盤整備事業, <http://www.nii.ac.jp/sparc/>
- [5] 全国共同電子認証基盤構築事業, <https://upki-portal.nii.ac.jp/>
- [6] UniBio Press, <http://www.unibiopress.org>
- [7] InfyProject, <http://www.infyproject.org>
- [8] Project EUCLID, <http://www.projecteuclid.org>
- [9] Association of Research Libraries, <http://www.arl.org>
- [10] DPubS, <http://www.dpubs.org>

第4章 数学研究と他分野等の連携に関する事例 調査結果

この章では数学研究と他分野の連携に関する事例について、ヒアリング調査を中心に述べる。まず第4.1節では、調査方法と調査結果の要点をヒアリング調査の結果に従って述べる。第4.2節では数学研究と他分野等の連携に関するヒアリング調査の結果を各ヒアリング対象者ごとに要約した。第4.3節では数学の科学技術への過去の貢献例で典型的なものを挙げた。

4.1 調査方法と調査結果の要点

4.1.1 調査方法

数学研究と他分野等の連携についてのヒアリングを数学以外の分野の研究者（外国人を含む）及び行政関係者に対して行った。産業界の関係者（企業研究所のマネージャー、企業研究者等）に対しても行った。これらの方々をその属性によって正確に分類することは不可能であるが、あえて大まかに分類すると

物理学系：二宮氏（株）日立関係者

生命科学系：Kampis 氏，グン氏，Wright 氏

情報系：甘利氏，生駒氏

材料科学系：奥村氏，毛利氏

工学系：宮氏，新日鐵（株）関係者，東京電力（株）関係者

金融系：池森氏

行政：有本氏（生駒氏，奥村氏）

となるであろうか。質問項目は第9.1節に挙げたものを用いてお答えいただき、ご意見をまとめた。有本氏，生駒氏，奥村氏にはこの質問項目にとらわれず、自由にお話をしていただいた。話の流れも重視したので、回答の番号は質問の番号と必ずしも対応していない。この内容は第4.2節にまとめた。

次に、数学の科学技術への過去の貢献例について文献調査を行い、第4.3節にまとめた。これは全てを網羅したものではない。例えば「数学イノベーション」[12]や「忘れられた科学－数学」[10]には、その他の例が挙げられている。

4.1.2 調査結果の要点

数学による科学技術への貢献例は、第4.3節に挙げられているものだけでも多数ある。しばしば数学は自然科学の一分野で、物理に近い学問だと受け止められるが、この例を見る限り、物理以外にも多数の成功例があることがわかる。数学が他の分野や技術に応用される場合、物理、化学や工学を通して応用されるだけでなく、金融のように、数学が他の学問分野を介することなく直接活用され、画期的発展に結びつくことも近年起きている。将来、どのような分野が数学との連携によりイノベーションが期待できるかという質問について、インタビューした方々のご意見からリストアップすると、次のような分野が挙げられる。

情報とコンピューター／生命に関わる分野／地球環境問題の解析／ナノテクノロジー／複雑系の科学／学問を統合する方法論／材料科学／リスク管理／クレジットビジネス／運用手法／不動産／コモディティ／排出権／高齢化社会におけるインフレに対処する手段／サービスサイエンス／マーケティング／社会科学／定量生物学／神経科学／合金に対する変形の理解／超対称の物理学／グローバルビジネスにおけるビジネスモデルのモデリング／データ処理を行うアルゴリズム開発／多変量・非線形関数の最適化問題／大規模行列の高速演算／流れの方程式の高速演算化／マルチスケール問題／物理現象や経済現象のモデル化／神経生理学／遺伝子工学

確かに様々な分野のイノベーションに数学研究が貢献する可能性が高いと思われるが、当然のことながら具体的にどのような数学を使ったら、どのようなイノベーションが期待できるかという質問への明確な回答は調査した限りではなかった。要するに、どの数学を発展させたらイノベーションが起きるかについての予測は難しいのである。従って、数学の特定分野だけを振興したり「純粋」・「応用」と壁を設けることは、数学の力でイノベーションを行おうという目的にとってマイナスであることは明らかである。また、ともすると数学研究者はいわゆる数学上の難問に取り組むことに強い魅力を感じがちだが、産業界ではそれ以外の問題にも目を向けて欲しいという声があることもわかった。数学研究者も様々な数学研究の価値を認める必要がある。

インタビューの内容は大変に興味深いものである。それぞれの立場からそれぞれ含蓄のある意見が寄せられた。一見多岐に渡るようであるが、いくつかの共通項が垣間見えるように思われる。それらをまとめると以下になるであろう。

1. 数学と他分野の連携が成功するためには、まずは相手の問題に心底興味をもてるかどうかにかかっており、それを喚起するためには日常的なコミュニケーションがきわめて重要だと言うことである。そして、異分野コミュニケーションには十分な時間が使われなくてはならない。
2. 異分野連携をうまく行うには、コミュニケーション可能な出会いの場の提供が必要で、そのためにはさまざまな分野の人が横断的に出会うセミナーや学会レベルの共同シンポジウムのようなものが必要だろう。研究者にマネジメントを任せると蝸壺、縦割りになりやすいので、そこは行政が機能する場面である。
3. 従って、分野間コミュニケーション、出会いの場、十分な時間、これらの要素のひとつでも欠如すれば成功はしないと言うことである。
4. 数学研究者はもっと他分野に興味を持つこと。数学の優秀な学生を企業など社会に送り出すような教育をきちんと行うこと。他分野研究者はしっかりした数学の基盤を持つこと。他分野の学生には現在より高度な数学を教え込む必要があること。
5. 分野横断的な拠点は必要で、予算は一点投資型ではないほうが中長期的に見て成功する率が高い。経済的にも効率的である。

おおむね研究者は数学研究者の大学での責務が大きいことに同情的で、そこが解決されないと数学研究者との共同研究は難しいと感じている。理論研究には中断されない時間が必要で、過度な教育責務や管理運営を誠実にこなすと研究時間がなくなり、その結果、研究成果が出なくなり高度な教育も出来なくなるという本末転倒なことになる。学者はポリ・ティションのように多くの価値が分かり多様な才能を持ち合わせているわけではなく、一つのことに秀でた人間であることが多いからである。一つに秀でた結果として多くの価値が分かるようになるが、それは全ての学者に期待できるものではない。学者のなかでも数学研究者は特にこの傾向が強いのではないか。数学研究者の能力を引き出すには、まずは適材適所という観点で役割分担をきちんと決めて組織することが必要ではないだろうか。

4.2 数学研究と他分野等の連携に関する事例のヒアリング調査

4.2.1 甘利 俊一 氏 (理化学研究所 脳科学研究センター センター長)

ヒアリング対象者: 甘利 俊一 教授
役職名: 理化学研究所 脳科学研究センター センター長, 東京大学名誉教授
場所: 理化学研究所 脳科学研究センター
日時: 2008年2月21日
ヒアリング調査員: 津田 一郎 教授

1. 2. 数学と結びついた革新的な研究例は多々ある。いくつかを例示しよう。

A. 機械学習の数学理論: 多量のデータから, その奥に潜む構造を把握することが, 現代の情報化時代, すなわち多量の情報の産出が可能になり, これを処理するコンピュータの能力が拡大した時代に求められている。そのためには, 機械が自動的に学習する仕組みが必要である。これには, 積分核の理論, 確率論, 微分幾何など, 多くの数学が有機的に絡み合って新しい世界を構築し, データマイニングなどの手法を生み出し, 社会システムのイノベーションに役に立っている。

B. 符号, 暗号, 量子情報: 大量の情報の安全な伝達は, 現代情報社会の基本的なインフラとして必要である。このためには, 抽象代数から始まり, 代数幾何学, 量子非可換理論など, 多くの数学が動員され, それを用いたアルゴリズムの設計とハードウェアによる実現が情報技術として不可欠になっている。

C. 過去のイノベーション: こうした具体的な課題を超えて過去を振り返れば, 数学的な思考は現代の技術大系に大きな変革をもたらしてきた。いくつか例示しよう。数理計画法の確立による, オペレーションズリサーチ (OR) の確立と, その産業技術体系への影響。確率統計的な思考と, 品質管理法の確立, 産業信頼性への指針。数学基礎論とコンピュータサイエンス。情報通信と確率, 代数, 代数幾何との融合。力学系の理論と, 制御理論, ロボティクス。

こうしたイノベーションは, 技術体系全体として起こったものであり, 個々にプロジェクトとして誘導するのではなくて, こうしたものが自然に出てくる基盤を拠点として確立することが重要である。

3. 4. 5. 6. 生命科学の分野, とくにゲノム科学と脳科学: 生命科学は, 複雑精妙なシステムであり, 単純な美を尊ぶ現代数学の風潮とは合わないかのように誤解されてきた。しかし, 数学は人類の思考の原点であり, このような分野に数学的な思

考を発展させることが今強く求められている。それ以外のテーマとして, たとえば脳科学とロボット技術との融合がある。ここでは, 情報の仕組み, ロボットの制御, など数理的な方法による進展が見られる。時間発展的な仕組みを解明するためには, 力学系とカオスなど, 新しい発展の芽を開くものがある。数学と連携してイノベーションが期待できる分野は, 情報とコンピュータ, 生命にかかわる分野, 地球環境問題の解析, ナノテクノロジーなどがあり, ほとんどすべての分野を網羅しているであろう。産業界と直接に結びつく個別の事例を挙げることは数限りなく可能であろう。しかし, このような例示に特に意味があるわけではない。個別事例はそれだけに限るものであり, しかもそれは多くの分野に広がる方法の融合とそれまでの技術発展に依存しているからである。個々の事例ではなくて, 数学的な思考が及ぼす全体的総合的な見通しにもとづく解決, 分野間の結合などが重要である。

7. 8. 9. 数学者集団が結集して, 他の分野への出前サービスをするというような形の拠点は成功しない。現代数学はそのままで現代の科学技術に使えるようには作られてこなかった。文化としての数学は独自の体系を持つが, それを応用すればよいというほど事は単順ではないからである。役に立つのは, 数学的な考え方と方法である。これを現実の問題に即して発揮し, 新しい体系を創らなければならない。それは, 既製の数学の応用ではない創造的な思考過程である。これを成し遂げる拠点は, 心ある純粋数学者, 多くの分野にまたがる多数の数理科学者, そして現実の問題を抱えている科学技術者が集い, 自由にチームを組める環境である。特定のテーマやプロジェクトに近視眼的に投資するなどという, 姑息な方法はやめて, もっとおおらかに, 数理的な思考を自由に熟成させることを可能にする環境を, 拠点として整備しなければならない。そもそも, イノベーションなどという流行のキーワードを目標として掲げて求めるのではなくて, 自由な環境とそれを支える組織を拠点としてつくり, その結果としてイノベーションが起こるとするのが良い。いや, イノベーション以上に重要な成果は, 異分野と交流することによって学問の世界に変革を引き起こし, 数理が技術の体系を変える中核になることである。これは現代社会の技術文化の問題でもある。数学的な思考にはそれだけの力がある。

4.2.2 有本 建男 氏 (科学技術振興機構 社会技術研究開発センター長 (兼) 研究開発戦略センター副センター長)

ヒアリング対象者: 有本建男 氏

役職名: 科学技術振興機構 社会技術研究開発センター長 (兼) 研究開発戦略センター副センター長

場所: 科学技術振興機構

日時: 2008年2月13日

ヒアリング調査員: 寺尾宏明 教授, 志田憲一 北海道大学 東京オフィス代表, 儀我美一 教授, 小杉聡史 研究員

数学研究と他分野等との連携に関するご意見をうかがった。さらに、日本の数学研究について総合的なご見解や、本調査に関連したご意見をうかがった。

1. 行政は、資金を付けても優秀な人材が育たなければ意味がないと考えている。また制度や予算を変え、優秀な人材だからと云う理由で資金を付けても、精神や理念が優れていなければ成果は挙がらないだろう。数学の振興について、まず、数学には優秀な人材が来ているか。人材を育てているか、そのためのメッセージを出しているのだろうか。

2. グランドセオリー形 (個別領域のどれをとっても例外なく適用できるようなタイプの一般理論) の学問が70年代以降、薄れてきたのではないか。数学は教育と繋がるのがよいと思っているが、理科系とくに数学へ進学するのはリスクが高いといわれている。再チャレンジは可能だろうか。数学と聞くと一般の人は理学部数学科しか思いつかないかもしれない。可視化して世の中の人にわかるようにする必要がある。そうでなければ学生の両親にもわからないのだから。思いつきだが、数学関係の人材が産学官の色々な所で活躍していることをシンポジウムで説明したり、解説本を作ったりするとよいのではないか。普通の人間には数学は近づきたいイメージしかない。行政官は人事異動により1-2年で所属換えがあるので、これらは先生方が引っ張っていくとよい。科学技術振興機構 (JST) の「さきがけ」でも、途中のミーティングは重要。可視化して学生にみえるようにするのが望ましい。日本応用数学会と一緒に活動するのもよい。また、化学、ITなどの学会で開かれるようになった、学問研究以外の、人材育成や行政面政策面の特別セッションなども参考になる。

3. 最近、リーダー育成を企画したところ重要性が認識され始めてきたようだ。教育では裾野を広げることによく行われている。社会工学的になるので反発が多くなるので、今は小中高大学、大学院の教育の様々な施策は戦略化されていないし、構造化もされていないと思う。教育も学生の分布の中でどこに着目しているのか気をつける必要がある。底辺の底上げか、最大多数の部分を見ているのか、トップクラスをよりいっそう伸ばすのか。数学の分布はどうか。時代的な変化はどうだろうか。おおよその感覚を行政に示してほしい。キャパシティデベロップメントについて数学でも配慮してほしい。社会への還元については、アメリカでは博士の30パーセントくらいが企業に就職する。しかし、日本では未だにいやいやたまたま企業に行く、という感じが多いのでは。

4. 現在、公的資金のサポートを受けたものが世の中で何らかの価値を生み出したかを確認している。このような視点で意識的にデータを集め、トピックを抽出するのは大切。第3期科学技術基本計画の基本姿勢は知的文化的価値と社会的経済的価値の創出を謳った。極端な例だが、こんなものもある。江戸小紋は何千種類もあるが、幾何学的解析をすることで紋様の美の認識の規則性からのずれの効果が示されたりした。数学と美術の間のダイナミズムが生み出した結果ともいえる。

5. 複雑系の科学は有望だと思う。OECDのグローバルサイエンスフォーラムや、第3期科学技術基本計画の4プラス4分野つまり「重点推進4分野 (ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料) 推進4分野 (エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア)」を見てわかる様に、伝統的な分野も大切だが、イノベーションを目指すなら、社会が求めている解答をどのように求めていくのが大切である。コンバーGINGテクノロジーというものもあるが、そこに数学が参入するには、学問を統合する方法論、シミュレーションなどを通してということになるのだろうか。

6. 第3期については、文部科学省の検討段階では横断的側面も相当強かったが、結果としては縦割りになり、異分野融合が大切という文章は残ったものの、横断的側面の振興という強い方向性は示されなかった。JSTでも現在のファンディングは

制度を含めて改革していきたい。

7. 数学の共通言語としての側面を重視し、異分野の成果を他に普及させていこうというアイデアは面白い。数学のもつ異分野の統合、方法論としての面は重要。ただ、数学者だけでは厳しいので、他分野研究者とも協調すべきである。北大の3月のシンポジウムでは、化学や応用物理の先生など他分野の人に数学の重要性を語っていただくのもよいだろう。

8. 大学院教育で、ジェネラルな数学を他分野の人が学ぶことはあるか。殆どないようだが、化学分野でも海外から指摘されているように、日本の教育訓練はピンポイントすぎるのではないか。そのため狭い専門から少しでもずれると本人の能力が対応できず、成果が上がりにくくなるのではないか。

9. 数学の振興を考えるなら地道に学会の特別セッションなどで政策を語る方法もあるだろう。残念だが、数学研究に対しては日本では税金でしかサポートできないかもしれない。学問を行ないながら、5パーセントでもマネジメントにも力を入れるとよいのではないか。異分野との連携を行なうなら、他の学会と連携するとよい。アメリカの国立衛生研究所 (NIH) 所長の Elias A. Zerhouni 氏が戦略ロードマップとして、半年毎に物理学会、化学会とそれぞれワークショップを行ない、かなり成功しているようだ。

10. 日本では数学オリンピックがあるが、こうした活動と協力するなどして、できるだけ裾野を広げるのも良い。大学の一般教育の数学を教える人にも参考にするとよい。

4.2.3 池森 俊文 氏 (みずほ第一フィナンシャルテクノロジー 代表取締役)

ヒアリング対象者: 池森 俊文 社長

役職名: みずほ第一フィナンシャルテクノロジー
代表取締役

場所: みずほ第一フィナンシャルテクノロジー

日時: 2008年3月7日

ヒアリング調査員: 井上昭彦准教授, 福田敬 (日本
格付研究所 ストラクチャード・ファイナ
ンスアドバイザー)

1. 関わっている業務: 新商品開発, 投資技術開発, リスク管理手法開発, 以上に関するコンサルティング, 市場分析, 顧客分析, 高速計算・高精度計算手法開発, モデル開発, アルゴリズム開発, システム開発, 金融技術教育。

2. スタッフ約100人のうち, 80%は理工系, 数学が35%, 物理が16%。20代・30代が中心で若い。博士・PhDが12%, 修士が46%, 学士42%。

3. 会社の特徴: 本体から分離独立, 数理金融技術を広範囲にカバー, 実務志向。

4. 金融/数理技術を実用化するためには, 以下のような要件が必要: 分析対象を構造的に見る, 合理的・整合的なモデル化, データ制約/時間制約/費用制約/人材制約の下で処理可能な形に組み立てる, システム化, 業務フロー化。

5. 金融機関は, いわば Cash Flow の製造工場である。新技術の開発とそのプラント構築, プロセス設計を製造業と同じようにしっかりしていけないといけない。しかし, そういう金融機関の本質

の認識が, 経営者/当局者/あるいは金融技術者自体にも十分でない。金融技術者に本当に期待される機能は計算能力ではない。

6. イノベーションが待たれる分野: リスク管理, クレジットビジネス, 運用手法, 不動産, コモディティ, 排出権, 高齢化社会におけるインフレに対処する手段など。

7. 金融エンジニア/金融工学に対する需要は, いろいろなレベルで高まると思う。一番欲しい人間は, 新しい業務を起こしていける様な創造的な人間だが稀有。そういう人は, 数理に関して創造的というよりも物事の見方に関して創造的な人, 組織や人を動かせる人。しかし, 単に数理が得意だという人も計算屋として, システムが好き人はシステム屋として, 数理はそんなに出来ないが世の中の動きに敏感な人は, 少し数理の判る現場担当者として, いろいろな人達が必要。

8. 金融界において直接的に数学的な発見が何かあって, あるいは研究成果が上がって, それが直接的にイノベーションになったという例はないと思う。金融工学は実学であり, ポートフォリオ理論にしるオプション理論にしる, 現象を構造的に捉え数理的に記述することで, 新しい分野や手法を切り開いていったもの。既往の数理を現実の世界にうまく適用したものであって, 何か新しい数学が出てきて, それが金融工学を動かしていったということではない。現実を, 既にある数理に当てはめる技術・知恵・センスが発揮された, とい

うことだと思ふ。

9. 数学の人たちがある所に集まって単分野の人たちの話を聞いて、何かイノベーションを起こしていけるかという、なかなか難しいと思う。むしろ、世の中の仕組みをある程度構造的に見れる人たちが数理的な能力を高めて、その人が知っている数学を適用していく方が可能性は高い。そういう人たちにこんな数学があるんだよというよう

な、新しい数学とか深い数学の情報を授けてあげられる様な機会は必要かもしれない。

10. どの数学がどこに役に立つかは、なかなか分からない。あまり応用を気にせずに純粋に数学をやっていた方がいいのかなと思う。そこから得られた成果があったら、それを今度は逆に現実に適用する能力に長けた人たちが、それを活用して組み立てていく、という分業ではないか。

4.2.4 生駒 俊明 氏 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター長)

ヒアリング対象者: 生駒俊明 教授

役職名: 科学技術振興機構 研究開発戦略センター長, 東京大学名誉教授

場所: 科学技術振興機構

日時: 2008年2月12日

ヒアリング調査員: 寺尾宏明 教授, 志田憲一 北海道大学 東京オフィス代表, 儀我美一 教授, 小杉聡史 研究員

数学研究と他分野等との連携に関するご意見をうかがった。さらに、日本の数学研究について総合的なご見解や、本調査に関連したご意見をうかがった。

1. 他分野と数学との係わり合いについて、まず数学者は数学教育を強化すべきである。その際、数学が学生にとり魅力的に映るような工夫が必要である。あらゆる科学のベースに数学が潜んでおり、特にITのベースは数学そのもの。そのような応用への道筋を、数学者が一般に対しても、もっと提示する必要がある。科学全般の基礎として、数学、物理、化学があり、その上に生物、情報などがあると認識しているが、数学はその中でも土台的、基礎的な部分であろう。

2. アメリカでは予算の配分項目に Science, Technology の他、Math(数学)がある。しかし日本では対応する項目に数学はない。我々は常に数学振興を考えているが、ファンドをどう設計すれば数学の真の振興に繋がるだろうか。以前、数学者と話したが話がかみ合わなかった。サービスサイエンスやITへ応用の道があるはずなのに歯がゆい思いをした。今は「知識獲得のための科学」として、統計学からモデリング、シミュレーションなどを通して実施している。その際、将来シナリオに乏しいのが問題で、他分野研究者に数学の重要性を知らせるには具体的なものが必要と感じる。

3. 例えば複雑系の科学などは将来的に有望とみられるので、日本での振興のため何らかのオーガ

ナイズをしていきたい。数学振興を教育とみなすと、研究ファンドをどう設計するかが重要である。さらにどういう先生を集めればよいか、数学以外の人間にはわからないという点が最も大きな問題になっている。それがわかる何かが必要とされている。

4. 以前、サービスサイエンスそのものともいえるIT全体を俯瞰したワークショップを開催した。しかし数学者の参加者はほとんどいなかったようだ。この分野では複雑系の科学が有効なので期待したのだが。また人材育成の観点からの話もほとんど出てこなかった。そこで来年は人材育成を取り上げたい。科学のベースは数学なので、数学の先生にも参画を呼びかけたい。ITは特に数学的な基礎がないと世界から取り残されることは明らかなのでこれは緊急の課題である。

5. 数学 他分野連携研究における大きな成功例としては、伊藤先生の金融工学、クオリティコントロールが挙げられる。さらにIT、信号論、ロボット制御も数学が基礎である。わかりやすい説明のために、数学から応用を俯瞰する「俯瞰マップ」作成を提案したい。

6. 数学者とITやマーケティングのワークショップを開催したいが、手付かずのままである。ファンドしたいし、数学を振興したいが、どこに声をかければよいかのかわりにくい状況である。例えば Bayesian function や error coding がよく登場する場面で、対応する数学の専門家がどこにいるかわからないことがある。俯瞰できるマップは他分野の研究者にとって有用である。科学技術振興機構はあらゆる分野に対してまず俯瞰マップを作ることから始めている。

7. サンタバーバラに理論物理の研究所で面白いものがある。日本の数学者にはもう少し応用に向く事を強く期待する。日本に数学 他分野連携型の拠点をつくるとしたら、通常のプロジェクト型

は恐らく不向きで、蝸壺になる懸念がある。単に場所を作るのでは不十分で、研究体制に何らかの工夫が必要である。

8. 他分野と連携した滞在型の新研究所設置を提案されていると聞くが、日本でそのような研究所を作った場合、他分野との連携研究に参加する数学者は果たしてどのくらいいるのか。そのような数学者は通常の責務に加えてよりいっそう忙しくなり、時間が不足する可能性が指摘されているが、例えばマネジメントを行う人を別に雇うということで改善しないだろうか。入試に係わる業務が数学は他分野に比べて非常に重いと聞くが、入試は教員の大切な責務である。入試により教育の機能を支えている面もあり、入試で学生を惹きつけることは大切。研究と教育は数学者にしっかり行っていただきたい。一方、マネジメントのかなりの部分は数学者以外の人材で行う事ができるのでは

ないか。また、大学一年次の一般教育のために高級な数学者は必要なのだろうか。数学教員の数に比べて教育責務が重いのであればティーチング・アシスタントをもっと活用してはどうか。

9. 数学者にとって時間が大切なことはわかるが、数学特有の問題は制度設計に携わる側にわかるように説明を続ける必要があり、それを補正するには何かしら提案をしていかなければならない。それは現行の制度をブレイクするものでもよい。

10. 数学はJOBの数が少ないと聞くが、そのような状況で若い人は数学を選ぼうと考えるだろうか。これは数学の人の怠慢ではないか。日本の数学者は、アカデミックなポジションだけでなく企業への就職など将来への展望や道筋をもっと整えていく必要がある。ITや金融工学は数学がベースなので、そのような点を強調し、数学の応用を世間一般に広く伝えていただきたい。

4.2.5 奥村 直樹 氏 (総合科学技術会議 議員)

ヒアリング対象者: 奥村直樹 議員

役職名: 総合科学技術会議 議員

場所: 内閣府 総合科学技術会議

日時: 2008年3月5日

ヒアリング調査員: 山口佳三 北海道大学理学研究院長, 儀我美一 教授, 山本昌宏 准教授

数学研究と他分野等との連携に関するご意見をうかがった。さらに、日本の数学研究について総合的なご見解や、本調査に関連したご意見をうかがった。

1. 数学以外の分野にも役立つ数学としてすぐに思いつくのは少し前に話題となった数理ファイナンスの伊藤積分がある。数学との連携によるイノベーションとして重要な要素は、実利に結びつき、しかも数学に基づいてなされた対策によって現実の現象の構造的基盤を理解できることであろう。
2. 数学との連携によりイノベーションが期待できる分野は技術分野に多いはずである。数学は大事ではあるが「もの」を設計する段階ではなく、問題となった現象に対して後説明や解釈に専ら使われてきたのではないか。イノベーションを生み出す連携の相手としての視点で数学を振り返ってみると、これまでのやり方は数学以外の分野の人に対して説得力に欠けていたのではないか。
3. 一例であるが、設計に使われているCAD(コンピュータ支援による設計ソフト)はほとんど外

国製、特にアメリカ製である。このような分野はもっと日本の数学が実的に貢献できるはずである。このようなソフトウェア開発は、日本の強みと考えられている所謂「ものづくり」の一環として重要なはずなのに、ユーザーの立場に立ってソフトウェア設計に向かうことが少ない状況は、連携を指向する数学の在り方としては考慮すべき問題である。

4. 複雑系の基本構造は数学なので、もう少し数学による一般的な構造解明を進めることはできないのであろうか。もっと他分野との連携を積極的に進めてほしい。数学の持つ大きな力に期待している。

5. 生体診断に用いられるMRIは、核磁気共鳴や超伝導など物理に加えてトモグラフィも付加されないと実用化できない重要な技術。MRIの効能は広く一般大衆にも有用性が理解されている。そのような課題を掘り出して数学が異分野と連携し、「創り合わせ」ること、言い換えると、数学や数学的思考が設計などに初期の段階から基本的なコンセプトに直接統合していくことが重要である。この種の課題はそう簡単に見つかるものではないが、その内の重要な要素の一つとして数学が機能しているので、数学との連携によるイノベーションの理想形である。こうした例を説明していくと、数学の力への一般的期待が一層膨らむであろう。

6. 連携の場としての機構作りもさることながら、そこで何を創出するのか、何が出てくるのかをわかりやすく説明できることが大事である。数学のある部分を単に当てはめて個々の問題を解決するだけではなく、現象の背後にある原理の解明にも向かってほしい。

7. 運営方法として、重要でかつ理解され易い課題を定め、プロジェクトのようなやり方は良いと思う。課題が決まって他分野との連携を実施する際に、日本では、異分野の参加者の寄与分などについていつも平等に考えがちである。最大限の連携の成果を挙げるためには、個々の問題に応じ、役割分担の内容・割合についてきめ細かく考えるべきである。これは、課題に応じて研究者機能を柔軟に考えるという「タスクフォース」の考え方であるが、それが日本ではやや少ない感じがする。さらに、米国でしばしば行われているように、研究者が複数の機関で働きやすい制度をアカデミアにもっと導入し、人材を柔軟に雇用できるようにしていく必要もある。

8. 数学を中心に考えても良いが、他分野との連携に結び付けるためには世の中の要請をきめ細かく汲み取ることが必要で、地味で根気がいる作業だ。このようなことは、上の CAD の例からもうかがうことができると思う。一方で、総合科学技術会議の立場からは、「数学」が見えづらい。また、理数教育の議論では、実験を伴う理科教育に重点がおかれる傾向が強い。このようなことから、数学者は世の中の動きも見据えて、地道に努力するべきである。

9. (欧米の数学研究所には強力な支援組織があるという指摘に対して、) 文化や人々の考え方における数学の位置付けなどの違いがあって、簡単に答えは出ないが、基礎科学の国際競争力の点から重要な問題だ。数学の持つ力や成果を数学の言葉を使わなくても説明できれば、数学以外の分野の人々も大きな共感を持つ筈だ。

10. 共同研究などで、日本の企業が、日本の大学に出す研究資金の合計は海外の大学に出す金額のおそらく半分程度であろう。国立大学の法人化前だと、その原因としては大学による運用の問題があったと思う。例えば、共同研究の契約条項の不明瞭さもその1つである。このような要因は、法人化後は改善されていることを期待している。また、欧米では、大学の先生がその大学や分野などに限定されない研究者の広いネットワークを個人的に持っており、企業から課題の相談があれば、課題に応じて他の研究者と連絡をとり、迅速に対応して成果を挙げているようだ。このようなことは特にアメリカの大学で経験している。

11. (連携をするにも専門分野しか学ばない傾向が強いとの指摘に対して、) かつての教養学部や教養課程のシステムは今考えると機能していたと思う。専門分野の勉強を始める前に色々な分野の勉強をしたのは、後々、個人的にも役に立った。例えば社会科学なども、その後に学んだ専門分野とどこかで結節点ができた。しかし、今では大学で学ぶ科目がだんだん限定されているようだ。数学や物理さえもかつてほど教えられていないようなので心配である。かつては、大学の講義に時間的な余裕もあり、課題解決にいたる多様性を学んだが、そのようなことは社会人になってからも大変有用であった。数学を通してこそ、解決のための多様性を学べると思うが、最近のカリキュラムは特論指向になっていて、なかなかそのようなことを学びにくくなっているのではないかと。また、数学科の卒業生には今までに就職実績のある狭い範囲の職種だけでなく、もっと広い分野の企業へも就職されることを期待している。企業の側でも、数学科の卒業生をコンピュータ要員としてだけでなく、数学的な思考ができる要員として採用すべきである。数学によるイノベーションを目指すだけでなく、そのような教育面でも地道できめ細かな配慮が必要であろう。

4.2.6 George Kampis 氏 (Eötvös 大学 科学哲学科 学科長)

ヒアリング対象者: George Kampis 教授

役職名: Eötvös 大学 科学哲学科 学科長

場所: 北海道大学 電子科学研究所

日時: 2008 年 2 月 12 日

ヒアリング調査員: 津田一郎 教授

1. 私は数学者ではなく、数学のテクニクを用いた数学的モデルを構築することで生物学や認知科

学その他の分野の問題を解決することを行なっている。モデルを作る立場からすると、そのような共同作業は双方にとって大変重要であると感じてきた。自分自身の狭い領域から飛び出して共同研究を行なうことは、山登りのようなところがある。つまり、自分自身の仕事に関する概観を得て、新しい観点を得、それがさほど重要ではないかどうか

か（この認識も有用で、課題を変えるきっかけになる）、また自分が思っていた以上に自分の仕事が他分野に使い豊富な関係がつけられるということを知ることになる。特に、私の分野に不慣れな共同研究者に自分の仕事を話すとき、自分の仕事についてよりよく知ることが出来るといつも感じている。従って、異分野交流は自分の仕事、自分たちの分野を真に理解するために本質的である。

今までの多くの成功した異分野共同の中でも日本とUSAの例について述べたい。北海道大学の津田一郎教授と彼のグループと複雑系理論に関して共同研究を行なった。彼は私のところに何度も訪れ、私もいくたびか彼の研究室を訪れた。我々は複雑系分野において異なった領域を研究してきた。津田教授らは力学系の研究を行い、我々はエージェントを基調にしたモデル（ゲーム理論）の研究を行ってきた。しかし、両者は類似の問題にたどり着いた。共通の興味は脳のダイナミクスや進化システムなどである。我々は今まで共著論文は発表していないが（将来は可能であると思うが）、私は彼のカオスの遍歴という概念に大いに影響を受けたし、彼もまた私の因果関係をモデル化するというアイデアに影響を受けたと思う。我々は異なる背景知識にも関わらず類似の考えに至っており、それがまた私の考えを発展させ、最近の私の計算論的なモデルの解析にも役立っている。このような高いレベルの共同研究なくして私の仕事はこれほど良いものにはならなかったと思う。また、学生たちもこういった異分野交流によって多くのことを学んだことは間違いない。

他の有用な今も続いている異分野交流は東ネネシー大学のスティーブ・カルサイとの共同研究である。彼は生物学者であり、数理モデルにも長けている。互いに相手が知らないことを知っている。空間の入った人口ダイナミクスのような問題を互いに率直に自由に議論することができた。我々はこれまで、多くの研究計画をこういうやり方で実行してきた。

2. 失敗に終わった共同研究はブダペストとUSAにおける哲学者とのものである。彼らは哲学は他とは全く異なっていて科学から学ぶことは何もないという信念を持っているようだった。我々は共同研究を開始したが、それは大変表面的なものであってなんら成果はあがらなかった。幸い、何人かの他の哲学者は自分の殻に閉じこもらず心を開くことが最終的には出来て、その結果認知科学の分野で彼らとの共同研究は成立し、今も続いている。

3. 4. 過去、現在においては、数学的な高度な概念と技法の恩恵をこうもってきたのは計算機科学、応用物理と工学であろう。これらの分野で革命が起こったのはその背景となる数学のイノベーションが起こったからである。最近では、複雑系が数学的な基礎の上に総合的な分野として現れたが、国際的には複雑系は物理の一分野としてではなく、多くの異なる原則が交錯する現実の世界における真に複雑なものを探求する新しい種類の「超科学」として（特に、欧米では）急速に認知されている。複雑系は数学の中のいくつかの分野を統合するが、それだけではなく、化学から生物学、さらには心理学までにも及ぶ多くの伝統的な分野に対して統一的な見方を提供する。将来においては、社会科学と生物学が最良の候補となるだろう。生物学は今や急速に発展を遂げているが、将来においても新しい発展の可能性を秘めている。例えば、実験的な方法でモデリングを定式化する定量生物学。公平に見て、将来の生物学は理論化の傾向が強まり、このことで数学を本質的な方法で使用するイノベーションが起こるだろう。新しい数学的な概念が必要とされるだろう。システムバイオロジーは良い例である。システムバイオロジーはまだ初期の段階だが、大規模な不整合なデータの集まりに関する離散と連続のハイブリッドモデルは将来において大変興味深い分野になるだろう。

5. 神経科学は生物学の中で新興分野の一つである。神経科学（と計算論的神経科学）は急速に発展している分野だが、現象の圧倒的な複雑さによって数学の多くの概念が必要とされている。最も伝統的な微分方程式によるモデリングからトポロジカルな方法、高度な統計学、ベイジアンのような数学的学習理論まで、数学のもっと多くの研究領域が将来においては神経科学において現れる。社会科学もまた重要だと私は考えている。最近の私の経験から、社会学、政治学、経済学は数学的モデリングの対象として急速に興味を持たれ始めている。株式市場、リスク分析などの古典的なものに見られる数学の単なる応用ではなく、異なるアプローチとして、理論社会科学はたぶん革命的な時期を迎えるだろう。例えば、その住人は数学的なモデルによって行動し、別の数学モデルに埋め込まれるような「人工社会」が興味の対象になるだろう。これは、ゲーム理論、力学系、統計的手法、エージェントを基調にしたモデリング、計算機科学・人工知能などまた多くの他の数学分野を全く新しい方法で統合することになるだろう。

6. どんな研究者の間でも、たぶん各部局間においてもコミュニケーションは本質的である。コミュニケーションの欠落は大変危険である。どの分野も固有の方法論だけでは複雑な問題にチャレンジするには限界があるからだ。異分野のセミナーを開くことはその意味で大変重要だ。サンタフェ研究所とブダペスト協会は良い例である。

7. アメリカ合衆国の研究大学のような人との相互作用が可能ないように計画された開かれた研究所。最も活性化している研究所は他分野へ開かれた研究所である。インディアナ大学の認知科学のプログラムは非常に優れている。そこでは、言語学者、数学者、心理学者、物理学者、計算機科学者などが

共通のセミナーなどを企画し、互いに刺激しあっている。他の効果的なものは、旧共産圏のアカデミーの研究所やドイツのマックス・プランク研究所である。

8. 9. どちらも重要だが、後者の方が良いように思う。今日の科学は少数のグループや分野だけが予算を獲得し、他との共同をうまく行なえたところが勝ち組になる傾向がある。人間科学のような価値はあるが小さな分野では個人研究を援助しないこの傾向は大きな打撃である。しかし、数学はチームを組んで行なう研究をも深く知的な洞察に富んだものに変えられるだけの力を持っていると思う。

4.2.7 グン・チェンピン 氏 (北海道大学大学院理学研究院生命理学部門教授)

ヒアリング対象者: グン・チェンピン 教授

役職名: 北海道大学大学院理学研究院生命理学部門教授

場所: 北海道大学大学院理学研究院

日時: 2008年2月14日

ヒアリング調査員: 津田一郎 教授, 利根川吉廣 准教授, 坂上貴之 准教授

1. 現在少し試みているものの現在のところ成果があがっている例はない。しかし、試みはしている。実際、純粋な数学者ではないが、物理の背景のある理論研究者との共同研究をすすめ、非線形数学の理論を高分子ゲルの強度の問題を扱っている。数年まえにゲル科学では強度に関する画期的なブレークスルーがあり人工軟骨や人工臓器などへの利用、また工業的にもゴムと同じ強度でその材料の90%が水であるという環境にも優しい素材ということで注目されている。それ意外にも様々な有意義な物性を持つことが知られつつある。これを理学的に深く極めたいというのが現状。具体的な成果が出るのはまだ先であるが、必ず成果はでると思う。

(調査員)世界的にこういうアプローチは取られているか?

回答. これを世界でやっている人は少ない。

(調査員)なぜ物理ではだめなのか?

回答. 物理でなく数学に期待しているのは、数学の方がより fine な結果を出してくれる。ソフトマターの大変形などは現在の物理では扱えない領域である。基本的に非線形領域の現象である。ただ、数学だけでは十分なブレークスルーはない。複数の異分野間の連携が必要であると思う。

(調査員)数学との連携においてどういうことが問題か?

回答. 対象になる問題に互いが「共通の情熱」を「長時間」持ち続けられるかが重要である。

(調査員)今の大学の仕組みだとそのようなことは難しいが、どうすればよいと思うか?

回答. 難しい。お互いに忙しい。大学の日常の業務に負われてそこまで手が回らなくなっている。

(調査員)その現状は多くの大学人が共有している認識だが、どうしてこの現状を変えられないのか?

回答. 過度に競争的になりすぎて時間がないのが原因かもしれない。15年前には朝に様々な研究上の議論をしており、これが研究に役立ってきた。今はそういうことができない。

(調査員)欧米および中国ではどうか?

回答. もっと余裕があると思う。

(調査員)具体的には?

回答. 昨年フランスに二ヶ月滞在したが、皆朝に来て夕方には帰る。それで仕事が進んでいないかといえばそうでなく、質の高い研究が続いている。どうも講義がほとんどないようだし、雑用もほとんどないようである。ただ、ここは CNRS と大学の共同ラボなので、ある程度役割分担ができていいのかも。一方、中国は忙しい。日本以上かもしれない。競争が激しすぎて、特定の分野(材料科学)は伸びるかもしれないが、それ以外はダメかもしれない。

(調査員)日本の場合は事務処理が多いし、秘書などもいるが、最終的判断すべき問題があまりに多くそれがインタラクションになっている。

回答. そうだと思う。特に理論系の研究にとって

はこのインタラクションは致命的である。

(調査員)話を戻しますが、「共通の情熱」を長時間もち続けるには？

回答.数学者がもっと敷居を低くしてほしい.数学が難しすぎるので周りには近づき難い.数学者が他の分野の問題が深い数学を生むという認識を持ってもらえると嬉しい.これを何とかするには数学者と他分野の間のインタープリターが必要.応用物理関係の研究者であれば用件は果たせるかもしれない.

(調査員)数学と連携してイノベーションが期待できる分野は？

回答.質問の扱う問題が大きいが,材料系を専門にしているので,そこに絞って話すと,材料科学が数学と連携すれば新しい発見はあるかもしれない.ミネソタ大学 IMA で材料科学と数学の連携に関するプロジェクトに参加したが,そこにいる数学者の層は厚いと感じた.材料科学におけるシンプルな問題を数学的にまた数値解析なども含めてやっていることに驚いた.

(調査員)日本では数値解析や数値計算をやる人は数学者でないという印象があり,こういう活動が活発にできない環境がある.職も得にくい環境にあるためこうした活動が現実になりにくい.

回答.日本における数学の定義とアメリカにおける数学の定義に大きな違いがあることに,IMA に行き気がついた.

(調査員)AMS の Math Reviews の分野表には周辺諸科学も数学がトライすべき分野であるという認識を表しているが,どうか.

回答.たとえば応用数学科としてあればいいのではないだろうか.

(調査員)それは日本の現状では難しいように思える.数学と物理の考えの違いがあるか？

回答.数学は自然に他分野につながるはずだが,外から見ていると理論物理と応用数学の区別はつかないが興味の持ちどころが違うのかもしれない.

(調査員)数学の場合は構造を抽象化することに意味を持ち,物理の場合は現象に興味がある.

回答.なるほど納得できます.

(調査員)数学は論理的思考を養える意味で物理とは違うセンスでの優秀さを持っている.深い論理から生まれる鮮やかさが見受けられる.

回答.そういう人が現象も持ってくると大きなブレークスルーがある.

(調査員)数学での教育のあり方も問題になるが.

回答.数学者は抽象的になりすぎて,基本的な物

理的常識がわからないという場合がある.しかし,様々な現象を数学でやるにはそういった物理的現象を理解しないとモデル化すらできないと思う.現状はずいぶん違うと感じる.

2. 3. 生命科学の分野は期待できる.既存の問題を解決するのではなく,問題そのものを発掘して解決するプロセスで数学が使えるのでは.化学分野でも特に北大であれば触媒化学などは数学と組むとよいようにも思う.

4. 5. 6. (調査員)そもそも「イノベーション」とは何だと思えますか？

回答.イノベーションとは「革新」である.数学でイノベーションというとピンと来ない面がある.

(調査員)ブレークスルーとは違う？

回答.違いますね.ブレークスルーは何か目の前に障壁があって,それを超えるという意味だと思う.だから,イノベーションといえば個々の課題解決のためというのではなく,連携する枠組みを作ることによって研究のフェーズを帰るという意味でイノベーションと呼ぶにふさわしいのかもしれない.

(調査員)北大が4月に発足させる「数学研究連携センター」はその試みだが.

回答.期待している.日常的な連携活動が大切と思う.

(調査員)数学-他分野連携型の拠点をつくるとしたら,どのようなものが望ましいでしょうか.

回答.JST の数学領域は意味があると思う.総括の見識に従ってよい人材が選ばれるわけだから,10年後の意義が大きいと思う.情報公開もなされているし社会も注目している.

(調査員)数学者のコミュニティがそもそも JST の活動を知らなかったという事情がある.

回答.数学分野は若い人が活躍できるので,もっと促進すればいいと思う.

(調査員)従来の数学者の考え方からして,JST のような他分野連携をうたうプロジェクトには若い人は参加しづらい.

回答.数学を発展させるためには多くの応用数学的センスを持った人が必要だと思う.層の厚さが必要である.裾野が広がらないと上には積みあがらない.極めて突出した能力が純粋数学者では必要だと思うが,たとえそれで成功しなくても,様々な能力を持った現代数学を背景とした研究者が活躍できる場がもっとあってもよい.それを活かすようなことができる体制が必要である.そのためには彼らに道を示すことができればよい.

(調査員)このとき, replacement buy-out のよう

な「参加する数学研究者の責務の肩代わりを可能にする制度」の導入についてはどう思いますか。
回答. この制度は知らなかった. それと関連してサバティカルの制度があるが, こういう制度とリンクしないと現実的には難しいように思う. そういう制度があれば是非導入はしてみたい. 共同研究もそうだが新しい分野を勉強する時間がこのような制度で確保されることはイノベーションをうむ基盤になりえる. オーストラリアの研究者に聞いた時はサバティカルを実施している時は, 他のスタッフが肩代わりしているとコメントしてくれた. 日本でこれをやるにはあまりに人数が少ない. 皆いっぱいのところでやっている.
(調査員) 研究目標が具体的で絞られている拠点に投資するのが良いか, それとも将来の新しい研究システムを構築するようなプロジェクトに投資するのが良いとお考えですか?

4.2.8 二宮 正夫 氏 (岡山光量子科学研究所所長・日本物理学会副会長 (次期会長))

ヒアリング対象者: 二宮 正夫 教授

役職名: 岡山光量子科学研究所所長, 日本物理学会副会長 (次期会長), 京都大学基礎物理学研究所教授

場所: 岡山市内

日時: 2008年3月15日

ヒアリング調査員: 廣川 真男 教授

1. 日本における素粒子物理学・場の量子論の研究と数学との連携が盛んに行なわれ成功しているのは, topological field theory の分野であり, 理論物理と数学の間でよい刺激になりお互いが発展しているように思う.
2. 超対称性の物理学からそれらを記述する代数や表現論といった数学が発達しているようだが, それらの数学が期待されるほど理論物理に返っては来ていないようである. Higgs 粒子を検出する実験プロジェクト LHC (Large Hadron Collider) が始まっているが, ここでは同時に超対称性粒子の検出実験が行なわれている. このプロジェクトで超対称性粒子が一つでも見付ければ, 次の ILC (International Linear Collider) 計画という実験プロジェクトに繋がる. この ILC に米国は 2025 年までは参加を見送るようで, ヨーロッパを中心とした CERN も参加意志を見せていない. 日本は ILC に取り組む方向で進んでいるが, いずれにせよ超対称性粒子の発見が鍵になる. その超対称性

回答. 難しいが, 連携室のような, 他の分野の人が行きやすいような場所があればいいかもしれない. また間に立ってくれる人が常にいるような体制があるとよい. 特に物理や応用数学の (研究の) 中間層がいると機能する.

(調査員) 将来の新しい研究システムと具体的な研究目標のどちらがよいか?

回答. 新しいシステムを構築するところに投資する方が大事である. システムを構築して人の流れを変えることが大事である. お互いに孤立しており, その現状を変えないといけない.

(調査員) 大学の縦割り行政の弊害か?

回答. 大学の再編に併せて大きな組織へ移行すると交流が進むかもしれない. 大学の再編をやるなら, こうした分野横断的な方向で情報を交換することができれば人の流れを変えられる. 人が集まっ て気軽に会話できる場を作ることが大切である.

粒子を発見するための粒子の質量を予測する理論的方法が未だ無い. ここに数学の関与を期待したが, 日本の数学界から期待したような解析手法が物理にフィードバックして来ていない.

3. 超対称性の物理学には, 数学との連携によるイノベーションが期待できると思う.

4. 理論物理学では, 量子力学はもちろん, 素粒子物理学や場の量子論は数学と連携することで発達してきたのは紛れもない事実で, 現在もこれからもそうで有り続けるだろう. 例えば, カリフォルニア大学サンタバーバラ校にある Kavli 理論物理学研究所では, ノーベル物理学賞受賞者やそれに匹敵する理論物理学者が居て, 数学を含む研究プログラムを立て数学と連携しお互いにイノベーションを創出して来たり, これからもそうだろう [調査員注: <http://www.kitp.ucsb.edu/activities/>]

5. 加速器周辺の技術には, 民生用に転換できるものが沢山有ると思う. 加速器ではないが, CERN の研究者間でのインターネット WWW が現在の形で世間に普及したのは有名な話. これらの中には, なんらかの形で数学が絡んでいるのではないかと, 例えば, 制御システムのアルゴリズムとか. 岡山光量子科学研究所は県の公的機関なので, このような情報を直接県内の産業界に降ろすことはできないが, 県庁の担当部署を通して産業界に紹介している.

6. (質問 7-9 で回答)

7. (現象論でない) 素粒子物理学や場の量子論等の理論物理は、海外においては数学と一緒にの学科だったり、数学部の中に一つの学科と所属していたりする事は稀ではない。コペンハーゲンでは、数学、理論物理学等の分野の研究機関を Niels Bohr 研究所の名の下に統合することでイノベーションをもたらし、他のヨーロッパ諸国や米国との研究競争に勝ち残る政策を取ることになった [調査員注：二宮氏は Niels Bohr 研究所の理事の一人]。数学、素粒子物理学や場の量子論のような理論研究には、直接には実験装置等を必要としないこと等の理由から、また様々な歴史的な理由から、研究者が日本に点在する形になっている。この分野の研究者が連携を深めるために、必要なときに拠点に集まり研究を行なえるシステムが必要に感じる。またさらに、各研究者や研究機関が点在している事実を考慮すると、(現象論でない) 素粒子物理学や場の量子論の分野から見れば、現在日本で孤立して研究せざるを得ない研究環境にある (例えば、

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) や理化学研究所に居る理論の研究者達、京都大学の川合グループ、そして岡山光量子科学研究所等の) 研究者や研究機関と数学の各研究機関を繋ぐための要となるヴァーチャルな高等研究機関が形成されると、これからの数学と素粒子物理学の連携にさらなるイノベーションが期待できると思う。

8. 研究に専念しお互いに集まり連携をすることが可能ならば必要だと思う。

9. そのときの研究の状況により、具体的に成果を挙げる目標を設定しなければならないようであれば、研究目標を具体的にすることは必要であろう。素粒子物理学では、今まで述べて来たように数学からフィードバックされる有効な結果が今すぐにも必要な状態である。このような目標が設定できるためには、常に汎用性の高い基礎研究が行なわれていて、そのタイミングと状況を判断できるリーダーシップを持ったディレクターの存在が重要だと思う。

4.2.9 宮 健三 氏 (法政大学客員教授, 日本保全学会会長)

ヒアリング対象者: 宮 健三 教授

役職名: 法政大学客員教授, 東京大学名誉教授, 日本保全学会会長

場所: 日本保全学会事務局

日時: 2008 年 3 月 14 日

ヒアリング調査員: 山本 昌宏 准教授

1. 数学研究と連携したことでイノベーションもしくはイノベーションに準ずる結果につながった事例としては、最適設計などがあると思う。さらに、渦電流を用いた内部欠陥の検知技術は大きな成功例であり、設備の保全のため重要な技術である。設備の保全に関してモデル方程式をたてて、コスト関数を定義してそれを最適化 (最小化) するという、汎関数の最適化問題は重要であるがここでの数学手法はイノベーションに準ずる成果であろう。

2. 数学研究と連携することでイノベーションが起こるためにはどのようなシステムまたは方策が必要であるかに関して、数学の応用は広い範囲にわたるにも関わらず、わが国の一般の数学者はあまり現象に興味をもっていないように思う。そこに他分野の研究者と極めて大きな思考や価値判断などのギャップがあるのが大問題だ。これを何とかすることがまず第一であろう。

3. 数学 他分野連携型の拠点をつくるとしたら、数学者だけではなく、他分野の研究者も入れるの

が、まず必要であることはいうまでもない。それと明確な目標を設定すること。例えば、工学技術など社会的に認知されているいくつかの課題に関して問題パターンを設定し、それぞれの場合について解法ならびに解答例をモデルケースとして提案することは、他分野との連携を強めるために有効な方策だと思う。そのようなモデルケースを示すことは、他分野の人間からみて数学の力を理解するために便利である。

4. replacement buy-out のような『参加する数学研究者の責務の肩代わりを可能にする制度』は重要だとは思うが、数学者の発想の根源も変わるべきである。研究者の流動性という発想がもともと乏しい。これは数学者に限ったことではないが、すでに導入された大学教員の任期制は機能していないと思う。若い研究者のモチベーションを殺しているような気がする。

5. 研究目標が具体的で絞られている拠点への投資とともに将来の新しい研究システムを構築するようなプロジェクトへの投資はともに必要である。バランスが重要であるが。

6. 数学との連携に、私の周辺の若い研究者は興味があることは確かだ。

7. 現状の産学のシステムでは数学との連携に興味があるとしても、異分野からみて、応用数学者に

限っても、どのような内容の研究をどのような動機付けで行っているのかを知ることが極めて困難である。別の学会などの連携講演会（複数の学会によって組織される関連分野横断型の講演会）に積極的に参加・発表して数学の有効性をみせてほしい。

8. 数学者からの寄与としては、モデル化、数値手法があると思う。

9. 数学との連携の場合、望ましい成果の形態としては実用化が重要。若い人は別として、論文出版はもはやあまり重要でない。もちろん、数学との連携の望ましい成果としては、すぐに実用

ならなくても、10年後をみこしたような成果も大事だと思う。

10. 海外の数学者との連携事例はない。

11. 純粋数学がどれくらい進歩を続けているのが数学界の外の人にはわからない。それと、数学に限らないが、若い人が、例えば国際会議に行って最新的话题を収集して直近の論文の題材を探することは結構だが、所詮は物まねに終わる可能性が大きい。このようなことばかりしていると独創性をつぶすことになるのではないだろうか？あえて、知らないことに挑戦してほしい。それと仲間で群れないでほしい。

4.2.10 毛利 哲夫 氏 (北海道大学大学院工学研究科教授)

ヒアリング対象者: 毛利哲夫 教授

役職名: 北海道大学大学院工学研究科教授

場所: 北海道大学大学院工学研究科

日時: 2008年2月13日

ヒアリング調査員: 津田一郎 教授, 利根川吉廣 准教授, 坂上貴之 准教授

1. イノベーションとはなにか。工学で教えられる教科書を紹介。ODE, PDE, フーリエ解析など、こういう数学を使わない工学者はいない。日常的に数学を使うのは当たり前である。今まで使ったことのない数学を使って成果を上げるという意味でイノベーションがあるかどうかということかどうか。

(調査員) 既存の数学を単に使っただけでできるという以上に先端の解決が難しい問題に対して、これまでに使ったことのない数学を使うことで新しい分野が創出できるなど。そういう意味である。回答。そういう例は少ないが、現代数学が暗号や情報理論に寄与しているとの情報なら多いかもしれない。私の専門である工学(材料)から数学と互恵関係にあって発展したものは time-dependent Ginzburg-Landau 方程式, Cahn-Hilliard 方程式などがある。基本的に材料科学はマルチスケール現象である。シュレーディンガー方程式(ミクロの世界 $10^{-8} \sim 10^{-9}$)、確率論的な扱い(原子の配列)などがこれまでよくわかっているが、現在のミクロな構造が集まってできる内部組織が重要であるが、ミクロな世界がどうマクロな内部組織につながるかはうまく記述できていないのが現状。さらにその上にはさらに 10^2 のオーダーの現実的な世界がある(こういった世界にはまた連続対力学や

有限要素法などの手法がある)そこでこの間にある材料(合金)内部組織のスケールである。その間のリンクがうまくできない。数学的に記述する術がまだない。こういうものに切り込むのが TDGL や CH 方程式であり、フェーズフィールドモデル(小林亮先生)によるデンドライトなどがある。アメリカにいる NIST の J. Cahn が小林先生と共同研究を行い、それが材料科学におけるイノベーションとなっている。ミクロから内部組織への移行は「粗視化」によって行われるが現在進行中のトピックでありまだイノベーションという段階ではない。Cahn は材料科学者であり、おかかえの数学者(Jane Taylor; Rutgers)がいる。いずれにせよ内部組織を記述する数学的枠組みができたことが大きなイノベーションを産んだ。

(調査員) おかかえ数学者とは

回答。Cahn は常に NIST に数学出身者の客員研究員を雇っていた。現在引退しているが、材料科学で最もノーベル賞に近い人物とされている。Taylor は極小曲面の理論をやっている数学者である(ずいぶんと高齢)。

(調査員) 内部組織から実スケールへの橋渡しは？

回答。私は専門でないのでその重要性を論じないが、現場のレベルなどでそういうものがメジャーかといえばそうではない。

(調査員) 均質化法はどうか？

回答。そういう研究者は確かにいる(寺田賢二郎, 東北大学など例示)。

2. 3. 今後解決しなければいけない問題がある。合金に対する変形の理解。これは原子間の動きとしてではなく転位(dislocation)として実現されている。合金では 1cm^3 あたり 10^6cm 動く。最大

10¹²cm まで伸びる。この転移の挙動を記述できるかということ crude な方法では難しい。統計力学でやるには数が少ないし、力づくでシミュレーションをやるには計算機のパワーが足りない。そのためこうした合金の強度に関する定量的な見積もりができていない。経験的であり誤差に安全係数をかけることで現在は行われている。そこに定量的記述が可能な数学的枠組みがあればよいと思われる。

内部組織についての説明(結晶粒界;析出物;介在物)この世界はフェーズフィールドモデルでブレイクスルーがあった。

塑性変形(転位)の説明,金属の変形(破壊するような脆性物質は合金材料は材料科学では扱わない)が理解したい。結晶面にできる「しわ」が伝播するというような状況が起こっている。(線上のすじが移動するこれを転位と呼ぶ)現象論的アプローチ(メソスケールの反応拡散方程式)を試みている。弾性エネルギーを最小化する形でおこる。強度の問題はまだ解決せず。転位を phase field でやっている人は少ないがまだ世界に二人ほど。

4. 5. 6. (調査員) どういうシステムを作るとこのようなイノベーションを促進できるだろうか? Cahn は数学者を横に雇うことで実現したが、他にどのような方法があるか。

回答。難しい質問ですね。以前儀我先生との議論の経験があるが、教授レベルの交流だと堅苦しい。むしろ若い人が同じ部屋に集まって分野にとらわれず議論が深まることができると思う。それより大きい組織となると、数学をやっていない材料研究者からみてまず問題を持って行くのは物理や化学である。それは数学者がダイレクトな解をくれないことに起因すると思う。枠組みやトイモデルなどはあるが、やはり他分野研究者からしてみれば問題に資する解決策を早く与えてほしいと考えている。数学に対する漠としたイメージが材料科学や工学にとってもわかりづらい。北大数学は様々な形でシンポジウムをオープンにやっているが、まだ多くの数学者の耳目を集めるところに至っていない。

(調査員) そういう状況を変えるには? 数学における教育のやり方も影響しているかもしれないが、いろいろな現象に興味を持つとかそういうマインドもあるだろうか。

回答。計算機シミュレーションの時もそうだが、自分が必要と思っているものには興味を示すが、少しはずれるとそれには興味を示さない。それは工学における数学的手法でも同じで、自分が使う数

学の道具が特定されており他との連関に興味を持たないのが現状。ましてや数論・幾何などは通常の工学の世界からは非常に遠いイメージ。現代数学の成果がいかにして我々の世界につながるかを理解したりすることが難しくなっている。

組織面でこれをどう解決するか。数学連携センターの試みが本当にイノベーションにつながるかどうか。数学者はおそらく工学で行われている現象からいろいろ面白いものを見いだすことは可能だろうが、逆に工学が欲しい答えに数学がダイレクトに答えてくれる事例があればいいのかもしれない。

(調査員) 材料科学において海外ではそのような状況があるのか?

回答。Cahn-Hilliard はまれな成功例。普通の材料科学や工学の場合はやはり物理に相談にゆく。私としては Cahn の例は理想的であると思う。実際 Cahn の主催する国際会議では数学者の参加者が多い。そこでは彼は材料科学者としての顔を使う。逆は数理科学者としての顔を使う。彼は材料分野としての顔と数理科学者としての顔をスーパーマン的に使い分けている感がある。

(調査員) 数学との連携に期待は。

回答。具体的な問題を解いてもらえるということでは期待はしていないが、いろいろな人が来て様々なアイデアが紹介されるような形があればよい。具体的な問題は体制が出来てから考える形になる。

(調査員) 工学部における数学の教育内容と数学における数学の教育の内容の違い。今後の学生の活躍の場を狭めている。互いに教育の互換があるといいかもしれない。

回答。人材育成の変化は価値があるかもしれない。

(調査員) 長い目で見れば効果はあるが、数学の学生が他分野に進出するには障壁がある。専門的トレーニングのやり方の問題もある。

(調査員) 博士の就職については。

回答。ほとんどが大きな会社に就職する。研究者になるのは少ない。

(調査員) 企業のニーズとの対応は?

回答。企業のニーズに答えるかたちで博士課程の学生が教育されることが多い。

7. 8. (調査員) この制度はアメリカでは機能している。そういう事例で資金が措置された例がある(ファインマンの事例の説明)。世界拠点の時にトライしたが、それなりに一定の効果があって、調べているが法的な問題があるといわれている。このような制度は必要でしょうか?

回答. これはサバティカル制度の穴埋めなども含まれるのか?

(調査員) そう思う.

回答. もちろんあるに越したことはない. 実際講義負担を肩代わりする制度がないと研究活動にも支障がある.

(調査員) 工学部での講義負担は?

回答. 工学部の中で決まりがあるわけではなく, 各学科で均一になるように配分している. 誰かがいなくなってしまう場合の対応は, その場で決まっている感じがある. そういう意味では工学ではこうした問題は顕在化していないともいえる.

(調査員) 数学での負担 (入試・全学教育) などが大学でかなりある. 専門の負担もある. 準備にかかる時間もかなりある. 精神的負担, 研究の集中度, 連携のための集中のための時間確保ができないているが, どう思うか?

回答. 確かに時間の寸断は確かに問題がある. そのためのサポートスタッフが欲しい. 昨年ウィーン大学に1ヶ月いたが, かなり集中できた. ただし, 講義に対する考え方が違う. 工学部では講義によってこういう集中時間が寸断されるという意識はない.

(調査員) サバティカルは機能していないので, なかなか難しい面があり, 運用面で処理するには限界もある.

回答. 数学の先生にとっては出張自体が研究活動の一環という印象. 工学部では出張は結果の発表などを行われているので共感もてるかどうか. 講義に対する考え方にも大きな違いがある. 負担感はありませんし, 誰かに変わってもらおうという意

識も少ない. ある程度ロードが等分されればよいと考えている. もちろん日常の雑用を含めてそういうものから解放され研究に集中したいという意識はあるので, この制度自体には賛成である. そもそもこういう制度に反対する人はいないのではありませんか?

9. (調査員) イノベーションが可能になるような投資の仕方はどうか. 一点投資あるいは分散投資?

回答. 国の方針は一点投資. 材料分野でも一点投資が主流 (今はナノ). そのやり方はまずいようにも思う. ナノ以外にも多くの材料科学の分野にも需要があり, 研究テーマとしては盛んではないが, こういう基礎的分野は継続的に投資しなければ分野として維持できない.

(調査員) 一点集中だと目的達成後に芽が出てこないように思うが.

回答. CRNS では一時ナノにかなり集中している, があのような体制では問題があるように思う. 今何が主流かは投資家にとっては見えやすいが将来に主流になるべき分野をどう見極めるか, それは難しいのだから, 過度の一点集中は避けた方がよい.

(調査員) 政策研究所の研究動向センターの活動はある. そこがやっている活動が効果としてあるかもしれない.

回答. 学術会議などでやると広範な意見を聞くことができるようになるかもしれない.

(調査員) 実質の会議などができないとも聞か.

回答. アンケート対象として考えるといいのかもしれない.

4.2.11 James J. Wright 氏 (Auckland 大学 名誉教授)

ヒアリング対象者: James J. Wright 教授

役職名: Auckland 大学名誉教授

場所: 北海道大学 電子科学研究所

日時: 2008 年 3 月 12 日

ヒアリング調査員: 津田一郎 教授

1. 2003 年に私は同僚と共にオーストラリア王立協会のユーレカ賞を受賞した. この賞は, 科学の境界領域の開拓において優れた業績をあげた人に送られるものである. 受賞者は 4 名で, それぞれ精神科医, 神経生理学者, 理論物理学者, 数学者であった. 受賞対象の研究は, 皮質脳波の偏微分方程式による数学モデルとその数値解析である. こ

の研究は the Brain Resource Company という株式会社の設立につながった. この会社は, 新薬や臨床現場でのさまざまな分析方法を提供している. さらに応用例は豊富にあって, MRI や CAT のような医用工学だけでなく数学的にも複雑な解の構造が本質的になるようなものに対する解析方法も提供している.

2. 個人的な経験から多くの失敗例を知っている. これらはいずれも数学者と生物・医学者の間の分野を超えたコミュニケーションの失敗によっている. 成功する場合は, 他分野研究者が問題を数学者が定式化可能な程度に明確にすることができ, かつ数学者がその問題を自分の問題として捉えること

ができた場合に限られているように思われる。失敗する場合は、このような異分野間の理解の仕方に関する違いから来る障壁を乗り越えられないことによっている。

3. 計算論的神経科学の分野は新しい人工知能を生み出す可能性を秘めた分野である。神経生理学の発見を如何に分析可能なかたちにまで還元し定式化できるかがかぎとなる。それがうまくいけば、まったく新しいハードウェアの構築も可能だろう。これらはすでにいくつかの機関で実施されて入るが異分野交流がいまだに十分とはいえないので、うまくはっていない。同様のことは遺伝子工学の分野でも起こっている。

4. 上に挙げた例が良い例である。

5. 神経科学と人工知能の融合は可能だろう。

6. 数学者と他分野研究者を強い共通の興味で結びつけることができるかどうかにか成功の鍵がある

と思われる。特に、目標に向かっての十分な打ち合わせ時間の確保、研究リーダーが明確な見通しと粘り強さをもつこと、組織のバックアップが欠かせない。

7. この質問には明確には答えられないが、次のことだけは確かである。研究者間のコミュニケーションを良くする工夫をすることで、異分野間の共同研究を促進させることが可能なような研究所を作るべきだ。知りうる範囲では、カルテックは良い。組織の詳細よりは、大事なのは良い対人関係を作れる環境を整備することである。

8. 私の経験ではなんともいえないが、このシステムは科学者間の相互作用よりはむしろ孤立を奨励することになるのではないかと危惧する。

9. 具体的な学際的問題に関する相互の強い興味が研究グループの立ち上げにおいて優先されなければならないと言う条件付で後者が良いと思う。

4.2.12 株式会社日立製作所 関係者

ヒアリング対象者: 長我部 信行 氏

役職名: 日立製作所基礎研究所所長

ヒアリング対象者: 石岡 祥男 氏

役職名: 元日立製作所シニアマネージャー・現在
日立製作所基礎研究所嘱託所員

場所: 日立製作所基礎研究所

日時: 2008年2月18日

ヒアリング調査員: 廣川 真男 教授

(長我部・石岡) 各質問項目に関して、企業の事業における『基礎研究』や『成功』という概念と、数学研究におけるそれらでは定義(意味)が違う。数学研究の立場から見ると、他分野の基礎科学・工学等の様々なフェーズへ応用されて行った内容(すなわち、数学研究にとっては『応用研究』)でも、企業においては『基礎研究』となり、実際それらが日立製作所基礎研究所で研究されている。また、企業では、事業における『成功』と言った場合、単に製品が出来たということのみならず、ビジネスとして成功したかという意味も含まれて来る。

1. (石岡) スーパーコンピュータの研究に関して、ケンブリッジ大学の Prof. D. Crighton (応用数学) を中心としたグループとの共同研究を日立製作所機械研究所が行ない、ケンブリッジ大学が理論を、日立製作所がスーパーコンピュータの実装と稼働経験を積み上げた。これは、ケンブリッジ大学への協力事業としての成功と認識している。

2. (長我部) Google が出現する前に、当時日立製作所基礎研究所に所属していた代数的プログラミング理論の研究者を中心としたグループとスタンフォード大学との共同事業で、学術雑誌『サイエンス』のオンライン検索システムの構築を進めたが、事業化されず結果として期待通りの成果があらなかった。

3. (石岡) 日立製作所生産技術研究所では、グローバルビジネスにおけるビジネスモデルのモデリングを研究しているが、このモデル化とその解析に数学が活躍するのではないかと。

(長我部) 現在、データベース作成においてコンピュータシステムへのデータ入力、人手もしくはコンピュータ自身によるものが大半であるが、今後、例えばサイボーグ技術やロボットの自動制御等に見られるように、計測技術の進歩により様々なセンサーから直接データがコンピュータシステムに入力されることになるであろう。この膨大なデータ処理を行なうアルゴリズム開発に数学の研究分野が開けるのではないかと。

(長我部・石岡) 製品開発におけるスピード化・効率化を実現するために、シミュレーション技術の研究は益々重要になると思われる。

4. (石岡) 日立製作所において、数学研究と連携し数学が直接事業に成功をもたらした事はおそらく無いだろう。企業の事業で使われ成功している数学の内容は、その当時に最先端なものではなく、

数学としてある程度成熟したものが多く思う。また、さらに、企業の事業として成功へ繋がる過程において、数学のみならず他の科学・技術の分野、工学がその過程に必ずと言ってよいほど係わって来る。製品の中に数学が活かされた事例を見ると、大体が数学者自身によるものではなく、数学の知識を持った応用数学者、もしくは他の工学の分野のように思う。従って、数学研究を企業におけるイノベーションに繋げるためには、数学者が他の分野を熟知する必要がある、また、他の分野の研究者と協同して研究をする必要がある。そういう研究者を育成するために日立製作所では数学科出身者を雇用する。

5. (石岡) 先にも(質問3で)いくつか挙げたが、シミュレーション技術の蓄積にイノベーションが期待できる。プラントの設計、材料設計、各種製品の設計にシミュレーションは欠かせない。ただ、シミュレーション結果が必ずしも実際の結果と一致しないことも多々ある。シミュレーション結果を基に製品化し失敗した例もある。今後、数学のシミュレーション技術の理論と現場での実装をデータベースとして積み上げ、現場での信頼性の高いシミュレーション技術を構築するのに連携が期待できる

(長我部) 今まで日本が得意とした『物創り』におけるハードウェア面の技術以外に、現在では製品内の組込みソフトウェアによるコンピュータ制御が製品の性能を決める大きな決め手の一つになっている。この組込みソフトウェアの誤作動防止はもちろん、ノイズ処理や補正処理を担う組込みソフトウェアの性能を高めるのに数学の活躍の場があるように思える。この組込みソフトウェアの性能のために、日本の製品が欧米におかれている例もある。例えば、明日外村さんからも聞けると思うが、今まで世界の中で日本が優位に立ち日立製作所も大きなマーケットのシェアを持っていた電子顕微鏡でそのような状況が起きている。組込みソフトウェアの問題は、急いで何とかしなければならない状況だと思う。

ヒアリング対象者: 外村 彰 氏

役職名: 日立製作所フェロー

場所: 日立製作所基礎研究所

日時: 2008年2月19日

ヒアリング調査員: 廣川 真男 教授

1. 物理の理論により予測される現象の実証、さらに、物理の原理として可能な計測技術を実現化

6. (長我部) 数学研究と企業の研究の連携を想定した場合、先にも述べたように、企業の基礎研究となるまでには、様々な科学・技術の分野や工学が絡んでくる。そのために、テーマを選定し、それを実現するための研究チームを組織し、各分野のフェーズを全体的にコーディネート(というべきかマネージメント)する能力を持った者がリーダーシップを取れる体制を作っておくことが、企業と連携しイノベーションに繋げるためには必要となると思う。この場合、リーダーの下で「大学のように研究者の自由意志による研究」のみならず、「企業のように業務命令としての研究」もこなさねばならない場面が出てくるであろう。企業の望む研究テーマが数学へ降りて行った場合に、それが数学研究者に受け入れてもらえるシステムが構築される必要がある。

7. (石岡) 他分野連携に企業を含めた場合、数学から企業までの研究の各フェーズを熟知している数学研究者が必要となるであろう。ただし、先にも述べたように(質問4)、最先端の数学研究が必要となるケースは稀であるので、数学の発展に寄与するかは分らない。数学自身の発展を考えるとすれば、企業研究との連携を無理に全面に出すことは無いであろう。

(長我部) 数学研究の拠点が企業との連携のみの研究をオーガナイズするのは、基礎科学としての数学の発展には危険な事になる可能性があるのではないかと。まずは、数学としての基礎研究重視で、企業との連携はそれからでよいように思う。

8. 回答なし

9. (長我部・石岡) 企業と連携を視野に入れるならば、その時点で持ち上がった具体的研究目標に対して、他分野の科学・工学の研究者(他機関に所属しているかも知れない)を招集しプロジェクトチームを編成し、プロジェクトリーダーの下で一定期間内に成果を挙げるように資金を集中させる必要があるだろう。その場合、各異分野をまとめる能力を持った研究者がリーダーとなる必要が出て来る。

することを目指しているが、その物理の理論や原理の中に数学が現われているとは思う。例えば、Aharonov-Bohm 効果の実証における散乱理論やゲージ理論を支える数学等。ただ、特に直接数学と連携してイノベーションに繋がった事例は思い付かない。

2. (質問1と同じ理由から) 特に回答なし。

3. 先にも述べたが、理論物理の研究の中で数学が

使われて来た。例えば、Schrödinger 方程式の導出は Schrödinger が数学 (偏微分方程式) を熟知していたから可能であったのであろう。これからも数学は理論物理の中で活かされる場が多いと思う。

4. Aharonov-Bohm 効果の実証はゲージ理論の検証も意味するが、ゲージ理論等の構築に貢献した C. N. Yang 先生の理論物理のアイデアには数学が重要な役割を果たしている [調査員注: 例えば, Aharonov と Bohm の元々の思考実験の設定では, ソレノイド状の磁場の両端から磁場が洩れ電子と触れてしまうが, これを防ぐために外村氏らの Aharonov-Bohm 効果の実験では, 両端を閉じてリング状の磁場を考えるというトポロジカルなアイデアにより, 超伝導体という材料を使いマイスナー効果で磁場を閉じ込め, リングを適当な金属でコーティングして電子の (波動関数の) 染み込みを防ぐ, という実験設定が可能となり, Aharonov-Bohm 効果の実証に決着を付けた訳である]

5. (以下の話は数学と連携したと言えるかどうかは分からないが) 電子顕微鏡の性能を上げるための軸補正の技術に, 装置のハード的な要素としては

なく, 加速器の技術として使われていた軸のぶれを補正するアルゴリズムを持ち込むというソフト的な改良で大きな進歩があった。残念ながらこのアルゴリズムを持ち込んだのは日本ではなく, 日本の電子顕微鏡におけるシェアの優位性が崩れてしまった。

6. 異分野間の連携には専門外の知識の勉強も必要となるであろうから, 研究に専念する時間が必要となる。現在の日本では, 雑務的書類や予算獲得のための事務書類の多さのために, 研究者が研究に専念できない非効率的な研究環境が目立ちすぎる。まずは, このような研究環境改善が必要なのではないかと。

7. まずは, 理論物理などのような基礎科学内の異分野連携といったものではないだろうか。

8. 特に回答なし。ただ, 研究に専念できる環境を作る方向に進むのが大事。

9. 日本オリジナルなアイデアで世界を牽引できる (基礎科学としての) 数学のテーマに集中して投資すべきだが, 同時に基礎科学としての研究基盤が崩れないような運営を考慮すべき。

4.2.13 新日本製鐵株式会社 関係者

ヒアリング対象者: 中川淳一氏

役職名: 新日本製鐵株式会社 先端技術研究所・主幹研究員

ヒアリング対象者: 大橋浩氏

役職名: 新日本製鐵株式会社 技術開発本部・技術開発企画部・技術企画グループマネジャー

場所: 新日本製鐵株式会社本社

日時: 2008年3月17日

ヒアリング調査員: 山本 昌宏 准教授

1. 数学者との連携事例で成果があがった例も有るが, 期待したほどの成果があがらなかった例も有る。いずれにせよ, 成果を挙げるためには長い時間をかけることが必要であった。弊社の課題解決に対し, 数学者との対話が充分でない場合は, 当方の期待したような成果が出ないことが多い。また, プロジェクトの種類によらず, はじめは丸投げ状態であっても進捗状況によってはより対話・議論を重視するなどきめ細かなやり方が大事であると思う。

2. 数学研究と連携したことでイノベーションもしくはイノベーション準じる結果につながった事例

として, CT スキャン, ウェーブレットがあると思う。これは数学の共同体の中だけで埋もれていた知識が実用上の要請で再発見または脚光を浴びてイノベーションに結びついたのだと思う。

3. 数学研究と連携することでイノベーションが期待できる分野, 研究課題および産業界等の事例としては, 以下があると考えている。

- 多変量・非線形関数の最適化問題,
- 大規模行列の高速演算, 流れの方程式の高速演算化,
- マルチスケール問題 等

これらの事例に共通するキーワードは非線形性であり, 手法の多様な選択が重要になる。ここで最適化手法への要請は現場からは強く, 個々の問題に応じて手法を選びたいので多様な研究成果が期待されるが, 日本では数学側でやっていることは少ないような感じがする。現場で必要な計算をオンラインでやりたいので大規模行列の高速計算も重要である。流れの方程式は非線形性が強く, 現状では3次元の定常問題でも1ケースやるのに1

週間程度かかり、産業界の要請を満足させることは難しいであろう。このような計算が高速でできるようになれば、この分野の研究様相が大きく変わらと思う。最後に製造現場で現れる現象に関して、プラントが大規模である割にはマイクロレベルでしか現象をみていないことが多いか、あるいはマクロレベルにして有限要素法などを適用することが多く、マイクロモデルからの知見をマクロモデルにうまくリンクできておらず、マルチスケールの発想が重要である。

4. 数学研究と連携することでイノベーションが起こるためには数学者との対話の場をいかに充実したものにできるかが重要。対話の場を通して、数学者と産業側が、各々の強みを持ち寄り、徹底的に議論することから新しい技術の創出が可能になるかもしれない。数学では論理的思考に基づいて概念規定をし、定理として結果を記述する。一方で産業サイドでは、常に個々の現象をみており、その意味では現象の理解のために数学なしでも大雑把なシナリオは書くことができるが、ここに数学的思考を導入して、現象のあらたな理解に役立たい。

5. 数学-他分野連携型の拠点をつくるとしたら、さまざまな分野の研究者が協同して課題解決にあたるような運営ができる拠点が望ましい。そのような共同作業をしていくことは日本の現状では、例えばアメリカなどより困難であろう。

6. Replacement buy-out のような『参加する数学者の責務の肩代わりを可能にする制度』の導入については人材の流動化が図られることにより、各々の課題の性格に対応した最適な人材を配置できる可能性があるという点で良いと思う。

4.2.14 東京電力株式会社 関係者

ヒアリング対象者: 山本拓未氏

役職名: 技術開発研究所・機械システム技術グループ主任

ヒアリング対象者: 吉野伸氏

役職名: 技術開発研究所・機械システム技術グループ主任研究員

場所: 東京電力株式会社・技術開発研究所

日時: 2008年3月18日

ヒアリング調査員: 山本 昌宏 准教授

1. 数学者との連携事例で、ある程度成果があがった例はあるが、やや期待はずれに終わったこともある。海外の数学者との直接の連携事例はない。

7. 研究目標が具体的で絞られている拠点に投資するのが良いか、それとも将来の新しい研究システムを構築するようなプロジェクトに投資するのが良いかであるが、企業の多様なニーズに応えるためには、あらかじめ研究目標を具体的に絞り込むのは無理がある。将来の新しい研究システムを構築するようなプロジェクトに投資するのが良いと思う。

8. 数学との連携については、大学側の研究者集団との特定課題に関する具体的な研究のような形態に興味がある。対話が必要であるが、そのためにとりくむ問題を具体的に絞り込むことが大事である。一方で、現状の産学のシステムを考えた場合、数学との連携に興味があるとしても、大学の先生方が数学研究以外の多くの業務を抱えているようで、産業側の課題に集中して取り組むことが難しいようにも思える。

9. 数学者からの寄与としては、相互対話的な共同研究を通して、数学者と産業側が相互発展するかたちを期待している。数学モデルを提案してもらい、現象のより深い理解をすることが望ましい。数学との連携の場合、望ましい成果の形態としては特許願に繋がるような新しいものの見方、イノベーションに結びつくような考え方の創出がある。現象の後知恵的な解釈だけに役立つような働き以上のものを求めたい。

10. 海外の数学者との連携事例は有る。わが国の数学者は、中国やアメリカなどの海外の数学者と比較し、実用課題に対する関心と経験が不足しているように思える。多くの数学者が、現実世界で起こっている課題に参入いただくことを希望する。

連携のやりかたとしては、具体的な問題を設定して、適宜、こちらの研究員が大学を訪問して議論して、最終報告書を提出してもらった。

2. さまざまな工学の分野で実に多くの実際的な問題に数学者が参加すればよりよい解決を図ることができると思う。一例として物体の時間に対する劣化現象や寿命に関連して物体の強度を統計的に記述するワイブル分布とよばれる確率分布があるが、物理現象や経済現象のモデル化においては数学からの寄与が色々あると思う。

3. 数学研究と連携することでイノベーションが起こるためには数学に限らず大学の研究者がもつ

と産業などの外の世界に目を向けてほしい。それと大学内で自分の分野にこもりがちな感じがする。工学研究者も数学的な面も含めて全部自分のところでしようとする傾向がある。数学において産学連携を目指すことは重要であるが、大学内で例えば数学と他の学科の間で連携をはかることも重要であると思う。

英国オックスフォード大学における研究滞在での経験だが、分野や学科を越えた討論会を毎週やりたりして、大学内で異分野連携がうまく機能していた。

4. 人材の流動性を言うのならアカデミア内ではなく企業の研究者まで含めて考えたほうがよいと思う。また、たとえ同じ大学内でも数学者が数学に関連する他分野（例えば工学、経済学）と人事的に交流することで、革新的アイデアが期待できると思う。

5. 将来の新しい研究システムを構築するようなプロジェクトに投資するのが良いと考える。工学的アプローチでやっていって、数学が必要な場合は随時相談したいのだが、こちらからみて、一般に数学者はとっつきが悪いことが多く、どのように対話をしていっていいかわからないことがあるので、そのような事態が起こらないようにしてほしい。

6. 数学との連携では少人数の研究者同士での共同研究に興味がある。さらに問題を絞った上で開

じた形で行う問題解決を指向したワークショップ参加も有用な場合があると思う。一方で、数学の分野に限らないが知的財産の件で産学間で理解にギャップあり、共同研究契約の締結などで制度上の困難さが露呈し、それだけで共同研究の話がつぶれたこともある。

7. 我々の分野では、従来やられていた数値シミュレーションだけでは計算時間がかかりすぎ、現場での要請にとて答えることができないので、ある問題に対して厳密解や解析解が得られれば大変助かるが、このようなことは数学者が得意なのではないかと思う。たとえ解析解が出なくても漸近的な形で解が提示されれば数値シミュレーションの計算時間を短縮できて現場の問題にもリアルタイムで答えることができるので、このような知見を数学者から期待している。また、逆問題解析でもそのままやると計算時間が大変長くなってしまっているので高速な解法がほしい。

8. 数学との連携の望ましい成果の形態としてはいうまでもなく実用化である。

9. フィールズ賞を目指すような研究だけではなく、数学的知識を活かして100年先を見据えたような研究だけでなく、目に見える形で社会に貢献するような成果も挙げてほしい。短いタイムスパンで役に立つような数学研究が全部とはいわないが半分位はあってもよいはずだと思う。

4.3 数学の科学技術への歴史上の貢献例

1. 水のレベルをはかる灌漑工事や土地の大きさを正確に知るために測量技術が必要であり、幾何学が発達し抽象的な概念が形成され、それによってさまざまな分野への応用が可能となった。
2. 天体運動の予測のために解析学、力学が発展し、カオスなどの複雑な力学系の振る舞いが解明されるに至っている。それによって人工衛星の位置決定が可能となり、人類は宇宙へと活動を拡大している。
3. 表現論、行列、関数解析、偏微分方程式の形式が量子力学の体系の構築を可能にした。
4. 計算の理論、計算可能性の概念が明確になり、デジタルコンピュータの発明につながった（4.3.2節参照）。
5. ゲーム理論により、個人、企業、国家などの社会や経済における行動主体（プレイヤー）の意思決定や行動に関する科学が起こった。
6. 群論から新しい結晶の予測が可能になり、例えば、準結晶の予測と発見が行なわれた。
7. クロード・シャノンは1940年代に確率論を基盤として情報エントロピー（情報量）の概念を導入した。シャノンは、ノイズのある状況でどれだけ符号列を通信により正しく伝えることができるかという問題を考察したが、そこで展開された議論は現在の通信技術の基礎となった。確率論的な

情報エントロピーは熱・統計力学のエントロピーの概念の拡張であり、情報理論の基礎として計算機科学をはじめ、統計学、神経科学など様々な分野に幅広く応用されている。また逆に物理学に情報量に基づく観点を導入することになった。

8. 方程式の理論的な取扱いと同様に、その解の具体的な近似値を知ることは古くからの重要な問題だった。とりわけコンピュータの出現とともに解析的な取扱いが困難な系に対しての近似的な解を得る手法が科学や技術のあらゆる分野でより求められるようになった。代数方程式の近似解を求める方法、常微分方程式および偏微分方程式の数値積分法、さまざまな関数が最大・最小値をとる状態を求める最適化問題など多様な問題に対してさまざまな手法が発展し、数値解析と総称される分野を形成している。
9. 第二次世界大戦における兵器運用の効率化をめざす必要から、オペレーションズ・リサーチ (OR) と呼ばれる分野が出現した。これは 1940 ~ 50 年代にかけて主に企業運営の合理的な意思決定を支援する数理的な方法として用いられた。数理的には特に制約条件付きの線形関数の最適化問題として線形計画法の利用が有名である。
10. 順序や束 (そく) の概念は、数理論理学における様々な論理のモデルとなる他、概念学習、コンピュータの並列計算、プログラムの意味論などに応用されている。
11. 線形常微分方程式を使って種々の工学系の状態を表すことにより、線形システムとしての制御理論が発展した。このような工学系としてはセンサーと稼働部を含む機械の自動制御系や電気回路が含まれる。またこれらの線形方程式を取り扱うために、フーリエ解析、ラプラス解析が使われている。
12. ヒトゲノムに代数的な構造が発見され DNA 解析が可能となった。
13. ウェーブレット解析は石油探査技師モルレーによって地下資源の探索に用いるために 1980 年代初頭に開発され、その後、数学者が研究に参入した。その手法が携帯電話の液晶画面の開発などに使用された。現在では、医療現場でのデータ解析の必須方法の一つにまでなっている。
14. 公開鍵暗号アルゴリズムの発見には数学理論が使われた。この方式は、ひとつは他人に広く公開するために「公開鍵」、もう片方は本人のみがわかる「秘密鍵」という対になる 2 つの鍵を使ってデータの暗号化・復号化をおこなう公開鍵暗号方式である。RSA 暗号 (1977 年) は、大きい数の素因数分解の困難さを暗号化手法としている。他の公開鍵暗号として、楕円曲線上の離散対数問題を利用した楕円曲線暗号、チェビシェフ多項式から作られるカオス写像によるカオス暗号などがある。RSA 暗号は、現在、インターネットセキュリティの標準になっている (4.3.3 節参照)。
15. カオス理論は複雑で予測不可能な現象に潜む秩序構造の発見に役立ち、フラクタル幾何学はその秩序構造に内在する自己相似性を記述するのに役立ち、いまや全ての諸科学に多大なインパクトを与え続けている。たとえば、天体運動の種類の決定や画像圧縮に対する新しい技術の提供はその典型的な例である。
16. 伊藤清氏により創始された確率積分、確率微分方程式、伊藤の公式などの確率解析 (2006 年度第一回ガウス賞) は金融のオプション理論のブラック・ショールズ・マートン理論 (1973 年度ノーベル経済学賞) において有効に用いられ、それを皮切りに、今日では、金融工学の必須の言語・道具となっている。
17. 数学の対象であるラドン変換を応用することによって、X 線によって投影した物体の内部構造を正確に復元する技術である CT スキャンが開発された。[ラドン変換 (1900 年代前半に発表)、CT スキャンの装置 (1973 年に開発)、4.3.4 節参照]
18. ファジイ集合論 (1965 年発表) あいまいさを扱う理論 から発展したファジイ制御は厳密な推論が保証できない曖昧さの残る状況に対する制御で、従来の安定制御、ニューラルネットなどを応用する適応制御と並んで応用が早くから期待されていた。仙台の地下鉄はファジイ制御によって運転

されている。さらに、従来のマイコン制御とは異なるファジイ制御を応用した洗濯機などの家電製品が 1990 年頃から市販された。ファジイ制御家電は現在の家電の標準になっている。

19. 現象の計算シミュレーションにおいては質のよい乱数を生成するために、数学の対象である整数論が使われた。計算機の内部状態の個数は有限であるため、計算機の生成する乱数(疑似乱数)は必ず周期のような規則性をもつ。松本眞氏らの開発したアルゴリズムは、従来のアルゴリズムとくらべて劇的に長い周期 ($2^{19937} - 1$) をもつ疑似乱数を高速に生成する。

(疑似乱数生成アルゴリズム Mersenne Twister by 松本 眞・西村拓士)

このアルゴリズムはすでに世界各地で採用されている。

〔例〕

カーネギーメロン大学コモンスプの標準疑似乱数に採用

プラズマシミュレーション HAWK に採用

フォートラン版、パスカル版など、多くの言語に翻訳

JIS 規格の標準乱数の一つに採用

富士通計算処理システム AZIR の乱数に採用

多くの金融機関が採用

4.3.1 数学基礎論における意味論を用いたプログラム導出と検証

経済産業省の報告 [2] によると、最近の IT 産業はハードウェアからソフトウェアに移行している。また、最近では、計測機器などの製品の性能が組込みソフトウェア(プログラム)の性能が左右する時代となっている。さらには、プログラムの不具合による障害も実際に起き、性能以前の問題が生じている。性能の高いプログラム開発とプログラムの品質保証を担う数学に、プログラム導出・検証の理論がある。これらを実践した、IBM 社のソフトウェア・クリーンルームと形式的技法(形式的手法)をここで取り上げる。プログラム導出・検証の数学で理論武装し、実際の産業において不具合の無いプログラムを作成する工程に対する形式的手法を IBM 社が提案し、色々な企業や機関が成果をあげてきた。ソフトウェア・クリーンルームとは、1987 年に IBM 社の H. Mills ら [6] がまとめた、プログラム導出・検証のための数学の厳密な理論に基づき、工学的ソフトウェアの開発を行う工程である。このソフトウェア・クリーンルームは、C. A. R. Hoare が提唱した Hoare 論理 [5] に基づいたプログラム検証論という数学に支えられている [8, 9]。

ソフトウェア・クリーンルームの適用実績の例 [3, 8] :

- Ericsson 社のオペレーティング・システム (OS-32) ;
- Hewlett-Packard 社の Windows 関連ソフトウェア;
- IBM 社の意思決定支援システム (AOEXPERT/MVS), プログラミング言語 COBOL の処理系 (COBOL SF), SCSI アダプタのソフトウェア (Tucson 3490E Model C SCSI-2) .

米国陸軍、海軍、空軍で使用しているシステムにソフトウェア・クリーンルームが適用された事例 [3, 8] :

- 米国陸軍の TACOM(Tank-automotive and Armaments Command) の Picatinny Arsenal でのモデルプロジェクト ;
- 米国海軍の AN/KSQ-1 という Amphibious Assault Direction System (水陸両用攻撃システム) ;

- 米国空軍の STARS(STARS とは Software Technology for Adaptable Reliable Systems の略) に関するデモプロジェクト。[4]によると、米国空軍と主にボーイング社、IBM 社、ユニシス社の間で契約が結ばれたようである。

ソフトウェア・クリーンルームのように、プログラム検証の数学 (プログラム検証論) を基礎に、ソフトウェア工学的形式手法を用い、仕様通りに正しく作動するソフトウェアの生産工程を行なう技法を形式的技法 (もしくは形式的手法) という。

形式的技法 (形式的手法) の産業界での実際の使用例 [9] :

- GEC Althom 社のパリ地下鉄 A 号線の列車制御システム (SACEM), SACEM ではプログラム検証に Hoare 論理を使用した。この成功の後に J.-R. Abrial を中心としたフランスとイギリスのチームが開発した B-Method[1, 7] という形式的技法を GEC 社は使い出し、カルカッタの地下鉄の列車制御システム、フランス国鉄の速度制御システム (KVS) を B-Method を用いて開発した ;
- カリフォルニア大学アーバイン校による米国航空機用衝突回避システム (TCAS II);
- IBM 社の座席予約や金融機関の ATM 等に使用される高速データベース用のトランザクション・システム (CICS) 。

以上全て欧米の事例であるが、日本の現状はと言うと、2005 年 12 月 19 日号の日経エレクトロニクスの記事 [11] によれば、日本では研究者の世界の外では形式的技法 (形式的手法) の存在はほとんど知られていない状態だが、先駆的に形式的手法を活用し成果を上げた企業もあるとのこと。

4.3.2 コンピュータと数学 — 数学によって「限界」に挑む

コンピュータを理論的に取り扱おうとするときには、さまざまな数学的な概念、例えば形式論理や順序関係、さらに様々な構造のもつ性質を抽象的に抜き出した圏などが重要な役割を演じている。一方で、科学者がより複雑な研究対象を取り扱うようになるに従い、コンピュータを利用した数値解析をはじめとする計算手法の理論が広く利用されるようになった。しかし、何よりコンピュータと数学とは互いのその基礎において直接につながっている。コンピュータには計算できない問題があり、それを示すことはそのまま数学における形式の限界を示すものでもあったのである。

コンピュータも人間にとっては道具のひとつに過ぎない。あらゆる道具が道具であるからには、その利用者にとって何をどうかするかがはっきりとしたものとして使われる。すなわち、掃除機はごみを吸い取り、冷蔵庫は食品を冷やし、テレビは番組を視聴するといったように、人によって作られた道具は、それが扱う「対象」と対象への「操作」とが利用者の生活にとって明確な意味を持つようこそ作り上げられたものである。しかしコンピュータという道具においては、これら対象と操作の両者をどちらもデータのように扱うものとされた。これはコンピュータにおける最大の発明であったといってよい。コンピュータでは、符号化されたさまざまな「データ」を対象として扱う一方で、そのデータを扱う操作手順自体もまた、形式的操作を表す一種のデータとして符号化されているのである。後者は「プログラム」と呼ばれているものに他ならない。この発明によってコンピュータは数値的な計算はもちろん、文書や画像、音声といった多様な情報をプログラム次第で多様なやり方で扱えるようになった。

さて、このプログラムという操作の手順書は、与えられたデータをどのように操作すればよいかを符号化して記した有限の長さの記号列である。プログラムの長さ自体は有限であるものの、「ループ」を含むような操作を記述することも可能なので、実際に実行したときに行われる操作は有限とは限らない。ループの回数があらかじめ決まっていることもあれば、永久に止まらずにいつまでもプログラムが動き続けることもある。その上、止まるか止まらないかあらかじめ分からないこともある。無限のループに陥らずに (少なくとも一部の入力に対して) うまく有限の時間で終わるようなプログラムが表す入出力の対応関

係は計算可能な関数と呼ばれる。それ以外のもはコンピュータで実現できない。すなわち、どのようにしても形式的操作では与えることのできないような入力から出力への対応関係が存在するのである。

例えば、真の「乱数」を出力するプログラム、すなわち数字がデタラメに現れるような出力を生成するようなプログラムは存在しない。コンピュータで通常乱数と呼ばれているものは実用上乱数のように扱える「擬似乱数」と呼ばれるものである。いかにより疑似乱数を作り出すかは現在でも計算機科学の重要なトピックとなっている。また任意のプログラムにいわゆる「バグ」が存在するかどうかを判定できるようなプログラムも存在しない。特に、与えられたプログラムを実行したときそれが停止するか、いつまでも永久に動きつづけるかということ自体を判定することはできず、これはチューリングの停止問題としてとりわけ有名である。さらに、ある出力を与えてくれるような最も短いプログラムを作り出すプログラムも存在しない。これは、究極的な「圧縮プログラム」を作ることが不可能であると言い換えてもよいだろう。逆に、計算できないながらもこれを出力される記号列の複雑さを表す指標として取り扱うことでアルゴリズム情報理論と呼ばれる応用数学の一分野を生み出してもいる。これらのような計算できない問題の数は実は計算できる問題の数よりもはるかに多い。

一方で近代の数学は、厳密で巧妙なやり方で無限に細かなものや大きなものを記述しようと格闘してきた。数学的概念の複雑さのかなりの部分はこうした無限の取扱いの困難さに起因するように思われる。しかし数学が無限のものにも記号を与え、無限を記述しようとしてもその記述自体は有限でしかありえない。当然ながら数学のテキストや論文が無限のページを持つというわけにはいかないのである。数学もまた有限に記述される前提から有限に記述される形式論理を使って有限に記述される手続きで「証明」されることは何かということを取り扱う。しかしそこで扱われる対象は、自然数のようにいくらでも多数のものを想定しうるものである。

1931年に数理論理学者ゲーデルは、この証明という「操作」を数学的な「対象」、すなわち「数」のように扱うことで、数学が「不完全」であるという驚くべき証明を与えた。これがいわゆる不完全性定理である。不完全であるという意味は、矛盾のない理論が自然数のような無限の対象を含むくらい複雑になると、必ず証明ができないような命題があるということだ。数学に証明できない問題があることを示したこの不完全性定理と、プログラムそのものが有限でも無限の操作を含む記述能力をもつとすると、計算できない問題があるというコンピュータの限界とに類似性があることは明らかだろう。実際、不完全性定理の証明と停止問題の証明は同じ原理に基づいており、また停止問題そのものが不完全性の事例ともなっている。数学が不完全であることとコンピュータに計算できない問題があることは表裏一体のものなのである。

ゲーデルの不完全性定理は、数学が完全で矛盾のないことをそれ自体で証明できないかと考えていた当時の一部の数学者を落胆させるものではあった。しかし、数学の形式の限界への思考が逆にコンピュータという多様な用途をもつ有用な道具を生み出したのだともいえる。そして、この形式の限界を示したこと自体は、ゲーデルやチューリングといった数学者たちの徹底した数学的な思索によってであった。「限界」に対する理解の重要性は、有限の地球の上で拡大し続ける人間活動の行末を考えると、ますます大きなものとなっている。そして数学や科学を極めることは、そうした限界への思考においてもまた有用なものであり続けるだろう。

4.3.3 暗号と代数について

紙に模様と文字を印刷しただけものが「お金」として社会で通用するためには紙幣の製造が厳重に管理されていることが必要です。紙幣の精密なコピーを安価に作る技術が開発されれば現在の経済システムは直ちに崩壊してしまうでしょう。また、商取引において契約書が効力をもつためには署名または実印が必要ですが、このルールが意味をもつためには署名や印影を偽造することが著しく困難であることが大前提です。このように、現在の経済はその信用の基盤を「複製不可能性」においています。

コンピューターを使って商取引をするようになるとこのことが大きな問題をひきおこします。なぜなら、デジタル情報は100パーセントの精度でいくらでも複製可能だからです。

たとえば次のような状況を考えましょう。Aliceさんが証券会社のBob氏にCat社の株を購入するよ

うメールで依頼。次の日、Cat 社の株が暴落。Alice さんは依頼などしなかったといって購入代金の支払いを拒否。Bob 氏の会社はどうすればよいのでしょうか？メールは証拠とはなりません。メールは簡単に偽造できます。取引のメールには署名の画像ファイルを添付してもらうようにすればよいのでしょうか？いいえ、これも意味がありません。画像ファイルはいくらでも複製可能です。

つまり問題はこうなります：「複製不可能性」を信用の基礎におく経済活動を、「複製」を大の得意とするコンピューターを使っておこなうにはどうしたらよいのか？この問題に対して数学者が提出した解答のひとつが

「公開鍵暗号方式による電子署名」

です。

「公開鍵暗号方式」のうち、RSA と呼ばれる方式を説明しましょう。この方式では、二つの大きな素数 P と Q が実印の役割をはたします。この素数は人に知られないように厳重に保管しておきます。そして、その素数の積 PQ を公開しておきます。二つの大きな素数から素数の積を計算することは簡単です。一方、積から二つの素数を復元するには（素数が十分大きければ）天文学的な時間を要します。ですから、積 PQ を公開しても、もとの素数 P と Q は人に知られることはありません。この非対称性がポイントです。

さて、通信者、たとえば Alice さんは暗号を書きます。この暗号は、

1. 読むためには素数の積 PQ を知っていれば十分だが、
2. 書くためには二つの素数 P と Q を知らなければいけない、

という性質をもっています。積 PQ を使って読むことができる文章を書くことができるのは P と Q を知っている人間だけです。従って「積 PQ を使って読むことができる」という性質が「署名」の役割を果たします。Cat 社の株で大損をこうむった Alice さんが、メールは偽造されたものだ、といいはっても無駄です。公開された Alice さんの積 PQ をつかって読める暗号が書けるのは P と Q を知っている Alice さんだけだからです。

このシステムを作り上げるためには 18 世紀のオイラー以来の数論の成果が数多くつかわれました。たとえば、この方式のためには大きな素数が数多く必要です。大きな素数をランダムに生成するためには「平方剰余の相互法則」という大変深い数論の定理を利用します。このシステムの安全性を高めるために、現在でも活発に研究が行われています。

4.3.4 CT スキャンと逆問題

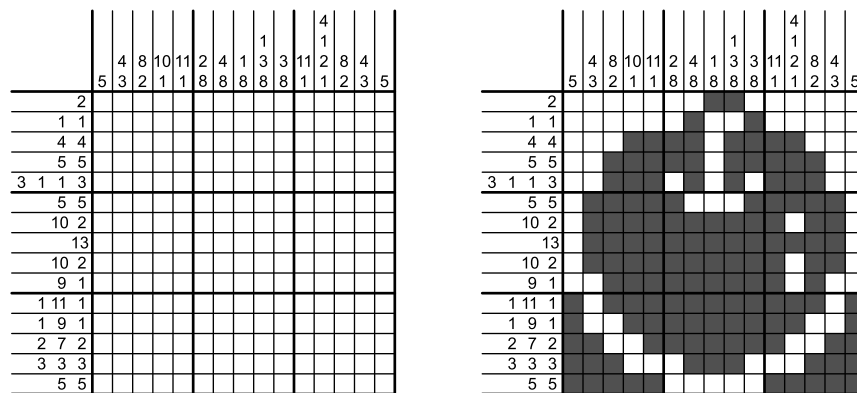


図 4.1: 「お絵描きロジック」。ヒントの数字を元にマス目を塗りつぶしていくと右のような隠れた絵が浮かび上がる。

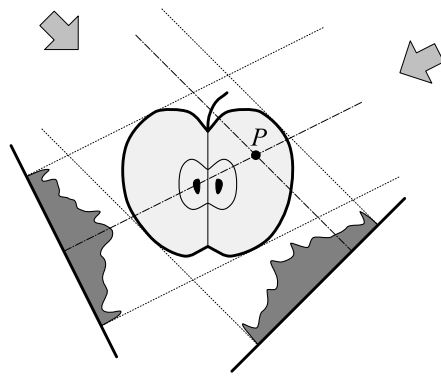


図 4.2: CT スキャンで得られる像は様々な方向からの投影像の集まりとなる。

		1		1	
1				■	
			■		
1					

		1		1	
1				■	
			■		
1					

図 4.3: 異なるパターンでも同じヒントを与えることがある。

図 4.1 は鉛筆で白いマス目を塗りつぶして隠れた絵を浮かび上がらせるパズルで、「お絵かきロジック」と呼ばれているものである。ヒントとして、ヨコの各行とタテの各列それぞれの脇にいくつかの数字の組が与えられている。これらの数字は対応する行または列の黒く塗りつぶすべき連続したマスの長さに対応しているが、塗りつぶさずにおくマス目の長さは与えられておらず、普通は一行や一列のヒントだけからどこを塗りつぶすべきかわからない。すべての行と列で条件を満たすように塗りわけの方法を探し出したとき、塗りつぶしたマス目から絵のパターンが復元される。

このパズルは、医療機器の CT スキャンが行わねばならないことといくらか似ている。CT スキャンは普通レントゲン写真と同様に「X 線」を用いるが、得られる画像はレントゲンのような体内部を通した「投影」ではなく、それとは垂直の「断面」の画像となる。多くの断面をコンピュータで合成して立体画像を作れば、画面上で体内の臓器のようすを手取るように見ることもできる。あたかも水槽の中のメダカやミジンコの半透明の体の中を覗きこむように、外から人の体の中を調べられるのであるから CT スキャンが医療に及ぼしたメリットは計り知れないものがあるだろう。実は CT スキャンの機械そのものは、透過した X 線の量を調べているだけであるという意味で普通のレントゲン写真と原理的に大きな差はない。ただし、装置は患者のまわりを 360° 回転し様々な方向から撮影ができる点が大きく異なっている。水槽のミジンコならば、一つの方向からでなく様々な方向からながめることによって次第に体の中の様子がより立体的に把握できるようになる。数学とコンピュータによって、機能的にこれと同じことをやらせたという点が、CT スキャンが真に革新的であった点である。

装置で得られるデータは図 4.2 のようにある方向からの患者の体の中の投影像となる。数学者はこれらの投影像を元のパターンのラドン変換と呼んでいる。このとき図のように断面のある点 P は、さまざまな角度からの撮影によってそれぞれ別のところに影を落とすことになる。だが、X 線が透過する直線上のすべての部分の影響も受けて吸収されるので、このままでは X 線に対する P だけの像を知ることはいできない。撮影された投影像のデータそのものは、そのままでは断面像とは似ても似つかないものだ。それでも、様々な方向からの像には断面像についてのヒントが少しずつ含まれている。360° すべての方向の画像がそろったとき、見かけではわからないがそこには元の断面のすべての情報が隠されており、そうであれば数学を用いてその情報を取り出せる可能性がある。この数学的方法のひとつは「周波数」の目でながめるという数学者や理工学者には馴染みの数学的トリックであった。ラドン変換された画像を周波数の目で眺めたとき、元の画像を周波数の目で眺めたときのパターンは、並べ替えるだけで本質的に同じものとなるのである。それを並べ替え、周波数の領域から再び元の領域に戻すことによって、元の断面像が復元される。この数学的トリックは一連の数多くの形式的な計算を必要とする。コンピュータのような機械の出現によってこの種の計算が行えるようになり、投影像から断面像を復元できる道が開かれた。

ところで、CT スキャンの X 線像のように測定したデータから、体の内部のように直接は知ることのできない対象を知るといった問題は、他の様々な応用上の場面でも出会うものである。例えば、地質学者

なら測定した数多くの地震波から地下の構造が理解できないかと考えるだろうし、医者も胸や頭の表面のあちこちに配置した電極から心臓や脳での電流の動きを調べたいと考えるだろう。こうした問題は、測定データからその原因となった対象を調べるという意味で逆問題と総称されている。地震波や電場の伝わり方の理論はおよそ明らかなので、データから対象へのこの逆向きの推論に枠をはめることができ、これらの医者や地質学者が望む逆問題は数学的問題として検討できる。こうした問題を一般的問題として捉えることによって逆問題の理論は比較的最近になって急速に発展してきた。

さて実は「お絵描きロジック」のパズルでは図 4.3 のようにしばしば解が一意に定まらないことがある。測定データの不足や対象とデータとの間の関係の不安定さから同様のことがいろいろな逆問題に関しても起こる。このような問題はかつて適切でない問題 (ill-posed problem) とされ、あまり積極的に研究されてこなかった。しかしこのようなあいまいさを持つ問題であっても、どこまでの近似が可能であるかを知ることが応用上は重要である。こうした問題は逆問題の重要なトピックであり、対象に対する深い理解と、数学が与える適切な枠組みが組み合わされて有効に解決されていくことになるだろう。

参考文献

- [1] J.-R. Abrial : The B-Book: Assigning Programs to Meanings, Cambridge University Press (1996)
- [2] 経済産業省 : 情報サービス・ソフトウェアの競争力強化に向けて
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g51125c04j.pdf>
- [3] J. Foreman : Cleanroom Software Engineering, Software Technology Roadmap (2005),
http://www.sei.cmu.edu/str/descriptions/cleanroom_body.html
- [4] H. Hart : STARS Process-Driven Development Concepts,
http://www.ms.northropgrumman.com/PDFs/TRJ/TRJ-1995/95ss/95SS_Hart.pdf
- [5] C. A. R. Hoare : An Axiomatic Basis for Computer Programming, Communications of the ACM
12 (1969), 576–585
- [6] H. Mills, M. Dyer, and R. Linger : Cleanroom Software Engineering, IEEE Software **4** (1987),
19–25
- [7] S. Schneider: The B-Method: An Introduction, Palgrave, Cornerstones of Computing series (2001)
- [8] 佐藤 武久, 大槻 繁, 金藤 栄孝 : ソフトウェアクリーンルーム手法, 日科技連, 2006 年
- [9] 林 晋 : プログラム検証論 (情報数学講座 8), 共立出版, 1995 年
- [10] 細坪護孝, 伊藤裕子, 桑原輝隆 : 忘れられた科学 – 数学, 文部科学省科学技術政策研究所, POLICY
STUDY No.12, 2006 年 5 月, <http://www.nistep.go.jp/achiev/abs/jpn/pol012j/pol012aj.html>
- [11] 日経エレクトロニクス : ソフトウエアは硬い, 2005 年 12 月 19 日
- [12] 文部科学省科学技術政策研究所 (編著) : 数学イノベーション, 工業調査会, 2007 年

第5章 数学研究の振興政策に関する調査結果

この章では、主に数学研究の振興政策についての調査結果を解説する。この調査にあたり、国際シンポジウム「イノベーション創出と数学研究—諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して—」を第5.1.1節の要領で開催し、産学官から、数学研究者の他にサービス工学や金融関係研究者などの多方面の方々のご意見を集めた。要点を第5.1.2節に、講演要旨を第5.2節を述べる。

5.1 調査の方法と調査結果の要点

5.1.1 調査方法

国際シンポジウム「イノベーション創出と数学研究—諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して—」を、北海道大学主催、財団法人札幌国際プラザ共催、日本学会会議後援、経済産業省北海道経済産業局後援により2008年3月11日に札幌市内で開催した。北米から2名、ニュージーランドから1名を含む、15名の産学官の幅広い分野の専門家を招いてそれぞれの立場からご講演をいただき、ご意見をうかがった(公開ヒアリング)。内訳は、数学以外を専門とする研究者3名(海外から1名を含む)、企業関係者3名、数学研究者7名(海外から2名を含む)と行政関係者2名である。シンポジウムのすべての講演の要旨を第5.2節で報告する。当日は「北海道大学国際シンポジウム イノベーション創出と数学研究—諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して—講演資料」[1]を配布した。またプログラムを第10.1節に掲載する。開催趣旨は以下のとおりである。

諸科学・産業技術の画期的発展を成し遂げるには、複雑な現象に潜む本質的な論理構造を見出すことが必要であり、問題を方程式のような抽象的表現に変換し、数学的に研究することが不可欠である。また数学のもつ汎用性は、諸分野間で別々に取り組まれていた問題を統一的に扱う道を拓くなど、数学は諸分野に「知の深み」や底力を与える。

欧米諸国では数学のこのような特徴が多方面で認識され、多様な現代数学の諸分野への積極的活用と、数学自体の高度化を推進している。また近年では社会や組織を効果的に運営するための数学的取り組みもますます盛んになっている。我が国でもこの認識が広まりつつあり、新たなプログラムが開始されてきてはいるが、一方で日本の数学研究環境は年々厳しくなっている。

このような状況を踏まえ、本シンポジウムでは、産官学の国内、国外の専門家が集まり、数学と諸科学・産業技術連携によるイノベーション創出および、これを支える現代数学研究の推進体制について現状を把握し、その振興のためにどのような政策・制度・組織等が必要かを検討する。

第I部では、諸外国における数学研究拠点と数学振興策の例を参考に、我が国を含めた数学研究環境の現状について政策的にもより踏み込んだ報告を行う。第II部では、諸科学のイノベーションの鍵となる数学の諸事例を紹介する。第III部では、産業界からの報告をもとに、将来のイノベーション創出に向けての可能性を探っていく。第IV部では、数学研究振興に向けての我が国の数学界の様々な取り組みについて紹介していただく予定である。

5.1.2 調査結果の要点

シンポジウムの参加者は地方での開催にもかかわらず161名あった。外国人の他、一般市民の参加もあり、数学研究とイノベーションというテーマにかなりの一般的関心があることがわかった。アンケートにも「(数学者と諸科学の連携について)昔の数学科及び数学者のイメージからすると、時代のせい

か、ずいぶんと数学の世界も変わりつつあるのだな、と思いました。」という感想もあった。また、大学に所属する数学者の授業の質についての厳しい意見も（フロアの数学者から）表明された。

シンポジウム全体を通じて以下のことが確認されたと思われる：数学と諸科学との連携が科学技術の発展にとって、また、数学そのものの深化のためにも重要であることの認識は、行政・産業界・大学運営関係者・数学に関連する研究者らの間で今までになく広く共有されている。そして、実りある成果を出している連携も少なくない。また、数学と産業界との連携、数学と諸科学との連携に向けての新しい試みがあちこちで始まっている。しかし、日本では全体としての大きなうねりを形成するには至っていない。

5.2 国際シンポジウム「イノベーション創出と数学研究— 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して —」の講演要旨

5.2.1 基調講演

数学への期待 — 科学技術政策から

大竹暁 文部科学省研究振興局基礎基盤研究課長: 広辞苑によれば、科学とは体系的経験的に実証可能な知識、自然科学は自然現象の法則性を明らかにする学問、技術とは科学を実地に応用して役立てるわざとあります。つまり、科学技術では、世界中で実証可能な法則性を明らかにし、実地に応用を可能にすることが大切です。そのためには、万人に共通で、解釈のばらつきのない記述が重要ですが、数学は、法則性を体系的に解釈尤度の少ない記述で明らかにする科学ですから、すべての科学・技術の上に立つ女王と言えるでしょう。

社会が科学技術に求めるものには、人類の英知を生むこと、国力の源泉を創ること、健康と安全を守ること、といったことがあり、数学ではそれぞれ、基礎数学、応用数学、数理統計が関係していると考えます。日本における数学研究の現状をみると、科学技術政策研究所「忘れられた科学- 数学」では、数学分野の比率、数学への公的研究費投入額、数学研究者人口、数学博士号取得者の定職率など様々な問題点が指摘されています。他方、世界に目を向ければ OECD の Mathematics in Industry や、米国の NSF が支援する大学院の幅広い数学プログラムなどがあるように、多様な産業分野から数学への期待は大きいと思います。しかし、各国共通の課題もあり、例えば、数学教育の目的が数学研究者の養成になり、社会に必要な人材の育成に目が向かないといった問題などがあります。

このように、多様な産業分野や他のすべての科学技術分野の基盤として数学の振興は不可欠であることから、文部科学省では従来から、科学研究費補助金、21 世紀 COE プログラムなどを実施してまいりました。これらに加えて、数学と他分野との連携・融合研究を一層推進するために、文部科学省では、新たな試みとして、科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業に対して平成 19 年度の戦略目標「社会的ニーズの高い課題の解決へ向けた数学/数理科学によるブレイクスルーの探索」を提示し、19 年度には個人型研究(さきがけ)を開始し、20 年度からはチーム型研究(CREST)を開始する予定になっています。

新たな試みが功を奏するためには数学者と産業界を含む他分野間の人間の交流が必要です。事実、過去の例を振り返ってみると、ユニークな数学の課題設定が他の科学や分野の琴線に触れて、物事が進展するということが少なくありませんでした。他分野と数学との相互作用が増大することが必要不可欠であるといえますので、北海道大学をはじめ、数学研究者の方々の今後の活躍に大きく期待しております。

5.2.2 第 I 部 諸外国における数学研究拠点と数学振興策

諸外国と日本における数学研究環境

桑原輝隆 文部科学省科学技術政策研究所総務研究官: 数学を振興するには、数学のシステムが時系列的に世界的にどうなのか把握することが重要だと思います。我が国における「数学」を巡る議論の展開は 2003 から 2005 年の論点の発掘整理段階、2005 から 2006 年の数学に関する議論拡大型と続き、現在の

ステップは、具体的施策の着手、論議の深化と継続性の維持というところですが、大切なことはアカデミアから発信し続けて行政に「忘れられないこと」だと思います。

世界における数学論文等の状況はアメリカが他国を大きく引き離してトップを走っています。そして、フランス、中国、ドイツ、英国、日本と続きます。論文数は殆どの分野でアメリカがトップで、日本は第2グループにいるのですが、日本の数学は他分野に比べてやや少ないレベルにとどまっているようです。また、日本は純粋数学の比率が高く、確率統計など応用は高くありません。日本とフランスが同じような傾向ですが、アメリカ、ドイツ、英国などは応用数学の比率が比較的多いようです。また、(数学研究論文数の世界シェア)/(全分野論文数の世界シェア)という世界シェア比率を計算してみますと、世界第2位の研究開発費を擁する日本の世界シェア比が非常に小さいということもわかりました。3年ほど前に行ったアンケート調査では、他分野研究者が数学者を必要としているにもかかわらず、実際には大きなギャップがあることもわかりました。

数学研究に関する状況を科研費から見れば、日本もやや伸びていますが、諸外国と比較すると、ドイツやアメリカの増加傾向ほどではありません。数学と他分野の連携では「数学者」のうち、「数学」以外の領域でも科研費(分担研究を含む)を獲得したことがある研究者数の割合は増加しています。この割合は北大、東大、阪大、九大などで高いです。数学者の集中度を見てみますと、イギリスやドイツでは小規模研究機関に分散していますが、日本では1990年代から大規模機関への集中度が増大しているようです。

今後の数学(あるいは数学に代表される理論科学)の振興策に向けて、ポイントは基礎となる数学自体を強化しつつ、数学と他分野の融合研究をいかに推進するかということです。特に数学では、若手研究者の独立性や研究者の流動性の高さなど、他分野にさきがけている点があり、数学振興策の検討自体に大きな意義があります。最後に今後の大きな目標ですが、イノベーションはもちろんのこと、日本の科学研究に一層の「深み」をもたらすこと、概念化の強化、科学における日本の発信力を高めることに、数学がいかに貢献するかが重要だと思います。

北米における数学研究拠点と数学研究環境

Alejandro Adem 太平洋数学研究所(PIMS)副所長・ブリティッシュコロンビア大学教授(カナダ): Pacific Institute for the Mathematical Sciences (PIMS) の役割はイノベーションの源泉やエネルギー源になること、テーマ性のあるプログラムを選定すること、優秀な研究員の育成、進化し続ける数学にスポットライトを当て進化させることなどで、これらは国際競争力の鍵であると考えています。また、PIMSは数学を異分野だけでなく教育や産業とのコラボレーションへ導く非常に重要な役割を担っています。

私たちの研究拠点は先駆的な拠点モデルを採用したため、世界中に認知されています。この拠点では実験系ではなく数学系が重視されています。カナダは広大な地域にもかかわらず人口がそれほど多くないので、研究と教育に焦点を当てた環境が必要になるのですが、この拠点モデルはまさに理想的なものです。PIMSはボーダレスな拠点として、数理科学の秀逸性を保ちつつ産業や複数学際分野とのコラボレーションを発展させ、K-12(幼稚園から高校卒業)の教育からポストクの研修に至るまでをよりいっそう充実させることを使命としています。ボーダレスなコミュニティを設立して地域、国、国際社会でリーダーシップを確立する戦略をとり、幅広くアピールし変化を促すように分散型のボトムアップ方式といった手段を採用しています。2つのアメリカの大学を含む7つの大学が中核拠点ですが、実は、中核拠点のメンバーになってもらうように依頼しています。

我々の活動であるPIMSサイエンスはコラボレーション研究グループによるテーマ別活動、PIMSポストク制度、中核科学イベントがあります。コラボレーション研究グループでは研究テーマを選んで非常に広大な地域にわたった複数の大学の研究者が共同で長期的な研究を行っています。これまでのテーマにはトポロジー、整数論や微分幾何といった純粋数学から数値計算、確率と統計力学、金融工学、地球科学、環境に関わるものまで数学に関する幅広いテーマが選ばれています。PIMSのポストクは厳選されることで優秀な研究員を確保しています。ここで強調したいのが、若い研究員を集めているということです。

PIMS は産業界とも共同して、新しい問題に対して数学の道を開くこと、数学者や学生に産業の道を開くことを目的にコラボレーション研究グループへ産業分野を組み込み、Lunchbox Lectures series, Industrial Problem-Solving Workshops といった特別産業プログラムを実施しています。

また、一般の人が数学を理解することも重要と考えていて、PIMS 教育プログラムといったものも実施しています。2005 年には Pacific Rim Mathematical Association (PRIMA) が環太平洋地域で数理学の発展を促すために設立されました。PRIMA は環太平洋地域にある研究教育機関の連合です。そこには 40 以上の機関が参加しています。

William Rundell 国立科学財団 (NSF) 数理科学課前課長・テキサス A&M 大学教授 (米国): National Science Foundation (NSF) の数学に関する予算編成は総額で 2 億ドル程度で、個別研究に 1 億 2000 万ドル、異分野融合研究に 2500 万ドル、研究要員に 3500 万ドル、連携に 2000 万ドルといった感じで分配されています。個別研究の資金分配は純粋系 3 種 (代数と整数論, トポロジーと幾何, 解析) と応用系 3 種 (応用数学 (PDE), 数値計算, 確率統計) の 6 つのカテゴリーでほぼ均等になっています。異分野融合研究はライフサイエンス, 計算科学, 地球科学, 社会科学, 工学技術, 物理科学といったものと数学の融合研究です。これらの助成金は主に、上級研究員の給与、彼らの学生、旅費、滞在費、設備といったものために支給されますが、研究員は 20% までの予算を動かす権限が与えられていますし、個人以外にグループの資金も調達できます。

研究要員のための予算はポストドク、大学院生および、大学生のための費用です。特に数学を専攻するアメリカ国内の学生が増えるように設計されています。

連携のための予算ですが、IMA, MSRI, IPAM といった数学研究拠点が主にこの資金から提供をうけ、IAS などは部分的に補助されます。研究集会やワークショップの費用もここから提供されます。

数理科学の場合、毎年約 2500 件の研究が提案されています。その内の 1800 件が個別プログラムで 400 件が異分野融合プログラムです。それらの提案は、専門家の委員会による査読 (15 人程度の委員会によって 40 から 50 件の提案が精査される)、外部の査読員の査読 (一つの提案は 3 から 6 回ほど精査される)、上記二つを組み合わせた査読といった方法で精査されますが、ほとんどは専門家の委員会が行います。採択の可否は、科学的な質の良し悪し、社会への影響、ハイリスクハイリターンで革新的な提案かどうかといったことから決まり、これらが資金対象の優先要因なのですが、決定的な要因は科学的な質です。たとえ全米アカデミーのメンバーといった著名な研究者の提案であっても評価が低ければ否決されることが普通に行われます。最終的に、提出された 25% 程度の提案に資金が組まれます。

数理科学の拠点の目的は数学者がより容易にコミュニケーション出来るような環境を提供することですが、異なる分野を横断するような研究計画があって、なおかつ、研究者コミュニティーが団結することが前提かもしれません。自らの専門分野の中で、他の分野が不可欠なものであると捉えることが異分野融合研究を行う前提条件でしょう。また、研究拠点はアメリカの数理科学における主要な構成要素であり、バランスを保つため、数学の主要な研究分野の全てをカバーすること、プログラムの種類と実施期間 (長期間必要とする分野、比較的短い期間で行われるワークショップ, “hot topic” を取り扱う会議など) といったことが考慮されます。研究拠点は計 10 年間資金を受け取り 3 年ごとにレビューされます。典型は年間 200 万ドルから 400 万ドルで、これは研究拠点の資金の 60 から 80% にあたります。所長や副所長は所属する大学からの出向になり、彼らの給与は NSF によって支払われます。典型的な任期は 5 年です。もし、何かをするのであれば、そのコストに対して責任を持つことが求められます。これは数学に限らずアメリカ全体で言われることです。大学は研究拠点にスペースを提供します。1 年もしくは半年のプログラム期間中に 20 から 30 人の上級研究員、20 人の客員が招聘され短期間滞在者は 100 人にのぼります。全ての研究プログラムは査読され、選定されます。主催者には科学的な内容はもちろんのこと招聘者や予算配分についてかなりの柔軟性が与えられます。

長年にわたり定着した研究機関には新しい数学分野の創出、主要な科学プログラムのブレイクスルーの発見、産業界とのパートナーシップの発展といった特筆すべき成功の歴史があります。

5.2.3 第II部 諸科学のイノベーションの鍵となる数学 大学における実績と可能性

医学と数学

James J. Wright オークランド大学名誉教授 (ニュージーランド): 私は生命科学と数学の複合領域で主に活動しています, 神経科学者かつ精神科医です. これから脳科学と数学の間を結ぶ研究の一例を紹介したいと思います. 私は, 脳の機能に興味をもっており, 脳を観測することで得られる非常に複雑な実験データを, 数理科学を用いて扱いやすいものとして捉えることを研究テーマにしています. 脳機能の数値計算モデリングにおいては, 多くの数学的な問題に出会います. 従って, 将来この分野に関わる数学者が非常に沢山必要になるのではないかと考えています.

脳は, 神経細胞の微視的レベル, 神経細胞集団の中間レベル, 脳全体の巨視的レベルといった三つのスケールからなっていると見なせます. 神経細胞レベルでは, 個々の細胞が互いに数千のシナプスを介して結合し, 複雑に相互作用しています. メソスコミックなレベルでは神経細胞の相互作用から創発する神経細胞集団ダイナミクスを連続な媒体上の波の運動として見なすことができ, それは固有な非線形性を有しています. そして, 巨視的なレベルである脳全体では実効的なモデルを作製する為に, 脳の詳細な内部構造を考慮する必要があります.

大脳皮質は脳に存在する大部分の神経細胞を含んでおり, 視床や大脳基底核のような辺縁系には多くの神経核群が存在しています. そして脳内の情報は感覚野に流れ, 続いて脳全体へと広がり運動の制御として現れます. これら各脳部位間には遺伝的に制御された非常に複雑なフィードバック回路が存在します. 観察のスケールをより小さくすると, 大脳皮質と大脳辺縁系は数千キロに達する神経束によって結ばれており, それらは天文学的な数のシナプス結合を持っています. 大脳皮質の個々の細胞, 特に錐体細胞は皮質内に $3000\mu\text{m}$ の範囲で軸索を伸ばしており, 20,000 個の他の神経細胞と結合してします. 神経細胞は, 結合している他の細胞を電気的に興奮させる興奮性細胞と結合している細胞の発火を抑制する抑制性細胞の 2 種類に分けることができます.

しかしながら, 全ての複雑性は, いくつかの要素に要約することができます. 樹上突起上のプロセス, 神経細胞間結合の伝導速度, シナプス伝達物質の種類, 脳の解剖学的結合様式といったものです. これらはそれぞれ 100 年以上かけて研究されてきました. これらの要素は分子レベルから段階的に数理モデルへの還元することが可能です. 例えば, 細胞膜に埋め込まれているタンパク分子の構造変化, 細胞内に流入するイオンの量のコントロール, 時間インパルス関数を使った樹上突起電位へのシグナル伝達の記述, 細胞内電位変化と出力パルス生成の関係を記述する確率密度関数, 細胞集団間で伝搬する信号の波動方程式による記述等々です.

私たちはこれまでの研究において, 神経細胞レベル, 神経集団レベル, 脳の複数の部位を含むレベルまで幾つかの数理モデルを構築し, それらのシミュレーション結果が定量的に実験結果を良く再現することを示してきました. つまり, これは極めて複雑な生命現象を再現させることができるということです.

現在, 我々は脳における実際の活動や構造を再現できるシステムを手にしており, 応用数学上の問題を抱えています. 我々生物学者にとって親しみのない情報理論や非線形ダイナミクスにおける方程式や熱力学や相転移の理論の適用可能性といった問題です. また, 概念として, コヒーレントインフォマックス, カオスの遍歴, カントールコーディング, システムラグランジュアンといったものもそうです. まだまだ非常に多くの問題が存在しますが, これまで発展を遂げてきた物理モデルと脳のモデルとの間には明確な類似点が存在していることは確かです. 前途は多難ですが, 私の言いたいことは, 数学者に取っておそらく 22 世紀までつづく問題が存在しているということです.

自己組織化, 感情, そして論理判断, こういった脳の機能を私たちは作ることができるのでしょうか. これらは物理的な問題以外にも哲学的な問題が伴ってきます. 最後に我々が取り上げないといけない疑問を投げかけて終わりにしますが, それは「意識とは何か」ということです.

情報科学と数学

田中譲 北海道大学大学院情報科学研究科教授・知識メディアラボラトリー長: 日本のコンピュータサイエンス (CS) は海外と異なり情報工学と言われ、工学をバックグラウンドに持つ研究者がほとんどです。最近では数学者も少し参入してきましたが、まだ少ないという状況で、テクノロジーがサイエンスより勝っているのが日本の特徴です。一方、ヨーロッパやアメリカではコンピュータ「サイエンス」と呼ばれることから分かるように、バックグラウンドに数学を持つ研究者が多く、テクノロジーよりサイエンスの色合いが強いです。

新しい技術が現れる時には、まず、ニーズから第一の開発が始まり、システムを作っていきます。すると、フォーマルモデルが提案され、抽象化、簡単化という過程を経て、イルフォームな問題に適切な仮定を与えてウェルフォームな数学的な問題にする研究成果が出てきます。この結果、沢山の研究者が参加できるようになるのです。このフォーマルモデルがピボットの役割を果たします。

つまり、フォーマルモデルが Conceptual Frameworks (概念的な枠組み) と Implementation Technologies (手段としての技術) を分ける働きをすることでそれぞれの課題に対して独立に研究を進めることができるようになります。そうして、多数の研究者がフォーマルモデルで意見交換できるようになり、Parallel development を引き出すこととなります。

研究者の分布を見てみますと、もともとヨーロッパやアメリカでもピボットとなりうるフォーマルモデルを提案できる人は少ないのですが、日本では皆無です。これは私自身、とても問題だと思っています。最後に CS 側からの要望ですが、もっと数学者に CS へ入ってきてほしいと願っています。特にフォーマルモデリングに長けた人が必要で、今後の CS と数学のコラボレーションに期待しています。

サービス工学と数学

中島秀之 公立はこだて未来大学学長: まず、Service を辞書で引いてみるとわかるのですが、事例が書いてあるだけで日本語になっていない言葉の一つです。サービスサイエンスをはじめたのは IBM ですが、IBM の定義で Service は “ A service is a provider/client interaction that creates and captures value. ” となっています。

西洋的な見方と東洋的な見方を「コト」と「モノ」の対比で見えます。まず、「コト」は主体を含むプロセス、ソフトウェア、日本的世界観であって、構成的です。一方、「モノ」は客観的对象物 (object)、ハードウェア、西欧的世界観であって、分析的で、つまり、サイエンスは分析的、工学は構成的であると私は考えています。今までの研究開発は設計・知の集積に集中していました。開発を行い、良い成果があれば後は企業がやるでしょうというスタンスです。しかし、開発し、使い、評価し、また開発へ戻すというループを構成しないと良いシステムができないと考えています。これを踏まえると、私の「サービス」の定義は「コトづくり」です。分析的 (過去) 説明と構成的 (未来) 予測の好例に、光の経路の説明・予測があります。光の経路は「最短経路」であるとする分析的 (目的論的) 説明と、入射角と反射角、屈折率の法則を用いた構成的説明があります。

少し概念的なことですが、ノエマ・ノエシスを演奏の例で説明します。まず、未来ノエマ (奏でたい音楽) があり、ノエシス (演奏) を行います。しかし、環境との相互作用 (複雑系なら予測不可能) から必ずしも望んだ音が出てくるわけではなく、その結果が現在ノエマ (聴こえてくる音楽) となります。そこから、次の未来ノエマ (奏でたい音楽) が生まれるというループが形成され、音楽が紡ぎ出されていきます。ノエシスとノエマという行為と認知の二層性があり、さらに未来ノエマ・現在ノエマが存在するループが我々の考えている構成的な方法論のダイアグラムです。新しい理論を構築することもこのダイアグラムに乗っていると思います。これを多層にすることを考えているのですが、こういった点でぜひ数学者の手助けが欲しいと思っています。

英語では Science と Art があって、日本語の「工学」は Science と Art の共通部分を指すのではないかと思います。日本語の「科学」は Science から Art を除いたもの、「芸術」は Art から Science を除いたものでしょう。サービス工学に戻ると、インターネットなどの物理層の上に乗る人間中心の層を構成するのが、情報処理、情報工学の仕事であると思っています。「科学」と「工学」には相補性があり対等

です。従来あまり顧みられなかった構成的方法論が重要で、数学もまた構成的学問体系の一つだと思えます。情報学も構成的学問体系であって、「サービス」は構成的方法論に必要な不可欠の概念的・実装的要素だと思っています。

5.2.4 第 III 部 産業技術のイノベーションの鍵となる数学 産業界における実績と可能性

製鐵と数学

松宮徹 新日本製鐵株式会社 フェロー: まず鉄鋼の背景ですが、生産量が 1990 年代後半から急増しており 2006 年の世界粗鋼生産計は 12 億 5,000 万トンになりました。近年、中国の顕著な生産増から中国での生産が全世界の 3 分の 1 以上を占めています。また、鉄鋼メーカーの合併も近年になって進んでいますし、今後は中国やインド、ブラジル、東南アジアなどの需要が伸びる見込みです。

我が国の鉄鋼業における第 1 の課題は拡大しつつある需要に応えるために低級鋼ではなく日本でしか作ることのできない高級鋼の製造比率を拡大することです。例えば、自動車ではボディー用亜鉛めっき鋼板、足回りの懸架バネ、ハイブリッド車モーターの電磁鋼板、スチールタイヤコードなどがそうですし、船舶のボディー厚板や動力部分のクランク軸など、また、資源開発に使用される石油掘削の継ぎ目なし鋼管などです。そして、第 2 の課題は環境・資源問題の克服、第 3 の課題はセクターとの環境改善があります。原料（鉄鉱石、石炭）やカスタマー（自動車、建設）セクターはトップ 10 がシェア 90% を持っているのですが、価格交渉力が強いのですが、鉄鋼メーカーはトップ 10 でもシェア 35% ですので、価格交渉力はそれほど強くありません。

鉄鋼製造プロセスでは計算機シミュレーションを開発、最適化、革新、知的設計といったさまざまなフェーズで用います。計算科学を応用する効果には開発時間の短縮、開発経費の削減、機構に立脚した制御と最適化、革新的技術、新材料開発のシーズ創出といったことが挙げられます。特に実験で観察できないプロセス挙動を推測し最適化するためにはシミュレーションが必要不可欠です。

例えば、線材に介在物があると断線の原因になるので、介在物の含有量は非常に重要な問題なのですが、鋼の連続鋳造機では介在物の含有量を減らすために溶網流動に電磁場を与えるなどして、対流にブレーキを与えて介在物を効率よく浮上分離しています。その解析にシミュレーションが用いられています。また、完全に除去できない介在物については、その化学組成を制御して無害化を図ります。その化学組成の予測には系の自由エネルギーを最小化する計算を行う計算熱力学シミュレーションを活用します。さらに、凝固組織のデンドライト形状とマイクロ偏析をモンテカルロシミュレーション法によりシミュレーションすることを行っております。我々鉄鋼メーカーは材料開発のみならず、お客様にソリューションを提供するため、自動車分野では、材料評価技術、成型加工技術も開発して部品設計までに寄与します。部品の一体成型を可能にするハイドロフォーム技術についても良加工性を持ったハイドロフォーム用鋼管に加えて、FEM シミュレーションを駆使した加工技術、カスタマーと協業による画期的コンパクトな設備の開発によって、その活用に道を開きました。これはセクターとの環境改善に寄与します。

鉄鋼業において使用されているシミュレーションと計算科学応用における数学を「米国数学会発行 Mathematical Reviews による数学分野の分類」の該当項目に照らし合わせてみれば、連続体力学ですと、流体力学、電磁気学、ポテンシャル論、偏微分方程式、常微分方程式、差分方程式、関数解析、特殊関数、数値解析といったこと、現象論モデルでは、古典熱力学、変分法、最適制御など、原子レベル解析では分子動力学、モンテカルロシミュレーション、統計力学、エルゴード理論、確率論、確率過程などが挙げられます。また、その他、計測、化学/物理分析、システム制御、生産計画、ロジスティクス、物流、建設などの分野においても、システム理論、制御、情報と通信、回路、OR 理論、数理計画法などが活用されています。以上のように数学は製鉄業でも多岐にわたり使用されています。大学における数学教育や数学研究、産業とのコラボレーションに期待しています。

金融と数学

大本隆 野村證券株式会社 金融工学研究センターシニア・クオンツ: 一般には、金融（ファイナンス）と数学はかけ離れたものとされているでしょうが、実際には実務で数式を扱う局面は非常に沢山あります。金融と数学の間の結びつきは歴然としており、その間に介在する三つの研究分野として、保険数理、数理ファイナンス、金融工学があります。保険数理はリスクの計量など古くから数学・統計学を使って分析を行っています。一方、金融工学では数学は道具の一つとみなされていますから、むしろIT技術や会計、法律が大切と理解している人たちもいます。数理ファイナンスは数学の一分野として受けとられています。昨年、第1回ガウス賞を受賞された伊藤清先生による「伊藤の補題」や「伊藤のマルチンゲール表現定理」といった拡散過程（Brown運動を用いて記述される確率過程）に関する定理が、数理ファイナンスでは勿論、金融の実務上でも日常茶飯事的に用いられています。世界的に多くの数学者がこの分野に参入していますが（学術的な意味で）日本の数学や数理ファイナンス研究の貢献度は高いと言えます。

かなり高度な数学が金融ビジネスの背景にあり、例えば、確率測度には、現実の確率を表す実測度と（マーケットの評価測度とも言うべき）リスク中立測度があって、リスク計測では前者を、資産価格付けには後者を用いるので、資産価格付けと測度変換は重要な結びつきがあるのですが、これらは、測度論や積分論—例えば、「公理論的確率」の意味をある程度わきまえていないと分からない話です。

また、実務上は、数字として算出する必要があるのも、様々な近似解法や数値解法が進化して来ました。昨今の複雑なデリバティブ評価は計算コストが重く、コンピュータ・リソースに頼ることになるので勿論、IT技術の発展が重要になります。それと対応する形で、数値計算テクノロジーの研究開発は、解析近似からPDE、モンテカルロ法へと時代とともに主流が変わりつつあるのですが、いつの時代でも高度な数学が使用されています。

しばしば、数学に対してファイナンスは物理学の役割を果たしつつあると言われますが、現実の経済が物理現象と異なるのは自明です。市場価格を用いたパラメータ推定は必須のものですが、定常的でも安定的でもありません。これに伴う、金融危機の教訓を二つばかり事例を挙げます。最初の例は、Black-Scholesモデルで有名なMerton氏とScholes氏（1997年ノーベル経済学賞受賞）も参画していた、金融工学ヘッジファンドLTCMです。相対価格アービトラージ戦略と必要最小限の資本戦略（高いレバレッジ）をとり、優秀な成績を誇っていたのですが、ロシア危機に端を発する信用危機、及び「質への逃避」からくる流動性の喪失から、LTCMは崩壊しました。現実の経済では、正規分布では1万年に一度しか起きないような事象でも遙かに高い確率で生じる裾が厚い分布（fat tail）です。想定外の事態がジャンプ発生的に起きるリスクを想定したストレス・テストは重要です。

第二の例として、2007年のサブプライム・ショックによる欧米金融機関やファンドの巨額損失、それに伴う信用危機ですが、これらが世界経済に与える影響の規模とモラル・ハザードという観点で、LTCMより根の深い問題です。所詮は、米国住宅不動産市場バブルを前提とした無理な貸付をし、CDO等の証券化という手法でリスク移転を行った、というだけの話ですが、規制当局、不動産業者、金融機関（銀行・証券・保険）、格付機関、ヘッジファンドなどの投資家全てに問題含みであったと言えるでしょう。

では、なぜそういうことが起こるのかということ、金融にしる、数学にしる、難しくてよく分からないということがあります。しかし、目の利益を優先するあまり、曖昧な理解のままで進めてしまうことは金融の世界では珍しいことではありません。

ファイナンスの発展に伴い必要とされる数学は、高度に専門化する一方です。それに対してどうするのが良いかといえば、実務と数学のコラボレーションにより、お互いの知識や理解を深めることが必要だと思えます。

欧米においては、ファイナンスのみならず数理系の博士号取得者が数多く金融業界に参入していて、相互交流、転職など学者と実務家との垣根が低いようです。欧州では、高等数学を履修し、数理能力に長けたクオンツを育成させたいとする傾向が強く、米系の伝統や勢力に対抗するような動きもあります。また、米国では以前より、大学も投資家として金融市場に参加し、また、投資銀行や証券会社と共同研究をしています。

日本でも、金融に関する学会が幾つか活動していき、各大学で研究機関・教育機関が設置されています。大学院のファイナンス分野の修士課程・博士課程や、実務家向けのMBAプログラムはここ数

年で随分と充実しました。しかし、高度に数理的且つ実務的テーマの教育や研究開発については、欧米に比べて、あるいは、アジアの中でさえも、日本は必ずしも先端的な位置になく、今後一層の産学協同の姿勢が望まれます。

空間認識と数学

岩根和郎 株式会社岩根研究所代表取締役社長: 私どもは北大発のベンチャー第1号と呼ばれていますが、日々イノベーション創出を目指していき、その一端を皆様にご紹介いたします。私どもの会社では人工知能を目指しているのですが、まずは人間の目を真似ていかに空間を認識するかという事に取り組んでいます。まさに数学そのものでして、数学を利用することで、死角のない完全な全周映像の生成も可能にしました。

空間を理解するとは、環境としての周辺の三次元形状を理解して、しかも自分がどこにいて何処を向いているかを三次元的に認識することです。回転を入れると6自由度、時間を入れると7自由度になります。我々のソフトウェアではカメラから見る角度以外を全て未知数として連立方程式を解くことで自分(カメラ)の位置と姿勢を求めています。カメラ位置と姿勢が求められたことで、動画映像の中にCG表示で実在しない木を表示することもできます。これはCGと現実の融合といえるでしょう。いずれCGはいらなくなる時が来るかもしれません。

こんどは逆の例ですが、長野県岡谷市の土砂崩れ現場をヘリで撮影しました。球面へ各方向の映像を貼りつけ、対象を特徴点による三角形に分割し、特徴点をトラッキングし、カメラからの方向のみ既知として、カメラ位置も未知数として連立方程式を解いて、分割した全部の三角形(対象物)の座標を求めます。測量機器も何もなく、カメラだけで3D情報を作成できるということが重要です。ただし、スケールだけはわかりませんので、後に既知の点3カ所でキャリブレーションを行い、絶対座標を取得します。

我々は「知の喜び」を日々味わっています。わが社には北大数学科出身者が二人います。数学には、千年先に役立てば良いと同時に現実の世界にもかかわっていただいて、解析技術を我々に提供していただきたいと思っています。自然界は一瞬で微分方程式を解いているという言葉がありますが、その言い方をお借りすれば、我々人間の頭脳は瞬時にして多元連立方程式を解いている、とも言えるでしょう。

5.2.5 第IV部 我が国の数学界の取り組みの例

統計数理研究所の取り組み

北川源四郎 統計数理研究所所長: 統計数理研究所では共同研究を中心とする活動を行っています。産業革命により工業化社会が始まり、情報・通信技術の発展から情報化社会へと変貌し物質・エネルギーより情報が重要な社会となりました。しかし、現在では誰でもが自由に情報にアクセスできるユビキタス社会が実現しつつあり、情報そのものよりもむしろそこからいかに有益な情報を取り出すかが重要になってきます。その結果、知識社会へと進みつつあり、ポスト資本主義社会の資源は資本、土地、労働のいずれでもなく、知識になると考えています。

科学研究の拡大と方法論においても変化が起こっています。物理的機械論的世界観で考えられていたような普遍の真理だけでなく、進化し変化する対象が重要になっています。19世紀末にはあらゆるものを科学研究の対象にするための科学の文法が提唱され、数理統計学はそれを実現する手段として発展しました。20世紀後半になり、従来の理論科学や実験科学では太刀打ちできない非線形・複雑システムといった研究対象に対して、計算科学が確立してきました。さらに21世紀の現在、大規模データをあつかう科学が第4の科学として出現してきました。我々はこの第4の科学を確立するとともに理論科学・計算科学という理論主導型の方法論と実験科学・大規模データ科学というデータ主導型の方法論を統合して新たな知識創造の方法を確立していくことが重要だと考えています。

これを実現するための我々の取り組みを紹介します。現実の問題に即した研究を推進することが統計数理研究所の創立以来のモットーですが、我々は統計数理研究所を実世界の研究と方法の研究を循環する知識発展のスパイラルを実現するような組織にすることが重要と考えています。統計数理研究所は毎

年 120 件ほどの共同研究を推進しています。研究所の研究者は 50 人ほどですが、年間 600 人の共同研究者がいることからわかるように統計数理研究所は大きなバーチャルな研究所としても機能し、知識交流のハブの役割も果たしています。現在、特に、統計数理の戦略的重点課題として情報社会に対する「予測と知識発見」とリスク社会に対する「不確実性のモデリングとリスクの管理」の 2 つを設定しています。

研究組織としては、基礎研究を行う 3 つの研究系のほかに、予測発見戦略研究センターとリスク解析戦略研究センターを設置しており、新年度には、新機軸創発センターを設置予定です。予測発見戦略研究センターでは大規模データに基づく予測と知識発見を目指し、リスク解析戦略研究センターではリスクの定量的評価法の確立からリスクの科学的管理を行おうとしています。機構の新領域融合研究センターでは「機能と帰納プロジェクト」を行っています。複雑なシステムの理解、システムの機能のモデル化、帰納的方法、あるいは帰納的方法と演繹的方法の融合を目標として、対象そのものを実体的に精緻にモデル化するのではなく、対象に関する情報の入出力関係のような、機能を模倣する数理モデルを構築することを目的としています。研究成果公開・アウトリーチ活動として、学術誌の刊行、統計ソフトの開発・公開、公開講座、統計相談、オープンフォーラム、オープンハウス、SSH 対応なども行っています。

京都大学数理解析研究所の取り組み

高橋陽一郎 京都大学数理解析研究所前所長: 数理解析研究所は数学における国内唯一の共同利用・共同研究型研究所で、所員の研究、国内・国際共同研究、若手育成を使命としています。大学院重点化および国立大学法人化後の諸課題を踏まえて京都大学数理解析研究所の取り組みをご紹介します。

まず、国立大学法人化からの帰結として法人としてのポリシーと研究のためのポリシーがかみ合わないことが問題になっているのですが、大学院重点化のもたらしたものは助手(助教)の減員とポスドク(短期)の増員です。若い人が安定して研究する職がなくなった結果びっくりするような研究が出てこなくなったように思います。まるで「粒の揃った団栗の背比べ」のようです。如何にすれば、数学・数理科学の発展を担保できるのでしょうか。それは数学者コミュニティの課題ですが、一つの提案として、研究の推進についての「三者提言」をまとめていますので、それに触れたいと思います。

三者提言は東大数理、京大数学、数理解析研究所の 3 つの機関が共同で行った提言でして、次の 4 つの提言からなります。

提言 A 最先端数学研究の重点推進(合宿型セミナー制度の樹立・長期滞在型プロジェクト研究の制度化。)

提言 B 数学研究の多様性の確保(全国の研究者の国際共同研究を支援するための体制の整備・図書を含む数学研究基盤の整備。)

提言 C 横断的な研究の推進(分野横断的研究を含む新分野の振興と指導者育成。)

提言 D 次世代指導者の育成(若手研究者の育成と国際的研究活動の活性化・助教等の若手研究教育者の確保・ポスドク制度の充実とその活用。)

これらの提言を実現する前提として、研究基盤の強化および研究支援体制の整備が不可欠です。また、最近までの取組には数理解析寄附研究部門の設置(2007 年 10 月)、数理解析先端研究センターの設置(2006 年 4 月)、数学文献電子化公開(2006 年から)、RIMS 共同利用研究テーマの拡大(1995 年から)と数学教育(2008 年特別計画)、数学文献コンソーシアム(構想 2003 年、専門誌保管状況全国調査 2004 年)といったものがあります。

2008 年度からの取組には共同利用で RIMS 長期研究員、RIMS 共同研究、RIMS 研究集会に加えて合宿型セミナーを新設し、「離散構造とアルゴリズム」、「標数正の特異点解消」、「数理ファイナンス」といった国際プロジェクト研究の複線化を行います。

今後の取組には 2009 年度新設を目指して派遣型研究員制度に取り組みます。これは、法人化後の数学研究の現状への危機感と、若手研究者の研究動向(粒の揃った団栗の背比べ)、中小数学系教室の状況を鑑み、長期的視野に立ち挑戦的な若手研究者の育成と全国の数学・数理科学研究の活性化を狙ったも

のです。具体的には数理解析先端研究センター拡充，研究員雇用（任期7年），各地の数学研究者との共同研究といった構想です。

まだ先の見えない課題には数学専門誌を巡る諸課題（数学専門誌の全国共同購入，冊子体保管の全国分担体制など）があります。

京都大学数理解析研究所ではこういったことに取り組んでいく所存です。

九州大学大学院数理学研究院と産業技術数理研究センターの取り組み

若山正人 九州大学大学院数理学研究院長: 九州大学大学院数理学研究院の取り組みでは21世紀COEプログラム「機能数理学の構築と展開」の一環として長期インターンシップを開始しました。博士課程の中に二つのコースを設け、従来のいわゆる数学の研究者を育成するコースの他に数学の研究者になる可能性も十分持ちつつ産業界で活躍する博士の学生たちを育てるコースを設けました。そこで、3ヶ月以上の長期インターンシップを企業に受け入れていただく制度を導入しています。それを担うために現在の産業技術数理研究センターの前身である機能数理学基盤センターを部内に設けました。学内組織として設ける理由はさまざまありました。一つはもちろん産学共同研究による数学の発展ですが、もう一つは教員組織の意識改革のためです。

私たちの大きなネックとしてオーバードクター問題とその前のドクターコース充足率問題がありました。私も10年ほど前には意識が低く、実際、数学の博士課程の学生が5人も10人もいてどうするのかと思ったりしたのですが、私たちは重点化に際しなんと定員を35人に設定しなければなりません。学府学院制度になって定員が34名になりましたけど、もちろんそれだけの博士課程の学生を獲得できませんでした。たとえ、もしそれが達成できたとしてもその人たちが活躍する場所が無くては、それは一種の犯罪行為だと考えましたし、現実、そういった時代が10年ほど続きました。

しかし、本当に数学の博士は要らないのかということに気づいたのが前研究院長の中尾氏です。その時から、徐々にではありますが、社会との接点を本気で深め、私たち教員自身の意識も変えようということになりました。そのためには、やはり大学を挙げてこういった組織を作るということが学内的にも重要であるという意識から、このセンターを作ることになったのです。一方で、やはり数学ですから、将来大きな仕事ができる人たちがいなくては困ります。こちらも重要な課題ですが、これに対しては九州大学の中で「次世代研究スーパースター養成プログラム」を設け、その中で数学のプロジェクト「数学・数理科学における未解決問題挑戦プロジェクト」を実施しています。そのなかには、生物代数学といいまして、計算代数というコンピュータが発達したからこそ扱えるものを研究する若手の優れた研究者がいますし、高次元代数多様体の森プログラムを研究するといういわゆる純粋数学の研究者もいます。こういった若手研究者には、テニユアトラックで安心して研究に打ちこめる環境を提供しています。

長期インターンシップでは学生にさまざまな企業に出向いてもらいました。特許、共著論文、共同研究へ展開したのも少なくありません。必ずしも応用の学生だけでなく純粋数学の人もインターンシップで企業と関わり、新しい思いで帰ってきています。インターンシップの良さは様々ありますが、学生たちが元気になるのは大きな利点の一つだと感じています。

垣根を取り除き、純粋数学、応用数学、諸科学、技術とっておしまいになるのではなく、食物循環のように、そういったところから新しい数学が生まれ、そして、ピュアマスに対しても刺激を与えるような風通しの良い世の中を構築するのが、良いのではないかと考えています。私たちは「マス・フォア・インダストリ」（来る3月27日に開催予定の産業技術数理コンソーシアム第0回フォーラムの名称です）なる取り組みを通して、このような数学の（時間を越えた）社会循環を目指しているのです。

東京大学大学院数理科学研究科の取り組み

大島利雄 東京大学大学院数理科学研究科副研究科長: 東京大学大学院数理科学研究科の研究教育目的には次のようになります。「東京大学大学院数理科学研究科は、数学・数理科学に関する体系的な知識と高度な研究能力を修得し、数学・数理科学の諸分野において、第一線で活躍する研究者、ならびに数学・数理科学の幅広い素養と広い視野から専門的な判断力を身につけ、社会の広範な領域で新しい時代を担

い、国際的に活躍できる創意ある人材を育成することを教育の目的とする。研究においては、基礎的で重要な問題の探求はもとより、新たな研究領域を開拓し、国際的な視野に立って高度な数学・数理科学の文化を醸成して社会の発展に資することを目的とする。」つまり、イノベーション創出を担うなど、優秀な人材を輩出することを第一義としています。

東京大学創設と同時に数学物理、星学科が発足しましたが、近年まで数学の教員は異なるキャンパスの異なる組織に所属していました。1992年に東京大学数理科学研究科が発足して一つの組織にまとめ、1998年に研究科棟が完成したことで、より強力な活動ができるようになりました。

スタッフの約1/4が応用系で、海外から毎年130名以上の研究者をビジターとして受け入れています。また、アクチュアリー・統計プログラムを2005年から理学部の中に開設しています。公開セミナーや公開講座、オープンキャンパスなどの情報発信及び、高校生対象および中学生対象の数学講座（玉原国際セミナーハウスを利用）を行っています。公開セミナーは23講座以上あります。こういった講座や講演を記録し、インターネット上でビデオ配信しています。また、2007年度から「数物連携宇宙研究機構」が発足しました。

生保協会からの寄付講座で予測制御に関連する教授を海外から呼び、集中講義や共同研究を行いました。1990年に来られた Harry Markowitz 教授は寄付講座の客員教授在任中にポートフォリオ理論でノーベル経済学賞の受賞が決まりました。この寄付講座は平成2年から平成6年まで続きました。アクチュアリー・統計プログラムは、アクチュアリーの資格を取るためだけでなく、未来のアクチュアリーを養成していくと同時に、数理統計学の基礎を体系的に学んだ統計家を養成することを目的としています。現在は数理科学専攻にアクチュアリー・ファイナンス・統計コース、理学部にアクチュアリー・統計学科を設立することを計画中です。

また、連携客員講座では、企業や私立大学の研究者を客員教員として招聘し社会との連携を盛んにして特に応用系数学の教育・研究の強化を図っています。大体3年をめぐりに1つのプロジェクトを行っていますが、プロジェクト「数理ファイナンス」は発足当初から続いています。「数理ファイナンス」では、これまでに朝日生命、日生基礎研究所、慶応大学経済学部、早稲田大学理工学部電子情報工学科、三菱証券商品開発部、三菱東京UFJ銀行総合リスク管理部情報・システム研究機構統計数理研究所から客員教員を招いています。他のプロジェクトでも様々な企業や機関から客員教員を招聘しています。

数物連携宇宙研究機構（略称 IPMU <http://www.ipmu.jp>）は文部科学省の世界トップレベル国際研究拠点として、2007年10月に柏キャンパスに発足し、数理科学研究科は学内協力機関となっています。この拠点は、従来の分野の壁を越えた新しい研究組織によって、宇宙の謎の解明に挑み、本学の基礎科学をより強力に推進することを目指しています。

以上が数理科学研究科の取り組みです。

北海道大学数学連携研究センターの設置

西浦廉政 北海道大学電子科学研究所前所長: 数学者のこれまでのイメージは “An engineer thinks that his equations are an approximation to reality. A physicist thinks reality is an approximation to his equations. A mathematician doesn't care.” という感じでしょうか。これが正しいかどうかはもちろん論じませんが、あまり良いものではないようです。しかし、“A mathematician doesn't care.” はある意味必要なことでして、care してしまうと足をとられますから、universality を目指すなら、“doesn't care” で無ければならないでしょう。しかしながら、今日のシンポジウムの目的は、そこから一步外に出る人がいても良いのではないかとということだと理解しています。

長い年月をかけて数学は宝の山を蓄積してきました。それは物の見方、新たな方法論、色々な形を外に出せば、大きな光になるのですけれど、そういう宝の山を数学は十分に使わなかったし、外に持っていきませんでした。ですが、数学者はその宝の山を実世界で表現できる伝道者だと思っています。

数学連携研究センターが今年の4月1日から発足するのですが、これまで5年間続いた北大での21世紀 COE プログラムの活動（先端研究機能、情報文献機能、交流機能）が基盤になっています。先端研究機能では数学に関する色々な疑問や質問を受け付け、ある種のクエスチョンセンターの役割を果たしてきました。数学連携研究センターでは、この一部を受け継ぎたいと考えています。情報文献機能では

数学関係図書，学術資料のネットワーク化をはかり総合的情報文献公開収集検索システム「数学の海」の構築にも着手しました．もちろん，通常の交流機能で COE や海外の研究者とも共同研究を進めることに邁進してきました．

数学連携研究センターは数学専攻と電子科学研究所が中心になって構成しますが，理学院，工学研究科，情報科学研究科，人獣感染症リサーチセンター，VBL, HSS, 理化学研究所とも連携していきます．また，JST 数学領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」の発足が大きな下支えになっています．

北大には 5 年ほどまえから創成科学研究機構がありまして，数学連携研究センターはその一部という位置づけです．創成科学研究機構は超学問領域 (Trans-disciplinary Research) の創成とその独創的な研究成果を世界へ向けて発信することを目的としています．縦割り組織ではなく部局横断的な研究体制で研究に専念出来る環境を整え，全学的研究計画の立案と研究支援スタッフを育成し，「知」の創造・活用・社会還元を目指しています．その中で数学連携研究センターは数学的思考法という横串を担いたいと考えています．

これまでの数学者は暗い部屋の中で玉を磨いているイメージです．こういったことが無ければ，本当にクリエイティブなことはできないと思いますが，せっかく磨いた玉ですから，窓を開けて外の世界をもっと照らしてほしいと思います．そして，他分野の方が耕している物に光を当て大きな実りが得られるようにするべきでしょう．数学者は窓を開けて光を当てる努力を怠っていると反省するべきなのですが，今後は窓を開け，磨いた玉で外の世界を照らすことで，大きな実りが得られ，それがめぐって，数学の豊かさに還元されることを期待しています．

参考文献

- [1] 北海道大学国際シンポジウム イノベーション創出と数学研究— 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して— 講演資料, 北海道大学大学院理学研究院数学部門, 2008 年 3 月 11 日

第6章 日本の数学研究者を取り巻く環境に関する調査結果

この章では日本の数学研究者を取り巻く環境について第6.2節から第6.5節で述べるように4項目について調査した。まず第6.1節では調査方法と調査結果の要点を述べる。第6.2節では、数学博士号取得者の大学の就職口数を日米で比較する。第6.3節では、ある私大の他分野1,2年次学生の講義の担当状況を報告する。第6.4節では、教員の講義担当コマ数(1,2年次共通教育科目)の分野別比較を行った。第6.5節では、全国の中規模大学からなる国立22大学法人¹の数学系教室がかつて行ったアンケートを分析した。

6.1 調査の方法と調査結果の要点

6.1.1 調査方法

まず、新規の数学博士号取得者の大学・高等教育機関・研究所への就職の数を日米で比較した。調査の結果、日本では米国と比べてなぜ研究教育職の数が少ないのかという疑問が生じた。米国では、新規の数学博士号取得者が大学1,2年次の講義担当者として多く採用されている点を考え、日本の状況の典型を見るために、一例として、ある有名私大における講義担当の現状をシラバス等で調べた。また、日本の大学の常勤数学研究者の大切な責務である大学1,2年次の他分野学生への講義の数について、東北大学のシラバス等を調査し、物理、化学の研究者と比較した。

これらの調査結果と「忘れられた科学 - 数学」[3, p.20-p.31]により、問題点が浮き彫りになってきた。

6.1.2 調査結果の要点

一言で言えば、数学研究者が必要とされている責務に対して、それを担うだけの十分な数の人材が大学で起用されていない。そのため、大学に所属する数学研究者の一人当たりの責務が大きくなりすぎており、一方、新規の数学博士号取得者は大学の就職先が限られているという構図が垣間見えてきた。各調査からわかったことを以下にまとめてみる。

日本においては、数学関係博士号取得者の就職先が限られている。「忘れられた科学 - 数学」,[3, p.20-p.31]では日本の数学博士号取得者は企業にあまり就職しないと指摘されている。今回のヒアリングでもそのような指摘はあった(第4.2.2節)。しかし、就職先として最も多いと思われた大学の数学教室への道でさえ、米国の1/10程度というのは衝撃であった。

日本においては、数学研究者の大学内の責務が他の分野より重くなっている。大学内の数学研究者の講義責務は他分野研究者に比べても多い傾向がある。また、中規模国立大学法人で現在またはかつて数学教室をもっていた22大学に対するアンケートの分析によると、中規模大学における数学研究者を取り巻く環境は悪化しており数学研究を行うことが難しくなっていることが浮き彫りになった。

日本においては、大学1,2年次の学生が、基礎的な数学を専任(常勤)の数学教員から教授される機会が限られている。既に在籍している常勤教員の責務を増やさずに非常勤教員を専任化する必要がある。大学教育において、数学専攻以外の学生にも質の高い数学教育の機会を提供することが重要なことは言

¹かつて理学部数学科があった中規模大学。具体的には、弘前大学、山形大学、茨城大学、埼玉大学、千葉大学、お茶の水女子大学、新潟大学、金沢大学、富山大学、信州大学、静岡大学、奈良女子大学、神戸大学、岡山大学、島根大学、山口大学、愛媛大学、高知大学、佐賀大学、熊本大学、鹿児島大学、琉球大学の22大学をさす。

うまでも無いが、日米の大学への就職先の数の比較や、首都圏のある私学の数学科の例から、日本では常勤の数学教員数が少ない事が分かる。なお、この議論は、大学院等における専門性の高い教育を担当する非常勤教員について述べているのではない。

以上から、大学の数学専任教員不足が、日本の数学研究環境悪化の負のスパイラル要因になっているとみられる。

6.2 日米の大学の就職口数比較

2005-2006年に米国の大学から数学専攻の博士号を取得した者の2006年秋現在の職は [AMS Notices, Feb. 2007] によると以下のとおりである。

職種	人数	割合
数学博士課程をもつ大学	343	27.6%
他の高等教育機関・研究所	328	26.3%
行政・企業	213	17.1%
米国外	127	10.2%
求職中・不明	234	18.8%
数学博士号取得者全員	1245	100.00%

まず米国における、数学での博士号の数(1,245人)の多さに圧倒される。日本における2005年度の数学の博士号取得者が154人(2005年度:「数学通信」2006年5月号による)であることを考えると、数学の博士号年間取得者数の日米の比率は、ほぼ、1:8の比率となる。

では、彼らに対して開かれている高等教育機関・研究所の研究職はどのくらいあるであろうか? 米国では、博士課程を有する大学とその他の高等教育機関・研究所に職を得た数学新博士は、671人(58.00%)である。この数字を日本と比較したいが、日本においては、完全な形で対応する統計は存在しないようである。しかし「忘れられた科学」(図表3-8)によれば、日本の2005年の数学博士取得者の就職率(すべての職種を含む)は、45-47%である。ここで、日本国内で、高等教育機関・研究所に職を得た数学新博士の人数を X とすれば、 $X/671 \leq (154 \times 0.47)/671 = 0.1078\dots$ という式を得る。このことは、日本で数学新博士に開かれている研究職数は米国と比較して、約10分の1であることを意味している。日本での就職者はあらゆる職種を含んでいることを考えると、実際には、さらに大きな差がある可能性が高い。

すなわち、日本に比べて米国では、高等教育機関(上記の表の、数学博士課程を持つ大学、他の高等教育機関・研究所)による数学研究者の需用が「桁違い」に多いといえる。これは、非常に多くの数学研究者が米国の大学で常勤の職をもち、多くの授業を教えていることを意味する。つまり、大学生の側から見れば、数学の授業を受けている学生が日本より格段に多いことが推定される。このことは、日本の若者の高等教育レベルの数学のリテラシーの将来に不安を抱かせる。

6.3 首都圏のある私立大学の例

以上により、我が国の数学研究者の主な就職先である大学に於ける数学教員数が米国に比べて著しく少ないであろうことがわかった。そこで首都圏の理工学部1学年約1000人の学生をもつ有名私学の平成20年度のシラバスを調べてみた。この大学は数学科1学年55名の学生をもち、また大学院修士1学年15名、博士1学年2名半を定員とする数学研究にも力を入れている大学である。実際1,2年次の理工学部すべての学生に対して併せて基礎数学²166コマ(1コマ1学期90分×15回)の授業を行っている。

しかし数学科教員は特任教員2名を含めて計14名しかいない。彼らは主に数学科の学部大学院の授業を受け持ち、学部115コマ、大学院83コマの他、1-2年次の上記166コマの内14コマも担当している。トップレベルの数学研究をしている人に対してこの責務は外国に比べても明らかに大きすぎるので

²一般的には共通教育科目、全学教育科目などと呼ばれる数学の講義

この 14 名ではとても $166 - 14 = 152$ コマも授業を担当できない．そこで大学はこの 152 コマをすべて非常勤講師に担当させているようである．

このことは、数学で博士号をとった研究者の大学への数学教育者としての就職先が米国に比べて著しく少ないことの原因と考えられる．一方、専任の数学教員が少ないということにより、学生が数学教員に質問できる機会が少なくなるなど数学教育面からも問題がある．数学博士号取得者を活かし、また大学での数学教育を強化するうえでも全学教育科目の数学担当の非常勤教員の専任化が強く求められる．各大学もこの点を考慮して十分努力する必要がある．

6.4 教員の講義数の分野間比較

最近はこの分野の研究者も忙しいので特に数学者だけということはないのではないかと、と数学者以外から言われることがしばしばある．しかし教員担当の講義数の面では数学の責務が物理や化学に比べて多くなっていることが分かった．数学の場合は、数学専攻以外の学生に対して(いわゆる共通教育科目、全学教育科目などと呼ばれる)学部 1, 2 年次対象の数学の講義をたくさん担当している．これは重要な任務であるが、物理、化学に比べて教員ひとり当たりの任務が極めて大きいことが以下の東北大学の調査から分かる．東北大学の理学部便覧及び講義一覧を基に平成 19 年度の教員数(理学研究科所属)、共通教育科目担当コマ数を数学、物理、化学の各専攻について調査した結果を表にまとめた．

	教員数(助教内数)	共通科目担当コマ数	一人当たり担当コマ数
数学	36(7)	40	1.11
物理	127(49)	44	0.35
化学	61(25)	40	0.66

ここで「ひとコマ」とは半年間 2 時間 15 回の講義を指している．東北大学については、雑誌「科学」[1] の 2006 年 12 月号の森田康夫教授の記事にもあるように、制度が異なった他年度についても数学専攻の責務が大きいことが明らかになっている．これについては北海道大学等でも同様な傾向がうかがえる．

このようになった一因は、1990 年代の教養部解体、大学院重点化のためではないかと推察される．それまで少なくとも国立大学では、共通教育科目を教養部系の教員が担当し、開講科目数と大学の規模に応じたルールにより一定数の教員が確保されていた．大学院重点化により、旧教養部系の教員は大学院も担当になった．このため数学に限らずどこも責務が増加した．しかし、旧教養部系教員ポストを多く引き継いだ数学においてはこの責務増加比率は、物理、化学よりもかなり大きくなっており、責務増加絶対量は物理、化学より格段に大きいと考えられる．同様の問題点は「忘れられた科学 - 数学」においても示されている ([3], p.29) ．

大学院重点化の後、国立大学法人化など様々な部分への競争原理の導入にともない、数学研究国際標準に必ずしもなじまないスタイルの、申請や評価関係書類作成が増加し、数学者の研究時間が大幅に減少したと考えられる．一方で数学者は責務の多さを大学に訴えてはきたものの、実験系分野に比べて外部からまとまったお金をとってこれない数学は、必然的に大学当局に大きな間接経費を持ってこれず、大学内での発言力も低下しがちなため [4, p.44-p.52]、数学者の研究時間減少に歯止めがかからないと考えられる．日本は米仏に比べ数学者の数が少ない ([3] 参照) が、研究者増強と、少ない数学者のもつ能力を有効に生かすための細やかな制度上の改善が急務である．

6.5 国立 22 大学法人数学系教室における研究環境の近況分析

この節では、科学・技術や社会への数学活用を行う際に日本の国立大学法人からの知的資源を活用するため、地方の中規模国立大学法人における数学研究環境の実情に対する一分析を行う．

序

欧米先進国では、数学研究と科学・技術との連携、さらには、社会への活用を睨み、地方の中規模大学でも数学科の中にそのような意識を持つ研究者をメンバーに加えたり、そのような目的を前面に打ち

出す研究組織を新設する等して、数学研究が地方活性化の一翼を担うことで、次の新たな時代の流れを見据えた地方発信型の発展に取り組んで来た。一方、ここ数年の地方の中規模国立大学法人の数学研究の環境は、数学研究の科学・技術や社会への活用を試みる余裕が無いどころか、基礎科学としてこれまで確立してきた数学の研究レベルを維持することすら厳しい状況に置かれていると言わざるを得ないようである。

IT 革命が謳われた時期の重要な社会の変化の一つに、先進国の産業形態の変化がある。すなわち、旧来の製造業からハイテク技術を駆使した製造業、遺伝子解析や製薬等のバイオサイエンス関連産業、ソフトウェア産業や金融産業などのサービス産業に移行した。ここ数十年の実績から分かるように、後者の産業を支える重要な役割の一端を数学は担い、これらの移行に成功した欧米先進国は経済競争の先頭グループを走っている。一方、日本でも上述の産業形態の移行は見られるが、様々な原因により(特に地方では)次の時代をイノベートする産業にしかるべき知識を持った人材が流れていない(人材不足)。地元の企業が数学を科学・技術や社会に活用しようとしたときに、地方の大学を活かしきれていないことが原因のひとつである、と言う地方経済界の人達もいる。

例えば、インドにおける IT 産業の成功はインドが伝統的に数学に強い国であったからだ、という報告をよく耳にする。上述の産業(以後、知的産業と呼ぶことにする)で、資金の無い地方が活性化し世界規模のグローバル・ビジネス展開を行ない、この数十年間の発展が目覚ましいのが、インドや中国等の新興国であろう。一方、日本経済は、平成 20 年 3 月 18 日の衆議院本会議の経済演説で大田弘子経済財政担当相が、「もはや日本は『経済は一流』と呼ばれる状況ではなくなった」と述べる程の状態にある。この理由の分析は、色々な専門家もしくは経済産業省によって行なわれているが、日本が知的産業へスムーズに移行できていないという事実は、その理由の一つとして挙げられよう。

今日、日本の経済的復活は地方の活性化無くしては不可能であると言われ地方分権が検討されているが、この流れに沿い本報告では文献 [2] を基に上述の観点から、日本の中規模国立大学法人として、国立 22 大学法人数学系教室懇談会(以後、22 大学懇談会と呼ぶ)における数学研究環境の現状分析を試みる。

数学研究環境の変化

国立大学の法人化後、国立 22 大学法人数学系教室における研究環境は、運営費交付金削減に対処するため、各国立大学法人の対策及びその方針により色々違った状況にあるのが現状のようである。このような大きな変化をもたらした要因の一つに、法人化とともに大学院重点化があり、この変化に関する調査を 22 大学懇談会がアンケート形式で行っている [2]。この調査は日本数学会平成 18 年度年会(中央大学理工)時の 22 大学懇談会で調査を開始することが認められ、平成 18 年度秋季総合分科会(大阪市立大学理)時の 22 大学懇談会で調査結果が報告されている。

この調査報告の時点では、主に大学院重点化を行った大学に大きな変化が見られるが、大学院重点化を行わなかった大学の幾つかでも調査報告後に大学院重点化が検討されていたようである。いずれにせよ、国立 22 大学法人数学系教室では、法人化後の予算削減や少子化の影響が大きく現れている。さらに、前者のグループでも、博士前期課程に重点を置くのか、それとも博士後期課程に重点を置くのかで違いもあり、また、大学院重点化の内容も調査報告後に学部積上げ型に進む大学と自然科学系統合型に進む大学に分かれる見通しであった。

大学院重点化を行った大学とそうでない大学での共通の環境の変化の主だったものを列挙し、各項目ごとに分析を行なう：

- (1) 予算削減の影響とみられる研究施設・設備及び研究者数(教員数)の合理化。

分析：国立大学法人化後は各大学のアイデアに基づきそれを実行する手腕に依るところが大であり、今まさに各大学がこの問題に取り組んでいる最中である。数学研究においては学術文献・図書が最も重要な研究施設・設備に相当することから、アンケートで特に記載が多かった学術文献・図書に絞って後述の(7)で扱う。

- (2) 基礎科学から応用研究への予算配分ウェートのシフト。

分析：国立 22 大学法人では、基礎科学から応用研究への予算配分ウェートのシフトが見られる。また、各大学の応用研究の具体的な分野を見る限り、地方経済もしくは大学に IT や金融と言った産業との連携

を意識した(序で述べた)産業形態の変化への対処が見られないために、これを支える基礎科学である数学研究の重要性の認識が浸透していないように思われる。

(3) 大学教員における研究・教育以外の業務のウェートの増加。

分析：大学は研究・教育を行なう機関であり、教員は本来その研究・教育に従事すべきであるが、最近では研究・教育以外の教務のウェートが増しているようである。たとえば、国立大学法人化後、研究費獲得のための申請書類作成に十分なサポートを得られない国立大学法人では、各研究者の書類作成業務が増え、さらに、法人化による事務プロセスの変化により、新たな事務書類作成業務なども発生しているようである。イノベーションを創出している国内外の大学の多くでは、研究に専念できる環境を用意し、さらに次世代のイノベーション創出を担う若手研究者の育成に専念できる環境と予算が注ぎ込まれており、この好循環をより多くの大学でも作り出す工夫が必要であろう。

(4) 人事等における学長の経営判断の強化による各大学の個性化の影響。

分析：国立大学法人化により、各大学が個性を伸ばす機会が与えられることとなったものの、経営判断のみでは各研究分野の実情まできめ細かく反映されないこともある。特に、数学研究においては、小さな研究グループあるいは個人研究者の単位であっても、他大学とのネットワークを築くことで数学研究に貢献して来たが、数学研究者の人数の減少や研究・教育以外の業務の増加により、ネットワーク形成も難しくなりつつある。このような各地方の研究者を結ぶネットワークを活性化することで、各地方に散った数学研究者をイノベーション創出に活用するシステムを構築する必要があるであろう。

以上のような変化の他、さらに、大学院重点化を行った大学では、組織構成にかなり大きな変化が見られる。それらの変化を列挙し、各項目ごとに分析を行なう：

(5) 関連する異分野の統合等による組織形成。

分析：数学系単独組織としての存続が不可能となり、関連する異分野が統合された組織形成が行なわれている。関連する異分野組織の統合が、本当に連携し合い数学研究が有効に働き有益な成果がでるようなシステムが考案され支援が行われているのか、それとも、将来に対するビジョンも無く単に合理化のために寄せ集められただけなのか、と言った点に関して、今後、各国立22大学法人から出てくる成果が、どの方面にもたらされているのかを詳しく分析し、特に数学に関しては、地方を活性化するような基礎科学として保持され、それが活かされ将来の地方発展に繋がるのかを分析する必要があるであろう。

(6) 学長のマネジメント能力強化の必要性。

分析：人事権限のみならず、イノベーション創出のための予算投資先を決定する権限も学長が持つので、次の時代への流れを読み、シーズを見つけ、そのシーズを育てるための組織を創り、予算を組むという民間企業的な研究開発マネジメントの能力が学長には要求される。したがって、国立大学においてイノベーションを不断に創出するには、学長のマネジメント能力を補うシステムが必要となるだろう。

(7) 学術文献・図書環境保持の困難。

分析：他の科学・技術や知的産業と連携し、さらに、それらを支援する数学連携を考えた場合、数学自身の発展のために行なって来た数学研究以上に学術文献・図書の必要性が増す。冊子体として保持するのみならず、電子ジャーナルとして保持するにしても、その費用負担は国立22大学法人においては厳しいものがあるようだ。この点に関しては、地方での知的産業界の活性化のためのインフラ整備という位置付けで捉え、全国ネットワークでの利用方法を含めた検討策が必要に思われる。

(8) 予算削減の中での大学院教育重点化による、研究から教育への人員・予算のシフト。

分析：知的産業における技術の進歩の速度は、非常に速く、この速さに地方産業界が付いて行くためには、常に最新の知的技術に触れる機会が提供されていなければならない。また、この知的技術は知的

財産権で保護されている可能性が高いため、知的財産権に抵触することなく地元産業界が安心して使用できる保証が与えられなければならない。これらのチェックを行なう場所という意味でのインフラ整備を行なえるのも、国立 22 大学法人の学術文献・図書施設である。従って、大学は常に最新の研究成果を把握し、それを大学の外に還元するための教育を行ない人材を育成せねばならない。大学院で専門知識を持った人材を育成し社会に送り出すための教育には、専門研究分野を教育するという意味の教育と、社会の中で活躍できる人材を育成するための、メンタルケア、倫理観教育や社会教育等の幅広い意味の教育も必要となる。例えば、IT に関する人材育成に関して、学部教育にはなるが、高校の教科『情報』の第一種免許取得のために文部科学省が必修として『情報化社会及び情報倫理』さらに『情報と職業』の単位取得を課しているのもそのためであろう。高度な専門知識を持った人材が、社会にもたらすイノベーションを社会にとって好ましいものとするためには、後者の幅広い意味の教育が重要なものとなる。この後者の意味の教育は本来専門のスタッフによるべきものであるが、国立 22 大学法人ではこのスタッフの確保が十分にできず、専門研究分野を教育すべき教員が行なうのが現状のようである。このような状況は、研究・教育に専念するべき教員にとっては負担の増大となってしまっているばかりではなく、後者の重要な教育本来の目的を達成できない可能性すらある。今後の健全な社会発展のためには、何らかの改善策が検討されるべきであろう。

以上、国立 22 大学法人に見られる主だった変化を挙げ、それらの分析を試みたが、これらの変化の根底には日本全体が直面している人材不足や社会・産業界と大学の連携等と言った問題点 [5] も見え、必ずしも国立 22 大学法人特有なものとは言えない。

[2] に基づくデータ

本報告書を作成する上で参考にした文献 [2] にあるデータは、以下のようなものである。

基本的質問内容：

- Q1. 貴大学は大学院重点化の方向にお進みですか？ 大学院重点化が予定されている (もしくは終了している) 場合、その進行具合 (もしくは導入過程)、組織構成、さらには問題点をお教え下さい。
- Q2. 貴教室において大学院生、博士前期課程、博士後期課程の定員数およびその充足に関する問題点をお教え下さい。
- Q3. 貴大学において大学院重点化に伴う予算配分の変化についてお教え下さい。また、貴教室に対するその影響をお教え下さい。
- Q4. 貴大学の大学院重点化後の教育・研究組織に関するヴィジョンをお教え下さい。

が質問項目で、アンケートの回答には、これらの質問にさらに国立 22 大学法人の当時の状況を記した大学もある。

回答を寄せているのは、20 大学 21 数学系教室である。

参考文献

- [1] 科学 12 月号, 岩波書店, Vol.76, (2006 年)
- [2] 平成 18 年度 22 大学懇談会アンケート (第 1 回), 国立 22 大学法人数学系教室懇談会作成
- [3] 細坪護学, 伊藤裕子, 桑原輝隆: 忘れられた科学 - 数学, 文部科学省科学技術政策研究所, POLICY STUDY No.12, 2006 年 5 月, <http://www.nistep.go.jp/achiev/abs/jpn/pol012j/pol012aj.html>
- [4] 文部科学省科学技術政策研究所 (編著): 数学イノベーション, 工業調査会, 2007 年
- [5] ・NHK 新BS ディベート, どうなる科学技術立国ニッポン, 2008 年 3 月 30 日放送 (<http://www.nhk.or.jp/bsdebate/0803/data1.html>)
・NHK クローズアップ現代, ソフトウェア危機 ~ 誤作動相次ぐハイテク製品 ~ ,

- 2008年2月5日放送 (<http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku2008/0802-2.html>)
- ・NHKクローズアップ現代, グローバル競争時代 揺れる“技術立国”【1】変わる“企業”変わる“人材”,
2008年4月1日放送予定 (<http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku2008/0804-1.html>)
 - ・NHKクローズアップ現代, グローバル競争時代 揺れる“技術立国”【2】問われる大学,
2008年4月2日放送予定 (<http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku2008/0804-1.html#wed>)

第7章 結論

7.1 現状とその問題点

本報告書の第2章から第6章に詳述されている調査の過程で以下の問題点が確認された。

- 数学関連の研究所の「設立ラッシュ」は今も海外で続いている。たとえば、スペインでは、今年、一度に4つの数学研究所が新設される。また、比較的新しいアジアの研究所（たとえば、韓国のKIAS）は順調にその活動を伸ばしている。一方、日本では約50年間、国の主導による独立した数学中心の研究所は設置されていない。また、数学研究所を有効に運営するためには、日本の現在の諸制度は立ち遅れている。（第2章「諸外国動向調査」参照）
- 数学分野では、国内で発行されるジャーナルもしくは大学紀要においても、世界レベルの論文が多数出版されているが、戦略的な合従連衡と寡占化および高度情報化の進む学術出版の潮流にあって、学術出版のプロではない数学研究者が意志決定を行うこれらジャーナルの出版モデルが立ち遅れつつある。同時に、現在の大学組織における研究基盤整備の状況は、寡占的出版社との契約こそ改善されつつあるが、数学研究にとって死活的に重要な中小規模ジャーナルに関する契約体制を戦略的に整えようとする要素が存在しない。また、学際的・分野融合的な研究基盤としての高度な情報サービスを設計かつ実装する主要な母体であるべき大学において、個々の研究環境よりも管理効率を優先することで研究基盤整備が不十分となる傾向にある。（第3章「数学研究に関する情報集積状況調査結果」参照）
- (i) 分野間コミュニケーションの不足、(ii) 出会いの場の不足、(iii) 時間の不足という「3つの不足」が我が国の数学と諸科学との連携の進行を阻んでいる。数学と他分野の連携が成功するためには、まずは相手の問題に心底興味もてるかどうか、にかかっており、上記の3つの不足が解消されなければ成功は難しい。（第4章「数学研究と他分野等の連携に関する事例調査結果」参照）
- 数学と諸科学との連携が科学技術の発展にとって、また、数学そのものの深化のためにも重要であるとの認識は、行政・産業界・大学行政人・数学に関連する研究者の間で今までに広く共有されている。そして、実りある成果を出している連携も少なくない。また、数学と産業界との連携、数学と諸科学との連携に向けての新しい試みがあちこちで始まっている。しかし、全体としてのひとつの方向性をもった大きなうねりを生み出すには至っていない。（第5章「数学研究の振興政策に関する調査結果」参照）
- 我が国の場合、外国や他分野研究者と比べて数学研究者の大学内の責務は重い。全般的に責務の量に対応するだけの数学研究者を配置していない大学が多い。このことは、他分野学生への数学教育の質の低下を招いたり、数学博士号取得者の大学への就職数が米国に比べて1/10程度と少ないことの原因となっている可能性が高い。（第6章「日本の数学研究者をとりまく環境に関する調査結果」参照）

7.2 数学研究と他分野等の連携から成果を生み出すための基本的考え方

前節で指摘されたように、十分に上質な「コミュニケーション」と「場所」と「時間」を確保することが基本的な考え方となる。

- 他分野の研究者が数学研究者に容易に接触できる場所と時間が必要である．そのために接触の窓口を務める数学研究者が必要である．その役割は極めて重要であり，異分野連携のための種々の調整という責務を果たすための時間を確保するため，専従で行う必要がある．特に対産業の場合は必要性が高い．どの数学を活用したらよいのか，どの数学研究者に接触したら良いのか分かりにくいという他分野研究者の声を，数学研究者は重く受け止めるべきである．
- 他分野の研究者と数学研究者が協働する場所においては，固定的なテーマを長い期間，同じメンバーで行うことは避けるべきである．なぜならば，新しく登場する重要なテーマに対して，機動的に対応する必要があるのみならず，ある分野の問題を数学的に考察し抽象化することにより，さまざまな分野に爆発的に応用される可能性があることを過去の歴史が示しているからである．また，連携を考える場合であっても，数学に「純粹」，「応用」と色をつけて奨励するのは賢明ではない．このような壁を作ることは，新しい数学の成果を社会に生かす上で妨げになる（第 2.3.2 節参照）．
- 我が国の場合，外国や他分野研究者に比べて数学研究者の大学内の責務が重い（第 6 章参照）．したがって，わが国で数学-他分野連携を進めるには，後述の提案にあるような人材流動化のための方策を活用して，連携に参加する数学研究者の大学の業務を軽減する工夫が必要である．それにより，他分野とのコミュニケーションや研究に必要な時間を確保し，また，人材の移動を容易にすることによって，優秀な専門家を結集する場所を形成することができる．
- 数学研究者と他分野研究者の間のコミュニケーションは，一種の異文化コミュニケーションであって，話が通じるようになるまでには，長い時間と忍耐を要する．また，すべての分野に開いている垣根の低い研究姿勢と，共通の学問基盤が双方に必要である．そのためにも数学研究者はもっと他分野に興味を持つべきあり，他分野研究者はしっかりした数学の基盤をもつことが必要である．
- 数学-他分野連携研究において，それを支える数学そのものの深化が重要な事は言うまでもない．米国の国立科学財団 (NSF) でも認識されているように，将来，どの数学分野が他分野のイノベーションの鍵となるかを予測することは困難である (オドムレポート [4]，「忘れられた科学 — 数学」 [3] 参照)．我が国の数学研究者は数学研究の多様性の意義と価値を認め，主要な数学分野全体の振興を引き続き行なうと共に，社会全体に広く理解を求めていく努力が必要である．

7.3 諸科学・産業技術のイノベーション創出の鍵となる数学研究振興のための提案

- 我が国に，様々なタイプの複数の数学国際研究所を設置することを提案する．まず「年次別課題 (スペシャルイヤー) 方式」すなわち，第一線の研究者からなる委員会の助言指導の下で毎年先駆的課題を選定し，その課題ごとに世界から最高水準の研究者を集めて特定の (半年から 1 年間程度の) 中期間に集中的に研究を行なう方式の中期滞在者主体プロジェクト型研究所 (以下，滞在型研究所 と略) の設置を提案する．我が国では組織的にはあまり取り組まれてこなかった「数学 他分野連携研究」を目的とした上述の滞在型研究所の設置が急務である．また，連携を支える「多様な数学研究」の深化発展をねらった滞在型研究所も必要である．さらに，第一線研究者委員会を選定した参加者と焦点を絞ったテーマを対象とする，週替りの国際研究集会を行なう短期研究集会型研究所の設置が非常に重要である．また，多くの一流訪問研究者をひきつける，常勤研究者主体の非プロジェクト型研究所設置も効果的である．各研究所には，外国人研究者や海外研究機関などに対応しうる強力な支援組織が必要である．数学研究者は団結して，その設置に向けて努力すべきである．

我が国にはこれまで，数学が中心の，他分野連携が目的の研究所や上述の滞在型研究所はなかった．近年，他分野や国際的視点から需要が増え，数学に対する期待が高まっている．2007 年には

物理主体の研究所「数物連携宇宙研究機構」が東京大学に発足し、数学研究者も加わるなど他分野主体研究機関に数学研究者が参加する例が現れてきた。しかし数学の可能性を最大限生かすためには、このようにテーマを固定した他分野主体の研究機関に数学者が参加するだけでなく、複数の様々なタイプの数学中心の国際研究所を設置することが必要である。

数学研究を軸とした他分野とのイノベーション創出では、新学際領域創生のための探索 (exploration)・開拓が鍵であり、連携する分野を恒常的に固定せずに、異分野研究者との時間をかけた忍耐強いコミュニケーションを醸成する場所を作ることが重要である。そのため、まず「数学 他分野連携研究」志向の数学国際滞在型研究所を国内に設立することが急務である。また、いかなる数学も他分野に活用されイノベーションを引き起こす可能性がある今日、「多様な数学研究」の深化発展を目的とする滞在型研究所の設置も重要である。これらの滞在型研究所設置の際は、外国人が中長期に滞在しやすい場所を選ぶ必要がある。また、大学数学系教室の近くに設置することで、数学研究に不可欠な数学図書室の共同利用や、研究支援ノウハウの獲得・共有ができるだけでなく、研究所滞在者や訪問者が日常的に数学研究者と接触する機会が増加し、偶発的連携の展開が期待できる。さらに最先端のタイムリーなテーマについて、週替りで一流研究者を集めて国際研究集会を行なう短期研究集会型研究所の設置は非常に重要である。テーマ及び企画・組織運営を行う研究者グループを第一線の研究者からなる委員会が、公募と審査を経て選ぶシステムは効果が高い。自然環境に恵まれた場所にある海外の有力数学研究所は、インスピレーションを受けやすいだけでなく、お互いの価値観を素直に語り合えるという点や、研究に集中できる点が評価されていて参考になる。外国人訪問者のためには主要空港からのアクセスがよいことが好ましい。

一方、多くの一流訪問研究者をひきつける、常勤研究者主体の非プロジェクト型研究所設置も効果的であり、世界中から著名な研究者を長期間雇用できることが必要である。

これらの研究所の機能は現在日本にほとんどないが、諸外国において非常に効果的に機能していることから、日本におけるイノベーション創出のための数学研究の振興に必要である。第2章のインタビュー対象者のほとんどが、すでに高い研究のポテンシャルを有している日本に、数学中心の研究所が設立されることを期待している。近年の海外の数学研究所の「設立ラッシュ」と、日本の人口・経済規模を考えると、複数の設立が必要である。我が国の数学研究状況に詳しいIHES 所長の Bourguignon 教授は、数学研究の広範な分野への応用の可能性やその多様性を考えると、我が国には IMA のような滞在型研究所や MFO のような短期研究集会型研究所をはじめ、様々なタイプの数学研究所が5つくらいあるのが自然であり、また、一ヶ所に全ての機能を集めるのは好ましくないと述べている(第2.3.2節参照)。ただし海外有力数学研究所の活動調査から分かるように、研究所の主要な機能や方向性が異なるなかで、一部の任務が重なることを妨げてはならない。また PIMS 次期所長の Adem 教授は、数学研究拠点を国内の様々な地域に置く利点に触れ、各研究拠点がそれぞれの研究分野、独自の観点、使命に基づき研究を促進することとなり、これが多様性であり、大きな力となると述べている(第2.3.1節参照)。

数学研究にはとりわけ継続的な思索時間が必要である。このような研究所では、継続的に深い思索や討論が出来る環境を研究者に提供できることが成功の条件と言える。そのためには研究成果を最大限にあげることを至上の目的とした、国際業務に対応できる高度な研究支援組織が不可欠である。日本を含め世界の数学研究には、かつての日本の大学の一部の小講座制のように若手研究者が研究支援も行う慣習は昔からなく、若手も独立して研究を行ってきた。したがって、研究者の要望に個別に対応できる支援組織の充実が重要で、研究活動に大きく影響する。これらの支援業務は専門性が高く人材育成に時間がかかるので、この人員は本採用後、長期にわたり働けるようにすべきであろう。

新学際領域の探索・開拓は数学関連の研究所の重要任務のひとつである、と NSF 数理科学課前課長の Rundell 教授は述べている(第2.3.6節参照)。研究開始当初は予期不能かもしれない、質の高い新融合分野創設や新プロジェクト生成を促す環境を提供できるかどうかは、数学中心の研究所の実力のひとつと考えられ、国際的認知度向上につながる。その場合、達成目標が明確な研究プロ

プロジェクトに適した制度設計と同様のものが必ずしも適するとは限らない。特に、どの数学分野が他分野のイノベーションを引き起こすか予測が難しいため、必要な時に優れた研究者を迅速に招聘できることが重要になる。大学の戦略や方向性の違いや利害関係等を越えて、全国の数学研究者、数学系教室および所属大学の協力が大きい程、よい成果が期待できる。研究所が大学の通常の付属機関であると、滞在者や訪問者の招聘や支援業務の分担、業績評価等に関して大学間の調整に時間がかかり、研究所の迅速な運営に支障をきたす可能性がある。研究所は大学構内設置であっても、その運営は各大学と等距離に行える配慮が極めて重要である。本調査対象の海外有力数学研究所は、ほとんどが(大学構内に設置されている場合でも)大学の付属機関ではなく、大学とは独立した運営を行っている。運営等の主要な資金を、国が直接研究所に支給しているケースが多い。

第2章で分析したが、これらの研究所は大規模実験施設をもった他分野の研究所に比べてはるかに経費がかからない。数学研究者は団結して上述のような研究所の設置に努力すべきである。

- 上記で提案した新研究所が我が国の科学技術に大きく貢献できるようにするために、研究所・大学・産業界の間での研究人材の流動性促進のための制度の改善やより弾力的な運用を行う必要がある。その際、大学において他分野より多くの責務を担う数学研究者の研究時間の確保に配慮が必要である。一方、数学研究者は、数学特有の事情を大学等に訴える必要がある。

新しい研究所に、我が国の大学等の数学研究者の長期滞在を容易にするような制度が必要である。特に数学研究者が参加する場合は、その研究者の所属大学の数学教育の質を落とさずに研究活動を活発化させ、人の流動化を促進する下記の方式を必要に応じて導入することが望ましい。

例えば、Y研究所では、特定の分野に絞って世界から専門家を集め、1年間集中的に研究することによって、その分野の大きな進歩を目指す「年次別課題方式」による1年間のプロジェクトを計画していて、X大学に所属するA氏という数学研究者に、主要メンバーとしてY研究所に1年間滞在して欲しいと思っているとする。しかし、A氏がX大学からY研究所に所属を変更し、その1年後にX大学に戻るといふ、いわゆる転籍・転出・転入の手続きは、大学・研究所間においては、現実にはほとんど行われていない。その理由についてはさらなる分析が必要であるが、現在、大学を越えた中期間の人材移動が十分でないことは事実である。

そこで、ひとつの解決策として、A氏の所属はX大学のまま、Y研究所に1年間赴任し、その間、Y研究所は、組織としてのX大学にA氏の給与相当分を支払い、Y研究所滞在中のA氏の給与は、X大学が引き続き支払うという方式が考えられる。数学研究者の場合は、所属するX大学で他分野研究者に比べ、全学教育等で大きな責務を担っている事が多いので、Y研究所からX大学へ支払われるA氏の給与相当分は、Y研究所からX大学への「研究協力金」として理解することもできる。これによりA氏の所属するX大学は新たに優秀な数学研究者を1年間雇用するなどして、研究教育活動のレベルを落とさないようにすることができる。なお、この制度の適用にあたっては、X大学のA氏の役職などやY研究所の責務に応じて柔軟に運用されるべきである。

以上は米国を中心に行われているリプレースメントパイアウトの考え方(「米国の数学振興政策の考え方と数学研究拠点の状況」[2, p.10])や長期出張とみなす考え方(第2.3.6節参照)を参考に我が国の現状に合わせた提案である。この方式の導入により所属する研究機関の枠にとらわれず、研究者が動き回り、人材の流動化を図ることが日本でもできるであろう。また、研究所にとっては、招聘できる人材の選択範囲が大幅に増えるメリットがある。

第4章の識者ヒアリングの指摘にある「研究者が複数の機関で働きやすい制度をアカデミアにもっと導入し、人材を柔軟に雇用できるようにしていく必要もある」(第4.2.5節参照)に対する一つの答えになるのではないか。(北海道大学では所属しているA氏を国内他機関に長期滞在させるなど実験的な試みを行っている。)一見、技術的で細かい事に見えるが、わずかな制度上の違いが全体の効果に影響しうるので、運用しつつ常に現場の声を聞き、修正と改善を行う必要がある。

一方、我が国でも、他分野に比べて数学研究者の流動性が高いことが分かっている(シンポジウム

講演資料 [1])。流動化促進のために何が必要かについて国際スタンダードに明るい数学研究者は、数学特有の事情も含めて大学当局に良く説明し、制度の弾力的運用を粘り強く訴えるべきである。

- 数学は小さな研究機関でも運営次第で有力な研究者が活躍できる。しかし近年の大学の運営形態では、中小規模大学ならではの特徴を活かした研究活動が不可能になりつつある。このことは、数学研究の多様性を損ね、科学技術におけるイノベーションの基盤を弱くすることにつながる。そこで中小規模大学の数学研究者が研究を続けられる方策が必要である。また、大規模大学の数学系教室は中小規模大学の数学研究者に研究上の便宜を提供し、協力関係を築くことにより、双方の研究のシナジー効果を図るべきであろう。

国立大学の法人化後、中規模国立大学法人数学系教室における研究環境は、各大学が個性を伸ばす機会が与えられることとなったものの、経営判断のみでは各研究分野の実情をきめ細かく考慮した運営が行われないこともある。特に、数学研究においては、小さな研究グループあるいは個人研究者の単位であっても、他大学とのネットワークを築くことで数学研究に貢献して来たが、数学研究者の人数の減少や研究・教育以外の業務の増加により、ネットワーク形成も難しくなりつつある。このような各地方の研究者を結ぶネットワークを活性化することで、各地方に散った数学研究者をイノベーション創出に活用するシステムを構築する必要があるであろう。中小規模大学数学研究者は結集して、外から分かり易いセンターを組織する等、数学研究教育の重要性を学内や地域に根気強く説明していく必要がある。(ドイツの小規模大学は研究環境が良くしばしば一流の数学研究者がいてその地方の知名度を上げている。)大学執行部も数学研究者の能力を十分生かすために、一律ではなく、責務の分量に十分配慮したきめ細かい運営をすべきである。また、大規模大学の数学系教室は中小規模大学の数学研究者が研究活動を続けるために必要な文献を提供するなどの研究上の協力体制を構築すべきであろう。

- 研究資源を有効に活用し、研究者に必要な文献情報の提供など研究環境を充実させるサービスについて、科学的・数学的手法を用いた根本的分析や開発研究、様々な具体案の提示を行う体制を早急に構築する必要がある。これは典型的なサービス・サイエンスの研究課題であろう。

例えば、数学分野に多い国内外の中小規模有力国際学術雑誌について、どこがどれを購入し、どのようなコンソーシアムを組むと研究者にとって効果的なのかという購読モデル案や、大学などの研究機関や学会発行の国際学術雑誌の世界へ向けての情報発信力強化をねらった出版モデル案を考案する体制を確立することは急務である。数学分野で国内で発行される大学の紀要を含む国際学術雑誌の国際的な存在感は大変大きいことを考慮すべきである(第3章)。

これらのモデルの考案のために、数学的手法を用いた開発研究は大変有効であろう。いずれも数学研究者コミュニティだけの議論には限界があるので、学問分野や研究機関の壁を越えた開発研究と実践が重要である。この過程では、研究基盤を構築しうる専門家群、すなわち研究組織と事務系組織双方とコミュニケーションを成立しうる組織の構成員を、数学に限らず養成し続けなければならない。このような専門家は、日本においては極めて薄い層でしか存在しないからであり、体系的に輩出する状況ではないからである。

研究基盤のあり方は分野によって異なることは言うまでもない。数学図書室は数学研究にとって重要な基盤である。そして数学と他分野連携のためには、それがどこであるか事前には予測不可能な連携対象分野の情報を電子的に網羅した学術情報基盤である新たな「図書室」を構築し、数学の情報基盤としての「図書室」と電子的シームレスに利用可能とすることは極めて重要である。大学などの研究機関は研究環境を提供する際、現在のような一律管理型対応ではなく、研究者の能力を最大限引き出すことを目指した戦略的対応を取り入れるべきである。

- 他分野研究者がしっかりした数学的基礎を持つことは、数学研究者と他分野研究者の間の深いコミュニケーションに必須である。そのため、大学において、数学科

以外の学生への数学教育の質の向上は極めて重要である。日本の大学では(いわゆる理工系であっても)大学1,2年次向けの基礎的な数学の教育のために専任の数学教員をほとんど置かずに非常勤講師主体で済ませている場合があるが,学生の質問にいつでも答えられる環境を整えるためにも常勤の増強は重要であろう。この際,既に常勤として勤務している数学研究者の責務を増やさずに行うことが大前提である。

数学者と他分野研究者の間の「異文化コミュニケーション」を可能にするためには,双方がしかるべき共通のバックグラウンドをもつことが必須である。数学者が他分野に対して垣根をつくらず興味をもてる姿勢も大切である一方,他分野研究者がしっかりした数学的バックグラウンドを持つ必要がある。そのために,数学科以外の学生の学部教育は将来のために重要である。しかるに,近年,専門教育の開始が早まっていることもあり,数学科以外の学生で数学系科目を受講する者の数が減少している。このことは,多くの数学科以外の学生にとって大学レベルの数学に接する機会が乏しいことを意味し,将来の日本全体としての数学的基礎の厚みに不安を抱かせる。また,第6.2節にあるように,米国では,トータルの大学数学教員の数が日本より桁外れに多い。なぜ,このようになったかについては中等教育の背景の相違(米国では,日本の高校レベルの数学を大学で学ぶケースが多いなど)があるが,日本の中等教育は,近年かなり米国型に近づいている,と思われる。その意味で,大学の数学,特に共通教育科目,全学教育科目などと呼ばれる大学1,2年次向けの基礎的な数学を将来の日本の科学技術を担う若者に,常勤の数学者が責任をもって,論理的にしっかり教える,ということが大切である。それなくしては,数学研究者とのコミュニケーションが困難になる可能性がある。一方,大学の数学教員の側も,受講者に応じた適切な内容の授業を行うべく,授業の質の改善に努めるべきであることはいうまでもない。

- 高度な数学力を持った視野の広い学際的研究者を育成することは,数学研究者と他分野研究者が広く深いコミュニケーションをもつために必須である。例えば前述の提案にある滞在型研究所などに,大学院生や若手研究者が参加する機会を増やす必要がある。その際,強制ではなく主体性を持って,他の科学や技術との連携に取り組める様な配慮が大切である。

数学者と他分野研究者の間の「異文化コミュニケーション」を可能にするためには,すでに指摘したように数学者と他分野の間の垣根を低くし,数学者が他分野の問題に心底から興味をもつことが必須である。そのための特効薬はないが,できることは,数学者が他分野の諸問題に深く触れる機会をできるだけ多くすることであろう。そのための提案として,上記の研究所で定期的に(毎回異なるメンバーの)関連分野・関連企業の研究者と研究所の数学者が集い,興味ある数学の問題について自由に語り合う場をもつことが考えられる。所属機関からの義務を離れ,研究所に滞在している数学者の視野を広げることができるであろう。また,新たなテーマを探している数学者にとっても,このような場に参加することは良い機会になると考えられる。また,大学院生などの若手の教育としても,研究所で他分野の諸問題に深く触れる機会をもつことは,他分野や応用への垣根を低くする教育効果があり,将来の彼らの異分野コミュニケーションを容易にすることが期待される。したがって,滞在型研究所は様々な分野を専攻する大学院生や場合によっては学部生が日常的に簡単に参加できる場所に設置する必要がある。特定の研究者しか集まらないような所に閉じた形で滞在型研究所を設置するのは人材育成の面で効率的とは言えない。

- 海外では,数学研究者・博士号取得者と,産業界や他分野研究者との共同研究が,近年飛躍的に増加している。科学技術創造立国を目指している我が国でも,数学に対する潜在的需要が非常に多いと推定されるが,依然,少数の先駆的な例にとどまっている。数学関係者は,産業界や他分野研究者さらには社会全体に,数学および数理的思考の重要性を粘り強く訴えていくと共に,数学研究者・博士号取得者との様々な効果的な連携方法を提示していく必要がある。例えばカナダの例(MITACS)の様な,多様な分野の数学研究者がネットワークを組み,そこに産業

界や他分野の研究者が参加していく方法を、我が国の事情にあわせて構築することは有効であろう。

数学研究者はこれまで一般市民向けの啓蒙活動や高校生向けの教育活動に力を注いできた。これに加え、産業界や大学関係者に対して、科学や技術の背後に潜む数学的構造に取り組むことの意義や、数理思考力の重要性を解説していくと共に、数学研究者・博士号取得者のもつ視点や思考スタイルの特徴等を説明し、効果的な数学関係者との連携を行なえるよう啓蒙活動を行なう必要がある。なぜなら、例えば工学系博士号取得者と同様の仕事を同様のスタイルで数学博士号取得者に依頼することは、賢明ではないことが多いからである。産業界や他分野の課題が必要とする数学は多岐にわたる可能性が高いので、質の高い連携研究を行なうためには、多様な分野をカバーする優秀な数学研究者の集団が必要となる。数学研究者のポスト数が限られている我が国では、ネットワークを組むなどの工夫が必要である。

- イノベーション創出のためには既に述べたように、数学研究者の増強の必要性は言うまでもないが、数学研究者の能力を最大限に生かすことが重要である。そのためには、数学研究者でなくてはできない活動に数学研究者が専念できるように強力な研究教育支援組織を作るべきである。

フランス高等科学研究所 (IHES) では、近年、分子生物学との連携研究などでも成果を挙げているが、ここでは、専任教授 11 名、ポスドク研究員 12 名に対し、技術スタッフや運營業務スタッフなど研究補助業務から広報・資金獲得まで勤める支援員 35 名をフルタイムで雇用している (第 2.3.2 節参照)。研究支援人員数を公表している所は少ないのでこれは極端な例かもしれないが、大学のように学生を持たない機関にもかかわらず、これだけの数のスタッフがいることは、数学研究者に、彼らにしかできないことに専念してもらう体制作りが如何に重要かを物語っている。

参考文献

- [1] 北海道大学国際シンポジウム イノベーション創出と数学研究— 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して— 講演資料, 北海道大学大学院理学研究院数学部門, 2008 年 3 月 11 日
- [2] 細坪護拳, 桑原輝隆: 米国の数学振興政策の考え方と数学研究拠点の状況, 文部科学省科学技術政策研究所, 調査資料 No.131, 2006 年 10 月 (<http://www.nistep.go.jp/notice/nt061024.html>)
- [3] 細坪護拳, 伊藤裕子, 桑原輝隆: 忘れられた科学— 数学, 文部科学省科学技術政策研究所, POLICY STUDY No.12, 2006 年 5 月 (<http://www.nistep.go.jp/achiev/abs/jpn/pol012j/pol012aj.html>)
- [4] The Senior Assessment Panel for the International Assessment of the U. S. Mathematical Sciences, (The “Odom Report” National Academy of Sciences), March 1998 (<http://www.nsf.gov/pubs/1998/nsf9895/nsf9895.pdf>)

第II部

參考資料

第8章 諸外国動向調査参考資料

8.1 数学研究所について

8.1.1 調査対象候補になった数学研究所リスト

American Mathematical Society [4] にある世界各国の数学研究所のリスト [9] およびアジアの数学研究所などから今回の調査委員会で調査対象候補になった研究所のうち設立年を調べることができた研究所を設立年の順で並べると以下ようになる。このリストが数学研究所の全てでは無いことに注意して欲しい。

1. Mittag-Leffler Institute, Stockholm, Sweden, 1916 年設立, <http://www.mittag-leffler.se/>.
2. Institut Henri Poincaré (IHP), Luxembourg, France, 1928 年設立, <http://www.ihp.jussieu.fr/>
3. Institute for Advanced Study (IAS), Princeton NJ, USA, 1930 年設立, <http://www.ias.edu/>.
4. Courant Institute of Mathematical Sciences (CIMS), New York NY, USA, 1935 年設立, <http://www.cims.nyu.edu/>.
5. St. Petersburg Department of V.A. Steklov Mathematical Institute (PDMI), St. Petersburg, Russia, 1940 年設立, <http://www.pdmi.ras.ru/>
6. Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach (MFO), Oberwolfach, Germany, 1944 年設立, <http://www.mfo.de/>
7. Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), Rio de Janeiro, Brazil, 1951 年設立, <http://www.impa.br/opencms/pt/>
8. Institut des Hautes Études Scientifiques (IHES), Bures-sur-Yvette, France, 1958 年設立, <http://www.ihes.fr/>.
9. 数理解析研究所 (RIMS), 京都, 日本, 1963 年設立, <http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/ja/index.html>.
10. Centre de Recherches Mathématiques (CRM), Montréal PQ, Canada, 1968 年設立, <http://www.crm.umontreal.ca/index.shtml>
11. Stefan Banach International Mathematical Center (BC), Warsaw, Poland, 1972 年設立, <http://www.impan.gov.pl/BC/>.
12. Centre International de Recontres Mathématiques (CIRM), Marseille, France, 1977 年設立, <http://www.cirm.univ-mrs.fr/index.html>
13. Max-Planck-Institut für Mathematik (MPIM), Bonn, Germany, 1980 年設立, <http://www.mpim-bonn.mpg.de/>.
14. Institute for Mathematics and its Applications (IMA), Minneapolis MN, USA, 1982 年設立, <http://www.ima.umn.edu/>.

15. Mathematical Sciences Research Institute (MSRI), Berkeley CA, USA, 1982 年設立,
<http://www.msri.org/>.
16. Chern Institute of Mathematics (CIM), Tianjin, China, 1985 年設立,
http://www.nim.nankai.edu.cn/nim_e/index.htm.
17. Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences (INI), Cambridge, UK, 1992 年設立,
<http://www.newton.cam.ac.uk/>.
18. Fields Institute, Toronto ON, Canada, 1992 年設立, <http://www.fields.utoronto.ca/>.
19. Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics (WIAS), Berlin, Germany, 1992 年設立,
<http://www.wias-berlin.de/>
20. Erwin Schrödinger Institute for Mathematical Physics (ESI), Vienna, Austria, 1993 年設立,
<http://www.esi.ac.at/>
21. American Institute of Mathematics (AIM), Palo Alto CA, USA, 1994 年設立,
<http://www.aimath.org/>
22. Institut de Mathématiques de Luminy (IML), Marseille, France, 1996 年設立,
<http://iml.univ-mrs.fr/>
23. Korea Institute for Advanced Study (KIAS), Seoul, Korea, 1996 年設立,
<http://www.kias.re.kr/en/programs/math.jsp>.
24. Max Planck Institute for Mathematics in the Sciences (MIS), Leipzig, Germany, 1996 年設立,
<http://www.mis.mpg.de/>.
25. National Center for Theoretical Sciences (NCTS), Hsinchu, Taiwan, 1997 年設立,
<http://www.math.cts.nthu.edu.tw/main.php>.
26. Pacific Institute for the Mathematical Sciences (PIMS), Vancouver BC, Canada, 1997 年設立,
<http://www.pims.math.ca/>
27. Advanced Computations in Engineering Science (ACES), Singapore, 1998 年設立,
<http://www.nus.edu.sg/ACES/index.htm>
28. Clay Mathematics Institute (CMI), Cambridge MA, USA, 1998 年設立,
<http://www.claymath.org/>
29. Mathematics of Information Technology and Complex systems (MITACS), British Columbia,
Canada, 1999 年設立, <http://www.mitacs.math.ca/index.htm>.
30. Institute for Pure and Applied Mathematics (IPAM), Los Angeles CA, USA, 2000 年設立,
<http://www.ipam.ucla.edu/>.
31. Institute for Mathematical Sciences (IMS), Singapore, 2000 年設立,
<http://www.ims.nus.edu.sg/>
32. Ennio De Giorgi Mathematical Research Center, Pisa, Italy, 2001 年設立,
<http://www.sns.it/en/laboratori/laboratoriscienze/centromatematica/>
33. Centre de Recerca Matemàtica (CRM), Barcelona, Spain, 2002 年設立 <http://www.crm.es/>
34. Mathematical Biosciences Institute (MBI), Columbus OH, USA, 2002 年設立, <http://mbi.osu.edu/>

35. Statistical and Applied Mathematical Sciences Institute (SAMSI), Research Triangle Park NC, USA, 2002 年設立, <http://www.samsi.info/index.shtml>
36. Banff International Research Station (BIRS), Banff, Canada, 2003 年設立, <http://www.birs.ca/>
37. Johann Radon Institute for Computational and Applied Mathematics (RICAM), Linz, Austria, 2003 年設立 <http://www.ricam.oeaw.ac.at/>

8.1.2 韓国高等研究所 (KIAS) のデータ

Korea Institute for Advanced Study (KIAS, 韓国高等研究所) について [1, 2]

- 所在地： 韓国ソウル市
- 設立： 1996 年 10 月 1 日
- 所轄： 韓国科学技術部 (Ministry of Science and Technology)
- 構成： 数学科 (School of Mathematics)
物理学科 (School of Physics)
計算科学科 (School of Computational Sciences)
- 執行部： 所長 (President)
学部長 (Dean of Faculty)
数学科主任 (Chair of School of Mathematics)
物理学科主任 (Chair of School of Physics)
計算科学科主任 (Chair of School of Computational Sciences)
事務長
各学科より副主任相当各 1 名
- 研究者構成： 特別教授 (Distinguished Professor) 2 名
教授 (Professor) 19 名
研究員 (Research Fellow) 62 名
計 83 名
(所属学科の内訳は数学科 32 名, 物理学科 33 名, 計算科学科 18 名)
- 予算： 数学科・物理学科の 2005 年度年間総予算は約 1,200 万 USD
- 教育： KIAS の活動は研究主体であり, 教育機関としての側面は無い。
よってカリキュラムや学位取得プログラムは存在しない。

沿革

- 1995 年 3 月 KIAS 設立委員会発足
- 1996 年 10 月 KIAS 設立
- 11 月 数学科及び物理学科設置
特別教授 1, 教授 2, 研究員 3
- 1998 年 12 月 特別教授 1, 教授 6, 研究員 30
- 2000 年 9 月 計算科学科設置
- 12 月 特別教授 2, 教授 19, 研究員 47
- 2003 年 12 月 特別教授 2, 教授 19, 研究員 61
- 2006 年 11 月 KIAS 設立 10 周年記念式典挙行
次の 10 年の長期戦略 KIAS ビジョン 2015
「国家の威信を懸けた基礎科学の世界的研究所へ」を策定
- 2006 年 12 月 特別教授 2, 教授 19, 研究員 62

歴代所長

1996年10月–1997年11月	Hyo Chul Myung
1997年12月–2004年6月	Chung Wook Kim
2004年7月–2007年6月	Mahn Won Kim
2007年6月–	Hyo Chul Myung

特別教授

数学科：	Efim I. Zelmanov (無限群論, フィールズ賞受賞者), 1996 –
物理学科：	Leonard Susskind (弦理論, 桜井賞受賞者), 2000 –

数学科所属教授

Jaigyoung Choe	極小曲面論, 幾何学的測度論
Youn-Seo Choi	Mock テータ函数論
Jun-Muk Hwang	複素幾何学
JungHae Keum (主任)	代数幾何学
Bumsig Kim	ミラー対称性
Hyo Chul Myung (所長)	リー理論
Yong-Geun Oh	シンプレクティック幾何学
Jinsung Park	大域幾何学
Sijong Kwak (客員教授)	代数幾何学
Henry Kim (KIAS 特任教授)	数論
小木曾啓示 (KIAS 特任教授)	幾何学

2006年の主な活動

1月25日 - 2月15日	SNU-KIAS 冬の学校「複素幾何学」
2月15日	KIAS ワークショップ「力学系」
3月	ワークショップ「代数多様体上の有理曲線」
4月24日 - 5月4日	スクールとワークショップ [「接続層の導来圏」
5月29日 - 31日	KIAS ワークショップ「スペクトル不変量と関連する話題」
6月	KIAS 整数論会議
7月3日 - 7日	夏の学校「代数および数論幾何」
11月24日 - 25日	第2回 ソウル・東京 数学会議
12月	KIAS-POSTECH-SNU 整数論国際会議

8.1.3 ニュートン研究所 (INI) に関する補足資料

Charles M. Elliott 教授 (アイザック・ニュートン数理科学研究所 (INI) 科学運営委員会 元委員 / ワービック大学 教授)

ヒアリング対象者: Charles M. Elliott 教授

役職名: アイザック・ニュートン数理科学研究所
(INI) 科学運営委員会 元委員 / ワービック
大学 教授

場所: 東京大学数理科学研究所

日時: 2006年12月14日

ヒアリング調査員: 儀我 美一 教授, 小杉 聡史 研
究員, 儀我 美保 研究員

本調査開始以前, Elliott 教授来日の際に上記の
日程で, インタビューを行っていた. その内容を,
本調査に際し 2008年2月に電子メールによりご
本人に確認をいただくとともに内容更新および加

筆をしていただいた。それらのうち、アイザック・ニュートン数理科学研究所 (INI) の科学運営委員会 (Scientific Steering Committee) の委員、および特別学期 (special semester) の組織委員としての経験に基づいた INI に関する説明と、日本の数学研究に関わることご意見を以下にまとめた。

1. ケンブリッジ大学は大きく、強力な数学教室を持った優れた大学で、多くの研究者を引き付けてきた。INI はこの大学の近くにあり、数理科学の様々なプログラムでの成功により評判が高まった。多くの参加者は、繰り返し訪れることを希望している。設備などがよく、研究支援面も最高である。ケンブリッジ大学の図書館の利用が可能なので便利である。

2. INI では終身雇用の研究者を雇っていない。所長も任期付雇用である。特定の期間に特定の課題について、国内外から一流の研究者を集めて集中的に研究するプログラムを実施している。期間は半年間の場合が多く、半年間に2つ、1年間に4つのプログラムを実施するのが標準的である。INI には科学運営委員会、国家諮問委員会 (National Advisory Board) と実務委員会 (Managing Committee) がある。科学運営委員会が、まずプログラムの内容と組織委員 (2~3名) を公募し、候補を絞り、それらを査読者に送りレポートを提出してもらい、最終的にプログラムを決定する。ここで最も重要な判定基準は質である。また最近重要となってきた話題か、近年実施されているプログラムが特定分野に片寄っていないかなども考慮され、組織委員候補者と内容などの調整を行う場合もある。各プログラムには一定の予算が与えられるが、組織委員らが協議の上、更に他の競争的研究費を用いることも可能である。科学運営委員会は所長のほか、すべての分野の経験豊富な数学者から構成さ

れ、外国人も含まれている。

3. INI では実施プログラムの事後評価に関して、個々人の研究の評価は行わない。その代わりにそのプログラム参加者へのアンケートを行っている。もちろん組織委員は報告書を提出する。

4. INI では数学者を支援する組織は極めて強力である。組織委員や特別学期参加者は学問の事だけ考えていけばよいようになっている。

5. 数学 - 他分野交流というすぐ数学者が他分野の難問を解くものと期待されがちである。しかし他分野の問題を数学的に分析し、数学の言葉で表現していく (数学的定式化) という点でも、数学者は貢献できるのである。この点は数学研究の重要な役割である。

6. 日本の数学研究の現状については、まず、応用数学分野では応用解析が主体だと思う。非線形解析等で素晴らしい成果があるが、偏微分方程式の枠組内である。数値解析は弱いと思われる。これは他分野と交流を行う上での弱点である。理論力学は数学科ではなく工学部などで行われているのであろうか。科学的交流には数学モデル、計算モデルが必要である。研究所は数学と他分野のこのような交流に役立つものである。

7. (北海道大学のような所に研究所を新たに設置するというアイデアについて) 札幌は訪問者にとって便利でおもしろい所である。札幌はまとまっていて訪問者に便利であり、文化的環境も十分な程に大きい。東京にも札幌にも滞在した経験があるが、札幌は東京に比べて滞在費がかからないし、訪問者に対するサービスや管理を行いやすい都市であるという利点もある。北大の数学教室は研究所をアシストするために十分な規模であると思う。北大は研究活動のためのスペースや、海外からの訪問者向け支援や住宅などを提供する必要がある。

8.2 ヒアリング質問項目

ヒアリングに使用した質問項目は以下のとおりである。

8.2.1 研究所所長・副所長への質問項目

質問 1: (貴研究所を除き) 純粋数学、応用数学の分野で世界のトップレベルの研究所はどこですか。また、数学関連の学際的研究においてはどうですか。

質問 2: どのような点が数学研究所を世界レベルにしますか。

質問 3: 数学者を集め、ひとつの研究所を設立する利点は何ですか。

質問 4: (設立背景) 貴研究所はいつ設立されましたか。また、設立にあたり誰が中心的役割を果たしましたか。研究所のホスト大学はありますか (もしあるのならば)、職員、図書館、パソコン、インター

ネット設備等の支援が、大学からありますか。

質問 5: (サイズ) 研究者, サポートスタッフ (秘書, 図書館員, コンピュータテクニカルスタッフ等), 学部生, 院生, 研究所に勤務するポスドク研究員は何人いますか。

質問 6: (建物) 研究所は独自の建物を持っていますか。研究者や来所者に十分なオフィススペースはありますか。宿泊施設についてはどうですか。

質問 7: (プロジェクト) 研究所では明確な研究プロジェクト目標を設けていますか。もし設けていれば, どのように設定しましたか。政府からの提案はありましたか。

質問 8: (財政基盤) 財政源は何ですか。財政支援が行われる場合, どのくらいの期間ですか (政府, 民間, 大学, 寄付金等)

質問 9: (意思決定過程) どのようにして研究所としての意思決定を行っていますか。

質問 10: (研究者の採用) 研究所に勤務する研究者をどのようにして選びましたか (ベテランもしくは新進研究者, 国内もしくは海外, 男性もしくは女性, 積極的差別是正措置によって等)

質問 11: (研究者の評価) 勤務する研究者をどのように評価していますか (どのように給与を定めていますか。)

質問 12: (研究者の在任期間) 研究所における研究者の在任期間はどのくらいですか。期間満了後, 大学や他研究所等どのような場所に勤務していますか。

質問 13: (雇用の柔軟性) 研究者が, 研究所に滞在しやすくするための制度は何かありますか (リブレースメント・パイアウト, 半雇用, 二重雇用など)

質問 14: (所長) 研究所所長はどのようにして選出しますか。所長は任期制ですか。所長としての勤務後, 以前の勤務場所に戻っていますか。

質問 15: (人的ネットワーク) 貴研究所の研究者と他機関の研究者との間に, どのような人的ネットワークがありますか。小規模大学との交流を活発にするための制度はありますか。

質問 16: (貴研究所の評価) 外部評価をどのくらいの頻度で行っていますか。研究所自身で行っている自己評価制度はありますか。

質問 17: (学際的研究) 貴研究所では, 数学と他分野間での学際的研究において成功例はありますか。数学と産業界の間ではどうですか (各々の研究方法が異なるため, 2つを区別してお聞きしています。)

質問 18: (学際的研究の将来) 学際的研究は近い将来, 盛んに行われるようになると考えますか。

質問 19: なぜ, 社会は数学研究を振興する必要がありますか。

質問 20: 政府から数学研究振興のための支援はありますか (支援策を具体的に述べてください。)

質問 21: 数学研究を振興するために, 政府が行うべき政策はどのようなものですか。

質問 22: どのような数学分野がより研究されるべきだと考えますか (純粹, 応用, 産業数学等)

質問 23: 数学と他分野 (産業を含む) との間の連携研究を組織する上で有効な方法はどのようなものだとお考えですか。

質問 24: 日本における数学研究の現状をどのように考えますか (過去 10 ~ 20 年間で変化は見受けられましたか。)

質問 25: 日本にはプラットフォーム型 (ビジター中心) の数学研究所が必要ですか。日本には, どのような研究所が適していると思いますか。オーバーヴォルフアッハ型, IMA 型, もしくは, プリンストン型のいずれですか。

質問 26: 北海道大学では「数学連携研究センター」を新設中です。ビジターを中心に据えた学際的および基礎数学の研究所です。研究のトピックに興味がある場合, 同研究所を訪れたいと思いますか。若手がポスドク研究員として同研究所で研究することを勧めますか。同研究所に関する一般的情報は COE プログラムのウェブページをご参照ください。 <http://coe.math.sci.hokudai.ac.jp/index.html.en>

質問 27: (欧米以外にある研究所に対して) 研究所員の中でどのくらいのスタッフが英語を上手く話すことができますか。文化背景の異なる欧米からの来所者へ特別な対応をしていますか。

8.2.2 Hilhorst 教授への質問項目

質問 1: CNRS は世界をリードする研究所のひとつと存じますが、貴兄のお考えでは（純粋数学、応用数学、そして数学と異分野連携研究について）世界的トップクラスといえる数学研究所は何処であるとお考えですか？また、世界的トップレベルであるための数学研究所の基準は何でしょうか？

質問 2: CNRS の特徴とセールスポイントは何でしょうか？

質問 3: CNRS の研究者はどのように評価されますか？

質問 4: CNRS の研究者はどのように選ばれますか？CNRS の研究職は終身雇用ですか？また、CNRS では数学研究者をどのように評価していますか？そのためにどのようなロジックが採用されていますか？

質問 5: 数学の CNRS 研究者は何名ですか？CNRS 研究者は秘書やアシスタントを持つ事が可能ですか？

質問 6: CNRS の数学研究者と他の所属の数学研究者はどのようにネットワークを作っておられますか？CNRS 研究者は実際に研究室を置いて活動している研究機関を変えたり、長期間（例えば 1~2 年間）、他の研究機関を訪問する事が可能ですか？

質問 7: どのように研究費を使われますか？研究費は想定外の事態への対応などに柔軟だと思われませんか？

質問 8: 数学と、産業を含む他の学問との共同研究を企画組織するための優れていて便利な方法は何でしょうか？どのような方式で産業研究を設計組織されますか？何が成功の秘訣でしょうか？

質問 9: 数学にとって、（訪問者を基礎とした）プラットホーム型研究所は日本にもっと必要であるとお考えですか？どのようなタイプの研究所が貴兄にとっては好ましいですか？（一週間毎に滞在者が入れ替わって研究会を開く）オーベルボルファッハ数学研究所型ですか、それとも（特別年方式で滞在期間が割合自由に決められる）IMA 型ですか？

質問 10: CNRS は研究支援スタッフを提供していますか？

質問 11: CNRS 研究員はどのように研究費を獲得しますか？CNRS は自動的に研究費を支給しますか？

質問 12: CNRS の研究員はどのような大学や研究所で働いていますか？国内に分布しているのですか？

質問 13: 子供の誕生や養育のために研究を中断しなければならない場合、このような困難を乗り越え、研究を継続する良いシステムがフランスにはありますか？

質問 14: ある人が数学で学位を取得し、企業で働いていた場合、研究者として大学に戻る事は可能ですか？

質問 15: 国家委員会を監督するための評価システムはありますか？

質問 16: 数学と他の学問との間の共同研究を達成するためのシナリオが幾つかあります。期間、研究分野、研究所ごとの典型的な例をいくつか示してください。

質問 17: 過去にまだほとんど成果のない分野で、数学の絡んだ新学際領域における提案を評価する事は大変難しい事です。新学際領域のシーズを見出す事を促進するには、この種の申請をどのような方法で評価するのが適当だと思われませんか？

質問 18: パリ南大学では研究者の流動性を高める特定の方針がありますか？

質問 19: CNRS には研究者の階級がありますか？

参考文献

[1] 小澤徹, Global KMS Day について, 「数学通信」 第 11 巻 第 4 号, 2007 年 2 月

[2] KIAS Annual Report 2006

第9章 数学研究と他分野等の連携に関する事例 調査参考資料

9.1 ヒアリング質問項目

以下の質問は、数学研究と連携したことでイノベーションもしくはイノベーションに準ずる結果につながった事例の収集のためのものです。

質問 1: 成果があった例を挙げてください。

質問 2: 期待したほどの成果があがらなかった例を挙げてください。

以下の質問は、数学研究と連携することで将来イノベーションが期待できる分野、研究課題および産業界等の事例を検討するためのものです。

質問 3: 期待できる分野にどのようなものがあるとお考えですか。

質問 4: 数学研究と連携したことでイノベーションもしくはイノベーションに準ずる結果につながった事例にどのようなものがあるとお考えですか。そのような事例をご存知でしたら挙げてください。

質問 5: 数学と連携することでイノベーションが期待できる分野、研究課題および産業界等の事例にはどのようなものがあるとお考えでしょうか。具体的な事例があれば挙げてください。

質問 6: 数学研究と連携することでイノベーションが起こるためにはどのようなシステムまたは方策が必要だとお考えでしょうか。

以下の質問は、イノベーションのための拠点形成に関するものです。

質問 7: 数学-他分野連携型拠点をつくるとしたら、どのようなものが望ましいでしょうか。

質問 8: このとき、replacement buy-out のような『参加する数学研究者の責務の肩代わりを可能にする制度』の導入についてはどう思いますか。

質問 9: 研究目標が具体的で絞られている拠点に投資するのが良いか、それとも将来の新しい研究システムを構築するようなプロジェクトに投資するのが良いとお考えですか。

第10章 数学研究の振興政策に関する調査参考資料

10.1 シンポジウム「イノベーション創出と数学研究 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して」プログラム

北海道大学国際シンポジウム
イノベーション創出と数学研究
— 諸科学・産業技術の「知の深み」を目指して —

日時： 2008年3月11日(火) 9:30~17:15 (受付開始 9:00)

場所： 京王プラザホテル札幌 B1 プラザホール

主催： 北海道大学(文部科学省委託業務「イノベーションの創出のための
数学研究の振興に関する調査」)

共催： 財団法人 札幌国際プラザ

後援： 日本学術会議, 経済産業省北海道経済産業局

【プログラム】

総司会： 寺尾 宏明 大会委員長 北海道大学教授

午前の部 (9:30-12:00)

開会挨拶 (9:30-9:35)

佐伯 浩 北海道大学総長

来賓挨拶 (9:35-9:45)

岩瀬 公一 文部科学省科学技術・学術政策局科学技術・学術総括官

谷島 賢二 社団法人日本数学会理事長 学習院大学教授

基調講演 (9:45-10:05)

数学への期待 - 科学技術政策から

大竹 暁 文部科学省研究振興局基礎基盤研究課長

第I部 (10:05-10:55)

諸外国における数学研究拠点と数学振興策

(第I部司会： 儀我 美一 東京大学教授 日本学術会議連携会員)

< 諸外国と日本における数学研究環境 >

桑原 輝隆 文部科学省科学技術政策研究所総務研究官

(休憩)

< 北米における数学研究拠点と数学研究環境 > (英語による講演, 同時通訳付き)

Alejandro Adem 太平洋数学研究所 (PIMS) 副所長 プリティッシュコロンビア大学教授 (カナダ)

The Pacific Institute for the Mathematical Sciences (太平洋数学研究所 (PIMS))

William Rundell 国立科学財団 (NSF) 数理科学課前課長 テキサス A&M 大学教授 (米国)

United States Government Support for the Mathematical Sciences (米国政府の数学研究支援)

———— 休憩 (10:55-11:15) ————

第II部 (11:15-12:00)

諸科学のイノベーションの鍵となる数学 大学における実績と可能性

(第II部司会：津田 一郎 北海道大学教授)

<医学と数学> (英語による講演，同時通訳付き)

James J. Wright オークランド大学名誉教授 (ニュージーランド)

Making Brain Function Accessible to Mathematical Analysis (脳機能を数学する)

<情報科学と数学>

田中 譲 北海道大学大学院情報科学研究科教授 知識メディアラボラトリー長

Mathematics in Computer Science (コンピュータ科学における数学)

<サービス工学と数学>

中島 秀之 公立はこだて未来大学学長

サービス工学のすゝめ

———— 昼休み (12:00-14:00) ————

午後の部 (14:00-17:15)

(共催者・後援者・来賓挨拶司会：石川剛郎 北海道大学大学院理学研究院数学部門長)

共催者・後援者挨拶 (14:00-14:10)

大聖 憲俊 財団法人札幌国際プラザ 専務理事

山内 皓平 日本学術会議北海道地区会議代表幹事 北海道大学副理事

来賓挨拶 (14:10-14:20)

徳増 有治 経済産業省大臣官房審議官 (産業技術担当)

三井 斌友 日本応用数理学会理事・名古屋大学名誉教授

第III部 (14:30-15:15)

産業技術のイノベーションの鍵となる数学 産業界における実績と可能性

(第III部司会：山本 昌宏 東京大学准教授)

<製鐵と数学>

松宮 徹 新日本製鐵株式會社 フェロー

<金融と数学>

大本 隆 野村證券株式会社 金融工学研究センター シニア・クオンツ

<空間認識と数学>

岩根 和郎 株式会社岩根研究所代表取締役社長

三次元空間における運動の解析

———— 休憩 (15:15-15:30) ————

第IV部 (15:30-17:00)

我が国の数学界の取り組みの例

(第IV部司会：山口 佳三 北海道大学大学院理学研究院長)

<統計数理研究所の取り組み>

北川 源四郎 統計数理研究所所長

<京都大学数理解析研究所の取り組み>

高橋 陽一郎 京都大学数理解析研究所前所長

<九州大学大学院数理学研究院と産業技術数理研究センターの取り組み>

若山 正人 九州大学大学院数理学研究院長

<東京大学大学院数理科学研究科の取り組み>

大島 利雄 東京大学大学院数理科学研究科副研究科長

<北海道大学数学連携研究センターの設置>

西浦 廉政 北海道大学電子科学研究所前所長

つながる知を目指して-合意言語としての数学-

閉会挨拶 (17:10)

岡田 尚武 北海道大学理事・副学長