



産業数学の構想と展望

若山 正人*

Naïve Design and Perspective for Mathematics for Industry

Masato WAKAYAMA*

Abstract— In this article, we try to present a potential plan or crude design, and perspective for promoting mathematics-for-industry. Since the mid-1990s, the drastic improvements in computer performance have forged a much closer link of mathematics to science (including social science), technology and industry. Getting such high performance computer, we have now a new feature of applications of mathematics to industrial-scientific technology (through several software). Those applications may also provide an impact and new development on mathematics itself, and then, again be able to develop further the world of mathematical science.

Keywords— industrial mathematics, mathematical science, pure mathematics, statistics, mathematical modeling, big data, high performance computer and computing

1. はじめに

本稿の執筆依頼をお受けした際に頂戴した“仮の”タイトルは「産業数理科学の構想と展望」というものでした。しかし、「構想と展望」はそのまま受け止めるにはあまりに荷が重く感じられました。筆者の力不足のせいもあり、意図せず控えめにならざるを得ません。そのため、読者の皆様が構想と展望を（異論を含めて）お考えになる材料や情報の提供、さらには契機となる何かをお伝えできればと希望しているところです。なお、「産業数理科学」というのはやや重箱的な響きがしますので、「産業数学」とさせていただくことにしました。というのも、もとより産業数学は数理科学の一部ですから。

そもそも筆者が本誌にこのような題目で文章を書かせていただくことになったのは、後ほど述べるような、九州大学の数学の同僚とこの数年間にわたり進めてきた“新しい産業数学”の研究と研究人材育成を目指す活動によるものだと考えています。私たちは、この新しい産業数学の研究を、マス・フォア・インダストリ (Mathematics for Industry) と名付け活動を続けてまいりました。本稿では、なぜ伝統のある「産業数学」という呼称ではなく、あえて「マス・フォア・インダストリ」と呼ぶことにしたのか、また、この活動の動機や目的はといったい何であ

るのかについても述べさせていただきたいと思います。その上で、現在私自身が所属する“産業数学”の研究所 (IMI) についても簡単に紹介致します。これらの様々な状況を承けることによって、これからの産業数学とそれを推進していくための方法について、述べることができればと思うからです。これが本稿のプランです。

2. みえない数学

遠くギリシア時代やエジプト、さらにはバビロニアや古代中国の時代から、数学は、今風にいえば、測量、土木技術、暦、収穫物の保存、経済活動に役立ってきました。その後、時代を遙かにこえ、近代では主として物理学をとおして、数学は物理学自身及び諸科学や工学・技術開発に使われてきました。ところが、20世紀も後ろに進んでからは、数学と諸科学・技術とのつながりは、必ずしも物理学等、言い換えれば第一原理に基づいた現象の解明と予測に留まるものではなくなってきました。このことは、たとえば、情報セキュリティにおける暗号の構築や安全性といった研究、また、データを基礎とする科学での統計学の本質的な活用、エンターテインメントをはじめとするコンピュータヴィジョン・可視化（などにおける数理モデリングの）研究をみても明らかです [1-7]。

しかし、そうはいつでも、技術開発や科学研究の道具として使われている数学は、実用の観点からみれば、たとえば電化製品を手にとってもおもてからは押し量れな

*九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 福岡市西区元岡 744

*Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University, 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka

Received: 20 January 2014, 12 February 2014

い影のような存在です。

じっさい、現実世界に見えるものに対して、数学はいわばその木型のようなものかもしれません。小平邦彦が自らの実感、研究の心境として語る [8] のは、数学の研究とは、もともとそこ（数学的自然）にあるものを（紙と鉛筆で）彫り出すことです。そしてこれは、漱石の「夏十夜」にある、運慶が仁王を刻む際の木彫に対する描写と同じであると、産業数学研究はそこから少し（社会に生きることも実感しているからかもしれません）artificial な面・需要も含みつつ進展するのでしょうか、まさしく木型作り（数理モデリング）に喩えてもよさそうです。じっさい、鋳造品を多く作ろうとすれば、まずは対応する木型からメガタをつくります。製品作りの現場では、そのメガタを汎用的に利用します。これは、数学的理論に基づいて作られたソフトウェアの使用に似ています。数学を研究する者にとっては、その木型にあたるものが実体だと思えるからこそ、研究が面白く時間がかけるのでしょう。その意味では数学側からは逆に、ソフトウェアが影であり、製品はその影の影ともいえそうです。ところが、現実社会から見れば、実体はもちろん製品ですから、産業数学の研究は、影のさらに影づくりといえます。アインシュタインも「どうしてこれほど予定調和的に数学は役立つのだ」と、その不可思議な点について感慨をあらわしたわけですが、数学が自然にあるものを彫り出した木型だからこそ、ぴったりはまるのかもしれません。

産業界における技術課題に限らないことですが、必ずしも予めどのような数学が使われるのか判っているわけではありません。ときには、数学的には判然とせず、渾然を必然と偶然に分けるような課題に直面することもあります。したがって、産業界における要請に十分にこたえていくには、基礎研究の幅広さと深さが必要です。演繹的考察と帰納的推論を縦横に駆使して具体と抽象を往来しながら概念を深化させる数学、あるいは、広く数理科学を活かした研究が、高性能計算機を得た今日、ますます広がりを見せ重要性を増していくことに疑う余地はありません。

3. どうしてマス・フォア・インダストリか？

この、初めて耳にされた方には多少の違和感がある名称について説明します。英語できちんと書かないと、“マス”とはいったい mass なのか mathematics の math なのか、誤解さえ生じるものだと当初より判っていました。しかしながら、産業数学とってしまうと、古典力学等に立脚した微分方程式の数値解法や数値シミュレーションなど、伝統的な数学の産業応用のみを指していると映るのではないかと危惧しました。これらが、現在に

おいてもまた将来においても重要なことは明白です。しかしながら、このような名称を付与したのは、同時に、計算機性能の向上により、現在では整数論の応用である各種暗号理論や代数幾何を用いた符号理論、データ圧縮、またデータドリブン、あるいは第一原理計算には基づかない研究の産業応用がたくさん存在しているという点を強調したいと考えたからです。事実、いまや暗号の構築や安全性の研究が、デジタル署名や認証などに使われる情報セキュリティの要の一つとして産業数学の主要研究テーマであることを疑う人はいません。しかし、その研究基盤となる整数論は、もっとも応用に遠いと考えられていた数学分野でした（ピタゴラス学派による、素数の無限性と素因数分解の一意性が示されて以来、RSA 暗号まで 2500 年程度はかかりました。暗号に欠かせない計算数論における現代の研究成果は、かのガウスをも驚嘆させるような事実を示しているように思われます。）

以上に加えて、Mathematics for Industry には、日本語にしまえば同じく産業数学と訳すべきであろう Mathematics in Industry とは、やや異なるニュアンス、積極的な意味をもたせたいと考えたこともあります。簡単にいえば、後者との違いは、数学そのものへのフィードバックを強調し、かつ、その現実応用に深く寄りつつ応用ポテンシャルを上げ、そしてそれらの永遠の循環と交差を期待する点です。

4. マス・フォア・インダストリの動機

ここで、マス・フォア・インダストリと銘打った活動推進の動機や目的について述べます。それは、以下のような不可分な関係にある二つです。

一つ目は、数学の発展には良質の問題が欠かせないことです。しかも、社会、とくに産業界はそのような良質で優れた問題の宝庫です。数学の内部にある興味深い問題を体系化しつつ、また、解決せんことを動機として、数学を深めていくのがいわば純粋数学と呼ばれている研究ではなからうかと思えます。歴史、たとえば 19 世紀に目を向ければ明らかですが、数学の問題の多くは、その内部のみならず、社会や自然科学・技術のなかから現れたものでした。20 世紀は、たしかに、ブルバキに象徴されるような数学の抽象化・体系化が進み、純粋数学が著しく（数学の本来の持味が発揮され抽象化が進み）高度に発展した時代です。もちろんこの時代も、工学等のユーザ側の必要から発達した数学も多く、数学が生み出したといってもよい電子計算機＝コンピュータの誕生は、それらを加速させました。計算機の出現は、社会の一部に、役に立てるための数学はもはや不要だとの勘違いを起こさせた時代もあったようです。同様に、“情報”というキーワードが表舞台に躍り出て（「情報（科）学」

が生まれ), かつては困難を伴ったデータ収集や整理・解析なども恰も簡単にできると誤解され, 統計学も不要なのではといわれた時期が 10 年程度はあったようです。しかし, 実際に起こったことは逆でした。計算機が発達し, それをとおした科学や技術が進むにつれて, 優れた計算機シミュレーションとデータ, あるいは, データと第一原理にもとづく数理モデルの構築や原理の解明とその記述のために, 数学・統計学がますます必要になったのです。さらには, そこから新たな概念も生まれました。これが, 数学・統計学の新しい研究テーマが格段に増加している所以です。

もう一つは, グローバル COE プログラム「マス・フォア・インダストリー教育研究拠点」(平成 20–24 年度)において一つの大きな目標に掲げたことですが, 広い意味での数学, あるいは数理科学の研究者を目指している学生たちの, 大学教員とは限らないキャリアパスを拓こうと考えたことです。大学院重点化以前は, 日本の主として理学部数学系の大学院では, 学生数もたいへん少なく, 修士課程の教育ですら, 主として大学教員を目指すものとして指導が行われてきていました。ましてや, 大規模大学における博士課程では, ほとんどの場合, 大学教員 (= 狭義の数学者) 育成を目的としていました。しかしながら, 重点化後は, 修士・博士ともに大学院生の人数は何倍にも増え, そのキャリアパスが, 学生も教員もうまく描けていませんでした。一方で, わが国ではあまり顕在化していなくとも, 欧米先進国の状況から, 必ずや多くの需要が産業界の研究開発現場に存在しているはずだと読みとれました [9–13] ([14, 15] も参照)。このことは, なにも, 学生の就職先の開拓ということに留まるものではありません。先にも述べましたが, 産業界にも, 米国社会がそうであるように, 優れた数学者が一定数以上存在することが望ましいと思うからです。実際, アカデミアで行う純粋数学研究のみでは, 数学の半分しかやっていないことになりかねません。たとえば, 純粋な基礎研究において出現した確率微分方程式が, 金融工学を生み, またそれを通じて経済学をはじめとする実社会のから刺激が, 確率論の発展を加速させました。また, 計算機を使うためには, 第一原理計算を離散化する必要があります, 有限要素法などの優れた手法が生まれたわけですが, 今や, 離散数学はグラフ理論・組合せ論に限らず, たとえば離散微分幾何学として可積分系なども深く絡み合いながら, 応用と基礎研究が往来しながら進展しているように見受けられます。事実, この幾何学は, もはや連続な微分幾何学を離散化したというものではなく, 固有の幾何学として成立し, アニメーション, 建築や自動車のエンジン設計などにも活かされています。

また, 銀行・損保・証券などの業界において本格展開する金融工学がアカデミアにも確実に刺激を与えてお

り, 産業界においてそのような研究者がいることは, 学問としての数学の発展に目を向けても, 大きな意義をもつと考えられるからです。このことは, ひいては「道具としての数学」に磨きをかけることにもなります。

5. 産業数学の研究所

九州大学では, 平成 23 年 4 月に大学院数理学研究院を分割改組することにより, 大学附置研究所マス・フォア・インダストリー研究所 (Institute of Mathematics for Industry, 以下 IMI と称します) を設立しました [16, 17]。研究所の設立構想は, 先に述べた文部科学省グローバル COE プログラムの構想段階において, すでに具体案が描かれていたものです。より遡れば, 21 世紀 COE プログラム「機能数理学の構築と展開」(平成 15–19 年度)の終了時に, 大学院 GP プログラム「産業技術が求める数学博士と新修士養成プログラム」(平成 19–21 年度)を開始し, 同じ頃に, 学内共同利用教育研究施設「産業技術数理研究センター」(平成 19–23 年度)を設置した頃より, 研究所設置の可能性について議論していました。

このようにして, 創設された IMI ですが, 九州大学では, 学府・研究院制度という組織構成を敷いており, すべての教員が, 研究院, 研究所, 研究センター等に所属し, 教育母体である学府や学部の教育に従事することになっています。そのため, 九州大学の数学の大学院である数理学府については, 数理学研究院と IMI (さらには現在, 数学教員は少人数ですが, 新設された基幹教育院も加わり) が責任部局とされ, IMI メンバーはすべて数理学府の専任教員という位置づけです。よって, IMI は前節で述べた, マス・フォア・インダストリーの研究を推進しながらそれを教育に活かしていく組織といえます。

6. 設立の背景

2006 年 5 月文部科学省科学技術政策研究所から出された「忘れられた科学 – 数学 ~ 主要国の数学研究を取り巻く状況, 及び, 我が国の科学における数学の必要性 ~」[13] は, わが国の数学・数理科学コミュニティに大きな衝撃を与えることとなりました。これは, わが国の数学・数理科学の研究が, 必ずしも当該コミュニティが抱いていた, あるいは期待していたような水準にないこと, また, 国としての支援も十分でないことを示すレポートでありました。一方で, OECD/Global Science Forum (2007 年 7 月) の報告書 “Mathematics in Industry” [9, 10] においても明確に示されているとおり, 国際的にも数学の産業や科学への貢献が強く求められ期待されています。それを承けるような時代の流れのもと, 欧米先進国はもとより, 近年台頭著しいアジア地域においても, 中

国や韓国をはじめ、数理科学研究への国家的投資は大きなものとなってきています。このようななか、マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) も、平成 25 年 4 月には「産業数学の先進的・基礎的共同研究拠点」として文部科学省より共同利用・共同研究拠点認定を受け、コミュニティの支援と協力を得ながら、その活動を進めている次第です。この制度による数学系研究所としては、京都大学数理解析研究所 (RIMS) に続くものですが、文部科学省共同利用機関である情報・システム研究機構の統計数理研究所 (ISM) から数えると、わが国 3 番目の共同利用研究所です [17]。

7. さらなる背景

たとえば、関孝和というきわめて優れた和算家が存在したことはわが国の数学の誇りです。彼がなし得たことの幾つかのなかには、積分法と微分の発見や行列式の発見があります。前者は、まさしくニュートンやライプニッツと同じ頃になされ、後者についてはライプニッツに先んじています。これらの事実は、すでに国際的にも認知されているものです。しかしながら、世界史を紐解き、当時のヨーロッパなどと比較すれば、きわめて平和な状況を保ちえた日本においては、おそらく、大砲の弾道を計算する必要などなかったのでしょう。このようなことも、関孝和が「微積分の基本定理」を発見するに至らなかった理由かもしれません。じっさい、万葉集などにおける九九による駄洒落の数々に戻ることはせずとも、数学がゲーム感覚のうちに行われていたきらいがあります。現在でも、おおくの神社で見ることができる、奉納された算額の興隆をみても、それが伺えます。その意味では、明治の開国後のゲッチンゲンからの純粋数学の移入は、和算の伝統があるわが国の数学の肌にあうものであったのかもしれませんが。しかし同時に、当時の“経済活動”に関わって、きわめて活発にもちいられたそろばん計算を脇におくことはできません。

1990 年代の中盤頃からの計算機性能の著しい向上により促された汎用ソフトウェアの発達と様々な業務ソフトウェアの充実が、私たちの社会の生活に及ぼした影響は計り知れません。じっさいその頃より、ソフトウェアを利用した数値的計算をベースにした研究が、産業界や諸科学分野でも本格化し標準的になったことは周知の事実です。いまや産業界における技術開発において、高性能計算機と種々のソフトウェアが不可欠です。わが国では、しかしながら、このようなソフトウェアの開発にはあまり積極的でなかったような印象があります。一方で、わが国の産業界ほど、その研究現場で欧米を中心とする外国製の、ややもすれば使い勝手の悪いソフトウェアを、現象に対する的確な観察と優れたプログラミング力で工

夫・改良しつつ計算を編み出して研究開発を行っていたところも少ないのではないかと想像できます。そろばんの興隆を彷彿させるものです。ただ、だからといって安心できる訳ではなく、このことは食料の外国依存と同じ程度に将来的に深刻な問題であると思われます。

ところでこのような状況は、以下のような、思ってもみなかった側面を生み出しました。物理学における理論系には、伝統的に、そして現在でも数学に抜群に強い研究者が多く存在します。事実、現代においても、素粒子論や宇宙論などの物理学は、つねに数学に大きな刺激と課題を提供しています。一方で、計算機性能がこれほどではなかった時代には、電子工学、機械・精密機械工学、航空工学等の工学部系には、きわめて優れた数学の使い手であり数学道具の開発までも行う“応用数学者”がおられたようです。もちろん、ご自身は、応用数学者だと位置づけてはおられなかったかもしれませんが、たとえば、海外に出れば、*mathematician* と呼ばれた方も多かったという話は一度ならず耳にしています。じっさい、ご自身の問題を、たとえば計算能力の貧弱な計算機を用いて片付けるためには、問題を数学的に相当追いつめねばならず、そのため必要に応じて、自らが数学的に定式化した問いを解決するために数学的道具の開発もされていたように思われます。このようなこともあり、わが国の、数学の看板を掲げた研究が理学部数学科における純粋数学オリエンティッドなものであった時代でも、多様な応用数学が力強く育まれ、展開されていたのだと思われま

しかし、計算機性能が格段に発達し、対応するソフトウェアが生まれてくると、数学的にはそこまで追いつめなくとも、意味のある結論が得られるようになってきました。その結果、必然的なことかもしれませんが、数学に関心のある工学系研究者が少なくなりつつあると言われるようになりました。このことは、計算過程がブラックボックス化しかねないことを意味し、なにもわが国だけの問題ではないようですが危惧されることです。

じっさい、計算機性能が格段に向上して、ソフトウェアが発達すれば発達するほどに、数学的知見がますます必要になってきました。計算機からはじき出された結果・結論を正しく評価することの重要性が、ソフトウェア開発・利用先進国である米国でも指摘されているほどです。そもそも計算機といえば、アラン・チューリングやフォン・ノイマンに戻れば、あるいはずっと以前のライプニッツの時代から、機械仕掛けの計算機は、数学、あるいは数学者があつてこそ生まれてきたものといって過言ではありません。ライプニッツは、微積分の発見においてはおそらくニュートンに先んじられていたわけですが、私たちが普段馴染んでいるきわめて優れた積分記号や微分記号は彼によるものです。また、歯車の回転

によってステップ回転をするドラム（段付歯車）を発明したのはライブニッツでした。2進法を積極的に考えたのもライブニッツでした。数学では、うまく問題が定式化され概念が明確になると、それにもなって記号自身が考えてくれるという面があります。そうなれば手計算も、自然に進みます。したがって、19世紀以来20世紀まではどちらかといえばニュートン派が優勢、21世紀はライブニッツ方式が優勢という感じになったのではないかと思います。このことは、物理学による第一原理、データドリブンな推論とともに、数学的自然に基づく形式的・演繹的な推論が（情報セキュリティのような）応用の前面に現れてきたことに符合します。

8. 数学の本領

概念はすでに100年前に定まっていますが、原理的には計算できても、事実上は、これまで簡単な例ぐらしか計算ができなかったものが多くあります。事実、これらのなかには、数学科であれば学部2年次後半から3年次前期までに学ぶ内容であり、しかも数学の内部では様々な形でより深められ発展しているものも多くみられます。例を挙げれば、複雑な図形ホモロジー群や、イデアルの計算などです。これらが、高性能計算機とそれを活かす優れたプログラミング技法により計算できるようになってきたことが、産業界や諸科学における数学の貢献の広がりを見せていると考えられます。

ガリレオ・ガリレイが、「自然は数学語で書かれている」といったことは有名です。それを裏付けるように、数学は、計算を効率的に行うことや精確に行うことにとどまらず、じつは、計算にのせることや、ものの見方、つまりマーカーや尺度を与えることに大きく本領を発揮すると考えられます。以下にいくつか、どちらかといえばこれまでの伝統的な応用数学分野からは離れているかもしれない例を挙げてみたいと思います。

【ビッグデータの数学的研究】

おそらく今後、数学者は、ビッグデータを積極的に幾何学的な対象とみなして研究の対象として行くのではないかと想像しています。たとえば与えられた大規模データの理解には、それらのクラスタリング等が必要になりますが、その折の尺度となるものは、データ間にある種の関係性をみいだすための（同値）関係や、幾何学的あるいは力学系的に適宜されるエントロピーのようなものであると考えられます。じっさい、自然言語や言語の文節研究などの記号系の数理構造という面[18]からは、このような研究の萌芽がみえます[19]。とすれば、未だ使用されていない概念や技法が、いわば眠ったままの宝が、現代数学においてすでに用意されているかもしれま

せん。

【不変量】

人々は、おそらく絶対的なものを、ときには嫌いなながらも、安心感を与えるものにとらえているのではないかと思うことがあります。これは宗教的というより、誰もしが認める（そして自らを説得する）判断の尺度・基準を求めているからでしょう。

たとえば、不変量の研究が力学的な運動などの保存量の記述を与え、それが物理学において貢献してきました。それは、幾何学的な特徴量といってもよいものであり、しばしば対称性を表現する軸を記述するものとして現れてきます。分岐理論や分岐の規則を記述するのもこの範疇の考え方です。たとえば、近年の計算トポロジーにおいては、複雑で大きなネットワークや図形のホモロジー群を計算することにより、その幾何学的構造をみることに成功しています[20]。また、癌の治療法の開発やバイオマーカー（動的ネットワークバイオマーカー）の概念の提案も、このような観点からなされています[21]。

【多変数・多値関数、あるいは高次元多様体の幾何学】

産業界の開発・研究現場においては、様々なデータを多く扱わなければならないことがあります。しかし、それらがあたかも独立なものとして扱われている場合も散見します。そこから、幾分の有用な情報は得られるわけですが、本来は、一変数の組を考えるのではなく、変数が互いに依存し合う多変数関数の（ときには組の）性質を調べるのが自然であることは言を待ちません。そうすると、その多変数関数の組が定める図形を考察することが必要となります。このような図形の研究は、20世紀に深化し現在も発展する幾何学、代数幾何、トポロジー、微分幾何の得意とするところです。実際、最近では、微分トポロジーの分野での基本理論であるモース理論を用いるばかりか、特異点の分類なども利用した、ビッグデータの可視化に対する前進もありました[5, 22]。

ここでは例示しませんが、伝統的に応用が盛んである数学分野にも目を見はる理論発展とその産業応用が数多くあります。逆問題や最適化理論の応用は、尽きることはないでしょう（じっさい、与えられた方程式や変換をそれぞれ解くことや逆変換を求めること、そして、条件付きの最大・最小値を求めることは、数学とその応用において最大の関心事です。）そしてそれらにも、20世紀以降に飛躍的に発展した数学が、これまでにない概念と技法とともに使われている場合が多くあります。そもそも数学において、便宜上の理由を超えた分野の区別は言うまでもなく意味のないものです。

9. 数学と産業界との連携のふたつの柱

企業における大学院生の長期の研究インターンシップと、後述する、いわゆる（産業数学）スタディ・グループは、いまや国際的にも数学における産業界との連携の2本柱であると考えられています。

【博士課程学生の長期研究インターンシップ】

九州大学大学院数理学府では、2006年より、博士後期課程の学生の企業への長期インターンシップを組織的に開始し、すでに8年を数えます。この間、すでに50名近くの学生がインターンシップを経験しました。

開始当初数年間は受入れてくださる企業を探すのにも多くの苦労をとまいました。しかし、学生の頑張りと組織的努力により、順調な進展があったと考えています[14, 15, 23]。じっさいそれは、学生・教員の視野を広げることにつながり、さらに学生のキャリアパスの拡がりをもたらすことにもなりました。また、現在、IMIが実施している産業界との共同研究のなかには、このインターンシップを契機として始まったものも少なくありません。

研究インターンシップにおける学生の専門分野とその研究内容はバラエティに富みます。じっさい、学生の専門からいえば、不安もありましたが興味深いことも多くありました。

いくつかのパターンを示します：専門とインターンシップでの研究テーマが全く異なる「2足のわらじ」ケース（表現論・数論⇒時系列解析）、異なるが専門の延長上とも考えられるケース（作用素環論⇒データ圧縮、流体力学⇒化学製造工程管理、代数幾何⇒情報処理、確率論⇒樹木のデータ解析、ゲーム理論⇒リスクマネジメント）、専門がインターンシップで活かされたケース（数論⇒暗号、数値解析⇒数値シミュレーション・デバイスモデリング、統計⇒統計、最適化理論 最適化問題）などがありました。

このようなインターンシップを経験して、学位を取得したのちの就職先はさまざまです。インターンシップ受け入れ先に求められてその研究所に職を得た者、インターンシップ先以外の企業の研究開発部門、公的研究所あるいは大学に職を得たケースなど多様ですが、それぞれの場での評価も高く、力を発揮し大いに活躍している様子です。

【スタディ・グループ】

スタディ・グループは、産業界における数学的問題を解決すること、あるいは数学を軸にした産業界との共同研究や連携活動の種を見出し、その芽を育てることを目的に、1968年にオックスフォード大学で始めました。活動内容は、産業界などの異分野から、予め設定さ

れたテーマ・領域などを中心に、個々が抱える未解決の数学的問題（数学を使えば解決に至ると期待できる課題などを複数）を集まった数学研究者・大学院生に対して提示・解説し、それに興味を持った参加者が、概ね一週間の会期中、当該問題の提出者と協力し、ときにはその正しい数学的定式化も含め、解決を目指すというものです。提起された問題は、会期中に解けてしまうこともあります。また、解決はできなかったものの、その糸口が見つかり、その後、契約等を結び共同研究を推進して行くケースもしばしばです。もちろん、具体的な解決に結びつかないこともあります。が、それは失敗であるとは考えられていません。事実その場合でも、数学研究に携わる者にとっては、産業や異分野の問題に接することができる貴重な体験となります。一方、問題を提起してくださる側にも、問題が数学的に明確にできるという点でメリットがあるとされています。さらに、解決を目指すプロセスに身を置くことを通じて、参加した大学院生やポスドクを含む若い人たちの興味・関心も広がり、キャリアパスの多様化を生むなどさまざまな効果が期待できます。

最初の開催以来40年余を経過した現在、これまでに開かれた国際的なスタディ・グループは、主として欧米豪等においてのものですが、少なくとも100を数えます。九州大学では、最初の企画時より東京大学・数理科学研究科の協力を得、2009年よりこのスタディ・グループを計4回共同開催致しましたが、これはおそらくわが国では始めてのものであります[24]。例年、6~7社から課題の提供を頂き、大学院生、ポスドク、教員を合わせ100名前後の参加者を得て（年々参加者は増加傾向ですし、数は少ないですが海外からの参加者もあります）、実りあるものとなっています。ところで、産業界からの未解決課題の提示は、スタディ・グループ・ワークショップ初日に公開の形で行われます。したがって、知的財産にかかわる微妙な問題もなくはありませんが、問題提供者である企業の方々からはつねに多大なご協力をいただくことができ、欧米の真似をしながらよちよち歩きで始めたスタディ・グループも、徐々に独自性も備えながら安定した運営をすることができるようになってきています。

また、スタディ・グループは、産業界との間のみならず、諸科学分野の研究者に問題を提出していただく形でも、東京大学や九州大学、そして最近では、統計数理研究所が核となり進めている文部科学省の委託事業「数学協働プログラム」[25]の枠組みにおいても開催され、実りの期待できる活動が始まっています。

10. いくつかの提案

本稿の読者の皆様に対しては釈迦に説法というものですが、いかなる研究でも研究者の交流が不可欠です。また、永続的に研究を進展させていくためには人材育成が第一です。将来の研究を直接行う人はもちろん、それを積極的に勇気づける人も必要です。ただ、当然といえば当然ですが、都合がよいことに、この2点は決して相反するものではなく、同時に進行するというよい面をもっています。このことを踏まえ、先のインターンシップとスタディ・グループの他、産業数学の発展に資すると思われる具体的活動について、いくつかの提案をさせて頂こうと思います。

・産学共同研究：

企業との共同研究には、じっさいの開始に時間がかかります。同じ用語が異なる意味をもっていることもあり、一度だけでは誤解さえ生じます。ところが、企業から求められるテンポはアカデミアよりも早いのが普通です。しかし、IMIでの経験から申し上げますと、企業の研究開発のリーダーの中にはこのことを極めて深く認識されている方もいらっしゃいます。根気よく、お互いの信頼を育んでいけば、解決できる課題であると感じています。

・教員の企業滞在：

教員の(公的)研究所との時間を分割した兼務のさらなる推進に加え、企業の研究開発部門滞在(予め共同研究や委託研究のテーマを定めておくのではなく、大学等の教員が企業の研究開発部門に一定期間滞在する)の推進。

・ダブル・アポイントメント：

米国などでは普通にみられる企業と大学に同時に在籍できるシステム作り(活動方法のみならず、給与の分割支給や社会補償費の支払い方法などまで含めての両者の合意形成の推進)。

・分野横断型研究交流の推進：

現時点では想定外の未来技術開発にむけた内容も含め、研究動向に関する情報交換とゆるやかな交流のための分野横断型のワークショップや研究集会の開催。

・最新数学理論チュートリアル：

ターゲットとなる具体的応用は明確というほどではないものの、応用ポテンシャルがある程度想定できているテーマに関する数学の最新理論のチュートリアルの開催。

・数学科における産業界 R&D 紹介：

数学科の学生に対して、産業界の研究開発現場で行われている研究について、そして企業内で研究に従事するということに関する知識や雰囲気を伝えていくことも、必須ではないでしょうが、重要だと考えています。

・中等教育現場における数理学系学科への誘い：

高等学校の生徒で、数学が好きで得意な生徒がいても、

なかなか数学科には進みません。これは、保護者や大学が育成してきた教員の指導によるものでもあります。キャリアパスが十分に描けていない現状も、解決せねばならない課題です。加えて(その背景にある課題だと感じますので)、教員採用試験の出題範囲も再考する時期だと思われます。多くの自治体における採用試験の数学教科における問題は、高等学校以下で学ぶ(ときには中学生の知識で解答できる)内容に限られているようです。もちろん知識云々というのではなく良質な問題も多くあります。しかし、このような現状は、社会と数学ということを議論する際にも影響を及ぼしかねず、多様な広がり閉ざすものに映ります。

・情報発信の拡大：

出版物(ジャーナル、叢書、啓蒙書)、公開講座など多くのメディアを通じた、社会の理解を得るための広報活動全般の推進。

・“MATH マーク”の導入??：

冒頭にも述べましたが、数学は、製品作りに役立っているものの、最終形にはその貢献が見えません。JIS マーク同様、携帯電話やスマートフォンに、MATH マーク(あるいは“MATH テープ”など)を付けてみてはどうかと考えることがしばしばです。

・ソフトウェアの開発：

汎用ソフトの共同開発や産業界の研究者との個別テーマでのソフトウェアの共同開発。

・知的財産・共同研究契約：

上記に関連して、現在 IMI においてどのような産業界との連携や共同研究が進展しているか、さらにその際の大学からの組織的サポートの必要性について、さらには研究者個人と企業との関係構築における難しい点など、私たちの経験を踏まえると、数学研究者が多くいるアカデミアと産業界との連携には、大学における知財関係部署とのタッグを組んだ取組みも欠かせません。

・企業における数学系若手研究者の採用促進：

数学系の優秀な博士学生(博士後期課程修了直後)の産業界への誘い(企業と大学双方からの準備と体制の整備、博士号取得者のサラリーなどについても社会のなかで議論されるとよいと考えます)。同様に、産業界におけるポスドク受入れの推進。さらに、ポスドクを介しての、産業界とアカデミアとの共同研究の推進が望ましい場合もあるかもしれません。

・社会人の博士課程入学：

産業界からを中心とする社会人の数学系博士後期課程進学への積極的推進(産業界における奨励と大学での受入れ)。これにより、通常課程の学生と企業研究者等との研究のみに限らない交流の機会も生まれます。

11. 純粋数学・産業数学・数理科学

筆者の決して豊かでない経験でも（純粋）数学をやっていると、まったく出自が異なるものが見事につながるとわかり、膝を打ちたくなくなるような爽快な気持ちになることがあります。そして、多くは自分の研究とは限らず、勉強していて美しいと感じることがたくさんあり、それが動機で数学者を志しました（数学者になりたいと思う人のごく標準的な動機のひとつです）。具体的な数学の問題や証明、あるいはおぼろげであっても期待する結果（予想）などに対して、そういった気持ちを友人と共有したいと思うこともしばしばです。おそらくこのような感覚は、数学だけではないと思いますが、とくに、「美しい」というのを「見事な」と置きかえると、これは、産業数学の研究にもよくあてはまるように日頃から感じています。

ところで、数学や数理科学という言葉は、ときには同時に、あるいは並行して用いられています。筆者にとっては、純粋数学というときなど、狭い意味での数学から見たときには、広い意味での数学がおおよそ数理科学に相当します。しかしながら、数理科学とは、おそらくこのような一方からの視線でみたものではなく、mathematics という言葉や考え方を駆使して行う種々の科学というものだと考えています。そのような意味で、（数学以外の）科学的な根拠と数学的考察を深く取り入れたエヴィデンススペースの研究は、まさしく数理科学といえるものです。

12. 最後に：まとめに代えて

本稿のタイトルにある産業数学とは、上に述べたマス・フォア・インダストリという名が示すような研究活動、或は研究領域にほかなりません。つまり、すでに数学として研究が進んでいる世界の外にある“数理成分”が豊かな原石に、産業界等との連携をとおして実際に触れることで数学世界がより豊かになっていくことと、それにより未来の産業や社会に、時間の特定はできないまでも、数学がより貢献できることを願ってのことです。

IMI の設立により、わが国に初めての産業数学を標榜する研究組織ができ、また共同研究のための拠点としての機能もいくらかはそなわりつつあるわけですが、高度なテクノロジーを一つの屋台骨とするわが国の国力や人口に鑑みれば、すくなくともあと数か所は、このような人材育成機能をも備えた研究拠点が必要であろうと考えている次第です。また、IMI の発展は、附置研究所としての IMI のメンバーの力のみによるものであるはずもなく、これをお読みくださっている皆様との多様な研究交流や連携に支えられてのことだと考えています。さら

に、20 世紀の数学が生んだ様々な美しい財産も、まだまだテクノロジーには使われていませんが、逆にテクノロジーからの要請により新しい体系的な数学理論を構築する必要が現れているかもしれないと期待しています。工学や技術は歴史的にも、物理、さらには量子化学等をおして数学と多くのつながりをもってきましたが、19 世紀の後半以来のトポロジー、分岐理論、特異点論、実・複素代数幾何、離散微分幾何、いまや最近の表現論などでさえも、これまでの産業応用の主役であった、ナビエ・ストークスや反応拡散などの（偏）微分方程式の解析、近年の確率論とともに、あるいは同様に、生命科学や社会科学的テーマによる産業と社会に貢献しうる状況だと考えられます。

産業界、諸科学分野の研究者と数学をバックグラウンドとする研究者の交流を広く多角度、多様な観点から深めていくことで、数理科学が大きく進歩するとともに、ハイテク国家である日本における産業技術は、再度、大きな夢に向かってリードできるであろうと期待しています。また、今後は、社会インフラあるいは都市設計などをはじめとして、新しい社会システム作りとその整備への、数学の総力をあげた貢献が求められていくだろうと考えています。

謝辞: IMI 同僚の福本康秀氏には、本稿の原稿を丁寧に読んでくださり有益なコメントいただきました。同氏は、マス・フォア・インダストリの教育研究活動の開始時からの仲間です。この場をお借りして深く感謝致します。

参考文献

- [1] G.-M. グロイエル, R. レンメルト, G. ルップレヒト (編) (戸瀬信之, 丸山文綱訳): 数学が経済を動かす, シュプリングァー・ジャパン, 2009.
- [2] 文部科学省科学技術政策研究所 (編): 数学イノベーション, 工業調査会, 2007.
- [3] D. Mumford and A. Desolneux: “Pattern Theory – The stochastic Analysis of Real-World Signals,” A. K. Peters, 2010.
- [4] 西井龍映, 栄伸一郎, 岡田勘三, 落合啓之, 小磯深幸, 斎藤新悟, 白井朋之 (編): 科学・技術の研究課題への数学アプローチ 数学モデリングの基礎と展開, MI (COE) Lecture Norte 46, 九州大学 IMI, 2013. [English revised edition: “Mathematical Approach to Research Problems of Science and Technology – Theoretical Basis and Developments in Mathematical Modeling,” Nishii et al. (Eds.), Springer, to appear in 2014]
- [5] O. Saeki, S. Takahashi, D. Sakurai, H.-Y. Wu, K. Kikuchi, H. Carr, D. Duke, and T. Yamamoto: “Visualizing Multivariate Data Using Singularity Theory,” The Impact of Applications on Mathematics-Proc. Forum “Math-for-Industry” 2013, M. Wakayama et al. (Eds.), Mathematics for Industry Series Vol.1, Springer, 2014. (to appear)

- [6] 若山正人 (編著): 技術に生きる現代数学, 岩波書店, 2008.
- [7] 若山正人 (編): 可視化の技術と現代幾何学, 岩波書店, 2010.
- [8] 小平邦彦: ボクは算数しか出来なかった (岩波現代文庫), (底本 1987 年) 2002.
- [9] OECD/Global Science Forum: “Report on Mathematics in Industry,” 2008, <http://www.oecd.org/science/sci-tech/41019441.pdf#search=%27OECD+Mathematic+in+Industry%2C+Mechanism%27>
- [10] OECD/Global Science Forum: “Report on Mechanisms for Promoting Mathematics in Industry,” 2009, <http://www.oecd.org/science/sci-tech/42617645.pdf#search=%27OECD+Mathematic+in+Industry%2C+Mechanism%27>
- [11] Y. Giga, T. Kobayashi (Eds.): “What Mathematics Can Do for You – Essays and Tips from Japanese Industry Leaders,” Springer, 2013.
- [12] M. Hosotsubo: “Survey analysis of Japanese mathematics research,” J. Math-for-Industry, Vol.1, pp. 73-80, 2009.
- [13] 細坪護拳, 伊藤裕子, 桑原輝隆: 忘れられた科学 - 数学, Policy Study No.12, 文部科学省 科学技術政策研究所, 2006.
- [14] M. Wakayama: “Importance and Unpredictable Effectiveness of Mathematics in the Real World and for Industry, What Mathematics Can Do for You – Essays and Tips from Japanese Industry Leaders,” Y. Giga, T. Kobayashi (Eds.), Springer, pp. 101-121, 2013.
- [15] M. Wakayama: “Interfacing educational and research with mathematics-for-industry: The endeavor in Japan, Educational Interfaces between Mathematics and Industry, An ICMI-ICIAM Study 20,” A. Damlamian, J.-F. Rodrigues and R. Sträßer (Eds.), Springer, pp. 77-93, 2013.
- [16] IMI ホームページ, <http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/>
- [17] 数学セミナー編集部: 新たな研究活動の場へ – 共同利用・共同利用拠点について, 数学セミナー, 2013 年 10 月号, pp. 48-49.
- [18] 田中久美子: 記号と再帰: 記号論の形式・プログラムの必然, 東京大学出版会, 2010.
- [19] 木村大翼, 田中久美子: 文書量に不変な定数-Yule の K, Golcher の VM 自然言語処理, 18(2), pp. 119-137, 2011.
- [20] 平岡裕章: タンパク質構造とトポロジー パーシステントホモロジー群入門 (シリーズ・現象を解明する数学), 共立出版, 2013.
- [21] FIRST 合原最先端数理モデルプロジェクト, <http://www.sat.t.u-tokyo.ac.jp/first/docs/aimm2012.pdf>
- [22] S. Takahashi, I. Fujishiro, and M. Okada: “Applying manifold learning to plotting approximate contour trees,” IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol.15, No.6, pp. 1185-1192, November/December 2009.
- [23] 若山正人: 新しい産業数学を目指して, 『応用数理』第 24 巻 1 号, 2014 (印刷中)
- [24] MfI Study Group 2013, ホームページ, <http://sgw2013.imi.kyushu-u.ac.jp/>
- [25] 数学協働プログラム, ホームページ, <http://coop-math.ism.ac.jp/>

 若山 正人


photo: Hiroaki Kono

1978 年東京理科大学理学部数学科卒業, 1985 年広島大学大学院理学研究科博士後期課程数学専攻修了 (理学博士)。鳥取大学助教授等を経て, 1994 年九州大学理学部数学科助教授, 1997 年大学院数理学研究科 (院) 教授, 同研究院・学府長 (2006-2010)。グローバル COE 「マス・フォア・インダストリー教育研究拠点」(2008-2012) 拠点リーダー, 2009 年より九州大学主幹教授。専門は表現論・整数論とその CG 等への応用。現在, 九州大学副学長, マス・フォア・インダストリー研究所所長。文部科学省・科学技術・学術審議会・数学イノベーション委員会主査 (2011-)。
