

アジア太平洋数理・融合研究戦略検討会 報告書

令和3年7月16日

文部科学省 研究振興局

アジア太平洋数理・融合研究戦略検討会

目次

はじめに	1
第1章 数理科学及び数理科学を活用した融合領域研究（数理・融合研究）の重要性	2
(1) 無形の科学技術—数理科学の特長と必要性	2
(2) 人文・社会科学を含む異分野との協働による数理・融合研究の必要性	4
第2章 数理・融合研究をとりまく国内外の動向	4
(1) 国内の状況	4
①研究活動関連の動向	4
②産業界及び社会的ニーズ	6
③国内の取組事例	8
(2) 海外の動向	9
①海外の数理・融合研究に関する取組事例	9
②数理・融合研究を含む科学技術を取り巻く国際動向	12
第3章 我が国の今後の課題	14
(1) 研究力向上の観点	14
(2) イノベーション・産学連携の観点	15
(3) 人材育成の観点	16
(4) 国際的存在感の観点	17
(5) 理解増進の観点	17
第4章 推進方策（提言）	18

はじめに

AIが一層進展し、コロナ禍の克服に向け、社会全体でのデジタルトランスフォーメーション(DX)の推進が求められるこのウィズコロナ・ポストコロナ時代に対応して、その基盤となる数理科学(Mathematical Sciences)の重要性はかつてなく高まっており、諸外国でも積極的な数理科学振興策が講じられている。特に中国においては、2015年に、アジア初の応用数理国際会議(ICIAM)の誘致に成功して以来、2016年に中国を中核とした国際組織である「シルクロード数学センター(Silkroad Mathematics Center)」を設立し、2019年にアジア初となるICIAM会長、2020年にはアジアで35年ぶりの国際数学教育委員会(ICMI)会長を輩出するなど、数理科学分野において積極的な国際活動を展開し、研究力の向上とともにその国際的影響力が急速に高まっている。

他方、我が国はアジアで最多のフィールズ賞受賞者を出すなど、数理科学、特に数学の学術活動においては国際的にも高く評価されアジアにおいて先導的な役割を果たしてきた歴史を有する。しかし、その力を活用したイノベーションの創出や課題解決、諸科学との協働による新たな融合領域の創出等、数理科学研究の成果を社会や他分野に展開する活動については、諸外国と比べて必ずしも十分とは言えなかった。

また、近年は研究力についても、数理科学分野における国際的な論文数シェアの低下とともに、他分野との学際研究による論文数の伸びが鈍化するなど、アジアにおける現在の優位的地位が危ぶまれつつある。

こうした国内外の現状を踏まえ、文部科学省は、数理科学分野を中心とするアジア太平洋地域の高度人材との国際頭脳循環を促進し、我が国の研究力の維持・向上を図るとともに、数理科学を活用したイノベーションや同地域の共通課題の解決に貢献する拠点形成の方策について検討を行うため、令和2年12月、「アジア太平洋数理・融合研究戦略検討会」(主査：岡本久 学習院大学教授)を設置した。本報告書は、本検討会において以下の検討内容について議論し、その結果をとりまとめたものである。

○検討内容

- (1) 数理科学及び数理科学を活用した融合領域研究(数理・融合研究)の重要性について
- (2) 我が国の参考となる海外の数理科学関連政策の動向と事例について
- (3) 数理科学及び数理・融合研究に対する産業界のニーズについて
- (4) 国内の研究機関等の取組事例と我が国の今後の課題について
- (5) 上記(1)～(4)を踏まえた、我が国の取るべき方策について

第1章 数理科学及び数理科学を活用した融合領域研究（数理・融合研究）の重要性

（1）無形の科学技術—数理科学の特長と必要性

数理科学は、近代科学技術が出現するはるか以前にその源を辿り、自然科学の最も根源的な法則（公理）の発見等を通して、歴史的に科学技術の発展の礎（自然科学の共通言語）としての役割を担ってきた。

しかし、モノや人を対象として実験・検証を伴い、多額の設備投資等を要する科学技術分野（例：理学（物理・化学・生物等）、工学、及び医学等）に比して、無形の科学技術である数理科学は、従来、我が国の科学技術政策の対象として認知度が大きいとは言えなかった。

文部科学省は、2006年に文部科学省 科学技術政策研究所が報告書「忘れられた科学—数学」¹を発表して以来、約15年にわたり様々な施策を講じてきた。AI技術や量子科学技術のニーズが増大し、特に、新型コロナウイルス感染症の拡大により社会全体におけるDXの要請が急激に高まる中、VUCA（Volatility:変動性、Uncertainty:不確実性、Complexity:複雑性、Ambiguity:曖昧性）時代の到来が顕在化した。そして、こうした分野の技術基盤である数理科学の重要性があらためて認識され、「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（以下「基本計画」という。）では、「数理」に関する記載が充実すると共に、基盤分野を含めた数理・情報科学技術に係る研究を政府として加速していくことが閣議決定された²。また後述のとおり、ここ数年、諸外国における数理科学への取組・投資が急速に強化されつつあり、数理科学を重視する傾向は世界的な潮流であると考えられる。

なぜ近年、世界的に数理科学の重要性があらためて認識されているのか。それは、数理科学特有の以下のような特長を有することが理由と考えられる。

a. 抽象性・普遍性・厳密性（信頼性）

数理科学は、複雑・不可視・不明確な自然・社会現象を抽象化・単純化（定式化・モデル化）して可視化（認識可能化）できる特長があり、これにより現象の解明・解析や予測、最適化等が可能となる。例えば、職人のカンに頼っていた技術も、細部までデータ化して数学的概念に落とし込むことで、職人本人がいなくなっても技術を継承できる。また、急速に普及しつつあるAIによって、ビッグデータを効率的に分析し、eコマースや政策などに即時

¹ 文部科学省科学技術政策研究所「忘れられた科学—数学」（2006年5月）

² 内閣府 第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月26日閣議決定）

<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6honbun.pdf>

に応用が可能な時代がきている。そして、AIが「なぜそのような結果を出したのか」という問題（いわゆる「ブラックボックス問題」）への対応には、使用者がデータそのものの持つ意味とその利用の仕方について正しい認識を持てる仕組みを構築する必要があり、そうしたアルゴリズムの本質を理解するために数理科学が必要である。

b. 分野横断・汎用性

数理科学は、ライフサイエンス、ナノテクノロジー、環境科学、材料科学、物理学、化学、金融工学、経済学等の人文・社会科学等、ほぼすべての学術領域の共通基盤として必要、または少なくとも適用可能な汎用性を持ち、分野横断・分野融合的な研究開発（数理・融合研究）及び異分野同士の「新結合」によるイノベーションを可能にする特長を有している。

c. AI、量子、ICT等の技術の基盤

近年進展しつつある情報通信技術（IT/ICT）やAI、量子技術等の技術は、数理科学なくしては出現し得なかった。樹木に例えれば、数理科学は樹木の幹であり、AI等の技術は、その幹から生じる花であり、果実ともいえる。数理科学は、時代や技術のトレンドに左右されない基盤的な性格を持つとともに、そのような分野の技術を無限に生み出す源泉としての特長をも有している。

d. 理論演繹的イノベーションの可能性

一般的な科学的手法である自然・社会現象の観察・分析や実験等をベースとした帰納的（実験的）研究開発によるイノベーションとは異なり、数理化則の理論の積み重ね等による数理的手法を用いることにより、現実世界の延長上では考えられない理論演繹的なイノベーションを起こす可能性がある。具体例として、現実世界にはまだ出現していない（あるいは認知されていない）物質を理論的に構築する機能性材料の開発などが実際に行われている³。

e. 安全・安心に係る技術分野への貢献

大量データ解析、衛星画像解析、情報セキュリティ、暗号解読等の情報分野のみならず、ステルス技術の開発やコンピュータ技術等のいわゆる「ゲーム・チェンジャー」となる技術開発など、歴史的に数理科学は安全・安心に係る技術の発展の影の立役者でもあった。後述するように、諸外国において

³ 東北大学AIMRでの取組例：数学と材料科学との連携により、原子・分子からなるミクロスケールの理解とそれらの精密な制御をメソ・マクロスケールまで一貫してつなぎ、新しい機能を発現する革新的材料創製を目指すプロジェクト。

(2012年～：<https://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/research/target.html>)

(2019年～：<https://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/research/atp.html>)

国策として数理科学に対する政策的投資を行っている背景には、このような安全・安心に係る技術分野との密接な関連性も推察される。

(2) 人文・社会科学を含む異分野との協働による数理・融合研究の必要性

数理科学を用いた現実世界における複雑な事象の解明や課題解決のためには、実世界の数理モデル化の前提となる現実（現象）を正確に把握するための多角的な視点が必要であり、数理科学以外の多様な分野との融合・協働が不可欠である。数理科学の分野横断性・汎用性の特長が発揮されるのはまさにこうした融合研究領域であり、世界的な「データ駆動社会」の進展もあいまって、医学及び工学を含む自然科学はもちろん、人文・社会科学との連携により数理科学関連の研究コミュニティは急速に拡大している。

特に社会的課題や倫理的課題⁴への対応のためには、人文・社会科学との融合は有益であると考えられる。例えば、「ブラックボックス問題」への対応には、そのAIに用いられたデータとアルゴリズムの構造、その結果の社会的影響を理解するために数理科学と経済学などの社会科学との共同作業が必要である。特に経済学は数学言語を重視しており、多くの経済学者は数理科学者との意思疎通が容易にできることから、両者が協働することで社会にとって有用な成果が生まれることが期待される。我が国でも、令和2年6月の「科学技術・イノベーション基本法」の改正や第6期科学技術・イノベーション基本計画により、社会的価値を生み出す人文・社会科学の「知」と自然科学の「知」の融合による「総合知」による課題解決が推進され、人文・社会科学との連携・融合も積極的に進めることとされている⁵。これは、欧米や他のアジア諸国でも普及しつつある人文・社会科学における数理的アプローチの導入の面でも重要であると考えられる。

第2章 数理・融合研究をとりまく国内外の動向

(1) 国内の状況

①研究活動関連の動向

日本は1954年に小平邦彦教授（受賞時：プリンストン大学教授）がアジア人として初のフィールズ賞を受賞して以来、アジア最多の3名のフィー

⁴ 例えば、キャシー・オニールの著書『数学破壊兵器』（2016年）は、数理モデル構築の際の恣意的な操作の回避、データ選択の際の公平性の担保の必要性等について指摘している。

⁵ 第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月26日閣議決定）

<https://www.mext.go.jp/kaigisiryoy/content/000103965.pdf>

ルズ賞⁶とともに、第1回のガウス賞⁷ (2006年)、チャーン賞⁸ (2018年)等、数理科学分野の数多くの国際的な賞の受賞者を輩出してきた。1990年にはアジア初の国際数学会議 (ICM) の開催、2015年にはアジアから初の森重文教授 (受賞時: 京都大学数理解析研究所) の国際数学連合 (IMU) 総裁就任など、長年、アジア太平洋地域における数理科学研究において中核的存在感を示してきた。国民の数学的リテラシーについても、義務教育終了段階では先進国においても世界トップクラスであり⁹、国際数学オリンピックの受賞者数などにおいてもアジアをリードしてきたことから、元来のポテンシャルは極めて高いと言える。

他方、近年の数理科学に関する研究力に関する指標を見ると、「数理科学」の定義が欧米と異なるため単純比較はできないものの、我が国の同分野における相対的な地位の低下を示す傾向がみられる。例えば、数学研究論文の世界シェアは低下傾向にあり (2000年まで世界5位→現在9位)、他分野との融合研究は論文数こそ増加傾向にあるものの、他国の伸びの方がさらに大きい¹⁰。数学関係学生数は、特に女性を中心に減少傾向にあり、これは米国と対照的な傾向である¹¹。また、2015年以降は、米国との共著論文相手国として我が国はそれまでの6位から上位10か国の圏外へと順位

6 日本では、小平邦彦氏 (1954年)、広中平祐氏 (1970年)、森重文氏 (1990年) の3名が受賞している。アジア系では、Shin-Tung Yau (丘成桐) 氏 (中国系米国人) (1982年)、Terence Tao (陶哲軒) 氏 (中国系オーストラリア人) (2006年)、ゴ・バオ・チャウ氏 (ベトナム人) (2010年)、マリアム・ミルザハニ氏 (イラン人) (2014年)、マンジュル・バルガヴァ氏 (インド系カナダ・米国人) (2014年) の5人が受賞している。2006年以降、毎回ほぼ1名のフィールズ賞受賞者がアジアから出ている一方、日本からの受賞者はしばらく出していない。(平成27年度文部科学省委託事業「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」東北大学知の創出センター)

https://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/detail/_icsFiles/afieldfile/2016/04/06/1362851_07.pdf

⁷ 数学の応用に対して授与される最高の賞。顕著な実際的応用をもたらした数学的貢献および数学の応用研究における画期的な業績をあげた研究者に授与される。伊藤清氏が、第1回(2006年)に受賞。

⁸ 数学の分野において世界最高水準の業績を残した研究者に授与される賞。数学界最高の賞と言われるフィールズ賞も同様だが、チャーン賞は年齢を問わないという違いがある。柏原正樹氏が、第3回(2018年)に受賞。

⁹ 国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS2019) における成績を参照。

https://www.mext.go.jp/content/20201208-mxt_chousa02-100002206-2.pdf

¹⁰ 文部科学省 科学技術・学術政策研究所「数学研究に関する国際比較」－「忘れられた科学」から－ (2020年2月)、概要図表2を参照。

<https://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-RM287-FullJ.pdf>

¹¹ 文部科学省 科学技術・学術政策研究所「数学研究に関する国際比較」－「忘れられた科学」から－ (2020年2月)、図表3-4及び図表3-21を参照。

を下げている¹²。

②産業界及び社会的ニーズ

a. 産業界の数理・融合研究人材に対する期待

現代は、個別のニーズに対して個別の対応を行う（部分最適の）伝統的情報社会（Society 4.0）から、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、社会の全体最適の価値の実現に貢献する Society 5.0 への転換点と言われている。この Society 5.0 の実現に不可欠な I T 人材は 2030 年に約 45 万人、A I 人材は約 12 万人不足すると予測されており¹³、政府でも A I 戦略を策定し、数理・データサイエンス・A I に関する知識・技能を、いわゆる「読み・書き・そろばん」的な素養として全ての国民が育むべき基礎知識と位置付けている他、国内人材のみならず、外国人や女性等の多様な人材の育成・呼び込み策も重要であるとされている¹⁴。こうした I T・A I を含む数理科学関連分野については、高い数理能力で A I・データを使いこなす力だけでなく、課題設定・解決力や異なるものを組み合わせる力により新たな価値創造（イノベーション）を行う人材が求められている。特に、社会事象を数理科学的に理解・定式化し、社会課題に対応したシステムデザインの構築にも貢献する数理科学分野の人材への需要が急速に高まっており、実際に産業界では、理学系、情報系及び人文系など、数理科学及び数理科学と融合する分野の人材の採用が強化されている。それら人材に共通して重視されている要素は以下の 5 点であると考えられる。

ア) 全体俯瞰力

広範囲からの多様なデータの取得・活用が可能となった「データ駆動社会」の現代においては、技術的な能力に加え、俯瞰的な視点で社会事象データの分析・意味解釈を行い、可能であれば定式（数理モデル）化し、全体最適な解を追求するシステム構築ができる「俯瞰的数理人材」が求められている。

¹² Science Portal China 取材レポート「国際共著論文でも米中 2 強時代に」（2019 年 8 月 15 日）https://spc.jst.go.jp/experiences/coverage/coverage_1923.html

¹³ 「I T 人材需給に関する調査－調査報告書」（2019 年 3 月、みずほ情報総研株式会社）平成 30 年度我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備（I T 人材等育成支援のための調査分析事業）を参照。

https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/gaiyou.pdf

¹⁴ 統合イノベーション戦略推進会議決定「A I 戦略 2021」（令和 3 年 6 月 1 1 日）

https://www8.cao.go.jp/cstp/ai/aistrategy2021_honbun.pdf

イ) 現場の実体験

数理科学は理論的な分野であり、ともすれば現実的な視点を見失いがちになる傾向があるが、物事を本質的に深く理解するためには、理論と実践の両方の視点が必要である。ア) の全体俯瞰力を養成するためにも、我が国が強みを持つ現場の「人」との交流や、実際の「もの」に触れることなど、実社会の多様な経験を重ね現実的な世界への積極的な関与と対応力も備えた人材が求められている。

ウ) ネットワーク形成力

数理科学分野に限らず、優れた研究開発者の特長として、多様な分野・人材とのつながり・相互作用を構築するネットワーク形成力を有することが知られている。数理科学の場合は特に学問の特性上、論文執筆においても単著が珍しくなく、教育・研究過程で関わる人数が比較的少ない傾向にあるため、特にこの人的ネットワーク形成力の観点は重要である。

エ) 自己開発力

近年の高度人材のジョブ型採用等の普及に伴い、プロフェッショナルの在り方は世界的に変化しつつある。旧来の日本型雇用において自らのスキルにのみ注力する「スペシャリスト」として活躍してきた数理系人材は、今後、常に最新の専門性を開拓する自己開発能力とともに、多様な分野との協働により俯瞰的に仕事を進める「プロデューサー」としての能力も期待される。

オ) 国際性

グローバル化が進んで久しい現在、あらゆる分野において国際性が求められており、産業界は必要に応じて、数理科学分野の人材をアジア太平洋を含む海外にも求めている。特に数理科学分野の人材には、基礎的な語学力のみならず、多様な国際経験を通し、海外人材との協働に必要な国際的な視野やコミュニケーション能力、異文化理解力等のスキルが求められている。

b. 社会的課題に対応する数理・融合研究

環境、エネルギー、経済・金融、防災等、現代における多くの社会的課題への対応にあたり、数理的アプローチはもはや必須のツールとなっており、実際の課題解決に貢献することはもちろん、それを通して様々な新興・学際分野の研究の創出・発展にも寄与してきた¹⁵。特に少子高齢

¹⁵ 国際的には、持続的発展にかかわる貢献 (STI for SDGs) に関わるグローバルなデータ (気候、海洋、食料、防災) が国際共同で収集されており、これを解析し予測につなげる

化等の人口問題や感染症の問題は、我が国のみならず世界的な喫緊の課題の代表例であるが、これらの課題にそれぞれ対応する人口学や感染症数理は、いずれも数理科学と社会科学等が融合した生命・社会に関わる典型的な数理・融合研究領域である。特に感染症に関しては現在の新型コロナウイルス感染症拡大によるコロナ禍を機に、注目度やニーズが世界的にも急速に高まっている。

いわゆる「データ駆動型社会」の浸透に伴い、こうした現実かつ喫緊の課題の解決に直結する数理・融合研究は、今後ますますニーズが高まるものと考えられる。

③国内の取組事例

国内の数理科学分野のうち、特に純粋数学分野においては、諸外国や他分野と比べてアカデミア志向が強い傾向があると言われてきたが、近年は下記のような国内の大学や公的研究機関の多くにおいて、数理科学と諸科学・産業との連携・協働を推進するための組織的取組の動きがみられる。

文部科学省では、こうした数理科学関連拠点のいくつかをネットワークでつなぎ、数学・数理科学と諸科学・産業界との協働によるイノベーション創出を促進する「数学協働プログラム」【平成24年～28年度：受託機関：統計数理研究所】¹⁶、及びその後継事業としての「数学アドバンストイノベーションプラットフォーム (AIMaP)」【平成29年度～令和3年度：受託機関：九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI)】¹⁷等の事業を推進してきた。

個別の大学の取組例として、北海道大学では、情報科学研究院等を中心として、数理科学に基づく手法を活用した情報科学、コンピューターサイエンス、データサイエンス及びAI等を用いた産学連携及びデータ駆動型の分野融合による研究が積極的に推進されている。北海道の地理的な優位性を活かした土木分野との共同研究の成果として、インフラ管理企業と連携して産業界のニーズに対応した社会実装を実現するのみならず、学術的成果を分野融合による研究論文として発表し、国際的にも高い評価を得ている。こうした同大学の取組は海外からも注目されており、特にアジアから多くの留学生を引き付けている。

数理科学的貢献がある。

¹⁶ 統計数理研究所 数学協働プログラム ウェブサイト <http://coop-math.ism.ac.jp/>

¹⁷ 九州大学 AIMaP ウェブサイト <https://aimap.imi.kyushu-u.ac.jp/wp/>

また、東北大学材料科学高等研究所（WPI-AIMR）では、数理科学を活用した産学連携活動の一つとして、米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）のIPAM（Institute for Pure & Applied Mathematics）と協力し、日米の数学系大学院生がグループを組み、スポンサー企業から提供された課題に8週間にわたって集中して取り組むプログラム「g-RIPS-Sendaiプログラム」を2018年より実施している。これは企業等の具体の課題に対して数理科学的な手法を用いて解を提供する課題解決型学習（PBL：

Project Based Learning）の一つであり、2019年度はトヨタ自動車株式会社、株式会社富士通研究所及び日本電気株式会社（NEC）の3社から課題提供を受けた。また、同研究所では、2019年12月に「数理科学オープンイノベーションセンター」が開設され、数理科学を基盤として、材料科学を含む幅広い領域でのオープンイノベーションを実践している。

京都大学理学研究科においては、2016年に「数理を基盤として新分野の自発的創出を促す理学教育プログラム（Mathematics-based Creation of Science Program: MACS）」を立ち上げ、数理科学の分野横断性を活用し、理学5分野を横断する融合研究の推進による新たな学問分野の自発的創出を促すとともに、分野横断的課題の発見と解決に学際的な視点から取り組むことができる優れた若手研究者や科学人材を育成するための教育が行われている。

我が国の統計数理研究の中心的な研究機関である情報・システム研究機構 統計数理研究所（以下、「統数研」という。）では、横軸として統計に関わる数理的な研究（基幹的研究）を推進するとともに、縦軸として統計数理の運用に関わる重点分野（リスク解析、統計的機械学習、モノづくり、医療・健康、環境資源等）を設定し、共同研究や人材育成等を通して社会的・学術的な課題に対する統計的ソリューションの提供に貢献している。また、統数研と並び統計分野のアジア3大研究所とされるインド統計研究所及び台湾中央研究院統計科学研究所との国際交流とともに、東南アジア諸国を中心した持続可能な環境資源管理と経済成長のための戦略的国際ネットワークの形成等、統計・データ科学を活用した国際貢献を行っている。

（2）海外の動向

上記のように、国内の一部の大学や公的研究機関においては組織的な取組が進みつつあるが、海外では以下の通り、更に積極的な取組が見られる。

①海外の数理・融合研究に関する取組事例

a. 米国

米国では、1998年に「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」(オドム・レポート)が発表されて以来、数理科学を科学・技術・工学に並ぶ分野として研究費を大幅に増強するとともに、応用分野と諸科学との学際研究の推進により数理・融合研究も積極的に推進してきた。最新の取組としては2020年7月、米国国立科学財団(NSF)が、新たな数理科学の訪問滞在型研究拠点としてシカゴ大学等を中核とする数理統計イノベーション研究所(The Institute for Mathematical and Statistical Innovation: IMSI)の設立を発表した¹⁸。予算は5年間で15.5百万ドル(約16億円)と発表されており、応用数理及び統計の手法を用いて、緊急性の高い科学的及び社会的課題の解決に貢献するプラットフォームが構築されている。

また、米国は数学人材を豊富に有しており、米国政府労働統計局職業分類における数学専門職就労者数として、約22万人が計上されている(2020年5月現在)¹⁹。米国の数理科学人材は、2021年1月、バイデン新政権において数学博士であるエリック・ランダー氏が初代閣僚級OSTP局長として指名されるなど²⁰、いわゆるGAF²¹をはじめとして幅広い分野で活躍している。

b. 英国

英国にはニュートン研究所(INI)をはじめとして国際的に著名な研究所が数多く存在する。2018年に英国工学・物理科学リサーチカウンシルによる報告書「The Era of Mathematics」が発表され、数学による経済効果が明示された²²。2020年1月、ボリス・ジョンソン英首相は、EU離脱に伴う研究者・数学者の囲い込み政策パッケージの一環として、数理科学への投資を3億ポンド(約410億円)に倍増することを決定した²³。英国政府

¹⁸ イリノイ大学は他大学と連携し、数学と統計の研究所を設立し、国立科学財団がそのパートナーシップに対し、1550万ドルを授与した。University of Illinois Urbana-Champaignのプレスリリースを参照(<https://las.illinois.edu/news/2020-07-14/u-i-partners-other-universities-form-math-and-statistics-institute>)。

¹⁹ 米国労働統計局職業分類の15-2041。数学科(Mathematician)、統計家(Statistician)、アクチュアリー(保険数理)、オペレーションズリサーチアナリスト、データサイエンティスト、その他数理科学職を含む。

米国労働統計局 https://www.bls.gov/oes/current/oes_nat.htm#15-0000,

²⁰ アメリカ数学会(AMS)による記事(2021年4月)

https://www.ams.org/news?news_id=6716

²¹ GAFとは、米国IT企業4社(Google、Apple、Facebook、Amazon)を指す。

²² 英国工学・物理科学リサーチカウンシル(EPSRC)「数学の時代(The Era of Mathematics)」<https://epsrc.ukri.org/newsevents/pubs/era-of-maths/>

²³ イギリスの研究資金配分組織UKリサーチ・イノベーション(UKRI)によるプレス(2021年1月)<https://www.ukri.org/news/funding-boost-for-mathematical-sciences->

は、「数学はすべての科学技術の発展に不可欠であり、健康・安全から環境に至るまで、幅広い研究の下支えとなる分野」とし、博士課程学生等の若手研究者への支援の倍増、数理科学者のキャリア支援と融合領域での研究プロジェクトの推進、国内の有力な数理研究拠点におけるワークショップ等の支援等を行うこととしている。

c. 中国

中国は2015年、アジア初の応用数理国際会議（ICIAM）の招致に成功して以来、数理科学分野における国際活動を急速に活発化させている。2016年12月には中国を中核とするアジア～欧州の10か国²⁴（14学会）から成る「シルクロード数学センター」が設立され、現在まで計4回の会合が開催されている²⁵。さらに2017年には、中国、ブラジル、ロシア、インド、南アフリカ共和国の5か国（BRICS）による「BRICS数学会議」が設立され、以降2020年まで毎年、計4回の会合が開催されている²⁶。

2019年以降は、数理科学主要国際組織のポストに中国人が就任している。2019年10月には、中国科学院のYa-xiang Yuan教授がアジア人として初めてICIAM会長に就任し、その就任挨拶において、ロシア、アフリカ、東南アジア、南米、東欧諸国のICIAM加盟に意欲を表明した²⁷。2020年8月には、香港大学のFrederick Koon Shing Leung教授が、アジア人として2人目となるICMI会長への就任が決定した（1人目は日本人の彌永昌吉氏（1975年））。さらに、2021年2月には、米国応用数理学会東アジア支部（EASIAM）の会長も日本人から中国人に交代した²⁸。

二国間協力にも活発な動きがみられ、2020年6月、北京大学とロシアのモスクワ大学間で「中露数学センター」が設立された²⁹。

中国では数理人材の育成と活用も活発である。北京大学では、「数学英才班」という人材育成コースのための特別な入学枠が存在する³⁰。この北京大学を含む、いわゆる「清北復交（チンペイフージャオ）」と呼ばれ、数

institutes/

²⁴ 中国、アルメニア、グルジア、ネパール、フィリピン、ポーランド、ロシア、シンガポール、トルコ、インドネシア

²⁵ 中国数学会ウェブサイト「シルクロード数学センターの設立について」参照 (http://www.cms.org.cn/en/mathcenterintro_332.html)。

²⁶ 中国数学会ウェブサイト「BRICS数学会」参照 (http://www.cms.org.cn/en/mathcenterintro_1379.html)。

²⁷ ICIAM ウェブサイト <https://iciam.org/news/19/9/15/word-incoming-president>

²⁸ 米国応用数理学会東アジア支部（EASIAM）ウェブサイト <http://easiam.org/officers.html>

²⁹ https://newsen.pku.edu.cn/news_events/news/focus/9985.htm

³⁰ 夏目英男著『清華大学生が見た最先端社会、中国のリアル』（クロスメディア・パブリッシング、2020年）、162頁、表4-8参照。

理科学研究でも著名な4大学（清華大学、北京大学、復旦大学、上海交通大学）の就職先トップはいずれも「ファーウェイ」である³¹が、その従業員19万人の約半数を占める研究者のうち、数学者700人強、物理学者800人強の人材が活躍しているといわれている³²。

d. その他の国・地域（ロシア、アフリカ）

世界で二番目に多くのフィールズ賞受賞者を輩出しているロシアでも、近年数理科学に関する活発な動きがみられる。2019年、数理科学分野の研究・教育拠点として、ソチに Sirius 数学センターが新たに建設された³³。また同年、数学科出身のヴィクトル・A・サドーヴニチ氏を学長とするモスクワ大学を中核として、新たにモスクワ基礎・応用数学センターが設立され、上記の「中露数学センター」の連携機関となっている³⁴。

アフリカでは欧州数学会（EMS）等の支援による人材育成プログラムが推進されているほか、地域内連携の動きが見られ、2003年にアフリカ数理科学研究所（AIMS）が設立されており、2023年までに15拠点のネットワークに拡大される予定である³⁵。

②数理・融合研究を含む科学技術を取り巻く国際動向

a. 新興国・途上国におけるデジタル化の進展

非OECD加盟国におけるインターネット人口の急速な増加が示すように、中国、インド、東南アジアやアフリカ諸国等の新興国におけるデジタル化が近年、急速に進んでいる³⁶。こうした新興国では、従来の安価な労働力を活用した工業化型経済成長から、デジタル化による経済発展への移行を進めるべく、政府主導の様々なイニシアチブ³⁷に基づき、数理科学人材の育成を含む政策パッケージが積極的に進められている。

このような取組は、2015年に国連が掲げた「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals; SDGs）」、特に「目標9 強靱（レジ

³¹ 同上、160頁、表4-5参照。

³² 李智慧著『チャイナ・イノベーション2 中国のデジタル強国戦略』（日経BP、2021年）、184頁参照。

³³ Sirius 数学センターウェブサイト <https://sochisirius.ru/smc>

³⁴ モスクワ基礎・応用数学センターウェブサイト <https://mathcenter.ru/en/>

³⁵ アフリカ数理科学研究所ウェブサイト <https://nexteinstein.org/>

³⁶ 伊藤亜聖著『デジタル化する新興国 先進国を超えるか、監視社会の到来か』（中公新書、2020年）。

³⁷ 例えばタイにおける Thailand4.0(2016)、マレーシアの Industry 4WRD(2018)、シンガポールの Smart Nation(2015)等が挙げられる。次の資料を参照。OECD, *Economic Outlook for Southeast Asia, China and India 2021: Reallocating Resources for Digitalisation*, OECD Publishing, Paris, 2021.

リエント)なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進およびイノベーションの推進を図る」や女性エンジニアの活躍(「目標5 ジェンダーの平等を達成し、すべての女性と女児の能力強化を行う」)等にも寄与している。特にイノベーションの観点からは、新興国は豊富な若年人口や規制環境の緩さ、強力な政府主導体制等、社会実装を進めやすいという強みを有する場合が多く、その強みを活かしているものと考えられる。

数理科学に関して、我が国は基礎研究力に強みをもつものの社会実装には多くの課題があり、こうした強みを持つ新興国との人材の還流により、双方のイノベーションやSDGsにとって互いに有益な「共創パートナー」となる可能性がある。

b. 国際頭脳循環をめぐる米国における取組

2021年1月に発足したバイデン政権は、前政権と比して多国間主義を志向し、同盟国・パートナー国との連携に力を入れるものと見込まれているが、米国ではグローバル化や国際交流に伴う利益のみならず、そのリスクにも焦点を当てる姿勢が明確になりつつある。

これに対応すべく、①研究機関やパートナー国との情報交換・共有や②外国からの支援等に関する包括的な情報開示、③国際研究交流等における民主主義同盟国との接点の増加等の対応策が政府内外で議論されている³⁸ところである。

また、米国では基礎研究に関し、ファンダメンタル・リサーチ・エクスクルージョン：Fundamental Research Exclusion(FRE)というルールに基づき、原則として輸出管理規制の対象から外す等、可能な限り規制しない方針³⁹を貫いてきたが、近年はこうしたルールの見直しの動きも見られる。例えば、2019年12月に米国科学財団(National Science Foundation：NSF)による「基礎研究の安全保障に関する報告書」⁴⁰において「リサーチ・セキュリティ」という概念が発表され、研究振興と安全保障の両方の観点から、今後の国際的な学術交流の在り方等が提言された。

³⁸ 米司法省「チャイナ・イニシアチヴ」(2018年11月)、
米人工知能安全保障委員会(National Security Commission on Artificial Intelligence：NSCAI)最終報告書 <https://www.nscai.gov/wp-content/uploads/2021/03/Full-Report-Digital-1.pdf>、
China Strategies Group, Asymmetric Competition: A Strategy for China & Technology: Actionable Insights for American Leadership, Fall 2020

³⁹ 国家安全保障決定指令(NSDD-189)

⁴⁰ 米国科学財団「基礎研究の安全保障に関する報告書」(2019年12月)
https://www.nsf.gov/news/special_reports/jasonsecurity/JSR-19-2IFundamentalResearchSecurity_12062019FINAL.pdf

第3章 我が国の今後の課題

上記のとおり、諸外国では国策として数理科学研究の振興が活発化している。また、数理科学の概念が従来の伝統的な純粋数学から、応用数理、統計、データサイエンス等を含む幅広い概念に拡大され、それら研究領域を一体的に推進する傾向も見て取れる。欧米では課題解決・社会実装志向の研究が積極的に推進されている。また、中国・ロシア等では国際的な連携により人材育成を含めた国際的な数理科学研究の中核拠点を設立し、世界の数理科学分野の人材を引き付ける国際数理コミュニティにおいて存在感を増しつつある。こうした国内外の状況を踏まえ、以下の5つの観点から課題を抽出した。

(1) 研究力向上の観点

数理科学研究における「多様かつ優秀な研究者との議論（研究集会等）」は、他の実験科学分野（物理、化学、生物・・・）における「実験」に匹敵する重要な研究活動であるため、研究力強化のインフラとして、適切な「出会いと議論の場」を整備することが必須である。上述のように、欧米には世界中から多様な研究者が集う国際的に著名な国際頭脳循環拠点やネットワークがそのような「出会いと議論の場」として多数存在する。そうした場は、基礎から応用、更には産業界等までを巻き込んだ幅広い数理関連コミュニティを形成させる場ともなっており、こうした場が新たな研究意欲を刺激することで研究力の強化に貢献しているとともに、数理科学のみならず、実験科学的手法による研究を行う分野や社会科学等を含む他分野との学際的な数理・融合研究の創出にも寄与している。また、産業界等の社会的なニーズとの接点の機能も果たしている研究所も数多くあり、それが欧米における応用志向の数理科学研究の発展の一助となっていると考えられる。

我が国の数理科学における研究力の強化のためには、このような国際的に求心力のある「出会いと議論の場」を我が国がイニシアチブをとる形で立ち上げ、欧米に匹敵する国際頭脳循環の仕組みを構築・整備していくことが必要である。こうした仕組みは、今後の我が国の数理科学に期待されるイノベーションの創出や新たな融合領域の開拓にも有益であると考えられる。

数理・融合研究の開拓・推進については、いわゆる理系の諸科学のみならず、人文・社会科学との一層の推進も課題である。我が国においては、例えば理論経済学分野では数理科学・統計等の利用も進展しており、国際的にもフロントランナーとして認知されているが、他方で経営学や社会学については、他のアジア諸国と比べても、欧米で先行し諸外国で急速に普及してい

る数理科学型研究への転換が遅れていると言われている。また、人口学や感染症数理科学等の数理科学と人文・社会科学との融合領域研究についても、欧米はもとより、中国を含むアジアにおいても欧米型（数理科学型）研究が進められており、我が国はそうした国際的潮流から取り残されつつあるという指摘もある。国際的にはほぼあらゆる分野で統計学や情報科学を含む数理科学的アプローチが導入される傾向にあり、人文・社会科学分野や人口学・感染症数理科学等の融合領域での研究の活性化のためにも、数理・融合研究の推進が望まれる。

上記のような社会的貢献及び他分野との融合の観点は、従来、数理科学の研究活動の評価指標としては重視されてこなかったことも課題の一つである。近年は国際的にもプレプリントサーバー arXiv のような新たな研究成果の発表手法が普及し、学術界における論文の位置づけも大きく変わりつつあるとともに、海外では論文数よりも産学連携を評価指標として重視する動きも見られ⁴¹、研究評価にあたっては、論文数等の伝統的な学術的指標のみならず、社会的インパクトや若手の教育・人材育成能力等、キャリアパスに応じた多角的な評価の観点の導入も必要である。他方、このような新たな価値観や仕組みを、従来の日本の枠組みの中で導入・普及させていくためには国際的な活動等を通じた外的なインセンティブを活用するという観点も有効であると考えられる。

(2) イノベーション・産学連携の観点

上記の「出会いと議論の場」は、単にシーズを持つ数理科学の研究者と諸科学や企業等の社会的なニーズを物理的に引き合わせるだけの場ではなく、人文・社会科学系を含む多岐にわたる分野の人材や産業界等からの多様な人材が、課題を共有しながら共に実社会の課題解決やイノベーション創出を行う、数理・融合研究と社会的ニーズをつなげる共創の場となることが重要である。例えば、前述の東北大学の例で紹介したとおり、欧米では企業等が提示した課題に対して数理科学者が解を提示することで対価を得る PBL という仕組みが普及しており、研究者側の研究ニーズと企業等側の課題解決のシーズのマッチングが効果的に行われ、イノベーションの創出にも寄与している。これを発展させ、企業が課題に応じて様々なスペシャリストを集めたプロジェクトチームを形成するように、数理科学に限らない多様な分野のスペシャリストを巻き込んだ PBL 型研究を行うことにより、より多角的かつ社会実装に近い形でのイノベーション・産学連携が可能となると考えられる（な

⁴¹ Mallapaty, Smriti. “China’s five-year plan focuses on scientific self-reliance,” *Nature*, March 11, 2021.

<https://www.nature.com/articles/d41586-021-00638-3>

お、この PBL という手法は、研究者側にも新たな研究課題の発見や視野の拡大等、研究活動にも少なからず有益な刺激を与えており、研究力の強化の観点からも有効であると考えられる)。

また、数理科学は無形の科学であるが、伝統的に我が国が強みを有する「ものづくり」との協働による相乗効果を増す仕組みも重要であると考えられる。例えば上記の「出会いと議論の場」に集う若手人材に対し、日本のものづくり企業のインターンシップに参画できる機会を提供するなど、高度な数理人材とものづくりの現場とをつなぐ工夫も期待される。逆に、東京大学や九州大学などで行われている社会連携講座のように、企業から大学に「問題」を持って来てもらい、若手数学者がその問題を数学的問題に落とし込んで解決策を探るという Study Group という方法ももっと多くの場に広げられるのではないか。

さらに、シーズとニーズの効果的なマッチングのためには、国内外の研究機関等と連携した研究ネットワークを構築し、研究シーズや研究人材等のリソース情報の集約及び可視化を行い、外部からのアクセスが容易になるようなシステムの構築も期待される。

(3) 人材育成の観点

社会全体で急激にニーズが高まっているデジタルトランスフォーメーション (DX)、およびそれらの基盤となることが期待される AI、量子などの数理科学を基礎とする技術への対応のみならず、複雑かつ現実的・社会的な課題解決にも貢献できる数理人材の育成が求められている。特に数理科学者に期待される現実世界の数理モデル化においては、第2章(1)②で述べた通り、現実を複眼的・多角的に把握するために必要となる視野・関心・経験値を有する「俯瞰的数理人材」の育成が喫緊の課題と考えられる。そのためには、研究キャリアのなるべく早期に世界トップクラスの研究に触れると同時に、企業におけるインターンシップや異分野の人的ネットワークへの参画など、幅広い経験を積むことが極めて重要であると考えられる。こうした新たな人材育成プロセスの重要性を大学等の教育・研究機関や学会等の学術コミュニティも認識し、アカデミック・ポストに限らない多様なキャリアパスの形成に対する理解と支援を行うことが望まれる。

また、特に海外の数理科学コミュニティにおいては、個人型研究から多様な視点を取り込むチーム型研究へ、研究課題も内在型から外延型へ変化しつつある等、従来、他分野と比べてアカデミア志向が強いとされてきた数理科学分野、特に数学分野においてもその伝統にとらわれない新たな動きがみられるという。我が国においても、こうした時代の変化に柔軟に対応できる新たな人材の育成が必要である。

他方、数理・融合研究の典型例である人口学や感染症数理等の分野においては、喫緊の社会的課題の解決に直結する分野でありながら、国内における研究者の再生産と維持が極めて困難な状況であることが深刻な課題である。例えば、人口学については国内で学位を取得できる大学が存在しておらず、感染症に関しては、医学・生物学分野の研究の水準は高いが、公衆衛生学・疫学におけるデータサイエンスとしての数理研究・教育は国際的にもかなり立ち遅れているのが現状である。課題の喫緊性に鑑み、数理・融合研究を担う人材の育成にあたっては、こうした領域への貢献という観点も極めて重要であり、積極的に同分野のコミュニティとも交流して、短期的には欧米の成功例も参考にしつつ、海外の教育・研究機関との連携による国際的な人材育成の仕組みの構築が必要であると考えられる。

(4) 国際的存在感の観点

(1) で述べたように、数理科学研究における「出会いと議論の場」は欧米を中心に発展しており、世界の数理科学コミュニティは欧米の二極を中心に国際頭脳循環を行っていると考えられる。他方、第2章(2)c. で述べたとおり、未だ欧米に匹敵する数理分野の国際頭脳循環の場が確立していないアジアにおいては、近年、中国が急速に存在感を増しており、伝統的にアジアにおいて数理科学をリードしてきた日本の存在感は相対的に低下している。こうした中、我が国主導でアジア太平洋地域における開かれた国際頭脳循環の場を用意することは、その研究力を活かして透明性・公平性の高い研究交流を促進し、同地域の発展に学術面から貢献するのみならず、その成果をアジア太平洋地域における共通課題や持続可能な開発目標(SDGs)課題の解決、科学技術を通じて実現すべき未来社会像をめざすための新たな価値の創造等につなげることを通じて、我が国の国際的な存在感を維持・発展させていくことに寄与するものと考えられる。また、欧米に比べて公開情報に乏しいと言われるアジア太平洋地域における数理関係情報の収集・蓄積・発信等を行い、情報ハブとしての役割を果たしていくことも効果的であると考えられる。

なお、このような活動を実施するにあたり、課題や情報をどの国と共有するのか等の方針については、学術コミュニティのニーズの視点と同地域の国際情勢や地政学的な文脈を踏まえた戦略的視点とのバランスにも留意することが必要である。

(5) 理解増進の観点

第1章(1)②のとおり、数理科学はほぼすべての学術領域に適用可能な汎用性を有するツールであり、内部構造を知らなくても必要に応じて利用したり、専門家に頼ることができる「自動車」のように、より幅広い分野でその有用性が認知され、浸透することが重要である。数理科学コミュニティのリードによ

る積極的な情報発信・広報・訴求活動等の理解増進活動が期待される。

第4章 推進方策（提言）

第3章で抽出した課題を踏まえ、今後、我が国が取るべき方策として以下の取組を提案する。

【提案】：アジア太平洋地域における数理・融合研究に関する国際頭脳循環ハブ機能の構築

- ・ AIが一層進展し、コロナ禍の克服に向けた、DXの推進が求められるこのウィズコロナ・ポストコロナ時代に対応し、第6期科学技術・イノベーション基本計画及びAI戦略等において強化が謳われている数理科学分野について、我が国の研究力の維持・向上を図るとともに、数理科学を活用したイノベーションやアジア太平洋地域の共通課題の解決に貢献するための国際頭脳循環の場（「出会いと議論の場」）と仕組みを構築する。
- ・ 具体的には、歴史的に主導的立場にあった我が国の数理科学力を活かし、欧米と並ぶ数理科学分野の第三極を形成すべく、アジア太平洋地域を中心とした高度な数理系人材・研究組織をつなぐ①国際頭脳循環のハブ及び②数理科学と諸科学・社会との協働のプラットフォームとしての機能を果たす数理・融合研究に関する国際的な場（フォーラム）を設立する。
- ・ フォーラムに集う国際的に著名な研究者や異分野の研究者との交流、産業界等との社会的ニーズを踏まえた協働により、
 - ①数理科学研究の強化や新たな数理・融合領域研究領域の開拓・創出
 - ②我が国の数理人材の視野・関心・経験値の拡大による「俯瞰的数理人材」の育成、国際的なコミュニケーション能力及びネットワーク形成能力の醸成に貢献する。
- ・ 当該フォーラムを活用し、数理科学における研究形式として国際的な潮流である滞在型研究及びPBL型研究（国際的産学連携）を海外研究者とともに実施することにより、我が国及び同地域共通の社会的課題やSDGs課題の解決、研究力の向上・人材育成、産業界等の抱える問題の解決等に寄与する。
- ・ フォーラム機能の一つとして、アジア太平洋地域の数理関連動向の情報収集・調査や独自の雑誌等の発刊による情報発信や広報、このような活動に貢献する同地域の若手研究者の顕彰等も行う。

【留意点】

①国際戦略上の観点

a. 交流相手国とのパートナーシップ構築における戦略的観点

我が国を核とした国際頭脳循環の仕組みの構築に当たっては、未来社会像の実現の基礎となる「研究力の強化」をその目的の第一とするべきであるが、同時に、第2章での議論（国内外の状況や、科学技術・学術審議会国際戦略委員会における議論等）も踏まえ、国際交流に関する十分にバランスの取れた検討が行われることが求められる。また、こうした国際頭脳循環の仕組みにおける国際的な知財管理・技術/情報管理・財務等に精通した人材の整備も必要である。

さらに、開発途上国との協力においては、その経済規模等に配慮するとともに、研究協力や共通課題の解決等を通して我が国のソフトパワーが発揮されることが期待される。一方で、我が国の強みと開発途上国の強みを可能な限り補完し合い、互いの便益が感じられる形での交流体制を構築する視点も忘れてはならない。

b. 科学技術協力協定等の国の枠組みを活用した支援

数理科学研究における国際交流は、国や組織の単位ではなく研究者（個人）レベルで行われる傾向が強いが、上記のような戦略的な取組を行う上では、個人のみならず国や組織レベルでのコミットメントが確保されるよう、科学技術協力協定等の国同士の枠組みを積極的に活用することが望まれる。また、日タイ大学や日越大学等、日本との交流関係が既に確立されている教育・研究機関等との連携も有効であると考えられる。

c. 我が国の存在感向上のための長期的かつ多角的な取組

2023年には、4年に1度の応用数理科学に関する世界最大級のイベント「応用数理国際会議（ICIAM）」が東京で開催されるが、我が国の数理科学の国際的存在感向上とその定着のためには、このような大規模な数理科学系のイベントとのタイアップを今後10年程度実施していくなど、長期的・継続的な取組が必要である。そのほかにも、アジア太平洋に関する国際会議や周年事業のサイドイベント等として数理科学関係のイベントを行うなど、多様な機会をとらえて活動の幅を広げていくことも重要である。

（参考）今後の数理科学関連国際行事、アジア太平洋関連の国際会議、周年事業等

・2022年：国際数学者会議（ICM）@ロシア（St. Petersburg）

- 2023年：応用数理国際会議（ICIAM）@東京
国際数学オリンピック@千葉
- 2026年 国際数学会議（ICM）
- 2027年：応用数理国際会議（ICIAM）

②数理科学上の観点

a. 数理科学分野における対面の「出会い」の重要性

一般的にオンラインよりも対面のほうがコミュニケーションを円滑にし、また短時間での信頼関係構築も容易となることが想像されるが、特に議論することそのものが研究活動である数理科学分野においては、可能な限りリアルな対面での議論を行うことが望ましい。海外の研究者等との交流の推進は、そのリアルな交流の体験を通して数理科学者の国際性や現実社会への対応力を高める意義を持つとともに、開かれた出会いの場における思いがけない人や研究テーマとの邂逅も期待され、特に立ち上げの段階においては、可能な限り対面による交流にもとづいたネットワークの構築が期待される。