

2030年に向けた数理科学※の展開

— 数理科学への期待と重要課題 —

2022年7月22日
文部科学省研究振興局

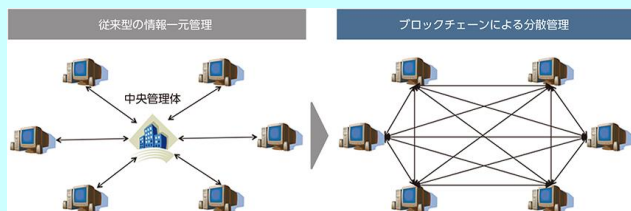
※本資料において、「数理科学」は「数学」を含むものとする

デジタル×数理科学

ブロックチェーン技術により、 暗号通貨の誕生、そしてweb 3、NFTへ

新たなサイバーフィジカルな世界を創造する可能性

- 「ブロックチェーン技術」は情報通信ネットワーク上にある端末同士を直接接続して、取引記録を暗号技術を用いて分散的に処理・記録するデータベースの一種。



- 2008年11月、「サトシ・ナカモト」と名乗る人物が電子通貨ビットコインに関する論文を発表。
- 翌2009年1月には、ビットコイン（暗号通貨）の運用が開始。
- 暗号通貨は、特定の発行元や管理者が存在しないお金であり、ブロックチェーン技術がその要。
- 2014年に提唱されたWeb3は、ブロックチェーン技術等を用いたデータの分散管理を実現。単一のサーバーやデータベースに代わり、ユーザー一人ひとりが参加するネットワークが、サービスを提供。
- これにより、特定企業への個人情報の集中（データ管理型、データ専制型）を回避し、セキュリティの問題を低減。

(用語)

Web3 (ウェブスリー)

「Web3.0」とも呼ばれ、主にブロックチェーン技術によって実現されようとしている、新しい分散型のWeb世界のこと。



NFT

「非代替性トークン (non-fungible token)」の略。ブロックチェーン上に構築されるデジタルデータの種類。「一意な識別子を持つ」つまり、資産の所有証明を付与されたデジタルデータのこと。

AI×数理科学

ベイズ統計、フーリエ解析により、人工知能 (AI)を大きく発展させた

- 「ベイズ統計」は条件付き確率を求めるための統計手法。ある結果をもたらした原因の確率（条件付き確率）を求めるときに利用。
- 画像認識や病気の診断、機械故障の診断などのAIに活用。

$$P(A|B) = \frac{P(A) P(B|A)}{P(B)}$$

【ベイズの定理】



- 「フーリエ解析」は複雑な波を単純な波の足し合わせで表し、様々な波や信号を解析する手法。
- デジタル画像の圧縮技術 (JPEG)、音声認識や音声合成などのAIに活用。

通信×数理科学

暗号技術は、情報通信の不可欠なツールに

- 1977年に、公開かぎ暗号を実現させた「RSA法」は、素因数分解が重要なツール。現在も「RSA-2048」などが使用。
- キャッシュレス決済、デジタル署名など、ネットワーク上でやり取りを行う際に暗号化技術は欠かすことはできない。
- クラウドコンピューティングの普及により、さらに高度な数学的技術を用いた高機能暗号が開発中。

経済×数理科学

経済・金融は、数理科学によって支えられている

- 需要曲線、供給曲線、クールノー均衡などの基礎的な数学的技術は既に浸透。
- 不動産、金融、保険、貿易政策など、経済・金融は数理科学により支えられている。

2030年に向けた数理科学の展開—数理科学への期待と重要課題—

数理科学は、学問の進展とビックデータの活用により、社会・産業・文化・自然・環境・生命などあらゆる現象の「根本原理を解明し、重要な変化の兆しを予測」できるようになることにより、より良い社会、Society 5.0実現に数理科学が重要なイニシアティブを果たす。

また、数理科学は、これら現象の理解とこれによる新産業や社会変革を伴うイノベーションの創出が相互に影響を及ぼし発展していくことで、学問の体系的な進展と新たな価値を創造していくことを期待。

目指すべき社会 = Society 5.0

- ✓ サイバーとフィジカルの融合
- ✓ 知恵が価値を生み、個を活かす社会
- ✓ インクルーシブかつサステナブルな社会

データ活用による個人、企業、国の行動変容
= 原理を解明し、重要な変化の兆しを予測し貢献 =

【重要課題1】
ビジョン共有型の基礎科学振興
- 産官学の政策形成の場

2030年の数理科学

数理・データ思考の涵養

現在の数理科学

【重要課題3】
学際、異分野との連携

【重要課題5】
数理・データサイエンス・AI人材育成
- リテラシーレベル教育、応用基礎教育
- 博士課程学生支援
- 新たなキャリアパスの開拓
- 裾野の拡大、若手研究者の異分野経験

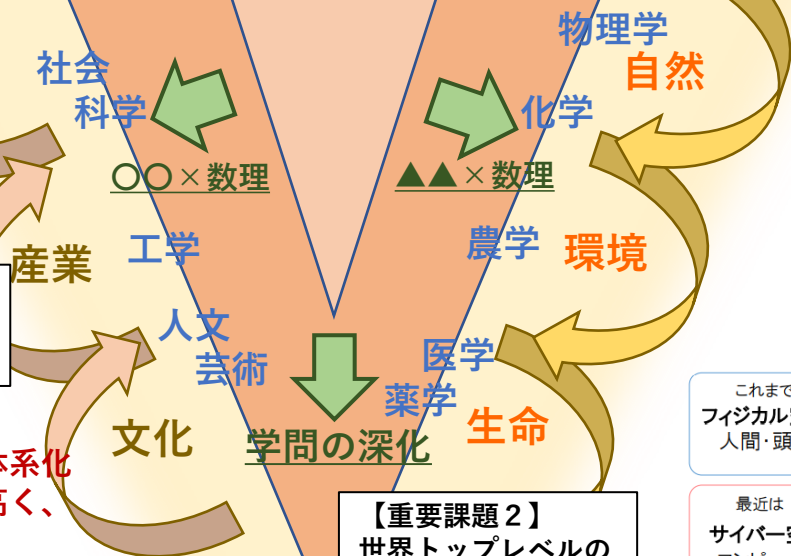
【重要課題4】
社会との連携
知的アセットの価値化

デジタル革新
Digital
Transformation

新たな科学
『予測の科学』の開拓

数理科学
= 抽象化した概念を論理によって体系化
= 他分野への波及効果、汎用性が高く、DX時代に不可欠

【重要課題2】
世界トップレベルの数理科学の探究拠点



| | | |
|--------------------------|---|---|
| これまで フィジカル空間 人間・頭脳 | <p>演繹 理論・原理から予測</p> <p>理論科学</p> <p>仮説を立て理論を導く</p> | <p>帰納 データを解釈・検索</p> <p>実験科学</p> <p>実験や観測によって仮説を実証</p> |
| 最近 サイバー空間 コンピュータ | <p>計算科学</p> <p>モデルに基づきシミュレーション</p> | <p>データ科学</p> <p>ビッグデータ解析・AIによる推論</p> |

好循環

第4の科学
BIG DATA

重要課題への取組み（施策展開）

- 産官学にて2030年に向けた数理科学の目指す姿を共有したうえで、その施策展開を目指す。
- 数理科学はその殆どが無形の知的資産。これを適切に価値化し学問へ再投資することで、学問の幅を拡げ進展させていく機能拡張のモデルを先駆けて実践していくことが急務。

【重要課題1】 ビジョン共有型の基礎科学振興

- 産官学にて、2030年に向けた数理科学の目指す姿を共有したうえで、その展開を目指す「**数理科学イニシアティブ会議**」（仮称）を設置し、産官学の政策形成の場を創設。

【重要課題2】 世界トップレベルの数理科学の探求拠点

- 世界トップレベルの**数理科学を探求する拠点**。世界の数理科学の研究者を惹き付け、一流の頭脳循環を形成する。プラットフォーム型拠点の創設を検討。

【重要課題3】／【重要課題4】 学際、異分野との連携 社会との連携

- 他の科学や産業・社会との協働により、**数理科学の学問の幅を拡げ進展させていく機能拡張のモデル**を創っていく必要。その殆どが無形の知的資産である**数理科学の知的アセットを社会とのあいだで適切に価値化**。それにより得られた収益を**学問に再投資する仕組み**を、この分野が先駆けて実践していく。このため具体的には、以下の取組を進める。
 - 全国大学における数理科学の研究者が**他の科学、産業・社会と協働するプラットフォーム組織・体制の整備**【共同利用・共同研究拠点の活用】
滞在型研究とPBL型研究を国際的に提供し相補的に進めるため、東西2拠点に組織体制を構築
新たな産学連携を構築し、学問への再投資を行う資金の好循環モデルを構築【戦略的産学連携経費、オーバーヘッドなどの導入】
研究者のインセンティブになる仕組みづくり、問題解決型の窓口整備、産学の出会いの場の創出、コーディネート機能の充実、成果のプロモーション強化
優れた産学連携取組のノウハウ（企業とのパイプ作り、マッチング等）やネットワークを産学官に広く共有していく
 - 研究DXを加速するべく、数理科学を活用し、気候変動・レジリエンス、マテリアル、ライフサイエンス、人文社会等の分野における価値創造を目指したユースケースの形成を連携して実施
- また、大学は以下の具体的な取組を開始することが期待される。
 - 未来の在りたい社会像の実現を目指す**産学官共創の場**において、数理科学の分野が活用される拠点を形成【共創の場形成支援の活用】※

目指すべき社会=Society 5.0

- ✓ サイバーとフィジカルの融合
- ✓ 知恵が価値を生み、個を活かす社会
- ✓ インクルーシブかつサステナブルな社会

【重要課題1】
ビジョン共有型の基礎科学振興
-産官学の政策形成の場

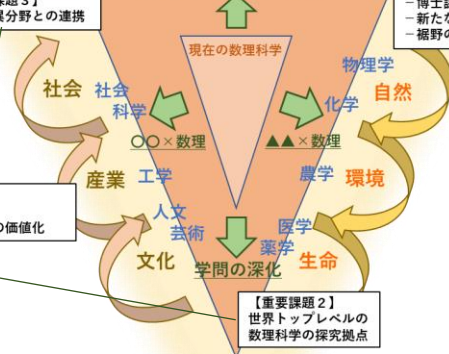
【重要課題3】
学際、異分野との連携

【重要課題4】
社会との連携
知的アセットの価値化

2030年の数理科学

数理・データ思考の涵養

現在の数理科学



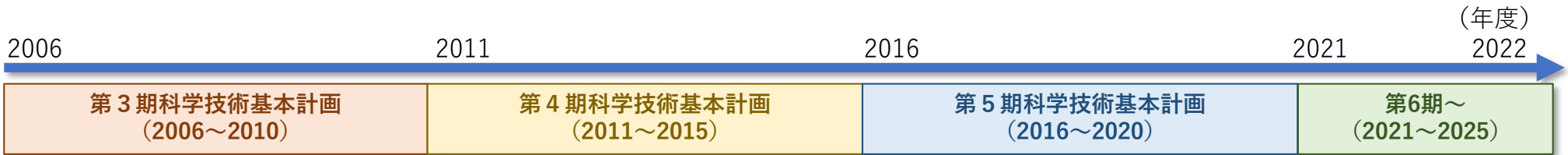
【重要課題5】
数理・データサイエンス・AI人材育成
-リテラシーレベル教育、応用基礎教育
-博士課程学生支援
-新たなキャリアパスの開拓
-裾野の拡大、若手研究者の異分野経験

【重要課題5】 人材育成 一人材層の重層化

- 数理・データ思考をもった人材の育成を進めるため、
 - 全ての大学・高専生が数理・データサイエンス・AIのリテラシーを習得（50万人/年）
 - 約半分の大学・高専生に自らの専門分野に応用できる数理・データサイエンス・AIの基礎力を養成（25万人/年）
 - 産学で活躍できるトップクラスのエキスパート人材の育成（AI戦略2019（2019.6.決定）による）
- 幅広い分野を支援する博士課程学生支援策として、**日本学術振興会DC（特別研究員）、次世代研究者挑戦的研究プログラム（SPRING）**等を実施
- 新たなキャリアイメージをつくり、定着させるため、
 - ジョブ型研究インターンシップを促進
 - 新たなキャリアパスの開拓に係る取組を推進

数理科学の振興に関する主な取組みの変遷（2006年～2021年）

- 数理科学の振興は、これまで数学と他の科学・産業との連携・協働を強化する取組みを中心に施策を展開してきた。



戦略的重点化
基礎研究の推進、重点分野の設定

分野別の重点化から課題達成型の重点化へ

「超スマート社会」の実現 (Society 5.0)

「総合知による社会変革」と
「知・人への投資」の好循環

2006.5.
忘れられた科学－数学 (NISTEP)

基礎的な数学研究の振興、
数学と他分野との分野融合研究の推進等を提言

2014.8.
数学イノベーション戦略 (科学技術・学術審議会)

数学の力を活用して新たな社会的・経済的価値を
創出する取組みの強化を提言

2021.7.
アジア太平洋数理・融合
研究戦略検討会 報告書
(文部科学省)

数理・融合研究に関する国際頭脳
循環ハブ機能の構築を提言

国・FA

数学協働プログラム (文部科学省) : 2012～2016
数学・数理科学研究者と諸科学・産業界の研究者が集中的・
継続的に議論する場を提供 (実施機関: 統計数理研究所)

数学アドバンスイノベーションプラットフォーム (AIMaP)
(文部科学省) : 2017～2021 (実施機関: 九州大学)

さきがけ (JST) : 2007～2012
数学と諸分野の協働による ブレークスルーの探索 (西浦研究統括)

さきがけ (JST) : 2014～2019
社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働 (國府研究統括)

さきがけ (JST) : 2019～2024
数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造
と活用 (坂上研究統括)

CREST (JST) : 2008～2015
数学と諸分野の協働による ブレークスルーの探索 (西浦研究統括)

CREST (JST) : 2014～2021
現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築 (坪井研究統括)

CREST (JST) : 2019～2026
数学・数理科学と情報科学の連携・融合による
情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開
(上田研究統括)

大学・研究機関等

共同利用・共同研究拠点

2010～
数理解析研究所 (京都大学)

2013～
マス・フォア・インダストリ研究所 (九州大学)

2014～
先端数理科学インスティテュート (明治大学)

WPI : 2007～
AIMR (東北大学 : 2007～)、Kavli IPMU (東京大学 : 2007～)

FIRST : 2009～2013
複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術応用

IRCN (東京大学 : 2017～)
ASHBi (京都大学 : 2018～)

2016.11.
数理創造プログラムiTHEMS (理研) 創設

産業界

2021.7.
数理活用産学連携イニシ
アティブ (経団連)

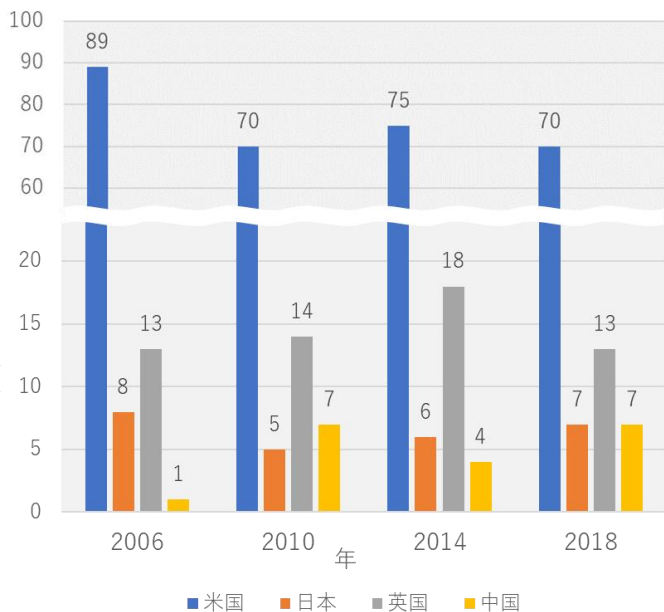
産業界の数理活用を模索する
産学連携枠組みを立上げ

数理科学：研究力－全体－（2006年～2021年）

- 数理科学の研究力は、世界トップレベルを維持しているものの、論文数の世界順位（相対的な指標）は低下傾向。
- 世界では、諸科学と数学との学際分野における論文数が大きく伸びている。

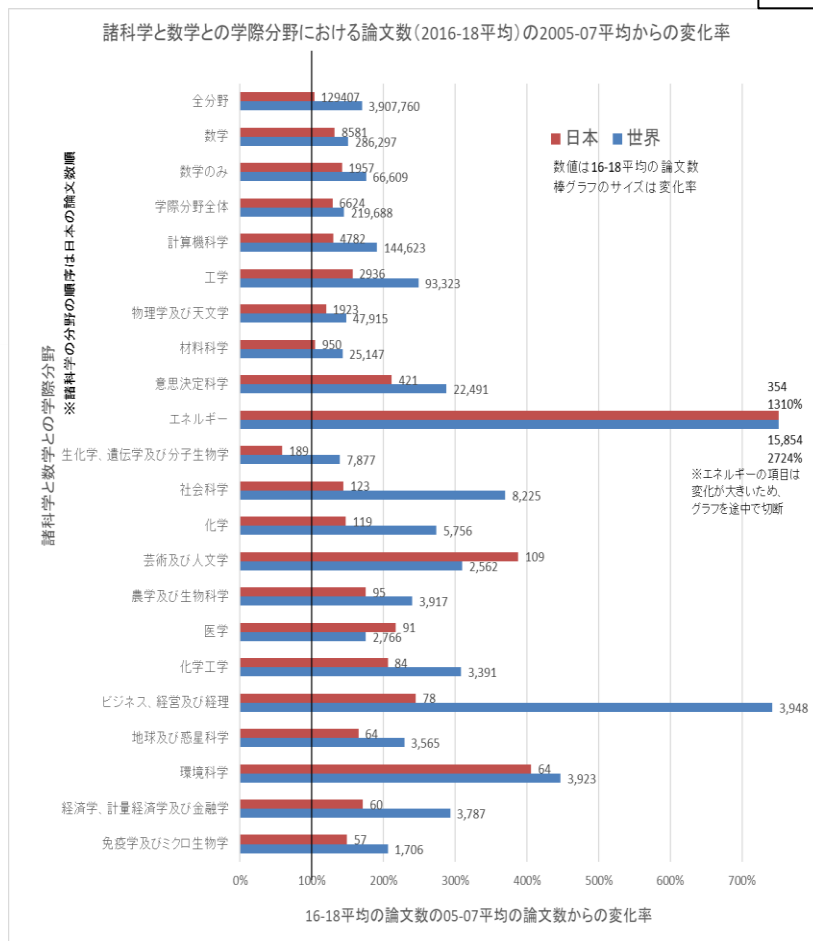
国際数学者会議での講演者数

日本は、世界トップレベルの研究力を維持。中国の存在感が高まるなど、競争力が厳しい。



数学分野の論文数

数学全体、数学のみ、学際分野ともに、論文数は概ね増加。世界順位（相対的な指標）は低下。

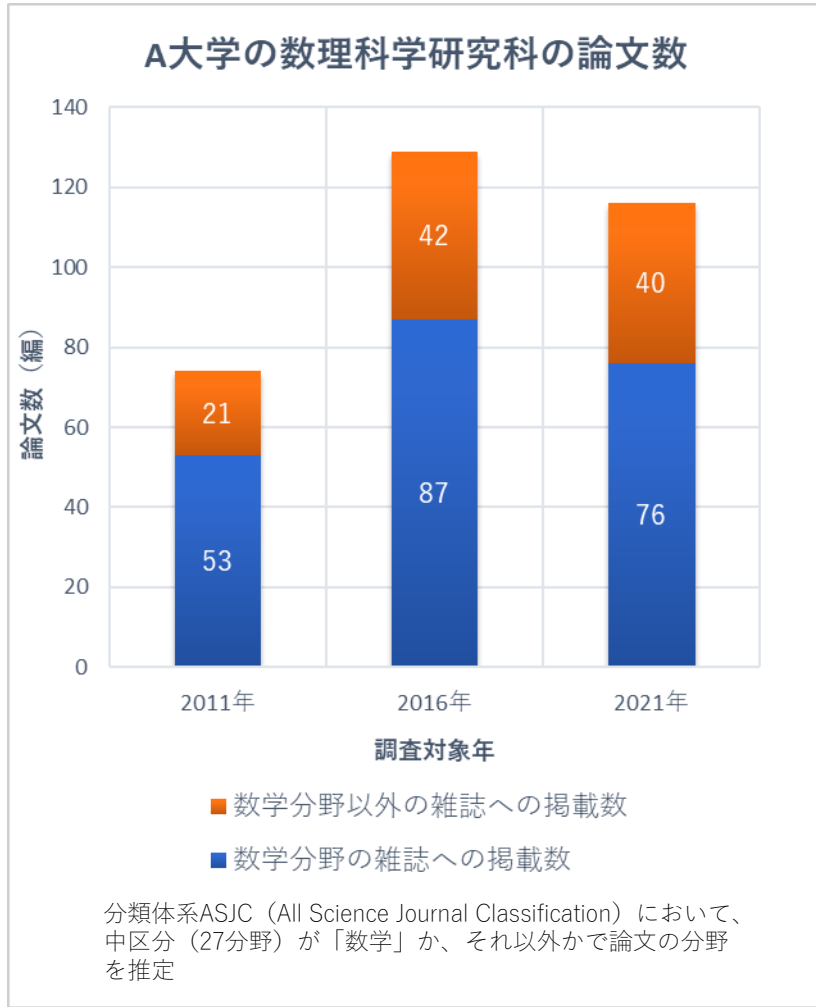


| | 2005-07 平均 | 2016-18 平均 |
|----------------|------------|------------|
| 全分野 | 5位 | 6位 |
| 数学 | 6位 | 9位 |
| 数学のみ | 8位 | 9位 |
| 学際分野全体 | | |
| 計算機科学 | 5位 ↘ | 7位 |
| 工学 | 3位 ↘ | 6位 |
| 物理学及び天文学 | 7位 ↘ | 8位 |
| 材料科学 | 4位 ↘ | 7位 |
| 意思決定科学 | 12位 → | 12位 |
| エネルギー | 6位 ↘ | 12位 |
| 生化学、遺伝学及び分子生物学 | 5位 ↘ | 10位 |
| 社会科学 | 4位 ↘ | 17位 |
| 化学 | 7位 ↘ | 11位 |
| 芸術及び人文学 | 9位 ↗ | 7位 |
| 農学及び生物科学 | 6位 ↘ | 12位 |
| 医学 | 6位 ↘ | 8位 |
| 化学工学 | 7位 ↘ | 9位 |
| ビジネス、経営及び経理 | 3位 ↘ | 13位 |
| 地球及び惑星科学 | 8位 ↘ | 14位 |
| 環境科学 | 12位 ↘ | 15位 |
| 経済学、計量経済学及び金融学 | 10位 ↘ | 15位 |
| 免疫学及びミクロ生物学 | 5位 ↘ | 7位 |

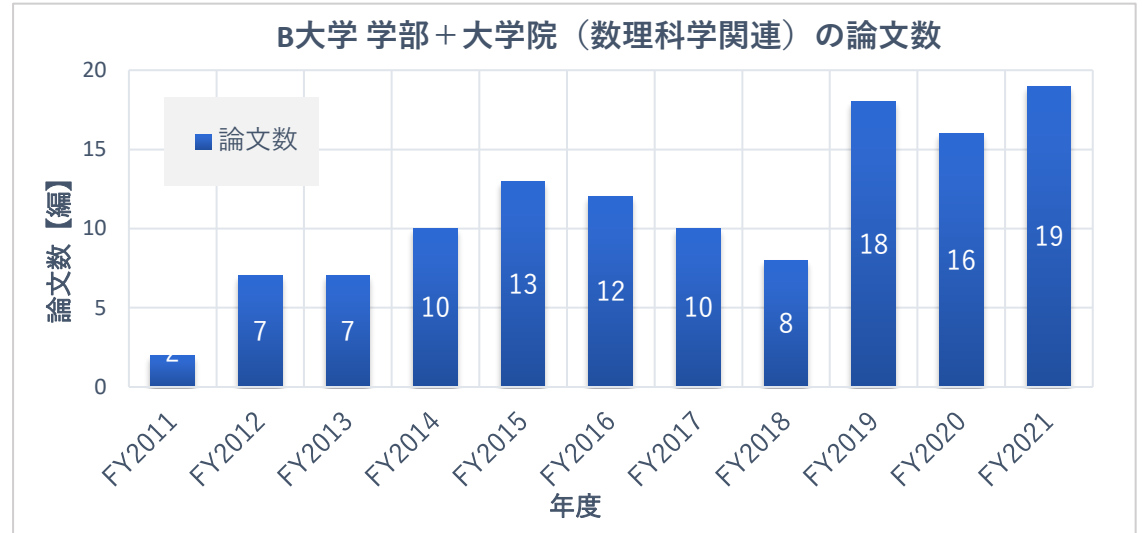
色のついたマスは5位以上低下した分野

数理学：研究力－大学の事例－（2011年～2021年）

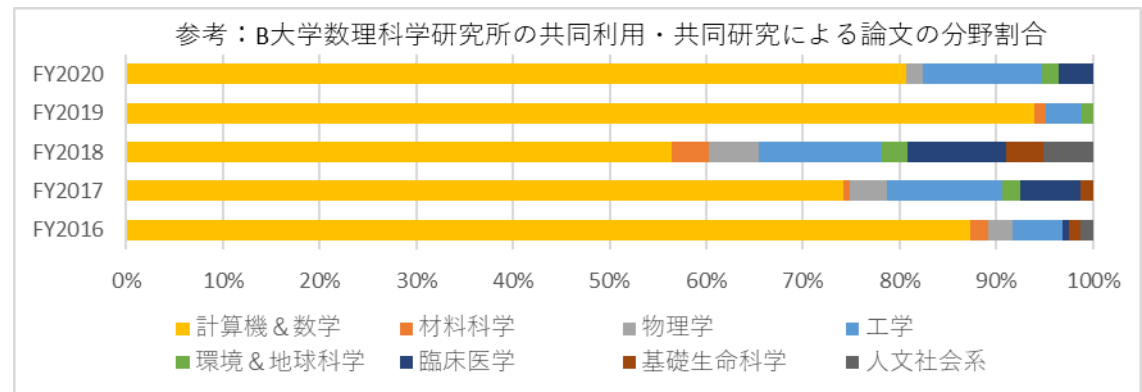
- 大学ごとに見ると、数理学の論文数は増加傾向を示し、異分野との連携も活発になってきている。



データ提供：A大学



データ提供：B大学

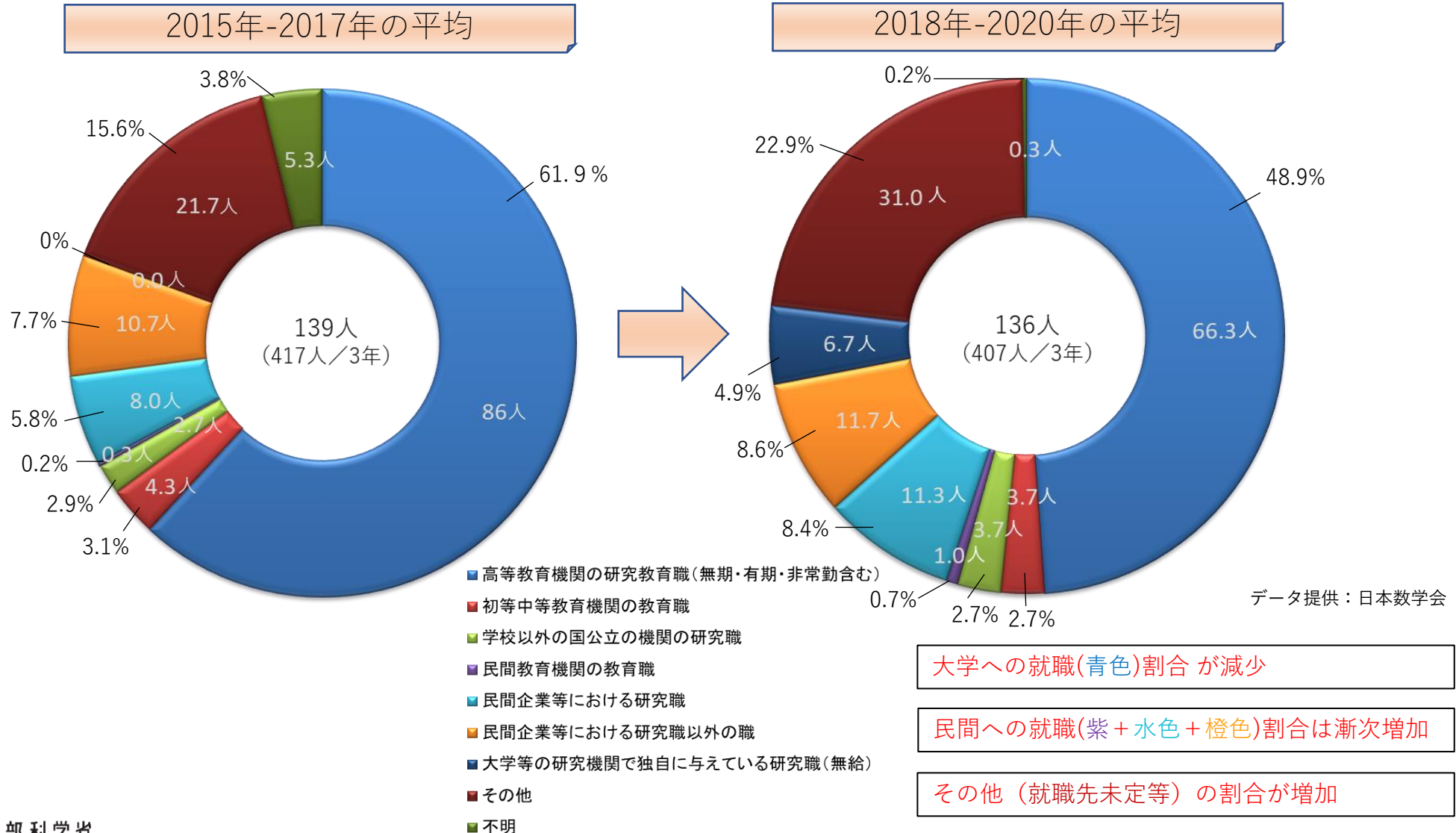


出典：共同利用・共同研究拠点におけるH28-R1期末評価用調査及びR2実施状況報告書を改編

数理学：博士人材（2006年～2021年）

- 数理学の博士は、この15年間で民間企業への就職割合が漸次増加。下記グラフのその他（就職先未定等）の割合増加が課題。

数理学の博士の進路

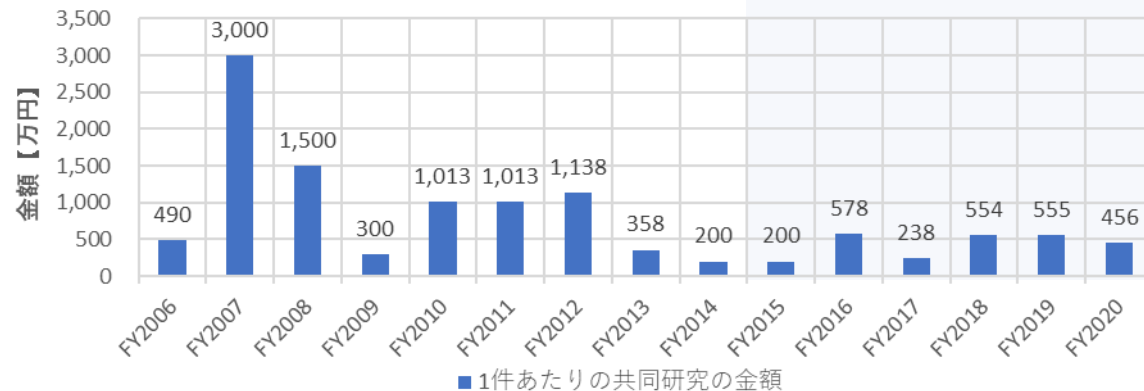


数理学：社会・産業との連携－大学の事例－（2006年～2021年）

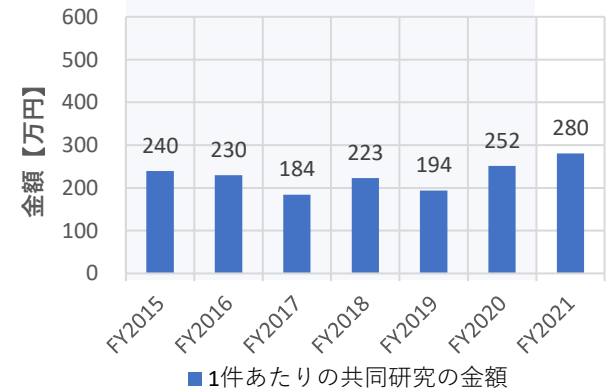
- 数理学の産学連携は、着実に活発になってきている。
- 1件あたりの共同研究の金額は高くなく、知的アセット（無形の知的資産）の価値化が大きな課題。

各大学の数理学分野における共同研究の**合計金額**と**契約件数**、**1件あたりの金額**

A大学大学院(数理学研究科)



B大学 学部+大学院(数理学関連)

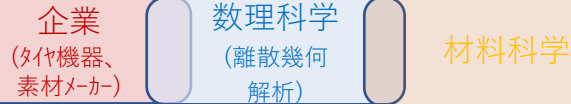


数理科学：研究成果－異分野融合・産学連携の代表例－（2006年～2021年）

● 数理科学では、これまでのボトムアップ型研究に加えて、異分野融合・産学連携研究の成果も見え始めている。

数理科学 × 材料科学 × 企業

東北大学

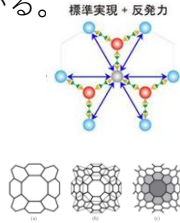


従来法の課題

材料の(局所)構造と特性の関係が未解明であり、設計に時間やコストがかかる。

数理科学の成果

離散幾何解析により、材料の直感(暗黙知)を取り入れた数理モデルを構築。シミュレーションより10億倍速い計算時間で材料設計に成功(論文)。産業応用に着手。

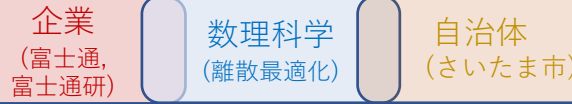


【将来的なイノベーションへの期待】

革新的環境イノベーション(炭素吸着の新素材)によるカーボンニュートラルへの貢献

数理科学 × 企業 × 自治体

九州大学IMI



従来法の課題

自治体における保育所入所マッチングは、全国的課題(人手による試行錯誤の調整)。

数理科学の成果

離散最適化によって、保育所入所を自動化するアルゴリズムの開発に成功(論文,特許取得)。自治体での実用化(さいたま市 他)。

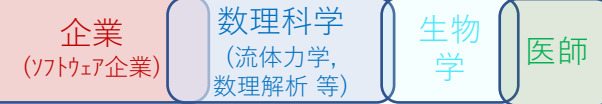


【将来的なイノベーションへの期待】

幅広い社会課題(マッチング)解決への応用

数理科学 × 生物学 × 企業 × 医師

京都大学

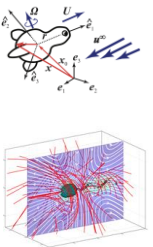


従来法の課題

受精メカニズム(精子の流体现象等)の解明は、解析が困難(生物学者に認識された問題)。

数理科学の成果

数理解析手法等により、受精メカニズムを説明出来る方程式を発見(論文)。精子診断システム構築に向けた産業応用に着手。



【将来的なイノベーションへの期待】

新たな不妊治療法確立



数理科学 × 医学 × 企業

東北大学

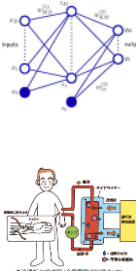


従来法の課題

(透析患者に対応できる)医師が不足する中、診断技術が熟練医の暗黙知として、一般化が進んでいなかった

数理科学の成果

暗黙知をAI、数理モデルによってアルゴリズム化し、医師の意思決定支援が可能なAIを実現(論文,特許取得)。

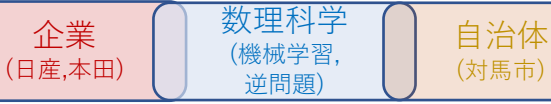


【将来的なイノベーションへの期待】

未来社会対応の医療,医療費減,患者負担減

数理科学 × 企業, 数理科学 × 自治体

明治大学



従来法の課題

自動運転の緊急回避などの最適制御が困難(非線形微分方程式はリアルタイムで解くことが困難)

数理科学の成果

逆問題(発想の転換)により、リアルタイムでの最適制御が実現(論文,特許出願)。本田F1などで好結果(最高制御)。自治体での実証(自動運転)。



【将来的なイノベーションへの期待】

日本独自技術の自動運転(レベル4)、地方創生

数理科学 × 分子生物学

北海道大学

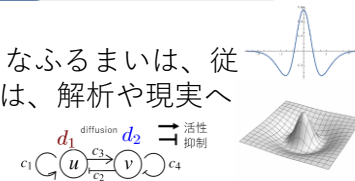


従来法の課題

生物組織のマクロなふるまいは、従来モデル(離散的)では、解析や現実への応用が困難

数理科学の成果

積分核による数理モデルによって、生物のミクロ(体の一部)から、全体の形態の再現に成功(論文)。実証(人の食道の症例への応用)。



【将来的なイノベーションへの期待】

生物をデザイン,病気の解明,新たな治療法確立

米国：新たに数理統計イノベーション研究所を設立（2020）

- 2020年7月、米国国立科学財団（NSF）は、新たな滞在・訪問型研究拠点として**数理統計イノベーション研究所**をシカゴ大学に設立することを発表。
- 応用数理及び統計の手法を緊急性の高い科学的及び社会的課題に適用し、解決に導くプラットフォームを構築。
- シカゴ大学のほか、ノースウェスタン大学、イリノイ大学シカゴ校、同大学アーバナ・シャンペイン校がパートナー校。
- 予算は**5年間で約16億円**。

数理統計イノベーション研究所（The Institute for Mathematical and Statistical Innovation: IMSI）

特色1：社会課題に対応した分野を指定

- 社会的課題やニーズに対応した以下の6つのテーマを選定して研究を推進
 - ①気候科学（Climate Science）
 - ②データ及び情報（Data and Information）
 - ③ヘルスケア及び医療（Health Care and Medicine）
 - ④材料科学（Material Science）
 - ⑤量子コンピューティング・情報（Quantum Computing and Information）
 - ⑥不確実性の定量化（Uncertainty Quantification）

特色2：訪問・滞在型研究の導入

- 上記の各テーマに沿って、主に以下の3つの研究活動を推進
 - ①長期滞在型研究プログラム（3か月程度の滞在型研究）
 - ②融合研究クラスター・プログラム（振興・融合領域を創出する行うグループ研究）
 - ③融合研究に関するワークショップの開催（課題解決型を含む）



英国：EU離脱に伴う数学者の囲い込み政策（2020）

- 2020年1月、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、国内の数理科学に対する投資を3億ポンド（約450億円）に倍増することを発表。
- 主な内容は、①博士課程学生への支援倍増、②数理科学者のキャリア支援と融合領域研究プロジェクトの推進、③国内の有力な数理科学拠点における数学博士（PhD）等への追加支援やワークショップへの支援。
- 英国政府は「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」としている。

主な施策の概要：「米国と欧州との競争に勝つため」と明記しつつ、以下の施策の講じる。

①：博士課程学生への支援倍増

- 博士課程学生への支援を、従来の4年間からリサーチ・アソシエイト（ポスドク）志望者には5年間まで支援を拡大。
- 従来予算の倍の£19百万/年（約29億円）。

②：キャリア及び研究プロジェクト支援

- 複数の研究機関の連携を含む新たな研究プロジェクトの支援。
- 他分野との重複や支援機関、支援額などはプロジェクトによって柔軟に対応可能。
- 新たに£34百万/年（約51億円）を追加。

③：数理科学拠点への追加支援

- 国内の有力数学拠点である①Heilbronn研に在籍する博士等の支援に£7百万（約11億円）、②ニュートン研及び③国際数理科学センターへの参加者増及びWSに約3割の増額措置。

The screenshot displays the UKRI website with the following content:

- Navigation:** Home, FUNDING, RESEARCH, INNOVATION, SKILLS, NEWS, EVENTS AND PUBLICATIONS.
- News Item 1:** "Major funding boost for mathematical sciences" with a sub-header "Major funding announced by Prime Minister Boris Johnson for the UK's world-leading mathematics trained mathematicians." It mentions additional funding of up to £34 million by the Engineering and Physical Sciences Research Council.
- News Item 2:** "Grants to boost early-stage maths idea generation and research" with a sub-header "Grants to boost early-stage maths idea generation and research".
- Image:** A portrait of Prime Minister Boris Johnson.
- Footer:** "Subscribe to emails" button.

出典：英国ナショナル・アーカイブス
<https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20200930153920/https://epsrc.ukri.org/newsevents/news/major-funding-boost-for-mathematical-sciences/>

中国：数理学に関する国際的取組みの強化（2015～）

- 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、数理学分野における国際的活動が急速に活発化。
- 2016年には、中国を中核とするアジア～欧州の10か国（14学会）からなる「**シルクロード数学センター**」の設立、及びブラジル、露、印、中、南アフリカの5か国（BRICs）による「**BRICS数学会議**」を設立。
- 2019～2020年には、「**数学の国連**」と言われる**3大国際組織のうち、2ポストが中国人会長**に。

中国の国際的取組み

1：ICIAMの招致成功（2015）

●2015年、日本との誘致合戦に競り勝ち、アジアとして初の応用数理国際学会の誘致に成功。北京で開催。

ICIAM 2015 Beijing



●ホスト国として副国家主席の李源潮氏（元・数学教師）がスピーチ。



2：シルクロード数学センター、BRICs数学会議設立（2016）

●2016年12月設立。
下記の10か国の数理
関連学会が参画。



中国、アルメニア、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

●「BRICs数学会議」は2017年8月～
2020年7月まで計3回を開催（次回は
インドでの開催）。



3：ICIAM会長（2019）、数学教育国際委員会（ICMI）会長の輩出（2020）

●2019年10月、中国科学院のYa-xiang Yua教授がアジア人として初めてICIAM会長に就任。



●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。



●2020年8月には、香港大学のFrederick Koon Shing Leung教授の、アジア人として2人目※となるICMI会長への就任が決定。



※1人目は日本人（彌永昌吉:1975）

出典：中国数学界HP、中国応用数理学会HP、応用数理国際学会HP
香港大学HP <https://aal.hku.hk/admissions/international/story/professor-frederick-leung-elected-president-international-commission-mathematical-instruction>