



文部科学省



経済産業省

数理資本主義の時代

～数学パワーが世界を変える～

(概要)

第四次産業革命を主導し、さらにその限界すら超えて先に進むために、
どうしても欠かすことのできない科学が、三つある。

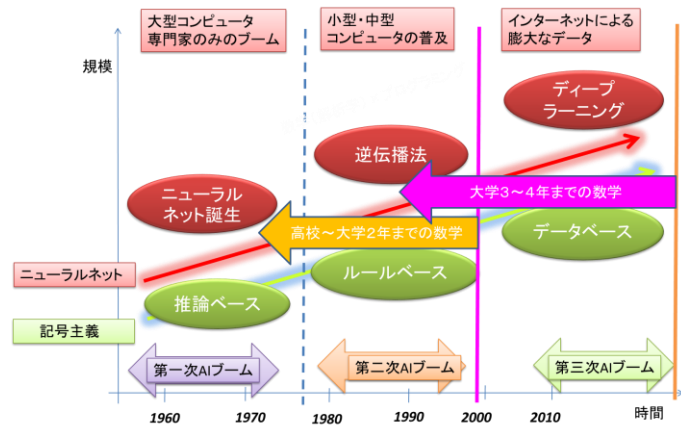
それは、第一に数学、第二に数学、そして第三に数学である！

(理数系人材の産業界での活躍に向けた意見交換会 報告書：数理資本主義の時代 P2)

数理資本主義の出現

人工知能60年の歴史と数学の関係

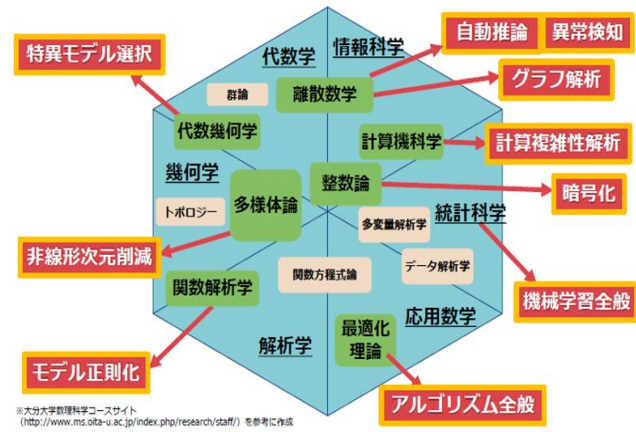
● AIの活用や **新たなAIの開発には数学の知識や能力が不可欠**。



第4回「理数系人材の産業界での活躍に向けた意見交換会」資料6「三宅氏提出資料」p.12を基に作成

数学とデジタル技術の関係

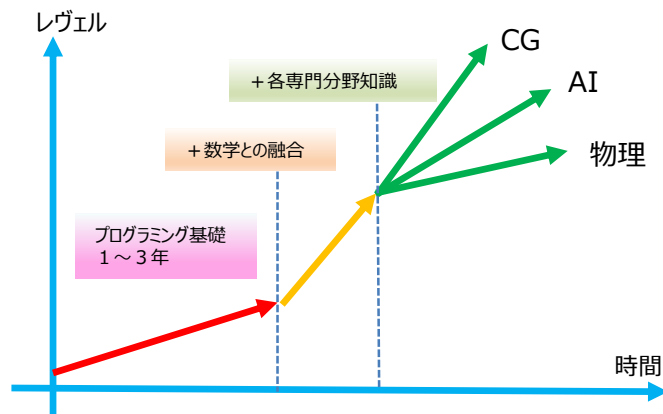
● 現在の **様々なデジタル技術は数学が左右**している。



第1回「理数系人材の産業界での活躍に向けた意見交換会」資料4「西原委員提出資料」p.6

プログラミングスキルと数学の関係

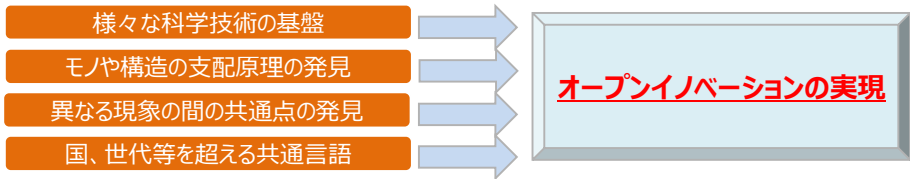
● AI等の **専門領域のプログラマーの能力は数学により飛躍的に高まる**。



第4回「理数系人材の産業界での活躍に向けた意見交換会」資料6「三宅氏提出資料」p.34

数学の特性と効果

● 数学は、**破壊的 (disruptive) なイノベーションを起こすための普遍的かつ強力なツール**となる。



第4次産業革命の進行が示すのは、**数学※**が
国富の源泉となる経済 – 言わば「数理資本主義」の時代の到来である。

※ここで言う「数学」は、純粋数学、応用数学、統計学、確率論、さらには数学的な表現を必要とする量子論、素粒子物理学、宇宙物理学なども含む広範な概念であり、文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター報告書「忘れられた科学 – 数学」（2006年5月）における「数学研究」の定義をほぼ踏襲している。

先進各国における数理資本主義・我が国の現状と課題

先進各国における数理資本主義

- イギリスでは、経済に与える影響が高いものとして、数学を重視しており、2018年には、「The Era of Mathematics（「数学の時代」）」とのレポートが出され、数学による英国経済への貢献度は約2,000億ポンド（GVAの16%）、雇用の10%と試算。
- その他の先進国においても同様の試算がなされており、フランスは、数学による経済への貢献度が約2,850億ユーロ（GNP（国民総生産）の約15%、雇用の9%）、オランダやオーストラリアにおいては、数学等の経済効果が、GVAの10%から15%程度のレンジとされている。

"MATHEMATICAL SCIENCES: DRIVING THE UK ECONOMY", Council for Mathematical Sciences, 2016

"One Step Beyond: Making the most of postgraduate education", Department for Business Innovation and Skills (BIS), 2010

"THE ERA OF MATHEMATICS". The Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC), 2018

"A Study of the Socio-Economical impact of Mathematics in France", AMIES, 2015

"FOR A MEANINGFUL ARTIFICIAL INTELLIGENCE", Cedric Villani, 2018

"Mathematical sciences and their value for the Dutch economy", Platform Wiskunde Nederland, 2014

"THE IMPORTANCE OF ADVANCED PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES TO THE AUSTRALIAN ECONOMY", Australian Academy of Science, 2015

経済協力開発機構（OECD）の学習到達度調査（PISA）

- 「経済協力開発機構（OECD）」の調査（PISA）や数学・情報の国際大会の順位を見る限り、我が国の未来を担う人材の科学的リテラシーや数学的リテラシーは、高いポテンシャルを有しており、「数理資本主義」の時代において優位を確保できると期待される。

● 全参加国・地域（72か国・地域）における比較

	科学的リテラシー	平均 得点	読解力	平均 得点	数学的リテラシー	平均 得点
1	シンガポール	556	シンガポール	535	シンガポール	564
2	日本	538	香港	527	香港	548
3	エストニア	534	カナダ	527	マカオ	544
4	台湾	532	フィンランド	526	台湾	542
5	フィンランド	531	アイルランド	521	日本	532
6	マカオ	529	エストニア	519	北京・上海・江蘇・広東	531
7	カナダ	528	韓国	517	韓国	524
8	ベトナム※	525	日本	516	スイス	521
9	香港	523	ノルウェー	513	エストニア	520
10	北京・上海・江蘇・広東	518	ニュージーランド	509	カナダ	516

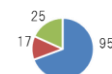
第1回「理数系人材の産業界での活躍に向けた意見交換会」資料2「経済産業省提出資料」p.5

博士後期課程修了者の進路等

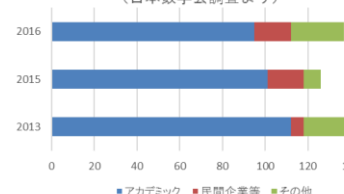
- 日本の博士後期課程修了者の進路状況は、学术界に進む者が多く、産業界へ進む者は、2016年度において全体の約12%となっている。
- 一方、アメリカのPhD（数理科学）修了者数は、ここ数年増加傾向にあり、日本の10倍以上。なかでも産業界へ進む者が年々増え、2016年には全体の約30%となっている。

日本の現状

2016年度（計137名）

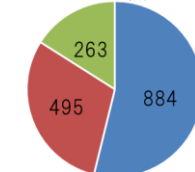


日本の博士課程修了者の進路
（日本数学会調査より）

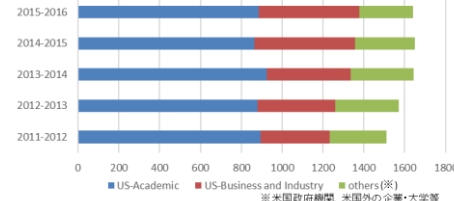


米国の状況

2015-2016（計1642名）



米国大学PhD（数理科学）修了者の進路動向
（米国数学会（AMS）調べ）



第2回「理数系人材の産業界での活躍に向けた意見交換会」資料9「文部科学省提出資料」p.5

理数系人材ニーズの高まり

- 産業界をはじめとする各方面で、数学の知識等をもった人材、いわゆる「理数系人材」への期待が急速に高まっている。

一般社団法人 日本経済団体連合会	・「〔前略〕ビッグデータやAIなどを使いこなすために情報科学や数学・統計の基礎知識も必要不可欠となる。」(※1)
プリファード・ネットワークス 副社長 岡野原大輔氏	・「自動運転に必要な「機械学習」を中心に、同社は高度な数学的アルゴリズムを操れる逸材を雇い入れ、業界の最先端を走っている。」(※2) ・「最先端の知識や論文は誰でもネットで手に入る時代。大切なのは数学で、とりわけ微分積分やプログラミングといった基礎能力。」(※2)
筑波大学 准教授 落合陽一氏	・「〔前略〕AIのスペシャリストを目指すのであれば数学は必須だという。「数学って(学ぶことを)止めたところで終わっちゃう。大学入ってから数学できないと、全然使い物にならない。」と数学を学び続けることの重要性も指摘していた。」(※3)
国立情報学研究所 教授 河原林健一氏	・「情報爆発時代(ビッグデータ処理)を迎え、理論研究者へのニーズの高まりを受け、理論研究の経験を有した意欲的な研究者が実用研究へ参入することで大きな成果を収められつつある。」〔中略〕同氏の説明によると、世界の理論研究の現状はGoogleやAmazon、Facebook、Microsoftなどの巨大IT企業の研究所がスタンフォード大学、マサチューセッツ工科大学といったトップ大学を凌駕しつつあるという。」(※4)
NECセキュリティ研究所 特別技術主幹 佐古和恵氏	・「社会がこれからデジタルトランスフォーメーションを進めていくにあたって、数学という要素はより一層重要性を増し、必要不可欠なものになっています。」(※5)
フランスの数学者 セドリック・ヴィラニ氏	・「数学者は、世界で最高の仕事です。理由は、応用の幅広さです。コミュニケーション理論、情報理論、ゲーム理論、圧縮センシング、機械学習、グラフ解析、調和解析に加え、確率過程、線形計画、流体シミュレーションもあり、それぞれ様々な産業界で大いに応用されています。これらを通して数学は大きな利益をもたらします。」(※6)
筑波大学未来社会工学開発研究センターセンター長 特命教授 兼 トヨタ自動車株式会社 S-フロンティア部 主査 高原勇氏	・「数学を共通言語として使うことで、若手の発想を最大限に引き出せる。」(※7) ・「数学の言葉で他人に発信することでアイデアの共有が進み、新たな発見が生まれる。」(※7)
京都大学 高等研究院 院長 森重文氏	・「〔前略〕純粋数学と応用数学を峻別するのはできるだけやめたい。両者には対立が結構あって、日本では特に、純粋数学偏重という風潮がありました。一方、純粋数学は社会の役に立たないという意識もあります。でも、応用は具体的な問題に迫られてやっている部分もあり、理論面でブレークスルーが起こるのは、応用からとは限らない。純粋数学から新たな理論が起こり、それが応用を含めて大きな流れになる。」(※2)

※1 一般社団法人 日本経済団体連合会「今後の採用と大学教育に関する提案」(2018年12月4日) <http://www.keidanren.or.jp/policy/2018/113_honbun.html>

※2 大矢博之、小栗正嗣、後藤直義、森川潤「究極の武器である数学『週刊ダイヤモンド』」(2016年1月23日号) P.26~71

※3 石川祐介「落合陽一が語るAI時代の生き残り方 大事なのは「自分の収入と生み出している価値の差をしっかりと把握すること」」(2018年8月11日)
<<https://news.nifty.com/article/economy/business/12117-9193/>>

※4 岩井 健太「日本のビッグデータ・AI業界に求められるものとは? - NIIの教授が語る現状」(2015年12月21日) <<https://news.mynavi.jp/article/20151221-NIIAI/>>

※5 NEC「トップ研究員インタビュー特集-佐古 和恵-」(2018年9月28日) <https://jpn.nec.com/rd/special/pinnacle/kazue_sako.html>

※6 TED「セドリック・ヴィラニ: 数学の何がそれほど魅惑的なのか」(動画撮影日: 2016年2月16日) <<https://headlines.yahoo.co.jp/ted?a=20161003-00002518-ted>>

※7 小栗正嗣、大矢博之「文系でも怖い! ビジネス数学『週刊ダイヤモンド』」(2019年2月9日号) P.60、61

課題と対応の方向性

- 「数理資本主義」において産業競争力を発揮していくためには、学术界・産業界の両方で、理数系人材が活躍できる仕組みを構築するとともに、数学研究のレベルが高い日本の特長を活かしながら、産学連携の拡大によりリアルデータを用いた実践的な教育機会の拡大を進め、世界レベルで戦える人材を育てていくことが重要。
- 「数理資本主義」にふさわしい新たな経営システムや社会システムを構築していくことも重要。

理数系人材の産業界での活躍に向けた課題等

数学の産業界ニーズの普及・研究者の育成

- i) 学生がインターンシップを通じて、初めて企業のニーズを認知するなど、数学に対する企業ニーズへの理解が不十分
- ii) 企業の様々な領域における課題と数学を結びつけるための通訳者が不足
- iii) 企業でのキャリアパスが不明瞭

環境の整備

- i) 企業の受入れ体制が十分ではない
 - ①高度な数学は抽象度が高く、具体的な成果をあらかじめ想定しにくいと、「数学は役に立たない」との潜在的意識が存在
 - ②能力を発揮するための思考を繰り返す時間と研究交流の場が不足
- ii) 大学・企業の女性研究者の少なさ
- iii) 企業の採用や処遇の課題

求められる対応・効果

数学の産業界ニーズの普及・研究者の育成

- 中長期研究インターンシップやスタディグループの普及・促進
- 企業による博士課程への進学支援
 - ✓学生への企業ニーズの浸透やキャリアパスの明確化
 - ✓産業界・学术界の理解が深まることにより、共同研究等が推進
- クロスアポイントメントや兼職、メジャー・マイナー制度などの改善・活用
 - ✓多様なキャリアパスの創出と優れた研究成果の創出

環境の整備

- 働き方の多様性を許容する企業の柔軟なマネジメント
 - ✓企業が短期的な成果を求めることを避け、十分な研究時間を確保し、研究交流の機会を創出
- 高度な数学を習得した人材の積極的な採用や処遇の改善
 - ✓数学博士課程進学者の増加や数学関連職業の地位向上
 - ✓企業ニーズの明確化により産学連携による教育プログラムが増加

(参考) 産学官連携による取組の例

数学の産業界ニーズの普及・研究者の育成 ①	数学の産業界ニーズの普及・研究者の育成 ②
○数学の力を活かした様々な研究の推進 ✓さががけ「社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働」領域の実施 ✓CREST「現代の数理科学と連携する数理モデリング」領域の実施 ※2019年度から新たな戦略目標と研究領域を発足 ○数学と諸科学・産業界との協働の促進や数学の応用事例の発信等 ✓数学アドバンスイノベーションプラットフォーム（AIMaP）の開始 ○数学博士課程修了者の産業界活躍の促進 ✓数学・数理科学専攻若手研究者のための異分野交流会の実施 ○工学系教育改革（科学技術の社会実装教育エコシステム拠点の整備事業） ✓4大学（北海道大学、埼玉大学、名古屋工業大学、金沢工業大学）においてメジャー・マイナー制の導入や数理・データサイエンスを含む工学系基礎教育のモデル・カリキュラムを開発し、他大学へ展開 ○中長期研究インターンシップ等の推進 ✓中長期研究インターンシップガイドラインや企業・大学間の契約書雛形の作成 ✓企業と学生のマッチングシステム（オンライン）の活用 ✓優れたインターンシップを普及するための「届出・表彰制度」の創設 ○未踏ターゲット事業の実施 ✓量子コンピュータを活用するためのソフトウェア人材の育成支援	○リカレント教育の推進 ✓第四次産業革命スキル習得講座の認定制度によるAI・データサイエンス分野の学び直しの推進 ○基本情報技術者試験の出題の見直し ✓試験における理数能力を重視するため、線形代数、確率、統計など数学に関する出題比率を向上 ○PBL・研究インターンシップの推進 ✓マス・フォア・インダストリ研究所（九州大学）、東京大学大学院数理科学研究科における中長期研究インターンシップやスタディグループの実施 ✓東北大学と企業の連携により、スポンサー企業の課題を日米の学生のグループが数学的なアプローチで解決する「GRIPS-Sendai」を実施 ○国立研究開発法人における取組 ✓数理創造プログラム（iTHEMS）による数理を軸とした分野横断型の研究活動の推進や異分野交流の場の提供（理化学研究所） ✓企業と大学の橋渡しを担う中核プラットフォーム「冠ラボ」や「オープンイノベーションラボラトリ」による分野横断型研究・人材育成の推進（産業技術総合研究所）
環境の整備	
○数理・データサイエンスを中心とした全学的・組織的な教育を行う体制の整備 ✓全国6拠点（北海道大学、東京大学、滋賀大学、京都大学、大阪大学、九州大学）を拠点として整備（さらに、20大学を協力校として整備） ✓産業界、関係省庁、大学等の産官学連携により、数理・データサイエンスに関する社会のニーズを踏まえた教育内容をレベル別に設定し、教育プログラムを認定する等の仕組みの構築などを検討	