# 第１章　数学・数理科学を活用した異分野融合研究の促進についての意識調査

# 第１章　数学・数理科学を活用した異分野融合研究の促進についての意識調査

この章では、数学・数理科学を活用した異分野融合研究についての現状を把握するために、アンケート、ヒアリングおよびインタビューを行なった。数学・数理科学科・専攻・コースには学生の進路動向、外部資金獲得状況、融合研究や企業との共同研究の状況について、またこれらの研究教育機関に所属する研究者には、数学・数理科学を活用した融合研究や企業との共同研究、および訪問滞在型研究所についてアンケートを実施した。諸科学研究者には、数学・数理科学を活用した異分野融合研究活動について、アンケート、ヒアリングおよびインタビューを行い、意識調査とともに融合研究の事例を収集した。企業との共同研究の現状を把握するために、企業へのアンケートを実施、また企業との共同研究の具体的事例やインタビューを行った。

## 1．数学・数理科学教育研究機関とその研究者の活動動向と意識調査

### 1.1. 数学・数理科学系学科・専攻・コースへのアンケートから

本調査は、全国の数学・数理科学系学科・専攻・コース（このアンケートでは以降「教室」と呼ぶ）に、日本数学会および日本応用数理学会の協力の下で、平成22年度以降平成26年度を中心とした教育・研究状況や御意見を伺ったものである。

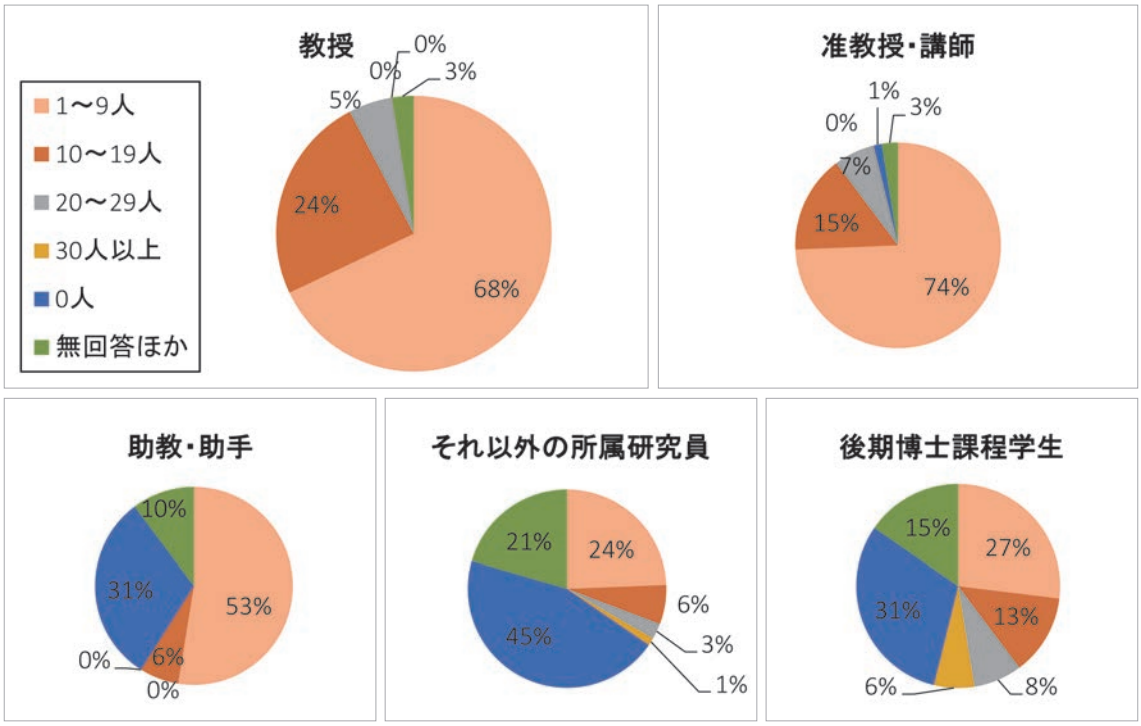
#### （1）調査対象および調査方法

全国の数学・数理科学系学科・専攻・コース（これを教室と呼ぶ）218教室にアンケート用紙を発送し、回答のご協力をお願いした。そのうち78教室からの回答があった。

#### （2）所属について

・理学・理工学研究科や理学・理工学部に所属している教室　　41　件
・工学研究科や工学部に所属している教室　　12　件
・その他の研究科や学部に所属している教室　　22　件
・不明　3　件

### (3) 回答を得た教室の所属する教員、研究者の規模



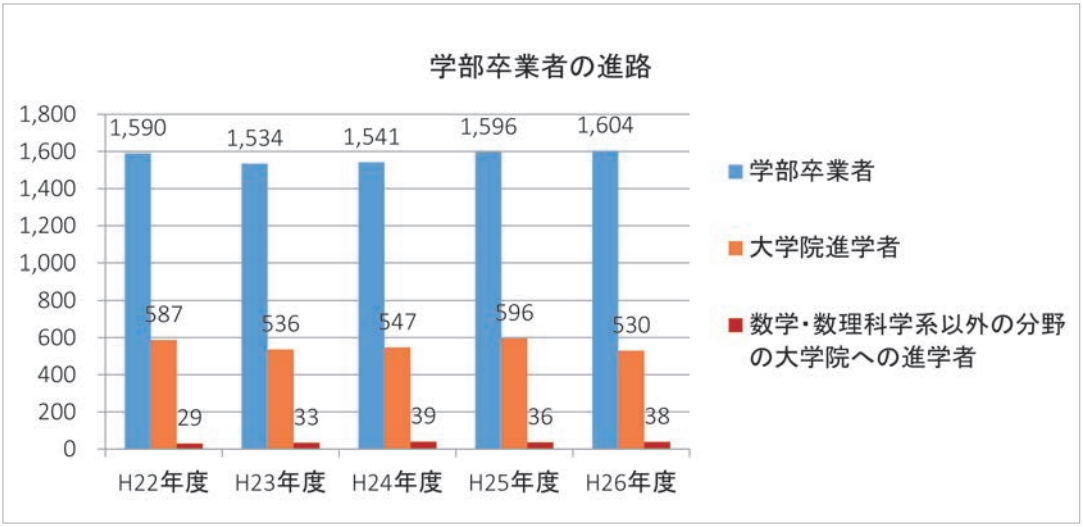

### (4) 平成22年度から平成26年度(5年間)の学部学生の進路について

(4.1) 今回の調査の回答では、学部卒業者が1,500名から1,600名程度あり、そのうち約3分の1(500名から600名弱)が大学院修士課程へ進学している。数学・数理科学系以外の分野への大学院進学率は微増であるが、全体の割合としては2%程度、大学院進学者のなかでも6%程度である。

有効回答数:４８

(4.2) 数学・数理科学系以外の大学院等に進学した学部学生の進路

数学・数理科学系大学院以外へ進学した学生の進路については30件の回答があり、情報系(10件;情報工学、情報科学、システム情報学、計算機科学等)、教育学系(8件;科学教育研究科や教職研究科も含む)、工学系(4件)への大学院進学が多かった。そのほか、MOT(マネジメント・オブ・テクノロジー)、経済学研究科、経営学研究科、文学研究科、国際協力研究科、スポーツ科学研究科、理学研究科(物理学専攻)への大学院等の進学もあった。

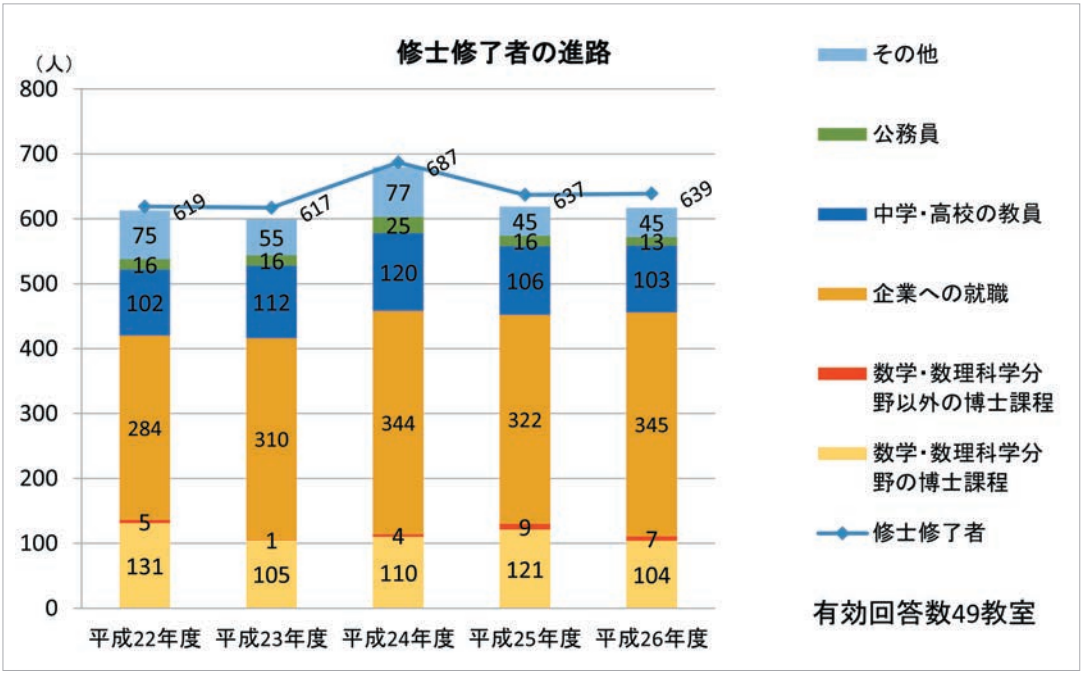



## (5) 平成22年度から平成26年度（5年間）の修士学生の進路について

※５年一貫の博士課程の場合は、修士相当分（入学から２年間）として回答を求めた。

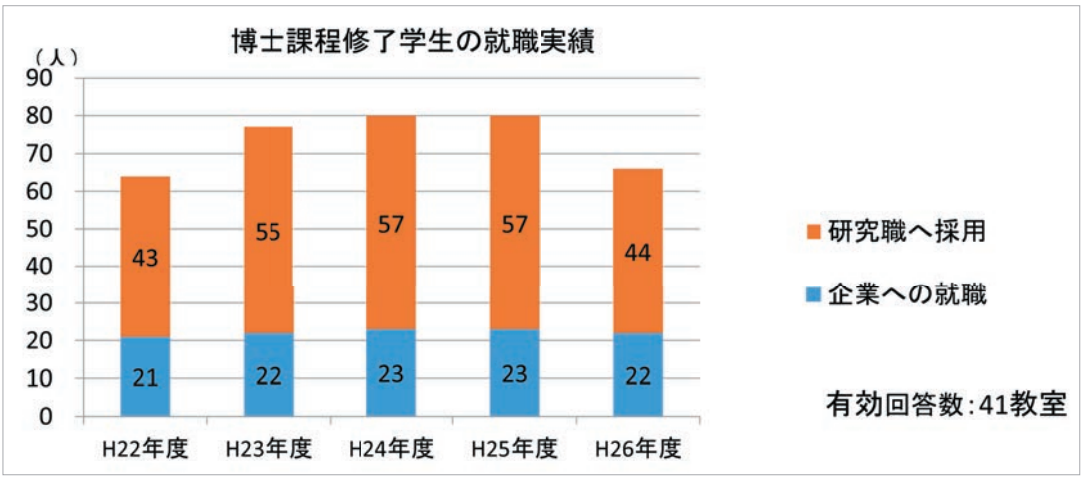
### (5.1) 修士修了者の人数推移

毎年600名を超える修士課程修了学生がおり、そのうち300名を超える学生が企業へ就職、100名程度が高校教員と博士課程進学であった。他分野への博士課程進学は少ない年度では１名、多い年度で９名である。



## (6) 平成22年度から26年度(5年間)での博士課程学生(博士後期課程学生)の進路

(6.1) 博士課程学生の進路状況




この質問は、当初は諸科学への研究職へ採用された数についてであったが、数学分野の研究職への就職が多く含まれている。有効回答のなかで博士課程修了学生の就職した実績は全体で60名程度ある。そのうち、研究職が40名から57名と年毎に変化はしている。具体的な採用先をみてみると、諸科学分野への就職もある。数学会が実施した2014年3月に行った博士課程修了者の企業への就職数は6名であったが、このアンケートでは、それより多く企業へも就職している。今回は、日本応用数理学会の協力を得たことで、応用数学系の学生の進路が含まれていると思える。

(6.2) 企業への就職および研究職への採用先

今回の調査は、諸科学と企業への就職についての質問であったが、25件の教室から、数学系の研究職を含め75件の具体的な採用先の回答があった。

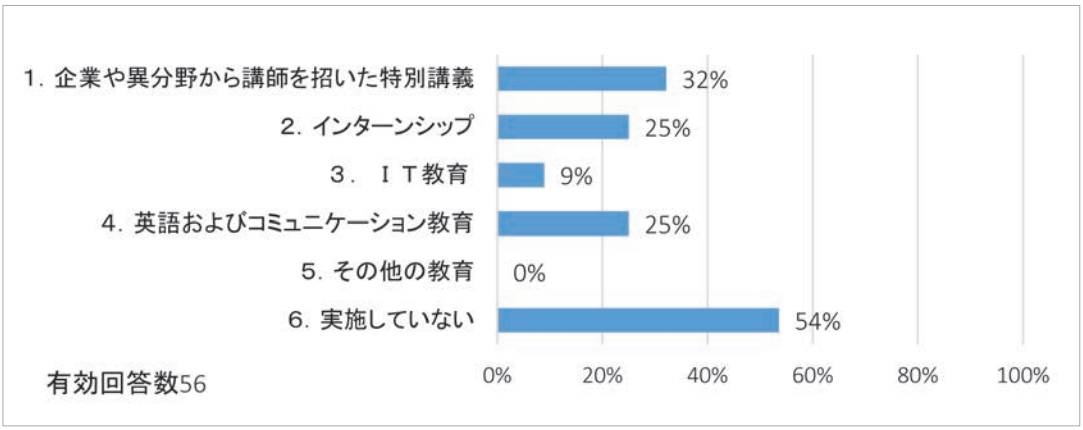
(ⅰ) 大学アカデミックポジション:数学系のポジションのほかに工学研究科や工学部、情報科学系研究科、医学部、商学部等があった。そのほか、IHES、シンガポール国立大、蘇州大学、環太平洋大学、タイカサセート大学等、海外のアカデミックポジションを入れて26件あった。

(ⅱ) 公的研究所研究職として、産業技術総合研究所、核融合科学研究所、理化学研究所、兵庫県立工業技術センターの4件が具体的にあげられていた。

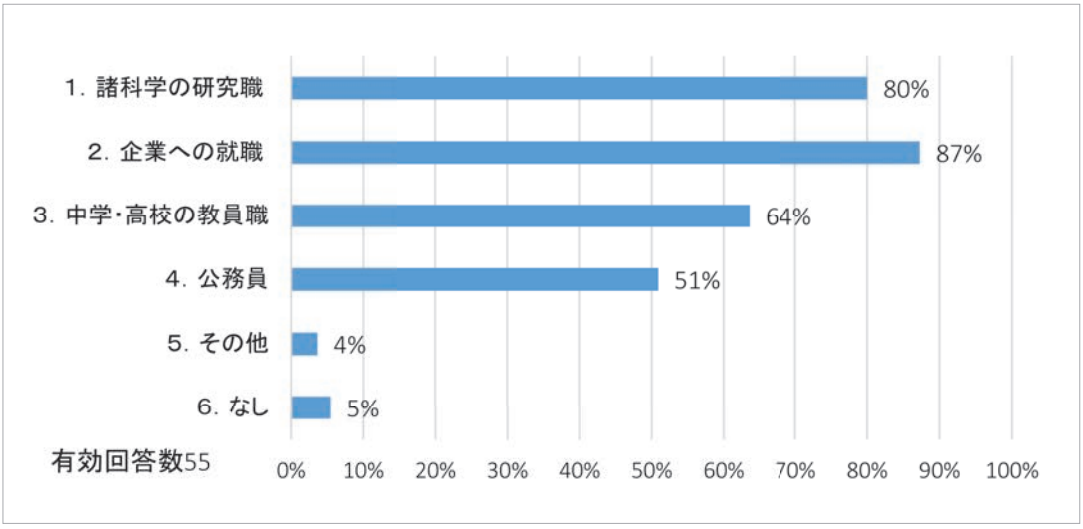
(ⅲ) 高等学校、高等専門学校、予備校等の教育機関への就職は8件あった。

(ⅳ) 企業:情報系、メーカー、保険・金融、出版社(数学)等を主としてかなり多彩な就職先がある。具体的な企業名は23件あった。

(6.3) 博士学生へのキャリアサポート教育を行っているかについて選択質問（複数回答可）の回答。




(6.4)「博士課程修了学生が数学・数理科学研究者として活躍する以外に、どのような進路を期待されますか」という選択質問（複数回答可）に対する回答。




これらの回答からは、企業や異分野から講師を招いた特別講義（32%）、インターンシップ（25%）、英語コミュニケーション能力のスキルアップ等の教育（25%）をしている教室もあるが、そのようなことは実施していないところも54%ある。一方で、学生へ諸科学への研究職や企業への就職を期待している割合が高い。

## (7) 外部資金獲得状況

(7.1) 平成２２年度から２６年度（５年間）での外部資金の受け入れ状況

１．教育関係外部資金（Global COE, リーディング大学院、運営費交付金の特別経費等）
２．科学研究費補助金　　３．さきがけ、CREST
４．企業との共同研究や寄付講座　５．その他

| | 平成 22 年度 | 平成 23 年度 | 平成 24 年度 | 平成 25 年度 | 平成 26 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1．(52) | 56328 万円 | 53217 万円 | 68474 万円 | 35604 万円 | 45269 万円 |
| 2．(60) | 155305 万円 | 164572 万円 | 167766 万円 | 171091 万円 | 178236 万円 |
| 3．(52) | 31309 万円 | 33029 万円 | 28030 万円 | 33216 万円 | 32913 万円 |
| 4．(55) | 8524 万円 | 12954 万円 | 9659 万円 | 11828 万円 | 13139 万円 |
| 5．(48) | 4825 万円 | 7987 万円 | 11731 万円 | 22913 万円 | 25930 万円 |

（　）内は有効回答数

「５．その他」の内訳（抜粋）

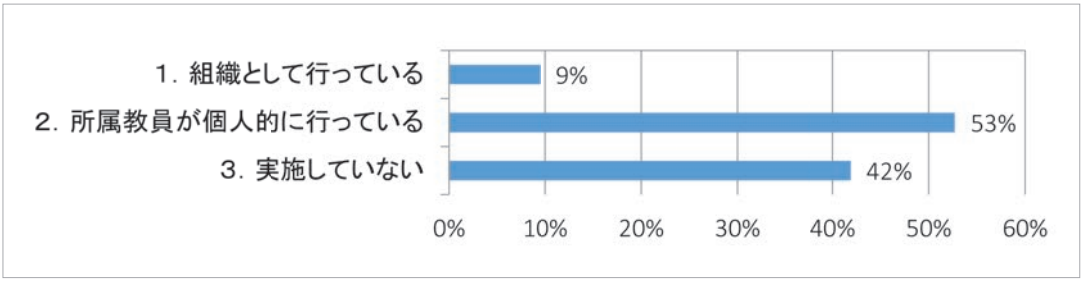
寄附金、二国間交流経費、大学基金、JSPS 受託事業、受託研究、
財団法人からの研究補助金、さきがけ CREST 以外の公的研究費
外部資金については、「１．教育関係外部資金」が平成２４年をピークに減少している。一方、その他の外部資金は年々増加している。

(7.2) 平成２２年度から２６年度（５年間）で外部資金に占める異分野融合研究に係る資金の割合について平均値を調べた。

| | 平成 22 年度 | 平成 23 年度 | 平成 24 年度 | 平成 25 年度 | 平成 26 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 平均値 | 14. 0% | 13. 7% | 15. 0% | 16. 3% | 15. 0% |
| 有効回答数 | 43 | 43 | 43 | 43 | 45 |

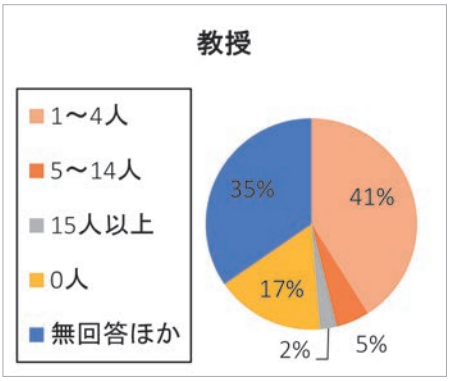
## (8) 異分野融合研究や企業との共同研究について

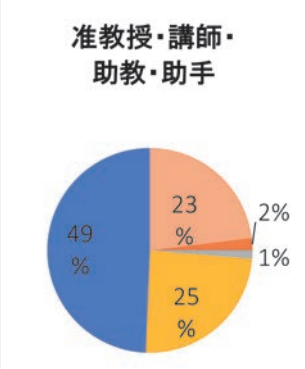
(8.1) 異分野融合研究を促進するための取り組みについての選択質問について (複数回答)。

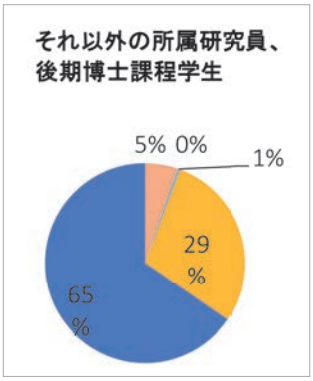



(8.2) 異分野融合研究や企業との共同研究を行っている研究者の人数について。

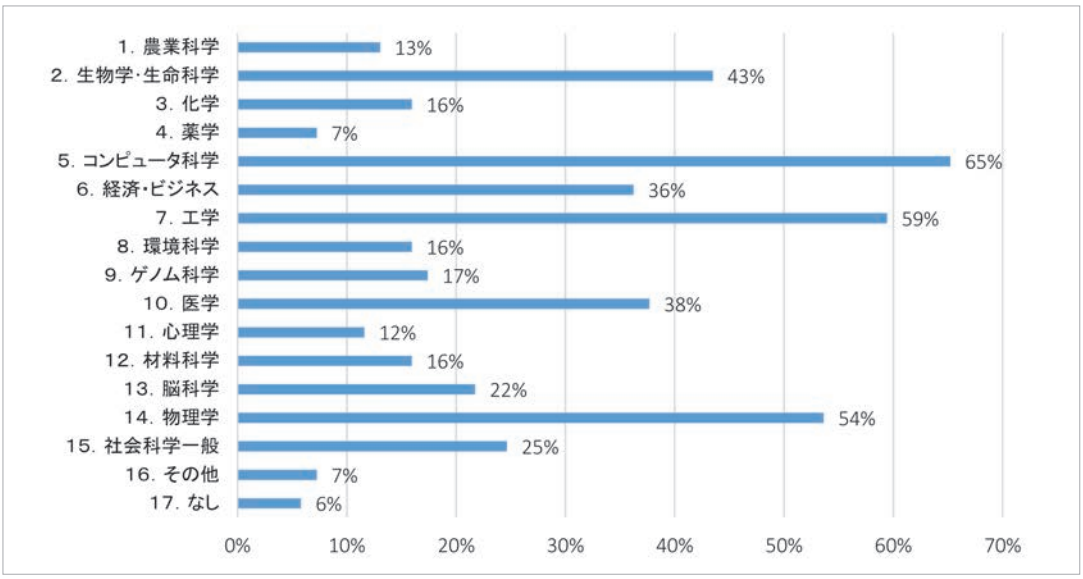
異分野融合研究や企業との共同研究については、各教室のなかで教授は1－4名程度いる。若い研究者はやや少ない。個人として研究を行っている。



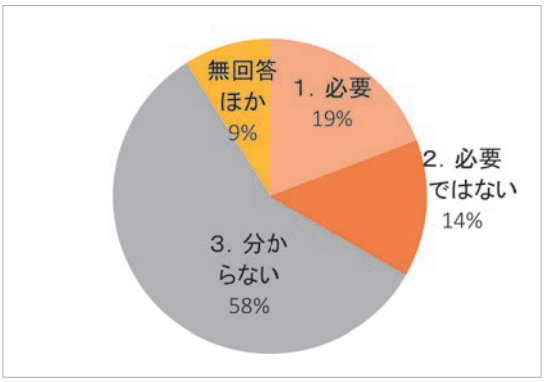

(8.3) 異分野融合研究を進める可能性がある分野についての選択質問 (複数回答可能)。




異分野融合科学を進める可能性としては、生物・生命科学、コンピュータ科学、工学、物理学、その次に、医学、経済・ビジネスが候補として挙がっている。

### (9) 異分野融合研究に対する特別な評価の実施例、評価指標の事例について

(9.1) 異分野融合研究では特別な業績評価が必要か。




異分野融合研究について、特別な評価が必要という回答は19%であった。自由記述として「異分野融合研究の業績評価」について質問し4件の回答を得た。「特別な評価は必要ない」、「研究内容を見て正当に評価するのがよい」という意見、また異分野融合研究を推進して数学センターが設立できたこと、外部資金が獲得できたことなどが挙げられていた。

## 1.2. 数学・数理科学研究者へのアンケート

次に、数学・数理科学研究者の方々に異分野融合研究と訪問滞在型研究所についての情報と御意見についての調査を行った。この調査も、日本数学会および日本応用数理学会の協力を得て行ったことを付記する。

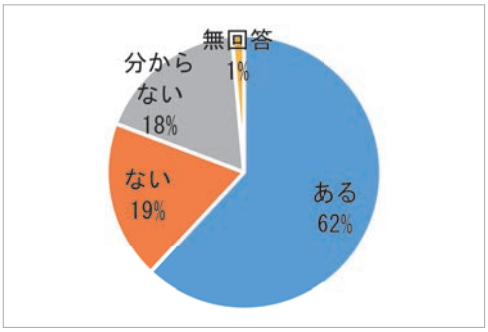
**(1) 調査対象および調査方法**

全国の数学・数理科学系学科・専攻・コース（これを教室と呼ぶ）218教室にアンケート用紙5名分を配布し、それによって得た281名からの回答による統計調査である。

**(2) 異分野融合研究や企業との共同研究についての質問**

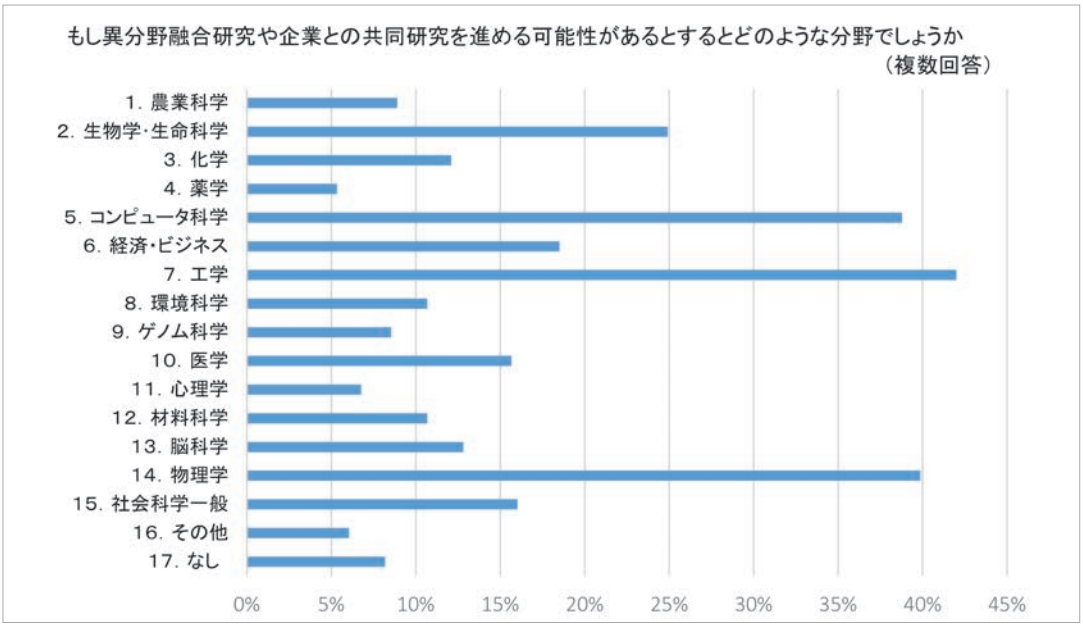
(2.1)「異分野融合研究や企業との共同研究に興味はありますか」という質問についての回答である。

| | |
|---|---|
| ある | 174 |
| ない | 53 |
| 分からない | 50 |
| 無回答 | 4 |
| 合計 | 281 |




今回の回答を得た研究者の半数以上が異分野融合研究や企業との共同研究に興味を持たれていることが分かる。

(2.2)「もし異分野融合研究や企業との共同研究を進める可能性があるとするとどのような分野でしょうか」という質問についての回答（複数回答可）である。教室へのアンケートとほぼ同じ傾向であった。

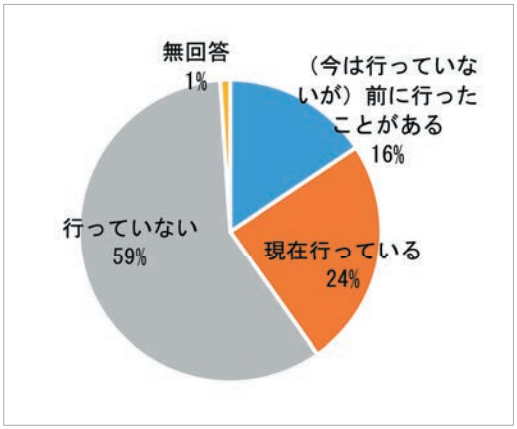



１６．その他の自由記述（抜粋）

スポーツ科学、ゲーム理論、気象学、地球惑星科学、教育、画像関係、芸術、印刷、デザイン、アミューズメント産業、自動車産業、認知科学など。

(2.3)「異分野融合研究や企業との共同研究を行ったことがありますか？」の質問についての回答である。

| | |
|---|---|
| （今は行っていないが）前に行ったことがある | 44 |
| 現在行っている | 69 |
| 行っていない | 165 |
| 無回答 | 3 |
| 合計 | 281 |



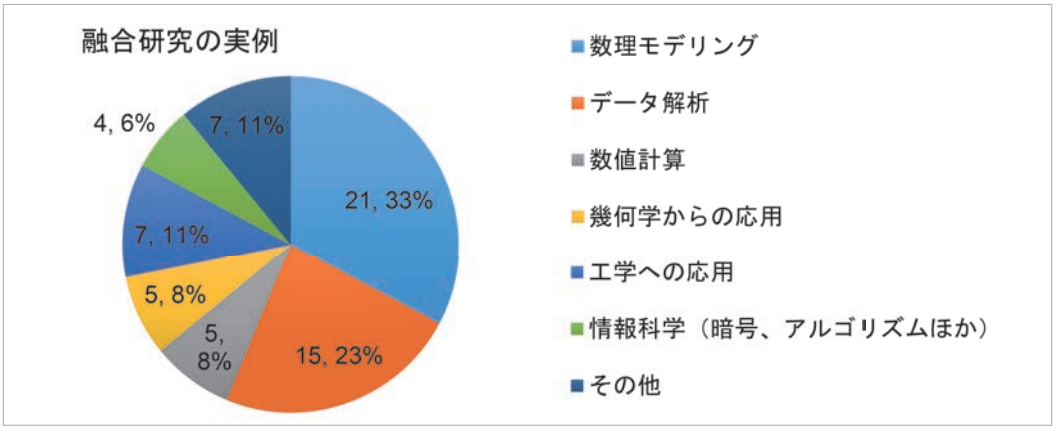

異分野融合研究や企業との共同研究を行っている研究者は、40% 程度である。

(2.4) 異分野融合研究を「前に行ったことがある」、「現在行っている」方に異分野融合研究や企業との共同研究の事例を聞いた。異分野融合研究、共同研究やそのためのセミナー等、経済、教育、物理、化学、材料科学、生命科学、情報等多くの事例が108件挙げられた。数理モデル、データ解析、数値解析、ＯＲといった手法の応用のほか、幾何学、確率論、代数学等数学的理論を用いた事例も多く挙げられた。

(ｉ) 異分野融合研究の実例（抜粋）

- 画像処理における高速アルゴリズムの開発（共同研究）・ベイズ推定における数値計算法の研究（共同研究）
- 原子炉の耐震設計問題のための地震波のモデルの研究
- キャビテーションによる流体機械の破壊現象の原因の解明
- 鉄鋼プロセスのシミュレータ開発、環境シミュレータ開発
- 医学データ解析（心電図、ゲノム損傷）・遺伝子発現量データ解析・ゲノム、エピゲノムデータ解析・タンパク質、DNA のモデルシミュレーション・細胞内ライブイメージングデータ解析
- 環境汚染物質の拡散現象の数理モデル
- 幾何構造の考え方を、タンパク質構造や材料設計に応用
- 自走粒子系の実験と数理解析、液滴運動の実験と数理モデリング、燃焼合成反応の数理解析、発生生物学における分化波の数理モデリング、表皮構造の数理モデリング
- 位相的データ解析の材料科学への応用研究

- 経済取引への数理として、近似アルゴリズムの被験者実験
- 計算システムを用いたマーケティング（中古車）、データマイニングによる優良研究採案（教育関係）




（ⅱ）企業との共同研究の事例

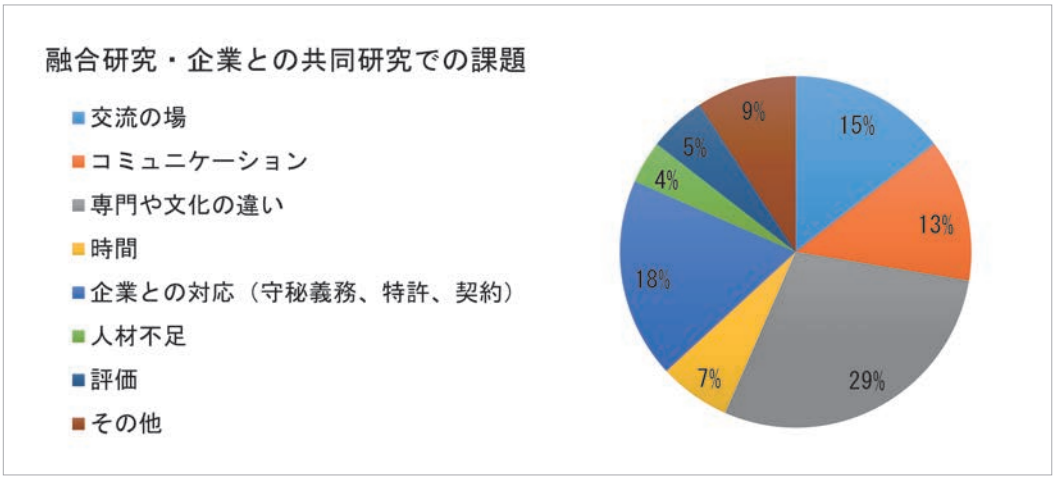
光学メーカー、自動車産業、医薬、プリンターメーカー、電力会社、情報通信企業等からの事例が上がった（抜粋）。

- 光学メーカーの液晶露光装置開発グループと、安定な制御系の設計のために数式・数値融合計算を活用した。
- エンジンのカオス力学系解析（過去）
- ハプティクス（触感インタフェース）に関して、国内企業と共同研究
- 音データの電子すかしについて
- 代数学・整数論と暗号に関する研究
- 企業との共同研究（プリンターメーカー、自動車メーカー）
- 自動車会社と道路上の障害物検知に関する共同研究
- 電力会社との共同研究で発電に関連する最適化問題を解いた例、自動車関連会社との共同研究で、大規模構造解析に付随する固有値計算の高速化を行った例

（2.5）異分野融合研究や企業との共同研究を進める時の課題について、自由記述での回答85件を得た。回答の多くは、1）知識の共有や相互の理解に時間がかかること、2）コミュニケーションの問題、3）出会いの環境や機会が少ないといった課題が挙げられている。

- 一方ではなくお互いが歩みよる姿勢、そういった人達が出会える場（研究集会等）
- 萌芽的研究（それに関する課題）に対する助成、そういった萌芽的研究を受け入れる・歓迎する環境・雰囲気作り。

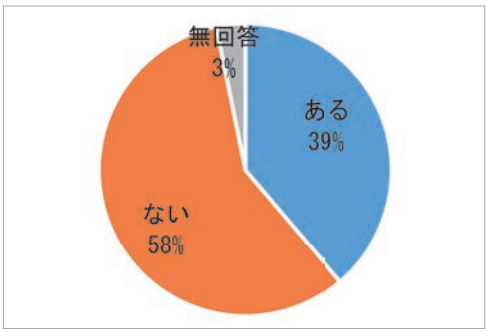
- 研究文化が異なるため、自身の研究スタイルにそぐわなくとも、ある程度妥協する必要がある。
- 交流を持つ場、機会が少ないため、交流が進まない面があると思う。
- お互いにとって有益な研究課題を見つけるまでにとても長い期間が必要。なかなか会って議論する時間が取れない。
- ゴールの設定や研究成果の帰属など、通常の数学者は気にしないことに気をかける必要があり、面倒と思ってしまう。
- 数理の思想と知見をしっかりもつ一方で、数理科学者がいかに実験研究者の視点から物を見て彼らの価値判断も共有できるかという点・方法論に固執しない・普遍性や理論体系の美しさに固執しない・現実の複雑さを柔軟に受け入れる。
- 他分野の専門知識を手に入れることが難しい。
- 他分野の知識が浅いため、研究内容に対する意義が理解できず、ただの「手伝い」で終わってしまう。




### (3) 訪問滞在型研究所について

(3.1)「海外の訪問滞在型研究所に滞在された経験はありますか？」についての回答。

| | |
|---|---|
| ある | 109 |
| ない | 163 |
| 無回答 | 9 |
| 合計 | 281 |



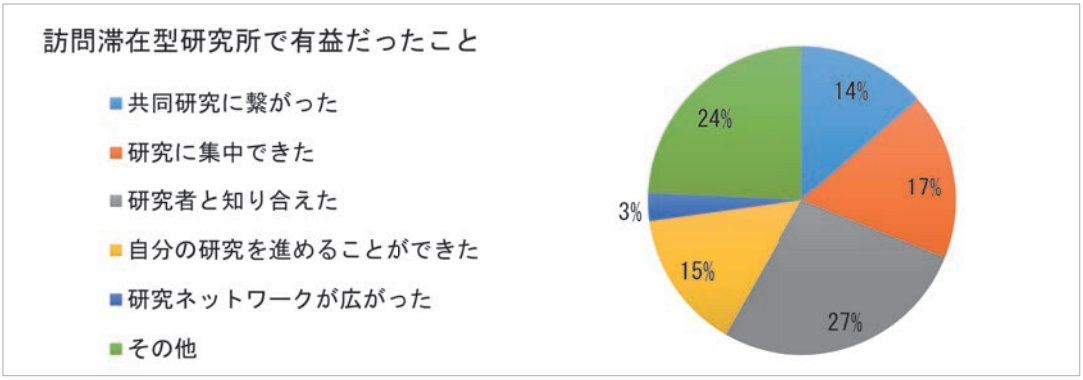

(3.2) 海外の訪問滞在型研究所に滞在された経験をお持ちの方に、もっとも有益であった訪問滞在型研究所の例について、具体的にあげてもらった。

回答数113件のうち、特に多かった回答としては以下があった：

オーバーボルファッハ数学研究所（ドイツ）、ニュートン研究所（ケンブリッジ、英国）、マックスプランク研究所（ボン、ドイツ）、バンフ国際研究所（カナダ）、MSRI（バークレー、米国）等。

（3.3）「訪問滞在型研究所での経験がご自身にどのように役立ったか？」の質問には、102件の回答があった。主な回答は、1）海外の研究者との議論や交流によって共同研究に繋がる、2）研究に集中できる時間がとれる、3）専門以外の研究者と知り合うことで研究が発展した、4）自分の研究の進展ができた、5）研究ネットワークが広がった、である。

- 「リサーチ．イン．ペアーズ」という制度で滞在したが、2週間の間、一切の雑務、雑念にとらわれず、議論に集中できたため、極めて有益であった。
- workshop のオーガナイズについて勉強になった。
- 寝食を共にしつつセミナーを行うことの有意義性・当日朝、その日のプログラムを決めたりする、予定調和に走らないようなオーガナイズ・自由に課題やアイディアを出し合う short communication の意義
- 世界の一流の研究者と自由な議論ができ、最新の研究に触れられる。
- 日本の研究の立ちおくれを実感した。
- 物理から生物までの、様々な異分野のセミナー等が絶え間なく行われており、刺激を受けた。




（3.4）訪問滞在型研究所での異分野融合研究や新しい研究分野の創成の事例についての回答（抜粋）。【　】内は研究所名。

- ビッグバン、初期宇宙生成などの数学的モデル【CERN】
- 当時、Industrial Postdoc というポジションがあって、その人たちは半分を各自の研究、半分を IMA に出資している企業との共同研究を行っていました。【IMA】
- IMA は数学的テーマに留まらずそれをユニークな視点から関連諸科学、産業と関連付け、学術的に新しい分野の開拓につなげようとしており、これまでの毎年のテー

マ設定が新しい融合研究を多く生み出してきた。【IMA】

- 2000年に行われたレベルセット法とCG業界とのコラボレーションは、学術的にはOshei教授のガウス賞授賞へ、産業としては近年のCG映画産業への大きな波及があった。こうした異分野の融合をすすめるには、10-15年のスパンを見越さなければならないと思われる。【IPAM】
- オーバーボルファッハと同様のセミナーを情報科学の分野で行っている。【ダックシュトゥール（情報科学のオーバーボルファッハ）】

（3.5）異分野融合研究を目的とした訪問滞在型研究所の活用についてのご意見について、自由記述による39件の回答があった。ほとんどの研究者が訪問滞在型研究所を求めている。

- 十分なコミュニケーションが重要だと思われるので、訪問滞在型研究所での滞在で一堂に会する期会を提供するならば大変有益であろう。
- あまりにも「結果や事例の作成」についてこだわりすぎると逆効果だと思います。自由な雰囲気のもとで、時間をかけて異分野の理解をすすめられるものであれば、大変ありがたく思います。
- 異分野融合は短期、中期でできるようなものではないので、長期滞在になると思われる。あまり向いていないように思える。
- 海外にはこういったものが多くあるのに比べて、日本では皆無である。ぜひよいものを作ってゆきたい。経験を積んだ研究者の指導のもと若手がのびのびと研究できる環境ができればよいと思う。
- 研究テーマを絞り、異分野同士の議論を促進させるのがよいと思います。
- 研究の先端はそのような場所で作られている。日本にそのような研究所が（少）ないことは大きなビハインドとなると考えます。
- 「異分野融合を目的」というよりは、「応用数理」でよいではないかと思います。
- 日本の大学の教員には、そもそも訪問滞在型の研究所に訪問、滞在できる時間がない点が最大の問題だと感じます。
- 博士課程の学生を含む若手研究者が集まって、研究について話すことのできる場所として活用することで、異分野融合研究が活発になるのではないかと思う。
- 日本にはまだそのような研究所は（私の知る限り）ないが、開設されれば、ぜひ利用したい。ただ日本では、「数理科学」の指す範囲が狭すぎる印象がある。

## 2.　諸科学分野からの数学・数理科学融合研究の活動動向と意識調査

諸科学分野からの数学･数理科学融合研究の活動動向を把握するためにアンケート調査、事例調査、ヒアリング、インタビューを実施し、実態の把握が目標である。

### 2.1. 諸科学アンケート調査

(1) 標本設計　(2)アンケート結果　(3)アンケート調査票

### 2.2. 諸科学の数学・数理科学との融合研究事例調査

(1)アンケート調査対象者　(2)アンケート結果　(3)アンケート調査票

### 2.3. ヒアリング

田中 耕一氏（株式会社島津製作所シニアフェロー、田中耕一記念質量分析研究所所長）

### 2.4. インタビュー

(1)ジェームズ・キーナー氏（米国ユタ大学数学科　数学特別教授）
(2)アレックス・モジルナー氏（ニューヨーク大学クーラン数学研究所教授）
(3) 呂 宝粮氏（上海交通大学計算機科学工学部教授、ディレクター）
(4) Jae Kyoung Kim 氏（韓国高等科学技術大学（KAIST）数学科助教）
(5)ホルガー・ヴァールケンス氏
（グローニンゲン大学ヨハン・ベルヌーイ数学・コンピューター科学研究所准教授）
(6)ハウ・ヤン氏（プリンストン大学化学科教授）
から構成される。

### 2.1. 諸科学アンケート調査

本小章は
(1) 標本設計　(2)アンケート結果　(3)アンケート調査票
から構成される。

(1) 標本設計

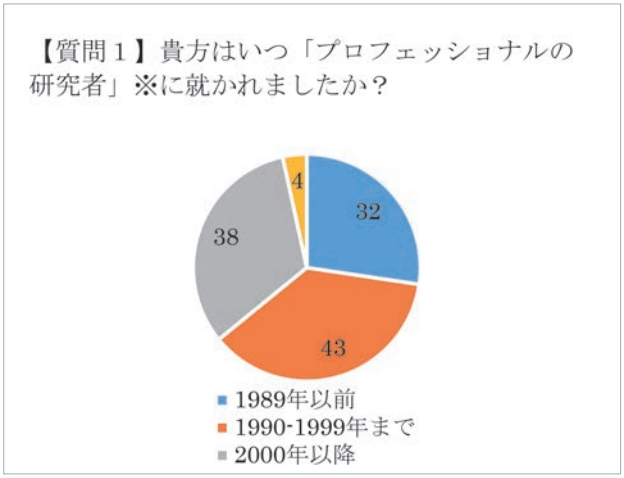
①標本数は国立・私立大学等の研究者117人。
②標本抽出に当たっては、 過去2-3年の科学研究費基盤研究（C）の採択者（数学以外の諸科学分野）の中から無作為に300件抽出し、アンケート調査票を送付。その結果、回答のあった117名のアンケート結果を集計・解析を行った。

(2)アンケート結果

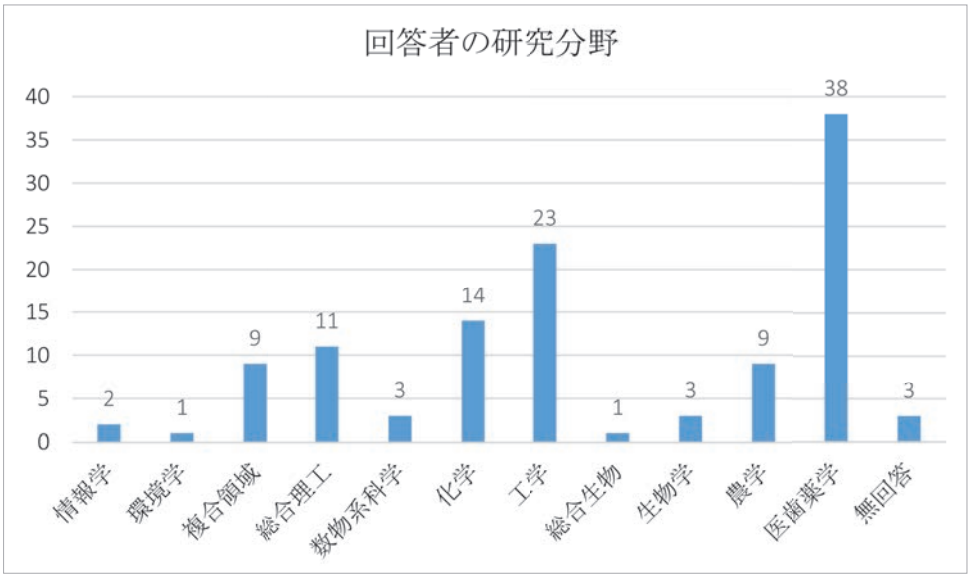
【質問1】貴方はいつ「プロフェッショナルの研究者」に就かれましたか？

※プロフェッショナルの研究者とは、専ら当該研究開発活動業務による収入により、自己の生活経費を賄うことができることをここでは指すものとする。

| | |
|---|---|
| 1989 年以前 | 32 |
| 1990-1999 年まで | 43 |
| 2000 年以降 | 38 |
| 無回答・不明 | 4 |
| 合計 | 117 |



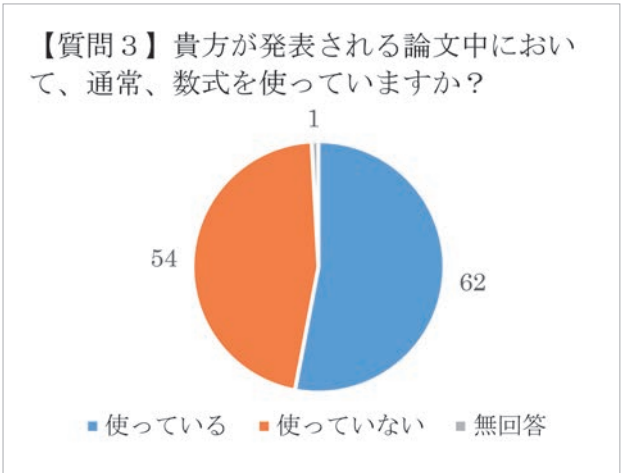

【質問2】アンケート回答者の分野アンケートに回答して頂けた方の分野は以下のようである。医歯薬学系（約３２％）と工学系（約２０％）からの回答が多かった。




【質問３】貴方が発表される論文中において、通常、数式を使っていますか？

約５３％の研究者が数式を使っていることがわかる。直接、数学・数理科学と関わりがあるか相関は不明であるが、諸科学の半数以上の研究者が数学を使っていると考えられる。

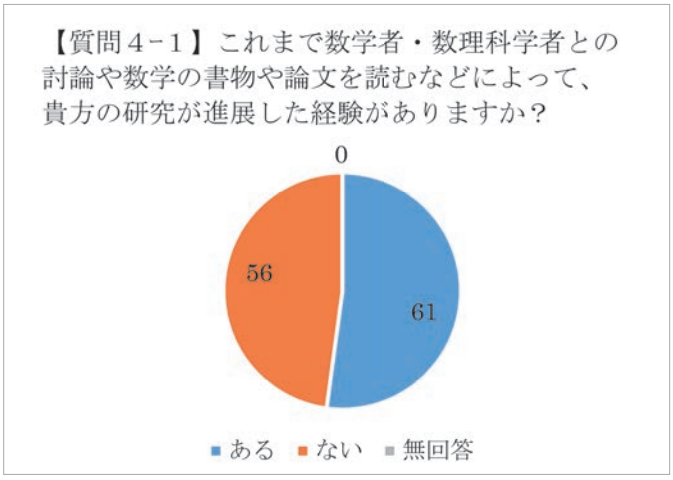
| | |
|---|---|
| 使っている | 62 |
| 使っていない | 54 |
| 無回答 | 1 |
| 合計 | 117 |




【質問４-1】これまで数学者・数理科学者との討論や数学の書物や論文を読むなどによって、貴方の研究が進展した経験がありますか？

約５２％の研究者が数学・数理科学を使うことによって研究に進展がみられたと答えており、【質問３】の結果と極めて強い相関が見て取れる（ただし、相関係数を計算していないので正確には不明）。

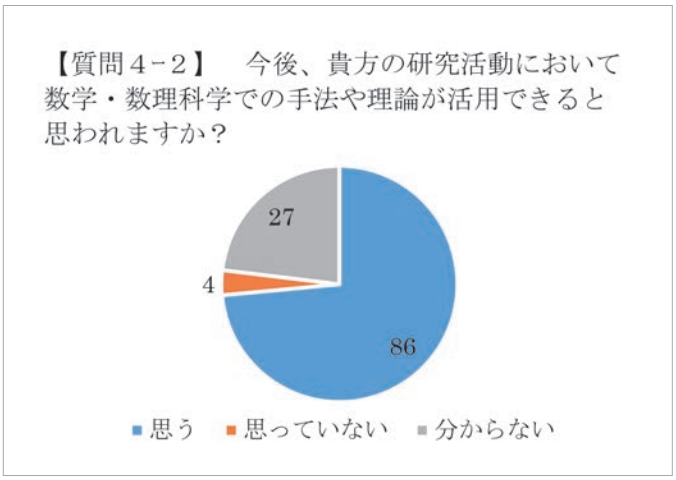
| | |
|---|---|
| ある | 61 |
| ない | 56 |
| 無回答 | 0 |
| 合計 | 117 |




【質問４-2】今後、貴方の研究活動において数学・数理科学での手法や理論が活用できると思われますか？

約７４％の研究者が数学・数理科学の手法や理論が活用できると考えている、実際に活用している研究者が５２％であることを考えると、２２％の研究者は数学・数理科学的手法の有効性を感じているが、実際には活用されていない。（まだまだ数学・数理科学が連携する分野がある？）

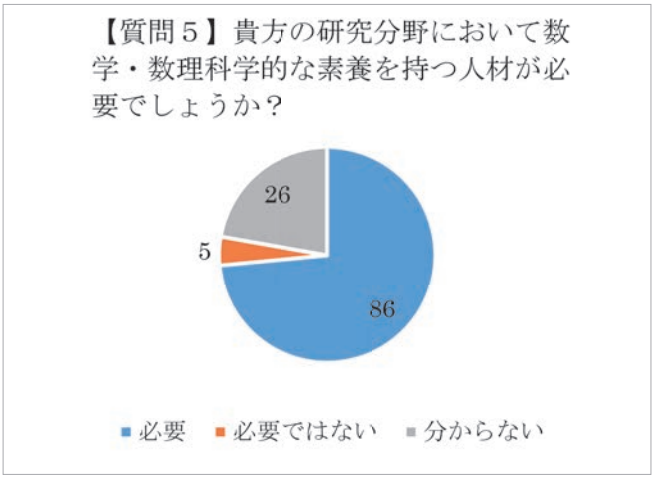
| | |
|---|---|
| 思う | 86 |
| 思っていない | 4 |
| 分からない | 27 |
| 合計 | 117 |




【質問５】貴方の研究分野において数学･数理科学的な素養を持つ人材が必要でしょうか？

【質問４】と全く同じく約７４％の研究者が数学・数理科学的素養を持つ人材を必要としている。数学･数理科学を必要と感じているが､まだ活用していない研究者が２２％近くいることが見て取れる。

| | |
|---|---|
| 必要 | 86 |
| 必要ではない | 5 |
| 分からない | 26 |
| 合計 | 117 |




【質問５- １】→１）必要である、とお答えの方に伺います。それは何故ですか？

自由記述には82件の回答があり、「データ処理」「統計解析」というキーワードが多く出ている。

記述されている他分野の主なキーワードとしては、物理現象、物理化学、化学反応、材料開発、実験生物、生命科学、臨床データ、創薬、ゲノム解析、蛋白質構造解析、ロボット制御、映像・画像、記述されている主な数学・数理科学キーワードとしては、統計やデータ分析（35件）、数値解析・モデル化・シュミレーション（12件）ほか、フーリエ変換、群論、線形空間、確率論、確率過程、統計解析、制御理論等について回答があった。以下はその抜粋である。

- 化学反応の論理的理解のため化学反応の収率、選択性向上のためには遷移状態を理解したいが、計算科学はそのツールとなる。
- 論文投稿の際、統計処理のデータを誰に見てもらったかなどの記載が、最近必要となることがあるため。
- ロボットの制御などに使う制御理論に応用数学が必要であるから。
- 現在は経験則で材料の開発を行っているが、将来的にはモデル化、シミュレーションなどの手法が一般化してくると考えるため。
- 医学系の研究には、統計学やシミュレーション、ビッグデータ解析が必要と考えるため。
- 生物の計測データの解釈を行うためには統計学の知識が必要であり、常に相談できる人材が必要。
- NGS データや発言アレイデータ、予後データの解析に必要なため。
- 確率過程で起こる物理化学現象の理解に必須である。
- 創薬研究にコンピューターが必要。例えば分子動力学計算など。またタンパク質構造解析によるフーリエ変換など。
- 生命科学の分野では確率論が必須である。コラーゲン繊維の可視化と力学の研究を行っており、その解析時に必要。
- 光デバイスや光材料において、数値計算、シミュレーションなど数学の力が必要なテーマが多くあるため。
- ゲノム解析の情報量が格段に増え、ビッグデータを扱うインフォマティシャンは、絶対不可欠である。
- 電気・機械システムの研究において、研究の成果の一般化・汎用化を図るうえで数学（的モデリング）は必要不可欠なツールであると考える。
- 化学の分野において、非常に単純ではあるが、物理、エレクトロニクス、光学等の視点が要求されるため
- 有機化学（特に合成）は共鳴式など経験に頼ることが多いが、有機 EL や太陽電池の開発のためには、量子力学などの数式を扱うことが必要と思われるから。
- 統計解析の知識・手技に精通した共同研究者が High Impact Factor の論文遂行に必要。
- 動物実験を行っているため、数値に必ずばらつきが生じます。その際の検定法が正しいのか、数学的に意味があるのか素養を持つ方に評価していただきたいと思います。
- 生体の刺激応答を考える際に、刺激に対する応答なのか、第１の応答（想定外）が刺激になっておこる第２次応答なのかとか２つ以上の応答が連続しているのか、同時並列なのかを考えることがある。多くの変数を先入観を持たず解析できる素養が必要だと思う。
- わが国では最近ショートタームの研究成果が重視されており、将来的にあまり重要でない実験結果の報告が多い。しかし真の技術革新を成し遂げるためには、物事の

本質をしっかり理解することが不可欠であり、そのために数理科学的素養を持つ人物はわが国の宝である。

- 人間の知覚を対象として計測データを分析する必要があり統計学やシミュレーションなどは不可欠な手段です。（人間の回答や操作には個人差や気まぐれ等の不確定要素が多いため）
- 映像、画像分野はフーリエ変換をはじめ数字の知識が不可欠。他にも wardot、線形空間等。
- 例えば群論など、物性物理学の理解を深めるために役立つ数学があるから。
- 私は、ヒトの全タンパク質から疾患特異的なアミノ酸を発見し、薬など患者に必要とされる医薬品を研究しています。そのビッグデータの中から病気のターゲットを絞るには統計学を学ぶ必要があります。私は、そのためにバイオ統計学を学びなおしました。

【質問５- ２】→２）必要ではない、とお答えの方に伺います。それは何故ですか？

回答数が少ないので傾向等は何とも言えない。数理科学者に対してネガティブな意見を持っている方がまだまだいると思われる。

- 物理実験の結果を議論することが無いため。
- 自身の領域においてはすでに完成された機器を使用しており、現状では新たな分析機器の開発に手を出さない限り、必要ではない状況にあるため。
- 「必要ではない」というよりも「必須ではない」という感じです。これまで約18年間、そのような人材と関わってこなかったが、研究は進んでいます。しかし我々の研究分野でも数学・数理学的な考えをもった人材が研究に加わってくだされば、より発展できるのではないかと考えます。
- 私が知る限り、数学、数理科学の分野の人は視野がせまく、役に立たない。

【質問６- １】貴方の研究およびその周辺分野において、数学・数理科学を活用している例があるでしょうか？

数学・数理科学を活用している事例をしっている研究者は約５３％いる。

| | |
|---|---|
| ある | 62 |
| ない | 8 |
| そのような観点から調べたことがない | 47 |
| 合計 | 117 |

【質問６- ２】具体的にどのようなものでしょうか？ またそれを発展させる仕組みがあればお教えください。

これには56件の回答があり、多くの研究キーワードが出ている。活用事例として統計に関わるキーワードが多く見られることから、統計的手法はすでに多くの他分野

で重要な手法となっていることが伺える。「シミュレーション」というキーワードも多くみられていることから、計算機上で予測や予見を得るための手法として、多くの研究分野で数学・数理科学が用いられていると考えられる。回答の抜粋をあげる。

- 海外ではすでに幅広く行われている。海外の方が進んでおり、国内の研究者と協調する意味が無い。
- データの物理的な意味にかかわらず、数学的な最適化問題として扱っている。そこに物理的な解釈が入れば発展すると思う。
- 画像解析や質量分析や RNAseq などのデータの統計など
- 制御理論、最適化問題、シミュレーション
- 電磁界解析、Mathematica 等の数学ツールの活用
- 作用機系未知の化合物の作用機系予測系の構築、抗がん剤の感受性予測
- 統計計算ツール、free software になっている
- 理論計算や、シミュレーションの結果によりナノ物質の構造、物性を予測し、考えられる実験の中から最低限必要な実験を選定できる。また実験現象の解析も重要である。
- 海外である。データのクラスタリングや回帰など、主に python の scikit-learn を用いたデータ解析。
- オミクス計測の分野では常に統計による比較が行われているので、どのような仕事であっても数学の知識は必要。
- 血流のシミュレーションにより、病態生理の解明につなげようとする取り組みをするグループがある。
- ワイヤレス通信における通信性能の解析、誤り訂正符号の特性評価と符号の提案等
- 有限差分時間領域法による近接場光分布解析
- 医療統計、タンパク質構造解析、創薬における分子動力学。
- 神経細胞の膜の流動性と神経伝達の関係や、膜の脂質組成とトランスポーター活性の関連を数理科学的に示しています。海外の研究者の方が多いように感じますが、特に気にして見たことはありません。
- 電磁界解析は一般的に使われており、理論的な予測に基づき、実験結果を考察するとういう手法がしばしば用いられる。
- 画像からの特徴量描出や多種多様な医用情報を組み合わせるための多元計算機解剖学のアプローチが在る。
- 光デバイス中の光伝搬シミュレーション。光材料の物性シミュレーション。
- 相関解析により、複数の生体マーカーを用いた病気の確定診断が可能となる。
- ビークルダイナミクス、ヒューマンダイナミクス、振動・音響解析など多分野にわたる例あり。
- 遺伝子解析、糖鎖の発現解析。広くは、画像解析にも利用されている。

- 電子移動を伴う材料化学分野（太陽電池やトランジスタ）
- 主成分分析など、遺伝子の変動から共通成分を抽出するものや、分子のシミュレーションなど
- タンパク質構造解析、ドラッグデザイン
- 原子が数千個で構成されたクラスターイオンと固体の衝突により、クラスターイオンが解離する現象と固体の弾性的性質の関係を調べるために分子動力学計算が必要である。
- 時々学会等で耳にする。
- 量子化学計算は近年非常に発展しており、多くの研究において実験結果と関連させて議論している。
- 分子構造及び蛋白質間の結合程度の解析や親物性について
- 実際に現在行っている。ハガンド結合や結体との距離などについて計算してもらっている。
- ゲノム科学や、遺伝子発現解析などでは、次世代シーケンサーを使うことが主流であり、バイオインフォマティックなデータの収集が必須となっている。
- 海外では多く見られる。例として「インコヒーレントホログラフィー」は将来のイメージング技術として各国が研究開発にしのぎを削っているが、最初に原理を定式化するために高度系数学が利用された。
- 実験データの比較・解析
- 疫学調査等
- 中心的にはコンピュータシミュレーションであり、画像処理、動画処理などを実際に作る前にさまざまなパラメータなどで効果を調べるなどの分析はシミュレーションでなければできない（作ると失敗する可能性も多い）シミュレーション技術の発展は今の時代ではコンピュータハード、ソフト技術の発展に大きく影響されると思う。
- 群論、結晶構造や磁気構造の対称性、分子の振動や電子状態の対称性
- 医療統計学者
- 計算化学、すでに多くの研究者が利用している
- 材料の物性（力学的、熱的 etc。）の研究では、大学程度までの数式を使っています。測定機器でも、より深く理解するため、数学的な知識が必要になることもあります。
- シミュレーションモデル、予測モデル＋交差検証法
- 合金設計および合金組成の展開、また磁気特性等の解釈に用いることができると良い。
- マテリアルインフォマティクス

【質問７】現在、若しくは過去に、実際に数学・数理科学研究者との共同を行っている方に伺います。

【質問７-1】具体的に実際の事例と課題を教えてください。

33件の回答があり、成功事例と現在の進行している事例が多く見て取れるが、その一方で、共同研究の難しさを顕著に表している事例も多く見てとれる。例えば、「お互いの分野の理解不足」、「お互いに話が通じない」、「何をしているのかわからない」、「期待していた予言が全くなかった」。この辺りの事例は、日頃から数学・数理科学者が感じている点でもあり、分野間の相互理解が必要不可欠であることが見てとれる。回答の抜粋をあげる。

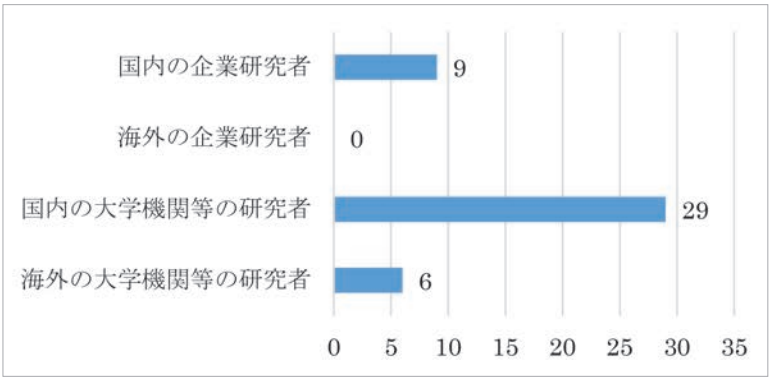
- グリコシル化反応（有機化学）における溶媒効果・特異的グリコシル化反応における置換基効果。当初はかなりの成功を収めた。ただしお互いの進捗状況に差が出たこと、お互いの分野の理解の不足から議論がかみ合わなくなった。計算化学から有機化学へのフィードバックが乏しく、Scientific には面白い課題ではあったが、計算化学の力がなくても問題解決は可能であった。
- 共同研究ではなく自ら解析した。
- スパースモデリング
- 質量分析で生物試料を計測して得たデータから必要なピークを提出、解析するために統計学の専門家と共同研究を行い、ソフトウェアを開発した。
- お互いに話が通じず不満な点が多かった
- 研究のバックグラウンドの異なる研究者とのマッチングは大きな成果となりうる。
- 創薬におけるインシリコスクリーニング。具体的には、ドッキング計算、分子動力学など
- PET で A $\beta$、糖代謝画像と MRI による局所体積情報を組み合わせての画像診断に、機械学習を活用しようとしている。
- 分子進化の系統樹の作成
- 数学・数理科学研究者との共同研究はしていない。全て独自に行っている。必要な数学・数理は勉強する。
- 統計学について・具体的に数値をどのように説明するか・理論的なデータ数が多すぎて実現不可能でした。
- 振動緩和の理論とそれに基づいた計算
- 医師と技師の読影能力の比較
- Ar 原子100~1000個で構成されるクラスターイオンと各種金属の衝突におけるクラスターイオンの解離挙動と金属のヤング率、密度の相関関係を衝突実験ならびに MD シミュレーションにより調べた。また、両者の結果を比較することにより、クラスター解離に及ぼす弾性力学的効果を明らかにした。
- 薬剤投与の疾患（疾患モデルマウス）への影響について解析を依頼した。残念ながらその解析の最終的な結果については、先方の統計学者の都合（多少そとのこと）によりご返事いただけていない。
- 数学・数理学科研究者ではありませんが、数学を専攻し、生物学者となられた先生に、

データを評価して頂いた経験があります。その際は、検定法が間違っていたため、データの修正を行いました。私は数学が得意ではないので、数学研究者が指摘される問題点に気づくことが遅れる場合があります。

- 上記と、過去には、大きな DATA BASE から必要な情報だけをソートできるプログラムを組んでもらった。課題としては、内容は理解できるが、実際に自分では動かせず、何をしているのか正直わからない。検証の仕様がない。
- 数値シミュレーションの高精度化（相手に解析解を算出してもらう），数値モデル構築（相手に３次元復元を依頼），数値シミュレーションの実問題への応用（相手から計算を依頼）
- 留学中に米国で実験計画立案の相談と論文作成の課程で statistician に相談→成功現在の研究において研究計画と細胞の相談等幅広く協力しています。
- ヒトがん転移ペプチドの発見、がんの完全寛解ができる臨床データを示した。ヒト後縦靭帯骨化症の原因タンパク質の発見、モデルマウスの作製、後縦靭帯骨化抑制剤、診断キット
- 金属リチウムに対する安定性を予想し、期待できるサンプルから実際に合成した。
- 電話相談事業の地域における認知度を検討する目的で GIS を活用の際、数理科学研究者との共同により成果を挙げることができた。
- 理論屋さんと一緒にナノグラニュラー構造の合金設計で共同研究した。ほとんどの場合は出来た物質の解釈のみで、もっとも必要としている予想（予言）はほとんどなかった。

【質問７-2】どのような数学・数理科学研究者との共同研究をしていますか？

共同研究者の所属機関は国内の大学機関の研究者が約６６％であり、次いで国内の企業研究者が２０％であり、海外の大学機関等の研究者は約１４％であった。



【質問８-1】貴方はこのような訪問滞在型研究所での研究集会に参加された経験はありますか？

訪問滞在型研究所での研究集会に参加した人の割合はわずか３．５％であった。【質問８-3】において44％の研究者が訪問滞在型研究所での数学・数理科学と意見交換することに効果的だと考えているにも関わらず参加経験者が少ない理由は、日本国内にこのような滞在型研究所が少ないためだと考えられる。

| | |
|---|---|
| ある | 4 |
| ない | 110 |
| 無回答 | 3 |
| 合計 | 117 |

【質問８-2】１)ある、とお答えの方に伺います。何回くらい参加されましたか？

参加者サンプルが少なすぎるためデータから言えることはないが、参加者の４名中３名が複数回参加しているため、訪問型滞在研究所での研究集会等は参加した研究者にとって有意義であると予想される。

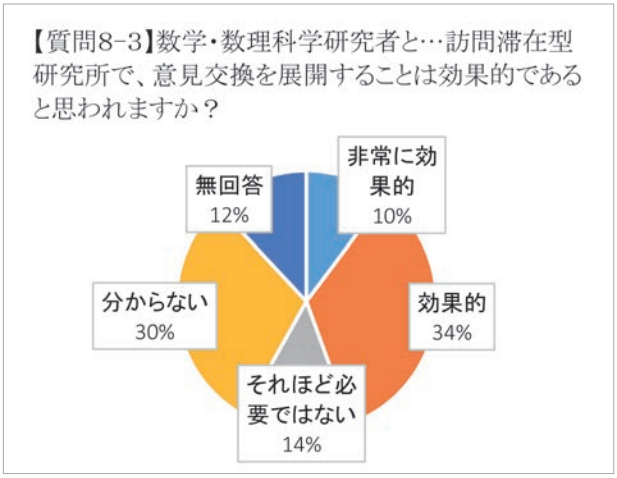
| | |
|---|---|
| 1-2 回 | 1 |
| 3-4 回 | 2 |
| 5-9 回 | 0 |
| 10 回以上 | 1 |
| 合計 | 4 |

【質問8-3】数学・数理科学研究者と直接、間接的に貴方の研究分野の異分野融合研究を展開する場合、お互いの研究者が訪問滞在型研究所で、意見交換を展開することは効果的であると思われますか？

約44％の研究者が訪問滞在型研究所での意見交換が効果的だと考えているが、約

１４％の研究者はそれほど必要ないと考えている。ほとんどの研究者が訪問滞在型研究所での研究集会に参加していないにも関わらず、４４％の研究者が効果的であると期待している点では、諸分野と数学・数理科学の協働場（出会い場）として訪問滞在型研究所は必要であることを示唆している。

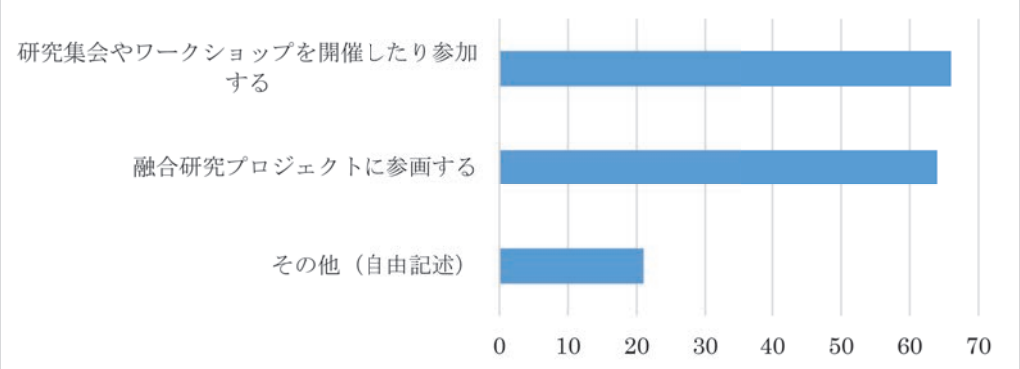
| | |
|---|---|
| 非常に効果的 | 12 |
| 効果的 | 40 |
| それほど必要ではない | 16 |
| 分からない | 35 |
| 無回答 | 14 |
| 合計 | 117 |




【質問９】数学・数理科学との融合研究を促進する方法について効果的であると思うものを選択してください（複数回答可）。

割合は研究集会の開催や参加は62％、融合研究プロジェクトに参画が60％であった。これまで推進してきた連携研究のための研究集会やワークショップの開催だけでなく、融合研究プロジェクトの推進も重要になってくると思われる。

| | 回答者数 | 回答数 | 割合 |
|---|---|---|---|
| 研究集会やワークショップを開催したり参加する | 106 | 66 | 62% |
| 融合研究プロジェクトに参画する | 106 | 64 | 60% |
| その他（自由記述） | 106 | 21 | 20% |
| 合計 | 106 | 151 | 142% |
| 無回答 | 11 | | |
| | 117 | | |



（その他）
印象的な意見は、「お互いの専門用語の理解」、「議論」、「相談」、「情報交換」、「相談窓口（コーディネーター）」等であり、数学・数理科学と諸分野のコミュニケーションの場が必要だと思われる。以下にその抜粋をあげる。

- お互いの専門用語などを理解する。
- まずは自由に研究の話ができる場が必要だと思う。
- ワークショップやプロジェクトへの参加はすでに明確な融合目的をもっており、ワークショップ、プロジェクトがなくとも融合は時間の問題である。意図しない出会いが融合研究の促進になると思われるため、研究者の相談窓口、コーディネーターの活躍が有効ではないかと考える。
- 個別の WS やプロジェクトの中に自分の求めるものが見つけられるとは思えません。異分野融合を考えている数学研究者を検索できるシステムがあれば便利かと思います。
- ソーシャルメディアを使って right person を見つける。
- 基本的なところから現代の数学についてレクチャー等を受ける機会があるといいと思います。
- 予算をつけて、議論、情報交換を進める。簡単には、学内でのランチセミナーに予算をつけて、継続させては？
- 数学・数理科学研究者と融合研究を行うことで、どのように発展できるかのイメージがつかめないので、じっくりとお互いの研究について話す場が必要なのではないかと思います。
- スパコン活用に関する共同研究データセンター。数学と芸術のコラボレーション（Math for you のような）
- Web やツールの配布など、他の分野の研究者が利用しやすい形での情報提供（Slide share のような形式なども役に立つかもしれません）、研究シーズや研究者情報のディレクトリ情報などの整備。
- 具体的な事象について相談にのってもらいたい。
- 生物分野で実施されているゲノム支援や創薬プラットフォームのような個別研究も支援できるような門戸の広い日本全体での取り組み。
- 研究はせまい分野のことを奥深く追求するので、集会や単なるプロジェクトでは互いに必要とする研究者がめぐり合えるとは思えない。needs と needs を一致させることが重要。
- 融合研究プロジェクトの情報の入手方法を知る。
- 相談窓口の設置と周知。
- わかりやすい教科書もしくは解説を書いていただく。
- 個人的な人脈の構築が重要。

【質問10】数学と様々な学問分野や産業界との協働による研究を促進するため、以下のような活動が行われています。あなたが御存知のものに印をつけて下さい。

数学・数理科学の力が必要と感じている研究者が７４％いるにも関わらず、７４％以上の研究者が数学と諸分野の協働促進のためのプログラムを知らないのが現状である。科研費の連携探索型数理科学で１４％弱、JST の戦略的創造研究推進事業で９％弱の研究者にしか知られていない。特に、数学と他分野との協働を促進するプログラムであるはずの数学協働プログラムが他分野の研究者にほとんど知られていない。もっと積極的に他分野に広報活動を行う必要があると思われる。【質問９】の自由回答にも見られるが周知することが重要である。

| | 回答者数 | 回答数 | 割合 |
|---|---|---|---|
| 数学協働プログラムほか | 30 | 1 | 3% |
| JST戦略的創造研究推進事業 | 30 | 10 | 33% |
| 連携探索型数理科学 | 30 | 16 | 53% |
| 公募型共同研究設置 | 30 | 8 | 27% |
| 合計 | 30 | 35 | 117% |
| 無回答・どれも知らない | 87 | | |
| | 117 | | |

## 2.2. 諸科学の数学・数理科学との融合研究事例調査

本章には、文書による事例の自由記載型のアンケート調査を掲載しており、

(1)アンケート調査対象者

(2)アンケート結果

(3)アンケート調査票

から構成される。

(1)アンケート調査対象者

化学、物理、生物、制御工学の幅広い諸科学の助教から教授に到る幅広い年齢層の10名の研究者から収集した。

**アンケート対象者（順不同）：**

九州大学大学院医学研究院　教授　三浦　岳（発生生物学）

名古屋大学大学院医学系研究科　助教　篠田　友靖（発生生物学）

広島大学大学院理学研究科　教授　中田　聡（化学）

明治大学先端数理科学研究科　講師　末松　信彦（化学）

横浜国立大学理工学部　　准教授　田中　良巳（ソフトマター物理学）
九州大学理学部化学科　　准教授　秋山　良（化学物理）
千葉大学大学院理学研究科　准教授　北畑　裕之（非線形物理学）
東京理科大学応用物理学科　講師　住野　豊（非線形物理学）
立命館大学理工学部物理科学科　准教授　和田　浩史（バイオメカニクス）
岐阜大学 工学部機械工学科教授　伊藤　聡（制御工学）

(2)アンケート結果

**●三浦　岳氏、九州大学大学院医学研究院・教授（発生生物学）**

**1．研究テーマ**：発生における自発的パターン形成現象の数理モデル化と実験的検証

**2．研究事例の概要**

生物の体はとても不思議な形をしています。器官や組織のかたちがきちんとできていないと人の体は機能しません。このかたちがどのように出来上がるのか、その過程（形態形成）を考えるのが発生生物学という学問です。生物の形の出来上がる過程は大変神秘的でかつ理解が難しく、古くからいろいろな分野の研究者を引きつけてきました。

私たちはこれまで、数理という眼鏡を通してこの形態形成現象、とくに何も無い所から形が生じる現象（自発的パターン形成）を理解するという独自のやり方で仕事をしてきました。生物学は、他の科学の諸分野と比べて、基礎方程式が確立されていません。とくに生物の形づくりの分野は、形そのものが複雑で、その定義すら数学の立場からははっきりしない事が多く、式を立てて考えるという発想がほとんどありません。我々は、応用数学のパターン形成の分野で用いられている反応拡散系という道具を使って、生物の形の出来上がる仕組みの原理を解明してきました。

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | 3人 | 数理解析 |
| 発生生物学分野 | 3人 | 実験、モデリング |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）　数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。
2）　諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

✓計算機シミュレーション　✓微分方程式　✓数理モデリング

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

具体的に参加した。

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表


① Kondo S, Miura T. 2010. Reaction-Diffusion Model as a Framework for Understanding Biological Pattern Formation. Science 329:1616–1620.

② Köhn-Luque A, de Back W, Yamaguchi Y, Yoshimura K, Herrero MA, Miura T. 2013. Dynamics of VEGF matrix-retention in vascular network patterning. Phys Biol 10:066007.

③ Miura T. 2004. Speed of pattern appearance in reaction-diffusion models: implications in the pattern formation of limb bud mesenchyme cells. Bull Math Biol 66:627–649.

④ Miura T, Hartmann D, Kinboshi M, Komada M, Ishibashi M, Shiota K. 2009a. The cyst-branch difference in developing chick lung results from a different morphogen diffusion coefficient. Mech Dev 126:160–172.

⑤ Miura T, Perlyn CA, Kinboshi M, Ogihara N, Kobayashi-Miura M, Morriss-Kay GM, Shiota K. 2009b. Mechanism of skull suture maintenance and interdigitation. J Anat 215:642–655.

⑥ Miura T, Shiota K. 2000a. TGF $\beta$ 2 acts as an “Activator” molecule in reaction - diffusion model and is involved in cell sorting phenomenon in mouse limb micromass culture. Developmental Dynamics 217:241–249.

⑦ Miura T, Shiota K. 2000b. Extracellular matrix environment influences chondrogenic pattern formation in limb bud micromass culture: experimental verification of theoretical models. Anat Rec 258:100–107.

⑧ Miura T, Shiota K. 2002. Depletion of FGF acts as a lateral inhibitory factor in lung branching morphogenesis in vitro. Mech Dev 116:29–38.

⑨ Miura T, Shiota K, Morriss-Kay G, Maini PK. 2006. Mixed-mode pattern in Doublefoot mutant mouse limb—Turing reaction–diffusion model on a growing domain during limb development. J Theor Biol 240:562–573.

4．共同研究プロジェクト（資金獲得等）

2015-2020　JST CREST「からだの外でかたちを育てる」

2007-2010　JST さきがけ「上皮組織のかたちづくりを理解する」

2013-2014　新学術領域研究「血管網を作る - 内皮細胞の自己組織化現象の実験と理論による解明」

2010-2013　挑戦的萌芽研究「頭蓋骨縫合線のパターン形成の数理モデル化とその実験的検証」

2005-2007　若手研究（A）「哺乳動物の発生過程における自発的パターン形成現象の数理モデル化とその実験的検証」

**●篠田　友靖氏、名古屋大学大学院医学系研究科・助教（発生生物学）**

**1．研究テーマ：**大脳発生過程における神経系前駆細胞の集団細胞体動態の原理解明

**2．研究事例の概要**

大脳皮質原基において、神経系前駆細胞（以下、前駆細胞）は脳室に面した一定の領域（脳室帯）に存在している。前駆細胞たちは上皮構造をとり、脳室面で adherens junction を形成する。一方前駆細胞は脳室側・脳膜側に細長い筒状構造（apical process, basal process）を持つので、脳室帯では前駆細胞の細胞体が一見「積み重なった」状態、すなわち偽重層化構造をなしている。また前駆細胞の細胞体は細胞周期と相関した核運動（Interkinetic Nuclear migration, 以下 INM）を行うことが知られており、その分子機構に関する知見も集積しつつある。しかしながら個々の前駆細胞の INM がどのように「調和」して、前駆細胞集団からなる脳室帯の偽重層化構造を「計時的に維持」出来ているかは不明であった。前駆細胞の集団動態数理シミュレーションを行った結果、従来の説に反して、誕生直後 G1 細胞が脳室面隣接域から脳膜方向に‘自立的’に立ち去ることが重要であることが示唆された。現在この‘自立的’核運動を担う細胞内機構についての解析を引き続き行っている。

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | 3 人 | 細胞動態数理シミュレーション実施・評価 |
| 医学（発生学）分野 | 3 人 | 動物試料からの細胞動態データの取得 |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）　数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

2）　諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1）　計算機シミュレーション、2）数理モデリング

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

数学者によって数理モデルの構築およびシミュレーション実施が可能となり、研究が進捗した。

**7．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① Okamoto, M., Namba, T., Shinoda, T., Kondo, T., Watanabe, T., Inoue, Y., Takeuchi, K., Enomoto, Y., Ota, K., Oda, K., Wada, Y., Sagou, K., Saito, K., Sakakibara, A., Kawaguchi, A., Nakajima, K., Adachi, T., Fujimori, T., Ueda, M. Hayashi, S., Kaibuchi, K., Miyata, T. TAG-1–assisted progenitor elongation streamlines nuclear migration to optimize subapical crowding. Nature Neurosci. 16, 1556-1566, 2013

**●中田　聡氏、広島大学大学院理学研究科・教授（化学）**

**1．研究テーマ**：非線形現象に関する融合研究

**2．研究事例の概要**

非線形現象に関する次の1－3について、数学・数理科学を活用した融合研究を行った。

1．パルス波の局所刺激応答：パルス波の時空間ダイナミクスは、神経細胞の興奮や中枢系への情報伝達、心筋梗塞時の心臓の活動電位のスパイラル形成など、生命現象においても重要な現象である。しかしながら実際の生物系は複数の要因が複雑に関わり、更に再現性が悪いので、本質的な理解が困難である。加えてこれまでの研究の多くはパルス波全体への一様な刺激に関する研究であり、1つのパルスのうちどの部位が局所的に効くのか、パルスのツボが不明であった。そこで化学振動反応系の実験研究とその数理モデルによる計算研究の両輪に基づき、パルスのツボを明らかにする。

2．自己駆動系による時空間パターン形成：微小空間における欠陥探索と修復、あるいは物質輸送できるシステムとして、バクテリアのような感覚を持つ自己駆動系の開発が注目されている。しかしながらこれまで開発された系のほとんどはランダム運動や単指向運動を示すだけであった。そこで本研究では、界面張力差を駆動力とした自己駆動系に非線形性を導入することにより、系の自律性を高め、環境に多様に応答できる、あたかも生物用にふるまう新規な自己駆動系の構築を実験と数理モデルの両面から研究する。

3．皮膚のバリア機能：皮膚は柔軟な非平衡開放系であるとともに化学応答する境界である。本研究では皮膚のバリア回復機能の数理モデルの構築と実験による検証を行う。その中で細胞膜の構成要素であるリン脂質人工膜の分子レベルでの応答を解明し、これらのマクロレベルでのダイナミクスと数理モデルとの関係を明らかにする。

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | ５人 | 数理モデリング・数値計算 |
| 化学分野 | ４人 | 化学反応系の実験 |
| 物理分野 | ３人 | 画像解析、統計処理 |
| 生物分野 | １人 | 生物系の実験 |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

2）諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

＜回答の仕方が不明なので回答できませんが、1と2ともにあると思います。＞

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1）微分方程式、2）数理モデリング、3）力学系

(計算機シミュレーションが数理モデリングに含まれるのでしたらこれも該当します)

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

本などで数学の知識を学んだ上で不明点を明らかにするため、数学者の参加を求めた。

**7．数学者が参加しなかったとお答えになった場合の主な理由は次のどれでしょうか？**

1）適切な数学者を知らなかったから

2）自分たちで解決できると判断したから

3）その他

3）その他：当初はある程度して自己満足していたが、それ以上の期待できることがあったので議論や共同研究を依頼した。

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① K. Nishi, K. Wakai, T. Ueda, M. Yoshii, Y. S. Ikura, H. Nishimori, S. Nakata, M. Nagayama, Bifurcation phenomena of two self-propelled camphor disks on an annular field depending on system length, Physical Review E, 2015, 92, 022910-1-10.

② S. Nakata, M. Nagayama, H. Kitahata, N. J. Suematsu, T. Hasegawa, Physicochemical design and analysis of self-propelled objects that are characteristically sensitive to environments, Physical Chemistry Chemical Physics, 2015, 17, 10326–10338.

③ S. Nakata, S. Suzuki, T. Ezaki, H. Kitahata, K. Nishi, Y. Nishiura, Response of a chemical wave to local pulse irradiation in the ruthenium-catalyzed Belousov–Zhabotinsky reaction, Physical Chemistry Chemical Physics, 2015, 17, 9148–9152.

④ Y. Kobayashi, Y. Sanno, A. Sakai, Y. Sawabu, M. Tsutsumi, M. Goto, H. Kitahata, S. Nakata, J. Kumamoto, M. Denda, M. Nagayama, Mathematical modeling of calcium waves induced by mechanical stimulation in keratinocytes, PLOS ONE, 2014, 9, e92650.

⑤ Y. S. Ikura, E. Heisler, A. Awazu, H. Nishimori, S. Nakata, “Collective motion of symmetric camphor papers in an annular water channel”, Physical Review E, 2013, 88, 012911-1-5.

⑥ S. Nakata, T. Miyaji, T. Ueda, T. Sato, Y. S. Ikura, S. Izumi, M. Nagayama, “Reciprocating motion of a self-propelled object on a molecular layer with a local minimum and a local maximum isotherm”, The Journal of Physical Chemistry C, 2013, 117, 6346－6352.

⑦ Y. S. Ikura, R. Tenno, H. Kitahata, N. J. Suematsu, S. Nakata, “Suppression and regeneration of camphor-driven Marangoni flow with the addition of sodium dodecyl sulfate”, The Journal of Physical Chemistry B, 2012, 116, 992–996.

⑧ S. Nakata, Y. Matsuda, Y. S. Ikura, A. Takeda, S. Izumi, “Mode change in the self-motion of a benzoquinone disk coupled with a NADPH system”, ChemPhysChem, 2012, 13, 520-524.

⑨ K. Iida, N. J. Suematsu, Y. Miyahara, H. Kitahata, M. Nagayama, S. Nakata,

Experimental and theoretical studies on the self-motion of a phenanthroline disk coupled with complex formation, Physical Chemistry Chemical Physics, 2010, 12, 1557-1563.

⑩ M. Nagayama, M. Yadome, M. Murakami, N. Kato, J. Kirisaka, S. Nakata, “Bifurcation of self-motion depending on the reaction order” , Physical Chemistry Chemical Physics, 2009, 11, 1085-1090.

２．国際会議主催

Pacifichem2015（環太平洋国際化学会議：ハワイ、2015年12月）、”Self-organization in Chemistry”、セッションの参加者８０名、うち２名が数学者。

４．共同研究プロジェクト（資金獲得等）

物質・デバイス領域共同研究拠点（電子科学研究所との共同研究）

積水化学　自然に学ぶものづくりプロジェクト

科学研究費（基盤研究）

統数研プロジェクト（ミニワークショップ）

**●末松　信彦氏、明治大学先端数理科学研究科・講師（化学）**

**１．研究テーマ：**

① 自己駆動粒子のリズム現象

② 自己駆動粒子の集団運動

③ 光合成微生物の特異的な生物対流パターン形成

④ 化学反応波のスパイラルパターン形成の起源

**２．研究事例の概要**

「自己駆動粒子のリズム現象」

表面張力差によって駆動される自己駆動粒子において、粒子の周囲の表面張力は駆動力を決める重要なファクターとなります。翻すと、環境条件が直接駆動力に反映される系であるともとらえることができます。この特徴を最大限に生かし、周囲の化学状態に応じて運動が変わるような自己駆動粒子を作成し、その運動の特徴やメカニズムの解明に取り組んでいます。

例えば、自己駆動粒子の構成分子と反応するような化学物質を環境相に用意することで、運動の速さや様相を変えることができます。フェナントロリンという物質は水の表面張力を下げる固体であるため、その粒は水面を自発的に運動します。ところが、水相

にフェナントロリンと錯形成反応を起こすような金属イオンが溶けていると、粒から水面に展開されたフェナントロリンは直ちに錯形成反応を起こして、水面から取り除かれます。生成物は表面張力をほとんど低下させないために、金属イオン濃度が高いとき、粒の駆動力は下がり、停止したままになります。ところが、中間くらいの濃度の時には、粒は運動と停止を周期的に繰り返します。このような特徴的な運動が現れる機構を数理モデルと実験の両面から解明しています。

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | ２人 | 数理モデルの構築、数値計算、メカニズム解明 |
| ｺﾛｲﾄﾞ・界面化学分野 | ２人 | 実験、メカニズム解明 |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）　数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

2）　諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

　現象論的に推察されるメカニズムを、数理モデルおよび数値計算で再現することで、より正確に理解できるようになります。また、一見大きく異なるような現象でも、数理モデルを通すと同様の数理構造を持つことがあり、種々の現象の普遍性を明らかにすることにも貢献しています。さらに、数値計算や数理解析から新たな可能性を示すことで、実験だけでは見えなかったような新たな切り口から現象を理解することができます。

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1）微分方程式、2）計算機シミュレーション、3）力学系

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

テーマによって異なりますが、おおむね、数学者に具体的に参画してもらい、共同で研究を進めています。

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① Nobuhiko J. Suematsu, Kurina Tateno, Satoshi Nakata, Hiraku Nishimori, "Synchronized Intermittent Motion Induced by the Interaction between Camphor Disks" J. Phys. Soc. Jpn. 84, 034802（2015）.
② Mayuko Iwamoto, Nobuhiko J. Suematsu, and Daishin Ueyama, "Spontaneous Formation of Unidirectional Path" Chem. Phys. Lett. 616-617, 248-253（2014）.
③ Nobuhiko J. Suematsu, Tomohiro Sasaki, Satoshi Nakata, and Hiroyuki Kitahata "Quantitative Estimation of the Parameters for Self-Motion Driven by Difference in Surface Tension" Langmuir 30, 8101-8108（2014）.
④ Shu-ichi Kinoshita, Mayuko Iwamoto, Keita Tateishi, Nobuhiko J. Suematsu, and Daishin Ueyama "Mechanism of spiral formation in heterogeneous discretized excitable media"Phys. Rev. E 87, 062815（2013）.
⑤ Nobuhiko J. Suematsu, Taisuke Sato, Ikuko N. Motoike, Kenji Kasima, and Satoshi Nakata "Density Wave Propagation of a Wave Train in a Closed Excitable Medium"Phys. Rev. E 84, 046203（2011）.
⑥ Nobuhiko J. Suematsu, Akinori Awazu, Shuhei Noda, Shunsuke Izumi, Satoshi Nakata, and Hiraku Nishimori "Localized bioconvection of Euglena caused by phototaxis in the lateral direction" J. Phys. Soc. Jpn. 80, 064003（2011）.

**●田中　良巳氏、横浜国立大学理工学部・准教授（ソフトマター物理学）**

**1．研究テーマ：**　無脚生物のロコモーションのバイオメカニクス

**2．研究事例の概要**

CREST プロジェクトの一環として、明覚な脚を持たず連続体的な体形を持つ生物の動きに関するバイオメカニクスを研究しました。プロジェクト代表である小林亮広島大学教授らのカタツムリ運動に関する数値シミュレーションの結果をヒントに、生物運動に対する力学的意味の明確な解析モデルを構築することができ、さらに実際の生物の運動解析を行う実験的研究へと発展しました。数値モデル→物理モデル→生物実験という順序で事が進んだ珍しい例ではないかと思います。物理学者はモデルを考える時に、当然物理法則との整合性に最大限注意を払います。対して、数理科学（者）は、そうした自然法則に強く拘る事無く、観測される運動や現象の時間発展から“アルゴリズム”を抽出

する事に長けています。 こうした思考法は（それを可視化するシミュレーション技術と相まって）、より実体に即した研究への契機となる場合があるのだと感じました。

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | 3人 | 数値モデル化とシミュレーション |
| 物理　分野 | 1人 | 物理モデルの構築 |
| 生物　分野 | 2人 | 生物実験 |
| 制御工学分野 | 1人 | 総合的考察 |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

2）諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1）計算機シミュレーション、2）微分方程式

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

参加有り。

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① Y. Tanaka, K. Ito, T. Nakagaki, and R. Kobayashi : “Mechanics of peristaltic locomotion and role of anchoring”, The Royal Soc. Interface, Vol.9, 222-233（2012）.

② S. Kuroda, I. Kunita, Y. Tanaka, A. Ishiguro, R. Kobayashi, and T. Nakagaki : "Common mechanics of mode switching in locomotion of limbless and legged animals", Journal of Royal Society Interface, Vol. 11, 20140205 (2014)

●秋山　良氏、九州大学理学部化学科・准教授（化学物理）

**1．研究テーマ：**溶液内の分子間相互作用および関連現象の研究

**2．研究事例の概要**

溶液内の分子間相互作用を研究して来た。この研究は、例えば生体分子への薬の分子の結合、それ以外の分子認識、生体内での情報伝達、細胞の移動等多くの生命現象の理解の基礎となっている。一方で、実験結果はしばしば直接の相互作用を用いて説明されているという現状がある。そして、それはしばしば困難にぶつかっている。例えば、直接の相互作用からの予測と実効相互作用の計算結果とは、引力的か斥力的かという符号にあたるものすら一致しない事もあるからである。

我々は、間接の効果も取り込んだ実効相互作用を、朝倉—大澤理論や液体の積分方程式理論等の統計力学理論、分子シミュレーションを使って研究して来た。例えば、実験で観測されている様に同符号の電荷を持った生体分子が強く結合する事や、分子認識によりエントロピーが増大する事、またそのエントロピー増加量を評価する事でリガンドの結合サイトを予測できる事等を示し、出版して来た。また、生体分子近傍の媒質の状態についても調べ、実効相互作用との関連について発表して来た。

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | １人 | 計算対象の探索、理論構築、総括等 |
| 化学分野 | ２人 | 計算、解析 |
| 生物物理分野 | １人 | 実験 |
| | | ただし、以上の組織は時期により変動しており、書いたのは延べ人数である。変わらないのは一番上の１名である。 |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

以下の１）と２）の両方だが、とくに２）の寄与が大きい。

１）数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

２）諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

１）変分法、２）数値計算（積分方程式の数値解法）、３）計算機シミュレーション

４）確率論

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

本などで数学の知識を補いました。

**7．数学者が参加しなかったとお答えになった場合の主な理由は次のどれでしょうか？**

1）適切な数学者を知らなかったから

2）自分たちで解決できると判断したから

3）その他

主に2）の理由。

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, and Ryo Akiyama,Effects of Solvation Structure on Diffusion of Large Particle in Binary Mixture Studied by Perturbation Theory, J. Mol. Liq., 200, 85-88 (2014)

② Shingo Fujihara, and Ryo Akiyama, Attractive interaction between macroanions mediated by multivalent cations in biological fluids, J. Mol. Liq., 200, 89-94 (2014) .

③ Ryo Akiyama, Takumi Yamashita, and Shingo Fujihara, Hidden peak of radial distribution function and effective attraction between like-charged proteins caused by translational motion of solvent molecules, J. Mol. Liq., 200, 72-76 (2014) .

④ Yuichi Kawabata, and Ryo Akiyama, Choice of the center of water molecules in calculations of partial molar volume of single ions immersed in water: A molecular simulation study, J. Mol. Liq., 200, 67-71 (2014) .

⑤ Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, and Ryo Akiyama, Perturbation Theory of Large-Particle Diffusion in a Binary Solvent Mixture, J. Phys. Soc. Jpn., 83, 064601-1-9 (2014)

⑥ Yoji Kubota, Akira Yoshimori, Nobuyuki Matubayasi, Makoto Suzuki and Ryo Akiyama, Molecular Dynamics Study of Fast Dielectric Relaxation of Water around a Molecular-Sized Ion J. Chem. Phys., 137 (2012) 224502.

⑦ Ryo Akiyama, Ryo Sakata, An Integral Equation Study of Reentrant Behavior in Attractive Interactions between Like-Charged Macroions Immersed in an Electrolyte Solution, J. Phys. Soc. Jpn., 80, 123602-1-4 (2011) .

⑧ Yoji Kubota and Ryo Akiyama, Fine Structure of the Dielectric Response to a Molecular-Sized Ion in Water, J. Phys. Chem. Lett., 2(13), 1588-1591 (2011).

⑨ Ryo Akiyama, Yasuhito Karino, Hokuto Obama, Ayako Yoshifuku, Adsorption of Xenon on a Protein Arising from the Translational Motion of Solvent Molecules, Phys. Chem. Chem. Phys., 12, 3096-3101 (2010).

⑩ Ryo Akiyama, Yasuhito Karino, Yasuhiro Hagiwara, Masahiro Kinoshita, Remarkable Solvent Effects on Depletion Interaction in Crowding Media: Analyses by the Integral Equation Theories, J. Phys. Soc. Jpn., 75, 064804-1-7 (2006).

２．国際会議主催

2-1 The 5th international mini-symposium on liquids (Okayama Univ., Okayama, ２０１１年6月２５日(土)、２６日(日))
2-2 The 7th international mini-symposium on liquids (Kyushu Univ., Fukuoka, ２０１３年7月5日(金)、6日(土))
2-3 第４回国際シンポジウム (新学術領域研究『動的秩序と機能』), (Kyushu Univ., Fukuoka, ２０１５年１１月２２日(日)、２３日(月) 現地委員)

４．共同研究プロジェクト (資金獲得等)

今の所、共同研究プロジェクトという形ではない。
(いわゆる科研費は資金獲得しているが。例えば、新学術領域研究『水を主役としたATP エネルギー変換』など。)
以下、研究代表者のものだけ列挙する。(括弧内が助成期間)
4-1 基盤研究(C) (研究代表者) 弱結合条件下の荷電タンパク質間実効相互作用と相挙動における溶媒分子の役割(２０１５年度～２０１７年度)
4-2 新学術領域研究『生命分子システムにおける動的秩序形成と高次機能発現』公募研究(研究代表者) 多価カチオンによって媒介される酸性蛋白質間引力の制御と動的秩序構造(２０１４年度～２０１５年度)
4-3 新学術領域研究『水を主役としたATP エネルギー変換』計画研究(研究代表者) 溶質分子が作り出す水の状態変化と水からの反作用(２００８年度～２０１２年度)
4-4 特定領域研究『水と生体分子が織り成す生命現象の化学』公募研究(研究代表者) 水溶液中の溶質が感じるポテンシャルの揺らぎと溶質間相互作用(２００６年度～２００７年度)

4-5 住友財団　２００４年度基礎科学研究助成『生体システムにおける非特異的エントロピー駆動引力相互作用の液体論的研究』(研究代表者)(２００４年度～２００５年度)

**●北畑　裕之氏、千葉大学大学院理学研究科・准教授(非線形物理学)**

**１．研究テーマ：　アクティブマターの形状と運動の関係**

**２．研究事例の概要**

細胞運動などを理解するために、非平衡状態下で自由エネルギーを運動に変換するような系がアクティブマターとして物理学分野で注目されてきている。特にその中でも、運動する物体の変形とその運動の向きについての関係性が対称性に基づいて議論され、実験結果の理解に使われるなど広く研究されている。そのような中で、具体的な系をもとに対称性を議論する試みを数学と物理学の連携で行った。これまでに、自らが周囲に放出した物質による表面張力勾配で駆動される物体の運動に関して、数理モデリングを通した解析が行われてきており、力学系の分岐理論で、その運動がドリフト分岐により起こることが明らかになっている。そこで、粒子の形状の影響をモデリングに取り込み、解析的な計算およびコンピュータによる数値計算を進めることで、形状を持った粒子が一般的にどのような運動ができるのかについて議論した。今後は、変形も含めた扱いができるのではないかと期待している。

**３．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | ３人 | 理論的解析 |
| 物理学分野 | ３人 | 実験、シミュレーション、解析計算 |

**４．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

**５．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1) 力学系、2) 数理モデリング、3) 微分方程式

**６．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

数学者およびその学生との共同研究であった。(数学者が具体的に参加した)

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① Model for calcium-mediated reduction of structural fluctuations in epidermis, Yasuyuki Kobayashi, Hiroyuki Kitahata, and Masaharu Nagayama, Phys. Rev. E, 92, 022709（2015）.

② General criteria for determining rotation or oscillation in a two-dimensional axisymmetric system, Yuki Koyano, Natsuhiko Yoshinaga, and Hiroyuki Kitahata, J. Chem. Phys., 143, 014117（2015）.

③ Response of a chemical wave to local pulse irradiation in the ruthenium-catalyzed Belousov-Zhabotinsky reaction, Satoshi Nakata, Shogo Suzuki, Takato Ezaki, Hiroyuki Kitahata, Kei Nishi, and Yasumasa Nishiura, Phys. Chem. Chem. Phys., 17, 9148-9152（2015）.

④ Mathematical modeling of calcium waves induced by mechanical stimulation in Keratinocytes, Yasuaki Kobayashi, Yumi Sanno, Akihiko Sakai, Yusu Sawabu, Moe Tsutsumi, Makiko Goto, Hiroyuki Kitahata, Satoshi Nakata, Junichi Kumamoto, Mitsuhiro Denda, and Masaharu Nagayama, PLOS ONE, 9, e92650（2014）.

⑤ Theoretical study on the translation and rotation of an elliptic camphor particle, Keita Iida, Hiroyuki Kitahata, and Masaharu Nagayama, Physica D, 272, 39-50（2014）.

⑥ Spontaneous motion of an elliptic camphor particle, Hiroyuki Kitahata, Keita Iida and Masaharu Nagayama, Phys. Rev. E, 87, 010901（2013）.

⑦ Spontaneous motion of a droplet coupled with a chemical wave, Hiroyuki Kitahata, Natsuhiko Yoshinaga, Ken H. Nagai, and Yutaka Sumino, Phys. Rev. E, 84, 015101（2011）.

⑧ Mode-switching of the self-motion of a camphor boat depending on the diffusion distance of camphor molecules, Nobuhiko J. Suematsu, Yumihiko Ikura, Masaharu Nagayama, Hiroyuki Kitahata, Nao Kawagishi, Mai Murakami and Satoshi Nakata, J. Phys. Chem. C, 114, 9876-9882（2010）.

⑨ Experimental and theoretical studies on the self-motion of a phenanthroline disk coupled with complex formation, Keita Iida, Nobuhiko J. Suematsu, Yumi Miyahara, Hiroyuki Kitahata, Masaharu Nagayama and Satoshi Nakata, Phys. Chem. Chem. Phys., 12, 1557-1563（2010）.

⑩ Mathematical analysis of intercellular calcium propagation induced by adenosine triphosphate, Moe Tsutsumi, Hiroyuki Kitahata, Satoshi Nakata, Yumi Sanno, Masaharu Nagayama, and Mitsuhiro Denda, Skin Res. Technol., 16, 146-150（2010）.

４．共同研究プロジェクト（資金獲得等）

JST さきがけ「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」
2009年度～ 2012年度
「非平衡系における界面張力の数理物理学」
代表：北畑 裕之

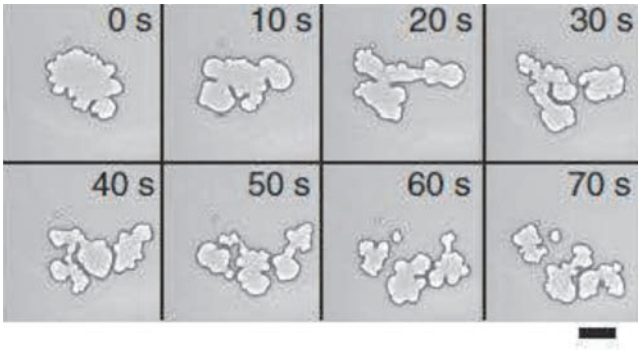
基盤研究Ｃ（特設研究：連携探索型数理科学） 2014年度～ 2016年度
「変分原理に基づいた界面張力の概念の普遍化と測定への応用」
代表：北畑 裕之

**●住野　豊氏、東京理科大学応用物理学科・講師（非線形物理学）**

**１．研究テーマ：**界面上での弾性体生成に伴う自発界面運動の理解

**２．研究事例の概要**

陽イオン性の界面活性剤と長鎖のアルコールを水相中で混合することでαゲルと呼ばれるラメラ構造を有する会合体が生成する。このような会合体が分散した水相は粘性が上昇することに加えて弾性を持つことが知られている。




(図)液滴の分裂・運動:scale：10 mm
*Y. Sumino and K. Yoshikawa, "Amoeba-like motion of an oil droplet", *Euro. Phys. J. ST* **223**, 1345-1352 (2014).

**３．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | ２人 | 数理モデル構築・数値計算 |
| 物理分野 | ３人 | 実験・解析・数理モデル構築 |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

2）諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1）数理モデリング、2）計算機シミュレーション、3）微分方程式

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

数学者と議論を行うことでダイナミクスを記述できる数理モデリングを試みている。数学者を定期的に訪問し、数値計算結果と実験結果の対比を行うことで積極的にモデルの最適化を試みている。

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① 住野豊，"油・水・界面活性剤を用いた能動液滴の作成"Colloid and Interface Communication 40, 15-17（2015）.

② Y. Sumino and K. Yoshikawa, "Amoeba-like motion of an oil droplet",Euro. Phys. J. ST 223, 1345-1352（2014）

③ 住野豊 北畑裕之 山田悟史 長尾道弘 篠原佑也 瀬戸秀紀，"界面活性剤会合体に誘起される自発運動 - 会合体生成の SAXS・SANS によるその場観察 -" 波紋 24 244-249（2014）.

④ Y. Sumino, H. Kitahata, Y. Shinohara, N. L. Yamada and H. Seto, "Formation of a multi-scale aggregate structure through spontaneous blebbing of an interface", Langmuir 28,3378-3384（2012）

⑤ Y. Sumino, H. Kitahata, H. Seto and K. Yoshikawa, "Dynamical blebbing at a droplet interface driven by instability in elastic stress: a novel self-motile system", Soft Matter 7, 3204-3212（2011）

⑥ 住野豊，北畑裕之，瀬戸秀紀，吉川研一 "油水／界面活性剤２種混合系における油滴の自発運動"「最近の研究から」、Photon Factory News, 28, 22-26（2010）.

⑦ Y. Sumino, H. Kitahata, H. Seto, S. Nakata and K. Yoshikawa, "Spontaneous deformation of an oil droplet induced by the cooperative transport of cationic and anionic surfactants through the interface", J. Phys. Chem. B 113, 15709-15714（2009）.

⑧　住野豊 , " 弾性体の生成により生じる油滴のアメーバ様運動（パターンダイナミクスの数理とその周辺 ）", 数理解析研究所講究録（RIMS Kokyuroku）, 1633 119-137（2009）.
⑨　Y. Sumino, H. Kitahata, H. Seto and K. Yoshikawa, "Blebbing dynamics in an oil-water-surfactant system through the generation and destruction of a gel-like structure",Phys. Rev. E.76, 055202（2007）.

**●和田　浩史氏、立命館大学理工学部物理科学科・准教授（バイオメカニクス）**

**1．研究テーマ：**　微生物のうごきをつくりだす物理的な仕組み

**2．研究事例の概要**

細菌の多くは運動性であり、基板上を滑るように移動する「滑走」運動を示す。しかし滑走運動の分子的、機械的しくみは現在でもその大部分が未解明である。我々はバクテロイデーテス細菌の一種、これまで確認されたなかで最速の滑走を示すフラボバクテリアジョンソニエに注目し、その運動のしくみを生物実験と数理モデルを組み合わせて明らかにしてきた。円筒状の菌体表面には多数の接着性タンパク質があり、これらが左巻き螺旋を描きながら前後に往復流動することが、表面タンパク質を蛍光染色した顕微鏡観察から明らかになった。この実験事実をもとに、我々は数理モデルを構築し、細菌の前後運動が、タンパク質の流動速度と基板への接着解離反応定数から決まる無次元パラメータを制御パラメータとしたピッチフォーク分岐によって生じることを示した。このモデルから導かれる諸性質はこれまでのところ観測結果とすべて一致している。さらに、3次元モデルの数値シミュレーションは、細菌の複雑な3次元運動をうまく再現することもわかった。

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | 0人 | |
| 物理学 分野 | 2人 | 理論モデルの構築、計算、解析、議論 |
| 微生物学 分野 | 1人 | 生物実験、実験データの解析、議論 |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。
2）諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。
→2）

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1) 数理モデリング、2) 計算機シミュレーション、3) 微分方程式

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

数学者は参加せず、本などで数学の知識を補った。

**7．数学者が参加しなかったとお答えになった場合の主な理由は次のどれでしょうか？**

1）適切な数学者を知らなかったから

2）自分たちで解決できると判断したから

3）その他

→1）および2）

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① Hirofumi Wada and Roland R. Netz, Model for self-propulsive helical filaments: Kink-pair propagation, Physical Review Letters, 99, 108102-1–4（2007）.

② Hirofumi Wada and Roland R. Netz, Discrete elastic model for stretching-induced flagellar polymorphs, Europhysics Letters, 82, 28001（2008）.

③ Takahiro Sakaue, Guillaume Witz, Giovanni Dietler and Hirofumi Wada, Universal bond correlation function for two-dimensional polymer rings, Europhysics Letters, 91, 68002（2010）.

④ Hirofumi Wada, Hierachical helical order in the twisted growth of plant organs, Physical Review Letters, 109, 128104（2012）.

⑤ Hirofumi Wada, Daisuke Nakane and Hsuan-Yi Chen, Bidirectional bacterial gliding motility powered by the collective transport of cell surface proteins, Physical Review Letters, 111 248102（2013）.

●伊藤　聡氏、岐阜大学 工学部 機械工学科・教授（制御工学）

**1．研究テーマ：**ヒトの上腕の到達運動における知覚・運動学習の数理モデル構築

**2．研究事例の概要**

ヒトの運動学習に関しては、上腕の到達運動（ある開始地点から別の目標地点まで手先を動かす運動）を実験題材として多くの研究が行われている。この運動学習時に、手先速度に応じた外力を加えると、体性感覚に基づいた手の位置の感覚が、受けた外力と逆方向にわずかに補正されることが近年の研究で明らかになった。

その原因を「外力を補償するには運動時の手先の目標軌道を外力とは逆方向に調節しなければならず、その目標軌道調節により動かそうと意図する方向の感覚が引きずられるように影響を受けるためである。」とする仮説をたて、数理モデルにより実験データの定性的・定量的な説明を試みた。

上腕の運動モデルと制御・学習則を微分方程式により数式化し、手先軌道の収束性について、リアプノフ関数を用いた議論を行った。数値シミュレーションにより、学習による手先軌道および体性感覚の変化の実験データが再現でき、立てた運動学習と知覚補正の仮説が、ヒトの行っている制御戦略の一つの候補として可能性のあることを示した。

（参考文献：Satoshi Ito et. al: Computational model of motor learning and perceptual change, Biological Cybernetics, 107:653-667（2013））

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | 人 | |
| 工学分野 | ２人 | 数理モデルの構築，シミュレーション |
| 脳科学分野 | ３人 | データ計測，数理モデルの構築 |

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

→制御と学習のアルゴリズム構築時に，数理的枠組みが参考となった。

2）諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

→学習結果の保証に安定性理論解析が役立った。

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1）制御理論、2）力学系、3）計算機シミュレーション

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

数学者の具体的な参加はなし。微分方程式の取り扱いなどは書籍や論文などを参考にした。

**7．数学者が参加しなかったとお答えになった場合の主な理由は次のどれでしょうか？**

1）適切な数学者を知らなかったから

2）自分たちで解決できると判断したから

3）その他

→（1）（2）

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

① Satoshi Ito and Haruhisa Kawasaki: Regularity in an environment produces an internal torque pattern for biped balance control, Biological Cybernetics, Vol. 92, No. 4, pp. 241-251（2005）

② Satoshi Ito, Shinya Amano, Minoru Sasaki, Pasan Kulvanit: A ZMP Feedback Control for Biped Balance and its Application to In-Place Lateral Stepping Motion, Journal of Computers, Vol. 3, No. 8, pp. 23-31,（2008）

③ Satoshi Ito, Shouta Takeuchi, Minoru Sasaki: Object orientation in two dimensional grasp with friction towards minimization of gripping power, Biological Cybernetics, Volume 101, Issue 3, pp. 215-226, 2009

④ Satoshi Ito, Minoru Sasaki, Yoji Fujita and Hideo Yuasa: A circularly coupled oscillator system for relative phase regulation and its application to timing control of a multicylinder engine, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations, Vol. 15, No. 10, pp. 3100-3112, 2010

⑤ Satoshi Ito, Tomohiro Kashima, Minoru Sasaki: A biped static balance control and torque pattern learning under unknown periodic external forces, the International Scientific Journal Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 23, Issue 7, pp. 1093-1104, 2010

⑥ Satoshi Ito, Shouta Takeuchi, Minoru Sasaki: Motion measurement of a two-wheeled skateboard and its dynamical simulation, Applied Mathematical Modelling, Vol. 36, 2178-2191（2012）doi:10.1016/j.apm.2011.08.005

⑦ Satoshi Ito, Yuuichi Sahashi, Minoru Sasaki: A mathematical model that

learns an adaptively generated novel pattern in quadruped locomotion, Cybernetics and Systems: An International Journal, Vol.43, No. 3, 181-198 (2012)

⑧ Satoshi Ito, Kohta Tanaka, Minoru Sasaki: A diagram of the minimum necessary internal force required to resist external forces on two-point-grasped objects in two-dimensional space, Robotica, Vol. 30 pp. 857-864, (2012)

⑨ Satoshi Ito, Mohammad Darainy, Minoru Sasaki, David J. Ostry: Computational model of motor learning and perceptual change, Biological Cybernetics, 107:653-667 (2013) DOI 10.1007/s00422-013-0565-3

### (3)アンケート調査票

数学・数理科学を活用した諸科学における融合研究の事例

以下において、「数学者・数理科学」とは、純粋数学、応用数学、統計学、確率論、そして、数値計算、計算機シミュレーションなどを含む広い意味での数学・数理科学のことをいいます。また、数学などの理論自体とは限らず、理論から派生した解法などのツール的な部分などを含めて広い範囲でお考えください。

**1．研究テーマ：**

**2．研究事例の概要**

（研究事例の概要を400-500字程度でまとめてください）（図を入れても結構です）

**3．主な研究組織の概要**

| 研究分野 | 参加人数 | 研究分担の内容 |
|---|---|---|
| 数学・数理科学分野 | 人 | |
| 分野 | 人 | |
| 分野 | 人 | |
| 分野 | 人 | |
| 分野 | 人 | |

（組織関係図を入れていただいても結構です）

**4．異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？**

1）数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

2）諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

**5．活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？**

1）　　、2）　　、3）

（例：　□数理統計　□機械学習　□最適化　□確率論、

□計算機シミュレーション　□微分方程式　□逆問題　□力学系

□可積分系　□制御理論　□微分幾何学　□トポロジー

□組み合わせ論　□表現論　□整数論

□群論　□整数論　□複素関数論　□数理モデリング

□その他　自由記述：（　　）

**6．活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？**

**7．数学者が参加しなかったとお答えになった場合の主な理由は次のどれでしょうか？**

1）適切な数学者を知らなかったから

2）自分たちで解決できると判断したから

3）その他

**8．2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）（各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください）**

1．学術論文発表

2．国際会議主催

3．特許

4．共同研究プロジェクト（資金獲得等）

## 2.3. ヒアリング

**質問先：**田中耕一氏　（株式会社島津製作所シニアフェロー、田中耕一記念質量分析研究所所長）

**質問者：**前田吉昭（東北大学知の創出センター副センター長）

異分野融合研究について以下の質問にお答えしていただいた。

**前田：**これからの研究方向として融合研究は重要だと思われておられると思いますが、最も重要だという理由は何でしょうか。また、融合研究を行う際に、心がけることをお教えいただけないでしょうか。

**田中：**同じ分野の仲間で話していると、どうしても発想に限りがある場合が多い、という常識的かつ経験的な知恵があります。すなわち、"異分野融合"が重要だと思う理由は、思いもよらない独創・発想や発見を生み出すための１つの方法として、他分野のアイデアを導入した方がチャンスが多い、という事になるからです。

企業で研究・開発する場合、質量分析に限らず、例えば、自動車の開発でも様々な分野の研究者・技術者が集まり、ユーザを交えて考える事が当たり前になっています。

特に日本では、（分野を超えた）チームワークを生み出す歴史・文化に長けていますので、そういった意味でも日本で異分野融合を行う意義が多い、と思います。

"融合研究"という言葉は「融合する事を研究する」と思われそうなので、私は学際である"異分野融合"という言葉を使います。異分野融合のためには当然の事ですが、他の場合よりもコミュニケーションを大切にすべきです。

一部の分野にしか通用しない専門用語で話しても、他の分野にはチンプンカンプンです。分野を超えたアイデア・発想を行うためには、分かりやすく話す力が絶対に必要な条件です。

**前田：**先生の質量分析装置開発においても「数学」も必要であるとおっしゃっていますが、具体的にどのような数学が必要であるのかをお教えください。

**田中：**「物理の式を数学の力を借りて解く」という事が多い、と思います。具体的には、例えば、

http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms_r/archive/files/MALDI-MS_TechRep/MALDI_TechRepV3.0_01.pdf

（注：飛行時間型質量分析法（Time-Of-Flight Mass Spectrometry, TOF-MS）においてイオンの直線飛行に基づく Linear mode による分解能を一桁向上させる（振り子の等時性の概念を用いた）Reflectron mode に関する解説）

http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms_r/archive/files/MALDI-MS_TechRep/MALDI_TechRepV3.0_09.pdf

（注：飛行時間型質量分析法と異なる質量分析法でここ10数年の間に考案・改良が為されたイオンを一時的に溜めこむ Quadrupole Ion Trap,QIT に関する解説）

に書かれています。

それ以外にも、イオン挙動を解析するために高速フーリエ変換やデータ解析のために様々な数式を用いていますが、とても網羅的には書けないほど多種類の数学を活用している事は確かです。

**前田：**先生がお考えになる異分野融合研究についてお教えいただけませんでしょうか？

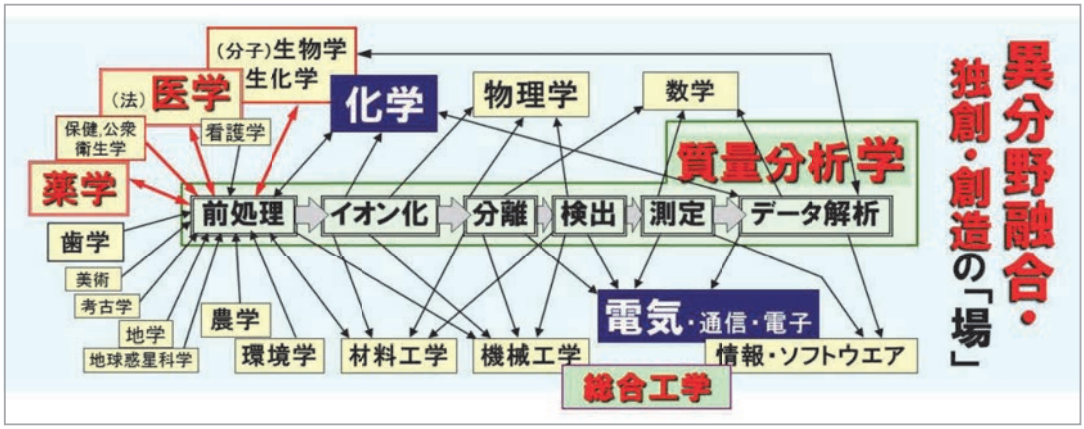
**田中：**質量分析と学術の関係を示す図としては、添付したファイルの田中耕一「若手・企業研究・異分野融合が活きるために」学術の動向 Vol. 19（2014）No.3 p.3_90-3_103

または
http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms_r/archive/files/MALDI-MS_TechRep/MALDI_TechRepV3.0_11BackCover.pdf
を参考にしてください。

注：以下は田中先生ならびに学術の動向の発行元の日本学術協力財団の許可の下で「若手・企業研究・異分野融合が活きるために」学術の動向 Vol. 19（2014）No.3 p.3_90-3_103 を一部抜粋したものです。

**田中：**よく高校生に質問を受けるのですが、「数学は役立っていますか」。この質問は愚問なのですが、本当に様々な分野で、大体において経済学で――毎年ノーベル賞は数学がほとんどですからね――数学が絶対必要なのに、数学ができないから文系に行くというのは残念だなと思います。

先ほどの図（下図）のように色々と分野は分かれているのですが、自然を一つ、例えばここに葉っぱが1枚ありますが、これを研究するのは、植物学、あるいは生物学だよねと思ってしまいます。




例えば、葉脈、この分かれ方は、実は数学的な式で表されたり、この葉っぱの形は、風をうまくよけるために物理的に非常に良い形になっているとか、それから、もう一つ、関連する学術として考古学がありますが、大昔の化石を見てみたら、この祖先はこんな形であった。では、なぜ今こうなっているのか。それはこういう進化があるんだと。そういった本当に様々な分野をまたいで研究することによって、ある意味一つの深掘り、それも大変重要なのですが、それ以外の何か知恵といいますか、アイデアが生まれる環境が、こういう場にはあると思います。

## 2.4. インタビュー

本章には、数理生理学、計算機科学、生物学、数理物理学の幅広い諸科学の海外研究者へのインタビュー調査による調査を掲載している。

(1)ジェームズ・キーナー氏(米国ユタ大学数学科　数学特別教授)
(2)アレックス・モジルナー氏(ニューヨーク大学クーラン数学研究所教授)
(3)呂宝粮氏(上海交通大学計算機科学工学部教授、ディレクター)
(4) Jae Kyoung Kim 氏、韓国高等科学技術大学 (KAIST) 数学科　助教
(5)ホルガー・ヴァールケンス氏、(グローニンゲン大学ヨハン・ベルヌーイ数学・コンピューター科学研究所准教授)
(6)ハウ・ヤン氏(プリンストン大学化学科教授)

### (1)ジェームズ・キーナー (James P. Keener) 氏

米国ユタ大学数学科　数学特別教授(Distinguished Professor of Mathematics)

**インタビュー対象者:**ジェームズ・キーナー氏
**役職名:**米国ユタ大学数学科　数学特別教授
**場所:**北海道大学電子科学研究所
**日時:**２０１５年１１月３日午後３時から４時まで。
**インタビュー調査員:**北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター中垣俊之教授

プロフィール:1968年ケースウエスタンリザーブ大学卒業(理学士)、1969年カリフォルニア工科大学大学院(理学修士)、1972年カリフォルニア工科大学大学院(学術博士)、1972-1978年アリゾナ大学助教、1978-1982年ユタ大学准教授、1982-2004年ユタ大学教授、2004年から現在ユタ大学特別教授。世界標準の教科書として「キーナー応用数学 – 返還論と近似論 –」(1999)、「数理生理学(Sneyd との共著)」(2008)を執筆。原著論文は155編。
URL: http://www.math.utah.edu/~keener

**中垣:**ユタ大学数学科についてお聞かせ下さい。
**キーナー:**教職員全数は数千人規模。数学科学部学生総数４００名。
**中垣:**米国の数学振興プログラムについてお聞かせ下さい。
**キーナー:**米国科学財団(National Science Foundation, NSF)が数学振興プログラムを実施しています。ユタ大学数学科は過去１０年において二つのプログラムを実施しました。一つは、IGERT program (Interdisciplinary Graduate Education Research Training Program)で、もう一つは RTG (Research Training Grant)です。それぞれ５年間のプログラムでした。予算総額は、過去１０年間の合計で、二つのプログラムを合わせて約八

百万米ドル（約１０億円）でした。学際数学プログラムでは、NSF が全米に公募をかけ、全部で５、６箇所の拠点（大学、研究機関）を選定し、毎年一千五百万米ドルから二千万米ドル程の予算をこのプログラムに配分しました。

**中垣：**学際共同研究についてお聞かせ下さい。

キーナー：私たちのグループ、すなわち数理生物学グループでは、現在１０名の大学院生が、夏学期中、生命科学の研究室に滞在し、実験に従事したりセミナーに参加して過ごしました。滞在する研究室は、自分自身の研究テーマ（数理生物学）に関係する専門性を有するところであり、この経験によって学際数理科学マインドをもった研究者が育つと期待しています。もとより、滞在する研究室との間で、自分自身の研究テーマを形づくっています。

当初、実験生物学の研究室は、数学科の学生を受け入れることを渋っていましたが、数学科のスタッフが実験生物学の研究室とのコネクションを作り拡げることによって次第に協力を得られるようになりました。その過程で二つのポイントがありました。一つは、数学科の学生を受け入れてもらうとき、ある程度の予算（大雑把にいって数十万円程度）を配分して、実験生物学の研究室へのインセンティブとしたこと。もう一つは、実験生物学の研究室にとっても意味のある共通の問題を探して共同研究のテーマとしたこと。これらによって、実験生物学の研究室にとっても、経済的かつ科学的なメリットがありました。

**中垣：**学際数理科学を振興するために必要な数学分野はどのようなものだとお考えでしょうか？　大学院学生への教育に関連して、重要だと思われる分野について、どのようにお考えでしょうか？

**キーナー：**私たちのグループの大学院生には、応用数学の全ての分野について、十分な理解をするように促しています。たとえば、確率、統計、常微分方程式、数値解析法（数値シミュレーション）、少しの計算機科学（データ）、近似理論、力学系理論、最適化理論、偏微分方程式など。非常に広範囲な応用数学の理論に通じていること。大変なことですが、これは非常に重要な点です。なぜならば、これから直面する未解決の問題にたいして、どのように数学が使えてゆけるのか、誰も知らないからです。たとえば、最近ではネットワーク構造に注目が集まり、ネットワーク理論やグラフ理論がよく使われるようになりました。ネットワーク理論は改めてすすんでいるし、その理解も数理生物学分野でも不可欠になってきました。あるいは、確率過程の重要性が指摘されるようになり、確率過程の理論や確率微分方程式の理解も必要になってきました。

一方、代数学、代数幾何学、位相幾何学などはそれほど多くは学びません。代数学では、線形代数は必須です。特に、計算線形代数（Computational Linear Algebra）は、重要です。数学は純粋であるし、非常に拡張的（extensive）です。

**中垣：**大学院の教育で用いる教科書について、何かお考えがありますか？

**キーナー：**たとえば、力学系理論については、ストロガッツの教科書「非線形動力学とカオス」が広く使われていて、たしかに初学者には非常に良いけど、学際数理科学者教育としては少し物足りません。グッゲンハイマーとホルムズの教科書「Nonlinear Oscillation,

Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields」ぐらいのものがよいと思います。そのようなこともあって私が必要と思う応用数学の教科書「Principles of Applied Mathematics: Transformation and Approximation」を書きました。幸いにして全世界的に使われていると聞いています。日本でも訳書が出版され、利用されていることは喜ばしいと思います。しかしながら、その教科書を書いた時点から時代が進み、盛り込むべき内容が増えてきています。

**中垣：**今取り組んでいる数学の問題について、お聞かせ下さいますか？

**キーナー：**薬の投与に関する数理モデル（吸収代謝過程の動力学モデル）に関して、意外なことに直面しました。その問題の解決には、１９３９年のポール・エルデシュの代数的整数論の論文が重要な役割を成すことを発見しました。私自身、代数的整数論は全く知りませんでしたが、そのようなことになって大変驚いております。

私はこれまで、いかに数学を知らないかということを気づき続けてきました。私はこれまで、知らない数学を学び続けてきました。それが、毎日の研究生活でした。その経験から、知らないことを学ぶ方法、数学を学ぶ方法を教えることが、何にも増して重要であると考えています。

確率過程論は数理生物学では過去５年で特に重要になりました。反応拡散系でも、分子数が少ないので確率過程は重要になってきました。それゆえに、私は過去五年間で、確率的力学系理論を勉強しました。

**中垣：**学際数理科学がこれからの社会にどのようなインパクトをもたらしうると思われますか？

**キーナー：**数理生物学はこれからますます重要になります。生命現象は、医療や生態系と深い関わりをもっています。生命現象は非常に複雑です。ネットワーク理論や分岐理論や確率過程論はもちろん重要ですが、それらの複雑さを解きほぐすためにどのような数学が必要なのかまだまだわかりません。世界中の誰一人知りません。それらを発見し、生命現象の理解を深めて行くことが、これからの社会にはますます必要になってきます。

### (2) アレックス・モジルナー（Alex Mogilner）氏

ニューヨーク大学クーラン数学研究所教授

**インタビュー対象者：**アレックス・モジルナー氏
**役職名：**ニューヨーク大学クーラン数学研究所教授
**場所：**ニューヨーク大学クーラン数学研究所
**日時：**2015年12月１日午前１１時半から１２時半まで。
**インタビュー調査員：**北海道大学大電子科学研究所附属社会創造数学研究センター中垣俊之教授

プロフィール：1985年ソビエト連邦ウラル工科大学大学院修了（物理工学修士）、1990年ソビエト連邦科学アカデミー（物理学学術博士）、その後1992年まで数理物理学研究を実施、1995年カナダブリティシュコロンビア大学応用数学　（学術博士、指導教官レア・エーデルシュタイン・ケシェット教授）、カリフォルニア大学バークレー校博士研究員、1996年カリフォルニア大学デービス校数学科助教（assistant professor）、1999年同校数学科准教授、2002年同校数学科教授（同校神経科学、生理学、行動学科教授も兼任）、2014年より現職。専門は、数理生物学、細胞生物学、生物物理学。細胞運動と細胞分裂の数理モデリングとシミュレーションを実施する他、走電性の実験も実施している。原著論文120報で、NATURE 誌、SCIENCE 誌、PNAS 誌などに発表してきた。以上の研究に対して、米国国立衛生研究所（National Institute of Health, NIH）、米国科学財団（National Science Foundation, NSF）、米国－イスラエル科学財団などの支援をうけてきた。学術専門誌、Cell、Biophysical Journal、Bulletin of Mathematical Biology、Molecular Biology of the Cell、Journal of Cell Biology の編集委員を歴任。NIH のパネルチアーも勤めた。クーラン数学研究所は全米のみならず世界的に見てもトップクラスの数学研究所としてその名が知れ渡っている。モジルナー教授は、クーラン数学研究所の数理生物学教授をつとめているだけでなく、生物学科の教授も兼任しており、学際数学分野で活躍している。

**中垣：**米国やクーラン数学研究所（またはニューヨーク大学）の数学振興プログラムについてお聞かせ下さい。

**モジルナー：**ニューヨーク大学では、二三のオフィシャルプログラムがありますが、インフォーマルな雰囲気（他分野との協働を目指そうとする数学科の雰囲気）が、他学部の人々に対して非常に有益であると思われます。たとえば、他分野の人々が集う小規模の会議が、各学部学科の長によって開催され、そこではそれぞれの現在の問題が紹介され共同研究の可能性について議論します。また非常にたくさんの学際的なセミナーシリーズが催され、様々な学部の人が定期的に参加しています。招待講演では活発に議論がなされています。一例は、定期的な生物数学／計算生物学コロキウムであり（http://cob.as.nyu.edu/object/cob.ne.colloquium）、多彩な分野の研究者が参加しているのが分かります。クーラン数学研究所の多くの教授は、複数の学部に属して（appointment）、両方の学部で教育に携わり、両方の学部から学生を受け入れ、両方の学部で研究しています。大学院生向けには二三のプログラムがあり、そこで求められることは、複数の学部で単位をとること、異なる専門分野をもつ複数のメンターとともに研究に従事することです。また、これらの学際的共同研究には、NSF や NIH から多大の支援を受けています。

**中垣：**諸分野との共同研究の現状についてお知らせ下さい。また、未来における数学の重要性についていかがお考えでしょうか？

**モジルナー：**共同研究の実体はすこぶる良いといえます。応用数学と他の分野との境界は急速に融合しつつあります。21 世紀は間違いなく生命科学の時代です。20 世紀が物理学

の時代であったように。いくつかの要因によって、過去20年において生物学は加速的に発展し、近代化しました。その要因とは、数理モデリングと数理解析と数値計算です。数理生物学は百年の歴史をもち、生物学に刺激された方程式の数学的解析を長い間にわたって深めてきました。象徴的な事例は、1952年のアランチューリングのランドマーク的論文で提案された形態形成のパターン形成モデルです。同じ年に、ホジキンとハクスレーは、神経細胞の電気活性を理解する生物学的に具体的なモデルを提案しました。過去２０年、数学的に深くかつ生物学的に現実的な研究が爆発的に増加しました。生物学的に妥当な数学モデルが広範かつ洗練されるに従い、数学が生物学や生理学や医学に与えるインパクトが強まっています。科学技術の変化が加速し、科学のパラダイムシフトを予見し、それに備えることが重要になっています。沢山の科学者が、個別の生物過程がそれだけで孤立して研究されるのではなく、よりインテグレートされた形で理解される必要が高まっています。多くの科学者がそのことに気づくようになりました。したがって、次のパラダイムシフトはインテグレート生物学として起こるでしょう。よりおおらかに表現すれば、全地球環境から分子まで生命システムの全階層にわたる学際的な研究といえるでしょう。数学は、このような階層間をインテグレートする言語、抽象性、構造を提供してくれます。ゆえに、インテグレート生物学の研究では、科学者や数学者に、既存学問分野間の境界で役立つ広範な技術を使いこなす必要があります。

**中垣：**数学振興への提言をお聞かせ下さい。

**モジルナー：**2 ～ 3のすべきことがあります。（1）大学教員に複数の学部に所属させる（クロスアポイントメント）、（2）学際研究の支援する研究制度を構築する、（3）大学院生向けの学際研究プログラムを構築する、（4）数理生命科学の会議やセミナーシリーズを開始する。

数理生命科学振興には恐るべき困難さが横たわっています。生物学専攻学生は標準的な解析学や物理学のみならずそれ以上の数理科学の習得が重要になってきています。問題は、生命現象の数理モデリングという手法です。そのための学習コースとして、「数値シミュレーション」が必要であり、そこではシミュレーションとウェットな生物学実験を行ったり来たりすることが不可欠です。同様に、数学専攻学生には、実験室ローテーションを経験し、かつ生物学コースを選択しなければなりません。学生が研究に着手する時には、複数のメンターにアドバイスを受けられるようにしなければなりません。

### (3) 呂宝粮 (Bao-Liang Lu) 氏

上海交通大学計算機科学工学部教授、ディレクター

**インタビュー対象者：**呂宝粮氏

**役職名：**上海交通大学　計算機科学工学部　脳型計算機械知能センター　上海教育局知能

認知工学キー研究室教授、ディレクター
**場所：**北海道大学電子科学研究所
**日時：**２０１５年１１月３日午後４時から５時まで。
**インタビュー調査員：**北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター中垣俊之教授

プロフィール：1982年中国青島科学技術大学卒業（理学士）、1898年中国西北工業大学修士課程修了（理学修士）、1994年京都大学工学研究科博士過程終了（工学博士）、1994-1999年理化学研究所バイオミメティック制御研究センター博士研究員、1999-2002年理化学研究所脳科学研究センター博士研究員、2002年より現職、2005年より上海システム生物学センター計算生物学研究室客員教授を兼任。
URL: http://bcmi.sjtu.edu.cn/~blu/

**中垣：**数学がご自身の研究分野においてどのように役立っているか？　またご自身の研究分野に関連する数学振興のプログラムについて、お考えをお聞かせ下さい。
**呂：**機械学習の深層学習（ディープラーニング）において、数学の一分野である確率統計学が用いられています。他には、線形プログラミング、オペレーションリサーチなどで、線形代数学や最適化理論、解析学、離散数学、位相幾何学などが多用されています。オペレーションズリサーチは、比較的古くから考えられてきた問題であり、産業社会を下支えしている基本技術です。この分野の技術革新は、したがって社会へのインパクトはすこぶる大きいと思います。

今日、情報通信技術の重要性がとみに高まっています。深層学習のような人工知能においては、新しい数学（たとえば甘利俊一東京大学名誉教授の情報幾何学）の構成が次世代の技術革新をもたらすと思われます。他方で、脳型情報処理の仕組解明も非常に重要な問題です。国家的脳研究プロジェクトが、欧州、米国、日本で実施されてきていますが、工学的な情報処理の観点からはまだまだ不明です。そこでは、数学が非常に重要な役割を担います。神経回路網の解析、データ解析、脳型計算アルゴリズムの発見、定式化、モデリングなしにはすすまないでしょう。

人工知能と自然知能（脳型情報処理、あるいは脳を持たない生物の情報処理も（より根本的な重要性を有するので）含めて）の二つの路線を押し進めるような数学振興プログラムが今世紀においては狙い所でしょう。
**中垣：**数学振興の重要性についてお聞かせ下さい。
**呂：**ともすると数学は狭い定義で捉えられがちです。しかしながら、現実には、非常に広い範囲で用いられていることを認知すべきです。私たちの日常生活は、数学に支えられています。情報通信技術（ICT）においては、全てがプログラミングされています。ハードウェアを制御するソフトウェアなるものが不可欠です。そこで用いられる「アルゴリズム」は、広い意味での数学です。つまり、数学特有の「考え方」の表徴なのです。アルゴリズム自体

がそもそも数学という学問の産物であるという認識が重要です。こういう根本的な正しい理解を忘れると、科学技術の真の革新は起こりえないでしょう。

インターネット検索エンジン、グーグル、フェイスブック、スマートフォン、クレジットカード決済（暗号理論の基礎は整数論）などなど、今日的と思われる情報技術は、その土台に数学があります。こういうことをマスコミも強調すべきです。そのためには、数理科学分野の博士を増員し、社会に送り出す（産業社会がそういう人材の重要性に気付いて求めるようになる）ように制度設計することが急務です。そこを上手く実施する国が、次世代の情報産業をリードすることになるでしょう。

### (4) ジェギョン・キム (Jae Kyoung Kim) 氏

韓国高等科学技術大学（KAIST）数学科　助教

**インタビュー対象者：**ジェギョン・キム氏
**役職名：**韓国高等科学技術大学（KAIST）数学科助教
**場所：**韓国高等科学技術大学（KAIST）
**日時：**２０１５年１１月７日
**インタビュー調査員：**ユタ大学数学科特別教授のジェームズ・キーナー教授（北海道大学電子科学研究所中垣俊之教授の代理）

プロフィール：2005年韓国ソウル国立大学卒業（数学教育学士）、米国ミシガン大学の応用・学際数学科で博士号を取得（指導教官はダニエル・フォージャー教授、ビクトリア・ブース教授、トラチェット・ジャクソン教授）。その後、米国オハイオ州立大学の数理生物科学研究所（NSF の数理科学研究所の一つ）で博士研究員を勤めた。KAIST は、２０１５年のロイターによる世界の最も革新的な大学ランキング（the world’s most innovative universities by REUTERS）で１０位に位置づけられた大学である。この順位は、アジアの大学の最高位であり、かつトップ１０にランクインした唯一の米国外の大学である。

**キーナー：**数学振興のプログラムについてお話し下さい。
**Kim：**KAIST の数学科では、「数学クリニック」という活動を行っています。これは、産業界その他の分野（あらゆる分野）の方が、彼ら自身の直面している数学的な問題について、KAIST 数学科の研究者に援助を頼めることができるような「場」です。詳細な事例については、以下のウェブサイトにその情報があります。http://mathclinic.kaist.ac.kr/
**キーナー：**数学と諸分野との共同研究について、その重要性や注意すべき点について、お聞かせ下さい。
**Kim：**数学科の教授は、情報科学分野や金融経済分野、製薬会社、生物学の研究室などの他分野と多くの共同研究をすすめています。

私は、数理生物学が専門なので、そのことについてお話ししたいと思います。２１世紀は数理生物学の時代であることは間違いないでしょう。生命現象は他の諸現象に比べて非常に複雑なので、多くの解くべき問題がそこから出てくると思われます。

数学者と生物学者との共同研究について、最初の成功事例を作ることが重要だと思います。そこで、数学が、生物問題の不思議さを解くために使えることを示すことが重要です。同時に、数学と生物学の両方を教えることは決して容易ではないことに注意を払うべきです。二つの学問が提供する、ものの見方や考え方、そこで用いられる「言語」の違いは、大きいです。大きいが故に、それを乗り越えるための方策を考えていることが、特に重要ですし、その試行錯誤を止めてはならないと思います。そのことに注意して、制度を押し進めることが重要です。

### (5) ホルガー・ヴァールケンス（Holger Waalkens）氏

（グローニンゲン大学ヨハン・ベルヌーイ数学・コンピューター科学研究所准教授）

**インタビュー対象者：**ホルガー・ヴァールケンス氏
**役職名：**グローニンゲン大学ヨハン・ベルヌーイ数学・コンピューター科学研究所准教授
**場所：**北海道大学電子科学研究所
**日時：**２０１５年１１月２日
**インタビュー調査員：**北海道大学電子科学研究所李振風准教授、寺本央助教（北海道大学電子科学研究所小松崎民樹教授の代理）

**経歴：**

| | |
|---|---|
| 1999年： | ブレーメン大学（独）で理学博士号取得 |
| 1999 ～ 2002年： | ブレーメン大学 Wissenschaftlicher Assistent（‘Assistant Professor’） |
| 2002 ～ 2004年： | ブリストル大学（英）とカリフォルニア大学バークレー校 MSRI（米）で博士研究員 |
| 2005 － 2007年： | ブリストル大学 Lecturer（‘Assistant Professor’） |
| 2007 －現在まで： | グローニンゲン大学准教授、ヨハン・ベルヌーイ数学・コンピューター科学研究所（オランダ、グローニンゲン） |

ヴァールケンス博士の研究分野は力学系理論と半古典量子論である。同博士の研究は広範囲に及び、主に原子・分子物理学、天体力学、電子伝達と光学に関する自然科学の重要な問題に影響を与えている。彼の関心のなかで第一に挙げているのは、ハミルトン系全般で、特に幾何学である。その幾何学は半古典量子論とも深く関わりがあり、量子状態の波動関数とウィグ

ナー関数・伏見関数のような対応する位相空間構造とを関連づけることができる。この幾何学は種々の量子問題の解明に光明をもたらすだけでなく、非経験的分子軌道計算に有用な技術も将来的に提供することができると考えられている。同博士は Physical Review Letters、Europhysics Letters、Nonlinearity などの著名な数理科学系誌に55件ほど発表されている。博士の URL: http://www.math.rug.nl/~holger

**李：**自然科学の問題の他に、あなたの数学研究は社会科学の問題にどのように応用することができますか？
**ヴァールケンス：**EU 内で、数理科学を社会科学の問題に応用する要望が高まっています。特に私自身、数学と社会学の研究者が関わるいくつかの協同助成金申請に携わった経験があり、そこでは、複雑系の概念と階層構造ならびに振動子系の力学が社会現象を説明するうえで重要であることを提案しました。更に、私は近い将来、社会システムにおける状態変化を議論するために、理論化学で発展した反応動力学と遷移状態理論についての考えを一般化・導入する計画を練っているところです。
**寺本：**異なる分野の数学者達と共同ネットワークを築くのに、ヨーロッパでは資金提供や教育、リサーチの状況はどのようになっていますか？
**ヴァールケンス：** EU が諸分野の共同研究を推し進めるのに多大な努力を払っていると感じます。特に資金の条件として資金申請者の出身国が2国以上であることと、2つ以上の異なる分野での経験を求める資金提供機関も少なくありません。このような多分野からなる資金申請者のチームの中には数学者達の集まりから成り立っていて、他のチームの理論的なサポートの役目を果たしているものもあります。

### (6) ハウ・ヤン ( Haw Yang) 氏
（プリンストン大学化学科教授）

**インタビュー対象者：**ハウ・ヤン氏
**役職名：**プリンストン大学化学科教授
**場所：**札幌グランドホテルおよびウェッブ会議
**日時：**２０１５年11月3日、12月16日
**インタビュー調査員：**北海道大学電子科学研究所李振風准教授（北海道大学電子科学研究所小松﨑民樹教授の代理）

**経歴：**
1999年：　カリフォルニア大学バークレー校理学部で博士号取得
1999－2002年：　ハーバード大学生物化学科ポストドクター

2002－2009年：　カリフォルニア大学バークレー校生物化学科卒業グループ部
　　准教授
2006－2009年：　ローレンス・バークレー国立研究所バイオサイエンス学部研究員
2009－2014年：　プリンストン大学理学部准教授
2010年から現在まで：　英国王立化学会「Chemical Science」誌編集者
2011年から現在まで：　英国王立化学会「Chemical Society Review」誌顧問
2011年から現在まで：　プリンストン大学理学部大学院研究科長
2013－2014年：　プリンストン大学大学院方針委員会メンバー
2013年：　Hatske 社設立
2014 - 2015年：　プリンストン大学大学院カリキュラム委員会メンバー
2014年：　ペンシルヴァニア大学レーザーセンター顧問
2014年：　プリンストン大学化学科教授、大学院研究科長

ヤン教授は一分子生物学の実験グループを率い、単一分子 / 単一ナノ粒子ベースでの新しい方法の開発に取り組んでいる。同教授の目標は、分子の動力学を定量的に予測し、システムレベルでの振舞いに如何に分子レベルの振舞いが寄与しうるかを理解することにある。与えられた分子またはナノ構造の特性は、従来、大量の分子数（N ～ 1023）にわたって平均化され、その平均値によって特徴づけられてきた。しかしながらアンサンブル平均による記述は、分子の数が減少するにつれて不明瞭となる。 巨視的な世界でとらえる観察者にとっては、時間と場所の関数としての微視的状態の変化は、もはや決定論ではなく、確率論的であり、そのような局所的な確率変動が最終的には巨視的世界における化学的、物理的な変化として顕在化する。現在、開発している新しい実験アプローチは、個々の分子が動いて機能するところをリアルタイムで観察し、情報理論に基づいた解析手法も同時に開発されている。
ヤン教授は Science、Nature Nanotechnology、Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)、Nano Letters、Journal of the American Chemical Society などの著名な学術誌に90を超える発表がある。
URL: https://www.princeton.edu/~yanglab/index.shtml

**李：**米国の現状として数理科学と異分野の科学者の共同研究、特に自然科学での実験研究を奨めていることをどのように思っていますか？
**ヤン：**私は米国における数理科学と異分野の共同研究の推進は全く十分ではないと思います。しかし、プリンストン大学では、統合科学コースを設けてあり、学生たちは統計科学、数理物理学等の数理的なスキルと化学的・生物学的方法等の実験的なスキルを身につけられます。このようなコースでは、強いモチベーションや多分野の研究スキルの両方が求められています。

**李：**実験科学者として、実験科学者と数理科学者との間の協働研究を成功に導く最も重要な要因は何ですか？

**ヤン：**私は米国ストーニー・ブルック大学のジン・ワン（Jin Wang）教授や台湾国立交通大学の朱智瑋（Jhih-Wei Chu）教授など数人の数理科学者と密に共同研究をしています。私が数理科学者と共同研究する際の重要なポイントが3つあります。個人的な相性、意思の疎通、そして互いに尊重しあうことです。どんな質問をされるか、また研究中の科学的な問題にどのようにアプローチするかも相手に共通の興味があれば分かると思います。そういうことが個人的な相性と関わってくるのだと思います。しっかりした意思疎通は非常に重要です。数理科学者が異分野の科学者とコミュニケーションをとるには、普段使っている難解な式や数学の専門用語を避けて抽象的な数学の定理を直観的に説明するようにしなければなりません。最終的には、オープンな気持ちで共同研究すれば異分野の人の違った物の見方や考えを好意的に受け取れるようになり、共同研究発表等の際も信頼している共同研究者とやりとげた結果なら、良い評価につながると思います。

## 3.　企業との連携における数学・数理科学融合研究活動動向と意識調査

### 3.1. 企業へのアンケート調査

#### (1) 調査目的

アンケート調査は、本委託調査「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」の一環として企業の現況調査および意識調査を行い、実態把握に努める。

#### (2) 標本設計

(2.1) 標本数は企業268社

(2.2) 標本抽出

平成２１年度に実施した文部科学省委託調査「数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討～第４期科学技術基本計画の検討に向けて～」におけるアンケート調査について回答があった企業を抽出した。

#### (3) 設問設計

仕様書の調査項目「数学・数理科学を活用した異分野融合研究に関する調査（３）①日本における数学・数理科学を活用した異分野融合研究を担う人材の数を含む現状について調査するとともに必要とされているレベルとの比較を行うこと」に基づき、設問を設計した。

#### (4) 実施体制

以上のような設計に基づき、アンケート調査を実施した。

調査スケジュールは以下の通りである。

2015年11月17日　アンケート送付

2016年1月4日～5日　督促はがきの送付

**(5) 調査結果**

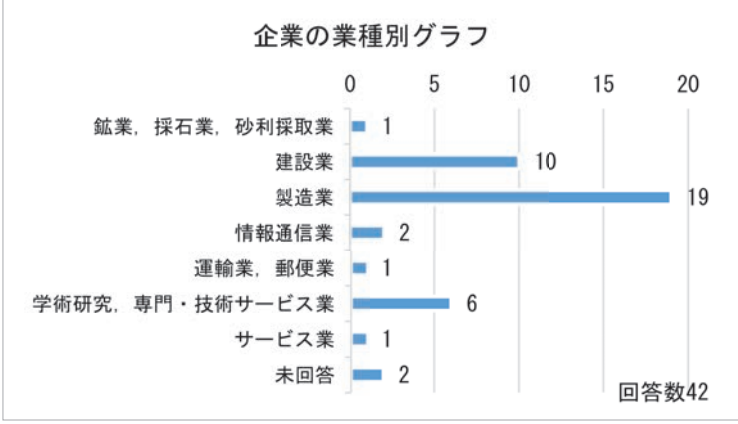
(5.1) 回答プロファイル

アンケート質問票回収率は以下の通りである。

42/229=18.34%

尚、宛所不明で返送された39件は分母数から除くこととした。

業種別にみると以下の通りである。



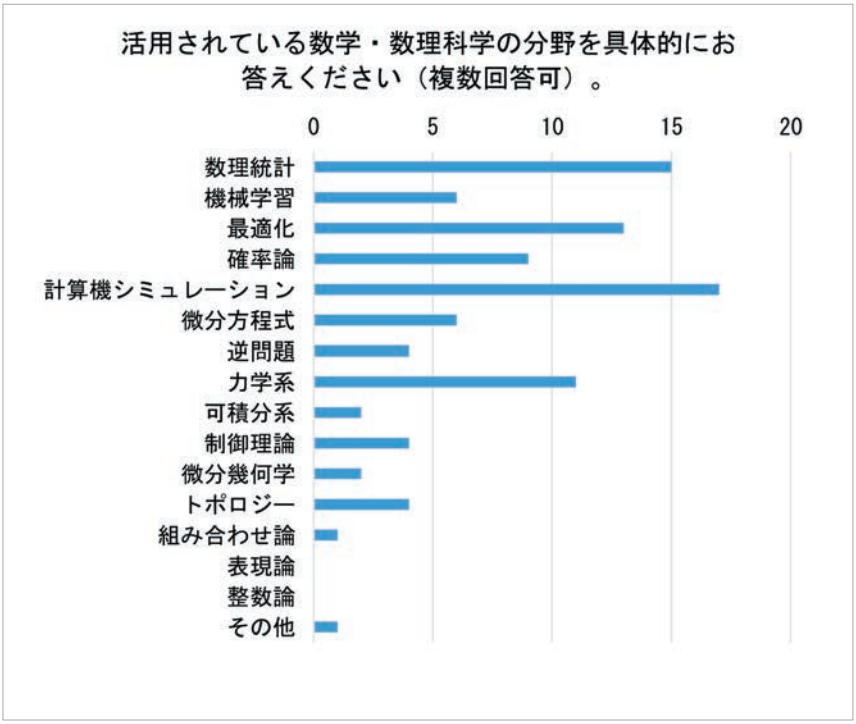

(5.2) 回答結果

【貴社の数学・数理科学への興味、貴社内での活用】

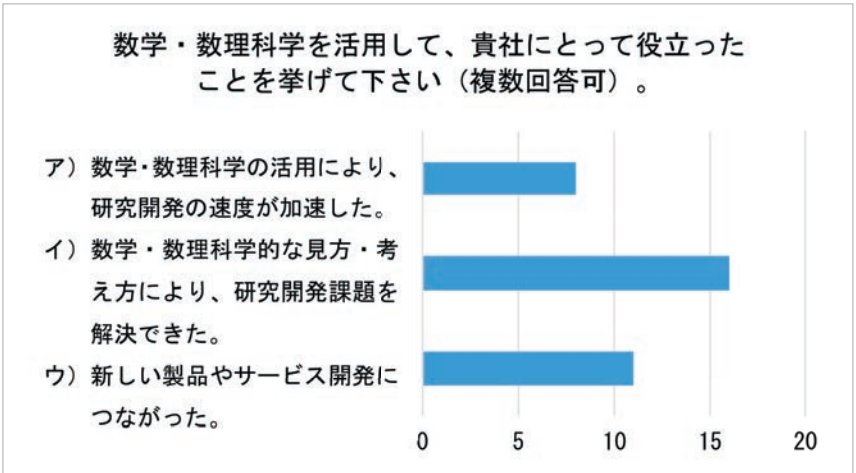
a) 貴社では、何らかの数学・数理科学の知識を業務において活用されていますか？

→ア）　とお答えの方に伺います。

活用されている数学・数理科学の分野を具体的にお答えください（複数回答可）。




b）数学・数理科学を活用して、貴社にとって役立ったことを挙げて下さい（複数回答可）。




自由記述には以下が記載された。

・計算機シミュレーションは通常の業務で、微分方程式によって逆問題を解く。過去の履歴に合致する入力パレメータ群を機械学習によって求める。

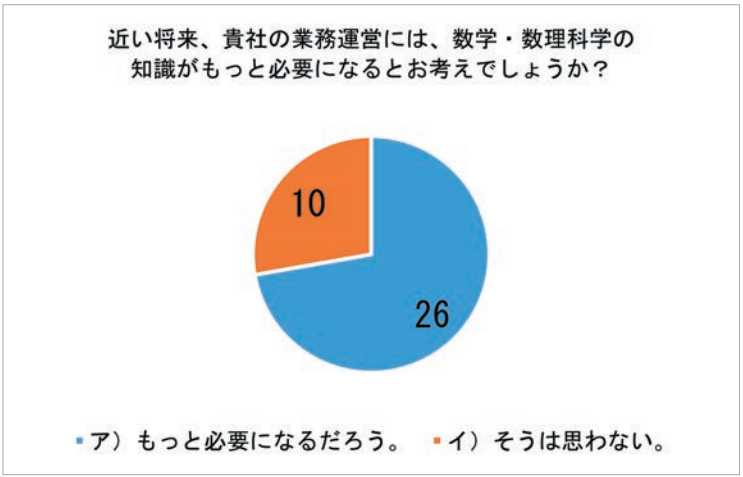
・新製品開発に取り組む研究の初期段階。

・技術開発室での新製品開発。

・計測データを用いた設備機器の運転シミュレーションによりエネルギー消費量等を予測した。

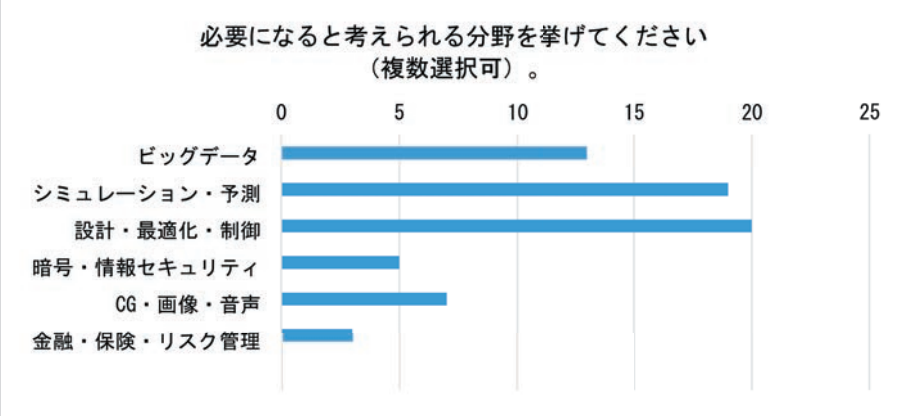
・条件変更による差異の有無を判断するためには必須
・テストに使用するテストピースの測定項目において、不要な項目を削除し工数削減と、本来必要な新たな項目に着目できる。研究内容の十全を図ることが可能になる。

c）近い将来、貴社の業務運営には、数学・数理科学の知識がもっと必要になるとお考えでしょうか？



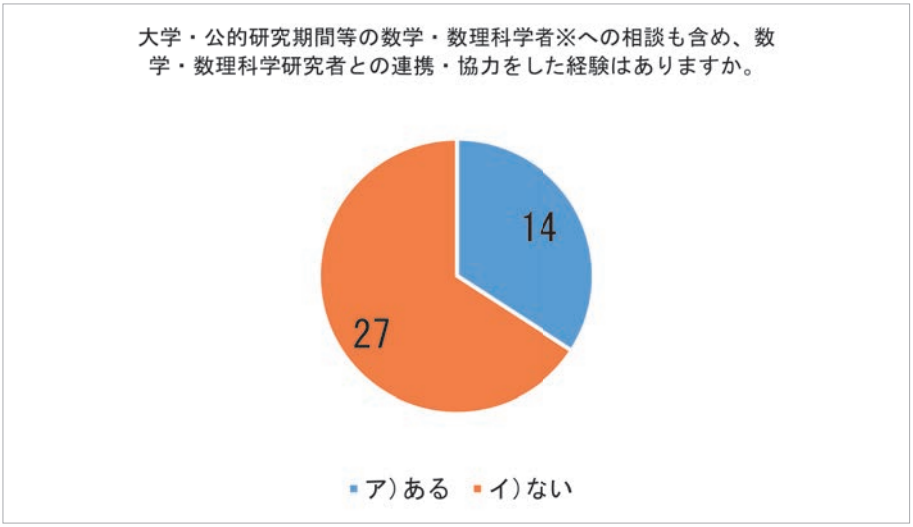

→ア）　とお答えの方に伺います。

必要になると考えられる分野を挙げてください（複数選択可）。



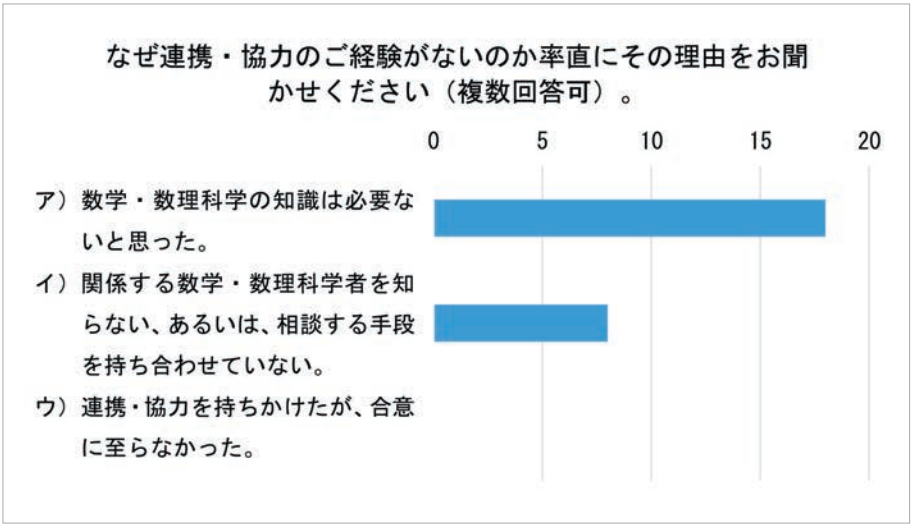

【貴社と大学等の数学・数理科学者との連携・協力】

d）大学・公的研究期間等の数学・数理科学者※への相談も含め、数学・数理科学研究者との連携・協力をした経験はありますか。※「数学者・数理科学者」とは、純粋数学、応用数学、統計学、確率論、そして、数値計算、計算機シミュレーションなどを含む広い意味での数学・数理科学の研究者のことをいいます。




→イ）　とお答えの方に伺います。

d1. なぜ連携・協力のご経験がないのか率直にその理由をお聞かせください（複数回答可）。



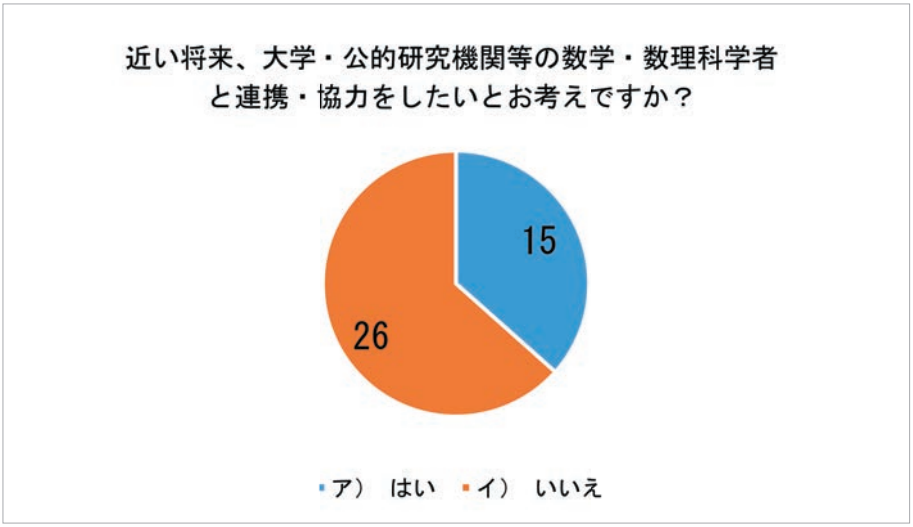

自由記述には以下が記載された。

・必要な知識は論文とその他の文献で得ることが出来、それ以上の研究者との連携は必要であると考えていない。

・必要な知識は論文とその他の文献で得る。2

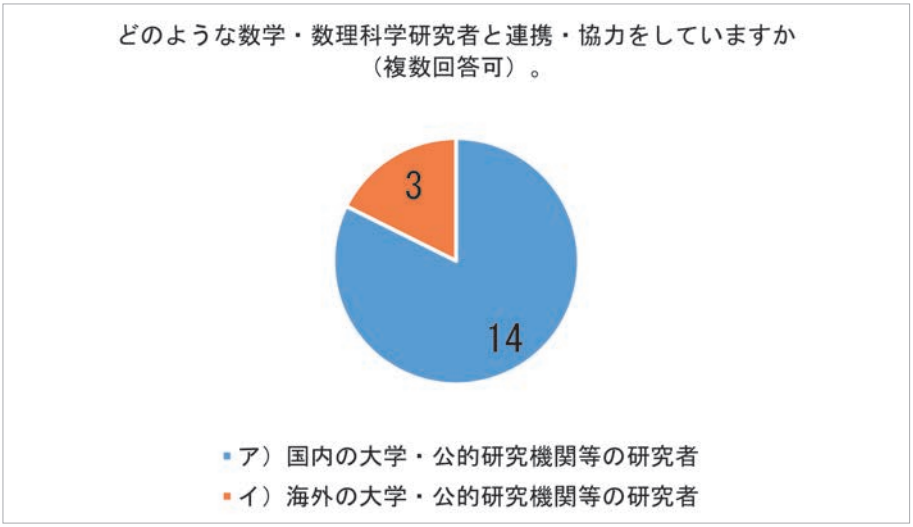
・自社開発で充分・特殊な数理解析や統計解析手法を使った経験なし。

d2. 近い将来、大学・公的研究機関等の数学・数理科学者と連携・協力をしたいとお考えですか？

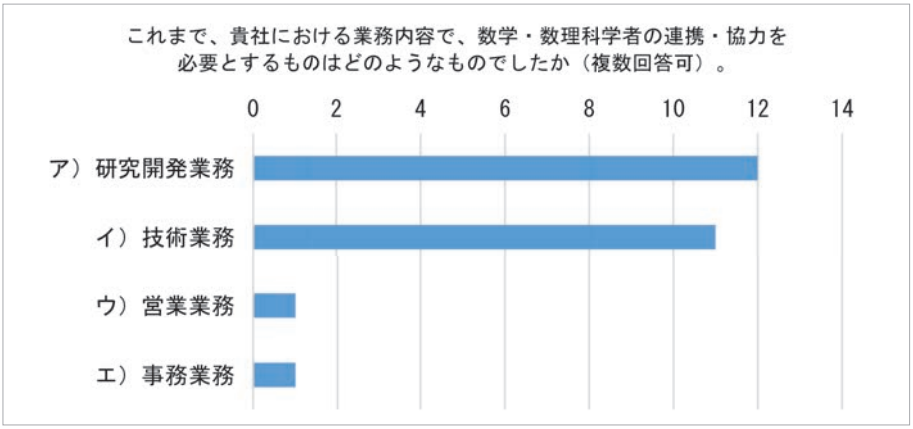



→ア） とお答えの方に伺います。

どのような数学・数理科学研究者と連携・協力をしていますか（複数回答可）。

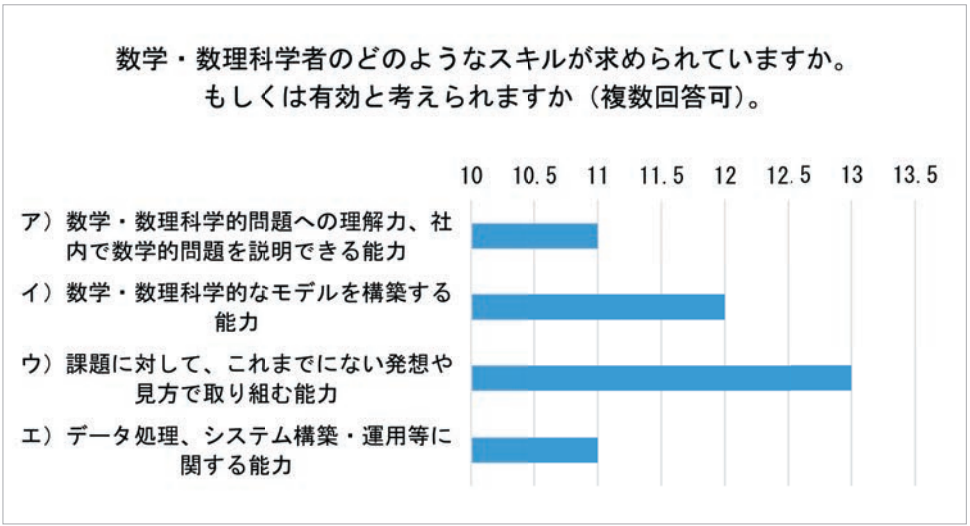



e）これまで、貴社における業務内容で、数学・数理科学者の連携・協力を必要とするものはどのようなものでしたか（複数回答可）。



ア）研究開発業務の具体的な業務内容は以下の記載があった。
・研究開発業務12：具体的な業務内容
・解析・シミュレーション7（機械、材料2、水理解析、地下資源、事故減少）
・アルゴリズム開発2（機器センサの精度向上、無線通信の受信）
・他3件（具体的記述なし）
・技術業務11
・営業業務1
・事務業務1
・その他：自由記述・コンサルティング（クライアント課題解決）

f）数学・数理科学者のどのようなスキルが求められていますか。もしくは有効と考えられますか（複数回答可）。

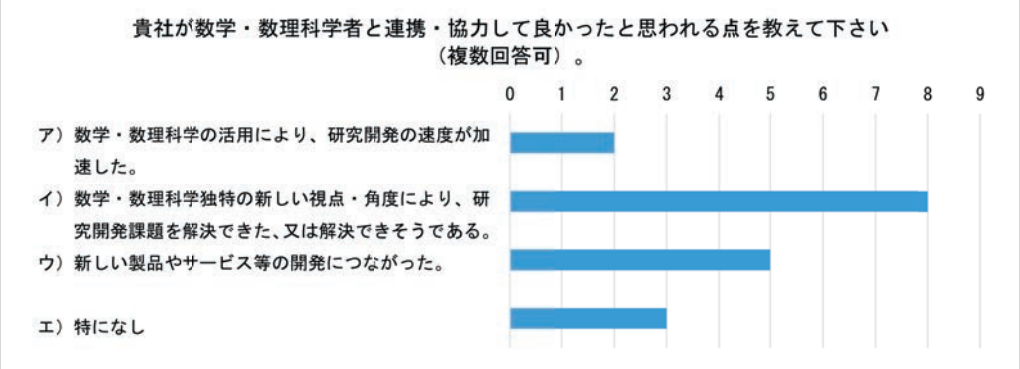



自由記述には以下の記述があった。
・特に求めているものはない
・現実の課題をモデリングする能力、解法する能力と、それを超えて現実の課題を解決する能力

g）過去5年間において、数学・数理科学者と連携・協力した課題数とその課題内容をお書き下さい。併せて、協力体制・方法についてもお書き下さい。
→連携・協力を行った課題数と差し障りない範囲でその課題内容をお書き下さい。
（課題数、課題内容 具体的にどのような協力体制・方法ですか：自由記述）
・20件、国内大学との共同研究、海外大学のコンソーシアム加入
・15件、守秘義務のため記入不可
・5件、自然災害リスク軽減及び防止：出向
・3件、材料製造プロセス開発関連

・3件、デザイン設計、応力計算、変形シミュレーション：県立研究所と共同研究
・数件、最適化分野：研究委託、コンサルティング委託
・2件、データ等の解析能力アップ
・2件、テスト結果の予測モデルの作成：共同研究
・1件、数値解析：アルゴリズムの開発
・1件、守秘義務の為記入不可
・不明、共同研究等

h）貴社が数学・数理科学者と連携・協力して良かったと思われる点を教えて下さい（複数回答可）。




差し障りない範囲で具体的な成功事例を挙げてもらったところ、以下の記述となった。
・圧延モデル開発等
・顧客ソリューションにつながった（インフラ、災害復旧の広域最適化）
・今はまだ取り組み中のため、成功事例までいたっていない

i）h）とは逆に、貴社が数学・数理科学者と連携・協力した際の問題点や良くなかったと思われる点があればお書き下さい。自由記述：
回答なし。

j）数学・数理科学者との連携に関して、望まれる制度、環境について自由にアイデアやご要望をお書きください。
・数学・数理科学の学会における発表だけでなく、他分野の学会等で（押しかけの）発表を行って欲しい。最新の研究成果がわかり、利用可能な成果の発見できる。
・研究者も、専門内外を問わず、実務・実学の場数をもっと踏むようにできればよい。
・学者が持っている技術の見える化とアクセスのし易さ。
・ホームページ等でQ&A的な場所を作ってはどうか。
・数学・数理科学が企業にとってどのように活用できるか、具体的事例やメリットなどを紹介する場を設けて欲しい。

・企業の研究者が解析やシミュレーションを行う際、数学・数理科学者がパラメトリックスタディやワークスタディにおいてアドバイスできる制度や環境が欲しい。
・理論と実証をくり返せる共通プラットフォームづくり。（モノづくりで言うFabLabの様な位置付けの環境）
・助成金等の公的機関からの環境整備
・成果の不実施保証などの面で大学側と意見が合わない部分がある。大学と連携する際の国の統一見解があるとよい。
・会社の中で理解者が少なく苦労している。統計モデルの作成のために必要なことと、メリットを会社の上層部に理解してもらうための手助けをしていただきたい。

## 3.2. 数学・数理科学と産業界との共同研究の事例

### (1) 調査目的

産業技術分野における数学・数理科学を活用した融合研究の事例を収集する。

### (2) 調査方法・結果

数学・数理科学研究者と共同研究を行っている、あるいはかつて経験した（元）企業研究者に直接アンケートを行った。97名にアンケートを送り、22名から具体的な回答を得た。

### (3) アンケート設問

【貴社と数学・数理科学とのかかわり】

1-A. 貴社では数学的手法が不可欠な、あるいは、役立つと考えられる研究課題をお持ちでしたら差し障りのない範囲内で、研究課題の具体例をあげてください。

1-B. 数学・数理科学が役に立った例をお持ちでしたら、差し障りのない範囲内で、その内容をお知らせください。

【貴社と大学等の数学・数理科学者との連携・協力】

2-A. 貴社において、大学・公的研究期間等の数学・数理科学研究者との連携・協力をした経験をお持ちだと思いますが、過去数年間において、数学・数理科学者と連携・協力を行った相手および課題内容等について、差し障りの無い範囲内でお書き下さい。

2-B. 貴社が数学・数理科学者と連携・協力して良かったと思われる例をお持ちでしたら、差し障りのない範囲内で、その内容をお知らせください。

### (4) 回答1

**㈱リコー　　渡邉好夫　　顧問技師長**

1-A.

① データサイエンス分野：　弊社はMFP（複合機能コピー機）を主たる業務としていますが、それからは膨大なデータが毎日集められています。現在もこの活用に努

力していますが、まだ、そのレベルは不十分なもの（多くの情報を汲み出し切れていない）と感じております。これらには、高度な統計学や機械学習の活用が必要と思われます。

② 最適化分野： 最近はコンピュータによる最適化が設計の現場で活用されつつあります。ただ、多くの目的関数とともに様々な制約条件（設計や生産からの制約）があるなかでは、適切な解析戦略が非常に重要と考えています。特に、連続的な関数の最適化（トポロジー最適化）とともに、組合せ最適化（方式検討）も重要と感じておりますが、弊社では後者については効率的な方法を持ち合わせておりません。また、前者に付け加えますと、弊社では3D プリンター（Additive Manufacturing）に関するビジネスを始めておりますが、これに関してはトポロジー最適化が強力な武器となると考えております。

③ 数値シミュレーション分野：20年ほど前はこの分野は数学的素養が重要でしたが、最近は、アプリケーションソフト（ANSYS や FLUENT など）のレベルが非常に上がってきて、これがなくともよい結果が得られる（少なくとも得られたように見える）ようになってきております。

ただ、新事業領域、弊社の事業のコア領域（紙の力学挙動・物理特性評価、トナーなどの粉体挙動、インクジェット（IJ）のインク吐出挙動など）は、市販アプリソフトでは不十分なことも多く、独自開発するか、市販アプリへの UDF（ユーザ定義関数）などを付加して用いております。この場合は、シミュレーション（数値計算）に関する素養が必要となってきております。

また、①②ともからむのですが、多数の数値シミュレーション結果から統計的な方法で最適化やそのロバスト性を予測することが今後は重要になると考えております。さらには、「データ同化」の設計シミュレーションへの適用も興味深い研究課題と考えております。

④ 制御技術 /Model Based Development（MBD）/1D-Simulation 分野：制御技術は、微分方程式や線形代数に関する知識は不可欠で、弊社でも数学に強いメンバーが集まっております。それに加えて、近年は、MBD/1D-Sim が重要になってきております（制御の分野から見るとプラントモデリングの技術ということになるかと思います）。近年は、大規模シミュレーションが進む一方、それをどう縮約して設計に役立つ知識を引き出すかは設計力強化の鍵と考えております。ただ、3D → 1D への縮約は、弊社では、1D-Simulation モデルをこれまでの知見から構築して、そのパラメータを3D データから試行錯誤的にもってくることを行っております。モデルが複雑になるともう少し体系的な方法が重要になると考えております。

⑤ 画像処理分野 / 信号処理分野：20 ～ 30年前は社内でもよく研究発表がありました。ただ、最近は技術が確立してきたのか、あまり研究されておりません。

1-B.　以下には、基礎的な数学の知識も記載いたしました。これから数学リテラシーは非常に重要になると感じております。

弊社の電子写真というコピーの技術はアメリカから導入されたもので、原理はアメリカのテキストを読んで学ぶことで進めてきました。その意味では、原理よりも「設計・製造」に力が入っていたと思いますが、新規な技術を作るときは原理から考える姿勢は欠かせません。そのときの基礎として数学は不可欠のように思います。1-A に記載しました、①データサイエンス分野では、線形代数や解析の初歩は必須と思います。当然ながら、確率の基礎も必要です。近年は高度な統計モデルも必要な場合もあり、MCMC なども習得しようとしております。

また、②③数値シミュレーションや最適化の分野も、自分でプログラムを開発するとなると線形代数や解析は不可欠と思います。この領域では、陽解法、陰解法や数値的な安定性などの数値解析に関する基礎は、アプリソフトを使うときも知っておくべきことと感じております。特に、考えている物理現象の特徴時間と解析したい時間とを比較した上で、それぞれの物理プロセスをどう捉えるべきかの判断は、解法選択上大変重要です。弊社内でもマルチフィジックスの解析では単に異なる種類のソフトを繋げばよいと理解している者も多く、適切な解を得るのに苦労したという例もあります。また、私も以前は流体計算を行っていたこともあり、境界適合型の計算格子での差分法を使っておりました。その時、リーマン幾何学を用いて Navier-Stokes の式を書き直して計算を行いましたが（朝倉書店より、「流体解析Ⅱ」(1997) としてお茶の水女子大学の河村哲也先生との共著として出版していただきました)、その手法を、弊社内では伝熱や静電界の解析にも用いております。有限要素法に比べて、高速なことと物理現象が組み入れやすい点は良いかと思っております。

②最適化については、まだ市販のソフトを活用しているレベルですので、本格的に数学的なアプローチが必要なところまで到達しておりません。

⑤画像処理 / 信号処理では、線形代数や Wavelet 解析 (JPEG2000 という画像圧縮方法は Wavelet を用いていたと思います) が使われているようです。ただ、詳しくは把握できておりません。

2-A　①データサイエンス：ある関東圏の大学と共同研究を行っております。

③～④につきましては、残念ながら数学・数理科学の研究者との共同研究等はないと思います。弊社としては、粉体や伝熱など具体的な問題を解きたいということがあり、それらの現象を扱う工学関係の先生方のご指導をいただく形となっております。広くシミュレーション関係では、いくつかの大学や研究所にご指導をいただいたことがあります。

2-B　前述のように、まだ弊社では数学・数理科学の分野の研究者の方のご指導をいただいた経験があまりございません。今後はデータサイエンスや最適化に関して数学関係のご指導をいただくことが必要ではと考えております。

**回答２**

**広島大学工学研究院・教授　　廣川真男**

１-A & B.

今日の量子デバイスは、単に、量子ビットによる通信を行う量子情報理論や量子ビットを用いた量子計算のみならず、これらを目指し発展する過程から色々な派生技術が見い出され、それらの派生技術の産業への応用が期待されています。そのため国家による巨額予算の投資が欧米でここ数年みられるようになりました。大学等の研究機関への研究予算投資以外にも、国が拠点を新たに形成した例としては、古いところでは、オーストリア政府が The Erwin Schrödinger Institute を廃止し（現在はウィーン大学の一研究機関）、Vienna Center for Quantum Science and Technology を設立したり、新しいところではオランダ政府が、オランダ応用科学研究機構を Delft 工科大学と連携させ、QUTech を設立しました。今後10年間で 135 million Euro（約180億円）を Delft 工科大学の Leo Kouwenhoven をリーダーとする量子計算機の研究に投資します。オランダ政府は、2025年までに（計算機等を含む）量子分野で約2000億円程度の市場をつくることを期待しているようです。この流れには、企業も次世代産業の期待をしているようで、米国 Intel は、今年９月、この QuTech と今後10年間提携し5000万ドルを投資します。

これらの投資額の大きさは、次世代産業を睨んだ量子デバイスの研究開発にはかなり大きな予算が必要となるということを意味しますので、日本では一企業が単独で行う事は難しく、国内外の大学や国と一緒に研究開発を行う道を選び、企業自身による量子デバイスの研究開発は縮小される傾向にあります。例えば、超伝導回路による量子ビット開発で理研と組んでいた A 社は理研との協力関係を解消し、この分野から撤退しました。また、スピントロニクス技術で世界をリードする B 社は、この分野での事業見込みを考慮し、大学との共同研究を縮小し、解消の動きにあることも危惧されていました。一方で、量子ドットによるレーザー発振を使い様々な産業の可能性を感じさせる荒川泰彦氏（東京大学）の研究には C 社が出資し、QDLaser というベンチャー企業も活発に産業活動を行っています。

上述の状況を考慮し、将来の量子デバイスの産業化を見据えて産学が協働するために、かつて企業で学んだマネージメントのノウハウを活かすことにしました。会社が違えばマネージメント手法も色々かと思いますが、B 社では、産業のゴールを見据えた者が研究開発チームを指揮し、大学の基礎研究に携わる者であろうと、たとえその人達がゴールを理解していなくとも、チームの研究開発に寄与するように指揮しなければならない、と学んで来ました。

以上の視点に立ち、現在私が取得している科研費（B）（特設分野）「量子情報デバイス研究開発における数理科学的連携探索」では、代表者として、産業界のマネージ

メントの眼で、各企業が独自に持つ技術を集めそれらの研究を一つの「事業」の方向性を持たせるようにしています。そのとき、それぞれの科学技術者とのコミュニケーションでは、数学を通すことでそれぞれの技術を理解し、違った技術を束ねています。ただし、ここで言う数学とは、理学部系のそれとはかなり違うもので、企業の人間が実践に使い「数学」と呼んでいるものですので、理学系では数学と呼ばれていないものとも言えます。以下、「数学」と記したときは、この意味での数学とご理解下さい。

各社の技術の情報を集め、ある程度の内容を把握するために、平成23, 24, 25年度と文部科学省の「数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ」に参加し、Interdisciplinary Workshop on Quantum Device（IWQD）という国際ワークショップを2013年から毎年開催し、その年のテーマを決め、大学・公的研究機関のみならず、企業の研究者を講演者に選び、私自身が彼らのもつ技術を勉強して参りました。

従いまして、科研費（B）（特設分野）「量子情報デバイス研究開発における数理科学的連携探索」では、理論のみならず、異分野の実験技術間に私が入り、それぞれの理論・技術を、数学の助けを借り一旦理解し、それをそれぞれの実験技術者に説明し議論する形の集団を形成しています。

特に、量子デバイスを数学的にシステムとして捉えた場合、数学的機能として、量子ビットの制御・記憶・輸送の３つの要素が基本となります。これを実現する物理が何で、その数理モデルをたて解析し、さらにそれらを組み合わせ大きなシステムを組むときに、それぞれを実現した違った物理をどう繋ぐか（量子状態転写等の問題）を、数理モデルをたて解析し議論することになります。

以下に、科研費（B）（特設分野）「量子情報デバイス研究開発における数理科学的連携探索」から生まれた、企業２社がからむプロジェクトの一つを簡単に紹介します。

2-A, B.　省略

**回答３**

**D社　代表取締役兼CTO**

1-A.

半導体リソグラフィ用光源の研究、開発、製造、販売、サービスを行っている。

対象がガスレーザーであり励起に用いる放電現象やプラズマの発生メカニズム、付随する衝撃波の発生、流体現象を理解するにはCAE（Computer Aided Engineering）手法の活用が必要不可欠となっている。CAE手法の利用によって高性能の装置の開発期間を短縮でき、社業発展の大きな力となっている。

1-B, 2-A. 省略

2 -B.

特にスタート時皆目わからなかったEUV発光現象の理解が進んだ点では着実に進歩はしてきて良かったと考えるが、遂行する中で以下のような現実も見えてきている。

EUVでのこのシミュレーションでの産学連携を１３年間行ってきた。初期の数年では世界的にも注目される成果を上げたが、次第に装置設計に使えるレベルの完成度の高いシミュレーションが求められるようになってきた昨今では、海外の研究機関（アメリカ、ロシアなど）の成果が目立つようになってきた。共同研究者と話をすると国内のシミュレーション科学者を取り巻く環境は必ずしも充実していない。特に、企業とのこうした研究をやっても論文にならない研究は大学では必ずしも評価されないため、若手の確保も難しいと聞く。またシミュレーションが企業技術者でも使えるレベルまで完成度を上げるとなるとそのバックアップ体制もできていない。海外では軍事も含めた大規模シミュレーションの研究体制、それを支える文化が確立しており、企業での使用に耐えるような高度で完成度の高いシミュレーションの実現となると実力の差が見えてくる。今までのやり方の延長線上ではなかなか対抗が難しいように感じる。

## 3.3. 企業との共同研究の課題

### (1) 全体の概要

6年前に実施した前回の平成21年度文部科学省委託事業においても企業にアンケートを送ったが、そのときとは設問を大幅に変更したので、一概に比較はできない。調査項目は、

A.「過去5年間で数学をバックグラウンドに持つ人を採用したか？」

B.「過去5年間で数学をバックグラウンドに持つ人を採用していないが、数学・数理科学者との連携・協力経験があるか？」

で始まり、それにまつわるものであった。前回の委託調査では、1000社にアンケートを送り、263社から回答を得た（回収率26.3%）。263社からの回答のうち、Aは22社、Bは8社に留まった。

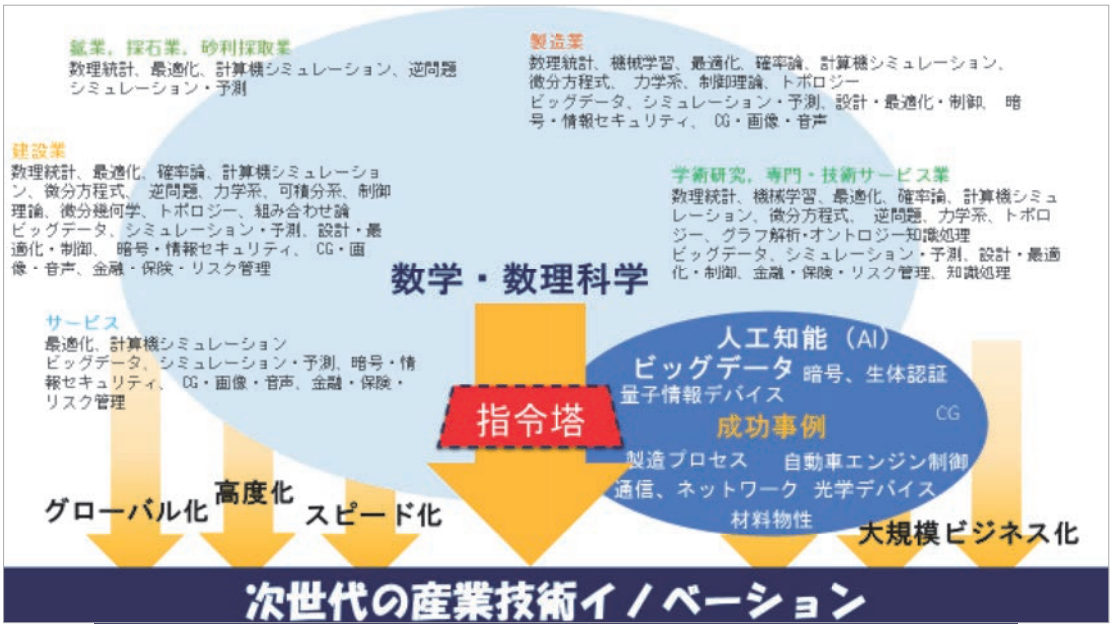
今回は、数学・数理科学へのニーズや活用状況、数学・数理科学者との連携の状況および期待に関する設問を中心に据えた。229社にアンケートを送り、42社から回答を得た（回収率18.34%）。数学・数理科学を活用しているが26社、近い将来数学・数理科学がもっと必要になるが36社中26社で、いずれも過半数を占める。一方、数学・数理科学研究者との連携・協力をした経験がある企業は41社中14社、近い将来数学・数理科学研究者と連携したい企業は41社中15社で、過半数を割り込む。6年前に比べると、数学・数理科学へのニーズは高まり、産学連携も進んでいる傾向が読み取れる。過去6年間の諸施策や数学・数理科学研究者の取り組みが徐々に産業界に浸透していることに

よると考えられる。

しかし、数学・数理科学へのニーズの高さに比して産学連携の実施が少ないのは、数学・数理科学の有用性が十分には認知されていないこと、さらには、産業界と数学・数理科学研究者を結びつけるルートが整備されていないことの反映であろう。これにはより組織的な取り組みが必要である。数学・数理科学研究者が技術開発現場やその関連学会に参加する、数学・数理科学研究のシーズに関する情報を全国的に集約して産業界からのアクセスを容易にする等、全国規模で数学・数理科学を産業界に浸透させる取り組みが求められる。

### (2) 明らかになった課題

最近の技術開発の特徴は、インターネットの普及により、グローバル化と開発のスピードアップが一挙に進んだことである。技術の高度化によって、一企業を単位とするものから、量子計算機のように、国家レベルで数学・数理科学を技術に融合する取り組みが求められる先端技術も現れている。EUV 光源による半導体リソグラフィ開発がアメリカやロシアから遅れつつある事例が示すように、技術水準の高度化競争は際限がない。また、企業のビジネスも都市スケールのコンサルタントなど大規模なものが増加する傾向にある。

今後、我が国から次世代の産業技術イノベーションを生み出すためには、数学・数理科学と産業界が組織的に連携できる全国規模の仕組みの構築が急務である。そして、数学・数理科学者は自らの土俵に閉じこもることなく、他分野の研究者と積極的に交流することが必要である。

### (3) 数学・数理科学と産業技術分野との融合への課題