



文部科学省 文部科学省科学技術試験研究委託事業



AIMaP

Advanced Innovation

— AIMaP ノウハウ事例集 —



AIMaP



ノウハウ事例集

本事例集では文部科学省科学技術試験研究委託事業「数学アドバンスイノベーションプラットフォーム（AIMaP）」（H29-R3年度）における全国13拠点から連携研究の好事例をご紹介します。

数学・数理科学の活用がいかに関社会課題の解決に役立っているか、どのような形で数学・数理科学が産業界・諸科学と結びついていったのか、私たちが日常的に利用している「モノ」や「コト」の背景にどのように数学が関与しているのか、できるだけ言葉や考え方の違いを超えて理解できるよう絵の持つわかりやすさ、表現力を借りて可視的に表現しました。数学・数理科学がより豊かな生活の実現のため陰日向になり貢献している様子をご覧ください。



保育所入所マッチングアルゴリズムの開発	01
パターン形成問題における実験と数理の融合	02
数式・数値融合計算に基づくロバストなロボット動作計画	03
マテリアルズインフォマティクス：統計的機械学習による新物質創製	04
ヒヤリハット対策を学習させた知能自動走行車の実現	05
計算機援用証明用スーパーコンピュータの開発	06
確率と予測の諸相	07
流体方程式を通して受精ダイナミクスを見る	08
身体運動のビッグデータから人間行動理解とロボット運動制御	09
大自由度・大域結合系における位相縮約技法の応用	10

保育所入所マッチングアルゴリズムの開発

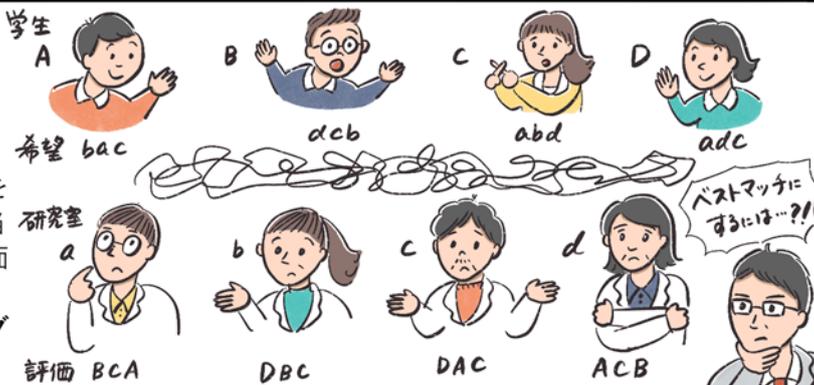
研究者名 神山 直之

研究者所属 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所



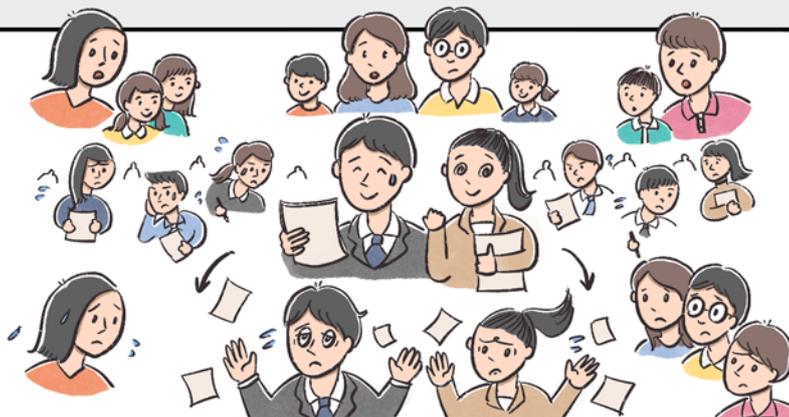
シーズ (数理)

最適化問題とは、与えられた条件を満たす解の候補の中から、最も良いものを求める問題です。その最適化問題の一種である離散最適化問題とは、解が順序や割り当てのように離散的な構造を持つ問題です。スケジューリングや資源の割り当てといった離散最適化問題は、社会の様々な場面で現れます。本研究では、二つの異なる集団の間のよい割り当てを求める問題であるマッチング問題が重要な役割を果たしています。



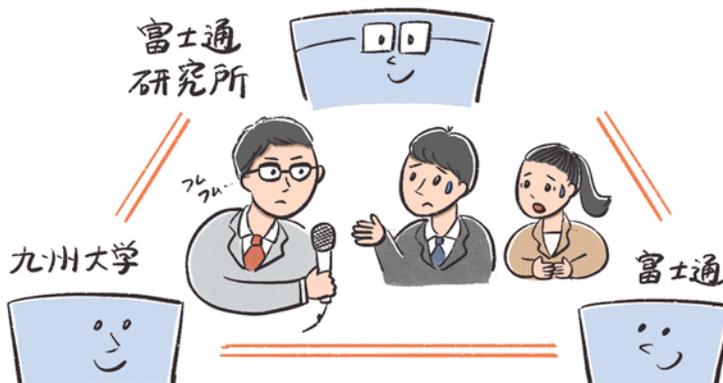
ニーズ (諸科学・産業界)

保育所入所の選考業務では、申請者の優先順位やきょうだいの同一保育所入所希望などの複雑な条件を考慮して、申請者の希望ができる限りかなう割り当てを行います。自動化することは困難でした。各自治体では、人手による試行錯誤により全申請者の希望を調整していますが、申請者の希望が通らずにきょうだいの入所する保育所が別々になる、といったことなどが問題となっていました。



連携

株式会社富士通研究所、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所富士通ソーシャル数理共同研究部門、そして富士通株式会社の産学連携により、現実社会における問題の発見、そして数理モデル化およびアルゴリズムの開発を実現することができました。特に、問題発見の段階における現場へのヒアリングに関しては、産学連携の力が大いに発揮されました。



成果・展望

本研究に関する成果には関しては、プレスリリース (https://www.kyushu-u.ac.jp/f/31361/17_09_01.pdf) をご覧ください。本研究で扱ったマッチング問題や、さらに広く離散最適化問題は、社会の様々な場面で現れるため、今後も産学連携による現実問題の数理モデル化およびそれらの問題に対するアルゴリズムの開発が期待されます。



研究テーマ

パターン形成問題における実験と数理の融合

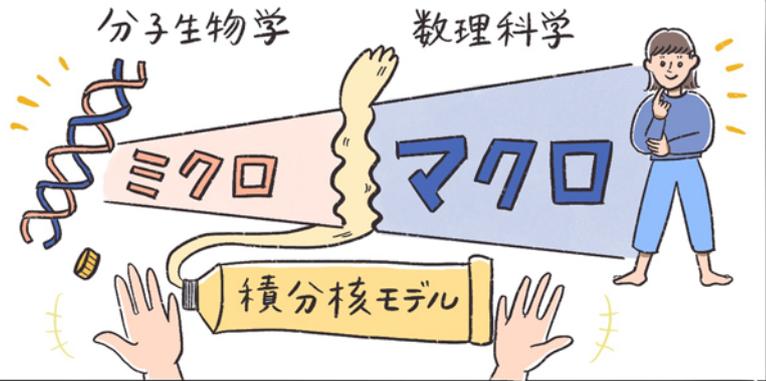
研究者名 栄 伸一郎

研究者所属 北海道大学 大学院理学研究院



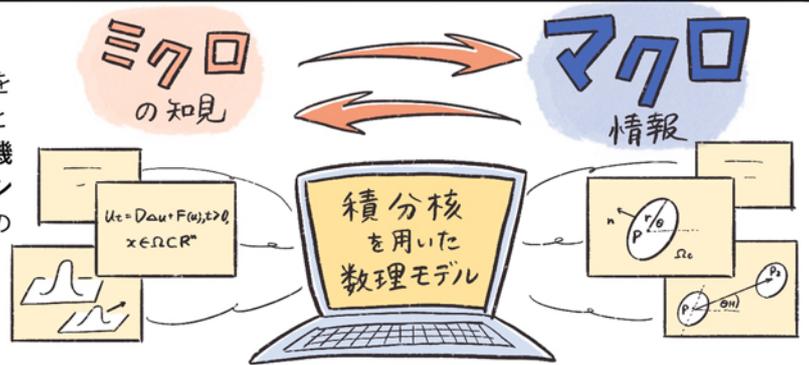
シーズ
(数理)

生命系などに現れる様々なパターンはミクロな構造が生み出すマクロな構造である。分子生物学的な実験によりミクロ構造に関する多くの情報が得られる一方、マクロな形態を再現する数理モデルも多数提案されている。しかし、そうしたミクロ構造とマクロ構造を連続的につなぐことはできていない。それに対して我々は積分核モデルを導入することにより、ミクロなネットワーク構造から直接的にマクロな形態を導出することに成功した。



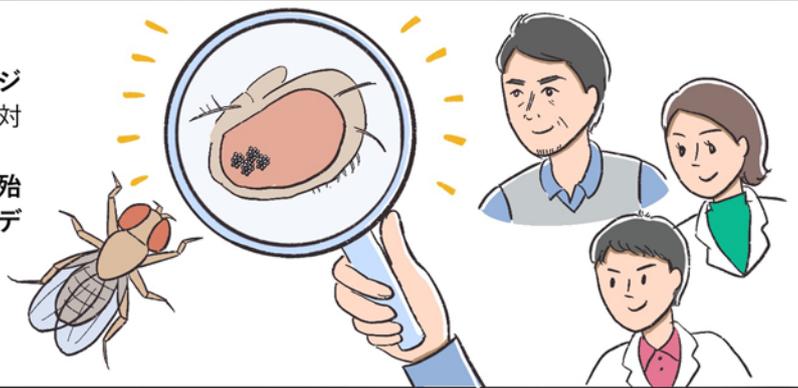
ニーズ
(諸科学・産業界)

実験等により得られたミクロ構造に関する知見を積分核として直ちにマクロ情報に帰着できることから、帰着される積分核を用いた数理モデルの機械的構築、およびそれを用いた数値シミュレーションによる検証、という新しいモデル化と検証の方法を提供できると考えている。



連携

上記の方法の有効性を検証するために、ショウジョウバエの視覚中枢系における形態形成問題に対して、医学系の研究者と共同で研究を行っている。そこでは従来型の数理モデルで再現された殆どすべての現象が新しい方法論で構築されたモデルにおいても再現されることを確認している。



成果・展望

上記の手法は、ミクロとマクロを直接つなぐことができることから、形態を制御するための方法論の開発につながると期待される。酵素反応や時間的遺伝子発現などに対応できるようにこの方法を展開していくことが当面の目標となるが、これまでの成果はその目標達成のための大きな糸口となるであろう。将来的な方法論の確立に向けて研究を進めていきたい。



研究テーマ

数式・数値融合計算に基づくロバストなロボット動作計画

研究者名 照井 章

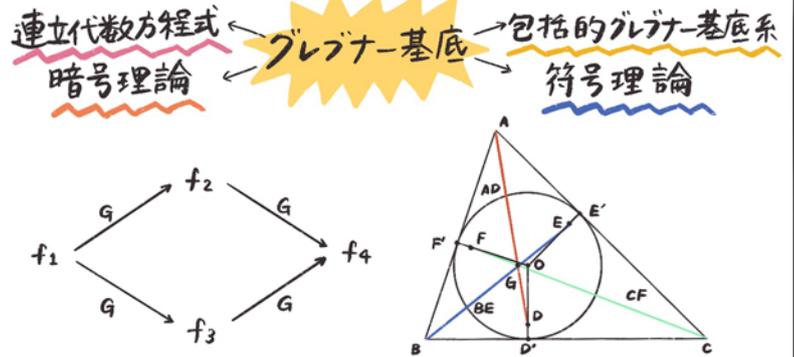
研究者所属 筑波大学 数理物質系/人工知能科学センター



シーズ

(数理)

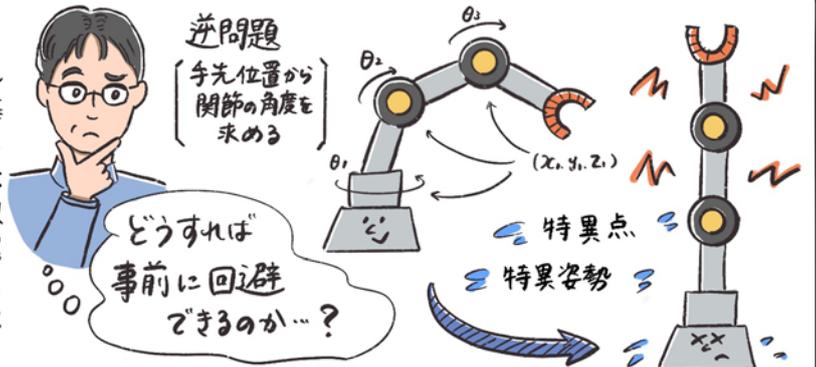
計算機代数（数式処理）において、多変数多項式環のイデアルのグレブナー基底は、代数学における研究対象の構造の解析に使われるのみならず、連立代数方程式の解法や、符号理論、暗号理論などの分野にも応用されています。さらに「包括的グレブナー基底系」に関する研究も進んでいます。これは、係数にパラメータを含む生成元（多項式）に対し、パラメータの制約条件に応じたグレブナー基底を計算するものです。



ニーズ

(諸科学・産業界)

ロボット工学における「動作計画」は、与えられた要件に従ったロボットの動作を決めるための基本的な問題です。ロボットの動作計画に用いられる逆運動学問題を解く際、解析解の厳密な求解は一般に困難であることから、数値計算による近似解を求める場合が多いですが、数値解法では、運動特異点や特異姿勢など、動作計画に影響を与える要素を大域的に厳密に検出し、それらを事前に回避することが困難な場合があります。



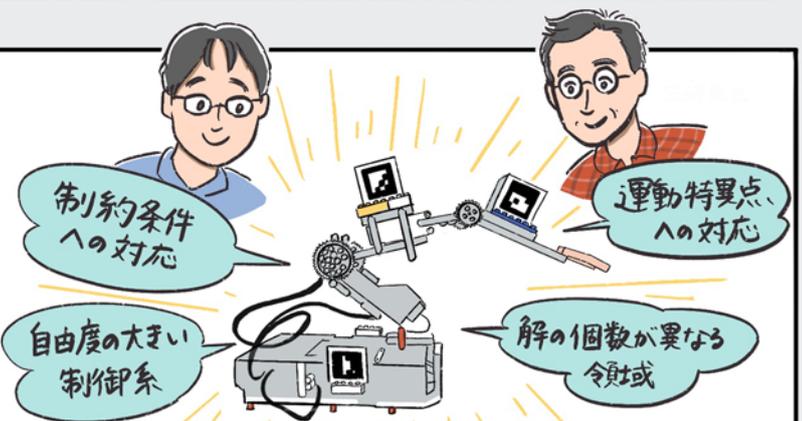
連携

学内のロボット工学の研究者と学内業務で情報交換を行ったことをきっかけに、共同研究が始まりました。当方および相手方の大学院生も交えて、数学、ロボット工学、ソフトウェア技術などに関する情報交換や知識・技術の提供を互に行い、数式処理による包括的グレブナー基底系計算やそれに基づく限量子消去法と、数値計算による連立代数方程式の求解を組み合わせた逆運動学問題の解法の開発を進めました。



成果・展望

3自由度のマニピュレータ（腕型ロボット）の逆運動学問題において、包括的グレブナー基底系計算に基づく限量子消去アルゴリズムを用いることで、逆運動学問題の解の存在を保証しつつ、その解を効率的に求める手法を開発しました。今後、運動計画におけるより一般的な制約条件への対応、運動特異点への対応、逆運動学問題の解の個数が異なる領域の分析、自由度がより大きな制御系への応用などを進めていきます。



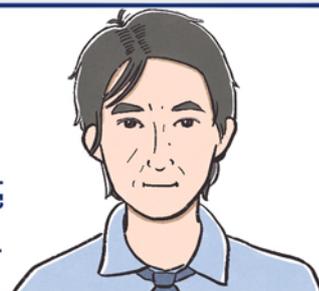
キーワード
計算機代数、数式処理、包括的グレブナー基底系、限量子消去、ロボット工学、運動計画、逆運動学問題

研究テーマ

マテリアルズインフォマティクス：
統計的機械学習による新物質創製

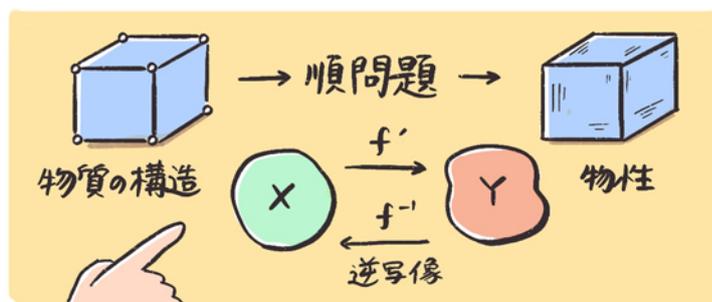
研究者名 吉田 亮

研究者所属 統計数理研究所 ものづくりデータ科学研究センター



シーズ
(数理)

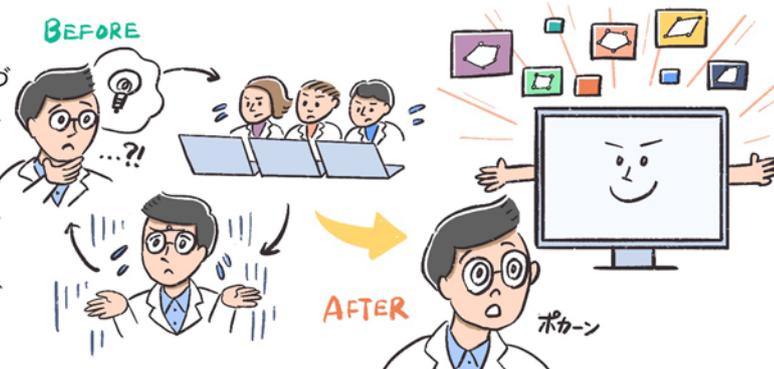
所望の特性を有する物質を探索する機械学習のアルゴリズムを開発した。基本的なワークフローは順問題と逆問題から構成される。順問題の目的は、系の入力に対する出力の予測である。例えば、入力変数は物質の構造、出力変数は物性に相当する。このモデルの数学的逆写像を求めて、所望の物性を有する物質を同定する。これらのアルゴリズムは、PythonライブラリXenonPyに実装されている。高分子材料や無機化合物、準結晶の探索に適用できる。



求める物性ともつ物質を探索!!

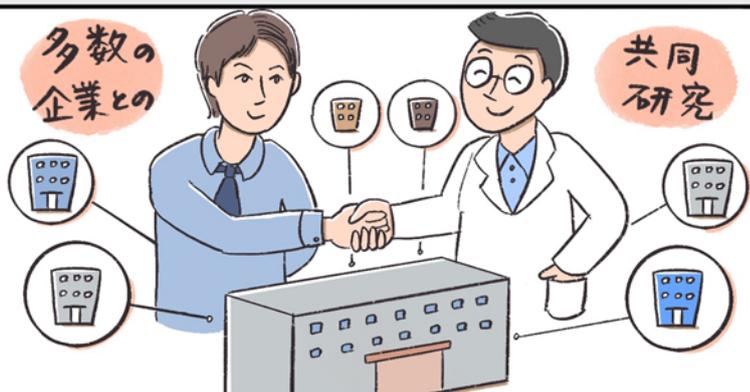
ニーズ
(諸科学・産業界)

これまでの材料開発では、研究者の経験や勘に基づく仮説生成、大規模数値シミュレーションや実験による材料特性の評価、設計指針の見直しというプロセスが延々と繰り返されてきた。特に従来の手法では費用と時間の制約により設計空間のほんのごく一部を探索してきたのに対し、データ科学型研究では大量の候補材料を高速に探索できるため、これまでに見過ごされてきた埋蔵物質が大量に発掘されることが期待される。



連携

統計数理研究所のものづくりデータ科学研究センターでは、産学の様々な材料研究者と多角的に共同研究を推進している。同センターでは、2019年と2020年に素材企業2社との共同研究部門を設立している。また、文科省「富岳」成果創出加速プログラム、JST-CREST「熱制御」領域、科研費新学術領域「ハイパーマテリアル：捕空間が創る新物質科学」において、高分子材料や準結晶の分野で実証研究を推進している。



成果・展望

これまでに、高熱伝導性高分子材料 (Wu et al. npj Comput Mater 5:66 (2019)) や無機化合物 (Ju et al. Phys Rev Materials 5, 053801 (2021))、新規準結晶 (Liu et al. Advanced Materials. 33(36):e2102507 (2021)) 等の予測と発見に成功してきた。現在、産学の共創の下、様々な材料系に研究手法を実践展開している。



研究テーマ

ヒヤリハット対策を学習させた智能自動走行車の実現

研究者名 萩原 一郎

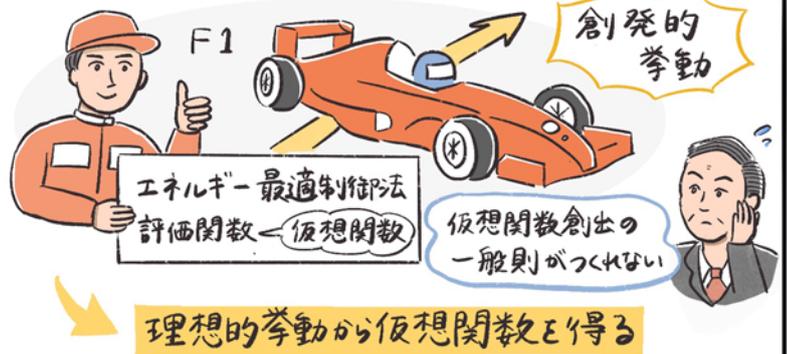
研究者所属 明治大学 先端数理科学インスティテュート(MIMS)



シーズ

(数理)

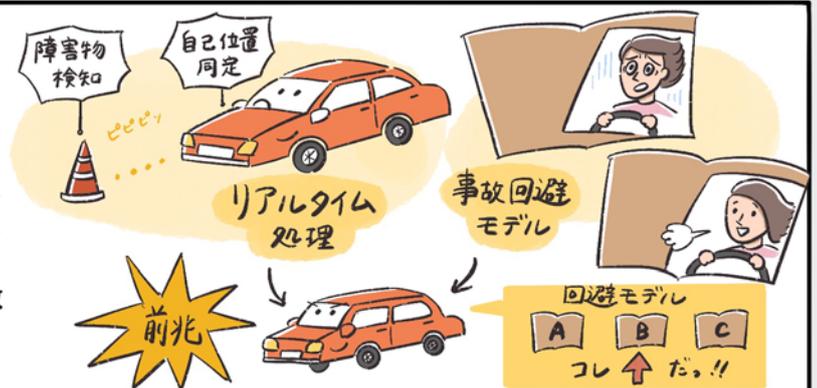
唯一リアルタイムな最適制御が可能なエネルギー最適制御法は評価関数に適切な仮想関数を組み込むことができれば創発的な挙動が得られF1にも有効に利用検討された実績を有す。しかし適切な仮想関数創出の一般則が得られず、一般には使用されていない。我々は理想的挙動の設定から逆問題により仮想関数を得る画期的な手法を開発した。因果が分かりリアルタイム性を有す機械学習技術も更なる深掘りとシステム化が可能になった。



ニーズ

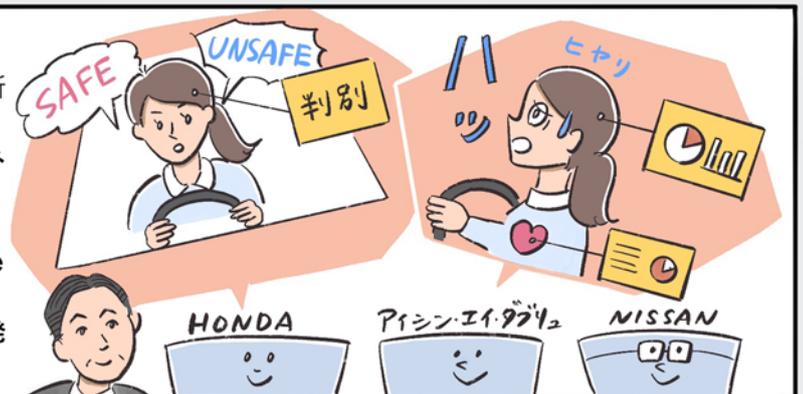
(諸科学・産業界)

自動走行車の最重要課題である自己位置同定と障害物検知を確実にできる、因果が分かりかつリアルタイムで処理できる機械学習技術が欲しい。自動車技術会などで纏められているヒヤリハット集の各項目に対し、事故回避モデルを作成しておきたい。自動走行車自身がヒヤリハットの前兆を認知し、事故回避モデル群から適切な事故回避モデルを選択できる機械学習技術が欲しい。これによって未然に事故を防げるようにしたい。



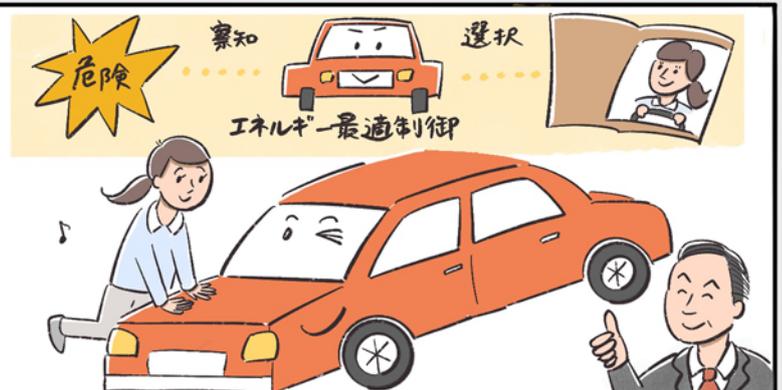
連携

エネルギー最適制御については、本田技術研究所とF1走行制御、アイシン・エイ・ダブリュ (株) とハイブリッド車向けトランスミッションのエネルギー最適制御に関する研究があり、機械学習技術については、日産自動車 (株) と自動運転の快適性向上に向けたドライバーのsafe/unsafe feeling判別に関する研究、自動運転の快適性向上に向けたドライバーのヒヤリ状態検出技術開発に関する研究、他の共同研究実績がある。



成果・展望

自動走行車は通常車より高レベルのリアルタイム制御技術が必要であり、時には常識を逸脱する挙動への対処も求められる。これらに叶うのがエネルギー最適制御(EOC)であり、本研究により、仮想関数の導入が困難なため使い辛いという積年の問題が解決される。因果が分かりリアルタイム性もある機械学習技術によってヒヤリハット対応集から迅速適切な対応策を選択でき、正に知能を備えた自動走行車がここに誕生する。

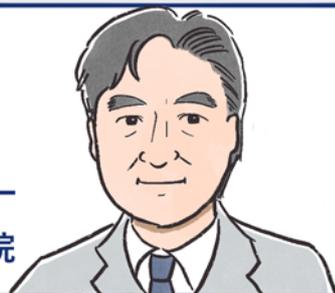


研究テーマ

計算機援用証明用スーパーコンピュータの開発

研究者名 大石 進一

研究者所属 早稲田大学 理工学術院



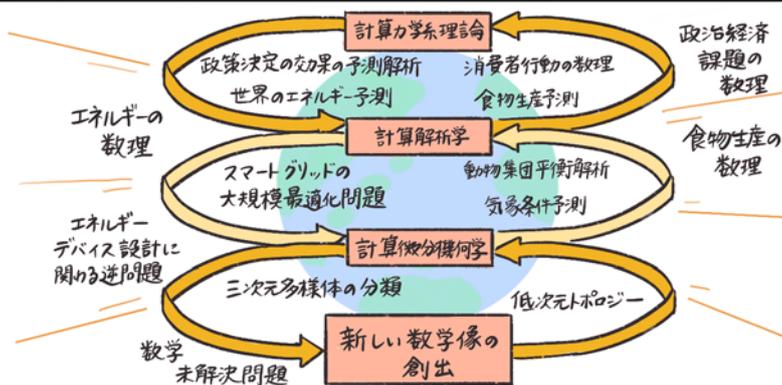
シーズ (数理)

計算機援用証明は、精度保証付き数値計算・形式証明・数式処理などの高度な発展によって、近年非常に進展しています。数学や科学の本質は、非常に多くの数学知や科学知に基づく直感的な公理体系を構想し、物事の本質を捉える予想・定理を立て、それを証明することにあります。計算機援用証明は、そのような予想・定理の証明に寄与する極めて重要な手段のひとつです。また、IEEE754のような浮動小数点演算規格の広範な普及と相まって、計算機援用証明は、汎用コンピュータで拡張性を保ちつつ実行可能となっています。



ニーズ (諸科学・産業界)

科学の最前線を切り開き、科学・産業界の多くのニーズに応えるためには、数学知と科学知の地球規模データベースネットワークを構築し、未知の科学知を推定するAI(人工知能)によって新たな公理、意義深い予想・定理、革新的な新物理法則などを組み立て、それらを計算機援用証明、計算機援用実験などによって証明していくスーパーコンピュータを作り出すことも重要です。



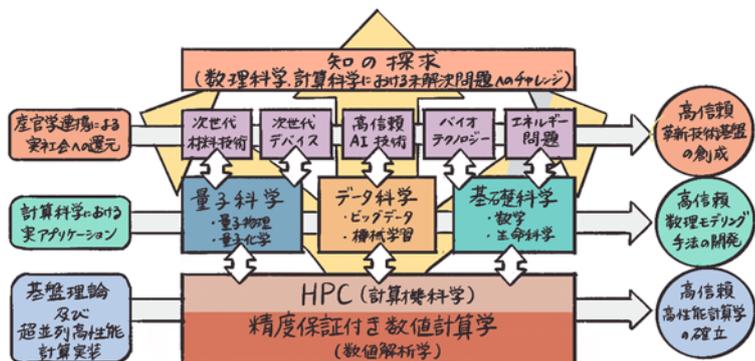
連携

早稲田大学、九州大学、東京女子大学、芝浦工業大学、電気通信大学などの精度保証付き数値計算の第一線の研究者と連携し、次世代スーパーコンピュータのための基礎科学の探究と超高性能計算環境の創成に向けた取り組みを推進しました。また、スーパーコンピュータを有する九州大学RIIT研究者とインターンシップを締結し、次世代研究者育成にも取り組んでいます。



成果・展望

研究成果の一部は以下のURLよりご覧いただけます。
<http://www.math.twcu.ac.jp/ogita/post-k/>
 計算機援用証明や計算機援用実験のための「定理の証明を行えるスーパーコンピュータ」の開発により、計算力学系理論・計算解析学・計算部分幾何学を統合した新しい数学像が創出されます。このことにより、人類の知的活動の最前線を開拓する技術の確立が期待されます。なお、ICIAM2023が2023年8月に早稲田キャンパスで開催されます。AIMaPの多くの成果がそこで発表されることを期待しています。



研究テーマ

確率と予測の諸相

研究者名 大平 徹

研究者所属 名古屋大学 大学院多元数理科学研究科



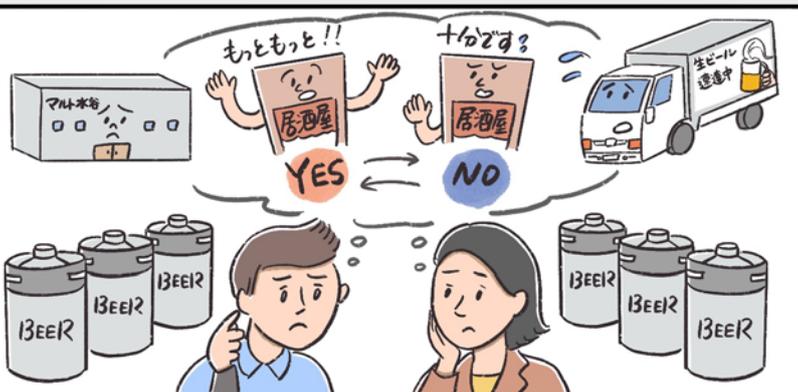
シーズ (数理)

当該研究者は物理学のPh.D.を米国シカゴ大学で取得しており、**応用確率**を中心として研究活動を進めてきた。民間企業の研究所への在籍期間が20年程度あり、**ニューラルネットワークの研究**なども行った。特に「遅れ」と「ゆらぎ」をテーマにして、生体制御、経済、生物集団などへの応用研究も推進した。また近年、様々な分野での予測の手法などをまとめ、「**予測学**」というタイトルで一般むけの書籍(新潮選書)を刊行した。



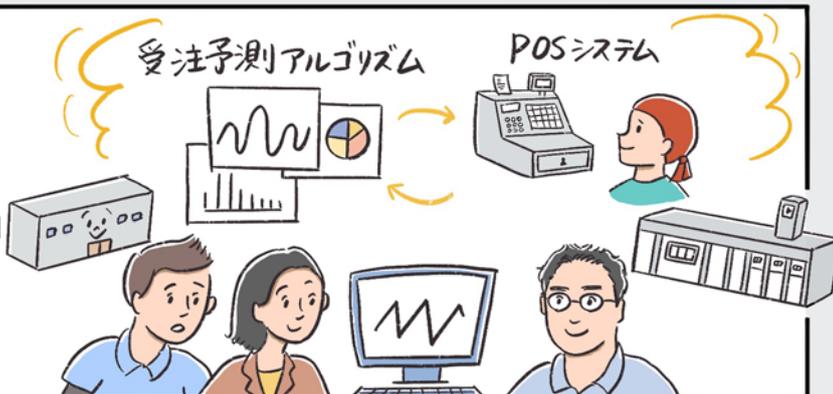
ニーズ (諸科学・産業界)

株式会社マルト水谷は酒類メーカーと飲食店をつなぐ愛知県の流通会社である。特に「速達生」という標語を掲げ、**製造工場から2日以内に飲食店への生ビールの配達**を行うことで鮮度を保つことを達成している。加えて、他の食材の提供を行うことで、多面的に顧客との関係性を強化することを目指している。しかし、**無駄な余剰在庫を抱えないためには飲食店からの需要予測を精密に行う**ことが重要な課題となっている。



連携

大学院の修士課程に上記のマルト水谷より2名の社会人学生を迎え入れた。研究テーマとしては主に**機械学習による食材発注予想**を現場のデータを用いて行ってもらった。修士号取得後に大学院での経験を元に、**飲食店におけるPOSシステムの開発**などを行い、これにより**食材実需データの収集が可能になり、受注予測のアルゴリズムが稼働**している。現在はスタディグループを通じて、ゼミの学生とともに展開を目指すべく連携している。



成果・展望

上記に述べたように修士課程の研究から飲食店の現場で稼働しているシステムの開発につながった。また、これらからのデータを元にした**需要予測システム**も試験的に動き始めている。スタディグループを通じて、学生とともに**より精度の高い予測システムを探索する活動**が開始され、現場での展開が予想される。

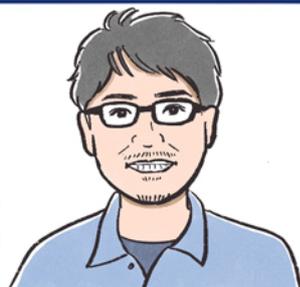


研究テーマ

流体方程式を通して受精ダイナミクスを見る

研究者名 石本 健太

研究者所属 京都大学 数理解析研究所



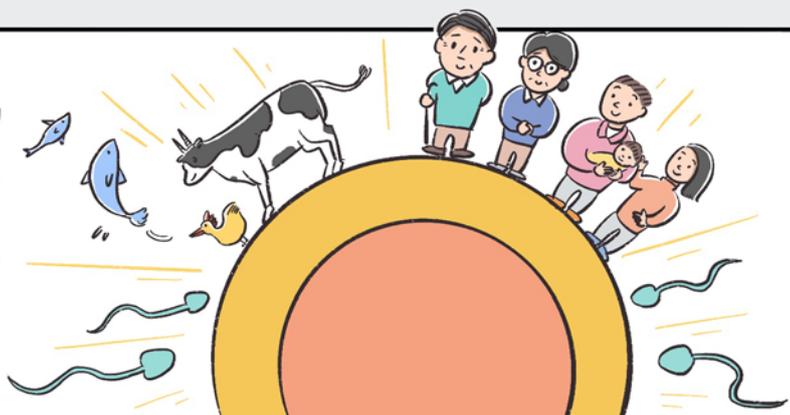
シーズ
(数理)

流体力学は水や空気などの流れる物体の運動を記述する学問で、その基礎方程式は150年以上も前に確立しており、飛行機や自動車などの機械の設計だけでなく気象予測などにも利用されています。細胞スケールの流体现象はストークス方程式によってよく記述されます。物体の形が複雑で移動するため移動境界問題となり、その解析は難しくなりますが、近年では、様々な数理解析手法や直接数値解法により計算が可能になってきました。



ニーズ
(諸科学・産業界)

受精現象は次世代に遺伝子を繋ぐための生命活動の核の一つです。さらに、安定的な食料生産を支えるための水産・畜産業においても生殖は大きなキーワードです。また、少子高齢化問題とも関わり不妊治療は社会的にもより一層重要になっています。近年、生命科学における計測技術の発展に伴い、受精現象の詳細が明らかになっています。それでも力や流れの計測は困難で、ダイナミクス自体の理解は遅れているのが現状です。



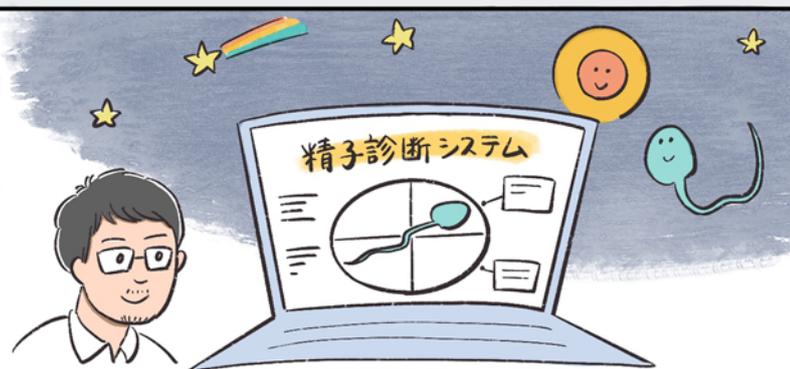
連携

これまで、受精に関わる生命学者と協働し、魚類の受精メカニズム、哺乳類精子の雌性生殖器内の運動、精子と卵の引き起こす不思議なダンスなどのダイナミクスの解明を行ってきました。また、ヒト精子の高速顕微鏡撮影データの流体解析では、泳ぎ方による運動の効率性の違いを明らかにしました。一方で、実際のデータ解析から流体方程式の新たな側面を発見し、「流体を通した物体のかたち」という数理の問題も生まれました。



成果・展望

これらの共同研究を発展させ、精子の泳ぎ方を解析する新たな精子診断システムの開発に取り組んでいます。実際の受精現象は、海洋の流れや雌性生殖器の複雑な形状のために、実験室実験ではその詳細を見ることは極めて困難です。今後は、流体方程式の「数理の顕微鏡」としての利用がより一層進み、これまで見えなかった複雑な環境下での生命ダイナミクスが見えてくると期待しています。



研究テーマ

身体運動のビッグデータから
人間行動理解とロボット運動制御

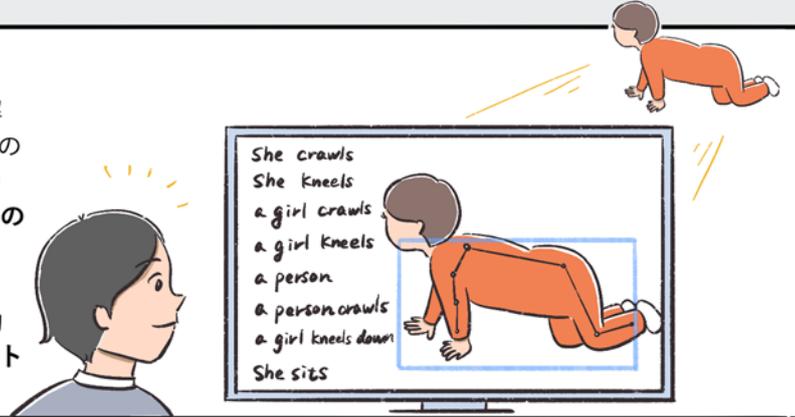
研究者名 高野 渉

研究者所属 大阪大学 数理・データ科学教育研究センター



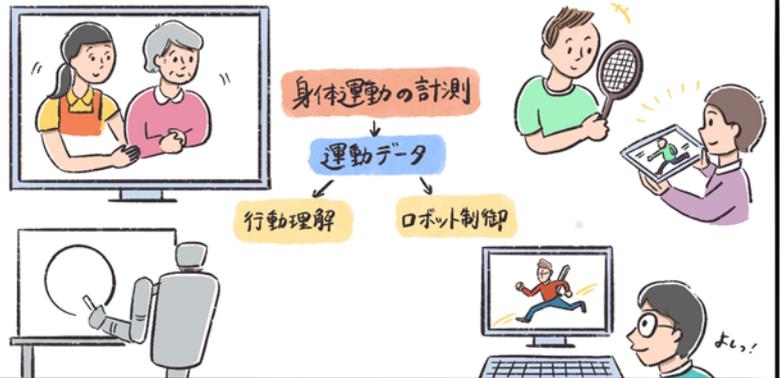
シーズ
(数理)

人間の動きの類別化、認識、予測の人間行動理解や、人間の運動データをヒューマノイドロボットの身体に写像する人間のような動きの生成・制御の実現に向けて、身体運動のビッグデータから行動の数理モデリングの研究を行っている。各行動パターンの数理モデリングを動きの記号化とみなし、運動記号と自然言語を結びつける計算論は、行動の言語化、運動の記録・検索アーカイブ、ロボットコミュニケーションの基盤となる。



ニーズ
(諸科学・産業界)

身体運動の数理モデリングは、熟練者の技能・技術の蓄積・継承のための技術、日常生活の行動記録、スポーツのコーチング、ゲームキャラクターの動きの作成・編集支援ソフトウェア、ロボットの遠隔操縦や運動提示を通じた行動学習と自律制御の獲得、詳細筋骨格モデルを通じた運動計測・解析計算へ応用展開可能である。身体運動を計測すること、運動データを行動理解やロボット制御へ再利用したいという要望に応える。



連携

汎用のカメラにて撮影した人間の関節位置を検出し、3次元全身運動を推定するビデオモーションキャプチャ技術、野球ゲーム制作を支援する身体運動と言語のデータベース、等身大ヒューマノイドロボットの視覚・力覚・運動制御系の設計、体操競技における演者の運動を認識して自動採点する計算エンジン、介護・保育施設での高齢者・幼児の行動を言語化して記録する介護保育日誌の自動作成システムなど。

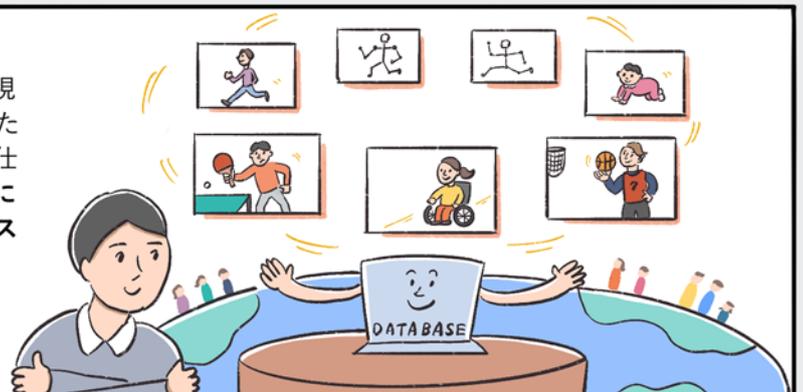


成果・展望

誰でも簡単に撮影した映像から3次元の動きを可視化・分析できる技術の実装、多くの人々が数値化した運動を公開・使用しながら運動データが流通する仕組み、動きを解析した結果として発見された運動に関する知見の蓄積・利用ができる運動データベースと計算基盤プラットフォームを整備する。

研究成果：

<http://www-mmds.sigmath.es.osaka-u.ac.jp/faculty/personal/takano/research/index.html>



キーワード
ロボティクス、運動計測、認識・生成、統計数理、機械学習

研究テーマ

大自由度・大域結合系における位相縮約技法の応用

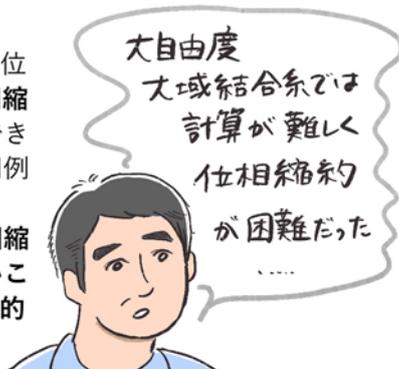
研究者名 飯間 信

研究者所属 広島大学 大学院統合生命科学研究科

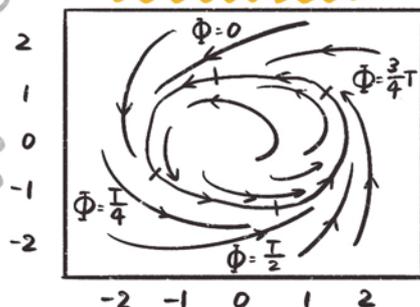


シーズ
(数理)

力学系においてリミットサイクル近傍の状態は位相変数で記述することができ、その手法を位相縮約法と呼ぶ。一般に、位相を外力により制御できれば様々な応用例が考えられ、実際多くの応用例が知られている。流体系や生命系などに見られる。大自由度・大域結合系における数値的位相縮約は線形化行列のヤコビアンが陽に得られないことからこれまで困難とされてきたが、近年数値的問題を克服する数値的手法が確立した。

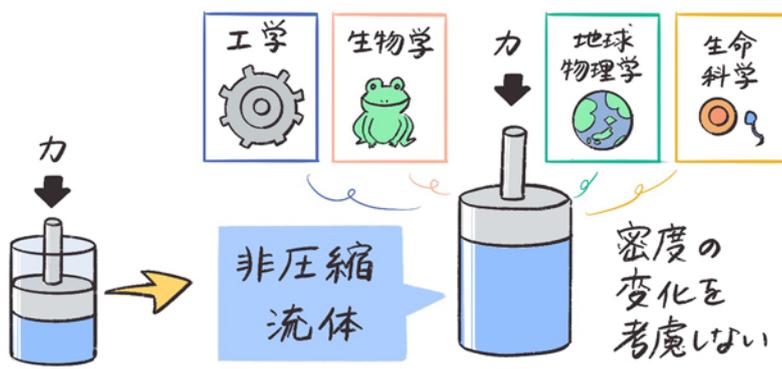


位相縮約法



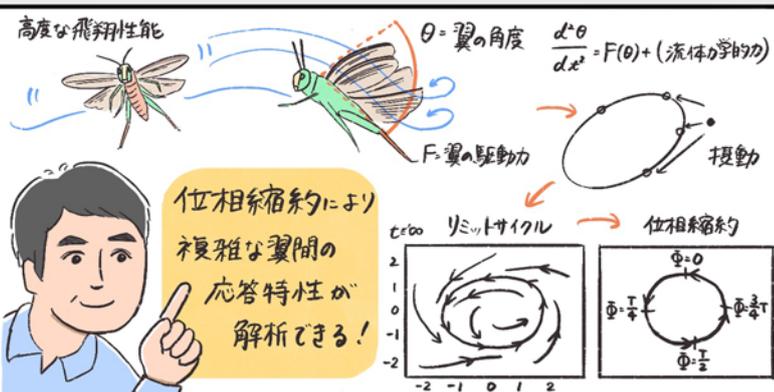
ニーズ
(諸科学・産業界)

非圧縮流体は大自由度・大域結合系の代表例の一つであり、工学、生物学、地球物理学など幅広い分野で登場する。また生命科学や工学など多くの分野では時間スケールが複数ある場合、早い運動を繰り返すことで大域結合系としてみなせる場合があり、本手法により適用可能となる問題のクラスは広範に渡る。



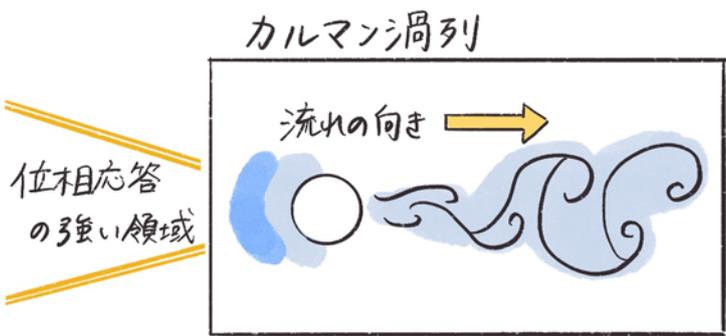
連携

位相縮約法の数値的手法により、非圧縮流体を含む幅広い問題の位相縮約が現実的に可能となった。すでにカルマン渦列に対する位相縮約の結果が報告されている。また生物流体分野では飛翔問題において翼の駆動力学と流体の連成系に対して位相縮約に基づく解析が始まっており、翅間の位相差の決定メカニズムの解明などの成果が期待されている。



成果・展望

カルマン渦列の解析においては円柱上流における位相応答の強い領域が初めて報告されるなど新しい知見が知られつつある。また数値的位相縮約法もいくつかの改良が現在でも続けられており、それらの成果を用いることで更に広い範囲の問題に適用できることが期待される。



幹事拠点 および 協力拠点



AIMaP 協働研究事例マップ
<https://aimap.imi.kyushu-u.ac.jp/map/>



お問い合わせフォーム
<https://aimap.imi.kyushu-u.ac.jp/map/contact/>

九州大学マス・フォア・ インダストリ研究所(幹事拠点)

〒819-0395 福岡市西区元岡744番地

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/ 大学院理学研究院数学部門

〒001-0021 札幌市北区北21条西10丁目

東北大学 数理科学連携研究センター/ AIMR数学連携グループ

〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉6-3

筑波大学数理科学研究コア

〒305-8571 茨城県つくば市天王台1-1-1

理化学研究所数理創造プログラム(iTHEMS)

〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1

情報・システム研究機構 統計数理研究所

〒190-8562 東京都立川市緑町10-3

明治大学先端数理科学インスティテュート

〒164-8525 東京都中野区中野4-21-1

早稲田大学 数理科学研究所/ 理工学術院

〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

東京大学 大学院数理科学研究科/ 数理科学連携基盤センター

〒153-8914 東京都目黒区駒場3-8-1

名古屋大学大学院多元数理科学研究科

〒464-8602 名古屋市千種区不老町

京都大学数理解析研究所

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

大阪大学数理・データ科学教育研究センター

〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3

広島大学大学院理学研究科/統合生命科学研究科

〒739-8526 広島県東広島市鏡山1-3-1





Institute of Mathematics for Industry Kyushu University

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 AIMaP事務局

〒819-0395 福岡市西区元岡744 ウエスト1号館D515

TEL: 092-802-4494



URL: <https://aimap.imi.kyushu-u.ac.jp/>

e-mail: office@aimap.imi.kyushu-u.ac.jp