先端数理科学コースへの誘い

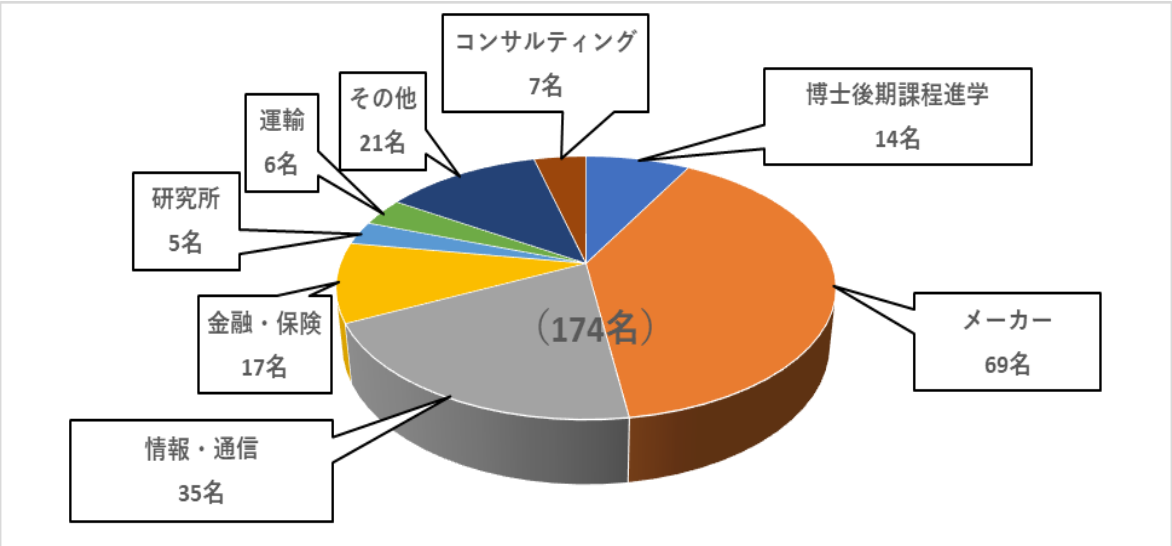
自然現象の観測・観察から法則を導き、それによって一見複雑な現象のしくみを平易に解き明かすことが科学(Science)の本質です。特に数理科学は現象の観察・観測から抽出された「数理モデル」と呼ばれる方程式の計算や解析などを通して研究を行う科学です。現在、最先端の数理科学では自然現象に限らず、生命現象や社会現象の数理モデル化が行われ、その解析や数値シミュレーションなどを通して現象の解明が行われると共に、得られた成果を利用した革新的な技術の開発や未来予測などが行われ、さらに新たな解析手法の研究も深化しています。

本コースでは数理科学の中でも特に大規模・大自由度であったり、非線型性が強いなどの性質を持った複雑な現象を中心に、研究と教育を行っています。特に教育面では、物事の理（ことわり）を明かにする理学的な側面と、得られた知見をものづくりに活かす工学的側面を総合的に身につけることを目指し、最先端の数理科学において理学と工学を俯瞰できる優れた人材の輩出を目指しています。

入試に関しては、修士課程では一般入試（７月中旬）のほか、学部４年在学生のみを対象として筆記試験が免除される推薦入試（６月末)、および２次募集入試（12 月中旬、2024 年度後期入学も含む）があります。また既に学部を卒業された方と外国の大学を６月に卒業された方は、10 月から開始する後期セメスターから入学できる制度もあります。博士後期課程では、一般入試（７月中旬）と２次募集入試（２月中旬）があります。

先端数理科学コースのホームページ https://www.acs.i.kyoto-u.ac.jp/には過去の入試問題や、入試説明会の日程などの入試に関する情報、および志望区分と関連する研究室の構成や教育研究に関する詳しい情報もあります。

先端数理科学コース（旧専攻）修士課程終了後の進路(2023年4月現在)



修士課程修了後の進路（平成 24 年～令和 4 年度）

応用解析学研究室　志望区分 （先端 − 1）

磯 祐介　木上 淳　藤原 宏志　白石 大典
久保 雅義　Li Douglas　川越 大輔

http://www-an.acs.i.kyoto-u.ac.jp

◎概要

「応用数学」は、数学の理論研究で得られた結果を利用して物理学や工学等の応用分野の問題を解くだけではなく、現象の数理モデル化とその解析を通して新しい数学を創造していく学問です。我々は自然・生命・社会の諸現象を数理科学の視点から論じるためには、微分方程式や確率過程、フラクタル等を始めとする様々な数学的な手法を利用して現象の数理モデル化を行い、その上で理論的な考察や数値シミュレーションを通した考察を重ねていきます。この過程では、新たな数学が芽吹くこともしばしばです。本研究室の目指す「応用数学」は、数理モデル等の研究を通して新しい数学を創造するものであり、また得られた数学的な成果を社会に還元することで人類の未来に直接的に貢献する数学をその未来像においています。

本研究室では応用数学の中でも、微分方程式、数値解析、確率論、およびフラクタル上の解析等を中心とする “応用解析学” の研究と教育を行っています。研究室の教育方針は京都大学の「自重自敬」の精神と基本理念とを尊重し、各院生の自主的な学修・研究態度を重視しています。研究指導では各院生の学術的な興味と適性に配慮した丁寧な個別指導を心掛けています。

◎本研究室における学修・研究の具体的なキーワード

非線型偏微分方程式、数値解析、微分方程式の逆問題、フラクタル上の解析、フラクタル幾何学、調和解析、確率論、確率微分方程式、多倍長数値計算、脳モデルの数理解析、数理生物学、非整数階微分方程式、輸送方程式、拡散ひかり断層撮影の基礎理論、現象の数理モデル化、データ科学

◎修士課程修了後の進路 (令和 5 年 4 月現在)

平成 10 年の研究科発足以来の本研究室修士課程修了者 (63 名) の進路状況:
(1) 博士後期課程進学 (他大学大学院も含む) 31 名 (2) 金融・保険系企業 16 名 (3) メーカー・製造業関係 4 名 (4) 通信・情報系産業 10 名 (5) 教員等教育関係 2 名

◎教員の研究テーマ

1. **磯 祐介 (教授)　微分方程式の数値解析、逆問題・非適切問題の解析**

   微分方程式を利用した諸現象の数理モデル化とその数学解析・数値解析を行っている。特に最近は、拡散光トモグラフィの数学的な基礎研究と非整数階微分方程式の数値解析等の研究を行っている。

2. **木上 淳 (教授)　フラクタル上の解析、フラクタル幾何学、調和解析、非線型問題**

   フラクタル上での波や熱の伝播についての数学的な基礎理論の研究を、数学解析と確率論を利用して総合的に行っている。微分方程式を利用した進化モデル等の数理生物の話題にも関心を持っている。

3. **藤原 宏志 (准教授)　非適切問題の数値解析、多倍長数値計算環境の開発**

   微分方程式の順問題・逆問題の高速高精度数値計算、多倍長数値計算環境の開発の研究のほか、拡散光トモグラフィの基礎研究も行っている。

4. **白石 大典 (准教授)　確率論、確率解析**

   ブラウン運動とランダムウオークの軌跡の構造の研究など、確率論の基礎研究を行っている。

5. **久保 雅義 (講師)　逆問題解析、微分方程式の解析、脳科学**

   脳の数理モデルに関連した問題の数理解析を行っている。

6. **Li Douglas(特定講師)　偏微分方程式の数値シミュレーション**

   種々の現象を記述する数理モデルとしての偏微分方程式の数値シミュレーションの研究をデータ科学の視点も加味して行っている。

7. **川越 大輔 (助教)　微分方程式、逆問題解析**

   拡散光トモグラフィなどの生体イメージングの基礎方程式の数学解析と、その逆問題解析の研究を行っている。

非線形物理学研究室（非線形力学・計算物理学グループ）
志望区分（先端－2）

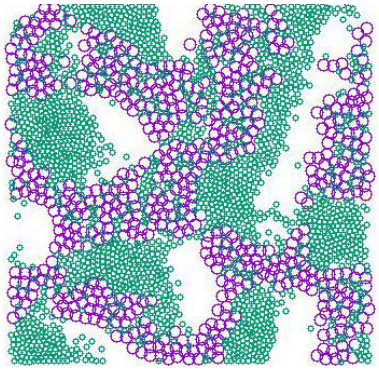
講師　宮崎 修次，　助教　原田 健自
https://www-np.acs.i.kyoto-u.ac.jp/

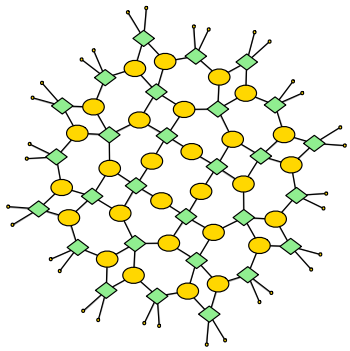
◎ 概要

本グループでは，社会ネットワーク，非平衡系，生物系，量子系などに現れる複雑な現象の背後にある構造を，非平衡物理学，統計力学，非線形動力学，カオス力学，量子情報などの方法を用いてモデル化し理解することを目指しています．

周期外力下の粉粒体・帯電微粒子の挙動やパターン形成の幾何学的・数値的研究

周期外力系では，構成粒子は規則的な運動や不規則な運動など多彩な挙動を呈する．周期外力系での粉粒体や帯電微粒子の挙動はどのような物理に支配されているのか，粒径の分布が運動やパターン形成にどのような影響を与えるのか，イオントラップの古典対応物はどのような挙動を呈するのかという問いを立て，その解明を試みている．周期外力下の粒径が分布する加振粉粒体や古典帯電粒子の集団運動を数値実験により解析し，生じたパターンの幾何学的特徴付けを行い，様々なパターンや運動形態のパラメータ依存性を表す相図を作成することなどを目指す．以下の図（左）は，大小２つの平均粒径のまわりに粒径が分布する粉粒体を水平加振したときに現れる網目模様のパターンである．[宮崎修次]





非平衡臨界現象・量子臨界現象・統計物理的視点の情報科学への展開

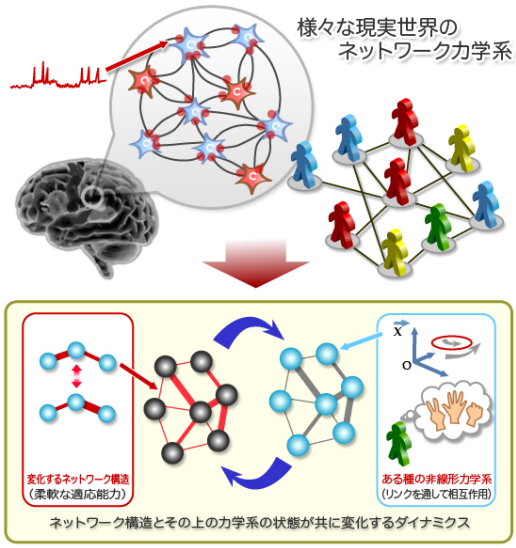
多数の構成要素からなるシステムが示す驚くべき現象や性質についての理論的な理解を進めるために、物理学では、日々、新しい道具が生まれてきています。例えば、量子系の持つ情報（量子情報）の研究から生まれたテンソルネットワーク形式（上の図（右））は、大幅な情報圧縮を可能とする新しい表現形式として、物理だけなくテンソル解析一般に適用範囲を広げています。この新しい武器とコンピュータのパワーを活用し、最近では、動的システムにおける非平衡臨界現象、絶対零度での量子臨界現象、大規模人工知能モデルのパラメータ圧縮、大規模テンソルデータ解析など、物理から情報まで幅広い対象の研究に取り組んでいます。[原田健自]

非線形物理学研究室（理論神経科学・非平衡系数理グループ）
志望区分（先端－3）

教授　青柳　富誌生，准教授　寺前 順之介，助教　筒 広樹
https://www-np.acs.i.kyoto-u.ac.jp/

◎ 概要

本グループは，比較的単純な素子が集団として相互作用することで，個々の素子の性質を超える「高度な機能」や「複雑な振る舞い」を発現する現象に興味をもち研究を進めています．例えば私達人間を含む動物の脳では，多数のニューロンがニューラルネットワークとして結合することで，学習，記憶，予測など高度な情報処理を実現していますが，このような系は，より一般に，動的な素子（ニューロン，都市，人など）のネットワーク（シナプス結合，交通網，友人関係など）として数理モデル化でき，素子自身とネットワーク構造がダイナミックに変化する「自己組織化現象」として研究が可能です．非線形物理学はその解明に特に有効なアプローチであり，具体的には以下のような研究を進めています．



1．<u>理論神経科学</u>

脳は現代の科学技術の最重要フロンティアの１つであり，その解明には数理的アプローチが不可欠です．本グループは自律的な情報処理を実現する脳のニューラルネットワークのダイナミクスと確率性に着目し，データ解析手法の開発，数理モデルや脳型学習理論の構築，大規模シミュレーション，人工知能や機械学習への応用などを進めています．

<u>2．動的素子とネットワーク構造の自己組織化</u>

生命の代謝系，インターネット，社会ネットワークなど，一見無関係な多くのネットワークには，共通する普遍的構造（スケールフリー性など）が存在しますが，その機能的意味は未解明です．本グループは，素子のダイナミックな性質に着目することで，力学系の理論，ゲーム理論，グラフニューラルネットワークなどを用いて，その解明を目指す研究を行っています．

<u>3．リズム現象の基礎理論</u>

非平衡散逸系で普遍的に見られるリミットサイクル振動は，力学系の理論により位相振動子で記述され，蛍の発光，脳波，心筋細胞の同期，自律分散ロボットの解析や設計など幅広い分野に応用されます．本グループでは，リズム間の相互作用を実データから推定する最新のデータ解析アルゴリズムの構築や，リズムと揺らぎの非自明な関係の解明など，多様な分野との共同研究を含めた最先端の研究を進めています．

<u>4．非平衡物理学に基礎をおいた分子機械の動作原理の探求</u>

生体分子モーターは，複数のタンパク質が巧妙にからみ合うことで，有用な動きを生成するしくみを内在させています．本グループでは，非平衡物理学の観点から，確率微分方程式で記述されたモデルを用いて「分子機械」のデザイン原理を探求しています．

計算力学研究室　志望区分（先端－４）

准教授 吉川 仁, 助教 新納 和樹

http://www-cm.acs.i.kyoto-u.ac.jp/

◎ 概要

数値シミュレーションは、理工学の種々の問題を解決する有力な手段であり、中でも、工学に関わる力学現象を解明しようとする計算力学は、理論・実験力学と 並ぶ強力な手法です。当研究室では計算力学の手法のうち、特に波動や破壊現象の解析に有利な境界積分方程式法を開発しており、巨大問題の高速解法を中心に研究を行っています。さらに、種々の波動現象の解明をめざして、数値計算的アプローチを用いた応用研究も行っています。

1. 計算力学における高速アルゴリズム

工学に現れる力学の問題を計算機シミュレーションによって解決する計算力学は、現代の工学にとって不可欠の手法となっています。しかし、計算機の能力が高まった今日でも実物に近いモデルの解析は難しい事が多く、種々の簡単化・モデル化が行なわれています。しかし、より現実に近いシミュレーションを行なうには、更に高速、高精度のアルゴリズムの開発が必要です。当研究室では考える領域の境界だけに注目して解析を行うことを可能にする積分方程式を用いた計算力学の手法の開発と、高速多重極法を用いた積分方程式の高速解法の研究を行なっています。高速多重極法は従来とは桁違いの速さで積分方程式を解く数値手法として生まれ、多体問題への応用を中心に研究されてきた方法です。種々の工学分野に加えて、天文学、物理学、化学からファイナンスに至る広い分野で使われています。当研究室では電磁気学や、固体力学に現れる偏微分方程式において、高速解法の数学的理論解析、基本アルゴリズムとソフトウエアの開発、安定性など数値解析に関わる諸問題の検討、前処理法の開発、スペースタイム法の理論解析と実装、無限領域の固有値問題の解法、形状最適化問題や逆問題への適用、高速直接解法の開発などの研究を進めており、その成果は、これからの光技術の基盤と考えられているフォトニック結晶や、負の屈折率など自然界の物質の持たない性質を示すメタマテリアルの解析、材料設計、カーボンナノチューブ複合材料の力学、非破壊評価、生物の構造色の解明など、広い分野に応用されようとしています。

２．計算力学の様々な応用

計算機シミュレーションを用いて様々な工学の問題に取り組んでいます。道路騒音軽減のための音場解析、超音波を用いた音響技術、金属材料や複合材料の非破壊評価に関連する弾性波動解析の研究などを進めています。これらの問題は決定すべき未知量の多い大規模問題になります。大規模問題のための数値解析手法の開発や、数値的に安定な解析手法の適用が研究の鍵となります。

応用数理科学研究室　志望区分（先端 − 5）

教授　田口 智清，　准教授　辻 徹郎

https://www-fm.acs.i.kyoto-u.ac.jp

◎概要

流体の力学的，熱力学的性質をマクロとメゾの視点から研究しています．

我々の身の回りにはたくさんの「流れ」があります．種々の外乱に対して「流れ」というかたちで様々な応答を示すものを流体と呼んでおり，流体力学は流体の性質を調べて社会に役立てることを目標としています．巨視的な理論である連続体力学や熱力学は，流体を構成する個々の粒子のもつ膨大な情報に立ち入ることなくこれができることを示す成功例です．しかし流体の巨視的性質をより一層深く理解するためには，微視的視点からの理解もまた重要です．また微細技術の進歩に伴い，従来の巨視的流体力学では説明できない微小系流体現象の理解や，それに資する数理モデルの構築が以前に比べてはるかに重要度を増しています．当研究室では微視的な視点と巨視的な視点の両方をもちながら新しい流体力学の構築を進めています．

◎数理モデルとしての階層性

巨視的系としての流体の運動は，単純から程遠く，流体を見る様々な尺度に応じて様々な様相を呈します．このような見方の多様性に対応して流体運動を記述する数理モデルも様々にあり，階層性を有します．数理モデルの階層性を理解することは極めて重要であり，そのために流体を構成する粒子の散乱過程を取り入れた微視的なモデルから，情報の縮約によって巨視的な方程式系を（境界条件や界面における条件も含めて）導出する研究手法を取り入れています．また，物体抵抗（摩擦力）や揚力，流量といった種々の応答をメゾスコピックな系において調べるために，流れのマルチスケール性や境界層といった流体における特徴的な概念と粒子散乱のような微視的描像を融合させる解析を行っています．メゾスコピックな立場にもとづく手法は気体や液体を主な対象とする従来の流体力学だけでなく数理生物学などでも近年その有用性が認められつつあります．

◎非平衡流体現象の応用

系が微小になるとマクロな尺度ではみられない様々な非平衡流体現象が顕在化します．この種の流体現象はしばしば「泳動」という形態をとります．系の局所的な非平衡性を拠り所とする泳動現象はメカニズムとしては単純ですが，それ故に微小な系でも有効に機能します．例えば気体系では，熱泳動などの熱に関連した様々な泳動現象が知られており，数値シミュレーションや解析を通して現象を理解すると同時にその新しい適用例を模索しています．また実験による気体や液体中での熱泳動の実証的研究も進めています．

◎数値シミュレーション

流体解析は偏微分方程式の数値解析と表裏一体です．また，メゾスコピックな描像ではこれに加え，微積分方程式の数値解析が必要になります．種々の流れや移動境界問題の大規模・中規模数値シミュレーションを差分法や特性線法，粒子法，モンテカルロシミュレーションなどをもちいて行っています．

◎研究のキーワードなど

流体力学，希薄気体理論，分子気体力学，非平衡流体，ボルツマン方程式，運動論モデル，特異摂動解析，数値シミュレーション，非平衡統計力学，境界層

統計的信号処理研究室　志望区分（先端－6）

教授　林 和則

https://kazunorihayashi.github.io

◎概要

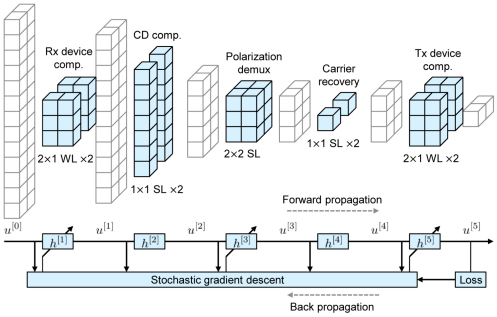
統計的信号処理は，観測された生のデータから有益な情報を抽出するための方法論を体系化した学問分野で，情報通信をはじめ，計測，画像処理，生体信号処理など幅広い応用があります．当研究室では，統計的信号処理を武器に，データのセンシング，収集，伝送，解析，利活用など，データサイエンスに関する様々な問題に取り組んでいます．最近の研究テーマを以下に記します．

◎劣決定線形逆問題に関する研究

圧縮センシングはスパースな未知ベクトルをその見かけの次元よりも少ない線形観測から再構成するための理論的な枠組みで，スパースモデリングとも呼ばれます．線形観測から未知ベクトルを再構成する問題は基本的で，多くの問題において興味のある未知ベクトルは何らかの変換領域でスパース性をもつことが仮定できるため，圧縮センシングは様々な分野の問題に適用されてきました．本研究では未知ベクトルがスパースのときだけでなく，各成分が離散値をとる場合にも圧縮センシングと同様に劣決定の線形観測から実際に観測された未知ベクトルを再構成可能であることを明らかにし，通信路等化や MIMO 信号検出，IoT 信号検出など様々な無線通信の問題に適用しています．また，X 線を利用した非破壊計測手法である蛍光 X 線イメージングにおける超解像手法や，超音波を利用した高精度トモグラフィー解析などにも圧縮センシングのアイデアを応用しています．

◎モデルベースとデータ駆動の融合に関する研究

工学の様々な分野の問題において AI や機械学習の活用が検討されています．無線通信や光通信などの情報通信分野もその例外ではありません．機械学習手法の利用には様々なアプローチが考えられますが，本研究ではこれまで情報通信分野で蓄積されてきた知見を活かしつつ，データに基づく機械学習技術を利用することを目指しています．情報通信のための信号処理では信号検出やチャネル推定などに繰り返しアルゴリズムがよく利用されますが，繰り返しアルゴリズムはその処理を時間軸方向に展開することでニューラルネットワークによく似た構造をもつ計算グラフによって表現できます．この計算グラフ内の各ステップの処理が微分可能であれば，計算グラフに対して誤差逆伝播法や確率的勾配法を適用することで，そこに含まれるパラメータを最適化することができます．このアプローチは深層展開と呼ばれ，従来からのドメイン固有の知識を利用しつつ，いくつかのパラメータをデータに基づいて決定することで大幅な性能改善が期待できるため大変注目されています．例えば，繰り返しアルゴリズムでは一般にステップサイズや学習率と呼ばれるパラメータの設定が困難な問題になりますが，深層展開を利用することで各繰り返し処理における時変のステップサイズの最適化が可能となり，多くのアルゴリズムで大幅な収束速度の向上が確認されています．また，無線通信や光通信の受信機のように様々な処理が多段に行われる場合にも，深層展開のアイデアを利用することで，最終的な出力における誤差が最小になるように各ステージの処理に含まれるパラメータを一括して最適化することも可能です．従来からの信号処理技術と機械学習技術の融合により，新しいアルゴリズムや信号処理手法を開発しています．



深層展開を用いた光通信受信機の構成