数 理 ・ 計 算 科 学 系

情報の「原理」と「方法」を科学の目で解明する

現代社会は情報化社会であり，多種多様な情報が社会のすみずみに深い影響を及ぼしています．このような情報化社会は，様々な情報システムによって支えられています．みなさんが日常的に利用するインターネットや，PC，スマートフォンなどの奥には学術的にも社会的にも興味深い数理科学や計算機科学の世界が広がっています．

数理・計算科学系では，現代社会を支える情報や情報システムを，科学的，数学的なアプローチで扱える人材を育成しています．その目的のため，本系の専門教育では以下の三つのアプローチ・設計手法を柱として講義を行っています．

- コンピュータを使った新しい数学を駆使するアプローチ
- 現実の諸問題を数理モデルに基づいて解決するオペレーションズ・リサーチ，統計，機械学習によるアプローチ
- コンピュータ・サイエンス，つまり情報処理を「計算」としてとらえ数学や論理学を用いるアプローチ，そして実際にそれを実行するコンピュータ・システムの設計方法

数理・計算科学系主任
山下　真 教授

数学を現実世界の諸問題に応用してみたい人，コンピュータ，なかでもソフトウェアに興味をもっている人，あるいは両方に興味がある人，そんな人たちに親身になって学びの場を提供するのが数理・計算科学系です．我々と一緒に学んでいきましょう．質問等があったら気軽に連絡してください．

数理・計算科学系の特徴

数理･計算科学系では，理学的，数学的な能力を駆使して情報分野で活躍する人材の育成を目指しています．とくに，高校時代まで数学が好きで，その数学的センスを広く社会で活かしたいと考えている人にとっては，勉強しがいのある系です．

- コンピュータを使った新しい数学に興味がある人
- 情報化社会で生ずる現実の諸問題を解決するための数理・統計的な手法に興味がある人
- コンピュータ・サイエンスに興味があり，基盤的ソフトウェアやその背後の理論を学びたい人

など，数理･計算科学系では，このような人たちの期待に沿えるように工夫したカリキュラムによる教育を行い，広い視野と深い専門性を持った人材を送り出しています．

学士課程の学修内容

２年次では，次のような基礎的な内容の学修を行います．

- 集合，位相，代数系，確率，統計などの基礎的な数学
- コンピュータの基本構成，アルゴリズムとデータ構造，プログラミング実習などの，コンピュータとソフトウェアに関する基礎
- コンピュータを利用した問題解決方法

数理・計算科学系は B2D スキームに参加しています．B2D スキームに選ばれた学生は 2 年次から研究を開始できます．

３年次では，基礎的な学修を続けるとともに，さらに次のような内容の学修を行います．

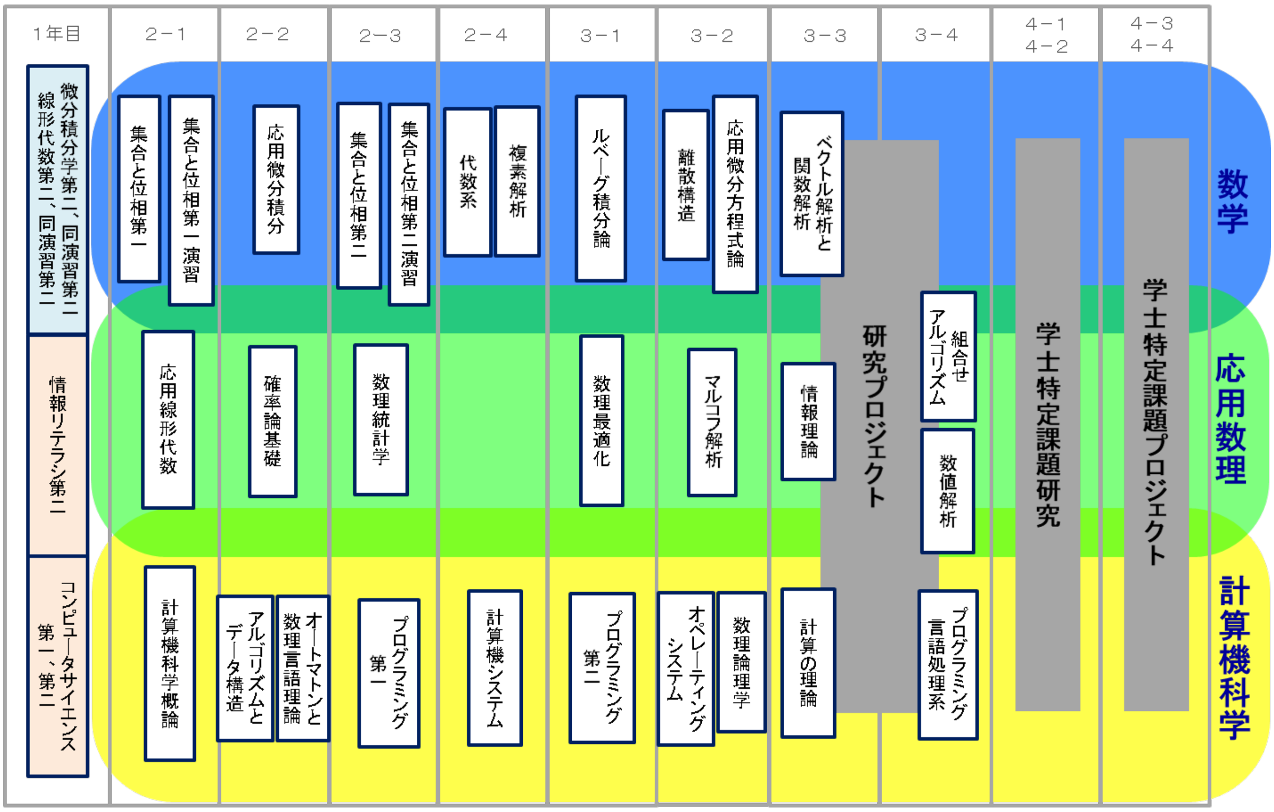
- さまざまな現象を数学的に表現・解析する微分方程式論，関数解析，組合せ数学等のより高度な数学の理論的基礎

- コンピュータ・サイエンスのより専門的な分野(プログラミング言語処理系，オペレーティングシステムやネットワーキング，計算機アーキテクチャ等)および高度な理論(計算の理論，数理論理学等)の基礎
- 数理統計，機械学習，オペレーションズ・リサーチなど，経済，経営，工学を含むさまざまな分野の問題を数理的に，またコンピュータを用いて解決するための理論および手法に関連した科目

３年次の後学期に履修する研究プロジェクトでは，各自，複数の研究室を選び，やや専門的なテーマについてゼミ形式で勉強したり，実習やソフトウェアの開発実験等を行います．学士特定課題研究，学士特定課題プロジェクトの予備段階にあたる重要な科目です．

４年次では，いずれかの研究室に所属し，教員から直接，研究を行うための基礎訓練を受けます．その後，各自テーマを選び，大学生活の集大成である学士特定課題研究，学士特定課題プロジェクトに取り組みます．

数理・計算科学系科目体系図



大学院について

数理・計算科学系の学士課程卒業生の約 90%が大学院修士課程に進学します．数理・計算科学系の大学院生は「数理・計算科学コース」を履修します。次のような能力の修得を目的としたカリキュラムが用意されています。

数理・計算科学コース

- 数理科学に関する知識と技能
- 研究対象の数学的構造を的確に捉え，論理的に表現する能力
- 現実の複雑な問題を明快な数理的枠組みとして把握し，さらにそれをアルゴリズムとして表現・実現できる能力
- 計算機アーキテクチャとソフトウェアシステムなど計算機科学に関する知識と技能
- 数理科学と計算機科学を融合したアプローチを提起できる能力

座学の講義に加えて，教員や他の大学院生とのディスカッション形式のゼミ，研究室間の交流による積極的な情報交換，企業や研究所でのインターンシップ，学会発表や学術論文の執筆・投稿などにより，研究の現場に直結した実践的な指導が行われます．こうしたきめ細やかな研究指導を通して数理科学および計算機科学に関する高度技術者，研究者に必要な能力を身につけることができます．

大学，企業，公的機関を問わず博士号の取得は研究職に従事するために望まれる条件です．本学博士後期課程では，ティーチング・アシスタントによる雇用や各種奨学金，奨励金の制度が整っています．多くの先輩はこれらの制度を上手に利用しながら博士号を取得し，第一線の研究者として学術界や産業界で活躍しています.

大学院入試について

大学院入試に関する正確な情報は必ず対応する募集要項を参照してください．原則，出願時に英語外部テストスコアシートの提出が必要です．以下，日程の概要です.

修士課程

- 募集要項： ４月下旬
- 出願時期： ６月中旬
- 口述試験（A 日程）： ７月上旬〜中旬
- 筆答試験および口頭試問（B 日程）： ８月中旬
- 合格発表： ９月上旬

博士後期課程

- 募集要項： １１月上旬（４月入学の場合）， ５月上旬（９月入学の場合）
- 出願時期： １月中旬（４月入学の場合）， ７月上旬（９月入学の場合）
- 学力検査日： ２月上旬〜下旬（４月入学の場合）， ８月中旬〜下旬（９月入学の場合）
- 合格発表： ３月上旬（４月入学の場合）， ９月上旬(９月入学の場合)

卒業・修了後の進路

数理･計算科学系（旧情報科学科）の卒業生に対するニーズは高く，情報関連の企業や研究機関を中心に，多方面の求人が寄せられています. 就職を希望する学生は自分の適性に合った職場を選択することができます.

なお，高等学校での情報科目必修化に伴い情報科目を担当する教員の必要性が高まっていますが，数理･計算科学系では「情報」と並んで「数学」の教員免許を取得することも可能です.

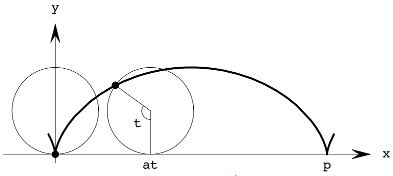
次のページから担当教員紹介です

数理・計算科学系のすべての教員を紹介します．質問等があったら各教員に気軽に連絡してください．専門が近い教員を近くにならべています.

微分幾何学　（梅原 雅顕 教授）

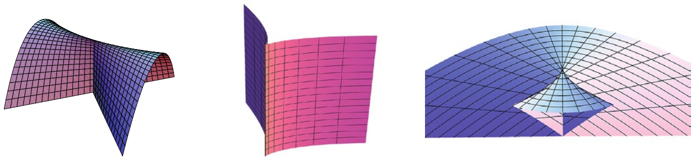
専門は微分幾何学ですが，特に，3 次元ユークリッド空間あるいは 3 次元多様体の中のガウス曲率一定曲面あるいは平均曲率一定曲面などについて研究しています．曲面あるいは平面曲線は，目に見える対象ですので一見扱いやすく見えますが，実はとても奥が深く，研究テーマに窮することはありません．例えば極小曲面(平均曲率が零の曲面)は古くから針金に張る石鹸膜の作る曲面として知られ，関数論などと深く結びついています．なかでも最近，特に興味をもっているのは，曲面に生ずる特異点です．曲面を波面と思ってその時間発展を考えると，初期曲面は滑らかであっても，時間とともに特異点が生ずることがあります．そこに着目すると，面白い問題が数多く生じてくるのです．研究においては，グラフィックスや数式処理にコンピュータも使います．

サイクロイドの尖った部分は「カスプ」とよばれる特異点である．



サイクロイド

「与えられたカスプをもっともよく近似するサイクロイドに対応する円の半径の逆数の平方根」として**カスプ的曲率**という特異点の尖りぐあいを表す不変量を定義できる．



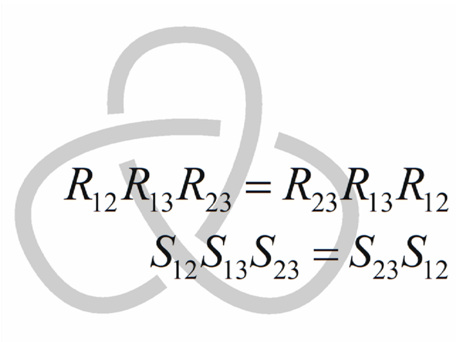
交叉帽子　　カスプ辺　　ツバメの尾

上記３つの特異点は曲面に，頻繁に現れる特異点である．
曲線の場合を発展させて，このような特異点に新しい不変量を定義し，
平均曲率一定曲面あるいはガウス曲率一定曲面などに現れる特異点に
関する微分幾何学的研究を行っている．

（一木 俊助 助教）

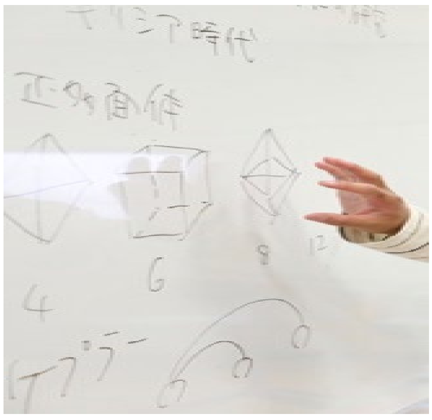
結び目理論　量子トポロジー　（鈴木 咲衣 准教授）

結び目理論と量子トポロジーを専門にしています．結び目は日常生活でもしばしば現れるとても身近な存在です．そんな結び目の研究が近年，数学の一分野として急速に発展しています．「結び目で数学?何をするの?」と思うかもしれません．でも，数学は自由．数や多項式だけではなく，結び目でも数学ができます．1984 年にジョーンズ多項式という結び目の多項式不変量が発見されました．ジョーンズ多項式をはじめとした「量子不変量」は数理物理学にもルーツを持ち，物理と数学の境界領域で多くの研究者の興味の対象になっています．今も広がり続けるその広大な新しい領域は，「量子トポロジー」と呼ばれています．私の研究室では，結び目や 3 次元多様体の量子不変量を，古典的なトポロジーと関連させて理解することを目的としています．



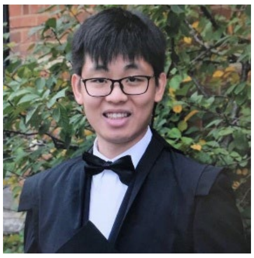
量子代数　表現論　（土岡 俊介 准教授）

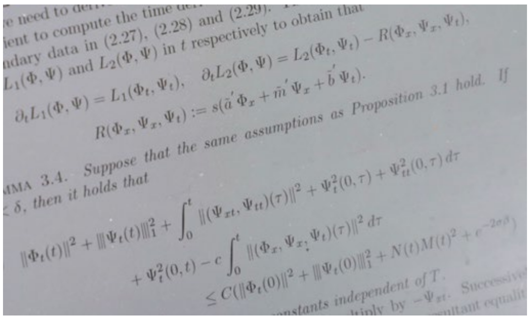
表現論を専門にしています(大きな分類だと代数学を研究しています)．整数論が整数を研究するのだとすれば，表現論は対称性の研究といえます．ギリシャ時代，人々は水や火といった基本的な要素を正多面体と関係づけ，理解しようとしたり，16 世紀にケプラーは，当時知られていた 5 つの惑星を正多面体と対応づけ，具体的な計算をしようとしたという点で，表現論は正多面体論の現代版と思うことができます．面白いことにラマヌジャンの人をびっくりさせる公式のいくつかは，表現論・保型形式・等式証明などで理解でき，類似物を見つけることもできます．このうち，表現論をリー理論や量子代数，圏論化の観点から研究しています．あなたも代数学または計算機を活用してラマヌジャンを目指してみませんか?



偏微分方程式論　非線形双曲型保存則　流体の方程式　（西畑 伸也 教授）

流体(特に気体)の解析に現れる非線形偏微分方程式を,主な研究対象としています.流体の運動を記述する基礎方程式としてはナビエ・ストークス方程式，ボルツマン方程式が有名です．これらは豊かな内容を含み，物理学者や工学者のみならず，数学者に対しても無限の課題を提供し続けています．現在，これらの方程式に現れる非線形波，特に衝撃波，希薄波，拡散波，等の漸近安定性の研究を行っています.

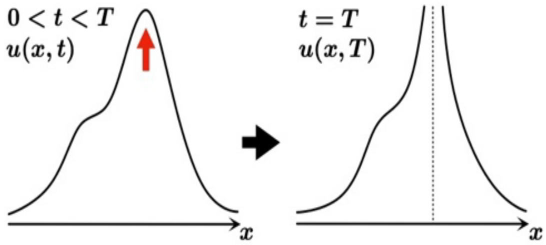




（黄 裕淙 助教）

偏微分方程式論 非線形放物型方程式（高橋 仁 准教授）

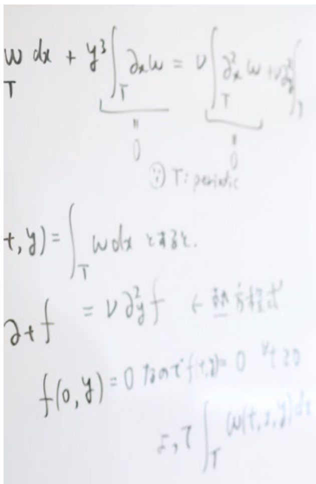
拡散に関わる偏微分方程式を研究しています．中でも，非線形放物型と呼ばれるクラスの時間発展をともなう非線形方程式や，その定常状態である非線形楕円型方程式に興味を持っています．例えば半線形熱方程式（反応拡散方程式の一種）や多孔質媒体型方程式（指数によって砂中の気体など遅い拡散やプラズマなど速い拡散を記述）を扱ってきました．これらは熱方程式の非線形版としてある意味で最も単純な見た目をしたものたちですが，それゆえに実解析，関数解析，比較原理，数値解析，数値シミュレーションなど多彩な方向から深い研究がなされています．私はこれまで解の特異性の生成・消失・保持について数学解析を行ってきました．今後は幾何との関連やモデル的側面など，研究の幅を広げていきたいとも思っています.



力学系 数理流体力学 計算トポロジー　（荒井 迅 教授）

時間と共に変化するシステムを数学的に扱う，「力学系」という分野を中心に研究しています．特にカオスと呼ばれる複雑な現象が発生するときに現れる普遍的な構造を，幾何学的な手法や計算機援用証明などを用いて記述することを目指しています．カオスが実世界と関連する重要な例として，天気予報などに現われる複雑な流れがありますが，私たちの研究室では流体運動のモデリングや解析も行なっています. 特に, 流体運動を記述する微分方程式の具体的な解の挙動に興味があり，渦と渦の相互作用によってどのような現象が起きるのかを研究しています. また,ホモロジー群などのトポロジーの不変量を計算機で求める計算トポロジー理論や，精度保証付き数値計算，グラフ理論などを組み合わせた計算機援用証明アルゴリズムを開発しており，これらを力学系や流体の研究だけでなく，量子化学や霊長類学，気象学や空間認識の生理学など，色々な分野に応用する研究も進めています.

（後藤田 剛 助教）



機械学習　数理統計学　情報幾何学　（金森 敬文 教授）

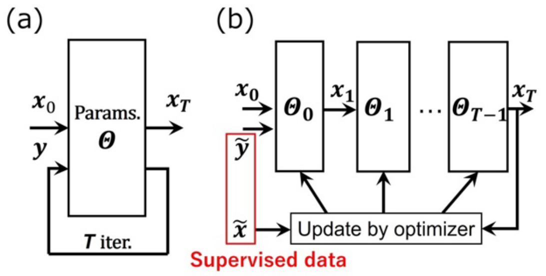
「情報」を定量的に扱うための理論的枠組に興味を持ち，機械学習や統計学に関する研究を進めています．現代社会では，科学や工学，人文科学やビジネスに至るまで，観測や調査によって得られるデータから推論や予測を行うことは非常に重要な課題です．また，インターネットから自動的に情報を収集し，データ解析を行うこともあります．このような場面で役に立つ方法として，さまざまな機械学習アルゴリズムや統計手法が提案されています．それらの方法がどのくらいの予測精度を達成するか，理論的な限界がどこにあるのか，などの問題について数理的に考察し，より優れた機械学習アルゴリズムを構築することを目指しています．最近では，性質の異なるさまざまなデータドメイン間で情報をやり取りしながら学習を進める転移学習や，計算困難な状況での統計的推論などのテーマに興味をもって研究を進めています．

（川島 孝行 助教）

信号処理　統計物理学　深層学習　（高邉 賢史 准教授）

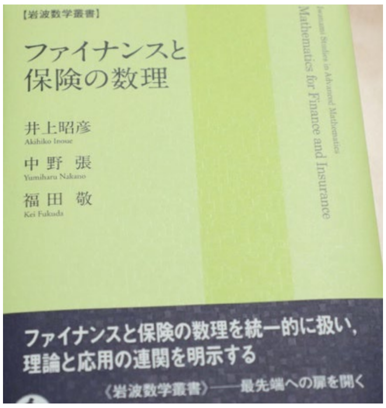
無線通信に代表される信号処理や最適化問題の数理面に着目することで，大規模システムの平均的な性質を明らかにするとともに，より正確で効率的な信号処理技法を開発することを目標としています．例えば無線通信の世界では第５世代（5G）の後継となる6G の研究が進められていますが，6G ではより大量の信号を高速に処理する必要が生じています．我々の研究では多数の対象の振舞いを理論的に扱う統計物理学や情報理論をベースに大規模なシステムの数理的解析を提案しています．また，それらの技法や深層展開と呼ばれる深層学習的手法を援用することで，従来よりも高性能かつ高速な信号処理アルゴリズムの開発も行っています．

（荒井 俊太 助教）



確率微分方程式　確率制御　（中野 張 准教授）

確率微分方程式とその応用について研究しています．確率微分方程式とは，微分方程式に予測不可能なランダムノイズを加えたもので，金融や生物，工学上の様々な問題に用いられています．その中で特に，確率微分方程式に関する制御理論と確率偏微分方程式の数値解析に興味を持っています．より具体的には，最適制御問題に付随する Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式と呼ばれる非線形偏微分方程式の数値解析，確率制御システムの部分推定問題に現れる Zakai 方程式と呼ばれる確率偏微分方程式の数値解析です．さらに，これらの研究成果の金融リスク管理の問題や，生物の個体群動態の問題などへの応用研究も進めています．



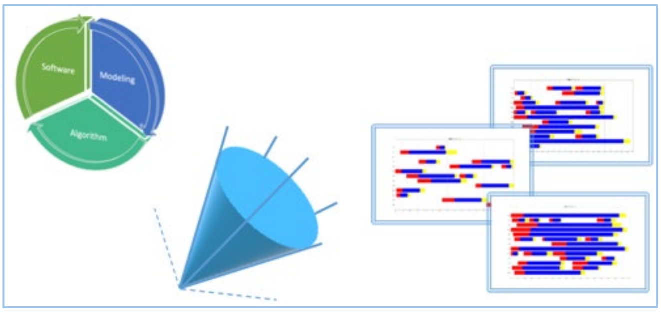
応用確率論　確率モデル　点過程　待ち行列理論　（三好 直人 教授）

確率モデルとその応用に関する研究を行っています．少し詳しく言うと，(i) 私たちのまわりに現れる不確実性・不規則性を含む対象を確率モデルとしてモデル化し，(ii) 得られたモデルを確率の問題として解析することによって対象の特性を調べる，といったアプローチで研究を進めています．もう少し具体的に言うと,特に情報通信や計算機科学の分野に現れる確率的な現象に興味を持っており，最近では無線通信ネットワークを対象として，無数の無線ノードの不規則な配置を空間点過程と呼ばれる確率過程を用いてモデル化し，そのモデルの解析を通してネットワークの性能を調べるというテーマに取り組んでいます．また，純粋に理論的な興味から，点過程そのものに関する研究や，待ち行列理論に関する研究もしています．

（岡嵜 郁也 助教）

数理最適化　数値最適化手法　（山下 真 教授）

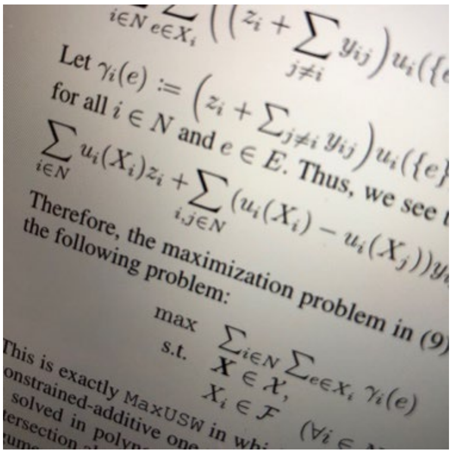
データ解析などで得た情報を用いた意思決定を支えるには高度な数学的アプローチが必要とされ，数理最適化は社会に多くの需要を持っています．数理最適化とは，簡単にいうと「様々な条件を満たす候補の中から最適なものを見つける数学的手法」のことであり，山下研究室では数理最適化を対象として，数理モデルの構築や効率的なアルゴリズムの設計，ソフトウェアへの実装など様々な研究テーマを扱っています．これまでに培ってきた数学的理論なども用いて，最近では，基礎研究の一環としてデータ解析に現れるグラフィカルモデリングを効率的に求解する計算手法や，ドローンによる配達など関するネットワーク最適化などにも力を入れています．



数理最適化，グラフ解析，機械学習，深層学習，高性能計算　（藤澤克樹　教授）

最新の数理・情報技術を活用することによってデジタルツイン（フィジカル空間及びサイバー空間）の構築を行い、都市や地域及び産業界の抱える諸課題の解決を推進していく、いわゆる Society 5.0 （超スマート社会）実現の試みが推進されています。そのため本研究室では現実と仮想空間を一体化させて、デジタルツインを活用したサイバーフィジカルシステム(CPS)実現による諸課題解決するためのプロジェクトを民間企業などと共同で推進しています。数理最適化，深層学習，強化学習，グラフ解析，高性能計算，量子計算などのアルゴリズムの開発とクラウド上での高性能計算の活用によって、産学連携による実社会アプリケーションを実現します。

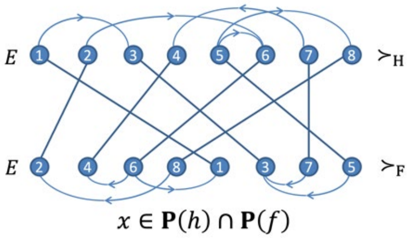
組合せ最適化　離散構造　（澄田 範奈 准教授）

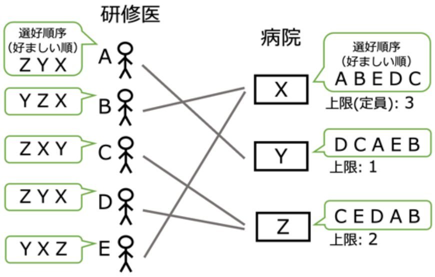


最適化問題，特に組合せ最適化問題に対するアルゴリズムを理論的な観点から研究しています．組合せ最適化問題は「良い組み合わせ」を見つける問題で，資源の配分やスケジューリングといった問題が組合せ最適化問題としてモデル化できます．現実的な時間で問題を解くには効率的なアルゴリズムが必要であり，その設計には問題のもつ構造を調べることが重要です．私の研究では，様々な組合せ最適化問題に対する構造の解析，アルゴリズムの設計，性能の理論的評価を中心に行っていますが，必要に応じて数値実験も行います．扱う問題として，最近はアルゴリズム的ゲーム理論に現れる問題や不確実性の下での最適化問題にも興味をもっています．

離散アルゴリズム　組合せ最適化　マッチング理論　（横井 優 准教授）

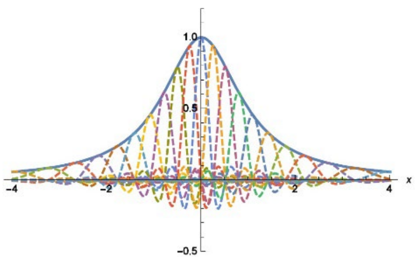
離散構造やアルゴリズムの研究を行なっています．とくに，ゲーム理論やオペレーションズ・リサーチ分野における組合せ的な問題に興味をもっています．継続的に研究しているテーマのひとつは，マッチング理論です．これは選好をもった主体たちの間で，皆が納得するマッチングを計算する方法を，数理的に考える理論です．また，数学的な対象としては，マトロイドや離散凸性といったものに関心をもっています．これらの離散構造はシンプルな公理で定義されていながら，組合せ最適化やゲーム理論の様々な場面において，重要な役割を果たします．私はマトロイドや離散凸性に関する理論をマッチング理論の研究で活用するとともに，それらの構造自体をより深く知るための研究も行なっています．





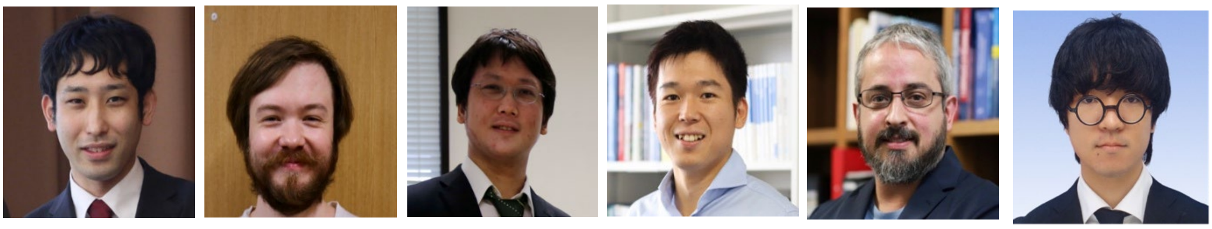
数値解析　数値計算アルゴリズム（田中 健一郎 教授）

近年特に，データ科学や AI の分野において，大規模かつ高精度な数値計算の効率化が求められており，これを支える基盤技術のひとつとして，数値計算法の重要性が増しています．数値計算法とは，数学的に定式化された問題に対して，コンピューターで近似解を求めるための理論と技術の体系です．私はその中でも，有限個のデータから元の関数を近似する関数近似公式や，確率・統計分野への応用が期待される数値積分公式の開発・改良を行う研究に取り組んでいます．特に，これらの公式の近似精度を最適化するために，関数空間上での勾配法などを用いた最適化手法の導入にも力を入れています．さまざまな数理手法を踏まえた上で、計算法の構築だけでなく，その計算精度や計算量に対する数理的保証を与えることも重要な課題と考えています．



暗号通貨・ブロックチェーン技術　暗号理論　サイバーセキュリティ　（田中 圭介 教授）

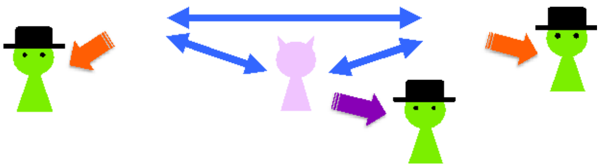
暗号理論は情報セキュリティ全体を支える数学的な分野です．特に RSA 暗号に代表される公開鍵暗号系の研究を行なっています．数論や代数，組合せ数学の基礎に，暗号方式を新たに設計・解析したり，既存の方式の解析と攻撃方法を考察したりします．暗号通貨・ブロックチェーン技術は暗号理論および分散システムを技術要素として，暗号通貨(仮想通貨)とブロックチェーン技術は生まれました．この基礎的な技術は暗号理論の分野の一部として認識されています．今後，暗号通貨・ブロックチェーン技術は信頼できる第三者を置かないシステムを基礎としており，社会的に広く用いられるインフラストラクチャーとなりえます．本研究室では，この基礎から応用まで幅広く研究を行なっています．サイバーセキュリティに関して企業や公共機関からの個人情報流出がよく社会問題となります．これは外部からの攻撃によるものですが，その攻撃手法，および，防御手法について考察するのがこの分野です．機械学習，情報可視化などを技術要素として用いることでこれらの手法を研究します．



（手塚 真徹 特任助教， Maxim Jourenko 特任助教， 吉田 雄祐 助教， 石井 将大 助教， Mario Larangeira 特任准教授， 七島 幹人 助教）

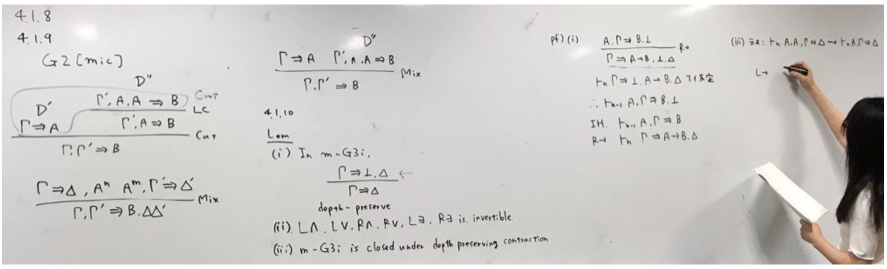
暗号理論　符号理論　（安永 憲司 准教授）

誤り訂正符号や暗号技術を主な題材として，情報技術の可能性と限界を探る研究をしています．暗号理論ではゲーム理論の観点を入れることで，今までできないと考えられていたものができるようになる可能性を探っています．また，暗号技術の「セキュリティ」という目に見えないものを情報理論を使って定量化する方法を研究しています．誤り訂正符号は，発生したノイズを除去して情報を正しく伝えるための技術です．最近は，挿入・削除という誤りを訂正する問題に取り組んでいます．受けとる文字列が長くなったり短くなったりするので直観的にも訂正が難しく，その理論的な限界についても未解決問題がたくさんあります．

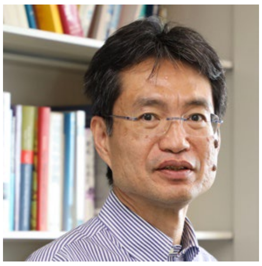


数理論理学　非古典論理　（鹿島 亮 准教授）

数学と計算機科学の共通部分に位置する数理論理学，特に非古典論理の完全性定理の拡張などが主な研究テーマです．非古典論理は数多くあるのですが，その中でも特に真理値の動的変化に対応する様相論理や，関数型プログラミング言語と密接に関連する直観主義論理などを扱っています．これらの論理は数学的研究対象として豊かで面白いだけでなく，プログラムの正当性検証や定理自動証明といった現実の応用の基礎にもなっています．完全性定理とは，論理式の正しさは形式的証明の結果と一致する，という自然な事実を厳密に示した基本定理です．理論計算機科学の研究テーマの多くは「プログラムの意味と実行の関係」や「形式言語の正規性とオートマトンの関係」などのように，記号列の意味と記号列に対する機械的操作との関係を調べる形をしており，完全性定理もそんな研究のひとつです(記号列＝論理式，意味＝正しさ，機械的操作＝形式的証明)．

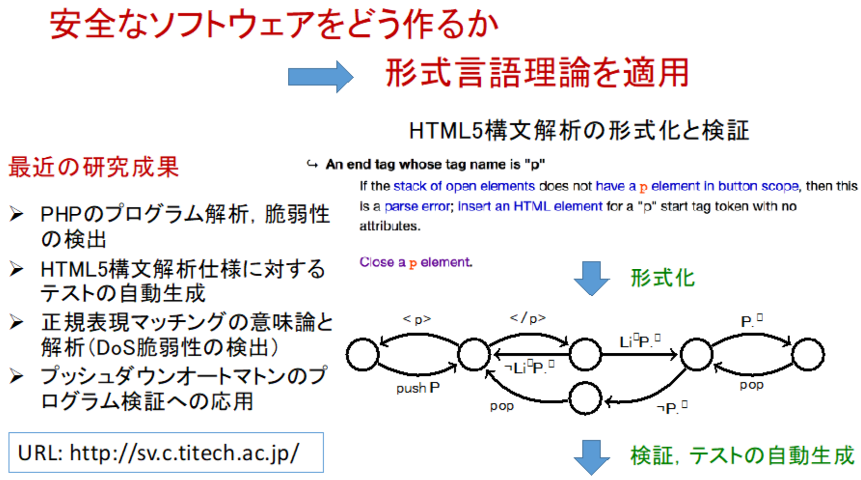


ソフトウェア検証　プログラミング言語　形式言語理論　（南出 靖彦 教授）



現在の社会はソフトウェアへの依存度をますます高めており，その信頼性の向上が課題となっています．例えば，ウェブに関連したソフトウェアにおいては，プログラムの小さな誤りが，クロスサイトスクリプティングや SQL インジェクションなどの脆弱性の原因となり，情報漏洩などの深刻な問題を起こしています．本研究室では，ソフトウェアの信頼性を高めるための理論や技術を研究しています．特に，オートマトンや形式言語の理論に基づく検証技術の研究に注力しています．オートマトンは非常に単純な計算モデルですが，近年，様々な拡張が考えられ，ソフトウェア検証等の分野で応用が進んでいます．また，プログラミング言語の理論・実装や証明支援系の応用に関する研究も行っています．

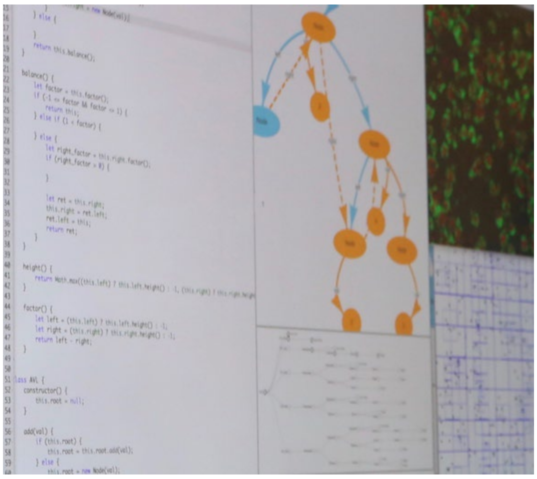
（佐藤 哲也 助教）



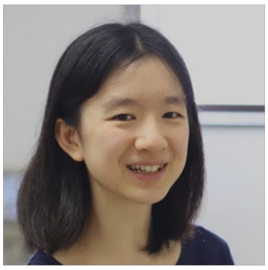
プログラミング言語　ソフトウェア開発環境　（増原 英彦 教授）

プログラミングは計算機科学の重要な基礎になっています．研究室では「プログラミングをもっと楽しく」をモットーに，プログラミング言語とソフトウェア開発環境に関する研究を行っています．理論から処理系構築まで，幅広い研究テーマを扱っていますが，主に（1）プログラムの書きやすさ，（2）プログラムの実行速度，（3）プログラムの信頼性に着目しています．最近の研究からキーワードを拾い出すと，GPU による並列プログラミング，先進的モジュールシステム，メタ実行履歴コンパイラ，バージョンと型システム，ライブプログラミング環境，初学者向け学習環境，デバッガなどがあります．

（田邉 裕大 助教）



プログラミング言語　プログラミング教育　（叢 悠悠 テニュアトラック助教）



プログラムの正しさと書きやすさを向上させるための研究を行っています．正しさに関しては，プログラミングと論理の間の対応関係を利用して，プログラムのさまざまな性質を保証するという手法をとっています．また，この手法を自然言語の推論や音楽の自動生成などに応用することも目指しています．書きやすさについては，プログラミングの初学者を主なターゲットとし，可読性・保守性の高いプログラムを書くための支援を開発しています．特に，プログラムを設計するプロセスに対して，どのようなサポートを提供できるかということに興味を持っています．これらの研究はつながりを持たないように思われるかもしれませんが，いずれもプログラミングの本質を追求するものとして捉えることができます．

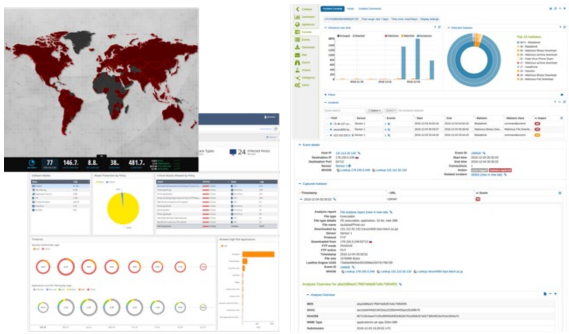
```
data Val[_]_ var where
  Var : var τ → Val[ var ] τ
  Num : ℕ → Val[ var ] Nat
  Abs : (var τ₁ → Exp[ var ] τ₂) →
        Val[ var ] (τ₁ ⇒ τ₂)

data Exp[_]_ var where
  Val : Val[ var ] τ → Exp[ var ] τ
  App : Exp[ var ] (τ₁ ⇒ τ₂) →
        Exp[ var ] τ₁ →
        Exp[ var ] τ₂
```

ヴィジュアルアナリティクス　インタラクション　データサイエンス　（脇田 建 准教授）

ビッグデータと AI の技術によって，まもなく夢のような未来がやってきます．一方，人間のありかたや尊厳について見直す時期にも来ています．「AI の時代に，人間はなにをすればいいの？」ビジュアルアナリティクスと情報可視化の中核は「人が中心に物事を考える」ことです．人間が理解，判断をし，意思決定のプロセスで主体的な地位を占めるために，事象をわかりやすく整理し，視覚的に提示することがひとつの大きな目的です．複雑な事象を静止画で示しただけでは，物事を一面的にしか捉えることはできません．「インタラクション」の技術は視覚的に提示されたデータを操作し，さまざまな視点からデータを眺める機会を与えます．ビッグデータをインタラクティブに分析する技術を研究し，今後も人間が意思決定の中心にいる世界の実現をめざしましょう．

サイバーセキュリティ　サイバーレジリエンス　インシデント対応技術（松浦 知史 教授）

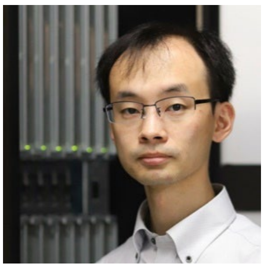
僕らはサイバー空間と関係せずに1日だけでも生活する事が出来るでしょうか．企業，自治体，大学，病院等々，サイバー空間を直接的にも間接的にも利用し，あらゆるサービスの提供や組織活動が行われています．サイバー攻撃によって企業の基幹システムが停止したり，電力網が停止したりと，組織や社会活動に対する脅威の事例は枚挙に暇がありません．組織が安定して活動を継続するためにどのような技術や対策等が必要か，サイバーセキュリティの観点から幅広い話題を本研究室では扱います．



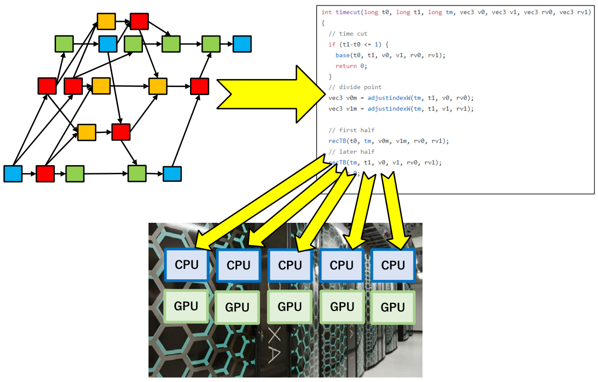
多くの組織がサイバー攻撃を日常的に受けており，本学も例外ではありません．学内に設置されている CERT は本学のセキュリティ専門組織であり，サイバー攻撃の監視から分析，緊急対応などを行っており大規模なデータを扱っています．本研究室は CERT との関わりが深く，セキュリティ運用現場と連携しながら大規模なデータ処理や分析，先進的なインシデント対応など実践的な研究テーマにも積極的に取り組んでいます．

高性能ソフトウェア　GPU コンピューティング　メモリ階層　（遠藤 敏夫 教授）

スーパーコンピュータなどの上の高性能ソフトウェアが主な研究対象です．特に近年ではディープラーニングなどの機械学習分野において，高性能計算の重要性はますます高まっており，計算を高速に，計算規模を大きく，使いやすくするためのソフトウェア技術の進展が求められています．それに対して，ミドルウェア・プログラミング言語・アルゴリズムの協調により問題解決することに興味を持っています．TSUBAME スパコンなどを研究に用い，また最新の GPU・CPU・メモリ・クラウド技術に触れることもできます．研究成果の一部は TSUBAME の運用や次世代システムの設計に活用されます．

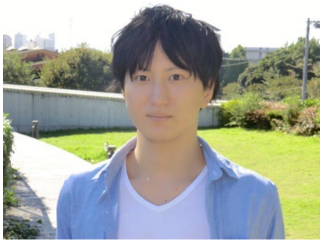


（野村 哲弘
マネジメント准教授）

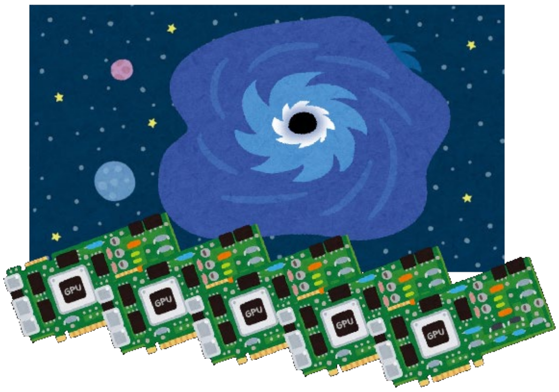


図：複雑な構造を持つ計算をソフトウェアで表現し、
多数プロセッサを持つ計算機上に載せる（写真はTSUBAME3スパコン）

計算機システム　高性能計算　演算加速器　再構成可能コンピューティング　（小林 諒平 准教授）



スーパーコンピュータのような超並列計算機システムの研究開発およびそのシステムを用いた実問題への応用，特に Graphics Processing Unit（GPU）をはじめとした演算加速装置（アクセラレータ）に基づく高性能計算（HPC: High Performance Computing）に関する研究を行っています．スーパーコンピュータに対する要求性能と利用可能な電力容量の制限，昨今の脱炭素化への動向等から，スーパーコンピュータの電力効率の向上は喫緊の課題であり，その解としてアクセラレータの活用が現在の主流となりつつあります．したがって「アクセラレータの性能を最大限に引き出すために何をどうしなければならないのか？」と「アクセラレータを搭載した高性能なコンピュータを実問題に対してどのように活用すれば良いのか？」を研究して突き詰めていくことが世界の未来をより豊かにする鍵になります．直近の研究では，GPU を利用することで，ブラックホールの物理現象のシミュレーションの実行速度を従来の CPU に比べて10倍以上向上させることに成功しました．研究成果は研究室のホームページ（https://www.ac2.scrc.iir.isct.ac.jp/）を通して公表しますので，興味があったら覗いてみてください．



GPUを活用してブラックホールのシミュレーションを加速！！

高性能・高信頼・低消費電力計算システム　マイクロサービスの効率化　（坂本 龍一 准教授）

計算機システムの効率化に関する研究を行っており，特に多数の計算機から構成される HPC システムやクラウドシステムの省電力化・高性能化に関する研究に力を入れております．みなさまがご利用の Web アプリケーションの裏側には大規模かつ，複雑なシステムが隠れており，これらのシステムを定式化し様々な最適化手法を用いてシステムを効率的に利用するための方法を模索しています．システムソフトウェアやアプリケーションといった上位のレイヤだけでなく，デバイスや計算機アーキテクチャ等の低いレイヤも研究の対象としております．