

整数論とその情報通信技術への応用

整数論は、純粋数学の中で歴史が長く、完全数やフィボナッチ数など一般に興味を持ちやすいテーマから、リーマン予想などの重要な未解決問題など、幅広いテーマを扱います。また、符号理論や暗号理論など、現代の情報通信技術に欠かせない理論の基礎となっています。

研究室では、解析的に定義されるゼータ関数・L関数の特殊値や、代数的に定義されるイデアル類群、コホモロジー群、またこれらの間に成り立つ関係に関する理論的研究を行っています。また、代数学や複素解析学などの理論的アプローチだけではなく、計算機を用いた数値計算を行うことにより、整数論に現れる不思議な現象の検証や解析も行っています。



ベルンハルト・
リーマン

$$\begin{aligned}\zeta(s) &= 1 + \frac{1}{2^s} + \frac{1}{3^s} + \frac{1}{4^s} + \dots \\ &= \frac{1}{1 - \frac{1}{2^s}} \times \frac{1}{1 - \frac{1}{3^s}} \times \frac{1}{1 - \frac{1}{5^s}} \times \dots\end{aligned}$$



レオンハルト・
オイラー

関連する2, 3年次での学び

履修モデル：数理データサイエンス, 数理機械学習
専門科目：線形代数学I,II, 代数学I, II など

確率過程と多様体

確率過程とは簡単に言うとランダムな粒子の動きのことで、偏微分方程式やポテンシャル論などと深い関わりがあります。実社会においては、機械学習や金融商品の開発などに応用されています。この確率過程を曲がった空間（多様体）上に構成し、その性質を調べることで空間の持つ特性と、確率過程の持つランダム性の関わりを明らかにすることを課題としています。例えば、ブラウン運動は微粒子が水分子に衝突してランダムに動く粒子の運動をモデル化したものですが、このブラウン運動の挙動は、どの空間で考えるかによってその性質が異なります。次の図は、2次元ユークリッド空間上のブラウン運動の様子 (Fig.1) とポアンカレ計量を入れた上半平面上のブラウン運動の様子 (Fig.2) です。ユークリッド空間上のブラウン運動は、出発地点付近に何度も戻ってこようとしているのに対して、上半平面上のブラウン運動は無限遠に発散していく様子が分かります。このような現象が、より一般的な確率過程と多様体に対して成り立つかどうかを研究しています。

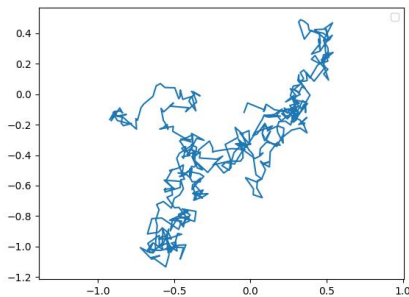


Fig.1

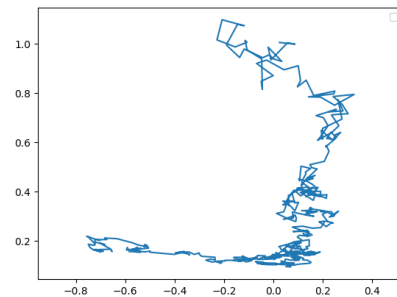


Fig.2

関連する2, 3年次での学び

測度論, 確率論, 関数解析学, 偏微分方程式論, (リーマン) 多様体論, 位相幾何学, 数理統計学

数理最適化の理論研究と社会科学への応用

数理最適化とは「関数の最大値や最小値を求める問題の研究」のことで、高校数学においては「二次関数の最大値・最小値を求める問題」や「微分を用いて増減表を書き極大・極小を求める問題」がその一例となっています。大学数学においては、より高次元かつ一般的な関数の最大値・最小値を求める方法について研究します。数理最適化は「栄養を十分に摂取しながら食費を少なくするにはどうすればよいか」「リスクを減らした株式投資をどのように決定するか」「二酸化炭素排出量削減のため、荷物の配送計画をどのように作成すればよいか」等、多くの応用を持っています。

本研究室では特に、数理最適化の社会科学への応用を意識した研究を行っています。例えば現代の経済学では数学が広く使われており、特にミクロ経済学では最適化理論を用いることにより需要と供給や価格に関する性質が数学を用いて明解に表現されます。解析学、位相数学、統計科学といった多岐にわたる数学を用いており、応用数学としても非常に興味深い内容が多くあります。具体的にはミクロ経済学、公共経済学、金融数学、ゲーム理論、社会ネットワーク分析など、数学を用いて社会の問題解決に資する研究を行っています。数学的手法を用いた理論的な研究の他、計算機を用いた問題解決手法も学ぶことが出来ます。これまでにPythonを用いた最適化、R言語を用いた統計解析や社会ネットワーク分析等を実施しています。

関連の深い履修モデル及び授業科目

数理データサイエンス・IT・デジタル分野：数理データサイエンス, 数理機械学習
データサイエンティスト, 環境データサイエンティスト

授業科目：オペレーションズ・リサーチⅠ,Ⅱ, モデリングの数理Ⅰ,Ⅱ ほか



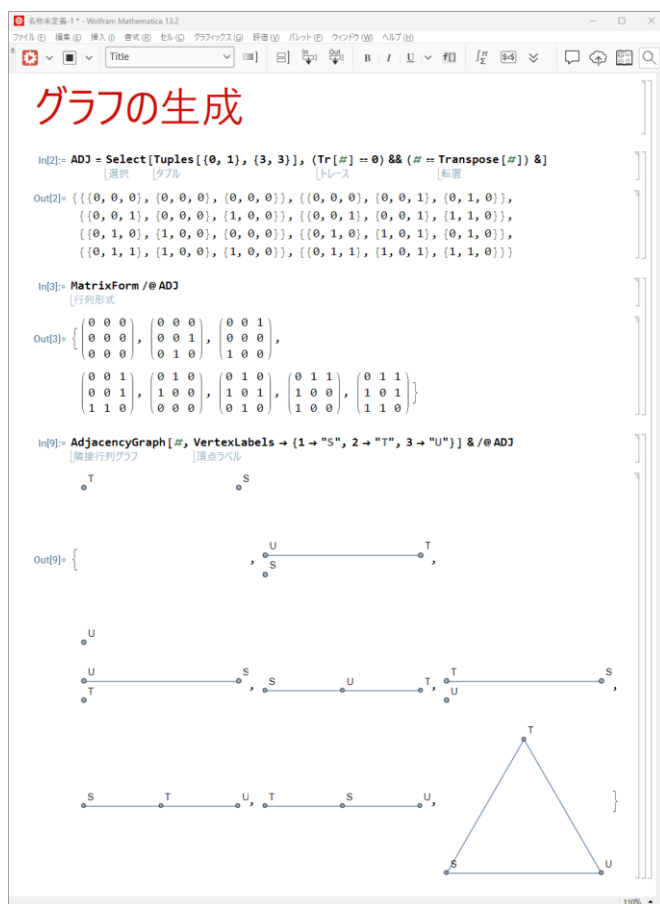
組み合わせ構造の生成と分類

グラフ G は (V, E) のペアです。ここで、 V は頂点の集合、 E は辺の集合です。グラフは現実のさまざまな現象をモデリングするために使用できます。

たとえば、鈴木、田中、上田の3人の学生がいる場合、グラフを使用して彼らの人間関係をモデリングできます。頂点集合は $V=\{S, T, U\}$ で、学生のペアが友人である場合は、そのペアを辺集合に配置します。たとえば、 $E=\{\{S, T\}, \{S, U\}\}$ は、鈴木さんは田中さんと上田さんと友達です。

学生の数が多いと、人間関係が非常に複雑になることがあります。

研究室では、Mathematica 数式処理システムを使用してグラフをモデリングおよび分析し、それらを効率的に生成するための非常に効率的な専用ソフトウェアをCで作成します。

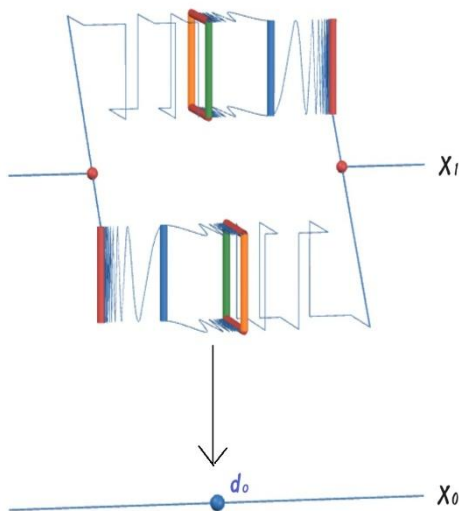


関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：数理データサイエンス・ITスペシャリスト・代数学・アルゴリズム理論・プログラミング

位相空間論、とくに複雑な空間・連続関数の研究

私の研究室では位相空間論に基づく様々な空間や連続関数の研究をしています。位相空間論と聞いてピンと来ない人も多いかもしれませんが、現代数学の基礎とよべる汎用性のある分野で、それゆえに数学のいろいろな分野に顔を出します。特に最近直観に反する結果に興味があります。例えば至る所微分不可能（グラフの全ての点が尖っている！）な連続関数が連続関数全体のうちの殆どすべてを占めている、という有名なバナッハの定理は位相空間論の定理を用いて証明するものです。やや位相空間論からずれますが、ピンポン玉を有限分割したあとそれらを再度組み合わせると同じピンポン玉が2つ出来上がることを主張する、かの有名なバナッハ・タルスキーの定理なども好みます。これら以外にも曲線、直線問わず内部に線が書けないような空間など、不思議な空間の構築に注力しています。



内部に線を描けない空間の構築のファーストステップ。射影極限と呼ばれる無限回の試行を経て得られる。

関連する2, 3年次での学び

- ・数理データサイエンス人材養成履修モデル
- ・数理機械学習データサイエンティスト人材養成履修モデル



離散幾何学を用いた実践的なネットワーク分析手法の開発

グラフは、頂点と、頂点同士を接続する辺から構成される離散図形であり、多く対象は、グラフを用いた数理モデルで表されます。高校時代に皆さんが勉強した結晶格子や電気回路もまたグラフを用いた数理モデルの1例です。

こうしたグラフの多くは、非常に複雑な構造を持っており、直感的に全体の構造を把握することは難しいです。しかし、ネットワーク分析を行うことで、様々な性質が明らかになり、実社会の問題解決にも繋がります。

一方で、近年、急速にデジタル化が進んでいることで、数理モデルもまた複雑化しています。こうした背景を受け、より正確な数理モデルを構築することが求められており、それに伴い、新たな分析手法を開拓することが必要です。そこで、当研究室では、離散幾何学に加え、様々な科学の理論を組み合わせた実践的なネットワーク分析手法を開発することで、実社会の様々な問題解決を目指します。

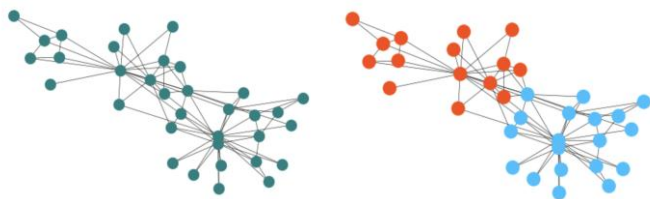


図1: サークルの友人関係を数理モデル化(左図)し、コミュニティ抽出のアルゴリズムを実行した結果(右図)

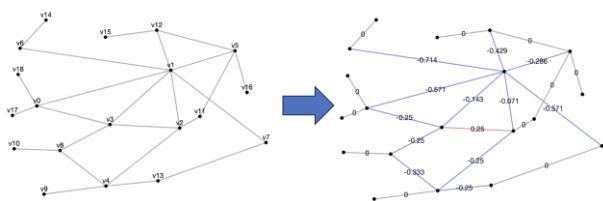


図2: 商品の流通網を数理モデル化(左図)し、ネットワークの強度算出のアルゴリズムを実行した結果(右図)

関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：数理データサイエンス、数理機械学習データサイエンティスト、ITスペシャリストなど

可視化を支える幾何学

——等質性の高い微分多様体・複素多様体の研究——

図形を使った可視化は、学校の授業でも次のようなことをあまり強調しなかったかもしれませんが、学びました。

- ・表を棒グラフを使って表す。
- ・関数に関して、そのグラフを考える（積分を関数のグラフの面積のようなもの考える）
- ・2変数の連立方程式とその解を2つの平面上の直線と交点と考える。

他にも色々なものを可視化するために多様体という概念があります。本研究室では多様体の幾何学を中心に研究しています。

関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：数理データサイエンス人材要請履修モデル など
専門科目：幾何学I、幾何学IIなど

非線形偏微分方程式の数学解析

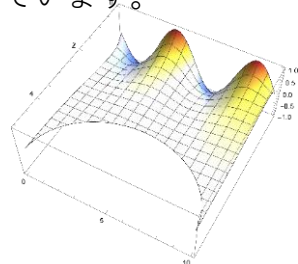
偏微分方程式を数学解析の観点から研究しています。

複数の独立変数をもつ未知関数とその偏導関数に関する方程式を偏微分方程式といいます。偏微分方程式は様々な自然現象，社会現象を記述するのに用いられており，理工系の学問を学んでいればその分野で重要な偏微分方程式に出会うことになるでしょう。よく知られた偏微分方程式には熱伝導方程式，波動方程式など方程式の表す現象に由来する名称をもつもの，Schödinger 方程式，Maxwell 方程式，Navier-Stokes 方程式など研究者の名前の付いたものが数多くあります。これらを解くことにより方程式の表す現象を調べることができます。未知関数に関して1次式であるような偏微分方程式は線形，そうでない方程式は非線形といいます。

素朴な意味では，微分方程式を解くとは解を既知の関数を用いて表現することですが，それが可能な問題はごく限られています。そうでない場合は，応用上は計算機を用いて方程式を数値的に解くことになりますが，数学的には方程式そのものから解のみたす性質を演繹的に導き出すことになります。

本研究室では，調和解析，関数解析などの数学的手法を用いて非線形偏微分方程式の適切性（解の存在，一意性，データに関する連続異存性のことで方程式の数理モデルとしての正当性や数値解析の安定性を保証する為の大切なステップになります）や解の時間大域的な挙動を調べることを目的とした研究に取り組んでいます。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u = \nu \Delta u - \nabla p$$
$$\operatorname{div} u = 0$$



関連する2，3年次での学び

関連の深い履修モデル：数理データサイエンス，数理機械学習など

専門科目：基礎解析学，解析学，複素解析学，モデリングの数理など

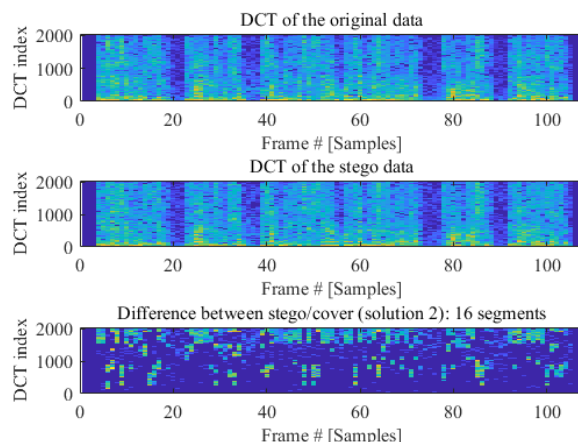
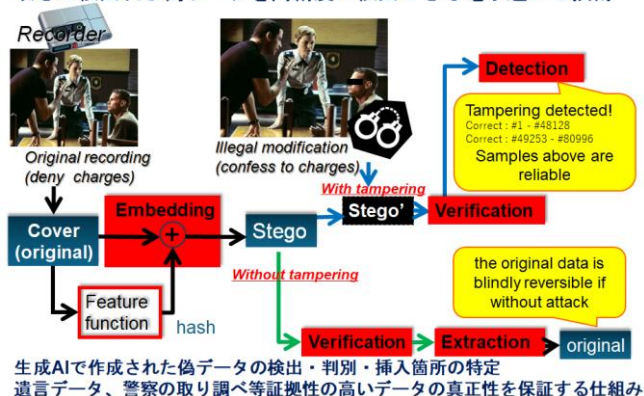


安心社会の基盤を構築する情報セキュリティ技術

生成系AIが脚光を浴び、音声合成や画像・動画の高速処理など、機械学習の発展により、声紋や顔など公共の場で採取可能な他人の生体特性を悪用し、他者になりすますことが容易になった。声や映像を模倣する技術は日進月歩で進化し、世界を席巻する勢いで飛躍的に発展している。そのため、データの真贋判定や話者の正確な識別を行う技術がますます重要になっている。

黄研究室では、安心・安全な社会基盤を構築するため、情報セキュリティの三要素である完全性、可用性、および機密性に関する研究を深めている。特に、改ざん検出やなりすましの特定が可能な、可逆的で頑健な電子透かし技術の開発に注力している。また、マルウェアの観測および数理モデルに基づく解析を通じて、不正アクセスやサイバー攻撃の挙動を調査・研究している。更に、これと並行して、スマートバンドなどのIoTデバイスで採取される脈拍や睡眠深度などのヘルスケア生体情報の解析技術や、プライバシー保護技術の研究にも取り組んでいる。

改ざん検出及び偽データを高精度に検出できる電子透かし技術



関連する2, 3年次での学び

「情報と社会・倫理」や「コンピュータセキュリティ」では、情報セキュリティに関する基本知識を習得し、「システム創生プロジェクト」では、社会のニーズを見据えたサービス開発に必要なスキルを磨きます。理論知識の習得にとどまらず、社会に役立つシステムの開発に向けて取り組みましょう。

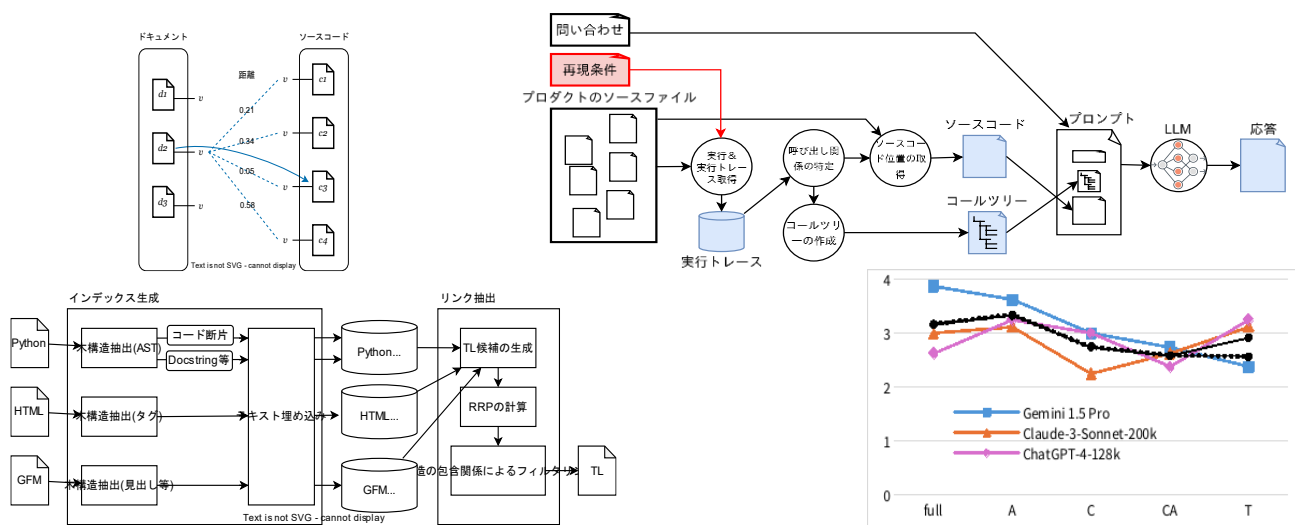


AIエージェントによるソフトウェアの変革

多くの産業でDX（デジタルトランスフォーメーション）が進む中、ここ数年、LLM（大規模言語モデル）が急速に進化し、LLMやその応用であるAIエージェントにより、ソフトウェアの開発・利用に大変革が起きつつあります。

AIエージェントは外界から情報を収集し、LLMがタスク実行のためのプランを立案、そのプランに基づいてタスクを遂行するロボットのような存在です。LLM、ベクトルデータベース、情報検索技術などの各種の手法・ツールを組み合わせたものです。特にソフトウェア開発では、LLMがコードの自動生成やレビュー、ドキュメント作成に活用され、CursurやClineなどのAIエージェントが次々と登場し、単体テスト、差分解析、依存解析、トレーサビリティリンク回復などの既存の技術を取り入れ、開発者にとって不可欠なパートナーとなっています。

また、LLMをソフトウェアの構成部品とする方法や、LLMをユーザーインターフェイスとすることで、ユーザーが自然言語で命じたタスクを遂行する、Operatorのような仕組みも注目されています。



関連する2, 3年次での学び

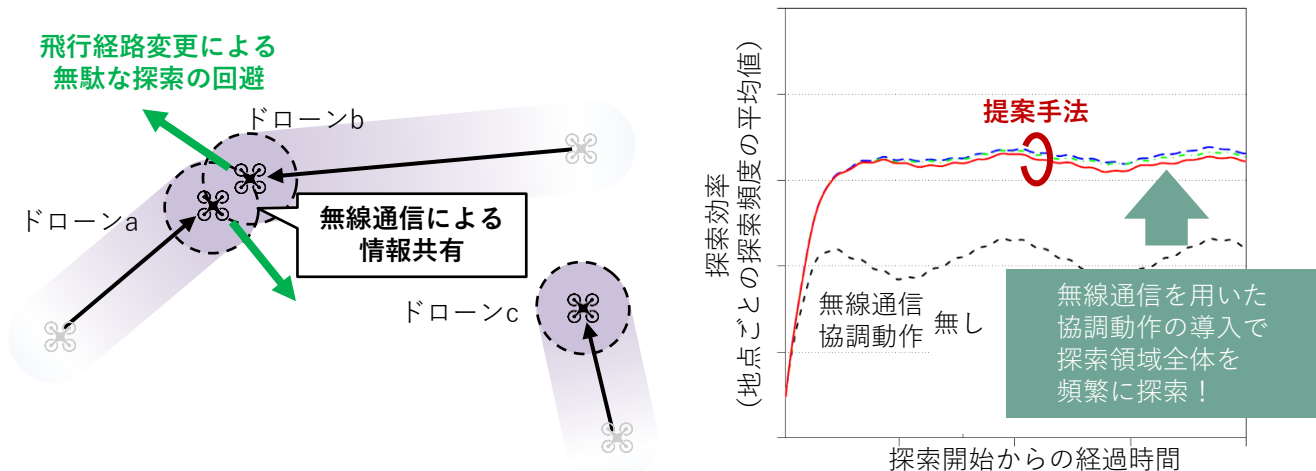
数理データサイエンス・IT・デジタル分野の科目。ソフトウェア工学、実践プログラミング、アルゴリズム基礎、データベース、機械学習等



草の根ドローンを活用した大規模災害時の情報収集・ 配信技術の開発

我が国では地震や水害などの大規模災害が頻繁に発生しており、発災時の人命救助や復興支援のための体制を整備することが強く求められています。

私たちの研究グループでは、自律的に飛行可能なドローンを用いて、発災直後の被災地の状況を効率的に収集すると同時に、被災者のもつスマートフォンなどに避難経路に関する情報を配信するシステムの確立に向けた研究に取り組んでいます。特に、さまざまな業種の組織や個人がもつドローンを草の根的に活用して、これらのドローンが協力しながら情報収集や情報配信を行えるよう、個々のドローンを制御する方法論について検討しています。たとえば、時々刻々と変化する被災地の状況を監視する際、同じ場所を複数のドローンが何度も探索することは無駄になります。これを避けるため、無線通信を介したドローン同士の情報共有により、他のドローンが最近探索した地点への移動を避ける制御を加え、利用可能なドローンで被災地域全体を満遍なくかつ頻繁に探索可能とする手法を考案しました。



関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：ITスペシャリスト、防災科学、AIロボティクスなど
※数理機械学習データサイエンティスト、環境データサイエンティストの
知識も有用です。

松江市を守る洪水予測技術

松江市は多くの自然河川や人工の堀に覆われた「水の都」です。それだけに大雨や台風による、洪水・水害の発生が顕著で、毎年のように床上浸水や、交通の遮断が発生しています。

松江市の河川には11か所に水量計が設置されており、20年分の水量変化の記録が保存されています。我々は、これらのデータを分析して洪水を予測することに挑戦しています。

こうした予測に主に用いられる手法は線形自己回帰モデルの様な統計手法ですが、最近の検討で、洪水は非線形現象であり、こうした線形モデルでは予測が難しいことがわかってきました。また、松江の河川は複雑に入り組んでいる上、潮汐によっては海から逆流していることもあり、大変不思議な統計的性質を示します。

こうした困難を克服し、松江市を洪水から守ることが我々の目標です。



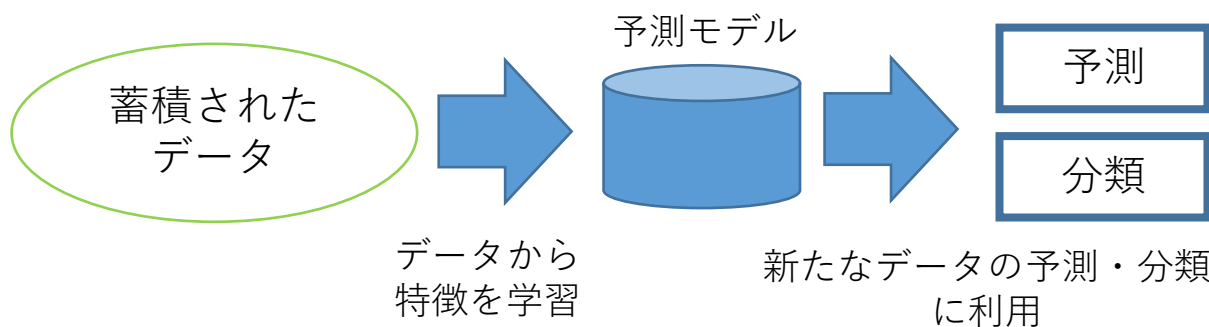
関連する2, 3年次での学び

数理データサイエンス人材養成履修モデル, 数理機械学習データサイエンティスト人材養成履修モデル等の履修モデルの他, 機械学習, データサイエンス特論等の科目を履修した, 環境データサイエンティスト人材養成履修モデル, グリーンシステム科学人材養成履修モデル等の履修者。

機械学習を用いた分類・予測

近年、深層学習を始めとする機械学習手法が急速に発展しており、その応用範囲はますます広がっています。特に、自然言語処理や画像認識などの分野では、多くの技術革新が起こり多くの人に使用されるアプリケーションが登場しています。

本研究では、教師有り学習に着目し、過去の膨大なデータから特徴を学習することで、新たなデータの予測や分類を行う手法を探求します。これにより、文書分類、文書要約、対話システム、画像分類、セグメンテーション、画像復元といった多様なタスクで高精度に実行可能なモデルを構築します。具体的には、文章や会話の文脈をより深く理解するための言語モデルの改良や、画像内の特徴を効果的に捉えるための新しいモデル構造の設計を行い、より高度な人工知能システムの実現を目指しています。



関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：数理機械学習データサイエンティスト、数理データサイエンス、ITスペシャリスト

ゲームプレイヤーの動機や行動に基づく 推薦システム

COVID-19 の世界的な流行により、多くの産業が深刻な影響を受ける中、ゲーム産業は例外的に成長を遂げ、パンデミック下においても大幅な市場拡大を実現した数少ない分野の一つとなりました。スマートフォンゲーム、家庭用ゲーム機向けゲーム、PCゲームの普及に伴い、多様な関連製品やサービスが展開され、関連産業の発展および収益向上に寄与しました。一方で、市場の急速な成長は、業界内の競争環境をより一層激化させる要因ともなっています。日本は世界を代表するゲーム産業の先進国として、新技術の革新と創造性を競う市場において、どのように持続的な競争力を維持し、業界のリーダーシップを確立し続けるかが重要な課題となっています。



本研究室では、ゲームプレイヤーの動機や行動に関する研究を主軸とし、学際的な研究手法を活用して、国内外のプレイヤーデータの収集・分析を行っております。さらに、ユーザーの動機や行動を基盤とした新たな推薦システムの研究および検証を進めており、異なるプラットフォームに対応したゲーム推薦の可能性を探究しております。本研究室の研究成果が、日本のゲーム産業のさらなる発展に寄与し、関連分野の技術革新を推進する一助となることを期待しております。

関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：数理機械学習データサイエンティスト、ITスペシャリスト、AIロボティクスなど。線形代数、プログラミング、アルゴリズム、統計学、機械学習などの関連知識の習得が強く推奨されます。

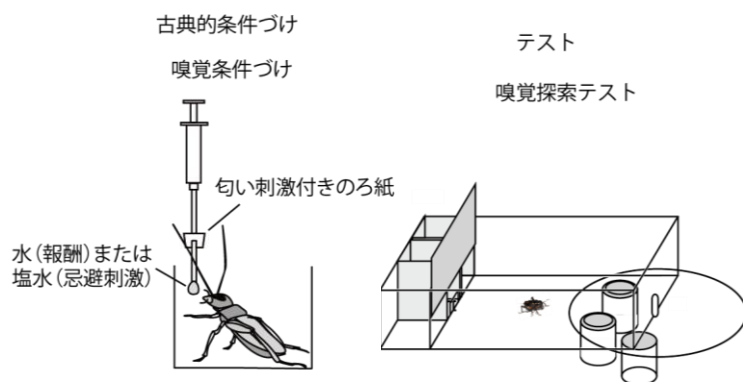
認知機能の仕組みとその進化を研究する

キーワード：神経行動学, 比較認知脳科学

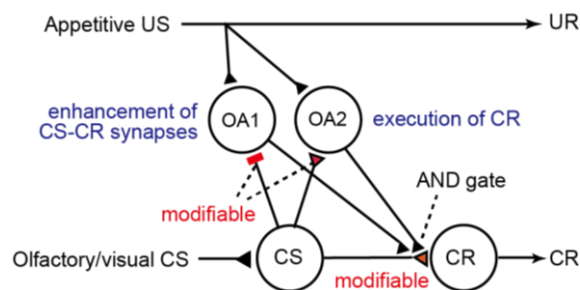
神経行動学は行動の神経基盤を明らかにする学問です。寺尾研では脳が行動を生むメカニズムの解明とその動物種間比較を通じて、行動決定の特徴を解明する比較認知脳科学を標榜して研究しています。

私たちは過去の経験や現在の状況に応じて自身の行動を変化します。1. どのような状況や経験が行動を変化させるか？ 2. 行動は脳・神経系のどのような仕組みで変化するか？ が、現在の研究課題です。

脳・神経系がほ乳類や鳥類と比べてシンプルな昆虫は脳・神経系のメカニズムの解析に適しています。昆虫の行動決定と脳・神経系メカニズムを調べて他の動物種間で比較することで、動物共通の原理（共通性）とそれぞれの動物らしさ（多様性）を明らかにしていきます。



経験に応じて行動を変化する事象、すなわち学習の実験例



学習を説明する理論モデル

図は Terao et al., 2015 より 一部改変

関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：数理データサイエンス・数理機械学習データサイエンティスト・ITスペシャリスト

様々な興味・専門をもつ方に対応するため、配属後に勉強の機会を設けます。詳細は研究室HP参照 https://sites.google.com/view/teraokanta/education/for_students Shimane Uni

人の『属性』を科学し、より良い『行動』をデザインする

私たちの研究室では、人の「やる気」や「性格」といった心の働きを科学的に解き明かし、その理解をもとにテクノロジーで新しい体験をデザインしています。

例えば、「課題をやらなきゃ」と思っているもつい先延ばししてしまう現象を、怠けではなく一人ひとりの思考のクセや気分の揺らぎとして捉えます。そして、その人に合った方法で「これならできそう!」と自然に思える仕組みをデザインします。

他にも、「もっと上達したい」「好きなことを楽しく続けたい」といった前向きな気持ちを支える研究も進めています。心理学や認知科学の知見を活かし、人のモチベーションにあった支援システムや、心に寄り添う声かけ、仲間と協力する楽しさを引き出すデザインを探っています。人とコンピュータの関係をより豊かにし、あなたの「やってみたい」を「できた!」につなげる。それが私たちの研究の目標です。



関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：ITスペシャリスト、AIロボティクス、など

ヒューマン・コンピュータ・インタラクション、システム創成プロジェクトⅠ・Ⅱの履修を推奨します。

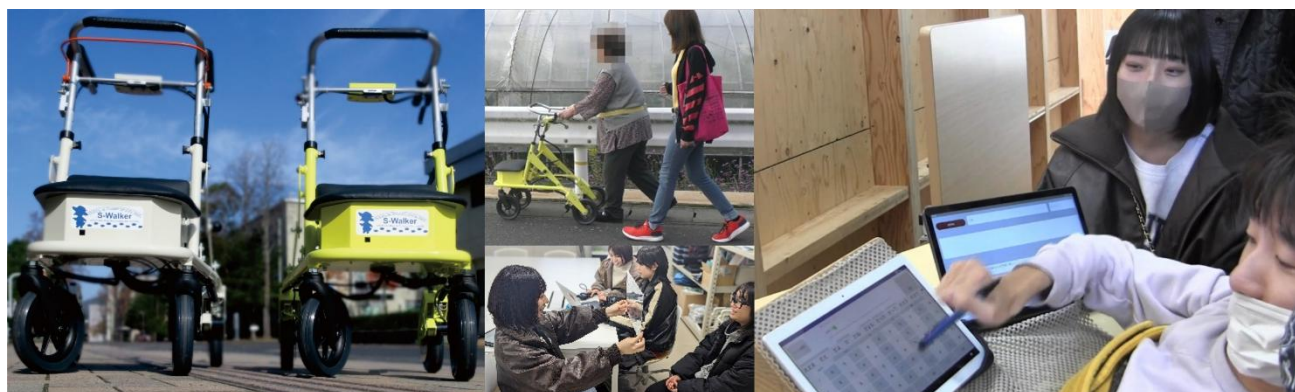


障がい者・高齢者を支援するICT

自立的に歩いて移動することを補助する機器に「歩行車」があり、屋内・屋外で広く使用されています。しかし、高齢者が歩行車の動きについていけず、転倒する事故が発生しています。歩き方や坂道でのブレーキの掛け方などには個人差があるため、より安全な歩行車を実現するためには、その個人差をふまえた制御機能の開発が必要です。そこで、ICTを活用し、歩行車との距離や歩行速度を計測・学習することにより、一人一人に合わせたブレーキをかける歩行車を研究開発しています。

上記以外にも、発話による意思伝達が困難な障がい児・者の会話を支援する生成AIを使ったコミュニケーションアプリ、肢体不自由児・者がタブレットなどの機器を使用するときのポジショニング（座位保持装置の設定や機器の配置）を支援するシステムなどのアシスティブ・テクノロジーに関する研究開発を行っています。

研究開発では、視線計測やモーションキャプチャなどにより収集した量的なデータと観察やインタビューなどにより収集した質的なデータを組み合わせて分析を行います。



関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：ITスペシャリスト、AIロボティクスなど

ヒューマン・コンピュータ・インタラクション、システム創成プロジェクトⅠ・Ⅱの履修を推奨します。

数理データサイエンス・ IT・デジタル分野

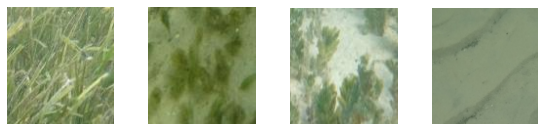


Smart Society with Computer Vision and VLSI Testing コンピュータビジョンとVLSIテストで創るスマート社会

Our lab specializes in interdisciplinary research, combining AI-driven computer vision and machine learning-based VLSI testing for practical applications.

Computer Vision (コンピュータビジョン):

Japan, especially Shimane, has rich coastal ecosystems with vital seagrass supporting marine life. Seagrass plays a crucial role in maintaining marine biodiversity, acting as a carbon sink and habitat for various marine species. Our lab advances deep learning for underwater image analysis, enhancing marine monitoring with semi-supervised and active learning, aiding conservation and automation.



Sample of our seagrass dataset

In this research, we are currently collaborating with ECU (Australia), NAIST (Japan), BUET (Bangladesh) and EsReC Shimane University.

VLSI Testing (VLSIテスト):



□ Unmeasured ■ Measured
Wafer-level variation modeling

Our VLSI testing research enhances semiconductor manufacturing by leveraging machine learning, like Gaussian Process Regression, to optimize RF IC testing, cutting test time, cost, and errors for more efficient and reliable chips. Reducing testing costs remains one of the biggest challenges in semiconductor manufacturing, especially in Japan, where production efficiency is crucial for global competitiveness. In this research, we collaborate with Sony (SSMC) Japan, Stoneridge Electronics Estonia, and KIT Japan.

関連する2, 3年次での学び

関連の深い履修モデル：ITスペシャリスト, AIロボティクスなど。データベース, 基礎プログラミング, 計算機アーキテクチャの履修を推奨します。

(連絡先) MIAN RIAZ-UL-HAQUE riaz@cis.shimane-u.ac.jp