【数理工学コース】

志望区分	講座名	分野名
数－1 数－2	応用数学	数理解析 離散数理
数－3 数－4	システム数理	最適化数理 制御システム論
数－5 数－6	数理物理学	物理統計学 力学系数理
数－7	システム数理	応用数理モデル（連携ユニット）

[Applied Mathematics and Physics Course]

Application Code	Division	Group
AMP- 1 AMP- 2	Applied Mathematics	Applied Mathematical Analysis Discrete Mathematics
AMP- 3 AMP- 4	Applied Mathematical Systems	System Optimization Control Systems Theory
AMP- 5 AMP- 6	Mathematical Physics	Physical Statistics Dynamical Systems
AMP- 7	Applied Mathematical Systems	Applied Mathematical Modeling (Adjunct unit)

数理工学コース

Applied Mathematics and Physics Course

http://www.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

ーアドミッションポリシーー

数理工学コースでは情報学研究科の3本柱のうち数理モデリングに重点をおいた人材育成を目指します。

数理モデルは、情報化社会における生産、通信、情報処理、および事業の効率化等の問題を解決するために重要なものです。数理モデルにより、大規模なシステムに対しても、数値データを扱う計算機を積極的に活用して問題解決することが可能となります。正確な数理モデルを設計し、精度よく解析し、さらに適切な制御を行うには、例え計算機を利用するにしても計算機に何をさせるべきかを正しく判断することが必要であり、数学と物理学の知識に根幹をおく基礎力が肝要となります。

数理工学はこのような考えのもとに、システム論系、OR系、数学系、物理学系の研究室から構成されており、カリキュラムもバランスよく編成されています。技術革新の目覚しい現代には確かな基礎力が個人の研究開発能力を持続するためには一層大事であり、授業科目では基礎力の充実を図り、修士論文では最新のテーマで研究を行います。

数理工学コースはこのような人材養成の目標のために、「数理モデルによる問題解決」に興味のある学生を広く募っています。修士課程入学試験の専門科目ではコースの研究分野から6問出題され、受験生は2問を選択して解答するよう配慮されています。

数理工学コースは7分野（研究室）から成ります。

1. **数理解析分野**（Applied Mathematical Analysis） 志望区分：数－1
2. **離散数理分野**（Discrete Mathematics） 志望区分：数－2
3. **最適化数理分野**（System Optimization） 志望区分：数－3
4. **制御システム論分野**（Control Systems Theory） 志望区分：数－4
5. **物理統計学分野**（Physical Statistics） 志望区分：数－5
6. **力学系数理分野**（Dynamical Systems） 志望区分：数－6
7. **応用数理モデル分野**（Applied Mathematical Modeling） 志望区分：数－7

それぞれの分野について、研究内容の一部を紹介します。

Applied Mathematics and Physics Course

http://www.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

Admission Policy

The Applied Mathematics and Physics Course aims to develop human resources with an emphasis on mathematical modeling, one of the three core principles of the Graduate School of Informatics.

Mathematical models are important for solving problems in production, communication, information processing, and business efficiency in the information society. Mathematical models make it possible to solve problems by actively utilizing computers that handle numerical data, even for large-scale systems. To perform accurate mathematical modeling, analyze them precisely, and control them appropriately, it is necessary to correctly determine what the computers should do, even when using them for computer simulation. In particular, basic skills based on knowledge of mathematics and physics are essential.

With this in mind, the Applied Mathematics and Physics Course consists of research groups in systems theory, OR, mathematics, and physics, and the curriculum is well-balanced in the research fields. In today's world of remarkable technological innovation, solid basic skills are even more important to sustain individual research and development capabilities. Students will enhance their basic skills in the classroom courses and research the cutting-edge themes in their master's theses.

To achieve this goal of human resource development, the Applied Mathematics and Physics Course recruits a wide range of students interested in "solving problems through mathematical modeling." In the specialized subjects of the entrance examination for the master's program, there are six problems from the research fields of the course, and examinees are allowed to choose two problems in each subject to answer.

There are seven groups (laboratories) in the Applied Mathematics and Physics Couse.

1. Applied Mathematical Analysis	Application Code: AMP- 1
2. Discrete Mathematics Group	Application Code: AMP- 2
3. System Optimization Group	Application Code: AMP- 3
4. Control Systems Theory Group	Application Code: AMP- 4
5. Physical Statistics Group	Application Code: AMP- 5
6. Dynamical Systems Group	Application Code: AMP- 6
7. Applied Mathematical Modeling Group	Application Code: AMP- 7

The pages that follow describe each of these groups and provide examples of their research.

志望区分（数－1）

応用数学講座 数理解析分野

辻本 諭 教授

－応用可積分系：離散可積分系から計算数学まで－

http://www-is.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

数理解析分野では直交多項式、組合せ論などと関連した「離散可積分系」、および、可積分系に基づく数値計算アルゴリズムなど「計算数学」を研究しています。

可積分系（かせきぶんけい）とは、「解ける」連続・離散の非線形方程式系の総称で、もともとは数理物理学の概念ですが、近年、代数学、幾何学、解析学において可積分系を基点とする様々な数学の進展がありました。本研究室では、これを応用数学に結びつけることを目的として「応用可積分系」研究を創始し、計算数学、直交多項式、組合せ論などにおいて幅広く研究展開しています。

とりわけ、応用数理学会「応用可積分系研究部会」を中心に、数学会「無限可積分系セッション」等での学会活動に加え、国際的な共同研究プロジェクトについても進めています。

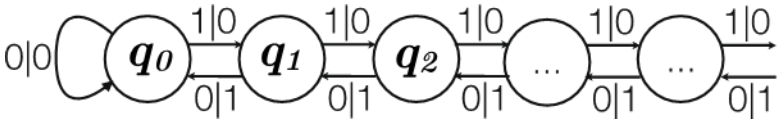
可積分系として有名な水の波のKdV方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = u\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial^3 u}{\partial x^3}, \quad u = u(x,t), \quad (-\infty < x < \infty,\ 0 \le t)$$

があります。この方程式を直交多項式理論に基づいて離散化すれば離散KdV方程式

$$u_{k+1}^{(n+1)}\left(1+\delta^{(n+1)}u_k^{(n+1)}\right) = u_{k+1}^{(n)}\left(1+\delta^{(n)}u_{k+2}^{(n)}\right), \quad (k = 0, \pm1, \pm2, \ldots,\ n = 0, 1, 2, \ldots)$$

が得られ、さらに超離散化と呼ばれる手法を適用することでセルオートマトンを導出することができます。



ここで挙げた方程式はいずれも無限個の対称性など様々な“良い”性質を持っており、情報学においても重要な役割を果たしていることを明らかにしてきました。特に離散KdV方程式を漸化式として用いることで、与えられた行列の特異値分解を計算する新しいアルゴリズムを提案しました。特異値分解はビッグデータ処理の数学的基礎であり、従来手法より、全特異値の相対精度と特異ベクトルの精度で優れ、大幅に計算時間を減少させることができました。最近の研究の中においても、離散KdV方程式から得られるセルオートマトンが整数行列のスミス標準形を求める新しいアルゴリズムにつながることを明らかになってきました。情報学と数理物理の理論を俯瞰的にとらえなおすことで、情報学の関わる幅広い話題に取り組んでいます。

Applied Mathematical Analysis Group
Applied Mathematics Division

Professor TSUJIMOTO Satoshi

Applied integrable systems: From discrete integrable systems to computational mathematics

http://www-is.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

We investigate "discrete integrable systems" in relation to orthogonal polynomial and combinatorics, as well as "computational mathematics" (for example, numerical algorithms based on integrable systems).

"Integrable systems" is a generic name given to non-linear continuous or discrete equation systems that "can be solved." Originally a concept from mathematical physics, in recent years there have been many unexpected developments in algebra, geometry, and analysis based on integrable systems. This laboratory, the founder of “applied integrable systems research”, conducts a wide range of research into areas such as computational mathematics, orthogonal polynomials and combinatorics.

We are also involved in a wide range of academic societies, mainly participating in Applied Integrable Systems Research Group and Matrix Computation Research Group of Japan Society for Industrial and Applied Mathematics (JSIAM), Mathematical Society of Japan (MSJ), are also promoting international collaborative research projects.

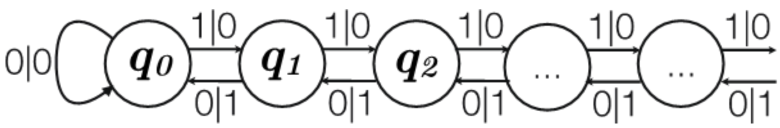
The water wave KdV equation

$$\frac{\partial u}{\partial t} = u\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial^3 u}{\partial x^3}, \quad u = u(x,t), \quad (-\infty < x < \infty,\ 0 \le t)$$

is a famous example of the integrable system. By discretizing this equation based on the orthogonal polynomial theory, we can obtain the discrete KdV equation:

$$u_{k+1}^{(n+1)}\left(1+\delta^{(n+1)}u_k^{(n+1)}\right) = u_{k+1}^{(n)}\left(1+\delta^{(n)}u_{k+2}^{(n)}\right), \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots,\ n = 0, 1, 2, \ldots)$$

and by applying a technique called ultra-discretization, we can also obtain the following cellular automaton.



All of the equations listed here have various "good" properties such as the existence of an infinite number of symmetries, and have been shown to play important roles in informatics. In particular, we proposed a new algorithm for computing the singular value decomposition of a given matrix by using the discrete KdV equation as a recurrence relation. Singular value decomposition is the mathematical basis of the big data information processing, and it is superior to conventional algorithms in terms of the relative accuracy of all singular values and the accuracy of singular vectors, and it significantly reduces the computation time. In some recent work, it has become clear that cellular automata obtained from the discrete KdV equation can lead to new algorithms for finding the Smith standard form of integer matrices. By developing a unified theory of informatics and mathematical physics, we are currently tackling a wide range of topics related to informatics.

志望区分(数－2)

応用数学講座 離散数理分野

原口 和也 准教授

－ 離散数学問題に対するアルゴリズムの開発 －

http://www-or.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

離散最適化 (Discrete Optimization) と呼ばれる最適化問題は、近年の計算機パワーの増大に伴い、コンピュータ科学の基礎理論分野として、アルゴリズム理論の発展とともに常に新しい展開を遂げています。具体的な応用例には、ネットワーク上の最適ルート・配送計画、施設の最適配置、ネットワーク上の分散処理、通信や交通ネットワークの設備・運用計画、勤務表や時間割のスケジューリング、資源の配分や生産計画、データの論理的解析および知識獲得、情報可視化問題、VLSIチップ内の配置・配線問題、ゲノム情報解析などが含まれ、大規模でグローバルな視点を要求されるものから、きわめて精細な設計に到るものまで挙げられます。その応用範囲は、オペレーションズリサーチ(OR)、システム工学、バイオインフォマティクス、さらには経営学、経済学、社会科学など多岐の領域にわたります。

離散最適化は、現実の問題を解決するために導入される数理モデルが離散的構造をもつ場合に、とくに有効であり、その数学的構造を利用した効率の良いアルゴリズムの開発が求められています。本研究室では、離散数学および離散最適化の理論とアルゴリズムに関する研究、およびそれらのオペレーションズ・リサーチ(OR)の諸問題への適用を主な研究課題としています。最近では、以下のような話題に取り組んでいます。

1. 離散最適化問題における整数多面体、双対性、集合関数などの理論やグラフの連結度構造・表現法などアルゴリズム構築の基盤となる理論的性質を見出す。
2. 多項式時間アルゴリズム、高速厳密アルゴリズム、FPTアルゴリズム、精度保証付き近似アルゴリズムを開発する。対象となる問題としては、ネットワーク設計問題、スケジューリング問題、グラフ描画など。
3. 中規模な問題例に対しては、厳密解を得るために、分枝限定法による厳密解法の設計、実装を開発している。これまで、MAX2SAT 問題、矩形充填問題などを対象として開発を行ってきた。現在、「レク太」と呼んでいる矩形充填ソルバーに対して、矩形の配置条件を柔軟に取り込める機能を追加している。
4. 2次元、3次元の物体を与えられた空間に充填するソルバーの開発。これまで、2次元の矩形に対しては分枝限定法による厳密ソルバー「レク太」を開発し、2次元、3次元の任意の形状の物体に対しては、形状を円や球で近似することで高速に衝突判定を行う手続きとヒューリスティクスを基にした多球近似法というソルバーを開発している。多球近似法を利用した確率ロードマップ法の高速化の研究も行っている。
5. 京都大学化学研究所 阿久津研究室との共同研究プロジェクトとして、化学グラフの構造を指定する特徴ベクトルとして特定のパスの含有頻度から、条件を満たす全ての化学グラフ(異性体)を列挙することで化学構造を推定する研究を進めている。現在、木状化合物の構造異性体、ベンゼン異性体、外平面状化合物の立体異性体などを列挙するプログラムを備えたソルバーを Enumol と呼び、以下のサイトで公開している。http: //sunflower.kuicr.kyoto-u.ac.jp/tools/enumol2/
6. 選挙の方式やオークションなど複数のプレーヤーが存在する問題では、最適化の尺度がプレーヤー個々に存在する意味で、目的関数が一つの最適化問題とは違った「安定した解」を求める方法ことが必要になる。さらには、解を求める方法の詳細が予め全プレーヤーに周知されているとき、方法の決定する解が自分に都合よくなるように、プレーヤーが自分の発信する情報を操作することがあり, この恣意的な操作によっても解が都合よく変動しないような方法を「耐性メカニズム」といい、その存在性の証明や設計は社会システムの基盤を構築する上で重要な問題。これまで、木状の施設配置問題に対して耐性メカニズムの存在や単一目的関数の最適化問題とのギャップの評価を行っている。

本研究室で研究を行うには、基礎学力として、データ構造とアルゴリズム、グラフ理論、線形計画を勉強していることが望ましい。実装に用いる言語はおもに CやC++である。

Application Code (AMP- 2)

Discrete Mathematics Group
Applied Mathematics Division

Associate Professor HARAGUCHI Kazuya

Developing algorithms for discrete mathematics problems

http://www-or.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

As a core area of computer science, the field of Discrete Optimization, alongside with algorithm theory, undergoes steady development, in step with constant advances in computing power. Discrete optimization finds its way across a variety of practical applications, from those requiring a large-scale global perspective, to those requiring minute, detailed design. Its forte is apparent once a practical problem is mathematically modeled, and one can use discrete mathematical structures to devise and apply high-performance algorithms.

Exemplar applications include network routing, distribution planning, facility layout, distributed computing, communication/transportation network design, assignment and scheduling, resource allocation and production planning, theoretical analysis of data and knowledge acquisition, information visualization, and analysis of genome information; and appear across a wide spectrum of fields, from Operations Research (OR), system engineering, bioinformatics, to management science and economics, social sciences, and many more.

The main research activity of this Group is in the areas of discrete mathematics and discrete optimization theory, as well as their application in practical fields such as OR and problems arising thereof. Some of the recent topics on which our research group has been actively working are as follows.

1. Theoretical topics such as integer polyhedron arising in discrete optimization problems, duality, set functions, graph connectivity structures and their representations, as well as foundations of algorithm design.
2. Developing algorithms of different nature: polynomial-time algorithms, exact sub-exponential algorithms, FPT algorithms, or approximation algorithms with provable deviation from an optimal answer. These algorithms are aimed to solve practical problems from network design, scheduling, graph drawing, et cetera.
3. Devising and implementation of Branch-and-Bound algorithms aimed at computationally hard problems. Thus far we have successfully tackled problems such as MAX2SAT and rectangle packing. Presently we are working on relaxing some conditions that our exact and efficient "Recta-kun" rectangle packing solver uses.
4. Developing a solver to place 2D and 3D objects of arbitrary shape within a given confined space. By first approximating each shape by a set of circles or spheres, we can efficiently check if two shapes intersect, a heuristic approach termed "the Multi-Sphere Method." Based on this method, we are also working on speeding-up the probabilistic road-map method for motion planning.
5. Contribute to a joint project with a research group headed by Professor Akutsu of Kyoto University's Institute for Chemical Research, by developing efficient programs for enumerating chemical components as graphs with a given structure. The conditions on the structure are given as feature vectors, which give the occurrence of all paths up to a certain length in a graph. Completed programs thus far, for enumerating all structural isomers of tree graphs, benzene isomers, as well as outer-planar graphs, are bundled as a dedicated solver called "Enumol," and are available on-line at http://sunflower.kuicr.kyoto-u.ac.jp/tools/enumol2/.
6. In scenarios such as elections or auctions, where multiple players with different individual pay-offs participate, it is necessary to look for a "stable solution," as some players might deliberately alter their votes for personal gain. A decision mechanism immune to such self-centered manipulation is called "strategy-proof," and contriving such mechanisms is a basis of social systems. Thus far we have constructed strategy-proof mechanisms up to the tree metric, as well as bounded the gap between the decision given by such mechanisms and a theoretically globally optimal answer.

Candidates aspiring to join our research group are expected to be familiar with or willing to learn topics such as data structures and algorithms, graph theory and linear programing. For practically implementing and testing proposed solutions, we mainly use the C/C++ programming language.

志望区分（数－3）

システム数理講座 最適化数理分野

山下信雄 教授，福田エレン秀美 准教授，山川雄也 助教

－最適化は問題解決のキーワード－

http://www-optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp

私たちの研究室では、数理最適化の理論と応用に関する研究を行っています。数理最適化とは現実の社会に現れる様々な問題を解決するための数理的システムアプローチの代表的な方法論のひとつです。最適化の応用分野は枚挙にいとまないほどで、今後ますますその版図を拡大し、重要性を増していくと考えられます。私たちの研究室の基本方針は、現実の問題への応用をしっかり見据えながら、理論重視の研究を行うことにあります。私たちの研究室では、非線形計画問題や均衡問題などの数理計画問題に対する効率的なアルゴリズムの開発を中心的なテーマとし、以下に述べるような多種多様な問題や手法を取り扱っています。

1. 線形計画問題、凸計画問題、非線形計画問題、ネットワーク計画問題、組合せ計画問題、相補性問題や変分不等式問題など基本的かつ重要な数理計画問題に対して新しいアルゴリズムを構築し、その諸性質を理論的に明らかにするとともに、その実用性を計算機実験を通して検証する。

2. リスクを考慮した意思決定において重要な役割を果たす確率的最適化やロバスト最適化に関する研究、および工学や社会科学の様々な分野に現れる均衡問題や均衡制約数理計画問題（MPEC）に対する新しい手法の開発を行う。

3. 交通工学、ファイナンス工学、データマイニング、通信工学、ゲーム理論などの分野に現れる最適化問題のモデル化およびそれらの問題に対する効率的な計算アルゴリズムの開発を行う。

Application Code (AMP- 3)

System Optimization Group
Applied Mathematical Systems Division

Professor YAMASHITA Nobuo, Associate Professor FUKUDA Ellen Hidemi ,
Assistant Professor YAMAKAWA Yuya

Optimization is the key to problem solving

http://www-optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp/eng/

Our laboratory researches the theory and application of mathematical optimization. "Mathematical optimization" is one of the leading methodologies for using mathematical systems approaches to solve a wide range of issues arising in real social settings. Application fields of optimization are too many to enumerate and it is virtually certain that these fields will expand in both breadth and importance in the coming years. In our laboratory, the basic guideline is to conduct research that is oriented towards theory but has a firm grasp of applications to real-world problems. We examine a wide range of problems and techniques, some of which are listed below. The research in this laboratory has developed efficient algorithms for non-linear programming problems, equilibrium problems, and other mathematical programming problems.

1. Development of new algorithms for basic, important mathematical programming problems, such as linear programming problems, convex programming problems, non-linear programming problems, network programming problems, combinatorial programming problems, complementarity problems, and variational inequality problems. We endeavor to provide theoretical descriptions of their nature and to use computer experiments to verify utility.

2. Research into stochastic optimization and robust optimization, which plays an important role in risk-aware decision-making, and development of new techniques for equilibrium problems and mathematical programs with equilibrium constraints (MPEC) arising in fields such as engineering science and social science.

3. Modeling of optimization problems in traffic engineering, financial engineering, data mining, communication engineering, and game theory, and development of efficient computational algorithms.

志望区分（数－4）

システム数理講座 制御システム論分野

加嶋健司准教授、大木健太郎助教

－制御とモデリングへの数理的アプローチ－

http://www.bode.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

科学技術の発展には、それを支える制御技術の発達が必要不可欠です。現在のロボット技術などの科学技術には目を見張るものがありますが、大規模化、ネットワーク化などによって生じる問題には、現在の制御技術では解決できない課題が多々あります。このような課題に取り組むため、制御システム論分野では、問題の数理モデリング、動特性の解析、および制御系設計のための理論構築とその応用に関する研究を行っています。

1. 制御理論の新パラダイム
自動運転など実世界においては避けることのできない、多様な不確実性のもとでのダイナミクスのための新しい制御理論の構築に取り組んでいます。特に、漠然と数理モデルを複雑化するのではなく、統計的学習理論との関係や個別の応用課題特有の性質に注目して研究を展開していることが特徴です。また、量子力学的なダイナミクスの制御に関する研究も実施しています。

2. システム同定と統計的学習
本分野は、長年にわたり、データからダイナミクスの数理モデルを構築する「システム同定」と呼ばれる研究に取り組んできました。近年は機械学習分野との融合にも積極的に取り組んでおり、統計的学習の様々な理論と手法を取り入れた数理基盤を構築しています。

3. ネットワーク化制御
交通ネットワークやドローンのフォーメーションのように、相互に影響を及ぼしあう多数のサブシステムが総体として適切に機能するダイナミクスを設計する「ネットワーク化制御」と呼ばれる分野です。中でも、自律分散的な意思決定、通信やプライバシーを考慮した情報取得、大規模化への対応、などに起因する課題の解決に取り組んでいます。

Application Code (AMP- 4)

Control Systems Theory Group
Applied Mathematical Systems Division

Associate Professor KASHIMA Kenji, Assistant Professor OHKI Kentaro

Mathematical approaches to control and modeling

http://www.bode.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

Though we can see gee-whiz technologies such as robotics today, there remain many problems that are not solvable by current control technologies because engineering systems have become more complex and highly functionalized. To tackle these problems, we study mathematical approaches to modeling, analysis, and control synthesis and their practical applications.

1. New paradigms in control systems theory
We are working on developing a new control theory for dynamics under various uncertainties that cannot be avoided in the real world, such as automated driving. In particular, we attempt to focus on the relationship with statistical learning theory and the properties specific to individual application problems, rather than vaguely complicating mathematical models. We also research the control of quantum mechanical dynamics.

2. System identification and statistical learning
We have been conducting research on constructing mathematical models of dynamics from data, called “system identification,” for many years. In recent years, we have also been actively working on the harmonization with the machine learning field. We are seeking a mathematical foundation for constructing models for control while incorporating various methods based on statistical learning theory.

3. Networked control systems
We are working on “networked control,” which designs the dynamics of a large number of interacting subsystems that function properly as a whole, such as a transportation network or a drone formation. Among other things, we are working to solve problems arising from decentralized decision making, information acquisition with consideration for communication and privacy, and scalability

志望区分（数－5）

数理物理学講座 物理統計学分野

梅野　健　教授、上原　恵理香　講師

－多要素結合ネットワーク系の数理と複雑工学システム設計理論－

http://amech.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

多くの要素（ユニット）が相互作用し情報のやりとりを行う分散通信ネットワークやスマートグリッドの様な複雑工学システムの数理的解析や設計理論の構築を目標とします。また、ニューラルネットワークなどの生物系ネットワーク、SNSなどのソーシャルメディア、経済現象に生起する複雑多様な現象の数理的、統一的理解とシステム設計理論の構築をめざします。例えば、ニューラルネットワークにおける情報処理、インターネットや分散ネットワーク、無線ネットワークなどの情報通信システムのシステム評価、高速モンテカルロ計算アルゴリズム、価格・株価変動等の経済現象の動的性質を、統計物理学、確率過程理論、力学系理論、エルゴード理論、計算機実験、大規模データ処理技術等を用いて解析します。

キーワード：物理統計学、確率過程，　エルゴード理論、複雑コミュニケーションサイエンス、経済物理・曂列解析・多点信号解析、生物系の情報処理、ソフトマター、計算物理学

Application Code (AMP- 5)

Physical Statistics Group
Mathematical Physics Division

Professor UMENO Ken, Senior Lecturer UEHARA Erica

The mathematical studies on coupled multi-element network systems and design theory of complex engineering systems

http://amech.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

We aim to gain a mathematical and unified understanding of the complex and diverse phenomena that arise out of the intense mutual interactions of multiple elements (units) in a system and apply this understanding to information processing and design of complex engineering system. For example, we will use stochastic process theory, ergodic theory, statistical physics, dynamical system theory, computer simulations, and large-scale data processing techniques to analyze information processing and performance evaluation in neural networks; the structure of the Internet and other complex networks such as social media systems, and the propagation of information within them; and the dynamical properties of price change, stock markets and other economic phenomena.

Keywords: Physical Statistics, Stochastic Processes, Ergodic Theory, Applied Chaos, Complex Communication Sciences, Econophysics, Statistical Physics, Soft Matter, Computational Physics

志望区分(数－6)

数理物理学講座 力学系数理分野

矢ヶ崎一幸教授、柴山允瑠准教授、山口義幸助教

－力学系理論に基づいた複雑現象の数理－

http://yang.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

本研究室では、力学系理論の手法を用いて、自然科学や工学分野等に現れるさまざまなシステムで起こる、カオスや分岐等の複雑現象を解明し、新たな工学技術を創生することを目標としています。この目標のため、従来の理論に留まらず、力学系の革新的な理論の構築に挑戦しています。さらに、精度保証計算や大規模数値シミュレーション等の数値的な手法も用いて、以下のような課題に取り組んでいます。

1. 無限次元力学系における力学系理論の展開と応用
   無限自由度ハミルトン系等の偏微分方程式系や格子系で生じるパルス解の分岐、安定性およびパターン形成に対する理論を構築し、また、それらの系に対して精度保証付き数値分岐解析手法を確立する。

2. さまざまな微分方程式系における分岐とカオス
   ハミルトン系、反転可能系、時間遅れ系，区分的に滑らかな系や確率力学系等さまざまな微分方程式系を取りあげ、分岐やカオスについての理論を構築し、これらの非線形現象を明らかにする。

3. 変分解析による解の存在証明
   特に，古典力学のN体問題を対象とし，変分法を用いて周期解やホモクリニック軌道などの存在を数学的に証明する.

4. 非可積分性の判定
   微分ガロア理論、摂動法、特異点解析や葉層構造の理論を用いて力学系の非可積分性を判定し、また、非可積分性とダイナミクスの関係を明らかにする.

5. 多体ハミルトン系の平衡・非平衡統計力学とダイナミクス
   多数の粒子を一つ一つ考える代わりに、それらの分布によって系の時間発展を記述し、粒子が集団としてどのような時間発展を行うかを調べる。例えば、非平衡状態での相転移や、熱平衡状態への緩和時間の粒子数依存性、代数的な遅い緩和の存在等がわかる。また、系に外力をかけて応答を考えることにより、線形応答理論等へと応用できる。

6. 自然科学、工学および社会科学分野への応用
   宇宙ロケットの軌道設計法やドローンの運動制御に対して、力学系理論の知識に基づいた方法論を確立する。また、力学系理論のアプローチによるカオス制御や最適制御の手法を開発し、自然科学や工学に留まらず社会科学分野における諸問題に対して応用する。

Application Code (AMP- 6)

Dynamical Systems Group
Mathematical Physics Division

Professor YAGASAKI Kazuyuki, Associate Professor SHIBAYAMA Mitsuru
Assistant Professor YAMAGUCHI Yoshiyuki
Mathematics of complicated dynamics based on dynamical systems theory
http://yang.amp.i.kyoto-u.ac.jp/

Applying dynamical systems approaches, our group studies complicated phenomena such as chaos and bifurcations in various systems appearing in sciences, engineering and other disciplines and develops novel engineering technologies. For this purpose, we not only use standard approaches but also develop new innovative theories in dynamical systems. We also utilize numerical approaches such as verifiable computation and large-scale numerical simulation, and tackle the following topics:

1. Development and application of dynamical systems theory in infinite-dimensional systems
   We develop new theories for bifurcation and stability of pulse solutions and pattern formations in partial differential equations and lattice systems such as infinite-degree-of-freedom Hamiltonian systems, and establish verified numerical methods for bifurcation analysis of these systems.

2. Understanding of bifurcations and chaos in various systems of differential equations
   We consider various systems of differential equations including Hamiltonian systems, reversible systems, time-delay systems, piecewise smooth systems and random dynamical systems, and develop new theories to reveal nonlinear phenomena such as bifurcations and chaos in these systems.

3. Search for solutions by variational methods
   We prove the existence of particular solutions such as periodic and homoclinic solutions, especially in N-body problems in classical mechanics, using variational methods.

4. Determination of non-integrability
   Using differential Galois theory, perturbation approaches, singularity analysis and foliation theory, we prove the non-integrability of dynamical systems, and study its relation to their dynamics.

5. Equilibrium/Nonequilibrium statistical mechanics and dynamics in many-body Hamiltonian systems
   Temporal evolution of the system is described by a distribution function instead of considering each particle. The kinetic theory reveals collective motion of the system, which yields nonequilibrium phase transitions, dependence of relaxation time on the number of particles, and existence of algebraic slow relaxation. This method can be applied to the linear response theory by considering the responses to applied external forces.

6. Applications in natural science, engineering and social science
   We establish dynamical systems approaches for design of spacecraft transfer trajectories and control of quadrotor flying vehicles. We also develop chaos control and optimal control methods based on dynamical systems theory and apply them to various problems appearing from natural science and engineering to social science.

志望区分（数－7）

応用数理モデル連携ユニット

（（株）日立製作所 研究開発グループとの連携）

加嶋健司准教授、原口和也准教授、野中洋一連携教授、高橋由泰連携准教授

－情報システム実現のための数理モデリング－

http://www.bode.amp.i.kyoto-u.ac.jp/amm/

今日、コンピュータをはじめとする情報機器は社会や生活のあらゆる場面に入って情報システムを構成し、われわれの暮らしや仕事を支えている。情報システムが社会や生活の場でその効果を十分に発揮するには、その適用対象をうまくモデル化することが不可欠である。このために、数理工学における種々のモデリング方法論を基に、以下の項目を中心に研究を進めている。

1. 構造的モデリング
   情報システムの利用者、扱うべきモノや情報の振舞いを明らかにするために、オブジェクト指向概念やマルチエージェント技法に基づいてシステム全体の挙動を構造的にモデル化する方法論の研究を行う。

2. 非線形現象のモデリング・学習論理
   線形モデリング技法に加えて、非線形現象に対処するためのニューラルネットワークやデータマイニングなどの研究を行う。人間のもつ種々の経験や知識の活用方法、時間の経過に応じてモデル構造を更新する学習論理の開発が課題である。

3. 情報システムの形態多様化に応じたデータ・アルゴリズム構造
   通信ネットワーク技術の進展にともなって、プロセッサやストレージを多様な形態で配置した分散型情報システムの構成が可能になっている。このような情報システムの多様な実装形態に適したデータおよびアルゴリズムの構造を研究する。

以上の研究は、製造、交通・流通、金融、医療・バイオなどの分野別情報システムや、企業情報システム、生活情報システムなど分野共通の情報システムなど、実システムへの応用を想定して進めている。

Application Code (AMP- 7)

Applied Mathematical Modeling (Adjunct Unit)

(Conducted through the alliance with R&D Group, Hitachi, Ltd.)

Associate Professor KASHIMA Kenji, Associate Professor HARAGUCHI Kazuya,
Adjunct Professor NONAKA Yoichi,
Adjunct Associate Professor TAKAHASHI Yoshiyasu

Mathematical modeling for the creation of information systems

http://www.bode.amp.i.kyoto-u.ac.jp/amm/

Computers and other information equipment can be found in virtually every aspect of modern society and life, providing the information systems that support our existence and work. If information systems are to be fully effective in society and life, it is essential that their objects are accurately modeled. Our research facilitates this, focusing on a wide range of modeling methodologies within mathematical engineering. Below are some of the topics we examine.

1. Structural modeling

   We research methodologies for the structural modeling of overall system behavior based on object-oriented concepts and multiagent techniques. These models enable the users, handled objects, and information behavior of information systems to be identified.

2. Modeling and learning theory of non-linear phenomena

   In addition to linear modeling techniques, we research neural networks, data mining, and other approaches for dealing with non-linear phenomena. Among the challenges in this area are the development of methods for utilizing human experiences and knowledge, and learning theories that update model structures according to the passage of time.

3. Data and algorithm structures corresponding format diversification in information systems

   Advances in communications networking technologies have made it possible to build decentralized information systems that combine many different forms of processors and storage. We research the structure of data and algorithms that is suitable to diverse embodiments within information systems.

The research described above has applications in real systems in areas like manufacturing, transportation and distribution, finance, medicine, bio and other field-specific information systems, as well as in more generalized information systems for companies and individuals.