



CREST「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」

成果報告公開シンポジウム

DX, AI, これからの数理モデリング

各セッションの見どころ

会場 オンライン開催(成果報告:Zoom, ポスター/情報交換会:Virbela)

参加費 無料

シンポジウム HP <https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/math-rsympo2021>

各課題の成果報告

9月21日(火)

- 10:00 開会
- 10:10-12:40 「次世代暗号に向けたセキュリティ危殆化回避数理モデリング」…………… P.1
(研究代表者:高木 剛(東京大学 教授))
- 14:30-17:00 「ソフトマター記述言語の創造に向けた位相的データ解析理論の構築」…………… P.2
(研究代表者:平岡 裕章(京都大学 教授))
- 18:00-19:00 情報交換会

9月22日(水)

- 10:00-11:15 「大規模複雑システムの最適モデリング手法の構築」…………… P.3
(研究代表者:岩田 寛(東京大学 教授))
- 11:15-12:30 「環境を友とする制御法の創成」…………… P.4
(研究代表者:小林 亮(広島大学 教授))
- 13:00-14:00 **ポスターセッション(1)**
- 14:30-15:45 「認識の数理モデルと高階・多層確率場による高次元実データ解析」…………… P.5
(研究代表者:石川 博(早稲田大学 教授))
- 15:45-17:00 「生命現象における時空間パターンを支配する普遍的数理モデル導出に向けた数学理論の構築」… P.6
(研究代表者:栄 伸一郎(北海道大学 教授))

9月23日(木)

- 10:00-12:30 「臨床医療における数理モデリングの新たな展開」…………… P.7
(研究代表者:水藤 寛(東北大学 教授))
- 13:00-14:00 **ポスターセッション(2)**
- 14:30-17:00 「先端的確率統計学が開く大規模従属性モデリング」…………… P.8
(研究代表者:吉田 朋広(東京大学 教授))

9月24日(金)

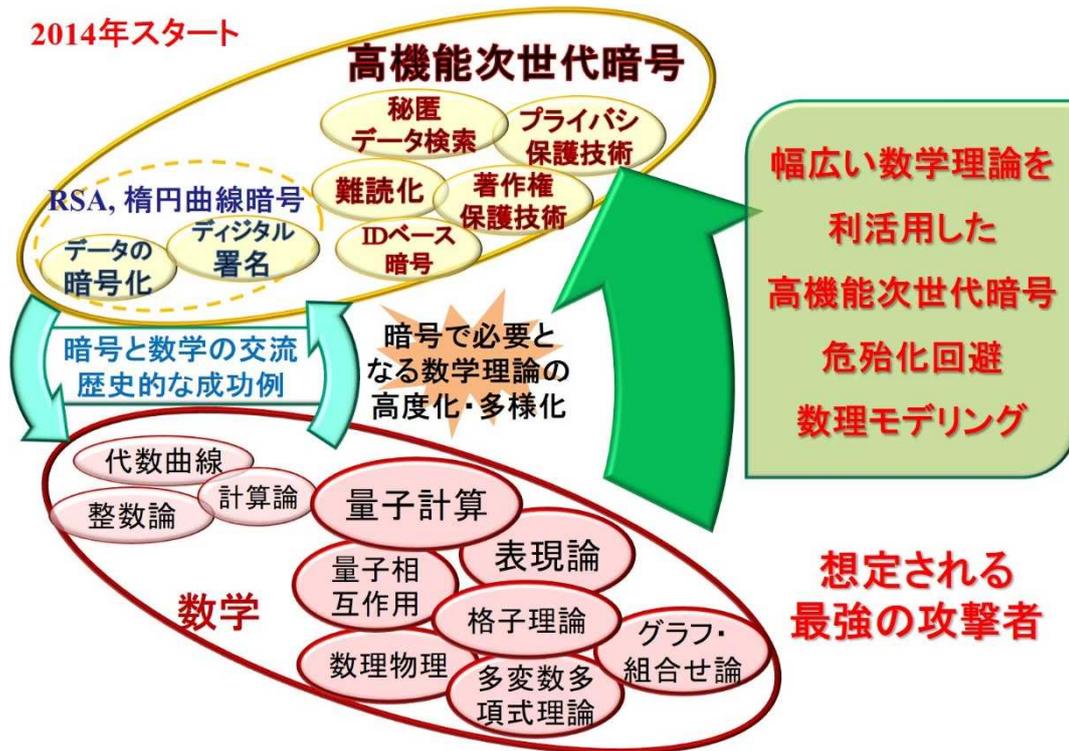
- 10:00-12:30 「モデリングのための精度保証付き数値計算論の展開」…………… P.9
(研究代表者:大石 進一(早稲田大学 教授))
- 14:30-17:00 「数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創設」…………… P.10
(研究代表者:長山 雅晴(北海道大学 教授))
- 17:00 閉会

セッションの見どころ

9/21	10:10~12:40	高木チーム
------	-------------	-------

CREST 暗号数理 (<https://cryptomath-crest.jp>)

○10:10~10:30 CREST 暗号数理のチーム全体の研究活動を紹介する(20分)



○10:30~12:00 本研究課題の4グループの研究成果を説明する(各20分)

研究代表者:高木剛(東京大学大学院・情報理工学系研究科・教授)
 共同研究グループ(1):若山正人(東京理科大学・理学部数学科・教授)
 共同研究グループ(2):田中圭介(東京工業大学・情報理工学院・教授)
 共同研究グループ(3):國廣昇(筑波大学・システム情報系・教授)



○12:05~12:40 CREST 暗号数理の若手研究者5名の研究発表(各7分)

- 12:05 池松泰彦、九州大学・助教、多変数多項式暗号の構成と安全性解析の研究
- 12:12 小貫啓史、東京大学・特任研究員、楕円曲線を用いた同種写像暗号の高速化アルゴリズム
- 12:19 Cid Reyes、東京工業大学・特任助教、Light-matter interaction: degeneracy, symmetry and propagators
- 12:26 Maxim Jourenko、東京工業大学・研究員、Lightweight Offchain Protocols for UTxO Based Ledgers
- 12:33 趙亨駿、筑波大学・研究員、Research on Ramanujan graphs and their cryptographic applications

セッションの見どころ

9/21	14:30-17:00	平岡チーム
------	-------------	-------

IoT, AI, 第4次産業革命などに見られるように、データ科学をデジタル社会へ活用する機運が高まっています。しかしながら日々生み出され続けるデータは、その規模が指数関数的に爆発し、またデータ構造もますます複雑なものになっています。そのことから、実は現代社会ではごく限られた扱いやすいデータしか利用できておらず、隠れたデータの宝が眠っています。これは現在のデータ科学が直面している大きな問題です。

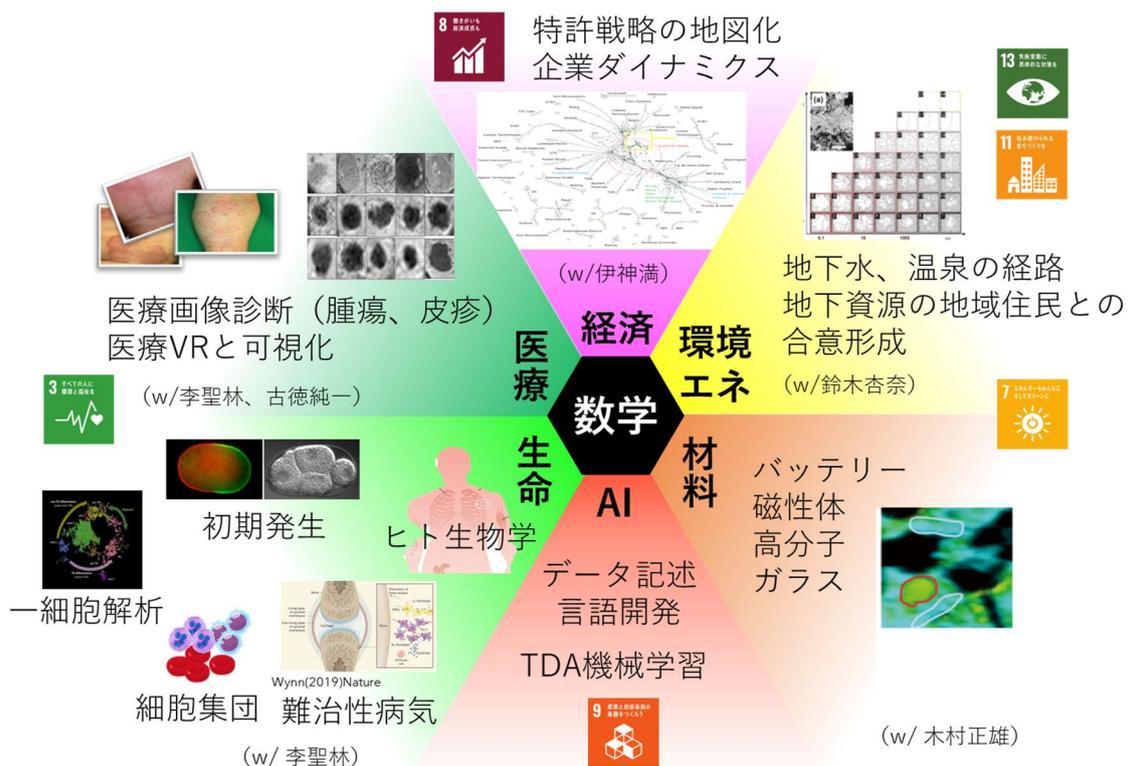
この状況に対する、数学の強みは何でしょうか？それは数学の抽象性からくる表現能力の高さです。これにより、膨大かつ複雑なデータの特徴を捉えた「記述子」を開発することを可能にし、上記問題の解決に大きな貢献をもたらすことが期待されています。

我々のチームでは、データの「かたち」に着目する記述子であるトポロジカルデータ解析に焦点をあて、「数学・データ科学・応用」の三位一体でプロジェクトを実施してきました。このセッションでは

- データの「かたち」を特徴づけるトポロジカルデータ解析ってなに？
- 素人にもつかえるの？どんなことができる？どんな産業応用が可能？
- 機械学習とトポロジカルデータ解析の関係は？

といった疑問に答えることで、トポロジカルデータ解析の現状と将来性についてお伝えしようと思えます。

また、最近ではトポロジカルデータ解析をさらに発展させた「データ記述科学」とよばれる新分野の立ち上げも行っています(下図参照)。ここでは様々な最先端の数学を用いて、生命、医療、材料、経済、環境エネ、AIといった幅広い分野に横断的に応用されるデータ記述・解析手法を開発しています。こういった最先端の取り組みについても、わかりやすく解説を行います。

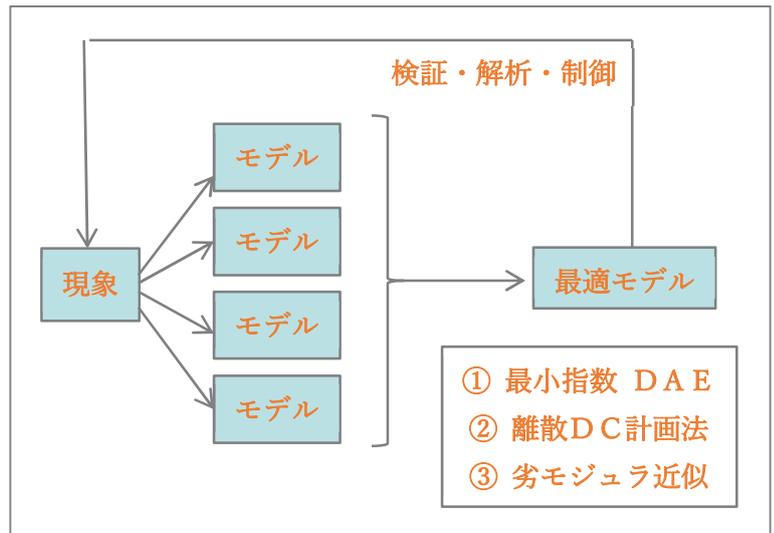


セッションの見どころ

9/22	10:00-11:15	岩田チーム
------	-------------	-------

モデル化は、数的手法による問題解決や現象解明に不可欠な第一歩です。特に、生命現象や社会現象の様に支配法則の不明確な対象を扱う際には、同じ現象に対しても、多数のモデルが考えられます。本研究では、離散数学・最適化分野における最新の数理科学的知見を駆使して、多数のモデルの中で最も適切なものを効率的に選択する体系的な手法を創出することを目標に、以下のテーマを追求しました。

- 最適モデリング手法の開発
 - ① 微分代数方程式モデルの最適化
 - ② 離散凸解析による統計的モデルの最適化
 - ③ 大規模ネットワークの劣モジュラ近似
- 生命現象の最適モデリング
- 社会システムの最適モデリング



本セッションでは、プロジェクトの成果を代表して、微分代数方程式モデルを自動的な修正によって、数値的に解き易い形に変換する技術を、デモも交えて紹介します。離散最適化や数式処理を援用して、数値計算の困難性を低減する分野横断型の総合技術が鑑賞できます。

続いて、社会システムへの最適モデリングの応用として、公共交通機関の利便性向上を目指した研究成果を紹介します。一つは、過疎地域におけるバスの時刻表作成に関する研究であり、乗り換えの利便性のモデル化が鍵となっています。もう一つは、首都圏における通勤電車の混雑解消のために、優等列車の停車駅設定の改善策を探るものです。時空間ネットワークによるモデルを圧縮し、扱い易い規模のモデルで効率的な計算を可能としているところが、鍵となります。

環境を友とする制御法の創成

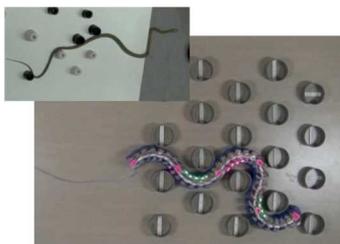
今、私たちは様々なロボットを目にすることができます。人の形をして滑らかな動きを見せるロボット、お喋りをするロボット、心を癒すペットロボット、お掃除ロボット、工場で働く産業用ロボット、名人をも破る棋士ロボットなどなど。こんな状況を見ると、もう人間とロボットが共に暮らす時代がすぐそこにきているような気になります。ところが、ここで一つ問題が... 実は、フィクションの中に登場するロボットたちには当然のようにできるのに、現実のロボットにはうまくできないことが一つあります。それは、自然環境の中や、私たちの生活空間を自在に動き回ることです。それは私たち人間にとっても、また大抵の動物たちにとっても何でもないことのはず。では、現在のロボットたちはものすごく高度なことができる一方で、なぜこんな一見簡単なことができないのでしょうか。私たちはその疑問に答え、動物のように環境の中を動き回れるロボットを開発するべく、「環境を友とする制御法」というコンセプトを打ち出しました。本セッションではこのコンセプトに基づいて実際にロボットを製作しているメンバーが丁寧な解説をします。

前半は大阪大学の須賀公一氏に「環境を友とする制御法」のベースにあたる「陰的制御」についてお話をしてもらいます。この i-CentiPot にはコンピュータやセンサーがついていません。それでも環境に巧に馴染むことで知能を感じてしまいます。それが「陰的制御」の効果です。

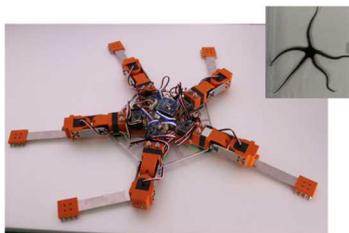


ムカデ型ロボット i-CentiPot

後半は東北大学の石黒章夫氏に「陰的制御」と対をなす「陽的制御」、その中でも重要な「手応え制御」という概念について、イヌやウマなどの四脚動物が示す巧みな足捌きを事例として採り上げながら紹介してもらいます。



蛇型ロボット HAUBOT



クモヒトデ型ロボット PENTABOT



4脚ロボット Oscillex

セッションの見どころ

9/22	14:30-15:45	石川チーム
------	-------------	-------

イントロダクション — 石川 博（早稲田大学）

深層学習による歴史的映像コンテンツの修復 — 飯塚里志（筑波大学）

近年、深層学習は様々な分野で幅広く研究されており、画像処理タスクにおいても多くのベンチマークデータセットで非常に高い性能を示している。その一方で、実データを扱う実際の問題に深層学習を応用する



場合、実データの複雑さや多様性の問題から、モデル設計や学習方法により多くの工夫が必要となる。本講演では、深層学習の実応用例として、深層学習を用いたクロード・モネの絵画の修復プロジェクトや古い記録映像のデジタルリマスター技術について紹介し、その要素技術や課題について考察する。

機械学習によるラフスケッチのペン入れ技術 — シモセラエドガー（早稲田大学）

近年、機械学習及び深層学習が様々な分野で革命を起こしている。本講演では、イラストレーションにおいて重要なラフスケッチのペン入れ技術について、五年間ほどの進歩を紹介する。ラフスケッチは



通常画像より情報が少なく、訓練データが集めにくい、データセットの作成やモデル構築の工夫が必要である。さらに、ユーザーの要求に合わせたインタラクティブなモデルのデザイン及び訓練の仕方が重要になる。ラフスケッチをきれいな線画にするため、画素で構成されたラスター画像の線画を出力するモデルではなく、直接線を表示するベクター画像を出力する再帰ネットワークを紹介する。本講演では、初期のラフスケッチと線画のデータセット作成から、最近のベクター化するネットワークの発展まで説明する。

言語による画像理解とそれに基づく行動の生成まで — 岡谷貴之（東北大学）

概要：画像から物がなんであるかを答える AI はずいぶん前にほぼ完成したが、人との対話を通じて画像（に映るシーン）を理解する AI や、さらには支持された行動を生成する AI が盛んに研究されるようになってきている。これらの問題に対する、われわれのグループの研究成果を紹介する。

セッションの見どころ

9/22	15:45 - 17:00	栄チーム
------	---------------	------

セッションテーマ: 数理モデリング構築に向けた新手法の提案

このセッションではパターン形成問題に関わる数理モデル構築において、積分核を用いて表現するという新しい手法を紹介します。当チームでは2つの発表と3つのポスター発表を予定していますが、それぞれの発表を通して積分核を用いた数理モデリングの有効性を実感してもらうことを目標としています。以下、講演内容を中心にその概要を説明したいと思います。積分核モデルでは、ある場所がその周辺から受ける影響の度合いを関数で表現し、その効果をすべて足しあわせることで定量化します。この方法の有効性を確認するために当チームでは概念的なモデルから入ることはせずに、最初から現実的な問題、具体的にはショウジョウバエの視覚中枢系における、分化の波、と呼ばれる発現パターンへの適用を目指しました。その結果、分化に関わるマイクロなシグナルおよび代謝のネットワークを積分核で表現し、数理モデルに取り入れることで様々な現象の再現に成功しました。今回企画している2つの講演ではその部分を分かり易く説明したいと思います。

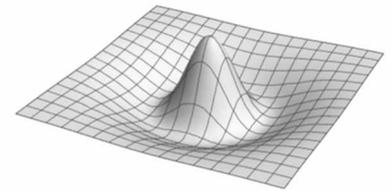


図. 積分核の例

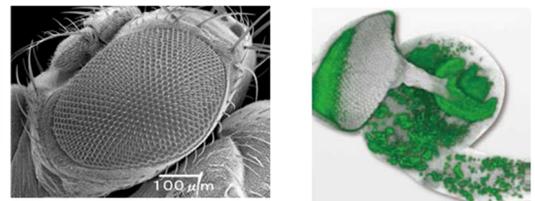


図. ショウジョウバエとその視覚中枢系

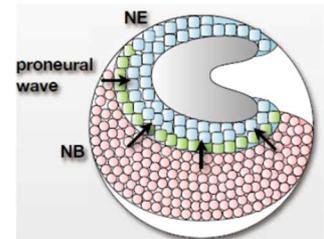


図. 視覚中枢系における分化の波の伝搬の概念図

講演 1: 発表者: 栄伸一郎 (北海道大学)

タイトル: パターン形成問題を積分核で表現する.

講演 2: 発表者: 田中吉太郎 (公立はこだて未来大学)

タイトル: 実験に適用可能な数学理論を構築するための数理モデリングと数値解析.

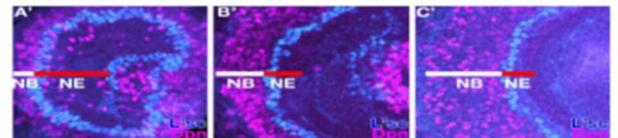


図. 実際の視覚中枢系における分化の波の伝搬の様子

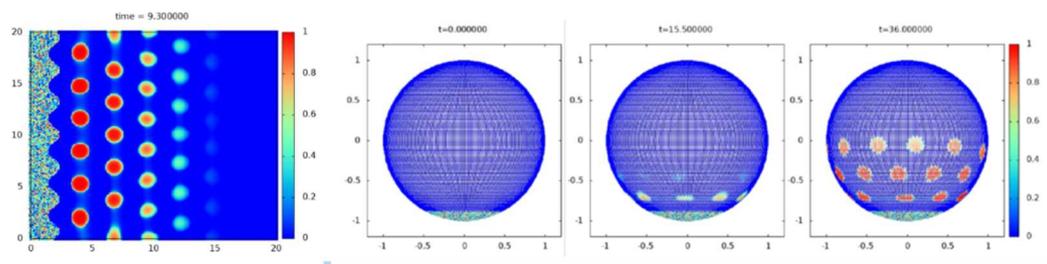


図. 数理モデルによる数値シミュレーション. 右は球面上におけるシミュレーション

セッションの見どころ

9/23	10:00-12:30	水藤チーム
------	-------------	-------

本セッションでは、「臨床医療における数理モデリングの新たな展開」と題して進めてきた6年間の活動の集大成として代表的な研究内容をご覧いただくと共に、それらを通して見たときの新しい流れとして、デザイン思考を用いて医療ニーズと学術をどのようにしてつなげていくか、という話題をご紹介します。

//////////////////// プログラム //////////////////////

本 CREST チームの概要紹介：水藤寛（東北大学・教授）

企画講演：植田琢也（東北大学・教授）

「デザイン思考を用いた医療ニーズと学術の融合点の創造」

研究発表 1：増谷佳孝（広島市立大学・教授）

「医用画像解析における数理手法とユーザインタラクション」

研究発表 2：水藤寛（東北大学・教授）

「医療現場の問題意識から数理的なアプローチへ」

研究発表 3：滝沢研二（早稲田大学・教授）

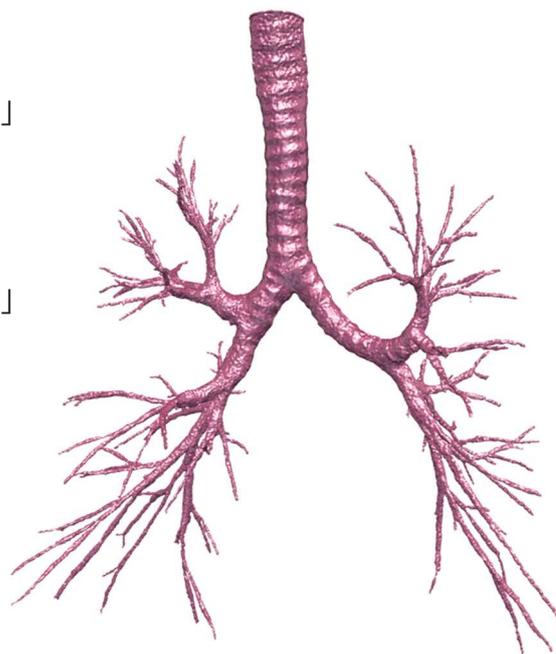
「心臓血管系の計算モデルの構築方法と計算方法」

研究発表 4：齊藤宣一（東京大学・教授）

「計算モデルの正当性を保証する数理」

チーム討論：

「医療における数理モデル研究のデザイン」



セッションの見どころ

9/23	14:30-17:00	吉田チーム
------	-------------	-------

講演者：吉田朋広（東京大学大学院数理科学研究科・教授）

講演タイトル：先端的確率統計学が開く大規模従属性モデリング

確率過程の統計学は、複雑な従属性のあるデータの背後に潜む確率的構造を捉え、数理科学に基づくモデリングによって現象の理解と予測を可能にする。方法論の構築において、従属性による多くの困難があるが、本 CREST 課題研究によって幾つかの基礎的な問題が解決された。本講演では、何が問題であり、どのように解決されたかを、事例を用いて紹介し、今後の発展について考察する。

講演者：内田雅之（大阪大学大学院基礎工学研究科・教授）

講演タイトル：確率微分方程式の統計モデリングのためのハイブリッド型推定法

高頻度データを用いた確率微分方程式の未知パラメータ推定には目的関数(擬似尤度関数)を最大化する必要がある、効率的かつ安定的な推定を行うためには初期値の選択が重要となる。本講演では、高頻度データを用いた初期ベイズ型推定量の構成、およびその初期ベイズ型推定量に基づく擬似最尤推定法(ハイブリッド型推定法)についての研究結果を報告する。また、数値シミュレーションによって、提案したハイブリッド型推定量と既存の初期推定量に基づく擬似最尤推定量の漸近挙動を比較する。

講演者：増田弘毅（九州大学大学院数理学研究院・教授）

講演タイトル：レビ駆動モデルの統計推測法の展開と体系化

現代の大規模高頻度データには多様な非正規性が現れる。非正規ノイズ(レビ過程)は動的な高い表現力・柔軟性をもつ一方で、その統一的な取り扱いが困難であったことにより、これまでデータ解析手法は十分に整備されていなかった。本講演では、レビ駆動型モデルの推測理論の体系化に関するいくつかの基礎研究の成果を概観し、双璧を成す正規型と非正規型の擬似尤度推定法がもつ相補的な特徴を紹介する。YUIMA への実装の現状および今後の展望についても報告する。

講演者：鎌谷研吾（統計数理研究所・准教授）

講演タイトル：確率過程のベイズ統計学のための技術的発展

離散時間に観測された確率過程の解析には独特の難しさがある。観測の従属性が、統計推測にも、統計量の計算にも困難を生む。ベイズ統計学はひとつの統計解析の体系であるが、積分計算を不可欠とする特徴上、統計量の計算がより一層困難になる。本発表では、大域構造を利用した、ベイズ統計学のための新しいマルコフ連鎖モンテカルロ法についてのいくつかの研究結果を発表する。

講演者：小池祐太（東京大学大学院数理科学研究科・准教授）

講演タイトル：高次元確率過程に対する統計推測

データの次元がサンプル数よりも大きいような超高次元データに対する統計学は、21 世紀に飛躍的な進展を遂げたトピックの 1 つである。最も基本的な無作為抽出データに対しては多くのことが明らかにされたが、確率過程の観測データのように複雑な従属性がある場合には、未だ多くが未解明である。本報告では、高次元共分散行列の推定を中心に、本研究課題で解決された研究成果を概観する。

セッションの見どころ

9/24	10:00—12:30	大石チーム
------	-------------	-------

CREST 制度による研究支援をいただき、この約 7 年で様々な研究成果を挙げる事ができました。本シンポジウムでは 2 時間 30 分の時間内で幅広い内容をご紹介します。8 名の研究者が発表いたします。精度保証付き数値計算のフロンティアとして、遅延微分方程式、流体計算、力学系の最新の話をご紹介します。精度保証付き数値計算に基づく計算機援用証明によって初めて厳密に証明することができる複雑モデリングの問題がいたる所に現れます。また、精度保証の応用として、新たな信頼性の検証法と最新ハードウェアへの展開、CREST 他チームの研究に役立てた事例もご紹介いたします。最後には、精度保証ツール（オープンソース）の使い方についてのチュートリアルがございます。精度保証付き数値計算を試してみるハードルは高くなく、誰にも使えることがわかるでしょう。

以下の内容・順番で発表が行われます。



セッションの見どころ

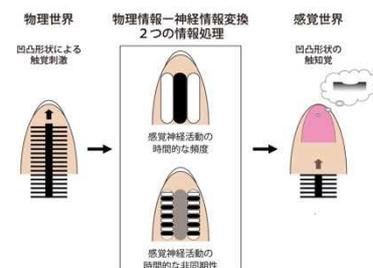
9/24	14:30-17:00	長山チーム
------	-------------	-------

長山チームの6年間の研究成果を発表します。資生堂の皮膚科学チーム、臨床皮膚科医らと共同で角層バリア機能を有する表皮数理モデルを構築し、皮膚疾患への応用や培養人工皮膚構築への応用を行ってきました。数理科学と皮膚科学の協働がどのような研究成果を生み出すことができたのか報告したいと思います。

海野佑樹(資生堂)さんは、二光子顕微鏡を用いて角層の脂質配向性を調べる方法について講演します。バリア機能と細胞間脂質整列性には関連があり、細胞間脂質整列性を測定する方法が確立したことによって、バリア機能の改善のために細胞間脂質整列性を高める原料開発が進むと考えられます。

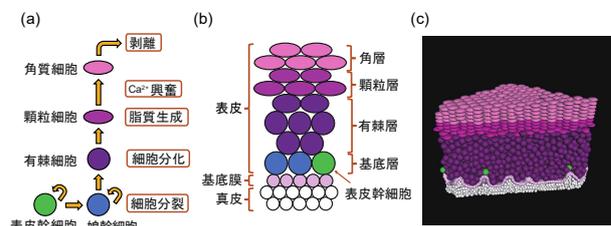
夏賀健(北海道大学)さんは、皮膚損傷からの治癒のメカニズムについて講演します。細胞系譜追跡実験、細胞増殖ダイナミクス、数理モデルによって、毛包幹細胞の子孫が毛包の発達を一時的に停止し、表皮損傷を修復することが明らかにしました。水疱を呈する皮膚疾患(表皮水疱症、類天疱瘡、熱傷等)の治療法の開発へとつながることが期待されます。

仲谷正史(慶應義塾大学)さんは、触錯覚メカニズムに対する数理科学と検証実験について講演します。人間の触覚による形状認識の仕組みを説明する数理モデルの構築とその検証研究を行い、触覚で生じる錯覚現象(触錯覚)を活用して、その触錯覚が生じなくなる現象を世界で初めて発見しました。この研究成果は、インターネットを通して遠隔に高品質な触覚情報を伝達するための基本技術の開発に役立つと期待されます。



大野航太(中央大学)さんは、良質な培養表皮構築条件を数理モデルから予測した結果について講演します。播く細胞の種類に左右されずに厚い表皮を作る方法について、数値計算することでその条件を見出し、その示唆をもとに培養実験することで、厚い表皮を作ることに成功しました。この結果は培養皮膚を作成する新しい手法の提案となり、製品開発や皮膚科学の様々な問題解決に応用されることが期待されます。

小林康明(北海道大学)さんは、真皮の変形を考慮に入れた表皮の3次元計算モデルについて講演します。数理モデルを用いて異常に分裂・分化が進む細胞を仮定したシミュレーションにより、ウオノメ様の形態を再現することに成功しました。実験で直接観察できない病態ダイナミクスを数理モデルによって推定することが可能であり、形態変化を伴う様々な病態のシミュレーションへの応用が期待されます。



中村健一(金沢大学)さんは、表皮基底膜の変形を記述する数理モデルとして提案された変分問題について得られた数学解析の結果を講演します。複雑な数理モデルからその本質だけを取り出した数理モデル(数学解析するための数理モデルに対する数学モデル)から導かれる基底膜形状について解析結果を報告します。