

# 研究領域事後評価

## CREST研究領域

### 「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」

2022年3月2日

研究総括 坪井 俊

- 1.研究領域の概要
- 2.研究総括のねらい
- 3.研究課題の選考
- 4.領域アドバイザー選定
- 5.研究領域のマネジメント
- 6.研究成果
- 7.総合所見

# 1. 研究領域の概要

## 戦略目標

「社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築」

## 達成目標

社会における諸現象のうち、現時点で支配原理・法則が明確でなく、数理モデル化ができれば社会に対して大きなインパクトが見込まれる現象について、数学・数理科学の研究者と応用分野の研究者等による異分野協働等を通じて、数学が持つ抽象性・普遍性を活用し、諸現象に潜む複雑な構造の「本質」部分を数学的に見いだすことにより、以下の実現を目指す。

- 現象を数学的に記述するモデルの導出
- 導出された数理モデルの実証・検証および評価のための数学的理論等の構築

# 1.1 研究領域への社会的期待

## 政策上の側面

- ・第4期科学技術基本計画(2011.8.19閣議決定)「科学技術の共通基盤の充実、強化」  
数理科学は「複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術とし研究推進
- ・数学イノベーション戦略(2012.8科学技術・学術審議会先端研究基盤部会)  
「複雑な現象やシステム等の構造の解明」、「リスク管理」、「将来の変動の予測」  
等の課題は数学・数理科学の活用による解決を期待

## 科学的な側面

- ・大量取得データから本質を抽出した数理モデリングの確立が課題  
ゲノム情報、脳科学多計測脳波データ、リアルタイム交通情報など
- ・米国NSF、NIH、USDA、英国BBSR共同プロジェクト「感染症の生態学と進化」発足  
感染症抑制のための生態学、進化学、社会生態学的原理の数理モデリングを実施
- ・米国DOE、応用数学分野のプロジェクト編成の枠組みの指針  
数理モデリング研究、アルゴリズム研究のファンディングの配分を示唆
- ・CREST・さきがけ「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」  
(西浦数学領域、2007年度～2015年度)  
幅広い分野の研究者協働により、新たな数理モデル、優れた成果が得られた

## 1.2 研究領域について

### 「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」

数学者と数学を応用する分野の研究者が相互に連携する研究チームを構成して、現時点で解決が困難な社会的課題に取り組むとともに、そのプロセスの中で数学自体の発展をも目指す。

具体的には、応用分野の知見と数学が持つ抽象性や普遍性を利用して、支配原理・法則が明確でない諸現象に潜む「本質」部分を見出し、数学的アイデアに裏付けられた革新的モデルを導出する研究、新しい数理的手法を開発する研究を推進する。また、本領域は導出された数理モデルや既存の数理モデルについて、解決すべき課題の核心となる現象を記述していることの実証・検証やモデル評価のための数学理論や技術の構築を行なう研究も含んでいる。

## 2. 研究総括のねらい

現実の問題から出て来たデータの本質的な部分を数理学の視点から取り出し、必要な数理学の問題を解決することにより社会的課題を取り扱う枠組みの整備の実現をねらった。研究成果としては、現実の問題の解決を進展させるとともに、数理学に提示された問題の解決に向かうものを目指した。

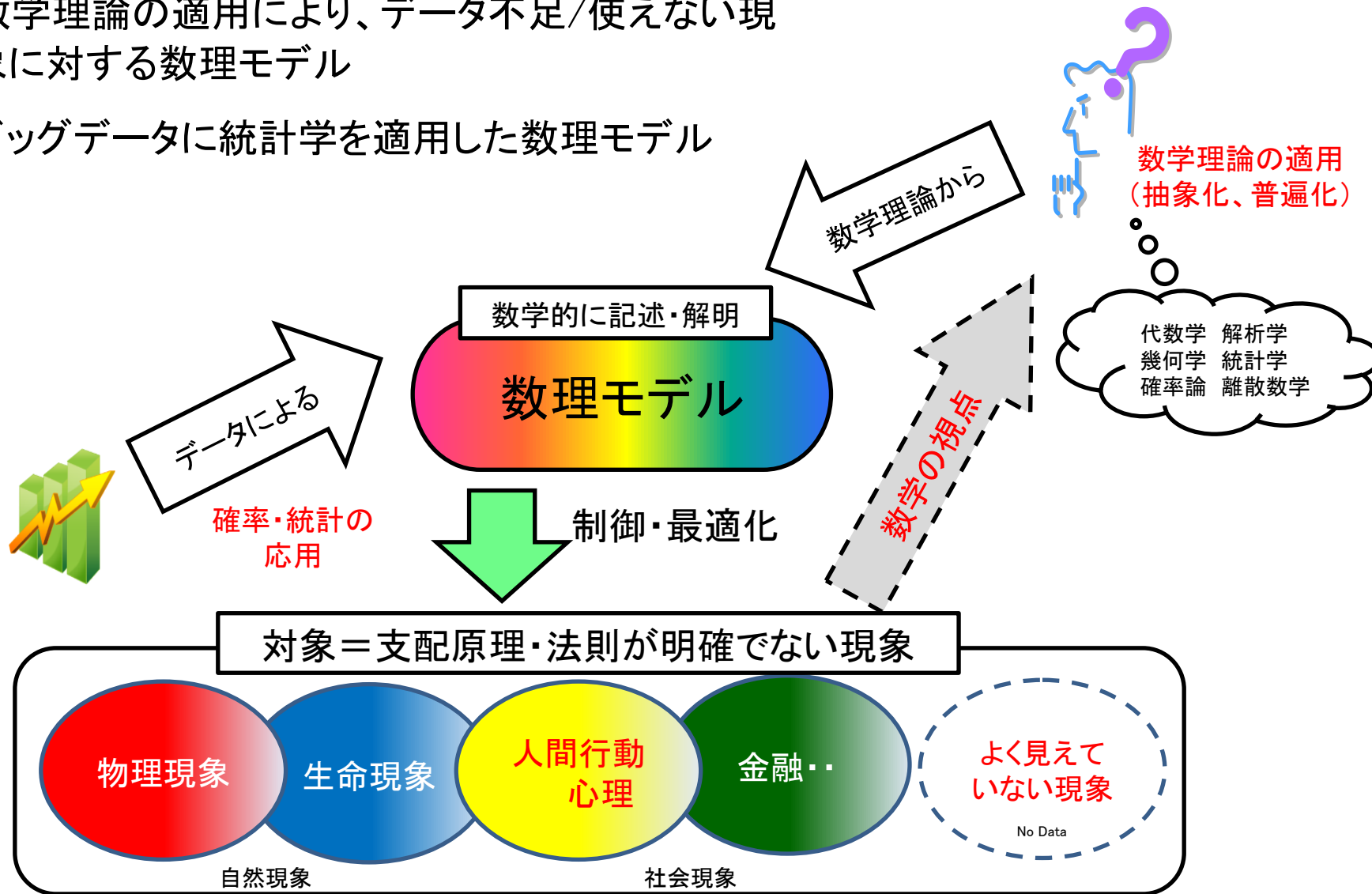
対象となる現象としては「支配原理・法則が明確でない現象」を対象に、より本質に迫る数学的アイデアに裏付けられた汎用性のあるモデリング手法の構築を目指した。

また、導出された数理モデルや既存の数理モデルについて、解決すべき課題の核心となる現象を記述していることの実証・検証やモデル評価のための数学理論や技術の構築を行なうこともねらった。

1. 社会の具体的な課題に対し、数理モデルを構築し、課題解決に貢献する。
2. 数理モデルの妥当性を論理的に示すこと、あるいはそれを支える手法を開発する。
3. 数理モデル構築に必要な数学理論を構築し、応用する。

# 2.1 本研究領域が目指す数理モデリング

- ・数学理論の適用により、データ不足/使えない現象に対する数理モデル
- ・ビッグデータに統計学を適用した数理モデル



# 3. 研究課題の選考

## 選考方針

対象とする社会の具体的な課題の分野を定めず、また、応用される数理科学の分野も定めていない。むしろ、これらについて広い対象を考えることで、数理科学の普遍性が活かせると考え、さらに必要な最先端の数学は何でも使って課題を解決する研究を推し進めることを考えた。

原則的には、「実験、観測、データ収集」、「対象に対する理論構成」、「数理モデル構築」、「シミュレーション」というサイクルを回すことを求めた。

## 応募・採択状況

年度	応募件数	面接件数	採択件数	採択率
2014年度(H26)	57件	14件	7件	12.3%
2015年度(H27)	42件	11件	4件	9.5%
計	99件	25件	11件	11.1%

(募集は2回とし、大部分を初年度で採択、優れた課題については、研究領域終了までの最長2年の延長を可能とした。)

## 選考で重視した点

- 解決すべき社会的課題が明確に設定されているか
- チーム構成として、研究者が有機的につながっているか
- 数理科学と諸科学・産業との交流に積極的な連携が推進されているか
- 数理モデリングの手法を幅広い分野において有効に活用できる人材であるか、理論と現場を結ぶリーダーになりえるか
- 研究領域全体が、数理科学と諸科学・産業との連携を医療生命・経済・社会等バランス良く発展させるものになることを考慮



# 3.1 採択研究課題

	研究代表者	所属・役職 上段:現在 下段:採択時	研究課題	研究費* (百万円)
2014 年度 (H26)	石川 博	早稲田大学・教授 早稲田大学・教授	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	184
	岩田 覚	東京大学・教授 東京大学・教授	大規模複雑システムの最適モデリング手法の構築	141
	栄 伸一郎	北海道大学・教授 北海道大学・教授	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	169
	大石 進一	早稲田大学・教授 早稲田大学・教授	モデリングのための精度保証付き数値計算論の展開**	338
	小林 亮	広島大学・教授 広島大学・教授	環境を友とする制御法の創成	260
	高木 剛	東京大学・教授 九州大学・教授	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**	263
	吉田 朋広	東京大学・教授 東京大学・教授	先端的確率統計学が開く大規模従属性モデリング**	224
2015 年度 (H27)	水藤 寛	東北大学・教授 岡山大学・教授	臨床医療における数理モデリングの新たな展開**	263
	長山 雅晴	北海道大学・教授 北海道大学・教授	数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創設	212
	平岡 裕章	京都大学・教授 東北大学・教授	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**	225
	松本 眞	広島大学・教授 広島大学・教授	超一様性の理論と諸科学におけるランダムネスへの展開	75※
			総研究費	2,354

\*研究費：2018年度上期までの実績額に2018年度下期以降の計画額を加算した金額

\*\*研究期間を延長した課題

※松本チームは、研究代表者の松本 眞先生の体調不良により、2017年度で研究終了とし、終了報告を行った。

# 3.2 研究領域のポートフォリオ

3. 数理モデルに必要な数学理論を構築し応用

1. 数理モデルを構築し、課題解決に貢献

## 情報通信

➢ 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  
(東大・高木 剛)

## 機械工学

➢ 環境を友とする制御法の創成  
(広大・小林 亮)

## 医学・生命科学

➢ 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  
(北大・栄 伸一郎)

➢ 数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創設  
(北大・長山雅晴)

➢ 臨床医療における数理モデリングの新たな展開  
(東北大・水藤 寛)

## 物質・材料科学

➢ 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  
(京都大・平岡裕章)

## 社会・金融・経済

➢ 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  
(早大・石川 博)

➢ 先端的確率統計学が開く大規模従属性モデリング  
(東大・吉田朋広)

## 計算科学/分野横断

➢ モデリングのための精度保証付き数値計算論の展開  
(早大・大石進一)

➢ 超一様性の理論と諸科学におけるランダムネスへの展開  
(広大・松本 眞)

➢ 大規模複雑システムの最適モデリング手法の構築  
(東大・岩田 寛)

2. 数理モデルの妥当性を論理的に示す、あるいはそれを支える手法開発

# 4. 領域アドバイザー選定

## 人選の方針

- ・現代の数理科学の広い範囲をカバーすること
- ・数学者の中で数理科学の応用についての知見を持ち、応募テーマを考慮し、生命科学、材料科学、暗号理論、経済理論等に対処できること
- ・國府領域とのシナジーをねらい半数はさきがけと兼任

・領域中間評価におけるアドバイスを受け、数理の応用に関して横断的・俯瞰的視点からのアドバイスを得るため、西浦氏に領域アドバイザーをお引き受けいただいた。また、生命医療分野への応用を見込むチームが多いにもかかわらず、専門の立場からのアドバイスが受けにくかったことから、栗原氏に領域アドバイザーをお引き受けいただいた。

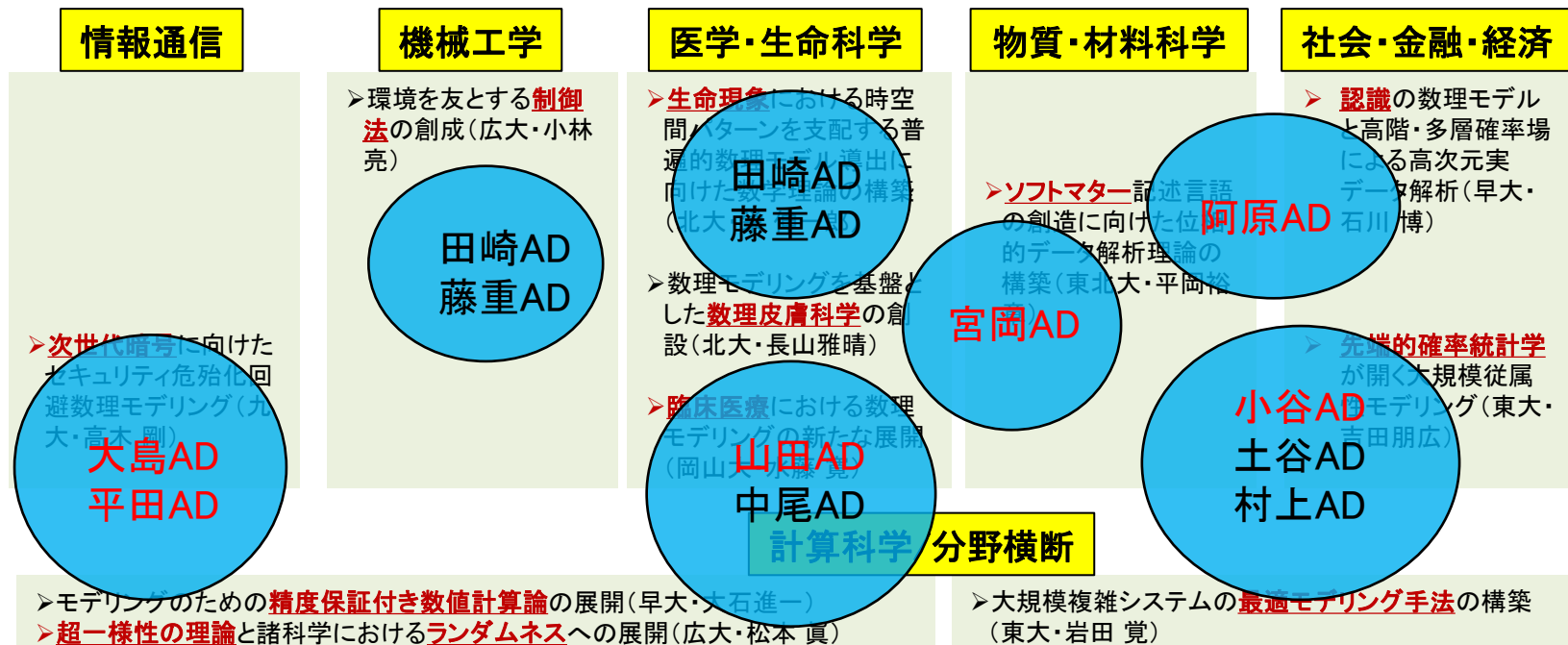
### ・領域中間評価におけるアドバイス:

『一方、本研究領域は「社会における諸現象」の幅広い分野における数理モデルの構築を研究対象としていることから、研究課題採択時の領域アドバイザーの専門分野が必ずしも十分とは言えないかもしれない。研究成果が社会的に認められ、拡がりを持ち始めていることから、今後、領域アドバイザーの追加が望まれる。例えば、医学・生命科学に関係するチームが複数あることから医療に詳しい領域アドバイザーや、本研究領域の特徴である「数理と応用」、「モデルの不明な多様な社会的課題」の観点から、横断的俯瞰的に評価する領域アドバイザーなどが重要と考える。』

# 4. 領域アドバイザー選定

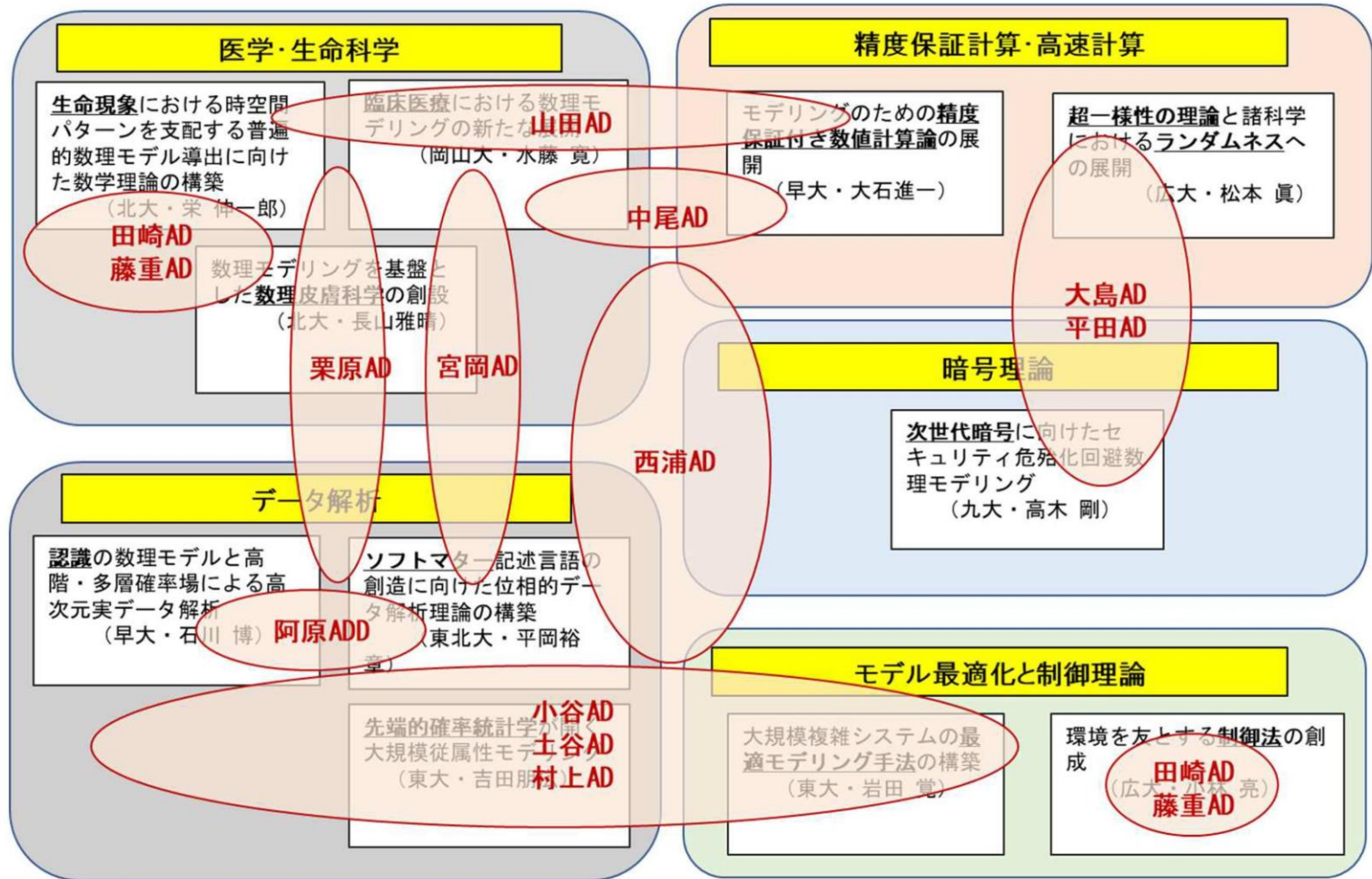
氏名	所属	役職	専門分野									備考		
			解析	幾何	代数	数理物理	数理工学	データ	計算	制御	暗号		生命医学	産業応用
阿原 一志	明治大学	教授		●					●		●			
大島 利雄	城西大学	教授	●						●		●			さきがけ國府領域兼任
小谷 眞一	大阪大学	名誉教授	●					●		●				
田崎 晴明	学習院大学	教授				●			●		●			さきがけ國府領域兼任
土谷 隆	政策研究大学院大学	教授					●	●		●				さきがけ國府領域兼任
中尾 充宏	九州大学	名誉教授							●			●		
平田(河野)典子	日本大学	教授			●				●		●			
藤重 悟	京都大学	特任教授					●		●		●			さきがけ國府領域兼任
宮岡 礼子	東北大学	総長特命教授		●				●			●			さきがけ國府領域兼任
村上 英樹	新日鐵住金株式会社	プロセス研究所長						●		●			●	
山田 道夫	京都大学	所長/教授	●						●			●		
栗原 裕基	東京大学	教授						●				●		中間評価以後
西浦 廉政	東北大学/北海道大学	名誉教授				●	●	●		●			●	中間評価以後

# 4.1 領域アドバイザーと研究領域



・赤字は最先端の数学、黒字は意味ある応用の目利きができる領域アドバイザー

# 4.1 領域アドバイザーと研究領域



# 5. 研究領域のマネジメント

## 運営方針

- ・研究総括のねらいの浸透、研究者所属機関との調整、研究状況把握と評価、それに基づく指導に加え、本領域の成果創出と人材育成のため、現場と理論を結ぶことを重視し、異なる数学分野の研究者間とともに、応用分野、実験科学や情報科学の研究者との双方向の連携や研究成果を広く一般公開することやアウトリーチ活動も積極的取り組む方針とした。

## 5.1 施策

- ・研究領域期間開始後1.5年は各チームへのサイトビジットを実施、研究始動状況の把握と確認を実施した。
- ・研究者所属機関との調整を実施。特に企業研究者所属の資生堂に対し、企業としての共同研究の意義の理解を求め、十分認めていることを確認した。
- ・領域会議は、関係者内のチーム成果報告に閉じるため、数学領域横断若手合宿へ、さらにJST数学関連領域の研究者へ参加対象者を拡大した未解決問題ワークショップへと形態を変えた。加えて一般公開の数学パワーが世界を変えるシンポジウムも立ち上げた。  
本研究課題で抱えている数学問題について、様々な研究者との議論ができ、分野を超えた外の知見を得ること、外部発信、領域アドバイザーとの議論が進んだ。  
当初は研究領域の一体性強化をねらっていたが、外部の強い支持がありこの方向を強化した。
- ・各チームのソフトウェア成果は、当初は領域内共有がねらいであったが、期待以上に使えるものとなったため、一般公開へと方向を修正、ソフトウェアのチュートリアルを求め、実施した。



## 5.2 研究総括/領域アドバイザーによる指導例

### 主に研究課題採択/中間評価/延長評価の機会を捉え指導

チーム	内容
石川	深層学習はブームであるが、数理モデルとしてとらえる研究を進める
岩田	対象を生命・社会現象に絞り、社会にインパクトのある研究を進める
栄	積分核による形態形成モデルへ注力する
大石	精度保証計算の社会における認知度を向上させる
小林	ムカデ型ロボットの仮想空間内での再現と数値実験によるロボットの改良
高木	新しい暗号方式の開発・標準化活動を進める
吉田	ソフトウェアYUIMAの普及で、確率過程の解析技術の社会実装を進める
水藤	臨床医療と数理科学の連携研究を継続、さらに進める
長山	数理モデリングと実験観察チームの密接な連携で、目標を絞って進める
平岡	様々なソフトマターに応じた解析手法を開発し、産業応用を進める

## 5.3 継続的な研究のための仕組み

### 研究課題延長評価

#### 継続的な研究のための仕組みを導入

数学研究は長い時間を要する特質もっているため、継続し切れ目のない研究ができるような仕組みを検討

→ 極めて優れた課題には、領域終了までの最長2年を延長

#### 判断基準の設定

- ・研究課題のサポートがほぼ目的を果たしたと思われる場合は延長無し
- ・延長により、新たな進展が期待されるもの
- ・最新の数理科学を現場に応用できるもの

#### 延長研究課題と期待した進展

吉田チーム: 擬似尤度解析の理論の進展によるYUIMAの改良

大石チーム: 高次元諸問題への応用とkvの社会実装

高木チーム: 高度な暗号攻撃と十分な安全性についての国際的貢献(特にNIST)

平岡チーム: ソフトマターの解析・構造の時間発展の解析とHomCloudの社会実装

水藤チーム: 臨床医療との連携研究の深化

## 5.4 研究の連携推進

連携形態	チーム	相手先	内容
研究領域内	栄/長山	-	生命現象のモデル化
	石川/長山/水藤	-	医療診断のモデル化
	高木/大石	-	3次元双曲多様体の体積の精度保証計算
さががけ/他領域	栄	CREST「生命動態」(研究代表者 三浦岳)、 新学術領域「生物の3D形態を構築するロジック」 (研究代表者 近藤 滋)	生命のパターン形成問題
	栄	さががけ「数学協働」(研究者 李聖林)	細胞極性の数理モデル
企業/大学	大石	ハンブルク工科大、ノースカロライナ大、ニュー ジャージー大、ソルボンヌ大	精度保証計算関連
	小林	建機メーカー、電子部品メーカー、自動車メー カー、タミヤ、同志社大、マンチェスター大、イ エール大、オタワ大、タフツ大、京大、大阪大等	自動制御:ロボット
	平岡	新日鉄住金、化学メーカー、自動車メーカー、情 報ITメーカー、精密機器メーカー	材料相変化可視化、品質予測関連
	石川	大手電機メーカー、自動車関連メーカー、映画関 連企業、朝日新聞社	白黒画像カラー化、画像認識関連
	長山/資生堂	-	人工皮膚培養
	吉田	VOICES from the Blogs、ミラノ大、メーン大、ロー マ大、オーフス大等	確率過程に対する統計解析関連
医学界/病院	水藤	医療系学会(心血管画像動態学会等) 東北大学病院、岡山大学病院、順天堂大学病院	医療現場の課題解決の議論
	長山	医療系学会(皮膚学会等) 北海道大学病院、東北大医学部	数理皮膚科学

## 5.5 領域会議から他の活動への展開

### ■ 領域会議の改変

- ・数学領域横断若手合宿(若手中心のグループディスカッション)



- ・未解決問題ワークショップ(自身が抱える数学的課題を持ち寄り、議論)
- ・数学パワーが世界を変える(研究成果を一般公開し、議論)

名称	開催日	備考
第一回領域会議	2014/11/30	CREST 1期生、さきがけ「数学協働」合同
第二回領域会議	2016/2/9	CREST 1期生/2期生
数学領域横断若手合宿	2016/2/21~23	CREST
数学パワーが世界を変える	2017/2/11~12	主催JST
数学領域横断若手合宿	2017/2/21~23	CREST/さきがけ合同
第一回未解決問題WS	2017/9/25~27	CREST/さきがけ合同
数学パワーが世界を変える2018	2018/1/21	主催JST
第二回未解決問題WS	2018/9/25~27	CREST/さきがけ合同
数学パワーが世界を変える2019	2019/3/10	主催JST
数学と諸分野の連携にむけた若手数学者交流会	2019/3/15~16	主催JST

## 5.5 領域会議から他の活動への展開

名称	開催日	備考
数学領域横断若手合宿	2016/2/21～23	CREST
数学パワーが世界を変える	2017/2/11～12	主催JST
数学領域横断若手合宿	2017/2/21～23	CREST/さきがけ合同
第一回未解決問題WS	2017/9/25～27	CREST/さきがけ合同
数学パワーが世界を変える2018	2018/1/21	主催JST
第二回未解決問題WS	2018/9/25～27	CREST/さきがけ合同
数学パワーが世界を変える2019	2019/3/10～11	主催JST
数学と諸分野の連携にむけた若手数学者交流会	2019/3/15～16	主催JST
第三回未解決問題WS	2019/9/6～8	CREST/さきがけ合同
数学パワーが世界を変える2020	2020/2/1～2	主催JST
数学と諸分野の連携にむけた若手数学者交流会	2020/3/14～15(中止)	主催JST
第四回未解決問題WS	2020/9/19～21オンライン	CREST/さきがけ合同
数学と諸分野の連携にむけた若手数学者交流会	2021/3/13～14オンライン	主催JST
第五回未解決問題WS	2021/9/18～20オンライン	CREST/さきがけ合同
CREST「数理モデリング」成果報告公開シンポジウム	2021/9/21～24オンライン	主催JST
数学と諸分野の連携にむけた若手数学者交流会	2022/3/7～8 オンライン	主催JST

・計26回の多様な形態での活動を実施し、研究者、一般との議論や交流、アウトリーチ活動を推進した。

## 5.6 若手合宿・未解決

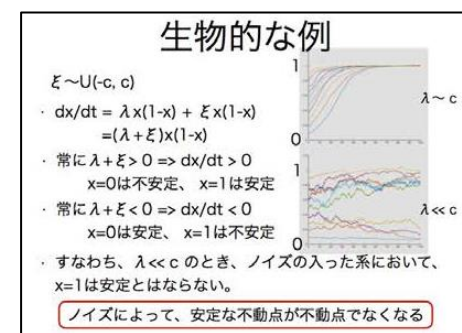
### ■ 数学領域横断若手合宿

- ・ 目的: 数学関連領域に参画している若手研究者同士の連携を強化
- ・ 内容: 分野を横断する学際的問題をテーマとして、若手研究者によるグループディスカッションを実施
- ・ テーマの例: 「ビックデータからの力学系の復元」、  
「ノイズによる力学系の構造変化の例証」

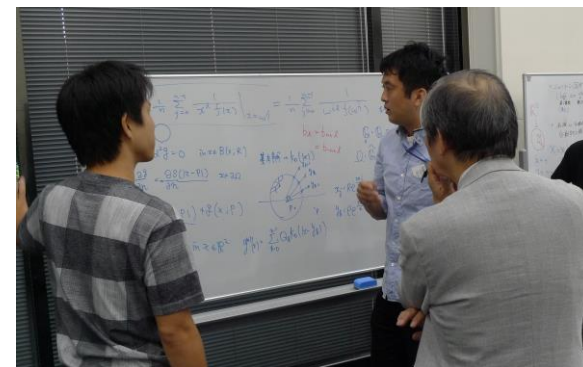


### ■ 未解決問題ワークショップ

- ・ 目的: 数学関連領域に参画する研究者同士の領域や専門分野の垣根を越えた連携を強化
- ・ 内容: 選定された未解決問題に対して、グループ毎に、それぞれの立場から智恵を出して問題解決に取り組む。問題解決に至った場合には、共著論文発表等に繋げる。
- ・ テーマの例: 「ブロックグラフのブロック数と最短経路距離」、  
「Universal tree-based networkの厳密な最小サイズ」



ディスカッションの例



# 5.7 数学パワーが世界を変える

## ■ 合同シンポジウム

### ・CREST/さきがけ/文科省委託事業合同 テーマ

- ・ 数学と材料科学
- ・ 数学と人工知能・情報学
- ・ セキュリティと数学
- ・ 数値計算／制御と数学
- ・ 生命現象の数理とその応用
- ・ 数学と医療・生命科学
- ・ 数学協働PRG
- ・ 金融と数学
- ・ 最適化問題マッチング問題
- ・ AIMaP事業紹介

タイトル	参加者数
数学パワーが世界を変える	245名
数学パワーが世界を変える2018	183名
数学パワーが世界を変える2019	144名
数学パワーが世界を変える2020	120名



数学パワーが世界を変える 2017



数学パワーが世界を変える ポスター発表

CREST・さきがけ・数学協働プログラム合同シンポジウム  
**数学パワーが世界を変える**  
2017年2月11日(土)・2月12日(日)

プログラム  
2月11日  
13:30 開会  
13:30~14:45 数学と材料科学  
14:45~15:30 数学と人工知能・情報学  
15:30~17:50 数値計算／制御と数学  
18:00~20:00 懇親会  
2月12日  
13:30 開会  
13:30~14:30 数学と医療・生命科学  
14:30~15:30 数学協働PRG  
15:30~17:00 金融と数学  
17:00~18:00 最適化問題マッチング問題  
18:00~19:00 AIMaP事業紹介  
19:00 閉会

CREST・さきがけ・数学協働プログラム合同シンポジウム  
**数学パワーが世界を変える**  
2018  
2月18日(土)・21日(日) 10:00~20:00

プログラム  
2月18日  
10:00 開会  
10:00~11:30 数学と材料科学  
11:30~12:30 数学と人工知能・情報学  
12:30~14:00 数値計算／制御と数学  
14:00~15:30 数学と医療・生命科学  
15:30~17:00 数学協働PRG  
17:00~18:00 金融と数学  
18:00~19:00 最適化問題マッチング問題  
19:00~20:00 AIMaP事業紹介  
2月21日  
10:00 開会  
10:00~11:30 数学と材料科学  
11:30~12:30 数学と人工知能・情報学  
12:30~14:00 数値計算／制御と数学  
14:00~15:30 数学と医療・生命科学  
15:30~17:00 数学協働PRG  
17:00~18:00 金融と数学  
18:00~19:00 最適化問題マッチング問題  
19:00~20:00 AIMaP事業紹介

CREST・さきがけ・AIMaP  
合同シンポジウム  
**数学パワーが世界を変える**  
2019  
3月10日(日) 10:00~20:00  
3月11日(月) 10:00~17:40  
東京ガーデンパレス  
3階 平安

プログラム  
3月10日  
10:00 開会  
10:00~11:30 数学と材料科学  
11:30~12:30 数学と人工知能・情報学  
12:30~14:00 数値計算／制御と数学  
14:00~15:30 数学と医療・生命科学  
15:30~17:00 数学協働PRG  
17:00~18:00 金融と数学  
18:00~19:00 最適化問題マッチング問題  
19:00~20:00 AIMaP事業紹介  
3月11日  
10:00 開会  
10:00~11:30 数学と材料科学  
11:30~12:30 数学と人工知能・情報学  
12:30~14:00 数値計算／制御と数学  
14:00~15:30 数学と医療・生命科学  
15:30~17:00 数学協働PRG  
17:00~18:00 金融と数学  
18:00~19:00 最適化問題マッチング問題  
19:00~20:00 AIMaP事業紹介

# 5.8 若手数学者交流会

■ 諸分野連携は若手研究リーダーから  
 CREST・さきがけの枠にとどまらず、若手数学者研究者(若手教員・  
 ポスドク・大学院生)が、諸分野との連携から生まれる新しい数学  
 の潜在的可能性を感じ取り、再認識して、  
 それぞれの研究の方向性を確認

## ■ 参加研究領域

- ・JST CREST「数理モデリング」領域
- ・JST さきがけ「数学協働」領域
- ・JST ERATO「メタ数理システムデザイン」領域
- ・科研費・新学術領域研究「材料離散幾何解析」
- ・理化学研究所 革新知能統合研究センターAIP
- ・理化学研究所 数理創造プログラム
- ・JST CREST「数理的情報活用基盤」領域
- ・JST さきがけ「数理構造活用」領域
- ・数学関係科研費(S)採択課題

**SESSION 'YOUNG MATHEMATICIANS' CHALLENGE'**

数学と諸分野の連携にむけた  
**若手数学者交流会**

2019.3.15 FRI 13:00~19:30  
 316 SAT 10:00~17:10

主催 科学技術振興機構(JST)  
 東京本部 第1大会議室  
 〒102-8562 東京都千代田区有明3-9-3  
 有明コロシアム

https://www.jst.go.jp/topics/crest/math\_challenge2019/

3/15(金)		3/16(土)	
13:00	開会	10:00	開会
13:30-14:30	講演 講演「数学の楽しさと応用」 一橋大学 藤田 隆雄 氏 「データサイエンスセンター」 筑波大学 藤田 隆雄 氏	10:30-11:30	「数理創成研究センターの挑戦」 東京大学 藤田 隆雄 氏 理研 藤田 隆雄 氏
14:00-14:30	講演 藤田 隆雄 氏	11:30-12:30	ディスカッション
14:30-15:30	「MetaMathematics for Medicine & Physical Systems」 理研 藤田 隆雄 氏 理研 藤田 隆雄 氏	12:30-14:30	「数学による物理・物性探検」 理研 藤田 隆雄 氏 理研 藤田 隆雄 氏
15:30-16:30	「人工知能・機械学習に開く数学-数理解析」 理研 藤田 隆雄 氏 理研 藤田 隆雄 氏	14:45-16:00	「情報科学の発展とその展望」 理研 藤田 隆雄 氏 理研 藤田 隆雄 氏
16:30-17:00	懇話会	16:00-17:00	ディスカッション
17:00-18:30	懇話会	17:10	閉会



# 5.8 成果報告公開シンポジウム

- 本研究領域の最終年度に各チームのこれまでの成果を一堂にまとめ、報告する「成果報告公開シンポジウム」を4日間開催した。オンラインとなったが、230名の参加を得た。



2021年

9.21 火 10:00 ▶ 19:00  
 9.22 水 10:00 ▶ 17:00  
 9.23 木 10:00 ▶ 17:00  
 9.24 金 10:00 ▶ 17:00

参加を希望される方は、下記 Web サイトからご登録をお願いいたします。  
<https://form.jst.go.jp/enquetes/math-rsympo2021>

問合せ先 ✉ [mathsympo@math.jst.go.jp](mailto:mathsympo@math.jst.go.jp) 【主催】科学技術振興機構

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

<p>9月21日(火)</p> <p>10:00 開会                  「次世代暗号に向けたセキュリティ危険化回避                  数理モデリング」                  (研究代表者:高木 剛(東京大学 教授))</p> <p>14:30-17:00                  「ソフトウェア記述言語の創造に向けた位相的                  データ解析理論の構築」                  (研究代表者:平岡 裕章(京都大学 教授))</p> <p>18:00-19:00                  情報交換会</p> <p>9月22日(水)</p> <p>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」                  (研究代表者:岩田 寛(東京大学 教授))</p> <p>11:15-12:30                  「環境を友とする制御法の創成」                  (研究代表者:小林 亮(広島大学 教授))</p> <p>13:00-14:00                  ポスターセッション(1)</p> <p>14:30-15:45                  「認識の数理モデルと高階・多層確率場による                  高次元データ解析」                  (研究代表者:石川 博(早稲田大学 教授))</p> <p>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」                  (研究代表者:柴 伸一郎(北海道大学 教授))</p>	<p>9月23日(木)</p> <p>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」                  (研究代表者:水藤 寛(東北大学 教授))</p> <p>13:00-14:00                  ポスターセッション(2)</p> <p>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」                  (研究代表者:吉田 朋広(東京大学 教授))</p> <p>9月24日(金)</p> <p>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」                  (研究代表者:大石 進一(早稲田大学 教授))</p> <p>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」                  (研究代表者:長山 雅晴(北海道大学 教授))</p> <p>17:00 閉会</p>
--	---



研究総括 坪井 俊  
 (武蔵野大学 特任教授)

2014年度から活動してきたCREST数理モデリング領域は、様々な分野における数理モデリングを支える理論の確立、機械学習を取り込んだ新たなモデリング手法の確立とともに、多岐にわたる社会課題の解決における数理的手法を応用する技術の開発に成果を挙げて参りました。本シンポジウムを通じて「数理モデリング」領域の成果を広く知っていただき、この「数理モデリング」領域の成果をより多くの分野に活用していただくことで、数理科学的理解に基づく課題解決の方法が広がっていくことを祈念しております。

戦略的創造研究推進事業  
**CREST**  
 Core Research for Evolutional Science and Technology

## 5.9 数学キャラバン

	開催日	場所	会場	主催	参加者数
第11回	2014/11/9	都内	東京国際交流館（サイエンスアゴラ）	JST	
第12回	2014/11/24	岡山	岡山大学	岡山大学	95
第13回	2014/11/29	水戸	水戸第二高校	JST	113
第14回	2015/1/11	いわき	いわき産業創造館	福島大学	
第15回	2016/1/23	岡山	岡山大学	岡山大学	48
第16回	2016/1/30	水戸	水戸第二高校	JST	108
第17回	2016/11/12	幕張	渋谷教育学園幕張中学校・高等学校	JST	98
第18回	2016/12/17	水戸	水戸第一高校	JST	91
第19回	2016/12/19	岡山	岡山大学	岡山大学	56
第20回	2017/7/1	春日井	中部大学	中部大学	83
第21回	2017/8/20	上田	上田高校	JST	30
第22回	2017/10/1	気仙沼	気仙沼中央公民館	お茶の水女子大学	31
第23回	2017/11/12	札幌	北海道大学	JST	
第24回	2017/11/26	岡山	岡山大学	岡山大学	88
第25回	2018/1/27	水戸	水戸第二高校	JST	51
第26回	2018/5/13	大阪	大阪星光学院中学校・高等学校	JST	39
第27回	2018/7/7	春日井	中部大学	中部大学	42
第28回	2018/11/23	岡山	岡山大学	岡山大学	96
第29回	2018/12/15	福岡	九州大学	九州大学	150
第30回	2019/1/26	水戸	水戸第一高校	JST	40
第31回	2019/7/13	春日井	中部大学	中部大学、JST	60
第32回	2019/11/24	岡山	岡山大学	岡山大学	
第33回	2021/9/11		オンライン	中部大学	50
第34回	2021/10/16		オンライン	JST	50

- ・高校生/一般が対象
- ・数理科学への理解を深めてもらい数学分野につながる人材育成に貢献する。
- ・さきがけ・CREST研究者が、日頃の研究成果を平易に説明、数学が実社会でどのように利活用されているか理解してもらう
- ・参加者の過半数が興味を持ってたと回答、今後の継続への期待は非常に高い。

# 5.10 教育講座

主催(場所): 神奈川県産業技術総合研究所

開催日	テーマ
2016/6/7~6/8	研究者、技術者のための、もう一度、数学
2017/10/7~10/8	画像科学の最前線 — 基礎数理から医療応用まで
2018/1/22~1/24	研究者、技術者のための、もう一度、数学
2018/11/28~11/30	研究者、技術者のための、もう一度、数学
2019/11/27~11/29	研究者、技術者のための応用数学
2020/10/21~10/23 (オンライン開催)	研究者、技術者のための応用数学
2021/12/1~12/2、 12/8~12/9 (オンライン開催)	研究者、技術者のための応用数学

**応用数学** ~科学、工学に活かす数理的思考~

開催日: 令和3年 12月 1日(水) 2日(木) 8日(水) 9日(木)

【各日 10:30~17:00】

オンライン開催 (ZOOM利用)

定員 12名 (先着順にて承ります)

対象者 企業の開発現場や研究部門にて活躍中!

カリキュラム編成者からのメッセージ

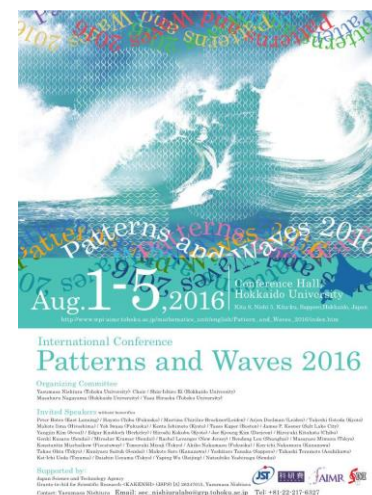
受講料	金額
A. 特別割引以外の企業	59,000円
B. 特別割引適用範囲内「1」付会員	47,000円
C. 特別割引適用範囲内 *	53,100円
D. C以外の特別割引企業	19,000円

- ・企業研究者、技術者が対象
- ・現実の問題への数理科学の応用を意識してもらう。
- ・さきがけ・CREST研究者が、日頃の研究成果を現場で使うことにつなぐ。
- ・参加者の過半数が興味を持ってたと回答、今後の継続に期待は高い。

## 5.11 国際シンポジウム①

### ■Patterns and Waves 2016 (オーガナイサ: 栄・長山・平岡)

- ・ テーマ: 材料科学から生命科学までの極めて広い  
応用分野で現れるパターンダイナミクスと  
その伝播波動現象
- ・ 参加者: 110名、海外研究者の招聘: 9名



### ■PQCrypto2016 (プログラム委員長: 高木)

- ・ テーマ: ポスト量子暗号のNIST標準化議論
- ・ 参加者: 240名 (北米80、欧州60、アジア60、日本40)



### ■Applied Algebraic Topology 2017 (オーガナイサ: 平岡他)

- ・ テーマ: 代数的トポロジー
- ・ 参加者: 172名 (海外研究者約100名)



## 5.11 国際シンポジウム②

### ■ Workshop on Applied Topology 2019 (オーガナイサ: 平岡他)

- ・ テーマ: 代数的トポロジーの実用化に関する数学的、計算的側面
- ・ 参加者: 約120名 (海外研究者約2/3)



### ■ ICIAM 2019 (2019年7月)

- ・ 日時 : 2019.July.15-19 @Valencia, Spain
- ・ 応用数学の世界的シンポジウム
- ・ 水藤先生の基調講演
- CRESTチームによるMini-Symposium



### ■ MQC 2019 (2019年9月) (オーガナイサ: CREST暗号化チーム)

- ・ 日時 : 2019.Sep.25-27 @九州大学
- ・ テーマ: 量子理論と暗号化



# 5.12 チュートリアル

チーム	概要	備考
石川	マルコフ確率場モデリングの数理と応用	2015/11/12 100名
高木	チュートリアル	<a href="https://cryptomath-crest.jp/seminar/">https://cryptomath-crest.jp/seminar/</a> 14回開催(2016年度より毎年2回)
平岡	超基礎からのトポロジカルデータ解析 (ソフトウェアHomCloudの実装と使い方)	2017/1/27参加者104名、化学・材料系多く参加、 2017/2/28 公開講座、 2017/12/22~23EwM、 2019/11/28~29RIKENAIP、 2020/6/18、2021/9/13~17
大石	精度保証付き数値計算 (ライブラリーkv VCPの使い方の実際)	2018/9/10 参加者53名、一般・学生、 および海外からの参加者が全体の約50%、 2016/9/12、2018/12/26、2020/12/23など 「精度保証付き数値計算の基礎」コロナ社出版
吉田	確率微分方程式の理解とモデリングのスキル YUIMA(確率過程統計解析パッケージ)の実装と使用方法	2018/12/1~2 参加者80名、 保険業界からの参加者多数、 リスク計画のシミュレーション等でニーズがある 2019/6/25~28、2020/3/21~22、2021/7/3~4
水藤・長山・石川	医療画像と数理	2016/9/21
水藤・長山	数理モデル&機械学習	2019/12/20~22

大石チーム リーフレット

吉田チーム リーフレット

# 5.13 受賞

【受賞】 157件

## 主な受賞例

チーム	賞の名称	受賞年
石川	・Innovative Technologies 2016、特別賞「Culture」	2016
	・ナイスステップな研究者	2019
岩田	・文部科学大臣表彰 若手科学者賞	2019
	・現象数理学三村賞	2019
大石	・日本応用数理学会論文誌 2015年度論文賞	2015
	・文部科学大臣表彰 若手科学者賞	2015
	・文化功労者	2020
	・電気情報通信学会 功績賞	2020
小林	・Outstanding Demo Award、AMAM 2017	2017
	・現象数理学三村賞	2018
高木	・文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門)	2018
	・情報処理学会論文賞 (IPSJ Outstanding Paper Award)	2020
吉田	・第8回藤原洋数理科学賞大賞	2019
	・日本統計学会賞	2021
水藤	・ナイスステップな研究者	2016
	・Web of Science Highly Cited Researcher (Engineering)	2016
	・Web of Science Highly Cited Researcher (Engineering)	2017
	・第7回藤原洋数理科学賞奨励賞	2018
	・Web of Science Highly Cited Researcher (Cross Field)	2018
	・現象数理学三村賞	2018
	・文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門)	2019
	・日本学術振興会賞	2019
長山	・第2回高木賞、マルホ・高木皮膚科学振興財団	2018
平岡	・ナイスステップな研究者	2017
	・文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門)	2020
	・日本金属学会 功績賞	2020
松本	・日本学術振興会賞	2017

# 5.14 報道

## 【報道】(153件)

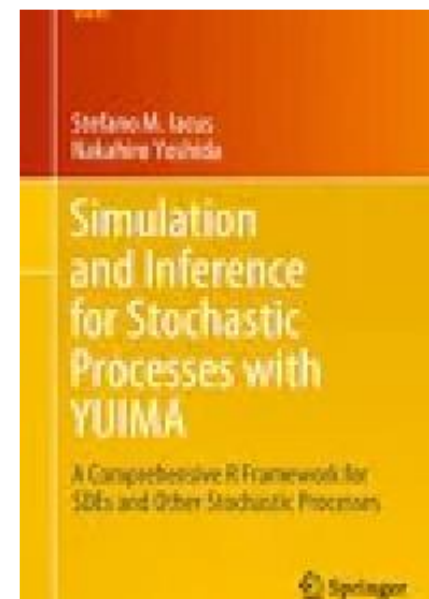
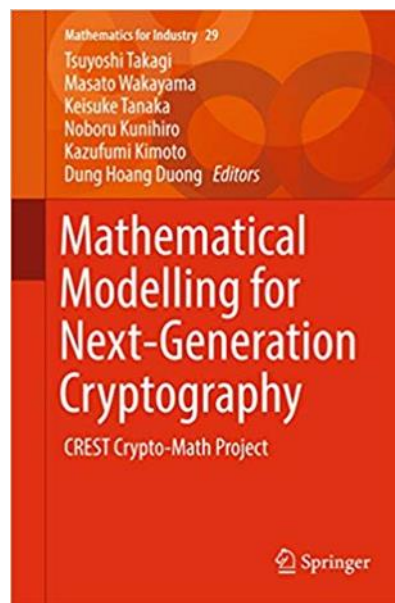
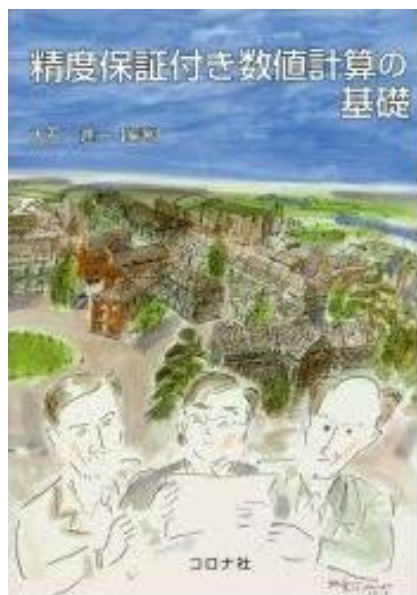
### 主な報道

チーム	報道タイトル	報道機
石川	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「自然色を追求“人工知能×カラー変換”技術」</li> <li>・「白黒写真の“命”を吹き込むようにカラー化するのは、なんと人工知能」</li> <li>・「写真の”邪魔者”を消す技術」</li> <li>・「前の沖縄 記憶で彩る写真カラー化 めざめる記憶」</li> </ul>	日本テレビ フジテレビ テレビ東京 朝日新聞
岩田	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「電力網の弱点 数学で探る」</li> </ul>	日本経済新聞
小林	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「モーターだけでムカデのように動くロボットを開発」</li> <li>・「ムカデの動き ロボが再現」</li> <li>・「クモヒトデがモデルのロボ腕一本でも移動再開災害現場でタフな活躍期待」</li> <li>”</li> <li>”</li> </ul>	NHK 毎日新聞 読売新聞 産経新聞 日本経済新聞
高木	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「あなたのパソコンが危ない 追跡！謎の新型ウイルス」</li> <li>・「量子コンピューターでも解読不可能！？新しい暗号誕生なるか」</li> <li>・「未来を探る: ③暗号解読、量子コンピューターって何者？」</li> <li>・「「電子暗号」覇者がAI社会制す」NISTデジタル署名について</li> </ul>	NHK(クローズアップ現代) NHK(サイエンスZERO) 東京新聞 産経新聞
長山	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「スギ花粉で肌の機能低下」</li> <li>・「春肌対策は美肌づくりの王道」</li> <li>・「世界が注目！オキシトシン美容パワー」</li> <li>・「皮膚はすべて知っている？」</li> </ul>	フジテレビ NHK BS NHK BS NHK (又吉直樹のへウレーカ！)
平岡	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「穴の数から隠れた姿が浮かぶ数学を使う先端データ分析」</li> </ul>	週刊ダイヤモンド



# 5.15 書籍

チーム	書籍タイトル/出版元	出版年
大石	「精度保証付き数値計算の基礎」、 コロナ社	2018
小林	「知能はどこから生まれるのか？ ムカデロボットと探す「隠れた脳」」、 近代科学社	2018
高木	「Mathematical Modelling for Next-Generation Cryptography」、 Mathematics for industry、Vol.29、Springer	2017
吉田	「Simulation and Inference for Stochastic Processes with YUIMA: A Comprehensive R Framework for SDEs and Other Stochastic Processes」、Springer	2018



## 5.15 ソフトウェアの公開

チーム	ソフト名	機能	公開方法	社会実装へ向けて	その他
大石	精度保証計算ライブラリーkv	精度保証付き数値計算	オープンソフトとして公開 <a href="http://verifiedby.me/kv/">http://verifiedby.me/kv/</a>	チュートリアル開催 53名参加(約半数が領域外から)	アクセス数: 4.5万回以上 ダウンロード: 7500回以上
吉田	YUIMA	確率過程の統計推測	オープンソフトRのパッケージとして公開 <a href="https://yuimaproject.com/yuimagui/">https://yuimaproject.com/yuimagui/</a>	チュートリアル開催 80名参加(保険業界からの参加多数)	ダウンロード: 3万回以上
	YUIMAGUI	YUIMAのGUI			
松本	Low WAFOM	準モンテカルロ法による数値積分用点集合	オープンソフトRのパッケージとして公開 <a href="http://www.math.sci.hiroshima.ac.jp/~mamat/CREST/index-ja.html">http://www.math.sci.hiroshima.ac.jp/~mamat/CREST/index-ja.html</a>	研究会での発表	
石川	自動色つけソフトウェア	白黒写真を全自動で自然カラー化	白黒写真の自動色付けサービスとして公開 <a href="http://iizuka.cs.tsukuba.ac.jp/projects/colorization/web/">http://iizuka.cs.tsukuba.ac.jp/projects/colorization/web/</a> オープンソフトとして公開 <a href="https://github.com/satoshiizuka/siggraph2016_colorization">https://github.com/satoshiizuka/siggraph2016_colorization</a>	新聞・雑誌で紹介(日本経済新聞 第1面 2016/6/25、「子供の科学」2016年7月号)	経済産業省のInnovative Technologies 2016特別賞 Cultureを受賞 使用ユーザ: 45万人以上
	自動画像ソフトウェア	写真等の画像で欠損部分と周囲を自然につながるように画像を補完			
	ラフスケッチの自動線画化ソフト	ラフスケッチの自動線画化	オープンソフトとして公開 <a href="https://esslab.jp/~ess/ja/research/sketch/">https://esslab.jp/~ess/ja/research/sketch/</a>		
	Smart inker	ペン画作成	オープンソフトとして公開 <a href="https://esslab.jp/~ess/ja/research/inking/">https://esslab.jp/~ess/ja/research/inking/</a>		
平岡	HomCloud	パーシステントホモロジーのデータ解析	オープンソフトとして公開 <a href="http://www.wpiaimr.tohoku.ac.jp/hiraoka_lab/homcloud/">http://www.wpiaimr.tohoku.ac.jp/hiraoka_lab/homcloud/</a>	チュートリアル開催 104名参加(化学・材料系が多数参加)	左記URLにチュートリアル掲載

・ソフトウェアの公開により、アップデートなど改善が進んだ。

# 5.16 人材育成

## 研究参加者の昇任実績

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	人数
教授	3	3	3	3	2	5		19
准教授	3	8	3	7	9	3		33
講師		2	6		4	4	1	17
助教	4	11	8	9	12	11		55
助手	1	2				1		4
合計	11	26	20	19	27	24	1	128

### 内訳

- ・教授 : 19名(大石4、水藤4、岩田2、高木2、小林2、平岡2、吉田1、栄1、長山1)
- ・准教授 : 33名(岩田8、大石5、栄5、小林5、水藤3、吉田3、高木1、平岡1、石川1、長山1)
- ・講師 : 17名(大石6、石川2、吉田2、小林2、高木2、水藤2、栄1)
- ・助教 : 55名(水藤14、岩田10、小林8、高木6、吉田8、大石3、平岡3、長山2、石川1)
- ・助手 : 4名(水藤3、吉田1)
  
- ・企業就職: 43名(水藤20、高木16、平岡3、長山3、吉田1)

# 6. 研究成果

## 原著論文・特許・口頭発表

		論文			特許			口頭発表		
		合計	国内	国際	合計	国内	国際	合計	国内	国際
2014年度 採択課題		376	13	363	0	0	0	853(500)	447(278)	406(222)
	期間 延長	536	63	473	1	1	0	1443(472)	823(195)	620(277)
2015年度 採択課題		80	8	72	9	6	3	179(84)	132(54)	47(30)
	期間 延長	157	19	138	5	2	3	694(398)	438(211)	256(187)
合計		1149	103	1046	15	9	6	3169(1454)	1840(738)	1329(716)

(括弧内:招待講演数を内数で記載)

### 領域中間評価のアドバイス

『今後は、新しい数理モデルの導出による具体的な応用を扱う研究課題に対しては、数理研究を社会にさらに浸透させていくため、産業応用で社会にインパクトを与え、社会的認知度の一層の向上をしていくことが望まれる。モデル評価の数学理論に重点を置く研究課題に対しては、数学理論としての構造化・体系化により国際的に著名な学術誌への多くの論文発表を期待する。それぞれが目指す戦略目標の出口を今一度明確化させ、残された研究期間に各研究課題の目標を着実に達成することを期待する。』

# 6. 研究成果

## 主要論文1

チーム	論文タイトル	掲載誌	発行年
石川	Learning to Simplify: Fully Convolutional Networks for Rough Sketch Cleanup	SIGGRAPH	2016
	Let there be Color!: Joint End-to-end Learning of Global and Local Image Priors for Automatic Image Colorization with Simultaneous Classification	SIGGRAPH	2016
	Globally and Locally Consistent Image Completion	SIGGRAPH	2017
岩田	Echolocating bats use future-target information for optimal foraging	PNAS	2016
	A weighted linear matroid parity algorithm	Proceedings of the 49th ACM Symposium on Theory of Computing (STOC) (STOC Best Paper Award)	2017
	Index reduction for differential-algebraic equations with mixed matrices	Journal of the ACM	2019
栄	Notch-mediated lateral inhibition regulates proneural wave propagation when combined with EGF-mediated reaction diffusion	PNAS	2016
	Interaction of non-radially symmetric camphor particles	Physica D	2018
大石	Implementation and Improvement of Affine Arithmetic	Nonlinear Theory and its Applications, IEICE	2015
小林	A Brittle Star-like Robot Capable of Immediately Adapting to Physical Damage	Royal Society Open Science	2017
	A Quadruped Robot Exhibiting Spontaneous Gait Transitions From Walking to Trotting to Galloping	Scientific Reports	2017
	Different Synchrony in Rhythmic Movement Caused by Morphological Difference between Five- and Six-armed Brittle Stars	Scientific Report	2019

# 6. 研究成果

## 主要論文2

チーム	論文タイトル	掲載誌	発行年
高木	Improved Progressive BKZ Algorithms and Their Precise Cost Estimation by Sharp Simulator	EUROCRYPT2016	2016
	Small CRT-Exponent RSA Revisited	EUROCRYPT2017	2017
	Chosen Message Attack on Multivariate Signature ELSA at Asiacrypt 2017	IWSEC2018 (Best Paper Award)	2018
	Security analysis of cryptosystems using short generators over ideal lattices	JJIAM 2018	2018
	Small CRT-Exponent RSA Revisited	Journal of Cryptology 2019	2019
	A Structural Attack on Block-Anti-Circulant UOV at SAC 2019	PQcrypto 2020	2020
	Multivariate Encryption Schemes Based on Polynomial Equations over Real Numbers	PQcrypto 2020	2020
	SiGamal: A supersingular isogeny-based PKE and its application to a PRF	ASIACRYPT 2020	2020
	Determinant Expressions of Constraint Polynomials and the Spectrum of the Asymmetric Quantum Rabi Model	International Math. Research Notices	2021
	A New Variant of Unbalanced Oil and Vinegar Using Quotient Ring: QR-UOV	Asiacrypt 2021	2021
吉田	Statistical inference for ergodic point processes and limit order book	Stochastic Processes and their Applications	2017
	Non-Gaussian quasi-likelihood estimation of locally stable SDE	Stochastic Processes and their Applications	2019
	Parametric estimation for a parabolic linear SPDE model based on discrete observations	Journal of Statistical Planning and Inference	2021

# 6. 研究成果

## 主要論文3

チーム	論文タイトル	掲載誌	発行年
水藤	Computational fluid dynamics modeling in aortic diseases	Cardiovascular Imaging Asia	2018
	Isogeometric hyperelastic shell analysis with out-of-plane deformation mapping	Computational Mechanics	2019
	Recent advances in parameter inference for diffusion MRI signal models	Magn Reson Med Sci 2021,	2021
長山	Sustained dynamics of a locally excitable system with nonlocal interactions	Physical Review E	2017
平岡	Persistence Modules on Commutative Ladders of Finite Type	Discrete and Comput. Geom.	2016
	Hierarchical structures of amorphous solids characterized by persistent homology	PNAS	2016

# 6. 研究成果

## 主要発表(国内)

チーム	発表タイトル	会議名	発表年
石川	画像認識の様々なタスクに対する畳み込みニューラルネットワークの有効性	日本神経科学会視覚科学フォーラム 第19回研究会	2015
水藤	“最先端のシミュレーション技術による心血管系モデリングと実現した計算” JST戦略的創造研究推進事業CRESTを通じた医療者と数学者の協働	第53回日本医学放射線学会秋季臨 床大会特別企画	2017
	教育講演: 画像診断領域における数理的手法の現状について—血流シミュレーション からAI/ディープラーニングまで?	循環器MDCT研究会)	2017
	医療画像診断におけるAI/深層学習: 正しく医療適応するために医療者としてできるこ と	第28回日本乳癌画像研究会	2019
	先天性心疾患における血管形状と流れの構造からエネルギー損失分布に至る関係性 の把握	第55回日本小児循環器学会総会・ 学術集会	2019
	大動脈血流シミュレーションのための患者固有及び一般化数理モデル	第79回日本医学放射線学会総会	2020
	心臓大血管の流体構造連成解析モデル	第84回日本循環器学会学術集会	2020
長山	表皮細胞の分化・増殖における基底膜の役割	第115回日本皮膚科学会総会	2016
平岡	Direct observation and modeling of local atomic structures of amorphous materials	日本顕微鏡学会第61回シンポジウ ム	2018
	パーシステントホモロジーによるデータ解析— 材料科学への応用について	日本セラミックス協会 第 33 回秋季 シンポジウム	2020
	アモルファス材料の構造抽出手法の開発	日本金属学会春期講演大会	2020



# 6. 研究成果



## 7. ICIAM 2019 Highlights ICIAM PRIZE AND INVITED LECTURES

Thursday, July 18, Universitat de València, 11:00h – 11:45h

**IL20: Hiroshi Suito**, Tohoku University, Japan

**ME - Aula Magna**

Chair Person: **Maurizio Falcone**

**Title: Geometrical characteristics of human anatomical structure in thoracic diseases**

チーム	CRESTチームが組織したミニシンポジウム	オーガナイザ
大石	Recent development of verification methods for numerical linear algebra MS FT-1-10, Part 1, Part 2	Takeshi Ogita
	Siegfried Rump Numerical verification methods and their application to differential equations MS ME-1-5, Part 1, Part 2	Kazuaki Tanaka, Nobito Yamamoto Michael Plum
小林	Mathematical Challenge to Understand Control Principle Underlying Animals' Adaptive Behavior MS ME-1-6	Ryo Kobayashi Akio Ishiguro
栄、長山	Mathematical modeling, simulations and theories related to biological phenomena, IM FT-2-2 Part 1, Part 2	Yoshihisa Morita Shin-Ichiro Ei Masaharu Nagayama
水藤	Mathematics and Computation for Clinical Problems MS A6-5-3 Part 1, Part 2, Part 3	Hiroshi Suito Takuya Ueda Norikazu Saito
平岡	Geometry and Topology in Data Analysis MS A1-1-1, Part 1, Part 2, Part 3, Part 4	Facundo Memoli, Washington Mio Yasuaki Hiraoka

# 6.1 先端的確率統計学が開く大規模従属性モデリング

研究代表者: 吉田 朋広 (東京大学大学院数理科学研究科、教授)

## 研究課題の目標

- ・金融データ、ツイッターデータなどの高頻度大規模データの統計解析・統計予測のために、擬似尤度解析などを理論的に整備し、社会実装する。

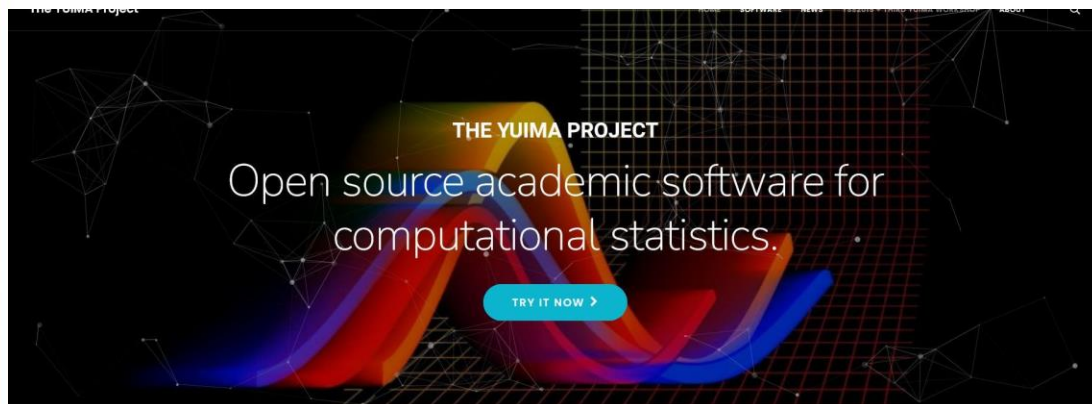
## 中間評価まで

- ・確率過程に対する数理統計の理論的結果(収束性の証明、つまり大偏差原理)を得て、確率過程論的モデルのパラメータの推定が可能になり、金融データに適用可能になった。
- ・統計関係者の間で標準的に使われている汎用ソフトウェアR上の統計解析・統計予測のためのパッケージYUIMAとして公開しており、理論の進展をその改良に反映させている。YUIMAについてのチュートリアルでは、保険業界等の研究者にとって待ち望まれていたものであったため、参加希望者多数のため学生の参加を制限するほどであった。

## 中間評価時の期待

- ・YUIMAの改良のための国際的ワークショップをおこなうとともに、さらに社会実装が進むことで、数年のうちに業界では標準的なパッケージとなり目標達成が期待できる。

# 6.1 先端的確率統計学が開く大規模従属性モデリング



The **YUIMA** Project is an open source academic project aimed at developing a complete environment for **estimation** and **simulation** of Stochastic Differential Equations and other **Stochastic Processes** via the R package called **yuima** and its Graphical User Interface **yuimaGUI**

## The YUIMA Software

The YUIMA Software performs various central statistical analyses such as quasi maximum likelihood estimation, adaptive Bayes estimation, structural change point analysis, hypotheses testing, asynchronous covariance estimation, lead-lag estimation, LASSO model selection, and so on. It also supports stochastic numerical analysis by fast computation of the expected value of functionals of stochastic processes through automatic asymptotic expansion by means of the Malliavin calculus. All models can be multidimensional, multiparametric or non parametric.



YUIMA	YUIMAGUI
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ R Package</li><li>✓ Super flexible (coding required)</li><li>✓ Suitable for programmers, researchers</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Shiny App</li><li>✓ No coding required</li><li>✓ Suitable for beginners, students</li></ul>
<a href="#">YUIMA &gt;</a>	<a href="#">YUIMAGUI &gt;</a>

YUIMA Project ホームページ  
(<https://yuimaproject.com/>)

# 6.1 先端的確率統計学が開く大規模従属性モデリング

## 確率微分方程式のパラメータ推定

- ・ジャンプに対してロバストなボラティリティ推定のためのグローバルジャンプフィルター(Inatsugu and Yoshida 2021)
- ・退化拡散過程の適合型推定(Gloter-Yoshida 2021 EJS)、
- ・ハイブリッド型推定(Kamatani-Uchida 2015 SISP; Kaino-Uchida-Yoshida 2017 BIC, Kaino-Uchida 2018 SISP, 2018 Metrika)
- ・従属系に適用可能なベイズ型情報量規準(QBIC)の正当化(Eguchi-Masuda 2018 Bernoulli)
- ・非エルゴード的従属性データのための非正規型擬似尤度の開発(Masuda 2019 SPA)
- ・確率偏微分方程式の推定(Kaino-Uchida 2021 JSPI, 2021 JJSDS)
- ・スパース推定における擬似尤度解析の有用性(Masuda-Shimizu 2017 MMS, Kinoshita-Yoshida 2019 arXiv, Umezu, Shimizu-Masuda-Ninomiya 2019 AISM, Suzuki-Yoshida 2020 JJSDS)。

## 金融に関するモデリング

- ・リミットオーダーブック(株価気配値)に対する点過程によるモデリング手法の開発 (Client-Yoshida 2017 SPA; Muni Toke-Yoshida 2017 QF, 2019 QF, 2020 arXiv:2001.08442)。
- ・高頻度データに対するグラフィカルLASSO (Koike 2020 Entropy) 、
- ・S&P500、VIX インデックス、Interexpectile Differences の関係性 (Bellini-Mercuri-Ryoji 2020 QF)
- ・高頻度観測される金融資産価格間のマルチリードラグのウェーブレットの方法によるモデル化(Hayashi-Koike 2018 JFM)、
- ・先行遅延関係を内包する2証券から成る市場モデルが無裁定性を有するための十分条件 (市場の摩擦) の研究 (Hayashi-Koike 2019 SPL)

## YUIMA

- ・ベイズ型情報量基準QBICも実装。MpCN法(鎌谷法)の理論的解析でエルゴード的な意味での有効性 (Kamatani 2017 JAP)や高次元での有効性(Kamatani 2018 Bernoulli) が示され、YUIMA に実装。
- ・YUIMAの普及のための出版(Iacus-Yoshida 2018 Springer)
- ・YUIMA自体のダウンロード数は中間評価時点でも3万回超。
- ・開発に向けたYUIMA Conference(3回)、YUIMAユーザー会(5回)、普及にむけたチュートリアル(4回)。

## 6.2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

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)

### 研究課題の目標

- ・計算速度の超高速化・量子計算の実用化が見通される現在、量子計算アルゴリズムをもってしても解読計算が困難な暗号アルゴリズムを開発・実装する。

### 中間評価時点

- ・中間評価時点ではRSA暗号の解読コンテストでの世界記録をマークした(現在はトップは譲っているが次のコンテストに対して準備中)。
- ・ポスト量子暗号の標準化について、国際会議・ワークショップを開催し、NISTから標準化プロセスに対しての説明を受けるとともに、現在複数のポスト量子暗号の構成アルゴリズムを提案中である。これにはラマヌジャングラフ上のネットワークの理論的研究も応用されている。暗号の安全性に対する市民の意識も高められた。

### 中間評価時の期待

- ・これから数年のうちに結論が出される予定のNISTのポスト量子暗号の標準化プロセスにおいて、特に提案された暗号の強度の定量化について現在に引き続き関与していくことで、ポスト量子暗号に関する国際的な地位の大幅な向上が見込まれる。

## ■ NIST\* 標準化応募状況

### スケジュール

- ・2017/12月～2018/12  
第1ラウンド評価期間
- ・2019/1月～2020年  
第2ラウンド評価期間
- ・2020年/2021年  
最終候補選出 or  
第3ラウンド評価期間
- ・2022年～2024年  
標準規格ドラフト

- ・最終候補には不採択
- ・評価者として参画
- ・採択方式の脆弱性指摘
- ・署名方式には再募集の動き
- ・高効率署名方式QR-UOVに期待

### 応募状況 (69件)

#### ・ 格子暗号 (24件)

Compact LWE, CRYSTALS-DILITHIUM, CRYSTALS-KYBER, Ding Key Exchange, DRS, EMBLEM and R.EMBLEM, FALCON, Frodo, HILA5, KINDI, LAC, LIMA, Lizard, LOTUS, NewHope, NTRU-HRSS-KEM, NTRU Prime, NTRUEncrypt, Odd Manhattan, pqNTRUSign, qTESLA, Round2, SABER, Titanium

#### ・ 符号暗号 (16件)

BIG QUAKE, BIKE, Classic McEliece, DAGS, Edon-K, HQC, LEDAkem, LEDApkc, McNie, NTS-KEM, pqsigRM, QC-MDPC KEM, RaCoSS, Ramstake, RLCE-KEM, RQC

#### ・ 多変数多項式暗号 (10件)

CFPKM, DME, DualModeMS, GeMSS, Gui, HiMQ-3, LUOV, MQDSS, Rainbow, SRTPI

#### ・ ハッシュ関数署名 (2件)

Gravity-SPHINCS, SPHINCS+

#### ・ 同種写像暗号 (1件)

SIKE

#### ・ その他 (16件)

Giophantus, Guess Again, HK17, LAKE, Lepton, LOCKER, Mersenne-756839, OKCN/AKCN/CNKE, Ouroboros-R, Picnic, Post-quantum RSAEncryption, Post-quantum RSASignature, RankSign, RVB, Three Bears, WalnutDSA

\* National Institute of Standards and Technology

# 6.2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

## 暗号の脆弱性・高性能暗号の提案

- ・暗号解読コンテスト(TU Darmstadt Lattice with Errors Challenge)で、2016年に世界記録を達成している(EuroCrypt2016; Wang, Takagi, IJIS 2020)。
- ・円分体の小さな元で生成されるイデアルを秘密鍵とする格子暗号の脆弱性(Okumura, Sugiyama, Yasuda, Takagi, JJIAM 2018)
- ・多変数多項式求解問題を用いるNIST採択方式にも多項式時間で解読が起こる場合の指摘 (IWSEC2018 Best Paper Award、情報処理学会論文誌2019年度論文賞)
- ・グレブナ基底の計算量が小さくできるという指摘 (国際会議PQCrypto 2020)
- ・CRT-RSA暗号に対して、秘密鍵が小さいときの安全性評価 (EuroCrypt 2017; Takayasu, Lu and Peng, J. Crypt. 2019)。
- ・高効率署名方式QR-UOVを代数における剰余環の理論を用いて導き提案している(AsiaCrypt2021)。
- ・ラマヌジャングラフを用いて高速化したポスト量子暗号としてのハッシュ関数の暗号装置に関する特許(特許第6614979号, Tachibana, Takashima, Takagi, JSIAM Letters 2017)
- ・ハッシュ関数を用いない新しい同種写像暗号方式SiGamalの提案(AsiaCrypt2020)。

## 量子現象を用いた暗号の安全性にかかわる基礎研究

- ・非対称量子ラビ模型(2体問題)において半整数パラメータにおけるスペクトルの縮退の証明 (Kimoto, Reyes-Bustos, Wakayama, IMRN 2021)

## 広報の成果: 暗号理論は社会を支える理論

- ・報道発表は9回を数え、NHKのクローズアップ現代「あなたのパソコンが危ない 追跡！ 謎の新型ウイルス」、NHKのサイエンスZERO「量子コンピューターでも解読不可能！？新しい暗号誕生なるか」など

## 6.3モデリングのための精度保証付き数値計算論の展開

研究代表者: 大石 進一 (早稲田大学理工学術院、教授)

### 研究課題の目標

- ・精度保証計算により、数理モデルへの信頼性を高める。具体的には、偏微分方程式の解の分岐等を保証できるように、高次元計算のライブラリを整備する。

### 中間評価時点

- ・高次元精度保証計算のライブラリkvを整備し、精度保証計算の精度・計算速度をともに高め、様々な問題への適応例を増やして公開するとともに、数学の理論的な問題(3次元双曲多様体の体積の評価、無限級数が零点を持たないことの評価、流体の方程式の解の分岐が起こることの数値計算による証明)において数学自体にも貢献している。精度保証付き3次元双曲多様体の体積計算プログラム hikmotは公開されている。

### 中間評価時の期待

- ・精度保証計算ライブラリkvに関するチュートリアルを開催することなどを通じて、kvを業界標準にしていく。「精度保証付き数値計算の基礎」という本を2018年に出版しているが、数年の内に精度保証計算の社会実装への道筋をつけることは、社会の安全安心のためには不可欠である。



# 6.3モデリングのための精度保証付き数値計算論の展開

English | 日本語

最終更新: 2021/11/12



## kv - C++による精度保証付き数値計算ライブラリ

柏木 雅英

### 1. はじめに

本ページでは、精度保証付き数値計算を行うためにC++で作成したライブラリ群を公開している。

特に非線形計算の精度保証を行うとき、template機能によって複雑な数値型をすっきり記述でき、なおかつ "zero-overhead principle" で計算速度が遅くならないC++は、非常に適していると言える (ほぼ唯一無二であると作者は考えている。),

精度保証付き数値計算とkvライブラリの概要については、このスライドを見て欲しい。 [kv-intro.pdf](#) (全84ページ)

2007年秋頃~2013年春頃の間は、区間演算を行うのにboostに含まれている interval ライブラリを用いて開発していたが、boost.intervalは残念ながら不完全な部分が多くライブラリ本体に手を入れざるを得なかった。boost全体がアップデートする度にinterval部分にpatchを当てるのも面倒になってきたので、interval部分は全て自作することにした。本ライブラリはboost.intervalを使っていないが、線形計算を行うboost.ublasなど、部分的にまだboostを使っている。

boost.intervalを使っていた頃の古い情報はもうアップデートしないが、一応 [ここ](#) に保存しておく。

### 2. 動作環境

C++とboostが動くことが必要。boostが動かないといけないので、あまり古いコンパイラでは動作しないだろう。

区間演算を実現するために丸めモードの変更を行っているので、CPUとコンパイラには制限がある。詳細は [5. 区間演算\(interval\)](#)、[20. 丸めモードの変更方とコンパイルオプション](#) の項を参照。

一応、次の環境で動作を確認したことがあるが、主に開発は `ubuntu 18.04 64bit + gcc` で行っており、その他はコンパイルが通るかチェックする程度である。

- ubuntu 20.04 (64bit) + gcc 9.3.0
- ubuntu 20.04 (64bit) + clang 10.0.0
- ubuntu 18.04 (64bit) + gcc 7.3
- ubuntu 18.04 (64bit) + clang 6.0.0
- ubuntu 16.04 (64bit) + gcc 5.3
- ubuntu 16.04 (64bit) + clang 3.8
- ubuntu 14.04 (64bit) + gcc 4.8
- ubuntu 10.04 (64bit) + gcc 4.4
- ubuntu 10.04 (32bit) + gcc 4.4
- windows10 (64bit) + Visual Studio 2017
- windows7 (64bit) + Visual Studio 2015
- windows7 (64bit) + Visual Studio 2013
- windows7 (64bit) + Visual Studio 2008
- windows7 (64bit) + cygwin + gcc
- Windows7 (64bit) + MSYS2 (64bit) + gcc
- Mac OS X snow leopard + gcc
- Mac OS X Yosemite + gcc
- ubuntu 12.04 on MK802(ARM) + gcc
- raspberry pi + raspbian + gcc
- Sharp NetWalker PC-Z1 + ubuntu 9.04 + gcc
- Intel Edison + gcc

### 3. ダウンロードとインストール

ダウンロード: [kv-0.4.53.tar.gz](#) (2021年11月12日公開)  
(古いversionは[こちら](#))

また、<https://github.com/mmkashi/kv> からアクセスできる。

ヘッダファイルのみで動くように作られている。よって、ライブラリをmakeする等のインストール作業は必要ない。archiveを展開するとkv, test, exampleの3つのdirectoryが作られるが、本体は kv 以下。kv以下をどこか (current directoryでもusr/local/includeでも) に置いておくだけで良い。動作確認は、kv及びboostがinclude pathに入った状態でtest以下またはexample以下の適当な.ccファイルをコンパイル出来ればOK。例えば、

- 単にarchiveを展開した状態
- boostはusr/local/includeにある

ならば、例えばtest以下で

```
c++ -I. -I/usr/local/include test-interval.cc
```

とやってもエラーが出なければ問題ない。( [kv及びboost directoryが置いてあるdirectory] を指定することに注意)

コンパイルオプションは、-O3等で最適化を最大にし、-DNDEBUGを付けることを推奨。どちらも実行速度に大きく影響する。(NDEBUGマクロの意味は [boost.ublas](#) の項を参照。)

([2015/12/17]に追加) 新しい環境やコンパイルオプションを使うときは、test/test-rounding.ccをコンパイル/実行して、[加減乗除と平方根で丸めの向きがちゃんと変わっているか簡単にチェック](#)するとよい。

kvライブラリが提供する機能は全てkv名前空間の中にあり、他のライブラリとぶつからないように配慮されている。

精度保証付き数値計算ライブラリkv ホームページ  
(<http://verifiedby.me/kv/>)

## 6.3モデリングのための精度保証付き数値計算論の展開

### 悪条件問題・大規模性問題に対する基盤となる高精度高速数値計算法

- ・アファイン演算に基づくシャープな解析(Rump and Kashiwagi, NTA, IEICE, 2015)
- ・エラーフリー変換法の提案・漸近対角行列理論を創始し数学的原理を解明(大石)
- ・スーパーコンピュータの並列計算の精度保証計算の性能の評価テスト問題作成システムの開発(荻田グループ及び尾崎グループ)
- ・相転移判定に必要な符号判定の精度保証付き数値計算による解決(SCAN2020, 田中)
- ・アファイン演算による計算誤差打ち消し具合の評価と可積分性の判定の指標(柏木・高橋・丸野)

### 日本数学会応用数学分科会特別講演

- ・3Dナビエ・ストークス方程式の解の検証: 劉雪峰 “ナビエ-ストークス方程式の定常解の計算機援用存在証明の進展” (2019)
- ・テスト問題の生成法・スーパーコンピューティング: 尾崎克久 “行列積に対するエラーフリー変換, 基礎—応用—未来” (2020)

### 精度保証ライブラリkvと偏微分方程式用ライブラリVCP

- ・日本応用数理学会三部会連携応用数理セミナーで2015年にkvを、2020年にVCPを紹介。国際会議SCAN2018にて、大石進一編著「精度保証付き数値計算の基礎」コロナ社、2018の各章を解説
- ・超双対数の高速計算ライブラリを構築。この従来技術より2倍以上の計算速度を用い豊田中央研究所が高速フレームワークを構築。



# 6.4 大規模複雑システムの最適モデリング手法の構築

研究代表者: 岩田 覚(東京大学大学院情報理工学系研究科、教授)

## 研究課題の目標

- ・生命現象や電力システム、交通システムにおける制御を対象に、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、多数のモデルの中から最も適切なものを効率的に選択する手法の創出。

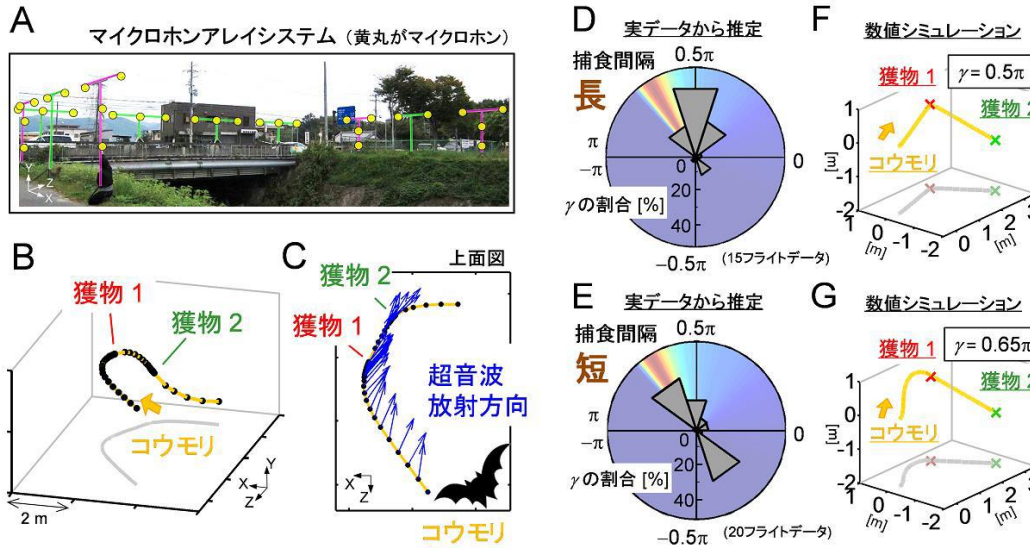
## 中間評価時点

- ・生命現象においては植物(シロイヌナズナ)の概日周期、コウモリの採餌飛行経路の制御方法、電力システムとしては効率的広域電力供給の制御法、交通システムとしては混雑解消のための停車駅設定について明らかにした。これらのためにマッチング問題の解法の理論的進化も応用された。

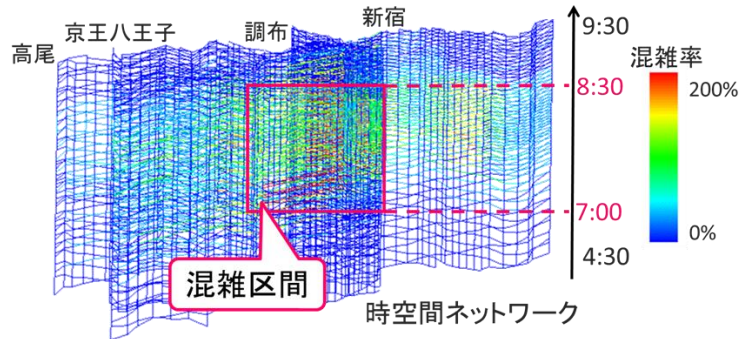
## 中間評価時の期待

- ・生命現象や電力システム、交通システムにおける制御の成果を、北海道におけるブラックアウトへの今後の対策、混雑解消、輸送効率化に生かすべく、成果の社会実装に注力する。

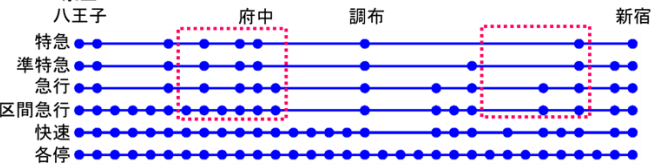
# 6.4 大規模複雑システムの最適モデリング手法の構築



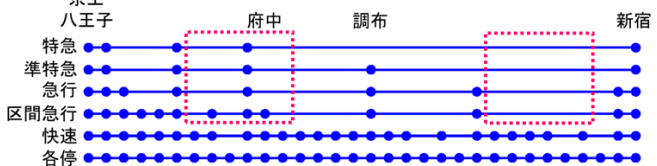
## コウモリ飛行ルートの数理的解析



## 現行解(2016年時刻表)



## 計算で得られた解



## 列車運行システムへの最適モデリング

# 6.4 大規模複雑システムの最適モデリング手法の構築

## 成果の広報

- ・コウモリが目の獲物のみならず、その先にいる次の獲物の位置までも超音波で先読みすることで、より多くの獲物を確実に捕らえる飛行ルートを選択していることを数理的解析とフィールド計測によって明らかにしたことは、2016年日本経済新聞、読売新聞でも報道された。
- ・2018年には電力網における周波数変動の数理解析モデルに関し、日刊工業新聞、日経産業新聞で報道されたが、2018年北海道におけるブラックアウト後、日経新聞に「電力網の弱点 数学で探る」という形で報道されている。

## 成果の発表

- ・計測データの数理解析によって、シロイヌナズナの各部位における概日リズム間の結合強度を評価し、莖長を頂点とした概日時計の構造を明らかにした。(Takahashi, Hirata, Aihara, and Mas, “A hierarchical multi-oscillator network orchestrates the arabidopsis circadian system”, Cell, 2015).
- ・Journal of Mechanism and Institution Designの創刊号に、離散凸解析の経済学とゲーム理論への応用に関する長編(123頁)のサーベイ論文(招待論文)を発表した。新しい雑誌の創刊号にサーベイ論文を招待されることは、当該分野において離散凸解析の意義が認知されていることを示している。(Murota, “Discrete convex analysis: A tool for economics and game theory”, JMID, 2016)
- ・探餌のためにナビゲーション飛行するコウモリが、目の獲物のみならず、その先にいる次の獲物の位置までも超音波で先読みすることで、より多くの獲物を確実に捕らえる飛行ルートを選択していることを数理的解析とフィールド計測によって明らかにした。(Fujioka, Aihara, Sumiya, Aihara, and Hiryu, “Echolocating Bats Use Future-target Information for Optimal Foraging”, PNAS USA 2016)
- ・モデル選択に適した、汎用性と高速性に優れたアルゴリズムを提案できた。(Ito, Takeda, Toh, “A Unified Formulation and Fast Accelerated Proximal Gradient Method for Classification”, J. of Machine Learning Research, 2017).
- ・1978年にLovaszが線形マトロイド・パリティ問題の多項式時間解法を示して以来、40年近くに渡って未解決であった重み付き線形マトロイド・パリティ問題に対して、多項式時間解法を初めて与えた。(Iwata and Kobayashi, “A weighted linear matroid parity algorithm”, Proceedings of the 49th Annual ACM Symposium on Theory of Computing, 2017).
- ・最適性を保証する微分代数方程式の指数減少法を提案し、現在主流の動的システムのシミュレーションソフトウェアが扱えない問題に対しても提案手法が適用可能であることを示した。(Iwata and Takamatsu, “Index reduction via unimodular transformations”, SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications, 2018).
- ・Journal of the ACMに採択されたことは、CRESTの主要な研究テーマである微分代数方程式の最適モデリングに関する研究が、計算機科学でもっとも意義のある研究成果のひとつであると認められたことを意味する。(Iwata, Oki and Takamatsu, “Index reduction for differential-algebraic equations with mixed matrices”, Journal of the ACM, 2019.)
- ・整凸関数に関して、スケーリング演算等の性質を解明し、近接定理を示し、それを利用した最適化アルゴリズムを設計した(Moriguchi, Murota, Tamura, and Tardella, “Scaling, proximity, and optimization of integrally convex functions”, Mathematical Programming, 2019)

## 6.5 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

研究代表者: 栄 伸一郎 (北海道大学大学院理学研究院、教授)

### 研究課題の目標

- ・生命現象に現れるパターン形成について、実験可能なショウジョウバエなどを用いて、パターン形成の数理モデルの有効性を検証する。

### 中間評価時点

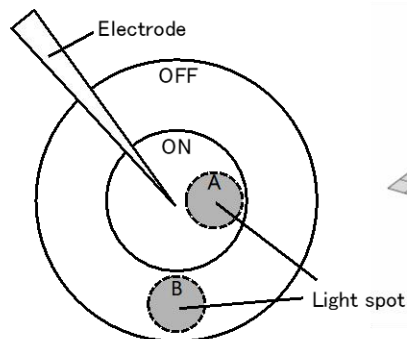
- ・ショウジョウバエの視神経細胞の分化についてのモデルの有効性を実証した。より多くのパターン形成に対し、距離について単調ではない積分核を用いた作用素により表示していく理論的成果を得た。

### 中間評価時の期待

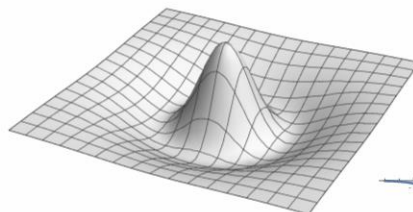
- ・積分核による定式化の有効性を理論的に証明するとともにより多くの例で検証する。

## 非局所相互作用の積分核による表現

[Kuffler 1953]



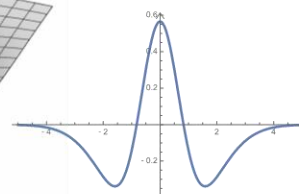
Mexican-hat



Local activation and long term inhibition

短距離活性・長距離抑制

LALI



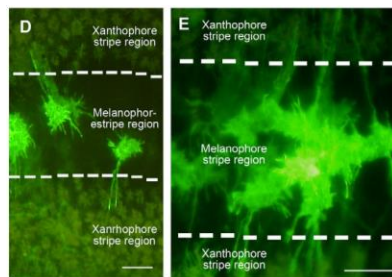
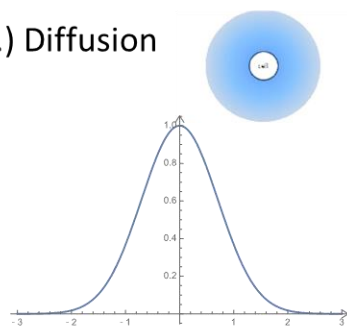
?  
拡散不安定性

$$K * u$$

Typical modeling:  $u_t = \int k(x-y)u(y,t)dy - bu + \dots$

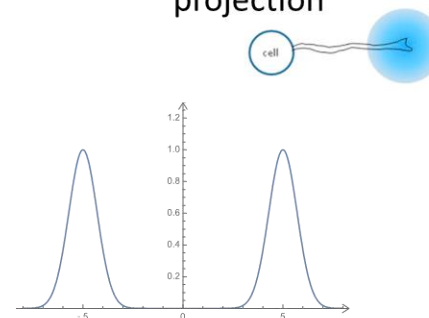
積分核の形状は実験から容易に調べられる。 → 実験との相性もよい

ex.) Diffusion



[Hamada et al.2014]

projection



積分核によるパターン形成問題の定式化

## 6.5 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

### 成果の発表

- ・反応拡散モデルから樟脳ボートに生じる渋滞現象を理論的に導出し、その発生メカニズムの理論解析に成功した。(Ei, Ikeda, Nagayama, Tomoeda “Reduced model from a reaction–diffusion system of collective motion of camphor boats” Discrete Contin. Dyn. Syst. 2015)
- ・ショウジョウバエの脳の形成過程において見られる分化の波に対してEGFおよびNotchシグナルの働きを核としたProneural waveの数理モデルを構築し、様々な変異体の表現型をうまく説明できることを示した。また、数理モデルによって見出された現象を実際の生体内で再現することにも成功した。(Sato, Yasugi, Minami, Miura, Nagayama, “Notch–mediated lateral inhibition regulates proneural wave propagation when combined with EGF–mediated reaction diffusion.” PNAS 2016)
- ・任意の積分核が反応拡散系により近似されるという、反応拡散系と積分核表示の関係を示した最初の結果(Ninomiya, Tanaka, Yamamoto, “Reaction, diffusion and non–local interaction” J. Mathematical biology 2017)
- ・水面に浮かべた楕円型樟脳円盤の相互作用を考察し、その理論解析、及び樟脳の昇華などの詳細な構造に依存しない普遍的性質の抽出に成功した(Ei, Kitahata, Koyano, Nagayama “Interaction of non–radially symmetric camphor particles” Physica D: Nonlinear Phenomena 2018)
- ・分化の波の進行過程においてJAK/STATシグナルが生体内におけるノイズの効果をキャンセルする働きを持つことを数理モデルによって予測し、実験的に証明した(Tanaka, Yasugi, Nagayama, Sato, Ei. “JAK/STAT guarantees robust neural stem cell differentiation by shutting off biological noise” Scientific Reports 2018).
- ・脳のカラム形成が細胞接着力の差分によって制御されることを実験と数理モデルを組み合わせで実証した(Trush, Liu, Han, Nakai, Takayama, Murakawa, Carrillo, Takechi, Hakeda–Suzuki, Suzuki, Sato, “N–cadherin orchestrates self–organization of neurons within a columnar unit in the Drosophila medulla” J. Neuroscience 39, 2019).
- ・惑星形成や銀河系形成などの要因であるJeans不安定性について中心多様体を用いた非線形解析を行った(Sekisaka Yamamoto, “Instability in the nebula model of compressive viscous gases” Physica D, vol.403, 2020)



## 6.6 超一様性の理論と諸科学におけるランダムネスへの展開

研究代表者: 松本 眞 (広島大学大学院理学研究科、教授)

### 研究課題の目標

- ・研究代表者のメルセンヌツイスターを用いた擬似乱数によるモンテカルロ法は既に世界の標準となっているが、次元の高い空間上のモンテカルロ積分は次元の指数関数の個数の点が必要であるが、収束は点の個数の逆平方根の速さである。実際に積分を計算したい関数が実解析的関数であることに着目すると、総和を計算する点を特殊にとることにより、点の個数の逆数の速さで収束させることが出来る(準モンテカルロ法)。このような点の取り方を発見し、数値積分を高速化するプログラムを提供する。またこのようなランダム現象のより概念的な考察を行なう。

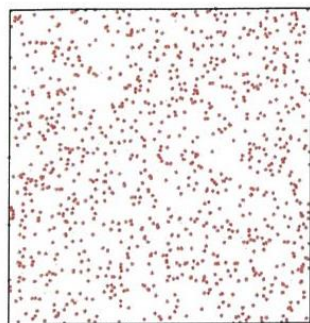
### 中間評価時点

- ・研究代表者の健康上の理由で研究を中断することになってしまったが、研究期間で、準モンテカルロ法をほぼ点の個数の逆数の速さで収束させることのできる点集合(lowWAFOM集合)を発見し公表した。企業と共同研究でアリ集団におけるランダム性が集団の生存に必要であることを実証した。

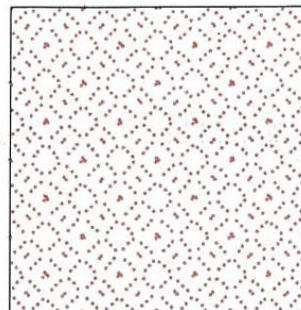
### 2017年度で終了/その後の活動

- ・lowWAFOM集合に関しての情報を提供し公開されたlowWAFOM集合が多くのユーザを得るように領域として広報する。

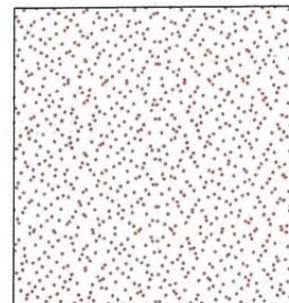
# 6.6 超一様性の理論と諸科学におけるランダムネスへの展開



擬似乱数  
(メルセンヌツイスターによる  
2次元点プロット)

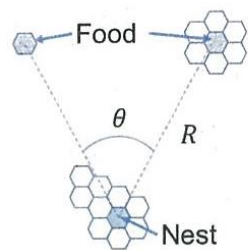


超一様点集合1  
(t-valueを小さくすることで選  
ばれたもの:sobol点集合)

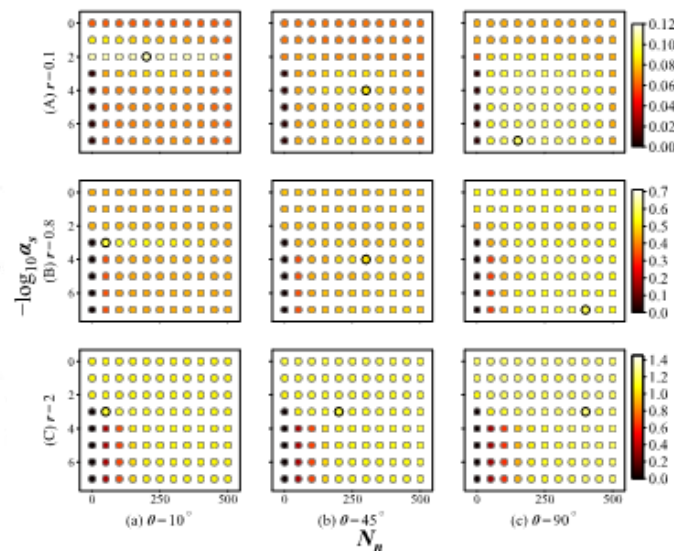
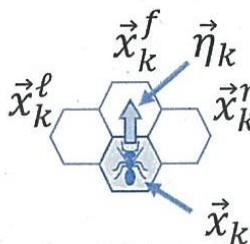


超一様点集合2  
(sobol点集合をLowWAFOM化)

## 超一様点集合



拡大



## アリの集団の持つランダム性のモデリング

# 6.7 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

研究代表者: 平岡 裕章(京都大学高等研究院、教授)

## 研究課題の目標

- ・パーシステントホモロジーを用いてソフトマターの変化の記述を行う。

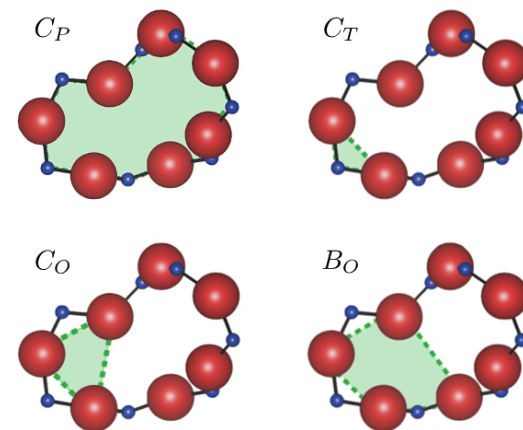
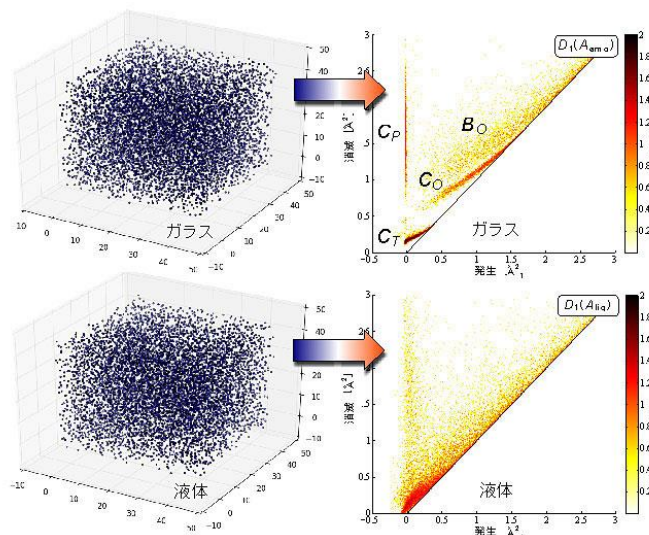
## 中間評価時点

- ・結晶・ガラス・液体の相変化において、ガラスにおける中規模構造をパーシステント図から読み取ること、粉体における圧力の変化による相変化において中規模構造を抽出した。パーシステントホモロジー計算を現場で行えるソフトウェアHomCloudの開発を行い公開している。

## 中間評価時の期待

- ・パーシステントダイアグラムの変化の記述のための数学的基礎の研究を進めるとともに、現場との連携でソフトウェアHomCloudの社会実装を進める。

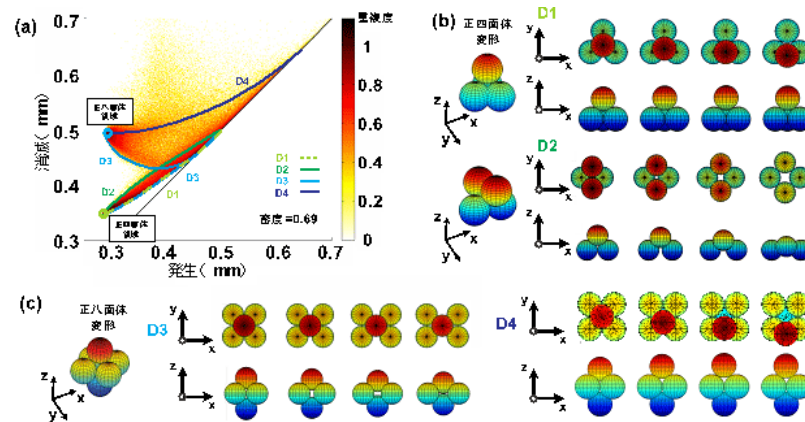
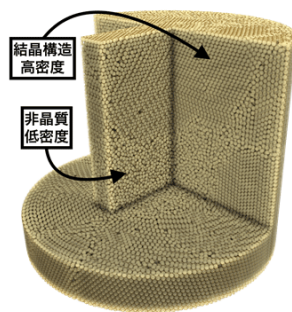
# 6.7 ソフトマター記述言語の創造に向けた位相的データ解析理論の構築



SiO<sub>2</sub>の原子配置(左)とそのパーシステントホモロジー(右)

SiO<sub>2</sub>ガラスのパーシステントホモロジーに対応する典型的なリング構造

ガラスの原子の秩序性を明確化



粉体のパーシステント図を特徴づける4つの変形モデル

# 6.7 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

## パーシステント図に対する機械学習法の開発

- ・パーシステント図を再生核ヒルベルト空間へ連続に埋め込むカーネル法の理論を構築し、その計算手法の提案やガラス転移点の特徴付けなどの応用研究も。線形機械学習法では逆解析も可能、学習結果に対する幾何学的な解釈 (Kusano, Fukumizu, Hiraoka: ICML2016, JMLR2018. Obayashi, Hiraoka, Kimura: JACT2018)。

## パーシステント図に関する理論的成果

- ・ユークリッド空間内のランダムな点過程や格子モデルに対し、ベッチ数の大数の法則と中心極限定理を証明。ランダム測度理論を用いることで、パーシステント図の極限定理(大数の法則に対応)を得て、ランダムパーシステント図の極限としてあるラドン測度を得られることを示し、ラドン測度の台の特徴付けを行った(Hiraoka, Shirai, Trinh:AAP2018. Hiraoka, Tsunoda: DCG2018)。
- ・マルチパラメータ・パーシステント加群の研究にAuslander-Reiten理論を導入し、制限付き2パラメータ・パーシステントホモロジーとして可換梯子型クイバーを提案。梯子の長さに応じた有限性の証明し、マルチパラメータ・パーシステント加群に対して、区間分解・区間近似の概念を提案。マルチパラメータ・パーシステント加群を実用的なデータ解析技術にできる可能性 (Escolar and Hiraoka. DCG2016)。

## HomCloud

- ・逆問題解析、機械学習、スパース解析などのより踏み込んだパーシステントホモロジー解析手法を組み込んだソフトウェアを公開し、研究成果によるパッケージが随時付け加えられている。
- ・産業応用へのライセンス供与。大学・企業の研究現場・材料科学の大型プロジェクト(内閣府SIP, JST MI2I, NEDO超超プロジェクト)で広く使われ、生命、医療、経済学、環境などの諸分野でも応用されている。
- ・医療画像への応用では肝腫瘍の画像解析へパーシステント図の機械学習法を適用し、非常に高い精度で肝細胞癌、転移性腫瘍、肝血管腫の3種を識別可能であることが示された。その他、生命科学、環境エネルギー問題、企業の特許戦略解析、気象学などへ応用している(Inatsu et al, SOLA, 2017, Oyama et al, Sci. Rep. 2019, Suzuki et al, Comp. Geosci. 2020, Suzuki et al, Sci. Rep. accepted)。
- ・国内材料系企業6社との共同研究。材料TDA コンソーシアム「トポロジカルデータ解析コミュニティ」も設立(民間企業19社、その他研究機関などから8機関が参加)。

## 6.8 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

研究代表者: 石川 博(早稲田大学理工学術院、教授)

### 研究課題の目標

- ・画像認識の原理を解明しトップダウンとボトムアップの認識手法を応用して認識精度を高める。

### 中間評価時点

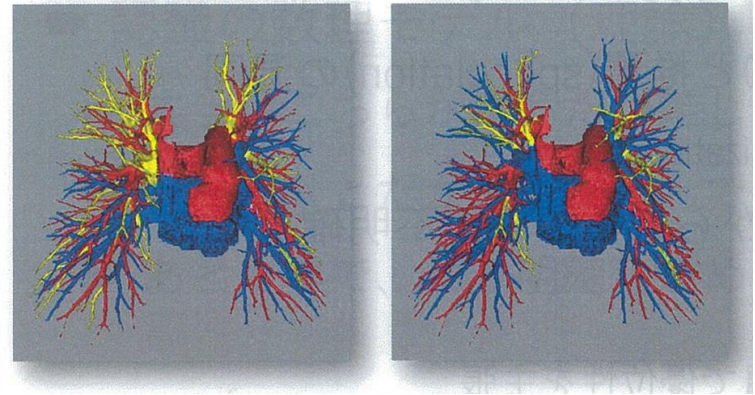
- ・社会における深層学習テクノロジーの爆発的浸透に対し、テクノロジーのトップランナーとして大きな社会評価を得た。これらの色付けソフト、線画作成ソフトは公開され、様々なメディアで使用されている。一方、確率場を用いた理論的裏付けを研究するには機が熟していないと思われる。

### 中間評価時の期待

- ・深層学習の理論的裏付けを意識しつつもテクノロジーの開発を続けていくことが時代の要請である。今回の成果により新たな資金を得ていくことを期待している。

# 6.8 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

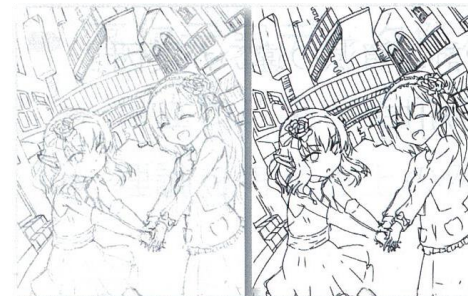
高階確率場理論を用いた医療応用されている  
動脈・静脈のセグメンテーション  
(右側:精度向上している)



大域特徴と局所特徴の双方を活用する  
ネットワークによる白黒画像の自動色付け



大域特徴と局所特徴の双方を活用する  
ネットワークによるラフ画の線画変換(左側)、  
画像の自動補完(右側)



# 6.8 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

## 高階・多層確率場からの画像認識AI

- ・事前知識を活用した高階確率場理論を用いた医療応用されている動脈・静脈のセグメンテーション (Kitamura, Li, Ito, Ishikawa, IJCV 2016; 図25)
- ・大域特徴と局所特徴の双方を活用するネットワークによる白黒画像の自動色付け手法(Iizuka, Simo-Serra, Ishikawa, 国際会議SIGGRAPH2016, 経済産業省Innovative Technologies 2016 特別賞「Culture」受賞; 図26)
- ・ラフスケッチの自動線画画変換手法(SIGGRAPH2016)
- ・Smart Inker: ラフスケッチのペン入れ支援(SIGGRAPH2018)、
- ・ディープネットワークを用いた画像補完手法(国際会議SIGGRAPH2017)

## 画像認識AIの社会浸透

- ・公開されたソフトウェアで白黒画像に色付けした画像は、2016年以降毎週のように新聞、テレビにて実際に使われ、報道にイノベーションを起こしている。このソフトウェア開発に関わる記事は日経新聞、産経新聞等に取り上げられ、日本テレビ「日テレNEWS24」、フジテレビ「みんなのニュース」「とくダネ!」、TOKYO MX「モーニングCROSS」、テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」等にも取り上げられている。(これらの成果は国際会議SIGGRAPHでそれらが発表されると同時に社会の実用に供されるというものになっている。)

## 画像認識AIの理論に向けて

- ・理論的に畳み込みフィルタに任意の行列多様体の制約を課すことを可能にする新たな学習方法で、その数値計算アルゴリズムを安定性と局所解への収束保証付で導出し、行列多様体の選択により、画像認識タスクでの認識精度が向上することを実験的に示した(Ozay and Okatani, 国際会議AAAI-18 2018)。
- ・「画像理解」の実現へ向けて、画像と言語という異なるモダリティの表現を効果的に融合する「Dense Co-attention ネットワーク」を提案し、1枚の画像と、そのシーンに関する自然言語の質問文のペアに適切に答えるタスクに適用し、データセットVQA およびVQA 2.0 において世界最高の精度を達成した(国際会議CVPR-18 2018)。



## 6.9 環境を友とする制御法の創成

研究代表者: 小林 亮(広島大学大学院理学研究科、教授)

### 研究課題の目標

- ・様々な生物の活動の制御機構を研究し、その中から未知の環境の中で活動できるロボットの制御方法を開発し実装する。

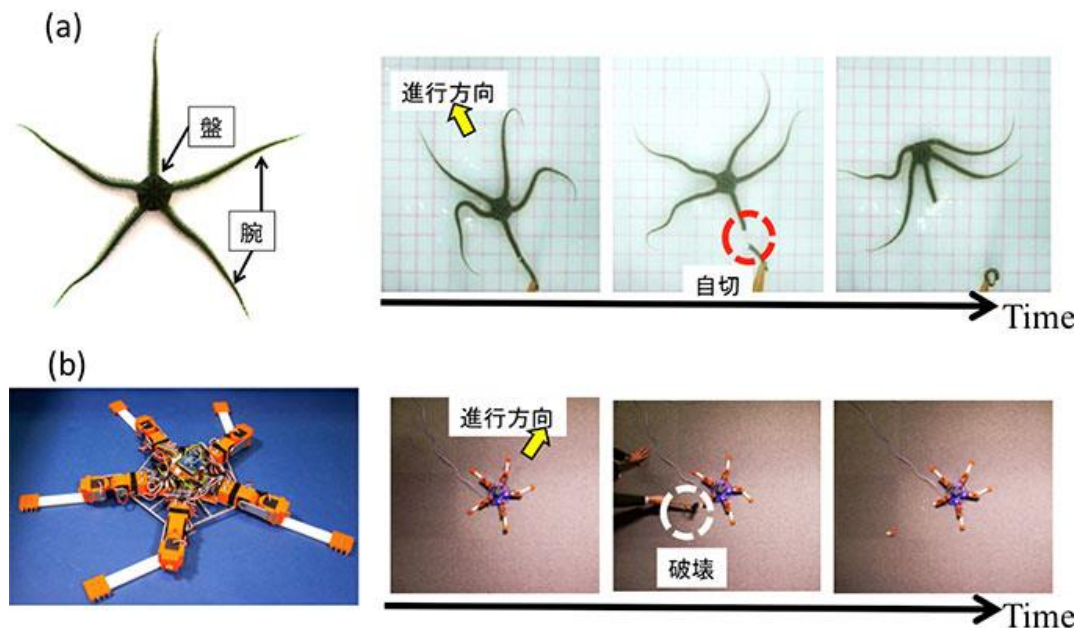
### 中間評価時点

- ・クモヒトデ型のロボット、ヘビ型のロボット、ムカデ型のロボットなどにおいて、分散型の手応え制御、陰陽制御、階層制御の方法を実装し、効果的な移動を再現した。このような制御機構をコンピュータ内に実装することにより理論の進展の方向が定まった。

### 中間評価時の期待

- ・この制御に興味を持つ企業も現れており、社会に実装していく段階に入っている。

## 6.9 環境を友とする制御法の創成



クモヒトデの全体像(左)と腕を自ら切断して推進する様子(右)

開発したクモヒトデ型ロボットPENTABOT II(左)と、腕を破壊した時のロボットの運動の様子(右)

ロボットの腕をいかに破壊しても即座に適応し、残った腕を協調させて推進し続けることが可能



「タミヤ楽しい工作シリーズNo.230ムカデロボット工作セット」として販売

## 6.9 環境を友とする制御法の創成

### 研究成果

- ・自律分散制御則の妥当性を四脚ロボット実機に実装して実験的に検証した。極めてシンプルな制御則によって、四脚動物が示す速度に応じた歩容遷移現象を世界で初めてロボットで再現した(Owaki and Ishiguro, SR 2017)。
- ・クモヒトデの環境適応能力・故障適応能力を支える自律分散的な制御構造を明らかにした(Kano, Sato, Ono, Aonuma, Matsuzaka and Ishiguro, RSOS 2017; Wakita, Hayase and Aonuma, SR 2019)。
- ・クモヒトデ型の制御に関しては、2017年「クモヒトデに学んだ、想定外の故障に「即座に」適応可能な移動ロボット」としてプレスリリースしているが、日本経済新聞、日刊工業新聞、読売新聞等で報道されている。
- ・モデル生物の身体構造を調べるための基盤技術として、X線マイクロCTデータから複雑な3次元構造を再構築するために、明度・テクスチャ・距離の3つの特徴に基づいた尤度を設計し、3次元構造を最尤推定する新規な方法論を開発している。
- ・陰的制御を具現する試作機i-CentiPot(ムカデ型ロボット)の作成等で成果を挙げている。i-CentiPotについては、日経産業新聞、毎日新聞、読売新聞で報道された他、NHKおはよう日本でも取り上げられている。また「タミヤ楽しい工作シリーズNo.230ムカデロボット工作セット」として販売されている。
- ・2019年に小惑星「りゅうぐう」を探索した「はやぶさ2」には大須賀が開発に加わった小惑星探査ローバー「MINERVA-II2」が搭載された。全く未知の小惑星の表面で移動可能なローバーの設計に「陰的制御」を主役にして環境の未知性を活かして移動し続ける制御系を構成した。
- ・災害復旧支援のためなど、開かれた環境において働くロボットに対する社会の関心は高く、建機メーカーとの共同研究が進み、全方位柔軟クローラの開発に結び付いている。

# 6.10 臨床医療における数理モデリングの新たな展開

研究代表者: 水藤 寛(東北大学材料科学高等研究所、教授)

## 研究課題の目標

- ・熟練医の診断方法をアルゴリズム化、数理モデル化し、診断のブレの軽減、リアルタイム手術支援を行う。特に医療画像からの高度な情報抽出を行う。

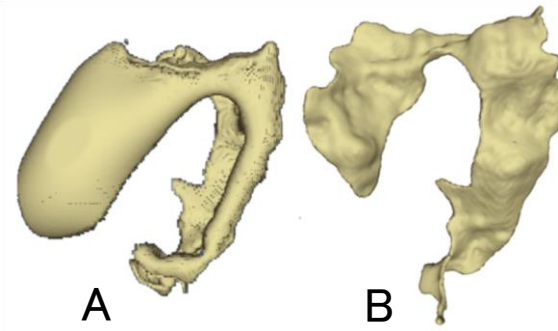
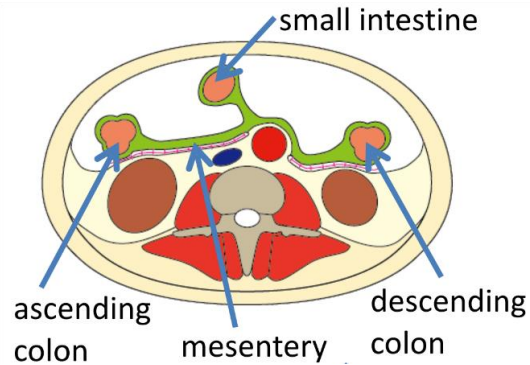
## 中間評価時点

- ・医療画像からの腸間膜のイメージングをより正確に行うことで手術支援が行えるようになった。大動脈の血流の数値シミュレーションを理論的にも改良し、大動脈瘤発生メカニズム、大動脈縮窄症における血管壁への負担の様子がわかるようになった。熟練医の診断アルゴリズムに関し新生児に対する胆道閉鎖症判別、人工透析患者に対する貧血回避のための投薬管理などに機械学習を用いた診断法を提供している。

## 中間評価時の期待

- ・このチームは臨床現場とともに、数理アルゴリズム、数理モデルを用いて診断の向上に努めており、その姿勢を保っていくことを期待している。研究代表者は来年度 ICIAM の招待講演者となっており、成果の国際発信が見込まれる。現実の医療に応用される数理科学に対して大きな期待があり、医療現場から持ち込まれる問題にさらに対応していけるように、より大きな制度で支援していくことが望まれる。

## 6.10 臨床医療における数理モデリングの新たな展開



内視鏡下手術を支援し、安全性を高めるために開発している腸間膜形状推定アルゴリズム  
単純な法線方向推定を用いたRBFによる再構成(A)  
仮想物理モデルによる法線方向推定の改善(B)



大動脈縮窄症に対する解析例

# 6.10 臨床医療における数理モデリングの新たな展開

## 放射線医、医療画像解析研究者、数値計算研究者、数値解析数学研究者の連携による成果

- ・医療画像解析における腸間膜形状構成システム(特願2017-539181、PCT/JP2016/076246)(内視鏡下手術支援は実装を検討中)
- ・MRIデータからの機能表示DNN学習システム(Masutani, MRMS 2021)
- ・同一患者の異なる時期の気管支の樹木構造の時間変化を追跡するシステム、乳がん診断システムの開発、血管血流モデル解析における血管壁の構造力学解析(Ueda, Suito, Ota, Takase 2018; Takizawa, Tezduyar and Sasaki, CM 2019)
- ・血流現象のシミュレーション、特に人工透析用動静脈シャント吻合部における血流解析、診断のアルゴリズム解析による客観化における人工透析患者に対する投薬量管理システムの開発(特願2019-009333, PCT/JP2020/002305)
- ・シミュレーションを支える基礎理論として有限要素法を含み時間発展を許すアイソジオメトリック解析法の確立(Ueda, Saito, JJIAM 2018)
- ・1次元血流モデルの解析

## これからの連携に向けて

- ・従来の専門医の経験知に基づくものや、目視による主観的な比較から、より客観的なものとなるため、患者の負担や医師の診療負担軽減、診断効率化につながることを期待できる。
- ・実際の臨床医に参考にされる指標を提供しているもので、医学系の雑誌に出版され、医学系学会での講演もされた。
- ・研究成果を(国際)特許として出願している。
- ・臨床現場と直接に会話して数理と臨床課題の橋渡しをおこない、当事者間の大きなネットワークを築いた。
- ・アウトリーチ活動を精力的に続け後継者の発掘育成を行った。

# 6.11 数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創設

研究代表者:長山 雅晴(北海道大学電子科学研究所、教授)

## 研究課題の目標

- ・皮膚の形成の数理モデルを構成し、皮膚疾患に対する治療法をシミュレーションにより予測可能にする。

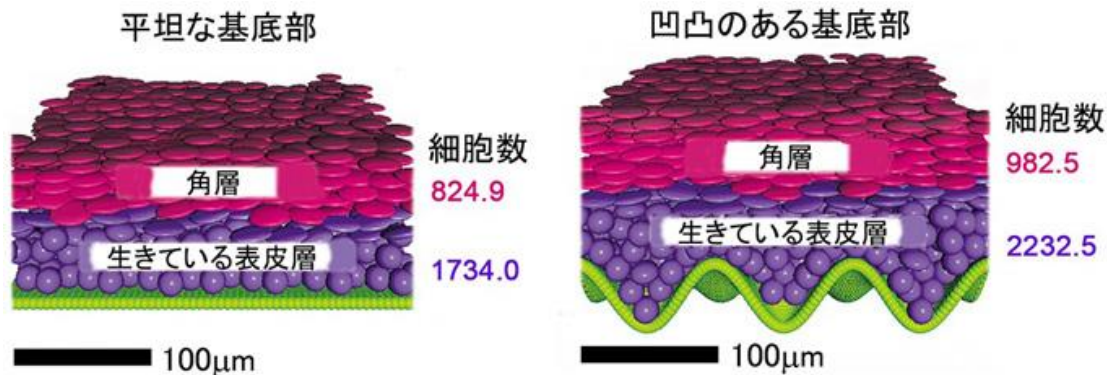
## 中間評価時点

- ・細胞を単位とする数理モデルを構築し皮膚細胞の分化から角化の様子のシミュレーションができるようになった。現実の皮膚の真皮乳頭層が老化とともに平らになることからヒントを得て、凹凸のある真皮乳頭層から厚みを持つ皮膚ができるというシミュレーション結果をもとに、凹凸のある面の上で培養することにより、厚みのあるバリア機能の高い人工皮膚の培養に成功した。これは実用化される見込みである。

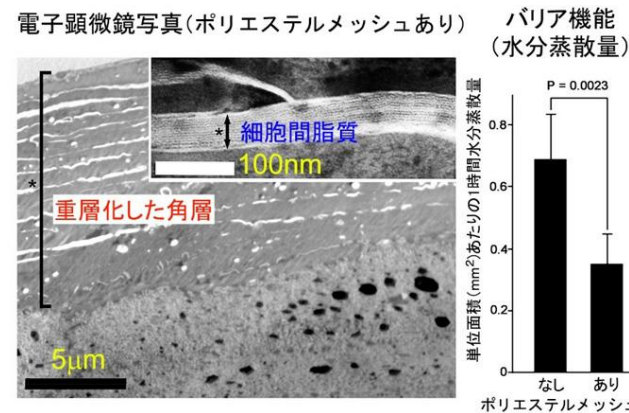
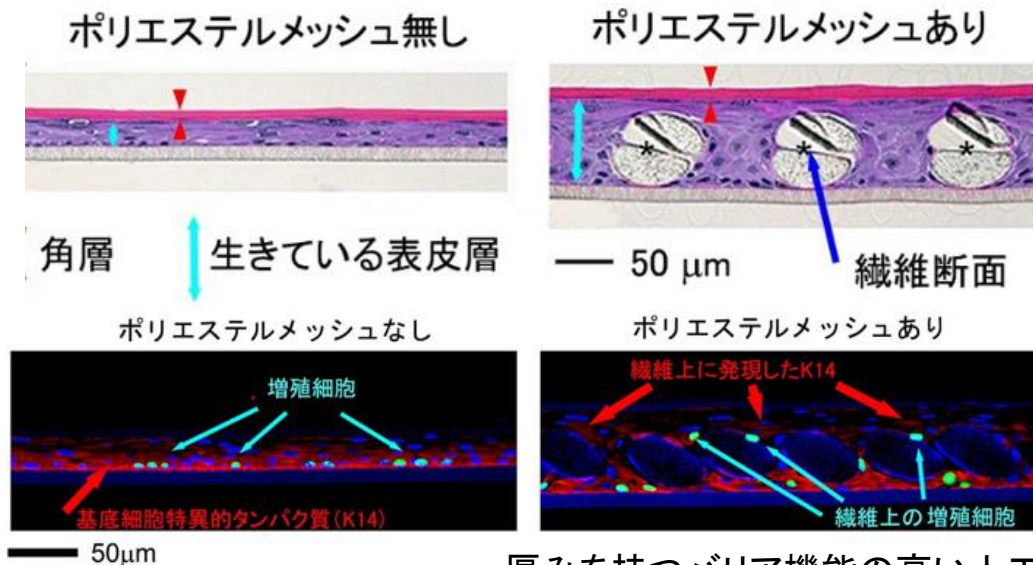
## 中間評価時の期待

- ・数年内に人工皮膚の製品化により数理皮膚科学が社会に認知されることになる。資生堂における実験観察はスギ花粉が皮膚のバリア機能を低下させることを明らかにするなど良い成果が上がっているが、さらに数理モデルと結びついた成果を期待している。

# 6.11 数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創設



数理モデルに対するコンピューターシミュレーションによって表された表皮モデル



厚みを持つバリア機能の高い人工皮膚の培養



# 6.11 数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創設

## 細胞群の動態を用いた皮膚モデル

- ・真皮乳頭層の凹凸の意味を数理モデルとして明らかにした(Kobayashi, Yasugahira, Kitahata, Watanabe, Natsuga, Nagayama, CM 2018)
- ・厚みを持つバリア機能の高い人工皮膚の培養に応用した(2018年プレスリリース)。
- ・皮膚の角化のメカニズムの解明(Ipponjima, Umino, Nagayama, Denda, SR 2020)
- ・非ヒスタミン性のかゆみのモデリング(Kobayashi, Kitahata and Nagayama, PR E 2017)
- ・真皮変形の皮膚機能への影響と鶏眼等の形成機構のモデリング(Ohno, Kobayashi, Uesaka, Gotoda, Denda, Kosumi, Watanabe, Natsuga, Nagayama, SR 2021)
- ・触覚メカニズムと触錯覚のモデリング(Nakatani, Kobayashi, Ohno, Uesaka, Mogami, Zhao, Sushida, Kitahata, M. Nagayama, SR 2021)

## 特許を出願

- ・「三次元培養皮膚シート、その製造に使用するための細胞培養容器及びその製造方法」(特願2016-125843、2016-256778,2019-002299)
- ・「トロンビンの抑制作用を指標とした皮膚状態改善剤のスクリーニング方法、及びトロンビン作用阻害剤を含む皮膚状態改善剤」(特願2017-248116)
- ・「資質流動性を指標としたバリア機能の評価方法」(出願番号PCT/JP2018/009329)

## 広報

- ・スギ花粉と皮膚のバリア機能についての研究は、日経産業新聞、日刊工業新聞、毎日新聞や、フジテレビ「めざましテレビアクア」、TBS「あさチャン!」、フジテレビ「みんなのニュース」、NHKBSプレミアム「美と若さの新常識～カラダのヒミツ」で取り上げられている。

# 7.総合所見 1

## 研究領域としての研究マネジメントについて(1)

- ・社会に潜む諸課題に対し、応用分野の知見、数学の力を利用し解決する糸口を見出すため、現場と理論を結ぶことを重視した。
- ・幅広い応用分野で、先端の数理モデル構築(栄、小林、吉田、水藤、長山)、最新の数理的手法構築(岩田、大石、平岡)、モデル評価技術構築(石川、高木)のチームを採択、現場と理論研究を結び付けることのできるチームを選んだ。
- ・様々な数理の専門分野を持ち、最先端の数学と意味ある応用を指導できる領域アドバイザを揃えた。
- ・チーム内に閉じることなく外に触れる機会、様々な側面から自身の数学的課題を考えさせるため、領域会議の形態を変えた。加えて一般公開の数学パワースィンポジウムを立ち上げた。
- ・研究開始時、研究者とその所属機関の調整、開始の状況把握、確認。領域会議の改版形態で領域アドバイザとの深い議論、外部発信ができた。課題中間評価会などで各チームに適切な指導ができた。

# 7.総合所見 2

## 研究領域としての研究マネジメントについて(2)

- ・シンポジウム(173件)、数学キャラバン(24件)、教育講座(7件)など外部発信を推進した。
- ・受賞157件(文部科学大臣賞、藤原洋数理科学賞奨励賞など含む)などで成果が評価されるとともに、書籍26冊で外部に残る成果として発信できた。
- ・研究連携は研究領域内2件、研究領域外28件(国外12件含む)、産業界(15件)と多くの共同研究に展開できた。
- ・成果のソフトは領域内共有から一般公開へと方向を修正、11チームで公開ソフト9件のチュートリアルを求め 31件実施した。ソフトの改善にもつながった。
- ・本研究活動は教授19名、准教授33名など128名の昇任などにつながった。また、他に企業へ43名輩出した。
- ・数学キャラバンは、長期的視野で数学を志す卵を仕込む活動とし積極的に取り組んだ。数学を通じ社会貢献する下地作りの一役を担うことができたと考える。

# 7.総合所見 3

## 研究領域としての戦略目標の達成状況

### ①研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

- ・各々の目標に対して着実に成果を上げた。期間延長課題から理論面で多数の成果があった。
  - ・**先端の数理モデル構築**：  
細胞分化のモデル化(栄)、未知の環境でのロボット制御(小林)、  
確率過程論的モデルのパラメータ推定(吉田)、  
熟練医の診断方法をアルゴリズム化(水藤)、皮膚形成の数理モデル化(長山)
  - ・**最新の数理的手法構築**：  
生命/社会システムのモデル化/最適化(岩田)、精度保証計算ライブラリ整備(大石)  
ソフトマターの変化記述(平岡)
  - ・**モデル評価技術構築**：  
画像認識(石川)、ポスト量子暗号提案/暗号強度定量化(高木)
- ・著名な雑誌、学会を含む国内論文103件、国際論文1,046件、口頭発表国内1,840件、国際1,329件と多くの学術的貢献、外部発信ができた。
- ・11チームで9件のソフト公開を行った。何れも最新の数理モデルを組み込んでおり、先端数理科学を一般でも簡単に利用可能とし、現場とつなげた。諸分野の科学技術を下支えする数理基盤への道筋をつけたと考える。

# 7.総合所見 4

## 研究領域としての戦略目標の達成状況

### ②研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

・各々の目標において、現場に近づき、数学に対する一般の意識向上の契機となった。人材も育成し、今後の貢献が期待できる。

#### ・先端の数理モデル構築:

建機の自動化(小林)、保険会社リスク管理(吉田)、  
人工透析患者投薬管理(水藤)、人工皮膚の培養(長山)

#### ・最新の数理的手法構築:

電鉄会社での混雑解消(岩田)  
精度保証計算の必要性の認知向上(大石)  
素材メーカーでの材料相変化可視化、品質予測(平岡)

#### ・モデル評価技術構築:

白黒画像カラー化(石川)、  
暗号の安全性に対する一般の意識向上(高木)

# [所感、その他]1

- ・数学と社会との関わり、貢献を意識することを進め、研究者も数学に対する意識が変化してきた。
- ・ソフト公開し普及のためのチュートリアルなどで数学が使われ始め役立つことを通し、どうすれば数学の社会への貢献の形が確信できた。
- ・様々な社会課題解決に対し、現代数学が社会の課題の解決に役立つことを示したことで、報道の取り上げ方も変化した。数学者に対し、解決困難な課題を数学的アプローチで解決できないかという相談が増加した。
- ・本研究領域を契機に社会に対する数学の役割がさらに前進したと考える。
- ・本研究領域の成果は益々拡がりを見せており、社会的に認められればその動きは止められない。一方、一般に数学者は個人で研究を進めており、自身で考える長い時間が必要な上、大学教育においても重責を担っている。本研究領域では大きなチームを組んでおり、他分野との連携などで従来よりさらに研究代表者の負荷が高くなっており課題である。数学を社会に開いて行くため、様々な分野の人材と交流を深めること、組織運営に慣れて行くことは今後も必須である。研究者の負荷軽減や自己管理が平行して進むことを望む。

## [所感、その他]2

- ・研究総括就任の依頼を受けた2014年の初めには、本研究領域がどのように社会の期待に応えるものになるか不安であったが、発足の時に続いていた西浦数学領域、同時に発足した國府数学領域との情報交換に助けられ、JST事務局のご協力もあり、本研究領域の研究チームを構成することができた。領域アドバイザーの方々、研究領域中間評価者の方々からの適切なご意見により、各チームの研究成果が社会に還元される見通しが十分立つ所まで来て終了できたと思う。COVID19の流行は国際共同研究や研究成果の発信などに負の影響を与えたのは否めないが、研究期間の後半、延長期間においての各チームの頑張りは素晴らしいものであり、敬意を表したい。
- ・この8年間のAIの進化と社会課題への応用の動きは大きなものであるが、その中で説明できることの必要性が問われている。COVID19の流行は、一方で流行の予測の重要性とその予測の根拠が問われている。これらの問い答えることへの期待が数理科学によせられていると思われる。
- ・このように社会の課題解決に関しての数理科学への要請はより強いものになっていると思われる。これに応えるための恒常的な組織、その活動を支える仕組みや支援が望まれる。