

# 情報科学研究科数学連携推進室

## 平成 24 年度活動報告書

2013 年 3 月 22 日

### 【概要】

数学連携推進室は、本研究科において数学と諸分野が連携し、研究・教育に関わる企画・立案や数学連携推進に関わる事業を行うことを目的として平成 23 年（2011 年）1 月 1 日に発足した（平成 22 年度）。したがって、平成 24 年度は、推進室としては実質的に 2 年目に当たる。前年度末に専任助教 2 名が転出したため、今年度はじめに専任助教 2 名が新たに着任した。数学連携推進室連絡会議を毎月 1 回開催して、応用数学連携フォーラムワークショップや研究集会の企画・運営を議論するとともに、各室員の得た研究情報の共有を図った。ワークショップ、スクール、研究集会などを企画・開催し、数学と諸分野との連携を促進した。また、情報科学研究科内において、さらなる連携の可能性を探索するために研究室の個別訪問を開始した。今後の課題としては、情報科学研究科の標榜する学際研究推進に貢献するためのより一層の具体策と、重点戦略支援プログラムによる資金援助が終わった後の方策の検討があげられる。

1. 組織と運営委員会
2. 応用数学連携フォーラムワークショップの開催
3. 研究集会の主催、共催等
4. 数学連携の促進
5. 専任助教の活動実績

## 1. 組織と運営委員会

### 【数学連携推進室】

室長：教授 亀山充隆（情報基礎科学専攻、研究科長）  
副室長：教授 尾畑伸明（システム情報科学専攻）  
室員：助教 長谷川雄央（システム情報科学専攻・システム情報数理学 2 分野兼務）  
助教 瀬川悦生（システム情報科学専攻・システム情報数理学 2 分野兼務）  
助教 三浦佳二（応用情報科学専攻・生命情報システム科学分野兼務）  
助教 宮田洋行<sup>\*)</sup>（システム情報科学専攻・情報システム評価学分野兼務）

<sup>\*)</sup> 平成 24 年 6 月から

### 【数学連携推進室運営委員会】（平成 22 年度～26 年度）

亀山充隆（数学連携推進室長）  
尾畑伸明（数学連携推進室副室長）  
徳山豪（情報科学研究科長補佐）  
木下賢吾（応用情報科学専攻教授）  
宗政昭弘（情報基礎科学専攻教授）

※ 運営委員の任期は運営委員会内規によって 2 年と定められている。上記の運営委員は平成 22 年度途中に着任したため、当初の任期は平成 24 年度までであった。平成 24 年度運営委員会において、運営委員は全員、平成 25 年度から 2 年間継続して務めることとなった。

## 2. 応用数学連携フォーラムワークショップの開催

第 27 回 2012 年 4 月 20 日 (金) 15:00-17:00

情報科学研究科大講義室

楯 辰哉 (名古屋大学大学院多元数理科学研究科)

「一次元量子酔歩に対する Plancherel-Rotach 型の漸近公式」

瀬川悦生 (東北大学大学院情報科学研究科)

「量子ウォークの挙動と固有値分布」



第 28 回 2012 年 5 月 18 日 (金) 15:00-17:00

情報科学研究科中講義室

鳥海 不二夫 (東京大学大学院工学系研究科)

「公共財ゲームとしてのソーシャルメディア ~なぜ人は SNS を利用するのか?~」

増田 直紀 (東京大学大学院情報理工学系研究科)

「ネットワークの中心性に基づく個人スポーツの動的なランキング」

第 29 回 2012 年 7 月 10 日 (火) 15:00-17:00

情報科学研究科中講義室

日比孝之 (大阪大学大学院情報科学研究科)

「ホロノミック勾配降下法入門」

大杉英史 (立教大学理学部)

「トーリックイデアルと統計学」



第 30 回 2012 年 9 月 10 日 (月) 16 : 00 – 17 : 30

情報科学研究科大講義室

Dimitri Volchenkov (Bielefeld University, Germany)

「Random walks and diffusions on graphs and databases」

第 31 回 2012 年 12 月 4 日 (火) 16 : 00 – 18 : 00

情報科学研究科棟大講義室

Jingbo Wang (University of Western Australia)

「Quantum walk and potential applications」

内沢 啓 (山形大学)

論理回路の出力パターン数解析とその応用

第 32 回 2013 年 3 月 11 日 (月) 15 : 00 – 17 : 00

情報科学研究科中講義室

Masayuki Ohzeki (Kyoto University)

「Duality with real-space renormalization and its application to bond percolation」

Stefan Boettcher (Emory University)

「Real-space renormalization group for hierarchical networks and quantum walks」

### 星陵サテライト「生命科学者のための使える数学セミナー」

生命科学者が数学に期待するものの 1 つは、「アイデアがあることで、実験データの見方を変えるような理論」だと言える。例えば、近藤滋先生が動物の縞模様をチューリングパターンで説明した例が挙げられる。そこで、様々な数学を武器として使う情報・数学系研究者に、毎回チュートリアル的な講演をお願いする。紹介された数学手法で、各々の実験データが説明できそうかを、互いに議論するという「お見合い」の場を提供することを目的とする。バイオインフォマティクス学会東北支部の後援を受けている。

第 4 回 2012 年 4 月 19 日 (木) 17 : 30 – 19 : 00

星陵キャンパス 医学部 1 号館 2F 第 1 セミナー室

伊藤浩之 (京都産業大学コンピュータ理工学部インテリジェントシステム学科)

「多細胞記録データのスパイク発火相関解析－実験と解析のはざまから」

第 5 回 2012 年 6 月 26 日 (火) 17 : 30 – 19 : 00

星陵キャンパス 医学部 5 号館 201 号室

青木高明 先生 (香川大学教育学部)

「ネットワークとしてのシナプス可塑性の解明：結合振動子系からのアプローチ」

第 6 回 2012 年 12 月 11 日 (火) 17 : 30 – 19 : 00

星陵キャンパス 医学部 5 号館 201 号室

本多久夫 (兵庫大学健康科学部)

「遺伝子から形への道筋がついた」

### 3. 研究集会の主催、共催等

3.1. (共催) 第 26 回 組合せ論セミナー 2012 年 6 月 27 日 16:30~18:00

宮田洋行 (東北大学) 「マトロイド・有向マトロイドの対称性に関する考察」

3.2. (共催) 第27回 組合せ論セミナー 2012年7月3日 14:00~15:30

田中守 (京都大学) 「グラフのラプラシアンの高次固有値とエキスパンダーグラフの関係について」

3.3. (主催) CMRU 研究会「量子確率論と量子ウォーク」

2012年7月4日(水) ~ 5日(木) 東北大学情報科学研究科 5F 小講義室  
組織委員会: 瀬川悦生 (委員長)・尾畑伸明

【開催趣旨】非可換な世界を記述する量子確率論で展開される独立性、極限定理、大偏差原理、グラフのスペクトルなどに関する議論と、ランダムウォークの量子的類推から構成され、分野をまたいで盛んに研究されている量子ウォークとのつながりを探る。基本的な概念や成果を相互に確認し、共通の問題意識を得ることで、議論を掘り下げ、深めていく。

7月4日(水)

13:00~14:00 今野 紀雄 (横浜国立大学) 「量子ウォークの定常測度と極限測度」

14:10~15:10 吉田 裕亮 (お茶の水女子大学) 「自由確率論における組合せ論的手法」

15:30~16:10 佐藤 巖 (小山高等専門学校) 「量子ウォークとグラフのゼータ関数」

16:20~17:00 村木 尚文 (岩手県立大学) 「非可換確率論における独立性概念」

17:10~17:50 町田 拓也 (明治大学) 「ホインの微分方程式を通じた離散時間量子ウォークと連続時間量子ウォークの関係」

7月5日(木)

10:00~11:00 西郷 甲矢人 (長浜バイオ大学) 「逆正弦法則と『量子古典対応』」

11:10~12:10 桂 法称 (学習院大学) 「Symmetry and self-duality in discrete-time quantum walks」

13:30~14:10 行木 孝夫 (北海道大学) 「量子酔歩と力学系」

14:20~15:00 日比野 雄嗣 (佐賀大学) 「あるグラフの積に関する漸近的スペクトル分布について」

15:20~16:00 長谷部 高広 (京都大学) 「独立性・母関数・微分方程式」

16:10~16:50 樋口 雄介 (昭和大学) 「散乱行列とその周辺」



3.4. (主催) SMART プログラム「複雑ネットワーク・サマースクール」および  
CMRU 研究会「ネットワーク科学の数理と展開」

2012年9月10日(月)~12日(水) SMART プログラム「複雑ネットワーク・サマースクール」  
東北大学情報科学研究科棟大講義室

2012年9月13日(木)~14日(金) CMRU 研究会「ネットワーク科学の数理と展開」  
東北大学青葉記念会館 4F 大研修室

組織委員会：長谷川雄央・尾畑伸明・三浦佳二

主催：文部科学省「平成24年度文部科学省 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ」

東北大学大学院情報科学研究科数学連携推進室

東北大学重点戦略支援プログラム「数学をコアとするスマート・イノベーション融合研究共通基盤の構築と展開」

共催：東北大学大学院情報科学研究科

【開催趣旨】サマースクールでは、幾つかの分野における複雑ネットワーク研究の第一人者を講師に招き、各分野におけるネットワーク科学を研究するモチベーションと初歩的成果をレクチャーしてもらうことで、(i)この新しい分野への参入のきっかけを学生・研究者に与え、(ii)更なる学際的研究の契機を各分野の専門家に提供する。研究会では複雑ネットワークに関わる国内の第一線の研究者が集まり、最新の研究成果の情報交換の場とする。

【成果】サマースクールはネットワーク科学分野への若手の更なる参入を促すことを目的に、東京大学増田直紀氏、大阪電気通信大学竹居正登氏によるネットワーク科学の基礎を学ぶ連続講義と、Bielefeld 大学 D.Volchenkov 氏、北海道大学矢久保孝介氏、九州工業大学竹本和弘氏による分野紹介的なトピック講演で構成した。研究会は非線形/複雑系・物理・生物/生命科学・社会科学の各分野でネットワーク科学にちなんだ研究を行っている研究者、事業者を招聘し、お互いの分野をより知る為の学際的集いとなるよう構成した。全体を通じての述べ参加者数は約90名となった。学生や分野外の研究者の参加も多く、本プログラムは非専門家の入門に最適な場にすることができたのではないかと考えている。さらに5日間という期間を通じて、参加した研究者間の議論が活発に行われる様子も認められた。全体を通じてこの分野の活性化にいくらかの貢献ができたと考えている。

9月10日(月)

9:00-10:30 連続講義 A1 11:00-12:30 連続講義 A2 14:00-15:30 連続講義 A3  
16:00-17:30 トピック講演 1

9月11日(火)

9:00-10:30 連続講義 A4 11:00-12:30 連続講義 B1 14:00-15:30 連続講義 B2  
16:00-17:30 トピック講演 2

9月12日(水)

9:00-10:30 連続講義 B3 11:00-12:30 連続講義 A5 14:00-15:30 連続講義 A6  
16:00-17:30 トピック講演 3

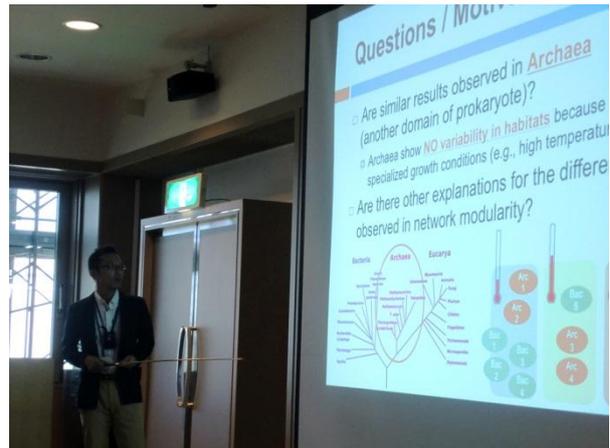
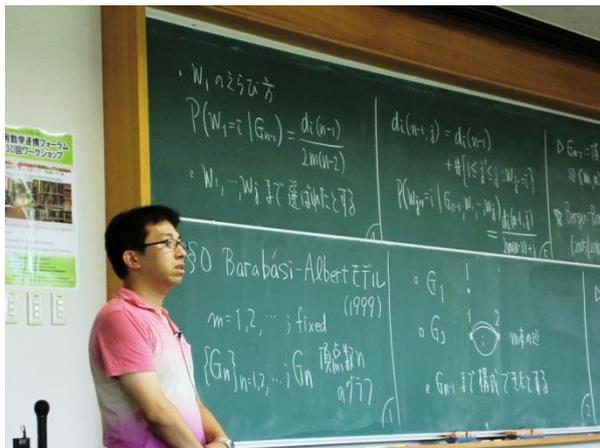
連続講義 A 「ネットワーク科学(複雑ネットワーク)総論」  
増田直紀(東京大学大学院情報理工学系研究科)

連続講義 B 「確率論からみる優先的選択モデル」  
竹居正登(大阪電気通信大学工学部基礎理工学科)

トピック講演 1 「Random Walks and Diffusions on Graphs and Databases」  
Dimitri Volchenkov (Bielefeld University, Germany)

トピック講演 2 「フラクタル複雑ネットワーク」  
矢久保孝介(北海道大学大学院工学研究院)

トピック講演 3 「ネットワークが見せる生物システムの新たな様相」  
竹本和広(九州工業大学情報工学部生命情報工学科、JST さきがけ)



9月13日(木)

9:30-9:40 開会挨拶 亀山充隆(東北大学大学院情報科学研究科長)

小田沙織(文部科学省研究振興局基礎研究振興課専門職)

セッション A [非線形/複雑系]

(A-1) 9:40-10:20 郡宏(お茶の水大学情報科学科)

“振動子集団ダイナミクスのネットワーク構造依存性”

(A-2) 10:30-11:10 中尾裕也(東京工業大学情報理工学研究科)

“複雑ネットワーク上の拡散誘起不安定性によるパターン形成とダイナミクス”

(A-3) 11:20-12:00 青木高明(香川大学教育学部)

“反応拡散系ダイナミクスに基づくネットワーク構造の形成過程”

12:00-14:20 ポスターセッション

セッション B [物理]

(B-1) 14:20-15:00 谷澤俊弘(高知工業高等専門学校電気情報工学科)

“次数相関はネットワークの構造と機能にどのような影響をもたらすか”

(B-2) 15:00-15:40 長谷川雄央(東北大学大学院情報科学研究科)

“複雑ネットワーク上の数理モデルの臨界点の単一性/非単一性”

(B-3) 16:10-16:50 矢久保考介(北海道大学大学院工学研究院)

“過負荷によるノード損傷とネットワークの頑強性”

(B-4) 16:50-17:15 三浦航(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

“凝集効果を考慮した複雑ネットワークの優先的成長モデル”

(B-5) 17:15-17:40 川本達郎(東京大学大学院理学系研究科)

“ツイッター上の情報拡散と炎上現象”

9月14日(金)

セッション C [生命]

(C-1) 9:40-10:20 竹本和広(九州工業大学情報工学部生命情報工学科、JST さきがけ)

“代謝ネットワークのモジュール性はどのように獲得されるのか”

(C-2) 10:30-11:10 増田直紀(東京大学大学院情報理工学系研究科)

“2値素子ネットワークのダイナミクスにおける状態集中度”

(C-3) 11:20-12:00 山西芳裕(九州大学生体防御医学研究所)

“オミックスデータの融合に基づく分子間相互作用ネットワークの予測”

12:00-14:20 ポスターセッション

## セッション D [社会]

- (D-1) 14:20-15:00 吉井伸一郎(サイジニア株式会社)  
“Web上のユーザビヘイビアに基づく複雑ネットワークを応用した事業展開”
- (D-2) 15:00-15:40 脇田建(東京工業大学大学院数理・計算科学専攻)  
“大規模社会ネットワークのクラスタリングと可視化への応用”
- (D-3) 16:10-16:35 大成弘子(株式会社リクルート)  
“個人の繋がり と 転職の実態調査(supported by CodeIQ)”
- (D-4) 16:35-17:00 高口太朗(東京大学大学院情報理工学系研究科)  
“感染率が接触履歴に依存する伝播モデル:バースト的な行動パターンの効果”
- (D-5) 17:00-17:40 小頭秀行(株式会社 KDDI 研究所)  
“携帯電話の通信トラフィックに現れる通信先次数特性と相互関係”

17:30-17:40 閉会挨拶 尾畑伸明(東北大学大学院情報科学研究科)



### 4.5. (主催) RCPAM-CMRU 勉強会「Quantum Walks and Dynamics on Metric Graphs」

2013年3月7日(木) 東北大学情報科学研究科 6F 小講義室

主催：東北大学情報科学研究科 純粋・応用数学研究センター

東北大学情報科学研究科数学連携推進室

組織委員：瀬川悦生・福泉麗佳(情報科学研究科)・前田昌也(理学研究科)

【開催趣旨】メトリックグラフ上のダイナミクスに関して、量子ウォーク、量子グラフ、確率論、非線形シュレディンガー方程式などの視点から話題を提供してもらい、基本的な概念を共有することで、その結びつきを参加者で議論し、知見を深めて行く。

## 4. 数学連携の促進

### 4.1 東北大学イノベーションフェア 2013 in 仙台

ブース出展「広がりゆく数学—諸科学・産業との連携研究へむけて」

2013年1月17日(木) 10:30~17:00 仙台国際センター

担当：宮田洋行

数学連携推進室員の研究紹介・活動紹介のポスター3枚を用いて発表を行った。高校生・高専生から大学院生、研究者、企業の方などさまざまな方に来ていただき、さまざまな意見交換等を行うことができた。高校生・高専生は大学でどのような数学を学び、どう生かされうるのかに興味があるようであり、今後一般向けにそのようなことも広報できればいいのかもしれない。複雑ネットワークや生物学の話はうけがよく、「生物学者のための数学セミナー」に参加してみたい

という人や、また複雑ネットワークのワークショップなどあれば参加したいという人が見られた。そのような方には、ワークショップの情報を印刷したものをお渡ししておいた。多くの人から、「数学がそんなにいろいろなことに役に立つとは知らなかった」という声をいただいております、今後さまざまな数学の活用法を広く紹介していくことで、さらに他分野と数学の連携を広げることができるのではないかと思います。また、今後このような機会があったときには、ポスターだけでなく、体験できるもの・もっと目を引くものなどあればよいかもしれない。

ご意見など

- [1] 社会科学に興味があり、複雑ネットワークなどにも興味がある。またワークショップ等あれば参加してみたいとのこと。
- [2] 大きなプロジェクトに属されているようで、こちらでもいろいろセミナー開催等しているとのこと。こちらでもセミナー開催をしていることをお伝えして、そのうちコラボできれば等話した。
- [3] 数学を他分野に活用していこうという活動が行われていることに興味を持っておられた。
- [4] においを判別するような装置の研究を周囲でしているところがあるようで、関連研究に興味を持たれた。

**東北大学イノベーションフェア**  
Tohoku University Innovation Fair 2013 SENDAI

展示テーマ  
Tohoku University Innovation Fair 2013 SENDAI

**56 ビジュアル解題の壁を超える画像・映像処理技術**

これまでで本研究グループが開発してきた画像処理に関する最先端のソフトウェア・ハードウェアの画像マッチング技術「自動相関関数法」とその応用について紹介します。自動相関関数法は、高精度な画像対応のための重要な技術の一つであり、画像の自動対応、3次元計測、映像処理、分子モデリングなどの分野においても有用性が認められ、今後の画像処理の発展が期待されています。

情報科学研究科 教授 菅末 孝文 / 助教 伊藤 謙一  
[http://www.aoni.ecei.tohoku.ac.jp/index\\_j.html](http://www.aoni.ecei.tohoku.ac.jp/index_j.html)

**57 未来を拓くインタラクティブコンテンツ**

創れたコンテンツは人の生活を豊かにする力を持っています。歴史、教育、文化、芸術、娯楽など、多様な方面でその利便性への期待が高まっています。当研究室では、映像、音楽、ゲームなど、従来のコンテンツとは異なる斬新な魅力を持つコンテンツとして、人の想像力によって新たな価値を生み出すインタラクティブなコンテンツに関するさまざまな研究に取り組んでいます。

【主な研究テーマ】  
・デジタルメディアと拡張現実インタラクティブ  
・インタラクティブ映像コンテンツ  
・創れたコンテンツの制作とリアルコミュニケーションの構築  
・インタラクティブコンテンツの制作  
・拡張現実エンタテインメントコミュニケーション

情報科学研究科 教授 北村 良史  
<http://www.aoni.ecei.tohoku.ac.jp>

**58 多様なセンサー情報を用いた道路交通のネットワークとフォアキャスト**

近年、従来型の車両検知に加えて、画像センサー、AVI、赤外線、ETC、プローブ車などさまざまなセンシング機能が導入されるようになってきた。各データは時空間的相関性、経路の異なるなど異なり、それらの特性を踏まえた多様なデータ融合によって、これまで以上に高精度な交通情報の提供が可能となる。本研究では、データ融合によるリアルタイムの交通ネットワーク、すなわちネットワークとフォアキャストの構築を目的として、交通ネットワークを用いたリアルタイムの交通ネットワークを構築する。

情報科学研究科 教授 品原 繁夫  
<http://www.spen.ecei.tohoku.ac.jp/forecaster/>

**59 広がりゆく数学—数科学・産業との連携研究へむけて**

数科学発展の歴史では、計算科学、生命情報、社会複雑システムなど様々な分野へ数学を応用し、新たなイノベーションを生み出すことを目指して日々研究されています。人のつながりなどをモデル化した複雑ネットワークや量子ネットワーク、多体物理のデータベース構築などへの数学者の応用研究を行っているとともに、他分野との密接な連携を通して私たちの日々の活動を豊かにしています。

情報科学研究科数学連携推進室 教授 新島 茂樹 特任  
<http://www.us.tohoku.ac.jp/introduction/index.html>  
<http://www.us.tohoku.ac.jp/~ami/>  
<http://www.us.tohoku.ac.jp/~ami/>

## 4.2. 研究室の個別訪問

情報科学研究科の各研究室を個別に訪問して、今後の数学連携の可能性・方向性などについて意見収集を開始した。

## 5. 専任助教の活動実績

### 5.1. 長谷川雄央（情報科学研究科数学連携推進室助教）

発表論文リスト（査読付き学術論文）

- [1] T. Hasegawa and T. Nogawa: "Absence of the non-percolating phase for percolation on the non-planar Hanoi network" Physical Review E に掲載予定
- [2] T. Nogawa, T. Hasegawa, and K. Nemoto: "Criticality governed by the stable renormalization fixed point of the Ising model in the hierarchical small-world network", Physical Review E 86 (2012) 030102(R);1-4.
- [3] T. Hasegawa, K. Konno, and K. Nemoto: "Robustness of correlated networks against propagating attacks", The European Physical Journal B 85 (2012) 262;1-6.
- [4] T. Nogawa, T. Hasegawa, and K. Nemoto: "Generalized Scaling Theory for Critical Phenomena Including Essential Singularities and Infinite Dimensionality", Physical Review Letters 108 (2012) 255703;1-5.

その他の論文、解説記事

- [1] (項目分担執筆) 行動生物学辞典(仮)、東京化学同人 (印刷中 \*2013年刊行予定)

#### 国際会議招待講演

- [1] T. Hasegawa: "Phase transition of bond percolation on nonamenable graphs and complex networks: a Monte-Carlo study", CREST "Kotani Team" Workshop "Random Media II", Sendai, September 3-7, 2012.
- [2] T. Hasegawa: "Percolation on complex networks and nonamenable graphs", ECT\* Workshop "Spectral Properties of Complex Networks", Toronto, Italy, July 23-27, 2012.
- [3] T. Hasegawa: "Classification of Phase Transitions in Complex Networks", SPDSA2013, Sendai, March 20-21, 2013

#### 国内会議招待講演

- [1] 長谷川雄央: 「Percolation on nonamenable graphs and complex networks: a Monte-Carlo study」、『無限粒子系、確率場の諸問題 VIII』、奈良、2012年10月20日～21日
- [2] 長谷川雄央: 「複雑ネットワーク上の数理モデルの臨界点の単一性/非単一性」、CMRU研究会『ネットワーク科学の数理と展開』、講演番号 B-2、仙台、2012年9月13日～14日

#### 国内会議一般講演

- [1] 長谷川雄央、根本幸児 (講演者は根本): 「ネットワーク上における拡張 SIR モデルの不連続転移」、『日本物理学会 2012 年秋季大会』、講演番号 21pAE-2、横浜、2012年9月18日～21日
- [2] 能川知昭、長谷川雄央、根本幸児 (講演者は能川): 「一般化スケーリング理論による真性特異点を持つ無限次元系の相転移の記述」、『日本物理学会 2012 年秋季大会』、講演番号 20aAC-9、横浜、2012年9月18日～21日
- [3] 長谷川雄央、能川知昭: 「ネットワークにおける臨界点の一意性」、『日本物理学会 2012 年秋季大会』、講演番号 20aAE-1、横浜、2012年9月18日～21日
- [4] 長谷川雄央、能川知昭: 「ネットワークにおける臨界点の一意性 II」『日本物理学会第 68 回年次大会』、広島、2013年3月26日～29日

#### 国内会議ポスター発表

- [1] 木下直人、長谷川雄央、根本幸児 (講演者は木下): 「ネットワーク上の fad model における相転移の数値解析」、『日本物理学会 2012 年秋季大会』、ポスター番号 19aPSA-23、横浜、2012年9月18日～21日
- [2] 能川知昭、長谷川雄央、根本幸児 (講演者は能川): 「無限次元グラフ上の臨界-秩序転移の多様性」、CMRU 研究会『ネットワーク科学の数理と展開』、ポスター番号 P-13、仙台、2012年9月13日～14日
- [3] 木下直人、長谷川雄央、根本幸児 (講演者は木下): 「ネットワーク上の fad model における相転移の数値解析」、CMRU 研究会『ネットワーク科学の数理と展開』ポスター番号 P-14、仙台、2012年9月13日～14日

#### 24 年度に取り組んだ研究課題とその内容、成果

##### [1] ネットワークの構造とその上の相転移現象の数理的關係の解明

複雑ネットワーク上のパーコレーションやスピンモデルは臨界相を伴う新しいタイプの相転移を示す。複雑ネットワークの構造と相転移の關係の数理を明らかにすることがこの研究課題の目的である。今年度は、臨界相を伴う相転移のスケーリング理論の構築、Hanoi network 上のパーコレーションの相図の導出などを行った(共同研究者: 能川助教、北海道大理・根本准教授)。成果は各々論文[2,4]、論文[1]にて出版された。また、hyperbolicity と onion-like self-similarity によってネットワーク上のダイナミクスの相図の分類、臨界相の有無を判定する仮説を提案し、既存のネットワークによる検証を行った。この成果についてはいくつかの国内・国際会議での招待講演にて広くアピールすることができた。

来年度は hyperbolicity と onion-like self similarity に関する議論をより深め、論文として出版することを計画している。また、現在取り組んでいる複雑な階層ネットワークの相転移の話題(共同研究者: SMART メンバー能川助教)、階層ネットワークにおけるスピングラスの話題(共同研究者: 東北大工佐々木助教)を完成させる予定である。

## [2] 複雑ネットワーク上の情報伝播モデルの研究

複雑ネットワーク上の情報伝播モデルは、インターネットにおける computer virus の拡がり、人間社会における感染症や噂や技術革新の拡がりを記述する。論文[3]ではネットワークの次数相関が computer virus に対し頑健さ(非感染のネットワークが繋がりを保持できる度合い)に大きな影響を与えることを明らかにした。また、近年は多状態情報伝播モデルが幾つか提案されているが、それをふまえて[Hasegawa, Nemoto, under submission 2012]では単純な噂の拡散モデル(MIC model)を考え、ネットワーク構造との関係を、ツリー近似を用いて明らかにした。

来年度はより現実的なネットワークを用いて情報の拡散の研究を行う予定である。人間社会のクラスター性が高いことはよく知られている。ツリー近似を拡張し、局所的にクラスター的なネットワーク上の MIC model を解析し、クラスター性が情報の拡散に有利か不利かについて調べる。現実のネットワークにおいてもシミュレーションを行う。また、科研費採択課題である感染症に対するワクチンの理論に関する研究も行う。

## [3] 生態系の数理モデルの解析

本課題は数理生物学の分野で用いられる様々な生態系モデルの解析を統計物理の解析・数値計算手法により推進していくことを目的としている。この課題は前年度より静岡大学工学部との共同研究の形で始まっている。この課題に関する今年度の研究の進展は前年度に投稿された論文の改訂作業のみである。次年度以降静大スタッフとの連携を密にして止まっている解析を進めたい。なお、この課題に関する活動をきっかけに、東京化学同人より行動生物学辞典のネットワーク理論その他に関する項目の執筆依頼を受け、執筆をした。現在校正を終え印刷中の段階である。

## 数学と諸分野との連携という視点で取り組んだ活動（研究会の組織等含む）

[1] 「複雑ネットワーク・サマースクール」及び「ネットワーク科学の数理と展開」（項目 4.4）の組織・運営 私はこのプログラムにおいて、予算の取得、講師・招待講演者の選定・交渉、会場セッティング、プログラム作成、案内作業等を行った。同 WG メンバーである尾畑教授、三浦助教にはたびたび助言と事務的な作業を手伝っていただいた。特に当日の裏方作業は三浦助教及び有志の参加学生の貢献が大きい。

## [2] Young Scientist Meeting of Statistical Physics and Information Processing (YSM-SPIP) in Sendai (2012年12月14日～16日)

目的：本研究会は、統計力学と情報科学の接点を深めよう、お互いの領域の垣根を越えよう、という意図の下、若手研究者によって 2010 年より企画/実行されてきた研究会である。ここ 20 年ほどの間に、情報科学の諸問題に統計力学的手法でアプローチする領域横断的な取り組み(標語的に情報統計力学)が盛んになってきた。本研究会は、情報統計力学に関連した各分野で精力的に活動している若手研究者を募集し、多岐にわたる個々の分野での現在進行形の発展を持ち寄り、今後の可能性を模索する事を意図している。特に、研究会を通じて関連分野の若手研究者間の交流を促進させ、各々のアイデアをぶつけ合う機会を設けることで、若手研究者の持つ研究シーズを研究レベルまで成長させることを目的とした。

成果：2012年12月14日-16日の期間、東北大学・情報科学研究科棟大講義室・中講義室にて開催した。INRIA（フランス国立情報学自動制御研究所）の Cyril Furtlehner 氏を含む9名を講師として招聘した他、21（8+13）件の一般講演・ポスター講演が設けられた。研究会の合計参加者数は57名となった。統計物理学と情報科学の若手研究者が相互に意見や発想を交わし合い、本研究会の目標である学際的境界領域の中での分野開拓のための連携関係をいっそう強めることができた、また、研究拠点としての東北大学の存在感をアピールできたと考えられる。

貢献：私は本研究会組織委員である安田助教、大関助教(京大)、杉山氏(東大)のサポートを行った。特に開催地の組織委員として、会場セッティングや案内作業を始めとした東北大学側の作業を行った。

## 24年度外部資金獲得状況

[1] 科学研究費補助金若手研究 (B) 「複雑ネットワーク上の感染症ダイナミクスの解析と動的ワクチン接種法の提案」(研究代表者) 研究課題番号 24740054

配分額(直接+間接):1820,000 円(2012 年度)、1560,000 円(2013 年度)、1170,000 円(2014 年度)

特記事項 (受賞、社会活動等を含む)

- [1] 応用数学連携フォーラム・運営メンバー(2012 年 4 月～)
- [2] ERATO 河原林巨大グラフプロジェクト・協力研究者(2012 年 11 月～)

## 5. 2. 三浦佳二 (情報科学研究科数学連携推進室助教)

発表論文リスト (査読付き学術論文)

- [1] K. Miura, Z. F. Mainen, N. Uchida, "Odor representations in olfactory cortex: distributed rate coding and decorrelated population activity", *Neuron*, 74, 1087-1098, 2012.
- [2] K. Nakada, K. Miura, "Clock Synchronization Protocol using Resonate-and-Fire Type of Pulse-coupled Oscillators for Wireless Sensor Networks", *The ICONIP 2012 proceedings, Part V, Lecture Notes in Computer Science series 7667*, 2012.
- [3] K. Miura, "Effects of Noise Correlations on Population Coding", *Proceedings of SCIS-ISIS 2012, Kobe*, 2012.
- [4] K. Miura, K. Nakada, "Synchronization Analysis of Resonate-and-Fire Neuron Models with Delayed Resets", *Proceedings of SCIS-ISIS 2012, Kobe*, 2012.
- [5] K. Nakada, K. Miura, T. Asai, "Silicon Neuron Design based on Phase Reduction Analysis", *Proceedings of SCIS-ISIS 2012, Kobe*, 2012.
- [6] K. Nakada, K. Miura, T. Asai, H. Tanaka, "Dynamical Systems Design of Nonlinear Oscillators using Phase Reduction Approach", *Proceedings of the 2012 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, 2012.

その他の論文、解説記事

- [1] 三浦佳二, "匂い判別の情報伝達メカニズムの解明", 「嗅覚と匂い・香りの産業利用最前線」(6 章を分担執筆), エヌ・ティー・エス出版, 2013 年 2 月.
- [2] 三浦佳二, "嗅覚皮質の電気信号解読による脳の匂い判別機構の解明", 翠巒第 27 号, in press.
- [3] 三浦佳二, "Hodge 分解によるヘテロ・大域的な脳活動の遍歴検出", ヘテロ複雑システムによるコミュニケーション理解のための神経機構の解明 *NEWS LETTER Vol.4*, in press.

国際会議招待講演

- [1] K. Miura: Near zero noise correlations underlie efficient population codes in olfactory cortex, *Neuroscience 2012 (Annual meeting of Japan neuroscience society)*, Nagoya, 2012.9.

国際会議一般講演

- [1] K. Miura: An unbiased estimator of noise correlations under signal drift, *SIAM 2012 Annual Meeting*, Minneapolis, July 2012.

国内会議招待講演

- [1] 2012/7, "グラフの Hodge 分解とその周辺", 包括脳 ヘテロ・ニューロアナリシス研究会, 仙台国際センター
- [2] 2012/12, "Estimating intrinsic noise correlations under arbitrary signal drift", 「情報統計力学の最前線 ―確率が繋ぐ自然現象と情報処理の数理―」(YSM-SPIP), 東北大情報.
- [3] 2012/1, "Near zero noise correlations underlie efficient population codes in olfactory cortex", 脳と心のメカニズム 冬のワークショップ, 北海道ルスツ.

国内会議一般講演

- [1] 中田一紀, 三浦佳二, 浅井哲也, "位相縮約に基づくシリコンニューロンのダイナミカルシステムデザイン", 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 112, no. 227, NC2012-60, pp. 139-144, ニューロコンピューティング研究会(NC), 2012 年 10 月.

## 国内会議ポスター発表

- [1] K. Miura, Z. F. Mainen, N. Uchida, “Fast, efficient population codes in olfactory cortex through decorrelation and synchronization to theta-frequency sniffing”, 包括脳 脳と心のメカニズム 夏のワークショップ, 仙台国際センター, 2012年7月
- [2] 三浦佳二, 藤田武志, “グラフ上の流れの Hodge 分解の考察と金属ガラス時系列への応用”, ネットワーク科学の数理と展開, 東北大学, 2012年9月
- [3] 三浦佳二, “嗅覚皮質の電気信号解読による脳の匂い判別機構の解明”, JST 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」領域 3期生成果報告会(一般公開), 東京大学, 2012年11月

## 24年度に取り組んだ研究課題とその内容、成果

### [1] 脳型情報処理

- ・ 数学的指針によって、機能を持つ、脳を模倣した電気回路(VLSI チップ)を開発することを目的とする。
- ・ 力学系(特に位相振動子)の理論を用いて、クロックの同期や引き込みを利用したワイヤレスセンサーネットワークを提案し、**Spice Simulator**での実装を発表した。
- ・ 以上を実現するための基礎理論として、センサー間の相互作用等に遅れ(フィードバック)がある場合にも、位相振動子の縮約理論を適用出来るように、理論を拡張した。
- ・ **Euler Calculus**の理論を並列化することで、iPadのタッチ回数を、タッチの形状によらず、高速に数えることができるカウンターを設計した。現在は、**Spice Simulator**で実装を目指している最中である。

### [2] 情報幾何学

- ・ 情報幾何学を用いた統計解析手法の開発及び、脳活動の実データの解析を目的とする。
- ・ 統計的学習理論を用いて、嗅覚皮質の神経活動の実データから匂い情報の解読を行った。この成果は、**Neuron**誌(IF=15)に掲載され、読売新聞等でも報道された。
- ・ 上記の匂い解読においては、神経活動の相関(=情報の冗長性)が鍵となっていることを解明したが、理論モデルにおいてもこれを検討した。
- ・ そして、相関の役割をさらに進めるために、情報幾何学を用いた非定常下での相関の推定法を開発した。これを、実データへと応用したところ、ベースラインが非定常であることによる「見かけの相関」が存在することを解明した。
- ・ 以上の流れとは別に、微分幾何学をベースにして、グラフの **Hodge-Kodaira** 分解の高速アルゴリズムを新たに開発した。これを、神経回路網中のループを検出できる体系的な方法として、データ解析に役立てた。
- ・ 今後は、情報幾何学も含んだより広い方法論として「応用微分幾何学」を標榜して、脳の解明に向けて実データに適用していきたい。

## 数学と諸分野との連携という視点で取り組んだ活動(研究会の組織等含む)

### [1] 脳型情報処理

- ・ 2012/11, 国際会議 **SCIS-ISIS 2012** において、セッションを企画した。“**Mathematical Modeling of Neural Systems**”, 神戸国際会議場
- ・ 数理モデルを全面に押し出したセッションを開催することで、数学と脳工学の融合を図った。

### [2] 生命データ解析勉強会

- ・ 主に **Hogg&Craig** 著「数理統計学ハンドブック」の輪読会(毎週火曜 9:30-11:30)を輪読した。
- ・ 10月から2月にかけては、鎌谷直之「遺伝統計学」も輪読した。
- ・ 参加者の研究室は木下・大林研、中尾・片山研、乾・岡崎研、長崎研(メディカルメガバンク機構)など多岐に渡った。
- ・ 生命データ解析方法を身につけるだけでなく、研究室間の交流にも役立った。

[3] 星陵サテライト

- ・医学部において「生命科学者のための使える数学セミナー」を3回開催した。
- ・発生物から脳、力学系モデルからデータ解析までと、バラエティにとみ趣向をこらした講演者を迎えて、大勢の聴衆を集めることができた(毎回 20-40 人程度)。

24 年度外部資金獲得状況

- [1] 新学術領域研究「ヘテロ複雑システムによるコミュニケーション理解のための神経機構の解明」「Hodge 分解によるヘテロ・大域的な脳活動の遍歴検出」(研究代表者) 平成 24-26 年 総額 300 万円(予定)
- [2] 若手研究(B)「無限次元の情報幾何学を用いた脳活動のモデリング」(研究代表者) 平成 24-28 年, 総額 360 万円(予定)

特記事項 (受賞、社会活動等を含む)

- [1] 発表論文[1] の出版に先立ってプレスリリースを行い, 河北新報(6/21 付朝刊 25 面), 読売新聞(宮城県版,6/21 付朝刊 32 面), 日刊工業新聞(6/22 付 20 面), 日経 BP(net) (6/22 付), マイナビニュース(6/21 付) 等に掲載された. NEURON video abstract に選出(毎号一本). Faculty of 1000 に掲載.SciVerse ScienceDirect TOP25 Hottest Articles に選出.
- [2] 平成 24 年青葉工業振興会研究奨励賞「嗅覚皮質の電気信号解読による脳の匂い判別機構の解明」



5.3. 瀬川悦生 (情報科学研究科数学連携推進室助教)

発表論文リスト (査読付き学術論文)

- [1] T. Łuczak, N. Konno and E. Segawa: Limit measures of inhomogeneous discrete-time quantum walks in one dimension, Quantum Information and Processing, 12 (2013) 33-53.
- [2] N. Konno, N. Obata and E. Segawa: Localization of the Grover walks on spidersnets and

free Meixner laws, Communications in Mathematical Physics in press.

[3] N. Konno and E. Segawa: On the entropy of decoherence matrix for quantum walks, Yokohama Mathematical Journal (2012), in press

[4] N. Konno and E. Segawa: Weak convergence of complex-valued measure for bi-product path space induced by quantum walk, accepted for publication to Yokohama Mathematical Journal .

#### その他の論文、解説記事

[1] Yu. Higuchi, N. Konno, I. Sato and E. Segawa, "The square and cube of the transition matrix of the discrete-time quantum walk on a graph", arXiv:1207.4987

[2] Yu. Higuchi, N. Konno, I. Sato and E. Segawa, "Quantum graph walks II: quantum walks on covering graphs", arXiv:1211.4719

[3] Yu. Higuchi, N. Konno, I. Sato and E. Segawa, "Quantum graph walks I: mapping to quantum walks", arXiv:1211.0803

#### 国際会議一般講演

[1] E. Segawa: Quantum walks induced by quantum graphs, 7th Jikji Workshop on IDAQP, Chungbuk National University, Korea 2012.07.21.

[2] E. Segawa: Spectral analysis of quantum walks, Quantum walks and related topics, 京都大学数理解析研究所.

[3] E. Segawa: Relation between quantum walks and quantum graphs, Quantum dynamics and quantum walk (岡崎分子科学研究所, 2012/11/24-11/26)

[4] E. Segawa: On the study of quantum graph : a mapping to coined quantum walk, American Mathematical Society, Special Session on Quantum Walks and Related Topics (San Diego, USA, 2013/01/10)

#### 国内会議一般講演

[1] 瀬川悦生, “グラフ上の量子ウォーク”, 情報数物研究会, (2012/07/13, 東北大学)

[2] 瀬川悦生, “量子グラフの量子ウォークによる表現”, 研究集会「無限粒子系と確率場の諸問題」(2012/10/21 奈良女子大学)

[3] 瀬川悦生, “自由群と可換群上の量子ウォークの挙動の解析に向けて” 双曲系の数理(東北大学, 2013/02/25)

[4] 瀬川悦生, “量子ウォークの統計的性質”, 計算材料科学と数学の協働によるスマート材料デザイン手法の探索 (東北大学, 2013/03/15)

#### 国内会議ポスター発表

[1] 瀬川悦生, “Quantum walks on graphs”, “CMRU 研究会”ネットワーク科学の数理と展開”, (東北大学, 2012/09/13)

#### 24年度に取り組んだ研究課題とその内容、成果

1) 量子確率論の独立性との対応関係 (発表論文リスト[3,4])

研究内容: 量子確率論、量子ウォークの双方でそれぞれ定義されている非可換な “コイン投げ” によって得られる極限定理に関する関係性を掘り下げていく。量子確率論の議論によって、量子ウォークの過程としての描像を明記することを目指す。

成果: 量子ウォーク(QW)に普遍的に現れる非ガウス分布を表す極限定理が示す意味や、その本質を考察する。その為に(i) 量子確率論で展開される概念 (ii) Y.Aharonov 達が考案した弱測定を QW に対して導入を試みた。より具体的には、それぞれ

(i) QW の考案者の一人である S. Gudder(1988)による複素数を値に持つ量子測度が一次元格子上の QW に当てはまるように拡張した。そのことによって QW 版のフォンノイマンエントロピーや、量子測度の弱収束に関する明示的な表現を得た[3]。それが量子確率論の独立性の概念に対応する QW の分布を実現する過程を与えるような、新しい独立性の概念へのヒントになるかは今後の課題。最終的には QW における観測プロセスの解釈を見つけない。その為に WG31 の経費から韓国で開催された量子確率論の研究会に参加・講演し、WG30 のような研究集会を開くなどして、

情報を収集している。

(ii) 量子状態を射影測定ではなく位相を観測する弱測定と呼ばれるプロセスを **QW** に対して初めて適応し、そのある種の弱収束定理を導いた[4]。その結果が示す物理的意味に関しては、今後の課題である。

## 2) 量子グラフとの対応 (発表論文リスト[6,7])

研究内容：量子グラフの名で知られているメトリックグラフ上のシュレディンガー方程式の一連の研究との関係を明確にする。最終的に量子グラフの中で研究されてきた具体的な物理モデルの解析に結び付けて、量子ウォークの知識によって言及していくことを目標にする。

成果：数名のグラフの専門家の共同研究者との議論の結果、この連立方程式の非自明な解が存在するための必要十分条件を量子ウォークによって与えることができた[6,7]。非線形シュレディンガー方程式系との対応関係は興味深い未解決問題であり、W32 で行われるセミナー等で議論を深めた。

## 3) 時空間離散におけるアンダーソン局在の解析 (発表論文リスト[1,2])

研究内容：量子ウォークを固有値解析の視点から記述する。単位円周上の **CMV** 行列の固有値分布と、量子ウォークの挙動に見られる、局在化や線形的拡がりのメカニズムとの結びつきを明らかにする。特に空間的摂動により生じる量子ウォークの局在化とアンダーソン局在の明示的な関係を与えることを目指す。

成果：欠陥のある空間に **QW** を走らせると局在化が生じることを量子ウォークの固有値解析の観点から解析した。二通りの手法により、明示的な局在化を証明した。1つは、与えられた **QW** の対応するランダムウォークを見出すことで、その直交多項式を量子確率論で展開されている手法を適用し、**QW** へ還元する方法である[2]。2つめは **CMV** 行列と呼ばれる単位円周上のローラン多項式系の概念を取り入れることで、その固有値測度の情報から、対応する **QW** の局在化を証明した[1]。欠陥が有限個の場合も、局在化と同時に線形的な拡がりを示すことが数値計算から示唆されているが、その数学的証明は今後の課題であり、これが解決すると線形的拡がりとの固有値測度との関係が明らかになることが期待される。

## 4) 光合成のクロフィルネットワーク上の集光システムへの応用の可能性

研究内容：ほぼ 100 パーセントに近い量子収率を持つ光合成光捕獲系のシステムと、量子ウォークを用いた量子探索アルゴリズムの関係性を模索する。

成果：一般のグラフ上の **QW** の振る舞いがよく知られていないため、手始めとして様々な周期的な構造を持つ無限グラフ上の **QW** の解析を試みた。その結果、高次元正方格子等のグローヴァーウォークの局在化と線形的拡がりを証明し、現在論文を執筆中である。ただ明示的な極限分布の表示は得られていない。今後、アブストラクトな議論により、より広いクラスにおけるグローヴァーウォークの局在化と線形的拡がりによるグラフの幾何的構造の特徴づけが期待される。グラフエン上でのダイナミクス等、量子素子との対応関係も今後の課題。

## 数学と諸分野との連携という視点で取り組んだ活動 (研究会の組織等含む)

[1] Workshop of Quantum Dynamics and Quantum walks (岡崎分子科学研究所、東北大学 SMART 共催) の組織・運営

岡崎分子科学研究所で、日本で行われる初めての **QW** の国際会議を開催した。約 50 名程の参加者が集い、統計的性質やその固有値解析などその基礎研究をしている数学者や、量子力学の現象を理解する為のトイモデルとして論じる理論物理の研究者や、**QW** の実装の成功をおさめた実験家によって、**QW** というひとつのテーマについて意見・情報交換を行った。東北大からは SMART の海外アドバイザーである P. Blanchard 氏と量子情報の研究者 J. Wang 氏を海外から招へいし、国内でも数名の組み合わせ論の専門家に講演を依頼し、**QW** の新たな諸分野との連携の可能性を議論した。

毎年 **QW** の国際会議は連続的に行われ、今回も盛況に終わったように思える。とりわけ、数学者によって地道に理論的に積み上げてきた **QW** の現象を、多くの講演者が光子、イオントラップ、などの方法による実装の成功をおさめた報告が際立った。開放系 **QW** のより詳細な理論の構築は、

これまで閉じた系での理想的な状況下でしかほとんど論じられてこなかったが実験結果の客観的な評価の道具として今後必要になってくると思われる。また、 $Z, Z^2$ 以外の対称的な構造をもつ空間構造上の QW の統計的性質は、実はほとんど何も研究がされておらず、今後空間構造上の量子探索アルゴリズムの実装を視野に入れた研究が行われようとしている中で、数学が先行する 1 つのチャンスだと感じた。次回はイタリアのミラノで開催予定。

## [2] 第 31 回 AMF ワークショップの組織・運営

量子情報の研究者 J. Wang 氏に「Quantum Walk and potential application」と題する QW の探索アルゴリズム、グラフ同型判別への応用について、また山形大学からは内沢啓氏「論理回路の出力パターン数解析とその応用」と題する講演をして頂いた。QW からモチベートされたグラフの空間構造に関する、興味深い数値計算結果による示唆を得るなどした。組み合わせ論やアルゴリズム論と QW のフュージョンを試みたが、すぐにはその繋がりを見いだすことは出来なかった。

## [3] 情報科学研究科の研究室訪問

情報科学研究科のいくつかの研究室を訪問し、研究室の研究の話や連携研究を進める上で望んでいることや障害に感じている(た)ことなどについてご意見を頂いた。すぐには数学との本質的な連携が得られるかは別として、とても気さくに接して下さり、興味をそそられる話題を提供して頂き、よい刺激になった。今後も長期的に良好な繋がりを保ち続けることで、共同研究に繋がられるようにしたい。

## 24 年度外部資金獲得状況

[1] (次年度) 平成 25 年度 九州大学マス・フォア・インダストリ短期共同研究「量子ウォーク数理の新展開：物質制御へのアプローチ」(研究代表者) 60 万円

## 特記事項 (受賞、社会活動等を含む)

[1] 量子ウォーク国際会議のプロシーディングスの編集

Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, as the special issue on "Theoretical and Mathematical Aspects of the Discrete Time Quantum Walk" (the Conference is Instituto de Fisica Corpuscular, 2011/11/07-10)

[2] Workshop of Quantum Dynamics and Quantum walks (岡崎分子科学研究所 2012/11/24-11/26) オーガナイザー

[3] 越境する数理・時空間の深秘と暗喩・ (横浜国立大学主催、Zaim Café Annex (横浜元町)にて一般市民向けの展示会) 2012/10.10-14 に作品を出展

## 5. 4. 宮田洋行 (情報科学研究科数学連携推進室助教)

### 発表論文リスト (査読付き学術論文)

[1] David Avis, Hiroyuki Miyata and Sonoko Moriyama: Families of polytopal digraphs that do not satisfy the shelling property, Computational Geometry: Theory and Applications, vol. 46, issue 3, pp. 382-393, 2013.

[2] Komei Fukuda, Hiroyuki Miyata and Sonoko Moriyama: Complete enumeration of small realizable oriented matroids, Discrete and Computational Geometry, Volume 49, Issue 2, pp. 359-381, 2013.

### その他の論文、解説記事

[1] Hiroyuki Miyata, On symmetry groups of oriented matroids, <http://arxiv.org/abs/1301.6451>, 30 pages.

## 国内会議一般講演

- [1] 宮田洋行: マトロイド・有向マトロイドの対称性に関する考察, 組合せ論セミナー, 東北大学, 2012年6月27日.
- [2] 宮田洋行: 有向マトロイドの自己同型群の分類, 2012年組合せ論サマースクール, 島根, 2012年8月28日~31日.
- [3] 宮田洋行: 多面体の組合せ構造の列挙とその周辺, 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 短期共同研究「学習理論における組合せ論」, 九州大学, 2012年9月18日~20日.
- [4] Yoshikazu Aoshima, Hiroyuki Miyata and Sonoko Moriyama: On classes of polytopes whose LP-orientations can be characterized by the shelling property, 電子情報通信学コンピューテーション研究会, 東北大学, 2012年10月31日. (信学技報, vol. 112, no. 272, COMP2012-41, pp. 45-51)
- [5] Komei Fukuda, Lorenz Klaus and Hiroyuki Miyata: Enumeration of PLCP-orientations on the 4-cube, 電子情報通信学コンピューテーション研究会, 九州大学, 2012年12月10日. (信学技報, vol. 112, no. 340, COMP2012-50, pp. 41-48)

## 24年度に取り組んだ研究課題とその内容、成果

有向マトロイドを通じて、数理計画問題や計算幾何などについてさまざまな結果が得られた。

### [1] 線形計画問題(LP)の組合せ的性質の理解

線形計画問題(LP)は、数理計画問題で最も基本的な問題の1つであり、効率のよいアルゴリズムを与えることは非常に大きなインパクトを持つが、現在、LPが強多項式時間可解かどうかは未解決である。強多項式時間アルゴリズムの有力な候補の一つに単体法があり、それは多面体グラフの適当な向き付け(LP向き付け)のもと、そのシンクを探すアルゴリズムとして理解できる。単体法の解析においてはLP向き付けの組合せ的性質の理解が重要と考えられる。現在、非閉路性、唯一シンク性、Holt-Klee性、シェリング性が知られるが、本研究では2009年にAvis, Moriyamaにより提案されたシェリング性を主にLP向き付けがシェリング性で完全に特徴づけられる場合はあるかという観点から調べた。まず1つに、前から進めていた研究で、シェリング性のより扱いやすい定義を与えた上で、性質の有用性を示す多面体グラフの構成法の提案し、さらに十字多面体のLP向き付けはシェリング性で特徴づけられることを示していたが、それをさらに精密に解析したうえで論文として出版した(論文発表[1])。

さらに、頂点数が次元+2の場合においても、シェリング性がLP向き付けを完全に特徴づけられることを示した(口頭発表[4]・論文準備中)

### [2] P行列線形相補性問題のデータベース作成

線形相補性問題(LCP)は線形計画問題(LP)や凸二次計画問題など多くの重要な問題を統一的に扱う枠組みを与える非常に重要な問題であり、LCPの効率の良いアルゴリズムを与えることは応用上非常に大きなインパクトを持つ。一方、一般に線形相補性問題はNP困難であることが知られ、効率よく解ける部分クラスの研究が盛んになされている。その中でも特にP行列線形相補性問題(PLCP)というクラスは多くの重要な問題を含み、また理論的にも多くの自然な特徴づけを持ち、多項式時間可解であることを示唆する結果がいくつかある。一方、多項式時間アルゴリズムの設計に関しては手掛かりのない状況である。多項式時間アルゴリズムの候補の一つにBard-typeアルゴリズムと呼ばれるものがあり、そのアルゴリズムは超立方体上の適当な向き付け(PLCP向き付け)のもと、そのシンクを探すアルゴリズムとして理解できることが1978年にStickney, Watsonによって指摘され、3次元超立方体のPLCP向き付けが列挙された(17通り)。本研究では、有向マトロイドの実現可能性問題を通じてPLCP向き付けを列挙するという新しいアプローチを提案し、4次元超立方体上のPLCP向き付けを列挙した(6910通り)。また、それを用いて計算機実験を行い、多くの知見を得た(口頭発表[5]・論文準備中)。

### [3] P行列線形相補性問題の新たな部分クラス

上で述べた計算機実験による知見の一つとして、良い性質を持つP行列線形相補性問題(PLCP)の新たな部分クラスを発見した。PLCPを定める行列の組合せ構造が非常に限定されているにも関わらず、上記の計算機実験ではPLCP向き付け全体の88%がそのクラスから導出できることを

観察した。そのようにしてこのクラスの重要性を認識し、このクラスの性質に関しさまざまな理論的考察を行った。このクラスの PLCP に関する効率のよいアルゴリズム設計がこれからの課題である。(5月に共同研究者 Lorenz Klaus が口頭発表予定・論文準備中)

また、線形相補性問題が物理シミュレーションなどにおいて多く用いられていることがわかり、また線形相補性問題に取り組む共同研究者(Lorenz Klaus)が研究員として東北大学に赴任してきたこともあり、来年度は線形相補性問題を直接的に他分野へ応用する研究も考えてみたい。

#### [4] 有向マトロイドの自己同型群の分類

近年、有向マトロイドはさまざまな対象に付随する線形空間の抽象化として、M 理論や分子構造の分類などへの応用がなされ始めている。全ての有向マトロイドに実際の線形空間が付随するわけではないので、どこまで有向マトロイドと線形空間で性質を共有するか理解しておくことは重要である。そのような観点から有向マトロイドの自己同型群の研究を行った。

3次特殊直交群  $SO(3)$  の有限部分群の分類は群論における古典的結果である。既存のアプローチは座標の情報を多く用いたものであり、そこから座標の情報を取り除き、組合せ的に抽象化した対象である有向マトロイドの自己同型群の解析では違ったアプローチを考えなくてはならない。本研究では、有向マトロイドの自己同型群を解析するツールとして、組合せ的な不動点定理をいくつか証明し、それを駆使して自己同型群の分類を行った。その結果、ランク 4 非巡回有向マトロイドの自己同型群についても実際には  $SO(3)$  の有限部分群分類の理論とほぼ同様の理論展開ができることがわかった。(口頭発表[1],[2]・論文投稿中・プレプリント：論文発表[3])

#### 数学と諸分野との連携という視点で取り組んだ活動（研究会の組織等含む）

##### [1] 情報収集・広報

他分野に数学を用いた研究・そのような研究を行う研究者を調査し、今年度および来年度の AMF ワークショップの開催を計画した。また、東北大学イノベーションフェアでのポスター発表や情報科学研究科の研究室訪問などに取り組み、他分野と数学の連携に関する情報収集および広報に努めた。研究室訪問については、現在 3 つの研究室を訪問したばかりのところであるが、非常にやりがいを感じ、また有用であると感じており、今後もこの活動を続け、諸分野との数学連携の可能性を探ったり、情報収集を行っていきたいと考えている(情報科学研究科に留まらず他の組織などへの訪問も検討したい)。

その他、今年度 10 月から JST ERATO 河原林巨大グラフプロジェクトが始まり、そのセミナーに毎回参加しながらソーシャルネットワークなどの巨大グラフ関係の知識を蓄えているところであり、今後自分の研究に巨大グラフの数学的解析・アルゴリズム設計なども取り入れていく予定である。