

CoRe@



NEWSLETTER

vol.3

2022
Spring

科学研究費助成事業 学術変革領域研究(B) 2020-2022年度

組合せ遷移の展開に向けた計算機科学・工学・数学によるアプローチの融合

『組合せ遷移の数学』が存在する 未来に向けて

計画研究 C01 班代表 岡本 吉央
電気通信大学 大学院情報理工学研究所 教授



私たちは組合せ遷移にどのような科学的現象を見ているのでしょうか。私たちの眼前にはグラフ、文字列(語)、順列などが作る組合せ遷移の生態系が広がり、その多様性に対して博物学・分類学的な理解が従来研究を通してかなり進んできました。一方で、カタログに収集された標本から、一般的な法則を導くところまで組合せ遷移の科学研究が進んでいるわけではありません。

私たちの大目標は、この多様性に対する数学的な統一理解です。しかし、これはとても高い目標です。なぜならば、組合せ遷移研究において重要な核を担う「計算」という現象は、数学的な統一理解を長年に渡って阻み続けているからです。それは、「P vs NP 問題」という数学の大きな未解決問題に象徴されています。そのため、私たちの歩みは遅いものに思われるでしょう。一方で、歩まなければ進みません。先の見えない不確実性の高い社会において、動的システムの理解と制御が果たす役割は大きく、19世紀以降急激に進んだいわゆる連続数学で扱いづらい対象には、離散数学の方法論を探究する必要があります。

私たちは『組合せ遷移の数学』を生み出せるのでしょうか。歴史を紐解けば、蒸気機関の発明が熱力学を生み、いまでは数学を用いて公理的に熱力学の法則を導出する試みも行われています。同じように、配電制御の研究を契機とした組合せ遷移にも数学理論が役立つはずです。「優れた理論ほど実践的なものはない」と言ったのは心理学者のクルト・レヴィンでした。その言葉が組合せ遷移に対しても成り立つかどうか、それが分かる未来に私たちは進んでいきます。

Profile

2005年3月スイス連邦工科大学チューリヒ校にてPh.D.を取得。同年4月より豊橋技術科学大学助手、2007年4月同助教、2007年12月東京工業大学特任准教授、2010年10月北陸先端科学技術大学院大学特任准教授、2012年4月電気通信大学准教授を経て、2017年4月より現職。離散数学、離散アルゴリズム、離散最適化の研究に従事。訳書に『凸多面体の数学』(共訳)、『離散幾何学講義』、『離散体積計算による組合せ数学入門』がある。

2022年3月

科学研究費助成事業 一科研費一 「学術変革領域研究(B)」について

「学術変革領域研究(B)」は、次代の学術の担い手となる研究者による少数・小規模の研究グループ(3~4グループ程度)が提案する研究領域において、より挑戦的かつ萌芽的な研究に取り組むことで、これまでの学術の体系や方向を大きく変革・転換させることを先導するとともに、我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域の創成を目指し、将来の学術変革領域研究(A)への展開などが期待される研究です。(文部科学省 Web サイトより抜粋)

活動情報

Topic 01 国際ワークショップを開催

アルゴリズム理論としての「組合せ遷移」が形作られるずっと前から、数学においては、組合せ遷移の概念が活用されていました。計画研究C01班では、数学の諸分野に現れる研究課題を「組合せ遷移」のレンズを通して捉え直すべく、国際ワークショップを2回開催しました。

2021年 8月30日 月

Workshop "Combinatorial Reconfiguration in Discrete and Computational Geometry"

伝統的に、離散幾何学や計算幾何学では、組合せ遷移に関連する研究が精力的に行われてきました。例えば、三角形分割のフリップは異なる多くの基準に基づく最適メッシュの生成において重要な役割を果たしています。本ワークショップでは、三角形分割のフリップに関する招待講演2件、ロボットの動作計画に関する招待講演2件、トポロジーに関する招待講演2件を企画しました。本ワークショップには、100名以上（内、海外からは約60%）の参加登録があり、当日は、純粋数学の立場のみならず、地理情報システムやナノマニュファクチャリングといった応用的な側面に関する討議も活発に行われました。

招待講演者リスト

Hsien-Chih Chang (Dartmouth College, USA)
Sándor Fekete (Technische Universität Braunschweig, Germany)
Dan Halperin (Tel Aviv University, Israel)
Hugo Parlier (University of Luxembourg, Luxembourg)
Rodrigo Silveira (Universitat Politècnica de Catalunya, Spain)
Emo Welzl (ETH Zürich, Switzerland)

2021年 11月29日 月

Workshop "Graph Theory for Combinatorial Reconfiguration"

グラフ理論の研究においても、組合せ遷移の概念は、そこかしこで見つけることができます。例えば、グラフの彩色では、ケンベ鎖というルールに基づく彩色の遷移が、重要な意味を持ちます。本ワークショップでは、曲面上のグラフの対角変形、1-2-3 予想に対する確率的・代数的手法、タフネスとハミルトン閉路、劣線形セパレータとその彩色への応用、禁止誘導部分グラフで特徴づけられるグラフクラスと木分解の関係、Hadwiger 予想に対する新しいアプローチ、といった招待講演を企画しました。本ワークショップには、約200名（内、海外からは約70%）の参加登録があり、当日の講演では、劣線形セパレータを利用した遷移の手法など、組合せ遷移への応用の議論も盛り上がりしました。

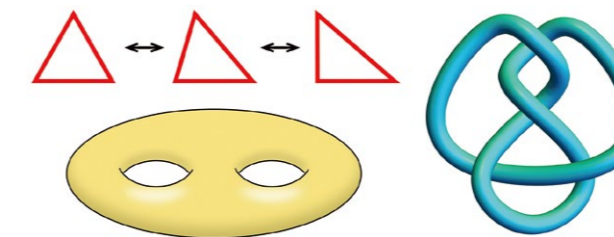
招待講演者リスト

Maria Chudnovsky (Princeton University, USA)
Zdeněk Dvořák (Charles University, Czech Republic)
Tomáš Kaiser (University of West Bohemia, Czech Republic)
Atsuhiko Nakamoto (Yokohama National University, Japan)
Jakub Przybyło (AGH University of Science and Technology, Poland)
Zi-Xia Song (University of Central Florida, USA)

研究者紹介

トポロジーの視点から
組合せ遷移に挑む

野崎 雄太
(広島大学, C01班)

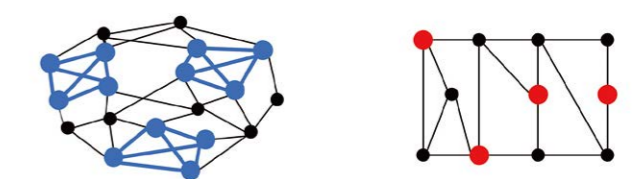


正三角形と直角三角形は異なる図形ですが、辺の長さを少しずつ変えていけば互いに移り合います。このように長さや角度を捨象することで発展してきた数学分野はトポロジー（位相幾何学）と呼ばれ、私は特に曲面や結び目をはじめとして3次元多様体と関わる対象に興味があります。最近では、トポロジーの中心的話題の一つである「曲面の写像類群」について、その重要な部分群に関する未解決問題に取り組みました。トポロジーにおいては、連続変形で不変量を手掛かりに空間やその中の図形の性質を探究することが多いです。不変量の代表例として基本群やホモロジー群があり、図形を入力すると群が出力されます。つまり、2つの図形に対して出力された群が異なれば、連続変形（ホモトピー）で移り合うことはできません。

さて、トポロジーにおける連続変形は、組合せ遷移における離散的な変形と関係があるのでしょうか？実は、平面グラフ上のパスの遷移においてグラフが十分細かい場合や、グラフの点彩色の遷移において色数が十分多い場合にトポロジーの視点が有用です。元の組合せ遷移問題に対する完全な解答を与えるとは限りませんが、勘所を明らかにすることで研究の前進が期待でき、また実用の観点からは前処理としての利用も期待できます。

遺伝性を持たない
誘導部分グラフの探索

江藤 宏
(東北大学, A01班 特任助教(研究))



次数3の正則誘導部分グラフの例

次数0の正則誘導部分グラフの例

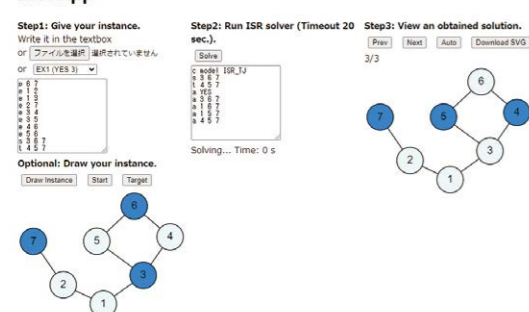
私は、様々なグラフ最適化問題に対して、近似可能性の観点から研究しています。世の中には本当に多くのグラフ最適化問題が存在し、個々の問題に対して近似可能性が研究されています。一方で、1993年にLundとYannakakisは、「遺伝性」と呼ばれる性質に着目し、近似困難性のメタ定理を与えました。このメタ定理に依って、「遺伝性」を持つ誘導部分グラフを最大化する問題であれば、個別に解析する必要もなく、近似困難性が得られるようになりました。

しかし、世の中には「遺伝性」を満たさないグラフ最適化問題も多く存在します。私の研究は、そのようなグラフ最適化問題を対象にしています。特に私が注目しているのは、誘導部分グラフの「正則性」です。正則性とは、グラフの頂点の次数が全て等しいことを意味しており、一般には、この性質は遺伝性を満たしません。ただし、頂点の次数が全て0となる誘導部分グラフは、独立集合と一致するため、そのときだけは遺伝性を満たすグラフ最適化問題となります。すなわち、次数0ならばLundとYannakakisのメタ定理が適用できるが、そうでなければ適用できないという、興味深い挙動を示す性質が、誘導部分グラフの「正則性」です。今はまだ、個々の問題に対する事例研究の段階ではありますが、その先にメタ定理への一般化を目指して、研究に取り組んでいます。

Topic 02 組合せ遷移ソルバーを先行公開中

計画研究B01班では、様々なアプローチで組合せ遷移ソルバーの設計開発、実装を行っています。将来的には、複数の実装の良い所をとる「ポートフォリオ型」のソルバーに育てていく予定です。現在、事例研究として開発・実装を進めているのが、独立集合遷移問題（トークンジャンプモデル）を解くソルバーです。機能は限定的ですが、昨年11月より、2種類のソルバーを先行公開しています。本研究領域Webサイトから、ぜひお試しください。

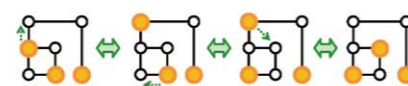
ISR App



Topic 03 組合せ遷移の基礎講座をYouTube公開中

組合せ遷移の研究に取り組んで頂きやすくなればと思います、YouTubeに「組合せ遷移の基礎講座」を準備しました。ここでは、計画研究A01班のアルゴリズム理論の観点から、組合せ遷移の研究を解説しています。「これから組合せ遷移の研究を始めてみようかな？」とお考えの方に、ご活用頂ければ幸いです。スライド資料も掲載していますので、本研究領域Webサイトからリンクを辿って、ぜひご覧ください。

組合せ遷移問題の定義



伊藤 健洋

東北大学 大学院情報科学研究科

JCCA-2021 ミニシンポジウム

01

2021年8月19日(木)に、JCCA-2021・離散数学とその応用研究集会2021にて、組合せ遷移のミニシンポジウムを企画・開催しました。中畑裕さんには本研究領域メンバーとの共同研究の成果を、鮎川矩義先生には多面的組合せ論の視点からご講演頂きました。

伊藤 健洋(東北大学)「組合せ遷移への招待」
 中畑 裕(京都大学)「Reconfiguring Directed Trees in a Digraph」
 岡本 吉央(電気通信大学)「単位円配置の遷移 — 連続的な組合せ遷移」
 鮎川 矩義(東京理科大学)「整凸多面体の組合せ的直径とその周辺」
 * 所属は講演当時

公開シンポジウム、第3回領域会議

02



2021年9月1日(水)に、本研究領域の公開シンポジウムを開催しました。池上敦子先生(成蹊大学)から「ナーススケジューリングにおける解の多様性と類似性」の題目で招待講演を頂きました。また、各計画研究班の活動状況を報告しました。併せて、第3回領域会議を行いました。

セミナー・勉強会

本研究領域では、セミナー・勉強会を継続して開催しています。来年度も継続しますので、ぜひご参加ください。

回	開催日	講演者	講演題目
15	2021. 10. 7	江藤 宏 (東北大学、A01班)	最大誘導部分グラフ探索問題の計算困難性について
16	2021. 10. 21	中畑 裕 (奈良先端科学技術大学院大学)	有向グラフ上のトークンスライディング問題
17	2021. 11. 11	小林 佑輔(京都大学、C01班)	連結度制約付きグラフ向き付けの遷移
18	2021. 11. 25	上原 隆平(北陸先端科学技術大学院大学、招待講演)	組合せ遷移問題の視点から見たパズルの歴史
19	2021. 12. 16	山中 克久(岩手大学、招待講演)	あみだくじの列挙と遷移
20	2022. 1. 6	大坂 直人(株式会社サイバーエージェント、招待講演)	標的集合の遷移可能性について
21	2022. 1. 20	小林 靖明(京都大学、A01班)	組合せ最適化問題に対する多様な最適解の計算について

03

その他、この半年間の動き

- 2021年 9月27日(月) 伊藤健洋(東北大学、領域代表)が、日本オペレーションズ・リサーチ学会「最適化手法とアルゴリズム」研究部会(SOMA)にて講演を行いました。
- 2021年 10月 1日(金) 計画研究 A01 班に、江藤宏 特任助教(東北大学)が着任しました。
- 2021年 11月19日(金) 第33回 RAMP 数理最適化シンポジウムにて、小林靖明(京都大学、A01班)と大館陽太(名古屋大学、A01班)が講演を行いました。
- 2021年 12月6日(月) - 8日(水) 国際会議 The 32nd International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2021) を協賛しました。

EVENTS

学生シンポジウム
第4回領域会議
2022年3月9日(水)

組合せ遷移に関する学生シンポジウムを開催します。併せて、第4回領域会議を開催します。

プログラミング
国際競技会
2022年3月末まで

組合せ遷移に関するプログラミング国際競技会 The 1st Combinatorial Reconfiguration Challenge (CoRe Challenge 2022) を開催中です。2022年3月末まで、投稿を受け付けています。

国際Workshop
2022年7月4日(月)

国際会議 The 49th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming (ICALP 2022) にて、組合せ遷移に関するサテライトワークショップを企画・開催します。昨年に引き続き、2年連続の開催です。

受賞

FIT2020 船井ベストペーパー賞

岡本吉央(電気通信大学、C01班)、伊藤健洋(東北大学、A01班)、垣村尚徳(慶應義塾大学、C01班)、神山直之(九州大学・JSTさがけ、C01班)、小林佑輔(京都大学、C01班)
 「構造変化に応じるロバスト修復可能マトロイド基問題に対する固定パラメータアルゴリズム」

メーリングリストのご案内

本研究領域の各種お知らせ用に、メーリングリストを運用しています。参加方法など、詳しくは本研究領域の Web サイトをご覧ください。

