

# CoRe

CR  
Combinatorial Reconfiguration  
NEWSLETTER

vol.5

2023  
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



## 今はまだ想像もできない「組合せ遷移」の世界を目指して

3年前、私たちは学術変革領域研究(B)「組合せ遷移」の誕生に向けて、熱く議論を繰り返していました。野心たっぷりに「これもやりたい」「そのためには、この人に仲間になってもらえないだろうか?」と。あの当時、私たちが考え得る「最強の組合せ遷移」を思う存分、申請書に盛り込みました。有難くも採択された後、あっという間に2.5年が経ち、私たちの前には今、あのときの想像を遥かに超える「組合せ遷移」の世界が広がっています。

私たちが何よりも心掛けたことは、「人と人を繋ぐ」こと、そして「未来への種蒔き」をすることです。3年前はまだお互い名前も知らなかった方も交えて、「組合せ遷移」というキーワードを頼りにガチンコで研究に取り組みました。その結果、著名な国際会議や学術雑誌への論文採択、特許出願やプレスリリース発行等、胸を張れる研究業績が並んでいます。それでも、私たちが最も自慢したいのは、今はまだ業績とは呼べない「目に見えない」成果です。国際ワークショップ、国際プログラミング競技会、学生シンポジウム等の開催を通して、国内外の研究者・学生の方々に「組合せ遷移」という新たな研究視点を届けることができました。これによって「組合せ遷移」の研究が深化できただけでなく、新たな融合研究がそこかしこに芽吹き始めています。きっとそれは、たとえ10年の時間をかけても潤沢な予算をかけても、個人研究では得難い「芽」です。

私たちの学変(B)「組合せ遷移」は、ここで一区切りを迎えます。それでも私たちは、この領域研究でなければ得られなかった「芽」を、これからも大切に育て上げていきます。10年20年先に、やはり今はまだ想像もできない「組合せ遷移」の世界へと広げられることを目指して。

2023年3月

伊藤 健洋、川原 純、岡本 吉央

### Profile

#### 伊藤 健洋

領域代表、  
計画研究 A01 班代表、  
東北大学 教授



2006年東北大学にて博士(情報科学)を取得。グラフアルゴリズムの手法を主として、組合せ遷移の研究に従事。

#### 川原 純

計画研究 B01 班代表、  
京都大学 准教授



2009年京都大学にて博士(情報科学)を取得。アルゴリズムやデータ構造の研究、特にゼロサプレス型二分決定グラフを用いた最適化問題の研究に従事。

#### 岡本 吉央

計画研究 C01 班代表、  
電気通信大学 教授



2005年スイス連邦工科大学チューリヒ校にてPh.D.を取得。離散数学、離散アルゴリズム、離散最適化の研究に従事。

### 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

2022年9月2日(金)

## Workshop "Polytope Diameter and Related Topics"

凸多面体の直径は、組合せ遷移における解空間の直径と関連し、線形計画問題の単体法などアルゴリズムの効率解析に深い関係があります。本ワークショップでは、有名な Hirsch 予想 (1957 年) を 2011 年に解決して Fulkerson 賞を受賞した Santos 氏をはじめ、世界第一線の研究者らに招待講演を頂きました。本ワークショップには約 140 名 (内、海外からは約 70%) の参加登録があり、当日は和やかな雰囲気の中で、招待講演者同士も議論を楽しんでいたのが印象的でした。

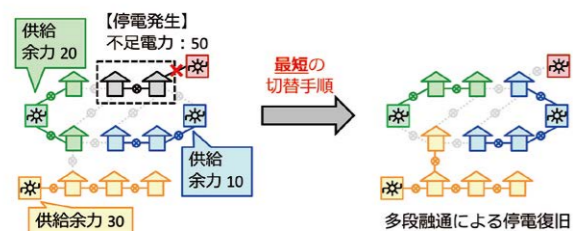
## 招待講演者リスト

Jean Cardinal (Université Libre de Bruxelles, Belgium)  
Daniel Dadush (CWI, the Netherlands)  
Jesús De Loera (University of California, Davis, USA)  
Hariharan Narayanan (Tata Institute of Fundamental Research, India)  
Vincent Pilaud (CNRS and École Polytechnique, France)  
Francisco Santos (University of Cantabria, Spain)

## Topic 02

## 産学連携の研究成果を特許出願・プレスリリース

2022年11月7日(月)に、本研究領域における産学連携の研究成果を、東北大学、京都大学、中部大学、(株)明電舎による共同プレスリリースとして発表しました。停電の早期復旧のため、配電経路の切替手順を算出するアルゴリズムを開発。切替手順の最短性を理論保証し、大規模停電の復旧に必要な多段融通にも対応します(特許共同出願中)。組合せ遷移のアルゴリズム技術により、停電復旧のプロセスに、数理的なエビデンスを与えることを可能とします。激甚災害に伴う大規模停電、ライフスタイル変容に伴う需要密度の変化など、より広域で高度な配電運用が求められる中で、系統事故時の自動復旧、系統混雑の解消、設備容量スリム化の計画業務など様々な場面へのアルゴリズムの活用が今後期待されます。本研究成果は、電気・エネルギーの専門紙である電気新聞(2022年11月8日)に取りあげられました。



## Topic 03

## 領域会議・イベントを対面で開催

2022年12月12日(月)

## Workshop "Combinatorial Reconfiguration and Fixed-Parameter Tractability"

組合せ遷移においても、固定パラメータ容易性は最もよく研究されている観点の一つです。固定パラメータ容易性の分野の広さも反映し、本ワークショップには約 210 名 (内、海外からは約 80%) もの参加登録がありました。当日の講演では、組合せ遷移の文脈から生まれたアルゴリズム手法、固定パラメータ容易性の最先端の研究成果など、組合せ遷移と固定パラメータ容易性との研究の懸け橋にふさわしいワークショップとなりました。

## 招待講演者リスト

Hans L. Bodlaender (Utrecht University, the Netherlands)  
Bart M. P. Jansen (Eindhoven University of Technology, the Netherlands)  
Eun Jung Kim (Paris-Dauphine University, France)  
Moritz Mühlenthaler (Université Grenoble Alpes, France)  
Saket Saurabh (The Institute of Mathematical Sciences, India)

## Topic 03

## 領域会議・イベントを対面で開催

2022年9月22、23日(木、金)に、第5回領域会議・公開シンポジウムを札幌にて開催しました。各計画研究班の研究状況を紹介しながら、本研究領域の活動を報告しました。また2日目には、瀬川悦生先生(横浜国立大学)から「量子ウォークから誘導される幾つかの組合せ構造」の題目で招待講演を頂きました。

2023年2月20日(月)には、組合せ遷移の学生シンポジウムを東北大学にて開催しました。基礎理論から産学連携研究まで、様々な研究9件の発表が対面で行われ、盛会となりました。そして翌2月21日(火)には、本研究領域の最終報告会を開催しました。領域研究ならではの成果を中心に報告しました。約50名の対面参加を頂き、休憩時間にも「組合せ遷移」研究の今後の展開について活発な議論が行われました。



9月23日札幌にて

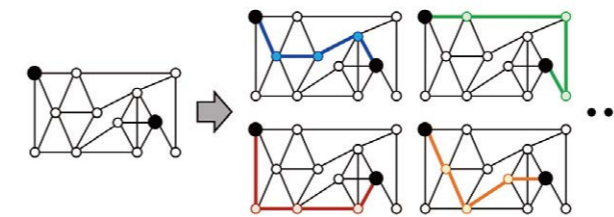
## 研究者紹介



## 組合せ遷移と列挙の関係

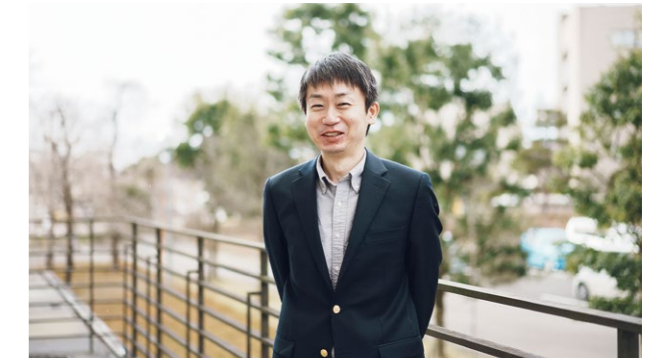
## 和佐 州洋

(法政大学, A01班)



「1つの解を発見しなさい」という問題は、情報科学において様々な具象化され研究されています。例えば、ソーティング、最短経路発見、ナップザック問題など多岐に渡ります。一方、私の専門である「列挙」は、こういった問題よりも少し欲張りな枠組みの問題です。正確には「漏れなく重複なく全ての解を出力しなさい」という問題で、具体例として、全ての最短経路を出力しなさい等が挙げられます。

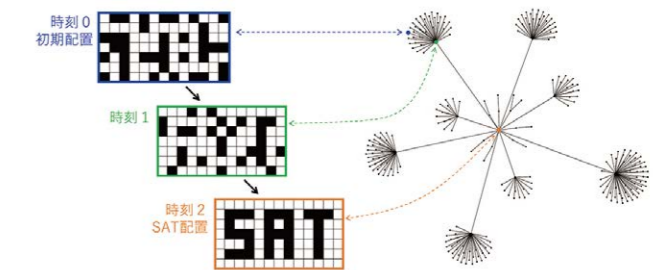
効率の良い列挙アルゴリズムを開発するという視点に立つと、十数年おきに革新的なアイデアがうまく言語化され、列挙の専門家間で共有されています。そのアイデアの一つが「解空間グラフを探索する」というアルゴリズム構成法です。解と解の間に「関係」を定義し、その関係を利用して解空間グラフを構築し、構築したグラフを探索することで解を列挙します。したがって、列挙のしやすさ・しにくさは「適切な関係を定義できるか」と言い換えることができるかもしれません。組合せ遷移と列挙は解空間グラフを探索するという共通点を持ちますが、他方、「関係」が問題にあらかじめ組み込まれているか否かに相違点があります。異なるアプローチの両者の知見を組み合わせることで、分野を跨る新しい知見を生み出すべく研究に取り組んでいます。



## 組合せ遷移と有界モデル検査

## 戸田 貴久

(電気通信大学, B01班)



ライフゲームは、1970年にJ.H. Conwayが考案した数理モデルであり、生命の誕生、進化、淘汰の過程を簡易的に模倣します。左図の黒マスが生命体を表し、その配置が時間と共に変化する様子をシミュレートします。配置変化のルールは3種類のみシンプルな数理モデルです。それにもかかわらず、ライフゲームはチューリング完全であり、現代の計算機の原理といわれるチューリングマシンと同等の計算能力を持つことが証明されています。

さて左図では、黒マスは時間変化の過程で「SAT」という文字を形成しました。では反対に、このSAT配置に辿り着くような黒マスの初期配置はどれだけあるのでしょうか?右図では、一つの小さな丸が配置を表し、図の中心にある丸がSAT配置です。この図では、ちょうど2回の時間変化でSAT配置に辿り着くものを示していますが、初期配置の数が爆発的に増えていく様子が見て取れます。この解析には、私が専門とする有界モデル検査の技術を活用しました。今回はSAT配置を例にしましたが、これがシステムエラーの状態だとすれば、エラーを起こす初期状態を列挙することに相当します。そして、組合せ遷移の目標解だとすれば、そこに辿り着く初期解を列挙することに相当します。こうした探索技術を活用しながら、私は組合せ遷移ソルバーの開発に取り組んでいます。

## JCCA-2022 ミニシンポジウム

2022年8月17日(水)に、JCCA-2022・離散数学とその応用研究集会2022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。



- 前澤 俊一 (東京理科大学)「木における誘導マッチング遷移」
  - 儀間 達也 (名古屋大学)「Algorithmic Meta-Theorems for Combinatorial Reconfiguration Revisited」
  - 仲田 研登 (岡山大学)「組合せゲーム理論 ニム・佐藤のゲームとinsetゲーム」
  - 上原 隆平 (JAIST)「Computational Complexity of Ball/Water Sort Puzzles」
- \*講演者のみ掲載

## 日本OR学会でのオーガナイズドセッション

2022年9月14日(水)に、日本オペレーションズ・リサーチ学会2022年秋季研究発表会にて、組合せ遷移のオーガナイズドセッションを企画・開催しました。



- 伊藤 健洋 (東北大学)「組合せ遷移への招待」
  - 川原 純 (京都大学)「ZDDを用いた組合せ遷移ソルバー」
  - 江藤 宏 (東北大学)「正則誘導部分グラフ遷移問題の計算複雑さ」
  - 岩政 勇仁 (京都大学)「球面の三角形分割の彩色遷移」
  - 神山 直之 (九州大学)「無羨望マッチングの遷移」
  - 鈴木 顕 (東北大学)「配電損失最小化問題に対する組合せ遷移的アプローチ」
- \*講演者のみ掲載 (所属は講演当時)

## セミナー・勉強会

本研究領域では、これまでにセミナー・勉強会を35回開催しました。お互いの背景分野を知り、最先端の研究を勉強する良い場となりました。これまでご講演・ご参加頂いた皆様、ありがとうございました。

回	開催日	講演者	講演題目
29	2022.10.17	垣村 尚徳 (慶應義塾大学、C01班)	制約付きのオンライン二部マッチング
30	2022.10.31	木村 慧 (九州大学、招待講演)	遷移可能性制約をもつ彩色遷移問題
31	2022.11.14	荻原 光徳 (マイアミ大学、招待講演)	離散時間論理型有限力学系の不確定性モデル
32	2022.11.28	飯岡 大輔 (中部大学、B01班)	再生可能エネルギーを主体とする電力システムの構築
33	2022.12. 5	首藤 裕一 (法政大学、招待講演)	分散計算理論の世界
34	2023. 1.16	堀山 貴史 (北海道大学、招待講演)	あみだくじと菱形タイリングの列挙
35	2023. 2. 6	柳浦 睦憲 (名古屋大学、招待講演)	組合せ最適化問題に対する実践的解法

## その他、この半年間の動き

- 2022年 11月7日(月) 伊藤健洋 (東北大学、領域代表) が、学変 (A) 「社会変革の源泉となる革新的アルゴリズム基盤の創出と体系化」(領域代表 湊真一 教授) の2022年度第2回領域集会にて、招待講演を行いました。
- 2023年 3月2日(木) 野崎雄太 (広島大学、C01班) が、電子情報通信学会コンピュータシミュレーション研究会にて、招待講演を行いました。

## EVENTS

### プログラミング 国際競技会

2023年4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 2nd Combinatorial Reconfiguration Challenge (CoRe Challenge 2023) を開催中です。2023年4月末まで、投稿を受け付けています。

### 国際Workshop

2023年7月10日(月)

国際会議 The 50th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming (ICALP 2023) 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。今回で3年連続の開催です。

### 国際Workshop

2023年8月

国際会議 The 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2023) にて、組合せ遷移に関するミニシンポジウムを企画・開催します。

## 受賞

**XCSP3 Competition 2022 Main CSP 部門 第2位** (2022年8月)  
宋剛秀 (神戸大学、B01班)、Daniel Le Berre (CRIL-CNRS)、鍋島英知 (山梨大学)、番原陸則 (名古屋大学)、田村直之 (神戸大学)

**日本オペレーションズ・リサーチ学会 第12回研究奨励賞** (2022年9月)  
岩政勇仁 (京都大学、C01班)

**情報処理学会 2022年度山下記念研究賞** (2023年3月)  
和佐州洋 (法政大学、A01班)  
「Constant Amortized Time Enumeration of Eulerian trails」

### 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。

