

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：11301

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05792

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Fusion of Computer Science, Engineering and Mathematics Approaches for Expanding Combinatorial Reconfiguration

研究代表者

伊藤 健洋 (ITO, Takehiro)

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40431548

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 23,100,000円

研究成果の概要(和文)：計算機科学・工学・数学を背景分野とする研究者らが円滑に共同研究を進め、その研究成果を外部に広くアピールするために、研究領域のマネジメントを行った。班間連携の促進のため、領域会議(6回)、セミナー・勉強会(35回)を開催し、ニュースレター(5号)を発行した。これらは一般公開した。また、様々な分野でイベントを多数開催した。国際会議ICALPでの併設ワークショップ(3回)、オンラインOne-Day国際ワークショップ(4回)、組合せ遷移の国際プログラミング競技会(2回)、組合せ遷移の学生シンポジウム(2回)、出前イベント(4回)と多岐にわたる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究領域全体の研究を推進し、多数の班間連携を生み出すことができた。広報活動を通じて、本研究領域の活動や研究成果を発信するだけでなく、組合せ遷移の概念を今後さらに広く展開していくきっかけを作ることができた。特に、産学連携研究の成果をプレスリリースし、社会的にも研究成果を発信することができた。また、領域Webサイトは、本研究領域で制作した研究用コンテンツを取りまとめる場としても活用しており、総括として取りまとめた最終報告書も掲載している。

研究成果の概要(英文)：To facilitate smooth collaboration among researchers with backgrounds in computer science, engineering, and mathematics, and to widely publicize their research outcomes, we effectively managed this research project. To promote inter-group collaboration, we organized six project meetings, 35 seminars, and published five issues of newsletters. All of these activities were made publicly available. Additionally, we hosted numerous events across various fields. These included three co-located workshops at the international conference ICALP, four online one-day international workshops, two international programming competitions on combinatorial reconfiguration, two student symposia on combinatorial reconfiguration, and four outreach events.

研究分野：計算機科学

キーワード：組合せ遷移 アルゴリズム 社会システム工学 ソルバー 配電制御 数学 離散数学 計算複雑性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

組合せ遷移とは、「状態空間上での遷り変り」を数理モデル化・解析する新しいアルゴリズム理論である。その概念は、理論から応用まで多種多様な分野に現れるが、研究開始当初、その技術利用のハードルは高い状況にあった。そこで本研究領域では、研究でも実務でも障壁なく、組合せ遷移のアルゴリズム技術を活用するための共通基盤を構築することを目標とした。その実現のために、計算機科学・工学・数学の三分野を背景とする研究者らが集まり協働することで、組合せ遷移のアルゴリズム基盤、実装技術基盤、数学基盤の構築を目指すという計画を立てた。研究開始当初、組合せ遷移を軸として、実際に分野をまたがる融合研究の成功事例も観測されていたが、それらは個別の共同研究として進められたものであった。本研究領域において、広範な分野から集まった研究者らが円滑に共同研究を行い、その成果を外部に広くアピールしていくためには、研究領域全体を戦略的にマネジメントすることが必要な状況であった。

## 2. 研究の目的

本研究は、研究領域「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」の総括班である。上述の通り、この研究領域は、計算機科学を背景分野とする A01 班、工学を背景分野とする B01 班、数学を背景分野とする C01 班の 3 つの計画研究班から構成されている。総括班の目的として、「班間連携の促進」と「外部への広報活動」の大きく 2 つを掲げた。とりわけ、コロナ禍に依る行動制限の影響を踏まえ、オンラインと対面の両方から「場の提供」を試みることにした。この活動を通して、研究領域全体としての進捗状況や今後の方針を、広く研究参画者らと共有することを目指した。加えて、本研究領域の活動や研究成果を広く一般にも発表する広報活動を通して、組合せ遷移の概念を今後さらに広く展開していくきっかけを作ることを目指した。

## 3. 研究の方法

班間連携の促進のため、領域会議、セミナー・勉強会を開催し、ニュースレターを発行した。本研究領域メンバーの相互理解と連携促進を狙うだけでなく、これらを一般公開することで、周辺領域で活躍する研究者ら・実務家らにも本研究領域の活動や「組合せ遷移」を広く宣伝する場とした。また、大容量メモリ搭載計算サーバを総括班が設置・運用し、ソフトウェア開発を行う B01 班はもちろん、仮説や予想の検証を行う A01 班や C01 班も含めて、本研究領域全体で活用できるようにした。

外部への広報活動のため、本研究領域では様々な分野において、国際・国内イベントを多数開催した。国際会議 ICALP での併設ワークショップ、オンライン One-Day 国際ワークショップ、世界初となる組合せ遷移の国際プログラミング競技会、組合せ遷移の学生シンポジウム、出前イベントと多岐にわたる。

また、3 名の先生方にご協力頂き、研究領域の外側から評価・助言等を受ける体制を整えた。

浅野 哲夫 先生 (金沢大学 監事)  
徳山 豪 先生 (関西学院大学 教授)  
渡辺 治 先生 (東京工業大学 理事・副学長)

## 4. 研究成果

### (1) 領域会議、セミナー・勉強会の開催、ニュースレター発行

領域会議は年 2 回のペースで開催した。具体的には、2020 年 10 月キックオフ (オンライン)、2021 年 3 月 (オンライン)、2021 年 9 月 (オンライン)、2022 年 3 月 (オンライン)、2022 年 9 月 (札幌 + 一部オンライン)、2023 年 2 月最終報告会 (仙台 + 一部オンライン) の開催である。本研究領域の活動や研究進捗状況を共有するだけでなく、招待講演や学生シンポジウムを併催し、一般に広く宣伝する場としても機能した。

ニュースレターは 2021 年 3 月に創刊号を発行し、その後は半年に一度、領域会議の開催前後に発行となるように企画し、全 5 号を発行した。各計画研究班から若手を中心に、研究者紹介を企画し、コロナ禍で研究者交流が難しい中でも、互いを理解する一助とした。

セミナー・勉強会の開催回数は 35 回に及び、講演は全てオンライン開催で一般公開した。本研究領域の研究参画者だけでなく、外部からの招待講演も 11 回企画した。1 回約 2 時間の開催とし、研究の背景から最先端まで、じっくり勉強する場とした。

## (2) 国際イベントの開催

International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP) は、50年以上の歴史を持つ理論計算機科学の国際会議であり、世界的にも非常に高い知名度を誇る。本研究領域では、国際会議 ICALP の併設ワークショップの企画を申請し、組合せ遷移に関する国際ワークショップを3年連続で開催した。招待講演だけでなく、一般講演も広く募集した。

開催日	開催形態	一般講演	参加登録数(海外からの割合)
2021年7月12日	オンライン	14件	18カ国 87名 (約66%)
2022年7月4日	ハイブリッド(フランス)	11件	23カ国 114名 (約65%)
2023年7月10日	現地のみ(ドイツ)	7件	13カ国 34名 (約82%)

アルゴリズム理論としての「組合せ遷移」が形作られる前から、組合せ遷移の概念は様々な分野に現れ、研究されていた。本研究領域では、それら関連分野の研究を「組合せ遷移」のレンズを通して捉え直すべく、テーマを絞ったオンライン One-Day 国際ワークショップを4回開催した。プログラムは全て、当該テーマで活躍する研究者に依る招待講演で構成した。4回合わせて、13カ国23名の研究者から招待講演を頂いた。毎回100名を超える参加登録があり、オンラインを活用することで、海外からの参加も非常に多数あった。

開催日	テーマ	参加登録数(海外からの割合)
2021年8月30日	Combinatorial Reconfiguration in Discrete and Computational Geometry	21カ国 107名 (約59%)
2021年11月29日	Graph Theory for Combinatorial Reconfiguration	30カ国 199名 (約70%)
2022年9月2日	Polytope Diameter and Related Topics	28カ国 139名 (約72%)
2022年12月12日	Combinatorial Reconfiguration and Fixed-Parameter Tractability	29カ国 208名 (約80%)

世界初となる組合せ遷移の国際プログラミング競技会 CoRe Challenge を、2022年と2023年の2年連続で企画・開催した。2022年には10チーム、2023年には7チームの参加があった。本競技会で用いられたベンチマークデータ、投稿されたプログラム、競技会の結果は、投稿者了承の下で全てWeb公開している。今後はこの競技会を参照すれば、誰でも自身の開発ソルバーを世界水準で評価できることになり、組合せ遷移ソルバーの各種手法を性能比較する土台を整えたといえる。実際、本競技会をきっかけに、研究領域外からも論文が複数発表されている。

## (3) 組合せ遷移の学生シンポジウム

組合せ遷移や、その側面を持つ研究に取り組む学生が分野を越えて集まり、研究発表や意見交換する場として、2年連続で企画した。2021年度(2022年3月開催)では14件の発表があり、2022年度(2023年2月開催)では9件の発表があった。基礎理論から産学連携研究まで、本研究領域に直接関わる発表だけでなく、数理論理学やオペレーションズ・リサーチ等の分野から、これまで我々が組合せ遷移の視点で捉えたことがなかった研究も発表され、議論も活発に行われた。学生シンポジウムの開催に向け、本研究領域では、組合せ遷移の基礎講座をYouTube公開したり、組合せ遷移ソルバーを先行公開したりした。

## (4) 出前イベント

本研究領域では、国内外の関連諸学会にて、出前スタイルのイベントも企画した。もちろん研究成果は国際会議等でも発表しているが、複数の分野に波及する我々の研究成果を、一つのイベントでダイジェスト的に紹介し、融合研究としての組合せ遷移をアピールすることを狙った。

開催日	イベント
2021年8月19日	JCCA-2021・離散数学とその応用研究集会 ミニシンポジウム開催
2022年8月17日	JCCA-2022・離散数学とその応用研究集会 ミニシンポジウム開催
2022年9月14日	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 オーガナイズドセッション開催
2023年8月22日	国際会議 The 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2023) ミニシンポジウム開催

(5) その他

- 計画研究 A01 班, B01 班が行った産学連携研究について, その研究成果をプレスリリースした. 新聞 1 紙に取り上げられた.
- 大容量メモリ搭載計算サーバは, 計画通り総括班が設置し, 本研究領域全体で活用できるように運用した.
- 領域 Web サイトを開設, 運用した. 活動や研究成果のアナウンスだけでなく, 本研究領域で制作した研究用コンテンツ (組合せ遷移の基礎講座, ベンチマークデータ, 組合せ遷移ソルバー, 組合せ遷移ソルバー用 GUI) を取りまとめる場としても活用している.
- 総括として, 本研究領域の活動と研究成果を取りまとめた最終報告書を製作した. 冊子体を配布し, 領域 Web サイトでも PDF 版を公開した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

学術変革領域研究(B)「組合せ遷移」Webサイト <a href="https://core.dais.is.tohoku.ac.jp/">https://core.dais.is.tohoku.ac.jp/</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川原 純 (KAWAHARA Jun)  (20572473)	京都大学・情報学研究科・准教授  (14301)	
研究分担者	岡本 吉央 (OKAMOTO Yoshio)  (00402660)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授  (12612)	
研究分担者	鈴木 顕 (SUZUKI Akira)  (10723562)	東北大学・情報科学研究科・准教授  (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計4件

国際研究集会 Minisymposium on Combinatorial Reconfiguration in ICIAM 2023	開催年 2023年～2023年
国際研究集会 Workshop on Combinatorial Reconfiguration, affiliated with ICALP 2023	開催年 2023年～2023年

国際研究集会 Workshop on Combinatorial Reconfiguration, affiliated with ICALP 2022	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 Workshop on Combinatorial Reconfiguration, affiliated with ICALP 2021	開催年 2021年～2021年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------