

AFSA News Letter No.7

Creation and Organization of Innovative Algorithmic Foundations for Social Advancement

2020～2024年度文部科学省
科学研究費補助金 学術変革領域研究 (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

AFSA ニュースレター B04 班紹介号

安全・安心な社会のために信頼できるアルゴリズムの開発が求められています。それに応える「数学的に品質が保証されたアルゴリズム」の実現を目指して、理論構築と技法の開発を行うB04班をご紹介します。

interview

牧野和久 B04 班代表者に、班の目的やプロジェクトに期待することを伺いました。

「数学的に保証された アルゴリズムを開発し、 安全・安心に基づいた社会実装を目指す」

——B04班が目指していることを教えてください。

牧野 現在は、製造、流通、金融などあらゆる分野で、それぞれに特化したアルゴリズムが開発され、活用されています。しかし、実社会の問題はNP困難であることがほとんどです。NP困難とは、問題のサイズが大きくなると、計算にかかる時間が爆発的に増大し、コンピュータで解くことが事実上不可能になることをいいます。

NP困難の代表的なものに「巡回セールスマン問題」があります。これは、セールスマンがいくつかの都市すべてを1回ずつ訪問して出発地点に戻ってくるときに、移動距離が最小になる経路を求める問題です。一見、簡単に解けそうに思えますが、単純な方法を用いると都市の数の増加に伴って経路の組み合わせが指数関数的に増え、都市の数が30くらいになるとスー

パーコンピュータを使っても計算に億単位の年数がかかってしまいます。

実は、上述の「巡回セールスマン問題」は、比較的大きなサイズの問題まで効率的に解くアルゴリズムが提案されていますが、大規模な場合、あるいは、複数人で分担して訪問する、顧客の訪問時間に制限があるなど、実用的な制約が加わると途端に難しい問題になってしまいます。では、既存のアルゴリズムは、どのようにしてNP困難問題を解いているのかというと、多くの場合、厳密に正しい解ではなく、正解に近い解（近似解）を求めており、出力された解の精度が不確かで、数学的に何も保証されていません。

AIの普及などで高度情報化が加速するなか、安全・安心な社会であるためには、信頼できるアルゴリズムの開発が必須です。B04班では、数学的に品質が保証されたアルゴリズムの実現



B04 班代表者
牧野 和久 (まきの かずひさ)
京都大学 数理解析研究所 教授

を目指し、そのための理論構築と技法の開発を行っています。

——研究はどのように進めているのでしょうか。

牧野 NP困難問題は、今のところ、効率的に正しい解を導く方法は存在しないと考えられています。これは「 $P \neq NP$ 予想」に対応し、2000年にクレイ数学研究所が発表したミレニアム懸賞問題の1つになっており、証明できたら100万ドルがもらえます。アルゴリズム分野では、このように未解決のまま残されている問題が数多く存在し

「未解決として残されている 本質的で重要な問題に取り組み、 新たな基礎理論を切り拓く」

アルゴリズムにおける基礎理論をさらに追究、展開 → Art 層

- P≠NP 予想に代表されるように、アルゴリズム分野においてはまだまだ未解決問題として残された部分が数多く存在する。
- 種々の問題の数理的構造を解析し、データ構造の効率化とそれを利用した高速アルゴリズムの開発を行う。

アルゴリズム + データ構造

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \{ \quad \quad \quad a_2 \quad \quad \quad \} \Rightarrow T \\
 C_2 &= \{ \neg a_1, \quad a_2, \quad \neg a_3 \} \Rightarrow T \\
 C_3 &= \{ \neg a_1, \quad a_2, \quad a_3 \} \Rightarrow T \\
 C_4 &= \{ \neg a_1, \quad \neg a_2, \quad a_3 \} \Rightarrow F \\
 C_5 &= \{ \quad a_1, \quad a_2 \quad \quad \quad \} \Rightarrow T \\
 C_6 &= \{ \quad a_1, \quad \quad \quad a_3 \} \Rightarrow T
 \end{aligned}$$

古典的な問題

入力 → アルゴリズム → 出力

オンライン問題

入力1 → 出力1

状態変化 ←

入力2 → 出力2

状態変化 ←

...

Text

```

ACAGGCAGCTCTAATCTCTTGCTATGAG
TGTCCTTAAGGTGTATAACGATGACATC
ACAGGCAGCTCTAATCTCTTGCTATGAG
TGATGTAAGATTTATAAGTACGCAAATT
                    
```

Pattern

TATAA



代表：牧野 和久

論理的
アルゴリズム



玉置 卓

最適化
アルゴリズム



小野 廣隆

計算論的
アルゴリズム



河村 彰星

学習論的
アルゴリズム



瀧本 英二

圧縮
アルゴリズム



定兼 邦彦

計算生物学的
アルゴリズム



渋谷 哲朗

図1 B04 班の研究の進め方

B04 班では、「アルゴリズム」と「データ構造」の2つのグループに分かれ、それぞれの視点から互いの分野を深く考察し、分野の垣根を越えた研究を行う。これにより、「P ≠ NP 予想」に代表されるようなアルゴリズム分野において未解決とされている種々の問題の数理的構造を解析し、データ構造の効率化とそれを利用した高速アルゴリズムを開発することを目指している。

ます。

一方、NP 困難に属する問題の中には、本質的に共通した性質をもつ問題のグループ（「NP 完全」といいます）があり、ここに属する問題のうち1つでも速く解くことができれば、そのアルゴリズムを使って他の NP 完全な問題も速く解くことができます。そのため、こうした問題を1つでも効率的に解けるアルゴリズムを開発することは、社会的に大きな意義をもつのです。

B04 班では、こうした汎用的かつ基礎的な重要問題を解くことにトライしています。研究体制としては、アルゴリズムを作る「アルゴリズムのグルー

プ」と、データの管理の仕方を考える「データ構造のグループ」に分かれて研究を進めています。アルゴリズムとデータ構造の関係は対になっており、データの管理の仕方によってアルゴリズムの作り方は変わり、逆にアルゴリズムの作り方によってデータの管理の仕方も変わります。

B04 班の定兼邦彦氏と渋谷哲朗氏は「データ構造」の分野で世界的な成果をあげており、この2人はデータ構造の視点でアルゴリズムを開発し、その他のメンバーはアルゴリズムの視点でデータ構造をどう使うかを考えるという方法をとることで、双方のアイデア

を生かした基礎理論の構築を行っています。

——研究の進捗状況や連携についてはいかがでしょうか。

牧野 研究は順調に進んでいます。ただ、コロナ禍の影響もあり、十分な連携をとることが難しい状況がありました。班のメンバーはそれぞれがリーダーになれるような優秀な研究者なので、ある程度、個々の裁量に任せて研究を進めていますが、本プロジェクトも後半に入っているので、お互いが顔を合わせてディスカッションする機会を増やしていこうと考えています。

さらに、他の班との連携をもっと強化したいので、みんなで集まる機会を設けてお互いに刺激し合い、良い成果が出せたらと思っています。

(取材・執筆／秦千里)

B04 班 紹介

B04 班のメンバーを紹介します。全メンバーは AFSA ウェブサイト(メンバー)にてご確認ください。

■ 専門分野 ● 研究のメソッドロジーや哲学 ★ AFSA での抱負 ◆ 今後の抱負 ▲ 公募研究タイトル

研究代表者



牧野 和久
Kazuhisa Makino
京都大学
■ 離散数学、最適化、アルゴリズム論



河村 彰星
Akitoshi Kawamura
京都大学/B04 班補佐
■ 計算可能性、計算量、算法解析、計算幾何、ランダム性

研究分担者



小野 廣隆
Hiroataka Ono
名古屋大学/B04 班補佐
■ 組合せ最適化、近似アルゴリズム、パラメータ化アルゴリズム

研究分担者



定兼 邦彦
Kunihiko Sadakane
東京大学
■ 文字列、グラフ等のデータを圧縮したまま処理できるアルゴリズムの開発

研究分担者



渋谷 哲朗
Tetsuo Shibuya
東京大学
■ バイオインフォマティクス、アルゴリズム

研究分担者



瀧本 英二
Eiji Takimoto
九州大学
■ 機械学習理論、オンライン意思決定理論、アルゴリズム

研究分担者



玉置 卓
Suguru Tamaki
兵庫県立大学
■ 制約充足問題に関するアルゴリズム設計と計算複雑性解析

研究分担者



ニランカ バナジー
Niranka Banerjee
京都大学
■ Graph Algorithms
● Dealing with changing graphs in the real world.
★ I am hoping to meet new people and try to do some fundamental work in my area.

博士研究員



土中 哲秀
Teshu Hanaka
九州大学
■ アルゴリズム論、アルゴリズム的ゲーム理論、経済構造分析
● 本質的な数理的構造を見極めたモデリング・アルゴリズム設計
★ 多くの交流を通して、自分自身の視野を広げつつ、面白い研究をしていきたい
▲ 第1期：効用関数付きグラフ最適化問題に対するアルゴリズムに関する研究
第2期：効用関数付きグラフ最適化問題に対する計算量解析のさらなる発展

公募研究者(第1期、第2期)



栗田 和宏
Kazuhiro Kurita
名古屋大学
■ 列挙アルゴリズム、離散最適化
● 実用貢献する理論の構築
◆ 「簡単」に解決できる列挙問題を持つ離散構造を明らかにしたい
▲ 部分グラフ列挙問題で用いる多項式遅延列挙アルゴリズム設計技術の拡張に関する研究

公募研究者(第1期)



大久保 潤
Jun Ohkubo
埼玉大学
■ 情報工学、確率過程、情報統計力学
● 確率過程の双対性などの数理を利用して、環境にやさしい(=効率的な)計算方法を考える
◆ 構築した「分割数を利用したフロンティア法」を今後のアルゴリズム改良に活かしたい
▲ 双対過程に基づくサンプリング不要な統計計算手法のアルゴリズム論的解析と効率化

公募研究者(第1期)



脊戸 和寿
Kazuhisa Seto
北海道大学
■ 厳密アルゴリズムと回路計算量
● 解けなくても諦めず挑戦する
◆ AFSAのおかげで始まった共同研究をさらに発展させて、これからの研究につなげていきたい
▲ 強指数時間仮説に基づく計算限界の理解と探究

公募研究者(第1期)



塩浦 昭義
Akiyoshi Shioura
東京工業大学
■ 離散最適化の理論とアルゴリズム
● 離散凸性の観点から最適化問題の構造を理解する
◆ 研究のための時間を十分に確保し、腰を据えて研究に取り組みたい
▲ プロダクトミックスオークション実装のためのアルゴリズムの構築

公募研究者(第1期)

*公募研究第1期は2023年3月終了、第2期は2025年3月まで

column

コロナ禍を乗り越えて

B04 班 公募研究者
土中 哲秀
Teshu Hanaka
九州大学



2023年3月に訪れたパリのドフィヌ大学にて

5月より新型コロナウイルス感染症が5類感染症に移行になり、コロナ以前の生活様式に戻りつつあります。今年3月に3年ぶりにパリ・ドフィヌ大学を訪れました。久しぶりの海外打合せでしたが、ふらっと部屋に立ち寄って始まる会話や研究初期段階の打合せは対面ならではの良さがあり、非常に充実感がありました。一方で、オンライン会議の発達も私の研究活動には欠かせないものとなっています。コロナ禍の間に私は2回異動を経験しましたが、スムーズに研究活動が進められた理由としてはオンライン会議での継続的かつ円滑な研究打

合せがありました。実際に集まるほどではない、しかしメール以上に直接話したいという場合にはオンライン会議がちょうどよく、特に継続性には大きく寄与すると感じています。最近では、現地のみでの研究会や国際会議も増えていますが、個人的には対面での充実度とオンラインでの気軽さの両方を選択できるようなハイブリッド様式が今後も続いてほしいと思っています。AFSAの活動でも、対面での交流活動を積極的に行うとともに、コロナ禍で培った経験を活かし、より円滑に研究活動に取り組んでいこうと思っています。

information

AFSA メンバーの受賞

おめでとう!

B02班 研究分担者の平原 秀一准教授(NII)の論文が Complexity result of the year 2022 に選出されました。この賞は Lance Fortnow 氏と Bill Gasarch 氏により、その年の最も優れた計算量理論の成果に贈られるものです。



●受賞対象となった論文
"NP-Hardness of Learning Programs and Partial MCSP", FOCS2022

B03班 研究分担者の谷 誠一郎氏 (NTT研究所 特別研究員) (他1名) が、公益財団法人通信文化協会「令和4年度 前島密賞」を受賞しました。



●受賞対象となった業績
「量子計算アルゴリズムの先駆的研究と耐量子計算機暗号の安全性評価への貢献」

2023年春の領域集会を開催

2023年5月19～20日に「2023年度第1回領域集会」を開催しました。現地とオンライン合わせて69名が東京・千代田区の国立情報学研究所の集会に参加し、招待講演をはじめ第2期公募研究者や若手研究者たちによるポスターセッション、各班の近況報告が行われました。コロナ禍以来、3年ぶりに懇親会も行われ、対面で話して交流することの意義に改めて気付かされる会となりました。



会場に集まったメンバー



白熱したポスターセッション

第7回 AFSA コロキウムを開催

2023年4月24日、東京・神田ラボにて「第7回 AFSA コロキウム」がハイブリッドで開催され、今回も領域横断的に15名の研究者が集まりました。A01班情報共有会(代表者:宇野毅明教授)や「コスト最小の量子回路の合成に向けて」(話し手: B03班代表者 山下茂教授)と題する講演が行われ、それぞれについて2時間近く議論しました。

第2期公募研究者の紹介

2023年4月から2025年3月まで、第2期公募研究者として下記の10名が AFSA で研究を行います。研究テーマなどはこのニュースレター8号で紹介します。2年間、よろしくお願いいたします。

杉山 佳奈美 助教(京都大学 工学研究科)、川原 純 准教授(京都大学 情報学研究科)、Koepl Dominik 助教(東京医科歯科大学 M&Dデータ科学センター)、三重野 琢也 助教(電気通信大学 大学院情報理工学研究科)、中島 祐人 助教(九州大学 システム情報科学研究所)、伝住 周平 氏(NTTコミュニケーション科学基礎研究所)、スツバキツパイサン ウォラボン 特任准教授(東京大学 大学院情報理工学系研究科)、泉 泰介 准教授(大阪大学 大学院情報科学研究所)、松崎 雄一郎 氏(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、土中 哲秀 准教授(九州大学 システム情報科学研究所)

サマースクール

「組合せ最適化セミナー」を共催

昨年に引き続き、「組合せ最適化セミナー」を京都大学数理解析研究所との共催で2023年8月7～9日に開催します。最新の情報は AFSA ウェブサイト(お知らせ)でご確認ください。

AFSA メンバーの異動について

- B03班 研究分担者の森 立平 先生が名古屋大学 多元数理科学研究所 准教授に着任されました(2023年4月)。
- B01班 公募研究者(第1期)のクップル ドミニク 先生がドイツ・ミュンスター大学 Junior Professor に着任されました(2023年3月)。
- B03班 博士研究員の川口 英明 氏が慶應義塾大学 WPI-Bio2Q 拠点 特任准教授に着任されました(2023年4月)。
- B01班 博士研究員の Duc A. Hoang 氏がベトナム国立大学(VNU) 講師に着任されました(2023年3月)。



AFSA News Letter No.7

(2023年7月発行)

発行者 AFSA プロジェクト事務局
所在地 〒606-8501 京都市左京区吉田本町
京都大学大学院情報学研究所コンピュータアルゴリズム研究室内
編集協力 サイテック・コミュニケーションズ
写真 大島拓也
デザイン 八十島博明、石川幸彦 (GRID)


<https://afsa.jp>

本領域に興味をお持ちの方は AFSA 事務局 (afsa-contact@algo.cce.i.kyoto-u.ac.jp) までお問い合わせください。