

AFSA ニュースレター 研究紹介

今回は、B04 班研究分担者の定兼邦彦さんにグラフの圧縮表現について、B03 班研究分担者のルガル フランソワさんに量子コンピューティングについて、お聞きしました。コラムでは、A01 班の末續鴻輝さんと安福智明さんが、2 人の共著を紹介しします。

interview 01



1600を超えるグラフクラスの 圧縮表現を見つけたい

「理想は、すべてのグラフクラスに共通して使える最適な『圧縮表現』を見つけることです」と話す定兼さん。これまで一貫して、「後から完全な形で復元できるようにグラフを圧縮すること」に挑んできました。現在知られている 1600 種類以上のグラフクラスに“共通する圧縮表現”を見つけることはできるのか。定兼さんは、その理想に向かって一步一步進んでいます。

B04 班研究分担者

定兼 邦彦 (さだかねくにひこ)

東京大学大学院情報理工学系研究科 教授

DNA の文字列の解析で使うドブルイングラフを圧縮したことで、大規模メタゲノム解析が可能になりました。この成果によって、B04 班の定兼さんと渋谷哲朗さんは、2021 年に文部科学大臣表彰を受けました。ほかにもカクタスグラフ、直並列グラフなど、定兼さんの話にはさまざまなグラフの圧縮表現が出てきます。これらがどのように使われるかは、今後のお楽しみなのだそうです。

グラフの圧縮が必要な理由

情報科学の世界でグラフといえば、点とそれらを結ぶ辺から構成される図形のことです (図)。セールスマンが都市をどう巡回するのが効率的か、配電網をどうつなぐのが最適かなどといった問題は、それぞれに適したグラフを用いて解くことができます。このように、グラフはある種の問題の解決に力を発揮しますが、実際にグラフを使う際にはコンピュータに実装しなくてはなりません。今後、グラフが大規模になると、圧縮しなければ実装できなくなるでしょう。

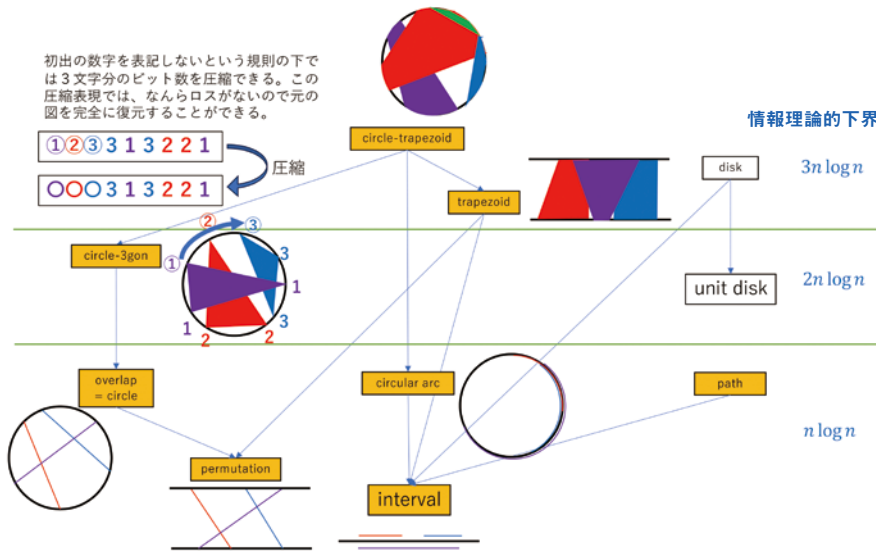
身近な「圧縮」と言えば、音声や画像の圧縮が思い出されるでしょう。音声や画像は、「ある程度復元できればいい」ので、誤差を許容して圧縮率を高めています。しかし、グラフでは完全に復元できなければ問題を解けない場合があります。そこで「完全に復元できるグラフの圧縮表現」を探しているのです。また、圧縮の恩恵を十分に受けるために、圧縮したままでさまざまな操作ができることも、圧縮表現の重要な要件だと考えています。

“統一的な圧縮表現”を発見

図に示したグラフクラスでは、上方

に位置しているグラフが下方のグラフを含んでいます。このような包含関係にある場合、上のグラフの圧縮表現がわかると、下のグラフも同じ方法で表現できます。

ところが、グラフクラスにはそのグラフを表現するのに最低限必要なビット数「情報理論的下界」があります。図では、上のグラフが $3n \log n$ ビット、真ん中が $2n \log n$ ビット、下が $n \log n$ ビットです。つまり、上のグラフの圧縮表現は、下のグラフにとって最適な圧縮表現にはならないのです。そのため、結局、グラフクラスごとに圧縮表現を見つけなくてはなりません。一般



図：グラフクラスとその包含関係。青線でつながっているグラフは、下方のグラフが上方のグラフの特殊ケースになっており、包含関係にある。情報理論的下界とは、完全に復元するために最低限必要なビット数のこと。これらのグラフクラスであれば、 $(k-1)(n \log n + o(n \log n))$ ビットの圧縮表現ができることが明らかになった。 k はグラフ中の多角形の角の数、 n は多角形の数。ランダウの記号である o (リトルオー)を使って表した $o(n \log n)$ は、 $n \log n$ よりも漸近的に小さい値で n が大きい場合には無視できる。

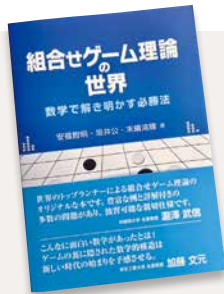
的にこのように考えられてきましたが、図の8つのグラフクラス（黄色）に共通の圧縮表現を発見しました*。

これにより「すべてのグラフクラスに共通する圧縮表現が存在するかもしれない」といった期待が生まれてきました。もちろん、現在知られている1635のグラフクラス (<https://www.graphclasses.org/>) に共通する圧縮表現を見つけることは容易ではありません。それでも、この理想に少しでも近づくために、これからも一つ一つのグラフの圧縮表現に向き合っていきます。

(取材・執筆/池田 亜希子)

* H. Acan, S. Chakraborty, S. Jo, K. Nakashima, K. Sadakane, S. R. Satti : Succinct navigational oracles for families of intersection graphs on a circle, *Theor. Comput. Sci.* 928: 151-166 (2022)

column



組合せゲーム理論の追い風に乗って

私達は縁あって AFSA プロジェクトが始まる少し前から A01 班の宇野毅明先生の研究室に特任研究員として入れていただき、AFSA でも初期のコロナクムの運営や問題カタログの作成などに携わりました。

そして、今年3月に国立情報学研究所 (NII) の宇野研究室を去ることになった我々の「卒業課題」とでもいうべき昨年度のプロジェクトの一つは、『組合せゲーム理論の世界—数学で解き明かす必勝法—』(共立出版刊)の執筆でした(なお、安福の元指導教員の坂井公先生も共著者です)。

組合せゲーム理論は、偶然や運、伏せられた情報のないゲームの数学的な構造を調べる理論です。これまで洋書の翻訳や、一部のトピックを扱った日本語の本はありましたが、日本語の書き下ろしでこの理論を包括的に扱ったものは本書が初めてです。初学者にもわかりやすくするために共著者間で会議を重ねて、練りに練った内容の本になりました。そのかいあってか、発売からわずか2週間で重版されることになりました。本書が、AFSA でゲームやパズルを研究されている方々にも、研究

や教育の助けになればと思っています。

また、我々は『日本組合せゲーム理論研究会』を大学院在学中に立ち上げ、現在まで毎年開催し、コミュニティを広げてきました。そして、この3月にはAFSAにご支援いただき海外の研究者2人を招聘した研究集会を開きました。高校生や学部生も研究発表をするなど、非常に若々しいメンバーによる集会となり、組合せゲーム理論の勢いを感じるものになりました。

2021年の冬、A01班関係の仕事で函館に行ったとき、宇野先生に「このまま活動を続けていければ、いつか組合せゲーム理論に追い風が吹くと思うよ」と言っていたことが昨日のことのように思い出されます。こんなに早く実際に追い風が吹き始めるとは、正直驚いています。

最後に、さまざまな挑戦と成長、そして多くの方々との出会いを与えてくださったAFSAプロジェクトに深く感謝申し上げます。研究の場は変わっても、今後もAFSAの研究や活動に関わっていくつもりです。引き続きどうぞよろしくお願いたします。

A01班博士研究員

末續 鴻輝 Koki Suetsugu
作家/早稲田大学ゲームの科学研究所 招聘研究員

安福 智明 Tomoaki Abuku
岐阜大学 助教/
早稲田大学ゲームの科学研究所 招聘研究員



研究集会で招聘研究者を囲んで。
安福智明(左)、末續鴻輝(右)



複数の量子コンピュータをつなげて 大規模な計算をする「分散型量子計算」

量子コンピュータの進化はこの10年で一気に加速しています。しかし、1台で大規模な量子計算ができる量子コンピュータはまだ実現していません。そこでルガルさんは、複数の量子コンピュータをつなげて大規模な計算を可能にする「分散型量子計算」の基盤創出に取り組んでいます。

B03 班研究分担者
François Le Gall
(ルガル フランソワ)
名古屋大学大学院多元数理科学研究科 教授

2000年から日本で研究をしており、人生の半分以上を日本で過ごしているルガルさん。日本語の読み書きも手なれたものだが、黒板を使う数学の授業では苦労することも……。例えば「状態」の「態」を「熊」と書いてしまい、学生に指摘されたり。また、「ローマ字が読みにくい」という学生の声があって、日本人向けのローマ字の書き方を小学生の息子さんに教わっているそうだ。

量子コンピュータは どんな問題に有用か

量子コンピュータは、量子力学の原理を利用したもので、私たちが使っている従来のコンピュータ（古典コンピュータ）とは全く性質が異なります。量子コンピュータが古典コンピュータより圧倒的に速く解ける、いわゆる「量子優位性」が明らかになっている問題は、実は多くありません。量子コンピュータの開発が加速する中で、その応用先を開拓することは、重要な課題の1つです。私はこれまで量子コンピュータがどんな問題を解くのに有用かを明らかにする研究をしてきました。

物質の化学構造や化学反応を予測できる「量子化学計算」は、量子コンピュータがもっとも力を発揮すると期待される分野です。私たちは古典コンピュータでは高精度な量子化学計算は困難であることを数学的に証明しました。量子優位性が理論的に裏付けられたことで、量子コンピュータを用いた量子化学計算を、創薬や材料工学に応用することへの期待がいつそう高まっています。

大規模量子計算を可能にする 分散型システム

もう1つの研究テーマとして、「分散型量子計算」の研究に取り組んでい

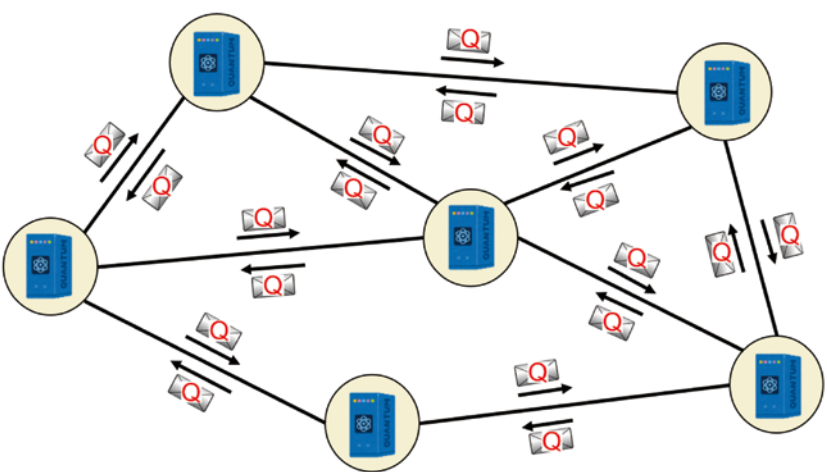
ます。現在、利用可能な量子コンピュータのサイズは100～1000量子ビット程度と小規模です。年々、量子コンピュータのサイズは大きくなっていきますが、1000万～1億量子ビットの大規模量子コンピュータが実現するのは25年後と予測されています。大きな量子コンピュータがなければ、量子アルゴリズムを開発しても、その計算能力を実験で確かめることができません。

そこで、複数の小・中規模の量子コンピュータをつなげて大規模な量子計算を可能にする「分散型量子計算」というモデルが注目されています（図）。私たちは、さまざまな重要な問題に対して、分散型量子計算が古典コンピュータの分散計算と比べて計算能力が高い、つまり“量子優位性があること”を理論的に証明しました。

こうした成果から、最近、分散型量子計算はホットなトピックになっています。古典コンピュータの研究者が量子計算の分野に参入するケースも増えており、非常に嬉しく思っています。

これから異分野の研究者との連携をさらに増やすことで、別の分野の技術を取り入れたり、量子コンピュータの新たな応用先を開拓したりしたいと考えています。

(取材・執筆／秦千里)



図：分散型量子計算の概念
複数の量子コンピュータをつなげてネットワーク化することで、大規模な量子計算を可能にする。

information

2024年春の領域集会を開催

2024年6月16～17日に北海道大学において「2024年度第1回領域集会」が開催され、現地62名、オンラインを合わせて85名の関係者が参加しました。領域代表と各計画班代表によるプロジェクトの近況報告から始まり、沖縄科学技術大学院大学(OIST)の山田誠准教授と名古屋大学の米澤拓郎准教授による2件の招待講演、公募研究者や若手研究者による18件のポスターセッションなど、爽やかな初夏の札幌で活発なディスカッションが行われ、盛会のうちに終了しました。



会場に集まったメンバー



ポスターセッション

招待講演

国際会議 AAAC 2024 を共催

国際会議「The 15th Annual Meeting of Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC 2024)」を大阪公立大学、関西学院大学などとの共催で、2024年5月31日～6月1日に、大阪公立大学の交流拠点「I-site なんば」で開催しました。

アジアの国々を中心として約80名の理論計算機科学分野の研究者が集まり、22件の研究発表と活発な討論が行われました。B02班の平原秀一准教授は招待講演に登壇。B01班の宇野裕之教授は現地実行委員を務めるなど、多くのAFSAメンバーの活躍が見られました。



国際会議 AAAC 2024

トップ国際会議 STOC 2024 に AFSA メンバーの論文が 10 件採択

理論計算機科学の最難関の国際会議の1つである STOC 2024 (6月24～28日 カナダ・バンクーバーで開催)において、本プロジェクトのメンバーが投稿した論文が合計10件採択されました。特にB02班 平原秀一准教授(NII)は1人で主著・共著合わせて5件の論文が採択されるという快挙を達成し大きな話題となっています。ほかにもB02班 河原林健一教授(NII)が3件、B03班 ルガル フランソワ教授(名大)、B04班 河村彰星准教授(京大)がそれぞれ1件採択されており、研究領域全体を通して、理論研究での大きな存在感を示す結果となりました。

新刊『生成AIの論点』を分担執筆

最近、社会的に注目を集めている生成AIに関して、領域代表の湊真一教授が分担執筆者を務めた解説書が5月29日に出版されました。4章「言語生成AIの弱点—なぜChatGPTは計算が苦手なのか」というタイトルで、アルゴリズム研究者の立場から生成AIの技術的限界について解説しています。

AFSAプロジェクトの取り組みについても本文中で触れていますので、ぜひご一読ください。



『生成AIの論点
—学問・ビジネスからカルチャーまで—』
(喜連川優・編著、青弓社、2024)

AFSA メンバーの異動について

- B01班 公募研究者の中島 祐人先生が九州大学の助教から准教授に昇任されました(2024年6月)。
- A01班PDの安福 智明氏が岐阜大学 助教に着任されました(2024年4月)。
- A01班PDのGiulia Punzi氏がイタリア ピサ大学の助教になりました(2024年2月)。
- A01班PDの末續鴻輝氏が早稲田大学の招聘研究員に着任(2024年4月)、サイエンスライターとして活動されています。



AFSA News Letter No.11

(2024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 サイトテック・コミュニケーションズ
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。