



August 2016

vol. **4**

JST ERATO
Kawarabayashi Large Graph Project

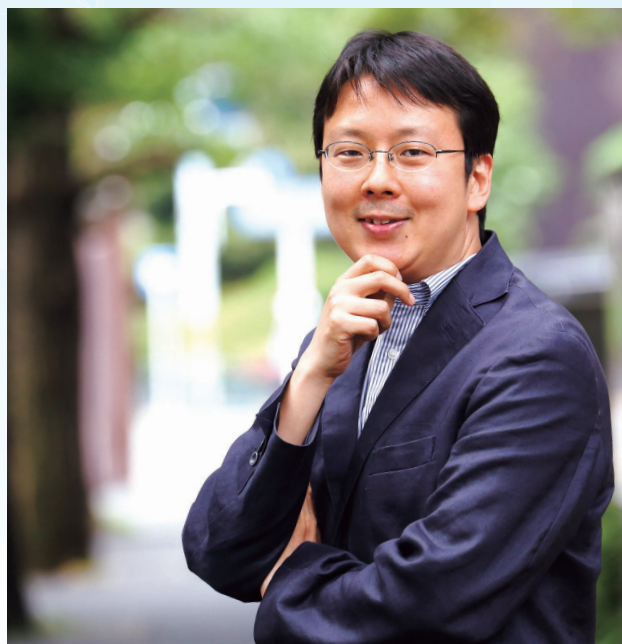
NEWSLETTER

先日某番組で「My Little Lover」の結成20周年記念コンサートを放送していた。あまりテレビをまじめに見るほうではないのだが、このコンサートは不覚にも？1時間ほど観てしまった。My Little Loverが最も売れていたのは、おそらく1995～7年であり、その頃は自分も二十歳前後の学部生だった。どうもその頃が懐かしくて聞き入ってしまったのだと思う。あの頃は、Glaxo、スピッツ、シャ乱Q、Mr.Children、そして小室ファミリーが全盛だった。

20年前からトップ歌手で、過去20年間トップで輝き続けている歌手はそう多くはない。実際思いつくのはB'zくらいである（ちなみに私はB'zをBe thereから聴いている）。研究の世界でも、20年間世界の一線で活躍している研究者は非常にまれである。おおよそ15年前、私がポスドクだったころ、世界の様々な研究機関を訪問する機会があり、多くのポスドクや学生と知り合う機会があった。その頃から優秀な人や、その後大きな研究成果を挙げた学生とも知り合った。その頃知り合った若手研究者の多くは、若い頃から世界的な研究成果をあげていた。そのうち何人が現在でも世界の一線で活躍しているか？残念ながらほんの一握りである。世界的研究者の元で学位を取った学生でも多くが「ドロップアウト」し、現在研究活動をしていない。長年アカデミアにかかわっているとわかるのだが、年齢を重ねていくと、人の価値観は徐々に変わっていく。また研究よりも、教育、マネジメントなどに時間を多く使わないといけな状況も理解できる。

過去10～15年間で、音楽の世界も信じられないくらい変わったと思うが、情報系の研究分野は信じられないスピードで進化した。当該分野にかかわっている研究者にとっても、信じられないスピードでの変化である。10～15年間世界の一線で活躍している研究者は、このスピードでの変化の「最先端」に位置しながら常に新しい問題と向き合い、研究成果を上げてきた（B'zのように）。当然ながら、長年の苦勞、苦闘、努力の上で成り立ってきた研究業績である。

10～15年間一線で活躍している研究者同士の関係も、不思議なことに徐々に変わってくる。私には「ライバル（敵？）」でかつ、ほとんど会話を交わしたことの無い研究者が何人かいたのだが、最近お互いに「リスペクト」を感じられる関係になってきた。互いに長年の苦勞と健闘を称えあふ要素が強いのだと思う。そもそも10年以上もライバル関係？であり続けること自体がまれであり、



国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 教授／ビッグデータ数理国際研究センター センター長。専門分野は離散数学におけるグラフ彩色問題、グラフ構造理論とアルゴリズム、ネットワークフローとパス問題。

主な受賞に、日本数学会2015年度日本数学会春季賞 [2015]、第9回日本学術振興会賞、第9回日本学士院学術奨励賞 [2013]、ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA13) Best Paper Award [2013]、公益財団法人船井情報科学振興財団 船井学術賞船井哲良特別賞（アルゴリズム的グラフマイナー理論の研究とその応用） [2011] がある。

それこそが相手側に対する最高の「リスペクト」を生むのだろう。

研究者の人生は非常に長い。自分の経験から言うと、若いころに研究業績をあげることも重要だが、研究に対する情熱をどのように長年保つか？という方がもっと重要に思う。年齢を重ねていき、そして多くの人生経験をしながら、研究を長年続けていく努力こそが「リスペクト」に値するのだと思う。

ところで、My Little Loverは、元「夫婦」のユニットである。今回の20周年記念コンサートでは元夫婦二人とも非常に楽しんでいるようであり、息もあっていたように思う。傍から見ると元夫婦は「冷え切った関係」ではなく「20年間のお互いの労をねぎらうような関係」のようにも見えた。



2016.3.4 成果報告会（学術総合センター）

研究紹介

グラフの ハミルトン閉路と その応用



グラフ・ネットワークにおける理論と最適化グループ

小関 健太

Kenta Ozeki

国立情報学研究所 特任助教

2009年3月、慶應義塾大学大学院基礎理工学研究科 博士課程修了。2009年4月から2012年10月まで日本学術振興会特別研究員PD。同年11月より現職。グラフのハミルトン閉路を見つけるアルゴリズムとその応用に関心を持つ。

通常、ネットワークは、頂点集合と2頂点間を結ぶ辺の集合の対として定義されるグラフという形でモデル化されます。そのため、このグラフ上のさまざまな良い構造が、直接的にネットワーク設計等へと応用されています。私は、この良い構造の代表例である「ハミルトン閉路」を見つけるアルゴリズムについて、研究しています。

図のように、グラフの全頂点をちょうど一度ずつ通り元の頂点に戻る構造を、そのグラフのハミルトン閉路と呼びます。簡単な構造ですが、(1) 理論的に面白い性質を持つこと、(2) 応用上の都合が良いこと、の二つの理由から、さまざまな研究がされています。例えば、平面上のグラフに対し、ハミルトン閉路を利用して頂点を彩色する方法が4色定理との関連から指摘されており、また、効率的なデータ構造の構築やDNA配列の解析などもハミルトン閉路を用いて行われています。

このように、非常に有用な構造である一方で、与えられたグラフにハミルトン閉路を見つけることは簡単ではないことが分かっています。(実際に、難しい問題とされているNP-完全と呼ばれるクラスに属しています。) そのため、グラフのクラスを制限しその性質を用いることで、効率的にハミルトン閉路を見つけることが必要になります。私は、平面上のグラフや特定の構造を禁止したグラフなど、さまざまな条件下でハミルトン閉路を見つけるアルゴリズムを提案しています。

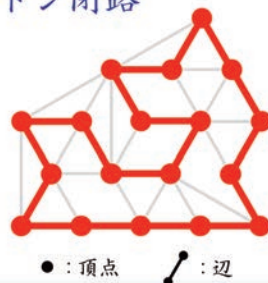
ハミルトン閉路

ハミルトン閉路

↑
全頂点を通る閉路

応用例：

- ✓ 巡回セールスマン問題
- ✓ 良いデータ構造の構築
- ✓ DNA 解析



高速な SATソルバの 研究開発



グラフマイニング&WEB&AIグループ

藺部 知大

Tomohiro Sonobe

国立情報学研究所 特任研究員

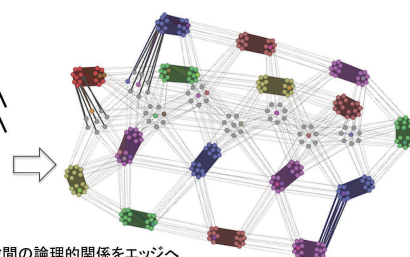
2013年3月、東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。東京大学大学院特任研究員を経て2014年4月より現職。逐次・並列SATソルバの研究開発に従事。

真 (True) か偽 (False) のどちらかが入る n 個の変数が論理和と論理積で連結された論理式 $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ があり、この論理式 F を真にするような変数の割り当てが存在するか調べたいとします。単純にやるなら、 n 個の変数に真か偽の値を適当に割り当て、逐一 F が真になるかどうか調べていけば良いのですが、この場合最悪だと 2^n 回の調査が必要になり、 n が 50 を超えると高性能なコンピュータを用いても手が付けられないくらいの計算時間になります。

この問題は充足可能性問題 (SAT 問題) と呼ばれ、計算機科学の中でも重要な問題として知られていて、この SAT 問題を高速に解くために多くの研究者が SAT ソルバの研究開発を行っています。現実世界の様々な問題が SAT 問題に変換可能で、身近な例だと数独等のパズルの求解、産業界だと CPU や OS の開発に SAT ソルバが使われています。

私の研究は、SAT 問題をグラフとして考え、そのグラフから得られる PageRank やコミュニティ構造等の特徴量を利用した SAT ソルバの研究開発です。数万以上の変数から構成される SAT 問題がなぜ高速に解けるのか? という疑問の答えの一つに、変数同士が密に関係しているという、問題の構造を SAT ソルバが利用していることが考えられています。この構造をグラフ理論の観点からとらえ、SAT ソルバの高速化に取り組んでいます。

$$\begin{aligned} F = & (x_1 \vee x_2) \wedge \\ & (\neg x_1 \vee x_3) \wedge \\ & (x_1 \vee x_4 \vee \neg x_5) \wedge \\ & (x_2 \vee \neg x_3 \vee x_5) \wedge \\ & (x_4 \vee x_6) \wedge \\ & \dots \\ & (\neg x_{n-1} \vee x_n) \end{aligned}$$



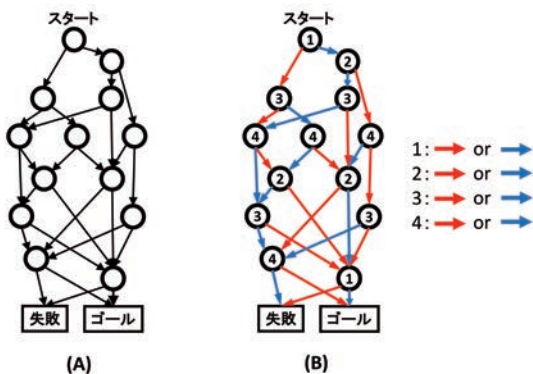
変数をノード、変数間の論理的関係をエッジへ

ネットワークでの経路探索の問題を考えます。図Aにおいてスタートからゴールまで到達する経路はあるでしょうか。(すぐにあると言えますね。)また、そのような経路は何通りあるでしょうか。これらの問題は大きなネットワークに対しても計算機を使えば早く解くことができますでしょう。

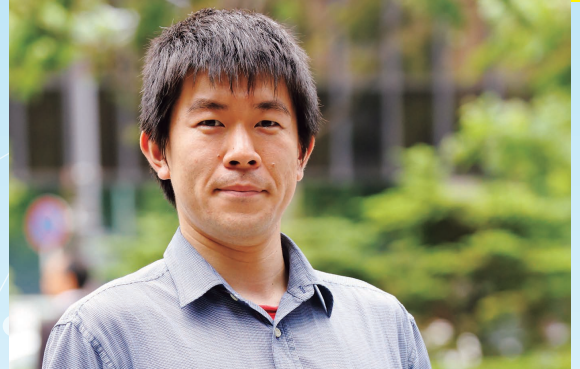
この問題に条件を追加します。図Bのネットワークは、分岐点に番号がついており、赤と青の道がちょうど一本ずつ出ています。さて、同じ番号の分岐点からは同じ色の道を使わなければならないとしたら、スタートからゴールまでの経路はあるでしょうか。すぐに思いつく方法は、すべての色の選び方(図Bでは16通り)を試すという方法です。この方法では、番号の種類が1増えると選び方は2倍になり、大きなネットワークでは計算機で解いてもなかなか止まりません。

この問題は、「分岐プログラム」という計算モデルに対する「充足可能性問題」と呼ばれています。私はこの問題に対して、単純な方法(すべての選び方を試す)より

高速に解く方法を研究しています。理論計算機科学で重要な問題である「充足可能性問題」を、ネットワークの性質を利用して高速に解くことができるかが、最も興味のあるところ です。



ネットワーク探索と 充足可能性問題



複雑ネットワーク・地図グラフグループ

照山 順一

Junichi Teruyama

国立情報学研究所 特任研究員

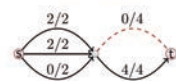
2013年京都大学大学院情報科学研究科博士課程修了。同年4月より現職。充足可能性問題や大規模ネットワークに対するアルゴリズムの開発に興味を持つ。

多種多様なネットワーク構造は、産業界や学術研究だけでなく、一般的な日常生活の中でもごく自然な形で現れます。例えば、道路網、上下水道、あるいは送電網など、それぞれの分野において異なるネットワーク構造が利用されていますが、これらは節点と節点の間に「もの(フロー)」を送るという、共通の目的をもっています。このうち最も一般的なのは、ネットワークを流れるフローの量を最適化するという問題です。近年、そのようなフローの耐性と持続性に関する研究に、理論および実践の両面から関心が寄せられています。私が研究しているネットワーク阻止問題およびそれに関連する問題は、攻撃や障害が発生する状況下で効率的なフローを求めるという問題であり、直接応用に役立てることができます。しかし、残念ながらこの種の問題はすべて、NP困難という難しい問題であることが知られています。

私の研究目的は、様々な種類のネットワーク構造に対して最適解ないし近似解を求めるアルゴリズムを設計することです。これらのアルゴリズムの特徴は、ネットワーク構造への攻撃を前提として、新たなネットワークの構成の費用および既存のネットワーク維持の費用の最適化を、フローの効率性を保ちながら攻撃の規模に応じつつ可能にするという点です。これらのアルゴリズムによって得られる耐性をもったフローは、フローに関する古典的な研究成果と同様に広範な応用例をもちます。2次元や3次元上の



ネットワークが攻撃されたとき、如何にしてフローをたくさん送ればよいでしょうか?この問題は、攻撃者と防御者の間のゲームとして定式化され、ネットワーク阻止問題と呼ばれます。



これはNP困難という、難しい問題のクラスに属する問題です。

攻撃に対する耐性をもつネットワーク 構造の研究



ネットワーク・アルゴリズムグループ

Jean-François Baffier

ジャン フランソワ バフィエ

国立情報学研究所 特任研究員

2015年3月、東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。同年4月より現職。グラフアルゴリズムを設計すること、特に、攻撃に対する耐性をもつネットワーク構造の研究に関心を持つ。

リサーチアシスタントたちは今… 1

2012年10月のプロジェクト発足以来、現在まで述べ64人（現役16名、OB・OG 48名）もの学生の皆様にResearch AssistantまたはProject Assistantとして参加していただいています。OB・OGの中から各グループを代表してお1人ずつコメントをいただきました。



伊藤 伸志

現在：NEC データサイエンス研究所 研究員
旧：グラフ・ネットワークにおける理論と最適化グループRA
(RA期間：2013年5月～2015年2月)

私は現在、機械学習・予測に基づく数理最適化の研究をしています。私の研究では、実社会で収集されるビッグデータを活用して分析・予測を行い、それをもとに最適な判断や計画を導き出す汎用的な人工知能の技術を開発しています。具体的な応用例のひとつとして、小売店舗での商品仕入れ・値引き・広告などの戦略の決定があります。店舗で日々収集される商品購買記録から将来の商品需要を予想し、それをもとに今後の戦略を決定することは普通は人手で行われますが、我々の技術ではこの一連のプロセスをコンピュータが自動的に実行し、かつ人間には発見できなかった効果（利益）の大きな戦略の導出を可能にします。ここで、より良い戦略を探索するとき素朴な計算方法では数年単位の時間がかかりますが、数理最適化の技術を活用することでそれを数秒にまで削減できることを発見しました。この発見には、河原林巨大グラフプロジェクトでの他の研究者との交流・議論を通じて、学生時代に得た経験や数理の基礎力が大いに活かされています。

今後もプロジェクトでの経験を活かし、数理を実社会に役立てる研究をしたいと考えています。



小西 卓哉

現在：国立情報学研究所 特任研究員
旧：グラフマイニング&WEB&AIグループRA
(RA期間：2013年7月～2015年2月)

私は博士後期課程から本プロジェクトにRAとして参加しました。研究員の方々にアドバイスをいただきながら、Web検索で使われる検索クエリの研究に取り組みました。当時、奈良先端大に在学していたため、普段はSkype経由のミーティングでしたが、研究が大詰めを迎えた時期には、2ヶ月ほどNIIに滞在できたため、研究の細部についても相談しやすかったと思います。研究を進める中で、大学の研究室とは違う視点からアドバイスをもらうことができ、専門知識以外にも多くのことを学ぶ機会になりました。

現在は本プロジェクトの研究員としてWebデータを中心に機械学習とその応用について研究しています。RAの時と同じ研究分野ということもあり、当時の経験がダイレクトに役立っています。現在、機械学習技術は日進月歩で発展していて、同時に新たな課題や期待される応用分野も増加しています。今後も、これまでの経験を活かしつつ、こうした課題の解決に挑戦していきたいと考えています。



河田 祐樹

現在：(株)リクルートホールディングス Indeed エンジニア
旧：複雑ネットワーク・地図グラフグループRA
(RA期間：2013年4月～2015年2月)

私は現在 Indeed という60カ国 28言語に対応する求人検索サービスの会社で、ソフトウェアエンジニアとして働いています。広告出稿の自動化を行うチームに所属し、様々なデータから広告の価格の調整を行うアルゴリズムや、新たな広告を自動生成するシステムの開発などを行っています。Indeed では多くのテストやログを分析し、開発のサイクルを素早く繰り返すことでよりよいサービスを作ることを目指しています。これは複雑ネットワーク・地図グラフグループで取り組んできた、実験の結果から理論的解析を行い、その解析からよりよいアルゴリズムを開発するというサイクルと非常に近いと感じています。

またアルゴリズムという面では、今年からACM-ICPCという国際大学対抗プログラミングコンテストの日本リージョンの審判団に加わりました。当プロジェクトの関係者も多く参加しており、彼らと共に大会の運営を手伝い、アルゴリズムに興味を持つ、さらにはその研究に携わる学生を増やすことができると考えています。



畑中 達彦

現在：東北大学 大学院情報科学研究科
博士課程1年（日本学術振興会特別研究員）
旧：ネットワーク・アルゴリズムグループRA
(RA期間：2014年11月～2016年2月)

RAとしてプロジェクトに参加していた時は、主にグラフアルゴリズムの研究をしていました。退職後は東北大学の博士課程に進学し、日本学術振興会特別研究員DC1として引き続き研究に従事しています。その内容はプロジェクトで取り組んでいたものの発展形ということもあり、当時の研究活動がダイレクトに活かされていると感じます。また、報告会での数々の研究発表を通じて多くの研究者の方々と交流できたことは、研究だけでなく人生においても非常に貴重な経験だったと思います。私が博士課程への進学を決めたのも、そういった方々の活き活きと研究されている姿に憧れたからです。将来は、私が憧れた研究者像に少しでも近づけるように、そして私自身が誰かの目標となれるように、より一層研究に励みたいと思います。



主要な研究成果 2016年3月～2016年7月 国際会議発表論文

論文名	著者	会議名
Poly-logarithmic Frege depth lower bounds via an expander switching lemma	Toniann Pitassi, Benjamin Rossman, Rocco A. Servedio, Li-Yang Tan	STOC2016, Cambridge, MA, USA, Jun 18-21
Doubly Decomposing Nonparametric Tensor Regression	Masaaki Imaizumi, Kohei Hayashi	ICML2016, NYC, USA, Jun 19-24
Adaptive Budget Allocation for Maximizing Influence of Advertisements	Daisuke Hatano, Takuro Fukunaga, Ken-ichi Kawarabayashi	IJCAI2016, NYC, USA, Jul 9-15
Efficient Algorithms for Spanning Tree Centrality	Takanori Hayashi, Takuya Akiba, Yuichi Yoshida	IJCAI2016, NYC, USA, Jul 9-15
Identifying Key Observers to Find Popular Information in Advance	Takuya Konishi, Tomoharu Iwata, Kohei Hayashi, Ken-ichi Kawarabayashi	IJCAI2016, NYC, USA, Jul 9-15
Progressive Comparison for Ranking Estimation	Ryusuke Takahama, Toshihiro Kamishima, Hisashi Kashima	IJCAI2016, NYC, USA, Jul 9-15

主要受賞 2016年3月～2016年7月

受賞年月	受賞者	受賞名	主催団体名
2016年3月	秋葉 拓哉	2015年度日本データベース学会 上林奨励賞	日本データベース学会
2016年3月	畑中 達彦	COMP-ELC 学生シンポジウム 最優秀論文賞	電子情報通信学会
2016年6月	秋葉 拓哉、矢野 洋祐	2015年度人工知能学会 研究会優秀賞	人工知能学会

お知らせ 当プロジェクトより以下の方が転出されました。

氏名	転出時期	転出先
林 浩平 特任助教	2016年3月	産業技術総合研究所 人工知能センター 研究員
堀田 結孝 特任助教	2016年3月	帝京大学文学部心理学科 講師
高口 太郎 特任研究員	2016年3月	情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所 研究員
Benjamin Rossman 特任准教授	2016年6月	トロント大学 Assistant Professor

イベントの様子



2015.12.22～23 情報系 WINTER FESTA～基礎から変える情報分野～(学術総合センター)



2016.3.4 成果報告会 (学術総合センター)



河原林巨大グラフプロジェクト
Kawarabayashi Large Graph Project

発行：大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 ビッグデータ数理国際研究センター
〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2-1-2 TEL：03-4212-2664
Mail：kk-erato-jimu@nii.ac.jp ホームページ：http://bigdata.nii.ac.jp/
facebook：https://www.facebook.com/kk.erato