

## 河原林健一氏のフンボルト賞受賞に寄せて

東北大学名誉教授／関西学院大学フェロー  
徳山 豪

今年度のフンボルト賞の受賞に寄せて、河原林健一氏の業績や人柄の紹介をさせていただく。フンボルト賞は、「ドイツのノーベル賞」とも呼ばれる格式ある学術賞である。応募資格は、「基礎的な発見や新理論の提唱、または広い学術分野への長期にわたる影響力を持つ研究を行い、将来にわたる顕著な研究を継続できると期待される、ドイツ国外の研究者」であり、ドイツの研究機関への研究滞在の招待と、8万ユーロの賞金が授与される。河原林氏の業績に関する、数学者向けの技術解説は、2015年の日本数学会春季賞受賞の際に、日本数学会の機関誌『数学』第67巻3号において紹介している。したがって、本稿では一般向けの少しくだけた紹介を行う事にする。

河原林氏は、グラフ理論を中心とした離散数学と、アルゴリズム理論を中心とした理論計算機科学を専門とし、当該分野での世界的なトップランナーである。

離散数学は、数学のみならず、ほとんど全ての科学分野で利用される基盤分野である。特に戦後、計算機の発達と情報科学の出現に従って、巨大な有限集合の取り扱いが重要になり、それと並行して、「放浪の数学者」エルデシュらによって離散数学の理論体系が整備されて発展した。世界的に注目を浴びている数学分野であり、今年柏原正樹先生が受賞した、数学の最高賞であるアーベル賞においても、2012年の Szemerédi, 2021年の Lovász と Wigderson の受賞理由は、ともに「理論計算機科学と離散数学への貢献」である。

河原林氏の経歴を紹介すると、慶應義塾大学の博士課程の1年で数学の博士学位を取得後、グラフ理論の大家であるプリンストン大学の Seymour 教授の下で博士研究員となり、2001年には日本数学会から建部賢弘奨励賞を受けている。そして、2003年に東北大学情報科学研究科の筆者の研究室の助手となり、理論計算機科学分野に参入した。2006年度からは国立情報学研究所(NII)に准教授として移籍し、現在はNIIと東京大学の教授を兼任している。上述の他にファルカーソン賞、カークマンメダル、日本IBM科学賞、船井学術賞船井哲良特別賞、井上リサーチアワード、文部科学大臣表彰若手科学者賞、日本学術振興会賞など、国内外で多数の学術賞を受けている。数学的な研究能力とカリスマ性はもちろん、実行力と指導力をもって研究や人材育成の大規模プロジェクトを統括して学術界を先導しており、日本の数学分野の研究者としては異例と言ってもよい、新しいタイプの卓越したリーダーである。

時効だと思うので東北大学着任時の経緯を書くと、当初は全学教育講座の数学の助手公募に関して、河原林氏が問い合わせしてきた。一度学会で話した程度の面識だったのだが、いくつか論文を読んでみると、理論計算機科学に必要な離散数学の図抜けた能力の持ち主で、次に述べるような理論計算機科学の風土にぴったりの人材である。私の研究室なら自由に研究でき、研究費も潤沢なので、彼にとって活躍しやすい環境だろうと考え、学内で画策して、首尾よく「横取り」したのを覚えている。余談だが、当時「学生の遊び相手」として豪傑であり、快活で親分肌である一方で、酒豪で、合宿や飲み会では学生達の方が音を上げていた。

閑話休題。理論計算機科学を含むコンピュータサイエンスには、いわゆる純粋数学と大きな風土の違いが一つある。それは、トップコンファレンスと呼ばれる難関国際会議の重視である。いわば、スポーツの世界に似て、「世界選手権」が毎年開かれて、そこに出場することが業績の明確な基準になる。筆者の分野である理論計算機科学だと、春に開催される STOC (ACM Symposium on Theory of Computing) と秋に開催される FOCS (IEEE Symposium on Foundations of Computer Science) , 1月開催の離散アルゴリズム理論に特化した SODA (ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms) の3つのトップコンファレンスがある。これらの国際会議では10-15ページ程度の投稿論文を短期間で査読するので、速報であり、正当性に関しては後日専門誌に投稿されるのが常である。しかし、トップレベルの査読委員が真剣に審査する、非常に厳しい競争であり、真にインパクトの高い成果しか採択されない。

このように、研究の質に関する明確かつ客観的な評価基準を持つ風土で、河原林氏は抜群の成果をあげている。理論計算機科学における最初の成果(2005年のFOCSで発表)は、MITのDemaine博士らと共に、アルゴリズム的グラフマイナー理論の提唱を行ったものであるが、この論文の採択直後、当時筆者が参画していた特定領域研究の統括だった京都大学の岩間一雄教授から、「Kawarabayashi って誰？」という一行メールが飛んできた。世界選手権の中でも特に目立つ成果を、知らない日本人が発表したのに驚いて連絡してきたので、鼻高々で「うちの助手です」と答えたのを覚えている。

量的にも、現在までの河原林氏の記録では、上述のSTOC, FOCS, SODAの論文数は(20, 11, 29)で、計60本である。筆者が(3, 2, 8)で、これでも(河原林氏が現れるまでは)十分威張っていられたので、それと比べても、飛びぬけた実績である。ちなみに筆者と彼の共著論文はほとんどない。

少しだけ技術的な解説を行おう。グラフ（有限グラフ）は、有限個の要素（頂点と呼ぶ）を持つ集合  $V$  と、頂点の対（それらの二頂点を結ぶ辺と呼ぶ）の集合  $E$  の組であり、 $G=(V,E)$  と表される離散構造である。頂点を平面上の点、辺を対応する頂点の対を線で結んで描画することにより、グラフは可視化することができ、親しみやすい構造である。

グラフに関しては多くの重要な数理的な問題がある。例えば彩色問題は、グラフの頂点たちを、辺でつながれた頂点对が異なった色を持つように、できるだけ少ない色数で彩色するという問題である。特に、平面グラフ（平面に辺の交差なく描画できるグラフ）は四色で彩色できる。これは四色問題（あるいは四色定理）とよばれ、膨大な場合分けを計算機で検証することにより証明され、一般に広く知られている。ここからも類推されるように、グラフ理論と計算機科学は深いつながりを持つ。

実際、グラフは単純な構造を持つにもかかわらず、インターネットなどのネットワークや電気回路、計算回路や論理構造、人工知能の核である脳神経回路網、更にデータの可視化や整理、情報検索など、様々な実世界の対象をモデル化し、情報処理の根幹となる離散構造である。そして、情報社会で解決すべき多くの問題はグラフ上の数理問題として定式化され、グラフに関わる問題を解くアルゴリズム（グラフアルゴリズム）によって計算機を用いて解決される。例えば上述の彩色問題は、計算機のレジスタ割り当てや分散処理などの現実の情報処理問題の定式化に直接現れるのみならず、計算複雑度理論を介して、膨大な問題群を統べる重要な問題であることが知られている。したがってグラフに関する数理は、数学や情報科学はもちろん、理工学全般やデータサイエンス、更には経済学や社会科学にも関わる基盤として、全ての学生が学ぶべき必須事項となっており、GAF A と呼ばれるような巨大情報企業では、グラフ理論やグラフアルゴリズム理論の研究者が数多く活躍している。

グラフは建築物に似ていて、構造を解析し、分解や組み立てを考えることによって様々な問題解決を行うことができる。特に、グラフには「ある局所的な構造  $A$  を含まないのなら、大域的な性質  $B$  を満たす」という不思議な現象が現れる。その代表的なものが、グラフマイナー理論である。マイナーとは、マイナー操作（辺の除去、頂点の除去、辺の縮約）によりグラフを変形させてできたグラフの部分グラフである（詳しい定義は本稿ではしない）。

グラフ  $G$  がグラフ  $H$  をマイナーとして持たないとき、 $H$  が  $G$  の禁止マイナーであるという。「小さいグラフ  $H$ （複数考えることもある）を禁止マイナーとするグラフには、よい大域的な性質がある」というのがグラフマイナー理論の基本理念である。

たとえば、「5 頂点の完全グラフ  $K_5$  と 6 頂点の完全二部グラフ  $K_{3,3}$  を禁止マイナーにする」ことが、平面グラフであるための必要十分条件になる。したがって、前述の四色定理はマイナーの言葉で言い直すことができ、グラフマイナー理論の一定理となる。

グラフマイナー理論を、巨大データを解析するアルゴリズム理論として再構築し、理論計算機科学の新分野として発展させたものが、河原林氏らが提唱したアルゴリズム的グラフマイナー理論である。もともとグラフマイナー理論は、理想グラフ予想の解決を目指して Robertson と前述の Seymour らが構築した深遠な理論であるが、グラフ上の最適化問題を解くときには、禁止マイナーのサイズや種類に計算困難性が依存する。そして、実社会のデータ解析で用いるグラフでは、多くの場合グラフマイナー理論により計算困難性を回避できる。これがアルゴリズム的グラフマイナー理論の威力である。

このような活躍が評価され、河原林氏は 2012 年に JST の ERATO プロジェクト「巨大グラフ」の統括者に選ばれ、目覚ましい成果をあげる。数学者としては初めての ERATO 統括者である。このプロジェクトでの素晴らしいアイデアの一つは、「数学」と「計算理論」と「トップレベルのプログラミング能力」を融合させる研究体制の構築である。具体的には、これらの一つにおいて高いポテンシャルを持つポスドクや学生 RA を国内外から集め、それぞれの能力を持つ 3 人をチームとして重要な研究テーマに挑む。そして、各チームを河原林氏がメンタリングし、さらに全体で集まって相互に刺激しあうことにより、研究レベルの飛躍的な向上と、人材育成を同時に行う。このチーム構築によって、数学の研究力を、最適化、人工知能、データ科学などの広い分野に波及させ、それらの分野のトップコンファレンスで数多くの成果を発表するとともに、視野の広い若手研究者を多数育成し、大きな成功を収めた。言うのはたやすいのだが、この統括には幅広い視野や指導力はもちろん、人並み外れた忍耐力や精神力、更には体力が必要であり、彼自身の時間を多大に費やしている。

河原林氏は、その後も ACT-X や「情報学の達人」などの人材育成プロジェクトの統括を行うなど、切れ目なく重要な学術プロジェクトを先導し、卓越したリーダーシップを発揮している。フンボルト賞は、特にドイツとの学術協力に主眼をおくものである。ドイツはヒルベルトの下で高木貞治先生が学んだ地であり、マックスプランク機構やオーバーヴォルフアッハ数学研究所、計算機科学の研究施設であるダグスチュール城 (Schloss Dagstuhl) など、世界を代表する研究の場を有している。今回の受賞により、数学および計算機科学の国際交流や学術連携におけるさらなる大きな進展が生まれるものと期待している。