

谷川眞一氏の平成 31 年度文部科学大臣表彰若手科学者賞に寄せて

東京大学情報理工学系研究科
岩田 覚

谷川眞一氏が、文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞された。本学数理情報学専攻では、昨年度の平井広志氏に続く受賞で、喜ばしい限りである。

谷川氏は、京都大学建築学科の出身で、同専攻の加藤直樹教授の研究室で、大学院博士課程を修了した。同じ研究室の一学年上には、現在は九州大学にいる神山直之氏がいて、京都大学数理解析研究所で毎週行っていた離散最適化セミナーに二人で通ってきていた。奇しくも、その神山氏も今年度の若手科学者賞を受賞している。先に触れた平井氏も含め、その当時のセミナーに参加していたメンバーの最近の活躍ぶりには、目を瞠るものがある。お互いの研究内容を理解できる位の距離感の若者が集い、切磋琢磨していたことが、今日に繋がっているのだろう。そんな場の重要性を改めて感じさせられた次第である。

谷川氏の主な研究分野は、構造物の堅さを議論する組合せ剛性理論である。組合せ剛性理論とは、離散幾何学の古典的な分野であり、グラフや多面体等の離散構造物の空間への埋込みの自由度とその組合せ的性質の関係を解明することを目的としている。古くから、Cauchy の多面体剛性定理等、構造力学や機械工学の基礎的知見として、研究されてきた。近年では、蛋白質挙動解析や、CAD、ネットワークの位置同定問題、ロボット動作計画等、工学の諸問題に幅広く利用されている。また、組合せ剛性理論は、様々な数学分野の接点に位置する話題であり、様々な背景を持つ研究者によって研究が推し進められている。

組合せ剛性理論の中心的な課題は、グラフの一般剛性の組合せ的特徴付けを与えることである。ユークリッド空間に埋め込まれたグラフに対して、各辺の長さを変えことなく変形できるか判定する問題が、その出発点となる。この問題は、空間の次元が 2 以上のときには、計算複雑度の観点で難しい問題となる。これは、各点の位置が特殊な関係にあるときに複雑な状況が生じてしまうことに由来している。そこで、各点が一般の位置にあると仮定すると、グラフが剛であること、即ち、変形を許さないことは、埋込み方に依らず、グラフの性質として定まる。このようにして定義されるグラフの剛性を、組合せ的な情報で特徴付けようというのが基本的な問題設定となる。実際、グラフが剛であることの必要条件が、Maxwell によって与えられた。1 次元の場合、Maxwell の条件は、グラフが連結であることと等

価であり、剛性の必要十分条件を与える。さらに、2次元でも Maxwell の条件が剛性の十分条件にもなることが、Laman によって 1970 年に示された。それ以来、実用上も多くの分野で有用な 3次元の場合が関心を集めているが、今日に至るまで未解決である。

分子の立体構造における自由度の解析では、分子構造を表すグラフの二乗グラフの剛性が問題となる。これは、共有結合で結ばれている原子間の距離が不変であるだけでなく、同じ原子に接続する二つの結合のなす角も不変となるからである。その結果、結合辺 2 本を辿って結ばれている 2 原子間の距離は不変となる。一方で、単結合を軸とした回転は許されるので、結合辺を 3 本以上辿って結ばれている 2 原子間の距離は必ずしも保たれない。この状況から、分子の立体構造の自由度を、自然に二乗グラフの剛性として捉えることができる。

Tay と Whiteley は、二乗グラフの剛性が、元のグラフにおける全域木の詰込みに関する性質を用いて特徴付けられるとする予想を 1984 年に提案した。全域木の詰込みに関してはマトロイド理論を用いた効率的なアルゴリズムが知られているので、この分子剛性予想で示された条件を効率的に計算することができる。そのため、分子剛性予想は、正しければ、分子の立体構造の剛性に関する効率的な判定法を与えるとして注目された。実際、予想が正しいことを前提として、蛋白質の挙動解析ソフトウェアが作成されていた。谷川氏は、博士課程在学中に、加藤氏との共著論文において、この問題を肯定的に解決して、一躍、世界中の組合せ剛性理論の研究者の注目を集めることとなった。

それ以来、谷川氏は、イギリス、ハンガリー、オランダ、米国など、世界各地の研究者との共同研究を通じて、組合せ剛性理論の様々な課題に取り組み、多くの優れた実績を挙げている。特に、ゼオライト等の結晶構造の振動や対称性の高い物質に潜む組合せ的性質の解明に向け、既存の有限グラフに対する理論の拡張に取り組んできた。既に述べたようにグラフの剛性を議論する際には、各点が一般の位置にあることを仮定することになるが、結晶構造のように幾何的対称性を有する離散構造物の剛性を考える際には、まさに対称性のために、この仮定が成立しない状況を扱う必要がある。これに対して、谷川氏は、各辺に群の元がラベル付けされたグラフ上でマトロイドを構築する一般理論を構築して、対称性を有する離散構造物の剛性を組合せ論的に解明している。この他にも、ネットワークの位置同定問題に直結した大域剛性の理論や有向木の詰込み問題など、様々な課題で非常に興味深い成果を継続的に挙げてきた。

最近の谷川氏の共同研究では、組合せ剛性理論の本丸とも言えるグラフの 3次元

剛性の組合せ的特徴付けに向けて、新たなマトロイドを構築した。このマトロイドを用いて問題が完全に解決できるかは、未だに予断を許さない状況にあるが、長年にわたって殆ど進展がなかった課題に対する確かな手応えのある一歩として、専門家の注目と期待を集めている。

組合せ剛性理論は、多方面への応用がある興味深い研究分野であるにも拘らず、研究人口は決して多くない。数学科で学んでも、情報系に進んでも、巡り合う機会は殆どない。その中で、谷川氏が建築学科に学び、組合せ剛性理論に出会ったことが、多くの研究成果を生み出す結果となった。この最初の一步は、どのような動機で踏み出されたのだろうか？ かつて本人に訊いた際には、「女の子にもてるには、どの学科に行くのが良いのかを級友と検討した結果、建築学科を受験することに決まった」という嘘か本当か分からない答えを貰った。きっと本当なのだろう。ただし、成果については、訊き出す機会を得なかった。

このように、谷川氏は、堅いのか柔らかいのか、良く分からない不思議なところがある。普段から真面目で反応が良く、様々な仕事を迅速かつ的確に処理してくれるので、安心して仕事を任せられる。一方で、物腰は柔らかく、学生に話しかけるときには、良い兄貴分といった雰囲気や常を保っている。仕事が速いが故に気持ちに余裕があって、その余裕が独特の柔らかさを醸し出しているのだろう。今後の増々の活躍を期待したい。