

（ELCプロジェクトに残した多大な功績）

ロスマンさんの研究テーマである「論理回路」と「論理式」は一見単純そうに見えるが世界最先端の研究だ。残念ながら、こうした第一線の研究者は北米やヨーロッパなどの大学や研究所に偏っているのが実状。そんな中、ELCプロジェクトでは、ロスマンさんのようなトップクラスの研究者を年間30名ほど招いている。数学やコンピュータサイエンスを学んでいる学生や研究者にとって、普段は教科書や論文の中でしか名前を見たことがない人達から直接講義を

受けたり、一緒に研究できたりすることは、普段は起こりえない非常に大きな刺激となる。

「 $P \neq NP$ 予想の解決に向けて、私が目標としている範囲までは明らかにしていきたいと考えています。7月からはトロント大学で研究を続けることになりましたが、今後も日本の研究者と密に交流しながら、さらに新しい証明手法を考え出していけたらと思います」と、ロスマンさんは語る。

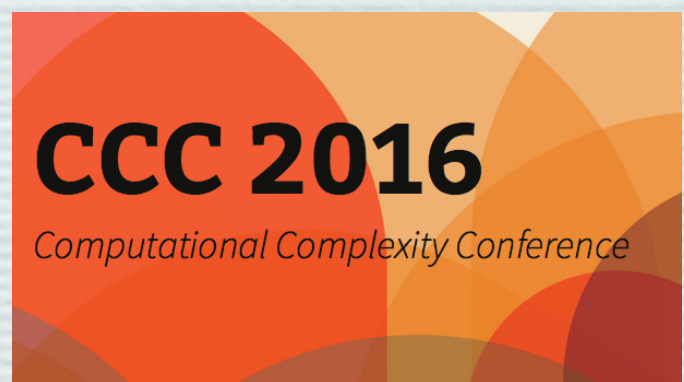
ロスマンさんがELCに残してくれた功績は、これからのプロジェクトの進展、引いては計算限界解明への道しるべとしてしっかりと活かされていくことだろう。



ELCトピックス

国際会議CCCを日本で初めて開催

2016年5月29日～6月1日、国際会議「計算複雑性に関する会議 (CCC)」が、日本教育会館 (東京都千代田区) で開催されます。CCCは計算限界を主要テーマとする国際会議の中で最もレベルが高く、今年は世界各国から34件のトップクラスの研究成果が発表されます。CCCは31回目を迎えますが、欧米以外の国で開催されるのは今回の日本が初めて。ELCプロジェクトがその運営を主導します。また、ELCプロジェクトではCCC開催に合わせて、日本の研究機関に所属する若手プロジェクトメンバーによる講演会を学士会館で開催するとともに、計算限界に関する自由な研究発表／交流の場を京都大学で提供します。



CCC公式ホームページ <http://www.al.ics.saitama-u.ac.jp/elc/ccc/>

豆知識 国際会議に参加する方法

CCCのような国際会議に参加するには特別な資格は必要ありません。登録をして参加費を払えば誰でも参加できます。そして、会議で発表される最先端の研究成果を聞き、その成果を上げた研究者と直接交流することができます。

今回のCCCに参加するには、上の公式ホームページの“Registration”から手続きできます。ただし、研究発表／参加者同士の交流は全て英語。最先端の研究領域に飛び込むには、専門的な知識だけでなく、英語力も必要となります。



「この世にタヌキがいることを証明せよ」と言われたら簡単だ。どこかでタヌキを1匹見つければよい。では、「カッパがいらないことを証明せよ」と言われたらどうするか？ 一般にカッパはいないものと信じられているが、そのためには世界中のあらゆる場所を探して、どこにもいないことを明らかにしなくてはならないだろう。しかし、それはほとんど不可能だ。では、誰もが驚くような斬新な方法で、カッパがいらないことを証明できないだろうか？

ベンジャミン・ロスマンさんは、ELCプロジェクトの一員として、「 $P \neq NP$ 問題」解明の糸口となる「ない」ことの証明に挑み、世界中の研究者が40年間成し得なかった問題の一端をひも解くことに成功した。そこで、ロスマンさんの研究内容と、その研究への想いに迫ってみた。

【ELCプロジェクトとは】
文部科学省の新学術領域研究として、計算の限界を解明し、革新的な解析手法や未解決問題への足がかりとなる成果を目指す。とくに、21世紀の数学の7大未解決問題の一つ「 $P \neq NP$ 予想」をはじめとした計算限界の解明に向けて、新たな道筋を探索している。

「ない」を証明する



国立情報学研究所 (NII) 特任准教授
ELCプロジェクト研究員

ベンジャミン・ロスマンさん

Benjamin Rossman / 米国ボストン生まれ。2002年米国ペンシルベニア大学大学院数学科修士課程修了。2010年マサチューセッツ工科大学 (MIT) にてコンピュータサイエンス博士号取得。2010-13年東京工業大学渡辺治教授のもとで研究員、2014-15年カリフォルニア大学サイモン・インスティテュート研究フェローなどを経て、2013年より文科省科研費 新学術領域研究「多面的アプローチの統合による計算限界の解明」に参画。2016年7月よりトロント大学 (カナダ) 助教に就任予定。

（日本はインスピレーションが湧く相性の良い国）

2015年6月、米国ポートランドで「計算複雑性に関する会議 (CCC)」が開催された。計算限界を主要テーマとする、世界で最もレベルの高いこの会議において、最優秀論文賞を受賞したのがベンジャミン・ロスマンさんだ。ここで発表を許される研究は、この分野の世界トップ30の論文しかなく、しかも、その中で最も優れていると認められたのだ。

現在、米国を離れ、文部科学省・新学術領域研究の一つであるELCプロジェクトで研究しているロスマンさんは、数学／コンピュータサイエンスの分野で世界トップクラスの研究者であるが、新しい論文へのインスピレーションはプライベートで世界を一人旅している時に得られることが多かったという。

「いろいろな国を旅行しましたが、その

中で3日間だけ訪れた東京が好きになりました。日本はプロダクティブでアクティブ。私と相性が良い国だと感じたのです」と話すロスマンさん。

マサチューセッツ工科大学 (MIT) 博士課程でコンピュータサイエンスの研究を始めてからも、再度東京を訪れたいと思い、情報科学の分野で世界的に著名な東京工業大学・渡辺治教授にメールを送り、2009年に渡辺教授の招待を受けて1ヵ月来日。その間に博士論文のアイデアが湧いたという。

こうした縁があって、2013年2月から国立情報学研究所 (NII) に招かれ、ELCプロジェクトで研究をするようになった。その後、2015年にトロント大学助教への採用が決定したが、トロント大学でのスタートを2016年7月まで延ばし、それまで日本に滞在するほどの親日家。その間に、冒頭で述べたような実績を残すことができたのだ。

（「P≠NP予想」の解明につながる「クリーク問題」とは）

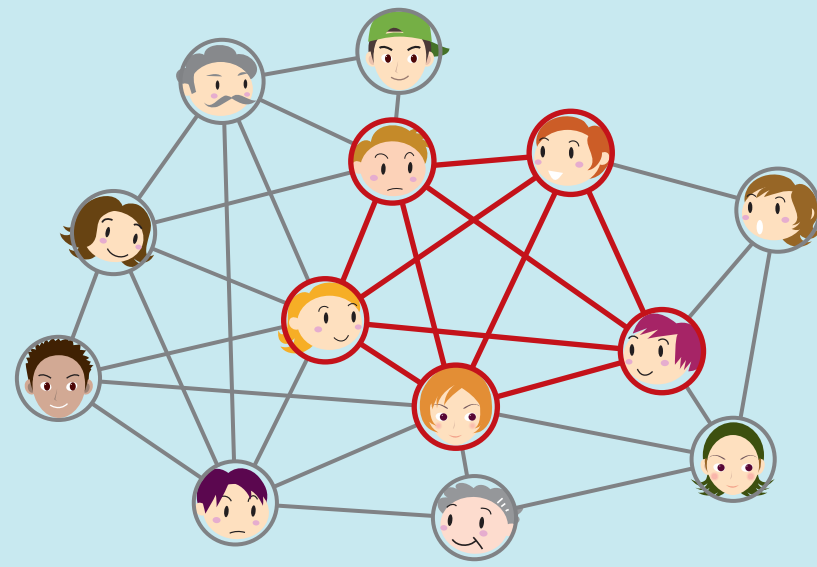
では、ロスマンさんをはじめELCプロジェクトが研究している「P≠NP予想」とは何なのか。彼がMITの博士論文で取り上げた「クリーク問題」を例に考えてみよう。例えばFacebookなどのSNSで、ユーザー1人1人がお互い友達である人同士を線で結んでみる。そこで、あるグループに属している全員が友達同士である場合、そのグループを「クリーク」と呼ぶ(図1参照)。では、そのSNSの中で、一番大きいクリークをコンピュータで見つけるにはどうしたらよいだろうか？ 全てのグループをシラミ潰しにチェックすれば間違いなく見つけることはできるが、もっと効率よく見つけ出す方法はあるのか。そうした方法が「ない」とするのが「P≠NP予想」である。

「P≠NP問題の解決がとても困難な道

図1

クリーク問題

例えば、SNSユーザーの中で、全員が友達同士のグループをクリークと呼ぶ。この場合、赤線のグループがクリークとなる。



のりであることは世界中の研究者が認識しています。答えは雲の上にあるようなもの。そこへ到達するには階段を1段ずつ上る必要があるのですが、そもそも階段がどこにあるのかがわからないのが実状なのです」と、ロスマンさんは言う。

「クリーク問題」に挑む多くの研究者は、もっと効率のよい計算法がないかを探す「アルゴリズム」の研究によって、この問題解決に迫っている。一方で、ロスマンさんの研究は、ゴールにつながる階段の入り口を直接探そうというもの。そこで利用したのが「論理回路」と「論理式」という概念だ。

（「論理回路」と「論理式」を用いたアプローチ）

「世界のどこにもカッパがないことを証明することは困難ですが、あるビルの中にカッパがないことを証明することは比較的簡単です」とロスマンさんは言う。例えば、各階に多くの人を配置して、カッパの逃げ場がないように連携して動きながら、全ての部屋を調べればよい。このように調べる範囲を限定すれば、「ない」ことの証明は容易になる。ロスマンさんはコンピュータの処理能力を制限して、「ない」ことの証明に挑んだ。そのターゲットが「論理回路」と「論理式」なのである。

では、「論理回路」とはどのようなものか。コンピュータの計算は0と1で表される情報を繰り返し変化させ、得られた結果をアウトプットする。通常のコンピュータでは、自由に0と1の値を変化させることができるが、そこに制限をかけて、「AND素子」、「OR素子」、「NOT素子」による特殊な処理しか許さないのが論理回路だ(図2参照)。「論理回路」では、計算が下段から上段へ進むにつれて0と1の数値が素子のきまりに従って書き換わっていく。最上段の出力が、大きなクリーク

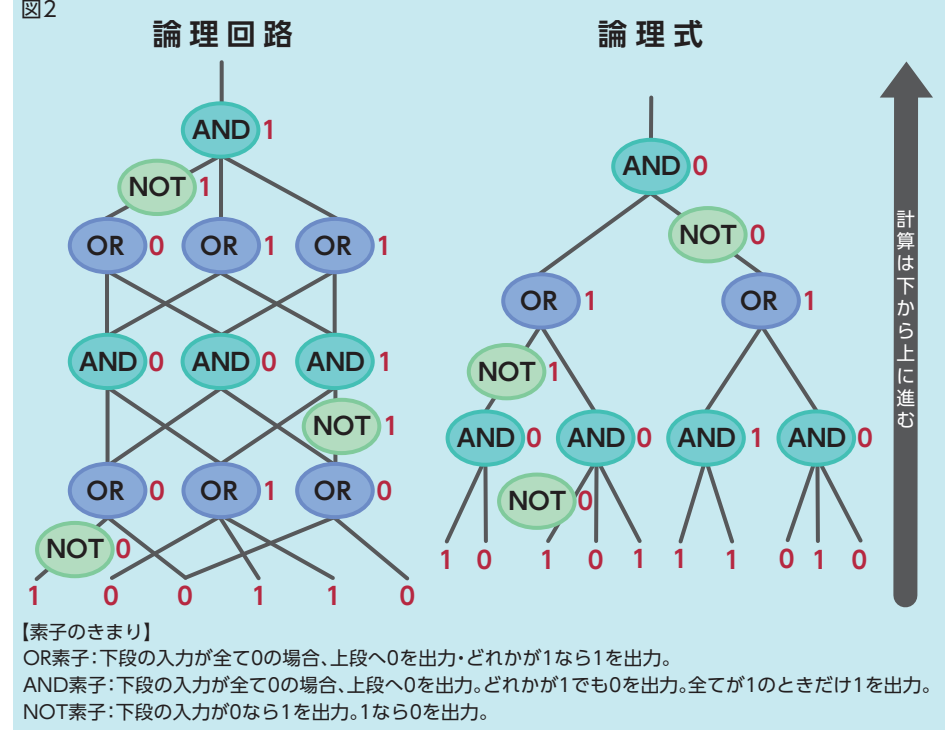
があれば1、なければ0になるように論理回路を作ることができたら、「クリーク問題」に使えるというわけだ。

また、「論理回路」よりもさらに計算能力を低くした「論理式」も使った。「論理回路」では素子から上の段への出力線がいくつもあるのに対して、「論理式」では1個だけとなる。したがって、計算結果を上段の複数の素子で使いたい場合は同じ計算を何度もやらなければならない、計算能力がさらに低くなるというわけだ。

ロスマンさんはこうした計算能力を低くした「論理回路」や「論理式」を利用して、特定の条件下では「クリーク問題」などにシラミ潰し以外の解き方が存在しないことを証明したのだ。先に述べたカッパの例でいえば、あるビルだけでなく、ある村の中にカッパがないことを証明する斬新な方法を編み出し、実際にいないことを証明したことに似ている。

計算限界の解明という究極のゴールへ行き着くにはさまざまな証明手法を新しく生み出していかなければならない。それは未知の構造を持つ頑強な岩を砕くための新しい道具を開発するような試行錯誤の連続である。ロスマンさんの証明手法は、ELCプロジェクトの中でも最も画期的な成果の一つとして高く評価されている。(裏面に続く)

図2



【素子のきまり】
OR素子: 下段の入力が全て0の場合、上段へ0を出力。どれかが1なら1を出力。
AND素子: 下段の入力が全て1の場合、上段へ1を出力。どれかが0なら0を出力。
NOT素子: 下段の入力が0なら1を出力。1なら0を出力。