

## 国際会議 ICALP と LICS を京都で開催

2015年7月4日～10日、京都大学において、2つの国際会議「オートマトン・言語・プログラミングに関する国際会議 (ICALP)」と「計算機科学における論理 (LICS)」が同時開催されました。

ICALPは欧州理論計算機科学会 (EATCS) が主催する欧州最大の理論計算機科学に関する国際会議であり、今年で42回目。また、LICSは米計算機学会 (ACM) と米国電気電子学会 (IEEE) が主催する国際会議で、30回目の開催となります。

両会議とも、日本が開催国として指名されたのはアジアで初めてのことで、30以上の国と地域から500名近い研究者が参加しました。



## B. Rossman 氏が CCC の最優秀論文賞を受賞

2015年6月にアメリカ・ポートランドで開催された国際会議「計算複雑性に関する会議 (CCC)」において、Benjamin Rossman氏がELCプロジェクト (A01班) 参画時に得られた成果により最優秀論文賞を受賞しました。CCCは、計算限界を主要なテーマとする国際会



議の中でも、最もレベルの高い研究成果発表の場です。Rossman氏は「単調論理式」と呼ばれる計算モデルの計算能力の限界を理論的に明らかにしたことが高く評価され、今年の会議で発表が許された一流の研究成果30件の中で最も優れていると認められました。

## 新著紹介「コンピュータサイエンス」渡辺 治 著

なぜコンピュータは私たちの生活に深く関わっているのか？ それは身の回りの多くのことが「計算」で表せるからだ。「コンピュータサイエンス」は、計算という新しい見方で世界を考える「計算世

界観」を俯瞰できる興味深い分野。「ELC NOW」で計算世界観に興味を惹かれたら、ぜひ手にとってほしい1冊だ。

©サイエンス・パレット (丸善出版) 刊 定価 (本体1,000円+税)

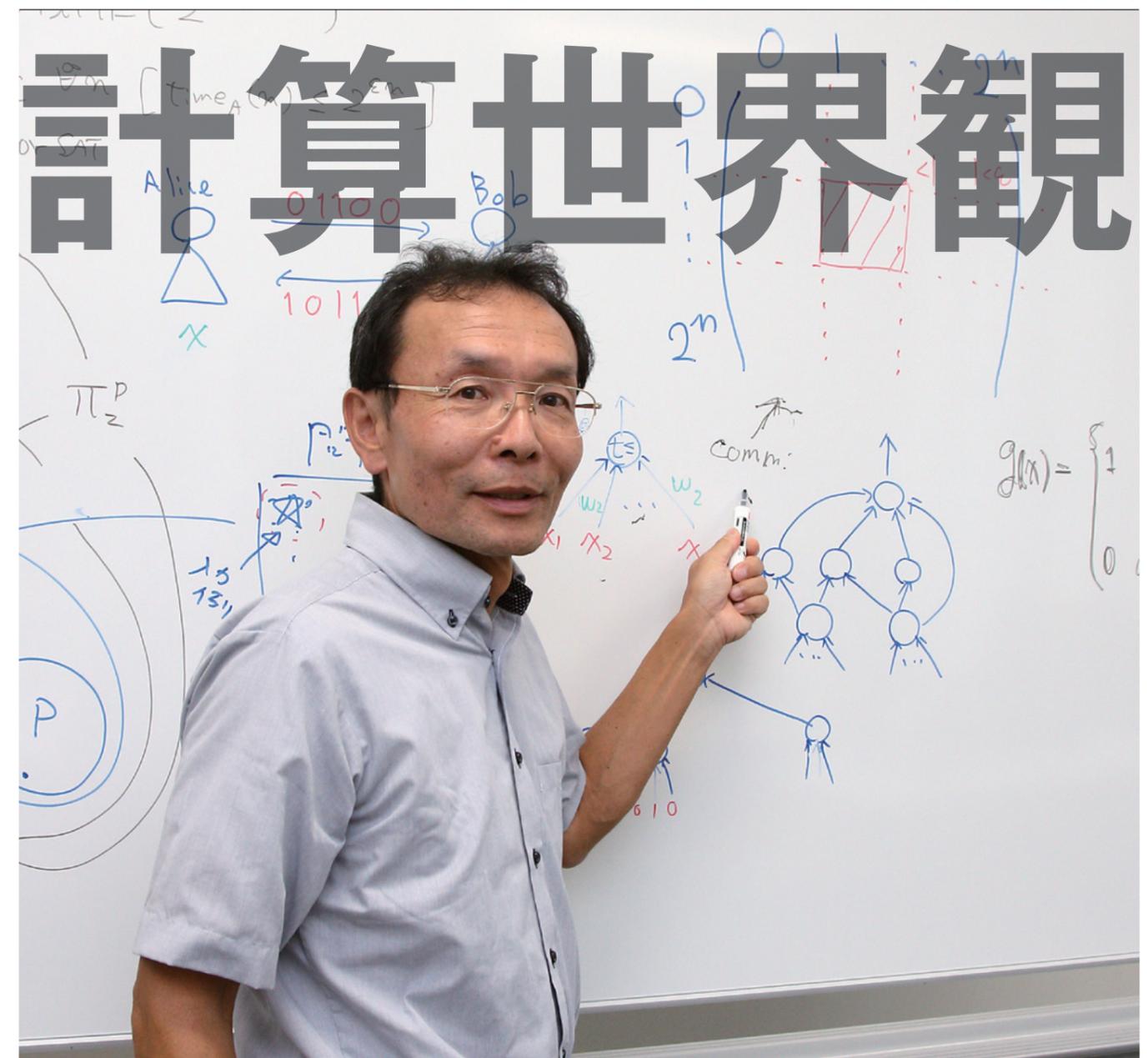


上記トピックスに登場する国際会議とは、世界最先端の研究成果が発表される場のこと。参加して発表を聞くことで、自分の研究テーマに関する最新の研究成果や、どのような研究がいま世界で注目を集めているのかを知ることができます。

今回紹介したICALP、LICS、CCCは、数ある国際会議の中でも非常に質の高い研究成果が集まるものとして、世界中の研究者から高く評価されているトップクラスの国際会議です。

### 豆知識 国際会議って何？

文部科学省 科学研究費補助金 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



「計算」というと、足し算や引き算、九九などを思い浮かべる人は多いだろう。でも、普段使っているパソコンやスマホも、実はコンピュータと言われる高性能な「計算機」の一種。私たちは毎日計算と切っても切れない生活を送っており、世の中で起きているすべてのことは、計算で表すことができるのだ。これが「計算世界観」という考え方。計算の最先端の研究が、私たちの毎日とどう関わり、これからの社会をどう変えていくのか。ELCプロジェクトのリーダーである東京工業大学・渡辺治教授に伺った。

【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≠NP予想」をはじめとした計算限界の解明に向けて、新たな道筋を探求している。

# 計算世界観

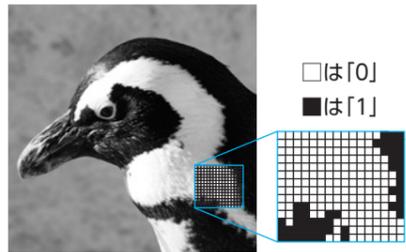
## （世界は計算できている）

「はい、500円のお預かり、176円のお釣りです」。コンビニで買い物をする時、あなたは頭の中で無意識に足し算や引き算をしている。そう、私たちの毎日は計算に満ちている。そして、計算とは単にお金のやり取りだけではない。世の中で起きているあらゆる出来事の中に隠れているのだ。

「例えば、コンピュータサイエンスの立場から見ると、パソコンで動画を見たり、スマホでメールを送ったり、コンピュータが実行している作業のすべてが計算です。もっと言えば、生物の成長、化学反応、台風の進路など、決められた規則の組み合わせで起きることはすべて計算で表すことができます。これが『計算世界観』と呼ばれるものです」と、渡辺教授は話す。

コンピュータの中では、数字や文字はもちろん、画像や映像、音声まですべてのデータが0と1で表わされる。例えば、画像も大きく拡大すると細かなドットでできていることがわかる。方眼紙を当てて1マスずつ白(0)と黒(1)のタイルに置き換えれば、数字データで白黒画像を表現できるわけだ。同様にカラー画像も青・赤・緑の3原色の光の強さを0と1で数値化して表現できる。

このように0と1で表されたデータの足し算・引き算を繰り返す。コンピュータで言えば、メモリに入っている数字を取ってきたり戻したり、結果が出るまで



東京工業大学・大学院情報理工学専攻 数理・計算学専攻

## 渡辺 治 教授

わたなべ・おさむ/1980年東京工業大学理学部情報科学科卒業、82年同大学大学院理工学研究科情報科学専攻博士課程入学・中退後、同大学理学部助手、カリフォルニア大学サンタバーバラ校数学科・客員助教授、カタルニア工科大学計算機学科客員研究員、東京工業大学大学院情報理工学専攻教授などを経て、2015年から現職。2013年から、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」の領域代表者。

それを繰り返す。パソコンもスマホも、すべてこうした四則演算などの単純なデータ処理の組み合わせで動いているのだ。

## （計算で見えなかったものが 見えてくる）

では、「計算世界観」は社会にどんな利益をもたらしてくれるのだろうか。例えばコンピュータを使うと、これまで見えなかった情報を「見える化」することができるのだ。ここでは2つの例を見てみよう。

### ①シミュレーション

知りたい現象を起こすデータをコンピュータ上で計算して動かすことで、今まで知ることが難しかった複雑な現象を再現して見る事ができる。

例えば、地震で発生した津波が何分後にどこへ到達するかを予測する、ブラックホールの発生過程での粒子の動きで宇宙の謎に迫る、実物大の自動車模型を作る費用と時間をかけずにコンピュータ上で風洞実験を行う…など、計算を通して現象を視覚化するシミュレーションはま

さに計算世界観を形にしたものだ。

### ②データマイニング

私たちのまわりは大量のデータであふれおり、その中には貴重なデータが隠れていることがある。そのような玉石混淆のデータの中から、価値ある情報を採掘(マイニング)して役立てていく作業がデータマイニングである。

データマイニングの例としては「ビールと紙おむつ」が有名だ。米国のスーパーマーケットで膨大な販売データを分析した結果、紙おむつを買った顧客はビールを一緒に買う傾向があることがわかった。母親がかさばる紙おむつの買い物を夫に頼むと、ついでにビールを買うというわけだ。真偽の程は定かでないが、この2つを並べて陳列したところ売り上げが伸びたという。

こうしたビジネスデータの分析以外にも、ゲノム解析、創薬などにもデータマイニングは使われており、計算を通して大量のデータに隠された新しい意味が現れて見えるという点で、計算世界観の好例と言える。

## （計算を高速化するのは アルゴリズム）

こうしたシミュレーションやデータマイニングなどの計算はビッグデータを扱うため、スパコンのような超高速コンピュータが使われる。世界トップクラスの演算処理能力を持つ「京」は10年前のスパコンの約1,000倍の性能向上を実現している。しかし、計算のスピードを上げるためにはもっと重要なことがある。それは、コンピュータにどう計算させるかという「アルゴリズム」なのだ。

「計算を速く行うには、コンピュータの性能を上げればいいと考える人が多いのですが、それは誤解です。同じコンピュータで同じ計算をさせる場合でも、効率のよいアルゴリズムがあれば1兆倍も100兆倍も計算を速くすることができます。こうした優れたアルゴリズムがあつてはじめてスパコンの性能が活かせるのです」と、渡辺教授はアルゴリズムの重要性を話す。

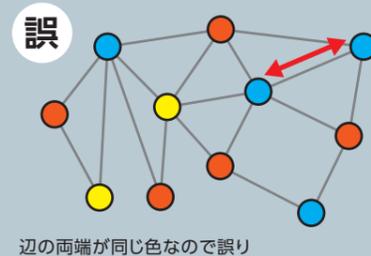
## （アルゴリズムの限界を 予想する「P≠NP」）

四則演算などの処理を巧みに組み合わせさせて効率の良いアルゴリズムを作れば、計算の時間を短くし、問題の解を速く見つけることができる。しかし、優れたアルゴリズムが存在せず、速く解くことができないと信じられている問題も実はあるのだ。それが、数学分野7大未解決問題の1つ「P≠NP予想」の主題だ。ここで言うPとNPとは、

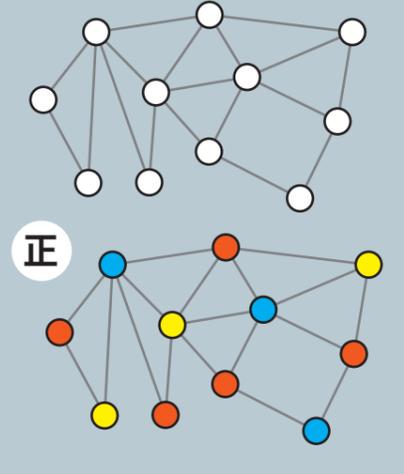
P:計算によって解を発見することが容易な問題群(優れたアルゴリズムが作れる)  
NP:計算によって解を検証することが容易な問題群(解の発見が容易かは不明)  
つまり、P≠NPとは、「計算によって解を発見することは、解を検証することより難しい」ことを表す。

例をあげて説明しよう。図は「3彩色問題」と呼ばれ、各頂点を3色に塗り分ける問題。ただし、辺で結ばれている2頂点を同じ色で塗ってはいけない。この場合、左

例題:3彩色問題  
図の頂点○を3色で塗り分けてください。  
ただし、全ての辺の両端は異なる色で。



辺の両端が同じ色なので誤り



は誤りで右が正しい。

この問題は正解を見ると正しいか誤っているかの検証は容易だ。しかし、この解を発見するのは容易ではない。1つの頂点に塗れる色は3通りあるから、そのパターンは3通り×3通り×3通り…(頂点の回数)となり、図の11個なら $3^{11}=177,147$ 通りの塗り方がある。頂点数が1個増えるごとに3倍ずつ増えるから、20個で $3^{20}$ ≈約35億通り、30個になると $3^{30}$ ≈約200兆通り以上となり、パソコンで計算して1時間かかる。40個になるとパソコンで1年間、さらに80個になるとスパコン「京」でも400兆年かかる計算になる。

「これより優れた方法はあるのかもしれませんが、今のところ、解を発見するには、これだけの時間をかけて計算をしなければなりません。だから、発見する方が検証するよりも難しいという予想がP≠NPなのですが、未だに証明されていないのです。こうした問題には優れたアルゴリズムがないことを証明すること、それが私たちの取り組んでいる「計算限界の解明」なのです」。(渡辺教授)

## （ELCプロジェクトの 意義と目標）

このように、P≠NP予想は、全ての計算を効率よく実現することは不可能だと主張する。では「不可能がわかって何がうれしいのか?」という、なぜ難しいかわかってくる、計算の本質がわかってく

るのだ。テレビゲームと同じように、あるステージをクリアする難しさがどこにあるかわかると、先へ進む攻略方法が見えてくるのと似ている。

そこで、渡辺教授がリーダーとなって2013年から5年間の計画でスタートした文部科学省の新学術領域プロジェクトが「多面的アプローチの統合による計算限界の解明=ELC」だ。ここには、数理論理学や最適化理論、統計力学や量子計算など、わが国を代表する約40名の研究者たちが集まり、専門分野ごとに9つのチームを作って、異なるアプローチから計算限界について研究している。

「普段は顔を合わせることがない研究者たちが共同で研究を行い、異なる種類の計算に関する概念を融合していくことで、計算限界解明への新たな道筋が見えてくるはず。また、海外の著名な研究者も年間30名ほど招いて共同研究を行っています。この分野は研究者同士の出会いや人の交流が大変重要で、新進気鋭の研究者たちが新風を巻き起こすきっかけを生むことが私たちの目標でもあるのです」と、渡辺教授は今後の展開に大きな期待を寄せる。

世の中のすべてを司る計算の意味を知り、さまざまな計算の限界を知ることは大変重要なこと。ここから革新的なアルゴリズムが誕生し、計算世界観も新しい局面を迎えていくはず。それが科学を歩かせ、経済を活性化させる引き金になる日がやってくるだろう。