理論研究の役割

5

渡辺　治●東京工業大学

要素技術

大風呂敷を広げてみる

基礎理論を研究する領域は，情報処理技術の発祥と同時に登場し，たとえばオートマトン理論や形式言語理論などのように，生まれたばかりの情報処理技術が成長するのに大きく貢献した．現在では，研究対象の幅や手法が非常に深まり，たとえば，プログラミングの基礎理論，さまざまなアルゴリズムの開発，そして大規模データ解析の基礎理論などで，情報処理技術の進展に重要な役割を果たしてきている．

けれども，そういった歴史や現在の研究動向，そして近未来の話は，すっ飛ばしてしまおう！　せっかくの記念すべき特集である．もっと大風呂敷を広げてみたい．

どの学問分野でも理論研究と呼ばれる領域はある．ただ，理論と実践，あるいは理論と応用にかなりの距離のある分野もある中で，情報処理技術の分野ほど，理論が実践や応用と密接にかかわりあっているものは少ないように思う．それは単に情報分野の歴史が浅いだけではない．情報処理技術の特徴であると主張したい．

もうかなり前の 20 世紀末（つまり 1999 年頃ですが），私は「コンピュータ・サイエンスは 21 世紀を牽引する基礎科学になる」という旗印を掲げ，数学者，工学者と Web 上討論を行い，そのダイジェストを『数学セミナー』誌上で 1 年間連載してもらった[1]．見返すと未熟な点も多く，冷や汗ものだが，いくつか重要な点を見出しているような気もする．その 1 つが「情報処理技術は人類の言葉を提供している」という考え方である．

やや大げさな言い方かもしれないが，この考え方に基づいて，理論研究の情報処理技術分野での位置づけ，そして理論研究の未来を考察してみたい．

情報処理技術は人類の言葉

「情報処理技術は人類の言葉」の解説からはじめよう．

■まずは「すべては計算」と主張する計算世界観から

上記の Web 上討論では「世の中のすべては計算である」と主張している．この考え方を「計算世界観」と呼ぼう．これも最初はかなりナイーブな考え方であったが，多くの方々と議論を交わす過程で随分と明確になってきたように思う．

特に計算世界観グローバル COE[2]を申請する際，白熱した議論の末に，同志，柴山悦哉氏（現：東大）がまとめた次の説明が的確かつ簡潔に考え方を表している．

> 計算世界とは人類が科学的に解明可能なものすべてを計算の対象とみなす世界観である．すなわち，計算ならざるもの，その客観的，確証的な解明は人を超えている，という見方である．

ここでいう「計算」とはコンピュータに載るような仕事のこと，つまり「情報処理」である．したがって「すべてが計算である」というのは，「すべてがコンピュータに載せられる」ということである．もちろん，それは驕った見方である．しかし，我々が客観的に議論できるものは（少なくとも原理的には）コンピュータに載せることができ，情報処理の対象とすることができる，と言ってもよいだろう．その考え方が計算世界観である．

■だから「情報処理技術は人類の言葉」

ここでは計算世界観の考え方を科学からさらに広げる．客観的に議論できるものだけでなく，人々が形にして互いに共有できるものはすべて情報処理の対象と考える．つまり，人類は情報処理の対象を用いてのみ，自分を取り巻く世界を理解し，他人と共有できる形で表すことができるのである．このような広義の計算世界観をここで

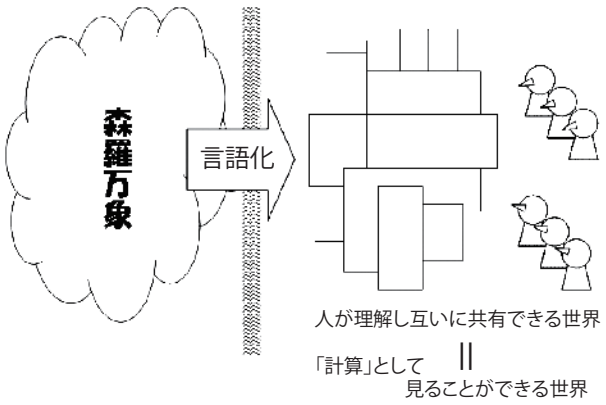


図 -1　森羅万象すべてが「計算」

は仮定しよう（図 -1）．

人が世界を理解し，その理解を共有するために使う手段が広い意味での「言葉」である．計算世界観は，情報処理の対象となるもののみが人類の言葉となり得る，という主張だ．その観点からすると，情報処理技術は「言葉」を使うための技術であり，現代の人類に（より良い）「言葉」を提供するための分野なのである．

理論研究の役割：究極の言語化

上記の考え方に基づくと，情報処理技術の重要な研究目標は人類により良い言葉を提供することである．一方，どの分野でも理論研究と呼ばれているものは，多かれ少なかれ，分野共通の言葉を作り出す役割を持っている．情報処理技術の理論研究も同様だ．つまり，理論研究の役割が，より良い言葉作りを目指す情報処理技術の目標に沿ったものになっている．これが理由で，情報分野では理論が分野全体に密接にかかわってくるのである．

では逆に情報分野での理論研究の特徴は何だろうか？情報処理技術の場合，理論研究の多くが厳密で数学的な形式化を目指している．曖昧さを排除した「究極の言語化」である．我々が抱くさまざまな疑問，直感などを，究極に言語化すること，その過程を通して言語化のさまざまな手法を提供すること．それが理論研究の第 1 に重要な役割であると言いたい．

■究極の言語化 ⇒ 言葉を深める

2 つほど例を示そう．計算の理論の中で（特に暗号理論にからんで）1980 年代に「擬似乱数列」が盛んに研究された．擬似乱数列とは，コンピュータプログラムが作り出す 0 と 1 の列で，本当の 0 と 1 の乱数列と区別のつかない列のことである．また，擬似乱数列生成器とは，シード（種）となる初期値をもとに（たとえシードが何らかの規則に基づいて与えられたとしても）乱数列らしい列を生成するアルゴリズムである．

擬似乱数列の一連の研究で，最も重要かつ面白いのは，どうやって「乱数列らしい列」という概念を定義するかである．この概念がきれいに定義できたことで，擬似乱数列の理論的な研究が一気に進んだのだ．

もう 1 つの例は Web ページの重要度の尺度に関する研究である．この場合も「ページの重要度」という，一見してつかみどころのない概念に対し，ページランクという妥当な数学的定義が与えられたことで，研究だけでなく，新たなビジネスまで登場することになったのである．このように，究極の言語化が成功し，新たな概念がうまく定義されると，我々の表現力が深まり，それが情報処理技術の新たな展開に結びつくのである．

■究極の言語化 ⇒ 手法の提供

情報分野の理論研究では，上記のような重要な概念につながる研究だけでなく，個々の小さな研究でも，さまざまな形式化の試みが行われている．問題の形式化の良し悪しが，成果が得られるか否かの鍵を握っていると言ってもよい．そこで試みられた形式化の手法は，情報の新たな表現手法の核となるはずである．

オートマトンや正規表現など，情報処理技術の黎明期に登場した「分野共通の言葉」は，そうたびたびは出現しないだろう．しかし「言語化の手法」という点では，新たな手法が続々と編み出されている．

たとえば，理論解析と実験的解析の切り分け方なども，そうした手法の一例である．世の中には完璧な数学的解析が不可能だったり，非常に困難だったりする場合も多い．そのようなときに，厳密に解析できる部分と，実験などに頼って補間する部分を分ける仕切り方が重要になってくる．うまい仕切り方を導入すれば，問題をシャープな切り口で分析することができる．

実際，アルゴリズムを適切なパラメータのもとに解析する研究，あるいは学習アルゴリズムにおけるブースティング技法など，ここまでは仮定して，ここから先は厳密に行う，という切り分けを上手に定めている例は理論研究の中に多い．

こうした大小数々の言語化の手法は，現在も，そして今後も理論研究の中から生み出されていくだろう．

理論研究の役割：究極の言語化が革新へ

一般に理論研究の役割は，革新的な考え方や手法を創出しさまざまな問題を解決することである．前章では，

問題解決だけではなく問題を形にする作業が重要であり，そこに情報分野の理論研究の第1の役割があると述べた．しかしもちろん，情報分野の理論研究でも，問題解決への貢献は重要である．ここでは，その点でも，理論研究が行っている究極の言語化は大きな意味を持つことを示そう．

■ 高度な数学の利用への架け橋

これからの情報処理技術の研究では，高度な数学がますます必要になってくる．問題が複雑で一筋縄ではいかなくなってきていることもあるが，情報処理技術の進展によって，高度なアイディアをも実現できるようになってきたためでもある．

私がかかわっているアルゴリズムの設計と解析の分野でも，その現象は顕著に見受けられる．コンピュータの高速化のお陰で，複雑で高度なアルゴリズムでも十分使える場面が出てきている．

一例を挙げよう．線形計画問題の一般化でもある半正定値計画問題は，さまざまな最適化問題を定式化できる強力な枠組みである．ただし，高度な数学手法に基づく解法アルゴリズムは少々重たい．二昔前は机上のアルゴリズムだったかもしれないが，ここ数年で十分に使える道具になってきた．たとえば同じ問題例で，1997年に37時間かかったが，現在（2009年）は1.3秒で解けてしまうものもある．10万倍以上の高速化だ．藤澤克樹氏（中央大）によれば，この例では（大ざっぱに）コンピュータの高速化が265倍，アルゴリズムや実装上の工夫による高速化が390倍という見積もりになるそうだ．

この例のように，高度な数学が実際に活かされる例が少なからず出てきている．一方，高度な数学を適用するためには，問題の本質を数学的に解明していかなければならない．そこに究極の言語化が重要になってくるのである．

■新たな見方の参入への架け橋

高度な数学の適用という観点からすると，強力な数学者や数理科学者の参加も不可欠である．そのためにも，問題を数学的に定式化する作業は重要である．

どのような分野でも異なる視点というのは貴重である．それも技術的な視点だけでなく，たとえば研究動機についても「必要だから」だけでなく，「おもしろいから」という理由で取り組むことも重要なように思う．数学者や数理科学者が参入してくると，異なる動機や価値観による新しい展開も期待できる．

数学や数理科学との密な関係という意味では，情報処理技術分野のお隣さんである情報通信の分野が一歩も二歩も進んでいる．たとえば，最近，情報通信で話題になっている compressed sensing というテーマでは，フィールズ賞を受賞した Tao, T. が参入した研究[3]が注目を集めた．このような緊密な関係が築かれているのは，情報通信分野の方が数学的に形式化しやすい問題が多かったからだと思う．しかし，今後は，情報処理技術分野においても同様の密接な関係が必要であり，現在の理論研究の傾向から見ても，その動きは加速されるだろう．

未来のために我々がすべきこと

情報処理技術の研究において，究極の言語化という観点から理論研究の重要性と今後の役割について考えてみた．

最後に理論研究も含め，広く情報処理技術の未来のために，我々（特に情報処理学会）が考えていくべきことを提案させていただく．紙面もないので，ただ次の1点のみとする．

学会をあげて種々雑多な研究も許容する世論を作っていくこと．

これをお願いしたい．こうした世論は，特に理論研究の評価において重要である．

私は最近の研究効率への追求の強さに懸念を抱いている．このままでは大学においてさえも，筋書きのある研究ばかりになるおそれがある．研究には，本物のジャングルのように何が出てくるかが分からないような未開拓さも必要で，すべてがディズニーランドのような作られた箱庭ばかりであってはならない．これからもっともっと情報を面白くする研究が出てきてほしい．それには，何になるか分からない研究も，ちょっと変わった研究も，必死にやっているのであれば認めてあげる世の中が必要だと思うのである．

参考文献

1) 根上生也，松井知己，渡辺　治：Web 鼎談：コンピュータ・サイエンスから生まれる新しい基礎科学，数学セミナー，日本評論社，(Apr.1999 -Mar. 2000).
2) グローバル COE「計算世界観の深化と展開」，東京工業大学，http://compview.titech.ac.jp，2007年～.
3) Candes, E. and Tao, T.：Near-optimal Signal Recovery from Random Projections : Universal Encoding Strategies?, IEEE Inf. Theory 52, pp.5406-5425 (2006).

（平成21年12月7日受付）

渡辺　治（正会員）

watanabe@is.titech.ac.jp

1980年東京工業大学情報科学科卒業，現在，同大情報理工学研究科数理・計算科学専攻教授．1987年工学博士．計算の理論，特にアルゴリズムの設計と解析，計算の複雑さの理論の研究に従事．電子情報通信学会，European Assoc. of Theoret. Comp. Sci., LA 各会員．