

## 特集 2

# 計算機科学の研究動向と日本の課題

## —国際級学術賞から—



情報・通信ユニット 藤井 章博

### 1. はじめに

優れた研究人材の確保は、科学・技術政策上の重要な課題である<sup>1, 2)</sup>。研究の振興策の一つとして、ノーベル賞に代表されるような国際級の賞の受賞を促すという方向がある<sup>3~5)</sup>。本稿では、計算機科学研究の動向をチューリング賞などのこの分野に関連する賞の観点から述べ、この分野の学術振興について考える。

計算機科学は、20世紀の半ばに誕生し急激な発展を遂げた。このため、学問としての体系や基礎理論と応用技術との境界線が常に見直されてきた分野といえよう。ビジネスで成功した業績は、たとえ優れたものであってもアカデミズ

ムの観点から評価しにくい側面もある。

このような変遷を遂げた計算機科学分野において、「チューリング賞」は、1966年以來一貫して、優れた研究業績を検討し評価してきた。同賞の系譜をたどりながら計算機科学の研究動向の一面をとらえてみたい。

計算機科学分野の業績を称える賞は、他にも数多く存在する。特に基礎理論を対象とする賞には、「ゲーデル賞」と呼ばれる賞がある。この賞は理論的計算機科学分野における特に優れた論文に与えられるもので、1993年に設立されて以降、アルゴリズムの発見や計

算モデルの提唱、計算複雑さの解明などをその対象としてきた。また、国内で設立されている賞のうち、計算機科学を対象にしたものは、「日本国際賞」「京都賞」「日本IBM科学賞」などが存在する。

本稿では、これらの賞の過去10年程度の系譜に基づいて、計算機科学の研究動向を把握する。さらに、この分野で活躍中の研究者の方々に、研究・教育の現状および今後の振興に資するための方策などのお話をうかがった。談話をもとに計算機科学研究のおかれている状況についての論点をまとめる。

### 2. 「賞」にみる近年の計算機科学

#### 2-1

#### チューリング賞

##### (1) 近年の授賞と賞の特徴

20世紀の半ばに、「情報」に関する本質的な研究が行われ、その中からコンピュータと通信に関する基本原理が誕生した。Alan J. Turing (Alan M. Turing) による「チューリング機械」の考え方は、そうした根本的な原理の一つである。1937年の論文「計算しうる数 (Computable Numbers)」に代表される研究は、後にコンピュータの誕生に結びつ

き、さらには、科学全体のその後の進展に転機をもたらしたといっても過言ではないであろう。

同賞の最初の受賞者であるAlan J. Perlis (Alan J. Perlis) は、授賞記念講演の際にチューリングの業績を評して、「一つの世代の科学者たちの想像力をすっかりとらえ、彼らの思考力を総動員するほど」と述べている<sup>12)</sup>。

チューリング賞は、こうした彼の業績を称えて設立され、第1回の1966年以降、優れた研究業績に対して与えられた。現在、同賞の賞金は10万米ドルであり、これをインテル社が提供している。

図表1は、近年10年分のチューリング賞受賞者の氏名とその業績の概略を示す。同賞は、「計算機学分野における幅広い貢献 (general technical achievement) を評価する」としており、これらの研究成果は、いずれも現在の情報通信技術の発展に大きなインパクトを与えてきたものとなっている。

例えば1997年に授賞したEngelbart (Douglas Engelbart) は、現在我々が利用しているマウスの原型やカメラを利用したパソコン用インターフェースなど、現在の情報端末の特徴付ける機能についての斬新なアイデアを既に

1960年ごろに模索していた。マウスやラップトップコンピュータなどの着想は、それ以前コンピュータシステムの世界では非常に斬新なものであり、彼らは60年代に未来のあるべき計算機の姿を模索していた。この授賞は、こうしたコンピュータシステムと人間の相互に関する長年の功績を称えるものである。

2001年には、ナイガード(Kristen Nygaard)とダール(Ole-Johan Dahl)による「オブジェクト指向」技術に関する研究に対する授賞がある。これも計算機科学に非常に大きなインパクトを与えた研究であるといえる。彼らは、「Simula I」と名づけられたプログラミング言語の開発に際して、計算処理における制御構造を「オブジェクト」という概念で構造化することを考えた。この「オブジェクト指向」プログラミングパラダイムは、その後のプログラム開発の手法に決定的な影響を与えている。現在のシステム開発に重要なプログラミング言語であるC++やJavaなどはこの考え方を色濃く継承するものであるし、ソフトウェアの開発工程や設計思想も少なからぬ影響を受けている。

また、2002年度は、ライベスト(Ronald L. Rivest)、シャミール(Adi Shamir)、エーデルマン(Leonard M. Adleman)によるRSA暗号「公開鍵暗号方式」の発明に与えられている。この業績は、電子的情報のセキュリティ保障のための基本原理を提供する方式である。この発明のインパクトは非常に大きい。今後、情報化社会の進展が進めば様々な場面で電子的な安全保障の枠組みが必要になる。こうした機能は、公開鍵暗号方式を基礎にして構築されるであろう。

その他、比較的基礎理論よりの研究成果としては、例えば、2000年のヨー(Andrew Chi-Chih Yao)による量子計算に関連するものが

図表1 過去10年間のチューリング賞

年度	氏名	業績概要
2002	Ronald L. Rivest, Adi Shamir, Leonard M. Adleman	RSA暗号の開発とその後の暗号技術の発展に寄与した
2001	Kristen Nygaard, Ole-Johan Dahl	「Simula I」などのプログラミング言語の開発を通じてオブジェクト指向プログラムの考え方の基礎を確立した
2000	Andrew Chi-Chih Yao	計算理論分野で特に擬似乱数の生成理論に基づく計算の複雑さ、暗号、通信複雑度に関する研究
1999	Frederick P. Brooks, Jr.	計算機アーキテクチャ、オペレーティングシステムおよびソフトウェア工学への貢献
1998	James Gray	データベースとトランザクション処理に関する研究とシステムの実装に関する貢献
1997	Douglas Engelbart	将来の人とコンピュータの協調に関する展望を示し、この展望を実現するための鍵となる多くの技術を発明したこと
1996	Amir Pnueli	計算機科学の分野に「テンポラルロジック」を導入し、プログラムとシステムの正当性検証に関する卓越した貢献
1995	Manuel Blum	計算量理論とその暗号およびプログラム検証への応用
1994	Edward Feigenbaum, Raj Reddy	大規模な人工知能システム設計と構築に関する先駆的な研究。特に実践的応用の展望を開いた
1993	Richard E. Stearns, Juris Hartmanis	計算の複雑さに関する理論的研究分野の確立

文献<sup>7)</sup>を参考に科学技術動向研究センターにて作成

ある。これは、量子力学の原理に基づくまったく新しい計算パラダイムである。彼の成果は、量子力学にもとづく量子回路と計算機科学のチューリング機械の等価性を証明したものである。このことは、通常の計算機上で利用されるアルゴリズムが量子レベルでも実現できることを示唆している。これによって、新しい原理に基づくコンピュータ機構や超高速の通信システムなど斬新な展開が展望されている。

その他の理論分野では、例えば1991年のミルナー(Robin Milner)、1995年のブルム(Manuel Blum)などの成果があり、理論的計算機科学の研究者の言葉によると、「彼らは、とるべくしてとった」ということである。

## (2)受賞者の研究者像

次に、過去10年程度の受賞に関して、チューリング賞の受賞者が、いつごろの年齢の時点で受賞対象となった着想を得ているか調

査した。これは主に、チューリング賞受賞後に行われる記念講演の内容と本人の業績を公開しているホームページに拠っている<sup>7)</sup>。

これによると、チューリング賞受賞者は、研究者が比較的若年(30歳~40歳)において新しい分野を切り開き、その分野の研究活動のその後の発展に持続的に貢献した実績を持つものが多い。

つぎに、チューリング賞の受賞者を国籍の観点から観ると、出身地は多様でありながら、後に米国籍を取得している場合が多い。この点は、特にこの半世紀の間、米国における自然科学分野の研究人材がどのように供給されてきたかのかを典型的に表現する事実である。

また、計算機科学分野の特徴として、数学、応用物理学から計算機科学の分野に移った研究者が多い点が特徴として挙げられる。このことは、計算機科学そのものの歴史が浅いことと、数学や通信工学・電気工学などといった既存の学問

体系の境界線上や周辺領域に開けた学問分野であるということが理由であろう。

さらに特徴的なこととしては、「暗号理論」や「データベース理論」「ソフトウェア工学」などの成果では、研究者は理論的内容の論文を書くにとどまらず、並行して、実システムの開発を実施している。むしろ、プロジェクトの本来の目的が実システムの設計であった場合が多い。

このように、チューリング賞を獲得する成果には、本質的な原理の発見や解明が不可欠である。さらにこれに加えて、その後そうした原理を基にした実践的応用が展開することが重要である。または、新しく生まれた概念が他の研究者によって継承されつつ発達した場合が多い。

2 - 2

ゲーデル賞

チューリング賞と並んで特に理論的計算機科学分野の成果に与えられる賞に「ゲーデル賞」がある。同賞は、チューリング賞を選考する学会でもある ACM のアルゴリズムと計算量理論に関する部会 (ACM-SIGACT: Special Interest Group on Algorithms and Computing Theory of ACM) と欧州の学会である EATCS (European Association for Theoretical Computer Science) によって決定されている<sup>8)</sup>。

同賞は、数学における「不完全性の定理」の証明等の業績で著名であるゲーデル (Kurt Gödel) の名をたたえて設立された。この賞では、数理科学的な純粋理論に特化した成果を評価しており、過去数年間遡って発表された論文に対して与えられている。賞金は、5 千ドルである。ゲーデル賞の受賞者および対象となった学術論文は、文献 8 を参照されたい。

理論計算機科学分野では、「計算の複雑さ」に関する研究が一つの柱である。重要な未解決問題として「P vs. NP 問題」と呼ばれる問題がある。問題の複雑さには P と NP というクラス分けが存在する。P は、グラフの一筆書きの経路を答える問題など比較的容易な部類に属する問題であり、多項式時間 (Polynomial Time) で解が求まる問題の集合である。一方 NP は、グラフ上で各点を巡るハミルトン経路を答える問題などである。解の一例が示されたとき、その正しさは多項式時間で検証できるといふ問題のクラスである。P が NP の真部分集合であることは明らかであるが、NP に属し P には属さない問題が存在するか否かは未だに決定されていない。「P vs. NP 問題」とは、こうした問題が存在するかどうかを問う「問題」である。米国クレイ数学研究所は、この解決に対して、100 万米ドルの懸賞金をかけている<sup>9)</sup>。ゲーデルはこの問題の発見者の一人でもある。

例えば、1998 年に日本の戸田誠之助が第 6 回目のゲーデル賞を受賞している。戸田氏の研究は、この問題の解決にむけた貢献の一つである。彼は「NP 問題」に関して、「数え上げ計算問題 (PP 問題)」という考え方を導入し、PP 問題を考えることが NP 問題に関する多くの情報をもたらすことを証明した。その証明手法は「戸田の多項式」として理論計算機科学上重要な成果とされている。

また、計算のモデルに関する研究では、1997 年、第 5 回の授賞にはハルファーン (Joseph Halpern) とモーゼス (Yoram Moses) による分散処理に関する研究がある。これは、分散処理の協調動作に関する基礎理論であり、粒度の大きな並列処理を実施することに関連がある。この研究成果は、最近注目されているグリッド型の計

算機構を利用した大規模計算のソフトウェア設計における理論的裏づけを与えると考えられる。

2 - 3

京都賞

次に、国内で設立されている国際級研究人材の褒章を取り上げる。まず京都賞は、稲盛和夫の発意と篤志によって設立した稲盛財団による事業の一環として授与される賞である。文献 10 によると「人類の科学、文明の発展、また精神的な深化、高揚の面で著しく貢献した人々の功績を讃えて贈られる国際賞で、毎年、先端技術部門、基礎科学部門、思想・芸術部門 (第 15 回までは精神科学・表現芸術部門) の各部門に 1 賞、計 3 賞が贈られる。」ということである。賞金は 5 千万円である。

図表 2 に、京都賞で計算機科学分野を対象とした授賞の研究者名とテーマを抜粋して挙げる。ほぼ隔年で「計算機科学部門」での受賞がある。また、受賞者は、すでにこの分野での業績が幅広く認められている人物が多い。何人かは、以前にチューリング賞を受賞している研究者である。同賞の計算機科学分野の選考は、業績がすでに幅広く認知された人物を取り上げているという印象を受ける。

2 - 4

日本国際賞

次に、日本国際賞について述べる。この賞は、国際科学技術財団が授与するもので、文献 11 によると「科学技術において、独創的・飛躍的な成果を挙げ、科学技術の進歩に大きく寄与し、人類の平和と繁栄に著しく貢献したと認められた人に与えられるものである」とされている。賞金は 5 千万円である。

図表 3 に、日本国際賞で計算機

科学分野を対象とした授賞の研究  
者名とテーマを抜粋して挙げる。

例えば、2002年の受賞者である  
バーナーズ・リー (Tim Berners-  
Lee) は、「情報通信ネットワーク  
におけるインターネット技術の  
最も重要な利用技術であるウェブ  
(WWW: World Wide Web) を発  
明し、それを最初に実現した」こ  
とに加えて「その後の発展と普及  
に多大の貢献をした」<sup>11)</sup> という功  
績を評価されている。

また、2003年のマンデルブロ  
(Benoit Mandelbrot) は、複素数  
の数列によって美しく複雑な図形  
を描く「マンデルブロ集合」の発  
見者として知られる。彼は、「複  
雑性の根源に自己相似性を見出  
し、これをフラクタルと名づけ、  
その普遍的な性質を明らかにし  
た」と評価されている。また、「こ  
の概念の応用範囲は、芸術、さら  
には経済や社会の問題に至るまで  
広がっている」ということである。

2 - 5

日本 IBM 科学賞

国内では、特に日本人の若手  
研究者を対象としたものに、日本  
IBM 科学賞がある。同賞は、国内  
の45歳以下の研究者を対象とし  
ている。これは、日本アイ・ビー・  
エム株式会社が、1987年に創立  
50周年を記念して設立したもの

図表2 京都賞

回	年度	氏名	分野	チューリング賞の有無
16	2000	アントニー・ホーア (イギリス)	情報科学	1980
12	1996	ドナルド・アーヴィン・ クヌース (アメリカ)	情報科学	1974
9	1993	ジャック・セントクレア・ キルビー (アメリカ)	エレクトロニクス	—
8	1992	モーリス・ヴィンセント・ ウィルクス (イギリス)	情報科学	1967
5	1989	エイモス・エドワード・ ジョエル Jr. (アメリカ)	エレクトロニクス、 電気通信技術、 レーザー、制御工学	—
4	1988	ジョン・マッカーシー (アメリカ)	情報科学・計算機工学・ 人工知能	1971
4	1988	アブラム・ノーム・チョ ムスキー (アメリカ)	認知科学 (広く認知に かかわる科学)	—
1	1985	ルドルフ・エミル・カル マン (アメリカ)	エレクトロニクス、 電気通信技術、 レーザー、制御工学、 コンピュータ、 情報工学、人工知能	—
1	1985	クロード・エルウッド・ シャノン (アメリカ)	数理科学 (純粋数学を含む)	—

文献<sup>10)</sup>を参照に、科学技術動向研究センターにて作成

で、「社会貢献活動の一環として、  
わが国の学術研究の振興と優れた  
人材の育成に寄与すること」とし  
ている。

同賞の計算機科学部門の受賞者  
には、例えば、98年の受賞者であ  
る日本大学の戸田誠之助教授 (受  
賞時) の名前がある。彼は先に  
述べたゲーデル賞の受賞者でもあ  
る。同賞の受賞者および対象とな  
った研究業績は文献9を参照され  
たい。

2 - 6

「賞」の評価の特徴

各賞の系譜には、選考に際して  
それぞれの賞が重きをおく特徴が  
現れている。上述したチューリン  
グ賞、ゲーデル賞の授賞母体であ  
るACMでは、その他にも各種の  
授賞を行っており、選考のために  
「授賞に関する指針 (Policies and  
Guide to Establishing an ACM  
Award)」を設けている<sup>7)</sup>。それ

図表3 日本国際賞

回	年	氏名	分野	対象業績
19	2003	ブノワ・B・マンデルブロー	複雑さの科学技術	複雑系における普遍的概念の創出—カオスとフラクタル
18	2002	ティモシー・J・バーナーズリー	計算科学・技術分野	ワールドワイドウェブの発明・実現・発展とそれによる文化への貢献
15	1999	ウェスレイ・ピーターソン	情報技術分野	高信頼デジタル通信・放送・記録のための符号理論の確立
12	1996	チャールズ・クーエン・カオ	情報、コンピュータ、 および通信システム分野	広帯域・低損失光ファイバ通信の先導的研究
6	1990	マービン・ミンスキー	〈総合化技術—設計・ 生産・制御技術〉分野	人工知能という学問の研究の確立とその基本理論の提案
1	1985	ジョン・R・ピアース	〈情報通信〉分野	電子通信工学に対する貢献

文献<sup>11)</sup>を参照に、科学技術動向研究センターにて作成

によると、ACMが主催する各種の賞は、①学問分野に対する貢献、②賞の主催者およびその関連する学会等に対する奉仕、③優れた学術論文の各観点から評価されている。

例えば、ゲーデル賞では明らかに③の視点で選ばれており、成果

から賞による評価までの時間は比較的短い。一方、チューリング賞の選考は、特に②の色彩が強いとされている。その結果、オリジナルな着想が得られた後、学問上あるいは産業上の発展を経て評価され授賞に至っている。このため成果から授賞に至る時間は比較的長

い。例えば2002年のRSA暗号の業績は、1977年の論文発表以来25年を経ている。

すなわち、研究活動から得られる着想をもとに産業が成長したり、学問領域が発展した場合、その分野の根元となる研究成果が国際的に高い評価を得ている。

### 3. 計算機科学研究の現状と我が国の課題

以下ではまず、上述した賞の系譜からこの学問領域の特長を述べる。次に今後の計算機科学の振興のための提言をこの分野の研究者の声をもとにまとめる。

#### 3-1

#### 賞にみる計算機科学研究の姿

チューリング賞を評して、「特定の学会における貢献を評価するので、国際的な賞としては偏っているのではないか」という批評も成り立つかもしれない。しかし、これまでの同賞の系譜には計算機科学の巨人が名を連ねていることは疑いがないであろう。

特に近年評価された成果として、公開鍵暗号、オブジェクト指向技術などは、いずれも情報処理機能の画期的な「応用」をもたらす考え方や基本原理・方式といえる。国際賞に見るウェブの評価も同様である。

#### 3-2

#### 国際的な研究成果の認知

まず、国内の優れた研究成果が、国際的に認知されることが重要である。例えば、計算機科学分野で、最も歴史と権威のある論文誌は、Journal of ACMであろう。この論文誌は、昨年で創刊から50年を迎え、ここ数十年は毎年30編から60編の優れた学術論文を世

に出し、その総数は2,300編余りにいたっている。

この論文誌に関して、日本の研究者からの発表状況は、全体の中の1.1%である。直近の10年では、その割合は0.8%程度である。Journal of ACMの採択数のみで語ることはできないが、国際的な認知を積極的にもとめる努力が一層必要であろう。

例えば、日本語ワープロにおける日本語変換処理システムなどは、非英語圏における言語処理システムに与えたインパクトは大きく、より幅広い国際的な認知と評価が得られてもよからう。近年では、組み込みシステムにおける基本ソフトウェアの開発、ベクトル計算のベンチマークにおけるトップデータの獲得などが世界的に誇れる成果といえるだろう。

#### 3-3

#### 国際的な研究交流

昨今の計算機科学分野は、その研究領域が多岐に渡るようになっている。個別の研究者にとっては、国内だけでは議論のできる相手が居ない場合が多い。国際的な会合を活発に開催できるような研究費の運用を求める声もある。

また、米国には、他国の優秀な学生、研究人材を吸収するダイナミズムがある。チューリング賞等の受賞者の多くがそうした人材で

あった。我が国も海外から優秀な学生を受け入れており、毎年多くの博士号が授与されている。日本には、文化的な特殊性があり、外国人には暮らしにくい面がある。留学生の受け入れにより一層の配慮をし、さらに、外国人研究者の積極的な登用を進めることが重要であろう。

#### 3-4

#### 境界領域での研究活動の重要性

理論の研究者からは、研究室に学部レベルで数学を修めた人材がほしいという声がある。これは、理学部と工学部の履修モデルやカリキュラムを考える上で重要な視点であろう。例えば近年の生命科学分野に見られるように、情報処理技術の進歩がまったく新しい研究の展望を開く例が多く見られる。学際領域における研究の重要性は益々増大している。

科学技術上の学際性に加えて、社会活動との境界領域も重要である。公開鍵暗号の真価は、広範囲な電子情報の利用があって発揮された。優れた成果をもたらすためには、密度の濃い持続的な産学連携が必要である。このためには、大学への委託研究の増大、研究人材の流動化、研究組織の効率的な運営などが必須条件となる。

3 - 5

「科学」としての重要性の認識

ある研究者による次のようなコメントは検討に値する。「我が国の「情報処理」関連の研究・教育の現場に、情報の本質をとらえ、計算機科学を「サイエンス」として認識する視点が弱いのではない

か。エンジニアリングが先にあってコンピュータが発明されたわけではない」。

計算機科学は、情報処理技術の基礎を担うという従来からの認識がある。これに加えて、今後「情報の研究が科学技術の幅広い領域の新しい展開につながる」という見方が重要である。情報科学の他の領域への波及効果は、情報処理

機能の飛躍的な性能向上に拠るところが大きい。新しい展開は、計算機科学の中だけに閉じて生まれるのではなく、これを基礎として幅広い分野で生まれる可能性がある。このため、学際領域のフロンティアを開拓する研究プロジェクトの実施などが重要であろう。

4. むすび

計算機科学は、その産業上の波及効果に加えて、今後他の科学技術分野に対する応用面での影響が大きい。そのためこの分野の研究は引き続き重要である。

我が国の計算機科学の研究は、純粋理論分野で一定の強みがあるといわれている。また、かつて大型コンピュータ開発やパソコンの生産などで見せた産業基盤の豊かさがある。近年では、携帯電話の高機能化や情報家電製品の開発など、世界に先駆けて時代を先取りする開発も行われきた。こうした強みをうまく組み合わせれば、国際的なインパクトを持つ成果が期待できるだろう。このためには、応用領域に関する幅広い視野と技術進化の方向性

についての長期的な展望に立つ目標設定が必要である。

参考文献

- 1) 「国際競争力向上のための研究人材の養成・確保を目指して」科学技術・学術審議会人材委員会第二次提言、平成15年6月
- 2) 後藤晃、「イノベーションと日本経済」、岩波新書、平成12年8月
- 3) 「国際級研究人材の国別分布推定の試み」科学技術政策研究所、調査資料87、平成14年7月
- 4) 「国際級研究人材の養成・確保のための環境・方策」科学技術政策研究所、調査資料102、平成15年7月
- 5) 馬場練成「ノーベル賞の100年—自然科学三賞でたどる科学史—」

中公新書、平成14年3月

- 6) 「理論計算機科学の最新動向」電子情報通信学会誌、平成15年12月号
- 7) チューリング賞：  
<http://www.acm.org/award/>
- 8) ゲーデル賞：  
<http://sigact.acm.org/>
- 9) 日本IBM科学賞：  
<http://www.ibm.com/jp/>
- 10) 京都賞：  
<http://www.inamori-for.jp/>
- 11) 日本国際賞：  
<http://www.japanprize.jp/>
- 12) ACM Turing Award Lectures : The First Twenty Years : 1966 to 1985, Ashenurst, R. (Edt), ACM Press, 1987/07

