

# 計算機科学を推進した富田悦次君を悼む



横森 貴 | 早稲田大学

西野哲朗 | 電気通信大学

本会フェロー (2003 年度), 功績賞受賞者 (2019 年度), 電気通信大学名誉教授富田悦次氏は, 2021 年 9 月 1 日に逝去され, コロナ禍のため 9 月 3 日に近親者のみで葬儀が営まれた。富田氏と久しくお付き合いしたのものとして, 横森と西野で追悼文を寄せたい。

富田氏は, 1971 年 3 月に東京工業大学大学院理工学研究科電子工学専攻博士課程を修了, 直ちに同大学工学部助手として勤務された後, 1976 年 10 月に電気通信大学電気通信学部助教授に着任され, 1986 年 4 月に教授となった。

富田氏は, 永年にわたりオートマトン・言語理論, 学習理論, 組合せ最適化などの分野において研究と教育に携わり, 先駆的で優れた業績を挙げられた。まず同氏は, 決定性文脈自由言語の等価性判定問題に対し, 統一的でまったく新たなアルゴリズムを考案され, 併せて, 国際的にも早い段階から計算論的学習理論の新方式を提唱された。

組合せ最適化問題においては, クリークと呼ばれるグラフ構造に早い段階から注目し, クリーク抽出に関する研究を永年に渡り先導してきた。中でも, 極大クリーク全列挙のために考案した最適アルゴリズムは, アルゴリズム分野にとどまらず, 幅広い分野から活用, 引用され, 世界的に高く評価されている。また, 以上に関連したいくつかの国際会議では, 実行委員長, プログラム委員長, 大会委員長, 招待基調講演などを務められている。

一方, 教科書『オートマトン・言語理論』<sup>1)</sup> は初版

から改訂第二版に渡って計 30 増刷を重ね, 富田氏は, この分野の教育に多大の寄与をされた。

上記の卓越した研究業績に対しては, 船井情報科学振興賞, 電子情報通信学会フェロー, および本会フェローなどを授与されている。本会においては, 会誌編集委員会主査, 数理モデル化と問題解決研究会主査, コンピュータサイエンス領域委員会委員長, 理事などを歴任され, 特に若手研究者の育成, 情報教育の充実に努められた。

以下では, 富田氏が, 国内外の情報科学分野, ならびに本会の活動の発展に尽くされたご功績について, 具体的に述べていきたい。

## 学習理論と推論アルゴリズム

富田氏は, オートマトン・言語理論, 学習理論の分野において先駆的で優れた業績を挙げられた。具体的には, 人工知能の基本である「学習理論」の重要性について世界に先駆けて着目し, その成果を 1970 年代に国際会議や論文誌に発表した。これらは, 1980 年代になってから発表された著名な正則言語の学習アルゴリズムの主要概念をすでに含んでいる先駆的成果であった。この学習の過程においては「等価性判定」が基本的に重要な問題となるが, これは正則以上の言語においては一部を除いてほとんど未解決で困難な問題で

あった。これに対し、ある種の広いクラスの決定性プッシュダウンオートマトンにまで適用できる画期的に簡潔で効率的な新しい等価性判定方式を確立した。

言語の帰納的学習は古典的かつ重要な研究課題としてよく認識されており、正則言語の学習アルゴリズムは Angluin による MAT (Minimally adequate teacher: 極小最適教師) 学習モデル<sup>2)</sup>が著名である。この学習アルゴリズムにおいて中核となるアイデアは質問と反例を許すことにより目標の有限オートマトンの本質を捉える「代表的な正例の有限集合」をあぶり出すところにある。富田氏らは Angluin に先んじて 10 年前に、すでに論文<sup>3)</sup>において「代表記号列集合」という重要な概念を提案し、有限オートマトンの効率的な学習アルゴリズムの結果を導いている。この結果と概念は MAT 学習アルゴリズムにおける本質的な特性を捉えているものであり、高い評価を得ている。さらに富田氏らは、論文<sup>4)</sup>においてこの代表例集合という概念を単純決定性文法にまで拡張し、正則言語族を真に包括する単純決定性言語族に対する効率的な学習アルゴリズムを導くことに成功している。

## 最大クリーク抽出問題

また、富田氏は組合せ最適化問題の分野においても、人と人との繋がりに代表されるような大規模なネットワークデータの解析において本質的な役割を果たす、クリークと呼ばれるグラフ構造に早い段階から注目し、クリーク抽出に関する研究を永年に渡り先導してきた。中でも、極大クリーク全列挙のために考案した最適アルゴリズムは、アルゴリズム分野ばかりでなく、幅広い分野から活用、引用され、世界的にも高く評価されている。最大クリーク抽出問題に対する高速アルゴリズムを次々と開発し、同問題の発展の国際的中心の1つとなっている。これらのアルゴリズムは、共同研究を通して多くの応用分野に巧みに活かされている。

2001年に発表した最大クリーク抽出アルゴリズムは、DIMACS 国際ベンチマークテストのいくつかにおいて、当時の標準的なアルゴリズムよりも数十から数十万倍の高速性を実現した。さらに、当時の既存アルゴリズムに

対しても格段に高速であることが実証され、国際的に高い評価を受けた。この高速化達成により、提案アルゴリズムをさまざまな実問題解決に応用することが可能となり、新たな応用分野における研究成果を生み出している。

実際、これらの組合せ最適化アルゴリズムは新聞報道(2002年2月25日付)によって、「電通大が新手法一爆発的計算を解く」などと紹介されている。これにより多くの企業からも種々の問合せが富田氏に寄せられ、富田氏はそれらに対応して企業側へ多くの助言を与えるなど、バイオ研究者をはじめ産業界へも強いインパクトを与えた。

富田氏が研究者としてのみならず、基盤技術研究促進センター技術評価委員や JST 新技術審議会新技術開発部会専門委員を通して、企業の技術評価を担当し社会的貢献をしている点も特筆すべき業績である。

## 学界における活動と貢献

富田氏は、本会において輝かしい活動歴を残されている。まず、本会編集委員会における委員、幹事、主査(基礎・理論分野)としてさまざまな特集号の企画・編集を実践し(1980年から)、数理モデル化と問題解決研究会においては連絡委員、運営委員、主査などを歴任し(1995年から)、その間、論文誌「数理モデル化と応用」では編集委員を務めている(1998年から)。2000年度の全国大会では、公開シンポジウム「新しい計算パラダイム～量子・分子コンピュータ最前線～」を企画・実行して好評を得た。さらに、調査研究運営委員会のコンピュータサイエンス領域委員会では財務委員、委員長として活躍している(2001年から)。また2007年に理事(教育・調査研究担当)として寄稿した、一般社会に対して「高度IT教育と人材育成への支援」の重要性を唱えた記事<sup>5)</sup>はまだ記憶に新しい。

一方、富田氏の学界への貢献は電子情報通信学会における各種委員会・研究会の委員、幹事としての活動にとどまらない。同氏は1991年の国際ワークショップ ALT91 をかわきりに、多岐に渡る国際ワークショップ・国際会議におけるプログラム委員、実行委員長などを務めることにより、理論計算機科学分野における我が国を代表する研究者として国際的に認められた。これ

らの活躍は、電子通信学会米澤記念学術奨励賞（1971年10月）、船井情報科学振興賞（2003年3月）などの受賞によって結実されている。また、上述の業績が高く評価されて、2003年度に電子情報通信学会よりフェロー称号を、本会よりフェロー称号を、それぞれ授与された。また、2005年から2007年には、本会理事（教育／調査研究担当）としても大変活躍された。

また極大クリーク全列挙論文<sup>6)</sup>は、理論計算機科学の著名論文誌である Theoretical Computer Science から2005～2010年最多被引用論文賞（2010年）を受賞し、重ねて同誌の創刊40周年に際しては、出版年（2006年）論文での最多被引用論文表彰（2015年）も受けている。なお、同論文の Google Scholar 上引用文献数は700件超であり、出版後十数年でのこの値は理論計算機科学分野においては非常に高く、さらに現在も増加を続けている。

## 名著：『オートマトン・言語理論』

富田氏は教育に対する熱意にも定評があり、教科書『オートマトン・言語理論』<sup>1)</sup>は、出版以来、大学・大学院等の教科書・参考書として広く採用され、ほぼ毎年改訂を伴った増刷を重ねる名著となっている。

1989年4月、横森は富士通・国際情報社会科学研究所から電気通信大学へ赴任し情報工学科に籍を置いたが、その当時、富田氏は電子情報学科に属しており、当初は直接の面識はなかった。その後、帰納的学習理論やオートマトン・言語理論など共通の研究テーマの興味が縁でお付き合いさせていただくことになった。

計算機科学における基礎理論の1つである“オートマトンと形式言語理論”に関する教科書は国内外を問わずあまた散見される。1990年春のある日、富田氏から電話があり「講義で便利に使用できる教科書を作りたいのだけれど……」というお誘いを受けたことを契機にさらに親交を深めるに至った。本書の執筆の背景として、富田氏には、当時所属していた（情報系ではない）通信工学科学生の教育を念頭に、極力理解しやすいように準備された長年に渡る膨大な講義資料を出

発点とするお考えがあった。

執筆において心得るべき基本方針として、「数学的な内容を（従来の数学的な議論の展開法は極力避け）、まず具体的な理解しやすい実例から出発して、より一般的な説明と定義を与えてその後に定理を示し、かつその証明も可能な限り厳密性を保つ」という完璧性が希求された。執筆の過程の随所においては、本分野の初学者に対する氏の繊細な気配りが感じられ、選択した各テーマの説明、提示法、証明に関する「緻密な考察と配慮の深さ」には圧倒されることがしばしばであった。一方、本書の素稿の作成から校正においては清野和司氏、若月光夫氏、樋口健氏をはじめ多くの卒業生の協力によっていると伺っている。

このようにして1992年5月に『オートマトン・言語理論』（富田・横森共著）は、（飯島泰蔵先生が編集された）“基礎情報工学シリーズ”における第5巻として初版第1刷が森北出版から発行された。その後、2008年頃に出版社と“第2版への改訂増補版”の話がまとまり、その準備に取り掛かった。この改訂作業にあたっては、予期しない苦難が待ち受けていた。初版執筆の当時、原稿の作成はもっぱらワープロによるのが主流であり、TeXのような Markup 言語のファイル形式はまだ一般的ではなかった。そこで、第1版の電子ファイルを出版社から取り寄せ、それを Tex ファイルへ変換しなければならず大変な苦難を経験したことが懐かしく思い出される。

本書は出版以来、大学・大学院等の教科書・参考書として広く採用され、我が国の情報処理基礎教育に対して多大の貢献をしている。実際、1992年の第1版第1刷から第24刷りの重版を重ね、また2013年12月に出版された第2版もすでに第7刷を終え、今まさに第8刷を迎える。30年間に全32刷を数えるという情報系教科書としては類い稀な大ロングセラーとなっている。

今でも、筆者らは「富田氏の教科書が好きだ」という学生に新たにお目にかかることがある。このたび、本稿のご依頼をいただいた本書の著者の1人（横森）、読者の1人（西野）として、ここに富田氏のご冥福をお祈りし、感謝の言葉を述べさせていただきます。ありがとうございます。

## 参考文献

- 1) 富田悦次, 横森 貴: オートマトン・言語理論, (基礎情報工学シリーズ5) 森北出版(1992). 第2版(改訂増補版)(2013).
- 2) Angluin, D.: Learning Regular Sets from Queries and Counterexamples, Information and Control 75, pp.87-106 (1987).
- 3) 榎本 肇, 富田悦次: 代表記号例集合による決定性有限オートマトンの適応的修正法, 電子通学会論文誌, 60-D, pp.777-784 (1977).
- 4) E. Tomita and K. Seino: A Direct Branching Algorithm for Checking the Equivalence of Two Deterministic Pushdown Transducers, One of Which is Real-time Strict, Theoretical Computer Science 64, pp. 39-53 (1989).
- 5) 富田悦次: 社会に存在感ある学会として - 幅広い立場からの情報教育支援を -, 情報処理, Vol.48, No.3, pp.296-230 (Mar.2007)
- 6) Tomita, E., Tanaka, T. and Tanahashi, H.: The Worst-case Time Complexity for Generating All Maximal Cliques and Computational Experiments, Theoretical Computer Science 363 (1), pp.28-42 (2006).

(2022年2月7日)

横森 貴 (正会員) yokomori@waseda.jp

1979年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。1983年富士通(株)国際情報社会科学研究所, 1989年電気通信大学助教授・教授, 1998年早稲田大学教授を経て, 2021年早稲田大学名誉教授。理学博士。オートマトン・形式言語理論, 計算論的学習理論。自然計算理論に関心を持つ。本会フェロー(2018年度)。

西野哲朗 (正会員) nishino@uec.ac.jp

1984年早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。1984年日本アイ・ビー・エム(株), 1987年東京電機大学・助手, 1992年北陸先端科学技術大学院大学・助教授, 1994年電気通信大学・助教授を経て, 2006年同大学教授。理学博士。回路計算量理論, 量子計算量理論, 自然言語処理, ゲーム情報学などの研究に従事。2008年IBM Faculty Award, 2010年文部科学大臣表彰各受賞。

## 富田悦次氏 御略歴

1966年東京工業大学・理工学部・電子工学科卒。1971年同大学院博士課程修了。工学博士。

1971年東京工業大学・工学部・電子物理工学科, 情報工学科助手を経て, 1976年電気通信大学・電気通信学部・通信工学科助教授, 1986年同教授。1987年電子情報学科教授。1999年情報通信工学教授, 2003年電気通信大学先進アルゴリズム研究ステーションを創設し初代研究ステーション長, 2008年電気通信大学名誉教授(現在に至る)。2008年中央大学研究開発機構教授(～2011年)。2011年, 科学技術振興機構 ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト研究推進委員, 東京工業大学・大学院情報理工学研究科 特別研究員(～2015年)。

Algorithmic Learning Theory (ALT) 1993 Local Chair, ALT-2005 PC Chair, International Colloquium on Grammatical Inference (ICGI) 2006 Conference Chair, ICGI Steering Committee Member 2004-2012, International Workshop on Algorithms and Computation (WALCOM) 2015 PC Co-Chair, Theoretical Computer Science (TCS), Journal of Discrete Algorithms, Journal of Graph Algorithms and Applications の Guest Editor.

視聴覚情報処理研究会 (AVIRG) 幹事 (1972～1973年度), 電子通信学会海外論文委員会委員 (1973～1974年度), 電子通信学会学生委員会委員 (1975～1976年度), 電子通信学会論文委員第4部 (1980～1983年度), 電子通信学会 オートマトンと言語研究専門委員会 幹事 (1983～1985年度), 電子通信学会コンプレキシティ研究専門委員会 (第3種) 専門委員 (1985～1987年度), 電子情報通信学会コンピュータシミュレーション研究専門委員会専門委員 (1986～1992年度), 電子情報通信学会フェローズ&マスターズ未来技術時限研究専門委員会専門委員 (2005～2011年度),

情報処理学会 会誌編集委員会基礎・理論分野 主査 (1982～1983年度), 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 論文誌編集委員会編集委員 (1998～2001年度), 情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会主査 (1999～2000年度), 情報処理学会コンピュータサイエンス領域委員会委員長 (2003～2005年度), 情報処理学会理事 (教育/調査研究 担当) (2005～2006年度), 情報処理学会情報処理教育委員会委員 (2005～2014年度)

LA シンポジウム代表 (2002年度), 人工知能学会評議員 (2004～2005年度), 国際学生技術研修協会 (IAESTE) 理事, 科学技術振興事業団新技術審議会新技術開発部会専門委員, 日本学術振興会科学研究費補助金審査委員 (第1段, 第2段) など歴任。

ICGI 2021, WALCOM 2022 の PC Member, ISRN Discrete Mathematics, American Journal of Operations Research, Industrial Engineering and Management の Editor, Mathematical Reviews of American Mathematical Society の Reviewer, 文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター専門調査員, 等。

電子通信学会米澤記念学術奨励賞 (1971年), 船井情報科学振興賞 (2003年), 電子情報通信学会フェロー (2003年度), 情報処理学会フェロー (2003年度), 情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会 功績賞 (2006年度), Theoretical Computer Science Top Cited Article 2005-2010 賞 (2010年), Theoretical Computer Science Top Cited Article 2006 (2015年), INTECH AWARD DIPLOMA (2014年), 情報処理学会功績賞 (2019年度), など受賞。IEEE, ACM, EATCS, 人工知能学会, 等会員。