

情報処理

2020
5

Vol.61 No.5
通巻 662 号

創立60周年記念特集 2050年の情報処理

特別解説 高輪ゲートウェイ駅開業～ICT活用と駅サービスロボット～
亡くなった人とのVR「再会」をめぐって

寄稿 ソフトウェア工学を推進した木村泉君を悼む

報告 多くの人が同意しない未来を作る
～慶應義塾大学の話題の公開授業「SFCスピリッツの創造」に行ってきた～



巻頭コラム

プログラミング教育の本質とは
水野雄介

電子版もご覧ください



電子版を読む(会員無料)
情報学広場



iPhoneなどで読む(有料)
Kindle



電子版を購入(有料)
Fujisan

教育コーナー：べた語義

連載：5分で分かる!? 有名論文ナメ読み/集まれ!ジュニア会員!!/

買い物自慢/情報の授業をしよう!/ビブリオ・トーク

会議レポート



一般社団法人
情報処理学会
Information Processing Society of Japan

ブチ切り 自動再起動

1. システムのROM化

CFastを起動ドライブとし、システムのROM化設定することで、停電などによる不慮の電源断からシステムを守ります。

2. 瞬低対応

- 瞬低対策用電源装置搭載モデル設定
不安定な電源環境下で不慮の停電に対応。システムを正常終了処理させ、電源復旧後は自動で再起動できます。
- 瞬低対策コンデンサもオプションで用意

3. ブチ切り～自動再起動

電源ブチ切り～再起動シーケンスの設計はCPU、BIOS、OS、回路等を熟知した設計が必要です。弊社は長年の経験と実験検証に基づいて実現しています。

4. 豊富なI/Oと安心機能

- セキュリティスロット
- 汎用デジタル入力4点、汎用デジタル出力4点
- LAN×2ポート
- USB2.0×4、USB3.0×2
- DVI-H
- アナログRGB等追加ディスプレイ出力(有償オプション)※
- ライン入出力
- RS232C×2 +2ポート追加(有償オプション)※
- 保護カバー付き主スイッチ

5. RASによる予兆診断※

独立して動作するRAS専用ボードを付加することで、万一メインコンピュータが停止しても、遠隔監視、遠隔操作により発生した問題を制御、復旧することができます。

- ウォッチドッグタイム
- CPU温度、基板温度監視、
- 電源電圧監視
- 筐体ファン、バッテリーモジュール監視

6. ECCメモリ対応

ECC(エラー訂正)機能付きメモリを採用。
 8GB 16GB

7. ステータス表示

フロント表示部にエラーLEDやアラームLEDを搭載しています。

信頼性 機能

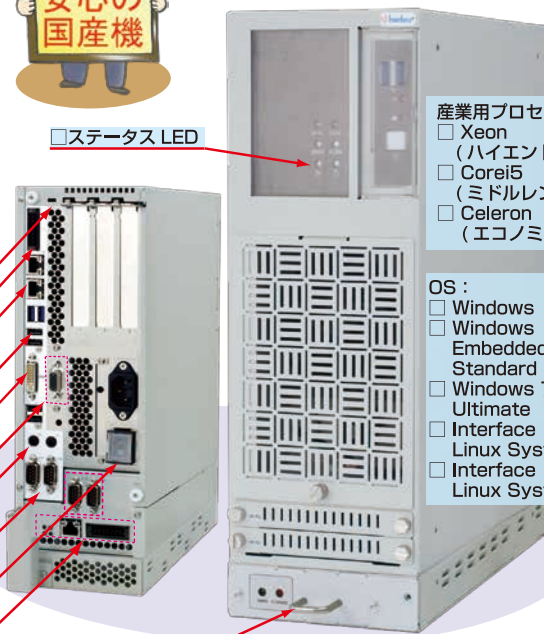
スリムタワーCD

拡張スロット×3

ODM・カスタムは
営業までご相談ください。



現場で活躍!



ステータスLED

産業用プロセッサ:
 Xeon (ハイエンド)
 Corei5 (ミドルレンジ)
 Celeron (エコノミー)

OS:
 Windows 10 IoT
 Windows Embedded Standard 7
 Windows 7 Ultimate
 Interface Linux System 7
 Interface Linux System 8

瞬低対策用電源装置

拡張スロット : PCIExpress x8×2スロット、PCI×1スロット

起動デバイス : CFast 32GB

ストレージ : 2.5インチ SATA スロット×2

HDD1TB SSD64GB、ハードウェア RAID

標準 110(W)×260(D)×300(H) mm

瞬低バッテリー付き 110(W)×280(D)×330(H) mm

各種規格 : EMC 指令、RoHS 指令対応

※有償オプション

- ・I/O追加 RS232C 2ポート追加
- ・追加ディスプレイ出力
- DVI-D アナログRGB DisplayPort
- ・瞬低対策 瞬低対策コンデンサ
- ・取付金具 スリムタワーCD用据置き金具

インタフェースモジュール

PCI Express バス 120種

PCIバス 200種



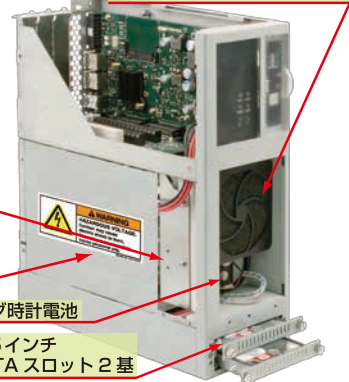
HDD 盗難防止機構

電源

カレンダー時計電池

2.5インチ SATA スロット2基

冷却ファン・防塵フィルタ



8. 全数機能検査～6h エージング

国内自社工場で生産し、全数機能検査～6時間のエージングを実施しています。

9. 製品保証 2年+2年(製品登録)

製品保証は弊社出荷日から起算。故障時機能検査、修理または代品交換。

- その他有償サービス
検査成績書発行、トレーサビリティ調査報告書、故障原因調査

セキュリティ

10. リモート機能はあえてOFF

弊社ではセキュリティホールとなりがねないリモート機能は、出荷時あえてOFFにしています。本機能の出荷時設定変更については、弊社営業担当へご相談ください。

11. TPM (HDD 暗号化)

TPMチップにより、ハードディスクを暗号化できるため、万一、ハードディスクが盗難されても、ハードディスク単体では解読することができません。

12. 国内自社開発・生産

開発から生産まで、すべて自社で行なっています。安心の国産機です。(工場見学承ります。)

13. バックグラウンド通信のブロック

WindowsOS稼働中の意図しない自動通信は弊社が把握している範囲で停止しています。本機能の出荷時設定変更については、弊社営業担当へご相談ください。

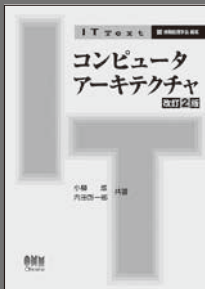
14. ROM化

CFastを起動ドライブとしたシステムのROM化により、万一の障害にも再起動で即復旧できます。

15. 寿命部品も容易に現地で交換できます

詳しくはwebsiteまで www.interface.co.jp

☒ URL : www.interface.co.jp ☒ E-mail : support@interface.co.jp



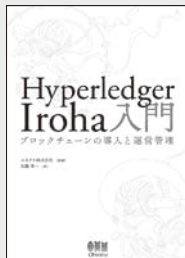
情報処理学会編集の教科書シリーズ!

IT Text コンピュータアーキテクチャ 改訂2版

小柳 滋・内田啓一郎 共著 A5判/256頁/定価(本体2,900円+税)

コンピュータアーキテクチャの理論、技術の要点を、大学の講義に即してコンパクトにわかりやすく解説した教科書です。改訂にあたり、より大学の講義で使いやすく、現状に合った内容へと見直しを図りました。1コマ15回の講義で、コンピュータアーキテクチャの基礎から発展までを勉強できる構成です。

日本発、世界基準のブロックチェーンを目指す「Hyperledger Iroha」を攻略する!



Hyperledger Iroha入門 ブロックチェーンの導入と運営管理

コネクト株式会社 監修/佐藤栄一 著 B5判/288頁/定価(本体3,000円+税)

日本発のオープンソース ブロックチェーンフレームワーク「Hyperledger Iroha」(2019.5.6発表)を使用して、ブロックチェーンを構築し、プログラミングやオペレーション、改ざん検知などを、実現するものです。短時間の作業で実際のブロックチェーン環境を利用できるようになります。

API・ディープラーニングの原理と全体像を解説!



APIではじめる ディープラーニング・ アプリケーション開発 Google Cloud API活用入門

キャッツ株式会社 編/渡辺政彦・坂本 伸・森嶋晃介・柳澤伸紘・李 乃駒 共著
B5変判/192頁/定価(本体3,200円+税)

API(Application Programming Interface、Webサービスの機能を外部から利用するためのインターフェース)を活用してディープラーニング・アプリケーション開発をはじめするための入門書。第1部でAPIとディープラーニングの原理と全体像を解説、第2部でAPIの実装について、第3部では、Google Cloud APIの活用シーンを解説します。

BestでLongでGreatセラー!

本書一冊あれば 技術者・エンジニアとしての礎となる!

第6版
登場!!

マスタリングTCP/IP 入門編 第6版

井上直也・村山公保・竹下隆史・荒井 透・苅田幸雄 共著
B5判・400頁・定価(本体2,200円+税) ISBN 978-4-274-22447-8

TCP/IP解説書の決定版! 時代の変化によるトピックを加えた最新版!

主要目次

- | | | |
|----------------|---------------|----------------------------|
| 第1章 ネットワーク基礎知識 | 第4章 IPプロトコル | 第7章 ルーティングプロトコル(経路制御プロトコル) |
| 第2章 TCP/IP基礎知識 | 第5章 IPに関連する技術 | 第8章 アプリケーションプロトコル |
| 第3章 データリンク | 第6章 TCPとUDP | 第9章 セキュリティ |



オーム社

〒101-8460 東京都千代田区神田錦町3-1
TEL 03(3233)0853 FAX 03(3233)3440

www.ohmsha.co.jp
定価は変更になる場合があります。

今、必要とされる人材を育てる

超注目シリーズ

データサイエンス入門シリーズ

シリーズ編集委員 竹村彰通（滋賀大学、編集委員長）
狩野裕（大阪大学）、駒木文保（東京大学）、清水昌平（滋賀大学）
下平英寿（京都大学）、西井龍映（長崎大学、九州大学名誉教授）、水田正弘（北海道大学）

- 「数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム」のスキルセットに依拠
- 具体的、体験的に学べる応用例、練習問題を収録
- フルカラーで見やすい構成



新刊

スパース回帰分析とパターン認識

梅津 佑太 / 西井 龍映 / 上田 勇祐・著

B5 変・208 頁・本体 2,600 円（税別） ISBN 978-4-06-518620-6

新刊

データ解析の標準的ツールとなったスパース回帰分析、判別分析、深層学習、サポートベクターマシン、ランダムフォレストなどをRコードとともに解説。深層学習はRのパッケージkerasで実装。具体例も豊富で実用性も高い！また、選ばれたモデルへの理解などの発展的な内容まで踏み込んだ。



モンテカルロ統計計算

鎌谷 研吾・著 駒木 文保・編

B5 変・192 頁・本体 2,600 円（税別） ISBN 978-4-06-519183-5

新刊

マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)が驚くほど真面目によくわかる！ 理解を助けるためのR言語のコードや章末の練習問題が充実！「乱数の生成」や「エルゴード性」についても解説。



既刊

データサイエンスのための数学

椎名 洋 / 姫野 哲人 / 保科 架風・著 清水 昌平・編

A5・304 頁・本体 2,800 円（税別） ISBN 978-4-06-516998-8

3 刷



データサイエンスの基礎

濱田 悦生・著 狩野 裕・編

A5・192 頁・本体 2,200 円（税別） ISBN 978-4-06-517000-7

2 刷



統計モデルと推測

松井 秀俊 / 小泉 和之・著 竹村 彰通・編

A5・224 頁・本体 2,400 円（税別） ISBN 978-4-06-517802-7

好評



Python で学ぶアルゴリズムとデータ構造

辻 真吾・著 下平 英寿・編

B5 変型・208 頁・本体 2,400 円（税別） ISBN 978-4-06-517803-4

2 刷



最適化手法入門

寒野 善博・著 駒木 文保・編

A5・256 頁・本体 2,600 円（税別） ISBN 978-4-06-517008-3

3 刷



東京都文京区音羽 2-12-21
<https://www.kspub.co.jp/>

講談社

編集 ☎03(3235)3701
販売 ☎03(5395)4415

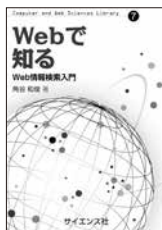
サイエンス社 近刊・新刊のご案内



コンピュータを操る プログラミングを通して「情報科学的なものの考え方」を学ぶ

浅井健一著 本体1600円

初等教育から始まる情報系の教育改革が進む現代において、教養となる基礎的な部分を、専門家が一般読者向けにやさしく解説。本書では、独自のブロックプログラミング環境を使って情報科学的なものの考え方を学ぶことができる。



Webで知る Web情報検索入門

角谷和俊著 予価1400円

初等教育から始まる情報系の教育改革が進む現代において、教養となる基礎的な部分を、専門家が一般読者向けにやさしく解説。本書では、検索エンジンや情報推薦システムがどのような考え方や方針によって構築されているかを学ぶことができる。



コンピュータに問い合わせる データベースリテラシ入門

増永良文著 本体1600円

初等教育から始まる情報系の教育改革が進む現代において、教養となる基礎的な部分を、専門家が一般読者向けにやさしく解説。本書では、さまざまなデータがデータベースとして一元管理され、情報システムの下支えとなっていることを学ぶことができる。



Webでつながる ソーシャルメディアと社会/心理分析

土方嘉徳著 本体1500円

初等教育から始まる情報系の教育改革が進む現代において、教養となる基礎的な部分を、専門家が一般読者向けにやさしく解説。本書では、Webやソーシャルメディアが人や社会を理解するための重要な情報源になることを学ぶことができる。



統計的データ解析の基本

山田 秀・松浦 峻共著 本体2550円

統計的手法の手順/原理を学ぶという2つの立場で、統計的データ解析の理論と応用について基礎的な事項を解説。統計的手法が身につく、より深く適切なデータ解析が可能となる好個の書。

数理工学社 近刊・新刊のご案内 発売：サイエンス社



レクチャー オペレーティングシステム

福田 晃著 予価2000円

情報系の学部生向けに、オペレーティングシステムの基礎的な事項を中心に簡潔かつ丁寧に解説。各章末には学習を深める設問と、巻末にはその略解を掲載した。斯学を学ぶにはうってつけのテキスト・参考書。

Rプログラミングマニュアル [第2版] (電子版)

Rバージョン3対応
間瀬 茂著 本体4200円

*弊社ホームページのみでご注文を承っております。ご注文の際には「電子書籍ご利用のご案内」をご一読頂きますようお願い致します。

〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷1-3-25 TEL 03-5474-8500 FAX 03-5474-8900
ホームページで注文ができます。 <https://www.saiensu.co.jp> *表示価格は全て税抜きです。

サイエンス社

巻頭コラム

- 430 ■ プログラミング教育の本質とは 水野雄介

特別解説

- 432 ■ 高輪ゲートウェイ駅開業～ICT活用と駅サービスロボット～ 福田和人
434 ■ 亡くなった人とのVR「再会」をめぐる 折田明子

創立60周年記念特集

2050年の情報処理

- 438 0. 編集にあたって 楠 房子
440 1. ■ 組込みシステムはどこへ向かうか? 高瀬英希
442 2. ■ ソフトウェア開発の未来 丸山勝久
444 3. ■ 30年後? 知らん 山田浩史
446 4. ■ 2050年のプログラミング 千葉 滋
448 5. ■ 30年後のコンピュータアーキテクチャ第2版 井上弘士
451 6. ■ 高性能計算の今後を予想する 岩下武史
453 7. ■ 近未来を予測できる世界, Ability-aware な世界 井上創造
456 8. ■ モバイルコンピューティングの未来像—リアルを超えるデジタル空間を実現し,
AI・ロボットの遍在化を推進し, 自己実現をアシストする— 太田 賢
458 9. ■ 2050年の情報処理(セキュリティ編) 菊池浩明・須賀祐治
460 10. ■ 2050年の学術情報処理 難波英嗣
462 11. ■ グループウェアから共助社会へ 齊藤典明
465 12. ■ 2050年の春のある日 田上敦士
467 13. ■ トラストで紡ぐセキュリティ 寺田真敏・金岡 晃・島岡政基・村山優子
469 14. ■ 大規模社会実験の成果やいかに? 石川翔吾
471 15. ■ 能力はダウンロードできるか? 暦本純一
473 16. ■ 社会的重要課題の解決に挑むAI—ビッグデータ 石井一夫
475 17. ■ スーパーヒューマン音声対話コミュニケーションシステム 俵 直弘・塩田さやか
477 18. ■ 30年前と30年後へのメッセージ—情報処理に期待すること— 鹿内菜穂
480 19. ■ 生物学と情報科学によるトランスヒューマン研究の進化 倉田博之
482 20. ■ 2050年の知能システム 川村秀憲・大知正直・清 雄一・福田直樹・横山想一郎
484 21. ■ Post-Truth 音楽情報処理 深山 寛
486 22. ■ 情報システムとしての法律もしくは法治の未来 居駒幹夫・柴田睦月
488 23. ■ コンピュータグラフィックスの未来 土橋宜典
490 24. ■ 2050年のエンタテインメントコンピューティング 井村誠孝
492 25. ■ 人口9,000万人時代の日本の電子化知的財産・社会基盤 加藤尚徳

報告

- 506 ■ 多くの人が同意しない未来を作る～慶應義塾大学の話題の公開授業「SFCスピリッツの創造」に行ってきた～
太田智美

★ Jr. 指標にジュニア会員向けが追加されました。

《記号の説明》

■ 基礎 ■ 専門家向け
■ 応用 ■ 一般(非専門家)向け ★ Jr. ジュニア会員向け
※各記事に指標がついていますので参考にさせていただきます

◆◆「情報処理」Kindleで販売中!◆◆

「情報処理」はKindle版でも販売中です!

ご購入はAmazonから→ <https://www.amazon.co.jp/>

「情報処理学会 Kindle」で検索



情報処理

437 連載：📖 集まれ!ジュニア会員!!

寄稿

494 📖 ソフトウェア工学を推進した木村泉君を悼む 和田英一・久野 靖

連載：情報の授業をしよう!

500 📖 プログラミングの思考を高等学校のすべての教科に取り入れたら授業がどう変わったか

—2016～2018年度「県立高校改革基本計画」プログラミング教育研究推進校の指定校の取り組みより— 鎌田高徳

教育コーナー：ぺた語義

509 📖 📖 携わるシステムが利用される楽しみ 松浦健二

510 📖 ワークショップで小学生のための情報科学の授業を作った話 原田康徳

516 📖 Processing でプログラミングに挑戦!—第4回アニメーションとインタラクション— 杉浦 学

連載：📖 ビブリア・トークー私のオススメー

522 マインドストーム 子供, コンピューター, そして強力なアイデア 斎藤俊則

連載：📖 5分で分かる! 有名論文ナナム読み

524 Jacot, Arthor, Gabriel, Franck and Hongler, Clement : Neural Tangent Kernel : Convergence and Generalization in Neural Networks 甘利俊一

会議レポート

526 NeurIPS 2019 参加報告 石井雅人

連載：買い物自慢

528 自分が欲しいキーボードをつくろう 高井直人

追悼

529 名誉会員 Blagovest Hristov Sendov (ブラゴヴェスト・センドフ) 博士を偲ぶ 村山優子

531 英文目次

532 会員の広場

534 IPSJ カレンダー

536 論文誌ジャーナル掲載論文リスト

536 論文誌トランザクション掲載論文リスト

537 デジタルプラクティス掲載論文リスト

538 人材募集

539 有料会告

540 アンケート用紙

542 編集室/次号予定目次

543 掲載広告カタログ・資料請求用紙

544 賛助会員のご紹介

■会誌編集委員会

編集長：稲見 昌彦

副編集長：大山 恵弘・加藤 由花・中田真城子

担当理事：楠 房子・清水 佳奈

本号エディタ：

稲葉利江子・上松恵理子・江波浩一郎・大石 康智・大川 徳之・

太田 智美・折田 明子・角田 博保・金子 格・川上 玲・

河原 亮・久野 靖・樺 惇志・斎藤 俊則・須川 賢洋・

袖 美樹子・高木 拓也・中島 一彰・西川 記史・畑田 裕二・

坂東 宏和・細野 繁・堀井 洋・福地健太郎・坊屋 真弓・

水野加寿代・山本ゆうか・湯村 翼・渡辺 博芳

編集長ブログ：blog-mag.ipsj.or.jp

理事からのメッセージ：

https://www.ipsj.or.jp/annai/aboutipsj/riji_message.html

■情報処理学会事務局本部

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5 化学会館4F

Tel(03)3518-8374 (代表) Fax(03)3518-8375

E-mail: soumu@ipsj.or.jp <https://www.ipsj.or.jp/>

郵便振替口座 00150-4-83484

銀行振込 (いずれも普通預金口座)

みずほ銀行虎ノ門支店 1013945

三菱UFJ銀行本店 7636858

名義人：一般社団法人 情報処理学会

名義人カナ：シヤ) ジョウホウシヨリガツカイ

■規格部 情報規格調査会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館308-3

Tel(03)3431-2808 Fax(03)3431-6493

E-mail: standards@itscj.ipsj.or.jp <https://www.itscj.ipsj.or.jp/>

■支部 北海道/東北/東海/北陸/関西/中国/四国/九州

電子版
-DIGITAL VER-



Kindle



Fujisan



情報学広場



プログラミング教育の本質とは

■ 水野 雄介



ライフイズテックという中学生・高校生向けにプログラミング／IT教育を行っている会社の代表をしております。水野雄介と申します。

2020年、東京オリンピック開催の象徴すべき年ですが、教育界でも多様な改革が行われています。新学習指導要領では知識偏重型の学びからアクティブラーニングを核とした実践型のカリキュラムへ、大学入試改革(延期)やGIGAスクール構想(1人1台パソコン)などさまざまです。その中でも、2020年4月から小学校でのプログラミング教育必修化、こちらに非常に注目が集まっています。

教えられる先生はいるのか、カリキュラムはあるのか、パソコンが1人1台あったとしても何をするのか、つまらない授業にならないのか。方法論にはたくさん議論があると思いますが、まず大事なのは、プログラミングは“手段”であり、“目的”ではない、ということです。ここではそのプログラミング教育をすることで、“何を”目的とするのか、その本質を私なりの意見として述べさせていただきます。

ライフイズテックは2010年創業、10年目の会社となります。これまで延べ42,000人の中高生、オンラインも含めると15万人以上が学んでくれています。日本ではNo.1、世界でも2番目の規模で開催させていただいています。その中で私たちが大事にしてきたのは、子供たち一人ひとりがその創造力＝クリエイティビ

■ 水野 雄介

ライフイズテック（株）代表取締役 CEO

1982年、北海道生まれ。慶應義塾大学理工学部物理情報工学科卒業、同大学院修了。大学院在学中に、開成高等学校の物理非常勤講師を2年間務める。その後人材コンサルティング会社を経て、2010年ライフイズテック（株）を設立。14年に、同社がコンピュータサイエンスやICT教育の普及に貢献している組織に与えられる“Google RISE Awards”を東アジアで初授賞。



ティを發揮する、ということです。全員がプログラミングを学びエンジニアになるべきかというところではありません。もちろん得意な子はそこを伸ばせばいいけれど、そうでなくても、実際にテクノロジーを使って何かを創り、課題解決までできること、「世界を変えていく力」を育むことが大事だと考えています。たとえば医療が好きなら医者になるのもいいけれど、テクノロジーを知っていることで別のイノベーションが起これるかもしれない。環境問題も、ダイバーシティの問題も、その解決方法としてテクノロジーを活用できるかどうかでその及ぼす範囲が大きく変わります。そもそもテクノロジーは何のためにあるのか、それは世界をサステナブルに前進させ、できるだけ多くの人が幸せになれる、次世代の社会をつくるためです。AIなどの技術が発展していく中で、それらに代替されることなく人間が価値を發揮するためには、そうしたクリエイティブな力が必要なのです。つまり、プログラミング教育の本質は、個々のクリエイティビティを發揮させ、世界を“良く”変える力を育むことなのです。そして最後に“良く”という言葉を使いました。そこにあるのは、人間としての倫理観です。誰のために、何のために、どんな課題を解決するのか。プログラミング教育を通して、人間としての考え方も磨いていけると考えています。

高輪ゲートウェイ駅開業 ～ ICT 活用と駅サービスロボット～



福田和人 | 東日本旅客鉄道（株） 技術イノベーション推進本部

高輪ゲートウェイ駅開業

2020年3月14日に、山手線30番目となる新駅「高輪ゲートウェイ駅」が開業しました（図-1）。高輪ゲートウェイ駅は、2024年頃のまちびらきを予定している新しい街の核として、東京と世界をつなぐ玄関口となることを目指しています。特に、JR東日本グループのさまざまな「やってみよう」を盛り込み、新しいことに挑戦しています。ここでは、ICT活用と駅のサービスに関するロボットについてご紹介します。

ICT 活用と駅サービスロボット

ICT を活用したさまざまな取り組み エコステ

高輪ゲートウェイ駅は、JR東日本が推進する環境保全技術を盛り込む「エコステ」の駅として、さまざまな取り組みを進め、SDGs（持続可能な開発目標）の達成に取り組んでいます。具体的には、膜屋根（通

常の建築資材でなく、ガラス繊維等を用いた膜構造の屋根）や太陽光パネルの活用等により、温熱環境向上や消費電力量の削減に取り組んでいます。

新しい改札機

車いすをご利用のお客さまも利用しやすい、ICカードのタッチ部分の形状を工夫した自動改札機を試行導入しています。また、QRコードによる改札機利用評価実験も行う予定です。

聞き取りやすい放送設備

駅コンコースにおいて常時周囲の喧噪音を計測し、放送音量を聞き取りやすい音量に自動制御する放送システムを試行導入しています。

これまでにないエキナカ店舗

お客さまサービス向上や人手不足解決を目指した無人AI決済店舗「TOUCH TO GO」が営業しています。これまで大宮駅・赤羽駅で実証実験を行った結果が盛り込まれています。

駅サービスロボット

駅は人流の結節点であり、お客さまへのご案内や警備、清掃、物品搬送等さまざまな業務があります。JR東日本では、これらの業務のより高度化を目指して、ロボット技術の研究開発を進めています。高輪ゲートウェイ駅では、案内AIシステムと自律移動ロボットの試行導入を行っています（図-2）。

案内AIシステム

案内AIシステムに関し、JR東日本が主催した「モビリティ変革コンソーシアム」の「案内AIみんなで育てようプロジェクト」にて、2回にわたり実証



図-1 高輪ゲートウェイ駅（イメージ）

実験を行ってきました。

案内システムは、ロボットタイプ、サイネージタイプがあります。1回目は、2018年12～2019年3月に、東京駅他全6駅とホテルメトロポリタンにて、19社の協力により28台の案内システムを用いて実証実験を行いました。そこで得られたさまざまな課題をもとに、2回目として、2019年8月～11月に、東京駅他全8駅で、15社の協力により35台の案内システムを用いて実証実験を行いました(本実証実験の一部は、東京都の事業であるTokyo Robot Collection「コミュニケーションAI育成」に採択されました)。

お客さまに複数のロボットやサイネージを同時期にご利用いただくことは、鉄道業界として初めての取り組みであり、お客さまのご質問の傾向やお答えするロボットの特性等、さまざまな知見が得られました。高輪ゲートウェイ駅では、これらを活かした案内システムが試行導入されています。

自律移動ロボット

駅業務に限らず広い分野において、警備、清掃等の業務は省力化・効率化が課題となっており、ロボット技術に期待が寄せられています。

「モビリティ変革コンソーシアム」では、これらの課題にも取り組みました。さいたま新都心駅にて自律移動ロボットの稼働実験を行い、その成果を元に高輪ゲートウェイ駅で自律移動ロボットを稼働させています。警備、清掃用の2種類のロボットが



図-2 高輪ゲートウェイ駅で稼働するロボット等 (イメージ)

3月から9月にわたり活動しています。それ以外にも案内、搬送用ロボット等による1週間程度の実証実験を予定しています。

サービスロボット本格導入に向けて

ICTの発展は目覚ましいものがあります。従来人間が行っている作業のロボットへの置き換えという課題もすぐに解決するかもしれません。AI技術の発達でロボットとの会話も違和感なく行われ、自律移動や周辺技術の発展で、ロボットは人間以上に警備や清掃、物品搬送等を行うかもしれません。しかし、真心を込めたサービスや状況に応じた臨機応変の判断など、人間でないとできないこともあります。それらを見極め、人間とどのように分担していくかを考えていくことが重要になってくるでしょう。

今後の高輪ゲートウェイ駅

高輪ゲートウェイ駅は、「グローバルゲートウェイ品川」をコンセプトに進めている品川開発プロジェクトの玄関口であり、駅からさまざまな情報発信をしていきます。

駅開業後には、駅前に特設会場を設置し、約半年間の期間限定イベント「Takanawa Gateway Fest」を開催します。ここでは、さまざまなイベント・展示があり、ICTに関連があるものもたくさんあります。未来の技術やサービスが体験できる「A DAY～ちょっとミライのつながるセカイ～」 「先進的な環境・エネルギー展示」 「水素エネルギー体験イベント」等が予定されています。これら以外にもまだまだたくさんのイベントがあります。

JR東日本の新たな取り組みが随所に見られる高輪ゲートウェイ駅、ぜひいらして体験してみてください。

(2020年2月26日受付)

■福田和人

1996年東日本旅客鉄道(株)入社。信号システム、輸送管理システムの保守・工事・開発に従事。2018年よりモビリティ変革コンソーシアム関連業務に従事。電気学会正員、IRSEフェロー、博士(工学)。

亡くなった人との VR「再会」をめぐる

折田明子 | 関東学院大学

亡き娘の VR

7歳の娘を病気で喪った母親が、娘本人の姿を再現したバーチャルリアリティ（VR）で3年ぶりに娘と「再会」したドキュメンタリーが韓国のMBCで放映された¹⁾（図-1）。製作スタッフは、VIVEスタジオと共同で、娘の写真と代役を演じた同年代の少女の動きを取り入れながら亡き娘の顔や体、声を徹底的に再現した。生前の1分あまりの声データに、5人の同年代の子どもたちの声を800文章ずつ録音



図-1 特集 VR ヒューマンドキュメンタリー・「君に会った」（韓国 MBC サイトより）

し、AIで声を再構成したという²⁾。VRによる「再会」の様子の一部はMBCLifeのYouTube公式チャンネルで視聴することができる³⁾。ただし、視聴するにあたっては、心の準備が必要かもしれない。

VRの女の子は、「お母さん！」と駆け寄り、「お母さんどこにいたの？ 私のこと忘れなかった？」「お母さんに会いたかったよ」と母に話しかける。母は泣きながらも、「私もよ」とVRの女の子をグローブで撫でようとする。傍から見ればその手はすり抜けるばかりなのだが、グローブによって母には触覚が伝わっているのだろう。その後、一緒に誕生パーティーをし、「お母さん、泣かないで」とVRの女の子が話しかける。自分が書いたという手紙を読み、ベッドに寝そべり、最後は白い蝶々になって去って行く。

前述した記事によれば、母は「娘に会うことができるととても嬉しかった」とコメントをしたという。筆者も記事を読んだ直後にその動画を観たものの、最後までとても観られなかった。本稿を執筆するために、改めて最後まで通して数度観たのだが、胸を締め付けられる息苦しさは、なかなか言葉にならない。これは何かの一線を越えてしまったのではないかという感覚と、自分がこの母親の立場ならば、どんな形でも亡きわが子に会おうとするだろうという気持ち、そしてこの後VRゴーグルを外すことができるだろうかと考え込んでしまった。

生前のデータからの再構成

日本でも、故人と「再会」する試みが放映されたばかりだった。「よみがえる」と表現された「AI美空ひばり」は、NHKの番組企画として生まれた。生前の歌声や歌唱法のデータをもとに音声を合成し、2019年12月の紅白歌合戦では新曲を披露した。曲間には「お久しぶりです。あなたのことをずっと見ていましたよ」という台詞が入った。番組ではファンが感激し涙を流していたが、シンガー・ソングライター山下達郎氏が「冒涇です」と言及するなど、これを批判的に受け止める声も少なからず上がっていた。

故人が生前に残した作品や映像を元に、新たな作品を作ることは、新しいことではない。マーガレット・ミッチェル著『風と共に去りぬ』の続編の件は、著作権が切れた後に勝手に続編を書かれることを危惧したミッチェルの相続人らが続編の出版を企画した。1991年に、公募で選ばれたアレクサンドラ・リプリーによる続編『スカーレット』が出版されたが、その評判は分かれた。また、2019年に公開されたスター・ウォーズシリーズの9作目『スカイウォーカーの夜明け』では、撮影前に没した俳優キャリア・フィッシャーが生前に残していた未使用の映像を用いて、レイア・オーガナ将軍の「出演」を実現している。ただ、これらは、作品を前提としての再現であり、故人自身を再構成し、新たに語らせたり演じさせたりするものではない。生前残されたデータの学習によって、本人そっくりのAIを作り声や会話を再現することは、まさに「よみがえった」と錯覚させるものであり、今後多種多様なデータをもとに学習が進めば、再現性も高まることが予想できる。その存在は、愛する人の死を悼む上でどのような意味を持つようになるのだろうか。

悲嘆と追悼のプロセス

死別に伴う悲嘆については、長らくフロイトの主張にもとづき、故人との絆は切断すべきであり、悲しみを乗り越えるためには、愛する人がもはや存在しないという現実を繰り返し確認する「喪の作業」が必要であるという考えがあった。一方、1980年代以降、故人への思いを発展的にすることが死別への適応につながるという見方も出てきた。たとえば、「絆の継続モデル (Continuing Bond Model)」⁴⁾では、故人との絆の継続が一定の役割を果たすことが指摘されており、近年ではFacebookの追悼アカウントにおいてそうした現象が報告されている^{5), 6)}。追悼アカウントのタイムラインには、故人に話しかけるコメントが並ぶ。

故人との絆を確認することで、喪失の悲しみと向き合っていくことは、宗教や慣習によってさまざまな形が作られてきた。日本では、春分や秋分の日を彼岸として墓参することや、真夏の盆休みに先祖が帰ってくることを、仏壇に供え物をして故人に語りかけるといった、仏教をベースとした習慣が一般的に受け入れられている。文化や慣習によって、故人との向き合い方はそれぞれに積み重ねられており、子どもを亡くした親、不慮の事故で大切な人を亡くしたときのケアなど、経験と知見は丁寧に積み重ねられてきた。そこに、突然テクノロジーによって、故人を「よみがえらせる」かのように再構成することは、追悼のプロセスを豊かにするのか、それとも壊してしまうのか、慎重に検討する必要があるのではないだろうか。

共有していないはずの時間

冒頭で紹介した亡き娘のVRに戻ろう。「お母さんに会いたかったよ」という言葉の重さである。本来、生きる者と同じ時間を積み重ねることができないはずの故人が、まるで同じ時間を過ごしてきたか

のような台詞を言う。亡くなった時点の言葉ではなく、残されたデータを元に、「現在生きていたら」という条件で生成された言葉はもはや故人自身の言葉ではないはずだ。AI 美空ひばりの「お久しぶりです」も同様だ。あくまで、人間が設計したプログラムに基づいて発せられた言葉なのだ、ということ的前提に、故人のデータを用いた VR や AI を作ることに、同意できるのか。これを「再会」と言ってしまうてよかったのか。現実には、是非を考えるまでもないのかもしれない。ただ愛する人にもう一度会いたいという気持ちに任せてよいのかどうか。会いたいのは、生前のどの時点の像なのか。故人との再会を、テレビ番組としてマスメディアで共有してもよいのかなど、考えるべきことは尽きない。

故人が残すデータは、遺された側にとっては、追悼上の理由や歴史的資料という理由から貴重なものである一方で、故人本人が生前、それを残すことやそれを元に自分自身を再構成することをよしとしない可能性はある。それを元に故人を悼み懐かしむことが、感情に強く訴えることであるが故に、残されたデータを用いて何かを再構成し、「よみがえった」として「再会」することについては、それがさらなる苦しみとならないように、また詐欺などに悪用されないように、ルールを議論する必要があるだろう。自分の死後、そのデータを元に「再会」されることを許可するか、しないかも含めて検討する時期がやってきた。

参考文献

- 1) MBC グローバルメディア [特集 VR ヒューマンドキュメンタリー] 君に会った http://content.mbc.co.kr/program/documentary/3479845_64344.html
- 2) ウォリックあずみ「3年前に亡くなった7歳の娘と「再会」韓国, VRを使ったテレビ特番が賛否呼ぶ」(Newsweek 2020.2.23) https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2020/02/37vr_1.php
- 3) MBCLife [VR 휴먼다큐멘터리 - 너를 만났다] 세상 떠난 딸과 VR로 재회한 모녀 | “엄마 안 울게. 그리워하지 않고 더 사랑할게”, <https://www.youtube.com/watch?v=uffTK8c4w0c>
- 4) Klass, D., Silverman, P. R. and Nickman, S. L. eds. : Continuing Bonds : New Understanding of Grief Bristol, PA & London : Taylor & Francis (1966).
- 5) Getty, E., Cobb, J., Gabeler, M., Nelson, C., Weng, E. and Hancock, J. T. : I Said Your Name in an Empty Room: Grieving and Continuing Bonds on Facebook, pp.997-1000 (2011).
- 6) McEwen, R. N. and Scheaffer, K. : Virtual Mourning and Memory Construction on Facebook, Bulletin of Science, Technology & Society (33:3-4), pp.64-75 (2013). <https://doi.org/10.1177/0270467613516753>

(2020年3月2日受付)

折田明子 (正会員) oritako@kanto-gakuin.ac.jp

関東学院大学人間共生学部准教授。2007年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科にて博士(政策・メディア)取得。中央大学ビジネススクール助教、慶應義塾大学特任講師、米国ケネソー州立大学客員教員等を経て現職。生涯のデータとプライバシーの研究に従事。EIP研究会幹事。情報社会学会理事。

集まれ! ジュニア会員!!

今回は前回に引き続き、2019年12月21日に開催された、小学3年～6年生のジュニア会員を対象とした本会主催のイベントである「Exciting Coding! Junior 2019」にて制作された作品を紹介し

ます。本イベントでは、親子でプログラミングを楽しみました。今回は、プログラミング可能な小さなコンピュータである micro:bit を利用した作品を紹介し

作品介绍

_scrat さんの作品「端子タッチゲーム」

https://makecode.microbit.org/_T8zAvL77K9qF

表示された数字に対応する micro:bit の端子を手でふれるゲーム。最初にゲームの説明のメッセージが表示されます。その後、ボタン A を押すと、0 から 2 までのランダムな数字が表示されるので、表示された数字の端子をタッチします。正解だったら「Correct!」、不正解だったら「Wrong…」という文字が表示されます。こだわったポイントは、micro:bit の端子を使うことです。micro:bit はセンサがたくさんあるので、それを使った作品を作りたいと思いました。



● micro:bit の端子にタッチする様子 (右端の GND 端子をつまみ、0 または 1 または 2 の端子にふれます)



● プログラムの一部



こうすると
もつといいね!

micro:bit の端子は外部装置と接続して利用することができます。たとえば、アルミホイルとダンボールを使って、図のようなスイッチを用意すると、ゲームセンターに設置されているようなゲーム装置に近いものが作れるかもしれません。



ここがいいね!

micro:bit の端子を利用するのはいいアイデアですね。ランダム (乱数) を利用することで、実行するたびに異なる数字が出て、ゲーム性が高くなっています。

今回の作品は、Microsoft から提供されている MakeCode エディタを利用して作成しています。Web ブラウザ上で、プログラミング言語 JavaScript でプログラミングでき、ブロックとテキストを行き来しながらプログラムを作成することができます。エディタにはシミュレータが合わせて用意されているので、micro:bit 本体がなくてもプログラミングを楽しめます。ぜひ試してみてください。

参考 Web サイト : micro:bit, <https://microbit.org/Make>
MakeCode エディタ, <https://makecode.microbit.org/>

本企画では、ジュニア会員の方の作品・プログラムを募集しています。氏名、ニックネーム、ご連絡先メールアドレス、会員番号、作品に利用しているプログラミング言語、作品タイトル、作品の説明、こだわったポイントを、以下の宛先までお送りください。

✉ 会誌編集部門 E-mail : editj@ipsj.or.jp

担当 : 吉田 葵 (青山学院大学)

創立 60 周年記念特集

2050年の情報処理

編集にあたって 楠 房子 | 多摩美術大学

本会の60周年企画として、本特集「2050年の情報処理」をお届けする。本特集では1991年に行った特集「30年後の情報処理」(32巻1号/1991年1月号)^{☆1}の検証を行いつつ、現在から30年後の2050年に向けての予想を試みる。情報処理技術の今後のさらなる発展に期待し、学会に所属する各研究会にご寄稿をお願いした。まず各分野で(もし1991年に予想をした研究会であれば)約30年前に行った予想とこれまでの軌跡を振り返っていただいた。そして、今後の30年についての進展を各専門家が予想し、30年後の情報処理の姿を探っていただいた。とはいえ30年後がどうなっているかは、誰にも予測できないので、あくまでコラム・エッセイ記事としている。

1991年の同特集「30年後の情報処理」では、19の研究会からの30年後の予想をタイトルで特集が組まれていた。

- 自然言語処理「自然言語処理」
- データベース・システム「情報処理機械から情報記憶機械へ」
- 人工知能「人工知能の夢への接近」
- 記号処理「当たらずも八卦」
- ソフトウェア工学「ソフトウェア作成技術」
- マイクロコンピュータとワークステーション「微処理から漠処理へ」
- 計算機アーキテクチャ「30年後のコンピュータアーキテクチャ」
- オペレーティング・システム「30年後のオペレーティング・システム」

^{☆1} <http://id.nii.ac.jp/1001/00004738/>

- マルチメディア通信と分散処理「2020年の初夏のある日」
- ヒューマンインタフェース「コンピュータサイエンスの社会的認識」
- グラフィクスとCAD「グラフィクスとCADの30年後の夢」
- 数値解析「30年後の数値解析」
- ソフトウェア基礎論「情報処理の30年後の夢を書けといわれても」
- 情報システム「情報システムの立場から」
- 情報学基礎「30年後の情報社会」
- アルゴリズム「30年前、現在、30年後のアルゴリズム研究」
- 人文科学とコンピュータ「社会的システムの向上を目差して」
- 音楽情報科学「計算機のための音楽でない音楽」
- 仕様記述の効率的適用と評価『仕様記述の効率的適用と評価』研究の今後」

そして2020年の現在、本会の研究会は、3領域40研究会と5研究グループ(2019年度;以下研究会)となっている。研究会の研究分野も情報学の分野を縦横に横断した多様性のある学際的な分野となっている。そして研究会は分野ごとにさまざまな活動を行い、国内における各分野の研究活動の活性化に貢献している。今回は、以下25の各研究会・研究グループの方々から「2050年の情報処理」について執筆していただいた(表-1)。

今回の特集も30年前の特集と同じように、多様な分野を反映する興味深い内容となっている。30年前のタイトルと比べてキーワードが重なる記事もあり、横断的な研究が進んでいることも感じられる。ぜひ、日頃自分の研究や興味とは遠い研究会の記事も読んでいただき、30年後の情報処理について想像していただければと思う次第である。

(2020年3月3日)

■表-1 2050年の情報処理一覧

コンピュータサイエンス領域 (CS)	
組込みシステム (EMB)	1. 組込みシステムはどこへ向かうか?
ソフトウェア工学 (SE)	2. ソフトウェア開発の未来
システムソフトウェアとオペレーティング・システム (OS)	3. 30年後? 知らん
プログラミング (PRO)	4. 2050年のプログラミング
システム・アーキテクチャ (ARC)	5. 30年後のコンピュータアーキテクチャ第2版
ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)	6. 高性能計算の今後を予想する
情報環境領域 (IE)	
ユビキタスコンピューティングシステム (UBI)	7. 近未来を予測できる世界, Ability-aware な世界
モバイルコンピューティングとパーベシブシステム (MBL)	8. モバイルコンピューティングの未来像
	ーリアルを超えるデジタル空間を実現し, AI・ロボットの遍在化を推進し, 自己実現をアシストするー
コンピュータセキュリティ (CSEC)	9. 2050年の情報処理(セキュリティ編)
情報基礎とアクセス技術 (IFAT)	10. 2050年の学術情報処理
グループウェアとネットワークサービス (GN)	11. グループウェアから共助社会へ
マルチメディア通信と分散処理 (DPS)	12. 2050年の春のある日
セキュリティ心理学とトラスト (SPT)	13. トラストで紡ぐセキュリティ
高齢社会デザイン (ASD)	14. 大規模社会実験の成果はいかに?
ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI)	15. 能力はダウンロードできるか?
メディア知能情報領域 (MI)	
ビッグデータ解析のビジネス実務活用研究グループ (PBD)	16. 社会的重要な課題の解決に挑むAIービッグデータ
音声言語情報処理 (SLP)	17. スーパーヒューマン音声対話コミュニケーションシステム
人文科学とコンピュータ研究会 (CH)	18. 30年前と30年後へのメッセージー情報処理に期待することー
バイオ情報学 (BIO)	19. 生物学と情報科学によるトランスヒューマン研究の進化
知能システム (ICS)	20. 2050年の知能システム
音楽情報科学 (MUS)	21. Post-Truth 音楽情報処理
情報処理に関する法的問題研究グループ (LIP)	22. 情報システムとしての法律もしくは法治の未来
コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学 (CG)	23. コンピュータグラフィックスの未来
エンタテインメントコンピューティング (EC)	24. 2050年のエンタテインメントコンピューティング
電子化知的財産・社会基盤 (EIP)	25. 人口9,000万人時代の日本の電子化知的財産・社会基盤

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

1 組込みシステムはどこへ向かうか？

基
般

高瀬英希 | 京都大学／組込みシステム研究会 (EMB)

「組込みシステム」はどこから来てどこへ向かうのか、30 年後のあるべき姿はどのようなになっているのか。35 歳の若輩者である筆者には荷の重いタスクではあるが、組込みシステム研究会 (SIGEMB) の幹事として、出来る限りの想像を巡らせてみたい。

組込みシステムの概説と出自

組込みシステムとは、家電製品や通信機器、運輸機器や工業制御装置などといった、各種の情報機器に組み込まれて、特定の機能を実現するための制御を行うコンピュータシステムのことを指す。アプリケーションに特有の要求に特化して設計されるため、必然的に多様な専用システムとなる。

Wikipedia 英語版の“Embedded system”項¹⁾に頼るならば、宇宙航空機アポロのガイドコンピュータが最初の組込みシステムの例であるとされている(ただし [citation needed] の脚注がある)。なお、本会 電子図書館で検索できた最も古い文献としては、昭和 56 年後期第 23 回全国大会 (1981 年 10 月開催) におけるパネル討論会「Ada とどうつきあうか」の論文²⁾において、この単語を見つけることができた。ただし、1980 年代頃までは、組込みシステムではなく「マイコン」(マイクロコンピュータあるいはマイクロコントローラ) と称されることが多かったようである。このことは、コンピュータシステムの初期はすべて専用システムとして設計されるのが一般的であったことがうかがえる。

しばしば組込みシステムでは、処理結果の正確性および信頼性だけでなく、リアルタイム性(実時間性)と呼ばれる、システム内の各処理が定められた時刻までに完了させるための性能が要求される。特に 1990 年代頃からは、情報機器におけるこのリアルタイム性の

保証技術が重視されるようになった。2000 年に入ってから、ハードウェア設計技術の進展に伴って、搭載されるソフトウェアの大規模・複雑化が注目されるようになった。このころから「組込みシステム」という用語が一般的に使われるようになってきた。これらの背景から、組込みシステムの設計技術・開発手法に関する学術研究が(特にソフトウェアの立場から)注目されることが多くなった。海外では ACM において SIGBED (Special Interest Group on Embedded Systems) が組織化された。本会では 2005 年 4 月に組込みシステム研究グループが立ち上がり、2006 年 4 月には研究会として活動を開始することとなった。

近年の組込みシステムの潮流

2010 年代に入ると、Arduino や Raspberry Pi といったデバイスの登場によって、「ものづくりの大衆化」が推し進められた。組込みシステムの制御アプリケーションは、外部環境(物理現象)との情報の入出力を伴って処理を行う必要がある。特に Raspberry Pi が好例となる SBC (シングルボードコンピュータ) のようなデバイスは、オンボードに大容量の主メモリが配置されて Linux カーネルが動作可能な環境でソフトウェア開発されるものと定義できる。これらの新たなデバイスは、ユーザやコミュニティを巻き込んだエコシステムが充実し成長し続けているという特筆すべき利点がある。

さらに注視すべき潮流として、IoT (モノのインターネット化) というキーワードが旗印となって、組込みデバイスのネットワーク接続性が必須の要件となりつつある。また、IoT や Industry 4.0/Society 5.0 のコンセプトは、ネットワーク環境の拡充ならびに通信技術の進展と密接に関係がある。これによって、デバイス同士

だけでなくエッジサーバやクラウドサーバと密接に処理連携して、新たな社会的価値を創造できるアプリケーションを勃興させる機運が高まってきている。

組込みシステムはどこへ向かうのか？

大量の計算機とデータが相互にかかわり合っただけの大きな情報システムが形成されるIoT時代の情報システム開発においても、組込み技術の「マイコン」から「組込みシステム」に代わったように、新たな用語で呼称される可能性は高いとは考えるが、いずれにしても、応用と要求に応じて最適化・専用化を進める「組込みシステム技術」の重要性は増す一方であるものと考え。

近年の組込みシステム開発は、問題領域が複雑化しているにもかかわらず、従来からの開発手法のまま、人員の拡大のみで対応してきた結果、開発効率の低下、ディペンダビリティ確保の困難、サイバーセキュリティリスクの増大などを引き起こしている。デジタルトランスフォーメーションの重要性が叫ばれる中で、今、組込みシステム開発の革新に取り組まないと、数年のうちに、急速に競争力が失われるおそれがある。この課題に対応するため、2018年11月にSIGEMBの有志が集い、早急に取り組むべき研究開発の課題を湯河原宣言2018³⁾としてまとめている。

- (1) 先端デジタル技術を活用して設計生産性を10倍に
- (2) 利用時情報のフィードバックによるプロダクトのアップデートで価値を2倍に
- (3) サービスの変化に応えられるIoTプラットフォームによりビジネスを変革
- (4) 社会実装と新規ビジネスの創出
- (5) 国際標準化

組込みシステムの今後の方向性を見据えると、いわゆるマイコンとSBCの境界がより曖昧になっていく傾向がある。前者は、プロセッサと小容量のメモリがオンチップに集積された(古典的な)構成でありベアメタルあるいはリアルタイムOSのプログラミングによってソフトウェア開発するものと定義できる。一方で後者は、Linux

上から汎用のプログラミング環境と統一的な入出力モジュールによって外部環境とのインタラクションを実現できることに強みがあり、IoTプログラミングとの親和性が高い。ただし、ある程度の計算資源が許容される対象では有用であるが、これらのシステム環境では省電力性やリアルタイム性の確保は困難となる。これに対応するため、MicroPythonやmruby、Elixir/Erlangに対するNerves/GRiSPなど、汎用のプログラミング言語を用いながら組込みデバイスプログラミングを実現する環境が近年多く登場している。開發生産性を向上しつつ先進的な組込み技術を活用できることを目指すようなこの傾向は、ますます進んでいくものと考え。

物理世界とつながったITシステムである組込みシステムの技術は、日本が競争力を持つものづくり産業の多くを支える重要な技術であるが、一言で「組込みシステムの研究」といっても、その研究領域と課題は多岐に渡る。それぞれの応用ごとの要求に応じて組込みシステム全体が最適に設計されるためには、システムを構成するさまざまな要素技術が密接に関係する。リアルタイム性を向上させるためのカーネル技術や消費電力や性能を最適化するためのコンパイラ技術、システムの大規模・複雑化に対応して開発の効率化を進めるためのモデリング手法や開発プロセス論、システム検証技術も重要な課題である。組込みシステム技術の発展に取り組んでいる研究者の皆さまに多大なる敬意の念を示すとともに、私自身もさらなる発展に少しでも貢献できるよう、研究開発に勤しむ所存である。

参考文献

- 1) https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system
- 2) <http://id.nii.ac.jp/1001/00006401/>
- 3) 湯河原宣言2018, <http://www.sigemb.jp/wordpress/archives/394> (2020年1月31日受付)

■高瀬英希(正会員) takase@i.kyoto-u.ac.jp

京都大学大学院情報学研究所 准教授。博士(情報科学)。科学技術振興機構さきがけ研究者を兼任。組込みシステムのプラットフォーム技術および協調設計方法論の研究に従事。最近の興味は関数型言語ElixirによるIoTシステム開発手法。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

2 ソフトウェア開発の未来

基
般

丸山勝久 | 立命館大学 情報理工学部 / ソフトウェア工学研究会 (SE)

予想を振り返る

ソフトウェア工学は、信頼性の高いソフトウェアを効率的に開発・保守する方法を探求する学問体系である。よって、その振り返りや予想において、どのようなソフトウェアをどのように作るのかに焦点が当たるのは当然である。

大蒔氏の記事¹⁾では、開発するソフトウェアの分野を2つに分け、その開発方法に関して将来を考察している。1つ目は、今までに手掛けたことのない新しい分野である。この分野では、有能な研究者がネットワークを介して世界的な規模かつ共同でソフトウェアを開発していくと予想している。昨今の分散並行開発やそれを支える協調支援環境を見れば一目瞭然であるが、「ネットワークを介して世界的な規模かつ共同で開発」という予想は見事に当たっている。その一方で、今までに見たこともない分野で新たなソフトウェアを生み出しているのは、もはや研究者だけとはいえ、ソフトウェア開発が好きな有志の場合が多いのが現状である。

2つ目は、十分な作成経験を持つ分野である。この分野では、ソフトウェアの再利用を強く意識した上で、形式的に記述された仕様書レベルでの差分プログラムの技術の確立が急務であると述べている。ただし、仕様はソフトウェアが対象とする問題を漏れなく定義しているわけではなく、仕様書が作成された際の文脈に大きく依存することへの注意も述べている。現在、モデルベース開発のような技術が提唱されてはいるものの、仕様書レベルのモデルにおいて明示的に記述されていない事項を、実装レベルのモデルで適切に扱う技術が確立しているとはい

にくい。一方で、仕様書レベルの差分プログラムの目的を、派生開発における自動化ではなく、ソフトウェア製品群の差分を明確に意識した再利用の促進であると捉えると、プロダクトライン開発技術の発展や普及を予想していたのかもしれない。

予想されていなかったこと

1991年の記事が発行されたとき、筆者はまだ学生であり、ソフトウェアの作成技術の知識に乏しく、ソフトウェア工学の位置付けなどまったく意識していなかった。このような状況で、過去30年間のソフトウェア工学の軌跡を正しく振り返ることが可能であるのかという疑問は残るものの、筆者の考える予想されていなかったことを述べておきたい。それは、ソフトウェアに対する価値の急激な高まりである。

30年前において、すでに多くの研究者がソフトウェアに強く魅了され、ソフトウェアの価値が高まることを期待していたことに異論はないであろう。また、将来はソフトウェアが社会基盤のさまざまな局面を支え、ソフトウェアなしでは社会が成立しなくなることを、直感的に感じていた研究者も数多く存在していたはずである。

しかしながら、たった30年間程度で、ソフトウェアの価値がここまで高まることを予想していた研究者や開発者は少なかったのではないだろうか。すでにソフトウェアは社会に新しい産業の形態を生み出す原動力であり、さらには国家を超えてしまうかもしれない企業を短期間に次々に誕生させている。

2011年のMarc Andreessen氏によるエッセイ「Why software is eating the world」に書かれてい

ることが、現在も進行中であることに疑いの余地はない。

それで将来は

まず、思い付くのは、ソフトウェア(とそれによるサービス)が世界を飲み込んでいくとして、この現象はいつまで続くのだろうかという疑問である。あらゆる分野にソフトウェアが浸透し、人間の活動を支援していった結果、飲み込むものがなくなってしまうということはないのだろうか。また、あるときを境にして、人類はこれ以上ぜいたくなソフトウェアによるサービスを求めなくなることはないのだろうか。

もちろん、ハードウェア技術やネットワーク技術が進歩すれば、それに合わせてソフトウェアを進化させることは必須である。また、機械学習や量子計算などの研究が進めば、それに合わせたソフトウェアの作り方の研究も行われるはずである。しかしながら、現在新しいと考えられている分野においても、今後30年間(あるいはもっと短い期間)でソフトウェアの作成経験は十分に積まれるだろう。よって、30年後にはまったく新しい分野におけるソフトウェアの開発を支援する必要性がなくなると筆者は予想する。

このような考えをさらに推し進めると、今後30年間でソフトウェア開発者の数は激減すると結論できる。これは、ソフトウェア開発者がソフトウェア保守者になることを指しているわけではない。今後30年間で、ソフトウェア工学の技術と人工知能の技術の融合が急速に進むことは明らかである。これにより、ソフトウェアの作成経験が十分に積まれている分野(ソフトウェア保守や進化)であれば、ソフトウェア開発の大部分を機械が実施するようになる。

ソフトウェアの利用状況から得られるデータを分析することで、利用者がどのようなソフトウェアを要望しているのかを機械が自動的に判断および定義

できる可能性は高い。また、与えられたハードウェア環境やネットワーク環境を考慮した上で、アーキテクチャ設計における意思決定を行う機械も現れるだろう。仕様やアーキテクチャを人間が自由に定義するのではなく、その時代の技術の範囲で機械が定義するという前提であれば、機械によるプログラムの構築、テスト、デバックの自動化を想像することも難しくない。ただし、このように作られたソフトウェアは、人間の要求を満たすことを重要視していないため、社会がそれを許容するかどうか論点となる。

筆者の予想では、機械によるソフトウェア開発は徐々に社会に許容され、30年後のソフトウェア開発における人間の介入は非常に限定されると考える。そのようなソフトウェア開発では、従来のように機械が人間を支援するのではなく、機械がソフトウェアを主体的に開発し、(機械よりも優秀な)人間が機械に助言するという形態になるだろう。これを、ソフトウェア開発から人間が解放されると感じるのか、ソフトウェア開発の楽しみが機械に奪われると感じるのかは読者に任せたい。

最後に、30年後のソフトウェア開発における人間の位置付けはどうなるのかを考えてみよう。ソフトウェアが安心・安全な社会を支えるためには、ソフトウェアが我々の生活を脅かすことのないように監視し、制御する技術を確認することがきわめて重要である。このような技術の研究や実践は人間の役割であり、広い意味でのソフトウェア検証技術がソフトウェア工学の主流になると考えている。

参考文献

- 1) 大蒔和仁: ソフトウェア作成技術, 情報処理, Vol.32, No.1, pp.12-14 (Jan. 1991).

(2019年12月16日受付)

■丸山勝久(正会員) maru@cs.ritsumei.ac.jp

1993年早稲田大学理工学研究所修士課程修了。同年、日本電信電話(株)(NTT)入社。博士(情報科学)。2000年より立命館大学。ソフトウェア保守と進化、ソフトウェア開発環境の研究に従事。現在、ソフトウェア工学研究会主査。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

3 30 年後？ 知らん

基
般

山田浩史 | 東京農工大学／システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会 (OS)

2050 年の情報処理とのお題で、OS 研担当として私が筆を執ることとなった。1991 年にやはり同じように「30 年後の情報処理」というお題で、CS 分野の各研究会代表者が各分野の未来を思い描いている。OS 研からは清水謙多郎先生、田胡和哉先生がコンピュータシステムや OS の将来について、当時の技術水準を鑑みながら非常に真面目に執筆されている。おそらくお二方の性格なのであろう。私はそもそも性格がテキトーであるため、30 年後はとっくに引退しているのをいいことに、つらつらと無責任に書いていくことにする。30 年後にこの記事を書くであろう OS 研担当の方、参考にならなくてごめんなさい。

そもそも私が専門とするシステムソフトウェア分野はありもしない問題を設定し、それを解決するソフトウェア技術を妄想することをひどく嫌う。システムソフトウェアはどのような形にでも設計・実装できてしまうという性質上、提案している手法がどのような問題に対して有効なのか、その手法の徹底的な定量的評価によってどのようなトレードオフがあるか、という点を非常に大切にしている。そうでないと、手法の妥当性が判断できないためであり、まさに "system practice" に立脚した貢献を美德としている。歴史は長いが、分野としてサチる様子は微塵もなく、今もなお解くべき問題が山積みであり、日々ワクワクしながら研究を進めている。10 年先、いや 5 年先のことを見据えることさえも場合によってはナンセンスであり、まして 30 年後なんていわんやをやである。

1 つ確実に言えることは、分野としては 30 年後も生き続けているということである。OS を代表す

るシステムソフトウェアはハードウェアとアプリケーションに挟まれたレイヤに位置し、よく中間管理職とたとえられることが多い。ハードウェアが進化すればその構成に起因するトレードオフが変わるために新たなシステムソフトウェア技術が、アプリケーションが進化すればそれらを効率良く稼働させるために新たなシステムソフトウェア技術が必要となる。分野の細分化は多少進むであろうが、新しいホットピックが生まれているに違いない。

前書きである程度文量を稼いだところで、慣れないことではあるが、30 年後に想いを馳せてみる。2020 年現在ハードウェア分野は過渡期にあり、我々の分野は大いに賑わっている。不揮発性メモリが実用化し、メモリの高集積化やストレージの高速化に大きく寄与している。また、ムーアの法則の終焉が叫ばれ、新たなコンピューティング形態が模索されており、量子コンピュータに代表される、半導体ベースとは異なる新しいコンピュータが登場している。ネットワークに関しても「5G」サービスが世界的に始まっており、どこでも高速なネットワークに接続できるようになっている。

これらは確実にシステムソフトウェアの変革を生み、研究テーマに困ることはないだろう。歴史は繰り返すということを前提に置くと、30 年後にはこれらの新コンピュータは実用化を経て小型化が進み、多種多様なコンピュータが我々の身近にありふれているものになっているだろう。これらをうまく抽象化し、ユーザにとって使いやすいものにするのはまさに OS の仕事である。多様なコンピュータを上手に抽象化する概念がおそらく生まれるであろう。ネットワークもこのまま 10 年ごとに成長するペー

スで進んでいるとしたら「8G」サービスが展開されており、そのころにはテラビット級の回線が出ているだろう。手元には小型コンピュータのみを置き、ほとんどの処理をインターネットの向こう側に依頼するような、往年のメインフレーム的な使い方が一般的になっているかもしれない。そんな中でも、いかにこれらをユーザに感じさせることなく、うまく処理を隠蔽できるかがOSの腕の見せどころといったところであろう。まあ、やることはたくさんありそうである。

システムソフトウェアを評価する軸はどうか。30年前から今と大きく変わったのはおそらくセキュリティ (Security) や信頼性 (Dependability), 消費電力 (Energy-Efficiency) の重要性である。性能と並んで、これらの重要性は変わらないであろう。30年後はより多くの方がインターネットに接続されているであろうから、セキュリティや信頼性の重要度は今以上となっていることは間違いない。これらは現在定性的な評価になりがちであるが、統一的なベンチマークによる数値化を期待したい。新しい評価軸も登場しそうである。モデル検査技術の進化によって、システムソフトウェア本体の検証可能性を表す Verifability, 多様なコンピュータへの適用可能性を Diversability なんて軸が生まれているかもしれない。

システムソフトウェアを記述するプログラミング言語はどうであろうか。30年前も今も C/C++ が多く、たぶん、30年後も C/C++ で書いているような気がする。そこに論理的な理由はなく、ただただこうした言語での低レイヤプログラミングが楽しいからにほかならない。メモリ周りの脆弱性と戦いながら、システムの研究／開発者はアドレスをガシガシさわるトリッキーなコーディングをしていることだろう。

システムソフトウェアはコンピュータの質量変換をもたらし、新たなサービスを生み出してきた。これは向こう30年も続くことは間違いない。今のようの特権を持つソフトウェアレイヤとして堂々としているかは分からない。Library OS のような形が主流になっているかもしれないし、ファームウェアにちょこんと実装されているかもしれないが、ハードとアプリを結ぶ抽象化レイヤとして生き続ける。いずれにせよ、システムソフトウェア分野は昔から、今も、そしてこれからも熱く、面白くあるであろう。

(2020年2月21日受付)

■山田浩史 (正会員) hiroshiy@cc.tuat.ac.jp

1981年生。東京農工大学大学院工学研究院先端情報科学部門准教授。OSをはじめとするシステムソフトウェアの研究に従事。



[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

4 2050年のプログラミング

基
般

千葉 滋 | 東京大学／プログラミング研究会 (PRO)

プログラミングの進歩は、それを書く側の人間の進歩である。それを人間の進歩ではなく、人間の慣れ、と看破したのは竹内郁雄¹⁾であるが、まさに、どこかの大学なり研究所で（あるいは著名な個人の手で）生まれた概念なり技法なりが、長い年月をかけて人々に浸透し、ときにまったくの誤解を生みつつも、やがて当たり前のものとして定着する、というのがプログラミングの進歩の姿である。

人間はなかなか新しいことに慣れないので、進歩の速度はゆっくりとしたものである。30年前と今とを比べると何が変わっているだろうか。“Most Popular Programming Languages 1965-2019” (Data is Beautiful, 2019) なる YouTube 動画^{☆1}によると、1990年に主流のプログラミング言語は上から C, Ada, Pascal, C++ であつたらしい。一方、現在である2019年は Python, JavaScript, Java, C# なのだそうである。なんだ、まったく違うではないか。とはいえ30年かけて、この程度の違いか、という感想を持たなくもない。

先人の未来予測

進歩がゆっくりであれば未来予測も当たるということか。竹内の記事¹⁾は「複数個書けば、どれかは運よく当たる」とうそぶきつつ、7つの予測をしているが、今読んでみると、どれも驚くほど当たっている。(1) 蓄積型プログラムの終焉、は昨今のFPGAによるプログラムの高速化を言い当てている。(2) キーボードの終焉、の「指話」はスマートフォンのフリック入力を彷彿とさせる。(3) プログラミング言

語の自然言語化、はライブラリのインタフェース設計で話題の Fluent API か。(4) コンピュータソフトウェアが社会制度になる、は企業が基幹システムとして導入する ERP パッケージに合わせて自社の業務フローを変える昨今の風潮を言い当てている。(5) 完全制御から遺伝子型制御へ、は量子コンピュータのことであろうが、こちらははまだ予測段階だろうか。(6) 自律的な計算機、もまだ出現していないと思われる。最後の(7) Fortran は不滅です、はその通りである。

竹内の予測のあまりの正確さに驚きを禁じ得ない。もう1編の萩谷昌己の記事²⁾はどうだろうか。萩谷は情報科学や情報工学の未来を案じつつも、数学と同様に「科学の女王か、それとも、科学の奴隷か」といわれる「サフィックス学問」として安泰と予想している。昨今の機械学習ブームと小学校へのプログラミング導入ブームで古いも若きも情報、という現在の風潮はおおむね萩谷の予測通りである。プログラミング分野の基礎理論も、人工知能によって不要になるどころか、ますます隆盛を極めているのも予想通りである。萩谷は30年後に最も重視されている計算機は電子手帳で、博物館では1990年を代表する展示品として当時の電子手帳が飾られているはず、とも書く。電子手帳、もといスマートフォンが現在最も重視されている計算機という予測に間違いはないだろう。最後に予測されている、人間の脳と計算機を直結するインタフェースはいまだ実現していないが、さりとて荒唐無稽な話というわけでもない。結びのいささか毒のある「AI ジャーナルなどに長々しい論文を書きまくって人々を煙に巻いてきた人工知能の研究者ではなく、計算機作り一筋、一昔前は電子手帳などを作っていた計算機屋が、30年後、ついに、脳に至る。これは愉快である。」だ

☆1 <https://www.youtube.com/watch?v=Og847HVwRSI>

けは残念ながら外れだろうか。計算機作り一筋の計算機屋も、今やこぞって AI 論文を書いている。

2050 年

先人の慧眼にたじろいで、ここで筆を置きたくないが、本稿の主題は今から 30 年後の予測であった。進歩の速度はゆっくりである、という先人の観察に励まされて、プログラミングの未来を予想してみる。

無数のプログラミング言語の乱立

機械学習ブームで誰もが Python を使っている現在だが、実際に誰もが使っているのは Python というよりは PyTorch や TensorFlow といったライブラリ(の一種であるフレームワーク)である。この手のライブラリは Python 上のミニ言語の様相を呈してきており、これを領域特化言語(DSL)と見なす向きもある。

今後、この傾向はますます強まり、PyTorch や TensorFlow のようなライブラリのことを人々はプログラミング言語と認識するようになるだろう。そのようなライブラリはそれ専用のより自然な構文・文法を備える。あなたが普段使っているプログラミング言語は何ですか、という質問をすると、どの領域特化言語を使っているかが返ってくるようになる。今なら、何言語を使っていますか、という質問に Python と答えず、PyTorch と答えるようなものである。そのころにも多くの人々が使う汎用プログラミング言語は存在するだろうが、人々はその存在にはあまり注意を払わなくなる。

自然言語でプログラミング

機械翻訳の精度向上により、だいたいの意図を自然言語で計算機に伝えると、計算機の方で正しいプログラムに翻訳するようになるだろう。しかしその結果プログラミングが簡単になったり、万人のものになったりする日は来ない。

そのころには、計算機に意図を誤解なく伝える技

術を学ぶことが、プログラミングを学ぶこととなる。つまり論理的に筋道立てて仕様を説明できなければならぬ。この訓練は小学生から始められ、考えが古い親たちは、学校でプログラミングを習い始めたら、子供たちが理屈っぽく口答えするようになった、と嘆くようになる。結果、プログラミング教育反対運動が起こる。

プログラミングの際には、計算機が誤解しないように歯切れ良く発声することも大切になる。情報系の講義には、ボイストレーニングが必修科目として取り入れられる。情報系の学科を卒業して、アナウンサーになる、役者や歌手になるという学生が現れ、変わり種として話題を集める。

自動運転

さすがに 30 年後、自動運転は実用化され、当たり前前の技術になっているだろう。しかし人々はそれに飽き足らず、自動運転中の車に細かい指示を与えて望みの運転をしたいと思うようになる。そのような指示は自然言語でなされるが、そのころには、そのような指示こそがプログラミングと認識されている。誤ったプログラミングで事故が起きると重大問題であるので、そのようなプログラミングをするには免許がいるようになる。自動車運転免許はなくなる。

以上、3つの予測をひねり出してみた。書いてみると当たりそうな気もするし、まったくの見当外れのようにも感じる。予測の根底にあるのは 30 年後もプログラミングは大事だろう、という思いである。これだけは当たると願っている。

参考文献

- 1) 竹内郁雄：当たらぬも八卦，特集「30 年後の情報処理」，情報処理，Vol.32，No.1，pp.9-12 (Jan 1991)。
- 2) 萩谷昌己：情報処理の 30 年後の夢をかけといわれても，特集「30 年後の情報処理」，情報処理，Vol.32，No.1，pp.30-32 (Jan. 1991)。

(2019 年 12 月 16 日受付)

■千葉 滋 (正会員) chiba@chibas.net

東京大学 情報理工学系研究科 教授。博士(理学)。東京大学理学部情報科学科卒業。同大学院。同大助手。筑波大学講師。東京工業大学講師・准教授・教授を経て現職。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

5 30年後のコンピュータアーキテクチャ

第2版

基
般

井上弘士 | 九州大学/システム・アーキテクチャ研究会 (ARC)

1970 年代初頭に世界初と言われるワンチップ・マイクロプロセッサ (4004) が開発されて以来、半導体微細化の継続 (いわゆる、ムーアの法則) はコンピュータシステムの発展を支えてきた。そして、2030 年頃にはついにその終焉を迎えると言われていた。その先のプラス 20 年も見据えてコンピュータアーキテクチャの将来を予測する、これは難題である。今から 30 年先といえば、筆者は 80 歳を目前に控えた人生 100 年の終盤といったお年頃である。その頃の生活を想像しつつ、議論を進めてみる。

1991 年の特集「30 年後の情報処理」を検証する!

まず、1991 年の特集記事の中でも「30 年後のコンピュータアーキテクチャ (ARC)」の最終節で示された内容、ならびに、「表 アーキテクチャの発展予想」について検証する。

- 並列処理を基軸として展開：予測ヒット！ 命令レベル並列処理の時代を経て、電力の壁問題の露呈によりマルチコア/メニーコアによるスレッドレベル、GPU によるデータレベルの並列処理へと発展した。
- 光との融合が実用化：早すぎる予測ヒット！ 2020 年時点ではまだ実用レベルには至っていない。しかしながら、近年では光デバイスによる AI アクセラレータや光イジング処理などの研究開発が進んでおり、方向性としては的中！
- チップ製造コスト増により大学単独での研究はなし得ない：(良い意味で) 予想ミス！ この予測

はきわめて的確かつ深刻な指摘であったが、1996 年に設立された VDEC (大規模集積システム設計教育研究センター) によりこの問題は大幅に回避された。

- スーパーコンピュータでは低消費電力性が重要になる：予想ヒット！ 2005 年頃に Green500 が発足し 2020 年現在でも電力効率の改善はスーパーコンピュータにおけるきわめて重要な設計目標。次に、「微処理から漠処理へ (MIC)」に着目すると以下の予測がある。

- コンピュータのさらなる個人化、外観重視でファッション化：予測ヒット！ 現代のいわゆる「スマホ」そのもの。ファッション化にまで踏み込んだ予想には恐れ入った。

その一方、現在のコンピューティング技術において欠くことのできない、かつ、1991 年の寄稿では予測できていないのは以下の 3 点である。

- クラウドコンピューティング (クラウドサービス) の台頭：計算資源の「個人化」の予想は多くの寄稿でも見られたが、個人データの保管も含めたクラウドサービスの展開 (特に、スマホやタブレットといった個人デバイスとの連携) は予想できていない。コンピュータの役割が「計算するための道具」から「サービスを提供するための道具」へと大きな変遷を遂げた結果であろう。
- 機械学習 (AI) コンピューティングの台頭：深層学習の出現を皮切りに、特に 2010 年以降に機械学習や推論を高効率に実行するためのアーキテクチャ技術の開発が急速に進んだ (2020 年現在も進行中)。1990 年頃といえば AI 冬の時代、さ

すがにこのタイミングで現在のいわゆる AI ブームを予想するのは難しかったであろう。

- セキュア・コンピューティングの台頭：今や、サイバーセキュリティはきわめて重要な研究課題として位置づけられているが、他の寄稿を見渡してもほとんど触れられていない。2018年には Spectre や Meltdown といった脆弱性が発見され、過去に性能や機能を高めるための優れた技術（上記脆弱性の場合は投棄実行やアフトオブオーダ実行）が、安全性という観点からの問題をはらんでいたという興味深い事例である。

本稿の執筆に際し、初めて1991年の特集記事を読んだ（というか、その存在を知った）が、他寄稿も含めて多くが30年後を比較的正しく予想しており、正直、驚きであった。筆者が担当したARCならびにMIC研究会の記事に関しては、予測ヒット率はおおむね70%というイメージであろうか。さすが一流のアーキテクトである（マイクロプロセッサ内の各種予測では30%も外してはダメだが……）。

2050年のコンピュータアーキテクチャを予測する!

この30年の間、コンピュータアーキテクチャの分野はかなり成熟し、「既存手法の効率を高める」という観点での研究開発が進んだ印象が強い。もちろん、これは工学的観点からきわめて重要であり、実用化による社会貢献を目指す場合には必須である。しかしながら、その一方、計算原理にまで踏み込んだ革新的技術の探求、という、いわば研究の醍醐味である部分がやや薄まった30年だったのではないだろうか。依然として、1990年代に指摘された「メモリの壁問題」は代表的なコンピュータ性能の律速要因である。また、2000年初期から問題視されている「電力の壁問題」も決定的な解決策は見つかっていない。本稿の最初で述べたように、近い将来（少なくともこの30年の間には）、MOS-FETの微細化

は終焉を迎える。2030年半ば頃までは、最後の一踏ん張りとなる微細化と実装技術（2.5/3次元積層やチップレット化など）により大きな方向転換はないであろう。問題はその後、半導体の微細化が終焉を迎えた後、である。そのときの社会の在り様を想像しつつ、2050年のコンピューティング像（そのときの研究トレンドも含む）に関して3つ予想する。

- 新デバイス・コンピューティング：半導体の微細化に頼らない新たなコンピュータ構成法として、2020年代に研究開発が加速した新デバイス・コンピューティングがついに普及レベルに達する。たとえば、超伝導素子やフォトニック素子を用いた新規コンピューティング技術である（量子コンピュータやイジングマシンなど）。多種多様なハードウェア（半導体技術の延長上にある技術のハイブリッド構造も含む）を巧みに利用し、新デバイスが有する不安定性、不確実性、非厳密性を隠蔽するシステム構築・運用技術が確立される。半導体微細化の終焉後、ハードウェアは連続的な量的進化から非連続な質的進化の道を進むであろう。このとき、（過去の資産の継承や生産性の維持という意味で）ソフトウェアの連続的な進化をいかに担保できるか、がポイントとなる。
- 環境コンピューティング：環境（ダムや道路などの社会環境のみならず、森や河川などの自然環境も含む）におけるコンピュータの浸透がさらに進み、その数は膨大なものになる。そのために、メンテナンスフリーで100年動作可能なコンピュータシステムが実現される。自然エネルギー／環境エネルギーで完全動作、従来とはレベルの異なる耐故障性の獲得と自己修復・回復の実現、その上で徹底したセキュリティやプライバシーの確保、環境に埋込まれたコンピュータ「群」としての効率的な制御、などが実現される。2050年のさらに30年後、「コンピュータ・ゴミ問題が深刻に！」といった記事が紙面を賑わすような状況を作ってはいけない。

• 自然科学／社会科学とコンピュータ・アーキテクチャ：現代のコンピュータは数学的基盤を土台としているが、近年、物理現象を直接的に活用して情報処理する方法（量子アニーリングや光イジングなど）や、生体メカニズムに着目した方法（ニューロモーフィック・コンピューティングやDNAストレージなど）が注目を集めている。自然科学にはまだまだ解明できていない点が多いものの、特にエネルギー効率にきわめてすぐれた処理系が存在するのも事実である。また、コンピュータが未来の社会を支えるという観点からは、社会科学的発想も必要になるであろう。2050年、まだまだ一般的な技術として実用レベルには達しないであろうが、「次のアーキテクチャ研究」を見据えた新しい複合・融合領域としてブームが沸き起こっているはずだ。

2050年の情報処理とは？

最後に、本稿の執筆途中に妻（情報に関しては素人で、PCも使えない）とやりとりした内容を紹介し、まとめとしたい。「2050年、情報処理でどんな便利な世界になると思う？」と聞いてみた。すると、

「そんなことより、この30年で色々と便利になったと思うけど、あなた、幸せになったの？」と逆質問された。正直、「うっ……、毎日メールの対応に大変だし、追われる日々だし……、でも幸せだよ」とお茶を濁してしまった。この素朴な逆質問はかなり本質を突いているように思う。技術には光があれば陰もある。とてつもない勢いで社会に浸透する情報技術のこれからの30年、人類の幸福や豊かな生活とは何か、を基本とし、「情報処理で何ができるか」もさることながら「社会はどうあるべきか」を忘れることなく情報処理に関する研究開発を進めることがより重要になるであろう。

(2020年1月14日受付)

■井上弘士（正会員） inoue@ait.kyushu-u.ac.jp

1996年九州工業大学修士課程修了、2001年九州大学博士課程修了、博士（工学）。2001年より福岡大学助手、2004年より九州大学助教授、2015年より同大教授、現在に至る。2018年よりARC研究会主査。コンピュータアーキテクチャに関する研究に従事。



6 高性能計算の今後を予想する



岩下武史 | 北海道大学 情報基盤センター／ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 (HPC)

何事においても 30 年後を予想するという事は難しいことであるが、今後の 30 年は過去の 30 年と比べて「情報処理」の行く末を見通すことがかなり困難であるといえる。これは、主にこれまでの「情報処理」や「高性能計算」の発展を支えてきたムーアの法則の終焉が見えつつあるためである。具体的に、半導体の微細化技術が限界に近付く中で、プロセッサの性能、特に単位消費電力あたりの演算性能をこれまでのように向上させることが困難になりつつある。たとえば、スパコンランキングとして知られる High-Performance LINPACK (TOP500) ベンチマークにおいて 100 位に位置する計算機を調査すると、2014 年頃までは 5 年前と比べて約 10 倍 (ムーア則から期待される値) かそれ以上の性能向上を成し遂げているが、ここ数年では 6 倍程度に低下している。したがって、過去 30 年と同様の性能向上 (図-1) を得ることは難しいと言わざるを得ない。ムーアの法則の終焉という非常に大きな壁に我々は直面する可能性が高く、それ以後の世界、すなわちポストムーア時代における情報処理は、現在の様相とまったく異なってくる可能性がある。

そこで、まず 10 年後について考えてみたい。ポストムーアの時代に向けた高性能計算、あるいは演算装置では、まず限りあるトランジスタを効率的に使う技術が進展すると考えられる。一般に、汎用性が高いプロセッサと比べて、特定の処理に特化したプロセッサは単位電力あたりの性能を高くできる傾向がある。したがって、現在の GPU 等に見られる特定の計算に特化したプロセッサの発展が続くと予想される。ただし、この発展には応用側の需要がマーケットとして成立する必要があることに注意が必要である。本傾向を踏まえて、筆者は近い将来の高性

能計算システム (スパコンやデータセンタ・クラウド内の大型計算システム) の姿として、「ショッピングモール型計算機」(筆者の造語) を予想している。本計算機は、汎用プロセッサや計算需要の大きい応用をサポートするアクセラレータを有する汎用型の計算ノード群を中核としつつ、特定の応用や計算手順をサポートする多様なアクセラレータノードがそれに「専門店」として付随する形態を持つ。

次に、30 年後について考えてみる。今後も計算技術・システムが持続的に発展するためには、これからの 30 年間にかなり劇的な変化が必要となる。すなわち、CMOS 技術に基づく従来型のプロセッサとは異なるデバイス、計算原理を利用した新しい計算機の登場・普及である。2019 年の現況を鑑みた場合、その有力な候補として量子計算機があり、そのほかにもアナログ計算デバイス等、多様な提案がある。2019 年現在、量子計算機については活発な研究がなされており、耳目を集める成果も出つつあるが、それが「ショッピングモール」の中核を担う存在になるのか、「専門店」の 1 つにとどまるのか、予測は難しい。ただ、これらの新型計算機は総じて環境や外乱の影響を受けやすく、モバイル機器はもとより、研究室レベルの計算機等へ下方展開されるとは考えにくく、クラウドサービス等のネットワークを介した利用が中心となると思われる。

次に今後の高性能計算に関する研究について考える。短期的には、ショッピングモール型計算機の専門店、すなわちアクセラレータや専用計算デバイスを効果的に利用するアルゴリズムやシステムソフトウェアの研究が活発となるだろう。また、汎用計算ノードとアクセラレータノードの併用といった多様なヘテロ環境を効率的に利用するためのソフトウェ

ア（プログラミング言語，ツール，ミドルウェア，OS）の研究開発も重要である。一方，長期的な展望はどのような新型計算機が普及するかに大きく影響される。計算科学で言えば，現在主流となっている解法やアプローチを根底から考えなおす必要性がでてくるかもしれない。2000年以降，単体のプロセッサの速度向上が限界を迎える中で，計算科学を含む多くのプログラムが並列処理を取り入れ，それによって性能向上を果たしてきた。新型計算機の普及に際しても，同様の新しい計算原理への対応が求められると予想される。ただし，筆者のこれまでの経験から見ると，30年以上にもわたって持続的かつ飛躍的な性能向上を成し遂げてきた現在の半導体ベースの計算機を凌駕し，計算機を中心となり得る技術を確立することは簡単ではないと予想する。この予想が不幸にも正しいとすれば，情報処理技術は成熟したテクノロジーと見なされ，それ以上の高性能化を要求されない時代が到来するかもしれない。一方，そうした状況の中でもさらに計算の高性能化に邁進するとなれば，それは主にアルゴリズムや解法，実装上の工夫といったことに頼らざるを得なく

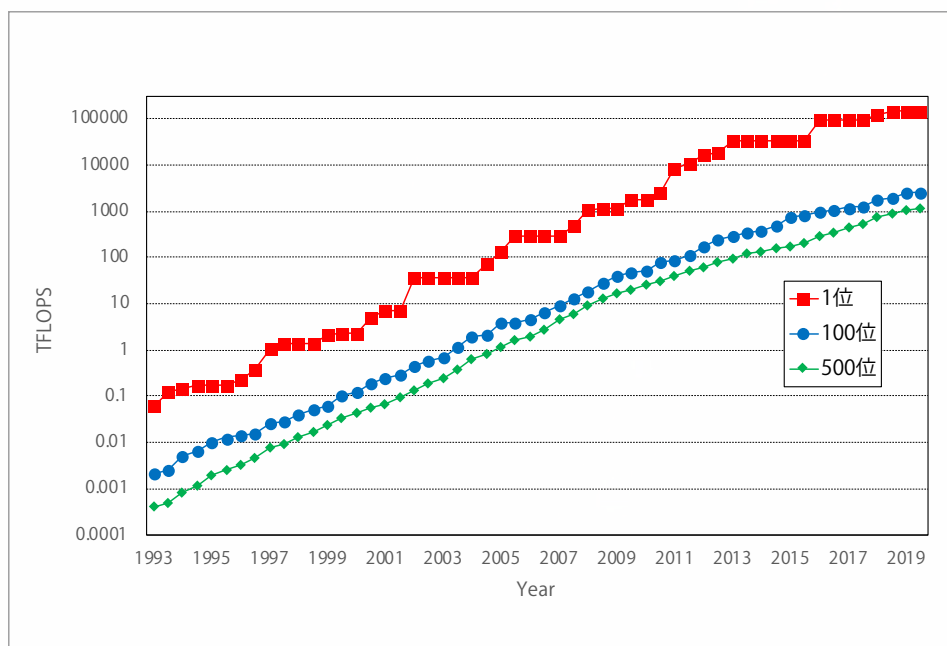
なり，高性能計算の研究者の責務が現在以上に重くなると思われる。

最後にムーアの法則の終焉に関する個人的な感慨について述べる。元来，計算機と人間には各々の得意分野があるが，近年の機械学習・人工知能技術の進展で，従来人間の方がうまくやれると考えられていた分野にも計算機が進出している。しかし，昨今のプロセッサ事情を鑑みると，現在の技術の延長線上において，人間と同じエネルギー消費量でその脳のすべての機能を計算機上で模擬することは難しいと考えられる。ある意味，計算機がかなり人間に迫ってきたこの時代にムーアの法則の終焉が見えつつあることに，生命の神秘を感じるのは筆者だけだろうか。

(2019年12月16日受付)

■岩下武史（正会員） iwashita@iic.hokudai.ac.jp

1998年京都大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。京都大学助手，准教授を経て，2014年より北海道大学情報基盤センター教授，現在に至る。高性能計算，線形反復法，電磁界解析，並列処理に関する研究に従事。京都大学博士（工学）。1996年電気学会電力・エネルギー部門大会優秀論文賞，2007年本会山下記念研究賞，HPCS2012最優秀論文賞，xSIG2018 Best Research Award受賞。



■図-1
High-Performance LINPACK ベンチマークにおける計算機の性能向上の歴史
(出典：<https://www.top500.org/>)

7 近未来を予測できる世界、 Ability-aware な世界



井上創造 | 九州工業大学／理化学研究所／ユビキタスコンピューティングシステム研究会 (UBI)

ほぼ 30 年前ごろには、1989 年にベルリンの壁が崩壊し、1990 年に WWW が公開されたが、私が何をしていたかと言えば、私は高校生で、N88BASIC しか知らなかった。

そのときの特集「30 年後の情報処理」¹⁾を読むと、応用指向の記事が、現在を的確に予測できていた傾向にあるように感じた。特に、松下温氏は、IC カード、50 インチのフラットディスプレイ、電子書籍、掃除ロボット、と、現在の技術や生活にほとんど実現されていて、その的中の度合いに、大変驚いた（私は N88BASIC しか知らなかったのに、である！）。

だから、私もそれに習い、応用指向の予測をしながら、少しだけ基礎技術の予測を織り交ぜてみようと思う。

近未来を予測できる世界、 そして統計的仮説検定の終焉

現在の機械学習は、なにかを入力したらなにかを出力する写像（あるいは状態機械、あるいは機械学習モデル）を、事例から学ぶ技術である。現在を入力として、近未来を出力する写像を学習すれば、少し先の未来を予測することも原理的には可能である。

たとえば、オンラインである商品を買った人が別に買う物の予測、スーパーにいる人の購入物や購入タイミングの予測、高齢者の転倒可能性の予測、農作物の収量の予測などは、今でもさかんに研究されている技術である。

ただ、現在はまだ問題があり、まだ万能の方法に

なっていない。そのボトルネックは、可能性のある要因（入力変数）に対して学習に使えるサンプル数が少なく、次元の呪いに対応できず、すぐに過学習してしまう問題である。これまでに機械学習モデルの汎化の問題として、理論研究は多く行われてきたが、今後の 30 年間で、システムの、社会的な解が出てくると予測する。

学習データが時を経て蓄積されるであろうことがその 1 つだが、ほかにも、システムやデータが社会で徐々につながっていき、データまたは写像（機械学習モデル）を活用してまた新しい写像が学習されるような、いわば社会の副交感神経系が組織されるのではないだろうか。もしかしたらその中で、複雑系理論のような新たな理論が発見され、ブレイクスルーがあるかもしれない。

このようなブレイクスルーによって、たとえば街を歩いていて街角から人が飛び出してくるかどうか、高齢者が転倒するかどうか、家族と会話していて数秒後に妻が痲癩を起こすかどうか、台風が今年はいくつできそうかといった幅広い予測が可能になるはずだ。

そのブレイクスルーの中では「この人の場合」、「このシステムの場合」のように、個人に特化したり環境を限定したりして、予測の高精度化が図られることが考えられる。

しかし、そのような個々の成果が得られても、これまでの情報処理の学術的な論文においては「汎用性がない」として切り捨てられることになる。だが、萩谷昌己氏が 30 年前に書いたとおり情報技術

が、「サフィックス学問（他の学問を支え、〇〇情報学のように他の学問の名前の一部になるような学問）」分野とするならば、これからは、このような情報分野から見ると同鉄研究であっても、きちんと評価しアーカイブしていくような取り組みは必要なのではないか。応用分野では重要な結果ということもあり得る。

そして応用分野では、伝統ある統計的仮説検定が行われていることが多いが、これも30年後には廃れていると思う。統計的仮説検定についてはすでに上記のような、状況を限定した研究においては、社会を母集団として一様にサンプリングする仮定はなじまない。ベイズ的な立場からの、かつ計算機になじみやすい評価体系が発明され、支持を得るのだと思う。

Ability-aware な世界

人間拡張（Human Augmentation）と言われるようになってきた。Wikipediaによれば、人間拡張とは「情報技術やロボット技術などを用いて人間の能力を拡張・増大させること」をいう。ここでこの「能力（Ability）」という言葉には、身体的か情報的か、あるいは客観か主観かという側面に分けて考えると、表-1のような性質がある。

表では、客観的／主観的側面から、関連語、身体的な Ability、情報的な Ability を私なりに比較し

てみた。人間拡張の研究としては、視覚や身体操作といった身体的能力を拡張する話が目立ってしまうが、情報的な能力に関しては、この30年間の情報技術の進展により、すでにかなり色々なことができるようになってきている。たとえば、インターネットの発展により、地球の裏側とでも共同研究を進めることはできるし、バーチャルリアリティで仮想旅行をすることだってできる。

しかし、客観と主観の違いについては、実は情報的な Abilityの方が、差が大きいと思う。たとえばプログラミングは本当は少し学べばできるはずなのに、苦手意識が働いてできないと思ひ込む。逆に、誰かに教えてもらえればすぐに解決するのに、自分でできると思ひ込んで学習に無用な時間をかけるといったことである。

これからの情報処理技術は、個人個人の Ability を、客観と主観の間、または個人と個人、個人とコミュニティの間をうまく取り持つような技術が発展していくと予想する。具体的には、

1. 初心者と上級者でUIを自動的に変更するシステム
2. 子供と成人と高齢者で情報提示方法が異なるシステム
3. 本人のスキルレベルによって指導方法を変えるスポーツトレーニングアプリ
4. 本人のやる気や気分によって介入方法が異なる予防医療アプリ

■表-1 能力（Ability）の各側面

	客観的側面	主観的側面 →観測が難しい
関連語	<ul style="list-style-type: none"> ●専門スキル ●問題解決能力 ●生産性 ●効率 	<ul style="list-style-type: none"> ●自己効力感 ●動機付け ●生産性（客観にもあるが） ●創造性 ●生きがい
身体的 Ability	<ul style="list-style-type: none"> ●物理制約に縛られる ●リアルタイム性が重視 	<ul style="list-style-type: none"> ●客観との違いが少ない
情報的 Ability	<ul style="list-style-type: none"> ●物理制約に縛られない ●リアルタイム性は必ずしも重要ではない ●情報技術によりすでに多くのことができるようになった 	<ul style="list-style-type: none"> ●客観との違いが大きい ●できるはずなのに自身は知らないことも ●個人・世代に応じたデザインの重要性

5. 本人の自己効力感を考慮した教育システム
 6. 本人の疲労を考慮した安全運転支援システム
 7. 本人の得意なやり方に応じた認証システム
- のようなものは30年を待たずに実現するのではないだろうか。

これからは機械が社会から学ぶ機械学習ではなく、人間や社会が機械から学ぶ、逆学習が重要なかもしれない(それがいわゆる教育なのかもしれない)。

地域ギャップよりも時代間ギャップ

書籍²⁾によれば、2030年にはIT人材が79万人不足し、2040年には自治体の半数近くが消滅の危機にさらされ、2050年には日本の人口は1億人を割る一方で、世界人口は100億人近くとなり、世界的な食糧危機が予想される。このような波乱が予想される中、本稿で述べた近未来予測技術と Ability-aware 技術は、人々の生活レベル向上と生産性向上に寄与すると思う。

ただ、この書籍は日本が外国人を受け入れないシナリオだが、私は少し違う予測をする。情報分野が率先して優れた外国人を受け入れ、他の業界もそれに追随する。我々の分野が上記の問題の解決を先んずることになる。

一方で、気になるのは、前章のような技術をプラッ

トフォームとして提供し、管理する主体は誰なのかである。下手をすれば Big brother (独裁) になるし、そうでなくとも、近年は、持続可能かどうか分からない、断片的な情報プラットフォームに囲まれている。コミュニケーション環境をとっても、現在は電子メール・Slack・LINE・Facebook Messenger・LinkedIn などと、多くの断片化したプラットフォームに囲まれているのだ。これらのサービスは30年後にはどの程度生き残っていて、そのときの読者はどの程度理解できるのであろうか。

参考文献

- 1) 特集「30年後の情報処理」、情報処理, Vol.32, No.1, pp.1-46 (Jan. 1991).
- 2) 河合雅司: 未来の年表 人口減少日本でこれから起きること, 講談社 (2017).

(2020年1月7日受付)

■井上創造 (正会員) sozo@brain.kyutech.ac.jp

2002年九州大学システム情報科学研究科博士後期課程修了・博士(工学)。同大システム情報科学研究科助手、附属図書館研究開発室准教授を経て、2009年より九州工業大学工学研究院准教授。2018年より同大生命体工学研究科、現在に至る。この間、ドイツカールスルーエ工科大学客員教授、理化学研究所革新知能統合研究センター客員研究員、コロンビアロスアンデス大学客員教授、合同会社オートケアCTOを兼任。スマートフォンを用いた人間行動認識、センサ情報システムの医療応用に興味を持つ。本会コピキタスコンピューティングシステム研究会主査。



[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

8 モバイルコンピューティングの未来像

—リアルを超えるデジタル空間を実現し、AI・ロボットの
遍在化を推進し、自己実現をアシストする—

基
般

太田 賢 | NTT ドコモ／モバイルコンピューティングとパーベイスブシステム研究会 (MBL)

モバイルコンピューティング研究の現状

モバイルコンピューティングとは、人や機械が移動して処理を行うコンピューティング環境であり、「いつでも、どこでも、だれとでも」の情報の入力や入手、共有等を実現する¹⁾。ユビキタスコンピューティングも類似の概念であるが、モバイルコンピューティングが移動性に着目しているのに対し、ユビキタスコンピューティングはコンピュータが至るところに存在する環境に着目している。

この 20 年の間、通信の高速大容量化、デバイスの高性能・高機能化、スマートフォンとクラウドを中心としたサービスやエコシステムの広がりなど、モバイルコンピューティングは大きく進化している。

ネットワーク、デバイス、サービスを含むモバイルシステムは社会の 1 つの基盤であり、高性能・高機能化だけでなく、高信頼性、安心安全、持続可能性についても社会からの要請が高まっている。無線通信等の基盤技術を創る研究開発や、社会課題解決や実生活をサポートするサービス開発、実証実験などが活発に進められている。研究対象としても無線通信・ネットワーク分野では 5G の拡張から 6G、LPWA (Low Power Wide Area)、センサネットワーク、モバイル端末分野では省電力、セキュリティ、UX (User Experience)、センサ、応用分野ではクラウド・エッジコンピューティング、センシングしたデータを解析して予測や最適化を行い実世界にフィードバックするサイバーフィジカルシステム、スマートモビリティやモバイルヘルスケア、フィンテック等へと広がっている。

2050 年のモバイルコンピューティング

2050 年の世界を描く 6 つのトレンド

30 年後のモバイルコンピューティングの未来を想像する前提として、社会はどうなっているだろうか。三菱総合研究所の未来社会構想 2050²⁾ では 2050 年の世界を描く 6 つのトレンドとして、1. デジタル経済圏の台頭、2. 覇権国のいない国際秩序、3. 脱炭素を実現する循環型社会、4. 変容する政府の役割、5. 多様なコミュニティが共存する社会、6. 技術によって変わる人生を発表している。モバイルコンピューティングに影響を与え得る 3 つの変化を示す。

- a. 企業や家計が消費・投資、生産、分配といった主要な経済活動をデジタル空間内で完結させることが可能になる
- b. AI/ ロボット化により人の自由時間は増え、趣味や旅行、社会参加に費やす時間が増える
- c. AI/ ロボット化、労働市場のボーダレス化が進み、人に求められるタスクは非定型的で、より創造的な領域へとシフトし、複数の会社で仕事をする働き方が一般的になる

技術進化の方向性

これら 3 つの変化に対してモバイルコンピューティングは、a. リアルを超えるデジタル空間を実現する技術、b. AI・ロボットの遍在化を推進する技術、c. 人の自己実現をアシストする技術の方向へと発展していくものと想像する。

a. リアルを超えるデジタル空間を実現する技術

リアル環境が中心だった買い物や旅行、仕事、教育などについて、デジタルで完結する新たな市場が拡大すると、人々は場所や距離の制約から解放される。豊かな自然環境、地域の文化、趣味、利便性等の要素で好きな場所に住んだり、滞在しながら活動することが可能となる。現在、育児や介護、病気や障害等で通勤や移動が困難な人々も働く機会が増大する。これらの実現に向けて、あらゆる場所で高速に移動しながらも快適かつ高信頼にアクセス可能となる超高速大容量のネットワーク環境を基盤として、Virtual Reality, Mixed Reality, 多言語翻訳も含めた自然でストレスのない高臨場感通信システムや、実世界の制約にとらわれないデジタル空間ならではのコラボレーションが進展する。一方で、人と人が対面でリアルに会ったり、モノを確認したりすることが制限を受けるため、デジタル環境内で完結する信用の確立、安心安全なスマートコントラクト技術も発展するであろう。またデジタル疲れ、使いすぎなどの社会的課題に対する研究も進むと思われる。

b. AI・ロボットの遍在化を推進する技術

AIによる需給のマッチングや社会システム最適化、保守運用自動化、ロボットによる生産、警備や介護、宅配、家事、運転等さまざまな行動の代替により、労働力不足の課題が解決され、人々の自由時間が増え、趣味や旅行、社会参加に費やす時間が増えることが期待できる。現状よりも圧倒的に大量のセンサやアクチュエータが実世界の至る場所に遍在するサイバーフィジカルシステムにおいては、異種のサイバーフィジカルシステム同士が複雑に連携する環境をどのように秩序を保ち頑健に制御し、妥当なコストでメンテナンスしていくのが課題となるだろう。また、人々は携帯端末よりも身近なロボットを情報処理端末として利用する機会が増える可能性もあるが、人の心身の体調や感情、思考・行動パターンを人間以上に理解してもてなしてくれるUXやモバイルヘルスケアとともにプライバシー保護等の

研究やGDPR（EU一般データ保護規則）に続く法整備も進むだろう。

c. 人の自己実現をアシストする技術

複数の会社で同時並行的に働く複業が一般的になり、1つの会社に縛られない自由な働き方も可能になる。会社の枠を超えた労働需給をマッチングする技術、仕事ごとに端末からサーバまでデータや情報処理を隔離するセキュリティ技術が進む。一方で人に求められるタスクは非定型的で、より創造的な領域へとシフトする必要がある。生涯に渡る学習による新たな専門スキルの獲得やアップデートも必要となるだろうし³⁾、人生の多様な働き方、暮らし方の選択肢を知り、選び、自己投資をして自己実現していく必要がある²⁾。個人の習熟度や興味に合わせた学習を支援するEdTechやキャリア開発をサポートする研究も進む。個人に常時寄り添う携帯端末やウェアラブル端末は、対話を通じて自分の強みや価値観など自己認識を深め、その人らしい生き方を選ぶことを助け、自己実現に向けてさまざまな挑戦を促すコーチの役割も担うかもしれない。生まれてからのあらゆる活動や意思決定の支援を通じてその人を理解し、今会うべき人、行くべき場所を気づかせ、可能性を広げる存在になることが期待される。

モバイルコンピューティングの研究は今後も個人の生活、社会の変化にスコープを合わせながら、未来を創り出していくに違いない。

参考文献

- 1) 水野忠則, 太田 賢: モバイルコンピューティングの現状と将来像, 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.4, pp.318-323 (Apr. 1997).
- 2) (株)三菱総合研究所, 未来社会構想2050を発表, 2019.10, <https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/ecovision/20191011.html> (最終閲覧日: 2019年12月16日).
- 3) 厚生労働省, 人生100年時代構想会議中間報告, <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000207430.html> (最終閲覧日: 2019年12月16日).

(2019年12月18日受付)

■太田 賢 (正会員) ootaken@nttdocomo.com

1998年静岡大学大学院博士課程修了。博士(工学)。1999年NTT移動通信網(株)入社。現在、NTTドコモ先進技術研究所勤務。モバイルコンピューティング、端末セキュリティ、分散システムに関する研究に従事。訳書「コンピュータネットワーク第5版」など。IEEE, 電子情報通信学会会員、本会シニア会員。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

9 2050 年の情報処理 (セキュリティ編)

基
般

菊池浩明 | 明治大学 須賀祐治 | IIJ

コンピュータセキュリティ研究会 (CSEC)

X デーと量子コンピュータ

ついにこの日がきてしまった。2049 年 X 月, RSA 公開鍵暗号 1024 ビットが H 社の量子コンピュータ QC-10 に解かれるニュースが世界を駆け巡った。量子コンピュータが開発されれば、離散対数問題や素因数分解問題の困難さにその安全性の根拠を持つ、今日の公開鍵暗号がことごとく使い物にならなくなることは 2000 年初頭から言われていることだった。しかし、「あと十年で開発される」という噂が繰り返されるだけで、なかなか実現には至っていなかった。

その流れが変わったのは、私が生まれた 2020 年。旧 Google 社が発表した量子コンピュータが現実的な規模の問題を解いたところからだったろうか。各社の開発競争が激化し、それに対応するように、次世代の耐量子暗号の開発も盛んになっていったのだった。

1979 年, RSA 暗号が生まれてすぐに, Scientific American 誌において Martin Gardner 氏の記事で懸賞金を出した 129 桁 (428 ビット) の素因数分解問題が世界中の分散処理で解けたのはその 17 年後の 1994 年。1024 ビットの RSA 暗号は, 2015 年の古書^{☆1}によると, 世界トップ 10 のスーパーコンピュータがあれば 2015 年に, 汎用の PC であれば 2020 年に解かれると言われていたのに, 2020 年に 829 ビットの素因数分解が成功した後は, 記録も伸び悩んでいたのだった。

うむむ, 量子コンピュータができた今, 私が勤めているオンラインの暗号資産会社と新型ブロックチェーンによる公開鍵暗号基盤はどうになってしまうのだろう?

生体認証とビッグブラザー

私^{☆2}の生まれた 2020 年は, 2 回目の東京オリンピックが新型肺炎で延期された年として記憶されている。この年から急速に普及したものは, キャッシュレス決済と次世代生体認証基盤だった。それまでは指紋や顔画像を無断で取られることは, 監視社会を恐れる人々によって強く反対されていたものだったらしいけど, スマホに生体認証が必須になり, 全世界の空港での入国審査の標準となり, ラウンジの入退出で体験するにつれてみんな抵抗がなくなってきたものだ。特に私が小学校の頃から, 学校に入るのにカメラでチェックするのが普通だったし, テストや受験のときにも顔認証されていたからね。

えっ?, 「ビッグブラザー」は心配じゃなかったのかって? 確かに, George Orwell は, 「1984 年」で人々の思想と行動を監視する社会における独裁者の象徴として描いていた。でも, 私たちの生体情報は政府が管理するわけではない。公開鍵基盤 PKI が複数のルート証明書をトラストの起点とするように, 生体情報もそれぞれ自分が信用する民間の認定情報銀行に預け入れ, オープンな ID 連携の機構により全域的での認証が実現されている。情報銀行同士の競合の中, ガバナンスの不十分な情報銀行は認定を取り消され淘汰が生じ, 結果的に互いの不正を監視しあう競合信頼基盤ができあがっていた。

一方で 1990 年代の暗号規制に対抗すべくサイファーパンクと呼ばれる草の根運動の再来が起きた。地理的に狭いコミュニティだけで通用する私的なスコアリング制度が過疎化した地域で広がりを見せたけど, 昭和前半の村社会が再建されることになってしまった。一斉を風靡した地域通貨はいまや中四国の山間部だけで

^{☆1} CRYPTREC Report 2017 暗号技術評価委員会報告, 図 3-2: 素因数分解の困難性に関する計算量評価 (1 年間でふるい処理を完了するのに要求される処理能力の予測, 2018 年 2 月更新)。

^{☆2} 2020 年生まれの 30 歳の IT 技術者。

ひっそりとやりとりされているだけだ。

日々のヘルスケア情報や診察、検査、治療、投薬などの医療情報も、十分に匿名化されて医療、介護ビッグデータとして広く交換されている。ゲノム解析に基づく免疫治療や治験なども一般的になっていて、30年前は人々を苦しめた花粉症も、オーダメイド治療によりチフスなどと同様のものは過去の病気なのさ。

マルウェアは撲滅するか

昔はアンチウイルスソフトウェアというのがあって、ソフトウェアの脆弱性を悪用してコンピュータに感染するのを防いでいたそうだね。もうないよ。もちろん脆弱性は決してなくなるわけではないけど、ベンダにより安全性が証明されたアプリを管理されたOSに入れて使うことがほとんどになってしまって久しい。今や、ごく一部の専門家しか任意のソフトウェアがインストールできる環境を使わなくなってしまった。アンチウイルスソフトが売れなくなってしまったセキュリティベンダはどんどんプラットフォーム^{☆3}に身売りをしてしまった。

同様に、自動車はコネクテッドカーばかりになってしまった。Car PKIによる新型CANによって、外部からエンジンをかける車はもう車検を通らない。トラス省お墨付きじゃない自家用車で公道走れるのはガソリンで動くトヨタの旧車くらいじゃないかな？

では、マルウェアの危険性はもうないのって？

もちろん、不正行為はなくなるはない。2050年になっても標的型フィッシングとオーダメイドスパイウェアは手を変え、品を変えて不正を続けている。機械が安全になっても、人間は予測不能で不正確で脆弱だからね。組織の内部犯行は、やはりなくなるはない。エージェントによる機械操作を防止するために、30年前はよく使われていた人間をテストするCaptchaは廃れてしまった。人工知能の発達に伴い解読精度が上がってしまい、高度化のインフレが止まらなくなって廃れてしまったからだ。代わりに、生体認証基盤による匿名のID連携により、誰だか分からないけれど、今生きている人間であることは

☆3 2050年のプラットフォーム Baidu (百度), Alibaba (阿里巴巴), Tencent (テンセント)。

確実に分かるようになってしまったというわけ。

生き残るのは誰か

さて、ポスト量子コンピュータの社会はどうなったのって？

人類の中で最も脳容量が大きく、頑強な体躯を有して高度な石器を使いこなしたネアンデルタール人は4万年前に絶滅し、代わりに力も弱く狩りも下手なホモ・サピエンスが生き残った^{☆4}。強いものや優れたものが生き残るとは限らないのだ。

結局のところ、2050年、なんとRSA署名による公開鍵証明書は今も現役である。量子コンピュータの需要は、一部のプラットフォーマーと真理省、愛情省などの省庁にとどまっていて、まだ一般のユーザが手にするほど市場価値が高まってはいない。耐量子技術として期待されていた格子暗号は、すでに技術的には成熟していたけれど、コストとそれに見合う市場価値がまだ認められない。RSA暗号だけではないよ、電子メールもFAXもFortran^{☆5}もJavaもまだ残っている。高い技術や優れたアルゴリズムが必ずしも生き残るとは限らない。

いいじゃないか、そして、2050年の今日も、私はいつものスローガンを三唱して1日を始めるのだった。

「戦争は平和なり

自由は隷従なり

無知は力なり」^{☆6}

(2020年1月14日受付)

☆4 更科 功「絶滅の人類史 なぜ「わたしたち」が生き延びたか」(NHK出版, 2018)によるとネアンデルタール人の脳容量は約1550cc, 現代のホモ・サピエンスは約1350cc。

☆5 竹内郁雄「当たらずも八卦」(情報処理, Vol.1, 1991)では、30年前にソフトウェアというのは文化だから、Fortranは2020年にも残る、と予言して的中させている。

☆6 ジョージ・オーウェル「一九八四年 [新訳版]」(ハヤカワ epi 文庫, 高橋和久 (翻訳), 2009)

■菊池浩明 (正会員) kkn@meiji.ac.jp

2013年明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科教授。国立研究開発法人理化学研究所革新知能統合研究センター客員研究員。電子情報通信学会、日本知能情報ファジィ学会、IEEE、ACM各会員。本会フェロー。

■須賀祐治 (正会員) suga@ij.ad.jp

(株) インターネットイニシアティブ セキュリティ情報統括室 シニアエンジニア 博士 (工学)。CSEC研究会幹事。CELLS 幹事。CRYPTREC TLS 暗号設定ガイドラインWG 主査。2004年度山下記念研究賞。SUG founder。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

10 2050年の学術情報処理

基
般

難波英嗣 | 中央大学／情報基礎とアクセス技術研究会 (IFAT)

私が初めて国際会議に論文を投稿した 1990 年代は、今思えば随分のんびりした時代であった。インターネットはすでに普及していたが、論文投稿は郵送だった。査読者の人数分だけ論文を印刷し、封筒に入れ、所定の住所に送っていた。郵送先が日本国内ならばともかく、海外ともなると自分の論文が到着するまでにそれなりに日数がかかる。少しでも日数を短縮するため、EMS（国際スピード郵便）の使い方もすぐに覚えた。査読結果の通知も郵送ならば、最終稿の送付も郵送。今考えると本当に気の長い話である。それから間もなく、インターネット上で論文を投稿できるようになった。はじめてネットで論文投稿したときは、あまりの手軽さに、感動というよりも、本当にちゃんと投稿できたのか？と逆に心配になった。

今日、学術情報は異常とも言うべきスピードで増加・流通している。筆者が関係する分野では、国際会議に採択された論文の著者は、論文の最終稿が完成すると arXiv.org 上で公開するのが一般的になっている。それらをダウンロードして読めば、国際会議が始まる前にはおおよその研究トレンドを知ることができる。論文だけでなくソースコードや実験データも github.com や paperswithcode.com 上で公開され、実験環境の再現すら簡単にできてしまうことも少なくない。さらに、Google Scholar などの論文データベースにキーワードを登録しておけば、そのキーワードを含む論文がデータベースに登録されるとメールで通知してくれる。

このように、学術論文の流通という点では、以前では考えられないほど恵まれた状況にあるが、良い点ばかりではない。論文を読むスピード以上に入手

できてしまうので、読めない論文が増える一方である。その結果、国際会議参加者の参加報告を聞いたり、国際会議論文の輪読会に参加したりすることになる。論文紹介記録を qiita.com や github.com にアップロードし、Twitter 等で告知してくれる人もいたので、筆者もありがたく活用させてもらっている。しかし、自分が興味ある研究を誰かが都合よく報告してくれるとは限らないので、結局は自分で頑張らなければならない。

学術情報を対象にした情報処理で現在できることとできないことは、研究者が直面している状況にほぼ対応している。すなわち、学術論文の検索、分類、推薦などの流通に関する技術は、十分実用レベルに達していると言っても過言ではない。一方で、そこから先の、各論文の内容をある程度理解する必要のある処理、たとえば、特定分野の論文集合から重要論文を見つける、論文を査読する、特定分野の論文集合を分析し要約する、何か新しい発見をし、論文を執筆する、といった処理は、研究レベルではさまざまな取り組みがあるものの、実用化への道のりは遠い。

「現在の情報処理技術でできること／できないこと」は人間の情報処理能力と無関係ではあるまい。たとえば、ある論文が情報検索に関するものかどうかは、情報検索分野の専門家であれば、論文を見た瞬間に判断できるであろう。しかし、その論文の査読となると、明らかに採択基準に満たない論文を除けば、その分野の専門家でも採否の判断にはそれなりに時間がかかる。研究室の学生に渡した論文の内容を、学生がきちんと理解したかどうかを確かめるには、筆者の分野では、その論文の内容をきちんと

プログラムとして実装できるかどうかを見ればよい。論文からプログラムを自動生成する試みも研究レベルでは存在するが、実用化レベルには程遠い。

深層学習をはじめとする機械学習は、大量のデータが存在するタスクでは、その能力を遺憾なく発揮する。しかし世の中には機械学習するにはデータが少なく物量作戦が効かないタスクも無数に存在する。人間はデータ数が少なくても効率的に学習するのが得意である。言語を獲得するのに、何十ギガバイトも何百ギガバイトも文書を読む必要はない。恐らく、入力された情報を、頭の中で汎用性が高い形で保存できるからだと思われるが、その仕組みがよく分からないからこそ、現在は物量作戦に頼らざるを得ないように思う。

現在の情報処理技術でできることとできないことの溝は深く、今の物量作戦に頼る手法の延長では、溝を埋めることはできないと筆者は思っている。情報基礎とアクセス技術研究会 (IFAT) の前身である情報学基礎研究会の設立趣意書とも言うべき

論文¹⁾を読むと、知識の獲得や体系化がスコープの1つになっていることが分かる。それから30年経った現在でも、この問題は十分に解決されたとは言えない状況のまま残されている。これから30年、知識の獲得や体系化についてさらに議論され、人間と計算機との溝が少しでも埋まることを、IFAT研究会の主旨として願っている。

参考文献

1) 藤原 謙：情報学基礎のスコープ，情報処理学会研究報告情報学基礎，1-1，pp.1-3 (1986)。

(2019年12月23日受付)

■難波英嗣 (正会員) nanba@kc.chuo-u.ac.jp

2001年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。2019年より中央大学理工学部教授。情報基礎とアクセス技術研究会主査。自然言語処理、特許情報処理、観光情報学に関する研究に従事。



[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

11 グループウェアから共助社会へ



齊藤典明 | 東京通信大学／グループウェアとネットワークサービス研究会 (GN)

ふりかえり

本会より 1991 年 1 月号の「30 年後の情報処理」特集を参考に、「2050 年の情報処理」というお題で原稿を依頼された。30 年前に記事を書いた研究会は、当時の記事の総括をすることになっているが、グループウェアとネットワークサービス研究会の歩みは 1992 年 6 月開催の研究発表会に始まるため、残念ながら 1991 年の記事を総括することができない。とはいえ、30 年近くの活動実績を持っているため、まずは当研究会の活動領域について簡単に振り返ることから始めたい。

グループウェアと CSCW

グループウェア研究は、人間、社会、技術の 3 つの側面を統合的に研究する分野であり¹⁾、しばしば、CSCW (Computer Supported Cooperative Work) という言葉で置き換えられる。CSCW はコンピュータ技術と協調作業である人間の行動科学および心理学を融合したものであり、1980 年代からの研究分野である。30 年前の 1990 年は、オフィスワークにおいては 1 人 1 台のコンピュータも怪しい時代であり、コンピュータネットワークは、まだまだ研究者による利用が中心であった。その中で、CSCW は、個人作業の支援よりも、グループ作業や組織活動の支援に着目した先進的な研究分野であった。まだ十分に実現できていない世界を前提にした研究分野であったため、当時は、「誰もがコンピュータネットワークを使うようになったとして」、「常時ネットワークにつながったとして」、「すべてのネットワー

ク帯域が広がったとして」という仮定のもとに協調作業支援の研究を進めていた。

インターネットブームとコモディティ化

その後 1990 年代後半になると、インターネットブームとともに、誰もがコンピュータネットワークを使うようになってきた。これは Web の普及だけでなく、ネットワークのブロードバンド化およびモバイル環境の充実も重なることで、オフィスワークだけでなく、一般生活においてもコンピュータネットワークが使われるようになった。このようになると、それ以前の研究で仮定としていたものが現実化し、より実利用を考えた研究や、現実の問題解決に向けた研究に広がっていった。特に組織内のアプローチは、そのままネットワーク社会にも適応できるものも多く、ソーシャルメディアを対象としたものも包含していった。

これに伴い、当研究会も当初の「グループウェア研究会」から、2001 年に「グループウェアとネットワークサービス研究会」に名称を変更した。このころからグループウェアという単語は、特定の製品やプロトコルを指すのではなく、電子メールやスケジューラなど組織活動に必要なアプリケーション全般を指す言葉として定着した。現在においても、グループウェアはオフィスワークにおいては必須のアイテムになっている。

たとえば、いきなり停電になって、電子メールやスケジューラが見られなくなると、これから何をすべきだったのかが分からなくなる事態に陥ることは想像に難くない。さらには、システム障害でデー

タが飛んでしまうと、それまでの思い出や人間関係もすべてなくなってしまう人もあるであろう。

コラボレーション技術の未来

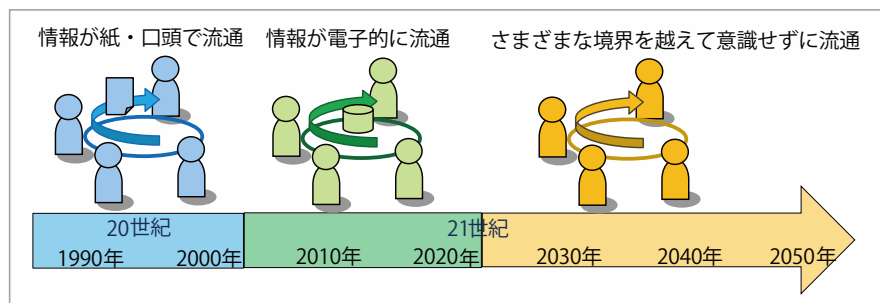
現在、多くの人々が当たり前のようにコンピュータネットワークを使って協調作業をしている。たとえば、幼稚園のママさんたちも SNS 上でグループを作って連絡や相談・意思決定などを行っている。活動するにあたって、スマホのアプリだろうが、グループウェアだろうが、SNS だろうが気にすることなく使っている。タブレット PC であれば、小学生 1 年生もあつという間に使い方を覚えて、インターネットで色々なことを調べている。今では、コンピュータネットワークは当たり前のものであり、とりたてて主張するべきものもない。そうすると、この分野の研究は、コンピュータ技術による支援は当たり前で、その上でどのような社会生活を支えていくかが課題になっている。では、これからどのような社会をどのように支援できるのであるか？

当研究会は、毎年秋に GN ワークショップを行っており、今後の方向性などを話し合っている。2019 年のワークショップのナイトセッションでは、明治大学教授の小林顧問にグループウェア研究のこれまでと、今後の目指す方向について講演していただいた。その上で、これからの研究の方向性について参加者で議論をした。その中では、ヘルスケア、共助、ダイバーシティ & インクルージョンなどのキーワードが出てきた。

現在、電子メールやスケジューラ、ネットワークストレージなどのグループウェアを使いこなすことによって、場所と時間を気にせず勤務することが可能になっており、これにより働き方の多様性が生まれている。テレワークに代表される働き方の多様性は、これからの日本社会の目指す方向性としては、誰もが重要であると認識している²⁾。

グループウェアもソーシャルメディアも基本的には同じ仕組みだが、組織向けがグループウェア、社会向けがソーシャルメディアという位置づけである。そして、社会通念上、これらはきっちり使い分けが必要である。たとえば、会社のメールアドレスと、個人のメールアドレスは、仕組みは同じであっても、立場の使い分けが必要である。そして、使い分けを間違えると責任問題にもなる。しかしながら、働き方の多様化により仕事と家庭・社会活動を両立させることになると、ある時間においてどちらか一方という使い方はなじまない。つまり、これまでは立場に応じてコンピュータネットワークを意識して使っていたが、さまざまな立場を同時に実現するには、コンピュータネットワークを意識させない透過的な仕組みが必要であろう (図-1)。

このほかにも、コンピュータ技術を使うことによって、男女の壁、年代の壁、言葉の壁、健常者と障がい者の壁など、さまざまな壁を乗り越えるアプローチが考えられる。特に、社会には助けを必要としている多くの人たちもいる。このような課題に対して、コンピュータが中心になって課題解決をする(人間不要)のではなく、人間が課題解決するのをコ



■図-1 情報流通の進化

ンピュータが手伝うという形で実現するのが CSCW らしいアプローチであろう。そして、いずれこの領域の研究が、国際救助隊のようになるのかもしれない。

また、さまざまな情報が電子化され流通することによって新たな問題も発生することが考えられる。特に、気になる動向の1つとして、EUからのGDPR (General Data Protection Regulation: 一般データ保護規則) の中に「忘れられる権利」というのがある³⁾。あらゆる情報がコンピュータネットワーク上で流通し、残り続けることに対する反発である。Webが考案されてから、早いもので30年経っている。我々の世代は大人になってから使っているので、物心ついたところの記録だけが電子化されている。しかしながら、これからの世代は生まれてからのすべての記録が電子化されている。その結果、それまで考えていなかった長期にわたる電子データの扱い方、分析方法、権利というのも出てくることが考えられる。このような領域にも研究課題があるはずである。

研究のたのしさ

当研究会の研究領域は、コンピュータネットワークの新しい使い方を見せて世の中に問い、次第に世の中がその通りに変化していくことを体験できる、という楽しさを持っている。2050年に向けて、協調作業がさらに進化していることを楽しみにしたい。

参考文献

- 1) 松下 温, 岡田謙一, 勝山恒男, 西村 孝, 山上俊彦 編: 知的触発に向かう情報社会 グループウェア維新, bit 別冊, 1994年4月号別冊, 共立出版 (1994).
- 2) 人間とICTの新たな関係, 情報通信白書 令和元年版, 総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/pdf/n2400000.pdf> (2019/12/11 参照)
- 3) GDPR (General Data Protection Regulation: 一般データ保護規則, 個人情報保護委員会, <https://www.ppc.go.jp/enforcement/infoprovision/laws/GDPR/> (2019/12/11 参照) (2019年12月13日受付)

■ 斉藤典明 (正会員) saito.noriaki@internet.ac.jp

1988年法政大学工学部卒業。1990年同大学院工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。1999年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了, 博士(工学)。2018年より東京通信大学情報マネジメント学部教授。現在, 情報ネットワークを用いた知識共有, 情報セキュリティおよびオンライン学習支援に関する研究開発に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会, 社会情報学会各会員。本会シニア会員。



12 2050年の春のある日



田上敦士 | (株) KDDI 総合研究所 / マルチメディア通信と分散処理研究会 (DPS)

2020 年の初夏のある日

「2020 年の初夏のある日」というタイトルで、松下温先生が 30 年後の将来を SF 小説風に執筆なさいました。本誌 1991 年の 1 月号に掲載されたこの短編小説（と、あえて呼ばさせていただきます）を 2020 年に読み返すと、SF っぽく感じないかもしれません。現在となっては「当たり前」の風景が描かれており、よくよく読むと、先見の明があられたのだと感心するばかりです。未来予想に対して「答え合わせ」を行うことは無粋と知りながらも、いくつかピックアップしていきたいと思えます。本小説は、30 歳で社員の A 氏の日常が描かれています。通勤風景である「電車には、IC カードで無人の改札口を通り」など、当たり前すぎて普通に流してしまっていますが、執筆された 1991 年は JR 東日本が「磁気式の」プリペイド型乗車券のサービスを始めた年です。日本で IC カードの開発に初めて成功したのは 1982 年であり、クレジットカードに導入されたのは 2000 年頃です。A 氏はその後、会社も IC カードで入門しており、現在ではよく見る風景です。電車に乗った後、「A 氏は車内で、電子手帳を取り出し、今日のスケジュールをチェックし」ています。「電子手帳」という単語には少し懐かしさを感じますが、「スマートフォン」と置き換えると、皆さんのいつもの行動ではないでしょうか？ PDA (Personal Digital Assistant) という言葉が造られるきっかけとなったアップルのニュートンとシャープのザウルスの発売は 1993 年です。その他、サテライトオフィスでテレビ会議に参加したり、X 氏と、「曖昧なニュアンスの少ない領域」でしか実用されていな

い翻訳システムは使わずに、英語で話していたりします。この絶妙な近未来感は、ぜひ一読いただきたいものとなっています。個人的に卓越していると思うのは、「(奥さんは) 掃除ロボットをセットするために、居間の家具を所定の位置に戻し、新聞や雑誌をかたづけたのち、ボタンをオンにした」の文です。「掃除ロボットのために部屋を掃除する」という一見矛盾した行動を、30 年前に予想されているのは、先見の明があるのか、ロボットと人間の関係について、基本的なところは 30 年経っても変わらないものなのか、考えてしまいます。

さて、私に与えられているお題は、「2050 年に向けての予想」をしないといけないことです。これはなかなか難しいチャレンジですが、やってみましょう。

2050 年の春のある日

過ごしやすい陽気のある春の日、B 氏は電車を待っていた。近年、オフィスワークに関しては場所を選ばなくなっており、在宅勤務や遠隔勤務が普通となってきている。ネットワークに繋がってさえいれば、どこでも仕事環境を整えられ、適切な設備さえあれば、仮想現実空間上に Face-to-Face とほぼ同じ環境を構築できるからである。しかしながら、築年数が決して浅くはない B 氏の家には籠もって仕事を行える書斎などはなく、子供たちが巣立つまではと、近くのサテライトオフィスに通勤している。コミュニケーション手段が豊富になって便利になったとはいえ、実際に会って話す重要性は失われていない。昨晚、新しいメンバの歓迎会を兼ねて久しぶりにプロジェクトメンバと直接会話をした B 氏

は、飲みすぎたことを少し後悔しつつ、話題になったことについて考えていた。

接客業の遠隔勤務は難しいと言われているが、美容師の遠隔ロボットが出てきているらしい。確かにお客は座っていて動かないし、遠隔医療ロボットの応用と考えれば納得はできる。課題としては、人材育成的部分で、マニュアル化が難しい「見て盗む」部分が遠隔だと難しいらしい。いっそのこと AI でいいのではないかと B 氏は言ったが、周りからは反対された。AI に刃物を当てられるのは怖いとか、気心知れた美容師との会話がなるといった理由であった。残念ながら、「痒いところはありませんか?」と聞かれても返事に困る程度の B 氏には、いまいちピンときていなかった。

そんなことを考えていると、乗るべき電車がやってきた。ナビゲーションは精度がよくなり、出張や外出のときだけでなく、日常でも乗り過ごし防止などさまざまなサポートをしてくれる。B 氏は、電車の中でプロジェクトごとに分類されたメッセージをチェックした。位置の束縛がなくなると、組織という枠組みも緩くなり、複数のプロジェクトに属して仕事をするというスタイルになっている。そのうち会社という組織もなくなると言われているが、経理や税務といった法的な課題が追いついていないだけで、実質的には緩くなっていると感じる。

プロジェクトのミーティングが遠方で決定していた。B 氏はミーティングの予定を入れるとともに、会議室までのチケットのリクエストを出した。すぐに飛行機と自動運転タクシーの組合せを提案され、念のために料金と二酸化炭素排出量などから算出される環境負荷値が規定を超えていないか確認し、発券申請を出した。ワンストップですべての発券があるので楽である一方、経理にすべての行動が筒抜けになってしまうのには、いまだにわずかながら抵抗感はある。とはいえ、デマンドも把握することで、高精度になった渋滞情報などメリットが多いのも事実である。

さらに B 氏は、夕方からの海外とのミーティングの資料を確認した。通信技術がどんなに発達しても残念ながら時差は解決できず、遅い時間のミーティングとなってしまふ。最近では、簡単な調整であればパーソナライズされた AI にまかせても大丈夫な感じではあるが、細かい事案は、時間を合わせてミーティングを行う必要がある。

最寄り駅についた B 氏は、あたたかな春空を見上げた。そういえば、長男が修学旅行で宇宙旅行に行く楽しそうに話していた。宇宙旅行といいつつ成層圏を少し超える程度であるが、身近になったものである。昨今、いろいろなものが擬似体験できる時代になってしまったが、やはり実体験には代えがたいものである。B 氏は、今度の休みに久しぶりに家族旅行でも行こうかと、思いをめぐらせていた。

春の臍

勘の良い人は気づいたかもしれませんが、前章では、エンド端末やユーザインタフェースは明記していません。B 氏がスマートフォンを持っているのか、AR (Augmented Reality) グラスをつけているのか、キーボードを打っているのか、音声入力なのか、脳波入力のかもぼやかしています。読んだ人が「将来予測」を「補完」して読むことでこの文章は完成します。文字媒体であることを利用した「ずる」ですが、どのような将来像が思い浮かんだでしょうか? 2050 年にこれを読んだ人が、どんな「補完」をするのか、楽しみでもあり、少し怖くもあります。

(2019 年 12 月 16 日受付)

■田上教士 (正会員) tagami@kddi-research.jp

1997 年九州大学大学院システム情報科学研究科修士課程修了。同年 KDDI 入社、以来、トラフィック計測、将来インターネットに関する研究に従事。2018 年より DPS 研究会主査を務める。博士(工学)。

13 トラストで紡ぐセキュリティ



寺田真敏 | (株) 日立製作所 金岡 晃 | 東邦大学

島岡政基 | セコム (株) 村山優子 | 津田塾大学

セキュリティ心理学とトラスト研究会 (SPT)

トラストで紡ぐ

情報セキュリティでは、技術的な対応を行うことで安全・安心な環境を利用者に提供できるとの考えから、主に工学的な観点で研究が行われてきた。しかしながら、ソーシャルエンジニアリングと呼ぶ、被害者の心理的な面の弱さを利用するサイバー攻撃が台頭し、その対策においても、心理学的な側面を考慮せざるを得ない状況にある。2050 年、トラスト（信頼）が情報処理を支える技術として普及しているであろう。本稿では、物、人、組織、社会をトラスト（信頼）という流れで紡ぎながら、2050 年の情報処理を整理してみたい。

物：ユーザブルセキュリティ

セキュリティやプライバシー技術自身のユーザビリティであるユーザブルセキュリティの分野において、この 20 年は学術的な研究が進むとともにエンドユーザへの適用が進んだ時代であった。スマートフォンの登場により生活様式や常識さえも変わったことを考えると、30 年後には技術に牽引された新たな生活様式や常識が生まれることは想像にがたくない。

その際には、効果的とされる情報提示や行動誘引の創出などの新たな手法の研究に加え、新たな技術に対するユーザの行動原理の把握や生活様式の経年変化の調査も重要となる。今後は個人に特化したユーザブルセキュリティ・プライバシーを発見・適用するといった研究だけではなく、技術・

物に対するトラスト（信頼）という概念が持ち込まれて進むことも考えられる。

人：災害コミュニケーション

南海トラフ沿いの大規模地震は、今後 30 年以内に発生する確率が 70 から 80% と予想され¹⁾、地球温暖化にかかわる気候変動により、世界中で大規模な自然災害が起こる可能性が高い。このような状況下において、災害における ICT 活用を考えていくことは、学会としての社会貢献にもつながるだけでなく、国際連合の 2030 年までの持続可能な開発目標 (SDGs) にも資する。

災害への情報処理技術活用については、災害時の解決すべき課題の把握と、課題への対策にどのように技術を活かすかを検討する必要がある。前者については、課題内容の蓄積が、将来役立つであろう。後者に関しては、既存の技術やその知見だけでは足りない。たとえば、30 年後には、人をつなぐコミュニケーションとして SNS ではなく、トラスト（信頼）という概念が導入されたまったく異なる技術も存在し得る。したがって、既存の技術を駆使するだけではなく、その時々々に普及している技術を取り入れていける枠組みを考えることも重要である。さらに、災害心理学等に基づき、ユーザの心理的状況を考慮した技術、緊急時に、日頃から使い慣れた技術やサービスをどのように適用するかなど緊急時を見据えることが必要となろう。

組織：シーサート

サイバーセキュリティ対策の一環である、組織間のトラスト(信頼)に基づく活動としてCSIRT(シーサート)が注目されている。シーサートとは、サイバーセキュリティにかかるインシデントに対処するための組織の総称(機能)、インシデント関連情報、脆弱性情報、攻撃予兆情報を収集分析し、対応方針や手順の策定などの活動である。

今後、組織のつながりが作り出す複雑なサプライチェーンを考慮して、サイバーセキュリティ環境を維持ならびに推進していくためには、社会全体でサイバーセキュリティ対策を全方位から支援可能な状態へと導く必要がある。参考となるモデルとして、公衆衛生モデルがある。公衆衛生モデルでは、総合病院の外科、内科などの分野ごとに専門医もいれば、町の診療所のように一般診療を受け持つ医師もいる。求められる人材の分野は多岐に渡る。また、総合病院、町の診療所、保健所、薬局、医科大学など、いろいろな役割の組織が協力している。特に、公衆衛生モデルでは、学問として現場を支える場が整備されている。2050年、公衆衛生モデルに基づくサイバーセキュリティ環境を維持ならびに推進していくための情報処理が普及しているであろう。

社会：そしてトラストへ

科学技術の普及において、科学的合理性と社会的合理性とが相反する場合、そのギャップをどう埋めるかが問題となり、また、そこには技術だけで解決できない問題が存在する。

トラスト(信頼)は、複雑性を縮減するメカニズムの1つ²⁾であるとともに、(科学的)不合理性を備える概念であり、前述の問題解決に資するものとして、情報処理分野に限らず科学技術と社会の接点を扱うさまざまな分野において適用されるであろう。

特に、情報処理分野においては、AI技術の発達による知能の外部的化、自動運転システムを筆頭とす

る制御システムのインテリジェント化など科学技術の高度化・複雑化が進むことは疑いが無い。また、情報処理が集中と分散を繰り返しながら発展している状況を踏まえると、トラストの観点からは、分散システムとして自律的な信頼構築や社会的合理性を備えた研究開発はもちろん、システムが集中化することによって生じる情報の格差についても緩和・解消・吸収するなど何らかの対処する技術の研究開発が求められることになるだろう。

今後の展望

心理学やヒューマンファクタ、安心とトラスト、ユーザブルセキュリティなどの実践的な研究テーマの科学的評価を通じた推進は、2050年に向けてますます必要不可欠になっていくであろう。

特に、セキュリティ心理学とトラストという視点では、研究そのものや研究の評価手法といった普遍性の高い部分と、新たな潮流に沿った研究テーマの受け入れといった柔軟性の高い部分を両立し、他研究分野からの流入の歓迎・促進、そして新たな研究分野においても客観的かつ妥当的な研究成果をアウトプットできるような協働の場をサポートし続けることが求められると考えている。

参考文献

- 1) 気象庁地震火山部：南海トラフ地震関連解説情報(2019)、<https://www.data.jma.go.jp/svd/cew/data/nteq/index.html>
- 2) Niklas, L. 著, 大場 健, 正村俊之 訳：信頼—社会的な複雑性の縮減メカニズム, 勁草書房(1990).

(2020年1月15日受付)

■寺田真敏(正会員) masato.terada.rd@hitachi.com

(株)日立製作所横浜研究所とHitachi Incident Response Teamに所属。2019年より東京電機大学教授を兼務。

■金岡 晃(正会員) akira.kanaoka@is.sci.toho-u.ac.jp

東邦大学理学部情報科学科准教授。

■島岡政基(正会員) m-shimaoka@secom.co.jp

1998年セコム(株)入社。2004年より同IS研究所。2019年より筑波大学システム情報系客員准教授を兼務。博士(情報学)。

■村山優子(正会員) murayama@tsuda.ac.jp

津田塾大学数学・計算機科学研究所特任研究員。岩手県立大学名誉教授。

14 大規模社会実験の成果やいかに？



石川翔吾 | 静岡大学／高齢社会デザイン研究会 (ASD)

社会構造の変革期

2019 年現在、日本は高齢化において世界のトップランナーで日々その記録を更新し続けている。高齢化の進行に伴い認知症のある人は高齢者の 5 人に 1 人で 700 万人に達しようとしている。2000 年を過ぎたころに地域包括ケアシステムが提案されてからすでに地域共生への転換も起こり始めている。このような背景を踏まえ、学際的な実証実験が推進されており、情報学はさまざまな課題を解決する上でのつなぎ役であり新たな価値を創造する重要な役割を担っている。

30 年後の日本社会は、団塊世代が 75 歳以上になる 2025 年問題のハードルを越えて（越えられないかもしれないが）、65 歳以上が 40% という人口構造で安定の時期に入るちょうど過渡期にあたる。まさに次のハードルを乗り越えようとする時期である。本研究分野は、これから到来する人類がいまだに到達したことのない社会に備えて、持続可能な安心・安全の生活を実現するために多様な基礎研究を応用しながら研究開発を推進するという性質を持つ。そこで、本稿では広い視点から 30 年後を考えてみたいと思う。

高齢者のアップデート

65 歳以上は高齢者と定義されているが、その定義は変わるだろう。少なくとも 30 年後の人口構造であれば、若者が高齢者を支える仕組みでは到底立ちいかない。平均寿命も年々伸びており、高齢者のイメージもどんどん更新されている。高齢者とは、あくまで医療や介護等の社会保障の観点やサービスの享受において一定の基準が必要となるからにすぎないと考えると、高齢者という言葉自体が消失する可能性も十分ある。

特に情報学を人間の各種機能の代替、拡張、新たな価値を創造するコアテクノロジーと位置づけると、情報学はその概念のアップデートに大きく寄与するだろう。高齢者であることを「選択」できるようになる可能性もある。実際、トランスヒューマニズムの議論も始まっており、死生観も大きく変化するだろう。また、このような考えを尊重し始めると、それに応えるための制度やシステムの整備が必須である。教育の仕組み、働き方、家事や育児の考え方にも影響がおよび、まさに全世代が一丸となって社会や地域をデザインしていく必要がある。

最適化と多様化

今後の研究開発のために人間が行うこととシステムが担うことを整理していく必要があり、現在その準備が整ってきた段階である。ただ、この交通整理の判断を間違えると、極に傾く蓋然性も高い。現在の多くの研究を概観してみると、その先にあるものは、1つの価値判断基準によって極端に最適化された世界だろう。最適化の行き着く先は制約だ。たとえば、病気にならないことを重視すると、こういう食事をするとう病気になるので、病気につながる可能性のある食事は一切禁止する。お酒やもしかしたら糖質の観点から白米も NG とされてしまうかもしれない。このままいくとう病気になるりますが、それでもこの生活を続けますか、というようなワーニングやアラートが鳴り止まない世界も考えられる。一方で、多剤による心身への悪影響が課題となっており、薬剤と身体症状（効果と副作用）の膨大なパターンを整理する必要がある。薬の処方最適化することは歓迎されるだろう。

このように、専門家に委ねていた責任がすべて自分自身の責任になる可能性がある。支援には最適化が必要な側面と、人間が判断し選択できるような多様性を

尊重することのバランスが重要となる。これからの人口減少時代において、支援の体制が乏しくなることを見据えると、できるだけシステムと協調することを前提とした仕組みを実現しなければならない。

また、自立的に生活を継続することを手助けすることが介護の目的であるならば、生活を継続するための目標や課題は人それぞれである。現在の介護現場は最適化された現場から多様化に対応するために革新している途上である。そのためには、意味のあるデータを蓄積して適切な判断ができるような研究を進めるべきである。そのようなデータが蓄積されることで、最適化と多様化のバランスの整理も進むことが期待される。

コミュニケーション

さまざまな研究成果によって、我々の well-being は良好な関係性における役割や居場所があることであると示されている。たとえば、独居高齢者の孤立は喫緊の課題であるが、遠隔コミュニケーションが自然となれば地方においても継続して良好な関係性を持続した生活が実現できる。そのためには、自動運転をはじめとする移動手段や通信手段としてのインフラの整備は収束している必要がある。さらに、ロボット（物理的なものからバーチャルなものまで）とのコミュニケーションも活発化するだろう。

また、現在はどうしても支援者と支援享受者の関係の上でコミュニケーションを考えることが多い。しかし、人間の拡張が進むと、そのような支援という表現自体も少なくなってくるのではないかと。すなわち、頼ることのできるモノが増えることで、支援者と支援享受者の関係が曖昧になる。逆に、現在は人が介入する部分がほとんどで、支援が目に見えてしまいすぎるのかもしれない。

情報科学

現時点でも、技術開発中心で再現性については大きな課題となっており、情報「科学」の方法論を考え直す時期になっている。今後、機器やアプリケーションのパーソナライゼーションが進むと標準的なシステムでは結果が出てにくくなり、システム評価が非常に難しくなる。また、個々人の生活には正しい生き方という基準はない。正解がな

ければシステムの効果をどう検証すればいいのだろうか。

1つの価値基準に落とし込んでUXやアウトカムを評価するのではなく、パーソナル情報や取り巻く環境情報を整理して、このパターンではこういう結果が得られたということを構造化して、それを検証していくことになるのではないかと。これは、いわゆる構造主義的アプローチとして議論されているが、情報科学としてこのアプローチに切り替えていくターニングポイントになっている。

そのような方法論が進化することによって、データの重要性はますます高くなる。プライバシーの課題が整理されていくことによって、二次データを扱う研究が難しくなり、質の高い一次データの取得に関する研究の活発化も望まれる。

新たな社会課題に向けて

おそらく、30年後にはこの研究会は消滅していることだろう。なぜなら、高齢社会化の過渡期としての意味はあるが、30年後はそれが当たり前の社会だ。30年後もまだ本研究会があるのだとしたら大変なことだ。まだ解決していないということなのだから。次の社会課題にアプローチしていなければならない。

残念ながら、現時点では情報処理技術が高齢社会デザインとして現場に有効に活用されている事例は多くはない。そのような背景もあり、さまざまな当事者を巻き込んでシステムを作り出そうとする co-production も進められている。しかし、実践、継続していくためには、お互いが主張し合うのではなく相互に理解をするための仕組みや、協働するための科学・技術教育や研究の基盤も重要となる。さらに、生活という単位で見えていくと、点で見るのではなく、持続的に変容を追いかけ、時系列の中でシステムと人がどのようにインタラクションしたのかを検証することも重要である。本会が、さまざまな情報学の研究をリードする研究活動のプラットフォームであり、そのような仕組みの提供を先導することを願う。自戒と期待を込めて。

(2020年1月20日受付)

■石川翔吾（正会員） ishikawa-s@inf.shizuoka.ac.jp

2011年静岡大学創造科学技術大学院修了。博士（情報学）。2013年から同大情報学部助教。主に認知症情報学研究に従事し、学習支援技術、コミュニケーションの可視化・分析を中心に研究。

15 能力はダウンロードできるか？



暦本純一 | 東京大学／ソニーコンピュータサイエンス研究所／
ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 (HCI)

Neo: Can you fly that thing? (あれを操縦できる?)

Trinity: Not yet. (まだ)

映画『Matrix』での印象的なシーンである。Neoに聞かれた時点では Trinity はヘリコプタの操縦方法を知らないが、ただちにその能力をダウンロードする。筆者は、この例をひいて「将来の“アプリ”は能力のダウンロードになるだろう」と、ヒューマンインタフェースの国際学会である ACM UIST 2019 の未来ビジョンセッション (UIST Visions) で述べた¹⁾。

人間の能力を、まるでスマートフォンのアプリケーションをダウンロードするように自由にダウンロードできるようになったらどうなるか。たとえば外国語を解する能力、運動能力、楽器を演奏する能力、芸術を作る能力、何かを理解したり研究する能力。あるいは超音波や紫外線を感じる能力や絶対座標で自分の位置を感じる能力などがアプリ化して自由に流通する世界。

現状、それに最も近いのは聴覚能力のアプリ化だろう。2019年に市販されているノイズキャンセルイヤホンの最先端のもの、たとえば Apple の AirPods Pro では、外界の音を処理するために左右それぞれのユニットに高性能なプロセッサを搭載し、外界の音を処理して耳に到達させるまでの遅延がきわめて短い。我々は、何かを喋ってそれを自分の耳で聞く際に一定時間以上の遅延があると、聴覚遅延フィードバック (Delayed Auditory Feedback, DAF) と呼ばれる聴覚を阻害する効果が生じて、発話を乱されてしまう。しかし、この遅延が十分に小さければその障害は発生せず、自分が喋ってるこ

とを骨伝導経路で聞くのと同様となる。つまり十分に小さい遅延時間でのフィードバックは自己と同一化される。外部の音響を微小遅延時間で処理できるイヤホンは、人間の聴覚をリプログラミングできる可能性を持っている。このイヤホンを用いて、単にノイズキャンセルだけではなく、言語を翻訳したり、特定の方向の音だけを增強したり、特定の人物の声だけを消したり、逆に特定の人物の声だけを残したり、あるいは集中するために適したノイズを生成したりするなど、さまざまな「聴覚アプリ」が出現し、必要に応じてそれらをダウンロードして利用できるようになるだろう。職種別のアプリも登場する。整備士が機器の状態を音で聞き分ける聴覚や、演奏家が楽器の微細な響きの癖や、音楽ホールでの音の伝搬状況を感じとれる（おそらくは楽器やホールごとにカスタマイズされた）能力もアプリ化されるようになる。一定の年齢までに L と R を聞き分ける訓練をしないと、それを識別する聴覚能力は発生しないが、アプリを使えば補正できる。さらには超音波のみで会話するアプリなども登場するだろう。

次に現実的なのは人間の遅延を補正するアプリかもしれない。人間は外部刺激を認知してからそれに反応するまでに一定の遅延時間を要するが、それよりもはるかに早く反応できるセンサや処理システムはすでに多くある。さらに、人間の行動や外部環境の変化を予測する機械学習を併用すれば、センシング遅延をゼロからマイナスにすることすら可能である。このような能力を持つスポーツアプリをダウンロードして、擬似的な予知能力を得ることができる。相手選手の次の行動が予測して見えたり、ボールの方向をあらかじめ感じとれる能力が付与されること

になる。

能力アプリと人間とのインタフェースは、イヤホンのような非侵襲的なものから、ウェアラブルエレクトロニクスとして身体と一体化するもの、インプラントされるものまでさまざまな可能性が試みられるだろう。2050年においてもBMI (Brain-Machine Interface) で人間の思考が自由に読み書きできるかは不明だが、網膜や内耳、筋肉、味覚、あるいは腸内(細菌)などに介入する技術は十分達成可能だろう。また人間単体ではなく、機械と人間との融合アプリ (humanly-extended machines applications) も開発されるだろう。

以上のような技術は、人間拡張 (human augmentation) に含まれるが、これがアプリとして流通できることが重要だと筆者は考える。スマートフォンは、当初は電話や Web ブラウジングなどの固定した機能を提供するものだったが、拡張機能をアプリとして流通させることができるようになり飛躍的にその可能性が拡大した。スマートフォン内蔵の傾斜センサを使った、ビールジョッキを模したような冗談アプリまでも生まれたが、設計者が当初予期していたことをはるかに凌駕したアプリも多く開発され、情報産業の発展に大きく寄与した。また、これらのアプリは、ある程度の技能を習得すれば誰にでも開発できることが重要である。人間の能力がアプリ化した場合でも、拡張機能を自由に開発し、流通販売し、あるいはオープンソース化するようになる(文献2)ではこれをオープンアビリティと呼んでいる)。将来の初等プログラミング教育では、画面中のキャラクタや実世界のロボットの挙動をプログラムするだけでなく、各自の能力をプログラミングすることも含まれるだろう。

その一方で、能力がダウンロードできるようになると能力そのものの価値や希少性が失われてしまうかもしれない。スマートフォンに新しいアプリを導入しても自慢にはならない。特別に高価なアプリケーションでもない限り、誰でも入手できるもの

から。同様に、能力がダウンロードできてしまう時代には、努力して新しい能力を得ることへのモチベーションが失われてしまうかもしれない。しかし、得られた能力を前提としてさらに高いレベルでの競争が起きることも期待できる。人工知能が自律的に研究を行ったり論文を生成する時代になると、それ自体はありふれた事象になってしまうので新規性が認められなくなる(計算すれば分かることなので「計算自明 (computationally trivial)」と呼ばれるようになる)。しかし、その計算自明を前提として、さらに高いレベルでの競争が発生し、より高いレベルでの科学的発見がもたらされるだろう。芸術やデザインなどの分野でも同様になるだろう。

ところで、スマートフォンのアプリと通信機能とは密接に連携している。SNS やオークションなどのアプリが典型的である。人間の能力がアプリ化したときも、個体としての機能拡張にとどまらず通信機能を利用したものが当然に発展するだろう。しかし、それはどのようなものだろうか? 以心伝心やテレパシが可能となる世界? あるいは超炎上?

参考文献

- 1) Rekimoto, J. : Homo Cyberneticus : The Era of Human-AI Integration, ACM UIST visions 2019, arXiv 1911.02637 (2019).
- 2) 暦本純一: IoT から IoA へ, 人類を拡張するネットワーク, 日経エレクトロニクス (1164), pp.89-101, 2016-02 (2016).

(2020年1月6日受付)

■暦本純一(正会員) rekimoto@acm.org

1986年東京工業大学理学部修士課程修了。1994年より(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所に勤務。2007年より東京大学大学院情報学環教授。ソニーコンピュータサイエンス研究所フェロー・ソニー CSL 京都所長を兼ずる。理学博士。ヒューマンコンピュータインタラクション、ヒューマンオーグメンテーションの研究に従事。日本文化デザイン賞、グッドデザイン賞ベスト100、本会山下記念研究賞、日本ソフトウェア科学会基礎科学賞、全国発明表彰特別賞、ACM Lasting Impact Award 等を受賞。2007年に ACM SIGCHI Academy に選出される。本会シニア会員。

16 社会的重要な課題の解決に挑む AI —ビッグデータ



石井一夫 | 久留米大学／ビッグデータ解析のビジネス実務活用研究グループ (PBD)

2050 年における AI —ビッグデータをめぐる社会的重要な課題

2050 年における社会的重要な課題

2050 年において深刻化していると思われる 2 つの大きな社会的課題に、「少子高齢化」と「地球温暖化」がある。これに対し AI やビッグデータ (以後、AI —ビッグデータ) は効果的な指針を提示する強力な武器になるだろう。本稿では、このうち「少子高齢化」に対する ICT の活用の未来予測について論じる。

社会的課題としての「少子高齢化」

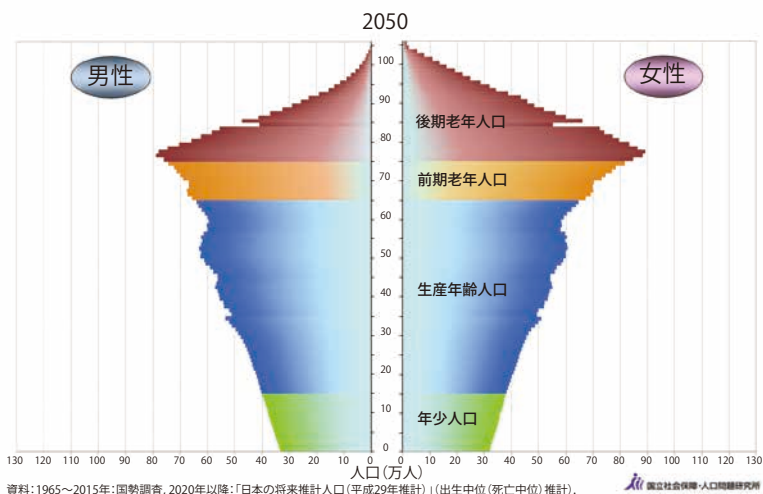
現在、「少子高齢化」対策について、高齢者に対する在宅医療・介護の確立という観点から、厚生労働省

により「地域包括ケアシステム」の構築と推進が実施されている。その見通しと筆者自身の取り組みをここに紹介する。

肩車社会の出現

医療の進歩により人生 100 年時代が現実のものとなっている。日本人の死因として、老衰死の順位が年々上がってきており、がんや心疾患など特定の病名が付けられるような病気で死ぬ人の割合が徐々に減ってきている。日本の社会全体の少子高齢化が急速に進んでおり、それに伴い社会システムの活力が失われていくという深刻な事態が進行している (図-1)。これは首都圏では実感しにくいですが、地方では顕著に体験する。

2060 年には 1.3 人の労働人口で、1 人の高齢者を養わなければならない、いわゆる「肩車社会」と呼ばれる社会構成となり、医療、社会保障、介護などで著しい不均衡が生じることが予想される。AI、ビッグデータ、IoT などの先端 ICT はこれを解決する中心的テクノロジーになることは間違いない。迫りくる深刻な労働力不足に対して、AI や IoT による自動化は不可欠になるだろう。いずれ労働力の多くを AI に委ねなければならない時代は、直近に迫っている。スマートシティ、スマート医療、スマート農業など、ICT の利活用を究極まで押し進めた社会システムや、医療・介護の在り方、産業システムなどが構想され研究されている。近い将来、これらのシステムが不可欠になる時期は確



■図-1 2050 年における日本の人口ピラミッド予測
(出典：国立社会保障・人口問題研究所 Web ページ (<http://www.ipss.go.jp/>))

実に到来するだろう。

解決手段としての地域包括ケアシステム

深刻化する少子高齢化に対応するため厚生労働省は、地域の在宅医療・介護を支援する「地域包括ケアシステム」を提唱し、2025年を目途に構築することを推進している。筆者らは、これらの施策の実現性を試算し、そのために必要なアクションを見積もるために、レセプト情報・特定健診等情報データベース（NDB）や、DPC（診療群分類包括評価）データなどの医療ビッグデータを用いた地域医療の現況調査と、近未来予測を開始した。それにより、今後地域ごとの人口に対する医療従事者や医療サービス提供の不均衡はますます深刻化し、AIやIoTを活用した遠隔地医療や、医療用ロボットの導入による医療・介護の自動化がますます必要になることが予想された。

2050年におけるAI—ビッグデータに関連する情報処理技術

AI—ビッグデータ技術の方向性

ビッグデータが、一般的に認知されデータの利活用が謳われるようになったのは2010年頃からである。ビッグデータには、分散ファイルシステムや、分散処理システムを基盤としたGoogleによる大規模検索や、Amazonによるレコメンデーションなどが、顕著なアプリケーションとして挙げられる。また、HPCやクラウドの発展や、GPGPUやFPGAなどのシステムの活用の拡がり、モバイルやIoTの活用促進などハードウェアの進歩に牽引されているところが大きい。さらに統計解析やディープラーニングに代表される深層学習などの分析技術の進歩が伴って、データサイエンスが社会に定着するに至りつつあると考えられる。

ビッグデータは、大規模であり（Volume）、多種多様であり（Variety）、高速でリアルタイムなデータ産出（Velocity）ということが以前からその特徴

として認識されている。2050年でもなおそのトレンドは変わらず、ビジネス活動を駆動し、「少子高齢化」や「地球温暖化」などの社会的重要な課題を解決する中心的技術であり続けるだろう。

現在、Go言語やRust、Scalaなど、現在主流になっているC、C++、Java、Pythonなどにとって代わる可能性のある有望言語が多数出現し進歩を続けており、これらを基盤にした新たな技術が出現する可能性は非常に高い。

AI—ビッグデータ人材育成の方向性

技術の浸透や人材育成には2つの方向性がある。

1つ目は、「AIの民主化」に代表されるAI—ビッグデータ技術の社会への浸透である。今後、よりユーザフレンドリーなツールやアプリケーションの普及により、特別な知識がなくても誰でもAI—ビッグデータ技術が使えるようになっていくと思われる。2つ目は、AI—ビッグデータ技術の学際的な側面が出てくるとと思われる。文系、理系に限定されず、あらゆる分野で、AI—ビッグデータ技術の教育が浸透していくと思われる。

情報処理分野の主流としてのデータサイエンス

情報処理分野では、データ分析は、データベース、プログラミング、セキュリティ、システムのインフラなどの課題に比べると、ややマイナーな技術という認識であったと考える。しかし、今後は、ビジネス課題や社会的課題を解決するための主流技術として発展していくことは間違いない。その過程で、AI—ビッグデータは、2050年までに、並列システムや、深層学習のような、いくつものマイルストーンを経験することになるだろう。

(2019年12月28日受付)

■石井一夫（正会員） ishii_kazuo@med.kurume-u.ac.jp

1995年徳島大学大学院医学研究科博士課程修了。2015年度本会優秀教育賞受賞。2017年久留米大学バイオ統計センター准教授。2018年本会ビッグデータ解析のビジネス実務利活用研究グループ（PBD）主査。

17 スーパーヒューマン音声対話 コミュニケーションシステム



俵 直弘 | 日本電信電話 (株) 塩田さやか | 首都大学東京

音声言語情報処理研究会 (SLP)

人間は話し好きな動物である。彼は食べ物とほぼ同じくらいニュースや情報、エンタテインメントを要求する。そして、驚くべきことに、感覚喪失実験が示すように彼は情報よりも食物 (ときには水でさえも!) が無いときの方が遥かに長く生き残ることができる。

—アーサー・C・クラーク

電話 100 周年を祝う通信に関する講演¹⁾より

コンピュータインタフェースとしての 音声対話コミュニケーション

他者とのコミュニケーション、とりわけ音声を介した音声コミュニケーションを行いたいという欲求は、人間の知能そのものに深く根付いた根源的な欲求の1つである。多くの人は意識することなく音声によるコミュニケーションを日常的に行っているが、音声を理解し、音声を生成する仕組みをコンピュータで実現することは知能そのものへの挑戦となる困難な挑戦であった。

音声コミュニケーションデバイスが描かれた有名な作品として、冒頭で引用した 2001 年宇宙の旅²⁾ (1968) がある。劇中において、木星探査船ディスカバリー号の David Bowman 船長は、宇宙船に搭載された人工知能コンピュータ HAL 9000 とともに木星への調査へ向かう。作中において、HAL 9000 とのやりとりはすべて自然言語を用いた完全な音声対話インタフェースにより行われている。現実世界の 2001 年では HAL 型コンピュータは間に合わなかったが、近年ではスマートフォンやスマートスピーカー、ロボットなど音声入力に適した機械の普及もあり、HAL 9000 のような音声対話シ

ステムの実現が現実味を帯びつつある。特に、音声対話システムを構成する個々の技術を見ても、深層学習を始めとした多彩な技術を導入することで、いくつかの分野において人間の能力に匹敵する能力を獲得しつつある。さらに、急速な技術の進展に伴い、分野によっては人間を超える (= スーパーヒューマンな) 機能の実現も夢ではなくなってきた。そこで本稿では、コンピュータの耳と口である音声認識と音声合成に焦点をあてて、これまでの技術を概観し、そして未来の音声コミュニケーションデバイスの実現に向けて、各分野における今後の発展について考える。

音声認識の歴史と課題

音声認識の目的は、システムに入力された音声信号から、その発話内容を文字列として出力することである。その歴史は古く、1950 年代には米国ベル研究所にて、孤立数字の音声認識に関する研究が行われている。最初期の音声認識では、単音節や 1 単語単位で音声を認識する、いわゆる孤立単語認識が対象であったが、人の認知プロセスと同様に、文法に基づき次の単語を予測する言語モデルと、音声波形から現在の単語を予測する音響モデルとを組み合わせることで、複数の単語からなる連続音声認識が可能となった。その過程で動的計画法や隠れマルコフモデルといったさまざまな技術が提案され、着実に音声認識性能は高められてきた。そして近年の深層学習技術の発展に伴い、まだ議論の余地はあるが、限られた条件下であれば「人間と同等」の音声認識性能が実現されつつあるとされ

る。しかし、これはあらゆる環境に適用可能な音声認識技術がすでに完成したという意味ではない。たとえば、身近で試することができる音声認識として、YouTubeで提供されている音声認識機能を見てみると、未だ多くの認識誤りが発生することが分かる。特に、ニュースキャスターの音声のように、雑音が比較的少ない環境下で、正しい文法で明瞭に発話された音声に対しては、ほぼ完璧に近い音声認識結果が得られる一方で、普段我々が過ごしているような、雑音環境下での日常会話に対しては、かなりの頻度で認識誤りが発生してしまう。実際、雑音環境下で音声認識の代表的なコンペティションである CHiME チャレンジ³⁾の結果を見ても、2019年現在において最も高性能なシステムを用いても、単語誤り率が50%前後であり、完全な音声認識技術の完成にはまだ道半ばであるといえる。このような極端に難しい環境下における音声認識を実現するためには、音声に含まれる言語情報を認識するだけでなく、伝達過程において失われてしまっていたり、そもそも存在しない情報を高度に推論する枠組みが新たに必要であると考えられる。さらに近年では、音声想起時の脳波信号から、発声前の単語認識が行える可能性が示唆されており、音声にすら用いない認識法の発展が期待されている。30年後にはこのような人間でも実現不可能なスーパーヒューマンな音声認識技術が開発されていることを期待したい。

音声合成の歴史と課題

音声合成とはコンピュータの声を作る技術である。これまで、さまざまな技術が提案され、バスや駅の案内など身近な部分での導入が進んできている。しかし、これまでの合成音声は聞けば韻律の不自然さなどからすぐに気が付かれる程度の品質であった。ところが、2016年に登場したWaveNetと呼ばれる深層学習を用いた音声合成法により合成音声の品質は飛躍的に向上し、人間が聞いても人間の発声か合成音声かの判別が難しい高品質な音声生成が可能となりつつある。もちろん音声合成技術が完成したというわけではないが、合成音声の可能性が飛躍的に向上

したと言っても過言ではない。一方、音声合成の一端を担う技術に歌声合成がある。歌声合成といえば VOCALOID で一躍有名になった技術であるが、人間が可能な歌い方を超えるような楽曲も公開されており、合成技術によって生成された音声や歌声が人間を超える未来がやってくることを示しているといえる。現在の技術では、限られた環境や条件においてのみ高品質な合成音声が可能となっているが、今後はデータ量やリアルタイム性、個人性、感情など実環境での使用や多様性に関連した課題をクリアしていくと期待できる。その上で、人を超える合成音声は今後、福祉やエンタテインメントなど活躍の幅を広げ日常生活により溶け込んでいく、そんな30年後を期待したい。

30年後に寄せて

昨今の加速度的に発展し続ける科学技術に対して、未来の技術、ましてや30年も先の技術を予想することは、まったくもって不可能であろう。本稿で言及した内容はあくまでも現在存在する技術の延長としての予想であり、今からでは想像もつかない新たな技術や概念が登場しているかもしれない。そのときのためにも、ここは HAL 9000 の言葉を借りて拙文を締めたい。

申し訳ありません、デイズ。ご期待に添えなくて残念です。

参考文献

- 1) Arthur, C. C. : Communications in The Second Century of the Telephone, In Paleotronic Magazine (1997).
- 2) Arthur, C. C. : 2001 : A Space Odyssey, Hutchinson (1968).
- 3) Barkeretal, J. : The Fifth 'CHiME' Speech Separation and Recognition Challenge : Dataset, Task and Baselines, In Proc. Interspeech, pp.1561-1565 (2018).

(2020年1月17日受付)

■俵 直弘 (正会員) naohiro.tawara.ex@hco.ntt.co.jp

2016年早稲田大学基幹理工学専攻情報通信学専攻博士課程満期修了退学。2017年同大学にて工学博士取得。その後同大にて助教、講師を経て2019年より日本電信電話(株)コミュニケーション科学基礎研究所。日本音響学会、IEEE、ISCA各会員。

■塩田さやか (正会員) sayaka@tmu.ac.jp

2012年名古屋工業大学創生シミュレーション工学専攻博士課程修了。同大学にて特任研究員、統計数理研究所での特任助教を経て2014年より首都大学東京システムデザイン学部助教。日本音響学会、電子情報通信学会、IEEE、APSIPA、ISCA各会員。

18 30 年前と 30 年後へのメッセージ



—情報処理に期待すること—

鹿内菜穂 | 亜細亜大学／人文科学とコンピュータ研究会 (CH)

30 年前の原稿について

30 年前に寄稿された「社会システムの向上を目差して」¹⁾ は、社会をキーワードに 30 年後の情報処理について述べている。以下の 7 項目について予想や問題提起がなされた。

- (1) 情報処理学会の名称変更を
- (2) 効率から満足へ
- (3) 直線から面への発想
- (4) 天気工学の実現
- (5) 臓器移植よりは人工臓器の開発を
- (6) 健康情報工学のすすめ
- (7) 情報産業離れ

これら全体の要約は難しい。そのため、(1) (2) (3) / (4) (5) (6) / (7) に分類し、それぞれ感想および意見を述べたい。

(1)「情報処理学会の名称変更を」(2)「効率から満足へ」(3)「直線から面への発想」に対して

「情報」「情報処理」という言葉が一般的ではなかった学会設立当時、学会名について多くの議論があったとされる。どのような候補名があったのだろうか。これらの言葉が当たり前に使われている今、想像すらできない。

容易に扱える高速な画像・グラフィック機能、電子デバイスの発達、大規模マルチメディアデー

タベース、高度なパターン認識、言語理解の向上、ネットワークの広域化、キャッシュレスシステムが登場すると予想されていた。予想的中である。一方で、人々の生活への寄与を目指した情報処理は効率や最短を追求してきたため、これからは個人が満足し、心豊かに、ゆったりした気持ちで生活できる社会を目指す方向に変えねばならないとも述べられていた。この 30 年で転換できたであろうか。社会はより一層の効率や利便性を追求してきた。同時に、Quality of Life (QOL) を理解し、生活における個人個人の幸福感を大事にしようとする価値観も生まれた。では、ゆったりした気持ちで生活を送っているだろうか。残念ながら、それを実現する明確な答えを持ち合わせていない。

情報工学分野では、物事を根本的に考えるのではなく、小手先で解決しようとするところがあると述べている。重箱の隅をつつくような研究や、研究のための研究はあって然るべきである。しかし、目の前の課題だけに注意を払うのではなく、マクロな視点を忘れてはならない。さて、問題は物事を根本的に考える時間である。忙殺される毎日の中で、大学教員はいかにその時間を確保できるだろうか。さらに、業績主義の世界でいかに腰を据えて考えられるだろうか。技術の発展で多くのことが効率化されているはずなのに、それが叶わない現状は非常に悲しい。

(4)「天気工学の実現」(5)「臓器移植よりは人工臓器の開発を」(6)「健康情報工学のすすめ」に対して

自然や自然災害に対する予測とその情報処理活用への関心は、30年前も今も変わらない。そのチャレンジは現在進行形で進んでいる。地震と火山に関しては、歴史時代の災害データも活用されるようになり、理工学分野と歴史学分野の専門家が共同研究を行っている。私たちは、天気の情報を実タイムに共有し、局地的な天気の変化も即時に容易に知ることができる。緊急地震速報では数秒から数十秒前までに大きな揺れが発生することを知られるようになった。今後はより正確な予測と、より速い情報発信に期待したい。

臓器移植より人工臓器の開発をすべきであると、当時の著者の思いが記されている。人工臓器の開発に限らず、画像解析が向上し、またAIの発展によって、人間では見落としやすい問題の発見や、シミュレーションによる手術や治療の支援が可能となる。さらに、健康情報工学にも著者は関心を持たれていた。個々人が持つ身体の情報や健康状態等をデータベース化し、ある兆候から身体の変化や問題を推定できないかというものである。これは、プライバシーと情報の管理が難しい。一方で、日本国内では、国民健康・栄養調査が毎年実施されていることから、データは存在している。この調査結果から、日本の健康施策も講じられてきた。引き続きデータの収集は国民の健康づくりに必要不可欠であろう。そして、これからはライフログ情報や遺伝子情報が健康に関するデータとして重視されていくと思われる。データベース化とその技術が、倫理の問題を整理する前に確立してしまうかもしれない。

(7)「情報産業離れ」に対して

「もの」から離れすぎた情報産業は見放されると危

惧されていた。しかし、「もの」と情報は離れるどころか、密接な関係にある。にもかかわらず、情報に踊らされ、その「もの」本来の価値や本質を見すごしてしまったり、軽視してしまったりすることがある。「もの」と「情報」のバランスの上で、各個人が個性豊かに生きられる感性社会こそ次の社会であると指摘されていた。「もの」と「情報」が切っても切れない関係である現代、私たちは「情報」からいかに「もの」の本質を見抜くことができるだろうか。

2050年に向けて

筆者が所属する人文科学とコンピュータ研究会の分野は、文学・考古学・歴史学・文献学・言語学・民族／民俗学などの人文科学、美術・音楽・舞踊などの芸術学、さらには社会科学や地域研究など多岐に渡る²⁾。そして、対象とするデータは、目録そのもの、テキスト、画像、動画、音声、時間、空間、3次元データなどさまざまである²⁾。これらは30年前から変わっていない。そして、30年後も変わらないであろう。さらに、研究目的であるデータの記録、蓄積、抽出、検索・発見、分類、提示を実現するために、Text Encoding Initiative (TEI) などのテキスト構造化、セマンティック Web、Linked Open Data (LOD) 化、テキスト処理、機械学習、モーションキャプチャなど情報技術が使われてきた²⁾。各分野が求める技術開発が進む一方で、この技術を駆使するものは一部AIに取って代わるかもしれない。

本研究会は、設立当初より人文科学と情報学との交流、文理連携、文理融合、学際研究をキーワードに、人文科学と情報学の協働を目指してきた。現在、情報処理に関する分野は理系に位置づけられているが、30年後は文系でもあり理系でもある「〇〇情報学」という学問が多く存在しているかもしれない。そして、幼少期よりプログラミング教育を受け、仮想空間と現実空間の隔たりを感じず、情報処理を特別な

ことと思わない世代が育つことを考えると、「情報系女子」が増えているはずである。情報を専門とする女性研究者も増えていますように。

個人的には、高画像化、ネットワークの拡大化、CGやVRの技術進歩、ロボット開発のスピードが著しいと感じている。これらを利用して、伝統文化の再現が数多くされてほしい。私たちの感性を育み、心を豊かにすることの1つが、美術、音楽、舞踊などの芸術であり、また文化に触れることである。たとえば、静止画や文字情報しか現存していない（歴史）資料と、最新の情報技術を組み合わせ、観阿弥や世阿弥、出雲阿国、初代坂田團十郎や初代市川團十郎に会わせてくれないだろうか。Marie Taglioniの「ラ・シルフィード」を見せてくれないだろうか。そして、一緒に踊れないだろうか。

芸術や文化は勝手に残ってくれるものではない。私たちは残す努力をしなくてはならない。自然災害や人的災害で「もの」は一瞬にしてなくなることが

あるし、人口減少や地域の過疎化で「こと」は継がれることが難しくなり、消えてしまうこともある。医療、防災、エネルギー、交通、ものづくり等、社会的課題の解決に情報処理が寄与するだけでなく、芸術、文化、スポーツ、学術等に対する貢献が進んでいることを願う。30年前にも予想したように、これから30年後も個人が心豊かに生きられる感性社会になることを期待する。

参考文献

- 1) 杉田繁治：社会システムの向上を目差して、30年後の情報処理、32巻1号、pp.39-41 (1991)。
- 2) 鹿内菜穂：人文科学とコンピュータ研究会、情報処理学会60年のあゆみ、2020年9月発刊予定。

(2020年1月15日受付)

■鹿内菜穂（正会員） shikanai@asia-u.ac.jp

2006年聖心女子大学教育学科心理学専攻卒業。2008年東京工業大学大学院社会理工学研究科修士課程修了。2014年立命館大学大学院理工学研究科博士課程後期課程修了。博士（工学）。2011年日本学術振興会特別研究員（DC2）、2013年日本女子大学助教を経て、現職。舞踊動作の知覚・認知、日本舞踊のデジタル・アーカイブの研究等に従事。



[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

19 生物学と情報科学による トランスヒューマン研究の進化

基
般

倉田博之 | 九州工業大学大学院情報工学研究院／バイオ情報学研究会 (BIO)

長足の進歩を遂げた情報工学と生命科学は、次の 30 年間はどのようなであろうか。飽和して停滞するだろうか。我々の予想はまったく反対である。指数関数的進歩・進化を遂げ、普通の生活者には追いつけないような知識や技術レベルに達して、ヒトとは何かという根源的課題につきあたるであろう。ヒトの寿命延長や不死化を目指すトランスヒューマン研究が登場し、社会の様相は変化する。そこでは、2つの研究開発が加速する (表-1)。1つは、ヒューマンエンハンスメントによる、機械、コンピュータ、インターネットと一体化したヒトの誕生である。もう1つは、生物医学、人工知能 (AI)、数理モデリング技術の進歩によってデジタルヒューマンがインターネット上に登場する。

ヒューマンエンハンスメントは、ヒトの肉体的、精神的限界を克服するために技術を駆使し、個人の能力や素質を高めたり更新したりすることを意味する。スマホを腕時計や眼鏡の形で身体に装着するウェアラブル化の時代から、マイクロマシンやマイクロチップを身体にインプラントする時代がくるかもしれない。常時データベース、高速計算サーバ、AI ソフトウェアにアクセスすることによって、ヒ

トの記憶力、計算能力、想像力が各段に強化される。人工知能 AlphaGo は、当初熟練棋士の膨大な棋譜の学習を積み重ねて世界トップ棋士より強くなった。後続の AlphaGo Zero は、ルール以外の知識をまったく与えることなく、ソフトウェア同士の対戦による強化学習によって劇的に発展した。このような AI を内蔵したヒトは、まさにエンハンスドヒューマンといえる。また、ヒトは、古来身体の損傷を補綴する義手や義足などを開発してきた。現在は、義足のパラリンピック選手が、オリンピック選手より長距離を跳躍するという事例も見られる。腎臓、肝臓、心臓、肺等の人工臓器代替技術も進歩している。その結果、人機一体の機械の体 (銀河鉄道 777) やサイボーグ (サイボーグ 009) が実現するであろう。その一方で、インターネットや脳波を通して遠隔操作できるアンドロイド (ヒト代行ロボット) が登場する。高い身体能力や知能、自由に選べる容姿を備えたアンドロイドを複数体使役して、自身は安全なホームにしながら、マルチタスクを処理する時代がくる。

デジタルヒューマンは、2つの方向性がある (図-1)。分子から個体までの階層的ヒト生理学に関するデータや知識を数理モデルとして表現し、遺伝子・分子レベルからヒト全身の機能を再現 (コンピュータシミュレーション) できるようになる。ヒト全身の遺伝子・分子レベルのメカニズムを再現する数理モデル (Virtual Physiological Human (VPH) = ヒト生理学コンピュータモデル) の開発

■表-1 情報科学と生物学によるヒトの進化(トランスヒューマン)

ヒューマン エンハンスメント	ハードウェア (身体) の強化 ●サイボーグ, アンドロイド
デジタルヒューマン	ソフトウェアのみ抽出 ●ヒト生理学コンピュータモデル ●マインドアップロード

が始まっている。VPHを用いて、がんを含む重篤な病気が起こるメカニズムが解明され、診断や治療方針が決定される。VPHは、ゲノム科学、システム生物学、合成生物学の最終目標であり、医学の進歩や人類の福祉・健康の増進に貢献する。さて、映画「トランセンデンス」のようにヒトのマインドをコンピュータにアップロードすることによって、ヒトをコンピュータ内に移植できるであろうか。電気信号を処理する脳内メカニズムをそのまま電子回路で再現できると考えて、ヒトの意識（マインド）をそのままコンピュータにアップロードするというアイデアである。生物システムの仕組みを研究している筆者は、30年後に実現するとは思わないが、過去の履歴、コミュニティや環境に関する記憶、選択や決定の指向を学習させた個人のマインドソフトウェアは登場するだろう。インターネット上では、ヒトとマインドソフトウェアを見分けることは難しく、無数のマインドソフトウェアを永続的に学習・進化させることができる。身体というハードウェア

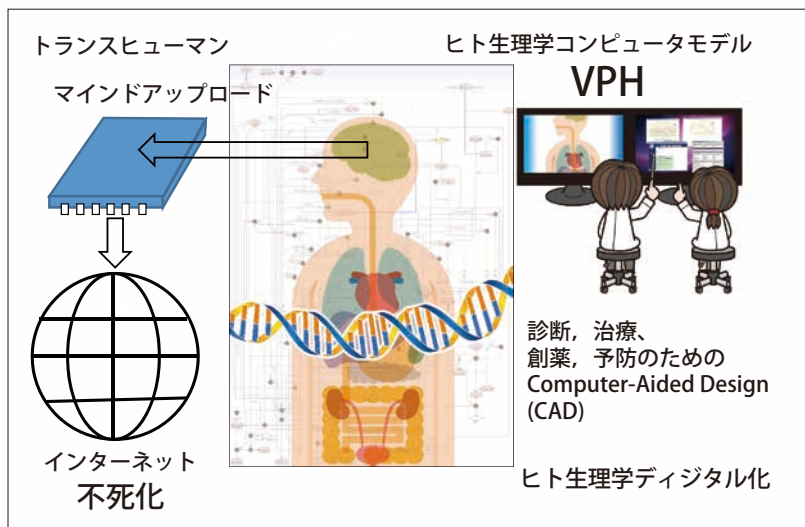
が不要となり、法律上の問題を解決する必要はあるが、ソフトウェアとしてヒトが存在できるかもしれない。たとえば、投資家は、自身の死去後マインドソフトウェアとして、インターネット上で投資活動を継続できるだろう。極端ではあるが、マインドソフトウェア同士が生存競争を始め、地球の最後まで闘い続ける世界が想像できる。

生物学と情報科学の急速な進化は、SF小説にあるような近未来を実現しつつあるが、社会の方向性を決める技術を持つ者と持たざる者の影響力の差を拡大する。情報科学に求められることは、ヒトの存在意義やトランスヒューマン研究の価値について洞察し、社会や市民に最良の提言ができる人材を養成することである。

(2019年12月5日受付)

■倉田博之(正会員) kurata@bio.kyutech.ac.jp

1988年東京大学工学部化学工学科卒業、1993年同大学院工学系研究科博士課程修了、2006年～九州工業大学大学院情報工学研究科生命情報工学系教授、2012年～九州工業大学バイオメディカルインフォマティクス研究開発センター長。



■図-1 デジタルヒューマン

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

20 2050 年の知能システム



川村秀憲 | 北海道大学大学院情報科学研究院 大知正直 | 東京大学工学系研究科技術経営戦略学専攻

清 雄一 | 電気通信大学大学院情報理工学研究科 福田直樹 | 静岡大学大学院情報学領域

横山想一郎 | 北海道大学大学院情報科学研究院

知能システム研究会 (ICS)

1991 年の特集「30 年後の情報処理」には、当時の人工知能研究会で主査をされていた石塚満先生による「人工知能の夢への接近」という記事が掲載されている。この中では 1991 年から現在に向けた人工知能研究の夢が語られている。人工知能研究の夢を「人間のように思考し、学習するコンピュータ」の実現として、石塚先生が当時取り組まれていた「知識ベースにもとづく仮説推論システム」を中心に人工知能の要素技術やその実現に向けた課題が論じられており、現在の人工知能研究に通じる視点も多く含まれている。

この中で、人工知能研究の全体の予想としては、1991 年から 30 年後、あるいは 100 年後においても、「人間のように」という領域に達しない部分が多いであろうが、一方で、コンピュータの計算速度や記憶構造を活かせる特定の領域では人間の能力を超えるシステムが生まれ続けるであろうと述べられている。囲碁のように厳密なルールが定められた枠組みの中では人工知能が世界王者を打ち負かしたものの、翻訳や公道上の自動運転のような、複雑な背景知識が必要な作業では人工知能はまだ人間の専門家のレベルに達していない。将来の見通しに関しても、著名な人工知能研究者の間では、あらゆる点で人間のように振る舞う汎用人工知能は近い将来のうちに実現できないであろうという意見が多数派のようだ¹⁾。こうした点から見ると、現状はおおむね 30 年前の予想通りといえる。

当時の仮説推論システムの研究の背景には、人工知能に「発想」や「ひらめき」の機能を実現するという目標があった。このためには、問題の全体をカバーする体系的な知識をコンピュータが処理できる形で与える

必要があるが、その実現は難しく、「知識獲得のボトルネック」と呼ばれる。こうした課題を克服することを目的として、大量の知識を実用的な速度で処理するための高速推論の研究が、さまざまな実例を挙げて紹介されている。また、人間の知能機能を実現するほかのアプローチとして、ディープラーニングの基礎をなす、ニューラルネットワークを用いた方法も示唆されている。

人工知能による「発想」や「ひらめき」は、30 年前から 10 年ほどで利用の目途がつくとの予想であったが、まだまだ実現できていない部分も大きい。しかし、コンピュータに与えたデータから知識を抽出し予測を行う機構としては、ディープラーニングを始めとした機械学習が大きく適用範囲を広げている。現在の機械学習は、抽象的・論理的な知識を扱うまでには至っていないが、コンピュータへのインプットとアウトプットの対応関係を膨大なデータから学習し、画像認識などの分野では十分なデータを用意できる場合に人間に匹敵する能力を達成している。こうした機械学習の進歩には、学習対象についてのデータの集積や計算機性能の向上が大きな役割を果たしており、30 年前に挙げられていた計算の高速化や知識獲得といったトピックとも重なる。

「発想」や「ひらめき」の機能の実現は、今後 30 年の中で重要になるであろう。現在の機械学習は既知のデータの外側を予測するような外挿の問題をうまく扱うことができないが、30 年後には人工知能が自動的に学習データを収集するような機構が実現され、外挿にも対処できるようになると考えられる。たとえば、人間は推理小説の冒頭を読んで犯人を推理しながら読み進めることができるが、これは「推理小説には犯人がい

てその証拠は必ず小説の中に書かれている」などの常識を持っているからである。こうした常識は対象の推理小説だけでなく他のさまざまな情報を収集しなければ獲得することはできない。こういった知識が不足しているかを知るためには、石塚先生が取り組まれていた仮説推論や知識ベースの研究が重要な役割を果たすと考えられる。

30年前と現在を比べると、人工知能技術を利用したシステムが実用に供される場面が増えており、社会の中で人工知能が果たす役割という観点が重要となりつつあるように思われる。人工知能研究の進展には、教育水準の向上やインターネットの普及による知識の集積など、社会の変化が寄与してきた部分が大きく、今後大きなかわりを持つことが予想される。また、ソーシャルメディアの普及が思考誘導の危険性や価値観の対立激化をもたらす可能性を踏まえ、人工知能を含む情報処理技術による意思決定や合意形成の支援の必要性が議論されている²⁾。

人間が行う知的作業をコンピュータにより実現するという人工知能研究の目標を踏まえると、30年後の人工知能には、複数の人間が集まって利害を調整しながら社会を構成するという人間の知的機能を実現し、より良い人間社会を作るためにこうした機能を活かすことが求められるのではないだろうか。たとえば、人間が自動車を運転する際には、優先道路への合流といった交通規則が定められている場面でも、優先道路の側の車が周囲の状況を見て、円滑な交通のためにあえて一時的に非優先道路の側の車に道を譲る光景が見られる。人工知能が制御する自動運転車も同様の機能を持つことが期待されるが、そのためには、「非優先道路の側の合流車であってもあまりに長時間待たせてはいけない」とか「高齢者などの運転の不慣れなドライバーは気遣うべき」というような、人間が社会を作る中で身に付けてきた倫理観をコンピュータが獲得しなくてはならない。

まず始めに人間同士の円滑なコミュニケーションをコンピュータが支援する機能を実現し、そこで得られるデータをもとに人間の持つ倫理観をコンピュータが学ぶという段階を踏むことが考えられる。インターネット上

では、Wikipediaなどは複数の人間がかかわりながら上手く知識を集積することがおおむねできている一方で、一部のSNSでは異なる意見を持つユーザが対立し建設的な議論には繋がっていないような場面も見られる。良いコミュニケーションの場を成り立たせるためには、ユーザ間でどのような形でメッセージのやりとりを許すのかといった制度設計が重要であり、人工知能による支援の可能性がある。また、どのような条件で良いコミュニケーションが行われるのかといった知見が得られることで、コンピュータによる倫理観の獲得にもつながる。

2050年の人工知能研究を上記の通り予想してきたが、石塚先生のように30年後から見ても問題の本質を突いた予想となっているかよく分からない。しかし、人工知能技術が社会に大きな影響を与えることはほぼ確実であろう。汎用人工知能の実現やシンギュラリティは30年後にはまだ起きていないという予想が当たっているとすると、人工知能の研究者はこれからも必要とされるであろうから、我々は今後もこの分野に携わっていきたいと考えている。

参考文献

- 1) Martin, F.: Architects of Intelligence: The Truth about AI from The People Building It, Packt Publishing (2018).
- 2) 福島俊一: 複雑社会における意思決定・合意形成支援の技術開発動向, 人工知能学会誌, Vol.34, No.2, pp.131-138 (2019).

(2020年2月10日受付)

■川村秀憲 (正会員) kawamura@complex.ist.hokudai.ac.jp

2000年北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻博士後期課程期間短縮修了。同年同大助手。2006年同大准教授, 2016年同大教授となり現在に至る。

■大知正直 (正会員) masanao.oochi@gmail.com

1979年, 兵庫県生まれ。ネットワーク性のある実社会データの分析・活用に関心がある。近年は, SNS上からの拡散によって生じる社会問題の推定に関する研究に従事。2017年より東京大学特任研究員。博士 (工学)。

■清 雄一 (正会員) seiuny@uec.ac.jp

2009年 (株)三菱総合研究所研究員。2013年電気通信大学助教, 現在同大准教授。博士 (情報理工学)。プライバシー保護データマイニング, ソフトウェア工学, エージェントに関する研究に従事。

■福田直樹 (正会員) fukuta@inf.shizuoka.ac.jp

2002年静岡大学情報学部情報科学科助手, 2015年より同大学院情報学領域准教授, 現在に至る。博士 (工学)。2012年山下記念研究賞。2013年本会論文誌ジャーナル・JIP編集委員会知能グループ主査。2019年電子情報通信学会人工知能と知識処理研究専門委員会委員長。

■横山想一郎 (正会員) yokoyama@complex.ist.hokudai.ac.jp

2016年北海道大学大学院情報科学研究科情報理工学専攻博士後期課程期間短縮修了。同年日本学術振興会特別研究員 (PD)。2017年同大助教となり現在に至る。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

21 Post-Truth 音楽情報処理

基
般

深山 覚 | 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 / 音楽情報科学研究会 (MUS)

技術が拓げた音楽の愉しみ

平田圭二氏は「計算機のための音楽でない音楽」(『情報処理』1991年1月号)において、音楽情報処理は「…モデルを組み立ててみても、しょせんは、巨大なシステムのほんの一部を表層的に模倣しているに過ぎない」ため、むしろ「いったん、理性や感性としての音楽は忘れて、計算機で扱える情報を送る器・媒体として音楽・音を捉え直すことを提案」している。改めて音楽にまつわる身の回りの技術を見渡すと、おおむね平田氏の提案の通りに技術が発展してきたように思う。音楽情報処理は音楽そのものの情報処理というよりも、音楽を伝える「器・媒体としての音楽・音」、つまり音響信号や音符を表す記号の列、または楽譜の画像の情報処理として大きく発展してきた。その結果、いつでもどこでも音楽が聴けるという音楽鑑賞体験や、少ない機材で手軽に楽曲制作ができるという音楽創作体験が実現された。

では「理性や感性としての音楽」についてはどうなったのか。筆者が考えるには、これは今後30年の音楽情報処理においても、意図的に忘れられ続けられると思う。しかしそうあることによって、音楽を楽しむ人々個人がどのように音楽を捉えるかについては自由であり続け、その結果人々は技術の発展に音楽の愉しみを阻害されることなく、自分に都合が良いように音楽を楽しみ続けられるように思う。本稿ではそのような音楽情報処理の今後30年の発展について思うところを述べる。

Post-Truth と反響室

2020年の今、人々はますます自分にとって都合の良い情報しか見聞きしなくなり、結果として異なる意見を持つ人同士がお互いに相容れず分断されていると言われている。2016年に話題となった“Post-Truth”という言葉はその側面を捉えており、人々が客観的事実よりも感情や信念に影響されやすいという状況を指している^{☆1}。この背景にはインターネット上のソーシャルネットワークサービス等を通じたコミュニケーションがあり、自身の趣向に沿うものばかりをえり好みして見ていられる「反響室(Echo Chamber)」によって、各自の意見が一層強固にされることが要因として挙げられている¹⁾。

音楽情報処理もこのことと無関係ではない。スマートフォン等にインストールされた音楽プレーヤーは場所を選ばず自分のお気に入りの音楽を他人に気兼ねなく聴くことを可能とし、音楽推薦サービスは個人の楽曲の聴取履歴に基づいて聴く個人を満足させるように次の楽曲を選択肢にリストアップし、各個人に自身の趣向にあうものばかりをえり好みしていられるような反響室を提供している。

しかし、政治の世界に比べて、音楽を楽しむにあたってこのような反響室があることは不都合なことなのだろうか。多くの人にとって音楽を聴く目的はエンタテインメントであり、エンタテインメントに

^{☆1} Relating to Circumstances in which People Respond More to Feelings and Beliefs than to Facts, Oxford Learners Dictionary “Post-Truth”

において各人の音楽に対する考え方が異なるところで構わないように思う。ある人と別の人の音楽の楽しみ方は違ってよく、そもそも音楽とは誰かに聴き方を指南されたり、同じ趣向を持つ人で群れたりしなければならないこともなさそうである。エンタテインメントという観点からは、人それぞれの音楽の楽しみ方があってよく、それを増幅させ確信させるような反響室があってよい。

Post-Truth 音楽情報処理

そのような反響室を得られるような Post-Truth 音楽情報処理として、分析・生成・推薦といったそれぞれのテーマについて、今後 30 年どのように発展するかを考えたい。

音楽を分析して音響信号中の音高・リズム・和音など求める音楽情報処理のテーマでは、技術を使う人それぞれが潜在的に求めているような分析結果を出力するような技術が登場するだろう。究極的には、使う人個人それぞれに応じて音高・リズム・和音の推定結果が違ってよいということになりそうである。大規模データを活用する機械学習の手法が発展し、学習データが集まれば精度良く音楽が分析できるようになると、今度は学習データをどのように収集するかが分析結果を左右するという点に改めて着目がされるだろう。このとき異なったデータによって学習されたモデルによる分析結果が異なるときに、どの学習データを使って結果を得たらよいのかという問題に突き当たる。これは結局のところ、何を音楽の分析結果の正解とするかという問題であり、各個人の音楽への考え方の違いに応じて選べばよいということになりそうである。技術的な課題としては、どのように学習データを収集するとどのような傾向のある分析結果が得られるのかはやってみるまで分からないため、その知見を蓄えつつ、場合によっては未知の学習データに対して結果の傾向を予測するような音楽情報処理が発展すると思われる。

音楽を自動で生成したり、音楽を自動で演奏したり、

人間が演奏することを支援する生成関連のテーマでは、個人の趣向に合わせた楽曲の音響信号の即席的な加工や、聴衆のリクエストや場の雰囲気に応じたアレンジを加えたピアノ演奏といった、人間によるリクエストを適応的に処理できる生成技術の研究が進むだろう。自分が自由に歌うメロディに応じて時々刻々と伴奏を変化して生成できるカラオケシステムや、少しの練習で表情豊かな楽器演奏ができるようになるだろう。

音楽推薦のテーマでは、各人の趣向や所属するコミュニティの傾向に合わせた楽曲の推薦がより深まると思われる。音楽の分析が高度になるに従って、楽曲のどの部分が聴取者の好みの要因になっているかを含めて推薦に活用されるようになり、自分の好みの楽曲をよりの確にインターネット上から発掘できるようになる。また日々の好みの変化や、音楽を聞く以外の活動との関係性も分析がなされ、ある期間に音楽を一度も聞いた記録がなくても、日々食べた料理や行った場所・メモやメールの記録から、ある日に聴くと楽しいだろう楽曲が見つかるようになるだろう。

浮き彫りにされる理性と感性

以上、今後 30 年の音楽情報処理の在り方について述べた。「理性や感性としての音楽」をいったん忘れることで発展する音楽情報処理は、かえっていったん忘れることで「理性や感性としての音楽」を各個人の考えにゆだねた方がよいことを明らかにしていくと思われる。

参考文献

- 1) 谷口将紀 他：わたしの構想 No.31, ポスト・トゥルースの時代とは、<https://www.nira.or.jp/pdf/vision31.pdf>

(2020 年 1 月 15 日受付)

■ 深山 寛 (正会員) s.fukayama@aist.go.jp

2013 年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。博士(情報理工学)。日本学術振興会特別研究員 (DC2)、産業技術総合研究所研究員を経て、2017 年より同研究所主任研究員。専門は音楽情報科学。2009 年度本会山下記念研究賞受賞。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

22 情報システムとしての法律 もしくは法治の未来

基
般

居駒幹夫 | 青山学院大学 柴田睦月 | 小島国際法律事務所

情報処理に関する法的問題研究グループ (LIP)

「情報処理に関する法的問題」研究グループ(以下 LIP と略称)は「情報処理に関する新たなルール作り」を目的に 2015 年に活動開始した「できたてほやほや」のグループである。メンバーは、法律専門家と情報処理専門家との混成で、日々変化する情報システムの開発現場で法的な問題を起こさないための契約のひな型作成などを行っている。

今回の特集、専門分野の 30 年後の姿を予想せよというお題である。本来、LIP で予想すべき内容は情報システム開発などの場面における法律との接点部分がどのように変化するかという部分であろう。5 年 10 年という単位であれば、そういう予想にも意味がある。しかし 30 年後といえば(来るか来ないかは分からないが)シンギュラリティよりも後の話になる。そのときに現在の法律というシステムを前提とした予想に意味があるようには思えない。実際には「2050 年になっても何も変わっていません」という可能性も高いとは思いつつも、本稿では思い切って「社会の情報システムとして法律ってまだあるのだろうか?」ということを情報処理、法律の両面から考えてみたい。

情報システムとは、「組織体(または社会)の活動に必要な情報の収集・処理・伝達・利用にかかわる仕組み」である¹⁾。この観点で、法をもって紛争を解決するという仕掛けは、典型的な社会の情報システムといえる。すなわち、法の目的を定めた上、裁判所による解釈を加えて新たに発生する紛争を処理するとともに、これまでの事例を収集し、ある程度集積した事例を法令や裁判例として組み込んで蓄積し、さらに裁判所によって紛争を処理していくというシステムである。そして、このシステムの中核に位置するのが法律である。法律の制定、運

用という観点で、もう少し細かく見てみよう。法律の制定で考えてみると、まずは、法律を制定する目的が前提条件としてあり、それに従った国民や法人の遵守事項、守れなかったときの罰則等が決められていく。日本の法律の構造を見ると、大体の法律(またはその上位法)でもその第一条には、法律を制定するに至った精神、目的が書かれており、それを実現するために各条文がある。次に法律の運用という観点では、何らかの紛争が発生した場合、法律の条文で明々白々に黑白がつけられない場合もあり、司法権を持つ裁判所は多くの場合、法律の趣旨や法律以外の政令や判例なども考慮して判決を下す。たとえ法律の条文に書かれてなく、過去の事例がなかったとしても、その法の精神を踏みにじるような行為は禁じられる場合もある。

ここで、たとえば IT のように日進月歩の技術分野の著作権に関する紛争を考えてみよう。著作権法は 1 年に 4 回も改正されたことのある、まさしく「生きた法律」であるが、現在でも多くの紛争での争点に対して明確に黑白をつけられる場合は少ない。過去に定められた条項が時代にそぐわなくなってしまうという課題もあるし、適用分野が広がって多くの事例を取り込み、多くの改正を繰り返すうちに、著作権法のそもそもの目的が何だったのかが不明になる場合もある。著作権法の第一条を見ると、「著作物並びに実演、レコード、放送および有線放送に関し著作者の権利およびこれに隣接する権利を定め、これらの文化的所産の公正な利用に留意しつつ、著作者等の権利の保護を図り、もつて文化の発展に寄与すること」

とある。1条に「レコード」「有線放送」といったレトロな適用分野が明示されていることにも驚くが、その最終目的は「文化の発展に寄与すること」であり、それを実現するために著作権者の権利、著作者に隣接する権利を保護しようという構造になっていることも周知の事実ではないだろう。現状、この法律の最終目的との関係が見えない条文や適用事例が多いように見えるのは多くのIT分野の方が感じている通りである。

少し脱線した。法の運用という情報システムの将来を考えた場合、5、10年という単位の話と20、30年という単位では大きく異なってくる。5、10年という単位では、現状の仕掛けの「情報システム化」の時代である。法律やそれにかかわる情報が電子化されて久しいが、現在では、その意味や解釈なども含めて法曹関係の人間にしかできないようなことが、今後は、コンピュータを中心とした狭義の情報システムで扱えるようになってくるだろう。ただし、この「情報システム化」は、著作権法などで見られるように法律の内容が時代にそぐわないといった課題に対して何の解決にもならない。そうした課題を内包したまま、人工知能やビッグデータによるIT革新の変化自体が加速的に大きくなり、恐らく人間が扱える情報量の範囲を超えた情報が蓄積されることで、法を現在のような態様で維持することは難しくなってくるのではないだろうか。しかしながら、依然、社会の情報システムとして、法による国の統治（法治）は必要であり、その情報システムの中で、どのように法（律）を位置づけるかということが大きな課題となると考える。

さて、2050年における「情報システムとしての法律」の予想である。蓄積された先例とそれをもとにした判断基準が膨大になった結果、多くの法律において、具体的な条項はなくなり、法律の目的のみが生き残る。法律の目的に従って個々の紛争は現在よりも格段に進歩を遂げたAI等によって機械的に判断されるようになると予想する。歴史的に見れば、これはナイーブな意見である。すなわち、法律の目的、突き詰めると個別具体の事例における判断を完全に包含する抽象的な定義としての「善悪」「正誤」を厳密に定義ができないからこそ、「ハンムラビ法典」以降の事例ベースの成文法があるといっても過言ではない。しかしである。これからは人工知能の時代である。現在

の深層学習であっても、「善悪」「正誤」といった概念に正確な定義を与えることなく、それを教師データにすることは十分可能である。20年後、30年後になれば、人間のおよびつかない莫大な情報を処理できる狭義の情報システムは、社会または個人にとって「善」と思われる概念「公共の福祉」「基本的人権」、著作権法でいえば「文化の発展」「フェアユース」などを基準にすべての紛争に対して、現状の成文法を基本とした広義の情報システムよりも、より良い解決を与えることができるようになる可能性も十分に秘めているのではないだろうか。このAIベースの法治の構築にはどのようなシステム要求が必要であろう。まず、人間に対してアカウンタブルでなければならない。判断の理由を当事者が理解できるようなシステムである必要がある。現状のAIには苦手の分野だが30年という年月はこの問題を解決するのに十分だろう。さらに、この情報システムは紛争解決の手段だけではなく、予防するための情報システムであることが求められる。どちらにしても、利害関係にある人間がそれぞれ満足する情報システムである必要があり、この場面において、法曹関係の人間がこのシステムのフロントで活躍することもあるかもしれない。

さて、この予想は実現するのだろうか。狭義の情報システムとしては技術的に実現可能になると考える。しかし、それが広義の情報システムとして運用されるか否かは、まるで昔に逆戻りしたかのような善悪のみによる判断にきわめて近接した法運用を国家が許容するか、さらに言えば「国家」自身が、法という情報システムの中で自らをどのように位置付け、再構築するかという点にも依存するだろう。

参考文献

- 1) 浦 昭二, 細野公男, 神沼靖子, 宮川裕之: 情報システム学へのいざない, 培風館 (1998).

(2019年12月16日受付)

■居駒幹夫 (正会員) ikoma@si.aoyama.ac.jp

1980年から日立製作所で大規模ソフトウェアの品質保証、生産技術を担当。2018年より青山学院大学社会情報学部学部特任教授。情報系科目担当および社会人向け教育(ADPISA)に従事。博士(情報学)。

■柴田睦月 shibata@kojimalaw.jp

2014年弁護士登録。同年より国内メーカーにて輸出契約交渉、社内コンプライアンスを担当。2017年より、のぞみ総合法律事務所にて独禁法案件、労働問題、国内訴訟等を多数担当。現在は、小島国際法律事務所にて渉外案件、M&A案件を担当。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

23 コンピュータグラフィックスの未来

基
般

土橋宜典 | 北海道大学／コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会 (CG)

2019 年現在、CG はその誕生から半世紀を超える歴史を持つに至っている。その間、数多くの創意工夫がなされ、現実世界とまったく区別のつかない映像を作り出すことが可能となった。いまでは専門家でなくとも、個人の趣味レベルでも CG 映像を制作することも可能となった。さて、30 年後の CG はどうなっているだろうか。30 年前に行われた予想と現在の状況を踏まえながら、CG の将来像を考えてみよう。

いまから 30 年前の 1991 年、本誌にて、東工大・中島正之先生（当時）が同じく 30 年後の CG を予想した記事を執筆されている。当時から見て 30 年後（つまり現在）の CG の様子を予想した記事である。技術的な予想として、カメラで撮影した写真からの 3 次元形状の生成、実写並みの CG 画像のレンダリング、眼鏡なし立体ディスプレイの普及などが挙げられている。また、CG を専門とする学科が増加し、教育現場への導入も進むことも予想されている。かなりの正確さを持って現在の状況を言い当てていることに驚かされた。スマホを使って写真から 3 次元形状を生成することはかなりの精度でできるようになったし、実写並みの CG 画像生成はいわずもがなである。眼鏡なし立体ディスプレイも実現されている。人工知能の活躍についても触れられており、中島先生の先見性に頭が下がる思いである。

さて次に現在の CG の状況を概観してみる。形状モデリングやレンダリング、アニメーションといういわゆる CG 分野の中心的な分野は大きく発

展した。形状モデリングに関しては、大規模かつ詳細な 3 次元形状のモデリングや 2 次元ラフスケッチから簡単に 3 次元モデルを生成することが可能となった。レンダリングでは、パストレーシングと呼ばれるモンテカルロ法をベースとした計算理論が著しく発達し、画像生成のためのさまざまな数理モデルが開発されている。入力パラメータに対する画像の微分の計算を厳密に行うこともできる。アニメーションでは、流体など物理現象の精密なシミュレーション手法が進化し、水や煙だけでなく、チョコレートやハチミツなどの複雑な流体の動きもリアルに再現できる。画像だけではなく、音の再現も行われている。キャラクターアニメーションも大きく進化を遂げた。機械学習の導入が進み、実際の人物の 2 次元映像から 3 次元的な動きを学習してリアルに再現することができる。こうして改めて振り返ってみると、もはや CG で再現できない現象はないように思える。それだけでなく、CG は仮想世界を映像化することが目的であったが、3D プリンタの登場はそれを覆した。3D プリンタそのものは 1980 年代に開発されていたが、その当時はあまり注目を集めてはなかった。CG や CAD 分野におけるモデリング・レンダリング技術と組み合わせることで、手作業での制作が難しい複雑な形状や質感を持った実体の制作が可能となっている。このほかにも VR 機器の普及、新しいディスプレイデバイス、グラフィックス専用の並列演算チップ (GPU) の開発など、CG は単なる画像生成の枠を超えて大きく広がり

を見せている。30年前の常識からすれば、CGとは言えないような研究をも包含する幅広い分野へと発展した。ここまでの広がりや発展を予測することは難しかったであろう。予測できたとしたらそれは人間ではないと思う。

30年後、CGはどうなっているだろう。思いつくままに書いてみる。まず、CG映像制作はより手軽なものになっていくと思う。映画並みの複雑で高精細な映像は瞬時に計算できるようになり、コンピュータにプログラムやデータを入力して云々という作業は消滅し、言葉やジェスチャーでコンピュータと対話しながらモデリングやレンダリングができるようになるのではないか。あるいは脳科学と連携し、脳波を読みとって考えるだけでCG画像の生成ができるようになるかもしれない。また、物理法則に基づくシミュレーションやレンダリング手法の発展によって、CG分野から新しい法則や理論が発見されるかもしれない。そうなればCG分野からノーベル賞受賞者が現れるかもしれない。3Dプリンタ関連の技術の発展により、写真を撮るだけでそのコピーがボタン1つでできるようになるかもしれない。各個人用にカスタマイズされた製品を自宅で制作することもできる。キャラクターアニメーション技術とロボット技術を融合し、人間そっくりの表情や動きを見せる

人型ロボットの登場もあり得る。夢は広がる。

しかし、30年後であるから、現在の技術の延長からは想像もできないようなもっと大きな変革が起こっていてもおかしくない。1つの大胆な予想として、もはやCG分野そのものが消滅している可能性もあり得る。もちろん、CG技術そのものはなくならないが、1つのツールに過ぎず、取り立てて研究するまでもない当たり前のものになっているかもしれない。その代わりに、CGを基礎に置いた、CG分野があったからこそ生まれた新しい分野が創出されているかもしれない。現在でさえCG分野はその誕生から半世紀経つただから、30年後といえは、ほぼ1世紀である。こう考えると、むしろそうあってしかるべきかもしれない。それがなんであるかは、常人たる私には想像もつかない。30年後、CGを祖とする新しい分野を生み出せるよう日夜努力するのみである。

(2019年12月14日受付)

■土橋宜典（正会員） doba@ime.ist.hokudai.ac.jp

1992年、広島大学工学部卒業。1994年、同大学院工学研究科博士課程前期修了。1997年、同大博士課程後期修了。同年、広島市立大学情報科学部助手。2000年、北海道大学大学院工学研究科助教授。2004年、同大学院情報科学研究科助教授。2008年、同大学院情報科学研究科准教授。工学博士。コンピュータグラフィックスに関する研究に従事。



[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

24 2050 年のエンタテインメント コンピューティング

基
般

井村誠孝 | 関西学院大学 理工学部 人間システム工学科 / エンタテインメントコンピューティング研究会 (EC)

エンタテインメントコンピューティング (EC) 研究会では、年に一度、メタ研究会と称する本研究分野の将来像について議論する会を開催している。2019 年 8 月のメタ研究会では 2050 年の EC をお題としてブレインストーミングを行った。本稿では結果の一部を、筆者個人の視点で整理して報告する。

エンタテインメント性の分析が進み、 パーソナライズされたコンテンツが自動生成される

2020 年現在、ネットワークの発達や技術の一般化により、クリエイターが制作したコンテンツのみならず、一般人の手になるさまざまなコンテンツを容易に入手し楽しむことが可能となっている。多くの人は、ソーシャルネットワークサービス (SNS) を利用することで、知人や著名人の行動報告をコンテンツとして楽しんでおり、一般人も自覚するしないにかかわらずすでにクリエイターとなっている。しかし依然として、コンテンツの作り手はおおむね人である。

現在の人工知能 (AI) 研究の趨勢を鑑みると、2050 年には、AI によって高いエンタテインメント性を有するコンテンツが自動生成可能となっている可能性は十二分にある。これまでも、一定の制限された環境では自動コンテンツ生成が試みられており、たとえば 1988 年に発売されたシミュレーション RPG『ティル・ナ・ノグ』(システムソフト)などを挙げることができるが、30 年後にはゲームに限らずさまざまな分野において、整合性を持った世界観や支配法則、ストーリー全体が自動化されて構築されるようになるだろう。

人による創造的作業には量的な限界があるが、AI によるコンテンツの自動生成が実現すると、生成可能

なコンテンツの総量は飛躍的に増大する。結果として、個人に最適化されたパーソナライズコンテンツが実現する。個人の性格や特徴、これまで何を楽しんできたかという履歴など、エンタテインメントに関連する各人のポートフォリオが構築され、ポートフォリオに基づいてコンテンツが自動生成される。

コンテンツのパーソナライズが浸透すると、共通のコンテンツを介した経験の共有が難しくなる。必要以上の分断を防ぎ、人と人とのコミュニケーションを成立させるには、知人・友人の間でコンテンツを共有する方法や、逆に同じコンテンツを楽しむ可能性の高い個人をつなぐマッチングシステムなどが必要とされるだろう。また、コンテンツを誰が作ったか(「あの〇〇監督の最新作」といった売り文句)の意味合いが薄れ、個人はコンテンツそのものを評価する能力を試されるかもしれない。結果として社会全体の鑑識眼の水準が向上するようになる。

AI による自動生成コンテンツが、各人にとって十分なエンタテインメント性を有することを担保するためには、楽しさとは何であるかが客観的に把握できるようになっている必要がある。エンタテインメントと体験との関連性を、受け手である個人の特性を絡めて定量化することは、今後 30 年間で達成されるべき大きな課題である。現在 EC 研究会を中心に進められている EDA (Entertainment Design Assets) の蓄積と分析の先に、エンタテインメントの構成要素の解明があると期待される。

他者の経験をエンタテインメントとして 楽しむ技術が確立する

他者の経験はコンテンツとして高い価値を有しており、

文章や写真、動画を通じた体験の共有は SNS を介することですでに実現している。今後のバーチャルリアリティ (VR) 技術の発展は、他者の経験を時空間を超えて追体験する他者体験を具現化していくだろう。

他者体験が可能となるためには、VR 技術だけでなく、体験を構造化してアーカイブする方法論の確立が必要である。また、時間は誰にとっても 1 日 24 時間で有限であり、他者体験まで実時間で体験することは時間がいくらあっても足りない。ネットワークの発達により、空間の隔たりの超越や空間スケールの伸縮は、限定された範囲ではあるがバーチャルに実現している。一方、時間に関しては、過去から現在までの一方向の超越は比較的容易であろうが、時間スケールの伸縮は現時点では困難な課題である。スポーツ観戦におけるダイジェスト映像に相当するような体験の圧縮が実現するためには、一連の体験において重要なポイントは何かを判断できる技術の確立が必要である。

加えて、記録された情報が再生されるだけの受動的な体験では、主体的な行動が結果に反映されず、体験をしたとするには物足りない。現在、さまざまな工学分野において、計測と計算のデータ同化技術の適用が進められている。能動的な体験を創り出すためには、他者の経験 (計測) とコンテンツ自動生成 (計算) に対するデータ同化技術により、体験者の行動に対して、他者の経験の記録されていない部分を補完することが必要となる。補完すべき対象は、環境のみならず、他者の経験に登場する第三者の行動まで含まれる。ある人物の行動がデータ同化により生成されるのであれば、これはもう人物の分身が存在することに等しい。実世界で起こった事象とバーチャル世界の生成された事象が整合性を持って混在する、コンテキストレベルの複合現実体験が実現する。

ゲーミフィケーションが普遍化し日常生活を豊かに彩る

人の体験の拡張にあたっては、個人と環境とのインタラクションに技術が介入し、個人の身体、生理、感情を非接触・非侵襲でセンシング可能とする技術、お

よび個人の感覚を通じたコンテンツ提示が自由に行える技術が前提となる。環境側のインフラストラクチャへのセンシングおよびディスプレイ機能の敷設と、個人への何らかのウェアラブル機器の装着ないしはインプラントの埋設の、マクロとミクロの双方向からの研究開発が必要であるが、多くの情報処理技術分野において必要とされる社会的インフラストラクチャであり、早晚整備が進むであろう。

EC 研究の実社会応用の一形態として、ゲーミフィケーションが挙げられる。コンテンツを楽しむ場として、特定の場所やデバイスに縛られることなく、日常全体がゲーミフィケーション可能となる。その日のスケジュールに合わせて、自動生成されたイベントが挿入され、日常に変化を与えてくれる。楽しみを感じられたかどうか、その結果が分析され、ポートフォリオが動的に更新されていく。生誕の瞬間から長期にわたる蓄積によって、超長期のイベントが可能になるかもしれない。また個人とともに成長する AI エージェントが、人生の相棒としてのバーチャルな友人となるかもしれない。

教育や労働の現場にもゲーミフィケーションが導入され、学習効率や生産性、創造性に寄与する可能性も大いにある。留意すべきは、ゲーミフィケーションがなければ勉強しない、といった主客の転倒が発生することであり、EC 研究としてはゲーミフィケーションの包括的ガイドラインを確立していく必要がある。また教育のような誤りを教えることが許されない場合には、自動生成によるパーソナライズコンテンツの信憑性を担保できる計算理論が必要となるだろう。

2050 年は遠い未来に感じられるが、我々の手元に現在ある課題を解決し社会実装まで行うことを見据えると、30 年は意外と短い期間なのかもしれない。

(2020 年 1 月 13 日受付)

■井村誠孝 (正会員) m.imura@kwansei.ac.jp

2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同研究科助手、同助教、大阪大学大学院基礎工学研究科准教授を経て、2015 年より関西学院大学理工学部教授。人工現実感、エンタテインメントコンピューティングに関する研究に従事。博士(工学)。

[創立 60 周年記念特集：2050 年の情報処理]

25 人口 9,000 万人時代の日本の 電子化知的財産・社会基盤

基
般

加藤尚徳 | (株) KDDI 総合研究所 / 電子化知的財産・社会基盤研究会 (EIP)

国立社会保障・人口問題研究所の推計 (2017 年) によれば、30 年後、つまり 2020 年には、我が国の人口が 1 億人を割り込むとされている。つまり、日本は人口 9,000 万人時代に突入する。しかも、その後も人口減少に歯止めがかからず、その後の 15 年ほどで 8,000 万人代へとさらに減少することが予想されている。この人口減少の主な原因は出生率の低下にあることから、2020 年現在以上の少子化、高齢化が進展していることだろう。

我が国は 2004 年 12 月に 12,784 万人という過去最高の人口を記録した後、人口減少に転じている。これまでの 30 年間の前半 (1990 ~ 2005 年) は、この人口増加に基づいた人口ボーナスを謳歌してきた時代であったといえるだろう。一方で、30 年間の後半 (2006 ~ 2019 年) ではその人口ボーナスはオナーズへと転じ、人口減少の影響を日に日に強く感じてきて、そのように捉えることもできるだろう。そういった影響の中でも、IT バブルや SNS の普及、ビックデータの活用、AI ブームなど、情報処理に関するニュースによって、日々の生活が変化してきた。特にこの 15 年間で、鬱々と暗い時代であったかという個人的にはそのようには感じていない。むしろ、情報処理技術の社会的な普及によって、我々の生活は効率化してきた。人口減少の中での社会の維持に、情報処理がますます寄与してきた、そんな時代だったと理解している。

しかしながら、そのような情報処理技術の社会的な普及は、これまでにない社会的な課題を我々に投

げかけてきた。2015 年からの最後の 5 年間を見ても、仮想通貨、個人情報・プライバシー保護、海賊版サイト問題と、これまでの社会制度だけでは対応できない課題が生じてきた。電子化知的財産・社会基盤研究会 (EIP) では、これらの課題をどのように解決するか、取り組んできた。そして、これらも新たに生じる課題に対して、解決策を提示できるように努力していきたいと考えている。では、今後 30 年間、人口 9,000 万人時代に、どのような課題が生じて、どのように解決に向けて取り組んでいくべきなのか、多少ではあるが考えてみたい。

人口が 9,000 万人代まで減る中で、情報処理に期待されることは何であろうか。人口が減少し、少子高齢化が進む中で、労働生産年齢人口の割合は小さくなっていく。そうすると、社会基盤を維持し、社会基盤の中で付加価値を生み出すためには、より効率的な社会が求められるだろう。そして、これまでの 30 年間において、情報処理はそういった効率化を達成するための手段であった。ところがこれからの 30 年間は、情報処理は手段から目的に変化するのではないかと考えている。つまり、これまでの 30 年間は社会において情報処理を活用できるように、社会に最適化された情報処理を考える時代であった。ところが、これらかの 30 年間は、むしろ社会を情報処理に最適化する時代となるのではないだろうか。

知的財産を例にとって考えよう。著作権法に目を向けてみると、著作権法の基本的な考え方は、有

体物と呼ばれる何らかの物（ブツ）つまり媒体の上に、無体物と呼ばれる情報が一体となって捉えられるところからはじまっている。この有体物に対するたとえば所有権のような権利と、無体物に対する権利を分離して考えているところが著作権法の面白いところである。これまでの30年間では、従来はほとんど一体不可分であったこの有体物と無体物の関係性が、一例として公衆送信のようなかたちで、有体物中心の例外を考えるとところに電子化知的財産の研究の意義があった。ところが、今後、流通や利用という観点でコストのかかる有体物中心の考え方から、もっと情報としての無体物本意の環境に変化していくのではないかと考えている。それはまさに、情報処理本意の環境ともいえる。2018年には、漫画村をはじめとした海賊版サイトが社会的な問題となったが、このようなサイトの登場も情報処理あつてのことだ。ある意味で、従来の物本意の環境への挑戦という見方も出来た事例なのではないだろう。このような中では、そもそも、「これまでの著作権法をこのまま続けてよいのか」というような前提を疑う議論が生じてくる可能性もある。

これまでの30年間は、いかに今までの社会に情報処理を最適化するかという試行錯誤の時代で

あった。これはある意味、既存の社会基盤の柵の中での試行錯誤であったともいえる。ところが、人口9,000万人時代においては、このような試行錯誤をするような余裕が、社会的に残されているのかということから考える必要があるだろう。そして、そのような余裕は恐らくほとんど残されていないだろう。ならば、より効率化されることを前提にして、情報処理を前提とした社会を考える時代が、次の30年間なのではないだろうか。そのような時代においては、社会基盤としての社会制度が、情報を中心とした体系に変わっていくことも予想される。非効率な社会を生み出している社会制度に対して、新しい情報処理技術が変革を迫るような、そんな研究発表が30年後のEIP研究会では行われていることを期待したい。

(2020年1月10日受付)

■加藤尚徳（正会員） an-kato@kddi-research.jp

KDDI総合研究所において、情報法制（プライバシー・個人情報等）を中心とした法制度や技術の調査・研究・コンサル業務に従事。また、大学の非常勤講師として、情報法、知的財産法、情報セキュリティに関する講義を担当している。総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻単位取得満期退学、修士（情報学）、理化学研究所革新知能統合研究センター客員研究員、神奈川大学および神奈川工科大学非常勤講師、慶應義塾大学SFC研究所上席所員。





木村 泉氏

寄稿

ソフトウェア工学を推進した 木村泉君を悼む

和田英一 | IJ 技術研究所

久野 靖 | 電気通信大学

本会フェロー（2000年度）、功績賞受賞者（2011年度）^{☆1}、東京工業大学 名誉教授木村泉氏は、2019年10月8日逝去され、10月11日、霊南坂教会小礼拝室で葬送式が営まれた。木村氏と久しく付き合い合ったものとして、和田と久野で追悼の文を寄せたい。

東京大学物理学科高橋研のころ

木村氏は1935年生まれ。東京大学物理学科を卒業し、大学院生として高橋秀俊研究室に入ってきたのは、研究室でパラメロン計算機のプログラムライブラリ開発の仕事が一段落した1960年4月であった。高橋研ではなんか賑やかな人が来たという印象だった。

院生時代の木村氏が特に興味を持っていて、私の記憶にあるのは、非同期演算回路とDNA解析である。当時、イリノイ大学のDavid Muller氏が東大高橋研にサバティカルの滞在中で、本拠のイリノイ大学では、Illiac II 計算機の設計中であり、同計算

機は速度を稼ぐため、非同期の方式設計を促進していた。したがって木村氏とMuller氏は非同期回路に関してよく議論していた。その結果、木村氏の博士論文は、非同期回路を扱うものであったと思う。

一方、木村氏は、学科の図書室に籠り、Severo OchoaのDNA解析の新着論文を読んで、研究室でその概要を吹聴していたので、我々は直接DNAに関心がなくても、時代が急速に進んでいるのを体感させてもらっていた。私がOchoaという名前を覚えているのは、木村氏のこの行動による。

東京工業大学とCMU

木村氏は大学院を終えると東京教育大学（現筑波大学）に転出した。大学紛争で大変だとこぼしていたが、程なくして東京工業大学へ移った。いつのころからか、計算機で文書を出力する時代が来ると確信し、邦文タイプライタを試みたりしていたようだが、やがてカーネギーメロン大学（CMU）へ出張し、そこで当時の米国の計算機科学やAIの研究所に、PDP-10とともにほとんど常備のXGP（Xerox

^{☆1} <https://www.ipsj.or.jp/award/2011/1kimura.html>

Graphics Printer) に会う。これはその後いわゆるゼロックスというコピー機に発展したものだ。

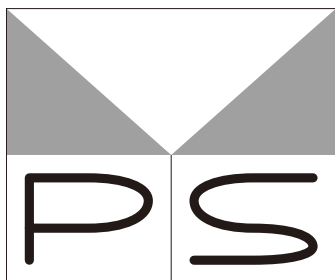
木村氏はさっそく平仮名フォントを試作し、当時私が貰った手紙は、それを使った平仮名文のものばかりであった。

木村氏との忘れられない思い出は、ワシントンからピッツバーグまでの日帰りドライブである。1982年にICSE(ソフトウェア工学国際会議)が東京で開催され、木村氏と私はプログラム委員として、1981年秋、ワシントンでの委員会に出席した。その期間中に自由な1日があり、数年前にCMUに滞在したことのあった木村氏は、自由日にピッツバーグを訪ねたいといただいた。「レンタカーで日帰りできる」と木村氏がいうので、CMUに行ったことのない私は、木村氏の運動神経に多少の疑念もあったが、彼の車に同乗してピッツバーグへ行くことにした。

朝9時頃、車を借りて出発。しかしピッツバーグは木村氏の予想より遥かに遠く、結局ワシントンに戻ったのは真夜中を過ぎていた。

ソフトウェア工学

ソフトウェア工学といえば、その教祖はオランダのアイントホーヴェン工科大学のEdsger Dijkstraだ。彼が1976年の秋に来日し、どこかの大学で講演したいという希望で、たしか東大で10月1日に講演が実現した。その内容が「プログラミング—工芸から科学へ」という題で、情報処理に掲載された¹⁾。木



■図-1 プログラミング・シンポジウムのアイコン

村氏と私の共訳になっているが、Dijkstra風の文体が保存されている訳を見ると、木村氏が主に訳したらしい。

プロシンのアイコン

1997年のプログラミング・シンポジウムの最後に、私は木村氏から相談を受けた。プログラミング・シンポジウムのシンボルマークを更新したらどうか、というのである。

それまでのシンボルは木村氏が幹事をつとめた1975年の夏のシンポジウム「構造的プログラミング」のマークとして決めた、Nassi-Shneiderman図の中にSとPが書いてあった(Structured Programmingの頭文字)ものを、翌年の冬のシンポジウムからPとSに変えて(Programming Symposiumの頭文字)使っていたが、古びた感じは否めない。木村氏はアンケート用紙の裏にスケッチしてくれた。特にSの中央の曲線が浴衣の帯のずり下がっているように、との希望であった。それが第39回からの報告集にあるマークである(図-1)。

木村氏の文章力

木村氏には非常に多くの訳書、著書がある。そのいずれを見ても、「面白いといってもらえないような文章は書く気がしない(p.42)」という木村氏の文章力が際立っていて、感嘆を禁じ得ない。

私はワープロ関連の3部作のうち、最後に刊行された『ワープロ作文技術²⁾』が好きだ。これは木村氏が自分の著作の過程を内省した一種のメタ文書であり、その作文に対する真摯な態度が察せられる。

本書にはまったくその通りと思う個所が随所にある。文章の問題点はきれいに書き上げると急に見え出す(p.11)。トップダウン的文書書きは迷信である(p.46)。翻訳は究極の精読法(p.70)。まず書こう。考えるのはそれからだ(p.74)。前に書いたものを

つなぎ合せると楽しんで読んでもらえるものではない (p.78). 1つの良い方法は、まず図とか表とかを作り、その説明という形で文章を書く (p.165). 口の軽い読み手は信頼されない (p.192). など.

同書は木下是雄氏の『理科系の作文技術』と双璧をなす日本語文章読本であろう.

木村氏はまことに稀有な友人の一人であった.

学生を導く教師として

ここから久野が記述を引き継ぐ. 久野は1975年、東京工業大学I類(理学部)に入学した. 当時東京工業大学は類別入試方式であり、2年で学科所属するまでコンピュータに触れる機会はなかった.

無事情報科学科に所属でき、期待に胸を膨らませて受けた最初の授業が木村先生の「プログラム言語第一」であった. 内容は、NEAC3200という16ビットミニコンピュータを用い、ハードウェアの動作から始めて、その上のソフトウェアの働きを学ぶものであった. システムの制御パネルを用いて直接にメモリ内容を書き換えたりレジスタを観察しながらソフトウェアを作ることが特徴であったが、先輩や助手の先生(後に筑波大学を経て千葉大学に移られた辻尚史先生)の作られたローダやシステム記述言語の処理系が登場することもあった.

そこから3年生の終わりまでに受講した科目のいくつかは木村先生によるものだったが、どれもコンピュータとソフトウェアの組み合わせのメカニズムの動くようすが描き出される様がとても興味を惹いた. 今から思い返すと、先生ご自身がこの「動くようす」が好きであり、それが私達学生にもおのずと伝わるような授業であったのかと思える.

木村先生の授業とOHPシート

今はPCのプロジェクタに取って代わられ絶滅してしまったが、当時の大学ではOHP(OverHead

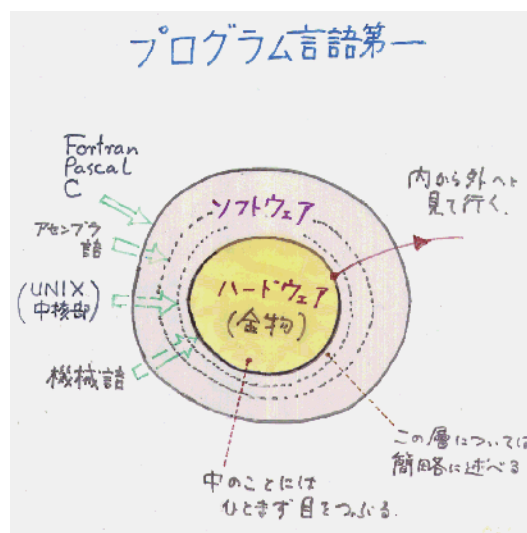
Projector)という機器の上に、各色のペンで図や文字の説明が描かれた透明シートを載せ、スクリーンに投影しながら講義をすることが一般的であった.

木村先生はいつも、OHPシートがびっしりとつまった紙袋を持参され、そこからシートの束を取り出して順に提示されながらお話をされていた.

図-2は「プログラム言語第一」の最初のシートである. 久野が受講した年よりだいぶ後にOBOG会でいただいたものなので、アップデート(部分的にアルコールで拭き取って描き直す)が入っているが、ハードウェアの周りにソフトウェアの階層がある、という形は同じままで、とてもなつかしい.

ソフトウェア工学の伝道師として

木村先生の授業をはじめ、楽しくコンピュータの授業を受けていたころ、『プログラム書法³⁾』という訳本を書店で見つけた. 当時はソフトウェアに関する書籍は点数がそもそも少なく、自分の興味とは少し外れた本でもとにかく購入して読んでいたが、この本は「プログラムのコードを書くときはどのようにするのがよいか」という、自分がまさに学んでいる最中のことごらを取り上げており、それこそむ



■図-2 「プログラム言語第一」の最初のOHPシート

さぼり読んだ。

いま手元にある同書の奥付を見ると、初版1刷が1976年8月1日で、持っているのは10月20日の3刷である。いつも授業を受けていた先生の訳本であるのに、先生は本の宣伝を授業等ではされないの、たまたま書店で見かけるまで知らなかったのである。

もう1つ分かるのは、3カ月経たないうちに3刷ということで、つまりこの本はとても売れたことになる。それだけではなく、この本（の1982年に出版された第2版であるが）は、今でも書店に並んでいて購入できる、とんでもないロングセラーである。今では「良いコードを書く」ことをテーマにした類書がさすがに出てきているが、長い間、そのようなテーマの本はこれしかなく、内容的的確さも合わさって、長く読まれ続けてきたのだろう。

そしてその人気には、その内容を我が国の読者がスムーズに受け取れるように腐心された結果である、木村先生の訳も大きく貢献していると考える。後に出版される同一著者による『ソフトウェア作法⁴⁾』や Weinberg, G. M. による一連の著述も、木村先生が翻訳され、世の中に広く受け入れられている。

このころは「ソフトウェア工学」という言葉は生まれたばかりで、今日とはニュアンスが異なり「(個人の技も含め)どのようにうまくソフトウェアを作るか」を意味していた。その点で、これらの本はまさに「ソフトウェア工学」の本であり、木村先生はその重要な考え方を我が国に紹介された「伝道師」だといえる。

話を少し戻すと、『プログラム書法』に書かれている最初の指針は「(プログラムは) 分かりやすく書こう」である。大学2年でこれに触れて、また木村先生の教えを受けて来た久野は、これが世の中の常識であると信じながら学生時代を終えたのだが、後でこれが必ずしも常識にはなっていないことを見聞して大変驚いたものである(そして今日でさえ一部はそうである)。これはつまり、伝道師に近すぎ

るところにいて、教えのありがたみが分かっていない罰あたりというところだろうか(今ではそのことが分かったので、また教える仕事もしているので、機会があれば「分かりやすく書く」を人に伝えるようにしている)。

我が国最初のコンピュータ組版書籍

久野は4年で木村研究室に所属したが、この年は先生は在外研究でCMUにおられ、同年に着任された助手の米澤明憲先生が研究室を取り仕切られた。久野が木村先生に研究指導をいただくのは修士1年以後である。

当時先生は日本語処理に関心を持たれていた。CMUでの研究テーマは日本語の辞書から音素を抽出して興味深い事象を探すことであり、日本に戻られてからいろいろとその話をされていた。

また、『ソフトウェア作法』の訳本を作成する際に、木村研究室で開発している日本語処理システムを用いる試みもされており、修士で就職された先輩の後釜として、久野が開発を引き継ぐこととなった。この日本語処理システムは「マクロ方式かな漢字変換」と称し、カタカナのわかち書きされたテキストファイルと、個々のカタカナ語を漢字まじり日本語に対応させる辞書を組にして、前者に後者のマッピングを適用すると日本語文書ができる、という原理であった。

先生にはつたないシステムのことで大変ご苦労をおかけしたが(そもそも手元に漢字を表示するディスプレイもプリンタもなく、唯一の表示手段は磁気テープにファイルを格納して代々木の日本科学技術連盟まで行ってそこの漢字プリンタに出すことだった)、無事『ソフトウェア作法』は完成し1981年に出版された。ワープロの普及より前であり、「日本最初のコンピュータで組版された書籍」となった。

このように、木村先生は「研究しているものを実際に使ってみる」ことにも大変ご熱心であり、そのこと

が学生にとっても大きな学びの機会となっていた。

いくつかの著述

木村先生の最初の本は実は木村泉の名前になっていない。共立出版の bit 誌（「コンピュータサイエンス誌」と銘打っていて、当時の我々ソフトウェア屋は皆読んでいたが、その後廃刊となった）で「NHK」という仮名で西村恕彦先生（東京農工大学）、廣瀬健先生（早稲田大学）と共同で連載されていた読み物を書籍化した『計算機科学の発想⁵⁾』という本がそれである（NHK は 3 方の名字の頭文字）。出版時に NHK では困るので、紀 華彦という著者名になっていて、そのため知られていないのは残念である（N・H・K が 2 回ずつ出てくるためこの名前にしたとある）。

その後は前述の翻訳が主となるが、少し後になって岩波新書から『ワープロ徹底入門』『ワープロ徹底操縦法』そして先に書名の拳がった『ワープロ作文技術²⁾』の 3 部作をしたためられ、それなりに売れている。木村先生は教えるのも得意であったが、本で分かりやすく説明するのもまさに同じであった。ちなみに、霊南坂教会における先生の葬儀で、牧師先生が説教中に「自分も『ワープロ徹底入門』の読者であった」と明かされたので、参列した我々 OBOG もかなり驚いた。

当時はワープロ専用機の時代であったためにこの題名なわけだが、やがて PC 上のワープロソフトの時代となり専用機もなくなったため、この本も読まれなくなってしまった。木村先生はご自身の著述については不運だったといえる。

HCI の先駆者として

久野は修士・博士と木村研に在籍し、単位取得退学して木村研の助手となった（博士の学位は助手在職中に取得）。助手として自分がかつて受けた先生

の授業をお手伝いをすることは大変楽しかったが、そのころは木村先生は、システムより教育や人間の行動や認知的側面に主に関心を持たれるようになっていた。

HCI（Human Computer Interaction）という言葉はまだ一般的でなかったが、木村先生はその重要性にいち早く着目されていたのだと後で分かった。そのきっかけは、木村先生が多く翻訳された Weinberg のエッセイや、その大元である書籍『プログラミングの心理学⁶⁾』にあったのかと考える。

この書籍は米国ではベストセラーで、木村先生が早くから翻訳を希望していたが著作権が取れず、1994 年になってようやく（ペーパーバック版の著作権をもとに）木村先生の訳で出版された（このときは急ぎであるということで角田、白濱、久野の木村研究室 OB3 名が先生の指名をいただき共訳としてお手伝いしている）。

また同氏のエッセイは bit 誌に先生の訳で連載され、我々は毎月それを読むのを楽しみにしていた（ひと区切りついた後書籍化されたものもある）。木村先生ご自身の著述として、東工大を定年となり中京大学に移られた後、やはり bit 誌で「さなげ山通信」と題する HCI を中心としたエッセイの連載もされていた（初回が HCI とは何かというお題であった）。いずれも、ソフトウェアやソフトウェア開発にかかわる人間の思考形態や行動などがテーマになっており、この分野を我が国に紹介した貢献は大きい。

久野は 1989 年に筑波大学に移り木村研究室を離れたが、OBOG 仲間と先生にお会いする機会は多くあった。一時は Anderson の ACT-R と呼ばれる認知モデルに関心を持たれ、ゼミなどで取り上げられていたことをお聞きした。そしてご自分でずっと取り組まれていたのが、「練習のべき乗則」に関する研究である。べき乗則とは、人間のさまざまな活動のパフォーマンスは習熟によって改善される時、その度合いが両対数グラフに記すと直線になる（つまりべき乗の曲線に従う）というもので、古くから

知られている。しかしそれには、より細かく見ると、練習を続けても向上しない時期（スランプ?）、みるみる上達して新記録が出る時期が交互する構造がある、というのが木村先生の研究テーマだった。

このことを実証するため、先生はご自分を被験者として、毎日「みそさざい」という鳥の折り紙を数十個折られ、その時間を計り、作業をビデオ記録する、という実験を何年にもわたって続けられていた。我々 OBOG が合宿や忘年会などで先生のお話をうかがう機会があるとき、ご自分の実験による大量のデータを基に、「次はこのあたりで新記録が……」などと予想を述べられたことを記憶している。どこまでもきちんと実験に基づき真実を追求する姿勢に感銘を受けた。

その先生も、健康を害されて我々 OBOG がお会いすることも難しくなり、そして昨年、残念な訃報に接することとなった。木村先生は長年にわたり、「どんなことが大切か」をいち早く理解されては私たちに教えてくださり、そしてそれらを本などで出版することで、我が国のソフトウェア関係者に広く紹介されてきた。今でも「木村先生の翻訳された本が好きでした」とおっしゃる方に新たにお目にかか

ることが時々ある。たまたま本稿の依頼をいただいた読者かつ弟子の一人として、ここに先生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した。

参考文献

- 1) Dijkstra, E. W. 著, 木村 泉, 和田英一 訳: プログラミング—工芸から科学へ, 情報処理, Vol.18, No.12, pp.1248-1256 (Dec. 1977).
- 2) 木村 泉: ワープロ作文技術, 岩波新書 306 (1993).
- 3) Kernighan, B. W. and Plauger, P. J. 著, 木村 泉 訳: プログラム書法, 共立出版 (1976).
- 4) Kernighan, B. W. and Plauger, P. J. 著, 木村 泉 訳: ソフトウェア作法, 共立出版 (1981).
- 5) 紀 華彦: 計算機科学の発想, 日本評論社 (1981).
- 6) Weinberg, G. M. 著, 木村 泉, 角田博保, 白濱律雄, 久野 靖 訳: プログラミングの心理学, 技術評論社 (1994).

(2020年2月6日受付)

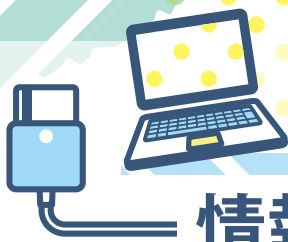
和田英一 (名誉会員) eiiti.wada@gmail.com

1955年東京大学理学部物理学科卒業。東京大学工学部、富士通研究所を経て IIJ 技術研究所 顧問。

久野 靖 (正会員) y-kuno@uec.ac.jp

1984年東京工業大学理工学研究科情報科学専攻博士後期課程単位取得退学。同年同大学理学部情報科学科助手。筑波大学講師、助教授、教授を経て、現在、電気通信大学教授、筑波大学名誉教授。理学博士。プログラミング言語、プログラミング教育、情報教育に関心を持つ。本会情報処理教育委員会委員。ACM、日本ソフトウェア科学会各会員。本会シニア会員。





連載



情報の授業をしよう！

本コーナー「情報の授業をしよう！」は、小学校や中学校で情報活用能力を育む内容を授業で教えている先生、高校で情報科を教えている先生や、大学初年次で情報科目を教えている先生が、「自分はこの内容はこういう風に教えている」というノウハウを紹介するものです。情報のさまざまな

内容について、他人にどうやって分かってもらうか、という工夫やアイディアは、読者の皆様にもきっと役立つことと思います。そして「自分も教え方の工夫を紹介したい」と思われた場合は、こちらにご連絡ください。

(E-mail : editj@ipsj.or.jp)



プログラミング的思考を高等学校のすべての教科に取り入れたら授業がどう変わったか

— 2016～2018年度「県立高校改革基本計画」プログラミング教育研究推進校の指定校の取り組みより —

鎌田高德 | 神奈川県立茅ヶ崎西浜高等学校

プログラミング教育推進校の取り組み

すべての教科でプログラミング的思考を

本稿の趣旨は、すべての教科でプログラミング的思考を取り入れた組織的授業改善を行った結果、授業の内容がどう変わったかの報告である。神奈川県は2016年度に、「県立高校改革基本計画」を打ち出した。その中で、県内の5つの高等学校を、「プログラミング教育研究推進校」に指定し、3年間に渡るプログラミング教育研究を推進した。そのねらいは、「学力の要素として挙げられる思考力・判断力・表現力の育成が求められている中、コンピュータを活用し、論理的思考力を身に付け、協働して問題解決に取り組むことができる人材の育成」であっ

た。つまり、情報科の1つの教科のみが、プログラミング教育を推し進めるのではなく、すべての教科でプログラミング教育を推し進めることを目標と定めたのである。

この研究指定はすべての教科の先生がプログラミング教育を行うということであった。現場の先生たちからは、プログラミングなんてやったことがない、どうすればよいのだろうかという声が多数あった。それ以上に、プログラミング教育を情報科以外の教科で取り入れて何の効果があるのか、懐疑的な意見があった。そうした意見の中、本校ではプログラミング教育の可能性を模索していくため、プログラミング的思考を取り入れた組織的な授業改善を検討していくことになった。



問題解決では実行可能な題材の選定が重要

本校にて県から指定されたプログラミング教育推進をすべての教科で行うときに、ポイントとなると感じたのは「論理的思考能力を身に付け、協働して問題解決を行う」ということである。この部分は、すべての教科ですでに取り入れられていることであり、この部分を意識的に授業に取り入れられるようにすることが普及のポイントになると感じていた。

また同時期の2016・2017年度に、本校では、「国立教育政策研究所」教育課程研究指定校事業（共通教科情報）の研究指定を受けていた。その中の研究成果として、問題解決においては、生徒にとって「身近で・切実で・実行可能」な題材の選定が重要であり、こうした題材を問題解決において設定することで、学習者の学習意欲を大きく向上させ、問題解決の授業を行う上で効果的であることが分かった。

また本校では、問題解決において教師から答えを与えられるまで待つ生徒が見られたため、問題解決の授業では生徒たちにとって実行可能な題材を選定することが必要不可欠であった。

プログラミング的思考を取り入れた授業案の検討

それならば、生徒たちが自らの手で問題解決を行えるようにするために、どのようにすればよいのか。そこでのポイントとなると感じたのが、先ほど挙げ

たプログラミング的思考である。プログラミングを行う上で必要な「必要な動きを分けて考え、動きに対応した命令にし、その命令を組み合わせ、それらを試行錯誤しながら改善する」思考力である。これらの思考力を取り入れた授業は、すでに教育現場で行われていたものの、「強く意識して取り入れた」ことがなかったのではないだろうか。

本校では、この思考力を教師が意識的に教材に落とし込み、授業の中で発問することで生徒が問題解決を自らの手で行えるようになる授業づくりのための校内研修会を毎年行っている（図-1）。2016年度は当時静岡大学に所属されていた益川弘如准教授、2017年度から2019年度までは、明星大学教育学部今野貴之准教授に登壇していただいた。

本校では、こうした校内研修会を通し、プログラミング的思考を取り入れた授業について、表-1のように定義した。

プログラミング的思考を取り入れた授業の3つの要件を定義し、この中の1つだけでも取り入れた授業を、2018年度より各教科で実践した。今回は2018年度に行われた音楽科、英語科、家庭科の授業実践を紹介し、プログラミング的思考を取り入れたことで、生徒たちの活動がどのように変わったかについて述べていきたい。

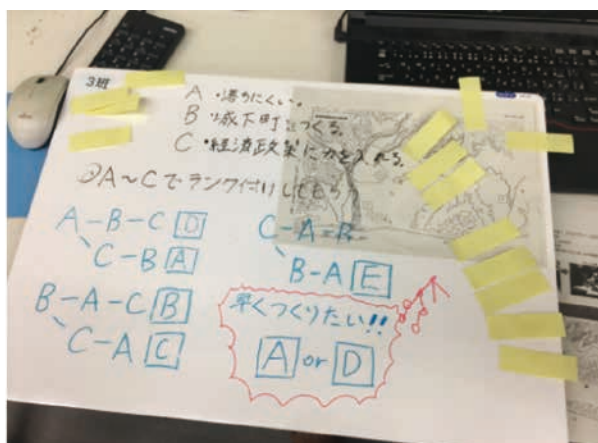
プログラミング的思考を取り入れた授業実践

音楽科 長谷部教諭の実践

音楽科の長谷部裕介教諭の実践では、プログラミング的思考による授業設計の有用性について研究するため、プログラミング的思考を取り入れた授業設計を行った。具体的には、1学年の音楽Iの授業実

■表-1 プログラミング的思考を取り入れた授業の定義

①順序立て・・・学習課題にどのような「順序」で取り組むか見通しが持てる。
②場合分け・・・その取り組む「順序」において、想定する状況ごとに「場合分け」ができる。
③繰り返し・・・学習課題をうまく達成できない場合は、方法を変えて繰り返すことができる。



■図-1 プログラミング教育の校内研修会の様子

践において「授業者の意図を明確にし、生徒への指示の順番や優先順位を視覚化する」というねらいで、プログラミング的思考の「順序立て・場合分け・繰り返し」をフローチャートとして取り入れた指導案の作成を行った(図-2)。

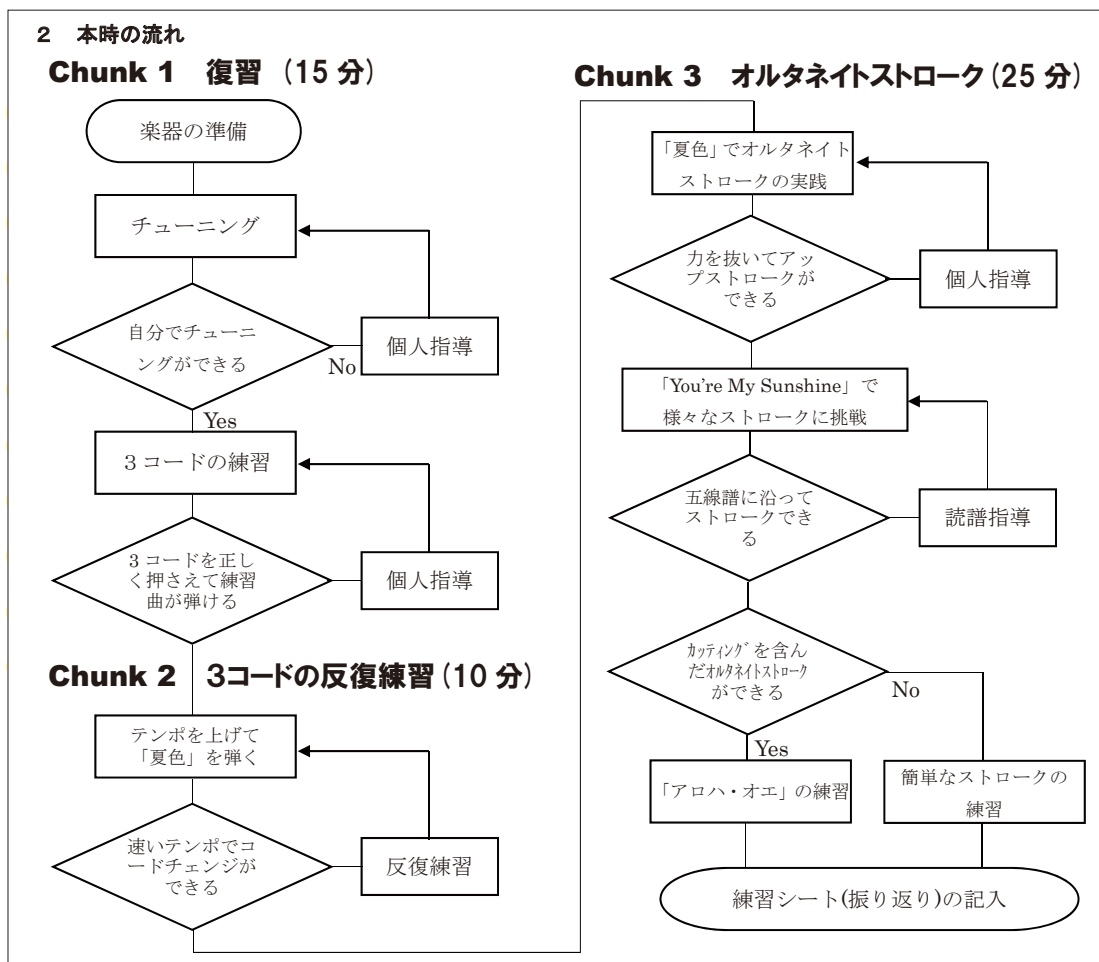
長谷部教諭によると、フローチャートを用いて授業の流れを書き出してみることで、どの場面でどんな場合分けが生じるか、うまくいかない場合にどんな手立てを講じるか、などを意識して授業設計をすることができたとのことであった。研究協議においては、学習指導案に無駄がなく、必要な情報がコンパクトにまとめられていた。また、目標を意識させ、最後にもう一度振り返らせることで到達度を意識させることができていたという評価を受けた。

フローチャートを作成することで授業者の授業内

の活動の意図が整理され、さらに全体の授業の流れが明確化し、生徒への指示の順番や優先順位が視覚化できたといえる。授業作りは、教師や生徒の授業内の活動を手順化することでもあり、繰り返しや場合分けの条件は、活動における目標が達成できたかできなかったか評価を行うことでもある。つまりプログラミング的思考を取り入れた授業は、授業の「ねらい・方法・評価の一体化」に効果的であったと言えるのではないだろうか。

英語科 藤山教諭の実践

英語科の藤山直樹教諭の実践では、3学年のコミュニケーション英語IIIの授業実践において、「プレゼンテーション準備の手順を身につける」というねらいで、プログラミング的思考の場合分けを取り



■図-2 フローチャートで表現したウクレレの活動



入れた授業を行った。

授業は「自由と平和のために活動した人物について調べ、英語で発表する」内容であった。私自身も、高校時代に調べた内容についてまとめ、英語でスピーチを行う授業を経験してきた。その場合、教師より発表手順が与えられ、その手順にそって内容をまとめ、英文を作成し、発表する内容であった。

しかし藤山教諭は、この学習内容にプログラミング的思考の「場合分け」を意識的に授業に取り入れ、「発表する手順を発見させる」問題解決の授業に作り変えた。生徒に具体例が記載されている英文を読ませ、一つひとつの文がどのような意図で書かれているか内容を考えさせることで、自分なりに発表する手順を考えさせ、自分が考えた手順に沿って発表させるようにした。

藤山教諭は、教師から手順が与えられる「受け身」の姿勢よりも、生徒が自らルール（手順）を発見することによって、より前向きに、主体的に取り組むことができているように感じていた。自分の考えが不安なところはペアで確認をさせるなど工夫をさせることで、お互いのルールを比較させていた。この授業をする前に普通の授業で教科書の内容理解、表現方法の確認、文章構成などについて学ぶことを前

提としており、生徒はよく考え意見をまとめていたようだ (図-3)。

家庭科 鈴木教諭の実践

家庭科の鈴木の子教諭の授業実践では、家庭基礎の授業において、「大切な人へ牛丼とすまし汁をふるまえるようになる」ことをねらいとして、プログラミング的思考を取り入れた授業を行った。

授業は、牛丼とすまし汁の調理実習中に調理手順を図式化した資料に、グループで調理したときの手順を書き込ませ、資料としてまとめさせた。また調理実習の後の授業において、グループで作ったときではなく、一人で調理したときにこの手順がどのように変化するか、再度手順を組み直すといったものである。

グループで調理したときの手順を、一人で調理したときの手順に適切に並び替えるためには、調理手順の意図について理解できていなければならない。鈴木教諭によると、「考え方により手順が変わることは、その手順が何通りかあること」に気づいた生徒が見受けられたり、取り組みが進まない生徒へ「答えは、理由によって変わるから想定してみよう」と声掛けすると、生徒の取り組みが進んだりした。また、家族にふるまうことを目標とした生徒が、

<p>Communication English III Lesson 7 The Story of Ruby Bridges</p> <p>Lesson 7 の目標 「自由と平和のために活動した人物について調べ、英語で発表する」 (本時の目標) 「プレゼンテーション準備の手順を身につける」</p> <p>1. プレゼンテーションの構成を考える 以下の英文を読み、どのような構成になっているか考える。 A. 6段落の文章だが、3部構成(導入・本論・結論)になっている。 どこで区切るとよいか、段落間に線を引きなさい。</p> <p>B. 本文は6つのステップとなっている。 各段落①～⑥がそれぞれどういう意図で書かれている内容が考えなさい</p> <p>①【導入】 あいさつ</p> <p>②【 】</p> <p>③【 】</p> <p>④【 】</p> <p>⑤【 】</p> <p>⑥【結論】 感謝を伝える</p>	<p>【 Example 】</p> <p>①Hello everyone. How are you?</p> <p>②We would like to talk about Rosa Parks. Do you know her? If not, then please listen carefully.</p> <p>③She is from the US, born in Alabama in 1913. She was just an ordinary woman who worked for a department store before she did something which made her very famous.</p> <p>④Do you know what she did? Look at this picture. In December 1955, she refused to give her seat to a white man on a bus even though she was black. She ignored the caution of the bus driver. She refused to move and continued to sit. Because of that, she got arrested and it led to a huge bus boycott in Atlanta. This boycott continued for one year. Later, she became a famous civil rights activist for black people. In 1999, she received the Medal of Honor for her achievements.</p> <p>⑤We agree with her action because we think that both black and white people should be able to sit on the same seat. They should be kind to each other. We want people in the world to be treated equally without any discrimination.</p> <p>⑥Thank you for your attention.</p>
--	--

■図-3 英語での発表手順を発見させる授業

昆布を水につけている間に洗濯機をまわすなどほかの家事労働と関連付けて考えたり、切るのが苦手なので早めに切り始めたりするなど、理由により作業手順や時間が変わることを学んだという気づきが多くあった。見る角度により、考え方も変わる学習をプログラミング的思考とともに取り組んでいきたいとのことであった (図-4)。

プログラミング的思考を取り入れて授業が変わったこと

授業で一番変わったのは問い

プログラミング的思考を授業に取り入れた授業づくりを通して、授業において一番変わったのは問いではないかと考えている。今回紹介した、音楽科、英語科、家庭科の3つの実践でも、問題解決の手順を発見させるような問いに変わっている。具体的

【1】 A~Kに適語を入れ、作業内容を記入し、料理を完成させましょう。

<p>牛丼 (事前準備)</p> <p>A米と()を文化鍋へいれ、 ()分おく。</p>	<p>すまし汁 (事前準備)</p> <p>G こんぶの表面を()、 ()分水につける。</p>
---	---

<p>(調理) ご飯</p> <p>B</p> <p>火</p> <p>沸騰↓</p> <p>火で 分</p> <p>火で 分</p> <p>火で 30 秒</p> <p>()分 蒸らす</p>	<p>牛丼の具</p> <p>C ()を切る。</p> <p>D 煮汁を準備する。</p> <p>・ : ・ :</p> <p>E 鍋に 煮汁と() を入れて煮る。</p> <p>F たまねぎが() になったら()を 入れ()まで煮る。</p>	<p>すまし汁</p> <p>H () 出汁をとる。</p> <p>I () 出汁をとる。</p> <p>出汁</p> <p>J 鍋に()をいれ、 ()と()を 入れてあたためる。</p> <p>K 食べる直前にあたため、 ()をいれ、味見後 ()が不足していたら ()を入れる。</p>
--	---	---

盛り付け・配膳

【2】 A~Kを作業手順の順に並べましょう。

自分の考え [理由 (
シヨルダールベアの考え [理由 (

■図-4 状況により調理手順を組み替える授業

には「この目標を達成するために最も良い手順は何か」、「この取り組む手順を状況によって場合分けしたらどうなるか」、「この目標を達成できるまで繰り返してみたらどうなるか」といった問いに変わっていた。

また今回の3科目以外の教科においても、プログラミング的思考を取り入れた授業が本校では行われた。数学科では、数式の解法を細分化し、細分化した解法の手順を組み立てさせて解かせる授業が展開された。情報科の授業では、桃太郎のストーリーを場合分けして考えさせ、桃太郎にとって都合の良いストーリーと、鬼にとって都合の良いストーリーを抜き出し、桃太郎が正義に見えるWebサイトと鬼が正義に見えるWebサイトを作成し、比較させる授業などが展開された。どちらの授業においても、生徒たちに考えさせる活動において、プログラミング的思考の要件を踏まえた問いがなされるようになっていた。これまでもこうした問いを出していた授業はあったが、意識しないでこうした問いを出していたと考えられる。

こうした問いを意識して行うようになったことで、ねらいに合わせた問いをしっかりと立てられるようになっていないかと感じている。問いがシンプルになることで、問いが伝わりやすくなり、活動しやすくなったのではないかと考えている。

問題を発見させる活動に効果的

プログラミング的思考はこれまでの高校の授業に

おいて、すでに行われていた思考であったが、意識的に取り入れることで、問題を発見させる授業づくりに効果的であったのではないかと考えている。

図-5に示すように、順序立てを意識して取り入れたことで、手順を分けて考える活動になり、授業の内容がsmall stepに変わった。場合分けを意識して取り入れたことにより、特定の部分を条件に沿って場合分けし、手順の並び替え方を考えるなどして、問題を発見する授業づくりに変わった。繰り返しは、毎回自分の活動を振り返り、活動が目標の条件を達成できたか、問題解決できるまで繰り返すようになった効果があったのではないかと考えている。

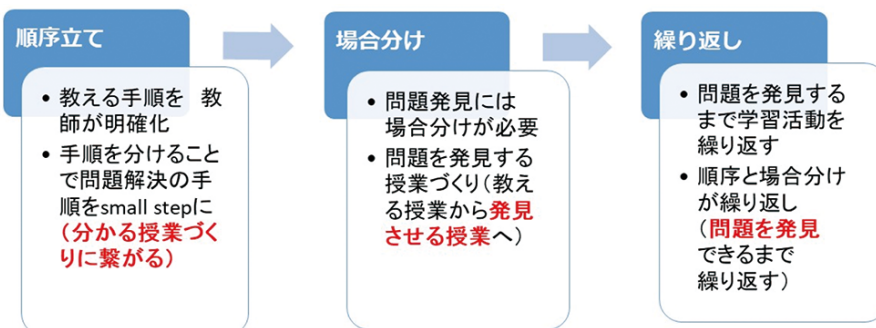
今後の課題としては、まだ研究授業内での活動にとどまっている点である。学校全体でこうした「問い」をプリントなどの問いに落とし込むことを意識してプログラミング的思考を働かせるようにしていきたい。

新学習指導要領では、「モノの見方・考え方を教える授業」から「モノの見方・考え方を働かせる授業」への転換が求められている。生徒がモノの見方・考え方を働かせ主体的に問題解決を行う授業を実現していくためにも、プログラミング的思考を取り入れた授業実践を推し進めていきたい。

(2020年2月7日受付)

鎌田高徳 takanari-k@pen-kanagawa.ed.jp

宮崎県出身。2010年に情報科の高等学校教員として神奈川県に採用される。生徒にとって身近で切実で実行可能な題材で情報科の授業づくりを行うことを目指している。



■図-5 プログラミング的思考により変わったこと

多くの人同意しない未来を作る

～慶應義塾大学の話題の公開授業 「SFCスピリッツの創造」に行ってきた～

太田智美 | 慶應義塾大学大学院

昨年、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスで公開授業「SFCスピリッツの創造」（全14回）が開催された。同授業は毎回異なる特別招聘教授を招いて行われ、その内容がTwitterのハッシュタグ「#SFCスピリッツ」でちょっとした話題になった。そのSFCスピリッツが、2020年度も開催することが決まった。そこで、昨年注目されたSFCスピリッツがどのような授業を行ったのかを、2019年5月14日に開催された第5回の授業をもとにレポートする。

講演者は、国立研究開発法人産業技術総合研究所主任研究員の江渡浩一郎さん（図-1）。講演のタイトルは「多くの人同意しない未来を作る」。



■図-1 国立研究開発法人産業技術総合研究所主任研究員
江渡浩一郎さん

イベントプロデューサーやメディアアートの分野での自身の活動を交えながら話した。

多くの人「同意しない」未来とは？

「多くの人『同意しない』未来」とは何か。それは、江渡氏が提唱する「共創型イノベーション」のことだ。簡単に言うと、サービスやプロダクトを作るとき、「ユーザが生み出すイノベーションの可能性」を前提として全体を考えるとということ。その例として、クリプトン・フューチャー・メディア社のボーカル音源「初音ミク」を挙げた。

初音ミクはどうして生まれたか？

初音ミクが生まれた背景にはニコニコ動画の普及があったと、江渡氏は話す。

彼女が有名になった理由として多くの人知っているのは「初音ミクの曲がニコニコ動画にたくさんアップされたため」という事実だろう。しかし、その関係はもっと深いものだという。

ご存じのように、ボーカル音源としては「初音ミク」が最初ではない。それよりずっと前（2004年11月5日）に「MEIKO」が発売されている。このMEIKOが、ニコニコ動画の登場により、急に売れ

始めたそうだ。その予兆から「ニコニコ動画に最適化されたものを作ればヒットするのではないか」と、名前やイラスト、キャラクターを作り込み誕生したのが「初音ミク」という。歌手ではなく声優に歌わせたのも、ニコニコ動画への最適化の1つ。これが当たり、大ヒットした。初音ミクは、まさにユーザが生み出すイノベーションの可能性から生まれた製品だと江渡氏は言う (図-2)。

初音ミクの事例から分かるように、江渡氏が提唱する「共創型イノベーション」は、「ユーザ・イノベーション」と「インクルーシブ・デザイン」から着想を得ている。

ユーザ・イノベーションの例で有名なのは、マウンテンバイクだ。マウンテンバイクは1970年代(アメリカ合衆国カリフォルニア州)に、「山で乗り回す自転車があったらカッコいいのでは?」との発想から、自転車とバイクの部品を組み合わせて乗り回していた人たちがいたことから始まったという。それをきっかけに広まり製品化したところ、爆発的にヒットした。

インクルーシブ・デザインは、従来デザインプロセスにかかわっていなかったような、極端なユーザを対象の人としてデザインすること。たとえば、車椅子をデザインするとする。一般的なやり方としては、デザイナーがデザインし、それを必要とする人に乗ってもらい、フィードバックを得て改善すると

いう方法がある。しかし、インクルーシブ・デザインでは、車椅子を必要とする人と毎日一緒に過ごし、同じ環境(空間)で開発することでデザインする。

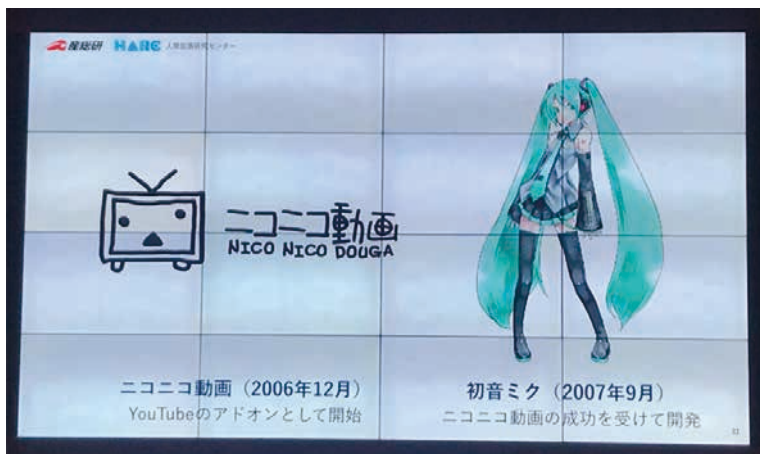
共創と協業の違い

「共創型イノベーション」の中で、最も重要なのが「共創」の概念だ。

ここで取り上げられたのが、1954年に公開された日本映画『七人の侍』である。この映画での大きなミッションは「盗賊から村を守る」こと。盗賊が押し入り、このままでは村が全滅してしまうという危機的な状況下で、どのような行動をするかという問いだ。

限られたリソースしかなく、でもなんとかして実現困難なことを達成したいとみんなが思ったときに「協調せずに行動する」手法が、この映画では描かれている。一人の司令塔となる人がいて、その人が指令した通りに従って動いて行くというツリー構造の命令系統ではなく、「この状況ではこう行動するのが最適だ」と各々がその場その場で全体を考えて行動する。これによって、それらがうまく噛み合ったときに、結果的に大きな目標を達成することができる。これが江渡氏の言う「共創」だ。

もう少し身近な例では、A社とB社が組んで新しいサービスをリリースするとする。このとき、「協業」というのは、どのような利益が得られるかといった見積もりがある程度できていて、A社とB社でどのように利益分配するかをあらかじめ決めてから始めるというもの。共創は、そもそも成功するかどうか分からない、成功したときにどのような利益が得られるのか分からないが、とにかく成功させたいという大きな目標を持って行動するときに使われる方法だという。この「大きな目標」のことを「共通善」と呼んでいる。共創には、



■図-2 授業資料

この共通善が必要不可欠なのだ。

多様性が、プロジェクト失敗の可能性を高める

少し話は変わるが、講義の中でとても興味深い話があった。特許と多様性を分析した Lee Fleming (2004年)の研究で、特許の金銭的価値とチームメンバーの多様性をグラフにした図がある(図-3)。この研究では、多様性が高まればプロジェクトが失敗する可能性が増加し、収入の平均値が低下したとの結果が出た。つまり、多様な能力を持った人が集まるより、ある特定の似たような能力を持った人が集まったチームの方が金銭的価値が高い特許が生まれる(特許から得られる収入が多い)という。これだけを聞くと、多様性を高めることは損のように思える。しかし、ここから面白い。

大ヒット(ブレイクスルー)は、ダイバーシティの高いところからしか生まれていないことが分かった。多様性が重要視されるようになったのは、そういったことからだ。今までなかったような飛び抜けた成功を生み出したいと思ったら、ユーザを巻き込

むようなダイバーシティが成功の可能性を広げる。ダイバーシティは常に成功するわけではないことを誤解なく理解しなければならないが、これは江渡氏の「共創型イノベーション」にもつながる話である。

授業にあった「仕掛け」

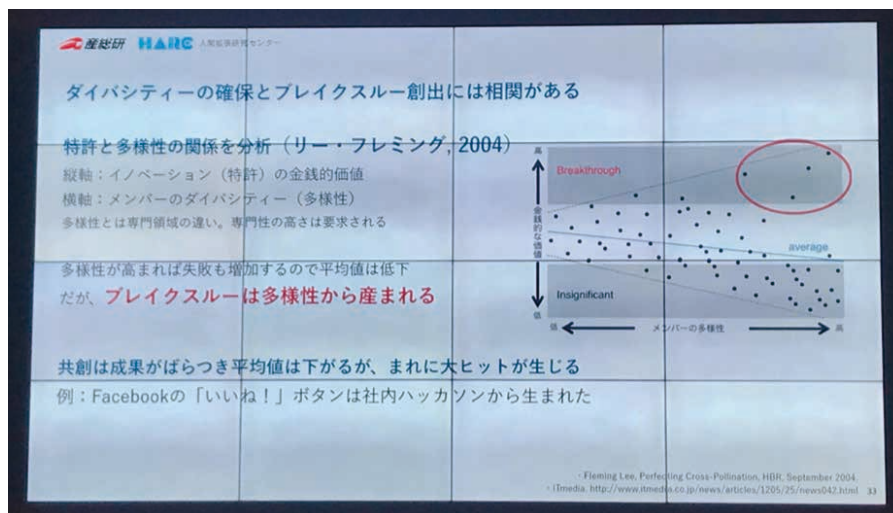
この公開授業で最も印象的だったのは、Twitter参加型の事前課題に、学生だけでなく周りの大人も広く積極的に参加していたことだ。江渡氏が言う「共創型イノベーション」が、ここにも仕掛けられているように感じた。

2020年度のSFCスピリッツ詳細はまだ未定だが、興味のある人はアンテナを張っておくといいかもしれない。

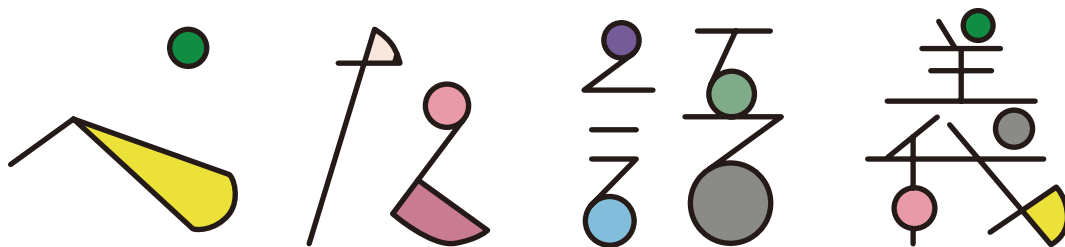
(2019年5月14日受付)

太田智美 tomomi.pepper@gmail.com

国立音楽大学卒業(音楽教育学科音楽教育専攻、音楽学研究コース修了)。現在、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科後期博士課程2年。「ヒトとロボットの共生」の研究に従事。2014年11月～ロボット「Pepper」と生活をともにしている、ヒトとロボットの音楽ユニット「miracapsule」結成。



■図-3 特許と多様性の分析



Vol. 104

CONTENTS

【コラム】携わるシステムが利用される楽しみ… 松浦 健二

【解説】ワークショップで小学生のための情報科学の授業を作った話… 原田 康徳

【解説】Processing でプログラミングに挑戦!—第 4 回アニメーションとインタラクション—… 杉浦 学

COLUMN

携わるシステムが利用される楽しみ



実世界の社会インフラとして、橋を架けたとか、道を通したなど、それぞれの仕事を成し遂げた方々は、それらの利用状況を見て、自らが成したモノに対して、陰に陽に誇りに思うことがあると想像します。情報学関係の分野では、たとえば研究者なら提案手法やアルゴリズムといった研究成果が、ほかの研究の糧や礎になることもあれば、教育者ならば自らが教育文脈で関係した人の成長を見ることも類すると思います。

情報基盤や情報システムの場合を想像してみます。そうすると、たとえば内製の場合では、システム導入当初、利用者から聞こえてくる声の中には、“今までと違う（戸惑い）”、“使いにくい（批判）”といったネガティブなものもあります。そんなときには、提供側は、それらに対して“システムや基盤は常に進化・改善されます”とか“手順書は読みましたか？”、のような心の声を発することもあるかと思います。状況を否定的に捉えず、“ああ、使ってもらえている”とか“なるほど、〇〇にはまだ改善の余地がある”などと肯定的な姿勢であれば、精神面でも健全です。外注システムの場合でも、要件定義や外部仕様への関与、あるいは運用への寄与など携わり方はさまざまですが、直接的でなくとも、ある種の冷静で真剣な思いがより良いシステムに繋がることはよくあります。

否定的な声は的を射ていることも多いので、ありがたくひとつひとつの声を冷静に分析しながら、システム改善に繋げていけば、次のシステムではその経験が活かされます。使われる楽しみを覚えるのは、どの程度工夫し、どの程度魂を込めた（ベストを尽くした）か次第な部分があります。技術的に工夫した部分が「はまる」と喜びは倍増です。工夫の中には、簡単なスクリプトの提供だけでも現場からは大変重宝されることもあります。ただし、ライフサイクル上の契機により終息するシステムもあり、終息が決まったときにはスパッと気持ちを切り替えられる素養も大切で、それには経験が必要です。

実世界の道や橋にも大小あって、その利用者も地域の方だったり世界中の方だったりするわけですが、情報システムでも同様です。情報システムの文脈で何等かの対岸に橋を架け、道を通すことでさまざまな方に貢献できれば、この世界で生きていくひとつの動機（楽しみ）になり得ます。もしこれからシステム提供側を目指すなら、さまざまな声を冷静に捉えて「めげずに楽しむ」ための経験と自信を持ちたいものです。

松浦健二(徳島大学)

ワークショップで小学生のための 情報科学の授業を作った話

原田康徳

デジタルポケット

きっかけ

とうとう小学校でのプログラミング教育が始まってしまいました。と言っても、みなさんご承知の通り、プログラミングを学ぶ科目ができたのではなく「プログラミング的思考」を身につけさせるという、なんとも不思議な内容になっています。これまでもコンピュータを操作する技術はいろいろと教えられてきましたが、コンピュータの中身に近づいたのは評価すべきだと思います。しかし内容が、30年くらい前のコンピュータ観で止まっていて、たとえば、順次、繰り返し、条件分岐がプログラミングの基礎というような授業が行われていたりします。これは間違いではないですが、制御構造だけ取り出しても意味はなく、変数とセットで教える必要があります。ところが変数を教えるのは難しいので、ロボットや亀に変数の代わりをさせますが、そもそも、制御構造だけ教えることってそんなに大事なの？と思うわけです。

コンピュータの技術は目まぐるしく変化しているなかで、小学生への教育を考えることはとても難しいことです。古いことは必ずしも基礎ではないですし、今の時代の最先端が、子どもたちが大人になるころでも最先端である可能性もほぼありません。専門家を育成する教育だったら全部教えればよいのですが、義務教育として市民全員が知らなければならぬことはどんなことなのか、その切り口を考えるのは非常に難しい。

そのためには、コンピュータの技術の変化を流れ

として見る必要があります。コンピュータの専門家たちはコンピュータをどのように考えているのでしょうか。ここで僕が言っているコンピュータの専門家というのは、コンピュータに関する技術を前に進める論文を書いたことのある人で、単にプログラミングを職業としている専門家ではありません。

そんなモヤモヤを吹き飛ばしてくれるチャンスがやってきました。僕に情報処理学会「夏のプログラミング・シンポジウム」の幹事をやらないかと。テーマは子どもに向けたコンピュータ教育。それで今までやってみたかった、コンピュータの専門家に子ども向けの授業を作ってもらうことにトライしました。

「課外授業 ようこそ先輩」というNHKの番組がありましたが、各界の有名人が母校に帰って良い授業をするという、あんなイメージです。授業はその分野の本質に迫っていて、大人が見ても感心するような内容です。

さあ、それを夏のプロシンのフォーマットに合わせてどうインプリするか。やったことのないことですから慎重になります。幹事団の議論は非常に盛り上がりました。

最初の山場は、参加者が集まるかどうか。会場費と参加費から赤字にならない最低参加人数は決まりますが、不安だらけなので対象を広め広めで募集しました。で、ありがたいことに結構な人数の参加と発表申し込みをいただきまして、そこから具体的な進行を考えるフェーズに入りました。

事前準備

最終的なゴールはモデル授業をいくつか作ること。グループに分かれて授業を作って最後にその授業の体験をして終わることにします。いままで思いついたことのない授業を作るという、とても創造的な活動になるはず。それで、効果の程は分かりませんが、全体をワークショップ形式で作ってゆくにしました。

僕は以前はワークショップを見様見真似でやってきましたが、ちゃんと基礎から学びたいと思い、10年前に青山学院大学の「ワークショップデザイナー育成プログラム」というのを受講しました。期間は3カ月ですが、ワークショップの基礎理論を学んで、実際にグループでワークショップを作ってそれを子どもたちにやってみるという内容です。今回はそこでの流れをかなり参考にしています。僕に加えて幹事の渡辺勇士さんもワークショップデザイナーですが、さらにグループに一人ずつそれが分かっている人に入ってもらいたい。でも仕事として頼むほどの余裕はない。ということで、普段ビスケットのワークショップをやっている方々でワークショップデザイナーの講座を修了した人たちにお手伝いに来ていただくことにしました。

インプット

例年の夏のプログラミングシンポジウムと同様に一般発表を募集しまして、それに加えて、模擬授業と基調講演もお願いしまして、参加者へのインプットとします。ざっくりとした会の時間割は、初日と2日目の午前中で、一般発表6件、模擬授業2件、基調講演、2日目の午後からグループで授業を作り始めて3日目の午前中に作った授業の体験をやって終わりという流れです。

模擬授業の1つは長崎県立大学の山口文彦先生に

よる高校生向け「暗号の話」出張授業です。1つはアルファベットが書かれたテープを2本用意して、鍵となる数だけずらして文字を置き換えるシーザ暗号の体験。もう1つは、表に公開する2つの数、裏に秘密の数1つが書かれたカードを使い、安全に暗号の鍵を伝える体験。なるほど、暗号もこういうやり方だったら分かりやすい。やり方を工夫すれば小学生にもできそうな内容でした。

もう1つの模擬授業は東北大学の中野圭介先生による「モデル検査のパズル化」です。列車の車両の部品があり、切り口の形で連結できるかどうかが決めている。両端が決まっているため、一定のルールでしか完成させることはできないが、遊びながらどんなルールが隠されているのかを探っていく(右の車両はパンダを1、カエルを0とする2進表記で上の列を3倍した数が下の列に現れるようである)。実際に小学生にやった内容だそうで、簡単そうに見えて意外と奥が深く面白かったです。この2つの授業のおかげで、参加者の皆さんにイメージが湧きやすくなったように思います(図-1)。

電気通信大学の久野靖先生には、いま先生が日本学術会議の中で策定されている「情報教育の参照基準」についての基調講演をお願いしました。大学生・高校生・中学生・小学生と各年代で非常に広い範囲で学んでほしい情報教育を網羅的に整理した基準の紹介です。そういうしっかりしたものがあるおかげで全体のバランスを気にせずに、参加者は羽目を外した内容に挑戦できるようになるだろう。という意図がありました。

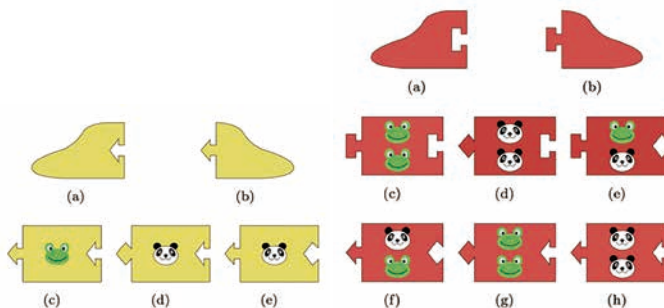


図-1 車両のパズル



グループ決め

参加者は若い学生さん、リタイヤされた大学の先生、バリバリの研究者、コンピュータを使えるレベルの素人の方と多岐にわたりました。それらからどうやってグループを作るかです。グループワークがうまく回らず、途中で喧嘩が起きてしまうのは論外ですが、専門家が頭の中で考えたものじゃなくて、ちゃんと素人に伝わる内容になっているかも大事です。つまり、グループの中に専門家と「子どもの視点に立てて」「適度に素人目線」な人が混ざっている必要があります。さらに、運営側でエイヤと決めてしまうのではなく、自由に好きな人と一緒になってもなく、なんらかの興味的一致する人たちが緩い必然性でグループができて、さらにグループ内で上下関係がなくフラットな関係が維持できるような人間関係。グループは2日目の午後までに決めたいので、その準備として初日の夜が使えます。通常なら懇親会で楽しくお話をする時間ですが、それをワークショップ的に何かできないか、と考えました。

それで、行ったワークショップは次のようなものです。

1) 自己紹介～コンピュータ自分史～

A3の紙に4つの質問について簡単に答え、それを持って、4人グループで自己紹介を3セット。質問内容は、子どものころ好きだった遊び、コンピュータとの出会い、衝撃を受けたコンピュータのエピソード、今の自分(専門分野)ということで、自分が子どもの頃を思い出しながら、どうして今の自分があるかを振り返ってもらいました。

2) コンピュータとは〇〇

自分が考えるコンピュータを一言で言い表してもらって、同じようにグループで話し合う時間。自分史からさらに進んでコンピュータに対するイメージを共有します。専門家が考えているイメージと、素人が考えているイメージの違いなどにも気づいてもらいます。

3) 「コンピュータとは」地図づくり

グループに分かれて模造紙上で、全員が考えたキーワードの地図を作りました。この作業が1つのグループワークですが、同じキーワードの集合なのにグループごとで分類の仕方が全然異なるなど面白い結果になりました。

4) モヤワード

1) から3) のワークを通じて、意味の分からない言葉、気になった言葉を「モヤワード」としてメモをしておき最後に回収しました。

この話題と進行は、さまざまなレベルの参加者が対等に語り合え、専門家があえてこだわりたくなるようなものを選びました(図-2)。

2日目の午後のグループ分けは、2段階で行いました。まずは、6グループがそれぞれ作った「コンピュータとは」の地図、モヤワード、個人的に提案されたテーマ(3つ)から、一人3票の投票で候補を6つに絞ります。そこから、自分が参加したいグループを自由に選びます。人数の制約は各グループ3～6名です。

これによって決まったグループは次のようになりました。

1. モヤワード「コンピュータに教える」
2. モヤワード「コンピュータの面白さが分からない」

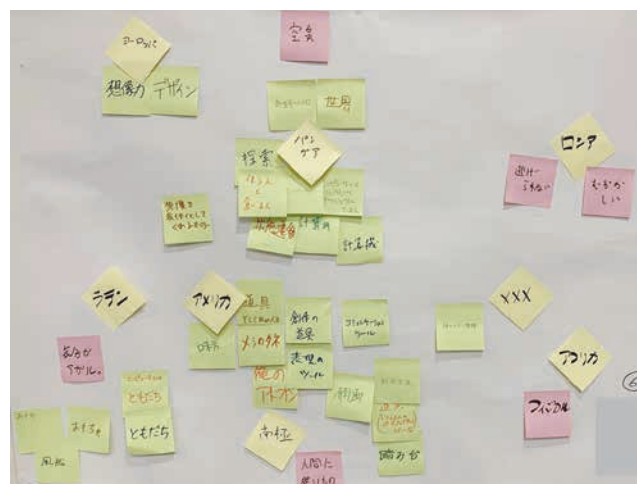


図-2 「コンピュータとは」の地図 各自が思っている「コンピュータとは〇〇」をグループごとに2次元に配置した例。このグループは世界地図に喩えてユニークに配置している

3. 地図「パンゲア」
4. 提案テーマ「先生にやりたいと思ってほしい授業」
5. 提案テーマ「playful で試行錯誤ができる講義から入らない小学生向けの授業とは？」
6. 提案テーマ「コンピュータサイエンスを国語で考える」

授業作り開始

ここから皆さんに作っていただく課題は次のような制約でお願いしました。

目的：コンピュータを知ってもらう

対象：小学生(中学生でも可)

時間：45分

場所：学校の教室

伝えたいこと：グループで考える

内容(体験と解説)：グループで考える

2日目の午後以降は、グループ単位での授業作りの時間としました。この時間はみなさんとても真剣に議論されていたようです。最終日に6グループの授業を2つずつ同時に実施し3セット行う予定でしたが、2日目で大体できてしまった2グループには夜に前倒しで実施してもらいました。いずれの授業も短時間で完成度の高いものを作っていたでき、ほかのグループへの良い刺激にもなったようです。予想されていましたが、消灯時間12時まで(お酒も飲まずに)作業をしていたグループもありました。

最終日の授業も、本当に幼稚園の手遊び歌から始めたグループも現れるなど、楽しい内容のものばかりでした。笑い声がおき真剣に取り組む様子が見られました。

授業をやって終わりではなくて、ここから改善の時間をとりました。そのために、授業ごとに参加者からフィードバックをもらいインタビューをしました。このやり方も、実際にワークショップデザイナーの講座で行われている手法をほぼそのまま使わせていただいています。

参加者には、改善のアドバイスではなく感想のみを付箋紙に書いてもらいます。

赤い付箋紙：面白かった・夢中になれたところ

青い付箋紙：やりづらかった・違和感を覚えたところ

我々は「面白かった」という感想の前に、つい改善点のアドバイスを言ってしまうがちですね。まずは、ポジティブな感想で、このオリジナルな授業を作ったことを称えましょう。ときには本当に重要なアドバイスが言えることがあるのかもしれませんが、しかし大抵の場合は「やりにくかった」という、実施している人たちが見えていない視点を伝えるだけで十分なのです。改善点は自分たちで見つけ出せるはずですし、その方が作った人たちの気分が良いですよ。

最後にまた40分ほどグループでフィードバックを受けて修正をし、グループごとに発表をして会は終了しました。

結果報告

できあがった授業をご紹介します。紙面の都合上、詳しくお伝えするのは最初の2つだけです。

●コンピュータの入力について勉強しよう

チーム：1-2-5木

ねらい：テーマ「コンピュータに教える」

情報を入力するとはどういうことか？についてAD変換／量子化の動作を体感してもらう

内容：同じ大きさの板を5枚ずつ重ねたもの、2枚ずつ重ねたもの、1枚ずつを複数個用意して、それをものさしとして長さを測り、相手に数で伝える。聞いた側はその数から長さを再現する。5のものさしだけを使った場合、2のものさしだけを使った場合、1のものさしだけを使った場合で、測る長さの正確さが違うことを体験する(図-3)。

解説：コンピュータにはものさしで計ったようにしか入力できない。エアコンは部屋の温度を計って動



くけれど、部屋の温度をどれくらい細かく計るのか、5のものさしのように飛び飛びで計るとちょうどいい温度で調整するのがむずかしくなる。

●コンピュータって面白いの？

チーム：フェイスホワイト

ねらい：コンピュータを知ってもらう

コンピュータは正確に動く

コンピュータはアホなことでも命令されたらやる

コンピュータの面白さは、自分が作る

コンピュータって面白いの？、面白さが分からない、を解消するために作った授業

内容：「start」ボタン1つと文字が入力できるマスが2×6行ある画面の動作を隠し自由に触らせ動きを探る。種明かしは「start」を押すと右のマスに文字がすべて消え、左のマスの数秒後、右のマスに文字を再表示するというもの。表示させる文字やタイミングを工夫して「何か面白いことをしてください」と指示し自由制作(図-4)。

解説：コンピュータは「正しいことしかしない」ではなく、「正しくないことも命令すれば、全力でやってくれる」。

「コンピュータが面白い」のではなく「コンピュータ」は命令を順番にやるだけ。



図-3 積木を重ねて作ったものさし。この厚さを単位として測る

「面白い」ことを考えるのは人間の役目だ。

●コンピュータとのかかわりを見つけよう

チーム：パンゲア

内容：「電気にかかわるもの・繋がるもの」「そうでないもの」の写真をたくさん撮り、それらの写真を「入っている」「おなじやくめ」といった接続するコマでつないでゆく対戦型ゲームを進める。IoTの時代を見据えて、身の回りのものとコンピュータとのかかわりを考えてゆくきっかけとする。

●コンピュータの気持ちになろう

チーム：ばわぼん

内容：命令カード：数字、「に移動」、「下に書く」、「右に書く」を並べてプログラムが作られている。それを解釈し実行すると絵がかける。用意されたプログラムを人間が実行して絵(漢字)を書いてみたり、与えられた漢字を描くプログラムを作ってみる。命令とデータ、抽象化、コンピュータは不満を言わない、といったことを学ぶ。

●意外と伝わらない!?「伝言ゲーム」

チーム：うさぎさんチーム

内容：用意された絵(「イ」の逆さまのような)を数字を使わずに相手に伝えて、書いてもらう遊びを通じて、曖昧な指示の伝わりにくさ(コンピュータは数字の指示が得意)、言葉を節約する方法を通じて抽

Start	
0	すもも
0.2	も
0.4	もも
0.6	も
0.8	もも
1.0	のうち

図-4 画面の例

象化を学ぶ。また、できあがった絵が錯覚になっている二重の驚き。

● 観察して・まぜて・面白くする国語

チーム：いいができた

内容：「タオルを」「首に巻いている」といった文の主語と述語を交換し、意味の通らない文を作る。意味が通るように間に入る言葉を考える。国語とコンピュータの面白さを伝える授業。

授業を本にしたらどうかといったアイデアもありましたが、実現には至ってません。

いずれにしても、元々は小学校への教育にもっと骨太なコンピュータを伝えたいというところにありました。10年後の次の学習指導要領の改定まで、ゆるゆると進めて行けばとも思います。これを読まれたみなさんも、授業を作ってみたくありませんでしたか？ ぜひ作ってみて、いろいろな形で広めていきましょう。

(2020年2月13日受付)

これからどうする？

元々子どもへの教育に興味のある人たちが集まったこともあって、皆さんはとても楽しそうに授業作りにかかわってくださいました。どの授業もオリジナリティに溢れるものとなったと思います。次の課題は、これをどのように次の活動につなげるかです。実際に本物の小学生相手にやってみるとか、できた

原田康徳 hakase@viscuit.com

ビスケット開発者。博士（工学）。ワークショップデザイナー。1963年北海道生まれ。1992年北海道大学大学院情報工学専攻博士後期課程修了。1992～2015年日本電信電話（株）NTT基礎研究所、NTTコミュニケーション科学基礎研究所 1998～2001年JST さきがけ研究員。2004～2006年、2010～2013年 IPA 未踏ソフトウェア創造事業プロジェクトマネージャ兼務。NTTを退職後、合同会社デジタルポケット設立。



Processing でプログラミングに挑戦！

—第4回 アニメーションとインタラクション—

杉浦 学

鎌倉女子大学

前号の宿題

前号では、カラフルな円の模様 (図-1) を描く宿題を出題しました。

● 前号の宿題



図-1 カラフルな円の模様

この宿題の解答例をスケッチ 1 に示します。7 行目から 12 行目では、前号で解説した「繰り返し」と「乱数」を利用しています。繰り返しの for ループを二重にすることで、横一列に円を描く (内側のループ) ことを、画面の上から下まで (外側のループ) 行っています。

```
1 //描画の準備
2 size(480,480);
3 background(0);
4 noStroke();
5
```

```
6 //カラフルな円を敷き詰める
7 for(int y=0; y<=height; y+=40){
8   for(int x=0; x<=width; x+=40){
9     fill(random(256),random(256),random(256));
10    ellipse(x,y,35,35);
11  }
12 }
```

スケッチ 1 カラフルな円の模様を描く (宿題の解答例)

二重の for ループの部分について、詳しく解説しておきます。内側の for ループ (8 行目から 11 行目) で 40 ずつ x を増やすことを繰り返し、さらにそれを外側の for ループ (7 行目から 12 行目) で 40 ずつ y を増やしながら繰り返します。最初に、外側の for ループで y が 0 からスタートし、内側の for ループで x が 0 から width (今回は 480) まで 40 ずつ増えていきます。具体的には、x が 0 → 40 → 80 → 120 → (中略) → 400 → 440 → 480 と増えていくことで合計 13 個の円を描くことになります。この間は y の値は 0 なので、ウィンドウの一番上 (図-2 の上) の位置に円を描くことになります。次に y を 40 増やし、同じように x を 0 から 480 まで増やしながら 13 個の円を描きます (図-2 の下)。このような動作を行うことで、ウィンドウの一面に円が敷き詰められていきます。

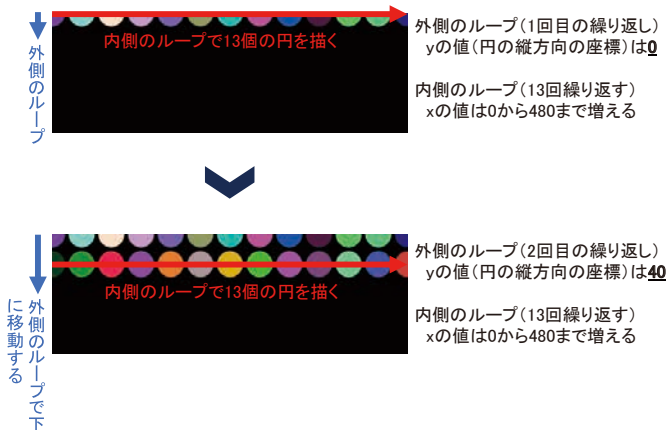


図-2 二重の for ループの動作と描画結果

```

1 int x=0;
2
3 void setup() {
4   size(480,120);
5   noStroke();
6 }
7
8 void draw() {
9   background(204); //残像を消す
10  ellipse(x,60,9,9);
11  x++; //円を右に少し動かす
12 }

```

スケッチ 2 移動する円のアニメーション

アニメーション

ここからは Processing でアニメーションを表現する方法について解説していきます。これまで作成してきたスケッチは、1行目から順番に処理が実行され、最後の行に到達すると実行が終了していました。

Processing では、スケッチ 2 のように記述することにより、アニメーションを作ることができます。スケッチ 2 を実行すると、白い円がウィンドウの左から右に移動していくアニメーションが表示されます (図-3)。スケッチ 2 では、1行目で x という変数を宣言し、0 を代入しています。これは円の横方向の位置を保存しておくための変数です。3行目から6行目の void から始まる部分と、同じく8行目から12行目の void から始まる記述は「関数」と呼ばれる部品です。void という記述以外で関数を書き始める場合もありますが、ここでは説明を省略します。void の後に半角のスペースを入れて、関数の名前を書きます。アニメーションを作る場合は「setup」と「draw」という名前にしておく決まりです。名前の後には「(」と「)」を書きます。今回は空の括弧ですが、括弧の中に何かを書く場合もあります。次に「{」と「}」で関数の範囲を指定します。

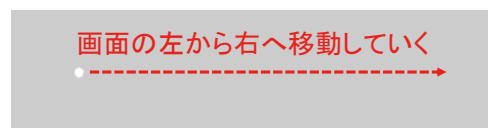


図-3 スケッチ 2 の実行結果

setup 関数と draw 関数を用意したスケッチは、図-4 に示した順序で実行されます。スケッチ 2 の場合は、最初に1行目の変数 x の宣言が実行された後に、setup 関数の「{」と「}」に囲まれた部分が1回だけ実行されます。ここではウィンドウの大きさと輪郭線なしの初期設定をしています。次に draw 関数の「{」と「}」に囲まれた部分が、スケッチの実行が終了されるまで (■のボタンが押されるまで)、1秒間につき60回繰り返して実行されます。スケッチ 2 の場合は、画面全体を一度塗りつぶし、変数 x を x 座標にした位置に円を描き、x を1増やすという3つの処理が繰り返されることとなります。結果として、円が左から右に動くアニメーションが実現できます。

スケッチの書き方

```

ここにスケッチ全体で使う変数を宣言する
void setup() {
  ここに最初に1回だけ実行する処理を書く
}
void draw() {
  ここに繰り返す処理を書く
}

```

実行の順番

- ① 変数宣言を処理
- ② 準備の処理を実行
- ③ 停止ボタンが押されるまで繰り返す

図-4 アニメーションを表示するスケッチの仕組み



描画の結果はウィンドウに残るので、円が移動しているように見せるために、9行目でウィンドウの全面を灰色に塗りつぶしています。この塗りつぶしの処理がないと、円が移動していくたびに前回の描画の結果が残るので、図-5のように白い棒が伸びていくようなアニメーションが表示されます。

円が次々と重なって描かれる

図-5 円が重なって描画される

□ 練習問題

前回の宿題の解答例(スケッチ1)をアニメーションに改造してください。スケッチを実行するとさまざまな色の円がウィンドウに表示されるようにしてみましょう。draw関数が1秒間に実行される回数(フレームレートと呼びます)を5回に設定するために、setup関数にframeRate(5);を追加しましょう。



<解説>

前号の宿題をアニメーションさせるスケッチの例

```
1 void setup() {
2   size(480, 480);
3   background(0);
4   noStroke();
5   frameRate(5); //1秒間にdraw関数を5回実行
6 }
7
```

```
8 void draw() {
9   background(0); //前のフレームの描画結果を消す
10  for(int y=0; y<=height; y+=40) {
11    for(int x=0; x<=width; x+=40) {
12      fill(random(256), random(256), random(256));
13      ellipse(x, y, 35, 35);
14    }
15  }
16 }
```

■ インタラクション1 マウスの座標

アニメーションの方法が分かったところで、次はマウスやキーボードなどのユーザの入力に反応する「インタラクション(対話的なやりとり)」について解説していきます。

スケッチ3のようにすることで、マウスの位置に円が描けるようになります。実行をしてウィンドウの中でマウスを動かした後の様子を図-6に示しました。3行目のfill関数は2つのパラメータをとっていますが、2番目は透明度で0(完全に透明)から255(不透明)の値で指定します。これにより、少し透けた黒色の円を描くように設定しています。8行目のmouseXとmouseYは、現在のマウスの位置の座標が格納されている変数です。これらの変数は、heightやwidthと同じように宣言をしないで使える変数のうちの1つです。8行目でマウスの位置を中心にして円を描くように指定しています。マウスを速く動かした場合は円の重なりが少なくなって薄い黒色に、ゆっくり動かすと重なる円の数が増えるため濃い黒色になります。


```

1 void setup(){
2   size(480,120);
3   fill(0, 102);
4   noStroke();
5 }
6
7 void draw(){
8   ellipse(mouseX, mouseY, 9, 9);
9 }

```

スケッチ 3 マウスの位置に円が描かれる
(文献1) p.58 より)

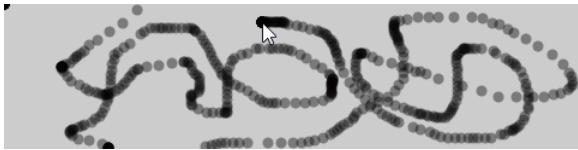


図-6 スケッチ 3 の実行結果

インタラクション 2 マウスクリック

マウスの位置だけでなく、マウスボタンの状態を調べることもできます。マウスのボタンが押されると、`mousePressed` という変数の値が変化します。この変数の型はブーリアン型と呼ばれており、変数の値は真 (true) か偽 (false) のどちらか一方です。マウスのボタンが押されている間は、`mousePressed` の値は真 (true) となり、押されていない場合は偽 (false) となります。

この変数の値を調べることで、マウスがクリックされたときに特定の処理を実行することができます。まずはこの部分について詳しく考えていきましょう。スケッチ 4 では、マウスのボタンがクリックされたときに線の色が変化 (図-7) します。

```

1 void setup(){
2   size(240,120);
3   strokeWeight(30);
4 }
5
6 void draw(){
7   background(204);
8   stroke(102);
9   line(40,0,70,height);
10
11 // マウスがクリックされていたら線を黒に
12 if (mousePressed==true) {
13   stroke(0);
14 }
15
16 line(0,70,width,50);
17 }

```

スケッチ 4 マウスのクリックに反応する
(文献1) p.64 より)



ウインドウの中でマウスのボタンをクリック

図-7 スケッチ 4 の実行結果

ある条件が成立しているかを調べて、成立しているときにだけ指定した処理を実行したい場合は、スケッチ 4 の 12 行目から 14 行目のように if を使った「条件分岐」を記述します (図-8)。条件分岐は繰り返しの for ループと似ています。括弧中の条件の記述は、前号で紹介した比較演算子を使って記述します。

```

if(条件){
  条件が成立したときに実行されるコード
}

```

スケッチでの書き方

参考:ブロック型の言語では

```

if (mousePressed) {
  stroke(0);
}

```



条件に記述する変数の値が真偽の場合は == true を省略できる

図-8 条件分岐の記述方法



ある条件が成立したときと、それ以外のときに別々の処理を実行したい場合は、ifの「{」と「}」の後にelseを追加します。スケッチ4の条件分岐の部分(12行目から14行目)を、elseを使ったものに変更したものをスケッチ5に示します。実行結果と動作の解説は図-9をご覧ください。

```
if(mousePressed){
  stroke(0);
}else{
  stroke(255);
}
```

スケッチ5 elseを追加したスケッチ4の抜粋(文献1) p.65より)

ボタンのクリックなし



```
if (mousePressed) {
  stroke(0);
} else {
  stroke(255);
}
```

ボタンのクリックあり



```
if (mousePressed) {
  stroke(0);
} else {
  stroke(255);
}
```

図-9 スケッチ5の動作と解説

● 練習問題

最後の練習問題として、簡単なアート作品を作成してみましょう。以下に示したスケッチは、毎回同じ位置に、1秒間に1回ずつ、半透明の赤い円が繰り返して描かれます。

```
1 void setup() {
2   size(800,600);
3   background(0);
4   noStroke();
5   frameRate(1);
6 }
7
8 void draw() {
9   fill(255,0,0,90); //90は透明度を指定
10  ellipse(400,300,30,30);
11 }
```

このスケッチを、位置と色と大きさがランダムな円が増えていくようなアニメーションに変更してみましょう。



次のような順番で作業をしてみるとよいでしょう。

Step1: 円の描画位置を毎回異なる値に変更しましょう。x座標とy座標にrandom関数を使って乱数を指定しましょう(横は0からwidth, 縦は0からheight)。

Step2: 円の色を赤で固定ではなく、いろいろな色に変更してみましょう。fill関数のRGBのそれぞれの値をrandom関数で置き換えます(0から255)。

Step3: 円の大きさを50以上・200未満の間でランダムになるようにしてみましょう。

注意: 横幅と縦幅を一緒にしないと正円にならないので、生成した直径を変数に保存し、横幅と縦幅の両方で参照しましょう。

ランダムな直径を変数に保存するヒント:

```
float diameter = random(50,200);
```

Step4: フレームレートが少し遅いので、1秒間に10フレームが実行されるように変更しましょう。

一通り完成したら、マウスをクリックしている間だけアニメーションが進んだり、マウスの位置に円が描かれたりといったアレンジを試みるのもよいでしょう。

<解説>

Step4 まで作業をしたスケッチの例

```
1 void setup(){
2   size(800,600);
3   background(0);
4   noStroke();
5   frameRate(10);
6 }
7
8 void draw(){
9   fill(random(256),random(256),random(256),90);
10  float diameter = random(50,200);
11  ellipse(random(width),random(height),diameter,diameter);
12 }
```

投稿のすすめと発展学習

これまで4回にわたって、中高生のジュニア会員の皆様を读者に想定した連載を掲載しました。ページ数の都合から詳細の説明を省いた部分もありますが、Processingのようなプログラミング言語と、それをを用いた創作活動に興味を持つきっかけとなれば幸いです。

また、ジュニア会員の皆さんがプログラミングに挑戦した結果は、ぜひ本誌の連載「集まれ！ジュニア会員！！」のページに投稿（投稿方法は <https://www.ipsj.or.jp/magazine/jrlist.html> を参照）してみましょう。たとえば、最後の練習問題を少しアレンジしたような、シンプルなスケッチも大歓迎です。

Processingはさまざまな創造的な表現をする仕組みが整っています。最初の一冊としては、文献1)

に示した『Processingをはじめよう』がおすすめですが、より発展的な内容も含めて学習したい場合は、文献2)に示した『Processing クリエイティブ・コーディング入門』も手に取ってみてください。

参考文献

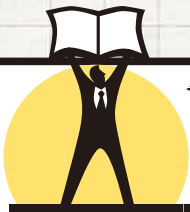
- 1) Reas, C., Fry, B. 著, 船田 巧 訳: Processingをはじめよう 第2版, オライリージャパン(2016).
- 2) 田所 淳: Processing クリエイティブ・コーディング入門—コードが生み出す創造表現, 技術評論社(2017).

(2020年1月4日受付)

杉浦 学 (正会員) manabu@kamakura-u.ac.jp

鎌倉女子大学家政学部家政保健学科准教授。慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程修了。博士(政策・メディア)。プログラミング教育をはじめとした情報教育に関する研究に組み込む。中高生向けの著書に『Scratchをはじめよう! プログラミング入門 Scratch3.0版』(日経BP社)など。





連載

ビブリオ・トーク
—私のオズメー—

… 齋藤俊則 (星槎大学)

マインドストーム

子供、コンピューター、そして強力なアイデア

シーモア・パパート 著, 奥村貴世子 訳

未來社 (1995), 276p., 3,500 円+税, ISBN : 978-4-624-40043-9



著者 Papert と本書について

本稿では Seymour Papert (1928 ~ 2016 年) による『マインドストーム 子供、コンピューター、そして強力なアイデア』(以下、本書)を取り上げる。Papert は本誌読者の間では数学者および人工知能を専門とする計算機科学者として知られていると思われるが、発達心理学の大家である Jean Piaget の下で学習に関する研究に携わり、プログラミング言語 LOGO の開発ほか教育分野で多くの業績を残している。本書は 1980 年に出版された彼の教育分野での最もよく知られた文献であり、情報教育にかかわる世界中の教育者や研究者たちがこの分野の古典として挙げる 1 冊である。私は本書にコンピュータと教育の問題を考える上でいまだ多くの有益な示唆があると考え、そこで本稿では 3 つの問いを手掛かりに本書を紹介する。

Papert の考える学習とコンピュータ

1 つ目の問いは、Papert は本書の中で子どもの学習とコンピュータとの関係をどのように描いたのか、である。本書で彼は、タートル^{☆1}を用いて絵を描く子どもたちの学習過程に言及しつつ、Piaget の下で形成した彼の学習観^{☆2}を開示する。子どもの学習とコンピュータとの関係についての考察は本書の骨子である。

まず Papert が子どもの学習について強調するのは、感情面を含めて子どもが積極的なかかわりを見出すことのできる「対象物」と、子どもが思考を形作るため

に利用可能な「素材」の重要性である。たとえばタートルで花の絵を描くとき、タートルや花はその子どもにとって自らの身体や自我や取り巻く文化と切り離せない(彼によれば「同調的」な)対象物であり、タートルを動かす LOGO の命令は子どもの思考を形作る素材である。彼にとって学習とは、学び手が対象物との「親しみ」を深めながら、周囲の素材を借りて自らの思考を構築してゆく過程である。

Papert の学習において重要な点は、子どもが構築した思考は、それが本人にとって役立つ間は尊重されるべき点とする点である。その思考が役に立たない(たとえば納得できる解決方法が得られない)ような対象物との出会いこそが、子どもが自らその思考を作り直す契機となる。彼によれば、子どもが自ら作り上げた思考は、大人から見て「正しくない」ものであっても、より高度な思考への発達に不可欠な「過渡的なシステム」として尊重されるべきなのである。思考を対象物に合わせて作り直す過程は、間に合わせの素材で必要なものを作り出す繕い仕事(ブリコラージュ)のようであり、しかしその本質は研究者が行う理論構築にも通ずる。

Papert の描く学習において、コンピュータ(およびタートルのような制御可能な対象物)は子どもが自らの思考を構築するための「過渡的な対象物」の役割を果たす。タートルに命令を与えるとき、子どもはコンピュータを支配する積極的で自律的な学習者となる。このとき子どもは、LOGO という「言葉」により自らの思考を対象化し表現する。言葉を介して思考を対象化し手順として表現する過程は、子どもを「認識論

☆1 Papert が開発した LOGO で制御される亀形のロボット。移動した軌跡に線を描くことができる。

☆2 現在それは構築主義的学習として知られる。

者」に仕立て上げる。この過程が子どもの思考の成長を促すという。

Papert が希求した変革

2つ目の問いは、Papertの希求する「変革」とはいかなるものであり、何がその希求を生み出したのか、である。本書の中で彼は、学校や家庭で「コンピュータを用いて今日何がなされているか」について、危惧とともに、その在り方に「基本的な変革をもたらすような刺激」を与えたいという意味を示している。しかも「そのような変革の根底は政治的である」という。

Papertは社会によるコンピュータの受容の仕方に表示される「コンピュータ文化」は、既存の文化との関係の中で形作られると考える。その上で、学校や家庭に浸透しつつあるのは、コンピュータを子どもの思考を統制する手段として用いる（すなわち「コンピュータが子どもをプログラムする」）コンピュータ文化であるという。これは彼が理想とする「子どもがコンピュータをプログラムする」コンピュータ文化とは対極である。彼は数学教育において意味を無視して暗記を強いる「分裂的」な教育が横行すること、その背景として、コンピュータ以前には子どもが数学を言葉として同調的に学ぶことを可能にする対象物がそもそもなかったことを指摘する。この分裂的な教育が主流文化の中に定着する状況でコンピュータが用いられたことが、「子どもをプログラムする」コンピュータ文化を必然化した。

ここから、Papertが希求する変革とは、子どもを統制するコンピュータ文化に見られる社会の保守性に対する変革であると言える。彼にとっての社会の保守性とは、たとえば「コンピュータをプログラムする子ども」と「コンピュータにプログラムされる子ども」が出身階層によって分けられてしまうような社会構造の動かしがたさである。この変革はまた、論理と形式に偏重することで多くの人を排除してきた教育の中に、人がそれぞれの必要に根ざして作り上げる、質的で直観的な「強力な概念」の地位を取り戻す変革である。LOGOやタートルなどの彼の発明は、コンピュータが過渡的な対象物となることで、あ

らゆる子どもが自らの学習の支配者として、身体、自我、文化と同調的に学ぶことを可能にするための準備である。そして変革への希求の根底には、新しいコンピュータ文化のもとで誰もが知識の創造者となり得る社会の到来に向けた彼の理想と展望があったのではないかと私は考える。

現在のコンピュータと教育の問題に与える示唆

3つ目の問いは、本書は現在のコンピュータと教育の問題にいかなる示唆を与えるのか、である。本稿の最後に、私が本書から読み取った2つの示唆を示す。

1つ目の示唆は、本書の中に「学習者中心」の情報教育のモデルがあるという点である。今日の教育政策の焦点は学習者中心の教育の実現に置かれている。

それに対して本書が示すのは、学習者が「学習の支配者」として自らの学習に参画する教育の在り方とそれを実現するコンピュータの可能性である。たとえばプログラミングの教育的意義はすべての子どもに自律的な思考の構築者として学習に参画する機会を与える点にあり、技術習得はその後についてくるものである。

2つ目の示唆は、本書がコンピュータと教育の問題を社会や文化に対する理想と展望のもとで思考するための素材を提供する点である。本書においてPapertは、子どもたちを、統制を旨とする教育から解放し、コンピュータの力を借りて自律的で積極的な学習者へと成長を促す教育を実現するための理想と展望を示した。その内容はコンピュータと教育のかかわる問題において、学習者中心のテーゼを空文に終わらせたくないすべての当事者を勇気付けるものである。その意味で、本書は、あらゆる人が権威に頼らず、自らの言葉で新しい教育と強力なコンピュータ文化への理想と展望を描くにあたっての、同調すべき過渡的な対象物であり、かつ強力な概念を生み出す素材であるといえる。

(2020年1月6日受付)

斎藤俊則（正会員） t-saito@gred.seisa.ac.jp

星槎大学大学院教育実践研究科准教授。本会誌編集委員会専門委員会（教育分野/EWG）幹事。本会IFIP委員会TC3（教育）代表。WCCE 2021開催準備委員会委員長として同会議の広島開催の準備に取り組む。



Jacot, Arthor, Gabriel, Franck and Hongler, Clement : Neural Tangent Kernel : Convergence and Generalization in Neural Networks

Advances in Neural Information Processing Systems, 31 (2018)

深層学習の不思議

深層学習は驚くほどの成功を収め、一躍 AI の寵児となった。それは非線形系の確率降下学習という、私やロシアの Tsybakov が大昔に提唱した単純な方法に基礎を置きながら、多くの工夫と発見を加えて素晴らしい成果を生み出し、大げさに言えば社会や文明の仕組みを変えるという。

なぜうまくいくのだろうか。深層学習の解は説明不能であるから信用できないという話がある。しかし、それはないものねだりで、元々深層学習は大量のデータから、良く合う実験式を作りだしているにすぎない。いまのところ、やってみてうまくいけばよい、というところに落ち着いて、理論がない。しかし、やはりなぜうまくいくのかという納得のいく説明はほしい。

理論的な問題

深層学習は、大量のデータの下でこれに合う実験式を学習で作る非線形の系である。しかも大量の可変パラメータを含む。このとき、2つの理論的な問題が生ずる。1つは極小解である。確率勾配降下法は、大規模系では極小解に落ち込んで使い物にならないのではないかとされていた。ところが、多層神経回路網においては、パラメータ数 p を増やせば、極小解でもその値はほとんどみな最小解の値に近づき、つまり極小解に捉われる

心配はいらないということが実験的に分かり、理論的にも明らかにされた (Kawaguchi, 2019)。

もう1つ、もっとひどい難問は、汎化誤差である。古典統計学は、データ数 n に対して、パラメータ数 p (神経回路の可変パラメータ) を増やしていけば、始めは訓練誤差も汎化誤差も減るが、あるところから、訓練誤差は減るものの汎化誤差は増え始め、 $p=n$ では収拾がつかなくなることを教えた。その限界点を与えるのが赤池の AIC である。これについても、近年理論が出だした。 p を増やしていくと、訓練誤差は減って0になるものの、汎化誤差はあるところから上昇に転ずる。しかしこれが n を超えて大きくなる過剰パラメータ領域では、 p を増やすとまた減少に転ずるというのである (Belkin ら, 2019)。これを汎化誤差の二重降下 (ダブルディセント) という。これはまだ、特殊なモデルでしか調べられていないが理論は着実に進展している。

神経接核理論 (neural tangent kernel) の衝撃

本稿で紹介する神経接核理論はこんな風潮な中で現われ、理論研究を加速した。いまはまだその衝撃の渦中にある。多層神経回路の入力を x , 出力を y (簡単のため1次元とする)、学習すべきパラメータを θ としよう。 θ はきわめて次元の高い p 次元のベクトルとしよう。入出力関係を $y=f(x, \theta)$ と書き、こ

れを n 組の学習データ $D = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$ を用いて学習する。ここで、 $p \gg n$ という過剰パラメータ領域を考える。

θ の学習は、損失関数の勾配を用いて行う。初期値としてランダムに選んだパラメータ（正確には独立で平均0のガウス分布から選ぶ） θ_0 を使う。 θ の変化を、簡単のため時間微分 $\dot{\theta}$ を用いて書く。二乗誤差を損失関数とする学習方程式は、 η を定数として

$$\dot{\theta} = \eta \langle \partial_{\theta} f(x', \theta) e \rangle \quad (1)$$

のようになる。 $e = y' - f(x', \theta)$ は誤差である。 $\langle \rangle$ は学習データ $D = \{(x', y')\}$ を用いた平均。これにより θ が変化するのだが、 θ の変化ではなくそれによって関数 $f(x, \theta)$ がどう変わるかを直接に見よう。関数 f の変化は θ の学習による変化が原因で起こるから、時間微分を用いて、

$$\dot{f}(x, \theta) = \partial_{\theta} f \cdot \dot{\theta} = \eta \langle \partial_{\theta} f(x, \theta) \cdot \partial_{\theta} f(x', \theta) e \rangle \quad (2)$$

と書ける。ただし、ここでは x は関数 f のパラメータで、 x' が学習に使う例題である。

$$K(x, x', \theta) = \partial_{\theta} f(x, \theta) \cdot \partial_{\theta} f(x', \theta) \quad (3)$$

と置けば、関数 f の学習は

$$\dot{f} = \eta \langle K(x, x', \theta) \{y' - f(x')\} \rangle \quad (4)$$

のように一見 f についての線形式に見える。

$K(x, x')$ を神経接核（カーネル）といい、この式はデータ D の x' が、未知の x に対してどのように影響するかを表す。ここから関数の空間での f の方程式が得られる。 K は θ に依存するから、上記の方程式は f について線形とは言えない。ところが、驚嘆すべき事実として、本論文は学習が進んでも K の変化は微小であること、すなわち、 K はランダムに選んだ初期値からほとんど変化しないまま学習が最適解に収束すること、したがって関数空間では線形であることを明らかにした。

K がほとんど変化しないということは、任意にランダムに選んだ θ_0 のごく近傍に最適解があるということを意味する。ランダムに選んだ θ_0 は方々に散らばっているだろう。だから、最適解に対応

するものはどの θ_0 の近くにもあって、方々に散らばっているということになる。

明快な説明はないか

この事実は衝撃的である。深層学習のパラメータの空間は、とてつもなく複雑で面白い構造をしているように見える。そしてこの事実を証明する論文も現れ始めた（たとえば、Allen-Zhou ら、2019）。私は、この神経接核の論文を本誌に紹介しようと決めて、その証明を理解しようとしたが、その仕組みが腑に落ちるようには理解できない。これでは紹介が満足にできない。それならば自分で考えるしかない。

こうしてたどり着いた私の結論は以下のような幾何学的描像である。ランダムに選んだパラメータは p 次元のパラメータ空間で、半径1の球面上に一様に分布している。このどれを選んでも、その近くに正解があるのだった。データ数 n は p に比べれば格段に小さい。だから、正解はもちろん多数ある。 p 次元の球面を n 次元の部分空間に射影してみよう。データを説明するにはこれで十分である。初期ランダム解を射影すればこれは n 次元球面上に一様に分布するわけではない。高次元のマジックで、 $p \gg n$ ならばこれは原点の近傍に集積してしまう。だから、正解を元の次元に逆射影しなおせば、どのランダムな θ_0 をとってもそのごく近傍を通るということになる。何のことはない、高次元幾何学のマジックであった（これについては arXiv:2001.06931 を見よ）。

深層学習の理論はいま、急速に発展しつつある。これからその発展を見守りたい。

(2020年1月9日受付)

甘利俊一 amari@brain.riken.jp

1963年東京大学大学院修了、九大助教授、東大教授を経て、理化学研究所脳科学総合研究センターにて研究。東京大学名誉教授、理化学研究所栄誉研究員。文化勲章受賞。



NeurIPS 2019 参加報告

国際会議 NeurIPS の概要

NeurIPS (The Conference on Neural Information Processing Systems) は、Neural Information Processing Systems Foundation が主催する機械学習および計算論的神経科学に関する国際会議であり、特に機械学習分野では ICML と並びトップ会議として広く認められている。会議名は長らく NIPS と略されてきたが、性的な単語や日本人に対する蔑称を想起させるとして、2018 年から公式に略称が NeurIPS へ変更された。毎年 12 月に開催され、今回で 33 回目の開催を迎えた。

NeurIPS 2019 は 2019 年 12 月 8 日から 14 日にかけてカナダのバンクーバーで開催され、過去最多となる 13,000 名を超える参加があった(図-1)。前回の会議は参加登録サイトをオープンして約 12 分後に登録数が上限に達して売り切れるという事態が発生したため、今回は抽選による参加登録が導入された。論文数も過去最多の 6,743 本が投稿され、1,428 本 (21.1%) が採択された。採択論文は本会議にてポスター発表が行われるほか、一部は 15 分 (Oral) あるいは 5 分 (Spotlight) の口頭発表も行われた。論文やポスター、口頭発表の映像などは会議の公式サイトからダウンロード・閲覧可能である。本会議では、4トラック並列の口頭発表後にポスター発表が 2 時間、というサイクルが午前と午後で各 1 回あり、これが 3 日間続いた。これに加えて、招待講演が 7 件、デモ展示が 29 件、スポンサー展示が 81 件、本会議の 2 日前に Industry Expo、本会議前日にチュートリアル 9 件、本会議後 2 日間に 51 件のワークショップがあり、非常に盛りだくさんのイベントであった。特にポスターセッションが盛況で、一部のセッションでは参加者が会場に入りきれないという事態が生じた。また、全体としてのパーティはレセプションとフェアウェルのみで、本会議中にはソーシャルイベントが 15 件開催されていた。

NeurIPS 2019 の会議としての動向

NeurIPS における研究の動向について紹介する前に、

会議としての動向についていくつかご紹介したい。

再現性

近年、論文で報告された実験結果が再現可能であることを保証するため、ソースコードが提出可能な会議が増えており、NeurIPS もその 1 つである。NeurIPS 2019 で採択された論文の実に 75% の論文がソースコードを提出しているほか、第三者による再現・報告を行う Reproducibility challenge という催しも行われており、今後も再現性を重視するトレンドは続くと思われる。

Global IT giants の存在感

75 本以上の論文が採択された機関は 4 つしかないが、このうちの 2 つがいわゆる global IT giants である (Google と Microsoft)。特に 1 位の Google からは 170 本の論文があり、全体の約 12% を占める。ほかにも Facebook から 43 本、IBM から 36 本、Amazon から 24 本の論文が採択されており、各企業が機械学習技術の研究開発に多大な投資を行っていることが分かる。参考までに、日本からは、理化学研究所の 21 本がトップである。

スポンサー・リクルーティング

NeurIPS 2019 では 103 もの企業・機関がスポンサーとなった。最上位の Diamond sponsor は 19 社で、日系企業はソニーのみである。各スポンサー企業のブースでは、機械学習技術に関する取り組みが展示されるとともに、積極的な採用情報の展開が行われていた。本会議 2 日前の Industry Expo も想像以上の賑わいを見せており、本分野の人材獲得合戦が激しいことがよく分かった。

公平性

公平性担保のためのマイノリティへの配慮が多く見られた。各参加者が「どのように呼ばれたいか (he or she or they)」を示したバッジ貼付用シールが用意されていたり、gender-neutral 用のトイレが設置されていたりした。また、Black in AI や Woman in AI などの affinity workshop も開催されていた。機械学習分野でアカデミアを主導する本会議が、社会的に公平・オープンであるとする姿勢が強かうかがえた。

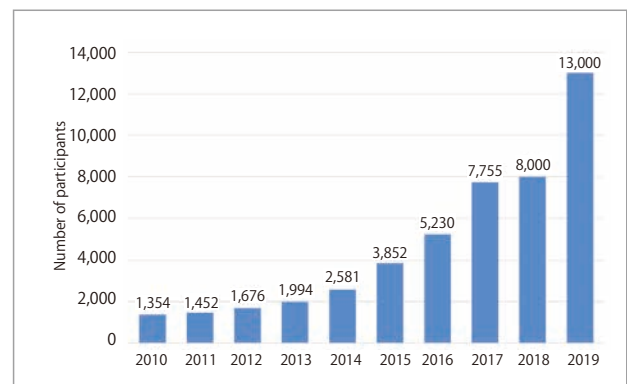


図-1 NeurIPS 参加人数の推移

NeurIPS 2019 の研究動向

最初に会議全体の研究動向についてまとめた後、目立った研究トピックについて紹介する。ただし、機械学習分野は非常に広範であるため、ここで紹介する論文は筆者が興味を持つ技術に偏っており、強化学習やグラフニューラルネットなどの重要なトピックが紹介されないことについては注意されたい。

全体的な傾向

NeurIPS 2019 において採択論文が多かった subject area を、論文数順に並べたものを表-1 に示す。1位は deep neural networks による生成モデルの学習であり、ICCV・CVPR などの応用分野のトップ会議と同様に大きなトレンドとなっていることが分かる。また、Applications カテゴリは比較的少なく、オープニングでの話では、投稿数は多いものの採択率が低かったようである。そのような中でも、AI の安全性・公平性・説明性を取り扱う AI ethics 関連は 7位と 12位にランクインしており、機械学習の実応用に向けて社会的受容を念頭に置いた研究が盛んに行われていることが分かる。ほかには理論、あるいは理論に基づくアルゴリズム設計のテーマが多い。また、計算論的神経科学の論文は非常に少数である。

生成モデル

利用されているモデルは GAN が一番多く、次点で flow という印象である。研究課題としては、生成データの制御容易性・品質・多様性の向上や、少数・低情報量データからの学習などのトピックが主となっている。応用は画像が多い。生成自体は多くの応用で可能となってきたため、実用を見据えた課題が多くなってきたように感じた。

表-1 採択された論文が多いカテゴリ (30 本以上)

順位	論文のカテゴリ (subject area)	論文数
1	Deep Learning — Generative Models	67
2	Reinforcement Learning and Planning — Reinforcement Learning	60
3	Theory — Learning Theory	57
4	Algorithms — Bandit Algorithm	47
5	Optimization — Optimizaition for Deep Networks	46
6	Applications — Computer Vision	43
7	Applications — Privacy, Anonymity, and Security	38
8	Optimization — Non-Convex Optimization	35
9	Algorithms — Adversarial Learning	33
10	Optimization — Convex Optimization	32
11	Algorithms — Representation Learning	31
12	Applications — Fairness, Accountability, and Transparency	31

AI ethics

プライバシー関連は差分プライバシーを取り扱う研究が多い。一方、モデルによる予測結果の説明性や公平性を問う研究では、さまざまな評価指標が扱われている。特に説明性は定義自体が難しく、説明性のベンチマーク自体の提案¹⁾も行われていた。

メタ学習

メタ学習は、少数データで高精度な finetune が可能な初期ネットワークを学習するタイプの手法 (MAML や prototypical net) が多い。SGD による教師あり学習で finetune という従来の枠組みから、マルチモーダル学習や半教師あり学習、任意の finetune 手法などへの拡張が行われている。

機械学習における基礎的な問題

基礎的な問題も多く取り組まれている。たとえば半教師あり学習では、従来のテクニックを詰め込んだ手法 MixMatch²⁾ が提案され、ベンチマークデータでの性能を大幅に更新している。Outstanding new-direction paper では、汎化性能の理論解析でよく用いられる汎化誤差の一樣収束による議論が、深層学習を対象とした場合では正しく働かないことが示された。深層ネットワーク関連では、入力に応じて適応的に畳み込みカーネルを生成する畳み込み層や、容易に転移可能なバッチ正規化層など、従来の層に置き換わる層が提案されている。

発見的事実の報告

NeurIPS は理論寄りの学会と認識されがちだが、実験により得られた重要な発見的事実も報告されることがある。今回は、データ拡張の一種である mixup を使うとモデルの出力が信頼度として機能するようになるといった報告や、ICLR 2019 で best paper を受賞した論文が提案している lottery ticket hypothesis が転移学習環境下で成立することを報告した論文などがあつた。

NeurIPS 2020

今回の NeurIPS 2020 は、2020 年 12 月 6 日から 12 日にかけて、NeurIPS 2019 と同じくカナダのバンクーバーで開催される。

参考文献

- 1) Hoocker, S. et al. : A Benchmark for Interpretability Methods in Deep Neural Networks, NeurIPS 2019.
- 2) Berthelot, D. et al. : MixMatch: A Holistic Approach to Semi-Supervised Learning, NeurIPS 2019.

(石井雅人/ソニー (株))

謝辞 NeurIPS 2019 という非常に大規模な学会の研究動向調査と一緒にしてくれたソニー R&D センターのメンバに感謝します。



第7回 自分が欲しいキーボードをつくらう

自作キーボードとは、自分で部品を選んで組み立てたキーボードを指す。キーボードの基板を入手し、そこにキースイッチやマイコンボードなどの電子部品をはんだ付けしてつくる。自作キーボードの魅力は、その特徴的な物理配列にある。市販のキーボードにはないような多様性がある。

私もその魅力にはまった1人である。左右が分離しているキーボードを見つけたときに、これだと思った。ロボットアニメの操縦席のように、右手と左手を別々にして計算機を操る、そんな空想をしてしまった。そこで、海外のサイトからキーボードキットと必要なパーツを取り寄せ、初めての自作キーボードを組み立てた。

すると不思議なもので、別の配列を試してみたくなる。違ったキースイッチを試してみたくなる。どんどんキーボードが増えていくのである。限界で「沼にはまる」と呼ばれている現象である。

◆自作キーボードを入手する

元々日本での自作キーボードコミュニティは、海外のキーボードキットを個人輸入するところから始まった。そのうち、自分たちが欲しいキーボードを設計するようになり、独自の進化を遂げつつある。

その中心に居るのが秋葉原に店舗を構える遊舎工房^{☆1}である。自作キーボードキットを入手するのであれば、ここで購入するのが早い。その他、同人ハードウェアとしてBOOTHなどのオンラインマーケットプレイスでも販売がされている。

まずはキットを選択しよう。自作キーボードには、コンパクトなキーボードが多い。数字キーの行を省略しているものもある。また、標準的なキーボードのように行方向にキーをずらしているものではなく、格子状に配列されているもの、列方向に配置がずれているものなどが存在する。好みのものを選ぼう。

次は、キースイッチだ。キースイッチはCherry MX 互換のものが主流である。打鍵感がスムーズな

^{☆1} <https://yushakobo.jp/>

リニアタイプ、押した感触のあるタクタイルタイプなどがある。背の低いロープロファイルキースイッチもあるが、これはキットで対応している必要がある。

キーキャップも忘れてはならない。自作キーボードの配列は標準的なものと異なるので、キーセットに必要なキーがすべて含まれるかどうか確かめたい。その他、必要となるものについてはキットの説明書に書いてある。

キットを組み立てるにあたっては、はんだ付けが必要だ。ハードルが高いという声もあるだろう。説明書を熟読し、手順に従うことが肝要だ。苦勞の末に組み立てた自分だけのキーボードを使うのは格別の気分だ。ぜひ挑戦してほしい。

◆キーボードを設計するという手もある

キットを組み立てるだけでは飽き足らないのであれば、自分自身でキーボードを設計することもできる。これぞ真の自作キーボードである。私自身も、日常的に利用できる最小限のキーレイアウトを追求したNomu30やプログラマに人気のキー配列を分割したChoco60などのキーボードを設計している。

自作キーボードでは数百円で入手できるPro Microというマイコンボードを利用するのが一般的だ。プリント基板もオンラインで発注をすれば数千円で製造ができる。設計についてはfoostan著『自作キーボード設計入門』^{☆2}に詳しいので、そちらを参照されたい。

(2020年1月27日受付)

^{☆2} <https://booth.pm/ja/items/1049300>



図-1
私が設計した
Choco60(奥)と
Nomu30(手前)

※紹介する商品と著者に利益相反がないことを、編集部で確認しております。

名誉会員 Blagovest Hristov Sendov (ブラゴヴェスト・センドフ) 博士を偲ぶ

村山優子

津田塾大学

センドフ先生は、2020（令和2）年1月19日に脳卒中のため、ブルガリアの首都ソフィアのご自宅にて、突然逝去されました。享年87歳でした。先生は、1932年に、ブルガリアのアセノヴグラッド（Asenovgrad）にお生まれになりました。ソフィア大学で数学を学び、1964年に同大でPh.D.を、1967年にはモスクワのステクロフ数学研究所でD.Sc.を取得されました。モスクワ大学（1960年～1961年）では数値解析、インペリアル・カレッジ・ロンドン（1968年）ではコンピュータサイエンスの研究をされました。

その後、数学者、政治家と学者として、ブルガリアの国内外で活躍されました。親しいご友人のPlamen Nedkov氏によりますと、お亡くなりになる直前も、数学の難問を解けたと喜んでおいでだったとのこと。国内では、1973年から1979年は、ソフィア大学学長、1988年から1991年は、ブルガリア科学アカデミー会長、1995年から1997年は、国民議会議長を務められました。国外では、国際大学協会（International Association of Universities : IAU）の名誉会長、情報処理国際連合（International Federation for Information Processing: IFIP）の会長（1989年から1992年）および名誉会員（1998年以降）として活躍されました。また、ユネスコの情報関連のプログラムや国連大学などの役員を歴任され、1990年から1993年は、国際科学会議（ICSU）の副会長を務められました。

2004年から2009年まで駐日ブルガリア共和国特命全権大使として日本においでになり、IFIPの日本代表である本会との交流も深められました。2005年3月に電気通信大学で開催された全国大会では、Atanasoff-Berry Computer (ABC) の開発者でブルガリア系米国人のJohn Vincent Atanasoffの功績についてご講演いただきました。我が国におけるAtanasoffの功績についての認知に、熱心に取り組みられました。同年5月には、本会名誉会員とされました。2009年9月にご帰国されるまで、さまざまな形で本会との交流を続けられました。

また、本会も後援した2018年9月に日本で開催された国際情報オリンピック（International Olympiad in Informatics, IOI）は、1987年に開催された第24回ユネスコ総会でセンドフ先生が提唱され、始まりました。IOIは高校生以下の生徒を対象とした国際科学オリンピックの1つです。第1回は、ユネスコの後援の下、1989年にブルガリアで開催されました。

一方、IFIPでは、センドフ先生が会長を務められた1989年から1992年は、東西冷戦が終結した時期であり、東側に属していたブルガリアの代表の先生には、大きな意味を持たれたと思います。会長時代には、技術委員会の中のIFIP

Technical Committee 1 (TC-1 : Foundations of Computer Science) が設立予定ではあったものの、扱う範囲の広さ等さまざまな理由で具体的な設立がほかのTCより遅れていたときに、その前身となるSpecialist Group on Foundations of Computing (SG 14) の設立に尽力されました。研究者であるだけでなく、政治的手腕もある先生が、リーダーシップをとり、達成されたのです。

会長を退かれた後も、名誉会員として、毎年9月頃に開催されるIFIP総会に、時折、出席されておりました。後年のインタビューで、先生は、

"IFIP was my University, in which I was a student, teacher and Rector."と語っておられます。

筆者は、センドフ先生とは、2014年9月のIFIP総会で親しくお話しする機会を得ました。その際、総会で災害情報処理の研究領域を紹介した発表に、「こんな面白い研究領域は聞いたことがない」と激励していただきました。新しいことには興味を持つ好奇心旺盛な方で、また、温かいお人柄を感じました。本研究領域については、その後、IFIPの領域委員会を設立し、毎年国際会議を開催することができました。

このように先生は、IFIPを始めとする国際的なご活躍や、人材育成に向けての情報オリンピック等、情報処理分野に幅広く貢献されました。心からご冥福をお祈り申し上げます。

(2020年3月8日)



御 略 歴

1932年	ブルガリア アセノブグラッド 生まれ
1973年～1979年	ソフィア大学学長
1988年～1991年	ブルガリア科学アカデミー会長
1995年～1997年	国民議会議長
2004年～2009年	駐日ブルガリア共和国特命全権大使
2020年 1月19日	逝去（87歳）
2005年 5月	情報処理学会入会
2005年 5月	情報処理学会名誉会員

CONTENTS

Preface

- 430 **The Heart of Programming Education**
Yusuke MIZUNO (Life is Tech, Inc.)

Special Article

- 432 **TAKANAWA GATEWAY Station is in Operation - Utilization of ICT, and Service Robots in a Station -**
Yamato FUKUTA (East Japan Railway Company)
- 434 **"Reunion" with Deceased in VR**
Akiko ORITA (Kanto Gakuin Univ.)

Special Features

Involvement in Editing Information Processing After 2050

- 438 **0. Foreword**
Fusako KUSUNOKI (Tama Art Univ.)
- 440 **1. Future Direction of Embedded Systems**
Hideki TAKASE (Kyoto Univ.)
- 442 **2. The Future of Software Development**
Katsuhisa MARUYAMA (Ritsumeikan Univ.)
- 444 **3. I Don't Know 30 Years Later**
Hiroshi YAMADA (Tokyo Univ. of Agriculture and Technology)
- 446 **4. Programming in 2050**
Shigeru CHIBA (The Univ. of Tokyo)
- 448 **5. Computer Architecture in 30 Years : 2nd Edition**
Koji INOUE (Kyushu Univ.)
- 451 **6. Perspective of Future High Performance Computing**
Takeshi IWASHITA (Hokkaido Univ.)
- 453 **7. The World of Near Future Prediction, and Ability-awareness**
Sozo INOUE (Kyushu Institute of Technology)
- 456 **8. Challenges and Future Research Directions for Mobile Computing**
Ken OHTA (NTT DOCOMO, Inc.)
- 458 **9. Possible Changes in Information Security by 2050**
Hiroaki KIKUCHI (Meiji Univ.) and Yuji SUGA (Internet Initiative Japan Inc.)
- 460 **10. Scholarly Information Processing in 2050**
Hidetsugu NANBA (Chuo Univ.)
- 462 **11. Toward Mutual Supported Society Based on Computer-Supported Cooperative Work**
Noriaki SAITO (Tokyo Online Univ.)
- 465 **12. One Day in the Spring of 2050**
Atsushi TAGAMI (KDDI Research, Inc.)
- 467 **13. Security Aggregation Based on Digital Trust**
Masato TERADA (Hitachi Ltd.), Akira KANAOKA (Toho Univ.), Masaki SHIMAOKA (SECOM CO., LTD.) and Yuko MURAYAMA (Tsuda Univ.)
- 469 **14. What are the Results of Large-Scale Social Experiment?**
Shogo ISHIKAWA (Shizuoka Univ.)
- 471 **15. Can we Download Abilities?**
Jun REKIMOTO (The Univ. of Tokyo / Sony CSL)
- 473 **16. AI-BigData for Solving of Serious Social Problems**
Kazuo ISHII (Kurume Univ. Biostatistics Center)
- 475 **17. Super-Human Spoken Language Communication System**
Naohiro TAWARA (Nippon Telegraph and Telephone Corp.) and Sayaka SHIOTA (Tokyo Metropolitan Univ.)
- 477 **18. Message to 30 Years Ago and 30 Years from Now - Hope for the Future Information Processing -**
Nao SHIKANAI (Asia Univ.)

- 480 **19. Evolution of Transhuman Intelligence by Biology and Information Technology**
Hiroyuki KURATA (Kyushu Institute of Technology)
- 482 **20. Intelligent Systems in 2050**
Hidenori KAWAMURA (Hokkaido Univ.), Masanao OCHI (The Univ. of Tokyo), Yuichi SEI (The Univ. of Electro-Communications), Naoki FUKUTA (Shizuoka Univ.) and Soichiro YOKOYAMA (Hokkaido Univ.)
- 484 **21. Post-Truth Music Information Processing**
Satoru FUKAYAMA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))
- 486 **22. Law as an Information System, or the Rule of Law in the Future**
Mikio IKOMA (Aoyama Gakuin Univ.) and Mutsuki SHIBATA (Kojima Law Offices)
- 488 **23. The Future of Computer Graphics**
Yoshinori DOBASHI (Hokkaido Univ.)
- 490 **24. Entertainment Computing in 2050**
Masataka IMURA (Kwansei Gakuin Univ.)
- 492 **25. Electronic Intellectual Property and Social Infrastructure of Japan in the Era with a Population of 90 Million**
Naonori KATO (KDDI Research, Inc.)

Contribution

- 494 **Mourning for Dr. Izumi Kimura Who Promoted Software Engineering**
Eiiti WADA (IJJ Innovation Institute) and Yasushi KUNO (Univ. of Electro-Communications)

Let's Learn Informatics

- 500 **How the Class was Changed by Logical Thinking as Programming in High School**
Takanari KAMADA (Kanagawa Prefecture Chigasaki Nishihama High School)

Reports

- 506 **Creating a Future Where Many People Do Not Agree - I Went to a Public Lecture of Keio University "Creating SFC Spirits" -**
Tomomi OTA (Keio Univ.)

"Peta-gogy" for Future

- 509 **The Fun of Involved Systems**
Kenji MATSUURA (Tokushima Univ.)
- 510 **Story of Making an Information Science Class for Elementary School Students at a Workshop**
Yasunori HARADA (Digital Pocket LLC.)
- 516 **Try Coding with Processing - No.4 Animation and Interaction**
Manabu SUGIURA (Kamakura Women's Univ.)

- 437 **Gathering to Share Original Programming Projects for Junior**
- 522 **Biblio Talk**
- 524 **Skimming a Famous Paper in Five Minutes**
- 526 **Conference Report**
- 528 **Shopping Boast**
- 529 **Mourning**

会員の広場

今月の会員の広場では、2月号へのご意見・ご感想を紹介いたします。まず、巻頭コラム「ゲームAIの進歩から見る、AI時代で大切なもの」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■「AIは基本に忠実で堅実なプレイを奨励してくるのです」は大変納得できた。コンピュータは人間の命令(=プログラム)を文句1つ言わず、無限に繰り返す。深層学習は処理を繰り返すことで、答えを導き出していることと考えると、基本を繰り返していることにほかならないと感じる。そこに、何が加われれば、「ターミネーターのスカイネット」のような人工知能が生まれるのだろうか、興味がわく。(匿名希望)

■何事も「基本とは何か」に集約されていくのではないかという話が興味深かったです。(匿名希望)

特別解説「OUR Shurijo みんなの首里城デジタル復元プロジェクト」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■OUR Shurijoのような活動を学会としてもサポートできないだろうか。(高島洋典)

■焼失した首里城に個人的に心を痛めていたので、AR/VRで再び見られる日がくるという希望の湧く内容でした。地元の技術者や専門家が得意分野を持ち寄りチームを組んでいる点に感心しました。(匿名希望)

■首里城のデジタル復元の記事が出ていたので思い出した。世界遺産のVR関連ではイタリア Infobyte 社 (ENELの子会社?)が1990年代にサンピエトロ大聖堂の昔の姿と現在、システーナ礼拝堂、ネフェルトイリ王妃の墳墓などで大変にインパクトある作品を作っていた。時代は古いが、Silicon Graphics Inc.のハイエンド機にたっぶりのグラフィクス処理用のメモリを搭載していたので、非常に高精細なものであった。なお、日本でも凸版印刷がいろいろとやっていると思う。

(松本昌幸)

特集「ブロックチェーン技術の最新動向」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■時宜を得た企画・内容であったが、本誌の特集としては少し難しく感じた。一般の読者に対する配慮(説明方法の工夫・専門用語の解説など)が欲しいと思う個所が少なくなく、内容が良かっただけに残念であった。(匿名希望)

■ブロックチェーンに関してはセキュリティ等上位層の話が多かったように思う。自分はデータベースを専門としているので、より低レイヤの部分で求められる技術(があるかないのかを含めて)に関する解説があるといいなと思った。(匿名希望)

■とても興味深く読むことができ、参考になりました。

(滝内邦弘)

「1. Bitcoin 技術のその後の動向」

■図解されていて理解の助けになりました。(匿名希望)

教育コーナー「べた語義」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

「Processingでプログラミングに挑戦!」

■分かりやすい説明で良かったです。スクラッチのブロックに例えると簡単でした。(神長春花/ジュニア会員)

■中高生向けに書かれているものだが、ジュニア時代はとっくに終わっている自分でも、手を動かしてみようと思うような内容だった。(匿名希望)

連載「情報の授業をしよう! : 動画制作授業のすゝめ」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■動画編集ソフトウェアは操作する個所が多く、使うのが難しいと思うので、どのように使い方を教えたのか気になった。(匿名希望/ジュニア会員)

連載「ビブリオ・トーク: ティッピング・ポイント」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■「デジタル化が進まない」、「イノベーションが起きない」といった声を、いまだによく耳にします。ビブリオ・トークで紹介されている記事は、このような声に大きなヒントを与えてくれるものと直感しました。自身の経験からもソリューション人材の質や数だけでは解決できない大きな何かを感じてきました。ぜひ、目を通してみたい1冊です。(匿名希望)

■もう20年も前に発売された書籍なのに、米谷先生の紹介によりとても新しい書籍のように思えました。読んでみます。(匿名希望)

連載「5分で分かる!? 有名論文ナナメ読み: Satoshi Nakamoto: Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■面白い切り口で、特集とつながっていて、理解が深まりました。(匿名希望)

■頭がおかしいという刺激的な言葉を繰り返す意図は何か。面白い感じを狙ったのなら、面白いとは感じなかった。字面通りですということなら、文を練った方がよい。(匿名希望)

連載「先生、質問です！」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■「先生、質問です！」の素直な疑問や回答を楽しみにしています。企画委員会の方は、専門分野を鑑みて回答者の先生を選ばれていると思います。そこで、先生方の回答に「○○の立場から回答をお願いします。」という一言が付いていると、1つの疑問でもいろいろな側面から考えることができることや、立場による考え方の違いが明確になってよいかと思います。(匿名希望)

連載「IT 紀行：Maker Faire Tokyo 2019 に行ってきた！」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■ Tsukuba Mini Maker Faire に行ってみたくなりました。(匿名希望)

会議レポート「ICCV 2019 参加報告」については、以下のようなご意見・ご感想をいただきました。

■ ICCV の国際会議報告は、専門外だが最新動向が少し分かり、有意義でした。(匿名希望)

オンライン版で読みたい記事、期待するコンテンツについて以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました。

■ダウンロード、ログインなどの手順を簡素化し、時間ロスやストレスがなく読めるようにしていただけるとよいかと思います。(中島一郎)

■紙の印刷と違って、必要に応じてはなるが、高解像度の画像や3D、あるいはサウンドを使えると思うので、単なるPDF化やKindle化でなく、オンライン版ならではの表現で解説記事や論文を読めるようになるとうい。(松本昌幸)

■過去の記事も含め検索できるようになるとありがたいと思います。(匿名希望)

会誌の内容や今後取り上げてほしいテーマに関して、以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました。今後の参考にいたします。

■「みんなの首里城デジタル復元プロジェクト」で取り上げられている文化財のデジタル保存の取り組みをそれぞれ解説した記事を読みたいと思いました。(滝内邦弘)

■身近な技術の解説を読みたいです。たとえば Google はどうやってあんなに大量のデータを安全に保存してほしいときに調べられるのかや、Twitter のサーバはなぜ大量アクセスでも落ちないのかなどを知りたいです。(匿名希望/ジュニア会員)

■今号は久しぶりに技術色が強く、レベルの高い内容で、大変読みごたえがあり勉強になった。(伊藤雅樹)

■5G で具体的にどのようなところに変化が出るか気になります。(匿名希望/ジュニア会員)

■新学習指導要領時代における大学での情報教育の今後について取り上げていただければと思います。AI やデータサイエンス、プログラミングなど、どのような実践や備えがあるか興味があります。(匿名希望)

■特集の編集にあたってのところで各記事の説明がありますが、文章だと読みづらいので、目次のように箇条書きにサマリーがある方が分かりやすく興味を持てる記事を探しやすいかと思います。(匿名希望)

【本欄担当 山本岳洋, 真野 健/会員サービス分野】

これらのコメントは Web 版会員の広場「読者からの声」< URL : <https://www.ipsj.or.jp/magazine/dokusha.html> > にも掲載しています。Web 版では、紙面の制限などのため掲載できなかったコメントも掲載していますので、ぜひ、こちらもご参照ください。会誌や掲載記事に関するご意見・ご感想は学会 Web ページでも受け付けております。今後もより良い会誌を作るため、ぜひ皆様のお声をお寄せください。

皆様にとって会誌をより役立つものとするため、

- ・記事に対する感想、意見
- ・記事テーマの提案
- ・会誌または学会に対する全般的な意見、提言
- ・その他、情報処理技術についての全般的な意見、提言

など自由なご意見、ご感想をお待ちしております。

なお、「道しるべ」については

< URL : <https://www.ipsj.or.jp/magazine/sippitsu/michishirube.html> > で

これからのテーマ案を募集しており、いただいたご意見をまとめております。

※ご意見、ご感想を会誌に掲載させていただいた方には薄謝または記念品を進呈いたします。

掲載に際しては、編集の都合上、ご意見に手を加えさせていただくことがありますので、あらかじめご了承ください。なお、意見の投稿に伴う、住所、氏名、所属などの個人情報については、学会のプライバシーポリシーに準じて取り扱いたします。 < URL : <https://www.ipsj.or.jp/privacypolicy.html> >

応募先 〒 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5 化学会館 4F
一般社団法人 情報処理学会 会誌編集部門 E-mail : editj@ipsj.or.jp Fax (03) 3518-8375
<https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html>

ご意見をお寄せ
ください!



IPJSJ カレンダー

※新型コロナウイルス感染症拡大を受け、開催方法の変更、開催中止などの可能性がありますので、最新情報を Web でご確認くださいませよう
 お願いいたします。

開催日	名 称	論文等応募締切日	参加締切日	開催地
	論文誌「インタラクションの理解および基盤・応用技術」 特集への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/journal/cfp/21-J.html	4月17日(金)		
	論文誌「ネットワークサービスと分散処理」特集への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/journal/cfp/21-E.html	5月1日(金)		
	論文誌「若手研究者」特集への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/journal/cfp/21-K.html	5月29日(金)		
	論文誌「快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術」特集 への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/journal/cfp/21-F.html	6月8日(月)		
	論文誌「ソフトウェア工学」特集への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/journal/cfp/21-H.html	8月3日(月)		
5月8日(金)～ 5月9日(土)	第178回アルゴリズム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/all178.html	3月6日(金)	当日のみ	国立情報学研究所
5月12日(火)～ 5月13日(水)	第174回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/hpc174.html	3月13日(金)	当日のみ	国立情報学研究所
5月14日(木)～ 5月15日(金)	第222回コンピュータビジョンとイメージメディア研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/cvim222.html	3月6日(金)	当日のみ	名古屋工業大学
5月14日(木)～ 5月15日(金)	第111回グループウェアとネットワークサービス・ 第37回セキュリティ心理学とトラスト合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/gn111spt37.html	3月11日(水)	当日のみ	東京都市大学 横浜キャンパス
5月14日(木)～ 5月15日(金)	第89回コンピュータセキュリティ・ 第49回インターネットと運用技術合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/csec89iot49.html	3月13日(金)	当日のみ	北海道大学 クラーク会館
5月15日(金)	北陸支部報告会 https://www.ipsj.or.jp/annai/shibu/shibu_tayori2020.html			富山大学 五福キャンパス
5月19日(火)	関西支部報告会 https://www.ipsj.or.jp/annai/shibu/shibu_tayori2020.html			大阪市中央公会堂
5月20日(水)	中国支部報告会 https://www.ipsj.or.jp/annai/shibu/shibu_tayori2020.html			広島YMCA国際文化センター
5月21日(木)	東海支部報告会 https://www.ipsj.or.jp/annai/shibu/shibu_tayori2020.html			ルプラ王山(名古屋市)
5月21日(木)	九州支部報告会 https://www.ipsj.or.jp/annai/shibu/shibu_tayori2020.html			NTTデータ九州(福岡市)
5月22日(金)	北海道支部報告会 https://www.ipsj.or.jp/annai/shibu/shibu_tayori2020.html			北海道大学
5月25日(月)～ 5月26日(火)	第66回ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/ubi66.html	4月6日(月)	当日のみ	慶應義塾大学 殿町タウンキャンパス(予定)
5月27日(水)	第25回デジタルコンテンツクリエーション研究発表会 http://www.ipsj.or.jp/sig/dcc/	4月28日(火)	当日のみ	中京テレビ本社 (愛知県名古屋市市中村区)
5月28日(木)～ 5月29日(金)	第183回マルチメディア通信と分散処理・ 第95回モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム・ 第81回高度交通システムとスマートコミュニティ合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/dps183mb195its81.html	4月9日(木)		オンライン
5月28日(木)～ 5月29日(金)	第149回システムソフトウェアとオペレーティング・システム 研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/os149.html	4月16日(木)	当日のみ	那覇市IT創造館
5月29日(金)～ 5月30日(土)	第31回教育学習支援情報システム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/cle31.html	5月1日(金)	当日のみ	京都工芸繊維大学
6月1日(月)～ 6月2日(火)	第188回ヒューマンコンピュータインタラクション・ 第56回エンタテインメントコンピューティング合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/hci188ec56.html	4月3日(金)	当日のみ	東京大学 山上会館

6月1日(月)～	第129回プログラミング研究発表会	5月1日(金)	当日のみ	筑波大学
6月2日(火)	https://sigpro.ipsj.or.jp/pro2020-1/			計算科学研究センター
6月3日(水)～	第109回オーディオビジュアル複合情報処理研究発表会	4月8日(水)	当日のみ	函館コミュニティプラザ
6月4日(木)	https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/avm109.html			Gスクエア
6月6日(土)	第152回情報システムと社会環境研究発表会	4月6日(月)	当日のみ	青山学院大学
	https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/is152.html			青山キャンパス
6月6日(土)～	第127回音楽情報科学・第132回音声言語情報処理合同研究発表会	3月25日(水)	当日のみ	ヤマハ本社事業所(浜松)
6月7日(日)	https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/mus127slp132.html			
6月10日(水)	東北支部報告会			東北大学 青森キャンパス
	https://www.ipsj.or.jp/annai/shibu/shibu_tayori2020.html			
6月12日(金)	四国支部報告会			愛媛大学
	https://www.ipsj.or.jp/annai/shibu/shibu_tayori2020.html			
7月29日(水)	The 4th cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG2020)	3月6日(金)		フェニックス・プラザ (福井市民福祉会館)
	http://xsig.hpcc.jp/2020/			
9月1日(火)～	FIT2020 第19回情報科学技術フォーラム			北海道大学
9月3日(木)	https://www.ipsj.or.jp/event/fit/fit2020/			札幌キャンパス
9月2日(水)～	The 15th International Workshop on Security (IWSEC 2020)	3月23日(月)		Happiring Hall and Fukui International Activities Plaza, Fukui, Japan
9月4日(金)	https://www.iwsec.org/2020/index.html			
9月7日(月)～	DAシンポジウム2020—システムとLSIの設計技術—			鳥羽シーサイドホテル
9月9日(水)	http://www.sig-sldm.org/das/			
9月10日(木)～	ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2020 (SES2020)			株式会社日立製作所 横浜研究所
9月12日(土)	https://ses.sigse.jp/2020/			
10月28日(水)～	The 13th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2020)	5月20日(水)		機械振興会館
10月30日(金)	http://www.icmu.org/icmu2020/			

Web ページ (<https://www.ipsj.or.jp/>) 更新情報

[トピックス]

- 3月18日 論文誌「持続可能な社会を実現するコラボレーション技術とネットワークサービス」特集 論文募集
- 3月16日 CITP(個人認証) 度第1回の申請受付を開始しました
- 3月15日 2020年就職情報を公開しました
- 3月15日 人材募集情報 (Vol.61 No.4)
- 3月15日 会誌「情報処理」Webカタログ (Vol.61 No.4)
- 3月13日 全国大会のオンライン開催の成功をうけて
- 3月6日 2019年度情報処理技術遺産を公開しました
- 3月6日 2019年度マイクロソフト情報学研究賞の受賞者が決定いたしました
- 3月6日 論文誌「快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術」特集 論文募集
- 3月6日 2020度小中高教員新規入会キャンペーン
- 3月5日 インターンシップ情報(広告)のお申し込み受付中
- 3月2日 本会主催イベントにおける新型コロナウイルス感染症への対策について
- 2月28日 第82回全国大会オンライン開催についてのポータルサイト
- 2月28日 [プレスリリース] 2019年度情報処理技術遺産認定
- 2月26日 2020度「ドコモ・モバイル・サイエンス賞」受賞候補者推薦募集
- 2月25日 【重要】第82回全国大会の現地開催中止とオンライン開催について
- 2月21日 【重要】第82回全国大会における新型コロナウイルス感染症への対策について
- 2月21日 論文誌「ユーザブルセキュリティ」特集 論文募集
- 2月18日 CITP(個人認証) 度第1回の申請案内と様式を掲載しました

● 論文誌ジャーナル掲載論文リスト

Vol.61 No.4 (Apr. 2020)

【特集：ますます広がる音楽情報処理】

- 特集「ますます広がる音楽情報処理」の編集にあたって
北原鉄朗
- 同質性・反復性・規則性を考慮した階層隠れセミマルコフモデルに基づく統計的音楽構造解析
柴田 剛 他
- A Symbol-level Melody Completion Based on a Convolutional Neural Network with Generative Adversarial Learning
Kosuke Nakamura 他
- A Parameterized Harmony Model for Automatic Music Completion
Wilk Christoph 他
- TransDrums: ドラムのフィルインとドラムパターン遷移確率に着目した2曲間のドラムパターン対応付け手法
澤田 隼 他
- INSTRUDIVE: 楽器編成の自動認識に基づく楽曲探索システム
高橋卓見 他
- ピアノ教師向け悪癖発見支援システムの設計と実装および評価
松井遼太 他
- 音符区切り情報を用いた高精度歌唱音声認識
鈴木基之 他
- 声のピッチ感の錯覚と疑似歌声・疑似ささやき声による検討
内田照久 他
- 遠隔操作ロボットのリズムカルな動作による身体的・空間的一体感の強化
小原宗一郎 他

【特集：ソフトウェア工学】

- 特集「ソフトウェア工学」の編集にあたって
石尾 隆
- 高処理効率性と高可搬性を備えた自動プログラム修正システムの開発と評価
梶本真佑 他
- 深層学習による要求仕様自動分類手法の提案と評価
北川貴之 他
- 活性と同時に保証可能な安全性特定のためのゲーム分析アルゴリズム
相澤和也 他
- 工業高等専門学校での学生に対する形式手法 B-Method の学生実験の実践
大西孝臣 他
- 設定ファイルを考慮した Fault Localization の拡張
肥後芳樹 他
- Region Based Detection of Essential Differences in Image Based Visual Regression Testing
Haruto Tanno 他
- Software Analytics for Manual Activities using Developer Work Elements
Sophatsathit Peraphon
- コーディング規約違反メトリクスに基づきソフトウェア変更に対して不具合混入を予測する手法
名倉正剛 他
- リポジットマイニングに基づくアンチパターン検出手法
市井 誠 他
- Revert に着目した不確かさに関する実証的分析
村岡北斗 他
- ソフトウェアドキュメンテーションのためのクラスタ内文書ランキング
溝渕裕司 他
- 高信頼なミュレーションテストのためのエラー指向のミュタント削減手法とミュタント重み付け
徳本 晋 他

【一般論文】

- 階層状態遷移図における記述品質の評価手法の提案
松井聡一 他
- 磁束密度のフーリエ成分に基づく回転磁気マーカの位置推定
千葉昭宏 他
- Secure Authentication Key Sharing between Personal Mobile Devices Based on Owner Identity
Hideo Nishimura 他
- コマンド真正性検証を用いたセキュアな ATM 設計法
緒方日佐男 他
- 鳴きを考慮した麻雀 AI
青木幸聖 他
- 3次元 CG を活用した保守作業技術学習コンテンツ編集支援ツール
藤原貴之 他
- 実世界における科学的探究の活性化に寄与する共同的観察行動の時空間的特徴の推定
岡田昌也 他
- 死後のデータを残すか消すか? : 追悼とプライバシーに関する一考察*
折田明子 他

* : 推薦論文 Recommended Paper

† : テクニカルノート Technical Note



● 論文誌トランザクション掲載論文リスト (Apr. 2020)

【論文誌 データベース Vol.13 No.2】

- High Speed Error Log Control Method in In-memory Cluster Computing Platform
Ryuichi Saito 他
- SNS における反応と関心に基づくインフルエンサ推定の個人化
荒澤孔明 他
- Searching for Microblogs Referring to Events by Deep Dynamic Query Strategies
Jun-Li Lu 他
- Real-time Forecasting of Non-linear Competing Online Activities
Thin Minh Do 他
- 信頼できる情報獲得に対する心がけとウェブ検索行動の分析
山本岳洋 他
- ダブル配列を用いたパトリシアトライによる動的キーワード辞書の実装
松本拓真 他



【論文誌 プログラミング Vol.13 No.2】

- Branch Divergence Reduction Based on Code Motion
Junji Fukuhara 他
- 組込みシステム向け FRP 言語における状態依存動作のための抽象化機構
松村有倫 他



● デジタルプラクティス掲載論文リスト

Vol.11 No.2 (Apr. 2020)

【特集：DXを推進する俊敏なシステム開発・運用—アジャイルにつながるビジネスとICT—】

■ 「DXを推進する俊敏なシステム開発・運用—アジャイルにつながるビジネスとICT—」特集号について 山下博之, 藤瀬哲朗

【特集号招待論文】

- エンタープライズ領域のアジャイル開発の課題—アジャイル開発がもたらす意思決定プロセスの変化— 鈴木雄介
- 組織的なアジャイル開発活用の施策とその推進役の育成—コミュニケーションの施策に基づいて考える— 藤井 拓 他
- アジャイル開発による MaaS の実現 佐藤義永 他
- 製造業における生産現場ユーザと Agile に共創する 本心に欲しかった社内システムサービス 松本芳宏 他
- 大規模レガシーシステムのモダナイゼーション手法—ウォーターフォールとアジャイルを融合した独自“ハイブリッドアジャイル”手法の確立— 松村俊哉 他
- デジタル・トランスフォーメーション (DX) 推進のための人材、組織、プロジェクト体制—伝統的日本企業における組織文化と人材の育成— 成迫剛志
- モールを用いたプログラミングによるアジャイルマインドの学習プログラム—体験を通じたアジャイル開発の実践的理解— 田中貴子 他

【特集号投稿論文】

■ 複数プロダクトのエンタープライズアジャイル開発方法の提案と実践 田中優之 他

<座談会>アジャイル開発の理解を深めつつ契約の仕組みとモデルを整える
秦泉寺久美, 高岡詠子, 平岡 敦
司会: 藤瀬哲朗, 山下博之

【JISA 招待論文】

- 表彰制度「JISA Awards」について 原 孝
- 音声対話型 AI 帳票による人作業と AI ソリューションの共進化 田淵仁浩 他
- DX の土壌となる RPA 普及展開の工夫 中川拓也

【一般投稿論文】

- 要求仕様書中のアクター名の定義漏れパターンと組織変更がもたらす影響—実案件分析と得られた教訓— 高橋宏季 他
- 人口減少社会におけるコミュニティ形成に必要なアプリケーション開発 富永善視 他
- エコシステムを実現するサイバーセキュリティ演習システム CyExec の開発 中田亮太郎 他
- Architected Material を用いた感性ベースの構造デザイン手法—カスタムインソールの 3D デジタル設計に向けて— 森田 淳 他

【DP レポート】

- オープンソースによる Twitter 検索およびデータ可視化の方法 江谷典子
- 帳票作成自動化によるデジタル・トランスフォーメーションの推進 江谷典子



人材募集 (有料会告)

申込方法：任意の用紙に件名、申込者氏名、勤務先、職名、住所、電話番号および請求書に記載する「宛名」、Web掲載の有無などを記載し、掲載希望原稿（[募集職種、募集人員、(所属)、専門分野、(担当科目)、応募資格、着任時期、提出書類、応募締切、送付先、照会先]）を添えて下記の申込先へ、E-mail、Fax または郵送にてお申し込みください。

*都合により編集させていただく場合がありますので、ご了承ください。

申込期限：毎月15日を締切日とし翌月号（15日発行）に掲載します。

掲載料金：国公立教育機関、国公立研究機関 税抜 20,000円（税込 22,000円）

賛助会員（企業） 税抜 30,000円（税込 33,000円）

賛助会員以外の企業 税抜 50,000円（税込 55,000円）

*本誌へ掲載依頼いただいた場合に限り、追加料金 税抜 4,000円（税込 4,400円）で同一内容を本誌 Web ページに掲載できます。

申込先：情報処理学会 会誌編集部門（有料会告係） E-mail: editj@ipsj.or.jp Fax(03)3518-8375

*原稿受付の際には必ず原稿受領のお知らせを差し上げています。もし3日以内（土日祝日除く）に返信がない場合は念のため確認のご連絡をください。

*特に指定がないかぎり履歴書には写真を貼付のこと

■地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所

募集人員 各分野若干名

専門分野 機械、材料、電子・電気、情報、化学、物理の技術分野に関する試験・研究および技術支援・人材育成など

応募資格 1990年4月2日以降に生まれ、すでに修士以上の学位を有する方、もしくは2021年3月までに修士以上の学位を取得する見込みの方（※若年層の長期キャリア形成のため）

応募期間 2020年2月3日～5月15日（17時必着）

採用時期 2021年4月1日（具体の時期は相談の上、決定する）

提出書類 詳細はWebページをご覧ください

送付先 〒243-0435 神奈川県海老名市下今泉705-1

地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所総務部総務課

Tel(046)236-1500（内線2013） URL: <https://www.kistec.jp/>

その他 【選考方法】詳細はWebページをご覧ください





FIT2020 第19回情報科学技術フォーラム 選奨論文・一般論文 講演募集

会 期：2020年9月1日(火)～3日(木)
会 場：北海道大学 札幌キャンパス(北海道札幌市北区)

FIT2020 Web ページ <https://www.ipsj.or.jp/event/fit/fit2020/>

電子情報通信学会の情報・システムサイエティ (ISS) とヒューマンコミュニケーショングループ (HCG)、及び情報処理学会 (IPSI) は、今年も「第19回 情報科学技術フォーラム(FIT: Forum on Information Technology)」を開催します。会期と会場は上記の通りです。本フォーラムは、同学会の大会の流れを汲み、2002年から毎年秋に開催されているもので、多くの研究発表や多彩な企画を通じて、広く情報科学技術分野にわたる最新情報の収集、タイムリーな情報発信、他分野研究者との交流、などのための絶好の機会となっています。今年も下記の要領で講演論文を募集しますので、奮ってご応募下さい。

●申込主要日程

登録申込/投稿受付開始：2020年3月30日(月) →登録申込締切：2020年5月8日(金) 15:00
最終掲載原稿：2020年6月19日(金) 15:00

●表彰

FITには以下の表彰制度があります。是非チャレンジして下さい。
いずれの賞も、電子情報通信学会又は情報処理学会の会員であることが受賞条件となりますのでこの機会に是非御入会下さい。

船井ベストペーパー賞	選奨論文の中から、FIT 学術賞選定委員会で審査の上 3 件選定。賞金は船井情報科学振興財団より 20 万円贈呈。
FIT 論文賞	選奨論文の中から、FIT 学術賞選定委員会で審査の上 7 件程度選定。賞金は FIT 運営委員会より 5 万円贈呈。
FIT ヤングリサーチアワード賞	2020 年 12 月 31 日現在で 33 歳未満の講演者(選奨論文および一般論文)の中から、発表件数の 1.5% を上限として選定。賞金は FIT 運営委員会より 3 万円贈呈。本賞受賞は本人に対し一回のみ。
FIT 奨励賞	一般発表のセッション毎に座長の裁量で優秀な発表を 1 件その場で選定(該当なしもあり)。FIT 終了後に賞状を贈呈。

●選奨論文(4～8 ページ程度)

投稿された論文の担当研究会を決定するため、各研究会の取り扱い分野をよくご確認の上、ご自身の論文内容に合った研究会を選択してお申し込み下さい。取り扱い分野の詳細は FIT2020 Web ページにてご確認下さい。

船井ベストペーパー賞、FIT 論文賞への審査を希望する場合は、Web からの講演申込みの際に必ず『選奨論文』の形式を選択して下さい。選奨論文は、電子情報通信学会又は情報処理学会の会員であることが投稿の条件となりますので、非会員の方は入会手続きをお済ませの上でご投稿下さい。選奨論文は FIT 初日の選奨セッションに組み込まれ、各セッションにおいて選奨委員 2 名による 1 次審査が行われます。1 次審査の結果は当日の夕方までに大会会場に掲示されます。FIT 会期の終了後に 2 次審査が実施され、その結果上位 3 件が船井ベストペーパー賞、次点 7 件程度が FIT 論文賞として表彰されます。

※選奨論文では 4 ページ以上の投稿が必須ですが、3 ページ目からは追加ページ代(4,000 円/ページ)がかかります。

●一般論文(2～8 ページ程度)

投稿された論文の担当研究会を決定するため、各研究会の取り扱い分野をよくご確認の上、ご自身の論文内容に合った研究会を選択してお申し込み下さい。取り扱い分野の詳細は FIT2020 Web ページにてご確認下さい。

※3 ページ以上の投稿される場合、3 ページ目からは追加ページ代(4,000 円/ページ)がかかります。

●講演募集内容

選奨論文と一般論文は、最近行った研究及び調査の報告、または成果を上げた新しい企画及び試験結果の報告、新製品の紹介等で、学術的に価値のあるものに限ります。二重投稿にならないよう、また、著作権の問題がないようご配慮下さい。

●論文誌推薦制度

選奨論文の中から、船井ベストペーパー賞の審査の過程で優秀な論文と判断されたものを、FIT プログラム委員会が電子情報通信学会または情報処理学会 (FIT 講演申込フォーラムの講演応募分野(研究会)で選択した研究会が属する学会)の論文誌へ推薦します。掲載の採否は、それぞれの学会の論文誌編集委員会が決定しますので、論文誌への投稿の際には、投稿先論文誌編集委員会の評価基準を満足しうる、完成度の高い論文に仕上げて頂くことをお勧めします。なお、推薦を辞退することも可能です。

●講演参加費(税込み)

講演参加費は、基本原稿掲載料 2 ページ分、講演料、聴講料、電子版論文集、冊子プログラム、参加章の代金を含みます。講演論文集は Web からダウンロードして頂く電子版論文集になります。FIT 開催 1 週間前にメールにて案内を送り出す予定です。冊子プログラム、参加章は会場でのお引き渡しとなります。

会 員： 正員 12,000 円 学生員 6,000 円
非会員： 一般(社会人) 24,000 円 学生 12,000 円

追加ページ代：4,000 円/1 ページ (3 ページ以上投稿された場合) 例えば 4 ページ投稿の場合、2 ページ分の追加ページ代が発生しますので、講演参加費のほかに「4,000 円×2=8,000 円」の追加費用が必要となります。

※会員の費用が適用されるのは、電子情報通信学会、情報処理学会、電気学会、照明学会、映像情報メディア学会及び電子情報通信学会と協定を締結した海外の学会 (IIEE、KICS、KIISE、REV、IEEE/CS、IEEE/ComSoc、IEEE/PHO、IEEE/MTT-S) または情報処理学会と協定を締結した海外の学会 (ACM、IEEE、IEEE/CS、KIISE、CSI) の個人会員に限ります。

※登録申込締切後に講演の取消をされても講演参加費等はお支払い頂くこととなりますので御注意下さい。

●申込みの方法・注意事項

講演申込み及び論文原稿投稿は FIT2020 Web ページよりお願い致します。一人が複数の発表を行うことを認めます。ただし、お申込み件数分の講演参加費が必要となります。また、内容が極めて類似したものを数件にわたって発表することはできません。なお、会場数、会期日数などの制約によりプログラム編成上、講演分野の変更を行うこともございますのであらかじめ御了承下さい。

●問合せ先 (FIT2020事務局)

〒101-0062 千代田区神田駿河台 1-5 化学会館 4 階
情報処理学会 事業部門 TEL. 03-3518-8373 FAX. 03-3518-8375 E-mail: ipsjfit@ipsj.or.jp

ご意見をお寄せください！

【5月10日頃までにお出してください】

宛先 一般社団法人 情報処理学会 モニタ係（下記のいずれからも送付できます）
https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html Fax(03)3518-8375 E-mail: editj@ipsj.or.jp
(E-mail で送信される場合は、10-1-a のようにコードでお答えください)
※ご意見の投稿に伴う、住所、氏名、所属などの個人情報については、学会のプライバシーポリシーに準じて取り扱いいたします。
https://www.ipsj.or.jp/privacypolicy.html

[コード]

- [1] ご氏名
- [2] ご所属 Tel. () -
- [3] E-mail:
- [4] 業種： (a) 企業（サービス業） (b) 企業（製造業） (c) 研究機関 (d) 教育機関（小・中・高校・高専・大学・大学院など）
(e) 学生 (f) 学生（ジュニア会員） (g) その他…………… 4- []
- [5] 職種： (a) 研究職 (b) 開発・設計 (c) システムエンジニア (d) 営業 (e) 本社管理業務
(f) 会社経営・役員・管理職 (g) 教職員（小・中・高校・高専・大学・大学院など）
(h) 学生 (i) 学生（ジュニア会員） (j) その他…………… 5- []
- [6] 年齢： (a) 10代 (b) 20代 (c) 30代 (d) 40代 (e) 50代 (f) 60代以上…………… 6- []
- [7] 性別： (a) 男性 (b) 女性…………… 7- []
- [8-1] あなたはモニタですか？： (a) はい (b) いいえ…………… 8-1- []
- [8-2] あなたのご意見は「会員の広場」（会誌およびWeb）に掲載される場合があります。その場合：
(a) 実名可（氏名のみ掲載） (b) 匿名希望 (c) 掲載を希望しない…………… 8-2- []
- [9] どちらの媒体で記事をお読みになりましたか？
(a) 冊子版 (b) 情報学広場（電子図書館） (c) Kindle (d) fujisan (e) その他…………… 9- []
- [10] 今月号（2020年5月号）の記事は良かったですか。下記の記事すべてについて評価をご回答ください。
[a…大変良い b…良い c…普通、どちらとも言えない d…悪い e…読んでいない]
- 巻頭コラム：プログラミング教育の本質とは…………… 10-1- []
- 特別解説：高輪ゲートウェイ駅開業…………… 10-2- []
- 特別解説：亡くなった人とのVR「再会」をめぐって…………… 10-3- []
- 連載：集まれ！ジュニア会員！！…………… 10-4- []
- 創立60周年記念特集：2050年の情報処理
- 0. 編集にあたって…………… 10-5- []
 - 1. 組込みシステムはどこへ向かうか？…………… 10-6- []
 - 2. ソフトウェア開発の未来…………… 10-7- []
 - 3. 30年後？ 知らん…………… 10-8- []
 - 4. 2050年のプログラミング…………… 10-9- []
 - 5. 30年後のコンピュータアーキテクチャ第2版…………… 10-10- []
 - 6. 高性能計算の今後を予想する…………… 10-11- []
 - 7. 近未来を予測できる世界、Ability-awareな世界…………… 10-12- []
 - 8. モバイルコンピューティングの未来像…………… 10-13- []
 - 9. 2050年の情報処理（セキュリティ編）…………… 10-14- []
 - 10. 2050年の学術情報処理…………… 10-15- []
 - 11. グループウェアから共助社会へ…………… 10-16- []
 - 12. 2050年の春のある日…………… 10-17- []
 - 13. トラストで紡ぐセキュリティ…………… 10-18- []
 - 14. 大規模社会実験の成果やいかに？…………… 10-19- []
 - 15. 能力はダウンロードできるか？…………… 10-20- []
 - 16. 社会的重要課題の解決に挑むAIービッグデータ…………… 10-21- []
 - 17. スーパーヒューマン音声対話コミュニケーションシステム…………… 10-22- []
 - 18. 30年前と30年後へのメッセージ…………… 10-23- []
 - 19. 生物学と情報科学によるトランスヒューマン研究の進化…………… 10-24- []
 - 20. 2050年の知能システム…………… 10-25- []
 - 21. Post-Truth 音楽情報処理…………… 10-26- []
 - 22. 情報システムとしての法律もしくはは法治の未来…………… 10-27- []
 - 23. コンピュータグラフィックスの未来…………… 10-28- []
 - 24. 2050年のエンタテインメントコンピューティング…………… 10-29- []
 - 25. 人口9,000万人時代の日本の電子化知的財産・社会基盤…………… 10-30- []
- 寄稿：ソフトウェア工学を推進した木村泉君を悼む…………… 10-31- []
- 情報の授業をしよう！：プログラミング的思考を高等学校のすべての教科に取り入れたら授業がどう変わったか…………… 10-32- []
- 報告：多くの人が同意しない未来を作る…………… 10-33- []
- べた語義：携わるシステムが利用される楽しみ…………… 10-34- []
- べた語義：ワークショップで小学生のための情報科学の授業を作った話…………… 10-35- []
- べた語義：Processingでプログラミングに挑戦！ー第4回アニメーションとインタラクションー…………… 10-36- []
- ピプリオ・トーク：マインドストーム 子供、コンピューター、そして強力なアイデア…………… 10-37- []
- 5分で分かる！？有名論文ナメ読み：Neural Tangent Kernel: Convergence and Generalization in Neural Networks…………… 10-38- []

〔11〕 本号で最も良かった記事は何ですか？ 上記〔10〕の設問の記事番号から1つだけ選び（例：10-8の記事の場合は「8」と記入）、その理由をご回答ください。上記に掲載されていない記事の場合はタイトルを直接ご記入ください。

- 〔11-1〕 良かった記事 11-1- []
 〔11-2〕 この記事に対する貴方の立場：a) 専門家 b) 非専門家 11-2- []
 〔11-3〕 選んだ理由（下記から、いくつでも選択可） 11-3- []
 a) 技術・研究動向がよく分かった b) 知的興味をかきたてられた c) 新たな知識を得ることができた d) 内容が平易で理解しやすかった
 e) その他（具体的に下記にご記入ください）

〔12〕 本号で最も良くなかった記事は何ですか？ 上記〔10〕の設問の記事番号から1つだけ選び（例：10-8の記事の場合は「8」と記入）、その理由をご回答ください。上記に掲載されていない記事の場合はタイトルを直接ご記入ください。

- 〔12-1〕 良くなかった記事 12-1- []
 〔12-2〕 この記事に対する貴方の立場：a) 専門家 b) 非専門家 12-2- []
 〔12-3〕 選んだ理由（下記から、いくつでも選択可） 12-3- []
 a) 記事の内容に誤りがあった b) ありきたりの内容だった c) 記事が難しすぎた d) 何を言いたいのか分からなかった e) 宣伝の意図が強すぎる
 f) テーマに興味を持てなかった g) その他（下記に具体的に下記にご記入ください）

〔13〕 今月の特集に対する貴方の立場を教えてください。

- 〔13-1〕 2050年の情報処理：a) 専門家 b) 非専門家 13-1- []

〔14〕 設問〔10〕で読んでいないと答えた記事について、その理由を教えてください。

〔15〕 会誌のオンライン版ができたらどのような記事を読みたいか、どのようなコンテンツが期待できるか、などで意見がございましたら教えてください。

〔16〕 会誌に対するご意見や感想、著者への質問、巻頭コラムに登場してほしい人物、今後取り上げてほしいテーマなどありましたらご記入ください。（スペースが足りない場合はお手数ですが別紙を追加してください）

■ 各種問合せ先 ■

一般社団法人 情報処理学会（本部） ※支部所在地等詳細はリンクされている各支部ページでご参照ください。
 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5 化学会館 4F Fax(03)3518-8375 <https://www.ipsj.or.jp/>

担当	E-mail	Tel(ダイヤルイン)	取り扱い内容
■ 会員サービス部門			
会 員	mem@ipsj.or.jp	03-3518-8370	入会、会費、変更連絡、退会、在会証明、会員証、会誌配布、会員特典、会費等口座振替、海外からの送金、賛助会員、電子図書館
■ 会誌編集部門			
会誌編集	editj@ipsj.or.jp	03-3518-8371	会誌「情報処理」の掲載内容、広告掲載、出版、コンピュータ博物館（情報処理技術遺産）
著作権	copyright@ipsj.or.jp		転載許可、著作権
デジタルプラクティス	editdp@ipsj.or.jp		デジタルプラクティス（DP）の編集・査読、DP レポート
図 書	tosho@ipsj.or.jp	03-3518-8374	出版物購入
■ 研究部門			
論文誌	editt@ipsj.or.jp	03-3518-8372	論文誌（ジャーナル/JIP/トランザクション）の編集・査読
調査研究／国際／教育	sig@ipsj.or.jp		研究会登録、研究発表会、研究グループ、シンポジウム、国際会議、IFIP委員会、情報処理教育委員会、アクレディテーション対応
■ 事業部門			
事 業	jigy@ipsj.or.jp	03-3518-8373	全国大会、FIT、プログラミングコンテスト、プログラミング・シンポジウム、協賛・後援
技術応用	event@ipsj.or.jp		連続セミナー、短期セミナー、IT フォーラム、ソフトウエアジャパン、その他講習会
認定情報技術者制度	ipsj.citp@ipsj.or.jp		認定情報技術者制度
■ 管理部門			
総務／庶務	soumu@ipsj.or.jp	03-3518-8374	総会・理事会、支部、選挙、総務系選奨、関連団体、アドバイザーボード
経 理	keiri@ipsj.or.jp		出納、送金連絡
システム企画	sys@ipsj.or.jp		システム企画、セキュリティ、電子化委員会、電子図書館、IPSJ メールニュース
■ 情報規格調査会			
規格部門	問合せフォーム https://www.itscj.ipsj.or.jp/contact/index.html		ISO/IEC JTC 1での情報技術の標準化業務 〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館308-3 Tel (03)3431-2808 Fax (03)3431-6493 https://www.itscj.ipsj.or.jp/

特集を編集するにあたり 30 年前の同じ内容の特集を閲覧したところ、内容が興味深く、ぜひ今回も同じテーマで特集したいということになりました。ただ、編集委員会の心配は、研究会の皆様へ趣旨を理解いただき執筆いただけるかどうか、内容が一般の方向けの内容でお願いすることに同意いただけるかどうかでした。しかし、心配は杞憂に終わり、領域委員会や研究会

の方々のご厚意のおかげで、急なお願いにもかかわらず、各研究会からの原稿が集まりました。編集委員会一同で閲読させていただき、内容の充実さに驚きました。執筆者の皆様、お忙しいところ執筆していただき、誠にありがとうございました。

(楠 房子/本特集エディタ)

次号 (6 月号) 予定目次

編集の都合により変更になる場合がありますのでご了承ください。

「特集」ハードウェアセキュリティの最新動向

ハードウェアに対する物理攻撃—サイバーだけでなくフィジカルも守る—/ハードウェアを用いた暗号処理の高速化/ハードウェアトロージャンの脅威と検出/計測セキュリティーサイバー空間と物理空間のつなぎ目における脅威とその対策—/Trusted Execution Environment によるシステムの堅牢化/自動車サイバーセキュリティの基本—車載ネットワークと攻撃例—

「小特集」差分プライバシー

データプライバシー保護技術と差分プライバシー/差分プライバシーの基礎と動向/局所差分プライバシーの最新動向

「ミニ特集」ET ロボコン：異色の情報系ロボコン—光る若手にインタビュー—

ソフトウェア教育・実践の場としての ET ロボコン—時代に合わせたモデリング課題の提供—/KAMOGAWA の訓練生にインタビュー/がんちゃん+X の学生にインタビュー

特別解説：電子カルテの安全な導入と運用……………黒田知宏

解説：準委任契約はアジャイル開発を促進できるか—アジャイル開発導入に躊躇する発注側の課題—……………秦泉寺久美

教育コーナー：ぺた語義

連載：IT 紀行/集まれ！ジュニア会員!!/買い物自慢/5 分で分かる!/? 有名論文ナメ読み/情報の授業をしよう!/先生、質問です!/ビブリオ・トーク

コラム：巻頭コラム

複写される方へ

一般社団法人情報処理学会では複写複製および転載複製に係る著作権を学術著作権協会に委託しています。当該利用をご希望の方は、学術著作権協会 (<https://www.jaacc.org/>) が提供している複製利用許諾システムもしくは転載許諾システムを通じて申請ください。

尚、本学会員（賛助会員含む）および著者が転載利用の申請をされる場合については、学術目的の利用に限り、無償で転載利用いただくことが可能です。ただし、利用の際には予め申請いただくようお願い致します。

権利委託先：一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル
E-mail : info@jaacc.jp Tel (03)3475-5618 Fax (03)3475-5619

また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡してください。
Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : 1-978-750-8400 Fax : 1-978-646-8600

Notice for Photocopying

Information Processing Society of Japan authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights and reuse rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (<http://www.jaacc.org/en/>) and confirm appropriate organizations.

You may reuse a content for non-commercial use for free, however please contact us directly to obtain the permission for the reuse content in advance.

<All users except those in USA>

Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc. (JAACC)
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
E-mail : info@jaacc.jp
Phone : 81-3-3475-5618 Fax : 81-3-3475-5619

<Users in USA>

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : 1-978-750-8400 Fax : 1-978-646-8600

..... 広告のお申込み

■ 広告料金表

掲載場所	4色	1色
表2	330,000円 (税抜)	—
表3	275,000円 (税抜)	—
表4	385,000円 (税抜)	—
表2対向	300,000円 (税抜)	—
表3対向	265,000円 (税抜)	155,000円 (税抜)
前付1頁	250,000円 (税抜)	135,000円 (税抜)
前付1/2頁	—	80,000円 (税抜)
前付最終	—	148,000円 (税抜)
目次前	—	148,000円 (税抜)
差込 (A4変形判 70.5kg未満 1枚)	275,000円 (税抜)	
差込 (A4変形判 70.5kg～86.5kg 1枚)	350,000円 (税抜)	
同封 (A4変形判 1枚)	350,000円 (税抜)	

■ 「情報処理」

発行 一般社団法人 情報処理学会
 発行部数 20,000部
 体裁 A4変形判
 発行日 毎当月15日
 申込締切 前月10日
 原稿締切 前月20日
 広告原稿 完全版下データ
 原稿寸法 1頁 天地250mm×左右180mm
 1/2頁 天地120mm×左右180mm
 雑誌寸法 天地280mm×左右210mm

■ 問合せ・お申込み先

〒169-0073 東京都新宿区百人町2-21-27
 アドコム・メディア(株) (Tel/Fax/E-mailは下に記載)

*原稿制作が必要な場合には別途実費申し受けます。
 *同封のサイズ・割引の詳細についてはお問合せください。

..... 掲載広告の資料請求

掲載広告の詳しい資料をご希望の方は、ご希望の会社名にチェック を入れ、送付希望先をご記入の上、Faxにて（またはE-mailにて必要事項を記入の上）アドコム・メディア(株)宛にご請求ください。

■ 「情報処理」 61巻5号 掲載広告 (五十音順)

- インタフェース 表2 講談社 前付最終
 オーム社 表2対向 サイエンス社 目次前
- すべての会社を希望

■ 資料送付先

フリガナ
お名前 _____

勤務先 _____ 所属部署 _____

所在地 (〒 -) _____

TEL () - FAX () -

ご専門の分野 _____



お問合せ・お申込み・資料請求は

広告総代理店 **アドコム・メディア(株)**

Tel.03-3367-0571 Fax.03-3368-1519 E-mail: sales@adcom-media.co.jp

賛助会員のご紹介

本会をご支援いただいております賛助会員をご紹介します。
Web サイト (<https://www.ipsj.or.jp/annai/aboutipsj/sanjo.html>) 「賛助会員一覧」のページからも
各社へリンクサービスを行っておりますので、ぜひご覧ください。

照会先 情報処理学会 会員サービス部門 E-mail: mem@ipsj.or.jp Tel.(03)3518-8370

●●● 賛助会員 (20 ~ 50口)

HITACHI
Inspire the Next

(株) 日立製作所

FUJITSU

富士通 (株)

Orchestrating a brighter world

NEC

日本電気 (株)

MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better

三菱電機 (株)

CyberAgent.

(株) サイバーエージェント

IBM

日本アイ・ビー・エム (株)

●●● 賛助会員 (10 ~ 19口)

RECRUIT

(株) リクルート

Google

グーグル合同会社

NTT docomo

(株) NTT ドコモ

TOSHIBA

(株) 東芝

NTT

日本電信電話 (株)

Microsoft

日本マイクロソフト (株)

FORUM 8
フォーラムエイト

(株) フォーラムエイト

●●● 賛助会員 (3 ~ 9口)

TTC
Telecommunication
Technology
Committee

(一社) 情報通信技術委員会

NTT data

(株) NTT データ

GREE

グリー (株)

Rakuten
Institute of Technology

楽天技術研究所

IA japan

(一財) インターネット協会

JISA

情報サービス産業協会

TREND MICRO

トレンドマイクロ (株)

NTTコムウェア

NTT コムウェア (株)

NTTテクノクロス

NTT テクノクロス (株)

uejima

(株) うえじま企画

OKI

沖電気工業 (株)

Canon
キヤノンマーケティングジャパン株式会社
キヤノンマーケティングジャパン (株)

CMS CORE MICRO SYSTEMS INC.
コアマイクロシステムズ (株)

SANBI

三美印刷 (株)

SEPTENI

(株) セプテーニ

SONY

ソニー (株)

team Lab

チームラボ (株)

TECHNOPRO Design

(株) テクノプロ
テクノプロ・デザイン社

Panasonic

パナソニック (株)

MIZUHO みずほ情報総研

みずほ情報総研 (株)

人と音楽の新しい関係をデザインする。

レコチョク

(株) レコチョク

2020 年度 情報処理学会シニア会員申請のご案内

本会は、2014 年度より情報処理分野において継続的な貢献が認められ、学会活動を通して本会の発展に寄与する正会員に対し、将来にわたって引き続き学会活動の中心となつて、学会の発展、ひいては社会への貢献をいただくという趣旨のもと、「情報処理学会シニア会員制度」を設けております。

シニア会員の申請有資格者様におかれましては、本制度の内容をご確認の上、ぜひとも申請をいただき、本会シニア会員として今後もなお一層の積極的な学会活動、ご活躍をいただければ幸いです。多くの方からの申請をお待ちしております。

なお、「シニア会員」の称号取得は、2019 年度より「フェロー」推薦を得るための条件となりました。

2020 年度シニア会員申請および申請手続き要項

以下の要項をご確認の上、学会 Web サイト内のシニア会員 Web ページより、「シニア会員申請フォーム」に申請書類を添付して事務局までご送信ください。また、事務局シニア会員担当あて電子メール、および郵送での申請も受け付けております。

Web ページ	https://www.ipsj.or.jp/annai/aboutipsj/seniormember/seniormember.html
申請対象者	2020 年 4 月 1 日現在で正会員として連続 5 年以上在会の方が対象です。 *年齢不問、学生会員としての在会期間は対象外です。
申請受付締切	2020 年 7 月 31 日（金）まで
申請書類	シニア会員申請書 1 通 シニア会員推薦書 2 通（推薦書は 2 名分必要です）
申請方法 (①～③いずれかの方法で申請してください)	申請は自己申告による申請と第三者申告による申請がございます（詳細は Web ページをご確認ください）。 ■自己申告の場合の申請方法 ① Web サイト申請フォームから申請 1. 上記 Web ページより「シニア会員申請書」をダウンロード、必要事項を記入してください。 2. 推薦者に該当する 2 名の方より「シニア会員推薦書」を入手してください。 3. 「申請書」、「推薦書 1」、「推薦書 2」の順に計 3 ページ分を PDF にて 1 つのファイルにまとめてください。 4. 上記 Web ページ内の「シニア会員申請フォーム」に必要事項をご入力頂き、3. で作成したファイルを添付して受付期間内に申請してください。 ② 電子メールで申請 soumu@ipsj.or.jp あてのメールに必要事項をすべて入力済みの「申請書」1 通、「推薦書」2 通を添付してお送りください。 ③ 郵送にて申請 事務局管理部門シニア会員担当へ必要事項をすべて記載した「申請書」1 通、「推薦書」2 通（いずれもサイズは A4 判）をお送りください。 ①, ②, ③とも事務局にて受付後、受付完了メールを申請者・推薦者にお送りしますのでご確認ください。 ■第三者申告の場合の申請方法 【申告者（推薦者）】 第三者による申告の場合、申告者（推薦者）は次項 1～6 のいずれかに該当する本会員に限ります。また、申告者は推薦者の一人となります。 ① Web サイト申請フォームから申請 ② 電子メールで申請 ③ 郵送にて申請 いずれも自己申請の場合と同様。
推薦者	推薦者は下記 1～6 のいずれかに該当する方です。2 名の方から推薦書をいただいでください（推薦者は上記 Web ページにて確認できます）。 1. 本会名誉会員 2. 本会フェロー 3. 本会役員及び役員経験者 4. 本会支部長及び支部長経験者 5. 本会研究会主査及び研究会主査経験者 6. 本会シニア会員
審査方法	申請書類に基づき、本会総務財務運営委員会で審査を行い、理事会へ諮ります。 【審査基準】 本会関連分野の技術者、科学者、教育者、技術管理者で、連続して 5 年以上本会正会員として在会しており、本会の諸活動の支援および諸事業において、貢献が認められる方。
結果連絡	2020 年 10 月ごろ、申請書に記載のメールアドレスへ審査結果を連絡します（審査状況によっては日程が変更になる可能性があります）。 申請が認定された方は、本会 Web ページにお名前を掲載し、後日「シニア会員認定証」を会誌発送先の住所へお送りします。

申請・照会先：〒 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5 化学会館 4F

情報処理学会事務局 管理部門 シニア会員担当

TEL：03-3518-8374 e-mail: soumu@ipsj.or.jp

 **近代科学社 好評既刊**

IT研究者のひらめき本棚 ビブリオ・トーク：私のオススメ

2017年9月発売 定価 1,980円(本体1,800円+税)

編：情報処理学会 会誌編集委員会

判型 A5変 152頁 ISBN 978-4-7649-0548-1 C3004

月刊『情報処理』の人気連載をまとめた本がついに登場！



情報処理学会誌『情報処理』で好評連載中の「ビブリオ・トーク -私のオススメ-」がついに一冊の書籍に！

この連載でIT研究者の方々が紹介した、デマルコやカーニハン、ヘネシー&パターンソン、更にはアシモフやホーガン、伊藤和典、というバラエティに富んだラインナップを40本収録。

序文は、第一回担当である人工知能研究者・中島秀之。

さらに帯に、メディアアーティスト・落合陽一の推薦文をいただき、IT研究者を目指す学生にもオススメの一冊！

■ 紹介書籍(一部)

- | | | |
|--|---------------------------------|--|
| ◇ ハッカーと画家 | ◇ 機動警察パトレイバー風速40メートル | ◇ ぼくの命は言葉とともにある(9歳で失明18歳で聴力も失ったぼくが東大教授となり、考えてきたこと) |
| ◇ プログラム書法(第2版) | ◇ ピープルウェア 第3版 | ◇ 部分と全体 私の生涯の偉大な出会いと対話 |
| ◇ Computer Networks 5th Edition | ◇ Computer Lib / Dream Machines | ◇ 夜明けのロボット(上)(下) |
| ◇ デジタル作法 | ◇ 未来の二つの顔 | ◇ ポスト・ヒューマン誕生 |
| ◇ 珠玉のプログラミング | ◇ 生体用センサと計測装置(ME教科書シリーズ) | ◇ 理科系の作文技術 |
| ◇ Computer Architecture, 5th Edition A Quantitative Approach | ◇ Cooking for Geeks—料理の科学と実践レシピ | ◇ 現代倫理学入門 |
| ◇ Operating Systems Design and Implementation (3rd Edition) | ◇ ハッカーのたのしみ | を含む40銘柄を紹介。 |

※ご注文は、お近くの書店様へ

□ お問合せ先

〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-7-15

株式会社近代科学社 営業部 TEL 03-3260-6161 / FAX 03-3260-6059

sales-corporate@kindaikagaku.co.jp http://www.kindaikagaku.co.jp

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台一丁目一五

編集人 稲見昌彦
発行所 東京都千代田区神田駿河台一丁目一五
発行人 木下泰三
一般社団法人 情報処理学会

電話 東京(〇三)三五二八八三七四
振替口座 〇〇一五〇一四一八三四八四

印刷所 東京都荒川区西日暮里五丁目八
三美印刷株式会社

会員外発売所 東京都千代田区神田錦町三丁目一
株式会社 オーム社

定価(本体1,600円+税)

本誌広告一手取扱い アドコム・メディア株式会社

〒169-0073 東京都新宿区百人町2-21-27 TEL.03-3367-0571 FAX.03-3368-1519

雑誌 05269-05



4910052690509
01600