

情報処理

2021
5

Vol.62 No.5
通巻 674 号

特集 **オンライン** より自由でより没入感の高い イマーシブメディア

特別解説 **オンライン** オンライン教育と著作権法第35条運用指針

解説 **オンライン** 日本語プログラミング言語「なでしこ」に関する解説



巻頭コラム

かつてなく楽しくプログラミング言語が開発できる
時代に
クジラ飛行機

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



Web公開 (無料/有料)
note

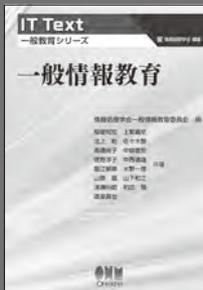
オンライン デジタルプラクティスコーナー：オープンサイエンスを支える研究データ基盤／感性情報学最前線

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／買い物自慢 **オンライン** 教科「情報」の入学試験問題って?

情報の授業をしよう!／先生、質問です!／ビブリオ・トーク

会議レポート



情報処理学会編集の教科書シリーズ!

IT Text(一般教育シリーズ) 一般情報教育

情報処理学会一般情報教育委員会 編 / 稲垣知宏・上繁義史・北上 始・佐々木 整・高橋尚子・中鉢直宏・徳野淳子・中西通雄・堀江郁美・水野一徳・山際 基・山下和之・湯瀬裕昭・和田 勉・渡邊真也 共著
A5判 / 266頁 / 定価2,420円(税込) ISBN 978-4-274-22595-6

情報処理学会一般情報教育委員会で編纂した、これからの一般情報教育に対応した標準テキストです。情報ネットワークや情報機器の基礎知識から、プログラミングの考え方、情報倫理、データサイエンス等、社会生活で不可欠な教養ともいえる知識を幅広く網羅します。

PythonとTensorFlowで深層強化学習を実践!



TensorFlowによる深層強化学習入門 OpenAI Gym+PyBullet によるシミュレーション

牧野浩二・西崎博光 共著
A5判 / 280頁 / 定価3,080円(税込) ISBN 978-4-274-22673-1

アルファ碁などのゲームAIやロボットアームの制御、自動運転などで注目されている深層強化学習の基本と実装について、PythonとTensorFlow(TF-Agents)、シミュレータとしてOpenAI GymとPyBulletを用いて解説。深層学習、強化学習のアルゴリズムをていねいに解説し、Raspberry Pi+Arduinoを用いた実用までを扱っています。

機械学習による異常検知の基本と応用がわかる!

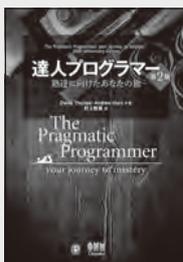


Pythonによる異常検知

曾我部東馬 著 / 曾我部 完 監修
A5判 / 272頁 / 定価3,520円(税込) ISBN 978-4-274-22541-3

機械学習による異常検知のしくみを、誤差関数に着目して解説。誤差関数を中心に理解を深めることで「外れ値とはなにか」「閾値はどのように設定すればよいか」といった異常検知における基本が自然と理解できます。深層学習を用いた応用例まで踏み込み、最終的には自ら異常検知システムを構築できるよう導きます。

より良いプログラマーになるための実践的アプローチ!



達人プログラマー 第2版 熟達に向けたあなたの旅

David Thomas・Andrew Hunt 共著 / 村上雅章 訳
A5判 / 448頁 / 定価3,520円(税込) ISBN 978-4-274-22629-8

本書は、より効率的、そしてより生産的なプログラマーになりたいと願うソフトウェア開発者に向けて、アジャイルソフトウェア開発手法の先駆者として知られる二人により執筆されました。経験を積み、生産性を高め、ソフトウェア開発の全体をより良く理解するための、実践的なアプローチが解説されています。

これから必ずくる量子コンピューティングの時代に備えるためのバイブル!



量子コンピューティング 基本アルゴリズムから量子機械学習まで

情報処理学会 出版委員会 監修 / 嶋田義皓 著
A5判 / 304頁 / 定価3,520円(税込) ISBN 978-4-274-22621-2

IT分野のプログラマーやエンジニアにとって、特に重要となる量子コンピューティングの基礎をわかりやすく解説した書籍です。量子コンピュータの背景、その原理や応用についても高校数学で学んだ内容を起点に数式も示しつつ、しっかりと解説しています。



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。

イラストで学ぶ 人工知能概論 改訂第2版

谷口 忠大・著

B5 変・352 頁・定価：2,860 円（税込） ISBN 978-4-06-521884-6

初学者向けの名著を大改訂！ ホイールダック2号は深層学習を手に入れた。「ニューラルネットワーク」「確率的生成モデル」の章を新設し、ますますパワーアップ！ 全面的に記述も見直した。まずは、この1冊から始めよう！

新刊



ゼロから学ぶ Python プログラミング

Google Colaboratory でらくらく導入

渡辺 宙志・著

B5 変・256 頁・定価：2,640 円（税込） ISBN 978-4-06-521883-9

問題解決に必要な「プログラマ感覚」が身につく！ 基礎から解説し、プログラミングにはじめて触れる読者を、簡単な数値シミュレーションや機械学習まで導く。教科書として最適。Google Colaboratoryで環境構築も簡単！

新刊



実践 Data Science シリーズ

データ分析のためのデータ可視化入門

キーラン・ヒーリー・著 瓜生 真也 / 江口 哲史 / 三村 喬生・訳

B5 変・368 頁・定価：3,520 円（税込） ISBN 978-4-06-516404-4

全世界のRユーザーが絶賛したベストセラーの邦訳書。ggplotとtidyverseの事前知識ゼロでも、すぐに実践できる！ データを可視化する手順はもちろん、「データをどう見せるか」という点まで踏み込んで解説。データを扱う方全般にオススメ！

新刊



意思決定分析と予測の活用

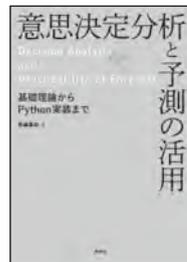
基礎理論から Python 実装まで

馬場 真哉・著

A5・384 頁・定価：3,520 円（税込） ISBN 978-4-06-522227-0

すさまじく丁寧な解説で定評のある著者ならではの入門書！ 決定分析の基本と活用を中心に、効用理論、確率予測までを解説。Pythonによる実装も併記した。決定分析は便利な道具です。便利な道具を手に入れよう！

新刊



スタンフォード ベクトル・行列からはじめる最適化数学

ステファン・ボイド / リーヴェン・ヴァンデンベルグ・著 玉木 徹・訳

B5 変・536 頁・定価：4,950 円（税込） ISBN 978-4-06-516196-8

これが世界標準！ データサイエンス・機械学習を学ぶ「はじめの一步」として、スタンフォード大学にて使用されている教科書がついに邦訳！ 豊富な事例を示しながら、ベクトル・行列の基本から最小二乗法による機械学習までをていねいに解説。数学の学び直しにうってつけ！

新刊



Python 数値計算プログラミング

幸谷 智紀・著

B5 変・272 頁・定価：2,640 円（税込） ISBN 978-4-06-522735-0

Pythonで数値計算の基本をより実践的に！ NumPy、SciPyを動かしながら、数値計算の世界に慣れよう。浮動小数点演算の基礎から偏微分方程式の数値解法までを一冊に凝縮！

新刊



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

これならわかる 機械学習入門

富谷 昭夫・著

A5・256頁・定価：2,640円（税込） ISBN 978-4-06-522549-3

膨大な観測データから普遍的な法則を抽出する手法とは？ 高校数学レベルから始まり、Python入門、TensorFlowによる実装、最新の論文まで踏み込む入門書。

新刊



▶ 主な内容

1章 データとサイエンス 2章 行列と線形変換 3章 確率論と機械学習 4章 ニューラルネットワーク 5章 トレーニングとデータ
6章 Python入門 7章 TensorFlowによる実装 8章 最適化、正則化、深層化 9章 畳み込みニューラルネットワーク
10章 イジング模型の統計力学 11章 Nature Physicsの論文を再現しよう

イラストで学ぶ 認知科学

北原 義典・著

A5・208頁・定価：3,080円（税込） ISBN 978-4-06-521518-0

全ページフルカラー、見開き構成のこれまでにない入門書！ 感覚、記憶、意思決定、情動、言語理解など、人間が行う心的活動を情報処理のプロセスととらえて、体系的かつ網羅的に解説した。情報系の学生に最適な一冊！

2刷出来



▶ 主な内容

1章 認知科学概論 2章 感覚 3章 知覚・認知 4章 記憶 5章 注意 6章 知識 7章 問題解決 8章 意思決定
9章 創造 10章 言語理解 11章 情動 12章 社会的認知 13章 コミュニケーション 14章 錯覚 15章 脳

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

新刊書籍のご案内

(音響テクノロジーシリーズ 24)
機械学習による音声認識
日本音響学会 編 久保陽太郎 著/A5判/324頁/定価5,280円

(マルチエージェントシリーズ A-6)
**マルチエージェントのための行動科学
：実験経済学からのアプローチ**
西野成昭・花木伸行 共著/A5判/200頁/定価3,080円

(次世代信号情報処理シリーズ 2)
音声音響信号処理の基礎と実践
—フィルタ、ノイズ除去、音響エフェクトの原理—
田中聡久 監修 川村 新 著/A5判/220頁/定価3,630円

**音大生・音楽家のための
脳科学入門講義**
田中昌司 著/A5判/126頁/定価1,980円

入門 サイバーセキュリティ 理論と実験
—暗号技術・ネットワークセキュリティ・
ブロックチェーンからPython実験まで—
一面 和成 著/A5判/232頁/定価3,300円

クリギング入門
—空間データ推定の確率論的アプローチ—
阪田義隆 著/A5判/240頁/定価3,740円

ヒューマンコンピュータインタラクション
—人とコンピュータはどう関わるべきか？
人間科学と認知工学の考え方を包括して解説した教科書—
米村俊一 著/A5判/238頁/定価3,410円

プレゼン基本の基本
—心理学者が提案するプレゼンリテラシー—
下野孝一・吉田竜彦 共著/A5判/128頁/定価1,980円

科学技術と共に歩む



株式会社 **コロナ社**

〒112-0011 東京都文京区千石4-46-10
TEL (03)3941-3131 (代), -3132, -3133 (営業部直通)
<https://www.coronasha.co.jp> FAX (03)3941-3137
E-mail eigy@coronasha.co.jp



サイエンス社 新刊のご案内



コンピュータで広がる インターネットリテラシ入門

小口正人著 定価1210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。社会生活において不可欠なインターネットの重要性を学ぶことができる。



Webのしくみ Webをいかすための12の道具

矢吹太朗著 定価2090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。ウェブには何があるのか、それを「道具」として一つずつ紹介し、しくみを学ぶことができる。



ソーシャルメディア論 行動データが解き明かす人間社会と心理

土方嘉徳著 定価2090円

本書ではWebやソーシャルメディアのデータが持つ社会性に着目し、それからわかることや、それらの知的な利用方法に関して、1つの学問として体系化を試みた。社会性を持つデータを取り扱う、学生・研究者・ビジネスパーソン必読の書。



楽しく学ぶ みんなのCプログラミング 基礎からしっかり学ぼう

皆本晃弥著 定価2640円

プログラミング経験のない人を対象とした、基礎からしっかりと学べるC言語の入門書。「分かりやすさ」を優先し、パソコンの基本的な用語やプログラミングをする上でのポイントについても解説。みやすい3色刷。



データベース入門 [第2版]

増永良文著 定価2145円

「ザ・DBテキスト」ともいえるデータベースの入門書。構成は旧版を踏襲しながら、新たにビッグデータとNoSQLについて論じている。加えて、随所に理解を深められる改訂を行い、演習問題を充実させ全てに模範解答をつけた。

数理工学社 新刊のご案内 発売：サイエンス社



レクチャー ヒューマンコンピュータインタラクション

志堂寺和則著 定価1980円

ヒューマンコンピュータインタラクションについての大学向け教科書。情報工学の学生だけでなく、勉学意欲旺盛な他専攻の学生も読みこなせるよう、わかりやすくコンパクトに書かれた好個の書。

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 定価4620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> *表示価格は全て税込みです。

サイエンス社



PREFACE

巻頭コラム

222 かつてなく楽しくプログラミング言語が開発できる時代に クジラ飛行機

SPECIAL ARTICLE

特別解説

224 ■ オンライン教育と著作権法第 35 条運用指針 芳賀高洋

SPECIAL FEATURES

特集

より自由でより没入感の高いイマーシブメディア

230 編集にあたって 袖美樹子・青木秀一

232 概要

DIGITAL PRACTICE

デジタルプラクティスコーナー

オープンサイエンスを支える研究データ基盤

234 編集にあたって 村山泰啓・林 和弘

239 概要

お知らせ

特集/デジタルプラクティスコーナーの記事はオンラインのみの掲載となります(本誌には「編集にあたって」「概要」のみ掲載されます)。オンライン記事(電子図書館)の閲覧方法につきましては本誌 275 ページに掲載しておりますのでご確認くださいませいたします。

感性情報学 最前線

240 編集にあたって 江谷典子・竹之内宏・齋藤 学

243 概要

連載：買い物自慢

229 AIY Voice Kit でワクワク 山之上卓

連載：情報の授業をしよう！

246 ■ 専門科目「情報デザイン」「情報コンテンツ実習」を担当して 山本博之

教育コーナー：ぺた語義

253 ■ 人工知能研究者から見た情報の教育 松原 仁

254 ■ 大学入学共通テスト「情報」試作問題に対する教育現場の想い 井手広康

258 ■ 新刊 IT Text を使った一般情報教育はこうだ!〜シンポジウム「これからの大学の情報教育」2020 開催報告 上繁義史

264 連載：★ 先生，質問です！

連載：★ ビブリオ・トーカー私のオススメ

266 アナログの逆襲「ポストデジタル経済」へ，ビジネスや発想はこう変わる 眞部雄介

連載：★ 5分で分かる!? 有名論文ナナム読み

268 Ramesh Raskar, Greg Welch, Kok-Lim Low and Deepak Bandyopadhyay : Shader Lamps : Animating Real Objects With Image-Based Illumination 宮下令央

会議レポート

270 CCS 2020 会議報告 大畑幸矢

《記号の説明》

基 応 ★ Jr. ■ 基礎 ■ 専門家向け
専 般 ■ 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」オンライン版 目次

https://www.ipsj.or.jp/magazine/contents_m_e.html

※オンラインでのみ掲載している記事の目次を掲載しております (目次から電子図書館の各記事へリンクしております)。



■ Vol.62 No.5

特集：より自由でより没入感の高いイマーシブメディア

- e1 1. 超高臨場ライブ体験の開発と標準化 (長尾慈郎・今中秀郎)
- e7 2. イマーシブメディアに向けた音響技術—放送とMPEGを中心に— (杉本岳大)
- e12 3. 自由視点テレビFTVの原理 (谷本正幸)
- e19 4. MPEGが規格化に取り組む映像システム技術～新たな映像体験に向けて～ (青木秀一)

解説

- e26 日本語プログラミング言語「なでしこ」に関する解説 (クジラ飛行機)

連載：教科「情報」の入学試験問題って?

- e43 教科「情報」の入学試験問題って? (情報処理学会 情報入試委員会)
- e46 基本問題 (情報処理学会 情報入試委員会 算 捷彦)

デジタルプラクティスコーナー：オープンサイエンスを支える研究データ基盤

- 1. [解説論文] オープンサイエンスと研究データ管理の動向 (青木学聡)
- 2. [解説論文] 統合データベースプロジェクトから学ぶこと (高木利久)

デジタルプラクティスコーナー：感性情報学 最前線

- 1. [招待論文] 感情認識AI「心sensor」の教育現場導入に向けた実証実験 (齋藤 学)
- 2. [解説論文] ユーザの感性情報を用いた動的なコンピュータシステム (竹之内宏)
- 3. [招待論文] 遠隔地間の味コミュニケーションを想定した対話型進化計算による混合飲料生成システムの改善 (福本 誠・花田良子)
- 4. [招待論文] 対話型進化計算システムにおける一対比較評価の有用性 (竹之内宏・徳丸正孝)

インタビュー／座談会 最前線に立つ実務家と研究者が見る感性情報学の今と未来

インタビュー：心sensorについて (インタビュー：齋藤 学・インタビュー：江谷典子)

座談会：対話型進化計算の未来 (参加者：竹之内宏・福本 誠・花田良子・徳丸正孝 司会：竹之内宏)

グロッサリ

「情報処理」note

<https://note.com/ipsj>

※人気記事や最新記事のチラ見せ、無料で読める記事などさまざまなコンテンツを公開していきます。



272 会員の広場

274 論文誌ジャーナル掲載論文リスト／論文誌トランザクション掲載論文リスト／IPJSカレンダー

275 [重要] 過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について

275 【ご案内】会誌「情報処理」のオンライン記事について

276 人材募集

277 英文目次／アンケート

278 編集室／次号予定目次

279 掲載広告カタログ・資料請求用紙

280 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：清水 佳奈・井上 創造

本号エディタ：

青木 秀一・五十嵐悠紀・江谷 典子・江波浩一郎・大石 康智・
大川 徳之・太田 智美・折田 明子・桂井麻里衣・金子 格・
川上 玲・河原 亮・楠 房子・樺 惇志・斎藤 俊則・
齋藤 学・佐藤 聡・須川 賢洋・袖 美樹子・高木 拓也・
高木 正則・竹之内 宏・中島 一彰・西川 記史・林 和弘・
坂東 宏和・藤原 一毅・細野 繁・堀井 洋・福地健太郎・
坊農 真弓・水野加寿代・村山 泰啓・山本ゆうか・湯村 翼・
渡辺 博芳

理事からのメッセージ：

https://www.ipsj.or.jp/annai/aboutipsj/rjij_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



かつてなく楽しくプログラミング言語が 開発できる時代に

■ クジラ飛行機



筆者は20年にわたって日本語プログラミング言語の開発をしています。日本語プログラミング言語の可能性に魅せられて「ひまわり」「葵」「なでしこ」といった言語を開発しました。特に「なでしこ」は今年度(2021年度)からの中学の教科書(教育図書)で扱っていただくことになりました。若い皆さんのプログラミング学習のお手伝いができることを嬉しく思っています。

それにしても、このプログラミング言語開発に費やした20年を振り返ってみると、何度もゼロから日本語プログラミング言語を作り直していることに気付きます。その理由は単純に楽しいからです。

しかも、プログラミング言語の開発には夢があります。というのも現在現役で使われている多くの言語が最初は個人で開発されたものが基になっているからです。Perl, Python, PHP, Rubyと現在世界中で使われているプログラミング言語も、最初は個人プロダクトから始まっています。自分の作った言語が世界中で使われるようになる可能性があるのです。特にRubyは日本発の言語ですから、その後が続いて世界を目指す言語が増えていくと楽しくなりそうです。

なお一口にプログラミング言語の開発といってもいろいろな手法があります。全部自力で実装するのも楽しいのですが、文法規則から言語を生成するパーサジェネレータを使うという手もあります。また、LLVM

■ クジラ飛行機
くじらはんど所属の自由型プログラマー

代表作にテキスト音楽「サクラ」や日本語プログラミング言語「なでしこ」など。これまでに30冊以上の技術書籍を執筆。2001年オンラインソフト大賞入賞。2010年IPA OSS 貢献者賞受賞。



のようなコンパイラ基盤もあります。こうしたツールを利用すると思いつきやちょっとしたアイデアを短時間で形にできます。

これに加えてaltJSという選択肢も実用的です。altJSとは独自のプログラミング言語からJavaScriptのコードを生成して実行する種類の言語のことです。代表的な言語には、CoffeeScript、TypeScriptなどがあり開発者からの支持を得ています。筆者が現在開発中の「なでしこ3」もaltJSの一種です。altJSのメリットは実行速度が十分速く、WebブラウザやNode.jsなど幅広い環境で動かせることです。そして柔軟なスクリプト言語を利用して言語の開発ができるので自由度が高く開発障壁も低いのがポイントです。

OSやプログラミング言語、データベースなどのシステム基盤は、普段の仕事では使うだけということがほとんどです。しかし素晴らしいことに、現在これらのシステムはオープンソースでありコードを読むことができます。そこで、それらを真似て自分で作ってみると、とても興味深く勉強になることでしょう。

コロナ禍のこの機会に世界を目指してプログラミング言語を自作してみるのはいかがでしょうか。もしも自動化したい課題が目の前にあるなら、それを自動化するためのスクリプト言語から作るのはいかがでしょうか。きっと作業が何倍も楽しくなることでしょう。

※プログラミング言語なでしこの解説記事を<https://note.com/ipsj/n/na3c57ceeffcf>に掲載しています。

オンライン教育と 著作権法第 35 条運用指針



芳賀高洋 | 岐阜聖徳学園大学

注目が集まる「オンライン教育×著作権」と授業目的公衆送信補償金制度

2020 年 COVID-19 流行によって急遽高等教育を中心に実践されたオンライン教育は「教育における著作権問題」がクローズアップされるきっかけを作った。法律で言えば、「学校その他の教育機関における複製等」に関する特例を規定した著作権法第 35 条ということになる。この著作権法第 35 条は、2018 年 5 月に、教育の情報化と質的向上を目的として改正・公布されている（表 -1）。以降、著作権者らの代表者と学校関係者の代表者らによる会合「著作物の教育利用に関する関係者フォーラム」（以下、関係者フォーラム）が定期的開催され、第 35 条の運用指針¹⁾を策定・公表している。

新しい第 35 条にはオンライン教育等で著作物をより利用しやすくするための仕組みである「授業目的公衆送信補償金制度」等が盛り込まれた。授業目的公衆送信補償金制度とは、教育機関の授業において公表された著作物を、著作権者の了解を得ずにインターネット等を通じて公衆送信することができるが、教育機関の設置者は包括的な著作権使用料である「補償金」を権利者に支払わなければならないとする制度である。

補償金徴収等の業務は文化庁長官の認可を受け

た（一社）授業目的公衆送信補償金等管理協会（以下、SARTRAS）が一手に担う。2020 年 12 月 18 日、SARTRAS が申請した補償金の額が文化庁長官の認可を受け（表 -1）、幼稚園・保育所は年間幼児一人あたり 60 円、小学校 120 円、中学校 180 円、高校 420 円、高専・短大・大学等の高等教育機関は 720 円となった。この補償金制度は、たとえば、支

表 -1 著作権法第 35 条改正以降の動向

日付	教育と著作権を巡る動向
2018 年 5 月 25 日	第 196 回国会著作権法第 35 条改正・公布
11 月 27 日	著作権者の代表者らと学校関係者の代表者ら総勢 50 名ほどが教育における著作物利用について話し合い共通理解を図る「著作物の教育利用に関する関係者フォーラム」発足 ・2018 年度は計 16 回の会合 ・2019 年度は計 9 回の会合 ・2020 年度は計 4 回の会合
2019 年 1 月 22 日	（一社）授業目的公衆送信補償金等管理協会（SARTRAS）設立
2 月 15 日	SARTRAS を指定管理団体として文化庁長官が指定認可
2020 年 4 月 16 日	2020（令和 2）年度限定第 35 条運用指針の公表（関係者フォーラム）
4 月 28 日	改正著作権法第 35 条「施行」（2020 年度限定で補償金は無償）
7 月 8 日	第 35 条運用指針策定のための高等教育 WG、初等中等教育 WG 発足（2020 年 12 月 21 日までに計 7 回会議）
10 月 1 日	SARTRAS が補償金額を文化庁長官に申請
10 月 7 日	文化庁・SARTRAS 第 1 回授業目的公衆送信補償金制度等に関するオンライン説明会
12 月 18 日	文化庁長官 補償金額の認可
12 月 24 日	2021（令和 3）年度第 35 条運用指針公表
2021 年 1 月 29 日	文化庁・SARTRAS 第 2 回授業目的公衆送信補償金制度等に関するオンライン説明会

払う金額は従量制ではないため、公衆送信を年に1回しかしなかったとしても、あるいは、年に200回したとしても補償金が減額されたり、増額されたりしない、小学校の1, 2年生では一切公衆送信は行わない場合、3年生から6年生までの人数分の補償金を支払えばよい、とある学校で一切公衆送信を行わないならば補償金は支払わなくともよい、という制度である。

オンライン教育の態様と著作権

高等教育の法的根拠となる大学設置基準や学校教育法、初中等教育の学習指導要領等には、「オンライン教育」の定義は見つからない（そもそも「授業」の定義がない）。

そこで、文部科学省が高等教育機関に通知した「令和2年度における大学等の授業の開始等について（通知）」²⁾と文化庁の著作権法第35条における著作物の公衆送信を伴う授業に関する資料³⁾からオンライン教育を整理する（表-2）。

オンライン教育は、A オンデマンド型（異時）とB リアルタイム型（同時）に大別される。いずれのオンライン教育も学習者が学外の遠隔地で学ぶ場合（表-2のA1, B1）と学内教室対面（表-2のA2, B2）で学ぶ場合がある。そのため、オンライン教育は4態様に整理できる。

オンデマンド型のオンライン教育

オンデマンド型は、時と場所を選ばず学習者の要求に応じて学習資源をLMS (Learning Management System) 等のeラーニングシステムやクラウド・サーバ等オンライン・システムからダウンロードして学ぶ遠隔授業（学習）である。

表-2のようにオンデマンド型には、A1 遠隔授業（在宅学習）とA2 教室対面授業（広義のオンライン教育）がある。

A1の遠隔授業（在宅学習）は、2020年度は特例

的に全国の高等教育機関で行われた。初等中等教育でも、長期臨時休業中に授業ビデオをオンラインで視聴して学習する実践が一部の学校で行われたが、小中学校については、A1のような遠隔授業は、災害等非常時以外⁴⁾は、法的に正規の教育課程として認められていない。

このような遠隔授業の態様は、著作権法第35条的には「異時の授業目的公衆送信」と呼ばれる。この態様で他者の公表された著作物を必要と認められる限度内（第3節で詳述）で扱う場合には、原則として、著作権者の許諾は不要であるが、有償（補償金を支払う）である。

異時の授業目的公衆送信では、他者の著作物が含まれる学習資源（教材等）は、ユーザ（学習者）の求めに応じてインターネット等を通じてサーバから「自動的に送信」される（自動公衆送信）。また、電子メールやファクシミリも公衆送信とされる一方で、学校の校舎内からしかアクセスできないLAN内サーバへの著作物受送信は、公衆送信に該当しない。

オンデマンド型は、次に解説するリアルタイム型と比較すると、著作権者が著作物の取り扱いに対して厳格（シビア）な態度を示す傾向がある。年度をまたいだ著作物のアーカイブ化、ライブラリ化については許諾を得てほしいとの著作権者らの主張（要望）が強い。一方、利用者（学校関係者）からは年度をまたぐ教材利用の要望があり、権利者と利用者

表-2 オンライン教育の4態様と著作権取扱い

A オンデマンド型（異時）の授業目的公衆送信	
A1 遠隔授業 ・自宅等での予習復習と自宅等での好きな時間でのオンライン学習	A2 教室対面授業 ・教室対面授業中のLMSやクラウド・サーバ等の利用、電子メール等での著作物の送受信
無許諾有償（補償金）	無許諾有償（補償金）
B リアルタイム型（同時）の授業目的公衆送信	
B1 スタジオ型遠隔授業 ・指導者の面前に学習者がいない状態で、リアルタイム映像通信等で学習 ・学習者同士のグループ映像通信による学習	B2 サテライト型遠隔合同授業 ・指導者の面前に学習者がいる教室授業を遠隔の教室や自宅等に同時中継 ・学校間中継交流授業
無許諾有償（補償金）	無許諾無償

との論点（対立点）の1つとなっている。

リアルタイム型のオンライン教育

一方、リアルタイム型は、指導者と学習者がリアルタイム映像通信等でコミュニケーションをとるなどして学習する遠隔授業で、著作権法第35条的には「同時の授業目的公衆送信」と呼ばれる。この同時の授業目的公衆送信を行うオンライン教育にも、表-2のように2種類ある。

1つは、指導者の面前（対面）に学習者がいない状態で遠隔の学習者に授業を行うスタジオ型遠隔授業である（B1）。この態様で他者の公表された著作物を必要と認められる限度内で扱う場合、原則として、著作権者の許諾は不要であるが、有償（補償金を支払う）である。

B1のスタジオ型の遠隔授業は、2020年度は特例的に正規の講義として多くの大学で行われた。一方、初等中等教育では災害等緊急時以外は正規の教育課程として認められないが、たとえば、岐阜県白川村立白川郷学園という公立の義務教育学校では、臨時休業中の2020年3月から6月までに100時間以上のスタジオ型遠隔授業を実施している⁵⁾。また、不登校の児童生徒を受け入れる「不登校特例校」でもスタジオ型の遠隔授業等が試行されている。

もう1つのリアルタイム型の遠隔授業は、指導者の面前（対面）に学習者がいる教室等での授業を映像通信等で遠隔教室に同時中継するサテライト型遠隔合同授業である（B2）。この態様は、2003年改正の著作権法第35条第2項以来、必要と認められる限度内で著作物を扱う場合は、著作権者の許諾は不要で、補償金の支払い義務もない。

以上のようなリアルタイム型は、オンデマンド型と比較すると、著作権者が著作物の取り扱いに対して寛大な態度を示す傾向がある。たとえば、2021年度版第35条運用指針の初等中等教育の典型事例では、B1スタジオ型の遠隔授業で音楽の全部のストーリーミング配信や、絵本の全部の読み聞かせなどが

無許諾有償（補償金）で可能であることが示された。

オンライン教育における著作物利用上の注意点

以上のように、オンライン教育においては、必要と認められる限度内であれば、公表された著作物を著作権者に無許諾無償、もしくは、無許諾有償（補償金）で利用できる。

ただし、それは「何でもあり」ではない。利用に際して、いくつか条件がある。

そこで本節では、2021（令和3）年度版第35条運用指針¹⁾に基づき、オンライン教育における著作物利用上の注意点について解説する。

第35条運用指針の見方・考え方

2021（令和3）年度版第35条運用指針は、解釈（見解）がわかる第35条の条文や用語、適用範囲等の考え方について、関係者フォーラムで議論し、2020年12月時点までに共通認識が図られた法解釈や申し合わせである（全40ページ）。

議論中の項目や解釈にあたっての法的根拠の資料も補足されている。また、議論中の項目が整理されれば、年度途中でも更新（追記等）される可能性がある。

ただし、運用指針では、想定されるすべてのホワイトケース、ブラックケースを網羅できるわけではない。特に高等教育については、原則（基本的な考え方）の提示が中心となり、個別事例の掲載は少ない。

また、運用指針に法的拘束力はないし、「著作権者に無許諾／要許諾で利用できると考えられる例」として列挙した行為は、確実に（法的に）著作権侵害にならない／なるを保証しない。

したがって、「利用方針の通りに利用すれば何も考えなくとも安心」と捉えるのではなく、他者の著作物を利用するには著作権者の許諾を得ることを大原則に、授業づくり、教材づくりをする上で著作

権を意識するためのヒントとして運用指針を読み、著作物利用に関する問合せがあった際に、感情論ではなく、客観的に説明できるようにするための論拠の1つとして運用指針を捉えるべきである。

この運用指針は、関係者フォーラムの高等教育WGと初等中等教育WGの会議で、それぞれ原案作りが行われた。

初等中等教育はICT利活用が現状ではさほど進んでいないため、初等中等教育の情報化を促進するにはどのような運用指針の書きぶりが適切かという議論が中心となる。そのため、たとえば、「許諾不要で利用できるが、補償金の支払いが必要だと考えられる例」として「幼稚園や保育所で、普段対面で行っている絵本の読み聞かせを、臨時休園中に、同じ教員と幼児間の在宅オンライン授業として行う」といったホワイトリスト事例が多数掲載されている。

一方、情報化が先行する高等教育は、教育の質的向上や高度化の促進には何が必要かを議論する。そのため、高等教育の論点は難易度が高い。指針の書きぶりは、たとえば、論文の取り扱いでは「論文の著作物の場合、小部分の利用にとどまる場合ばかりではなく、全文を通読する必要がある授業もあり、その論文が市場に流通していないような場合には、1つの論文の全部を複製又は公衆送信しても、著作権者等の利益を不当に害することとなる可能性は低いと考えられます」とのような論説形式となっており、読解が必要である。

その他、具体的には、初等中等教育と高等教育では、表-3のような相違点がある。筆者は初等中等教育WG幹事として議論に参加しているが、著作権者側の著作権法第35条に対する捉え方（適用範囲等に関する主張）は、同法第32条の「引用」の要件に似ている印象を抱いている。

「仕分け」の考え方

著作物のオンライン教育（公衆送信）での利用が、無許諾無償か、無許諾有償か、要許諾かを仕分ける

場合、必要と認められる限度（必要性の説明可能性）か否か、そして、それは権利者の利益を不当に害さないかが判断のポイントとなる。

まず、必要と認められる限度については、以下の点を念頭に置く必要がある。

- 「授業のために必要かどうか」は授業担当者が判断する
- 紛争が生じた場合、授業担当者が「説明責任」を負う
- 児童生徒学生による複製等についても、授業内で利用される限りは、「授業の担当者が責任」を負う
- 授業担当者の主観だけでその必要性を判断するのではなく、著作物をコピーや公衆送信することの「必要性を客観的に説明できる」必要がある
たとえば、授業と無関係のお笑い番組を録画し、スタジオ型の遠隔授業でストリーミング配信するような行為は、(授業に) 必要とは認められないだろう。
- つづいて、「権利者の利益を不当に害するか否か」については、以下の点を念頭に置く必要がある。
- 「客観的に必要と認められる」としても、現実に市販物の売れ行きが低下したり、将来における著作物等の潜在的販路を阻害したりする可能性がある場合は、「著作権者等の利益を不当に害する」ため、著作権者の許諾が必要となる
- 著作物の種類、著作物の用途、複製の部数、複製・公衆送信・伝達の態様によって、著作権者等の利

表-3 初等中等教育と高等教育の運用指針上の相違点

	初等中等教育	高等教育
授業の認識	特別活動や行事、部活動は「授業」	行事や部活動等は「授業外」
よく利用される著作物	検定済教科書（に含まれる著作物）、問題集やドリル	学術論文、書籍（専門書等）、雑誌、その他リッチコンテンツ
履修者規模	40名前後（行事等は数百名）	数名～数百名
典型事例	多数のホワイトリスト事例を掲載	なし（ブラックリスト事例を掲載予定）
著作物利用態様の特徴	著作物単体利用が多い	引用も多い
教員研修	教育センター等の研修は適用内	FD、SDは適用外

益を不当に害するか否かが変わる

著作物の種類

写真、俳句、短文、絵画やイラスト、新聞記事などは、著作物の「全部」を無許諾でコピーしたり、単体でオンライン教育のために公衆送信したりできる場合が多いが、映画、音楽、書籍などの多くの部分をコピー・公衆送信する場合、許諾を得なければならぬ可能性が高い。

初等中等教育の場合、採択された検定済教科書に掲載されている著作物の全部を無許諾でコピーや公衆送信できるが、採択外の検定済教科書は一般書籍と同様の扱いである。

高等教育で頻繁に利用される学術論文は、その論文が出版物等の形で市場に流通していない場合は、1つの論文の全部を無許諾で公衆送信できる可能性が高い。

コンピュータのソフトウェアや、全員購入し、一度使用したら再購入が前提のドリルや問題集等は、児童生徒学生の購入の有無にかかわらず、学校で指導者が学習者にコピー配付したり、公衆送信する場合、許諾が必要と考えられる（許諾は得られないことが多い）。

著作物の使用方法、用途（目的）等

表-2のB1スタジオ型遠隔授業については無許諾有償（補償金支払い）で音楽の全部や指導者が録画したテレビ放送をストリーミング配信できることが運用指針で例示されている。ただし、その授業の様子を録画したり、音楽や映像等をクラウド・サーバ等にアーカイブ化・ライブラリ化したり、大学等のWebサイト、動画投稿サイトで不特定者が視聴できるように「公開」する場合は、著作権者の許諾が必要となる可能性が高い。

したがって、たとえば、高等教育における代表的なオンデマンド型遠隔授業であるMOOC（Massive Open Online Course）やOCW（Open Course Ware）は、事実上、学習資源を不特定者（多くの場合は大規模）にオンラインで公開することになる

ため、引用の要件を満たさない著作物転載・転用等については、著作権者の許諾が必要と考えられている。

その他、部数等

コピー部数や公衆送信の受信者の数が、授業を担当する者と「当該授業の履修者数を超える」場合は、著作権者の許諾が必要である可能性が高い。ただし、たとえば、初等中等教育における授業参観や研究授業の参観者に、授業で配布する著作物と同一の著作物を配布することは著作権者に無許諾で可能と考えられる。

なお、著作権法第35条の適用外（たとえば、授業として認められない初中等学校の保護者会等での著作物利用）のものについては、補償金とは別途のSARTRASによる包括的な補完ライセンスの整備が検討されている。

参考文献

- 1) 改正著作権法第35条運用指針（令和3（2021）年度版）：著作物の教育利用に関する関係者フォーラム（2020年12月24日）、https://forum.sartras.or.jp/wp-content/uploads/unyoshishin_20201221.pdf（確認日2021年2月15日）
- 2) 令和2年度における大学等の授業の開始等について（通知）：文部科学省（2020年3月24日）、https://www.mext.go.jp/content/20200324-mxt_kouhou01-000004520_4.pdf（確認日2021年2月15日）
- 3) 授業目的公衆送信補償金制度のオンライン説明会：文化庁・SARTRAS（2021年1月29日）、<https://sartras.or.jp/entrance/>（確認日2021年2月15日）
- 4) 感染症や災害等の非常時にやむを得ず学校に登校できない児童生徒に対する学習指導について（通知）（令和3年2月19日）：文部科学省（2021年2月19日）、https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/mext_01194.html（確認日2021年2月26日）
- 5) 白川村教育委員会・白川郷学園：白川郷学園オンライン教育100日の挑戦、（株）コムラ（2020年12月18日）。

（2021年2月27日受付）

は が た か ひ ろ
芳賀高洋 ismile@gifu.shotoku.ac.jp

岐阜聖徳学園大学・教育学部・教授。「著作物の教育利用に関する関係者フォーラム」専門委員・初等中等WG幹事。



第11回 AIY Voice Kit でワクワク

ちょっと古いけど、「Google AIY Voice Kit」を紹介します。

■ 購入と組み立て

2017年5月、Raspberry Piに関する一般向け雑誌MagPiの付録(FreeKit)としてGoogle AIY Voice Kit (図-1)が発売されました。AIYとはDIY(Do It Yourself)をもじって、あなた自身でAIプロジェクトを作ってみよう(AI Yourself)という意味のようです。AIY Voice Kitはスマートスピーカを自分で作るKitですが、外部機器を接続することで、音声制御のさまざまな装置を作成することもできます。

2018年1月末に、SWITCH-SCIENCEのサイトでGoogle AIY Voice Kitをポチ(発注)りました。きれいな段ボール箱に、部品がきれいに収まっていて、箱を開けただけでワクワクしてきました。その上、AIYプロジェクトの説明や組み立て方が記載された、カラー刷りのきれいな冊子が入っていて、制作意欲が湧いてきました。MagPiは英語ですが、日本語による紹介記事がWebにたくさん見つかります。子供のころに戻った感じでワクワクしながら組み立てました。

■ ソフトウェアのインストールと音声認識

Softwareをインストールし、ネットワークへ接続、スピーカをチェックし、クラウド接続し、音声認識装置を作ります。記述と実際の状況に違いがあったり、説明は英語だったりして分かりにくい問題もありました。支払いのための手続きも必要になります。それでも音声認識に成功し、質問に対する答えを聞いたときは感激し、苦労は吹っ飛びました。

■ さまざまな素子の制御と応用

終わりの方に、「あなたのプロジェクトの音声UIの作成」、「LEDの制御」、「サーボの接続」、「モータの制御」が載っています。本当に面白いのはこれらの部分ではないかと思います。「このようにしてロボットやほかの動くプロジェクトを作成すること

ができます」と書いてあります。そういわれたら受けて立たなくては、と思って、音声指示で動作するFork Lift (図-2)を作成しました。

Raspberry Piと、アクチュエータを接続したArduinoをUSBケーブルで接続し、音声認識結果をコマンドとしてArduinoに送り、実行させるようにしました。嬉しいので、ほかの人にも見てもらおうと、Maker Faire Tokyo 2018やMaker Faire Taipei 2018等で発表しました。自分が作ったものを多くの人に見ていただけるのは最大の喜びです。

■ Google AIY Voice Kit V2

Google AIY Voice Kitはすでに販売されていないのですが、後継のGoogle AIY Voice Kit V2が販売されています。MagPi Essentialsがついてない、Raspberry Pi Zeroが付属、部品数が減っているという違いがありますが、同じように楽しめると思います。
(2021年1月31日受付)

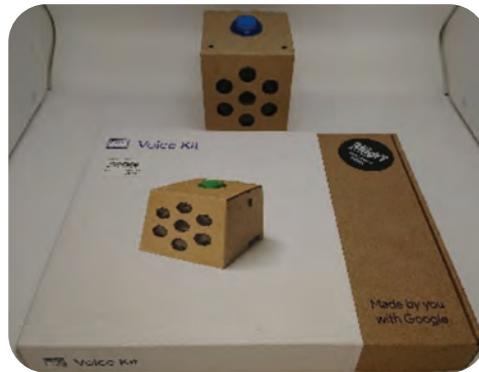


図-1 Google AIY Voice Kit

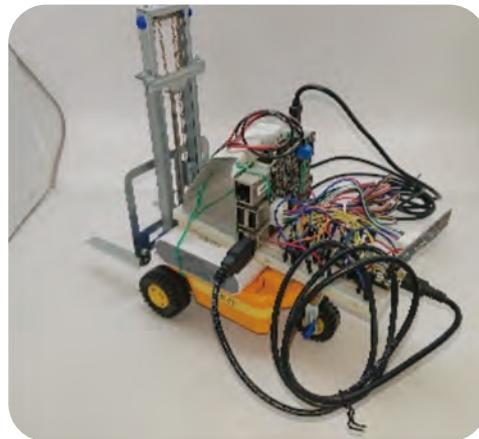


図-2 音声制御 Fork Lift

※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。



特集

より自由でより没入感の高い イマーシブメディア

編集にあたって

袖美樹子 | 国際高等専門学校

青木秀一 | 日本放送協会

新型コロナウイルスの影響で人と人との接触や外出、旅行の機会を大幅に減らさざるを得ない状況になっている。オンライン会議や授業、バーチャルでの体験などさまざまなことが行われているが、現実感のある十分なコミュニケーションにはまだ遠いと言わざるを得ない。こうした状況にも有効と考えられるのが、別の場所にいるような仮想的な体験の実現を目指しているイマーシブメディアである。

イマーシブメディアは、映像空間内を移動し自由な視点からの全方位映像を見ることができ、あたかもその空間に入り込んだような体験ができる高臨場感メディアである。

現在、フライトシミュレータのような業務用途の機器、あるいはテーマパークのアトラクションなどで、特定の用途に限定されるものの非常に高度な臨場感を体験することができる。こうした用途では、映像や音響だけでなく、実際に揺れたり動いたりといった衝撃があったり、風や水がかかるなど肌感覚にも訴えることで、臨場感の高い体験ができるものもある。

一方、家庭では、360度カメラやヘッドマウントディスプレイが用いられつつあり、仮想世界でアバターになってコミュニケーションするアプリが用いられるもの、現実世界での臨場感の高い体験にはまだ遠いものがある。これを解決すべく、映像・音響の両面からイマーシブメディアに向けた研究開発が積極的に行われている。そこで本特集では、現実世界の映像空間を自由に移動して見ることができるイマーシブメディアに向けた映像・音響技術の研究開発について解説いただく。

1番目の記事は、「超高臨場ライブ体験の開発と標準化」である。音楽コンサートやスポーツイベントを、離れた場所にいながら、あたかもその場にいる感覚で視聴、観戦できるシステムについて解説いただく。このシステムは、被写体抽出技術、同期伝送技術、奥行き表現技術などの要素技術により構成され、超歌舞伎、多地点音楽ライブや野球の超ワイド映像の中継でもその有効性が実証されている。また、システムの国際的な接続性を確保し、外国のイベントを国内で容易に体感できるようにするために



行われた標準化についても触れていただく。

2番目の記事は、「イマーシブメディアに向けた音響技術—放送とMPEGを中心に—」である。MPEG (Moving Picture Experts Group) は、DVDやデジタル放送の映像・音響符号化技術、メディア伝送技術など多くのデジタルメディアの技術を開発してきた標準化グループである。音響が人の感覚に与える影響は大きく、音響情報のないイマーシブメディアは考えられない。音響技術について、モノから現在主流であるマルチチャンネル音響システムへの開発過程をふり返りつつ、まさしく現在進行形で議論が行われているイマーシブオーディオについて、要求条件や音質の評価、音響コーデックの構成などの観点から解説いただく。

3番目の記事は、「自由視点テレビFTV (Free-viewpoint Television) の原理」である。視聴者があたかもその場にいるかのように自由に視点を変えるためには、現実の世界を多数のカメラで撮影し、その撮影データを伝送や画像生成に適するシーン表現形式とし、このシーン表現から自由視点画像を生成する。このため、自由視点画像を高精度に生成するには、現実の空間をどのようなシーン表現にするかが重要になる。そこで、一連の処理について、光線空間を表現する手法や、シーンの表現形式についてイメージベースとモデルベースの比較を交えて解説いただく。

4番目の記事は、「MPEGが規格化に取り組む映像システム技術～新たな映像体験に向けて～」であ

る。2次元の映像サービスは、2018年に開始された4K・8K放送で十分高いレベルに達したと言える。これに対し、あらかじめ決められた地点からの映像ではなく、視聴者が自由に動いて自由に見回すことができる映像システムの実現に向け、360度映像と立体的な構造を表現できるボリュメトリック映像を組み合わせて映像を再現することなどが検討されている。そこで現在、国際標準化の議論が行われている新たな映像システム技術について解説いただく。

いずれの記事も、映像・音響技術の研究開発についてだけでなく、標準化・規格化の観点でも書かれている。これはグローバルな情報化時代における国際規格の重要性を示していると思われる。

本特集で取り上げた研究開発が実を結ぶことで、現実の世界をより自由に見たり聞いたりすることができるようになるだろう。また、行ったことがない場所を友人知人と仮想的に訪れることや、実際に行けない音楽イベントやスポーツイベントを、その場にいるかのような感覚を持って体験できるようになることも考えられる。現在のコロナ禍で感じている鬱憤を少しでも晴らすことができる、新たな映像・音響メディアとしてのイマーシブメディアの持つ力に期待したい。

最後に、本特集に寄稿いただいた筆者の皆様ならびに関係各位に感謝します。

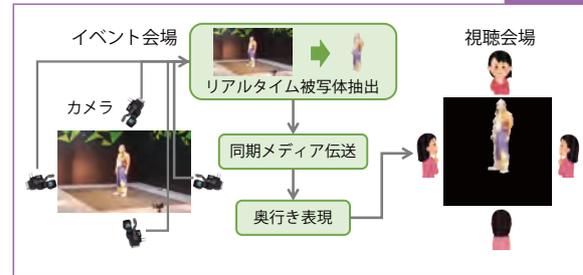
(2021年2月19日)

1 超高臨場ライブ体験の開発と標準化

応
般

長尾慈郎 | NTT サービスエボリューション研究所 今中秀郎 | NTT アドバンステクノロジー (株)

超高臨場ライブ体験 (Immersive Live Experience : ILE) により、音楽コンサートやスポーツ観戦を遠隔地においてあたかもその場にいる感覚で視聴、観戦できるようになる。ILEの実現例として超歌舞伎、多地点音楽ライブ、野球の超ライブ中継における実証事例を紹介し、その核となる実現技術として被写体抽出、同期伝送技術、奥行き表現技術を例示する。また、ILEの国際標準化状況として国際電気通信連合で作成したILEの勧告群の内容を紹介する。

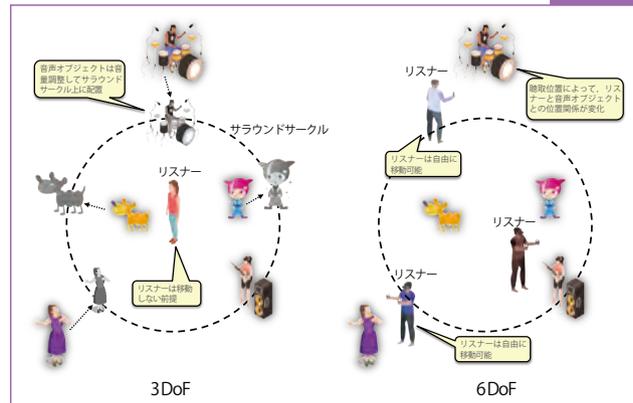


2 イマーシブメディアに向けた音響技術 —放送とMPEGを中心に—

応
般

杉本岳大 | 日本放送協会

放送の音響システムはモノから始まりステレオを経て、現在では音響体験の一層のイマーシブ化を目的に、22.2ch音響が新4K8K衛星放送で放送されている。放送の音声と音声符号化技術の関係は密接で、近年、MPEGで標準化されているイマーシブメディア用の技術も、放送や通信との親和性が高い。本稿では、イマーシブメディアを対象とした音響技術について、放送とMPEGを中心に紹介する。

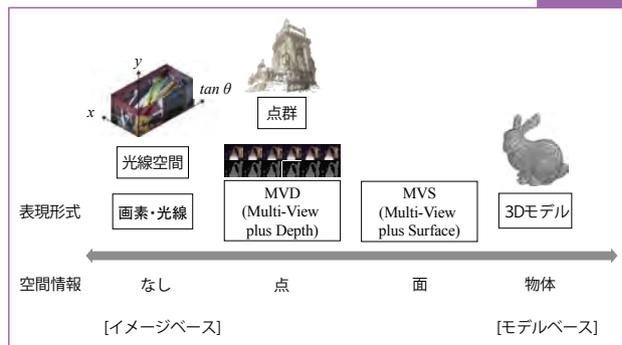


3 自由視点テレビ FTV の原理

基
般

谷本正幸 | 名古屋大学/名古屋産業科学研究所

自由視点テレビの性能はシーン表現法に強く依存する。シーン表現法の代表例として、光線で表現するイメージベース法と3Dモデルで表現するモデルベース法がある。前者は写実性に優れているが視域が狭い。後者は写実性に劣るが視域が広い。両者の中間的な手法としてシーンを点で表現するMVD (Multi-View plus Depth) や点群がある。光線から検出した面でシーンを表現するMVS (Multi-View plus Surface) はイメージベースとモデルベースの統合方式であり、両者の長所を併せ持つ。

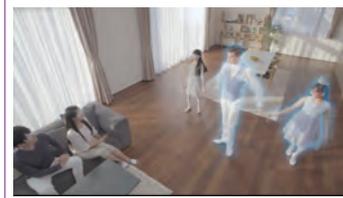


4 MPEG が規格化に取り組む映像システム技術 ～新たな映像体験に向けて～

応
般

青木秀一 | 日本放送協会

イマーシブメディアは、現実の映像と仮想の映像とを利用した映像空間内を自由に移動し、利用者が好きな視点からの全方位映像を楽しめる高臨場感メディアである。ISO/IECにおいてマルチメディア技術の規格化を行う分科会であるMPEGは、イマーシブメディアを実現する映像システム技術の規格化を進めている。本稿では、MPEGが検討しているシーン記述やデコーダインタフェースなどの要素技術と合わせ、将来のイマーシブメディアに向けた取り組みについて概説する。



特集
Special Feature

[より自由でより没入感の高いイマーシブメディア]

1 超高臨場ライブ体験の開発と標準化



長尾慈郎



今中秀郎

NTT サービスエボリューション研究所 NTT アドバンステクノロジ (株)

超高臨場ライブ体験 (ILE) とは

感動を伝える

近年の大規模スポーツイベントや音楽コンサートで、イベント会場以外の遠隔地で観戦・視聴できるようライブビューイング（パブリックビューイングとも言う）が提供されることが増えてきている。ライブビューイングでは遠隔地の観客が同じ大画面を視聴するという形態が多いが、イベント会場の興奮を遠隔地の観客が共有できるようにさらに臨場感を高める工夫が望まれている。超高臨場ライブ体験 (Immersive Live Experience : ILE) は、スポーツや音楽ライブ、演劇などのイベントを遠隔地にリアルタイムにかつ超高臨場感（あたかも本会場で見聞きしているかのような感覚）をもって再現するものであり、従来のテレビや映画を越える臨場感を提供することができる。

ILE では、イベント会場の詳細な情報を取得するために、複数のカメラ（映像）とマイク（音声）だけでなく3次元位置・温度・湿度・風力・風向・振動など多様なセンサ等を使用する。また、視聴会場でのイベント再現のため照明制御情報や舞台演出効果なども含め、時刻同期を保証した上ですべての情報がリアルタイムにエンコードされ、視聴会場での高臨場感を実現するために情報が加工されて視聴会

場に伝送される。視聴会場では受信した情報を基にイベント会場を忠実に再現し、遠隔地の視聴者に超高臨場な体験を提供する。視聴会場では映像や音声をヘッドマウントディスプレイ (HMD) で視聴するのではなく、高精細大型スクリーン、ハーフミラーなどさまざまな映像提示方法で映像を再現することで視聴者間での興奮の共有ができるようになる。

ILE の実証事例

ILE を用いたイベントの実例として NTT の Kirari!^{☆1} の例をいくつか紹介する。興味のある読者は脚注の URL を参照されたい。

超歌舞伎

センシングと映像加工の例として超歌舞伎^{☆2} がある。カメラ映像から歌舞伎俳優だけを高精細かつリアルタイムに抽出して背景映像を除去することで、別の場所へ歌舞伎俳優だけを高精細に投影可能となり、あたかもその場所に歌舞伎俳優がいるかのような超高臨場感が実現されている。この例では、実際の歌舞伎俳優とその映像（分身）、およびバーチャルシンガーとの共演を実現した。

多地点音楽ライブ

多地点ライブとして、FUTURE-EXPERIMENT

☆1 Kirari! : <https://www.ntt.co.jp/activity/jp/innovation/kirari/>

☆2 超歌舞伎 : <https://chokabuki.jp/>

特集 Special Feature

プロジェクトの世界3都市映像同期生中継^{☆3}が挙げられる。3人組のアーティストが東京、ロンドン、ニューヨークの各地点に1人ずつ登場し、3地点のパフォーマンスを時間同期させて高速伝送、生中継し、3人が同じ場所でパフォーマンスしているかのような表現が可能となっている。

野球の超ワイド映像リアルタイム合成・伝送

スポーツ生中継として、ライブビューイング^{☆4}が挙げられる。野球の試合を複数台のカメラで撮影し、その映像を合成して球場全体の広視野角、高精細な映像のリアルタイム合成・伝送を実証した。視聴会場の大型スクリーンに投影された映像は視聴者の視界全体をカバーし、球場のスタンドで観戦しているかのような体験を提供できる。

ILE 実現のための技術

ILE 実現のために、イベント会場の情報を抽出して視聴会場に同期伝送し視聴会場で再現する必要がある。図-1に処理の流れを示す。ここではこれらの技術について概説する。

リアルタイム被写体抽出技術

ILE 実現のために、イベント会場で撮影したカメラ映像から被写体だけをリアルタイムに切り出す処理が必要である。この処理として一般的にはクロマ

キー合成などが利用されるが、グリーンスクリーンなどの特別な撮影環境を必要とするため、実際の競技や本番の演劇・舞台に適用することは困難である。より汎用的に被写体抽出をするために、任意背景でのリアルタイムな被写体抽出が必要となる。NTTでは以下の手順により任意背景における被写体抽出を実現した。

1) 初期抽出

画像を前景画素と背景画素の二値に分類するために、背景差分またはカメラを平行に2台設置して視差計算により分類し抽出。

2) 機械学習による補正

機械学習を利用して注目画素と背景画像の同座標画素の色情報を6次元の入力特徴ベクトルとし、それが前景であるか背景であるか、あるいは曖昧(未分類)かを識別。

3) 境界補正

上記で識別された曖昧画素の隣接画素の情報により、未分類画素を正しい前景・背景画素に置換。

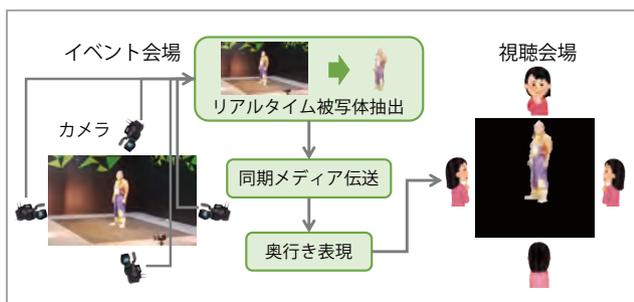
4) 合成・影生成

入力画像を補正後の二値画像でマスク処理することで画像中に被写体だけを残した出力画像を生成(合成)。また、補正後の二値画像に射影変換とぼかし処理を施した変形画像から影画像を生成(影生成)。

同期メディア伝送技術

被写体の画像や被写体の3次元位置情報などを低遅延かつ時刻同期を保ったまま視聴会場に伝送する必要がある。この処理として被写体の位置情報(グローバル座標系, ローカル座標系, 画像座標系)をXML形式に格納し、タイムスタンプを付与する。XMLには、位置情報のほかに会場の情報や被写体のプロフィール、カメラ情報等の半固定的な情報、および、照明の制御情報を格納する。XML形式の情報は、半固定的な情報とフレームごとに変化する情報に分けてPI (Presentation Information) contentに格納し、MMT (MPEG Media Transport) プロト

☆3 多地点音楽ライブ: https://www.nttdocomo.co.jp/special_contents/future_experiment/vol01.html#system
 ☆4 野球の超ワイド映像リアルタイム合成・伝送: <https://www.ntt.co.jp/news2019/1910/191008a.html>



■ 図-1 ILE 処理の流れ

特集 Special Feature

コルに基づき伝送することで時刻同期を保ったまま視聴会場に情報伝送される。

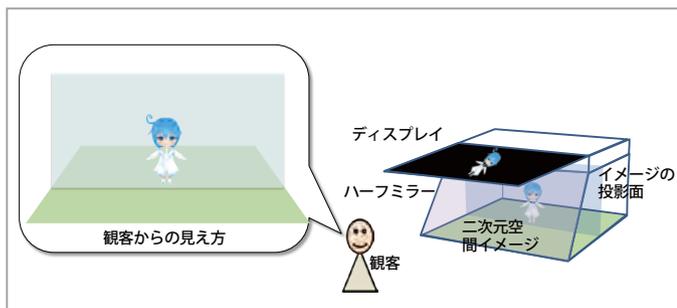
奥行き表現技術

視聴会場で立体的に被写体を再現するため、被写体の奥行き表現と表示が必要となる。NTTのいくつかの実現例では、図-2に示すように2次元ディスプレイとハーフミラーを組み合わせた2次元空中像表示手法を利用している。これは、被写体映像に奥行き感を付与する処理を加えてから表示することで、目の前で被写体を観察しているかのような高い臨場感を観客に与えることができる。これを実現するため、視聴者の視点（目線）から実際の被写体位置を知覚できるよう、事前に求めた変数（カメラの位置、姿勢、画角など）によりカメラ画像を視点変換して画像全体をシフトさせている。

ITU-T 国際標準の紹介

ILE の国際標準化の目的と経緯

外国のイベントを国内で体感するため、また、国内のイベントを外国に発信するために、ILEの国際接続性を確保する必要がある。ILEの情報を国際接続するための符号化方法やインタフェースの国際標準が必要となる。没入感の観点ではHMDやVRゴーグルを利用するVR（仮想現実）やAR（拡張現実）の観点から、モバイル通信関連のいくつかの標準化団体で標準化が検討されている。



■ 図-2 ハーフミラーによる奥行き表現

ILEではGoogleを利用しない実現を目指しているため、VR用標準のすべてをそのまま利用することはできない。しかしいくつかの標準は利用できるように、他標準化団体と協調関係を構築してITU-T(国際電気通信連合 電気通信標準化部門)で国際標準化を実施することとした。2016年にITU-T研究委員会SG 16(Study Group 16)でILEに関する新たな検討課題(Question)を設置し、筆者(今中)がラポーターとなり国際標準化を推進した。また、VR、ARなどのイマーシブサービスに関する他の標準化団体等として、ISO/IEC JTC 1/SC 29(MPEG)や放送関連のITU-R, ARIB, DVB, EBUなどがある。SG 16ではこれらの関連する団体とリエゾン関係を結び情報交換をするだけでなく、共同でワークショップを実施するなど標準化での協調を図った。

ILE 勧告の概要

ILE 要求条件 (H.430.1)

標準化の議論は通常用語の定義から始める。ILE標準化においても、まずILEの定義の議論から始め、ILEの定義と要求条件をITU-T勧告H.430.1^{☆5}にまとめた。本勧告では、ILEを次のように定義した。

Immersive Live Experience (ILE) : センサ情報収集、メディア処理、メディア伝送、メディア同期、メディア表示などのマルチメディア技術の組合せで実現された高臨場感により、あたかも遠隔会場の観客が実際のイベント会場に入り、観客の目の前で実際のイベントを見ているかのように、イベント会場と遠隔会場の両方の観客の感動を刺激する共感視聴経験。

ILEの要求条件として、映像を実物大で表示することや音声が発生源の映像から聞こえてくるようにすること、また、イベント会場での被写体のリアルタイム抽出、照明や舞台演出の情報を映像・音声と

☆5 <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.1>

特集
Special Feature

同期し伝送することなどが規定されている。本勧告で規定された要求条件を表-1に示す。この要求条件により ILE と VR, AR との明確な差が定義される。

ILE アーキテクチャフレームワーク (H.430.2)

ILE を実現する機能を定義するために、ITU-T 勧告 H.430.2^{☆6}ではアーキテクチャフレームワークを規定している。また本勧告は ILE 実現のための一般

☆6 <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.2>

表-1 ILE の要求条件

内容	必須/推奨/オプション
実物大の表示	推奨
音声方向の再現	必須
照明等の効果による雰囲気再現	推奨
視聴会場の端末の性能・3次元位置に合わせた、空間環境の再現	必須
複数アセット(映像、ビデオ、位置情報、構成情報等)の同期表現	必須
拡張情報の表示機能	オプション
物体のリアルタイム抽出	必須
空間情報の計測	推奨
映像、音声、照明、空間、構成情報の同期伝送	必須
映像、音声、照明、空間、構成情報の同期データの蓄積	オプション
再構築のための、複数メディア(映像、音声、照明、空間情報等)の処理	必須
リアルな音像定位	推奨
ワイド映像生成	オプション

的な役割モデルの規定、ILE の機能を実現する候補技術の紹介を含んでいる。ILE のアーキテクチャフレームワークを図-3に示す。

アーキテクチャは大きく分けて以下の5つの部分からなる。

(1) 情報の取り込み

イベント会場で被写体や背景の映像、音声、被写体の位置、照明情報、舞台演出などの各種情報を、カメラ、マイク、センサ等で取得する。

(2) 同期メディア伝送

画像、音声だけでなく位置情報や照明情報など複数のメディア情報を時刻同期して配信する。

(3) 伝送レイヤ

情報を低遅延かつ高信頼でイベント会場から視聴会場に伝送する。

(4) ILE アプリケーション

複数の画像やセンサ情報から被写体の位置情報の特定(空間情報処理)や、視聴会場の表示機能に応じた複数画像の統合など(アセット処理)、入出力情報を加工処理する。

(5) 表示

視聴会場で映像、音声、照明情報からイベント会場の空間自体を再現する。

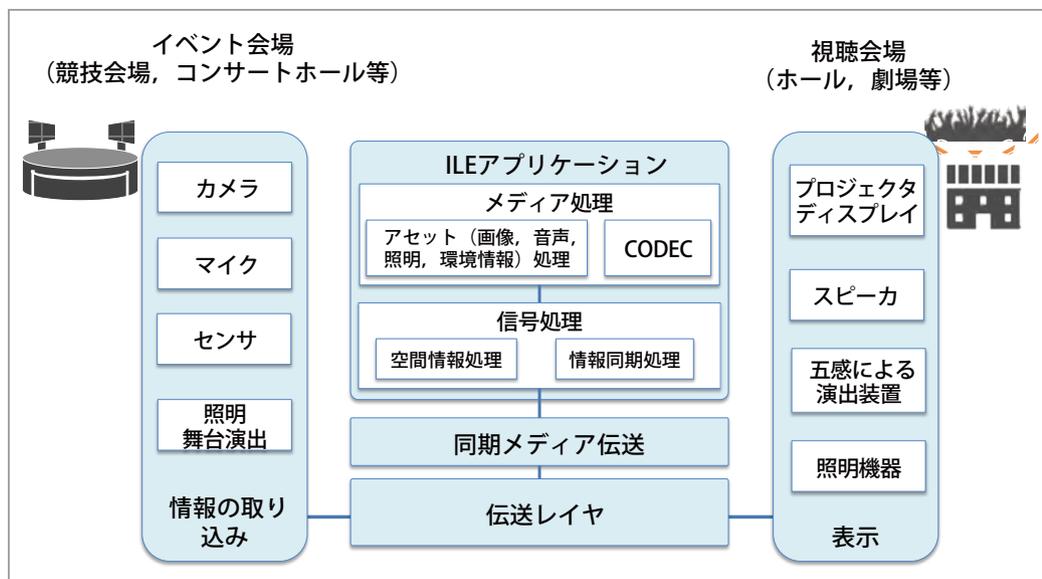


図-3 ILE の基本アーキテクチャ図

特集 Special Feature

H.430.2 では、ILE を実現する候補技術として前述の「ILE 実現のための技術」で示した技術のいくつかが掲載されている。

ILE サービスシナリオ (H.430.3)

ILE により実現が想定されるサービスについて、サービスシナリオとして体系的に整理したものが ITU-T 勧告 H.430.3^{☆7} である。また、実現事例としてサービスシナリオに対応したユースケースも示されている。ILE で想定される主なサービスとして、以下がある。

(1) スポーツの生中継

360 度パノラマ映像による高臨場感のパブリックビューイングだけでなく、選手目線での体感の提供。

(2) エンタテインメント

音楽コンサートの 3 次元映像での再現や、映像と実際の演技者との共演、アリーナ型視聴会場における会場を取り囲む複数の視聴者での視聴。

(3) テレプレゼンス

講演会などで実際の講演者がいる会場と遠隔地の視聴会場での同時講演だけでなく、講演資料提示など仮想的な情報を付加した再現。

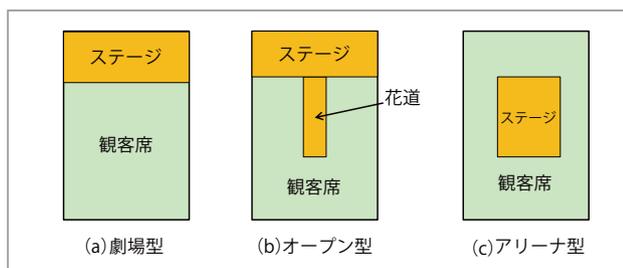
MMT の ILE プロファイル (H.430.4)

ILE アーキテクチャで示された同期メディア伝送について、MPEG で規格化された MMT^{☆8} を利用した方法を、ITU-T 勧告 H.430.4^{☆9} で規定している。ILE では、映像、音声に加え被写体の位置や照明情報なども時刻同期してイベント会場から視聴会場に

☆7 <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.3>

☆8 ISO/IEC 23008-1: https://Webstore.iec.ch/preview/info_isoiec23008-1%7Bed2.0%7Den.pdf

☆9 <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.4>



■ 図-4 ILE 視聴会場の形式

伝送する必要がある、MMT を ILE で利用するためのプロファイルを規定する必要がある。まず空間情報の記述方法として、以下を規定している。

- イベント会場のサイズ（幅，奥行き，高さ）
- イベント会場の機材の情報（機材の種類，3次元位置，向き，サイズ）
- 被写体の 3次元位置，画像上での位置，外接矩形情報

次に、照明情報として既存の記述方法である DMX (Digital Multiplex) をカプセル化する方法を規定している。

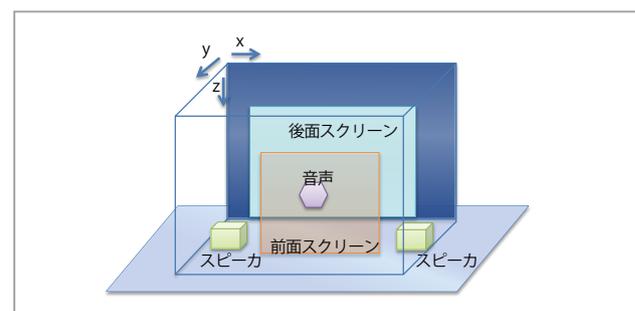
ILE 表示環境の参照モデル (H.430.5)

イベント会場を視聴会場で効率的に再現するために、ILE 表示環境の参照モデルを ITU-T 勧告 H.430.5^{☆10} で規定している。また、視聴会場のインプリメントガイド (ILE の視聴会場を構築する場合の考慮事項) についても記載している。

参照モデルは、図-4 に示す (a) 劇場型、(b) オープン型、(c) アリーナ型の 3つの視聴会場ごとに作成しており、それぞれにオプションを規定している。

劇場型視聴会場の表示環境参照モデルを図-5 に示す。この参照モデルは前面スクリーン、後面スクリーン、ステージ、スピーカからなる基本モデルである。本勧告では、この基本モデルに加え前面スクリーンだけ、後面スクリーンだけ、人や物の物理オブジェクトを設置するもの、音場定位の使用などのオプションを規定している。

☆10 <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.5>



■ 図-5 劇場型表示環境の参照モデル (基本モデル)

特集 Special Feature

ITU-T 以外の ILE 関連標準

H.430.4 で MMT の ILE プロファイルを規定したように、ILE と MPEG との関連が強い。MPEG で MMT インプリメントガイド文書を作成しており、MPEG から ITU-T への勧奨に基づき ITU-T からのインプットに従い、H.430.4 の規定内容の概略が MMT インプリメントガイド文書にも記載された。

一方、日本国内については、国内の通信関連の標準を策定している一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC) で ITU-T 勧告 H.430.2 を基にした国内標準として JT-H430.2^{☆11} を 2020 年 2 月に策定した。現在、H.430.4 を基にした JT-H430.4 を検討している。

測定・評価の技術開発や標準化が必要となるだろう。また、ILE でさらなる臨場感を提供するため、視覚、聴覚だけでなく触覚・嗅覚・味覚を含めた五感によるイベントの再現を目指し技術開発・標準化が進展すると考えられる。

一方、IOWN 構想^{☆12}では Beyond 5G や 6G の実現を見据えた超低遅延、超大容量の通信ネットワークも検討されており、より高品質な ILE の実現が期待される。

(2021 年 2 月 15 日受付)

☆12 IOWN 構想: <https://iowngf.org/>

今後の展望

VR, AR をはじめとするイマーシブサービスは、昨今の COVID-19 対策の無観客試合や無観客ライブの影響もあり、今後大きく発展する可能性がある。ILE の普及のためには、超高臨場感や没入感の品質

☆11 JT-H430.2: <https://www.ttc.or.jp/application/files/3015/8259/6949/JT-H430.2v1.pdf>

■長尾慈郎 jiro.nagao.cd@hco.ntt.co.jp

2007 年 NTT 入社。NTT コミュニケーションズで商用映像配信サービスの技術リーダーを経て、現在 NTT 研究所にて映像・画像の配信・認識に関する研究に従事。TTC MM-WG ILE-SWG リーダー。電子情報通信学会、日本医用画像工学会、IEEE 各会員。博士 (情報科学)。

■今中秀郎 hideo.imanaka@ntt-at.co.jp

1987 年三重大学工学部工学研究科修士課程修了。1987 年から NTT 研究所で通信ネットワークの研究、NTT 研究企画部門での標準化戦略担当を経て、現在 NTT アドバンステクノロジーで標準化支援業務を実施。博士 (工学)。ITU-T Q8/16 ラポーター、ITU-D Q5/2 副ラポーター。



特集

Special Feature

[より自由でより没入感の高いイマーシブメディア]

② イマーシブメディアに向けた音響技術

—放送と MPEG を中心に—

応
般

杉本岳大 | 日本放送協会

イマーシブ音響の歴史

イマーシブ音響，すなわちあらゆる方向の音をリアルに再現できる音体験の分野でも，さまざまな方式が開発・提案されてきている．最新研究について述べる前に歴史を少し振り返ってみよう．

ステレオ再生の最初期の例は 1881 年のパリで開催された国際電気博覧会^{☆1}とされる．元々はステレオ効果の検証を掲げた実験ではなく，舞台上に複数設置されたマイクロホン出力の展示において偶然，来場者が 2 つのマイクロホンの出力を両耳で聴取したことが発端とも伝えられる．

Walt Disney の映画『Fantasia』においては，フロント 3 チャネルの音声トラックからサイドチャネルやリアチャネルを生成し，イマーシブ感を演出した．日本国内では 1952 年に NHK ラジオ第 1 放送と第 2 放送，民間放送においてもラジオ 2 波を用いた試験的なステレオ放送が開始され，NHK『立体音楽堂』などの定時番組が企画されるに至った．

パッケージメディア業界では，1950 年代後半に

ステレオレコードの発売が開始された．ただちに家庭における再生装置の主流になったわけではなく，The Beatles がモノ盤^{☆2}の制作を取り止めたのは，1970 年も間近になって制作された『Let It Be』『Abbey Road』の 2 作品のみであった．一方，日本国内のテレビ放送のステレオ化は 1982 年の郵政省令をもって本放送が開始された．

1990 年代以降，DVD や SACD などのパッケージメディアが普及し始めると，5.1 サラウンド^{☆3}の再生装置が家庭に普及し始めた．放送では 2000 年開始の BS デジタル放送の音響システムに 5.1 サラウンドが採用され，2003 年開始の地上デジタル放送でも 5.1 サラウンドが採用された．

2012 年には，ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector) で先進的なマルチチャネル音響システムの要求条件が定められた (勧告 ITU-R BS.1909-0)．表-1 に音質に関連する項目を抜粋する．

日本で放送されている 22.2 マルチチャネル音響シス

☆1 当時，パリでしばしば開催されていた万博 (1867 年の会には渋沢栄一が参加) とは異なる展示会である．

■表-1 勧告 ITU-R BS.1909-0 における音質に関する条件の抜粋

聴取位置を取り囲む全方向から到来する音を再生可能であること
臨場感を喚起する 3 次元空間印象が従来方式と比べて大きく向上すること
映像と組み合わせる場合，画面上の任意の位置に映像が定位可能であること
最適な聴取範囲が広いこと ^{☆4}

☆2 『Sgt. Pepper's Lonely Hearts Club Band』や『The Beatles (ホワイトアルバム)』は，ステレオ盤での明示的な意味づけの定位よりも，自由に想像しながら作品の世界に浸れるモノ盤を好むリスナーも一定数存在する．これも一種のイマーシブ感なのかもしれない．ただし The Beatles のアルバムでは，モノ盤とステレオ盤でアレンジやテイクが異なっていることがあるため，聴取時の印象の違いが音響システムの違いのみに依拠しているとは言いきれない．

☆3 映画に比べると制作数の少ない 5.1 サラウンド音楽作品では，Peter Gabriel の『Up (SACD 版)』や Pink Floyd の『Dark Side of the Moon (SACD 版)』などで効果的なサラウンド感を体験できる．

☆4 22.2ch 音響では，サラウンドサークルの中心を基準に，半径の半分以内が該当するエリアであることが実験的に確かめられている．

特集
Special Feature

テム (22.2ch 音響) はそうした要求を満たす音響システムの一つであり勧告 ITU-R BS.2051 に含まれている。

新しい音響システムの先へ

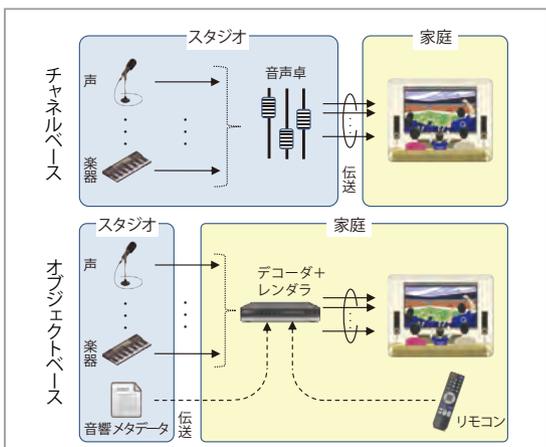
ステレオやマルチチャンネル音響システムの多くは、チャンネルベース音響システムに分類される。チャンネルベース音響システムとは、音声信号の各チャンネルと再生スピーカが1対1に対応する音響システムである。

これに対し現在オブジェクトベース、シーンベースという2つの新しい音響システムが注目されている。

オブジェクトベース音響システムとは、個々の音声信号(音声オブジェクト)を音響メタデータで制御してレンダラ^{☆5}で再生する方式である。カスタマイズ性を付与できる点が特徴で、たとえば、セリフの音量だけを増減したり、複数の選択肢から好みの背景音に切り替えたり、といった視聴者の嗜好に合わせたテレビ視聴が可能になる。図-1 にチャンネルベース音響システムとオブジェクトベース音響システムの違いを模式図で示した。

シーンベース音響システムは、音場全体の音波の物理情報を記録して再生環境に合わせてレンダリン

☆5 音響技術におけるレンダラは、音声信号を音響メタデータなどの付加情報を扱い、出力条件(チャンネル数やスピーカ配置など)に適合したひとまとまりの音データを生成(レンダリング)する役割を担う。



■ 図-1 チャンネルベース音響システムとオブジェクトベース音響システムの違い

グする方式であり、高次アンビソニックス (Higher Order Ambisonics : HOA) ^{☆6} や波面合成法 (Wave Field Synthesis : WFS) ^{☆7} などが代表的な技術である。

イマーシブな音響技術には以上のような異なる方式があり、個々のメディアの特性・要求条件に適した音響技術を組み合わせ、提供できるようにしていくことが必要であると考えられる。

MPEG における標準化動向

他章でも紹介された MPEG (Moving Picture Experts Group) ^{☆8} ではこれまで、チャンネルベース音響システムだけでなく、オブジェクトベース音響システムや VR (Virtual Reality)・AR (Augmented Reality) に対応した音響技術の標準化を進めてきた (図-2)。

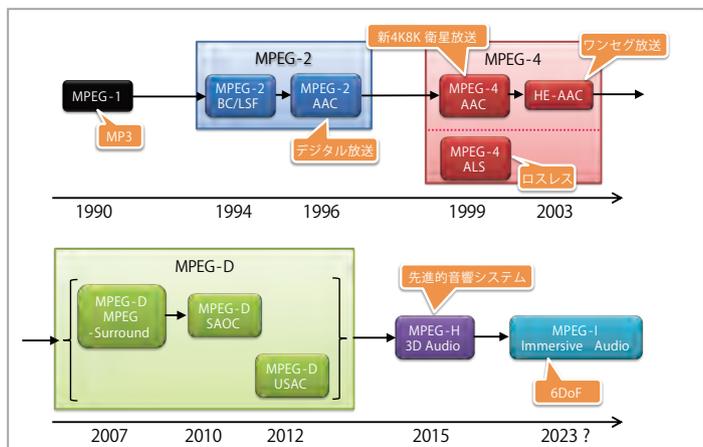
そのうち MPEG-H 3D Audio (3DA) ^{☆9} と MPEG-I

☆6 聴取位置に入射する音波(再現したい音)と、聴取位置を取り囲むスピーカから放射される音波(再現に用いる音)とをそれぞれ球面調和関数展開し、スピーカ数で規定される次数の範囲内で一致するように、スピーカから再生する音波を制御する音場再現法。

☆7 イヘンズ・フレネルの原理の数学的表現であるキルヒホッフ・ヘルムホルツ積分方程式に基づき、境界面を無限平面と仮定することで、音圧傾度は用いずに音圧情報のみを制御することで境界面内部の音場を再現する方法。実装においては、さらに上下方向(高さ方向)に制約を課したラインアレイスピーカを用いることが多い。

☆8 ISO/IEC のワーキンググループの通称。音声符号化技術は WG 6 MPEG Audio Coding で標準化されている。

☆9 最新の規格番号は ISO/IEC 23008-3:2019。



■ 図-2 MPEG における音響技術の開発史

特集 Special Feature

Immersive Audio (IA) について紹介する。

MPEG-H 3DA

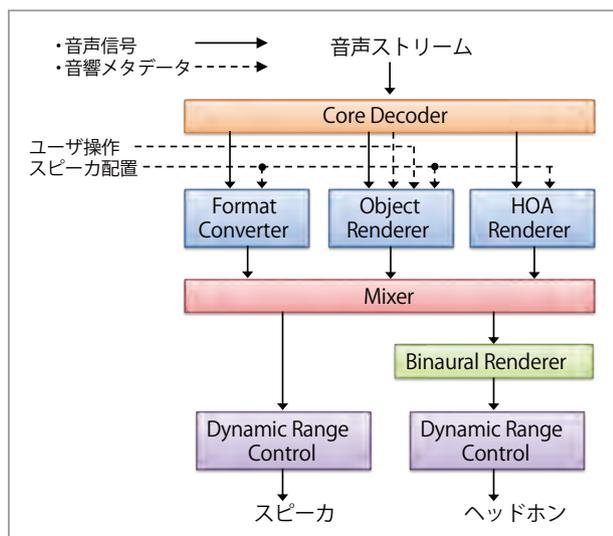
MPEG-H 3DA は ITU-R における 3 次元のマルチチャンネル音響システムおよびチャンネルベース音響システム、オブジェクトベース音響システム、シーンベース音響システムの規定を受けて標準化された。5.1 サラウンドを超える 3 次元のマルチチャンネル音響システムに対応している点、音声信号を受信機側で制御するための音響メタデータの伝送が可能である点、ダイアログ制御^{☆10} やラウドネスコントロールなどのユーザフレンドリーな機能を備えている点の特徴である。

標準化の経緯

標準化は 2013 年頃から開始された。対象となった音響システムは、チャンネルベース音響システム、オブジェクトベース音響システムに加え、シーンベース音響システムの一方式である HOA である。

多くの技術が採用されたが、代表的なものとしては、入力信号を人声とそれ以外の音声とに分けて各々に適したアルゴリズムによって圧縮効率を向上させる手法 (Unified Speech and Audio Coding),

☆10 番組音声の中で、セリフの音量だけを増減させたり、セリフだけを差し替えたりする機能。



■ 図-3 MPEG-H 3DA デコーダの構成

圧縮によってスペクトルが欠落した帯域へのノイズフィリング技術 (Intelligent Gap Filling), チャンネルをまたいだマスキングの効果を利用するビットの分配法 (Multichannel Coding Tool) などがある。

米国の次世代放送規格である ATSC (Advanced Television Systems Committee) 3.0 に採用されたほか、2017 年開始の韓国の次世代地上放送にも採用されており^{☆11}, 実用化が進んでいる。

プロファイルとレベル

MPEG-H 3DA には、Main, LC, BL の 3 プロファイルに加え、すべてのプロファイルを包含する High プロファイルが規定されている^{☆12}。

デコーダの構成

図-3 にデコーダの構成を示す。入力された音声ストリームはまず Core Decoder に入力されて復号される。復号された音声信号は、音響システム別にレンダリングされる。続く Mixer では、レンダリング済みの音声信号同士を重畳する。一例を挙げるなら、チャンネルベース音響システムの背景音に対して複数のダイアログの音声オブジェクトを足し合わせて再生する場合である。

スピーカ再生の場合、Mixer からの出力は Dynamic Range Control^{☆13} を経て出力される。一方、再生デバイスがヘッドホンの場合は、Mixer の出力に Binaural Renderer でバイノーラル室内インパルス応答 (Binaural Room Impulse Response : BRIR)^{☆14} を適用することで、ヘッドホンで 3 次元音響を模擬可能なバイノーラル信号^{☆15} を生成する。

☆11 韓国の次世代放送方式は、ATSC 3.0 がベースである。

☆12 従来、LC プロファイルは Main プロファイルのサブセットとして構成されてきたが、MPEG-H 3DA では Main プロファイルに含まれない技術を LC プロファイルで採用したため、すべての技術を包含する High プロファイルを改めて規定し直した。

☆13 聞き取りやすさ向上のためのダイナミックレンジ圧縮やラウドネス補正などを行う。

☆14 室内音響込みの、音源の位置から両耳の外耳道入口 (または鼓膜) までのインパルス応答として定義される。

☆15 音源位置から両耳までのインパルス応答 (BRIR または HRIR (Head-related Impulse Response : 頭部インパルス応答。自由音場における音源の位置から両耳の外耳道入口 (または鼓膜) までのインパルス応答)) を畳み込むことで、3 次元的な音再生をヘッドホンで模擬できるようにした音声信号。ステレオと同じく 2 チャンネルの音声信号だが、スピーカ再生で必ず発生する両耳間のクロストークが存在しない前提の信号であるため、スピーカ再生では想定される効果が得られない。

特集
Special Feature

音質の評価

MPEG-H 3DA で符号化した 22.2ch 音声信号の音質を主観評価した結果を紹介する。

評定者は非圧縮音を基準音として、符号化音の劣化度合いをブラインドテストで評価した。

図-4 に拍手を音源とした評価結果を、95%信頼区間と平均値で示した。実験結果から、MPEG-H 3DA は 512 kbit/s 以上で放送品質を満たすことが分かる。従来方式の MPEG-4 AAC (Advanced Audio Coding) ^{☆16} を用いた 22.2ch 音響の伝送では、放送品質を満たすためには 1,200 kbit/s 以上のビットレートが必要であり、MPEG-H 3DA は同程度の品質を保ったまま圧縮効率を大きく向上させることができることが確認できた。

MPEG-I Immersive Audio

MPEG-I IA の標準化

2017 年頃から、新たな音声符号化技術の開発に向けた議論が開始され、映像メディアのイマーシブ化に歩調を合わせて VR や AR に活かせる音響技術を目指に据えた。これが現在標準化中の MPEG-I IA である。MPEG-H 3DA は音の 3DoF (Three Degrees of Freedom) 表現が対象で、MPEG-I IA は音の 6DoF 表現が対象という点が異なる。図-5 に音の 3DoF 表現と 6DoF 表現のイメージを示す。

音の 6DoF はゲーム業界ですでに実用化が進んでお

☆16 最新の規格番号は ISO/IEC 14496-3:2019。新 4K8K 衛星放送の音声符号化方式に採用されている。発行が 2019 年になっているのは、第 1 版発行後に行われた技術追加や修正によって規格が版を重ねたためである。最新版は第 5 版。

り^{☆17}、MPEG での取り組みは後発になる。このような状況下で標準化を進める意義として、以下の点が挙げられる。

- 標準化されればメディアやプラットフォームの垣根を越えて共用が可能
- さまざまなデバイスに実装可能な低い処理負荷
- 通信容量の拡大が進む社会において、音声符号化技術と組み合わせられる音の 6DoF 表現が可能

☆17 PlayStation VR 用の『BIOHAZARD 7 resident evil』(カプコン) や『サマーレッスン』(バンダイナムコ) などでは、積極的に音の 6DoF 表現が取り入れられている。

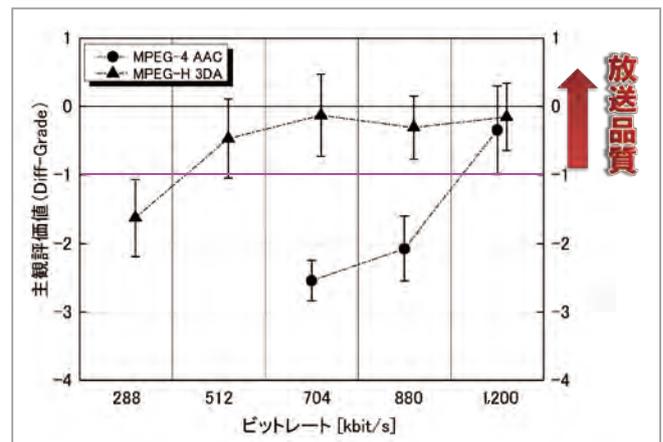


図-4 MPEG-H3DA と MPEG-4AAC で符号化した 22.2ch 音声信号の主観評価

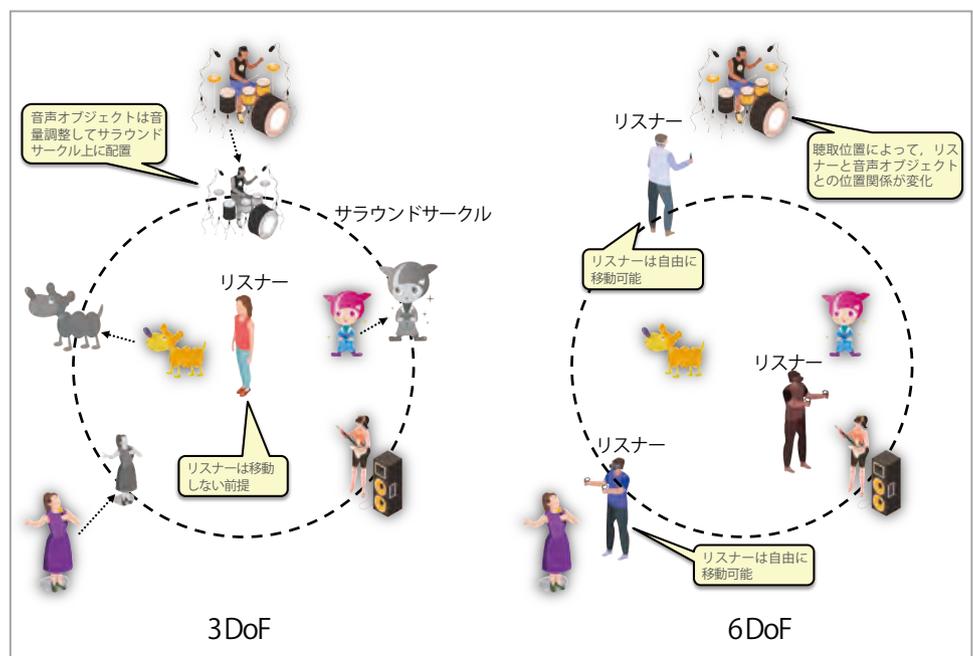


図-5 音の 3DoF 表現と 6DoF 表現のイメージ

特集 Special Feature

規格の完成は 2023 年後半が見込まれる。

MPEG-IA の基本構成

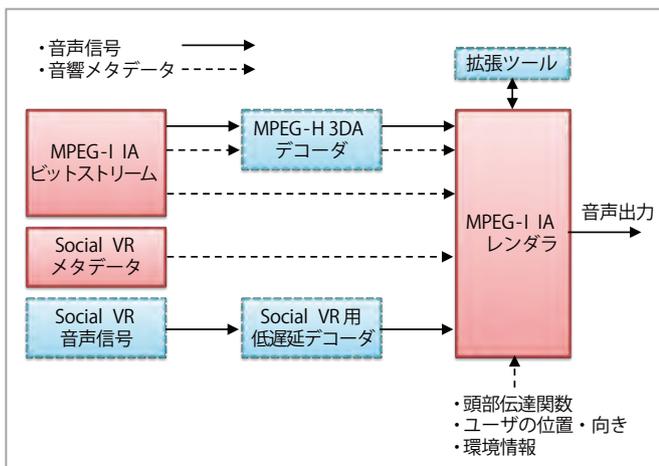
図-6 に MPEG-IA の基本構成を示す。実線（赤）で囲んだ部分が MPEG-IA における標準化対象の技術であり、破線（青）で囲んだ部分は標準化対象に含まれない技術である。

このうち Social VR はユーザ間のコミュニケーションを目的としたものである。Social VR 用の符号化方式は規格内で規定しないので、サービスごとに適した低遅延^{☆18}の符号化方式を採用することになる。一方、Social VR で使用する音響メタデータは、MPEG-IA で規定することになる。これらも、MPEG-IA レンダラに入力される。

MPEG-IA レンダラは、音声信号と音響メタデータを組み合わせてレンダリングすることで、可聴化^{☆19}を行う。用いる音響メタデータはコンテンツとして提供される情報のほか、ユーザの頭部伝達関数、ユーザの位置や向き、ユーザがアプリケーションを利用する環境情報（部屋の形状や室内の音響特性など）も利用できる。また機能拡張が可能な構成になっているので、MPEG-IA に実装されていない技術も利用可能である。

☆18 ユーザ間の会話が成立することが必須条件であろう。

☆19 Auralization. 最近は「オーラライゼーション」というカタカナもよく見かけるようになった。室内の音響特性を模擬し、実際に音にして聴取してみる過程などに用いられる。



■図-6 MPEG-IA の基本構成

今後の展望

近年の VR や AR では、映像技術に目覚ましい進化が窺われる一方、音響技術における圧倒的なブレイクスルーは起きておらず、技術革新の余地が十分残されていると考えている。筆者の過去の VR 体験でも、映像の手の込み具合に舌を巻く反面、音量や音色さえ十分に最適化されず、イマーシブ感を阻害するばかりの音のプレゼンテーションに閉口したことが何度もあった。

近年、音のイマーシブ化に向けた取り組みは、産業界だけでなく学术界でも活発化している。日本音響学会では高臨場感オーディオ調査研究委員会を立ち上げ、年に 2 回の研究発表会でスペシャルセッションを企画し、音響技術のイマーシブ化に向けて活発に議論を行っている。

また、既存の音響技術は、原則として聴覚のみを提示の対象としている。しかし近年、聴覚とその他の五感、さらには体性感覚（皮膚感覚や運動感覚）との相互作用によって、臨場感や迫真性が向上する点に注目が集まっている^{☆20}。これらの知見を応用し、高次の感性知覚を促進する先進的な手法の実用化が期待される。

従来は学术界で成熟した技術が産業応用される順序が一般的であったが、こと音のイマーシブ化においては、産業界と学术界が並走しながらシーンをもり立てている観がある。今後、双方の立脚点からもたらされる技術革新の間でさらなる化学反応が起き、一層高度なイマーシブメディアが創生されることを願ってやまない。

(2021 年 2 月 15 日受付)

☆20 映画ではすでに、振動・風・水しぶき・香りなどを組み合わせて視聴者に提示する、テーマパークのアトラクションさながらの作品が制作されている。

■杉本岳大 sugimoto.t-fg@nhk.or.jp

2001 年、東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年、NHK 入局。2004 年より放送技術研究所にて、音響トランスデューサ、音声符号化、3次元音響の研究および MPEG, ARIB の標準化活動に従事。博士（工学）。AES Fellow。

特集
Special Feature

[より自由でより没入感の高いイマーシブメディア]

3 自由視点テレビ FTV の原理



谷本正幸 | 名古屋大学 / 名古屋産業科学研究所

FTV の意義

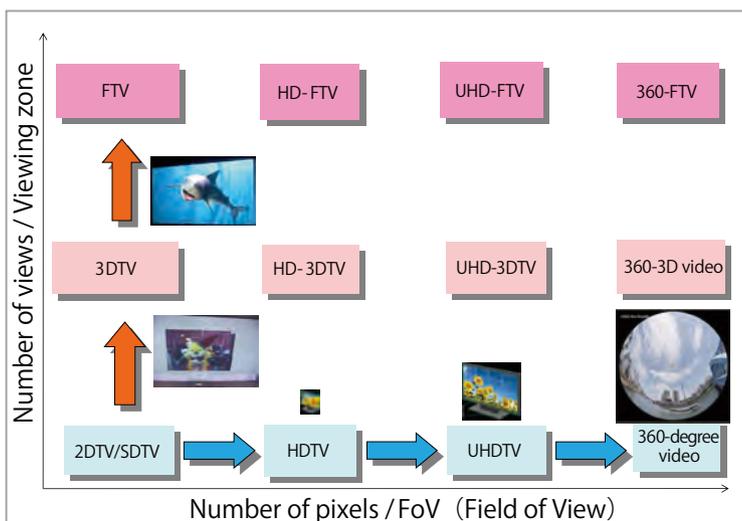
自由視点テレビ FTV (Free-viewpoint Television) は、ユーザがあたかもその場にいるかのように、自由に視点を変えて遠隔地の情景を見ることができる映像メディアである。無限個の視点を持つ FTV はきわめて高いセンシングや映像表現の能力を持ち、産業や生活、社会、学術、教育、文化、スポーツ、アミューズメントなど、数多くの分野で大きな貢献が期待される。さらに、FTV は臨場感の高い没入メディアとして、人と仮想環境をシームレスにつなげるヒューマンインタフェース、革新的なコンテンツ制作ツール、社会の安全性を高める映像情報インフラなどと位置づけられる。このように、FTV は

社会的、文化的に大きな意義を持つ。

2001年に FTV を MPEG (Moving Pictures Experts Group) に提案し、その標準化を推進してきた。これまでに FTV 第1フェーズ MVC (Multiview Video Coding) と第2フェーズ 3DV (3D Video) の標準化を終了し、現在は第3フェーズ MPEG-I (Immersive) の標準化を行っている。

映像メディアの進歩と FTV の位置付けを図-1に示す。横軸は画素数または視野の広さ、縦軸は視点数または視域の広さである。横方向の矢印は標準テレビから 2K テレビ、4K/8K テレビへと進む解像度の向上を示す。これは視野の拡大でもあり、360度映像がそのゴールである。一方、縦方向の矢印は 2D (2次元) テレビから 2眼式のステレオテレビ、多眼式の多視点テレビへと進む視点数の増加を示す。視点数を増やすと視域が広がる。視点数をさらに増やして無限大にしたものが FTV である。リアリティの高い没入メディアには広い視野と視域の両方が必要である。

本稿では、これまでの映像メディアとは異なる仕組みを持つ FTV の原理を解説する。まず、FTV の性能がシーン表現法に強く依存し、代表的なイメージベース法とモデルベース法が相補的な特徴を持つことを述べる。次に、イメージベース法の光線空間法を説明する。そして、すべての方向の光線を再現す



■ 図-1 映像メディアの進歩と FTV の位置付け

特集
Special Feature

る最上位のFTV で用いる4D (4次元) 極座標光線空間の構造を述べ、その構造を利用して光線空間から面情報が検出できることを示す。最後に、光線と面情報を用いるイメージベースとモデルベースの統合方式を説明する。

FTV の構成

FTV の構成を図-2 に示す。まず、多数のカメラ (多視点カメラ) でシーンを撮影する。カメラ配置は、シーンを一方向から見る場合には図-3 (a) の平行型、さまざまな方向からのぞき込む場合には同図 (b) の収束型、さまざまな方向を見回す場合には同図 (c) の発散型とする。撮影データは伝送や画像生成に適したシーン表現形式に変換される。このシーン表現データから自由視点画像を生成するため、FTV の性能はシーン表現法に強く依存する。

代表的なシーン表現法として、光線を用いるイメージベース法と物体の3Dモデルを用いるモデルベース法がある。イメージベースFTVとモデルベースFTVの特徴を表-1に示す。イメージベース法は写実性に優れているが、視域が狭い。一方、モデルベース法は写実性に劣るが、視域が広い。このような相補関係は、静止画表現法のラスタ形式(画素ベース)とベクトル形式(図形ベース)においても見られる一般的な関係である。

光線情報から3Dモデルを生成できれば、写実性と広視域性を併せ持つイメージベース法とモデルベース法の統合方式が実現できる。次章では、光線情報を記述する光線空間法について説明する。

光線空間法の概要

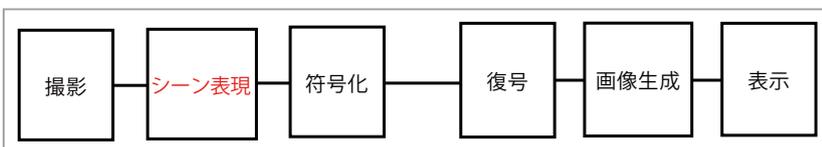
直交光線空間と極座標光線空間

光線空間法では、3D実空間の光線を、その位置と方向を表すパラメータを座標とする空間の1点で表す。すなわち、3D空間内の位置 (x, y, z) において方向 (θ, ϕ) を持つ光線を (x, y, z, θ, ϕ) と表す。この5D (5次元) パラメータ空間 (x, y, z, θ, ϕ) が光線空間である。

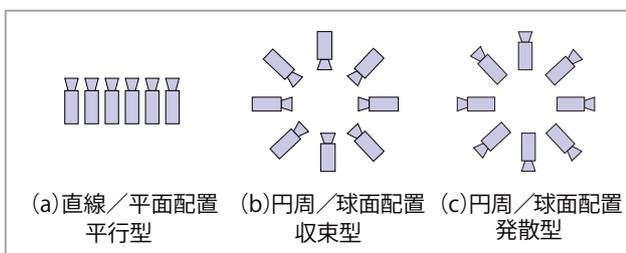
光線は直進するので、光線の減衰を無視できる範囲では直線上の光線はすべて同一である。このため、実空間内に基準面を置き、これを通過する光線で直線上の光線を表せば、光線空間の次元数を下げることができる。これが4D光線空間 (x, y, z, θ, ϕ) である。

4D光線空間として直交光線空間と極座標光線空間が定義されている。直交光線空間は図-3 (a) のカメラ配置、極座標光線空間は同図 (b), (c) のカメラ配置のFTVに用いられる。

4D直交光線空間 (x, y, z, θ, ϕ) の定義を図-4に示す。ここで、 (x, y) は基準面上の光線の位置、 (θ, ϕ) は光線方向を表す。 θ は水平方向の角度、 ϕ は垂直



■図-2 FTVの構成



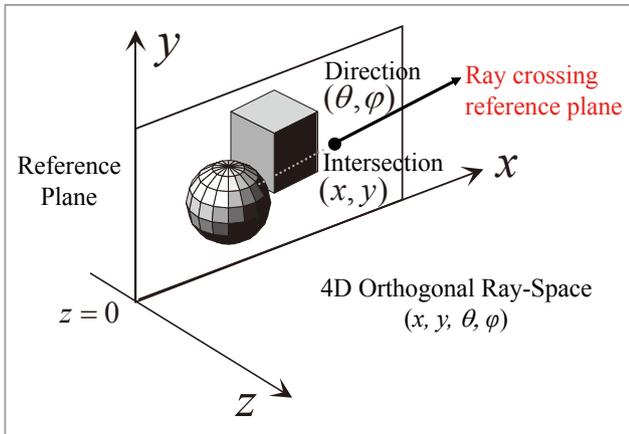
■図-3 シーンを撮影する多視点カメラの配置

■表-1 イメージベースFTVとモデルベースFTVの特徴 (○長所, ×短所)

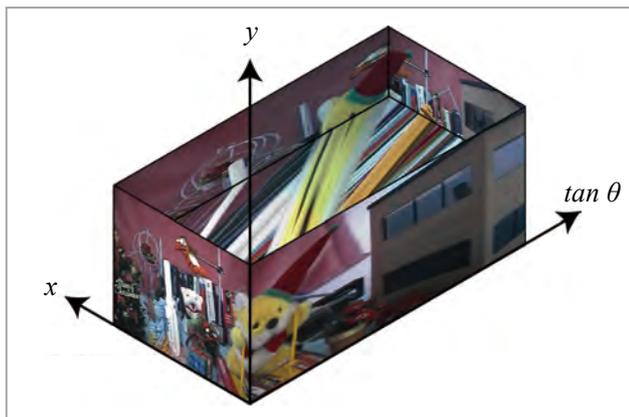
	イメージベースFTV	モデルベースFTV
原理	光線/画素	数式で表された3Dモデル
特徴	○自然シーン	×モデル化されたシーン
	○写実性が高い	×写実性が低い
	×視域が狭い	○視域が広い
	×操作ができない	○操作が可能

特集
Special Feature

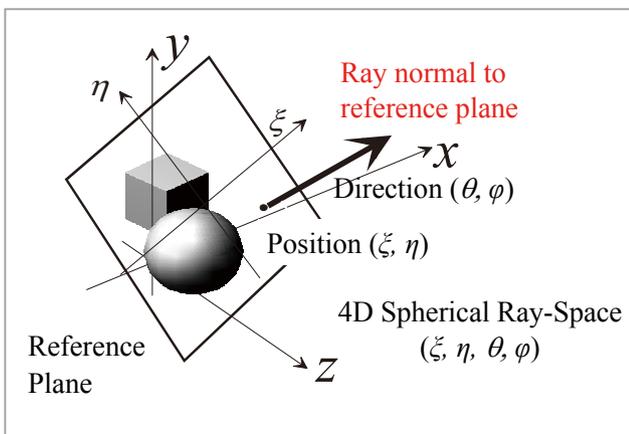
方向の角度である。水平視差のみを実現する場合には $\phi=0$ として、3D 直交光線空間 (x, y, θ) が得られる。3D 直交光線空間は図-5 のようになり、その水平断面は直線構造を持つ。直交光線空間は基準面に平行な光線を表現できない。



■ 図-4 4D 直交光線空間の定義



■ 図-5 3D 直交光線空間の構造

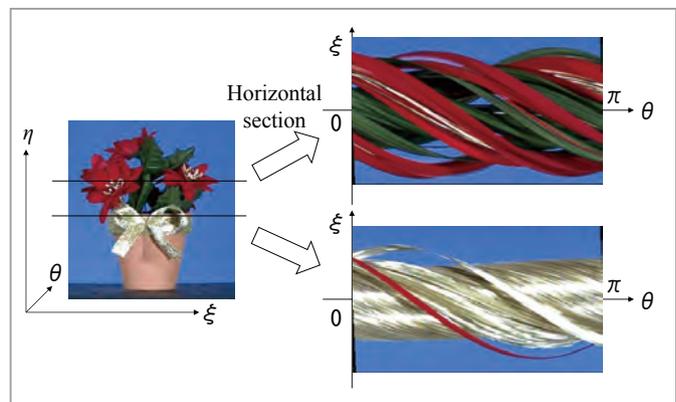


■ 図-6 4D 極座標光線空間の定義

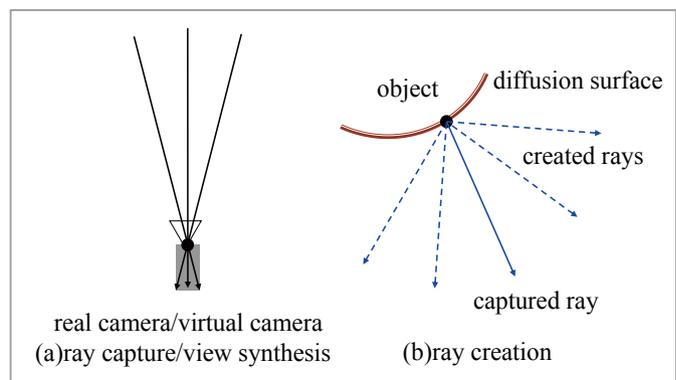
4D 極座標光線空間 $(\xi, \eta, \theta, \phi)$ の定義を図-6 に示す。極座標光線空間では、光線を光線方向 (θ, ϕ) と光線に垂直な基準面上の位置 (ξ, η) によって表す。極座標光線空間は基準面が光線方向ごとに異なるため、すべての光線を表現できる。水平視差のみを実現する場合には $\phi=0$ として、3D 極座標光線空間 (ξ, η, θ) が得られる。3D 極座標光線空間の水平断面は図-7 に示すように正弦波構造を持つ。

「1点を通る光線群」の概念

光線を取得・生成するとき、「1点を通る光線群」の概念を用いる。図-8 (a) は1点を通る光線群を実カメラで取得できること、また1点を通る光線群を集めるとその位置のカメラ画像が生成できることを示す。同図 (b) は拡散面上の1点から放射される光線の強度は同じであることから、ある方向の光線が既知であれば、その他の方向の光線を生成できることを示す。



■ 図-7 3D 極座標光線空間の水平断面



■ 図-8 「1点を通る光線群」の利用

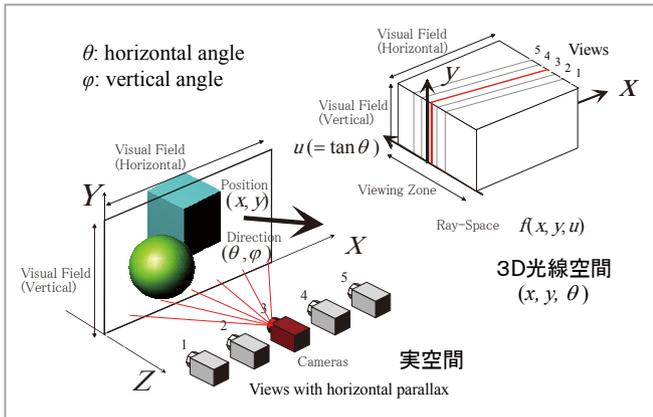
光線空間の取得と自由視点画像生成

3D 光線空間の取得方法を図-9 に示す。多視点カメラでシーンを撮影し、撮影した画像を衝立状に配列すると、カルタを重ねたような立体ができる。これが 3D 光線空間である。

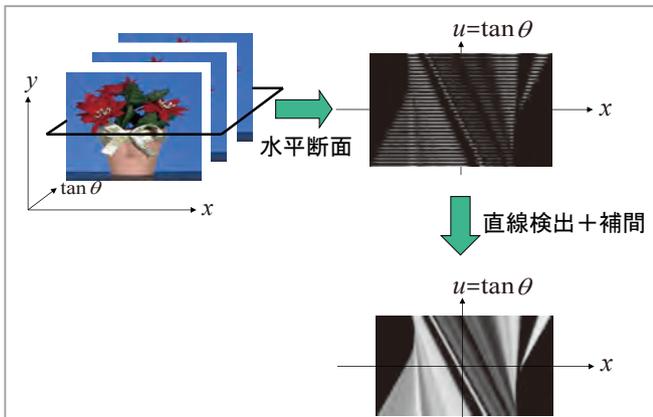
衝立状に配列された画像の間にはデータがない。カメラ間隔が広いと衝立の間隔が広がり、光線空間が疎になる。このような場合には、光線空間を補間して密な光線空間を得る。図-10 は直交光線空間の補間で、水平断面の直線構造を利用する。極座標光線空間の補間には正弦波構造を利用する。

自由視点画像は、図-11 に示すように直交光線空間を垂直に切って生成する。多眼式 3D ディスプレイに表示するには、平行する平面で同時に眼数分の切断面を作る。

極座標光線空間の場合には、図-12 に示すように



■ 図-9 多視点カメラによる 3D 光線空間の取得



■ 図-10 直交光線空間の補間

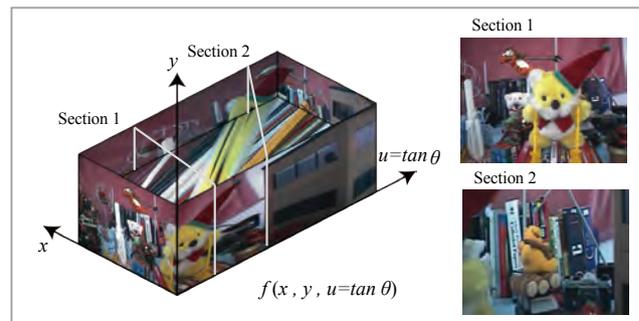
正弦波曲面で切断する。

4D 極座標光線空間の構造

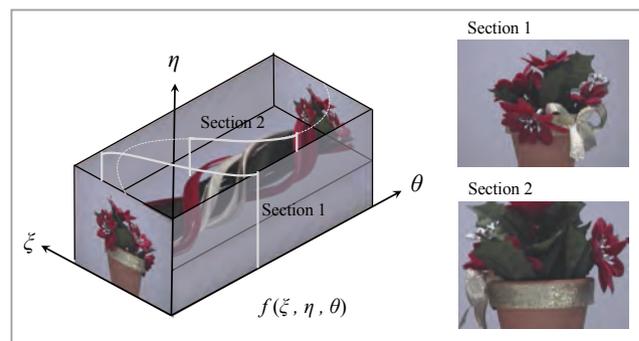
すべての方向の光線を再現する最上位の FTV では、4D 極座標光線空間を用いる。前述のように、自由視点画像は光線空間の構造を利用して生成される。ここでは、面情報を自由視点画像生成に利用するため、あらゆる方向の面を持つ方位球を定義する。方位球を用いて 4D 極座標光線空間を可視化し、構造を解析する。この結果を用いて光線空間から面を検出する。光線と面情報の両者を用いれば、最後に述べるイメージベース法とモデルベース法の統合が実現できる。

4D 極座標光線空間の可視化

4D 極座標光線空間 $(\xi, \eta, \theta, \phi)$ の (θ, ϕ) は方向パラメータ、 (ξ, η) は (θ, ϕ) 方向から見た正投影画像であるから、あらゆる方向から見た (ξ, η) 画像を呈示することによって、4D 極座標光線空間を可視



■ 図-11 直交光線空間からの自由視点画像生成



■ 図-12 極座標光線空間からの自由視点画像生成

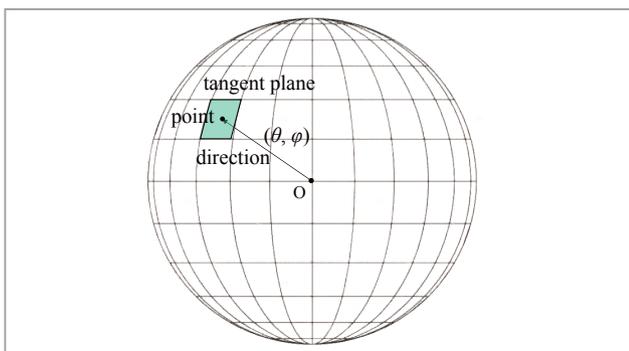
特集
Special Feature

化できる。

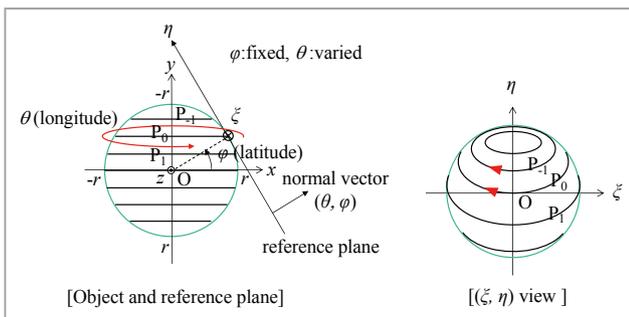
異なる法線ベクトル (θ, ϕ) を持つすべての面を可視化するため、**図-13** に示す方位球を定義した。方位球は、方向ベクトル (θ, ϕ) の終点に (θ, ϕ) を法線ベクトルとする面を配置したものであり、あらゆる方向の面を表示できる。方位球において、 (θ, ϕ) は原点からの方向、球面上の点、およびその点の接平面を表す。

方位球を用いて 4D 極座標光線空間 $(\xi, \eta, \theta, \phi)$ の構造を解析した。**図-14** に示すように、 θ と ϕ が変化すると基準面が方位球に沿って回転する。これは基準面が固定で、方位球が逆方向に回転することと等価である。方位球が回転すると球上の点は円を描く。これを (ξ, η) 画像で見ると、楕円運動として観測される。 (ξ, η) 画像の楕円運動は、 ξ 軸と η 軸上では正弦波運動となる。このため、4D 極座標光線空間は θ と ϕ の変化に対して正弦波構造を持つことになる。

物体の位置と (ξ, η) 画像の関係を**図-15** に示す。物



■ 図-13 異なる法線ベクトル (θ, ϕ) を持つすべての面を表示する方位球



■ 図-14 基準面の回転が (ξ, η) 画像に楕円運動を生じる (図は y 軸の回りに回転する場合)

体が原点にない場合には正弦波チューブ構造が現れる。

図-16 に示すように、正弦波チューブ構造は物体が原点にある場合の直線チューブと正弦波の和に分解できる。直線チューブから物体の形状情報、正弦波から物体の位置情報が得られる。正弦波の振幅が距離を表し、位相が方向を表す。

面の検出

正投影画像からの面の検出

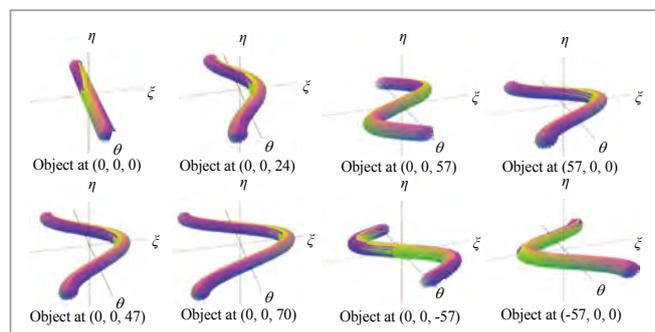
面を正面から見るとその形状が分かる。しかし、4D 光線空間の構造を利用すれば、面を正面から見なくてもその方向と形状を求めることができる。方向が (θ_0, ϕ_0) で面積が $S(\theta_0, \phi_0)$ の面を (θ, ϕ) 方向から見るとき、面の面積 S は

$$S(\theta, \phi) = S(\theta_0, \phi_0)(\cos(\theta - \theta_0)\cos\phi\cos\phi_0 + \sin\phi\sin\phi_0) \quad (1)$$

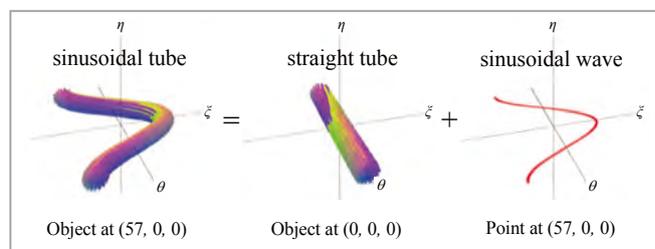
となる。異なる 3 方向から見た面の面積 S を与えると、(1) 式を θ_0 と ϕ_0 について解くことができる。面の方向 (θ_0, ϕ_0) が分かると、射影変換によって**図-17** に示すようにどの方向の画像からでも面の形状を生成できる。

透視投影画像からの面の検出

カメラが遠方にあるときには、カメラ画像を正投



■ 図-15 物体の位置と (ξ, η) 画像の関係



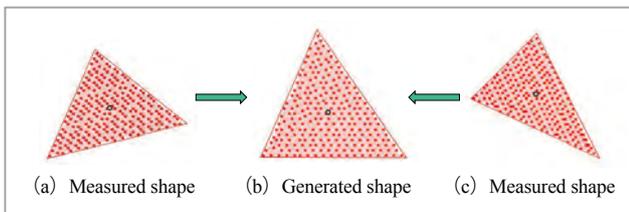
■ 図-16 (ξ, η) 画像の分割

特集
Special Feature

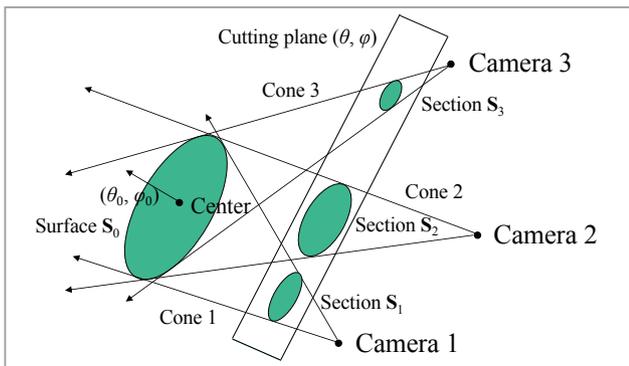
影画像と見なすことができる。しかし、カメラが物体に近い場合には、透視投影画像となる。

透視投影画像の場合、カメラから面を見込む錐を作り、これを2枚の平行平面で切断すると、どこで切断しても2つの切断面は相似形になる。このため、**図-18**のカメラ配置において共通の面 S_0 を見込む錐を平面で切断するとき、切断面の方向 (θ, ϕ) が面の方向 (θ_0, ϕ_0) と一致すれば、各錐の切断面 S_1, S_2, S_3 が相似形となる。そこで面積で規格化した各錐の切断面が同一形状になるように、反復法で (θ_0, ϕ_0) を求めることができる。

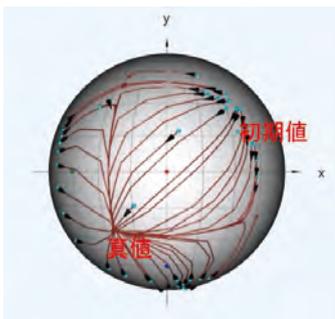
図-19に示すように、本手法によりさまざまな初期値から数回の反復で面の方向 (θ_0, ϕ_0) が得られる。



■ 図-17 異なる方向の画像から生成した面の形状



■ 図-18 透視投影画像からの面の検出



■ 図-19 方位球上で面の方向がさまざまな初期値（青丸）から真値 (θ_0, ϕ_0) へ収束する様子

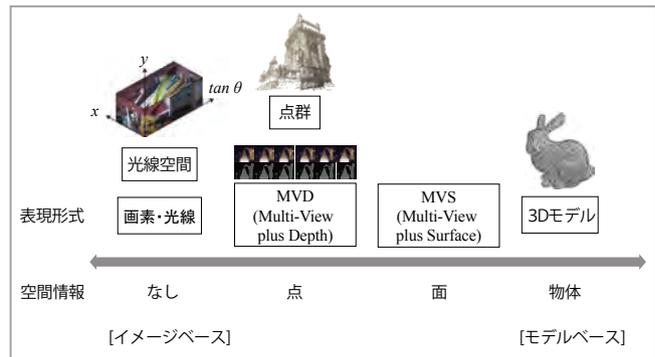
イメージベース法とモデルベース法の統合

FTVのシーン表現法

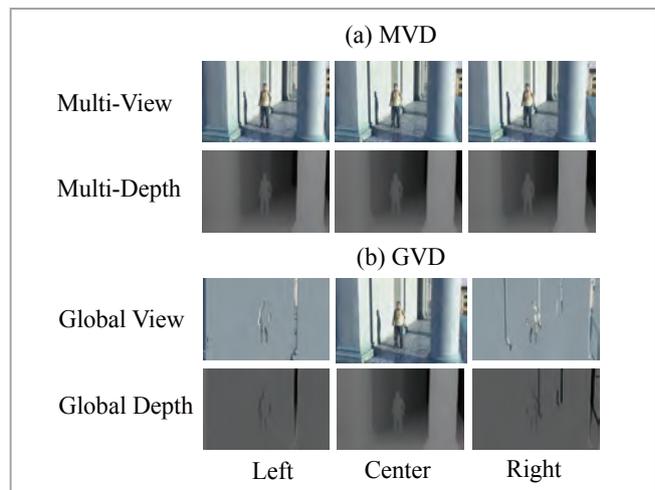
FTVのシーン表現法を**図-20**に示す。イメージベース法は光線や画素でシーンを表現し、空間情報は持っていない。一方、モデルベース法はシーンをモデル化し、物体の3Dモデルを空間情報として持つ。空間情報を持つ手法として、点情報を持つ Point Cloud や MVD (Multi-View plus Depth), 面情報を持つ MVS (Multi-View plus Surface) などがある。

点によるシーン表現

MVDは多数の view と depth でシーンを表現する。**図-21** (a) に示すように MVD はカメラ間で非



■ 図-20 FTVのシーン表現法

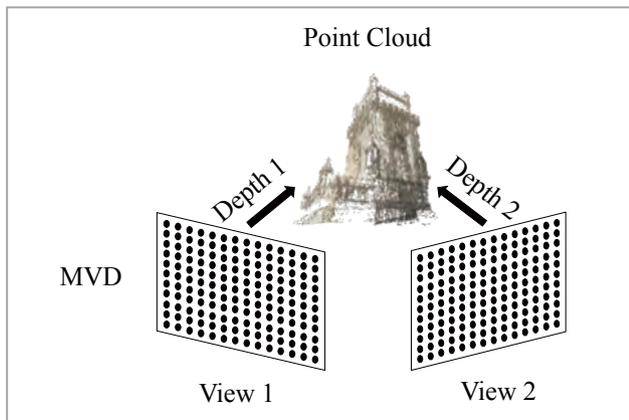


■ 図-21 MVDとGVD

特集 Special Feature

常に冗長である。この冗長性を取り除いた方式が同図 (b) に示す GVD (Global View plus Depth) である。MVD と GVD は MPEG の 3DV (3D Video) 標準化で採用された。MVD と GVD を 360 度映像に拡張したものが、MPEG-I 標準化の MIV (MPEG Immersive Video) にも採用されている。

view の各画素は光線の入射方向を示すので、光線を depth の距離だけ遡ると、画素と depth の 1 組から光源の 1 点が得られる。図-22 に示すように、



■図-22 MVD と点群はシーンを点で表現

これをすべての画素について行くと MVD から点群 (Point Cloud) が得られる。MVD と点群は光線と点情報の両方を持つイメージベースとモデルベースの中間方式であるが、各点が別個に求められているので物体の面としてのまとまりがない。

面によるシーン表現

MVS 方式では、前述の方法で光線空間から物体の面と位置を検出するため、面情報を空間情報として持つ。光線と面の情報を持つ MVS はイメージベース法とモデルベース法の統合方式である。これによってイメージベースの写実性とモデルベースの広視域性を併せ持つ新しい FTV が実現できることとなる。

(2021 年 2 月 12 日受付)

■谷本正幸 tanimoto@nagoya-u.jp

1976 年東京大学大学院電子工学博士課程修了。工学博士。1991 年名古屋大学工学部教授。2012 年同定年退職。名古屋大学名誉教授。名古屋産業科学研究所上席研究員。映像情報メディア学会会長・名誉会員、IEEE Life Fellow、電子情報通信学会フェロー。



特集
Special Feature

[より自由でより没入感の高いイマーシブメディア]

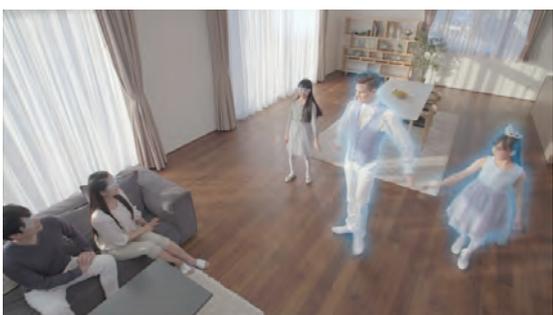
4 MPEG が規格化に取り組む映像システム技術 ～新たな映像体験に向けて～



青木秀一 | 日本放送協会

目指すイマーシブメディアの例

360度の全方位映像に対応したカメラやヘッドマウントディスプレイが市販されており、360度VR (Virtual Reality) コンテンツを視聴したり、仮想世界でアバタになってほかのアバタとのコミュニケーションを楽しんだりすることができる。また、現実の世界に仮想のキャラクタ等を重ね合わせるAR (Augmented Reality) もゲームなどで広く用いられている。イマーシブメディアは、これらVR・ARやその組合せのMR (Mixed Reality),



■図-1 イマーシブメディアのイメージ

XR (eXtended Reality) などと呼ばれるアプリケーションの発展形であり、現実の映像と仮想の映像とを区別なく利用した映像空間内を自由に移動し、利用者が好きな視点からの全方位映像を楽しむことができる没入型の高臨場感メディアである。図-1にイマーシブメディアのイメージを示す。

ISO/IEC (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission: 国際標準化機構/国際電気標準会議) においてマルチメディアの情報処理技術の規格化を行う分科会であるMPEG (Moving Picture Experts Group) は、より自由でより没入感の高いイマーシブメディアの実現に向け、さまざまな技術の規格化を進めている。この規格化にあたり、目指しているイマーシブメディアの例をいくつか挙げる。

- スポーツゲームで、見る位置や方向を変えた映像を見る。プレイヤーの視点からの映像を見たり、従来のテレビ放送のような視点からの映像を見たりできる。
- ある場所で開催されているスポーツなどのイベントを、違う場所にいる複数の人と一緒に見ながら、それぞれの歓声や動きを共有することで、実際の会場でスポーツを見たり、そのイベントに参加したりしているような体験ができる。
- 異なる場所にいる利用者が仮想的な環境に表示され、それぞれの動きを共有することでゲームを楽しむ。さらに、仮想的な物体へのインタラ

特集 Special Feature

クションや利用者間のインタラクションも共有することで、実際に会って話をしているかのようなコミュニケーションができる。

- 博物館やスポーツ会場などの実際の場所をスキャンしたデータに対し、展示物や選手あるいは観客などを合成して表示することで、実際のイベントと同じような体験ができる。

イマーシブメディアに向けた映像システム技術

標準規格のスイートである MPEG-I

このような新たな映像体験ができるイマーシブメディアの実現に向け、MPEG は、ISO/IEC 23090 “Coded representation of immersive media” (MPEG-I, イマーシブメディアの符号化表現) の規格化を進めている。

MPEG-I の一部として、視点の自由度の分類やそれに応じたアプリケーションを実現する時期、そのアーキテクチャなどを示した技術レポート (MPEG-I パート 1) や、360 度 VR コンテンツのファイルフォーマットである OMAF (MPEG-I パート 2, Omnidirectional Media Format) などがすでに規格化されている。

以下、イマーシブメディアの実現に向け MPEG-I のパートとして検討されている 4 つの技術について

概要を紹介する。

見えない映像を作り出す視点の内挿補間

撮影した映像を決まった視点から見る 360 度映像に対して、イマーシブメディアでは視点移動できる範囲の狭い・広いはあるものの、利用者が視点を移動することが想定されている。視点の移動に対応した映像をすべて撮影することは現実的でないため、複数の固定視点の映像とその距離情報を用いて、利用者の視点に応じた映像を生成する視点の内挿補間と呼ばれる技術を用いることが想定されている。

MPEG における視点の内挿補間の実現性の検討にあたり、24 個の固定視点の映像と距離情報から、視点の内挿補間を行い生成した映像の例を図-2 に示す。このような視点の内挿補間のために必要な、映像の撮影位置や撮影方向などのメタデータと処理方法を規定する「イマーシブビデオ」(MPEG-I パート 12) の規格化が進められており、2021 年 1 月現在、国際規格案が作成されている。2021 年中には規格化を完了する見込みである。

立体的な映像を表現するポリメトリック映像

視点の内挿補間による映像生成と比べ、より広い範囲での視点の移動に対応するため、3D オブジェクトなどのポリメトリック映像を 3 次元空間に配置し、レンダリングにより映像を生成する方法も検討されている。

ポリメトリック映像とは、物体を取り囲むようにカメラを配置し、全方向から撮影することで、物体の立体的な構造を保持している映像である。3GPP TR 26.928 “Extended Reality (XR) in 5G” に示されるポリメトリック映像の撮影環境を図-3 に示す。

このポリメトリック映像を表現する方法として、図-4 に例を示すポイントクラウドがある。ポイントクラウドは、3 次元空間の画素の集合として物体を表現しており、それぞれの画素はその位置情報と色情報を持っている。立体的な物体を画素の集合で



■ 図-2 固定視点の映像と奥行き情報 (上段) を用いて視点内挿により生成した映像 (下段)

特集
Special Feature

表現するため、ポリゴンとテクスチャの組合せでポリュメトリック映像を表現する場合などに比べ、高画質化に適する表現形式である。図-4 左側に示す人物は250万の画素（ポイント）から、右側の犬は150万の画素から成るポイントクラウドである。

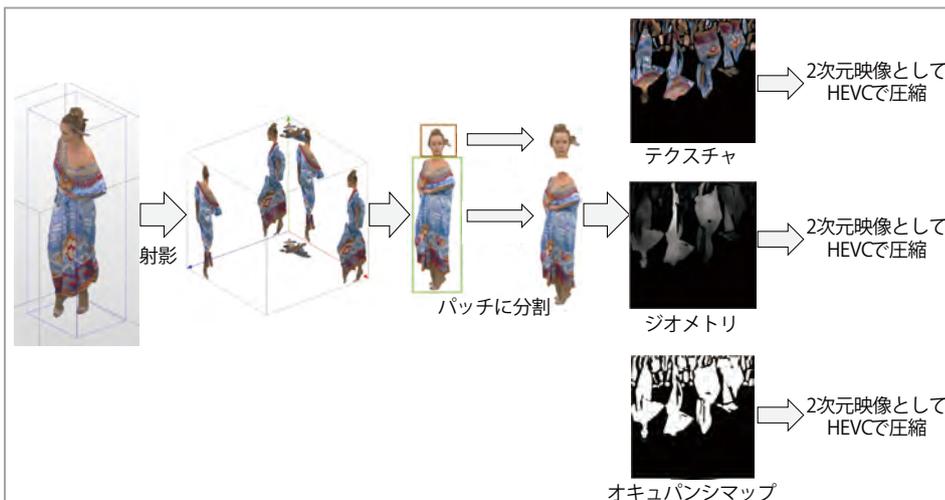
ポイントクラウドは、画素を密に配置するほど高精細な表現となるが、画素の位置情報も保持する必要があるため、100万ポイントで1フレームあたり15メガバイトの情報量となる。MPEGでは、この



■図-3 ポリュメトリック映像の撮影環境の例



■図-4 ポイントクラウドで表現した3Dオブジェクトの例



■図-5 ポイントクラウドの圧縮符号化の前処理

ポイントクラウドを、2次元映像を対象に開発されたHEVC (High Efficiency Video Coding) などの映像圧縮符号化方式で圧縮する方法を検討し、「ポリュメトリック映像の符号化と映像ベースのポイントクラウド圧縮」(MPEG-I パート5) として規格化した。

ポイントクラウドを圧縮符号化するための前処理の概要を図-5に示す。立体的な構造を持つポイントクラウドを、それを取り囲むバウンディングボックスに射影し、さらにパッチと呼ばれる単位に分割する。それぞれのパッチをテクスチャと呼ばれる矩形の領域に配置することで、2次元の映像として扱うことができる。それに加え、バウンディングボックスの射影面までの距離情報を示すジオメトリ、さらに矩形のテクスチャにパッチが配置されていることを示すオキュパンシマップ、の合計3つを映像信号として圧縮符号化する。これらの符号化ストリームと、パッチごとの3次元空間上の位置を示す補助情報を組み合わせることで、ポイントクラウドの圧縮ストリームが構成される。

3次元空間の情報を表現するシーン記述

シーン記述は、3次元空間におけるオブジェクトの位置関係などを時系列に示す情報である。図-6に

示す例のように、時間の経過とともにオブジェクトをシーンに配置したり、その向きや大きさなどのパラメータを変化させたりすることができる。

シーン記述により、ポイントクラウドオブジェクトの向きや大きさ、位置を指定して3次元空間に配置し、視点を移動した映像の例を図-7に示す。

特集
Special Feature

3次元空間における360度映像やポイントクラウドオブジェクトの位置と、見る人の位置および視線方向を基にレンダリングすることで、映像空間内を自由に移動して全方位映像を見ることができる。

MPEGでは、Khronos(さまざまなプラットフォームで動作するグラフィックスやメディア処理に関するオープンな規格を開発しているコンソーシアム)が開発し、3Dモデルを表現するために広く用いられているgTF2(GL Transmission Format)を、動画像やポイントクラウドオブジェクトを取り扱えるよう拡張する検討を進めており、「MPEGメディアのためのシーン記述」(MPEG-Iパート14)として、2021年10月の規格化完了を目標としている。2021年1月現在、規格の委員会原案が作成されており、以下のような拡張がgTF2に行われている。

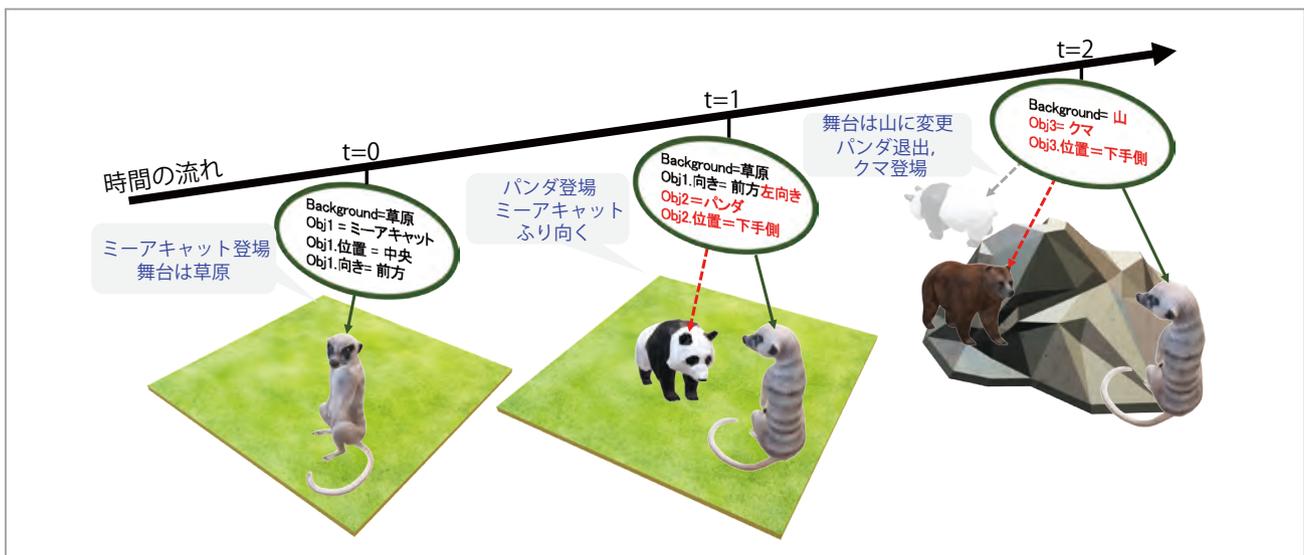
- 外部のメディアソースの参照
- 動画のような時間方向の情報を持つメディアのサポート
- 動画の受信と表示のための循環バッファのサポート
- シーンの更新機能
- ビデオテクスチャのサポート
- 空間オーディオのサポート
- 推奨ビューポートの記述
- アニメーションのタイムライン制御

複数のオブジェクトを復号するためのデコーダインタフェース

現在のテレビ放送や映像配信サービスでは、多くの場合、圧縮された1つの映像ストリームを復号(デコード)し、その全体を表示している。これに対しイマーシブメディアでは、前述の例のように360度映像と3次元のポイントクラウドオブジェクトを合成して表示するなど、複数のストリームを組み合わせて用いる必要がある(図-8)。また、1つのポイントクラウドオブジェクトを表示するためには、前述したようにテクスチャ・ジオメトリ・オキュパンシマップの3つのストリームを同時に復号する必要がある。さらに2次元の映像についても、視点の内挿



■ 図-7 ポイントクラウドオブジェクトと360度映像をシーン記述で組み合わせ、ヘッドマウントディスプレイを付けて歩きながら周りを見た映像



■ 図-6 シーン記述に示されるオブジェクトの例

特集
Special Feature

補間を行うためには、映像とその距離情報の組合せを複数用いる必要がある。いずれにしても、イマーシブメディアでは、従来と比べはるかに多くのストリームを復号する必要がある。しかし、これまでは視聴に用いる端末が複数のデコーダを備えることは一般的でなかった。

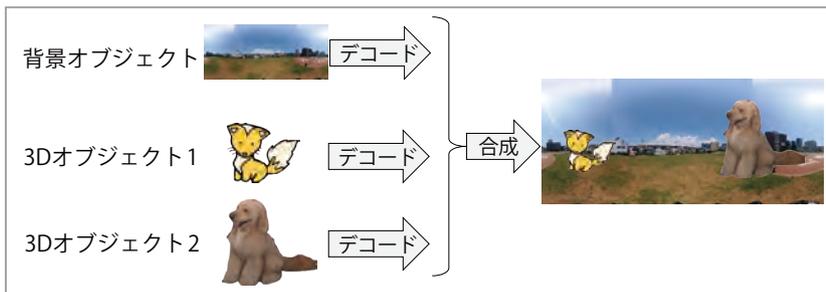
そこで、高性能な1つのデコーダで、複数のストリームを同時に復号する仕組みが検討されている。この考え方を図-9に示す。たとえば、現在の8K放送のテレビは8Kのデコーダを備えており、その8K

デコーダは4Kのデコーダチップを4つ組み合わせて実現されている。この場合、1系統のデコーダとして用いるだけでなく、4系統のデコーダとして用いることができる可能性がある。この考え方をより一般的に取り入れ、デコーダの入出力インターフェースの機能について、「イマーシブメディアのためのビデオデコーダインターフェース」(MPEG-I パート 13)として規格化する方針である。

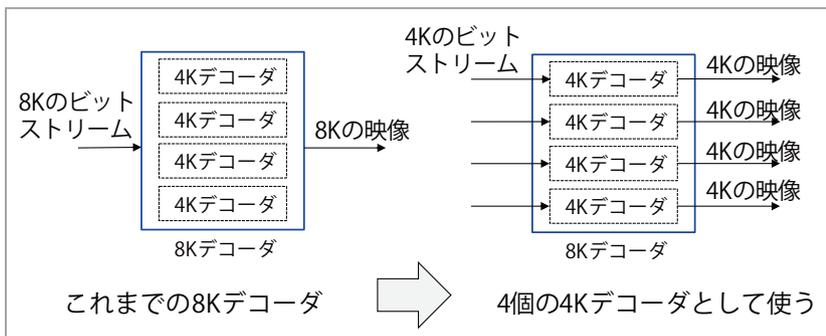
2021年1月現在作成されている規格の作業原案に示されるデコーダインターフェースの機能ブロック

を図-10に、デコーダインスタンスとデコーダハードウェアの関係を図-11に示す。映像信号のビットストリームは「入力デコーダインターフェース」で解析され、「入力フォーマット」として取り出される。この「入力フォーマット」を、GPU (Graphics Processing Unit) 等のデコーダハードウェアを利用するデコーダインスタンスでデコードする。デコード後に、関連する複数ストリームのデコード結果やメタデータとタイミングをあわせ、デコード後の情報を入力する仕組みである。

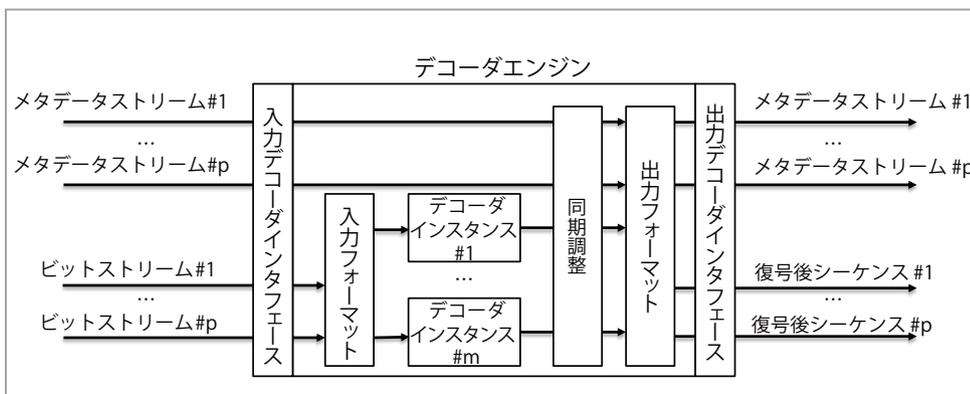
将来、このような仕組みが一般的になれば、複数のストリームを受信



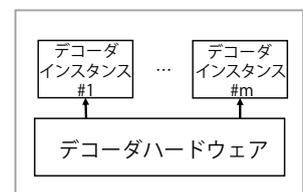
■図-8 イマーシブメディアでは複数のデコーダが必要



■図-9 8K デコーダを4つの4K デコーダとして利用するイメージ



■図-10 デコーダインターフェースの機能ブロック



■図-11 デコーダインスタンスとデコーダハードウェアの関係

特集 Special Feature

し復号することが容易に行え、イマーシブメディアの受信・表示に対応する端末の増加につながるものと考えられる。

イマーシブメディアに向けたさまざまなディスプレイとそのメディアフォーマットの検討

シーン記述を用いてポイントクラウドオブジェクトを3次元空間に配置し、その情報をレンダリングすることで任意の視点から見た映像を再現することを述べた。この場合、3次元空間の情報を持っているものの、表示されるのは画素が2次元に並んでいるディスプレイである。

これに対し、画素を2次元に並べて表示するのではないさまざまな種類のディスプレイが多く開発されつつある。そこで、3次元空間の情報とそのレンダリングの仕組みをさらに進め、イマーシブアプリケーションで利用が広まりつつあるさまざまなディスプレイにも対応させようという試みが行われている。2020年6月から「MPEG-Iの将来の機能」として検討されており、2021年1月現在、以下の文書が作成されている。

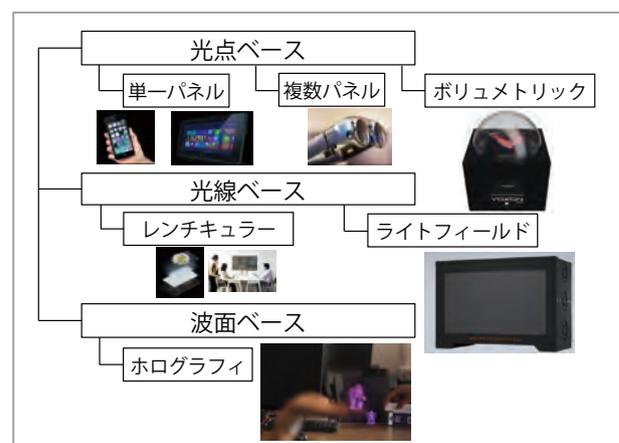
- イマーシブディスプレイをサポートするための考慮事項
- イマーシブメディアのユースケースを実現する技術
- イマーシブアプリケーションとディスプレイをサポートするための要件

この検討では、ディスプレイの種類やレンダリングの方法を分類し、それぞれに適するメディアフォーマットの情報の分析を進めている。また、先に述べたシーン記述について、glTF2の拡張ではない別のシーン記述も検討している。

「イマーシブディスプレイをサポートするための考慮事項」にまとめられているディスプレイの分類

を図-12に示す。ディスプレイは、その出力に応じて、光点ベース、光線ベース、波面ベースの3つに分類される。光点ベースは、平面ディスプレイの画素やポリメトリックディスプレイのボクセル（物体形状を構成する要素である立方体）により映像を再現するものである。光点ベースのディスプレイは、さらに、単一パネルの画素により映像を再現するものと、複数のパネルの画素により映像を再現するものと、ポリメトリックディスプレイに分けられる。単一パネルの場合、1つの映像を生成するだけで、オクルージョンを再現することはできないのに対し、複数パネルの場合、ある程度の視差やオクルージョンを再現できる。ポリメトリックディスプレイでは、ポリメトリックのイメージを再現することができ、その大きさに応じて視差やオクルージョンを再現できる。光線ベースのディスプレイは、レンチキュラーとライトフィールドに大きく分けられ、前者は光を選択的に屈折させるレンズを用いるもので、後者はより高密度な光線を利用するものである。波面ベースのディスプレイは、コヒーレント光の干渉を利用して映像を再現するものである。

また、メディアフォーマットに含める情報としてあげられているものを表-1に、それらの情報についてディスプレイの分類に応じた適合性を表-2に示す。レンダリングの方法については、ラスタライズと



■ 図-12 イマーシブアプリケーションに向けたディスプレイの分類

特集 Special Feature

■表-1 メディアフォーマットに含める情報

情報	内容
点の情報	<ul style="list-style-type: none"> ピクセルやボクセル それぞれの点は色情報や位置情報を持つほか、距離に関する情報を持つ場合もある
レイヤごとの点の情報	<ul style="list-style-type: none"> ある距離に位置する点の情報
ジオメトリ情報	<ul style="list-style-type: none"> メッシュベース、ベクタ表現など テクスチャと組み合わせる場合もある シーンベースのジオメトリ表現やオブジェクトベースのジオメトリ表現があり、レンダラで光点や光線に変換する
レイヤごとのジオメトリ情報	<ul style="list-style-type: none"> 複数レイヤのジオメトリ情報
波面情報	<ul style="list-style-type: none"> ホログラムを記録するために用いる干渉パターン

■表-2 ディスプレイの分類に応じたメディアフォーマットの適合性

ディスプレイの分類	点の情報	レイヤごとの点の情報	ジオメトリ情報	レイヤごとのジオメトリ情報	波面情報
光点ベース	✓	ポリュメトリックディスプレイのみ	<ul style="list-style-type: none"> ポリュメトリックディスプレイのみ レンダリングによるラスタライズで光点に変換 		
光線ベース		✓	✓	✓	✓
波面ベース					✓

レイトレーシングといった手法による分類のほか、シーンの圧縮や深層学習の利用などの機能の必要性、さらに分散レンダリングやネットワークレンダリングといったレンダラの実装方法についても考慮する必要があることなどが議論されている。

画素が2次元に並んでいる従来のディスプレイだけでなく、さまざまなディスプレイもサポートすることで、より没入感の高いイマーシブメディアを実現できる可能性がある。現在、ディスプレイの分類や必要とする情報についての分析を進めており、こうした分析の結果、新たなメディアフォーマットが規格化されることが期待される。

技術以外にも、広視野の映像やポリュメトリック映像を撮影・生成するための技術、その配信技術、さらにユーザインタフェースなど多くの分野の技術が必要であり、こうした技術も日々進歩している。

現実の映像と仮想の映像とが組み合わせられた映像空間内を自由に移動できるイマーシブメディアによって、実際に人が会っているかのようなコミュニケーションができたり、スポーツやコンサートなどの実際のイベント会場に行かなくても、友人と一緒にそこに行って楽しんでいるかのような体験ができたりするアプリケーションも遠からず実現することが期待される。

(2021年2月3日受付)

さまざまな技術と組合せ

イマーシブメディアの実現に向け、MPEGが規格化に取り組んでいる映像システム技術を紹介した。

イマーシブメディアの実現には、本稿で紹介した

■青木秀一（正会員）aoki.s-ha@nhk.or.jp

2003年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。2013年同大情報理工学系研究科博士課程修了。2003年にNHK入局。以来、放送技術研究所にて、IP技術を用いる放送システムやイマーシブメディアの研究開発およびMPEG、ITU-R、ATSC、3GPPでの規格化に従事。博士（情報理工学）。

特集

オープンサイエンスを支える 研究データ基盤

編集にあたって

村山泰啓 | 情報通信研究機構

林 和弘 | 文部科学省科学技術・学術政策研究所

オープンサイエンスの潮流

我が国におけるオープンサイエンスの潮流の変化は、2013年のG8科学技術大臣会合に端を発する。そこで「公的資金を得た研究データのオープン化」について共同宣言¹⁾がなされたのち、国内では内閣府が中心となって、本特集ゲストエディタも委員に加わり、国際動向と調整しつつオープンサイエンス推進の議論を行った。その成果が内閣府「国際的動向を踏まえたオープンサイエンスに関する検討会」の報告書「我が国におけるオープンサイエンス推進のあり方について～サイエンスの新たな飛躍の時代の幕開け～」²⁾として発表され、その後、我が国の統合イノベーション戦略³⁾において「オープンサイエンスのためのデータ基盤」が日本におけるイノベーションを生む重要な基盤になると言及され、これに基づいて国立研究機関のデータポリシー⁴⁾や国際的に信頼されるデータリポジトリのためのガイドライン⁵⁾などが公表されている。本特集のゲストエディタ2名はこれらの検討に直接関与してきたほか、国内外の会議での情報収集と我が国の関連活動情報の発信などにたずさわってきた。

また、第5期科学技術基本計画をうけて2021年4月以降の我が国の科学技術政策の基本方針となる科学技術・イノベーション計画（現状案）⁶⁾においても、オープンサイエンスへの対応を視野に入れつつ、デジタル化と

データの重要性が強調されており、今後も我が国の重要な政策と不可分に位置づけられているといえるだろう。

21世紀になってからのオープンサイエンスの本質は、インターネットの普及と電子情報基盤の社会利用の一般化により、学術情報の伝搬速度と配信コストが驚異的に変化し、広範囲な学術研究全般の方法論にまで影響する点にあると考えられる。特に、本特集でも着目している研究データについては、たとえば欧州委員会やOECD（経済協力開発機構）等のオープンサイエンス戦略においても論文と並ぶ重要な科学的生産物と位置づけられ、その取り扱いは科学政策上の大きな課題としてオープンサイエンスと不可分に議論されている^{7),8)}。

その原則的な考え方は、研究データをはじめとするさまざまな学術活動からのアウトプットを研究成果として位置づけ、その相互利用、可能な限りの積極的な公開を通じて、インターネット基盤や電子情報基盤の発展に伴う情報環境の変化に対応した、新たな時代の学術研究に対応しようというもの、といえる。もちろん、公開とともに自由な利用が可能になれば、研究成果の再現性・透明性の確保はもとより、既存研究から得られたデータによる新たな研究が可能となり（再利用）、さらには、これまでつながることの少なかった異分野間での横断的研究が加速し、これを通じて過去になかった科学技術イノベーションへの発展と経済効

【デジタルプラクティスコーナー】

各記事の概要のみ掲載しております。本文は電子版

<https://www.ipsj.or.jp/dp/contents/publication/46/S1202-index.html> を
ご覧ください。



果が期待できると考えられている。

社会における情報の記録・処理・伝達のテクノロジーという点においては、Gutenbergの活版印刷テクノロジーの産業的確立・普及を通じて世界最初の学術ジャーナルが1665年に出版されて以来⁹⁾、現代までのさまざまなイノベーションは印刷媒体の郵送や物理的な対面方式でのコミュニケーションをほぼ中心にして実現されてきたと言っても過言ではないだろう。

印刷メディアには数百年にわたって確立されてきた情報のハンドリング手法、社会技術（SNS等を指すのではない広義のソーシャルテクノロジー）が存在し、世界規模の機関間連携、メタデータ（書誌情報）の整備、法的整備、出版・配送をはじめとする周辺産業の成立など、そこには電子情報メディアとは異なる地平が広がっている（そうした状況の一部はたとえば過去の論文¹⁰⁾などにも見て取れる）。世界初の学術ジャーナル出版以来350年以上という、経済や政治とは比較にならないタイムスケールで情報を整備・管理・保存するスキル、人材、機関が存在してきた。

現代社会が享受する鉄道、内燃機関や再利用可能エネルギー技術、航空機、人工衛星、携帯電話などの社会に不可欠な科学技術は、ほぼすべて過去の紙媒体に記され適切に保存された知を活用することで生まれてきたイノベーションであることに思いを致すことは無駄ではないはずである。その知恵やスキルは50年・100年単位で社会の中で保存され、技術が衰退しないための人材育成から制度・法整備、製造・利活用エコサイクルの維持まで、有形無形の

工夫によって現代社会が成立していることを忘れてはならない。

現在議論が盛んなデジタルトランスフォーメーションが、学術や産業界で実現する場合、こうした社会になくはない技術、システム、制度やそれらの統合されたエコシステムを、インターネットをふくむ広い意味の電子情報基盤上で形成し、そこで新たな発見、発明、開発がなされて社会へ提供される時代をかたち作ろうというのであれば、それは非常に壮大なチャレンジであるとの見方もできよう（その一部はたとえば過去の報告書¹¹⁾などにも見て取れる。全体総括的な総説をご存じの方はご教示いただければありがたい）。もしそれが正しければ、紙媒体に代わって電子媒体が社会の基盤となっていくために乗り越えるべき膨大な課題がこれから私たちの前に将来にわたり広がっているであろうことは、頭の片隅に常におくことも重要であろう。

このような現状の中で、日本学術会議第24期では「オープンサイエンスの深化と推進に関する検討委員会」に多様な専門分野の方々が参画し、国際的な潮流に合わせて我が国におけるオープンサイエンスを進めるべきという提言がだされている¹²⁾。こうした動きを推進するために、情報科学や計算機工学、ソフトウェア工学などとともに、私たちはどういった新たな問題を解決すべきかを探るべき時に来ていると言ってもよいかもしれない。

【特集：オープンサイエンスを支える研究データ基盤】編集にあたって

本特集の論文について

本特集で採録された論文の紹介に先立ち、2編の関連解説論文について触れておきたい。

青木氏による解説論文「オープンサイエンスと研究データ管理の動向」は、デジタル技術に基づく新たな時代の研究データマネジメント（RDM）を、あえて対象学術分野の特定を避け、学術全体のためのプラットフォームと捉えて解説している。実際の研究適用時には分野ごとの特性、特徴の違いを考慮した実践が必要なことはもちろんであるが、これはデータ管理の変化やサイエンス（最も広い意味の学術、科学技術）の技術・文化・規範などの在り方の変化を暗に示唆しているともいえるだろう。

対照的に、高木氏による解説論文「統合データベースプロジェクトから学ぶこと」は、ゲノム研究・生命科学領域において著者ご本人が精力的にデータと格闘されてきた道のりをひもとき、データ管理、データベース構築、データ駆動型科学がいかに分野に依存し、人に依存し、組織に左右されるかといった、技術問題に落とし込む以前に横たわる課題とその解決の事例を示されている。サイエンス 2.0 と呼んでもオープンサイエンスと呼んでもよいが、デジタルテクノロジーの変革とともに学術の在り方の再考が求められ、今議論されている多くの課題の原型がすでに同氏のご経験の中で醸成されてきたことが伺われる。これらの教訓は我々にとっての今後の羅針盤として有益なものとなるだろう。

さて、以下は本特集において採録された各論文について概要を順次紹介したい。非常に多様な活動フィールド、組織、人々の視点から、共通する問題点もあれば、分野ごと・データごとに異なる事情が混ざり合い、運用上の問題と一言で片付けられない課題も多数ある。オープンサイエンス実現へ向けて、技術、文化、制度、学術規範、人的課題などを含めた総合的な研究課題が潜んでいることを意識して読

み取っていくことも今後有益であろう。

白井氏による論文「地球環境データベース—30年の歩みとこれから—」では、国立環境研究所（NIES）地球環境研究センターで30年以上にわたり継続的に整備されてきた「地球環境データベース」について、その時代とともに変遷する状況を、データベース公開、利活用促進、人的・文化的・組織的な観点から議論している。

能勢氏らによる論文「ジオスペース科学分野におけるデータ出版とデータ引用の現状およびそのプラクティス」では、地球周辺の宇宙空間を対象とするジオスペース科学、すなわち地上観測や人工衛星観測、計算機シミュレーションなどの手法を複合的に用いた電磁気的現象の研究において、2010年代半ばから推進してきた研究データへのデジタルオブジェクト識別子（DOI）付与のプラクティスを紹介している。多くの同分野研究者はまだ戸惑いがあるものの、学術出版社のデータポリシーの変化に伴い、今後データ引用の普及が加速していくと考えられ、データ出版数やデータ被引用数といった貢献度測定の可能性などを論じている。

川村氏らによる論文「データ駆動型農業に向けた研究データ基盤の構築」では、農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）における統合DBの整備、および、2020年5月よりこれと一体的に運用されているAI計算用スーパーコンピュータ「紫峰」にかかわるプラクティスを紹介している。ゲノムや品種、病害虫や環境に関する情報を対象として、FAIR原則に基づく共通メタデータを付けてカタログ化するだけでなく、複雑に絡み合ったデータ間の関係をRDF（Resource Description Framework）やProperty Graphなどを活用して表現する。これにより、ゲノム解析から育種、生産、加工・流通に至るサプライチェーン全体をカバーするデータ駆動型農業研究への道筋を論じている。

林氏らによる論文「JAIRO Cloud とコミュニティ主導のクラウドサービスの実現—」では、国立情報学研究所が世界でも類を見ない多数の



利用機関（625 機関：2020 年 7 月末）に対して提供している JAIRO Cloud（機関リポジトリのクラウドサービス）について、その成功要因として、カスタマイズしやすい汎用リポジトリソフトウェア WEKO や、利用機関から構成されるコミュニティ主導の成長戦略を挙げるとともに、システムの安定運用や利用機関の獲得の過程の問題設定と解決等を紹介している。

大須賀氏らによる論文「情報学研究データリポジトリ IDR における研究用データセット共同利用の取り組み」では、データサイエンス研究の進展に不可欠な十分な規模のデータ利用を可能とするため国立情報学研究所の情報学研究データリポジトリ（IDR）で展開されているプラクティスを紹介している。産業界等と大学等の研究者の媒介、データセット共同利用、データ DOI 付与、利用実績や研究成果の状況を紹介するとともに、本活動を通じたデータセット共同利用の実現における課題発掘と理解の深化から対応への実践を議論している。

谷藤氏らによる論文「材料データプラットフォームシステム DICE における研究データフローの構築—実践と課題」では、材料分野でのデータ駆動型研究の進展を受けて物質・材料研究機構（NIMS）で 2020 年から開始された所内試験的サービス「DICE」における FAIR（Findable, Accessible, Interoperable, Reusable）なデータ流通基盤を紹介している。データを「つくる」「あつめる」「つかう」の基本コンセプトのもとで、マテリアル・インフォマティクスに不可欠な材料データベースや材料データリポジトリをオープンデータ基盤として再構築しており、オープンサイエンス時代に適合するための実践的取り組みと課題を考察している。

菊地氏らによる論文「CAS ベースの RDM 認証・認可機構の漸増開発とアセスメント評価」では、物質・材料研究機構における Research Data Management（RDM）に組み込まれた認証・認可機構（Central Authentication Service：CAS）の概略と設計上の変遷（認可管理との連携・名寄せ・多重化・API 管理）を概説

するとともに、Service Oriented Architecture（SOA）におけるセキュリティフレームワークの簡易アセスメントを実施するなどの評価・考察を試みている。

松波氏らによる論文「IoT データ収集システムのデータアーキテクチャ」では、物質・材料研究機構におけるデータ駆動型研究の進展に必要なデータ収集の仕組み、主に物質科学分野の計測・プロセスデータに関して、本来ネットワーク接続しない実験装置の IoT 化、計測データのメタデータ自動抽出から自動的データベース化といった設計指針（データアーキテクチャ）について論じている。

本特集での挑戦：研究成果の価値付けの新たな視点とデジタルプラクティスのデジタルトランスフォーメーション

本特集は、デジタルプラクティスというデジタル技術、情報科学などの実践に関する知恵や経験を共有し役立てるといったメディアにおいて、オープンサイエンスを進めるための萌芽的な試み、オープンサイエンスを指向しながら進めた従来の計算機基盤の修正・活用についての検討、またオープンサイエンス基盤そのものの開発などさまざまな試みが対象となっている。ここでは、計算機プラットフォームレイヤの試みから、プラットフォーム上でのデータコンテンツの管理実践の知、次世代へ残すべき共有情報資産としてのデータセットのあり方、これを広く活用するためのソフトウェアツールから人的・制度的枠組みまで、知的価値の高い情報の管理をどのように行うか、という「情報学」を幅広く捉えた試みがなされていると考えられる。

この編集過程においては、編集委員の間でオープンサイエンスと情報学の関係について、その位置づけや解釈において興味深い対話が生まれた。

まず、これまでのデジタルプラクティスにおいては、ポリシーを含む社会制度や、情報学としてのフレームはほぼ固定された中で、情報学の近傍のフレームでの

[特集：オープンサイエンスを支える研究データ基盤] 編集にあたって

実践が議論され、掲載されてきた。一方、オープンサイエンス時代においては、元となる社会制度自身もICTの変革やそれに伴う知識基盤の変化とともに大きく変わることが予察されており、予期せぬ形ではあるがCOVID-19がその予察を具体的なイメージに急速に落とし込み始めている。すなわち、今回のデジタルプラクティスを編集する上では、少なくとも研究者社会の制度や研究そのもののフレームを変え得るか、研究成果の価値付けを変え得るかどうかなどの「メタサイエンス」の観点が加わっている。

投稿された論文の中には、特に情報学の科学的視点から見た価値を見出せないと判断できそうなものがあったが、オープンサイエンスの実践に向けた何らかの価値を認められるものは積極的に採録した。つまり、従来の基礎科学的なもの、あるいは、その単なる応用研究とは明らかに違うベクトルによる価値付けにも我々は挑戦した。それは、新たな科学を生み出すフレームづくりのヒントとなる実学をどのように価値付けするかへの挑戦とも言える。

すなわち、本特集の編集作業は、単なる学術論文の査読を超えて、オープンサイエンス時代の新たな科学を生み出す活動の価値付けをどのように行うべきかの試行実験を行ったとも言えるだろう。これを一言でまとめれば、デジタルプラクティス自身のデジタルトランスフォーメーションも指向した結果として今回の特集は編集された。一見聞こえは良いが、実際は上に記した価値観が混在する中で一定の判断を下すために苦労することも多く、依然曖昧さが残るものである。

ジャーナル編集方針というのは、学問の在り方や評価の本質にかかわるがゆえに、編集にたずさわっ

たゲストエディタとしては、将来のデジタル基盤と広い意味での学術情報、さらには知的価値の高いデータ全般の管理や保全、世代を超えた学術知の管理と利用にとって有益な知をできるだけ多く読者に伝えるべく配慮をしたつもりである。

この取り組みをきっかけとして、情報学がさらに発展し、オープンサイエンス時代を支える知識基盤づくりが進展し、その知識基盤に基づく新しい科学研究が広く進展することを期待したい。

参考文献

- 1) G8 science ministers statement : London UK, 12 June 2013, <https://www.gov.uk/government/publications/g8-science-ministers-statement-london-12-june-2013> (Jan, 8 2020 参照)
- 2) 内閣府：国際的動向を踏まえたオープンサイエンスに関する検討会、我が国におけるオープンサイエンス推進のあり方について～サイエンスの新たな飛躍の時代の幕開け～(2015), <https://www8.cao.go.jp/cstp/sonota/openscience/index.html> (Jan, 8 2020 参照)
- 3) 内閣府：統合イノベーション戦略, <https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/> (Jan, 8 2020 参照)
- 4) 内閣府：国際的動向を踏まえたオープンサイエンスの推進に関する検討会、国立研究開発法人におけるデータポリシー策定のためのガイドライン(2018), <https://www8.cao.go.jp/cstp/stsonota/datapolicy/datapolicy.html> (Jan, 8 2020 参照)
- 5) 内閣府：国際的動向を踏まえたオープンサイエンスの推進に関する検討会：研究データリポジトリ整備・運用ガイドライン(2019), <https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/kokusaiopen/index.html> (Jan, 8 2020 参照)
- 6) たとえば、内閣府：科学技術・イノベーション基本計画の検討の方向性(案)(2019), <https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/kihon6/chukan/index.html> (Jan, 8 2020 参照)
- 7) たとえば、Commission High Level Expert Group on the European Open Science Cloud, : Realising the European Open Science Cloud (2016), https://ec.europa.eu/research/openscience/pdf/realising_the_european_open_science_cloud_2016.pdf (Jan, 8 2020 参照)
- 8) たとえば、OECD : Open Science (2020), <https://www.oecd.org/science/inno/open-science.htm> (Jan, 8 2020 参照), および、OECD : Making Open Science a Reality, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 25, OECD Publishing, Paris (2015-10-15), <http://dx.doi.org/10.1787/5jrs2f963zs1-en>

論文誌 デジタルプラクティス「特集：オープンサイエンスを支える
研究データ基盤」はこちらでご覧いただけます（電子図書館）

https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_opensearch&index_id=10553





- 9) たとえば, Royal Society : Philosophical Transactions, 2020, <https://royalsocietypublishing.org/journal/rstl> (Jan, 8 2020 参照)
- 10) David, P. A. : The Historical Origins of 'Open Science': An Essay on Patronage, Reputation and Common Agency Contracting in the Scientific Revolution, Capitalism and Society : Vol. 3, Iss. 2, Article 5. DOI: 10.2202/1932-0213.1040 (2008)
- 11) OECD : OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264268821-en> (2017)
- 12) 日本学術会議オープンサイエンスの深化と推進に関する検討委員会: 提言「オープンサイエンスの深化と推進に向けての提言」(2020), <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t291-1.pdf> (Jan, 8 2020 参照)

(2021年2月8日)

■村山泰啓 (正会員) murayama@nict.go.jp

1993年京都大学大学院工学研究科博士課程修了, 博士(工学)。同年, 郵政省通信総合研究所入所。アラスカ大学との北極域観測に関する日米国際共同研究などを経て, 2011年国際科学会議世界データシステム事業国際事務局ホストを担当, その後内閣府「国際動向を踏まえたオープンサイエンスに関する検討会」有識者委員, G7科学大臣会合オープンサイエンス部会共同議長, 日本学術会議国際サイエンスデータ分科会委員長, 日本地球惑星科学連合理事などを歴任。

■林 和弘 (正会員) kahayashi@nistep.go.jp

1997年東京大学大学院理学系研究科博士課程中退, 修士(化学)。日本化学会にて電子ジャーナル開発とオープンアクセスに携わり, 2012年から文部科学省科学技術・学術政策研究所(現)に着任。オープンサイエンス政策に資する調査研究と実践に取り組む。ユネスコオープンサイエンス諮問委員会委員および日本学術会議オープンサイエンスを推進するデータ基盤と, その利活用に関する検討委員会幹事等を歴任。

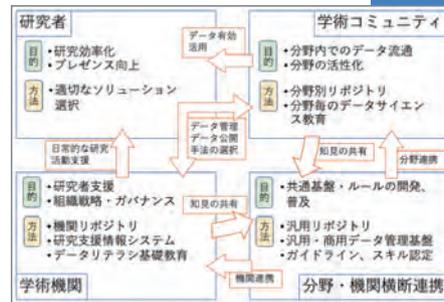
[特集: オープンサイエンスを支える研究データ基盤] 概要

1 オープンサイエンスと研究データ管理の動向



青木学聡 (名古屋大学)

研究成果を広く公開しその利活用を促すオープンサイエンスは, 新しい研究分野・イノベーションの創出をもたらすものとして, アカデミアの内外を問わず注目を集めている。また, 一連の研究活動に沿って実施される研究データ管理手法も, デジタル化の進展や研究活動の透明性向上等の点から, 見直しが進められている。本稿では, 2021年現在におけるオープンサイエンス, 研究データ管理の実現に向けた実践的な取り組みを多面的な視点で紹介する。



2 統合データベースプロジェクトから学ぶこと



高木利久 (富山国際大学)

生命科学は, ヒトゲノムの解読以来, ビッグデータを基盤としたデータ駆動型の研究に変貌を遂げつつある。このような背景のもと, 約15年前に我が国におけるこの分野のデータの共有・統合を目指す統合データベースプロジェクトが開始され, それを推進するためのデータベースセンターも整備された。本稿では, この15年にどういったことがあったのか, そこから得られた教訓は何か, 僭越ながらそれらを「10の教え」としてまとめたので紹介する。



特集

感性情報学 最前線

編集にあたって

江谷典子 | Peach・Aviation (株) 竹之内宏 | 福岡工業大学 齋藤 学 | (株) シーエーシー

コンピュータによる感性への取組み

感性情報学の基本的なアプローチである「人間の感性に対してコンピュータがどのような理解をし、どのように表現しているか」について、躍進的な技術となった Affective Computing¹⁾ の研究成果である「感情認識 AI」²⁾ と感性情報処理³⁾ の研究成果である「対話型進化計算」⁴⁾ という2つのツールをご紹介します。

Affective Computing の Affective は感情という意味である。1997年にMIT Media LabのRosalind Picard教授が、その著書「Affective Computing」において「感情やその他の感情的現象に関係する、意図的に影響を及ぼすコンピューティング」と提唱したのが最初と言われている。感情認識AIである「Affdex」は、MITのRana el Kaliouby博士と前述のRosalind Picard教授が起業したAffectiva社が開発した。日本では、(株)シーエーシーが2015年から「中学校デジタル化プロジェクト」によりITを活用した教育の高度化の中で、生徒がプレゼンテーションを行う際、表情解析のために感情認識AIを用いて実証実験を行っている。また、MIT Media LabのAffective Computingが紹介しているプロジェクトには、「うつ病を予測して予防するための新しい方法の

発見」「コミュニケーション、動機、感情調節の課題に直面している人々の支援」「ロボットとコンピュータが人間の自然な感情的フィードバックに知的応答できるようにすること」「人々が自分の健康と社会的な健康をよりよく認識できるようにすること」など数多くあり、研究の対象は非常に広範囲にわたる⁵⁾。

対話型進化計算 (Interactive Evolutionary Computation: IEC) は、人とコンピュータがコミュニケーションをとりながら、人の感性に合ったものを作成していく手法であり、人間の主観的な評価に基づくシステム最適化の中で進化的計算 (Evolutionary Computation: EC) を採用する最適化手法である。人間の嗜好・直感・感情・心理的側面、または、より一般的な用語である感性をターゲットシステムに組み込んだ技術であると言える。高木氏の論文⁶⁾では、1980年代から2000年までの分野別および年別のIEC論文が体系的にまとめられている。現在も続いている研究分野であり、アプリケーションには次の分野がある。Graphic art & CG animation, 3-D CG lighting design, music, editorial design, industrial design, face image generation, speech processing & prosodic control, hearing aids fitting, virtual reality, database retrieval, knowledge

【デジタルプラクティスコーナー】

各記事の概要のみ掲載しております。本文は電子版

<https://www.ipsj.or.jp/dp/contents/publication/46/S1202-index.html> を
ご覧ください。



acquisition & data mining, image processing, control & robotics, internet, food industry, geophysics, art education, writing education, games and therapy, social system など。

これらの技術が日本の ISDN 時代開幕当時に提唱された「時間と空間を超えたコミュニケーション」を助長し、日常感覚で実現できる日が近づいてくるのではないと思われる。日本の 1990 年代前半は、通信技術である ISDN の普及、遠隔地間のコミュニケーションの普及、CSCW (Computer Supported Cooperative Work) やグループウェアの普及によるコンピュータと通信を介在した人間同士の協調作業支援の促進、サテライトオフィスの普及と実証実験が盛んに行われていた。感情や気持ちなど抽象的な情報である感性を共有しながら送信者と受信者が正確にメッセージを交換することができるコミュニケーションが円滑に行われたらと思う、互いの関係やコミュニケーションが長く続く。メッセージを受信したとき、その内容を受け止める際に、どのような立場や背景の中で受け止めればよいのか困惑した経験はあるかと思う。氷山の一角であるメッセージに対して、海面下の部分は見えている部分よりも大きく、本人すらはっきりとは分からない。この海面下の部分を可視化するコミュニケーション支援の試みも行われてきた。

日本の 2020 年、最適化手法や人工知能とビッグデータ分析による特徴抽出技術が進展した感性情報学は、海面下の部分の特徴抽出を行うことができるようになり、新たなコミュニケーションへ向かっている。IEC

は、人間とコンピュータのコミュニケーションのやり取りの中で、人間の主観的な評価に基づき感性情報のビッグデータを最適化させながら感性の特徴抽出を行い、人間に理解できる形で人間へフィードバックを行うことができる。感情認識 AI は、コンピュータがカメラで撮影した人間の表情であるビッグデータから人工知能により特徴抽出を行い、人間に理解できる感情「怒り」「軽蔑」「嫌悪」「恐怖」「喜び」「悲しみ」「驚き」等に分類して、人間へフィードバックを行うことができる。このフィードバックがコミュニケーションを豊かにする手がかかりなのである。

現在の社会では、働き方改革の推進や大規模な感染症拡大、災害への対策としてリモートコミュニケーションによる就労や教育が促進されている。2020 年 3 月に発表されたペーパーロジック社による「リモートワーク・テレワーク」に関するアンケート調査⁷⁾によると 45.9% の人が「対面よりコミュニケーションが難しい」と回答している。リモートを円滑に行うにあたって最も難しいのが、コミュニケーションの問題であると指摘している。しかしながら、感性情報学は、恐らくは、このコミュニケーションの問題を解決し、対面とは異なる就労や教育がリモートコミュニケーションにより促進されるであろうと期待をしている。

そこで、本特集号は、利用者の感性情報をリアルタイムに解析・利用・把握する数理モデルや応用例について、多くの知見が共有されることを目指して企画された。

[特集：感性情報学 最前線] 編集にあたって

本特集号の論文について

本特集号は、「感性情報学 最前線」に関し実践例を踏まえたプラクティスについての4編の招待論文、それらの執筆者によるインタビュー／座談会を加え、さらに、より幅広いこの分野のプラクティスにかかわる投稿論文を加えて全体が構成されている。

招待論文：感情認識 AI「心 sensor」の教育現場導入に向けた実証実験

情報サービス産業協会 (JISA) では、2015 年から「中学校デジタル化プロジェクト」により IT を活用した教育の高度化を進めてきた。本プロジェクトでは青翔開智中学校・高等学校を題材として、探究教育における評価を定量化するために、生徒がプレゼンテーションを行う際、表情解析のために感情認識 AI「心 sensor」を用いて生徒のプレゼンテーションを撮影・分析を行い、表情に関してフィードバックする実証実験を行ってきた事例について解説している。

解説論文：ユーザの感性情報を用いた動的なコンピュータシステム

企業の商品開発分野などで注目されている感性情報処理に関する技術について、ユーザの感性情報を利用し、新たなものを作成するシステムを中心に述べる。感性情報学における IEC 手法の位置づけ、IEC の研究事例や実環境における応用に関する知見などについて、解説している。

招待論文：遠隔地間の味コミュニケーションを想定した対話型進化計算による混合飲料生成システムの改善

IEC は、最適化手法である進化計算を利用して、各ユーザの好みを反映したコンテンツ作成を支援する有力な探索ツールである。多くのユーザの感性に合う清涼飲料の味を創生するために新たな IEC システムを提案し、遠隔地にいる複数のユーザと味の調合情報を

交換する「味コミュニケーション」を取り込んだ飲料調合システムの開発を行った。また、評価実験を行い、有効性を検証した。

招待論文：一般ユーザ向けの対話型進化計算システムにおける一対比較評価の有用性

トーナメント式評価手法の改良版となる勝ち残り一対比較評価手法を提案し、商品カスタマイズにおける応用を視野に入れた IEC システムを構築し、その有用性を検証した。ユーザが一対比較評価に迷った場合に、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定ができる機能を付け加えたシステムに関する検証も行っている。実験結果より、提案した機能の有無によるデザイン満足度は違いがなく、提案システムはユーザの解候補評価のしやすさの面で有用であることが確認された。

これらの招待論文に加えて、招待論文の筆者の方々によるリモート・インタビュー／座談会を掲載している。感情認識 AI である心 sensor について、(株)シーエーシー様へインタビューを行い、また、対話型進化計算をブレイクスルーしようと挑む研究者の Zoom 座談会を開催した。インタビューでは、感情認識 AI の活用展開を伺うことができた。また、座談会では、これまでの対話型進化計算に関する研究を振り返り、対話型進化計算を実際に応用する上での障害を指摘し、それらの解決策と応用手段にはどのようなものが考えられるかについて忌憚なく意見交換を行うことができた。

また、以下2本の投稿論文を採録した。

感性情報フェイスマークが伝える感性情報

フェイスマークが伝える感性情報を多次元尺度構成法により視覚化した結果から、感情や印象を抽出した。メールやチャットメッセージなどの送信者として自分の感情を伝える場合には、本稿にて発表している適切なフェイスマークを選択していただくことを期待する。



A New Method of Subjective Evaluation Using Visual Analog Scale for Small Sample Data Analysis

Visual Analog Scaleという感度評価のための主観的評価方法を提案した。ロボットとの会話の印象に焦点を当てた評価実験を行った結果、データの全体的な分布を視覚的に把握できた。

実用化への期待

これらの実践事例を通して、筆者たちが得た有用な知見や、ブレークスルーへの取り組みにおけるプラクティスが共有され、感性情報学の研究分野が進展し、感性情報学を活用したソリューションやビジネス展開がますます広がることを願っている。

参考文献

- 1) Affective Computing : <https://affect.media.mit.edu/> (参照 2021-1-24)
- 2) 感情認識 AI : <https://affectiva.jp/> (参照 2021-1-24)

- 3) 感性情報処理とは? : https://www.fit.ac.jp/~h-takenouchi/introduction_kip.html (参照 2021-1-24)
- 4) 対話型進化計算インタフェース : https://www.fit.ac.jp/~h-takenouchi/introduction_iec-interface.html (参照 2021-1-24)
- 5) Technology and Emotions by Prof. Roz Picard in TEDxSF : <https://youtu.be/ujxriwApPP4> (参照 2021-1-25)
- 6) Takagi, H. : Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capacities of EC Optimization and Human Evaluation. Proceedings of the IEEE. 2001, 89 (9), p.1275-1296, http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~takagi/TAKAGI/IECpaper/ProcIEEE_3.pdf (参照 2021-1-24)
- 7) 「リモートワーク・テレワーク」に関するアンケート調査 : https://paperlogic.co.jp/news_20200306/ (参照 2021-1-24) (2020年11月2日)

■ 江谷典子 (正会員) dr.noriko.etani@ieee.org
 全日本空輸 (株) 子会社 Peach Aviation (株). 専門は人工知能・ビッグデータ・コンピュータアーキテクチャ. 博士 (工学).

■ 竹之内宏
 福岡工業大学情報工学部システムマネジメント学科助教. 専門は対話型進化計算を用いた感性情報処理と応用システムの開発. 博士 (工学).

■ 齋藤 学
 (株) シーエーシー 経営統括本部 経営企画部 IT コーディネータ. 企業のシステム全体構成やコミュニケーションインフラ・ナレッジマネジメントなどが専門.

論文誌 デジタルプラクティス「特集：感性情報学 最前線」は
 こちらでご覧いただけます (電子図書館)

https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_opensearch&index_id=10553



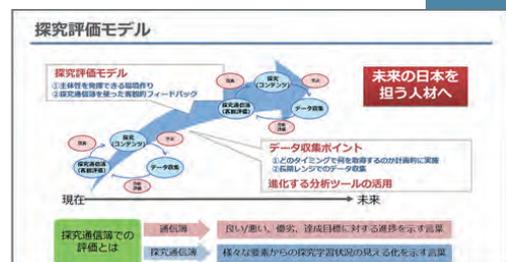
[特集：感性情報学 最前線] 概要

1 感情認識 AI 「心 sensor」の教育現場導入に向けた実証実験



齋藤 学 ((株) シーエーシー)

情報サービス産業協会 (JISA) では、2015年から「中学校デジタル化プロジェクト」として青翔開智中学校・高等学校を題材とし、データを活用した教育高度化を目指している。プロジェクトでは生徒の表情がプレゼンテーションに与える影響、フィードバックによるプレゼンテーションの改善、探究評価の定量化のインプットとしての可能性を実証するため、本プロジェクト内で感情認識 AI 心 sensor を用いた生徒のプレゼンテーション解析を行った。



[特集：感性情報学 最前線] 概要

2 ユーザの感性情報を用いた動的なコンピュータシステム



竹之内宏 (福岡工業大学)

本稿では、感性情報をコンピュータに取り込み、ユーザの好むものを動的に作成しようとする技術の1つである対話型進化計算手法について、紹介する。対話型進化計算は、進化計算手法における解候補評価を人の感性評価に置き換えた手法である。本稿では、感性情報学におけるこれまでの技術的な歩みをまとめ、対話型進化計算手法の位置づけおよび研究事例や実環境における応用に関する知見について、解説する。

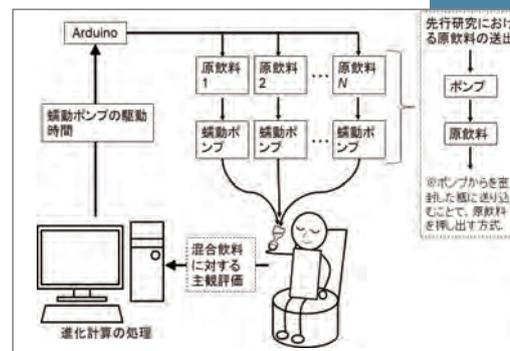


3 遠隔地間の味コミュニケーションを想定した対話型進化計算による混合飲料生成システムの改善



福本 誠 (福岡工業大学) 花田良子 (関西大学)

本稿は、対話型進化計算の新たな応用として味覚コンテンツの創生支援の試みを紹介する。コンピュータによる処理や情報伝達の観点から対話型進化計算で扱うことが困難な飲料を対象に、個々のユーザの好みを反映した味の探索、さらに遠隔地間のやりとりを想定した複数ユーザによる同時探索、味の調合情報を交換する味コミュニケーションを実現する飲料調合システムの開発を行う。また、味評価実験を通じ、基礎的な有効性を検証する。



4 対話型進化計算システムにおける一対比較評価の有用性



竹之内宏 (福岡工業大学) 徳丸正孝 (関西大学)

本稿では、ユーザの感性情報を用いて対象を最適化する対話型進化計算手法において、ユーザが解候補評価に一対比較評価手法を用いる有用性について述べる。本研究では、各対戦においてユーザが好みと判定した解候補が次の対戦でも提示される勝ち残り一対比較評価手法を提案し、商品カスタマイズにおける応用を視野に入れた検証を実施した。その結果、提案システムはユーザの解候補評価のしやすさの面で有用であることを確認した。





● インタビュー／座談会：最前線に立つ実務家と研究者が見る感性情報学の今と未来



インタビュー 心 sensor について

インタビュイー：齋藤 学 ((株) シーエーシー) インタビュア：江谷典子 (Peach・Aviation (株))

座談会 対話型進化計算の未来

参加者：福本 誠 (福岡工業大学), 花田良子 (関西大学), 徳丸正孝 (関西大学)

司会：竹之内宏 (福岡工業大学)

「感性情報学 最前線」をテーマに Affective Computing および対話型進化計算に関する論文を寄稿いただきました。その著者の方々が論文に書けなかったことや今後の展望などについて意見交換を行いました。感情認識 AI のインタビューでは AI とコミュニケーションへの展開を説明されました。また対話型進化計算をブレイクスルーしようと挑む研究者の Zoom 座談会を開催し、その未来をご討論いただきました。

会誌「デジタルプラクティスコーナー」が始まりました

論文誌デジタルプラクティスは、2020年10月に生まれ変わりました。

この度、論文誌デジタルプラクティスを改め、新設する論文誌トランザクション デジタルプラクティスと、会誌デジタルプラクティスコーナー、既存の DP レポートを通じて、質の高い論文、速報性の高い論文をより分かりやすく皆様にお届けして参ります。

本号から「会誌デジタルプラクティスコーナー」がスタートいたしました。会誌「デジタルプラクティスコーナー」は概要を本誌に掲載し、論文本体は電子版として公開いたします。

会誌デジタルプラクティスコーナー（電子版）の購読は無料ですのでみなさまぜひ御覧ください。



	2020年7月刊行分まで	2020年10月刊行分以降
論文誌デジタルプラクティス	特集号投稿論文、一般投稿論文、推薦論文 [採録審査あり]	論文誌トランザクション デジタルプラクティス [採録審査あり] (電子版) https://www.ipsj.or.jp/dp/
	特集号招待論文 (共同編集あり)	会誌デジタルプラクティスコーナー (共同編集なし). 概要を会誌紙媒体に掲載し、論文本体は電子版として公開
	JISA 招待論文 その他招待論文	
DP レポート [採録審査なし]		DP レポート [採録審査なし] (電子版) https://www.ipsj.or.jp/dp/DPreport/index.html



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)



専門科目「情報デザイン」 「情報コンテンツ実習」を担当して

山本博之 | 東京都立若葉総合高等学校

総合学科と専門教科

総合学科とは、普通科と専門学科を足し合わせたような学科である。1年次（単位制であるため1年生とは呼ばず、年次と表現する）には、普通科と同様の科目を必修として設置してあるが、2年次から専門学科の教科や学校設定科目などを選択できるようになっている。東京都立若葉総合高等学校（以下単に「本校」という）では、「人間探求」「伝統継承」「芸術表現」「情報交流」という4つの系列があり、それぞれの系列の目的に沿った科目が設置されている。情報系の科目としては、1年次に「社会と情報」、2、3年次選択科目に「情報処理（商業の専門科目）」、「情報デザイン（情報の専門科目）」、「情報メディア（情報の専門科目）」、3年次選択科目に「情報コンテンツ実習（情報の専門科目）」を設置している。普通科と比べて科目数が多くなるため、情報系科目は、商業科1名、情報科2名の体制で授業を受け持っている。本稿では、2020年度、筆者が担当した「情

報デザイン」「情報コンテンツ実習」の授業を中心に紹介していく。

専門教科「情報」

教科「情報」は、共通教科「情報」と、専門教科「情報」に分けられる。一般的に教科「情報」と言えば、共通教科「情報」を指す。

共通教科と専門教科の科目編成を学習指導要領と対応させる形で表-1、表-2に示す^{1), 2)}。

学習指導要領改訂や大学入学共通テストへの教科「情報」導入などで話題となっているのは、共通教科「情報」である。多くの学校では、「社会と情報」や「情報の科学」が設置されており、今後は「情報I」に代わることになる。

一方、専門教科「情報」は、専門学科や一部の学校の選択科目でしか設置されていないため、ほとんどの情報科教員にとって、指導経験がない教科となっている。東京都で情報科を設置している高校は、東京都立新宿山吹高等学校のみである。この高校では、

専門教科「情報」のすべての科目を設置している。総合学科である本校では、13科目の専門科目のうち「情報メディア」「情報デザイン」「情報コンテンツ実習」の3科目を設置している。専門学科以外で専門教科「情報」を設置することはほとんどないため、専門科目の実践事例の報告は、共通教科と比較して少ない。また、大学での教員養成においても専門教科「情報」を深く扱うことは少ないため、実際に専門科目を設置している学校に勤務しない限りは、授業研究や教材開発をする機会はほとんどないのが実態である。

情報系科目の教育課程

本校における情報系科目の教育課程と実施形態は

■表-1 共通教科「情報」の科目編成

現行学習指導要領 (平成21年(2009年)告示)	新学習指導要領 (平成30年(2018年)告示)
社会と情報 情報の科学	情報Ⅰ 情報Ⅱ

■表-2 専門教科「情報」の科目編成(新旧対応表)

現行学習指導要領 (平成21年(2009年)告示)	新学習指導要領 (平成30年(2018年)告示)
・情報産業と社会	・情報産業と社会
・情報と問題解決	
・課題研究	・課題研究
・情報の表現と管理	・情報の表現と管理
・情報テクノロジー	・情報テクノロジー
・アルゴリズムとプログラム	・情報システムのプログラミング
・ネットワークシステム	・ネットワークシステム
・データベース	・データベース
・情報デザイン	・情報デザイン
・情報メディア	
・表現メディアの編集と表現	・コンテンツの制作と発信
・情報システム実習	・情報実習
・情報コンテンツ実習	・情報セキュリティ(新設)
	・メディアとサービス(新設)

次のようになっている(商業の専門科目である「情報処理」は除いた)。

現教育課程

1年次(必修科目):社会と情報

1年次の必修科目として「社会と情報」を設置し、教員2名体制でチームティーチングでの授業を実施している。

2,3年次(選択科目)

2,3年次の選択科目として専門科目である「情報デザイン」,「情報メディア」を設置している。年度によりばらつきがあるが、毎年20~50名の履修希望者がいる。

3年次(選択科目)

3年次の選択科目として「情報コンテンツ実習」を設置している。この科目は、「情報メディア」か「情報デザイン」を履修していることを受講の条件としている。2年次に「情報メディア」か「情報デザイン」を履修できなかった生徒は、3年次において「情報コンテンツ実習」と同時に履修することもできる。年度によりばらつきはあるが、毎年20名程度の履修希望者がいる。

今後の教育課程

新学習指導要領の実施に合わせ、教育課程の変更を検討している。新学習指導要領では、情報メディアと情報デザインが統合されること、プログラミング教育が必修化されることを考慮し、図-1のような編成を考えている。

1年次の必修科目として「情報Ⅰ」、2年次選択科目として専門科目「情報デザイン」,「情報システムのプログラミング」、3年次選択科目として「コンテンツの制作と発信」を設置する案となっている。1年次の必修科目を土台とし、2年次ではデザインコースと、プログラミングコースに分かれ、3年次にコンテンツ制作コースとして統合するイメージである。学習指導要領においても「共通教科情報科」の学習内容をより広く、深く学ぶために、専門教科情

報科の科目の内容が参考になる。「情報Ⅰ」および「情報Ⅱ」をさらに発展させた学習を行うために、専門教科情報科の科目を履修させることも可能である」と示されており、本校の科目編成の参考とした²⁾。

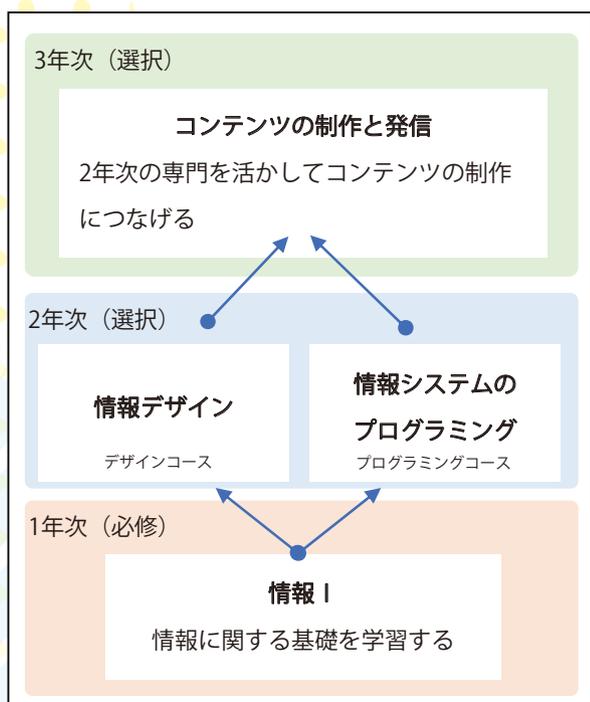
情報デザイン

専門科目「情報デザイン」は、実践的・体験的活動を行うことを通じて、情報デザインの構築に必要な能力や態度を育成することを目標としている^{2), 3)}。これを受け、年間授業計画を考える際には、実習を多く取り入れるものとした。以下に本校での授業の詳細を示す。

ポスター制作 (1 学期)

1 学期は「ポスター制作」を実施した。全 4 回 (2 時間×4 回=8 時間) の授業計画を表-3 に示す。

新型コロナウイルスによる休校期間もあったため、十分な実習時間を確保できなかったが、少ない時間の中にあっても、オリジナルキャラクタを描いたり、



■図-1 本校での情報系科目設置のイメージ

写真を加工したりする生徒もおり、工夫した作品を多く見ることができた (図-2)。

課題となったのは、生徒たちの PC 操作に関するリテラシである。生徒たちはスマートフォンの操作には長けているが、PC との連携や、データ転送、クラウドサービスの利用に関しての知識や技能に乏しいことが分かった。普段の生活では PC を利用せず、スマートフォンの中だけですべてが完結できてしまうため、インターネットを経由したデータの転送方法や、PC との連携などの実習の必要性を改めて感じた。

パンフレット制作 (2 学期)

2 学期は「パンフレット制作」を実施した。全 13 回の授業計画を表-4 に示す。

デザインの世界で一般的に利用されているソフト

■表-3 ポスター制作の授業計画

回数	授業内容
第 1 回	・ソフトウェアの使い方 ・スマートフォンから PC へのデータ転送方法 ・他校のポスターや、学校パンフレット表紙などの調査
第 2 回	・ポスター制作の目的の明確化 ・他校のポスターやパンフレット表紙などの観察と研究 ・ポスターレイアウト、コピー (キャッチコピーやボディコピー) の考案
第 3 回	・ポスター制作の目的の確認 ・ポスター課題の評価方法 ・ポスター課題の提出 ・相互評価と振り返り
第 4 回	・ポスターの修正 ・レポートを作成 ・ポスターおよび説明文レポートの校内掲示板への貼り出し



■図-2 生徒作品 (ポスター)

ウェアを使えることも必要なスキルであると考え、2学期は Adobe Photoshop と Adobe Illustrator を利用した。生徒はドロー系ソフトウェアの利用に慣れておらず、操作に苦労している姿が多く見られた。本来であれば1学期にソフトウェアの扱いに慣れておく必要があったと考えられる。情報デザインの授業では、ソフトウェアの使い方を覚えることを目的としていない⁵⁾。しかし、表現や設計を行うツールとして、ある程度のソフトウェア操作スキルがなければ、高度な実習は期待できないと考えている。

課題の見本として、大学パンフレットを用意した。ほとんどの大学のパンフレットは、進路系サイトを通じて無料で入手することができる。各大学それぞれデザインに工夫があり、初めてパンフレットを制作する生徒にとって参考になる資料となった。

課題の条件として、「人物写真（イラストでも可）を入れる」「インタビュー記事を掲載する」「校内地図を入れる」「インフォグラフィクスを入れる」ことを設定した⁴⁾。生徒は、大学パンフレットなどを参考にしながらも、オリジナリティのあるページを制作していた (図-3)。

2学期の大半の時間をとった実習だったが、ソフトウェアに慣れていないこと、グループでの制作スケジュールをディレクタ役がうまく調整できなかったこと、各ページに統一感がでなかったことなどが課題となった。また、インフォグラフィクスに関する

実習などを行わなかったため、見本をそのままトレースするグループなども見られた。自由度の高い課題は、自分たちで考えなければならないことが多いため、オリジナル作品の制作を初めて行う生徒たちにとっては難しく、スムーズに実習することができなかったことが反省点としてあげられた。

LINE スタンプ制作 (3 学期)

3学期は「LINE スタンプ制作」を実施している。全8回の授業計画を表-5に示す。

本実習は「コミュニケーションの課題を解決するためのLINE スタンプ制作」をテーマとしている。そのため、所属する全クラスにおいて「SNSでのコミュニケーションで課題となった場面」についてのアンケート調査を行った。アンケートの結果は受講者全員で集計し、そこから解決したいテーマを選ばせた。スタンプ制作後は、実際にLINE上で使用で



図-3 生徒作品 (左:表紙, 右:生徒インタビュー)

表-4 パンフレット制作の授業計画

回数	授業内容
第1回 ～ 第3回	<ul style="list-style-type: none"> Adobe Photoshop での写真加工 Adobe Illustrator での図形描写 ベジェ曲線の引き方の練習
第4回	<ul style="list-style-type: none"> パンフレット制作の目的 パンフレット課題の評価方法 グループと役割分担の決定 インタビュー調査の方法
第5回	<ul style="list-style-type: none"> インタビュー調査レポートの提出 パンフレットのページ内容を考案 大学パンフレットの観察と研究
第6回 ～ 第12回	<ul style="list-style-type: none"> 各グループに分かれ、それぞれの役割分担 (ディレクタ, デザイナ, ライター, カメラマン, イラストレータなど) に従い、パンフレット制作を進める
第13回	<ul style="list-style-type: none"> パンフレットデータの提出 パンフレットの印刷と製本 相互評価と振り返り

表-5 LINE スタンプ制作の授業計画

回数	授業内容
第1回	<ul style="list-style-type: none"> スタンプ制作過程の説明 制作スケジュールの確認 コミュニケーションの課題の調査 アンケート調査方法
第2回	<ul style="list-style-type: none"> アンケート調査集計と分析 スタンプ制作テーマの考案 アイディアシートの記入
第3回	<ul style="list-style-type: none"> 使用ソフトウェアの確認 制作する画像形式の確認 ポートフォリオサイト制作の説明
第4回 ～ 第7回	<ul style="list-style-type: none"> 各個人でLINEスタンプ制作、(制作したLINEスタンプを説明する) Webサイト制作, レポート制作を進める
第8回	<ul style="list-style-type: none"> 相互評価と振り返り

きるように LINE Creators Market にも登録させる。模擬的な実習で終わらせないことで、実践的な力を育成できると考えている。また、自分の作品を Web 上にまとめさせるポートフォリオの作成も指示した。制作したサイトは、文化祭で発表することにしており、多くの人に評価してもらうことを狙いとしている。新学習指導要領には「情報伝達やコミュニケーションについての課題を発見し、情報デザインの知識と技術を使って創造的に解決する力、情報デザインの構築に取り組む態度を養うことを目指すことをねらいとしている」と示されており、1, 2 学期で身に付けた知識・技能を使い、身近にある課題を解決する実践的な実習となっている²⁾。

本実習は、現時点（2021.1）で実施中の授業であるため、生徒作品や Web サイトを紹介することはできないが、アイデアシート（図-4）を用いて、情報を整理しながらスタンプを制作する姿が見られている。

情報コンテンツ実習

専門科目「情報コンテンツ実習」では、情報コンテンツの開発に関する知識と技術を実際の作業を通して習得させ、総合的に活用する能力と態度を育てることを目標としている^{2), 3)}。情報デザインと同様に実習を重視するため、コンテンツ制作実習をメインとした年間授業計画を作成した。以下に本校での授業の詳細を示す。

LINE スタンプ デザインシート
解決したい課題 (例)「LINE」をテーマにしたい。 (例)「LINE」をテーマにしたい。 (例)「LINE」をテーマにしたい。

解決したいテーマ、目的、場面を記入

デザイン案 (バランスを考えたデザイン案を書く。文字や色なども記入) アイデアメモ (思い付いたことをどんどん書き出す)

スタンプのデザイン

アイデアメモ

使用場面や使用方法 (どのような場面で、誰が、誰に、どのような感じで使うことで、どのような効果があるのかなど書き出す)

SWIHで使用場面や対象を整理

■図-4 アイデアシート

学校CM制作（1学期）

1学期は「学校CM制作」を実施した。全5回の授業計画を表-6に示す。

編集ソフトは Adobe Premiere Elements、カメラは生徒個人のスマートフォンを利用した。動画データは、YouTubeに限定公開する形で提出させた。今やネット動画サービスは一般的に利用されており、教育利用も進んでいる。このような動画サービスを利用することで、コンテンツの制作側を体験させることも授業の狙いとしている。

制作されたCM作品（図-5）には、ナレーションを演劇部員に頼んだり、文字エフェクトを使って校章ロゴを表示したり、オリジナルキャラクタと実際の施設を組み合わせたスライドを使ったりなど、さまざまな工夫が見られた。

卒業制作展（2学期）

2学期は「卒業制作展」をテーマとして、各自、情報コンテンツを自由に制作する実習を行った。全13回の授業計画を表-7に示す。

各自作りたいものが異なるため、使用するサービ

■表-6 学校CM制作の授業計画

回数	授業内容
第1回	・ソフトウェアの使い方 ・スマートフォンからPCへのデータ転送 ・実際のCMの調査、研究 ・著作権、肖像権の確認
第2回 ～ 第4回	・各個人でCM制作を進める ・動画をYouTubeにアップロード ・作品解説レポートの提出
第5回	・相互評価と振り返り



■図-5 学校CM動画作品



スやソフトウェアについては、それぞれに合わせて教員がアドバイスをしたり、情報コンテンツ制作の環境を用意した。生徒によっては、パソコン室のPCを使用せず、自分のノートパソコンや、タブレットなどを持ってくることもあった。以下に生徒作品の一覧を示す。

<生徒作品一覧>

- ・レシピサイト制作
- ・歌ってみた動画制作
- ・ファッションサイト制作
- ・ミュージックビデオ制作
- ・伝統工芸作品サイト制作
- ・写真集サイト制作
- ・アニメーション制作
- ・ゲーム実況制作
- ・オリジナル音楽制作
- ・ピアノ演奏動画制作
- ・イラストサイト制作
- ・オリジナルLINEスタンプ制作

各作品をまとめたサイトを以下に示す。

<2020 卒業制作展サイト URL⁶⁾>

<https://johocontents.wixsite.com/mysite>

Webサイトの制作には、Wixというサービスを利用した。このサービスはHTMLやCSSといった専門知識がなくても、Webサイトを制作することができるCMS(Content Management System)である。テンプレートも豊富であり、自分のサイトを初めて立ち上げるのに適切であると考えた。

最後の授業で行った振り返りアンケートでは、自ら考えて制作を進めることで発想力や想像力が身に

ついたという感想もあれば、自由度の高い授業よりもコンテンツ制作の技法や情報デザインの知識を知りたいという要望もあった。情報コンテンツの制作は、音楽、3DCG、動画、プログラミング、Webサイトなど幅広い実習が考えられるため、実習内容と制作時間のバランスをとることに苦慮した。今後は、動画コンテンツだけでなく、3DCGやVFX、アニメーションなどの制作などにも取り組める環境を整え、実習を行っていききたいと考えている。生徒の主な感想を以下に掲載する。

<生徒の感想>

- 授業を受けて、パソコンの使い方と同時に、スマホの使い方も覚えたと思います。あとは、工夫する力、どうやったら良いコンテンツを作ることができるかなど、自分で考える力が身についたと思います。私はコンテンツの制作を2人で行ったので、協力して役割分担して考えて制作することの大変さを実感しました。
- CMやテレビ番組、映画などを作り手側の目線で見えるようになった(このカットがかっこいい、どのくらいお金かけているのかなど)。
- ソフトウェアの使い方が一通り身についた。動画編集の能力が格段に上がった。計画を立ててそれを実行することの大切さが分かった。
- 本当は普通の生活では体験できないような情報の制作活動や新しい知識などを教えてもらいたかった。自分自身での制作活動では知識や発想力が個人だけに限られてしまうので、発想力が乏しい自分は新鮮味がなくて正直楽しくなかった。
- 一斉に同じことを行う授業ではなく、個々がテーマを決めて自分のペースで課題に取り組めるシステムはすごく自分に合っていたので、やりやすかった。個々がそれぞれのことをやるのでほかの人の作品を見ることで、新しいことに興味を持った。自分と同じようなことをやっている人の作品を見てヒントや参考にしたりできたのでよかった。個々でやるが多かったことで、自分のやりたいことを、周りを気にせず遠慮せずに取り組めて楽しかった。

■表-7 情報コンテンツ自由制作の授業計画

回数	授業内容
第1回	・グループ決定(個人制作も可) ・情報コンテンツ制作テーマの考案 ・著作権、肖像権の確認
第2回 ～ 第3回	・情報コンテンツ制作テーマ報告 ・情報コンテンツ制作プランの考案 ・制作方法を教員と相談
第4回 ～ 第12回	・各グループに分かれ、制作を進める ・第8回目には中間報告 ・作成した情報コンテンツは、Webサイトや動画サイトに掲載
第13回	・相互評価と振り返り

- ほかの授業に比べて自由度が高く楽しく受けることができました。でも自由度が高すぎて何作るのかなり迷い、時間がかかりなかなか制作できなくて困りました。個人制作で相互評価の時間があるのは、自分の作品と友だちの作品を比べて自分に何が足りないのか考えられて、今後の制作の参考になるのでよいと思います。
- グラフィックデザイン的なことができると思っ、デッサンを選択するのをやめてこっちを選びました。ですがやってみたら楽しくやろうみたいな内容で少しがっかりしていました。結果は身についたこともあり、これからのデザインのための踏み台になりましたが、やっぱりデザインっぽいこともしてみたかったです。

専門教科「情報」の今後の展望

2011年のGoogle ChromeのCMで「Everyone, Creator」という言葉が使われた。そこから10年が経ち、今まさにすべての人がICTの力を使い、新しいものを作り出す時代となっている。このような時代において、学校教育の中でも、創造的に新しいものを作り出す経験が必要だと感じている。専門教科は「職業人として必要な資質・能力の育成」が目標である。これは消費者ではなく、作り手側の立場としての経験を積ませることだと考えれば、専門教科はこの時代にとって、大きな役割を持つ教科だと考えられる。

2022年4月から始まる共通教科「情報Ⅰ」や、その翌年に始まる共通教科「情報Ⅱ」は、内容の高度化に対して十分な実習時間が確保できるかが課題である。しかし、専門教科であればそれぞれの分野に特化した内容に対して、十分な実習時間を確保することが可能である。今後は、専門学科や総合学科だけでなく、普通科においても専門教科「情報」の設置を検討する必要があるのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 文部科学省 高等学校学習指導要領 比較対照表, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1407080.htm (2021.1.24 閲覧)
- 2) 文部科学省 平成30年告示高等学校学習指導要領解説情報編 (2018), http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1407074.htm (2021.1.24 閲覧)
- 3) 文部科学省 平成21年告示高等学校学習指導要領解説情報編 (2010), http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/1282000.htm (2021.1.24 閲覧)
- 4) 中川憲造: 文部科学省検定済教科書「情報デザイン」, 実教出版 (2016).
- 5) 上平崇仁: すべての人がデザインを学ぶ時代に向けて, 専修大学 (2018).
- 6) 2020卒業制作展 (2020), <https://johocontents.wixsite.com/mysite> (2021.1.24 閲覧)

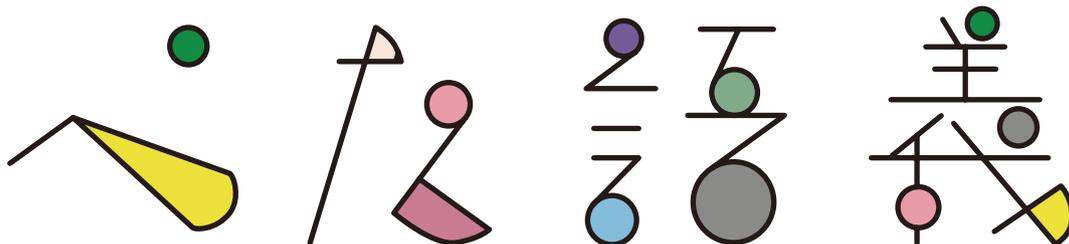
(2021年1月31日受付)



山本博之
jindai.joho@gmail.com

2005年情報科教員として東京都に採用。都立調布南高校、都立南多摩高校、都立神代高校での勤務を経て、現在は都立若葉総合高校にて「社会と情報」「情報デザイン」「情報コンテンツ実習」を担当。東京都高等学校情報教育研究会に所属し、研究活動を行っている。





Vol. 116

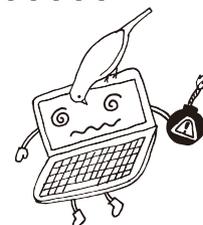
CONTENTS

- 【コラム】人工知能研究者から見た情報の教育…松原 仁
 【解説】大学入学共通テスト「情報」試作問題に対する教育現場の想い…井手 広康
 【解説】新刊 IT Text を使った一般情報教育はこうだ!～シンポジウム「これからの大学の情報教育」2020 開催報告…上繁 義史



COLUMN

人工知能研究者から見た情報の教育



情報の基礎としてあるいは情報の教養としてどういうことを学んでほしいか。いろいろあるだろうが、筆者としては計算量の爆発という概念を知ってもらうことがとても重要だと思っている。筆者は人工知能を専門としているが、人工知能は一般にそれを解くためのアルゴリズムが存在しない問題を対象としている。苦勞してアルゴリズム化を試みることになるが、多くの場合はまずは引数の値が小さい問題で試してみる。それがうまく動かないと始まらないが、たとえうまく動いたとしても、引数の値を大きくするとずっと答えが返ってこないことがある。計算量が爆発してしまうのである。引数の値に対して指数関数のオーダーの計算量のアルゴリズムだと膨大な時間がかかってしまう。実世界の問題は一般に引数の値が大きいので、そのアルゴリズムは実世界では使い物にならないということである。

これは計算量が爆発するやばいやつだ、という感覚を身につけてほしい。NP や P とか^{☆1} の概念の扱いは情報の専門家に任せておけばよいが、時間や空間（メモリ）がいくらあっても足りないという直観が重要である。プログラマや研究者は当然として、情報化社会に生きるすべての人の常識としてほしい。大げさに言えば一種の生存本能みたいなものだと思っている。この生存本能が欠けていては情報化社会で生きていけない。「爆発」という言葉のニュアンスをちゃんと分かっている必要がある。

指数関数的な計算量の爆発をどうすれば理解してもらえるかがむずかしい。日本では江戸時代からねずみ算が知られているが、ねずみによる被害が深刻でなくなった現代には向かないような気がする。それよりは1日目は米を1粒、2日目は2粒、3日目は4粒、4日は8粒と1日ごとに2倍もらうという約束をすると30日目で5億粒を越えるというエピソード（オリジナルは曾呂利新左衛門が豊臣秀吉にねだったものと言われている）の方がぴんとくる。しかしそれよりも、一度理論的には正しいけれど計算量が途中で爆発するプログラムを走らせて、ずっと答えが返ってこない、あるいは途中でランタイムのエラーになる、という経験を積むのがよいと思う。筆者もそのようにして実感した。大学に入って初めてプログラミングを習って、詰将棋を解く理論的には正しい（可能な王手を網羅する）プログラムを Fortran^{☆2} で書いて走らせて、答えが返ってこなかったという経験がいまも強い印象として残っている。爆発の本当の怖さを知るためには一度実際に爆発させてみるということだろう。

☆1 野崎昭弘：P≠NP 問題，講談社ブルーバックス（2015）

☆2 <https://ja.wikipedia.org/wiki/FORTRAN>



松原 仁（東京大学次世代知能科学研究センター）（正会員） matsubar@fun.ac.jp

1986年東京大学大学院情報工学専攻博士課程修了。電子技術総合研究所、公立はこだて未来大学を経て現在は東京大学 AI センター教授。人工知能、ゲーム情報学、観光情報学などが専門。元本会理事、元人工知能学会会長。

LOGOTYPE DESIGN...Megumi Nakata, ILLUSTRATION&PAGE LAYOUT DESIGN...Miyu Kuno

大学入学共通テスト「情報」 試作問題に対する 教育現場の想い

井手広康

愛知県立小牧高等学校

教科「情報」の変遷

□ 第1段階：情報A／情報B／情報C

平成11年(1999年)告示高等学校学習指導要領において、平成15年(2003年)より高等学校に教科「情報」が新たに加わった。このときの教科「情報」は、「情報A」「情報B」「情報C」の3つの選択必修科目から構成され、それぞれ「情報活用の実践力」「情報の科学的な理解」「情報社会に参画する態度」の育成が重視された(図-1)。しかし蓋を開けてみると、全国における「情報A」「情報B」「情報C」の選択履修状況は、それぞれおおむね80%、5%、15%という非常に偏りがある状況になっていた。

□ 第2段階：社会と情報／情報の科学

この10年後、現行の学習指導要領となる平成

21年(2009年)告示高等学校学習指導要領において、平成25年(2013年)より教科「情報」は「社会と情報」「情報の科学」の2つの選択必修科目で実施された。ここで「情報活用の実践力」は「社会と情報」と「情報の科学」に、「情報の科学的な理解」は「情報の科学」に、そして「情報社会に参画する態度」は「社会と情報」にそれぞれの内容を包含することになった(図-1)。しかし現行の学習指導要領においても、全国における「社会と情報」と「情報の科学」の選択履修状況は、それぞれおおむね80%、20%と大きく偏る結果となってしまった。

□ 第3段階：情報I／情報II

そして平成30年(2018年)告示高等学校学習指導要領(以下、「新学習指導要領」と表記)において、教科「情報」は共通必修科目「情報I」と発展的選択科目「情報II」の編成で令和4年(2022年)より新たなスタートを切る。新学習指導要領

では、すべての教科等を横断して「知識・技能」「思考力・判断力・表現力等」「学びに向かう力・人間性等」(資質・能力の3つの柱)を育成することが示された。また「情報活用能力」を言語能力と並ぶ「学習の基盤となる資質・能力」と位置付けたことから、子どもたちの「学習の基盤」を形成する過程において、教科「情報」が重要な役割を担っていることが分かる。

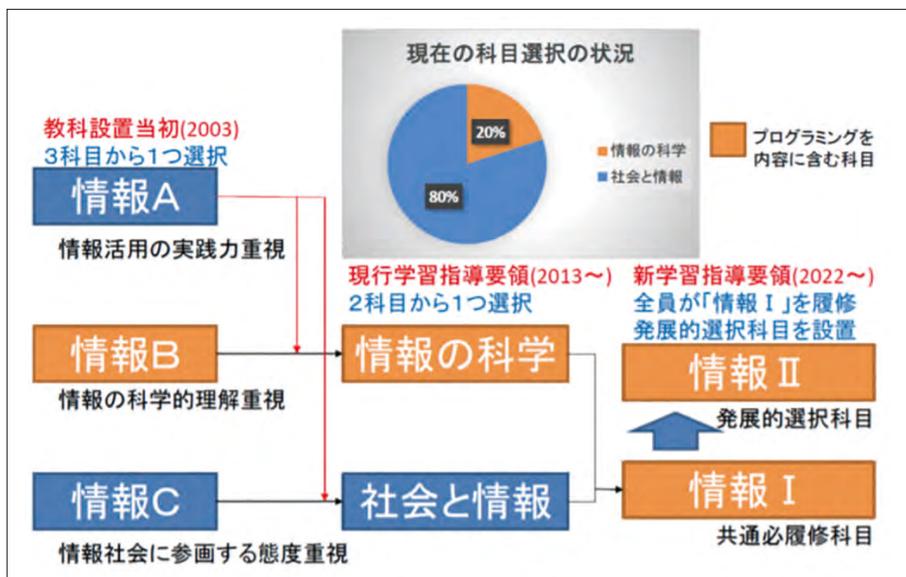


図-1 教科「情報」における科目の変遷

教科「情報」を入試科目に

□ 試作問題公開までの経緯

2018年5月17日に開催された第16回未来投資会議において、大学入学共通テスト（以下、「共通テスト」と表記）に「情報Ⅰ」の内容を試験科目として導入する旨の方針が示された。また大学入試センターは2020年10月に「平成30年告示高等学校学習指導要領に対応した大学入学共通テストの出題教科・科目等の検討状況について」を各教育委員会や全国高等学校長協会、関連学協会に対して通達し、共通テストの出題教科・科目等に対する意見を求めた。これに対して、本会、日本情報科教育学会、情報学科・専攻協議会、東京都高等学校情報教育研究会、8大学情報系研究科長会議など多くの団体が、大学入試センターに対して意見書を提出し、共通テストに「情報」を含むことの必要性を訴えた。

さらに大学入試センターは2020年11月に「大学入学共通テストにおける「情報」試作問題（検討用イメージ）」（以下、「試作問題」と表記）を同じく各教育委員会や全国高等学校長協会、関連学協会に対して通達した。その後、本会が大学入試センターと調整し、

2020年12月に試作問題を本会 Web ページ^{☆1}に公開したことで、現在では誰でも試作問題を入手することが可能になっている。

□ 試作問題の構成

試作問題は表-1に示す通り8つの大問から構成されており、「情報Ⅰ」の4つの單元である「(1) 情報社会の問題解決」「(2) コミュニケーションと情報デザイン」「(3) コンピュータとプログラミング」「(4) 情報通信ネットワークとデータの活用」の内容が網羅されている。ただし試作問題の表紙に「本試作問題は専門家による検討を経たものですが、過去のセンター試験や大学入学共通テストと同様の問題作成や点検のプロセスを経たものではなく、また、実際の問題セットをイメージしたものや試験時間を考慮したものでもありません」と記載されている。また大学入試センター試験問題調査官の水野修治氏は、日本情報科教育学会第12回フォーラムにおいて「試作問題を各学校や研究会において積極的に話題に挙げていただき、試作問題に対する活発な議論を行い、さまざまな視点から意見を集約してほしい」と述べている^{☆2}。

これらのことから、実際に共通テストに出題される問題は、試作問題と比較して難易度や問題構成に関して変更・調整される可能性が高い。しかし高等学校の情報科を担当する教員にとって、試作問題の公開は、共通テストの出題傾向を把握できる点や、共通テストを意識した授業計画を立案できる点などにおいて大きな意味を持つ。

□ 試作問題の難易度

2021年1月に初の実施となった共通テストでは、全教科の傾向として、従来のセンター試験と比較して「知識・技

表-1 「情報Ⅰ」の領域と各試作問題の対応（試作問題より引用）

問題番号	内容	頁	(1) 情報社会の問題解決	(2) コミュニケーションと情報デザイン	(3) コンピュータとプログラミング	(4) 情報通信ネットワークとデータの活用
第1問	法規や制度、情報モラルなど	1	◎	△		○
第2問	情報量など	3		◎	△	
	動画の仕組みとデータの容量	4		◎		
第3問	画像処理	5		◎		
第4問	交通渋滞シミュレーション	7	○		◎	
第5問	プログラミングによる暗号解読	10	○		◎	○
第6問	二要素認証によるセキュリティ強化	17	○			◎
第7問	ネットワークの不具合の原因究明	19				◎
第8問	Webアクセスログの分析など	21				◎

☆1 <https://www.ipsj.or.jp/education/edu202012.html>

☆2 2020年12月27日にオンラインで開催されたフォーラムであり、発言の内容は筆者の手元のメモによる再構成を経たものである。



能]を問う問題よりも「思考力・判断力・表現力」に重きを置いた問題が多く出題された。試作問題においても、各問題の出題傾向から「思考力・判断力・表現力」が重視されていることが分かる。

たとえば、第4問「交通渋滞シミュレーション」では、問題文から交通渋滞に関する課題設定の内容を正確に把握するとともに、与えられた2つのグラフを比較し、両者にどのような変化が生じているのかを読み取らなければいけない。また第5問「プログラミングによる暗号解読」では、問題文から暗号解読に関する課題設定の内容を正確に把握するとともに、暗号解読（頻度分析）のためのプロセスをその場で組み立てながら解答する必要がある。

このうち第4問「交通渋滞シミュレーション」を、本校1年生280名を対象に「社会と情報」の授業において解かせてみたところ、平均点は1.1点（3点満点）であった（有効回答数269名）。さらに問題を解いて感じた難易度（5段階）についても回答させたところ、**図-2**の通り、134名（49.8%）の生徒が「とても難しかった」で最も多く、次いで109名（40.5%）の生徒が「難しかった」と回答している。また「普通」「簡単だった」「とても簡単だった」と回答した生徒は合計して26名（9.7%）しかないことから、生徒にとって試作問題（第4問）は難しく感じた内容であったことが分かる。

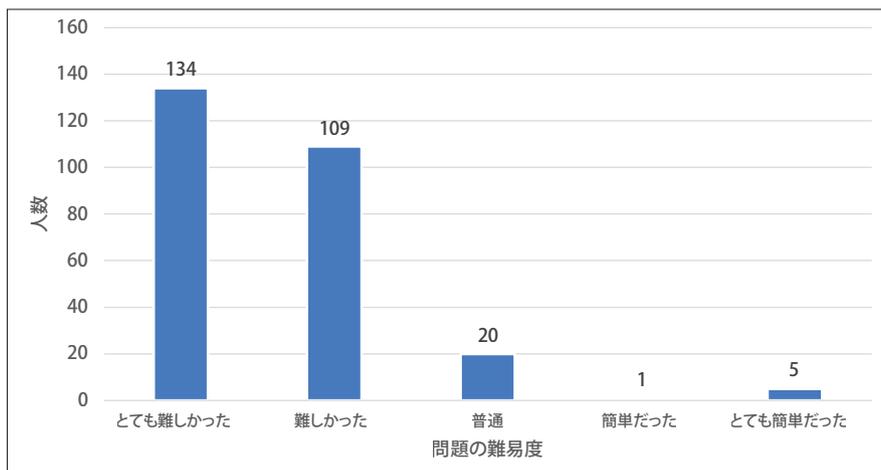


図-2 試作問題（第4問）に対する問題の難易度（n=269）

試作問題に対する教育現場の想い

□ 教育現場が抱える問題

試作問題の公開を受けて、教育現場ではさまざまな意見が飛び交っている。その中には共通テストへ「情報」を導入することに対する肯定的な意見だけではなく、時期尚早なのではないかという否定的な意見も少なからず存在する。本来、情報科の教員にとって共通テストに「情報」が導入されることは大変喜ばしいことである。しかし、このような否定的な意見が存在する理由は、次のような教育現場が抱える問題に起因すると考える。

(ア) 情報科における専任教員の不足

全国の情報科における専任教員は全体の2割程度にとどまる。2016年3月に文部科学省が公開した情報によると、2015年5月時点において全国で情報科を担当している教員は5,732人、うち情報科のみを担当している教員は1,170人（20.4%）、情報科以外の教科も担当している教員は2,982人（52.0%）、免許外教科担任は1,580人（27.6%）になるという。また本会会員の中山泰一氏や中野由章氏らの調査によると、2015年5月時点での情報科専任教員の割合は、東京都、埼玉県、沖縄県の3都県では8割以上だが、26県では1割未満になるという結果が出ている。

新学習指導要領において情報活用能力の育成に重きが置かれ、教科「情報」の内容がこれまで以上に高度になり、さらに入試科目にまでなろうとしている今日、専任以外の教員で新学習指導要領が求める教育を施すことは現実的に考えて難しいだろう。各高等学校に専任の情報科教員を置くことを、各自治体は最優先すべきであると考えられる。

(イ)担当教員に要求される高度な内容

新学習指導要領より、「情報Ⅰ」の単元に「プログラミング」「情報デザイン」「統計教育」などが加わり、これまで以上に高度な内容が「教える側」にも求められるようになった。令和2年度愛知県高等学校情報教育研究会総会において、ある専任ではない情報担当の先生から、「情報Ⅰの内容を十分に教えられる自信が自分にはない、できれば情報の担当を外れたい」という発言があった。情報の免許を持つ専任教員ですら、新たな単元を教えるためのノウハウを持ちていないことが多い状況の中、非常勤講師や免許外教科担任の教員にとっては頭を抱えなくなる問題である。加えて教科「情報」が入試科目となり、生徒の進路に直接影響してくるのであれば、担当から外してほしいと思うのはなおさら当然だ。

愛知県でも総合教育センター主催の研修会がこれまで実施されているが、研修会だけですべての単元を網羅することはできないため、基本的には各教員による自己研鑽が求められる。もちろん、情報科の専任教員（情報科で採用された教員）に対して自己研鑽が求められるのは当然のことだが、専任以外の教員（情報科以外の教科で採用された教員）に対してそこまで求めることは果たして妥当なのだろうか。

(ウ)大学入学共通テストへの対応

上記(イ)で述べたように、「情報Ⅰ」の学習内容は非常に多岐にわたるとともに、これまで以上に高度なレベルが求められるようになった。しかし「情報Ⅰ」の標準単位数は2単位であるため、効率よく授業を展開していかなければ教科書の内容を網羅するだけでも困難を極める。さらに教科「情報」が入試科目になるのであれば、教科書の内容を踏まえた上で、試作問題に示されたような高度な問題に対応できるだけの力を生徒に身に付けさせなければいけない。これらをたった2単位の中で十分に身に付けさせられるかどうか、担当教員の多くが不安を抱いている。

そして最も危惧するのは、授業時数が足りないことが原因で、「試験問題のための情報教育」になってし

まうことである。もちろん、試験問題に対応できるだけの力を身に付けさせることは重要であるが、情報教育の目標は決して試験問題が解けるようになることではない。このような誤った事態に陥らないためにも、共通テストにおける「情報」の適切な問題構成や難易度の設定を望むとともに、情報科教員の正しい共通認識が必要であると感じている。

□今後の情報科教育

平成15年（2003年）に「情報」が教科として加わってから18年が経った今日、今度は教科「情報」が入試科目になろうとしている。そこには地域・社会から教科「情報」に対する必要性が求められるようになった背景に加えて、多くの学会や研究会、そして一人ひとりの情報科教員の働きかけがあった結果である。私は情報科の一教員として、教科「情報」が入試科目になろうとしている現状に対して、「やっと情報科が世間から認められるようになった」と非常に嬉しい思いでいる。

しかし、これから教科「情報」を実施していく過程での課題は山積みの状態であり、それらは一人ひとりの教員の力で何とかできるというレベルのものではない。ただすでに賽は投げられており、情報科の教員は一步ずつ前に踏み出していくしかない。「専任教員がいないから」「学習環境が整っていないから」「大学入試に情報がないから」という理由を並べるのではなく、いま目の前にいる生徒に対して、「答えのない社会」を生き抜いていく力を身に付けさせるために、我々は今できる最高の授業をしていかなければいけない。

(2021年1月25日受付)



井手広康（正会員） k619154u@gmail.com

愛知県立小牧高等学校教諭（情報科）、愛知県立大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了、博士（情報科学）。主に情報教育、ゲーム情報学の研究に従事。日本産業技術教育学会、日本情報科教育学会 各会員。



新刊 IT Text を使った一般情報教育はこうだ！

～シンポジウム「これからの大学の情報教育」2020 開催報告

上繁義史

長崎大学

シンポジウム「これからの大学の情報教育」 2020 の概要

本シンポジウムは去る 2020 年 12 月 12 日（土）、大学 ICT 推進協議会情報教育部会と本会一般情報教育委員会との共催で開催された。今回新型コロナウイルス感染症予防のため、オンライン開催となった（図-1）。参加者数はシンポジウムの登壇者を含めて、大学教員を中心に 77 名に及んだ。

初等中等教育が大きく変化する中で、大学の一般情報教育の目標設定や実践方法についてどうあるべきか、講演、パネルディスカッション、ワークショップの 3 部構成で議論を深めた。本稿ではそれぞれの概要を紹介する。

新時代の一般情報教育へ向けて

大学 ICT 推進協議会情報教育部会主査の和田智仁氏（鹿屋体育大学）の挨拶に続き、喜多一氏（京都

大学）の司会のもと、以下の 3 件の講演が行われた。

□ 講演 1 「一般情報教育をとりまく環境」

講演者：湯瀬裕昭（静岡県立大学）

本会一般情報教育委員会委員長の立場から、情報を含めた教育一般について直近の状況を整理して講演された。

2020 年度に世界規模で発生した新型コロナウイルス感染症は、教育にも大きな影響を与えた。同時期、学習指導要領が改訂され、小学校から高校まで、情報に関する内容が拡充した。続いて、本会一般情報教育委員会の活動について紹介があった。同委員会では、これまで一般情報教育に関するカリキュラム策定、その後の情報教育に関する実態調査、2 度の一般情報処理教育の知識体系（以下、GEBOK）策定を行ってきた。標準教科書を発刊しており、新たに現 GEBOK 準拠の教科書「一般情報教育」を刊行した。一般情報教育に関するイベントを開催し、啓発活動を行っている。

□ 講演 2 「一般情報教育に求められるもの」

講演者：稲垣知宏氏（広島大学）

5W1H に分類した上で、一般情報教育に求められるものが紹介された。

When については、初等中等教育で学習を開始し、発達の段階、情報教育の進展に合わせて学ぶことが考えられる。大学では学部 1～2 年次に学習していることが多い。

Where については、学校生活の中で仕組みや考



図-1 シンポジウムのオープニング(Zoom)

え方を学び、社会生活の中で利用方法を習得することが考えられる。大学教育において、共通教育の必修科目として扱うことが多い。

Who に関して、一般情報教育では、全学生が対象となる。教える側としては、情報学を専門とする教員だけでなく、他分野の教員との連携や外部委託なども考えられる。

What については、GEBOK の 13 のエリア (分野) から抽出して科目を構成することが考えられる。だが学生が学びたい内容と教員が教えたい内容は必ずしも一致しない。

Why については、学生にとっては、必修だからというものや、資格取得や今後役に立つ技能を身につけること等が挙げられる。教える側の視点では、情報に関連する課題を検討した上で情報およびコンピュータを活用できるようにすること、新技術に対応できるようにすることが理由となる。

How については、この後のパネルディスカッション、ワークショップの中で扱っていく。

□ 講演3「初等中等教育と一般情報教育の将来像」 講演者：辰己丈夫氏(放送大学)

辰己氏は本会で情報教育に関連する4つの委員会の委員を務めている。その立場から、初等中等教育の現状と今後の展開について俯瞰し、一般情報教育の将来へ向けての問題提起をしている。

2020年小学校でプログラミング教育が開始され、そこで学んだ児童が2024年に高校生、2027年に大学生となる。高校では2022年に必修の「情報I」と選択の「情報II」に再編される。「情報I」では、プログラミングやデータサイエンスが加わる。大学生には、情報端末の操作に加えて、これらの活用も求められる。大学でのオンライン授業に合わせて、学生にはこれに関連する知識や技能が必要となった。

次に、大学入試への「情報」の導入検討について紹介があった。本会では情報入試委員会が2012年から活動し提言を行ってきた。「情報」の入試への導入

により、デジタル社会の格差解消への期待がある一方、受験対策に終始するデメリットも考えられる。このような変化に備えて、大学の初年次教育の内容を真剣に考えなおす必要がある。

■ パネル討論

「一般情報教育向けの教科書作成とその活用」

司会：高橋尚子氏(國學院大學)

パネリスト：

中鉢直宏(帝京大学)、上繁義史(長崎大学)、
湯瀬裕昭(静岡県立大学)、堀江郁美(獨協大学)、
渡邊真也(室蘭工業大学)

司会の高橋氏より、最新の教科書「一般情報教育」について、これまでの経緯の紹介があった。IT Text シリーズは一般情報教育委員会で企画・執筆を行い、本会教科書編集委員会の承認を経て、オーム社から発行されている。最後の刊行から10年が経過し、現行のGEBOKに合わない箇所もあり、データサイエンスやAIなど、今大学で学ぶべき内容を含んでいない。そこで、これらを含め、半期2単位の授業に対応した教科書を発行することとなった。

以下、教科書の各章の執筆者でもあるパネリストから紹介があった。

まず中鉢氏から、第3章「社会と情報システム」について紹介があった。執筆にあたり、前提知識を仮定せずに、総合的な知識を理解させること、学習者を将来のエンドユーザと位置づけて解説することを意識したことが紹介された。授業としては2回分を想定している。

筆者(上繁)が第4章「情報ネットワーク」について紹介した。本章では、GEBOKで定義した知識を多く取り込んで、2回分で授業できる知識を網羅した。授業の2回分、1回分、1回の一部で扱うケースを紹介した。

湯瀬氏が第8章「アルゴリズムとプログラミン



グ]について説明した。本章は和田勉氏(長野大学)、佐々木整氏(拓殖大学)、中西通雄氏(追手門学院大学)との共同執筆である。アルゴリズムとプログラミングの説明の順序、基礎的なPythonのプログラミングなど、内容が多岐に及ぶ。授業を1回、2回、3回以上で行う場合について説明があった。

堀江氏は第9章「データベースとデータモデリング」について説明した。GEBOKのデータベースの内容が網羅的であり、大学の実情に合わせて、ピックアップしてもらうことを前提としている。本章は北上始氏、岩根典之氏(広島市立大学)との共同執筆である。授業は1回分を想定している。

渡邊氏からは、第11章「データ科学と人工知能(AI)」について紹介があった。「人工知能とは何か?」から始まり、人工知能の歴史、技術的側面、生活に与える影響などを扱っている。授業形態としては、講義、討論、レポート課題としての利用が考えられる。

討議として「一般情報教育を共通教育として教えるときのポイント」、「一般情報教育としての授業の評価」、「一般情報教育の授業規模」について各パネリストの意見交換が行われた。

ワークショップ

「一般情報教育のオンライン実践」

以下で、各ワークショップについて紹介する。

□ A グループ「情報システム」

(担当：中鉢直宏(帝京大学))

Aグループでは、第3章「社会と情報システム」の内容に基づいて、教育方法についてのワークショップを行った。執筆のコンセプト、実践の事例などを紹介し、ディスカッションを行った。

情報システムの項は第3章に配置されている。これは、学習者に情報システムに興味を持ってもらうこと、それらを理解するためにはさまざまな情報技

術について学ぶ必要があることに気付いてもらうことを狙ったものである。

情報システムを専門としない教員には教えるのが難しい内容を含むことから、本ワークショップでは、情報システムに対する考え方について重点的に説明を行った。特に学習者の大半が、ユーザとして情報システムにかかわることに配慮して、情報システムに興味を持たせ、この段階で必要な理解を促せるよう、教科書の内容とその意図について説明した。

情報システムによる影響や社会的な役割など広い視野で考えさせる教育の例として、3つのワークシートを使った課題について紹介した。1つ目は情報システムをユーザと提供側の視点で分析する課題、2つ目は情報システムを目的・データ・情報・サービスの4要素に分ける課題、3つ目は情報システムを分類する課題である。それぞれの課題について、実際の学生の回答例を交えて、学生の反応や授業上の課題などを説明した。

最後に、教科書の内容と教育の実践例についての感想と、一般情報教育における情報システムの教育方法についてディスカッションを行った。

□ B グループ「情報ネットワーク」

(担当：上繁義史(長崎大学))

Bグループでは、情報ネットワークについて模擬授業とディスカッションを行った。最大で6名の参加であったが、各大学での取り組みや、授業に向けた方策などの議論ができた。

まず、長崎大学における一般情報教育の位置づけや授業の状況について紹介した。授業において、学生のサポートを兼ね、複数教員で同期型オンライン授業を行った。教材として、説明の漏れを防ぐ観点から、合成音声を追加したスライド資料を学生に配布した。

模擬授業では、合成音声を含むスライドを表示し、そこに上繁がコメントを加える形で、ネットワークの基礎に関する授業を行った。まずコンピュータが

単独でできること、できないことを取り上げた。さまざまな資源を共有することで、不可能を克服する方法としてネットワークの話題に導いた。

ディスカッションとして、トピック選定の工夫やオンライン授業の苦労談などについて座談会的に議論を行った。ある大学では非同期型のオンデマンドを標準としたとのことであった。別の大学では、ネットワークについては情報セキュリティやWi-Fi利用に関連して扱う程度とし、技術的な詳細を扱わなくなったとのことであった。学生の関心を集める方法として、携帯電話の5Gなど学生にとって身近なキーワードを端緒とする方法や、パソコン上でネットワーク通信状況を表示する方法などが示された。

□C グループ「プログラミング」

(担当：湯瀬裕昭(静岡県立大学))

Cグループでは、プログラミングについて、教科書の紹介、模擬授業、ディスカッションを行った。IT Text「一般情報教育」の第8章の構成や、各節の概要について説明した。ワークショップのスライド資料を聴講者に配布し、静岡県立大学でのオンライン授業(2コマ)の事例として、Pythonプログラミングの基礎に関する講義と実習について説明した。続いて、Pythonプログラミングの模擬授業を約50分間行った。模擬授業では、プログラミング言語の役割や種類、手続き型言語の3つの基本動作、プログラミングに必要な各種概念について説明した。続いて、Pythonの概要を紹介し、クラウド上でJupyter Notebook環境を提供するGoogle Colaboratoryの使い方について説明した。Pythonの基本的な構文や基本動作などについて説明し、参加者にデモを実行してもらった。

残り30分で、参加者とディスカッションを行った。議題として、教えるべき内容、プログラミング環境、評価、オンライン授業実施の工夫を提示した。参加者から、プログラミング言語を覚えるときに、内容を理解させてからプログラムを書くのと、内容

が分からない段階で書くのと、どちらがよいのかなどの意見が出され、それを端緒としてディスカッションを続けた。参加者の教育経験などを踏まえ、さまざまな意見が出され、最後に評価をどう行うかについての意見をいただき、ディスカッションを終了した。

□D グループ「データベース」

(担当：堀江郁美(獨協大学))

Dグループでは、模擬授業よりも参加者とのディスカッションを中心にワークショップを行った。

授業実践例として、リレーショナルデータベースを想定して、1) 情報無損失分解と正規化、2) 関係演算、3) SQLのスライドを用意した。参加者が最大時で5名と少なかつたため、スライドを用いた模擬授業からディスカッションに移行し、各大学の現状、データベースが大学のリテラシの授業であまり取り上げられない理由、今後の授業の方向性などについて議論した。

一般情報教育でデータベースが取り上げられない理由として以下の2点が考えられる。まず、時間数が少ないことである。一般情報教育は内容が多岐にわたる上に、データサイエンスなどの話題が追加されるケースも多い。データベースを扱っている場合でも、Excelのデータベース機能の一部を学習する程度であった。

もう1つの理由に、教育に適した汎用データベースがないことが挙げられる。有名なソフトやシステムでも授業で用いるには難がある。1~2回の授業の場合、ソフトのインストールや概要説明で終了し、実習にたどり着けない可能性もある。

データベースは多くのシステムで利用されており、大量のデータを扱う場面では必須の知識である。今後、少ない授業日数でも実施できる授業プラン、学習の必要性、社会とのかかわりについて、説明や広報が必要になると思われる。



□ E グループ「人工知能(AI)」 (担当：渡邊真也(室蘭工業大学))

E グループでは、人工知能 (AI) をテーマに模擬授業と AI に関する講義の在り方についてのディスカッションを行った。近年の AI ブームを背景とした関心の高さから、10 名を超える方々に参加いただき、一般教養として AI をどのように講義の中で伝えるべきか、また AI に関連する演習授業の在り方などについて議論を行った。

模擬授業は、「身近な AI 搭載製品の紹介」、「AI における賢さとは」から始まり「AI の歴史」、「AI が社会にもたらす影響」など多面的な内容について行った。2 回分相当の内容を約 45 分で説明したため、概要説明に近い形となった。

ディスカッションでは、座学形式に関するものだけでなく、今後の AI 活用についてアイデアを出し合うグループワーク形式、ツールを活用した体験型演習形式など、さまざまな授業形態について議論を行った。座学形式に関しては、必ずしも情報系を専門としない 100 名を超える学生に限られた時間の中で扱うべき内容について議論を行った。グループワーク形式に関しては、今後の普及においてキーとなるデータ収集に焦点を当て、どういったデータを収集し、それを何に活用すればよいのかを議論

する方法などが提案された。演習形式に関しては、Python といったプログラミング言語を活用する方法と、プログラミングに関する知識がなくても行える方法について議論を行った。

変化は実感されてきた

本稿では、2020 年 12 月に開催されたシンポジウム「これからの大学の情報教育」について、その概要を紹介した。小学校から大学までの情報教育の変化、一般情報教育の在り方、新たな教科書に基づく模擬授業などの話題が扱われた。

2020 年、コロナ禍の中で教育は大きく変化したが、一般情報教育も大きな転回点を迎えたことが実感された。こうした変化をどう料理するか、教育を担う者としての腕の見せ所ではあるまいか。

(2021 年 1 月 31 日受付)

上繁義史 (正会員) yueshige@nagasaki-u.ac.jp

長崎大学 ICT 基盤センター情報基盤デザイン部門長、准教授。博士(工学)。1997～2003 年鹿児島工業高等専門学校、2003～2004 年北九州産業学術推進機構、2004～2007 年九州システム情報技術研究所、2007 年より長崎大学。本会一般情報教育委員会委員。



情報処理学会トランザクションデジタルプラクティス 特集号論文募集

「ビッグデータのデータサイエンス ～ニューノーマル時代のビッグデータ～」

● ● ▶ [投稿締切] 2021年5月17日(月) 17:00 ◀ ● ●

コロナ禍のパンデミックにあってDX推進が加速化し、ビッグデータのデータ分析を実践し、意思決定につなげていくことがより重要視されています。コロナの感染増大に伴う医療崩壊に向けた対策とその意思決定以外にも、急激に進む少子高齢化に伴う医療や介護システムの崩壊や、加速度化する熱帯雨林の森林破壊による地球温暖化の進行など、我々の生活を維持するための環境は国家レベルでも、地球規模においても危機的事態が切迫しています。この中で、ビッグデータ分析による意思決定もますます必要とされています。職場環境においては、あらゆる領域においてリモートワークの推進が加速化し、ICTの重要性が高まっています。

そこで本特集号では、ビッグデータのデータ分析、いわゆるビッグデータのデータサイエンスに焦点をあてた特集を企画したいと考えています。また、広くビッグデータのデータ分析に関する業務上の実践的問題解決に焦点を当てた論文を募集します。さらにそれにフォーカスした人材育成の実践に関する論文も併せて募集します。

例えば、以下のようなテーマを想定しています。

- 業務改善に寄与したユニークなビッグデータのデータ分析手法
- 上記ビッグデータのデータ分析手法について、特にオンライン環境やクラウドの活用
- 業務においてオンライン環境やクラウドを活用したデータ分析人材の育成
- 業務において、特にオンライン環境やクラウドを活用したコロナ禍におけるDX推進

本特集号では、上記テーマを踏まえて、スコープとして下記のキーワードを示します
(これらに限定されません)：

ビッグデータ/データ分析/データサイエンス/アフターコロナ/ニューノーマル/DX/人材育成

本特集は、情報処理学会 ビッグデータ研究グループ(正式名称:ビッグデータ解析のビジネス実務活用研究グループ)が企画したものです。

※投稿要領: Web サイトをご覧ください→ <https://www.ipsj.or.jp/dp/submit/tdp0301s.html> (応募資格は問いません)

※掲載号: 2022年1月号(Vol.3 No.1)

※特集エディタ: 里 洋平(DATUM STUDIO)

※特集号編集委員: 編集委員長: 吉野松樹(日立)

副編集委員長: 細野 繁(東京工科大学)、藤瀬哲朗(三菱総研)

編集委員: 青木学聡(京都大学)、荒木拓也(日本電気)、西山博泰(日立製作所)、
鎌田真由美(日本マイクロソフト)、飯村結香子(NTT)、石井一夫(久留米大学)、今原修一郎(東芝)、
江谷典子(Peach・Aviation)、大嶋嘉人(NTT)、鬼塚 真(大阪大学)、上條浩一(日本IBM)、
斎藤彰宏(日本IBM)、坂下 秀(アクタスソフトウェア)、佐藤 聡(筑波大学)、佐藤裕一(富士通研究所)、
澤谷由里子(東京工科大学)、澤邊知子(日本大学)、立床雅司(三菱電機)、新田 清(ヤフー)、
浜 直史(日立製作所)、濱崎雅弘(産業技術総合研究所)、平井千秋(日立製作所)、
藤原一毅(国立情報学研究所)、横井直明(日立製作所)

アドバイザー: 喜連川優(国立情報学研究所・東京大学)

(論文募集公開時点(2021年2月))

連載

Jr.

先生、質問です!



コロナウイルスを可視化できるものはないのでしょうか?

匿名希望

【正会員】

企業研究者

Q

メガネをかけるとコロナウイルスが見える、なんてことが実現できればウイルスを避けるのも簡単になりますね。

実現には身の回りに飛散、付着しているコロナウイルスをセンサで検知してAR技術等で見える化すればよいわけですが現時点では難しいでしょう。そんなセンサはまだ世の中にはありませんから。ただ、直接コロナウイルスを検知しなくても似たようなことは実現できます。コロナウイルスは感染者が触れた、咳やくしゃみをした場所に付着、飛散します。ということは、コロナウイルス感染者が触れた、咳・くしゃみをした場所を検知できればよいわけです。

私たちは人が触ると触ったモノに手の体温が少しの間残ることを利用して、人が触った場所をサーマルカメラで検知し、その場所にウイルスが付いているかもしれないよという警告をプロジェクションするシステムを作っていますが、人が触った場所、くしゃみ等をした場所の検知にはほかにもいろいろなアプローチが考えられるでしょう。その人が感染者かどうか分かれば、より正確にそこにコロナウイルスがあるか推定できると思います。倫理面など課題はありますが、感染者を追跡するシステムと組み合わせてもよいかもしれませんね。

A



白井良成

【正会員】

日本電信電話 (株)
NTT コミュニケーション
科学基礎研究所



人が触ると……



触られた場所が光り出す。ほかの人が触った場所を避けたり、消毒の目安にしたりできる。



サーマルカメラの映像を重ねて表示した様子。人が触るとそこに体温が残るため、その体温を検出することで触られた場所を判定している。



川原圭博
[正会員]
東京大学

新型コロナウイルスのサイズは $0.1\mu\text{m}$ ぐらいなので、これを可視化するには電子顕微鏡が必要になります。ウイルスが含まれているかもしれない、くしゃみや咳の飛沫であれば、サイズも数 μm 以上になるので、シュリーレン現象を利用した特殊な光学系を用いることにより可視化することもできます（シュリーレン法自体は 19 世紀からある枯れた技術です）。

ウイルス自体を可視化すること以外にも、COVID-19 に感染した人の行動やほかの人々との接触状況を記録することも感染拡大防止対策として有効だと考えられています。厚生労働省が提供する新型コロナウイルス接触確認アプリ(COCoA) は、各ユーザのスマートフォンからランダムな ID を発信し、その ID を記録することで、陽性者との接触があった場合に匿名で連絡を受けられるようになります。

東京大学では、キャンパス内の教室や図書館、食堂などに位置情報を発信する Bluetooth ビーコンを設置して、その情報をスマートフォンで読み取る MOCHA を開発・運用しています。学内で感染者が出たときには、接触の可能性のある人に匿名で通知することもできますし、普段から教室等の混雑度を確認したり、席の予約ができるようになっています。社会での自由で安心できる活動を取り戻すためには、人の行動や接触履歴のデータの利活用は、ますます重要になると考えられます。



はいであり、いいえでもあります。

コロナウイルス自体の可視化は難しいですが、新型コロナウイルス感染症の患者さんや感染しそうな方の数・場所は可視化はできます。たとえば、陽性かもと心配になった場合、みなさんは何をしますでしょうか？

メッセージアプリでご両親に相談したり、インターネットで「コロナ 初期症状」などと調べたりしませんか？

そういった行動の多くは情報技術で捉えることが可能です。

インフルエンザの症状など実際に検索できるサービスもあります。「インフルくん」で検索してみてください。

ただ、問題もあります。すべて可視化しまうのをいやがる人もいます。何をどこまで可視化するか。これは情報学の問題だけでなく政治や倫理の問題でもあります。これからみんなで決めていきましょう。



荒牧英治
[正会員]
奈良先端科学技術
大学院大学

「先生、質問です！」・「先生が質問です!!」への質問方法

▶ **Web から質問**：下記の Web ページ内の投稿フォームから質問をご記入ください。

「先生、質問です！」 <https://www.ipsj.or.jp/magazine/sensei-q.html>

「先生が質問です!!」 <https://www.ipsj.or.jp/magazine/senseiga-q.html>



先生、質問です！



先生が質問です!!

▶ **回答募集**：情報処理学会 Facebook ページ (@IPSJ.official)
Twitter アカウント (@ipsj_shinsedai)



連載

ビブリオ・トーク
—私のオズメー—

… 眞部雄介 (千葉工業大学)

アナログの逆襲

「ポストデジタル経済」へ、ビジネスや発想はこう変わる

デイビット・サックス 著，加藤万里子 訳

インターシフト (2018) (発売：合同出版)，2,100 円+税，400p.，ISBN：978-4772695626



全米レコード協会 (RIAA) によると，米国で 2020 年上半期 (1～6 月期) に発売されたレコードの売り上げ (約 246 億円) が，1980 年代以降で初めて CD を上回ったことが報告された。また，英国レコード産業協会 (BPI) によると，イギリスの 2020 年 12 カ月間のレコード販売総数は前年比の 11.5% 増となる 480 万枚だったことが報告された。さらに，日本レコード協会によると，日本においてもアナログレコードの生産実績が 2014 年から 6 年連続で伸びていることが報告されている。アメリカやイギリス，日本では，アナログレコードの人气が再燃しているのだ。かく言う僕も，今，レコードをかけながらこの文章を書いている。

さて，今回紹介する『アナログの逆襲』は，デジタル技術による革新によって表舞台から退いたと思われるアナログ技術の現在と未来にスポットを当てた本である。原書は 2016 年に出版されている。ここで最も重要な点は，この本のサブタイトルに『『ポストデジタル経済』へ，ビジネスや発想はこう変わる』とあるように，「昔はよかったね」的な懐古主義で書かれた本ではなく，「デジタルの先端にあるアナログ」(本書最終章の表題になっている) という発想で書かれた本であるということである。一言で言えば，「アナログ技術の現在と未来」を追ったレポートである。

表-1 に本書の構成と各章で主に取り上げられているトピックを示す。第 1 章～第 4 章がアナログ

な「モノ」，第 5 章～第 8 章がアナログな「発想」を扱っている。

僕の個人的なことを言うと，レコードはもちろん，モレスキンのノートもロモグラフィーのカメラも持っている。馴染みの古本屋が 2，3 件あり，家の書棚は古本で溢れている。なんとアナログな人間だろうとつくづく思った。

各章で書かれている内容に共通していることは，「アナログにはあって，デジタルにはないものがある」ということだろう。たとえば，第 8 章「教育の逆襲」では，幼児教育において人とのかかわりを形成する重要な体系的認識が，「身体を使った経験」(僕はこれを<身体性>を伴う<経験>と解釈した) であることが書かれている。ちょっと脇道に

表-1 本書の構成と主なトピック

章	表題	主なトピック
第 1 章	レコードの逆襲	アナログレコードとターンテーブル復活の最前線
第 2 章	紙の逆襲	モレスキンのノートのブランド力
第 3 章	フィルムの逆襲	ロモグラフィー，ポラロイド，モノクロフィルムの復活
第 4 章	ボードゲームの逆襲	ボードゲーム，カードゲームの人气再燃
第 5 章	プリントの逆襲	印刷出版物
第 6 章	リアル店舗の逆襲	小規模な個人書店の強みと価値
第 7 章	仕事の逆襲	手仕事による技能・熟練の解体阻止
第 8 章	教育の逆襲	エドテックの失敗，対面教育の意義
第 9 章	デジタルの先端にあるアナログ	アナログ技術のこれから



逸れるが、数年前、自分の子供に iPad を使ってお絵かきをさせていた僕の知人の先生から面白い話を聞いたことがある。幼稚園でクレヨンを使ってお絵かきをすることになったとき、その子供が「手が汚れるから嫌だ」と言ったそうである。その先生は「それを聞いてまずいと思った」と言っていたが、今や何がまずいのか分からないという人も増えてきているのかもしれない。そのほか、学校での学びにおいても、情報を知識に形成するために教師と生徒の直接のかかわりが不可欠であることなどが述べられている。このあたりの記述は、新型コロナウイルスの影響により対面での教育機会を著しく失った経験をした後に読むと、とても説得力がある。

本書を通じて、「アナログにはあって、デジタルにはないもの」とは、「<身体性>を伴う<経験>の機会」ということではないかと思った。たとえば、レコードをかける行為を見ても、LPレコード片面 20 分前後の演奏のたびに、ターンテーブルの回転を止め、針を上げ、レコード盤を裏返して置き、またターンテーブルを回転させ、針を落とす、という<労力>と<時間>を伴う作法が必要である。ほかに、紙の辞書と電子辞書の違いを考えると、単語の意味を調べるのに必要な<労力>と<時間>の差は歴然だろう。デジタルは、アナログにあった<労力>と<時間>をあっという間に削ぎ落

としてしまった。ここで言う<労力>と<時間>は、そのまま<身体性>と<経験>に置き換えられないだろうか。

そう考えると、<労力>と<時間>をかけることを拒否してコスパ重視の価値観へ舵をとる多くの現代人が、アナログを捨てデジタルを志向するようになったのも納得がいく。デジタルは、欲しい情報にダイレクトアクセス可能なので、速いし、便利なのは間違いない。しかし、デジタルにとって「コスト」として切り捨てられたものの中に、<身体性>を伴う<経験>の機会が含まれている。コスパ重視の選択は、究極的には、AI に置換可能な体験しか持たない現代人へと突き進む道かもしれない、というのは考えすぎだろうか。

アナログ好きな方、AI に置き換えられない経験を得たいという皆さんに、ぜひ本書をおすすめします。

(2021 年 1 月 30 日受付)

眞部雄介 (正会員)
ymanabe@net.it-chiba.ac.jp

千葉工業大学情報科学部准教授。博士 (ソフトウェア情報学)。近年は、実世界の状況に応じて気配り・心配りのできる機能を備えた『コンテキスト・ウェアシステム』の実現に向けた研究を行っている。





Ramesh Raskar, Greg Welch, Kok-Lim Low and Deepak Bandyopadhyay : Shader Lamps : Animating Real Objects With Image-Based Illumination

Eurographics Workshop on Rendering Techniques (2001)

実世界の模倣から実世界の書き換えへ

CGは光の挙動をモデル化し、実世界の物体の見え方を模倣することを主な目的として発展してきた。その発展は今や、現実のシーンをそっくりそのまま再現することは当然として、仮想的な世界を現実と区別がつかないほどリアルに、あるいは芸術的に表現するまでに至っている。今回紹介する Ramesh Raskar らによる Shader Lamps の論文は、そのような実世界の構造を取り込んで発展してきたCGを実世界に逆輸入し、CGによって実世界を書き換えようと試みたものである。後に Spatial AR (SAR) またはプロジェクションマッピングと呼ばれるこの論文の研究は、映像投影によって物体の見た目を書き換える上での基本的な指針を示し、多くの研究をインスパイアしてきた。

本論文の基本となるアイディアは、ごく単純なものである。物体の見た目はその物体が持つ形状、質感、さらに周囲の光源環境によって決定づけられるが、観測者である我々には、その見た目が物体そのものによるものか、それとも光源環境によるものか区別することができない。よって、プロジェクタを光源として巧みに映像を投影すれば、図-1のように、紙に印刷された絵と区別がつかない見た目を投影によって作れるはずだという発想である。このアイディアを基に、本論文では特殊な眼鏡やゴーグルなしに直感的な操作が可能な情報環境の構築を最終目的としている。Human Computer Interaction (HCI) や VR の分野ではさまざまなインタフェースが開発されているが、実世界の物体以上に直感的

なものはない。そこで、実世界の物体という最高のインタフェースと自由で動的なコンテンツを提供できるCGを組み合わせてこの目的を達成しようというわけである。

実世界との辻褄合わせ

プロジェクションマッピングや、スマートフォンをかざすと実世界の映像に仮想的な情報が付加されるアプリなど、ARは世の中に普及しつつある。ARでは実世界に仮想情報を違和感なく重畳するために、さまざまな辻褄合わせが行われるが、プロジェクションマッピングでは自由には編集できない実世界の物体をシステムに組み込むことになるため、端末の画面内で完結するARよりも高度な辻褄合わせが要求される。本論文では投影するCGを対象の形状や位置姿勢にぴったりと合うように映像を生成することは当然として、対象表面の色や光沢といっ

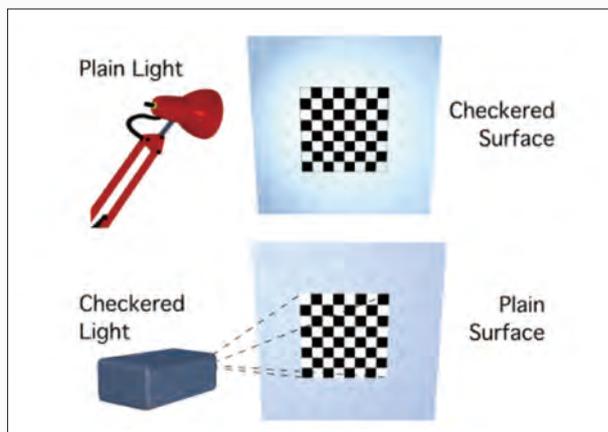


図-1 物体と投影の区別。[Raskar, et al., EG'01] より引用



た質感に応じて映像を調整する基本理論が述べられている。さらに、二次反射の影響や、複数台のプロジェクタで対象を取り囲んで投影を行う場合に生じる影や映像の重なりに対処するアルゴリズムを提案しており、現在のプロジェクションマッピング技術の礎となっている。

論文中には、2台のプロジェクタを用いてタージマハルの模型や壺にプロジェクションマッピングを施し、テクスチャのインタラクティブな書き換えや、仮想的な光源環境に応じて変化する見た目を再現した図-2のようなデモンストレーション例が紹介されている。当時の実装では、対象形状には事前に計測しておいたデータを使用し、対象表面には投影に適した質感を持つ素材が利用されていた。また、投影によって書き換えるものは、対象の色や光沢などの質感、すなわち光学的特性のみにとどまっていた。現在では、対象形状を瞬時に計測することで運動や変形を伴う対象にもぴったりと映像を投影するダイナミックプロジェクションマッピングや、対象本来

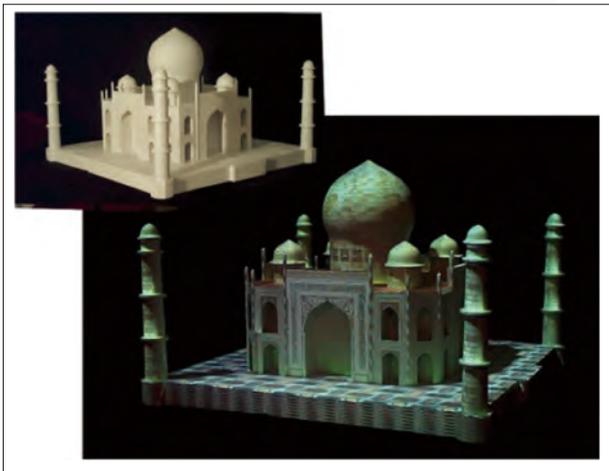


図-2 テクスチャの書き換え。[Raskar, et al., EG'01] より引用

の色や模様の影響を補償するアルゴリズム、数十台のプロジェクタが協調動作するシステム、さらには、石膏像を動かすとゼリーのよう揺れ、光学的特性だけでなく力学的特性の変化を錯覚させる技術など、発展的なシステムが数多く開発されている¹⁾。

シームレスな世界の実現

Shader Lamps に始まったプロジェクションマッピングは、手法の発展だけでなく、プロジェクタやCGをレンダリングするGPUなどのデバイスの高性能化も相まって、高度化が進んでいる。イベントなどで見られるプロジェクションマッピングでは、高度な技術を駆使したものはまだまだ少ないが、今後世の中に浸透していくことが期待される。そのような世界では、画面内のCG同様に実世界が書き換わり、物質と情報がシームレスに繋がる世界が実現されるだろう。映像の投影では物体の見た目を変えることしかできないが、もし見た目を換えつつ、実世界の物体のインタラクティブ性を最大限に引き出したならば、それは物体の本質を大きく変えるものになるのではないだろうか。

参考文献

- 1) Grundhöfer, A. and Iwai, D. : Recent Advances in Projection Mapping Algorithms, Hardware and Applications. Computer Graphics Forum, 37(2), pp.653-675 (2018).

(2021年1月25日受付)



宮下 央

miyashita@ishikawa-vision.org

2017年東京大学大学院博士課程修了。博士(情報理工学)。同大学特任助教を経て、2020年より同大学情報基盤センター特任講師。高速画像処理、AR/VRに関する研究に従事。



CCS 2020 会議報告

CCS 2020 概要

CCS とは

The ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS) は ACM が主催する情報セキュリティに関する国際会議である。IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P), USENIX Security Symposium, The Network and Distributed System Security Symposium (NDSS) と今回紹介する (ACM-) CCS はセキュリティ 4 大国際会議と呼ばれ、サイバーセキュリティや暗号応用などに関するレベルの高い学術発表が多くなされる。その中でも CCS は例年最も規模が大きく、近年では毎年 100 件以上の発表が行われ、1,000 名を超える参加者が熱心に議論を重ねてきた。

CCS 2020 の全体概要

2020 年の CCS (CCS 2020) は 2020 年 11 月 9 日から 13 日の 5 日間 (11/9 は Pre-Workshops, 11/13 は Post-Workshops で、本会議は 11/10 ~ 11/12 日の 3 日間)、アメリカのフロリダ州で開催される予定であったが、新型コロナウイルスの影響で他の多くの国際会議と同様にバーチャル開催となった。ここ数年は論文投稿件数が増えていることから、今年も分野ごとにチェアが選出され、論文投

稿も 1 月および 5 月の 2 回受け付けられた。CCS に限った傾向ではなく他の 4 大会議も同様であるが、最終的に採録となる場合でも Minor/Major - Revision を経るケースがほとんどで、論文も 2 段組 12 ページが基準で短くはないなど、国際会議ではあるが論文誌に近い採択プロセスを採っている。採択率はほぼ例年通りの 17% (715 件投稿・121 件採録) であった。参加者数は明かされなかったが、オンライン開催となり参加費が安くなった (例年は 1,000USD 以上であるが今回は 35USD) こともあって、例年よりは増加したと思われる。参考までに、2020 年 5 月にバーチャル開催された S&P 2020 は参加者数が前年の 3 倍になっていた。

バーチャル会議の開催形態はさまざまで、本稿筆者もこれまでにオンライン開催された国内/国際会議にいくつか参加してきたが、CCS は図-1 に示す Gather Town (<https://gather.town/>) というオンライン交流ツールと Zoom を組み合わせた形で開催された。Gather Town に講演会場およびロビーが用意され、講演会場では特定の操作を行うと発表が行われている Zoom 会議が起動し、マイクの近くに行くと質問ができるようになっていた。ロビーにはスポンサーブース、コーヒースペース、ヘルプデスクなどが設置されており、アバターに近づくとその人との Zoom 会議が起動して交流できるようになっていた。本稿筆者も知り合いを見つけて多少話しかけてみたりはしたが、現地開催ほどの交流は生まれなかったというのが正直なところである。ただ、これは Gather Town の問題というよりはオンライン会議の限界のようにも思え、単に Zoom 等を利用して発表(場合によっては録画された動画)を視聴するという会議形態に比べれば今後の可能性を感じるスタイルではあった。ただし後述するように、参加者に慣れないツールの利用を強いて会議の価値を向上させることと、会議を安定的に運営することとのトレードオフは存在するよう感じている。



図-1 Gather Town を利用して行われた CCS 2020 の休憩時間 (ロビー) の様子

CCS 2020 研究発表概要

メイン会議

メイン会議では 121 件の論文発表のほか、2 件の招待講演が行われた。招待講演は Wenke Lee (Georgia Tech.) による「Machine Learning and Security: The Good, The Bad, and The Ugly」、および Alex Stamos (Stanford University) による「Realistic Threats and Realistic Users: Lessons from the Election」であり、オンライン講演であったが質疑も活発に行われた。

前述した通りであるが、CCS 2020 は査読において投稿論文を 9 つの分野に分け、各分野で選定が行われた。今回の分野分けは

- Applied Cryptography
- Blockchain and Distributed Systems
- Formal Methods and Programming-Language Security
- Hardware Security and Side Channels
- Machine Learning and Security
- Network Security
- Privacy and Censorship
- Software and Web Security
- Usability and Measurement

であった。この分類を見ても扱っているテーマの広範さが理解いただけるのではないだろうか。暗号応用やハードウェア、ネットワークといった伝統的なテーマもあれば、ブロックチェーン、機械学習、ユーザブルセキュリティなど比較的新しいテーマも一分野を確立している。また、近年では分野融合も目立つ。実際 CCS 2020 では、サイドチャネル攻撃（電力消費量などの物理量を用いて機密情報を盗む攻撃）を用いて DNS キャッシュポイズニング攻撃の成功率を大幅に向上させるという、ハードウェアセキュリティとネットワークセキュリティにまたがるテーマを取り扱った結果が Distinguished Paper Award に選定されている。本レポート執筆者は暗号応用、特にマルチパーティ計算（あるいは秘密計算）と呼ばれる、複数のパーティが各々のデータを明かさずに何らかの処理を実行する技術を専門に研究開発を行っているが、ここにも分野融合の波が来ている。たとえば、CCS 2020 においては TensorFlow で書かれた機械学習を実行するコードを、最適化済みのマルチパーティ計算用のコードに自動変換するコンパイラの発表が Microsoft Research から行われた。これは暗号と機械学習の融合テーマであるが、このような 1 つの分野に閉じない研究成果が増加している。また、分野融合や論文誌と同等の採択プロセスになっていることとも関連するが、非常に高い完成度と重い実装エフォートを要求する傾向が強まっている。その結果、どちらかという理論寄りの結果が多い暗号分野の国際会議（国際暗号学会 IACR が主催する CRYPTO 等）

と比較すると、論文著者数の増加傾向が顕著であるように感じている。GAF A の研究グループのような大所帯であれば問題ないであろうが、筆者が所属しているような小規模な研究開発チームや、あるいは多くの日本の大学の研究室のような環境では、テーマによっては戦略なしで太刀打ちするのが徐々に難しくなっているのかもしれない。

プレ・ポストワークショップ

CCS は例年、本会議の前後 1 日ずつに分野を絞ったワークショップを開催しており、他のセキュリティ 4 大国際会議と比較してこの数が多いという特徴がある。運営は各ワークショップが独立して行っており、プロシーディングスの有無や発表形態などは統一されていない。年によって開催数は異なるが、2020 年は Pre, Post とともにともに 6 つのワークショップが開催され、クラウドセキュリティ、IoT セキュリティ、AI セキュリティ、差分プライバシーなどが取り上げられた。すべてを列挙するのは避けるが、興味のある読者は CCS 2020 の Web サイトを参照されたい。

まとめ・感想

情報セキュリティに関する国際会議 CCS 2020 の概要を紹介した。オンライン開催ではあったが成果のレベルは安定して非常に高く、参加を勧められる会議である。会議運営に関しては、Gather Town を採用していたのが非常に印象的である。本レポート執筆時点（2021 年 1 月）では他分野の会議でも採用実績があるようであるが、当時は非常に野心的な試みであったように思う。ただ、操作にはある程度の慣れが必要で、参加者間のインタラクションはともかく、プレゼンテーションに関しては非常にトラブルが多かったのも事実である。機材やシステムのトラブルで規定の時間に実施できなかったセッションに関しては、最終日の最終セッションにパラレル数を増やして実施するという措置が取られた。この点に関しては発表動画を事前提出し、それを視聴するスタイルを基本にするほうが安定性は高まりそうで、ライブ感との両立という意味では運営側にとって悩ましい問題である。また、日本からのアメリカ時間の会議に参加すると基本的には昼夜逆転生活になってしまう。今回の CCS は 5 日間連続で 23:00 ~ 翌 6:00 の参加となったため、事前の調整も含めて体力面が非常にシビアであった。オンラインではあるが会議が開催され、それに参加できるだけでも文句を言えない情勢ではあるが、可能な限り早く現地開催の会議に参加できる日々が戻ることを願うばかりである。



■大畑幸矢

(株) デジタルガレージ DG Lab



日本語プログラミング言語「なでしこ」に関する 解説

♡ 14



情報処理学会・学会誌「情報処理」

2021/03/15 10:44



クジラ飛行機 (くじらはんど)

なでしことは？

日本語プログラミング「なでしこ」は、その名の通り日本語をベースとしたプログラミング言語です。正式版公開から今年で16年目になります。当初から開発スローガンは「なでしこで誰でも簡単プログラマ」です。

母国語の日本語をベースとしたプログラミングを行うことにより、老若男女を問わず、誰でもプログラミングができる環境を提供したいという気持ちで開発を続けてきました。開発の早い段階からオープンソースとして公開しており、ライセンスも自由度の高いMITライセンスを採用しています。次のWebサイトで公開しています（図-1）。



ちなみに、母国語でコンピュータを操作できると言っても「プログラミング言語」であって「自然言語」ではありません。もちろん、自然言語的なアプローチも考えたことはあるのですが、配布の容易さや実行内容の正確性の観点からプログラミング言語の形態が妥当だと考えました。

「なでしこ」は開発スローガンの「誰でも簡単」を実践するため、シンプルで覚えやすい文法を心がけて設計しています。これは英語圏におけるBASIC言語のように、初心者が覚えやすく、すぐに実務で使えることを念頭に置いています。また母国語のメリットを存分に活かすため「プログラムを読んでその動作が分かること」を重視しています。

たとえば、次のプログラムは設定された締め切り日まで、あと何日あるのかを調べるプログラムです。なでしこの文法をまったく知らないとしても、このプログラムを見て意味が分からないという方はいないのではないのでしょうか。

```
締め切りは「{今年}/12/20」
```

```
今日から締め切りまでの日数差を表示
```

このプログラムは、Webブラウザ上で動かすことができます（**図-2**）。エディタにプログラムを入力して「実行」ボタンを押すと以下のようにプログラムを実行して計算結果を表示します。



図-2 Webエディタでプログラムが実行できる

なぜ日本語プログラミング言語を作ったのか？

そもそも、筆者が「なでしこ」を開発しようと思ったのは、事務の自動化のための言語が欲しいと思ったところから始まっています。当時、筆者は中小企業でコンピュータに関する業務を一手に引き受けており、膨大な仕事をいろいろなツールを組み合わせでこなしていました。しかし、雑多なツールをその都度用意するのは大変でした。そこで業務を自動化できる簡単なプログラミング言語を作ろう思ったのがきっかけです。

一般的なプログラミング言語を開発した場合、結局自分だけがプログラムを作る

ことになりそうです。しかし、できれば、社内の同僚たちにも使ってもらえるもの
にしたいと思いました。そこで、日本語をベースとしたプログラミング言語を思い
つきました。ゼロからプログラムを組むのは難しいとしても、プログラムを読んで
その動作が分かるなら、修正して使ってもらえると考えたのです。

日本語プログラミング言語のメリット

日本語プログラミング言語のメリットは、学習コストの低さと、視認性の高さで
す。英語がベースのプログラミング言語だと、プログラミングを始めるにあたって
英単語を覚えなくてはなりません。しかし日本語プログラミング言語であれば纯粹
にプログラミングに集中できます。すでにプログラミングができる者からすれば、
プログラミングで使う英語など大して難しくはないと思うものです。しかし、実際
に話を聞いてみると意外にも専門用語の英単語が覚えられない、英数記号が怖いと
いう声があります。日本語ベースのプログラミング言語であれば、プログラムを日
本語として読むことができ、読むとその動作が推測できます。

想定している対象ユーザは？

なでしこが対象としているのは「プログラミング初心者」と「処理の自動化を実
現したい人」です。

なでしこ公開から16年が経過し、かつて学生だったユーザが、今では立派なプロ
グラマに成長したという話を聞きます。「なでしこだからプログラミングを始める
ことができた」と嬉しいコメントを多数いただいています。なでしこを入り口とし
ているいろんなプログラミング言語にステップアップしていくことができます。一度
プログラミング技術を身につけてしまえば別のプログラミング言語の習得は容易で
す。

また、現在プログラミング入門として、Scratchなどビジュアルプログラミング

言語が用いられています。しかしビジュアルプログラミング言語から、本格的なプログラミング言語に移行するには大きな壁があります。そこで、クッションとして日本語プログラミング言語を使っただけであればと思います。母国語で読んで意味の分かるプログラミング言語であれば壁は低くなります。

そして、「なでしこ」の開発動機が事務の自動化だったことから「作業の自動化を実現したい人」にオススメです。豊富な自動化のための命令を利用して、作業を自動化できます。実際、昨年行ったなでしこユーザアンケートによると、ユーザの大半は30代から40代であり、多くの方が業務でも利用していることが分かりました。

なでしこでできること

現在、なでしこには、Windows上で事務作業に特化した「なでしこv1」と、Webブラウザ上で動作する「なでしこv3」の2種類があります。Windows版のなでしこv1には事務を自動化する1,335個の豊富な命令が搭載されています。Excel/Wordの自動化、ファイル処理、GUIプログラミングなどが可能です。

これに対して、Web版のなでしこv3では図形の描画からグラフ描画、GPS、テキストの読み上げなど、Webブラウザが備えるさまざまな機能を利用できます。また、Webサーバアプリ開発に使われるNode.js上でも動作します。これを使うと、ファイル処理やデータベースなどの事務自動化が可能で、機械学習やドローン操作なども可能です。

5分で理解するなでしこの文法

ここでは簡単に「なでしこv3」の基本文法を紹介します。日本語ベースのプログラミングが英語ベースの言語と根本的に異なる部分が、トークン（文法の最小要素）をどのように区切るかという部分です。英語ベースの言語ではもともとスペー

スや記号を利用して語句を区切ります。しかし、日本語では単語と単語を語句を明確に区切る習慣がありません。

筆者が最初に作った言語「ひまわり」では、使用者に単語ごとの分かち書きを強制していました。そのため、冒頭のプログラム例で言えば『今日から、締め切りまでの、日数差を、表示』のように不自然に読点を加えてプログラムを書く必要がありました。

「なでしこ」では、この不自然さを改善するため「助詞区切り」というルールを採用しました。これは、日本語の文章が基本的に「漢字・カタカナ+ひらがな」という形になっていることに注目したものです。助詞の「の」「と」「から」「まで」などのトークンを区切り記号と見なし自動で分割します(図-3)。この仕組みによって飛躍的にプログラムが自然な日本語に近づき視認性が高くなりました。

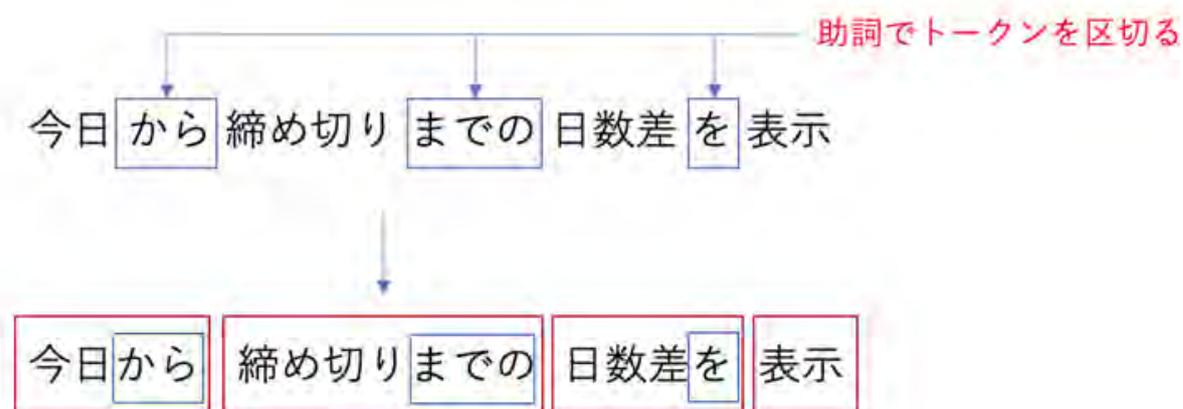


図-3 「助詞区切り」 - なでしこにおけるトークン分割の処理

それから、語尾の送り仮名は自由に記述できます。たとえば画面に値を出力する「表示」命令を使うとき、「表示する」「表示しろ」「表示しよう」「表示してください」と書くことができます。

また命令の引数である助詞に意味を持たせています。たとえば「AからBへファ

イルコピー」という命令があります。これはファイルをパスAからパスBへコピーします。このとき、「BへAからファイルコピー」のように引数の語順を変えても正しく動くようになっています。これにより引数の順番間違いを防ぐことができます。

そして、日本語プログラミング言語では語順が重要です。英語圏で生まれた言語は「関数(引数1, 引数2, 引数3)」のように「動詞+補語」の形をしています。しかし、日本語では「補語+動詞」の形が一般的です。そこで、なでしこでは「引数1, 引数2, 引数3, 関数」のような形式でプログラムを記述します。ただし、計算式の中で数学関数を利用したい場合、この語順では不自然になってしまいます。そこで、関数の直後にカッコを記述した場合には、「関数(引数1, 引数2, 引数3)」と記述できるようにしています。たとえば、割り勘の計算を行うプログラムで切上を行う関数「CEIL」を使うプログラムは以下のように記述できます。

```
人数は3
```

```
一人分=CEIL(1000÷人数)
```

```
一人分を表示
```

次に、代入や計算式を次のように記述できます。日本語らしく「代入」を使う方法と、一般的なプログラミング言語のようにイコール(=)を利用する方法の2種類が用意されています。これを状況によって使い分けできます。なお「#」から始まる行はコメントです。

```
# 日本語らしく記述
```

```
1に2を足して3を掛けて答えに代入
```

一般的な言語と同じように記述

答えは $(1 + 2) \times 3$

答え = $(1 + 2) * 3$

そして、プログラミングの重要な要素にフロー制御があります。条件分岐は次のように記述できます。これは一般的な言語におけるif文を翻訳しただけと言えます。

天気 = 「晴れ」

もし、天気が「晴れ」ならば

 「ピクニックへ行こう」と言う

違えば

 「家で読書しよう」と言う

ここまで

繰り返し構文には「回」文を使います。何回目の繰り返しなのかは変数『回数』に自動的に代入されます。次のプログラムを実行すると、画面に「1回目のワン」「2回目のワン」「3回目のワン」と出力されます。見たまま、読んだままに実行されるので繰り返しの概念が理解しやすいと思います。

3回

 「{回数}回目のワン」と表示。

ここまで

ほかにも、forに相当する『繰り返す』，foreachに相当する『反復』，whileに相当する『(条件)の間』など基本的な制御構文を備えています。

それから、「なでしこ」ならではの機能である特別変数「それ」を紹介します。これは関数を実行すると命令の実行結果が変数「それ」に代入されるという機能です。また、関数の第一引数を省略すると、変数「それ」の内容が補完されて使われます。これが何の役に立つのかというと、コマンドラインにおけるパイプのような処理を自然な日本語として記述できるようになります。

たとえば、以下のプログラムは文字列処理を行うものです。プログラムを実行すると「タンゴ」と画面に表示されます。

```
それは「りんご」  
空白除去  
カタカナ変換  
「リ」を「夕」に置換  
表示
```

前後の余分なスペースを削除する「空白除去」関数、ひらがなをカタカナに変換する「カタカナ変換」関数、文字列の置換を行う「置換」関数を順次実行します。変数「それ」は冒頭に1回しか現れませんが、関数の実行結果が「それ」に代入され、さらに次の命令の第一引数に「それ」の内容が補完されます。命令をただ羅列しているだけですが、次々と値が加工されていきます。

同様に、先ほども紹介した日本語らしい計算式もこの仕組みを利用しています。

以下のプログラムを実行すると20が表示されます。読んだままに計算が行われるのですが、その裏側で変数「それ」が補完されています。

```
# 変数「それ」の省略を利用  
2に3を足して4を掛けて表示
```

そして、関数も定義できます。関数を定義するには、『●(引数)関数名とは...ここまで』のような書式で記述します。たとえば次の例は2割引の処理を行う「割引処理」という関数を定義してこれを使う例です。100の2割引で80と表示されます。

```
# --- 関数の定義 ---  
  
●(値段を)割引処理とは  
    値段に0.8を掛けて切捨して戻す  
  
ここまで  
  
# --- 関数を使う ---  
  
100を割引処理して表示
```

以上、簡単になでしこの文法を紹介しました。基本的に語順やトークンの区切り位置が違っただけで一般的なプログラミング言語と大きく変わることはありません。しかし日本語になっているだけでプログラムの意味がずいぶん分かりやすく感じるのではないのでしょうか。

タートルグラフィックスを楽しもう

ここで具体的になでしこv3を使ってできることをいくつか紹介したいと思います。いくつかプログラムを紹介しますが、いずれもブラウザで気軽に実行できます。以下のURLにあるWebエディタを使うと便利です。

なでしこv3のWebエディタ

[URL] <http://nadesi.com/v3/new>

最初にタートルグラフィックスを紹介します。これは画面上に表示したカメをプログラミングで操作するプログラムの総称です。カメの動いた軌跡が図形として描画するという機能です。教育用プログラミング言語のLOGOについていた機能ですが、なでしこv3でも教育用途を念頭に置いているので実装されています。なお、この機能はPythonにも実装されており、プログラミング学習の初歩として良い教材となっていることが分かります。図-4に命令をまとめました。

命令	説明
カメ作成	タートルグラフィックスを開始
[x, y]へカメ起点移動	座標(x,y)へ起点を移動
Nだけカメ進む	Nピクセルだけカメを前に進める
Nだけカメ戻る	Nピクセルだけカメを後ろに戻す
Vだけカメ右回転	カメの進行方向をV度右に回転する
Vだけカメ左回転	カメの進行方向をV度左に回転する

タートルグラフィックスを利用して六角形の図形を描画するプログラムは次のようになります。

```

カメラ作成.
6回
    90だけカメラ進む
    (360÷6)だけカメラ右回転
ここまで
    
```

プログラムを実行すると**図-5**の左上のような六角形が描画されます。このように繰り返しを使うプログラムが自然に記述できます。

また、ちょっと変数を使って工夫すると面白い図形が描画できるので、プログラミングで絵を描いて楽しめます（**図-5**の右上）。

```

カメラ作成.
N=10
50回
    Nだけカメラ進む
    (360÷6)だけカメラ右回転.
    N=N+3
ここまで
    
```

そして、これはタートルグラフィックスでよく見かける例ですが、関数の再帰処理を使えば複雑な木を模した図形も描画できます（図-5の左下）。10行のプログラムですが、それなりに凝った図形を描画できるとプログラミング学習のモチベーションを上げることができるでしょう。

カメラ作成して[320, 500]にカメラ起点移動

50だけカメラ進み 28の100で枝描画

●(角度のLで)枝描画

もし $L < 10$ ならば戻る

Lだけカメラ進み 角度だけカメラ左回転

角度の $(3 \times L \div 4)$ で枝描画

(角度 $\times 2$)だけカメラ右回転

角度の $(3 \times L \div 4)$ で枝描画

角度だけカメラ左回転して Lだけカメラ戻る

ここまで

Ajaxとグラフの描画

次にAjaxとグラフ描画の機能を紹介します。なでしこv3ではWebアプリでよく使われる処理が手軽に実現できます。

たとえば、次のプログラムは、郵便番号から住所を取得するWeb APIを使うプログラムです。郵便番号221-0824から住所を調べて画面に住所を表示します。

```
ZIP = "221-0824"
```

```
API = "https://api.aoikujira.com/zip/zip.php?fmt=json&zn={ZIP}"
```

対象をJSONデコードしてJに代入.

J["result"]を表示.

ここまで

なお、助詞の『には』はコールバック関数を処理する特別な構文です。上記のように『には』から『ここまで』の間に書いたプログラムが、非同期通信が完了した時点で処理が実行されます。

次に厚生労働省がオープンデータとして公開しているコロナ陽性者数の推移を記したCSVファイルを利用してみましょう。これは「日付, 人数」が羅列されたCSVデータです。これをAjaxで取得してグラフ描画してみます。わずか4行でグラフが描画できます（ただし、ブラウザにはCORSというクロスドメインの制限があるため、一度CSVファイルをなでしこエディタにアップロードした上で実行する必要があります）。

```
URL=「/v3/storage/images/6.csv」# アップしたファイル
```

```
URLにAJAX送信した時には
```

```
対象をCSV取得して線グラフ描画
```

```
ここまで
```

プログラムを実行すると図-5の右下のようなグラフが描画されます。「CSV取得」命令を使うとCSVデータを二次元配列に変換します。そして「線グラフ描画」命令でグラフを描画します。この命令は一般的なCSVファイルの形式を認識してグラフを描画するものとなっています。

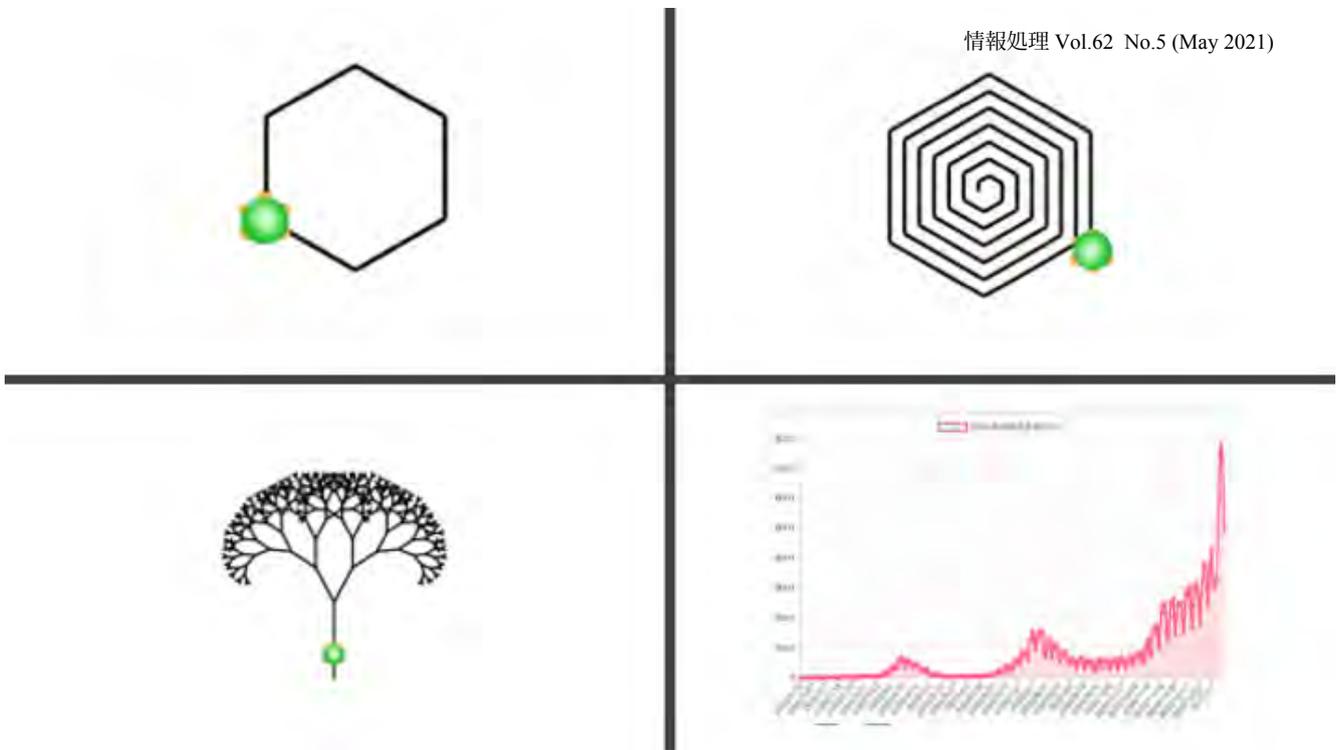


図-5 プログラムの実行結果

今後の開発計画について

これまで「誰でも簡単プログラマ」という目標に向かってコツコツと開発を行ってきました。今後も読みやすく分かりやすい言語を目指していきたいと思っています。今後はマニュアルの充実に加えて、タブレットやスマートフォンでも快適にプログラミングできるようブラウザ上の開発環境を改良したいと思っています。

最後に、本稿にて日本語プログラミング言語の魅力を少しでも知っていただけて嬉しく思います。ブラウザ上で気軽に作って楽しめますので一度試してみてください。

(2021年1月13日受付)

(2021年3月15日note公開)

※「情報処理」Vol.62 No.5 に著者のくじら飛行機氏の巻頭コラムを掲載予定です。

■クジラ飛行機

自由型プログラマ。代表作にテキスト音楽「サクラ」や日本語プログラミング言語「なでしこ」など。これまでに30冊以上の技術書籍を執筆。2001年オンラインソフト大賞入賞。2010年 IPA OSS貢献者賞受賞。



教科「情報」の入学試験問題って？

♡ 43

 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2020/12/28 14:35

2020年度から小学校の学習指導要領が新しくなり、小学校でプログラミングを学ぶことが始まりました。2021年度からは中学校で、2022年度からは高等学校で、それぞれ学習指導要領が新しくなります。中学校では技術・家庭科の中でプログラミングを学び、高校では全生徒が「情報I」という科目で、情報社会の問題解決・コミュニケーションと情報デザイン・コンピュータとプログラミング・情報通信ネットワークとデータの利用について学習することになります。

これを受けて、2025年から始まる大学入試の共通テストには教科「情報」も取り入れる方向で検討が進んでいます。では、実際にどんな試験問題になるのでしょうか。

情報入試に関しては、情報入試研究会がさまざまに試行を行ってきていますが、情

報処理学会でも、情報入試委員会を設けて、大学入試での教科「情報」の試験に関する調査研究を進めてきました。

このNoteシリーズ『教科「情報」の入学試験問題って?』では、そうした活動の中で生まれた試験問題を紹介して行きます。

まずは、プログラミングに関する問題例☆1を取り上げてみます。学習指導要領で「基本的プログラム」と書かれているものに対応する問題を示します。解答例や解説は後に回して、まず解いてみてください。

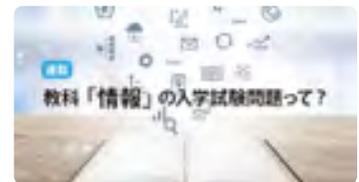
基本問題

※背景はこちらの記事をご参照ください。問1 変数zに0以上の整数yを加えるプログラムを作れ。ただし、プログラムは、解答群の選択肢を適当な順に並べることで作ること。なお、選択肢は、何回使ってよいし、使わない選択肢が...

♡ 34



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2020/12/28 14:31



(情報処理学会 情報入試委員会)

☆1 松浦敏雄：情報入試問題提案 III ,高校教科「情報」シンポジウム2019論文集, pp.38-51 (2019). <http://id.nii.ac.jp/1001/00206716/>

(2020年12月10日受付)

(2020年12月28日note公開)

情報処理学会ジュニア会員へのお誘い

小中高校生、高専生本科～専攻科1年、大学学部1～3年生の皆さんは、情報処理学会に無料で入会できます。会員になると有料記事の閲覧、情報処理を学べる様々なイベントにお得に参加できる等のメリットがあります。ぜひ、入会をご検討くださ

い. 入会はこちらから！



基本問題

♡ 34



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2020/12/28 14:31



※ 背景は[こちらの記事](#)をご参照ください。

▼ 目次

問1

問2

問1の正解例とその説明

問2の正解例とその説明

解説

問1

変数 z に0以上の整数 y を加えるプログラムを作れ。ただし、プログラムは、解答群の選択肢を適当な順に並べることで作ること。なお、選択肢は、何回使ってよいし、使わない選択肢があってもよい。

解答群

- (A) u が0より大きい間繰り返す
- (B) ここまでが繰り返しの範囲
- (C) u に y を代入する
- (D) z に1を加える
- (E) u から1を引く

解答記入欄

--	--	--	--	--

問2

0以上の整数を x と y に読み込み、その積を計算して表示するプログラムを作れ。ただし、プログラムは、解答群の選択肢を適当な順に解答記入欄に上から順に並べることで作ること。なお、選択肢は、何回使ってよいし、使わない選択肢があってもよい。

解答群

- (A) v が0より大きい間繰り返す
- (B) ここまでが繰り返しの範囲
- (C) z に0を代入する
- (D) z に y を加える
- (E) v に x を代入する
- (F) v から1を引く
- (G) x に整数を入力する
- (H) y に整数を入力する
- (I) z を出力する

解答記入欄

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

問1の正解例とその説明

(C)	(A)	(D)	(E)	(B)
-----	-----	-----	-----	-----

解答群の選択肢から、演算として使えるのは「1を加える」か「1を引く」だけになっています。その演算を使って「 z に y を加える」手順を考えさせることがこの問いの目的です。つまり、 w に1を加えることを y 回繰り返すことを思いつく必要が

あります。手続きをプログラム風に書くと以下ようになります。

- (C) u に y を代入する
- (A) u が0より大きい間繰り返す
- (D) z に1を加える
- (E) u から1を引く
- (B) ここまでが繰り返しの範囲

問2の正解例とその説明

(G)	(H)	(C)	(E)	(A)	(D)	(F)	(B)	(I)
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

今度は「 z に y を加える」が選択肢にありますから、それを x 回繰り返す手順を考えることとなります。手続きをプログラム風に書くと以下ようになります。

- (G) x に整数を入力する
- (H) y に整数を入力する
- (C) z に0を代入する
- (E) v に x を代入する
- (A) v が0より大きい間繰り返す
- (D) z に y を加える
- (F) v から1を引く
- (B) ここまでが繰り返しの範囲
- (I) z を出力する

解説

プログラムが基本となる作業指示（四則演算した結果を変数に代入する／外界からデータを読み込む／外界にデータを書き出す）を組み合わせたものであり、その組合せ方に、順に並べること（順接）、条件によって場合分けすること（分岐）、条件に応じて繰り返すこと（反復）があることを理解していて、具体的な課題に対して実際に作業指示を書き下せることを問う設問です。

基本となる作業指示に何があってどう書き表すか、順接・分岐・反復をどう書き表すかは、プログラミング言語によって異なります。共通テストでの設問では、ここに示した問題例のように、特定のプログラミング言語に依存しない形での設問方式が採用されることになるでしょう。

この例で示した出題では、用意した解答群のそれぞれを適切に並べ直すことで正解例が構成できるようになっています。出題によっては、同じ選択肢を複数回使う必要があったり、使わない選択肢があったりすることも考えられます。また、解答記入欄を正解に必要な欄数よりも多く設けておくことで、作文における「指定字数以内で書け」という設問と類似の効果を上げることも考えられます。この回答方式のことを短冊式と呼んでいます。

なお、正解となる解答は正解例に示したものに限られるわけではありません。また、プログラム全体としての正解に達していなくても、部分点を与えることが考えられます。

(情報処理学会 情報入試委員会 筧捷彦)

(2020年12月10日受付)

(2020年12月28日note公開)

情報処理学会ジュニア会員へのお誘い

小中高校生、高専生本科～専攻科1年、大学学部1～3年生の皆さんは、情報処理学会に無料で入会できます。会員になると有料記事の閲覧、情報処理を学べるさまざまなイベントにお得に参加できる等のメリットがあります。ぜひ、入会をご検討く

ださい。入会はこちらから！

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「子どもの目が輝く、数学プログラミング」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。

- Wolfram 言語に対する興味がかきたてられた。(匿名希望)
- プログラミングをしながら数学に親しむ、数学を楽しむという学びの場がとても面白そうです。(松浦満夫)
- 小さいころからプログラミングの楽しさを知れる活動はとても良いものだと思います。(匿名希望/ジュニア会員)
- ユニークな授業の様子がうかがえてよい。(匿名希望)
- 子どもたちが楽しく学ぶ環境が目につかびます。(匿名希望)
- そういふことがあるという同意しかできず、実際に導入したいとまでは思えない。(匿名希望)
- 具体的にはどのような授業の内容なのかを知りたい。(匿名希望)

特別解説「スパコン「富岳」によるウイルス飛沫・エアロゾルのシミュレーション」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。

- テレビのニュース等で同様の話題はよく見かけるが、記事でしっかりと分析内容を知れて勉強になった。(匿名希望)
- コロナ禍において非常に必要なシミュレーションであり、富岳の有効な利用であると感じた。(中井彩乃)
- 迅速な成果創出に向けての考え方が非常に参考になった。(匿名希望)
- スパコン「富岳」による飛沫シミュレーションの様子を垣間見ることができ、昨今のニュースに情報発信している活動の裏側を見ることができた。(匿名希望)
- プロジェクトの立ち上げや用いている技術について、分かりやすく解説されていて、大変勉強になりました。(匿名希望)
- 鉄道車内で窓開けの効果等さまざまなバリエーションを検討していただけたらとよりよいのでは？(河村 悟)
- 実行再生算数の見える化等、コロナ対策につながる科学の紹介を増やしてほしい。(匿名希望)
- 飛沫解析や換気性能評価の図の部分に動画があるとさらによいのではと思いました。(松浦満夫)
- 技術的なトピックなので、もう少しページ数を増やしてほしい。事例ももっと多い方がよかった。(風間一洋)

特別解説「インターネット上の海賊版対策のための令和2年著作権法改正」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。

- 法制度などに苦手意識を持つ(食わず嫌いな)情報処理技術者が少なくない中、このような解説記事は大変勉強になる。(金子雄介)
- タイムリーかつ要所を抑えた内容で、特に「私見」は大変深く検討・整理されており共感を覚えた。(伊藤雅樹)
- 歴史的な背景が見えた。(匿名希望)
- 私見は参考になったが、できれば対案を出していただくとありがたい。(河村 悟)

- 同様の問題に対する海外諸国の法律はどうなっているのか、世界の趨勢はどう動いているのかについても知りたいところである。(丹羽邦彦)

特集「AI 画像診断が医療現場を変える」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。

- 医療法面でのコンピュータ技術の応用の現状について、ぼんやりとではあるが知ることができた。(巫沼鴻)
 - 事例が非常に興味深かった。(匿名希望)
 - AI による病理診断と医師の責任分界点などにも着眼してみてもどうか。(匿名希望)
- 「1. AI 画像診断の全体像と将来の展望」
- 画像診断への機械学習の活用を俯瞰できる内容でとてもよかった。(匿名希望)
 - AI を利用するという点、またあくまで人間の補助と言う視点が非常に安全かつ有効であると感じた。(中井彩乃)
 - AI を活用した医療用画像診断支援の沿革、現状、今後の展望などについて簡潔に解説されており、これまで疑問に思っていたことが整理できた。(丹羽邦彦)
 - AI 技術を導入している病院、クリニックの現場の医師の方々の具体的な声や意見などを知りたいと思いました。(松浦満夫)
- 「2. 医療画像 AI のもたらす未来」
- 診断に AI を利用する上での課題等にも触れていて、関心を持っている内容だった。(匿名希望)
 - AI による画像診断の現状がよく理解できた。(匿名希望)
- 「3. 外科治療 AI」
- AI と外科治療とのかかわりが興味深く読めた。(匿名希望)
 - 外科手術において AI の画像診断を用いるというのが、手術の未来の展開に希望が持てる内容であったと感じた。(中井彩乃)
 - 深層学習の利用方法についてももっと詳しい記事があればよいと思った。(匿名希望)
- 「4. 眼底写真(光学系)の診断支援」
- 一般の人には見えにくい眼底検査への AI の貢献が分かった。(匿名希望)
 - 眼科診断と AI の関係について詳細を知ることができた。(平澤将一)
- 「5. 歯科パノラマエックス線画像による AI 診断」
- パノラマエックス線画像への AI 摘要がよく分かった。(匿名希望)

デジタルプラクティスコーナー「変革の先にあるコンタクトセンター」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。

- 「0. 編集にあたって」
- 冊子版にデジタルプラクティスの概要が掲載されるのは、目にとめやすくありがたい。概要は紙面、詳細は Web で、というのが便利。(金子雄介)
 - なにを伝えたいのかがよく分からなかった。(匿名希望)
- 「1. CX 創造を牽引する VOC 分析機構」
- コンタクトセンター業務の実践をもとに貴重なノウハウや考察が述べられており有意義な記事と感じた。(丹羽邦彦)
 - もう少し平易な書き方であれば、より理解しやすいのではないかと。(丹羽邦彦)
- 「2. 新しいナレッジマネジメントの方法論・KCS の導入と成果について」
- 自分にとってはなじみの薄いコンタクトセンターの実状と管理方法の実践は興味深かった。(匿名希望)
- 「4. 顧客との関係の質を高めることがコールセンタの価値となる」

■コンタクトセンター業務の、顧客との接点確保・会話・やり取りの方法の評価について、情緒性や幸福度といった観点で考えられている点が面白いと思った。(佐伯嘉康)

「6. 経験学習と問題解決スキル」

■問題解決スキルの評価にペーパータワーを使うというアイデアが興味深い。(風間一洋)

■問題解決スキルはいかに習得すればよいか、著者の長年の経験をベースにその指導法が述べられていて、納得させられる点が多かった。(丹羽邦彦)

「座談会：変革の先にあるコンタクトセンターに向けて」

■コンタクトセンターはコロナ下で特に変革の大きい業種だと思うので、複数記事に渡り色々な観点で議論されている点が良かった。(匿名希望)

■今後のデジタル活用についてインスピレーションを得た。(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。

「ポスト・コロナ期における情報教育の検討に向けて」

■キャッチーな記事はどうしてもこういった情報学会誌でキャッチアップするのが確実だと思っております。(匿名希望)

■コロナ禍で教育が変わってきているということが分かった。(匿名希望)

「情報科教員を目指すにあたって」

■高校の新学習指導要領の内容や、高専での情報教育をどう改善していくべきかを理解できた。(匿名希望)

■一教員として新学習指導要綱実施について関心を持って拝読しました。(川口雅司)

■同じような内容を複数巻で取り扱っていると感じる。(匿名希望)

「べた語義：関西支部大会の報告」

■どんな大会であったかが伝わる。(匿名希望)

■今後、IT教育を進める上で、示唆に富んだ内容と思う。(匿名希望)

連載「情報の授業をしよう!!：PBLの観点を踏まえた情報デザインの授業実践報告」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。

■10年以上前のPBL講義を受講したものととして、進化を感じることができた。(匿名希望)

■アンケート結果について数値データがもう少しあればより参考になったと思います。(川口雅司)

連載「ビブリオ・トーク：官僚制」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。

■古典的な本であるにもかかわらず、現在の政府の問題と結びつけた確な解説になっていた。(伊藤雅樹)

■行政文書のデジタル処理が進むと期待される中、官僚制の本質が文書による行政管理であることを示したマックス・ウェーバーの著書を取り上げた点は面白い。(匿名希望)

連載「5分で分かる!? 有名論文ナメ読み：Zhang, Qi and Goldman, Sally A : EM-DD : An Improved Multiple-Instance Learning Technique」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。

■論文の特徴をここまで見事に的確・やさしく伝えられるのはすごい。しかも読みやすい!(風間一洋)

■簡略された解説で、アルゴリズムの斜め読み感が伝わってきた。(匿名希望)

■毎回2本くらいに増やして知識を得られるとうれしいです。(匿名希望)

■多様性密度の説明が少し難しかった。(匿名希望/ジュニア会員)

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。

■回答された先生方に共感できた。(匿名希望)

■技術の発展は目的になり得ない、という個所に共感いたしました。技術の発展が、本末転倒とならないとよいと思います。(輪島幸治)

■複数の視点での回答がいつも参考になります。(大森麻理)

■答えを聞いた中学生の感想があればさらに良いと思います。(川口雅司)

会議レポート「ACM SIGIR 2020 会議報告」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。

■会議の統計情報を簡潔に報告している点は良かったが、トピックの傾向や特定の論文に対する著者の主観的なコメントも読みたかった。(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。

■学生さんが見ることを前提として、情報学を学んだ人のキャリアについてまとめた記事が欲しいです。(匿名希望)

■COCOA等の国で導入されている感染状況把握アプリの各国の比較や、追跡に対する各国の意識差(個人情報提供に対する感覚差)を知りたいです。(匿名希望)

■司法に対するAI技術の適用の可能性に興味があるので、その最新の議論を知りたい。(巫召鴻)

■「有名論文ナメ読み」のような感じで、情報処理に関する参考図書のお勧め、書評などがあるとよい気がします。(匿名希望)

■紙に印刷された記事が少ないのは、若干寂しい感じがする。(匿名希望)

note「情報処理」(<https://note.com/ipsj>)に掲載されている記事に関して、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。

■全文検索の詳細版ができるようになるとうい。(匿名希望)

■noteの使い方と発信内容がいまいちだと感じる。(匿名希望)

■興味を引きそうな記事を選べているようで、魅力的に感じる。(平澤将一)

【本欄担当 鵜川始陽・大岸智彦/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、こちらでも参照ください。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。

「情報処理」アンケート回答フォーム▶

<https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html>



● 論文誌ジャーナル掲載論文リスト

Vol.62 No.4 (Apr. 2021)

【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 林 晋平
- 曖昧表現の見直しノウハウの形式知化 斎藤 忍 他
- IoTの柔軟な相互運用性を実現するソフトウェアアーキテクチャの提案 横山史明 他
- 組み合わせテストにおける実行順序に起因する非決定的不具合誘発要因特定法の提案 西浦生成 他
- Java テストコードの再利用による自動生成に向けた移植可能なテストメソッドの調査 西浦生成 他
- プログラムに対する欠陥限局の適合性計測 佐々木唯 他
- 記号実行のために前処理機能を導入した業務アプリケーション向けテスト入力値生成システム 大林浩気 他
- 32bit UNIX システムの2038年問題に対するプログラム修正法の提案† 大江秀幸 他
- Empirical Study on Dependency-related License Violation in the JavaScript Package Ecosystem Shi Qiu 他

【一般論文】

- x が小さい場合のクンマー関数 $U(a,b,x)$ の数値計算 吉田年雄 他
- コードクロンの自動集約に基づく削減可能なソースコード行数の測定 中川 将 他
- Constructing Object Groups Corresponding to Concepts for Recovery of a Summarized Sequence Diagram Kunihiro Noda 他
- README ファイルの進化に関する実証的分析 亀井靖高 他
- 高次元データに対するグラフィンデックスを用いた近似範囲検索アルゴリズム 新井悠介 他
- バッテリーレスセンサネットワークを実現する電波電力伝送手法の検討* 濱政 光 他
- 時空間的なスマートフォンログ分析に基づく利用者のストレス推定手法* 濱谷尚志 他
- 自動運転のための合流支援システムによる車両挙動安定性の評価* 菊池典恭 他
- 深層ニューラルネットワークの中間層出力を利用した半教師あり分布外検知 岡本弘野 他
- Epitope Prediction of Antigen Protein using Attention-Based LSTM Network Toshiaki Noumi 他
- Sports Field Recognition using Deep Multi-task Learning* Shuhei Tarashima
- Developing Value Networks for Game 2048 with Reinforcement Learning Kiminori Matsuzaki
- Visualizing and Understanding Policy Networks of Computer Go Yuanfeng Pang 他

- Hierarchical Latent Words Language Models for Automatic Speech Recognition Ryo Masumura 他
- User Authentication Method using Active Acoustic Sensing Hiroki Watanabe 他
- 知的生産性と心拍数との関係の検証* 堀田竜士 他
- 不正競争防止法における「技術上の情報」及び弁理士法における「技術上のデータ」の意義に関する一考察 栗原佑介

*: 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. 2021)

【論文誌 データベース Vol.14 No.2】

- モバイル端末向けジオフェンシングにおける更新回数の削減 根本 潤 他
- 大規模疫病データのための将来予測アルゴリズム 木村 輔 他



【論文誌 デジタルプラクティス Vol.2 No.2】

- 地球環境データベース—30年の歩みとこれから— 白井知子
- ジオスペース科学分野におけるデータ出版とデータ引用の現状およびそのプラクティス 能勢正仁 他
- データ駆動型農業に向けた研究データ基盤の構築 川村隆浩 他
- JAIRO Cloud とコミュニティーコミュニティ主導のクラウドサービスの実現— 林 正治 他
- 情報学研究データリポジトリ IDR における研究用データセット共同利用の取り組み 大須賀智子 他
- 材料データプラットフォームシステム DICE における研究データフローの構築—実践と課題 谷藤幹子 他
- CAS ベースの RDM 認証・認可機構の漸増開発とアセスメント評価 菊地伸治 他
- IoT データ収集システムのデータアーキテクチャ 松波成行 他
- フェイスマークが伝える感性情報 小澤賢司 他
- A New Method of Subjective Evaluation Using Visual Analog Scale for Small Sample Data Analysis 白濱成希 他
- IEEE802.11ac 準拠の機器におけるチャネルボンディング機能の性能評価 田村 瞳 他



◎ IPSJ カレンダー◎

学会イベントの最新情報を下記 URL でご案内しています。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、最新情報をご確認いただきますようお願いいたします。

<https://www.ipsj.or.jp/calendar.html>



【重要】過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について

2020年12月18日
プログラミング・シンポジウム委員会

情報処理学会発行の出版物著作権は平成12年から情報処理学会著作権規程に従い、学会に帰属することになっています。

プログラミング・シンポジウムの報告集は、情報処理学会と設立の事情が異なるため、この改訂がシンポジウム内部で徹底しておらず、情報処理学会の他の出版物が情報学広場 (= 情報処理学会電子図書館) で公開されているにもかかわらず、古い報告集には公開されていないものが少からずありました。

プログラミング・シンポジウムは昭和59年に情報処理学会の一部門になりましたが、それ以前の報告集も含め、このたび学会の他の出版物と同様の扱いにしたいと考えます。過去のすべての報告集の論文について、著作権者（論文を執筆された故人の相続人）を探し出して利用許諾に関する同意をいただくことは困難ですので、一定期間の権利者搜索の努力をしたうえで、著作権者が見つからない場合も論文を情報学広場に掲載させていただきたいと思っております。その後、著作権者が発見され、情報学広場への掲載の継続に同意が得られなかった場合には、当該論文については、掲載を停止いたします。

この措置にご意見のある方は、プログラミング・シンポジウムの辻尚史運営委員長 (tsuji@math.s.chiba-u.ac.jp) までお申し出ください。

加えて、著作権者について情報をお持ちの方は事務局 (jigyo@ipsj.or.jp) まで情報をお寄せくださいますようお願い申し上げます。

情報処理学会著作権規程
<https://www.ipsj.or.jp/copyright/ronbun/copyright.html>

【ご案内】会誌「情報処理」のオンライン記事について

会誌「情報処理」の特集記事は、これまで冊子、オンライン（電子図書館）の両方に掲載しておりましたが、2020年11月号よりオンラインのみへの掲載に変わりました。また、オンライン限定記事の掲載も始まりました。閲覧方法は会員区分によって異なりますので以下をご確認ください。

【個人会員の皆様】

電子図書館（情報学広場：<https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/>）にログインし、該当記事のpdfをダウンロードしてください。すでに電子図書館をご利用いただいている方は今までどおりです。電子図書館を初めて利用される方は、会員としてのユーザ登録が必要になります。未登録の方には毎月月上旬に次の件名のメールを送信しておりますので、到着次第、登録してください。

- ・件名：[情報学広場:情報処理学会電子図書館] ユーザー登録のご案内
- ・差出：ipsj-ixsq@nii.ac.jp

★詳細：電子図書館利用方法（個人用）—利用までの流れ (<https://www.ipsj.or.jp/e-library/ixsq.html#anc2>)

ご案内メールをお急ぎの方や閲覧方法が分からない方は、会員サービス部門 (E-mail: mem@ipsj.or.jp) に会員番号を添えてご連絡ください。

【個人会員】



電子図書館
(情報学広場)

【賛助会員各位・購読員の皆様】

賛助会員・購読員の企業・大学に所属されている方に「情報処理」（冊子）を貸し出した場合、特集の閲覧方法について照会がございましたら、次の手順をお知らせください。

<手順>

- (1) 「情報処理」の特集ページ（扉または概要ページ）を開く。
- (2) 閲覧申込のURLにアクセスする（またはQRコードを読み取る）。
- (3) 必須事項を入力し送信する。
- (4) 次の件名（5月号の場合）の受信メールに従って、電子図書館から特集のpdfをダウンロードする。
 - ・件名：情報処理2021年5月号 (Vol.62, No.5) 「チケットコード」とご利用方法のご連絡

★注意事項

- ・法人アカウントではご利用いただけません。
- ・閲覧される方が電子図書館のユーザIDをお持ちでない場合は、ご自身でユーザ登録する必要があります。

本件に関する問合せ先：一般社団法人情報処理学会 会員サービス部門 E-mail: mem@ipsj.or.jp

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, 国立研究機関 22,000円(税10%込)

賛助会員(企業) 33,000円(税10%込)

賛助会員以外の企業 55,000円(税10%込)

*本誌へ掲載依頼いただいた場合に限り, 追加料金4,400円(税10%込)で同一内容を本会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

■学校法人滋慶学園 東京情報デザイン専門職大学 (設置構想中 2021年10月申請予定)

募集人員 教授, 准教授または講師 6名程度

専門分野 情報学基礎理論, ソフトウェア, 情報ネットワーク, 情報セキュリティ, 知能情報学, 知能ロボティクス, エンタテイメント・ゲーム情報学における各分野の理論, または, 応用に関する研究分野

*詳細は, 本学教員公募ページ (<https://www.jikeicom.jp/pu/recruit>) をご参照ください

応募資格 本学のポリシーを理解し, 着任後に上記専門分野において熱心に教育・研究のできる方. 専門分野における博士の学位を有すること. 学部の運営業務を他の教員と協調を図り遂行できる方

着任時期 2023年4月または2024年4月(担当予定科目により変わります)を予定

応募締切 2021年6月14日(必着) *適任者の採用が決まり次第, 募集を締め切ります

応募方法, 選考方法, 提出書類など, その他の詳細につきましては, 本学教員公募ページ (<https://www.jikeicom.jp/pu/recruit>) をご参照ください

照会先 学校法人滋慶学園 専門職大学開設準備室

担当: 皆川 E-mail: saiyo_pu@jikeicom.jp Tel(03)6808-3201

その他 ①正式採用にあたっては, 本学が文部科学省から認可されること, また教員審査において予定職位・担当授業科目に適格認定を受けることが前提条件となります

②本学の定年は65歳となります(審査により再任可)



CONTENTS

Preface

- 222 **Enjoy Developing Programming Languages**
Kujira Hikou Dukue (kujirahand.com)

Special Article

- 224 **Online Education and the Operational Guideline for Article 35 of the Amended Copyright Act**
Takahiro HAGA (Gifu Shotoku Gakuen Univ.)

Special Features

Immersive Media to Enable Freely Walking through 3D Spaces with More Immersive Experiences

- 230 **Foreword**
Mikiko SODE TANAKA (International College of Technology) and Shuichi AOKI (Science and Technology Research Labs, NHK)

- 232 **Outline**

Digital Practice Corner

Reserch Data Infrastructure as the Foundation of Open Science

- 234 **Foreword**
Yasuhiro MURAYAMA (National Institute of Information and Communicatoins Technology) and Kazuhiro HAYASHI (National Institute of Science and Technology Policy, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Techology)

- 239 **Outline**

Cutting-edge of Kansei Informatics

- 240 **Foreword**
Noriko ETANI (All Nippon Airways Co., Ltd. (Peach Aviation Ltd.)), Hiroshi TAKENOUCI (Fukuoka Institute of Technology) and Manabu SAITO (CAC Corp.)

- 243 **Outline**

Let's Learn Informatics

- 246 **Practical Examples of Specialized Subjects "Information Design" and "Information Contents Practice"**
Hiroyuki YAMAMOTO (Tokyo Metropolitan Wakabasogo High School)

"Peta-gogy" for Future

- 253 **Education of Informatics from the Standpoint of an AI Researcher**
Hitoshi MATSUBARA (The Univ. of Tokyo)
- 254 **Feelings for the Trial Test "Informatics" of the Common Test for University Admissions from Educational Sites**
Hiroyasu IDE (Aichi Prefectural Komaki High School)
- 258 **A Report of Symposium "Future Informatics Education for University Students" 2020**
Yoshifumi UESHIGE (Nagasaki Univ.)

-
- 229 **Shopping Boast**
- 264 **Questions for Experts**
- 266 **Biblio Talk**
- 268 **Skimming a Famous Paper in Five Minutes**
- 270 **Conference Report**

Online Only

Special Features

Immersive Media to Enable Freely Walking through 3D Spaces with More Immersive Experiences

- e1 **Immersive Live Experience : Development and Standardization**
Jiro NAGAO (NTT Service Evolution Labs) and Hideo IMANAKA (NTT Advanced Technology Corp.)

- e7 **Audio Technologies Toward Immersive Media - Focusing on Broadcast and MPEG -**
Takehiro SUGIMOTO (NHK)

- e12 **Principle of FTV (Free-viewpoint Television)**
Masayuki TANIMOTO (Nagoya Univ. / Nagoya Industrial Science Research Institute)

- e19 **Standardization Activities on Immersive Media in MPEG**
Shuichi AOKI (Science and Technology Research Labs, NHK)

Article

- e26 **About Japanese Programming Language "Nadeshiko"**
Kujira Hikou Dukue (kujirahand.com)

-
- e43 **What Kind of Exam Questions on Informatics Will Appear in University Entrance Exams?**
- e46 **What Kind of Exam Questions on Informatics Will Appear in University Entrance Exams?**

今年東京オリンピック・パラリンピックが開催される予定である。新型コロナウイルス下のため多くの制限、困難が予想されているが、大きな進歩を遂げた映像テクノロジーがこれまでとは違った新しいオリンピック・パラリンピックに導いてくれそうだ。映像テクノロジーは大きな進歩を遂げ、臨場体験映像システムが現実の物となってきている。競技観戦を競技会場ではなく、自宅の4K、8Kテレビによりリアルタイムに臨場感あふれる競技映像を見ることが出来る。複数台のカメラによる多視点映像を、視聴者が自由に切り替えながらセレクトして観戦できる多視点ライブビューイング、競技会場の熱気をさまざまな視点から伝える技術だ。臨場体験映像システムにより競技会場から遠く離れた別の場所でも目の前に選

手があるかのような観戦が可能となる。これを支える技術が本特集で解説いただいた「Kirari」だ。

このほかにも3D アスリート・トラッキング (3DAT) が実用化されそうだ。複数の4Kビデオカメラ、レーザなどを用いてアスリートの動きを抽出・分析し、リアルタイムに分析情報を映像に重ねて表示する。これによって目まぐるしく変わる競技の状況を数値で視覚化できるためアスリートのパフォーマンスを捉えやすくなる。

我々は技術により困難に打ち勝ち次の未来を掴んでいく。その基礎技術が情報処理技術だと思う。今回の特集で技術で時代を変える音を感じていただければ幸いである。

(袖美樹子/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。

※はオンライン版のみの掲載となります

「特集」 デジタルアーキテクチャデザイン※

Society 5.0 実現に向けたデジタルアーキテクチャデザイン / 社会・産業アーキテクチャのデザイン / データ取引市場のアーキテクチャ / スマートシティのリファレンスアーキテクチャー Society 5.0 に準拠したアーキテクチャ構築とその展開 / 社会課題解決に貢献する自然言語処理技術の社会実装と展開 / デジタル社会における AI 倫理と法制度の動向 / デジタルアーキテクチャデザイン研究開発の基盤形成—産総研におけるデジタルアーキテクチャへの取り組み—

特別解説：ドコモ口座はなぜ攻撃されたか？～本人確認義務と運用の複合的盲点を生まないために～ …………… 板倉陽一郎

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 / <Info-WorkPlace 委員会企画> 働き方を共有しよう! ※ / 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

会議レポート：ACCV 2020 会議報告

読後のご意見をお送りください

本誌では、現在約200名の方々から毎号のモニターをお願いしておりますが、より多くの読者の皆さんからのご意見、ご提案をおうかがいし、誌面の充実に役立てていきたいと考えておりますので、以下 Web ページから奮って事務局までお寄せください。

「情報処理」アンケートページ <https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html>

一般社団法人 情報処理学会 会誌編集部 E-mail: editj@ipsj.or.jp

アンケートページ

QRコード



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、本会会員(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 (JACC) 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 JACC (<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（価格は税 10%込）

掲載場所	4色	1色
表2	363,000円	—
表3	302,500円	—
表4	423,500円	—
表2対向	330,000円	—
表3対向	291,500円	170,500円
前付1頁	275,000円	148,500円
前付1/2頁	—	88,000円
前付最終	—	162,800円
目次前	—	162,800円
差込 (A4変形判 70.5kg未満 1枚)	302,500円	
差込 (A4変形判 70.5kg～86.5kg 1枚)	385,000円	
同封 (A4変形判 1枚)	385,000円	

■「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」 62巻5号 掲載広告（五十音順）

- オーム社…………… 表2 コロナ社…………… 前付最終下
- 講談社…………… 表2対向,
前付最終上 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



三菱電機 (株)

FUJITSU

富士通 (株)



(株) サイバーエージェント

Orchestrating a brighter world

NEC

日本電気 (株)



日本アイ・ビー・エム (株)

●●● 賛助会員 (10 ~ 19口)



(株) リクルート



グーグル合同会社



(株) NTTドコモ



(株) 東芝



日本電信電話 (株)



日本マイクロソフト (株)



(株) フォーラムエイト

●●● 賛助会員 (3 ~ 9口)



(一社) 情報通信技術委員会



(株) NTTデータ



GREE (株)



(一財) インターネット協会



(一社) 情報サービス産業協会



トレンドマイクロ (株)



NTTコムウェア (株)



NTTテクノクロス (株)



(株) うえじま企画



エッジテクノロジー (株)



沖電気工業 (株)



コアマイクロシステムズ (株)



三美印刷 (株)



ソニー (株)



(株) テクノプロ
テクノプロ・デザイン社

MIZUHO みずほ情報総研

みずほ情報総研 (株)



FIT2021 第20回情報科学技術フォーラム 選奨論文・一般論文 講演募集のご案内

会期：2021年8月25日（水）～27日（金）

会場：オンライン開催 共催：東北学院大学（予定）

FIT2021 Web ページ <https://www.ipsj.or.jp/event/fit/fit2021/>

電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ（ISS）並びにヒューマンコミュニケーショングループ（HCG）と情報処理学会（IPSI）は、2002年から毎年秋季に合同で「情報科学技術フォーラム(FIT: Forum on Information Technology)」を開催しています。2021年8月には、記念すべき第20回目をオンラインで開催します。FITは、両学会の大会の流れをくむものであると同時に、従来の大会の形式にとらわれずに新しい発表形式を導入し、タイムリーな情報発信、活気ある議論・討論、多彩な企画、他分野研究者との交流を実現してきております。皆様の研究成果発表の場として、標記のとおり論文発表を募集致しますので奮ってお申込み下さい。

●申込主要日程

登録申込/投稿受付期間：2021年3月29日（月）から 2021年5月7日（金）15:00まで

最終掲載原稿締切：2021年6月18日（金）15:00

●表彰

FITには、以下の表彰制度がありますので是非とも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 ヤングリサーチャー賞	2021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していただきます。FIT2021 Web ページに掲載の研究会取り扱い分野をよく御確認のうえ御自身の論文内容と一致した研究会を、申込者御自身の責任において投稿時に適切に選択して下さい。

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論文形式で「選奨論文」を選択して下さい。但し、賞を前提とした論文形式となりますので、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条件となります。非会員の方は御入会手続きをお済ませの上御投稿下さい。選奨論文はFIT 初日の選奨セッションに組み込まれ、各セッションにて選奨委員2名による1次審査を行います。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。2次審査はFIT 終了後実施され、上位3件が船井ベストペーパー賞、次点7件程度がFIT 論文賞の受賞となります。

※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）が発生します。例えば6ページ投稿の場合、4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×4＝16,000円」の追加費用が必要となります。

●一般論文（2～8ページ程度）

FIT2021 Web ページに掲載の研究会取り扱い分野をよく御確認のうえ御自身の論文内容と一致した研究会を、申込者御自身の責任において適切に選択して下さい。

※3ページ以上の投稿される場合は、3ページ目からは追加ページ代（4,000円/ページ）が発生します。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。

●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を通して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。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お送りする予定です。

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。詳細は上記※参照）

※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（IEIE、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、CCF）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FIT2021 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（FIT2021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

2021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って、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。

2021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	2021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	2021年7月31日(土)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)	<p>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)。</p> <p>■自己申告の場合の申請方法</p> <p>① Web サイト申請フォームから申請</p> <ol style="list-style-type: none"> 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。 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。 「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。 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。 <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>■第三者申告の場合の申請方法</p> <p>【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。</p> <p>① Web サイト申請フォームから申請</p> <p>② 電子メールで申請</p> <p>③ 郵送にて申請</p> <p>いずれも自己申請の場合と同様。</p>
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、本会経営企画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	2021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

定価 1,760円 (本体 1,600円 + 税 10%)

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



4910052690516
01600

オープンサイエンスと研究データ管理の動向

青木学聡¹

¹名古屋大学

研究成果を広く公開しその利活用を促すオープンサイエンスは、新しい研究分野・イノベーションの創出をもたらすものとして、アカデミアの内外を問わず注目を集めている。また、一連の研究活動に沿って実施される研究データ管理手法も、デジタル化の進展や研究活動の透明性向上などの点から、見直しが進められている。本稿では、2021年現在におけるオープンサイエンス、研究データ管理の実現に向けた実践的な取り組みを多面的な視点で紹介する。

1. オープンサイエンスと研究データ管理

1.1 オープンサイエンス

2000年台初頭より興った研究論文へのアクセス障壁を下げる「オープンアクセス」運動は、2010年頃より、さらに多様かつ根源的な研究成果である研究データの公開・流通という「オープンサイエンス」へと拡大した。「オープンサイエンス」を語義通りに解釈すれば「開かれた科学」である。Gutenbergから始まる印刷技術の発展に伴う情報の大量複製、配布を端緒とし、17世紀中ごろに興った学術雑誌の発行、流通による知の共有ネットワークの構築がオープンサイエンスの開始とみなされることが多い。多くの情報がデジタル化され、これがインターネットを通じ流通することが当たり前になった現在、オープンサイエンスは、学術情報を「より多量に」「より広範囲に」「より高速に」伝えるという、量的な拡大に加え、これらを計算機により高速・多面的に処理するという、情報の利用法という質的な変革も含意する[1]。特に2019年より世界的に感染が拡大した新型コロナウイルス（COVID-19）問題に対して、プレプリントを含む論文や、ゲノム解析結果などの多量の研究データが時々刻々で公開された。これらが即時に共有されることで、対策が急速に進められている[2]。

COVID-19へ対応にもあるように、オープンサイエンスは「ビッグデータ」「AI」「Society 5.0」と同様に、デジタル技術の発展に伴う社会変化、地球的課題への貢献を表現するキーワードとなりつつある。政府は2013年のG8科学大臣会合を皮切りに、オープンサイエンスが科学技術とイノベーションの発展や、透明性の向上に資することを認識し、政策化を進めている。近年では、内閣府が「統合イノベーション戦略」[3]においてオープンサイエンスの推進を明記している。これに対し、日本学術会議は2020年に「オープンサイエンスの深化と推進に向けて」を発表し[4]、オープンサイエンスと研究データ管理について、日本の学術が直面している課題の分析と今後の方針を提言として取りまとめている。

1.2 研究データ管理

本稿において「研究データ管理（Research Data Management, RDM）」とは、「研究の開始から終了までを通じ、どのような研究データを収集・生成するか、またこれらのデータをどのように解析、保存、共有、公開するか、などを定め、実践すること」としている。図1に、研究プロセスに沿った、研究データ管理に求められる主な要素を簡潔に示す。この図にあるように、RDMは学術における研究活動の総称的な概念そのものであり、研究者は研究活動を実施する限り、暗黙的にRDMを実践している、といえる。また、「研究データ」とは公開・非公開、デジタル・非デジタルといった区別を問わず、研究活動を進める上で利用、生成する情報全般、という広い対象を指すことが多い。具体的には「資料」「史料」「研究ノート」「アンケート調査」「ソフトウェアプログラム」「論文・レポート」「データベース」など、学術分野に応じてさまざまである。

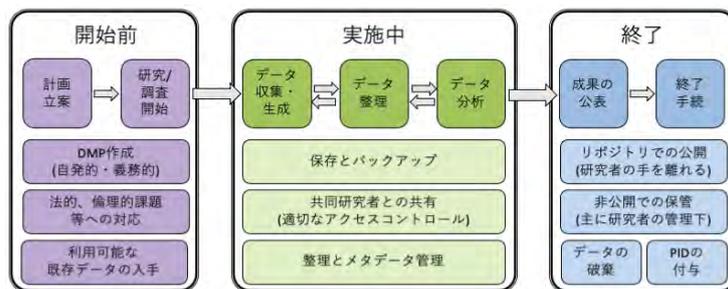


図1 研究プロセスに沿った研究データ管理の主な要素
(dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.4003857.v1 を参考に作成)

今日、明示的に「研究データ管理」という言葉が使われる場合、RDMにかかる個別要素を明確にし、また共通化する手法を開発し、適用することを指す。たとえば、「オープンサイエンス」は、研究により得られた知見を広く公開、共有することで、研究データの永続性を保証するとともに、この研究データが参照されることで、後継の研究活動が効率的に実施できるようにするための手段である。研究データの公開に限らず、研究途上における研究データの取り扱いを明示することは、研究の再現性、継続性の向上に貢献する。これに加え、研究データの参照、利用、開示において、機密保持、情報倫理、各種法令などへの対処もRDMの一部と考えることもできる。この点においては、一般企業における情報セキュリティ戦略、NDAを含む知財管理などの課題とも親和性が高いといえる。

RDMの明示は、研究活動の効率化とともに、記録保持の観点から再現性の保証、ひいては研究透明性の向上に貢献すると考えられる。特に、公的資金を用いた研究における説明責任の観点から、研究データ管理計画（Data Management Plan, DMP）を研究計画とともに制定することが欧米諸国を中心として広まっている。日本においても、JST[5]、AMED[6]、NEDO[7]などが主催する大型研究プロジェクトにおいては、DMP制定が求められるようになっている。

このように研究データ管理は、研究活動全般にわたる研究の進め方の再検討を促すものでもある。一方、「研究データ管理」という言葉は、「研究公正の維持」と「研究データ公開」といった限定的な概念のみに強く紐づき研究者に伝わることで誤解を生むこともある。特に日本国内においては、2014年前後に大型の研究不正事案が相次ぎ発覚したことで、研究公正強化[8]と関連付けら

れて研究データ管理を印象付けることとなった。また、研究データ公開についても、「すべての」データを公開することと受け取られるなど、データを公開することの具体的な行為やその意義が理解されておらず、反発を受けることもある[9]。研究者、特にPrincipal Investigator (PI)として研究を主導する者は図1に示す以外に大小さまざまな場面で研究データの取り扱いについて選択を迫られることとなる。意思決定は管理 (Management) の重要な要素であるが、これらの決定を逐一意識的に実施することは、研究者にとっては大きな負担であり、RDMに対し心理的障壁の1つとも言える。機関やコミュニティがRDMを支援する行為は、研究データの取り扱いに際し、研究者が対応可能な選択肢を合理的理由とともに提示することでもある。

1.3 FAIR 原則

FAIR原則[10],[11],[12]とは、オープンサイエンスの趣旨に従い、研究データが適切に公開され、これが利用・維持されるための目標として定められた。FAIRのそれぞれの文字は、Findable (見つけられる)、Accessible (アクセスできる)、Interoperable (相互利用できる)、Reusable (再利用できる)に対応し、データまたはメタデータが備えるべき要件を端的に表現している。たとえば、Findableを実現するためには、

- F1. (メタ) データが、グローバルに一貫で永続的な識別子 (ID) を有すること。
- F2. データがメタデータによって十分に記述されていること。
- F3. (メタ) データが検索可能なリソースとして、登録もしくはインデックス化されていること。
- F4. メタデータが、データの識別子 (ID) を明記していること。

が挙げられている。実際、FAIR原則を実現するには、研究者が公開しようとする個々のデータセットに対し、「永続的識別子 (Persistent ID, PID) の付与」、「メタデータとデータ構造の記述」、「リポジトリを通じた公開と共有」、「利用時に適用するライセンスの指定」などの事項を、データの性質や学術コミュニティの要請に従い、具体化する必要がある[13]、さまざまな試みが進められている。

たとえば、「どうすればFAIR原則を満たしたといえるか」という問題は、データ提供者、データリポジトリ運営者双方にとって興味深いテーマである。FAIRMetricsの活動[14]では、FAIR原則への適合度を客観的に評価するための手法を提案している。FAIRMetricsの活動は最初、大手データリポジトリに対し、FAIR原則の個々の項目を達成するために、どのようなルールを設け公開しているか調査したのち、各データセットがFAIRnessの点から備えるべき要件を提案している。この要件の記述方法も、FAIR Maturity Indicator (MI)として書式化することで、評価方法の更新、追加への柔軟な対応、機械可読性の確保と自動化を試みている。また、FAIRnessを維持するためのデータリポジトリが守るべき指針として、透明性 (Transparency)、責任 (Responsibility)、ユーザ中心 (User focus)、持続性 (Sustainability)、技術 (Technology)に分類した、TRUST原則が提案されている[15],[16]。

上記の例も含め、研究データのFAIRnessの実現に向けた多様なステークホルダの取り組みを協調して進めるため、European Open Science Cloud (ECOS) [17],[18]を中心とする、GO FAIR Initiative [19]が設立されている。現在、GO FAIRは、Technology (情報技術)、Culture (ポリシー策定とインセンティブの付与)、Training (スキル開発と普及教育)を中心テーマとして、Implementation Memberによるネットワークを構築している。また、欧州だけでなく米国、ブラジルでのNational Officeの設置、CODATA (Committee on Data for Science and Technology)、World Data System (WDS)、Research Data Alliance (RDA)との連携[20]など、その活動の場を拡大している。

一方、これらの取り組みは巨大データリポジトリの運用や国際協調からの視点が強く、中小のリポジトリ運営者や個々の研究者がどのようにFAIR Dataに取り組むべきか、という指針が見い出されにくい。先進的な議論とともに、裾野の拡大や、入口を増やす方策の検討も必要である。上記で説明したFAIR原則にかかわる活動は、「社会あるいは学術コミュニティに対し」オープンなデータの取り扱いを想定している。これを「研究プロジェクト内でFAIRである」、「将来の自分自身に対しFAIRである」など、データを利用する対象を限定し、そのスコープの中でFAIRnessを実現する手法として還元できるのであれば、研究者が行う常時の研究活動が、研究データ管理の改善とオープンサイエンス対応へとシームレスにつながり、研究者と学術分野双方の利益につながると考えられる。

2. ステークホルダごとに見た国内取り組み状況

いうまでもなく、RDMを主体的に実施し、公開・非公開を含め研究データの処遇を定めるのは研究者自身である。学術コミュニティや、大学をはじめとする研究機関は、研究者によるこれらの活動を支援することが第一義である。オープンサイエンスと研究データ管理の実践において、主要なステークホルダの関係を図2に示す。ここでは、主要なステークホルダとして「研究者」「学術コミュニティ(2.1節)」「学術機関(2.2節)」「分野・機関横断連携(2.3節)」を取り上げ、それぞれが掲げる主目的とそのために実施できる内容を記している。これ以外のステークホルダには、「政策・研究資金分配機関」「市民研究者」などが想定される。この図では、研究者は研究分野に近いコミュニティと研究者が所属する機関双方がRDMに求める要件を理解し、適切な方法を選びながら研究データ管理を実施する必要があることを示している。なお、図2では直接表現されていないが、研究者個人のWebページでのデータ公開や、機関が把握できないアカウントでのクラウドストレージ利用など、学術コミュニティ、学術機関が指定する方法の枠外とされるRDMの実施も現時点において多数存在するが、これらは研究者自身によるエコシステムの維持コストと、個人情報保護など機関のガバナンスの問題から徐々に縮小されるものと考えられる。

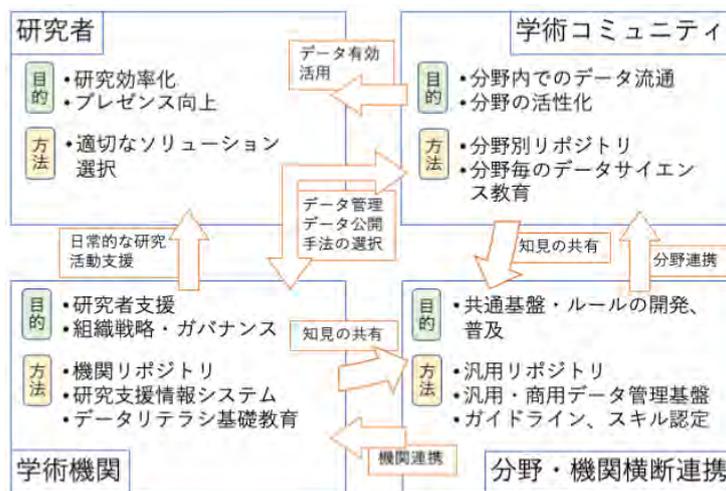


図2 オープンサイエンス・研究データ管理に関する主なステークホルダの相関

オープンサイエンスや研究データ管理が注目されるに従い、学術コミュニティと学術機関それぞれが求める、研究者への要求はより緻密になっている。また、機関間連携や分野間融合など、複数の価値観やルールが衝突し、それを解消する必要も生じる。「分野・機関横断連携」のステークホルダは、互いの実施状況の調整を通じて、共通概念の確立、情報システムの開発や運営指針の統一など、さまざまな領域で共通化を推進する立場である。前項に挙げたFAIR原則の制定はこの活動の一環であるといえる。一方、「分野・機関横断連携」と「研究者」との間に直接的な交流は少なく、お互いが見えないことが危惧される。学術コミュニティ、学術機関との密接な連携を介し、相互理解の醸成が望まれる。

2.1 学術コミュニティでの取り組み状況

FAIR原則など、オープンサイエンスに関する議論は欧米で先行しているのが実情である。しかしながら、我が国においても「オープンサイエンス」や「研究データ管理」の用語、概念が成立する以前より、研究データの蓄積や公開の取り組みは学術分野を問わず行われてきた。特に、国立研究開発法人、大学共同利用機関法人、各大学の共同利用・共同研究拠点、研究センタなどは、それぞれの専門性を活かした学術データベースを整備し、利用に供している。また、図書館や博物館においても、所蔵するコレクションをデジタル化し、これを公開する事例が増えている。この中には、長年の知見を活かし、データベースの連携、データアクセスのためのインタフェースの整備、利活用事例の収集と普及といった、研究データを中心としたエコシステムやフレームワークを構築し、運営しているものも数多く存在する[21],[22]。本特集号においても、それぞれの分野、機関におけるこれまでの取り組み事例が多数報告されている。

学術コンテンツを利用するための動線の強化も課題の1つである。多くの場合、新しい分野に関するデータの所在は、検索エンジンの結果に頼ることになるが、適切なコンテンツを見出すことは困難が伴う。コンテンツのプレゼンスを高めるためには、FAIR原則の第1項目がFindableであるように、PIDの付与、メタデータ記述の充実、安定運用されるデータリポジトリの利用、データリポジトリのレジストリへの登録、さらに研究データを利用する際のレファレンス機能の充実、権利やライセンス問題の調整などが含まれる。ただし、いずれの作業も、研究者単独では実現が困難で、データリポジトリ運営者など、専門スキルを持った人員の協力が不可欠となる。

実際に研究コンテンツを有機的に連結し、データの露出を高めるとともに、その利用機会を高める取り組みも各所で進められている。中でも2020年8月に国立国会図書館が公開したJapan Search[23]は、さまざまなデジタルアーカイブと連携し、メタデータを集約するつなぎ役となることで、横断的なコンテンツの検索と利用を促進するプラットフォームを提供し、注目を集めている。また、Japan Searchの構築に先立ち、デジタルアーカイブジャパン推進委員会・実務者検討委員会がまとめた調査報告書[24]では、デジタルアーカイブ運営、データの長期保存、公開と利活用、法的基盤の整備など、デジタルアーカイブのネットワーク構築に向けた課題とその解決への行動提案が詳細に記されており、他の分野でのデータ連携プラットフォームの構築、運用においても多くの示唆を与えている。

2.2 学術機関での取り組み状況

学術機関が実施する研究データ管理については、2014年前後に多発した研究不正事案に対する研究公正強化を目的として、規程レベルで見直しが行われた。ただし、その多くは「発表した成果の正当性を保証する研究データを研究者の責任でもって保存する」というものであり、大学のようにさまざまな学術分野を抱える機関では、学術分野ごとの慣習の差異などの理由により、機関レベルで実質的な取り組みにまで至っている事例は少ない。

研究データ管理支援体制の不備の一例として、科学研究費など、活動期間が限られたプロジェクトを通じて構築されたデータベースが、プロジェクトの終了や担当者の異動・退職などの理由により維持されなくなるという問題がある[25],[26]。国内ではオープンアクセスリポジトリ推進協会（JPCOAR）が、維持が困難になった学術コンテンツを図書館リポジトリなどに移管する、「データベース・レスキュー」の取り組みを進めている[27]。JPCOARが直接保護できるデータベースは限られるものの、この活動を通じて得られたノウハウを多く研究者や機関に広く展開することで、多くのデータベースが延命することが期待される。一方、この取り組みは過去のデータセットに対する措置であり、これからの研究プロジェクトについては、成果の永続性を担保する方法をあらかじめ用意し、これをDMPで明記し、実践するといった対応が求められることとなる。

学術機関側もこれらの状況に合わせて、オープンサイエンスに基づく研究データの公開と利活用、ひいては機関での学術コンテンツ戦略への対応を検討する段階にある。2018年内閣府により「国立研究開発法人におけるデータポリシー策定のためのガイドライン」が策定され[28]、研究開発法人が先行する形でデータポリシーの整備が進めている。また大学においても研究データポリシーを策定する動きもある[29],[30]。

2.3 分野・機関横断連携、共通基盤化の状況

研究者、学術分野、機関間での連携の要求に従い、ポリシー、サービス、システムといったさまざまなアーキテクチャレベルでの共通化が進むこととなる。たとえば、研究室レベルでは、ソースコード管理（例：github.com）、文献管理（例：Mendeley）といった個々の機能ごとにプラットフォームを選定することも多い。このほかには、測定・分析過程の自動化を進めるラボラトリ情報システム（Laboratory Information Management System, LIMS）、研究プロセスと議論の記録、管理を電子的に行う電子ラボノート（Electronic Laboratory Notebook, ELN）などの普及も進んでいる。これらのソリューションは、デファクトスタンダードとしての普及から、より多くの利用者の獲得から機関単位での契約、といった利用拡大戦略を見込み、企業間で積極的な競争が行われている分野もある。

全国規模でのオープンサイエンスとRDMの情報システム・サービス基盤として、2021年初頭には国立情報学研究所がリサーチデータクラウド（NII-RDC）の公開を予定している[31]。これは、Webインタフェースを通じた研究データの保存と共有、タイムスタンプによる証跡管理を支援する「管理基盤（Gakunin RDM）」、現行のJAIRO Cloudをデータリポジトリとして機能を拡大するとともに、データ管理基盤との連携によりプロジェクトマネジメントの一環として研究データの公開を支援する「公開基盤（WEKO3）」、研究データを含む幅広い学術情報を収集し、大規模ナレッジグラフとして分析することで、多様な情報探索空間を提供する「検索基盤（CiNii Research）」からなる。国立情報学研究所が運営する高速ネットワークと認証フェデレーション技術も活用し、国内すべての研究機関・研究プロジェクトにおいて、これらのRDM基盤を活用することで、オープンサイエンス時代に即した、信頼性の高い研究データの取り扱いと、研究データの検索、共有、公開を通じた、効率的かつ新しい研究プロセスの実現を目指している。

分野、機関が横断、連携し、研究データを共有・利用できるようにするには、FAIR原則にも掲げられるように、データオブジェクトの一意性を保証し、またURLなどによるアクセシビリティの確保が必要である。デジタルデータのIDとしては、論文と同様にDigital Object Identifier（DOI）が標準として普及している。DOIを付与されたデータは、所在の永続性が重要視されることから、データリポジトリは永続的な組織体制の下、運用されることを必要としている。従って研究者がデータにDOIを付与するには、DOI付与機能を有するリポジトリを研究者が選択し、データを登録することとなる。一方、大学や学術コミュニティが運営するリポジトリがDOI付与資格を

得るためには、Registry Agency (RA) からの承認が必要である。日本国内では、ジャパンリンクセンター (Japan Link Center, JaLC, <https://japanlinkcenter.org>) がRA組織として登録されており、日本語でのサポートを受けることができる[32]。

DOI以外にも、対象 (エンティティ) にPIDを付与し、デジタル空間で対象を識別するとともにその対象間の関係もデジタルで扱うためのエコシステムが構築されつつある。代表的な例として、人物 (ORCID, <https://orcid.org/> [33])、組織 (Research Organization Registry, <https://ror.org/> [34])、DOI間引用関係 (Open Citation Identifies, <https://opencitations.net/> [35])などが挙げられる。これ以外のさまざまなエンティティについてもPIDの様式、レジストリの運用は世界レベルで検討の途上であり[36]、日本国内においても情報の共有とキャッチアップが望まれる。

オープンサイエンスやRDMに関するポリシーや制度設計に関する知見の収集、分野・学術機関への展開については、業種・興味の対象ごとにグループが形成され検討が行われている。研究データ利活用協議会 (Research Data Utilization Forum, <https://japanlinkcenter.org/rduf/>) は、JaLCが推進するリポジトリ間の連携や運営に関する議論を通じオープンサイエンスを発展に寄与することを目的とし、2016年に設立された。これまで、研究データリポジトリの運用[37]、データの引用[38]、ライセンス適用[39]などに関するガイドラインを公開している。

機関リポジトリ運営者を中心とし2016年に発足したオープンアクセスリポジトリ推進協会 (JPCOAR, <https://jpcoar.repo.nii.ac.jp/>) では、機関リポジトリを通じた論文など書類のオープン化を起点とし、研究データのオープン化への道筋を検討している。先に挙げた「データベース・レスキュー」のほか、データリポジトリ向けデータスキーマ (JPCOAR Schema) の設計[40],[41]、オープンサイエンスと研究データ管理に関する教材作成[42],[43]などの取り組みを精力的に進めている。

情報基盤センタ関係者を中心に構成される大学ICT推進協議会 (AXIES) は、研究データマネジメント部会 (AXIES-RDM部会) を2017年に設立した。複数の学術分野が交差する大学では、全研究者を対象としたオープンサイエンス、RDMについて共通の合意点を見出しにくい。このような状況を鑑み、AXIES-RDM部会では、大学単位でのRDM支援体制を進めるための「意義と動機付け」「情報サービス設計」「情報インフラ整備」、そしてこれらを取りまとめた「組織的RDM支援フレームワーク」の構築を目標に活動を展開している。これまでに、機関執行部を対象としRDMの組織的対応の必要性を伝える「学術機関における研究データ管理に関する提言」[44],[45]、研究者へのRDMの理解醸成と実態調査を目的とした「大学における研究データに関するアンケート (雛形)」を公開している[46],[47]。AXIESはまた、2020年にORCID日本コンソーシアムのリード機関として、コンソーシアム加盟機関の取りまとめと、情報共有の場を提供している。

3. オープンサイエンス時代の新しい研究スタイルの確立に向けて

本稿では、オープンサイエンスと研究データ管理に関する最近の動向を、実施主体の視点から整理した。研究データを利用しやすい形で公開することが学術を含む社会全体の利益になることについては、アカデミアの内外を問わず合意しているが、どのデータをどのような形で公開するかといった具体的な方法についてはさまざまな議論があり、合意点を探りつつ実施している状況である。このような行為はこれまでの学術活動でも行われてきたが、現代のオープンサイエンスは、研究デ

ータのデジタル化による、情報の保存、複製、整理、分析、公開のコストが大幅に下がったこと、また誰もが情報の発信・受信者になり得ることで、新しいパラダイムをもたらすものとして期待されるとともに、どのステークホルダもこれを受容するため模索を続けている。

研究者は、これまでの研究室や学術分野での慣習に従い研究データの取り扱いを定めており、常に局所最適化を行っている。「優れた研究成果を効率的にアウトプットする」ことが研究者の第一のモチベーションであることを考慮すると、共通基盤としてのオープンサイエンスやRDMの取り組み（ポリシー、サービス、システムなど、その様態は多様である）は、より良い研究スタイルへの改善提案として受け入れられることとなる。翻って、新しい研究分野、新たなアカデミアへの参加者、新たな研究組織を対象として、共通基盤を最大限活用した研究データ管理、さらには、教育、評価なども含めた研究マネジメント全体の将来像を提示し、先鞭をつける取り組みが求められる。

日本国内においても、2016年前後を起点とし学術分野、業務分野ごとにコミュニティが形成され、オープンサイエンスに向けた、共通の組織、ルール、システムの検討が進められている。欧米のような巨大なネットワークとは言いがたいが、GO FAIRが掲げる柱に沿った取り組みは、いずれかの場で検討が進みつつある。ただし、多様な研究データとステークホルダが関係するオープンサイエンスとRDMの課題範囲は広大であるため、議論に参加する人員のさらなる拡大が必要である。2018年からはJapan Open Science Summit[48]が開催され、コミュニティ間の連携強化、オープンサイエンスへの関心を高める取り組みが進められており、今後の活動の広がりが期待される。

筆者個人の思い入れも多分に含むが、特に日本国内において先人の努力により蓄積された多量かつ良質な研究データを含む学術コンテンツの維持が困難になりつつある。しかしながら、学術コンテンツが持続的に維持されるには、その存在が広く認知され、さらに何らかの価値が見い出される必要がある。従来から存在する学術コンテンツであっても、世界的な共通なオープンサイエンスのフレームワークに則り、これらを流通させることは、時間、空間、手法などの独自のコンテキストを持つデータとして、「グローバル」視点での新たな価値を付加することにもつながる。また、オープンな研究データを通じた一般企業や市民研究者との交流の活性化は学術コンテンツ流通のエコシステムを強固にすることが期待される。デジタル時代のオープンサイエンスの展開が、学術コンテンツの価値の向上、新たな学術分野の開拓、そしてアカデミアの内外を問わず学術分野の裾野の拡大につながることを期待したい。

参考文献

- 1) 林 和弘：オープンサイエンスの進展とシチズンサイエンスから共創型研究への発展，学術の動向， Vol.23, No.11, pp.12-29, https://doi.org/10.18919/jkg.70.3_140 (2018)
- 2) 池内有為：オープンサイエンスの効果と課題—新型コロナウイルスおよびCOVID-19に関する学術界の動向，情報の科学と技術， Vol.70, No.3, pp.140-143, https://doi.org/10.18919/jkg.70.3_140 (2020)
- 3) 内閣府：統合イノベーション戦略, <https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/index.html> (Mar. 8 2021 参照)
- 4) 日本学術会議：提言「オープンサイエンスの深化と推進に向けて」のポイント, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-24-t291-1-abstract.html> (Mar. 8 2021 参照)
- 5) 科学技術振興機構：「オープンサイエンス促進に向けた研究成果の取扱いに関する JST の基本方針」運用ガイドライン, https://www.jst.go.jp/pr/intro/openscience/guideline_openscience.pdf (2020)
- 6) 日本医療研究開発機構：AMED研究データ利活用にかかわるガイドラインおよびデータマネジメントプランの提出の義務化について，

- <https://www.amed.go.jp/koubo/datamanagement.html> (Mar. 8 2021 参照)
- 7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメントについて, https://www.nedo.go.jp/jyouhoukoukai/other_CA_00003.html (Mar. 8 2021 参照)
- 8) 文部科学省：研究活動における不正行為への対応等に関するガイドライン, https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/08/_icsFiles/afieldfile/2014/08/26/1351568_02_1.pdf (2014)
- 9) 林 和弘：オープンサイエンス政策, 研究データ基盤整備の現状と課題, 研究・イノベーション学会年次大会講演要旨集, Vol. 34, pp.354-357, <http://hdl.handle.net/10119/16602> (2019)
- 10) FORCE11 : FAIR DATA PRINCIPLES, <https://www.force11.org/group/fairgroup/fairprinciples> (Mar. 8 2021 参照)
- 11) Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I., et al. : The FAIR Guiding Principles for Scientific Data Management and Stewardship, Sci Data, Vol.3, 160018, <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18> (2016)
- 12) 大波純一, 八塚 茂, 信定知江, 箕輪真理, 三橋信孝, 畠中秀樹：データ共有の基準としてのFAIR原則, <https://dx.doi.org/10.18908/a.2018041901> (2018)
- 13) Jacobsen, A., Azevedo, R. M., Juty, N., Batista, D., Coles, S., Cornet, R., Courtot, M., et al. : FAIR Principles: Interpretations and Implementation Considerations, Data Intelligence 2 (1-2), pp.10-29, http://dx.doi.org/10.1162/dint_r_00024 (2020)
- 14) Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Sansone, SA., et al. : Evaluating FAIR Maturity Through a Scalable, Automated, Community-governed Framework. Sci Data, Vol.6, p.174, <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0184-5> (2019)
- 15) Lin, D., Crabtree, J., Dillo, I., et al. : The TRUST Principles for Digital Repositories, Sci Data, VI7, 144, <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0486-7> (2020)
- 16) 南山泰之：データリポジトリの信頼性に関するTRUST原則, カレントアウェアネス-E, No. 397, E2296, <https://current.ndl.go.jp/e2296> (2020)
- 17) European Open Science Cloud (EOSC) : https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/goals-research-and-innovation-policy/open-science/eosc_en (Mar. 8 2021 参照)
- 18) 村山泰啓, 林 和弘：欧州オープンサイエンスクラウドに見るオープンサイエンスおよび研究データ基盤政策の展望, STI Horizon, Vol.2, No.3, Part13, <http://doi.org/10.15108/stih.00044> (2016)
- 19) GO FAIR : <https://www.go-fair.org/> (Mar. 8 2021 参照)
- 20) GO FAIR : Data Together Statement, <https://www.go-fair.org/2020/03/30/data-together-statement/> (Mar. 8 2021 参照)
- 21) 林 寛生：大学間連携事業IUGONETの取り組み, 学術の動向, Vol.17, No.6, pp.52-55, https://doi.org/10.5363/tits.17.6_52 (2012)
- 22) 科学技術振興機構：データの共有と統合で生命科学に変革を, JSTNews, Vol.2020, No.12, pp.2-4, https://doi.org/10.1241/jstnews.2020.12_2 (2020)
- 23) Japan Search : <https://jpsearch.go.jp/> (Mar. 8 2021 参照)
- 24) デジタルアーカイブジャパン推進委員会・実務者検討委員会：我が国が目指すデジタルアーカイブ社会の実現に向けて, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/digitalarchive_suisiniinkai/index.html (2020)
- 25) Amano, E. and Minamiyama, Y. : Reviving Past Research Data by Utilizing Institutional Repositories, 14th International Conference on Digital Preservation (iPRES2017), Kyoto Japan, <http://id.nii.ac.jp/1458/00000028/> (Sep.25-29/2017)
- 26) 大園隼彦：米国国立農学図書館によるデータレスキュープロジェクト, カレントアウェアネス-E, No.403, E2328, <https://current.ndl.go.jp/e2328> (2020)
- 27) JPCOARデータレスキュープロジェクト：2019年度の活動とレスキュー事例, <http://id.nii.ac.jp/1458/00000204/> (2020)
- 28) 内閣府：国立研究開発法人におけるデータポリシー策定について, <https://www8.cao.go.jp/cstp/stsonota/datapolicy/datapolicy.html> (Mar. 8 2021 参照)

- 29) 京都大学：研究データ管理・公開ポリシー，
<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research-policy/kanrikoukai> (Mar. 8 2021 参照)
- 30) 名古屋大学：学術データポリシー，<http://www.icts.nagoya-u.ac.jp/ja/datapolicy/>
(Mar. 8 2021 参照)
- 31) NII研究データ基盤 (NII Research Data Cloud) の概要：<https://rcos.nii.ac.jp/service/>
(Mar. 8 2021 参照)
- 32) 研究データへのDOI登録ガイドライン：https://dx.doi.org/10.11502/rd_guideline_ja
(2015)
- 33) ORCID日本コンソーシアム：<https://orcid-jp.net> (Mar. 8 2021 参照)
- 34) 中島律子：組織IDの動向-RORを中心に，カレントアウェアネス，No.344，CA1976，
<https://current.ndl.go.jp/ca1976/> (2020)
- 35) 佐藤 翔：オープン・サイテーションのいま，情報の科学と技術，Vol.69，No.10，pp.480-482，https://doi.org/10.18919/jkg.69.10_480 (2019)
- 36) Ferguson, C., McEntrye, J., Bunakov, V., Lambert, S., Sandt, S., Kotarski, R., Stewart, S., et al. : D3.1 Survey of Current PID Services Landscape，
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1324296> (2018)
- 37) 研究データ利活用協議会 ジャパン・データリポジトリ・ネットワーク小委員会：研究データリポジトリ整備・運用ガイドライン (JDARN案)，
https://japanlinkcenter.org/rduf/doc/jdarn_attachment4.pdf (Mar. 8 2021 参照)
- 38) 池内有為，野村紀匡，能勢正仁：「データ引用原則の共同宣言」：データ引用を学術界の慣習に，カレントアウェアネス-E，No.386，E2234，<https://current.ndl.go.jp/e2234> (2020)
- 39) 研究データ利活用協議会 研究データライセンス小委員会：研究データの公開・利用条件指定ガイドライン，https://doi.org/10.11502/rduf_license_guideline (2019)
- 40) JPCOAR Schema：<https://github.com/JPCOAR/schema> (Mar. 8 2021 参照)
- 41) 大園隼彦，片岡朋子，高橋菜奈子，田口忠祐，林 豊，南山泰之：JPCOARスキーマの策定：日本の学術成果の円滑な国際的流通を目指して，情報管理，Vol.60，No.10，pp.719-729，
<http://dx.doi.org/10.1241/johokanri.60.719> (2018)
- 42) 前田翔太，西菌由依，山地一禎，大園隼彦，南山泰之，三角太郎，天野絵里子：RDMトレーニングツール，<http://id.nii.ac.jp/1458/00000023/> (2017)
- 43) 尾城孝一：研究データ管理を担う人材育成のための教材開発，情報の科学と技術，Vol.69，No.5，pp.216-218，https://doi.org/10.18919/jkg.69.5_216 (2019)
- 44) 大学ICT推進協議会：学術機関における研究データ管理に関する提言，
<https://axies.jp/report/publications/proposal/> (2019)
- 45) 船守美穂，青木学聡，外山勝彦，山地一禎：日本の学術機関における研究データ管理体制整備の課題と試み，情報処理学会研究報告インターネットと運用技術 (IOT)，2019-IOT-47，17，pp.1-8，<http://id.nii.ac.jp/1001/00199426/> (2019)
- 46) 大学ICT推進協議会：「大学における研究データ管理に関するアンケート (雛形)」の公開について，<https://rdm.axies.jp/sig/24/> (2020)
- 47) 青木学聡，船守美穂，松原茂樹，結城憲司，宮本貴朗，西村浩二：研究データマネジメントに関する研究者アンケートの設計と実施，情報処理学会研究報告インターネットと運用技術 (IOT)，2020-IOT-48，14，pp.1-8，<http://id.nii.ac.jp/1001/00203410/> (2019)
- 48) Japan Open Science Summit：<https://joss.rcos.nii.ac.jp/> (Mar. 8 2021 参照)



青木学聡（正会員） aoki.takaaki@nagoya-u.jp

2000年京都大学工学研究科博士課程修了，博士(工学)。NEDO委託事業研究員を経て，2005年京都大学工学研究科産学官連携助手，2007年同講師，2016年京都大学情報環境機構准教授。2020年名古屋大学情報連携推進本部情報戦略室教授。

採録決定：2021年1月18日

編集担当：吉野松樹（（株）日立製作所）

統合データベースプロジェクトから学ぶこと

高木利久¹

¹富山国際大学

生命科学は、ヒトゲノムの解読以来、ビッグデータを基盤としたデータ駆動型の研究に変貌を遂げつつある。このような背景のもと、約15年前に我が国におけるこの分野のデータの共有・統合を目指す統合データベースプロジェクトが開始され、それを推進するためのデータベースセンタも整備された。本稿では、この15年にどういうことがあったのか、そこから得られた教訓は何か、僭越ながらそれらを「10の教え」としてまとめたので紹介する。

1. 生命科学データの共有と統合に向けて

生命科学のデータは膨大であるだけでなく種類も多く、また、計測時の文脈依存性などもあり、一言でいえば扱いにくい性質を多々備えている。そのため、単にそれらをデータベースの形で格納するだけでは十分に活用することができない。一方で、データの持つ潜在的な価値ゆえにデータは生産者に囲い込まれがちになる。そこで、15年ほど前より、文科省を中心に、生命科学分野の、公的資金により産出されたデータの共有を促進するとともに、データのフォーマットや意味の標準化を図り、複数のデータベースにまたがる解析を可能することにより（統合化）、データ活用の利便性を大幅に高めるためのプロジェクト「統合データベースプロジェクト」が開始された。また、このプロジェクトの推進のためのセンタも整備された。この15年の間に、生命科学分野では、当初の想定を上回る形でデータの種類も量も増え、統合データベースプロジェクトの意義、アプローチも変化した。また、これを推進する国の体制、データ共有のルール、研究の進め方などにも大きな変化があった。もちろん世界的にも大きな動きが種々あった。本稿では、生命科学分野の統合データベースプロジェクトを取り巻く状況とその変遷を紹介することを通して、プロジェクトの成果と課題を総括する。内容は生命科学に特化したものではあるが、そこから得られる教訓はほかの分野のデータベースの開発・運用にも通用する面があるのではないかと考え、ここに紹介する次第である。

2. プロジェクト前夜 —情報時代の幕開け—

これは大学共同利用研究機関法人の情報・システム機構（以下ROISと略す）の機構長をされていた堀田凱樹先生に教えていただいた話であるが、「生命科学ではおおよそ50年の周期で革命的なことが起きている。第1が1900年のメンデルの法則の再発見、その次が1953年のDNAの相補的な二重らせん構造の発見、そして第3が2001年のヒトゲノムの解読（正確には2001年はヒトゲノム概要配列の決定で、配列の完全決定は2003年）である」と。

最初の2つの発見の意義はさておき、3番目の2001年のヒトゲノムの解読は確かに生命科学に非常に大きな変化をもたらした。仮説を立てそれにかかわりそうなデータを実験で集め、検証するのではなく、最初にすべてのデータを網羅的に集めてしまって、それをベースに研究を展開するというアプローチが主流になった。今日データ駆動型科学と呼ばれる研究アプローチへの転換である。別の言い方をすれば生命科学

研究において情報時代の幕が切って落とされたのである。ヒトゲノムの解読を受け、ほかの生物種のゲノム解読が促進されただけでなく、ゲノムの意味、機能を明らかにするために、ポストゲノムと呼ばれるプロジェクト、たとえば、すべてのタンパク質（プロテオームと呼ぶ、詳しくはコラム参照）の構造や機能を明らかにしようとするプロジェクト、なども続々と名乗りを上げた。

（コラム）オーム、オーミクス

genome（ゲノム）という単語の後半の-omeは「総体」を意味する接尾辞である。遺伝子すべてを表すgenome（gene+ome）に倣って、タンパク質すべてをproteome（protein+ome）、mRNAなどの転写物全体をtranscriptome（transcripts+ome）などと呼ぶ。生体にはさまざまなオーム（ome）があり、ポストゲノム時代は多くの種類のオームが研究されるようになった。このような網羅的なデータの研究をオーミクス研究（omics）と呼ぶ。

ヒトゲノム解読の時期は、ちょうど20世紀から21世紀への変わり目と一致したため、我が国でもいわゆるミレニアムプロジェクトという形で、生命科学分野でも多くのオーミクスプロジェクトが実施された。誤解を恐れずに言えば、これらはすべて、膨大なデータを出すことを目的の1つとするものであった。ゲノムにとどまらずポストゲノムの観点からも、情報時代が大きく幕を開けたのである。

このような大規模データ生産の機運の高まりを受け、科学技術振興機構（以下JSTと略す）に2001年にバイオインフォマティクス（コラム参照）推進センター（以下BIRDと略す）が設置された。当時の科学技術庁に設けられたゲノム科学委員会の報告[1]を受けてのものであった。BIRDでは、ファンディングの形で「基盤的データベースの構築支援、情報時代に対応する研究開発、バイオインフォ人材育成」の3本柱が推進された。研究開発の公募では情報系と生物系の融合を目指す提案が求められた。データベース構築支援では、国際的なタンパク質立体構造データベースの日本拠点である日本蛋白質構造データバンク（以下PDBjと略す）や2018年にクラリベイト・アナリティクス引用栄誉賞を受賞したKEGGデータベースなどの発展の基盤がこの時に作られた。人材的にも、現在世界的に活躍している多くのバイオインフォマティクス研究者がBIRDの支援で育った。結局BIRDは2011年までの10年続いた[2]。

（コラム）バイオインフォマティクス

この学問分野は、その名の通り、バイオ（生物）のためのインフォマティクスを研究する分野であるが、その後学問が進展して、インフォマティクスを使ってバイオを研究する分野の意味でも使われるようになった。また、バイオの意味も基礎生物学だけでなく、医学や農学などの応用科学の意味も含有するようになってきている。なお、BIRDが設立された頃は、バイオインフォマティクスという言葉はそれほど普及していなくて、BIRD設立のきっかけとなった政府の報告書ではゲノム情報科学と呼ばれていた。

ところで、情報時代の幕開けは、実は、BIRD設立の10年前の1990年頃にはすでに予見されていた。1990年は、世界的にヒトゲノムプロジェクトが走り出した時期に当たるが、その当時の米国の計画[3]には、データベースや情報解析がこのプロジェクトの成否を握ると書かれている。このような認識の下、我が国でもヒトゲノムプロジェクトの推進センターとして1991年に東京大学医科学研究所に設置されたヒトゲノム解析センターでは当初設置の3講座のうち2講座は情報系の講座—データベース分野とDNA情報解析分野（どちらも当時の名称）—であった。個人的なことでは恐縮であるが、筆者は縁あって当時在職していた九州大学から設置まもないヒトゲノム解析センターデータベース分野に移りデータベース開発を担当することになった。これを契機として今日まで生命科学系のデータベース開発に携わることになった。

3. 統合データベースプロジェクトいよいよ始まる

2000年頃に幕を開けた情報時代であったが、その後の展開は質、量ともに予想をはるかに超えるものであった。2000年頃はゲノム研究もポストゲノム研究も基礎研究としての意味合いが強かったが、2005年頃に出現した次世代シーケンサー（以下NGSと略す）と呼ばれるゲノム配列決定装置の革命的とも言える進歩が世の中を大きく変えた。30億塩基からなるヒトゲノム1人分相当を決めるのに、2000年頃は100億円規模の予算が必要であったが、その後10年ほどの間に10万円ほどまでにコストが下がり、医学などへの応用が一気に花開くことになった。NGSの性能の伸びはムーアの法則をはるかにしのぎ10年ほどで性能が1万倍になった。これにより生命科学がまさにビッグデータ分野の1つと認識されるようになったのである。

もう1つの展開は、先に述べたポストゲノムプロジェクトの動きである。NGSほどではないが、質量分析器や顕微鏡などにも大きな技術革新があり、ゲノム以外でも精度の高いデータがより安価に大量に得られるようになった。これによりそれらのデータを格納したデータベースの重要性が飛躍的に高まり、多くの研究者が独自のデータベースを自前で作り情報を発信するようになった。

その一方で、前述のミレニアムプロジェクトなどで作られた多くのデータベースがプロジェクトの終了と同時に維持管理の費用が捻出できずに捨てられる、あるいは、どこかに死蔵されるという問題も出てきた。プロジェクトの多くはデータ生産が大きな目的の1つであったにもかかわらずこのようなことが起きてしまったのである。BIRDで支援されていたものは基盤的なデータベースに限られていたため、残念ながら、それ以外のデータベースはこのような運命を辿ることになったのである。

このようなデータやデータベースをめぐる状況を背景にして、内閣府を中心に2005年頃より統合データベースプロジェクト（以下、統合プロジェクトあるいは単にプロジェクトと略す）の構想が浮上したのである。その当時内閣府で連携施策群「生命科学の基礎・基盤」の推進という施策が行われた。これは各省庁で実施されている施策に重複がないか、あるいは、欠落がないかを問うものであった。この中で統合データベースの必要性が浮上したのである。背景には、先ほど述べたように、生命科学分野で大量にデータが産出されているが、それらが死蔵され、あるいは、バラバラにデータベース化され、有効活用されていない（統合データベースの欠如）という状況があった。科学技術振興調整費を使って国内外のデータベースの構築状況とその背後にある問題が調査された[4]。国立遺伝学研究所の大久保公策教授を中心とした調査チーム[5]により、我が国において「データ共有のルール作り」と「その受け皿となるセンター」の必要性が明らかになった。

内閣府の調査結果を受ける形で、文科省、経産省、農水省、厚労省それぞれにおいて、相次いで、統合プロジェクトあるいはそれに類するプロジェクトが立ち上がった。以下の章では、これらの中で一番規模が大きく、また、永続的に進められてきた文科省のプロジェクトを中心に紹介することとする。

4. 諸外国におけるデータベース構築とデータベースセンタ

ここで、生命科学分野のデータベースに関して、外国での動きにも少し触れておこう。

米国では、1964年に文献データベースPubMedの前身が、1969年に遺伝子変異疾患データベースMIMが、1971年にタンパク質立体構造データベースPDBが、1982年に核酸塩基配列データベースGenBankが、それぞれ立ち上がっている。欧州では、1980年に核酸塩基配列データベースの前身が作られている。これらは現在、生命研究になくてはならないデータベースになっている。

ところで、これらのデータベースが現在も更新され、有効に機能している背景には、

- (A) データの共有（データベースへの登録）が義務化されていること、
- (B) その受け皿である恒久的センタが存在すること、

の2点が挙げられる。前者に関して言えば、公的資金配分機関（米国だと国立衛生研究所（以下NIHと略す）によるものと出版社によるものがある。多くの出版社は論文投稿前にその根拠となるデータをデータベースに登録することを義務化している。これらのデータ共有の圧力により、常に最新のデータが漏

れなくデータベースに入っているのである（注：生命科学のすべての種類のデータについて出版前のデータ登録が義務化されているわけでない。しかし、その種類はどんどん増えている）

なお、ヒトゲノムプロジェクトでは、データの即時（解析後24時間以内の）公開と自由な利用に関して関係者の間で1996年に合意が形成された。これをバミューダ原則と呼ぶが、このような考えが生命科学にはしっかりとされており、データの共有が進む大きな要因となっている[6]。

さて、上記（B）で言及したデータベースセンタとしては、米国のNCBIと欧州のEBIがある。これらはそれぞれ1988年、1992年の創立である。これらのセンタの規模感であるが、数十億円から百億円の予算規模で、数百人規模の研究者が雇用され、数十ペタバイトの容量のディスクが設置されている。なお、日本では1987年に国立遺伝学研究所にDDBJセンターが設置され、NCBI、EBIと連携して国際塩基配列データベースを協同運営している。このデータベースは世界中の誰でもデータの登録や利用ができるもので、人類の共有財産となっている。

データ共有、データベース構築については、最近、国内外でさまざまな動きがあり、それについては後ほど改めて触れることにする。データベースの歴史、統合プロジェクト初期の取り組みなどについて興味のある方は、少し古いもので恐縮だが、文献[7]を参照されたい。

5. DBCLS時代 —統合プロジェクト第1期—

先に述べたように、内閣府の動きに呼応する形で、2005年に文科省ライフサイエンス委員会の下にデータベース整備戦略作業部会が作られ、その報告[8]を受けて、2006年後半より統合プロジェクトが立ち上がった。このプロジェクトは2006年9月から2011年3月までの4年半の限定的プロジェクトとしてスタートした。正確には2006年は半年間の試行的プロジェクトとして、2007年4月から4年間の本格プロジェクトとして実施された。そして、2007年4月には、このプロジェクトの推進センタとしてROISにライフサイエンス統合データベースセンターDBCLSが設立された。

ROISにはその配下の国立遺伝学研究所にDDBJセンターがすでに存在していたが、種々の事情から、同じROIS内にもう1つのセンタDBCLSが作られることになった。これが後々に尾を引くことになる。このことについては最後に触れる。

さて、統合プロジェクト設立に至る、我が国の生命科学分野のデータベースの置かれた状況を図1に示す。これはその当時私が統合プロジェクト説明のために使用していたスライドである。また、図2にその当時のプロジェクトの考え方を示す。この解説は割愛するが、当時（約15年前）の状況がそれなりにご理解いただけるものと思う。

- DBが散在していて所在情報や利用法が分からない
 - 似たようなものがいくつもありどれを使ってよいか分からない
- DBやDBのエントリに信頼性の高い注釈がついていない
 - DB構築、維持を行える人材不足、DB構築への評価の低さ
- 大型プロジェクトの成果公開が不十分
 - 公開されているものもプロジェクトが終了すると更新ストップ
- ばらばらに構築・管理されていて検索・解析・応用が困難
 - 現在の統合化は分子レベルで行われていて医療などへの応用困難
 - 日本語化されていないので研究動向や分野の状況の把握困難
- 不可欠な基盤なのに我が国にはDB戦略がない

図1 我が国におけるライフサイエンスDBの問題点

- 技術面だけではなく制度面での取り組み
 - データの権利関係、個人情報の取り扱い、なども
- 統合は手段であり、目的ではない
 - 物理的に一つのDBが目的ではないし、現実的でない
 - 望ましい整備、統合は研究分野や利用者毎に異なる
 - 統合のあり方は研究の進展とともに変化する
- 目的は生命研究の研究開発の効率や質の向上
 - 必要十分なデータにすばやく辿り着ける
 - 公開ではなく**共有化**を図り、**データマイニング**を可能に
- 研究開発に関わるデータすべてを対象に
 - データだけでなく、**文献(論文、総説)**、**図表**、**特許**等も

図2 整備、統合に対する考え方

ところで、この期に及んで恐縮だが、なぜデータベースの統合が必要なのだろうか？ それは生命科学のデータには厄介な性質があるからである（図3）。生命科学以外でも類似の性質を持った分野があるのかもしれないが、ここでは生命科学特有と表現しておく。生命研究から出てくるデータはこのような性質を持っているので、そのままではほかの研究者が出したデータをうまく活用できない。そこで、データやデータベースの統合（ID、専門用語などオントロジーやフォーマットを揃える）が必要になるのである。生命科学は目的や実験手法が異なる多数のプロジェクトから成り立っているが、それらのプロジェクトごとに遺伝子などの実体は同じなのに違うIDがついていたりして、また、データ取得時の文脈依存性などがあり、それらを寄せ集めて「ビッグなデータ」としても正しい統計処理や機械学習が行えない。生命科学のデータはそのままでは新たな仮説や規則を生み出す基盤という意味でのビッグデータ足りえず、それを統合して初めてビッグデータとして価値のあるものになるのである。統合プロジェクトはそのためのものである。もちろん、個々人のゲノム情報などは個人情報保護の対象なので、統合化処理に加え、匿名化やデータへのアクセスに制限を課すような運用も必要になる。

- 自分の専門外のDBや文献を使う必要性あり
 - ゲノムは生物横断的、テキストマイニング必要
- DBや解析ツールの数が多すぎて使い方不明
 - 生体内相互作用DBだけでも500以上のDB
- 注釈が信頼性のあるものとないものが混在
- フォーマットや用語がバラバラ
 - 遺伝子の概念さえDBによって違う
 - 同じ遺伝子にも多数の名前あり
- データの文脈依存性、曖昧性、冗長性、複雑性
- 生物の特殊性を考慮したデータ処理技術必要
- 単純にレポジトリするだけでは再利用性低い

図3 生命科学におけるデータの利活用に関する障害

ここで、DBCLS時代の統合プロジェクトの主な成果と問題点を挙げておく。第1の成果は、公的資金で行われた研究から得られたデータをデータベースに登録することのお願いを協力依頼という形でその研究の公募要領に記載してもらったことである（科学研究費の記載例を図4に示す）。協力依頼の文言は、最初

は文科省ライフサイエンス課の委託プロジェクトに記載され、その後、科学研究費や他省庁などの研究公募にも広がっていった。データ共有の義務化までにはなっていないが大きな前進であった。

4 バイオサイエンスデータベースセンターへの協力

バイオサイエンスデータベースセンター ([URL:https://biosciencebc.jp/](https://biosciencebc.jp/)) は、様々な研究機関等によって作成されたライフサイエンス分野データベースの統合的な利用を推進するために、国立研究開発法人科学技術振興機構に設置されています。

同センターでは、関連機関に積極的な参加を働きかけるとともに、戦略の立案、ポータルサイトの構築・運用、データベース統合化基盤技術の研究開発、バイオ関連データベース統合化の推進を四つの柱として、ライフサイエンス分野データベースの統合化に向けて事業を推進しています。これによって、我が国におけるライフサイエンス分野の研究開発が、広く研究者コミュニティに共有かつ活用されることにより、基礎研究や産業応用研究につながる研究開発を含むライフサイエンス分野の研究全体が活性化されることを目指しています。

ついでに、ライフサイエンス分野に関する論文発表等で公表された成果に関わる生データの複製物、又は構築した公開用データベースの複製物について、同センターへの提供に御協力をお願いします。

なお、提供された複製物については、非独占的に複製・改変その他必要な形で利用できるものとします。また、複製物の提供を受けた機関の求めに応じ、複製物を利用するに当たって必要となる情報の提供にも御協力

55

をお願いすることがありますので、あらかじめ御承知をお願いします。
また、バイオサイエンスデータベースセンターでは、ヒトに関するデータについて、個人情報の保護に配慮しつつ、ライフサイエンス分野の研究に係るデータの共有や利用を推進するためにガイドラインを策定しています。

図4 科研費公募要領に記載のデータ提供協力依頼

成果の2つ目は、統合プロジェクトが、文科省、経産省、農水省、厚労省、の4省連携で実施されたことである。これはその後2011年の4省合同ポータルサイトに結実することになった。細かいことは省略するが、今でもこの連携体制は基本的に維持されている。4省の連携に際しては、最初に統合の道筋に関して合意がなされ、それに沿ってプロジェクトが進められている。そのロードマップを図5に示す。現在は第4段階の「再構築」のフェーズにある。

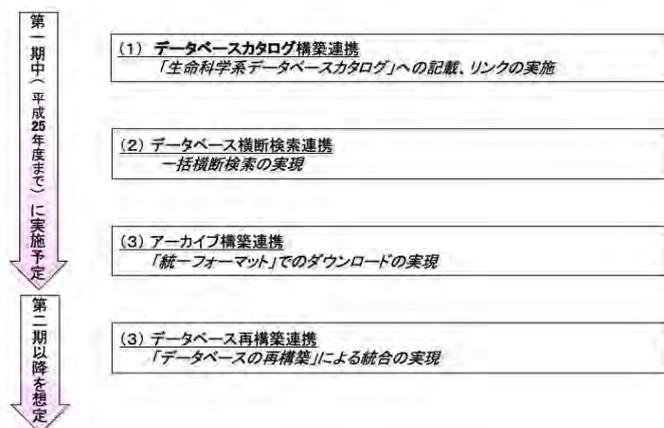


図5 関連4省の統合化のステップ

成果の3つ目は、多様化・複雑化するデータの標準化に関してデータベース開発の実務者による国際連携の仕組みが日本主導でできたことである。生命分野のデータ産出において、日本からの貢献は1割もない（DBJセンターへのデータ登録で見るとおおよそ数パーセント）と推測される。このような状況では、外国で産出された膨大なデータと組み合わせて活用することが不可欠であり、その点で、フォーマット、オントロジー、IDなどが日本固有のガラパゴス的なものでは意味がない。

この問題を解消するために、DBCLSでは2008年より毎年国際バイオハッカソン[9]を開催してきた(2011年より後述のバイオサイエンスデータベースセンター(以下NBDCと略す)も主催者に加わるようになった。2020年はコロナ禍のため国際版は開催中止)。外国のデータベース開発実務者を毎年日本に招いて1週間の合宿を行い、データの標準化や連携を図ってきた。ハッカソンの成果は2019年に運用を開始したbiohackrxivプレプリントサーバ(<https://biohackrxiv.org/>)で公開されている。各国のデータベース開発者との議論の中から多くの成果が得られたが、その1つがオープンサイエンスにおけるデータ公開の適切な実施方法を表現したFAIR原則(コラム)誕生への貢献である[10]。

(コラム) FAIR原則

Findable, Accessible, Interoperable, Reusableの頭文字を取って命名された原則。データの共有、公開の際に守るべき規範を示したもの。これを守ったデータはオープンサイエンスで利活用しやすい。興味のある方は以下の解説記事(英文の日本語訳)や本特集号の解説論文[11]を読んでいただきたい。

<https://biosciencedbc.jp/about-us/report/fair-data-principle/>

さて、DBCLS時代の問題は、統合プロジェクトが多くの機関で分担して行われたことである。図6にその当時の体制図を示す。多くの機関、多くのデータベースがオールジャパン的に参加・連携したと言う点では良かったが、分担機関の選定にDBCLSが直接関与してなかったこともあり、各データベースのバラバラ感は残ってしまった。この当時は連携構築やデータ共有の仕組み作りの問題への対応が大変で、各データベースで使用するIDの統一などまでは十分に踏み込んでいなかった。それは次のNBDC時代まで持ち越された。

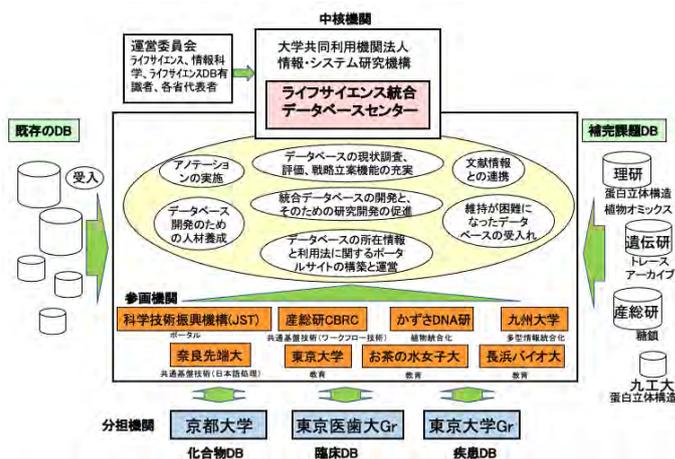


図6 2007年頃の統合データベースプロジェクトの体制図

DBCLSの活動の成果の詳細について興味のある方は、下記のサイトを参照いただきたい。

<http://dbcls.rois.ac.jp/>

6. NBDC時代 —統合プロジェクト第2期—

さて、前章で述べたように、文科省の統合プロジェクトはまずは4年半の時限プロジェクトとして実施された。当然のことながら4年半後にどうするかということが問題となった。データベースは永久には言わないまでも、ほんの数年で運用をやめてよいものではない。2011年3月の時限プロジェクト終了に向けて、当時の内閣府総合科学技術会議および文科省それぞれでこの問題を議論する委員会が作られ、それぞれ報告書が取りまとめられた[12],[13]。その結果、先行していたBIRDの役割や機能もある程度引き継ぐ形でJSTにNBDCが作られることになった。ただし、DBCLSは残し、NBDCでは困難な統合技術開発と人材育成機能を担うことになった。NBDCでは、戦略機能、ポータルサイト運営機能、ファンディングによる分野ごと（たとえば、植物分野とか微生物分野など）の統合データベース構築を担うこととなった。

NBDC (+DBCLS) の活動の主な成果と問題点を以下に述べる。成果としては、日本人ヒトゲノムデータベース構築[14]とその二次データベースであるTogoVar[15]開発がまず挙げられる。前者は主に日本人ゲノムの変異をアーカイブしたデータベースである。米国のdbGap、欧州のEGAに相当するものである。TogoVarは、外国で作られているヒトゲノム変異データベースや関連文献と、日本人ゲノム変異のデータ（NBDCヒトデータベースからの分も含め）とをまとめてワンストップで検索可能にしたシステムである。NBDCヒトデータベースもTogoVarもどちらも今では我が国のゲノム医学研究に欠かせないデータベースとなっている。

ところで、ヒトゲノムは究極の個人情報であり、その運用には「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針」などの指針を遵守することが求められる。上記ヒトゲノムデータベースを運用するにあたり、指針を踏まえたデータ共有ガイドラインや情報セキュリティガイドラインが必要となる。このようなガイドライン[14]を作成したことも本プロジェクトの大きな成果だと考えている。このようなガイドラインは本来は国主導で決めることが望ましいが、種々の事情からそれが叶わなかったため、NBDCが率先して策定したものである。これらのガイドラインは、ヒトゲノムなどの機微データを扱うほかのデータベース（日本医療研究開発機構（以下AMEDと略す）のAGDなど）で参考にされるまでになっている。

NBDCのもう1つの成果はRDF（Resource Description Framework）によるデータ統合である。図3に示したように、生命科学データは曖昧性、文脈依存性、などの特徴があり、それゆえ、データベースごとにIDやオントロジーがバラバラである。この辺りの整理をしないと、複数のデータベースにまたがる検索や知識発見は簡単には行えない。我々はRDFを用いて、主要なデータベースを記載しており、これにより複雑で柔軟な検索を可能としている。もちろん、ゲノム配列や画像などはRDFには馴染まないため、それはそれでRDF以外の枠組みでデータ統合を図っている。

NBDCの活動の成果の詳細について興味のある方は、下記のサイトを参照いただきたい。

<https://biosciencedbc.jp/>

なお、このサイトには統合プロジェクトの目標の解説や各種調査結果なども記載しているので、ご覧いただければ幸いです。たとえば、細胞工学という雑誌に2011年から2012年にかけて掲載された連載「我が国のデータベース構築・統合戦略」の原稿なども下記から見る事ができる。

<https://biosciencedbc.jp/about-us/report/>

7. 目まぐるしい動き

NBDCができてちょうど10年になるが、この間、当初の想定を超えるような動きが国内外でさまざま起きている。生命科学やバイオ産業を取り巻く状況は激しく変化している。とてもすべてを紹介する紙面はないが、皆さまの関心ありそうなものを少しだけピックアップして紹介する。

7.1 さらなるビッグデータ

第2章、第3章で述べたビッグデータ化の動きはさらに加速・拡大しつつある。医学分野では、世界各国で数十万人規模でゲノムその他のオミックスデータ、臨床情報、生活習慣情報を（時系列にそって）網羅的に集めるプロジェクトが進行中である[16]。また、診療録レセプト、疾患レジストリ、などのいわゆるリアルワールドデータの活用も視野に入ってきた[17]。また、このようなデジタルトランスフォーメーション（DX）化の動きは、医学に限らず、農業分野などでも起きてきており（例：バイオエコノミー[18]）、生命研究、バイオ産業が新たなステージに入ろうとしている。さらに、これからは、オープンなデータだけでなく、民間企業などが保有するクローズドなデータとを組み合わせた統合解析、などの新しい技術も必要になってきている。国の方でも健康・医療戦略[19]、バイオ戦略[20]を立て積極的な展開を始めている。

7.2 国際連携の広がり

医学分野では、GA4GH[21]という国際アライアンスがヒトゲノム情報などの共有に関して積極的な活動を展開している。さまざまな取り組みがあるが、たとえば、機械可読なインフォームドコンセント（これによりこれとユーザ認証を組み合わせることによりどのデータは誰に見せて良いか機械的に判断できる）、動的インフォームドコンセント、データビジティング（機微データをほかのサイトに持ち出さずに、機微データのある場所に解析プログラムを送り込んで解析する方法）、など新しい仕組みの提案がなされている。一方で、オープンサイエンスに逆行する動きもある。生物多様性条約の名古屋議定書にある「遺伝子資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分を実現する」のルールを遺伝子配列などのデジタル配列情報にも拡張する動きがそれである[22]。今後注意が必要である。

8. 統合プロジェクトから学ぶこと —成功に導く10の教え—

これまで約15年（BIRD時代も入れると20年ほど）にわたって、我が国の生命科学分野のデータベース整備に携わってきた。それなりの苦労があったがどこまで一般化できるものかは分からない。また、前述したように、生命科学のデータはほかの分野とは違う性質を持っている。このような事情から、どこまで読者に関心のある内容になるか自信がないが、私がこれまで経験したこと、学んだことを以下、10のポイントにまとめ、述べることにする。もし、ほかの分野でのデータベースセンタ設置やデータベースプロジェクト遂行の参考になれば、この上ない喜びである。

8.1 統合センタの「統合」を

データベースの統合を目的としてDBCLSやNBDCが設立されたが、これ以外にもこの分野ではDDBJや阪大のPDBjなどもあり、これらの連携をどう図るのか難しい問題である。私はDBCLS、DDBJ、NBDCのそれぞれのセンタ長経験者と言うことで、これらの連携に努力してきたが、個人できることには限界もある。これらのセンタは設立時にそれなりのロジックがあって設置されたわけであるが、現在はそのセンタが所属する親組織のロジックもあり一体的な運用は容易ではない。これらのセンタはすべて文科省系のセンタであるが、農水省、厚労省、経産省、さらにAMEDにもそれぞれデータベース（センタ）のアクティビティがあり、これらを我が国としてどう連携、連動させるかは今後の大きな課題である。

「教訓1：データの統合には、センタの統合を」

8.2 まずはデータ共有ポリシー策定を

生命科学はほかの分野に比べてデータ共有が比較的進んでいると言われている。これは先に述べた欧米の公的資金配分機関と出版社の方針によるところが大きい。我が国でも、第5章で述べたように科研費などの公募要領にデータ提供の協力依頼の記載があり、AMEDなどでもデータ共有のポリシーが定められてきている。AMEDの末松前理事長が、No Share, No Fundと発言されたこともある。しかしながら、欧米のそれに比べると共有の強制力という点ではまだまだ弱いと言わざるを得ない。これがしっくりしないと受け皿としてのセンタを作っても機能しない。DBCLS、NBDCの苦労の多くもこの点に関するものが大きかった。今後の改善が望まれる。

「教訓2：データの受け皿作りの前に、データ共有ポリシーを確立すべし」

8.3 データ提供者を高く評価せよ

強力なデータ共有ポリシーは我が国にぜひとも必要だが、義務化だけでは不十分である。研究者の理解と協力を得るには、データ提供した際のインセンティブ付与やデータ登録の支援も重要である。現在の論文至上主義から転換し、他人に有用なデータを提供することに大きな価値を見出し、それを評価する仕組みが必要である。ビッグデータは宝の山と言われる。それならば、その宝を提供した研究者を評価すべきである。このことは研究の文化ともかかわる大きな問題だが、これを進めないとデータ駆動型科学実現への道は遠い。

「教訓3：多くの良いデータを提供した研究者を評価する文化を醸成すべし」

8.4 最初が肝心

我が国では、上に書いたように、データ共有ポリシーがなかったり、弱かったりする。それゆえ、データ産出プロジェクト立案時のDMP（データマネジメントプラン）の記載がよい加減だったり、DMPの遂行状況がプロジェクトの評価に反映されなかったりという問題がある。そのため、データベース作りもよい加減になりがちであるし、その後の利活用のこともあまり意識されなかったりする。これまでのデータベース統合は、プロジェクトが終了してから行われていたが、これでは散らかったデータを整理するのにコストがかかりすぎる。プロジェクトの企画立案段階からNBDCなどのデータベースセンタと一緒にデータベース作りを始める必要がある。

「教訓4：最初からデータベースの統合、利活用を意識したプロジェクト立案と実行を」

8.5 パーマネントポジションの確保を

データベースの開発、更新、維持管理には専門人材が欠かせない。とくに生命科学分野では、データの整理統合のためには生物学医学の知識だけでなく、生命倫理、個人情報保護などの知識も必要となる。もちろん、データベース、スパコン、情報セキュリティ、などの情報系の知識、さらには計測技術の知識も欠かせない。しかしながら、先に述べたDBCLS NBDC DDBJなどは雇用人数が少ない上に、ほとんどが任期付きである。欧米のセンタでは第4章に書いたように数百名規模の専門人材がいる。このような状況では高度で安定的なデータベースの運用ができない上に、欧米と伍して行くのは非常に難しい。我が国では、国を挙げてSociety5.0, DX, データ駆動型科学・社会を推進と言う割には、この点が大変お粗末である。至急改善が必要で、そうしないと、そして誰もいなくなったになりかねない。

「教訓5：データ駆動型の推進にはパーマネントポジション用意せよ」

8.6 データベースの価値を測れ

一般にデータベースの開発、運用には大きな費用がかかる。しかしながら、この費用に見合った、あるいは、それ以上の価値があることを、財政当局に理解してもらうのは容易ではない。個々のデータベースに何万人、何十万人の利用者がいれば、理解を得るのはそれほど困難ではないかもしれないが、多様な生命科学研究では、一部のデータベース（たとえば、生物種横断的な基盤的なゲノムデータベースやタンパク質データベース）を除いて、そうなるまでには時間もかかるし、それほど利用者が多くなくても欠かせないデータベースもある。この問題を解消するには、客観的にデータベースの価値を測る指標を開発する必要がある。私には良いアイディアはないが、たとえば、第4章で紹介した欧州のEBIが出しているレポート（EBIの価値の見積もりを試みたもの）などは参考になるかもしれない[23]。ぜひ読者の皆様のお知恵を拝借したい。

「教訓6：データベースの価値を数値で示せ、そうでないとデータベースは維持できない」

8.7 再利用性の高いデータを探せ

第2章で述べたように、ゲノムプロジェクトの成功以来、各国でオームデータ産出プロジェクトが多数立案され、実行されてきた。世界中ではその数は数千とも言われる[24]。しかしながら、これらのすべてのデータについてデータベースを開発し、それを運用するのは費用的に無理である。この中でどの種類のオームが多く研究者にとって将来にわたり再利用性が高いのかを見極める必要がある。これも研究の進展とともに変化する面もあり、容易ではないが、これをしないと無限の予算が必要となり、財政当局の理解は得られない。

「教訓7：ビッグデータの中から本物の宝を見つけ出せ」

8.8 新たなデータビジネスモデルの構築

DBCLS, NBDCではこれまでオープンなデータを対象としてそれを統合データベース化し、無償で利用者に提供してきた。このための予算はすべて文科省からいただいていた。世界的にもほとんどのデータベースは無償で利用できるようになっている。しかし、今後の持続性を考えると、一部有償化する、データ産出プロジェクトから消費税方式で運営費を集める、などの方式も検討すべきであろう。この点もお知恵を拝借したい。なお、持続的な生命科学データ基盤の構築の議論に関しては日本学術会議の提言が詳しい[25]。参考にされたい。

「教訓8：持続性確保には新たな資金獲得の道も探れ」

8.9 分野の特性を考慮せよ

繰り返しになるが、生命科学データはほかの研究分野やビジネスのデータに比べて厄介な性質を持っている。そのため、機関別ではなく、データの特性に応じた分野別のレポジトリを作ってデータの整理統合を図る必要がある。また、データの統合利用や利活用にはSociety5.0などで採用されているAPIを作るだけでは不十分である。そうしないとデータの有効活用は進まない。生命科学では、まさに統合プロジェクトが必要だったのである。

「教訓9：分野の特性を見きわめてデータベースやレポジトリを作れ」

8.10 自らデータ駆動科学の実践を

上にいろいろ書いたように、データベースの開発、運用の費用を持続的に捻出するためには、さまざまな取り組みが必要である。その中でも、最も重要なことはデータベースから素晴らしい成果が生まれることに尽きる。ノーベル賞受賞の山中伸弥先生は、体細胞の初期化にかかわる山中4因子はデータベースの助けがあったとのことだと言ってくれるが、それは大変稀な例で、データベースがあったから、こういう研究ができたと言ってくれることはなかなかない。データベースの開発者自らがお手本を示すことも必要だ。実行するのは至難の業ではあるが、

「教訓10：データベースの成果は自分で作れ」

9. 30年後の展望

人生の多くの時間をデータベース作りに費やしてきた。これにより我が国のデータ駆動型科学がこんなに進みましたと胸を張って言いたいところだが、とてもそこまでには至っていない。道半ばである。生命科学が50年周期で大きな変革が起きるとすれば、次は2050年頃だ。その変革にデータベースが不可欠な役割を担っていてほしいとは思いますが、よく分からない。次の変革を自分の目で見ることは到底叶わないが、生きている間に少しはその片鱗を見たいものだ。

参考文献

- 1) 科学技術会議ライフサイエンス部会ゲノム科学委員会：ゲノム情報科学におけるわが国の戦略について（平成12年11月）（要約），
https://www.lifescience.mext.go.jp/download/1th_database/1d-2.pdf

- 2) バイオインフォマティクス推進センター : <https://www.jst.go.jp/nbdc/bird/info.html>
- 3) ヒトゲノム解析計画—遺伝情報を解読する巨大プロジェクトの全容 米国議会技術評価局 (OTA) 報告書 : Newton special issue (日本語) (1990).
- 4) 平成17年度科学技術振興調整費「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」の審査経緯及び結果概要について :
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286184/www.mext.go.jp/b_menu/houdou/17/10/05102801.htm
- 5) 生命科学データベース統合に関する調査研究 :
https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286794/www.mext.go.jp/b_menu/houdou/17/10/05102801/001/001.pdf
- 6) 高祖歩美 : 生命科学分野におけるデータ共有のあゆみ, 情報処理, Vol.54, No.12, pp.1226-1231 (2013).
- 7) ライフサイエンス統合データベースの推進方策について (報告) :
https://www.rois.ac.jp/open/pdf/db_houkokusho.pdf
- 8) 我が国におけるライフサイエンス分野のデータベース整備戦略のあり方について :
https://www.lifescience.mext.go.jp/download/news/report_DB.pdf
- 9) BioHackathon : <http://www.biohackathon.org/>,
<https://biosciencedbc.jp/event/biohackathon/>
- 10) FAIR原則 : <https://biosciencedbc.jp/about-us/report/fair-principle/>
- 11) 青木学聡 : オープンサイエンスと研究データ管理の動向, デジタルプラクティスコーナー, 情報処理, Vol.62, No.5 (May 2021).
- 12) 統合データベースタスフォース報告書 : <https://www8.cao.go.jp/cstp/project/bunyabetu2006/life/14kai/siryoy1-2.pdf>
- 13) ライフサイエンスデータベースの統合・維持・運用のあり方 :
https://www.lifescience.mext.go.jp/files/pdf/n676_s1.pdf
- 14) NBDCヒトデータベース : <https://humandbs.biosciencedbc.jp/>
- 15) TogoVar : <https://togovar.biosciencedbc.jp/>
- 16) 諸外国におけるゲノム医療の制度・体制・運用等に関する調査 (概要版) :
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryou/genome/genome_dai2/sankou3.pdf
- 17) リアルワールドデータを活用する鍵 :
<https://www.mri.co.jp/knowledge/mreview/201907-5.html>
- 18) バイオ×デジタルによる新たな経済社会 (バイオエコノミー) に向けて :
<https://www.nedo.go.jp/content/100870410.pdf>
- 19) 健康・医療戦略 : https://www.soumu.go.jp/main_content/000691940.pdf
- 20) バイオ戦略2020 : https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/bio2020_honbun.pdf
- 21) GA4GH (Global Alliance for Genomics and Health) : <https://www.ga4gh.org/>
- 22) 有田正規 : 経済化される生物多様性, 科学, Vol.88, No.7 (2018).
- 23) The Value and Impact of the European Bioinformatics Institute : Full Report (Jan. 2016),
<https://beagrie.com/static/resource/EBI-impact-report.pdf>
- 24) Big biology: The 'omes puzzle :
<https://www.nature.com/news/big-biology-the-omes-puzzle-1.12484>
- 25) 日本学術会議提言 : 持続可能な生命科学のデータ基盤の整備に向けて,
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t279-1.pdf>

高木利久 (正会員) tt@tuins.ac.jp

東京大学工学部計数工学科卒業。九州大学、東京大学勤務を経て、現在富山国際大学学長科学技術振興機構バイオサイエンスデータベースセンター長兼務。これまで情報・システム研究機構ライフサイエンス統合データベースセンター長、国立遺伝学研究所DDBJセンター長を勤めた。

採録決定：2021年1月31日
編集担当：藤原一毅（国立情報学研究所）

特集号招待論文

感情認識AI「心sensor」の教育現場導入に向けた実証実験

齋藤 学¹

¹ (株) シーエーシー

(一社) 情報サービス産業協会 (JISA) では、2015年から「中学校デジタル化プロジェクト」によりITを活用した教育の高度化を進めてきた。本プロジェクトでは青翔開智中学校・高等学校（以下、青翔開智）を題材として学校教育現場におけるデータを蓄積し、それらのデータを活用することで教育高度化のプロトタイプを作成している。青翔開智では資質・能力を定量化する独自の定義づけを実施しているが、本プロジェクトでは生徒の資質・能力をできる限り定量化し、ループリックを活用できるフレームワークを作成してきた。青翔開智では探究活動を重視しているため、生徒によるプレゼンテーションが主要なアウトプットの1つとなっている。プレゼンテーションを行う際には、発表者の表情が重要であるという仮説の元、表情解析のために感情認識AI「心sensor」を用いて生徒のプレゼンテーションを撮影・分析を行い、表情に関してフィードバックする実証実験を行ってきた。生徒の探究研究の発表会などでプレゼンテーションを録画し、表情からJoy, Positiveなどの表情解析データを取得している。この実証実験で生徒の表情がプレゼンテーションに影響を与えている可能性が大きいことが確認できた。また、本実証実験によって、プレゼンテーションの印象だけではなく客観的なデータによって生徒にフィードバックができる可能性が出てきたと教員の評価を受けている。

1. 青翔開智中学校デジタル化プロジェクトの目的

(一社) 情報サービス産業協会 (JISA) では、「JISA Spirit」の実現に向けた象徴的な取り組みとして、革命プロジェクトを実施している[1]。本プロジェクトチームではICT教育で先進的な取り組みを行っている鳥取県にある私立中高一貫校の学校法人鶏鳴学園 青翔開智中学・高等学校（以下、青翔開智）との連携により、ITの力を利用して学習効果を高めるための調査や意見交換を進めてきた。このプロジェクトの最終的な目標は、青翔開智を起点に日本の中学校・高校においてデジタル技術を活用した教育の高度化と、そして、それを通じて未来の日本を背負う人材の恒久的輩出の仕掛けづくりを行うことである。

その目標達成のため、JISAではITを活用した教育の高度化を実践し、他の学校でも利用できる汎用的な教育モデルを作成するための「ペルソナ校（モデル校）」として青翔開智を位置づけた。ITを活用した教育の高度化を青翔開智で実践するためには、同校の授業の中心である「探究」を分析可能とするために定量化を行う必要があった。そこで、探究をフィードバックするための媒体として「探究通信簿」の作成を行うこととなった。青翔開智では、育てたい資質・能力

を「育てたい資質」として学校独自に定義している。育てたい資質の育成状況を生徒にフィードバックし、生徒とのコミュニケーションを行うためのツールとして探究通信簿のトライアルを実施している。探究通信簿を定量的に作成するためにはITを活用してデータを取得し、生徒のコンピテンシーやスキルのフィードバックを行うことが必要である。そこで、探究の授業において重要な要素の1つであるプレゼンテーションのデータを取得し、生徒にフィードバックを行う試みを始めた。本稿では、ITを活用した教育の高度化を行うための一要素として実施している、表情解析アプリケーションを利用した中学校・高等学校におけるプレゼンテーション分析について記載する。

2. 探究教育における表情解析アプリケーションの位置づけ

2.1 探究教育の課題

青翔開智の設立は2014年、生徒数は中学生徒・高校生計256名である（令和2年5月1日現在）。同校では、全生徒が入学時にタブレットPCを購入し、学校内にWi-Fiが完備されているため、授業や連絡でもITが積極的に活用されている。生徒と教師の連絡はITを活用して実施し、授業においてはルーブリックを活用した教員評価、自己評価、他者評価などの評価を取得する場合もある。ルーブリックとは、学習到達度を示す評価基準を観点と尺度からなる表として示したものである。AIやブロックチェーンの授業も行っているため、ITリテラシーの高い生徒も多い。

青翔開智の特徴的な授業が「探究基礎」である。「探究基礎」の授業では、研究を広げ、深めていくことで、生徒自ら学ぶ手法を身に付けることが目標にされている。青翔開智の「探究基礎」では「SEIKAI6.1」と呼ばれる独自のフレームワークと、「デザイン思考」を活用した同校独自のフレームワークの2つを活用して実施している。「SEIKAI6.1」は青翔開智で一般的に活用されている課題研究のプロセスのもと独自に設定した探究のフレームワークである。

「SEIKAI6.1」ではテーマ設定、情報収集、情報分析、論文執筆、プレゼン、評価、再度テーマ設定に戻る、というプロセスを定義している。探究基礎という授業では学年単位でテーマを設定し（図1）、年度末に全学年一斉の発表会を実施している。

中1	鳥取市に魅力的な〇〇を創ろう プランニング、収支計算、プレゼンテーション アントレプレナーシップ	
中2	学校の課題解決 デザイン思考	課題解決型職場体験 鳥取青年会議所
中3	SDGsで社会問題解決ゼミ データサイエンス×デザイン思考×SDGs	
高1	人口減少をデザイン思考とAIテクノロジーで解決する AI&IoT 鳥取県×鳥取大学三浦研究室×Aldojo	
高2	個人探究→修了論文の執筆	
高3	担当教員を付けディスカッション	

図1 授業「探究基礎」における学年単位のテーマ例

また、探究要素を取り入れた通常授業も実施している。たとえば、生物の授業であれば「免疫機能に関するジオラマを作成」する、などである。

探究は青翔開智で重要な要素である。しかし、探究的な取り組みや活動を評価する方法は定まっておらず、生徒にフィードバックを行うためには定量化を行うためのモデルが必要という課題がある。教育業界においても探究の定量化については定まった方法はなく、探究を実施している学校の共通の課題の1つとなっている。

2.2 心sensorによる探究の定量化

「表情解析アプリケーションを利用した中学校・高等学校のプレゼンテーション分析」を包含したプロジェクトの全体像を説明する。同学園理事長など関係者へのヒアリングやディスカッション、実際の授業風景の見学などを通じて、「探究基礎」の授業が、その独自性ゆえに評価方法に課題を抱えていることに着目した(図2)。探究における評価は絶対的な優劣をつけるためではなく、個々の生徒の長所を伸ばすために利用したいという理事長や教師の要望もあった。そこで、探究通信簿は単に評価のためのツールではなく、生徒の育成のためのコミュニケーションツールとして利用することを想定して作成している。

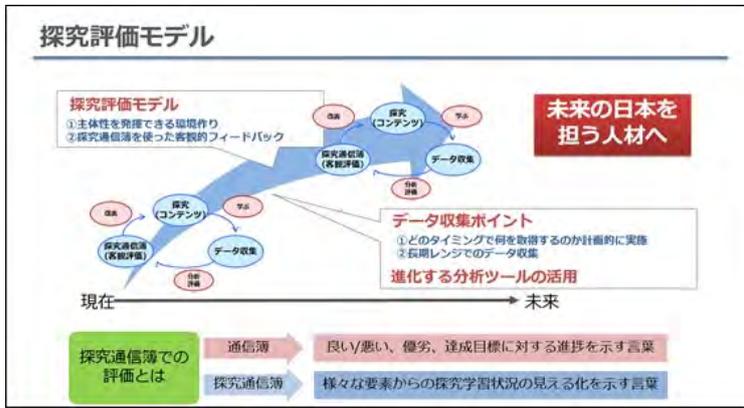


図2 授業「探究基礎」における探究評価モデル

「探究基礎」では生徒にテーマを与えて、「SEIKAI6.1」や「デザイン思考」のフレームを使いながら課題解決を行うため、定量的・定性的な評価が非常に難しくなっている。また、「探究」は半年から1年など長い時間をかけて実施するため、一連の探究の授業の中での現在の達成状況や進捗状況を測る方法がないことも課題だった。そこで、本プロジェクトでは探究の授業を定量化し、分析を可能にする『探究通信簿』のプロトタイプを作成した。まず、学校の理念である「探究」「共成」「飛躍」を元に、「育てたい資質」を定義した。この育てたい資質では、学校が目指す生徒像のスキルやコンピテンシーを定義している。

探究通信簿は、3つの要素で作られている。1つ目は探究の進み具合を測る「行動進捗」である。2つ目は、生徒のアウトプットであるプレゼンテーションや資料へのフィードバックである「コンテンツ」である。3つ目は、学校が目指す生徒像を元に作成した「育てたい資質」をゴール像として生徒のスキルやコンピテンシーを測る「成熟度」である。2017年から実際の授業でこのモデルを利用することでブラッシュアップを行い、データを収集し始めている。2019年には探究通信簿のプロトタイプを作成し、実際に生徒に対してトライアルでフィードバックも行った（図3）。2020年から一部の学年でテスト運用を開始することを目標としている。

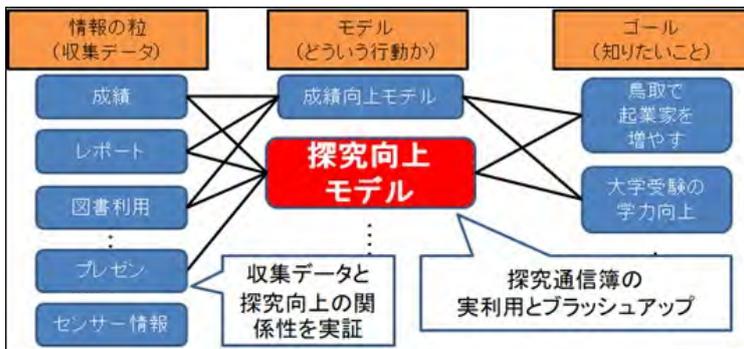


図3 探究通信簿によるフィードバック

探究通信簿で「育てたい資質」（図4）の「成熟度」は生徒のスキル・コンピテンシーを指す。成熟度を教師の定性的な感覚だけではなく、定量的に行う試みを行っている。教科の授業内でルーブリックを作成し、教師・生徒がルーブリックを入力することでデータを1年間蓄積している。また、教師と生徒とのコミュニケーションの履歴やプレゼンテーションの結果など学生生活で取得できるさまざまなデータをインプットとして成熟度を作成することを試みている。

階層 1	階層 2	階層 3	タグ
探 究	課題設定	疑問・課題を見出すことができる	1
		課題解決に必要な仮説を立てることができる	2
		課題解決に必要な調査の設計をすることができる	3
	情報リテラシー	仮説の検証に必要な適切な情報を集めることができる	4
		思考ツールを活用して集めた情報を分析することができる	5
		仮説を検証するために収集した情報を適切に管理することができる	6
	クリティカルシンキング	情報の信ぴょう性を主体的に判断することができる	7
		多角的・客観的な視点を持ち自らの判断を内省することができる	8
	ロジカルシンキング	ものごとを筋道立てて考えることができる	9
		帰納・演繹を使って仮説検証をすることができる	10
	データサイエンス	データを統計的に処理することができる	11
		統計的に処理されたデータを考察することができる	12
	表現	資料作成等に必要なアプリケーションを活用することができる	13
		デバイスやアプリをコントロールするためにプログラミングを活用することができる	14
		思考を視覚的に表現することができる	15
		思考を的確な文章で表現することができる	16
		成果物を使って共感を誘う発表をすることができる	17
知識・概念	領域分野に関する知識・概念が形成されている	18	
共 成	セルフコントロール	公共の精神や社会規範の意識を持っている	19
		状況を判断してとるべき行動を選択しようとする	20
	まきこみ力	チームでの取り組みを主導しリーダーシップを発揮しようとする	21
		他者に共感しそのことを表現しようとする	22
	帰属意識	求心力（因らざるも人がよってくる・信頼されている）がある	23
		成果を他者に還元しようとする	24
	ボーダレス感覚	社会（チーム）を構成している一員であるという意識をもっている	25
		国際感覚が身についている	26
飛 躍	バイタリティ	他者を受容し敬意を持って接しようとする	27
		広い視野で物事をみようとする	28
		好き・やりたいという気持ちを持っている	29
		意外性を大切にし他者の期待・想像を超える結果を出そうとする	30
		既存のものを組み合わせて新しいものを創り出そうとする	31
	ビジョン	答えのないものに対し自身なりの答えを見つけようとする	32
		継続力・持続力をもっている	33
		ものごとの判断や行動に自分がどうありたいかをもっている	34
		学ぶことへの意味・意義をもっている	35
		自身のことを客観的に理解しようとする	36
アントレプレナーシップ	失敗を恐れず何事にもチャレンジしようとする	37	
	どんな環境や状況においても心の余裕を持ち楽しさを見出そうとする	38	

図4 育てたい資質

プレゼンテーションのアンケート結果や表情解析のデータも成熟度評価のためのインプットとできると考えている。探究基礎では授業の最後にプレゼンテーションを行うことが多いが、本学校で行うプレゼンテーションの内容は前向きな提案であることが多い。そのため、表情は前向きであり、笑顔が出ることが望ましいと考えている。一方で本プロジェクトでは、「探究」を糸口に、さらなる教育の高度化にチャレンジするため、最新のIT技術を活用して、データの取得や分析に取り組みたいと考えていた。青翔開智の「探究基礎」の授業でプレゼンテーションが重要な要素となっていることに着目した。生徒のプレゼンテーション能力の向上や、プレゼンテーション能力に必要な要素の分析にITを活用することで、教育の高度化に貢献できると考えた。そこで感情認識AIである心sensorを利用した実証実験を実施した[2]。

3. 心sensorによる分析方法

3.1 システム構成

プレゼンテーションの表情解析には心sensorを利用している。心sensorは、Affdex[3]のSDKを利用したシーエーシーの表情解析アプリケーションである。Affdexは、世界87カ国以上から収集された約800万人の顔画像データを保存・使用している。

心sensorは、PCにインストールして利用する。外付けのUSBカメラやノートPCに内蔵されたカメラの映像から表情を認識し、リアルタイムにターゲットの顔の筋肉のわずかな動きを把握してデータ化し、分析を行う。画像の解析は、リアルタイムおよび録画データの双方で可能である。動画データおよびアプリケーションのみで分析が可能である。数時間のデータを分析する際には高スペックのPCが必要であるが、今回のような数分のプレゼンテーションであれば一般的なノートPCでリアルタイムに分析することが可能である。

3.2 分析方法

心sensorでは、Joy（喜び）、Engagement（表情の豊かさ）、Disgust（嫌悪）、Fear（恐怖）、Anger（怒り）、Surprise（驚き）、Sadness（悲しみ）の7つの感情と、バレンス（ポジティブ、ニュートラル、ネガティブ）を主な指標としている。今回の分析では触れないが、7つの感情とバレンスのほかに、21種類の表情とEngagementを取得している。7つの感情は21の表情を元に分析を行っている（図5）。

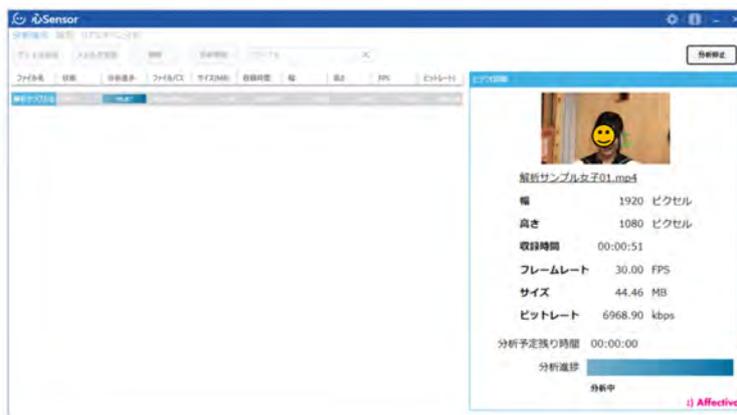


図5 心sensorによる感情分析中画面

本実証では、主に下記の「概要」、「顔検出中のバレンス」、「有意な感情値」の3つの数値結果と、時系列の感情値の変化の目視によって分析を行った。

3.2.1 概要

概要は、動画中で顔が検出できなかった場合、感情ありの割合と感情なしの割合を表示する（図6）。図6の「顔なし」とは、全フレーム数における顔が検出されなかったフレーム数の割合である。「感情なし」とは、全フレーム数における感情値50未満のフレーム数の割合である。「感情あり」とは、全フレーム数における感情値50以上のフレーム数の割合である。

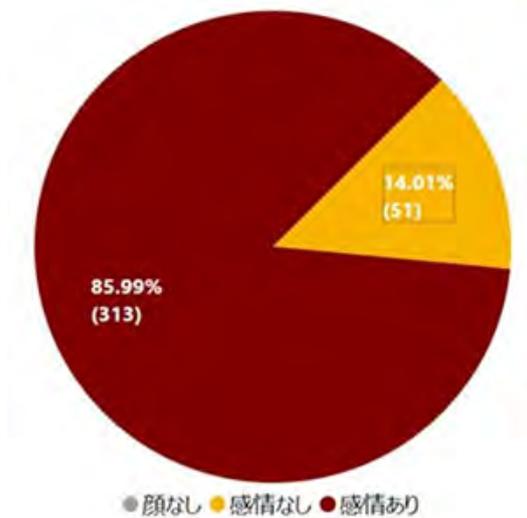


図6 概要

3.2.2 顔検出中のバレンス

顔検出中のバレンスは、顔が検出されたフレームの中で強いポジティブ、弱いポジティブ、ニュートラル、弱いネガティブ、強いネガティブの割合を表示する（図7）。図7の「強いポジティブ」とは、顔が検出されたフレーム数におけるバレンス80以上のフレーム数の割合である。「弱いポジティブ」とは、顔が検出されたフレーム数におけるバレンスが20より大きく、かつバレンスが80未満のフレーム数の割合である。「ニュートラル」とは、顔が検出されたフレーム数におけるバレンスが-20以上、かつバレンスが20以下のフレーム数の割合である。「弱いネガティブ」とは、顔が検出されたフレーム数におけるバレンスが-80より大きく、かつバレンスが-20未満のフレーム数の割合である。「強いネガティブ」とは、顔が検出されたフレーム数におけるバレンスが-80以下のフレーム数の割合である。

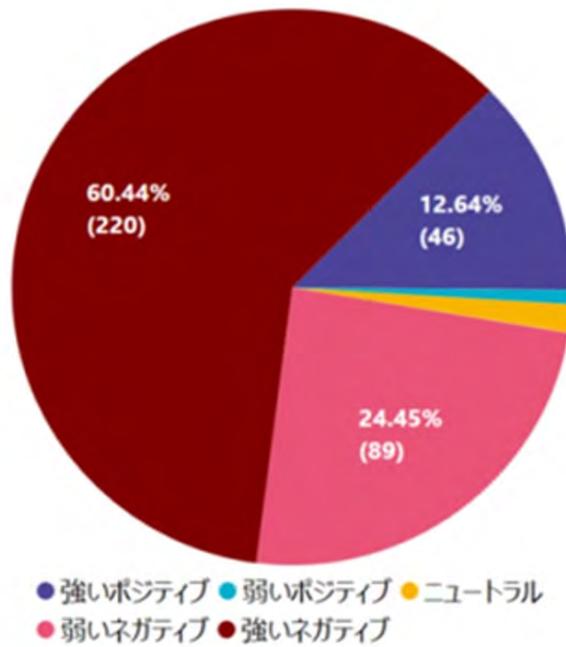


図7 顔検出中のバレンス

3.2.3 有意な感情値

有意な感情は、顔が検出できたフレームの中で、50以上の感情値を計測した感情の割合を表示する（図8）。図8の「Anger（怒り）」「Contempt（軽蔑）」「Disgust（嫌悪）」「Fear（恐怖）」「Joy（喜び）」「Sadness（悲しみ）」「Surprise（驚き）」とは、各感情の感情値50以上のフレーム数合計における各感情値50以上のフレーム数の割合である。

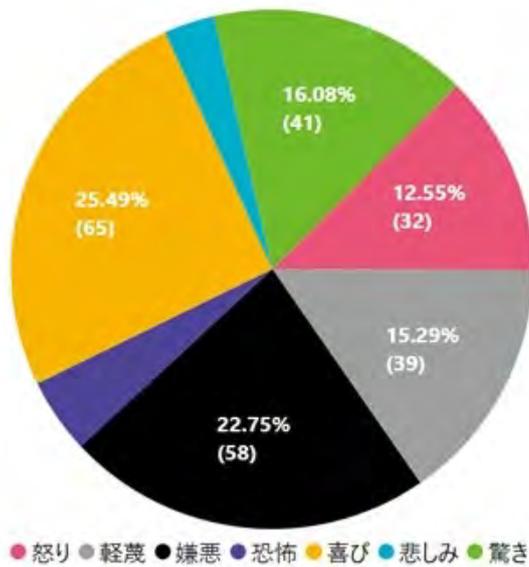


図8 有意な感情値（50以上）

3.2.4 目視分析

心sensorでは時系列でデータ分析を行っているため、いくつかのデータのサマリーとともに目視で時系列の感情変化を見ることで筆者が分析を行ってフィードバックを実施している（図9）。



図9 時系列感情変化の可視化

4. 実証実験

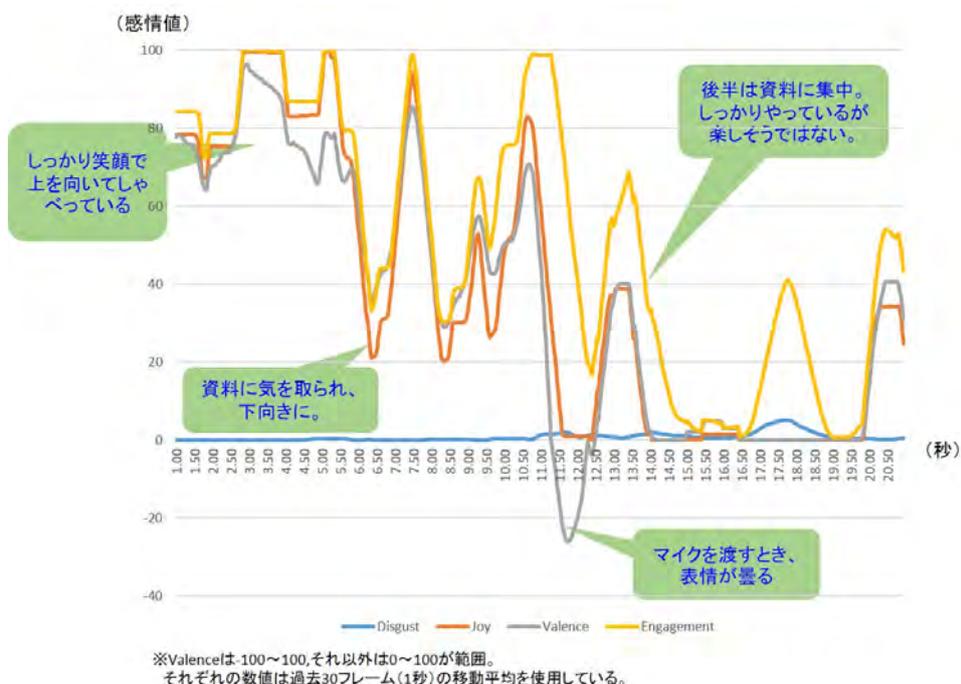
一般的に日本人は笑顔で話すのがうまくないと言われるが、表情はプレゼンテーションの評価に大きな影響を与える。一般的なプレゼンテーションや講演では笑顔だけではなく真顔であることや笑顔のバランスなどさまざまな表情の要素が重要となるが、プロジェクトでは生徒のプレゼンテーションについては特に笑顔が重要であると考えた。本プロジェクトでは、心sensorの利

用により笑顔やその他の表情に着目することで生徒のプレゼンテーション能力を向上させることができるのではないか、という仮説を立てて実証を行った。「探究基礎」の時間を活用してプレゼンテーション動画から読み取った生徒の表情を心sensorでデータ化し、グラフに解釈を加えることでプレゼンテーションの評価・分析を行った。この分析結果を、普段から生徒を見ている青翔開智の先生方にフィードバックした結果、分析に対して納得感があるという評価を得た。これにより、青翔開智でのプレゼンテーション評価に心sensorを利用し、生徒のプレゼンテーション能力向上に活用可能と判断した。以下に、実証実験の詳細を記す。

4.1 プレゼンテーション分析例

本プロジェクトは2015年から開始しているが、2017年の探究の授業でプレゼンテーション動画を取得して最初の分析を行った。生徒のプレゼンテーションデータをリアルタイムで撮影し、発表者の状態を重ねて定性的に分析を行った。プロジェクト内で発表時の印象と心sensorのグラフを重ね合わせた表が下記である(表1)。最初にしっかり前を向いて喋っているときはJoyが大きく出ており、バレンスがポジティブになっている。一方でプレゼンテーションの後半で資料に集中しながら話をしており、他のメンバにマイクを渡すときに表情が曇っている。グラフを見ると、後半はJoyもバレンスも低くなっていることが見える。これらのフィードバックを行いながら、生徒の表情とプレゼンテーションの印象には関係があることをプロジェクトメンバで確認した。この分析後にグラフを見ながら教師とも情報交換をし、プレゼンテーションと心sensorの分析結果に関係があるように感じられることを確認した。

表1 心sensorを用いた生徒の定性的分析



4.2 2015年から2019年の分析実施時の課題

プロジェクトメンバが訪問する合間に学校が独自で動画を撮影することも検討したが、生徒のプレゼンテーションを日々撮ることは、会場のセッティングや教師の負荷などから難しかった。特に表情解析を行うためには、正面から表情が分かる形で画像を取得する必要があるため、動画

データの収集に手間がかかってきた。たとえば、正確に表情を撮るためには「前髪が眉毛にかからない」、「正面からの映像を撮影する」など、いくつかの制限が発生する。一方で、眼鏡によって動画データを分析しづらいという影響は、ほぼ発生しなかった。

また、青翔開智においてプレゼンテーションはグループで行うことが多く、グループで順番に話をすることが多かった。心sensorでは同時に複数人の表情を解析してログを出力することも可能であり、FaceIDによって顔を見分けている。FaceIDは、心sensorのアプリケーションが顔を認識して自動で付けるユニークなIDであるが、どのFaceIDが誰であるのかを理解し分析するためには動画とログを見ながら理解する必要があり、複数人での画像分析を行うことは現実的ではなかった。

代表者プレゼン等の個人発表の場合には、体育館が会場になることがあった。会場設定の都合上、遠くから映像を撮る必要があり、体育館では会場が暗く、生徒が下を向いて原稿を読み上げながら発表を行うため表情が確認できない、などの要因によりプレゼンテーションをしている生徒の表情を動画撮影することは難しいことが多かった。

本研究の開始当初からアンケート等による生徒のプレゼンテーションの評価と、表情解析の間には相関があることが想定されていた。だが、授業において表情解析とアンケートを同時に取りするためには、授業内容に踏み込んで学校とともに計画を立てる必要があり、プロジェクトでデータを集めることは現実的にはできなかった。

この間、青翔開智とともにプロジェクトでは探究通信簿を作成した（図10）。探究通信簿の作成にあたって、生徒の探究実施におけるプロセスごとにルーブリックを作成した。その際にプレゼンテーションのフェーズでもルーブリックが定められた。これ以降の分析においてプレゼンテーションのアンケートにはルーブリックを利用することとしたため、標準的なデータを取得することができるようになった。心sensorで取捨するプレゼンテーションの表情解析のデータは、今後、探究通信簿のインプットとして利用することを想定している。現在はデータの加工やインプットなどは検討段階にあり、プレゼンテーションの分析とフィードバックのみに利用している。



図10 作成した探究通信簿外観（2019年作成）

4.3 2020年の実証実験の概要

2020年の新型コロナウイルス感染症の影響により、青翔開智では文化祭である青開世界2020をリモート中心で実施した。青開世界2020のコンテンツである書籍紹介の発表を行った3名の動画を分析した。また、実施後に、3名の発表に対してルーブリックの評価を行った(図11)。評価は自己評価と、外部評価(JISAプロジェクトメンバと同校教員)計9名のデータを収集した。青翔開智では、発表評価をルーブリックで標準化しており、発表のフィードバックはルーブリックに基づいて実施している。ただ、今回の文化祭では視聴者からのアンケートを取得していなかったため、分析のために本人およびプロジェクト関係者がアンケートを実施した。そのため、サンプル数は9と少なくなった。

	A	B	C	N
6-1 研究テーマの わかりやすさ	●課題設定が明確にできている(何の研究かがわかる)。 ●課題設定の根拠が明確である(何のために研究しているかわかる)。	●課題設定が明確にできている(何の研究かがわかる)。 ●課題設定の根拠が不明確である(何のために研究しているかわからない)。	●課題設定が不明確である(何の研究かわからない)。	●まだこのプロセスに至っていない。
6-2 研究過程の わかりやすさ	●どのようにして調査したか、その方法がきちんと説明されている。 ●出典がきちんと示されていて、情報の信頼性が高い。	●どのようにして調査したか、その方法の説明が十分でない。 ●出典がきちんと示されているが、情報の信頼性が低い。	●どのようにして調査したか、その方法が説明されていない。 ●出典がきちんと示されていない。	●まだこのプロセスに至っていない。
6-3 研究結果の わかりやすさ	●得られた結果が図や表などを使ってわかりやすく説明されている。 ●出典がきちんと示されていて、情報の信頼性が高い。	●得られた結果が説明されているがわかりづらい。 ●出典がきちんと示されているが、情報の信頼性が低い。	●得られた結果が説明されていない。 ●出典がきちんと示されていない。	●まだこのプロセスに至っていない。
6-4 資料の 見やすさ	●図表の配置や色使いなどのデザインが工夫されていて見やすい。	●図表の配置や色使いなどのデザインに特に工夫は見られない。	●図表の配置や色使いが理解を妨げる要因になっている。	●まだこのプロセスに至っていない。
6-5 話し方	●対話的で、聞き手が引き込まれるような話し方である。	●原稿は使用していないが一方的に説明しているだけである。	●原稿を読んでいるだけである。	●まだこのプロセスに至っていない。

図11 ルーブリック (発表評価)

4.3.1 概要分析

生徒A(図12)に関しては、表情を認識できなかった「顔なし」が25%と多くなっている(表2(a))。これは、プレゼンテーション時に顔にマイクがかかっていたためと考えられる。プレゼンテーションを行う際に、マイクを固定して顔に重ならないようにするなどの仕組みが必要と思われる。表情解析で表情を確実に撮影するためには環境の標準化が必要であると考えている。残りの2名の生徒は、マイクを持っていたが顔からの距離が遠かったために、表情を認識している率が高い(表2(b), 表2(c))。

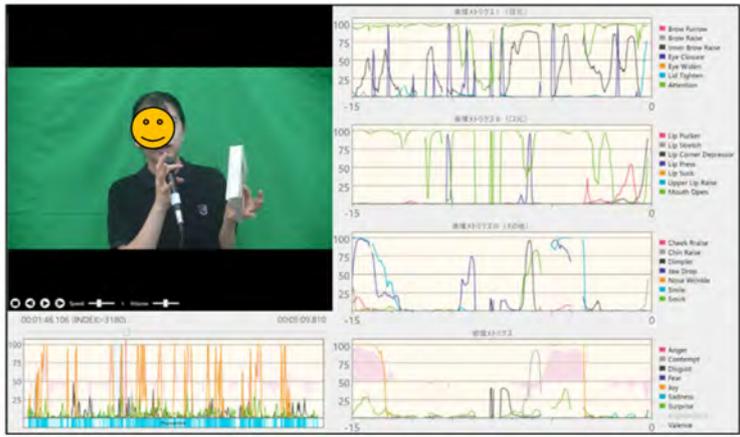
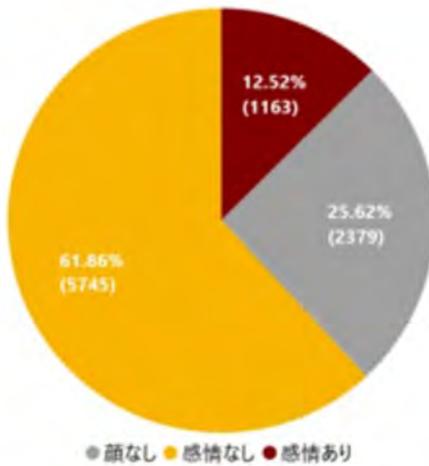


図12 生徒Aのプレゼンテーション

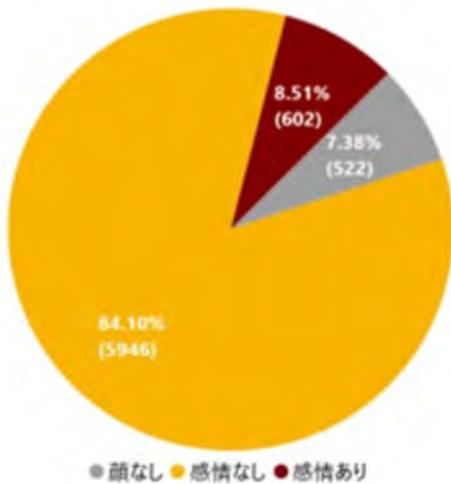
表2 概要分析結果とフレーム数

(a) 生徒A



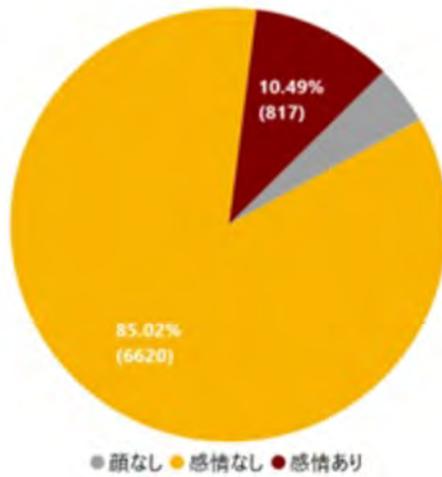
ラベル	フレーム数	割合
顔なし	2379	25.62
感情なし	5745	61.86
感情あり	1163	12.52

(b) 生徒B



ラベル	フレーム数	割合
顔なし	522	7.38
感情なし	5946	84.10
感情あり	602	8.51

(c)生徒C



ラベル	フレーム数	割合
顔なし	349	4.48
感情なし	6620	85.02
感情あり	817	10.49

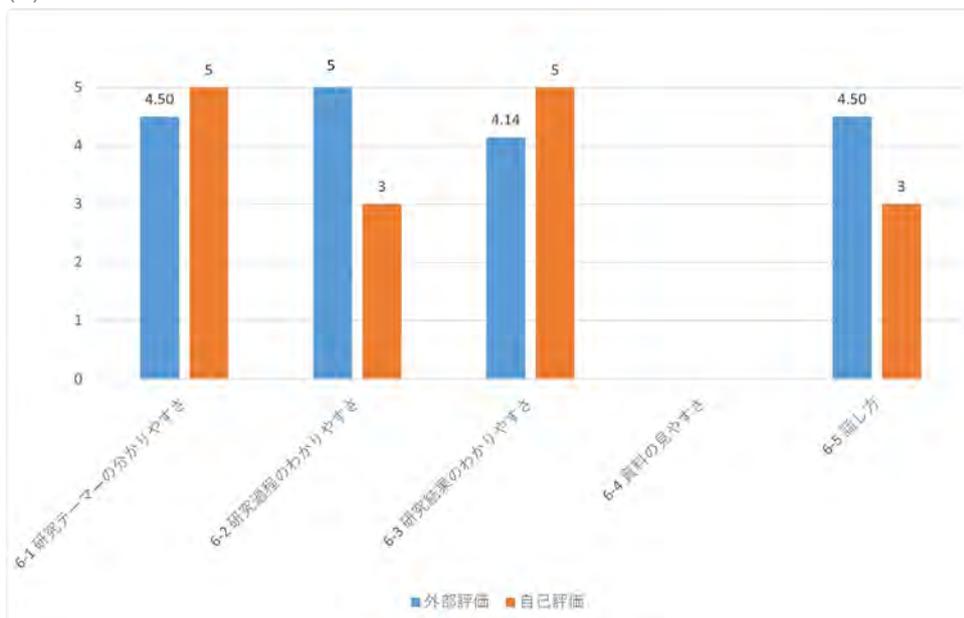
4.3.2 ルーブリック評価結果

発表に関するルーブリックは5項目取得した。「6-1研究テーマの分かりやすさ」「6-2研究過程の分かりやすさ」「6-3研究結果の分かりやすさ」「6-4資料の見やすさ」「6-5話し方」の5項目である。このうち、「6-2研究過程の分かりやすさ」は今回のプレゼンテーションでは重視されていない。「6-4資料の見やすさ」は、資料を作成せずにプレゼンテーションを行ったために採点を行わなかった。「6-1研究テーマの分かりやすさ」「6-3研究結果の分かりやすさ」「6-5話し方」の3つの項目について着目するが、表情解析と最も関係するルーブリックは、「6-5話し方」である。

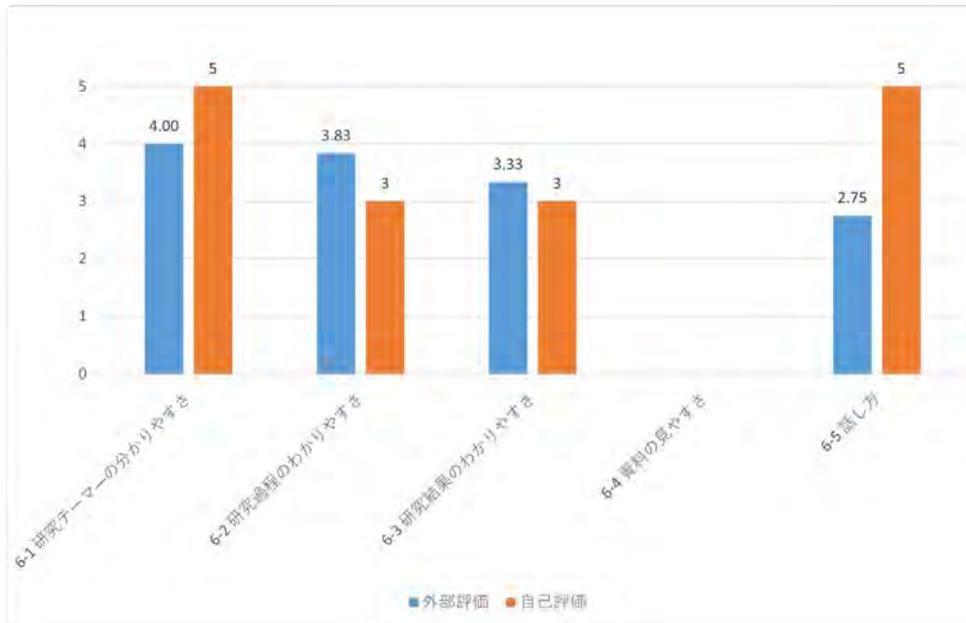
評価者がルーブリックで選択する項目はABCおよびNの4項目である。分析時にはAを5、Bを3、Cを1と置き換えNは評価外とした。外部評価はプロジェクトメンバおよび教師の結果の平均値とした。Nとして評価されている場合には欠損値として扱った。自己評価との比較は、生徒へのフィードバックのために行った(表3(a), 表3(b), 表3(c))。

表3 ルーブリック評価

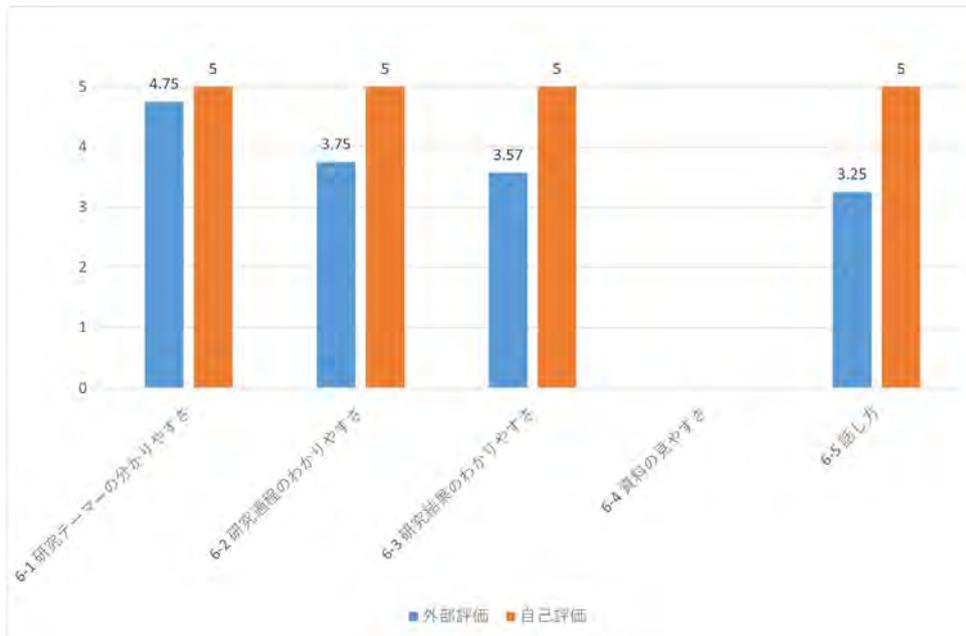
(a)生徒A



(b)生徒B



(c)生徒C

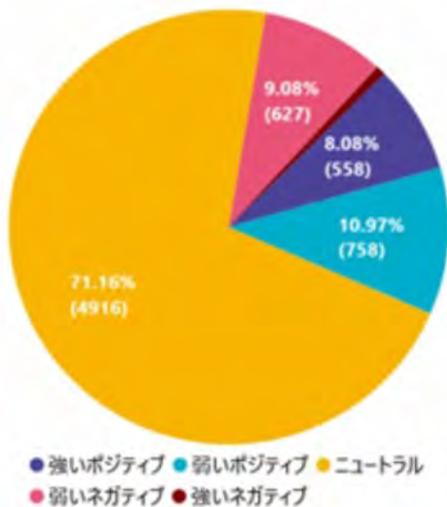


4.3.3 顔検出中のバレンス分析

バレンスの割合に着目すると、生徒A（表4（a））は強いポジティブおよび弱いポジティブが20%ほど見られるが、生徒B（表4（b））、生徒C（表4（c））では強いポジティブおよび弱いポジティブの合計が4%を下回っている。弱いネガティブについて、生徒Aは約9%であり、生徒Bは約15%、生徒Cは約13%である。これらを見ると、生徒Aのプレゼンテーションはネガティブに見える場合もあるがポジティブな印象を総合的には受け、生徒Bと生徒Cはネガティブな印象を強く受けることが分かる。

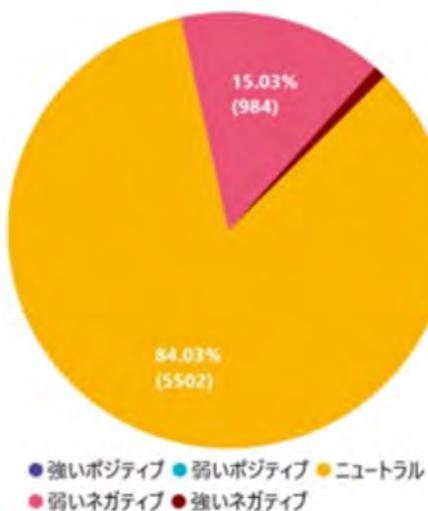
表4 顔検出中のバレンス分析結果とフレーム数

(a)生徒A



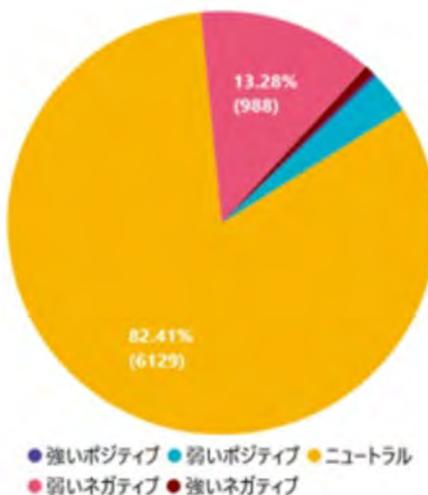
ラベル	フレーム数	割合
強いポジティブ	558	8.08
弱いポジティブ	758	10.97
ニュートラル	4916	71.16
弱いネガティブ	627	9.08
強いネガティブ	49	0.71

(b)生徒B



ラベル	フレーム数	割合
強いポジティブ	0	0.00
弱いポジティブ	0	0.00
ニュートラル	5502	84.03
弱いネガティブ	984	15.03
強いネガティブ	62	0.95

(c)生徒C



ラベル	フレーム数	割合
強いポジティブ	24	0.32
弱いポジティブ	237	3.19
ニュートラル	6129	82.41
弱いネガティブ	988	13.28
強いネガティブ	59	0.79

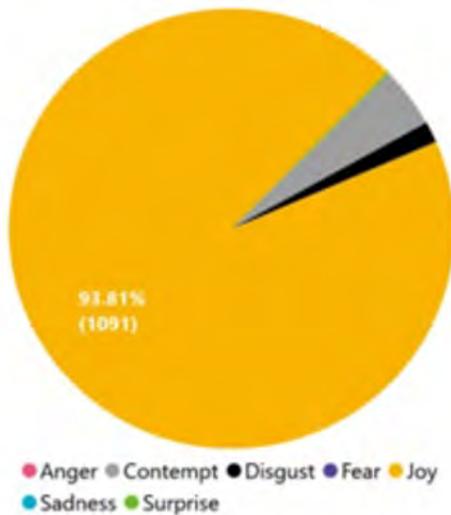
4.3.4 有意な感情値分析

感情を見ると、生徒A（表5（a））はJoyが90%を超え、感情が見える場合にはほとんどが楽しい印象を受けることが分かる。生徒B（表5（b））はSurpriseが90%弱でほとんどを占めている。生徒C（表5（c））はSurpriseが55%、Disgustが22%、Joyが15%である。

Joyの割合では生徒Aが圧倒的に多く、生徒C、生徒Bの順に多くなっている。表3のルーブリック評価における「6-5話し方」に着目すると、生徒A（表3（a））は4.50と最も高く、生徒B（表3（b））は2.71、生徒C（表3（c））は3.29である。

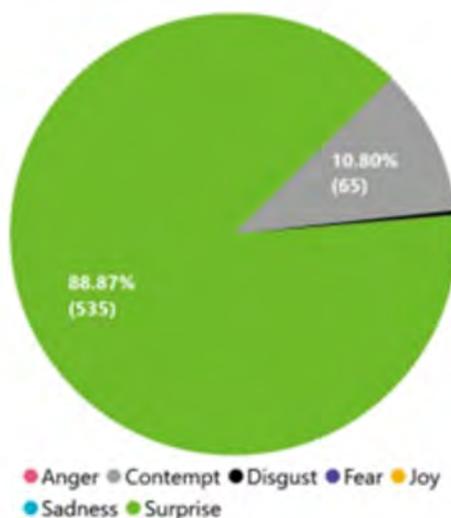
表5 有意な感情値分析結果とフレーム数

(a)生徒A

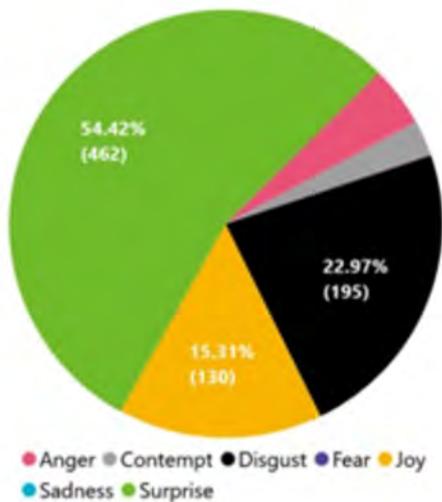


ラベル	フレーム数	割合
Anger	0	0.00
Contempt	52	4.47
Disgust	18	1.55
Fear	0	0.00
Joy	1091	93.81
Sadness	0	0.00
Surprise	2	0.17

(b)生徒B



ラベル	フレーム数	割合
Anger	0	0.00
Contempt	65	10.80
Disgust	2	0.33
Fear	0	0.00
Joy	0	0.00
Sadness	0	0.00
Surprise	535	88.87



ラベル	フレーム数	割合
Anger	39	4.59
Contempt	23	2.71
Disgust	195	22.97
Fear	0	0.00
Joy	130	15.31
Sadness	0	0.00
Surprise	462	54.42

4.3.5 目視分析結果

目視で動画と感情値の確認を行うと、バレンスが多く、Joyが多いときには話し方の印象が良い印象を受けているように見える。また、直接プレゼンテーション動画を確認した場合にも、Joyが多いと好印象を受けることがプロジェクトメンバのディスカッションでも合意された。

プレゼンテーションを確認すると、表情だけではなく、活舌や話すスピードなどさまざまな要素に影響を受けていると想定するが、この数字からも表情の影響は大きいように感じられる。

4.4 心sensor導入による知見

4.4.1 プレゼンテーション分析による探究の定量化

探究通信簿で成熟度を作成する際に、トライアル中の現在は授業の中で利用したルーブリックの結果や、教師が評価したコンピテンシーなどを利用している。個々の授業のルーブリック作成時には、「育てたい資質」の37項目のタグの中から3~4個のタグを選択している。ルーブリックを作成した授業の終わりでは、本人とクラスメイトと教師でルーブリックのデータを入力することでデータを蓄積している。ルーブリックやその他の活動で蓄積したデータを生徒ごとに一覧化し、最終的に教師が判断することでタグごとの数値を確定し、探究通信簿の成熟度を作成している。

図4の「育てたい資質」のタグ12からタグ16で、階層2に表現という項目が定められている。タグ16では「成果物を使って共感を得る発表をすることができる」という項目があるが、の中にはプレゼンテーションも含まれている。プレゼンテーションの評価がタグ16のインプットとして今後利用できると考えている。プレゼンテーションでは発表者の表情も重要な要素であるため、発表時の表情を心sensorでトレーニングすることによって、さらに高度なプレゼンテーションが可能となると考えている。表情解析を含めたプレゼンテーションの結果を探究通信簿に取り込めるように繋がりたいと考えている。

4.4.2 教員からの評価

青翔開智ではプレゼンテーションの評価は探究通信簿で「コンテンツ」として定めている。コンテンツの評価は、多くの人の多様性のあるフィードバックを受けることで非評価者が成長すると考えている。そのため、探究の発表を年に1度行っている青開学会ではルーブリックによって来訪者や生徒からプレゼンテーションのアンケートの取得を行っている。

プレゼンテーションの評価は、発表内容、発表資料、話し方や表情などさまざまな要素が影響を与えている。プレゼンテーションを見た際の教師が受ける印象と、心sensorでの表情分析の結果は一定の相関があるという評価を受けている。発表者の表情が明るければプレゼンテーションについても良い印象を受け、発表者の表情が暗ければプレゼンテーションにマイナスの影響を受ける等である。これらを、心sensorとループリックによって取得するアンケート結果を受けてさらに分析することで、生徒のプレゼンテーション能力を向上させ、得られたデータを探究通信簿にも反映させることができる可能性があると感じているとの教員評価を受けている。

5. 今後の取り組み

生徒のプレゼンテーションを日々撮ることは、会場のセッティングや教師の負荷などから難しかった。特に表情解析を行うためには、正面から表情が分かる形で画像を取得する必要があるため、動画データの収集に手間がかかってきた。そのため、プロジェクトメンバが訪問した際を中心に動画撮影を行い、そのデータを分析してきた。新型コロナウイルス感染症の影響によってプロジェクトメンバは鳥取の青翔開智を訪問することができなくなった一方で、青翔開智がプレゼンテーションを動画配信することが始まった。動画配信の機会を活用して分析を行う機会を作ることが自然とできるようになってきた。そこで、今後は表情解析を行いつつプレゼンテーションのフィードバックを行う機会を増やしたいと考えている。

今後の計画として、2021年2月に青開学会を動画撮影する予定となっている。その場を活用して表情解析によるプレゼンテーション高度化の実証する予定である。まず、本番前の練習中に生徒のプレゼンテーションの表情を取得・分析し、生徒自身にフィードバックする。その際に、本番前のプレゼンテーションでも本人や他の生徒からプレゼンテーションのループリックを取得することを想定している。2月の青開学会でプレゼンテーションを行う際にも動画撮影を行い、プレゼンテーションの表情を分析し、ループリックのデータも取得する。これによって、練習前から本番後の表情およびループリックを取得することができる。プレゼンテーションの表情解析の結果のフィードバックが、プレゼンテーションの評価向上に役立つという仮説の検証に役立つことを想定している。

6. まとめ

我々のプロジェクトの目標はデータを活用したプロジェクトの高度化である。その中で、データを活用していくためには、今後生徒のさまざまな情報を取得し、それらを蓄積・分析して生徒の学習にフィードバックすることが重要であると考えている。プレゼンテーションにおける発表者の表情は、発表内容とともに重要な要素となると我々は考えている。プレゼンテーションにおけるさまざまなデータを取得して探究通信簿のインプットとすることは長期的に生徒の能力を伸ばす1要素となると考えている。

実証実験の結果から、プレゼンテーション時の表情は、プレゼンテーションの印象に大きな影響を与えているように見える。実証実験を積み重ねることで、プレゼンテーションに与える表情の影響のデータを蓄積したいと考えている。また、プレゼンテーション時に表情を含めた訓練を行うことで、プレゼンテーションの評価が高まると考えている。青翔開智でのプレゼンテーション練習と発表を通して、実証を続けたいと考えている。

課題としては、プレゼンテーションの動画と、アンケート結果の両方のデータが少ないため、統計的な分析にまでつなげることができていない状況である。今後、青翔開智の協力の下で動画データの取得とアンケートの取得を強化したいと考えている。

プレゼンテーションは生徒のみではなく社会人にとっても重要な要素となっている。その中で、プレゼンターの様子が受け手に及ぼす影響は少なくないと認識している。生徒がプレゼンテーションの表現力を鍛える一手段として表情解析とフィードバックを通じたプレゼンテーションのトレーニングに繋がりたいと考えている。

参考文献

- 1) JISA中学校デジタル化プロジェクト参加報告～ITを活用した教育の高度化への挑戦～：<https://www.cac.co.jp/softechs/pdf/st3601-07.pdf>
- 2) 鳥取県の学校法人鶏鳴学園 青翔開智中学校・高等学校（青翔開智）でのイベント「中学校デジタル化in青翔開智」：<https://www.affectiva.jp/affectiva-topics/jisa>
- 3) 感情認識AI：<https://affectiva.jp/>



採録決定：2021年1月31日

編集担当：坂下 秀（（株）アクタスソフトウェア）

ユーザの感性情報を用いた動的なコンピュータシステム

竹之内宏¹

¹福岡工業大学

本稿では、企業の商品開発分野などで注目されている感性情報処理に関する技術について、ユーザの感性情報を利用し、新たなものを作成するシステムを中心に述べる。昨今、市場にはものが溢れており、企業は他社との競争の中で、いかに消費者の感性に響く商品・サービスを提供できるかが求められている。人の感性は多種多様で、人同士で似通った感性を持っている場合やそうでない場合もあり、また数値で表現しづらい情報である。現代では、このような感性情報をコンピュータに取り込み、ユーザの好むものを動的に作成することが、個々のユーザの商品カスタマイズなどにおいて有用であると考えられる。このような有用性を実現しようとする技術の1つに、対話型進化計算（Interactive Evolutionary Computation：IEC）手法がある。IECは進化計算手法における解候補評価を人の感性評価に置き換えた手法である。これまでにさまざまなIECを応用したシステムが提案されているが、IECでは解候補評価におけるユーザの評価負担が膨大になることが問題となっている。この問題を解決するために、ユーザの解候補評価方法を改善したり、進化計算手法を改良したりして、さまざまな研究が行われている。本稿では、感性情報学のこれまでの歩みをまとめ、IEC手法の位置づけ、IECの研究事例や実環境における応用に関する知見などについて紹介する。

1. 感性情報処理の変遷とこれから

人間のある対象に対する感性情報をさまざまな形で数値化し、それらを解析・分析することで有用な知識や規則、さらには新しいものを生成することを目的とした感性情報処理と呼ばれる分野がある[1]。感性情報処理は、日本が戦後復興を果たし、量的、効率的な生産を経て、人はどのような製品を欲するか、どのような製品に魅力を感じるかに興味が集まる過程で発展してきた分野である。すなわち、売れる商品とは人々にどのような印象を持たれているのか、どのような属性や特徴を持っているかを知るために発展した分野であるといえる。感性情報処理は1980年代以降に研究分野として確立され、現在も企業や大学などで多くの研究が行われている[2],[3]。

感性情報処理の分野では、人間工学、心理学、情報工学、認知科学、知能情報学など、人間の感性にかかわる数多くの研究分野が学際的に存在し、さまざまな研究が行われている。たとえば、ユーザが製品に対して抱く印象を分析し、製品開発に有用な知識を抽出する研究[4]、ユーザの対象に対するさまざまな印象評価をシステムに入力し、それらを考慮した検索を行うシステム[5]、脳波などの生体情報を利用した印象、認知分析に関する研究[6]などがある。原田らは、本

稿の第2章で紹介するSD (Semantic Differential) 法[7]を用いて、自動車の形態に対するユーザの感性情報を詳細に分析している[4]。木本らは、SD法と同様に、対象に対する印象値を取得し、ユーザの好みのものを検索するシステムを構築している[5]。武田らは、配色パターンを提示したときのユーザの脳波情報を測定し、それらのデータを分析することで印象把握を実現している[6]。

従来、感性情報処理における研究では、SD法によるアンケート調査が主流であった。SD法は、ある対象に対する人間の感情的な印象やイメージを測定する手法であり、1957年に心理学者オズグッドによって考案された[7]。SD法によるアンケートでは、さまざまな反意語のある修飾語を用いて、対象の印象をイメージや感覚的刺激の側面から調査する。得られたアンケート結果は、因子分析などの多変量解析手法やプロファイル分析を用いて考察される。多くの企業では、自社製品の印象を分析するために有用な手法とされ、実用例が多数ある[8],[9],[10]。

しかし、SD法では、対象の印象を詳細に調査しようとする、多量のアンケートデータを多くの被験者から取得する必要があるため、アンケート回答項目や評価する対象数が膨大になることがある。このため、被験者の実験に取り組む際の負荷は大きくなり、アンケート結果を得るまでに多くのコストと時間がかかってしまう。また、一般ユーザの感性は時間の経過とともに変化するため、人の感性をリアルタイムに反映させ、商品をレコメンドするような動的なシステムにおいては利用が困難である。

現代の感性情報処理においては、人々の感性情報を取得し、理解することがリアルタイムで求められる場面は少なくない。これは、インターネットに関する技術が発展し、誰もがスマートフォンをはじめとする情報機器端末を所持するようになったことが大きく影響している。たとえば、スマートフォンを用いて衣服を購入しようとするとき、Webショッピングサイトからユーザが単純に衣服を検索するだけでなく、ユーザの年齢や性別、好みに合わせた衣服をショッピングサイトからレコメンドされるような場面を想定する。レコメンドの際には、Webサイトがユーザの属性や過去の購買・閲覧行動から、ユーザが好むであろうと想定される衣服を瞬時に検索し、提示している。このため、SD法のように、多量の感性情報を取得し、正確に印象の特性を把握しようとする手法は、リアルタイムに商品をレコメンドするようなシステムでは不向きである。

Webショッピングサイトなどでは、ユーザの購買行動を基にユーザが好むと想定される製品を自動的にレコメンドするシステムが多く登場している。たとえば、Amazonでは協調フィルタリング技術を用いたレコメンドシステムを実装している[11]。協調フィルタリングでは、あるユーザに商品をレコメンドする際、他のユーザの商品閲覧・購入履歴などを参照し、履歴が類似したユーザが閲覧や購入している商品をレコメンドする。しかし、単純に閲覧履歴などの類似度を参照しただけでは、真にユーザの所望する商品を理解することにはつながらない。レコメンドシステムにおいても、ユーザの嗜好を把握することは重要であるが、アンケート解析をしていたのでは、瞬時にレコメンドすることは困難である。これを解決するためには、ユーザの感性情報をあらゆる形でできる限り簡便に取得し、ユーザの好むものを動的に作成したり、検索したりすることが必要である。

このようなフレームワークを実現するために有用と考えられる技術の1つに、対話型進化計算 (Interactive Evolutionary Computation : IEC) 手法がある [12]。IECは進化計算 (Evolutionary Computation : EC) における解候補評価をユーザの感性評価に置き換えた手

法である。IECを用いたシステムには、ユーザの感性に合った音や画像を生成するシステム[13]、[14]、画像フィルタパラメータを検索するシステム[15]、インテリアレイアウト[16]や衣服をデザインするシステム[17]などがあり、幅広い分野で応用が試みられている。

一般的なIECシステムでは、ユーザは自身の感性に基づいて、解候補の表現型（音や画像などユーザが評価できるもの）の良し悪しを評価する。ユーザの評価情報はシステムにフィードバックされ、EC処理によって新たな解候補をほぼリアルタイムに生成する。このため、IECシステムでは、ユーザの解候補に対する評価情報を取得できれば、瞬時にユーザの好むと想定される解候補を生成できる。また、ユーザの評価情報ログを分析することによって、ユーザの好みの対象を生成するだけでなく、評価の傾向や他のユーザとの共通点などを観測でき、他商品のレコメンドなどにも有用であると考えられる。本稿では、このようなIECのこれまでの研究事例や今後期待される応用手法などについて、紹介していく。

本稿は全5章で構成される。第2章では、従来の感性情報処理の主流であるSD法についてまとめ、感性情報の動的な利用の必要性について述べる。第3章では、ユーザの感性情報を動的に利用できる手法として期待されるIEC手法の起源や基本アルゴリズムについて述べ、IECの技術的課題についてまとめる。第4章では、IECの研究事例を黎明期、展開期に分け、それぞれの特徴をまとめ、さらに最近の研究事例について紹介する。第5章では、本稿のまとめと今後予想される展開について述べる。

2. 感性情報処理において求められること

2.1 感性情報の数値化

人間の感性情報とは曖昧なもので、人によって感じ方が異なれば、感じ方の程度も異なる。図1に人間の感情分類によく用いられるラッセルの円環モデルを示す。ラッセルによると人間の感情は図1に示すように快—不快、覚醒—不覚醒の程度によって2次元平面上に配置される[18]。

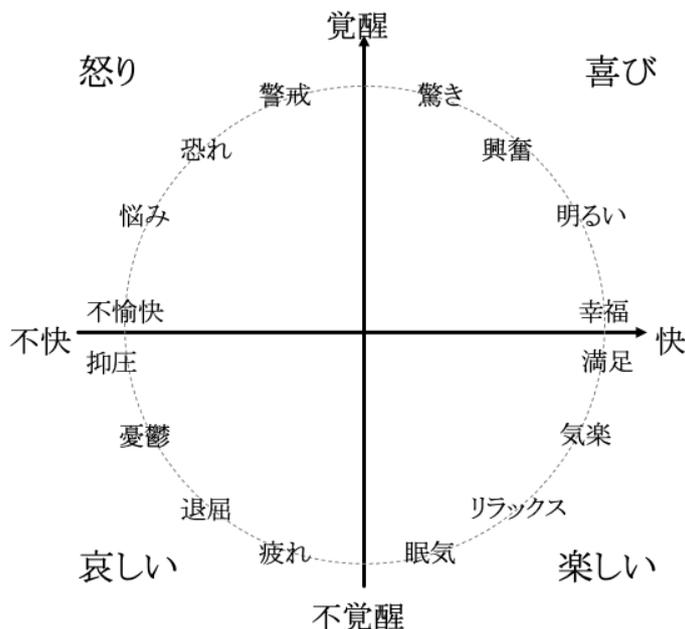


図1 ラッセルの円環モデル

このような感性情報を、たとえば10段階評価による数値で表現しようとした際には、以下のよう
な困難が生じる。

- 1) 数値化の程度に個人差がある
- 2) 時間の経過とともに、数値が変化することがある

1) では、たとえば、人間がある対象に対して、「かわいい」や「かっこいい」などさまざまな印象を抱いたとき、その印象を「とてもかわいい」「すごくかっこいい」のように言語で表現する場合を想定する。通常の話では、人間はこれらの意味を感覚的に無意識のうちに把握している。また、このような印象を客観的に扱えるように数値化しようとする、「かわいいの度合いは10点満点で8点である」「かっこいいの度合いは10点満点で7点である」のような表現になる。しかし、そもそも個人によって「とても」や「すごく」の度合いは異なり、数値化されても個人の主観的要素が含まれることになる。このため、感性情報は、長さや量など工学で一般に扱う数値データのように、定量的に表現しにくいものとされている。数値化された感性情報を分析・解析する際には、感じ方には個人差があることを考慮し、統計的分析の観点からはそのような個人差をカバーできる程の被験者集団を用意することも重要になる。

2) は、衣服を例に挙げると、流行り廃りが影響する。個人の感性は少なからず流行や他者の印象に影響され、以前は好みであったものが現在は好みでなくなる場合がある。また、人間は年齢を重ねるごとに好みの対象や程度も変化する。このため、数値化された感性情報も永久的に通用する値ではなくなってしまう。このような要因を踏まえた上で、感性情報は扱われる必要がある。しかし、比較的短期間における感性情報の分析・解析は、その時期のトレンドや年代別の嗜好を把握するためには有用である。なぜなら、トレンドは短い周期で変化することが多いためである。

感性情報を分析・解析した結果から知りたいことは、どのような属性や特徴を持っている対象が人々に好まれるのか、かっこいい、かわいいなどと思われるのかである。このとき、重要なことは対象に対する印象や感覚的イメージを可能な限り細分化し、細分化された印象を見ていくことである。たとえば、衣服の場合では、対象から受ける感覚的イメージを「派手か地味か」「明るい暗いか」などさまざまな修飾語対を用いて、ユーザに回答してもらう方法がある。これを実現している手法の1つがSD法であり、2.2節で解説する。

2.2 SD法による印象分析

感性情報処理の分野において、ユーザの製品に関する印象調査が企業を中心に試みられてきた[8],[9],[10]。その際に利用される代表的な技術がSD法である[7],[19]。SD法では、さまざまなモノやコトなどに対するユーザの感覚的刺激やイメージを測定する。測定対象に対する印象を多角的に捉えるために、SD法では複数の反意語のある修飾語（形容詞、形容動詞、副詞などを含む）対を用意し、それらを両端に置いた多段階の評価尺度に対してユーザが評点を付ける。図2にSD法における回答形式を示す。ユーザはモノやコトなどの複数の対象に対して、対象を見たり触ったり、また対象によっては実際に飲食したりして、図2のような回答形式で印象を回答する。図2の例では、各修飾語対について7段階評価で回答するようになっている。

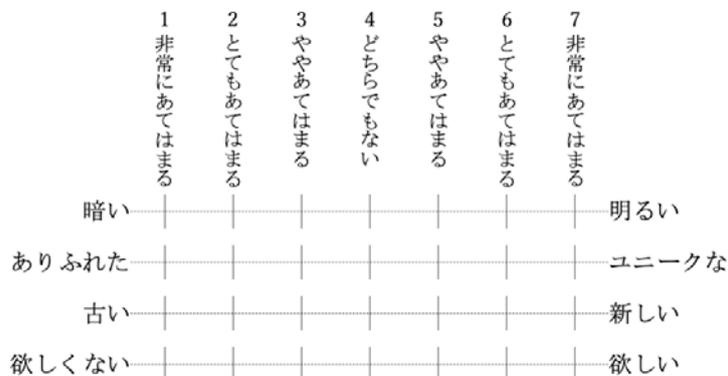


図2 SD法における回答形式

全被験者の回答が終了すれば、回答データを集計し、修飾語対同士の評点の相関係数を求めたり、因子分析や主成分分析など多変量解析手法を用いたりして、対象についての印象を考察する。考察の過程では、どのような印象が被験者の好みを分けるキーになっているか、被験者集団のうちどの程度の被験者が共通の印象を抱いているかなどについて検証される。

SD法を実用する際には、以下の2点について注意が必要である。

1) 被験者の負担の考慮

多数の対象に対して、多くの回答項目（修飾語対）を用意すれば、印象分析はより詳細になる可能性があるが、被験者の負担も増大する。被験者の負担が増加すると、回答記入漏れが発生したり、同様の作業の繰り返しで印象を正しく評価できなくなったりすることが想定される。ま

た、テイスティングなど測定対象によっては、被験者が回答項目における印象を正しく評価できる能力を持ち合わせなければならない場合もあり、被験者に一定の訓練が必要な場合もある。

2) 修飾語対の選択と配置

修飾語対には、「明るいー暗い」「珍しいーありふれた」「濃いー薄い」などのように、測定対象の性質や属性に関する印象を評価するものと、「良いー悪い」「欲しいー欲しくない」などのように、測定対象の総合的な価値を評価するものがある。回答形式を作成する際には、修飾語対自体の特性を考慮し、類似した修飾語対は続けて配置しない、総合的な価値を評価する修飾語対は全修飾語対の最後の方に配置するなど注意が必要である。前者は、回答の際に被験者の評価に迷いが生じてしまうこと、後者は、一連の評価の初期段階で総合的な価値を判断することによって生じる対象に対する先入観を除くためである。

SD法は対象に対する印象を多角的に分析・把握できる技術であり、これまで多くの企業や研究機関で用いられてきた。しかし、本節で紹介したように、実験者のアンケート設計の労力や被験者の評価負担も大きく、リアルタイムにユーザの感性情報を利用するようなシステムへの応用は困難であると考えられる。

2.3 感性情報の動的な利用とは

現代では、多くのユーザがパソコンやスマートフォンを介して、インターネット上から多くの情報を得られ、情報も日々更新されている。このような環境では、その場その場に合わせ、さまざまな情報を動的に利用し、ユーザが所望する商品検索やレコメンドが重要になってくる。このためには、ユーザの感性情報をあらゆる形で取得し、利用する数理モデルが必要である。ユーザの感性情報を動的に利用するようなシステムでも、2.1節で述べた感性情報の数値化に関する問題は想定される。すなわち、ユーザに対象が好きか嫌い、使いやすいか使いにくいかなど、直接の感性情報に関する回答を求めるとWebサイトの閲覧履歴や時間など間接的な情報からユーザの嗜好を推測することの両方が必要になってくる。

感性情報の動的な利用により、従来のアンケート解析では実現が困難であったリアルタイムにユーザの感性情報を学習する数理モデルが構築できると考えられる。第3章以降では、このように感性情報を動的に利用できる技術の1つとして期待されているIEC手法について紹介する。

3. ユーザの感性情報の動的な利用

3.1 対話型進化計算の概要

IECは、EC処理における解候補の表現型をユーザが評価できる音や画像などで構成し、評価関数の代わりにユーザの感性評価を用いて解候補を評価し、進化させる手法である[12]。IECでは、解候補はユーザの満足のいくデザインに向かって進化する。このため、IECは定量的に評価することが比較的困難な製品のデザインなどの感性評価や、ユーザ個人の主観評価が必要となる製品のカスタマイズなど、人の好みや主観が考慮されるべき問題に対して有効とされている[20]。さらに、EC処理によって生成される解候補群がユーザにとって思いも寄らない意外な発見を与えることがある。これは、EC処理に含まれるランダム要素によって、ユーザの目標とするデザインとは一風変わったデザインを提示するような場面などで体験できる。

IECの起源は、1986年にDawkinsが提案したバイオモルフであるとされている[21]。このシステムでは、簡単な生成規則に従って描かれた模様が、これらの規則の突然変異やユーザの選択によって複雑で興味深い形態へと進化することが報告されている。この研究に対して、研究者はもとより、多くのアーティストも興味を示し、グラフィックアートなどに同様の手法が応用されるようになった。その後、IECという用語がECをはじめとするソフトコンピューティングの分野などで1990年代に広まり、ユーザが好む音や衣服デザインなどを生成するIECシステムが数多く提案され、研究が進められるようになった。

IECを用いたシステムに関する研究では、ユーザの感性に合った画像を検索するシステム[22]や衣服のデザイン支援システム[17],[23]、配色支援システム[24]、電化製品のサイン音や声質チューニング[25],[26]、ロボットの動作を生成するシステム[27]、補聴器フィッティングシステム[28]など、さまざまなものをデザインするシステムが提案されている。また、芸術分野や教育分野への応用も行われている。芸術分野の代表的なIECシステムには、Dawkinsが提案したバイオモルフ[21]やUnemiが提案しているSBArt4[29]などがある。教育分野においては、子どもの作文支援におけるストーリー作成システムなどがある[30]。なお、2001年頃以前のIECに関する研究事例については、多くのIEC関連システムが紹介されている文献[12],[20],[31]などを参照されたい。本稿では、文献[12],[20],[31]以降のIEC研究事例やIECにおける諸問題の解決方法に重きをおいて、紹介していく。

3.2 基本アルゴリズム

IECの代表的な手法に、対話型遺伝的アルゴリズム（Interactive Genetic Algorithm：IGA）がある。遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm：GA）は、1975年にHollandらによって提案された近似解を探索するメタヒューリスティックアルゴリズムであり、EC技術の代表的な手法である[32]。これまでのIECにおけるECアルゴリズムでも、GAがよく用いられている。

まず、対話型でない通常のGAについて処理手順の概要を述べる。図3にGAの流れを示す。図3では、GAの解候補における遺伝子型はビットパターンで表現している。まず、初期解候補集団をランダムなビットパターンによって生成する。次に、解候補を表現型に変換し、評価関数を用いて評価する。評価が終了すると、各解候補の評価値を基に、選択・交叉・突然変異処理が行われ、新たな解候補が生成され、再び評価される。このような処理を繰り返し、評価関数を満たす解候補を生成していく。

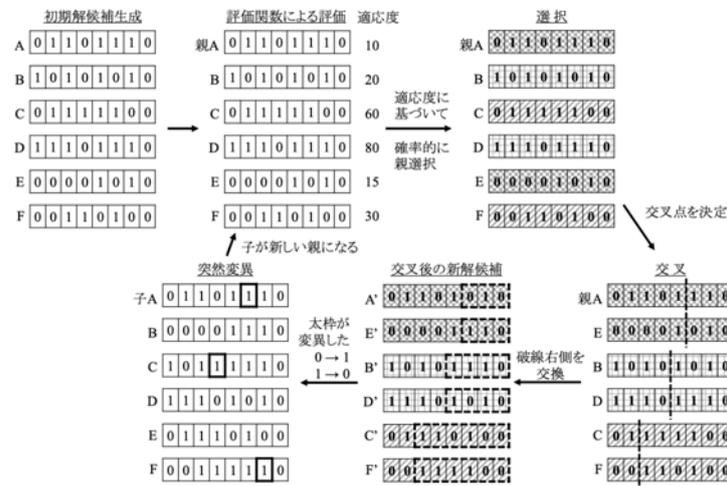


図3 GAの流れ

選択処理においては、解候補ごとに与えられた評価関数による適応度（評価値）を用いて、親となる解候補が確率的に選択される。すなわち、適応度が高い解候補ばかりが選択されるのではなく、適応度の低い解候補にも選択される機会がある。選択された親解候補は、次世代の子孫となる子解候補を生成するために用いられる。一般的な選択処理には、解候補ごとの適応度に比例した選択確率が与えられ、その確率に従って親解候補が選択されるルーレット選択や適応度の期待値に比例した選択確率を用いる期待値選択、適応度の順位によって選択確率が与えられるランク選択などがある。

次に、交叉処理においては、選択処理で選択された親解候補から子解候補を生成する。図3では、一点交叉と呼ばれる方法を用いている。これは、2つの親解候補の遺伝子列を1カ所で前後半部分に分け、後半部分のみを入れ替えることによって、新たな2つの子解候補を生成する方法である。一点交叉以外にも、複数点で親解候補を分割する複数点交叉や親解候補の適応度を交叉に反映させる一様交叉と呼ばれる方法がある。

最後に、突然変異処理においては、交叉処理によって生成された子解候補の遺伝子座を一定の割合で変化させる。このときの割合は突然変異率と呼ばれ、通常数%以下がよいとされている。突然変異処理の役割は、類似した子解候補同士が解候補集団に広がることを避け、よりバリエーションの高い解候補集団を生成できるようにすることである。

これらの処理以外にも、ある世代における最良解候補を次世代にそのまま引き継ぐエリート保存戦略がある。GA処理では、選択、交叉、突然変異の一連の操作によって生成された解候補群の適応度がいずれも前世代の最良適応度より低くなってしまうことがしばしば起きる。エリート保存戦略は、最低でも前世代の最良適応度を維持し、解候補群の改悪を防ぐために用いられる。

IECは、図3における評価関数による解候補評価がユーザの感性に基づく評価に置き換わったものに他ならない。図4にIECの解候補探索におけるユーザとEC技術の関連を示す。ECにおいては、ユーザが評価する表現型空間を構成するための遺伝子型空間がビットパターンや実数値列で定義されている。IECでは、ユーザはシステムによって遺伝子型と対応付けられた表現型（図4で

はランニングシューズデザイン) を評価する。表現型はシステムによって、音・画像・動画などさまざまな対象として定義される。IECシステムでは、遺伝子型空間における遺伝子型生成と表現型空間におけるユーザの評価が協調して、ユーザが満足のいく解候補が生成される。

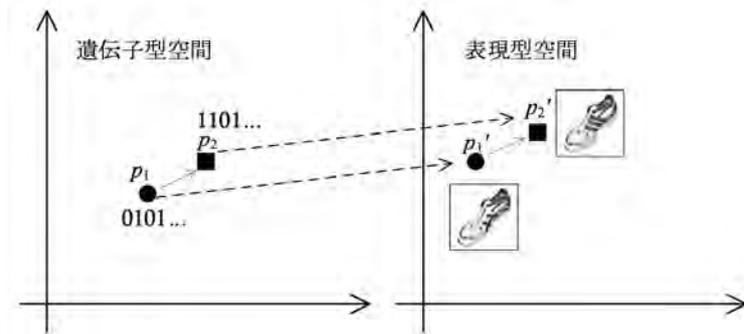


図4 ユーザとEC技術の関連

IECシステムを設計する上では、表現型空間において、ユーザが個々の表現型に対して感じる類似性と、遺伝子型空間において生成される遺伝子型同士の類似性を対応付ける必要がある。この対応付けは遺伝子コーディングと呼ばれ、この良し悪しがECにおける解候補の進化性能を大きく左右する。これは、遺伝子型がわずかに変化した場合に表現型が大きく変化してしまうと、類似した遺伝子型であってもユーザにはまったく関係がない対象であると判断してしまうためである。これによって、遺伝子型空間では解候補同士が似通っているにもかかわらず、表現型空間では異なる解候補と判断され、両空間の整合性を取りにくく、解候補の進化に悪影響を及ぼすことが想定される。

3.3 対話型進化計算における課題

IECにおいては、ユーザがIECシステムにより提示された表現型を評価する際の肉体的心理的負担が大きな問題となっている。IECと通常のECにおける大きな違いに、「IECでは、通常のECのように、膨大な解候補数や世代交代数を設定しにくい」という点がある。表1にIECと通常のECにおける差異を示す。ECでは解候補の評価を評価関数が行うため、ユーザが一連のEC処理過程に介入する必要はない。このため、ECでは、毎世代数百以上の解候補を評価し、世代交代数も膨大な回数を繰り返すことが可能である。しかし、IECでは、毎世代数百から数千の表現型に対して、ユーザが「好き」や「嫌い」、「やや好き」といった感性評価を繰り返すことは現実的ではなく、多大な負担をユーザに強いることになる。このため、通常は、IECではユーザの評価負担軽減の面からも、解候補数は多くても20個程度、世代交代数も10~20世代程度に限らざるを得ない。

表1 IECとECの差異

	IEC	通常 EC
評価関数	ユーザの感性評価	数式で定義
解候補数	8～20個程度	100個～
世代交代数	10～20世代程度	100世代～

また、IECの黎明期では、解候補1つ1つに5段階や10段階の評価値を与える段階評価方式が一般的であったが、ユーザの評価負担は大きなものであった。段階評価方式では、たとえば、以前に与えた評価値7と現在与えようとしている評価値7は、自身にとって同程度の評価値なのか、ユーザが迷ってしまい、心理的負担につながってしまうことが想定される。また、ユーザが解候補に対する好みの度合を数値で表現し、評価付ける作業自体にも困難さが伴う。このように、IECでは、ユーザの評価負担軽減が大きな課題となっており、一般のユーザが使用できる応用システムの開発を困難にしている1つの要因であると考えられる。これらの課題を解決するために、たとえば、以下のようなアプローチが提案されている。

- 1) 評価インタフェースの改善
- 2) 解候補の多様性維持
- 3) ユーザの生体情報の利用

1) では、たとえば、段階評価方式に代わり、ユーザに複数の解候補から好みの解候補だけを選択してもらって選択式評価手法がある[33],[34],[35],[36]。評価作業自体を単純にする手法は、ユーザの負担軽減のみならず、IECの応用システムにも直接的に寄与すると考えられる。しかし、評価作業が単純化されると、解候補それぞれの評価値も粗くなってしまふ。たとえば、10個の解候補からユーザが好みの解候補だけを選択した場合、解候補の評価値は選択された場合は1点、されなかった場合は0点のように2段階でしか評価できず、解候補集団がうまく進化しないケースが想定される。このため、ユーザの評価作業を単純化した場合は、ECアルゴリズムを改善するなどして、評価値の粗さをカバーできる仕組みが必要である。

2) では、たとえば、通常のECとIECのハイブリッドアルゴリズム[37]や多峰性探索に優れた免疫アルゴリズム (Immune Algorithm : IA) を用いた手法[38]などがある。通常のECにおいて生成された解候補は、世代交代が進むに連れて収束し、解候補同士の類似性は高くなる。IECでも同様の現象は発生するが、これがユーザに解候補評価の飽きや負担を発生させるおそれがある。すなわち、IECにおいて、ある程度世代交代が進むと、ユーザは見た目がきわめて類似したデザインを複数個評価しなければならなくなる。この問題を解決する1つの方法として、解候補全体の多様性を維持しつつ、ユーザの所望するデザインを多峰的に探索できるようにすることが挙げられる。

3) では、たとえば、ユーザの心拍や脳波、視線情報をIECの解候補評価に用いている研究がある[39],[40],[41]。ユーザは、音や画像などの刺激情報を見たり聞いたりする際には、少なからずさまざまな生体反応が発生すると考えられる。たとえば、音や香りなどの刺激情報に対してそれらがユーザのリラックスできるものであれば、脳波のα波が出現したり心拍も落ち着いたりする傾向になると考えられる。また、好みの衣服デザインとそうでないデザインの両方を提示されたユーザは、自然と興味のある衣服デザインの方に視線がいく傾向があるとされている。これら

の研究では、ユーザは解候補に対して直接的に評価値を与えたり、好みのものを選択したりせず、単に刺激情報を見たり聞いたりするだけでユーザの生体反応から自動的に評価値が算出され、EC処理が行われる。

1) ~3) 以外にも、課題解決のアプローチは存在しており、たとえば、ユーザの解候補評価の際の気づきを逐次解候補探索に反映させるオンライン知識の組み込みなどがある。Sugaharaらは、浴衣をデザインするIECシステムにおいて、ユーザが気に入った帯の色があれば、以後の世代でも帯の色を固定し、その後のデザインをしやすくしている[42]。

このようにIEC手法においては課題が散見されるが、実システムに応用されるために多方面から研究がなされており、さまざまな基本システムが考案されている。第4章では、本節で挙げたIECのユーザ評価負担軽減の取り組みを含め、IECの研究事例について紹介する。

4. 対話型進化計算の研究事例

4.1 研究初期（黎明期）

本稿では、IECシステムに関する研究動向の黎明期を2000年代前半頃までとする。1990年代にIECという単語が定義され、さまざまな研究が行われてきている。研究分野が確立された当初は、IECにおけるさまざまな性能評価と利用可能性について検証されたことが、さまざまなIECシステムが提案されることにつながっている。

4.1.1 さまざまなIECシステム

Kimらは、女性用ドレスのデザインをトップス、スリーブ、スカートなど複数のパーツに分け、各パーツの組合せ最適化によってユーザ好みのドレスを生成するIECシステムを提案している[43]。図5にKimらが提案した女性用ドレスデザインの評価インタフェースを示す。この研究では、各デザインパーツはビットパターンを用いて遺伝子コーディングされ、ユーザは提示されたドレスデザインにスライダを用いて評価値を入力する。



図5 女性用ドレスデザインの評価インターフェース（出典：文献[43]のFig.1より）

伴場らは、インテリアレイアウトをデザインするIECシステムにおいて、レイアウトに関するユーザの評価値と生成されたレイアウトの日当たりや家具の配置などを評価するエージェントの評価値の2種類を用いてIECを実行するシステムを提案している[16]。インテリアレイアウトにおいてはユーザの嗜好も重要であるが、日当たりなど日々の生活で欠かせない要因も最適化されることが望ましい。この研究では、これら双方の要望を反映できるIECシステムが構築されている。

このような研究事例の一方で、IECにおけるユーザの評価作業のしやすさに焦点を当てた研究も存在する。これらの研究事例は、後のIEC技術の展開において礎となっている。

Oliverらは、WebサイトをデザインするIECシステムを構築している[44]。この研究では、ユーザが選択式評価手法によって好みの解候補を複数個選択する評価インターフェースを採用し、ユーザが選択した解候補数によって、GAにおける次世代の解候補の生成方法を変化させている。

Hayashidaらは、自己組織化マップ（Self-Organizing Map：SOM）を用いて、IECにおける解探索過程を可視化する手法を提案している[45]。通常のIECでは、ユーザは提示された解候補のみを把握することしかできず、これまで評価してきた解候補との関連性を確認することは、ユーザ自身の記憶に頼るしかなかった。この手法では、SOMによる解探索過程の可視化により、解候補の収束性が向上することが確認されている。図6にHayashidaらが提案した評価インターフェースを示す。ユーザは、図6中右上の世代交代数表示の下ウィンドウで解候補の探索過程を確認できる。



図6 SOMを用いた解探索過程可視化インタフェース（出典：文献[45]のFig.10より）

4.1.2 複数ユーザの感性情報の利用

黎明期のIECでは、1人のユーザの感性情報を用いてそのユーザの好みの解候補を生成することが目的となっている場合が多い。しかし、現実の場面では、複数人で対象をデザインしたり評価したりする機会は多く、EC技術を応用する対象となっている。

田川らは、ネットワーク接続されたIGAシステムを数人のユーザが個別に操作し、建築物の内装をデザインする手法を提案している[46]。この手法では、一対比較法による各ユーザの評価結果から解候補の評価値を算出している。さまざまなユーザを被験者とした評価実験より、合意形成にIGAを用いることは有効であるとされている。

三木らは、島モデルGA手法をIECシステムに応用し、合意形成を目的としたIECシステムを提案している[47]。島モデルGAでは、複数のGAを島として独立させて実行し、定期的に島同士の解候補を移住させ、最終的に多様な特性を持つ解候補を生成する[48]。各島はそれぞれ異なる評価関数を持ち、解候補を独自に進化させる。図7に三木らが提案した島モデルGAを応用したIECシステムの概要を示す。このシステムでは、各島の評価関数が各ユーザの評価に置き換わり、島ごとに衣服の配色を5段階で評価する。評価実験の結果より、この手法は合意形成に有効であるとされている。

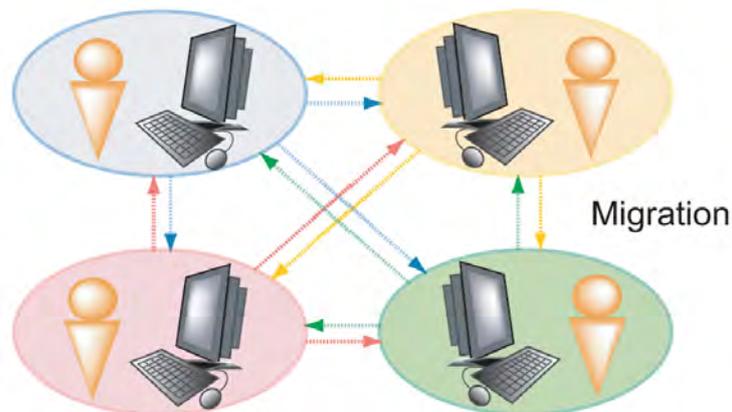


図7 島モデルGAを応用したIECシステムの概要（出典：文献[47]の図2より）

このような研究事例の一方で、複数人の感性評価をIECシステムに取り入れる際には、各ユーザが同時に解候補評価に参加する必要はなく、協調フィルタリングのような考え方で、過去のユーザの評価事例を解候補探索に活かそうとした研究がある。Henmiらは、「何もしないよりは、不確かな他人の評価特性を使ってでも、ユーザの疲労軽減や解探索の高速化に役立たせた方が良かるう」というコンセプトに基づいたIECシステムを提案している[49]。この手法は、ユーザ本人の評価とあらかじめコンピュータに組み込まれた複数のユーザの評価特性による評価の両方を用いて、解候補を評価するIECシステムである。シミュレーション結果より、複数のユーザの評価特性を用いない場合と比較して、解候補の収束性が向上することが確認されている。

本節では、IECの黎明期における研究について俯瞰してきた。これらのシステムは、4.2節で述べる展開期においても礎となり、さらに多くの研究事例が発表されている。

4.2 研究の展開（展開期）

本稿ではIECの展開期は、黎明期後半から現在までとしている。2000年代後半になると、コンピュータのスペックも上がり、Unityなどのコンピュータグラフィクスに関するプログラミング環境も充実してくる。また、インターネットの一般普及が加速し、携帯電話市場にスマートフォンが登場することにより、IECの分野においてもアプリケーションを意識したシステムが提案されるようになってきている。このように研究者や開発者を取り巻く環境がハードウェア・ソフトウェアの両方の面で大きく発展し、黎明期の研究事例を礎に、さらなるIECシステムが提案されている。本節では、これらの研究事例について、評価インタフェース・ECアルゴリズムの改良、複数ユーザの感性情報の利用、多目的・多峰的な解探索、ユーザの生体情報の利用、深層学習手法との連携の観点よりまとめている。

4.2.1 評価インタフェースの改良

3.3節で紹介した評価インタフェースの改善においては、選択式評価手法がさまざまな形で実現されている。たとえば、解候補をトーナメント表に配置し、一対比較で良し悪しを評価していくトーナメント式評価手法がある[33],[34]。一対比較評価の利点は、音や動画などの時系列データを評価する際に発揮される。時系列データを評価する際には、解候補を見たり聞いたりする

のに一定の時間を要するため、一度に数個の解候補を評価し、評価値を与えることは困難である。しかし、一対比較評価では、ユーザは2つの解候補の良し悪しを比較するだけで済み、評価負担は従来の段階評価手法に比べて大きく軽減できることが報告されている[34]。

評価インタフェースの改良においては、タブレット端末の普及も相まって、これまでの段階評価手法も行いやすくなっている。従来の段階評価手法の実装は、主にパソコン向けのアプリケーションであり、評価値が記載されたボタンをクリックしたり、スライダーを左右に操作したりすることが一般的であった。しかし、タブレット端末の登場でユーザは指で解候補を移動させるフリックという操作が可能になった。この操作を用いて、安藤らは買い物インタフェースなる評価手法を提案している[50]。図8に安藤らが提案した買い物インタフェースを示す。このシステムでは、ユーザが(1)のエリアにある音楽で表現された複数の解候補(カラーの円図形)の中で気に入った解候補を(2)比較エリアへ移動させ、さらに(3)購入エリアまたは(4)あとで購入エリアへ移動させる。(5)はゴミ箱エリアであり、気に入らなかった解候補が入れられる。

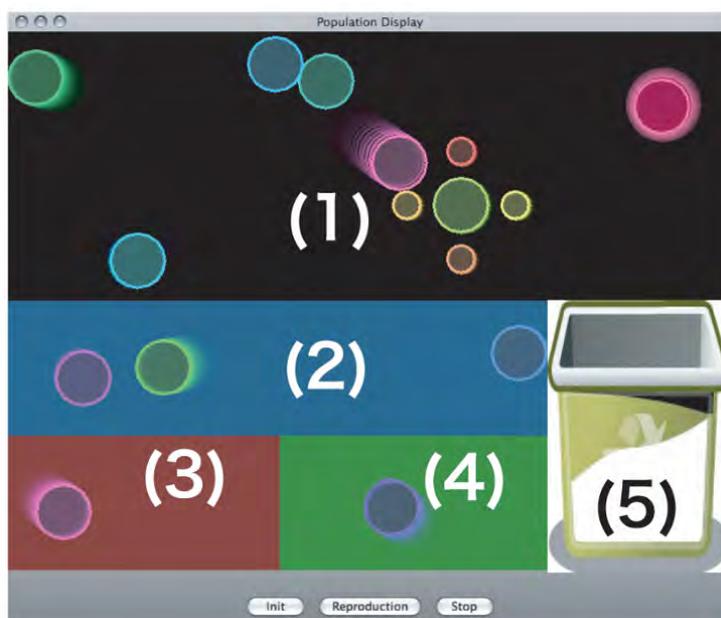


図8 買い物インタフェースの全景(出典:文献[50]の図3より)

4.2.2 ECアルゴリズムの改良

IECにおけるECアルゴリズムの代表的な手法はGAであるといえるが、他のECアルゴリズムを適用しようとする研究が行われている。たとえば、4.2.1項で紹介した選択式評価手法について、ECアルゴリズム内で一対比較によって解候補を評価する操作が組み込まれている差分進化(Differential Evolution: DE)[51]という手法が応用されている。これまでに、DEをIECに応用した対話型差分進化(Interactive Differential Evolution: IDE)という手法も提案され、ECアルゴリズムの新たな利用が実現されている[36],[52],[53]。

選択式評価手法においては、局所探索法であるタブーサーチ (Tabu Search : TS) [54]を応用して、ユーザが複数の近傍解候補の中から好みの解候補を1つだけ選択する対話型タブーサーチ (Interactive Tabu Search : ITS) が提案されている[35]. この研究では、TSの局所探索によって、毎世代同じような解候補が提示されるが、解候補の進化性能はGAを用いるよりも高いことが示されている。

ほかにも、解候補を木構造で表現する際には遺伝的プログラミング (Genetic Programming : GP) が用いられ、粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization : PSO) や焼きなまし法 (Simulated Annealing : SA) を用いたりして、GAでは実現できない解候補の探索方法を提案する取り組みがある[13][55],[56],[57]. 高木らの調査によれば、GAは幸いにも、評価値の量子化がある程度粗くなっても進化性能は維持され、ロバストであるとされている[58]. このため、ユーザが段階評価手法において5段階や10段階で解候補を評価しても、ある程度解候補は進化する。しかし、ほかのECアルゴリズムを応用する際はこの限りではなく、さまざまな工夫が行われている。

4.2.3 複数ユーザの感性情報の利用の発展

4.1.2項で述べた複数ユーザの感性情報をIECに反映させる手法も展開期ではさまざまに拡張され、多くのユーザの投票行動によって解候補を進化させる投票型IECシステムが提案されている[59],[60]. 投票による解候補評価では、SNSの普及により、たとえばFacebookの「いいね！ボタン」やTwitterのリツイート機能などを利用して、Web上で不特定多数のユーザの感性を投票として獲得できるようになってきている。Takenouchiらは、不特定多数のユーザからのWeb投票による評価情報をIECの解候補評価に用いることを想定した複数ユーザ参加型トーナメント方式を提案している[59]. この研究では、多くのユーザが手軽に投票することを可能にするため、一対比較評価インタフェースが用いられている。また、坂井らは、投票を得る際に街中のデジタルサイネージなど多くの人が目につく場所に解候補を提示し、その場で投票してもらうIECシステムを提案している[60]. これらの研究ではある程度の投票数を獲得できれば、多くのユーザが満足のいくデザインを生成できることが確認されている。図9に坂井らが提案したデジタルサイネージ投票IECシステムの外観を示す。このシステムでは、デジタルサイネージに提示されたコーディネートに対して、道行く人が投票することで、さまざまなコーディネートが生成される。



図9 デジタルサイネージ投票IECシステムと使用中の様子（出典：文献[60]の図7より）

畦原らや井上らは、複数人が会議のような場で合意形成を行う際に、IECを応用するシステムを提案している[61],[62]。これらのシステムでは、複数のユーザの解候補に対する評価値を用いて解候補を進化させるが、評価中にはユーザ同士の相談や会話を許容し、実際の議論ベースで動作させる実験が行われている。その結果、単にIECシステムを各ユーザが操作するだけでなく、ユーザ同士がコミュニケーションを取りながら解候補の良し悪しを決めたりする方が参加ユーザにとって満足度の高い解候補が生成できるとされている。

4.2.4 多目的・多峰的な解候補探索

4.2.3項に関連して、複数のユーザがIECの解候補評価に参加した場合、各ユーザが満足のいくデザインを生成しようとするEC処理における評価関数が複数用意されたことになり、多目的最適化の技術が重要になる。すなわち、通常のGAなどの単峰的探索手法のみでは、複数ユーザの感性に合った解候補を生成することは困難である。また、ユーザが1人の場合も、ある対象に対して複数のタイプのデザインが好みである場合は容易に想像できる。たとえば、衣服デザインについて、カラーや模様が異なるデザインがあった場合に両方とも好みであると答えるような場面である。このような要求を満たそうとすると、多峰的に解候補を探索するEC技術が必要になってくる。

Nishinoらは、IAを用いたIEC手法を提案している[38]。この手法では、IAの適用により、解候補の多様性が確保されることが確認されている。伊藤らは、クラスタリング手法を用いたユーザの嗜好の多峰性に対応した解候補生成手法を提案している[63]。この手法では、クラスタリング手法を用いることにより、ユーザの嗜好に合ったさまざまな解候補を提示できることが確認されている。Guoらは、多目的最適化をIECに応用した手法について、数値シミュレーションベースで検証を行っている[64]。

4.2.5 生体情報の利用

これまで紹介してきたIECシステムにおける選択式評価手法では、ユーザの評価負担軽減が実現されているものの、ユーザが解候補に対して明示的に評価を付与することには変わりはない。すなわち、ユーザには解候補評価作業が発生し、ユーザは解候補に対して抱いた印象を意識的に選択や評価値付けなどの行動を通して表現しなければならない。この点について、ユーザが解候補を見たり聞いたりしたときに発生すると考えられるユーザの生体情報を用いて解候補評価ができれば、新たなIECシステムの提案につながると考えられる。

IECの解候補評価にユーザの生体情報を用いる際には、脈拍や脳波を利用している研究事例がある。福本らは、ユーザに解候補を提示したときの脈拍情報をIECの解候補評価に用いている[39]。同様に脳波情報を用いたIECシステムも提案されている[40],[65]。

しかし、ユーザの心拍や脳波などを測定する際には、ユーザは心拍計や脳波計などの装置を着用しなければならない。一般に普及するIECシステムの構築は困難である。この問題を解決するためには、ユーザの視線情報などユーザが計測装置を着用しなくても測定できる生体情報を利用できれば効率的であると考えられる。視線情報を計測する際には、ユーザは測定装置を着用する必要がない。また、「目は口ほどにものを言う」ということわざもあるように、ユーザの視線情報には潜在的な嗜好が含まれていると考えられている。

視線情報を用いたIECシステムでは、ユーザの視線情報をIECの解候補評価に用いて、ユーザの好むものを動的に生成する。視線IECに関するシステムは、これまで複数のシステムが構築され、ユーザが満足するいくつ解候補を生成できることが確認されている[41],[66],[67],[68],[69]。**図10**に視線情報を用いたIECシステムの概要を示す。このシステムでは、ユーザは提示された解候補群を自由に眺めるだけでよいという長所から、ユーザの評価負担を軽減できることも確認されている。



図10 視線情報を用いたIECシステムの概要

視線情報を用いることで、たとえば、多人数による解候補評価も容易になる。4.2.3項で紹介した投票型IECにおいて、投票の代わりに複数ユーザの視線情報を解候補評価に利用できれば、ユーザの評価にかかる手間を軽減できると考えられる。磯田らや藤崎らは、坂井らが提案した投票型IEC[60]において、ユーザの視線情報を用いて解候補を評価するIECシステムを提案している[70],[71]。これらの研究では、基礎実験により多くのユーザが満足のいくデザインを生成できることが示唆されている。

4.2.6 Deep Learning手法との連携

IECシステムにおいては、遺伝子型における次元数が大きくなりすぎる、すなわち解候補空間が大きくなると最適化が困難になるという問題がある。これは、通常のEC手法においても同様の問題であるが、IECの場合は、世代交代数や解候補数がECに比べて非常に少なくせざるを得ないことから、顕著な問題である。

この問題を解決し、解候補の表現型のバリエーションを増やすため、深層学習の1つである敵対的生成ネットワーク（Generative Adversarial Networks：GAN）を用いたIECシステムがある[72]。GANは、低次元の入力データから画像などの高次元の擬似データを生成する手法である[73]。GANでは、擬似データを生成するネットワークと生成された擬似データを識別するネットワークが競合することで、低次元入力データと高次元擬似データの対応付けを行い、さまざまな高次元データを生成できる。

図11にBontragerらが提案したDeepIECの概要を示す。DeepIECでは、GANに入力する低次元データをIECによって最適化し、GANの生成ネットワークによって解候補の表現型を生成している。これにより、IECにおける表現型のバリエーションの増加を実現している。

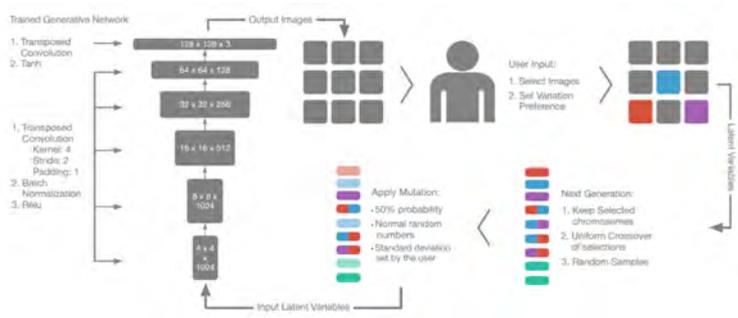


図11 DeepIECの概要（出典：文献[72]のFig.1より）

4.3 応用的研究事例

4.1節と4.2節にて、これまでのIECシステムに関する研究を俯瞰してきた。IECシステムは研究がはじまって30年程度経つが、これまでに多くのIECシステムが提案され、さまざまな発展を遂げてきた。しかし、実際に世の中に普及しているIECシステムは少ない。本節では、実際に一般に利用されたIECのより実応用的な研究事例を紹介する。

大谷は、EC技術を応用して、個人の感性を反映したメロディを作曲するシステムを提案している[74],[75]。この研究では、複数の楽曲からピッチやメロディなどさまざまな特徴量を抽出し、共生進化手法によって、楽曲の特徴を反映させたメロディを作成する。このシステムは、実際に、企業のサウンドロゴを生成したり、アーティストの作曲支援に利用したりされている。アーティストの作曲支援においては、システムによって生成されたメロディを基にアーティストが新たな曲を作成する。このシステムでは、ユーザは複数の楽曲を自身の感性によって選択し、それらを入力するだけである。また、このシステムを使う上では、共生進化により自動的に生成されたオリジナルメロディが気に入らない場合は、ユーザは再び楽曲を入力し、メロディを生成しなおすことになる。このシステムが通常のIECシステムと大きく異なる点は、ユーザに複数回の解候補評価を要求しないことである。このように、今後、IECシステムが実環境で応用されるためには、使用場面に応じた柔軟な変化も必要になると考えられる。

5. 感性情報処理の今後に向けて

本稿では、ユーザの感性情報処理におけるポピュラーな手法であるSD法について述べ、ユーザの感性情報を動的に利用し商品を生じたりレコメンドしたりできる有用な技術の1つであるIEC手法について解説した。IECシステムに関する研究は、IECが登場してから30年程度の間数多く提案されている。しかし、これまで実環境で応用されたIECシステムは多くはない。IECシステムが実環境で応用されるためには、利用形態や最適化対象に合わせて、IECシステム自体が柔軟に変化する必要があると考えられる。たとえば、製品のカスタマイズなどユーザが複数回の解候補評価を連続して行える場面があれば、レコメンドシステムのようにユーザの直接的な評価以外の要素が必要な場面もある。このような場面に応じて、IECシステムのECアルゴリズム、評価インタフェース、解候補設計、遺伝子コーディングなどさまざまな要素を工夫していくことが、今後のIEC研究の将来を左右すると考えられる。本稿がIEC手法の応用システム実現の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) Nagamachi, M. : Innovation of KANSEI ENGINEERING, CRC Press (2011).
- 2) Nagamachi, M. : KANSEI/AFFECTIVE ENGINEERING, CRC Press (2011).
- 3) 長町三生：感性工学—感性をデザインに活かすテクノロジー，海文堂社 (1989).
- 4) 原田利宣，森 典彦，杉山和雄：自動車の形態分析への「認知幾何」の応用，デザイン学研究，Vol.42, No.1, pp.79–86 (1995) .
- 5) 木本晴夫：感性語による画像検索とその精度評価，情報処理学会論文誌，Vol.40, No.3, pp.886–898 (1999).
- 6) 武田昌一，山本佐代子，細川弥生，田中美枝子，加藤修一：配色パターン印象に関連する脳波成分の抽出，感性工学研究論文集，Vol.5, No.1, pp.13–18 (2004).
- 7) Osgood, C.E., Sugi, G.J. and Tannenbaum, P.H. : The Measurement of Meaning, University of Illinois Press (1957).
- 8) 佐藤英明，齊藤静男，林 豊彦：嚙下性に優れた錠剤形状の研究，日本感性工学会論文誌，Vol.9, No.2, pp.137–143 (2009).
- 9) 鄭 秉国，洪 起，豊口 協：パッケージデザインとしてのシャンプー容器に関する消費者の嗜好および嫌悪分析：購買行動促進のためのパッケージデザインに関する感性工学的基礎研究 (1) ， デザイン学研究，Vol.53, No.1, pp.9–18 (2006).
- 10) 相良泰行：おいしさの仕組みを探る感性工学，日本醸造協会誌，Vol.97, No.10, pp.700–706 (2002) .
- 11) Linden, G., Smith, B. and York, J. : Amazon.com Recommendations : Item-to-item Collaborative Filtering, IEEE Internet Computing, Vol.7, No.1, pp.76–80 (2003).
- 12) Takagi, H. : Interactive Evolutionary Computation : Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, Proceedings of the IEEE, Vol.89, No.9, pp.1275–1296 (2001).
- 13) 安藤大地，Palle, D., Mats, N., 伊庭斉志：対話型GPを用いたクラシック音楽のための作曲支援システム，芸術科学会論文誌，Vol.4, No.2, pp.77–86 (2005).
- 14) 木村宗裕，大城英裕，植田清一，藤木 穰，末田直道：ユーザによる候補画像の選択に基づく画像処理システムのパラメータ探索方式，情報処理学会論文誌，Vol.49, No.1, pp.513–524 (2008).
- 15) 荒川 薫，野本弘平：対話型進化計算を用いた非線形顔画像美観化処理システムとその特性，電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌) ， Vol.131, No.3, pp.576–583 (2011).
- 16) 伴場裕介，小谷淳司，萩原将文：評価エージェントを用いた対話型進化計算手法によるインテリアレイアウト支援システム，情報処理学会論文誌，Vol.46, No.11, pp.2804–2813 (2005).
- 17) 鬼沢武久，緒形友希：インタラクティブ服飾デザイン支援システム，日本感性工学会論文誌，Vol.9, No.1, pp.25–32 (2009).
- 18) Russell, J. A. : A Circumplex Model of Affect, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.39, No.6, pp.1161–1178 (1980).
- 19) 長沢伸也，神田太樹：数理的感性工学の基礎—感性商品開発へのアプローチ，海文堂，第3章 (2010).
- 20) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム4，産業図書，第V部 (2000).
- 21) Dawkins, R. : The Blind Watchmaker, W.W. Norton & Company (1986).
- 22) 長尾光悦，山本雅人，鈴木恵二，大内 東：インタラクティブGAに基づく画像検索システムの評価，人工知能学会誌，Vol.13, No.5, pp.720–727 (1998).
- 23) Meng, Y., Mok, P. Y. and Jin, X. : Interactive Virtual Try-on Clothing Design Systems, Computer Aided Design, Vol.42, Issue.4, pp.310–321 (2010).
- 24) 井上博行，袁 丹，岩谷香栄：対話型進化計算による配色支援システム，知能と情報 日本知能情報ファジィ学会誌，Vol.21, No.5, pp.757–767 (2009).
- 25) Fukumoto, M. : Triple Comparison-based Interactive Differential Evolution for Creating Sign Sound, 20th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing

(SNPD) , pp.291–296 (2019) .

26) 井上亜彩美, 福本 誠 : UTAUと対話型差分進化を用いたユーザの理想声生成における効果の検証と声質パラメータの観察, 日本感性工学会論文誌, Vol.18, No.4, pp.299–306 (2019).

27) Peng, H., Hu, H., Chao, F. and Zhou, C. : Autonomous Robotic Choreography Creation via Semi-interactive Evolutionary Computation, International Journal of Social Robotics, Vol.8, Issue.5, pp.649–661 (2016).

28) Takagi, H. and Ohsaki, M. : Interactive Evolutionary Computation-Based Hearing Aid Fitting, IEEE Transaction on Evolutionary Computation, Vol.11, No.3, pp.414–427 (2006).

29) Unemi, T. : SBArt4 for an Automatic Evolutionary Art, 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation in 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI 2012), pp.2014–2021 (2012).

30) Kuriyama, K., Terano, T. and Numao, M. : Authoring Support by Interactive Genetic Algorithm and Case Base Retrieval, International Journal of Knowledge-based Intelligent Engineering Systems, Vol.2, No.4, pp.197–202 (1998).

31) 伊庭齊志 : 進化論的計算手法, オーム社, 第5章 (2005).

32) Holland, J. H. : Genetic Algorithms and Adaptation, Adaptive Control of Ill-Defined Systems, Vol.16, pp.317–333 (1984).

33) Watanabe, Y., Yoshikawa, T. and Furuhashi, T. : A Study on Application of Fitness Inference Method to PC-IGA, 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007), pp.1450–1455 (2007).

34) Takenouchi, H., Tokumaru, M. and Muranaka, N. : Tournament-style Evaluation Using Kansei Evaluation, International Journal of Affective Engineering, Vol.12, No.3, pp.395–407 (2013).

35) Takenouchi, H., Tokumaru, M. and Muranaka, N. : Interactive Evolutionary Computation Using a Tabu Search Algorithm, IEICE Transactions on Information and System, Vol.E96-D, No.3, pp.673–680 (2013).

36) Takagi, H. and Pallez, D. : Paired Comparisons-based Interactive Differential Evolution, World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC'09), pp.475–480 (2009).

37) Ono, S., Maeda, H., Sakimoto, K. and Nakayama, S. : Optimizing Quantitative and Qualitative Objectives by User-System Cooperative Evolutionary Computation for Image Processing Filter Design, Proceedings of the 18th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications, pp.167–178 (2014).

38) Nishino, H., Sueyoshi, T., Kagawa, T. and Utsumiya, K. : An Interactive 3D Graphics Modeler Based on Simulated Human Immune System, Journal of Multimedia, Vol.3, No.3, pp.51–60 (2008).

39) Fukumoto, M., Nakashima, S., Ogawa, S. and Imai, J. : Extended Interactive Evolutionary Computation Using Heart Rate Variability as Fitness Value for Composing Music Chord Progression, Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics, Vol.15, No.9, pp.1329–1336 (2011).

40) Ren, S., Tang, J., Barlow, M. and Abbass, H. A. : An Interactive Evolutionary Computation Framework Controlled via EEG Signals, 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), pp.2402–2409 (2014).

41) Takenouchi, H. and Tokumaru, M. : Interactive Evolutionary Computation System with User Gaze Information, International Journal of Affective Engineering, Vol.18, No.3, pp.109–116 (2019).

42) Sugahara, M., Miki, M. and Hiroyasu, T. : Design of Japanese Kimono Using Interactive Genetic Algorithm, 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2008), pp.185–190 (2008).

43) Kim, H. S. and Cho, S. B. : Knowledge-based Encoding in Interactive Genetic

- Algorithm for a Fashion Design Aid System, Proceedings of the 2nd Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO '00), pp.757 (2000).
- 44) Oliver, A., Monmarche, N. and Venturini, G. : Interactive Design of Web Sites with a Genetic Algorithm, Proceedings of the International Association for Development of the Information Society (IADIS) International Conference WWW/Internet 2002, pp.355–362 (2002).
- 45) Hayashida, N. and Takagi, H. : Acceleration of EC Convergence with Landscape Visualization and Human Intervention, Applied Soft Computing, Vol.1, Issue.4, pp.245–256 (2002).
- 46) 田川和正, 河村 廣, 谷明 勲, 滝澤重志 : 対話型進化計算法を用いた建築物内装デザインの合意形成に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集計画系, No.44, pp.301–304 (2004).
- 47) 三木光範, 廣安知之, 富岡弘志 : 並列分散対話型遺伝的アルゴリズムを用いた合意形成システムの有効性, 人工知能学会論文誌, Vol.20, No.4, pp.289–296 (2005).
- 48) 電気学会 進化技術応用調査専門委員会編 : 進化計算技術ハンドブック, 近代科学社, 第12章 (2010).
- 49) Henmi, S., Iwashita, S. and Takagi, H. : Interactive Evolutionary Computation with Evaluation Characteristics of Multi-IEC Users, 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2006), pp.3475–3480 (2006).
- 50) 安藤大地, 伊庭齊志 : 音楽創作支援IECのための買い物フロー型インタフェース, 進化計算学会論文誌, Vol.3, No.3, pp.73–84 (2012).
- 51) Storn, R. and Price, K. : Differential Evolution-A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Space, Journal of Global Optimization, Vol.11, pp.341–359 (1997).
- 52) 河野高英, 堤和 敏 : オフィスビルのファサードを対象としたデザイン発想支援システムの開発 IDES (Interactive Differential Evolution with Score) の提案, 知能と情報 : 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.23, No.4, pp.380–390 (2011).
- 53) Lee, M. C. and Cho, S. B. : Interactive Differential Evolution for Image Enhancement Application in Smart Phone, IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp.1–6 (2012).
- 54) Glover, F. : Tabu Search-Part I, ORSA Journal on Computing, Vol.1, No.3, pp.190–206 (1989).
- 55) Loughran, R. and O'Neil, M. : Evolutionary Music : Applying Evolutionary Computation to the Art of Creating Music, Genetic Programming and Evolvable Machines, Vol.21, pp.55–85 (2020).
- 56) Mádar, J., Abonyi, J. and Szeifert, F. : Interactive Particle Swarm Optimization, Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'05), pp.314–319 (2005).
- 57) 三木光範, 廣安知之, 伏見俊彦 : 対話型シミュレーテッドアニメーリングの提案, 同志社大学理工学研究報告, Vol.44, No.1, pp.13–24 (2003).
- 58) 高木英行, 大宅喜美子, 大崎美穂 : 対話型遺伝的アルゴリズムのインタフェース改善方法の提案と評価, 第12回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.513–516 (1996).
- 59) Takenouchi, H., Tokumaru, M. and Muranaka, N. : Tournament Evaluation System Applying Win-Lose Result Presumption Considering Multiple People's Kansei Evaluation, Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics, Vol.16, No.3, pp.453–461 (2012).
- 60) 坂井将之, 竹之内宏, 徳丸正孝 : デジタルサイネージを用いた複数のユーザの投票によるデザイン生成支援システム, 日本感性工学会論文誌, Vol.15, No.4, pp.503–511 (2016).
- 61) Unehara, M., Saitou, M., Yamada, K. and Suzuki, I. : Design Support System with Consensus Building of Multiple Participants by Interactive Evolutionary Computation, the 18th International Symposium on Advanced Intelligent Systems

(ISIS2017), pp.433–441 (2017).

62) Inoue, Y., Inoue, T. and Tokumaru, M. : Collaborative Design Support System Based on Interactive Genetic Algorithm, the 15th International Conference on Human-Computer Interaction : HCI International 2013 – Posters' Extended Abstracts, Communications in Computer and Information Science, Vol. 373, pp 685–689 (2013).

63) 伊藤冬子, 廣安知之, 三木光範, 横内久猛 : 対話型遺伝的アルゴリズムにおける嗜好の多峰性に対応可能な個体生成方法, 人工知能学会論文誌, Vol.24, No.1, pp.127–135 (2009).

64) Guo, Y. N., Zhang, X., Gong, D. W., Zhang, Z. and Yang, J. J. : Novel Interactive Preference-Based Multiobjective Evolutionary Optimization for Bolt Supporting Networks, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.24, No.4, pp.750–764 (2020).

65) Unehara, M., Yamada, K. and Shimada, T. : Subjective Evaluation of Music with Brain Wave Analysis for Interactive Music Composition by IEC, Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS 2014), Kitakyusyu, pp.66–70 (2014).

66) Pallez, D., Collard, P., Baccino, T. and Dumercy, L. : Eye-Tracking Evolutionary Algorithm to Minimize User's Fatigue in IEC Applied to Interactive One-Max Problem, Proceedings of the 10th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO '07), pp.2883–2886 (2007).

67) Holmes, T. and Zanker J. : Eye on the Prize : Using Overt Visual Attention to Drive Fitness for Interactive Evolutionary Computation, Proceedings of the 10th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO '08), pp.1531–1538 (2008).

68) García-Saravia, J., Salas-Morera, L., García-Hernández, L. and Antolí Cabrera, A. A. : Application of an Eye Tracker Over Facility Layout Problem to Minimize User Fatigue, International Work-Conference on Artificial Neural Networks (IWANN 2017), pp.145–156 (2017).

69) Jung, J., Matsuba, Y., Mallipeddi, R., Funaya, H., Ikeda, K. and Lee, M. : Evolutionary Programming Based Recommendation System for Online Shopping, 2013 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, pp.1–4 (2013).

70) Isoda, H., Takenouchi, H. and Tokumaru, M. : Gaze-Voting Interface for Interactive Evolutionary Computation Considering the Kansei Evaluation of Multiple People, 7th International Conference on Kansei Engineering & Emotion Research 2018 (KEER2018), pp.29–38 (2018).

71) 藤崎美夏, 竹之内宏, 徳丸正孝 : 複数ユーザの視線情報を用いた対話型進化計算システム, 日本知能情報ファジィ学会誌 知能と情報, Vol.30, No.4, pp.613–622 (2018).

72) Bontrager, P., Lin, W., Togelius, J. and Risi, S. : Deep Interactive Evolution, Neural and Evolutionary Computing, pp.247–282 (2018).

73) Goodfellow, I. J., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. and Bengio, Y. : Generative Adversarial Nets, Advances in Neural Information Processing Systems, Vol.27, pp.2672–2680 (2014).

74) Otani, N. : Generation of a Corporate Sound Logo Based on Symbiotic Evolution, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2019), pp.2106–2112 (2019).

75) 岡部大介, 大谷紀子, 永盛祐介 : 音楽大学の楽曲制作プロジェクトにおける人工知能を活用した学習環境デザインの一事例, 教育システム情報学会誌, Vol.37, No.2, pp.161–166 (2020).



竹之内宏（非会員）h-takenouchi@fit.ac.jp

2008年関西大学工学部電子工学科卒業，2010年関西大学大学院工学研究科博士課程前期課程修了，2013年同大学院理工学研究科博士課程後期課程修了．博士（工学）．同年同大学非常勤研究員，ポスドクトラルフェローを経て，2014年より福岡工業大学情報工学部システムマネジメント学科助教．現在に至る．対話型進化計算の応用システムに関する研究，ファジィ推論を用いた感性検索システムに関する研究に従事．日本知能情報ファジィ学会，日本感性工学会，電子情報通信学会，IEEE各会員．

採録決定：2020年12月4日

編集担当：江谷 典子（Peach・Aviation（株））

遠隔地間の味コミュニケーションを想定した対話型進化計算による混合飲料生成システムの改善

Improvement of Multi-user IEC for Creating Beverage on the Assumption of Taste-communication

福本 誠 (Makoto Fukumoto)¹ 花田良子 (Yoshiko Hanada)²

¹福岡工業大学 ²関西大学

対話型進化計算 (IEC: Interactive Evolutionary Computation) は、最適化手法である進化計算をもとに、個々のユーザの好みを反映したコンテンツ作成を支援する有力な探索ツールである。本研究では、コンピュータでの処理、情報伝達の難しさからIECで扱うことが困難な刺激である味覚に着目し、多くのユーザの感性に合う味コンテンツの創生を行う新たなIECシステムを提案する。ここでは、清涼飲料の味の創生を目標とし、遠隔地にいる複数のユーザによる同時探索手法と、味の調合情報を交換する「味コミュニケーション」を取り入れた飲料調合システムの開発を行う。さらに、被験者がペアで参加する味評価実験を行い、手法の基礎的な有効性を検証する。

1. 対話型進化計算による味コンテンツの探索とは

対話型進化計算 (IEC: Interactive Evolutionary Computation) は、最適化の近似解法の一つである進化計算において、評価関数の役割を人間のユーザが担うことにより、そのユーザの好みを反映したメディアコンテンツの作成を支援する有力な手法である[1],[2]。人間の感性はユーザ自身にも把握が難しく、表現も困難である。そのため、評価の部分を個々のユーザにゆだねることで、ユーザそれぞれの嗜好のバイアスにしたがった探索、すなわちブラックボックス的な特性を持つ関数に合う最適解を探索することが可能となる。

このような探索の特性と、ディスプレイ、スピーカなど一般的なコンピュータに備わっている入出力装置を評価のインタフェースにそのまま利用できることから、ユーザの視覚、聴覚に頼ったコンテンツ探索を行うIECが重点的に開発されてきた[3],[4],[5],[6],[7],[8]。また、近年では、特殊な装置を導入することにより、視聴覚メディアに限らず、触覚、嗅覚といった幅広いコンテンツの生成にIECの応用がなされている。

IECは元々1人のユーザが評価を行う手法であるが、個人に適したメディアコンテンツの生成だけでなく、複数のユーザが同一の設計目標のもとでIECの探索に参加することで、複数ユーザの好みに合うコンテンツの生成を行う手法が提案され、成果を上げている[3],[4],[5],[6],[7],[8],[9]。その内容として、個々のユーザがIECのタスクを行う途中でユーザ間の良い解を交換す

る方法や、多くのユーザが評価プロセスに参加する方法があげられる。また、複数ユーザが参加するIECの多くは視覚的なコンテンツを対象とする手法[3],[4],[5],[7]であったが、聴覚[6],[8]や嗅覚[9]についても取組みがある。

本研究^{☆1}では、複数のユーザ参加型のIECによる味コンテンツの創生に着目する。ここで味覚コンテンツとは、食物や飲料のことをいい、IECによる味覚コンテンツ生成は、各ユーザの好みに合う食物や飲料を生成する手法とも説明できる。味覚を対象としたIECについては、これまでにコーヒーのブレンドングをプロの参加者に評価してもらう手法が1997年にHerdyによって提案されている[10]。それ以来、筆者らがIECによる出汁[11]やジュースの混合[12]といった手法を提案するまで、新たな手法が提案されてこなかった。これは、ECやIECの知識を持ちながら、味覚を混合・提示するツールの開発を行う研究者が皆無であったことが一因と考えられる。任意の数値データに基づいて味コンテンツを作り出すデバイスがほとんど存在しないことも、理由の1つであろう。

本研究の目的は、IECによる飲料生成について、複数のユーザの好みに合う飲料の生成を目指す(図1)。本稿で紹介するシステムは、IECとしての先行研究で構築したジュースの混合システム[12]、および解交換を行う島モデルをもとにした複数ユーザによるジュース混合システム[13]に基づく。しかしながら、これまでの先行研究[12],[13]では、水流ポンプそのものの精度の悪さと制御の困難さから、飲料の混合の精度に問題があった。ここでは、これまで用いた混合装置におけるポンプと制御を改善することで、混合の精度を高めることを主目的とする。また、被験者がペアで参加する実験を行い、手法の有効性を検証する。先行研究でも2名の被験者が隣り合う形で実験に参加したが、本研究では将来的な味コミュニケーション、すなわち遠隔地のユーザが互いの良い飲料の情報をやりとりしながら探索を行う手法を念頭に、別々の部屋で実験に参加する。

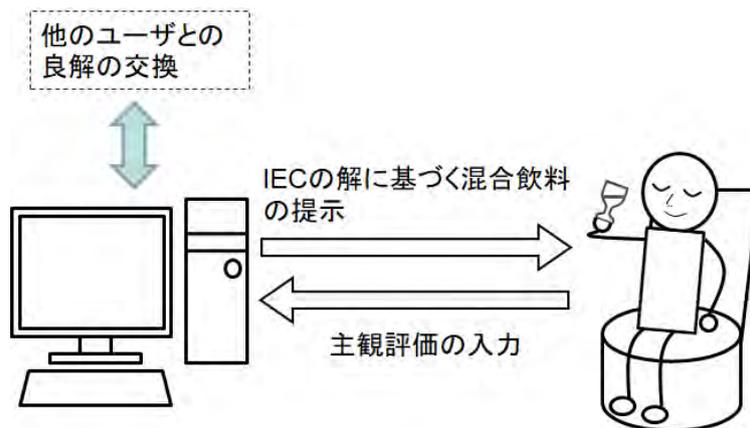


図1 複数ユーザによる飲料混合IECの概念図

2. 複数ユーザが参加するIECによる飲料混合手法とシステムの構築

2.1 対話型進化計算

図2に、一般的な進化計算のフローチャートを示す。探索アルゴリズムである進化計算が、数値計算に基づく評価関数により個体（解の候補）を評価するのに対し、IECでは人間のユーザが個体の評価を行う。そのため、IECではそのユーザに合う解を得られることが期待される。選択や操作（交叉、突然変異）といった通常の進化計算で行われる処理はIECにも含まれるが、人間が評価を行うことから集団に含まれる個体の数は少なく設定されることがほとんどである。なお、図2の下線で示す箇所は、複数ユーザが参加する味コミュニケーションの処理であり、1.3節で説明する。

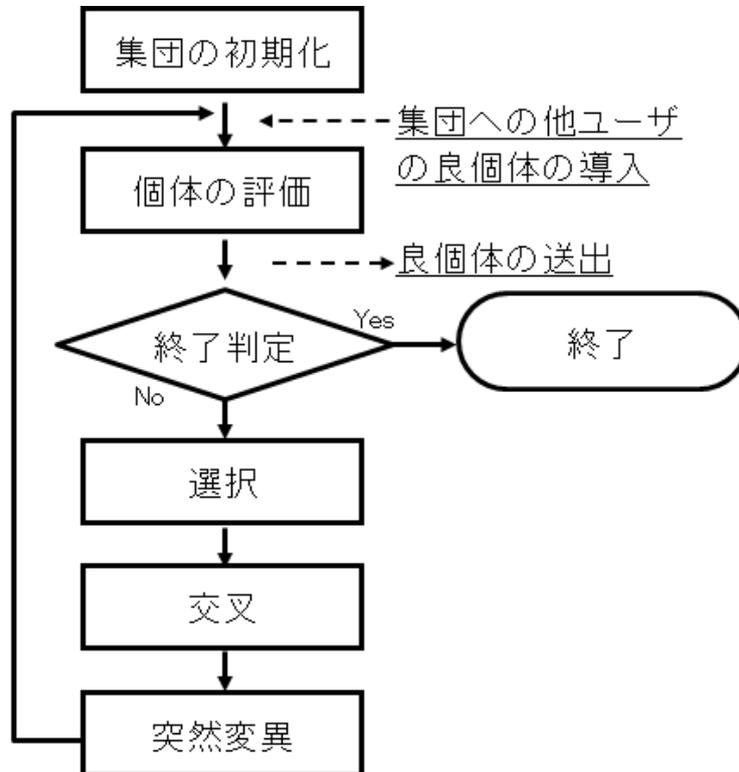


図2 IECのフローチャート。右上の下線を引いた箇所は、他ユーザとの良個体のやりとりを示す。

2.2 対話型進化計算による飲料混合手法

この手法は、IECの解候補を混合飲料とし、各ユーザに好まれる混合飲料を作る手法である。図2のフローチャートにあるように、ユーザが混合飲料の味を繰り返し評価することで、ユーザの好みに合う混合飲料を得られることが期待される。例として、混合するもとの原飲料3種類の混合比が1：2：3とすると、これらの比をそのまま解候補の数値情報とする手法があり得る。

図3は、IECによる飲料混合システムの概念図である。上述した比の考え方をポンプの駆動時間と結び付けることにより、解候補と対応する混合飲料の生成を実現している。このシステムは、ジュースを混合する先行研究[12],[13]で制作したものの欠点を改善したものであり、その欠点は混合飲料の調整にあった。図3中に破線で囲んだ箇所に示すように、ポンプの駆動により空気を密封した瓶に送り込む方式を用いていたが、瓶自体の密封性にも影響を受ける場合があり、送出する原飲料の量の信頼性に問題があった。また、原飲料の補充や、実験後のメンテナンス、チューブの消毒などの際も不便であった。

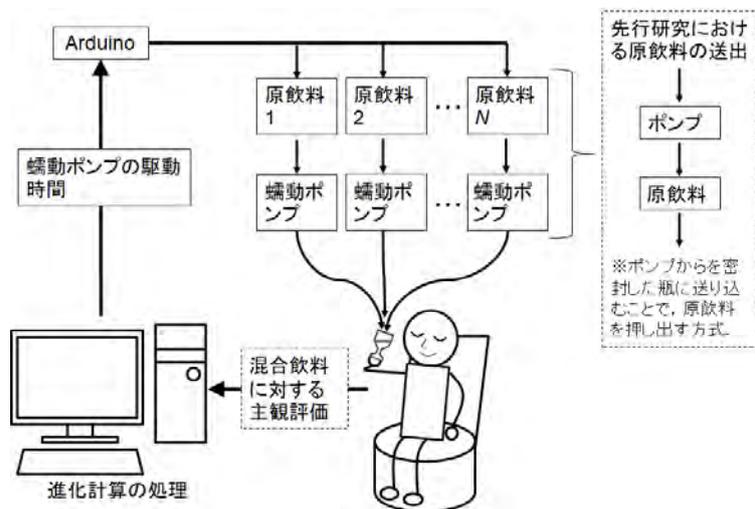


図3 1ユーザを対象とする飲料混合IECのシステムの処理フロー

本研究では、駆動時間の比を用いる点は同じであるが、蠕動ポンプを用いることでこの問題を解決した。蠕動ポンプは、チューブなどの流路壁に外から変位を加えることで、内部の流体を輸送する装置である[14]。ポンプが駆動した分だけを押し出すような形で原飲料を吐出するため、密封された瓶を用いずとも飲料混合が実現可能である。また、蠕動ポンプの特性として逆流を防ぐ機能もあるため、高い精度の混合が可能となった。蠕動ポンプを用いることの問題点は、図3の処理フローから分かるように、電気系統の一部である蠕動ポンプが原飲料と混合飲料に挟まれる形になることである。そのため、飲料と電気系統が近づかないよう、チューブを長くとした上で、物理的な配置を工夫した。

2.3 対話型進化計算による複数ユーザが参加する飲料混合手法

先行研究[13]において、島GAの考え方に基づき、複数ユーザが参加して混合飲料探索を行う手法を提案した。これは、各ユーザが個人による探索を行っている最中に、探索途中の良い解を交換し合うことで、共通して好む解を探索する狙いがある。この問題においては、共通して好む味覚コンテンツを探すこととなり、このようなコンテンツを得ることは食品開発やその補助につながる可能性がある。

本研究においては、改良した飲料混合IECのシステムを用いた実験を行う。精度の高い吐出量の調整が可能になったため、ポンプを駆動する時間を短くし、多くの原飲料を浪費せずに済むこととなった。また、将来的には、遠隔地にいる多くのユーザが参加し、お勧めの味情報を交換する味コミュニケーションの形態を目指している。先行研究では2名のユーザが隣り合って実験に参加する形式であったが、この将来的な展開を考慮し、今回は2名が別の部屋に分かれて実験に参加する形をとった。

2.4 改良した手法に基づくIECシステムの構築

複数ユーザが参加する飲料混合IECの有効性の検証を目的とする実験を行う。ここでは、実験を実施するために構築したシステムについて説明する。

進化アルゴリズムには、最もポピュラーなアルゴリズムである遺伝的アルゴリズム (GA : Genetic Algorithm) を採用した。また、同時に実験に参加する人数は2名とした。混合のもととなる飲料には、4種類のジュース (オレンジ, アップル, グレープ, ピンクグレープフルーツ) とミネラルウォーターを用いた。そのため、GAの個体が持つ変数は5となる。この変数は整数であり、定義域は0から20とした。初期世代の解は、この範囲の乱数で作られた。5つの蠕動ポンプの総駆動時間を4000msとし、変数の比をもとに各ポンプを駆動することで、表現型である混合飲料を生成することとした。ポンプの吐出精度が向上したことから、先行研究[13]よりも総駆動時間、吐出量を減らし、評価にかかる時間、紙コップの廃棄にかかる時間を短くした。GAの計算結果をもとに蠕動ポンプを駆動する際には、オープンソースのマイコンボードであるArduinoを用いた (図3)。なお、これらの変数ができるだけ簡単な比となるよう、個体が作られた際に最大公約数が得られた場合はその値ですべての変数を割ることとした。

実験で用いたGAの設定は、先行研究と同じく、世代数7、個体数8、選択手法はルーレット選択とエリート戦略を併用した。交叉は一点交叉、突然変異により遺伝子の値が3の範囲で変動するものとした。解交換については、毎世代の終わりに世代中の最良個体をネットワーク接続して使用するファイルサーバNAS (Network Attached Storage) に保存し、奇数世代の終わりにもう一方のユーザの個体をもたらってくることとした (図2)。すなわち、もってきた個体は、第2、4、6世代の集団の中に入るものとした。その際、自身の探索における世代中の最良個体は上書きされないものとした。

3. 実験方法

提案手法の有効性を調査するための飲料評価実験を実施した。この実験には、12名の被験者が参加した。実験は、探索実験と評価実験の2段階から構成され、探索実験は混合飲料の評価を繰り返す解探索であり、評価実験は探索後に得られた解が探索前の解より良いものであることを調べるための実験であった。

味覚に影響を及ぼす可能性があるため、1時間前から水以外の飲食は避けてもらった。個体ごとの独立性を確保するために、全ての混合飲料は紙コップに吐出してユーザに提示し、ユーザによる評価後にその紙コップは廃棄した。紙コップの利用は、衛生面の問題を防ぐ狙いもあった。

3.1 探索実験

2名ずつの被験者でペアになってもらい、同じ時刻から探索実験に参加してもらった。先行研究[13]では同じ実験室で隣り合う形で実験を実施したが、今回は異なる部屋で実験に参加してもらった。システムの動作確認や飲料の充填などの対応するために、それぞれの部屋に実験者がつく形で実験を行った。

各被験者は、IGA (対話型遺伝的アルゴリズム : Interactive Genetic Algorithm) の個体に相当する飲料を口に含み、そのおいしさの程度を7段階のSD法[15]により評価した。数値と形容詞の関係は、1は非常にまずい、4はどちらでもない、7は非常においしい、であった。飲み過ぎによる味覚の慣れを予防するために、飲料を評価する際には口に含むだけで飲まないよう被験者に教示した。実験中は、水を飲むなど、自由に休憩をとることを許可した。

3.2 評価実験

探索実験から1日以上を空けた後、被験者は1名ずつ評価実験に参加した。被験者自身が探索実験で評価した解候補のうち、初期世代と最終世代からそれぞれの最良解候補を抽出し、評価の対象とした。すなわち、被験者は探索の最初と最後の世代で作られた2つの解候補を再度評価した。

評価指標は、探索実験と同じく7段階のおいしさに関する評価であった。被験者は、2つの飲料が（いずれの世代から抽出されたかも含め）どのような飲料かが分からない状態で、必ず両方の飲料の味をみてから評価することとした。提示順は、順序効果を考慮し、ランダムでカウンタバランスをとった。

4. 実験結果

4.1 探索実験の結果

探索実験の結果として、評価値の推移を図4に示す。これらの値は、各被験者における世代中の平均評価値と最大評価値を算出した後に、それらの被験者間平均をとったものである。また、下線が付された世代は、もう一方の被験者からの良個体を評価した世代である。

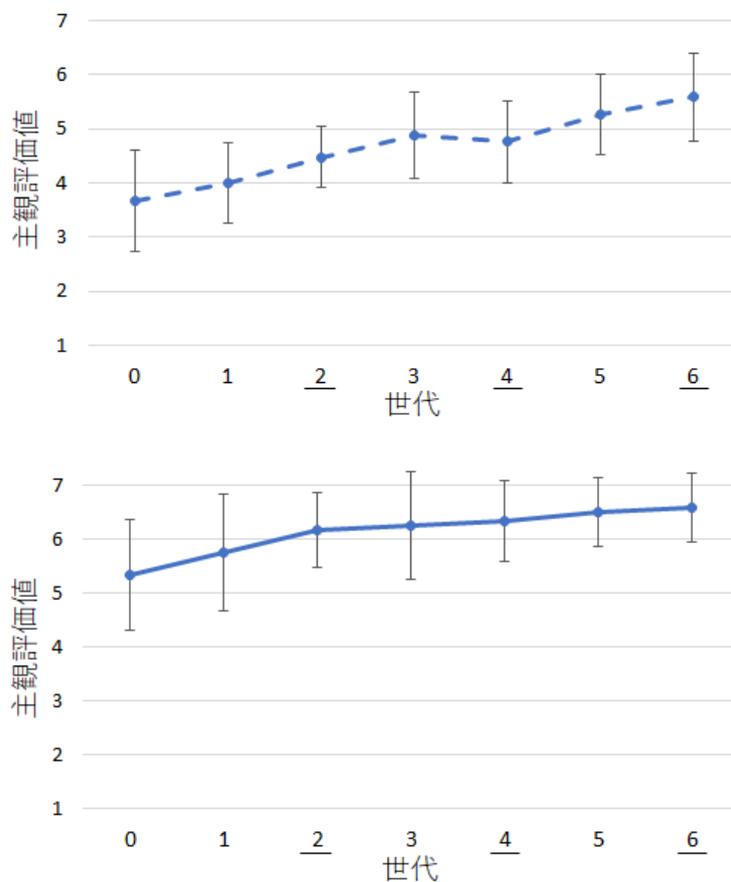


図4 探索実験における全被験者の評価値の推移（上：平均値，下：最大値）

グラフから分かるように全体的に上昇傾向にあり、特に平均評価値では、初期世代の平均値は4ポイント（どちらでもない）を下回ったものの、最終的には5ポイントを超える結果となった。初期世代と最終世代の間で統計解析による比較を行ったところ、平均値で有意な上昇が観察された ($P<0.01$)。最大値についても、有意な上昇が確認された ($P<0.01$)。

図5に、個体間の距離の推移を示す。これは、探索空間の収束の程度を、世代中で計算し得る2個体のユークリッド距離の総和から見たものである。個体数は8であるため、28組の距離の総和となる。グラフから、世代の更新に伴い、急激に距離が減少していることが分かる。また、ペアを組んだ相手から最良個体を集団に取り入れた第2、4、6世代では、やや距離の減少に鈍化が見られた。

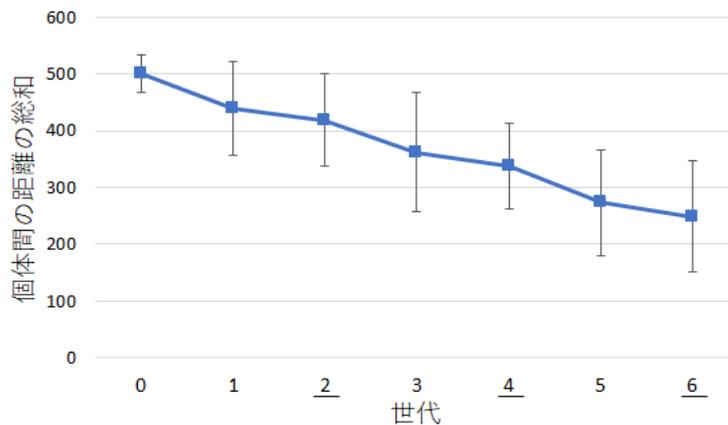


図5 探索実験における個体間の距離の推移

4.2 評価実験の結果

評価実験の結果を図6に示す。初期および最終世代のいずれにおいても平均値が5ポイントを超え、最終世代である第6世代にでは6ポイントを超える結果となった。それらの差はおおよそ1ポイントであり、統計的に有意な差が観察された ($P<0.05$)。標準偏差については、大きな差は観察されなかった。

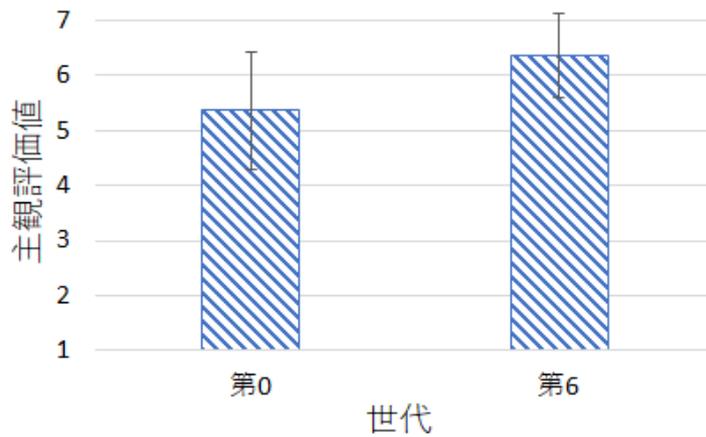


図6 評価実験における全被験者の評価値の推移

5. 考察

探索実験と評価実験の両方において、評価値の有意な上昇が観察された。これまで我々が行った味覚コンテンツの評価実験では、探索実験における評価値の上昇傾向は見られたものの、評価実験、すなわち被験者に分からない形で初期と最終の代表個体を比較した場合には統計的に有意な違いは観察されなかったことから、少なくとも個々のユーザの好む飲料を探し得る手法として、今回のシステムの改善は意義あるものとなった。ただし、手法の間での比較は行っておらず、特に単独で行うシステムとの違いについては、今後の比較実験が必要である。

今回のような2名で評価を行い、良解を交換する手法では、共通して好まれる解を探せることが期待される。単独の評価により音コンテンツを探索したIECの先行研究では、得られた音は探索したユーザ自身には高評価であるものの、ほかのユーザにとっては低評価であった[16]。味覚においても好みの多様性はあると予想されるため、共通して好まれる解が見つからないケースも十分にあり得る。次の段階として、より長い世代、評価回数による同様の実験を経て、ユーザ間で共通した好みの解が得られることについて検証を行う予定である。

ユーザ間で解を交換することの影響については、図5の探索空間の広さを観察することで言えることがある。大きな影響ではないものの、全体的な減少傾向の中で、ペアの相手の解を受け入れた世代でやや探索空間が広がる様子がうかがえる。これは、少ない個体数においてエリート戦略を用いたことで似たような個体が集団に広まり、急激に探索範囲が狭くなる中で、ペアの相手の個体が集団に飛び入り参加することで一時的に探索範囲が広がったことを示す結果と考えられる。本来は、この飛び入り参加した個体がどのように探索に貢献するかを評価値の面から観察すべきで、この点についても比較実験により明らかにしたい。

なお、今回の実験では、ペアの相手から受け取った個体がいずれであるかは被験者に伝えなかったが、この情報を探索に生かせる可能性がある。松本らは、ユーザ間の解交換を扱った先行研究[17]において、当該の個体がどれであるかを教えあうことにより、協調作業の効率が上がる可

能性を指摘した。本研究の目的から考えれば、このような観点から相手のお勧めの解の教示を行うことは不適切ではなく、また技術的に可能であるため、付加情報としての位置づけも検討したい。

6. 味コミュニケーションによる好まれる味覚コンテンツ生成の実現に向けて

本研究では、複数ユーザに共通して好まれる味覚コンテンツを生成する技術として、複数ユーザが参加して混合飲料を探索するIECのシステムの改良を行った。また、2名が参加するIECシステムを構築し、別々の部屋に分かれて探索を行う飲料評価実験を実施した。7世代分の探索実験を行った結果、探索実験において評価値の有意な上昇が観察された。また、評価実験においても初期世代に比べ、最終世代において有意な評価値の上昇が観察された。また、探索範囲については、世代の更新に伴う減少傾向が観察された。特に評価実験に関しては、我々の取り組みの中で初めての有意な上昇が観察された事例であり、本研究で行ったシステムの改善がユーザの好む飲料を探ることに貢献する可能性を示す結果であった。

今後の課題として、まず共通して好まれる混合飲料が作られていることを、より長い世代数の実験により確認する必要がある。その際、単独ユーザによる手法との比較実験を行うことで、良解の交換が探索に与える影響について検証することで、効果的な解交換の方法についても模索したい。将来的には、より多くのユーザが参加可能なシステムを構築するとともに、ネットワークを介して遠隔地からの味コミュニケーションを実現し、多くの評価を取り込むことで、商品開発やその補助につながる形へと発展させたい。

参考文献

- 1) Dawkins, R. : The Blind Watchmaker, Longman Scientific & Technical (1986).
- 2) Takagi, H. : Interactive Evolutionary Computation : Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, Proc. the IEEE, Vol.89, No.9, pp.1275-1296 (2001).
- 3) Ogawa, Y., Miki, M., Hiroyasu, T. and Nagaya, Y. : A New Collaborative Design Method Based on Interactive Genetic Algorithms, Proc. the EUROGEN2001, pp.109-114 (2001).
- 4) Miki, M., Yamamoto, Y., Wake, S. and Hiroyasu, T. : Global Asynchronous Distributed Interactive Genetic Algorithm, Proc. IEEE Int. Conf. SMC2006, pp.3481-3485 (2006).
- 5) Takenouchi, H., Inoue, H., and Tokumaru, M. : Signboard Design System Through Social Voting Technique, Proc. ISIC2014, pp.14-19 (2014).
- 6) Fukumoto, M. and Hatanaka, T. : A Proposal for Distributed Interactive Genetic Algorithm for Composition of Musical Melody, IEE, Vol.3, No.2, pp.56-68 (2017).
- 7) 藤崎美夏, 竹之内宏, 徳丸正孝 : 複数ユーザの視線情報を用いた対話型進化計算システム, 日本知能情報ファジィ学会誌 知能と情報, Vol.30, No.4, pp.613-622 (2018).
- 8) Nomura, K. and Fukumoto, M. : Music Melodies Suited to Multiple Users' Feelings Composed by Asynchronous Distributed Interactive Genetic Algorithm, International Journal of Software Innovation, Vol.6, No.2, pp.26-36 (2018).
- 9) 福本 誠, 原 大海 : 進化計算を用いた複数ユーザに好まれる香りの探索—LANを介したシステムの構築—, 福岡工業大学研究所所報, pp.73-77 (2019).
- 10) Herdy, M. : Evolutionary Optimization Based on Subjective Selection - Evolving Blends of Coffee, Proc. 5th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, pp.640-644 (1997).
- 11) 野村康太, 原 大海, 福本 誠 : 対話型遺伝的アルゴリズムを用いたユーザ好みの出生生

成, 第48回あいまいと感性研究会ワークショップ 感性フォーラムひびきの2017, 2 pages (2017).

12) Fukumoto, M. and Hanada, Y. : A Proposal for Creation of Beverage Suited for User by Blending Juices based on Interactive Genetic Algorithm, Proc. IEEE Int. Conf. SMC2019, DOI : 10.1109/SMC.2019.8914494 (2019).

13) 福本 誠, 野村康太, 花田良子 : 複数ユーザに共通して好まれる混合飲料コンテンツ探索のための対話型進化, 電気学会システム研究会, ST-20-009 (2020)

14) 川橋正昭 : ぜん動ポンプの内部流動, ターボ機械, Vol.17, No.9, pp.583-587 (1989).

15) Osgood, C. E., Suci, G. K. and Tannenbaum, P. : The Measurement of Meaning, University of Illinois Press, USA (1957).

16) Fukumoto, M. : An Efficiency of Interactive Differential Evolution for Optimization of Warning Sound with Reflecting Individual Preference, Institute of Electrical Engineers of Japan, Trans. on Electrical and Electronic Engineering, Vol.10, No.S1, pp.S77-S82 (2015).

17) 松本涼平, 上村桃子, 大西 圭, 渡邊真也 : 二人ゲーム形式の進化的協調最適化, 第12回進化計算研究会, P1-12 (2017).

脚注

☆1 本研究は, 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 19K12196の助成により実施した. ここに謝意を表す

福本 誠 (正会員) fukumoto@fit.ac.jp

福岡工業大学情報工学部情報工学科 教授. ユーザの感性に合うメディアコンテンツ生成の研究に従事. 博士 (工学) .

花田良子 (正会員) hanada@kansai-u.ac.jp

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科 准教授. 組合せ最適化・進化計算の基礎, 応用に従事. 博士 (工学) .

採録決定 : 2021年1月21日

編集担当 : 細野 繁 (東京工科大学)

対話型進化計算システムにおける一対比較評価の有用性

竹之内宏¹ 徳丸正孝²

¹福岡工業大学 ²関西大学

本稿では、ユーザの感性情報を用いて対象を最適化する対話型進化計算（Interactive Evolutionary Computation：IEC）手法において、ユーザが解候補を評価する際に一対比較評価手法を用いたシステムの有用性について述べる。筆者らはこれまでに、IECにおける一対比較評価手法として、トーナメント式評価手法を用いたIECシステムを提案し、基礎実験を通して解候補の進化性能やユーザの評価負担に関する有効性を示している。本研究では、トーナメント式評価手法の改良版となる勝ち残り一対比較評価手法（Winner-based Paired Comparison method：WPC）を提案し、商品カスタマイズにおける応用を視野に入れたIECシステムを構築し、その有用性を検証した。WPCでは、ユーザは解候補の一対比較評価を繰り返し、各対戦において好みと判定された解候補がそのまま次の対戦でも提示される。また、本研究では、WPCにおいて、ユーザが一対比較評価に迷った場合に、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定ができる機能を付け加えたシステムに関する検証も行った。本稿では、実ユーザを対象とした評価実験により、商品カスタマイズにおける提案システムの有用性を検証した。実験結果より、提案システムはユーザの解候補評価のしやすさの面で有用であることを確認した。

1. 対話型進化計算の研究背景と一対比較評価の導入

近年、ユーザがWebサイト上で、自分好みの商品デザインをカスタマイズし、購入できるサービスが普及している。たとえば、時計ブランドKnot[1]のWebサイトでは、ユーザは腕時計本体の形や色、ベルトの形、素材などを組み合わせて、オリジナルの腕時計を作成し、購入できる。また、シューズブランドNew Balance[2]のWebサイトでは、いくつかのシューズの形から好みのシューズを選択し、さらにシューズの紐やソール、ロゴの素材や色を選択し、オリジナルのシューズを作成し、購入できる。しかし、このようなサービスでは、ユーザはオリジナルのデザインを作成し購入するまでに、多数のパーツの素材や色などを選択し、組み合わせなければならない。作成過程では、一部のパーツを変更するたびにデザイン全体のイメージを確認する作業も入るため、ユーザはオリジナルのデザインを作成するまでに、多くの時間と労力を費やすことになる。

この問題を解決できると考えられる手法の1つに、対話型進化計算（Interactive Evolutionary Computation：IEC）手法がある[3]。IECでは、ユーザはコンピュータが提示したデザインを評価するだけで、ユーザの感性に合ったデザインを進化計算（Evolutionary

Computation : EC) 技術によって動的に生成する。このため、IECでは、ユーザがデザインに対する専門的な知識を有していなくても、提示されたデザインの良し悪しや好みを回答するだけでユーザの好みのデザインを生成できる。IECを用いたシステムはこれまでに数多く提案されており、既存の配色データベースから所望の配色を見つけ出す配色支援システム[4]や毛筆フォントを自動で作成するシステム[5]などがある。しかし、従来のIECシステムでは、ユーザは提示されるデザインに対し、5段階や10段階などの段階評価を求められることが多かった。このため、ユーザは、各デザインに対する印象を数値に置き換えて何世代にもわたって評価しなければならず、ユーザの評価負担が膨大になるという問題があった。

これを解決する方法の1つに、評価インタフェースの改良がある。本研究では、ユーザが解候補に対して点数付けを行う評価ではなく、解候補の一対比較評価によって、解候補の良し悪しを決定する勝ち残り一対比較評価手法 (Winner-based Paired Comparison method : WPC) を提案する。WPCでは、一対比較評価において、ユーザが好みと判定した解候補が次の対戦に進出し、他の解候補とともに提示され、一対比較評価を繰り返していく。このように、WPCでは、対戦経過における2つの提示解候補に関連性を持たせているため、ランダムに2個のデザインを提示するよりは、ユーザの解候補の評価に対するモチベーションが向上すると考えられる。

しかし、一対比較評価には、ユーザが好みのデザインを選択するときに迷った場合、ユーザはどちらかのデザインを強制的に選択しなければならないという問題がある。そこで本研究では、システムが提示する2種類のデザインに対してユーザが優劣を付け難い状況を考慮し、提示された2種類のデザインに対して「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定ができる機能をWPCの評価インタフェースに追加した。これにより、ユーザはデザインの選択に迷ったとき、強制的に好みのデザインを選択する状況を避けられると考えられる。

本研究では、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定機能を追加しているWPCおよび追加していないWPCをそれぞれ提案システムAおよびBとして、実ユーザを対象とした解候補の進化性能やユーザの評価におけるシステムの使用感などを比較した。本研究では、IECシステムが一般に普及した際に問題となるであろうユーザの評価作業を単純にし、より評価のしやすいインタフェースの提案を目指した。

本研究では、実ユーザを対象とした評価実験により、提案システムで生成される女性用腕時計デザインの満足度やユーザの評価負担軽減に関する有効性を検証した。また、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定が行われた際のタイミング、使用回数などについても考察した。

2. 関連研究

先行研究では、ユーザが提示された複数のデザインから好みのデザインを選択する評価インタフェースが提案されている[6],[7],[8],[9]。筆者らはこれまでに、トーナメント表にランダムに配置された解候補に対して、一対比較評価によって解候補の良し悪しを決定するトーナメント式評価手法を提案している[6]。トーナメント式評価手法では、ユーザはトーナメント表の各対戦の2つの解候補について、どちらが好みであるかの一対比較評価を行う。トーナメント式評価手法はユーザの評価作業の単純さから、評価負担は従来の段階評価手法よりも軽減できることが確認されている[6]。しかし、トーナメントの組合せや各対戦の勝敗により、全解候補に必ずしも正確な評価値が与えられず、ユーザの評価負担を軽減できても、解候補の進化性能が低下してしまうことが想定される。文献[6]では、このような懸念に対して、コンピュータ上で擬似的にユーザの

評価を模倣した数理モデルを用いて数値シミュレーションを行い、解候補の進化性能を定量的に検証した。その結果、トーナメント式評価手法は従来の段階評価方式と比較して、遜色のない解候補の進化性能をもつことが示された[6]。このようなシミュレーション結果については、実ユーザを対象とした評価実験によっても同様の傾向が確認され、トーナメント式評価手法では、ユーザが段階評価手法と同等に満足いくデザインを生成でき、段階評価手法よりもユーザの評価負担を軽減できることが確認された[6]。

さらに、一対比較による評価では、ユーザが一度に比較する解候補数が2個となる。このため、IECの評価対象が特に音楽や動画などの時系列データの場合は、一度の評価で比較する解候補が2個で済むため、段階評価方式よりもユーザの評価負担は軽減できることが確認された[6]。この結果は、評価対象が時系列データではない静止画のときでも同様であった。また、一対比較評価を用いる際には、単純に全解候補の中から2つの解候補を取り出しユーザに評価を求めた場合、解候補数を n とすると、ユーザは $(n(n-1)/2)$ 回の評価を行わなければならない。たとえば、解候補数が16個の場合、ユーザは毎世代120回もの一対比較を行うことになる。このため、ユーザの評価回数が膨大になり、解候補評価負担が大きくなってしまう。しかし、トーナメント式評価手法においては、解候補数が n のとき、ユーザの評価回数は毎世代 $(n-1)$ 回で済む。たとえば、解候補数が16個の場合、ユーザは毎世代15回の評価を行うことになる。このため、トーナメント式評価手法は一対比較法と比較して、ユーザの評価回数は十分少なく、解候補評価負担を軽減できる。

しかし、トーナメント式評価手法では、ユーザが連続的に行う一対比較評価において、特に1回戦における対戦間の解候補対の関連性が薄い。このため、ユーザは連続的に関連性のない一対比較を複数回繰り返すため、評価に対するモチベーションが低下してしまうおそれがある。このような問題は、たとえば、勝者となった解候補が次の対戦で他の解候補と対戦するなど、対戦間に関係性を保持させることでより軽減できると考えられる。このような手法として、本研究では、WPCを提案し、さらにユーザの評価の迷いを軽減するため、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定ができる機能を追加した際の検証を行った。また、WPCの評価回数はトーナメント式評価手法と同等で、解候補数が n のとき、 $(n-1)$ 回で評価負荷が増大することはない。

3. 提案システム

3.1 概要

提案システムにおいては、たとえば時計店など実際の店舗やWebページ上での商品カスタマイズにおいて使用されることを想定している。このような場面では、ユーザが一つひとつのデザインに対して、詳細な評価を入力するよりは、ある程度評価が粗くても手軽に評価できるインタフェースの方が、評価のしやすさの観点からは有用であると考えられる。このため、本研究では、より実デザインに近い評価対象として腕時計デザインを作成し、提案システムを構築した。

図1に提案システムの概要を示す。まず、初期解候補群を生成し、その中からランダムに選択された2種類の女性用腕時計デザインをユーザに提示する。次に、ユーザに好みの腕時計デザインを選択、もしくは「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定による評価を行ってもらう。このとき、提案システムAでは、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定ができるが、提案システムBではできない。ユーザが1世代分の評価を終えるとEC処理によって、新たな解候補が生成さ

れる。本研究では、IECのECアルゴリズムには遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm：GA）を用いている。そして、生成された女性用腕時計デザインを再びユーザに提示する。これらの操作を繰り返し、ユーザの満足のいく解候補を生成する。



図1 提案システムの概要

3.2 勝ち残り一対比較評価手法

WPCでは、同一世代に生成されたすべての解候補に初期評価値として1点を与え、一対比較による対戦を行い、勝利解候補の評価値に敗者解候補の評価値を加算する。そして、敗者となった解候補を他の解候補と入れ換え、再び一対比較評価が行われていく。1世代分の評価が終了すれば、これらの評価値を用いてGA処理を行う。

図2にWPCにおける解候補の評価方法を示す。まず、A～Eの5つの解候補を生成し、それぞれの解候補に初期評価値1点を与える。



図2 WPCの解候補評価方法

1回戦目では、ユーザは解候補AとBを比較し、Aを好みの解候補として選択している。この結果に基づいて、WPCは敗者解候補Bの評価値1点を勝者解候補Aの評価値1点に加算する。これにより、解候補Aの評価値は2点になる。その後、勝者解候補Aを次の対戦に進出させ、敗者解候補Bを次の解候補に入れ換える。

2回戦目では、ユーザは解候補Aと解候補Cを比較し、解候補Aを好みの解候補として選択している。この結果に基づいて、WPCは敗者解候補Cの評価値1点を勝者解候補Aの評価値2点に加算する。これにより、解候補Aの評価値は3点になる。その後、解候補Aを次の対戦に進出させ、敗者解候補Cを次の解候補へ入れ換える。

以降、3回戦目では解候補D、4回戦目では解候補Eが好みの解候補として選択されている。これらの結果に基づいて、3回戦目では勝者解候補Dの評価値が4点、4回戦目では勝者解候補Eの評価値が5点となる。4回戦終了後の解候補A、B、C、D、Eの評価値は、それぞれ3、1、1、4、5点となる。

提案システムBでは、これらの評価値はGA処理において用いられる。

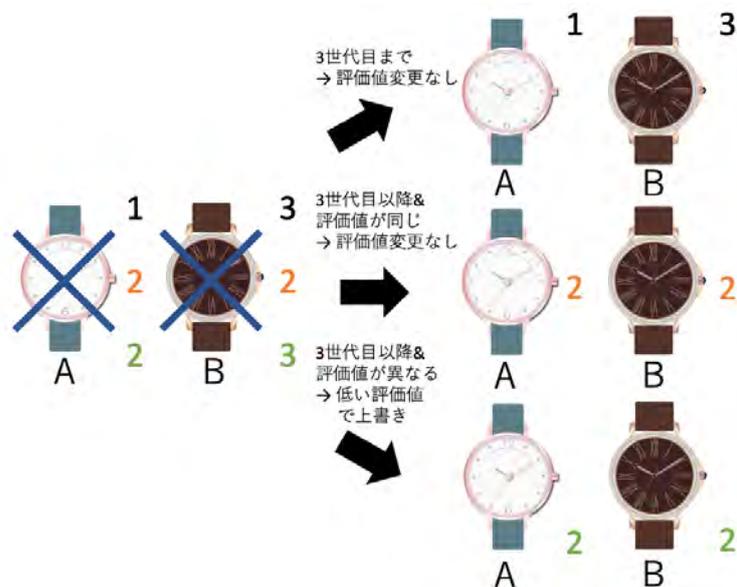
3.3 どちらも好き/どちらも嫌い判定の導入

3.2節で述べたWPCでは、各対戦において、ユーザが好みと判定した解候補は勝ち残り、もう一方の解候補は新たにランダムに入れ換えられる。提案システムAでは、WPCの解候補評価に、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定ができる機能を追加している。これらの機能がユーザによって使用された際には、使用されたときの世代交代数および両解候補の評価値によって、解候補の評価方法が異なる。

図3に「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定時の解候補評価方法を示す。図3のように、両デザインの評価値が同じ場合とそうでない場合、また「どちらも嫌い」判定のときは判定時の世代交代数によって評価方法が異なる。これらの評価方法は、両デザインの評価値の整合性を考慮して決定している。



(a) 「どちらも好き」評価



(b) 「どちらとも嫌い」評価

図3 WPCにおける「どちらとも好き」「どちらとも嫌い」評価

「どちらとも好き」と判定されたときは、図3 (a) のように、解候補AとBの評価値が同じ場合と異なる場合で解候補の評価方法が異なる。

2つの解候補の評価値が同じ場合は、解候補AとBそれぞれに1点を加算する。このため、解候補AとBの評価値はそれぞれ2点となる。これは、「どちらとも好き」判定によって両解候補が好みと判定されていることから、両解候補に対して評価値を加算するためである。その後、解候補AとBのどちらかを次の対戦に進出させ、もう一方の解候補を次の解候補に入れ換える。

2つの解候補の評価値が異なる場合は、評価の低い解候補の評価値を評価の高い解候補の評価値で上書きする。図3 (a) の場合では、解候補Aの評価値を評価値の高い解候補Bに合わせている。このため、解候補AとBの評価値は3点となる。すなわち、「どちらとも好き」判定によって両解候補が好みと判定されていることから、対戦前は評価が低かった解候補も現在の対戦によって、評価の高かった解候補と同等の評価値になっている。その後、評価値が同じ場合と同様に、解候補AとBのどちらかを次の対戦に進出させ、もう一方の解候補を次の解候補に入れ換える。

「どちらとも嫌い」と判定されたときは、図3 (b) のように解候補AとBの評価値および評価時点での経過世代交代数によって、解候補の評価方法が異なる。

評価時点での経過世代交代数が3世代目までは、初期世代にランダムに生成された解候補群が十分に進化しておらず、ランダム探索の段階とも考えられる。このため、ユーザが提示された2つの解候補を「どちらとも嫌い」と判定することは、解候補がある程度収束するまでは多いと考えられる。これらを考慮し、経過世代交代数が3世代目までは、両解候補の評価値は変更しない。このため、解候補Aの評価値は1点、解候補Bの評価値は3点となる。その後、両解候補を次の解候補に入れ換える。

経過世代交代数が3世代目以降になると、ある程度の解候補収束が見込まれる。このため、ユーザが提示された2つの解候補を「どちらも嫌い」と判定した場合は、両解候補の評価値を維持または低い方の評価値で上書きするようにしている。3世代目以降で両解候補の評価値が同じ場合は、双方の評価値をそのままにする。図3 (b) では解候補AとBの評価値は2点になる。その後、解候補AとBのどちらかを次の対戦に進出させ、もう一方の解候補を次の解候補に入れ換える。3世代目以降で両解候補の評価値が異なる場合は、評価の高い解候補の評価値を評価の低い解候補の評価値で上書きする。図3 (b) の場合では、解候補Bの点数を評価値の低い解候補Aに合わせている。このため、解候補AとBの評価値は2点となる。その後、解候補AとBのどちらかを次の対戦に進出させ、もう一方の解候補を次の解候補に入れ換える。

提案システムAでは、3.2節で述べた評価方法に本節で述べた評価方法を合わせて得られた評価値がGA処理において用いられる。

3.4 評価インタフェース

図4に提案システムの評価インタフェースを示す。本研究における提案システムは、実店舗などでの利用を想定し、Androidアプリおよびタブレット端末 (Google Nexus 9) を用いて実装している。ユーザが解候補を評価する際には、図4のレイアウトでデザインが提示される。ユーザは、2種類の腕時計デザインを比較し、好みのデザインをタップ、もしくは両方の腕時計デザインが好きな場合は、画面左下部にある「どちらも好き」ボタンをタップ、両方の腕時計デザインが好みでない場合は、画面右下部にある「どちらも嫌い」ボタンをタップする。提案システムBでは、これらの「どちらも好き」「どちらも嫌い」ボタンが表示されない。ユーザが1世代分の評価を終えると、3.2節および3.3節で述べたようにして、各デザインに評価値が与えられ、次の世代の腕時計デザインがGA処理により生成される。



図4 WPCの評価インタフェース

3.5 評価対象

図5に女性用腕時計デザインの構成を示す。本研究における女性用腕時計デザインは、文字盤、ケース、針、リューズ、ベルトの5つのパーツで構成されている。

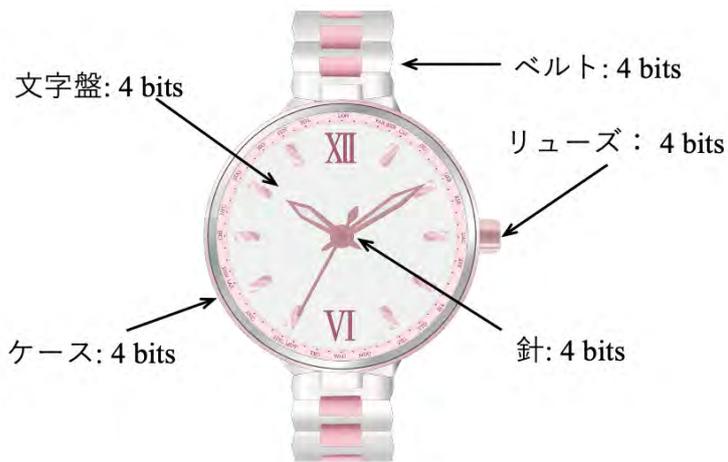


図5 女性用腕時計デザインの構成

図6に各パーツの遺伝子コーディングを示す。図6では、リューズパーツの大きさは実際のものよりも拡大している。各パーツは、それぞれ16種類のデザインを有しており、遺伝子列にはそれぞれ4bitsが割り当てられている。このため、遺伝子長は20bitsとなり、提案システムでは、合計約100万種類 ($=2^{20}$) の腕時計デザインを生成できる。なお、遺伝子型におけるビットパターンと表現型における腕時計デザインパーツの見た目の類似度との遺伝子コーディングは、筆者らの主観によって決定している。

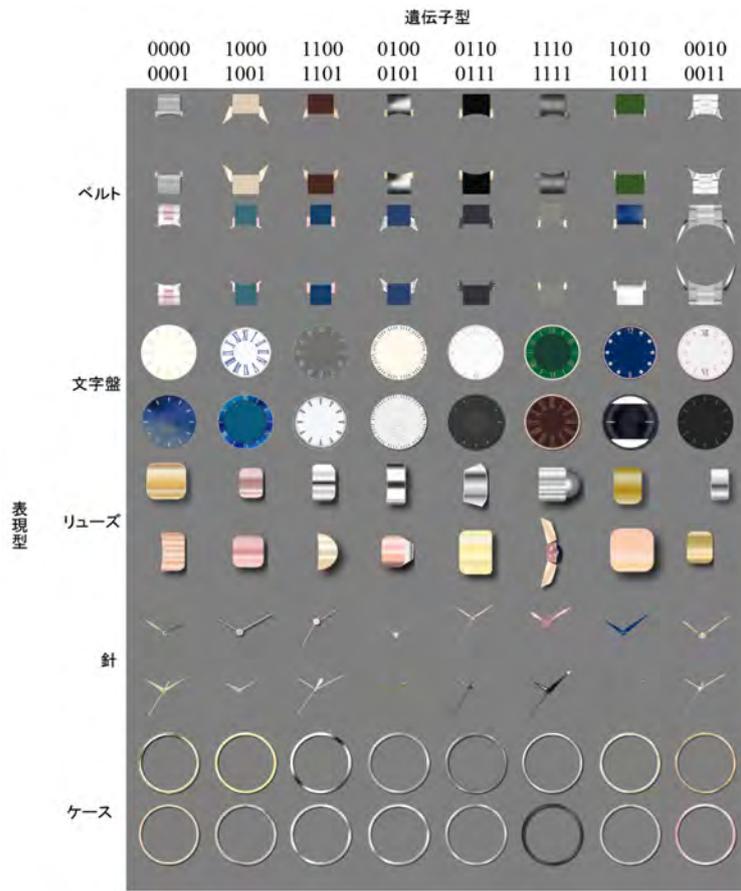


図6 女性用腕時計デザインの遺伝子コーディング

4. 評価実験

4.1 実験概要

本研究では提案システムにおいて、解候補の進化性能およびユーザの評価のしやすさの観点から、実ユーザを対象とした評価実験を行い、提案システムの有用性を検証した。本実験では、提案システムにおいて、「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定が行われた際のタイミングや使用回数、さらに提案システムにおいて評価に要した時間、生成された女性用腕時計デザインの満足度およびユーザの評価負担について検証した。また、被験者から取得したアンケート結果についても考察した。

本実験の被験者は、10代から20代の大学生41名（男性20名、女性21名）である。被験者には、2つの提案システムAおよびBを使用してもらった。実験開始前には、被験者に提案システムを使用する上でのデザインコンセプトを教示した。デザインコンセプトは、男性被験者の場合は好きな女性にプレゼントするための腕時計を作成すること、女性被験者の場合は自分がプライベートで使用する腕時計を作成することとした。また、本実験では、順序効果による被験者の回答値のバイアスを排除するため、被験者によって2つの提案システムの使用順序はランダムに設定した。

表1に本実験のパラメータを示す。1世代における解候補数は10個であり、腕時計デザインの構成より、遺伝子長は20bitsである。本実験では、世代交代数は10とし、どの被験者においても10世代分の評価を実施してもらうこととした。これは、各被験者に一定の評価作業をしてもらい、評価負担や評価に要した時間を公平に比較するためである。選択方法、交叉方法はそれぞれGAにおける一般的な方法を用いた。突然変異率は、同様のデザインが多く提示されることによって、被験者が腕時計デザインの評価に飽きることを防ぐため、通常のGAよりは高い15%とした。これによって、解候補群にある程度のバリエーションを持たせることができると考えられる。提案システムにおける突然変異処理は、各遺伝子座に対して突然変異率によってビット反転を行う処理とした。

表1 実験パラメータ

解候補数	10
遺伝子長	20 bits
世代交代数	10
選択方法	ルーレット選択+エリート保存
交叉方法	一様交叉
突然変異率	15%

被験者は各システムを使用した後、各世代の女性用腕時計デザインのエリート個体に対する満足度を5段階評価で回答する。次に、被験者は以下に示す項目a~dのアンケートに回答する。項目aでは、1. ベルト、2. リューズ、3. ケース、4. 文字盤、5. 針の5つの選択肢から1つを選択してもらう。項目b~dでは、それぞれ5段階評価で回答してもらう。

項目a（デザインパーツの重要度）：

- ・腕時計を評価する上で、どのパーツを重視したか

項目b（解候補群の進化性能）：

- ・腕時計を評価するごとに、好みの腕時計が表示されたか

項目c（解候補群の収束性）：

- ・腕時計を評価するごとに、同様の腕時計が表示されたか

項目d（レイアウト面の評価）：

- ・腕時計は評価しやすかったか

最後に、被験者は、提案システムAとBのどちらが腕時計デザインを評価しやすかったかについて、「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定の有無による観点より、回答する。また、一連の実験において、気づいたことなどのヒアリングを被験者に対して行った。

4.2 「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定の利用結果

本節では、被験者が提案システムAを使用する中で「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定がどの程度行われたかについての検証結果について述べる。

まず、実験結果より、これらの判定を1回以上使用した被験者は、全被験者の88%であった。図7に世代ごとの両判定回数の平均、表2に被験者別の両判定の使用内訳を示す。図7より、いずれの世代においてもいずれかの被験者がどちらかの判定を使用していることが確認された。また、表2より、「どちらも好き」のみ利用した被験者が男女ともに最も多くなっている。さら

に、すべての被験者の全評価において、通常の一対比較評価は全評価中83%、どちらも好き評価は11%、どちらも嫌い評価は6%であった。この結果より、両判定は全評価数と比較すると少数であったことを確認した。

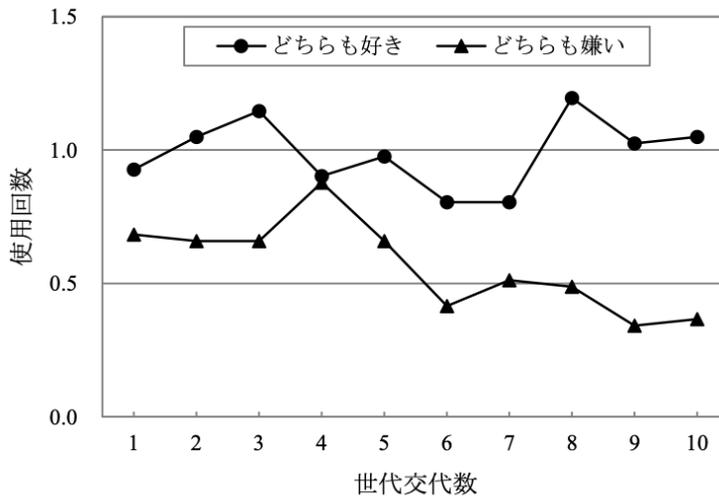


図7 「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定回数の結果

表2 「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定の使用内訳

	男性被験者	女性被験者
「どちらも好き」のみ	50%	43%
「どちらも嫌い」のみ	15%	14%
両方利用	30%	19%
両方利用なし	5%	19%

図8に世代ごとに両判定を使用した被験者の割合を示す。図8より、「どちらも好き」判定は、各世代ともに全被験者の40%程度が使用していることを確認した。「どちらも嫌い」判定は、初期世代では全被験者の30%程度が使用しているが、世代交代を経るに連れて、10%程度に低下している。しかし、世代交代の後半においても「どちらも嫌い」判定が行われているため、必ずしも満足のいくデザインを生成できなかった被験者が一定数いることが示唆された。

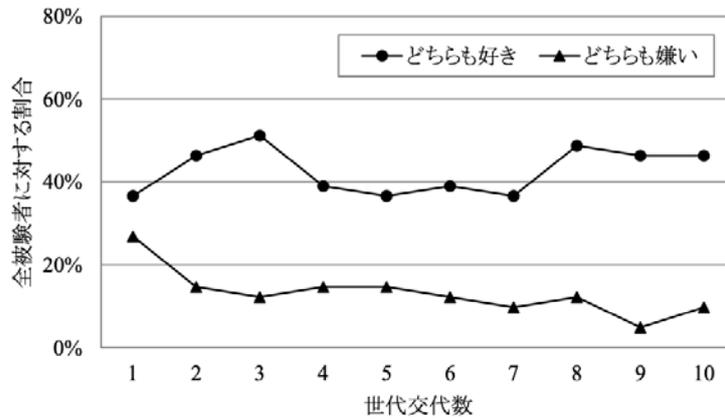


図8 「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定時のデザイン間の関連

4.3 評価に要した時間の結果

本節では、被験者が両システムを利用して、好みの腕時計デザインを作成するためにどの程度の時間を要したかについて述べる。評価時間はIECシステムにおいてユーザの評価負担を軽減するためには、重要な指標である。本実験における評価時間は、被験者に最初の対戦デザインが提示されてから最終対戦の評価を終了するまでに要した時間としている。

図9に世代ごとの評価時間の結果を示す。両システムとも、初期世代の評価に要した時間が長く、その後世代交代を経るに連れて各世代の評価時間は短くなる傾向が確認された。初期世代の評価時間が長い理由には、被験者がシステムの操作に慣れていない、システム利用初期であったため提示されたデザインを慎重に評価したことが考えられる。両システムの10世代分の平均評価時間は、提案システムAが182.86[s]、提案システムBが156.96[s]であり、提案システムBの方が短かった。この結果について統計的有意差を確認したところ、有意水準5%で統計的有意差を確認した。

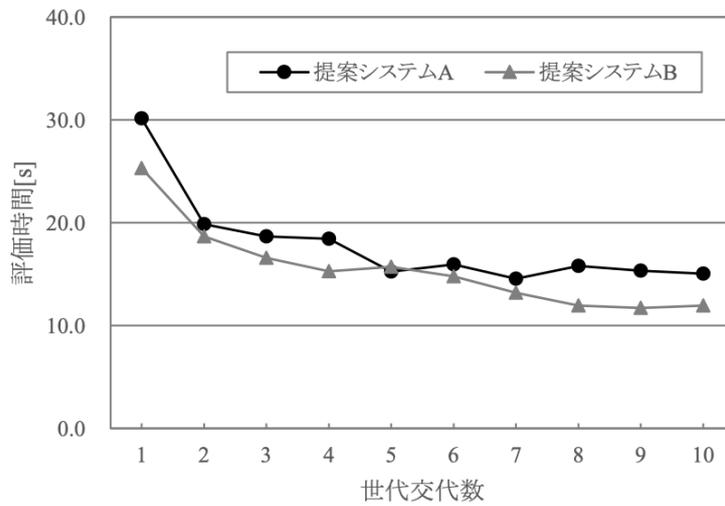


図9 世代別の評価時間の結果

次に、本実験では、提案システムにおいて、「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定が下された際にどの程度の時間を要したかについて考察した。図10に判定方法の違いによる評価時間の結果を示す。図10において、「通常評価」および「提案システムB」は、被験者が提示された2つのデザインについて二者択一の評価を行った場合を示す。図10より、「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定が使用されたときの評価時間は、4世代目を除いて、二者択一評価時より長くなっていることを確認した。これは、提案システムAでは、被験者にとって評価選択肢が増加した分、どのような評価を下そうか被験者が迷ったためと考えられる。このため、提案システムAでは、提案システムBよりも評価時間が長くなったと考えられる。

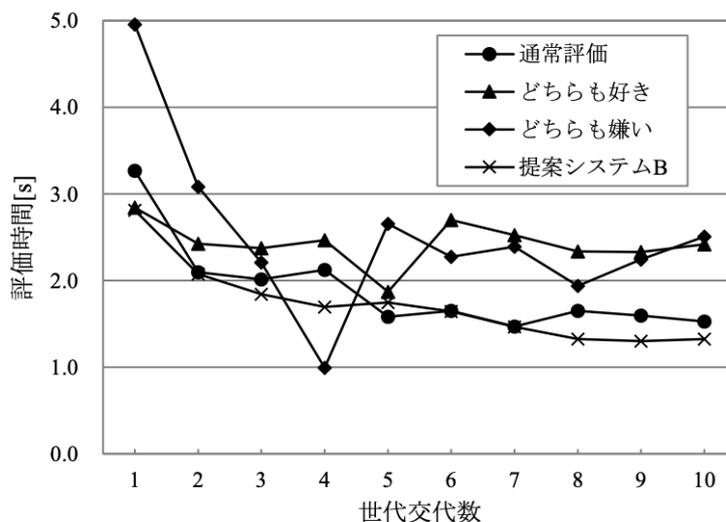


図10 対戦ごとの評価時間の結果

4.4 生成されたデザインに対する満足度の結果

本節では、両システムにおける各世代のエリートデザインの満足度に関する検証結果を述べる。IECシステムにおいて、世代交代をある程度経過した後の腕時計デザインがユーザの満足いくものになっているかどうかは、IECシステムの進化性能を評価する上で重要である。

図11に生成されたデザインに対する平均満足度の結果を示す。図11より、両システムの生成されたデザインに対する満足度は、世代を経るごとに増加し、解候補が進化する傾向を確認した。しかし、生成されたデザインに対する満足度は、提案システムAより提案システムBの方が高くなっている。これは、提案システムAでは、2つのデザインに対して被験者が「どちらも好き」「どちらも嫌い」の評価ができることに起因していると考えられる。これらの評価が複数回行われた場合、デザイン間の評価値に差が付きにくく、GA処理において解候補群が進化しにくくなることが考えられる。このため、生成されたデザインに対する満足度は、提案システムAの方が低くなったと考えられる。しかし、両システムの生成されたデザインに対する満足度は、5段階評価において4点を超えている。したがって、両システムともに被験者が満足のいくデザインを生成できたといえる。

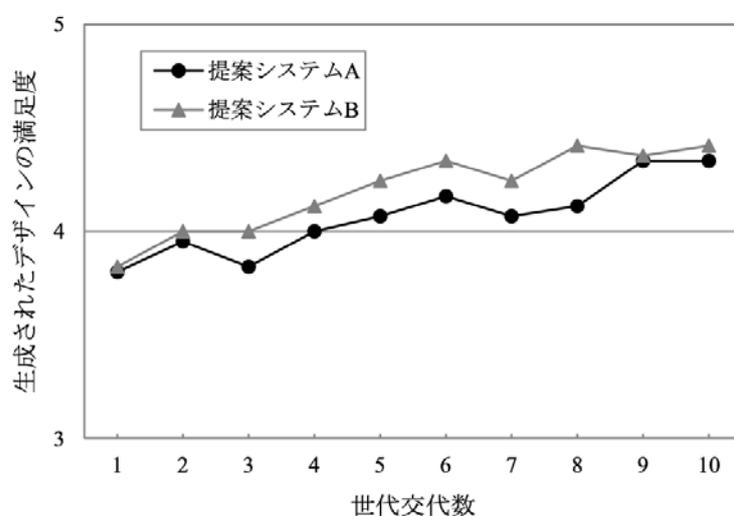


図11 生成されたデザインに対する満足度の結果

図12に、最終世代に生成された全エリートデザインを示す。図12中で各デザイン下の△および○は、それぞれ被験者が3点以下を付けたデザイン、文字盤が白地のデザインを示している。図12より、男性被験者が生成したデザインには、文字盤デザインが白地のものが全40デザイン中22デザインであった。女性被験者が生成したデザインにも文字盤デザインが白地のものが確認できるが、全42デザイン中15デザインであり、男性被験者と比較すると少ないことが確認された。女性被験者の場合は、白地の文字盤だけでなく、黒や青、茶系などの文字盤デザインも多いことも確認された。



(a) 提案システムA



(b) 提案システムB

図12 全エリートデザインの結果

4.5 アンケート回答に関する結果

4.5.1 評価のしやすさ

本実験では、被験者に2つのシステムの使用後、提案システムAとBのどちらのシステムが腕時計デザインを評価しやすかったかアンケートに答えてもらった。この結果、提案システムAが評価しやすかったと答えた被験者は全体の61%、提案システムBが評価しやすかったと答えた被験者は全体の39%であった。

提案システムAでは、被験者が評価に迷った際に「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定ができる反面、評価時の選択肢が増え、操作に煩わしさを感じる被験者がいるとも考えられる。このため、約4割の被験者はよりシンプルに評価できる提案システムBを支持したと考えられる。

しかし、被験者のコメントからは「迷ったときには「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定があったため、提案システムAの方が評価しやすかった」という指摘があり、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の判定機能はユーザの評価負担軽減に有用であったことが示唆される。

4.5.2 その他のアンケート項目

本項では、被験者に対して行った提案システムの使用に関するアンケート結果について考察する。

図13に項目aからdの回答結果を示す。図13より、項目aであるシステム利用時に重要視したデザインパーツについては、両システムともに文字盤パーツの割合が最も大きいことを確認した。これは、腕時計デザインにおいて、文字盤パーツが全体の視覚的な印象を大きく左右するためであると考えられる。

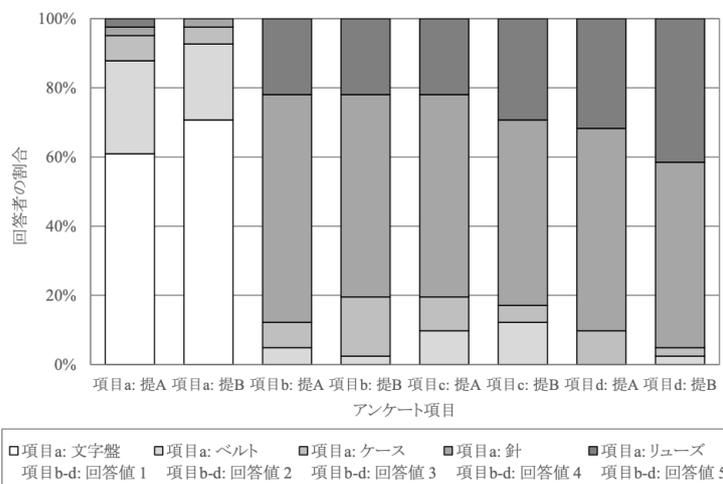


図13 アンケート結果

項目bでは、両システムとも全体の80%以上の被験者が好みの腕時計デザインが生成されたと回答している。これは、4.4節における解候補の進化が被験者の使用感においても体感されたことを示唆している。

項目cでは、両システムとも全体の80%以上の被験者が腕時計デザインを選択するごとに、似たような腕時計デザインが表示されたと回答している。このため、両システムとも世代を経るごとに、ユーザの嗜好にあった腕時計デザインを複数生成できたと考えられる。

項目dでは、両システムとも全体の90%以上の被験者が腕時計デザインを選びやすかったと回答している。これは、提案システムAは提案システムBと同様に、被験者が評価しやすいインタフェースであり、被験者の評価負担が軽減されることを示唆していると考えられる。

すべての結果から、提案システムAでは、被験者が好みの腕時計デザインを評価する時間は、提案システムBに比べ約25[s]長かった。しかし、腕時計デザインを評価する際に、提案システムAの方が提案システムBよりも、評価がしやすいと答える被験者が全体の60%以上であることを確認した。また、提案システムAでは提案システムBと同様に、被験者が満足する腕時計デザインを生成できることを確認した。したがって、提案システムAでは、腕時計デザインを評価する選択肢を提案システムBの2個から4個に増やすことで、ユーザの満足のいく腕時計デザインが生成でき、ユーザの評価負担軽減にも有用であることを確認した。

5. 得られた知見と今後の展望

本研究では、IECの解候補評価負担軽減のため、WPCを用いた女性用腕時計デザインシステムを提案した。提案システムでは、一対比較評価に対して、ユーザが提示されたデザインのうち、「どちらも好き」「どちらも嫌い」の評価をできる機能を組み込んだ検証を行った。実験結果より、評価時間においては、「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定がない提案システムBの方が提案システムAよりも短くなることを確認した。しかし、提案システムAは提案システムBと同等の進化性能を示し、ユーザのデザイン評価をしやすくできることも確認した。これらの結果より、一対比較評価および「どちらも好き」「どちらも嫌い」判定をIECシステムに用いることは、ユーザが手軽に商品カスタマイズをするような場面では有用であることを示唆していると考えられる。今後は、ユーザの解候補評価の過程における傾向などを調査し、提案システムの応用に関する検証を実施していく予定である。

参考文献

- 1) Knot公式サイト：<https://knot-designs.com/> (2020.11.3閲覧)
- 2) New Balance公式サイト：<https://shop.newbalance.jp/shop/> (2020-11-03閲覧)
- 3) Takagi, H. : Interactive Evolutionary Computation : Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, Proceedings of the IEEE, Vol.89, No.9, pp.1275–1296 (2001).
- 4) Ishibashi, K. and Miyata, K. : Statistics-Based Interactive Evolutionary Computation for Color Scheme Search, International Journal of Affective Engineering, Vol.14, No.1, pp.31–41 (2015).
- 5) 中村充志, 瀧澤 生, 星 泰成, 陳キユウ : 画像の感性を反映させたフォントの自動生成手法, 日本感性工学会論文誌, Vol.17, No.5, pp.523–529 (2018).
- 6) Takenouchi, H., Tokumaru, M. and Muranaka, N. : Tournament-style Evaluation Using Kansei Evaluation, International Journal of Affective Engineering, Vol.12, No.3, pp.395–407 (2013).
- 7) Watanabe, Y., Yoshikawa, T. and Furuhashi, T. : A Study on Application of Fitness Inference Method to PC-IGA, 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007), pp.1450–1455 (2007).
- 8) Takagi, H. and Pallez, D. : Paired Comparisons-based Interactive Differential Evolution, World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC'09), pp.475–480 (2009).
- 9) Takenouchi, H., Tokumaru, M. and Muranaka, N. : Interactive Evolutionary Computation Using a Tabu Search Algorithm, IEICE Transactions on Information and System, Vol.E96-D, No.3, pp.673–680 (2013).



竹之内宏（非会員）h-takenouchi@fit.ac.jp

2008年関西大学工学部電子工学科卒業，2010年関西大学大学院工学研究科博士課程前期課程修了，2013年同大学院理工学研究科博士課程後期課程修了，博士（工学）。同年同大学非常勤研究員，ポスドクトラルフェローを経て，2014年より福岡工業大学情報工学部システムマネジメント学科助教。現在に至る，対話型進化計算の応用システムに関する研究，ファジィ推論を用いた感性検索システムに関する研究に従事。日本知能情報ファジィ学会，日本感性工学会，電子情報通信学会，IEEE各会員。



徳丸正孝（非会員）toku@kansai-u.ac.jp

1995年関西大学工学部電子工学科卒業，1997年同大大学院工学研究科博士課程前期課程修了。同年同大工学部電子工学科助手，2016年同大システム理工学部電気電子情報工学科教授。工博，感性情報処理，対話型進化計算の応用システムの研究に従事。人工知能学会，電子情報通信学会，日本知能情報ファジィ学会，日本感性工学会，ヒューマンインタフェース学会，IEEE各会員。

採録決定：2020年12月4日

編集担当：佐藤 裕一（（株）富士通研究所）

インタビュー／座談会

最前線に立つ実務家と研究者が見る感性情報学の今と未来

インタビュー 心sensorについて

インタビュイー：齋藤 学（（株）シーエーシー）

インタビュア：江谷典子（Peach・Aviation（株））

座談会 対話型進化計算の未来

参加者：竹之内宏（福岡工業大学），福本 誠（福岡工業大学），花田良子（関西大学），徳丸正孝（関西大学）

司会：竹之内宏（福岡工業大学）

招待論文を執筆いただいた皆様に、論文に書けなかったことや今後の展望などをお話いただき、意見交換をしていただきたく、また実務家と研究者たちの最前線感を探るためにリモート・インタビューを企画いたしました。そこで、感情認識AIである心sensorについて、（株）シーエーシー様へインタビューを行い、また対話型進化計算（Interactive Evolutionary Computation：IEC）をブレイクスルーしようと挑む研究者のZoom座談会を開催しました。



齋藤 学（（株）シーエーシー）

（株）シーエーシー 経営統括本部 経営企画部 ITコーディネータ。企業のシステム全体構成やコミュニケーションインフラ・ナレッジマネジメントなどが専門。



竹之内宏（福岡工業大学）

情報工学部システムマネジメント学科 助教。専門は対話型進化計算を用いた感性情報処理と応用システムの開発。博士（工学）。



福本 誠（福岡工業大学）

情報工学部情報工学科 教授。ユーザの感性に合うメディアコンテンツ生成の研究に従事。博士（工学）。



花田良子（関西大学）

システム理工学部電気電子情報工学科 准教授。組合せ最適化・進化計算の基礎、応用に従事。博士（工学）。



徳丸正孝（関西大学）

システム理工学部電気電子情報工学科 教授。専門は感性情報処理・対話型進化計算・感性ロボティクス。博士（工学）。



江谷典子（Peach・Aviation（株））

全日本空輸（株）子会社 Peach・Aviation（株）。2014～2015年度 JST CREST 『科学的発見・社会的課題解決に向けた各分野のビッグデータ利活用推進のための次世代アプリケーション技術の創出・高度化』の研究に従事。専門は人工知能・ビッグデータ・コンピュータアーキテクチャ。博士（工学）。

感性情報学への期待

江谷：今回の「感性情報学最前線」特集を企画した編集委員の江谷です。ゲストエディタをお願いした（株）シーエーシーの齋藤様と福岡工業大学の竹之内先生と3人で、本日のナビゲータ役を担当させていただきます。

冒頭から何ですが、「感性情報学」への期待についてお聞かせください。

私は、感性情報学は人間と協調できるComputingとして、親しみやすく、また、使いやすくなり、また、今後の日本社会における労働人口の不足を補えるような自動化や協調支援が期待できると考えております。

竹之内：その視点については、私も同感です。

江谷：今まさに御研究に取り組んでおられる専門家の方に同感していただけて嬉しいです。

現在社会の課題である働き改革とか、コロナ禍における就労や教育など、リモートでのコミュニケーションが必要な場で、お互いの心を掴みあうことができると対面同様の臨場感がありそうですね。リモートランチとか楽しそうです。

齋藤：そうですね。リモートでのコミュニケーションは今後も変わらず増えると思っています。リモートでは相手の映像が表示されていないことも多く、相手の感情を読み取ることが難しいです。これを支援するシステムは有効だと思っています。

最近では、感情解析関連の仕事よりも厚生労働省などのテレワーク系のサードワークスペース^{☆1}に関する有識者として呼ばれることがあります。

竹之内：これら2つの共通点を探ろうとすると難しいのですが、今回の「感性情報学 最前線」にならうと、齋藤様の方はすでに応用が達成されている上での話、我々の方は学術研究のような内容が飽和状態になってきたので何かうまく工夫して、IECを世の中のシステムに何かの形で浸透できないかを探る話となります。

インタビュー —心sensorについて—

江谷：（株）シーエーシー様へ感情認識AIである心sensorについてお話を伺います。

1. 中学校デジタル化プロジェクトについて

江谷：MITの技術であるAffdexを利用している中学校を発見し、（株）シーエーシー様の存在を知りました^{☆2}。2015年から取り組まれているITを活用した教育の高度化を図る「中学校デジタル化プロジェクト」の目標は何でしょうか？

齋藤：このプロジェクトの最終的な目標は、鳥取県にある私立中高一貫校の学校法人鶏鳴学園 青翔開智中学校・高等学校（青翔開智）を起点に日本の中学校・高校におけるデジタル技術を活用して教育を高度化すること、そして、それを通じて未来の日本を背負う人材の恒久的輩出の仕掛けづくりを行うことなのです。

江谷：どのようなシステム開発に携れたのでしょうか？

齋藤：この青翔開智の特徴的な授業が「探究」です。「探究」の授業では、研究を広げ、深めていくことで、生徒自ら学ぶ手法を身に付けることが目標にされています。プロジェクトでは、探究の授業を定量化し、分析を可能にする『探究通信簿』のプロトタイプを作成しました^{☆3}。2017年には国語や英語などの通常の授業でモデルを利用することでブラッシュアップを行い、データを収集し始めています。

江谷：このシステムの中で、感情認識AIはどのように利用されているのでしょうか？

齋藤：最新のIT技術活用に際して、本プロジェクトでは青翔開智の「探究」の授業でプレゼンテーションが重要な要素となっていることに着目しました。生徒のプレゼンテーション能力の向上や、プレゼンテーション能力に必要な要素の分析にITを活用すれば、教育の高度化に貢献できると考えたのです。この目的に活用できると考えた最新IT技術が、感情認識AIです。

どのような興味を持ちましたか？

江谷：既存のWebカメラ等を使って人の表情を分析し、感情をデータ化・分析できる感情認識AIであるAffdexを用いた「心sensor」のデモを拝聴しました^{☆4}。表情というビッグデータを詳細に分析し分類できることに驚きました^{☆5}。

齋藤：先日、学校の文化祭をオンラインで行いました。文化祭で1名ずつが発表をしたので、その動画をファイルサーバ経由でフィードバックしました。こちら、今回アンケートがとれなかったそうなので、次回の青開学会でフィードバックと改善は行う予定です。

江谷：その分析結果の見どころは？

齋藤：前向きな状態がよく出ている生徒がいるので、その生徒のアンケート結果をとると閲覧者の評価が良いのではないかという仮説を立てています（が、まだとれていません）。

2. 心sensorの展開

江谷：ところで、感情認識AIがどのような表情であったかを評価しているわけですよね。この評価を使って、表情作りのトレーニングができるとプレゼンテーションは上手になるのでしょうか？

齋藤：はい。そこで、感情認識AIで表情トレーニングを行う「心sensor for Training」を準備しています。

江谷：「心sensor for Training」のデモを拝聴しました^{☆6}。明治安田生命様の導入事例で、営業部門の方がコミュニケーション向上のために利用されているのがよく分かりました。

齋藤：サービスで言うと、2つの方向性で進めております。トレーニングに特化したサービス展開で検討しているのが1つ、もう1つは、「心sensor for Communication」という新サービスも作っているのですが、Webカメラで人の表情や動きを認識してアバターが動くというものです^{☆7}。

江谷：先日（2020年9月28日）のデジタルプラクティス編集委員会では、Zoom遠隔会議にアバター（分身）になった齋藤さんが登場されたので、思わず笑ってしまいました。心sensorが喜んだり驚いたりする齋藤さんの表情を捉えると、アバターも同じ表情になるので楽しくなります。

齋藤：新型コロナウイルスで広がるテレワーク需要に対応できると思います。また、リモート授業での利用を想定しています。すでに高校生フェンシングの日本一を決めるインターハイの代替大会である「High School Japan Cup 2020」で利用されました^{☆8}。会場に足を運ばずとも、観客はほかの観客の応援状況を見ることで一体感を増すことができました。また、会場の競技者も応援の状況を見ることができたため、競技者のモチベーション向上につながったのではないかと考えています。

3. AIやIoTによるコミュニケーションの変化

江谷：最近感情解析の仕事よりも、テレワークなどのリモート関連のお仕事もされていると聞いております。AI技術の普及へと展開されているのでしょうか？

齋藤：私は、AIを使う仕事メインではなく、日本テレワーク協会などでテレワークの推進や、長崎県内でワーケーションの推進をしています。元々、企業のシステム全体構成やコミュニケーションインフラ・ナレッジマネジメントなどの方が専門なのです。リモートワークや働き方全般にかかわる企画に携わっており、人事の在宅勤務の制度も作りますし、会社のオフィスレイアウトを企画・作成もしています。

私のもう1つ担当している主要なテーマで、情報系システムの未来について考えている研究会の部会長をしています。そこで毎年レポート^{☆10}を書いているのですが、情報系システムという相手が対人としてしか理解できなかったものが、相手がAIやIoTになってきており、さらにそれが意識しなくなっていると思っています。業務プロセスにもAIやIoT（センサなどを含む）が入り込んできていますが、それだけではなくコミュニケーションがチャットボットのようなモノにとどまらず、変化しているのではないかというのが我々の見方です。

江谷：コミュニケーションにおける情報共有は、人だけではなく、AIやIoTも含まれているということでしょうか？

齋藤：はい。徐々にコミュニケーションの在り方が変わっているという印象を受けています。

江谷：たとえば、リモートキャンパスの中で、友だちを作るためのコミュニケーションができるのでしょうか？

齋藤：利用者の信頼性の確保は、もちろん、必要です。変な人には会いたくありませんからね。AIは単にコミュニケーションのサポートをして少し話をうまくする手助けをする感じで。

江谷：友だちを作るための対話を解析したAIが、上手く話ができ盛り上がるような会話の合いの手を担うことができればよいですね。システムとAIにより友だち作りの場が安全になればと思います。

齋藤：補助ツールみたいなAIの使い方になるのではないかと考えています。

4. リモートコミュニケーション時代の心sensorについて

江谷：最後に、働き方改革やコロナ禍の中、リモートコミュニケーションは必須のように思われますが、就労や教育について御社のお考えを教えてください。

齋藤：リモートのコミュニケーションで顔を常に出せればよいのですが、それだけとは限らないので、顔を出す代わりに心sensorが上手く使えればと思っています。

江谷：就労や教育の場が、リモートでも行われる時代に入り、対面のコミュニケーションとは異なるけれど、人工知能やビッグデータを活用した新たなコミュニケーション臨場感が心sensorにはあるのだと思いました。また、AIやIoTがコミュニケーションのあり方を変えていくであろうということも分かりました。

本日は、ありがとうございました。

対話型進化計算のブレイクスルーに向けて

江谷：（株）シーエーシー様の取り組みについて、竹之内先生のご感想はいかがでしょう？

竹之内：齋藤様の感情認識AIの場合はすでに商品化もされており、応用するという面では（応用における課題はさまざまあるものの）IECの何歩も先を行っている印象です。我々のIECについては、これから応用手段に関する研究が盛り上がってくるのではと期待して、研究に取り組んでいる段階です。

江谷：IECにはどんな課題がございますか？

竹之内：IECが提唱されてから20～30年経ち、この間にさまざまなIECシステムが提案されてきましたが、ほとんどが実験ベースで終わっています。この先、IECが廃れることなく何か新しい段階に達しようとする、たとえば、齋藤様がされているような「顔からの感情認識」情報を個体評価に取り入れるような話が必要になってきます。このような新しい可能性について、話ができればと思います。

江谷：どんな座談会になりそうですか？

竹之内：これまでの対話型進化計算に関する研究を振り返り、対話型進化計算を実際に応用しようとしたときに起こり得る問題（何が障害になっているか）を指摘し、それらの解決策と応用手段にはどのようなものが考えられるか話ができればよいなと考えています。

座談会 — 対話型進化計算の未来 —

1. 参加者の御専門紹介

竹之内：IECの研究もコンピュータの発達に伴い、黎明期からは多くの発展を遂げてきました。今回は、このような中で進化計算技術の研究に取り組まれてきた研究者の皆様と「対話型進化計算の未来」について、座談会を開催したいと思います。まず、皆様のこれまでの研究内容やご専門についてお伺いしたいと思います。まずは福本先生お願いします。

福本：もとは、音楽を中心とするメディアコンテンツが人間に及ぼす心理的・生理的な影響に興味を持っていました。より高い効果を持つメディアコンテンツを創り出す方法はないかと考えているときに出会ったのが、IECです。高木先生（九州大学）の取り組みに影響を受け、IECの評価に心拍情報を用いる手法や、これまで生成対象ではなかった香りや味などのコンテンツを創り出す手法の提案と有効性の検証に取り組んできました。

竹之内：九大の高木先生、IECの大御所ですね。本特集号の招待論文にもあるように、福本先生は香りや味といった一見最適化や合成が困難そうな対象に取り組んでおられます。後程この話もお聞きしたいと思います。それでは、次は花田先生お願いします。

花田：グラフやスケジューリングなどの組合せ最適化の近似解法、特に進化計算に基づく手法の開発を行ってきました。最近、福本先生と共同でのIECの手法開発を通して、対話形式の探索のプロセスに興味を持ち、その収束の傾向などから、IECの新たな応用についても取り組みを始めたところです。

竹之内：なるほど、通常の進化計算の有用なアルゴリズムや知見もIECに応用されていますね。それでは、徳丸先生お願いします。

徳丸：90年代～2005年頃まではファジィ理論をベースとした作曲・編曲システムや衣服コーディネートシステムの開発を行ってきました。その中でファジィルールを調整することで多様な感性を表現できることが可能になったのですが、ユーザの感性に合うようにルールを最適化することが課題となりました。この課題を解決するために採用したのがIECでした。以降、企業との共同研究で製品の設計技術者やデザイナーの発想支援の形でさまざまなIECシステムを開発してきました。

竹之内：ありがとうございます。ファジィ理論は私も興味を持っているところで、IECと親和性が高いですね。最後に竹之内の紹介です。

複数のユーザの感性情報を用いたIECシステムの研究を学部時代の卒業研究で始めて以来、IECに関する研究に携わっています。具体的には、IECの評価インタフェース改善やタブサーチの応用、さらにはIECのフレームワークを用いて、ユーザの感性検索数理モデルを最適化する研究などを行ってきました。実際にランニングシューズや腕時計デザインなどを最適化するIECシステムを構築してユーザ実験をしたり、アルゴリズムの定量的な評価のために数値シミュレーションを行ったりしています。

2. 対話型進化計算手法に対する印象

竹之内：みなさんのご専門をお伺いして、これまでIECに関する研究にさまざまな形で携わっていることを拝聴しました。これまでのご自身の専門や研究されてきた知見から、IECという技術について、どのような印象をお持ちでしょうか。

福本：一般的には、ユーザが自分自身に合う製品・コンテンツを創ることは非常に困難です。単にモノを作ることが難しい上に、ユーザが理解していない自身の好み・感性はブラックボックスのようなものですので、それに合う解を探索することは難題としか言いようがないでしょう。そのため、出来合いの製品・コンテンツを楽しむということになります。

IECは、このような既存の枠組みを壊し、その人に合う製品・コンテンツを創り出す手法になり得ます。ただし、日常的な活動としては受け入れがたいほどの評価回数が必要になるため、疲れや時間の制約から本当の意味での最適解を得られることはあまりないだろうとも思います。

竹之内：やはり、ユーザの評価負担や評価の仕方が大きな壁になりますね。座談会冒頭でもありましたが、福本先生はこれまでに香りや味など一見合成が難しそう、それでいて人の感性評価が多岐にわたりそうな対象をIECの枠組みで最適化しようとされています。これらを最適化する上での難しさやポリシーなど教えていただけますでしょうか。

福本：多くの香り、味のコンテンツは、原料を混合して作られます。この混合比をIECによりユーザごとの好みに最適化する取り組みをしていますが、やはり視覚や聴覚のコンテンツと比べると解候補の表現に時間がかかりますし、特殊なデバイスが必要になります。また、ユーザの評価の観点では、感覚器の疲労が早いことや、多くの解候補を一度に評価することが不可能なことは、IECにおける評価の繰り返しの妨げとなります。なかなか難しい手法ではありますが、商品開発の補助という形でもよいので、いずれは実用化になるレベルまで洗練されたシステムに仕上げたいと考えています。

竹之内：なるほど、ありがとうございます。徳丸先生はいかがでしょう。

徳丸：最適化の対象となるモノ（解候補）のコーディングさえうまく設計すれば、どのような対象もユーザの直感的な評価により最適化可能である点には大いに可能性を感じます。しかし、最適化対象が複雑化すると膨大な繰り返し評価が必要となるため、評価インタフェースに何かしらの工夫がないと一般ユーザが気軽に使えるアプリケーションとして普及するのは難しいと感じています。

竹之内：IECのユーザの評価負担軽減のためには、ユーザが対象を評価しやすいインタフェースの設計が1つの重要事項として挙げられますね。対象の特性によって、評価インタフェースを設計することが求められますね。ありがとうございます。花田先生はこれまで主に対話型でない進化計算アルゴリズムの研究に取り組まれてきていますが、IECについてはどのような印象をお持ちでしょうか。

花田：IECのもっとも大きな応用は、ユーザの感性を直接反映したコンテンツ作成だと思います。あとは複数人でIECを進める中で解を交換しつつ、1つの解に収束させるといった合意形成を支援するツールとしても利用できます。もう少し広げて解釈すると、コンピュータと協力して探索をすすめるツールと考えることもでき、高次元の複雑な最適化問題を進化計算で解いている状況の中で、探索の方向性をユーザが決定するのもIECの枠組みに属すると思います。

竹之内：複数人を対象とした場合は確かに応用範囲が広がりますね。何かの形で通常の進化計算の過程でユーザの指針なり嗜好なりを導入させることができると、新しいシステムができそうですね。最後に竹之内の印象です。

IECはユーザの感性を取り入れたデザインや最適化を行える手法で、応用の幅は広いと考えています。ユーザの感性を用いてダイレクトにデザインを行うような手法はほかにはないかと。実際にこれまでも音、動画、静止画などさまざまな対象を最適化するIECの研究事例を見てきましたし、私自身がこれらのIECシステムを提案することもしてきました。このような中でIECは無数の可能性を秘めている反面、ユーザの評価負担やユーザが介入することによる進化計算上の制約など、まだまだ解決すべき問題は少なくないと感じています。

3. 対話型進化計算の未来～徳丸案：ユーザの普段の行動をIECの評価に利用～

竹之内：さて、ここから本座談会のメイン「対話型進化計算の未来」についてです。元来、IECでは、ユーザの評価負担が大きいので、たとえばデザインの評価方法をシンプルにしたり、裏で通常の進化計算を実行して、ユーザが評価できない分の世代数を稼いだりして、負担軽減を実現してきました。しかし、それもそろそろ限界が来ているのではないかと思います。今後は、一般システムに普及できるようなIECを考えるような、ブレイクスルーが必要になってくるのではないかと考えていますがいかがでしょうか。徳丸先生いかがでしょうか。

徳丸：ユーザに「評価している」と意識させないユーザインタフェースが必要かと思います。AmazonやGoogleなどが力を入れている「潜在的なユーザのニーズの発掘」と同様に、ユーザの日常の活動から最適化対象の評価を獲得する技術を開発する必要があります。Webの世界ではユーザの検索履歴や閲覧履歴などのデータが集まりますが、アナログとデジタルの混在する世界、たとえば自動車や家の中など実空間の何かを最適化するようなケースでは、ユーザの生体情報を獲得するセンサ技術なども重要になってきます。

福本：ユーザに評価を意識させない、という考え方は非常に面白いです。IECによる解探索の難しさの1つに、ユーザに評価を繰り返してもらうことが挙げられると思います。私自身は心拍を用いたIECを提案しましたが、生体情報の利用をユーザの負担軽減という視点でしか考えておらず、日常生活での利用という観点はあまり持っていませんでした。うまくコンテンツへの関心をひきながら、意識させずに多くの生体情報を取れたら面白い技術になりそうですね。

花田：私たちは日々、何かしら自分の感性に従って無意識のうちに選択をします。そういった所作をウェアラブルなデバイスでログをとって、嗜好の特徴を検出するというのもよさそうです。実際にシステムを構築していくとなると、そのような長期的な進化計算の探索の仕組みが必要になってきますね。

竹之内：生体情報もセンサ機器の発展によっては、日常でユーザが計測機を着用しなくても正確な心拍や脳波を測れるようになるかもしれません。そうなるとユーザが知らない間に生体情報を計測されて、プライバシーなど別の問題も起きてきそうですので、注意が必要です。ほかに、視線情報というのも、ユーザに評価を意識させずに取ることができるので、有用かもしれませんね。

4. 対話型進化計算の未来～福本案：解候補探索へのユーザの積極的な介入～

竹之内：次は、福本先生にお伺いしたいと思います。

福本：IECの被験者実験ではランダムな解から探索を行いますが、このようなやり方では一般システムへの普及は到底無理です。ほかの情報を借りて探索範囲を狭める、初期集団を決める、という方法が実用につながるかもしれません。たとえばユーザから「こんな感じの製品がほしい」などのある程度の情報をもらい、そこから類推される情報を利用することが探索の効率化、一般システムへの普及に貢献すると考えます。

花田：非常に探索空間が大きい、高次元の設計問題などの最適化にも通じる話だと思えます。望んだところに制約を満たす妥当な解が存在するかどうか分からない場合や、ユーザの設計方針がなかなか定まらない場合であっても、進化計算が解候補を表示するうちに、設計方針が固まってきて、進化計算の探索に新たに探索の方向性を示す。そういったところにも人間ならではのセンスが活かせるのがIECの強みであると思っています。

竹之内：IECの分野でも、ユーザが評価過程の中で気に入ったコンテンツやパーツをシステムに入力するオンライン知識組込みがありますが、これがさまざまな形で発展すると面白そうですね。

徳丸：確かに、解の評価以外にもユーザからの積極的な働きかけがあると探索効率は上がりますよね。コンピュータが提示したデザインの一部を直接ユーザが変更するような仕組み、ダイレクトマニピュレーションが以前提案されましたが、あれなんかもっと積極的に導入してもよいと思います。

5. 対話型進化計算の未来～花田案：長く付き合えるIECシステム～

竹之内：花田先生はいかがでしょう。

花田：これまでのIECは、集中的に探索、すぐに解を求める、という即席デザインが多いように思いますが、長期的に、かつ、ユーザは好きなときに選択、そのうちほしいものが得られる、あるいはさらに良い解が得られた、というような、長く付き合えるツールになるのが1つの理想だと思います。ユーザの選択から好みのバイアスを抽出し、徐々に賢くなる、相談相手になるようなIECになっていけばいいなと思っております。

徳丸：長く付き合うという意味では、現在のIECのように好みのデザインが出てきてハイ終わり、というのではなく、ユーザの嗜好を学習するようなモデルが必要になってきますね。そういう意味では、今のIECは賢くはないですね。

竹之内：確かに今のIECでは難しいですね。長く付き合おうとすると、毎日身につける服やアクセサリー、インテリアデザインなど数多くの対象の好みを、一括して理解してくれるようなシステムになると楽しそうですね。

福本：一括して理解してくれるシステムとなると、着用した回数やコーディネート画像を入力するとか、ユーザの視線から対象物への興味の度合いを記録しておくとか、そういうイメージでしょうか？ 実現したら面白そうですね。

竹之内：そうですね。たとえば、スマートスピーカが発展して、ユーザの日々の行動やスケジュールからある日のコーディネートや献立を推薦してくれるようなパートナーロボットのような存在に、IECが一役買うことができれば、素晴らしいと思います。

6. 対話型進化計算の未来～竹之内案：モノを検索するモデルをIECで作る～

竹之内：私の場合、たとえば、解説論文で書いているように、デザインパーツなどをダイレクトに遺伝子コーディングするような通常のIECでは、与えられたパーツの組合せ以外のものができず、デザインのバリエーションが限定的なもの一因と思います。たとえば、モノを検索するモデル自体をIECのフレームワークで最適化できれば、どんなものにもでも対応できる数理モデルができるように思います。実際にこのような数理モデルについての研究も行っていますが、シミュレーションベースではある程度うまくいくものの、一般的なIECと比べると扱うパラメータ数や評価回数は膨大になり得ます。実システムとなると、先生方がご提案されているような仕組みが統合的に必要になると思います。

花田：おっしゃるとおり、モデル化の時点で、すでにいろいろな意思決定が必要となりますね。同じ本会の研究会『数理モデル化と問題解決』では、「正しくモデル化ができれば、問題の9割は解けたようなもの」と言われています。そういった意味で、解く方法～デザインする方法よりも、何をデザインするのか、というところが、IECにとっても本当は一番難しいところですね。モデル化のところにIECの力を借りるとするのはいいアイデアだと思います。

福本：IECの探索対象であるコンテンツと遺伝子をつながない、というのはすごい発想ですね。モノを検索するモデル、というのはどのようなものですか？

竹之内：これまでに、感性検索エージェント（Kansei Retrieval Agents：KaRA）という名前でこのようなモデルを提案しています。KaRAは、ユーザの代わりに膨大なデータベース内のデータについて、ユーザが好きそうな／欲しそうなものを検索する数理モデルです。当初はこのモデルを、ニューラルネットワークや回帰多項式で構成していましたが、最近では推論過程を把

握して、ユーザの感性に関する知見を言語情報で得られることを目指して、ファジィ推論モデルを使っています。IECのフレームワークを使って、ファジィ推論やニューラルネットワークのパラメータを最適化することになります。

福本：なるほど、数理モデルのパラメータそのものを最適化するのですか！ 大きな枠組みになりそうですね。与えられたパーツの組合せ以外のものができるというのは、すごく夢のあるIECです。うまくいくと、IECのブレイクスルーにつながる取り組みと思います。

徳丸：話が飛躍しますが、それこそパソコンやスマホのOSレベルに組み込んだりすると面白いかも。ユーザの操作をさげなくサポートするように処理内容を最適化し、評価値は操作効率から自動的に獲得するなど、ユーザには意識させないレベルでIECが動いているとか。

竹之内：そうですね、ありがとうございます。やはりいろいろな面から攻めていかないと、IECのブレイクスルーになり得る手法やシステムはできあがりそうにないですね。そこがIEC研究のやり甲斐になっていると感じています。

7. 対話型進化計算のオープンソース化の可能性

竹之内：さて、今回の座談会を企画する中で、IECが一般に普及するには何が必要かというやりとりをゲストコーディネータの江谷様としていて、オープンソース化するような取り組みが有効ではないかという意見をいただきました。私自身、研究を進める上で他人とプログラムを共有したり、公開したりといった発想はなかったので、新鮮な感じがしました。広くさまざまなジャンルの開発者にIECのフレームワークを提供できれば、また違った展開が見られると思いますが、いかがでしょう。

徳丸：オープンソース化は面白いアイデアだと思いますが、誰もが気軽に使えるという意味では、対象となるモノのコーディング技術と、評価インタフェース設計が重要だと思います。しかし、これらは評価対象によって仕様が大きく異なってくる部分であり、一般化するのはきわめて難しいと思われます。そうすると、オープンソース化される部分は進化計算アルゴリズムの部分のみになってしまうので、通常のタブーサーチや遺伝的アルゴリズムなどの進化計算手法と変わらなくなりますね。

福本：オープンソース化することで、多くの方にIECを知ってもらい使ってもらうことが実現できるかと思います。勉強中の身ですので「IECの普及」という観点を持ち合わせていなかったというのが正直なところですが、面白いアイデアですね。

進化計算そのもののソースコードは、教科書などに例が増えていますし、サンプルもWeb上にあります。IECではそこにユーザの評価をつなげることにはなりますが、徳丸先生も言われているように解であるコンテンツ生成の部分にハードルがあるかもしれません。我々の研究のようにハードウェアとつながっているとかなり困難ですし、コンテンツ生成自体にお金や時間がかかっているとすんなり公開というわけにもいかない気がします。

竹之内：そうですね、確かに評価対象が変わると途端に別のインタフェースが必要になりますね。以前、オープンソース化とまではいかないですが、学生向けのIEC演習ツールみたいなものを作ったことがあります。このときも、評価対象はこちらで準備しないとうまく演習が進まないという問題がありました。本当は学生の演習の一環で学生が好きな動画や画像をコーディングして使えるようにしたかったのですが、さまざまな制約がついてきましたね。それで、結局、評価対象は画像の大きさを固定して色塗りをしていく配色生成に限定しました。

花田：オープンソースについてはまったくよく分かっておりません。先延ばし、思考停止している部分が多いですが、運用が難しそう、ということでオープンソースには消極的です。

福本：進化計算から数値（解）を出し、それを何らかの形で主観評価してもらう簡便な枠組みは、オープンソース化できると思います。ものすごく単純ですが、この数値は好きですか、とか（笑）。この例は飽くまで取っ掛かりで、CGや音などのメディアに関する技術を持っている方ならこれらの数値をもとにコンテンツ生成につなげられるはずですが、ご提案をもとに、何かできないかと考え始めたところです。

竹之内：なるほど、いまのところ、オープンソース化は面白そうだけどIECの特性上、アルゴリズムとコンテンツを統合する段階で評価インタフェースなどのさまざまな制約が出てくるので、実現は難しいということですが、他の問題もありそうですね。

花田：そうですね、たとえば、企業と共同研究をした場合にどうなるのか、また、仮にそれを利用して誰かが儲かった場合に泣き寝入り、なんてことがあるのかどうか。普及については、近年、じっくり浸透というよりは、いきなり爆発的に広まるケースが多いので、なにか1つ、すごいIECによるコンテンツが生まれるのを待っています。

8. 対話型進化計算の発展に向けて

竹之内：IECの未来について、さまざまな視点から多くの意見やコメントを伺ってまいりました。今後IECが発展していくためには、研究者が考える応用と実務者（企業）が考える応用が融合し、いわゆる共同研究が増えていくことが効果的かと考えます。ただ、昨今のIT業界や市場を見ていますと、IECのオープンソース化が実現できれば、ベンチャー勢力によってIECの応用が広まる可能性もあります。本座談会では、このようなさまざまな可能性を含むIEC技術について、有益なご意見やコメントを頂戴できました。ご参加いただいた招待論文執筆者の徳丸氏、福本氏、花田氏には深く感謝いたします。ありがとうございました。



図1 座談会 一対話型進化計算の未来—のZoom座談会の様子
(左上から時計回りに竹之内氏、花田氏、徳丸氏、福本氏)

江谷：技術はプラクティスの積み上げにより発展すると言われています。今回、伺ったお話は、過去の多くの試みから新たな発展を遂げた成果であり、応用技術として発展を遂げていることを知ることができました。この素晴らしい特集にご協力いただいたゲストエディタの齋藤氏と竹之内氏には深く感謝しております。

本日はお時間をいただき、ありがとうございました。

脚注

☆1 (一社)日本テレワーク協会：ワークスタイル変革に資する第三の場（サードワークプレイス）活用の可能性。

<https://www.japan-telework.or.jp/pdf/report2017-02.pdf>

☆2 鳥取県の学校法人鶏鳴学園 青翔開智中学校・高等学校（青翔開智）でのイベント：中学校デジタル化in青翔開智。

<https://www.affectiva.jp/affectiva-topics/jisa>

☆3 JISA中学校デジタル化プロジェクト参加報告～ITを活用した教育の高度化への挑戦～。

<https://www.cac.co.jp/softechs/pdf/st3601-07.pdf>

☆4 感情認識AIの概要。

<https://www.youtube.com/watch?v=Vz0NEesISZs&t=296s>

☆5 心sensorの説明。

<https://www.youtube.com/watch?v=wvl7lJZ2LRM&t=144s>

☆6 心sensor for Trainingのデモ。

<https://www.youtube.com/watch?v=UN65ZdjYSNw>

☆7 心sensor for Communicationのデモ。

<https://www.affectiva.jp/kokorosensorforcommunication>

☆8 凸版印刷・シスコ・CAC：高校生フェンシングの日本一を決める大会を支援。

https://www.cac.co.jp/news/topics_200918.html

☆9 IoTとAIが情報共有に与える影響。

https://juas.or.jp/cms/media/2017/02/16ad_joho.pdf

グロッサリ

Glossary—グロッサリ—

ヒューリスティックス

必ず正しい答えを導けるわけではないが、ある程度のレベルで正解に近い解を得ることができる方法。（竹之内宏）

メタヒューリスティックス

組合せ最適化問題のアルゴリズムにおいて、特定の計算問題に依存しないヒューリスティックス。（竹之内宏）

免疫アルゴリズム

生物の免疫系の原理やプロセスにヒントを得たコンピュータシステムである人工免疫システムで利用されるアルゴリズム。免疫系の学習と記憶の特性を問題解決に利用する。（竹之内宏）

自己組織化マップ

ニューラルネットワークの一種であり、大脳皮質の視覚野をモデル化したもの。自己組織化写像はTeuvo Kohonenによって提案されたモデルであり、教師なし学習によって入力データを任意の次元へ写像することができる。（竹之内宏）

局所探索法

近似アルゴリズムの中でも最も単純なアルゴリズムの枠組みの1つ。（竹之内宏）

タブーサーチ

メタヒューリスティックスの手法。人工知能の概念に基づいた局所探索法の一般化として認知されている。同じメタヒューリスティックスの手法には、遺伝的アルゴリズムや焼きなまし法のように特定の自然現象を模倣した手法がある。（竹之内宏）

粒子群最適化

群知能の一種。現実の鳥の群れや魚の群れの行動から着想を得た最適化アルゴリズム・フレームワーク。探索の対象となる目的関数が与えられたとき、複数の粒子が互いに情報を共有しながら最適解を求めて探索空間内を動き回る。（竹之内宏）

焼きなまし法

大域的最適化問題への汎用の乱択アルゴリズム。（竹之内宏）

多目的最適化

目的関数が複数存在する最適化問題を解くこと。（竹之内宏）

デジタルサイネージ

表示と通信にデジタル技術を活用して平面ディスプレイやプロジェクタなどによって映像や文字を表示する情報・広告媒体。（竹之内宏）

一対比較評価

複数ある選択肢を1対1で比較していくことで、選択肢の重み付けや距離間を明確にする調査手法。（竹之内宏）