

情報処理

2022
7

Vol.63 No.7
通巻 688 号

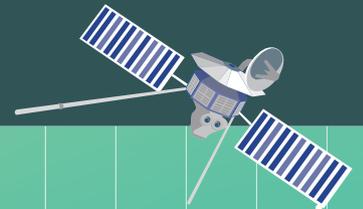
特集 **オンライン** メタバースがやってきた

特別解説 ACMゴードン・ベル賞と新型コロナ飛沫・エアロゾル感染リスク評価のデジタルトランスフォーメーション
Green500連覇への道のり



巻頭コラム

雲というデータを読み解く
荒木健太郎



教育コーナー：ぺた語義

連載：5分で分かる!? 有名論文ナメ読み / 教科「情報」の入試試験問題って? / 情報の授業をしよう! /

先生、質問です! / ビブリオ・トーク

コラム： **オンライン** 囲碁雑記：技倆（ぎりょう）と哲学とAI

会議レポート

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



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

2022 年度 情報処理学会シニア会員申請のご案内

本会は、2014 年度より情報処理分野において継続的な貢献が認められ、学会活動を通して本会の発展に寄与する正会員に対し、将来にわたって引き続き学会活動の中心となつて、学会の発展、ひいては社会への貢献をいただくという趣旨のもと、「情報処理学会シニア会員制度」を設けております。

シニア会員の申請有資格者様におかれましては、本制度の内容をご確認の上、ぜひとも申請をいただき、本会シニア会員として今後もなお一層の積極的な学会活動、ご活躍をいただければ幸いです。多くの方からの申請をお待ちしております。

なお、「シニア会員」の称号取得は、2019 年度より「フェロー」推薦を得るための条件となりました。

2022 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	2022 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	2022 年 7 月 31 日（日）まで
申請書類	シニア会員申請書 1 通 シニア会員推薦書 2 通（推薦書は 2 名分必要です）
申請方法 (①～③いずれかの方法で申請してください)	申請は自己申告による申請と第三者申告による申請がございます（詳細は Web ページをご確認ください）。 ■自己申告の場合の申請方法 ① Web サイト申請フォームから申請 1. 上記 Web ページより「シニア会員申請書」をダウンロード、必要事項を記入してください。 2. 推薦者に該当する 2 名の方より「シニア会員推薦書」を入手してください。 3. 「申請書」、「推薦書 1」、「推薦書 2」の順に計 3 ページ分を PDF にて 1 つのファイルにまとめてください。 4. 上記 Web ページ内の「シニア会員申請フォーム」に必要事項をご入力頂き、3. で作成したファイルを添付して受付期間内に申請してください。 ② 電子メールで申請 soumu@ipsj.or.jp あてのメールに必要事項をすべて入力済みの「申請書」1 通、「推薦書」2 通を添付してお送りください。 ③ 郵送にて申請 事務局管理部門シニア会員担当へ必要事項をすべて記載した「申請書」1 通、「推薦書」2 通（いずれもサイズは A4 判）をお送りください。 ①, ②, ③とも事務局にて受付後、受付完了メールを申請者・推薦者にお送りしますのでご確認ください。 ■第三者申告の場合の申請方法 【申告者（推薦者）】 第三者による申告の場合、申告者（推薦者）は次項 1～6 のいずれかに該当する本会員に限ります。また、申告者は推薦者の一人となります。 ① Web サイト申請フォームから申請 ② 電子メールで申請 ③ 郵送にて申請 いずれも自己申請の場合と同様。
推薦者	推薦者は下記 1～6 のいずれかに該当する方です。2 名の方から推薦書をいただいでください（推薦者は上記 Web ページにて確認できます）。 1. 本会名誉会員 2. 本会フェロー 3. 本会役員及び役員経験者 4. 本会支部長及び支部長経験者 5. 本会研究会主査及び研究会主査経験者 6. 本会シニア会員
審査方法	申請書類に基づき、本会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	2022 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 総務部門 シニア会員担当

TEL：03-3518-8374 e-mail: soumu@ipsj.or.jp

実践 Data Science シリーズ Pythonではじめる テキストアナリティクス入門

榊 剛史・編著

石野亜耶 / 小早川 健 / 坂地泰紀 / 嶋田和孝 / 吉田光男・著

新刊

B5変・256頁・定価 2,860円 (税込) ISBN 978-4-06-527410-1

基礎技術と分析アプローチがわかる入門書の決定版！「spaCy+GiNZA」による一気通貫の分析がすぐに実践できる。分析事例をていねいに解説し、つまずきやすい「環境構築」もしっかりサポート！



Pythonではじめる ベイズ機械学習入門

森賀 新 / 木田悠歩 / 須山敦志・著

新刊

B5変・272頁・定価 3,080円 (税込) ISBN 978-4-06-527978-6

確率的プログラミング言語がすぐに使える！ PyMC3、Pyro、NumPyro、TFP、GPyTorchをカバーし、回帰モデルの基本から潜在変数モデル・深層学習モデルまでを幅広く解説。



実践 Data Science シリーズ Rではじめる 地理空間データの統計解析入門

村上大輔・著

新刊

B5変・272頁・定価 3,080円 (税込) ISBN 978-4-06-527303-6

初歩から実装まで悩まず進める！ GISの基本から始まり、今ホットな時空間データの解析まで解説。サンプルコードと出力結果が詳細だから実践しながら学べる。「いつか学ぼう」と思っていたなら、今！



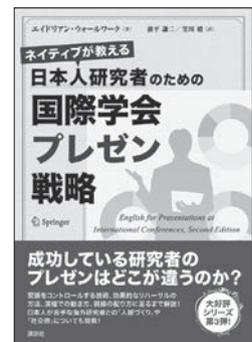
ネイティブが教える 日本人研究者のための 国際学会プレゼン戦略

新刊

エイドリアン・ウォールワーク・著 前平謙二 / 笠川 梢・訳

A5・368頁・定価 3,520円 (税込) ISBN 978-4-06-524385-5

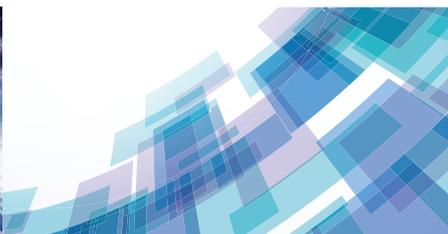
成功している研究者のプレゼンはどこが違うのか？ 緊張をコントロールする技術、効果的なりハーサル、演壇での動き方、視線の配り方に至るまで詳細に解説。日本人が苦手な、海外研究者との人脈づくりや社交術も学べる！



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

 KODANSHA

編集 ☎03(3235)3701
販売 ☎03(5395)4415



PREFACE

巻頭コラム

- 326 雲というデータを読み解く 荒木健太郎

SPECIAL ARTICLE

特別解説

- 328 ACM ゴードン・ベル賞と新型コロナ飛沫・エアロゾル感染リスク評価のデジタルトランスフォーメーション
松岡 聡・坪倉 誠
- 334 Green500 連覇への道のり 安達知也

SPECIAL FEATURES

特集

メタバースがやってきた

- 338 編集にあたって 金子 格
- 339 概要

お知らせ

特集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340ページに掲載しておりますのでご確認くださいませようお願いします。

教育コーナー：ぺた語義

- 341 多正面作戦を求められる一般情報教育 喜多 一
- 342 情報入試と初等中等教育機関の情報教育の現状—第84回全国大会企画セッション報告— 稲葉利江子・坂東宏和
- 347 学習基盤を拡張する国際技術標準IMS LTI 1.3 第2回LTI 1.3開発のための資料とサービス 田中頼人

連載：情報の授業をしよう！

- 351 自らの情報活用を評価・改善する児童の育成—Minecraftを用いた地域の商店街作りを通して— 竹林芳法

連載： ビブリオ・トーク—私のオススメ—

- 358 初めてのPerl 第7版 関谷貴之

連載： 5分で分かる!? 有名論文ナナム読み

- 360 Edward A. Lee: Cyber Physical Systems: Design Challenges 安積卓也

会議レポート

- 363 ICMU 2021 会議報告 鈴木秀和

366 連載： 先生，質問です！

連載：教科「情報」の入学試験問題って？

- 368 小池ケイコさんの「幸いさ」の解説 谷 聖一

《記号の説明》

基礎 専門家向け
 一般 (非専門家) 向け Jr. ジュニア会員向け
 応用 一般 (非専門家) 向け Jr. ジュニア会員向け

※各記事に指標がついていますので参考にさせていただきます

常時更新中!

「情報処理」オンライン

■ Vol.63 No.7

特集：メタバースがやってきた

e1  1. IT 紀行特別編：未来の世界のメタバース！ 解説記事を読んで想像してみた（山本ゆうか）

e3  2. メタバースの成立と未来—新しい時間と空間の獲得へ向けて—（三宅陽一郎）

e37  3. メタバースの法律問題（須川賢洋）

会議レポート

e40 アルゴリズムの頂が持つ力はいかに？—ゲノコン2021開催記録—（清水佳奈・坂本一憲・笠原雅弘）

コラム

e54 囲碁雑記：技倆（ぎりょう）と哲学とAI（渡辺貞一）

「情報処理」総目次

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

※冊子・オンラインの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）。



「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。

note目次：https://www.ipsj.or.jp/magazine/contents_note.html



- 340 【ご案内】 会誌「情報処理」のオンライン記事について
- 374 会員の広場
- 376 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
- 377 人材募集
- 378 会告
- 380 名誉会員の紹介
- 382 2021年度功績賞
- 384 2021年度顕功賞
- 385 2021年度論文賞／2021年度業績賞／2021年度情報処理技術研究開発賞／2021年度マイクロソフト情報学研究賞

- 386 2022年IPSJ/ACM Award for Early Career Contributions to Global Research／2022年IPSJ/IEEE Computer Society Young Computer Researcher Award／2021年度優秀教育・教材賞／2021年度学会活動貢献賞／2021年度感謝状
- 387 2021年度ソフトウェアジャパンアワード／2021年度フェローのご紹介
- 388 [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
- 388 アンケート／IPSJカレンダー
- 389 英文目次
- 390 編集室／次号予定目次
- 391 掲載広告カタログ・資料請求用紙
- 392 賛助会員のご紹介

■会誌編集委員会

編集長：五十嵐悠紀

副編集長：加藤 由花・櫻 惇志・福地健太郎

担当理事：高橋 尚子・木村 朝子

本号エディタ：

天野 由貴・井手 広康・稲見 昌彦・井上 創造・上田 俊・
上松恵理子・浦西 友樹・太田 智美・折田 明子・桂井麻里衣・
金子 格・斎藤 彰宏・酒井 政裕・清水 佳奈・白井詩沙香・
袖 美樹子・田中 宏・中澤 里奈・中島 一彰・中山 泰一・
林 真人・松浦 健二・西川 記史・西原 翔太・橋本 誠志・
堀井 洋・山本ゆうか・和佐 州洋

編集長の独言：<https://note.com/ipsj/m/me8e160fdbaa>

理事からのメッセージ：

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

■情報処理学会事務局本部

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5 化学会館4F

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

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

郵便振替口座 00150-4-83484

銀行振込（いずれも普通預金口座）

みずほ銀行虎ノ門支店 1013945

三菱UFJ銀行本店 7636858

名義人：一般社団法人 情報処理学会

名義人カナ：シヤ）ジヨ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.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



雲というデータを読み解く

■ 荒木 健太郎



「雲をつかむ」という言葉は、物事が曖昧とか非現実的という意味で用いられる。実際、雲は小さな水や氷の粒の集合体なので、物理的にはつかめない。

しかし、雲から読み取れることは多くある。雲はその空間の湿度がほぼ100%ということを示し、雲の形状からは空気の流れも分かる。雲を見て天気の変化を予想することは観天望気といい、科学的根拠のあるものが多く、少しの知識で誰でもできる。

コンピュータが発達する以前は、予報担当者は空を見て天気予報を作っていた。日本で最初の天気予報の伝達手段は交番での掲示だったそうだ。いまでこそスマホですぐ確認できる天気予報は、数値シミュレーションを基本とする。気象観測データをもとに仮想的な地球の大気を作り、それを格子状に分割して物理過程を考慮して運動方程式などを解き、将来の大気を計算する。その計算量は膨大なため、スパコンが必須となる。計算に用いるプログラム群を数値予報モデルといい、並列計算に強いFortranが現役で使われている。気象学はデータサイエンスの側面が強く、情報通信技術なしに天気予報はできない。

天気は雲に左右されるが、雲は直接観測する手段が少なく、未解明な点が多い。モデルで記述される雲の物理過程の不確実性も、天気予報が外れる要因の1つだ。予報担当者はモデルの結果をもとに天気予報を作るが、モデルが完全ではないため、計算結果の妥当性を客観的に分析し、予報を構築する技術が求められる。しかし、完全でないモデルでもそこそこ当たるので、何も考えずにモデルの結果をそのまま使っても(精度

■ 荒木健太郎
気象庁気象研究所研究官

雲研究者、博士（学術）。専門は雲科学・気象学。防災・減災のために災害をもたらす雲の仕組みを研究している。映画「天気の子」気象監修。著書に「すごすぎる天気図鑑」など。Twitter&Instagram：@arakencloud



は別として)予報自体はできてしまう。

筆者が過去に予報現場にいたころに古い論文を漁っていた際、予報現場の職員が査読付き論文を多く書いていたのを知って感銘を受けた。わずかな観測データをもとに当時の気象学の理論から現象の本質に迫ろうとしていたのだ。一方、現在はモデルがある程度当たってしまうものだから、研鑽を怠って予報担当者の気象学の理解が過去に比べて浅くなっているのではないかと危惧している(もちろんいまま超人的な予報担当者はいる)。

予報担当者に気象学の深い理解が必要なのは言うまでもないが、現在はネット上でモデルの結果に誰でもアクセスできる。ときおりきわめて大きな誤差を含む台風の予測結果が、あたかも信頼できる予報かのようにSNS上で拡散されているのを見ると、情報と科学のリテラシーの重要性を再認識する。

気象学に興味はなくても、雲の写真を撮ってSNSに投稿する人は多いと思う。雲は存在自体が面白いデータであり、それを読み取ること(観天望気)で急な雨に困ることも少なくなる。そんな雲沼に人々を引きずり込むため、筆者は日々SNSで雲を発信している。読者の皆様も屋外ではスマホばかり見ずに、雲を見上げて愛でていただきたい。徐々に面白くなってきたら、気象予報士の資格を取ったり気象学会にも遊びに来たりしていただけるとなお嬉しい。

ACM ゴードン・ベル賞と 新型コロナ飛沫・エアロゾル感染リスク評価の デジタルトランスフォーメーション

松岡 聡

理化学研究所計算科学研究センター／
東京工業大学情報理工学院

坪倉 誠

理化学研究所計算科学研究センター／
神戸大学大学院システム情報学研究科



ゴードン・ベル賞 (ACM Gordon Bell Prize) は、スーパーコンピュータを用いた HPC (ハイパフォーマンスコンピューティング) の卓越した業績を称え、ACM (Association for Computing Machinery) の学会賞として年に一度、授与される。世界中のトップマシン上で、多くの最先端のアプリケーションとその成果が競い合い、その受賞者ならびに実行されたマシン自身が最高の栄誉にあずかるだけでなく、HPC の進歩、特に超並列計算の技術を大幅に高めることにも大いに貢献してきた。

ゴードン・ベル賞は、その源流は DEC (Digital Equipment Corporation) (現 HPE (Hewlett Packard Enterprise)) の計算機アーキテクトであった C. Gordon Bell 氏の個人的な賞として、1987 年に創設された賞であり、並列計算の進歩を顕彰することを目的に設立された。設立の背景として、この時期のアメリカを中心とした超並列コンピュータ開発の勃興と、その限界に関する議論が挙げられる。

当時のスーパーコンピュータは、単独の CPU を高速化するのが性能向上の手法のメインで、並列計算による速度向上は数～数十 CPU までと、現代の「富岳」における一千万近い並列度と比べると非

常に小規模であった。その理由は、並列計算におけるアルゴリズムの性能向上の限界指標として、かの Gene Amdahl が提唱したアムダールの法則が存在することにある；アムダールの法則は、アルゴリズム中に並列処理できない非並列化部分があると、CPU 数を増加させても、非並列化部分で実行時間の短縮が律速されてしまい、急速に性能向上が限界に達することを示している。この法則ゆえ、当時 IBM 研究所の Alan H. Karp 氏や、高性能計算機アーキテクチャのトップリーダーであった Seymour Roger Cray 氏などの HPC 界の重鎮は、科学技術における実際の問題解決に、当時開発が進みつつあった超並列計算機が実際に役立つことに懐疑的であり、Gordon Bell 氏自身も必ずしも楽観的ではなかった。そこで、超並列計算の実用性へのチャレンジとして、ゴードン・ベル賞が Alan H. Karp 氏と Gordon Bell 氏による一種の「賭け」として 1987 年に設けられたのである。つまり、アムダール則の限界を回避し、実際の超並列計算で画期的な性能向上を示した実際のアプリケーションのチームに賞金を与える、というものである。

幸い、初回からその「賭け」に挑戦し、CPU の

並列数に強く相関した性能向上を果たしたチームが複数あらわれたが、その中でも明らかな勝者は、John Gustafson を含んだ米 Sandia 国立研のチームであり、1024 CPU の nCUBE マシンで 400 ~ 600 倍の性能向上を示した。ここで重要だったのが、後にグスタフソンの法則と呼ばれる性能向上の手法の発見である。彼らが着目したのは、アムダール則は破れないので、ある固定されたデータの処理に関する実行時間を並列化で短縮（強スケールリング）するのは困難だが、並列度の向上に比例させて問題サイズも大きくすれば（弱スケールリング）、実行時間自身はほぼ一定で推移するも、非並列化部分の全体の性能に占める割合は反比例して小さくなり、最終的には CPU 数の増加に比例した性能向上が得られる、というものである。あとは、それが実際の問題解決に重要であるのだが、多くの実問題は弱スケール性を示すことが分かり、結果としてグスタフソン則の有用性も明らかになった。

グスタフソン則の「発見」により、超並列計算による劇的なスーパーコンピュータの性能向上の道が開かれるとともに、ゴードン・ベル賞はその最先端の世界を競う賞として発展していった。1992 年からは、ACM と IEEE が毎年共同主催する Supercomputing - SC 国際会議に表彰が組み込まれ、さらに 2006 年以降は ACM (Association for Computing Machinery) の正式な学会賞となり、その表彰規則にのっとって与えられるようになった。現在では、HPC 分野だけでなく情報・計算分野全体で鑑みても大変権威ある賞の一つとなっている。日本からも「京」や TSUBAME、「富岳」上でのアプリケーションが受賞しており、トップスパコンの実用性の証となっている。

ACM の学会賞となったゴードン・ベル賞は、通常スーパーコンピュータがランキングされる、いわゆるスパコンの性能指標として一般的に実施されるベンチマーク、たとえば密行列や疎行列を対象とした大規模連立一次方程式解法（前者は HPL:

High-Performance LINPACK、後者は HPCG: High-Performance Conjugate Gradient) などとは異なり、科学・工学などの実分野におけるシミュレーションや大規模データ解析の実用問題における画期的な成果を対象としているのが大きな特徴である。賞へのエントリーは、毎年 4 月初旬を締め切りとして、達成されたアプリケーションの成果の詳細を記した論文形式で行われる。数十件にものぼる応募論文に対して、ACM が選出した審査委員会が、スパコンの性能を引き出すために開発された手法の革新性、それにより達成された性能や結果を得るまでの時間の短縮、それにより実現した科学技術としての価値や社会的インパクト、といった 3 つの項目・観点から審査を行い、6 件程度の最終選考対象であるファイナリストを決定し、初夏に公表する。ファイナリストは、8 月までに、さらに上記 3 項目の改善を行い、それを反映した論文を再提出して、それに基づき最終審査が行われる。さらに、ファイナリストは 11 月に開催される SC 国際会議において、審査論文は会議録に他の査読論文と同等に掲載され、特別セッションでプレゼンを行った上で、同会議の表彰セッションで受賞者が発表・表彰される（筆者の一人の松岡も、2018 年は審査委員長として選考にあっている）。

さらに、2020 年と 2021 年には、COVID-19 の世界的なパンデミックに対し、多くのスパコンがその解決に貢献したことを鑑み、COVID-19 に関する特別賞も設けられた (ACM Gordon Bell Special Prize for High Performance Computing-Based COVID-19 Research)。この特別賞は通常の賞と並行して与えられ、審査内容や基準は基本同等であり、賞としての権威も同等で、トップスパコン上で行われた研究から数多くのエントリーがあった。

ゴードン・ベル賞はその年のトップスパコンのアプリケーションを比較するのが本質なので、一部マスコミで言われている「HPC 界のノーベル賞」いう比喻は正確ではない。ノーベル賞は基本的には

キャリア賞であり、個人の業績に与えられ、それに相当する賞は別途存在する (IEEE Cray 賞, IEEE Fernbach 賞, ACM/IEEE Kennedy 賞). むしろ, その年のいわゆるベストなアプリケーションを比較して最高のものを選ぶ, という点では, 映画界におけるオスカー・アカデミー作品賞に近い. その点, アカデミー賞と同様, ファイナリストになること自体がそもそも大きなチャレンジであり, 十分栄誉に値することも類似している, と見えよう.

2021年のSC国際会議は, ミズーリ州セントルイスで, ハイブリッド形式で開催された. 従来賞ではファイナリストとして以下の6つの課題が採択された. すなわち, 専用機による分子動力学シミュレーション, 現在世界最速の「富岳」を用いた超大規模宇宙ニュートリノシミュレーション, 米最速で世界2位のサミットシステムによる極限状態での炭素を対象とした分子動力学シミュレーションのほか, SC 21でその全容が明らかになりつつある中国の新しいSunwayシステムを用いた3つのシミュレーションとして超大規模量子ラマンスペクトルシミュレーション, 超大規模トカマク核融合シミュレーション, そして量子回路シミュレーションがノミネートされ, 精華大学のグループによる量子回路シミュレーションが受賞した. 同様にCOVID-19特別賞でも6つの課題がファイナリストとして選出された. 我々が受賞した飛沫エアロゾル感染リスク評価のデジタルトランスフォーメーション¹⁾のほか, 創薬を目的としたディープラーニングによるタンパク質親和性解析, エージェントベースモデルに基づく社会シミュレーションを支援するデータ駆動型パイプライン, AI支援によるウイルスおよびエアロゾルの動態シミュレーション, 創薬を目的とした膨大な数のタンパク質-リガント結合シミュレーション, ヒト細胞内でのコロナウイルスの複製に関するAI支援シミュレーションがファイナリストとしてノミネートされた.

HPCの利用としては大きく, キャパシティ

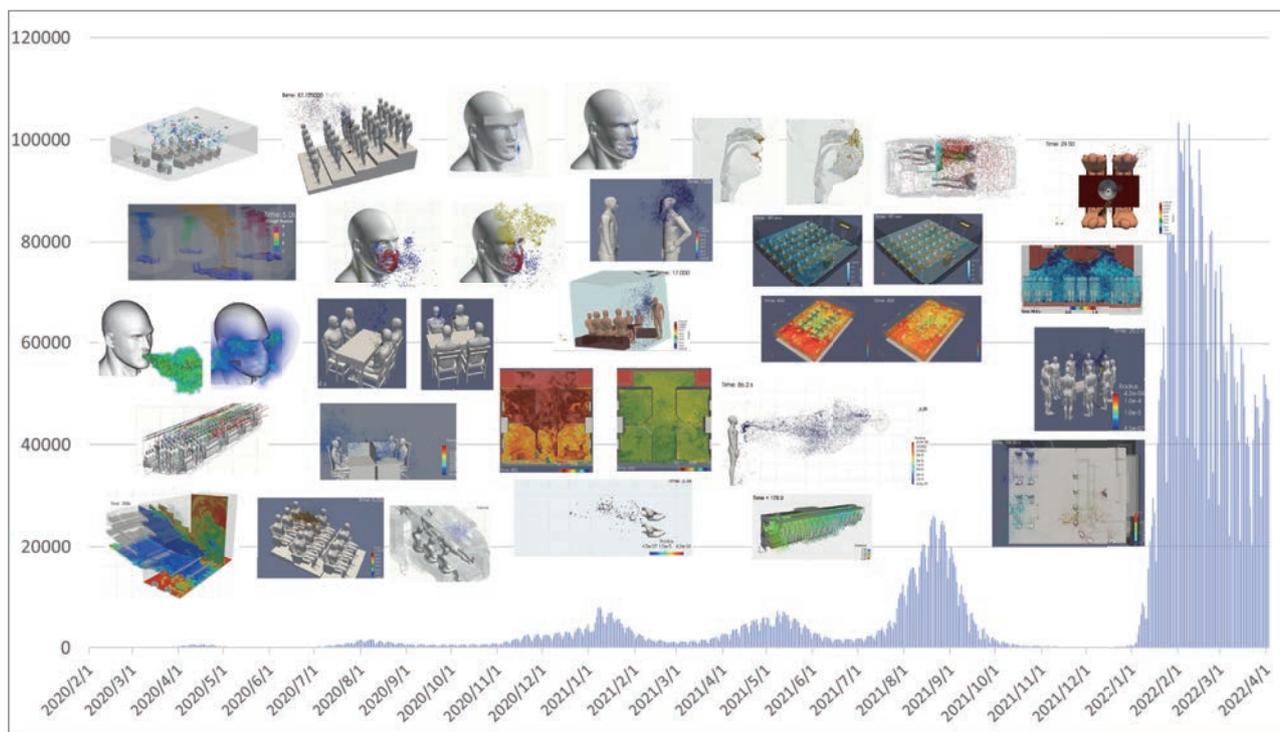
(Capacity) コンピューティングとケーパビリティ (Capability) コンピューティングに分類することができる. 前者は限られた時間の中でいかに多数のケース (ジョブ) を処理できるかを主目的とする一方, 後者は, 従来は扱えなかったような大規模な問題を高速に処理することを目的とする. ゴードン・ベル賞については, その本来の主旨からも, ケーパビリティコンピューティングを競うのが一般的であったが, 近年ではデータ駆動型やAI活用を視野に入れたキャパシティコンピューティングの課題についてもファイナリストとして採択されつつある. 今回のゴードン・ベル賞で特徴的だったのは, 従来賞についてはケーパビリティが主体である一方, COVID-19特別賞については, キャパシティが主体である点である. 刻々と変化する感染状況に対して, 限られた時間の中で有用な成果を得るためには, ケーパビリティによるいわばワンショットシミュレーションに対して, やはりキャパシティコンピューティングが有効であったということが言える. 我々の課題も, 感染状況に応じて50以上の感染シーンに対して1,000ケースを上回るリスク評価と対策提案を, 社会が必要とするタイミングと内容で提案したことが評価された. ACMの同賞委員会長のMark Parsons委員長も受賞に際して, 「この成果は特に感染初期段階の日本そして世界で, 公衆の行動を変えた」と評した. 図-1は, この2年間に我々が実施したシミュレーションのごく一部を, 日本の日々の新規感染者数の推移とともに示している.

本プロジェクトは, 当時まだ試運転中であった「富岳」の計算資源を新型コロナウイルスの対策目的とした研究に供与するという文部科学省と理化学研究所の決定に応募・採択されたことを受けて, パンデミック宣言から1カ月後の2020年の4月に始動した. その後, 感染状況のタイミングを見計らって現在までに2~3カ月に一度程度, 理研記者勉強会という形態でメディアに対してシミュレーション結果を開示し, その説明を行ってきた. 発表内容は350

を超える新聞, 350 を超えるテレビ・ラジオ, 1,400 を超える Web ニュースで取り上げられ, 特に一般社会に対して飛沫・エアロゾル感染リスクの科学的理解と, マスクやパーティション, 換気といったリスク低減対策の重要性を啓発した。また, 日本国内にとどまらず, 世界各国でも報道されたようである。活動当初はこれだけのメディアに取り上げられるとは我々も想定していなかったが, 今から考えれば, 新興感染症に対する科学的データの不足や, エアロゾル感染という空気感染と飛沫感染のいわば中間の一般的理解や従来の簡易なリスク評価が難しい感染形態といった背景が大きかったと思われる。緊急事態宣言下で物理的に実験室へのアクセスが難しい中, スパコンさえ動いていてインターネットでアクセスさえできれば平常時と変わらず (あるいはそれ以上に) 成果の創出が可能であった上に, 結果を可視化・動画化することで, 容易に視覚的にエアロゾルの拡散をとらえることができたことで, シミュレーションのメリットがいかに発揮できた事例となった。

図-2 は, 日々の感染状況とともに, 我々が消費した「富岳」の計算資源を, 日々の利用量 (左) と積算量 (右) で表示している (活動開始の 2020 年 4 月からゴードン・ベル賞エントリの 2021 年 9 月まで)。感染のピークの少し前に計算資源消費のピークが来るのが特徴的である。これは, 我々の活動の大きな目的の 1 つが, 社会経済活動の早期回復であったため, 感染拡大がある程度収束して一般社会の皆さんが社会活動に戻るタイミングでの発表を目指してきたからである。2021 年 9 月までの 1 年半で我々が消費した「富岳」計算資源は, 1,750 万ノード時間に及び, これは, 日本で 5 位程度の Intel 系の汎用スパコンをほぼ 1 年, 占有して利用するのに等しい。ではなぜ, このようないわゆる感染リスク評価のデジタルトランスフォーメーション^{2), 3)} が実現したのであろうか?

我々のシミュレーションは, 理研計算科学研究センターで 2012 年から産学連携で研究開発を進めてきた複雑現象統一的解法フレームワーク CUBE⁴⁾

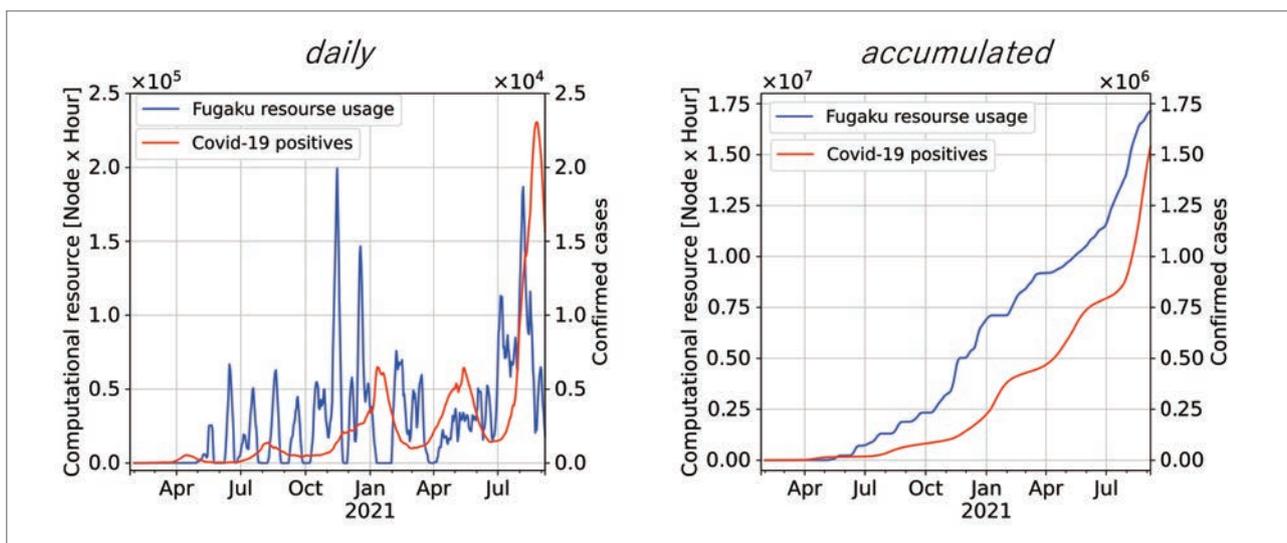


■ 図-1 我が国の新規感染者数の推移と「富岳」で実施してきた感染リスク評価と対策シミュレーションの一部

を用いて解析を行っている。飛沫はその一つひとつに対して、ニュートンの運動法則に空気から受ける流体力を考慮した運動方程式を立てて、ラグランジュ的に解いている。一方飛沫周りの空気の流れについては、ナビエ・ストークスの方程式を、空間に固定されたオイラー格子上で解いている。また飛沫と空気との間の熱のやりとりに基づき、飛沫の蒸発による粒径変化や壁での付着等も考慮に入れて解析を行っている。物理現象としては液滴飛沫と空気との連成問題であり複雑系ではあるが、市販の流体シミュレーションソフトで解析ができないものではない。ここでは、CUBE にすでに実装されていた、自動車エンジン用の燃料噴霧モデルを急遽、飛沫シミュレーションに転用している⁵⁾。市販ソフトウェアと異なる CUBE の特徴は、まずデータ構造として Building Cube Method と呼ばれる階層直交格子を採用し、CPU 単体性能および並列性能の両面でハイエンドスパコンの能力を引き出しやすいよう工夫されている点と、計算モデル作成の際に重要となる物体表面のデータ修正を極力排除することで、一般的なソフトウェアの前処理を数百倍に加速させた点にある。流体シミュレーションでは、オイラー的に空間に計算格子を作成する必要があるが、この

際、物体表面からの流体の漏れを防ぐために、物体表面に気密性を確保する必要がある。一方、自動車に代表されるような数千個の部品が集まったデジタルデータ (CAD, Computer-Aided Design) では、部品間の隙間や重合が避けられなく、気密性を確保するために膨大な工数が必要となる。CUBE ではこの問題を克服し、空間解像度に応じて自動的に修正処理がなされるよう工夫がされている⁶⁾。この結果、実車体の CAD データが提供されれば、通常では 1 週間程度かかるモデル修正と計算格子作成が、わずか 30 分程度で完了してしまう。図-3 は「富岳」と CUBE で実現した世界最大規模の実自動車形状を対象とした空力シミュレーションの一例である。COVID-19 対策におけるこのモデル作成の高速化の効果は絶大であった。

以上、ACM ゴードン・ベル賞の概要と、2021 年度、COVID-19 特別賞を受賞した「富岳」で実現した「新型コロナウイルス感染リスク評価のデジタルトランスフォーメーション」の概要について説明した。産業界の要求に応えるために CUBE で実現したシミュレーションモデル作成の抜本的な加速が、世界最速スパコン「富岳」の登場と相まって、思わぬ方向で新型コロナという社会的問題への対応の一助となった。



■ 図-2 我が国の新規感染者数の推移と飛沫シミュレーションで用いた「富岳」計算資源 (左：毎日、右：積算量)

現在は、ウィズコロナ時代の社会経済活動の再開に向けて、内閣府等とも連携して政策やガイドライン等の策定や改定のためのデータを提供している。また、ポストコロナ時代を見据えて、快適性を維持しつつ感染症に対してもレジリエントな室内環境設計を実現すべく、産業界とも連携して飛沫・飛沫核感染リスク評価シミュレーションの精度向上に関する研究開発を進めている。

参考文献

- 1) Ando, K., Bale, R., Li, C-G., Matsuoka, S., Onishi, K. and Tsubokura, M.: Finalist of the ACM Gordon Bell Special Prize for High Performance Computing-Based COVID-19 Research: Digital Transformation of Droplet/Aerosol Infection Risk Assessment Realized on “Fugaku” for the Fight against COVID-19, The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis (SC21) (Nov. 14-19, St. Louis) (2021).
- 2) Onishi, K., Iida, A., Yamakawa, M. and Tsubokura, M.: Numerical Analysis of the Efficiency of Face Masks for Preventing Droplet Airborne Infections, Physics of Fluids, Vol.34, No.3, 033309 (2022), <https://doi.org/10.1063/5.0083250>
- 3) Bale, R., Li, C-G., Yamakawa, M., Iida, A., Kurose, R. and Tsubokura, M. (Best Paper Award): Simulation of Droplet Dispersion in COVID-19 Type Pandemics on Fugaku, In Proceedings of the Platform for Advanced Scientific Computing Conference (PASC21), pp.1-11 (2021), <https://doi.org/10.1145/3468267.3470575>
- 4) Jansson, N., Bale, R., Onishi, K. and Tsubokura, M.: CUBE: A Scalable Framework for Large-scale Industrial Simulations, International Journal of High Performance Computing Applications, Vol.33, No.4, pp.678-698 (2018), DOI: 10.1177/1094342018816377

- 5) Bale, R., Wang, W. H., Li, C-G., Onishi, K., Uchida, K., Fujimoto, H., Kurose, R. and Tsubokura, M.: A Scalable Framework for Numerical Simulation of Combustion in Internal Combustion Engines: In Proceedings of the Platform for Advanced Scientific Computing Conference (PASC20), pp.1-10 (2020), doi.org/10.1145/3394277.3401859 (29 June-1 July, 2020, Geneva, Postponed).
- 6) Onishi, K. and Tsubokura, M.: Topology-free Immersed Boundary Method for Incompressible Turbulence Flows: An Aerodynamic Simulation for “dirty” CAD Geometry, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.378, 113734 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.cma.2021.113734>

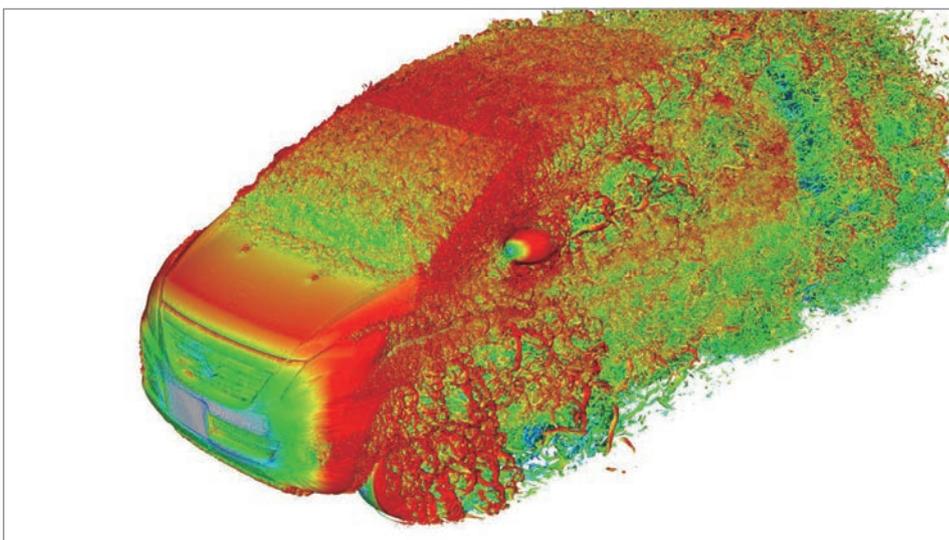
(2022年4月4日受付)
(2022年4月15日note掲載)

■松岡 聡 (正会員) matsu@acm.org

理化学研究所計算科学研究センター (Riken R-CCS) センター長。東京大学理学系研究科情報科学専攻博士 (理学)。東京工業大学情報理工学院特任教授 (兼職)。スーパーコンピュータ TSUBAME 開発で省電力等の指標で世界トップランク。米国計算機学会 ACM フェロー、日本ソフトウェア科学会フェロー、Gordon Bell 賞 (2011, 2021)、スパコン分野最高峰賞 IEEE Sidney Fernbach 賞 (2014) を日本人として初受賞。史上初世界1位4冠達成4期連続 (2020, 2021) のスーパーコンピュータ「富岳」の総責任者。2018年より現職。

■坪倉 誠 (正会員) mtsubo@riken.jp

1997年3月東京大学博士課程修了、博士 (工学) 授与。東京工業大学、電気通信大学、北海道大学を経て2015年4月より神戸大学システム情報学研究科教授。また2017年よりクロスアポイントメントにより理研計算科学研究センターチームリーダー採用。熱流体をはじめとする連続体のシミュレーション技術の研究開発と特にスパコンを用いた大規模並列解析とその産業応用が専門。日本機械学会、日本流体力学学会、自動車技術会のフェロー。日本工学アカデミー会員。



■図-3 「富岳」とCUBEで実施した世界最大規模の自動車空カシシミュレーション

Green500 連覇への道のり



安達知也 | (株) Preferred Networks

Green500 の概要

Green500 は、バージニア工科大学の Feng 教授を中心とするグループによってメンテナンスされている、スーパーコンピュータのエネルギー効率のランキングである。関連するランキングとして TOP500 がある。TOP500 は LU 分解で連立一次方程式を解く LINPACK ベンチマークの実行速度を用いて 1 秒あたりの倍精度浮動小数点演算回数 (FLOPS) を競うランキングであり、近年では富岳が 4 期連続で 1 位を獲得している。Green500 は、TOP500 にランクインした上位 500 システムのスーパーコンピュータを対象に、FLOPS 値をベンチマーク実行中の平均電力で割った値、いわば電力あたりの演算性能を指標とするランキングである。筆者らは、2020 年 6 月、2021 年 6 月、2021 年 11 月の 3 回の Green500 で 1 位を獲得した。

スーパーコンピュータを評価する指標として絶対的な演算の速さだけでなく電力が重視されるのは、単純な電気代だけではなく冷却能力の観点でも限界があり、それによって演算速度が頭打ちになってしまうという危機意識に基づいている。1 つのスーパーコンピュータに供給可能な電力は数十 MW とされており (たとえば富岳は 30MW 弱の電力で TOP500 に登録されている)、分かりやすい基準として 1EFLOPS (1 秒あたり 10^{18} 回演算) を 20MW で実現する、す

なわち 50GFLOPS/W を達成するということが 1 つの大きな目標とされてきた。図-1 に 2007 年の初回 Green500 発表以降の 1 位の GFLOPS/W 値を示す。レギュレーションの変更やシステムの撤去等で若干のブレはあるがおおむね上昇傾向にあり、今年中には 50GFLOPS/W が達成されると予想ができる。

MN-3 による Green500 連覇

MN-3 は Preferred Networks (以下 PFN) が構築した、MN-Core と呼ばれるアクセラレータを搭載したスーパーコンピュータである。近年のスーパーコンピュータは CPU とは別にアクセラレータを搭載して演算能力を高めることが多い。MN-3 においても演算能力の約 96% は MN-Core が担っている。MN-Core は PFN と神戸大学の牧野淳一郎

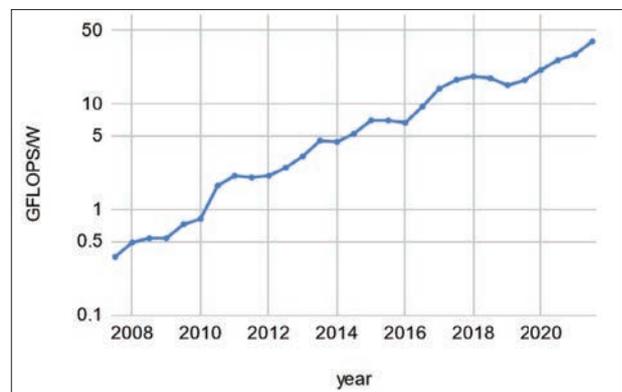


図-1 Green500 1位の推移

教授を中心とする研究グループで共同開発したプロセッサである。MN-CoreはPFNのビジネスの軸である深層学習を主なターゲットとしており、自社ビジネスを高速に実行することを主目的として開発された。また、今後広くエッジデバイスで深層学習などの大量の演算を要するAI処理を行うことを考えると省電力で高性能なプロセッサの実現は必須であり、その要素技術の実証という側面もあった。

高性能・省電力性を実現するMN-Coreの大きな特長として、演算器以外の回路を極力減らしチップ面積に占める演算回路の割合を高めたという設計思想が挙げられる。これは牧野教授の研究グループで開発してきたGRAPEシリーズのプロセッサ、特にGRAPE-DRの思想を受け継ぐものである。汎用のプロセッサでは、多様なプログラムを効率良く実行するための制御回路（たとえばキャッシュ制御や命令間依存解析など）が無視できない面積を占めており、演算器に割けるチップ面積が小さくなってしまっているほか、演算に伴って制御回路も動作し消費電力が増えていた。一方でMN-Coreが扱うのは主に深層学習の演算であり、計算グラフという形で事前に演算内容が得られるため、ソフトウェア側で

あらかじめ解析することが比較的容易である。そこで、複雑な制御回路を搭載せずに極力ソフトウェア側で制御する設計とすることで、チップ面積に占める演算器の割合を高め、電力あたり演算性能も高めることができた。一般にプロセッサは半導体プロセスの微細化により消費電力が低下するが、12nmで製造されたMN-Coreが他社の7nmで製造されたプロセッサとGreen500で対等に渡り合っているのは、この設計思想によるところが大きいと考えている。

Green500への挑戦は2019年に始動した。LINPACKベンチマークの移植・最適化については後述するが、それ以外の重要な要素としてGreen500では当然電力計測が必要であり、高いサンプリング周波数で測定が可能な電力計の導入や、ベンチマーク実行と電力値を対応づけるソフトウェアの開発も並行して行われた。図-2にGreen500向けのベンチマーク実行および開発フローを示す。測定された電力はデータベースに蓄積され、時系列データ可視化ツールであるGrafanaでリアルタイムに消費電力の推移を観測することができるようになっている。また、ベンチマークプログラムからの測定開始・終了のイベント通知を契機として、1回のベンチマーク実行に対応する消費

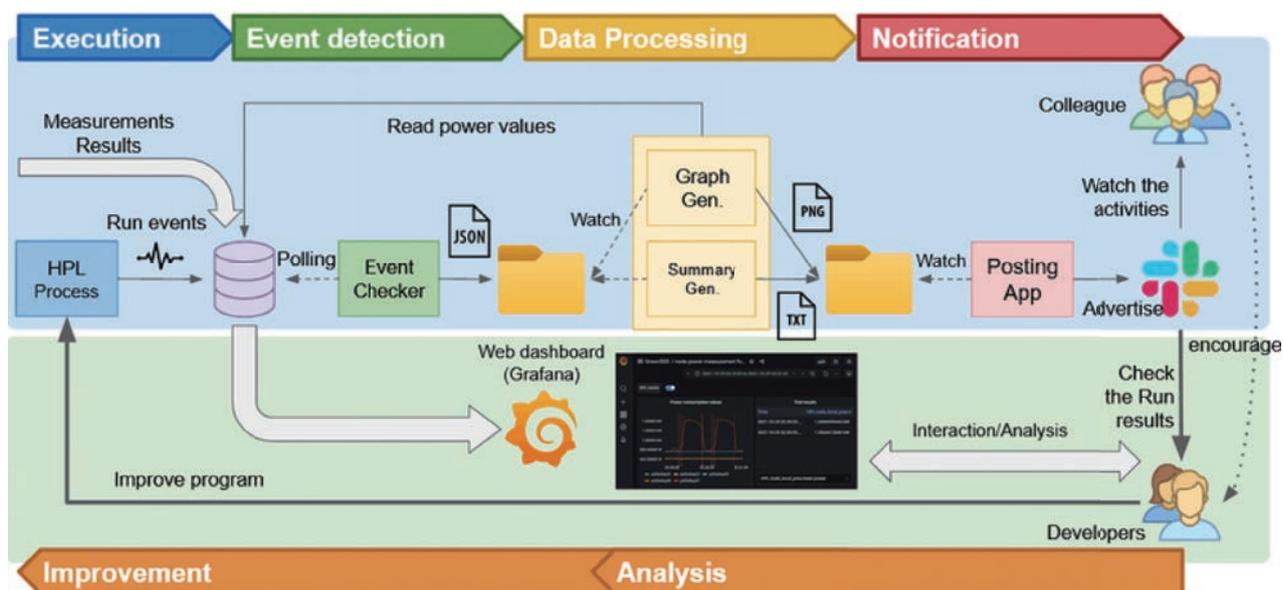


図-2 電力計測を組み込んだ開発フロー（図中アイコンは Icons8 (<https://icons8.com/>) より）

電力推移のグラフの生成や消費電力の積算が行われ、何 GFLOPS/W であったかが計算される。これらのグラフや値はベンチマーク実行直後に社内の誰でも閲覧可能な Slack に投稿され、開発チームはこの結果を参考にして次の最適化を進める。記録が更新された際などは同僚から称賛のコメントやリアクションが付き励みになる、といった具合である。

一方で肝心の LINPACK ベンチマークの移植は難航した。PFN としては初めてのプロセッサ開発でコンパイラなどの周辺ソフトウェアの整備が十分でなく、MN-Core 上で実行する命令をリアルタイムで生成する足回りのソフトウェアの開発から始める必要があった。結果として、2020年6月の Green500 時点ではベンチマークを動かすのがやっとという状態であり、最適化を十分に行うことができなかった。前述のとおり Green500 は TOP500 にランクインしたスーパーコンピュータを対象としたランキングなので、TOP500 にランクインするための最低限の演算性能が必要である。当初の予定では 32 ノードで計測した結果を提出する予定だったが、性能が足りないことが分かったため急遽 40 ノード実行に切り替えることとなった。そういったドタバタがありながらも、元々のプロセッサの電力あたり演算性能の高さに助けられて 2020年6月の Green500 では 21.108GFLOPS/W を達成し 1 位を取ることができた。

その後は本業の深層学習プログラムの開発の合間にプログラムの改良・測定が進められた。一度 1 位を取った時点で終わりとしなかったのは、改良の余地が十分にあると予測ができていたことに加え、プログラムの最適化ノウハウの蓄積、次世代以降のプロセッサ仕様へのフィードバックを見込んでのことである。この際、MN-3 を深層学習用の環境と Green500 用の環境との間で相互に切り替える手順が徐々に効率化され、週末などの短い期間であっても測定を行うことができるようになったのは開発の助けになった。

さて、電力あたり演算性能を上げるには、単純に消費電力を下げるか、プログラムを最適化して実行

時間を短くすることで演算器以外の回路が静的に消費している待機電力を下げるかが必要となる。電力を下げるためには、MN-Core のチップごとにばらつきのある動作可能電圧を見極めて個別に動作電圧を下げる等の施策を行った。プログラムの最適化に関しては、演算が動いている間にデータの移動や命令生成が行われるようにして演算が絶え間なく行われる状態を目指すということに尽きるが、MN-Core ではすべての命令のスケジューリングをソフトウェアであらかじめ行う必要があるため難易度が高く、段階的に最適化を進めていく形となった。

その結果、2020年11月の Green500 では 26.039 GFLOPS/W、2021年6月は 29.700GFLOPS/W と徐々に性能値を高めていった。2021年11月の挑戦では、ソフトウェアで生成する命令を工夫することにより MN-Core 内部の回路の電力消費を細粒度で制御する方法を新たに開発したこともあり、39.379GFLOPS/W と大きく性能値を上げることができた。初回挑戦時と比較すると電力あたり演算性能は約 2 倍に向上したことになる。

表-1 に 2020年6月から 2021年11月の Green500 ランキングのトップ 3 のスーパーコンピュータとその GFLOPS/W 値を示す。カッコ内はそのシステムが搭載しているアクセラレータの名称である。MN-Core が初登場で 1 位を獲得した 2020年6月の Green500 は NVIDIA 社の A100 と呼ばれるブ

表-1 最新 4 回の Green500 各 Top3

回	順位	スーパーコンピュータ (アクセラレータ)	GFLOPS/W
2020年6月	1	MN-3 (MN-Core)	21.108
	2	Selene (A100)	20.518
	3	NA-1 (PEZY-SC2)	18.433
2020年11月	1	NVIDIA DGX SuperPOD (A100)	26.195
	2	MN-3 (MN-Core)	26.039
	3	JUWELS Booster Module (A100)	25.008
2021年6月	1	MN-3 (MN-Core)	29.700
	2	HiPerGator AI (A100)	29.521
	3	Wilkes-3 (A100)	28.144
2021年11月	1	MN-3 (MN-Core)	39.379
	2	SSC-21 Scalable Module (A100)	33.983
	3	Tethys (A100)	31.538

ロセッサが初登場した回でもあり、以後 MN-Core と A100 がトップ争いを繰り広げることとなった。両者は行列演算器を大量に搭載したプロセッサであるという共通点はあるもののまったく異なるアーキテクチャである。それにもかかわらず、半年ごとの電力性能向上具合がほぼ同じで僅差で1位2位を取り合っていたというのは非常に興味深い。最新の2021年11月のランキングでは MN-Core が大きく突き放して連覇する結果となったが、これは前述の命令の工夫で消費電力を下げる手法の開発によるところが大きいと考えている。

2年間の記録向上の歴史は、MN-Core の使いこなし方を学習していくプロセスでもあった。現在、Green500

への挑戦を通じて得た知見をベースに、MN-Core の深層学習応用での利活用を進めている。さらに、次世代ハードウェアの開発も続けており、引き続き高効率な計算とこれを用いた応用の展開を行っていききたい。

(2022年2月25日受付)
(2022年4月5日 note 公開)

安達知也 (正会員) adachi@preferred.jp

2010年東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻修士課程修了。富士通(株)でのスーパーコンピュータ向けソフトウェア開発を経て、2017年より現職にてプロセッサ開発、アプリケーション開発に従事。



特集

メタバースがやってきた

編集にあたって

金子 格 | 東北大学 CDS

数十年に一度というメディアの革新が起こりつつある。メタバースの普及だ。話題にあがってからすでに1年。一過性ではない、長期に及ぶ持続的な革新の起点であることは間違いないと思われる。いってみれば仮想的などこでもドアの実現であり、人類の社会の構造や生活スタイルを一変させる影響力を持っている。

もちろんVRは新しいものではない。サザランド (Ivan Edward Sutherland) が原型をつくってからすでに半世紀以上たった。これまでメタバースが実現しなかったのは、一般利用者が利便性を感じる程度の性能を妥当なコストで実現できなかったからだ。しかし技術は静かに着実に進歩をつづけ、ついに実用レベルに達したように思われる。十分に便利な機能が妥当な費用で提供されつつある。今後予想外の障害がなければ持続的な利用拡大が進むと考えられる。

そこで、この新しい潮流の向かう未来を概観する解説をお願いした。すでにメタバースの解説書は数多く出ている。本解説ではメタバースの本質に焦点をあて、これからおこるさまざまな変化の可能性を網羅したいと考えた。しかしメタバースの未来はまだだれも見ることがない未知の世界だ。だれがそのような解説を書けるだろうか？

この困難な課題を著者の三宅氏は快く引き受けていただき、すばらしい解説を書いていただくことができた。

本編 (三宅氏による解説) は34ページの長編となったので、「IT紀行」とコラボレーションして導入マンガを用意した。山本氏のマンガで続く本編で描かれるメタバースの未来をイメージしてほしい。

メタバースにおける社会制度、法律に関する解説は、新潟大学須川氏にお願いした。ここではセカンドライフ以降、多くの事例はすでにあがっているが問題がより顕著になっていることを指摘し、NFT (Non-Fungible Token: 非代替性トークン) についても言及している。

さて、私エディタのメタバースへの個人的な期待も書いておきたい。映像音声技術は、もちろん現段階でとどまることはないだろう。解像度も8K→32K→128Kと上昇し、音響も高性能にすることが可能だ。すると人間の感覚限界をこえたメタバースが出現する。

面白いのは、メタバースの視聴機器では利用者の裸眼や生の聴覚を補充できる可能性があることだ。電腦眼鏡&補聴器というわけだ。そろそろ目も耳も衰えてきたエディタとしては、せひこうした技術の実現にも期待したい。

もちろん読者にも、ぜひそれぞれのメタバースの未来像を描いてほしい。今はまだ、思いもしないような未来を、読者が創造し提案していくことがあれば、それこそが本特集の成功といえるだろう。

(2022年5月6日)

概要

1 IT 紀行特別編：未来の世界のメタバース！ 解説記事を読んで想像してみた



山本ゆうか (Twitter @ymmx)

「メタバースの成立と未来」を
読んで 私なりにメタバースの
ある暮らしを想像してみました。

メタバース内のシーンは
コマ枠を水色にしました



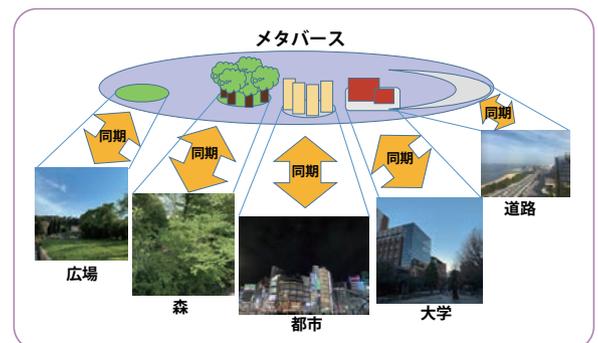
コマの中に書かれた
章番号を参考に
気になる部分から読む
こともできますよ

2 メタバースの成立と未来—新しい時間と空間の獲得へ向けて—



三宅陽一郎 | 立教大学大学院人工知能科学研究科/
東京大学先端科学技術研究センター

メタバースは人類が新しく獲得する時空間であり、今後、社会や人々の意識を大きく変えていくと期待されています。現代におけるメタバースはオンラインゲームや SNS、仮想通貨などを背景に成立しており、その歴史的成立の変遷をこの 20 年間のデジタル空間の発展とともに説明します。また、発展を続けるメタバースの未来について、人工知能エージェント、スマートシティ、NFT との関連において、幾重にも重なる可能性を述べていきます。



3 メタバースの法律問題



須川賢洋 | 新潟大学

メタバース空間における法律問題は基本的にはセカンドライフ時代からさほど変わってはおらず、サイバー空間における法律問題がそのまま適用できる。このことはつまりチート行為や RMT (リアルマネートレード) など、解決すべき問題も存在することを意味する。当時と異なる点は、NFT などの新しい技術が登場している点であり、これらはデジタルコンテンツの所有権管理などで効果を発揮する可能性がある。本稿では、これらの法律問題について多方面からの再整理を試みている。

特集

Special Feature [メタバースがやってきた] IT 紀行 特別編



① 未来の世界のメタバース! 解説記事を読んで想像してみた 漫画: 山本ゆうか (Twitter @ymmx)

「メタバースの成立と未来」を読んで 私なりにメタバースのある暮らしを想像してみました。

メタバース内のシーンは コマ枠を水色にしました

このマンガの作者山本

黒いコマはリアル

コマの中に書かれた章番号を参考に 気になる部分から読む こともできますよ

XX章

今から数十年後 メタバースが当たり前になった世界

今日の午後は 渋谷メタバースに行こう

ケイのエージェント

アスカのエージェント

いいよ ハチ公ロビー集合でいいかな?

そろそろ 学校だよ!

ママのエージェント

はい

13章 メタバース内のエージェント

学校にて

次はグラスをつけて 体育館に集合してね

XRで歴史を 体感中

縦穴式住居 まじで居心地いい 住めるわ

縄文時代の食べ物 変なおい〜!

16章 メタバースとスマートシティ

放課後

そろそろ約束の 時間だよ ハチ公ロビーに行こう

環境フィードバック 調整しました

20:00-LIVE

20:00-LIVE

20:00-LIVE

20:00-LIVE

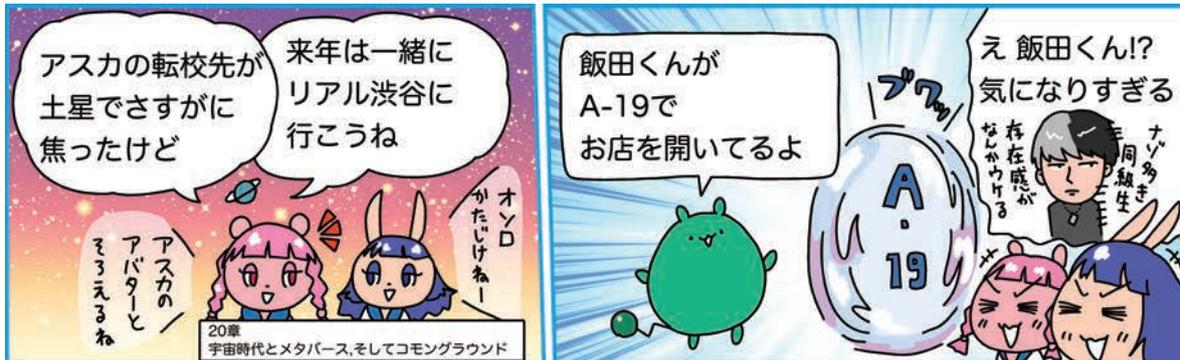
20:00-LIVE

14章 メタバースと文化

17章 メタバースとメタAIと世界モデル

特集

Special Feature [メタバースがやってきた] IT 紀行 特別編



[メタバースがやってきた]

② メタバースの成立と未来

—新しい時間と空間の獲得へ向けて—



三宅陽一郎 立教大学大学院人工知能科学研究科／
東京大学先端科学技術研究センター

<第1部>

1. メタバースの成立

2021年秋ごろから「メタバース」という言葉が大きく流行ようになりました。2021年春に本会の情報処理カタログ『JOSYORI』で「あつ森”フォートナイト”にも広がる『メタバース』の世界 メタバースを支える情報処理の技術とは」^{※1}を書かせていただいたときには、これほど大きなムーブメントになるとは予想できませんでした。それ以前に、こういったメタバースに注目した、本会の編集委員会はさすがというしかありません。2021年を通して、特に後半にメタバースへの関心が世界的に高まりました。高度に組み合わされた現実世界の脆さを幾度も経験した我々は、その活動を、災害や事件に対してロバストな世界へと移行する必要性を感じています。完全な移行はできなくても、現実世界の代わりにいつでもその活動を持続し代替できる世界を準備しておく必要性を感じています。この現実社会を維持しようとする社会の無意識的衝動がメタバースを推進しているとも言えます。

しかし、2022年現在、メタバース開発の発表が相次ぎ、その全貌がつかみにくくあります。メタバースの発展をつかむためには、現在見えている現象を追うだけでなく、歴史の発展の息吹を感じとる必要があります。本稿ではそのような息吹を伝え

ることを目的とします。メタバースの構想は今に始まったことではありません。よく引用されるニール・スティーヴンソン (Neal Stephenson) のSF小説『スノウ・クラッシュ』(早川書房, 2001年, 原作1992年)以前からオンラインの世界で人々が交流する、という構想はありました。たとえばアーサー・C・クラーク (Sir Arthur Charles Clarke) 『都市と星』(早川書房, 1977年, 2009年, 原作1956年)では人間はデジタル化され、再生可能になり、人工都市「ダイアスパー」の中でオンラインVRゲームに興じる人々の姿が描かれています。さらにグレッグ・イーガン (Greg Egan) の『順列都市』(早川書房, 1999年, 原作1994年)ではメタバースの中にメタバースが作られる、さらにそのメタバースの中でメタバースが作られる果てしない入れ子構造の世界における人間の意識の問題が描かれています。同じくグレッグ・イーガン『ディアスポラ』(早川書房, 2005年, 原作1997年)ではメタバースに存在ごと閉じこもった人類が、メタバースを多数コピーして宇宙のあらゆる方向に分散していく物語が展開します。

このようにメタバースは古くて新しい概念ですが、その定義はあいまいです。実際にそれらが作り始められたのはインターネットが社会に敷衍した2000年を前後するあたりからです。本稿では、メタバースの概念について根本から遡り、メタバースの社会での在り方と、今後のロードマップについて解説することで、現在、メタバース界隈で起こっている現象について理解を深

※1 三宅陽一郎:「あつ森”フォートナイト”にも広がる『メタバース』の世界, JOSYORI (IPSJ 情報処理カタログ) (2022/3) [オンライン]. Available: <https://ipsj-catalog.jp/story/metaverse.html> [アクセス日: 2022/3/6].

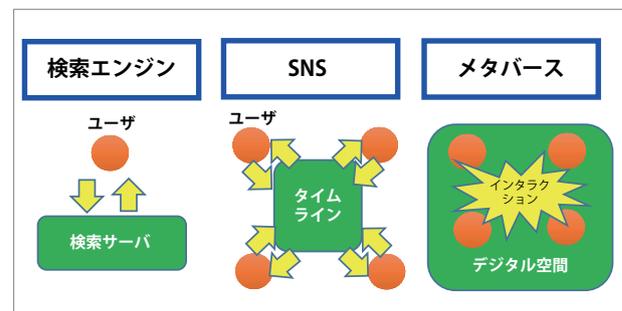
め、これからの展望を得ることを目的とします。

メタバースの定義論は果てがありませんが、これまでメタバースと呼ばれていたものを大体包括する広義のメタバースと、2021年以後にフォーカスされている狭義のメタバースの2つがあると言えるでしょう。広義のメタバースとは、ある程度多くの人々が活動できるオンラインデジタル空間ということが言えるでしょう。その意味で、オンラインゲームやチャットまでメタバースに入ります。狭義のメタバースはゲーム性や物語性を薄くして、現実世界の代替としてのオンラインデジタル空間ということもできます。本稿の目的はメタバースのさまざまな可能性を示すことですので、定義論に拘泥することはありません。そこで広義の意味でのメタバースから出発して、それぞれの章である特徴を付与して議論したいと思います。

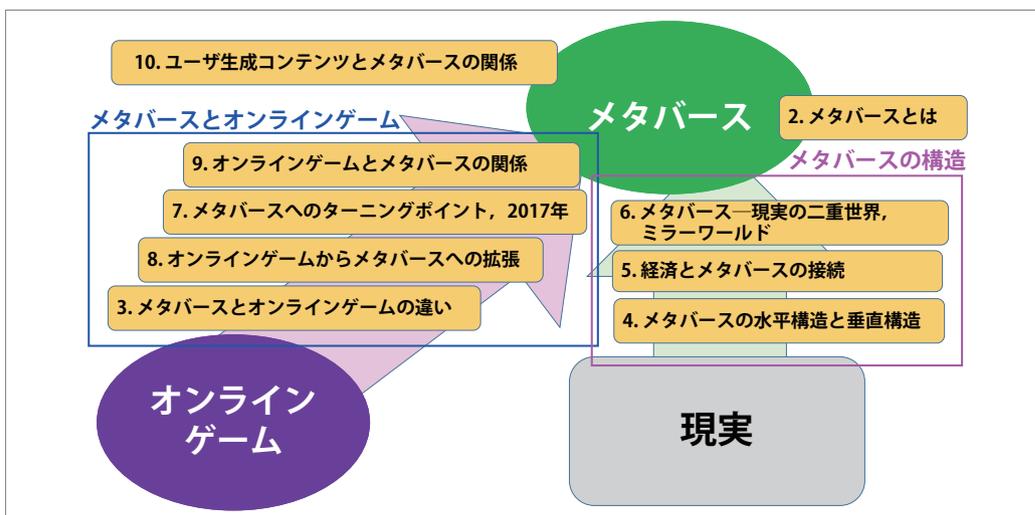
本稿は2部構成で第1部が第2章から第10章になります。第1部ではメタバースの成立とメタバースを構成する要素を1つ1つ取り上げ深掘りしていきます(図-1)。第2部が第11章から20章となります。第2部ではメタバースからこれから拓いていく可能性について述べます。どの章から読まれても問題ありません。本稿を通じて、メタバースを考える題材を最大限、提供できれば幸いです。

2. メタバースとは

メタバースは最も広い定義では「みんなが参加できるデジタル空間」ということになります。ではTwitterやFacebookなどのSNS、あるいはオンライン会議システムはメタバースではないのか、とさえ言えば、やはり違います。そこにはユーザとユーザの間の「空間」がないからです。常にこれらのメディアは1対1、1対多の対話、対面となっています。「間」があること、空間があることが肝心です。人を包む空間、人と人にある空間が、その世界の可能性と多様性を引き出します(図-2)。この空間にどのように参加するかは、もちろん、いろいろなパターンがありますが、たいていは自分の分身である「アバター」と呼ばれるデジタル・キャラクタで参加します。人型の場合が多いですが、ロボットの姿であろうが、動物の姿でも構いません。それは、それぞ



■ 図-2 検索エンジン, SNS, メタバース



■ 図-1
メタバースの成立
(第1部の構成)

特集

Special Feature

れのメタバースの世界観とデザインによるものです。

空間があることはとても大切なことです。空間があるからこそメタバース内にさまざまな行為が成立し、さまざまな行為があるからこそ、多様な関係が生まれます。

たとえば、オンライン会議ではスタートの時点から、決められた相手との対面会話が始まります。もう対話するしかありません。ほかにできることはありません。ところが、もし空間があれば、相手のアバターから逃げ回ってもいい、ぶつかってもいい、ダンスしてもいい、空間にオブジェクトを置いてもいい、自分の絵の展覧会をしてもいい、迷路を作って人を惑わせてもいい、会議室を作って人を招待してもいい、自分の作品を売買してもいい、山があれば一緒に登ってもいい、川があれば一緒に丸太で筏に乗ってくだってもいい、海と一緒に航海してもいい。その中で会話もあれば、キャラクターの身体を通じた身体的コミュニケーションもあるでしょう。

このインタラクションの空間を作ろう、というのが、メタバースを作る、ということです。メタバースの設計には、空間の設計とアバターがそこで何ができるか、という活動の設計が必要とされます。そして、そこにユーザ同士でどのような関係が生まれるか、を想定する必要があります。

3. メタバースとオンラインゲームの違い

デジタル空間の先駆者と言えば、オンラインゲームがあります。仮想的な空間の中で、多人数がゲームをします。数人から数十人の場合を単にMO (Multiplayer Online)、それ以上の数百人以上参加する場合はMMO (Massively Multiplayer Online) と言います。モンスターと一緒に狩ったり、街でお買い物をしたり、対戦したりします。最近では100人が1つの島で生き残りをかけて戦い合う「バトルロワイアル型」のゲームが人気です。代表的なゲームに『PUBG : BATTLEGROUNDS』(PUBG Studios, 2017年)、『フォートナイト バトルロイヤル』(Epic Games, 2017年)があります。

3.1 オンラインゲームの始まり

オンラインゲームの発祥の1つが『ウルティマ オンライン』(エレクトロニック・アーツ, Origin Systems, Mythic Entertainment, 1997年, UOと略される)です。1つのファンタジー世界の中でプレイヤは旅をしたりモンスターを倒したり、ほかのプレイヤを倒したり、盗んだりすることができます。キーボードで発言すると自分のキャラクタの上にテキストで表示されます。『ウルティマ オンライン』は初期のMMORPGで、その後のMMORPGの出発点となりました。このゲームはその後にMMORPGに取り入れられて発展していく萌芽を多数の要素持つと同時に、後に整備されることになる課題をむきだしにした作品でもありました。

簡単に言えば、無法地帯のような自由度がありました。プレイヤ同士で戦うことができたために、ほかのプレイヤに倒されたり、だまされたりすることが多くあったのです。またそれが可能なゲームでもありました。しかし、そういった無法地帯に自由度を含めて楽しめるユーザが集まった、ということもあります。

有名なエピソードの1つに、こういう話があります。開発者のリチャード・ギャリオット (Richard Garriott) はゲーム内の管理者で特別なキャラクタとして「ロード・ブリティッシュ」と名乗っていました。ユーザもギャリオット氏も、氏のキャラクタには無敵フラグが立てられていると勘違いしていました。「ロード・ブリティッシュ」がベータテスト終了を記念する演説をゲーム内でしていたとき、何気にユーザが攻撃すると倒されてしまったという「事件」です^{☆2}。こういった思わぬ「事件」は長くUOの歴史の中で語り継がれています。

また『EVE ONLINE』は星系をめぐる領土や資源を争うオンラインゲームですが、二千人以上のプレイヤが20時間以上も戦いを繰り返すという「B-R5RB

☆2 奥谷海人：リチャード・ギャリオット氏達が語る「Ultima Online」のポストモータム, 4gamer (2018/3/26) [オンライン]. Available: <https://www.4gamer.net/games/005/G000570/20180326044/> [アクセス日: 2022/3/6].

特集 Special Feature

事件」が起きました^{☆3}。起きました、というのは、まったく意図せざるかたちで、いろいろな要因が重なって起きた、ということです。

また2年以上がかりで敵を罠にはめた事件などもあります。これ以外にも30時間戦ってドラゴンを倒せたとか、オンラインゲームではさまざまなハプニングが起き、それをユーザが楽しんでいる部分があります。

これはメタバースでも同様です。ユーザはメタバースに新しいこと、思いがけないこと、そして、人に語りたくなるようなイベントを求めています。常に、でなくてよいのですが、ときどきニュース番組を見たくなる、Twitterをのぞきに行きたくなるのが、今世界で何が起きているかを見たい、という人間の本能的な気持ちからであるように、メタバースへ行くのは、そこで何が起きているかを見たい、という気持ちがあります。

3.2 メタバースとオンラインゲームの比較

しかし、メタバースとオンラインゲームには明確な違いがあります。オンラインゲームにはログインした瞬間から明確なゲームの流れがあります。ファンタジーの世界、島の生活、戦いの世界、そこにプレイヤーの置かれた状況と役割が明確に定義され、それゆえに現実からは断絶された世界になります。その架空世界の秩序こそが、現実とゲームを分かち、1つの完結した世界をユーザに味わわせるのです。オンラインゲームは3つの要素「世界設定」「物語」「キャラクターの役割」からなり、現実から干渉されない閉じた世界を

☆3 「EVE Online」、ゲーム史上最大の破壊戦「B-R5RB」をまとめた資料が公開、4gamer (2014/2/3) [オンライン]。Available : <https://www.4gamer.net/games/004/G000412/20140203009/> [アクセス日: 2022/3/6]。

■表-1 オンラインゲームとメタバースの比較

	オンラインゲーム	メタバース
世界観	強固、かつ詳細	なるべく緩い設定
物語	大きな物語を準備 物語に沿ってイベント が展開	特になし ユーザが作り出す
キャラクター の役割	世界、物語の中で 最初から定義	特になし ユーザの関係の中で発生

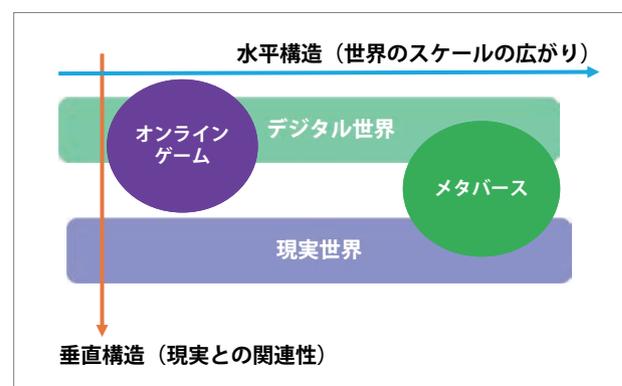
持つ体験なのです(表-1)。

メタバースはこの逆を行くと言っていいでしょう。メタバースには、決められた物語があるわけでもありません。決められた役割があるわけでもない。また強い世界観を強要するわけでもありません。では何があるかと言えば、現実から持ち込まれた自分があります。個人情報を受け渡さなければならない、というわけでもありません。現実と紐づこうが、メタバース内の新しい存在であろうが、とにかく自分自身がメタバース内の自分のアバターになります。決められた役割でもなく、物語の中で定義されたミッションもない、ただ1つの空間に、それぞれの人間が自分の存在の分身を投影してインタラクションする空間、それがメタバースです。

4. メタバースの水平構造と垂直構造

メタバースには水平構造と垂直構造があります。水平構造とはメタバースの世界の広がりです。メタバースの街に大きな広場ができたとか、そこに噴水ができたとか、となり街ができたとか、新しい大陸ができたとか、そういった空間的な広がりのことです。垂直構造とは「メタバース世界と現実世界とのつながり構造」のことです(図-3)。

この水平的な広がり、オンラインゲームが長年にわたって挑戦してきたところ、MMORPGの中には、数年かかっても全領域を渡り歩けない、など広大なゲームもあります。



■図-3 垂直構造と水平構造

たとえば、世界最大のオンライン MMORPG の 1 つ『World of Warcraft』（Blizzard Entertainment, 2004 年～現在、通称 WoW）のアクティブユーザ数（1 つの瞬間にログインしているユーザ数）は 100 万人を超えており、登録者数は数千万人という規模です。それほど多くの人々が 1 つの世界観の中で活動しているのは驚嘆すべきことです。一体、オンラインゲームの中でそんなにすることがあるのか、という疑問を持たれるかと思えます。しかし、これは尽きぬほどたくさんあるのです。

一般に MMORPG にはまずストーリーがあります。ストーリーに沿ってレベルを上げていくこと、さまざまな場所やミッションに挑戦することができます。それに並行してゲーム内のお金が貯まります。このお金はこのゲーム世界の中だけで通用するお金です。装備を買ったり、家を買ったりできます。ゲーム世界の中で自分の家を構えることができます。そうこうするうちに、知り合いが増えていきます。するとチームとかギルドと言って仲間との絆を作ることができます。強いギルドに入れば強い敵と一緒に倒すことができます。弱いギルドでもそれなりに楽しく会話できます。お互い素性は知りません。そして一定の期間ごと（だいたい月単位）に配信される新規イベントがあり、少し長期間（だいたい年単位）を置いて新規ワールドの追加があります。これがオンラインゲームの水平構造です。

4.1 メタバースの垂直構造, 水平構造

メタバースでも同じです。果てしなくデジタル世界が広がり同時に密度も詰まっています。もちろん実際には果てはありますが、果てを感じさせないことが世界の広がりを感じさせます。

そして、もう 1 つ、メタバースには垂直構造があります。この垂直構造がオンラインゲームとメタバースの決定的な違いとなります。メタバース世界と現実世界をつなぐ構造が垂直構造です。たとえば、現実の自分のパーソナルデータとメタバース内の自分のアバターの情報がリンクすることで、現実世界の A はメタ

バース世界の A にもなります。本名は明かさなくても、年齢や所属する産業だけ示したり、あるいは、外見的特徴をアバターに反映したり現実と仮想のリンクの仕方はさまざまです。

また垂直構造は、人ではなく、地域や文化と結びつく場合もあります。東京タワー、東京ドーム、池袋サンシャインシティ、恵比寿ガーデンプレイス、SHIBUYA109 など、特徴的な場所が、メタバース内に再現され、たとえば、その現実におけるイベントのアナウンスがメタバース内で行われます。本日、東京タワーはライトアップされます、恵比寿ガーデンプレイスは 18 時からイベントをします、渋谷 109 は明日から春季バーゲンです、などです。現実の東京タワーのライトアップが、メタバースの東京タワーでもライトアップされる、ということもあるでしょう。

そのような有名なロケーション・ベース以外にも、きわめてローカルな地元の人しか知らない場所と結びつくこともあります。たとえば、その場所が実際に変化すればメタバース内のモデルも変化する、あるいは逆にメタバース内の変化が現実の場所にも変化をもたらす、という関係を築くことで、現実との絆を強めることができます。自分の農地やビニールハウス内の状況をメタバースに反映する（「明日は田植えです」「収穫をしました」「雨が心配です」）、町内のお祭り、広場のチャリティコンサート、などです。あるいは、その場所に設置したセンサからの情報で状況をリアルタイムに反映する、などです。風力計や湿度計の温度をメタバースに反映する、ことも（そういう仕組みがあればですが）可能です。

4.2 メタバースと現実の窓

メタバース世界と現実をつなぐ一番簡単な方法は「窓」を作ることです（図-4）。たとえば新宿アルタ前には大きなモニタがあります。メタバース世界の新宿アルタ前にも大きなモニタをつけます。現実のモニタにはメタバースのアルタ前が映り、メタバース内のモニタには現実の新宿が映っている、という相互参照的

特集 Special Feature

な仕掛けです。

たとえば地下鉄の窓からは暗闇しか見えませんが、そこにメタバース内で走る電車から見える風景を表示すると、あたかも地下鉄はメタバース内を電車で移動する体験となります。バスの窓も同様に、本来窓を作れないところにモニタを貼り付け、メタバース内で走るバスから見える風景を表示すると、あたかもバスはメタバース内のバスで移動する体験となります(図-5)。これは垂直構造としても最も単純な仕掛けです。

4.3 現実の音と振動をメタバースへ

また路上ライブはもう路上でやらなくてはいいかもかもしれません。現実にはスタジオで演奏していても、メタバース内の路上で歌っているようにすれば、多くの人々に自分たちの音楽を聴いてもらうことができます。それを契機として、メタバース内でロックスターになり現実でもロックスターになるかもしれません。細田守監督の『竜とそばかすの姫』(スタジオ地図, 2021年)はそんなメタバース世界の音楽を描いた作品でした。また最近では触覚を伝えるデバイスの研究が進められています。毛布を売りたい業者は、製品をメタバース内においてその毛布の触覚をユーザに届けることができます。また触覚といかないまでも振動を伝えるデバイスがあります。現実の振動をメタバース内に反映し、逆にメタバース内の仮想的な振動をリアルに現実伝えることで、ユーザに体感できる振動を届けることができます。慶應義塾大学大学院の南澤孝太教授の

「バスケットボールの試合の振動をリアルタイムに離れた場所に再現して体験する」という研究があります¹⁾。また近年の「香り伝送」の技術を用いてメタバースはやがて香りを届ける世界にもなるかもしれません。

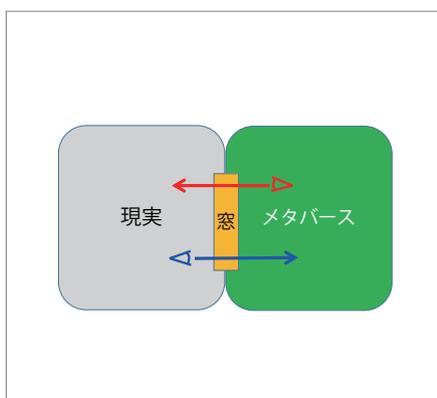
今、現実で起こっていること、現実で流れている風、振動、声がメタバースに流れ込んでくる。それがメタバースと現実をつなぐ垂直構造です。1つのリアルな場所がメタバースではどのような意味があるのか、また逆に1つのメタバースの場所がリアルではどのような意味があるのか、メタバースと現実世界がさまざまな形で結ばれた交錯する二重世界、それが未来の社会の姿となるでしょう。

5. 経済とメタバースの接続

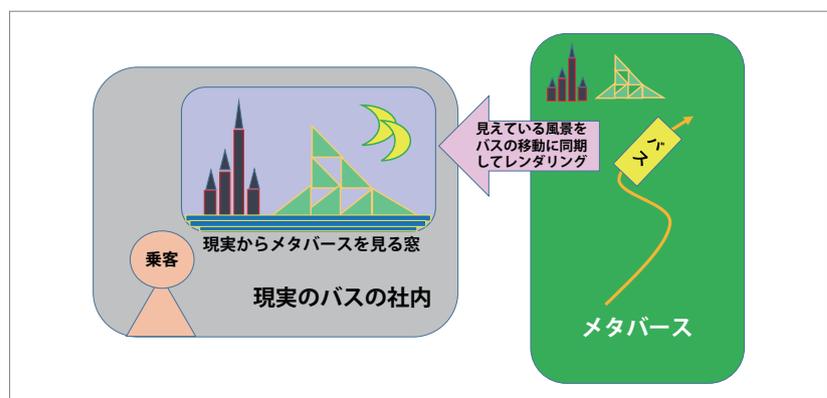
前章でメタバースの水平構造と垂直構造という話をしました。この垂直構造の最も重要な要素の1つが、現実の経済活動とのリンクです。まさにメタバースの推進する起爆剤の1つが、現実の経済活動とメタバースのリンクです。

5.1 メタバースを支える経済の仮想化

ここで、この20年ほど(2001~2022年)のお金の姿の変化について振り返ってみましょう(図-6)。インターネットは世間的には1990年代後半から2000年にかけて大きく普及しました。1990年代後半には、インターネット上でクレジットカードによる買い物がで



■ 図-4 現実とメタバースをつなぐ窓



■ 図-5 メタバース内のバスと現実のバスを同期する

特集 Special Feature

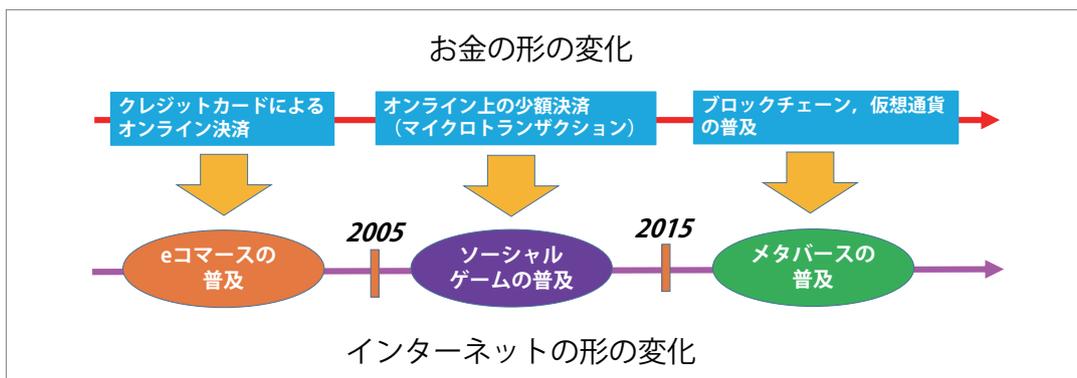
きるようになりました。そこから少額のやりとり（マイクロトランザクション）が可能になり、ソーシャルゲームが台頭しました。ソーシャルゲームの基本的なビジネスモデルはアイテム課金です。それまでのオンラインゲームは月額モデルが普通でしたが、ソーシャルゲームはアイテム課金モデル、つまりゲームは基本無料で、ゲーム内のアイテムを買ってもらうことで、莫大な利益を上げるようになりました。2010年代前半には、日本はソーシャルゲームのビジネスモデルでは世界の一周半先を行っていると言われていました²⁾。このようにお金はインターネットでやりとりができるようになりました。しかし、これはあくまで、消費者とビジネスをする企業との間のやりとりでした。消費者同士でお金をやりとりすることは簡単にはできなかったのです。

そこで現れたのが仮想通貨です。ビットコイン、イーサリアムなどさまざまな種類の仮想通貨が現れました。それはブロックチェーン技術の1つのかたちです。ブロックチェーンの仕組みは、各人がネット上で1つのノードとなります。そのノードとノードの間でデータのやりとりをする一般的な仕組みです。従来の仕組みと何が違うかと言えば、そのやりとりが中央のサーバに残るわけではなく（そもそも理想的にはサーバ自体がない）ノードネットワーク上に公式に記録が残る、ということです。これは人間社会にたとえていうならば、大切なやりとりを公証役場に行き公証人を付けてもらう方式から、周囲（といっても多数の）の友人に証人になってもらうか、の違いと言ってもいいでしょう。そして、このやりとりには、その前にノード間のさまざまな手

続き（プロトコル）が必要です。ノードの間では、受け取る／受け取らないという確認、受け取り開始の信号を送る／確認、トークンを作る／受け取る、データを送る／受信など、ブロックチェーンとして定義されたプロトコルが実行され確認されます。そして、このやりとりは周囲のノードにも通達されます。つまりデータのやりとりを中央サーバなしにノードネットワーク上で確実にした仕組みがブロックチェーンと言えます。さらに、やりとりするデータをお金とみなしたものが仮想通貨と言えます。実際、受け渡すデータは通貨でなくても画像、3D、文書、とにかくデータであれば構いません。ノード間の合意があれば原理的には何でもやりとりすることができます。ブロックチェーンの仕組みの上に、いろいろな交換サービスを作り上げることができます。しかし、なかなか事前でブロックチェーンの仕組みを作り上げることは難しいため、通常は既存のブロックチェーンの仕組みを利用する場合があります。

5.2 ユーザ同士の経済の発生

このように経済が仮想化されていくと、一般のユーザ同士がお金を交換できる経済圏ができあがります。この経済圏とメタバースを結び付けるとどのようなことが起こるでしょうか。メタバース内で、それぞれのユーザがお金を持ち、それぞれの持ち物や生産物を交換するのです。そして、その通貨は仮想通貨を通じて現実の貨幣とリンクしています。ある意味、メタバースは経済的には現実と同じ世界になってしまいました。個人がお金を持ち、そして、欲しいものを買う、そして



■ 図-6
お金とインターネットの
関係の変遷

特集 Special Feature

売りたい人は売る，という市場の仕組みがメタバースでも再現されました。このシフトにはこの20年に渡るお金の仮想化が必要でした。そして何より，そのことによって，資本主義社会においては，メタバース世界は現実と同じだけの重みを持つことになったのです。

メタバース，オンラインお金との接続の方法は2つあります。それはゲーム内ポイントを購入する形式と，仮想通貨を使う方式です。前者は1990年代からある方式で，運営企業が発行するポイントを購入してゲーム内で用いることができます。多くの場合，ユーザ同士でこのポイントを交換することはできません。なぜなら，このポイントは運営企業とユーザの間で交換されたポイントだからです。ユーザはこのポイントを使ってアイテムやサービスを購入します。次に，仮想通貨を用いる形式です。この仮想通貨は一般のもので，比較的自由に使うことができます(図-7)。

たとえば、『The Sandbox』(The Sandbox, 2012年)では出典する企業のアイテムをユーザがSANDと呼ばれるゲーム内通貨で購入しますが，このSANDはイーサリアムと交換レートが設定されています^{☆4}。

前者はオンラインゲームがずっと取り扱ってきた方式であり，後者はこれからメタバースで期待されている方式です。すべてのユーザ同士が仮想通貨でやりとりする，というのは目指されることです。そうするこ

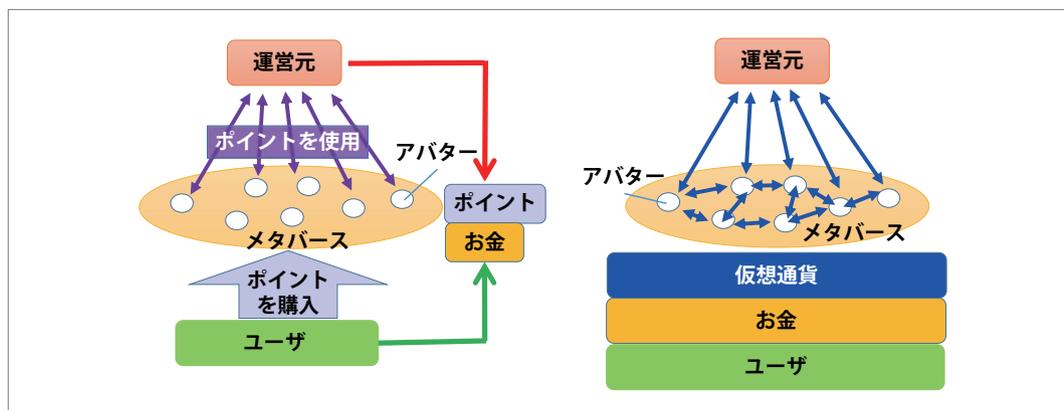
とで，現実の経済が，仮想通貨という層を経てですが，ゲーム内に持ち込まれることになります。

5.3 「Play To Earn」「Work To Earn」

「Play To Earn」(PTE)はゲーム内のプレイによってお金を得ることで，実際はゲーム内ポイントを稼ぐのですが，これは仮想通貨と取引ができるので，現金を得ることができます。稼ぐ方法は，ゲームの中で第9章に述べたUGC(ユーザ生成コンテンツ)を製作しほかのユーザに購入してもらうことです。この取引の何割かが運営に渡ることになります。あるいは，そうでない場合は，新規ユーザの登録料が利益となります。そうすると，チームを組む，組織を作る，などして大規模に利益を得ようとするグループも出てきます。もっとはっきりと企業というかたちで参入する窓口を作る場合もあります。

「Play To Earn」(PTE)はデジタル空間と仮想通貨を用いた実経済との接続から引き起こされる1つの現象です。ゲームで利益が出る，ということであれば，それを組織的に行うことになることは，あり得ることで，『Axie Infinity』(Sky Mavis, 2018年～)ではゲーム内にマネージャとスカラという仕組みがあります。これはマネージャが自分の「Axie」と呼ばれるモンスターたちをスカラに貸します。スカラはそのモンスターを使ってゲームをプレイしてSLP(Smooth Love Potion)と呼ばれるゲーム内仮想通貨を稼ぎます。その稼ぎはマネージャのものになりますが，一部がスカラにも

^{☆4} The Sandbox/SAND (ザ・サンドボックス)とは? 特徴・始め方を徹底解説, FISCO, 22 2 (2022/2/22). [オンライン]. Available: <https://fisco.jp/media/sand-about/> [アクセス日: 2022/3/6].



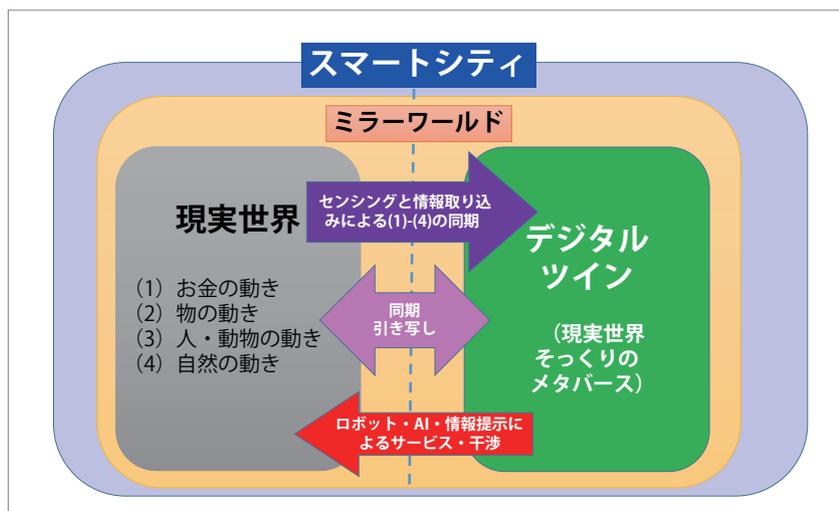
■ 図-7
ゲーム内ポイントと
仮想通貨の違い

分与されます。SLP はイーサリアムと連動していますのでマネージャもスカロも実際的な利益を得ます。

上記はゲームの例ですが、メタバース内では自然に「Work To Earn」が定義されることになります。メタバースは現実の経済とリンクしているということは、そこで働いて稼ぐことは自然なことになります。「メタバースで稼ぐ」は、現実世界で働いて稼ぐ、ことの自然な延長上にあります。メタバースに経済がもたらされるということは、経済活動にかかわる多くのことがもたらされることでもあるのです。

6. メタバース —現実の二重世界, ミラーワールド

そうすると、現実とメタバースが、人間の活動としても経済活動としても、二重の構造を持つようになります。「今度、アーティストBのライブがあるんだって?」「それって現実の方? メタバースの方?」のように。この二重世界は、インターネットと現実世界という二重性のより完成したかたちとなるでしょう。メタバースと現実世界は新しく、よりソリッドな、相対すると同時に相補的な二重世界を構成します(図-8)。よりすっきりと、現実の何が良いのか、メタバースの何が良いのかははっきりするでしょう。



■図-8 ミラーワールドの原理

6.1 メタバース世界の軽さとスピード

現実世界は実体とそれに伴う無限の情報を持つ世界ですが、記録を残すこと、技術を適用することにハードルがあります。逆にメタバースは情報が整理され、記録が取られ、あらゆる場所に技術を導入できるチャンスの世界ですが、逆に言えば実体の薄い情報だけの世界です。常に実体があればよいというわけでも、常に情報だけあればよいというわけでもありません。貨幣の価値がどこかにある金との交換性を前提としていたように、メタバースの情報は現実世界とのリンクを前提とするかもしれません。

しかし、金本位制が崩れたように、現実という裏付けがなくても、情報こそが実体である、お金こそが実体である、という立場をとることができます。メタバースと現実世界はどちらに実在の重きを置くかは、揺れ動く天秤のごとくです。実体が実在であり、情報が実在である、仮想通貨が実在である、現金こそが実在である、どう言おうと、お互いの存在とのつながりの中で話していることに変わりはありません。

現実でお金がかかることも、メタバースでは圧倒的に安く作ることができます。たとえば実店舗を構えて商品を売ることを考えると何億円コースでしょう。しかし、メタバースで実店舗を構えれば1桁、2桁安い値段で設置することができます。とにかくそこに人が集

まれば、つまり人々のアバターが訪れてくれれば、それで成功なわけですから。そして、人工知能の店員が丁寧に対応してくればさらによいでしょう。あとはネットショップと同じく、eコマースの世界です。

6.2 メタバースはダイナミクスを映す

さてお金の動きばかりに注目してきましたが、メタバースの長所は現実にあるダイナミクス(動き)をメタバース内に持ち込むことができる、

特集 Special Feature

ということです。この現実とメタバース世界の動的同期のことをミラーワールドと言います(図-9)。

ミラーワールドが対象とする動的な運動は以下のよう
に4つあります。ミラーワールドにおけるメタバース
はこれらの4つの動きをその中に取り込める可能性を
持っています。

- (1) お金の動き
- (2) 物の動き
- (3) 人・動物の動き
- (4) 自然の動き

(1)のお金の動きは前述しました。次に(2)物の動きについては、現実にある物に電子タグをつけることで物を追跡する、という技術はすでに物流の世界では採用されています。その技術を用いて現実からメタバースへリアルタイムに物の動きを反映することで、物が一体、どのように世界を動いているかを知ることができます。たとえばメタバース内にある仮想店舗のTシャツは、それぞれが現実にあるショップのTシャツと同期している、などです。もちろん、店頭で実際になくてもいいのです。とにかくそれがお店の倉庫なり、店頭にあり、その物と仮想店舗のTシャツが結びついてれば、メタバースを追うだけで物流を追うことができます。近くのデパートに野菜を買いに行きたい、しかし、メタバースで見ると、最後の茄子が売り切れたところだった、といったように、消費者の知りたい情報も知ることができます。また車の位置を追跡できるようにすれば、街の交通状態をリアルタイムに知る

ことができます。それはまた人工知能による交通の予測に用いることができます。また、デジタルアイテムとしてのアイテムであれば、そのメタバース内で完全にその動きを追うことができます。ある会社がアバター用に売り出したTシャツがメタバース内で流行って、たくさんのユーザが求めにくる、ということは十分あり得る未来です。

(3)の人の動きは、プライバシーの問題が急務ですが、たとえば遊園地の中や、百貨店の中など、限定された場所における人の動きを見ることができれば、お店の混み具合を知ることができます(図-9)。また動物の位置を知ることは自分のペットの居場所、動物園の動物たちの動き、あるいは渡り鳥の飛翔の軌跡や、たとえば奈良の鹿たちの位置をリアルタイムにメタバース内で再現することができます。メタバース内で奈良の春日山の鹿の動きが再現された山があるなら、そこへ行ってみたいと思わないでしょうか。世界中の魚の動きを再現できる海のメタバースがあればどうでしょうか。渡り鳥たちが休む場所を知るのはどうでしょうか。世界をメタバースという箱の中で再現すれば、それはメタバース望遠鏡として現実をのぞくこれまでにない窓になるのです。

最後に(4)自然の動き、との同期です。これはメタバース特有の動きの同期です。ここで言う自然とは森や海岸や平原のことです。たとえば、ある街の海外の様子、ある森の様子、ある平原の様子が、メタバースの特定の地域と結びついている。森であれば、風への揺れ方、音の静けさ、湿度、天候などが、現実の森と仮想の森の間で同期している。メタバースのその場所に行けば、現実の森の様子を知ることができる。森深くセンサを埋め込んでいたなら、それは森に直接に行くよりも、メタバースの森の方がより多くの情報を得ることができることさえあるでしょう。

6.3 検索エンジン、SNS、メタバース

このようにメタバースの垂直的な構造は、世界からいかに深く現象を掬い上げるか、によって深さが変わっ



■図-9 奈良の鹿ミラーワールド

特集
Special Feature

できます。検索エンジンの世界で、より深い情報を扱う検索エンジンが勝利したように、SNSの世界で、人間関係のつながりをより広く扱える SNS が勝利したように、メタバースの世界でも、より深い現象を掘り上げることができるメタバースが勝ち残ることでしょう。このようにメタバースは「現実統合装置」としての側面を持ちます(図-10)。もちろん垂直構造を持たないメタバースも可能ですが、社会の一部として大きな存在感を持つメタバースでは、この現実統合機能の深さと広がりが必要となります。

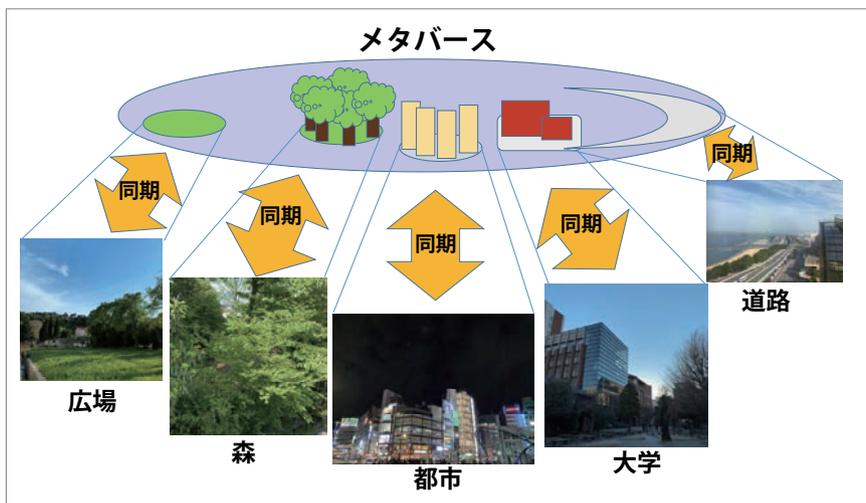
7. メタバースへのターニングポイント、2017年

メタバースは前章までに説明したように今に始まったものではありません。現在のメタバースへつながる動きは2017～2018年、つまり仮想通貨が台頭し始めたころから、デジタル空間と仮想通貨をつなぐ空間の構想が同時発生的に各所で生まれていました(図-11)。それ以前にもブームはありましたが、それは『セカンドライフ』(リンデンラボ、2003年～)が

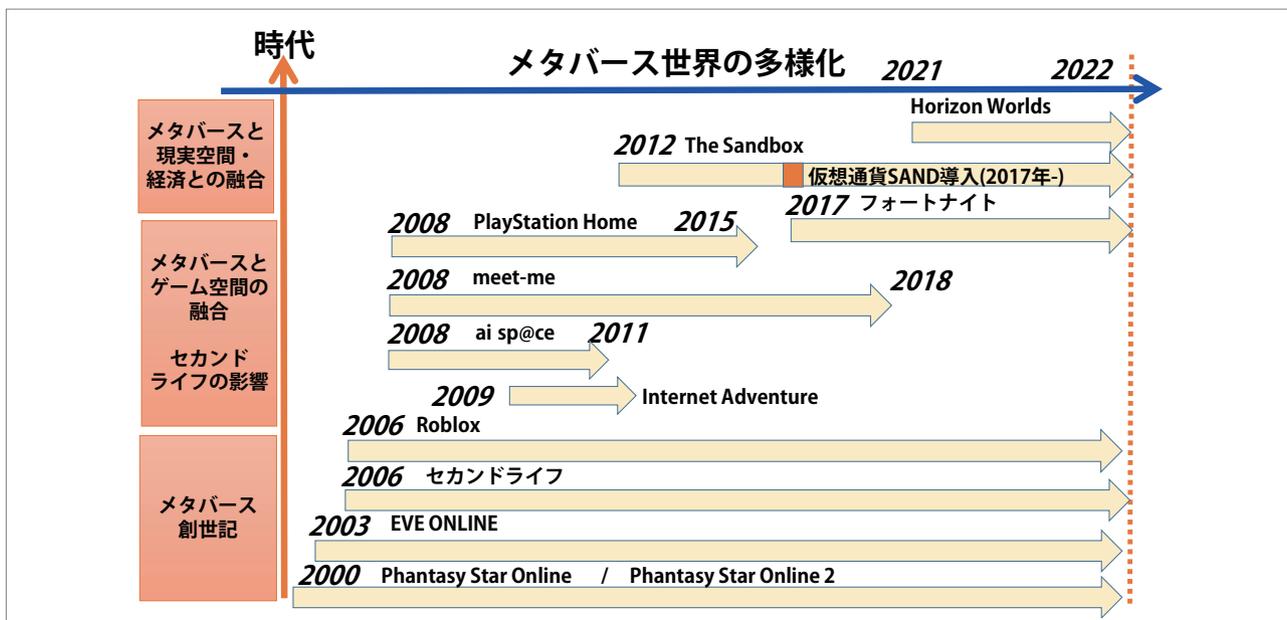
人気を博すようになった2005～2006年頃のことです。私はそのころ、ゲーム産業に入りたての研究者でしたが、『セカンドライフ』について話しているとたくさん質問を受けました。

7.1 メタバースの黎明期(2000～2006年)

ここで『セカンドライフ』以前のメタバースについてまとめておきます。それはメタバースへの起



■ 図-10 現実統合装置としてのメタバース



■ 図-11 メタバースの歴史の一部

源の旅とでも言うべきものです。『セカンドライフ』がゲームでないデジタル空間の可能性を大きく示したとすれば、ゲーム内にメタバースの可能性を示したタイトルがあります。『ファンタースターオンライン』（セガ、2000年、PSOと略される）は日本を代表するオンラインRPGの1つであり、最も早い時期に属するゲームです。第9章で詳しく述べますので、詳細は省きますが、ゲームの物語的展開に属さない、人間同士のコミュニティとして活動を内包するゲームデザインを持っていました。現在はPSO2として継続し人気を博しています。

メタバースにおける経済の研究の嚆矢となったのは『EVE ONLINE』（CCP Games、2003年～）です^{3), 4)}。『EVE ONLINE』はゲーム性が強いオンラインゲームですが、ゲーム性の細部にむしろ大きな自由度がある、というタイプのゲームです。つまり政治、交渉、戦闘、資源採掘、輸送といったアクションの中には、ユーザー同士の同盟やコミュニケーションが必要とされ、そのコミュニケーションや連携はかなり自由度の高いものだからです。また、『EVE ONLINE』は仮想通貨と結びついておらず、ISK (InterStellar Credits) というゲーム内通貨ですが、ゲーム内には会社組織や株式、さらに勢力図があり、このISK経済圏を巨大なユーザーの集団が動かしています。この『ファンタースターオンライン』と『EVE ONLINE』は現在でも人気のゲームであり存続しており、現代において改めて見てもメタバースと言えるものです。そこにはユーザーが自由に作り得る文化圏、経済圏があります。

7.2 ゲーム産業のメタバースへの参入 (2008～2016年)

それから2007年頃から2010年にかけて、ゲーム産業では実際にいくつかのメタバースが作られることとなります。『meet-me』（2008～2018年、(株)ココア）や『internet Adventure [iA]』（2008年発表、2009年、セガ）、『ai sp@ce』（ドワンゴ、2008～2011年）などが代表的です。また『PlayStation

Home』（ソニー・コンピュータエンタテインメント、2008～2015年）は、PlayStation 3上のソフトウェアで、ゲームとは独立した、ユーザー同士が交流する空間が設けられていました。

しかし、当時は仮想世界で現実の宣伝をするなら、ゲーム内広告的なアプローチはありましたが、現実の経済圏と直接に結びつける仕組みはありませんでした。これらはソーシャルゲームの台頭以前のことなのです。

「最近、メタバースって流行っているよね。やはり、2021年10月の「メタ」の発表からかな」という意見をよく聞きます。またSF小説『スノウ・クラッシュ』（1992年）が出たとき、いや、それよりも冒頭でご紹介したようにアーサー・C・クラークの『都市と星』（1956年）ですでにメタバースが描かれてきたよ、など、さまざまな意見もあります。これは視点の違いによるものなので、そのはじまりについては複数の視座があってもよいかと思えます。しかし、現在メタバースと言われている「現実の経済と空間を巻き込んだメタバース」として大きな技術の変換点があったとすれば、それは2017年です。

7.3 現代のメタバースの始まり (2017年)

2017年。遅すぎもせず、早すぎもしない、それは新しいメタバース経済圏を創造するには、絶好のタイミングでした。『The Sandbox』（The Sandbox、2012年にモバイル版をリリース開始）を作ったThe Sandboxの創設者は最初、通信ソフトウェアの基盤会社を作りましたが、その事業は売却して、4社目を設立してソーシャルゲーム『The Sandbox』を始めました。ところが2017年頃、その事業も伸びなやみしました。そこで、当時、台頭しつつあったブロックチェーンと連動してゲーム内通貨(SAND)によって、ゲーム内の土地(LAND)やアイテムを売買できるシステムを導入しました⁵⁾。『The Sandbox』は現実の土地の

⁵⁾ インタビュー・編集: Lina Kamada, 翻訳: Nen Nishihara: 「バーチャル空間のデジタル不動産」人気ゲーム The Sandbox COO セバスチャン・ボルジェ氏 (全インタビュー記事), BTCBOX (2020/12/1) [オンライン]. Available: <https://blog.btcbox.jp/archives/13452> [アクセス日: 2022/3/6].

ように、メタバース内の土地が分割され売買されています。個人や企業はこの土地を購入し（大地主）、そこにさまざまな仕掛けを作ることができます。『The Sandbox』はそのためのツールを提供しており、素人でも3Dモデル、さらに簡単なゲームを作れる仕組みを提供しています。簡単に言うと、メタバース内でテーマパークを開きミニゲームを作って置くことができます。最近ではadidasが『The Sandbox』内に土地を購入し「adiVerse」を作り、オリジナルアイテム（アバター用のスーツなど）を販売し26億円を売り上げた、というニュースが流れました^{☆6}。

7.4 メタバース内アイテムと経済圏

ゲーム内で自分のオリジナルのアイテムを製作する、というのは、オンラインゲームでは古くからありました。たとえば製作スキルを上げて素材を集めることで、よりレアなアイテムを作れるようになる、といったように、です。それは製作スキルと素材集めの能力からなるものでした。できあがるアイテムはゲーム側で決められていたものあり、作るのが難しいものからやさしいものまであることから、それはゲーム性の高いものでした。しかも、それはあくまでゲーム内のことでした。

しかし、『The Sandbox』では製作者のオリジナルなアイテムをゲーム内で売ることができます。さらに、ここでも垂直構造が効いてきます。自分で作ったアイテムの交換が仮想通貨を通じて取引されます。つまりリアルマネーと結びついています。『The Sandbox』の通貨は独自の「SAND」ですが、これは裏ではイーサリアムと結びついています。つまり、これまでオンラインゲームと現実で独立した経済圏であったものが、メタバース上ではほぼ現実と同じ経済交換が可能になった、ということです。逆に言えば、仮想通貨を導入したメタバースとは、現実の経済圏に1つだ、ということができます。そして、メタバースの躍進とともに、メタバースの持つ経済圏は

大きくなっていきます。こういったメタバース上の経済は、一体、現実世界の経済にどのような影響を与えるのか、どのような位置を持つのか、は『EVE Online』における研究を嚆矢として研究が続いています^{5), 6)}。

8. オンラインゲームからメタバースへの拡張

メタバースを語る上で欠かせないゲームとして、前章で簡単に紹介した『EVE Online』（CCP Games, 2003年～）があります。このゲームはアイスランドで作られた世界的なゲームで、宇宙を舞台に資源を採掘したり、輸送したり、基地や宇宙船を作ったりして、1つの宇宙の中の社会をユーザ全員で回していく、という一見風変わりなゲームですが、熱烈な大勢のファンに支えられています。このゲームの本質はメタバースにあります。すなわち、1つの世界（宇宙）の中で、もちろんデフォルトメは大きくあるにせよ、実際の宇宙社会の運用や成立に参加している、という感覚です。ユーザは惑星から資源を採掘して輸送して売ることもできれば、ほかのユーザはその輸送船を攻撃して妨害することもできます。武力があれば自分の勢力圏を築くこともできますし、ほかのユーザと協定を組むことができます。戦闘はきわめて地味ですが、ユーザは戦闘指示をすると、それが宇宙空間でシミュレーションされて結果が返ってきます。また戦闘だけでなく、会話による交渉、すなわち外交交渉がいたるところで行われています。外交があれば裏切りもあれば、画策もあり、これがいくつもの勢力でせめぎ合いますので、政治劇が好きな方には魔術的な魅力があります。ユーザには実際の外交官の方もいる、ということは、よく知られています。

『EVE Online』はデジタルゲームの中では風変わりなゲームとして捉えられてきました。そして一般のゲームユーザ層とは異なるユーザ層を捉えてきました。現在から見れば『EVE Online』はデジタルゲームがメタバースと融合を始めた最初のゲームの1つとして位置付けることができます。

^{☆6} 菊谷ルイス：adidas Originals 初の NFT コレクション、26 億円売り上げ (2021/12/18) [オンライン]. Available: <https://coinpost.jp/?p=302485> [アクセス日: 2022/3/6].

8.1 オンラインゲーム内の事件

『EVE Online』はメタバースですので、決められたドラマが生まれるというわけではなく、ユーザ同士の関係の中でさまざまなドラマが生まれます。そして、時々、ゲーム全体を揺るがすような「事件」が起きます。これらはゲーム運営側が仕組んだものではなく、メタバース内で自然に発生したものです。いくつかを参考のために紹介します。

- (a) **Battle of B-R5RB (2014/1/27)** 2つの大きな勢力同士の戦い。最大 2,700 人近いプレイヤーが一堂に会して、21 時間に渡る戦闘が行われた。のべ 7,500 人近いプレイヤーがこの戦闘に巻き込まれた。この戦闘による損失はゲーム内通貨で 11 兆 Interstellar Kredit (ISK) で、リアルマネーにすると 30 ～ 33 万 (USD ドル)。これ以外にも、近いスケールの戦闘が歴史的な事件として記憶されている^{☆7}。
- (b) **ゲーム内選挙 (2018/5/15)** 米の共和党議員 Brian Schoeneman 氏が星間管理評議会 (CSM, Council of Stellar Management) メンバに立候補^{☆8}。
- (c) **ゲーム内チャリティ (2020/1/27)** 希少な船の 1 つである「Gold Magnate」が 430 万円で落札される。これは本ゲームの運営元 CCP が開催したオーストラリアの森林火災の支援チャリティ「PLEX for GOOD」において行われた (PLEX は課金アイテムでリアルマネーで購入するゲーム内アイテム)^{☆9}。

『EVE ONLINE』では戦闘は数十に渡る勢力が自

然発生的に争っているのに、小競り合いは常に発生していますが、(a) のような規模は滅多に起こらないために事件と呼ばれています。運営はこの戦闘の記録をその場所に残すことにしたそうです。(b) における CSM はプレイヤーの意見を吸い上げ調停する機関で、プレイヤーたちが自主管理を行えるように設定されました。つまり実際の選挙と同じようにユーザの代表が、実際にゲーム内で行われる選挙によって選ばれます。この選挙は定期的に行われますが、実際の政治家が立候補した、ということでニュースになりました。これはメタバースと現実の両方で政治家になるということです。(c) はゲーム内の課金アイテムを使ってチャリティを行うというものです。つまりユーザはその課金アイテムを買ってチャリティでそれと交換することで、運営元がその代金をチャリティに支払う、という仕組みになっています。中でも 1 つのチャリティ商品に対する最高額が 430 万円になったことで話題になりました。このように、思いもかけない「事件」がメタバースでは起こります。その意外性を楽しむ、というのが、メタバースの魅力の 1 つでもあります。また、そのようにさまざまなことが起こる自由度の高い設計、が求められています。これは直接ゲームを設計するよりも、ユーザの行動を組み合わせる高度な設計でもあります。

8.2 ゲームのメタバース化

前章でも指摘したように最も早く「ゲーム内経済」という言葉が最初に当てられたゲームの 1 つが『EVE ONLINE』です。『EVE ONLINE』はサービスの開始が 2003 年ですので、ブロックチェーンによる仮想通貨の仕組みの誕生以前でした。

本ゲーム内通貨は、ゲーム内通貨 ISK です。ユーザはこの ISK を購入し、ゲーム内ではこの ISK を用いて物が売買されます。RMT (リアルマネートレード) は禁止されています。そして、このゲームは資源を採掘し、運送し、売買するゲームでもありますので、自然とゲーム内で経済圏が立ち上がっていきます。

☆7 EVE Online, 史上最大の破壊戦「B-R5RB」勃発！戦闘の記念碑「ティタノマキア」登場！(2014/2/3) [オンライン]. Available : <http://ge-mu.net/news/757/6.php> [アクセス日: 2022/3/6].

☆8 キーボード打海: 本物の政治家が『EVE Online』星間管理評議会に立候補—「国家をゲームの世界に置き換えれば同じこと」, IID, 2018/5/15 [オンライン]. Available : <https://www.gamespark.jp/article/2018/05/15/80764.html> [アクセス日: 2022/3/6].

☆9 古嶋誉幸: 宇宙ゲーム『EVE Online』で世界にたった 2 隻しかない希少艦が「430 万円」で落札。オーストラリア森林火災のチャリティオークションで、(株) マレ (2020/1/27) [オンライン]. Available : <https://news.denfaminiogamer.jp/news/200127a> [アクセス日: 2022/3/6].

特集

Special Feature

2005年頃には、この経済活動が世界的に注目されるようになり、研究者の目を引き始めます。この時点でユーザ数は16万人です。そして実際、経済学のEyjolfur Gudmundsson博士（アイスランド、アークレイリ大学）はゲーム内経済を調査したレポートを発表することになります^{☆10}。開発者が仕組んだ想定を超えて、ユーザの活動が経済圏を生み出す、という現象がゲームで起こったことは、ゲーム研究、経済学研究に大きなインパクトを与えました。『EVE ONLINE』というゲームは「メタバース」へと発展したのです。

前章で取り上げた2017年は『フォートナイト』（Epic Games, 2017年～）が始まった年でもあります。『フォートナイト』は3億人を超えるユーザ登録を持つバトルロワイアル型の「ゲーム」ですが「メタバース」とも呼ばれます。このゲームには強い世界観もあり、キャラクタの設定もあります。バトルロワイアル型のゲームは、だいたい100人のプレイヤーが1つの島や土地の中で一定の時間戦闘して生き残りをかけたゲームです。この型のゲームはMO（Multiplayer Online）と呼ぶには大きすぎ、MMOと呼ぶには小さすぎる「ちょうどいいサイズのゲーム」で、2017年以来、この5年で1つの大きなブームになりさまざまなゲームが出てきました。『フォートナイト』はその戦いを制した覇者と言えるでしょう。ですから、通常の意味ではメタバースと呼ばれないはずですが、『フォートナイト』がゲームの方向のみならず、パーティというコミュニティを形成し「パーティワールド」と呼ばれる戦闘をしない領域を作成するなど、メタバースの時流を捉えて、巨大なユーザ数を背景にゲームからメタバースへと拡張したと言えます。実際、そのためにEpic Gamesはいくつかの会社を買収しています。「ゲームはメタバースに近い」を地で行ったタイトルと言えます。『The Sandbox』がソーシャルゲームの延長としてメタバースへたどり着いたとすれば、『フォートナイト』は

MMOの世界からメタバースへたどり着いたと言えます。

8.3 コミュニティ・ベース

この発展を理解するために、いったん1990年代まで時間をさかのぼります。1990年代までのゲームであれば、ゲームはゲーム開発者が開発した世界でユーザに遊んでもらう、と言えたでしょう。しかし、インターネットが普及した2000年代以降のゲームは「コミュニティ」をベースに発展していきます。インターネットが発展し高速通信が可能になると人間同士が常時強くつながれるようになります。そのような社会においては、自然とゲーム内でもユーザが強く連携できるようなゲームが求められるようになります。1990年代ではゲームはオフラインで、1人でプレイするのが主流でした。2000年代からはオフラインがおまけでオンラインのユーザ同士の戦いや連携がメイン、へと急激な変化がありました。またオンラインゲームの対抗馬としてSNSが台頭するのも2000年代です。すると、オンラインゲームとSNSが時間の取り合いになるために、オンラインゲーム内のコミュニケーションがSNSより楽しいものでなければならない、と考えるようになりました。そこで、オンラインゲームの中でチームを組ませたり、チームとしてポイントが貯まったり、連絡がとりやすくなったり、とにかくオンラインゲームにすることが心地よい、と思ってもらう必要が出ました。こういった事情が、ゲームが次第にメタバース化していく要因です。

2010年頃からは「MOBA」（Multiplayer online battle arena）というゲーム形式が流行り出します。数人でチームを組んで、広いフィールドで戦い合うゲームです。そして、チームとして世界一を目指すことで大きな賞金（億単位）を得られます。この種類のゲームは最初からチームを前提にしています。また、コミュニティを非常に大切にします。ゲーム自体はそれほど、複雑なものではありません。むしろ「eSports」としてルールは明確に単純化して、個人のスキルやチームの連携を工夫しやすいようにする、そして、観ている方にも分かりやすくする、という工夫がされています。

^{☆10} 奥谷 海人：[GC 2008 # 02]「EVE Online」の経済担当が語る「バーチャル世界の現実性」とは、4gamer (2008/8/19) [オンライン]。Available : <https://www.4gamer.net/games/004/G000412/20080819036/> [アクセス日: 2022/3/6]。

『League of Legends』(Riot Games, 2009年～)や『Dota 2』(Valve corporation, 2013年～)が代表的です。こういったゲームには運営側にコミュニティ・マネージャがいて、常にユーザ・コミュニティに対してサービスや情報を提供します。コミュニティを育てる、という役割です。ここまでくるとゲームではないメタバースは目の前です。つまりコミュニティを主体として活性化させるために仮想世界を作る、ゲームは必要であれば入れる、というメタバースです。オンラインゲームでは、ユーザによりゲーム世界に親しんでもらうためにコミュニティを作りますが、メタバースではコミュニティがメインであってゲームはオプション的な役割になります。

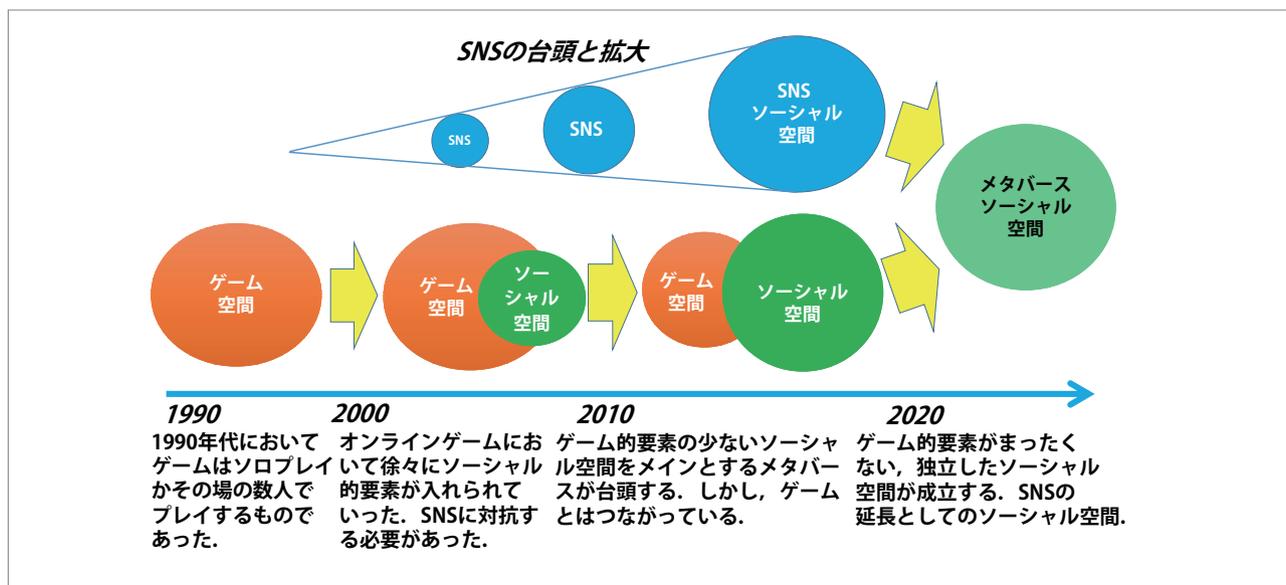
このように、オンラインゲームの中でメタバース的な要素が大きくなる動きは、コミュニティを主体としたゲームが出てきたことに要因があります。コミュニティが優先、ということになれば、ゲームの世界観やキャラクターの役割といったルール以前に、参加するチームがいかにより自由に連携して、チームワークで勝利していくかということに、ゲームのバランスが費やされることになります。そして、SNSの発展によってゲーム内にも、それに対抗するユーザ同士の強いコミュニケーションをとる仕組みが導入されます。この2つからゲームがメタバースへと発展していく自然な流れが見えてきます(図-12)。

9. オンラインゲームとメタバースの関係

上記のようにメタバースの誕生にオンラインゲームは欠かせません。そして、オンラインゲームとメタバースは背反の関係ではなく、きわめて近い概念です。これからのメタバースとオンラインゲームはすぐ隣同士の関係であり、また、2つの融合した空間を編み出していくと予想されます。オンラインゲームの中にメタバース的な要素が含まれていることは、昔から知られていました。あるいは、将来的にはメタバースの特殊な形式の1つがオンラインゲームだ、という言い方をされることになるかもしれません。

9.1 ゲーム内の非ゲーム空間

オンラインRPGの日本の起源の1つは、第7章でも取り上げた『ファンタースターオンライン』です。ドリームキャスト用ソフトとして登場し、現在はPS2が最新版としてマルチプラットフォームでプレイできます。登場以来、ずっと国際的に高い人気を博しています。PSOは戦いに行く前に、宇宙ステーションの中の「ロビー」でぼんやりとお喋りをするすることができます。ここは新しくほかのユーザと出会い、チームを組んでミッションに行く前の打合せや、ミッションが終わったあ



■ 図-12 オンラインゲームからメタバースへ

特集
Special Feature

とのお疲れさま的な会話をする社交の場です。またユーザのイラスト展や、有志による演劇などが行われる場所でもあり文化的な場として機能しています。また「シンボルチャット」で簡単な絵を組み合わせて台詞を作ることができ、国際的な会話も可能にしています。ミッションをこなす気力のないときは、ロビーでずっと話していても十分楽しむことができます。個人的なことになりますが、私がオンラインゲームでゲーム以外の可能性に気付かせてくれたのは、このロビーで過ごした時間が大きな体験としてあります。『PSO2』では、オンライン上のライブが開催されています^{☆11}。『フォートナイト』でも米津玄師のライブが行われるなど、メタバースは文化を育む場となりつつあります^{☆12}。

9.2 ゲーム空間とソーシャル空間

メタバースの中で戦闘などを行う「ゲーム空間」と、PSOで言うロビーやフォートナイトのパーティワールドのような交流を行う「ソーシャル空間」、このゲーム空

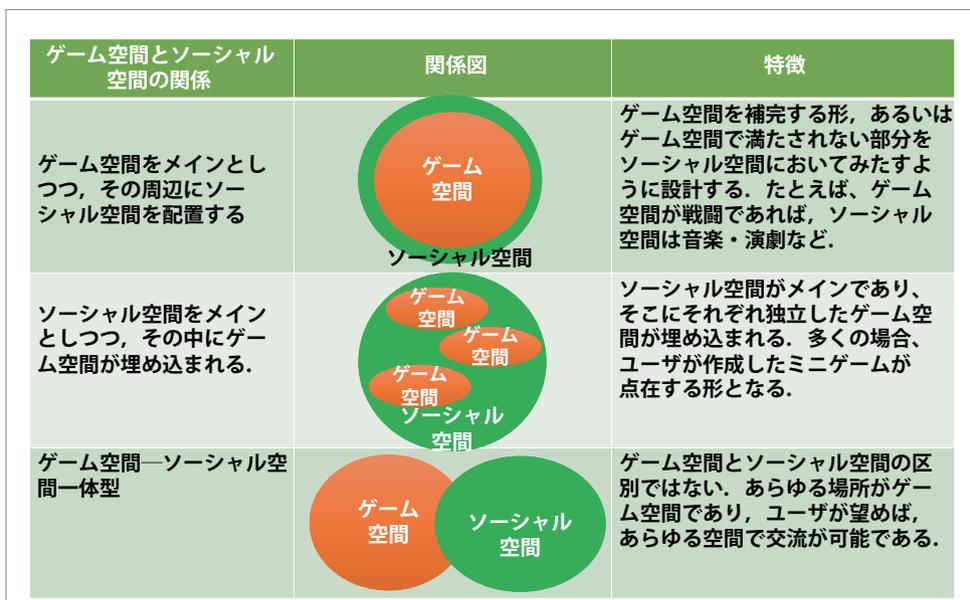
^{☆11} セガ、「PSO2 ニュージェネシス」で初のステージライブを開催！ サイドストーリー配信やレベル上限 40 解放などのアップデートも、gamebiz (2022/2/9) [オンライン]。 Available : <https://gamebiz.jp/news/343023> [アクセス日 : 2022/3/6]。

^{☆12} 大吉紗央里：米津玄師が『FORTNITE』内でイベント 実際に参加してみた、日経 BP (2020/8/26) [オンライン]。 Available: <https://xtrend.nikkei.com/atcl/contents/watch/00013/01116/> [アクセス日 : 2022/3/6]。

間とソーシャル空間の配置はさまざまな形が考えられます (図 -13)。

第 1 に、ゲーム空間とソーシャル空間をまったく別の領域として設置するタイプが考えられます。これはゲームからメタバースを派生してきたタイプでは自然な配置となります。第 2 に『The Sandbox』や『Roblox』(Roblox, 2006 年)のように区画ごとにミニゲームが設定されているゲームはソーシャル空間の中にゲーム空間が埋め込まれているとも言えるでしょう。第 3 に、通常のオンラインゲーム、特にコミュニティの交流要素を持つゲームはゲーム空間とソーシャル空間が混在した空間と言えます。たとえば、オンライン RPG の街はどのような意味があるのでしょうか？ そこはユーザの交流の場であり、装備を整える場所です。しかし実際のところ、MMORPG の場合には、街よりも戦闘領域で偶然助け合うような場面で知り合いになることも多いです。モンスターが徘徊する森の真ん中で知り合って話し始めることもあります。つまり、ゲーム全般にわたって、ゲーム空間とソーシャル空間が混ざり合っているのです。

このようにゲーム空間とソーシャル空間から見ると、それぞれのオンラインゲーム、メタバースの特徴を解析することができます。その世界がメタバースであるた



■ 図 -13
ゲーム空間とソーシャル空間の関係

めには、ソーシャル空間が含まれている必要がありますが、それでも、ゲーム空間とソーシャル空間の配置は上記のような多様性があります。メタバースをデザインするとは、この配置をどのように組み合わせるかを、まず検討することでもあります。

10. ユーザ生成コンテンツとメタバースの関係

ユーザによるコンテンツ生成をユーザ・ジェネレート・コンテンツ (UGC, User Generated Contents) と言いますが、この UGC をドラスティックにゲームに展開したのが『マイクラフト』(Mojang, Microsoft, 2011年) です。

10.1 『マイクラフト』の台頭

『マイクラフト』はスウェーデンのゲーム開発者 Markus Persson (通称ノッチ) によってほぼ 1 人で発明されたゲームです^{☆13}。ゲームはブロックを単位とする世界で、ユーザはそれを掘削し積み上げることで自由に世界を作り上げることができます。また掘削することで資源を見つけ、それらをかけ合わせた反応させることで、新しい素材を作ることができます。『マイクラフト』の見た目は、当時の主流の美麗グラフィクスと対極にあるブロック単位のレゴを積み重ねたような質素(すぎる)な見た目でした。しかし、多くのゲームが陥っていた「見た目は美しいが世界を変化させられないゲーム」から「見た目は素朴だがほとんどの世界のものを変化させることができるゲーム」への劇的な変化は、驚くべきことに多くのユーザに受け入れられ、世界的なヒットとなりました。

そして、その影響はゲームファンを超えて一般のユーザにも受け入れられました。特に子供世代には熱狂的に受け入れられ、さまざまな教育的要素があることも

大きな要因でした。これに目をつけたマイクロソフト社は『マイクラフト』の権利を買い取り、さらに世界的なソフトに押し上げました。現在も『マイクラフト』は進化を続け、2億を超える出荷数を記録し、まさに歴史的なゲームになったのです。

10.2 UGC とメタバース

そして、もう1つの潮流を象徴するのが『Roblox』(Roblox, 2006年)です。このゲームはオンラインゲーム内に自分でミニゲームをいくつかのテンプレートとスクリプトを組み合わせて作ることができます。イメージとしては巨大なテーマパークでユーザがそれぞれ自分のアトラクションを作ることができる、という感じですね。ユーザは5,000万を超えていて『Roblox』のための製作本なども発売されています^{☆14}。

ゲーム産業内では、『マイクラフト』のヒット以降、これを超越するソフトを目指す動きが始まりました。そこでマイクラフトのようにユーザが作ったもの(UGC)をブロックチェーンの仕組みで交換できるようにすること、さらに仮想通貨でリアルなマネーの価値と結びつける、という方向が模索されていきます。前述の『The Sandbox』もその方向の1つです。

さらに『The Sandbox』では『Roblox』の「ユーザがゲームを作る」要素も取り入れられています。Ubi社が取り組んでいる『HashCraft』(Ubisoft, 2018年—未発売)は、ユーザに1つの島が与えられ、そこで物を生産することができます。『HashCraft』はブロックを要素とするマイクラフトとは違い、ポリゴンの滑らかな世界です。しかしほとんどのユーザはCGクリエイターではないので、ブロックを組み合わせることはできても、3Dオブジェクトを作り出すことはできません。そこでゲーム内で簡単に物の形状をデザインできるツールが与えられ、簡単な操作をすれば、ある程度、自動的にオブジェクトが形成されます。自動的に

^{☆13} 文: Cheshire, T., 写真: Babic, A, 翻訳: Katagiri, S.: マイクラフトをつくった男: ゲーム業界を根幹からゆるがしたインディーマーカ (2013/1/6) [オンライン]. Available: <https://wired.jp/2013/01/06/minecraft-vol6/> [アクセス日: 2022/3/6].

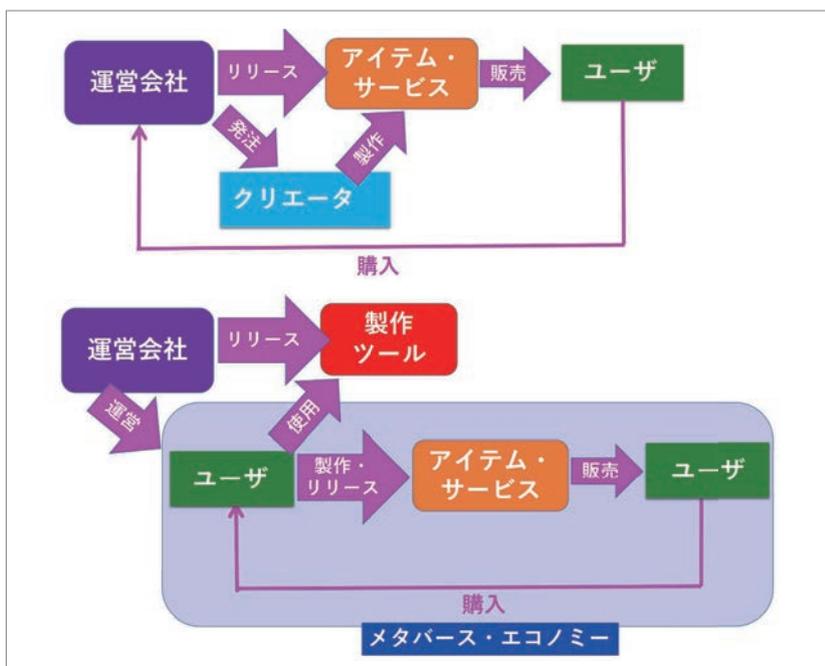
^{☆14} yusuke: 世界中のZ世代を熱狂させる「Roblox」とは何なのか。メタバース界に台頭する“ゲーム版YouTube”, 4gamer (2021/12/29) [オンライン]. Available: <https://www.4gamer.net/games/612/G061219/20211224165/> [アクセス日: 2022/3/6].

オブジェクトを作り出す技術をプロシージャル・コンテンツ・ジェネレーション (PCG, Procedural Contents Generation) と言いますが, PCG 機能を含むデザインツールは, パラメータを変化させるだけである程度の形状を自動的に作ってくれます。このツールを使ってユーザがメタバース内のオブジェクトを生成しブロックチェーンで交換します。

UGC はこのようにメタバースの生産系 (メタバース・エコノミー) を支える重要な要素であり, PCG によってその活動はより活発なものとなります (図-14)。そして, これらの生産されたアイテムなどをユーザの間で交換できる, あるいは, 仮想通貨で売買できるシステムが, メタバースの経済の基盤として注目されています。オンラインゲームでは, 運営会社が準備したアイテムを購入する, というビジネスモデルですが, メタバースは「ユーザに市場を開放する」方向で発展しています。

<第2部> 11. メタバースの未来

第1部 (第2～10章) ではメタバースとは何かを



■図-14 UGCによるメタバース・エコノミーの形成

述べてきました。第1部を要約すると「メタバースはオンラインゲームを土壌として発展してきたが, 仮想通貨などの導入によって, オンラインゲームとは独立した世界として成立しつつある。現実とのかかわりが必須ではないが, 現実とのかかわりを深く持つことで, メタバースは現実世界と連動したデジタル世界としての存在感を増しつつある」ということでした。

第2部 (第11～20章) では, この発展しつつあるメタバースのさまざまな方向について1つ1つ取り上げていきます (図-15)。それぞれの章は独立しており, また第1部ほどそれぞれの章は長くありません。メタバースが発展していく多様な方向を, 現在は全体として統一があるわけではありませんが, 取り上げていきたいと思えます。

12. メタバースとビジネス空間

対話型オンライン会議システムは, コロナ禍で外出が難しい中で, 2020年春から秋にかけて, またたく間に社会全体に広がりました。対話型オンライン会議の仕組み自体は10年以上前から, 会社間という意味では30年前からありました。

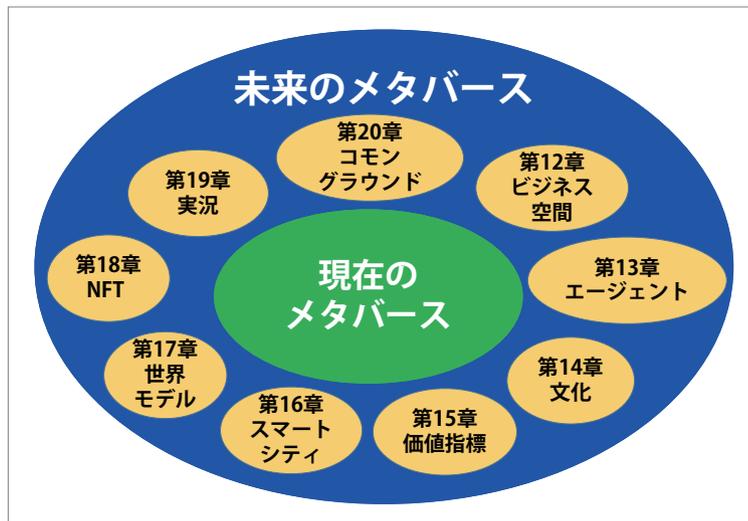
しかし, これだけ対話型オンライン会議システムが普及しても, 会社の業務をオンライン会議システムでこなせない部分があります。なぜなら, そこには人と人の間に本来あるはずの空間がないからです。空間がある, ということは, その間に展開できるものがあります。一方に「自分」があり, 一方に「他者」があります。「自分」が「他者」に会いに行く, ことができます。また他者から離れる, こともできます。そして, 偶然他者と出会う, ことができます。この3つは対話型オンライン会議システムでは, 実現しにくいことです。オンライン会

議とは、会う人を決めて、話すことを決めて、始まったらそこから逃れることはできず、偶然性の入らない会合のことです (図-16)。

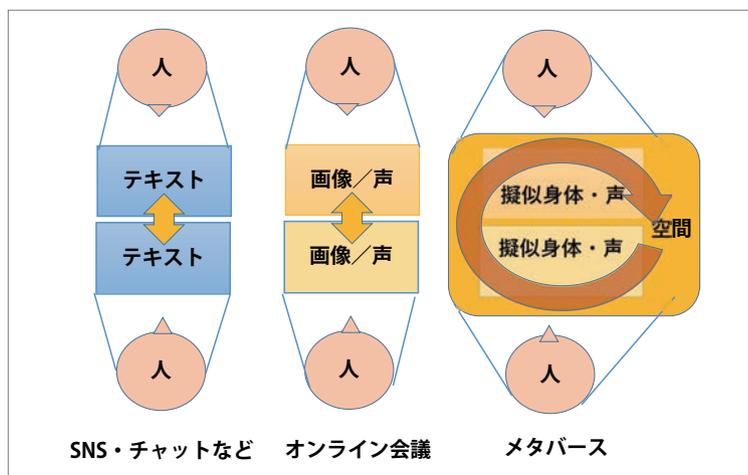
12.1 ソーシャル空間の変化

メタバースの最大の特徴として空間があります。人と人、アバター同士には距離があり、空間があり、その空間にはさまざまな可能性が詰まっています。人が人と同じ空間を共有し活動する、ことはとても大切なことです。なぜなら、同じ方向を向くことができるからです。オンライン会議では面と向かうことが強いられています。しかし、空間があれば、同じ方向を向いて進むことができます。またその逆もできます。たと

えば、人が人と一緒に歩くことは、相手の歩調に合わせて歩くことです。そこには、すでに相手の調整に合わせているという優しさがあります。オンラインゲームでは、自分のキャラクタを相手のキャラクタと同じスピードで歩かせることはなかなか難しいことです。たいてい、間ができてしまいます。相手の動きが読めないし、相手を待つタイミングも難しいからです (多くのゲームで自動追尾モードがついている理由でもあります)。しかし、うまく歩調を合わせられなくても、空間があるからこそ、お互いに歩調を合わせようという試みができます。空間があるということは、相手を思いやる余地をより多く持つということです。空間は存在と存在をつなぐ媒体です。



■ 図-15 メタバースの未来 (第2部の構成)



■ 図-16 ソーシャル空間の変化

そしてまた、十分な空間があるということは、多種多様な労働が可能になることでもあります。ミーティングだけでなく、公共のスペースがあれば物のやりとりができます。多くの人が通る道があればそこでパフォーマンスができます。自分の身体的運動を見せることができる、物を展開することができます。つまりメタバースには、現実空間のさまざまなダイナミクス、人の運動や物の移動を模倣する能力があります。それは、これまで検索エンジンや SNS が拾いきれなかった世界のダイナミクスです。それをメタバースの中で実現することができます。またメタバースの経済圏を使ってビジネスをすることもできます。それは、いわば人類が現実世界で身体を空間を使ってやってきたことを、そして身体と空間でしかできないことを、メタバース上で再現して再び機能させることなのです。

空間があれば出会いもあります。今、対話型オンライン会議をするときアドレスをクリックします。たくさんのオンライン会議はつながっておらず、当然、そこへ行って話してログアウトするだけです。しかし、メタバースであれば、会議はあのビルの7階で行う

から、とか、あの喫茶店で待ち合わせるから、など場所を指定することができます。そして、その場所へ行く途中で、新しく建てられたお店や、ほかの人のアクティビティや、いろいろな人とのすれ違いが起こります。こういったことはインターネット検索や SNS やオンライン会議では得られなかったものです。

13. メタバース内のエージェント

エージェントとは「特定の役割を持った人工知能」のことを言います。お掃除ロボットはお掃除エージェントですし、デパートで受付をする人工知能は「受付エージェント」と呼ばれます。別の言い方をすれば「人間の特定の役割の代わりになる人工知能」とも言えます。エージェントはキャラクタの姿をとることが多いですが、声だけのエージェント、文字だけのエージェントももちろんエージェントと呼ばれます。

13.1 メタバースにおけるエージェント

エージェントはメタバースでも重要な概念です。これまで IT はアプリケーションを中心に動いてきました。しかしこれからは、アプリケーション指向からエージェント指向 (Agent-oriented) の社会へと移行すると考えられます。エージェントは言うなれば人間にとって使

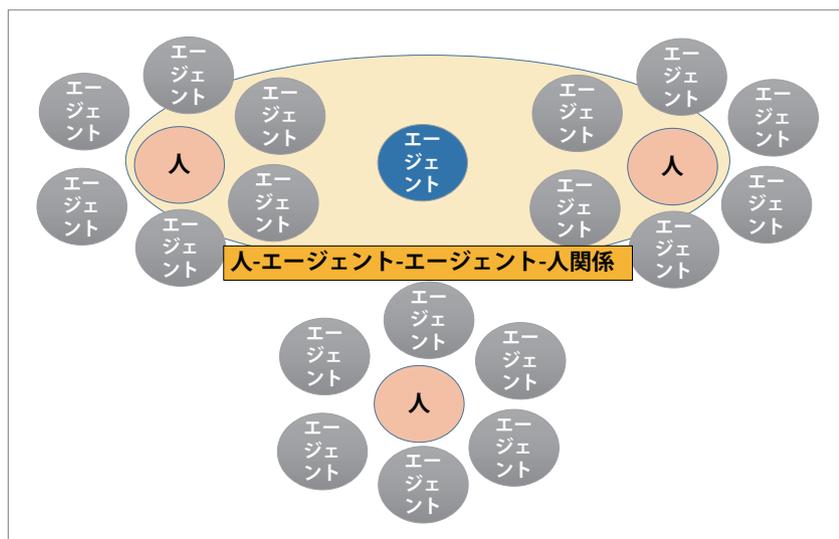
い魔」のようなものです。その人の周りにいて、必要だと思うことを自律的にサービスくれる存在です。命令を受ければ実行する、命令がなくてもできることを提案してくる存在です。人間はやがてたくさんのエージェントを操作するようになり、これまでのように自分でいろいろなアプリケーションを操作しなくても、エージェントの力をかりてさまざまなことができるようになります。

マニュアルを読まなくても音声で指示をすれば印刷をしてくれる、足りない情報があれば持ってきてくれる、インターネットにかじりつかなくても興味のある情報を運んできてくれる、通勤路に事故があれば迂回路を進めてくれる、好きそうな洋服があれば推薦してくれる、ようになります。たくさんのエージェントが人間をサポートするようになり、人間にとってのサービスがこれからはエージェントを介して行われるようになる。これを「エージェント指向型社会」(Agent-Oriented Society)、バーチャル世界の場合には「エージェント指向型バーチャル社会」(Agent-Oriented Virtual Society)と言います (図-17)。

13.2 エージェント指向型社会

エージェント指向型社会においては、人と人の関係も変化します。人とのコミュニケーションがエージェントを介して行われることが可能になるからです。「人-人」に加えて「人-エージェント-エージェント-人」の関係が出現します。そこには新しい人間関係の可能性があります。人と人の中に入り込めるエージェントには人と人の関係を変化させる力があるのです。

メタバース内において、エージェントはとても重要な存在になります。自分の土地に来たアバターに対応するエージェント、専門的な会議でアドバイスをくれるエージェント、自分



■ 図-17 「人-エージェント-エージェント-人」の関係

特集 Special Feature

の代わりに応答してくれる分身エージェント、商品の売買をするエージェント、ビジネスマッチングを探すエージェント、にぎやかしのために歩いているエージェント、など、多種多様なエージェントたちが活躍することになります。また、高い専門知識や技術を持つエキスパート・エージェントを会議に貸し出すビジネスも起ころうでしょう。自動翻訳エージェント、契約知識のあるエージェント、民法に詳しいエージェント、など、その時々に必要なエージェントをレンタルすることで、より高品質の会議を実現できます。

現実世界において人工知能は人間と現実に合わせている以外はありませんが、そもそも人工知能は現実空間が苦手です。人工知能にとってデジタル空間の中の方が水を得た魚のように動きやすいのです。逆に人間はデジタル空間内では力は半減します。メタバース内では人間もアバターとして存在するために、エージェントにとってはアバターとなった人間の方が連携しやすいのです。これはデジタルゲームの中では、プレイヤー・キャラクターと人工知能キャラクターが連携しやすいのと同じことです。

人と人の関係もエージェントによって変わっていきます。エージェントに人への用事を言づける、単にメッセージを届けるのではなく、返答を要する場合には、すぐに返答をもらって帰ってくる、足りない情報を補完するためにエージェントが奔走することができます。複数人の日程調整などもメールで何往復することもなくなるでしょう。またメタバース内でトラブルがあったときも、エージェントを使って調停することができます。お互いの意見を聴き、争点を明確にするだけでも大きな効果があります。個人的に喧嘩した場合でも、エージェント経由で謝ることができますし、エージェント経由で許すこともできます。メッセージを届けるときに、ちょっとした花束を付けるのもいいでしょう。

インターネットは現在「文字」ベースの文化が主流です。しかし、これからは、現実世界を模したメタバースの3D世界の中で、再び我々は空間を取り戻して活動することができます。それは長い間、インターネッ

トがその高速さと利便性と引き換えに取り上げてきた空間の復権でもあるのです。

14. メタバースと文化

都市空間は長い間文化を集積する場として機能してきました。同様にメタバースは、人類の新しい文化創造・蓄積の場となっていきます。前述したように、すでに『PSO2』や『フォートナイト』では歌手によるライブが行われています。『フォートナイト』では実際の歌手をデフォルメしたアバターを登場させてライブを実現しました。メタバースでは空間があり、そこには音楽・絵画・建築、あらゆる芸術が再現可能です。「それは本当の文化・芸術でない」という言い方もできるでしょう。生の音楽・絵画・建築でないなら芸術でない、という立場です。しかし、この20年で起きたことは、まさに芸術のデジタルコンテンツ化でした。つまり、その現象は今から見れば、メタバース内で文化・芸術を推進するための下準備とも言えます。

14.1 文化の集積場としてのメタバース

メタバースは、文字・音声・画像・映像などデータを蓄積しやすい、という点で文化の集積場でもありますが、それだけではありません。人が集まる、ということは、そこに創造的活動が生まれることでもあります。またメタバースならではの創造性もそこに生まれます。メタバースは記録が残り、さまざまなものを変化させやすい空間です。重力から解放されることもできますし、現実では不安定なバランスの構造物を組み上げることも可能です。メタバースの中で「これは欲しい」と思ってくれる服を販売してもいいですし、メタバース内で自作の歌を広めて買えるようにしてもいい、絵画展を開いてもいいですし、自作の遊園地を作ってもいい、自作の演劇をしてもいい。現実と似ている、しかし、現実とは違う文化の形をメタバースは花開かせる可能性を持っています。

第10章で述べましたが、メタバースでは現実では

特集
Special Feature

クリエイターでない人も、クリエイターになれるチャンスがあります。ツールが整備され、そのツールと相性が良い人は、次々にいろいろな作品を作り出すことができるでしょう。現実とは違う文化が開いていきます。メタバースは人類が手に入れた新しい文化の土壌でもあるのです。オンラインゲームは、クリエイターが作った世界をユーザが味わうものです。しかしメタバースではクリエイターになれる可能性を持っています。むしろメタバースの創造者は、ユーザの創造性を発揮させるように動く必要があります。社内で抱える数百、数千のクリエイターだけでなく、何百万人というユーザの創造性を発揮させることで、メタバースは相乗的に豊かで多様な世界へとようになっていくのです。それがオンラインゲームとの決定的な違いとなります。

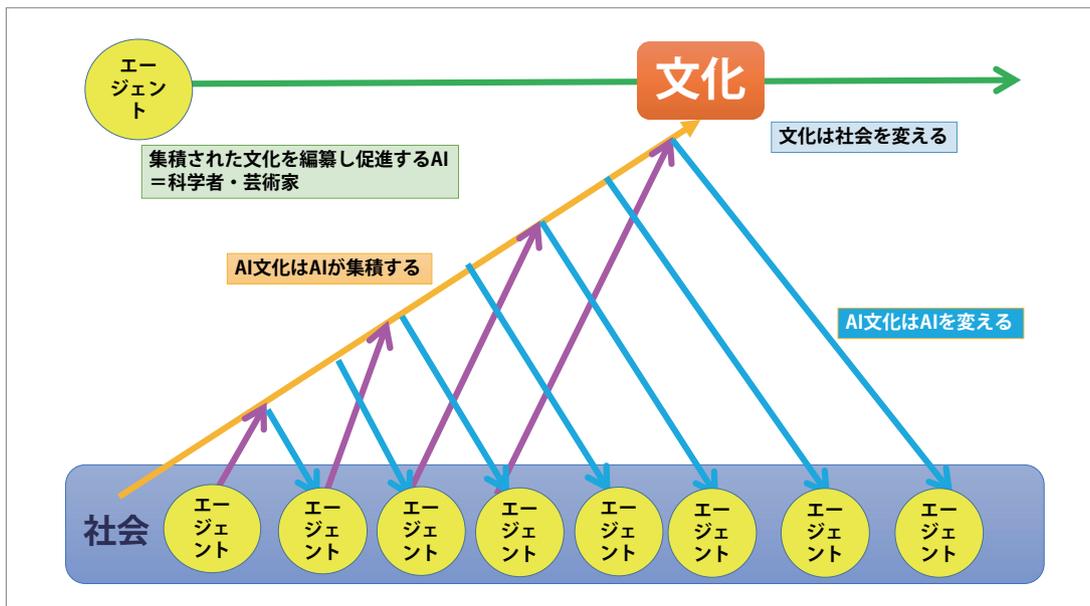
14.2 ニューラルネットと文化とメタバース

文化の蓄積にはデータの蓄積という面と、思考の蓄積があります。思考の蓄積というと人工知能には2つの形式があります。「シンボルとその操作」としての思考、もう1つが「ニューラルネットワーク」です。前者は知識をシンボルのつながりで表現して、それを操作することで思考するスタイルです。たとえば、人間も文章を読んで物事を整理する、図書館の本を記号で

分類したりします。後者は脳の神経回路を模したニューロンからなるネットワークをシミュレーションするものです。ディープニューラルネットワークもこの一種です。これはニューラルネットワークの形で知識が内包されていますので、人間が見ても何も分かりません。しかし、これを使ってキャラクタを動かしたり、思考させたりすると、良い動きをしたり、高度な動きをします。「知識とシンボルの集積」も文化の一部ですが、「ニューラルネットワークを蓄積する」ことも文化の一部となります。接続主義型人工知能は、自分の貯めた叡智、つまりニューラルネットワークを誰もがダウンロードできる場所にアップロードし、それを後世に伝えることができます(図-18)。そのアップロードする場所こそが文化の蓄積です。それはメタバースにおいて世代を超えて知識と芸術を伝えていくこととなります。メタバースは世代を超えた文化の集積場となっていきます。

15. メタバースの価値指標

かつて道路が街をつなぎました。地域の閉塞性はある程度緩和され、接続される都市の中でも大きな都市が上位に位置付けられました。ほんの少し前のこ



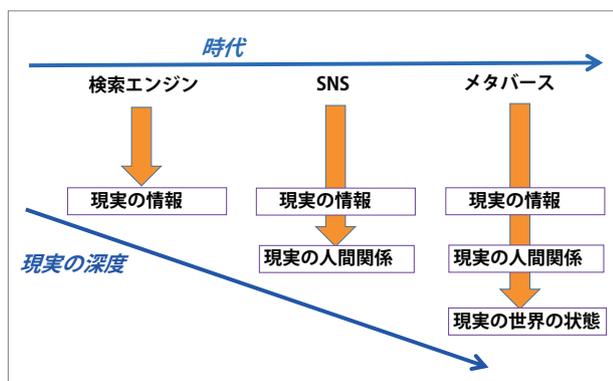
■ 図-18 エージェントにおける文化

と、20年前では、今、時代の先端で何が起きているか、を知るには、都市の中に身を置いたのではなかったでしょうか？ 東京へ行ったり、ニューヨークへ行ったり、香港へ行ったり、シンガポールへ行ったり、ドバイへ行ったり、肌で都市を感じて、時代を息で吸収していたのではなかったでしょうか？ しかし、インターネットが台頭し、SNSがブームとなり、検索とタイムラインによって現実を知るようになりました。しかし、この2つが切り取る現実、現実の一側面しかありません。そして、コロナ禍で、よりこの2つに依存する度合いが重くなったときに、デジタルから現実を掘り取る新しいメディアが望まれました。それがメタバースです(図-19)。

15.1 現実との接続の強さ

現実と結びつきのないメタバースもメタバースと言いますが、そのメタバースの価値に1つは、メタバースとどれくらい結びついているかによります。つまり、現実世界がどれくらい反映しているかによって、人々の注目度が上がっていきます。たとえば、どの企業がどのメタバースの土地をいくらいくらで買った、という記事が散見されるようになっていきます。そのような記事がどれくらい出るかによって、そのメタバースの価値が上がっていきます。

これは検索エンジン、SNSとの比較をすると分かりやすいかと思えます。つまり、検索エンジン、SNS、メタバースが現実のどのレイヤをつかんでいるか、と



■ 図-19 検索エンジン、SNS、メタバースにおける現実とのかわり方

ということです。検索エンジンは現実中存在する情報へアクセスする手段を与えます。次に、SNSは、現実の情報のみならず、現実の人間関係と深く関係するようになりました。そしてメタバースは現実の世界の状態そのものと深く関係します。

たとえば、1つの都市を思い描いてみましょう。その都市に関する情報を検索エンジンから知ることができます。しかし、それは地下鉄がどう開通したかとか、どのような大会が行われたとか、公共の情報にすぎません。その都市に住む人々の情報、よりローカルな市民生活を知ろうと思うならば、SNSを見るのが一番でしょう。さらに、その都市そのものの一部であるメタバースを見れば、その都市で今、起きていることについて深く知ることができます。その都市の市民が実際にコミュニティとして活動している様子を直接見ることができるからです。このように検索エンジン、SNS、メタバースにはそれぞれの価値がありますが、それでも現実世界とどれだけ結びついているか、という観点から見ると、検索エンジン、SNS、メタバースの順番に現実へのかかわりの深度を深めているのです。

15.2 メタバースの価値指標

検索エンジンは複数ありますが、メジャーな数個に収斂してきた歴史があります。SNSも同様です。メタバースも乱立しますが、ユーザは有限ですので、メジャーなものに収斂していくでしょう。検索エンジンの価値は何でしょうか？ 最初は必要な情報が見つかりやすいことでした。次に、画像や映像検索などができるように多様な情報を扱えることでした。それでは、メタバースの価値は何でしょうか？ それは、4つあります。

- (1) メタバースに現実の情報をいかに集約しているか
- (2) メタバースでいかに新しいこと（時代の先端）が起きているか
- (3) メタバースでいかに現実のコミュニティが反映されているか

(4) メタバースは現実の場所とどのように同期しているか

(1) はユーザがメタバースへ行くことで新しい情報を獲得できる、ということです。これは検索でも SNS でも同様です。

(2) はツイッターの議論のように、今、そこで行われていること、によって人を惹き付ける、メタバースでしか体験できないことを与える、ということです。これは SNS が検索エンジンに対して新しいコミュニケーション体験を与えたことと同様に、メタバースが SNS と異なる新しい体験を与えることが必要とされます。

(3) は現実のコミュニティ(会社など)、あるいはメタバース内のコミュニティをいかに内包するか、ということです。コミュニティを結びつけていたのが現実の物理的な場所であった時代、そして電話による連絡、掲示板、そして、SNS へと変化していく先に、次のコミュニティを結び付ける場としてメタバースがあります。メタバースは 24 時間いつでも集まれる場所を提供します。また、そこに情報を蓄積する機能を足せば、それはオフィスを提供するのと同じでもあります。逆にそのメタバース内の場所において 10 時から 17 時までいつでも応答せねばならない、とすれば、それは大きな束縛になります。

(4) は現実の場所の状況とのリンクです。たとえば、渋谷のスクランブル交差点と同期する場所、そのままではないにしても、人の数を見れば渋谷の様子が分かる、あるいは、道路交通量が同期した街、奈良にいる鹿の分布が動的に同期された山など、自然の様子を同期することもできます。こういった何気ない場所の状況をメタバース内に持ち込むことは、メタバースと現実の新しい通気口を開けることになり、現実の情報をリアルタイムに常時提示する価値をメタバースに与えることになります。これは、SNS でも検索エンジンでもできなかったことです。

似ているものとしては、定点カメラの映像ストリームです。私も外出できない時期は、渋谷のスクランブ

ル交差点に設定されたカメラや、アラスカの雪山の中に設定された定点カメラ映像を眺め続けていたこともありました。

このように情報を統合する検索エンジン、人々を結びつける SNS、そしてともに活動するメタバースへと、現実統合装置の発展は、現実から仮想空間へリンクしつつ、逆に「仮想空間から現実空間を監視する目」となっています。SNS がすでにそうであったように、仮想空間は単なる仮想空間ではなく、それを通して現実の情報を吸い上げるものなのです。

16. メタバースとスマートシティ

都市の発展は物理的領域を超えつつあります。デジタルツインとは、実在する都市とそっくりの、あるいは類似したメタバースのことです。自然から都市へ、都市からメタバースへ、人がより安全な場所を求めてきた果てにメタバースがあります。そして、その安定したメタバースから不安定な世界を制御したいと思うのが、人間の性です。

都市のデジタルツインとしてのメタバースとは、新宿であれば新宿メタバース、渋谷であれば渋谷メタバース、あるいは、100 年前のニューヨーク、などです。そういった都市のデジタルツインをある程度の大きさ、数～数十キロメートル四方でデジタル世界の中に、ある程度の精細で実現できるようになったのは 2010 年前後です。そのころ、デジタルゲームの中でも秋葉原をある程度再現したり、15 世紀のイタリア、1860 年代のロンドン、1940 年代のパリ、現代のロサンゼルス、シカゴ、ニューヨーク、サンフランシスコなどがゲーム内に再現されたりしました。そうすることでゲーム世界にリアリティを与えようとしたのです。

日本ではこの傾向は控え目であった、と言えます。なぜなら大勢として、海外のゲームの体制があらゆる面で現実にも肉迫しようとするのに対して、日本のゲームは現実からなるべく遠くにユーザを運ぶことを目指す傾向にあるからです。もちろんこれは大きな俯瞰図

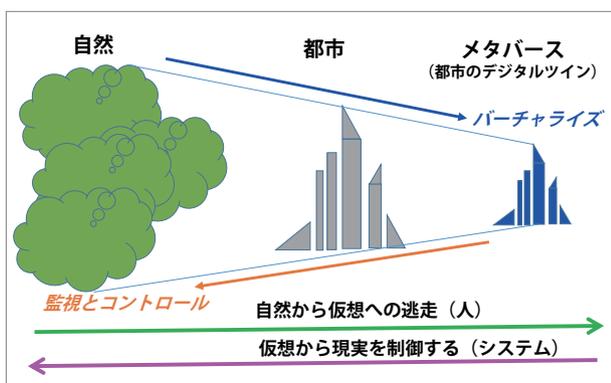
としてであって、日本でも東京をリアルに舞台にしたゲームはたくさんあります。

16.1 デジタルツインとしてのメタバース

さて、このように都市のデジタルツインは現実の都市を内包するのみならず、これが現実の都市とリンクします。都市のデジタルツインであり、都市の延長としてのメタバースなのです(図-20)。先にも述べたように、かつて時代の空気をつかむには、現実の都市を遊歩する必要がありました。しかし、情報化社会とこのコロナ禍で、人はインターネットにより依存することになりました。より情報を高速で得るにはインターネットが最適なのです。

久しぶりに原宿に行ったり、久しぶりに渋谷に行ったりして、その変化に驚くことがあります。しかし、それは毎日、その場所に出勤していれば、それほど驚くこともないでしょう。しかし、これらの情報はインターネットからはなかなか体感しづらいのです。渋谷駅の改装はやはり実際にあそこを歩いてみないことには分からないのです。

しかし、渋谷駅のメタバースが工事と同期して構築されるとしたらどうでしょうか？ 都市の変化という、かつてネットでは得られなかった情報もメタバースであればリアルタイムに獲得することができます。あるいは災害時にも、その場所にいる人が実際にどのような状態か、マッピングできる場所がありません。場所に紐づいた情報を蓄積したり、更新したりできる場所



■図-20 都市とメタバースの関係

がないからです。現実と類似するメタバースがあれば、それが可能です。

16.2 現実とデジタルの二重性を持つ都市

現実とデジタルの二重性を持つ都市の出現、それが現実と深く結びついたメタバースの見せる世界です。都市をさまよったことのある方なら、都市というのは実に捉えがたいものだということが分かるでしょう。都市が見せる顔は時間や場所によってまったく異なります。一体、新宿という都市を理解する、とはどういうことなのか。インターネットで新宿を検索しながら、あちこちに赴いては、都市の全貌を知ろうとします。しかし、メタバースがあればどうでしょうか？ 新宿の公式メタバースがあれば、新宿の位置に紐づいた情報や、可視化された今の姿を知ることができます。そして、メタバースで起こっていることが現実とリンクする、ということもあり得ます。メタバースで開催された新宿のイラストコンテストの結果が、都庁の壁面にプロジェクション・マッピングされる、などです。都市とバーチャル都市の垂直構造は、垂直的發展でもあります。リアルな都市とバーチャルな都市が交錯するとき、我々は新しい都市の姿を目撃するはずで

そして、都市という言葉は変化していくでしょう。現在は物理的空間を指す都市という言葉は、物理的空間と、それと対をなす都市のデジタルツイン・メタバースを含めて指す言葉になるでしょう。というのも、都市の活動というのは、都市の物理的運動だけでなく、メタバース上を通じて行われる活動とともにあるものであるからです。極端な話をすれば、現在のコロナ禍の状況や、激しい嵐の日のように、現実の都市で人の行き来が制限されても、メタバース都市の中では、より活発に人々の活動が行われる、ということもあるのです。情報が制限される中でインターネットが開かれた世界への窓となることがあったように、発言の自由が奪われる社内の中でSNSが自由な議論の場として機能したように、メタバースは現実の世界から人間が締め出されても、な

お活動できる場を提供するのです。

17. メタバースとメタ AI と世界モデル

メタ AI (Meta-AI) はデジタルゲームにおいて研究されてきた人工知能です。メタ AI は個々のキャラクターやエージェントに宿る人工知能をキャラクター AI (Character AI), またゲーム内の地形・環境・状況を解析し特徴を伝える人工知能をスパーシャル (Spatial AI) と言います。デジタルゲームはこの3つの人工知能の

連携によって成り立っています (図-21)。

各ステージの地形的特徴をスパーシャル AI が抽出した上で、その情報を用いながらキャラクターはキャラクター AI によってステージ上で自律した活動を行います。メタ AI はキャラクターだけではなく、ステージ上のあらゆる要素をコントロールすることで、プレイヤーにとって最もエキサイティングな状況を生み出します。この全体の仕組みを MCS-AI 動的連携モデル (Meta-Character-Spatial AI Dynamic Cooperative Model, 以下 MCS-AI モデル) と呼びます^{☆15}。

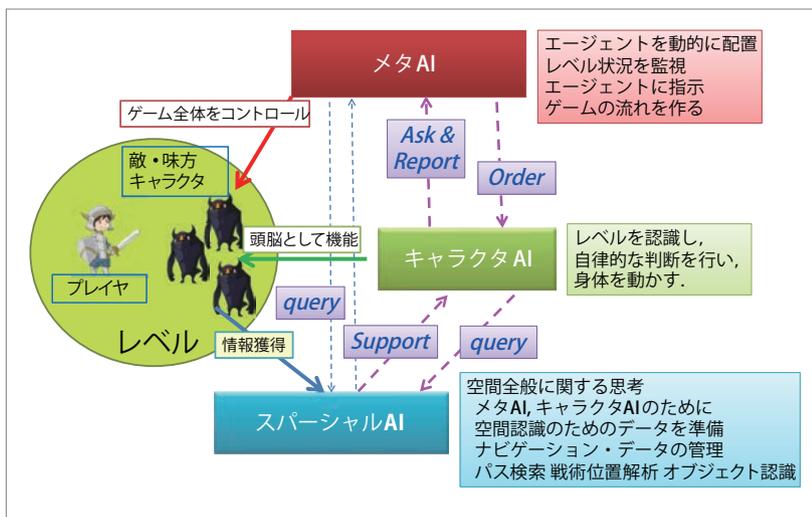


図-21 MCS-AI 動的連携モデル

MCS-AI モデルはゲームの中だけでなく現実でも同様に有効です (図-22)。都市を統べるメタ AI があり、末端にはドローンやロボットの持つキャラクター AI があります。その間を階層的な意思決定システムが取り持ちます。スパーシャル AI は自律的かつリアルタイムに都市の状態を解析し、その情報をメタ AI,

☆15 三宅陽一郎：デジタルゲームにおけるメタ AI-キャラクター AI-スパーシャル AI 動的連携モデル, 人工知能学会全国大会論文集, 第 34 回全国大会 (2020)。

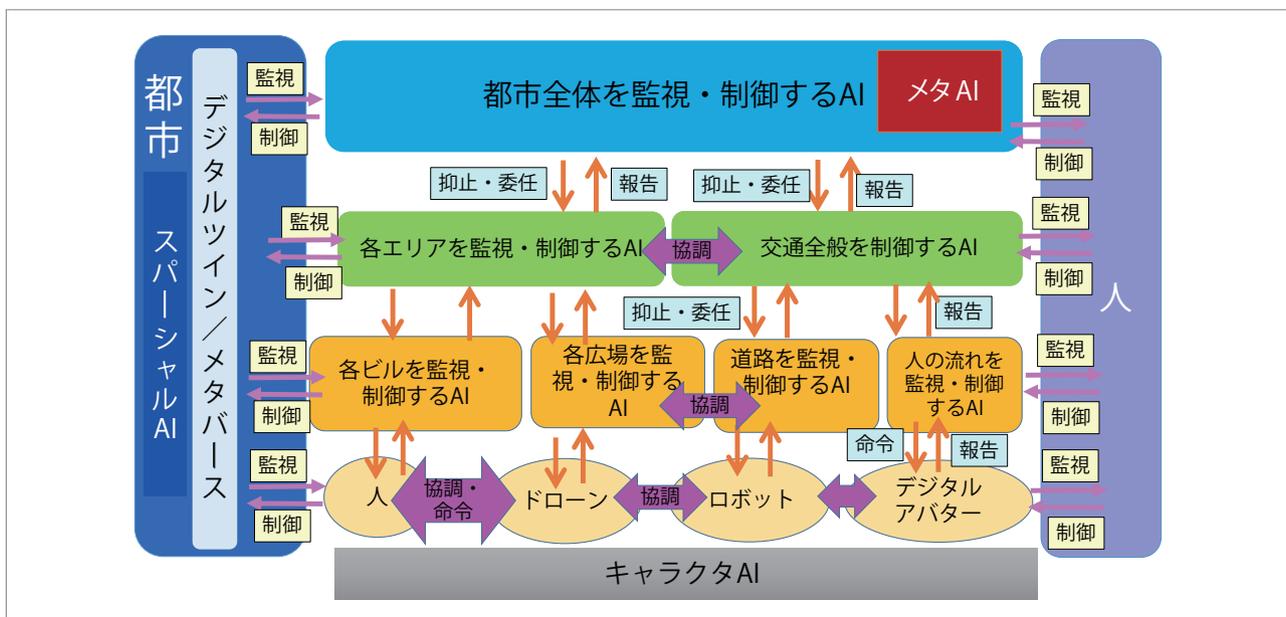


図-22 スマートシティにおける MCS-AI 動的連携モデル

特集 Special Feature

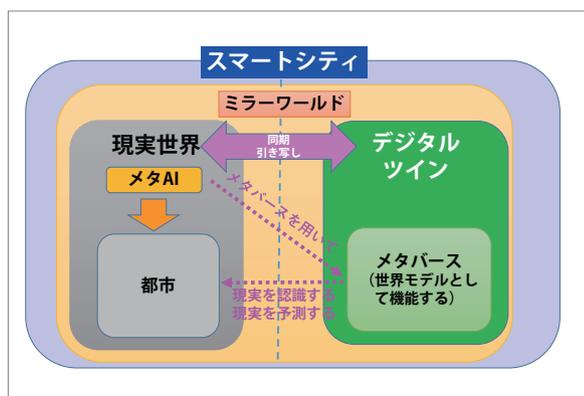
キャラクタ AI に提供します^{☆16}。

ここで問題になるのは、巨大な都市をどのようにメタ AI が認識するか、という問題です。メタ AI が都市をよく運用するには、都市の状態を把握するだけでなく、都市の未来を予測する力が必要です。つまり、メタ AI は都市を自由に思い描くことができる「世界モデル」(World Model) を必要とします。この「世界モデル」は都市のデジタルツインとしての「メタバース」という形式をとります(図-23)。つまり、都市の形状グラフィクスがあり、そこで生活・活動するアバターがいる。メタ AI はそのメタバースを使って、実際の都市の未来を予測します。メタバースはスマートシティにおけるメタ AI にとって、意思決定を行うために必要なシミュレーション空間となります。

18. メタバースと NFT

NFT (Non-Fungible Token, 非代替性トークン) は、その名の通り、ブロックチェーン上でユニークネス(唯一性)と、同じことですが、非代替性を保証する仕組みです。そのトークンの保持者は登録されたユーザーに限られます。この仕組みを用いて、NFT をデジタルコンテンツと結びつけて販売する、という手法があります(図-24)。これによってデジタルコンテンツの権

^{☆16} 三宅陽一郎：“あつ森”“フォートナイト”にも広がる『メタバース』の世界, JOSYORI (IPJS 情報処理カタログ) (2022/3) [オンライン]. Available : <https://ipsj-catalog.jp/story/metaverse.html> [アクセス日: 2022/3/6].



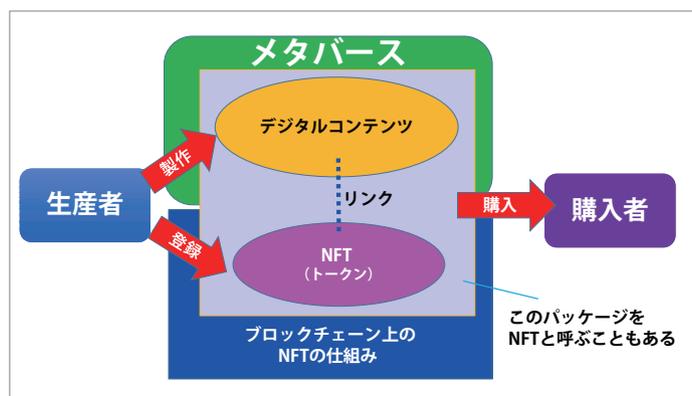
■ 図-23 メタ AI とメタバース

利を持つ、ことを販売します。この「権利」は多くの場合「著作権はなく、所有権」と解釈される場合が多いですが、一体何の権利なのか、ということは原理上の問題ではなく、販売側が明確に規定する必要があります。また法的な整備も急がれます。

現状の NFT は「販売元ユーザーに対して公認する形でそのデジタルコンテンツを所持することを証明するもの」と解釈するのがよいかと思います。いくらコピーされようとも、販売元が公認するかたちで所持しているのは、NFT を持つ人だけなのです。「あなたが弊社の商品の正統な所有者であることを認めます」という印です。

18.1 NFT とメタバースのリンク

NFT 自体はメタバースとは独立したシステムです(図-24)。これは特定のブロックチェーン上で構築されます。一方、メタバース内のデジタルコンテンツはメタバース内で保持されるものです。NFT はそのコンテンツへのリンクを持ちます。リンク先を保証するのは生産者の場合もあれば、NFT マーケットの場合もあります。ではリンク先が消失したら？ コンテンツそのものがなくなったら NFT はどうなるのか。生産者がメタバース内から撤退してもアイテムはメタバース内に残ります。しかし、その価値は下がるかもしれません。では、そのメタバースがなくなったら、どうなるのか。NFT は手元に残りますが、購入したアイテムはメタバース内のコスチュームであれば、それはもう機能



■ 図-24 メタバース内の NFT との連動

特集

Special Feature

しなくなってしまう。メタバース内で定義されたコスチュームはメタバース内でのみ意味を持ちます。たとえローカルにデータがあってもそのメタバース特有のデータフォーマットですので、ただのデータになってしまいます。逆に言えば、メタバース内の NFT とは、そのメタバースと生産者への信頼の上に成り立っています。単なるインターネット上の NFT とメタバース内の NFT の違いには注意する必要があります。それは現実の購入でも同じことです。ただ現実では物は物として残りますが、デジタル世界ではそうとは限りません。

しかし、メタバースと NFT はその利便性ゆえに広まっていくでしょう。それは SNS サービスはいつか終わる可能性があるけれど、たくさんの人が何千、何万という書き込みを残しているのと似ています。書き込みをテキストの形で保存することはできますが、SNS が終わったあとのそのテキストにどのような価値があるかは繊細な問題です。あるメタバースへの信頼感があれば、その上で信頼ある生産者からの NFT は機能することになります。メタバースの外の NFT であれば、データそのものに価値があるかもしれません。NFT はトークンにすぎませんが、インターネットが続く限り、「世界初のツイート」や「有名なソフトの最初のプログラム 30 行」などは価値が存在するという側面はあります。

18.2 生産者の権利を保証する NFT

通常、NFT は「NFT 付きデジタルコンテンツ」の意味で使われています。厳密に言えば、NFT はトークンであり、保証書ですが、NFT をそのままのトークンの意味で用いることは少なく、上記のような「NFT 付きデジタルコンテンツ」の意味で使われます。ただ、このコンテンツとトークンを同一視してしまう点は注意する必要があります。NFT は非代替性が保証されていますが、リンク先のコンテンツの不変性については、生産者への信頼による以外ありません。たとえば、メタバース内でアバターの青色の帽子を買ったとします。メタバースでアップデートがあり、レンダリング（描画）の仕方が変わると、帽子の色味や雰囲気は少し

だけ変わってしまいます。これはコンテンツが変わった、と言えるか言えないのかは、微妙なラインです。

メタバースにとって「特定のデジタルコンテンツと特定のユーザを結びつける」NFT の仕組みは、デジタルコンテンツをやりとりする場合に重要な役割を果たします。デジタルコンテンツは基本的に複製可能であり、現実のように物理的な唯一性が成立しない世界です。現実で何かを手に入れるということは、当たり前ですが、物理的な唯一性が保証される、ことが前提となっています。現実世界では、購入した絵画がまったく同じようにいきなり生成できるわけではありません。版画の場合でも、刷る数とナンバリングが示されています。しかし、デジタル空間であれば、完全なコピーはいくらでもできてしまうのです。

所持している「コンテンツ」の唯一性が保証されない世界で、「コンテンツ」を特定のものにすると同時に所持の唯一性を保証するために NFT を利用する、というのが NFT 販売のコンセプトです。あるユーザが NFT を持つ、ことはほかの人からも確認することができます。NFT には所有者の情報、発行数、取引記録、デジタルコンテンツへのリンクなどを記録することができます。そしてこれを通常は改ざん・変更できません。変化するのは、このトークンの持ち主が、公的なブロックチェーンの仕組みを用いて取引するときだけです。いわば取引可能なデジタル保証書です。

メタバースにおいてさまざまなデジタルコンテンツ（アイテムなど）が生産されます。そのデジタルコンテンツを生産者や販売元が公式な認証を付けて販売したい、という必要があります。また購入者も公式な認証を得たデジタルコンテンツを購入したい、という要求があります。そこで NFT を付けたデジタルコンテンツ、を売り出すこととなります。デジタルコンテンツ自体はいくらでも複製可能です。しかし版画がそうであるように、数量を限定しナンバリングをすることでユニークさを持ちます。メタバースの中で企業がオリジナルのコスチュームを売り出すときに、数量を限定しているのは、この理由によります。究極的には 1/1 で

あれば一点もの、ということになります。

このように NFT には生産者と購入者をつなぐ、という面があります。もちろんビジネスで購入する、というだけの方もおられますが、生産者への信頼のもとに購入する、という面もあります。一点ものであればなおさら、生産者のファンであれば、その NFT は特別な絆と捉えることもできます。またパトロン的な意味も発生し、周囲に対する社会的な影響も発生します。大好きなロックバンドがあるメタバースの中で 4 本だけギターアイテムを販売するとなれば、ファンの人は購入したいと思うでしょう。

19. 実況空間としてのメタバース

メタバースには、これまで触れなかったもう 1 つの側面があります。それは実況空間としてのメタバースです。「実況」とはメタバースで起きていることを、YouTube など動画サイトを通してストリーミング実況（リアルタイム実況）することです。リアルタイムにこだわらない場合は録画などの形式もありますが、多くの場合、ストリーミング実況された録画が動画サイトに残っています。

19.1 実況文化

実況はすでにゲーム文化の 1 つになっています。歴史的には、ゲームファンが自分の好きなゲームや話題のゲーム、レトロゲームを画面で流しながら実況する、という形式のコンテンツを作って配信していたのが源流となります。声をつけるもの、字幕をつけたもの、合成音声でキャラクターに話させるもの、さまざまなタイプがあります。

動画サイトでかなりの視聴者数を得たこと、また YouTuber が出現したこと、またその宣伝効果が大きいことなどから、PlayStation 4 (Sony Interactive Entertainment, 2013 年～) 以降のゲームプラットフォームでは、すべてではありませんが、実況が公式にできるようなモードが用意されるようになりました。

また、そうすることによって、製作側も実況してよい部分と（ゲームアクション部分）、実況禁止部分（カットシーン、ムービーなど）を指定することができるように、次第に整備されていきました。特に、第 8 章で述べたコミュニティ・ベースのゲーム作りには、実況は欠かせない要素です。

19.2 メタバースにおける実況

メタバースもまた実況文化と密接な関係にあります。今、メタバースで何が起きているかを、メタバースの外から手軽に動画の形で見る方法を与えることは、メタバースへ注目を集めるのに最も強力な手段の 1 つです。現実世界でもニュース番組やレポート番組があるように、メタバース内で起こった事件をまとめる、新しくできたスポットをレポートする、ことがメタバースのリアリティを上げる意味でも重要な役割を持ちます。『Twitch』（Amazon, 2011 年）はゲーム専門のライブストリーミングサイトです。たとえば、第 1 部で紹介した『EVE Online』の専用のチャンネルもあります。

『Facebook Watch』（Facebook, 2017 年～）は Facebook 内の会員向けライブストリーミング・サービスですが、この人気番組に『Rival Peak』（Genvid Technologies, Pipeworks Studio, 2020 年）があります。これは山の中を舞台とするメタバースで、人工知能キャラクタ 12 体が生き残りをかけてサバイバルをするという番組です。ユーザはキャラクタを選んでいつでも様子を見ることができ、また、Genvid Technologies の技術で、ゲーム内のキャラクタにポイントなどを与えて支援することができます。視聴者参加型人工知能メタバース配信、ともいうべきコンテンツです。再生数は 2021 年 4 月の時点で 1,000 万を超え、また総視聴時間は 1 億分という人気を博しています^{☆17}。

☆17 小野憲史：『RIVAL PEAK』が示す次世代の視聴者参加型デジタルエンタテインメント, Yahoo! (2021/3/26) [オンライン]. Available: <https://news.yahoo.co.jp/byline/onokenji/20210326-00229353> [アクセス日: 2022/3/6].

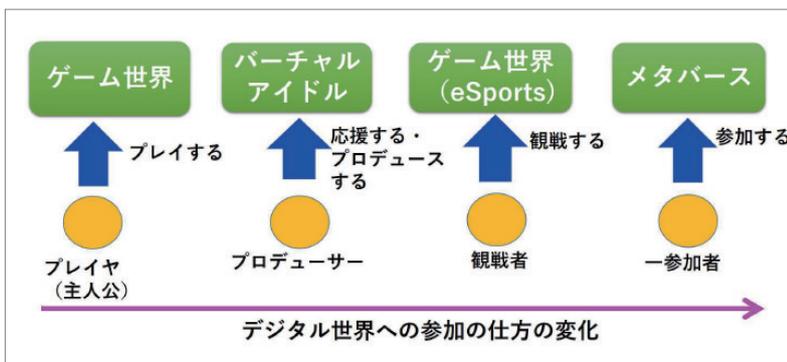
19.3 実況文化の起源

このユーザを観戦者の位置、応援者の位置に置くという文化は、前者はeSportsのムーブメントによって、後者は『アイドルマスター』（BANDAI NAMCO Entertainment, 2001年～）によって育かれた文化でもあります（図-25）^{☆18}。『アイドルマスター』はアイドルのために環境を整え、トレーニングを重ねてプロデュースするゲームです。ユーザはプロデューサーと呼ばれます。『初音ミク』（クリプトン・フューチャー・メディア, 2007年～）はゲームではありませんが、初音ミクを応援する、という立場からファンが形成された側面があります。このようなバーチャルアイドルのコンテンツは従来のプレイイング・ユーザから観戦者へとユーザの新しい立ち位置を開拓したと言えます。

このようなデジタルアイドルはメタバースでも重要な位置を占めます。コンサートがメタバース内で実況されることで、祝祭的な雰囲気の中でユーザの一体感を増す効果があります。

オンラインゲームは「見て楽しい」という側面があります。そして、実況で人気を博しようとする人たちは、そういったコンテンツを探して面白い番組に仕立てます。世界ではゲームファンの登録者が500万人を超えるテレビCM以上の影響力を持つ実況者もいます。すでにオンラインゲームもメタバースも、そこにたくさんの人が参加する限り、現実の一部になっています。そ

^{☆18} 平野垂矢：人気ゲーム「アイマス」 ユーザーに役割を合わせたのが成功の鍵, XTREND (2020/9/17) [オンライン]. Available: https://xtrend.nikkei.com/atcl/contents/watch/00013/01138/?i_cid=nbpxnr_top_cxense [アクセス日: 2022/3/6].



■ 図-25 デジタル世界の変遷

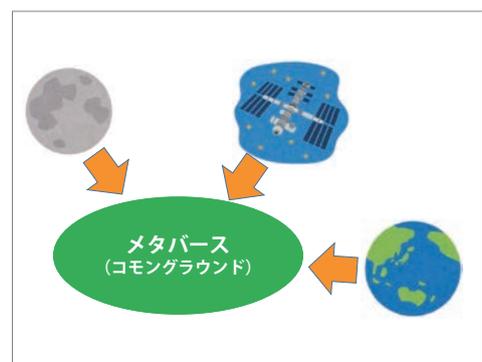
して、それはまた、それ以上にたくさんの人の注意を集めます。これからは、現実世界でも、デジタル世界でも、何が起きているかを日々ニュースやレポートで追う時代になります。

20. 宇宙時代とメタバース, そしてコモングラウンド

オンラインゲームを通じて、たとえ直接会えない場所においても、毎日のようにコミュニケーションをとる、ということは、よくある事態になっています。学校でとなりの席の人と話さない日はあっても、オンラインゲーム内の仲間とは毎日コミュニケーションをとる、という感覚はメジャーではないにしても少なくありません。この感覚はメタバースでは、より日常的なものになります。

宇宙時代に人々がいろいろな場所に行っても、メタバースは距離に関係なくとも過ごせる場所となります。そこでメタバースは宇宙時代により大きな価値を持つようになります。通信遅延の問題などがありますが、メタバースには国境はなく、人々が分かりあえるコモングラウンドとして、大きな役割を果たすことになるでしょう（図-26）。コモングラウンドは、西田豊明氏が唱える人々のコミュニケーションを支える共通基盤のことです^{☆19}。それは文化的なものであることもあれば、常識であることもあり、きわめてローカルな風習であることもあります。そして、多くの場合は、それは場所

^{☆19} 西田豊明：AIが会話できないのはなぜか：コモングラウンドがひらく未来, 晶文社 (2022/2/2).



■ 図-26 宇宙時代のメタバース

の依存したローカルな言語や文化なのです。だからこそ、人々が世界的に分かりあえるには、自分のローカルを超えて分かり合うことが必要となります。しかし将来はメタバースがコモングラウンドになる可能性があります。遠く離れた場所でも、同じメタバース内で生活していれば、その経験がコモングラウンドになる、ということがあります。たとえば、現在でも、遠く離れていても、国が違っていても、同じオンラインゲームをしていれば、現実で初めて出会った同士でも、現実だけで会い続けてきた同士以上に、いろいろなことを分かり合える、ということがあるからです。

宇宙時代には、人々はさまざまな場所で、惑星で、月で、火星で、宇宙ステーションで暮らすことになるでしょう。たとえば、宇宙ステーション、月、地球で異なる環境で暮らせば、同じ人類でも異なる思考を持つようになります。これは『機動戦士ガンダム』（創通・サンライズ、富野由悠季監督、1979年）で描かれていたことでもあります。そのローカリティが人々を分断する要因となる可能性があります。

しかし、そこに場所を気にせずにログインできるメタバースがあればどうでしょうか？ 遠くにいる人々、地球で、宇宙ステーションで、月にいる人で同じメタバース内で、活動する、大袈裟に言えば、生活することで、同じ体験を共有できます。それはお互いを理解する基盤となります。第1章でも述べましたが、空間があり、

そこに自らの身体を模したアバターがあり、そこに人間関係が生まれます。メタバースは人類をつなぐ大きなコモングラウンドなのです。

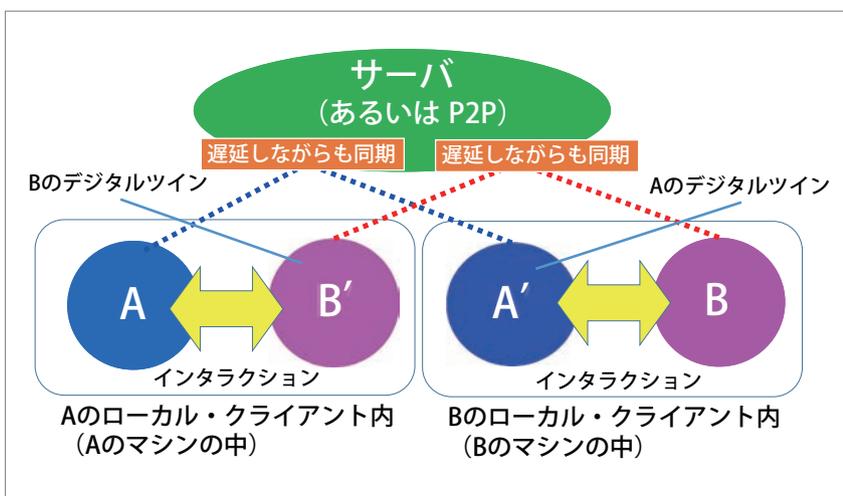
『OVERMAN キングゲイナー』（SUNRISE・BV・WOWOW、富野由悠季監督、2003年）では主人公はオンライン対戦ゲームの中で人との絆を作る場面があります。ガンダムの時代にはオンラインゲームを取り入れる描写はあまりにも早すぎたかもしれませんが、2003年にはそのような描写が可能であり、そこには現実を超えて場所を超えてメタバースでつながろうとする世代が描かれています。

20.1 離れた場所を同期させるデジタルツイン

そんな宇宙時代のメタバースですが、同時に通信遅延の問題が発生します。地球上でさえ、光速で通信できたとして、メタバース内の完全内同期（ゲーム状態のアップデートも基準である1/60秒内の同期）は難しいのです。オンラインゲームの開発では、ときどき「光速は遅い」という言い方をします。一秒間に光は30万キロメートル進みますが、1/60秒で行って帰ることができる円の半径は2,500キロメートルです。これはちょうど日本列島の長さと同じです。つまり、光の速さをもってしても、地球上の人々でさえメタバース内で完全に同期するのは難しいのです。月と地球、火星と月、宇宙ステーションと小惑星帯ならなおさらです。

そこで非同期を前提としたメタバース・デザインを考える必要があります。こういったデジタル空間における非同期のインタラクションは、ゲーム産業の中で、2000年からこの20年間常に考えられてきた問題です。

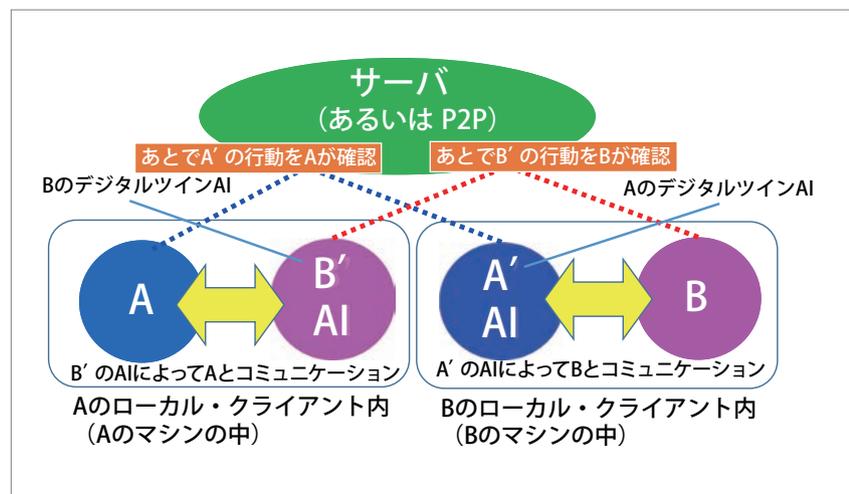
1つの解決策はデジタルツインを用いる方法です（図-27）。デジタルツインと言っても、隠れたデジタルツインです。たとえばAという人が



■ 図-27 デジタルツインを用いた非同期システム

Bという人と話したいとします。AとBが同期のとれない場所にいる場合、Aのローカル・クライアント・ソフト（Aの手元にあるマシンで見えているメタバース）にはBの人の分身B'を準備します。逆に、Bのローカル・クライアント・ソフト（Bの手元にあるマシンで見えているメタバース）にはAの人の分身A'を準備します。AとA'、BとB'が同期できないことが非同期の問題です。そこでA'とB'がある程度、自動的に動くようにしておきます。たとえば、AがB'をポンと押したとします。この時Bの運動状態を確認してから物理シミュレーションでB'を動かす、というのが通常の同期を前提とした方法です。しかし、それが不可能な場合には、B'はAのローカル・クライアント・マシン上の物理シミュレーションで動かしてしまいます。それで見かけ上は滑らかなインタラクションが保証されます。それでは本当のBと分身B'の位置や体勢がずれるのでは、と思われそうですが、その通りです。しかし、それはわずかなずれです。サーバがずれを検知できたら、B'を本当のBの位置にあわせるようにゆっくりと運動させます。BにとってのA'も同様です。ずれてはユーザにばれないように戻す、という処理の繰り返しがオンラインゲームで行われる裏側です^{☆20}。

☆20 Lefebvre, C.: Networking Gameplay and AI in Assassin's Creed Unity, GDC2015 (2015) [オンライン]. <https://www.gdcvault.com/play/1022168/Networking-Gameplay-and-AI-in> [アクセス日: 2022/3/6].



■図-28 デジタルツイン AI による非同期システム

20.2 同期のためのデジタルツイン AI の活用

物理的挙動の同期は上記で説明しましたが、しかし会話コミュニケーションなどの問題、あるいは最も長時間（数分、数時間など）の遅延はこの方法では解決しません。そこで、デジタルツイン AI を用いた同期の方法があります。

Aの分身であるA'というAIを用意します。Bの分身であるB'にもAIを搭載します。Aはあらかじめ自分の分身に、どのようなリアクションやコミュニケーションをとるかを設定しておきます。この設定は多くの場合、ルールベースで設定しますが、将来的には機械学習の手法で自分そっくりのアバターを自動生成することになります。現在でも、いくつかのゲームではゲームをプレイしていると自動的に自分のプレイそっくりに行うAIが自動生成され、ほかのユーザに配布することができます^{☆21}^{☆22}。たとえば、レーシングゲームでは自分のドライビングテクニックを模倣したAIが自動生成されます。

メタバースに入れられない場合には、自分の分身AIを動かしておくことで、弱いつながりをはほかのユーザと保つことができます（図-28）。ほかのユーザから見ても、それは分身AIですので、直接というより言葉を伝えておいてもらうように話しかけます。たとえば分身AIに対して、ログアウトから戻ってきたときに言づけたいことを言づけ、預けておきたいものを預けることができます。分身AIの本体であるユーザ本人が戻ってきた

時点で、自分が留守の間の行動や受け取った言葉やアイテムを分身AIのログから確認することができます。また、メタバース内で新しくできた

☆21 Candela, J., Herbrich, R. and Graepel, T.: Machine Learning in Games: The Magic of Research in Microsoft Products [オンライン]. <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2011/02/jqcandela2011.pdf> [アクセス日: 2022/3/6].

☆22 Yokoyama, K.: 『サムライスピリッツ』の「道場モード」はいかにして作られたのか。「ニューラルネットワークを用いたAIの格闘ゲームへの組み込み」レポート, Automaton (2019) [オンライン]. <https://automaton-media.com/devlog/report/20190511-91689/> [アクセス日: 2022/3/6].

場所に分身 AI を連れていってあげれば、その体験は本人が戻ってきたときに、追体験してもらうことができます。

非同期はもちろん不便なこともありますが、実は非同期を積極的に活用することで、メタバースをより豊かな世界にすることができます。

21. そしてメタバースは現実の一部となる

第1部ではメタバースが成立するための要素とその関係について解説しました。第2部では、メタバースがこれから発展していく方向について網羅的に述べました。

メタバースは、現実世界に対する仮想世界として出現したような印象を持たれています。しかし、時間が経てば、メタバースのさまざまな場所が、さまざまな現実と結びつくにつれて、やがて現実の一部になっていきます。これは検索エンジン、SNS がたどった発展の途と同じです。検索エンジンはインターネットを今でも牽引する技術で、出現当時は現実とは別のもう1つのインターネット空間のナビゲーションでしたが、やがて、インターネット自体が現実の一部になるにつれて、日常的なものになっていきました。SNS も誕生当時は、現実とは異なる人間関係を樹立する場所でしたが、すでに現実の装置の一部となっています。同様にメタバースは現実へ接近すればするほど、現実の一部になっていきます。

ただこれまでとの相違点としては、メタバースの特徴が現実社会の活動がメタバース上でも再現されていることにあります。それは経済活動、文化活動、行政活動、会議、労働、コミュニティ活動、個人活動なんでもよいのです。メタバースはもう1つの現実をデジタル世界で実現したものです。

災害や疫病によって現実世界の脆さを幾度も経験した人類は、現実世界の代わりにいつでもその活動を代替できるメタバースを準備しておくことにしました。ロバストな代替世界の必要性を無意識に感じており、

それがメタバースを推進しているとも言えます。

当分の間、人類は現実世界とメタバースを平行して動かすことになるでしょう。人類は長い間、新しい土地を求めて旅をしたり争い合ったりしてきました。メタバースは新しい土地を、ある意味無尽蔵に与えるものです。求めるものは必ずしも現実の土地である必要はありません。メタバースにおける土地によって、人々のアクティビティが上がって経済活動が活発になるならば、それが現実の土地に匹敵する価値を持つようになります。オンラインゲームは世界中の人々が同じ空間で国境を超えて一緒に旅し協力するという新しい体験を切り拓いてきました。メタバースはさらに現実の空間を超えた新しい空間を提供することで、人々の時間と空間に対する意識を変革していくことでしょ

参考文献

- 1) 早川裕彦, 神山洋一, 松園敏志, 徐萌芸, 田中培仁, 本山拓人, 鈴木規之, 南澤孝太: 触覚伝送を伴うバスケットボールのライプフィリングの実践, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2018).
- 2) 田中辰雄, 山口真一: ソーシャルゲームのビジネスモデル, 勁草書房 (2015).
- 3) Castronova, E.: Synthetic Worlds: The Business and Culture of Online Games, University of Chicago Press (2006).
- 4) Lehdonvirta, V. and Castronova, E.: Virtual Economies: Design and Analysis, MIT Press (2014).
- 5) Bilir, T. E.: Real Economics in Virtual Worlds: A Massively Multiplayer Online Game Case Study: Runescape (2009).
- 6) Bloomfield, R. J.: Worlds for Study: Invitation - Virtual Worlds for Studying Real-World Business (2007).
(2022年3月17日受付)

謝辞 本稿は奥出直人先生(慶應義塾大学名誉教授・東京大学先端科学技術研究センター身体情報学分野客員研究員, JST ERATO 稲見自在化身プロジェクト)との議論・ご指摘にインスパイアされた部分が大きくあります。特に自然とメタバースの関係については先生からのご教示によってはじめて気づかされました。感謝に代えてここに記載させていただきます。

■三宅陽一郎 (正会員)

youichiro_miyake@rikkyo.ac.jp / y.m.4160@gmail.com

ゲーム AI 開発者。博士(工学, 東京大学)。立教大学大学院人工知能科学研究科特任教授, 東京大学先端科学技術研究センター客員研究員(稲見研究室), 九州大学客員教授。本会ゲーム情報学研究会運営委員, 人工知能学会理事・シニア編集委員, 日本デジタルゲーム学会理事, 国際ゲーム開発者協会日本ゲーム AI 専門部会代表。著書に『戦略ゲーム AI 解体新書』(翔泳社)『人工知能が「生命」になるとき』(PLANETS)『ゲーム AI 技術入門』『人工知能の作り方』(技術評論社)『人工知能のための哲学塾』(BNN) シリーズなど多数。

[メタバースがやってきた]

3 メタバースの法律問題



須川賢洋 新潟大学

実は新しいようで古い法律問題

メタバース空間における法律問題については、そのメタバースの元祖とも言えるセカンドライフ（リンデンラボが運営する VR サービス）^{☆1}の登場時からすでに多くが洗い出されている。結論から言えば、インターネット当初から積み重ねられてきたサイバー空間の法律論を適用すればほぼすべての問題に対処できる。メタバースだからと言って特別なことはむしろ少ない。しかしながら、VRに代表される描画技術や、音・画像・動画などの融合、つまり、いにしへの言葉でいうマルチメディア技術の進歩、さらには五感へ響く度合いの向上など表現技術には大きな進化があり、リアリティがより増した分だけ、ひとたび問題やトラブルが起きれば、その被害や対策方法もより深刻なものになってしまうと言えるであろう。さらに、まだ確固たるネット上の法律が存在しない領域や実運用が難しい領域がまったくないわけではなく、そのような領域においては問題は特に顕著になると考えられる。

デジタル上の搾取や盗用に どう対応すべきか

では、確固たるネット上の法律が存在しない領

域とはどのようなものが考えられるのであろうか。オンラインゲーム、特に RPG 系のゲームなどでは、ときどき、非公式のアイテムやツールなどを使ってゲームの進展を有利に進める行為が問題になる。いわゆるチート行為やチートツールと呼ばれるものである。また、そのようなアイテムや場合によってはアカウントそのものをお金によってやりとりするリアルマネートレードが問題になることもある。アイテムやツールと言ってもその実体がプログラムであることは言うまでもない。これらがより高度に、いやむしろ悪質に発展した行為はメタバースでも当然に行われるであろう。もちろんこういった行為は通常は規約で禁止されている。しかしながら、現状では、このチート行為やリアルマネートレードを正面から直接禁止する法律はない。

といっても決して無罪というわけではなく、たとえばチート行為代行者への検挙・有罪事例も存在する^{☆2}。通常は、刑法の私電磁的記録不正作出／供用罪やその他の電磁的記録に関する罪状を適用したり、不正競争防止法の技術的制限手段の回避の禁止規定を利用するなど、その都度適用可能な条文を駆使して取り締まったりしている。著作権法の著作人格権（同一性保持権）侵害が成立する場合もあり、オフライン時代のゲームの不正改造では、よくこの条項が用いられた。

☆1 <https://secondlife.com/>

☆2 奈良地判 平成 29 年（2017 年）1 月 17 日。

しかしながら、「チート行為罪」といったような、それそのものを正面から取り締まる規定がないのが現状である。もしメタバースのサービス提供者側がこのような刑罰規定を望むのであれば、具体的な被害や手口、そして何よりも守るべき保護法益、つまりはそれを行われると人々のどのような権益が犯されるのかを明らかにする必要があるであろう。

名誉毀損などは厳罰化の方向に

また、リアルティが増した分だけ被害の深刻化が予想されるのが、名誉毀損や誹謗中傷問題である。これはメタバースのみならずサイバー空間全般に言える問題である。しかしながら、いわゆるテラスハウス事件などを契機に、ネット上での誹謗中傷などに対しては規制や取り締まりが強化される方向にある。具体的には、昨年2021年4月に「特定電気通信役務提供者の損害賠償責任の制限及び発信者情報の開示に関する法律」、通称「プロバイダ責任制限法」が改正され発信者情報の開示手順などが見直された。近日中（2022年10月まで）には施行させる予定である。また、刑法の侮辱罪についても厳罰化されることになっており令和4年（2022年）通常国会にて審議中である。こちらは罰金刑のみだったものが懲役刑も可能なものになる。

しかしメタバース空間は国際的な空間になるわけであり、ここには従来のインターネット問題と同様に国境をまたぐ法律の壁問題が生じることになる。もちろん、法執行機関同士の公式な共同捜査や情報共有のための手順を整備することが望ましいが、こちらはとかく時間がかかるので、サービス提供者同士、つまりは民間レベルでの情報共有や被害防止のための仕組みの整備を優先的に進めるべきだと言えよう。

さらに補足しておく、メタバース上で広告や商品宣伝ビジネスが盛んになると、広告主やそのCMを仲介する代理店（代理者）、さらには広告を掲示

する場を提供する媒介者などへ責任の話もまた活性化するだろうと言える。

知的財産では既存法適用が可能

一方で、メタバースにおける知的財産の問題はその多くの場合において現行法がそのまま適用可能である。インターネット上での無許諾な著作物の配信は当然に公衆送信権の侵害になる。著作権のみならず、特許権や商標権といったいわゆる産業財産権もネット上でも当然に適用される。知的財産制度はほかの法制度に比べて国際的な協調性が高く国ごとの差異も少ない領域である。そのためインターナショナルなメタバース上において知的財産侵害を行った場合でも、いずれかの国の法律に引っかかると言える。

メタバース上では著作権や商標権などよりも、パブリシティ権の問題のほうが多く発生するであろう。パブリシティ権の学說的根拠は省略するが、芸能人やスポーツ選手など顧客吸引力を有する人たちにはパブリシティ権があり、その肖像や名前を使う際にはそれなりの対価を支払う必要があるというのが通説かつ通例になっている。スポーツ選手のカレンダーなどを勝手に販売できない権利と言えば分かりやすいだろう。メタバースにおいてこれら著名人のアバターを勝手に使うなどした場合には当然にこのパブリシティ権の問題が生じる。

また以下は私見というか個人的な予測なのであるが、2004年の最高裁判決^{☆3}で否定された“物（もの）”のパブリシティ権問題が再燃すると予想される。上述のように著名人にはパブリシティ権がある。では、これが物の名前などに関してはどうなるのかということに関して、ゲームにおける著名競走馬名の使用について過去に争いがあった。結果は、物のパブリシティ権は否定されたわけであるが、実務や業界慣習ではこれらの使用に関して協力金などの名

☆3 最判平成16年（2004年）2月13日 ギャロップレーサー事件。

特集 Special Feature

目でお金を支払う場合も多い。古寺が所有する著作権の切れた絵画や美術品の写真を使用する場合などもそうであろう。たとえばメタバース上で「中世デジタル〇〇美術館」や「デジタル〇〇寺」の拝観などといった場合にこの問題が出てくるのはなかろうか。

NFTの可能性

前章で述べたとおりメタバース空間でのデジタルコンテンツの所有や保持に関して、果たして権利として成立するかどうかについてはさまざまな議論がある。これも実はセカンドライフのころから言われていたことなのであるが、当時と異なる技術として「NFT:Non-Fungible Token」の登場があげられる。果たして「所有権」と呼んでよいかどうかは別として、このNFTはデジタル空間におけるコンテンツ所有権の管理、いや少なくとも所有権の主張には有効な手立てだと言える。今までこの問題が原因で、メタバースの普及が進まなかったのだとすれば、NFTは逆にブレイクスルー・テクノロジーになり得る。

NFTは、著作物などのデジタルコンテンツ管理のみならず、メタバース上の土地、つまり仮想不動産(?)管理などにも有効に機能するはずである。これは単なる楽観的な未来予測であるが、たとえばきちんとNFTを付することによって初めて所有権を認めたり対抗要件とするといったような規定が、

遠い将来に民法などに記載されるかもしれない。

サイバー地政学の必要性

最後に、世界情勢が非常にきな臭いものになった今、メタバース上においても近隣の友好国(友好者?) / 非友好国(非友好者?) の関係といった地政学や安全保障の問題も反映されてしまう危険があることを警告しておきたい。元々サイバー空間はフィルターバブルやエコーチェンバーが起こりやすい世界であり、メタバース上ではそれらはさらに顕著なバイアスがかかりやすい。つまりディス・インフォメーションやフェイク・ニュースを流布するに非常に都合のよい場であり、オールドメイン攻撃^{☆4}のフィールドの1つとして使われる可能性も十分にある。

もちろん、これが杞憂に終わることが最良であることは言うまでもない。

(2022年5月9日受付)

☆4 従来は「ハイブリッド攻撃」と呼ばれていたもの。

■須川賢洋 (正会員)
masahiro@jura.niigata-u.ac.jp

新潟大学法学部助教。専攻: 情報法。研究テーマ: デジタル知的財産、サイバー犯罪、情報セキュリティ制度など。本会「電子化知的財産・社会基盤研究会 (EIP)」幹事。



【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、次のとおり 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。

◆開始月：2020年11月号（発行日：2020年10月15日）

◆閲覧方法：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

【個人会員】



電子図書館
(情報学広場)

★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。

【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（7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。

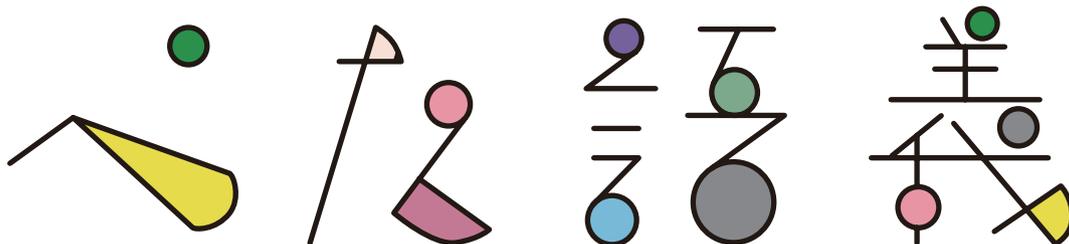
- 件名：情報処理 2022年7月号（Vol.63, No.7）「チケットコード」とご利用方法のご連絡

★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





Vol. 130

CONTENTS

- 【コラム】多正面作戦を求められる一般情報教育…喜多一
- 【解説】情報入試と初等中等教育機関の情報教育の現状—第84回全国大会企画セッション報告—…稲葉利江子・坂東宏和
- 【解説】学習基盤を拡張する国際技術標準 IMS LTI 1.3 第2回 LTI 1.3 開発のための資料とサービス…田中頼人



COLUMN

多正面作戦を求められる一般情報教育



世の中には、いくつかのことにほぼ同時に対応する多正面作戦を余儀なくされることがある。ここでは大学での一般情報教育がここ数年で対応を求められる課題を3点指摘し、多正面作戦の危惧を述べる。

■情報教育の高大接続

1つは、新しい学習指導要領で学んだ学生への対応である。新学習指導要領では教科「情報」の科目が見直され「情報I」と「情報II」が設けられ、「情報I」が必修とされた。また大学入学共通テストでも「情報I」が加えられ、国立大学はこれを入試に課す方針を示している。新学習指導要領で学んだ学生の大学への受け入れは2025年度から始まり、一般情報教育として取り扱うべき内容の見直しが急務である。

■学習環境の多様化

2つ目は授業を実施する際の学習環境である。一般情報教育ではPCを用いた演習も実施される。PCの利用について各大学は演習室のPC利用から、ノートPC必携化へと進めてきたが、GIGAスクール構想の中で高等学校段階では生徒に端末の購入を求める学校も少なくない。高等学校段階で購入された端末では機種/OSなどが出身校に依存する。またコロナ禍で展開が進んだオンライン授業では学習管理システム(LMS)やWeb会議サービスが広く利用されたが、これらは大学が個々の事情に合わせて選択している。一般情報教育は複数の大学で授業を担当する数多くの非常勤講師も担っている。このため端末やLMSなど多様なプラットフォームを学習環境として授業をすることの困難さに直面している^{☆1}。

■数理・データサイエンス・AI教育との調整

さらに数理・データサイエンス・AI教育の展開との調整がある。リテラシーレベルの同教育については、認定制度もあり大学の関心は高い。また、これは教員免許の取得のために必要な情報系の科目の設定とも関連している。数理・データサイエンス・AI領域の内容と一般情報教育の内容は必ずしも重なるわけではなく、むしろ補完的である。大学での一般教育・教養教育は多様な科目間での授業時間を調整してカリキュラムが構成される。大学の状況に応じて授業時間数や科目編成などが多様になることが予想される。

このような状況は我が国の情報教育としては大きな進展でありその成果も期待したいが、一般情報教育はこれら3つの動きにほぼ同時に対応する必要があり、多正面作戦を余儀なくされる。知恵を絞ってこれらに対応しなければならない。

^{☆1} 2021年12月18日に開催されたシンポジウム「これからの大学の情報教育」2021ではこの問題が取り上げられた。そこでの討議については項を改めて紹介したい。



喜多 一 (京都大学) (正会員) kita.hajime.7a@kyoto-u.ac.jp

京都大学国際高等教育院教授、工学博士、京都大学工学部助手、東京工業大学総合理工学研究科助教授、大学評価・学位授与機構教授、京都大学学術情報メディアセンター教授を経て現職、本会一般情報教育委員会委員。

情報入試と初等中等教育機関の情報教育の現状

—第 84 回全国大会企画セッション報告—

稲葉利江子 坂東宏和
津田塾大学 獨協医科大学

本会第 84 回全国大会において、情報教育にかかわる企画セッションが開催された。本稿では、2022 年 3 月 5 日に開催された「情報入試—共通テストと個別試験」（本会情報入試委員会主催）と「初等中等教員研究発表セッション」（本会初等中等教育委員会主催）について報告する。なお、同日に開催された第 4 回中高生情報学研究コンテストについては、本誌 8 月号 (Vol.63 No.8) にて報告予定である。

情報入試—共通テストと個別試験^{☆1}

□ イベントの概要

高等学校では新学習指導要領により 2022 年 4 月から「情報 I」の授業がスタートし、2025 年度の大学入学共通テストから教科「情報」の実施が決定したことで、これからの高校の教育現場や個別入試も含め大学入試をどう実施するのかを考えていく必要がある。そこで、本会情報入試委員会が、それらの情報共有と議論を目的に企画したイベントである。最初に、本会情報入試委員会委員長の笈捷彦氏より、開会の挨拶として趣旨説明が行われ、前半には 4 名の講演者の先生方からご講演をいただき、後半では、情報にかかわる学会である本会および電子情報通信学会、人工知能学会の代表者による鼎談が行われた。以下、概要を紹介する。

^{☆1} 各講演の資料は下記 URL から閲覧可能です。 https://www.ipsj.or.jp/event/taikai/84/ipsj_web2022/html/event/B-10.html

□ 講演概要

講演 1：新学習指導要領に対応した令和 7 年度大学入学共通テストにおける「情報 I」について
(文部科学省高等教育局大学振興課大学入試室 室長 前田幸宣氏)

大学入学者選抜協議会において、令和 7 年度大学入学者選抜に係る大学入学共通テスト(以下、「共通テスト」と表記)から、「情報 I」を新たに出題することが決定し、「令和 7 年度大学入学者選抜に係る大学入学共通テスト実施大綱の予告」を令和 3 年 7 月に各大学等に通知するとともに、「情報 I」の試験時間を 60 分とすることや、旧課程における選択必修科目「社会と情報」「情報の科学」に対応する経過措置を講じることを同年 9 月に公表したことが説明された。また、各大学は、令和 4 年度中に令和 6 年度に実施する入試の出題教科・科目を公表する必要があることなどが示された。

講演 2：情報入試—個別入試の導入とその後の推移—
(高知大学^{☆2} 本田理恵氏)

高知大学工学部情報科学科では、2010 年度から推薦 I、私費外国人留学生、2011 年度からは一般選抜前期試験において教科「情報」での試験を導入してきており、現在、国立大学で唯一の実施校となっている。講演では、個別試験に教科「情報」を導入することになったきっかけと開始時の運営の工夫、導入後約 10 年間の学生数の推移等が説明された。

^{☆2} 講演者の本田氏の所属は 2022 年 3 月 1 日付で、愛媛大学となっている。

講演3：情報入試—AO入試での例

(京都産業大学 安田 豊氏)

京都産業大学では2016年から「情報入試」をAO入試の一形態として実施しており、その運用経験について報告がなされた。試験は、60分の筆記に加え、30分の面接を課すことにより、「これ」と思える学生を採れるようにしているとのこと。「情報入試は『情報の資質のある受験生を引き寄せる』手段である」と述べられ、適性がある貴重な人材を採る手段として利用されていることを説明された。また、作問体制についても説明され、難易度の肌感覚を掴むことが難しいなどの経験談も語られた。最後に、2025年度から情報系学部・学科はどうすればよいのか、共通テストと個別試験についての選択肢を提示されながら展望を語られた。その中で、「専門なのだからその科目の入試を自前で用意するのは当然では？」という言葉が印象的であった。

講演4：情報入試—高校現場から

(東京都立神代高等学校 主任教諭 稲垣俊介氏)

講演では、まず、東京都高等学校情報教育研究会の専門委員会として「情報I大学入試検討委員会」を立ち上げ、情報Iの入試に向けた問題の検討や授業の検討をし、指導に使える良問を集めて全国の教科「情報」の教員のために発信するという活動について説明がされた。その後、情報入試を見据えた授業の事例として、「モデル化とシミュレーション」、「プログラミング」、「問題解決とデータの活用」の授業について紹介された。入試のための授業ではなく、生徒が楽しいと感じる授業が大切だと語られ、どの

ような工夫がされているのかについても説明された。最後に、これから高校現場はどうすればよいのかについて、現在、指摘されている課題を示しながら、教員養成、地域・高校を超えた教員同士の協力、教師や生徒にとっても理解の助けになるテキストや問題集の作成、「情報」に興味を持ってもらえる土壌を学校につくるなど、高校現場としてできることをやっていくという抱負が語られ、生徒のために、情報教育に協力いただきたい旨が述べられた。

鼎談：学会活動の視点から情報入試を語る(図-1)

情報処理学会：萩谷昌己氏(東京大学)

人工知能学会：野田五十樹氏(北海道大学)

電子情報通信学会：田口 亮氏(東京都市大学)

最初に、本会副会長の萩谷昌己氏より、情報教育は文理を問わず大学の教育・研究の基礎であり、情報社会の発展にとって不可欠であることが述べられた。その上で、2025年の共通テストにより、地域格差が解消しつつあることや、教員の研修が進んでいる現状などが説明された。さらに、今後、研修への大学教員の派遣や研修教材作成などの教員への支援の必要性や高大接続の重要性、本会のジュニア会員制度やジュニア向けイベントなどの紹介がなされた。

次に、2022年2月21日に「共通テスト『情報』追加に対する声明」を公表された人工知能学会会長の野田五十樹氏より、人工知能から見た「情報」科目について語られた。野田氏が創立メンバでもあるRoboCupの国際大会について触れられた。RoboCupは、教育的にも多岐にわたる技術が求められており、STEAM教育の題材として注目されているが、現状、



(a) 本会萩谷氏(現地会場)

(b) 人工知能学会野田氏

(c) 電子情報通信学会田口氏

図-1 鼎談の様子(Zoom画面から)



その成果が大学入試ではAO入試で活用される程度であり、一般入試で活用されていないことが残念であると述べられた。これからの子どもたちに身につけてもらいたいものは、「読み・書き・そろばん・コンピュータ」であるとし、「読み」は知識を理解する能力、「書き」は考えを伝える能力、「そろばん」は論理的・科学的に考える能力、「コンピュータ」は問題発見し組み立てる能力であると述べられた。

電子情報通信学会からは、ジュニア会員運営委員会委員長、教科「情報」の入試に関する検討WG副委員長である田口亮氏が登壇され、2021年に理事会配下で、教科「情報」の入試に関する検討WGが設置され、どのような活動が実施されているかについての説明がなされた。活動の1つに、高校教員へのヒアリングがあり、そこから高校生や教員への負担、理系・文系クラスなどの温度差などの課題があるのではないかとということなどが共有された。また、ネットワーク・通信系の専門家からみると、文系を対象とすることを考慮してか内容的に物足りないのではないかと、という意見があることも語られた。最後に、共通テスト導入に対する問題や懸念の抽出と解決を学会として取り組みたいということ、高校現場に情報教育が必要であることを真に理解してもらいたいということが述べられた。

専門教育に繋がらない文理全体に対する共通テストという位置づけであるということについての議論がなされ、人間活動というものを取り上げるときに有用なツールであるという位置づけで情報を捉えるのがよいのではないかと、文系にとっても重要である科目であるということが述べられた。

社会が求める情報人材の育成においては、大学入試が導入されることにより、裾野拡大がなされ、期待できるのではないかと。大学入学のための高校教育ではなく、高大連携して情報教育を一緒に考えていくべきであり、これらに情報関係学会が協力していくことが重要であることが述べられた。

閉会挨拶：中山泰一氏(電気通信大学)

本会教育担当理事の中山泰一氏より、閉会の挨拶としてイベントの総括がなされ、200名を超える参加者であったことが報告された。今後、学校の枠を超え、都道府県の枠を超え、さらに関係学会や情報学科・専攻協議会などと連携していくことが大切だということが述べられた。

なお、本企画セッションについては、河合塾キミのミライ発見^{☆3}に、詳細記事が掲載されている。

初等中等教員研究発表セッション

□ イベントの概要

本セッションは、本会初等中等教育委員会が選抜・推薦した初等中等教育関係者の方に、優れた情報教育実践や研究を発表いただくイベントである。本会初等中等教育委員会委員長の中野由章氏(工学院大学附属中学校・高等学校 校長)の進行によりイベントが進められた。最初に、本会理事の高岡詠子氏(上智大学 理工学部 教授)による趣旨説明があり、その後8人の先生方にご発表いただいた後、最後に国立教育政策研究所・文部科学省の田崎丈晴様にご講評をいただいた。以下、筆者がまとめた発表概要を紹介する。

□ 発表概要

研究発表1：小学校におけるプログラミング教育の課題と可能性

(磐田市立田原小学校 教頭 富永浩司氏)

発表の途中で、従来学習とプログラミング教育との比較があった。従来学習では、教師が目指しているところのゴールに向かって学習が進むのに対し、プログラミング学習は、学習によって生まれた生徒自身の新たな目標がゴールになること、教師の役割が知識や技能の提供者からファシリテータになること等の指摘がなされた。その後、Scratchや

^{☆3} <https://www.wakuwaku-catch.net/kouen220401/>

micro:bit 等を利用した授業実践、防災教育と関連付けた学習事例等が紹介された。

最後に、GIGA スクール構想^{☆4}によってプログラミングが日常になり、子供の新たな思考ツール・表現方法・文具になる可能性が高まったこと、子供主体の学びをすべての教科で実現する一体的な教育改革の契機にするチャンスであることの指摘がなされた。また、質疑の中で、プログラミングのおかげで児童が失敗を恐れずチャレンジできるようになったと回答されたことが印象的であった。

研究発表 2：再考小学校プログラミング教育～実践から考えるその可能性と重み～

(亀岡市みらい教育リサーチセンター 指導主事 広瀬一弥氏)

発表の前半では、アルゴリズムや MESH, Viscuit を活用した授業実践が紹介された。その後、実践を通じて手に入れた感覚として、小学校では情報教育を主目的とした授業がなくほかの教科を間借りしている状況のため、教科のねらいを満たすことが求められること、そのことを重視しすぎると画一的で教員主体の授業になってしまうとの指摘がなされた。それを防ぐためには、プログラミングやシステムがどのようなものを子供自身で考えさせる時間(準備運動)が必要であり、徹底的に遊ばせる＝プログラミングに触れさせることが重要であるとのことであった。また、教科の枠を超える合科や STEAM^{☆5}への発展がしやすいこと、小学校では合科がやりやすいので、その特徴を最大限に活かすべきであるとの指摘がなされた。

研究発表 3：中学校技術科における双方向通信ネットワークおよび計測・制御の授業実践

(静岡大学教育学部附属浜松中学校 教諭 草野正義氏)

中学校での 2 つの実践(ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツ、計測・制御)について、

^{☆4} 文部科学省「GIGA スクール構想の実現について」
https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm

^{☆5} Science (科学), Technology (技術), Engineering (工学), Mathematics (数学) を統合的に学習する STEM 教育に、Arts (リベラル・アーツ) を統合した教育手法

ガイダンス・つかむ学習・追究する学習・つなげる学習の 4 段階に分けて紹介された。最後にまとめとして、「何を教えるかだけでなく、何を考えさせて資質・能力を育成していくか」を考えてカリキュラムを構想していくことが重要であるとの指摘がなされた。

研究発表 4：令和 7 年度大学入学共通テスト、教科「情報」はなぜ必要なのか？

(青山学院中等部 講師 安藤 昇氏)

大学入学共通テスト「情報」の問題サンプルを分析し、Python で学習することがよいと考えたことから、サンプル問題を Python で解説する動画を作成しているとの紹介があった。また、サンプル問題は、プロのプログラマーが素直に作成したプログラムとは異なる($X+=Y$ は、 $X=X+Y$ と書く等)との指摘がなされ、その違いを解説する動画を YouTube で配信する予定とのことであった。

研究発表 5：小学校における GIGA スクール構想の現状と課題

(大台町立宮川小学校 校長 井戸坂幸男氏)

GIGA スクール構想によるタブレット導入の苦労話と、活用事例が紹介された。苦手な先生も多いため、教科書にある教材と同一の教材を購入し、先生の負担を減らしているとのことであった。また、デジタル教科書について、タブレット端末が 1 人に 1 台のため、デジタル教科書とほかのソフトウェアとを切り替えて利用しなければならず、使い勝手が悪い。そのため、先生・児童に不人気であるとの指摘がなされた。

最後に、タブレット活用の推進のための取り組みとして、学校間の調整、管理職の意思表示が重要であること、来年度の課題として、家庭の Wi-Fi 環境の問題とタブレット宿題の問題(従来のようなプリント宿題の良さもある)が挙げられた。

研究発表 6：情報科教師が学校 ICT 活用を推進してみた(三重県立名張青峰高等学校 教諭 向山明佳氏)

2016 年の高等学校開校時から先生・生徒に配布



されているタブレット端末について、すべての教科での積極的な活用を推進していく過程と、苦労話が紹介された。具体的には、ビジョン作りと不安解消のために、Google Workspace を活用した課題・プリントの配布、職員会議での5分間のプチセミナー＋個別サポート、生徒ICTリーダー、「よろこんで！」授業サポート等が紹介された。最後に、すべての子供たちがデジタルを活用して幸せを実現できることを目指した「あったかい教育DX」が提唱され、先生方のビジョンの共有と不安解消、そのためには得意な先生が優しくサポートすることがカギであるとの指摘がなされた。

研究発表7：情報Iはすべての授業で問題解決を (神奈川県立茅ヶ崎西浜高等学校 教諭 鎌田高德氏)

情報Iでは、すべての授業で問題解決を行うことが重要であるとの指摘がなされた。具体的な事例として、扱いにくいUIを、プログラムを変更しながら改善する実践(情報デザイン＋プログラミング)、ガチャのシミュレータを作成・実行する実践が紹介された。さらに、プログラムからデータを集め、そのデータを集計して統計学習などにつなげる実践(プログラミング＋データの活用)が提案された。最後に、問題解決には学習者の高い意欲が必要であり、そのための良い題材が必要であること、題材作成のポイントは、身近・切実・実現可能であり、切実さが一番難しいとの指摘がなされた。

研究発表8：3年目の「情報I」型授業 (東京都立川高等学校 指導教諭 佐藤義弘氏)

学習指導要領の順番に従って学ぶことのメリットが大きいこと、問題解決から始めることで、スキル差・知識差が出にくく、グループ内で自然とコン

ピュータ利用が進むこと等の指摘がなされた。また、プログラミングについて、ヒント付きの穴埋めはできるようになるが、書けるようになるのは難しいこと、できる生徒とそうではない生徒との差が大きいため、各自の速度で進められる教材が必要との指摘もなされた。最後に、「より良い情報Iのために」として、毎授業「授業の目標」を明示し、「授業の振り返り」をさせ、生徒から学ぶことも大切であるとの提言があった。

□ 講評

先生方の発表後、国立教育政策研究所・文部科学省の田崎丈晴氏より講評をいただいた。各発表に対する講評の後、今日の聴講者も、新しいさまざまな授業の事例を多くの場所で発表してほしいとのお話があった。また、進行の中野由章氏より、情報教育の問題は、単にプロのプログラマを教育現場に投入すれば解決するような問題ではないとの指摘がなされた。本セッションでの先生方の教育に関する知見と熱意が詰まった発表は、まさにそのことを痛感させるものであった。

(2022年3月21日受付)



稲葉利江子 (正会員) inaba@tsuda.ac.jp

津田塾大学学芸学部情報科学科教授。博士(理学)。異文化コミュニケーション、高等教育におけるICT利活用データの分析に関する研究に従事。本会では、情報入試委員会、セミナー推進委員会などの委員として活動。



坂東宏和 (正会員) bandoh@fv.ipsj.or.jp

2014年より獨協医科大学情報基盤センター講師。本会論文誌教育とコンピュータ(TCE)編集委員会編集幹事、会誌編集委員会専門委員会(EWG)幹事。2020年度学会活動貢献賞受賞。シニア会員。

学習基盤を拡張する国際技術標準 IMS LTI 1.3 第2回 LTI 1.3 開発のための資料とサービス

田中頼人

サイバー大学

第2回の内容

Learning Tools Interoperability (以下, LTI) は国際標準化団体 IMS Global Learning Consortium (以下, IMS GLC) が策定した技術標準の名称であり, LTI 自体は特定の製品やサービスを指すものではない。LTI によって LMS の機能を拡張し学習ツールとの連携を図りたいのであれば, 同規格に準拠した製品やサービスの中から目的に合うものを選ぶか, あるいは自ら開発する必要がある。全3回で構成されるこの連載において, 第1回では「LTI 1.3 の機能と意義」が解説された。第2回となる本稿では LTI の機能を持つ LMS や学習ツールを開発するための情報を入手し, プログラムを作成してテストし, 成果物が LTI の仕様に準拠したかどうかを判断する適合性テストを受けるまでの方法について解説する。

IMS GLC の公式文書

IMS GLC は 2010 年に LTI の初めてのバージョンである 1.0 の仕様を公開した。その後に機能の強化やセキュリティ要件の修正を経て, 2019 年 4 月に最新のバージョンである 1.3 を公開した。その他のバージョンである 1.1 や 1.2, 2.0 は非推奨となり, 2022 年 6 月に IMS GLC によるサポートが終了するので注意が必要である。以降, 本稿では特に断りの

ない限り, LTI は LTI 1.3 を指す。

LTI とその拡張仕様を含む LTI Advantage については, IMS GLC の Web サイトに情報が集約されており, 最も信頼できるものは IMS GLC が自ら作成した一連のドキュメント群である^{☆1}。

- Learning Tools Interoperability Core Specification (LTI コア機能の仕様書)
- Learning Tools Interoperability (LTI) Assignment and Grade Services Specification (成績表管理サービスの仕様書)
- Learning Tools Interoperability Names and Role Provisioning Services (利用者の名前と学習上の役割を受け渡すサービスの仕様書)
- IMS Learning Tools Interoperability (LTI) Deep Linking Specification (学習ツール内へのディープリンクを得るサービスの仕様書)

等はいずれも IMS GLC のメンバによる議論を経て作成・公開されたものであり, LTI についての正しい情報を得たいのであれば, 何よりもまずこれらの文書を参照することが望ましい。また, LTI の仕様を補完するものとして IMS GLC は

- LTI Advantage Implementation Guide (LTI Advantage 実装の手引き)
- LTI Migration Guide (1.3 よりも前のバージョンから移行するための手引き)
- LTI Advantage Conformance Certification

^{☆1} <https://www.imsglobal.org/activity/learning-tools-interoperability>



Guide (適合性テストを受けるための手引き) 等を公開している。LTI のユースケースの解説、公開鍵暗号や JWK (JSON Web Key) 等の要素技術について知ることができ、適合性テストの合格に必要な準備についても記載されている。仕様書に準ずる公式情報として、LMS や学習ツールを開発する際には何度も参照する性質のものである。さらに具体的なプログラミング言語や実行環境にまで踏み込んだ情報として、LTI の仕様書編集者である Claude Vervoort 氏^{☆2}が LTI Bootcamp Materials という資料集を公開している^{☆3}。同資料集は IMS GLC の公式仕様書へのリンクだけでなく

- LTI Advantage の動作の概要を解説する動画
- 要素技術となる OAuth と OpenID Connect の図解資料
- 主要な LMS である Blackboard Learn や Canvas を用いたデモ

等を含む。また IMS GLC による「参照実装」や「ライブラリ・サンプルプログラム」も含んでいる。これら 2 点については後述する。

LTI の参照実装

LTI のコア機能や拡張機能について定義した IMS GLC の文書は、開発者が従わなければならない正しい枠組みを示している。さらに開発の立場で考えれば、静的な文書だけではなく「仕様に準拠して作られたソフトウェアとそのソースプログラム」を入手することにより、自らの開発はより早く、より正しい方向へと進むだろう。この要求に応えるのが、IMS GLC が提供する参照実装 (Reference Implementation) である^{☆4}。参照実装には他者の実装を助けるための実装、手本にしてほしい実装という意味合いがあり、LTI の参照実装は Platform と Tool の両方の機能を含んでいる。また参照実装は Web アプリケーション

^{☆2} <https://github.com/claudevervoort>

^{☆3} <https://github.com/IMSGLC/litbootcamp>

^{☆4} <https://liti-ri.imsglobal.org/>

であり、Web ブラウザ以外のソフトウェアをインストールする必要はない。参照実装において LTI 拡張機能を含むすべての機能に触れるには IMS GLC の会員になる必要があるが、Contributing Member (仕様策定に貢献できる会員) になれば、GitHub を介して参照実装のソースプログラムも入手できる。参照実装は Web ブラウザを介して、おおよそ以下の手順で利用できる。

- 1) Platform と Tool の間で用いる公開鍵・秘密鍵のペアを生成する
- 2) 仮想的な LMS に見立てた LTI の Platform を作成する
- 3) 仮想的な教材に見立てた LTI の Tool を作成する
- 4) Platform と Tool の間の通信に必要な設定項目を記入する
- 5) Platform から Tool を起動し、必要に応じてその後の通信も行い LTI の挙動を確認する

上記の手順は Platform と Tool、いずれも参照実装のもの同士を組み合わせた使い方の場合である。この使い方では LTI の処理の流れや必要な設定項目を確認できたら、Platform と Tool のいずれかを参照実装以外のものに入れ替えることでさらに仕様への理解を深めることができる。図-1 は参照実装の利用開始時に鍵ペアを作成する様子を示す。

ライブラリとサンプルプログラム

LTI は特定のプログラミング言語に依存する技術ではなく、IMS GLC が LTI に関して規定するのは通信の手順と、やりとりされるデータの様式のみである。そのため IMS GLC は何らかのプログラミング言語に対応する開発用ライブラリの配布までは行っていない。しかし開発者が既存のライブラリを一切用いず、いわゆるフルスクラッチでの開発を行うことは労力が大きいだけでなく、LTI がセキュアな通信の拠り所としている IMS Security Framework

の実装部分ではバグを生み出す元となりかねない。この問題を解決するため、LTI や IMS Security Framework の知見を持つ開発者有志がライブラリを作成し、GitHub で公開している。対応済みのプログラミング言語は 2022 年 3 月現在 PHP, Python, Java, Javascript/Node, .NET で、これらの情報は前述の LTI Bootcamp Materials の一部になっている。

また、開発者にとってはライブラリを入手してその利用方法を知るだけでなく、ライブラリを用いて記述された具体的なデモ用プログラムも入手できることが望ましい。デモを動かしながらプログラムを読み進めることで、ライブラリ内で定義された関数の呼び出し方法とその際の挙動を合わせて理解できる。上記の各種プログラミング言語のライブラリにはいずれもデモ用のプログラムが存在し、LTI の Platform あるいは Tool の機能が実現されている。デモのための動作環境を用意できたら前述の参照実装と組み合わせで動かしたり、Blackboard Learn や Canvas 等の LMS とともに動かしたりして LTI の通信の状態を調べていくのがよいだろう。

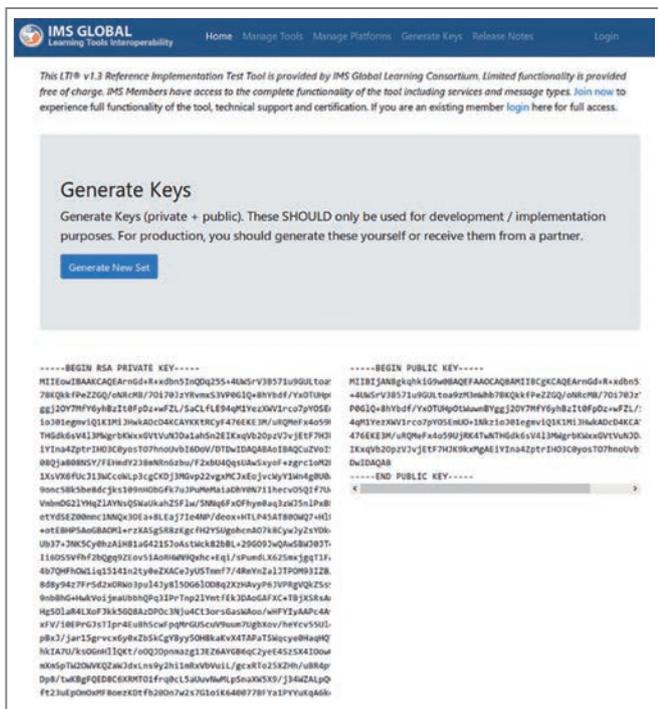


図 -1 参照実装での鍵ペア生成

LTI エミュレータ

IMS GLC が提供する参照実装に近い位置づけのネットワークサービスとして、英国の非営利団体 Jisc (Joint Information Systems Committee) による saLTiRe (ソルタイア)がある^{☆5}。saLTiRe は simulate an LTI run-time environment の略として名付けられた LTI エミュレータで、Platform と Tool の両方の動きをエミュレートし、両者の間で行われる通信の様子を観察する際に役立つ。無償かつユーザ登録不要で利用でき、特別なソフトウェアのインストールは必要ない。利用者は saLTiRe の Web サイトに任意のブラウザでアクセスできればよい。saLTiRe は 2021 年 1 月のバージョンから LTI 1.3 に対応し、OAuth2 と JWT (JSON Web Token) のセキュリティ仕様に基づいて動くようになった。LTI をエミュレートする機能は IMS GLC の参照実装とよく似ているが、saLTiRe には

- 1) すべての機能をユーザ登録なしで使える (IMS GLC の参照実装は一部の機能が IMS GLC の会員のみに限定される)
- 2) LTI での Launch に必要な各種の設定項目が、最初から書き込まれた状態で提供されているという特徴がある。特に 2) の特徴は、Platform エミュレータと Tool エミュレータを組み合わせると LTI の仕様の概要を理解しようとする調査の段階で有用となる。図 -2 の saLTiRe の利用例では、通信に必要な “Initiate login URL” や “Redirection URI(s)”, “Public keyset URL” 等の値が、すでに書き込まれている。これから LTI の仕様を理解し始めようとする段階の開発者にはこれらの値の意味が自明でないため、すでに書き込まれた状態であれば「まず試しに動かしてみる」というアプローチをとりやすい。

☆5 <https://saltire.lti.app/>



LTI の適合性試験

Platform あるいは Tool の開発を完了させる際に IMS GLC の適合性試験 (Conformance Test) を受けることで、自らの成果物が LTI の仕様に準拠していることを客観的に示すことができる^{☆6}。適合性試験は IMS GLC の会員になり、専用の Web サイトにログインして行う。図-3 は Tool の適合性試験の開始前の画面の様子を示す。事前準備として OpenID Connect の iss (Issuer クレーム) や Auth URL, 公開鍵情報が収められた Platform Well-Known/JWKS URL 等の設定項目を記入し、試験本編の開始後は

- Tool が Launch される際、公開鍵の ID が欠落していた場合に Tool はエラーを表示できるか
- 間違った LTI バージョンの文字列が渡された場合に Tool はエラーを表示できるか
- タイムスタンプ情報が誤っていた場合に Tool はエラーを表示できるか

等の項目を 1 件ずつチェックしていく。適合性試験の仕様は IMS GLC の文書 Learning Tools

^{☆6} <https://www.imsglobal.org/lti-advantage-certification-suite>

Interoperability Advantage Conformance Certification Guide で開示されている。

LTI の活用に向けて

本稿では学習基盤の拡張に用いる技術標準 LTI について、開発に必要となる公式文書やその周辺のサービスを紹介した。技術標準を用いた教育・学習のエコシステムを成立させるためには仕様策定者だけでなく LMS 開発者、教材開発者、教授支援ツールの開発者など、自らのアイデアをシステムとして実現する人々の協力が欠かせない。仕様書に加えて開発の支えになるさまざまな補助サービスが公開されたことにより、LTI による連携と教育・学習の改善が進むことが期待できる。

(2022 年 3 月 30 日受付)

田中頼人 (正会員) yorihito_tanaka@cyber-u.ac.jp

サイバー大学 IT 総合学部准教授, 日本 IMS 協会技術委員。専門分野は学習プラットフォームの開発, および学習支援ツールの開発・評価。

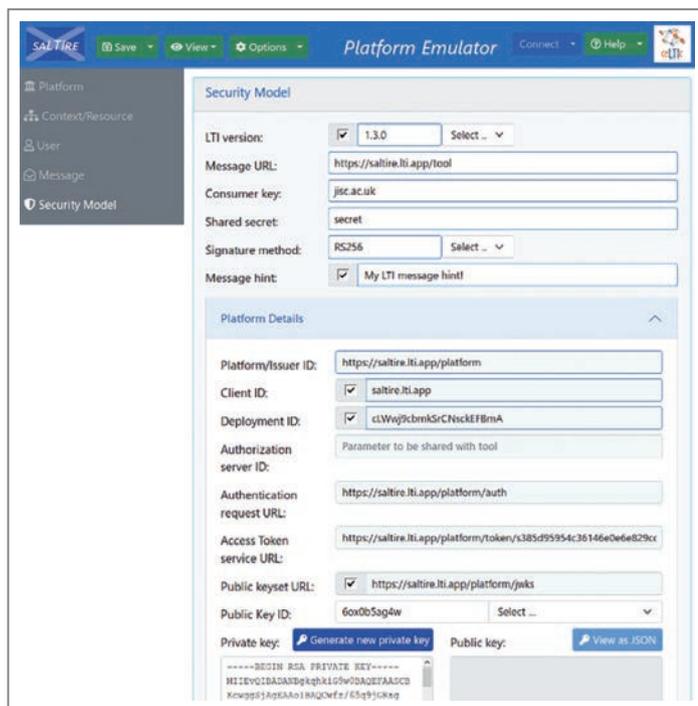


図-2 saLTire の LTI Platform エミュレータ

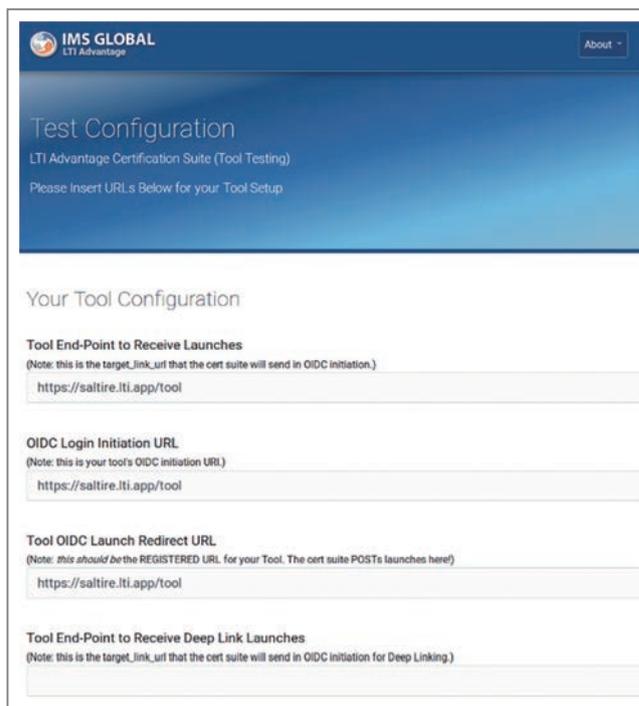


図-3 適合性試験の受験開始画面



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や、高校で情報科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)

自らの情報活用を評価・改善する児童の育成 — Minecraftを用いた地域の商店街作りを通して —



竹林芳法 | 臼杵市立福良ヶ丘小学校

情報活用能力の育成とエビデンス

EBPMとはEvidence-Based Policy Makingの略であり、エビデンスに基づく政策形成のことを指す。教育分野においても経験や勘に頼った教育から、客観的な根拠（エビデンス）に基づく教育への移行が期待されている。「GIGA スクール構想に関するEBPMの効果的な実施に向けて」（令和2年11月）では、EBPMの効果的な実施にあたって、「施策の効果を適切かつ効果的に把握するためのKPI（評価指標）の設定」と「効率的なデータ収集・分析に向けた調査・検討体制の構築」の2つの観点からの検討が必要とされている。情報活用能力の育成を目指すICT活用においても、評価の指標やデータの分析といったアプローチが今後は重要になるだろう。

筆者の所属校では、第5、6学年の総合的な学習の時間にMinecraft^{☆1}で地域の商店街をデジタルで表現する活動を実施した¹⁾。本活動の特徴は、「事

前に実態調査を実施し、筆者の所属校児童に育成すべき情報活用能力を絞り込み、検証の指標を作成した」こと、「絞り込んだ情報活用能力の育成のために『振り返り』を工夫した」こと、「絞り込んだ情報活用能力が育成できたか事前事後の変容を分析した」ことの3つである。ねらいを明らかにして児童が主体的に取り組む活動を計画し、変容を見取りながら、情報活用能力の向上のエビデンスに迫った一連の活動を紹介する。

授業概要

活動の概要と経緯

本稿で紹介する授業は、臼杵市立福良ヶ丘小学校の第5、6学年合計40名（ともに単学級）を対象とし、総合的な学習の時間において、1学期に4時間（45分×4）、2学期に6時間（45分×6）合計10時間かけて実施したものである。

筆者の所属校は市の城下町にある「八町大路商店街」を校区に含む。毎年11月に行われる祭りである「うすき竹宵」は、「竹ぼんぼり」で幻想的にラ

^{☆1} 3Dブロックで構成された仮想空間の中で、ものづくりや冒険が楽しめるサンドボックスビデオゲーム。 <https://www.minecraft.net/ja-jp>

イトアップされた城下町を散策して楽しむイベントだが、2021年度はコロナ禍で開催が危ぶまれた。

例年筆者の所属校では、この祭りに向け、全校児童が1人1つ「竹ぼんぼり」を作成する。第6学年が全校児童の「竹ぼんぼり」のレイアウトをデザインし、オブジェとして城下町の一角に展示する。この活動を中止ではなく「デジタルで行えないか?」と考え、第5、6学年の総合的な学習の時間でMinecraftを使って八町大路商店街を作成し、「うすき竹宵」を表現することにした。

教材と機材

Minecraftは全世界で最もリリースされたゲームで、児童にとって魅力的なツールだ。調査の結果、本校第5、6学年児童の約6割で使用経験があった。使用したのはPCやタブレット等、多様な機種間でクロスプレイが可能な「統合版」だ。商店街を20人以上の児童で同時制作をするために「マルチプレイ(1つのワールドデータ内に複数端末からアクセスし、複数プレイヤーでプレイをする)」を行った。本授業では、「setmaxplayers 25」とコマンドを入力し、同一のWi-Fi下で最大25端末の同時作業ができるようにした。ワールドデータの管理にはWindows PCを、児童の作業端末には従来から配備されていたiPadを、情報収集にはGIGAスクール標準仕様のiPadを使用した。また、商店街の調べ学習で、授業支援アプリ「ロイノート・スクール」を活用した。

育成すべき情報活用能力の把握と指標の作成 情報活用能力の把握(5月)

2021年5月、本取り組みを始めるにあたって、育成すべき情報活用能力を把握するために、筆者の所属校の第5、6学年を対象に、「情報と情報技術の適切な活用」領域(14項目)、「問題解決・探究における情報活用」領域(21項目)、「情報モラル・情報セキュリティ」領域(9項目)に関する44問の設問からなる4件法のアンケート調査、「情報活用能力チェックリスト」²⁾を実施した。「情報と情報技術の適切な活用」(平均3.04点)、「情報モラル・情報セキュリティ(平均3.54点)」に比べ、「問題解決・探究における情報活用(平均2.90点)」のスコアが低いことが分かった。そこで文部科学省の次世代の教育情報化推進事業「情報教育の推進等に関する調査研究」で示された情報活用能力の体系表例³⁾における「問題解決・探究における情報を活用する力」の項目を参照すると、①「必要な情報を収集、整理、分析、表現する力」と④「自らの情報活用を評価・改善する力」(表-1)に課題があると考えた。

①と④の課題の解決のためには、「問題を焦点化し、ゴールを明確にし、シミュレーションや試作等を行いながら問題解決のための情報活用の計画を立て、調整しながら実行する(表-1右)」活動を計画する必要があった。また、④の「自らの情報活用を評価・改善する力」を育成するには、①の「必要な情報を収集、整理、分析、表現する力」の育成が必要であると考え、図-1のように整理した。

■表-1 情報活用能力の要素の例示

分類	ステップ3
B. 思考力・判断力・表現力等	問題を焦点化し、ゴールを明確にし、シミュレーションや試作等を行いながら問題解決のための情報活用の計画を立て、調整しながら実行する
1. 問題解決・探究における情報を活用する力(プログラミング的思考・情報モラル・情報セキュリティを含む)	情報および情報技術の活用を振り返り、改善点を論理的に考える
	①必要な情報を収集、整理、分析、表現する力 ④自らの情報活用を評価・改善する力(②③は略)

※IE-Schoolにおける実践研究を踏まえた情報活用能力の要素の例示(参考文献3)を引用・編集した。



■図-1 「自らの情報活用を評価・改善する力」

情報活用能力の指標作成（5月末～7月中旬）

次に、本活動の効果を検証するための指標を作成した。後述の5月末～7月中旬の活動を通して、毎回の授業ワークシート等で得られた児童の記述をExcelで分類し、「計画力」「収集力」「整理力・比較力・分析力」「表現力・伝達力」「共有力」という5つの力で例示した（表-2）。以後、この指標で児童の記述を整理し、情報活用能力の変容を分析した。

■表-2 自らの情報活用を評価・改善する力の指標

	分類	表現例	実際の記述例
自らの情報活用を評価・改善する力	計画力	○○したら/□□が/△△なるようにしたい ○○を/□□して/△△にしたい ○○の/□□を/△△したい	もっとゆかを/つみあげて/立体的にしたい かべの/細工を/もっと作りたい
	収集力	○○さんが/□□を/△△していた	ほかの人は/中に階段や道具を/作っていた
	整理力 比較力 分析力	○○すると/□□が/△△ことが分かった ○○したいときは/□□を/△△すればよい ○○が/□□だと/△△できない ○○すると/□□が/△△になる ○○を□□すれば△△だった ○○で/□□を/△△できた ○○ではなく/□□を/△△する	石の種類がちがうものを使って/少し色がちがったところを変えたほうが/いいと思う 丸石の階段を使って/屋根を/上手く表現できた 一部だけではなく/全体を/意識して作る
	表現力 伝達力	○○さんの(自分の)/□□が/△△だと思う ○○が/□□なので/△△ができていない ○を/□□したら/△△できと思う	くわしい人は/店に/作っていたのが/すごいと思った ※相手に伝える場面で
	共有力	○○を/□□にしたなら/△△できた	※試行錯誤して成功した場面/相手に伝える場面

自ら評価・改善する児童の育成を目指した授業の実践（前半）

授業準備（5月）

まず、筆者がPC上に八町大路商店街の区画をデフォルメして制作した。ワールドは平坦な地面が続く「フラット」を選択し、1店舗の区画は10×10×10（単位はブロック）を基本とし、店舗の境界を1ブロックとした。その後、モデル店舗を1店舗制作した（図-2）。また、「自ら評価・改善を行う児童」の育成に向け、授業時のめあて確認と振り返りで活用するループリックを準備した（表-3）。

授業実践（5月末～7月中旬）

1学期の1時間目は、「1人1店舗担当する」、「担当店舗の完成後は別店舗を作成したり、友人を手伝ったりする」、「最終的に『うすき竹宵』を表現する」ということを確認した。活動は、「情報収集」と「店舗制作」をペアで交代して行った。

2～4時間目の授業は、授業のはじめと終わりでループリックを活用して、めあての確認や振り返りを行った。ペアで「情報収集」と「店舗制作」を15分交替で取り組んだ。「情報収集」担当は、店舗情報を検索し、制作のアドバイスをし、「店



■図-2 「八町大路商店街」の区画とモデル店舗

■表-3 めあてと振り返りに活用したループリック

	1点	2点	3点	4点
知・技	白杵の町について調べることができない	白杵の町について少し調べ町並みを再現できる	白杵の町について詳しく調べ町並みを再現できる	白杵の町について詳しく調べ、八町大路の未来や町の人々の思いを考えながら町並みを表現できる
思・判・表	自分の作品のうまくできたところを友だちに説明できない	自分の作品のうまくできたところを友だちに大体説明できる	自分の作品のうまくできたところを友だちに分かりやすく説明できる	自分や友だちの作品のうまくできたところや変えた方がよいところをみんなの前で分かりやすく説明できる
学びに向かう人間性	テーマをまったく意識していない	テーマを少し意識している	テーマを意識して友だちと話し合ったり協力したりしながら仕上げることができる	テーマを深く考え白杵の人の思いや祭りに込められた思いについて友だちと話し合ったり協力したりしながら良いものに仕上げることができる

商店街の様子を言語化することでイメージが明確になったところで、次は子供と大人の相違点を探させた。「にぎやかな」と「静かな」の対で、子供と大人でグラフが逆向きだと1人の児童が発表すると、多くの児童が驚き原因に興味を持った。別の児童が「大人は商店街が、昔は賑やかだったのを知って、今はちょっと寂れて賑やかと思わないんじゃないか?」と言うと、親世代から昔の様子を伝え聞いたことがある多くの児童が非常に納得していた。

2回目は「お祭り時の商店街」について考えさせた。プロフィール(図-5)を示し、子供(第5,6学年)と大人の横棒グラフに着目させて類似点を探させると児童は、「日常の商店街」と「お祭り時の商店街」のプロフィールが描く形が違うことや、「美しい」、「変化に富んだ」、「自然的な」、「個性的な」、「温かみのある」等のプロフィールが子供と大人でほとんどの項目で類似しているのに驚いた。類似点が何を示すか考えさせると、児童は「『うすき竹宵』に町の人が願うこと」と捉えた。

こうして児童は、「お祭り時の商店街」に対して市民が共通して持っていそうな特別なイメージを言

語化して捉えた。プロフィールの比較で考えたことを店舗制作に活かし、多くの児童が担当店舗を完成させた。早く終わった児童は友だちの作業を手伝ったり、別の店舗を制作したりして、2回目の授業で商店街はほぼできあがった(図-6)。

3回目の授業はプロフィールの比較により「日常の商店街」に自分たちの制作物がどのくらい迫れたか評価させたかった。そこで「Minecraftで作成した商店街」のアンケートを事前に行った。集計を終え、3回目の授業で「Minecraftで作成した商店街」のプロフィール(図-7)を提示した。児童は、大人が自分たちと逆に評価している「たんちょうな」、「新しい」、「都市的な」、「親しみにくい」、「よそよそしい」、「都会的な」という6つの項目に気づき、この6つが1回目に扱った「日常の商店街」のイメージと真逆なことにも気づいた。大人がそうした評価をした原因を考えさせると、児童は「自分たちの制作物がまだうまく商店街を表現できていないのではないか」と捉えた。その後、児童からは「大人が『たんちょうな』寄りに評価しているので素材をもっと工夫して八町大路らしさを出したい」、「町の人の願いを表現できていないと思うので、親しみやすい雰囲気になりたい」、「都会的になってしまった。八町大路の田舎っぽさを出すために、木目や茶色のブロックを多く使いたい」といった意見が出た。

振り返りを終え、最後の店舗制作に取り組むと、友だちに表現の仕方を相談したり、完成した店舗の大部分を壊して作り直したりする児童も見られた(図-8)。



図-5 『うすき竹宵』時の八町大路商店のイメージ



図-6 1学期末(左)と2学期2回目時点(右)での制作物(上空から)

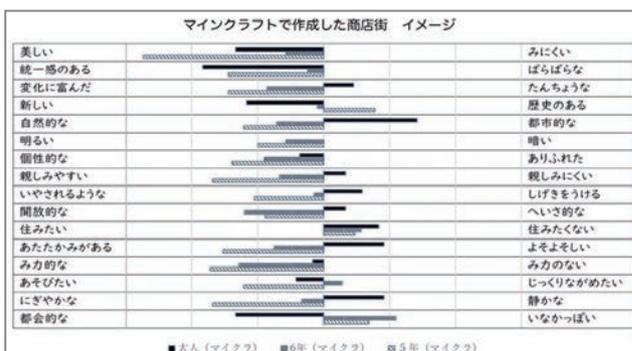


図-7 Minecraftで作成した八町大路商店街のイメージ

店舗制作が終わった児童たちが協力して商店街に「竹ぼんぼり」の代わりに「松明」や「蠟燭」を配置した(図-9, 図-10)。最後にワールド設定を夜にして「デジタルうすき竹宵」を児童は楽しんだ。どの児童も自信に満ちた満足げな笑顔を浮かべていた。これにて約半年間取り組んだ活動を終えた。

授業を通して得られたデータを基に振り返る

本活動は、筆者の所属校児童が「問題解決・探究における情報活用」が弱く、「自らの情報活用を評価・改善する力」に課題を見つけたところから計画をした。発生した客観的なデータから、情報活用能力の育成に効果的な活動であったか振り返る。

1学期および2学期のワークシート等の「自らの情報活用を評価・改善する力」の指標に沿って書かれた児童の記述を表-2に基づいて分類したデータ



左：改善前の店舗
右：商店街の雰囲気に合わないと自分で評価し、外壁の素材や木材の色合いに改善を試みた同店舗

■図-8 自らの情報活用を評価・改善する力が発揮されたと思われる制作物



■図-9 完成した八町大路商店街



■図-10 完成した八町大路商店街をライトアップ

(図-11)では、「表現力・伝達力」は1学期の約1.6倍、「整理力・比較力・分析力」は1学期の約2.6倍、「収集力」は、1学期と2学期で同程度、「共有力」は大幅に増加した。「計画力」の減少は何を意味するか？授業中の児童の姿から「○○を/□□して/△△にしたい」という思いが制作物として実現して解消されたことによるものと捉えた。その他は、「○○したいときは/□□を/△△すればよい」と整理・分析する力、「○○が/□□だと/△△できない」とさまざまな手法を比較・分析する力、「○○さんの(自分の)/□□が/△△だと思う」と友だちの作品を評価する力、「○○を/□□にしたら/△△できた」と発見を共有する力等の向上が記述の増加として表れたと考える。

次は、5月末に行った「情報活用能力チェックリスト」と11月中旬に行った2回目のデータ比較である。課題を焦点化するために、情報活用能力チェックリストの設問15～35(問題解決・探究における情報を活用する力)の平均(2.90)以下の項目を洗い出すと、11個の設問が平均以下(表-4)だった。このうち、設問16, 24, 31は、他教科や他活動の影響を受けやすいと思われるので除外し、分析対象を8つの設問(15, 17, 19, 22, 25, 28, 33, 34)とした。5月末のスコアと11月中旬のスコアを比較すると、後者が0.17～0.50点高かった(表-5)。特に問22は大きくスコアが上昇した。これは、マクロな視点が必要とされる「商店街を作って祭りを表現するゴール」とミクロな視点が必要とされる「個



■図-11 活動前と活動後の記述比較

人で1人1店舗制作」により俯瞰してものごとを見る力が高まったことの表出と考える。問15, 17からは収集力の高まりが、問19, 22, 25, 28, 33, 34は整理力・比較力・分析力の高まりが読み取れる。こうしたデータと授業の見取り・児童の制作物から内面の変化を捉えたことで、「自らの情報活用を評価・改善する力」の育成が進んだことを明らかにできたのではなかろうか。

最後に、児童の振り返り作文を紹介したい。地域への関心や学習観の変容、メタ認知や学びに向かう人間性の高まりが記述に表れ、自分の学びの変容を確かに自覚している様子が記述されている。

「私は、この活動をして臼杵市（特に八町大路）についての興味がわきました。今までマイクラフトをゲームだと思っていたけど、建物を建てるうちに、臼杵市自体に興味を持つことができるんだと考え方が変わりました。そして、後半、私の作業が進んでいなかったとき、〇〇君と〇〇君たちが率先して手伝いに来てくれて、話や作業も盛り上がったし、

何よりありがたかったです。こうやって、友だちの優しさが見える活動はよいなと思いました。こんな楽しい授業の中で『大人と子供では、感じ方が違う』と学んだので、これからも臼杵市内以外の行事でも、このことが活かされたらいいなと思います。楽しさもあり、臼杵のことを学べるこの授業を受けて、本当によかったです」。

参考文献

- 1) 竹林芳法：評価・改善する『情報活用能力』の育成、令和3年度大分県教育センター長期派遣研修生研究報告書、pp.5-8 (2021).
- 2) 村上唯斗、野澤博孝、高橋 純：情報活用能力指導の実施状況を把握するためのチェックリストの開発と評価、pp.11-12 (2021).
- 3) 文部科学省：学習の基盤となる資質・能力としての 情報活用能力の育成—体系表例とカリキュラム・マネジメントモデルの活用—、p.3 (2020).
- 4) 石井康夫、大久保あかね、鈴木大介：商店街における来街者等のイメージ調査に関する比較研究—静岡県富士市における事例—、p.7 (2021).

(2022年3月30日受付)

竹林芳法 (正会員)
nakahandadojo@gmail.com

大分県の小学校教員。2014年度からICT活用に本格的に取り組み、2016年度から小学校のプログラミング教育の研究に取り組む。CoderDojo Handaを運営。

■表-4 情報活用能力チェックリストの「問題解決・探究における情報活用」の内、平均以下の設問

問題解決・探究における情報活用 ※4点満点 全44問の平均は3.08		スコア
15	身近な人に聞いたり、身近な場所から調べたりすることは得意である	2.89
16	見学やインタビューなどの調査方法で調べることは得意である	2.74
17	地図や図書などの資料から調べることは得意である	2.82
19	ものごとを比べて、似たことや違うことを考えることは得意である	2.82
22	ものごとの全体と中心をつなげて考えることは得意である	2.58
24	ものごとを分類して考えることは得意である	2.87
25	ものごとを分解したり、まとめたりして考えることは得意である	2.63
28	資料から、特徴、傾向、変化を読み取ることは得意である	2.61
31	声の大きさや間の取り方を工夫して発表することは得意である	2.87
33	調べたりまとめたりしたことを振り返り、改善することは得意である	2.89
34	インターネットや新聞が伝える情報には、発信者の意図が含まれていることをよく考えるようにしている	2.55

※設問は4点満点(4点:あてはまる, 3点:どちらかといえばあてはまる, 2点:どちらかといえばあてはまる, 1点:あてはまらない)

■表-5 活動前と活動後のスコア比較

問題解決・探究における情報活用	スコア(4点満点)	
	活動前	活動後
15	2.89	3.22
17	2.82	3.08
19	2.82	3.25
22	2.58	3.08
25	2.63	3.03
28	2.61	2.78
33	2.89	3.25
34	2.55	2.90
平均	2.90	3.10



連載

ビブリオ・トーク
—私のオススメ—

… 関谷貴之 (東京大学情報基盤センター)

初めての Perl 第 7 版

Randal L. Schwartz, brian d foy, Tom Phoenix 著, 近藤嘉雪, 嶋田健志 訳
(株) オライリー・ジャパン (2018), 3,960 円 (税込), 408p., ISBN: 978-4-87311-824-6



私の書棚には『初めてのプログラミング』『Java 言語入門』『入門 Python 3』など複数の入門書が並んでいる。入門書を手取るのは、これまでとは異なる仕事に必要となったからで、その中の 1 冊が、今回紹介する『初めての Perl』の初版本である。購入したのは業務上 Perl を使い始めた 20 年以上前だった。

「Perl とは『Practical Extraction and Report Language』(実用データ取得レポート作成言語) の略(第 7 版 1.2 節 Perl とは何の略でしょうか? より引用)と言われる。強力な正規表現, 入出力が容易, モジュールで拡張可能などの特徴を持つプログラミング言語である。ターミナル上で実行するワンライナー (1 行だけで記述されたプログラム) から, 外部モジュールを組み合わせた大きなプログラムまで, Perl で記述できる。私はシステム管理や各種データの加工, 業務・研究用のアプリケーションの開発などで, Perl には大変お世話になってきた。Web アプリケーションを作成する授業で, ティーチングアシスタントとして学生と一緒に簡単なアルゴリズムを実装したこともある。

しかし他人に「Perl でプログラムを書いています」と言うと, 少々肩身の狭い思いをしがちだった。情報系の研究者に話すと「Perl ねえ」とあまり良い顔はされないし, 私より先輩のシステム管理者に話すと「awk, sed, シェルプログラミングを使いこなして一人前」のような扱いだっただ記憶がある。そ

のような状況にもめげずに『プログラミング Perl』『Perl クックブック』と Perl 本を買い揃えたものの, 残念ながら Perl 専門家にはなれずじまいだった。やがて時代に流されるように Ruby や Python に手を出して, 今となっては, コード中の \$@% といったシジル^{☆1}を少々目障りに感じる始末である。

それでも社会人生活で最もお世話になった Perl に敬意を払って『プログラミング Perl』を紹介しようと考えたが, 2002 年発行の第 3 版から更新されていない^{☆2}。いくらなんでもそれでは古かろうと手に取った本が『初めての Perl (原題 Learning Perl)』である。こちらは比較的最近の 2018 年に第 7 版^{☆3}が発行されていることから以下で紹介する。

「本書で想定している読者は, 少なくともプログラミングについて多少なりとも理解していて, さらに Perl を学ぶ必要がある人です」(1.1.1 節 この本は私に向いていますか? より引用) とあるように, 本書の内容は Perl (5.24) の特徴を踏まえた構成になっている。初心者向けのプログラミング言語の書籍であれば, 条件分岐や繰返し等をまとめた章がありそうだが, 本書では「2 章 スカラーデータ」の中で if 制御構造と while 制御構造 がごく短く紹介さ

☆1 sigil. Perl で変数の種類を表すために先頭に付ける記号のこと。Perl の特徴の 1 つ。

☆2 原著の『Programming Perl』は 2012 年に 4th Edition が発行されている。

☆3 原著の『Learning Perl』は 2021 年に 8th Edition が発行されている。目次を見る限りでは 7th Edition と大きな違いはなさそうである。



れている程度である^{☆4}。一方、Perlの特徴でもある正規表現については、「7章 正規表現」「8章 正規表現によるマッチ」「9章 正規表現によるテキスト処理」と3章も割かれている。大昔にアプリケーションを作成した際にはデータベース上のデータ入出力時の文字コードの取り扱いに悩まされたこともあったが、「付録C Unicode 入門」ではUnicodeの基礎からPerlでのUnicodeの取り扱いなども解説されており、非常に役に立ちそうである。

さて、これから新たにプログラミング言語を学び

^{☆4} リストの処理に特化したforeach制御構造が「3章 リストと配列」にあるほか、unless制御構造などのテクニックをまとめた「10章 さまざまな制御構造」で説明されている。

たい若者に本書をお勧めできるかという疑問だが、長年Perlから遠ざかっていた方々には一読の価値があると信じたい。「連想配列じゃなくてハッシュと呼んでよいんだ」「sayって何？」など、Perlから離れた時期によっては新たな発見があるだろう。

(2022年3月3日受付)

関谷貴之 (正会員)

kishii@rs.sus.ac.jp

東京大学情報基盤センター助教。博士(工学)。学習管理システムの設計・運用等を担当している。また、高等教育機関のシラバスの収集や分析に関する研究を行っている。





Edward A. Lee : Cyber Physical Systems : Design Challenges

The 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC 2008)

サイバーフィジカルシステムとは

サイバーフィジカルシステム (Cyber Physical Systems:CPS) は、コンピュータの世界 (サイバー) と実世界 (フィジカル) を融合したシステムのことである。CPS の応用例としては、スマートグリッド、自動運転、ドローンなどが考えられる。CPS では、実世界のセンシング (コンピュータへの入力)、コンピューティング (センシング情報を元に計算)、アクチュエーション (コンピュータの出力: モータなどで実世界に影響を与える) で成り立っている。

図-1 に示す自動運転を例にして説明する。自動運転走行車は、LiDAR (360度の距離情報を持った点の集まりとして認識するセンサ)、カメラ、GPS などのさまざまなセンサを用いて実世界の情報をセンシングし、ハンドル・アクセル・ブレーキの指令値を計算し、指令値を元にハンドル・アクセル・ブレーキを操作する。この一連の処理を周期的に繰り返す。

CPS に近い概念 (応用分野としての重複が多い) としては、IoT (Internet of Things) があるが、

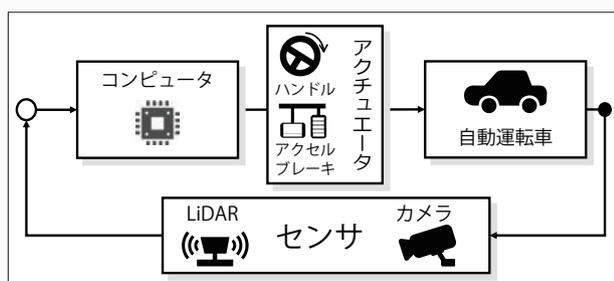


図-1 自動運転の例

CPS は実世界に影響を与えることが必須であるのに対し、IoT は必須としていない。

今回紹介する論文は、コンピュータサイエンスの視点で、CPS の問題定義および、その解決方法を提案している論文で、現時点 (2022年5月現在) で4,492件の論文に引用されており、CPS 分野の発展に影響を与えた論文の1つである。本論文では、論文公開時点でのモデリングの問題点と、その解決方法を提案している。モデリングは、着目しているある側面だけを抽出し、抽象化した図形モデルあるいは数理モデルを作成することである。モデリングの方法は、着目する種類によってさまざまである。モデリングを間違えると、現実とかけ離れたモデルができることがあるため、注意が必要である。

既存モデリング手法の問題点

CPS では、1つのモデルだけでなく、粒度や種類の違う複数のモデルを一度に扱う。たとえば、交通シミュレーション用のモデル、ネットワークモデル、自動車のモデル、エンジンのモデルなどを同時に扱う。制御モデルでよく用いられる微分方程式に代表される連続時間を扱う数理モデルや、状態遷移図など離散事象のモデルをどう統合的に扱うかも CPS の課題の1つである。

本論文では、コンピュータの抽象化におけるモデリングの問題点を指摘している。図-2 に示すとおり、コンピュータの抽象化レイヤでは、シリコンチップレベルからプログラムレベルまで、抽象化す

ることにより、プログラムの再利用性を向上（上位レイヤが下位レイヤに依存しない）できている。しかし、CPSで重要な概念である「時間」をプログラムレベルで十分に扱えていない。たとえば、ISA（Instruction Set Architecture）は、ハードウェア実装の詳細をソフトウェアから隠し、ソフトウェア再利用性を高めている。しかし、C言語などの高級言語のプログラムでは、「時間の概念」を扱えていない問題を指摘している。この問題の解決手段として、著者は、ボトムアップアプローチとトップダウンアプローチをそれぞれ提案している。

ボトムアップアプローチ

ボトムアップアプローチとして、コンピュータアーキテクチャを変更し、正確な時刻を提供することが挙げられる。これによって、並行動作の決定論的動作可能になる。しかし、プログラミング言語が、時間を扱うことを、ソフトウェアがどのように設計されるかという問題は未解決のままである。タイミ

ング精度に関しては、性能を犠牲にすることをいとわなければ実現可能である。キャッシュやパイプラインなどの構造や、プログラミング言語、コンパイラ、オペレーティングシステムにおける約半世紀の進歩を放棄することは容易ではないが、多くは再考の必要がある。

抽象化レイヤ全体を通じて、再構築すべきであり、下記の方法などを提案している。

- キャッシュの代わりにスクラッチパッドメモリ（プログラマが自由にメモリを配置できる高速なメモリ）を使用する。
- プログラミング言語にタイミングを考慮したセマンティクスを追加する。
- 適切に分けられた並行処理モデルを、静的解析によって制御する。

トップダウンアプローチ

トップダウンのアプローチでは、プログラムレベルより一段階抽象度の高い方法として、モデル用いた開発手法（モデルベース開発）を提案している。スマートグリッドなどCPSの応用分野は、初期段階で実機を用いた動作確認をすることは難しい。そのため、モデルベース開発では、複数のモデル（ネットワークモデル、交通シミュレーション用のモデル、自動車など）を利用したシミュレーションを行うことで、実機なしで検証できる。初期段階では、複数の制御対象は、MATLAB/Simulinkなどを利用しシミュレーションで動作確認を行う。シミュレーションで検証したモデルを元に、プログラムを自動生成できるため、CPSのアプリケーションの開発に、モ

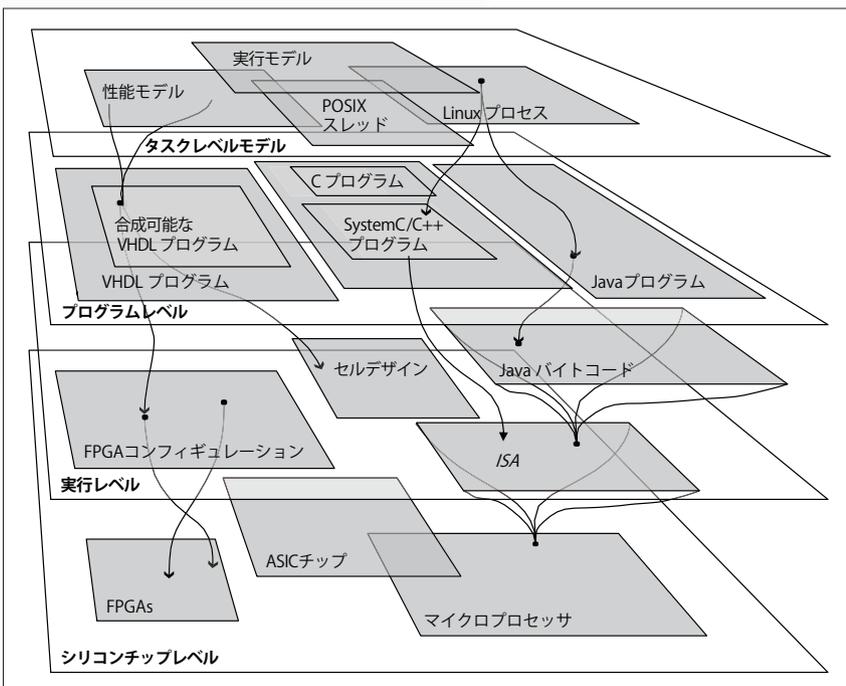


図-2 抽象化レイヤ

モデルベース開発は、大きな役割を果たすと期待されている。

モデルベース開発は、この十数年で、自動車の開発を始めとする制御分野で用いられおり、普及しつつある。

さらに理解を深めるために

本論文の著者が執筆しているCPSの教科書(pdf版は無料でダウンロード可能¹⁾)は、CPSに必要な知識を、コンピュータサイエンスだけでなく、制御工学の視点でのモデリングについても分かりやすく説明されているので、CPSに興味を持たれた方

は、一読されるとよい。発展事項としては、決定性(Determinism²⁾)では、時間を取り扱うためのモデリングについて最近の話題についても解説されている。

参考文献

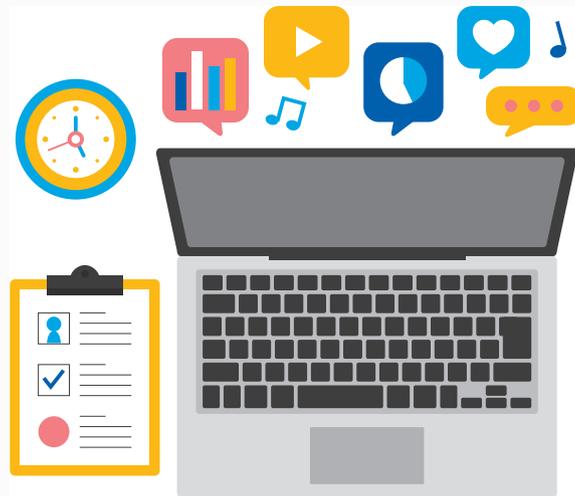
- 1) Lee, E. A. and Seshia, S. A. : Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, <http://leeseshia.org/>
- 2) Lee, E. A. : Determinism ACM Transactions on Embedded Computing Systems, Volume20, Issue5 (2021).

(2022年3月31日受付)



安積卓也 (正会員)
takuya@mail.saitama-u.ac.jp

2009年名古屋大学大学院 情報科学研究科 博士後期課程修了。博士(情報科学)。組み込みソフトウェアの研究に長年従事し、最近では、自動運転プラットフォームをはじめとする、サイバーフィジカルシステムの研究に従事している。





ICMU 2021 会議報告

International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU) は本会モバイルコンピューティングと新社会システム (MBL) 研究会が主催する国際会議である。第13回目のICMU 2021は2021年11月17～19日に日本科学未来館とオンラインのハイブリッド形式で開催された。当初、第13回のICMUは、東京オリンピック・パラリンピックの後、2020年10月に開催する計画で組織委員会が発足し、会場の手配やCFPの展開などを進めていた。しかし、新型コロナウイルスの世界的感染拡大の影響により、参加者の健康と安全を守るために、東京オリンピック・パラリンピックとあわせて開催時期を1年延期することになった。筆者はICMU 2021に研究発表だけでなく、Financial Co-Chairとして運営の立場でも参加した。本稿では現地参加したICMU 2021の開催の様子について、主に参加者としての視点で報告する。

開催概要

ICMUはヒト、センサ、デバイスおよび環境が関与する次世代分散ユビキタスコンピューティングのための技術開発分野に重点を置いており、IoT (Internet of Things) やヒト中心のセンシング、エネルギー効率の良いモバイルシステム、SNS、M2M (Machine-to-Machine)、モバイルクラウドコンピューティングのほか、プライバシーやセキュリティ、信頼性にかかわる基礎的な理論など、モバイル・パーベイシブコンピューティングとユビキタスネットワークに関する幅広いトピックをカバーしている。

ICMUは参加者の国際的交流やコラボレーションの促進などによる新たなイノベーション創出を目的として、全参加者がすべての研究発表を聴講して議論できるよう、基調講演、一般講演およびデモ・ポスター発表の全セッションがシングルトラックで開催されることが特徴的である。そのため、1編の論文に対して3名のレビュ

アーが採否を判定し、一般講演セッションでは厳選された研究成果が発表される。惜しくも一般講演セッションに入りきらなかったが高評価の論文は、デモ・ポスターセッション枠で採録される仕組みが用意されている。

なお、IEEEの国際会議で用いられる標準テンプレートを利用して論文を執筆し、論文管理システムはEDASを利用しているため、多くの方は戸惑うことなく論文を投稿できるだろう。また、一般講演およびデモ・ポスター講演で発表されたすべての論文は、IEEE Xploreに掲載される^{☆1}。

キーノート

ICMU 2021では、2件のキーノートスピーチが行われた。初日は人間の能力をテクノロジーによって強化する研究の第一人者である東京大学の暦本純一教授が「Human Augmentation and the Future of Human-Computer Interaction」と題して、これまでの人間拡張に関する数々の研究を紹介された。そして、ネットワークを介して人間の能力を相互接続して拡張するIoA (Internet of Abilities) について議論した (図-1)。

2日目はモバイルコンピューティングやデータサイエンス分野において世界をリードする研究成果を挙げているヘルシンキ大学および香港科学大学のPan Hui教授が「Practical Edge Computing for the Metaverse」と題した基調講演を行った (図-2)。最近、見聞きすること

☆1 <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9638698/proceeding>



図-1 暦本教授によるキーノート



図-2 Pan 教授によるキーノート

が増えてきたメタバースをきっかけにさらに注目度が高まっているモバイルVR(Virtual Reality)/AR(Augmented Reality)を高いQoE(Quality of Experience)を維持しながら実現するために、戦略的にエッジサーバを活用する方法とその課題について示された。

一般講演セッションおよび デモ・ポスターセッション

2021年度は8カ国から51件の投稿があった。そのうち30件が採録され、採録率は58%であった。セッションは、無線ネットワーク分野、機械学習・センシング分野、アプリケーションおよびセキュリティ分野、スマートシティ分野、認識分野、ヘルスケア分野など多岐にわたる6セッションが構成された。国内外の参加者総数は72名であり、Zoomを利用して発表および質疑応答が行われた。

初日の夕方からは10件のデモ・ポスター発表が行われた。今回は超短時間で論文を紹介するFast Forwardセッションからスタートした。デモ・ポスターセッションの発表者によって事前に作成された30秒の動画をZoomで視聴し、その後、Gather^{☆2}を利用したバーチャル空間で発表およびディスカッションが行われた(図-3)。参加者は自身のキャラクタをバーチャル空間内に設けられたブースまで移動させ、掲示されているポスターを見ながら発表者とディスカッションした。

最終日のClosingの直前には受賞論文が発表された^{☆3}。Best Paper Awardを受賞したMatsuiらの研究¹⁾は、多人数が生活する居住空間において、非接触センサのみから得られる各人の活動履歴の共起関係を特徴量として、個々の日常生活動作を認識する手法を提案していた。Best Poster/Demo Awardを受賞したChikamotoらの研究²⁾は、無線カメラを搭載した漂流ノードを下水道管内に流して映像を撮影し、マンホールに設置した無線LANアクセスポイントを経由してクラウドへ送信し

☆2 <https://www.gather.town/>

☆3 <http://www.icmu.org/icmu2021/award.html>

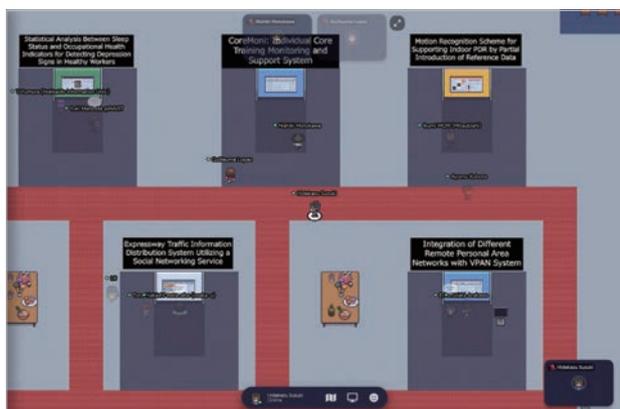


図-3 Gatherを利用したデモ・ポスターセッションの様子

た映像を閲覧できるシステムのデモについて発表した。

ハイブリッド開催を終えて

今回はハイブリッド形式での開催であったため、現地会場の参加者もZoomに接続して発表および議論に参加することになった。一部の講演でネットワーク接続が不安定になったり、スライド共有操作に苦勞する場面があったものの、講演終了後にはチャットも併用して活発な質疑応答およびディスカッションが行われていた。現地会場では大型スクリーンにZoom画面が表示されていたが、ハウリング対策のために参加者も各自でZoomに接続し、持参したイヤホンとマイクで音声のやりとりをする運用がとられた。そのため、オンライン参加とほとんど変わらない状況であったが、現地会場ではディスタンスを確保しつつ、セッション後には直接参加者とディスカッションできる楽しさがあった。ZoomやGatherを利用することにより、会場の広さによらず大人数が参加できることや、隣のブースのディスカッションの声が入らないなど、オンライン実施のメリットが感じられた。一方、現地に一同が集まって開催する活発な会場の雰囲気を感じ取ることはやはり難しかった。ハイブリッド形式で開催する場合、現地開催とオンライン開催の両方の利点をうまく取り入れることが重要だと感じた。

現地会場では、コロナ禍での開催であったため、日本科学未来館入館時にアルコール消毒と検温が行われた後、受付デスクにて運営スタッフが参加者の名前と検温で問題なかったかの確認があった。セッションの合間のコーヒブレイクでは、受付デスクにすべて個包装されたスナックとペットボトルが準備され、そこからピックアップするスタイルだった。また、受付時に配付されていたドリンクチケットを使って、日本科学未来館内のレストランでドリンクや軽食を注文できるようになっており、参加者が直接的または間接的に接触しないよう配慮されていた。最も特徴的だったのが、デジタルカンファレンスグッズとして提供された参加者の似顔絵データだ。参加者は参加登録時に自身の写真を提供すると、プロのアーティストによる手書きの似顔絵を電子データとしてもらった(筆者の写真がその似顔絵である)。参加者は似顔絵をZoomやGatherのプロファイル画像として利用し、Gatherのバーチャル空間内では、参加者一同の似顔絵が並んでいた。オンラインやハイブリッドでの開催ではこのような参加者の一体感の醸成が重要であり、その経験が次回の参加に繋がるのではないかと感じた。

ICMU 2023

ICMU 2021のClosingにおいて、次回のICMUは2023年に京都で開催されることがアナウンスされた。新型コ

コロナウイルス感染症の状況が落ち着き、現地で開催されることを願っているが、さらなる国際化を推進するために海外の研究者が参加しやすいハイブリッド形式での実施も考えられる。ICMU 2021 の経験を活かして、すべての参加者が充実した体験や国際交流ができる国際会議になることを期待したい。

参考文献

1) Matsui, T., Misaki, S., Sato, Y., Fujimoto, M., Suwa, H. and Yasumoto, K. : Multi-person Daily Activity Recognition with Non-contact Sensors based on Activity Co-occurrence, 2021 Thirteenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU), pp.1-8 (Nov. 2021).

2) Chikamoto, Y., Tsutsumi, Y., Sawano, H. and Ishihara, S. : Demo: Sewer Inspection System using Drifting Wireless Cameras - Video Data Transmission and Video Frame Localization, 2021 Thirteenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU), pp.1-2 (Nov. 2021).



■鈴木秀和
(名城大学情報工学部)

書評（ビブリオ・トーク）・会議レポート募集のお知らせ

情報処理学会会誌編集委員会では、会誌「情報処理」に掲載する書評、および会議レポートを広く会員の皆さまから募集しています。

1. 募集対象 次の2種類の記事について、原稿を募集します。書評に関しては、「ビブリオ・トーカー書評」、「ビブリオ・トーカー私のオススメ」の2つのカテゴリを設けます。
 - a-1) ビブリオ・トーカー書評：過去2年間に出版された、本会会員にとって有益な図書についての紹介もしくは批評。
 - a-2) ビブリオ・トーカー私のオススメ：お気に入りの本の紹介。
 - b) 会議レポート：情報処理に関する国際規模の会議・大会の報告など、時事性が高く、本会会員に広く知らせる価値のある話題。

2. 応募資格

原則として本会会員に限ります。

3. 応募の手続き

- 1) 表 題：ビブリオ・トークの場合は、書評もしくは私のオススメの投稿カテゴリ、著者名、書名、ページ数、発行所、発行年、価格、ISBNを書く。会議レポートは、見出しを書く。書評、会議レポートの別を左肩に書く。
- 2) 評 者 名：(会議レポートの場合は筆者名)・所属・評者連絡先(住所、E-mail、Faxなど)の記載を忘れずに。
- 3) 本 文：ビブリオ・トークは1,500字以内または3,000字以内(1または2ページ)。会議レポートは2,100字前後で書く。
- 4) そ の 他：(必要であれば)参考文献、付録、図、表をつける。詳しくは「原稿執筆のご案内/書評・会議レポート」(<https://www.ipsj.or.jp/magazine/sippitsu/shohyonews.html>)を参照してください。

4. 原稿の取扱い

投稿された原稿は会誌編集委員会で審査し、採否を決定します。採用にあたっては原稿の修正をお願いすることがあります。あらかじめご了承ください。

5. 照会/応募先 一般社団法人 情報処理学会 会誌編集部門 E-mail: editj@ipsj.or.jp



連載

★ Jr.

先生、質問です!



学校関係者のみならず社会的にも大きく着目を浴びた高等学校の情報の科目がいよいよ開始しました。教育と社会の連続性が気になるところですが、プログラミング言語に関して語っていただきました。



tezen
社会人

2022年度から高等学校で始まる新学習指導要領では新しい科目として「情報I, II」が設置されますが、プログラミングはどの言語を学ぶことになるのでしょうか？ また、現在IT業界で最も利用されている言語は何でしょうか？



高校の「情報」という教科は、すべての高校生に学んでほしい情報学の内容を含んでいます。ところで、私たちが暮らす社会は、いまや、情報学や、情報学に基づいたさまざまな分析と工学に基づく技術のおかげで、過去には存在していなかった理想を実現しつつあります。高校の「情報」が含む内容は、そんな社会でこれから活躍するひとのための内容なのです。

さて、ご質問の回答ですが、いま、特定のプログラミング言語を固定して学んでも、10年後、20年後に、世の中の流行が別の言語に変わるかもしれません。現在は、Pythonがブームになっていて、また、C++やC言語を学ぶ人も多いですが、一方で、表計算ソフトではVBAが、また、データベース言語ではSQLがよく使われています。そして、世界で最も利用されているインタプリタは、現在はJavaScriptでしょう（ほぼすべてのwebブラウザがJavaScriptのインタプリタです）。ということで、高等学校の学習指導要領では、特定の言語を指定しておらず、各教科書会社の裁量で書かれています。2022年度の「情報I」の教科書の顔ぶれを見ると、PythonとVBAが多いですが、Scratchを採用した教科書も登場しています。授業は、教科書を参考に作られますので、その点でいえば、当分の間はPythonとVBAが、よく学ばれることになるでしょう。

なお、大学入試センターが公表した「情報I」サンプル問題（2025年入学生の試験問題のサンプルとして作成されて公表された）を見ると、日本語の命令文を利用して、Pythonに似た構造の擬似コードが利用されています。情報教育の研究者は、これを「DNCL2」あるいは「新しいDNCL」などと呼んでいます。このサンプル問題を参考にすると、今後は、Pythonを採用する教科書が増えていくと予想できますね。



辰己丈夫

【正会員】

放送大学



A

新しい科目が始まるとともに、大学入学共通テストにも「情報」が導入されることが決まっています。これまでも大学入試センター試験では数学②に「情報関係基礎」という科目が設置されており、情報教育関係者はこの科目の出題内容に着目してきました。

最初は BASIC など世間で使われている言語でプログラミングの問題が作られましたが、すぐに日本語ベースの擬似言語（アルゴリズムを自然言語で表したもの）になり、整理されて DNCL と呼ばれる言語になりました。これは特定の言語で勉強した人が有利にならないようにという配慮だと思われそうですが、DNCL で書いたプログラムが実行できる環境は当時から作られており、試験問題のプログラムを実行することもできました。

だったら「情報 I」でも DNCL で学習したら入試に直結して有利なんじゃないか……というのも自然な考えです。しかし（私自身 DNCL の実行環境の 1 つを開発している立場ですが）DNCL だけで学習を進めることには明確に反対します。「情報」という教科は問題発見・解決が大きいテーマであり、そのためには DNCL でできることは限られています。DNCL は日本語ベースで取り付きやすいことから、導入で用いることはいいと思いますが、プログラムがある程度書けるようになったら、Python や VBA, JavaScript など実用的に使われている言語を使うべきです。そうすることで、将来必ず現れる新しい言語にも手が届くようになります。

入試対応？ 実は上述したどの言語で勉強しても、共通テストのサンプル問題に解答した結果には大差なかったという研究結果があります¹⁾。だとしたら、現実に関心のあることができた方が楽しいじゃないですか。

参考文献

1) 井手広康：大学入学共通テストを見据えたプログラミング教育の言語選択に関する考察，情報処理学会 CE 研 163 回研究発表会 [14].



中西 渉

【正会員】

名古屋高等学校

「先生、質問です！」・「先生が質問です!!」への質問・回答募集

▶ Web から質問する：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！

▶ 公開質問

「先生、質問です！」：大学院進学するかどうかが悩んでいるけどキャリア・ライフプランに影響があるのか気になっています。アドバイスいただきたいです。

300～500字程度でご回答をお待ちしております。

なお、一部加工の上掲載させていただく可能性がありますので、あらかじめご了承ください。



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

教科「情報」の入学試験問題って？



小池ケイコさんの「幸せ」の解説



谷 聖一 | 日本大学 文理学部 情報科学科

連載「教科『情報』の入学試験問題って？」第10弾です。前回までの入試問題解説に関してはこちら^{☆1}をご覧ください。

「小池ケイコさんは、なぜか回文が大好きで毎日回文のことばかりを考えている。」

好きなことばかりを考えていられて、^{さいわいさ}幸せは最大^{さいだいさ}！ 上の文は、大学入学共通テスト（以下、共通テスト）の2022年度本試験「情報関係基礎」第2問（以下、2022年度本試験第2問）の書き出しです。

小池さんは常々世の中には回文ではない文字列も存在することを残念に思っていた。しかし、幸いなことに長さ1の文字列は回文なので、どんな文字列も回文を連結して作れることに気付いた。その際、連結する回文の数が少ない方がより幸せに感じられたため、ある文字列を作成するために連結する最も少ない回文の数でその文字列の長さ^{さいわいさ}を割った値を、その文字列の^{さいわいさ}幸せと呼ぶことにした。

大学入学共通テスト 2022年度本試験「情報関係基礎」第2問

ここから物語は始まります。「これが『情報』の問題？」と思われた方も、「フムフム、まさしく『情報』の問題だ！」と思われた方もいるでしょう。問1では、「回文」の定義や「幸せ」の定義を理解でき

ているか確認し（問いを通して、定義の理解を促し）、問2・問3と続きます。このノートでは、これらの問を解説し、高等学校の教科「情報」で身に付けるべきどのような能力を測ろうとしているのかを考えてみたいと思います。まず、共通テスト「情報関係基礎」と第2問の位置付けの説明から始めましょう。

「情報関係基礎」第2問

この春に高校に入学する生徒から新しい学習指導要領で学びます。情報科は、これまでは「社会と情報」と「情報の科学」の2科目から1科目を選択必修でしたが、共通必修の「情報Ⅰ」と選択の「情報Ⅱ」の2科目が新設されます。すべての高校生が必修の「情報Ⅰ」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。この学習指導要領で学ぶ生徒が臨む2025年度大学入試からは、共通テストで出題される教科に「情報」が追加されることが検討されています。2021年9月の『令和7年度大学入学者選抜に係る大学入学共通テスト実施大綱の予告（補遺）』について（通知）では、教科「情報」の出題科目は「情報Ⅰ」で、試験時間は60分とされています。

共通テストは、2020年度大学入試を最後に廃止された大学入試センター試験（以下、センター試験）の後を受け、2021年度大学入試より実施されてい

^{☆1} <https://note.com/ipsj/m/m1ca81b5d1e66>

ます。センター試験と共通テストを通じて、教科として「情報」は出題されていませんが、教科「数学」の出題科目グループ②に「数学Ⅱ・数学B」などと並んで「情報関係基礎」が設置されています。その出題範囲は、「専門教育を主とする農業、工業、商業、水産、家庭、看護、情報及び福祉の8教科に設定されている情報に関する基礎的科目」と定められており、第1問と第2問が必答問題で、第3問と第4問が選択問題となっています。

後ほど説明しますが、第2問は「情報技術に必要な『ものの考え方』とその応用能力を問う問題」として出題されています。この「ものの考え方」には、情報の表現・モデル化・抽象化・アルゴリズム的な思考などが含まれるのでしょう。小池ケイコさんが定義した「幸いさ」は数理モデルと言えます。では、問2・問3を見ていきましょう。解法にも触れながら解説しますので、ネタバレを避けたい方は、読み進む前に問題に取り組んでください。

問2

小池さんは、皆にも文字列の幸いさに親しんでもらいたいと思っている。文字列の幸いさを機械的に計算するために、まずは文字列に現れるすべての回文を求める方法を考えた。以下では「ししばしばまた」を例に考える。

「ししばしばまた」の中には1文字のもの以外には「ししばし」や「しし」という回文があるが、回文を見落とすことがないように、次の図1を用いて文字列の x 文字目から y 文字目までが回文かどうかをすべての x, y の組(ただし $1 \leq x \leq y \leq 7$) について調べる。例えば $(x, y) = (1, 2)$ は文字列「ししば」に対応し、これは回文ではない。回文「しし」は $(x, y) = (3, 4)$ に対応する。また、回文「ししばし」は $(x, y) = (\text{オ}, \text{カ})$ に対応する。回文に対応するマスに○、そうでないマスに×を記入することですべての回文が求められる。

$y \setminus x$	1	2	3	4	5	6	7
1	○						
2	×	○					
3	○	×	○				
4	×	×	○	○			
5	×	○	×	×	○		
6	×	×	×	×	×	○	
7	×	×	×	×	×	×	○

図1 「ししばしばまた」に現れる回文を調べた図

小池さんは図1を作る際に、長い文字列に対応するマスでも○×を決めるために調べる文字が少なく済む、次の方法を考えた。

図-1は、問2の導入部分です。小池さんは「幸いさ」を多くの人に親しんでもらうため「幸いさ」を「機械的に計算する」ことを考えます。脇道にそれますが、「機械的に計算する」というのは、文脈から「計算の手順を明確にし、手順通りに行えば、特別な工夫をしなくても正しく計算できるようにする」ということ、つまり、アルゴリズムを設計する・自動化することと言えるでしょう。「幸いさ」は一意に値が定まるように問1で適切に定義されていますが、その計算手順は与えられていません。話を戻します。それで、まず、問2の問題文中の図1のような表を用いて「文字列に現れるすべての回文」を求めようとしてます。実際には、文字列中のすべての部分文字列に対して回文(○)かそうでないか(×)を判定し、 x 文字目から y 文字目の判定結果を表の x 列 y 行のマス目に記録します。

問2の図-1に続く部分で、小池さんは表を完成させる手間を減らす方法を考えます。

- x 文字目から y 文字目が回文でなければ、 $(x-1)$ 文字目から $(y+1)$ 文字目は回文にはならない(表で考えると「×のマス目の左下のマス目は×」)
- x 文字目から y 文字目が回文ならば、 $(x-1)$ 文字目から $(y+1)$ 文字目が回文かどうかは、 $(x-1)$ 文字目と $(y+1)$ 文字目が一致しているかだけで判定できる

小池さんは、上の性質を利用し、また、処理する順番(図-2)を工夫することで、次の手順を考えました。

1. 長さ1の部分文字列はすべて回文なので、対応するマス目を○にする
2. 長さ2の部分文字列各々に対して、回文かどうか判定し、対応するマス目を○か×にする
3. 処理する部分列の長さ L を3, 4, …と元の文字列の長さまで増やしながらかつ繰り返す：
 - 長さ L の部分列各々に対して
 - 右上のマス目が×の場合：対応するマス目を×にする
 - 右上のマス目が○の場合：今考えている部分

図-1 2022年度本試験第2問問2前半

文字列の両端を比較して、同じなら○を、異なれば×を、対応するマス目に記録する

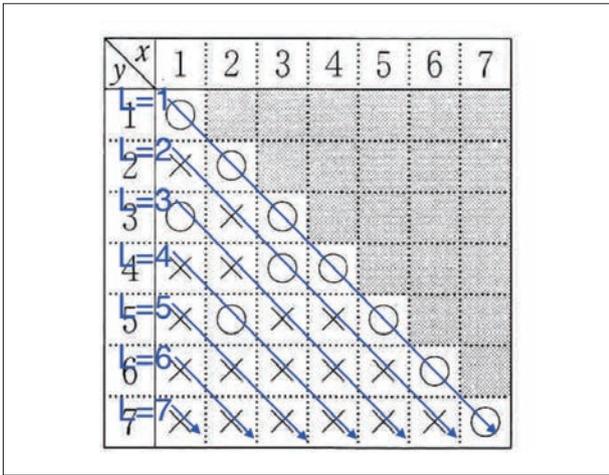


図-2 問2で提案された処理の流れ

すべてのマス目で対応する部分文字列が回文かどうかを素朴に判定するのに比べて、この手順の手間はかなり軽減されています。

問3

与えられた文字列を作るために連結する最も少ない回文の数(以降、**最小回文数**と呼ぶ。)がわかれば、その幸いさは簡単に計算できる。以下では文字列「ガタイイタイガーガイタ」を例に、最小回文数を求める方法を考える。

小池さんは、次の図2を作成した。この図では、文字列全体の前と後および各文字の間に、図中に示す番号を振った丸印を対応させる。また、文字列中に現れるすべての回文それぞれに対して、開始直前の丸印から出て、終了直後の丸印へ入る矢印を引く。ただし、図2には設問の都合により⑫に入る矢印は描かれていない。

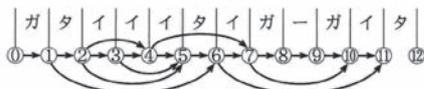


図2 「ガタイイタイガーガイタ」に現れる回文にもとづき作成した図(ただし、設問の都合により⑫に入る矢印は描かれていない)

例えば、矢印「⑩→①」は回文「ガ」に、矢印「②→⑤」は回文「イイイ」に対応する。⑫に入る矢印は「ス」→⑫と「セ」→⑫となる。

このように表すと、例えば、「⑩→①→⑥→⑦」という3本の矢印でのたどり方は「ガ・タイイタ・イ」の3つの回文の列に対応し、連結すると先頭から7文字目までの「ガタイイタイ」になる。一方、連結すると同じ文字列になる「ガ・タ・イイ・イタイ」の4つの回文の列は「⑩→①→③→④→⑦」という4本の矢印でのたどり方に対応する。つまり、⑩から⑦へのたどり方と、連結すると先頭から7文字目までの文字列を作る回文の列とが一対一に

図-3 2022年度本試験第2問問3前半

問3では、問2などの方法で文字列に現れるすべての回文が求まったあと、それらを利用して与えられた文字列を作るために連結する最も少ない回文の数(**最小回文数**)を効率良く求める方法を考察します。図-3は、問3の前半部分です。まず、列挙した回文を問3の問題文中の図2のように矢印で表します。矢印が結ぶ丸印の番号は、最小回文数を求める文字列の文字間に対応しています*i*と*j*を結ぶ矢印は、(*i*+1)番目から*j*番目の部分文字列が回文であることを表しています。つまり、左端の丸印から右端の丸印まで途切れずにつながった矢印の列は、連結すれば与えられた文字列となる回文の列に対応しています。問3では、左端の丸印からある丸印までをつなぐ矢印の最小本数を**最短距離**と呼んでいます。最小回文数を求めるには、左端の丸印から右端の丸印までの最短距離を求めればよいわけですね。

では、どうすれば**最短距離**を効率良く求めることができるでしょうか。*j*の丸印に*d*本の矢印が入っているとします。これら*d*本の矢印の元の丸印の番号を*i*₁, *i*₂, ..., *i*_{*d*}とします。*j*の丸印に来る直前は、*i*₁, *i*₂, ..., *i*_{*d*}のいずれかの丸印にいるので、左端の丸印から*j*の丸印までの最短距離は、{直前が*i*₁だった場合の距離, 直前が*i*₂だった場合の距離, ..., 直前が*i*_{*d*}だった場合の距離}の中の最小値となります。

$$\min_{k=1}^d \{ \text{左端の丸印から } i_k \text{ の丸印までの最短距離} + 1 \}$$

上の式の中の+1は、*i*_{*k*}の丸印から*j*の丸印を結ぶ矢印の分です。この式を活用して番号が小さい順に最短距離を求めることにすれば、最短距離を求めるのに必要な値はすでに求まっているので、すべての丸印に対して左端の丸印からの最短距離を簡単に求めることができますね(図-4)。

測ろうとしている「情報」の能力

情報と情報技術についての科学的な探究の過程を重視する。問題の作成に当たっては、専門教育を主とする「農業、工業、商業、水産、家庭、看護、情報及び福祉」に設定されている情報に関する基礎科目を出題範囲としていることを踏まえ、情報及び情報技術の基本的な知識と、考え方、基本的なアルゴリズムの理解とそれを実現する方策、プログラミングやアプリケーションソフトウェアを活用したデータの処理や分析、問題解決の方法の理解を問う問題などを含めて検討する。

令和4年度大学入学者選抜に係る大学入学共通テスト問題作成方針（別添） 出題教科・科目の問題作成の方針

センター試験でも共通テストでも、実施後しばらくすると「問題評価・分析委員会報告書」が公表されます。その中の「問題作成部会の見解」によると、2015年度から2021年度までの「情報関係基礎」は、基本的に次の4つの大問で構成されています。

1. コンピュータ・情報に関する基本的な知識と理解を問う問題（必答）
2. 情報技術に必要な「ものの考え方」とその応用能力を問う問題（必答）
3. プログラミングの基礎能力に関する問題（選択）

4. 情報の統合的な処理手法の理解や問題解決能力と論理的思考力について合わせて問うことを目的に、アプリケーションソフトウェアの利活用に関する問題（選択）

2022年度共通テストの問題評価・分析委員会報告書はまだ公開されていませんが、小池ケイコさんの2022年度本試験第2問も「情報技術に必要な『ものの考え方』とその応用能力を問う問題」として出題されたと思われます。

「情報I」の学習指導要領では、身につけるべき知識・技能に「アルゴリズムを表現する手段、プログラミングによってコンピュータや情報通信ネットワークを活用する方法について理解し技能を身に付けること。」とあり、身につけるべき思考力・判断力・表現力に「目的に応じたアルゴリズムを考え適切な方法で表現し、プログラミングによりコンピュータや情報通信ネットワークを活用するとともに、その過程を評価し改善すること。」とあります。しかし、センター試験時代も含めて2015年度から2024年度までの「情報関係基礎」は、2012年度高校入学者から学年進行で実施された学習指導要領に基づいても出題されます。各専門学科において開設される教科だけでなく、「社会と情報」と「情報の科学」も参照されていると思われます。たとえば、「情報の科学」の内容を見ると「(2) 問題解決とコンピュータの活用 ア 問題解決の基本的な考え方」に「問題

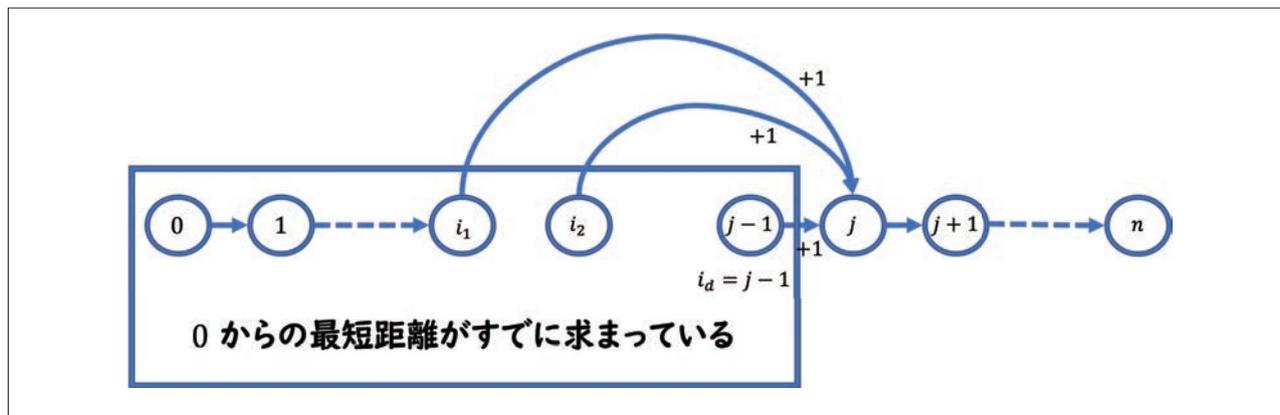


図-4 左端の丸印からj（図中ではイタリック体）の丸印までの最短距離を求める際の状況

の発見、明確化、分析及び解決の方法を習得させ、問題解決の目的や状況に応じてこれらの方法を適切に選択することの重要性を考えさせる。」とあります。「情報技術に必要な『ものの考え方』とその応用能力を問う」のは、学習指導要領のこのような項目との関連と思われまます。問2・問3では、誘導の元ではありますが、問1の数理モデルを活用して「問題の発見、明確化、分析及び解決」を行ったと言えるでしょう。ただ、このモデルの妥当性は、小池ケイコさんにしか分からないのかもしれない。

参考文献

1) 情報関係基礎 アーカイブ, 情報処理学会 情報入試委員会,
<https://sites.google.com/a/ipsj.or.jp/ipsjin/resources/JHK>

(2022年3月23日受付)
 (2022年4月15日note公開)

■ 谷 聖一 (正会員) tani.seiichi@nihon-u.ac.jp

日本大学文理学部 教授。(一社)情報オリンピック日本委員会 専務理事。計算論的位相幾何学・複雑ネットワーク解析などの研究、および、情報科学の普及活動に従事。IPSJ MOOC (<https://sites.google.com/a/ipsj.or.jp/mooc/>)「コンピュータとプログラミング」の制作に携わる。

連載「教科『情報』の入学試験問題って？」はnote「情報処理」にて好評連載中です！

▶ <https://note.com/ipsj/m/m1ca81b5d1e66>



<これまでの掲載記事>

- 教科「情報」の入学試験問題って？
- 基本問題
- 基本問題 2
- 「情報通信ネットワーク」の例題
- 大学共通テスト「情報」サンプル問題, 「コミュニケーションと情報デザイン」領域の問題を見てみよう
- 「データの分析」分野の入試問題の分類と解法の一考察 入試センターのサンプル問題解説
 ～第3問データの分析～
- じゃんけんをプログラミングするよ
- 「情報通信ネットワーク」分野の問題
- データベースの試験問題を解いてみる
- 小池ケイコさんの「幸いさ」の解説



ご寄付のお願い

情報処理学会は、情報処理に関する学術および技術の振興をはかることにより、学術、文化ならびに産業の発展に寄与することを目的に各種事業を戦略的に展開しております。今回、学会活動の更なる活性化を図る上で会員の皆様からご寄付を頂戴いたしたく、お願いを申し上げます。

皆様から頂きますご寄付は

情報技術を通じて、人類及び世界の発展に資するため
情報技術を中心に学術および技術の振興に資するため
将来を担う人材の育成に資するため

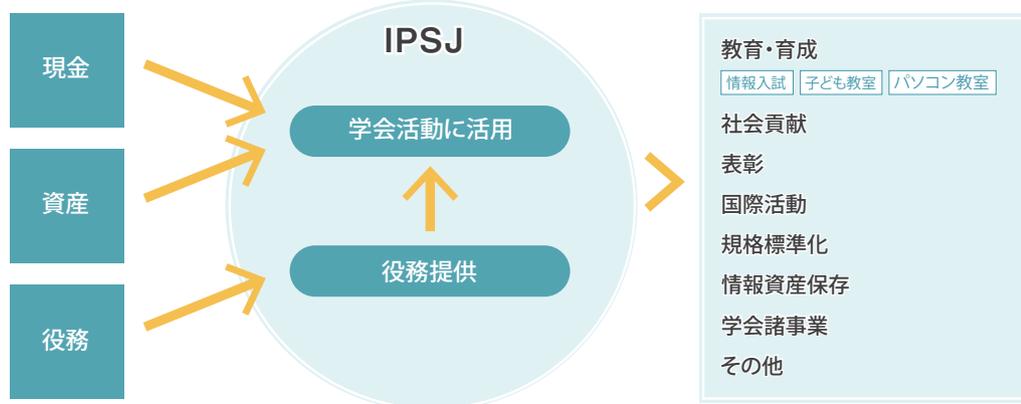
などの観点に照らし、下記の項目に活用させて頂く所存です。

今回ご寄付をお願いしたいのは現金に加えて、情報技術に関わる有形無形の資産（著作物、電子コンテンツ、特許、ソフトウェア等）、ボランティアで提供いただける役務提供（経験や知識に基づく役務）なども含まれます。お預かりいたしましたご寄付のうち用途のご指定のあるものは、そのご意向に沿った活用をさせて頂き、ご指定のないものは、その用途を学会活動の活性化に有効な諸事業で活用させて頂きます。今後も会員の皆様の絶大なるご支援・ご協力を頂きながら、学会発展のために努力して参る所存でありますので、何卒よろしくごお願い申し上げます。

* ご注意 情報処理学会は寄付金に対する税金が優遇される特定公益増進法人ではございません。

IPSJ 寄付

会員他寄付



詳しくはこちら

<https://www.ipsj.or.jp/annai/other/donation.html>

お問合せ

一般社団法人 情報処理学会 管理部門

〒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 FAX 03-3518-8375

✉ soumu@ipsj.or.jp



アルゴリズムの頂が持つ力はいかに？ — ゲノコン2021開催記録—

♡ 16

 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2022年4月15日 08:56



清水 佳奈 (早稲田大学)



坂本 一憲 (WillBooster (株) / 早稲田大学)



笠原 雅弘 (東京大学)

筆者らは2021年夏にヒトゲノム配列解析を題材とした競技プログラミングコンテスト、ゲノコン2021を主催した。本稿では開催の背景と結果について報告する。

▼ 目次

 競技プログラミング

 マラソン方式

 競技プログラミングとゲノム配列解析

 ゲノコン2021の開催

 実問題！ 実データ！ 未公開データ！

 目を見張る競技者たちの実力，優勝は非専門家！

 コンテストを盛り上げた競技者間の助け合い

 実解析を出題する難しさ

 アルゴリズムの頂と科学研究の未来

競技プログラミング

競技プログラミング（通称「競プロ」）とは，アルゴリズムの設計力と実装力を競う競技である．競プロのコンテストはさまざまな形態をとり得るが，オンラインジャッジシステムによるコンテストが主流だ．一般的なオンラインジャッジシステムでは，出題者が用意したジャッジサーバーに競技者がプログラムを提出する．ジャッジサーバーは，提出されたプログラムに対してあらかじめ用意した入力を与え，出力結果と正解（期待する出力）を照合して自動で得点を与える．それでは競プロではどのような問題が出題されるのか？ ここでは，ゲノコン2021のB問題を紹介しよう．

s と t は文字 A, C, G, T からなる文字列である． s と t の i 番目の文字はそれぞれ， $s[i]$, $t[i]$ と記述する．ここで， s と t の適当な位置に空白を表す文字 '-' を挿入して長さをそろえ，スコア $S = \sum_{i=1}^N \text{sim}(s[i], t[i])$ を

最大化することを考える. $sim(x, y)$ は x と y の類似度を示す関数である. $x = y$ の時は 1 , $x \neq y$ の時は -3 , x と y のいずれかが '-' の場合は -5 を出力する. スコア S を最大化するように '-' が挿入された s と t を出力せよ.

(紙面の都合上, 問題文を一部改変している. 詳しくは[AtCoderの問題ページ](#)を参照のこと)

この問題は文字列比較の典型問題であると同時に, ゲノム配列の基礎的な解析法でもある. 解法を知りたい方は, Needleman-Wunsch algorithm というキーワードで調べていただきたい.

マラソン方式

前述の問題には正解が与えられており, 正解を出力するプログラムには同一の得点が与えられる. 便宜上この方式を正解照合方式と呼ぶことにしよう. 競プロでは正解照合方式以外にも, 最適解の導出が困難な問題を出題して競技者の求めた解の良さに応じた得点を与える方式もある. これはマラソン方式と呼ばれる. 正解照合方式は数時間以内に解答の提出が求められるのに対して, マラソン方式では数週間程度の解答提出期間が設けられる. 競技者は期間中に熟考を重ね, 1ポイントでも評価の高い解が得られるようにプログラムを磨き上げていく. このような特徴を持つマラソン方式が実社会で解くべき課題と相性が良いのは想像に難くない. 実際, さまざまなコンテストにおいて社会課題を想定した問題が出題されている. たとえば2017年から毎年開催されている[日立北大コン](#)では, アニーリングマシンの前処理技術や買い物支援サービスに必要な技術等が扱われた.

競技プログラミングとゲノム配列解析

DNAが担う遺伝情報は4種の文字から構成される文字列で記述することができる。生命の設計図ともいえるこの文字列は「ゲノム配列」と呼ばれ、ヒトであれば30億文字、文庫本にして約3万冊の分量となる。近年、DNAからゲノム配列を読み出すコストが劇的に下がり、膨大な量のゲノム配列が生み出されている。これらを詳細に分析することによって、さまざまな生命現象を解き明かす手がかりが得られる。

さて、ゲノム配列というと敷居の高い響きがあるが、文字列であることに変わりはない。この文字列にどのような分析が必要なのかというと、パターンの比較や発見など、自然言語解析でも扱われる文字列処理である。ここでは、実解析において頻出する問題を紹介しよう。

長さ30億のヒトの塩基配列 S が与えられたとする。クエリは S 上の位置 x を始点として S の一部をコピーした配列である。ただし、コピーする際にごくわずかに置換/欠損/挿入が発生する可能性があり、コピー元と完全一致するとは限らない。クエリの長さは150である。 x を求めよ。 S に対して数時間程度の前処理を許すが、1CPUコアあたり100万クエリを3分以内で処理する必要がある。

この問題の解決には高度な索引アルゴリズムに加えて、配列の類似を評価するアルゴリズムが必要となる（興味を持たれた方は、[索引アルゴリズムを](#)

概説した本会誌の記事もご参照いただきたい)。実は、上記にいくつかの要件を追加したものが、著名なプログラミングコンテストTopCoderにおいて出題されたことがある。その結果は大変興味深いもので、ゲノム配列解析の未経験者が最先端の既存ツールを大きく超える性能の解法を提出して優勝したのである。優勝者は後日行われたインタビューにおいて、「アルゴリズムの問題として面白く楽しんで取り組めた」と述べている。現代の生命科学で強く求められているのは、膨大な塩基配列データを超高速、超精密に分析することのできるアルゴリズムである。そのため、目的に応じてさまざまなアルゴリズムを自在に操る力を試す競技プログラミングとゲノム配列解析は非常に相性が良いのである。

ゲノコン2021の開催

前述のように、ゲノム配列解析の諸問題は競技プログラミングとして十分成立する。特に、実解析の課題はマラソン方式と相性が良い。腕の立つ競技者がどのような解法にたどり着くのか大変興味深く、また高度なアルゴリズムが生命科学の問題解決に役立つことも広く伝えたい。このような動機から、マラソン方式のプログラミングコンテスト「DNA配列解析チャレンジ（ゲノコン2021）」を開催する運びとなった。幸いにして、ゲノコンは競人口人気の火付け役であり、多くの競技者が集うAtCoderにおいて開催することができた。

ゲノコン2021 — DNA配列解析チャレンジ - AtCoder

プログラミング初級者から上級者まで楽しめる、競技プログラミングコンテストサイト「AtCoder」。オンラインで毎週開催プロ
atcoder.jp



AtCoder創設者の高橋直大氏は2021年8月号の本会誌巻頭言において、(AtCoderはアルゴリズムの) “頂に到達したくなるような山であり続ける”, と述べている。果たして、頂を目指す競技者たちはどのようにしてゲノム配列解析に取り組んだのか。

実問題！ 実データ！ 未公開データ！

コンテスト開催にあたってとりわけ注意を払ったのは、できるだけ実解析に近い出題とすることであった。そのため、研究テーマとしても成立し得る実問題を扱うこととした。以下が問題の概要である。詳細な定義はAtCoderの問題ページを参照されたい。

あなたはOxford Nanopore Technologies社の最新機器であるPromethIONを手に入れた！ PromethIONはDNAを読み取る機械である。この機械を用いてあなたは自分のDNA配列を解析しようと試みた。しかし、PromethIONはあなたのDNA配列を端から端まで100%正確に読み取れるわけではない。PromethIONに投入するためにDNAを精製すると、DNAは千切れてバラバラになってしまう。このため、1回の観測で得られる配列はDNA配列の一部だけだ。また、観測エラーもあるため、読み取ったDNA配列の断片配列の集合からあなたのDNA配列を精密に予測することは簡単ではない。あなたのミッションは、PromethIONの出力データからあなたの真のDNA配列を推測することである。あなたのDNA配列には父から受け継いだ配列と母から受け継いだ配列の2本があり、2本ともなるべく正確に推測したい。

問題文中のOxford Nanopore Technologies社（以下、ONT社）は実在する企業で、PromethIONはONT社による最新鋭のDNAシーケンサー（ゲノム配列の読み取り装置）である。PromethIONは数々の医学、生物学研究で用いられており、上述の問題では精度向上が望まれている。ゲノコンにおいて特筆すべきは、ONT社の協力を得て、実際にPromethIONを使って公開許諾済みのヒトDNAサンプル（つまり実在する人のDNA）から読み取ったゲノム配列データをコンテストに用いたことである。因みに、ONT社ではコンテスト開催時に新型の試薬（シーケンサーの読み取り精度に深く関連する薬品）を開発したばかりというタイミングであったため、市場に出ていない最新の試薬による実データを用いることとなった。つまりゲノコンでは、専門家でも扱ったことのない最新データを、現場の研究者に先立って競技者が分析することになったのである。

コンテスト開催にあたってもう一つ重視したのは非専門家への配慮であった。問題文に専門用語を含めないのはもちろんのこと、本問題に先立って練習問題を出題した。練習問題は本問題を解く上での事前知識、あるいは、要素技術となり得る3つの問題から成り、易しいものから順に時間をおいて公開した。本稿の冒頭に紹介した問題は2番目に公開した練習問題である。また、各問題に対して出題の背景となる生命科学に関する解説文を掲載し、出題された問題が実世界ではどのような意味を持つのか、競技者に理解してもらえるように努めた。

目を見張る競技者たちの実力、優勝は非専門家！

ゲノコンには約900名が参加登録し、練習用のA、B、C問題とメインのD問

題にはそれぞれ、672人、398人、234人、79人が解答した。後日実施したアンケートでは、ゲノム配列解析の経験者は回答者の1割にすぎず、他の生命情報解析の経験者を含めてもわずか2割程度であったことが分かった。さてコンテストの結果だが、練習用で最も難しいC問題とメインのD問題で1位をとったのは別々の競技者であった。そして特筆すべきことに、両者ともに生命情報解析の未経験者であった。

D問題では複数の断片文字列を適切に2つのグループに振り分ける処理がポイントの一つとなるが、優勝者の手法ではこの部分をうまく最大カット問題に帰着させていた。実解析に使われる最先端のツールの多くでも同様の方法が用いられているが、優勝者は事前知識なしにこの解法にたどり着いたようだ。限られた時間内で筋の良い解法を見出し、さらに実際に高い精度を達成するプログラムを仕上げたのは本当に素晴らしかった。

D問題を解く上でのもう一つのポイントはデータの特徴をとらえることであった。前述のように、D問題では実際のシーケンサーにより生成されたデータ（しかも専門家も見つけないデータ！）を入力としたため、データを分析してシーケンサーで生じるエラーの特徴を捉えた上で解決法を見出す必要がある。この点は一般的な競プロの問題とは異なりKaggleのような機械学習のコンテストに近い側面であっただろう。コンテストでは分析用にいくつかのサンプルを配布すると同時に、ゲノムデータの可視化ソフトも提供した。この可視化ソフトは専門家が用いる本格的なものであったが、アンケートでは3割弱が利用したとの回答があった。また、成績上位者の中には非常に詳細なデータ分析を行った競技者もいた。問題を解くには多かれ少なかれ実データの性質に即したパラメータを導入することになるのだが、成績

2位の解法ではOptunaにより多数のパラメータを決定していたのが興味深かった。データ公開の制限があったため限られた数のサンプルを配布したのだが、データ分析が重要であったことを思えば、もう少し多くのサンプルを公開したかったところであった。

D問題の解答期間は当初3週間の予定であったが、公開に遅れが生じてしまったことから実際には10日程度に短縮された経緯がある。社会人競技者も多いことを考慮すると、参加者の多くが数日程度しか問題に取り組めなかった可能性も否めない。そのためD問題への取り組みには少し心配があったのだが、実際に提出された成績上位者のプログラムは総じてレベルの高いものであった。また、C問題では問題公開からわずか1日の間に（おそらく）最適解を導出するプログラムが提出されたことも申し添えたい。このように、競技者達の実力には目を見張るものがあり「アルゴリズムの頂」が研究の即戦力になり得ることが十分に示されたと考えている。

コンテストを盛り上げた競技者間の助け合い

ゲノコンでは、練習問題に関してはSNS等を通じて参加者間で解法に関して相談してもよいとして、参加者間で活発に議論が行われることを期待した。その結果、運営の予想を超える協力が生まれたことを報告したい。たとえばC問題では、ゲノム配列の並びが可視化されているとプログラム開発のヒントになるのだが、問題公開の翌日には、有志により開発された可視化ソフトが公開され、数日が過ぎたころには、成績上位者による解法記事がブログに公開された。ちなみに解法記事では、手の内をすべて明かすのではなく成績上位一歩手前までの解法が紹介されており、読者に改良の余地を与えている配慮がなされていた。この記事を読んで得点を伸ばした競技者も多かった

だろう。Twitterでは参加者が気軽にコミュニケーションを取り合う様子も伺え、コンテストは楽しい盛り上がりを見せた。問題の背景を読んだとの声も多くあった。アンケートでは、9割以上が問題の背景について興味深く読んだと回答しており、ゲノム解析研究の魅力を伝えられたように思う。

実解析を出題する難しさ

さて、ゲノム配列解析と競技プログラミングは好相性と述べたが作問に苦労がないわけではない。実解析では巨大なデータを扱うため、多数のCPUコアと数百ギガに及ぶメモリを搭載した計算機を用いる。たとえば、D問題で扱った実解析を前処理も含めてヒトゲノムサイズで行うには、数十ギガ以上のメモリと数百時間以上の計算が必要となる。一方で、一般的なジャッジサーバーであれば、最大でも3~4ギガ程度のメモリを用いて数十秒以内で解ける問題にする必要があるだろう（同様に、解の評価に必要な計算時間にも制限が生じる）。ゲノコンでは、問題の本質が損なわれない程度に問題サイズをスケールダウンしたほか、実解析に必要な処理の一部を事前入力に含めることで、競プロの問題としての要件を整えた。

実データを用いた出題の場合、真の解が未知となる問題もある。D問題では、入力データから実在する人物のゲノム配列を復元する精度を競ったが、実は、ヒトゲノム配列を誤りなく測定する方法は現存しない。そのため、コンテストでは最新の科学的知見から正しいと思われるものを正解として扱う必要があった。当然ながら最新の知見が真の解とは限らないため、競技者にとってはすっきりしない点であったかもしれない。

また運営側では、専門家が知識にものを言わせて半ばチートのような形で

解答を推定してしまわないかといった点についてもよく議論をした。どのようなチートが可能かは個別の問題に依存するだろうが、参加者が白けてしまわないような配慮にはそれなりの検討が必要だろう。

アルゴリズムの頂と科学研究の未来

分野外からは敷居が高く見られがちな問題であっても、アルゴリズムの工夫が必要となる部分をうまく切り出して、非専門家が理解できるように「翻訳」できれば、競プロの問題として成立する。研究では解くべき問題を見出して適切な定義を与える部分と、定義された問題を解く部分があるが、前者が得意な研究者が競プロコミュニティの力をうまく活用していく未来も描けるかもしれない。少なくともゲノコンでは、競技者の力を生命科学の問題解決に役立てる可能性を見出せたように思う。

本稿を通じてゲノコンに興味をお持ちくださった方には、以下より2021年日本バイオインフォマティクス学会年会において行われたセッション動画をぜひご覧いただきたい。入賞者の講演やより詳細な背景説明などを楽しんでいただけたらと思う。また、AtCoderではコンテスト終了後も練習問題に取り組めるようになっているので、腕に覚えのある方はお試しいただきたい。

【IIBMP2021 一般公開セッション】DNA配列解析チャレンジ



(2022年3月21日受付)

(2022年4月15日note公開)

■清水佳奈（正会員）

2006年早稲田大学より博士（工学）取得。産業技術総合研究所、メモリアルスローンケタリング癌センターを経て、2016年早稲田大学情報理工学科准教授。2018年より同学科教授。生命情報科学の研究に従事。

■坂本一憲

2013年早稲田大学大学院博士後期課程修了，博士（工学）。国立情報学研究所助教，科学技術振興機構さきがけ研究員（兼任）などを経て，2019年よりWillBooster（株）代表取締役。現在に至る。

■笠原雅弘（正会員）

2004年東京大学情報理工学系研究科修士課程修了，東京大学新領域創成科学研究科情報生命科学専攻特任助教，2009年同専攻にて博士（科学），2009年同専攻にて専任講師，2018年より東京大学大学院新領域創成科学研究科メディカル情報生命専攻准教授。



囲碁雑記：技倆（ぎりょう）と哲学とAI

♡ 4



情報処理学会・学会誌「情報処理」

2022年4月27日 13:20





渡辺貞一（NPO法人 広域連携医療福祉システム支援機構）

▼ 目次

囲碁：習い始めのころ

大枝雄介9段を知る

囲碁AI

AIと人間

囲碁：習い始めのころ

碁を覚えたのは中学生のころである。実家の近くに、先代の本因坊秀哉の弟子で、すでに引退されていたが、専門棋士の鹿間千代治七段が住んでおられた。この先生に1年近く碁を教えていただいたことがある。

碁を習うといっても、月に2回自宅へ伺い、打っていただくだけであるが、碁の面白さが少し分かりかけていたころで、熱心に通った。当時、先生は、すでに高齢であったが、まだまだかくしゃくとされており、碁は若々しくかつ厳しかった。

自分なりに勉強して出かけていき、一局打ってもらって、その後手直しをしていただくわけであるが、悪い手を打つと扇子が飛んでくることがあり、ピンと張りつめた空気の中で、一局一局を工夫しながら真剣に打ち、基本を教わった。

1年足らずの短い期間であったが、碁の基礎を習い、型を知り、急速に置石が少なくなっていく。そして強くなるにつれて、プロの恐ろしさ、深い読みに裏づけされた強さを骨身にしみて知るようになった。

碁のルールはきわめて簡単である。単純な「石の生き死」のルールに立脚して、地を取り合い、一目でも多ければ勝つ。習い始めのころは、自分の打った碁が頭に入らないが、少し強くなると不思議に頭に残り、後で並べられるようになる。そして石の姿や形ができてくる。

専門家の碁は美しい。自然な石の流れと姿があり、それに個性が色濃く滲みでている。

多くの専門家は、生来才能豊かであり、その上、院生や内弟子時代を通じて技術を磨き、厳しい生存をかけた修行を重ねている。

このプロと呼ばれる人たちの技倆ぎりょうは、我々から見るとほとんど差がなく同じに見える。部分的な型、手筋などは一目見れば分かり、多くの場合、数十手先を瞬時に読むことができる。自分が打った碁はもちろん、他人の碁も忘れずに何年も覚えている人が多い。

プロとアマの差も、ほとんどこの基本の差にあるといえる。プロの碁は、基本がしっかりしている上に、試合を通じて筋金、泣きが入っているため、容易に崩れないのである。

しかし、碁は広く深いもので、卓越した技術を持つ専門家でも、技倆ぎりょうだけでは、一流になれないのである。一流といわれる専門家の碁には、思想があり個性豊かな構想があると思う。碁はこの構想の戦いであり、思想の大きさ、考えの深さが、一流になれるか否かを決めているように思う。

彼らは、構想、石の一貫性、そしてリズムを大切にす。石の姿、形が美しいだ

けでなく、石の連なりを通して、考えを主張し、問いかけてくる。強くなれば、微妙な彼らの声がよく聞こえ、その思いに反応し、共鳴できるところが多くなるように思う。

囲碁は、高い技倆ぎりょうを競うゲームであるが、同時に思想や哲学を深め人間性を高める修行の場でもある。鹿間先生に教わったころは、修行としての“道”の意味合いが、強くあったように思う。

大枝雄介9段を知る

囲碁は、長らく疎遠であった。

関心はあったが、時間がなく、テレビの囲碁番組や新聞の囲碁欄を見る程度であった。それがふとした縁で、日本棋院のプロ棋士の大枝雄介9段と知り合い、個人指導を受けることになった。囲碁の好きな仲間4人を誘って、月1回休日に都内の個人宅で、打っていただくことになった。

大枝先生は、当時はまだ7段であったが才能豊かな正統派の棋士で、日本棋院の役員もされていた。

囲碁は、2面、3面打ちで、教えていただいた。レッスンを重ねるうちに、少しずつ碁の考え方や構想、型、^{ぎりょう}技倆を学び、置き石が少なくなり、形ができてきたように思った。碁は型ができてくると、石の働きが良くなり容易に崩れなくなる。

置き石が、少しずつ減って3子になったが、3子ではきつく、逆コミを3～5目もらって打っていた。あるとき、対で打とうと言われ対戦したが、50手ほどで潰された記憶がある。

先生は、そのころから内弟子を取り始めていた。自宅に行くと、棋士になる前の院生や低段者の少年が大勢いた。外国からの若者も大勢いた。後に活躍する、マイケル・レドモンド、柳時薫、楊嘉源などや、女性棋士の万波佳奈、奈穂姉妹もいた。

四谷にある木谷道場にも誘われて出かけた。大竹名人を塾頭に若い石田、加藤、趙、小林、武宮など、後に名人や本因坊などになる有名棋士が大勢いた。

躰は厳しく、人間形成の修行の場でもあった。生来才能の豊かな棋士の卵が切磋琢磨し、ここからタイトルを取る世界のトップ棋士が生まれていった。

しかし、時代とともに、このような内弟子制度は少なくなった。

日本棋院には、外国から囲碁愛好者が、毎年勉強のため大勢やってくる。プロの棋士に直接教わるため、また日本文化に触れるために休みを利用してやってくる。

その中で、ニューヨークから夏休みに来て1カ月あまり滞在していた弁護士がいた。先生たちの紹介で、この人と打つことになった。

打ち始めると、先生たちが棋譜をとり始めた。日本棋院が発行する囲碁雑誌「棋道」に載せるためという。ただし米国人が勝ったときということであった。

棋力は互角のようで、形の綺麗な強い打ち手であった。

大枝先生を通して、多くのプロ棋士と知り合いになった。プロ棋士と打つと、石の死活や型や手筋は具体的で有益であるが、そのほかに、無形の感覚も大切であると思った。

プロと打つと次の一手はここで、ここ以外はないと感じる大局的な感覚である。この感覚は、多くの棋士に共通していて、これを体得できると、棋力は一段と向上するように思う。見えにくいプロの強さの源泉のように思った。

試合の後は、問題の手の指摘や石の方向などを手直ししてもらった。

ただ、帰り道などで、記憶の中、あの局面では、キリを入れた方がよいとか、伸びるとよかったなどと指摘されると、ついていくのが大変であった。

プロ棋士は、負けることが生来嫌いである。指導碁でも形勢が悪くなると、読みを外した勝負手を打ってくる。手はいろいろあるようで、これを乗り越えないとアマの高段者になれないように思う。

囲碁AI

人工知能AIが進化して、社会も囲碁も大きく変わった。

囲碁は、最も奥が深く、長らく攻略は難しいと考えられてきたが、2016年にそれを変える大きな出来事があった。

米国のGoogle系のDeepMind社が開発した「アルファ碁 (AlphaGo)」が、世界のトップ棋士“李世ドル氏”に、4勝1敗で勝ち、またその翌年、世界最強といわれた棋士“柯潔氏”に3連勝して、囲碁AIがトッププロを超えたと見なされるようになった。

囲碁AIには、人間の考えや価値観に近いところと、遠く理解を超えた不思議なと

ころがある.

囲碁AIは、技術の観点から見ると、3つの中心となる技術があると思う.

1つは、直感力に相当するディープラーニング技術で、“畳み込みニューラルネットワークCNN”が使われている. このCNNは、2種類あり、次の1手を確率で表すポリシーネットワークと局面の良さを評価するバリューネットワークがある. いずれも10数層の階層からなるNNである.

2つ目の強化学習技術は、次の1手を行うポリシーネットワークを強化する学習で、少しずつパラメータを方策勾配法により更新する強化学習である. 自己対戦を繰り返し強化学習する.

3つ目のモンテカルロ木探索技術は、打つ手を先読みする技術である. 候補となる木を深く探索する場合、勝率の高い枝を選ぶが、試行回数が少ないときは幅を広げて低い枝も加えるという手法を用いて、子ノードを選択して終局まで進める方法である.

アルファ碁は、これらの3種の技術を統合して、囲碁AIを作り上げている.

最初は、強い打ち手の膨大な棋譜を学習する.

使用した棋譜データは、高段者の棋譜16万局分で、局面に直すと、一局の手数は200手程度なので、3,000万個の学習データである。これに棋譜の対称性（回転や反転）を考慮して、この8倍の2億4千万個の学習データを得ている。学習は、NNの出力と人間の手が、できるだけ一致するように、各層のフィルタの重みを、誤差逆伝播法を用いて修正している。

その後は自己対局を繰り返し、強いアルファ碁を作り上げていて、囲碁対局サイトで、60勝0敗と人間を圧倒する成績を上げた。

コンピュータによる計算は、1,202個のCPUと176個のGPUが協調して行っている。

強さを表す指標に、イロレーティングがある。ハンガリーの数学者Eloが考案した指標で、勝敗比を対数に変換したものである。

アルファ碁が最初に対戦した欧州のチャンピオンのファイ2段が、2,908点（固定）で、それを基準にレーティングが決められている。囲碁の高段者は、3,000点台前半で、世界ランク1位の囲碁棋士、柯潔氏は3,600～3,700点程度と言われている。

アルファ碁AI技術の詳細は、2016年1月にNatureに発表された論

文 “Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search” に詳しく記載されている。

このアルファ碁は、その後大きく改良され、人間の知識を用いない、教師なしの「アルファ碁ゼロ（AlphaGo Zero）」を開発した。

アルファ碁ゼロは、囲碁の基本ルール、すなわち碁盤に黒番、白番が順番に石を置いていく、相手の石を囲ったら取れる、地が多い方が勝ちなどのルールのみから、自己対局を始め、強化学習を繰り返し、イロレーティングがマイナスのレベルから、1日後にはプロレベル3,000点に到達し、3日後には、アルファ碁を超える高いレベル4,000点に到達したと報告されている。

このアルファ碁は、目標を達成したとして開発を終了したが、囲碁AIとして、いろいろな囲碁ソフトウェアが開発され普及している。

この中には、打った手を評価し、より良い手を見つける検討用のソフトがあり、専門棋士はこれを研究用に使って棋力の向上を図っている。従来の勉強法とは大きく異なり、新手や新しい考え方、戦略が次々と登場し、囲碁は大きな変革期を迎えている。

AIと人間

長い年月をかけて築き上げてきた“人間の囲碁”と人工知能と結びついた“囲碁AI”について、体験を交えて触れてみた。

AIは、このアルゴリズムがはっきりしない囲碁の分野に挑戦を続けてきた。そして3つの基本技術と強力な計算力で、攻略の糸口をつかみ、人間を凌駕するようになった。

囲碁AIの研究には、GoogleやFacebook、中国のTencentなどの大手企業も参加し、AI研究の1つの応用分野として力を入れてきた。

彼らは、ここで開発した深層学習や強化学習、探索などのAIの基本技術は、ロボットや自動運転、医療、宇宙産業などの広い分野に活かせると考え参加している。

しかし同時に、AI技術は危険な要素をはらんでいるので、研究や活用には、十分なコントロールが必要であると思う。

AIが、常に人類に益をもたらし、害を及ぼさないような仕組みとその構築も必要である。

これには、人間の叡智を集結した集合知で達成できればよいが、恐らく十分でな

いだろう。AIの進歩を踏まえ、高いレーティングを持つ親和性のあるAIを開発し、これを協力者として実効性のある枠組みを作り上げる工夫も、また同時に必要になると考えている。

AIは諸刃の刃であるが、高度なAIから人智を超えた優れた案が出てくるかもしれない。地球規模の難題や人類の存続にかかわる課題の解決に、高度で良質なAIが役立つことを願っている。

■渡辺貞一

1962年、京都大学理学部物理学科卒業、東芝入社、総合研究所他で、パターン認識、画像処理などの研究開発に従事、情報通信システム研究所他の所長、1998年福井大学情報工学科教授、現在NPO法人広域連携医療福祉システム支援機構副理事長、IEEE Life Fellow.

(2022年4月21日受付)

(2022年4月27日note公開)



今月の会員の広場では、4月号へのご意見・ご感想を紹介いたします。

巻頭コラム「私たちはテクノロジーとともに身体の補完を超えて拡張してゆく」

- IT や AI の技術は、人間の役に立つことではじめて有意義なものとなりますが、本稿で紹介されている活用方法（身体の拡張）は、有効活用された成功事例であり、この技術にかかわる者としてとても嬉しく感じました。（後藤正宏）
- 技術の発展がこのように役に立つのは、素晴らしいことですね。（滝口 亨）
- 同内容についてもっと知りたいと思えました。（匿名希望）

特集「社会インフラシステムにおけるサイバーセキュリティ」

- 「0. 編集にあたって」
- 特集記事全体として俯瞰的で、興味深い内容でした。（匿名希望）
 - 過去のサイバーセキュリティ事件・事故の内容を知ることセキュリティ対策の1つになるので、そのような記事を追加してほしい。また、社会インフラの根幹を担う通信事業会社の取り組みも知りたい。（広野淳之）
- 「1. 電力分野におけるサイバーセキュリティの現状と今後の展望」
- 電力インフラがサイバー攻撃を受けた場合の影響の大きさや、対策の必要性はよく分かった。（匿名希望／ジュニア会員）
 - 地域特化型の中部地域 CCSC の例で、具体的なインフラセキュリティ管理を深掘りしていただき良かった。（匿名希望）
- 「2. クラウドファースト時代のサイバーセキュリティ」
- 企業規模に関係なくクラウドの利用は進んでおり、その中で中小企業が狙われる事例が増えている昨今、サイバーセキュリティに対する認識を確認するのに良い

記事でした。（岡本克也）

- インフラ固有の注意点などの記載がなく、物足りなく感じた。（匿名希望）

「3. 5G 移動通信システムのサイバーセキュリティ」

- 携帯通信の高速化と脆弱性を強化するセキュリティ対策の歴史が分かりやすく書かれていてある程度理解することができた。（山下昭裕）

「4. 化学プラントのサイバーセキュリティ」

- 従来の生産システムで効果を発揮した境界防御型のセキュリティ対策が限界を迎える可能性があるとの指摘があり、IT と OT を今後どのように融合させていくのかという経営課題であることがよく分かった。（山下昭裕）

「5. 産業制御システムセキュリティの動向」

- 重要かつタイムリーな話題であり、有意義な内容と感じました。（匿名希望）

- 24 時間、365 日動き続ける産業制御システムに付き合うエンジニアの大変さを察することができたように思う。すべては連鎖しており運を天に任せる訳にはいかないので多くのエンジニアの育成も大事かと思った。（岡本克也）

- 一般的な内容が中心であり、具体的な記載があれば尚有益であった。（匿名希望）

「6. 金融分野におけるサイバーセキュリティを巡る国際的な議論の動向」

- 金融分野でも色々なトラブルが発生していますので、セキュリティ対策が原因のものはあまり報道されませんが大いに心配です。G7 や G20 レベルでの国際的な議論が民間企業にも幅広く反映されることを望みます。（片山敏之）

連載「5分で分かる!? 有名論文ナナム読み：Respiratory Sinus Arrhythmia : A Phenomenon Improving Pulmonary Gas Exchange and Circulatory Efficiency」

- 心電図からこれほど多くのことが分かるとは知らなかった。今後も医学含めほかの分野の論文を（も）紹介してほしい。（上田晴康）

- 論文の結果が身近な健康診断についての最新情報で、それをダイレクトに紹介する斬新なスタイルの記事です。（片山敏之）

- 医学系の学部では心電図データのモデリングから解析までを行っている部局が多いと考える。解析に寄った知見も拝見したかった。（匿名希望）

教育コーナー「ぺた語義」

「東京都港区立青山小学校の ICT 環境を用いた教育・学習について」

■小学校 2 年生の孫のハイブリッド型のオンライン授業を横から観察したが、先生のコントロールが効かず、問題山積みという印象を受けた。本会員の支援ボランティアとしての出番を期待したい。(匿名希望)

「GIGA スクール構想を推進するための環境整備のすすめ」

■このような環境で学んできた児童・生徒が、ICT 活用の進んでいない大学に進学した場合にアナログな環境に適応できるのだろうか、と心配になってしまう。ICT 活用環境が整っていない大学は早急に対応が必要なりそう。(桑木道子)

■1 人 1ID 方式というのは、大学では当たり前に行われていると思うが、なぜ中高だとセキュリティ含め整備が大変なのかが分かりづらかった。(匿名希望)

「第 14 回全国高等学校情報教育研究会全国大会 (大阪大会)」

■高校教諭の情報科の先生方が集う研究会が存在することを認知できた。大会冊子の入手方法が紹介されていた点も非常に良かった。(大塚敬義)

連載「情報の授業をしよう! : 『情報 I』を見据えた『情報の科学』の授業実践」

■情報科学の授業実践で苦労されていることが実感できる記事でした。(匿名希望)

■普通科の高校で、かなり高度な内容を扱っているということに高専教員として焦りを感じました。(匿名希望)

■コミュニケーションと情報デザインのトピックで、どのように生徒同士で相互評価させたのか、具体的な記述があればより参考になると感じた。(平田篤史)

連載「ビブリオ・トーク：ゼロからつくる Python 機械学習プログラミング入門」

■機械学習の中身を知らずに使っている学生が多くいる中で、本書を読むと中身を理解する学習ができそうだなあと思えた。さっそく学生に薦めよう。(匿名希望)

連載「ビブリオ・トーク：言葉をおぼえるしくみ」

■機械学習の参考書としては、出版社とタイトルからではたどり着くのは難しいと思いますが、とても興味深い本です。(片山敏之)

連載「先生、質問です!」

■情報科学が芸術とも関連があるということに気づかされ、興味深かったです。(上田晴康)

寄稿「計算機科学を推進した富田悦次君を悼む」

■どうしてもこのような記事は本人の没後になってしまうので、そのような先生が存在を知っても、話を聞くことができないのが残念に思ってしまう。(匿名希望)

連載「教科『情報』の入学試験問題って? : じゃんけんをプログラミングするよ」

■緊張下に短時間でこのように論理的に思考を進めるのは大変そうであることも体験できました。受験生、すごいです。(匿名希望)

会誌の内容や今後取り上げてほしいテーマに関して、以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました。今後の参考にいたします。

■情報教育全般について、進捗状況や教員の確保と予算配分など物資両面について全国均等に取り組まれているのかを知りたい。(広野淳之)

「先生、質問です!」には以下の質問をいただきました。

■情報倫理的な文脈でのプライバシー研究を教えてください。(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。

■大学 1 ~ 3 年生や、情報 I, II を履修する高校生にも掲載記事を活用してもらえるとよいと思う。(金子雄介)

「情報処理」Vol.63 No.2「デジタルプラクティスコーナー」に掲載されている記事については、以下のようなご意見やご感想をいただきました。

■親戚に農家があり、「ドローンによる作物の表現型計測と機械学習による作物バイオマス・収量の予測」は興味深く拝見しました。(滝口 亨)

EPUB 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。

■EPUB は保存しておく、あとで検索でき便利である。(匿名希望)

オンライン化について、以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました。今後の参考にいたします。

- オンライン化に賛成ですが、PDF版は残していただくと助かります。(匿名希望)
- 記事の一つひとつをPDFファイルでダウンロードして読まなければならない点が読みにくく思います。(匿名希望)
- 図書館向け限定など数を限った形でもよいので、特集記事まで印刷されたものが欲しい。(匿名希望/ジュニア会員)

【本欄担当 鵜川始陽, 真鍋知博/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、こちらをご参照ください。会誌や掲載記事に関するご意見・ご感想は学会Webページでも受け付けております。今後もより良い会誌を作るため、ぜひ皆様のお声をお寄せください。

「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.63 No.6 (June 2022)

【一般論文】

- 多層ニューラルネットワークを用いたマルチタスク学習による顧客購買行動予測 蓮本恭輔 他
- NLOS環境における音響センシングを用いたスマートフォン間測距手法 神鳥勇貴 他
- 単一のスピーカを用いたモノラルマイクロフォンの屋内測位手法 中村将成 他
- 画像識別CNNモデルのAMCによる圧縮における再接続の有効性検証† 藤川拓磨 他
- 幾何図形から構成されるイラストの巧拙さを評価するための特徴量の同定と評価モデルの提案† 佐々木綾音 他

*: 推薦論文 Recommended Paper

†: テクニカルノート Technical Note



【論文誌 教育とコンピュータ Vol.8 No.2】

- プログラミング演習における学習支援方略に基づくTA支援システムの開発と実践 江木啓訓 他
- オンラインペアワーク場면을対象とした談話分析に基づく経験の知識獲得に及ぼす影響の評価 楠田理佳 他
- 電子回路とロボット制御を組み合わせたメカトロロボットを題材としたロボット教育とオンライン演習の実践 浅野悠紀 他
- オンラインScratchプログラミング演習支援にむけたコードメトリクス可視化ツールの提案および評価 横原絵里奈 他
- FPGAを用いた論理回路設計実験のための遠隔実験システムの作成と評価 赤池英夫 他
- コロナ禍におけるプログラミング演習科目のオンライン授業実践とその考察 岡本雅子
- 攻撃者視点を取り入れたクロスサイトスクリプティング対策の実践的演習システムの開発と評価 岸本和理 他
- 一般情報教育の演習科目における受講者によるルーブリックの自己評価—オンライン授業の受講経験と分野の違いに着目して— 酒井博之 他
- Bit Arrowにおける高校教科「情報I」教員研修資料との対応評価 長島和平 他

● 論文誌トランザクション掲載論文リスト

(June 2022)

【Transactions on System LSI Design Methodology Vol.15】

- Parallel Scheduling Attention Mechanism: Generalization and Optimization Mingfei Yu 他
- A Posit Based Multiply-accumulate Unit with Small Quire Size for Deep Neural Networks Yasuhiro Nakahara 他



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：国公私立教育機関、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

■長岡造形大学

募集職種・人員 教員（常勤）・准教授または助教 1人
所属・専門分野 デザイン学科（2023年度開設予定）・情報デザイン
担当科目 情報デザインに関する学部および大学院の演習・実習科目および、講義科目、基礎造形科目、社会連携科目、学部卒業研究・修士課程特別研究の指導など
求める人材 (1) 映像演出・AR・VR等の開発経験を有する方、(2) インタラクティブデザイン、デジタルインスタレーションなどの制作実務経験がある方、(3) 展覧会などのプロジェクトへの積極的な参加経験を有する方
着任時期 2023年4月1日
提出書類 (1) 履歴書（指定様式）、(2) 専門分野にかかわる教育研究業績書（指定様式）、(3) 作品ポートフォリオ（形式自由）、(4) 大学における教育研究活動、地域貢献活動および運営活動に対する抱負
応募締切 2022年6月30日（必着）
送付先 〒940-2088 新潟県長岡市千秋4-197
長岡造形大学総務課 宛
照会先 長岡造形大学 総務課（採用担当）
E-mail: somu@nagaoka-id.ac.jp Tel(0258)21-3311（代）
その他 募集URL (<https://www.nagaoka-id.ac.jp/about/overview/recruit/r5-sennin-kyoin/>)

■文教大学情報学部情報社会学科

募集人員 (A) 教授、准教授または専任講師 1名
(B) 教授、准教授または専任講師 1名
専門分野 (A) ビッグデータ解析と人工知能分野
(B) システム開発技法分野
担当科目 (A) ビッグデータ解析の社会への応用、情報社会と人工知能、人工知能論など
(B) システム設計、システム開発技法など
着任時期 2023年4月1日
応募締切 2022年7月9日（必着）
照会先 担当科目については 情報学部長 釈氏孝浩
E-mail: shakushi@bunkyo.ac.jp
事務手続については 湘南総務課 Tel(0467)53-2111（代表）
（問合せ時間は月～金9:00～17:00、土9:00～12:00）
その他 応募条件、提出書類などの詳細
<https://www.bunkyo.ac.jp/recruit>

■警視庁特別捜査官

採用予定人員（一例）・受験資格
①サイバー犯罪捜査官 警部補 若干名
年齢：昭和38年4月2日から平成8年4月1日までに生まれた人
経歴・資格等：情報処理に関する高度な知識及び技能を認定する国家試験等に合格し、又はこれに相当する資格を有し、かつ、民間等における5年以上の有用な職歴を有する人
②サイバー犯罪捜査官 巡査部長 3名程度
年齢：昭和38年4月2日から平成10年4月1日までに生まれた人
経歴・資格等：情報処理に関する応用的知識及び技能を認定する国家試験等に合格し、又はこれに相当する資格を有し、かつ、民間等における3年以上の有用な職歴を有する人
職務内容 サイバー犯罪の捜査、サイバー犯罪防止のためのセキュリティ対策、各種電磁的記録媒体の解析、関係者の取調べ等
選考日 第1次選考日：9月11日（日）
第2次選考日：10月15日（土）
申込受付期間 7月20日（水）～8月16日（火）（消印有効）
問合せ・申込書の郵送先
〒183-8555 東京都府中市朝日町3-15-1
警視庁採用センター Tel(0120)314-372
その他 詳細は、警視庁採用サイトをご確認ください。



特別捜査官採用情報

■神奈川大学情報学部計算機科学科

募集人員 特別助教または特別助手 3名（いずれも任期制）
専門分野 情報科学、計算機科学、情報工学等の情報学分野
担当科目 プログラミングの授業や演習（C言語を含む）、数理論理学等をはじめとした授業や演習を担当していただく場合がある
着任時期 2023年4月1日
応募締切 2022年10月31日 JREC-IN Portal Web 応募提出完了
照会先 理学部情報科学科 主任 海谷治彦
E-mail: kaiya@kanagawa-u.ac.jp Tel(0463)59-4111（代表）
その他 【詳細】<https://www.kanagawa-u.ac.jp/employment/professor/fulltime/pdf/75.pdf>

連続セミナー2022

その先へ 情報技術が貢献できること

会 期：2022年6月から12月にかけて全12回シリーズで開催

主 催：一般社団法人情報処理学会

連続セミナー2022 Web ページ <https://www.ipsj.or.jp/event/seminar/2022/>

●全体概要

2020年、2021年と新型コロナウイルスの影響下にあった私たちは、今まさに待ったなしの大きな変革の中にあります。大きく変容した社会の課題解決や将来の社会基盤の形成を支援する役割が情報技術にはあります。ニューノーマルと呼ばれるポストコロナ社会で、すぐそこにある未来へ向けてAI、仮想現実、ロボットなどの情報技術を活用しサステイナブルな未来に進むことが求められています。

このような状況を受け、2022年の連続セミナーは、企業の戦略担当者、技術系人材、研究者、起業家の方々が新たなビジネスや研究課題を切り拓きいち早く未来に向けた情報技術を活用していただくための礎となるよう企画しました。

昨年のスタイルであるオンライン開催、2-3時間のセミナー、見逃し配信の提供、という利点をより充実させ、より多くの方にフレキシブルに参加いただけるように企画しました。

2022年のセミナーを通じ、情報技術のニューノーマル社会への貢献と動向を俯瞰しつつ、AI、ロボティクス、仮想現実、SDGなど今後活用が期待される技術を取り上げ、その現状や展開、また適用について第一線の研究者・実務者に語っていただきます。

●各回テーマ

[6月22日(水)開催] 13:00~15:30

機械学習工学の進展：開発・運用の技術（コーディネータ：石川 冬樹（情報・システム研究機構 国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 / 先端ソフトウェア工学・国際研究センター 准教授 / 副センター長））

1. 機械学習の産業応用におけるソフトウェア工学の課題と進展（講師：石川 冬樹（情報・システム研究機構 国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 / 先端ソフトウェア工学・国際研究センター 准教授 / 副センター長））
2. AIシステムのためのテスト・デバッグ技術の展開（講師：徳本 晋（富士通株式会社 研究本部 人工知能研究所 AI品質PJ 主任研究員））
3. 機械学習デザインパターン（講師：鷲崎 弘直（早稲田大学 グローバルソフトウェアエンジニアリング研究所長・教授 / 国立情報学研究所 客員教授 / 株式会社システム情報 取締役（監査等委員） / 株式会社エクスマーシオン 社外取締役））

[6月29日(水)開催] 13:00~15:30

機械学習工学の進展：品質のマネジメント・規格・契約（コーディネータ：石川 冬樹（情報・システム研究機構 国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 / 先端ソフトウェア工学・国際研究センター 准教授 / 副センター長））

1. AIシステムの品質マネジメント（講師：小川 秀人（株式会社日立製作所 研究開発グループ サービスシステムイノベーションセンター 主管研究員））
2. AIシステムにおける安全性と関連規格（講師：桑島 洋（株式会社デンソー ソフト生産革新部先端ソフト開発室 担当課長））
3. AIシステム開発における法規制・知財・契約（講師：柿沼 太一（STORIA法律事務所 代表パートナー弁護士））

[7月19日(火)開催] 15:00~17:45

あるべき世界を見る・デザインするための社会シミュレーションへの期待~COVID-19 AI・シミュレーションプロジェクトを通して~（コーディネータ：栗原 聡（慶應義塾大学理工学部 教授 / 慶應義塾大学共生知能創発社会研究センター センター長））

1. 今を理解し未来をデザインするための技法（講師：栗原 聡（慶應義塾大学理工学部 教授 / 慶應義塾大学共生知能創発社会研究センター センター長））
2. COVID-19感染推定のための多層社会システムモデル（講師：倉橋 節也（筑波大学 ビジネス科学研究群 教授））
3. 機械学習による新型コロナウイルス新規陽性者数の予測（講師：平田 晃正（名古屋工業大学 先端医用物理・情報工学研究センター センター長（教授）））
4. 感染対策と社会経済活動の両立（講師：仲田 泰祐（東京大学 経済学研究科 准教授））

[9月2日(金)開催] 15:00~17:30

新しい情報通信インフラが実現する行動変容とモビリティ（コーディネータ：伊藤 昌毅（東京大学 大学院情報理工学系研究科 附属ソーシャルICT研究センター 准教授））

1. ITが創るモビリティとその課題(仮題)（講師：伊藤 昌毅（東京大学 大学院情報理工学系研究科 附属ソーシャルICT研究センター 准教授））
2. 自動運転の社会実装(仮題)（講師：佐治 友基（BOLDLY株式会社 代表取締役社長 兼 CEO））
3. 熊本交通リノベーションプロジェクトから考える都市交通の未来(仮題)（講師：太田 恒平（株式会社トラフィックブレイン 代表取締役社長））
4. 行動変容研究の実践と応用(仮題)（講師：米澤 拓郎（名古屋大学 大学院工学研究科 情報・通信工学専攻 准教授））

[9月26日(月)開催] 13:00~17:00

多様性と環境変化に寄り添う信頼される分散機械学習基盤のための要素技術とその応用（コーディネータ：高前田 伸也（東京大学 大学院情報理工学系研究科 コンピュータ科学専攻 准教授））

1. 信頼されるAIのためのハードウェアとアルゴリズムの協調設計（講師：高前田 伸也（東京大学 大学院情報理工学系研究科 コンピュータ科学専攻 准教授））
2. メカニズムとの学際的統合による新しい分散学習理論基盤の構築（講師：今泉 允聡（東京大学 総合文化研究科 先進科学研究機構 准教授））

3. 広域分散型IoTシステムのための包括的コンピューティング技術（講師：高瀬 英希（東京大学 大学院情報理工学系 研究科 准教授））
4. 信頼されるLiDARに向けて（講師：吉岡 健太郎（慶應義塾大学 電気情報工学科 専任講師））
5. 信頼されるAI基盤のためのデータ収集と社会基盤での応用（講師：木谷 友哉（静岡大学））

[10月13日(木)開催] 14:00~17:00

生体信号処理とAIで作るプログラム医療機器（コーディネータ：山川 俊貴（国立大学法人 熊本大学 大学院先端科学研究部 准教授））

1. 医療AI向けの生体計測機器の開発と評価（講師：山川 俊貴（国立大学法人 熊本大学 大学院先端科学研究部 准教授））
2. 生の体と人工の知能、対極の両者を結ぶには？（講師：久保 孝富（奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 情報科学領域 准教授））
3. プログラム医療機器の薬事規制（講師：桐山 瑤子（株式会社MICIN Regulatory Affairs））

[10月20日(木)開催]

ゲーム・eスポーツ・メタバース：デジタルコンテンツビジネスの進化と教育機関の関わり方について（コーディネータ：Baro Hyun（Founder/CEO of LunaTone Inc.））

1. デジタルコンテンツビジネスの現状と専門人材の必要性について（仮題）（講師：Baro Hyun（Founder/CEO of LunaTone Inc.））
2. 北米大学eスポーツリーグの現状について（仮題）（講師：Nyle Sky Kaweloa（Director of University of Hawaii Esports））
3. アプリカデジタルコンテンツ教育の未来（仮題）（講師：篠田 浩一（東京工業大学 情報理工学系 教授））

[11月10日(木)開催] 13:00~15:30

ITとデータセンターのカーボンニュートラル 入門（コーディネータ：鎌田 真由美（情報処理学会理事/日本マイクロソフト株式会社 コンサルティングサービス ソリューションアーキテクチャ本部長））

1. 企業の財政状態とSDGs対応との関係（講師：白田 佳子（東京国際大学 商学部 特命教授））
2. グーグルにおけるカーボンニュートラルの取り組み（講師：堀地 聡太郎（グーグル・クラウド・ジャパン合同会社 ソリューション&テクノロジー データセンターソリューション事業開発部長））
3. ITとデータセンターのカーボンニュートラル入門（講師：畠山 大有（日本マイクロソフト株式会社 カスタマーサクセス事業本部 シニアクラウドソリューションアーキテクト））
4. 調整中

[11月22日(火)開催] 15:00~18:00

XRの全貌：メタバースから人間拡張まで（コーディネータ：清川 清（奈良先端科学技術大学院大学 サイバネティクス・リアリティ工学研究室 教授））

1. 国内外のXR業界動向～GAFからスタートアップまで～（講師：久保田 瞬（株式会社Mogura 代表取締役社長 CEO、Mogura VR編集長））
2. リアル世界のメタバース化～空間を身にまとう時代に向けて～（講師：山口 征浩（株式会社Psychic VR Lab 代表取締役））
3. Augmented Society:人間拡張による社会の拡張（講師：暦本 純一（国立大学法人東京大学 情報学環 教授/株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 ソニーコンピュータサイエンス研究所 京都研究室（CSL）フェロー・副所長、京都研究室室長））
4. ヒトの視点、エージェントの視点、環境の視点：コモングラウンドとインタースペース（講師：豊田 啓介（東京大学！ 田啓介研究室 特任教授/インタースペース研究センター、noiz、gluon））

[12月6日(火)開催] 13:30~16:25

「富岳」が切り開く計算科学（コーディネータ：佐藤 三久（国立研究開発法人 理化学研究所））

1. 「富岳」で実現するSociety 5.0時代のものづくり（仮題）（講師：坪倉 誠（国立研究開発法人 理化学研究所/神戸大学））
2. Society5.0を目指した社会シミュレーション技術（仮題）（講師：伊藤 伸泰（国立研究開発法人 理化学研究所））
3. 「富岳」を使ったリアルタイムグリッド豪雨予測（講師：三好 建正（国立研究開発法人 理化学研究所 計算科学研究センター データ同化研究チーム チームリーダー））

[12月13日(火)開催] 13:30~16:25

「富岳」とスパコン技術の展望（コーディネータ：佐藤 三久（国立研究開発法人 理化学研究所））

1. 「富岳」を中心とした大規模データ処理システム（講師：佐藤 賢斗（国立研究開発法人 理化学研究所 計算科学研究センター 高性能ビッグデータ研究チーム チームリーダー））
2. 「富岳」がもたらした数値計算環境、現状と課題（仮題）（講師：今村 俊幸（国立研究開発法人 理化学研究所））
3. 次世代高性能計算基盤の開発と最近の動向（講師：近藤 正章（慶應義塾大学 理工学部情報工学科 教授））

●参加費（税込、*配布資料のPDFダウンロードと見逃し配信含）

参加区分	12枚（予約価）	6枚（予約価）		2枚（予約価）	1枚（予約価）	当日申込
正会員	85,800円	49,500円		18,700円	11,000円	12,000円
一般非会員	117,000円	67,500円		25,500円	15,000円	16,000円
学 生	17,160円	9,900円		3,740円	2,200円	3,000円

●問合せ先

〒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 E-mail:event@ipsj.or.jp

名誉会員の紹介

第 658 回理事会（2022 年 1 月 28 日）の議を経て下記の方が 2022 年度定時総会（2022 年 6 月 7 日）において名誉会員に推挙されました。
（記載は会員番号順）



岡本 栄司 君

おかもと えいじ

1973 年	東京工業大学工学部電子工学科卒業
1978 年	東京工業大学大学院理工学研究科電子工学専攻博士課程修了 工学博士
1978 年	日本電気株式会社入社
1991 年	北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 教授
1999 年	東邦大学理学部 教授
2002 年	筑波大学システム情報系 教授
2016 年	筑波大学名誉 教授

本会関係略歴

- (1) 1987 年入会
- (2) 理事（2006 年度～2007 年度）
- (3) 北陸支部評議員（1995 年度～1996 年度）
- (4) コンピュータセキュリティ研究会主査（2002 年度～2003 年度）
- (5) 2003 年度 フェロー
- (6) 2012 年度 功績賞



村山 優子 君

むらやま ゆうこ

1974 年	津田塾大学学芸学部数学科 卒業
1974 年～1978 年	株式会社三菱銀行 プログラマー
1979 年～1983 年	横河ヒューレット・パッカード株式会社 エンジニア
1984 年	ロンドン大学 University College London 大学院 修士課程修了 M.Sc.
1992 年	ロンドン大学 University College London 大学院 博士課程修了 Ph.D.
1994 年	広島市立大学 情報科学部 講師
1998 年	岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 助教授
2002 年	岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 教授
2016 年	岩手県立大学 名誉教授
2016 年	津田塾大学 学芸学部情報科学科 教授
2019 年～現在	津田塾大学数学・計算機科学研究所 特任研究員
2014 年～2020 年	IFIP 日本代表
2014 年～2020 年	IFIP Vice President

本会関係略歴

- (1) 1993 年入会
- (2) 2006 年度～2007 年度 理事
- (3) 2011 年度～2012 年度 監事
- (4) コンピュータセキュリティ研究会 主査 (2004 年度～2005 年度)
- (5) セキュリティ心理学とトラスト研究会 主査 (2011 年度～2012 年度)
- (6) セキュリティ委員会 委員長 (2004 年度～2015 年度)
- (7) 2005 年度 フェロー
- (8) 2014 年度 功績賞

2021年度功績賞

功績賞は、情報処理に関する学術または関連事業に対し特別の功労があり、その功績が顕著な会員に贈呈されます。

本年度の受賞者は関連規程に基づき、第659回理事会（2022年3月30日）の議を経て、下記の4君に決定され、受賞者は、本会表彰規程により表彰*されました。（記載は会員番号順）

*COVID-19の影響により6月7日に開催された2022年度定時総会での表彰式は中止となったため、表彰状などの発送をもって表彰といたしました。



清木 康君
きよき やすし

本会正会員清木康君（フェロー）は、永年に渡り高機能データベースシステムの研究、意味的連想検索の研究、関数型計算モデルによる並列データベースシステムの研究で多大の業績を上げ、国内外の研究を牽引されました。特に、異種データベース間の連動を可能とするメタレベル・データベースシステムを実現し、さらに、異種データベース間におけるデータの持つ表現形式および意味の相違を解消するための意味的連想検索方式として“意味の数学モデル”を示したことが主要な成果として認められており、国内外の多くの論文によって広く参照されています。この発展的システムは、5次元世界地図システム（5D World Map）として、現在、国際連合ESCAP（United Nations: Economic and Social Commission for Asia and the Pacific）において、海洋環境課題（SDGs 14）の国際環境情報共有・検索・分析のためのグローバル・データベースシステムとして活用されています。これらの研究成果により、本会論文賞（2003

年）および2016、2018年にはIEEE International Electronics Symposium Best paper Awardなど、数多くの賞を受賞されました。

同君は、本会データベースシステム研究会主査（1999年～2003年）、本会論文誌データベース（TOD）の共同編集委員長（1999年～2003年）、FIT2005実行委員長、調査研究担当理事（コンピュータサイエンス領域委員長、2014年度～2015年度）を歴任されています。さらに、Information Modelling and Knowledge Bases チーフエディタ（2002年～現在）、日本データベース学会会長（2016年～2018年）を務められ、当該学術分野の発展に大きく貢献されました。

以上のように、同君が、情報処理分野ならびに本会の活動の発展に尽くされた功績は誠に顕著であります。



渡辺 尚君
わたなべ たかし

本会正会員渡辺尚君（フェロー）は、無線ネットワーク分野の研究を牽引し、アドホックネットワーク、センサーネットワーク、IoT/M2Mネットワーク、無線電力伝送、エージェント通信システム、ネットワークサービスプラットフォームなどに関する先駆的で優れた研究を行い、この分野の発展や後進の育成に大きく貢献されました。近年は5G/6G無線ネットワークの活用などに関する先進的な研究を行っており、Society 5.0時代を支える無線ネットワーク技術を数多く創出しています。

同君は、学会活動の活性化に対しても多くの貢献をされており、本会においては、IFIP日本代表補佐（2004年度）、モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会主査（2005年度～2008年度）、情報環境領域委員長（2011年度～2012年度）、理事（2011年度～2012年度）、監事（2019年度～2020年度）などを歴任されています。また、国際電気通信基礎研究所客員研究員（2005年度～2013年度）、総務省近畿総合通信局受信環境クリーン協議会会長（2016年度～2022年度）などを歴任し、学術の振興や関連分野の発展に多大な貢献をされています。

以上のように、同君が情報処理分野ならびに本会の活動の発展に尽くされた功績は誠に顕著であります。



松岡 聡君

まつおか

さとし

本会正会員松岡聡君は、永年、高性能計算技術の研究開発を牽引し、優れた研究業績をあげてられました。東京工業大学においては、同大学の学術国際情報センターが設置・運営するスーパーコンピュータ TSUBAME シリーズの研究開発を主導されました。スーパーコンピュータ TSUBAME は世界に先駆けて GPU を演算性能向上のために採用し、その後のスーパーコンピュータの開発に大きい影響を与えました。現在、米国を始めとする主要なスーパーコンピュータが GPU を演算性能を向上させるための主要デバイスとして装備するものになっており、これを先導した開発は特筆すべき業績です。TSUBAME においては、省電力を含む数々の指標で世界のトップランクを獲得するとともに、並列アルゴリズムやプログラミング、耐故障性、省電力化、ビッグデータや AI との融合などの広い分野において優れた業績をあげられ、2011 年には TSUBAME でのアプリケーションにより米国計算機学会 ACM ゴードンベル賞、2012 年文部科学大臣表彰科学技術賞（開発部門）、2014 年大川出版賞を受賞されて

います。本会では、論文賞、坂井記念特別賞を受賞されており、調査研究運営委員会委員、論文誌ハイパフォーマンスコンピューティングシステム、論文誌プログラミング各編集委員、研究会運営委員を歴任され本会の発展に貢献されました。

2018 年に理化学研究所計算科学研究センターのセンター長に着任し、開発中であったスーパーコンピュータ「富岳」の稼働、各種ベンチマークによる世界 1 位のランキング獲得、共用開始、を責任者として主導し、2020 年の共用開始前においては、開発前の「富岳」の一部を利用して、COVID-19 対策課題を立ち上げ、大きな成果の創出に貢献されました。特に、この課題の中で実施された COVID-19 の飛沫シミュレーションの結果は多くのメディアに取り上げられ「富岳」の認知度向上に大きく貢献されました。なお、この成果は 2020 年ゴードンベル賞特別賞を共同受賞しています。

国際的には、多くの著名な国際会議の Chair を歴任し、国際的な第一人者として活躍され、2011 年米国計算機学会 ACM・フェロー、2014 年、スーパーコンピュータ分野の最高峰賞である IEEE Sidney Fernbach 賞を日本人としては初めて受賞、2019 年には SCAsia 2019 にて Asia HPC Leadership Award を受賞、するなど、数々の国際的な賞を受賞されています。

以上のように、同君が我が国のみならず世界的な高性能計算技術に多大なる貢献をするとともに本会の発展に尽力された功績は誠に顕著であります。



江村 克己君

えむら

かつみ

本会正会員江村克己君は、1982 年に日本電気株式会社に入社されて以来、コヒーレント光通信技術の研究開発に従事され、光ネットワーク通信の研究開発、製品事業に携われてきました。米国 Bellcore 客員研究員、知的資産統括本部長、中央研究所所長を経て、日本電気のチーフテクノロジーオフィサー、取締役、フェローを歴任されました。この間、日本経済団体連合会イノベーション委員会企画部会部会長、産業競争力懇談会（COCN）実行委員をはじめとする財界活動にも精力的に取り組まれ、我が国の情報通信業界の発展に尽力されました。また、総務省情報通信審議会委員、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）AIP ネットワークラボ長といった国の情報通信技術の強化に向けた活動に貢献されました。

本会においては、会長（2019 年度～2020 年度）として、新型コロナウイルスの感染が拡大する中ハイブリッドでの総会実施や、「情報社会の未来を拓く」と題する歴代会長によるパネル討論の動画配信などさまざまな新しい工夫を盛り込んだ 60 周年記念行事の遂行に尽力されました。

以上のように、同君が、我が国の情報通信技術の発展と研究・教育振興、ならびに本会の発展に尽くした功績は、誠に顕著であります。

顕功賞

顕功賞は、功績賞に準ずる特別賞として、功績賞を受賞するに相応しい特別の功労が認められる故人となった会員に贈呈されます。



中島 浩君
なかしま ひろし

中島浩君におかれては、諸活動にご活躍のところ、誠に残念ながら2021年10月6日に不慮の事故のため生涯を閉じられました。ここに謹んでご冥福をお祈りするとともに、生前のご功績に対し、第659回理事会（2022年3月）の議を経て贈呈が決定した顕功賞をご紹介します。

中島浩君は、40年以上に渡り、並列計算機アーキテクチャ、並列化コンパイラ／言語実装、並列応用ソフトウェアを中心に幅広く並列処理技術の研究に取り組み、顕著な業績を挙げられました。教育者としてもこれらの分野で多くの後進を育成されました。また、スーパーコンピュータ「京」そして「富岳」を中核に全国の計算機資源をネットワークで結ぶ我が国のハイパフォーマンスコンピューティングインフラの構築と運用を支えてこられました。

本会においては計算機アーキテクチャ研究会主査、論文誌ハイパフォーマンスコンピューティングシステム編集委員長、論文誌コンピューティングシステム編集委員長、理事などを歴任され、また論文誌のデジタル化・オンライン化においては自らLaTeXのスタイルファイルや投稿査読システムを開発されるなど大きな貢献をされました。

中島浩君の生前の業績は優れて顕著であり情報処理に関し特別の功労があると認め、顕功賞を贈呈し、永く表彰いたします。

1979年3月	京都大学工学部情報工学科卒業
1981年3月	京都大学大学院工学研究科修士課程情報工学専攻修了
1981年4月	三菱電機（株）に入社 情報電子研究所（現情報技術総合研究所）で、第五世代コンピュータプロジェクトにおいて並列推論マシンの研究開発に従事
1991年	京都大学博士（工学）
1992年	京都大学工学部助教授に就任。情報工学科計算機工学講座計算機構成分野（富田眞治研究室）にて、並列処理を中心とした研究／教育を行う
1997年	豊橋技術科学大学情報工学系教授に就任
2006年	京都大学学術情報メディアセンター教授に就任
2010年4月	京都大学学術情報メディアセンター長（2014年3月まで）
2016年5月	一般社団法人HPCIコンソーシアム第3代理事長に就任（2017年度まで）
1988年	元岡記念会元岡賞受賞

本会関係略歴

- (1) 1979年5月入会
- (2) 理事（調査・研究担当）（2006年度～2007年度）
- (3) 計算機アーキテクチャ研究会主査（1996年度～1999年度）
- (4) 論文誌編集委員（1997年度～2000年度）
- (5) 論文誌ハイパフォーマンスコンピューティングシステム編集委員長（2002年度）
- (6) 論文誌コンピューティングシステム編集委員長（2003年度～2004年度）
- (7) JSPP2002実行委員会副委員長
- (8) SACSIS運営委員長（2003年度～2007年度）
- (9) SACSIS2003組織委員長
- (10) 1992年度坂井記念特別賞
- (11) 2010年度フェロー

各賞表彰等(概要)

詳細は Web サイト (https://www.ipsj.or.jp/award/sho_index.html) をご覧ください

2021 年度論文賞の表彰

本会では、論文誌(ジャーナル、JIP、各トランザクション)に発表された論文およびテクニカルノートのうち、特に優秀なものを選び、その著者を顕彰するため「論文賞」を設けております。

本賞の選考は、表彰規程および論文賞受賞候補者選定手続きに基づき、論文賞委員会(委員長 岸野泰恵)が、対象論文 506 編*につき慎重に審議を行い、理事会承認(2022 年 3 月 28 日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる)を得て、下記の 4 編が受賞論文として決定され、受賞者は、本会表彰規程により表彰**されました。

* 選考を行ったのは「論文誌ジャーナル」「Journal of Information Processing」の 2 誌です。以下 10 誌については対象論文がそれぞれ 50 編に満たないため、論文賞選定は翌年以降に持ち越すこととしました。「論文誌プログラミング」「論文誌数理モデル化と応用」「論文誌データベース」「論文誌コンピューティングシステム」「論文誌コンシューマ・デバイス&システム」「論文誌デジタルコンテンツ」「論文誌教育とコンピュータ」「論文誌デジタルプラクティス」「Transactions on Bioinformatics」「Transactions on System LSI Design Methodology」

**COVID-19 の影響により 6 月 7 日に開催された 2022 年度定時総会での表彰式は中止となったため、表彰状などの発送をもって表彰といたしました。

【情報処理学会論文賞】

○「気圧センサを用いたステップ認識手法」

[情報処理学会論文誌 Vol.62, No.1, pp.235-245 (2021)]

梶 克彦 君(正会員) 磯村 奎介 君
高井 飛翔 君

○「ウェアラブルコンピューティングにおける周波数操作による聴力自在化技術の提案」

[情報処理学会論文誌 Vol.62, No.2, pp.617-630 (2021)]

渡邊 拓貴 君(正会員) 寺田 努 君(正会員)

○「一人称ライブログ映像からの顔検出に基づいた社会活動計測」

[情報処理学会論文誌 Vol.62, No.2, pp.607-616 (2021)]

奥野 茜 君(学生会員) 角 康之 君(正会員)

【Journal of Information Processing Outstanding Paper Award】

○「Understanding the Fake Removal Information Advertisement Sites」

[Journal of Information Processing Vol.29, pp.392-405 (2021)]

Takashi Koide 君

Daiki Chiba 君

Mitsuaki Akiyama 君(正会員)

Katsunari Yoshioka 君(正会員)

Tsutomu Matsumoto 君

※上記()の会員情報は論文掲載時のものです。

2021 年度業績賞の表彰

本会では、産業界における顕著な業績を顕彰するため、業績賞

を設けております。

本賞は、情報技術に関する新しい発明、新しい機器や方式の開発・改良、あるいは事業化プロジェクトの推進において、顕著な業績をあげ、産業界への貢献が明確になったものを選定し、その貢献者に贈呈するものです。

本年度の受賞者は、表彰規程および業績賞候補者選定手続きに基づき、上田副会長を委員長とする選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認(2022 年 3 月 28 日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる)を得て、下記の 3 件の業績の貢献者 15 名に決定され、受賞者は、本会表彰規程により表彰*されました。

*COVID-19 の影響により 6 月 7 日に開催された 2022 年度定時総会での表彰式は中止となったため、表彰状などの発送をもって表彰といたしました。

○「グラフデータから発見を導く説明可能 AI の技術開発と実用化」

丸橋 弘治 君(正会員) Wing Yee Au 君

松尾 達 君 Arseny Tolmachev 君

西野 琢也 君

○「パスワードレス個人認証技術の研究開発、標準化、および、商用導入」

五味 秀仁 君(正会員) 大神 渉 君(正会員)

山口 修司 君(正会員) 伊藤 雄哉 君

吉岡 知彦 君

○「公的統計として活用できる日本最大級の交通ビッグデータ：人口流動統計の開発と実用化」

今井 龍一 君(正会員) 池田 大造 君(正会員)

重高 浩一 君 新階 寛恭 君

関谷 浩孝 君

2021 年度情報処理技術研究開発賞の表彰

本会では、情報学の主要な分野で、その研究・開発において国際的に顕著な貢献が認められる企業所属の若手研究者を顕彰するため「情報処理技術研究開発賞」を設けております。

本年度の受賞者は表彰規程および情報処理技術研究開発賞候補者選定手続きに基づき、萩谷副会長を委員長とする選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認(2022 年 1 月 27 日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる)を得て決定され、受賞者は、本会表彰規程により表彰*されました。

*COVID-19 の影響により 6 月 7 日に開催された 2022 年度定時総会での表彰式は中止となったため、表彰状などの発送をもって表彰といたしました。

○「人間の演奏者に同期する合奏システムの開発とその水平展開」

前澤 陽 君(正会員)

2021 年度マイクロソフト情報学研究賞の表彰

本会では、マイクロソフトリサーチ・アジアの協力により、情報学の主要な分野で、その研究・開発において国際的に顕著な貢献が認められる若手研究者を顕彰するため「マイクロソフト情報

学研究賞」を設けております。

本年度の受賞者は表彰規程およびマイクロソフト情報学研究賞候補者選定手続きに基づき、萩谷副会長を委員長とする選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認（2022年1月27日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる）を得て決定されました。

受賞者には、本会表彰規程により3月3日に開催された第84回全国大会において表彰されました。

○「実証的ソフトウェア工学における研究」

畑 秀明 君（正会員）

○「ユーザの主たるインタラクションに融合するセキュリティインタフェース」

矢谷 浩司 君（正会員）

2022年IPSJ/ACM Award for Early Career Contributions to Global Research

本会では、情報学の分野において、優れた成果、特に国際間の共同研究による成果をあげ、今後も技術成果の発展と国際的活躍が期待される若手研究者を顕彰するため「IPSJ/ACM Award for Early Career Contributions to Global Research」を設けております。

本年の受賞者は、両学会より推薦された候補者のうち、論文実績やGlobal Researchの観点で候補者を絞り、賞選定手続きに基づいてACM代表者を含む賞選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認（2022年1月27日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる）を得て決定されました。

受賞者は、本会表彰規程により、3月3日に開催された第84回全国大会において表彰されました。

○「Next-Gen Ubiquitous User Interface Design Permeated in Everybody's Daily Life」

杉浦 裕太 君（正会員）

2022年IPSJ/IEEE Computer Society Young Computer Researcher Award

本会では、情報学の分野において、研究発表や論文、プログラミングなどの顕著な成果をあげ、今後も発展、成果が期待される若手研究者を顕彰するため「IPSJ/IEEE Computer Society Young Computer Researcher Award」を設けております。

本年の受賞者は、両学会より推薦された候補者より、賞選定手続きに基づいて両学会による賞選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認（2022年1月27日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる）を得て決定されました。

受賞者は、本会表彰規程により、3月3日に開催された第84回全国大会において発表されました。

○「Research on Offensive Cybersecurity Measurement and Countermeasure」

秋山 満昭 君（正会員）

○「Research on Context Recognition by Multimodal Sensors」

内山 彰 君（正会員）

○「Outstanding Research on Sensing and Application Platform for Urban Computing」

米澤 拓郎 君（正会員）

2021年度優秀教育・教材賞の表彰

本会では、情報処理教育に関して優れた教育者ならびに教材開発者を顕彰するため、優秀教育賞ならびに優秀教材賞を設けております。

本年度の受賞者は、表彰規程および同賞候補者選定手続きに基づき、稲垣知宏情報処理教育委員長を委員長とする選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認（2022年3月28日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる）を得て決定され、受賞者は、本会表彰規程により表彰*されました。

*COVID-19の影響により6月7日に開催された2022年度定時総会での表彰式は中止となったため、表彰状などの発送をもって表彰といたしました。

【優秀教材賞】

○「DCGプログラミングとデジタルコンテンツ制作演習教材」

床井 浩平 君（正会員）

○「Pythonプログラミング学習のための教科書の作成と無料公開」

喜多 一 君（正会員） 森村 吉貴 君（正会員）

岡本 雅子 君（正会員）

2021年度学会活動貢献賞の表彰

本会では、特定分野の運営、または会員サービスの向上への貢献を顕彰するため、「学会活動貢献賞」を設けております。

本年度の受賞者は表彰規程および学会活動貢献賞候補者選定手続きに基づき、選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認（2022年1月27日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる）を得て決定され、受賞者は、本会表彰規程により表彰*されました。

*COVID-19の影響により6月7日に開催された2022年度定時総会での表彰式は中止となったため、表彰状などの発送をもって表彰といたしました。

○「学会誌における編集業務への貢献」

袖 美樹子 君（正会員）

○「論文誌への査読貢献」

梶 克彦 君（正会員） 柴田 直樹 君（正会員）

木原 民雄 君（正会員）

○「情報入試委員会への貢献」

角田 博保 君（正会員）

○「FIT2021第20回情報科学技術フォーラム開催への貢献」

岩谷 幸雄 君（正会員）

○「第83回全国大会開催への貢献」

井上 克郎 君（正会員）

2021年度感謝状の贈呈について

本会運営等への貢献に対する感謝の意を表するため、感謝状を贈呈しております。

本年度は規程に基づき、理事会承認（2022年1月27日付ほか、定款上の理事会決議の省略手続きによる）を得て決定され、本会表彰規程により感謝状が贈呈されました*。

*COVID-19の影響により6月7日に開催された2022年度定時総会での表彰式は中止となったため、表彰状などの発送をもって表彰といたしました。

- 「学会誌（編集委員長）への貢献」
稲見 昌彦 君（正会員）
- 「アドバイザーボード（座長）への貢献」
永井 良三 君
- 「学会誌における編集業務への貢献」
大山 恵弘 君（正会員） 中田眞城子 君（正会員）
- 「プログラミングコンテスト SamurAI Coding 運営への貢献」
近山 隆 君（正会員） 鷺崎 弘宜 君（正会員）
平石 拓 君（正会員） 横山 大作 君（正会員）
- 「本会の情報教育の取組みへの貢献」
小原 格 君（正会員）

2021年度ソフトウェアジャパンアワードの表彰

本会では2004年度から毎年産業界向けのイベントとして「ソフトウェアジャパン」を開催しており、同イベントにおいて、日本発の世界に誇るソフトウェアの研究者、開発者、技術者で、情報技術分野において特に産業界への功労がありその業績が顕著であるとともに、今後の産業界への活躍が期待できる方へ「ソフトウェアジャパンアワード」を贈呈しております。

本年度の受賞者は、技術応用運営委員会、ITフォーラム推進委員会の各委員および情報処理学会フェロー、各研究会主査から推薦された候補者のうち、表彰規程およびソフトウェアジャパンアワード選定手続きに基づき、選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認（2022年3月30日）を得て決定いたしました。

受賞者は、本会表彰規程により、2022年度定時総会*において表彰されました。

*COVID-19の影響により6月7日に開催された2022年度定時総会での表彰式は中止となったため、表彰状などの発送をもって表彰といたしました。

- 「飛沫・エアロゾル拡散シミュレーションによる新型コロナウイルス感染リスク評価」
坪倉 誠 君（正会員）
- 「シン・テレワークシステム等の開発・普及」
登 大遊 君（正会員）

2021年度フェローのご紹介

本会では「情報処理学会フェロー」の称号を設け、情報処理等の分野で学術的または産業的発展・普及・振興などに著しい貢献をした会員にその称号が授与されます。

2021年度「情報処理学会フェロー」は、関連規程に基づき、フェロー選定委員会において厳正な審査を行い、理事会承認（2022年3月28日付、定款上の理事会決議の省略手続きによる）を得て決定されました。なお、6月7日に開催された2022年度定時総会では、フェロー認証式はCOVID-19の影響により中止となったため、認証状などの発送をもって認定といたしました。

- 「分散コンピューティング分野における先駆的研究」
相田 仁 君（正会員）
- 「住宅設備機器におけるIoT化基盤整備と普及に対する貢献」
一色 正男 君（正会員）
- 「先駆的なサイバー攻撃対策技術の開発と産学連携を通じたセキュリティ分野の活性化への貢献」
岩村 誠 君（正会員）
- 「状況認識技術とそのヒューマンインタフェース応用に関する研究開発および学会運営への貢献」
大内 一成 君（正会員）
- 「コンピュータビジョンに関する幅広い先駆的研究ならびに教育・学会活動に対する貢献」
奥富 正敏 君（正会員）
- 「体験記録に基づく記憶拡張支援のためのインタラクション技術と実世界センシング技術の開拓」
河野 恭之 君（正会員）
- 「情報アクセスシステムの評価手法に関する研究に対する貢献」
酒井 哲也 君（正会員）
- 「マルチメディア情報処理に関する先駆的研究」
佐藤 真一 君（正会員）
- 「インターネットを革新する先駆的研究と学会活動」
田上 敦士 君（正会員）
- 「映像符号化技術の研究開発とその国際標準化および普及活動」
高村 誠之 君（正会員）
- 「プライバシー保護技術を活用した大規模統計データの実用化と社会課題の解決」
寺田 雅之 君（正会員）
- 「Web, SNSを対象とする大規模自然言語処理システムの開発と実用化」
鳥澤健太郎 君（正会員）
- 「ハイパフォーマンスコンピュータの研究開発と学会運営への貢献」
中川八穂子 君（正会員）
- 「情報ネットワークシステムに関する研究開発および実用化と技術の普及」
中川路哲男 君（正会員）
- 「感性評価技術の研究および産学連携による実用化」
長田 典子 君（正会員）
- 「コンテンツ自動生成・利活用に関する研究に貢献」
灘本 明代 君（正会員）
- 「パソコン技術の先駆的研究・事業化と情報処理技術の普及・発展への貢献」
西 和彦 君（正会員）
- 「深層学習に関する人材育成および技術の普及に対する貢献」
松尾 豊 君（正会員）

[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 (jigy@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>

読後のご意見をお送りください

本誌では、現在約170名の方々に毎号のモニタ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>

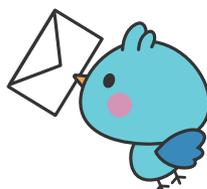
一般社団法人 情報処理学会 会誌編集部門 E-mail: editj@ipsj.or.jp



◎ 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>



CONTENTS

Preface

- 326 **Understanding the Data of Clouds**
Kentaro ARAKI (Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency)

Special Article

- 328 **ACM Gordon Bell Special Prize 2021: Digital Transformation of Droplet/Aerosol Infection Risk Assessment Realized on "Fugaku" for the Fight Against COVID-19**
Satoshi MATSUOKA (RIKEN Center for Computational Science / Tokyo Institute of Technology) and Makoto TSUBOKURA (RIKEN Center for Computational Science / Kobe Univ.)
- 334 **How Did We Win the Green500 Three Times?**
Tomoya ADACHI (Preferred Networks, Inc.)

Special Features

Finally the Metaverse Has Come

- 338 **Foreword**
Itaru KANEKO (CDS Tohoku Univ.)
- 339 **Outline**

"Peta-gogy" for Future

- 341 **Multi-Fron Operation Asked to Informatics in General Education**
Hajime KITA (Kyoto Univ.)

- 342 **Information Entrance Examinations and the Current State of Information Education in Primary and Secondary Schools**
Rieko INABA (Tsuda Univ.) and Hirokazu BANDO (Dokkyo Medical Univ.)
- 347 **IMS Specification LTI 1.3 to Enrich Learning Environment**
No.2 Materials and Services for LTI 1.3 Development
Yorihito TANAKA (Cyber Univ.)

Let's Learn Informatics

- 351 **Evaluate and Improve Minecraft Pproductions Using the Semantic Differential Method**
Yoshinori TAKEBAYASHI (Fukuragaoka Elementary School, Usuki City)

-
- 358 **Biblio Talk**
 - 360 **Skimming a Famous Paper in Five Minutes**
 - 363 **Conference Report**
 - 366 **Questions for Experts**
 - 368 **What Kind of Exam Questions on Informatics Will Appear in University Entrance Exams?**

Online Only

Special Features

Finally The Metaverse Has Come

- e1 **Back to the Future of Metaverse - My Imaginary Picnic in Miyake's Article**
Yuka YAMAMOTO
- e3 **Formation and Future of Metaverse**
Youichiro MIYAKE (Rikkyo Univ. / The Univ. of Tokyo)
- e37 **Legal Issues of Metaverse**
Masahiro SUGAWA (Niigata Univ.)

Column

- e40 **GO Game and AI**
Sadakazu WATANABE (Specified Nonprofit Organization Global Collaborated Medical Welfare System-support Organization)

-
- e54 **Conference Report**

特集「メタバースがやってきた」、満を持しての掲載です。特集を企画した2021年末と比べてメタバースに対する世間の関心は高まり、関連する事業に名乗りを上げる企業も少なくありません。メタバースの解説本も次々に登場しており、私自身、何冊か拝読しました。

そんな状況の中でも、今回の特集ではほかにはない新しい視点を打ち出せたと自負しています。2本の原稿のどちらも、執筆いただいた先生ならではの問題意識を反映した、読み応えのある内容になりました。

山本ゆうかさんには、メタバースへの夢を漫画にさせていただきました。

三宅陽一郎先生の原稿は、実に34ページに及ぶ圧巻の大作です。メタバースの源流の1つであるゲームの世界で、AIの研究と実装の両面に携わってきたご自身の経験も踏まえて、メタバースの特質や今後の発展について丹念に解説していただきました。

私が個人的に引き込まれたのは、メタバースと経済に関する議論です。メタバースでは、ゲームのアイテム課金のように企業が参加者からお金を受け取る一方通行の方式だけでなく、参加者同士の取引が盛り上がり、新たな経済圏が発展する見込みです。この世界で価値を支える仕組みとしてNFT（非代替性トークン）が注目を集めています

が、その意味合いが、通常のインターネットとメタバースでは異なるというのは、目から鱗の指摘でした。

それにしてもこのボリューム、多くのご著書のある三宅先生ですから、ひよっとしたら本稿をベースに、メタバースについての本も構想されていらっしゃるのかもしれませんが。

須川賢洋先生には、メタバースにおける法律問題についての論考をお願いしました。現在のメタバースはまだまだ揺籃期にあり、インターネットでいえばリック・ライダー (Joseph Carl Robnett Licklider) らが地球規模のコンピュータネットワークを構想していた1960年代に相当するともいえそうです。現実の束縛から離れた自由な発想でフロンティアを開拓すべき時期ではあるのですが、もはやインターネットが現実の一部であるように、メタバースが人々の生活や仕事の場になるのはそう遠い将来ではありません。単なる規制でなく、チャレンジを促すようなルールづくりの議論を今から始めても決して早すぎではないでしょう。

メタバースは、想像力の極限に挑む未来像と、物理世界との整合性がとれる仕組みづくりがせめぎ合う類まれなる研究領域です。その息吹を少しでも感じていただけると幸いです。

(稲見昌彦/本特集エディタ)

次号 (8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

解説：『情報の達人』の中間報告 河原林健一

「特集」AI判断の根拠を説明するXAIを使いこなす※

説明可能AI (XAI) とは? ~深層学習の説明性向上とXAIの今後の展望~ / 産業利用における説明可能AIの使いどころ / 制御の根拠を明示できるXAI取り組み-DX×UIによるAI説明性向上技術- / Shapelets学習によるインフラ・製造分野向け時系列波形の異常診断技術-異常の検知や診断に有効な波形パターンを発見するAI- / 説明可能なAIを身近にするためのディープラーニングツール / 信頼できるAIの実現に向けて-XAIによる根拠の納得感向上のアプローチ-

「デジタルプラクティスコーナー」デジタル化競争を勝ち抜くための標準戦略※

日本発のITサービスを支えるプラットフォームのエネルギー効率指標の国際標準化 / SQLおよびSQL/MMにおける日本からのいくつかの提案とその顛末 / Web標準の産業応用-日常生活を支えるW3CのWeb技術国際標準化 / 総合信頼性ライフサイクルモデルOSD-LCMの概要-マルチステークホルダー下での説明責任達成に向けて- / QRコードの事業戦略と標準化 / インタビュー

「デジタルプラクティスコーナー」新しい生活様式を見据えたインターネットと運用技術※

提携団体推薦論文※

[FUJITSUファミリー会] 会社統合後のITサーベイ(持ち物検査)によるグローバルITガバナンス強化に関する考察 / [NEC NUA] クラウド活用を見据えた次期ITインフラ構想実現への取り組み-データセンタ老朽化に伴うインフラ刷新- / [BIPROGY研究会] 保険設計書等の募集資料の電子的送付について~ITで届けるお客さまへの想い~

報告：2021年度論文賞の受賞論文紹介 / 2021年度業績賞紹介 / 2021年度マイクロソフト情報学研究賞紹介 / 2021年度情報処理技術研究開発賞紹介

教育コーナー：ぺた語義

連載：5分で分かる!? 有名論文ナメ読み / 生まれジュニア会員 / 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! / ビプリオ・トーク

コラム：巻頭コラム

会議レポート：HPC Asia 2022 開催報告

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ついては、学術目的利用に限り、無償で転載利用いただくことが可能です。ただし、利用の際には予め申請いただくようお願い致します。

権利委託先：一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル
E-mail: info@jaacc.jp Tel (03)3475-5618 Fax (03)3475-5619

また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡してください。
Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: 1-978-750-8400 Fax: 1-978-646-8600

Notice for Photocopying

Information Processing Society of Japan authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights and reuse rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (http://www.jaacc.org/en/) and confirm appropriate organizations.

You may reuse a content for non-commercial use for free, however please contact us directly to obtain the permission for the reuse content in advance.

<All users except those in USA>

Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc. (JAACC)
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
E-mail: info@jaacc.jp
Phone: 81-3-3475-5618 Fax: 81-3-3475-5619

<Users in USA>

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: 1-978-750-8400 Fax: 1-978-646-8600

..... 広告のお申込み

■広告料金表（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」 63巻7号 掲載広告（五十音順）

- 講談社..... 表2対向 すべての会社を希望
 中島記念国際交流財団..... 表3

■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



(株) NTT ドコモ

TOSHIBA

(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



グリー (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)



三菱電機ソフトウェア (株)



(株) BFT



NTT コムウェア (株)



NTT テクノクロス (株)



(株) うえじま企画



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



みずほリサーチ&テクノロジーズ (株)

●●● 賛助会員 (2口)



(株) KDDI 総合研究所



NEC ソリューション
インベータ (株)



NTT アドバンステクノロジー
(株)



(一社) データ社会推進協
議会



鉄道情報システム (株)



(株) ナレッジクリエーショ
ンテクノロジー



(一財) 日本データ
通信協会



(一社) 日本オープンライン
教育推進協議会 (JMOC)



(一財) 日本規格協会



日本放送協会
放送技術研究所



(株) 日立システムズ

<p>【A～Z】</p> <p>(株) AlphaImpact (株) ATR-Trek (株) BFT BIPROGY (株) (株) CIJ (株) CIJネクスト (株) CyberOwl 合同会社 DMM.com freee (株) GMO ペパボ(株) (株) HBA IT サポートカンパニー (株) (株) JR東日本情報システム (株) JSOL (株) JTB川崎支店 (株) K&S (株) KDDI総合研究所 MHI エアロスペースシステムズ(株) NECソリューションイノベータ(株) NEC通信システム(株) NEC ネットイノベーション(株) NEC フィールドディング(株) NTT アドバンステクノロジー(株) NTTコムウェア(株) (株) NTTデータ (株) NTTデータ・アイ (株) NTTデータ関西 (株) NTTデータ九州 (株) NTTデータ数理システム NTTテクノクロス(株) (株) NTTドコモ (株) OKIソフトウェア (株) PFU (株) PLUS (株) POL RX Japan (株) SCSK (株) (株) Spelldata TDCソフト(株) TDSE (株) TIS (株) (株) YAMABISHI</p>	<p>(株) アルファシステムズ アレックスメディア(株) (株) いい生活 池上通信機(株) 伊藤忠テクノソリューションズ(株) (一財) インターネット協会 (株) インテック インフォサイエンス(株) (株) ヴァル研究所 ヴィスコ・テクノロジーズ(株) (株) うえじま企画 (株) エイト (株) エクサ エヌ・ディー・アール(株) (株) エム・オー・シー (株) エルザジャパン オークマ(株) (株) 大塚商会 (株) オーム社 沖電気工業(株) オムロン(株)</p>	<p>研究会 住友化学(株) 住友電気工業(株) (学) 聖学院 セイコーホールディングス(株) (株) セガ セコム(株) (株) セブテーニ (株) ソケッツ ソニーグループ(株) (株) ソフトウェアコントロール (一財) ソフトウェア情報センター 特許・技術情報センター (株) ソリトンシステムズ</p>	<p>(一財) 日本データ通信協会 日本電気(株) 日本電信電話(株) (一社) 日本IT団体連盟 日本アイ・ビー・エム(株) (一社) 日本オープンオンライン教育推進協議会(JMOOC) (公社) 日本化学会 日本化薬(株) (一財) 日本規格協会 日本銀行 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 (一財) 日本情報経済社会推進協会 (一社) 日本情報システム・ユーザー協会 日本ゼオン(株) 日本電子計算(株) (一財) 日本品質保証機構 日本放送協会 放送技術研究所 日本マイクロソフト(株) 日本無線(株) 野村アセットマネジメント(株)</p>
	<p>【か行】</p> <p>国立研究開発法人 科学技術振興機構 (公財) 画像情報教育振興協会 (学) 片柳学園日本工学院八王子専門学校 (学) 河合塾 (一財) 機械振興協会 キヤノンITソリューションズ(株) キヤノンメディカルシステムズ(株) 共立出版(株) (株) 近代科学社 (株) クヌギ グリー (株) (株) ぐるなび (株) コア 中四国カンパニー コアマイクロシステムズ(株) (株) 構造計画研究所 国立国会図書館</p>	<p>【た行】</p> <p>(株) ダイセル (株) タンタカ (株) 中電シーティーアイ (一社) 中部産業連盟 中部電力(株) 通研電気工業(株) (株) ディンプス (一社) データ社会推進協議会 (株) テクノプロ テクノプロ・デザ イン社 テクマトリックス(株) デジタルプロセス(株) 鉄道情報システム(株) (公財) 鉄道総合技術研究所 (公財) 電気通信普及財団 (一社) 電子情報技術産業協会 (株) デンソー (株) デンソーアイティラボラトリー (株) デンソークリエイト (一財) 電力中央研究所 東海旅客鉄道(株) (株) 東芝 東芝インフォメーションシステムズ(株) 東芝システムテクノロジー (株) 東芝情報システム(株) 東芝デジタルソリューションズ(株) (株) 働楽ホールディングス (株) 東和システム トーヨー企画(株) 特許庁 (株) 豊田中央研究所 トレンドマイクロ(株)</p>	<p>【は行】</p> <p>パーソルキャリア(株) (株) ハイエレコン パナソニック(株) エレクトリック ワークス社 (株) バリューフアースト (株) 半導体エネルギー研究所 (株) ビービット (株) 日立インフォメーションエンジニアリング (株) 日立国際電気 (株) 日立産業制御ソリューションズ (株) 日立システムズ (株) 日立社会情報サービス (株) 日立製作所 (株) 日立製作所 中国支社 (株) 日立ソリューションズ (株) 日立ソリューションズ・クリエイト (株) 日立ソリューションズ西日本 (株) 日立ソリューションズ東日本 (株) ビッグツリーテクノロジー&コンサルティング (株) ヒュプノス (株) ファースト ファナック(株) フェアリーデバイズ(株) (株) フォーカスシステムズ (株) フォーバル (株) フォーラムエイト 富士通(株) (株) 富士通エフサス 富士フィルム(株) フェューチャー(株) 古野電気(株)</p>
<p>【あ行】</p> <p>(株) アースダンボール アイアンドエルソフトウェア(株) (株) アイヴィス (株) アイシン (株) アイ・ティー・ワン アイフォーコム(株) (株) アイレップ アシアル(株) (株) アドバンスト・メディア (株) アドバンス トラフィック システムズ アビームシステムズ(株) アミューズメントメディア総合学院</p>	<p>【さ行】</p> <p>(株) サイバーエージェント (一財) 材料科学技術振興財団 サクシード(株) 三協印刷(株) 三美印刷(株) (株) シーエーシー システム・オートメーション(株) 澁谷工業(株) (株) ジャステック (株) ジャストイット (株) ジャパンテクニカルソフトウェア (一社) 情報サービス産業協会 (独) 情報処理推進機構 (一社) 情報通信技術委員会 (一社) 新規事業・新規市場創出</p>	<p>【な行】</p> <p>(株) ナレッジクリエーションテクノロジー (株) ニコンシステム 日鉄ソリューションズ(株) 日鉄日立システムエンジニアリング(株) 日本アルゴリズム(株)</p>	

プログラミング能力検定協会
(株)ベネッセコーポレーション
(株)ベリサーブ

三菱電機ソフトウェア(株)
三菱プレジジョン(株)
武蔵野美術大学
(株)メイテツコム
モバイルコンピューティング推進コ
ンソーシアム(MCPC)

<入会予定>
(株)ハイレゾ

【ま行】

(株)牧野フライス製作所
マツダ(株)
みずほリサーチ&テクノロジーズ(株)
三井情報(株)
(株)ミックナイン
(株)ミットヨ
(株)三菱UFJ銀行
(株)三菱UFJトラスト投資工学
研究所
三菱電機(株)
三菱電機インフォメーションシステ
ムズ(株)
三菱電機インフォメーションネット
ワーク(株)

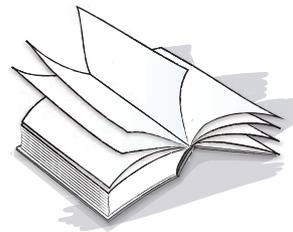
【や行】

ヤフー(株) Yahoo! JAPAN 研究所
ヤマハ(株)

【ら行】

(株)リクルート
(株)リコー
(株)リックテレコム
(株)両備システムズ
(株)リンク

注) 一般社団法人・一般財団法人・公益
社団法人・公益財団法人はそれぞれ(一
社)・(一財)・(公社)・(公財)と省略した。



協力協定学会との正会員会費相互割引について

各学協会との協定により、正会員会費が割引になります。ぜひ、ご活用ください。
本会 Web ページ (<https://www.ipsj.or.jp/member/kyoryoku.html>) にも掲載しております。

●協力協定学会名・相互割引率(正会員会費が割引対象)

IEEE	(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)	10%
IEEE-CS	(IEEE Computer Society)	10%
ACM	(Association for Computing Machinery)	20%
CSI	(Computer Society of India)	20%

※協力協定学会の会員費割引については、海外関連団体 (https://www.ipsj.or.jp/annai/kanrenlink/os_relation.html) を
ご参照いただき、直接お問い合わせください。

●本会への申請方法

会費割引を希望する正会員は、マイページの「登録情報変更」で「会員相互割引」の協定学会名から1つ選択し、その会員番号を入力します。
初めて申請する方は上記協力協定各学会正会員の会員証コピーを Fax 等で送ってください。割引適用は1学会分といたします。
自動継続のため次回からは会員証のコピーは不要です。

※これから入会を希望する方も入会申込[本申請]の画面から同様に申請できます。

- ・マイページはこちら⇒ <https://www.ipsj.or.jp/mypage.html>
- ・入会申請はこちら⇒ https://www.ipsj.or.jp/nyukai_kojin.html

■照会先：会員サービス部門 E-mail: mem@ipsj.or.jp Tel(03)3518-8370 Fax(03)3518-8375

令和5年度 2023年 中島記念国際交流財団

日本人若手研究者 研究助成金

募集の
お知らせ

情報科学分野・生命科学分野で世界にとり必要性の高い
研究に取り組んでいる日本人若手研究者を支援します。

助成金額と使用期間

一件当たり助成金額

500万円以内

(使用期間原則一年以内)



応募資格

我が国の大学・研究機関等に
所属する日本人若手研究者の方

37歳以下の方

(令和5年4月1日現在)



令和5年度募集の受付期間・応募方法

令和4年8月1日～8月19日17時必着(郵便以外は不可)

詳細は令和4年6月初旬、当財団ホームページまで
<http://www.nakajimafound.or.jp/koubo.html>



当財団設立の趣旨

当財団は平成12年11月8日に設立。平成24年4月1日公益財団法人となり、21世紀において活躍
できる内外の人材育成を支援し、もって国際社会の平和的発展に貢献することを設立の趣旨としています。



FIT2022 第21回情報科学技術フォーラム 聴講参加並びに講演論文集 申込の御案内

2022年9月13日(火) ~ 15日(木)
慶應義塾大学 矢上キャンパス (ハイブリッド開催)

<https://www.ipsj.or.jp/event/fit/fit2022/>

電子情報通信学会の情報・システムサイエティ (ISS) とヒューマンコミュニケーショングループ (HCG)、及び情報処理学会 (IPSJ) は、「第21回 情報科学技術フォーラム (FIT: Forum on Information Technology)」を開催します。

聴講参加並びに講演論文集の申込の御案内を致します。聴講参加費は、お得な事前価格の設定がございます。皆様、奮ってお申込み下さい。また、講演論文集 (冊子、DVD-ROM) も販売を行います。確実に御入手頂くには期限内のお申込みをお勧め致します。

■開催イベント (詳細は逐次Webサイトに掲載致します)

※タイトル等は変更の可能性があります。

[表彰式・招待講演企画]

◎FIT学術賞表彰式

14日 13:00-13:50 (予定)

◎船井業績賞受賞記念講演

14日 14:00-15:15 (予定)

「限られた情報から精度良く：機械学習研究の更なる挑戦」

杉山 将 (理化学研究所 革新知能統合研究センター センター長/
東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授)

[イベント企画]

詳細は逐次上記Webサイトに掲載致します。

[研究会連携]

電子情報通信学会および情報処理学会のいくつかの研究会が、FIT2022のプログラムとして開催されます。詳細は Webページでご確認ください。

■聴講参加費 (税込)

現地参加、オンライン参加ともに同価格です。

参加区分	事前価格(8/14まで)	価格(8/15以降~最終日)
会員	10,000円	12,000円
非会員	20,000円	24,000円
学生	無料	無料

※会員、非会員の聴講参加費には電子版講演論文集 (Webからダウンロード) が含まれております。

※学生の聴講参加 (無料) には電子版講演論文集は付いておりません。電子版講演論文集付きを希望の場合、参加費は 2,000円となります。

※会員、非会員、学生の参加区分の区別は次の通りです。

会員：情報処理学会、電子情報通信学会、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、電子情報通信学会の維持員、情報処理学会の賛助会員。

非会員：左記の学会会員以外で学生以外の方。
学生：会員/非会員を問わず無料 (電子版講演論文集は付きません)。

■聴講参加の申込

申込開始：2022年6月3日 (金) 予定

申込締切：2022年9月15日 (木) FIT最終日まで

申込方法：FIT2022 Webサイトからお申込み下さい。

※8月14日までは事前価格での申込となりお得です。

■冊子講演論文集・DVD-ROM販売価格 (税込)

申込種別	個人購入価格	法人購入価格
講演論文集セット (DVD-ROM付)	60,000円	60,000円
講演論文集分冊	13,000円/冊	16,000円/冊
講演論文集DVD-ROM	10,000円	56,000円

※講演論文集セットは冊子講演論文集全分冊 (カバー付き)、DVD-ROM 付き

※残部がある場合、学生の方には講演論文集DVD-ROMを学割価格4,000円にて販売致します。

※講演論文集の掲載分野 (予定分冊構成)

第1分冊：モデル・アルゴリズム・プログラミング、ソフトウェア、ハードウェア・アーキテクチャ

第2分冊：データベース、自然言語・音声・音楽、人工知能・ゲーム、生体情報科学

第3分冊：画像認識・メディア理解、グラフィクス・画像、ヒューマンコミュニケーション&インタラクション、教育学・福祉工学・マルチメディア応用

第4分冊：ネットワーク・セキュリティ、ユビキタス・モバイルコンピューティング、教育・人文科学、情報システム

DVD-ROM：上記全論文とプログラムを収録

■講演論文集の申込

申込締切：2022年7月20日 (水)

申込方法：FIT2022 Webサイトからお申込み下さい。

※講演論文集は、締切後も残部のある限りお申込を受付いたします。確実に御入手頂くには期限内のお申込みをお勧め致します。

■問い合わせ (FIT2021事務局)

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5 化学会館4F

一般社団法人 情報処理学会 事業部門

TEL [03] 3518-8373 FAX [03] 3518-8375

E-mail: ipsjfit@ipsj.or.jp

〒101-0062
編集人 五十嵐悠紀

発行所 東京都千代田区神田駿河台1-5
発行人 一般社団法人 情報処理学会
下 泰三

電話 東京 (03) 3518-1837
振替口座 〇〇一五〇一四一八三四八四

印刷所 東京都荒川区西日暮里六十二番一
三美印刷株式会社

会員外発売所

東京都千代田区神田錦町三十一
株式会社 オーム社

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 05269-07



4910052690721
01600

訂 正

本誌 63 巻 7 号 (2022 年 7 月号) の連載: ビブリオ・トークー私のオススメ「初めての Perl 第 7 版」に一部誤りがありました。お詫
びして訂正いたします。

P.359 著者略歴

(誤) kishii@rs.sus.ac.jp

(正) sekiya@ecc.u-tokyo.ac.jp
