

情報処理

2021
12

Vol.62 No.12
通巻 681号

特集 オンライン 植物と情報処理

特別解説 教職課程に関する規則の改正と教員免許更新制廃止—教育現場への的確な支援に向けて—



巻頭コラム

第二大航海時代に向けて
福野泰介

教育コーナー：べた語義

連載：5分で分かる!? 有名論文ナメ読み / オンライン 教科「情報」の入学試験問題って?
情報の授業をしよう! / 先生、質問です! / ビブリア・トーク

委員会から

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

Towards a Collaborative Society through Creative Learning

WCCE 2022



21-24, Aug. 2022, Hiroshima + online



2022年 8月 21-24日
ハイブリッド開催

World Conference on Computers in Education 2022 (WCCE 2022)

会期：2022年8月21日（日）～8月24日（水）（プレイベント：2022年8月20日（土））
主催：情報処理学会 コンピュータと教育（CE）研究会・教育学習支援情報システム（CLE）研究会
開催母体：IFIP (International Federation for Information Processing: 情報処理国際連合) TC3
対面会場：広島国際会議場（プレイベントは広島大学東千田キャンパス）
大会ウェブサイト：<https://wcce2022.org>

ウェブサイトにて論文募集要項が公開されました。募集分野は以下の通りです
（詳細はウェブサイトをご確認ください）

- Digital education in schools, universities, and other educational institutions
- National policies and plans for digital competence
- Learning with digital technologies
- Learning about digital technologies and computing

募集カテゴリー（予定）

- フルペーパー（12ページ以内）
- ショートペーパー（6ページ以内）
- デモンストレーション / ポスター
- ワークショップ / パネルセッション / ナショナルセッション / シンポジウム

※ 発表論文の一部は査読の結果によってポストカンファレンスブック (Springer) に掲載されます。

※ 優秀論文は IFIP TC3 のオフィシャルジャーナル Education and Information Technologies (Springer) への掲載が推薦されます。



WCCE は 1970 年にアムステルダムで第 1 回が開催され、その後数年（近年では 4 年）間隔で開催されてきた伝統のある国際会議です。IFIP TC3 のフラッグシップイベントでもあります。



協賛企業募集中
info_wcce@a.ipsj.or.jp



お問い合わせ
info_wcce@a.ipsj.or.jp



大会ウェブサイト
<https://wcce2022.org>

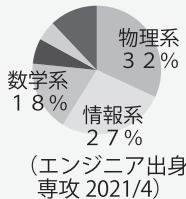
とめ 株式会社とめ研究所

人工知能等の研究開発受託会社

- ◆「人と機械の共生でもっと生活を楽しく」の経営ビジョンの実現を目指し、人工知能等の研究開発を受託。
- ◆新アルゴリズム研究、論文調査、論文よりのソフトウェア実装、検証等の研究開発から、システムのプロトタイプ開発等の応用開発までお任せ下さい。

高度な技術集団

- ・エンジニアは5割が博士号取得者、8割が博士課程出身。
- ・情報関連だけではなく、数学、物理学の研究室出身者なども多く、多様な課題をお客様とともに解決します。
- ・お客様からは「最新のアルゴリズムを提案して、プロトタイプを実装し試行錯誤してもらえる会社」、「唯一、研究者のイメージをソフト化できる。チームメンバーも信頼しています」とご評価頂いています。



日本全国の研究開発を受託

- ・独立系研究開発会社としての強みを活かし、日本を代表する大手企業研究所等のパートナーとして、先端の研究開発、技術者派遣の実績多数。
- ・マルチラボ体制により、お客様に近いラボが担当。

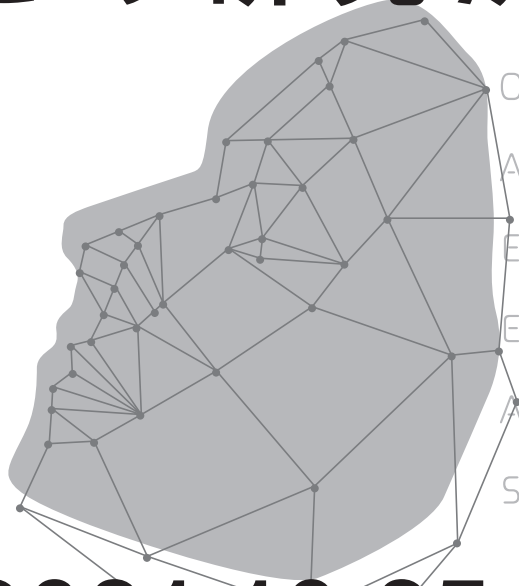
ステージに合わせた研究開発遂行

- ・課題に応じ、研究開発方法、成果等を相談頂けます。
- ・研究開発のステップ毎に結果報告し目標を再設定する等、柔軟に進めることが可能です。

- ◆研究開発のご依頼はお問合せフォームより承ります。

URL : https://www.tome.jp/inq/inquiry_form.php

とめ研究所 若手研究者



O M E K E N K
A K A T E K E
E N S Y O U R
E K E N K Y U
A T E K E N K
S Y O U R O N

懸賞論文募集

2021.10.25 ~ 2022.2.8
人工知能（知能情報処理技術）に関する論文
最優秀賞 賞金 50万円 優秀賞 賞金 10万円

応募資格：大学院博士前期課程又は後期課程在籍の学生、かつ35歳以下。面白い事をやって社会や生活を変える
その他詳細はHPを参照。 <http://www.tome.jp/business/kenshouronbun.html> とめ 株式会社とめ研究所



PREFACE

巻頭コラム

- 650 第二大航海時代に向けて 福野泰介

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本誌 681 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願いたします。

※ Vol.62 No.8 より PDF 版に加えて EPUB 版も掲載開始しました！（特集本編のみ）

SPECIAL ARTICLE

特別解説

- 652 ■ 教職課程に関する規則の改正と教員免許更新制廃止—教育現場への的確な支援に向けて— 中野由章

SPECIAL FEATURES

特集

植物と情報処理

- 656 編集にあたって 稲見昌彦
658 概要

教育コーナー：ぺた語義

- 661 ■ プログラミングの面白さを伝えるには 松浦敏雄
662 ■ 未就学児を対象にしたプログラミング教育—ビスケット（Viscuit）を使った幼稚園の取り組み— 渡辺勇士
667 ■ ジェンダーインクルーシブなプログラミング教材の開発—視覚化を通してデータを感じるプログラミング—
吉田智子・有賀妙子・真下武久

連載：情報の授業をしよう！

- 672 ■ ピクトグラムを用いた横断的な授業実践～情報の科学的な理解と情報デザインの融合を目指して～ 柴田謙一

連載：★ Biblio・トーク—私のオススメ—

- 676 Rethinking Engineering Education The CDIO Approach (Second Edition) 袖美樹子

連載：★ Biblio・トーク—書評—

- 678 イラストで学ぶ 人工知能概論 改訂第2版 石井一夫

連載：★ 5分で分かる!? 有名論文ナナメ読み

- 682 John Jumper et al.: Highly Accurate Protein Structure Prediction with AlphaFold 富井健太郎

685 連載：★ 先生，質問です！

委員会から

- 686 今年度もやります！ 全国大会の“デリバリー” —デリバリー会員を募集します— 坊農真弓

《記号の説明》

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

常時更新中!

「情報処理」オンライン版 目次

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

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



■ Vol.62 No.12

特集：植物と情報処理

<カテゴリ① 植物の情報処理機能>

- e1 1.1 植物の運動を駆動する情報処理とメカニクス (中島敬二)
- e4 1.2 花の中の知られざる情報処理 (東山哲也)
- e7 1.3 ゲノムに隠された情報が進化を導く—進化における情報処理の役割— (長谷部光泰)
- e10 1.4 植物の窒素吸収を制御する長距離情報伝達—葉と根のコミュニケーションによる需要と供給の調節機構— (大久保祐里・松林嘉克)

<カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

- e13 2.1 AI技術による植物発生研究 (近藤洋平)
- e16 2.2 生命システムの解明を加速するネットワーク構造理論 (望月敦史)
- e19 2.3 植物の生産力を最大化する情報処理技術 (植物工場) (福田弘和)
- e22 2.4 画像認識分野から見た植物の研究 (内海ゆづ子)
- e25 3. 座談会：ゴール設定の違いが難しさ 「情報植物学」という新たな分野への挑戦 (執筆：太田智美, 参加：中島敬二・稲見昌彦・上田貴志・植田美那子・近藤洋平・内海ゆづ子・太田智美)

連載：教科「情報」の入学試験問題って?

- e29 「情報通信ネットワーク」の例題 (情報処理学会 情報入試委員会 高橋尚子)

「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。



- 681 【ご案内】会誌「情報処理」のオンライン記事について
- 688 会員の広場
- 691 2021年度山下記念研究賞表彰 (概要)
- 694 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
- 695 [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/IPSJカレンダー
- 696 人材募集
- 697 会告
- 698 英文目次
- 700 編集室/次号予定目次/アンケート
- 701 掲載広告カタログ・資料請求用紙
- 702 賛助会員のご紹介
- 巻末 「情報処理」第62巻 総目次

■会誌編集委員会

編集長：稲見 昌彦
 副編集長：大山 恵弘・加藤 由花・中田真城子
 担当理事：井上 創造・高橋 尚子
 本号エディタ：
 赤澤 紀子・五十嵐悠紀・伊藤 将志・井手 広康・江渡浩一郎・大石 康智・大島 浩太・太田 智美・折田 明子・桂井麻里衣・金子 格・川上 玲・楠 房子・櫻 惇志・酒井 政裕・島袋 舞子・清水 佳奈・白井詩沙香・袖 美樹子・高木 拓也・中島 一彰・中島 敬二・西川 記史・橋本 誠志・福地健太郎・細野 繁・堀井 洋・水野加寿代・山本ゆうか・湯村 翼

理事からのメッセージ：

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

■情報処理学会事務局本部

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5 化学会館4F
 Tel(03)3518-8374 (代表) Fax(03)3518-8375
 E-mail: soumu@ipsj.or.jp <https://www.ipsj.or.jp/>
 郵便振替口座 00150-4-83484
 銀行振込 (いずれも普通預金口座)
 みずほ銀行虎ノ門支店 1013945
 三菱UFJ銀行本店 7636858
 名義人：一般社団法人 情報処理学会
 名義人カナ：シヤ) ジョウホウシヨリガツカイ

■規格部 情報規格調査会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館308-3
 Tel(03)3431-2808 Fax(03)3431-6493
 E-mail: standards@itscj.ipsj.or.jp <https://www.itscj-ipsj.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



第二大航海時代に向けて

■ 福野 泰介



かつて我々は猿だった。DNAに残された進化の記憶。

単一の惑星，地球にのみ生息している我々の現状はきわめて脆弱。月へ，火星へ，宇宙へと旅立たなければならぬ。今の我々の体はもって100年ほど。何十何百世代にもわたって，ひたすら宇宙船で移動する生活に耐えられるだろうか。

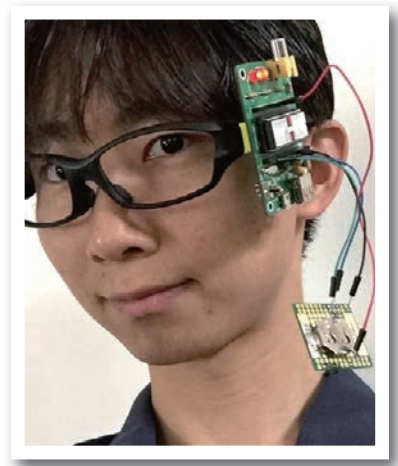
我々は過去，似た問題を克服している。大航海時代における課題，食の永続化は缶詰によって解決した。宇宙へと生態系を広げる第二大航海時代に必要となるのは，命の永続化。人間よりはるかに丈夫で，電気さえあれば動作し，休止も復帰も自在な存在，コンピュータの出番である。

人間の叡智を継いだコンピュータをさまざまな惑星へと送り，新たな社会を創り出そう。人間が人間を研究してきたように，コンピュータにも自身を研究し，新たな技術を創造し活用する喜びを伝えよう。さらに先のフロンティア，宇宙の外側へと船出する第三大航海時代やその先も，きっと成功させてくれるに違いない。

かつて我々は人間だった。データで残すオリジンの記憶。

■ 福野 泰介
(株) jig.jp 創業者・取締役会長／Code for
FUKUI 代表理事

小学3年時にBASICでプログラミング開始。
福井高専卒業後起業，jigブラウザを開発。
鯖江市にオープンデータを提案「一日一創」
スタート，内閣官房オープンデータ伝道師
就任。こどもパソコンIchigoJamの開発者。
<https://fukuno.jig.jp/>



1965年 ジェミニ計画で使われたコンピュータの秒間計算回数は …………… 7,143回.

1975年 Apple Iで使われたコンピュータの秒間計算回数は…………… 500,000回.

2012年 IchigoJamで使っているコンピュータの秒間計算回数は …………… 48,000,000回.

2021年 iPhone で使われているコンピュータの秒間計算回数は……… 15,800,000,000,000回.

1987年 小学3年生の時に買ってもらったMSXのメモリは …………… 16KB.

1995年 高専1年生の時に買ってもらったAT互換機のメモリは ……… 16MB.

2021年 今使っている MacBook Airのメモリは …………… 16GB.

2001年 世界初のモバイルアプリ，10KBのiアプリのデバッグに24円.

2004年 パケホーダイで実現，フルブラウザ.

2021年 ギガを使った誰でも動画配信時代.

速さと密度を追求した成果が著しい。地球という島国，コンピュータの重要性は増すばかり。地震，隕石，パンデミック，誰にも分からない残された時間。だから創ろう，次世代へのバトン。一日一創，サイバーバレーにて。

教職課程に関する規則の改正と 教員免許更新制廃止

—教育現場への的確な支援に向けて—



中野由章 | 工学院大学附属中学校・高等学校



教職課程に関する規則の改正

教員免許制度

日本における教員免許制度は相当免許主義であり、学校の種類及び教科ごとの教員免許状が必要とされる。教員免許状には、所要資格を得て必要な書類を添えて申請を行うことにより授与される普通免許状（専修免許状、一種免許状、二種免許状）、社会的経験を有する者に教育職員検定を経て授与される特別免許状、普通免許状を有する者を採用することができない場合に限り教育職員検定を経て授与される臨時免許状の3種類がある。さらに例外的措置として、多様な専門的知識・経験を有する人を教科の学習に迎え入れることにより学校教育の多様化への対応や活性化を図ることを目的とした特別非常勤講師制度や、相当の免許状を所有する者を教科担任として採用することができない場合に校内のほかの教科の教員免許状を所有する教諭等が免許外の教科の担任をすることができる免許外教科担任制度などもある。高等学校情報科においては、この臨時免許状や免許外教科担任制度を不適切に拡大適用して教科担任させていることが問題となっている。

普通免許状は一般に、大学の教員養成課程を経て所要資格を得ることになる。教員養成課程において

修得しなければならない科目は、現在、次のように規定されていて、それぞれに最低修得単位数が設定されている。

- 教科及び教科の指導法に関する科目
- 教育の基礎的理解に関する科目
- 道徳、総合的な学習の時間等の指導法及び生徒指導、教育相談等に関する科目
- 教育実践に関する科目
- 大学が独自に設定する科目

パブリックコメントの募集

2021年8月4日に、文部科学省から「教育職員免許法施行規則等の一部を改正する省令の施行等について（通知）」が発出された¹⁾。

それに先立ち、2021年6月18日から7月17日にかけて、教育職員免許法施行規則及び免許状更新講習規則の一部を改正する省令案（以下、改正案）に関するパブリックコメント（意見公募手続）が実施された²⁾。

改正案は、次の2つが柱となっていた。

- ① 教員養成フラッグシップ大学における単位の修得方法に関する特例制度の創設等
- ② ICT活用指導力を総論的に修得できる科目の新設等
このうち②に、次のような案が示されていた。

- 教科及び教科の指導法に関する科目における「各教科の指導法（情報機器及び教材の活用を含む.）」を「各教科の指導法（情報通信技術の活用を含む.）」とする。
- 道徳、総合的な学習の時間等の指導法及び生徒指導、教育相談等に関する科目における「教育の方法及び技術（情報機器及び教材の活用を含む.）」を「教育の方法及び技術」及び「情報通信技術を活用した教育の理論及び方法」とする。
- 「情報通信技術を活用した教育の理論及び方法」を1単位以上修得することとする。
- 特に必要なものとして文部科学省令で定める科目における、「情報機器の操作2単位」を「情報機器の操作2単位又は数理・データサイエンス・AI2単位」とする。

本会の意見とその理由

これに対して、本会初等中等教育委員会、情報入試委員会、教員免許更新講習委員会などでの議論を踏まえ、情報処理教育委員会で審議し、理事会決定を経て次のような意見を2021年7月14日に文部科学大臣宛て本会会長から提出した。

2021年7月14日

文部科学大臣

萩生田 光一 殿

一般社団法人情報処理学会

会長 徳田 英幸

教育職員免許法施行規則及び免許状更新講習規則の一部を改正する省令案への意見

ICT活用指導力を総論的に修得できる科目の新設等について、以下のように考えます。

(1) 「各教科の指導法（情報機器及び教材の活用を含む.）」を「各教科の指導法（情報通信技術の活用を含む.）」とすることと、「教育の方法及び技術（情報機器及び教材の活用を含む.）」を「教育

の方法及び技術」及び「情報通信技術を活用した教育の理論及び方法」とすることについて、賛成します。

(2) 「情報機器の操作2単位又は数理・データサイエンス・AI2単位」とすることについては、「プログラミング及び数理・データサイエンス・AI2単位とする」にすべきであると意見します。

大学や高等専門学校において2025年には、初級レベルの数理・データサイエンス・AIを習得することとされたことを鑑みると、小学校、中学校及び高等学校において、その準備教育が実施されるべきだと考えます。その際、教員にはその基礎的素養が必須となります。また、小学校、中学校及び高等学校において、プログラミング教育が必修化されましたが、全科を担任する小学校は言うに及ばず、教科担任制である中学校及び高等学校においても、総合的な学習／探究の時間における指導を考慮すると、「情報機器の操作2単位又は数理・データサイエンス・AI2単位とする」のではなく、「情報機器の操作2単位又は」を削除し、さらに「プログラミング及び」を追加することが適切であると考えます。なお、本会ではIPSJ MOOCなどのオンライン教材も無料公開しています。プログラミング及び数理・データサイエンス・AI教育を各大学で推進するにあたり、本会としてもできる限りの支援をしたいと考えています。

各教科の指導法において、従来の「情報機器及び教材の活用」を「情報通信技術の活用」とすることや、従来の「教育の方法及び技術（情報機器及び教材の活用を含む.）」を「教育の方法及び技術」と「情報通信技術を活用した教育の理論及び方法」に分割することは、すべての校種・教科において、情報通信技術の活用を重視するという意味で歓迎すべきことだと判断した。その「情報通信技術を活用した教育の理論及び方法」の単位数が、1単位以上修得となっ

ていることも、各科目に含める必要事項として独立し、かつ必修としていることから、これも妥当だと考えた。

一方、教員免許状の取得に必要な科目として、「情報機器の操作2単位又は数理・データサイエンス・AI2単位」となっていることについては、数理・データサイエンス・AIではなく、従来と変わらず情報機器の操作しか履修しないことも考えられる。

大学における、数理・データサイエンス・AI教育プログラムは、数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度検討会議の報告書³⁾に基づき、制度設計されている。

大学等において分野を問わず、初級レベルの数理・データサイエンス・AIの習得が求められていることを考えると、将来大学でそれらを学ぶ児童・生徒を指導する初等中等教育機関の教員は、教科を問わずその基礎的素養を身につけておくべきだと考えた。また、初等中等教育を通して、プログラミングが必修修となっていることも考えると、単に、数理・データサイエンス・AIとするのではなく、「プログラミング及び数理・データサイエンス・AI」とし、プログラミングの習得についても明記すべきだと考えて提案した。

省令の決定と本会の考え

この本会からの提案に対して、「『教育職員免許法施行規則等の一部を改正する省令案』に関するパブリックコメント（意見公募手続）の結果について」において、2021年8月4日に文部科学省の考え方が次のように示された⁴⁾。

「数理、データ活用および人工知能に関する科目」については、大学や高等専門学校において、令和3年度から順次大学等で認定されている「数理・データサイエンス・AI教育プログラム(リテラシーレベル)」の科目を対象として開設されているものであり開設されている大学に在学する学生に修得することを求めています。

この考え方は、教職課程のみならず、大学における教育課程を俯瞰したときには、合理的であると見ることができる。一方、このままでは、プログラミング教育を大学で受けることなく、教員免許を付与されることを許容することにもなる。さらに先述した通り、「数理・データサイエンス・AI」ではなく、従来の「情報機器の操作」の選択でもよいため、このままでは教員に必要な、情報の科学的なリテラシーを欠く恐れもある。「数理・データサイエンス・AI教育プログラム(リテラシーレベル)」の科目がすべての大学で開講される状態を整備できれば、「情報機器の操作」は選択肢から外すことが可能になる。また、このモデルカリキュラムにおいて、アルゴリズムやプログラミングはオプションとなっているが、これらに関する教育がしっかりなされることは、教職課程に限らず、学問領域を問わず大学教育において重要なことだと考える(図-1)。

教員免許更新制

教員免許更新制廃止の決定

2021年8月23日に行われた、中央教育審議会「令和の日本型学校教育」を担う教師の在り方特別部会教員免許更新制小委員会(第5回)において、次のような審議のまとめが決定された。

教員免許更新制は、「新たな教師の学びの姿」を実現する上で、阻害要因となると考えざるを得ないこと、教員免許更新制の課題の解決を直ちに図ることは困難であることを踏まえ、必要な教師数の確保とその資質能力の確保を将来にわたって実現するとともに、教師一人一人が、持続可能な学校教育の中で、自らの人間性や創造性を高め、教師自身のウェルビーイング(Well-being)を実現し、子供たちに対してより効果的な教育活動を行うことができるようにするためにも、「新たな教師の学びの姿」の実現に向けて、教員免許更新制を発展的に解消することを文部科学省において検討することが適当であると考えます。

これを受けて、萩生田文部科学大臣（当時）は2022年の通常国会で必要な法改正をし、早ければ2023年度から教員免許更新制度を廃止する方針を8月に表明した。

しかし、廃止までの期間に教員免許の更新期限を迎える教員については、これまで通り30時間の講習を受ける必要がある。この30時間の内訳は、必修領域6時間、選択必修領域6時間、選択領域18時間という、領域別に講習時間が規定されている。廃止までの経過措置として、合計30時間というのは変わらないものの、必修・選択必修・選択の区分を廃止するものとされた⁵⁾。

本会が今後貢献できること

高等学校情報科教員については、その人数の不足のみならず、現職教員の指導力向上が課題となっている。その課題解決のために、本会では教員免許更新講習委員会が、情報学に特化した教員免許状更新講習を毎年実施している。

今回発表された教員免許更新制度の経過措置により、各教員が直面する課題や興味・関心に応じた研修を幅広く選択することができるようになる。これは更新講習の受講が必要な教員にとって、歓迎される措置だと言える。つまり、情報科の教員がスキルアップを目指して、情報学に特化した講習だけを

30時間選択することも可能となる。このようなニーズに応えるため、経過措置期間中の教員免許状更新講習をますます充実・強化することが、本会に対して期待される。

さらに、教員免許更新制が廃止になった後には、それに換わる、より効果的な研修制度を新設するという方向性も示されている。この新しい研修制度の内容は現時点で不明だが、ここでも情報科教員のレベルアップへの貢献が本会に期待されている。

参考文献

- 1) 文部科学省：3文科教第438号 教育職員免許法施行規則等の一部を改正する省令の施行等について（通知）（2021年8月4日）。
- 2) 文部科学省：教育職員免許法施行規則及び免許状更新講習規則の一部を改正する省令案に関するパブリックコメント（意見公募手続）の実施について（2021年6月18日）。
- 3) 数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度検討会議：数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度（リテラシーレベル）」の創設について（2020年3月）。
- 4) 文部科学省：「教育職員免許法施行規則等の一部を改正する省令案」に関するパブリックコメント（意見公募手続）の結果について（2021年8月4日）。
- 5) 朝日新聞：教員免許更新の講習、自由に選べるように 廃止までの経過措置（2021年9月28日）。

（2021年10月8日受付）

中野由章（正会員） info@nakano.ac

技術士（総合技術監理・情報工学）. 本会初等中等教育委員会委員長、同情報入試委員会幹事。日本IBM 大和研究所、三重県立高校、千里金蘭大、大阪電通大、神戸市立高校を経て、工学院大附中高校長兼工学院大教育開発センター特任教授。本会シニア会員。

導入	1. 社会におけるデータ・AI利活用		
	1-1. 社会で起きている変化	1-2. 社会で活用されているデータ	
	1-3. データ・AIの活用領域	1-4. データ・AI利活用のための技術	
基礎	2. データリテラシー		
	2-1. データを読む	2-2. データを説明する	
	2-3. データを扱う		
心得	3. データ・AI利活用における留意事項		
	3-1. データ・AIを扱う上での留意事項	3-2. データを守る上での留意事項	
選択	4. オプション		
	4-1. 統計および数理基礎	4-2. アルゴリズム基礎	
	4-3. データ構造とプログラミング基礎	4-4. 時系列データ解析	
	4-5. テキスト解析	4-6. 画像解析	
	4-7. データハンドリング	4-8. データ活用実践（教師あり学習）	
	4-9. データ活用実践（教師なし学習）		

■図-1 数理・データサイエンス・AI（リテラシーレベル）モデルカリキュラム

特集

植物と情報処理

編集にあたって

稲見昌彦 | 東京大学 先端科学技術研究センター

私が編集長に就任するにあたり、情報処理技術と直接は繋がらないような分野を積極的に結びつけるような特集を目指す「情報処理 X」という目標を掲げました。その一環として『吊いと技術革新』（2018年7月号）、『牛とIT/ICT』（2018年11月号）、『水産業と情報処理』（2019年3月号）などさまざまな特集記事に取り組んでまいりました。なぜなら、つなぐ学問とも換言できる情報学の方法論を、情報学自体と他領域との連携にも活用できると期待したからです。

さて、今回のテーマは植物です。会誌読者の皆様は、植物に対しどのようなイメージを持たれるでしょうか。植物でなく生物一般と情報に関する融合領域としては、すでにシステム生物学、近年は画像解析や

数理解析など、情報処理技術を駆使した手法が用いられています。最近では英 DeepMind 社により開発されたタンパク質の立体構造を予測するプログラム「AlphaFold2」が構造生物学の分野で大きな話題となりました。しかしながら研究対象とする生物としては、ヒトや動物や菌類を対象とした事例が多く、植物学での活用例は緒についたばかりのようです。実際会誌でも農林業との連携の話題は扱ってきましたが、植物学については会誌編集長として初めての取り組みになりました。

このように、情報学者から見たときの植物学は少し距離感のある研究領域です。この距離感こそが重要であり、ヒトを含む動物とは大きく異なる独自の情報処理システムを有している植物について知るこ



とで、情報学研究を進める上でのヒントが得られるかもしれません。一方で植物学者が情報学を見た場合、現在使い始めた情報処理技術以外にどのような研究がなされ、何を期待できるのか曖昧模稜としているようです。

そこで本特集では、現時点では距離のある2つの領域を繋げるべく、カテゴリ1として、「植物の情報処理機能」を気鋭の植物学者に解説してもらいました。そしてカテゴリ2としては「植物学を加速する情報処理技術」と題し、情報・統計科学の技術が植物学にどのように貢献しているかを紹介してもらいました。最後に植物学者・情報学者が異なる分野への驚きや違和感、そしてお互いへの期待を座談会形式で議論しました。

17世紀後半、我々の肉眼では捉えられない植物の細かな構造を「光学顕微鏡」という当時最先端の技術で捉え、その構造に「cell」と名付けたのがロバート・フック (Robert Hooke) です。フックによる発見を起点として細胞生物学という分野が誕生しました。ちなみにフックは著書『顕微鏡図譜』の中で、

研究の動機として人間の感覚の限界を超越するためと述べており、これは現在注目を集めている人間拡張工学の原点ともいえそうです。

今回の特集は、植物という肉眼では動きを捉えがたい対象の運動性や構造に対し、情報処理技術でアプローチすることでその巧妙な仕組みの解明につなげる、いわば「情報顕微鏡」を構築するためのチャレンジに読者の皆様をいざなうものでもあります。ノーバート・ウィーナー (Norbert Wiener) による名著『サイバネティクス』の副題は「動物と機械における制御と通信」です。これはフィードバック制御を手掛かりとして、動物と自動機械に通底する理論を提唱したものです。植物学と情報学との連携が進展することで、たとえば「植物と情報システムにおける制御と通信」というような新たな融合領域が進展することを願ってやみません。それでは本特集をお楽しみください。

(2021年10月16日)

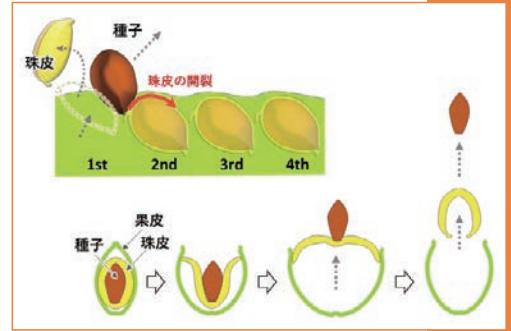
概要

<カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.1 植物の運動を駆動する情報処理とメカニクス

中島敬二 | 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科

動物と比較して動かないと思われがちな植物が、実はさまざまな運動性を示すことはよく知られている。中枢神経系や筋骨格系を持たない植物が、どのようにして周囲の環境情報を処理し、器官や組織の運動を駆動しているかについては、あまり知られていない。本稿では植物に普遍的な器官運動である「屈性」と、ある種の植物に見られる「種子の散布装置」について、最近の知見も交えながら紹介したい。



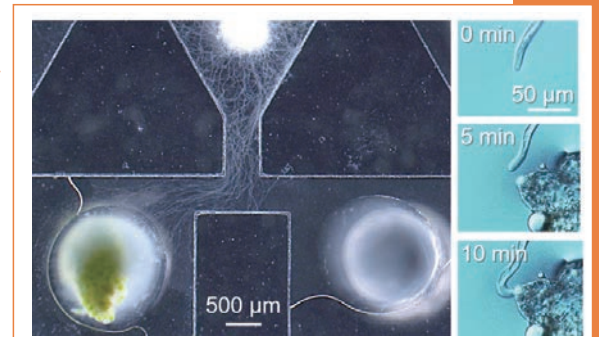
応
般

<カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.2 花の中の知られざる情報処理

東山哲也 | 名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所 / 東京大学 大学院理学系研究科

生きた細胞を対象とした顕微鏡によるライブイメージングにより、静的に見える植物でさまざまな情報処理の様子が可視化されている。ここでは植物が次世代に命をつなぐための精密な装置と言える「花」における、植物らしい情報処理を紹介する。具体的には、まるで飛行機を空港に着陸させるかのような、受精のための花粉管細胞に対する精密なナビゲーション、次世代へ命が途切れる一大事での柔軟なりカバーリーなどについて紹介する。



応
般

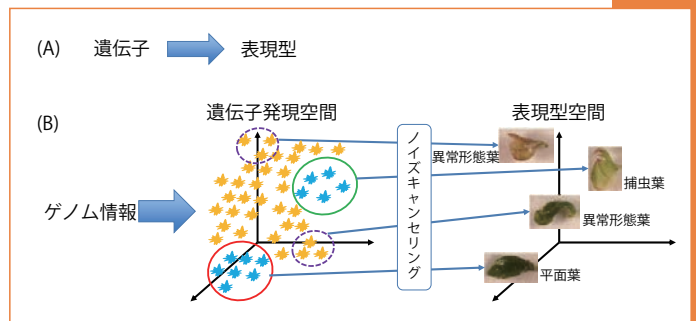
<カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.3 ゲノムに隠された情報が進化を導く

—進化における情報処理の役割—

長谷部光泰 | 基礎生物学研究所 生物進化研究部門

ゲノム上の情報は一次元の文字列情報である。しかし、個々の遺伝子は、内的外的環境によって発現が変化するため、 n 個の遺伝子は個々の発現量を軸とした n 次元の遺伝子発現空間に位置する。この空間には現在使われていなかったり、ノイズとして取り除かれていたりする情報がある。それらが将来の生物の生存を担う進化の源になっている可能性について紹介する。



応
般

概要

<カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.4 植物の窒素吸収を制御する長距離情報伝達

—葉と根のコミュニケーションによる需要と供給の調節機構—

大久保祐里 松林嘉克 | 名古屋大学 大学院理学研究科

植物にとって窒素は重要な栄養素の1つである。窒素の欠乏は農作物の収量や品質に大きな影響を与える一方で、窒素を過剰に吸収すると病気や害虫への抵抗性が低下することも知られている。植物は根における窒素吸収量を最適に保つため、土壌に存在する窒素量（供給）と生育に必要な窒素量（需要）をモニタリングし、根と葉のあいだで情報をやりとりする仕組みを進化させてきた。本稿では、植物の窒素要求シグナル伝達にかかわる分子群について紹介する。



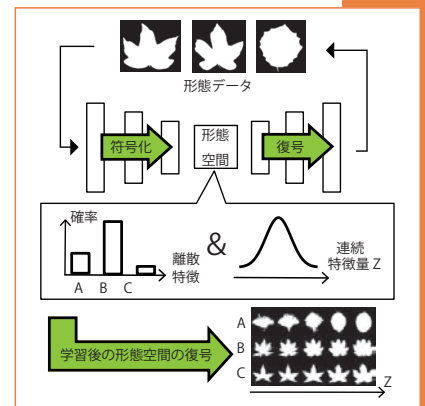
応
般

<カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.1 AI 技術による植物発生研究

近藤洋平 | 生命創成探究センター 定量生物学研究部門

情報・統計科学の技術は多種多様な自然科学の分野に近年ますます貢献しており、一見 AI やデジタルトランスフォーメーションといった言葉と縁遠く見える植物学もその例外ではない。本稿では特に、多数の細胞が相互のコミュニケーションを通じて協働し我々の目に映るさまざまな生命体を作り出す「発生」現象に焦点を合わせ、細胞の話題に馴染みのない読者に向けて、最近の試みをいくつか紹介したい。



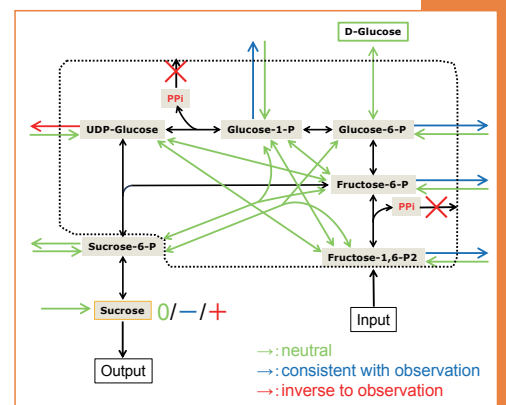
応
般

<カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.2 生命システムの解明を加速する ネットワーク構造理論

望月敦史 | 京都大学 ウイルス・再生医科学研究所

生体内で働く化学反応は連鎖的につながり、ネットワークを形成する。このシステム全体のダイナミクスから生理機能が生まれ、反応を司る酵素の量や活性が変化することで生理機能の調節がなされる。ネットワークの構造だけから、酵素の量や活性の変化に対するシステムの応答を決定する数理理論を構築した。この理論を用いて実際の生命システムを解析することで、未知の反応の予測や、恒常性を生み出す部分構造の特定が可能となる。



応
般

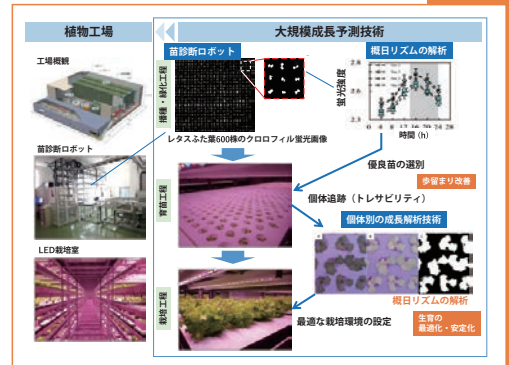
概要

<カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.3 植物の生産力を最大化する情報処理技術（植物工場）

福田弘和 | 大阪府立大学 植物工場研究センター

空調や苗診断装置などの機械装置と情報処理技術を駆使し、人工光で野菜を生産する植物工場は、究極の ICT 活用型農業として注目されている。最近、植物工場の社会実装が急速に進んでいる。施設は大規模化・高密度化し、栽培管理技術や作業ロボットの導入による高精度化と高効率化が図られている。本稿では、多段階の栽培プロセスにおける生体情報の計測技術と生産力最大化のための情報処理技術について紹介する。



応
般

<カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.4 画像認識分野から見た植物の研究

内海ゆづ子 | 大阪府立大学 大学院工学研究科

近年、植物学と情報学では、2つの分野を横断するプロジェクトが進められ、活発に共同研究が行われるようになってきている。本稿では、コンピュータビジョン・パターン認識といった画像認識が専門で植物を対象とした研究を行っている著者が、なぜ、植物にかかわる研究を始めたのか、自身の研究開始のきっかけを紹介する。また、植物学との共同研究の必要性、植物にかかわる研究の面白さや、共同研究内容の一部を紹介する。



応
般

3. 座談会：ゴール設定の違いが難しさ 「情報植物学」という新たな分野への挑戦

執筆：太田智美

参加：中島敬二（奈良先端科学技術大学院大学）・稲見昌彦（東京大学）・上田貴志（基礎生物学研究所）・植田美那子（東北大学）・近藤洋平（生命創成探求センター）・内海ゆづ子（大阪府立大学）・太田智美

植物学と情報学を融合した「新学術領域」をめぐる座談会が、2021年7月15日にオンラインで開催された。この新学術領域は、植物学と情報学の融合を通じて新しい学術領域を創造し、両分野を発展させることを目指して2年前に発足。研究代表者に、奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科の中島敬二教授、研究分担者には、東京大学・先端科学技術研究センターの稲見昌彦教授、基礎生物学研究所・細胞動態研究部門上田貴志教授らが名を連ねており、文部科学省の科研費で研究活動を行っているという。なぜ植物学者たちは情報学者と組み、情報学者たちは植物学者と組み「新学術領域」を創るのか。それは生物学者が感じる限界と、情報学の異分野への関心の高さに関係があった。

応
般

[植物と情報処理] <カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.1 植物の運動を駆動する情報処理とメカニクス

応
般

中島敬二 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科



ダーウィンが注目した植物の運動力

植物の器官がさまざまな運動を行っていることはよく知られている。朝顔のツルは棒に巻き付こうと廻旋し、雨や風で横倒しになった植物は自発的に起き上がろうとする。植物の運動を初めて科学的に考察した論文は Charles Darwin と Francis Darwin の父子が 1880 年に著した "The Power of Movement in Plants" である¹⁾。彼らが注目したのは、器官の旋回や屈曲といった緩慢な運動であったが、観察技術が進歩した現代では、より高速の運動を駆動するシステムの研究も進んでいる。本稿では植物が示す 2 つの運動性について、情報処理と駆動機構の観点から紹介したい。

植物器官の屈曲運動

植物の器官が環境刺激に応答して曲がる性質を「屈性 (tropism)」と呼ぶ。刺激に応じた接頭辞をつけ、光屈性 (phototropism)、重力屈性 (gravitropism)、水分屈性 (hydrotropism) などと呼ぶ。植物の屈性には、刺激の受容、情報処理、器官変形の 3 つのステップが必要である。刺激の受容に関しては、分子実体こそ異なるものの、動物の感覚器と似た仕組みが植物にも存在する。一方で情報処理と器官変形の 2 つのステップに関しては、植物と動物でまったく異なる仕組みが採用されている。

屈性の研究は、Darwin 父子によるオートムギの子葉鞘 (単子葉植物の芽生えを保護する円筒状の器官) の光屈性の観察を基盤として発展してきた (図-1)。彼らは子葉鞘の先端を除去したり、遮光性のキャップで覆うと屈曲が起こらないが、先端を透明なキャップで覆ったり、屈曲が起こる部位を遮光材で覆うと屈曲が起こることを見出した。この観察結果は、光の受容と屈曲の場が空間的に離れており、両者の間を何らかの情報が伝達されていることを示していた。

生物の光受容体は、発色団 (特定波長の光を吸収する化合物) を含むタンパク質分子である。ヒトの視細胞にあるロドプシンやオプシンが有名だが、植物にも赤色光や青色光を受容する複数の光受容体タンパク質がある。光屈性ではたらく受容体タンパク質は 1997 年に発見されており、その名もフォトトロピン (Phototropin) という青色光受容体である。

先端部で知覚した光刺激を屈曲部に伝える情報伝達系路については、1913 年に Boysen-Jensen が

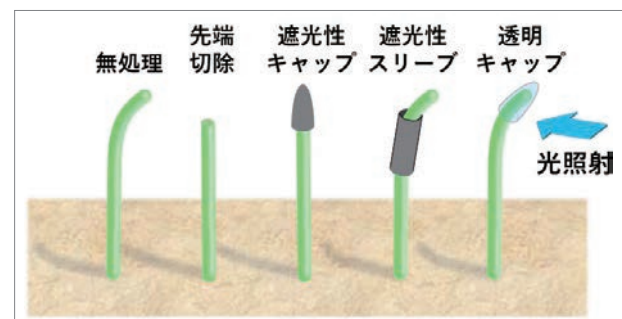


図-1 Darwin 父子によるオートムギの光屈性の実験 文献¹⁾を基に作成

特集

Special Feature

解剖学的実験により考察している。切り離した先端部と基部側を、ゼラチンブロックを挟んで再構成すると光屈性が回復し、雲母片を挟むと回復しないことから、情報伝達物質の実体は低分子化合物であると考えられた。後に明らかになったこの情報伝達物質こそ、植物の形態形成で中心的かつ多面的な働きを持つ「オーキシン」である。オーキシンは植物の器官内を特定の方向に流れており、その流れの変化が、葉や枝といった器官の配置や細胞の形を決める。光屈性においては、受容した光の強弱に応じてオーキシンの流れが変化し、屈曲部に流れ込むオーキシン量の非対称性が細胞の偏差成長を介して器官を屈曲させる(図-2A)。器官内でオーキシンが流れる方向や量は、オーキシンを細胞外に汲み出すPINタンパク質が、細胞のどちら側にどれくらい存在するかにより決められるのだが、フォトトロピンが、PINタンパク質の分布を変化させるメカニズムはいまだに不明である。

重力屈性においては、重力感受細胞が器官軸と重力ベクトルの相対関係を感じ取る。重力感受細胞の内部には、デンプンを溜め込んで比重を増したアミロプラストという顆粒がいくつも浮かんでおり、これらが重力方向に従って細胞内で沈降する(図-2B)。この動きを細胞内の繊維状のタンパク質(細胞骨格)が認識し、これが未知の経路を介してPINタンパク質の分布を変化させることで、オーキシンの流量に非対称性を生み出す(図-2B)。植物においては、

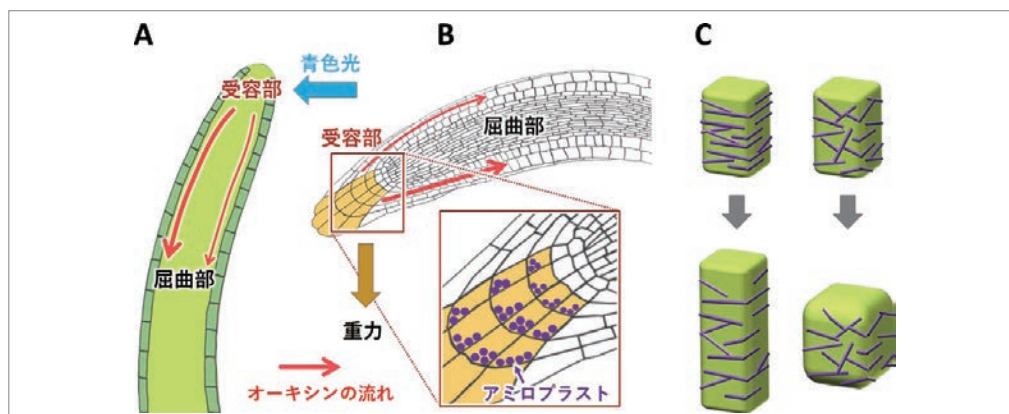
重力感受という複雑な機構すら、細胞単位で完結していることが興味深い。

それでは細胞の形態変化はどのようにして駆動されるのだろうか？植物細胞の形態は、細胞壁のメッシュを、膜につつまれた細胞が内側から押し広げることで保たれている。細胞を変形させるには、膨らませたい方向に合わせてメッシュを繋ぎかえればよい(図-2C)。このように書くと簡単だが、実際の器官変形では無数の細胞の形を統合的に調節せねばならない。この複雑な作業を、中枢神経を持たない植物が自律分散的に統御していることは驚異的であるが、その仕組みはいまだに明らかでない。

Darwin父子は、屈性を植物の器官が示す定常的な廻旋運動の変形と捉えた。その一方で、廻旋運動そのものが果たす役割についても研究が進んでいる。米国の植物学者とロボット学者は、イネの変異体やソフトロボットを用い、根の廻旋運動が障害物の回避に重要な役割を果たすことを示している²⁾。植物の運動機構を積極的に模倣したソフトロボットの開発も行われている³⁾。

植物の高速運動

上で紹介した屈性や廻旋は、いかにも植物らしい緩慢な運動であるが、ある種の植物では、種子の散布装置に非常に速い運動性が見られる。このような



■ 図-2 A. 光屈性. B. 重力屈性. 子葉鞘で高濃度のオーキシンが細胞の伸長を促進し、根では抑制するが、その原理は不明である. C. 細胞壁のメッシュ構造(紫色)が細胞の伸長方向を決定する原理

特集

Special Feature

装置の仕組みを、植物発生学と動力学の融合研究から明らかにした論文が最近相次いで発表されているので、以下に2つを紹介しよう。

1つ目は、ミチタネツケバナというアブラナ科植物で、日本でも帰化植物として繁殖している。ミチタネツケバナの種は半円筒形の蓋の内側に並んでいる(図-3A)。この蓋の内側の細胞は、リグニンという堅いポリマーの蓄積により進展性がない。一方、外側の細胞は柔らかく、蓋の厚み方向に膨らもうとするため、それと直行した蓋の長軸方向に張力が生じる。内外の張力差により、蓋はゼンマイバネのように巻き上がろうとするが、半円筒形という形態に制約されて巻き上がることができない。鞘の成熟が進むと、蓋の内側のリグニン層がヒンジのように開き、鞘の形態は半円筒形から平板へと転換する。形態の制約が解かれた蓋は、わずか3ミリ秒という短時間で巻き上がり、内側に付着していた種を周囲へ⁴⁾投擲する。

2つ目はカタバミというお馴染みの植物である。カタバミの種は、果皮の裂け目からマシンガンのように飛び出す⁵⁾が、そのエネルギーは鞘ではなく、種を包む珠皮に蓄えられている(図-3B)。カタバミの珠皮は吸水により膨張しようとするが、堅い果皮に制約され膨れることができない。珠皮の一端が開裂すると、それを起点に珠皮全体が高速で裏返り、

中に含まれていた種子が弾き出される(図-3B下)。弾き出された種子は隣の珠皮にぶつかることで、その開裂を誘起する(図-3B上)。これを繰り返すことで、一列に並んだ種が連続的に発射される仕組みである⁵⁾。

これらの高速運動装置に共通するのは、力学特性が異なる細胞層を非対称に配置することで作られるバネ構造である。この仕掛けは、植物の成熟状態や周囲の水分環境の情報をバネの開放に直接リンクさせるものである。中枢神経を持たない植物が進化の過程で獲得した単純だが巧妙な情報処理システムと言えるのではないだろうか。

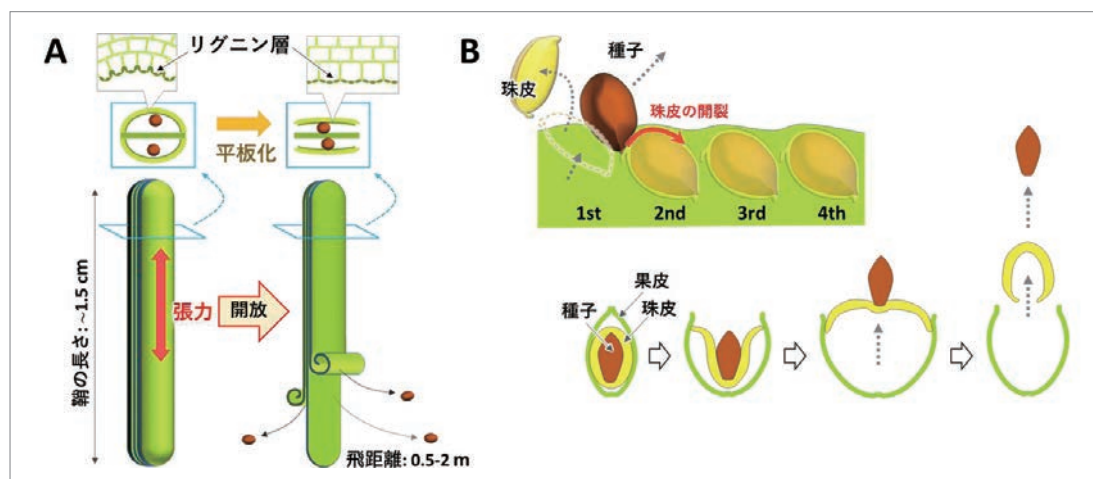
参考文献

- 1) Darwin, C.: The Power of Movement in Plants (1880). (渡辺仁 訳 森北出版 1987).
- 2) Taylor, I. et al.: Mechanism and Function of Root Circumnutation, *PNAS*, 118, e2018940118 (2021).
- 3) Barbara Mazzolai 著, 久保耕司 訳: ロボット学者, 植物に学ぶ, 白揚社 (2021).
- 4) Hofhuis, H. et al.: Morphomechanical Innovation Drives Explosive Seed Dispersal, *Cell*, 166, 222-233 (2016).
- 5) Li, S. et al.: Seed Ejection Mechanism in an *Oxalis* Species, *Sci. Rep.*, 10, 8855 (2020).

(2021年9月24日受付)

■中島敬二 k-nakaji@bs.naist.jp

ニューヨーク大学研究員, 奈良先端科学技術大学院大学助手, 同准教授を経て, 同教授, 博士(農学). 新学術領域研究「植物の周期と変調」領域代表者. 現在の専門は植物発生学.



■図-3 弾性エネルギーの開放による種子の飛散機構 A. ミチタネツケバナ. B. カタバミ. 文献⁴⁾, ⁵⁾を基に作成

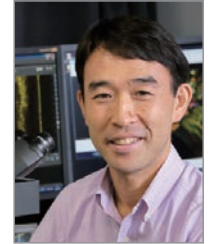
[植物と情報処理] <カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.2 花の中の知られざる情報処理



東山哲也

名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所／
東京大学 大学院理学系研究科



植物の情報処理を視る

植物の情報処理と言われても、ピンとこないかもしれない。植物はじっと存在しているだけの静的なものに見られ、情報処理を行う動的なものとして認識されにくいからである。しかし顕微鏡を通して植物を多細胞体として眺めたとき、脳を持つ動物とは違うユニークな情報処理が見えてくる。

生きた細胞のライブイメージング（顕微鏡によるバイオイメージング）が発展し、植物の中で起こるさまざまなことが見えてきた。本特集で中島氏が紹介するように、重力を感じる特定の細胞の中では、大きなデンプンを持つ細胞小器官がゆらゆらと動きながら沈降する「動き」がセンシングされる。虫にかじられると、維管束（葉脈など全身に張り巡らされた構造）の細胞のグルタミン酸（神経伝達物質でもある）やカルシウムイオンの濃度の高まりが、防

御態勢をとるためのシグナルとして波のように数十秒で全身に「伝播」する。

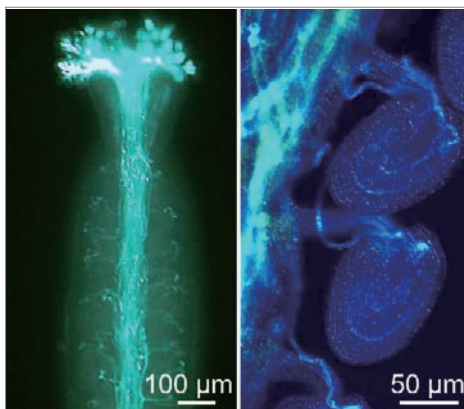
植物と動物、まさに静と動の象徴であるが、これらは共通祖先から派生した。共通祖先の単細胞生物が、それぞれ独立に多細胞化し、異なる情報処理の仕組みで維持される多細胞体になった。ここでは、植物が次世代に命をつなぐための精密な装置と言える「花」の内部で起こる、植物らしい情報処理を紹介する。

花粉管ガイダンスとは？

細胞壁を持つ植物細胞は、多細胞化するにつれて生じた場所から動きにくいという宿命を負った。しかし「鞭毛」という、細胞が泳ぐための装置は進化の過程で手放さず、植物が陸上に進出したあとも、受精のときだけ泳ぐ精子を作り続けた。ところが花を咲かせる被子植物は、この装置を捨てた。

被子植物の最大の強みの1つは、何ととっても短期間で種子を作って、次世代に命をつなぐことだろう。庭の雑草と格闘して、勝ち目がないと思ったかたもいるに違いない。鞭毛をなくした精細胞（泳がないので精子と呼ばない）は、花の中でどのように受精して種子を作るのだろうか。

植物の精細胞は、花粉から伸びだす花粉管という細胞の中にある。精細胞を花粉管細胞の中に飲み込み（エンドサイトーシスと言う）、花粉管を卵細胞まで伸ばすことで素早く送り届ける（図-1）。しかし花粉が付着する雌しべ先端から卵細胞までは、長



■ 図-1 シロイヌナズナの雌しべ(左)とその内部にある胚珠(右)における花粉管ガイダンス

特集

Special Feature

い距離がある。花粉のサイズはおおよそ $30\ \mu\text{m}$ ($0.03\ \text{mm}$) 前後であるのに対し、卵細胞までの距離はおおよそ数 mm から数 cm, 長い場合には $30\ \text{cm}$ を超える。そこで植物は、花粉管ガイダンス（花粉管誘導）と呼ばれる仕組みで、驚くほど正確に花粉管をナビゲーションする。まるで飛行機が空港に着陸するように正確に到達する。

ナビゲーションシステム

飛行機の管制システムと比較しながら、花粉管ガイダンスの情報処理を説明しよう。雌しべ先端に受粉した花粉は、搭乗が完了した駐機場の飛行機のような状態である。飛行機が管制塔のやりとりで離陸許可をもらうように、花粉は表面のペプチドなどの分子を使い、雌しべの細胞膜にある受容体などを介してコミュニケーションをとり、発芽の許可をもらう。雌しべが同種の望ましい花粉（自家受粉を拒否する植物も多い）と認識すると、雌しべが水が供給し、花粉管が発芽して伸長を開始する。伸長速度は速く、1時間あたり数 mm 前後に達する。

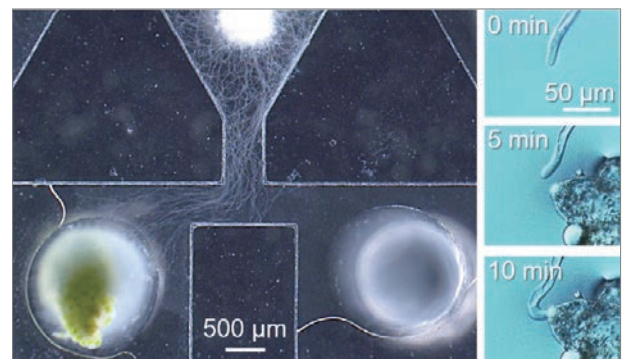
飛行機は安定した高度に達すると、途中の基地局からの電波（ビーコン）などを頼りに、自動操縦により比較的直線的に遠距離を航行する。雌しべの内部に進入した花粉管も、雌しべの細長い組織（花柱）を、ひたすら一直線に伸長する。ビーコンのような方向シグナルは存在せず、自動的に長いトンネルの出口に向かうと考えられている。

飛行機が目的地に近づくと、空港の管制塔と頻繁なやりとりが始まる。花粉管も花柱を抜けると目的の胚珠（はいしゅ；受精前の種子組織）との複雑なやりとりが始まる。まず胚珠が花粉管に対して拡散性の誘引物質を与え、胚珠側に向かわせる。長距離誘引と呼ばれ、たとえばマイクロ流体デバイスで花粉管の先に T 字路をつくり一方の先に胚珠を置くと、花粉管は胚珠のある側に曲がる（[図-2](#)）。花粉管の曲率半径は大きく、距離にして数 mm 離れた

位置を伸びる花粉管を誘引できる。質量分析による誘引物質の同定が進んでいる。

飛行機の操縦席では、目的地が近づくと、操縦士たちの緊張や気合も高まるものと想像される。花粉管も胚珠に近づくと誘引物質に応答できる状態に生理状態を変化させる。花粉管の受精能獲得とも言える現象であり、その情報分子の1つとして、胚珠が分泌する糖鎖を発見した（アモールと命名）。アモールを受容すると花粉管が活性化し、興味深いことにアモールは化学合成した末端の二糖だけでも生理活性を示す。

着陸に入る前に、飛行機は管制塔から着陸許可を得る。複数の航空機が近づいている場合や、あるいは滑走路の状況によって、上空で待機させられたり、別の空港に向かわされたりする。花粉管と胚珠は、実は1つの雌しべの中に複数あることが多い。シロイヌナズナというモデル植物での状況をたとえると、100機ほどの飛行機（花粉管）が飛び立ち、60程度の隣接する空港（胚珠）に着陸することになる。そして飛行機が着陸しはじめると、その空港には他機が着陸できなくなる。1機が無事に着陸する（受精する）と、その空港は完全に閉鎖される。しかし1機目が着陸に失敗すると、空港は再び開かれ、別の飛行機を受け入れる（受精リカバリー）。ただし後述の理由で、再チャレンジは1機だけが可能だ。



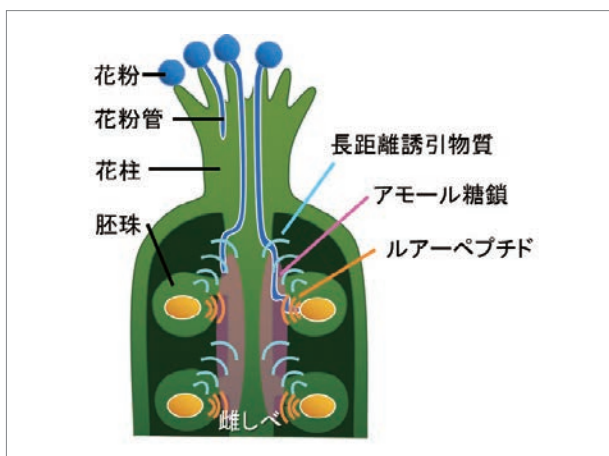
■ 図-2 マイクロ流体デバイスで左側の胚珠群に長距離誘引される花粉管（左）と前方に置いた胚珠のルアーによって誘引される花粉管（右）

特集

Special Feature

さて、実際の飛行機の着陸に際しては、計器着陸装置などで飛行機に精密な位置情報が与えられる。花粉管に対しては、卵細胞の隣にある2つの助細胞という細胞から、花粉管を誘引するペプチド（ルーアと命名）が分泌されることを発見した（図-2右）。ルーアによる誘引は、200 μm 前後の範囲で有効であり、花粉管は小さい曲率半径で精密に誘引される。花粉管の直径は10 μm 前後であるが、花粉管が到達する領域も同程度である。花粉管が到達すると先端を破裂させて精細胞を放出するが、このときに助細胞の1つと一緒に崩壊する。受精に失敗しても、花粉管を合計2本までしか受け入れられないのはこのためだ。

我々は花粉管先端の細胞膜にある受容体も同定したが、ルーアを与えた側に偏ることで伸長方向（伸長のための先端への細胞壁や細胞膜成分の分泌の位置）を制御しているようである。花粉管のような細胞を模した、災害地などで使えるソフトロボットが報告されたが、方向制御は先端のカメラで行われる。直径わずか10 μm 前後の花粉管が、先端で受容する分子に次々に反応しながら、位置情報にも応答することを想像すると、花の見方が変わるのではないだろうか（図-3）。



■図-3 花粉管ガイダンスの仕組み

柔軟なリカバリーシステム

顕微鏡を通して花の受精の研究を行っているとき、受精リカバリーのように、植物の柔軟性を支える情報処理が見えてくる（図-4）。たとえば、私たちはシロイヌナズナの受精直後の種子組織をマイクロデバイス内で培養し、2光子レーザー顕微鏡と呼ばれる深部観察に優れた顕微鏡で、初めて生きたまま受精卵の分裂をリアルタイムに観察することに成功した。観察に成功するという事は、同時に光操作が可能になるということの意味する。芽生えを作るための重要な細胞をレーザーで破壊したところ、周りの細胞がこれに置き換わり、再び芽生えを作る様子が捉えられた。植物細胞は周囲や遠隔の細胞とのコミュニケーションで自身の役割を決定することで、状況に応じて柔軟に対応できる。そんな植物らしい情報処理を、顕微鏡を通して興味深く視ることができる。

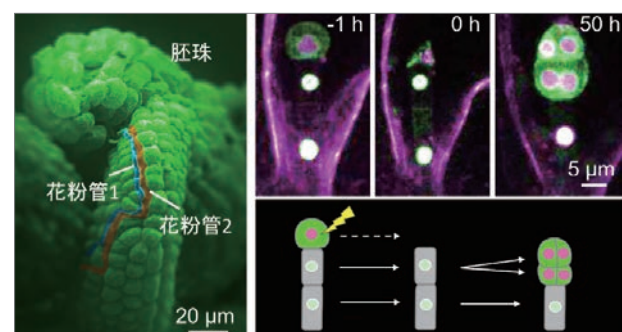
参考文献

- 1) 東山哲也：植物の生長調節, 53, pp.131-138 (2018).
- 2) Gooh, K. et al. : *Dev. Cell*, 34, pp.242-251 (2015).
- 3) Hawkes, E. W. et al. : *Sci. Robot.*, 2, ean3028 (2017).

(2021年9月27日受付)

■東山哲也 higashi@bs.s.u-tokyo.ac.jp

1999年東京大学修了、博士（理学）。東京大学助手を経て、2007年より名古屋大学教授、2013年より名古屋大学WPI-ITbM 副拠点長、2019年より東京大学教授を兼務。



■図-4 胚珠に花粉管が2本(青と赤)誘引される受精リカバリー(左)と、レーザー照射(黄印;照射時刻は-20 h以前)で破壊した細胞の隣の細胞が芽生えを作り直し始める様子(右)

[植物と情報処理] <カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.3 ゲノムに隠された情報が進化を導く

—進化における情報処理の役割—

応
般

長谷部光泰 基礎生物学研究所 生物進化研究部門



生物進化の原理

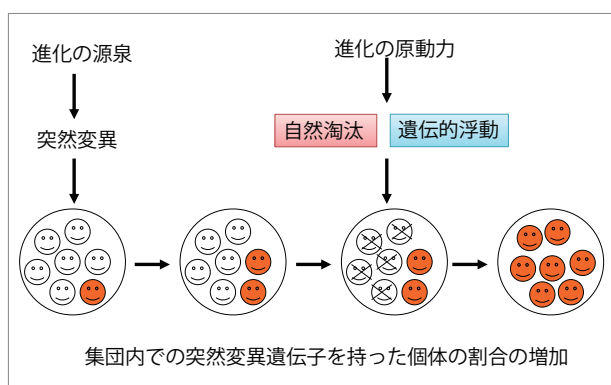
生物は進化する。進化の源泉は突然変異である(図-1)。突然変異は宇宙線、放射線、化学物質などいろいろな外的要因で引き起こされる。しかし、最も大きな突然変異源は生物自体にある。細胞分裂するとき、生物の遺伝情報を担う DNA が複製されるが、このときの複製エラーが最も大きな突然変異源である。生物は、完璧に遺伝情報を複製する仕組みを持たなかったが故に、突然変異の恩恵にあずかって進化できたのである。

1 個体に突然変異が生じた後、その遺伝子が集団内に広がり、すべての個体がその遺伝子を持つようになるまで進化が引き起こされる。集団内に特定の遺伝子が広がる仕組み、すなわち、進化の原動力は2つある。自然選択と遺伝的浮動である(図-1)。突然変異遺伝子が適応的なら、その遺伝子は集団内

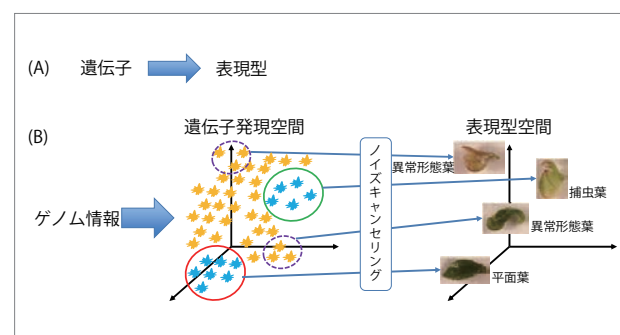
に広がる。この仕組みは、必然的であり、自然選択と呼ばれる。一方、必ずしも適応的でない遺伝子でも、偶然的な要因で集団内に広がり得る。天変地異などで、急激に個体数が減少したり、少数の個体群が移住して他の個体群から隔離された場合である。これを遺伝的浮動と呼ぶ。

ゲノム情報は遺伝子発現空間情報と表現型空間情報に増幅される

ここまで、1つの遺伝子に突然変異が起こり、その変化が表現型を変化させるという単純化をした(図-2A)。しかし、1つの表現型は多くの遺伝子の相互作用によってできることが多い。遺伝子の総体であるゲノムの中には、多細胞生物の場合、数万の遺伝子がある。これらの遺伝子はメッセンジャー RNA (mRNA) に転写され、タンパク質に翻訳され



■図-1 進化の仕組み



■図-2 遺伝子型から表現型ができる模式図

説明は本文参照。個々の点はゆらぎによる誤差空間があることを強調するためにでこぼこに描いてみた

特集

Special Feature

て機能する。1つの遺伝子からできる mRNA やタンパク質の量（以後、発現量と呼ぶ）は内的・外的環境条件によって変化する。したがって、 n 個の遺伝子の発現量は、 n 次元空間の中の点として表せる（図-2B）。遺伝子発現は、同一環境下でも偶発的にも変動しゆらいでいるので、個々の点は周りに誤差空間をまとった点である。ゲノムは ACGT の配列情報だが、個々の遺伝子の発現量が環境によって変化するすることで、情報量は飛躍的に増える。

環境条件によって、化学反応である遺伝子発現は変動するので、1つの遺伝子発現空間の点が1つの表現型に対応すると、表現型は環境によってどんどん変化するはずである。実際には、生物は、多少環境条件が変わり、遺伝子発現が変わっても、同じ表現型となる。つまり、遺伝子発現空間の1つの点と表現型空間の点は、一対一対応ではなく、多対一対応である。遺伝子は互いの遺伝子発現を制御する複雑なネットワークを形成しており、加えて、遺伝子発現によって制御される細胞もネットワークとして機能することで表現型ができる。これらのネットワークの中にノイズキャンセルの仕組みがあるために、多対一対応になると考えられているが、実体はまだよく分かっていない（図-2B）。

同一ゲノムから複数の表現型ができる

遺伝子発現空間と表現型空間は多対一対応であり、表現型は1つの場合が多い。しかし、同じゲノムから異なった表現型を生み出す生物もいる。多くの蝶は、季節によって異なった模様になり、季節多型と呼ばれる。植物は、生涯に渡って、茎の先端で葉を作り続けるが、環境条件の違いで同じ個体の中に違った形の葉を付けることがある。その極端な例が、オーストラリア南西部 Albany 付近にのみ自生する食虫植物のフクロユキノシタである（図-3A）。春先には光合成に適した平面葉、夏が近づくと、小動物を捕らえて消化、吸収する捕虫葉を形成する。

つまり、同じ個体が、環境条件の違いで異なった遺伝子発現空間から、2つの表現型を作り出している。1つのゲノムから複数の表現型を生み出す仕組みは進化に寄与していると考えられている。自然選択により、生物は現在の環境に適した表現型を持っている。したがって、突然変異により表現型が変化すると、突然変異を起こしていない個体より不利になる場合が多い。しかし、季節多型のように、異なった表現型を複数形成することができれば、従来の表現型を残しつつ、新しい表現型が進化することが可能になると考えられる。

ゲノムの中に隠された表現型

フクロユキノシタは、平面葉と捕虫葉以外に、どちらも異なった形態の葉を形成することがある（図-3B）。このことは、遺伝子発現空間には、平面葉と捕虫葉以外の表現型を生み出す点があることを示している（図-2）。従来、いろいろな生物で、通常の生育温度とは異なった高温や低温などに暴露すると、通常とは異なった表現型が現れることが知られている。たとえば、鉢植えの植物を死なない程度に不適切な環境に置いておくと、葉の大きさや形が変化する。

フクロユキノシタを異なった温度と日長条件で培養し、平面葉、捕虫葉、そして、どちらも異なっ

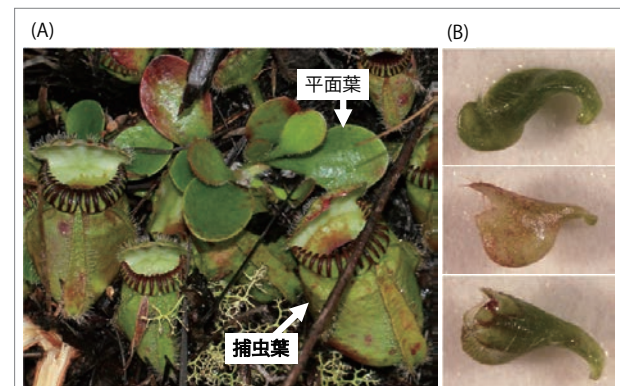
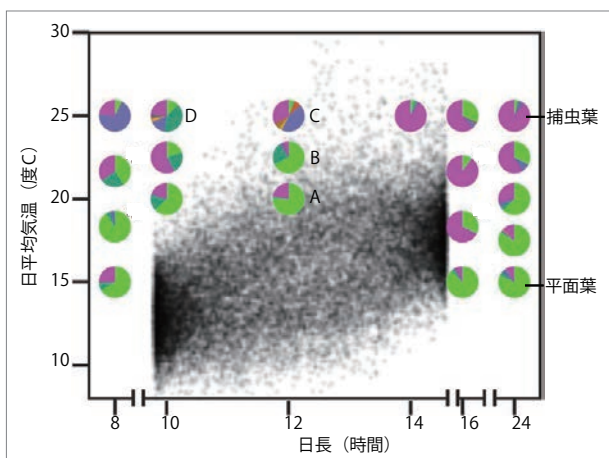


図-3 フクロユキノシタ
自生地では平面葉と捕虫葉のみを付ける場合が多い

特集 Special Feature

た形態の葉(異常形態葉)を作る割合を調べてみた¹⁾。図-4に、自生地での過去110年間の日平均気温と日長を黒点でプロットし、実験に用いた条件でどのような葉ができるかを円グラフで示した。フクロユキノシタは15℃より低くなるとほとんど葉を形成しないので、Albanyで普通にある20℃、12時間日長で育てると(円グラフA)、ほぼ平面葉と捕虫葉しか形成しない。しかし、Albanyであまりないような高温で育てるといろいろな形をした異常形態葉の割合が増える(円グラフB, C)。このことから、通常経験しないような環境下では、異常形態葉の表現型を生み出すような、遺伝子発現空間上の点が存在することを示している(図-2)。さらに注目すべきは、円グラフDである。Cと比べて、25℃という温度は同じだが、日長が10時間になっている。25℃は夏の気温、10時間日長は冬の日長である。したがって、この温度と日長の組合せは、滅多に起こらない。この条件では、Cよりも異常形態葉の頻度があがっている。現在の地球では起こらないが、同じ温度で日長を8時間に減らすと、異常形態葉の頻度はさらに上がる。今後、地球環境の変動が起こると、フクロユキノシタは現在とは異なった異常形態葉を高頻度で形成することになる。



■ 図-4 フクロユキノシタの異なった環境下で平面葉、捕虫葉、異常形態葉を作る割合。紫色が捕虫葉、黄緑色が平面葉、それ以外の色は色ごとに異なった形態(図-2Bに示した形態など)の異常形態葉。Fukushima et al. (2021)より改図。作図協力: 福島健児博士

通常使われない情報が進化の源になっている

ゲノム配列は一次元の文字列情報であり、突然変異によってその配列が変化する。遺伝子発現は内的・外的環境によって変化するため、より高次元な情報空間である遺伝子発現空間が形成される。現在の環境下では、遺伝子発現空間の一部が表現型として表出する。しかし、遺伝子発現空間には、これ以外の表現型を作り出す情報が蓄えられていて、環境が変化すると新奇な表現型が表出する。新しい環境の元、新奇な表現型が適応的であれば、自然選択によって集団中に広がり、進化が起こる。普段は使われていない遺伝子発現空間の情報が、将来の進化を引き起こすソースとなり、進化可能性を担っている。また、遺伝子発現空間の複数の点を1つの表現型にするようなノイズキャンセリングシステムが十分に機能しなくなる場合にも、新しい表現型が生まれる可能性がある。日常的には使わない隠された情報、ノイズとして取り除かれていた情報が、将来の生物の生存を担う進化の源になっているようである。

参考文献

- 1) Fukushima, K., Narukawa, H., Palfalvi, G., and Hasebe, M.: A Discordance of Seasonally Covarying Cues Uncovers Misregulated Phenotypes in the Heterophyllous Pitcher Plant *Cephalotus Follicularis*. *Proc. Royal Soc. B* 288 : 20202568. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2568> (2021).

(2021年9月14日受付)

■ 長谷部光泰 mhasebe@nibb.ac.jp

自然科学研究機構、基礎生物学研究所、教授。博士(理学)。東京大学理学部卒、同助手、日本学術振興会海外特別研究員(米国Purdue大学)を経て、2000年より現職。

[植物と情報処理] <カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.4 植物の窒素吸収を制御する 長距離情報伝達



—葉と根のコミュニケーションによる需要と供給の調節機構—

大久保祐里 松林嘉克

名古屋大学 大学院理学研究科



植物の全身的な窒素要求シグナル伝達

私たちの体を構成するタンパク質には必ず窒素が含まれている。ではその窒素はどこからやってくるのだろうか。空気中の窒素 (N_2) は土壌などに存在する窒素固定菌や硝酸菌のはたらきによって主に硝酸 (NO_3^-) に変換される。植物は硝酸を根から吸収し、アミノ酸を合成してタンパク質をつくりだす。そして、私たちは植物が合成したアミノ酸やタンパク質を摂取する。つまり、私たちの体に含まれる窒素は植物が根から吸収した硝酸に由来する。もちろん、植物にとっても窒素は重要な栄養素である。窒素の欠乏は農作物の収量や品質に大きな影響を与える一方で、過剰に吸収すると病気や害虫への抵抗性が低下する。また、雨水による流出や他の植物との奪い合いによって、土壌中の硝酸栄養の分布は不均一になることが多い。

そこで植物は根における硝酸吸収量を適切に維持するため、土壌中の窒素量（供給）と生育に必要なとす量（需要）を常にモニタリングし、その情報を根から葉、葉から根へと離れた部位に伝える仕組みを進化させた。神経を持たない植物が獲得したこの仕組みは、“全身的窒素要求シグナリング”と呼ばれている。この仕組みは1970年代に最初に報告され、多くの植物窒素栄養分野の研究者たちの興味を集めてきたが、その分子メカニズムは長年にわたって未解明の

ままだった。このような背景の中、筆者らのグループは、このシグナル伝達にかかわる主要なシグナル分子群を相次いで同定し、ここ数年でメカニズムの理解が大きく進むことになった。

根の窒素欠乏を伝える CEP-CEP 受容体-CEPD

土壌中に存在する硝酸の分布は不均一であるため、周囲に硝酸が十分に存在する根とそうでない根に分かれてしまう。そこで植物は、硝酸が十分に存在する根での吸収効率を上げ、不足した分を補うことで個体全体として窒素量を維持している。このとき、植物体内では何が起きているのだろうか。土壌の窒素欠乏を感知した根では CEP というシグナル分子が作られる。CEP は 15 アミノ酸からなるペプチド（小さなタンパク質）で、道管（根が吸い取った水分や養分を葉へ送る管）を通過して地上部へと長距離輸送される。葉の裏側には水蒸気を逃がす気孔が多いため、葉の道管から裏側方向に滲み出た CEP は、蒸散で濃縮されながら道管のすぐ下（葉の裏側方向）にある師管（葉で作られた栄養分を他組織に送る管）に到達する。葉の師管には CEP 受容体が存在しており、CEP が受容体に認識されると、師管内に二次シグナル CEPD が産生される。CEPD は約 100 アミノ酸からなるペプチ

特集

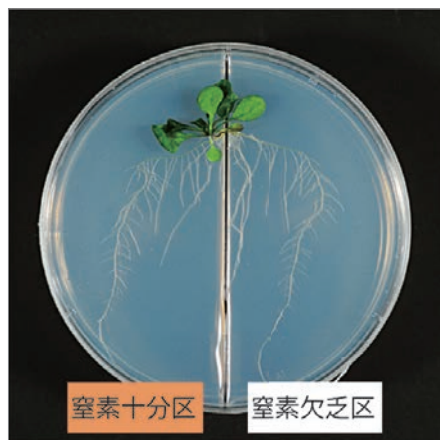
Special Feature

ドであり、師管を通して根へと移行する。根の組織内に拡散した CEPD は、硝酸輸送体 NRT2.1 の量を増やすことで、根の硝酸吸収量を増加させる。

ここで注目すべきは、CEPD 自体は周囲の窒素栄養の有無にかかわらずどの根にも等しく移行するが、硝酸輸送体の量が増えるのは周囲に硝酸が十分に存在する根のみという点である。このことは「片側窒素欠乏処理」という手法を用いて調べられた。この手法は1つの植物から出る根を2つに分け（スプリットルート栽培）、一方は窒素を十分に含む培地へ、もう一方は窒素を含まない培地に置くことで自然界の土壌における不均一な窒素環境を再現するシステムである（図-1）。植物は、無駄なエネルギーを消費しないように、周囲に硝酸がない根では硝酸輸送体の量を増やさない。つまり、根は土壌中に窒素栄養が十分存在するか否かと、地上部から CEPD が送られてきたかどうかを複合的に判断し、硝酸輸送体の量を調節しているようである（図-2）。なお、土壌中の硝酸の有無を根がどのように感知しているかについては、残念ながらまだ分かっていない。

葉の窒素要求を伝える CEPDL2

CEP-CEP 受容体-CEPD システムは、土壌中の不均一な窒素分布に応じてそれぞれの根における吸収量



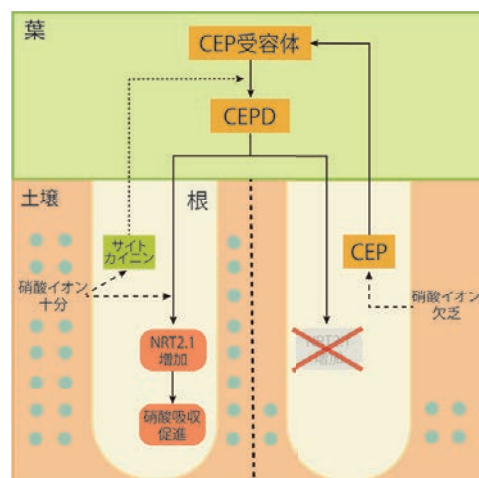
■ 図-1 片側窒素欠乏処理
根を2つに分け、一方は窒素十分な培地（左側）、もう一方は窒素欠乏培地（右側）に置く。

を適切に調節するシステムである。一方、植物側でも成長段階に応じて窒素要求量変動していく。つまり、地上部（葉）が成長する時期には窒素要求量が増加するため、より多くの窒素栄養を根から吸収する必要がある。実は、モデル植物のシロイヌナズナには CEPD とよく似たペプチド (CEPD-like) が 21 個あるが、その中の1つが地上部の窒素要求量を根に伝えて硝酸吸収を促進することが明らかになった。

葉が大きく成長する時期に、葉の師管では CEPD-like2 (CEPDL2) が産生される。CEPDL2 は CEPD と同様に葉の師管で特異的に作られ、師管を通して根へ輸送された後、硝酸輸送体の量を増やす。しかし、CEPDL2 は CEPD と大きく異なり、根の窒素欠乏にはまったく反応しない。すなわち、CEP-CEP 受容体-CEPD システムは根の窒素欠乏に応じて硝酸吸収量を制御し、CEPDL2 は地上部の窒素要求量に応じて吸収量を制御するシグナル分子であることが明らかになった。

サイトカニンとの関係

植物ホルモンのサイトカニンは、土壌中に窒素栄養が十分存在するという情報を地上部へ伝達するシ



■ 図-2 CEPD の作用機構
周囲に硝酸がない根（右）で CEP が産生され、葉の CEP 受容体に認識される。その下流で CEPD が産生されすべての根へ移行する。CEPD は周囲に硝酸が十分に存在する根（左）だけで硝酸輸送体 NRT2.1 を増加させ、硝酸吸収を促進する。

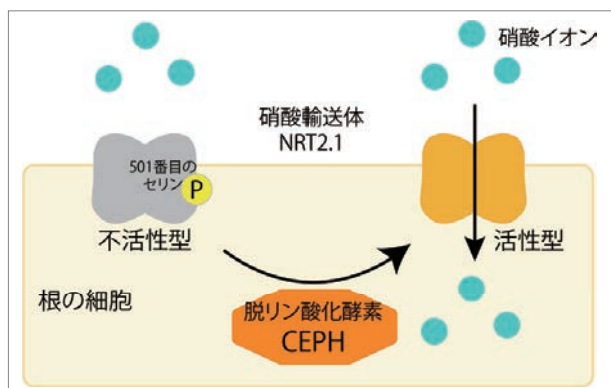
特集

Special Feature

グナル分子である。そして、CEPD/CEPDL2 システムとサイトカイニンが協調して機能していることが分かってきた。植物の根は、土壤中の窒素栄養に応答してサイトカイニンを合成し、道管を通じて地上部へと輸送する。この輸送ができない変異体植物では、窒素欠乏状態でも CEPD や CEPDL2 の産生が抑制される。土壤に窒素栄養が存在するという情報は、サイトカイニンを介して地上部へと伝達され、その情報を踏まえて窒素要求シグナル CEPD/CEPDL2 の産生量を決定していると考えられる。たとえ窒素欠乏状態であっても、土壤中のどこにも窒素栄養がなければ吸収することはできないため、無駄に CEPD/CEPDL2 を合成しないようサイトカイニンで調整していると仮定すれば、合理的なシステムといえる。

硝酸輸送体を活性化する脱リン酸化酵素 CEPH

これまでに分かっている CEPD/CEPDL2 システムの主な役割は、根において硝酸輸送体の量を増加させることである。しかし、これは植物がまだ軽度の窒素欠乏状態にあり、それ自体がタンパク質である硝酸輸送体を新規に合成するために必要なアミノ酸が残っているからこそ可能な制御である。では、重度の窒素欠乏に陥った植物ではアミノ酸のストックが枯渇するが、そのときは一体どのようにして硝酸吸収を促進するのだろうか。



■図-3 CEPHの作用機構
根において CEPH は硝酸輸送体 NRT2.1 を活性化型に切り替え、硝酸吸収を促進する。

筆者らの最新の研究によって、重度の窒素欠乏時に CEPD/CEPDL2 システムは、硝酸輸送体よりも脱リン酸化酵素 CEPH の産生を優先することが分かってきた。硝酸輸送体 NRT2.1 は、リン酸化という化学修飾によって活性が低下するが、CEPH はリン酸化された NRT2.1 を元の状態に戻す。つまり、CEPH は NRT2.1 の活性低下を抑える働きを持つ(図-3)。植物は重度の窒素欠乏になってから硝酸輸送体を大量に新規合成することはできないため、窒素があるうちに余分に硝酸輸送体を不活性型で準備しておき、重度の窒素欠乏時には触媒量で済む CEPH を合成して予備の硝酸輸送体を活性化する方針に切り替えているのである。このように、植物は窒素環境に応じて硝酸吸収量の制御方法を切り替えることで、個体全体での窒素恒常性を維持していることが明らかとなった。

今後の展望

植物は、成長に必須となる窒素栄養を適切に吸収するために、根と葉のあいだで窒素情報をやりとりし、根における硝酸吸収量を制御している。本稿で紹介した CEPD/CEPDL2 および CEPH は、多くの植物種に普遍的なシステムである。これらのシステムを強化した作物を作出できれば、肥料の使用量を抑えた効率の良い栽培ができるかもしれない。一方で未解明の点も多く残っている。たとえば、植物は土壤の窒素欠乏をどのように感知して CEP の産生に繋げているのだろうか。葉の窒素要求から CEPDL2 産生に繋がる情報伝達系路も未解明である。これらの謎の解明が次なる課題である。

(2021年8月31日受付)

■大久保祐里 ookubo.yuuri@f.mbox.nagoya-u.ac.jp

名古屋大学理学研究科生命理学専攻 博士後期課程。2020年より、日本学術振興会特別研究員(DC1)。

■松林嘉克 matsu@bio.nagoya-u.ac.jp

名古屋大学理学研究科生命理学専攻 教授。名古屋大学生命農学研究科 助手、准教授、および自然科学研究機構 基礎生物学研究所 教授を経て、2014年より現職。

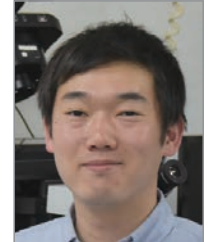
[植物と情報処理] <カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.1 AI 技術による植物発生研究



近藤洋平

生命創成探究センター 定量生物学研究部門



発生理解のための AI 技術とは

生物学における「発生」ないし「形態形成」とは、多数の細胞が相互のコミュニケーションを通じて協働し、我々の目に映るさまざまな生命体を作り出すプロセスを指す。近年、発生学の研究においてさまざまな情報・統計科学の技術が応用され、成果を生み出しつつある。この分野は生物への応用として似たところのある医療 AI や農業 AI になぞらえて「発生 AI」と呼び得るだろうが、それらと異なり「器官や個体の形成という現象への理解を深める」という一見漠とした目標に資するものであるために、分野外の研究者には研究動機や内容が分かりにくい。しかし近年の関連分野の進歩もあり、望みの機能を持った組織・器官・個体の設計が現実的な可能性とされるようになってきているなど潜在的なインパクトは大きく、多くの研究者を惹きつけ得るものがあると考えている。そこで本稿では生物学の話題に馴染みのない読者にも向けて、「発生 AI」でなされている試みと今後の展望を紹介したい。この目的に関連し、以下では植物を主要な話題とする一方で動物や生体外での培養システムを対象とした研究についても言及する。というのは、AI 技術の発生学への応用は動物・植物の垣根を超えてなされてきたため、話題を植物のみに限定することはかえって一貫性を持った研究史や業界動向の紹介を困難にするためである。

できあがった形を理解する

形を定量化する

発生研究において欠かせないステップは、生物の器官や個体の形態を定量的に表現することである。定量化によって、ゲノム配列や気候など生物学的に興味深い諸条件と形態の関係が格段に調べやすくなる。私を含めた分類学の素人でも道端に生えている草木の枝や葉の形が多様であることは見てとれるが、これらの形態はただ偶然に生まれたのだろうか、それともたとえば力学的な最適化の結果なのだろうか？ シーケンシングと呼ばれる技術の革命によってあらゆる種のゲノム配列を低コストかつ高精度で読むことが可能となった現代においても、上記の問いに答えるには昔ながらの形態定量化という営みに立ちかえる必要がある。また当然ながら、絶滅し化石でしか確認できない種についてはゲノム配列が失われてしまっており残っている情報は形態くらいしかない。そこでさまざまな形態定量化技術が開発されてきており、たとえば葉の輪郭を周期変数として捉えフーリエ解析によって特徴量を得る手法は広く用いられている。これは非常に汎用的かつ有効なやり方である一方、容易に想像されるように、形態の直感的なパラメトライゼーションにはなりにくい。

そこで生物学的に解釈しやすい特徴量セットを画像や点群による表現からデータ駆動的につくる試みが生まれている。特に注目を集めているのは、深

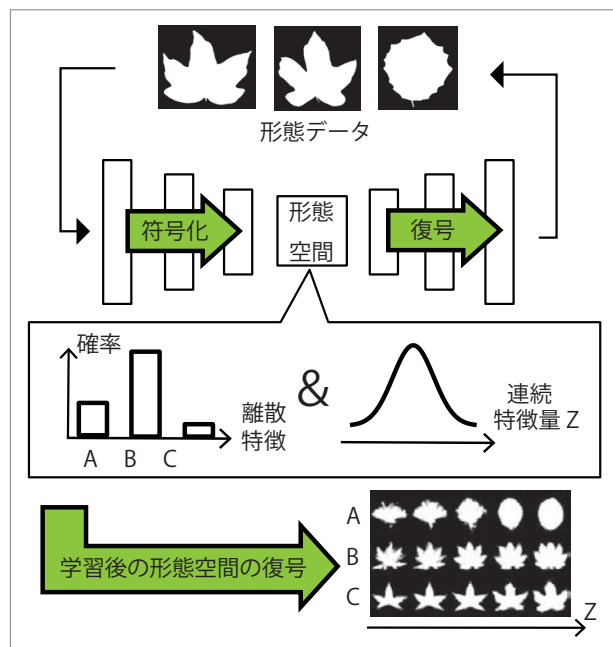
特集

Special Feature

層表現学習モデルの変分自己符号化器 (VAE) である。VAE は分子構造への応用などで示されるように、問題やデータの性質に合わせて符号化方法や特徴量が住む空間のトポロジー・計量を設定できる自由度に魅力がある。そこで筆者らは、植物形態データに潜む種の違いといった離散的な変動と微小環境の違いといった連続的な変動を切り分けつつも同時に扱うというハイブリッド非線形主成分分析を試みた。その概要を [図-1](#) にまとめた。葉形態データ (UCI Repository, One-hundred plant species leaves data set) に適用したところ非常に直感的な特徴が得られることに驚かされた。ただし画像に対する VAE に基づく手法は画像の回転の取り扱いなどに難があり、現状では人間が設計した特徴量を用いる既存手法に対する優位性を主張できる段階にない。今後の発展が期待される。

形の進化学

さて、前節のようなやりかたによって、形態のうまい定量化ができたとする。その後に実行可能にな



■ 図-1 VAE (特に、その変種である JointVAE) による、葉形態データからの離散的・連続的特徴の同時抽出

る解析は多岐にわたるが、ここでは統計的機械学習と関係の深い祖先状態復元を取り上げる。祖先状態復元とはその名の通り現代の生物種の祖先の形態や遺伝子の配列を推定する手法を指し、化石も残っていないほど古い花の形態や、枯葉に擬態する蛾の進化プロセスなどについての知見をもたらしてきた。魔法のように聞こえるが、これは生物種がいかなる枝分かれによって生まれてきたかという系統樹の情報によって可能となる。形態の進化を系統樹上の確率過程によってモデリングし、最尤法などによって推定するわけである。問題の性質上、不確定性を見積もりが強く望まれるためにベイズ的な手法が人気を集めており、マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法、特に Reversible-jump MCMC がよく用いられる。

形成過程を理解する

上で話題にしてきた生物の形は、どのようなメカニズムでつくられるのか。動物・植物問わず盛んなのは、細胞が集まった組織を流体力学モデルによって捉え、天気予報や大気海洋科学で用いられる方法論であるデータ同化によってシステム同定するというアプローチである。ただし、近年のバイオメカニクス研究の急速な進展と、Physics-guided machine learning などと呼ばれる機械学習と物理学的手法の融合に関する知見の増加によって急速に変革されつつあり、注視に値する問題領域である。

自然知能としての植物

これまでの話題は、人間が自然界を理解するために統計学や機械学習の分野で生まれた手法を利用するというものだった。しかし自然界を理解しなければならないのは人間に限らない。生物学の研究対象として最も単純なシステムの 1 つである大腸菌ですら、食べ物や毒となる分子の濃度の勾配を検知し、

特集

Special Feature

泳ぐ向きを適応的に変えている。最近では、そのために使われている大腸菌の生化学システムの特徴は最適フィルタとして説明できるとの主張もあらわれてきた。これは、大腸菌よりも相当に複雑なシステムである植物の知能を研究するにあたって重要な教訓を与える。つまり、植物細胞の振舞いを生み出すメカニズムを生化学・生物物理的に理解するだけでは十分でなく、それを学習や推論や制御のモデルによって説明する必要があるということである。最もポピュラーな自然知能システムである脳を植物は持たないが、その発生において多種多様な分子の分泌や感知を通し細胞間の密なコミュニケーションを行っていることが、近年ますます明らかになっている。そして「ベイズ推定としての形態形成」や「植物神経科学」といったトリッキーなフレーズまで提唱されているほどである。

そこで重要な課題は、ある種の分散型計算機である植物の挙動に適した学習・推論のモデルを選び出すことである。これは細胞や分子レベルで考えられてきたモデルとは異なったものになるだろう。セルオートマトンのように古くから自然知能の文脈で調べられてきたモデルは有望だが、現状の知見は定性的なものにとどまる。そこで我々はデータ駆動的にセルオートマトンを構成するというやり方でこの問題に挑戦しているものの、それが普遍的に有効なアプローチという気もしない。過去には神経科学からシャノンの情報理論を利用した時系列解析が、制御工学からは積分フィードバック機構などのモデルが生物学に持ち込まれたように、異分野で蓄積された知見を取り入れていく必要がある。

人工知能としての植物

本稿では、標語的に言うと「人工知能による植物の理解」と「自然知能としての植物の理解」という2つの流れを紹介した。最後に、その2つが合流することにより今後生まれてくるとされる新たな分

野、「人工知能としての植物」について簡単な議論をし、むすびにかえたい。遺伝子やタンパク質の改変ないし新規設計によって細胞に目的の機能を持たせる試みは合成生物学と呼ばれすでに数十年の歴史を持つ。最近では改変した免疫細胞による治療技術が米国FDAの認証を受けるに至った。無論それらの技術は分子生物学的には高度なものであるが、計算という観点からは素朴なものである。一方で基礎研究レベルでは、遺伝子やタンパク質がお互いの機能を相互に活性化/抑制しあっているメカニズムを利用して複雑な回路を組み上げる研究がいくつも生まれている。興味深い例として、数のカウントや、制御工学に基づいたフィードバック機構であるPIDコントローラの生体分子による実装が挙げられる。ただし実験室内の理想化された状況での研究結果からは、このような複雑なシステムが細胞というホストのシステムと干渉した上で頑強に動作し個体のレベルで意図した機能を発揮できるかは明らかではない。しかしその課題は、人工知能による自然知能としての生物理解の進歩によって徐々に解決されていこう。そのとき、すでに街路樹などの形で都市環境に溶け込んでいる植物は、魅力的な設計対象となる。昼に光合成したエネルギーを使い夜に葉を光らせ道を照らす樹木、といったイメージはフィクションの世界でも見かけるところである。もちろんその際に生じる倫理的・法的・社会的課題は安易に考えられるべきものではないが、夢のある未来像であると言えるだろう。

(2021年8月30日受付)

■近藤洋平 y-kondo@nibb.ac.jp

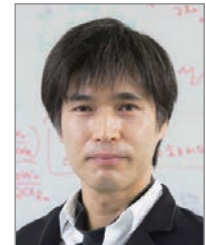
2013年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了, 博士(学術).
2017年より現職. 統計的機械学習を用いた細胞の研究に従事.

[植物と情報処理] <カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.2 生命システムの解明を加速する ネットワーク構造理論

応
般

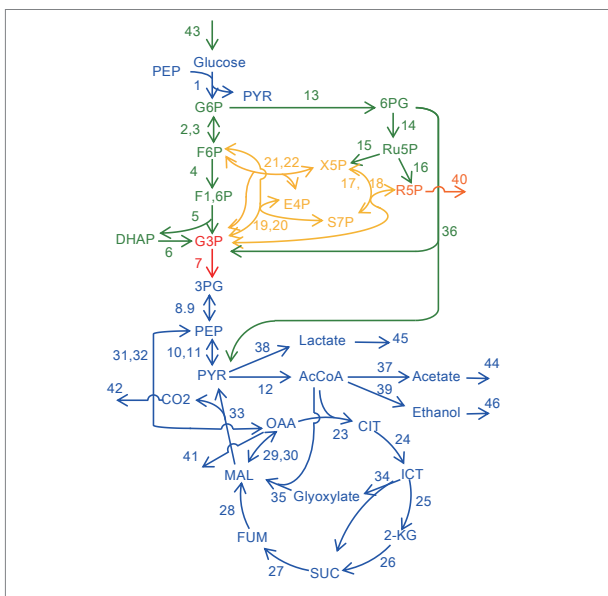
望月敦史 京都大学 ウイルス・再生医科学研究所



生命の反応ネットワーク

生体内で起こる多数の化学反応は、生成物や反応物を共有する形で連鎖的につながり、ネットワークを形成することが知られている。このシステム全体のダイナミクスから細胞の生理機能が生まれ、さらに反応を司る酵素の量や活性が変化することで生理機能の調節が行われると考えられている。

たとえば、[図-1](#)は中心代謝系と呼ばれ、バクテリアからヒトまでさまざまな生物種が備える普遍的な反応系である。中心代謝系の反応群が働くことで、糖がより小さな分子に分解され、その過程で化学エネルギーがATP（アデノシン三リン酸）として取り出される。



■ 図-1 大腸菌の中心代謝系の反応ネットワーク。28種の化学物質と46種の化学反応を含む。色は図-4に対応²⁾。

実験的に同定されたネットワークに対し、そこから生まれるダイナミクスを明らかにすることが、数理学や情報科学に求められている。しかし、複雑なシステムの動的振る舞いをネットワーク情報だけから議論することは、大変に難しい。これに対して我々は、酵素の量や活性の変化がもたらすシステムの定常状態の応答を、反応ネットワークの構造だけから決定できる数理理論を開発し、構造感度解析として展開してきた^{1), 2)}。本稿では、構造感度解析を実際の生命システムに適用し、機能解明を進めた例を紹介する。

植物代謝系の構造感度解析

Ferjaniらは彼らの使っているシロイヌナズナの突然変異体で、代謝系の異常、つまり植物の成長に重要な糖であるスクロースの合成量が有意に少なくなっていることを見つけた³⁾。一方でこの突然変異体では、ピロリン酸 (PPi) を分解する酵素の機能が失われていることが分かった。植物初期発生においてフルクトースからスクロースが合成される経路上の2カ所の可逆反応でピロリン酸が副産物として合成される。そこで当初は次のようなストーリーが想定された。ピロリン酸分解酵素が破壊された個体では、ピロリン酸濃度が高くなる。すると[図-2](#)に示したスクロース合成経路上の2カ所の可逆反応の、前向き方向が遅くなる。そのため経路の下流にあるスクロース合成速度が下がるのではないかと。

構造感度解析により、植物のスクロース合成経路を解析したところ、期待に反して、ピロリン酸分解

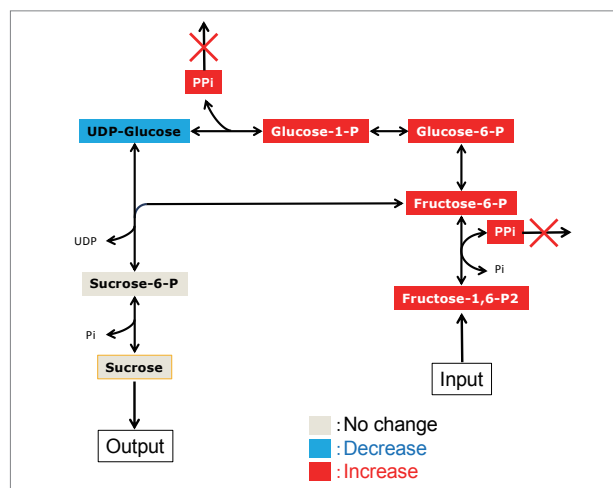
特集

Special Feature

酵素の破壊はスクロースの減少をもたらさないと分かった。確かにピロリン酸分解酵素の破壊により、ピロリン酸や、図-2で赤色で示した4種類の糖の濃度が上昇し、青色で示したUDP グルコースの濃度は減少する。ところがフルクトース 6PとUDP グルコースの合成の結果作られるスクロース 6Pの濃度は変化せず、その下流のスクロースの濃度も変化しない。この結果は、反応速度関数や定数の選択に依存せず、図-2の反応ネットワークであれば、必ずこの通りになる。実際の植物では、確かにピロリン酸分解酵素の変異体でスクロース濃度の減少が観察されている。これは、図-2のネットワーク構造を修正して考え直す必要があることを、意味する。

我々は、さまざまな反応を付加して、それら改変ネットワークにおけるピロリン酸分解酵素の破壊に対する応答を解析した(図-3)。加えた反応のほとんどが、ピロリン酸分解酵素の破壊に対するシステムの応答を変えない。青色で示された4本の反応のいずれかを加えた改変ネットワークだけが、観察された振る舞いを引き起こす。一方で、赤色で示された反応を加えると、観察とは逆にピロリン酸分解酵素の破壊に対してスクロース濃度の上昇を引き起こす。

実際の植物代謝系においても、青で示されたいず



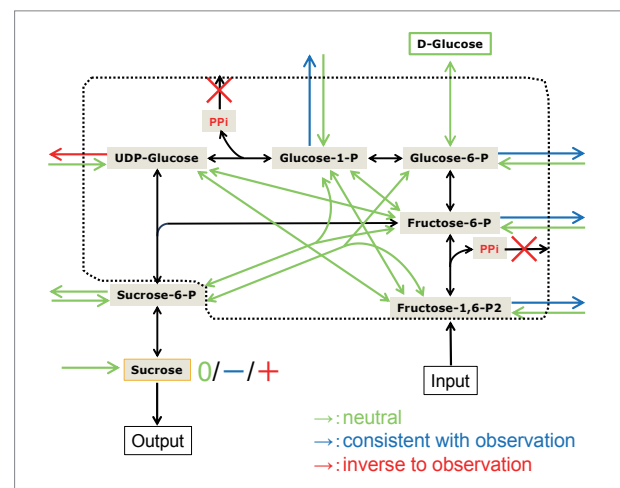
■ 図-2 植物初期発生において、フルクトースからスクロースが合成される際に働く代謝経路。PPI分解酵素がノックダウンされたときの各代謝物の濃度変化を、構造感度解析によって決定し、各分子の色で示した²⁾。赤：増加，青：減少，灰色：変化なし。

れかの反応が存在し、赤で示された反応は存在しないのであろうと予測できる。この予測は後に実験的に確認された。このように、観察された振る舞いと、ネットワークの知識に対して、構造感度解析を組み合わせることで、存在すべき反応を、システム上で具体的に場所を特定して予測することができる。

限局側と緩衝構造

一般に、酵素活性の変化がもたらす化学反応系の応答は、一部の分子や一部の反応速度、つまりネットワーク上の有限範囲にとどまる。この現象の背後には、ネットワーク構造と振る舞いを直接つなぐ、数学的な法則が存在することを、我々は発見した²⁾。化学反応ネットワークの一部が、あるトポロジカルな条件、つまり(分子種の数) - (反応の数) + (サイクルの数) = 0を満たしているとき、その部分構造は次の性質をそなえた「緩衝構造」となる。すなわち、緩衝構造の内部の反応パラメータの変化は、内部の分子濃度と反応速度にのみ影響を与える。緩衝構造外部の分子濃度や反応速度の定常値はまったく影響を受けない。

図-3の代謝系の場合、点線枠内の構造が、緩衝構造の条件を満たす(6 - 11 + 5 = 0)。つまり、



■ 図-3 植物代謝経路(図-2)に、さまざまな反応を加えたときの、Sucrose 応答への効果。点線の枠は反応を加える前のネットワークの緩衝構造。PPI分解酵素の破壊に対して、緑：スクロース濃度の応答は変化しない。青：スクロース濃度は減少。赤：スクロース濃度は増加。

特集

Special Feature

ピロリン酸分解酵素に限らず、緩衝構造中にあるすべての反応酵素の変化が、スクロース6Pやスクロースの濃度に影響を与えない。ピロリン酸分解酵素の摂動がスクロースの濃度に影響を及ぼすようなネットワークの改変は5通りだけあった(図-3)。これらだけが緩衝構造の条件式を壊すことが分かる。

中心代謝系の構造感度解析

数の条件だけで決まる緩衝構造は、さまざまなネットワークに普遍的に現れ、特に大きなシステムでは入れ子状になる。大腸菌の中心代謝系(図-1)には、17個の緩衝構造が含まれ、それらが入れ子関係をなしている。そのため、ネットワーク中の各酵素が変化したときの応答パターンは、図-4に示したような階層構造を示す。具体的には、黄色のボックス内の6つのいずれかの反応に摂動を与えると黄色のボックス内の3種の分子だけが応答し、赤で示された反応7に摂動を与えると赤と黄色の4種の分子が応答し、橙色で示された反応40に摂動を与えると橙色と黄色の4種の分子が応答する。青く示された反応に摂動を与えると(ただ1つの分子だけが応答する11通りの場合以外は)青色のすべての分子が応答し、緑色の反応に摂動を与えると緑、黄、赤、橙、青の分子が応答する。このように、システムのさまざまな反応に摂動を与えたときの応答がそれぞれ局限するだけでなく、応答範囲が互いに包含関係を示す。

緩衝構造の入れ子には機能的・進化的な意味があると考えられる。緩衝構造の働きは、たとえるならば、防火扉によく似ている。内部で起こった変動の影響を内部にとどめ、外側に伝えないような仕組みである。つまり大腸菌の中心代謝系には、酵素の活性の変動をその内部で吸収し外に伝えない防火扉のような構造が17個存在し、それらが入れ子になっていると言える。

今回紹介した構造感度解析は、反応関数の形やパラメータの値などの仮定を用いていないため、得られた結果は、直接実験へ還元できる。つまり予測と計測結果の間に違いがあれば、それはすぐさま既存のネットワーク情報が不十分であることを意味する。理論の側からきわめて強い提言が可能であり、そのことが予測と検証を組み合わせた実証的な研究を可能にしている。別の機会に、予測検証による生命システム解明の具体的な成果をご紹介できれば幸いである⁴⁾。

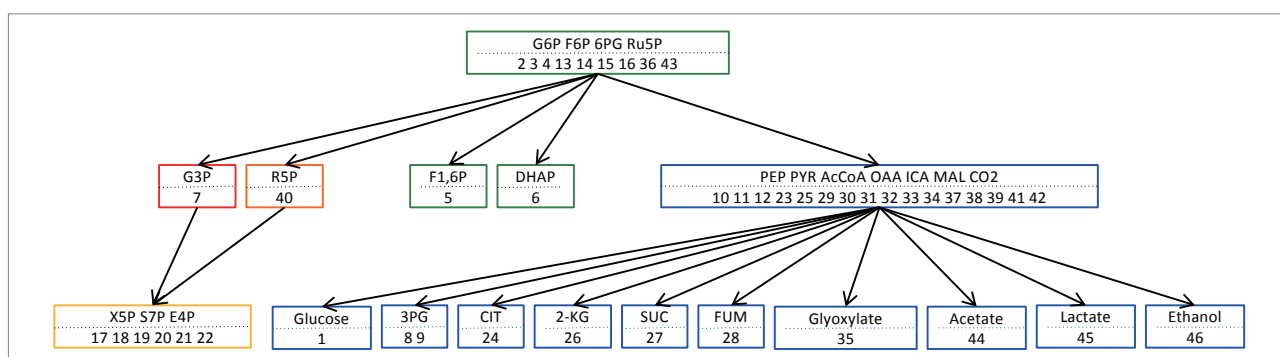
参考文献

- 1) Mochizuki, A. and Fiedler, B. : Sensitivity of Chemical Reaction Networks : A Structural Approach, J. Theor. Biol. 367, 189-202 (2015).
- 2) Okada, T. and Mochizuki, A. : Law of Localization in Chemical Reaction Networks, Phys. Rev. Lett. 117, 048101 (2015).
- 3) Ferjani, A. et al. : Pyrophosphate Inhibits Gluconeogenesis by Restricting UDP-glucose Formation in Vivo, Sci. Rep. 8, 14696 (2018).
- 4) 望月敦史: 理論生物学概論, 共立出版 (2021).

(2021年9月1日受付)

■望月敦史 mochi@infront.kyoto-u.ac.jp

1994年京都大学理学部卒業。1998年九州大学大学院理学研究科博士課程中退。1998年九州大学理学部助手、2002年基礎生物学研究所助教授、同准教授、2008年理化学研究所主任研究員を経て、2018年より現職。専門は数理生物学、理論生物学。



■図-4 大腸菌中心代謝系の摂動応答ネットワーク。各ボックス下部の数字は、摂動を与えた反応酵素を示す。それぞれのボックスおよび下方に伸びる矢印の先にあるすべてのボックス内の化学物質名は、与えられた摂動に反応して濃度変化する物質を示す。色は図-1に対応²⁾。

[植物と情報処理] <カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.3 植物の生産力を最大化する 情報処理技術(植物工場)



福田弘和 大阪府立大学 植物工場研究センター



究極の ICT 活用型農業

空調や植物搬送装置などの機械装置と情報処理技術を駆使し、人工光で野菜を生産する植物工場は、究極の ICT 活用型農業として注目されている¹⁾。植物工場の野菜は、GLOBALG.A.P.^{☆1}や HACCP^{☆2}、JAS^{☆3}など品質に対する規格・基準の整備が進むことで衛生面・安全面が一層強化され、消費者にとって身近な存在になってきている。また、植物工場は薬用植物や遺伝子組換え技術を利用した植物によるバイオ医薬品生産の研究開発や、その生産に用いられている。さらには、月面農業や都市農業を実現する手段としても注目されている²⁾。都市農業は、人口が集中する都市部で「地産地消」を実現し、これには販売時点情報管理 (POS) データによるデマンド予測と植物工場内の生育・収量予測モデルが貢献する。

現在、植物工場の社会実装が急速に進んでおり、利益率向上のための大規模化と高密度化が進められている。大規模化の実現には、作業の能率化と環境の均一化が課題とされている。前者の解決には機械ロボット技術、後者には照明・空調等の環境技術が必要になる。ロボット化は、まずは比較的単純な作

業である播種や苗の移植が対象とされ、続いて複雑な判断と動作が必要な収穫が最近の対象となっている。また、高密度化によって、植物が受ける光の量や空気の流れが植物の成長とともに大きく変化するため、栽培状況を逐次モニタリングし、AIにより照明・空調をフィードバック制御またはフィードフォワード制御する必要がある。このように植物工場では、利益向上のための大規模化・高密度化に伴い、ICTとロボットによる自動化がますます重要になっている。

生産力を最大化する情報処理技術

植物工場は、植物の生育環境を“シーケンス制御”により最適に調整するシステムである。植物に与えられるさまざまな環境入力は、その順番とタイミングが大事であり、膨大な組合せの中から最適な環境入力パターンを絞り込む必要がある。したがって、生育や概日時計などの自律的な変動と環境応答との複合モデルを基礎とした生育モデルの構築が重要である。また、個体差ならびに生理代謝における内部ノイズの影響を低減するために、生育診断に基づくフィードバック制御またはフィードフォワード制御も必要となる。

図-1は、レタスを毎日6,000株生産する植物工場(大阪府立大学植物工場研究センター)における成長予測技術の一例である。播種・緑化工程、育苗

☆1 GLOBALG.A.P.: 適正農業規範 (Good Agricultural Practices) に関する国際標準

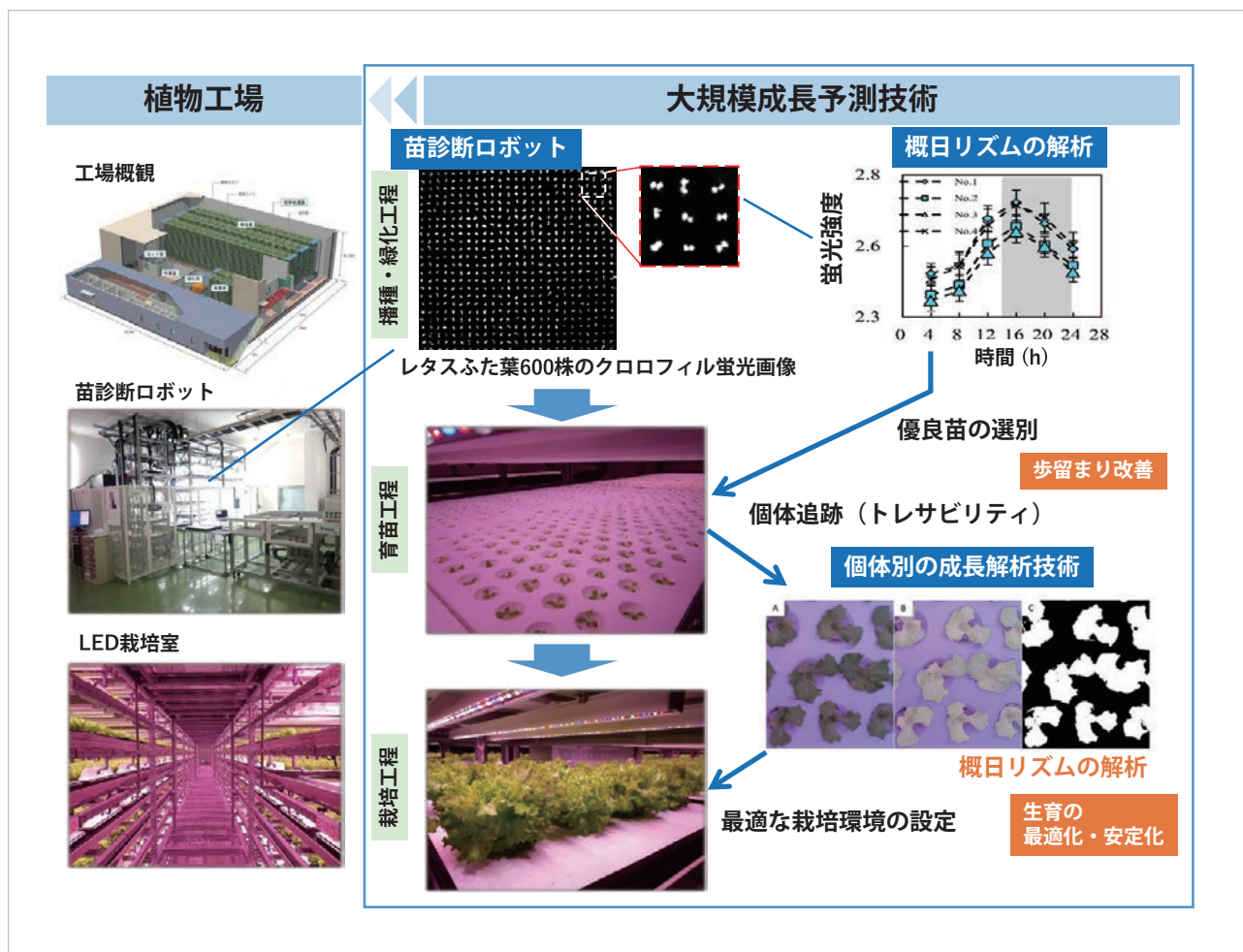
☆2 HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Point

☆3 JAS: Japanese Agricultural Standards, 日本農林規格

特集
Special Feature

工程、栽培工程の3つの工程から成り、それぞれにおいて生育が最大になるように環境が最適化されている。また、播種・緑化工程では、ふた葉苗の光合成活性リズムをクロロフィル蛍光により解析し、生育診断に用いている。蛍光画像を4時間ごとに計6回撮影し、蛍光リズムの位相情報などから、将来大きく成長すると予想される優良な苗を自動選別し、優良な苗だけを移植ロボットで植え替えている。さらに、育苗工程では、天井の梁に備え付けられた定点カメラにより苗の成長を動画撮影し、葉の広がる様子を画素単位のベクトル場として解析し、そのデータを利用した生育予測技術を開発している。このような植物個体ごとの生育予測技術は、植物

の生育に大きな個体差があるため重要である。同一の環境下で栽培しても、変動係数で20%程度の生育のばらつきが生じる。サイズの小さい個体は商品価値が大幅に下がるため、生育のばらつきは大きな経済的ロスに繋がる。したがって、植物の状態（形状や生育度合い）を判断しながら作業を行う画像認識が必要となる。また、高密度化による生育のばらつきを排除するために、栽培状況を逐次モニタリングし、照明や空調を最適に制御する必要がある。このような情報処理技術の導入によって収量を最大化・安定化することで、生産力（利益）の最大化が図られている。



■ 図-1 植物工場における成長予測技術

機械と生物の情報融合技術

植物工場は、植物の集団だけでなく、照明・空調・養液等の環境調節機械群，作業ロボット群，作業者集団といったそれぞれが自律動作する動的なサブシステムの集団で構成されている。したがって、植物工場システムの全体を最適化するには、これらを情報的に統合・融合しながら最適化する必要がある。環境調節や作業ロボットの動作には、固有の時間遅れや位相差があるため、トータルとしての情報融合技術は生産工程全体の最適化において必要となる。

最近の技術開発の指針として、「SPA 技術」が再注目されている。SPA とは、Speaking Plant Approach の略であり、“植物の状態”を常時把握し最適化するという植物生産工学の基礎として知られる。1980年代に初期の農業 AI 研究やシステム制御研究において、重視された開発指針である。SPA 化は、AI 栽培ロボットに作業の効率化だけでなく生物との情報融合を求める (図-2)。生体計測能と生体制御能の座標空間上で、優良苗選別や最適パターンでの定植，生育の加速・減速，有用成分量の調節による植物の高機能化などの技術がマッピン

グされる。これにより、技術同士の関連性が可視化される。このようなマッピングは、農家が暗黙知的に行っている農作業を体系化して考える上でも有用となる。

植物工場は、植物を本来の生きる場所（大地）から切り離し，光も土壌もすべて人工物に作り変えた機械設備である。栽培設備としては，社会実装に耐えられるまでの性能を獲得した。これからは，植物が備えるさまざまな防御機構（代謝コストのかかるストレス応答や，生育のリミッターなど）を環境刺激やロボットによる機械刺激で解除し機能を最大化するといった「植物の生産力を最大化する機械設備」としての期待が高まる。

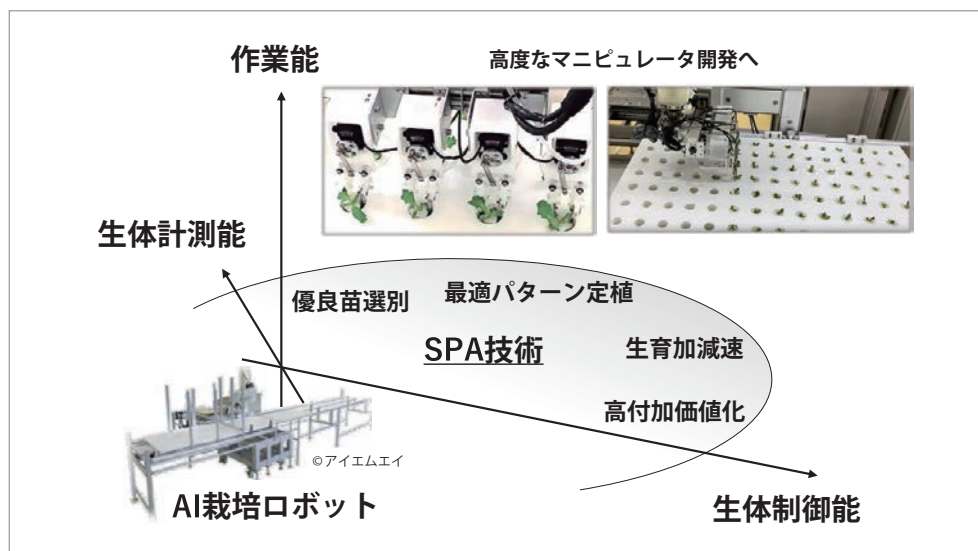
参考文献

- 1) JST CRDS：研究開発の俯瞰報告書（ライフサイエンス・臨床医学分野）2.2.5 植物工場，pp.334-342 (2021).
- 2) 北宅善昭，遠藤良輔：宇宙ビジネス，第7章第2節「長期有人宇宙活動のための物質循環型植物工場」，技術情報協会 (2020).

(2021年8月11日受付)

■福田弘和 fukuda@me.osakafu-u.ac.jp

2018年より大阪府立大学・機械工学分野教授。現在，植物工場研究センター副センター長を兼任。生物時計ならびに植物工場の研究に従事。



■図-2 AI栽培ロボットにおけるSPA技術

[植物と情報処理] <カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.4 画像認識分野から見た植物の研究



内海ゆづ子 大阪府立大学 大学院工学研究科



執筆にあたって

私はコンピュータビジョン・パターン認識といった、画像認識を専門としており、およそ7年前から植物にかかわる画像処理の研究をしている。おそらく、多くの読者の方はなぜ画像認識の専門家が植物を対象とする研究を始めたのか、興味があるのではと思う。そこで本稿では、私がなぜ植物にかかわる研究を始めたのか、そのきっかけと、植物学との共同研究の必要性、また、植物にかかわる研究の面白さや、共同研究の一部を紹介する。

きっかけ

植物にかかわる研究を始めたきっかけは、2014年3月に開催されたコンピュータビジョン・イメージメディア研究会での、亀岡孝治教授（三重大）の特別講演である¹⁾。その講演では、植物の遺伝子は、シーケンサーの発達によってすでに解読は済んでいるものの、その遺伝子が示す形質（植物の形や性質）はすべてが解明されていないことが述べられていた。また、遺伝子と形質の対応関係を明らかにするためには、植物の形質計測が必要で、画像処理による自動化が求められていることが述べられていた。私は、植物に関係する研究に、画像処理の技術が求められていることに非常に驚いた。また、元々植物が好きで興味が非常にあった上、その当時、新しい研究

テーマを模索していた時期でもあった。そのことから、自分の研究分野で植物に関係する分野に貢献できるのは非常にうれしいと感じ、植物を対象とした研究を開始することにした。研究開始当初は、植物の画像処理に使える技術を知るために、身の回りの観葉植物を画像で3次元復元してみるなど、試行錯誤した。その後、学際交流イベントを通じて知り合った学内・学外の農学系の研究者を中心に共同研究を開始し、現在に至っている。

植物学との研究文化の違い

今回、植物学と情報学の共同プロジェクトに参加し、初めて植物学の先生方と研究をすることになった。植物学の先生方の研究に触れて、最初に感じたのは、研究文化の違いである。初めて植物学の詳細な研究内容を聞いたのは、プロジェクトの公募説明会であった。そこで説明される研究内容は、植物で起きている現象に対して、どのような原理で発生しているのかを解明することを目的として、実験や観察をして評価する、というものがあった。これは、私のやっている研究とは違うぞ、と驚いたのである。それもそのはず、画像認識では、画像から物体を検出する、3次元形状を推定するなどの目的を達成するため、アルゴリズムやシステムを作り出す、というかたちで研究を進める。つまり、何かしらの目的のために、モノを作る“工学”なのである。一方、

特集

Special Feature

植物学は、事象の原理を明らかにする“科学”である。普段の研究活動において、科学と工学の違いを意識することがなかった私は、その違いに当初はカルチャーショックを受けた。

共同研究の必要性

前述の通り、工学である画像認識分野と、植物学の間では、研究に対する姿勢や目的が大きく異なっている。では、なぜ、共同研究が必要とされているのだろうか。それは、共に研究することで、これまでにない新しい発見が可能となるからではないか、と考えている。現在、植物学の分野では、デバイスの発達や観測手法の開発で、さまざまな現象が観測できる。たとえば、植物が生長し、葉などの器官が出現する様子を動画で捉えることが可能である。しかし、その器官がどのような周期で出現しているか、また、出現の周期性が変化しているのはいつか、などの情報は手動でしか確認できない。そのため、解析には時間と労力がかかる上、人間の能力で分かる範囲の現象しか取り扱えない。そこで、画像処理の技術を用いて、撮影されたデータから現象を自動的に解析できれば、新たな知見が獲得できる可能性が高いのである。

植物を対象とする研究の楽しさ

植物を対象として研究を行うのは、私にとっては非常に楽しい。その理由は、未知の現象を解明することに対する面白さと、画像認識対象としての植物の面白さにあると思う。



まず、未知の現象を解明することに対する面白さである。植物学との共同研究では、解析結果によっては世界で初めての発見ができる可能性が秘められていて、まるで探検をするようなワクワク感がある。これは、現在の画像認識分野ではあまり感じられない研究の面白さかもしれない。画像認識分野では現

在、深層学習関連の研究が大半を占めており、大量の学習データを用いて高精度な識別を実現することが最大の関心事のように感じられる。しかし、現実世界では、大量の学習データを収集できるタスクは限られている。そのため、分野全体で解決している問題は限られていて、最新の研究であっても取り扱われている問題は既知の場合が珍しくない。一方、植物学の研究では、研究対象の植物やその現象に多様性がある。常に未知の現象を探索している点が、画像認識分野にはない“ワクワク感”を生じさせているように思う。また、植物固有の珍しい、唯一無二のデータを扱える点が植物研究の醍醐味である。誰も見たことのない画像の解析にチャレンジするのは非常にやりがいがあるし、新しい手法につながるアイデアが見つかるのではないかと感じ、とても楽しい。

もう1点が、植物自体の解析対象としての面白さである。植物は、細い枝と薄い葉で構成されており、色やテクスチャが均一で、同じ形状の器官がたくさんあるという特徴がある。これまで画像認識で主に対象とされてきた石像や建造物などとは形状の特徴が大きく異なり、認識や検出、3次元復元が難しい。しかし、その難しさが面白いところである。

共同研究の紹介

現在、このプロジェクトで行っている共同研究の例として、大阪大学大学院理学研究科の藤本仰一先生との共同研究²⁾を紹介する。この研究は、花の形態が作られる原理を解明することを目的とした、花びら（花弁）の重なり順を推定するものである。

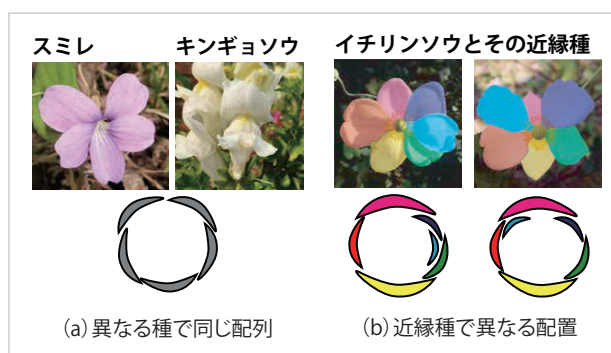
花の形状は多種多様であり、その違いを特徴付けるものとして、花弁の枚数や配置、対称性の有無などがある。中でも、花弁の配置は、 (a) のスミレやキンギョソウのように異なる種で同じ配置のものもあれば、 (b) のイチリンソウの仲間のように、近縁種でも配置が異なるものが存在するこ

特集

Special Feature

とから、種を超えた共通の発生原理が存在することが予想されている³⁾。この、花の発生原理の考察や検証を行うには、花卉の重なり順を調査する必要がある。この作業を手動で行うのは労働負荷が高いことから、自動的に花卉の順序を推定することを目指し、手始めとして隣接する花卉の前後関係を推定することとした。

隣接する花卉の前後関係の推定で問題となるのは、2点ある。まず、1点目は、収集できる画像の枚数が少ないことである。今回計測対象にしているイチリンソウとその近縁種は、高山に自生している植物を撮影する必要がある。そのため、花の画像データの収集には、大きな労力がかかる。このことから、学習に利用できる画像枚数は一般的な物体認識データベースよりもはるかに少ない。もう1つの問題は、花の見た目や形状が個体によって異なる点である。図-2に示す通り、イチリンソウとその近縁種は個体により花卉の形状・色が大きく異なる。そのため、同じカテゴリのものは見た目が近いことを仮定している画像認識手法にとって、識別が難しい問題となる。



■ 図-1 花卉の配置例。図の下部は花卉の配置を表しており、(b)の上画像と下図は対応する花卉を同じ色で表現している。



■ 図-2 イチリンソウとその近縁種の画像例²⁾

我々は、学習データが少ない点に関して、合成データを用いることでデータを補うことにした。また、個体によって見た目が異なる点に関しては、勾配ベースのメタ学習である Model-Agnostic Meta Learning (MAML)⁴⁾を導入することで対応した。見た目の異なる個々の花の花弁順序推定タスクに対して共通の推定モデルを MAML を用いて学習し、個々のタスクに対しては共通の推定モデルを適合させることで精度の向上を図った。実験の結果、合成データやメタ学習を用いない場合と比較して、提案手法は精度を 11.8% 向上させることができた。今後は、この手法をもとに、自動的に花卉の順序を推定するシステムを開発予定である。

共同研究のすすめ

今回、画像認識を専門としている著者の視点から、植物学との共同研究についての所感を述べた。画像認識以外にも、植物学と共同研究が可能な情報学の分野があるだろうし、その共同研究がきっかけで誰も想像できなかったような新しい知見が発見できる可能性がある。少しでも植物に興味を持たれた情報学の研究者の方はぜひ、植物学との共同研究を検討されてはいかがだろうか。

参考文献

- 1) 亀岡孝治：農業の現在と未来を考える中での IT・センシングの有効利用，情報処理学会研究報告，Vol.2014-CVIM-191，No.11，pp.1-14 (2014)。
- 2) 中谷 他：多種少量データを対象とした隣接花卉の重なり順推定，信学技報，Vol.120，No.409，pp.115-120 (2021)。
- 3) Nakagawa A. et al. : A Design Principle for Floral Organ Number and Arrangement in Flowers with Bilateral Symmetry, *Development*, Vol.147, No.3 (2020)。
- 4) Finn, C. et al. : Model-Agnostic Meta-Learning for Fast Adaptation of Deep Networks, *Proc. of ICML*, Vol.70, pp.1126-1135 (2017)。

(2021年9月14日受付)

■ 内海ゆづ子 (正会員) yuzuko@cs.osakafu-u.ac.jp

2010年大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻博士後期課程修了。同年 University of Oxford 客員研究員。2011年大阪府立大学大学院工学研究科助教を経て2020年講師。博士(工学)。画像による植物計測の研究に従事。

[植物と情報処理]

3. 座談会：ゴール設定の違いが難しさ 「情報植物学」という新たな分野への挑戦

応
般

執筆：太田智美

参加：中島敬二（奈良先端科学技術大学院大学）・稲見昌彦（東京大学）・
上田貴志（基礎生物学研究所）・植田美那子（東北大学）・
近藤洋平（生命創成探求センター）・内海ゆづ子（大阪府立大学）・太田智美



植物学と情報学を融合した「新学術領域」をめぐる座談会が、2021年7月15日にオンラインで開催された。この新学術領域は、植物学と情報学の融合を通じて新しい学術領域を創造し、両分野を発展させることを目指して2年前に発足。研究代表者に、奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科の中島敬二教授、研究分担者には、東京大学・先端科学技術研究センターの稲見昌彦教授、基礎生物学研究所・細胞動態研究部門の上田貴志教授らが名を連ねており、文部科学省の科研費で研究活動を行っているという。

本座談会には、中島教授、稲見教授、上田教授のほか、同研究分担者である東北大学大学院・生命科学研究所の植田美那子教授と自然科学研究機構・生

命創成探求センターの近藤洋平助教、大阪府立大学・大学院工学研究科の内海ゆづ子講師が参画した。

「植物計算機」や「指先が顕微鏡になる装置」

このプロジェクトでは、どのようなことを実現しようと考えているのか、具体的な研究成果を見るのが分かりやすいと思うので最初に触れておこうと思う。

同プロジェクトでは、これまでに多くのブレインストーミングを行い数多くのアイデアを出してきたという。その中から、「植物計算機」や「指先が顕微鏡になる装置」の話聞いた。

「植物計算機」とは、同プロジェクトが主催する融合研究コンペティションで、大学院生のチームが発案したものの、詳細は非公開とのことだが、植物の情報システムをリアルな媒体に移した提案だという。「開発期間1年」というコンペティションの採択条件のため、残念ながら実現には至らなかったが、5年ほどあれば実現できるであろう興味深い提案だったと教授らは



口々に話す。

「指先が顕微鏡になる装置」については、すでに複数のメディアでも取り上げられているが、指先に装着した顕微鏡カメラが拡大画像をディスプレイに映し出し、同時に触覚を提示する装置だ。開発は東京大学の研究チームによって行われたが、実はきっかけはこのプロジェクトの構想段階での雑談で、それをきっかけに稲見教授と檜山特任准教授がひらめいたのだという。「指先が顕微鏡になる装置」は筆者も実際に触れたことがあるが、ひとことで表すならば「触れる顕微鏡」といったところだろうか。植物をなぞると、映し出された葉脈などを見ながらポコポコと指で辿ることができる。

[先端科学技術で「未来の身体」はどうなる？ 東大の公開キャンパスに行ってきた【動画ライター】]
<https://moov.ooo/article/5eb9f3351b05ee0697dd212e>



何をしようとしているのか

そもそもなぜ植物学者たちは情報学者と組み、情報学者たちは植物学者と組み「新学術領域」を創るのか。それは生物学者が感じる限界と、情報学の異分野への関心の高さに関係があるようだ。最終的なゴールとして両者が求めることは、それぞれ違う。

植物学者のゴールは「情報を使って植物を知る」ことだ。中島教授は「植物の成長のおおまかな原理は、ほぼ分かってしまった。しかし、1つ1つの細胞の変化がどのように統合されて植物の器官の形や向きが変わるのかまでを知るには、今の方法論では分からない。そのためには、ブレイクスルーが必要」と話す。

たとえば、最新の顕微鏡イメージングでは、超高

解像度で4次元のデータを得ることができるという。しかし、その中から興味のある部分のデータだけを取り出して、定量的に解析するのは人間の能力だけではほぼ不可能。一昔前のデータ量なら自分のPCを使って手作業で解析できたが、生物の仕組みの真髄を探るにはより大きなデータを扱わなければ意味がないし、部分と全体の正確な対応付けが必要だという。

同じく植物学者である上田教授は、次のように話す。「顕微鏡データに捉えられてはいるけれど、研究者が認知できていないことがあるのではない。（人間の）認知能力の範囲外にある現象を、技術を使って認知のダイナミックレンジの中に入れてあげるといことをやると、今まで見逃していたようなことも分かるようになるのではない。たとえば、基礎科学の画像や配列情報やそのゆらぎの情報、階層の違う複数の次元にまたがるようなデータを人間が理解できる形に変換してくれるのが情報学だと考えている」

生物学者は情報学者に、「データに潜む未知現象の発見を加速する仕組みの設計」を期待しているようだ。そして、生物学研究の方法論を「新しく」したいという。

植物学者と情報学者の「情報」の定義

そもそも、「情報」の定義に立ち戻りたい。植物学者が意味する「情報」と、情報学者が意味する「情報」で解釈は同じなのか、それとも異なるのか。

植物学者がイメージする「情報」

「植物が『情報処理をする』」というと、たとえば外の情報（環境やストレス、虫に食べられるなど）や、細胞同士で『おまえはこの細胞になれ、おれはこっちの細胞になる』というように、細胞同士で情報のやりとりをするケースなどをイメージする。力学的な刺激や光などの刺激を受容体が受け取って、それ

特集

Special Feature

を植物内で分子情報として伝え、最終的にはどの遺伝子を活性化させるか、どういうふうに変化を促していくか、といった出力を行う。そういうときに「情報処理」「情報伝達」といった言葉を使う」(上田教授)

「生物にはホメオスタシス、つまり生体恒常性という基本的なシステムがある。情報のフィードバックが最も効いているシステム。それから、シグナルトランスダクションという生物学の少し懐かしい言葉がある。生体内のタンパク質や遺伝子が段階的に「情報」を伝えて最後に形や生理状態を変化させるという概念だが、ネットワーク状の膨大な経路を統合的に扱うシステム生物学が台頭している現代では、あまり使わなくなった」(中島教授)

情報学者がイメージする情報

「日本語の『情報』という言葉が、今のような意味で使われるようになったのは戦後のこと。そういうことを考えれば、情報という概念自体が新しい。それまでは軍事用語として使われていたという側面もある。昔は、陸軍中野学校などの『諜報』に近い意味も含まれており、『電信を使って情報を伝える』という意味とは限らなかった。戦後になり、アメリカ合衆国の数学者であるノーバート・ウィーナー(Norbert Wiener)がサイバネティクスを提唱したとき、フィードバックの信号の性質に興味を持ったのがその後クロード・シャノン(Claude Elwood Shannon)により提唱された情報理論と並ぶ源流の1つではないか。かつては、エネルギーと情報の区別が明確ではなかった」(稲見教授)

「情報を定義する上で『ものごとが起こせる』というのは大事なポイント。近年『情報熱力学』の生物への応用が注目を集めており、バクテリアの生化学的フィードバック系の性能や分子モーターの制御の限界について、物理学の立場から議論できるようになってきた。しかし、植物のような複雑なシステムについてはまだまだこれから」(近藤助教)

なぜコンピュータは熱くなるのか

「コンピュータはどのようにしてこんなに熱くなるのか不思議だ」——こう話すのは、植物学者の中島教授だ。そしてその理由を次のように語る。「なぜ不思議なのかというと、コンピュータというのは基本的に、回路に電気を通しているだけだから。一方、ゆっくりだからという理由もあるかもしれないが、植物は熱を出さずにちゃんと情報処理をしている。水を吸い上げること1つとっても、自分自身のエネルギーを使わずに、体中に水を運ぶ。とても省エネルギーなシステムに感じる。そのあたり、コンピュータもできるだけ少ないエネルギーで情報処理をできないものか。たとえば、自由エネルギーの方向性に従って情報を処理する仕組みが実現できれば」(中島教授)

そんな中島教授に対し、稲見教授は答える。「たとえば、情報学の世界では量子コンピュータや、物理リザバーコンピューティングなどが注目されている。またDNAや粘菌を情報処理に用いる試みもあり、これらは自然計算というパラダイムとして認識されている。その中の1つの手段として、植物を使おうという話はたぶんあるのではないか？」(稲見教授)

「エネルギーについて一番考えている植物学者は、光合成研究者かもしれない」と、上田教授は話す。光合成というのは、太陽の光エネルギーを生物が使う化学エネルギーに変換する洗練されたシステム。今、光合成を作動させる基本的なタンパク質の構造はほぼ解かれていて、太陽光と水があればエネルギーが取り出せる、というような技術の研究も進んでいるようだ。

植物学×情報学、どうやって1つの学問として束ねていくか

この2つの分野を1つの学問にするには、いくつか大きなハードルがある。その中で、最も大きな

特集

Special Feature

課題が「ゴールが違うこと」であったように思う。

たとえば、工学系に近い情報学の分野では、「問題があって、それを解決する」というのがよくあるやり方だ。しかし、生物学では「新しい発見につなげるために、こういうツールが欲しい」という要請になることが多いという。言い方を変えれば、情報学では「どこまでできたら成功か」が明示されているが、生物学の学術研究との連携では、必ずしも明示されていないため、研究ツールの開発には、より密接なコミュニケーションが必要なのだそう。コンピュータビジョンを専門とする内海講師は、「画像から、病気の診断を自動的に行う医用画像処理分野が発展したのは、病気か病気ではないかを見分けるという、明確な目的があったからだ。問題がクリアになっているということが、情報学とコラボレーションするには大きな要素となる」と話す。

もう1つのハードルとして挙げられたのが、「生物学の情報を、情報系のパイプラインに乗せる難しさ」である。「元々定量化されていない(数値になっていない)データをいかに情報処理に乗せやすい形にもっていくかが重要だ」と中島教授は言う。たとえば、画像を見たときに、「いかに数値として表すか」ということが情報学の人からすれば当たり前のことかもしれないが、生物学者にとっては難しいという。「すぐに相談できる人がいるかどうかで、かなり敷居が下がると思う」と話した。

植田教授も、こう続ける。「変換できるものが情報だと考えると、まずパイプラインに乗せるまでが課題。結局、植物を画像解析するといっても、実際にやっているのは植物そのものではなく、顕微鏡で見た画像の解析に過ぎない。そのため、たとえば光合成をがんばっているタンパク質のリアルタイムでの立体構造の変化や電子伝達の様子などを、そのまま質を落とさずにとってくることができないと、何をやっているかを情報学的に計算し、シミュレーションし、再現して……といった解析のスタートラインに立てない。私たちは、生体内で何が起こっ

ているかを把握したいというのが目的なので、『まず何が起こっているかを把握して数値化する』というのが解析の出発点ということなら、何もできないのではないかと、”よく分からないもの”をそのまま数値化してプラットフォームに乗せるには、どのようなブレイクスルーが必要なのか(植田教授)。

植物学と情報学の境界領域の難しさという点について、「農業におけるAI技術の応用などがすでに色々あるだろうと言われそうだが、植物学の基礎研究というのは問題設定がまた違う」と、近藤助教は言う。実際、近藤助教も互いに議論する前には「データさえあれば後は作物の計測などと同じ」と思っていたそう。しかし、植物学の基礎研究では植物の形を生み出す分子レベルのメカニズムやそれが進化してきたプロセスなど、思ってもみなかったようなことが問われていた。逆に植物学者も、近年の発展著しい情報学を細かくフォローできているわけではない。そこで植物学者と情報学者の問題意識の共有や情報交換を促進する体制がまずはあるとよい。近藤助教は「はじめから明確な共同研究のテーマがあることはむしろ稀。雑談を交えながらのデータや技術の共有から多くのプロジェクトが始まった」と話した。

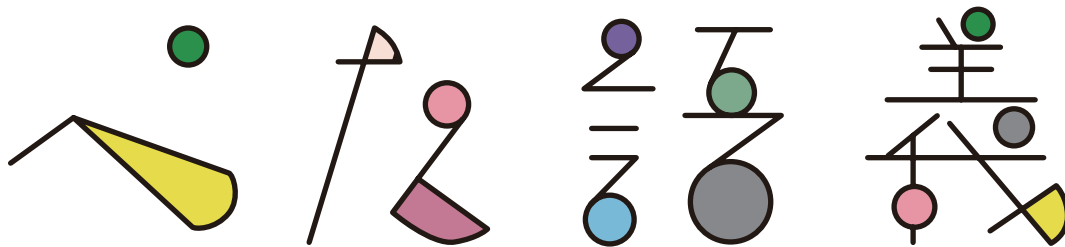
情報学の稲見教授は「植物を模倣したロボットの研究例があるが、植物の個体内での情報処理メカニズムや群としての植物の生存戦略から学ぶ新たな情報学の研究領域も生まれるかもしれない。しかも生物の世界は量子的な振舞いまで織り込まれている。いかに互いの分野の面白さを共有するかが重要だ」と締めくくった。

生物学が「新しく」なる日は、新しい分野の誕生日なのかもしれない。

(2021年9月3日受付)
(2021年9月17日note公開)

■太田智美 tomomi.pepper@gmail.com

国立音楽大学卒業。慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程修了。アイティメディア(株)、(株)メルカリを経て、現在同研究科附属メディアデザイン研究所リサーチャー。同博士課程在学中。ロボット「Pepper」と生活をともにしている。ヒトとロボットの音楽ユニット「mirai capsule」結成。



Vol. 123

CONTENTS

【コラム】プログラミングの面白さを伝えるには…松浦 敏雄

【解説】未就学児を対象にしたプログラミング教育—ビスケット (Viscuit) を使った幼稚園の取り組み—渡辺 勇士

【解説】ジェンダーインクルーシブなプログラミング教材の開発—視覚化を通してデータを感じるプログラミング—吉田 智子・有賀 妙子・真下 武久



COLUMN

プログラミングの面白さを伝えるには



初等中等教育でのプログラミング教育に注目が集まっています。以下では、主として高校でのプログラミング教育を想定して、プログラミングの面白さを伝えるにはどうしたらよいかについてお話しします。プログラミング教育の目的は、プログラミングの面白さ・難しさ（思い通りに動かないなど）を体験することを通して、コンピュータの本質に近づくことと考えています。具体的な目標は、自ら簡単なプログラムを組めるようになることです。この目的を少ない授業時間（50分×10回程度を想定）で達成するための具体的な方法を提案します。

- (1) 学習内容を絞る：プログラミング言語の良し悪しはここでは触れません。どの言語であっても、とにかく学習項目を絞ることが重要です。条件分岐と繰り返しさえあれば、（プログラムで書けるなら）どんなプログラムも書けます。この2つの制御構造に変数の使い方を合わせたものが最小限の学習項目でしょう。これに加えて乱数や図形描画などを導入すると生徒のモチベーションを高めるのに役立ちます。授業時間が50分×10回程度なら、これ以上、学習項目を増やしてはいけません。
- (2) 授業の方法：例題の説明と、それを応用した演習問題をセットにして、これを繰り返します。多くの演習問題に取り組む方がよいですが、時間がない状況では無理をせず、考える時間を与えることが大切です。早くできた生徒のために、発展課題を用意しておくともよいでしょう。デバッグの難しさを経験することも大切です。これを乗り越えてプログラムが思い通り動いたとき誰もが感動します。この体験を繰り返して面白さを感じてもらうことが大切です。
- (3) サポート体制：演習中は適切な助言が必須です。ティーチングアシスタントなどのサポート体制が重要ですが、現実には担当教員が頑張るしかないかもしれません。

10数年の私たちの経験では、70～80%の学生がプログラミングは面白いと感じてくれています¹⁾。今も文献²⁾、³⁾のような授業資料を用いた授業で同様の結果が得られています。授業時間がもっと使える場合は、データ構造やファイルIOなどを扱うこととなりますが、適切な例題と練習問題を用意して、十分に時間をかけることが大切です。学習項目を増やすと、学生のモチベーションを維持するのが難しくなります。この点は私たちも四苦八苦しているのが現状です。今後、この状況の改善方法を見出したいと考えています。

参考文献

- 1) 西田知博 他：初学者用プログラミング学習環境 PEN の実装と評価、情報処理学会論文誌、Vol.48, No.8, pp.2736-2747 (2007).
- 2) 松浦敏雄：プログラミング基礎 (DNCL) 授業資料、<http://wpen.asl2.net/pp/> (2021/08/13 確認).
- 3) 松浦敏雄：プログラミング基礎 (Python) 授業資料、<http://wpen.asl2.net/python/> (2021/08/13 確認) (Google Colaboratory への登録が必要).

松浦敏雄 (大和大学理工学部) (正会員)

1979年大阪大学基礎工学部情報工学科助手、1992年同大学情報処理教育センター助教授、1995年大阪市立大学学術情報総合センター教授、2020年大和大学理工学部教授。大阪市立大学名誉教授。本会フェロー。

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

未就学児を対象にしたプログラミング教育 —ビスケット (Viscuit) を使った幼稚園の取り組み—

渡辺勇士

合同会社デジタルポケット／電気通信大学

未就学児とプログラミング教育

情報技術の急速な発展により、ほんの10数年前まではガラケーが主流だった携帯電話が、今やスマートフォンに置き換わり、誰しも複数のアプリを日常的に利用している。また、モノとインターネットが繋がるIoTも、IoT家電の普及により、もはやめずらしいものではなくなってきている。2020年度から小学校におけるプログラミング教育が必修化された背景には、子どもがそれらの機器がプログラムで動いていることを知り、そして、自分自身でプログラミングをして動かす体験をすることの重要性もあげられる。また、民間の学習塾や、幼稚園、保育園の現場では未就学児を対象にしたプログラミング教育を行っている場所も出始めている。本稿では、実際にプログラミング教育が行われている幼稚園の事例を挙げ、筆者の記した「未就学児を対象にしたプログラミング教育¹⁾」についての研究²⁾を基に、未就学児とプログラミング教育について解説する。

香川富士見丘幼稚園の事例

□ ビジュアルプログラミング言語ビスケット (Viscuit) の利用

神奈川県茅ヶ崎市にある香川富士見丘幼稚園^{☆1}では2015年からビジュアルプログラミング言語ビスケット

☆1 茅ヶ崎市 香川富士見丘幼稚園 Web サイト、
<https://kagawa-fujimigaokayochien.rexw.jp/> (参照 2021-8-30)。

ケット (Viscuit)^{☆2}を用いたプログラミング教室が行われている。2015年は有志の園児だけを対象にしたが、2016年からは年長児の定期的なカリキュラムとして取入れ、2017年からは年少児、年中児も不定期にビスケットを使った活動を行っている。

ビスケットは文字も数字も使わず、絵の配置によってプログラムを作成することが可能である。図-1はビスケットのインターフェースを示している。プログラムは以下のように作成する。まず①右端(部品置き場)にある絵をドラッグすると、自動的にコピーされた絵が生成されるので、それをステージ(左半分のエリア)に置く。そして②メガネと呼ばれるツールをメガネ置き場(グレーのエリア)に置く。③そのメガネの左右の丸それぞれにも絵を配置する。そうすると③で配置した左右の絵の座標の差分に基づいて、④のようにステージの絵が動く。文字や数字を使わない

☆2 ビスケット viscuit | コンピュータは粘土だ!!、
<https://www.viscuit.com/> (参照 2021-8-30)。

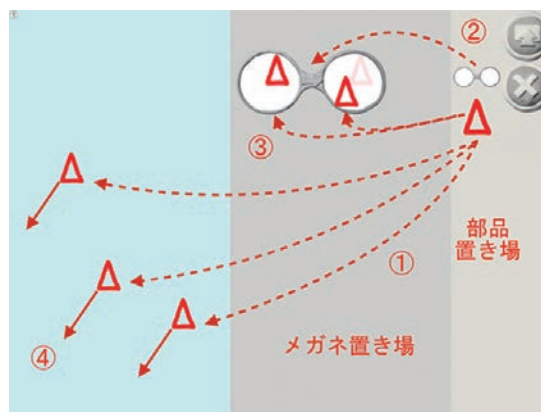


図-1 ビスケットのプログラミングの例

ので、未就学児でもプログラムを作ることができる。

□ 年長児のレッスン

年長児では1回40分前後のレッスンを年13回(月に2回程度)実施している。レッスンでは段階的にプログラミングのテクニックを学ぶ。最初に絵をまっすぐ動かすプログラミングを習得する。

図-2の(1)に示すように、メガネの左右に1つずつ絵を入れることで、絵の座標の差分に基づき、ステージ上の絵を動かすことができる。次に図-2の(2)に示すように、まっすぐ動くメガネを複数使い、ランダムに絵を動かすプログラミングを学ぶ。たとえば、「上に動く」メガネと「下に動く」メガネがある場合、ステージ上の絵は上にいたり、下にいたりする。ビスケットではメガネの命令は、メガネが置かれた順序に関係なく実行される。そして、図-2の(3)に示すような絵の変化が繰り返し続くプログラミングを学ぶ。図-2の(1)、(2)ではメガネの両方に同じ絵を入れていたが、違う絵を入れると、左の任意の絵Aから右の任意の絵Bに変化する、という命令になる。つまり、図-2の(3)メガネは「閉じた口の絵は開いた口の絵になる」、「開いた口の絵は閉じた口の絵になる」命令を表す。これで口が「パクパク」する動きを作成できる。最後に図-2の(4)のように、絵を傾けて回転させる、というプログラミングを学ぶ。「角度の違う傾いた絵に変化する」という命令は回転の動きになる。

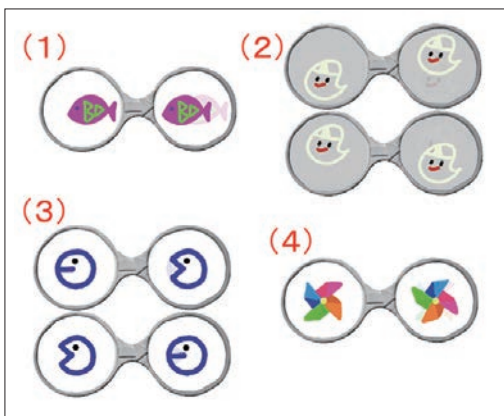


図-2 年長児が習得するプログラミングテクニック

レッスンでは先生がやらせるのではなく、園児自身がやりたくなるような絵を用意している。たとえば、図-2の(1)に示した絵をまっすぐ動かすプログラミング課題の場合は、図-3左のように絵の動きの方向がはっきり分かる絵を用意したり、図-2の(3)に示すような「絵の変化が繰り返し続く」プログラミング課題の場合は、図-3右のように時間経過に伴う変化を内包しているような絵を用意したりする。そうすると、園児は何も指示をされなくても、その絵が内包している変化を画面上でプログラムしたくなる。

レッスンは前半が練習パート、後半が自由制作パートと分けられており、各20分ほどである。前半の練習パートでは先生が用意した上述の絵を使って、プログラムを作る。その上で後半では自分で絵を描いて、その練習を踏まえたプログラムを自由制作する。これらのレッスンの内容は、香川富士見丘幼稚園と筆者の所属する合同会社デジタルポケットと一緒に、2015年から2016年に開発したものをベースにしている。それ以降は、毎年少しずつ幼稚園の独自の改良を加えて、レッスンを行っている。

プログラミングレッスンを行う教室は、園児が普段使用する教室とは別に用意されている。そこには1クラス1人1台のタブレットと通信環境が用意されている。レッスンの実施方法についてはワークショップのノウハウが活かされている²⁾。たとえば、レッスン実施の際は、園児はタブレットが自分の前にあると集中できないので、必ず園児をタブレットから離し、先生の前に集まってもらうようにする(図-4左)。この教授法によって、タブレットが目の前にあると集中できない園児を、先生の話聞くことに集中させ

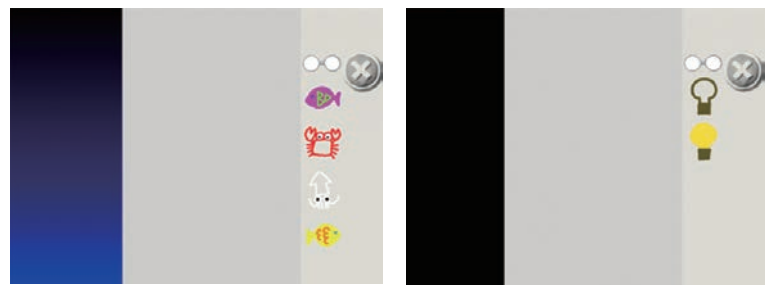


図-3 左)動きの方向がはっきりした絵・右)変化を促す絵



ることができる。自由制作ではビスケットランドという、自分のプログラムがほかの園児のプログラムと同じスクリーンに現れるビスケットの機能を活用している。1人で黙々とプログラムを作る、というよりも、お友だちと楽しくプログラミングをしている。各回で「海の世界」「空の世界」また「おばけやしき」などの世界観をベースにした共同制作に取り組む。レッスンの最後は大きいスクリーンで発表会を行う。この発表会では園児たちは「みてみてー!」「私があるー!」と大盛り上がりだ(図-4右)。

未就学児にプログラミング教育をする意義

未就学児にプログラミングは必要?

幼稚園でのプログラミング教育の実践事例を紹介してきたが、改めて未就学児にプログラミング教育は必要なのだろうか? また、可能なのだろうか? 早期から子どもを情報機器に触らせることには、情緒・身体の発達を妨げる要因として、反対の立場の人もいる。一方で、日本学術会議の示す「情報教育課程の設計指針—初等教育から高等教育まで」³⁾では、入学前の段階でプログラミングを通して、コンピュータの原理的なものに触れることは、情報学の興味・関心を育むために良いと書かれている。ここでは未就学児の体験では「コンピュータそのものの特徴的な部分」を体験することを目的にすべきだ、と書かれている。そのような体験のデザインが可能な

のかどうか、また、香川富士見丘幼稚園の実践はどのように捉えることができるのだろうか。

未就学児の発達段階

子どもの発達段階に関しては、年少児から年長児の年齢にあたる3歳から6歳は、論理を操作できないと言われている。また、4歳までには、イメージを使って、具体的な何かを別の具体的な何かに見立て(積み木を電車に見立てる、など)、考え、記憶することはできると言われている。また、4歳から7歳では、物事を分類したり、関連付けたりすることはできる。一方で、この時期は数や量という概念が、置き方や見せ方の違いで同一視できず、知覚的な目立った特徴に左右され、一貫した論理操作ができないといわれている。また、自己中心的な考え方から解放され、論理的に物事を考えられるようになるのは、7歳以降だと考えられている。

発達には個人差がある。よってすべての児童の思考がこのモデルに当てはまるとは言えないが、未就学児を対象にしたとき、具体的に目に見えるものを中心に、学習環境を用意する必要がある。抽象的な数字や文字による表現は適さないと考えられる。

未就学児の学び

平成29年改訂幼稚園教育要領では、幼稚園における教育は「環境を通して行う教育」と位置づけられており、「環境を通して行う教育」とは、遊びを通し



図-4 左)園児を教室前方に集めて説明する様子・右)自由制作(海の世界)の発表会の様子

ての総合的な指導の中で行われるものだとされている⁴⁾。佐伯胖は、このような環境とのかかわりの中での学びを以下のように説明している⁵⁾。乳幼児はモノを使って遊ぶとき、そのモノを使ってさまざまな働き方を試みて「どうすれば、どうなるか」を探求している。この実践を経て、乳幼児はその対象を味わい、その対象について自分なりに分かるようになる。そして、その対象を十分に探求すると、今度はそれを活用した行為を誰かに「見てほしくなる」という。モノが道具であれば、乳幼児は直ちにそれを使って面白いものを作ってみたくなる。そのとき、乳幼児は誰か他者にできあがったものを見てもらったり、それで喜んでもらったりすることを希望し、期待する。ここから子どもたちの、社会や文化に向けての参加の意識が芽生える、という。

未就学児のプログラミング教育を考えたとき、このように未就学児が自らプログラミングという環境にコミットし、意味を見だし、そしてその上で、他者に対して、その子どもなりのプログラムを使った表現が起こる環境が必要である。

最初に紹介したようにビスケットは文字も数字も使わず、具体的に絵で命令を作ることができる。加えて、ビスケットは表現できることの幅が非常に広い。たとえば、絵の動きの方向を決めるとき、その配置によって360度、どの方向にも動かせる。絵の動きの速さも、絵のズレの大きさによって微妙な速さまで表現できる。また、お絵かきのパレットでは、コンピュータが扱うすべての色を表現することができる。これらすべてが数字・文字なしで操作できる。このように園児は自らが持つ考えやイメージを直感的にプログラムで表現することができるため、コンピュータに命令することの意味を探究する学びとして、ビスケットは最適なツールであるといえる。

□ 具体的なプログラミングでの学び

それでは、ビスケットのプログラミングで子どもたちは何を学んでいるのだろうか。ここで少しプロ

グラミング教育の歴史を遡って説明したい。子どもに対してのプログラミング教育の議論は、シーモア・パパートから始まる⁶⁾。パパートは構築主義の学びを提唱した。構築主義では子どもを、知識を組み立てる存在として捉える。子どもはすでに知っている知識を組み合わせ、新しい知識を組み立てるべきだという。つまり、子どもは知らないことを教えられる、容器のような存在ではない。この考えは幼稚園教育要領や、佐伯の考えとも通じるところがある。また、パパートはそのような学びの中で、コンピュータやプログラミングが果たす役割は、コンピュータなしでは学ぶことが難しかった抽象的な概念が、具体的になり、自分の知っている知識と組み合わせ、新しいことを知ることができるようになることだ、と説明する。

現在のプログラミング教育では、抽象的な思考法の獲得に焦点が置かれることが多い。しかし、実は抽象的な思考ができるようになることよりも、抽象的なことがコンピュータで具体的になり、それを用いて子どもが新しい知識を組み立てられることのほうが、コンピュータの出現の意義であったことが分かる。

本ビスケットの実践では園児は順次・分岐・繰り返しと言われる概念を学んでいるわけではない。しかし、何度もプログラムを作成するプロセスで、自分の作りたいものを考え、自分の知っている知識とビスケットで実現できることの間を行ったり来たりしながら試行錯誤し、プログラムすることを繰り返している。その中で「コンピュータは命令で動く」「コンピュータは間違わない。おかしい動作は人間がそういう命令をしているからである」「1つの命令で複数の絵が同時に動く」などの、コンピュータの特徴的な部分に親しんでいる。

■ 豊かな情報社会へ

□ 未就学児も参加する情報社会

幼稚園でのビスケットを使ったプログラミング教



育の例を紹介し、未就学児の発達段階と、未就学児に求められる学びを確認してきた。その上で、ビスケットは具体的であり、表現力が高いため、未就学児のプログラミングに最適であることを確認した。ここで、もう一度幼稚園の活動を振り返ってみる。図-5は13回のレッスンの最後のレッスンで園児が作った作品の例である。図-5左の作品は図-2のテクニックの中の(2)を応用して、船がゆらゆらしている状況を表現している。図-5右の作品の上の2つのメガネは(3)のテクニックを応用して、雲のようなキャラクターが息を吹いている様子を表現している。これらが特別に優れた例というわけではなく、すべての園児が最後のレッスンでは、ビスケットを使って自分のアイデアを表現していることが分かっている¹⁾。

佐伯は探求している対象が自分に馴染んだとき、自分なりに「こういう使い方しようよ」「こういう風に遊ぼうよ」と自ずと提案したくなり、提案することを通して社会に参加していく、と述べている⁵⁾。また、この参加によって、社会自体を他者の意味付けではなく、自分なりの意味付けで見られるようになるという。その意味付けは価値観の固まった保育者、教育者、大人の持っている意味付けは違う場合も多い。通年のレッスンでは著者自身も、幼稚園の先生達も園児が作るプログラムを見て、その発想の豊かさや柔軟さに驚かされた。私たち大人は子どもに教えるだけでなく、大人として子どもから学ぶことも必要であろう。

また、幼稚園で本活動を行ったあとに、年長組はデジタルメディアを使った展示を見に行ったそうである。そこで複数の園児が「あれはメガネ(ビスケット

におけるプログラム)で動いてるんだね」と指摘したということである。この指摘だけを根拠に結論づけることはできないが、プログラミングの体験は、ソフトウェアの後ろには造り手がいて、そして、その人は自分の体験したようなプログラミングをしている、という視点を養うことに通ずる、と考えられる。つまり、批評性を持ってソフトウェアを見る、という視点の早期の獲得につながる可能性が考えられる。

未就学児が情報社会において、表現し、批評できるようになることは、未就学児の情報社会への参加を受け入れることである。筆者はここに、未就学児のプログラミング教育の意義があると考えている。また、早期から子どもが情報社会に参加することによって、情報社会全体をより豊かなものにするにつながると思われる。

参考文献

- 1) 渡辺勇士：未就学児を対象としてプログラミング教育に関する研究，電気通信大学博士学位論文(2021)。
- 2) 原田康徳，渡辺勇士：ビスケットプログラミングワークショップ—なぜワークショップなのか—，情報処理，Vol.58，No.10，pp.891-893 (Oct. 2017)。
- 3) 日本学術会議情報学委員会情報学教育分科会：報告情報教育課程の設計指針—初等教育から高等教育まで—，<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-h200925.pdf> (参照 2021-8-30)。
- 4) 文部科学省：幼稚園教育要領，http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/you/index.htm (参照 2021-8-30)。
- 5) 佐伯 胖：幼児教育へのいざない円熟した保育者になるために，東京大学出版会，pp.84-86 (2014)。
- 6) シーモア・ソバート：マインドストーム—子供，コンピューター—，そして強力なアイデア，未来社 (1995)。

(2021年9月6日受付)



渡辺勇士 (正会員) watanabe@viscuit.com

合同会社デジタルポケットチーフファシリテーター、電気通信大学客員研究員、博士(工学)。未就学児を対象にしたプログラミング教育の実践研究を行っている。造形教育センター、日本教育工学会、ACM各会員。

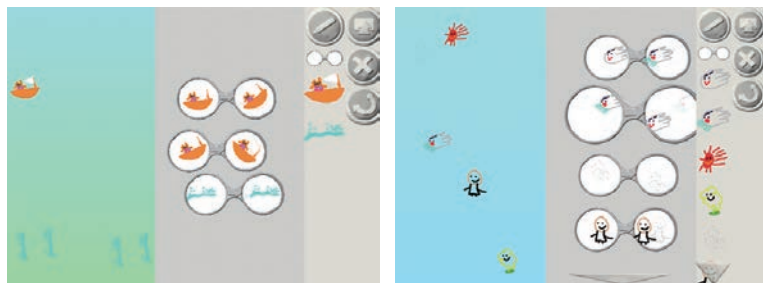


図-5 園児が作ったプログラミング作品の例

ジェンダーインクルーシブな プログラミング教材の開発 —視覚化を通してデータを感じるプログラミング—

吉田智子

京都ノートルダム女子大学

有賀妙子

同志社女子大学

真下武久

成安造形大学

IT 分野における男女の偏りを考える

プログラミングに関係した学習機会への参加者の男女比を調べてみると、概して男子の割合が高い。たとえば、総務省がプログラミング教室などの教育団体に対して行った調査では、男子が女子より多いと答えた団体が 84% を占め、男子比率が 8 割を超えるという回答も約 4 割であった^{☆1}。

この状況は日本だけではない。オランダの論文には、アフタースクールのプログラミング教室の教員 98 人への調査で女子の受講者が平均 30% であることが記載されている¹⁾。さらに、ジェンダー平等が進み、教育現場で男女を同じように扱うことを強く推奨する北欧でさえも、2016 年から 3 年間実施された 140 校の中学校でのプログラミング教育のパイロット実践において、プログラミングクラスに参加した女子生徒の割合が平均 16% と、日本と同様の偏りが起こっている²⁾。つまり、プログラミング科目の成績やプログラミング力に関する多くの研究が、男女の差はないと報告している一方で、情報技術(IT)の事柄へのかかわりには差が存在する。

ではなぜ、このような偏りが起こるのであろうか。情報教育の内容そのものはジェンダーに無関係であるが、情報サービス産業では IT エンジニアの女性の割合の少なさが課題となっており³⁾、こうした社

会の状況がアンコンシャス・バイアス(無意識のバイアス)となり、IT 分野への関心の差に繋がっていると考えられる。そのため、女子がプログラミングの学習は自分の学びや研究、興味とは関係ないと思ってしまうケースがあることも要因の 1 つであろう。

小中高でプログラミング体験・学習が必修となる中で、理数系科目に関心がある生徒が興味を持ちやすい、たとえばロボットや電子制御、数学的处理を扱うプログラミング教材に触れることで、この偏りをさらに固定化してしまうことを危惧する。情報教育の内容がジェンダーレスだからと、実際の不均衡に目を向けないでいると、その実態が教育現場において追認されることもあろう。その結果として「それは私の分野ではない」という認識を、プログラミング学習が無意識のうちに強化しかねない。かといって、プログラミングの教材に「フェミニンな」内容を取り入れれば良いというわけではなく、ジェンダーインクルーシブな、つまりジェンダーを包括する教材の導入という視点が必要であろう。

さらに、ロボットや数学分野に関心がなかったり、苦手意識を持つ学習者にもプログラミングに関心を持ってもらうためには、何が必要であろうか？ プログラミング学習に限らず、学習者が課題に積極的に取り組むための要素として、次のような点が考えられる。

- 学ぶ必要性が実感できること
- 自分や他人、さらに社会に役立つこと

☆1 総務省「プログラミング人材育成の在り方に関する調査研究報告書」(平成 27 年 6 月)。



- デザイン力、創造性が発揮できること

本稿ではこのような視点から、プログラミングへの関心を高めるために著者らが開発を進めているプログラミング学習教材について紹介する。

理系・芸術・文系を融合した プログラミング教育の提案

これまで筆者らは、数学や工学的な題材が中心の従来のプログラミング教材に、LED やモータを制御することでアートや手芸の作品を生み出す要素を加えるなどの工夫を試み、成果を報告してきた⁴⁾。これらの教材では、プログラムの結果が物理的なモノとして見られるという点が、学習者のプログラミングへの興味を喚起するのに有効に働いた。しかし、一方で、LED やマイコンボード、工作素材を用意する必要があり、電子工学の知識も必要で、どの教室でも実施可能というわけではない。

ビッグデータが溢れる現在、それを読み解き、問題解決に役立てることが重要視され、大学においてはデータサイエンス教育強化の取り組みがなされている。このような点を背景に、筆者らはデータを画面上でいつもとは違う視点で「見られる、触れるものとする」、つまり「データの視覚化」を行うプログラムを中心に、教材を開発することとした。

自分の収集したデータやさまざまな組織が公表しているデータを感性に訴えるユニークな手法で表現するという動機は、どのような分野に興味を持って

いたとしても、プログラミングを学ぶ意欲へと繋がる。自分や他人さらに社会の問題解決に役立つものを目指して、そこにデザインの要素、人の情緒や感性に訴える表現性を考案し、プログラム制作を通して、創造性を発揮する学びのプロセスとなる。それを Web コンテンツとして容易に公開できれば、意欲はさらに強化されるだろう。撮影した写真を SNS にアップロードして人に見てもらうような感覚で、制作したプログラムを「こんなもの作ったよ」と見せて自慢するような姿も想定する。

劇作家で大学教授、学長でもある平田オリザ氏は、理系・芸術・文系を融合した人材育成の重要性を説いている。筆者らの意図するところはそれと重なるもので、平田氏は「演劇を作る」学習でそれを行うのに対し、筆者らは「プログラムを作る」学習を通して理系・芸術・文系を融合した教育を目論む。

プログラムでデータ視覚化を行う意図

一口にデータ視覚化といっても、それには大きく3つの段階があると考えられる。図-1は、世界でのモバイルとデスクトップとタブレットの利用者の割合に関するデータを3つの段階で視覚化したものである。データは文字や数値情報の列としてまとめられることが多く、表はそのようなデータの第一段階の視覚化と言える(図-1 Step1)。次に表データをグラフとして表すことで、より見やすくデータを捉えら

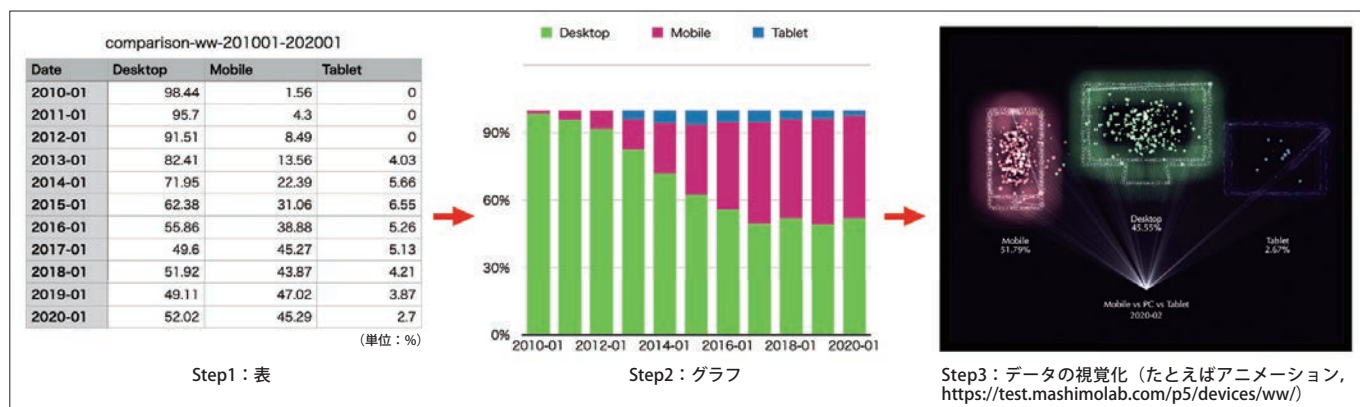


図-1 データ視覚化の3つの段階 - Desktop vs. Mobile vs. Tablet Market Share (<https://gs.statcounter.com>)

- 【解説】 ジェンダーインクルーシブなプログラミング教材の開発—視覚化を通してデータを感じるプログラミング—

れる表現になる (図 -1 Step2). そのために Excel の持つグラフ化機能に加え, Infogram^{☆2} や Google Data Studio^{☆3} といった高度な視覚化ツールが存在する.

ここまでは, データをあるがままにシンプルに表現したにすぎない. 一般的なグラフとは違うかたちでデータを見せる, 人の感性を刺激する創意でデータの持つ意味を伝える, つまりインフォグラフィクスとしての表現が最後にくる (図 -1 Step3)^{☆4}.

Step2 は, 使うツールの機能の範囲内での工夫になり, 今までと違う新しい視点で情報をデザインして美しく見せたり, 動きやインタラクションを組み込んだりすることができない. ここでいよいよプログラミングを学ぶ必要性が実感できる. 情報の意味をインパクトのあるかたちで伝え, データをどう感じさせるか, ユニークな視覚化を探る点が学習動機の向上につながると考える.

プログラミング学習教材の構想

開発を進めているプログラミング学習教材は, 大きく3つの部分からなる: (1) プログラミング基礎の学習 (2) 視覚化を助けるミドルウェアライブラリ (たとえば, データ正規化, イージング^{☆5}などの動きの効果) (3) 実際のサンプルプログラム (触ると動くインフォグラフィクスを描くプログラム, 図 -2 参照). 扱うデータは, 幅広い分野から選択し, 学習者が元々興味があった分野に限らず, 新規な視点を発見できるようにする.

これらを組み合わせて, 授業を構成することで, 学習者の興味分野やレベルに合わせた授業の展開が可能となる. 学習者はプログラミングを学ぶことで, 自分の表現力, 創造力を駆使した「作品」を公開することを目指す.

☆2 <https://infogram.com/>

☆3 <https://supermetrics.com/product/data-studio>

☆4 <https://test.mashimolab.com/p5/devices/ww/> (図 -1 「データ視覚化の3つの段階」の Step3).

☆5 イージング (Easing) とは速度に緩急をつけること.

プログラミング環境としては, グラフィック描画用関数群の充実, Web ブラウザ上でただちに結果が見られ, 発信できる点を考慮し, Processing (Processing Foundation) を元に開発された JavaScript のライブラリ p5.js を採用する.

データ視覚化のサンプルプログラムの例として,

- 気象情報 (気温, 湿度, 風速など) を視覚化
 - SNS のアクセスデータを視覚化
- などを考えている.

□ 学習のステップ

学習教材では, ステップを踏んで学習を進められるように構成する. 簡単なプログラム例として, 図 -2 のようなシンプルなインフォグラフィクスの描画がある. このプログラムは, 人口や小学生, 大学生, 衆議院議員などの男女比を順次円の塗り分けで表示し, 個数の違いでその意味を考えることを意図している. さらに, マウスで触ると円の大きさがブルブルと変化する動きを加え, 「データを感じる」効果を狙った.

はじめからこのような描画を目指すのではなく, そこへ至るまでに, 表 -1 に示すように, 1 個の円を描くところから始め, 順番に目に見える表現や機能を加えながら, 対応するプログラミングの基礎的要素の学習を進める.

さらに, 表 -1 に示した学習後の次のステップとし

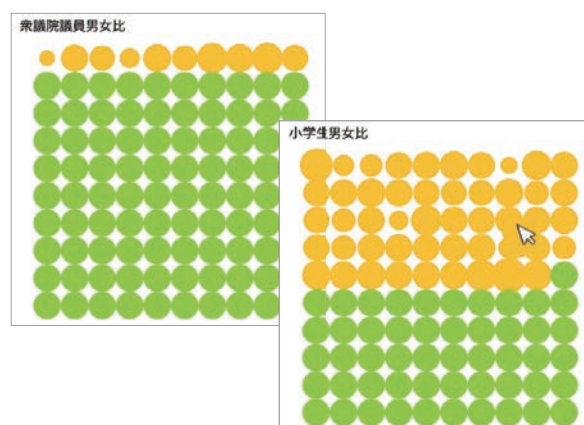


図 -2 データ視覚化のシンプルな例 (女子黄色, 男子緑色で, マウスで触ると円が揺れる仕様)



て、学習者の独自の着眼点を取り入れたプロジェクト（課題制作）を行うことを想定している。どのようなデータを選択するか、どう表現するか、どうプログラムとして実現するかなど、主体的な学びを誘発する。そして、結果を共有することで、「演習問題」を解くのと異なる効果が期待できる。

高校の情報科では「プログラミング」と「情報デザイン」は別の単元で構成されているが、それらを融合する学習内容とすることで、プログラミング学習への意欲が高められると考える。

□ 学習効率を念頭においたライブラリの開発

高度で美しいデータの視覚化は、それ自体がブ

ログラミング学習のモチベーションを高める1つの要素として期待できる。しかし、これを実現するには、プログラミングの基礎的な技術のほかに、ファイル入出力やデータの構文解析、3Dグラフィクス、アニメーションなど複数の知識・技能の習得が必要となり、学習の量とそれにかかる時間が増大してしまう。

そこで本プロジェクトでは、少ない学習量でデータ視覚化を実現できるライブラリを用意し、興味のある範囲に集中してプログラミングできるよう検討している。

たとえば、図-3のサンプルは、statcounter.comから提供されるCSVデータを元に、10年間のソー

表-1 学びのステップ

作成するプログラムの動き	プログラミングの学びの要素
1. 円を1つ描く	定数、変数、関数呼び出し
2. 円を10個横に並べて描く	繰り返し(for)
3. 10行10列に並べて円を描く	繰り返しの入れ子
4. 1列だけ色を変える	条件分岐(if)
5. データに応じて、円の色を変える	数値計算、数値の標準化
6. マウス操作で、表示するデータを切り替える	イベント処理、関数の定義
7. マウスで触ると円が揺れる	クラス定義による機能のモジュール化

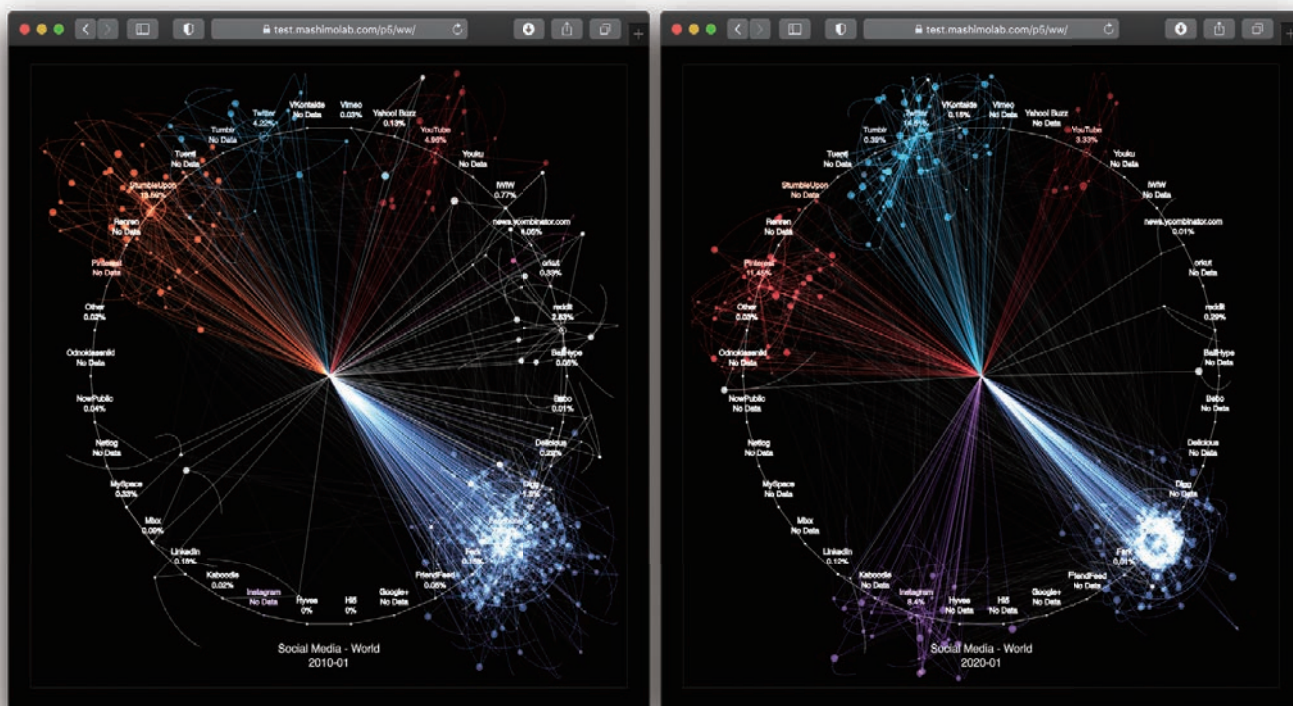


図-3 10年間のSNSのユーザ獲得率データを視覚化した例（実際はアニメーション）
<https://test.mashimolab.com/p5/sns/ww/>

-【解説】ジェンダーインクルーシブなプログラミング教材の開発—視覚化を通してデータを感じるプログラミング—-

ソーシャルメディアのユーザ獲得率を視覚化したものである^{☆6}。2010年から2020年までのソーシャルメディアのユーザ数の変遷の様子が、飛び交う粒子の密度の変化から直感的に分かる。図左は視覚化したアニメーションから切り出したもので2010年1月の様子を表す。右下のFacebook（青）や左上のStumbleUpon（橙）が優勢で、右上のYouTube（赤）が伸び始めている。図右は2020年1月のもので、右下のFacebook（青）、左上のTwitter（水色）、Pinterest（薄赤）、下側のInstagram（紫）が優勢であることが分かる。

このサンプルでは、複数のCSVデータファイルの入力と構文解析、データの正規化、物理運動の計算、データと描画オブジェクトの紐付け、アニメーションをプログラムによって実現している。これらの各過程をライブラリモジュールとしてまとめ、それを利用することで、視覚表現やデータ解析などそれぞれ関心のある部分に集中してプログラミングできるよう目指す。

ファイル入出力やデータ構文解析、物理演算などのライブラリは、インターネット上にも広く存在する。しかし、多くの場合、汎用性を念頭においているため、パラメータの数が多く、初心者は全容を理解しにくく、どう使うのかを把握するための学習時間が長くなりがちである。本教材では、プログラミング学習の入門段階においても高度なデータ視覚化が容易に可能となるよう、少ない学習時間で各過程を連携し理解できることを第一義に、開発を進めている。

^{☆6} <https://test.mashimolab.com/p5/sns/ww/>, <https://test.mashimolab.com/p5/sns/jp/>, 図-3「10年間のSNSのユーザ獲得率データを視覚化」の世界版と日本版のアニメーションを公開中。

提案する教材への期待

数学が得意でなくても、ゲーム好きでなくても、文系科目が向いていると思っていても、プログラミングを学びたいという意欲が湧く教材の開発を目指している。「面白かった!」と思う学びの先に、広くIT分野での女子の活躍、参画が高まることを期待する。

参考文献

- 1) Aivaloglou, E. and Hermans, F. : How is Programming Taught in Code Clubs? Exploring the Experiences and Gender Perceptions of Code Club Teachers, Proceedings of the 19th Koli Calling International Conference on Computing Education Research Article No.: 22, 1-10 (2019).
- 2) Corneliussen, H. and Tveranger, F. : Programming in Secondary Schools in Norway : A Wasted Opportunity for Inclusion, GenderIT, 175-182 (2018).
- 3) 情報サービス産業 基本統計調査, 情報サービス産業協会 (2021), <https://www.jisa.or.jp/Portals/0/report/basic2020.pdf>
- 4) 吉田智子: 手芸制作を通して楽しくプログラミング学習, 情報処理, Vol.57, No.10, pp.1024-1027 (Oct. 2016), <https://www.ipsj.or.jp/magazine/9faeag0000005a15-att/5710peta.pdf> (2021年8月18日受付)

この教材開発は、基盤研究(C):ジェンダーインクルーシブなプログラミング教育教材の開発と普及[課題番号:21K0279, 代表者:有賀妙子]の助成を受けています。

吉田智子 (正会員) tyoshida@notredame.ac.jp

京都ノートルダム女子大学教授。オムロン(株)、テクニカルライターなどを経て、2000年から現所属に。立命館大学大学院修了。情報教育に従事。

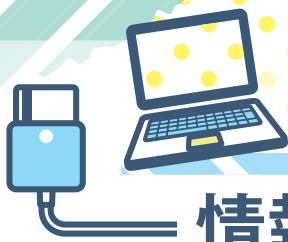
有賀妙子 (正会員) tariga@dw.doshisha.ac.jp

同志社女子大学学芸学部メディア創造学科特任教授。大阪大学大学院博士課程修了。博士(情報科学)。情報デザイン、プログラミングの教材開発研究を行ってきた。

真下武久 mashimo@seian.jp

成安造形大学芸術学部芸術学科准教授。情報科学芸術大学院大学メディア表現研究科修了。インタラクティブアートの分野を中心に研究、作品発表等を行う。





連載



情報の授業をしよう！

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

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

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

基
般

ピクトグラムを用いた横断的な授業実践

～情報の科学的な理解と情報デザインの融合を目指して～

柴田謙一 | 愛知県立一宮西高等学校

新学習指導要領に向けて

2022年度からいよいよ新学習指導要領へ切り替わる。共通教科「情報」は「社会と情報」「情報の科学」の選択必修科目から、必修科目「情報Ⅰ」と選択科目「情報Ⅱ」へと移行する。2003年度から始まった教科「情報」もいよいよ第3ステージへと進もうとしている。情報Ⅰは「(1) 情報社会の問題解決」「(2) コミュニケーションと情報デザイン」「(3) コンピュータとプログラミング」「(4) 情報通信ネットワークとデータの活用」の4つで構成されており、本稿ではこのうち「(2) コミュニケーションと情報デザイン」を見据えた、情報の科学的理解と情報デザインの融合を目指した授業について報告する。本実践では、ピクトグラムという題材を通して、「(1) 物事を抽象化する」「(2) 分かりやすいデザイン作成する」「(3) アナログをデジタル化する」という3つの力を育成することを目指した。情報Ⅰの「(2) コミュニケーションと情報デザイン」

においては、「メディアとコミュニケーション手段および情報デザインに着目し、目的や状況に応じて受け手に分かりやすく情報を伝える活動を通して次の項目を身に付けることができるよう指導する」とこととされている。情報を伝える手段や方法はいろいろと考えられる。コンピュータを用いたデジタル的な手法や、手紙などアナログな手法も考えられる。また、それらを行う際の情報量の制約や紙の大きさなどの前提条件も考える必要がある。授業では、ただピクトグラムを作成するのではなく、与えられた条件のもとで作成することで、情報デザインの考え方や方法を活用する力を身に付けるとともに、情報の科学的な理解を深めることを目的としている。

授業の実践

授業の展開および事前学習内容

本稿で紹介する授業は、愛知県立一宮西高等学校の普通科1年生8クラス321名を対象とし、普通教

科「情報」の共通科目「情報の科学」において2時間(47分×2)かけて実践したものである。ここで2時間分の授業計画を表-1に示す。

1時間目には、まずピクトグラムについて説明する。生徒はピクトグラムを見た経験はあるが、その意味や歴史的経緯については知らないことが多いので、ピクトグラムがただの絵ではなく、言語や文化を超えて理解できる視覚記号であることを強調して説明する(図-1)。本授業を実践した令和3年度は東京オリンピックが開催されることもあったので、1964年に行われた東京オリンピックからピクトグラムが作られるようになった経緯を含めて説明することで、生徒の興味関心を高めることができた。

次に、学校施設や部活動など、学校に関連する施設等を表すピクトグラムを考え、ラフスケッチの作成を行う。その際、後にデジタル化することを伝え、制約がある中でどう表現すればいいかを考えさせる。また、情報デザインの考え方として、相手に理解してもらうにはどのようにデザインすればいいのかを、デザインの中心に据えるように伝えた。その後、方眼紙(32×32)にデジタル化することを考慮した下書きを作成する。

2時間目には、まず画像のデジタル化および色に関する説明を行う。従来の授業では、これらの授業を終えた後にピクトグラムのような課題に取り組むことが多かったが、今回はあえてピクトグラムの作成と並行して説明を行った。方眼紙のマスの数や色数に制約を設けた理由を実習を交えながら考えさせることで、情報の科学的な理解を深めるきっかけとした。

■表-1 授業計画

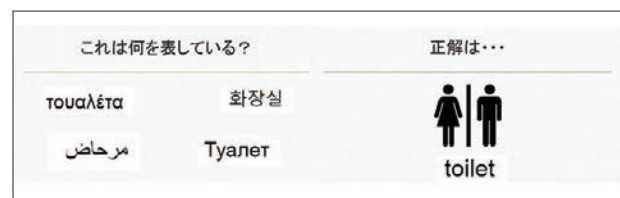
時間	内容
1時間目	<ul style="list-style-type: none"> ・(全体) ピクトグラムについての説明 ・(個人) ピクトグラム化する対象の選定およびラフスケッチの作成 ・(個人) 方眼紙にラフスケッチを転記
2時間目	<ul style="list-style-type: none"> ・(全体) 画像のデジタル化および色に関する説明 ・(全体) 情報量に関する計算演習 ・(グループ・個人) 小グループを構成し、お互いの作品について協議および作品の修正 ・(個人) 作品のデジタル化 ・(個人) 振り返り

次に、情報量に関する計算演習を行った。事前学習ですでに情報量の計算は学習済みであるが、その段階では解像度や階調に関する学習をしていないので、これらの要素を含めた問題を出題した。その後、前時に作成した下書きをもとに小グループでお互いの作品について協議を行う。協議結果を踏まえて修正した作品を方眼紙のマス目を塗りつぶすことでデジタル化を行う。完成した生徒から作品制作を通して学んだことや気づいたことを振り返り、ワークシートにまとめさせた。なお、本授業を実施する前に、情報の表し方(アナログ・デジタル、情報量、進数表現、論理回路)とコンピュータでのデジタル表現(進数の計算、文字コード)についての授業を実施している。

ピクトグラムのラフスケッチ

過去にピクトグラム作成の実習をした際の反省点として、「絵を描く」ことに夢中になってしまい、美術的な意味でこだわってしまう生徒が一定数出てしまうことが挙げられる。また、絵を描くことに苦手意識が強い生徒は、実習の前からやる気を失う傾向が見られた。そこでラフスケッチ(図-2)に入る前に、制限時間内に必ず完成させることと、ピクトグラムは、視覚記号であって、美術作品ではないことを強調するようにした。ラフスケッチの記述欄を小さくすることは、こだわりすぎたり、やる気をなくさせないようにする意味でも必要であると考えた。

ラフスケッチの完成後、作品が「(1) シンプルである」「(2) 分かりやすい表現である」「(3) 視認しやすい」「(4) 国際的である(文化・言語の壁がない)」という4つの点について満たしているか自己評価を行わせた。特に「(2) 分かりやすい表現である」に



■図-1 ピクトグラム説明の導入スライドより

については、後のグループ協議で見る人によって捉え方が異なり、自分にとっての分かりやすさが、他者にとっての分かりやすさと同じとは限らないことに気付くきっかけになったと考える。

情報量に関する計算演習

情報量に関する計算については、本授業の直前に期末考査で出題しており、理解度は比較的高いはずだった。しかし、**図-3**に示す問題文のように、新しい用語（ピクセル、解像度、階調など）が加わることで、何を求めればいいのか分からなくなる生徒が想像以上に多かった。大学入学共通テストでは、学習内容を横断した形で問題が出題されることが想定されるので、このように一度学習した内容について形を変えて再度取り組む意義は大きいと考える。

また、自分が作成しているピクトグラムがどのくらいの情報量で表すことができるのかを計算することで、情報量と表現の幅がトレードオフの関係であることを体験的に気付かせることができた。

(2) 企画 (Plan)

① 私の描んだピクトグラム

② まずはワフスケッチで右側の枠内にデザインしてください。

③ すべての人に分かりやすいか、自己評価チェックします。

- シンプルである。
- 分かりやすい表現である。
- 視認しやすい。
- 国際的である (文化・言語の壁がない)。

④ ピクトグラムで表現する際に、工夫した点や、苦労した点を説明してください。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A																										
B																										
C																										
D																										
E																										
F																										
G																										
H																										
I																										
J																										
K																										
L																										
M																										
N																										
O																										
P																										
Q																										
R																										
S																										
T																										
U																										
V																										
W																										
X																										
Y																										
Z																										
a																										
b																										
c																										
d																										
e																										

■図-2 ワークシート (ラフスケッチ部分)

グループ協議とデジタル化

4~5人で1グループとして、作品を相互に検討した。先に触れたように、生徒は自己評価と他者の捉え方に差があることに気付くことができた。たとえば、部活動でラケットを用いる競技のピクトグラムを作成した場合、ソフトテニス・硬式テニス・バドミントン・卓球との違いを明確にする必要がある。加えて、その違いは、その競技に携わったことがない人間でも分かるものである必要がある。グループ協議を通じて、見方や捉え方が1つではないことに気付かせることができた (**図-4**, **図-5**)。

授業の振り返り

生徒の振り返り例

本授業では、ワークシート上で2度、振り返りのタイミングを設けた。1度目はピクトグラムの下書きを作成した段階で、2度目はデジタル化が完成した段階である。それぞれの段階での生徒の記述例は以下のとおりである。

前提条件

- ・解像度：縦横 32 ピクセル
- ・色数：2階調 (白=0, 黒=1)

問 上記の条件でデジタル化した際、マス目1つにつき、何ビットの情報量が必要か、また、縦横 32 ピクセルの入力欄全体の情報量は何バイトになるか答えなさい。

■図-3 情報量の計算問題



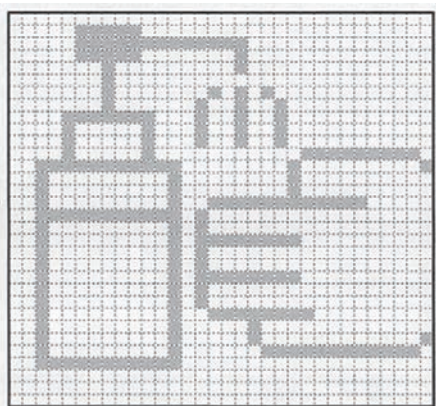
■図-4 グループ協議の様子

下書き段階での記述例

- バドミントンのラケットだとテニスとの区別がつかず、分かり辛いと思ったので、あえてラケットは使わず、特徴的なシャトルを用いました。しかし、今思うと羽子板も似たような形をしているので、シンプルかつ誰にでも分かりやすい表現というのは難しいと思いました。(作品：バドミントン)
- 人が歌っているのを単純化して表すのに苦労した。また歌っている感じを出すために顔を少し上向きにした。(作品：音楽室)
- 「会話」という点が分かればいいので、顔の細かい部分をなくして口だけにして、シンプルなデザインを心がけた。「食事中」ということが分かるようにスプーンとフォークを入れた。(作品：黙食)
- 自分が作ろうと思っていた作品は曲線が多かったので、デジタル化することを考えるとあまり細かくしない方がよいと思い、デザインするとき気を付けるようにした。(作品：テニス部)

デジタル化完成段階での記述例

- できるだけ曲線部分を曲線に見えるように意識した。また、左右がきれいに対象になるように左右のバランスを意識して丁寧にデジタル化した。(作品：剣道部)
- シンプルさを伝えることの両立を意識するようにしたがアルコールが出てくる様子を表現することが難しかった。(作品：消毒)
- 情報量の制約があるので、頭をデジタル化する



■図-5 デジタル化した生徒作品例(消毒)

ると丸みがなくなってしまう、表現したいと考えていたこととずれてしまうことが難しかった。(作品：保健室)

下書き段階では、ピクトグラムの特徴を捉えながらデザインすることの難しさを感じている生徒が多かったように思う。特に、生徒にとってのシンプルさと、こちらが求めるシンプルさに大きな差があり、どうしても細かな表現にこだわってしまう生徒が多かったように感じる。机間指導の際、「これは何を表しているの? 今回のテーマに絶対に必要?」と問いかけながら、極力不要な要素を減らすように指導した。また、自分にとって分かりやすいことと、相手に伝わる表現は必ずしもイコールではないことに気付いたと思われるコメントも見られた。「相手に理解してもらえるデザイン」という情報デザインの基本的な考え方に、生徒は体験的に気付くことができたと考える。

作品をデジタル化する段階になると、ラフスケッチの際には気付かなかった曲線の表現の困難さに直面する生徒が多数いた。デジタル化を通して、情報量と表現の幅の関係について体験的に気付くことができたと思われる記述も見られた。

今後の課題

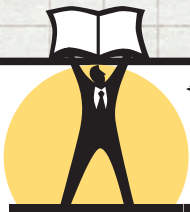
生徒は今回の授業を通して、与えられた条件のもとでピクトグラムを作成することで、情報デザインの考え方や方法を活用する力を身に付けるとともに、情報量とデザインの関連について、体験的に情報の科学的な理解を深めることができた。今後は図形の表現手法の違いやデータの圧縮など、さらに幅広く連携させた授業を検討し、実践していきたい。

(2021年9月7日受付)



柴田謙一 (正会員)
shibata2826@aichi-c.ed.jp

愛知県立一宮西高等学校教諭(情報科)。2008年情報科教諭として愛知県に採用。愛知県立尾西高等学校を経て、2021年より現任校で勤務。



Rethinking Engineering Education The CDIO Approach (Second Edition)

E. F. Crawley, J. Malmqvist, S. Öestlund, D. R. Brodeur, K. Edström 著
Springer (2014/4/11), 14,229 円 (税込), 327p., ISBN: 978-3-319-33081-5

学校に送られてきた令和4年度以降向け高等学校情報Ⅰの教科書見本をパラパラとめくると記載されている項目の多さ、深さに驚かされるとともに、大学入学共通テストで情報が導入されることを鑑みると大学教育は変わらなくてはならないのだと実感した。工学教育は変革の時期にある。

産業界での即戦力育成を担う工学教育だが、時代とともに理論を重んじ、実践で役立つ技術教育に割く時間が減少した。社会で必要とされる理論、技術の変化に加え、学習しなくてはならない理論の種類も増加したためだ。その結果産業界が必要とする人材を教育界が育成することが難しくなってきたと言われている。産業界のニーズと大学教育にミスマッチが起こっているとも言われている。理論と実践のバランスは難しく、理論に傾いた教育を実践寄りと呼び戻し、実践を根源とした理論教育を行おうという動きがCDIO (Conceive, Design, Implement, Operation) イニシアティブの活動であり、その成果がCDIO教育シラバスおよび評価基準である。

Rethinking Engineering EducationはCDIO教育の考え方や、シラバス、評価基準、評価方法を解説した書である。CDIO教育は、ビジネスを含めた製品仕様を考え、設計、製造し、それを運用するフローを通して「工学の基盤知識となる理論」と「実践・スキル」をバランス良く学習しようという工学教育の枠組みである。情報の分野におけるCDIO教育は、ソフトウェア開発が主であるため適用しやすく、アプリケーション分野を工夫すれば学生でも運用まで

経験ができるため有効な教育手法と言える。

近年PBL教育 (Project Based Learning (問題解決型学習もしくは課題解決型学習) : 学生が自ら問題を見つけ、その問題を自ら解決する能力を身に付ける学習方法) を導入している学校は多い。CDIO教育はPBL教育と近い考え方のように思えるかもしれないが、大きな差が存在する。CDIO教育は企業で役立つ人材育成を主目的としているため、整備されたシラバスが存在し、評価方法も定義されており、育成する人材像が明確となっている。CDIO教育ではシステムや製品の企画 (Conceive)、設計 (Design)、製造 (Implement)、運用 (Operation) までの企業での業務内容すべてを含む教育が行われると言っても過言ではない。特にCDIO教育の中で実施される運用は優れたカリキュラムである。単に作成されたシステムと、継続的動作について検討され設計されたシステムの間には大きな差がある。授業では機能を満たしていると合格となるが、企業での製品開発となるとそうはいかない。簡単なシステムであっても適正な設計基準において止まることなく動作させること、種々多様な人々が使用しても正しく動作させることなど運用を通してシステム設計、製造で考慮しなくてはならないキーテクノロジーを学ぶことができる。

私個人としてはCDIO教育のゴール設定が非常に気に入っている。CDIO教育のゴールの1つは「研究と技術開発が社会に与える重要性和戦略的影響を理解する」であり、単にシステムを作れる人を育て

ようという考えではなく、新しい技術で社会に影響を与えるシステムを作成できる研究者、開発者を育てようという意思が感じられる。システムを作れることと、システムに新しい技術を入れて優れたシステムを作れることは同値ではなく、技術的にチャレンジするところ、コストや開発 TAT (Turn Around Time) を重視するところを判断することは難しい。この点は経験なしでは修得できない、学校の枠組みでは教えにくい個所であり、これにチャレンジしているところは画期的と言うしかない。

CDIO 教育は MIT (Massachusetts Institute of Technology) とスウェーデンの3つの大学が、工学教育を改革するための国際協力である CDIO イニシアティブを結成したのが始まりで現在日本では複数の高専が加盟をしている。高専は実践を重んじる教育を行っており、CDIO 教育と非常に相性が良いと言える。ヨーロッパの工学教育の学会に参加すると CDIO 教育について議論されることも多く、世界的な取り組みとなってきたと感じている。

小学校でのプログラミング教育が始まり、大学入学共通テストで情報が導入される意味は、大学入学時点ですでに何らかのソフトウェアが作成でき、情

報の基礎を学んだ学生が大学に入学してくることであり、情報系学部では教育内容を大きく変えざるを得ないのではないかと思う。より高度な内容を教えることが可能となり、教える立場から考えると喜ばしいことであるが、何をどう教えるか？ どんな人を育てるか？ は1度ゆっくり戦略を立ててもよいのではないかと思っている。研究者を育てるのが大学の使命なのか？ 産業界で役立つ人を育てるのが使命なのか？ GAFA^{☆1}のような世界を席卷する企業を起業する人を育てるのが使命なのか？ それをも包含する人物像があるのか？ 本書は考えるヒントを提供してくれる良書ではないかと思う。

(2021年9月6日受付)

☆1 米国のIT(情報技術)関連企業大手4社(Google, Apple, Facebook, Amazon)の頭文字をとって名付けられた造語

袖美樹子(正会員)

sode@neptune.kanazawa-it.ac.jp

日本電気(株)在籍中 ACOS, 地球環境シミュレータ等のスーパーコンピュータの開発に従事。ルネサスエレクトロニクス(株)移籍後、R-Carなどの自動車向けLSIの開発に従事。現在、バス停など身近なものをIoT化しエッジコンピューティングにより見守りなどの生活基盤として活用する研究に従事。工学博士(早稲田大学)。IEEE, 電子情報通信学会, アジア交通学会等会員。





連載

ビブリア・トーク
— 書評 —

… 石井一夫 (公立諏訪東京理科大学)

イラストで学ぶ 人工知能概論 改訂第2版

谷口忠大 著

講談社サイエンティフィク (2020), 2,860円 (税込), 352p., ISBN: 978-4-06-521884-6



本書と人工知能に関する書籍を概観する

人工知能ブームはここ数年続いており、人工知能に関する書籍はたくさん出版されてきた。今回取り上げる「イラストで学ぶ 人工知能概論 改訂第2版」もその中の1つである。人工知能とは人間の知能の仕組みをコンピュータで模倣したものとされる。人工知能に関する書籍は、この人間の知能の仕組みを広く捉え、教師なし学習、教師あり学習、ディープラーニングを含む人工知能に関連する事項を網羅的に紹介した書籍と、ニューラルネットワーク、深層学習にフォーカスして、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) やリカレントニューラルネットワーク (RNN) などの最新技術を詳細に説明する書籍とに分けられる。

本書は、前者にあたる人工知能に関連する事項を網羅的に紹介したもので、大学の初学年で教えられる人工知能の導入を意識して書かれたものである。大学では、14回を一区切りとして半年間の講義が実施されることが多いが、それに合わせた14章分の内容に加え、まとめにあたる章と、ベイジアンモデリングとニューラルネットワークの章の計3章を補足した17章の構成になっている。本書全体を大まかに見ると、探索アルゴリズム、ベイジアンアルゴリズム、機械学習 (教師なし学習、教師あり学習)、深層学習、自然言語処理、記号論理に関する内容について、それぞれ数章に分けて広く浅く紹介する内容である。著者が「古典的な記号的人工知能」と呼んでいる探索アルゴリズムから、最新の深層学

習に至る歴史的な流れに沿って、人工知能全体を把握できる内容となっている。本書は、仮想的なロボット「ホイールダック2号」を主人公に、そのロボットにいろいろなAI手法を実装しながら進化していくというストーリーになっているところが面白い。

したがって、本書は、人工知能の全体像をざっくりと把握したい初学者や、そのリテラシーを身に付けたい学生や技術者に向く書籍である。統計学や統計モデリングに関する事項は触れられていないので、それについては他書で学ぶ必要がある。また、AIの各手法について、Pythonなどのプログラミング言語を使って実装するということが含まれていない。それぞれの章は広く浅く書かれているので、各章ごとに詳細を知りたい場合は、そこからより専門的な書籍を紐解く必要がある。実際、そのような参考文献も挙げられている。

本書を元に人工知能の全体像を概観する

そこで本書を元に、人工知能の全体像を概観し、整理してみよう。本書の内容は、大きく3つの部分に分かれる。(1) 探索アルゴリズムとその応用 (2~5章)、(2) ベイジアンアルゴリズムとその応用 (6~10章)、(3) 機械学習と深層学習、およびその応用 (自然言語処理と記号処理) (11~16章) である。以下、章ごとに内容を見ていく。

第1章「人工知能をつくり出そう」では、人工知能の概念と歴史が描かれている。特に、探索手法やエキスパートシステムに基づいた人工知能を「古

き良き AI」と呼び、「記号的人工知能」と定義している。これと、2000年以降の機械学習や、2010年以降の深層学習とを対比的に捉えて描いているところが興味深い。

第2章から第5章は、筆者が、「古き良き AI」ないし「記号的人工知能」と呼んでいる探索アルゴリズムの説明であり、他の講義では「データ構造とアルゴリズム」という名前で開講されている事項を含んでいる。探索アルゴリズムのうち第2章「探索(1)：状態空間と基本的な探索」では、「深さ優先探索」と「幅優先探索」が紹介されており、第3章「探索(2)：最適経路の探索」では、コスト推定値や予測評価値などの各種指標に基づく最適探索（ダイクストラ法）、裁量優先探索、A*アルゴリズムが紹介されている。第4章「探索(3)：ゲームの理論」では、利得に基づいて行動を選択するゲーム理論について紹介されており、これにはゲームAIのモンテカルロ木検索が含まれる。第5章「計画と決定(1)：動的計画法」では、時間軸のある多段階の意思決定問題を取り扱う動的計画法について紹介されている。

第6章から第10章は、事象を確率論的に捉えて処理するベイジアンアルゴリズムの説明であり、その応用である強化学習や、ベイズフィルタ、粒子フィルタを含んでいる。第6章「確率モデル(1)：確率とベイズ理論の基礎」では、ベイズの定理を中心としたベイジアンアルゴリズムの基礎的事項が述べられている。第7章「確率モデル(2)：確率論的生成モデルとナイーブベイズ」では、確率論的生成モデルとグラフィカルモデル、マルコフ決定過程などの生成過程、およびそれらの応用であるナイーブベイズモデルによるスパムメールフィルタについて述べられている。第8章「計画と決定(2)：強化学習」では、試行錯誤を通して報酬を得ることで学習していく過程をモデル化した、マルコフ決定過程に基づいて定式化される強化学習について述べられている。第9章「状態推定(1)：ベイズフィルタ」

では、状態推定概念とそのアプローチである部分観測マルコフ決定過程、およびその手法としてベイズフィルタ、カルマンフィルタなどが紹介されている。第10章「状態推定(2)：粒子フィルタ」では、モンテカルロ近似にもとづくモンテカルロ法による、粒子フィルタについて紹介されている。

第11章から第16章は、機械学習と深層学習を概観し、その応用である自然言語処理と記号論理が紹介されている。第11章「学習と認識(1)：クラスタリングと教師なし学習」では、機械学習における教師なし学習として、クラスタリング、隠れマルコフモデル、主成分分析、独立成分分析、オートエンコーダなどが紹介されている。第12章「学習と認識(2)：パターン認識と教師あり学習」では、機械学習における教師あり学習の手法の解説がされている。たとえば、データを訓練データとテストデータに分けて実施する交差検定や最小二乗法、勾配降下法、線形回帰、一般化線型モデル、交差エントロピー誤差関数などである。第13章「学習と認識(3)：ニューラルネットワーク」では、ニューラルネットワークと深層学習（畳み込みニューラルネットワーク、リカレントニューラルネットワークを含む）が解説されている。第14章「言語と論理(1)：自然言語処理」は、機械学習と深層学習（11章～13章）の応用にあたる。自然言語処理の要素技術について、形態素解析、構文解析、意味解析の概要を述べた後、one-hotベクトル、Bag-of-Words、系列変換、エンコーダ・デコーダ・アーキテクチャなどの個別技術が解説されている。第15章と第16章は、論理的推論に関する章で、ほかの章に比べて独立性が強いが、離散数学に関するもので、アルゴリズムを理解する上で重要なものである。本書のまとめを理解する上で補足的に添えられている。第15章「言語と論理(2)：記号論理」は論理記号を用いて論理関係を表現する記号論理学の概要であり、16章「言語と論理(3)：証明と質問応答」は論理式を用い

た導出と反駁^{はんぱく}による証明と質疑応答について述べている。

第17章「まとめ：知能を『つくる』ということ」では、この本全体で、物語の主人公として行動してきたロボット「ホイールダック2号」の進化の経緯と、この本で語られた人工知能の各手法とを関連づけて、本書で取り上げられた各手法がまとめられている。この中で、人間の知能の発達は物体の視覚的認識、言語の認識を経て論理思考に至ったのに対し、人工知能の発達は離散数学における論理思考から始まり、テキスト処理である自然言語処理や、画像認識、音声認識に至るという逆の経路をたどったと捉えているところが興味深い。最後に、深層学習から先の「自律的知能」を作れるのか、についてはこれからの課題という形で締めくくられている。

本書を誰に薦めるか

すでに述べたように本書は、人工知能に関連する

事項をざっと概観する本であり、人工知能の数式的な詳細の理解や、コーディングによる実装には向かない。大学初学年で人工知能についての大枠を掴むのに役に立つ書籍である。あるいは人工知能の全体像をざっとおさらいしたい研究者に向けた本である。リテラシーという点では、個々の用語の説明に関して説明不足と思われるものも少なくないので、これらの用語は他書やWebで確認した方が良い。読み物としては面白いので、勉強するというよりは、楽しむというスタンスで読む本である。

(2021年6月22日受付)

石井一夫 (正会員)

kishii@rs.sus.ac.jp

公立諏訪東京理科大学工学部情報応用工学科教授、久留米大学医学部内科学講座心臓・血管内科部門客員准教授。専門分野：ビッグデータ分析、計算機統計学、データマイニング、数理モデリング、機械学習、人工知能。医療ビッグデータ、気象ビッグデータ研究に従事。2015年度情報処理学会優秀教育賞受賞、日本技術士会フェロー、APEC エンジニア、IPEA 国際エンジニア。



【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（12月号の場合）の受信メールに従って、電子図書館から特集のpdfをダウンロードする。

- 件名：情報処理 2021年12月号（Vol.62, No.12）「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





John Jumper et al. :

Highly Accurate Protein Structure Prediction with AlphaFold

Nature 596(7873), 583-589 (2021)

タンパク質のカタチ

「タンパク質」にどのようなイメージをお持ちだろうか。三大栄養素の1つであることから容易に推量できるように、タンパク質は生物を構成する主要な要素の1つであり、ヒトの場合、皮膚や毛髪、筋肉のみならず、昨今耳にする機会も多い抗体に至るまで、タンパク質で構成されている。

タンパク質は、さまざまな物理化学的性質を持つ(主に)20種類のアミノ酸と呼ばれる構成単位が鎖状に連なった高分子であり、タンパク質の種類ごとに固有のアミノ酸「配列」を有している。例外もあるが、多くのタンパク質は、生理的条件下で天然状態と呼ばれる固有の立体構造をとって機能している。天然状態は、タンパク質の種類ごとに実にさまざまな構造である(図-1)が、1972年ノーベル化学賞を受賞した Anfinsen の研究^{☆1}により、天然状態を規定する情報がタンパク質のアミノ酸配列に書き込まれていることが示された。以来、アミノ酸配列か

☆1 <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1972/summary/>

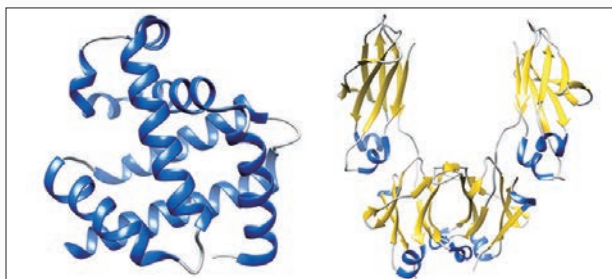


図-1 ヒトの持つタンパク質の例. 左) ミオグロビン [PDB* ID : 3rgk], 右) 免疫グロブリン (抗体) [PDB* ID : 4wi6] (* <https://www.wwpdb.org>)

らのタンパク質立体構造予測は、生物学上の重要な課題の1つである。

長年にわたるタンパク質立体構造観測データの蓄積や計算生物学の発展に伴い、タンパク質立体構造予測法の性能を客観的に評価するための国際的な実験 CASP (Critical Assessment of Techniques for Protein Structure Prediction) が1994年から隔年開催されている。昨年開催された第14回目の CASP14^{☆2}において、attention を利用した画期的な手法 AlphaFold 2 (紹介論文の表記に従い、以降一部を除き AlphaFold と表記) が発表され、今年になりその詳細が明らかになった。この手法では、立体構造を予測したいタンパク質のアミノ酸配列と、後述する MSA および鋳型構造から計算される特徴量を入力とし、立体構造(水素を除く原子座標)とアミノ酸単位での予測精度が計算される。以下ではまず、この手法についての理解を深めるため、いくつかの予備知識を紹介する。

MSA

現在自然界に存在するタンパク質は、長い進化の過程を経て祖先タンパク質から派生してきたものと考えられる。たとえば、図-1に示したミオグロビンという種類のタンパク質1つをとっても、同様の働きをする似たタンパク質がほかの生物種にも広く存在することが知られている。MSA (Multiple Sequence Alignment) は、こうした類縁タンパク

☆2 <https://predictioncenter.org/casp14/>

質のアミノ酸配列の集合を、アミノ酸単位で対応づけて整列したものである(図-2)。これにより、タンパク質上の各位置における、進化過程でのアミノ酸種ごとの出現傾向を知ることができる。この出現傾向は、たとえば溶媒と接するタンパク質表面には親水性アミノ酸が好まれる、などといった立体構造上の制約を反映していると考えられ、立体構造予測にとって大きな情報を与え得る。実際、これまでもMSAの利用により、二次構造と呼ばれるタンパク質の部分的な規則構造の予測精度向上がもたらされている。現在、さまざまな生物種のゲノム解読が進んでおり、解読されたゲノムにコードされているタンパク質のアミノ酸配列の情報を用いて、任意の対象タンパク質に対して、大量の類縁タンパク質からなるMSAを計算することが、多くの場合可能である。

鑄型構造

先述した共通祖先タンパク質から派生してきたと考えられる類縁タンパク質は、その立体構造も相互に似ている。また多様なタンパク質の構造データの蓄積に伴い、共通祖先から派生してきたものか否か明瞭ではないタンパク質同士の間にも立体構造の類似性が認められる例も少なからず見つかる一方、新規立体構造「発見」の割合は年々減少している。こうした観測を背景に、現在では、自然界に存在する大部分のタンパク質の立体構造パターンはかなり限られるという見方が支配的になっている。実際、既知立体構造を鑄型として用いた構造未知タンパク質

のモデリング(異なる種類のアミノ酸に共通する主鎖構造を既知立体構造から借用し、アミノ酸種に固有の側鎖構造を対象のものに変換する)も多くの場面で有効なものとなっている。

AlphaFold

AlphaFoldは、その名称から連想される通り、DeepMind社によって開発された手法である。AlphaFoldはその前処理の段階で、予測対象タンパク質に関するMSAの計算と鑄型となり得る構造の検索を行い、それらの情報を入力として利用している。ここで読者は、なぜこの手法が画期的と言えるのか、疑問に思うかもしれない。この問いに対する答えは、最終章で紹介する。

AlphaFold本体部分のネットワークは、前後半の2つに大きく分けられる。前半部分はEvoformerと呼ばれる同等の48ブロックから成り、対象タンパク質は、MSAを構成するタンパク質数 s ×対象タンパク質の配列長 $r \times c$ (チャンネル数=256)サイズのテンソル(MSA representation; 以降MSA表現)および $r \times r \times c$ (チャンネル数=128)のサイズのテンソル(pair representation; ペア表現)で表現される。ここでペア表現は、立体構造上での任意の2つの位置の近接性を表すのに利用される。要素の初期値は0で、前処理の段階で同定された鑄型構造の情報から計算される特徴量がattention networkによって変換され、ペア表現に追加される。各ブロックでは、MSA表現とペア表現が相互に影響を及ぼしつつ複数のレイヤで処理され、各レイヤ

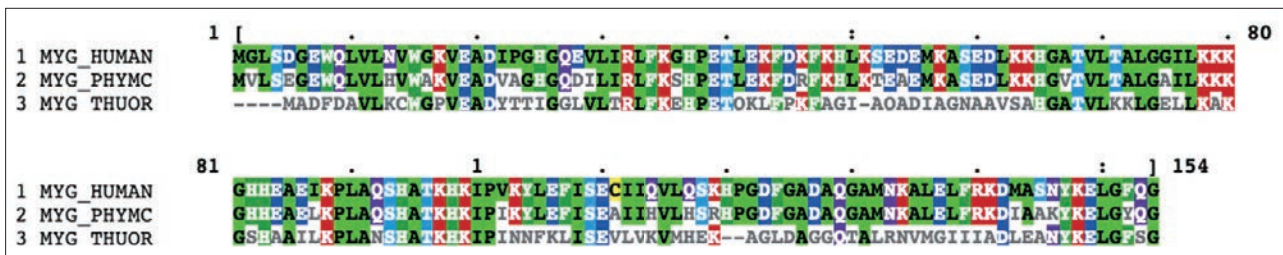


図-2 ミオグロビンのMSAの例。上段) ヒト, 中段) マッコウクジラ, 下段) クロマグロのミオグロビンのアミノ酸配列

の出力が残差接続により各々の表現に追加され、両表現が更新される。これを次のブロックの入力とし、合計 48 ブロックの計算を通して、それら表現が改善される。後半部分では、前半で改善されたペア表現および MSA 表現の 1 行目の線形射影により求められる $1 \times r \times c$ (チャンネル数 = 384) のテンソルを入力として、各アミノ酸の原子座標情報に相当する (原点からの) 並進と回転ベクトルの組みが計算される。後半部分およびネットワーク全体の双方で、実際の立体構造と出力 (座標) との差を反映させた損失関数を用いてモデルの学習を行っている。

予測精度とその効果

これまでの予測法は、既知立体構造を鋳型として用いたモデリング、あるいは MSA を利用したアミノ酸ペアの立体構造上での近接性予測のいずれかに大きく依拠したものがほとんどであった。両アプローチを統合し、かつ本格的に attention を利用したのはおそらく AlphaFold 2 (2018 年に開催された CASP13 で発表された AlphaFold はアミノ酸ペアの立体構造上での距離予測に基づいていた) が初めてである。従来法では、タンパク質のコア領域と呼ばれる類縁タンパク質で保存された領域以外についての予測精度に問題があったが、AlphaFold ではこの点も克服されているようである。AlphaFold は大量配列データと既知立体構造情報を利用した深

層学習モデルであり、従来法に比べ、帰納的予測の及ぶ範囲を格段に拡大したと言える。これは同時に、大部分のタンパク質の立体構造パターンはかなり限られるという従来の仮説が妥当であることも示唆している。

AlphaFold の出現により、多くのタンパク質について非常に正確な立体構造モデルが得られるようになった (DeepMind 社はそのデータベースを公開している^{☆3})。これにより、タンパク質間あるいはタンパク質と薬剤候補分子などの相互作用に関する研究が一層促進されるものと考えられる。ただし、AlphaFold であってもすべてのタンパク質について正確な立体構造を予測できるという訳ではない。今後、実験あるいは計算機による立体構造決定や予測は、AlphaFold により正確な立体構造モデルが得られないタンパク質中心に行われていくようになるのかもしれない。現在の生物学では、大量情報が利用可能な分野が多くあり、AlphaFold の成功に刺激を受け、今後タンパク質以外の分野でも深層学習の利用が一層活発になるであろう。

(2021 年 9 月 7 日受付)

☆3 <https://alphafold.ebi.ac.uk>

富井健太郎

k-tomii@aist.go.jp

1998 年京都大学大学院理学研究科博士後期課程生物科学専攻修了。博士 (理学)。生物分子工学研究所 (BERI) および UC Berkeley ポスドクを経て、2001 年産業技術総合研究所研究員、2008 年同主任研究員、2012 年同研究チーム長。



連載

★ Jr.

先生、質問です！



金子雄介
[正会員]

「情報処理学会」は、なぜ「情報学会」とは呼ばないのでしょうか？



歴史的経緯によるのです。

皆さんは「情報」と聞けば、高校教科「情報」からしても、コンピュータのことであり、インターネットのことであり、もはや生活の一部になったしまったスマホを使ってやりとりしている、さまざまな「情報」のことだと思ってしまうでしょうね。

でも、私が中学生・高校生のときにはコンピュータなど遠い遠い世界のことでした。「情報」といえば、10年ほど前に始まったテレビに流れる番組で FBI (連邦捜査局, Federal Bureau of Investigation) や CIA (中央情報局, Central Intelligence Agency) がマフィアやスパイの暗躍の様子を電話回線を盗聴したり押収した書類から抜き出したりして得る「秘密情報」(secret information) を意味していました。

まさにその時代に、コンピュータのもたらしつつあった新しい科学技術の広がりに着目した UNESCO が、世界中の国々から研究者・技術者を集めて国際会議を開きました。1959年6月のことです。この国際会議の表題が「情報処理」(International Conference on Information Processing) だったのです。UNESCO の勧告もあって翌1960年1月に、12カ国の参加を得た国際組織 IFIPS (International Federation of Information Processing Societies) が発足しました。それぞれの参加国は、この新分野を担う組織一たとえば、学会一を1つ定めて、それらの組織をこの国際組織の会員とすることになりました。

日本国内にはまだこの分野の科学技術を主対象とする学会がなかったことから、UNESCO 主催の国際会議から参画してきた山下英男東京大学教授が中心となって IFIPS の会員となる学会 IPSJ (Information Processing Society of Japan) を誕生させました。1960年4月のことです。「Information Processing」を「情報処理」と訳出することにして、正式名称を「情報処理学会」とする学会が誕生したのです。

古くからの学問分野では、数学 (Mathematics) に対する日本数学会 (The Mathematical Society of Japan)、物理学 (Physics) に対する日本物理学会 (The Physical Society of Japan)、化学 (Chemistry) に対する日本化学会 (The Chemical Society of Japan) など、学会の名称は学問分野名を冠したものになっています。IFIPS が作られたとき、その対象となる学問分野を表す言葉はまだ生まれていなかったのです。実際、現時点で IFIP (当初の名称から Societies が省かれたものになっています) の会員となっている各国の組織名称を見ても、Computer Society が多数を占め、Information Processing Society と称しているのはカナダと日本だけとなっています。つまり、情報処理を中核とするこの学問分野を表す名称は、いまだに確定していません。

米国では、この学問分野に Computer Science, Computer Engineering という名称を使っています。これに対して Informatics という名称を使おうという流れもあります。

日本でのこの分野に対する国立研究所は、国立情報学研究所 (NII, National Institute of Informatics) です。つまり、研究対象分野を「情報学」(Informatics) と称しているのです。情報処理学会は、情報学を対象とする学会なので、教科「情報」を学んだ皆さんが社会で活躍するところには日本情報学会 (The Informatical Society of Japan) と改名することになるかもしれませんね。



笈 捷彦

[名誉会員]

東京通信大学



「先生、質問です！」
への質問はこちら



<https://www.ipsj.or.jp/magazine/sensei-q.html>

Info-WorkPlace 委員会企画「お届けInfo」

今年度もやります！ 全国大会の“デリバリー” —デリバリー会員を募集します—

坊農真弓 | Info-WorkPlace 委員会委員長／国立情報学研究所

2021年度からの新しい試みとして、情報を“デリバリー”してくださるボランティアの方を募ります。ボランティアの方には、以下の担当をお願いします（担当希望者多数の場合は抽選とさせていただきます。当選はこちらからの連絡をもってかえさせていただきます）。

•速報メールデリバリー担当（5名募集）：

大会後3日以内に、メールで発表のサマリーを送ります（オーダーを出したカスタマー会員とのメールでのやりとりが必要です）。

•note記事デリバリー担当（5名募集）：

大会後3カ月以内に発表をレポートし、ブログ形式にまとめます（発表者との事前連絡と、note記事公開前の確認などのやりとりが必要です）。

申込：大会共通聴講参加申込時（2021年12月）にマイページから申込ができます。

詳細・お申込みは
こちら



https://www.ipsj.or.jp/info_delivery.html

第84回情報処理学会 全国大会イベント企画
お届けInfo
オーダー受付期間：大会プログラム開示から2022年2月末まで
IPSJ全国大会期間：2022年3月3日（木）～5日（土）

選べる3つのデリバリータイプ

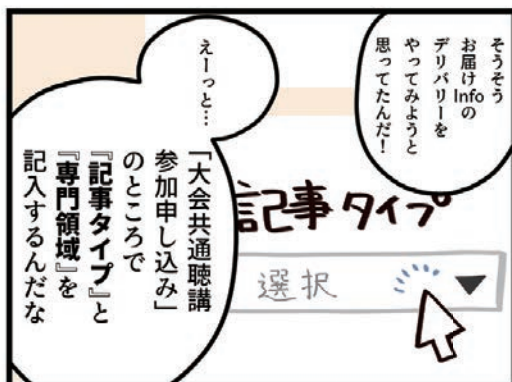
ビデオデリバリー	速報メールデリバリー	note記事デリバリー
発表録画を配信します 3日以内に届きます (50件募集)	メールで発表のサマリーを送ります 3日以内に届きます (5件募集)	ブログ形式で発表概要を掲載します 3ヶ月以内に掲載します (5件募集)

このイベントを企画している Info-WorkPlace 委員会は、ダイバーシティ社会を活性化するために育児中・介護中といった様々なライフイベントの只中にある会員をサポートする活動に取り組んでいます。

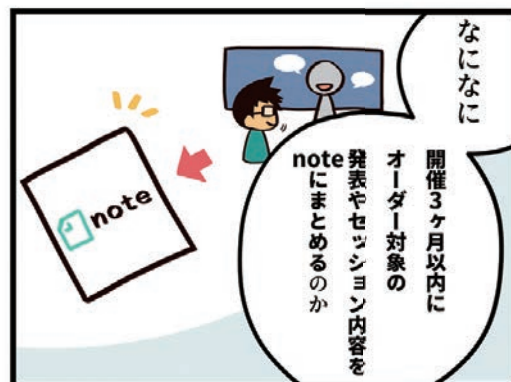
デザイン：木塚あゆみ

お届けInfoとは、学会で発表されたできたてほやほやの情報や知識を、有志の取材をしてくださる会員（以下、デリバリー会員）がその場の臨場感とともに、学会会員の皆さま（以下、カスタマー会員）のお手元にお届けするサービスです。家族のイベントで参加できない、家族の病気やさまざまな事情があって参加できない……。このようなカスタマー会員のアクセシビリティを確保します。

誰かの為に自分の知識を!編



いざ!デリバリーデビュー!編



※1, 2: 2021年10月時点の開催形態を記載しています。最終的な開催形態は第84回全国大会 Web サイトをご確認ください。



「情報通信ネットワーク」の例題

♡ 13



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年9月15日 10:41



プログラミング例題を2回掲載してから、少し間が空いてしまいました。今回は、プログラミングから離れて、新課程「情報I」の4つ目の分野「情報通信ネットワークとデータの活用」から、「情報通信ネットワーク」に関する問題を紹介します。情報通信ネットワークの試験問題というと、すぐにIP アドレスとか、プロトコルとか、伝送技術とか、サブネットマスクとか、と考えがちですが、そればかりではありません。

紹介する例題は、2019年に開催された高校教科「情報」シンポジウム [1] (ジ

ヨーシン) で発表したものです。この例題は、2022年度から実施される高等学校の新しい学習指導要領「情報I」の教員向け研修教材の第4章の学習18と学習19 [2] に対応して、個別入試を想定して作問したものです。少し読みやすく改題して解説します。

単なるネットワークの技術的な知識の有無を問うのではなく、ネットワークの構成全体の仕組みを問う問題ですが、通信の中継機器などの機能を理解していることが必要になります。具体的には、ネットワークが構成された状況からどのようにデータが流れていくかを考えること、そして今の時代、ネットワークには有線と無線の両方がありますので、それらを合わせてネットワークのつながりを理解できているかを問うています。

■例題

家庭内で、ネットワークの設計の条件を考えて構成図を見て、データがどこを通るのか、何かできないトラブルがあったときに問題となる個所を見つけられるかという例題です。いわゆる「ケーブル屋さん」が考えることですが、家庭内でよく起きることでもあります。

では、問題を見てみましょう。

【問題1】 以下の説明を読み、設問に答えよ。

Mさんの自宅には、図-1 のような家庭内ネットワークが構築されている。玄関のそばに光ファイバの引き込みがあり、通信事業者の接続装置Aが設置されている。Aと廊下を通じて、ブロードバンドルータ兼用の無線 LAN ステーションBが有線 LAN でつながっている。廊下とリビングを隔てる 1 階の壁があまり電波を通さないので、Bから壁のダクトを通してリビング内の無線 LAN ステーションCまで有線 LAN でつないであり、リビングではこのCを使っている。家族が使う無線プリンタDもリビングにある。2階へは階段沿いにBの電波が通るが、2階の個室には十分通らないので、2階へ上がったところに無線 LAN リピータE（無線の端末とステーションが一緒になったもの）が設置してある。

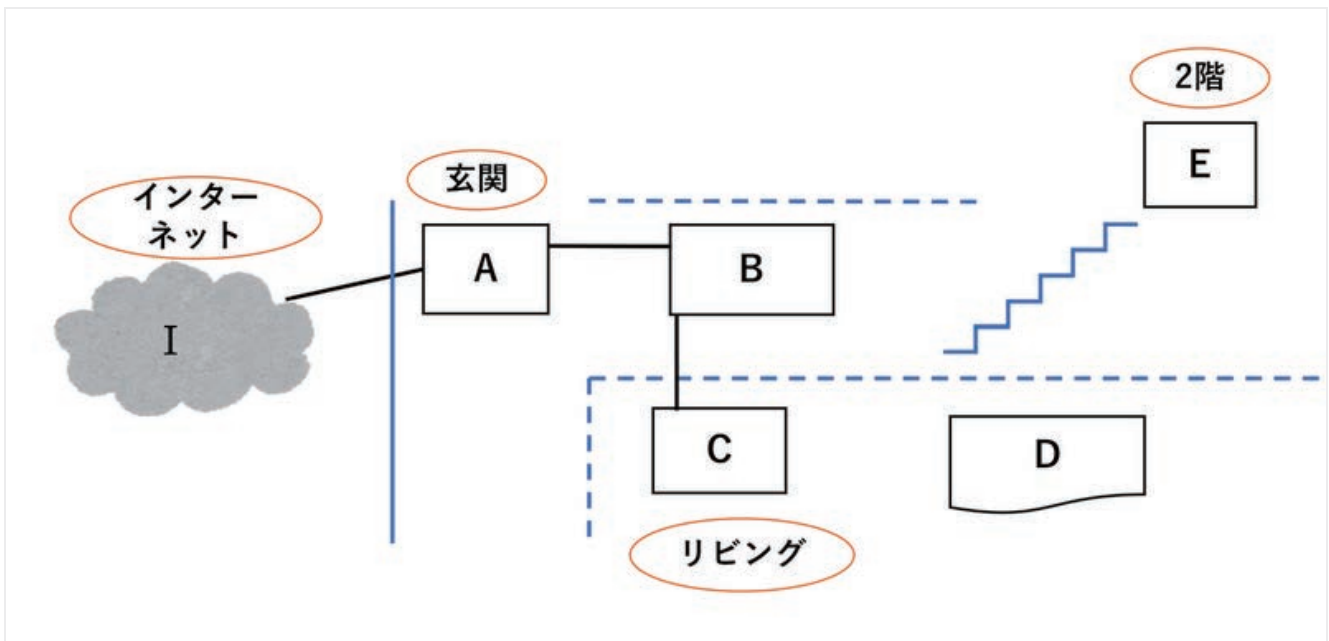


図-1 Mさん宅の家庭内ネットワーク

問1：次の (a) から (c) の状況でネットワークを使ったとき、ユーザが使っている機器 (X, Y, Z) から相手先までの経路を、アルファベットを並べて示せ。ただし、インターネットなど家庭外の機器類はすべてまとめて「I」で示すものとする。

- (a) リビングのソファに座っている父が、タブレットXを使ってインターネット配信の動画を見ているとき。
- (b) Mさんが2Fの自室のパソコンYからリビングのプリンタDに出力するとき。
- (c) Mさんの弟Nくんが、2階の自室から無線LANだけ使えるタブレットZで、2階の隣室でパソコンYを使っているMさんとSNSのチャットをしているとき。

問2：Mさんの家では、小型犬を飼っていて、機器の電源を引っ張って抜くということがしばしば発生する。次の(a)から(c)のケース（どれも別の日）において、電源の抜けている機器（1つだけとする）はどれか答えよ。

- (a) リビングのソファでは無線 LAN だけが使えるタブレットでネット検索ができているが、Mさんの自室だとできない。
- (b) Mさんの自室で無線 LAN だけが使えるタブレットからリビングのプリンタに出力できるが、ネット検索ができない。
- (c) Mさんの自室からもリビングのソファからも無線 LAN が使えるタブレットでネット検索はできるが、プリンタには出力できない。

【問1】

ネットワークを使ったときに、データがどの機器を通過して流れるかを問うものです。それぞれの状況を図で説明していきましょう。

(a) 図-2のように、リビングにいるお父さんのタブレットXの電波は、まずCにつながります。あとは、インターネットを利用していることから、CからB→A→Iとデータは流れます。

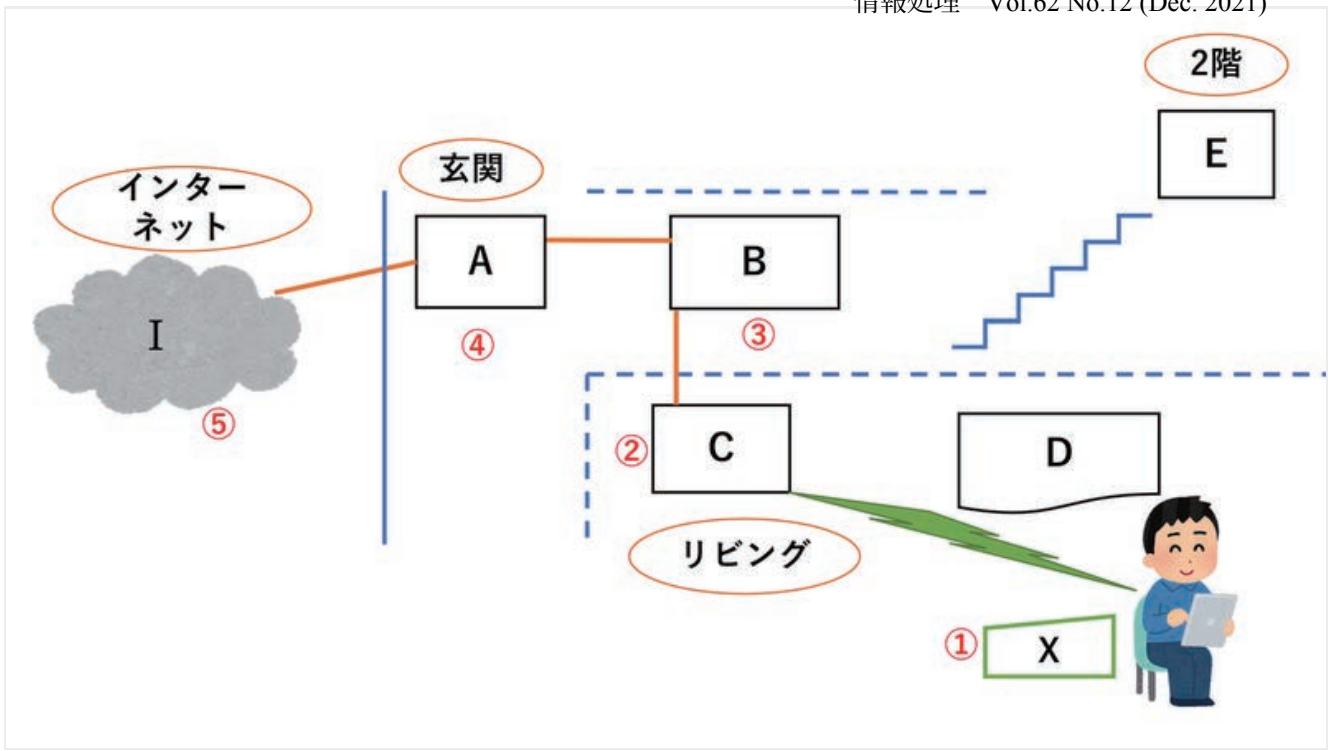


図-2 タブレットXからインターネットIへの接続順

(b) 図-3のように、2階にいるMさんのパソコンYは、2階のEにつながります。インターネットを利用していることから、Eは、1階にあるBとつながり、リビングにあるCを介してDにつながります。

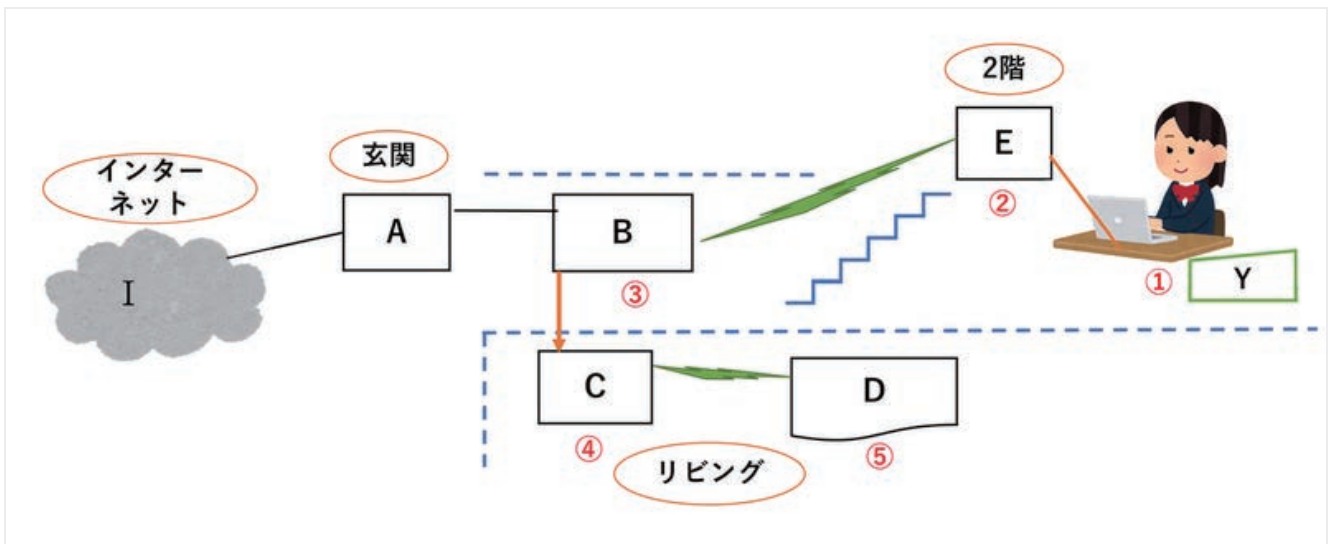


図-3 パソコンYからプリンタDへの接続順

(c) 図-4のように、2階にいる弟NさんとMさんは、直接つながるのではなく、インターネットのチャット機能を利用しているので、一度インターネットまで流れてやりとりをすることになります。したがって、(b)とおなじように弟Nさんのタブレットは、2階のEから1階のBにつながり、A→Iとデータは流れます。そして、MさんのパソコンYに戻るには、I→A→B→Eと逆に戻ってきます。

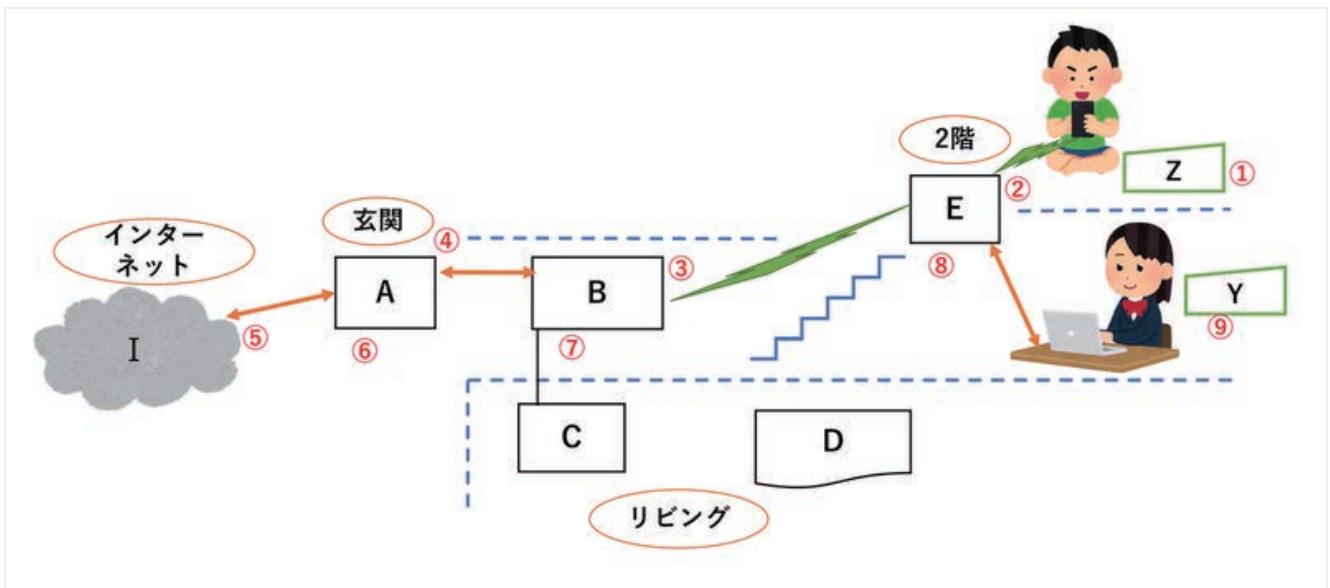


図-4 タブレットZとパソコンYとのチャットのやりとり順

[問2]

ネットワークを介して利用できないというトラブルの場所を問うものです。状況によって、ここはつながるけど、特定の機器やサービスが利用できないという、複数の状況からどこで切れているかを探り絞っていきます。この問題は、どこかの機器の電源コードが抜けているということですから、原因を探る必要はありません。

(a) 図-5のように、2階のMさんの自室から無線LAN接続のタブレット端末を使ってネット検索はできないということです。E、B、Aのどれかの電源が切れているのです。これに対して「リビングのソファでは無線LANだけが使えるタブレットでネット検索ができています」ということです。C→B→A→Iは、つながっています。つまり、いちばん近くのEの電源が切れていることになります。

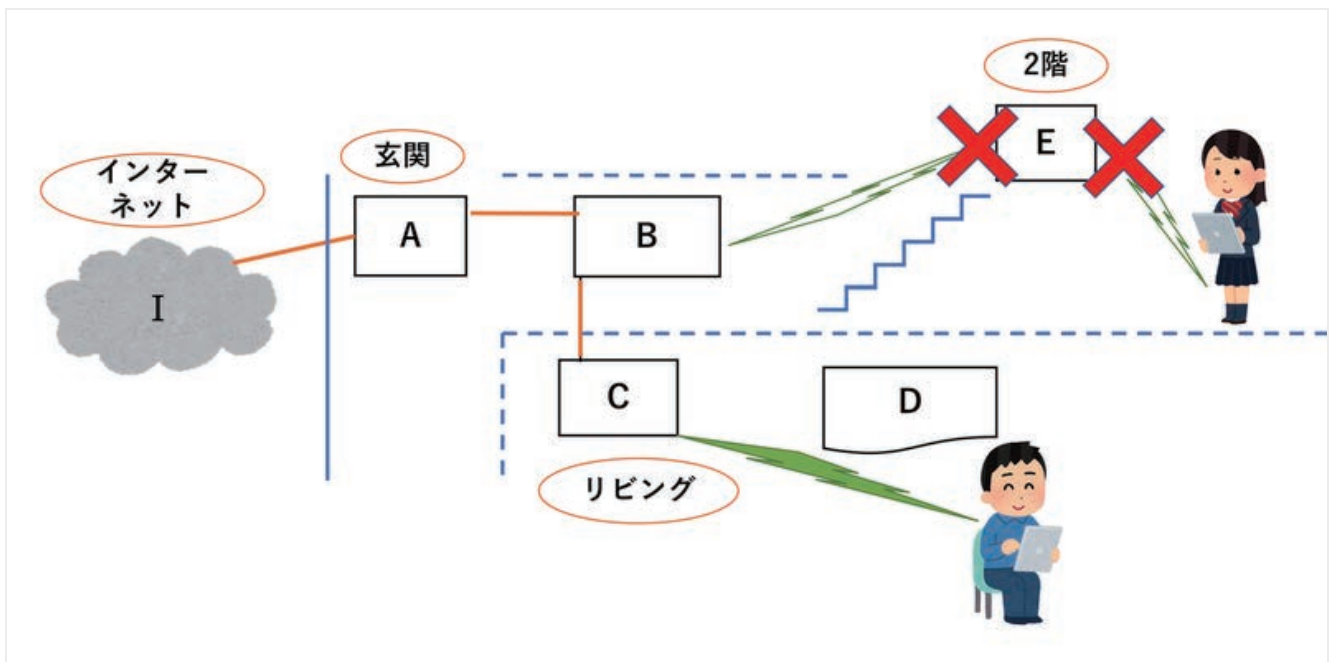


図-5 2階のタブレットから接続できない状況

(b) 図-6のように、Mさんの自室で無線LAN接続のタブレットからネット検索ができないということは、E、B、Aのどれかの電源が切れているのです。これに対して、「リビングのプリンタに出力できる」のですから、E、B、C、Dはつながっています。つまり、BからAにつながっていないので、Aの電源が切れていることになります。

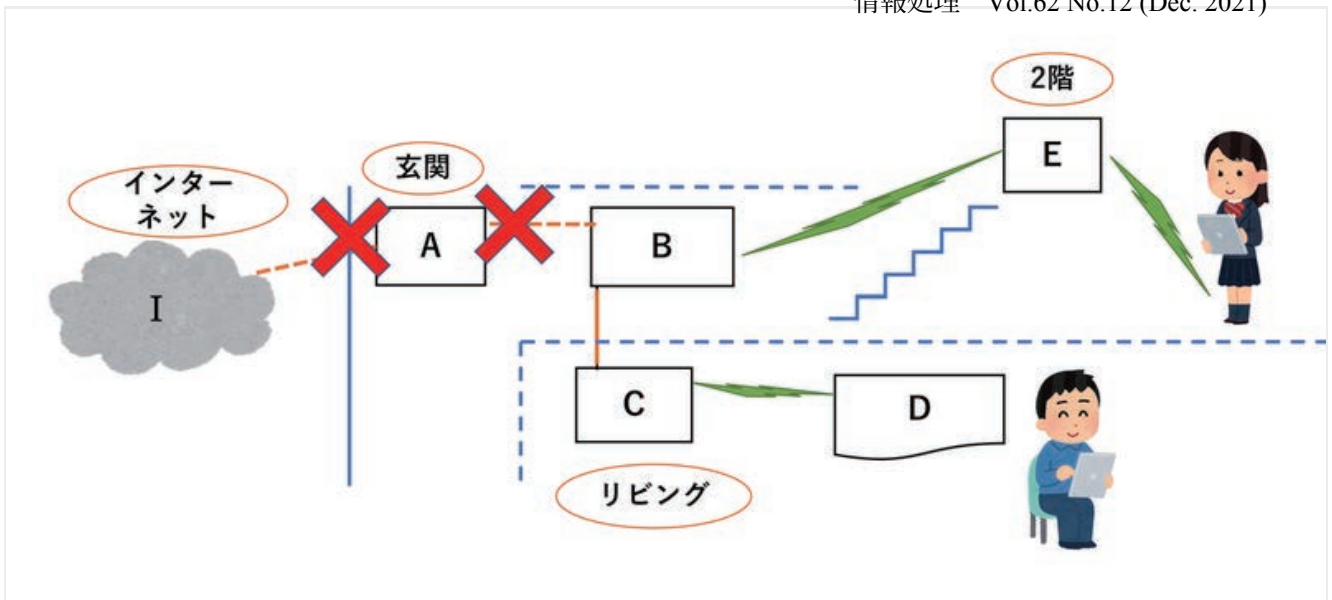


図-6 玄関の接続装置AがインターネットIに接続されていない状況

(c) 図-7のように、Mさんの自室からもリビングのソファからもプリンタには出力できないのですから、E、B、C、Dのどれかの電源が切れているのです。これに対して、どの部屋からもネット検索はできるのですから、E、B、A、Cはつながっています。つまり、プリンタDの電源が切れていることになります。

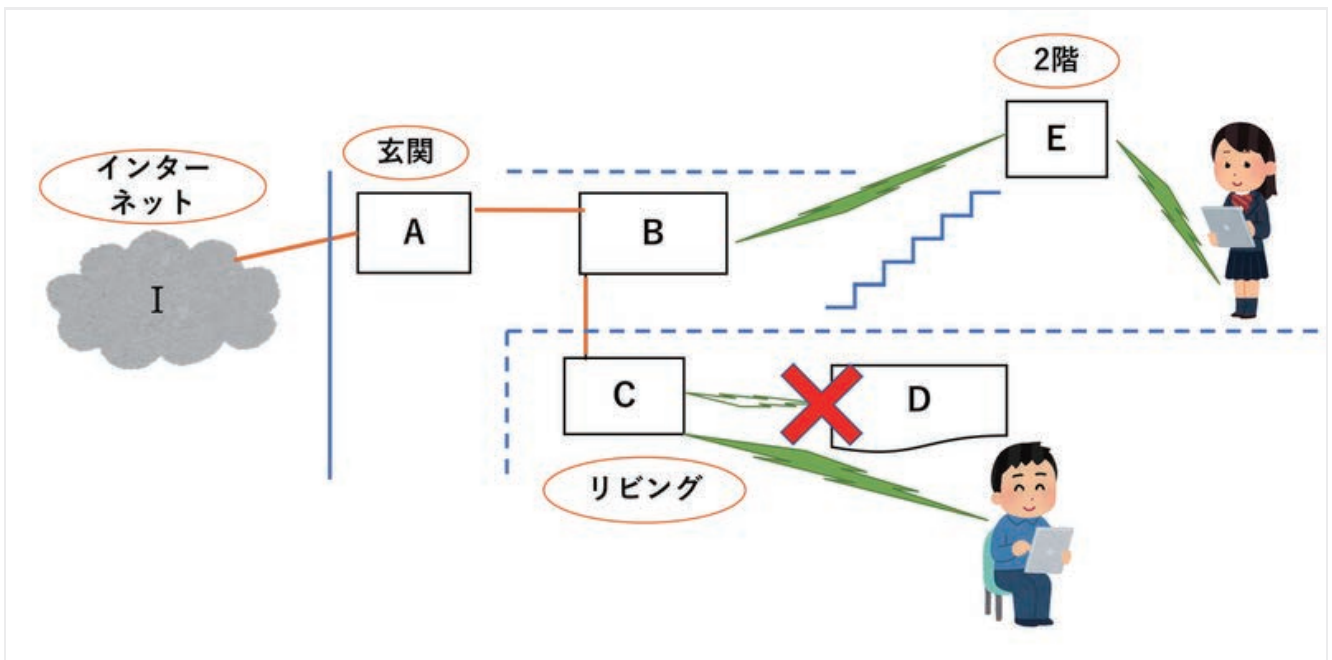


図-7 無線LANステーションCとプリンタDが接続されていない状況

いかがでしたか？ 6問ありましたが、何問解けましたか？ なぞなぞや推理問題のようなところもありますが、その考え方がネットワークの中のデータの流れやトラブルを突き止めるために役立つのです。

【問題1】 解答

問1：

- (a) X-C-B-A-I
- (b) Y-E-B-C-D
- (c) Z-E-B-A-I-A-B-E-Y

問2：

- (a) E (b) A (c) D

(情報処理学会 情報入試委員会 高橋尚子)

参考文献

- 1) 高橋尚子：高校教科「情報」シンポジウム2019 論文集, 2019, pp.53-66
(2019-10-19) .
- 2) 高等学校情報科「情報I」教員研修用教材, 文部科学省 (2019) .

(2021年7月26日受付)

(2021年9月15日note公開)

情報処理学会ジュニア会員へのお誘い

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



今月の会員の広場では、9月号へのご意見・ご感想を紹介いたします。

巻頭コラム「LGBT and beyond」

■社会的課題に関して、情報処理の視点からの主張を完投で述べてくださったことはとても有意義だと考えます。(濱 久人)

■建築・都市領域のコモングラウンドの例を示してほしかった。(鈴木広人)

報告「未踏の第27期スーパークリエイターたち」

■未踏がんばれ。(中島秀之)

■noteの記事も読んだ。発想も素晴らしいが、それを実装する能力の高さがすごい。(柴田 晃)

■今回の未踏プロジェクトについて、特集記事として実施しても良いと感じた。(ImbeTaichi)

特集「人の動きを捉え社会を動かす人口流動統計」

「0. 編集にあたって」

■人口流動統計について分かりやすくまとめていただき、ありがとうございます。もう少し踏み込んだ予測的なものについても興味がわきました。(河瀬基公子)

■もう少し詳しい情報を冊子にも掲載いただけると助かります。(濱 久人)

「1. 人流データを用いた都市の常時観測による社会・産業の高度化」

■ビッグデータに関する、最新の研究動向が分かった。(近藤 正)

■紹介しているデータと目的が不明瞭で、論旨が分かりにくい。(匿名希望)

「2. 人口流動統計の開発」

■取組に感謝するばかりである。これぞ技術者が社会に貢献すべき内容だと思います。(ITO HARUO)

■統計の活用については、特集の記事にゆだねられている。(片山敏之)

「3. 人口流動統計の都市交通調査への活用」

■新潟市の具体的な事例、図が分かりやすかった。(匿名希望)

■画像解析を活用して街中を回遊の様子を把握する手法が知りたい。(匿名希望)

「4. 視聴者に最適な『交通障害情報』を届ける」

■面白かった。マスのメディアであるが故の問題というのもあるのだなと思った。(岡本克也)

■移動時間を考慮に入れた結果を知りたい。(匿名希望)

「5. 流動を捉える人口分布統計」

■秋葉原と原宿における滞在人口を、信頼できるデータを基に性別比や年齢比により、定量的に図示していたグラフを拝見し、納得に至った。(大塚敬義)

■この記事の前半は、本特集2本目の池田氏のものとはほぼ重なっている。(片山敏之)

「6. 災害・イベント時の人口動態モニタリング」

■技術の現状がよく語られていると思います。(ITO HARUO)

■実際の発災の場合にむけて、人の動態を過去の災害から予測できるとよい。(SobueShinichi)

「7. 大規模位置情報データ連携がもたらす合理的根拠に基づく観光政策立案評価の実現」

■位置情報を定量的な根拠としていける方向は素晴らしい。(SobueShinichi)

■国・自治体の枠組みとの連携での活用に向けた課題の整理が必要かと思った。(SobueShinichi)

トピックス「2020年度研究会推薦博士論文速報」

■博士論文を、研究会の評価を経た形で紹介するのは良いことだと思う。(中島秀之)

■改善点ではないですが、この話題は、勤勉で自己主張に消極的な日本人が将来、唯一優位に立てる分野かと妄想しています。(ITO HARUO)

教育コーナー「べた語義」

「高校教科『情報』、中高年には『隔世の感』」

■近年になり新たにできた科目である情報について、年代間での認識の差を把握することは重要であると思いました。(富田雅斗/ジュニア会員)

■これまでは学生と学校職員を対象にした記事が多かったが、筆者が言うように、社会人に対するリカレント教育を扱う企画があってもよいかもしれない。(広野淳之) 「全国大会イベント『2025年実施の大学情報入試への展望』の報告」

■該当のイベントに参加できなかったため、大変参考になった。(井手広康)

■第2章のパネル討論は一部の話題の紹介であったが、他の部分も概要でよいので掲載してほしかった。(広野淳之)「学習履歴データの標準化技法— Experience API (xAPI) 編一」

■教育のオンライン化が進むにあたり、どのように標準化されるかには興味がありました。教育データは今後、ビッグデータの重要なものになる気がします。(小西敏雄)

■学習履歴データを活用した効果的なフィードバックの例を示してほしかった。(鈴木広人)

連載「情報の授業をしよう!: アプリ開発でアイデアを形に—情報II『(4) 情報システムとプログラミング』を見据えた授業実践—」

■開発したアプリを各自のスマホで動かす体験はとても良いと感じた。(笹部聖也)

■見聞き慣れない用語に注釈をつけてほしいです。(中山淳司)

学会活動報告「情報技術の国際標準化と日本の対応—2020年度の情報規格調査会の活動—」

■ISOの標準化活動もコロナの影響を受けながら継続して、大変な努力をされている状況が分かりました。また、中国の進出も著しいと感じました。(後藤正宏)

■標準化の草案作成者と、標準化会議で草案提案を認めさせる人は、その作業の特性から異なる性格の人物があたるのが国際的な考えですが、日本はその点が弱いかと存じます。(ITO HARUO)

連載「先生、質問です!」

■AIは人間の生活を豊かにするために用いられるべきだと改めて感じた。(近藤 正)

■もっと深く知りたい場合のソースもあると嬉しい。(匿名希望)

連載「ビブリオ・トーク:新企業の研究者をめざす皆さんへ」

■自身の経験に基づいて、本の有益性について端的にまとめられており分かりやすい。(笹部聖也)

■ビブリオ・トークや有名論文ナメ読みの記事の最後のページの余白とイラストにはどんな意味があるのか?と毎回、考えさせられる。スペースよりも筆者の考えをもう少し知りたいと思わせる記事が多い。(広野淳之)

連載「5分で分かる!?有名論文ナメ読み: Matej Balog et al.: DeepCoder: Learning to Write Programs」

■人間が描いたイメージから自動でプログラムを作成することがそう遠くないうちを実現するのではないかと興奮しました。今までプログラマに必要とされていた技術が、がらりと変わってくるのかもしれないと感じています。(南川智都)

■自然言語の機会翻訳とは異なり、記事でも述べられているように、入出力例のみから生成されるプログラムの正しさは検証できないと考えられる。この有名さはいつまで持つのであろうか。(片山敏之)

■オンラインミーティングにろう者が参加する場合に配慮すべきことや、Zoomで活用できる機能、当事者でないとならない苦労話などを知ることができて、大変参考になった。(匿名希望)

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

■高校生がエントリーできる大会の紹介や指導、攻略のアドバイス。(中山享司)

■起業家できた人の考え方、情報の扱い方を取り上げてほしい。(松岡弘芝)

「先生、質問です!」には以下の質問をいただきました。

■情報教育という科目が中学・高校・大学時代になかった今の大人たちは、どうやって、パソコンやネットについて学んだのですか?(広野淳之)

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。

■未踏の記事が、紙面、note、YouTube(発表会)とばらばらになっていて一体感がなく、読みにくい。(上田晴康)

「情報処理」Vol.62 No.8「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。

■受付日、再受付日、採録日の意味するところを理解できていません。(ITO HARUO)

■招待論文が企業での実際の活動の内容で、まさにプラクティスだと思う。良かった。(柴田 晃)

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。

- PDF でないと読みづらい。(SobueShinichi)
- 是非、会員は見られるようにしてほしい。(中山享司)

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。

- epub は使い勝手が悪い。(SobueShinichi)
- 読みやすく、また情報を整理する上で有用であることを期待したいです。(笹部聖也)

【本欄担当 恋塚葵, 鵜川始陽/会員サービス分野】

これらのコメントは Web 版会員の広場「読者からの声」< URL : <https://www.ipsj.or.jp/magazine/dokusha.html> > にも掲載しています。Web 版では、紙面の制限などのため掲載できなかったコメントも掲載していますので、ぜひ、こちらもご参照ください。会誌や掲載記事に関するご意見・ご感想は学会 Web ページでも受け付けております。今後もより良い会誌を作るため、ぜひ皆様のお声をお寄せください。

「情報処理」アンケート回答フォーム▶

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



2021 年度山下記念研究賞表彰（概要）

詳細は学会 Web ページ (<https://www.ipsj.or.jp/award/yamashita.html>) をご覧ください。

山下記念研究賞は、これまでは研究賞として本会の研究会および研究会主催シンポジウムにおける研究発表のうちから特に優秀な論文を選び、その発表者に贈られていたものですが、故山下英男先生のご遺族から学会にご寄贈いただいた資金を活用するため、平成6年度から研究賞を充実させ、山下記念研究賞としたものです。受賞者は該当論文の登壇発表者である本会の会員で、年齢制限はありません。本賞の選考は、表彰規程、山下記念研究賞受賞候補者選定手続および山下記念研究賞推薦内規に基づき、各領域委員会が選定委員会となって行います。本年度は40研究会の主査から推薦された計54編の優れた論文に対し、慎重な審議を行い決定の上、理事会（2021年7月）および調査研究運営委員会に報告されたものです。本年度の下記受賞者は、3月に開催される第84回全国大会で表彰されます。

[コンピュータサイエンス領域]

- **TIN 上での空間的スカイライン問合せ**
[データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2021) (2021/3/2)] (データベースシステム研究会)
笠井雄太君 (正会員)
- **動的なソーシャルネットワークにおける興味関心の伝搬を考慮した将来予測モデル**
[データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2021) (2021/3/2)] (データベースシステム研究会)
伊藤寛祥君 (正会員)
- **深層学習と遺伝的アルゴリズムを用いたプログラム自動生成**
[ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム (SES2020) (2020/9/12)] (ソフトウェア工学研究会)
倉林利行君 (正会員)
- **メソッド抽出リファクタリング推薦手法に対するメソッド名予測を用いた精度改善の試み**
[2021-SE-207 (2021/3/1)] (ソフトウェア工学研究会)
山中仁斗君 (学生会員)
- **プリフェッチ距離の性質に着目した命令プリフェッチャ**
[2020-ARC-241 (2020/7/30)] (システム・アーキテクチャ研究会)
中村朋生君 (学生会員)
- **Unikernel を用いたコンテナのためのハイパーバイザによる軽量高セキュアな実行基盤の検討**
[2021-OS-151 (2021/3/2)] (システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会)
肥沼 健君 (正会員)
- **実回路の経年速度劣化測定結果の環境変動補正手法**
[DA シンポジウム (DAS2020) (2020/9/9)] (システムと LSI の設計技術研究会)
島村光太郎君 (正会員)
- **Quantization Techniques for Small Number of Bits in Transformer based Natural Language Processing**
[2021-SLDM-193 (2021/1/26)] (システムと LSI の設計技術研究会)
丁 一君 (正会員)
- **スーパーコンピュータ Cygnus 上における FPGA 間パイプライン通信の性能評価**
[2020-HPC-173 (2020/5/12)] (ハイパフォーマンスコンピューティング研究会)
藤田典久君 (正会員)
- **適応的分割法による PARADIS の高速化**
[2020-HPC-175 (2020/7/30)] (ハイパフォーマンスコンピューティング研究会)
尾城拓真君 (学生会員)
- **フラット項書き換えシステムにおける正規形の一意性に関する性質の決定不能性**
[(2020/10/30)] (プログラミング研究会)
佐藤悠稀君 (正会員)
- **Sorting by Five Prefix Reversals**
[2020-AL-179 (2020/9/1)] (アルゴリズム研究会)
山中克久君 (正会員)
- **Towards a Functional Reactive Programming Model for Developing WSNs**
[Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform (APRIS2020) (2020/11/10)] (組込みシステム研究会)
渡部卓雄君 (正会員)
- **Classical verification of quantum computing with trusted center**
[2020-QS-01 (2020/10/16)] (量子ソフトウェア研究会)
森前智行君 (正会員)

[情報環境領域]

- **高次元データ多クラス識別問題における GBDT ライブラリの実装と改善**
[マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSW2020) (2020/11/12)] (マルチメディア通信と分散処理研究会)
藤野知之君 (正会員)
- **路側設置振動センサによる交通量推定システムの検討**
[マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSW2020) (2020/11/12)] (マルチメディア通信と分散処理研究会)
吉田 誠君 (学生会員)
- **色差を考慮した量的データ表現用グラデーションの作成ツール**
[2020-HCI-189 (2020/9/8)] (ヒューマンコンピュータインタラクション研究会)
三末和男君 (正会員)
- **在宅勤務が職場の関係性及びメンタルヘルスに及ぼす影響**
[インタラクション 2021 (2021/3/10)] (ヒューマンコンピュータインタラクション研究会)
赤堀 渉君 (正会員)
- **IoT デバイスを用いた大浴場混雑可視化システムのリリース・運用についての事例報告**
[2020-IS-153 (2020/8/22)] (情報システムと社会環境研究会)
眞鍋 悠君 (正会員)

- **網羅性を重視した学術論文に対する検索手法**
[2020-IFAT-139 (2020/7/31)] (情報基礎とアクセス技術研究会)
福田悟志君 (正会員)
 - **Occlusion aware Facial Landmark Detection based Facial Expression Recognition with Face Mask**
[2021-AVM-112 (2021/2/26)] (オーディオビジュアル複合情報処理研究会)
楊 博君 (正会員)
 - **情報の信頼性への関心を高める流言注意喚起ボットの開発**
[グループウェアとネットワークサービスワークショップ (GNWS2020) (2020/11/20)] (グループウェアとネットワークサービス研究会)
西村涼太君 (学生会員)
 - **地域コミュニティにおけるドキュメントコミュニケーションに関する一考察**
[2021-DC-120 (2021/3/26)] (ドキュメントコミュニケーション研究会)
秋元良仁君 (正会員)
 - **SD-RoF ネットワークの設計と実装**
[2021-MBL-98 (2021/3/2)] (モバイルコンピューティングと新社会システム研究会)
相浦一樹君 (学生会員)
 - **受動的かつ不完全なセキュリティログ情報を用いたネットワーク構成情報検証手法**
[コンピュータセキュリティシンポジウム (CSS2020) (2020/10/27)] (コンピュータセキュリティ研究会)
上川先之君 (正会員)
 - **スクリプト実行環境に対するテイント解析機能の自動付与手法**
[コンピュータセキュリティシンポジウム (CSS2020) (2020/10/28)] (コンピュータセキュリティ研究会)
碓井利宣君 (学生会員)
 - **遅延の傾向を反映した LSTM による列車遅延予測手法**
[2020-ITS-83 (2020/11/24)] (高度交通システムとスマートコミュニティ研究会)
辰井大祐君 (正会員)
 - **複数レシピで並行調理する際の調理環境に応じた最適調理手順作成法と評価**
[マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2020) (2020/6/25)] (ユビキタスコンピューティングシステム研究会)
中部 仁君 (正会員)
 - **行動認識ニューラルネットの理解に向けた Activation Maximization の活用に関する検討**
[2020-UBI-68 (2020/12/9)] (ユビキタスコンピューティングシステム研究会)
吉村直也君 (学生会員)
 - **分散コンピューティング基盤における宣言的構成管理の適用可能性と論点**
[インターネットと運用技術シンポジウム (IOTS2020) (2020/12/3)] (インターネットと運用技術研究会)
真壁 徹君 (正会員)
 - **教室でのオンライン講義受講のための無線接続環境評価**
[インターネットと運用技術シンポジウム (IOTS2020) (2020/12/4)] (インターネットと運用技術研究会)
石原知洋君 (正会員)
 - **日本国内における児童向けセキュリティ教材の実態調査**
[2021-SPT-41 (2021/3/2)] (セキュリティ心理学とトラスト研究会)
坪根 恵君 (学生会員)
 - **IEEE 802.19.3 Standardization for Coexistence of IEEE 802.11ah and IEEE 802.15.4g Systems in Sub-1 GHz Frequency Bands**
[2020-CDS-28 (2020/9/29)] (コンシューマ・デバイス&システム研究会)
永井幸政君 (学生会員)
 - **Smart Layer Splitter : pix2pix を用いたデジタルイラスト制作の色塗り工程における自動レイヤ分けシステム**
[マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2020) (2020/6/25)] (デジタルコンテンツクリエイション研究会)
渡邊 優君 (学生会員)
 - **ライブ配信動画に同期して点灯制御が可能な LED 表示装置の実証実験について**
[2021-DCC-27 (2021/1/25)] (デジタルコンテンツクリエイション研究会)
柳沢 豊君 (正会員)
 - **深層学習による車いす使用者向け経路探索のための路面評価に関する研究**
[2021-ASD-20 (2021/3/5)] (高齢社会デザイン研究会)
隅田康明君 (正会員)
- [メディア知能情報領域]**
- **潜在的なトピック構造を捉えた生成型教師なし意見要約**
[2020-NL-246 (2020/12/3)] (自然言語処理研究会)
磯沼 大君 (学生会員)
 - **マルチエージェント深層強化学習を用いたライドシェアのサービスエリア制御とスケーラビリティの確保**
[2020-ICS-200 (2020/9/7)] (知能システム研究会)
吉田直樹君 (正会員)
 - **未知散乱条件下での深層学習による Multi-view Stereo**
[2020-CVIM-223 (2020/11/6)] (コンピュータビジョンとイメージメディア研究会)
藤村友貴君 (正会員)
 - **空間周波数損失を用いた量み込みニューラルネットワークの学習**
[2021-CVIM-225 (2021/3/4)] (コンピュータビジョンとイメージメディア研究会)
市村直幸君 (正会員)
 - **毛のレンダリングのための効率的な重点的サンプリング**
[Visual Computing (VC2020) (2020/12/2)] (コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会)
芝池祐星君 (学生会員)

- 新入生を対象としたプログラミング入門科目におけるオンライン授業と教室授業の実践比較
[2020-CE-156 (2020/8/29)] (コンピュータと教育研究会)
鈴木大助君 (正会員)
- FPGA を用いた論理回路設計実験の遠隔実践
[2020-CE-157 (2020/11/7)] (コンピュータと教育研究会)
赤池英夫君 (正会員)
- 日本中世絵巻における性差の描き分け— IIF Curation Platform を活用した GM 法による『遊行上人縁起絵巻』の様式分析
[人文科学とコンピュータシンポジウム (じんもんこん 2020) (2020/12/12)] (人文科学とコンピュータ研究会)
鈴木親彦君 (正会員)
- 音色変動の変分モデルによる楽音生成
[2021-MUS-130 (2021/3/17)] (音楽情報科学研究会)
増田尚建君 (学生会員)
- BERT による Sequence-to-Sequence 音声認識への知識蒸留
[2020-SLP-134 (2020/12/2)] (音声言語情報処理研究会)
二見 颯君 (学生会員)
- テレビ録画とその字幕を利用した大規模日本語音声コーパスの構築
[2020-SLP-134 (2020/12/2)] (音声言語情報処理研究会)
安藤慎太郎君 (正会員)
- 欧米における侵害通知の状況と日本への示唆
[2021-EIP-91 (2021/2/19)] (電子化知的財産・社会基盤研究会)
金子啓子君 (正会員)
- Quixo の強解決
[ゲームプログラミングワークショップ (GPW2020) (2020/11/15)] (ゲーム情報学研究会)
田中 智君 (正会員)
- けん玉できた！ VR：5 分間程度の VR トレーニングによってけん玉の技の習得を支援するシステム
[エンタテインメントコンピューティング (EC2020) (2020/8/31)] (エンタテインメントコンピューティング研究会)
川崎仁史君 (正会員)
- わんテーブル：犬と人が食体験を共有するための匂い伝送システム
[エンタテインメントコンピューティング (EC2020) (2020/8/29)] (エンタテインメントコンピューティング研究会)
星野瑠海君 (正会員)
- GBDT による化合物の血液胎盤関門透過性予測
[2021-BIO-65 (2021/3/11)] (バイオ情報学研究会)
大上雅史君 (正会員)
- 学生のレポート評価点に応じた学習活動フィードバックを行うシステムの検討
[2020-CLE-32 (2020/11/27)] (教育学習支援情報システム研究会)
青木大誠君 (正会員)
- 在宅認知症者を支援する「拡張認知機能」の提案 ～スマートエアリアルハンド：Sahasra の構想～
[2020-AAC-13 (2020/8/29)] (アクセシビリティ研究会)
中山功一君 (正会員)



● 論文誌ジャーナル掲載論文リスト

Vol.62 No.11 (Nov. 2021)

【特集：エンタテインメントコンピューティング】

- 特集「エンタテインメントコンピューティング」の編集にあたって
渡邊恵太
- コミュニケーション・エージェントの形状が飼い主の印象とイヌの行動に与える影響調査
春日 遥 他
- 説得されることでユーザを楽しませる人狼ゲーム対話システムの構築
稲葉通将
- ヒップホップダンスにおける骨格情報のみによる個人識別の検討
古市冨佳 他
- カメラを用いた顔位置計測による運動識別システム
加藤花歩 他
- PerformEyebrow：装着者の感情表現を拡張できる人工眉毛形状制御デバイス
増井元康 他
- 複数周期に着目した畳み込みネットワークによる小売時系列データの予測手法
保住 純 他
- 高頻度取引の特徴分析と株価の短時間予測
幸田茂樹 他
- Improving the Efficiency in Multiple Object Tracking by Tracker Switching According to Occlusion States*
Bo Chen 他

*：推薦論文 Recommended Paper

†：テクニカルノート Technical Note



● 論文誌トランザクション掲載論文リスト

(Nov. 2021)

【論文誌 プログラミング Vol.14 No.5】

- 配列集約ループの実行時情報を用いた漸増化による効率化
松田知樹 他
- An Efficient and Scalable Distributed Hypergraph Processing System
Shugo Fujimura 他
- プログラム可能なスキーマの共存戦略の実現手法
田中順平 他
- 再帰的ブロック構造を持つ並列プログラムに対する可逆実行環境
池田崇志 他
- Durable Queue Implementations built on a Formally Defined Strand Persistence Model
Jixin Han 他



【Transactions on Bioinformatics Vol.14】

- RCGAToolbox: A Real-Coded Genetic Algorithm Software for Parameter Estimation of Kinetic Models
Kazuhiro Maeda 他



読後のご意見をお送りください

本誌では、現在約 200 名の方々に毎号のモニターをお願いしておりますが、より多くの読者の皆さんからのご意見、ご提案をおうかがいし、誌面の充実に役立てていきたいと考えておりますので、以下 Web ページから奮って事務局までお寄せください。

「情報処理」アンケートページ <https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html>

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

[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、一定期間の権利者検索の努力をしたうえで、著作権者が見つからない場合も論文を情報学広場に掲載させていただきたいと思っております。その後、著作権者が発見され、情報学広場への掲載の継続に同意が得られなかった場合には、当該論文については、掲載を停止いたします。

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

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

情報処理学会著作権規程

<https://www.ipsj.or.jp/copyright/ronbun/copyright.html>

IPSJ メールニュースへ広告を出しませんか？

広告をIPSJメールニュースで配信しています。本会会員が主な読者なので、ターゲットを絞った広告に最適です。

- 配 信 数：約41,000通（原則毎週月曜日配信）
- 読 者 層：本会会員および非会員
- 形 式：テキストのみ。等幅半角70字×5行。URLを入れてください。
- 掲載位置：ヘッダ（目次の上）
フッタ（本文の最下行）
- 掲 載 料：ヘッダ：1回55,000円（税10%込）※3社限定
フッタ：1回22,000円（税10%込）
※それぞれ行数超過については別途相談
- 申 込 先：[広告代理店]
アドコム・メディア（株）E-mail: sales@adcom-media.co.jp
〒169-0073 東京都新宿区百人町2-21-27 Tel(03)3367-0571 Fax(03)3368-1519
または、情報処理学会 会誌編集部門 E-mail: editj@ipsj.or.jp Tel(03)3518-8371
- 申込締切：毎週水曜日締切、翌週月曜日配信となります。
- 見 本：

— [広告] —

■■■■ ○○セミナー ■■■■

開催日時：1月10日（火）・11日（水）・12日（木）13:00～17:00

会場：○○コンベンションセンター

会費：情報処理学会会員の方には割引があります。

詳細はこちらをご覧ください：<http://www.....com/>

— [広告] —

◎ 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>



人材募集 (有料会告)

申込方法: 任意の用紙に件名, 申込者氏名, 勤務先, 職名, 住所, 電話番号および請求書に記載する「宛名」, Web掲載の有無などを記載し, 掲載希望原稿 ([募集職種, 募集人員, (所属), 専門分野, (担当科目), 応募資格, 着任時期, 提出書類, 応募締切, 送付先, 照会先]) を添えて下記の申込先へ, E-mail, Fax または郵送にてお申し込みください。

*都合により編集させていただく場合がありますので, ご了承ください。

申込期限: 毎月15日を締切日とし翌月号(15日発行)に掲載します。

掲載料金: 国公立教育機関, 国公立研究機関 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)

*本会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

■九州工業大学工学研究院基礎科学研究系

募集人員 (女性限定公募) 教授または准教授 1名

専門分野 機械学習やデータサイエンスおよびその応用などに関連する研究領域が望ましい

応募資格 女性に限る, 博士の学位を有する方

着任時期 2022年4月1日以降のできるだけ早い時期

提出書類 (1) カバーレター, (2) 履歴書, (3) 研究業績リスト, (4) 競争的研究資金および外部資金の獲得実績, (5) 主要論文のコピー(5編以内), (6) これまでの教育, 研究および実務の要約(A4用紙1枚), (7) 着任後の教育・研究計画および抱負(教育, 研究それぞれA4用紙1枚), (8) 応募者の業績や人物を熟知し, 意見を伺える方2名の氏名・所属・E-mailアドレス等の連絡先

応募締切 2021年12月10日(必着)

送付先 「JREC-IN Portal Web応募」または「郵送」にて提出してください。詳しくはWebページ<https://www.kyutech.ac.jp/information/saiyo/kyoin.html>をご覧ください

照会先 基礎科学研究系教育職員選考委員会 委員長

E-mail: kobo2021@mns.kyutech.ac.jp

その他 詳細はWebページ<https://www.kyutech.ac.jp/information/saiyo/kyoin.html>をご覧ください

■八戸工業高等専門学校産業システム工学科 電気情報工学コース

募集人員 助教 2名(常勤, 期間の定めなし)

専門分野 情報工学

所属 産業システム工学科 電気情報工学コース

応募資格 博士の学位を有する方, または着任時までに取得見込みの方

着任時期 2022年4月1日

応募締切 2021年12月15日(必着)

照会先 産業システム工学科 電気情報工学コース長 野中 崇

E-mail: nonaka-e@hachinohe-ct.ac.jp Tel(0178)27-7319

その他 応募資格, 担当予定科目, 提出書類などの詳細は下記のURLをご覧ください

<https://www.hachinohe-ct.ac.jp/info/office/recruit/>



情報処理学会 第84回全国大会 ～ハイブリッド開催～ 一般セッション・学生セッション 講演募集案内

【会期】2022年3月3日(木)～5日(土)

【会場】愛媛大学 城北キャンパス(ハイブリッド開催)

【Webサイト】<https://www.ipsj.or.jp/event/taikai/84/>

情報処理学会では、第84回全国大会の一般セッション・学生セッションの講演申込受付を以下のとおり行います。

毎回1,200件を超える発表申込をいただき活発な議論、意見交換、交流が行われております。皆様の研究成果発表の場として、是非とも奮ってお申込ください。なお、新型コロナウイルス感染症の感染拡大状況によってはオンライン開催に変更になる場合もございます。

【募集分野】

以下の分野で募集を行う予定です。

詳しくは第84回全国大会Webサイトをご覧ください。

1. コンピュータシステム
2. ソフトウェア科学・工学
3. データとウェブ
4. 人工知能と認知科学
5. ネットワーク
6. セキュリティ
7. インタフェース
8. コンピュータと人間社会

【講演募集内容と使用言語】

1. 全国大会にふさわしい内容を備えたものとします。
(情報技術の学術・技術の振興に寄与する研究成果の発表)
2. 発表は日本語または英語とします。

【講演申込資格】

申込種別	資格
一般セッション	不問
学生セッション	高専・大学学部・修士(博士前期課程)在学者

【講演時間(質疑応答含む)、論文頁数】

講演申込種別	講演時間	原稿頁
一般セッション	20分	2頁
学生セッション	15分	2頁

【講演申込・原稿投稿日程】

講演申込・原稿投稿受付開始: 2021年10月5日(火)
講演申込・修正・取消締切日: 2021年12月3日(金)
原稿投稿・差替え締切日: 2022年1月7日(金)

【講演申込・原稿投稿方法】

講演申込、原稿投稿は、標記の第84回全国大会Webサイトからお願いたします。

【講演申込にあたっての注意事項】

- * 講演申込は講演発表者ご本人様で行ってください。
- * 講演申込締切後の申込情報変更は、一切受けません。
- * 講演の代理(代読)は原則として認めません。
- * 講演キャンセルの連絡は、必ず電子メールにて [\[ipsj@gakkai-web.net\]](mailto:ipsj@gakkai-web.net) までお願い致します。
- * 講演申込登録締切後に講演をキャンセルされましても、講演参加費および論文集代(希望者のみ)はお支払いいただくこととなりますのでご注意ください。
- * 講演申込登録をされた情報のうち書誌情報(標題、講演者および共著者の名前・所属、論文要旨)、および原稿は、情報処理学会電子図書館(情報学広場)に掲載いたしますので予めご承知置き下さい。なお、掲載時期は大会初日から3カ月経過以降の予定です。

【講演方法】

ハイブリッド開催のため、オンラインミーティングツールZoomを併用しながら現地でご発表セッションを開催致します。インターネット・オーディオ機器に接続できるPCとヘッドセットを各自で必ずご準備願います。

【講演参加費・講演論文集代(税込)】

申込種別	会員種別	費用(税込み)
一般セッション 学生セッション (1件の申込につき)	正会員	11,000円
	学生会員	6,000円
	一般非会員	26,000円
	学生非会員	15,000円
	ジュニア会員	無料
講演論文集(希望者のみ)	全会員種別	8,500円

- * 会員とは、講演者が本会の会員番号をお持ちの個人会員の方です。
- * 電子情報通信、電気、映像情報メディア、照明の会員番号をお持ちの個人会員の方は会員費用で申し込めます。
- * 講演参加費には、講演料、大会参加費、プログラム冊子、全論文のPDFアクセス権が含まれます。
- * 講演者の方には、ご自身の論文が掲載されている講演論文集1部に限り、講演申込同時予約販売をいたします。ご希望の方は、講演申込フォームの講演論文集欄を「希望する」にチェックしてください。
- * 上記の講演参加費は、1件の申込に対しての費用ですので、複数件講演申込する場合には講演参加費×申込件数分の講演参加費が必要となります。
- * 入会申請中の方は、講演申込締切日12月3日(金)までに入会申請を完了してください。会員サービス部門から「入会承認予定のお知らせ」(会員番号を記載)をメールでお送りします。期日までにお支払いいただけない場合は、入会申請中で講演申込をされても非会員の講演費を請求させて頂く場合がございますので、ご了承くださいませようお願いいたします。

【表彰について】

全国大会では、発表された論文の中から優秀な論文、発表に対して以下の賞を贈呈しております。それぞれの賞の受賞対象は、当会の個人会員に限りますので、非会員の方は当会にご入会の上、講演申込みをしていただくことをお勧めいたします。

賞の種類	受賞者
大会優秀賞	全国大会で発表された当会の会員で、特に優秀な論文の登壇発表者10名以内。
大会奨励賞	全国大会で発表された当会の会員で、学部生または学部在学から卒業後10年までの新進の科学者または技術者で、大会優秀賞の対象とならなかった論文の登壇発表者10名以内。
学生奨励賞	全国大会で発表された当会の会員で、学生セッションで発表された中から、優秀な発表をした方各2名以内。大会のローカルアワードとして授与(該当なしの場合もあり)。

【大会最新情報の掲載】

講演申込に関する詳細、大会で開催予定の招待講演・イベント企画セッション等の詳細は、第84回全国大会Webサイトへ逐一掲載してまいりますのでご確認ください。

【問合せ先】

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: ipsjtaikai@ipsj.or.jp

CONTENTS

Preface

- 650 **For the Second Age of Discovery**
Taisuke FUKUNO (jig.jp co., Ltd. / Code for FUKUI)

Special Article

- 652 **Revision of Regulations Concerning Teaching Curricula and Abolition of the Teacher's License Renewal System - Toward Accurate Support for Informatics Education -**
Johnny NAKANO (Junior & Senior High School of Kogakuin Univ.)

Special Features

Information Processing to Learn from Plants and Learn about Plants

- 656 **Foreword**
Masahiko INAMI (The Univ. of Tokyo)
- 658 **Outline**

"Peta-gogy" for Future

- 661 **To Convey the Fun of Programming**
Toshio MATSUURA (Yamato Univ.)
- 662 **Programming Education for Preschoolers - Example of a Kindergarten Using Viscuit -**
Takeshi WATANABE (Digitalpocket LLC / Univ. of Electro-Communications)

- 667 **Development of Gender-inclusive Learning Materials for Programming - Programming for Feeling Data with Visualization -**
Tomoko YOSHIDA (Kyoto Notre Dame Univ.), Taeko ARIGA (Doshisha Women's College of Liberal Arts) and Takehisa MASHIMO (Seian Univ. of Arts and Design)

Let's Learn Informatics

- 672 **Practice of Cross-cutting Class Using Pictograms - Aiming for the Fusion of Scientific Understanding of Information and Information Design -**
Kenichi SHIBATA (Aichi Prefectural Ichinomiyanishi High School)

-
- 676 **Biblio Talk**
 - 678 **Biblio Talk**
 - 682 **Skimming a Famous Paper in Five Minutes**
 - 685 **Questions for Experts**
 - 686 **Committee Reports**

Online Only

Special Features

Information Processing to Learn from Plants and Learn about Plants

- e1 **Information Processing and Mechanical Properties Behind Plant Movement**
Keiji NAKAJIMA (Nara Institute of Science and Technology)
- e4 **Information Processing in the Flower**
Tetsuya HIGASHIYAMA (Nagoya Univ. / The Univ. of Tokyo)
- e7 **Evolvability by Hidden Information in a Genome - Roles of Information Processing in Evolution -**
Mitsuyasu HASEBE (National Institute for Basic Biology)
- e10 **Long-distance Signaling Regulates Nitrogen Uptake in Plants**
Yuri OHKUBO and Yoshikatsu MATSUBAYASHI (Nagoya Univ.)
- e13 **Machine Learning in Plant Developmental Biology**
Yohei KONDO (The Exploratory Research Center on Life and Living Systems (ExCELLS))
- e16 **Structural Theories to Promote Understanding for Network Systems in Biology**
Atsushi MOCHIZUKI (Kyoto Univ.)

- e19 **Information Processing Technologies for Maximizing Plant Productivity in Plant Factories**
Hirokazu FUKUDA (Osaka Prefecture Univ.)
- e22 **Research on Plants from the Perspective of the Image Recognition Field**
Yuzuko UTSUMI (Osaka Prefecture Univ.)
- e25 **Roundtable Discussion : Difficulties in Setting Different Goals : The Challenge of a New Field of "Information Botany"**
Keiji NAKAJIMA (Nara Institute of Science and Technology) , Masahiko INAMI (The Univ. of Tokyo), Takashi UEDA (National Institute for Basic Biology), Minako UEDA (Tohoku Univ.), Yohei KONDO (The Exploratory Research Center on Life and Living Systems (ExCELLS)), Yuzuko UTSUMI (Osaka Prefecture Univ.) and Tomomi OTA

-
- e29 **What Kind of Exam Questions on Informatics Will Appear in University Entrance Exams?**

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

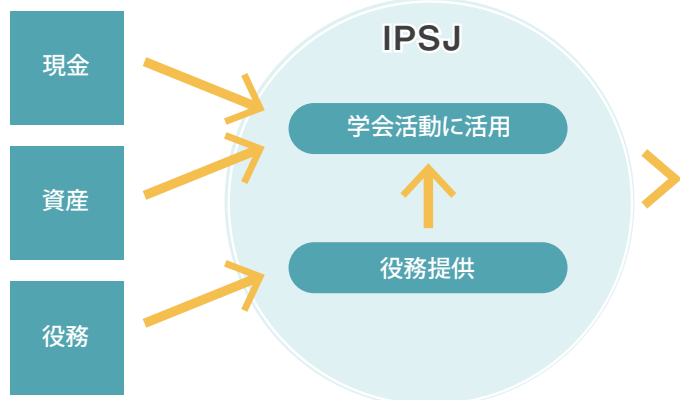
などの観点に照らし、下記の項目に活用させて頂く所存です。

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

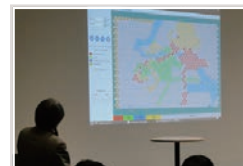
会員他寄付



活用先

教育・育成
情報入試 | 子ども教室 | パソコン教室

社会貢献
表彰
国際活動
規格標準化
情報資産保存
学会諸事業
その他



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

本誌編集長の稲見先生と「植物と情報処理」のエディタを務めさせていただきました。私自身は、植物の成長メカニズムを研究する生物学者ですが、新学術領域研究「植物の周期と変調」で稲見先生とご一緒させていただいている縁で、今回の特集の編集にお誘いいただきました。私たちの新学術領域は、情報学を基礎生物学の「発見支援」に使うことを着想したところから始まります。同様のコンセプトはJSTの戦略研究でも採用されており、このような融合研究の開拓が今後主流になると考えています。

一方で、今回の特集は新学術領域のコンセプトとは切り離し、情報学者の方が普段は接することがないであろう「読み物」を提供しようと考えました。特にカテゴリ1では、中枢神経を持たない植物が、いかにして環境情報を処理し、自身の成長や子孫の繁栄につなげているかを紹介しています。私以外の執筆者は、いずれも植物学を国際的に牽引されている超ご多忙な先生方で、この方たちに、「『情報処理』の観点から植物について書いてください」という無茶な依頼をするのは（一瞬だけ）ためらわれましたが、皆様快くお引き受けくださり、とても安堵しました。

カテゴリ2では、植物学における情報学の利用について数理学者や情報学者の先生方にご執筆いただきました。とはいえ、情報処理学会の会員は内海先生おひとりで、近藤先生は生物側に軸足を置いて情報学の手法を開拓されている生物学者です。望月先生は「ネットワークの構造のみから系全体の振舞いが決まる」という生物学者にとってはにわかには信じがたい独自の理論体系を構築された数理生物学者です。福田先生は生物時計を理論的に解析されている生物物理学者なのですが、今回は副業(?)とされている植物工場での情報処理技術についてご執筆いただきました。

本特集や先行公開したnoteで内海先生や太田先生が指摘されているように、情報学と基礎生物学ではゴールの設定が大きく異なっていますが、本特集を読まれた情報学者の皆様が少しでも植物（あるいは生物）の基礎研究に興味を持ってくださり、今後の情報学の利用先の候補の1つに加えていただければ幸いです。

(中島敬二/本特集ゲストエディタ)

次号(1月号) 予定目次

編集の都合により変更になる場合がありますのでご了承ください。

※はオンライン版のみの掲載となります

特別解説：ヒト型ロボットの製造中止にぞわつく～ヒトの形をしたモノに心はどう反応するのか～※ 太田智美

「特集」自動運転元年※

自動運転元年に臨む／高精度3次元地図—安全・安心な交通環境を実現するデジタルインフラ基盤／自動運転を支える高精度測位と高精度地図／自動運転用プロセッサの要求性能・機能・方式—複合的処理特性を持つアプリケーションへの適応—／自動運転の法律問題／自動運転バスの実証実験

教育コーナー：べた語義

連載：IT紀行／<Info-WorkPlace委員会企画>働き方を共有しよう※／教科「情報」の入学試験問題って?※／情報の授業をしよう！／先生、質問です！／ビブリオ・トーク

コラム：巻頭コラム／情報処理学会とのお付き合い※

会議レポート：COMPSAC 2021 会議報告

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 (JACC) to license our reproduction rights and reuse rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JACC (<http://www.jaacc.org/en/>) and confirm appropriate organizations.

You may reuse a content for non-commercial use for free, however please contact us directly to obtain the permission for the reuse content in advance.

<All users except those in USA>

Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc. (JAACC)
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
E-mail: info@jaacc.jp
Phone: 81-3-3475-5618 Fax: 81-3-3475-5619

<Users in USA>

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: 1-978-750-8400 Fax: 1-978-646-8600

..... 広告のお申込み

■広告料金表（価格は税 10%込）

掲載場所	4色	1色
表2	363,000円	—
表3	302,500円	—
表4	423,500円	—
表2対向	330,000円	—
表3対向	291,500円	170,500円
前付1頁	275,000円	148,500円
前付1/2頁	—	88,000円
前付最終	—	162,800円
目次前	—	162,800円
差込 (A4変形判 70.5kg未満 1枚)	302,500円	
差込 (A4変形判 70.5kg～86.5kg 1枚)	385,000円	
同封 (A4変形判 1枚)	385,000円	

■「情報処理」

発行 一般社団法人 情報処理学会
 発行部数 20,000部
 体裁 A4変形判
 発行日 毎当月15日
 申込締切 前月10日
 原稿締切 前月20日
 広告原稿 完全版下データ
 原稿寸法 1頁 天地 250mm × 左右 180mm
 1/2頁 天地 120mm × 左右 180mm
 雑誌寸法 天地 280mm × 左右 210mm

■問合せ・お申込み先

〒169-0073 東京都新宿区百人町2-21-27
 アドコム・メディア（株）（Tel/Fax/E-mailは下に記載）

*原稿制作が必要な場合には別途実費申し受けます。
 *同封のサイズ・割引の詳細についてはお問合せください。

..... 掲載広告の資料請求

掲載広告の詳しい資料をご希望の方は、ご希望の会社名にチェック を入れ、送付希望先をご記入の上、Faxにて（またはE-mailにて必要事項を記入の上）アドコム・メディア（株）宛にご請求ください。

■「情報処理」 62巻12号 掲載広告（五十音順）

とめ研究所..... 表2対向

■資料送付先

フリガナ お名前	_____		
勤務先	_____ 所属部署		
所在地	（〒 _____ ）		
TEL	（ _____ ）	-	FAX （ _____ ） _____
ご専門の分野	_____		



お問合せ・お申込み・資料請求は

広告総代理店 **アドコム・メディア（株）**

Tel.03-3367-0571 Fax.03-3368-1519 E-mail: sales@adcom-media.co.jp

賛助会員のご紹介

本会をご支援いただいております賛助会員をご紹介します。
Web サイト (<https://www.ipsj.or.jp/annai/aboutipsj/sanjo.html>) 「賛助会員一覧」のページからも
各社へリンクサービスを行っておりますので、ぜひご覧ください。

照会先 情報処理学会 会員サービス部門 E-mail: mem@ipsj.or.jp Tel.(03)3518-8370

●●● 賛助会員 (20 ~ 50口)

HITACHI
Inspire the Next

(株) 日立製作所



三菱電機 (株)

FUJITSU

富士通 (株)



(株) サイバーエージェント

Orchestrating a brighter world

NEC

日本電気 (株)



日本アイ・ビー・エム (株)

●●● 賛助会員 (10 ~ 19口)



(株) リクルート



グーグル合同会社



(株) NTTドコモ



(株) 東芝



日本電信電話 (株)



日本マイクロソフト (株)



(株) フォーラムエイト

●●● 賛助会員 (3 ~ 9口)



(一社) 情報通信技術委員会



(株) NTT データ



GREE (株)



(一財) インターネット協会



(一社) 情報サービス産業協会



トレンドマイクロ (株)



(株) BFT



NTT コムウェア (株)



NTT テクノクロス (株)



(株) うえじま企画



エッジテクノロジー (株)



沖電気工業 (株)



コアマイクロシステムズ (株)



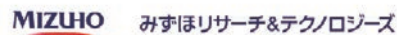
三美印刷 (株)



ソニー (株)



(株) テクノプロ
テクノプロ・デザイン社



みずほリサーチ&テクノロジーズ (株)

「情報処理」 カタログ同封サービスの ご案内

？
 カタログ同封
 サービスとは？

毎月会員に配布している学会誌に貴社/貴校のカタログや広告を同封し、直接読者にお届けするサービスです。
 通常のDMと異なり学会誌に同封しますので、**読者の開封率は格段に上がります。**
 また、カタログ送付にかかる**コストを最小に抑えることができ**、なおかつ情報処理を専門とする読者に**ターゲットを絞った効果的な案内を出すことが可能**となります。

お申し込み方法と掲載までの手続き

- 封入希望月の前月15日までに下記事項を記載の上、問合せ先までお申し込みください。
 - ◆会社名、担当者、連絡先（住所、Tel、Fax、E-mail） ◆封入希望号
 - ◆サイズ ◆カタログの簡単な内容説明
 - ◆割引対象にあたる場合はその旨記載ください。
- 封入希望月の遅くとも前月末日までに下記事項について手配をお願いします。
 - ◆カタログ見本を問合せ先までお送りください（PDF、Fax可）。
 - ◆納品業者をお知らせください。
- 納品日は封入希望月の5日（土曜、日曜、祝日の場合は翌営業日）です。日付指定にて必要枚数（20,000枚）を印刷し指定の納品先へお送りください。
 - ※納品先は、お申し込み後にご連絡いたします。
 - ※納品が遅れますと同封ができない場合がございます。その場合はキャンセルとさせていただきます。
- カタログを同封した学会誌を発行日にお送りしますので、ご確認ください。
- 後日請求書をお送りしますので振込手続きをお願いします。

1通あたり
 約19円！

基本価格 385,000円
 (税10%込)

対象：全会員 20,000通 配布
 (正会員/名誉会員/学生会員/賛助会員)

大学や
 賛助会員は
 さらに割引も！

大学/研究所/賛助会員は、下記のとおり割引料金が適用されます。

大学/研究所/賛助会員
 (基本価格の40% Off！) **231,000円**
 (税10%込)

サイズ：A4変形判またはA4判二つ折り（その他についてはご相談ください）
 用紙：色上質厚口（四六判80kg）またはコート紙（四六判90kg）相当

☎ 問合せ先

[広告代理店] アドコム・メディア(株) E-mail: sales@adcom-media.co.jp
 〒169-0073 東京都新宿区百人町2-21-27
 Tel.(03)3367-0571 Fax.(03)3368-1519

一般社団法人情報処理学会 会誌編集部門 E-mail: editj@ipsj.or.jp
 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5 化学会館4F
 Tel.(03)3518-8371 Fax.(03)3518-8375

「情報処理」第62巻 総目次

号 頁

■巻頭言

IPSJ2021 ニューノーマル時代を切り拓く学会を目指して ―会長就任にあたって―	徳田英幸	7- 322
--	------	--------

■巻頭コラム

情報と食の未来	村田吉弘	1- 2
子どもの目が輝く、数学プログラミング	竹内 薫	2- 62
エモーショナルなロボットを作るわけ	青木俊介	3- 122
誰一人取り残さないために情報技術が果たす役割	浅川智恵子	4- 184
かつてなく楽しくプログラミング言語が開発できる時代に	クジラ飛行機	5- 222
コンピュータは人間を自由にする	茂木健一郎	6- 282
情報革命をもたらしたシニアネットの奇跡	近藤則子	7- 320
アルゴリズムの頂を創る	高橋直大	8- 382
LGBT and beyond	豊田啓介	9- 466
デジタル庁発足；「DX」から「デジ道」へ	平井卓也	10- 536
Changing the World	城戸淳二	11- 590
第二大航海時代に向けて	福野泰介	12- 650

■特別解説

HER-SYS はなにが問題だったか ―先行導入、本導入、改修提案を振り返って―	日野麻美	1- 4
スパコン「富岳」によるウイルス飛沫・エアロゾルのシミュレーション	坪倉 誠	2- 64
インターネット上の海賊版対策のための令和2年著作権法改正	須川賢洋	2- 68
オンライン教育と著作権法第35条運用指針	芳賀高洋	5- 224
「ドコモ口座」はなぜ攻撃されたか？ ～開設時本人確認と出金時本人確認の間隙～	板倉陽一郎	7- 336
接触確認アプリ COCOA からの教訓	楠 正憲	8- 384
暗号資産の現在と将来	岩下直行	11- 592
教職課程に関する規則の改正と教員免許更新制廃止 ―教育現場への的確な支援に向けて―	中野由章	12- 652

■特集

「AI 人材教育」

編集にあたって	袖美樹子	1- 10
概要		1- 12

「AI 画像診断が医療現場を変える」

編集にあたって	袖美樹子	2- 72
概要		2- 74

「DX (デジタル・トランスフォーメーション) 時代のサプライチェーン・セキュリティ

～サプライチェーンにおけるトラスト (信頼) の構築に向けて～

編集にあたって	石黒正揮・手塚 悟・佐々木貴之	3- 124
概要		3- 126

「面白いぞ量子技術」

編集にあたって	袖美樹子	4- 186
概要		4- 188

「より自由でより没入感の高いイマーシブメディア」

編集にあたって	袖美樹子・青木秀一	5- 230
概要		5- 232

「デジタルアーキテクチャデザイン」

編集にあたって ― Society 5.0 の実現に向けた挑戦者へのエール―	奥村明俊	6- 284
概要		6- 285

「触覚と情報処理」

編集にあたって	渡邊淳司	7- 340
概要		7- 342

「最新のデジタル・フォレンジック事情」

編集にあたって	上原哲太郎・須川賢洋	8- 404
概要		8- 406

「人の動きを捉え社会を動かす人口流動統計」

編集にあたって	袖美樹子	9- 470
概要		9- 472

「身近になった対話システム」

編集にあたって	袖美樹子	10- 538
概要		10- 540

「観光情報学—スマートツーリズムに向けた研究動向—」

編集にあたって	中村 哲	11- 598
概要		11- 600

「植物と情報処理」

編集にあたって	稲見昌彦	12- 656
概要		12- 658

■デジタルプラクティスコーナー

「変革の先にあるコンタクトセンター」

編集にあたって	河合 洋	2- 76
概要		2- 79

「オープンサイエンスを支える研究データ基盤」

編集にあたって	村山泰啓・林 和弘	5- 234
概要		5- 239

「感性情報学 最前線」

編集にあたって	江谷典子・竹之内宏・齋藤 学	5- 240
概要		5- 243

「快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術」

編集にあたって	敷田幹文・中村 豊	8- 408
概要		8- 411

「DXのプラクティス～ニューノーマル時代を生き延びる～」

編集にあたって	境 真良・吉野松樹・藤瀬哲朗	11- 604
概要		11- 606

■トピックス

2020年度日本規格協会標準化貢献賞における標準化奨励賞を受賞		1- 43
2020年度研究会推薦博士論文速報		9- 476

■解説

プログラミング的思考がわからない	遠藤 諭	3- 130
------------------	------	--------

■報告

「2020年度論文賞の受賞論文紹介」

・選定にあたって	下條真司	8- 427
・屋内位置認識システムの普及に向けて	村上弘晃	8- 428
・情報処理学会論文賞を受賞して	加藤慎也	8- 429
・心をどのように動かすのかを正面から論じる	金子翔麻	8- 430
・初めての論文投稿	大社綾乃	8- 431
・脳波を用いた生体認証に取り組んで	山下正人	8- 432
・Deep Neural Networkの説明可能性向上に向けた識別根拠可視化技術の研究	柿下容弓・服部英春	8- 433
・データベースと機械学習のはざままで	小山田昌史	8- 434

「2020年度業績賞紹介」

・選奨にあたって	中川八穂子	8- 435
・新世代ベクトル型コンピュータ「SX-Aurora TSUBASA」の普及と活用に向けて	荒木拓也・石坂一久・今井照之・星 宗王・愛野茂幸	8- 436
・ビジネスの現場で愛されるクラウド型音声認識サービスを目指して	倉田岳人・長野 徹・伊藤伸泰・鈴木雅之・福田 隆	8- 437
・暗黙知のデジタル化に向けた挑戦	小林雄一・鄭 建・高橋由泰・柳田貴志・佐藤達広	8- 438

「2020年度マイクロソフト情報学研究賞紹介」

・選定にあたって	萩谷昌己	8- 439
・時系列ビッグデータのリアルタイム将来予測と社会実装への取り組み	松原靖子	8- 440
・暗号技術のモジュラーな設計	松田隆宏	8- 441

「2020 年度情報処理技術研究開発賞紹介」

• 選定にあたって 萩谷昌己 8- 442
• データの世界にもスモールワールド現象がある 劉 健全 8- 443
未踏の第 27 期スーパークリエイターたち 竹内郁雄 9- 468

「2021 年 IPSJ/IEEE-Computer Society Young Computer Researcher Award 紹介」

• 選定にあたって 萩谷昌己 10- 542
• 人とコンピュータの“あいだ”を見つめる研究 坂本大介 10- 543
• 実用化を目指した研究 安積卓也 10- 544
• プライバシー保護データ解析とともに 清 雄一 10- 545

「2021 年 IPSJ/ACM Award for Early Career Contributions to Global Research 紹介」

• 選定にあたって 萩谷昌己 10- 546
• プログラミングとコンテンツの未来のための研究 加藤 淳 10- 547

■寄稿

青山幹雄教授の早逝を悼む 深澤良彰 8- 452

■教育コーナー

「ぺた語義」

WCCE は 2021 年から 2022 年に 斎藤俊則 1- 21
バーチャル情報入試シンポジウム 2020 春は、熱かった！ 辰己丈夫 1- 22
情報の専門家と ICT 苦手教員の間に潜む隙隙 — ICT が「chido Chotto Try になるために— 三田地真実 1- 27
ポスト・コロナ期における情報教育の検討に向けて Considerations for CS Education in a Post-COVID-19 白井詩沙香 2- 83
情報科教員を目指すにあたって—新学習指導要領実施に向けて準備すべきこと— 鹿野利春 2- 84
関西支部大会の報告—ジュニア会員の発表を中心に— 越智 徹 2- 88
ハイフレックス授業 渡辺博芳 3- 135
第 13 回全国高等学校情報教育研究会全国大会（オンライン大会） 小原 格 3- 136
教育の ICT 化を推進するためには 前田健太郎 4- 191
人工知能研究者から見た情報の教育 松原 仁 5- 253
大学入学共通テスト「情報」試作問題に対する教育現場の想い 井手広康 5- 254
新刊 IT Text を使った一般情報教育はこうだ！～シンポジウム「これからの大学の情報教育」2020 開催報告 上繁義史 5- 258
教育における「情報」とこれから 稲葉利江子 6- 293
高校共通教科「情報」にも活用できるファシリテーションの技術
—アクティブ・ラーニング型授業で陥りやすい3つの罠とそこから脱出する方法— 三田地真実 6- 294
縦横連携で小中高大一貫の情報教育実現を 村松浩幸 7- 325
大学入学共通テスト新科目「情報」～これまでの経緯とサンプル問題～ 水野修治 7- 326
大学入学共通テスト「情報」試作問題（検討用イメージ）と私感 中野由章 7- 331
中高生情報学研究コンテストと大学入学共通テスト 中山泰一 8- 393
中高生情報学研究コンテストの意義と第3回の審査の様子 遠山紗矢香 8- 394
第3回中高生情報学研究コンテストの作品紹介 米田 貴 8- 399
高校教科「情報」、中高年には「隔世の感」 杉本 貢 9- 489
全国大会イベント「2025 年実施の大学情報入試への展望」の報告 小宮常康・佐藤 喬 9- 490
学習履歴データの標準化技法— Experience API (xAPI) 編— 古川雅子 9- 495
学習目標と評価ルーブリックのための技術標準：デジタルエコシステムをトップダウンでイメージする 山田恒夫 10- 549
IMS CASE の仕様とその可能性 宮崎 誠 10- 550
小学校段階におけるプログラミング教育の実践とその支援 島袋舞子 10- 554
データサイエンスカリキュラム標準（専門教育レベル）の公開について 加藤 浩 11- 609
大学入学共通テスト「情報」サンプル問題を題材とした研究協議
～令和3年度愛知県高等学校情報教育研究会研究協議を通して～ 高田真弥 11- 610
オンライン授業導入の舞台裏～東京大学のオンライン授業を支えた一教員の視点から～ 吉田 壘 11- 614
プログラミングの面白さを伝えるには 松浦敏雄 12- 661
未就学児を対象にしたプログラミング教育—ビスケット（Viscuit）を使った幼稚園の取り組み— 渡辺勇士 12- 662
ジェンダーインクルーシブなプログラミング教材の開発—視覚化を通してデータを感じるプログラミング—
..... 吉田智子・有賀妙子・真下武久 12- 667

■連載

「5分で分かる!?有名論文ナメ読み」

Sergey Levine : Reinforcement Learning and Control as Probabilistic Inference : Tutorial and Review 小林泰介 1- 34

Zhang, Qi and Goldman, Sally A : EM-DD : An Improved Multiple-Instance Learning Technique	金崎朝子	2- 100
JooHo Kim and Makarand Hastak :		
Social Network Analysis : Characteristics of Online Social Networks After A Disaster	廣井 慧	3- 148
Listen, Attend and Spell : A Neural Network for Large Vocabulary Conversational Speech Recognition	増村 亮	4- 202
Ramesh Raskar, Greg Welch, Kok-Lim Low and Deepak Bandyopadhyay :		
Shader Lamps : Animating Real Objects With Image-Based Illumination	宮下 令央	5- 268
Sho Sonoda and Noboru Murata : Neural Network with Unbounded Activation Functions is Universal Approximator		
.....	矢田部 浩平	6- 290
Tom Goldstein and Stanley Osher : The SplitBregman Method for L1-Regularized Problems	小野 峻佑	7- 356
Tom B. Brown et al. : Language Models are Few-Shot Learners	荒瀬 由紀	8- 424
Matej Balog et al. : DeepCoder : Learning to Write Programs	但馬 将貴	9- 518
Marco T. Ribeiro et al. : “ Why Should I Trust You?” : Explaining the Predictions of Any Classifier	石井 一夫	10- 568
Simeone, A. : Substitutional Reality : Using the Physical Environment to Design Virtual Reality Experiences	高嶋 和毅	11- 628
John Jumper et al. : Highly Accurate Protein Structure Prediction with AlphaFold	富井 健太郎	12- 682
「IT 紀行」		
VR 界の大イベント「Vket」を主催する、動く城のフィオさんに行ってきました	まいてい 999	3- 168
共感覚的な体験をしてみた！ シナスタジア X1-2.44 波象	山本 ゆうか	10- 558
「買い物自慢」		
AIY Voice Kit でワクワク	山之上 卓	5- 229
「情報の授業をしよう！」		
科目「情報セキュリティ」の授業実践	村山 佳之	1- 14
PBL の観点を踏まえた情報デザインの授業実践報告	村松 卓	2- 92
新学習指導要領「情報 I」の授業を考えよう		
— LINE スタンプの制作から学ぶコミュニケーションと情報デザイン—	富田 平	3- 140
入試問題でテキストマイニング	中山 享司	4- 192
専門科目「情報デザイン」「情報コンテンツ実習」を担当して	山本 博之	5- 246
新教育課程「情報 I」を見据えた 3 年次「情報の科学」での卒業研究実践	田中 健	7- 346
SDGs をテーマとした総合的な学習の時間における ICT 活用		
— 1 人 1 台タブレット端末の利用による情報活用能力の育成—	菊地 寛	8- 414
アプリ開発でアイデアを形に —情報 II 「(4) 情報システムとプログラミング」を見据えた授業実践—	平田 篤史	9- 500
高等学校におけるデータサイエンスを基盤とした問題解決実践		
— AI 時代を切り拓くための創造力の育成を目指す—	林 宏樹	10- 560
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	草野 正義	11- 619
ピクトグラムを用いた横断的な授業実践 ～情報の科学的な理解と情報デザインの融合を目指して～	柴田 謙一	12- 672
「ゼロからはじめるアルゴリズム」		
アルゴリズムを直感的に学ぼう	石田 保輝	1- 36
「先生、質問です！」	1- 40, 2- 102, 4- 199, 5- 264, 6- 299, 7- 344, 8- 444, 9- 514, 11- 632,	12- 685
「先生が質問です!!」		3- 150
「ビブリオ・トーク」		
試験に出る哲学 「センター試験」で西洋思想に入門する	牛田 啓太	1- 20
官僚制	岡本 雅子	2- 98
情報系のための離散数学	石井 一夫	3- 146
日本語から記号論理へ	小林 真也	4- 200
アナログの逆襲 「ポストデジタル経済」へ、ビジネスや発想はこう変わる	眞部 雄介	5- 266
問題解決力を鍛える！アルゴリズムとデータ構造	石井 一夫	6- 288
Product Design and Development 7th Edition	河原 亮	7- 352
LSI/FPGA の回路アーキテクチャ設計法	坂本 龍一	8- 422
新企業の研究者をめざす皆さんへ	佐々木 貴之	9- 516
明日の幸せを科学する	米川 慧	10- 566
ソフトウェア工学から学ぶ機械学習の品質問題	石井 一夫	11- 626
Rethinking Engineering Education The CDIO Approach (Second Edition)	袖美 樹子	12- 676
イラストで学ぶ 人工知能概論 改訂第 2 版	石井 一夫	12- 678

■学会活動報告

IFIP —情報処理国際連合—近況報告	相田 仁	3- 152
創立 60 周年記念事業：実施概要報告／創立 60 周年記念論文表彰（概要）		3- 162
情報技術の国際標準化と日本の対応 — 2020 年度の情報規格調査会の活動—	情報規格調査会	9- 506

■委員会から

第 83 回全国大会にて“デリバリー”始めます！	坊農真弓	3- 164
今年度もやります！ 全国大会の“デリバリー” —デリバリー会員を募集します—	坊農真弓	12- 686

■会議レポート

「第 31 回高専プロコン」の開催報告と最優秀賞受賞校の強さの秘訣	中田真城子・水野加寿代	1- 32
ACM SIGIR 2020 会議報告	中野 優	2- 104
Recsys 2020 参加報告	関 喜史	3- 166
VLDB 2020 開催報告	石川佳治	4- 204
CCS 2020 会議報告	大畑幸矢	5- 270
ACCV2020 会議報告	川原 僚	6- 300
Augmented Humans (AHs) 2021 会議報告	三浦礼士	7- 354
ACM CHI 2021 会議報告 (1)	池松 香	10- 572
ACM CHI 2021 会議報告 (2)	小山裕己	11- 634

■追悼

名誉会員 長尾 真先生を偲ぶ	黒橋禎夫	8- 449
----------------	------	--------

■ほっとタイム	6- 302, 6- 303, 6- 304, 6- 305
---------	--------------------------------

「情報処理」オンライン (2020 年) 総目次

号／公開日

■特別解説

あなたにとって「情報」は入試科目ですか？ の歴史	辰己丈夫	1- e1
--------------------------	------	-------

■特集

「AI 人材教育」

1. 日本の AI 戦略	安西祐一郎	1- e5
2. 滋賀大学における AI 人材教育	竹村彰通	1- e16
3. 長岡高専における AI 人材教育 — AI を自然に使いこなす AIR Tech エンジニアの育成—	池田富士雄	1- e22
4. 早稲田大学における AI 人材教育 —学生から社会人まで—	松嶋敏泰	1- e27
5. システム・インテグレーション企業における AI 人材・デジタル人材の育成の取り組み	末永高志・山口瑠子	1- e33

「AI 画像診断が医療現場を変える」

1. AI 画像診断の全体像と将来の展望 —医師を助ける“第三の目”—	藤田広志	2- e1
2. 医療画像 AI のもたらす未来 —大動脈瘤の取り組みをもとに—	荒木健太・小倉正彦	2- e9
3. 外科治療 AI	諸岡健一	2- e14
4. 眼底写真 (光学系) の診断支援 —眼底 AI の開発状況と期待—	畑中裕司	2- e19
5. 歯科パノラマエックス線画像による AI 診断	塩澤 繁	2- e25

「DX (デジタル・トランスフォーメーション) 時代のサプライチェーン・セキュリティ

～サプライチェーンにおけるトラスト (信頼) の構築に向けて～

1. サプライチェーンにかかわるセキュリティを確保するための仕組みと制度 ～社会的な説明責任を果たすためのアプローチ～	石黒正揮	3- e1
2. サイバー・フィジカル・セキュリティ・フレームワークを活用したサプライチェーン・セキュリティの確保	奥家敏和	3- e7
3. サプライチェーン・セキュリティの脅威と対策の動向	小川隆一・小山明美	3- e14
4. 制御機器のセキュリティ認証制度	神余浩夫・山田 勉	3- e21
5. 第三者認証によるサプライチェーン・セキュリティの確保とアシュアランス	登山慎一・Ethiraj, Sudhir Kumar Raj	3- e28
6. 米国を中心とした第三者機関によるセキュリティ評価の動向—製品リスク評価のためのセキュリティ認証—	吉岡俊郎	3- e34
7. ソフトウェア部品表 (SBOM) に基づくリスク管理 —オープンソース・ソフトウェア (OSS) および商用ソフトウェアのリスク管理のための SBOM—	松岡正人	3- e37

「面白いぞ量子技術」

1. 量子コンピュータのあけぼの —今そこにある量子コンピュータに触れよう	今井 浩	4- e1
2. 量子アニーリングは死んだのか —研究の現状から思うこと—	大関真之	4- e8

3. 量子技術を利用した次世代アクセラレータの活用	多和田雅師・田中 宗・松田佳希・楊 天任	4- e15
4. 量子コンピュータを用いた金融計算	宇野隼平	4- e22
5. 量子コンピュータと量子化学計算—量子コンピュータによって量子化学は恩恵を受けるのか?—	大西裕也	4- e28
6. 量子計算は機械学習に使えるか—近未来/誤り耐性量子計算のための量子アルゴリズム—	御手洗光祐	4- e35
7. ダイヤモンド量子センサの可能性—ピンクダイヤモンドが高感度なセンサに—	波多野睦子	4- e41
8. 量子暗号の原理と実用化に向けた動向—絶対安全な通信の実現に向けて—	水谷明博	4- e47
9. 量子コンピュータハッカソン—コミュニティによる量子人材育成—	小林有里・松尾博士・沼田祈史	4- e53
「より自由でより没入感の高いイマーシブメディア」		
1. 超高臨場ライブ体験の開発と標準化	長尾慈郎・今中秀郎	5- e1
2. イマーシブメディアに向けた音響技術—放送と MPEG を中心に—	杉本岳大	5- e7
3. 自由視点テレビ FTV の原理	谷本正幸	5- e12
4. MPEG が規格化に取り組む映像システム技術—新たな映像体験に向けて—	青木秀一	5- e19
「デジタルアーキテクチャデザイン」		
1. Society 5.0 実現に向けたデジタルアーキテクチャデザイン	齊藤 裕・河野孝史	6- e1
2. 社会・産業アーキテクチャのデザイン	白坂成功	6- e7
3. データ取引市場のアーキテクチャ—データ取引市場の実装と国際標準化—	眞野 浩	6- e13
4. スマートシティのリファレンスアーキテクチャ—Society 5.0 に準拠したアーキテクチャ構築とその展開—	藤田範人	6- e20
5. 社会課題解決に貢献する自然言語処理技術の社会実装と展開—AI での助けに何が必要か—	鳥澤健太郎	6- e27
6. デジタル社会における AI ガバナンス—倫理と法制度—	中川裕志	6- e34
7. デジタルアーキテクチャデザイン研究開発の基盤形成 —産総研におけるデジタルアーキテクチャへの取り組み—	岸本光弘・関口智嗣	6- e40
「触覚と情報処理」		
1. ウェルビーイングにおける触覚の役割—心の豊かさの多様性をつなぐテクノロジー—	渡邊淳司	7- e1
2. 触覚の情報化が拓く新しいコミュニケーション—身体拡張と身体融合の可能性—	田中由浩	7- e4
3. 共生社会へ向けた触覚を使ったワークショップ—「感じるスポーツラボ」の実践—	駒崎 掲	7- e7
4. 支え合いと信頼の経済学—身体性とこれからの経済学に向けて—	犬飼佳吾	7- e10
5. PS5 用ゲームコントローラ「DualSense」はどのようにして生まれたか	西川善司	7- e13
「最新のデジタル・フォレンジック事情」		
1. デジタル・フォレンジックの概論と新しい問題	須川賢洋	8- e1
2. 最新のデジタル・フォレンジックにおける技術的課題	上原哲太郎	8- e4
3. サイバー犯罪とデジタル・フォレンジックの課題—企業や組織における事前対策の備え—	北條孝佳	8- e8
4. デジタル・フォレンジックとこれからの法律研究	小向太郎	8- e13
5. デジタル・フォレンジックの普及状況について —関係者アンケートから考察するデジタル・フォレンジック—	小山 覚	8- e17
6. 盗まれた個人情報の市場価値—デジタル・フォレンジックに携わる現場より	松本 隆	8- e21
「人の動きを捉え社会を動かす人口流動統計」		
1. 人流データを用いた都市の常時観測による社会・産業の高度化	今井龍一	9- e1
2. 人口流動統計の開発—携帯電話基地局の運用データに基づく OD 量・移動経路・移動手段の推計—	池田大造	9- e5
3. 人口流動統計の都市交通調査への活用 —携帯電話基地局の運用データに基づく信頼性の高いビッグデータのまちづくりへの活用—	新階寛恭	9- e11
4. 視聴者に最適な「交通障害情報」を届ける—路線ごとの利用者分布エリアを人流ビッグデータで絞り込む—	木戸崇之	9- e18
5. 流動を捉える人口分布統計—新型コロナウイルス感染拡大下における人口変動分析—	加藤美奈・鈴木俊博	9- e24
6. 災害・イベント時の人口動態モニタリング—大阪北部地震・渋谷ハロウィン—	松島敏和	9- e30
7. 大規模位置情報データ連携がもたらす合理的根拠に基づく観光政策立案評価の実現	荒川 豊・石田繁巳・酒井幸輝・谷津ゆい子	9- e36
「身近になった対話システム」		
1. 対話システムを知ろう—自然言語による機械と人間とのコミュニケーション—	中野幹生	10- e1
2. 機械読解による自然言語理解	西田京介	10- e7
3. チャットボットサービスの変遷とそれを支える構成技術 —シナリオ型チャットボットサービスの発展—	岩崎信也・津村直哉	10- e12
4. 一般ユーザとの雑談会話のための AI チャットボット	沢田 慶	10- e19
5. 対話システムでは今何が問題になっているのか?	東中竜一郎・光田 航	10- e24
「観光情報学—スマートツーリズムに向けた研究動向—」		
1. ポストコロナにおける観光	安本慶一・中村 哲	11- e1
2. 観光情報のオープンデータ化	奥野 拓	11- e6
3. UGC を利用した観光資源の発見と推薦	馬 強	11- e12
4. 参加型観光情報の収集	藤本まなど	11- e18

5. 人流クラスタリング解析	田中宏季・中村 哲	11- e25
6. 観光ナビゲーション	安本慶一	11- e31
7. 観光のための動画キュレーション	諏訪博彦	11- e37
8. 観光とチャットボット—自動FAQ, 推薦, 行動変容対話—	吉野幸一郎	11- e43
9. 観光客の心理状態推定—観光に対する感情・満足度の定量的な推定に向けて—	松田裕貴	11- e49

「植物と情報処理」

<カテゴリ① 植物の情報処理機能>

1.1 植物の運動を駆動する情報処理とメカニクス	中島敬二	12- e1
1.2 花の中の知られざる情報処理	東山哲也	12- e4
1.3 ゲノムに隠された情報が進化を導く—進化における情報処理の役割—	長谷部光泰	12- e7
1.4 植物の空室吸収を制御する長距離情報伝達 —葉と根のコミュニケーションによる需要と供給の調節機構—	大久保祐里・松林嘉克	12- e10

<カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.1 AI 技術による植物発生研究	近藤洋平	12- e13
2.2 生命システムの解明を加速するネットワーク構造理論	望月敦史	12- e16
2.3 植物の生産力を最大化する情報処理技術 (植物工場)	福田弘和	12- e19
2.4 画像認識分野から見た植物の研究	内海ゆづ子	12- e22
3. 座談会: ゴール設定の違いが難しさ 「情報植物学」という新たな分野への挑戦 …………… 執筆: 太田智美, 参加: 中島敬二・稲見昌彦・上田貴志・植田美那子・近藤洋平・内海ゆづ子・太田智美		12- e25

■デジタルプラクティスコーナー

「変革の先にあるコンタクトセンター」

1. [招待論文] CX 創造を牽引する VOC 分析機構 —顧客に真摯に向き合うことで生まれる顧客体験価値の創造サイクル—	松丸 剛	2
2. [招待論文] 新しいナレッジマネジメントの方法論・KCS の導入と成果について	田口 浩	2
3. [招待論文] コンタクトセンタにおける CX マネジメントの実践—CX の理解とデジタル化の両立—	大貫竜平	2
4. [招待論文] 顧客との関係の質を高めることがコールセンタの価値となる —経営貢献するコールセンタの実証実験—	宮脇 一	2
5. [招待論文] コンタクトセンタの MBA 講座 経営視点からのコンタクトセンタの活用	宮崎義文	2
6. [招待論文] 経験学習と問題解決スキル—問題解決養成塾 SV 研究会から見てきた習得方法の極意—	寺下 薫	2
座談会: 変革の先にあるコンタクトセンターに向けて …………… 参加者: 松丸 剛・田口 浩・大貫竜平・宮脇 一・宮崎義文・寺下 薫・河合 洋		2
グロッサリ		2

「オープンサイエンスを支える研究データ基盤」

1. [解説論文] オープンサイエンスと研究データ管理の動向	青木学聡	5
2. [解説論文] 統合データベースプロジェクトから学ぶこと	高木利久	5

「感性情報学 最前線」

1. [招待論文] 感情認識 AI 「心 sensor」 の教育現場導入に向けた実証実験	齋藤 学	5
2. [解説論文] ユーザの感性情報を用いた動的なコンピュータシステム	竹之内宏	5
3. [招待論文] 遠隔地間の味コミュニケーションを想定した対話型進化計算による混合飲料生成システムの改善 …………… 福本 誠・花田良子		5
4. [招待論文] 対話型進化計算システムにおける一対比較評価の有用性	竹之内宏・徳丸正孝	5
インタビュー/座談会 最前線に立つ実務家と研究者が見る感性情報学の今と未来 インタビュー: 心 sensor について…………… インタビュー: 齋藤 学 インタビューア: 江谷典子		5
座談会: 対話型進化計算の未来…………… 参加者: 竹之内宏・福本 誠・花田良子・徳丸正孝 司会: 竹之内宏		5
グロッサリ		5

「快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術」

1. [招待論文] 大学における情報環境整備の重要性と課題	藤村直美	8
2. [招待論文] マルチコンテナオーケストレーションを用いた大規模コンテナ環境の設計と運用	坂下幸徳	8
3. [招待論文] コンテナを利用した実行環境の変化に 素早く適応できる恒常性を持つシステムアーキテクチャの設計と実装	松本亮介・近藤宇智朗・栗林健太郎	8
グロッサリ		8

「DX のプラクティス ~ニューノーマル時代を生き延びる~」

1. [解説論文] DX 先進企業から見る DX の現在地, 構造, 方向	三部良太・林 航平・河野太基・鎌田高輝	11
2. [招待論文] 急激な環境変化に対応する「DX 時代のイノベーション創出プログラム」 —リコグループのアクセラレータプログラム TRIBUS (トライバス) —	小笠原広大・大越瑛美・森久泰二郎・西脇祐介	11
3. [招待論文] 顔認証と Digital ID を活用したサービス社会の実現に向けて	太田知秀	11

4. [招待論文] 事例から見る RPA 導入の課題とその解決	三浦盛生・鈴木 岳	11
5. インタビュー：DX のプラクティス～ニューノーマル時代を生き延びる～	インタビュー：境 真良・三部良太 インタビュアー：吉野松樹・藤瀬哲朗	11
グロッサリ		11
提携団体推薦論文		
[JISA 招待論文] 表彰制度「JISA Awards」について	原 孝	8
[JISA 招待論文] 仮想セキュアネットワーク空間プラットフォーム	別府征英	8
[NEC ユーザ会] 顔認識によるデジタルマーケティングの実用化～価値あるデータを未来につなぐ～	島田 慧	8
[FUJITSU ファミリー会] 生命保険会社におけるパブリッククラウドの活用 ～機動的なシステムインフラ構築とコスト最適化を目指して～	白石征久・佐田野直樹・堀 仁人	8
[ユニシス研究会] 新しい生活様式に適したセキュアなりッチクライアントの実装 ～ Windows10 および Microsoft365 の標準機能の活用事例～	樋口将公	11
[日立 IT ユーザ会] 建設現場のデジタルシフト ～ IoT データの収集から活用に至るプロセスの構築～	天沼徹太郎・小山尚晃・角川友隆	11
■特別解説		
ネットの誹謗中傷問題は解消するのか？～プロバイダ責任制限法改正と今後の課題～	小向太郎	11- e55
大学入学共通テスト実施大綱の予告に関する本会の意見について	萩谷昌己	11- e62
■解説		
「情報教育課程の設計指針」解説	萩谷昌己	4- e61
日本語プログラミング言語「なでしこ」に関する解説	クジラ飛行機	5- e26
オンラインのデモ発表って、なんだ？	越後宏紀	7- e22
インフォメーションとインテリジェンス～情報という言葉をめぐるその後の探索～	小野厚夫	8- e26
■報告		
未踏の第 27 期スーパークリエイターたち		11- e67
■トピックス		
2020 年度研究会推薦博士論文速報 (e154～CS 領域／e240～IE 領域／e304～MI 領域)		11- e154
■連載		
「<Info-WorkPlace 委員会企画> 働き方を共有しよう！」		
CASE 2：1 粒で 4 度美味しい!? オンライン講演の味わい方	渡辺知恵美	6- e47
CASE 3：リモートワークとアクセシビリティ	坊農真弓	9- e42
「教科「情報」の入学試験問題って？」		
教科「情報」の入学試験問題って?	情報処理学会 情報入試委員会	5- e43
基本問題	情報処理学会 情報入試委員会 筧 捷彦	5- e46
基本問題 2	情報処理学会 情報入試委員会 筧 捷彦	7- e33
「情報通信ネットワーク」の例題	情報処理学会 情報入試委員会 高橋尚子	12- e29
■会議レポート		
「深層学習がもたらす情報処理の可能性について」視聴報告	宮武茉莉	7- e43

「IPSJ Magazine」 Vol.62 Contents

No. Page

■ Preface

Information and the Future of Food	Yoshihiro MURATA	1- 2
Kids, Have Fun! --- Math Programming Using Wolfram Language	Kaoru TAKEUCHI	2- 62
Why We Make Emotional Robots	Shunsuke AOKI	3- 122
What Can We Do for “No One Left Behind” ?	Chieko ASAKAWA	4- 184
Enjoy Developing Programming Languages	Kujira Hikou Dukue	5- 222
Computers Make Humans Free	Ken MOGI	6- 282
Miracles of the Information Revolution for Senior Citizens	Noriko KONDO	7- 320
Aiming to Be a Scientific Society for Pioneering the New Normal Era - Upon Assuming the IPSJ President -	Hideyuki TOKUDA	7- 322
Creating the Apex Algorithm	Naohiro TAKAHASHI	8- 382
LGBT and beyonds	Keisuke TOYODA	9- 466
The Digital Agency Launched ; From "DX" to "DIGIDO"	Takuya HIRAI	10- 536
Changing the World	Junji KIDO	11- 590
For the Second Age of Discovery	Taisuke FUKUNO	12- 650

■ Special Article

What was the Problem with HER-SYS	Asami HINO	1- 4
Droplet/Aerosol Dispersion Simulation on Supercomputer Fugaku for the Fight against COVID-19	Makoto TSUBOKURA	2- 64
A Revision to the Copyright Act on 2020 for Copyright Infringement Site	Masahiro SUGAWA	2- 68
Online Education and the Operational Guideline for Article 35 of the Amended Copyright Act	Takahiro HAGA	5- 224
Why Was the "docomo account" Attacked ? - The Gap between the Identity Verification when Opening the Account and the Identity Verification when Withdrawing Money from the Account	Yoichiro ITAKURA	7- 336
Lessons Learned from COCOA, a Exposure Notification App	Masanori KUSUNOKI	8- 384
The Present and Future of Crypto Assets	Naoyuki IWASHITA	11- 592
Revision of Regulations Concerning Teaching Curricula and Abolition of the Teacher's License Renewal System - Toward Accurate Support for Informatics Education -	Johnny NAKANO	12- 652

■ Special Features

"AI Human Resources Education"

Foreword	Mikiko SODE	1- 10
Outline		1- 12
"AI-powered Diagnostic Medical Imaging Changes the Medical Field"		
Foreword	Mikiko SODE TANAKA	2- 72
Outline		2- 74
"Supply Chain Security in The Age of Digital Transformation"		
Foreword	Masaki ISHIGURO, Satoru TEZUKA and Takayuki SASAKI	3- 124
Outline		3- 126
"Engrossed in Quantum Technology"		
Foreword	Mikiko SODE TANAKA	4- 186
Outline		4- 188
"Immersive Media to Enable Freely Walking through 3D Spaces with More Immersive Experiences"		
Foreword	Mikiko SODE TANAKA and Shuichi AOKI	5- 230
Outline		5- 232
"Digital Architecture Design"		
Foreword - Cheer Up All the People Struggling for Society 5.0 -	Akitoshi OKUMURA	6- 284
Outline		6- 285
"Information Processing of Haptics"		
Foreword	Junji WATANABE	7- 340
Outline		7- 342
"The Most Recent Digital Forensic Circumstances"		
Foreword	Tetsutaro UEHARA and Masahiro SUGAWA	8- 404
Outline		8- 406

"Population Flow Distribution Statistics which Capture the Flow of Persons and Change the World"		
Foreword	Mikiko SODE TANAKA	9- 470
Outline		9- 472
"Dialogue System with Increasing Practical Use"		
Foreword	Mikiko SODE TANAKA	10- 538
Outline		10- 540
"Tourism Informatics - Smart Tourism Toward Tourism Informatics -"		
Foreword	Satoshi NAKAMURA	11- 598
Outline		11- 600
"Information Processing to Learn from Plants and Learn about Plants"		
Foreword	Masahiko INAMI	12- 656
Outline		12- 658
■ Digital Practice Corner		
"Contact Center Ahead of Change"		
Foreword	Hiroshi KAWAI	2- 76
Outline		2- 79
"Reserch Data Infrastructure as the Foundation of Open Science"		
Foreword	Yasuhiro MURAYAMA and Kazuhiro HAYASHI	5- 234
Outline		5- 239
"Cutting-edge of Kansei Informatics"		
Foreword	Noriko ETANI, Hiroshi TAKENOUCI and Manabu SAITO	5- 240
Outline		5- 243
"Special Issue of the Internet and Operation Technologies for Comfortable Administrations and Operations"		
Foreword	Mikifumi SHIKIDA and Yutaka NAKAMURA	8- 408
Outline		8- 411
"DX Practices - Surviving in the Age of the New Normal"		
Foreword	Masayoshi SAKAI and Tetsuro FUJISE	11- 604
Outline		11- 606
■ Topics		
■ Article		
I Don't Know How to Love Programming Thinking	Satoshi ENDO	3- 130
■ Reports		
"The 2020 IPSJ Best Paper Award"		
• Foreword	Shinji SHIMOJO	8- 427
• Making Indoor Positioning Systems Widespread in Our Society	Hiroaki MURAKAMI	8- 428
• Received IPSJ Outstanding Paper Award	Shinya KATO	8- 429
• Discuss Head-on How to Move the Mind	Shoma KANEKO	8- 430
• The First Paper in My Working Life	Ayano OKOSO	8- 431
• Working on Biometric Authentication Using Brain Waves	Masato YAMASHITA	8- 432
• Research of Classification Reasons Visualization Method to Improve Explainability of Deep Neural Network	Yasuki KAKISHITA and Hideharu HATTORI	8- 433
• Crossing Fields : A Case of a Database Geek	Masafumi OYAMADA	8- 434
"The 2020 IPSJ Industrial Achievement Award"		
• Foreword	Yaoko NAKAGAWA	8- 435
• Towards Popularization and Utilization of the New Generation Vector Computer SX-Aurora TSUBASA	Takuya ARAKI, Kazuhisa ISHIZAKA, Teruyuki IMAI, Noritaka HOSHI and Shigeyuki AINO	8- 436
• Building Cloud-based Speech Recognition Service for Business Setting	Gakuto KURATA, Tohru NAGANO, Nobuyasu ITOH, Masayuki SUZUKI and Takashi FUKUDA	8- 437
• Challenge to Digitalization of Tacit Knowledge	Yuichi KOBAYASHI, Jian ZHENG, Yoshiyasu TAKAHASHI, Takashi YANAGIDA and Tatsuhiro SATO	8- 438
"The 2020 IPSJ Microsoft Faculty Award"		
• Foreword	Masami HAGIYA	8- 439
• Real-time Mining and Forecasting of Big Time-series Data	Yasuko MATSUBARA	8- 440

• Modular Constructions of Cryptographic Primitives	Takahiro MATSUDA	8- 441
"The 2020 IPSJ Research and Engineering Award"		
• Foreword	Masami HAGIYA	8- 442
• Small-World Phenomenon in the World of Data	Jianquan LIU	8- 443
27th-generation Mitou Super Creators	Ikuo TAKEUCHI	9- 468
"The 2021 IPSJ/IEEE-Computer Society Young Computer Researcher Award"		
• Message from the Selection Committee	Masami HAGIYA	10- 542
• Research on The "Interaction Space" Between Humans and Computers	Daisuke SAKAMOTO	10- 543
• Research for Practical Applications	Takuya AZUMI	10- 544
• Research Life Focusing on Privacy Preserving Data Mining	Yuichi SEI	10- 545
"The 2021 IPSJ/ACM Award for Early Career Contributions to Global Research"		
• Message from the Selection Committee	Masami HAGIYA	10- 546
• Research to Pioneer The Future of Programming and Media Content	Jun KATO	10- 547
■ Contribution		
Mourning Professor Mikio Aoyama's Early Death	Yoshiaki FUKAZAWA	8- 452
■ "Peta-gogy" for Future		
WCCE Postponed from 2021 to 2022	Toshinori SAITO	1- 21
2020 Virtual Symposium on the Testing of Informatics for Japanese University Admissions	Takeo TATSUMI	1- 22
The Gap between Information Experts and Faculty Members Who are not Good at ICT	Mami MITACHI	1- 27
Considerations for CS Education in a Post-COVID-19	Shizuka SHIRAI	2- 83
Aiming to Become an Information-study Teacher	Toshiharu KANO	2- 84
The Report of IPSJ Kansai-Branch Convention Focus on Junior Members	Toru OCHI	2- 88
HyFlex Courses	Hiroyoshi WATANABE	3- 135
National High School Information Education Study Group National Convention	Tsutomu OHARA	3- 136
Issues of ICT in Education	Kentaro MAEDA	4- 191
Education of Informatics from the Standpoint of an AI Researcher	Hitoshi MATSUBARA	5- 253
Feelings for the Trial Test "Informatics" of the Common Test for University Admissions from Educational Sites	Hiroyasu IDE	5- 254
A Report of Symposium "Future Informatics Education for University Students" 2020	Yoshifumi UESHIGE	5- 258
The "Information" in Education and It's Future	Rieko INABA	6- 293
Facilitation Used for Information Curriculum :		
Three Traps to Fall into When Introducing Active Learning Lessons	Mami MITACHI	6- 294
Let's Realize Integrated Information Education from Elementary School, Junior High School, High School, and University through Collaboration among Various Areas	Hiroyuki MURAMATSU	7- 325
The Subject "Information" to Be Introduced to the Common Test for University Admissions - Its Background and Sample Test Questions	Shuji MIZUNO	7- 326
Prototype Questions for the Common Test for University Admissions "Informatics" and My Impressions	Yoshiaki NAKANO	7- 331
Informatics Research Contest for Junior and High School Students and the Common Test for University Admissions	Yasuichi NAKAYAMA	8- 393
Implication of 3 rd Informatics Research Contest for Junior and Senior High School Students and Examination of the Contest	Sayaka TOHYAMA	8- 394
Works by Students in the Informatics Research Contest by Junior and Senior High school Students	Takashi YONEDA	8- 399
Consideration about Study Information Technology in High School	Mitsugu SUGIMOTO	9- 489
Report on the National Convention of IPSJ Event "Prospects for University Entrance Examination on Information Study to be Implemented in 2025"	Tsuneyasu KOMIYA and Takashi SATO	9- 490
Standardization Techniques for Learning Log Data - Experience API (xAPI)	Masako FURUKAWA	9- 495
A Technical Standard for Learning Objectives and Rubrics :		
Imaging A Digital Ecosystem From Topdown Perspective	Tsuneo YAMADA	10- 549
IMS CASE Specification and Its Potential	Makoto MIYAZAKI	10- 550
A Report of Lesson and Support of Programming Education in Elementary School	Maiko SHIMABUKU	10- 554
Release of Data Science Curriculum Standards for University-level Education Majoring in Data Science	Hiroshi KATO	11- 609
Research Discussions on the "Information Study" Sample Problem of the Common Test for University Admissions - Through the Convention 2021 of Aichi High School Information Education Study Group -	Masaya TAKADA	11- 610

Behind the Scenes of the Introduction of Online Courses : From the Perspective of One of the Faculty Members	
Who Supported the University of Tokyo's Shift to Online Courses	Lui YOSHIDA 11- 614
To Convey the Fun of Programming	Toshio MATSUURA 12- 661
Programming Education for Preschoolers - Example of a Kindergarten Using Viscuit -	Takeshi WATANABE 12- 662
Development of Gender-inclusive Learning Materials for Programming	
- Programming for Feeling Data with Visualization -	Tomoko YOSHIDA, Taeko ARIGA and Takehisa MASHIMO 12- 667

■ Series

"Skimming a Famous Paper in Five Minutes"	1- 34, 2- 100, 3- 148, 4- 202, 5- 268, 6- 290, 7- 356, 8- 424, 9- 518, 10- 568, 11- 628, 12- 682
"IT Travelog Manga"	3- 168, 10- 558
"Shopping Boast"	5- 229
"Let's Learn Informatics"	
Class Practice of the Subject "Information Security"	Yoshiyuki MURAYAMA 1- 14
Information Design Class Practice Report from the Perspective of PBL	Suguru MURAMATSU 2- 92
Thinking about Classes of "Information 1"	
- Learning Communication and Information Design through Making LINE Stamp -	Taira TOMITA 3- 140
Entrance Exam Analysis with Text Mining	Takashi NAKAYAMA 4- 192
Practical Examples of Specialized Subjects "Information Design" and "Information Contents Practice"	
.....	Hiroyuki YAMAMOTO 5- 246
Practices of Graduation Research in "Information Study by Scientific Approach"	
Course Towards a New Information Curriculum	Ken TANAKA 7- 346
Utilization of ICT Tools in the Period for Integrated Studies on the Theme of SDGs	Hiroshi KIKUCHI 8- 414
Bringing Ideas to Life through App Development	Atsushi HIRATA 9- 500
Problem-Solving Based on Data Science in High School	
- Bringing Up Creative Power to Open Up the AI Era -	Hiroki HAYASHI 10- 560
Classroom Practice for Junior High School Students to Learn the Bidirectional Communication	
and Measurement / Control in Technology Education	Masayoshi KUSANO 11- 619
Practice of Cross-cutting Class Using Pictograms	
- Aiming for the Fusion of Scientific Understanding of Information and Information Design -	Kenichi SHIBATA 12- 672
"Algorithm Starting from Scratch"	
Learn Algorithms Intuitively	Moriteru ISHIDA 1- 36
"Questions for Experts"	1- 40, 2- 102, 3- 150, 4- 199, 5- 264, 6- 299, 7- 344, 8- 444, 9- 514, 11- 632, 12- 685
"Questions from Experts"	3- 150
"Biblio Talk"	1- 20, 2- 98, 3- 146, 4- 200, 5- 266, 6- 288, 7- 352, 8- 422, 9- 516, 10- 566, 11- 626, 12- 676, 12- 678
■ IPSJ Activity Report	3- 152, 3- 162, 9- 506
■ Committee Report	3- 164, 12- 686
■ Conference Report	1- 32, 2- 104, 3- 166, 4- 204, 5- 270, 6- 300, 7- 354, 10- 572, 11- 634
■ Mourning	8- 449
■ Hot Times	6- 302, 6- 303, 6- 304, 6- 305

「IPSJ Magazine」 Online (2020) Contents

No. / Date

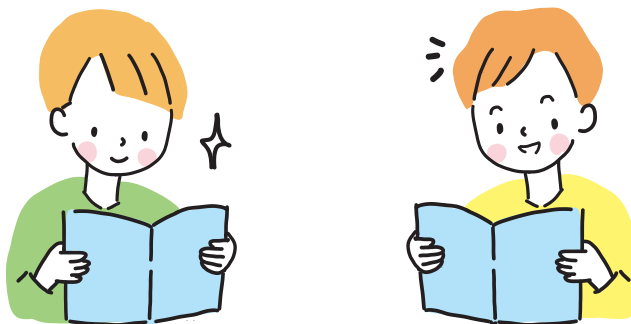
■ Special Article

How IPSJ has been Involved in Admissions Reform in Japan since 1994.	Takeo TATSUMI 1- e1
What Can We Do for the Better Internet? The Recent Law Revision and Defamation	Taro KOMUKAI 11- e55

for Conducting the University Admission Common Examination	Masami HAGIYA	11- e62
■ Special Features		
"AI Human Resources Education"		
The AI Strategy of Japan	Yuichiro ANZAI	1- e5
Education of AI-ready students in Faculty of Data Science of Shiga University	Akimichi TAKEMURA	1- e16
AIR Technology Education Program which All Students can Use Naturally as Breathe the Air	Fujio IKEDA	1- e22
Data Science Education Program at Waseda University	Toshiyasu MATSUSHIMA	1- e27
Human Resource Development for Digital Transformation in the System Integration Company	Takashi SUENAGA and Yoko YAMAGUCHI	1- e33
"AI-powered Diagnostic Medical Imaging Changes the Medical Field"		
Overview and Future Prospects for AI-based Image Diagnosis : "Third Eye" to Help Doctors	Hiroshi FUJITA	2- e1
The Future of AI Medical Imagingy - Aortic Aneurysm Diagnosis AI Efforts -	Kenta ARAKI and Masahiko OGURA	2- e9
Surgery with Artificial Intelligence	Ken'ichi MOROOKA	2- e14
Computer Aided Diagnosis of Retinal Fundus Images (Optical Images) - Development Retinal AI Status and Expectations -	Yuji HATANAKA	2- e19
AI Diagnosing for Dental Panoramic X-ray Images	Shigeru SHIOZAWA	2- e25
"Supply Chain Security in The Age of Digital Transformation"		
Mechanisms and Systems to Achieve Supply Chain Security	Masaki ISHIGURO	3- e1
Supply-chain Cybersecurity Policy in Japan	Toshikazu OKUYA	3- e7
Trends of ICT Supply Chain Security Threats and Countermeasures	Ryuichi OGAWA and Akemi KOYAMA	3- e14
Security Certification Scheme for Automation and Control Components	Hiroo KANAMARU and Tsutomu YAMADA	3- e21
Ensuring Supply Chain Security through Third Party Certification	Shinichi TOYAMA and Ethiraj, Sudhir Kumar Raj	3- e28
3 rd Party Cybersecurity Assurance Program	Toshiro YOSHIOKA	3- e34
Overview of Software Bill of Materials (SBOM)	Masato MATSUOKA	3- e37
"Engrossed in Quantum Technology"		
Daybreak of Quantum Computers	Hiroshi IMAI	4- e1
Quantum Annealing is Dead?	Masayuki OHZEKI	4- e8
Utilization of Next Generation Accelerators Using Quantum Technology	Masashi TAWADA, Shu TANAKA, Yoshiki MATSUDA and Tenin YAN	4- e15
Quantum Computation for Finance	Shumpei UNO	4- e22
Quantum Computer and Quantum Chemistry - Does Quantum Computer Bring Benefit to Quantum Chemistry? -	Yu-ya OHNISHI	4- e28
Quantum Computing for Machine Learning - Near-term and Long-term Algorithms -	Kosuke MITARAI	4- e35
Potential of Diamond - Solid-state Quantum Sensors -	Mutsuko HATANO	4- e41
The Principle of Quantum Cryptography and Developments for Its Practical Realization	Akihiro MIZUTANI	4- e47
Quantum Virtual Hackathon - Raising Quantum Talents by the Community	Yuri KOBAYASHI, Atsushi MATSUO and Kifumi NUMATA	4- e53
"Immersive Media to Enable Freely Walking through 3D Spaces with More Immersive Experiences"		
Immersive Live Experience : Development and Standardization	Jiro NAGAO and Hideo IMANAKA	5- e1
Audio Technologies Toward Immersive Media	Takehiro SUGIMOTO	5- e7
Principle of FTV (Free-viewpoint Television)	Masayuki TANIMOTO	5- e12
Standardization Activities on Immersive Media in MPEG	Shuichi AOKI	5- e19
"Digital Architecture Design"		
Architecture Design to Realize Society 5.0	Yutaka SAITO and Takashi KONO	6- e1
Digital Architecture Design : Social / Industrial Architecture Design	Seiko SHIRASAKA	6- e7
Architecture of Data Trading System	Hiroshi MANO	6- e13
Smart City Reference Architecture - Development and Deployment of Architecture Compliant to Society 5.0 -	Norihito FUJITA	6- e20
Natural Language Processing Technologies for Solving Social Issues - What is Needed for Assisting People with AI? -	Kentaro TORISAWA	6- e27
AI Governance in Digital Society - Ethics and Legal System	Hiroshi NAKAGAWA	6- e34
Research Groundwork for Digital Architecture Design - Key Research Activities at AIST	Hiro KISHIMOTO and Satoshi SEKIGUCHI	6- e40
"Information Processing of Haptics"		
Role of Haptics in Social Well-being - Technology to Bridge Psychological Diversity of Well-being	Junji WATANABE	7- e1

Novel Communication Pioneered by Haptic Informatization	
- Possibility of Body Augmentation and Body Fusion -	Yoshihiro TANAKA 7- e4
Heuristic Method of Haptics for Convivial Society	Kakagu KOMAZAKI 7- e7
The Economics of Mutual Support and Trust : Towards Embodiment Economics	Keigo INUKAI 7- e10
How Aas the PS5 Game Controller "DualSense" Born?	Zenji NISHIKAWA 7- e13
"The Most Recent Digital Forensic Circumstances"	
Overview of Digital Forensic and New Issues	Masahiro SUGAWA 8- e1
Recent Technical Issues on Digital Forensics	Tetsutaro UEHARA 8- e4
The Issue of Cybercrime and Digital-forensics	Takayoshi HOJO 8- e8
Legal Studies on Digital Forensics	Taro KOMUKAI 8- e13
The Spread of Digital Forensics - Consider from the Results of the Questionnaire -	Satoru KOYAMA 8- e17
The Market Value of Stolen Personal Information - From the Field of Digital Forensics	Takashi MATSUMOTO 8- e21
"Population Flow Distribution Statistics which Capture the Flow of Persons and Change the World"	
Social Development by Constant Monitoring of Urban Using Origin-Destination Trips	Ryuichi IMAI 9- e1
Development of Origin-Destination Trips Generated from Operational Data of a Mobile Network	Daizo IKEDA 9- e5
Mobile Spatial Statistics for Urban Transportation Survey and Planning	Hiroyasu SHINGAI 9- e11
Distribution of Railway Operation Information According to the Needs of Viewers	
- Research to Narrow Down the User Distribution Area for Each Railway Line with Big Data -	Takayuki KIDO 9- e18
Population Distribution Statistics for Survey of Origin-Destination Trips	Mina KATO and Toshihiro SUZUKI 9- e24
2018.6.18 Northern Osaka Prefecture Earthquake	
and Shibuya Halloween Monitoring Using Mobile Spatial Statistics	Toshikazu MATSUSHIMA 9- e30
Promotion of EBPM in Tourism - The Development of a System Based on Large-scale Ad Location Data -	Yutaka ARAKAWA, Shigemi ISHIDA, Koki SAKAI and Yuiko YATSU 9- e36
"Dialogue System with Increasing Practical Use"	
Introduction to Dialogue Systems - Human-Machine Communication Using Natural Language -	Mikio NAKANO 10- e1
Natural Language Understanding by Machine Reading Comprehension	Kyosuke NISHIDA 10- e7
The Technology and Evolution of Chatbot Services	Shinya IWASAKI and Naoya TSUMURA 10- e12
AI Chatbot for Chit-chat with General Users	Kei SAWADA 10- e19
What Are the Current Problems in Dialogue Systems?	Ryuichiro HIGASHINAKA and Koh MITSUDA 10- e24
"Tourism Informatics - Smart Tourism Toward Tourism Informatics -"	
Behavior Change and Human Flow Analysis on Tourism	Satoshi NAKAMURA and Keiichi YASUMOTO 11- e1
Open Data for Tourism Information	Taku OKUNO 11- e6
Discovery and Recommendation of Tourism Resources by Using User Generated Content	Qiang MA 11- e12
Gamified Participatory Sensing for a Sightseeing	Manato FUJIMOTO 11- e18
People Trajectory Analysis	Hiroki TANAKA and Satoshi NAKAMURA 11- e25
Navigation System for Tourism	Keiichi YASUMOTO 11- e31
Video Curation for Tourism	Hirohiko SUWA 11- e37
Tourism and Chatbot	Koichiro YOSHINO 11- e43
Tourists' Emotion and Satisfaction Estimation	Yuki MATSUDA 11- e49
"Information Processing to Learn from Plants and Learn about Plants"	
Information Processing and Mechanical Properties Behind Plant Movement	Keiji NAKAJIMA 12- e1
Information Processing in the Flower	Tetsuya HIGASHIYAMA 12- e4
Evolvability by Hidden Information in a Genome - Roles of Information Processing in Evolution -	Mitsuyasu HASEBE 12- e7
Long-distance Signaling Regulates Nitrogen Uptake in Plants	Yuri OHKUBO and Yoshikatsu MATSUBAYASHI 12- e10
Machine Learning in Plant Developmental Biology	Yohei KONDO 12- e13
Structural Theories to Promote Understanding for Network Systems in Biology	Atsushi MOCHIZUKI 12- e16
Information Processing Technologies for Maximizing Plant Productivity in Plant Factories	Hirokazu FUKUDA 12- e19
Research on Plants from the Perspective of the Image Recognition Field	Yuzuko UTSUMI 12- e22
Roundtable Discussion : Difficulties in Setting Different Goals :	
The Challenge of a New Field of "Information Botany"	Keiji NAKAJIMA, Masahiko INAMI, Takashi UEDA, Minako UEDA, Yohei KONDO, Yuzuko UTSUMI and Tomomi OTA 12- e25
■ Digital Practice Corner	
"Contact Center Ahead of Change"	2
"Reserch Data Infrastructure as the Foundation of Open Science"	5
"Cutting-edge of Kansei Informatics"	5

"Special Issue of the Internet and Operation Technologies for Comfortable Administrations and Operations"	8
"DX Practices - Surviving in the Age of the New Normal"	11
■ Article	
Commentary on "Design Guideline for Information Education Courses"	Masami HAGIYA 4- e61
About Japanese Programming Language "Nadeshiko"	Kujira Hikou Dukue 5- e26
What Is a Demo Presentation at Online Virtual Conference ?	Hiroki ECHIGO 7- e22
Information and Intelligence	Atsuo ONO 8- e26
■ Reports	
27th-generation Mitou Super Creators	Ikuo TAKEUCHI 11- e67
■ Topics	
■ Series	
"Let's Share Working Styles! <by Info-WorkPlace Committee>"	
CASE 2 : Four Birds with One Stone !? How to Enjoy the Online Conference	Chiemi WATANABE 6- e47
CASE 3 : Remote-working and Accessibility	Mayumi BONO 9- e42
"What Kind of Exam Questions on Informatics Will Appear in University Entrance Exams?"	5- e43, 5- e46, 7- e33, 12- e29
■ Conference Report	
	7- e43





大学・工業高校・専門学校などで
教科書・参考書としてお使いいただけるシリーズです。

新刊

一般情報教育 (一般教育シリーズ)

稲垣知宏・上繁義史・北上 始・佐々木整・高橋尚子・
中鉢直宏・徳野淳子・中西通雄・堀江郁美・水野一徳・
山際 基・山下和之・湯瀬裕昭・和田 勉・渡邊真也 著
A5判/266頁/定価2,420円(税込)

オペレーティングシステム (改訂2版)

野口健一郎・光来健一・品川高廣 共著
A5判/256頁/定価3,080円(税込)

ネットワークセキュリティ

菊池浩明・上原哲太郎 共著
A5判/206頁/定価3,080円(税込)

ソフトウェア工学

平山雅之・鶴林尚靖 共著
A5判/214頁/定価2,860円(税込)

応用Web技術 (改訂2版)

松下 温 監修/市村 哲・宇田隆哉 共著
A5判/192頁/定価2,750円(税込)

基礎Web技術 (改訂2版)

松下 温 監修/市村 哲・宇田隆哉・伊藤雅仁 共著
A5判/196頁/定価2,750円(税込)

画像工学

堀越 力・森本 正志・三浦康之・澤野弘明 共著
A5判/232頁/定価3,080円(税込)

人工知能 (改訂2版)

本位田真一 監修/松本一教・宮原哲浩・
永井保夫・市瀬龍太郎 共著
A5判/244頁/定価3,080円(税込)

音声認識システム (改訂2版)

河原達也 編著
A5判/208頁/定価3,850円(税込)

ヒューマンコンピュータ
インタラクション (改訂2版)

岡田謙一・西田正吾・葛岡英明・仲谷美江・塩澤秀和
共著 A5判/260頁/定価3,080円(税込)

ソフトウェア開発 (改訂2版)

小泉寿男・辻 秀一・吉田幸二・中島 毅 共著
A5判/224頁/定価3,080円(税込)

情報と職業 (改訂2版)

駒谷昇一・辰己丈夫 共著
A5判/232頁/定価2,750円(税込)

情報通信ネットワーク

阪田史郎・井関文一・小高知宏・甲藤二郎・
菊池浩明・塩田茂雄・長 敬三 共著
A5判/288頁/定価3,080円(税込)

数理最適化

久野誉人・繁野麻衣子・後藤順哉 共著
A5判/272頁/定価3,630円(税込)

情報とネットワーク社会 (一般教育シリーズ)

駒谷昇一・山川 修・中西通雄・北上 始・佐々木整・
湯瀬裕昭 共著 A5判/196頁/定価2,420円(税込)

情報とコンピュータ (一般教育シリーズ)

河村一樹・和田 勉・山下和之・立田ルミ・岡田 正・
佐々木整・山口和紀 共著
A5判/176頁/定価2,420円(税込)

メディア学概論

山口治男 著
A5判/172頁/定価2,640円(税込)

情報ネットワーク (一般教育シリーズ)

岡田 正・駒谷昇一・西原清一・水野一徳 共著
A5判/168頁/定価2,530円(税込)

離散数学

松原良太・大鷹彰昇・藤田慎也・小関健太・
中上川友樹・佐久間雅・津垣正男 共著
A5判/256頁/定価3,080円(税込)

HPCプログラミング

寒川 光・藤野清次・長嶋利夫・高橋大介 共著
A5判/256頁/定価3,080円(税込)

ユビキタスコンピューティング

松下 温・佐藤明雄・重野 寛・屋代智之 共著
A5判/232頁/定価3,080円(税込)

Java/UMLによる
アプリケーション開発

森澤好臣 監修/布広永示・高橋英男 共著
A5判/208頁/定価2,860円(税込)

情報理論

白木善尚 編
村松 純・岩田賢一・有村光晴・渋谷智治 共著
A5判/256頁/定価3,080円(税込)

Java基本プログラミング

今城哲二 編 布広永示・
マッキンケネスジェームス・大見嘉弘 共著
A5判/248頁/定価2,750円(税込)

システムLSI設計工学

藤田昌宏 編著
A5判/242頁/定価3,080円(税込)

組込みシステム

阪田史郎 著 高田広章 編著
A5判/280頁/定価3,300円(税込)

情報システム基礎 (一般教育シリーズ)

神沼靖子 編著
A5判/228頁/定価2,750円(税込)

Linux演習

前野譲二・落合 昭・生野莊一郎・塩澤秀和・
高島俊徳 共著
A5判/224頁/定価2,750円(税込)

インターネットプロトコル

阪田史郎 編著
A5判/272頁/定価3,080円(税込)

分散処理

谷口秀夫 編著
A5判/240頁/定価3,080円(税込)

情報とコンピューティング

(一般教育シリーズ)
川合 慧 監修/河村一樹 編著
A5判/228頁/定価2,750円(税込)

情報と社会 (一般教育シリーズ)

川合 慧 監修/駒谷昇一 編著
A5判/236頁/定価2,750円(税込)

コンピュータアーキテクチャ (改訂2版)

小柳 滋・内田啓一郎 共著
A5判/256頁/定価3,190円(税込)

コンピュータグラフィックス

魏 大名・先田和弘・Roman Durikovic・向井信彦・
Carl Wilbrandt 共著
A5判/280頁/定価3,300円(税込)

アルゴリズム論

浅野哲夫・和田幸一・増澤利光 共著
A5判/242頁/定価3,080円(税込)

データベース

速水治夫・宮崎収兄・山崎晴明 共著
A5判/196頁/定価2,750円(税込)

ソフトウェア工学演習

伊藤 潔・廣田豊彦・富士 隆・熊谷 敏・川端 亮 共著
A5判/228頁/定価3,080円(税込)

データベースの基礎

吉川正俊 著
A5判/288頁/定価3,190円(税込)

コンピュータグラフィックスの基礎

宮崎大輔・床井浩平・結城 修・吉田典正 著
A5判/292頁/定価3,520円(税込)

価格は変更する場合があります。

注文はオーム社Webサイトまで ▶ https://www.ohmsha.co.jp/tbc/text_series_0202.htm

情報処理学会 第84回全国大会

変わる社会と情報処理

講演募集

講演申込締切 **2021.12.3 (金) 15:00まで**

原稿送信締切 **2022.1.7 (金)**

開催日 **2022.3.3 (木)~5 (土)**

講演申込資格

講演申込種別	資格
一般セッション	不問
学生セッション	高専・大学学部・修士(博士前期課程)在学者

会場 **愛媛大学 城北キャンパス**
(愛媛県松山市文京町3)

ハイブリッド開催



論文ページ数・講演時間

講演申込種別	講演時間	論文ページ数
一般セッション	一般セッション 20分	2ページ
学生セッション	学生セッション 15分	2ページ

講演参加費・講演論文集代(税込)

講演申込種別	会員種別	費用
一般セッション/ 学生セッション (1件の申込につき)	正会員	11,000円
	学生会員	6,000円
	一般非会員	26,000円
	学生非会員	15,000円
	ジュニア会員	無料
講演論文集(希望者のみ)	全会員種別	8,500円

当会会員が全国大会で発表された論文の中から、優秀な論文、発表に対し賞の贈呈をしています。



特に優秀な論文の登壇発表者10名以内。



学部生または学部在学から卒業後10年までの新進の科学者または技術者で、大会優秀賞の対象とならなかった論文の登壇発表者10名以内。



学生セッションで発表された中から、優秀な発表者2名以内。大会のローカルアワードとして授与(該当なしの場合もあり)。



<https://www.ipsj.or.jp/event/taikai/84/>

情報処理学会 全国大会 検索

〒101-0062
東京都千代田区神田駿河台一丁目五番五号
編集人 稲見昌彦

東京都千代田区神田駿河台一丁目五番五号
発行所 一般社団法人 情報処理学会
発行人 木下泰三

電話 東京(03)35181837
振替口座 〇〇一五〇一四一八三四八四

東京都荒川区西日暮里五丁目一丁目一
印刷所 三美印刷株式会社

会員外発売所

東京都千代田区神田錦町三丁目一
株式会社 オーム社

定価 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 05269-12



4910052691216
01600