

[プロジェクト研究総括 河原林健一に聞く]
ネット社会支えるアルゴリズムの力

[NEC データサイエンス研究所との共同研究]
数理の最先端を「基礎科学」から「ビジネス」へ

機械学習でウェブデータに隠れた
規則性を明らかに

情報科学で明らかにする
生物のダイナミクスとネットワーク

NII Today

78
Dec. 2017

National Institute of Informatics News

Feature

ネットワーク解析で 世界を読み解く

ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」



ネット社会支える アルゴリズムの力

IT産業に不可欠な頭脳育てる

河原林健一 国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系教授/所長補佐/ビッグデータ数理国際研究センター長
JST ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」研究総括
総合研究大学院大学 複合科学研究科 教授

聞き手：滝 順一氏 日本経済新聞社編集局編集委員

「グラフ」は点と辺の集合を用いてさまざまなネットワークの構造や特性を調べる数学の一分野だ。NIIの河原林健一教授は科学技術振興機構（JST）のERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」（2012年10月～2018年3月）を率いて、インターネットに代表される巨大で時々刻々変化を遂げるネットワークを迅速に解析するアルゴリズムの開発に取り組んでいる。プロジェクトの狙いや成果を尋ねた。



河原林健一

Ken-ichi Kawarabayashi

滝 まずJSTのERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」の成果をうかがいます。

河原林 巨大グラフの解析を高速化できるアルゴリズムをいくつも開発したという成果を数え上げることはできます。実際にトップランクの国際学術雑誌（ジャーナル）掲載論文は69本、国際会議採択論文も94本という成果を挙げています（2017年10月末現在）。

しかしここではプロジェクトを通じて育った人材について強調したい。大学院生やポストドクを主体とした若い研究者60～70人に研究資金を提供して、彼らの中から20人ほどが東京大学、NII、京都大学、東京工業大学などアカデミアにポストを得ることができました。これはレガシーとして残ります。

日本はIT（情報通信）の分野で研究者も技術者も足りないとい多くの人が指摘しますが、どんな手を打つべきかがはっきりとわかっている人は少ないと思います。いま必要とされている技術は、例えば10年前に決めた学科の枠内で追求できるものとはまったく違うものになっています。ERATOは学部や学科の壁を超えた研究に資金を提供できるので非常に有効な仕組みです。

滝 どのような人材が求められているのですか。

河原林 日々成長するインターネットのことを挙げるまでもなく、交通網やサプライチェーンなど世の中で見えるものの多くの問題がグラフやネットワークに落とし込んでモデル化できます。グラフはネットワークの構造を視覚化するのでわかりやすい手法とも言えます。世界の人口はまだ100億人に満ちず10の10乗のデータ数の範囲で、ネットワークを取り扱うのはそれほど難しくはありません。しかし、例えばそれぞれの人に年齢とか住所とか属性データが100個くらいついてくると容易ではなくなります。グーグルやマイクロソフトなどネットワークを活用する企業にとって、いま最も重要なことは刻々と変化するネットワークにどう追随するかなのです。

例えば米国の大統領選挙の結果は株価に影響を与えました

が、ネットワークから情報を取り出し世の中で起きていることの少し先を読むことには大きなニーズがあります。いかに先に情報を取るかが勝負なのです。これを実現するにはアルゴリズムの力が不可欠です。どんなにうまいプログラムを書いてもアルゴリズムが悪ければ勝負になりません。データが巨大になればなるほどアルゴリズムが大事になります。速いアルゴリズムを開発することが重要なのです。非常に単純な例をあげれば、1から100までの整数の和を求めるような場合、順番に一つずつ足していくよりずっと早いやり方があることは多くの人が知っています。

どんなアルゴリズムが速いかは基本的にタスクによります。どんな場合にも速く解析できる汎用のアルゴリズムというものはありません。状況に合わせてやり方を変えなくてはなりません。問題が変わっても答えが出せるのが人間です。つまり臨機応変にアイデアを出せる汎用性のある能力を備えた人間が大事なのです。それにはプログラミング能力だけでは足りません。数学的な能力、深く理論的にものを考え、それを横に展開できる力が必要です。理論的に深く考える力を身につけた人は異なる領域の課題に遭遇しても、研究領域間の横のつながりがわかり、それらを組み合わせて考えることができます。こうしたら解けるのではないかとパッと思いつくことができます。これはコンピュータにはできないことです。そうした人材にとれほど厚みがあるかが、大事なのです。

滝 米国のシリコンバレーにはそんな人材が集積しているのですね。

河原林 企業の時価総額ランキングでトップ10の多くがアップルをはじめ米国のIT企業です。日本企業はトップ100にころうじて数社がいるにすぎません。モノづくりだけで価値を生み出す時代は終わりました。サービスで付加価値をつける時代です。サービスには情報が不可欠です。そうした変化は日本の製造業のトップも理解しているとは思いますが、IT産業や技術で起きているダイナミックな変化には追いついていないようにみえます。

世界の最先端の流れを把握し続けるには、その人もひとかどの研究者でなければいけません。研究者の世界で一流と見なされた人でなければ最先端の研究の意味を即座に理解することが難しいからです。新しい流れの持つ学術的な意味を理解する必要があります。ITの世界では基礎的、学術的とみられる研究成果が新しいサービスの開発や改善に直接つながります。マイクロソフトの研究開発の現場のトップは元研究者です。技術がピンポイントでわかる「指揮官」が必要です。

日本のIT系企業で耳にするのが、トップが文系出身者の場合、研究成果についていったいどれくらい噛み砕いて説明したらいいのかかわからないという悩みです。初歩から説明したのでは、本当に革新的なことを説明し理解してもらおうところまで行



き着く時間がないと言います。日本企業にはITの研究を理解するトップが必要です。

滝 IT産業では、いわゆる「基礎研究」の持つ意味合いが違うようですね。基礎から応用、実用化といった段階的な研究開発のスタイルではない。

河原林 私が米国で暮らしていたころ、離散数学や計算機科学の優秀な理論研究者が当時のAT&T研究所やマイクロソフトリサーチにいるのを知って、何に取り組んでいるのかを直接聞いたことがあります。彼らは製品やサービスの開発には直接的な貢献をしていたわけではなく、開発の現場から投げかけられる課題に対処するのが役割でした。開発段階で生ずるさまざまなボトルネックを解決したり、解決ができない場合はなぜ無理かを説明したりする。これは数学的な能力がないとできない。

またさまざまな課題に常に対処するには世界の研究に触れて一線級の研究がわかる必要があります。それには日常的に5割以上の時間を自らの理論的な研究に当て一線級の業績をあげている必要があります。グーグルの研究所でもこの形は変わらないと思います。

すべての研究者や技術者が数学の深い素養を持つ必要はありません。比較的少数のエリート的な研究者がグーグルなどの研究能力の源泉です。そんなエリート研究者を育てることが日本の競争力のためには重要です。日本にも優秀な若手研究者はいますが、うっかりするとグーグルなどに就職してしまいます。エリートを育て活躍の場をつくることが求められています。

(写真 = 佐藤祐介)

インタビューからのひとこと

「数学の研究だけなら何億円も要りません」。河原林さんはそう言って笑った。他のERATOプロジェクト以上に河原林プロジェクトの意義は人材の育成にあるのは間違いない。その目標はかなり達成されたとの印象を持った。

猛烈な勢いで拡大し私たちの生活に浸透する情報通信ネットワークは、個人の働き方から産業や国家の有り様に至るまで真にゲームチェンジングな技術だと言える。「モノづくり」の大切さを強調する意見をよく耳にするが、今や私たちの生活空間そのものと言って過言ではないネットワークを知り、有用な情報を見つけ出す研究に日本はもっと目を向けなければならない。

滝 順一 Jun-ichi Taki

日本経済新聞社編集局編集委員
1956年生まれ。早稲田大学政治経済学部卒業後、日本経済新聞社に入り地方支局や企業取材を経て、1980年代半ばから科学技術や環境分野を担当してきた。著書に「エコうまに乗れ！」(小学館)、共著に『感染症列島』(日本経済新聞社)など。



数理の最先端を 「基礎科学」から「ビジネス」へ

プロジェクト参加の利点は数理に強い人材へのアクセス

酒井 淳嗣氏

日本電気株式会社 (NEC)
データサイエンス研究所
データマイニングテクノロジーグループ
研究部長

NECは、ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」がスタートした2012年当初から当プロジェクトと協力関係にある。2人の若手研究員をプロジェクトに参加させているNECデータサイエンス研究所データマイニングテクノロジーグループの酒井淳嗣研究部長に、官主導のプロジェクトに民間企業として関わることの意義を聞いた。

社会課題の解決にデータサイエンスを役立てたい

— NECデータサイエンス研究所は、どのような研究分野を担っているのでしょうか。

酒井 パターン認識や画像処理から、機械学習や最適化といった人工知能(AI)関連の研究まで一手に集める形で、2016年に設立した研究所です。AIでもメディアでもなく「データサイエンス」という名称を付けたことに、研究分野間の壁を取り払う意志を表しました。

例えば、ある研究員は基礎研究の一環で新たなアルゴリズム

を開発して国際学会に挑戦し、ある研究員は顧客のデータを解析して問題を解決するなど、目標を一律に定めずうまくチームを組んで成果を挙げています。

— ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」への関わりを教えてください。

酒井 NECは、当プロジェクトのうち「グラフ・ネットワークにおける理論と最適化グループ」に、2012年ごろから研究協力などの形で参加してきました。NECの研究員である伊藤伸志、矢部顕大の2人が共同研究に関わり、その成果をまとめた論文は情報系のトップ国際会議論文に採択されました。2人は現在もプロジェクトの定期イベントなどに参加しています。委託研究や研究員の常駐ではなく、もっと緩い形でプロジェクトと連携しています。

—なぜ、参加をしようと思われたのですか。

酒井 NECの事業の主軸は、コンピュータやネットワークなどの開発から「社会の問題を解く」こと、つまり社会ソリューション事業に移りつつあります。

現実の問題をデジタル化して数理的に捉え、アルゴリズムを通じて最適化し、制御する。その成果を、例えば生産設備や物流の無駄をなくすといった形で社会にフィードバックする。これらを実現するには、我々のようなIT企業にも数理分野の基礎力が求められます。

酒井 淳嗣

Junji Sakai

1994年 京都大学大学院情報工学研究科修了、同年日本電気株式会社入社、携帯電話はじめ各種組み込み装置向け並列ソフトウェアの方式設計、事業化推進に従事。2016年4月より現職、データマイニング領域の研究戦略策定と部門運営を担当。





NEC 研究員の伊藤伸志さん。矢部顕大さんとともに、ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」に参加している

また、NECは古くからデータサイエンス研究を手がけています。郵便番号の文字認識から始まり、画像のパターン認識、今も続く顔認証技術などの成果を挙げてきました。データサイエンスはここ数年来、コンピュータやネットワークに代わるITの新たな競争領域になっており、NECはこの領域で強みを発揮したい。アカデミア（学術界）との共同研究は、基礎力の底上げにとって貴重な機会になると考えました。

当プロジェクトはアカデミアの世界から研究員が数多く参加しており、議論を通じて有用な知見が得られます。グラフを中心とする離散数学のアプローチや、予測値のふれ幅を知るロバスト最適化などの基礎研究に立ち返り、社会やビジネスに寄与するアルゴリズムを検討できるのは、大きな魅力です。

先端研究への土地勘を養い、研究戦略に活かす

——当プロジェクトへの参加を通じ、具体的にどのような分野で成果を期待しているのでしょうか。

酒井 我々はこちら最近、「予測最適化」の研究を進めています。実世界を見える化した上で、将来を予測し、望ましい未来を実現する最適化の計画を立てるものです。

このうち未来予測について、NECは4年ほど前から「異種混合学習」などの予測技術を開発してきました。しかし、予測に基づく最適化の研究領域は発展途上で、まだビジネスに使えるかは見通せません。

例えば小売店であれば「顧客はどれくらい来店するか」「どの製品がどれくらい売れるか」といった未来予測については、過去のデータに基づく機械学習などを通じ、一定の精度で算出することができる。

これに対して、一連の予測に基づいて「どの商品をどれほど仕入れ、棚に並べれば利益を最大化できるか」を計算し、行動計画を立てる最適化の問題は、一筋縄ではいかないでしょう。一方の商品が売れば他方が売れないなど多数のパラメータが複雑に絡み合うため、現実的な時間で解くことが難しくなるのです。

プロジェクトへの参加を通じ、アカデミアの世界で活躍する方々と意見交換することで、数理アルゴリズムなど最先端の研

究について「土地勘」が得られます。そうすれば、最適化の問題に挑む研究戦略の方向性について、より適切な判断を下すことができる。これが、企業としてプロジェクトに参加する大きな意義です。独自のアルゴリズムを開発するうえでも、大きな助けになると期待しています。

基礎と応用の橋渡しができる人材を求めて

——民間企業として、どのような人材を社内研究員として求めているのでしょうか。

酒井 企業の研究開発の現場で最も不足しているのは、最先端の数理研究の論文を読みこなし、キャッチアップした上で、現実の課題に適用できる人材です。社会やビジネスの問題を数理の問題に翻訳し、アカデミアと意見を交換しながら、問題を解く糸口を見つける。こうした応用と基礎の橋渡しを担える人材は大変貴重です。

実は、先に言及した2人の若手研究員は、もともと修士課程で河原林巨大グラフプロジェクトに関わった後、NECに入社した人材です。「アカデミアで学んだ数理の知見を世の中の役に立てたい」との強い熱意を持ってきている。こうした数理に詳しいトップ人材は一般的な求人活動で採用するのは難しい。プロジェクトへの参加は、数理に精通した人材にアクセスできる点でも大きな意味があります。

あるビジネス案件で問題を解決したアルゴリズムが、全く異なる業種の問題に応用できることもあります。そこで、研究員には常々「One to Many」と呼びかけています。現実の問題を1件解いたら、広く展開できる汎用的なソリューションに発展させてほしい、という意味です。幅広い問題に応用できる数理的な手法を見だし、NECのソリューションとして展開できれば、より多くの顧客に貢献できます。

とはいえ、最先端のアルゴリズムをいち企業がクローズドな

形で開発できるとは考えていません。アカデミアとの議論を踏まえながら、オープンに開発していく。開発したアルゴリズムを現実の問題に応用するための周辺技術については独自開発し、特許で固める、パッケージ化するなどの方策があり得ると考えています。

（取材・文＝日経BP 浅川 直輝

写真＝佐藤裕介）



NEC 研究員の矢部顕大さん

写真(5頁)

ERATO 感謝祭 Season IV (2017.8.3-4 於 一橋講堂2F 中会議場)
提供：JST ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」

機械学習でウェブデータに隠れた規則性を明らかに

ユーザーの検索や投稿からニーズや流行を推定する

小西卓哉

国立情報学研究所 ビッグデータ数理国際研究センター
JST ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」
グラフマイニング & WEB&AI グループ
特任研究員

当プロジェクトでは、巨大グラフの代表的なものの一つであるウェブに関して、計算の高速化や新たな知見を抽出するためのアルゴリズムについて目覚ましい成果を上げている。例えば、ウェブ検索で使用される検索クエリ（問い合わせ）からユーザーの意図を推測するためのパターンを抽出する新たな手法の開発や、ウェブ上で流行する情報の目利きに関する研究なども手がけた。これにより、ウェブ検索の性能を改善したり、流行の検知やターゲット広告、マーケティングの高精度化に役立てたりできるという。機械学習の技術を応用した新たなアルゴリズムについて、当プロジェクトの小西卓哉特任研究員に話を聞いた。

検索クエリからユーザーの意図を探る

「河原林巨大グラフプロジェクト」では企業との共同研究が多い。小西卓哉特任研究員による検索クエリからウェブ検索ユーザーの意図を探る研究もそのうちのひとつ。ヤフー株式会社との共同研究だ。

検索クエリとは、ユーザーが入力する検索エンジンへの問い合わせ、平たくいえば検索キーワードのことだ。単語を組み合わせで検索することが多く、これはユーザーの検索意図を理解するための手がかりとなる。小西特任研究員は「検索クエリという情報を膨らませて、ユーザーが背後に考えていることを探りたいと思っています」と語る。

似た用途で使われるクエリには共通パターンがある。例えば「神保町・ホテル・格安」と「箱根・旅館・高級」というクエリがあったとする。二つのクエリに含まれる単語はそれぞれ「地名」、「旅行」、「条件」という共通する「トピック」を持つと考えられる。これらトピックを組み合わせることで、二つのクエリは「地名・旅行・条件」という同じパターンで表現できる。このようなトピックの組み合わせからなるパターンを見つけるのが、この研究の目的だ。

パターンがわかれば、ユーザーが考えていることを知るための手がかりになる。前述の例であれば「旅行したいんだな」と推測できる。クエリの提案や広告の推薦も可能だ。以前に入力した検索キーワードに似た広告が提示されることがあるが、そのためには特定のキーワードが入力されたらこの広告を出すように事前に指定する必要がある。クエリの背後にあるパターンがわかればもっと簡単にユーザーに適切な広告をマッチングさせることに応用可能だ。

教師なし学習でトピックを自動推定

パターンを見つけるには、キーワードとパターンに対応するトピック同士の対応付けと、トピックと単語の対応関係を見つける必要がある。例えば「神保町」は地名だ。だが検索エンジンにとっては自明ではない。同様に「東京」や「福岡」といった単語も、同じ地名のトピックに属する。なお、ここでいうトピックとは単なる単語の分布のことだ。では、こういったことを学習させるためにはどうすればいいか。

このような場合、「確率的潜在変数モデル」がよく使われる。各トピックを潜在変数とし、そこからクエリが確率的に生成されるモデルを想定する。実際にわかっているのはクエリなので、単語の離散確率分布＝トピックをクエリログ（検索キーワードの履歴）から「教師なし学習」を行い、データの背後にある規則性を見つけて、トピックの推定を行う。

学習の高速化と新たな知見の発見

小西特任研究員たちは提案手法を「Pairwise Coupled Topic Model (PCTM)」と呼んでいる。特徴はクエリを取り得る全ての単語ペアに分解してトピックペアを学習すること。これにより、トピック同士の共起をモデリングできる、つまりトピック同士の関係を見ることができ、トピックペアごとに学習することで元のトピック列情報を保持でき、かつ低コストで学習できる（図）。

学習をさらに高速化する方法も併せて提案している。この方法では、トピック同士の関係の強さに着目する。例えば、旅行トピックは地名トピックとは結びつきやすいが、電化製品トピックとは結びつきにくい。そこで、後者のような関係の弱い

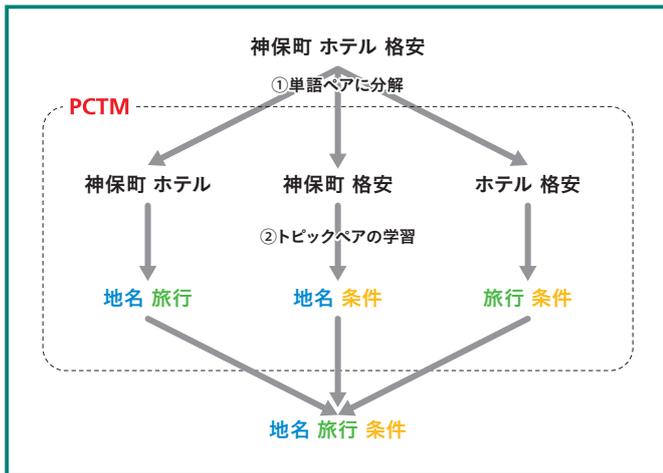


図 | クエリを取り得る全ての単語ペアに分解してトピックペアを学習。元のパターン(トピック列)はトピックペアから確率的推論により復元できる

トピック同士の学習にかかる計算時間を短縮する。こうすることで、トピック同士のつながりを表現することと実用的な計算時間を両立できた。性能を落とさずに10倍以上高速になったという。

既存手法ではトピック同士のつながりを見ていなかったため、例えば観光トピックと地名トピックが混ざって表現されていたが、PCTMではそれぞれを別々に表現することもできた。

また、教師なし学習でカテゴリ分けさせることで、人が気づかなかったつながりを見出すこともできた。例えば同じ地名トピックでも、地域ごとの特性によって観光と結びつきやすいもの、賃貸や不動産、病院などより生活感の強い単語と結びつきやすいもの、より遠隔地の旅行関連単語と結びつきやすい地名がある。つまりペアとして強いつながりを持つ地名が異なることがはっきりわかるのだ。このようにデータから新しい規則を発見するデータマイニング的知見が得られる点も、優れているところだと小西特任研究員は語る。

なお、実際に使ったのはおよそ100万クエリデータだ。これはヤフーで1日に入力されるクエリの一部に過ぎないが、有意なトピックの表現を得ることができるのだ。

流行の素早い検知やユーザーの好みの推測なども

小西特任研究員は、他にウェブ上で流行する情報を早期に察知するユーザー(観測者)の発見という研究も行っていた。SNS上ではしばしば特定の流行が発生する。中には他の人に先駆けて流行の端緒となる目の付け所がいい人もいる。そのような人を「観測者」と呼び、自動的に観測者を見出すことをめざした。観測者をフォローすれば、流行し始めのときにいち早く情報に気づくことができる。小西特任研究員たちは機械学習を

使ってこのような人を推測できる方法を構築し、精度よく見いだすことができるようになった。興味深い点は、観測者は単にフォロワーが多い人とは限らないということだ。

他にも音楽レコメンドのためのアルゴリズムの開発も行った。これは、利用者が楽曲を聴いたり、評価したりする行動から、利用者の好みを推測し、推薦曲を選ぶというもの。利用者の好みをより正確に反映した推薦曲を速やかに選定できるほか、単に好みの曲を推薦するだけでなく、利用者自身が自覚していない好みまで抽出することで、レコメンドの精度を高めるとともに、アルゴリズムの高速化も実現。実際にスマートフォン向け音楽配信サービスに採用された。小西特任研究員は、「研究用に整えられたものではない、実際の生データを扱う体験ができた点が面白かった」と言う。

今後はデータとデータの連携が重要に

小西特任研究員は、今後は単なる予測やパターンの発見だけではなく「もう少し深いことを知りたい」と語る。すなわち、ユーザーの行動の背景や因果関係だ。例えば流行の背景にはユーザー同士の因果関係もある。観測者の目の付け所がいいのはたまたまなのか、それとも本当にエキスパートなのか。そこを探るためには、データをさらに深掘りするだけではなく、他のデータとの連携を考えないといけないのではないかと言う。「より難しい問題に取り組みたい。単純な指標で良かった悪かったではなく、背後にあることを理解したいと思っています」

(取材・文=森山和道 写真=佐藤祐介)



小西卓哉

Takuya Konishi

情報科学で明らかにする 生物のダイナミクスとネットワーク

アリの動きから、生命に共通するダイナミクスのパターンを探りたい

阿部真人

国立情報学研究所 ビッグデータ数理国際研究センター
JST ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」
複雑ネットワーク・地図グラフグループ
特任研究員*

「河原林巨大グラフプロジェクト」では、現実世界における人間の活動や生物の社会などの複雑ネットワークも研究対象としてきた。複雑ネットワーク・地図グラフグループの阿部真人特任研究員が研究対象としているのは、アリの動き（ダイナミクス）だ。働きアリの活動を動画とコンピュータ解析による自動追尾システムで調べ、卵や幼虫を世話するアリが働きづめとなることを突き止めたほか、オスとメスが効率的に出会うための動きのパターンなどを探った。生物のダイナミクスを探ることと、生命に共通する力学や構造に迫ろうとするユニークな取り組みを紹介する。

関係性を定量的に理解する

阿部真人特任研究員は、数学的な手法を使って生物集団のネットワークや動きを理解する研究を行っている。生物に興味はあるものの分子生物学にはピンとこなかった阿部特任研究員にとって、数理モデルを使って生態系の多様さや関係性を定量化する数理生物学や、進化のダイナミクスをシミュレーションしたりする進化生態学的手法は、とてもしっくりきたという。

観察対象は社会性昆虫であるトゲオオハリアリ。沖縄に生息する1cm程度の大型アリで、コロニーの規模は数十から数百個体程度と扱いやすい。巣の構成員はみな同じくらい大きさ

と形だが、順位争いで勝ったアリが繁殖権を得て女王となり、それ以外は働きアリとなる。働きアリは若いうちは卵をケアしたり幼虫に餌を与えたりするナーシングを行うが、加齢が進むと外に出て餌を取ってくる係になる。

阿部研究員らは観察したデータをネットワーク科学の手法で解析し、働きアリの中の序列関係を明らかにした。いわば中間管理職的な立場のアリがいるのだ。このような関係性は一個体だけを観察していても見いだすことはできない。個体と個体の関係性から、集団全体のパターンを理解できるのがネットワーク科学の魅力だ。

1対1の出会いにも効率的な移動の法則が

動物の特徴は「移動することにある」と阿部特任研究員は語る。いつどこにいるのか。それを情報学で定量化し解析するのが、阿部特任研究員の仕事のひとつだ。生物に標識をつけて追跡するバイオロギング技術が発展した近年では客観的な定量化が可能になった。そこから行動の普遍的な法則を見いだすのが阿部特任研究員のモチベーションだ。

例えば、オスとメスなど1対1の出会いにも効率的な出会いの法則があるという。動き回って目的対象を見つける課題はランダム探索問題と呼ばれている。動物、鳥、バクテリア、狩猟民族、果ては人体のなかの免疫細胞に至るまで、生物はランダム探索問題を解いている。

生物は通常、短い距離だけ直線的に移動し、すぐに方向転換



*肩書は取材時

阿部真人

Masato Abe

するような動きを繰り返しているが、時々、長い距離を直線的に進むことがある。この一連の動きは「レヴィウォーク」と言われ、目的物の位置がわからないときの生物の移動パターンだとされている。肉食動物の獲物探索も、体内に侵入してきた病原体を迎え撃つ免疫細胞もレヴィウォークによって標的を見つける機会を増やしている。

では、オスとメスの出会いのように、お互いが会いたい場合はどうか。阿部特任研究員たちは互いに探索しあう状況を想定した理論モデルを構築し、その場合は異なる動きをするペアのほうが遭遇率を最大化できることを見いだした。片方が一定時間ごとに不規則な方向に移動するランダムウォークで、もう片方がレヴィウォークのほうが良いという。互いに相手を探している場合は、オスとメスが異なるパターンで動くほうが、最適な探索戦略になり得るのだ。

そしてこれが「オスとメスの非対称性が生まれた理由の一つではないか」と阿部特任研究員は語る。卵子と精子のように動きのパターンが全く違うものが生まれた理由、すなわち性が生まれた理由がここにあるのかもしれない。

アリの活動時間は育児需要によって変化する

阿部特任研究員がアリのネットワーク構造を調べている理由は、実際にデータが取れるネットワークとして優れているからだ。個体数が数十から数百程度と観察しやすく、個々のアリは賢くないけれども、全体としては集団的意思決定を行い、洗練された振る舞いを示す。なぜうまく振る舞えるのか。「今の人工物にはない冗長性、頑健性を解き明かしたい」と阿部特任研究員は言う。

具体的には、動画とコンピュータ解析で自動的に個体の位置を取得するアリの自動追尾システムを開発し、画像解析を行っている。最近、阿部特任研究員たちは働きアリの概日リズム（約24時間周期で変動する生理現象。体内時計）が、世話が必要な卵や幼虫と一緒にするとなくなってしまい、ずっと働きづめになることを見いだした。通常はアリも昼夜のリズムを持っている。だが小さな容器に1匹ずつ入れて、餌やりやグルーミングをしなければ死んでしまう卵や幼虫と一緒にすると、ずっと活動を続けていた。一方、それほどの世話が必要ではない蛹と一緒にだと、またリズムが復活した（図）。

「仕事は何であるかによって、概日リズムが柔軟に変化するところが面白いのです」（阿部特任研究員）

アリの巣の中では卵や幼虫の数は動的に変化する。特定の個体が世話係になっているわけではなく、仕事の量全体によって動的に役割分担を切り替えているらしい。

生命の力学を見いだしたい

生物集団は柔軟かつロバスト（頑健）で、まとまりのある活動ができる。例えばサバの群れやムクドリの群れは、まるで一

個体であるかのように振る舞う。多くの物理学者たちが集団行動の解析に参入した後、群れの中の同期部分、相関領域の大きさはスケールフリー（集団の大きさに依存しないこと）であることや、生物システムは「臨界点」（気体から液体になるような相転移が起こりうる変化の境目）にあるのではないかという考え方が提案されている。さらに、脳の神経細胞集団や、細胞内の遺伝子の発現状態なども、相転移するギリギリの状態、臨界点にあるのではないかという仮説が提案されている。

阿部特任研究員は、生物学的臨界点は生物システムに共通する仕組みかもしれないと考えている。物理学的な相転移を引き起こすのは温度や圧力だ。では生物学的臨界点における温度や圧力にあたる変数は何か。アリならばさまざまな外乱を与えて調べることができる。

阿部特任研究員は今後、NIIから理化学研究所に移り、人間行動も調べようとしている。認知症になりかけの人の徘徊パターンから、健常者との違いを明らかにしたいと考えている。

生物の動きの面白さは自発性にある。ロボットはインプットがあってアウトプットを返すが、生物は勝手に動く自発性を持つ。「そのような自発性が生き物にとっては大事なのではないかと思う。生物全体に共通する力学、法則性、生物特有の力学を見つけ出したい。生命たらしめる力学を見いだすこと、それが一生の目標です」（取材・文=森山和道 写真=佐藤祐介）

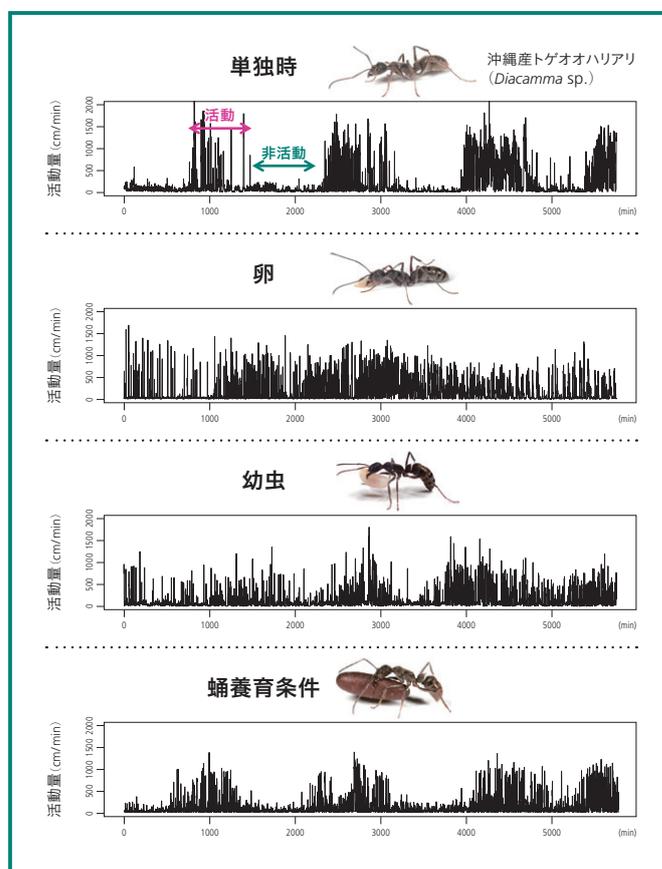


図1 アリの活動量の変化。卵や幼虫の世話をする際は、グルーミングや給餌など献身的な世話が必要のため、概日リズムがなくなる。一方、蛹は繭に包まれているため、餌やりやグルーミングなどの世話の必要がなく、働きアリの概日リズムが復活する

CPS/IoTで安全・安心なインフラ維持管理システムを実現

SIPの研究成果を「CEATEC JAPAN 2017」に出展



国立情報学研究所 (NII) は、10月3日から6日まで千葉・幕張メッセで開催された情報技術の見本市「CEATEC JAPAN 2017」に、北海道大学、筑波技術大学、

長岡技術科学大学と共同で、「IoTでインフラを守る モニタリング技術の可能性とセンシングデータマネジメント基盤」をテーマに出展しました＝写真。

出展したのは、内閣府総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI) が主導する「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の課題の一つ「インフラセンシングデータの統合的データマネジメント基盤の研究開発」の研究成果です。現在、高度経済成長期に建設されたインフラの老朽化に伴い、橋梁や道路、トンネルの崩落などによる重大事故の発生や維持修繕コストの増大が懸念されています。そうした中、先端のICTによるモニタリングや予測技術を活用すること

で、新しいインフラマネジメントを構築し、重大事故を未然に防ぐとともに、インフラのライフサイクルコストの最小化に資するのがこの研究プロジェクトの狙いです。

CEATECでは、この実現に向けて研究開発を進めている複数種類の大量センサーデータの蓄積・圧縮・クレンジング技術や短時間検索を可能とするインデックス技術、インフラデータベースからのデータや解析結果を探索的に可視化できる分析環境の開発、GPSや無線通信からの同期信号が使えない環境下でもマルチセンサー間での時刻同期を保證できるチップスケール原子時計を用いたモニタリングシステムについて展示とデモを行いました。

音声合成技術やSINETを紹介

「大学共同利用機関シンポジウム2017」

NIIなど全国の大学共同利用機関は共同で、それぞれの研究内容などを広く一般の方々に知っていただくためのイベント「大学共同利用機関シンポジウム2017 研究者に会いに行こう！—大学共同利用機関博覧会—」を10月8日、東京・秋葉原UDXで開催しました。

NIIは、コンテンツ科学研究系 山岸順一准教授の音声認識と音声合成技術に関する研究についてポスター展示とデモを行いました。山岸准教授は、複数人の収録音声から「平均声」を作り、その平均声に本人の声を掛け合わせ、本人に似せた声をつくる「話者適応」という技術を開発。従来の手法では、一人あたり数十時間以上の膨大な音

声データを収録する必要がありましたが、話者適応を用いることで10分ほどの少量の音声データで話者の声質を模倣することが可能になりました。

デモでは、大型ディスプレイの中にNIIの公式キャラクター、広報みならいの「情報犬ビットくん」が登場。来場者がマイクを使って情報犬ビットくんに話しかけると、その音声を認識して、問い掛けに応じた返事をしたり、NIIの説明や研究者の紹介をしたりしました＝写真(上)。

会場中央で行われた「研究者トーク」では、各機関の研究者が研究の面白さや最新トピックを紹介。NIIからは、山岸准教授が「声のデジタルクローン技術とその応用」を



テーマに、病気で声が出なくなってしまった人や声を失いつつある人の声を収録し、平均声に掛け合わせて本人の声を再現する研究について説明しました＝写真(下)。

今年「オープンサイエンス研究データ基盤」をテーマに出展

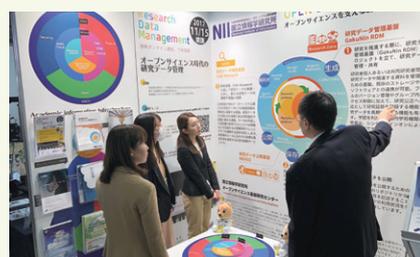
「第19回図書館総合展」

「第19回図書館総合展」が11月7日から9日までパシフィコ横浜で開催され、NIIは「オープンサイエンス研究データ基盤」をテーマに、オープンサイエンスを支える新たな学術情報基盤についての展示を行いました。

近年、論文だけでなく研究データやソフトウェアなどもインターネット上などで社会一般に広く公開・共有する「オープンサイエンス」が新しい研究の進め方として注目されています。異なる機関が研究データ

等を共用するためには、それらを共通の名称や形式で保存・公開するなどオープンサイエンスに向けた研究データ管理が求められます。そこでNIIは、2017年4月、「オープンサイエンス基盤研究センター(RCOS)」(センター長:コンテンツ科学研究系 山地一禎教授)を設立し、研究データ基盤の構築に向けて、「管理」「公開」「検索」という三つのICT基盤の構築と運用に取り組んでいます。

NIIのブースでは連日、RCOSの担当者



らがオープンサイエンス研究データ基盤について説明やプレゼンテーションを行いました＝写真。

フランスのヴィダル大臣らがNII来訪

情報学分野における連携や発展に向け意見交換

フランスのフレデリック・ヴィダル高等教育・研究・イノベーション大臣、ローラン・ピック駐日フランス大使ら14名が10月2日、NIIを来訪しました。

喜連川優所長は、NIIが取り組むビッグデータやセキュリティ、人工知能などの幅広い研究や、NIIが構築・運用する学術情報ネットワーク（Science Information NETWORK: SINET）などの事業についてヴィダル大臣らに説明しました。続いて、情報社会相関研

究系 中島震教授、コンテンツ科学研究系 佐藤いまり教授、情報学プリンシプル研究系 井上克巳教授がそれぞれ最先端の研究やフランスとの交流等について紹介しました。

また、NIIやフランス国立科学研究センター（CNRS）など日仏の6機関で組織する日仏情報学連携研究拠点（JFLI）の日本の取り組みや研究内容について、JFLI日本共同ディレクターの情報学プリンシプル研究系 根本香絵教授やNII、東京大学、慶應義

塾大学の研究者らが発表を行いました。

ヴィダル大臣からは、「異なる分野をまたぐような研究や課題について、どのように取り組んでいるか」などの質問があり、活発な意見交換が行われました。最後に、情報学分野における日仏間のさらなる連携や発展に向けた協力が確認されました＝写真。



テーマは「ビッグデータ活用」「制御」「通信インフラ」

平成29年度 市民講座「情報学最前線」第3回・第4回・第5回

国立情報学研究所は9月12日、平成29年度 市民講座「情報学最前線」第3回を開催し、情報・システム研究機構 特任研究員 小出哲彰氏＝写真（左）＝が「ビッグデータから見える社会－Web/Wi-Fi ビッグデータの活用－」と題して講義を行いました。

小出氏は、ウェブやWi-Fi（ワイファイ）から得られるビッグデータを活用して、観光政策に応用する研究を行っています。講義では、宿泊施設の稼働状況や訪日観光客の観光動線を可視化するシステムや、蓄積されたWi-Fiのログデータなどからリアルタイムで訪日観光客数を把握したり、将来の訪日観光客数を予測したりする技術について研究開発を行っていることを紹介。「より効果的な観光施策のためにビッグデータを活用することが求められています。ウェブやWi-Fiから集めたビッグデータをリアルタイムで把握し、データを活用できれば、宿泊施設や観光業者、自治体はより効率的なサービスの提供や施策の決定につなげることができます」などと説明しました。

第4回は10月18日に開催。情報学プリンシプル研究系 岸田昌子准教授＝写真

（中央）＝が「動きをデザインする科学－制御屋さんのモノの見方と考え方－」と題して講義しました。

制御理論は、自動車やロボット、医療、交通などあらゆる分野で活用されており、これらの多彩なシステムに関わる問題は、一見全く異なるものに見えますが、実際は共通する構造や性質が多くあります。その根本的な原理を理解し、汎用可能な一般的な手法や理論の構築ができれば、多くの問題の解決の手がかりになります。そこで、具体的なモノからそのエッセンスを取り出して抽象化した数理モデルを使って、モノの動きを解析し、モノを望み通りに動かすために必要な条件と手法を考えるのが制御理論の研究です。岸田准教授は、「異なるシステムでも微分方程式で表してみると同じことがある。制御理論の世界で微分方程式の解を操作することが、実世界のモノの動きをデザインすることにつながります」と話しました。

第5回は11月16日に開催し、アーキテクチャ科学研究系 栗本 崇准教授＝写真（右）＝が「時代を映すインフラ－電話から学術情報ネットワーク SINET－」をテ



マに講義しました。

栗本准教授はまず、固定電話からポケベル、PHS、携帯、インターネットと、時代とともに変化を遂げてきた情報通信技術と通信インフラについて解説しました。次に、国立情報学研究所が構築・運用する学術情報ネットワーク（SINET）について説明しました。SINETは、全国850以上の大学や研究機関をつなぐ情報通信ネットワークで、2016年4月からは、全国を100Gbpsの超高速回線で結び、さらに国際回線も増強し、信頼性や機能性を高めた「SINET5」の本格運用を始めました。SINETは、大型実験施設やスパコンなどの共同利用などに利用されており、日本の学術研究を支える重要なインフラとなっています。SINET5の研究開発や運用に関わっている栗本准教授は、SINETの機能強化に向けて、LAN 仮想化技術や通信速度のさらなる高速化に取り組んでいることなどを紹介しました。

「これいいね！」

Facebook、Twitterアカウントの最も注目を集めた記事（2017年9月～11月）

*記事の本文は一部編集・省略しています。



国立情報学研究所 NII (公式) Facebook
www.facebook.com/jouhouken/

11月16日に第5回 市民講座「情報学最前線」を開催します。今回は栗本 崇 准教授が、時代とともに変化を遂げてきた通信情報通信技術や通信インフラを紹介します。（2017/10/31）



国立情報学研究所 NII (公式) Twitter
[@jouhouken](https://twitter.com/jouhouken)

[ニュースリリース] 量子ニューラルネットワークをクラウドで体験（2017/11/20）



つぶやくビット君 Twitter
[@NII_Bit](https://twitter.com/NII_Bit)

いよいよ開講間近！「オープンサイエンス時代の # 研究データ管理」受講登録はお済みですか？ だびっと！（2017/11/13）

情報系 ERATO プロジェクト に求め られるもの

湊 真一

Shin-ichi Minato

北海道大学
情報科学研究科 教授
国立情報学研究所
客員教授

科学技術振興機構 (JST) ERATO は、日本の研究ファンドの中でも最大級の規模 (5年半で10～12億円) と、35年を超える伝統を持ち、まさにフラッグシップとも言えるプロジェクトである。将来のノーベル賞候補の育成をめざして設立され、自然科学の全分野の中から毎年4～5件程度が選ばれてきた。2000年代に入って、情報科学も重要であるということになり、情報系分野からも1～2年に1件程度選ばれるようになってきている。私が ERATO リーダーを務めたのは2009年からで、「河原林 ERATO」が開始される3年前のことである。

ERATO はプロジェクトの公式名称にリーダーの個人名を冠する伝統がある。それだけリーダーの属人的な能力に期待し、既存の組織や分野にとらわれない自由な新しい発想を重視している。ERATO リーダーはこうあるべきという決まった型はない。10年後15年後に、あれが源流だったねと言われるような研究を期待されている。

情報系分野の ERATO では、従来の ERATO 制度では想定されていなかった特殊事情がしばしば見られる。伝統的な ERATO プロジェクトでは、例えば世界に数台しかないような大型実験装置や設備等を用意し、1人のスター研究者を PI (Principal Investigator) として、その指示に従う多数のポストドク研究員を有期雇用してチームで集中的に実験を進める、というスタイルを想定している。しかし情報系、特にアルゴリズムの研究では大型実験装置は必要ない。代わりに一定人数の優秀な専門家集団を構成すること、そして研究者が深く議論してアイデアを醸成する場を作ることが重要となる。

大型実験装置に縛られない情報系分野では、若手の優秀な研究者は日本各地に分散していて、すでに正規雇用を得ていることが多い。そういう人

を有期雇用で集めてくることは困難である。そこで、私がリーダーを務めた「湊 ERATO」では、ポストドクを雇用するだけでなく、全国の大学や企業の有力研究者と緩い協力関係を築き、随時集まって集中的に議論するという、遊牧的なオープンなコミュニティを形成することを狙った。これは既存の ERATO 制度では想定されていない形態だったが、その必要性を JST に訴えて認めていただいた。一方、河原林 ERATO では、より若い世代 (主に20代) にターゲットをしばり、これから助教職を狙う新進気鋭のポストドクやプログラミングコンテスト優秀層の大学院生を多数集めて特訓するコミュニティを形成して、大きな成功を収めている。

ERATO は良くも悪くも独裁的でリーダーの裁量が大きいため、慣例に合わないことでも信念を持って主張すれば実現できることが多い。我々の ERATO での実績により、情報系の大型プロジェクトでは様々な形態がありうるのだという理解が JST や文部科学省にも浸透してきたように思う。ERATO は時代に合わせた新しいプロジェクトの形を提案し実践する場としても存在価値があると言える。

ERATO では何が成功か失敗かの定義にも決まった型はなく、リーダー自身が考えて最終ゴールを設定することになる。プロジェクトの終わらせ方も、次の発展の仕方も自分たちで考える必要がある。10年後15年後に、あれが源流だったねと言われるためには、全力でゴールインしてそのまま倒れ込むわけには行かない。後から走ってくる次世代のリーダーにうまくバトンを渡せるように適切なスピードで進み続けることが求められる。願わくは、私自身も、いろんな人にいろんなタイミングで少しずつバトンを渡しながら、持続可能なスピードで走り続けていきたいと思っている。

今後の予定

1月30日 | 平成29年度 市民講座「情報学最前線」第7回「オンライン教育の可能性 -学習ログ分析を学びに活かす-」(講師: 情報社会相関研究系 古川雅子助教) = 詳細、お申し込みは、以下のページで。

<http://www.nii.ac.jp/event/shimin/>

表紙の言葉

地図を見たロボットが、いくつかの地点を通る最適な経路を発見した瞬間を、頭から勢いよく噴き出す蒸気で表現しました。ここでは、ロボットの頭脳が、ネットワークを素早く解析するアルゴリズムを見いだす役割を果たしています。

情報から知を紡ぎだす。

国立情報学研究所ニュース [NII Today] 第78号 平成29年12月

発行 | 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所
〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2丁目1番2号 学術総合センター
発行人 | 喜連川 優 編集長 | 佐藤 一郎
表紙画 | 城谷俊也 編集 | 田井中麻都佳
制作 | 株式会社マツダオフィス / サイテック・コミュニケーションズ

本誌についてのお問い合わせ | 総務部企画課 広報チーム
TEL | 03-4212-2028 FAX | 03-4212-2150 e-mail | kouhou@nii.ac.jp

「NII Today」で
検索!



情報犬ビットくん
(NII キャラクター)

<http://www.nii.ac.jp/about/publication/today/>