



The power of innovative research.

時代を躍進するNII研究者による研究シーズ集

2019

# 産業と学術の連携が、 新たな未来価値創造のきっかけを作ります

『NII SEEDs』は、  
国立情報学研究所(NII)の産業応用の可能性がある研究成果をご紹介します、  
産業界や官公庁等の皆様に共同研究や技術相談、成果活用等の  
テーマ探しのツールとしてご活用いただくことを目的に発行しています。  
各シーズは担当研究者のレポート形式となっています。  
ご興味を持たれた企業・自治体等の皆様は、下記に記載いたしましたお問い合わせ先、  
国立情報学研究所 研究戦略室までご連絡ください。  
研究者との面談や、産官学連携活動プログラムのご紹介等、  
さらなる情報交換の機会をご提案いたします。

ご相談・お問い合わせ

国立情報学研究所 研究戦略室 Email [ura-staff@nii.ac.jp](mailto:ura-staff@nii.ac.jp)

NIIが提案する産官学連携活動 HP <https://www.nii.ac.jp/research/iga/>

## C o n t e n t s

はじめに	01	<b>04 情報メディア科学 — メディアの振る舞いを探求する</b>	
Researcher file no.1 岩田 陽一	02	実世界への応用を目指した	
Researcher file no.2 蓮尾 一郎	04	高精度な3次元復元技術の開発	池畑 諭 20
Researcher file no.3 佐藤 いまり	06	産学連携による研究用データセットの	
		共同利用とエコシステムの構築	大山 敬三 21
<b>■研究シーズ 2019</b>		機械学習により生成された巧妙なフェイク動画を	
<b>01 情報基礎科学 — 基礎理論の深みを解き明かす</b>		自動検知する技術	越前 功、山岸 順一 22
実際の入力構造を活用し、より効率的に		自然な音声を高速に合成する新手法	
計算を行うアルゴリズムを研究	岩田 陽一 09	ニューラル・ソースフィルター・モデル	シン ワン 23
アルゴリズムが世界を変える		顔映像と音声信号の同時変換による	
— 未来のIT産業を支える若き人材を育成 —	河原林 健一 10	マルチモーダルな話者変換技術	房 福明 24
速く正確な数値計算		水中シーンの3Dビデオ撮影に向けた	
アルゴリズム開発と応用	中務 佑治 11	マルチスペクトル RGB-D カメラの開発	鄭 銀強 25
社会の多様な要望に応える		物体の中を見る	
マッチングアルゴリズムの設計	横井 優 12	— 散乱特性・情報を獲得するイメージング技術 —	佐藤 いまり 26
<b>02 情報基盤科学 — 理論・実践から情報システムを創り出す</b>		高速・高精度な画像検索と	
コンピュータの新たな建築技術：		放送映像アーカイブ解析	佐藤 真一 27
水没冷却と光無線	鯉渕 道紘 13	<b>05 知能システム科学 — 知能システムの実現を目指して</b>	
ポスト・デナード スケーリングのクロッキング方式		人間の知的活動を支援する	
— 二相ラッチとタイミング故障検出の組み合わせ —	五島 正裕 14	テキスト処理技術	相澤 彰子 28
大規模インターネットデータからの		生活を支援する知能ロボットのための	
情報抽出およびその応用	福田 健介 15	クラウド型 VR による対人行動学習基盤	稲邑 哲也 29
<b>03 ソフトウェア科学 — 多様化する知識創成型社会を支える</b>		データやモデルの幾何的構造を	
複雑で不確かなソフトウェアの		大切にしたい機械学習技術の研究	杉山 磨人 30
品質向上と保証に挑む	石川 冬樹 16	経済ビッグデータによる企業や行政の	
安全性と高生産性を両立した		グローバルリスクの推定と対策	水野 貴之 31
ソフトウェア開発に向けて	関山 太郎 17	深層学習を用いたロボットの知能化技術	村田 真悟 32
屋内もスマホでナビゲーション		<b>06 情報環境科学 — 情報社会を多角的に捉える</b>	
音響測位、可視光通信技術	橋爪 宏達 18	ブロックチェーンの応用による	
「形式手法」をものづくりへ		経済共同体の可視化	岡田 仁志 33
— 高品質・高効率な製品開発に向けて —	蓮尾 一郎 19		
		特許一覧	34
		NII が提案する産官学連携	

## はじめに

国立情報学研究所(以下、NII)では、産業応用の可能性を秘めた情報学の研究最前線をご紹介しますため、『NII SEEDs』を発行しています。本年度も、新たな研究の進捗状況や成果を継続的に発信することで、産業界や官公庁の皆様とNIIとのイノベーションを目指した連携の契機となることを願い、2019年度版『NII SEEDs ～時代を躍進するNII研究者による研究シーズ集2019』を発行いたします。

近年、社会的課題の解決につながる日本発のイノベーション創出の重要性が叫ばれ、大学や学術機関においても社会貢献や産業化につながる研究開発活動が強く期待されています。NIIでは、長期的視点に立った基礎研究ばかりでなく、社会的課題の解決を目指した実践的な研究や学術ユーザー向けの情報基盤技術の開発も行っており、新たなイノベーションへのシーズとなる素材も少なくないと考えています。これを踏まえ、研究成果を社会実装や産業応用に結びつける機会を設けることで、企業の皆様との連携によるイノベーションを目指した活動の活性化等、研究成果の社会への還元に取り組む所存です。

事業や社会のために技術を利用される産業界や官公庁の皆様は、情報学研究者の活動を知っていただき、その研究成果や産業応用の可能性をご理解いただくことが、NIIがイノベーション創出に向けて貢献するための第一歩であると認識しています。『NII SEEDs』に目を留めていただくことで、皆様にNIIの研究活動に興味を持っていただき、共同研究や技術相談等を通じたパートナーシップを作り出すための契機に、あるいは、学術界の方にはNIIとの共同研究のパートナー探しに、役立てていただければ幸いです。これらのパートナーシップを元に、皆様とともにイノベーション創出、社会的課題の解決につなげていきたいと考えています。

国立情報学研究所 副所長  
越前 功



Researcher file no.1

情報学プリンシプル研究系 助教

# 岩田 陽一

Yoichi Iwata

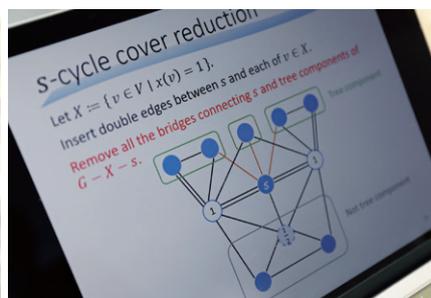
研究シーズ >>> P.09



東京大学入学後、ACM国際大学対抗プログラミングコンテスト (ACM-ICPC) 参加を機にプログラミングコンテストに励む。主なコンテスト成績は、ICFPプログラミングコンテスト4度優勝 (2013年、2015年、2016年、2018年)、TopCoder Open優勝 (2010年)、Google Code Jam 3位 (2009年) など。2016年に同大学院博士課程を修了後、国立情報学研究所の助教となり、FPTアルゴリズム、大規模グラフアルゴリズムなどの研究に従事している。

## 優れたアルゴリズムに隠された理論に迫る 現実の問題を解くアルゴリズムを目指す

コンピュータに賢く計算をさせる「アルゴリズム」。コンピュータの将来はアルゴリズムにかかっていると  
いっていいだろう。しかし、その開発においては、理論的には難しいとされる問題が、  
現実には解けてしまうなど未知の要素が多い。岩田は、この理論と現実のギャップを埋め、  
理論に裏付けられたアルゴリズムの開発を目指している。



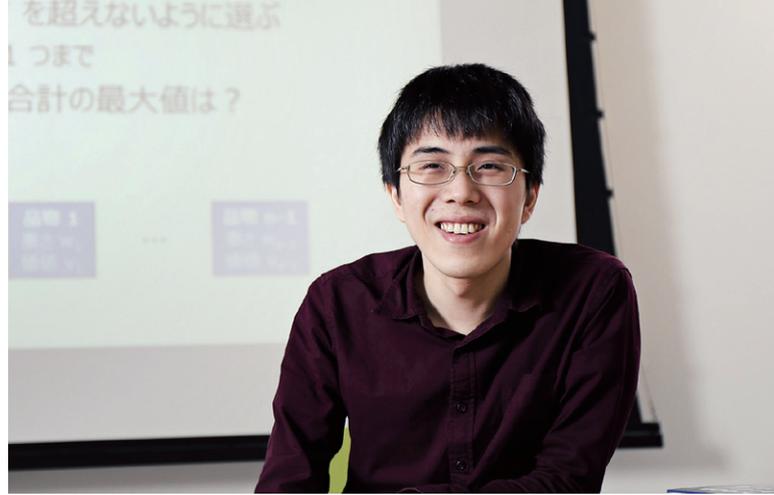
## アルゴリズムとの出会いは 驚きの連続

「皆さん筆算はできますね。九九しか知らなくても、大きな桁の掛け算や割り算ができます。あれがアルゴリズムなのです」。岩田陽一は自分が研究している「アルゴリズム」について人に話すとき、まず、こう切り出す。一気に、身近なものに感じてもらえるからだ。アルゴリズムとは、簡単な計算しかできないコンピュータに複雑な問題を解かせるための計算方法のことだ。岩田は、このアルゴリズムの理論と現実の間に生じているギャップを埋める研究をしている。

コンピュータの世界に入るきっかけとなった出来事は、岩田にとって驚きの連続だった。高校時代、ゆとり教育で何をやってもいいと与えられた「総合的な学習の時間」を使い、当時、興味を持ち始めていたプログラミングでオセロのAIをつくった。「高校生の私にも自分よりも強いモノをつくれてしまったことに驚きました」。大学に入ってから、競技プログラミングの大会を目指して勉強を始めた。「世の中には、計算にもものすごく時間がかかる“遅いプログラム”というのがあるのです。それは衝撃的でした」と当時、自分が書いたプログラムのことを思い出して笑う。こうしてコンピュータを賢く動作させるプログラムには、優れたアルゴリズムが必要だということを知り、その面白さにのめり込んでいった。この時の体験の数々は、仲間たちとの共著としてまとめられ<sup>[1]</sup>、コンピュータの世界を目指す後進たちのバイブルになっている。

## 理論と現実のギャップを “理論的”に埋めたい

大学院の頃から、未知のアルゴリズムに取り組む研究へ向かっていった。「ある計算をするアルゴリズムを開発しようとして行き詰まったとき、それを打開で



きるかどうかは、ミレニアム問題を解くのと同じくらい難しいと理論的にわかっています」。ミレニアム問題とは、米国のクレイ数学研究所が2000年に100万ドルの懸賞金をかけた7つの問題のことだ。それほどにアルゴリズム開発は難しいということだが、実際には、多くの難しいはずのアルゴリズムが実現されている。理論と現実の間にギャップが生じるのは、理論が一般化された事象を扱うのに対して、現実はそれにいろいろ条件が加わってくるからである。

一例として、岩田がその改良に成功した、2点間の最短距離を問う「最短路クエリ問題」を解くためのアルゴリズムがある。距離が最短となるルートを通ることのできるすべてのルートから探索するのは途方もない時間がかかってしまう。しかし、実社会では出発地と目的地が離れていれば、移動には鉄道を使わなくてはならない。この条件によってすべてのルートを考える必要はなくなり、出発地から最寄りの駅までと、目的地と最寄りの駅までという、部分に分けたより狭い範囲内のルートを探せばいいことになる。こうして計算量を大幅に減らすことができる。

このように次々に現実的なアルゴリズムを開発する岩田だが、一方で「現実に解けるのだからいい」とは考えていない。どういう条件が加われば、難問が一転して現実的に解ける問題へと変わるのか、理論的に解き明かしたいと考えている。「NP困難問題」を解くために広く用いられている「分枝限定法」という方法をより効率的に使うための条件の一部をすでに明らかにしており、理論計算機科学のトップ国際会議であるFOCS 2018に採択されるなど高い評価を受けている。「理論と現実がほんの少しですが歩み寄った感覚ですね」。

その先には、理論に裏付けられた、現実の問題を解くことのできるアルゴリズムの開発が見据えられている。

[1]『プログラミングコンテストチャレンジブック～問題解決のアルゴリズム活用力とコーディングテクニックを鍛える～』（マイナビ/2010年）

Researcher file no.2

アーキテクチャ科学研究系 准教授

# 蓮尾 一郎

Ichiro Hasuo

研究シーズ >>> P.19

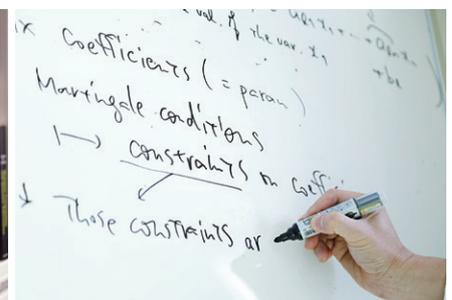


学術博士(ナイメーヘン・ラドバウド大学、2008年、オランダ)。京都大学数理解析研究所助教、東京大学大学院情報理工学系研究科講師、准教授を経て現職。専門は理論計算機科学、特にシステム検証、プログラミング言語理論、物理情報システム。情報科学における数学的構造に興味を持つ。2016年10月から JST ERATO 蓮尾メタ数理システムデザインプロジェクト研究総括。2017年11月から国立情報学研究所システム設計数理国際研究センター長。

## メタ数学とソフトウェア科学の両輪で 物理情報システムの検証に新手法

来るべきIoT 社会に備え、自動車などさまざまな工業製品の物理情報システムに対する品質保証をどうするかが、喫緊の課題となっている。

米国では10年以上前から大規模な国家予算を投じてこの研究が進められているが、蓮尾らは、全体を俯瞰する抽象数学の視点を取り入れて、この難題にチャレンジしている。



## 理論と応用を両方やることが 何より楽しい、面白い

「大学に入学したときは、将来数学や情報科学に進もうとは考えていなかった」という蓮尾だが、東京大学1年のときに論理学に出会う。「数学の定理を自動証明する機械が作れるか」というゲーデルの不完全性定理につながる講義で、高校数学でいろいろな証明問題に取り組んできた蓮尾は、「個別の証明を自力で書いていたレベルよりも、さらに上の視点があることを知り」ショックを受けた。

その後、論理学と関連する計算機科学に進み、オランダのナイメーヘン・ラドバウド大学に有給の博士課程学生として採用され留学。指導教官のパート・ヤコブス教授は、システム検証やセキュリティなどの応用に取り組みながら、一方ですぐには応用に結び付くとは限らない計算機にまつわる論理的かつ代数的構造を数学的に研究していた。この教授のもとで、理論と応用の両方を手掛けることの楽しさと面白さを知り、さらに「応用面での新しい成果は、理論を突き詰めた中から出てくる」ことを実感したという。

帰国後は京都大学数理解析研究所で仕事を続けるが、ここで同僚の研究者、末永幸平氏(現・京都大学大学院情報学研究科准教授)から「蓮尾さん、日本は車をやらんとね、車を」と声をかけられ、それが一つの転機となる。末永は常に自分の専門分野の外に目を向けており、「誰も思いつかないような突飛でワイルドなアイデアをたくさん持っていた」と蓮尾は言う。

末永氏の言葉の背景には、当時、2006年頃からアメリカで「Cyber-Physical System(物理情報システム)」がキーワードとして注目され、国策として巨額な研究開発費が投じられていた状況があった。ソフトウェアの品質保証には“形式手法”が使われるが、何百万、何千万ラインもある膨大なプログラムには、検査にかかる時間と人手とコストは現実的ではなくなり、“スケーラビリティの壁”が立ちふさがる。さらに、自動車のように実際に動く機械を相手にするには、デジタルだ



けでは処理できない連続ダイナミクスを扱わなければならない、極めて難しい問題となる。この分野の将来的な重要性を鑑みた末永氏は、自動車に突破口を見出せると考えたのかもしれない。

## スケーラビリティの壁を超える 新たな手法の確立をめざして

末永氏の言葉を受け、蓮尾は自動車をはじめとする物理情報システムにチャレンジする。ソフトウェア検証に使われる形式手法を物理情報システムへ拡張する方法は、これまで個々の事例ごとに行われていたが、蓮尾にはそれらに共通する本質が、なんとなくモヤモヤと見えていた。それを、圏論や論理学などの抽象的な現代数学の言葉できちんと論理的に書き下ろして全体を把握する、そのようなアプローチを考えたのだ。

2011年に東京大学で始めたこの取り組みは産業界からも注目され、2016年に科学技術振興機構(JST)のERATOプロジェクトとして立ち上げられた。理論と応用の研究者が顔を突き合わせて研究を進める独自のスタイルは非常にうまくいっており、早くも“スケーラビリティの壁”を超えるソフトウェア科学的な解決方法が、一つの成果として見えてきた。それは、ソフトウェア科学で対応できない部分はテストに絞る、という現実的だが主流とは言えない方法だった。論理的な知見で「この範囲には絶対バグがない」と証明できれば、そこをテスト範囲から除外でき、効率的なテストを行える。現在は、このようなテスト手法を実システムに適用すべく、自動車メーカーなどと協力して研究を進めている。

理論からの直接的な貢献が力となる一方で、「理論を突き詰めることによってできる応用があることを、ぜひ実証したい」と意欲を示す蓮尾。理論と応用が両輪になり健全な研究の展開ができると、相乗効果でどちらの研究も進むことがわかってきた。そのこと自体がこのプロジェクトの大きな成果といえるだろう。



Researcher file no.3

コンテンツ科学研究系 教授

# 佐藤 いまり

Imari Sato

研究シーズ >>> P.26



慶應義塾大学総合政策学部卒業後、米国カーネギーメロン大学ロボット工学研究所訪問奨学生。2005年東京大学大学院学際情報学府博士課程修了、学際情報学博士。国立情報学研究所准教授を経て現職。カメラを通して機械が世界を現実認識するコンピュータビジョン(CV)と、ディスプレイを通して機械が仮想世界を表示するコンピュータグラフィックス(CG)の研究に従事。

## 見たいものが見える コンピュータビジョンの新展開

「モノの中身は外から見えない」は人間の目を見たときの常識。

佐藤は、光を吸収して自ら発光する“自発光”や物体内で散乱する“散乱光”という現象を通して、反射光だけでなく、物体内部に差し込む光にも目を向けた。

可視域を超えたすべての波長を対象にしたとき、まったく違う世界が見えてくる。



## 目に見える光は反射光だけではなかった

佐藤はこれまで、きらめきや質感を再現するイメージング技術や、人間の視覚特性を利用したどこにでも映像を投影できるプロジェクター技術の開発などで、コンピュータビジョンの専門家として注目を集めていた。それらは、人間の目の仕組みに基づいて導かれた三原色を応用し「人間の目から見て、どう見えるか」を追究したものだが、あるとき、見える光は反射光だけではないことに気づく。

海の底には、そこまで届きやすい青色光、紫色光を吸収し、オレンジ色に発光するサンゴがいる。「質感の知覚を研究されている心理物理学の研究者の方から、光を吸収して自分で発光する“自発光(蛍光)現象”があることを教えていただいたのです」。

自発光する生物や物質が吸収する光の波長は、1種類ではない。生物や物質ごとに吸収する波長や発光強度、発光する色も異なるため、いろいろな光を当てて観察すると、物質特有の発光状態が詳細にわかる(「蛍光指紋」と呼ばれる)。これにより、マンゴーなどの果物やワインの産地が特定できるなど、従来の反射光に基づく手法では識別が容易でなかった事象に対しても、シーンの各点の蛍光指紋を通して識別でき、新しい検査および識別手法として注目を集めているという。

可視域外の波長域の光で見えてくる世界もある。たとえば、モンシロチョウはオスもメスも同じように白く見えるが、紫外線で認識するとオスは黒く見え、メスは白く見える。オスは紫外線を吸収し、メスは反射するからだ。これは、羽の構造の違いによるとも言われている。水も同様だ。「私たちにとって水って透明ですよ」と佐藤。水は可視光を吸収せずにそのまま透過させるのだが、赤外線域の光ではまったく異なった振る舞いを見せる。水は赤外光を吸収するため、光の通る距離に応じて濃淡が変わり、観察される明るさから水の量や深さも予測できるという。

佐藤はこの仕組みを応用して、水などの媒質による光の吸収を積極的に活用し、米国ドレクセル大学と共同で水中の物体の3次元形状の復元をした。さらに、対象物の濡れ度合いの推定と乾いた時の表面色の推定を、1枚の分光画像から成功させた。これは、水のみ



ならず、コーヒーやワインなど様々な液体でも同じ現象を解析できるという。この画期的な技術は、2017年、コンピュータビジョン研究分野でトップの国際会議として知られるCVPR (Computer Vision and Pattern Recognition)において、30倍の競争率を突破して、口頭発表された。

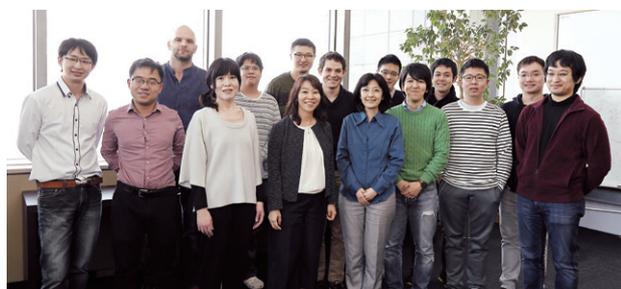
## X線を使わずに体内が見える 新たな検査法に大きな期待

吸収される光をさらに詳細に調べて、物体の内部構造を明らかにする研究も進めている。具体的には、人体への影響の少ない光を当てただけで生体内の様子がわかる「光超音波画像解析」技術を、内閣府のImPACTプロジェクトを通して、京都大学、九州大学、慶應義塾大学と共同で開発している。これは照射した光が体内で吸収されて、音波を出す仕組みを利用したもの。体内の組織ごとに吸収しやすい光の波長が異なるので、たとえば血管を見たいときには、血管が吸収しやすい波長の光を当てて計測を行う。

X線のように被曝の心配もなく、MRIよりも手軽で安全な検査方法として期待は大きい。さらに「家でも手軽に検査ができるようにしたい」という佐藤。通常であれば高価なデバイスが必要だが、携帯できるような簡便なデバイスで同等の効果をj得て、病気の早期発見や治療効果の目視などに役立てたいと考えている。

佐藤は油絵が好きで、金属光沢や光の描き方の秘密を科学的に探ろうと研究を始めた。「なぜそう見えるのだろう」という根底の興味は今でも変わらない。「見え方はひとつだと思っていたのに、それは単に自分が見ている世界でしかなかった」と気づき、研究は大きく飛躍した。

「見たいものが見える波長の光」があり、どんな波長の光を当てればいいかを機械学習で導く。「人間の目でなくてもいい、人間の目以上にいろいろなものが見える目を作りたい」という佐藤。「見え」への飽くなき探求心が、大きなイノベーションを起こそうとしている。



# 研究シーズ

## 研究シーズの見方

この研究の属する分野や関連する分野を記載しています。

担当研究者紹介

研究がスタートした経緯、このシーズの概要が分かるようになっていきます。

6つのカテゴリーを設け、各シーズを分類しています。

本編は研究の内容と、産業応用の可能性の2項目に分けて説明しています。

主要項目の説明を最大2点まで、図説しています。

研究者の発明

研究者の連絡先

# 実際の入力構造を 活用し、より効率的に 計算を行う アルゴリズムを研究



Yoichi Iwata  
**岩田 陽一**  
情報学プリンシプル研究系  
助教

## 研究内容

### ● 最短路クエリ問題

グラフ理論における「最短路クエリ」は、ネットワーク上の2点についての最短距離を聞く極めて重要な方法で、幅広く応用されています。しかし、これは一般的に考えると、従来の方法からの改善は見込めません。一方、「現実の大規模グラフ」は言うなれば「核」と「房」からなる「樹木のような」特殊な構造をしていることが知られています。そこで、私たちはその樹木のような構造を表す「木幅」という指標が小さい場合に、効率的に処理できるアルゴリズムを設計し、現実のグラフに対して非常に効率的に動作することを実験で証明しました。

### ● 分枝限定法

「分枝限定法」は、易しくして解きやすくした緩和問題の解を用いて探索(枝刈り探索)を行う、「NP困難問題」を解くために広く用いられている汎用手法です。しかし理論上で想定し得る最悪のケースが起こった場合、枝刈り探索をしないで全探索を行うのと同じような手間がかかってしまい、極めて効率が悪くなります。そこで、実際には緩和問題と元の問題の解が比較的近いことに着目し、それがあてはまるケースについては、枝刈りなしの全探索よりも遙かに効率的に動作することを理論的に証明しました。

コンピュータで計算を行うためのアルゴリズムの研究は大きな発展を遂げてきました。さまざまな問題に対して効率的に働くアルゴリズムが数多く開発されてきた一方で、その効率化に限界も見えてきました。例えば、広く信じられている  $P \neq NP$

予想の下では、どんなNP困難問題も多

項式時間で解くことはできません。また充足

可能性問題(SAT)の難しさに関する

「SETH」という仮定を用いると、グラフ理

論における「到達可能性クエリ」を従来の

方法より良くすることはできないのです。し

かし、これらの効率化の限界は想定し得る

全てのケースを考えた場合の限界であっ

て、実際に扱いたい特殊なケースに限れば、

必ずしもあてはまるわけではありません。ま

た、対象が非常に大規模なグラフだったとしても、

到達可能性クエリなど、効率的に処理できてい

るものもあります。そのような実際の応用時に現

れる特殊なケースに対して、効率的に働くアルゴ

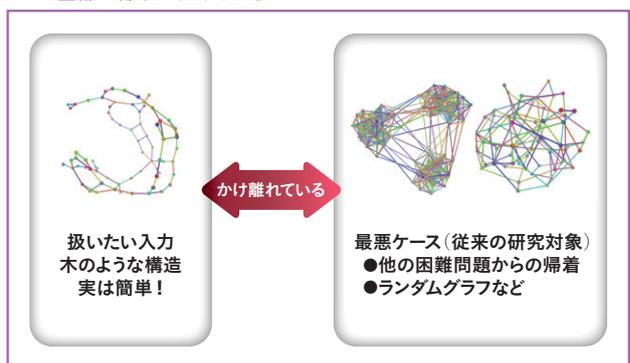
リズムの開発とその解析を行っています。

### 研究背景・目的

## 産業応用の可能性

- 大規模ウェブ・ソーシャルグラフに対する距離や関連度などのクエリ処理、クラスタリングなどのデータマイニングに対する効率的なアルゴリズム開発
- モデル検査、静的解析、プランニングなど、個々の目的に特化したより効率的なソルバ開発

図 「一般には難しい」=「とても難しい入力が存在」  
全部が難しいわけではない



研究者の  
発明

◆特開2015-184704: ネットワーク管理装置、ネットワーク管理方法及びプログラム

01 情報基礎科学  
基礎理論の深みを解き明かす

# アルゴリズムが世界を変える — 未来のIT産業を支える若き人材を育成

02 情報基礎科学  
理論実践からシステムを創り出す



Ken-Ichi Kawarabayashi  
**河原林 健一**  
情報学プリンシプル研究系教授 / ビッグデータ数理国際研究センター長

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識形成型社会を支える

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを捉える

05 知能システム科学  
知能システムの表現を目指す

06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える

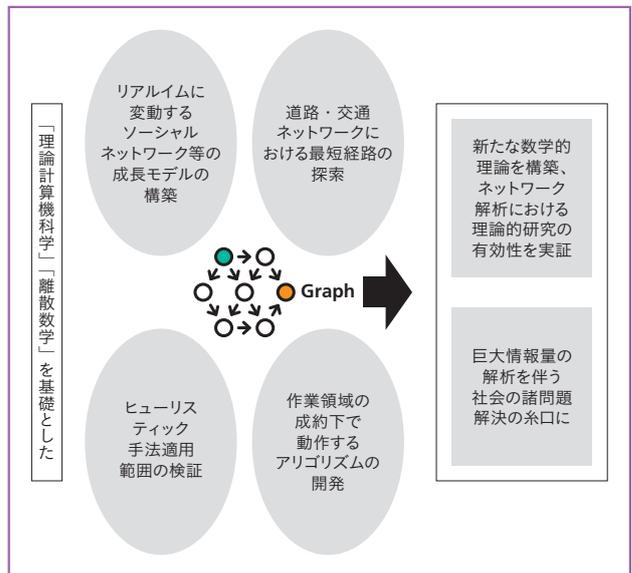
## 研究背景・目的

現代社会には極めて多様で複雑かつ巨大なネットワークが存在し、私たちの生活において重要な役割を果たしています。中でもウェブ構造やFacebook、Twitter など、私たちの身近にある複雑なネットワークは日々成長を続けており、ネットワークやビッグデータの解析における理論的研究は、近年ますます重要性を増しています。IT ビジネスの発展の歴史でも、Microsoft、IBM、Google、Yahoo!、AT&T、Facebook、Amazon などの巨大IT 企業で、著名な理論研究者が斬新なソフトウェア開発を行い、さまざまな問題解決に貢献してきました。私は、上記のようなネットワークに対する理論解析、およびそれを生かした高速アルゴリズムの開発を目的として研究を行っています。

## 研究内容

巨大ネットワーク、ビッグデータ解析の課題はアルゴリズム、機械学習、人工知能、データベース、データマイニング、自然言語等のコンピュータサイエンスの諸分野の問題ですが、多くは問題解決のためのデータ量が巨大であるため、解決が容易でないものばかりです。このような問題を解決するためには、アルゴリズムの革新が必要不可欠であり、計算モデルと数理の探求に基盤をおく革新的アルゴリズム設計技法の構築や体系化が早急に求められています。その解決には理論計算機科学、最適化、離散数学、確率論、統計物理学等を含む深く広い数学的理論を基礎とした研究が必要になります。そこで私は、数理的なアプローチを中心に高速アルゴリズムの開発を目指しています(図)。

図 巨大なネットワークを解析する高速アルゴリズムの開発を目指す



## 産業応用の可能性

ページランク、圧縮センシング、差分プライバシーなどの技術は、数学的な理論に基づく基礎研究の応用という形で、IT業界の巨大企業に採用され、現在でもIT業界の主要技術になっています。また、数学的理論に基づくアルゴリズムは、人類の文明の進歩を加速度的に後押ししてきました。特に現在の情報検索、ゲノム情報処理などのアル

ゴリズム革新は国家規模のビジネス創成につながっています。さらに、このようなイノベーションを推進するためには、巨大IT企業のように、数学理論を熟知した人材が社会問題解決に挑む必要があると考え、私は、JSTの「ERATO河原林巨大グラフプロジェクト」などを通じて、この人材育成にも取り組んできました。

研究者の発明 ◆該当なし

# 速く正確な数値計算 アルゴリズム開発と応用



Yuji Nakatsukasa

**中務 佑治**

情報学プリンシプル研究系  
准教授

## 研究背景・目的

コンピュータやスマホで行う作業では、ほぼ必ず数値計算が行われます。Google 検索や写真データ圧縮などが好例です。その計算の多くは、行列問題という数学の問題です。私はこれらを速く正確に解くためのアルゴリズム開発や、背景にある行列や関数の数学的解析の研究をしています。例えば、数値計算を行う際、必ず現れるのが丸め誤差やデータ自体の不確かさで、これらによる計算結果への影響を理解しておくことは信頼できる数値計算を行う上で肝要です。美しい理論と重要な分野への応用という両面を併せ持つ魅力的な研究分野です。

## 研究内容

大規模な行列を扱う問題は、大きくは線形方程式  $Ax=b$  (中学校で習う連立方程式) と固有値問題  $Ax=\lambda x$  に大別されます。私の研究では特に固有値問題を扱います。固有値問題と言っても、関数近似論や最適化、複素関数論、統計等と深く関わる奥の深い分野です。大規模な固有値計算は高次多項式の根を計算することと等価で、厳密な値を得ることは原理的に不可能なのですが、高い精度の近似値を得る信頼性の高いアルゴリズムが知られています。固有値を計算することで、関数(例えば商品の売上モデル)を最大化したり、曲線の交点を求めたりすることができます(図)。

## 産業応用の可能性

数値計算アルゴリズムは上に挙げたGoogle検索、最適化、物理や生物シミュレーションの他、写真やデータの圧縮等のデータ解析、天気予報、医療等へ応用されます。数値計算法を改善することで、今まで不可能だった大規模なデータを扱ったり、治療時間を短縮したりすることができます。例えば、行列の特異値分解(固有値の仲間)は従来、画像圧縮に使われていましたし、圧縮センシングと呼ばれる数値計算アルゴリズムはMRIの検査時間の大幅な短縮を実現しました。現在のビッグデータの時代では、数値データを表現する道具として行列やテンソル(行列の高次元版)が広く使われ、データ解析では頻りに数値計算アルゴリズムを行列やテンソルへ適用します。

図 様々な問題が関数近似と行列(ここでは固有値)計算によって解決できる



### 研究者の 発明

◆ 行列極分解と特異値分解アルゴリズム  
<https://www.kaust.edu.sa/en/news/next-generation-algorithm-advances-machine-learning-of-powerful-supercomputers>

01 情報基礎科学  
基礎理論の深さを解き明かす

# 社会の多様な要望に応えるマッチングアルゴリズムの設計

02 情報基礎科学  
理論実践からシステムを創り出す



Yu Yokoi  
**横井 優**  
情報学プリンシプル研究系 助教

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

## 研究内容

マッチングシステムを必要とする個々の問題では、その運営機関の制度や問題意識に由来するさまざまな要望があります。例えば、割当て先の組織がダイバーシティに関する制約を持っていたり、一定数以上の割当ての保証を求めている状況が考えられます。そのような多種多様な問題に対処するため、マッチング理論を拡張する研究を行っています。一見似たように見える問題でも、その背後にある数学的構造の違いにより、問題の難しさや然るべきアプローチ方法が大きく異なることがあります。問題の本質的構造を見抜き、組合せ最適化理論などを活用しながら、高速に公平なマッチングを求めるアルゴリズムを設計しています。

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを捉える

## 産業応用の可能性

マッチング理論は、人や組織の間のマッチングを求める様々な場面で役立ちます。中でも、特に大きな貢献を見せる場面として、公共性が高く規模の大きいシステムの開発・改良があげられます。制度の透明化やアルゴリズムの公開が求められる公共性の高いシステムにおいては、参加者に納得してシステムを利用してもらうために、計算結果の正当性が理論的に保証されていることが必要不可欠です。加

05 知能システム科学  
知能システムの現状を把握して

06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える

研究者の  
発明

◆該当なし

学生の進学コースの割当てや研修医の病院への配属など、多数の参加者の希望に基づきマッチングを求めたい場面は社会に数多く見受けら

れます(図1)。その多くに、参加者が提出する希望順位リストを入力データとしてマッチングを計算するコンピュータシステムが用いられています(図2)。私はその計算を支えるアルゴリズムの理論研究を行っています。適切なアルゴリズムを設計することによって、一部の参加者に理不尽な思いをさせたり、虚偽のデータ申告を誘発したりすることのないような公平な仕組みづくりを目指します。社会の変化に伴い現れる多様な問題に対処するための柔軟な理論づくりが求められています。

### 研究背景・目的

図1 マッチング問題のモデル化

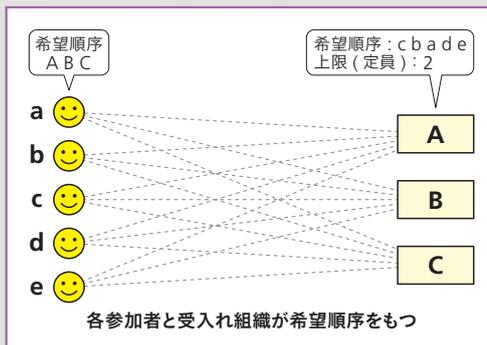
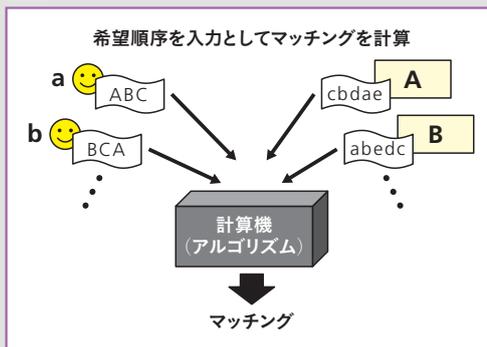


図2 アルゴリズムのイメージ



えて、大規模な問題を扱う際には、実用可能な速度で必ず出力が得られることを保証する必要があるため、アルゴリズムの計算量の改善が欠かせません。

# コンピュータの 新たな建築技術： 水没冷却と光無線



Michihiro Koibuchi  
**鯉渕 道紘**  
アーキテクチャ科学研究系  
准教授

## 研究内容

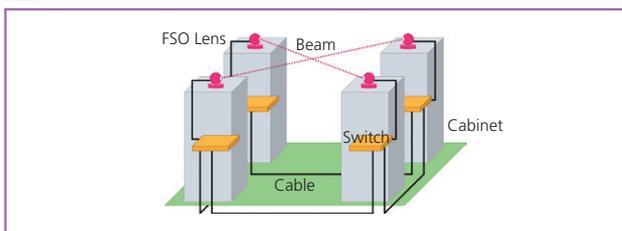
### • 水没冷却

電気絶縁性を得て、かつ、水中への放熱を可能にするために、コンピュータのマザーボード全体に薄膜コーティングを施しました。その結果、水没冷却は高負荷時の最新のXeon（ジエオン）プロセッサの温度を、空冷と比べて20度ほど低下させることができました。ただし現在の技術では耐久性に課題があります。

### • 光無線

ネットワークの「高いメンテナンス性」「通信パターンに応じた柔軟性」「省資源化」をすべて達成するために、ケーブルの代わりにレーザービームを使います(図)。現状のイーサネットの光源を用いて40Gbpsに近い通信を達成しています。マシンルーム内のラック上で多数のレーザービームが相互に干渉しないような光無線端末レイアウトを特許出願中です。

図 光無線データセンター / スパコンの全体像



研究者の  
発明

- ◆特許第5024530号：三次元集積電気回路の配線構造及びそのレイアウト方法
- ◆特開2015-139151：情報処理装置用ネットワークシステム

コンピュータの熱、配線について研究しています。

**水没冷却**：水にはコンピュータの冷却材である空気、鉱物油と比べて冷却性が数倍～数十倍高いという優れた特徴があります。私たちは既存の空冷の「扱いやすさ」と現状の液浸冷却を越える「効率的な冷却」を両立する水没コンピュータにより、プロセッサチップ

の発熱問題の緩和を目指しています(写真)。

**光無線**：現状のスパコン、データセンターのネットワークはケーブルで相互接続して構築するため、総配線長が1,000kmを超えるなどメンテナンスが困難で並列計算処理ごとに適したネットワーク構成に変更することが

が難しくなっています。この2点の問題を光無線通信(ケーブルレス)の採用により突破することを目指しています。

水没コンピュータのテスト



## 産業応用の可能性

### • 水没コンピュータ

マイクロな点では、コンピュータの最発熱部であるプロセッサチップの3次元統合積層の排熱問題が解決できるかもしれません。マクロな点では将来、水没コンピュータを温水プールや水族館の水槽内に設置し、その熱を二次利用する、あるいは、海や河川に設置するなど従来と違うデータセンターの形が見えてくるかもしれません。

### • 光無線

長いケーブルなしでデータセンターを構築できます。さらに、ネットワーク構成を運用中に変更できるので、AI/ビッグデータ処理などで、現在では想像がつかないようなデータセンターの使い方が現われても設備の増設なしに、相応に対応可能です。

01

情報基礎科学

基礎理論の深みを解き明かす

02

情報基礎科学

理論実践からシステムを創り出す

03

ソフトウェア科学

多様化する知識創成型社会を支える

04

情報メディア科学

メディアの振る舞いを探究する

05

知能システム科学

知能システムの表現や活用を目指す

06

情報環境科学

情報社会を多角的に捉える

01 情報基礎科学  
基礎理論の深さを解き明かす

02 情報基礎科学  
理論実践から新システムを創り出す

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを捉える

05 知能システム科学  
知能システムの実現を目指す

06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える

# ポスト・デナード スケーリングのクロッキング方式 —二相ラッチとタイミング故障検出の組み合わせ



Masahiro Goshima  
**五島 正裕**  
アーキテクチャ科学研究系 教授

## 研究内容

右の図(上)は、通常のフリップ・フロップ(FF)を用いた回路、同図(下)はそれを二相のラッチを用いた回路に変換し、タイミング故障検出回路を付加したものです。この組み合わせによって、ラッチが開いている時に信号が通過できるようになります。回路中を進む信号を道路を走る車に例えると、目の前の(交通)信号が次々青が変わっていき、赤信号にかまらずに走り続けられる状態と言えます。このとき回路は長大な組み合わせ回路のように動作し、素子のランダムなばらつきは大量の法則によって0に近づきます。動作周波数の上限は、タイミング故障の検出限界で決まり、通常的方式のちょうど2倍となります。このバジツを電源電圧の低下に振り向けることもできます。

## 産業応用の可能性

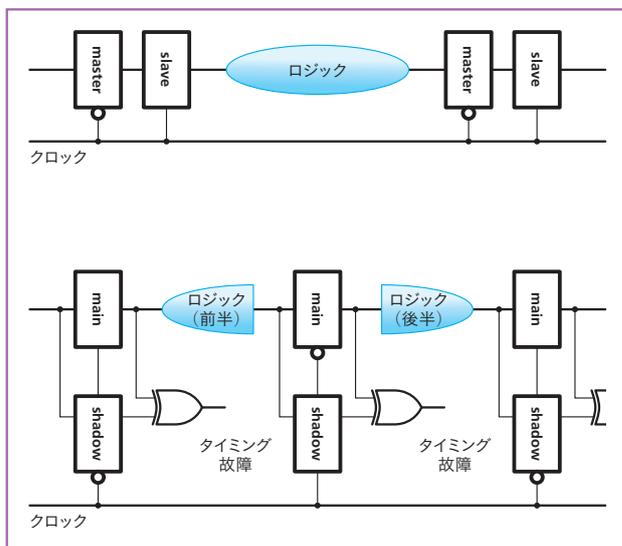
提案のクロッキング自体は、基本的にはクロックを用いるすべてのLSI (Large-scale Integrated Circuit: 大規模集積回路)に適用可能です。ただし、タイミング故障から回復するため、プロセッサが例外を起こした命令を再実行するように、何らかのエラーに対して再実行する機能が必要です。私たちは、FFを用いた通常的设计に対して自動的に変

世の中では、ムーアの法則の終焉が叫ばれていますが、その科学的な根拠であるデナードスケーリング(比例縮小則)は、20年近く前にすでに終

### 研究背景・目的

焉を迎えています。微細化に応じて電源電圧を下げるができなくなり、消費電力と発熱がチップの性能を制限する主要因となっています。その原因の一つとして、チップ内の素子の性能のランダムなばらつきが挙げられます。これは、半導体の微細化によって素子のサイズが原子のサイズに近づいてきたため、半導体技術によって解決することは困難です。そこで、回路、ならびにアーキテクチャ・レベルの技術が不可欠となります。私たちは、二相ラッチとタイミング故障検出・回復を組み合わせたクロッキング方式の研究を進めています。

図 単相クロックとフリップ・フロップ(マスター/スレーブ)を用いた回路(上)。提案:二相ラッチを用いたタイミング故障検出を組み合わせた回路(下)



換を行うツールを開発しています。現在、RISC-Vアーキテクチャのスカラ・プロセッサRocketに対して、提案の方式を適用し、FPGA(製造後に購入者や設計者が構成を設定できる集積回路)上に実装、動作させることで検証を進めています。今後は、スーパースカラ・プロセッサ「<sup>らいしょうどう</sup>雷上動」に適用し、LSI上に実装する予定です。

研究者の  
発明

- ◆特許第5589169号: 半導体集積回路
- ◆特許第5181127号: 半導体集積回路

# 大規模インターネット データからの情報抽出 およびその応用



Kensuke Fukuda  
**福田 健介**  
アーキテクチャ科学研究系  
准教授

## 研究内容

最近の研究内容として二つのトピックを紹介します。一つ目はインターネット上の悪意のある振る舞いを同定するための新しいデータ源として、DNS (Domain Name Services) を用いた手法に関して研究を進めています。私たちのアプローチでは、権威サーバーへの集散的なDNSアクセス(DNS反射波)から、大規模ネットワークスキャンの送信元を検出することに成功しています(図1)。

二つ目に、ネットワーク管理のためのログマイニングの研究を行っています。ネットワーク管理者は、ネットワーク機器から生成されるログから何か異常が起きていることを知ることができますが、ログは大量かつ多様なため、トラブルシューティングやトラブルの予測に活用することは簡単ではありません。私たちは、NIIが構築・運用する学術情報ネットワーク(Science Information NETwork : SINET)のログデータを例として、因果推論技術を用いたログ出力の因果解析フレームワークを研究しています(図2)。

## 産業応用の可能性

DNS反射波は、インターネットサービスプロバイダー等で内部に存在する悪意のあるユーザーを検出する際に有効な技術と期待しています。また、ログ因果推論解析は、あ

インターネットは私たちの生活に欠かせない重要なインフラとなっていますが、ネットワークを正しく、効率良く運用していくことは簡単ではありません。

例えば、ウイルス、DDoS (分散型のサービス妨害)、設定間違い等のネットワーク上の異常なトラフィックを早期に検出し、自ネットワークを防御する必要があります。また、ネットワークを構成する機器は複雑に接続されており、機器の監視を行っていてもネットワーク不調の原因を知ることは容易ではありません。私たちは、インターネット上のインフラからアプリケーションにまたがるさまざまな大規模データを集め、これらのデータに適したミクロ・マクロな解析手法を適用することで、ネットワークの安全性、効率性を高めるための研究を行っています。

### 研究背景・目的

図1 DNS反射波

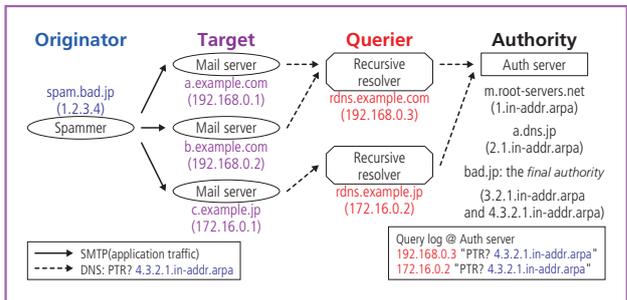
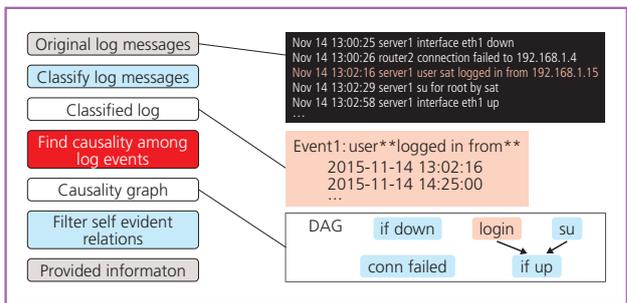


図2 ネットワークログ解析



るログが生成された際に、その原因を特定したり、そのログから派生しうるトラブルを予測したりすることが可能になると考えています。

### 研究者の 発明

- ◆特許第5818262号：データ配送システム及びデータ配送装置及び方法
- ◆特許第5818263号：データの分散管理システム及び装置及び方法及びプログラム

# 複雑で不確かな ソフトウェアの品質向上 と保証に挑む



Fuyuki Ishikawa  
**石川 冬樹**  
アーキテクチャ科学研究系  
准教授

## 研究背景・目的

ソフトウェアシステムが社会で果たす役割はますます大きくなり、その開発・運用において高い品質を効率的に担保することが強く求められています。一方で、システムの複雑さは増し続け、機械学習や自動運転など不確かさが高く、特性が異なる技術や応用対象も現れ、従来での方法での品質の向上・保証が難しくなっています。これに対し、(1) 不確かさの中で要求や仕様、想定環境に関し「何に注目して、何をすべきか」をエンジニアが議論し、系統的、継続的に確認・改善していくための「道具立て」に取り組んでいます。さらに、複雑なシステムに対しても個々の問題に効率的に切り込むための支援として、(2) 不具合を生じる状況、確認すべき状況の網羅、あるいは不具合の適切な修正などを自動的に「賢く探り出す」技術も追究しています(図)。

## 研究内容

(1)については、対象システムの要求や仕様、想定環境、あるいはその中での障害や事故のリスクに対し、本質をエンジニアがとらえ議論していくための、モデリング(表出化・形式知化)や分析の技法に取り組んでいます。

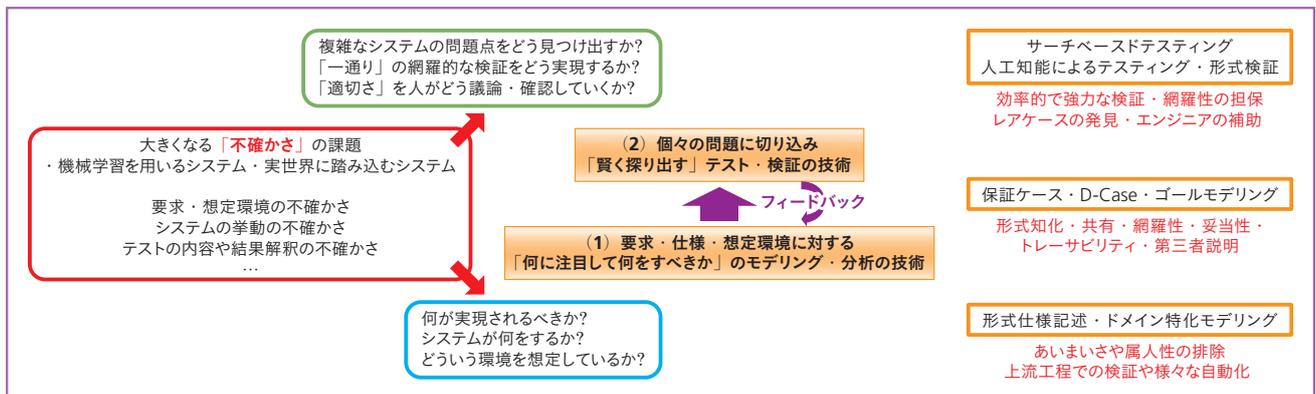
(2)については、形式検証、自動テスト生成(テスト生成)、人工知能(特に進化計算や機械学習)など非常に強力になった最新技術を深化しつつ適宜組み合わせることで、品質の向上・保証に活用することを目指しています。

いずれにおいても、機械学習を中心に用い、振る舞いが不確かなシステム、自動運転のように実世界に深く踏み込んで動作するシステムに焦点を当てて取り組んでいます。

## 産業応用の可能性

ソフトウェア工学の技術は産業を支えることを目指したものです。目標の「大きさ」により今すぐ使えるのか5年後に使えるのかの差はあったとしても、研究成果は産業应用到に近いものとなります。重要なことは、各企業における悩み・問題の本質(本当にやりたいこと)を議論し尽くすこと、そして使い手となるエンジニアや組織文化、開発プロセスなどを踏まえて「技術」を「道具」に仕立てあげていくことです。これまで100名を超える企業の開発者や研究者と様々な議論を行ってきた経験を基に、企業連携においては効果の高い実践的な提案を創りあげていきたいと考えています。

図 研究活動の全体像



研究者の  
発明

◆特許第4392503号: アクティブコンテンツ流通システム及びアクティブコンテンツ流通プログラム

01 情報基礎科学  
基礎理論の深みを解き明かす

02 情報基礎科学  
理論実践からシステムを創り出す

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを活かす

05 知能システム科学  
知能システムの表現を目指す

06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える

# 安全性と高生産性を両立したソフトウェア開発に向けて



Taro Sekiyama  
**関山 太郎**  
アーキテクチャ科学研究系 助教

## 研究内容

本研究では、特に「静的型システム」と呼ばれる形式手法の一つについて研究を行っています。静的型システムはすでにJava、C++、OCaml、Haskellといった多くのプログラミング言語に採用されており、ソフトウェアを実行することなく誤りを検出することが可能です。しかし、静的型システムが誤りだと判断しても、実際には誤りではなかったという場合もあります。このような問題は静的型システムの表現力が豊かになればなるほど、より顕著に現われてきます。本研究では、実行時に検査を行う「動的型システム」を静的型システムと組み合わせることで、必要に応じて検査能力を選択できる型システムの研究に取り組んでいます(図)。

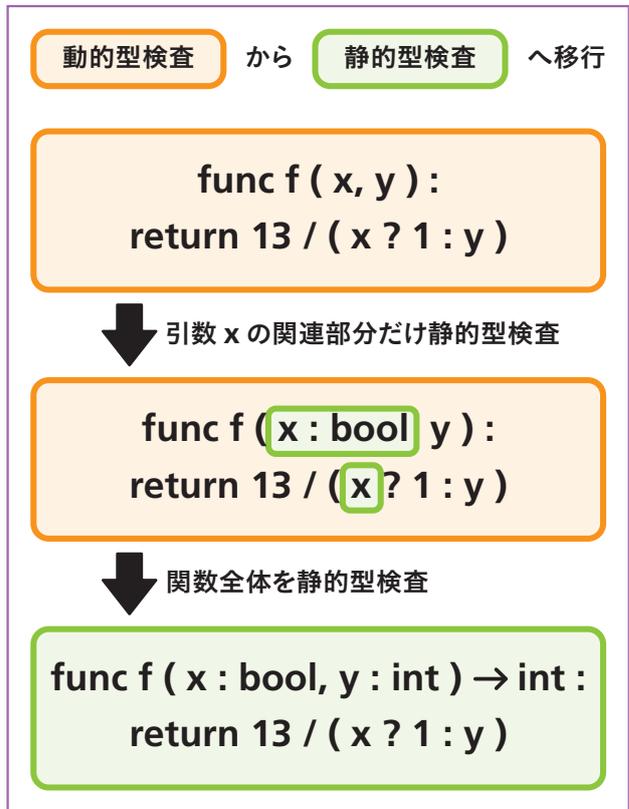
## 産業応用の可能性

ソフトウェアは一般的な計算機システムだけではなく、航空機制御や自動車制御などのミッションクリティカルな部分にも使われています。そういった高信頼システムが求められていますが、形式手法などによる厳密な品質保証が困難な場合に、本研究を応用することができます。

### 研究背景・目的

社会生活の多くの部分が計算機システムによって支えられている今日、計算機を制御するソフトウェアの品質を高め、高い信頼性を保証することは重要な課題になっています。これまでソフトウェアが誤動作を起こさないことを数学的に保証する方法として「形式手法」が研究されてきました。しかし、複雑さが増す今日のソフトウェアに形式手法を厳密に適用するには高い専門性が必要となり、多大なコストがかかることが知られています。本研究では、一般にソフトウェアの誤りを全て検出することを目的として形式手法を少し「緩める」ことで、現実的なソフトウェアに適用することを目指します。

図 動的型検査から静的型検査への移行



研究者の  
発明 ◆該当なし

01 情報基礎科学  
基礎理論の深みを解き明かす

# 屋内もスマホで ナビゲーション 音響測位、可視光通信技術

02 情報基礎科学  
理論実践からシステムを創り出す



Hiromichi Hashizume  
**橋爪 宏達**  
アーキテクチャ科学研究系  
教授

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

## 研究内容

屋内ナビゲーションのための位置計測では、屋外のGPSの測位精度(数メートル)より高い精度が要求されますが、私たちはそのために「位相一致法」というミリメートル精度の計測原理を開発しました。この手法は、スマートフォンのビデオカメラを使った光の信号と併用すると特に効果的なため、私たちは可視光通信技術も研究し、二つの技術を合わせることで、屋内における高精度の測位を可能にしました。ビデオカメラの可視光通信は低速な通信速度しか得られないのが欠点でしたが、測位利用の副産物として「仮想正弦波解析」という新しい通信技術を開発し、従来の通信速度を10倍程度更新しました。

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを捉える

## 産業応用の可能性

実験室内の音響計測では、位相一致法により、3メートルの位置で35ミクロンの計測精度を達成し、これは世界記録になっています。このため同方式を工場の生産ラインで、加工対象の精密な位置決めにも使うことも検討されています。ビデオカメラを使う可視光通信では、私たちの方法ではリア

05 知能システム科学  
知能システムの実現を目指して

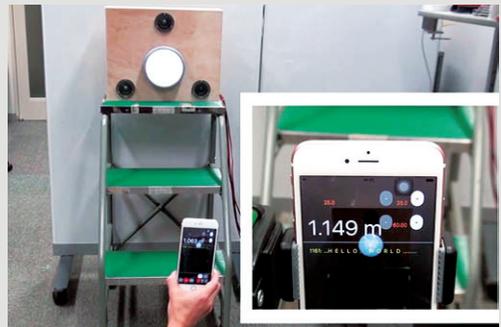
06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える



- ◆特許第5305324号：距離測定方法、距離測定用受信局装置及び位置測定システム(位相一致法による精密な音響測位技術。電波や光でも可能)
- ◆特開2017-192122：情報送信装置、情報受信装置、情報伝送システム及びプログラム、測位システム、照明器具並びに照明システム(可視光通信で理論最高速を達成)

屋外では便利に使えたスマートフォンの地図ナビゲーションも、デパートなどのビルの中に入ったとたん、機能しなくなります。これはGPS衛星からの、自分の位置を知る(測位する)ための電波が届かなくなるためです。屋内でGPS相当の電波を出しても、壁や家具で乱反射するので測位には使えません。屋内ではそれに代えて、音や光を使う測位方法が有望です。音や光を使うと、測位だけでなく、催し物の内容など一般の情報を伝達することもできます。私たちの研究は、音響および光による測位と通信機能をスマートフォンに付け加えることで、屋内での新しいスマートフォンの利用形態を提案します。

研究背景・目的



音と光によるスマホの屋内測位(右下画面)。位置の数値に合わせて、光信号で送られた“HELLO, WORLD”の文字が表示されている

ルタイム音声を送ることができるため、催し物の各コーナーの説明をその位置にいる人に可視光通信で行えるはずだ。自動車のテールランプと車載カメラによる車車間通信にも応用できます。

# 「形式手法」をものづくりへ

## —高品質・高効率な製品開発に向けて



Ichiro Hasuo

### 蓮尾 一郎

アーキテクチャ科学研究系 准教授／システム設計数理国際研究センター長

## 研究内容

形式手法を自動車制御などの物理情報システムに適用するためには、従来、コンピュータでの計算を前提として扱ってきた「離散的要素」と物理系の連続ダイナミクスや確率・時間などの「連続的要素」の両方を包含するような理論拡張が必要となります(図1)。私たちは独自のアプローチとして、形式手法の拡張過程そのものを「論理学」「圏論」といった抽象数学を駆使して解析、高次(メタレベル)の理論を構築し形式手法の諸技法を一挙に拡張します(図2)。一方、応用面では、これらの理論研究の成果を制御理論、最

## 産業応用の可能性

この研究では産業応用志向が一つの特徴です。具体的な方向性として二つのアプローチで進めています。一つ目のアプローチでは国内外の企業と協働し、実際の製品設計プロセスに対し形式手法の支援を行います。ここでは現状の開発プロセスに適用することで、具体的・実践的な形式手法の適用実現とその効果を実証します。二つ目のアプローチは、将来の製品設計プロセスにおける形式手法の果たす役割を追求します。ここでは、ソフトウェアを中心とした先駆的な製品設計プロセスを実践するカナダのウオタールー大学の自動運転車プロジェクトをテストベッドとして形式手法の産業応用について先駆的研究を行います。

研究者の  
発明

◆特許第5843230号：ハイブリッドシステムの検証方法、および検証装置

今日、製造業においては高度な情報処理技術を用いた自動化とソフトウェア支援により、設計から生産までの製造工程のあり方を根本的に変える

取り組みが進んでいます。この背景を踏ま

え、従来、ソフトウェア開発に用いられてきた

「形式手法」と呼ばれる数学的手法を工業

製品の開発に適用し、製品の信頼性や開

発効率を画期的に向上させることは、それ

らが計算機制御され、その機能・複雑さ・

社会的責任を増している今日、学術的・産

業的に非常に重要なトレンドとなっています。

本研究では、JST ERATO「蓮尾メタ数

理システムデザインプロジェクト」を通して先

進的形式手法の研究、さらに産業界の実問題

に対する応用・実装を進め、形式手法の効果

実証、実用化を目指すことを目的としています。

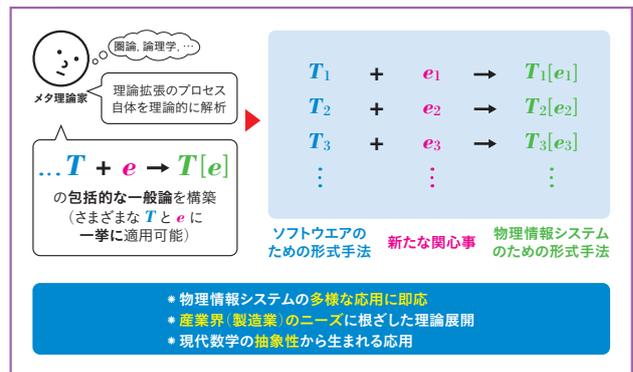
### 研究背景・目的

化理論を用いて具体化、また機械学習等の実践的ソフトウェア工学手法を活用して実用化を目指します。

図1 形式手法の拡張：ソフトウェアから物理情報システムへ



図2 独自の方法论：メタ理論による移行



01 情報基礎科学 基礎理論の深みを解き明かす

02 情報基礎科学 理論実践から編み出したシステムを創り出す

03 ソフトウェア科学 多様化する知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学 エンタメの振る舞いを形式化する

05 知能システム科学 知能システムの表現を追求して

06 情報環境科学 情報社会を多角的に捉える

01 情報基礎科学  
基礎理論の深みを解き明かす

# 実世界への応用を 目指した高精度な 3次元復元技術の開発

02 情報基礎科学  
理論実践からシステムを創り出す



Satoshi Ikehata  
**池畑 諭**  
コンテンツ科学研究系  
助教

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

## 研究内容

### ・フォトメトリックステレオ法

フォトメトリックステレオ法は様々な方向から被写体に光を当てて、陰影の変化から3次元復元を行うアプローチです。数理的には光が被写体に反射してカメラに到達する過程をモデル化し、その逆問題を最適化する過程で被写体の法線画像を復元します。しかし、相互反射のような複雑な物理現象をモデル化することは困難で、既存研究では単純な光学系のみが扱われてきました。そこで私たちは、困難なモデル化をCGデータを用いた機械学習によって代替し、より汎用的な対象に対してこの手法を適用することを実現しました(図1)。

### ・建築物内部の3次元復元

建築物は人間が住みやすいように注意深くデザインされており、「壁は平面で地面に対して垂直である」等の共通ルールが幾つも存在します。そのようなルールを上手く利用することで、高度な3次元情報を復元することが可能になります。これまでに、復元された3次元モデルに対して「部屋」、「壁」、「天井」等の構成要素への階層的構造化手法を実現し、間取り図の生成、ナビゲーションシステム、CAD編集等に応用してきました(図2)。

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを探求する

05 知能システム科学  
知能システムの表現を目指して

06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える

研究者の  
発明

◆該当なし

## 研究背景・目的

3次元復元は、撮影された被写体の形状や距離等の3次元情報を復元することを目的としたコンピュータビジョンの研究分野です。例えば、自動運転車が周囲の環境を理解して安全に走行するためには、建物や他の車までの距離の情報が不可欠です。あるいは3Dプリンターで出力するために被写体の形状をスキャンするといった用途も考えられます。人間がさまざまな手掛かりを利用して奥行きを知覚するのと同様に、復元する対象やアプローチは多岐にわたり、それぞれが独自の研究分野を形成しています。私はこの分野で、陰影の変化を利用して被写体の法線画像を復元する「フォトメトリックステレオ法」および「建築物内部の3次元復元」をテーマに取り組んできました。

図1 機械学習に基づくフォトメトリックステレオ法のアイデア

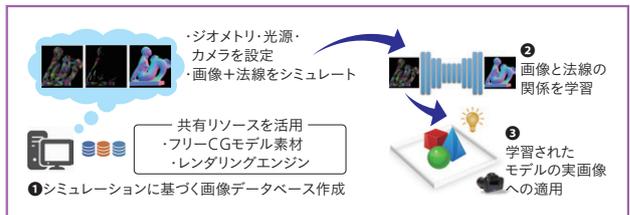
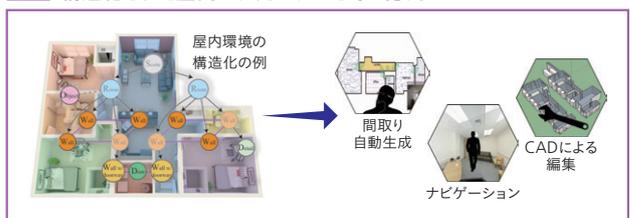


図2 構造化された屋内3次元モデルとその応用



## 産業応用の可能性

3次元復元技術は今後以下のような応用が期待されています。

- 重要文化財の形状保存
- 屋内ナビゲーションや家具配置のシミュレーション
- タンパク質の形状復元、人工関節や臓器の生成のための人体測定
- 自動運転技術やロボットの制御
- VR、ARコンテンツの生成

# 産学連携による 研究用データセットの 共同利用と エコシステムの構築



Keizo Oyama  
**大山 敬三**  
コンテンツ科学研究系 教授/  
データセット共同利用研究開発  
センター長

## 研究内容

大規模リアルデータには著作権や個人情報保護等に加えて、企業の経営的な観点からの制約もあります。そこで本センターの「情報学研究データリポジトリ」(IDR) 事業では、データ保有者が安心して研究者にデータを提供できるよう、研究利用上のルールや利用契約、利用者管理などの共同利用の枠組みを整備するとともに、運用上もデータ提供者と利用者を仲介する窓口機能を果たしています。

また、データ提供者と利用者の双方がメリットを感じられるよう、データへのDOIの付与や研究成果の収集とフィードバックのためのシステム整備などを行うとともに、関係者が一堂に会するIDRユーザフォーラムを毎年開催し、リアルな課題や研究成果などを共有する場を設けるといった、コミュニティの形成と発展のための活動を行っています。

データの提供者と利用者が、直接意見交換することができる  
IDRユーザフォーラム



研究者の  
発明

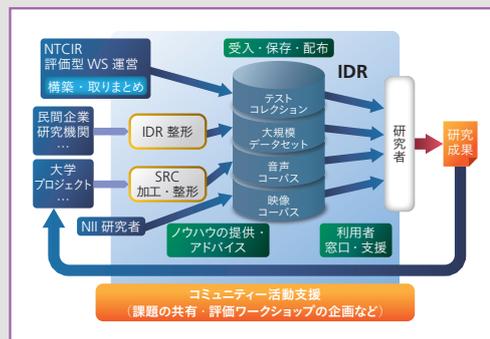
◆ 該当なし

近年、情報学やその関連研究分野では、テキスト、音声、画像、映像、センサーデータなどのインターネットを通じて集積された大規模なリアルデータが、必須の研究資源となっています。

### 研究背景・目的

しかし、多くの場合は大学等の研究者が個別にこのようなデータを取得することは困難であり、これが研究の深化や拡大の障害となっています。一方、民間企業等では、業務の中で生成された大量のデータを十分に活用できていないという課題があります。そこでNIIのデータセット共同利用研究開発センターでは、このような民間企業等と研究者の間を橋渡しして、データセットの共同利用を推進することによりこれらの問題を解消するとともに、データを核とした産学連携の自律的発展を可能とするエコシステムの構築を目指しています(図)。

図 IDRを介した産業界と大学等の  
研究コミュニティのイメージ



## 産業応用の可能性

民間企業が保有しているデータを提供いただき、学界で広く研究に利用してもらうことで、自社内では気づかなかったデータの活用や新たな技術開発に加えて、社会貢献や人材養成なども期待できます。また、IDRユーザフォーラムでの企業セッションへの参加やイベントの企画、評価型ワークショップNTCIRのタスク提案・運営など、研究コミュニティの中に自ら参画することもできます。IDRでは今後更に、データ提供者と利用者による共同研究のためのマッチングの場を提供するなど、産学連携に根ざした共同利用の深化に取り組んでいきます。

01 情報基礎科学

02 情報基礎科学

03 ソフトウェア科学

04 情報メディア科学

05 知能システム科学

06 情報環境科学

01 情報基盤科学  
基礎理論の深みを解き明かす

02 情報基盤科学  
理論実践からシステムを創り出す

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを探求する

05 知能システム科学  
知能システムの環境を目標として

06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える

# 機械学習により生成された 巧妙なフェイク動画を 自動検知する技術



Isao Echizen  
**越前 功**  
情報社会相関研究系  
教授

Junichi Yamagishi  
**山岸 順一**  
コンテンツ科学研究系  
教授

**研究背景・目的**

現在、機械学習とくに深層学習の進展により、非常に自然、そしてそっくりだが、真正でないメディアを生成することが可能になりつつあります。とりわけ、ある特定の人の顔をリアルに生成することが可能となっており、CG技術への応用等が期待される一方で、フェイクニュース等への悪用も懸念されています。実際、「DeepFake」のようにリアルなフェイクビデオを容易に生成するアプリも公開され、ビデオ投稿サイトには実際に顔の改ざんを行ったフェイクビデオが多数存在し、社会問題となりつつあります。

## 研究内容

私たちは、動画上の顔の改ざんを自動的に行う技術で生成された巧妙なフェイクビデオを自動識別するディープラーニング技術を新たに開発しました。本技術は、「DeepFake」や「Face2Face」のようにリアルなフェイクビデオを生成する技術に焦点を当てたものです。フェイクビデオを自動識別するネットワークは主に2段階で構成され、ビデオ内の顔画像から特徴を抽出するVGGモジュールと、抽出された特徴量間の整合性を判断するCapsule networkで構成されます(図)。

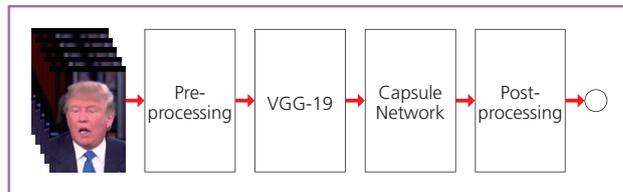
本システムの識別精度は非常に高く、評価実験では、「DeepFake」で99.23%、「Face2Face」で99%(圧縮なし)、81.20%(圧縮あり)の精度を達成しました(写真)。

自動判定結果の動画は、<https://nii-yamagishilab.github.io/Capsule-Forensics/>で見ることが可能です。

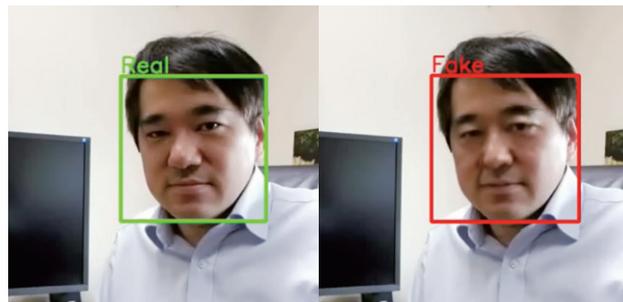
## 産業応用の可能性

ウイルスソフトや悪意のあるサイトを検知するソフトのように、悪意をもって改ざんが行われたフェイクビデオを自動でフィルタリングするソフトとして、本技術を活用することが期待できます。

図 提案システムの構成図



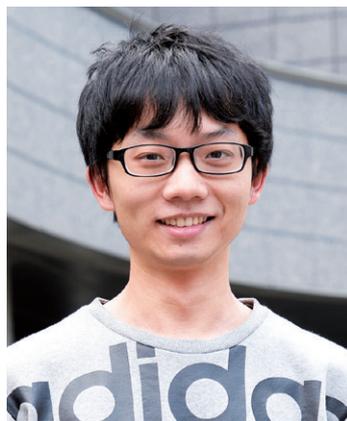
フェイクビデオの自動判定結果



研究者の  
発明

◆ タイトル : Capsule-Forensics: Using Capsule Networks to Detect Forged Images and Videos  
 著者 : Huy H. Nguyen, 山岸 順一, 越前 功  
 掲載誌 : International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) 2019  
 Arxiv : <https://arxiv.org/abs/1810.11215>

# 自然な音声を高速に合成する新手法 ニューラル・ソースフィルター・モデル

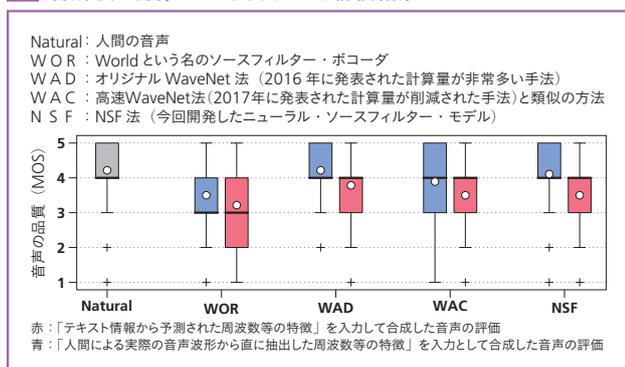


Wang Xin  
**シンワン**  
コンテンツ科学研究系  
特任研究員

## 研究内容

1960年代に発表されたソースフィルター・ボコーダ法は、ボコーダ法の最も有名なモデルとして広く活用されています。NIIの研究チームは、このソースフィルター・ボコーダ法にニューラルネットワークを導入することで、人間の肉声に近い高品質な音声波形を生成する新手法を開発しました。NSF法と名付けたこの手法は、ニューラルネットワークの機械学習のために必要な音声データが1時間程度でよいこと、簡易な構造のニューラルネットワークのため、パラメータ調整をしなくても正しい予測結果を得ることができるなどの特徴があります。また、大規模な検証からWaveNet法によって生成された音声と同等に高品質であることが示されました(図)。

図 合成された音声のMOS法による評価結果



### 研究者の 発明

◆ タイトル: Neural source-filter-based waveform model for statistical parametric speech synthesis  
 著者: シンワン、高木 信二、山岸 順一  
 掲載誌: International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) 2019  
 Arxiv: <https://arxiv.org/abs/1810.11946>

### 研究背景・目的

従来、音声波形を合成する手法として、ボコーダ法と呼ばれる手法が提案され、携帯電話等で広く利用されてきました。しかし、合成された音声の品質は、人間の音声より品質が劣るものでした。2016年に海外の有力ICT企業が、深層学習(ディープラーニング)を駆使した音声合成手法 WaveNet 法を提案し、人間の肉声に近い高品質な音声波形が生成できることを示しました。しかし、WaveNet 法は、非常に複雑な構造のニューラルネットワークのため、機械学習に大量の音声データが必要であること、また、正しい予測結果を得るためにはパラメータ調整などさまざまな試行錯誤を幾度も繰り返さなければならぬなどの問題がありました。

## 産業応用の可能性

NSF法は、海外の有力ICT企業の特許技術とは異なる理論による手法であることから、NSF法を活用することにより音声合成の新たな技術開発が進むことが期待されます。そこでNSF法のソースコードを無償で公開し広く利用できるようにしました。

今回の評価に使った機械学習データのサンプル(ソースコード、学習済みのモデル)と、実際に合成された音声データのサンプル(日本語・英語)は、以下のページで公開しています。

**ソースコード** <https://github.com/nii-yamagishilab/project-CURRENNT-public>

**学習済みのモデル**(これを実行すると英語の音声を生成することができます。) <https://github.com/nii-yamagishilab/project-CURRENNT-scripts>

**音声サンプル**(日本語・英語) <https://nii-yamagishilab.github.io/samples-nsf/index.html>

なお、以下のページで、人間の肉声、ソースフィルター・ボコーダ法を用いた音声、WaveNet法を用いた音声、NSF法を用いた音声を聞き比べていただくことができます。  
[https://youtu.be/yr\\_xMqlgxKY](https://youtu.be/yr_xMqlgxKY)

# 01 顔映像と音声信号の同時変換によるマルチモーダルな話者変換技術

情報基礎科学  
基礎理論の深みを解き明かす

02 情報基礎科学  
理論実践からシステムを創り出す

03 ソフトウェア科学  
多様な知識を統合し社会を支える

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを探求する

05 知能システム科学  
知能システムの表現を目指して

06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える



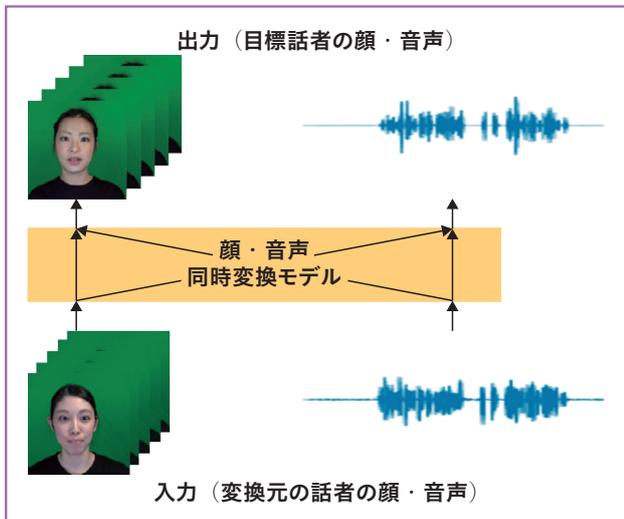
Fuming Fang  
**房 福明**  
情報社会相関研究系  
特任研究員

## 研究内容

本研究では、ビデオカメラとマイクロフォンで収録した感情豊かな顔映像と音声信号の両方を同時に用い、相互に影響すると考えられる顔と音声の特徴を考慮したうえで話者変換を実行する技術を開発しています。さらに、感情豊かな顔と音声の同時変換を実現することも狙っています(図)。

そこで、顔映像と音声信号から特徴量を抽出し、融合すること、および、融合された特徴量を目標の話者へ変換すること、そして、その変換された特徴から目標となる話

図 提案したマルチモーダル話者変換ニューラルネットワーク。顔映像と音声信号を同時に変換することが可能。



### 研究者の発明

◆タイトル: Audiovisual speaker conversion: jointly and simultaneously transforming facial expression and acoustic characteristics  
著者: 房 福明、シンワン、山岸 順一、越前 功  
掲載誌: International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) 2019

機械学習の進展により、個々の人間の特徴をデジタルクローン化し、VR空間で再現する技術が実用化しつつあり、様々な分野で応用が期待されています。私たちが注目しているのは、

### 研究背景・目的

話者変換です。話者変換とはある人物の顔と音声を、違う人物の顔と音声に変換する技術です。例えば、その場にはいない演者、一人二役の演者による映画を製作する際等に、この話者変換技術を利用できると期待されます。この話者変換では、細かい表情を捉えるために特別な機材と方法が必要となりますが、既存技術ではある一つのモダリティを再現もしくは変換する研究がほとんどでした。具体的には、顔と音声を個別に変換し統合していたため、変換した顔の動き(特に唇)と音声が不自然になる問題がありました。

者の顔映像と音声信号の両方を同時に生成することを実現するニューラルネットワークを開発しました。この手法では、入力する顔映像と音声信号の相関を捉えることが可能であり、生成された目標となる話者の顔と音声の同期がより自然になります。とりわけ、より豊かな顔・音声の表現を変換する際に、この相互作用が重要です。さらに感情の強度やタイプを制御することも可能で、感情表現の強調といった操作が可能です。

## 産業応用の可能性

- 映画やアニメーション映画などの製作に応用可能と期待されます。
- ユーザの顔と音声情報によるアバター制御が可能となります。アバターを通じて、バーチャル世界で実世界に似るようなコミュニケーションができると期待されます。
- 無人コンビニや無人レストランのコミュニケーション用インタフェースへの応用も考えられます。

# 水中シーンの3Dビデオ撮影に向けた マルチスペクトルRGB-Dカメラの開発

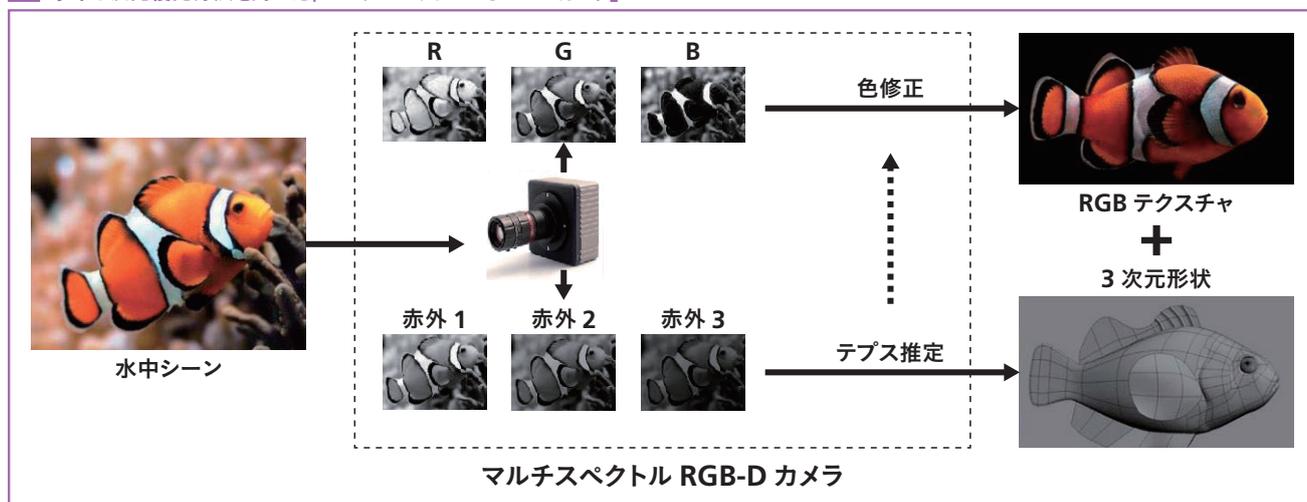


Yinqiang Zheng  
**鄭 銀強**  
コンテンツ科学研究系  
准教授

## 研究内容

水中の対象物の3次元形状やRGBの色を正しく測定できるようにするため、水中シーン専用の「マルチスペクトルRGB-Dカメラ」の研究開発を推進しています(図)。このカメラの最大の特徴は、水の吸収特性に基づく革新的な「Trispectral Depth Sensing」という3次元復元方法です。RGBカラーについても、水の影響を除いて、対象物本来の色に修正することができます。高速並列処理により、3次元形状とRGB色を統一して、高解像度3次元ビデオをリアルタイムで出力することができます。

図 水中3次元復元方法を用いた「マルチスペクトルRGB-Dカメラ」



研究者の  
発明

◆特開2017-106877:「画像処理装置、画像処理方法及びプログラム」

01 情報基礎科学  
基礎理論の深みを解き明かす

02 情報基礎科学  
理論実践から編み組システムを創り出す

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを探究する

05 知能システム科学  
知能システムの表現を拡張して

06 情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える

## 産業応用の可能性

マルチスペクトルRGB-Dカメラは、魚の3次元行動軌跡解析による養殖技術の高度化や、水の中に隠れている文化遺産の3次元デジタル化、珊瑚の成長状態の調査など、さまざまな応用分野で役立つことが期待されます。

01 情報基礎科学  
基礎理論の深みを解き明かす

# 物体の中を見る — 散乱特性・情報を獲得する イメージング技術

02 情報基礎科学  
理論実践からシステムを創り出す



Imari Sato  
**佐藤 いまり**  
コンテンツ科学研究系  
教授

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識形成型社会を支える

## 研究内容

光源のパターンとカメラを組み合わせた撮像技術により、物体の組成情報や光の伝搬等の物理的特性を解明する技術を研究しています。高周波照明を投影し、かつ照明とカメラのそれぞれについて、焦点が合っている状態と焦点ぼけが生じている状態の違いを利用することで、透過光と散乱光を分離した顕微鏡観測が可能になります。(図1 (c))。高周波照明の明暗の変化時における、透過光(合焦)と散乱光(合焦および非合焦)の観測の変化に注目し、厚みのある試料の全ての深さの光が重ね合わさった観測から透過光と散乱光を分離できる仕組みです。また、通常の可視光光源とカメラを用いて、物体表面内の光の拡散や散乱による伝搬過程の可視化も可能にします。物体内の光の伝搬距離に着目し、ある半径のリングライト下と、それより少し大きい半径のリングライト下の画像同士の差分は、光の伝搬距離がある距離区間に限定された画像になることを示しました(図2)。

04 情報メディア科学  
メディアの振る舞いを捉えよう

05 知能システム科学  
知能システムの表現を目標として

06 情報環境科学  
情報社会を多層的に捉える

図1 透過光と散乱光の分離観測



例えば、散乱体がなければスケールは鮮明に観測可能 (a) だが、散乱体が多いと不鮮明になる (b)。本顕微鏡システムを用いた透過光と散乱光の分離手法により、従来計測が難しかった詳細な生体組織の散乱係数や吸収係数の計測が可能になる (c)。

私たちが普段見ている光は、大変たくさんの情報を含んでいます。光は、現実世界の物体に作用し、反射、屈折、吸収、散乱などの光学的過程を繰り返しながら伝搬します。例えば、

### 研究背景・目的

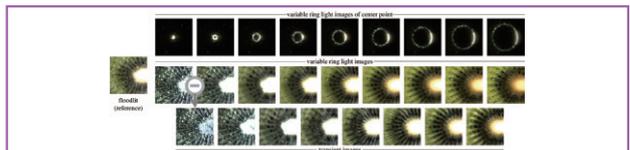
散乱体を多く含むような生体組織の顕微鏡観察において、光は散乱粒子に繰り返しぶつかり、そのたびに吸収と散乱を繰り返します。その場合、透過光と散乱光の重ね合わさった情報が観測され、散乱の影響により不鮮明になってしまいます (図1 (a) (b))。従って、透過光と散乱光を分離できるならば、染色を行わずに、吸収スペクトル等の組成情報を正しく計測できるようになります。また、物体内の光の伝播の様子を画像として捉えることができれば、物体内部の光が作用している物理的特性等を推定することができ、実世界を理解することに役立ちます。

## 産業応用の可能性

生体組織の非接触・非侵襲イメージングによる構造や機能解析が非常に期待されていますが、複雑な構造で複雑な内部散乱を生じることから、観測光成分を詳細に分離することは容易ではありません。詳細な組織ごとの吸収や散乱情報を獲得できる本イメージング技術は、染色不要ことから生細胞へのダメージ回避に加え、物品検査等様々な分野の計測分析にも汎用できます。

また、光の伝搬過程が可視化できることは、物体表面の構造の推定に非常に有効ですが、物体表面内の光の伝搬過程や色は物体表面を見ただけではわかりません。本イメージング技術により、物体の内部を切らずに、通常のカメラと光源で撮像するだけで、光の伝搬過程や色の復元も可能にします。なお本手法は現在特許申請中です。

図2 リングライトによる光の伝搬過程の可視化



通常照明の投影像(左)、リングライト照射の様子(上段)、各半径のリングライトに照射された画像(中段)、光の伝搬距離がある特定の距離区間に限定された画像列(下段)。

### 研究者の 発明

- ◆特許第4982844号：投影画像補正システム及び投影画像補正プログラム
- ◆特許第6471942号：画像処理装置、画像処理方法及び記録媒体
- ◆特開2018-022287：画像処理装置及び方法、画像処理プログラム、並びに投影装置
- ◆国際公開番号WO2016/121866：デジタルホログラフィ記録装置、デジタルホログラフィ再生装置、デジタルホログラフィ記録方法、およびデジタルホログラフィ再生方法

# 高速・高精度な画像検索と 放送映像アーカイブ解析



Shin'ichi Satoh  
**佐藤 真一**  
コンテンツ科学研究系  
教授

## 研究内容

私たちは、高速・高精度の画像検索の基本となる技術を開発し、通常のPCで、100万枚の画像から0.5秒で物体検索が可能なアルゴリズムを実現しています。また、これに基づき、物体間の位置関係を柔軟に扱える画像検索システム、物体間の関係までを含む複雑な検索意図を自然言語の説明文による問合せとして扱える技術(図1)、画像データベース中の類似画像の分布度合いに基づく高精度かつ高速の画像検索技術等を実現しています。

また、その応用として、テレビ放送を蓄積し続けている数年規模のテレビ放送アーカイブNII TV-RECSに基づき、視聴率情報を組み合わせて、視聴率の変化の理由を解明するためのマイニングツールを実現しています(ビデオリサーチ社との共同研究による)(図2)。

図1 検索者の意図を柔軟にくみ取れる画像検索システム



## 産業応用の可能性

私たちが保有する高速・高精度画像検索技術は、基本的な技術であり、様々な局面での産業応用に適用可能なのではないかと考えています。例えば、eコマースサイトの画像データベース中の商品検索、放送映像やSNS映像中に現れる特定商品の検索、監視カメラ映像中の特定人物や特定事物の検索等が考えられます。また、放送映像や画像データベースと、企業保有の統計情報(視聴率は端的な例だが、特定商品の売り上げ情報等が考えられる)との関連性解析のような応用も考えられます。

図2 放送映像アーカイブと視聴率との統合解析による  
視聴者行動の理由解析システム



### 研究背景・目的

テレビ放送やケーブルテレビだけでなく、インターネット上やSNS上などでも視聴しうる画像・映像情報は増加の一途をたどっており、私たちは日々これらから有用な情報を得ています。必要な画像・映像情報を得るためには検索技術が重要な役割を担いますが、その実現のためには、画像・映像の意味内容の解析が必要不可欠です。また、大量の画像・映像から所望の情報を得るためには、効率の良い検索アルゴリズムの検討も重要です。さらに、人の検索の意図をうまくみ取れるような柔軟な画像検索技術も必要となってきます。そして、こうした技術の応用として、大規模な画像・映像アーカイブから知識を発見するような技術の検討も重要です。

研究者の  
発明

◆該当なし

01 情報基礎科学 基礎理論の深みを解き明かす

02 情報基礎科学 理論実践から編み出したシステムを創り出す

03 ソフトウェア科学 多岐にわたる知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学 Xメディアの振る舞いを探究する

05 知能システム科学 知能システムの表現を多角的に捉える

06 情報環境科学 情報社会を多角的に捉える

01 情報基盤科学  
基礎理論の深さを解き明かす

02 情報基盤科学  
理論実践から知能システムを創り出す

03 ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学  
メディアの価値を測る方法を構築する

05 知能システム科学  
知能システムの実現を目指して

06 情報環境科学  
情報社会を多層的に捉える

# 人間の知的活動を支援する テキスト処理技術



Akiko Aizawa  
**相澤 彰子**  
コンテンツ科学研究系 教授 /  
知識コンテンツ科学研究センター長

## 研究内容

最近の研究トピックとして、「人間・コンピュータの共通理解基盤の実現に向けた言語理解タスクデザイン」を紹介します(図2)。人間とコンピュータが言語テキストを介して情報をやりとりするためには、与えられたテキストに対する解釈(意味)を共有する必要があります。ここで、機械学習を前提とする今日の言語処理において、研究の要となるのは言語タスクのデザインです。言語タスクを工夫することで、共通理解に必要な言語スキルを明らかにしたり、特定の言語スキルを獲得するようにコンピュータを訓練したりすることが可能になります。言語タスクのデザインは、知能システムを動かすためのプログラミングの役割を果たしているといえます。そこで本研究では、データ収集や評価の方法までを含めた言語タスクの分析や設計に取り組むことで、人間の質問に答えたり、人間と対話してタスクを遂行したりするシステムの実現を目指しています。

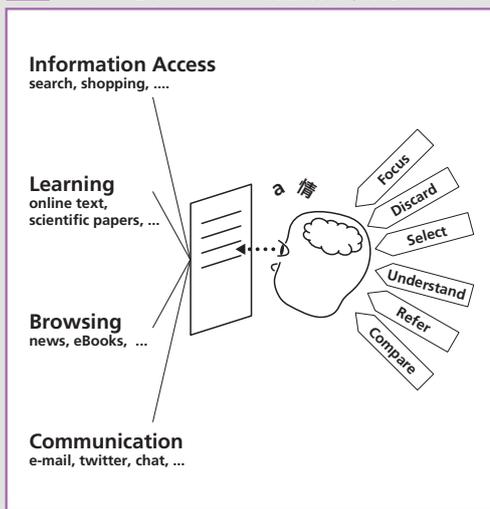
図2 対話タスクの設計(研究内容)

A: Do you have a light gray dot towards the right edge  
 B: I don't think I see it. Do you see a lighter dot directly above a darker dot?  
 A: Yes is it a small dot  
 B: Yes it's a smaller dot.  
 So let's click on the lighter one  
 A: SELECT red  
 B: SELECT blue

言語は人間の知的な活動の基盤であり、コンピュータによる言語処理は、知能システムの欠かせない構成要素となっています。言語処理により人間の情報収集・発信や意思決定を支援するためには、単にコンピュータでテキストの意味を解析するだけではなく、テキストの読み手・書き手である人間が、どのように言語を処理しているかを想定して、システムを構築する必要があります。本研究では、深層学習を含む機械学習、コーパス分析、アノテーションなどを用いて、コンピュータによるテキストの意味解析と人の言語活動のモデル化、および両者をつなぐ手法の開発に取り組んでいます(図1)。

### 研究背景・目的

図1 テキストを介した人間の言語活動(研究背景・目的)



## 産業応用の可能性

現在、言語処理システムを訓練したり性能を比較したりするために多種多様なタスクが提案されており、それらを体系的に扱う技術は、今後ますます重要になると考えられます。適用例として、大量の文書を解析してユーザーの質問に答える質問応答システム、チャットボットによるオンライン対話システム、定型表現を用いた文章作成支援などがあります。また、本研究で取り組んでいる、文書のレイアウトや論理構造の解析、専門用語抽出、エンティティリンキング、数式などの非言語オブジェクトの検索などの基盤技術は、言語を扱う多くの場面で活用することができます。

研究者の  
発明

◆該当なし

# 生活を支援する 知能ロボットのための クラウド型VRによる 対人行動学習基盤



Tetsunari Inamura  
**稲邑 哲也**  
情報学プリンシプル研究系  
准教授

## 研究内容

実際のユーザーがVR空間上で、社会的・身体的なインタラクションを仮想の知能ロボットと行うため、知能ロボットのソフトウェア開発のミドルウェアである「ROS」(Robot Operating System)と、VRアプリケーションの開発プラットフォームである「Unity」を統合したソフトウェア基盤「SIGVerse」を開発しました。これにより、ロボット開発者は従来までのロボットソフトウェアを改変することなく、VR空間に知能ロボットシミュレーターを再現し、ユーザーがクラウドを介して仮想ロボットと身振り手振り・ジェスチャー・音声対話などを用いた身体的・社会的な対話を行うことが可能になります。現在は、ユーザーの実演に基づく模倣学習の効率化、日常生活に関わる概念の対話的学習などの研究を展開しています。

## 産業応用の可能性

人と知能ロボットの対話行動だけでなく、人と人の対話行動を蓄積することも可能であるため、例えばスポーツ動作や特殊技能の訓練のための経験コーチングシステムへの応用が考えられます。第一人称視点で自身の運動と理想的な運動の差異をVR上で確認することで、効率的な訓練を実施することが期待されます。また、片麻痺の患者のた

日常環境でのユーザーの生活支援を目的とする知能ロボットの実現のためには、様々な空間的・身体的な状況に対応する判断能力と適切な対応行動を学習する必要があります。しかし、

近年の機械学習の主流となっている深層学習などを直接応用することは困難です。

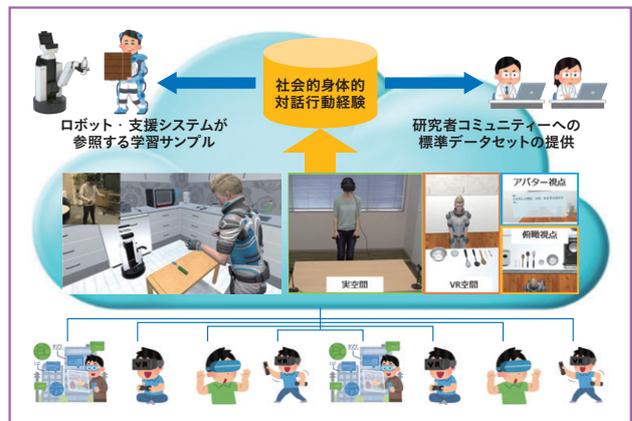
その理由は、学習に必要となる大量の経験データを収集するコストが膨大であることです。特に適切な対人行動の経験サンプル採取のためには、実際の人間がロボット

と共同作業を長時間行う必要があります。効率的ではありません。そこで、効率的に対人行動経験から適切な行動を学習するため

に、クラウド型のVRプラットフォームを開発し、ユーザーと対話しながら学習し、生活を支援する知能ロボットの実現を目指しています。

### 研究背景・目的

図 クラウド型VRによる社会的・身体的対話経験の蓄積と利活用プラットフォーム



クラウド型VRプラットフォームの構成図：ユーザーは任意の場所からクラウド上の知能ロボットとの対話実験システムに参加することが可能です。収集された社会的・身体的な対話経験はオープンなデータベースとして蓄積され、知能ロボットのリアルタイムな学習に用いる事が可能で、研究者コミュニティへ提供することも可能です。

めのリハビリシステムとして、視覚映像で実際の身体の動きとは異なる理想的な動作を提示することによって、回復を促すニューロリハビリテーションの基礎研究を科研費の新学術領域研究で進めており、在宅でのVRを活用したリハビリシステムへの応用も期待できます(図)。

研究者の  
発明

◆特許第6381097号：リハビリテーション支援装置及びリハビリテーション支援方法

01 情報基礎科学 基礎理論の深みを解き明かす

02 情報基礎科学 理論実践から新システムを創り出す

03 ソフトウェア科学 多様化する知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学 データの価値を創る方法を追求する

05 知能システム科学 知能システムの実現を目指す

06 情報環境科学 情報社会を多角的に捉える

# データやモデルの幾何的構造を大切にした機械学習技術の研究



Mahito Sugiyama  
**杉山 磨人**  
情報学プリンシプル研究系 准教授

## 研究内容

データに内在する構造や、機械学習で用いる計算モデルが持つ構造に着目し、これらを適切に取り扱うための機械学習手法を研究しています。これによって、データが多数の変数で記述されているとき、どの変数(の組合せ)が効いているのか、計算モデルが複雑な構造を持っているとき、どの構成要素が重要なのか、といったことを調べることができるようになり、より信頼性の高いデータ解析が実現できます。具体的には、情報幾何を用いて構造を持つ対象の空間や幾何を解析し、各対象が持つ情報量を分解します(図)。また、パターンマイニング技術によって、膨大な解空間から必要な候補を高速に見つけ出します。これらの技術の集積によって、信頼性が高く効率的な機械学習手法を構築すると同時に、情報理論的、統計的観点から、機械学習で得られる結果をより深く評価します。

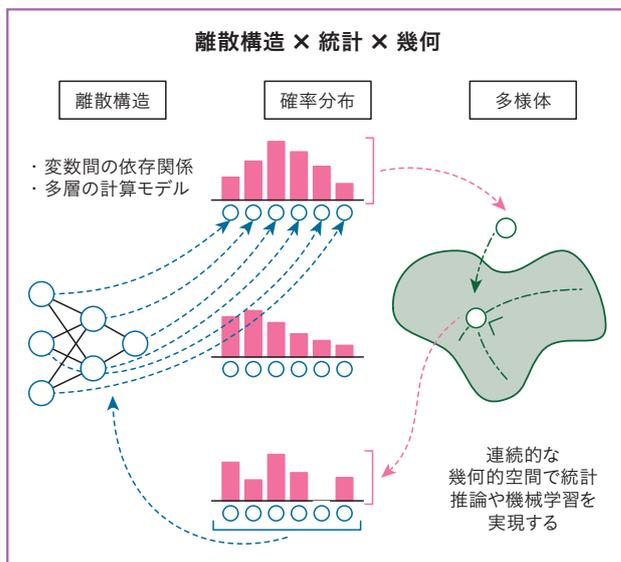
## 産業応用の可能性

情報幾何を用いた情報量分解技術は、汎用的な手法として、幅広いデータ解析に使えます。特に、データが多数の変数で表現されているときには、変数間の関連を調べることができるので、例えばヘルスケアへの応用などが考えら

人工知能の要素技術である機械学習がさまざまな応用分野で注目されています。機械学習の目的は、経験から学習して自動的に賢くなる計算機プログラムをつくることで、自動運転、音声認識、創薬、不良品検知、ゲームなど応用は多岐にわたります。インターネットやIoTの普及などによるデータ量の増加(いわゆるビッグデータ)、GPU等の計算機ハードウェアの発達、そして学習アルゴリズムの理論的發展によって、いろいろなことが一気にできるようになり、とてもエキサイティングな状況です。しかし、機械学習の応用分野が広がるにつれて、より高い信頼性が求められます。そこで、機械学習の健全性を担保し、さらなる応用の可能性を広げるための理論的および実践的研究を進めています。

### 研究背景・目的

図 離散構造を持つデータや計算モデルを幾何的空間で捉えることで、機械学習や統計的解析を実現



れます。また、一般には、データがグラフやネットワークなどの離散的な構造を持っているとき、その構造を適切に考慮することができるので、化合物データや時空間データの解析などが可能です。

研究者の  
発明

◆該当なし

# 経済ビッグデータによる 企業や行政の グローバルリスクの 推定と対策

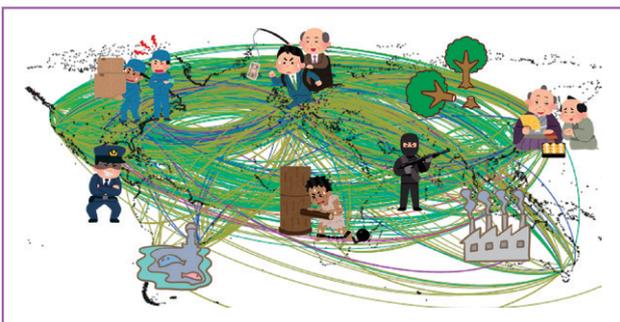


Takayuki Mizuno  
**水野 貴之**  
情報社会相関研究系  
准教授

## 研究内容

全世界の約5000万社が、決算等で報告する親子関係や取引先情報を繋ぎ合わせて、企業と重要人物のグローバル経済ネットワークを構築しています。全世界の約500社以上のメディアやNPO法人から、12万社を超える人権や環境等を無視する「ブラック企業」のリストを収集し、このグローバル経済ネットワークと接続することで、私たちの身近な規範的な企業のすぐそば(数社先)に、地球の裏側の遠く離れた「ブラック企業」がいることが分かります。グローバル経済のネットワーク特性を調べると、「ブラック企業」がクラスター(集合体)を形成し、わずかな企業が私たちとの橋渡しをしていることが分かってきました。橋渡しをする企業を介した物流の監視や援助が持続的でクリーンなグローバル経済を構築していくうえで重要です。

図1 企業間取引のグローバル経済ネットワーク



研究者の  
発明 ◆該当なし

世界は多くの企業や人、政府が連携し、お金や物が流れる複雑で巨大なグローバル経済ネットワークを形成しています。私は、データ科学(経済ビッグデータ・複雑ネットワーク科学)でグロー

### 研究背景・目的

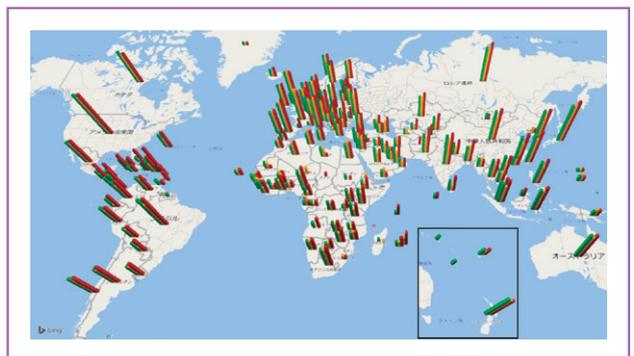
バル化の構造を解析し、私たちと、地球の裏側にある人権等を無視する「ブラック企業」との経済ネットワークを介した間接的な繋がりの検出と対策を進めています。グローバル化した現在、ブラック企業との間接的な繋がりは企業リスクの推定において極めて重要です。安易な投資が最終的に爆弾の製造資金になった事例や、安易なM&Aや取引により児童労働問題を抱えた企業を自社の関係先の末端に加えてしまう事例も発生しています。データ科学と社会科学の連携による国際問題の解決を進めています。

## 産業応用の可能性

毎年の20カ国・地域(G20)首脳会議において、グローバル経済ネットワークの末端で発生する環境・労働・人権問題に対して、グローバル企業が責任を果たすことが急務(2025年までに児童労働撤廃)であるとの共同声明が出ています。英国では2015年に、「奴隷労働とは末端でも繋がってはいけない」という法律が施行されています。欧州を中心に、このような問題は企業リスクであるとの認識が生まれ、問題に取り組んでいる企業への投資(ESG投資)が、2016年時点で全投資の26%(22.9兆円)まで急拡大しています。

このうねりは日本企業を巻き込んでおり、複雑化したグローバル経済ネットワークの中でクリーンである証明が必要になっています。私の研究は、「企業がクリーンであることを科学的に証明すること」に応用が可能です。

図2 環境・労働・ガバナンス問題について報道がなされた企業数



# 01 情報基礎科学

## 深層学習を用いたロボットの知能化技術

基礎理論の深みを解き明かす

02 情報基礎科学

理論実践からシステムを創り出す

03 ソフトウェア科学

多様化する知識創成型社会を支える

04 情報メディア科学

メディアの振る舞いを捉える

05 知能システム科学

知能システムの実現を目指す

06 情報環境科学

情報社会を多角的に捉える



Shingo Murata

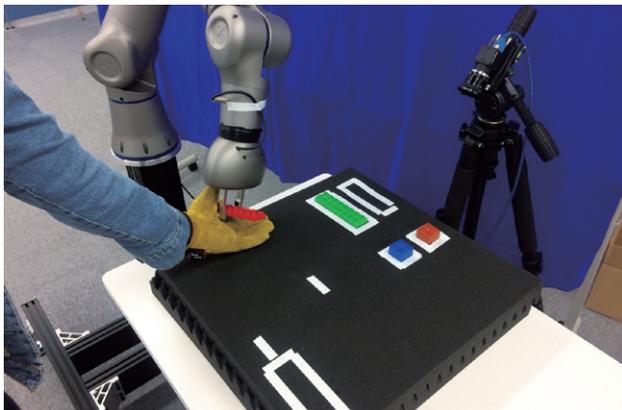
### 村田 真悟

情報学プリンシプル研究系 助教

## 研究内容

時系列データを扱うことが可能な再帰型神経回路モデル (Recurrent Neural Network: RNN) をベースとした、ロボットの感覚・運動情報の予測学習を行うための深層生成モデルの構築を行っています。モデルには、時間的階層性が導入されており、複雑な時系列データを要素単位に分解しその組み合わせとして表現することが可能です。また、データに含まれる様々なレベルの不確実性を推定することも可能です。構築したモデルをロボットに実装し、模倣学習、人の言語指示による物体操作、状況変化に対する適応的行動生成、人とロボットによる協調組み立て(図1)、ロボット同士のインタラクション(図2)等に関する研究を行っています。

人とロボットによる協調組み立て



私たちの生活環境において人と共存し活躍する自律型ロボットの実現が期待されています。しかしながらそのためには、工場内等での単純な繰

り返し作業とは異なり、文脈に依存した複

雑かつ柔軟な行動生成や不確実な環境下

における適応的な判断といった技術的課題

を解決する必要があります。起こりうる状

況の全てを事前に想定し、ルールを記述し

ておくことは現実的に不可能であるため、

ロボットが自らの感覚・運動の経験を学習し

一般化することで必要な機能を獲得する仕

組みが鍵となります。本研究では、特に人

間の認知情報処理を参考にし、その実現

のために重要であるとされている感覚・運動情

報の予測メカニズムに着目し、ロボットの知能化

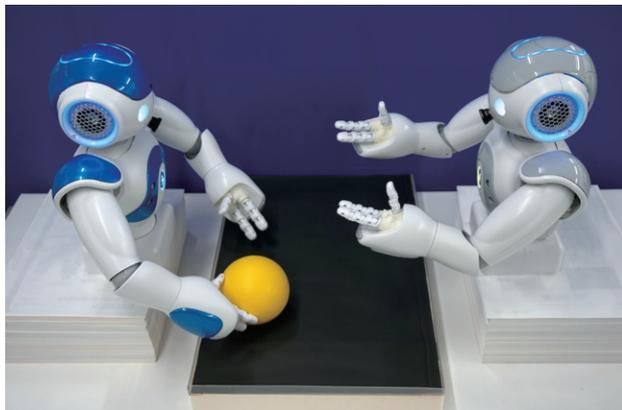
技術を開発しています。

### 研究背景・目的

## 産業応用の可能性

人との円滑なインタラクションやコミュニケーションを目的とした自律型ロボットへの応用が期待されます。また、産業用ロボットにおいても、事前にルールを記述することが困難な問題に有用であるといえます。例えば、熟練作業において、模倣学習によって熟練者の動きだけではなくそのスキルまでをロボットに獲得させることが例として挙げられます。さらには、提案モデルの応用先として、ロボットの行動生成のみならず、歩行者の行動予測や生体情報の特徴量抽出といった、時間依存性を考慮する必要のある複雑な時系列データを扱う問題全般が挙げられます。

ロボット同士のインタラクション



研究者の  
発明

◆該当なし

# ブロックチェーンの応用による経済共同体の可視化



Hitoshi Okada  
**岡田 仁志**  
情報社会相関研究系  
准教授

## 研究背景・目的

ブロックチェーンを経済活動に応用するために、三層構造モデルを提唱しています。第一層では、改ざん困難な仮想通貨のブロックチェーンの性質を利用して、不可逆的な記録を共有します。第二層では、シェアリング・エコノミーの「鍵」など、あらゆる「アセット」が流通します。第一層の「金流」と第二層の「商流」は表裏一体の関係にあります。さらに第三層では、経済活動を規律するレギュレーション装置を実装します。いま、経済活動はかつてないイノベーションを経て、新しい三層構造へと再統合される途上にあります。ブロックチェーンを契機とした経済共同体の再編成における経済と社会の諸問題について、学際的な視点に基づいて探究しています。

## 研究内容

ブロックチェーンの応用可能性として注目されるのが、シェアリング・エコノミーに代表される自律分散型の経済プラットフォームです。中国のような消費大国においては、あらゆる資源よりも人間のニーズが上回る傾向にあり、シェアリング・エコノミーの進展なくして持続的経済の維持はありません。国境を越えて民泊予約や車両予約などのサービスが展開される時代には、特定のサービス主体を信頼する従来の構造から、信頼できる第三者の存在を必要としないブロックチェーン社会への構造転換が不可欠です。迫りくるスマートエコノミー時代の基盤としてのブロックチェーンの可能性について、国内外の共同研究者の協力を得て学際的に研究しています。

## 産業応用の可能性

これまでの経済活動では、産業ごとのプレーヤーが情報の結節点となって、情報の非対称性をコントロールしていました。ブロックチェーンの時代が到来すると、情報の非対称性は解消され、経済共同体の活動はP2P (Peer to Peer) ネットワークを支えるノード(結節点)によって共有されます。このような変革の時代にあって、経済共同体における意思決定の主導権を掌握するのは、かつて非対称性の中心に位置した企業ではなく、経済活動のプラットフォームとなるブロックチェーンを提供することに成功した企業です。ブロックチェーンを契機とした経済共同体の再編成の方向性について、海外の研究者と連携して多角的に研究しています。



上海交通大学で開催された国際会議「Global Cities Forum」に Distinguished Guest (来賓) として登壇し、ブロックチェーンを応用したスマート・キーの概念について実演をまじえて講演した。写真は、ラポルトゥール(記録係)による公式報告の様子。NIIの研究者を招待したことなどが紹介された。

研究者の  
発明

◆該当なし

01

情報基礎科学  
基礎理論の深みを解き明かす

02

情報基礎科学  
理論実践から編み出したシステムを創り出す

03

ソフトウェア科学  
多様化する知識創成型社会を支える

04

情報メディア科学  
メディアの振る舞いを探求する

05

知能システム科学  
知能システムの表現を目標として

06

情報環境科学  
情報社会を多角的に捉える

# 特 許 一 覧

発明の名称	NII 発明者	単独出願	登録番号	発明の名称	NII 発明者	単独出願	登録番号
画像情報検索表示装置、方法および画像情報検索表示プログラム	梶山 朋子	★	特許第4441685号	検索木描画装置、検索木描画方法およびプログラム	計 宇生		特許第5754676号
量子鍵配送方法および通信装置	渡辺 曜大	★	特許第4231926号	符号化装置、この方法、プログラム及び記録媒体	小野 順貴		特許第5789816号
時系列データ分析装置および時系列データ分析プログラム	市瀬 龍太郎	★	特許第4734559号	語順並べ替え装置、翻訳装置、翻訳モデル学習装置、方法、及びプログラム	宮尾 祐介		特許第5800206号
情報共有システム、情報共有サーバ、情報共有方法、及び情報共有プログラム	本位田 真一		特許第4799001号	音響信号解析装置、方法、及びプログラム	小野 順貴		特許第5807914号
シーケンシャル・コンテンツ配信装置、シーケンシャル・コンテンツ受信装置及びその方法	曾根原 登	★	特許第4734563号	データ配送システム及びデータ配送装置及び方法	福田 健介		特許第5818262号
コンテンツ提示装置、コンテンツ提示方法及びコンテンツ提示プログラム	曾根原 登	★	特許第4403276号	データの分散管理システム及び装置及び方法及びプログラム	福田 健介		特許第5818263号
文章コンテンツ提示装置、文章コンテンツ提示方法及び文章コンテンツ提示プログラム	曾根原 登	★	特許第4143628号	音響信号解析装置、方法、及びプログラム	小野 順貴		特許第5911101号
断片的自己相似過程を用いる通信トラフィックの評価方法及び評価装置	計 宇生	★	特許第4081552号	画像検索装置、方法、及びプログラム	佐藤 真一		特許第5979444号
焦点ぼけ構造を用いたイメージング装置及びイメージング方法	児玉 和也	★	特許第4437228号	半導体チップ、半導体チップ接続システム	米田 友洋	★	特許第6029010号
情報資源検索装置、情報資源検索方法及び情報資源検索プログラム	神門 典子	★	特許第4324650号	距離測定方法及びレーダー装置	橋爪 宏達	★	特許第6029287号
アクティブコンテンツ流通システム及びアクティブコンテンツ流通プログラム	本位田 真一	★	特許第4392503号	光を用いた超伝導量子ビットの状態検出	根本 香絵		特許第6029070号
渋滞予測情報生成装置、渋滞予測情報生成方法、及び経路探索システム	本位田 真一		特許第4729411号	光パラメトリック発振器とそれを用いたランダム信号発生装置及びイジングモデル計算装置	山本 喜久		特許第6029072号
コンテンツ販売装置及びコンテンツ販売方法	曾根原 登	★	特許第4304278号	語順並べ替え装置、翻訳装置、方法、及びプログラム	宮尾 祐介		特許第6040946号
文書インデキシング装置、文書検索装置、文書分類装置、並びにその方法及びプログラム	曾根原 登	★	特許第4362492号	信号処理装置、方法及びプログラム	小野 順貴		特許第6005443号
映像提供装置及び映像提供方法	相原 健郎	★	特許第4359685号	音声言語評価装置、パラメータ推定装置、方法、及びプログラム	小野 順貴		特許第6057170号
投影画像補正システム及び投影画像補正プログラム	佐藤 いまり	★	特許第4982844号	信号処理装置、信号処理方法及びコンピュータプログラム	小野 順貴	★	特許第6099032号
デジタルコンテンツ登録配信装置、システム及び方法	曾根原 登	★	特許第4956742号	視線インタフェースを用いた対話的情報探索装置	神門 典子	★	特許第6099342号
三次元集積電気回路の配線構造及びそのレイアウト方法	鯉淵 道紘	★	特許第5024530号	顔検出防止具	越前 功	★	特許第6108562号
量子鍵配送方法、通信システムおよび通信装置	渡辺 曜大	★	特許第4862159号	法的推論提示方法、法的推論提示システムおよびプログラム	佐藤 健	★	特許第6112542号
時刻基準点情報伝送システムおよび受信器	橋爪 宏達	★	特許第4621924号	イジングモデルの量子計算装置及びイジングモデルの量子計算方法	宇都宮 聖子		特許第6143325号
集配経路選択システム	佐藤 一郎	★	特許第4374457号	語順並べ替え装置、翻訳装置、翻訳モデル学習装置、方法、及びプログラム	宮尾 祐介		特許第6083645号
学習データ管理装置、学習データ管理方法及び車両用空調装置ならびに機器の制御装置	稲邑 哲也		特許第5224280号	ドップラーイメージング信号送信装置、ドップラーイメージング信号受信装置、ドップラーイメージングシステム及び方法	橋爪 宏達	★	特許第6179940号
車両用空調装置及びその制御方法	稲邑 哲也		特許第5177667号	濃淡画像符号化装置及び復号装置	チョン・ジーン	★	特許第6188005号
経路切替方法、サーバ装置、境界ノード装置、経路切替システム及び経路切替プログラム	漆谷 重雄		特許第5062845号	フリップフロップ回路	米田 友洋	★	特許第6210505号
ダイレクトバス確立方法、サーバ装置、発信者ネットワークカード装置、ダイレクトバス確立ネットワーク、及び、それらのプログラム	漆谷 重雄		特許第4999112号	超伝導量子ビットの初期化方法	根本 香絵		特許第6230123号
仮想立体画像表示装置及び仮想立体画像表示方法	藤山 秋佐夫		特許第5263960号	生成モデル作成装置、推定装置、それらの方法およびプログラム	小野 順貴		特許第6241790号
バス管理制御方法、バス管理制御プログラム、バス管理制御装置およびバス管理制御システム	漆谷 重雄		特許第4806466号	イジングモデルの量子計算装置、イジングモデルの量子並列計算装置及びイジングモデルの量子計算方法	宇都宮 聖子		特許第6255087号
排出量取引システム及び排出量取引方法	佐藤 一郎	★	特許第5207195号	イジングモデルの量子計算装置	山本 喜久		特許第6260896号
イジングモデルの量子計算装置及びイジングモデルの量子計算方法	山本 喜久	★	特許第5354233号	適応的測位間隔設定システム、適応的測位間隔設定方法、行動モデル計算装置、及び行動モデル計算プログラム	高須 淳宏		特許第6253022号
音声言語評価装置、方法、及びプログラム	板橋 秀一		特許第5544575号	量子鍵配送システムおよび量子鍵配送方法	山本 喜久		特許第6257042号
LSI演算装置及びその故障検出方法	米田 友洋	★	特許第5582472号	音声信号処理装置及び方法	小野 順貴		特許第6278294号
計測装置、計測システム、および計測方法	橋爪 宏達	★	特許第5593062号	光パラメトリック発振器のネットワークを使用する計算	宇都宮 聖子		特許第6300049号
情報検索表示装置、方法および情報検索表示プログラム	曾根原 登	★	特許第5599068号	顕著度画像生成装置、方法、及びプログラム	杉本 晃宏		特許第6318451号
情報検索表示装置、方法および情報検索表示プログラム	曾根原 登	★	特許第5608950号	情報処理装置用ネットワークシステム	鯉淵 道紘		特許第6325260号
情報検索表示装置、方法および情報検索表示プログラム	曾根原 登	★	特許第5608951号	データキャッシュ方法、ノード装置及びプログラム	漆谷 重雄		特許第6319694号
情報提供装置、方法、およびプログラム	曾根原 登		特許第5614655号	自然言語推論システム、自然言語推論方法及びプログラム	宮尾 祐介		特許第6327799号
制御サーバ、制御方法及び制御プログラム	青木 道宏		特許第5682932号	仮想状態定義装置、仮想状態定義方法及び仮想状態定義プログラム	漆谷 重雄		特許第6332802号
ドップラーレーダーシステム、ドップラーレーダー送信装置及び送信波最適化方法	橋爪 宏達	★	特許第5704695号	クーボンシステム	相原 健郎		特許第6347383号
画像照合装置、画像照合方法及びコンピュータプログラム	佐藤 真一	★	特許第5713398号	磁気共鳴装置	根本 香絵		特許第6347489号
速度・距離検出システム、速度・距離検出装置、および速度・距離検出方法	橋爪 宏達	★	特許第5739822号	ストリーミング配信システム	チョン・ジーン		特許第6367030号
情報処理装置、日程決定方法及びコンピュータプログラム	河原林 健一	★	特許第5733722号	光発生装置および光発生方法	Timothy Byrnes	★	特許第6376697号
				リハビリテーション支援装置及びリハビリテーション支援方法	稲邑 哲也	★	特許第6381097号
				イジングモデルの量子計算装置	宇都宮 聖子		特許第6429346号
				情報処理装置及び情報処理方法	河原林 健一		特許第6445246号
				物体領域特定方法、装置、及びプログラム	佐藤 真一		特許第6448036号
				糖鎖化合物および糖鎖化合物の製造方法	佐藤 寛子		特許第6455857号
				画像処理装置、画像処理方法及び記録媒体	佐藤 いまり		特許第6471942号

# NIIが提案する 産官学連携

国立情報学研究所(NII)は情報学分野の研究と情報基盤事業に取り組み、社会が抱える課題を解決する実践的な研究開発の推進を目指しています。そのためには産官学の連携が不可欠であり、一層の連携強化を推進するため、企業や自治体の皆様のご要望に沿えるよう産官学連携活動を推進してまいります。

## 企業・自治体等のご期待



先端技術・シーズ発見



ソリューション探索



スキル獲得・人材育成

## NIIの産官学連携活動

### NII湘南会議

世界最先端研究情報の共有

### 産官学連携交流会 産官学連携塾

先進成果情報の提供

社会・企業ニーズの共有

### トップエスイー

トップレベルIT人材育成

### NII公募型共同研究

共同研究部門  
包括連携共同研究  
共同研究・受託研究

新成果の協働創出

### 学術指導

コンサルティング・アドバイス

## ご相談・お問い合わせ

研究者によるコンサルティング(学術指導)、成果活用(ライセンス)、受託研究・共同研究などのご相談について、ご希望の研究者や、課題目標などをお伺いしコーディネートします。  
詳しくは以下までお問い合わせください。

国立情報学研究所 研究戦略室 Email [ura-staff@nii.ac.jp](mailto:ura-staff@nii.ac.jp)  
NIIが提案する産官学連携活動 HP <https://www.nii.ac.jp/research/iga/>



<https://www.nii.ac.jp/>



2019年4月1日発行

〒101-8430  
東京都千代田区一ツ橋2-1-2 学術総合センター  
TEL 03-4212-2000(代表)  
HP <https://www.nii.ac.jp/>  
Facebook <https://www.facebook.com/jouhouken>  
Twitter <https://twitter.com/jouhouken>

©National Institute of Informatics