「社会と調和した情報基盤技術の構築」研究領域 領域活動・評価報告書
－2018 年度終了研究課題－

研究総括　安浦　寛人

1．研究領域の概要

情報技術は、社会の神経系としてあらゆる社会活動の基盤であり、現実の社会において、価値創造や問題解決をするための最も重要な手段となっています。新しい人工物システムは、各社会がこれまでに構築してきた文化や規範と調和ある発展が可能であるとき、その社会に受容され、そのシステムによって社会に変革(イノベーション)が生まれます。

本研究領域では、より良い社会の実現を目的とする情報基盤の要素技術の研究と、それらの技術を対象とする社会と調和させるために必要な制度や運用体制、ビジネスモデルまでも含めた総合的な議論と実践を行う場を提供します。例えば、全世界的な気候変動への対応を目的とするような大規模な情報システムから、特定の地域(国内外)の社会問題を解決するための情報技術まで、社会的に解決すべき新しい課題を研究者自らが設定し、知的情報処理、計算機科学、センサ技術、ネットワーク技術、シミュレーション技術、ロボティクス、知的インタフェースなどあらゆる情報技術分野の要素技術の基礎研究による課題解決の手段の提供とそれを社会に受容させるまでのシナリオの構築を、具体的な現場の実問題と取り組みながら進めていく形でのフィールド型研究を実施します。

研究の推進方法としては、情報技術分野の研究者が自然科学、工学、生命科学、社会科学の研究者と連携すること、または諸分野の研究者が情報技術分野に参入することを重視します。それにより、様々な分野の研究者が相互に影響し合い、異分野横断・融合的な視点で問題解決に取り組むことで、社会と調和した革新的な情報基盤技術を創出することを目指します。さらに、研究のみならず政策立案者や産業界のメンバーとの交流の場を設定する等を通じ、情報技術による社会変革の牽引役となる将来の世界レベルの若手研究リーダの輩出を目指します。

2．事後評価対象の研究課題・研究者名

件数：　9 件

※研究課題名、研究者名は別紙一覧表参照

3．事前評価の選考方針

選考の基本的な考えは下記の通り。

1）選考は、「社会と調和した情報基盤技術の構築」領域に設けた選考委員１１名の協力を得て、研究総括が行う。

2）選考方法は、書類選考、面接選考及び総合選考とする。

3）選考にあたっては、さきがけ共通の選考基準である「戦略的創造研究推進事業における平成２７年度新規研究課題の決定について（第１期）」（URL：http://www.jst.go.jp/pr/info/info1128/index.html）の他、以下の点を重視した。

本領域としては、社会と調和した情報基盤技術の構築を目指し、情報技術により社会的課題の解決に挑む研究提案であるか。現在の情報技術分野における科学的・技術的な貢献はもちろんのこと、その研究成果が現在の社会問題に対し、どのように役立つのかという観点で選考を行った。また、研究分野としては、知的情報処理、計算機科学、センサ技術、ネットワーク技術、シミュレーション技術、ロボティクス、知的インタフェースなどあらゆる情報技術分野を対象とし、情報技術分野の研究者からの研究提案だけでなく、自然科学、工学、生命科学、社会科学などの諸分野の研究者の提案も選考の対象とした。

4．事前評価の選考の経緯

応募課題については、領域アドバイザーが分担して一課題あたり 3 名にて書類審査を行い、その結果を基に書類選考会議において面接選考の対象者を選考した。続いて、面接選考および総合選考により、採択候補課題を選定した。

選　考	書類選考	面接選考	採択数
対象数	121 件	20 件	8 件

備考：下記の研究者を今年度の事後評価対象に加える。
・細田　千尋　研究者　(2014 年度採択)／ライフイベントにより研究期間を 1 年延長

5．研究実施期間

2015 年 10 月～2019 年 3 月
※細田　千尋　研究者　：2014 年 12 月～2019 年 3 月（ライフイベントにより 1 年延長）
※原　祐輔　研究者　　：2018 年 8 月に海外機関移籍・研究中止

6．領域の活動状況

社会的課題の解決に向けた独創的で挑戦的な研究の推移を目指し、領域会議を通して各研究者のレビューを行った。また、本領域独自の「関連省庁との意見交換会」、「海外ショートビジット」など、現場との交流を通して、「社会変革の牽引役となる将来の研究リーダの育成・排出」観点からの指導にも力を入れた。

（1）領域会議：7回
2015 年度　　1 回
2016 年度　　2 回
2017 年度　　2 回
2018 年度　　2 回

（2）関連省庁担当者との意見交換会：3 回
政策立案の実務担当者との意見交換・人脈形成
2016 年度　　1 回（内閣府、総務総、厚労省、文科省）
2017 年度　　1 回（内閣府、総務省、厚労省、経産省、文科省）
2018 年度　　1 回（内閣府、総務省、経産省、文科省）

（3）海外ショートビジット：4 回
(a)　イノベーションのけん引役となっている投資会社、スタートアップ、大学等との意見交換・人脈形成
(b)　オフサイト・ミーティングによる各研究のブラッシュアップ
2016 年度　　2 回(台湾、シコンバレー)
2017 年度　　1回(シコンバレー)
2018 年度　　1回(シコンバレー)

（4）AIP ネットワークラボ関連研究・イベント企画実施
(a)　共同研究「オープンイノベーションの加速に向けた AI 技術利用プラットフォームと社会実装支援プログラム」参画　：　6 研究者
(b)　同ラボ内さきがけ・ACT-I 合同、海外ショートビジット先の研究者を招へいして、日米ワークショップを東京にて開催（公開イベント）：1 回

（5）研究終了報告会（兼「さきがけ研究者トーク・イベント」／公開イベント）：1 回

（6）その他
(a)　日本科学未来館サイエンティスト・クエスト参画・講演（全研究者）
(b)　領域担当による研究者サイトビジット実施

7. 事後評価の手続き

研究者の研究報告書を基に、評価会（研究報告会、領域会議等）での発表・質疑応答、領域アドバイザーの意見などを参考に、下記の流れで研究総括が評価を行った。

（事後評価の流れ）

2018 年 12 月	研究終了報告会（公開）実施
2019 年 1 月～2 月	研究総括による評価
2019 年 3 月	評価フィードバック

8. 事後評価項目

（1）研究課題等の研究目的の達成状況

（2）研究実施体制及び研究費執行状況

（3）研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果（今後の見込みを含む）

（4）将来の研究リーダとしての本人の主動度等

9. 評価結果

本領域では、それぞれの研究者に自らの情報技術の研究を、1）情報科学の発展の中での位置付け、2）社会の実問題の解決への適用のシナリオ、そして、3）人類の歴史の中での位置付け、を考えながら計画書を作り、研究を推進してもらった。最後に、これら3つの視点から研究成果を見直し、改めて次のステップへの方針を考え、内閣府の官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）への応募や AIP ネットワークラボの追加支援申請もしてもらった。バックグラウンドの異なる個々の研究者間の新しいネットワークづくりも志向した。毎年行なった関連省庁担当者との意見交換会やシリコンバレーや台湾へのショートビジットにおいては、通常の学会による出張では触れることのできない情報技術による社会基盤の変革の現場を見学し、また、行政や産業界の関係者とのディスカッションを行った。また、領域アドバイザーの丸山氏の仲介で、Deep Learning のクラウドサービスを使えるような環境を提供することができ、多くの研究者がこのスキームを活用して最新の AI 技術を活用した。研究者達は、貪欲にこれらの機会から科学技術の新しい方向性を吸収し、当初計画とはかけ離れた大きな飛躍をした者が多かった。都市計画、創薬や医療、教育、歩行誘導、情報提示技術、障害者支援、環境情報取得などこれまでは、情報基盤としてはあまり注目されなかった分野で、独創的な成果が数多く生まれた。山西氏の創薬に関する新しい技術はデータ科学的な手法で従来の創薬のあり方を根本から変える技術である。寺田氏、玉城氏、古川氏の研究は、新しい情報提示技術の提案であり、未来社会の情報提示や五感の拡張を大きく変える可能性を持っている。また、滝口氏の障害者支援技術も高齢化社会への対応技術として注目に値する。いずれも、日本での実用化や産業化を期待する。

（1） 細田 千尋 研究者

「生体情報フィードバックを用いたテーラーメードオンライン教育システム開発」

学習に対し、脳科学と機械学習を用いたデータサイエンスの手法を組み合わせて、新しい個人ごとに最適化した教育システムを作ろうとする大きな構想に基づいた基礎研究である。fMRI などを用いた脳機能の計測結果と、学習ログ、日常生活ログ、心理特性検査、知能データなどを組み合わせて機械学習により種々の学習法の個人に対する有効性を導き出し、そこから個人に対する最適な学習法を導き出そうとする手法は注目に値する。特に、語学のような継続性が求められる学習課題に対して、学習を継続するための「やる気」に関する知見を発見し、特許まで取得した点は高く評価できる。他にも、性格特性と競争環境の関係、スポーツやプログラミング技術に対する習得に関しても実験を行っている。研究成果の多くは、未だ論文投稿の段階ではあるが、今後の教育のあり方に大きな影響を与える注目すべき結果を得ている。個人のプライバシーにも関係し、多くの被験者を必要とする実験を丹念に計画し、実行している点も高く評価できる。今後の教育改革と脳科学の発展にも大きな影響を与える基礎研究になることが期待できる。

（2） 小林 博樹 研究者

「野生動物装着センサ用の時空間情報補正機構」

森林や人間の立ち入りが制限された場所（例えば、放射能汚染地域など）では、動物の生体情報などの各種環境情報の収集に固定式のセンサネットワークを構築して情報を獲得することは経済的にも技術的にも大きな困難が存在する。本研究では、野生動物自身にセンサを装着し、野生動物が接近するタイミングでセンサ情報を通信・回収し、最後に情報回収のステーションで情報を収集するという極めてユニークな発想で広大な地域の環境情報を集める基盤を構築することを目指している。野生動物の位置情報に関しては、上空を運行する航空機の音を利用するものであり、これも極めて独創的かつ現実的な提案である。具体的かつ堅実な成果を挙げている。当初の目的を最終的に実現するためには、まだ多くの課題の克服が必要であるが、一方、基礎的な技術の開発と、福島の被ばく地域での測定のための社会的な測定環境づくりや必要な技術の方向性を明らかにすることには成功しており、今後の野外動物や森林環境のデータ収集の仕組みづくりに大きく貢献したと言える。今後、有害鳥獣対策や動物が媒介する感染症対策にも応用できる技術体系である。研究成果は、国際的な論文誌や国際会議に発表するとともに、5件の内外の機関からの受賞もあり、情報科学と環境生物学をつなぐ研究者として大きく飛躍した。また、福島の被ばく地域の動物の観測に一つの実用的な方法を提示し、国際的な共同研究にも発展させた点も高く評価できる。

（3） 滝口 哲也 研究者

「脳性麻痺障害者の個人適応型コミュニケーション支援システムの開発」

様々な障害を持つ人たちのコミュニケーションを支援する技術は、高齢化社会における障害者およびそれを支援する人々の負担を大きく軽減し、生活の質の維持に大きくに寄与する重要な技術である。本研究では、特に音声によるコミュニケーションにテーマを絞り、構音障害者に対するコミュニケーション支援を狙った独創的な研究である。脳性麻痺障害者を対象とし、発話認識と発話者の個性（話者性）をできるだけ保って音声変換する技術を開発した。障害者の発話データを大量に集めることが難しいという制約の下で、マルチモーダル情報を用いた教師なし特徴量抽出と日本語障害者だけでなく日本語健常者や英語障害者のデータなども利用することで、発話認識率を大きく向上させた。また、話者性を維持した音声変換を、少量の障害者データと大量の健常者データを組み合わせ、健常者の音声合成から音質変換を行うことで実現している。今後の高齢化社会における様々な障害者に対する音声コミュニケーションを大きく改善する可能性を持つ技術の基礎を確立した優れた成果である。これらの成果は、国内外の学会においても高く評価されており、今後の進展が期待されている。

（4） 玉城 絵美 研究者

「外出困難者が他者やロボットと感覚共有し擬似的に外出する AR システムの確立と社会的普及」

外出困難者が実際に行けない場所における体験をするための拡張現実（AR）システムの研究を進め、実用に近い重要な知見を得ている。本研究者が、すでに提案していた独創的な光学式センサーアレイと機能的電気刺激アレイを用いて、主に腕に感じる位置覚、抵抗覚、重量覚を検知し、伝送して再現することで、 視覚や聴覚情報と組み合わせて、外出先の現実感をどこまで出せるかに挑戦した。情報科学実験、認知心理学実験、UI 実験、総合実験などの検証実験を行い、社会への導入に関する様々な知見を得たことは、非常に独創的であり、科学的手法としても高く評価できる。ゲームなどへの応用はすでに実用化を進めており、実際の外出困難者への社会的な導入の道筋を作るところが今後の大きな課題である。教育や医療など幅広い分野での活用が期待される技術であり、さらなる発展が期待される。特に、複数の利用者同士のインタラクションなど、今後検討すべき課題も整理して欲しい。国内外の論文誌や学会でも成果を公表しており、学術的にも実用的にも高い評価を得ている。また、産業化や社会への関連技術の普及に関しても幅広い活動をしており、この分野をリードする研究者として益々の活躍を期待したい。

（5）寺田 努　研究者
「「提示系心理情報学」確立のためのウェアラブルシステムプラットフォーム」

「提示系心理情報学」という新しい学問分野の構築を目指して、多種多様な実験を行い、新しい知見を数多く得たことは、極めて高く評価できる。特に、情報提示が人間の心理にどのように作用するのかを系統的かつ網羅的に調べ、「提示系心理情報学」を構築するための基礎的な資料を蓄積したことは大きな成果である。学習、スポーツ、作業など多様な環境における情報提示デバイスによる情報提示が、被験者の心理にどのように影響を与え、その行為のパフォーマンスにどのような影響を与えるかを科学的に明示した研究の独創性は、今後の発展が大いに期待できる。期間中、160件以上の発表やデモを行い、成果の公開でも十分な成果をあげている。今後、提案するデバイスや情報提示の仕組みが社会に広く受容され、また、その危険性や限界に関するガイドラインの構築なども行いながら、新しい社会情報基盤の構築に取り組んで欲しい。最終的な目標である 「提示系心理情報学」の確立を強く期待する。特に、心理学や脳科学、法学などの社会科学との連携により、従来にない総合的な社会情報基盤に関する学問体系の代表事例となるように研究を展開して欲しい。より大きな枠組みでのプロジェクトの構築と学術的な発展に大いに期待する。

（6）新津 葵一　研究者
「データ実証型医療に向けた非侵襲・高時間分解能生体ビッグデータ収集のための
発電センシング一体型集積センサの実現」

血糖値センサに対し、センサ自身が発電素子であり、無給電で血糖値を測り、そのデータを無線通信で体外のデバイスに送信する発電センシング一体型集積センサの概念を実際に集積回路として実現し、実用化への道を切り拓いた点は高く評価できる。現在もっとも安価に製造が可能な CMOS 技術だけを用いて、発電量と測定対象の濃度の相関を利用して、発電量に比例したセンシングデータを取得するという、最も単純な回路構成を考案したことは、今後のバイオセンサの開発において大きな方向性を与える発明である。この分野の世界的な国際会議で発表するとともに賞も受賞しており、注目される技術である。具体的には、コンタクトレンズに搭載して涙液の糖濃度を測る手法から出発しているが、皮膚表面など他の場所からの測定も考えられ、血糖値センサだけでも大きな市場規模が想定される。実用化までは、動物実験やヒトへの治験などクリアすべき課題は多いが、十分に競争力のある技術に発展する可能性が高い。また、発電センシング一体型集積センサの考え方自身が、血糖値以外のバイオセンシングにも適用できる可能性があり、基盤技術としても期待が大きい。今後の実用化に向けた研究のさらなる発展が期待できる。特許の取得も行なっており、医療の専門家や産業界との共同研究の進展を進めて欲しい。

（7）原 祐輔　研究者
「都市内の人々の活動・交通行動と施設集積メカニズムの解析技術開発」

都市計画や交通計画に必要な人の行動情報の獲得のために、GPS 移動軌跡データを用いることは広く行われているが、どの程度のプライバシー情報が含まれており、軌跡データを他者に提供することが社会的にどのような意味を持つかは、十分な考察が行われているとは言えない。本研究では、個人が利用できる移動軌跡データの分析器を開発・公開し、まず技術の公開性を明確にした点が評価できる。その上で、移動軌跡データの解析からどの程度の個人の特定が可能かを中規模の実験で示し、個人属性の特定がかなりの確度で可能であることを示している。また、非日常の行動についてもある程度の個人属性特定が可能であり、匿名化したデータの提供の問題点と利用の可能性を明らかにした功績は大きい。社会的なデータの利用が様々な分野で進み、社会の効率化とプライバシー問題との衝突が起き始めているが、本研究のように科学的に問題点を明らかにした研究は少ない。今後の、データ中心社会の基盤を構築する上で、データを活用して社会の統計調査や制度設計を進める上で、極めて重要な課題を提示した点で、本研究の成果は高く評価できる。

(8) 古川 紘一 研究者
「歩行の感覚統合過程モデルの構築と誘導手法への応用」

歩行者の誘導を床面の模様による錯覚を利用して行うなど、独創的なアイディアによる人の歩行誘導を企図した研究である。視覚誘導性姿勢反射による歩行誘導装置を考案し、その効果を実際に測定した。本装置は、床面にシートを敷くだけで安価に実現することができる可能性を持ち、産業化の可能性が高い。まだ解決すべき課題も多いが、独創的な技術として今後の展開に注目したい。歩行予測基盤技術についても興味ある結果を得ており、今後の混雑する環境での人流の誘導に利用できる可能性が高い。現在主流の個人携帯端末に依存するのではなく、環境側に情報提示機能を持たせて人を誘導するという概念をさらに一般化して、新しい情報提示の方法論を確立して欲しい。国内外で、積極的に論文や講演を行っており、日本科学未来館でのデモも含め、一般人も巻き込んだデモや実験も数多く実施し、社会的な技術の受用性に関する検討も同時に進めている点も評価できる。

(9) 山西 芳裕 研究者
「エコファーマによる高速かつ省エネ創薬を実現する情報技術の構築」

創薬をデータ科学的手法を用いて効率化することは、国民の健康の増進および健康保険などにかかる国家の財政負担を軽減する上で、極めて重要な課題である。本研究は、既承認薬とタンパク質の537万個のペアに対し、その相互作用予測を効率よく行う手法を開発し、高い予測精度があることを示したことは、生命科学的にも情報科学的にも高く評価できる。また、80種類の疾患に対する遺伝子発現プロファイルから治療標的タンパク質の共通性を予測する機械学習法の構築、タンパク質同士の相互作用に注目したパスウェイ創薬の概念を開発したことも極めて高く評価できる。さらに、西洋医学だけではなく、漢方薬にも提案手法が利用できることを示したことも、今後の展開が期待できる。創薬分野のトップジャーナルを含む多くの国内外の論文誌への論文の発表や国際会議での発表は、創薬分野に大きな影響を与え始めている。内閣府の官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)にも参画することとなり、肺がんなどの特定の創薬に実際に応用する研究を始めている。今後の、創薬業界にも大きな影響を与える研究成果であると言える。

10. 評価者

※所属・役職は 2019 年 3 月末現在

研究総括:

安浦 寛人	九州大学 理事・副学長

領域アドバイザー(五十音順):

新井 紀子	国立情報学研究所社会共有知研究センター センター長・ 情報社会相関研究系 教授
稲田 修一	(一社)情報通信技術委員会 事務局長
稲見 昌彦	東京大学先端科学技術研究センター 教授
木村 康則	(株)富士通研究所 シニアフェロー ／科学技術振興機構研究開発戦略センター 上席フェロー
城山 英明	東京大学法学部・大学院法学政治学研究科 教授
中小路 久美代	京都大学大学院横断教育プログラム推進センター 特定教授
林 晋	京都大学大学院文学研究科 教授
丸山 宏	(株)Preferred Networks PFN フェロー
湊 真一	京都大学大学院情報学研究科 教授
山田 敬嗣	NEC Asia Pacific Pte. Ltd., Regional Head Quarter Senior Vice President
渡部 俊也	東京大学政策ビジョン研究センター 教授 (2016 年 3 月まで参画)

以上

（参考）
件数はいずれも、2019 年 3 月末現在。

（1）外部発表件数

	国　内	国　際	計
論　文	20	65	85
口　頭	225	118	343
その他	47	16	63
合　計	292	199	491

（2）特許出願件数

国　内	国　際	計
7	1	8

（3）受賞等

・小林　博樹

① 公益財団法人日本デザイン振興会 グッドデザイン BEST100 （2018 年 10 月）
② A' DESIGN AWARD & COMPETITION（イタリア）（2018 年 5 月）
③ ドイツ連邦デザイン賞「German Design Award」優勝 （2017 年 10 月）
④ 第 11 回アルテ・ラグーナ国際美術賞，総合優勝（イタリア）（2017 年 3 月）
⑤ 経済産業省及び IoT 推進ラボ IoT Lab Selection，準グランプリ，日本（ 2017 年 3 月）

・玉城　絵美

① 仲村巌チャレンジ基金 第 9 回ロッキーチャレンジ賞 （2018 年 5 月）
② 文部科学省 NISTEP 科学技術への顕著な貢献 2016 ナイスステップな研究者 （2016 年 12 月）
③ WIRED Audi Innovation Award 2016 （2016 年 12 月）

・寺田　努

① International Journal of Pervasive Computing and Communications, Highly Commended in the 2018 Emerald Literati Awards（2018 年 7 月）.
② 2018 International Conference on Cognitive Computing, Best Paper Award（2018 年 6 月）
③ International Journal of Pervasive Computing and Communications, 2017 Outstanding Paper （2017 年 8 月）
④ 13th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2015), Best Paper Award（2015 年 12 月）

・新津　葵一

① IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS) 2018, Best Live Demonstration Award （2018 年 10 月）
② 電子情報通信学会 末松安晴賞 （2018 年 6 月）
③ 平成 29 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞 （2017 年 4 月）
④ 愛知県若手研究者イノベーション創出奨励事業 わかしゃち奨励賞 優秀提案賞 （2016 年 1 月）.

・古川　正紘

① 8th Augmented Human International Conference（AH2017）, Best Poster Award （2017 年 3 月）
② 日本バーチャルリアリティ学会論文賞 （2016 年 9 月）

・山西　芳裕

① 情報計算化学生物学会 2017 年大会・ポスター賞 （2017 年 10 月）
② 第 6 回生命医薬情報学連合大会・最優秀口頭発表賞 （2017 年 9 月）
③ 第 5 回生命医薬情報学連合大会・研究奨励賞 （2016 年 10 月）

（4）招待講演

国際　3件　　　　　国内　32件

（5）プレスリリース、出版、・報道（TV、新聞などのメディア報道）、アウトリーチ活動等

・小林　博樹

① 報道
- JSTnews　2019 年 2 月号　P.10-12 特集「バイオロギング最前線野生動物の行動に迫る」, 動物の習性を生かしネットワークで情報収集 （2019 年 2 月）

② アウトリーチ
- 日本科学未来館　サイエンティスト・クエスト―あなたと考えるあたらしい科学とくらし 「機械で声質を変える！？―聴き取りやすい声で、豊かな生活をかなえる」（2016 年 7 月）

・滝口　哲也

① 報道
- 神戸新聞　朝刊特集記事「人工知能最前線」―その人らしい声を （2017 年 6 月）
- 神戸新聞　朝刊特集記事「AI 駆使し発話を支援」（2017 年 5 月）

② アウトリーチ
- 日本科学未来館　サイエンティスト・クエスト―あなたと考えるあたらしい科学とくらし 「機械で声質を変える！？―聴き取りやすい声で、豊かな生活をかなえる」（2016 年 7 月）

・玉城　絵美

① 報道
- NewsWeek 誌　Japanese Women Leading the Way-Tech Innovator （2018 年 1 月）
- 日経ビジネス「次代を創る　100　人」（2016 年 12 月）

② アウトリーチ
- 内閣府男女共同参画局　理工系女子応援大使任命 （2018 年 6 月）
- 関西テレビ 「セブンルール」出演 （2017 年 11 月）
- 日本科学未来館　サイエンティスト・クエスト 「欲望を実現するための VR/ロボット技術」（2016 年 9 月）

・寺田　勉

① 報道
- JSTnews　2017 年 7 月号　P.10　特集「AIP ネットワークラボ若手の躍動と連携で新しい発想を生む」,コンピューター常時装着時代の人間の幸福を探る （2017 年 7 月）

② アウトリーチ
- NHK 「サイエンス ZERO」 出演 （2017 年 4 月）
- 日本科学未来館　サイエンティスト・クエスト―あなたと考えるあたらしい科学とくらし 「コンピュータやセンサーを服として身につける世界」（2016 年 8 月）

・新津　葵一

① 報道

- JSTnews 2019 年 2 月号 P. 12-13 連載「数字で見る科学と未来 Vol.6」,
  涙で発電、血糖値を図るコンタクトレンズで健康管理（2019 年 2 月）
- 日本経済新聞 「No. 1 を生む科学技術⑧ コンタクトレンズで血糖測定」（2018 年 10 月）

② 著作物

- Kiichi Niitsu, "Energy-autonomous biosensing platform using supply-sensing CMOS integrated sensor and biofuel cell for next-generation healthcare Internet of Things," Japanese Journal of Applied Physics: SELECTED TOPICS IN APPLIED PHYSICS, vol. 57, no. 10, 1002A5, Sep 2018.（2016 年 9 月）

③ アウトリーチ

- 日本科学未来館 サイエンティスト・クエスト
  「コンピュータが人間を健康にする未来を目指そう！」（2016 年 6 月）

・原　祐輔

① 著作物

- Yet Another GPS Trajectory Analyzer software: Catsudon （2016 年 4 月）

② アウトリーチ

- 日本科学未来館 サイエンティスト・クエスト
  「人の動きから、まちを眺めよう —移動の記録が教えてくれるもの」（2016 年 10 月）

・古川　正紘

① 報道

- JSTnews 2017 年 2 月号「さきがける科学人,Vol.70」,
  心地よく歩けるインフラ技術の開発をめざす（2017 年 2 月）

② 著作物

- （編）暦本純一,前田太郎,古川正紘, (株)エヌ・ティー・エス オーグメンテッド・ヒューマン
  "Augmented Human—AI と人体科学の融合による人機一体、究極の IF が創る未来」"
  第 8 節 感覚の伝送・拡張・共有技術(293-302)（2018 年 1 月）

③ アウトリーチ

- NHK 総合「サキどり」, 歩行誘導シート （2018 年 6 月）
- 敷くだけで片側通行を実現する完全無電源の歩行誘導シート,
  イノベーション・ジャパン 2017 （2017 年 8 月）
- 日本科学未来館 サイエンティスト・クエスト—あなたと考えるあたらしい科学とくらし
  「気づかずに、変えられている、歩き方」（2016 年 8 月）

・山西　芳裕

① 報道（プレスリリース）

- 「医薬ビッグデータから抗がん作用薬を自動的に予測する情報技術を開発」（2018 年 11 月）
- 「漢方薬の作用機序や新規効能を予測する情報技術を開発ービッグデータと機械学習」（2018 年 8 月）

② 著作物

- Iwata,M. and Yamanishi,Y., "The use of large-scale chemically-induced transcriptome data acquired from LINCS to study small molecules", Systems Chemical Biology, Methods in Molecular Biology Series (Ziegler, S., eds.), Springer, 189-203 （2018 年 12 月）
- （編）田沼靖一,裳華房, "ゲノム創薬科学" 第 7 節 ファーマコインフォマティクス（159-182）（2017 年 10 月）

③ アウトリーチ

- 日本科学未来館 サイエンティスト・クエスト—あなたと考えるあたらしい科学とくらし
  「コンピュータでくすりをつくる？！見つける？！」（2016 年 9 月）

別紙

「社会と調和した情報基盤技術の構築」領域　事後評価実施　研究課題名および研究者氏名

研究者氏名 （参加形態）	研　究　課　題　名 （研究実施場所）	現　職　（2019 年 3 月末現在） （応募時所属）	研究費 （百万円）
細田　千尋 （兼任）	生体情報フィードバックを用いたテーラーメードオンライン教育システム開発 （東京大学　大学院総合文化研究科）	東京大学 大学院総合文化研究科　特任研究員 （同上）	46
小林　博樹 （兼任）	野生動物装着センサ用の時空間情報補正機構 （東京大学　空間情報科学研究センター）	東京大学 空間情報科学研究センター　准教授 （同上　助教）	42
滝口　哲也 （兼任）	脳性麻痺障害者の個人適応型コミュニケーション支援システムの開発 （神戸大学　都市安全研究センター）	神戸大学 都市安全研究センター　教授 （同上　准教授）	34
玉城　絵美 （兼任）	外出困難者が他者やロボットと感覚共有し擬似的に外出する AR システムの確立と社会的普及 （早稲田大学　理工学術院）	早稲田大学 理工学術院　准教授 （同大学　人間科学学術院　助教）	36
寺田　努 （兼任）	「提示系心理情報学」確立のためのウェアラブルシステムプラットフォーム （神戸大学　大学院工学研究科）	神戸大学 大学院工学研究科　教授 （同上　准教授）	40
新津　葵一 （兼任）	データ実証型医療に向けた非侵襲・高時間分解能生体ビッグデータ収集のための発電センシング一体型集積センサの実現 （名古屋大学　大学院工学研究科）	名古屋大学 大学院工学研究科　准教授 （同上　講師）	57
原　祐輔 （兼任）	都市内の人々の活動・交通行動と施設集積メカニズムの解析技術開発 （東京大学　大学院工学系研究科）	東京大学　大学院工学系研究科　助教 ＜～2018 年 7 月末＞ （東北大学　大学院情報科学研究科　助教）	19
古川　紘一 （兼任）	歩行の感覚統合過程モデルの構築と誘導手法への応用 （大阪大学　大学院情報科学研究科）	大阪大学 大学院情報科学研究科　助教 （同上）	45
山西　芳裕 （兼任）	エコファーマによる高速かつ省エネ創薬を実現する情報技術の構築 （九州工業大学　大学院情報工学研究院）	九州工業大学 大学院情報工学研究院　教授 （九州大学　高等学術院　准教授）	44

研 究 報 告 書

「生体情報フィードバックを利用したテーラーメードオンライン教育システム開発」

研究タイプ：通常型
研究期間： 2014 年 12 月 ～ 2019 年 3 月
研 究 者： 細田千尋

1. 研究のねらい

脳機能・構造の神経基盤差と個人の意志力、英語、プログラミング能力獲得度合いの関連性を明らかにする事、及び、能力獲得の神経基盤での脳可塑性を促進する効果的な学習法を明らかにすることで、効果的な学習システムの提供を目指す。

2. 研究成果

（1）概要

学習（英語リスニング力、プログラミング能力）、スポーツ能力を支える神経基盤・脳機能及び構造を脳機能構造計測からあきらかにし、さらに、学習ログ、日常生活ログ、心理特性検査を用いた人格特性、知能データ等も合わせたデータに対し機械学習する事で、個人に最適な学習・トレーニング法を解明する研究をおこなってきた。まず英語能力の神経機構に関する研究を糸口に、広く能力獲得の個人差の神経基盤はなにか？脳可塑性を誘導する、より効果的な能力獲得法はあるか？という問いに関して研究を発展させ、脳機能・構造情報に対し機械学習を行う事で、従来定量化が困難であった「やる気」の脳基盤を定量化する事に成功し、国内国際特許を取得した（投稿中）。また、性格特性（楽観/悲観主義）と学習環境（競争/共同）での成績の伸びに関連があり、特性に応じた環境で学習する事が脳可塑性をより誘導する事を明らかにした。さらに、介入による各種能力(英語・プログラミング・運動)の獲得度合を学習前から予測する神経基盤（脳機能、脳構造特徴）と能力獲得による脳機能構造の可塑性解明をおこなった。これらの研究には、脳の領域を従来より、より詳細に分類し（360 領域）、微小構造まで捉える事が可能な世界再先端の脳機能構造イメージング技術（米国ヒューマンコネクトームプロジェクトで提唱されているマルチモダルな脳機能構造解析パイプラインを利用）を用いている。知る限り、健常者の長期介入研究前後でこのマルチモダルイメージング手法（安静時脳機能結合、解剖画像、拡散強調画像 noddi, ミエリンマップ、課題負荷時機能的イメージング）を用いて神経基盤及び可塑性を解明している研究は知る限り俎上にないものである。

（2）詳細

研究テーマ1 「英語リスニング能力獲得を予測する神経基盤解明とリスニング能力獲得に伴う脳可塑性の解明」

学習やトレーニングのみならず、リハビリや禁煙など多くの事象において、“継続する事”が非常に重要である一方、いずれにおいても多くの人が途中脱落する。しかし、実験上では、脱落データは脱落として記載されるのみで、根本的になぜ脱落がおこるのか、といった点には着目されてこなかった。そこで、長期英語・運動トレーニング、短期認知タスク等ドメ

さきがけ PRESTO

インの異なる課題において、当初高いやる気を示しているにもかかわらず途中脱落する人の神経基盤差について検討をおこなった。その結果、課題内容にかかわらず、“脱落する人”は共通して、前頭極の構造の発達がやり遂げる人に比べ有意に低い事がわかり、前頭極の発達度合から、事前にその個人が最後までやり遂げる遂げる事が可能な人物かを高確率で予測する事が出来る判別機を作成し、国内・国際特許を取得した。
さらに、この実験では、英語、運動、短期認知テストと数種類の実験をおこなっているが、いずれの実験においても、学習前の脳データを判別機を用いて判別すると、“脱落者”の脳特徴をもっている（前頭極周辺の発達が少ない）人であっても、沢山ほめられる事で学習が継続できるようになった人（やり遂げる力を獲得した人）では、前頭極の構造が可塑的に変化し、学習後の脳で判別機を実施すると、脱落者から達成者に予測が変わる事をさきがけ期間中に明らかにした。本成果は現在雑誌投稿中である。

研究テーマ2 「性格特性（防衛的悲観主義）に応じた学習環境（競争・非競争）による学習効果向上と脳可塑性の解明」

学習遂行は、期待、評価、計画、 努力、回顧の一貫した行動の認知的方略を取ると定義されている[1]。過去のパフォーマンス に対する認知と将来のパフォーマンスに対する期待に よって、認知的方略は分類されており“方略的楽観主義（strategic optimism; SO）”は、過去 のパフォーマンスについてのポジティブな認知をもちそれと一致する将来の高い期待を設定し、“防衛的悲観主義（defensive pessimism; DP）”は、 過去の成功を認知しているにもかかわらず将来のパフォーマンスに対して低い期待を設定する。実際の学習の場において、どのような環境（教示法）が、DP,SO の特質に合致し、成績向上を促すのかについては明確でない。
そこで、学習意欲の高い健常大学生 83 名を被験者とし、全被験者に対し、学習介入前に、認知的方略を調べるための防衛的悲観的尺度、英語能力を知るための TOEIC、知能検査（WAIS）,MRI 検査を実施した。これらの計測から得たデータが均質になるような 2 群を作成した。学習内容は全く同様であるが、一つの被験者群には、本実験の目的について、「英語能力が伸びる事で、脳がどの位大きくなるかをみるものです。英語力を伸ばしてください（非競争環境、DP:SO＝20:20）」と教示し、もう片方の群には、「この実験では、実験者間で、リスニング能力の伸び率、脳が発達する度合いを競争的にみるものです。グループ内で、順位もつけ提示します（競争環境 DP:SO＝22:21）」と教示した。
その結果学習遂行について、競争群においては、DP は 22 人中 20 名が学習を最後まで遂行し（2 名脱落）SO は、21 名中 8 名が遂行した（13 名脱落）。一方、非競争環境では、DP は 20 人中 12 名が学習を最後まで遂行し（8 名脱落）SO は、20 名中 16 名が遂行した（4 名脱落）。各群における遂行者の平均学習時間に有意差は見られなかった（p=0.98）一方、成績向上率については、DP は、競争環境下で成績がより向上し、SO は、非競争環境下で成績が向上した。学習前後の脳構造を比較してみると、競争下の DP では非競争下の DP に比べ有意に基底核に可塑性がみられ、非競争下で成績が向上した SO では、競争環境下で成績が向上した SO より有意に両側下前頭回に可塑性が見られた。
DP は、有能さの評価基準として個人内（絶対）評価よりも相対的評価を用いている可能性があると考えある。DP は、失敗から自尊心を保護するための防衛的な方略である。そのた

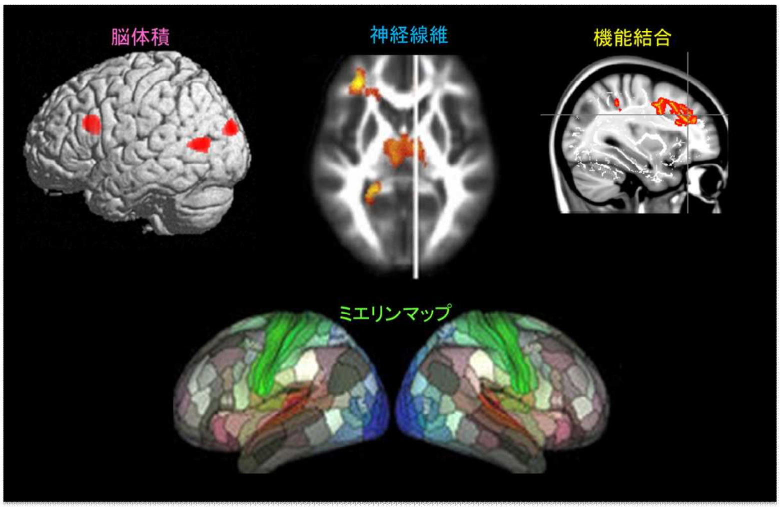
め「他者と比べてできること」を目標として自尊心を維持しようとしている事が学習行動に影響していると考える。さらに、特質と合致した学習環境で学習を遂行する事で、各特質の神経基盤である領域に学習前後での脳可塑性がみられた可能性をあきらかにした。

研究テーマ3 「運動学習における能力獲得に伴う脳可塑性の詳細解明：機能的脳可塑性と構造的脳可塑性が誘発される順番の解明」

運動学習に伴う、脳機能や構造の可塑的変化（能力獲得に伴う脳部位の変化）は近年多く明らかにされているが、いずれの研究においても、学習前後 2 地点をとるにとどまっており、どのくらいの期間のトレーニングで可塑的変化がみられるか、機能的可塑性・構造的可塑性の起こる順序等について明らかでない。そこで、50 名を対象に 14 日間毎日の左手書字トレーニング中に、3、4 日おきに計 4 回の多次元脳データを取得し、トレーニング期間中の脳機能構造の可塑性の詳細を検討した。その結果、能力獲得度合が大きな初期においてまず機能的変化がみられ、その後機能的可塑性が見られた部位に構造変化がみられる事が示唆された。また機能的可塑性が起こる時期に能力の発達が大きかった人ほど、学習後の成績が保たれている事も明らかになった。以上のことより、機能可塑性が起こる初期時の学習が非常に重要である可能性が示唆された。数日おきにマルチモダルに（機能・構造）MRI を取る実験は殆どなく、非常に画期的な成果であると考える。

研究テーマ4　「プログラミング能力の可否を予測する神経基盤とプログラミング能力獲得に伴う脳可塑性の解明」

プログラミングの義務教育化が決定した一方、プログラミング能力においてはその個人差が大きく、6 割の人はプログラミング講義をうけても能力向上が見込めないともいわれている。そこで、60 名のプログラム未経験の被験者を対象に 12 週間のトレーニングを実施した。その結果、学習を継続したのは、47 名で、そのうち21名は、学習をしてもプログラミングができるようにならなかった。学習時間に、プログラミング能力を獲得した群とできなかった群で差はく、知能レベルにも有意差は見られなかった。しかし、2 群の脳構造・機能を比較してみると、学習により能力獲得ができる群は、できない群に比べ、有意に右前頭前野、側頭頭長結合部、小脳、基底核の構造・機能に差があることがわかった。一方、能力獲得できた群では、学習前後の脳を比較すると、側頭頭頂部の構造的可塑的変化が見られた。この実験により、プログラミング能力獲得の神経基盤の個人差をあきらかにするとともに、プログラミング能力に伴う脳可塑性も明らかにした。ここで得られた情報は、今後のプログラミング学習の導入にあたって非常に重要であると考える。



3. 今後の展開

英語リスニング、プログラミング等は、能力獲得に伴い、脳も可塑的に変化する事がわかった一方で、学習開始前の脳の状態から、"通常の学習を行うだけでは成績が全く伸びない可能性がある人"をスクリーニングできる可能性が示唆された。プログラミング等義務教育化が開始されることに伴い、低年齢時での学習へのつまずきを起こさせないためにも、これらの脳の違いがどの時点で起こっているものなのか等基礎研究を進めると同時に、通常の学習では学習効果が得られない可能性があるものへの効果的な支援（研究テーマ2を応用した特性に応じた教示法等）を提案する仕組みを開発していきたい。

4. 自己評価

5 つの学習と脳に関する研究テーマを実施し、各実験において、数十名のマルチモダルな脳機能構造計測を学習全中後で実施し、延べ、約 500 名の脳機能構造、性格特性検査、知能検査、各種トレーニングを実施する事ができ、それぞれの実験において有用な成果を得る事ができた。研究の進め方としては、計画から実行、解析まで一貫して一人で行い、データ整理等実験補助員とともに、おこなった。これらの研究成果は、今後順次論文発表をしていく予定であり、特にプログラミング能力や特性に応じた学習法における学習効果についてなどは、社会への普及効果が非常に高いと考えている。

5. 主な研究成果リスト

（1）発表

1. Maeshima H, Hosoda C, Okanoya K, Nakai T. "Reduced γ-aminobutyric Acid in the Superior Temporal Gyrus is Associated with Absolute Pitch. Neuro Report." doi: 10.1097/WNR.0000000000001137 (Dec. 2018)
2. Nakai T, Nakatani T, Hosoda C, Nonaka Y, Okanoya K. "Sense of Accomplishment Is Modulated by a Proper Level of Instruction and Represented in the Brain Reward System." *PLoS One.* doi: 10.1371/journal.pone.0168661 (Jan. 2017)

（2）特許出願

研究期間累積件数：2件

1.

発明者: 細田千尋

発明の名称: 性向判別装置、タスク実行支援装置、性向判別コンピュータープログラムおよびタスク実行支援コンピュータープログラム

出願人: 株式会社国際電気通信基礎技術研究所

特許番号: 5804663

登録日: 2015 年 9 月 11 日

発行日: 2015 年 11 月 4 日

2

発明者:　細田千尋

発明の名称:　TENDENCY DISCRIMINATION DEVICE, TASK EXECUTION ASSISTING DEVICE, TENDENCY DISCRIMINATION COMPUTER PROGRAM, AND TASK EXECUTION ASSISTING COMPUTER PROGRAM – diagram, schematic, and image 08

出願人:　株式会社国際電気通信基礎技術研究所

申請日:　2015 年11月5日

特願　:　WO2014088073

（2）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

学会発表

1. Hosoda, C., Hamada, M., Maeshima, H., Nonaka,Y., Okanoya,K.,
   Predictor of programming language learning success: The development of the inferior frontal cortex and the supramarginal cortex.
   /Organization for Human Brain Mapping(OHBM)2018, Singapore (Jun. 2018)
2. Hosoda, C., Hamada, M., Maeshima, H., Nonaka,Y., Okanoya,K.,
   development of temporal cortex can predict L2 listening learning success
   /World Congress of Neurology 2017, Kyoto, Japan (Jul. 2017)
3. Hosoda, C., Hamada, M., Maeshima, H. ,Nonaka,Y., Okanoya,K.,
   Predictor of second language learning success: The development of temporal cortex and the goal orientation.
   /OHBM 2017, Vancouver, CANADA (Jun. 2017)
4. Hosoda, C, Takashi Hanakawa, Manabu Honda, Kazuo Okanoya, Rieko Osu,
   Brain become more plastic by the effective learning.
   / OHBM 2015, Hawaii, USA (Jun. 2015)

以上

研　究　報　告　書

「野生動物装着センサ用の時空間情報補正機構」

研究タイプ：通常型
研究期間：　2015 年 10 月　～　2019 年 3 月
研　究　者：　小林　博樹

1．　研究のねらい

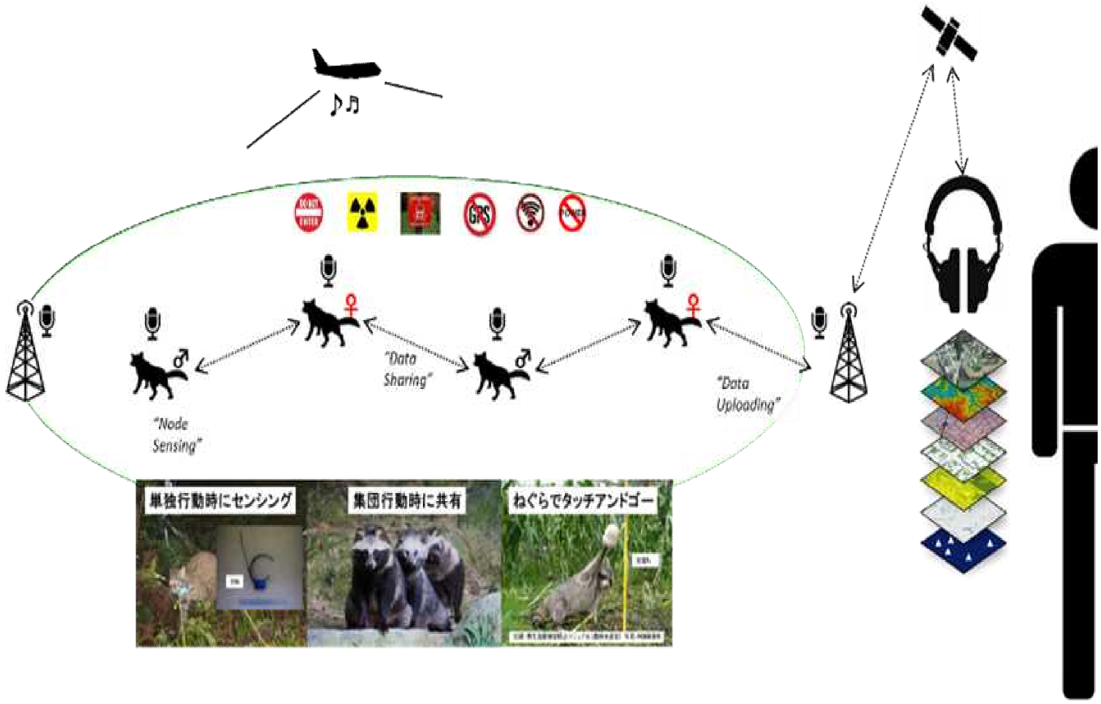


図1：本研究のイメージ

本研究は「野生動物自身がウェアラブルセンサを持ち歩き、単独行動時に取得した空間情報を、集団行動時に省電力で共有し、シンクノードまで誘き出して非接触通信（充電）して回収する機構」の実現を目的としている。

都市部に近い環境（人間社会に近い環境）での調査においては、ユビキタスセンサネットワークや携帯電話等による調査が実現している。しかしながら、野生動物の生息環境では極めて限られた電源・情報インフラ網しか利用できない。具体的には、利用者が極めて少ない地域つまりこのような野生動物の生息環境（森林の地表付近）においては、インフラサービスの採算性が問題になる（国土総面積の約 7 割は携帯電話圏外、注：人口カバー率ではない）。実環境要因の問題も発生する（衛星電波不感地帯）。また、ユビキタスセンサネットワーク設置のためには国立公園や所有者や行政等ステークホルダーとの調整に多大な労力が必要である。また屋外設置のセンサであり設置・運用・環境コストも莫大になる。その一方で停滞する経済活動の中、我が国で新たな生態調査用の基盤を構築し、数十年間の運用を行う余地はほとんどない。また、生息地の人工建築物は野生動物への脅威となる。つまりシンクノードやドローンを設置・運用すると周囲の野生動物が居なくなってしまう問題がある。そこで野生動物ウェアラブ

ルセンサが注目される。小型軽量なセンサを装着して 2 年程度の調査を行うものであるが、装着可能な重量は体重の 2%程度に限られる。森林の地表に生息する動物は体重の軽い小型陸生哺乳類であり、位置情報を取得するための慣性航法記録装置等の装着・運用は困難である。またセンサで取得した記録を回収するには、野生動物を再捕獲するか、装着型テレメトリ送信機を用いるしかない。しかし再捕獲可能な野生動物の生息範囲やテレメトリの通信範囲は極めて限られる。従って調査範囲拡大も困難である。つまり、野生動物の調査を広範囲・長期間行うには、電源・情報インフラが存在しない生息地の空間情報を、最小限のコスト・最大限の効率で取得するシステムが求められる。

2. 研究成果

(1)概要

本提案では、まず調査対象である野生動物の各個体が保有する縄張りや、個体の習性や思考力を逆利用したウェアラブルセンサによりセンシング可能範囲(研究テーマ A)の課題解決を目指した。そして野生動物装着型センサをシンクノードまで誘き出して非接触通信(充電)で記録情報を回収する機構によりセンシング時間(研究テーマ B)の課題解決を目指した。そして最小限のシンクノードと野生動物装着型センサを用いた時空間情報の補正機構によりセンシング精度(研究テーマ C)の解決を目指した。そして、本さきがけ研究成果を活用して実際に社会課題(研究テーマ D)の解決を目指した。研究活動は研究者が所属する空間情報科学研究センターで実施した。動物を用いた評価実験を行うため、麻布大学獣医学部動物応用科学科介在動物学研究室(菊水教授)のもとで犬を実際に飼育し、評価実験を同研究室の獣医らと共同で実施した。また、フィールド評価としては東京大学秩父演習林の標高 1200m付近にあるサイバーフォレストプロジェクト研究施設を活用して実施した。そして、社会課題の解決支援に向けたシステム有効性評価実験を福島第一原子力発電所周辺の立ち入り禁止区域(帰還困難区域)で実施した。実際にプロトタイプを開発し、それぞれのフィールドで有効性評価を行った。これらの成果から、研究者の所属機関とフランストゥーロン大学は国際協定を締結した。フランストゥーロン大学にはチェルノブイリ事故対応を行った情報学の研究者らが所属している。そして 2018 年からは東京大学国際展開事業として国際的な共同研究へ発展した。

(2)詳細

研究テーマ A「野生動物個体群の縄張り網と重畳した動物装着センサ群(♀と♂等)による分散型センシング機構」

本機構では動物同士の接触時(すれ違い)に着目している。動物同士が接近した際に生じる習性行動の特徴量を3軸加速度センサーで解析し、通信機器のWakeの引き金として動物装着センサ間の間欠通信を実現させる。つまり動物個体間の遭遇時における特徴量を 3 軸加速度センサーで合成加速度として取得し、閾値により通信機器の Wake 制御を行なう事により省電力なデータ運搬を実現させる。予備研究では実際に獣医の許可を得てプロトタイプを開発し、連携研究室である麻布大学伴侶動物研究室の犬を対象とする実験に成功してい

る(図 4-6)。また 2017 年 2 月には牛を対象とする実験に成功している。以上により「野生動物個体群の縄張り網と重畳した動物装着センサ群(♀と♂等)による分散型センシング機構」を実現した。Multimodal Technologies and Interaction で成果を発表した。(図 2-3)

研究テーマ B「動物装着型センサをシンクノードまで誘き出し、長時間の非接触通信(給電)を実現する形状機構」

タグ装着の動物を誘き出して情報を取得するユビキタス基盤である、物理的な刺激を用いて動物を「**誘き出す機構**」と、誘き出された動物に装着しているタグと「**非接触通信(給電)**する機構」を開発した。そして、連携研究者が飼育する犬を用いて有効性の評価を行った。誘き出す機構に関してペットの犬を対象とし、犬小屋の内部形状をヒントに、**非接触通信(給電)**動作に必要な行動制限や行動停止が起こりやすい条件を明らかにした。具体的にはスチレンブロックを使用して、高さ方向や幅方向の内部形状変更による犬の姿勢評価を通じて、小屋への入場を阻害せず、かつある程度の姿勢制御が可能な条件を見つけることが出来た。この内部形状条件を利用して、床と両壁部 3 か所に非接触ステーション、犬体部には両肩、腹の計 3 か所に非接触コイルを貼りつけて非接触通信評価を行った。結果、肩部でかなり安定した非接触通信状態を作ることに成功し、評価に使用した 2 匹の犬でコイルが**非接触通信(給電)**可能な位置に存在することが確認出来た。以上が「**動物装着型センサをシンクノードまで誘き出し、長時間の非接触通信(給電)を実現する形状機構**」の研究成果である。(図 4-5)

研究テーマ C「環境音を用いて動物装着型センサでシンクノード上と同等の時刻・位置情報取得を行う補正手法」

この補正機構はインフラが制限されたような区域においても用いることが可能な航空音を利用した位置測位手法である。この手法は実際に手動計算で野生動物の位置を誤差 900m 程度で位置同定を実現している。これを最終的には自動で位置同定を行えるようにする必要があるため、具体的には、位置同定を行う際に環境音に含まれる航空機音を用いているがその判定は調査員が手動でラベル付することにより行っている。この位置同定を行うまでに必要となる周辺環境音と航空音を自動で分類することが本研究の大枠となる。我々は、この課題に対し SVM および音声認識で MFCC を用いることにより環境音に含まれる航空機音の自動分類を試みる実験および評価を行った。分類の結果、今回は分類性能が最大 95.0%と言う結果を得られた。また、単純処理と比較して MFCC 処理の分類精度が向上していることが判明した。その結果、今回用いた環境音であれば SVM と MFCC を用いた航空音分類が可能であることが判明した。(図 6-7)

研究テーマ D「社会課題の解決支援に向けたユーザビリティとシステム高度化」

国際原子力機関のチェルノブイリ原発事故報告書では、被曝した野生動物群の数世代に渡る被爆状況とその影響の調査は、学術的・社会的に非常に重要であると報告されている。東京大学の石田(生物と科学 2013)は、福島第一原子力発電所周辺の、特に高濃度の放射性物質が検出されている阿武隈山地北部地域において、野生動物の被曝モニタリングを行っている。本モニタリングでは、自動録音装置を設置し、500 地点以上を動物音声の取得を

目標しているが、長期に渡って継続的に情報取得を行うためには、研究者の労力だけでは困難と報告している。しかし、このような中山間では電源・情報インフラが存在しないため実現が難しい。そこでこうした空間で増加する動物(害獣)を用いた「AIを用いた動物装着型マイク網による高線量空間可視化」により目的を達成できると考えた。環境音情報可視化のためには「調査員の聞き取り」を「環境音自動判別 AI」に組みこむことが必要である。AI の要求する 1/1000 秒の精度で、非熟練の調査員が聞き取り結果を記録することは難しいが、熟練の調査員は少数であるため聞き取りできる時間数は限られる。調査員の熟練度を考慮しながら、調査員が能率良く判別を実施でき、かつ AI にとって利用しやすい聞き取りデータの集積方法とその実現に適したユーザインターフェースを検討・実装する。環境音情報の解析と可視化については、Human Computation を利用するものと利用しないものの 2 種類に分かれる。Human Computation を利用しないものについては Farina らが周波数成分を用いて Biodiversity index を計算したことを嚆矢として数多く存在する。しかし、この方法では種構成がわからないという限界がある。Human Computation を利用するものでも、既存の方法では調査者の継続的な調査参加率は低いとされてる。本研究ではこの点を改善した。8 層畳み込みニューラルネットワークを基礎として、調査員の聞き取りをヒント(図 8 右)とした機械学習(human computation)に適切な AI について実装・評価した。成果を Multimedia Tools and Applications で発表した。(図 8-9)

図 2:動物間ネットワーク端末を装着した帰還困難区域内の動物の様子

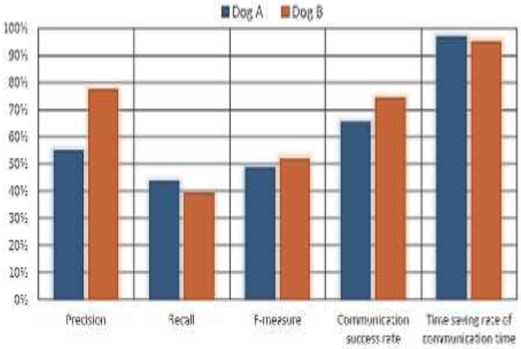


図 3:動物間ネットワーク端末を用いた場合の有効性評価結果　A B

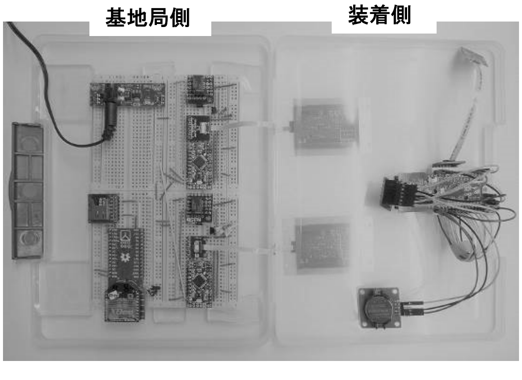


図 4:動物装着型センサまで誘き出し、長時

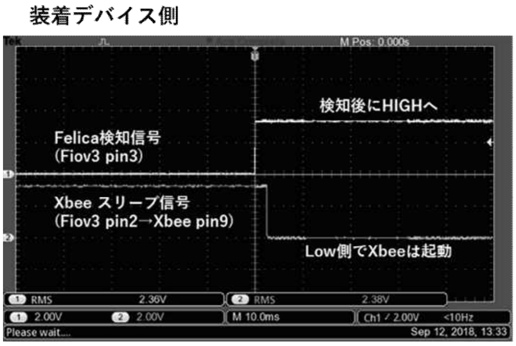


図 5:動物装着型センサまで誘き出し、長時

間の非接触通信(給電)を実現する形状機構の構成部品	間の非接触通信(給電)を実現する形状機構の動作確認状況

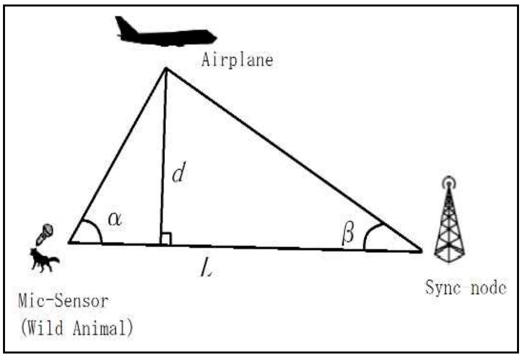


図 6:環境音を用いて動物装着型センサでシンクノード上と同等の時刻・位置情報取得を行う補正手法

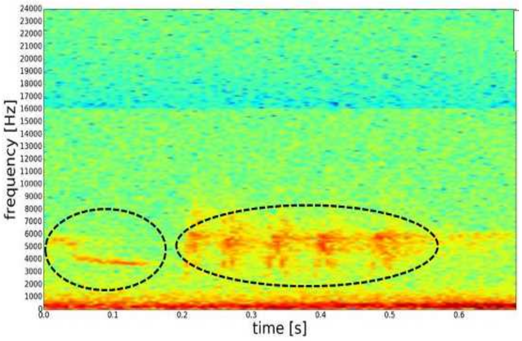


図 7:環境音に含まれる航空音のスペクトラム

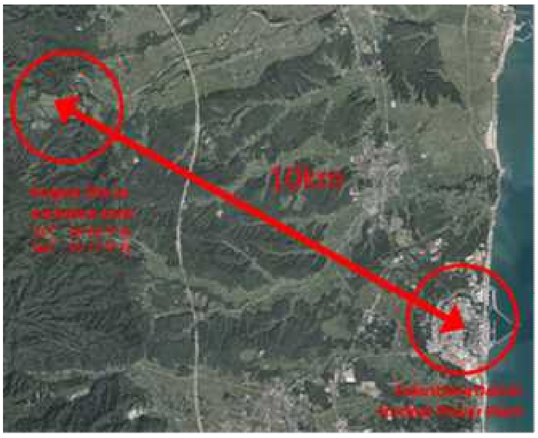


図 8:評価実験を実施した帰還困難区域(福島第一原子力発電所から 10 キロ地点)

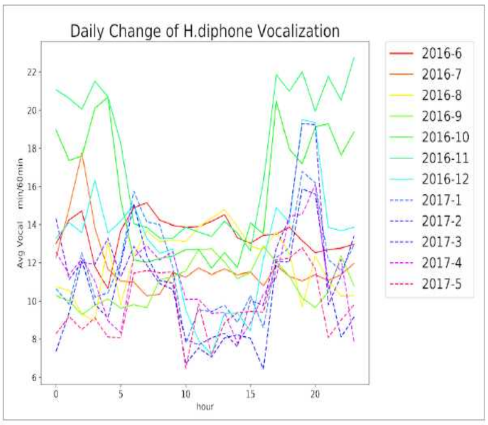


図 9:帰還困難区域に生息するウグイスの鳴き声の 1 年間分を可視化した例

3. 今後の展開

都市環境においては電源供給可能な場所も多く固定型センサも存在する。また、携帯電話等の情報システムの利用による参加型センサ群により効率よい観察が実現できると考えられる。しかし、野生動物の生息地では極めて限られた電源・情報インフラ網しか利用できない。固定型センサ設置のためには電柱等の設置や行政等ステークホルダーとの調整に多大な労力が必要であり、また屋外設置のセンサであるため、設置・運用コストも莫大になる。このように、森林全体をセンシングするような大規模センシングを固定設置型センサのみで展開することは経済的に合理的ではない。昨今、人間社会による環境負荷の調査が世界各国で始まっているが、この動きを加速化するために、まず生態環境の様相を安価に高効率でセンシングするための技術体系の創出が必須である。本研究では、ⅰ)現実的に利用可能な最小限の固定型センサ、ⅱ)生息する野生動物を用いた空間情報センシング、そしてⅲ)野生動物自身による取得情報のアップロードが有望な手法であると信じその実用化の探求を行う研究である。今

さきがけ
PRESTO

後、本研究成果が実用化されることで有害鳥獣対策や動物由来感染症対策に貢献する。

4．　自己評価

研究テーマＡと研究テーマＢ、研究テーマＤについては達成度は100%である。一方、研究テーマＣは70%である。研究実施体制や事務体制については問題がないが、天候不順や災害（落石・斜面崩壊）による計画遅延などが発生した。研究成果としては、本さきがけで研究開発した情報技術を用いて福島原発事故対応を実現した。本シーズは有害鳥獣や感染症対策の応用が考えられるが、本計画にいては事故対策を優先したため実施していない。ただし、今後の展開を考えて海外共同機関との MOU 締結を達成した。

元来から、動物の行動とヒトの行動に共通する点が多いために、ヒト以外の動物で明らかにされた事象がヒトの社会生活の解釈に応用されることが多い。 このため、動物向けのシステムを解決すべく、ヒト向けに特化したシステムを再び動物に応用する本研究でのアプ ローチは、新しい流れだと言える。これはこの 10 年程度で急速に進展したウェアラブルコンピューティング技術の恩恵である。はヒトに適応したアルゴリズムやシステムの方が高精度となっているが、このようにヒトと他の動物の差を改めて数値的に表せた点で、本研究の果たした役目は大きい。

5．　主な研究成果リスト

（1）論文（原著論文）発表

1. Hill Hiroki Kobayashi, Keijiro Nakagawa, Ko Makiyama, Yuta Sasaki,Hiromi Kudo, Baburam Niraula and Kaoru Sezaki. Animal-to-Animal Data Sharing Mechanism for Wildlife Monitoring in Fukushima Exclusion Zone, Multimodal Technologies Interact. 2018, 2(3), 40 doi: 10.3390/mti2030040　(Jul. 2018)
2. Hill Hiroki Kobayashi, Hiromi Kudo, Hervé Glotin, Vincent Roger, Marion Poupard, Daisuke Shimotoku, Akio Fujiwara, Kazuhiko Nakamura, Kaoru Saito, Kaoru Sezaki, A Real-Time Streaming and Identification System for Bio-acoustic Ecological Studies after the Fukushima Accident, Multimedia Tools and Applications for Environmental & Biodiversity Informatics, 2018 pp 53-66　doi: 10.1007/978-3-319-76445-0_4　(Jun. 2018)
3. Hiroki Kobayashi, Hiromi Kudo, Vicki Moulder, Michael Heidt, and Lorna Boschman. 2017. Fukushima Audio Census. In Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '17). ACM, New York, NY, USA. doi:10.1145/3027063.3052546　(May 2017)
4. Hill Hiroki Kobayashi and Hiromi Kudo. Acoustic Ecology Data Transmitter in Exclusion Zone, 10km from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, LEONARDO / Journal of the International Society for the Arts, Sciences and Technology (MIT Press), 50(2), pp. 188-189, 2017.　doi:10.1162/LEON_a_01416　(Apr. 2017)

（2）特許出願

研究期間累積件数：0 件

（3）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

【受賞】

1. 公益財団法人日本デザイン振興会 グッドデザイン BEST100,
   日本, Radioactive Live Soundscape（2018 年 10 月）
2. A' DESIGN AWARD & COMPETITION, イタリア, Tele Echo Tube（2018 年 5 月）
3. ドイツ連邦デザイン賞「German Design Award」優勝,
   ドイツ, Radioactive Live Soundscape（2017 年 10 月）
4. 第 11 回アルテ・ラグーナ国際美術賞,総合優勝
   イタリア, Radioactive Live Soundscape（2017 年 3 月）
5. 経済産業省及び IoT 推進ラボ IoT Lab Selection, 準グランプリ,
   日本,野生動物装着センサ網による時空間情報ネットワーク（2017 年 3 月）

以上

研 究 報 告 書

「脳性麻痺障害者の個人適応型コミュニケーション支援システムの開発」

研究タイプ：通常型
研究期間： 2015 年 10 月 ～ 2019 年 3 月
研 究 者： 滝口 哲也

1．研究のねらい

近年、家庭生活、学校生活、社会生活において様々な機器の情報化が進み、情報機器が身の回りの生活環境にて浸透しつつある。しかし、そのような機器は操作が複雑であり、障害者が使いこなすには困難である場合が多い。福祉の分野では、コンピュータなど情報技術を駆使した、障害者の様々な生活を豊かで便利なものにする支援機器の開発が行われてきている。その過程で、視覚障害、聴覚障害、肢体不自由などの身体障害者に対しては、例えば手話認識、文字の点字化などの研究が行われてきて、これらの支援技術により障害者らの社会的活動への参加、貢献する機会を増大させている。今後ますます情報機器が家庭生活や社会に埋め込まれていくものと考えられる。しかしながらコミュニケーションや発話に障害のある構音障害者が健常者と同じように、発話コミュニケーションをすることは困難であり、情報弱者として取り残されていくものと考えられる。

構音障害者の症状は、その原因により様々存在する。そのような方々の発話コミュニケーションを支援するための音声技術への期待は大きい。本研究課題では、以上のような社会的状況を踏まえ、脳性麻痺（構音）障害者を対象に、ユニバーサルコミュニケーション支援技術の研究を行う。脳性麻痺障害者においては、身体的な障害を伴っている場合もあり、ボタン操作など意図的な動作を行う際には、筋肉の緊張により不随意運動が生じる。そのためボタン操作などによる情報機器の操作も非常に困難な場合がある。また脳性麻痺障害者の発話内容を健常者が聞き取ることが困難な程、障害者の発話スタイルは健常者と異なる。本研究課題では、健常者と障害者が共存した発話コミュニケーション社会の構築を目指し、障害者の身体能力の壁を超越することが出来るコミュニケーションを実現する。

2．研究成果

（1）概要

脳性麻痺障害者の発話様式は健常者と異なり、また筋肉の緊張から生じる発話様式の変動が非常に大きくなるため、脳性麻痺障害者の発話内容を健常者が聞き取ることが困難である。さらに脳性麻痺障害者は、健常者と異なり一人一人その障害特性が多様であるため、個人レベルでの適応技術が必要不可欠である。このような問題解決に向けて従来研究では、事前に使用者（障害者）の多量の発話を用いてシステム構築を行っていたが、彼ら/彼女らの身体負担を考慮すると出来るだけ少量の発話のみでシステム構築することが望ましい。少量の障害者発話に対応するため、本研究課題では、使用者（障害者）の発話データのみならず、(I) 健常者、および他の障害者発話データベースとして英語を母国語とする障害者の発話データも利用した新たな枠組みを提案し、脳性麻痺者の発話認識を実現する（研究テーマ 1: 発話認識（図 1））。

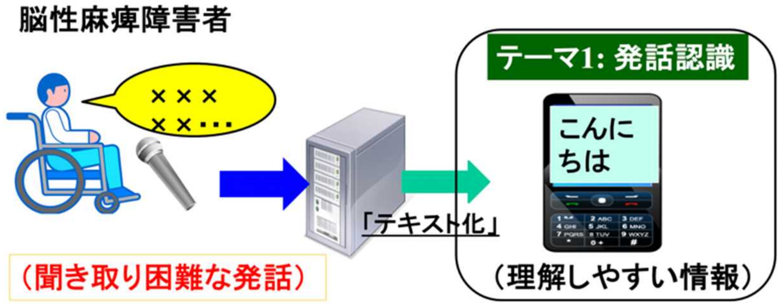


図 1.　研究テーマ1：脳性麻痺者の発話認識

また、聞き取り困難な脳性麻痺障害者の声を健常者へ伝える手段として、声質変換が必要である。障害者からの意見として、出来れば自分自身の声を皆に聞いてもらいたいという要望も存在し、生成される音声は、必ずしも障害者とは全く異なる声質を持った健常者の声にしたいわけではない。よって、(II) 障害者の話者性を保ちながら、聞き取りやすい声に変換する技術を確立する（研究テーマ 2: 音声変換）。

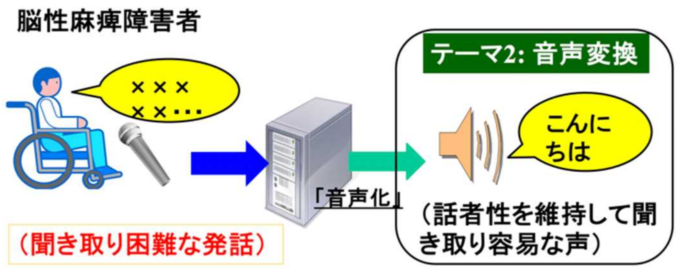


図 2.　研究テーマ 2: 脳性麻痺者の話者性を維持して聞き取り容易な声へ変換

（2）詳細

研究テーマ1：脳性麻痺者の発話認識

- <u>マルチモーダル情報を用いた教師無し特徴量抽出</u>

構音障害者はテキストと同じ発話ができない場合があり、発話データとテキストにミスマッチが生じる。そのような問題に対処するため、教師無し機械学習による特徴量抽出法を提案した。また健常者を対象にしたマルチモーダル発話認識に関する報告はあるが、構音障害者を対象にした研究は、これまで見当たらない。本研究では構音障害者を対象にして、マルチモーダル情報を用いた Deep Canonical Correlation Analysis に基づく教師無し特徴量抽出を行ない、有効性を示すことができた（学会発表 3）。またコミュニケーション支援において重要な要素ともなる顔表情認識についても、新たに回転不変特徴量を提案し有効性を示した（論文発表 2, 4）。

- <u>複数データベースを使用した発話データ拡張</u>

使用者（脳性麻痺者）の発話データが少ないことに対処するため、日本人構音障害者の音声だけでなく、外国人構音障害者と日本人健常者の音声を用いることによる、新しい発話データ拡張を提案した。図 3 に提案手法の概要を示す。本手法の特徴は、英語障害

者音声と日本語障害者音声を用いて共通の音響モデル（障害者音響モデル）を学習し、日本語障害者音声と日本語健常者音声を用いて共通の言語モデル（日本語言語モデル）を学習するところにある。

図 4 に脳性麻痺者の発話認識結果を示す。日本語障害者音声だけでは誤り率 50.2%であるが、日本語健常者と英語障害者の音声も用いることにより誤り率を 23.2%まで改善することができた（学会発表 1）。おおよそ目的を達成することができたと言える。

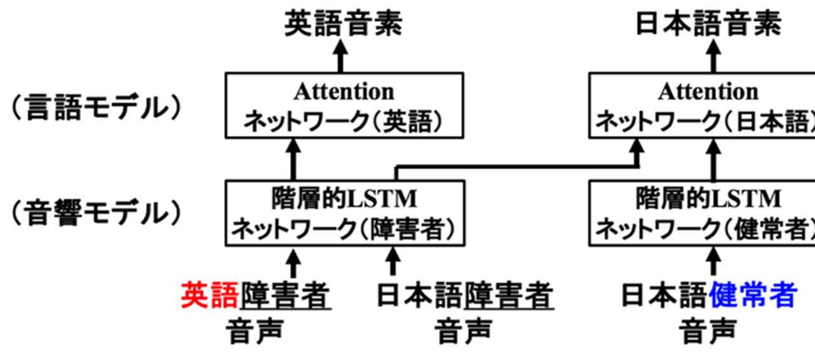
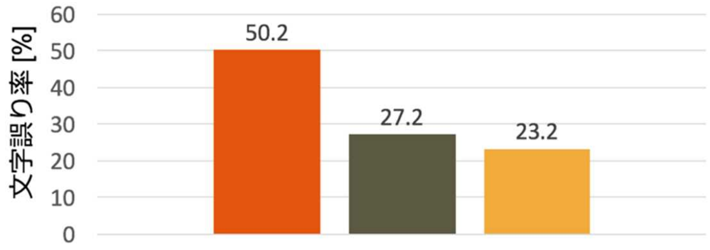


図 3.　複数データベースを使用した発話データ拡張



（学習データ）				
	日本語障害者	○	○	○
	日本語健常者		○	○
	英語障害者			○

図 4.　脳性麻痺者の発話認識結果

研究テーマ2：脳性麻痺者の話者性を維持した音声変換

- 脳性麻痺者と健常者音声を用いたハイブリッド音声変換

従来の音声変換では、多量の発話データが必要となる。しかしながら脳性麻痺者においては、筋肉の緊張により不随意運動が生じるため、多量の発話収録を行うと健常者と比べて体力的負担がかなり大きくなる。本研究では、脳性麻痺者の少量学習データを用いた新しい音声変換の枠組みとして、（多量の発話データが存在する）健常者の音声合成と、脳性麻痺者の少量発話データによる声質変換システムの組み合わせ手法を提案した（図 5）。

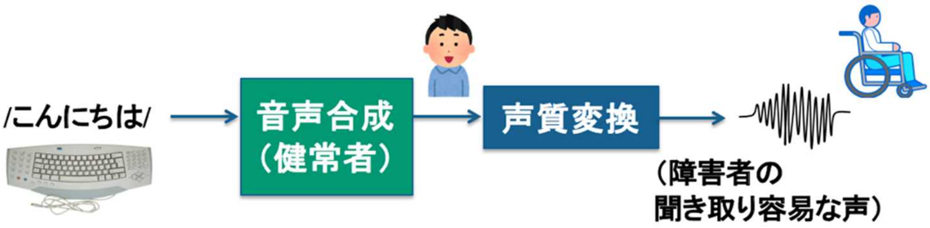


図 5.　音声合成と声質変換を組み合わせた脳性麻痺者少量発話データへの対応

　発話認識の箇所で記述したように、構音障害者はテキストと同じ発話ができない場合があり、発話データと教師のテキストにミスマッチが生じる。そのような問題に対処するため、教師無し機械学習による声質変換として、Cycle-Consistent Adversarial Networks に基づく手法を検討した(論文発表 1，学会発表 2)。脳性麻痺者の発話と比べて、提案手法により生成された音声は、聞き取りやすくなっており、また話者性も若干の劣化は存在するが、(話者性が)保存されていることが示された。従来手法と比較して、学習データ量を 1/5 に削減することもでき、おおよそ目的を達成することができたと言える。

3.　今後の展開

- 脳性麻痺者の発話認識

　表 1 に脳性麻痺者の発話認識結果の例を示す。この結果より子音が欠落しやすい傾向が確認できる。脳性麻痺者の音声は、筋肉の不随意運動により特に子音を発音するのが難しく、(脳性まひ者の発話)音声が聞き取りづらくなる。母音は比較的正しく認識できており、モデルがこのような障害者音声の特徴を捉えていると考えられる。得られた誤りの傾向を分析することで、その話者が発話しづらい音の発見に繋がると期待される。さらに、誤り訂正技術を応用することで、より認識精度を向上させられると考えられる。

表 1.　脳性麻痺者の発話認識結果の例

正解	u r a y a- m a sh ii
認識結果	u m a a a a s ii
正解	d a ky ou
認識結果	d a k ou

　現在の発話認識の正解率は 100%ではないが、人が聞いても理解するのが困難な状況を考えれば、正解率が 70%から 80%程度でもコミュニケーション支援システムとして活用できる。先ずは少ない語彙数のタスクにおいて実用化を目指していく。

- 脳性麻痺者の話者性維持した音声変換

　脳性麻痺者の発話と比べて、提案手法により生成された音声は聞き取りやすくなっている。あらかじめテキストを入力することができれば、コミュニケーション支援システムとして活用できる。今後は、Vocoder による音質劣化を改善するために、End-to-End、Vocoder-free な音声合成手法、また Cycle-Consistent Adversarial Networks における損失関数を検討する。さらに、発話認識も組み合わせた End-to-End なシステムへ展開していく。

4.　自己評価

研究目的の達成状況

“発話認識”については、日本語障害者音声だけでは誤り率 50.2%であるが、日本語健常者と英語障害者の音声も用いることにより誤り率を 23.2%まで改善することができた。また、“聞き取り容易な音声への変換”については、脳性麻痺者の発話と比べて、提案手法により生成された音声は、聞き取りやすくなっており、また話者性も若干の劣化は存在するが、(話者性が)保存されていることが示された。学習データ量を 1/5 に削減することもでき、おおよそ目的を達成することができたと言える。

研究の進め方(研究実施体制及び研究費執行状況)

毎年、数名の大学院生を雇用することにより、順調に研究データの収集、解析を進めることができた。また研究費に関しては、物品費(計算機サーバーなど)、旅費(研究成果の学会発表)について適切に執行して、効果的に研究を遂行することができた。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果(今後の見込みを含む)

本研究では、多量の学習データを集めるのが困難な課題に対して、対象者の少量学習データにより対応する枠組みを提案した。本研究で対象にした脳性麻痺者だけでなく、別の疾患のコミュニケーション支援においても、同様の少量学習データの課題が存在する。世界中にて高齢社会が問題となっているが、高齢者の明瞭度の劣化した発話や、脳梗塞などの麻痺者発話に関しても、本研究成果の枠組みの適用(波及効果)について大いに期待できる。

5.　主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1.	Jinhui Chen, Zhaojie Luo, Zhihong Zhang, Faliang Huang, Zhiling Ye, Tetsuya Takiguchi, Edwin R. Hancock, “Polar Transformation on Image Features for Orientation-Invariant Representations,” IEEE Transactions on Multimedia, doi: 10.1109/TMM.2018.2856121, 2018. (Jul. 2018)
2.	Zhaojie Luo, Jinhui Chen, Tetsuya Takiguchi and Yasuo Ariki, “Emotional Voice Conversion Using Neural Networks with Arbitrary-Scales F0 based on Wavelet Transform,” EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, 2017, 13 pages. doi:10.1186/s13636-017-0116-2 (Aug. 2017)
3.	Jinhui Chen, Zhaojie Luo, Tetsuya Takiguchi, Yasuo Ariki, “Multithreading Cascade of SURF for Facial Expression Recognition,” EURASIP Journal on Image and Video Processing, Vol. 2016 (1), 2016:37, doi: 10.1186/s13640-016-0140-7, 13 pages. (Oct. 2016)
4.	Ryo Aihara, Tetsuya Takiguchi, Yasuo Ariki, “Multiple Non-negative Matrix Factorization for Many-to-many Voice Conversion,” IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 2016, Vol. 24, No. 7, pp. 1175-1184. doi: 10.1109/TASLP.2016.2522643 (Jan. 2016)

（2）特許出願

研究期間累積件数：0 件

（3）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

学会発表

1.	高島悠樹, 滝口哲也, 有木康雄,"複数データベースを使用した end-to-end 構音障害者音声認識" 日本音響学会 2019 年春季研究発表会講演論文集, 2-9-4.（2019 年 3 月）
2.	南坂 竜翔,滝口 哲也,有木 康雄, "CycleGAN に基づくノンパラレル声質変換を用いた構音障害者音声合成" 日本音響学会 2018 年秋季研究発表会講演論文集, 1-R-41, pp. 1185-1188, 2018.（2018 年 9 月）
3.	Yuki Takashima, Tetsuya Takiguchi, Yasuo Ariki, Kiyohiro Omori, "Audio-Visual Speech Recognition for a Person with Severe Hearing Loss Using Deep Canonical Correlation Analysis," International Workshop on Challenges in Hearing Assistive Technology (CHAT), 2017, pp. 77-81. Stockholm, Sweden (Aug. 2018)
4.	滝口 哲也,"発話障害者の音声コミュニケーション支援" 招待講演, 電子情報通信学会音声研究会 （2018 年 10 月）

プレスリリース

1. 神戸新聞 5 月 15 日朝刊 特集記事「AI 駆使し発話を支援」（2017 年 5 月）

以上

研　究　報　告　書

「外出困難者が他者やロボットと感覚共有し擬似的に外出する AR システムの確立と社会的普及」

研究タイプ：　通常型
研究期間：　2015 年 10 月～2019 年 03 月
研 究 者：　玉城　絵美

1.　研究のねらい

本研究は、他者やロボットと視覚、聴覚に加えて新たに手の固有感覚と操作の情報を相互に伝達、つまり共有することによって、室内にいながら様々な場所に外出する AR(Augmented Reality)システムに必要な基礎技術を提案し検証することを狙いとしている。この基礎技術を普及することで外出が難しい人(以下、外出困難者）に社会進出の機会と豊かで質の高い生活の提供を目指す。そのため、基礎技術を提案と検証するだけでなく、一般からの意見を元に、最終年度に社会普及に必要な研究を行う。

2.　研究成果

（1）概要

本研究は、他者やロボットと視覚、聴覚に加えて新たに手の固有感覚と操作の情報を相互に伝達、 つまり共有することによって、室内にいながら擬似的に様々な場所に外出する AR(Augmented Reality)システムに必要な基礎技術を提案し検証することを狙いとしている。2 つの基礎技術として、本研究者が提案している人が感じている固有感覚(位置覚、抵抗覚と重量覚)を検出する光学式センサーアレイ(図 1: 基礎技術 A)と、コンピュータから人に固有感覚を提示する機能的電気刺激アレイ(図 1: 基礎技術 B)を用いる。この 2 つの基礎技術ついて、「1. 情報科学実験」、「2. 認知心理学実験」、「3. UI 評価」、「4. 総合実験」のそれぞれで検証実験を行なった。基礎技術を提案と検証するだけでなく、最終年度に社会普及に必要な「5. ユーザの意見からの追加実験」を行った。

図 1: 外出困難者が遠隔での他者やロボットと固有感覚を共有するための 2 つの基礎技術

結果、2 つの基礎技術で提案する固有感覚の共有は、室内にいながら擬似的に様々な場所に外出する際に身体所有感の面で有用であるといった知見が得られた。一方で、ユーザが安全に利用するためには、擬似的な外出時のコンテンツ内容の配慮や、普及時の制限による社会制度の設置が必要であることも明らかになった。

（2）詳細

1. 情報科学実験

基礎技術 A の固有感覚のうち位置覚(ジェスチャ)推定のためのアルゴリズムとその分解能について、SVM とロジスティック回帰にて比較検証した(効果量 0.2、 検定力 0.97、有意水準は 5%、 データ数 1500 個)。結果、認識できるジェスチャ数は、センサ数/2 であった。SVM のほうが精度が良いが、認識できるジェスチャ数は SVM もロジスティック回帰も同じであった(図 2, 3)。

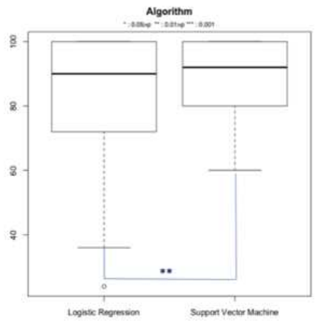


図2: ロジスティック回帰とSVMの比較
(対応のあるt検定)
縦軸: 認識率(%), 横軸: 識別器の種別

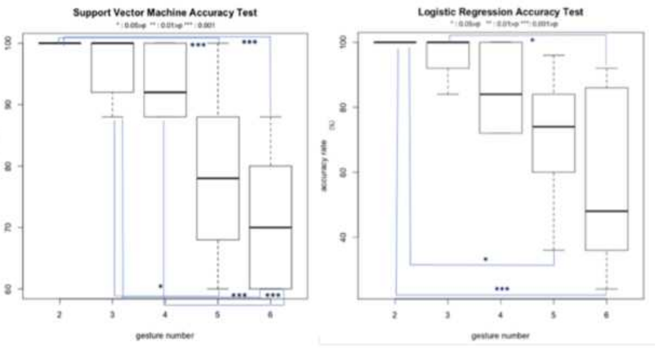
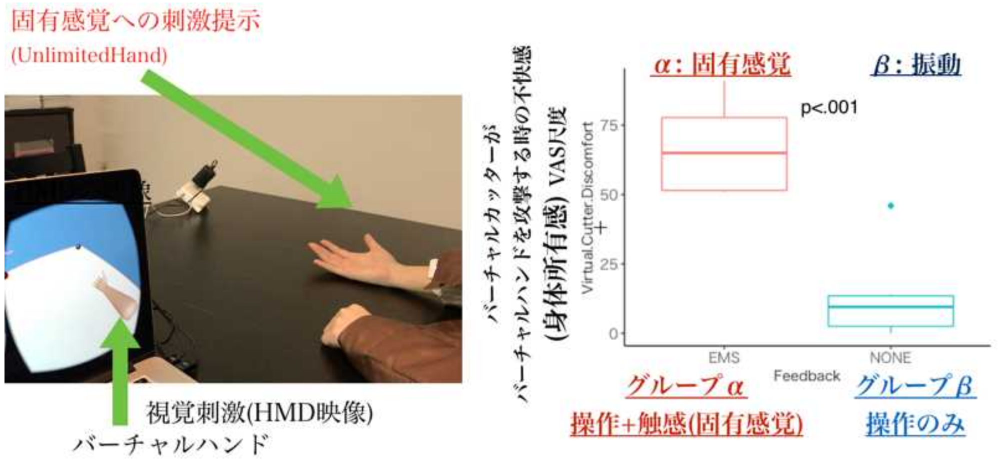


図3: 各アルゴリズムにおける利用可能なジェスチャ数の比較(多重比較)
左側: ロジスティック回帰, 右側: SVM, 縦軸: 認識率(%), 横軸: ジェスチャ数

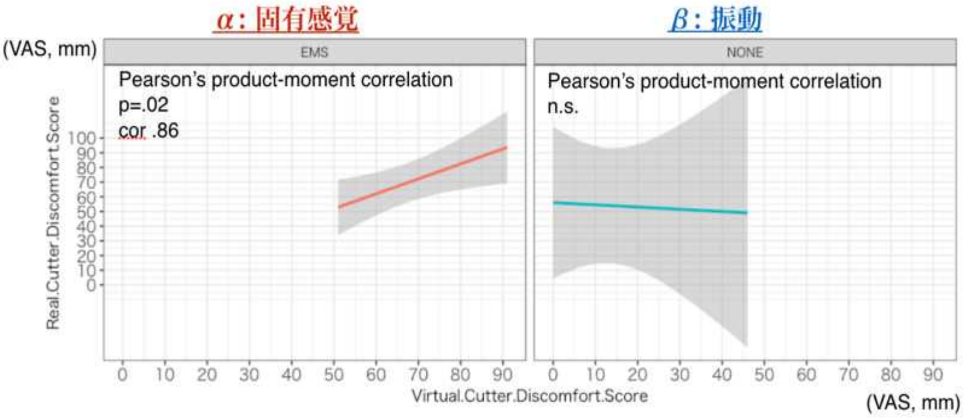
2. 認知心理学実験

どのような没入感があるのか？を明らかにするため、振動に比べて固有感覚の提示が身体所有感に影響をどの程度与えるか比較検証した。ユーザの身体所有感に有意な差があった(t-test, p<.001). 条件により、身体所有感が 36.0～53.5%も向上した. つまり、固有感覚の共有により身体所有感が高まると考えられる。



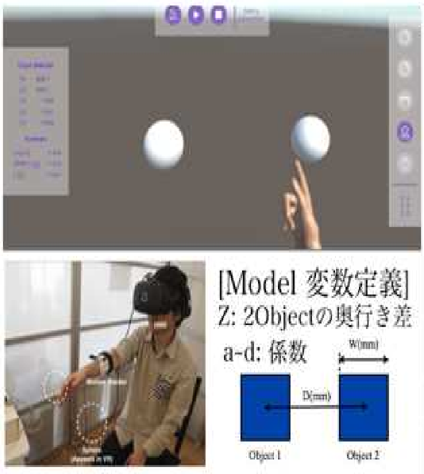
また、バーチャルカッターと本物のカッターの存在感について、固有感覚の提示は相関が有意であり、相関係数.86 であった。つまり、固有感覚の共有は、別の身体に対しても身体主体感を与えるため、提示コンテンツによっては、操作側で危険回避できない可能性がある。提示コンテンツには十分に配慮する必要があることが明らかになった。

さきがけ PRESTO



3. UI 評価

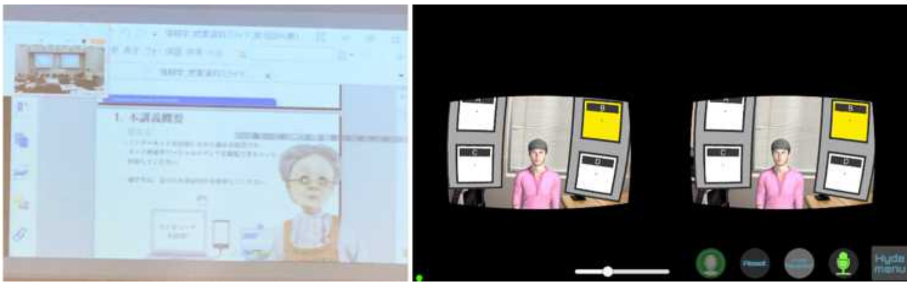
操作性検証のため、フィッツの法則とその関連法則のそれぞれの係数を求めた. それぞれの係数によって目的オブジェクトの大きさ、距離、到達時間が算出される. 結果、奥行き方向が加味された法則で算出すべきであることがわかった。一方で固有感覚の提示は、操作性に有意な影響はなかった。



Model	Estimated parameters		P value	Adjusted R-squared	
$a\ \log_2(1+D/W)$ $+b\ \log_2(1+Z_P/W)$ $+c\ \ln(1/Z_P)+d$	a	0.17	0.0499	0.135	奥行き加味
	b	0.32	0.1189		
	c	-0.20	0.5575		
	d	0.60	0.2711		
$a\ \log_2(1+D/W)$ $+c\ \ln(1/Z_P)+d$	a	0.18	0.0394	0.133	
	c	-0.19	<.01		
	d	1.33	<.01		
$a\ \log_2(1+D/W)$ $+b\ \log_2(1+Z_P/W)$ $+d$	a	0.17	0.0468	0.137	
	b	0.44	<.01		
	d	0.31	0.1809		
$c\ \ln(1/Z_P)+d$	c	-0.21	<.01	0.128	
	d	1.91	<.01		
$b\ \log_2(1+Z_P/W)+d$	b	0.48	<.01	0.132	
	d	0.77	<.01		
$a\ \log_2(1+D/W)+d$	a	0.42	<.01	0.043	既存
	d	0.01	0.977		

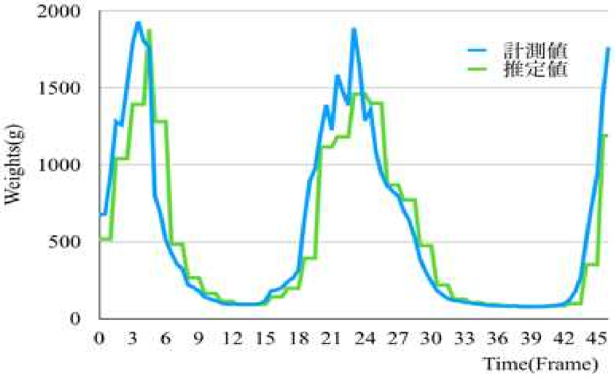
4. 総合実験

外出タスクを実施したときに、擬似的に外出した人にどのような現象が起きるのか質的調査を実施した。手を使ったインタラクションにおいては、 手指の角度(位置感)よりも押し込みや引き戻しなどの　重さの種類(重量感)に関する違和感に関するコメントが多かった.

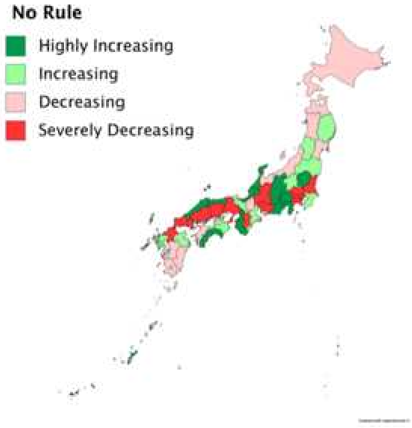


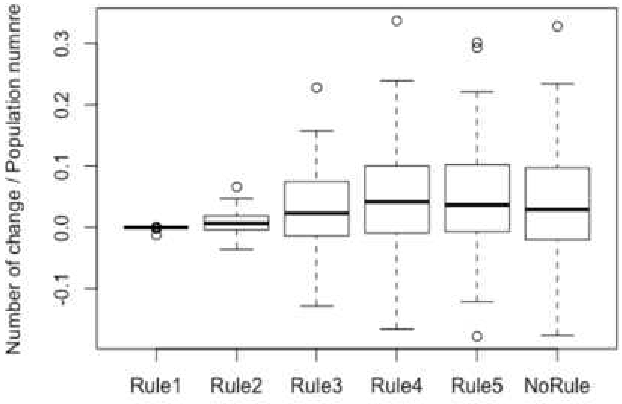
5. ユーザの意見からの追加実験

基礎技術Aにおいて、重さ推定をSVRで推定するアルゴリズムを提案し、その分解能について検証した。結果、計測値と推定値の相関係数 0.911, RMSE:236g, MAE:150g であった。スマートフォン程度の重さであれば十分に識別が可能である。



基礎技術AとBによる擬似的な外出において、特定地域の人の意識が過疎化すると治安悪化の可能性があるので、どのルールで人の意識の移動を制御したらいいか？という意見があった。そこで、経済学と生態学の観点から擬似的な外出と5種類のルールを適応した場合の意識の過疎化についてシミュレーションを行なった。シミュレーションでは、日本の各都道府県にそれぞれ魅力があり、ヒトの趣向(シグモイド関数)により擬似的に外出する場合、制限に関するルール(図中 Rule1～3)は有意であるが、予算に関するルール(図中 Rule4と5)は有意とは言えなかった。





３．　今後の展開

今後は、本研究期間の知見、特に「5. ユーザの意見からの追加実験」で得られた知見について、2 つの基礎技術で提案する固有感覚の共有が複数の他者同士で、確かに有用であるかを検証したい。

また、現在共同研究を控えている複数の企業と、特に「2. 認知心理学実験」で得られた知見をもとに、擬似的な外出コンテンツが最適であるかどうか検証し、提案する 2 つの基礎技術の普及をはかる。同時に、広い知見の提供によって、擬似的な外出コンテンツの早急なサービスインを促進する。

さらに、提案した 2 つの基礎技術について国内外で 90 以上の関連する研究成果が出ている。工学分野に限らず、医学、スポーツ、脳科学など多岐にわたる分野での知見を集約し、さらなる活用と普及を目指す。

４．　自己評価

研究目的について、2 つの基礎技術を、「1. 情報科学実験」、「2. 認知心理学実験」、「3. UI 評価」、「4. 総合実験」と「5. ユーザの意見からの追加実験」の 5 項目において検証し、知見はえられた。

一つ心残りなのは、「4. 総合実験」において質的調査だけでなく、可能であれば追加で大規模な量的調査も実施したかった。しかしながら、倫理的な配慮に準備時間がかかることが判明し、実施が困難であった。初年度から全ての実験の準備に取り組むべきであった。

研究知見において、特に最終年度の「5. ユーザの意見からの追加実験」にて、基礎技術に関する新たな利用や他分野とのコラボレーションによる知見など、他の分野での応用可能な知見が得られた点はよかった。その点において、私自身の努力はさておき、本さきがけの領域が社会との調和や他の分野とのコラボレーションを推進する方針であったための大きな成果だと思われる。

同様に複数企業とのコラボレーションも実施したため、社会経済への波及効果は、通常の研究進行よりも早急に実施できた。特にリハビリに関する知見提供で、協力者患者の運動機能に改善が見られた点が良かった。社会経済への波及においても、研究統括、アドバイザーや事務局による支援と俯瞰的な配慮が手厚かったからなので、今後は私自身による俯瞰視点を強化したい。

５．　主な研究成果リスト

（1）論文（原著論文）発表

1. Emi Tamaki, Terence Chan and Ken Iwasaki, Input and Output Hand Gestures with Less Calibration Time, Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. ACM UIST2016, doi:10.1145/2984751.2985743 （Oct. 2016）
2. 玉城絵美, 岩崎健一郎, VR/AR コントローラのための研究開発, 人間生活工学研究センター「人間生活工学」, Article, Vol.19 No.1 , p.09-15 ,(2018 年 3 月).

さきがけ PRESTO

3. Ken Iwasaki and Emi Tamaki UnlimitedHand: Touch and the Game World International Symposium on Intelligent Functional Reconstruction of the Hand(IFRH), poster session, (Apr. 2017)
4. Yukinaga Nishihara, Daisuke Takahashi, Shin Fukui, Ryuhei Yoshida, Emi Tamaki, Evaluation of the Economic Effect of Climate Change on Rice Production in Japan: The Case of Koshihikari, Proceedings of 30th International Conference of Agricultural Economists, Vancouver, The International Association of Agricultural Economists(IAAE)(2018). (Jul. 2018)

（2）特許出願
研究期間累積件数：2 件

（3）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）
1. WIRED Audi Innovation Award 2016「UnlimitedHand」（2016 年 12 月）
2. 文部科学省 NISTEP 科学技術への顕著な貢献 2016
（ナイスステップな研究者）（2016 年 12 月）
3. 日経ビジネス「次代を創る 100 人」（2016 年 12 月）
4. NewsWeek 誌 Japanese Women Leading the Way-Tech Innovator（2018 年 1 月）
5. ロッキーチャレンジ賞，第 9 回ロッキーチャレンジ賞（2018 年 5 月）

以上

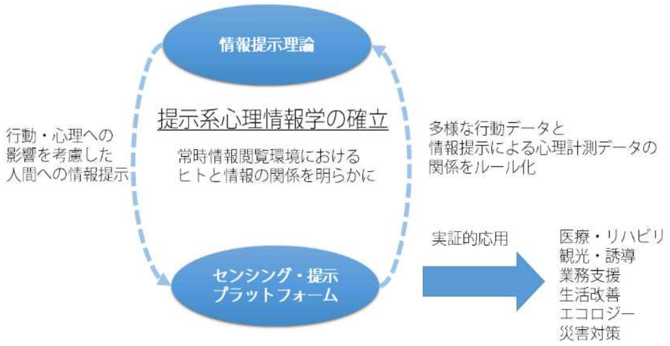
研　究　報　告　書

「「提示系心理情報学」確立のためのウェアラブルシステムプラットフォーム」

研究タイプ：通常型
研究期間： 2015 年 10 月 ～ 2019 年 3 月
研 究 者： 寺田 努

1． 研究のねらい

本研究で解決を狙う社会的課題は「きたる常時情報閲覧環境において、我々はいかに提示情報に制御されうるのか、またそれをうまく活用したときに我々は情報閲覧でいかに健康に、幸せに生きられるのかを明らかにし、その影響を予測可能な形で定式化すること」である。コンピュータは人間社会に深く入り込み、装着あるいは保持したコンピュータから常時情報を得ながら生活することは一般的になりつつある。例えば装着型ディスプレイを装着していると、画面を常時閲覧しながら生活するようになる。このような画面閲覧において、提示する数値やオブジェクトなどさまざまな要素が意図せずともユーザの心身に影響を与えている。提案者はこれまで、情報閲覧が心身および行動に影響を与えることを先駆的に示してきた。例えば、心拍情報をユーザに提示する際に、実際より高い値を提示すればその値につられて実際のユーザの心拍値が上がるといったように、提示内容に虚偽情報を含めることでユーザの生体情報が変化することを明らかにした成果である。これらの成果から、ウェアラブルコンピューティングにおいては情報提示が単に閲覧効率や認知負荷を評価軸にするのではなく、人間の心身に与える影響を考慮したものでなければいけないという着想を得た。本研究では以下の項目および下の概要図に示すような要素技術に基づき、「提示系心理情報学」と呼ぶ新たな研究分野を開拓することを目的とする。具体的には、ウェアラブルシステムにおける様々な情報提示方式と心理・身体影響の関係を定式化し、影響をポジティブに活用した学習・スポーツ等の支援システムを提供することおよび、ネガティブな影響を受けないための情報提供を行う。



<u>サブテーマ(1)： 情報提示の心身影響調査とその理論化</u>

本テーマはプラセボ効果、プライミング効果、心理的条件付けといった心理学的効果が、 コンピュータシステムにおける情報提示に対してどう働くかを定式化する。

<u>サブテーマ(2)： 人間の状態認識・情報提示のための ウェアラブルシステムプラットフォームの構築</u>

情報提示機構を確立するために、ウェアラブルセンサを用いて状況認識および情報提示を行うシステムプラットフォームを構築する。

<u>サブテーマ(3)： 実証的評価のための応用研究</u>

上記 2 テーマにおいて確立した理論とシステムを活用し、その実証的な応用研究を行う。

2. 研究成果

（1）概要

本研究で解決を狙う社会的課題は「きたる常時情報閲覧環境において、我々はいかに提示情報に制御されうるのか、またそれをうまく活用したときに我々は情報閲覧でいかに健康に、幸せに生きられるのかを明らかにし、その影響を予測可能な形で定式化すること」である。そのために、30個におよぶ情報提示と心理影響の関係を評価し、情報提示が人間の心身に与える影響を示した。例えば意味のない視覚刺激が人間の時間感覚を狂わせることを示したり、パブロフの犬的な学習を人間に適用することでメンタルスポーツの成績が向上することなどを明らかにした。さらに、そのような評価を行うために必要なセンシングデバイスおよび状態認識アルゴリズムを提案・実装した。これは例えば鼻腔情報を常時計測するウェアラブルデバイスを開発し、呼吸やストレスを常時計測できるようにしたり、睡眠中の眼球運動を常時計測できるようにした。これらの機器を用いることで、情報提示の影響を長時間にわたって継続的に計測できるようになった。さらに、実践的な応用として、モリサワフォント社と情報受容性の高いフォントの選別評価を行ったり、パラリンピックの日本代表選手に対してセンシング結果の情報提示を適切に行うことでフォームの改善を行うといった、現実社会での活用に近い取り組みを多数行った。

このように、提案する枠組みは、あらゆるユーザインタフェースにおけるデザインガイドラインを提示することになり、既存のインタフェースの体系的な分類も行えるようになるなど、社会に広く利用されるポテンシャルがあることを示した。一方で、実際にそれを行うための取り組みがまだ不足しており、情報提示の心身影響の体系化や情報提示ガイドラインの策定のために、今後の継続的な活動が重要になる。

（2）詳細

<u>サブテーマ 1: 情報提示の心身影響調査とその理論化</u>

本サブテーマではプラセボ効果、プライミング効果、心理的条件付けといった心理学的効果が、コンピュータシステムにおける情報提示に対してどう働くかを定式化し、またそれを活用して心身状態や勝負におけるメンタル維持、リハビリのモチベーション向上など実生活において役立つ情報提示技術としてどのように実現するかの枠組みを構築した。提案・調査した情報提示の心身影響およびその応用システムは 30 以上におよび、どのような情報を誰に提示するのかで分けてまとめたものを下図に示す。

	自己情報を		他の情報を	
自分に	(1)虚偽情報提示による生体情報制御 (2)心拍提示によるテンポ感維持 (3)表情自己提示による会話支援 (4)足圧提示による足圧バランス修正 (5)生身での着ぐるみ練習方法 (6)自転車ペダル情報提示による ペダリングスキル増強 (7)パブロフの犬効果によるメンタル制御 (8)歩数増加のための競争情報提示 (9)セルフカット向けカメラ情報提示 (10)非利き手練習のための反転情報提示 (11)偏咀嚼防止のための咀嚼情報提示 (12)自閉症者支援のための他者表情提示	バイオフィードバック	(13)充実時程錯覚による時間感覚制御 (14)プライミング効果による行動制御 (15)ARテクスチャ変更による誘導 (16)HMD揺れ対応フォント評価 (17)HMD映像ずれ影響調査 (18)視覚変更による主観音量制御 (19)同期感による人物誘導 (20)遅刻防止のための時刻表改変 (21)観光ルート提示による人物誘導 (22)リップシンク映像による カクテルパーティ効果生成 (23)リズム内在化によるドラム暗譜支援 (24)暗記支援のための替え歌生成	プラセボなど心理学効果一般
他者に	(25)LEDメガネを用いた情報発信 (26)自己行動を車メタファで他人に提示 (27)機械判定だるまさんが転んだ		(28)小型顔ロボット遍在 (29)見た目ディペンダビリティ (30)Mimebot	アートや錯視

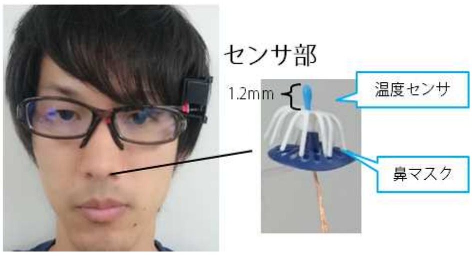
例えば(7)は、ダーツの投擲に対して、成功投擲にはポジティブ刺激、失敗投擲にはネガティブ刺激を与えて条件付け学習を行っておき、実際の本番投擲の際に先にポジティブ刺激を受けてから投擲すると優位にスコアが上がることを示した研究である。この研究では、上記学習を行わなかったとしても、投擲前に一般的にポジティブと思われる刺激(ファンファーレ音など)を提示するだけでも効果があることを示したが、上記学習を行うことでより大きな効果が得られることと、効果を引き起こすための学習数などの条件を明らかにした。さらに副次的な成果として、学習を行うことで極性が逆転し、ポジティブ刺激に対して大きくスコアを落とすタイプの被験者がいることを明らかにした。つまり、新たな情報提示機器や方式で情報を閲覧することで、一般とは異なる心理影響を大きく受けてしまうようなユーザを生み出してしまう可能性を示唆した。このような結果はこれまでまったく知られていなかった新しい成果である。また、(13)は、装着型ディスプレイや装着型振動子などで無意味な刺激を人間に与えると、その主観的な時間感覚が狂ってしまうことを示した研究である。従来の心理学では、充実時程錯覚と呼ばれる理論により、人間に与えられる刺激量が多いほど主観的な時間が長くなるとされていたが、本研究の成果では、短時間であれば装着機器からの刺激で充実時程錯覚が起こるが、長時間の刺激では逆に主観的な時間が短くなることを示した。装着型機器は常時利用が想定されるため、後者の影響が大きく、従来の心理学とは逆の結論を導いていることが新しい成果である。また、ウェアラブルデバイスは便利なだけではなく、こういった刺激によって人間の主観感覚が狂ってしまうひとつの例を提示できた。

その他、上表の 30 個の成果それぞれに関して詳細に説明はできないが、さまざまな実験によって情報提示が人間に与える影響を明らかにし、ウェアラブル機器が情報提示を行うにあたって気をつけなければいけない要素を示した。また、自己情報を自分にフィードバックすることはバイオフィードバックなどの研究分野ですでに盛んに行われているが、そのような取り組みにおいても心理影響を十分考慮する必要があることがわかった。また、情報を自分にフィードバックする取り組みは我々も他の研究者も多数行っているが、自己情報を他者に開示するような取り組みはあまり行われていない。しかし、自己情報の開示はウェアラブル情報提示の大きな応用のひとつとなり得るため、今後この部分のシステム提案、応用提案が重要になっていくと考えている。

サブテーマ 2: ウェアラブルシステムプラットフォームの構築

サブテーマ 1 のような評価研究を行うために、心理学分野ではアンケートやビデオ解析などの手法を使うことになる。しかし、新たに登場する数々の情報提示機器の影響を適切に評価するためには、センサを用いてユーザの状況を客観的に適切に取得できるプラットフォーム構築すること、また、それらの心理効果を活用した情報提示プラットフォームを構築することが重要になる。そのために、本サブテーマでは、まずウェアラブルで常時計測可能な状況認識デバイスや認識アルゴリズムをいくつか提案・実装した。例えば鼻部表面温度を常時計測することでストレスを計測するメガネ型デバイスや、鼻腔内の温度を常時計測することで呼吸やストレスを計測するデバイス(下図左)、フォトリフレクタアレイを備えたアイマスク型デバイスで睡眠中の眼球運動を計測し、睡眠状態を認識するデバイス(下図)、荷重セ

ンサを備えて机上での動作をかかっている力も含めて計測できる机、ストレッチセンサを備えて排泄を含めた状況を取得できる下着など、ユーザ状況計測するためのさまざまなデバイスを提案・実装した。これらのデバイスを用いることで情報提示がユーザに与えている影響を知ることができるようになった。また、状況に合わせて情報提示方法を動的に選ぶミドルウェアのプロトタイプを実装し、「提示系心理情報学」の考え方を取り込んだ情報提示機構を提案した。



<u>サブテーマ 3: 実証的評価のための応用研究</u>

提案した方式や知見を活用し、実証的・実践的な活動を多数行った。例えばモリサワフォント社とは、装着型ディスプレイが歩行時等に振動により揺れることが従来と異なる環境であることを明らかにし、情報受容性の高いフォントの選別評価や、ウェアラブルデバイス向けフォントの条件を明らかにする実験を共同で行っている。また、他者表情の提示システムを、他者表情を読み取りにくいことが知られている自閉症者に使用させ、自閉症者が周囲の状況を理解することで生きやすい世の中にするための情報提示システムを国立リハビリテーション研究センターと共同で開発している。さらに、あたかも着ぐるみを着ているかのように情報提示を行う着ぐるみアクターのためのトレーニングシステムは、着ぐるみアクター養成学校と共同で導入に向けて取り組んでいる。神戸異人館街では、提案した提示方式により人物流を混雑をさけて誘導する仕組みを備えた iPhone 用観光案内アプリケーションを作成し、実際に配布している。その他にも、化粧品会社と肌状態の常時計測およびフィードバックを行う仕組みの開発や、コンサル会社との、人によって適切な休憩の取り方を明らかにし、会社のパフォーマンスを高める取り組みを行うなど、本研究課題によって取り組んできた情報提示技術を、教育・観光・スポーツ・仕事・演出などさまざまな分野の現場において活用するための取り組みを推進し、いくつかはすでに成果が挙がっている。引き続き、電飾パフォーマンスのためのシステム開発会社等を含めて多数の連携を開始し、提案する考え方を応用したシステムやサービスを実世界投入していく。

3.　今後の展開

今後の展開としては、まず提示系心理情報学の枠組みに「影響予測技術」を加えることが挙げられる。本研究で提案したさまざまな情報提示技術は、統計的にみたときにその影響は予想通りに発生することを確認している。しかし、情報提示が人間の心身に与える影響には個人差があり、同じ情報提示によっても人によって全く逆の効果を引き起こす可能性がある。例えば、心拍数を増やすある情報提示によって、想定通りに心拍数が一貫して上昇するユーザもいれば、逆に心拍数が一貫して減少してしまうユーザも例外的に存在する。もし情報提示の適用前

に、その影響を個人ごとに予測できれば、情報提示を安全に、効率よく利用できる。このような認知プロセスの個人差は従来定量化・可視化する事が不可能なものである考えられていたが、近年では人の脳機能と認知機能の詳細な関連性解明が進んできた。そこで、脳機能解析の技術を発展的に応用することで、情報提示に伴う心理影響(認知プロセス)の個人差を事前に予測することを狙う。これまで本研究で明らかにしてきた心理的効果は、例外となる逆向きの効果を受ける人にとってとても危険な状況を生み出していたが、本技術によって提示系心理情報学の安全性が飛躍的に高まると期待できる。

次に、提示系心理情報学の体系化・ガイドライン化が大きな目標となる。もともと本研究課題において情報提示のガイドライン作成を初期目標としていたが、扱う情報提示技術が幅広いため、研究開始時点で、ガイドライン化を目標とするのではなく、調査したものを列挙してガイドライン化に使えるようなデータを示すことを目標にしていた。今後、引き続き新しい情報提示と心理影響の関係を調査する活動は進めていくが、4～5 年程度経過したタイミングですべての成果をまとめて、情報提示ガイドラインを策定することを狙う。

4. 自己評価

本研究課題で提案した「きたる常時情報閲覧環境において、我々はいかに提示情報に制御されうるのか、またそれをうまく活用したときに我々は情報閲覧でいかに健康に、幸せに生きられるのかを明らかにし、その影響を定式化すること」という目標は、現在でも前例のほとんどない研究課題であり、発展的なテーマが別の予算に採択されたことからも、研究課題設定自体はよかったと感じている。得られた成果のうち、情報提示の心理影響の明確化に関しては多数の新たな情報提示影響を発見し、それぞれがトップカンファレンスに採択されるなど研究としての成果は十分挙がっている。また、その技術を応用したシステムやサービスを企業との共同研究により実施し、数年内にも実サービスへの展開が見えている点についても目標通りの成果が得られたといえる。今後、さらに新たな情報提示機器や情報提示方法が提案されていくと思われるが、そういった新しい情報提示に関して、本課題で提案しているような評価の考え方が浸透し、あらゆる情報提示の評価に我々の考え方が利用されるようになることを期待している。また、そうなるような活動を継続的に行っていく。

一方、いくつか目標通りにならなかった点もある。まずは、情報提示と心理影響の関係の定式化を大量に行ったものの、現状ではそれを簡単に分類して列挙した状態になっており、体系化できていないことである。これはさきがけ研究として個人で進めるよりは、心理学、脳科学、法律等の専門家とチームを組んで進めるべきであり、今後の課題となった。

また、このような技術を OS の機能として取り込んだ、「心理影響の少ない情報提示を行う OS」を構築することも目標であったが、簡単なプロトタイプミドルウェアを構築したのみであり、このプロトタイプは実践的な現場では利用されていない。これらの情報提示メカニズムの確立及び現場利用が、社会実装のためには大きな課題となるが、そのためにはプログラマや普及団体との協力が必要になり、こちらも今後の課題である。

まとめると、提案する枠組みは、あらゆるユーザインタフェースにおけるデザインガイドラインを提示することになり、既存のインタフェースの体系的な分類も行えるようになるなど、社会に広く利用されるポテンシャルがあることを示せたが、実際にそれを行うための取り組みがまだ不足しており、今後の継続的な活動が重要になる。

5.　主な研究成果リスト

（1）論文（原著論文）発表

1. 菅家浩之，寺田　努，塚本昌彦，``フレーズ内在化のための学習フェーズ分離による打楽器学習支援手法,'' 情報処理学会論文誌，Vol. 59, No. 1, pp. 236—245 (2018 年 1 月)
2. Shuhei TSUCHIDA, Tatsuya TAKEMORI, Tsutomu TERADA, and Masahiko TSUKAMOTO, ``Mimebot: Sphere-shaped Mobile Robot Imitating Rotational Movement,'' International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 13, Issue 1, pp. 92--111 (Aug. 2017).
3. 双見京介，寺田　努，塚本昌彦，``条件づけ刺激を用いたメンタル機能制御支援システム,'' 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 5, pp. 1025--1036 (2017 年 5 月).
4. Naoya ISOYAMA, Masahiro KINOSHITA, Ryo IZUTA, Tsutomu TERADA, Masahiko TSUKAMOTO, ``YOUPLAY: Designing Participatory Theatrical Performance using Wearable Sensors,'' Journal of Mobile Multimedia, Vol. 12, No. 1&2, pp. 52--75 (Apr. 2016).
5. 奥川　遼，村尾和哉，寺田　努，塚本昌彦，``聴覚フィードバックを利用したペダリングトレーニングシステム,'' コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌), Vol. 33, No. 1, pp. 41--51 (2016 年 2 月).

（2）特許出願

研究期間累積件数：0 件

（3）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

主な受賞

1. International Journal of Pervasive Computing and Communications, Highly Commended in the 2018 Emerald Literati Awards (Jul. 2018)
2. 2018 International Conference on Cognitive Computing, Best Paper Award (Jun. 2018).
3. International Journal of Pervasive Computing and Communications, 2017 Outstanding Paper (Aug. 2017).
4. 13th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2015), Best Paper Award (Dec. 2015).

以上

研 究 報 告 書

「データ実証型医療に向けた非侵襲・高時間分解能生体ビッグデータ収集のための発電センシングー体型集積センサの実現」

研究タイプ：通常型
研究期間： 2015 年 10 月 ～ 2019 年 3 月
研 究 者： 新津 葵一

1． 研究のねらい

本研究のねらいは、すべての人に福祉と健康を提供することである。具体的には、誰もが健康なまま長寿を全うできる社会の実現に向けて、データに基づいたデータ実証型の生活習慣病予防医療に資するセンサ集積回路技術を開発し、それを社会実装へと結びつけることである。

近年のハードウエアならびにソフトウエア、アルゴリズム等の進展により、データの重要性が急速に増している。データは 21 世紀の石油と呼ばれるほど重要なものとなっており、データを収集・分析する技術の開発は急務である。本研究では、データ実証型の医療を目指し、より良質なデータ収集を目的としたセンサ基盤技術を開発する。具体的なアプリケーションとして、糖尿病医療・予防に資する血糖値推移データを非侵襲すなわち痛みをできる限り減らし、日常行動との相関が得られるほどの高い時間分解能で取得する血糖値推移モニタリングコンタクトレンズの実現を目標に掲げて研究開発を行う。

研究開発においては、コンセプトをシミュレーション等において検証するのみでなく、実デバイスを試作してプロトタイプ開発を通したプルーフオブコンセプトを行う。コンセプトを社会へと広めていき反応をみて、さらにブラッシュアップをしていく形で研究開発を進めていく。これにより、より社会実装を志向した研究開発を実現する。

発電センシングー体型集積センサ技術は、発電対象とセンシング対象が一致しているすべてのアプリケーションに対して適用可能な汎用な技術となりえる。そのため、発電とセンシングを一体化して行うための回路技術として体系化を行い、「発電センシングー体型集積センサ工学」のような新たな学問を構築することを最終的な目標とする。

2． 研究成果

（1）概要

本研究を通じて、“発電センシングー体型集積センサ”という概念の有効性の実証に成功した。発電とセンシングを一体して行うことにより、従来の回路アーキテクチャに比べて圧倒的に高性能化が可能となることを世界で初めて実証することに成功した。回路アーキテクチャの観点からのみではなく、社会実装に向けたシナリオを描き、それに向けて一貫した研究開発を行い、回路アーキテクチャからの社会と調和した情報基盤技術の構築への道筋を示すことに成功した。

具体的には、発電とセンシングを一体化して行う、発電センシングー体型集積センサ技術

を持続血糖モニタリングコンタクトレンズへと適用した。涙液糖からの発電とセンシングを一体的に行うことで、従来給電用に必須とされていたメガネ型端末を不要とすることに成功した。メガネ型端末が不要となることで、コンタクトレンズとメガネの同時装着が不要となり、利便性が大きく改善する。さらに、メガネ型端末が装着困難な就寝時においても血糖値推移モニタリングが可能となり、夜間糖尿病に対する対策としての有効性も期待される。

発電センシング一体型集積センサを実現するために、構成要素である半導体集積回路ならびにバイオ発電素子の研究開発を行った。半導体集積回路の研究開発においては、バイオ発電素子から得られた発電量情報を如何に効率よく無線送信へと結びつけるかに重点を置いて研究開発を行った。65nm CMOS プロセスを用いて半導体集積回路を製造し、0.385mm 角というコンタクトレンズに搭載可能なサイズの電源電圧変調型無線送信機回路を実現した。さらに、0.165V, 0.27nW という低電源電圧動作かつ低消費電力動作を実現することに成功した。

バイオ発電素子の研究開発においては、従来の 1.2mm 角という大きさを大幅に下回る 0.6mm 角のサイズまで小型化することに成功した。これをウエハレベルで製造するプロセスの研究開発に成功した。180mV という半導体集積回路を駆動が可能な電圧を達成する素子の製造歩留まりを 10%以上まで高めることに成功した。

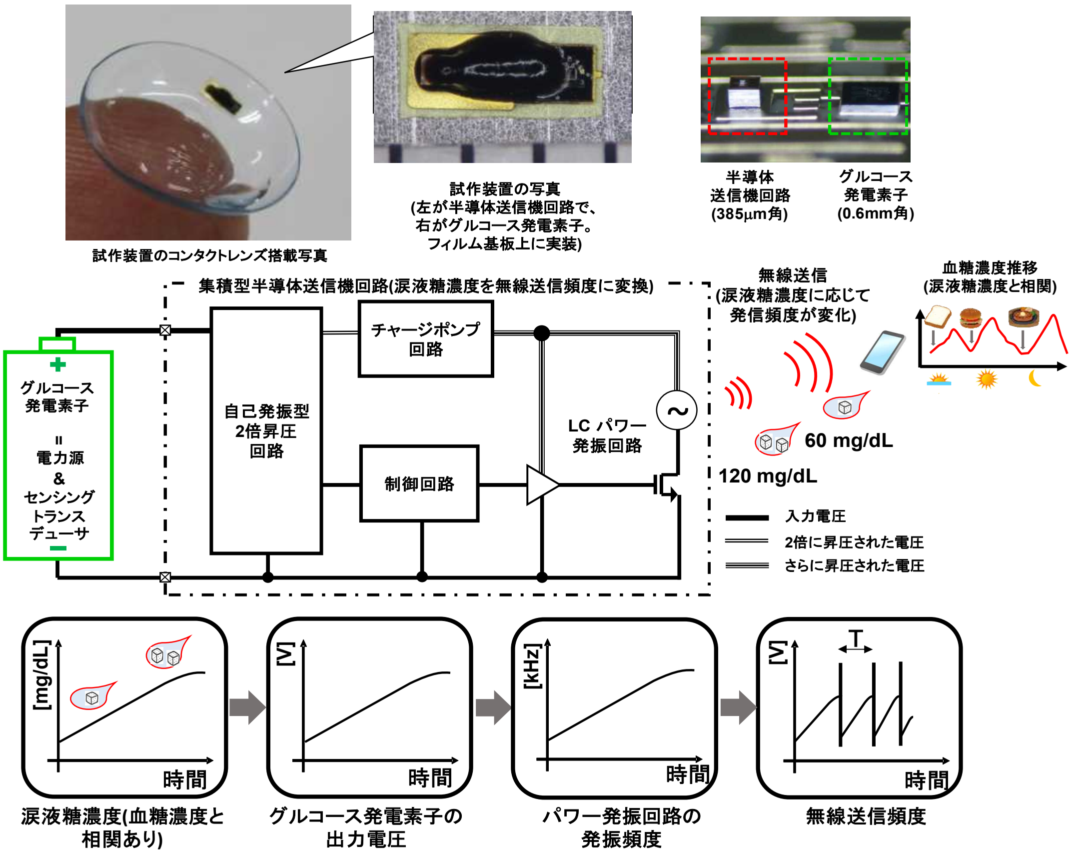


図1　発電センシング一体型集積センサを用いたメガネ型端末不要持続血糖モニタリングコンタクトレンズのコンセプト図

半導体集積回路とバイオ発電素子を組み合わせて、コンタクトレンズ上に搭載可能なサイズのプロトタイプの開発に成功した。実際にプリント基板上に実装し、涙液模擬生体食塩水での無線発信を確認することに成功した。これにより、世界で初めて、涙液糖で発電とセンシングを同時に行うコンセプトの実証に成功した。

（2）詳細

研究テーマ A「発電センシング一体型集積センサ用半導体集積回路」

発電量情報を無線発信頻度へと変換する回路技術の研究開発を行った。バイオ発電素子を半導体集積回路と組み合わせた際に、バイオ発電素子のアノード（正極）とカソード（負極）の2端子を半導体集積回路の電源電圧として活用することが可能となる。この電源電圧のみの情報から、無線発信頻度へと変換する回路技術の開発を行った。

研究開発においては、さまざまなアーキテクチャを試みたが、図1に示す自己発振型2倍昇圧回路とチャージポンプ回路、ならびに制御回路で構成するアーキテクチャの開発に至った。自己発振型2倍昇圧回路によって発電量を周波数に変換しつつ、チャージポンプによって無線発信に必要な電圧までの昇圧を行う。制御回路内の分周期によって、必要な時間分解能の無線発信頻度へと周波数変換を行う。

研究テーマ B「発電センシング一体型集積センサ用バイオ発電素子」

涙液糖から発電することが可能な、バイオ発電素子の研究開発を行った。具体的には、将来の半導体集積回路との混載を目指し、固体素子型のグルコース発電素子の研究開発を行った。CMOS プロセス互換を目指し、通常の半導体製造工程で使われている技術を基にした製造プロセスの確立を行った。

従来の固体素子型グルコース発電素子においては、パターニングにおいてウエットプロセスが採用されており、それが加工寸法のボトルネックとなっていることを明らかにした。そこで、本研究開発においては、世界で初めて固体素子型グルコース発電素子に対してドライエッチングプロセスを採用して、従来の 1.2mm 角を大幅に下回る、0.6mm 角という世界最小サイズを実現することに成功した。

研究テーマ C「発電センシング一体型集積センサの社会実装への模索」

発電センシング一体型集積センサを用いた持続血糖モニタリングコンタクトレンズを社会実装するにあたって、どのような課題があるかを検討するために活動を行った。シリコンバレーのベンチャーキャピタルの方々の前で実際にピッチを行い、その中で社会実装への課題を明らかにした。

研究テーマ D「発電センシング一体型集積センサへの人工知能技術適用」

発電センシング一体型集積センサを用いた持続血糖モニタリングコンタクトレンズの精度を高めるために、人工知能技術の適用可能性を探った。具体的には、持続血糖モニタリングコンタクトレンズにおける、低血糖予測のアルゴリズム開発を実施した。GitHub 上において公開

されている血糖値推移データを用いて、リカレントニューラルネットワークを用いた血糖値予測を行った。

3.　今後の展開

本研究成果をふまえて、 発電センシング一体型集積センサを実際の血糖値推移モニタリングコンタクトレンズとして社会実装を目指す。社会実装に向けて、実涙液サンプルでの精度評価を行う。実応用を目指し、瞬きをした際や目薬を投薬した際の動作検証をおこなう。また、安全性を検証するための動物実験を実施する。具体的には、2 枚のコンタクトレンズの間に研究開発成果のセンサデバイスを挟み込み、ウサギに装着させて安全性を検証する。

4.　自己評価

研究目的の達成状況については、当初の研究目的を達成することが出来た。研究目的である発電センシング一体型集積センサの実現においては、メガネ型端末不要の持続血糖モニタリングコンタクトレンズのコンセプト実証に成功したことで達成できた。

研究の進め方（研究実施体制及び研究費執行状況）については、適正な規模で実施することが出来た。研究実施体制として、複数の技術補佐員を雇用して実施にあたった。個人研究として実施しつつ、博士課程学生を育成することにも成功した。研究費の執行については、半導体集積回路の試作を通じて実際のデバイスでの実証をすることが出来たため、有効に活用することが出来た。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果（今後の見込みを含む）については、大きな発展が見込まれる。糖尿病の患者数は年々増加の一途をたどっており、特に今後は発展途上国における食の欧米化による深刻化が懸念されている。そのため、持続血糖モニタリングの市場規模は年率20％以上で成長することが見込まれており、5000億円以上の市場規模が予想されている。

本研究成果は、穿刺が不要な持続血糖モニタリングへと展開することが可能であり、糖尿病患者の方々のみならず、糖尿病予備軍の方々の健康支援に貢献することが可能である。今後、当該技術をさらに発展させ、持続血糖モニタリングの性能向上ならびにそれを通じた社会への貢献を狙う。さらに、当該技術は持続血糖モニタリング以外においても様々な応用へと展開が可能である。発電量を発電素子の電力でモニタリングするという「発電センシング一体型回路技術」の体系化を行い、応用開拓を図っていくことが大いに期待できる。

さきがけを通じて自身が最も成長したと感じるのは、「社会との調和性」を意識した研究開発を行う姿勢であると感じる。研究開発者として学問の探求・技術の向上を図ると共に、それを社会へと如何に調和させるかということを実践する場をいただいた3年間半であった。

5.　主な研究成果リスト

（1）論文（原著論文）発表

1. Kenya Hayashi, Shigeki Arata, Shunya Murakami, Yuya Nishio, Atsuki Kobayashi, and Kiichi Niitsu, "A 6.1nA Fully-Integrated CMOS Supply-Modulated OOK Transmitter in 55nm DDC CMOS for Glass-Free, Self-Powered, and Fuel-Cell-Embedded Continuous Glucose Monitoring Contact Lens," IEEE Transactions on Circuits and Systems II (TCAS-II), vol. 65, no. 10, pp. 1360-1364　(Oct 2018)
2. Kiichi Niitsu, Atsuki Kobayashi, Kenya Hayashi, Yuya Nishio, Kei Ikeda, Takashi Ando, Yudai Ogawa, Hiroyuki Kai, Matsuhiko Nishizawa, and Kazuo Nakazato, "A Self-Powered Supply-Sensing Biosensor Platform Using Bio Fuel Cell and Low-Voltage, Low-Cost CMOS Supply-Controlled Ring Oscillator with Inductive-Coupling Transmitter for Healthcare IoT," IEEE Transactions on Circuits and Systems I (TCAS-I), vol. 65, no. 9, pp. 2784 - 2796 (Sep. 2018)
3. Atsuki Kobayashi, Kei Ikeda, Yudai Ogawa, Hiroyuki Kai, Matsuhiko Nishizawa, Kazuo Nakazato, and Kiichi Niitsu, "Design and Experimental Verification of 0.19 V 53 μW 65 nm CMOS Integrated Supply-Sensing Sensor with a Supply-Insensitive Temperature Sensor and Inductive-Coupling Transmitter for a Self-Powered Bio-Sensing Using a Biofuel Cell," IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems (TBioCAS), vol. 11, no. 6, pp. 1313-1323 (Dec. 2017)
4. Shigeki Arata, Kenya Hayashi, Yuya Nishio, Atsuki Kobayashi, Kazuo Nakazato, and Kiichi Niitsu, "Wafer-scale development and experimental verification of 0.36-mm^2 228-mV open-circuit-voltage solid-state CMOS-compatible glucose fuel cell for healthcare IoT application," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 57, no. 4S, pp. 04FM04 (Mar. 2018)
5. Kiichi Niitsu, Takashi Ando, and Kazuo Nakazato, "Enhancement in open-circuit voltage of implantable CMOS-compatible glucose fuel cell by improving the anodic catalyst," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 56, no. 1S, pp. 01AH04 (Jan. 2017)

（2）特許出願

研究期間累積件数：2件（公開前の出願件名については件数のみ記載）

1.

発　明　者：新津　葵一

発明の名称：送信回路、生体分子検出装置、検出データ収集方法、
検出データ収集システム

出　願　人：国立研究開発法人　科学技術振興機構

出　願　日：2016年1月13日

出 願 番 号：特願2016-004336

(３)その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

主要な学会発表

1. Kenya Hayashi, Shigeki Arata, Ge Xu, Shunya Murakami, Dang Cong Bui, Takuyoshi Doike, Maya Matsunaga, Atsuki Kobayashi, and Kiichi Niitsu, "A 385um × 385um 0.165 V 0.27 nW Fully-Integrated Supply-Modulated OOK CMOS TX in 65nm CMOS for Glasses-Free, Self-Powered, and Fuel-Cell-Embedded Continuous Glucose Monitoring Contact Lens," in Proc. IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS 2018), pp. 1-4. (Oct. 2018)
2. Takuyoshi Doike, Kenya Hayashi, Shigeki Arata, Karim Nissar Mohammad, Atsuki Kobayashi, and Kiichi Niitsu, "A Blood Glucose Level Prediction System Using Machine Learning Based on Recurrent Neural Network for Hypoglycemia Prevention," in Proc. IEEE International NEWCAS Conference 2018 (NEWCAS 2018) (Jun. 2018.)

受賞

1.. 電子情報通信学会　末松安晴賞(電子情報通信学会)（2018 年 6 月）
2. 平成 29 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞（文部科学省）（2017 年 4 月）
3. IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS) 2016 Best Paper Award (IEEE) （2016 年 10 月）

著作物

1. Kiichi Niitsu, "Energy-autonomous biosensing platform using supply-sensing CMOS integrated sensor and biofuel cell for next-generation healthcare Internet of Things," Japanese Journal of Applied Physics: SELECTED TOPICS IN APPLIED PHYSICS, vol. 57, no. 10, 1002A5（Sep. 2018）

プレスリリース

1. 日本経済新聞　2018 年 10 月 28 日朝刊 「No. 1 を生む科学技術⑧　コンタクトレンズで血糖測定」（2018 年 10 月）

以上

研 究 報 告 書

「都市内の人々の活動・交通行動と施設集積メカニズムの解析技術開発」

研究タイプ：通常型
研究期間： 2015 年 10 月 ～ 2018 年 7 月
研 究 者： 原 祐輔

1． 研究のねらい

人口減少・少子高齢化が進む日本において、将来の都市計画・交通計画を立案するための人々の活動・交通行動分析は必要不可欠である。そのデータ収集のために、伝統的にはパーソントリップ調査などの社会調査が実施されてきたが、被験者の手間、膨大な費用、特定の 1 日の行動調査しか行えないなどの問題があった。しかし、現在は GPS 移動軌跡データを用いた行動調査や GPS 移動軌跡データを用いた交通状態モニタリングは一般的なツールとなっており、これらをもとに詳細な人の交通行動の観測やリアルタイムな交通状態の観測が実現可能となっている。一方で、このような GPS 移動軌跡データは個人の行動履歴を包み隠さず明らかにしてしまうというプライバシーの問題が存在し、これらのデータ収集・解析については議論がある。

また、計画論の観点では、日常的な行動もさることながら、災害時等の発生頻度の低いレア事象時における人の行動を理解・予測したいという要望が存在する。このような場合において、これまで重要視されてきたのは、交通サービス変数と社会経済属性（年齢、性別、職業等）である。 しかし、社会経済属性が行動に与える影響・メカニズムの分析はなされることが少なく、また、働き方・暮らし方の多様化することによって、固定化された社会経済属性の分類と現代的な生活スタイルとの乖離が大きくなっているという問題が存在した。そのため、各個人の行動習慣や選好をより適切に表現方法が求められている。

本研究では、このようなプライバシーを含む GPS 移動軌跡データを各個人が自ら分析可能とする GPS 軌跡解析器の開発と、各個人が第三者に共有可能なデータフォーマットの提案、そして、そのデータフォーマットが従来の社会経済属性と比べて、十分な情報量を有しており、非日常時の行動予測に利用可能であることを実証的に示す。これにより、個人のプライバシー、長期的に交通行動データ観測可能なプラットフォーム、計画立案に寄与するデータの質を将来的に担保することを目指す。

2． 研究成果

（1）概要

本研究課題における成果は主に次の 3 つの研究テーマに分けられる。

A)GPS 軌跡解析器の開発
B)行動スタイルデータの提案と安定性評価
C)行動スタイルデータを用いた非日常行動予測

以下に詳細を記す。

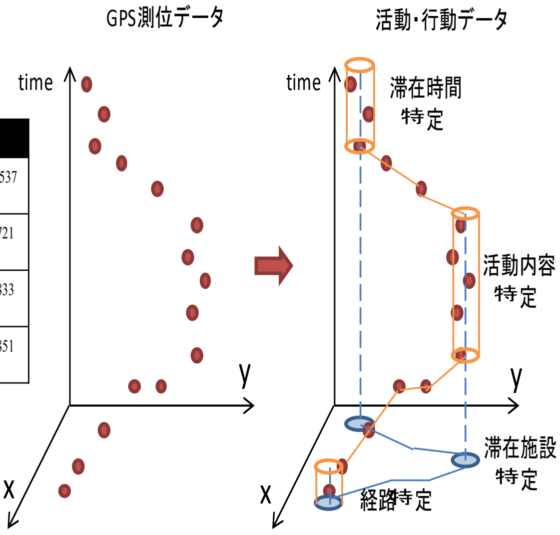
（2）詳細

研究テーマ A「GPS 軌跡解析器の開発」

人々の GPS 移動軌跡データを収集する企業は多いが、プライバシーの問題のために、道路リンク単位の集計（渋滞情報、所要時間提供）やメッシュ単位の集計（混雑情報、ヒートマップ）として提供されることが多い。これらは空間モニタリングとしては有用である一方、都市計画用途のための個人単位の分析が困難である。一方で、現在、多くの個人はスマートフォン等の移動収集センサーを有しており、自ら収集して解析できる時代となっている。そのため、テクノロジーの民主化を進めるために、各個人が自身の GPS 移動軌跡データを解析可能なツールとして、GPS Trajectory Analyzer: Catsudon を開発した。

本ツールは OpenStreetMap をベースにした日本全国の道路情報を内部に有しており、時刻、緯度、経度の 3 つで構成される GPS 時系列データを入力とすることで、自動的に移動・滞在判別、経路特定、活動場所特定、活動内容特定を行い、結果を出力するツールである。結果は構造化された社会調査である既存のトリップ単位データと同じフォーマットであり、人間が解釈しやすいデータとなっている。このようなツールは、各個人が自身の行動ログを分析・可視化するための small data 分析用途に用いることが可能であり、またビッグデータの前処理ツールとして利用することも可能である。このツールは誰でも利用可能なオープンソースとして、github 上で公開している。

timestamp	lat	lon
2014/4/1 7:45:12	38.220633	140.728537
2014/4/1 7:46:31	38.22076	140.72721
2014/4/1 7:47:54	38.22092	140.72833
2014/4/1 7:49:21	38.22094	140.72851



出発地	目的地	出発時刻	到着時刻	経路
自宅	東北大学情報科学研究科	2014/4/1 7:46:31	2014/4/1 8:15:50	
東北大学情報科学研究科	けやきダイニング	2014/4/112:15:31	2014/1/1 12:21:40	
けやきダイニング	東北大学情報科学研究科	2014/4/1 12:53:46	2014/4/1 12:58:34	
東北大学情報科学研究科	自宅	2014/4/1 20:16:49	2014/4/1 20:45:37	

図：GPS 軌跡解析器 Catsudon の一例

研究テーマ B「行動スタイルデータの提案と安定性評価」

上述のツールでは、活動場所特定や活動内容特定を行うことができるため、個人がある時間帯にどのような活動場所に滞在しているかを集計的に表現することが可能である。長期間のある個人の行動データを上述のツールを用いて処理し、時刻別の活動内容の確率分布として、一個人を表現するデータフォーマットを本研究では行動スタイルデータと名付けた。具体的には移動、自宅、職場、買い物施設などの 15 種類の活動を 5 分単位で確率分布として表現している。個人の行動履歴をこのように情報圧縮することで、空間情報や正確な時間情

さきがけ PRESTO

報を捨象する一方で、各個人の行動特性のみを抽出することを目的としている。

このような行動スタイルデータの特性を検証するために、東京都市圏で 600 名、3 ヶ月の GPS 行動調査を実施し、これらの実証データをもとに行動スタイルデータの有用性の検証を行った。その結果、行動スタイルデータは各個人の従来の社会経済属性（性別、年代、職業）を高い精度で予測できた。加えて、 3 ヶ月の調査期間を前後 1。5 ヶ月ごとに分割し、前期・後期の各個人の行動スタイルデータ間の距離(KL divergence)を用いてマッチングしたところ、8 割以上の個人が同一個人として高い確率で識別可能であることを示した。この結果は行動スタイルデータの次の 3 つの性質を表している。(1)行動スタイルデータは空間情報や時間情報を捨象しているため、個人にとってプライバシーが保護される、(2)行動スタイルデータは社会経済属性を包含する情報量を有している、(3)行動スタイルデータは(3 ヶ月という期間の中で)中期的に安定的である。

研究テーマ C「行動スタイルデータを用いた非日常行動予測」

本研究課題の大きなねらいの一つに、めったに発生しない災害時やイベント時といった非日常時の行動予測がある。既往研究でも示されているように、人々の日常時の行動履歴を収集すれば、 人々の日常時の行動を高い精度で予測することが可能である。これは人々の日常行動に強い習慣性が存在することに起因する。一方で、非日常時の行動は習慣性として直接現れるものではないため、予測が困難である。本研究テーマでは、日常時の行動履歴そのものから、非日常時の行動を予測可能であるかどうかを検討する。

具体的には、日常時の行動履歴は上述の個人別の行動スタイルデータを用い、非日常時の行動として、年末年始の長距離トリップの有無に着目した。600 名のサンプルを訓練データとテストデータに分割した上で、行動スタイルデータを特徴量として、長距離トリップの有無を予測するモデルを畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いて構築した。また、行動スタイルデータとの比較のために、従来の社会経済属性（性別、年齢、職業）を用いたモデルも同様に構築した。結果として、テストデータによる交差検証時の予測精度は、従来の社会経済属性では 0.55 とほぼ予測できないのに対し、行動スタイルデータでは 0.75 と高い精度で、日常時の行動スタイルから非日常時の行動を予測可能であることが示された。これは、日常時の行動履歴の中に各個人の選好やライフスタイルといった固有の特徴が含まれており、その微小な差異によって、非日常時の行動が予測可能であると考えられる。ここから、個人を単純にラベリングしてしまう従来の社会経済属性よりも、行動スタイルそのものを、個人表現の指標として用いる方が、有用であるという結果が示された。

3.　今後の展開

本研究の成果を整理した上で、今後の展開を述べる。まず、GPS 軌跡解析器の開発によって、研究者や実務者のみならず、一般の人々が自分自身の GPS 軌跡ログを解析し、可視化できるようになった。その際に、空間的・時間的プライバシーが保護された行動スタイルデータを出力し、個人は選択的にそのデータを提出するか否かを決定することができる。このデータは中期的に安定しており、個人を表現するのに十分な情報を有しており、かつ、非日常時のデータと組み合わせることで、予測モデルを構築することも可能であることが示された。

さきがけ PRESTO

以上を鑑みると、各個人がそれぞれ自身の行動軌跡をロギングし続け、都市計画的に重要な課題、たとえば災害時や新規路線の建設といった事象の発生時に、これまでの行動スタイルと直後の行動をセットで解析することで、これまで分析が難しかった非日常時の行動の理解や政策評価、また長期的なライフスタイルの変化が都市内の活動・交通行動に与える影響を分析することが可能である。このような行動スタイルを中心に据えた交通行動分析の方法論を構築したいと考えている。

4. 自己評価

研究当初の目的である GPS 軌跡解析器の開発は概ね達成した。また、東京都市圏を対象とした GPS 行動調査およびそれらのデータを用いた解析についても、本研究の仮説通りの結果を実証し、GPS 軌跡解析器の有効性を示した。また、これらの出力結果である匿名化された行動スタイルデータが人々の日常・非日常を問わず、予測に有用であることや個人属性特定に有用であることを示し、新たなデータ収集・解析手法を提案することができた。このようなデータ解析手法は、今後ますます重要となるプライバシーの問題を解決するとともに、災害時や特定イベント時といった非日常行動予測に有用であり、新たな社会調査手法・解析手法として様々な社会的問題の解決につながると考えられる。海外研究機関への異動のために、最終年度に本研究課題をあまり進めることができなかったことが心残りであるが、今後も引き続き本研究テーマを深めていきたいと考えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Yusuke Hara, Behavioral mechanism design for transportation services: Laboratory experiments and preference elicitation cost, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.115, pp.231-245, doi:10.1016/j.trb.2018.07.008 (Sep. 2018)
2. Yusuke Hara, Junpei Suzuki, Masao Kuwahara, Network-wide Traffic State Estimation using a Mixture Gaussian Graphical Model and Graphical Lasso, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.86, pp.622-638, doi:10.1016/j.trc.2017.12.007 (Jan. 2018)
3. Yusuke Hara, Eiji Hato, A car sharing auction with temporal-spatial OD connection conditions, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.117, pp.723-739, doi:10.1016/j.trb.2017.08.025 (Nov. 2018)
4. Yusuke Hara, Eiji Hato, Analysis of dynamic decision-making in a bicycle-sharing auction using a dynamic discrete choice model, Transportation, article in press, doi: 10.1007/s11116-017-9795-x (Jul. 2017)
5. 末木祐多, 原祐輔, 佐々木邦明, 澤田茜, 有働友哉, 定常的交通行動に着目した個人表現に基づく休日の買い物目的地選択モデルと来訪要因分析, 都市計画論文集, Vol.53, No.3, pp.1327-1334 (2018 年 10 月)

（2）特許出願

研究期間累積件数：0 件

（3）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

1. 原祐輔, GPS 軌跡解析器の開発と長期観測データを用いた新たな個人属性の提案, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, CD-ROM, 2017.
2. 稲垣和哉, 原祐輔, 桑原雅夫, 店舗の空間的・業種的共起関係に基づいた中心市街地の潜在構造分析, 土木学会論文集 D3, Vol.72, p.I_473-I_485, 2016.
3. 原祐輔, 人の動きから、まちを眺めよう ―移動の記録が教えてくれるもの―, 日本科学未来館サイエンティスト・クエスト, 日本科学未来館 （ 2016 年 10 月）.
4. Yosuke Kawasaki, Masao Kuwahara, Yusuke Hara, Takuma Mitani, Atsushi Takenouchi, Takamasa Iryo, Junji Urata, Investigation of Traffic and Evacuation Aspects at Kumamoto Earthquake and the Future Issues, Journal of Disaster Research, Vol.12, No.2, pp.272-286 doi:10.20965/jdr.2017.p0272 （Mar. 2017）
5. Yet Another GPS Trajectory Analyzer: Catsudon, https://github.com/harapon/catsudon （Feb. 2017）

以上

研　究　報　告　書

「歩行の感覚統合過程モデルの構築と誘導手法への応用」

研究タイプ：通常型
研究期間：　2015 年 10 月～2019 年 3 月
研 究 者：　古川　正紘

1．　研究のねらい

本研究では、意識させることなく「いま、ここで」歩行者を助けるための情報基盤技術の開発を行った。将来的には、歩行者が特段意識を払わなくても公共空間での歩行者の混雑が緩和され、また道に迷っていることにも気づかないうちに目的地に知らないうちに到着してしまう、という未来の移動手段の創造につながることを期待している。

そこで本研究では具体的な課題として次の二つを対象とした。一つ目は多くの歩行者が集まる公共空間で生じている課題である。公共空間の中でも都心部の駅やホームでは非常に多くの歩行者が集中し、混雑するだけでなく歩行者の渋滞や衝突が発生しがちである。またホームからの転落事故、駆け込み乗車、さらは歩きスマホ中などに歩行者間の衝突事故などが問題となっている。二つ目は、一人の歩行者が初めて訪れる場所で生じている課題である。今までは地図をあらかじめ印刷して持ち歩いたが、現在では多くの人がスマートフォンの地図アプリや道案内アプリに頼るようになっている。本研究では、これらの課題を解決するために、歩行者に錯覚を生じさせるための感覚提示技術を構築した。

歩行は、普段特に意識しなくても自然に行える動作である。しかし歩行をよく観察すると、様々な感覚に頼って運動が作り出されていることに気づく。これを利用し、本研究では歩行のために使われている感覚に錯覚を生じさせ、歩く方向を誘導する手法の提案を行った。そこでまず公共空間向けの錯覚誘導技術として、シート状のレンズに床が動いて見えるようなパタンを印刷することで、このシートの上を歩いた歩行者がみかけの床の流れの方向に誘導される方法を構築した実際の公共空間の一例として、科学館でシートを敷いて多くの来場者に歩いてもらう歩行実験を行い、交通整理効果の実証と今後の課題点を明らかにした。さらに、誘導効果をもたらす図案の設計法を構築した。

従来から知られていた課題の一つとして、錯覚を生じさせることで歩行者の歩いていく方向を誘導する場合、感覚を提示した瞬間から2歩程度効果が生じないことが知られていた。そこで本研究では、歩行状態の2歩先を予測するための予測技術として機械学習を用いた手法を構築し効果を実証した。これにより歩行方向の2歩先の予測が実現したため、錯覚を用いた歩行誘導において遅延なく歩行誘導を行うための技術基盤を構築した。

2. 研究成果

(1)概要

人は視覚的手掛かりにも頼ることで安定した歩行が実現され、視覚誘導性姿勢反射と呼ばれている。本研究で用いる錯覚提示技術はこの反射を活用しており、歩行者は床面が移動していくかのように錯覚した結果、歩行誘導効果が生じる。

しかし従来研究では概念実証のみで誘導効果量の定量的設計法が明らかでなかった。そこで、この効果が歩行者の左右方向の床の移動速度・濃淡の周期に起因すると仮定し、VR環境を用いた心理物理実験の結果、視覚刺激の濃淡周期の通過速度に対する誘導効果量が累積正規分布関数で近似可能であることがわかった。これにより期待される歩行誘導効果を得るための視覚刺激設計法を構築することに成功した。本知見を拡張し、1 点に集中した誘導を実現するための光学素子設計法を提案し、概念実証に成功した。視差バリア方式を用い、歩行者の進行方向に依存した刺激の移動方向の逆転を実現した。

錯覚刺激を行なっても歩行誘導効果が認められない時間(潜時)が 2 歩程度であるという知見から、実時間歩行誘導には歩行状態の予測が不可欠である。そこで、機械学習により歩行運動の予測技術を構築した。全身の各点の運動速度から頭頂部にある観測点の未来予測の結果、2 歩分に相当する 1 秒先行した運動予測に成功した。これは、3 層パーセプトロンに歩行運動の時系列データを未来過去に渡り与え学習させることで実現しており、機械学習による未来予測に足る特徴量が歩行運動から計測可能であるという強い証拠であるとともに、実時間歩行誘導の実現のための重要な成果を得た。

敷設光学系による歩行誘導手法が実社会に与える影響について明らかにするために、科学館で一般来場者を対象とした社会実装実験を行なった。敷設した環境内での予備知識を持たない来場者の行動を定点カメラで撮影するとともに、体験者からの内観報告を収集した。行動と内観報告を敷設の有無と対比させながら解析した結果、敷設されていることに気づかずに誘導され対向して接近する歩行者が回避する方向へ寄与したと考えられる場面が認められた一方で、視覚刺激が目眩などの不快感を生じさせたという内観や、物珍しさが反対に注意を引きつけ足を留まらせる場面が少なくないなど、社会実装上の課題を明らかにすることができた。

(2)詳細

研究テーマ A「視覚誘導性姿勢反射を用いた歩行誘導基盤技術の確立」

歩行誘導基盤の要素技術として、(a)誘導効果量の定量的設計法の解明と(b)光学設計法の拡張を挙げた。視覚誘導性姿勢反射による歩行誘導効果の定量的効果測定のため、歩行者の進行方向と直行する左右方向に黒白ストライプ柄を並進運動させ、床面上から観察される視覚流動(Optical flow)をストライプの移動速度・空間周波数として制御し、直進歩行の左右方向への移動距離を誘導量と定義しVR環境内で測定した。誘導量はストライプの移動速度・空間周波数いずれにも依存したことから、単位時間あたりの濃淡周期通過数という正規化単位[cycle/s]を用いて結果を整理した。その結果、視覚刺激の濃淡周期の通過速度 V に対する誘導量は累積正規分布関数で近似可能であり、誘導量は 0～2[cycle/s]までは概ね線形に増加し、それ以上の域値では誘導効果が飽和することが明らかになった[図 1 左]。過度な通

過速度 V は、誘導効果の低下要因になるという予測に反し、誘導量は飽和値に留まり低下しなかった。これは飽和値付近の誘導量を実現する場合は V の設計制約は約 2[cycle/s]より高い域値であれば V の域値は広範囲に選択可能であることを意味する。

誘導方向の拡張のために、一例として特定の 1 地点への誘導刺激を表出可能な光学素子設計法を提案した。従来のレンチキュラ光学系では 1 レンズあたりの見込角が狭いことが原因となるレンズピッチ間のクロストークの影響があり、観察位置による誘導方向の切り替え制御が困難であったため視差バリア方式を用いた[図 2]。視差バリア方式では、開口部であるスリットから表出する図案により誘導効果を期待するものであり、スリット間の間隔を広く取ることで、ピッチ間で生じる図案のクロストークを防ぐことができた。これによりシートに鉛直な面を境に、観察角度に応じた誘導方向の切り替えを実現した。図 2 は、対向者が同一地点に誘導されることを目的とした光学素子の図案設計例である。この図案もまた、前述の誘導量設計値を基盤とした設計が可能であることから、刺激設計法のモデル化という目標を達成できた。

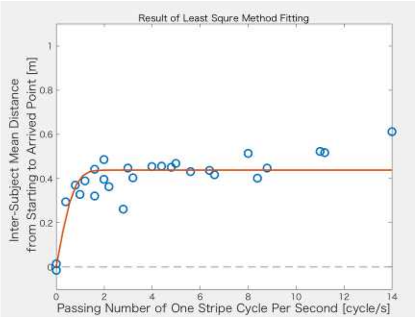


図 1 視覚刺激の歩行方向に直交したストライプの濃淡周期の
移動速度[cycle/s]に対する左右方向の誘導量[m]

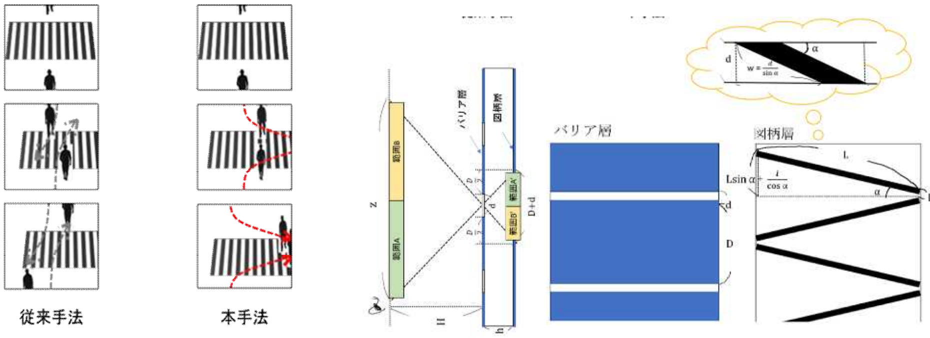


図 2 特定の 1 点に集中する誘導力を期待する誘導手法の概念図(左)。
観察角度に応じて誘導方向が異なる視差バリア設計法(右)

研究テーマ B「歩行運動の予測基盤技術の開発と実証」

歩行運度の予測技術は、自動運転車が歩行者との衝突を回避するための歩行者の経路予測や、都市設計の観点での歩行者の流量予測モデルなどが挙げられる。これらの研究は、群制御や定速歩行を前提としており、本研究で目指す歩行誘導技術で目指す実時間経路予測が行われていない。そこで、機械学習を用いた歩行運動の予測技術の開発を行なった。

将来的にはウェアラブル装置で計測可能な身体運動を特徴量として用いることを考えるが、本実験では ground truth として計測室内に設置した運動計測カメラで計測された運動デ

一タを用いた[図 3 左]。11 名の被験者を対象に歩行運動計測を実施し、10 名分の有効サンプルを取得した。当該データは観測点 25 点の並進速度 3 自由度の時系列データであり、これを 3 層全結合型ニューラルネットの入出力教師データとして用いて機械学習を実施した。2 歩先は歩行周期から考えると予測先行時間は 1 秒であるため、これを予測対象時刻とした。その結果を一部図 3 右に示す。灰色で描画された観測軌跡に対し、黒色で描画された予測軌跡を比較すると、1,2 歩先までは両者が比較的一致している一方で、3 歩先の予測は困難であることがわかった。この制度を達成するために要した時系列データ点数は 300Hz サンプリングで 1 秒分の時間幅があり比較的データ点数が膨大であるが、データの間引きを経ても推定精度に再現性があることが認められたことから、歩行の予測技術の構築という目標を達成できた。

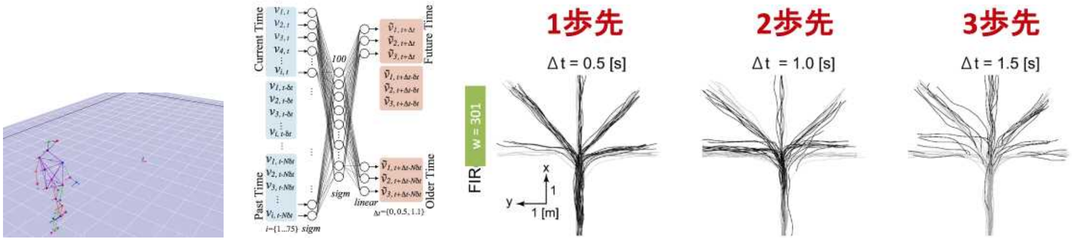


図 3 歩行運動の観測点(左)。歩行運動を学習する 3 層全結合型ニューラルネット(中)。
実軌跡(灰)と予測軌跡(黒)の対比、2 歩先の予測に成功(右)。

研究テーマ C「歩行誘導技術の社会実装実験による効果検証と課題抽出」

日本科学未来館で 3 日間、事前知識がない状態の一般来場者を対象に敷設型光学系を用いた歩行誘導手法の実証実験を行った[図 4]。交通整理という観点から、概ね直線上の歩行動線が期待できる廊下区画と、対向者の挙動を観察可能なパーティションで区切られた閉鎖区画との両区画で歩行現象への寄与を観測した。閉鎖区画内では参加者の正面・背面からビデオ撮影を行なったため、撮影に対する同意書を取得した。実験参加者は同意書取得数から約 400 名と見積もられた。廊下区画では、実験日ごとにシートの敷設有無を切り替え、両条件を対比した。閉鎖区画では、同区画内の片側だけに敷設し、敷設した区画へ進入する方向と離脱する方向とで誘導効果を対比した。また両区画に共通して、対向者が進行方向のどちら向きにお互いを避けるのかを評価した。その結果、単独歩行の場合は設計時に期待した歩行誘導効果が認められる場合があった。特に、閉鎖区間を体験した歩行者からは内観報告を収集したが、敷設物の存在に気づかなかった参加者が少なくなかった。また、対向歩行の場合は、設計した誘導方向に回避したとみなせる例はわずかではあるが認められた。敷設物に足を踏み入れない参加者も認められ、内観報告によるとめまいを訴えていた。刺激強度の設計も含めた設計改善の方向性が明らかとなり、社会実装実験の実施という目標を達成できた。

図 4 日本科学未来館での社会実装実験。左 2 枚目が廊下区画、右 1 枚目が閉鎖区画。

３．今後の展開

公共空間の交通整理を目的とした実証実験と継続して実施することで、視覚誘導性姿勢反射を用いた歩行誘導効果の実証と、当該方法論の社会的受容性を促していく。特に公共交通インフラへの適用を強く推進し、実際にユーザの目に触れる環境下での実証実験を繰り返し、同時に啓蒙効果を期待する。さらに個人を目的地へ誘導するための意識させない誘導手法というシナリオの有用性を社会に問いかけていくために、より実用段階に近い前提で実証実験を行う。特に本研究成果の最大の課題は、歩行運動の予測に基づいた錯覚刺激の制御であるため、並行してこの効果を実証していく。さらに公共空間での歩行者の歩行運動予測から、当人の要求を事前に予測することで「今、ここで」求められる潜在的な要求を発見した上で先行して応えられる歩行誘導基盤技術への発展を持続させていく。

４．自己評価

研究目的の達成状況

当初の研究目的である歩行者の感覚統合モデルという観点では、VR 空間内での歩行実験を通した心理物理実験によって、視覚刺激設計のためのモデル化を達成することができた。感覚統合の機序を陽に説明するための解析的モデルを立てる方針を当初は打ち出していた。しかし、機械学習の性能が飛躍的に向上していく現状を鑑み、機序の説明には向かないが工学的には歩行の予測目的の達成を優先し、機械学習を採用した。結果的に、当初の目標である 2 歩先の歩行の予測に成功することができた。敷設型光学系の社会実装に関してもまた、日本科学未来館の協力を得ることができ、実社会に比較的近い環境下で効果を実証することができたことから、最終的に社会実装には至っていないものの、研究期間内の実証という目標は達成できた。総じて研究当初の計画から手法は異なるものの、目的を達成することができたと考えている。

研究の進め方（研究実施体制及び研究費執行状況）

研究実施体制としては、研究補助員を 3 年次より採用したことで進捗を加速することができた。具体的には、データの整理や解析プログラムの開発補助、歩行運動計測実験の実施、光学素子設計補助と多岐にわたり協力を得ることができた点は、妥当な研究実施体制を継続できたことによるものと考えている。研究費執行状況については、1 年次に歩行運動計測に必要な機材を十分に揃えることができたことから、以降持続的に解析や実験の繰り返しを行えるようになった点は、妥当な研究費執行状況であったと考える。また 110 平米の実験室を借り上げることができ、歩行運動計測には理想的な環境構築を 1 年次から行うことができた。また当初の計画通り、多数回の光学素子の試作を実施することができた点は、早い段階から現象の理解とノウハウの蓄積に貢献しており、知財の出願に至る主要因であった。また機械学習設備の構築にも 2 年次より着手し、早い段階から機械学習に取り組めた点は、目標の達成に大きく寄与したと言える。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果）

歩行運動予測については、他分野でも身体運動予測に注目が集まるきっかけとなるさきがけ的研究であったと自負している。社会・経済への波及効果は、視覚誘導性姿勢反射や前庭感覚刺激などの錯覚刺激を用いた歩行誘導手法に対する社会の理解を得ることが不可欠である。日本科学未来館で収集した内観報告によれば、実現を期待する声が少なくなかった点は、社会・経済への波及効果の大きさを示唆するものである。また民間企業との議論を通しても、現場からの要望は強く、研究推進の意欲につながっている、これは、さきがけへの応募を志した頃に目指した研究者像である、数理的理解に根ざした工学的設計と、社会実装の実現ができる研究者という像に、さきがけ期間を経て大いに近づけたという実感があるからである。

5. 主な研究成果リスト

（1）論文（原著論文）発表

1. Augmented Human 投稿準備中
2. 日本バーチャルリアリティ学会投稿準備中 2 件

（2）特許出願

研究期間累積件数：2 件（公開前の出願件名については件数のみ記載）

1.
発　明　者：　古川　正紘、 坂本　伸仁、 前田　太郎
発明の名称：　模様変動シート、歩行誘導方法及び歩行誘導システム
出　願　人：　大阪大学
出　願　日：　2017/5/12
出 願 番 号：　特願 2017-095606
国際出願番号：PCT/JP2018/018082（予備審査請求中）

（3）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

学会発表

1. Kohei Matsumoto, Masahiro Furukawa, Kosuke Wada, Masataka Kurokawa, Hiroki Miyamoto, and Taro Maeda, Verification of necessity of equivalent gravity in telexistence with scale conversion for utilization of humanoid small robot, the 28th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2018) and the 23rd Eurographics Symposium on Virtual Environments (EGVE 2018), (Nov. 2018)

著作物

1. （編）暦本　純一,（第8節）前田　太郎,古川　正紘, (株)エヌ・ティー・エス, オーグメンテッド・ヒューマン Augmented Human―AI と人体科学の融合による人機一体,究極の IF が創る未来,第 8 節 感覚の伝送・拡張・共有技術(pp.293-302), （2018 年 1 月）

メディア報道

1. NHK 総合「サキどり↑」2016/6/19(日) 歩行誘導シート, (2016 年 6 月)

アウトリーチ

1. 古川正紘,サイエンティスト・クエスト―あなたと考えるあたらしい科学とくらし「気づかずに、変えられている、歩き方」,日本科学未来館 (2016 年 8 月)

2. 古川正紘,敷くだけで片側通行を実現する完全無電源の歩行誘導シート,イノベーション・ジャパン 2017 (2017 年 8 月)

招待講演

1. 古川正紘,テレイグジスタンスによる小型人型ロボットの歩行,第 117 回ロボット工学セミナー 身体機能の拡張技術がもたらす人類の未 (2018 年 11 月)

以上

さきがけ PRESTO

研　究　報　告　書

「エコファーマによる高速かつ省エネ創薬を実現する情報技術の構築」

研究タイプ：通常型
研究期間：　2015 年 10 月　～　2019 年 3 月
研 究 者：　山西　芳裕

1．　研究のねらい

近年、新薬の開発が低迷している。新薬を一個開発するのに数千億円の研究開発費と 10 年以上の歳月を要すると云われており、新薬開発の成功率は非常に低い。有効な治療薬が無い疾患に今苦しんでいる患者に対して、迅速な救済措置が必要である。一方で、我が国は少子高齢化の到来による医療費の増大にも直面している。つまり、疾患治療のための必要な新薬は開発しつつ、一人当たりの医療費を抑制すべきという難しい社会的課題に迫られている。そのためには、我が国の創薬体制を根本的に改革し、新しい 21 世紀型医療へのパラダイムシフトが不可欠である。

本研究では、新薬候補を人類の資産である既承認薬から見出す創薬戦略「エコファーマ」（文脈によりドラッグリポジショニングやスマート創薬などとも呼ばれる）を提唱し、それを促進する情報基盤技術を構築する。既承認薬はヒトでの安全性や体内動態、製造方法が確認されているため、エコファーマによる創薬は失敗するリスクが低いという特長がある。行程を大幅にスキップできるため開発期間やコストを劇的に削減でき、高速かつ省エネ創薬を実現できる。例えば、世界的に大流行して多くの死者を出したエボラ出血熱の治療薬として、インフルエンザ治療薬のアビガンの有効性が報告されたことは記憶に新しい。

本研究期間内に、近年の生命医科学で大量に生み出されてきた既承認薬、遺伝子、タンパク質、化合物、疾患に関する医薬ビッグデータを融合解析し、様々な疾患に対して効能を持つ既承認薬の候補を予測する機械学習アルゴリズムを開発する。これによって、疾患に苦しむ患者に、必要な薬を、早く、安く、届ける創薬サービスを大幅に効率化する。更に、既承認薬の薬理作用を模倣するような天然化合物を、日常生活において身近な漢方薬や食品の中から計算機的に探索し、それらの科学的根拠を示すことによって予防医療への道を切り開く。医療に伴う患者の経済的・精神的・肉体的負担を減らし、誰もが健康長寿を全うできる社会の実現を目指す。患者に優しく（安全）、エコノミカル（安く効率的）で、エコロジカル（省エネ）なエコファーマ創薬サービスと、病気になる前に予防する健康維持型医療サービスを促進することによって、資源の浪費を回避し、人件費の削減、新薬開発期間の短縮などの効果により国家の医療費削減にも貢献することが狙いである。

2．　研究成果

（1）概要

本研究では、医薬ビッグデータ解析を通じて創薬の高速化・効率化や医療費の抑制という社会的課題を解決するために「エコファーマによる高速かつ省エネ創薬を実現する情報技術の構築」を提案した。新薬候補を人類の資産である既承認薬から見出す創薬戦略「エコファーマ」を促進するための情報基盤技術を構築した。具体的には、医薬ビッグデータ解析から既

承認薬の標的タンパク質を推定し、疾患に効能のある既承認薬の予測を行う機械学習手法を開発した。

既承認薬への応用では、薬が標的タンパク質を制御して疾患への効能を発揮する点に注目し、薬の効能を、薬、タンパク質、疾患の3者間の関連ネットワークとして情報科学的に捉えて、薬、タンパク質、疾患の三種類のノードから構成される三部グラフのエッジの有無を予測する問題として定式化した。国際疾病分類で定義された疾患に対して、日本や欧米の全ての既承認薬の中から治療薬候補を大規模予測し、その予測結果の妥当性を実験で検証した。

更に、本研究では、標的タンパク質の制御だけでなく、パスウェイの制御による創薬（パスウェイ創薬）という新しい創薬コンセプトを提唱した。一つのタンパク質を制御する薬を探索する従来のアプローチではなく、タンパク質相互作用ネットワークの機能モジュールであるパスウェイを制御する薬を探索するという新たなアプローチを提案した。大規模な薬物応答遺伝子発現データと生体分子相互作用ネットワークの融合解析により、薬物に応答して制御されるパスウェイを統計的に推定した。がんへの応用では、抗がん剤の多くに見られる特徴的なパスウェイを見出し、薬物の潜在的な抗がん作用を予測する統計解析手法を開発した。

更に、日常生活において身近な漢方薬、生薬、食品から健康効果を見出し、それらの科学的根拠を示す情報技術を開発した。漢方薬への応用では、漢方薬、生薬、成分化合物、標的タンパク質の階層関係を整備し、漢方薬の成分化合物が標的とするタンパク質群のパスウェイ解析により、漢方薬のメカニズムを推測した。標的タンパク質や標的パスウェイの情報を基に、漢方薬の新しい適応可能疾患を予測し、解析結果を視覚化した KampoDB というデータベースを構築して、一般公開した。

これらの研究成果は、欧文学術雑誌で7本の論文を出版し、国内学会で 49 件、国際学会で 8 件の口頭発表を行った。

（2）詳細

さきがけの研究提案書の「4.研究内容」で記述していた研究項目に対応する形で、研究成果の達成状況を以下に記す。

研究テーマ A1. 生命医薬関連ビッグデータの収集

既承認薬、遺伝子、タンパク質、疾患に関する様々なデータは、インターネットや文献、データベースから適時収集して、機械学習で情報解析可能な形に整備した。【達成済】

研究テーマ A2. 既承認薬の標的タンパク質を予測する手法の実装

薬の情報（化学部分構造、副作用報告、薬物応答遺伝子発現変化など）とタンパク質の情報（アミノ酸配列、機能モチーフなど）の連結やテンソル積によって、全ての薬・タンパク質ペアのフィンガープリント（超高次元のバイナリ特徴ベクトル）を構築した。高次元データに有効なスパース分類器（L1 正則化サポートベクターマシンやロジスティック回帰など）を拡張し、薬がそのタンパク質を標的とするかを予測する手法を開発することができた。【達成済】

実際に、ベンチマークデータの約 537 万個の薬物–タンパク質ペア（84,195,800 次元のフィンガープリント）の相互作用予測を行うため、簡潔データ構造 LOUDS を用いてフィンガープリントをコンパクトに表現し、分類モデルを学習する方法を提案した。その成果として、メモリ

を 57GB から 16GB に圧縮した状態でモデル学習が可能となり、高い予測精度を達成した（AUC: 0.98, AUPR: 0.63）（Tabei et al, BMC Systems Biology, in press）。【達成済】

研究テーマ A3. 疾患の治療標的タンパク質を予測する手法の実装

病態に特徴的な分子的特徴は疾患間で共通する場合もある。ここでは、約 80 種類の疾患（副腎白質ジストロフィー、白血病、アルツハイマー病、喘息、アトピー性皮膚炎、乳がん、嚢胞性線維症、デング熱、炎症性腸疾患など）に対して、患者の遺伝子発現プロファイルから疾患特異的な遺伝子発現プロファイルを構築し、疾患間の相関解析を行なった。マルチタスク学習の枠組みで、疾患の類似性を用いて治療標的タンパク質の共通性を予測する新しい機械学習法を開発した。現在論文準備中である。【論文執筆中】

研究テーマ A4. 疾患に効能のある既承認薬を予測する手法の実装

薬・タンパク質関連ペアと、疾患・タンパク質関連ペアを比較し、疾患の候補薬を予測する手順を確立した。標的タンパク質が阻害されるか活性化されるか区別して実行することで予測精度が改善することを確認し、論文で発表した（Scientific Reports, 8:156, 2018）。【達成済】

更に、標的タンパク質の制御だけでなく、パスウェイの制御による創薬（パスウェイ創薬）という世界初のコンセプトを提唱した。従来の創薬では、1つのタンパク質を制御する薬を探索するアプローチが一般的だが、タンパク質がなす相互作用の影響を考慮できないという問題があった。そこで、タンパク質相互作用ネットワークの機能モジュールであるパスウェイを制御する薬を探索するという新たなアプローチを提案した。まず、大規模な薬物応答遺伝子発現データと生体分子相互作用ネットワークの融合解析により、抗がん剤の多くに見られる特徴的なパスウェイ（細胞周期パスウェイを抑制し、p53シグナリングパスウェイ、細胞死パスウェイなど）を見出した。次に、薬物の潜在的な抗がん作用を自動的に予測するための統計解析手法を開発した。この研究成果は創薬科学のトップジャーナルで論文を発表することができた（Journal of Medicinal Chemistry, 61, 9583—9595, 2018）。【達成済】

研究テーマ B1. あらゆる疾患に対して治療薬候補を大規模予測

本研究で開発した手法を、日本や欧米で承認されている全ての既承認薬（約 8000 個）に適用し、様々な疾患（約 1500 種類）に対する潜在的な効能を大規模予測した結果、約 900 種類の疾患に対して予測結果を得ることができた。【達成済】

研究テーマ B2. 臨床データの収集

米国 FDA（食品医薬局）の市販後調査報告システムで、患者に対する薬理効果や副作用が記録されている報告書をテキストマイニングすることによって、既承認薬の副作用情報を収集した。これを機械学習アルゴリズムの入力の一部として用いることによって、既承認薬の標的タンパク質予測に対する有用性を示し、提案するアルゴリズムとともにその結果を論文として発表することができた（Tabei et al, BMC Systems Biology, in press）。【達成済】

研究テーマ B3. 予測結果の妥当性を検証

本研究の提案手法で予測された疾患・候補薬ペアに関して、近年の臨床報告書や最新の臨床系学術論文で、スコアの高い予測結果の妥当性を検証した。候補薬によって症状の改善が報告されているかなどの考察を行い、予測された多くの薬物・疾患ペアに対する妥当性を検証することができた。【達成済】

更に、本研究で開発したパスウェイ創薬手法の予測結果を実験的に検証した。特に、抗がん作用が新たに予測された薬物について、細胞死誘導能などの観点から実験的に検証した。例えば、統合失調症治療薬であるペンフルリドールなどいくつかの既存薬が、期待する抗がん作用をもつことが観察され、情報科学的な予測の妥当性を示すことができた（Journal of Medicinal Chemistry, 61, 9583—9595, 2018）。【達成済】

研究テーマ C1.天然化合物データの収集

疾患の治療効果や予防効果を持つ天然化合物（漢方薬、生薬、食品などの成分化合物）を探索するため、天然化合物データは、KNApSAcK データベースなどの化合物の情報を収集して解析することができた。漢方薬や生薬のデータは、富山大学和漢医薬学総合研究所で長年蓄積されているデータを共同研究の形で入手して、漢方薬、生薬、成分化合物、標的タンパク質の階層関係を整備し、情報解析することができた。【達成済】

研究テーマ C2.疾患予防効果を持つ天然化合物の大規模予測

漢方薬の各成分化合物が相互作用すると推定される全てのタンパク質をパスウェイ（KEGG Pathway など）にマッピングし、漢方薬が影響を及すパスウェイを推測した。また、数百万個の化合物・タンパク質間相互作用情報を用いた教師付き学習と化学構造類似性検索を組み合わせることで、漢方薬の成分化合物の標的タンパク質候補を探索した。標的タンパク質の情報を基に、漢方薬の新しい適応可能疾患を予測し、これらの解析結果を視覚化するシステムを構築した。例えば、腹痛の漢方薬「大建中湯」の抗炎症作用や炎症関連大腸発癌に対する効能と作用機序を予測した。予測システムの第一弾を論文発表することができた（Sawada et al, Scientific Reports, 8:11216, 2018）。【達成済】

研究テーマ C3.解析結果のデータベース化

西洋医薬品に対する解析結果は、標的タンパク質などの科学的根拠を付加して系統的に整備し、データベース化した。知財の点で問題がある結果（公開すると特許が取れなくなるもの）を除いてデータベース化したものを、論文発表する予定である。天然化合物を成分とする漢方薬や生薬の解析結果は、KampoDB （http://wakanmoview.inm.u-toyama.ac.jp/kampo/）というデータベースを構築して、誰でも利用できるように一般公開し、予測システムとともに論文発表することができた（Sawada et al, *Scientific Reports*, 8:11216, 2018）。【達成済】

3.　今後の展開

今後は、解析対象とするデータの種別を拡大し、多様な疾患のヒトのマルチオミックスデータや分子ネットワークデータや、既承認薬以外の化合物データ（開発中止化合物、合成化合物、生理活性化合物など）を扱えるような手法の開発に、研究を展開していく予定である。

さきがけ研究のアドオン研究として、内閣府 PRISM プロジェクト創薬分野「新薬創出を加速する人工知能の開発」に採択された。内閣府 PRISM プロジェクトでは、肺がんおよび特発性肺線維症を対象疾患とし、医薬基盤・健康・栄養研究所、理化学研究所、国立がん研究センター、産業技術総合研究所など多くの研究機関が連携して行う。その中で、研究代表者（山西）チームの研究課題名は「創薬標的分子の確からしさを検証するツール物質の探索」であり、特

発性肺線維症および肺がんの創薬標的候補の「確からしさ」の検証実験に利用可能なツール化合物を探索していく予定である。

このアドオン研究は、疾患の新しい創薬ターゲットの発見に貢献するものであり、疾患の分子機序の理解や適応可能疾患の探索空間の拡大に繋がる。更に、解析対象を既承認薬だけでなく任意の化合物(開発中止化合物、合成化合物、生理活性化合物など)にも広げるので、化合物の探索空間の拡大や疾患類似性の考慮による予測精度の向上が期待できる。本アドオン研究は、これまでの申請者のさきがけ研究を大きく発展させ、創薬現場への社会実装に繋がるものである。

4. 自己評価

研究目的の達成状況:

さきがけの研究提案書の「4.研究内容」で記述していた研究項目は、予定していた内容は全て達成することができた。しかしながら、さきがけの研究期間内に論文出版までできなかった項目もあるので、現在できるだけ早く出版できるように論文執筆中である。

研究の進め方(研究実施体制及び研究費執行状況):

研究実施体制は、研究補助者を数人雇用してデータ収集・整備を進めながら、本研究を遂行した。初年度や大学異動時期など、研究補助者の公募などで雇用が途切れた時期もあるが、概ね同じような研究実施体制を保つことができた。研究費は主に、医薬関連ビッグデータの収集と整備、開発手法の計算リソースの構築や確保に、概ね予定通り執行できた。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果(今後の見込みを含む):

さきがけの研究成果の情報技術を社会・経済に波及させるため、現在、多くの日本企業(製薬会社、化粧品会社、食品会社など)と共同研究を遂行している。さきがけで開発した情報技術は、実際に企業内の開発現場において医薬品開発や健康食品開発に利用されているので、将来的な製品化の可能性は非常に高く、日本経済への貢献が期待できる。また、医療現場に波及させるため、現在、多くの大学病院の研究者と共同研究を遂行している。予測された薬の人に対する効果を確かめる臨床研究を進めて、最近増えつつある高額な薬(抗体医薬品など)の効果を、低価格かつ低副作用の既存薬で代用できることを示すことができれば、国家の医療費削減にも貢献することが期待できる。

その他領域独自の評価項目に基づいて、研究者自身の評価:

さきがけの研究成果を、欧文学術雑誌で7本の論文を出版し、国内学会で 49 件、国際学会で 8 件の口頭発表を行い、学術研究の成果を出すことができた。特に創薬科学のトップジャーナルである Journal of Medicinal Chemistry で論文を出版できたことは大きな成果であり、実験系・臨床系の創薬系研究者のコニュニティでも注目を浴びた。本さきがけ領域で目標とする社会実装は、多くの企業との共同研究(創薬現場での開発手法の利用)や大学病院との共同研究(医療現場での開発手法の利用)によって、達成できた。

今後の見込み:

今後は、医薬品開発工程の研究を進めて、最終的な医薬品の製品化や、保険適用のための治験まで進めることを目標としたい。

５．　主な研究成果リスト

（１）論文（原著論文）発表

1. Iwata, M., Hirose, L., Kohara, H., Liao, J., Sawada, R., Akiyoshi, S., Tani, K., and Yamanishi, Y., "Pathway-based drug repositioning for cancers: computational prediction and experimental validation", Journal of Medicinal Chemistry, 61, 9583—9595, 2018 doi:10.1021/acs.jmedchem.8b01044　(Oct. 2018)
2. Sawada, R., Iwata, M., Umezaki, M., Usui, Y., Kobayashi, T., Kubono, T., Hayashi, S., Kadowaki, M., and Yamanishi, Y., "KampoDB, database of predicted targets and functional annotations of natural medicines", Scientific Reports, 8:11216, 2018, doi:10.1038/s41598-018-29516-1　(Jul. 2018)
3. Sawada, R., Iwata, M., Tabei, Y., Yamato, H., and Yamanishi, Y., "Predicting inhibitory and activatory drug targets by chemically and genetically perturbed transcriptome signatures", Scientific Reports, 8:156, 2018　doi:10.1038/s41598-017-18315-9　(Jan. 2018)

（２）特許出願

研究期間累積件数：0 件

（３）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

主要な学会発表：

1. Yamanishi, Y., "Data-driven drug discovery and repositioning by machine learning methods", ACS Skolnik Symposium, "De novo design - Automating drug discovery" session, Boston, USA, Aug.21-Aug.21, 2018.【招待講演】(Aug. 2018)
2. 山西芳裕, "AI 創薬：薬効や副作用を予測するデータ駆動型アプローチ", 構造活性フォーラム 2018「創薬におけるビッグデータの活用と AI 戦略」(京都), 6/15, 2018.【招待講演】（2018 年 6 月）

受賞：

1. 情報計算化学生物学会 2017 年大会・ポスター賞（2017 年 10 月）
2. 第 6 回生命医薬情報学連合大会・最優秀口頭発表賞（2017 年 9 月）

著作物（本など）：

1. Yamanishi, Y., "Linear and Kernel Model Construction Methods for Predicting Drug-Target Interactions in a Chemogenomic Framework", Computational Chemogenomics, Methods in Molecular Biology Series (Brown, J.B., eds.), Springer, 355-368, 2018. doi:10.1007/978-1-4939-8639-2_12　(Oct. 2018)
2. 山西芳裕, "ファーマコインフォマティクス"，ゲノム創薬科学（田沼靖一編集），159-182, 裳華房, 2017.（2017 年 10 月）

プレスリリース：

1. 「医薬ビッグデータから抗がん作用薬を自動的に予測する情報技術を開発」
九州工業大学　（2018 年 11 月）

以上

さきがけ「社会と調和した情報基盤技術の構築」研究領域　研究総括：安浦 寛人（九州大学　理事・ 副学長）

医薬ビッグデータと AI 技術で新薬の候補を発見

山西 芳裕（九州工業大学 大学院情報工学研究院 生命情報工学研究系・教授）

研究課題名：「エコファーマによる高速かつ省エネ創薬を実現する情報技術の構築」研究期間：2015.10～2019.3

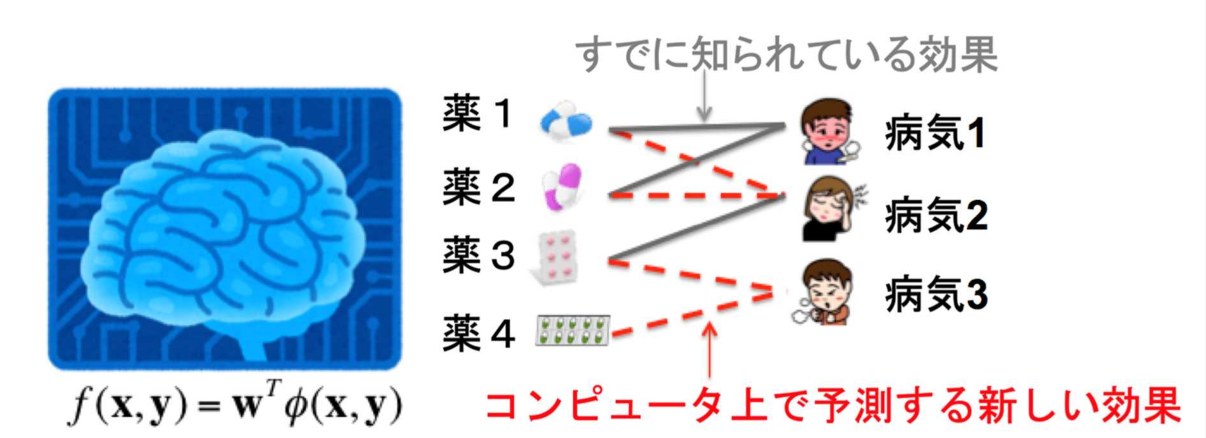


図　薬と病気の関連を予測する機械学習（人工知能の基盤技術）の手法を開発

近年の生命科学で大量に生み出されてきた薬物、遺伝子、タンパク質、病気に関するビッグデータを解析し，様々な病気の治療薬の候補を自動的にコンピュータ上で予測するための機械学習の手法を開発しています。

本研究では、医薬ビッグデータを有効活用して、様々な疾患に対する治療薬を自動的に予測する機械学習の手法（AI 基盤技術）を開発しました。特に、安価で安全性が確認されている既存薬の新しい効能を見つけて、本来とは別の疾患に対する治療薬として新薬開発を行うドラッグリポジショニングに有用です。更に、日常的に身近な漢方薬や食品の潜在的な健康効果を見出すことも可能にしました。実際に、潜在的な抗がん作用を持つ複数の既存薬や漢方薬の発見に成功しました。

本研究により、新薬開発コストを大幅に削減し、患者に、必要な薬を、早く、安く、届けることが可能になります。今後の発展として、患者に優しく（安全）、エコノミカル（安く効率的）で、エコロジカル（省エネ）な創薬サービスの促進が期待できます。医療に伴う患者の経済的・肉体的負担を減らし、誰もが健康長寿を全うできる社会の実現に貢献します。

- **論文**

1. Iwata, M., Hirose, L., Kohara, H., Liao, J., Sawada, R., Akiyoshi, S., Tani, K., and Yamanishi, Y., "Pathway-based drug repositioning for cancers: computational prediction and experimental validation", *Journal of Medicinal Chemistry*, 61, 9583–9595, 2018.
2. Sawada, R., Iwata, M., Umezaki, M., Usui, Y., Kobayashi, T., Kubono, T., Hayashi, S., Kadowaki, M., and Yamanishi, Y., "KampoDB, database of predicted targets and functional annotations of natural medicines", *Scientific Reports*, 8:11216, 2018.
3. Sawada, R., Iwata, M., Tabei, Y., Yamato, H., and Yamanishi, Y., "Predicting inhibitory and activatory drug targets by chemically and genetically perturbed transcriptome signatures", Scientific Reports, 8:156, 2018.

- **受賞**

1. 「第 6 回生命医薬情報学連合大会・最優秀口頭発表賞」（2017）
2. 「第 5 回生命医薬情報学連合大会・研究奨励賞」（2016）

- **プレスリリース**

1. 「医薬ビッグデータから抗がん作用薬を自動的に予測する情報技術を開発」（2018 年 11 月）
http://www.kyutech.ac.jp/whats-new/press/entry-5958.html
2. 「漢方薬の作用機序や新規効能を予測する情報技術を開発」（2018 年 8 月）
http://www.kyutech.ac.jp/whats-new/press/entry-5698.html