

「新しい社会システムデザインに向けた情報基盤技術の創出」研究領域 領域活動・評価報告書 －2019 年度終了研究課題－

研究総括 黒橋 禎夫

1. 研究領域の概要

情報技術の急速な進展により、莫大な数のセンサやデバイスがインターネットにつながるようになってきました。また、医療・健康、材料・物性、都市インフラや地球環境など、あらゆる場所で多種多様のビッグデータが蓄積され、応用されてきています。さらに、自然言語処理やディープラーニング等を駆使した人工知能技術にも大きな関心が集まり、これらの各分野における活用が急速に進みつつあります。

本研究領域では、このような情報技術に基づいた社会変革の時代に対応し、これからの新しい社会システムのデザインを可能にするための情報基盤技術の創出を目指します。モビリティなどを含めた社会基盤、介護を含むヘルスケア、防災・減災、ロボティクスなど、あらゆる分野において、情報を知的・統合的に解析・処理・制御し、新しいサービスや社会構造の構築に貢献する基盤技術を創出します。

具体的には、多種・膨大な情報を収集・取得するための高度なセンシング技術、リアルタイム処理のためのデータ処理技術およびシステム最適化技術、知的メディアを使ったコミュニケーション支援や、人工知能などを含むデータ処理と知識処理の技術、多種多様な機器やシステムに対応可能なセキュリティ・プライバシーエンハンスメント技術などを対象とします。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト(AIP プロジェクト)の一環として運営します。

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、「新しい社会システムデザインに向けた情報基盤技術の創出」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) 選考に当たっては、さきがけ共通の選考基準(URL: <https://www.jst.go.jp/pr/info/info1226/index.html>)の他、以下の点を重視した。

情報技術分野における技術的な課題への貢献とともに、将来の新しい社会構造にどのように貢献できるのかという視点を含めた提案とすることとし、提案する基盤技術の開発が今後どのように社会を変革していく可能性があるのかというシナリオを自らが考え、将来の社会実装を見据えながら基礎研究を実施していくことを目指した提案を重視した。

4. 事前評価の選考の経緯

一応募課題につき領域アドバイザーの内 3 名が書類審査し、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、採用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	112 件	30 件	11 件

備考:

2016 年度採択課題のうち、金子 知適(東京大学)および松原 靖子(大阪大学)はライフイベント等による研究の一時中断により終了年度が異なるため、今年度事後評価対象としない。

5. 研究実施期間

2016 年 12 月～2020 年 3 月



6. 領域の活動状況

(1) 領域会議: 7 回

2016 年度 1 回
2017 年度 2 回
2018 年度 2 回
2019 年度 2 回

(2) 研究総括の研究実施場所訪問

研究総括および領域担当により全研究者の研究室訪問と研究者上司への挨拶を実施した。

荒川 豊 : 奈良先端科学技術大学院大学 訪問 2017 年 1 月 16 日

石原 尚 : 大阪大学 訪問 2017 年 1 月 16 日

河添 悦昌 : 東京大学 訪問 2017 年 3 月 8 日

高村 大也 : 東京工業大学 訪問 2017 年 5 月 24 日

田中 雄一 : 東京農工大学 訪問 2017 年 5 月 24 日

戸田 智基 : 名古屋大学 訪問 2017 年 1 月 25 日

福嶋 政期 : 産業技術総合研究所 訪問 2017 年 5 月 24 日

山田 誠 : 京都大学 訪問 2018 年 10 月 10 日

吉野 幸一郎 : 奈良先端科学技術大学院大学 訪問 2017 年 1 月 16 日

(3) 海外ショートビジット: 2 回

さがけ研究の新たな展開や国際ネットワーク構築などを目的にオープンイノベーション指向の国際ワークショップの開催や海外起業家との対話等を行う海外ショートビジットを実施した。

2018 年度 1 回(シンガポール)

2019 年度 1 回(米国・シリコンバレー)

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)

2020 年 1 月 評価会開催

2020 年 2 月 研究総括による事後評価

2020 年 3 月 被評価者への結果通知

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)

※該当する成果がある場合には「世界レベルの若手研究リーダーの輩出の観点から、本さがけ研究が、研究者としての飛躍につながったか(今後の期待を含む)」を加味して評価を行った。

9. 評価結果

本研究領域では、情報技術がすでに社会の駆動力であり、今後の社会課題解決、新たな社会システムのデザインにおいても中核をなすという意識のもと、単に基礎研究を行うのではなく、それが将来の社会に何をもたらすかという視点のもとに、各研究者が研究を行い、領域として切磋琢磨した。

2019 年度終了の 1 期生の研究課題は、人間の認知機構、人間の言語・音声コミュニケーション、データ処理の新たなパラダイム、医療の視点からの情報技術の利活用等、人間社会の将来に向けた重要な課題を広くカバーしている。年 2 回の合宿形式の領域会議を中心に、それぞれの分野で日本を代表する研究者が、一段階広い視野で自分の研究を見直し、基盤技術と応用分野の様々な側面から総括・アドバイザーとともに議論を戦わせた。

各研究者は、当該分野のトップ国際会議での論文発表、チュートリアル講演などを行うとともに、ソフトウェアの公開、企業等との共同研究などを活発に進めた。戸田氏は、統計的音声変換処理においてユーザの協調的行動を利

用する新たな枠組みで研究を推進し、咽頭摘出者の発声・歌唱支援を飛躍的に向上させるなどの成果をあげ、新たに CREST 研究代表者となった。石原氏は、人と親密に触れ合う子供型アンドロイドロボットについて、ハードウェア設計、デバイス開発、評価体系構築など多岐にわたる成果をあげた。また、田中氏においてもネットワーク信号処理に関する顕著な業績をあげ、新領域のさきがけ研究者となっている。

以上、本領域は各研究者の研究を促進したことはもちろんのこと、将来の日本の科学技術のリーダ育成の場として十分に機能した。

(1) 荒川 豊「行動認識と行動介入による情報駆動型社会システムの実証」

「情報」による行動変容を意図的に励起するための行動認識技術に関する基礎研究を進めるとともに、人の行動変容を引き起こすメカニズムの解明に向けて、オフィス環境やカーシェアリングなど実環境においてシステムを実装しデータを取得・分析する実証的研究を行った。

企業等との連携による多くの社会実験を通じて、個々の環境ごとに行動変容を誘発する仕組みを明らかにするとともに、社会的受容性に関わる課題も表出させることができた。また汎用的な行動センシングのセンシングプラットフォームに関して学術論文のみならず、複数の企業から市販されるなど社会展開も進んでいる。さらに、情報処理学会関西支部の配下に「行動変容と社会システム研究会」を立ち上げるなど、当該研究分野の開拓・発展にも大きく貢献している。

今後は、情報技術を用いた行動変容による新しい社会システムデザインとして目指す最終ゴールやマイルストーンを示すとともに、様々な実証実験から明らかになっている個別要因を統合・汎用化させ、行動変容を引き起こすメカニズムに関する理論の確立を期待する。

(2) 石原 尚「触れ合いデータを収集する子供アンドロイド高機能化」

本研究は、「共生ロボット情報化社会」の実現を目指し、「人と親密に触れ合うこと」に特化した高度な接触感知と表現呈示の機能を有する子供型アンドロイドロボットを開発し、その触れ合い性能の高機能化に取り組むとともに、人とロボットとの親密な触れ合いの中で生じるビッグデータを収集・分析しデバイス開発へのフィードバックを行った。

触れ合うことのできる子供型アンドロイドロボットの要素技術として、ハードウェア設計、デバイス開発、実験データ取得、評価体系など、研究は着実に進展した。表情と印象に関する計測をもとにした緻密な検証や、表情変化の遷移に意味があることの発見なども重要な成果である。企業を含めて身体デバイスの開発は広く進められているが、本研究で収集されたデータに基づく知見は、人と共生するロボット開発の分野において広く活用されるものと期待できる。

今後は、ロボットと人とのインタラクションから取得されるデータの分析をさらに深化させ、科学的な知見を積み上げていくこと、またロボットシステム全体の評価なども進めていくことを期待したい。また社会実装を見すえ、倫理上でクリアすべき課題や社会的受容性の課題などにも取り組んで欲しい。

(3) 河添 悦昌「医療ビッグデータからの病態進行のシミュレーションによる先制医療に向けた研究開発」

医療データは多くの項目からなる多変数の時系列データであり、時系列データとして扱う際に多くの欠損を生じ、解析上の問題となる。本研究では複数の医療データを時系列データとして活用する手法を開発するとともに、予測モデルを臨床現場で活用することの具体的なインパクトを示すために高齢入院患者の転倒予防介入と入院日数に関する予測モデルの開発を行った。

十分な量の実データを集めるのが難しい状況の中で、研究計画を見直しながら着実に研究を進め、東京大学医学部附属病院の診療テキストをコーパスとして BERT を事前学習した UTH-BERT について、多言語モデルに対する優位性を示した。また予測モデル開発では、診療テキストの分析により転倒予測の精度を大幅に改善した。院内での転倒は、目立たないが大きな問題であり、本問題の解決の可能性を示したことは重要な成果と言える。

医療ビッグデータ解析により先制医療を行うというアプローチは今後の社会において重要であり、人工知能技術の活用により、高度な医療につながることが期待できる。今後も医療ビッグデータを扱うための情報基盤技術を構築しつつ、さらに研究を発展させて欲しい。

(4) 高村 大也「様々な形式のデータを言語で柔軟に記述する汎用的技術の開発」

センサの普及やストレージの拡充等により、数値データ、カテゴリカルデータ、テキストデータなど様々な形式の大量のデータが蓄積されている。データの解釈を他の人間に伝えるためには言語表現(テキスト)での説明が

必要であり、これを自動化することで蓄積されたデータがより一層有効に利用できるようになる。この課題に対し、本研究では様々な形式のデータをテキストで柔軟に表現するための汎用的な方法として、時系列数値データを含む複数の入力に対し、適切な説明テキストを生成する技術、および出力テキストのスタイルなどを制御する技術を開発した。

非言語データを文章に変換する手法を提案し、様々なドメインでの具体的な適用例における有効性を示すなど、当初目標を着実に達成した。提案手法は様々な応用が期待でき、企業等との連携による展開が望まれる。また技術的には、リアルタイム実況とスタティックなデータからの生成などを包括する理論体系の構築や、個人の知識や関心に合わせた説明文生成など、よりチャレンジングな課題に取り組んでいきたい。

(5) 田中 雄一「ネットワーク上の信号情報処理:感染や災害の拡大を最小限に抑えるための基盤技術」

我々の周りに存在する無数のセンサデータを有効に活用するためのセンサビッグデータ解析の基盤技術として、ユーザやセンサ等の関わり・繋がりをネットワークとして考え、そのネットワーク上で信号処理(データ解析)を行うグラフ信号処理に関するアルゴリズム開発や実データへの応用などを行った。

ネットワーク構造上の信号処理において、社会システムからの要求を基に課題を抽出し、サンプリング、フィルタリング、圧縮・修復等において効果的な手法を開発した。これらの研究成果についてハイインパクトな学術雑誌において多数の論文を発表するなど、着実な業績をあげている。

開発している手法は応用範囲の広い基礎理論であり、今後は実問題への適用を期待したい。実データをもつ研究チームとの共同研究などにより、学術的に挑戦的な課題の解決と社会的価値の創出との両面への展開を期待する。

(6) 戸田 智基「ユーザの適応能力を活用する共創型音声生成機能拡張技術の構築」

従来の信号処理と機械学習に基づく統計的音声変換処理に対して、新たにユーザによる協力的な行動を利用する仕組みを導入することで、従来のシステムからユーザへの歩み寄りに加えて、ユーザからシステムへの歩み寄りも活用する共創型音声生成機能拡張技術の構築に取り組んだ。

本研究では、ユーザである発声者・歌唱者とシステムがお互いに歩み寄り、より良い音声生成を可能とする共創型音声生成機能拡張技術という新たな情報基盤技術を開発するとともに、具体的なデモシステムを構築することで基盤技術の応用の可能性を示した。また学術的にも挑戦的な課題に取り組み、基礎技術としての音声変換技術の品質も世界トップクラスの品質を実現している。本研究のアプローチによる音声生成機能拡張は、喉頭摘出者の発声・歌唱を支援するのみならず、健常者に対してもエンターテインメント的な応用があり、社会システムの要素として新たなパラダイムを提案した。

今後は実用化や社会実装に向けた取り組みを進めるとともに、発声機能や聴覚機能を統合した拡張や喉頭摘出者の通常の会話を支援するなどの研究展開も期待したい。

(7) 福嶋 政期「情動や運動の記憶保持機能を基盤とした次世代語彙学習システムの設計」

本研究では、「情動」や「運動」の生理学的効果と VR・AR 技術を統合し、記憶の長期化に効果的な語彙学習手法を創出することを目指した。情動については、英単語の意味を効果音やバイノーラル音声で表現し、3D の音響変化の記憶として残すことに取り組んだ。また運動については、通勤・通学路に学習したい英単語を関連付けながら覚える意図的学習法と、場所に関連した単語を音声聴取する偶発的学習法を実装し、評価した。

独自性のあるアイデアをもとに種々のアプリケーションを開発し、多くのユーザ実験を行うことで、忘却率の計測や偶発学習効果の測定など基礎的な効果検証のデータを示すことができた。これらの結果から着想の正しさを裏付ける結果が得られており、語彙学習に対する AR・VR の一定の有効性を示すことができたと言える。今後は、教育学の専門家などとも連携し、記憶や学びについての科学的な知見につながる成果を期待したい。「情動・運動」と「記憶」との関係は、語彙学習のみならず多様な事例に適用可能であると考えられ、より汎用的な情報基盤となるよう研究を展開していきたい。

(8) 山田 誠「科学的発見のための非線形機械学習技術の創生」

材料科学や創薬科学など、大量かつ複雑なデータをもとにした新規の科学的発見を志向する分野において、グラフ構造や非線形構造を持つ高次元大規模データベースからの特徴選択が重要な課題である。これに対して本研究では、スパースモデリングを用いた新規の科学的発見手法の基礎理論を確立するとともに、高精度かつスケーラブルな機械学習ソフトウェア基盤を構築し、創薬科学への適用を行った。

Lasso において線形性から生じる限界を、非線形 Lasso を開発して解決するという目標設定に対し、当初の想定以上の成果が出ている。高次元データから非線形特徴選択を行う方法を複数提案し、機械学習系の国際

際会議に 10 本以上の論文が採択されるなど、大きな成果を出した。また提案手法を Python コードとして GitHub 上で公開したり、バイオや医療データにおける有用性を実験的に検証するなど、実社会への展開を意識して研究を進めた点も高く評価できる。今後も引き続き、基盤的技術を磨き、創薬科学だけでなく、より広い応用範囲への適用を進めて欲しい。

(9) 吉野 幸一郎「漸進的な言語理解・知識獲得に基づく音声対話システム」

本研究では、人間と協働できる音声対話システムを目指し、漸進的な話し言葉の言語理解、対話を通じた知識の獲得、情報案内対話のモデル化、対話意図に基づく言語生成システムの研究を行った。研究開発の成果については、学術論文の発表に加え、ソースコードやデータの公開を行った。

狙いとしている音声対話システムの基盤技術の構築に向けて、重要な技術課題を整理した上で研究設計を行い、それら複数の要素技術について着実に研究成果をあげている。例えば、オープンドメインの対話システムにおいて述語項構造を中心とした理解および生成の枠組みを示せたことは、人間とシステムの自然なコミュニケーション実現に寄与するものである。

今後、社会展開に向けては、システム構築に必要なデータ量の削減やコーパスやオントロジーの構築を容易にするような方向での研究開発も検討課題であると考えられる。ユーザとシステムの知識が述語項構造を通じて融合し、知的な創発が生まれるようなシステムをぜひ実現して欲しい。

10. 評価者

研究総括 黒橋 禎夫 京都大学 大学院情報学研究科 教授

領域アドバイザー(五十音順。所属、役職は 2020 年 3 月末現在)

相澤 彰子	国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授
今井 浩	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授
尾形 哲也	早稲田大学 理工学術院 教授
鹿島 久嗣	京都大学 大学院情報学研究科 教授
加藤 由花	東京女子大学 現代教養学部 教授
河口 信夫	名古屋大学 未来社会創造機構 教授
角田 達彦	東京大学 大学院理学系研究科 教授
原 隆浩	大阪大学 大学院情報科学研究科 教授
東中 竜一郎	日本電信電話(株) NTT メディアインテリジェンス研究所 上席特別研究員
松井 充	三菱電機(株) 開発本部 役員技監
山田 敬嗣	Senior Vice President, NEC Asia Pacific Pte. Ltd.

(参考)

件数はいずれも、2020 年 1 月末現在。

(1)外部発表件数

	国 内	国 際	計
論 文	12	64	76
口 頭	202	87	289
その他	6	2	8
合 計	220	153	373

(2)特許出願件数

国 内	国 際	計
7	0	6

(3)受賞等

・荒川 豊

IPSJ/IEEE Computer Society Young Computer Researcher Award

「Outstanding Research on Human Behavior Change by Information Technology」(2018.7.25)

・石原 尚

学生奨励賞(共著)「子供型アンドロイドの接触反応表現のための柔軟な表情生成器と割り込み表情制御器の開発」HAI シンポジウム. 2019 年 3 月 9 日

・戸田 智基

大学ICT推進協議会 2017 年度年次大会 優秀論文賞「名古屋大学におけるサーバ型紙レポート・LMS 連携システムの開発」 2018/3/22

大学ICT推進協議会 2018 年度年次大会 優秀ポスター賞「手書きレポートと LMS の連携を実現する名大版紙レポシステムの全学運用」2019/3/13

・福嶋 政期

MVE 賞. 濱田 健夫, 福嶋 政期, ハウタサーリ アリ: “場所に関連した単語の音声提示による偶発的語彙学習手法”, 電子情報通信学会 信学技報 MVE2017-71, vol. 117, no. 485, pp. 29-33, 2018.3.

・吉野 幸一郎

Best Paper Award, ACL2019 1st workshop on NLP for Conversational AI, NLP for ConvAI workshop committee, 2019/8/1

言語処理学会 2018 年度論文賞, 二値符号予測と誤り訂正を用いたニューラル翻訳モデル, 2019/3/8

情報処理学会 自然言語処理研究会 第 241 回研究会優秀研究賞 2019/8/30

IWSDS2018 Best paper runner-up, Dialogue Act Classification in Reference Interview Using Convolutional Neural Network with Byte Pair Encoding, 2018/5/15

(4)招待講演

国際 5 件

国内 46 件

別紙

「新しい社会システムデザインに向けた情報基盤技術の創出」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(2020年3月末現在) (応募時所属)	研究費 (百万円)
荒川 豊 (兼任)	行動認識と行動介入による情報駆動型社会システムの実証	九州大学大学院システム情報科学 研究院 教授 (奈良先端科学技術大学院大学情 報科学研究科 准教授)	40
石原 尚 (兼任)	触れ合いデータを収集する子供アンド ロイド高機能化	大阪大学大学院工学研究科 講師 (同上 テニユアトラック助教)	37
河添 悦昌 (兼任)	医療ビッグデータからの病態進行のシ ミュレーションによる先制医療に向けた 研究開発	東京大学大学院医学系研究科 特 任准教授 (東京大学医学部附属病院企画情 報運営部 助教)	16
高村 大也 (兼任)	様々な形式のデータを言語で柔軟に 記述する汎用的技術の開発	産業技術総合研究所人工知能研究 センター 研究チーム長/東京工業 大学科学技術創成研究院 教授 (東京工業大学科学技術創成研究 院 准教授)	40
田中 雄一 (兼任)	ネットワーク上の信号情報処理:感染 や災害の拡大を最小限に抑えるため の基盤技術	東京農工大学大学院工学研究院 准教授 (同上)	34
戸田 智基 (兼任)	ユーザの適応能力を活用する共創型 音声生成機能拡張技術の構築	名古屋大学情報基盤センター 教授 (同上)	40
福嶋 政期 (兼任)	情動や運動の記憶保持機能を基盤と した次世代語彙学習システムの設計	東京大学大学院情報理工学系研究 科 助教 (同上 特任研究員)	31
山田 誠 (兼任)	科学的発見のための非線形機械学習 技術の創生	京都大学大学院情報学研究科 准 教授 (京都大学化学研究所 助教)	36
吉野 幸一郎 (兼任)	漸進的な言語理解・知識獲得に基づく 音声対話システム	奈良先端科学技術大学院大学先端 科学技術研究科 助教 (同上 特任助教)	41

研 究 報 告 書

「行動認識と行動介入による情報駆動型社会システムの実証」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研 究 者: 荒川 豊

1. 研究のねらい

本研究の狙いは、労働人口が減少する中で、情報技術によって人の行動を変化させ、そのエネルギーを社会システムの一つの動力源とする新しい社会システムを創成することである。すでに我々の行動はさまざまな「情報」によって変化させられており、Apple Watch(情報機器)が人間に「立て」と命令することもあれば、AR 空間のアイテムを取るために人間が歩きまわる「ポケモン Go」の世界も当たり前になっている。センサや AI(Artificial Intelligence)から構成される IoT(Internet of Things)が得意とする点は、継続的なモニタリングと、過去のデータに基づくパターン認識である。健康分野では、Fitbit や Apple Watch などの小型活量計が広がり、これまで継続的な計測が行われていなかった、心拍、歩数、睡眠などの生体情報が可視化されるようになった。そして、所有者の平常パターンを理解し、平常と違う場合にアラートを出すということが可能になっている。現在は、個人を対象としたセンシングとフィードバックとなっている、このような仕組みをより大きな「社会」に広げていくことが将来的な狙いである。

そこで、本さがけでは、こうした「情報」による行動変容を意図的に励起するための行動認識技術に関する基礎研究を進めると同時に、人の行動変容を引き起こすメカニズムの解明に向けて、複数の「社会」にシステムを実装し観察する実証的研究を行う。このような研究を推進するにあたり、さまざまな企業と連携したり、情報処理学会関西支部の下に「行動変容と社会システム研究会」を設立したりという準備を進めてきている。

本研究における「社会」の定義は、多人数が1つの資源を共有している世界とし、我々が生活している社会よりも狭義の意味である。例えば、オフィスや研究室、大学も1つの社会であり、カーシェアリングなどシェアリングエコノミー関連のサービスも1つの社会と言える。今回は、主にオフィスや研究室を社会と見立てた研究を軸として、より大きな社会としてカーシェアリングシステムを社会と見立てた研究を進めていく。それぞれの社会の上で、行動認識に関する研究と行動変容を促す行動介入に関する研究を進めていく。

2. 研究成果

(1) 概要

本さがけ研究では、さまざまな社会での行動認識と行動変容に関する研究を実施した。具体的な社会としては、小規模なものとしてオフィス、大規模なものとしてカーシェアリングを対象とした。

オフィスにおける行動認識に関しては、心身の両面に対して、[研究テーマ A]ウェアラブルデバイスを着用した心的状態の計測と推定、と[研究テーマ B]オフィス環境における姿勢と椅子の設定計測システムに関する研究を実施した。前者は、一部上場企業の社員延べ 160 名のデータ計測を敢行し、抑うつ気分と睡眠状態の関係性を導くことに成功した。後者について

は、オフィス家具メーカーと連携し、実販売されている椅子にセンサを内蔵した上で、都内のワークスペースで常用稼働している。

次に、オフィス環境における行動変容としては、[研究テーマ C]生活空間内のインタラクションによる行動変容誘発システム、の研究を実施した。通過する人に対して能動的に対話を始めるインタラクティブサイネージを開発し、3週間、さまざまな対話を行い、提案システムが想像以上に受容されることを明らかにした。この研究は、Behavior Change Support System (BCSS)という概念を提唱している、オウル大学 Harri Oinas-Kukkonen 教授とも共同研究を実施し、国際ジャーナルに掲載された(主要成果2)。

カーシェアリングにおける行動変容の研究では、[研究テーマ D]カーシェアリングに行動変容要素を入れた場合の効用シミュレーション、という研究を実施した。この研究では、ワンウェイカーシェアリングの主要問題である車両の偏在を解決する手法として、潜在的な利用者に特定区間の車利用を依頼する手法を提案し、パーク24から得られた実データに基づくシミュレーションを通じて、その効用を明らかにした。その結果は、情報処理学会論文誌に採択された(主要成果1)。

その他、行動センシングに汎用的に使えるセンシングプラットフォームが論文として採択(主要成果4)されるとともに、複数の企業から市販された。また、情報技術によって引き起こされる行動変容を社会システムに組み込んでいくという潮流を確かなものにするために、情報処理学会関西支部の配下に「行動変容と社会システム研究会」を立ち上げたり、UCLA の Prof.Mani と IEEE PerCom 内で Persuasive System に関するワークショップを主催する等の学会活動を行った。また、オフィス環境におけるセンシングに関する招待論文(主要成果 3)をまとめたり、音声対話システム分野での国際会議での基調講演、JST-NSF-DATAIA ワークショップでの講演等、多数の講演を行った。

(2) 詳細

研究テーマ A「オフィスにおけるウェアラブルを用いた心的状態の計測と推定」

これまで産業医や産業カウンセラーは、標準化された質問票というものをを用いて、さまざまな心的状態を計測してきたが、不調になってからしかカウンセリングが行われないという問題があった。そこで、改正労働安全衛生法の施行により、定期的に従業員の心的状態を把握することが企業に義務付けられるようになったが、実態としては、年1回のWebアンケートを実施するだけと、形骸化している企業も多い。そこで、不調になる前に、簡単にセルフチェックを行えるようにするシステムが求められている。まず、我々は質問数の少ない QoL (Quality of Life) に焦点を当て、その質問票に対する回答とセンシングデータとの関係性について分析した。その結果、26 問中 17 問については、91.2%で推測できることがわかり、2019 年に企業 4 社の人事・総務部の協力を得て、一般会社員 60 名を対象とした計測を実施した。内訳は、世代別で 20 代、30 代、40 代、50 代がそれぞれ 9 人、20 人、18 人、13 人、男女別では男女それぞれ 13 名、47 名、世帯別では単身世帯とそれ以外でそれぞれ 10 人、50 人と、さまざま被験者を募っている。

本実験の実施にあたり、定期的なアンケートを実施するためのモバイルアプリケーションおよびデータ確認プラットフォームを構築した。我々が開発したアプリケーションは、センサデバ

イスとして利用する Fitbit 社にも協力を依頼し、参加者の詳細なセンシングデータを収集可能にな日本初のプラットフォームである。実験では、不安気分や抑うつ気分を測る DAMS (Depression and Anxiety Mood Scale) やワークエンゲージメント、リカバリー経験、生産性など、これまで産業保健領域で用いられているアンケートを毎日数回に分けて延べ 130 問質問しつつ、全参加者に Fitbit Charge 3 を配布し、心拍、睡眠、歩数データを計測した。2 週間の計測で得られたデータは、テキストデータだけで 4.5GB を超えるデータとなった。このデータは完全匿名化した上で、データセットとして他の研究者も利用できるように整備した。

収集したデータの分析例として、DAMS と睡眠の関係について報告する。DAMS は抑うつ気分と肯定的気分、および不安気分の程度を測定するための質問票であり、「はつらつとした」、「暗い」、「気がかりな」といった気分を表現する言葉について、今の自分の気分になどの程度当てはまっているかを 7 段階で選択するようになっている。抑うつ気分得点の算出方法は、「暗い」「沈んだ」「嫌な」の質問項目の 7 段階評価の合計であり、0~18 の範囲の値を取りうる。同様に、肯定気分得点は、「楽しい」「嬉しい」「はつらつとした」の合計点数、不安気分得点は、「不安な」「心配な」「気がかりな」の合計点数である。我々は、先行研究と同様に、極端な状態(上位 20%と下位 20%)を対象として、前日の睡眠状況(時間、4 段階の睡眠ステージの変化等)との関係性分析を行ったところ、抑うつ気分:0.776、肯定気分:0.610、不安気分:0.756 という F1-Value が得られた。そして、特に浅い眠りの時間が抑うつ気分に関連していることが明らかになった。

これまでの研究では、入手容易性やアプリの完成度(一度も会わない相手から確実にデータを収集できる確率)の高さから、Fitbit を用いているが、Fitbit の睡眠計測の正確についても把握しておく必要があると考え、2020 年 3 月に、最後の実験として、睡眠精度評価実験を実施した。評価実験では、8 名の被験者に、Fitbit IONIC/Charge2/Versa2 と、種々の睡眠に関する論文で利用されているアクチグラフを配布し、両者を装着して就寝するという実験を行った。それぞれ 1 週間ずつ計測してもらい、延べ 8 週間分の睡眠データを得た。睡眠には、睡眠時間(入眠時刻、起床時刻)と睡眠ステージという情報から構成されるが、アクチグラフでは睡眠ステージは提示されないため、睡眠時間について評価した。その結果、Fitbit の異なるデバイス間では、1 名 47.6 分のズレがあった被験者もいたが、残りの被験者については誤差 1.4 分以内となり、ほぼ同一といえる。ズレの大きかった被験者は、自己申告時間とのズレも非常に大きく、布団に入ったあとスマホをしたり、寝るときだけ付けて他の時間はまったく付けていなかったりと、通常の使用形態と異なることがヒアリングでわかった。起床時にすぐ外して枕元においたままにしていると、ずっと寝ているとカウントすることがあり、Fitbit を使う場合は、睡眠時だけではなく、日常生活においても装着して貰う必要があることがわかった。装着の有無は、心拍データからわかるため、心拍データが計測できている部分だけデータを活用するなど、今後の分析において工夫したいと思う。

また、2020 年 1 月から、別の企業を含む 100 名を対象とした実験を行った。この実験では、同様のデータ収集に加えて、さまざまな休憩の仕方を情報として提示する行動介入実験も行った。

研究テーマ B「オフィス環境における姿勢と椅子の設定計測システム」

実際のオフィス環境における身体状態の計測システムの構築に取り組んだ。身体の計測に関しては、デスクワーク中の姿勢に着目し、18 通りの着座姿勢を継続的に計測、評価可能な姿勢認識チェアを開発した。さらに、椅子自体の設定をセンシングする機構を椅子内部に組み込み、姿勢計測機能と組み合わせ、椅子の設定が適切であるかどうかを診断するシステムへと発展させた。卓上に設置したタブレットアプリを通じて、適切な設定と現在の設定の差異を可視化して見せることで、利用者が椅子の設定を変更するという行動変容の導線も構築している。

開発した姿勢認識チェアとタブレットアプリの詳細は以下の通りである。椅子については、メッシュ座面を対象とし加速度センサ 8 個を利用したタイプと、ウレタン座面を対象とし圧力センサ 16 枚を利用したタイプの2つを開発している。前者は、メッシュ座面のたわみを特徴量とし、後者は圧力の分布を特徴量として、機械学習による姿勢認識モデルを構築している。椅子の設定としては、椅子の高さ、肘掛けの高さ、座面の奥行き、バックカーブアジャストの上下、をセンシングしている。

本開発においては、オフィス家具メーカーであるオカムラと協力し、実際に市販されている椅子を対象に、センサを内蔵するためのパーツ修正まで踏み込んでいる。さらに、2019 年 7 月より、都内の一般コワーキングスペースにおいて常設稼働しており、さまざまな利用者に体験してもらっている。

研究テーマ C「生活空間内のインタラクションによる行動変容誘発システム」

行動を変化させるためには、変化の目的ときっかけが必要となる。そこで、研究室を社会と見立て、社会の中で利用される家電、デジタルサイネージ、グループウェアなどを通じて、情報を提示し、社会の住人の行動を変容させるシステムを設計、実装し、実験を行った。また、行動変容を継続的に誘発させるメカニズムについて、グループフィットネスアプリを用いた実験を行い、友だち同士の励まし合いといったソーシャルサポート機能が重要であることを明らかにした。

まず、インタラクティブサイネージを用いた行動変容誘発システムについて説明する。このシステムは、iPad を用いて実装したサイネージが生活空間内に複数配置される環境を想定している。実際に、我々の実験では、下駄箱、廊下、研究室内の休憩スペース、会議室の休憩スペース(コーヒーマーカーや電子レンジがある)という 4 箇所に設置した。そして、そこで生活する学生には、小型のビーコンタグを配布し、普段首から下げている学生証ケースの中に入れてもらった。サイネージは、ビーコンの電波を受信すると、さまざまなシナリオの中から1つを選び、能動的に対話を開始する。対話内容は、身長や体重といったプロフィールに関するものから、ストレス状態など多岐に渡る。その中に、何らかの対応を要求する対話を混ぜ、ユーザの反応を観察する。対応が必要な対話としては、会議室の電気を消してください、コーヒーマーカーに水を補給してください等、この社会に対する貢献を促すものや、体重を測るという健康行動を促すものを含めた。

実際に構築したサイネージを学内4箇所に設置し、3週間にわたって、15名の被験者による評価実験を実施した。実験結果としては、意外にも被験者の受容性は高く、サイネージに対

してストレス状態を入力するといった行動変容も観察できた。このシステムを、Behavior Change Support System (BCSS) という概念を提唱している、オウル大学 Harri Oinas-Kukkonen 教授と共同研究を実施した。そして、2件の国際会議で発表するとともに、国際ジャーナルにも採択された。

また、グループフィットネスで継続的な運動、すなわち行動変容を推進する場合に、どのようなインセンティブやサポートが重要となるかについて、さまざまな国籍の対象者42人に対してヒアリングを行い、アプリケーションをデザインした。そのアプリケーションを用いて、23 人による1ヶ月の実調査を行った。結果として、グループ内、グループ間のコミュニケーションが運動継続に効果的であることやその効果は女性より男性に対して効果的であること、そして普段の運動量とは関係ないことを明らかにした(主要論文 5)。また、この結果に基づき、任意のグループを作成し、ウォーキング競争を実施可能なアプリケーション Walkus を開発し、公開している。

研究テーマ D「カーシェアリングに行動変容要素を入れた場合の効用シミュレーション」

近年、シェアリングエコノミーの普及により、レンタカーではなく、カーシェアリングを利用する人も増えている。しかしながら、カーシェアリングという場合も、乗降場所が同一であるラウンドトリップ型のカーシェアが大半である。乗り捨てを可能とするワンウェイ型カーシェアは、2014 年に法律が緩和され、日本でも実施可能になり、さまざまな事業者がチャレンジしたものの失敗に終わっている。その理由は、車両偏在を解決するコストである。つまり、乗車場所や降車場所に偏りが出た場合、何からの方法で元のバランスの取れた状態に戻す必要がある。

この課題に対して、研究テーマ D では、潜在的利用者(過去の利用者)に、乗車を依頼することで、車の移動を発生させ、平準化することを目指した。当初計画では、奈良先端大に整備されたワンウェイカーシェアリング実験設備を用い、実証的に行う予定であったが、設備の改修が困難であったことから、共同研究先であるパーク24が都内で実施した 100 拠点 100 台のワンウェイカーシェアリングサービス Times Car Plus × Ha:mo のデータを利用し、5つのユーザ利用パターンを定義し、シミュレーションによって潜在的利用者を活用した場合の効用について評価した。その結果、潜在的利用者に対する依頼トリップの受諾率が高ければ、当然配車効率は改善し、最大で 1.74 倍の要求をさばけることがわかった。このとき、1受諾に対する効用は、受諾率 0.4 が最大となることがわかった。

3. 今後の展開

オフィスにおける行動認識と行動変容に関しては、これまで収集したデータの分析を進め、産業保健領域の研究者とも連携することで、現在の年 1 回アンケートによるストレスチェックに変わる、経常的な自己チェックツールへと発展させていく。姿勢計測チェアおよび設定ナビゲーションは、これまで通り、オフィス家具メーカーと組んで市販を目指していく。オフィス内で行動変容を促すことは容易ではないと考えているが、見えなかったデータを可視化して提示することによる行動変容(例えば、音や空気の状態を伝えて、静かにしたり、換気をしたりといった行動へとつなげる)などは実現可能であると考えている。

4. 自己評価

本さがけ研究は、「実証的研究」と名付けたように、いずれの研究においても、実際の会社員、実際のカーシェアシステム、実際のオフィスから、行動データを収集し、行動変容を促す実験をしていくという点が最もチャレンジングな点であった。実験のしやすい小さな社会(オフィス)と実験が困難であるが社会的波及効果の大きな社会(カーシェア)という2本立てで研究を実施し、いずれも当初の目標通り、実証的に進めることができ、実験しないと得られない結果に辿り着いたと考えている。

前者に関しては当初の想定以上の成果が得られたと自負している。特に、一般企業 6 社 延べ 160 名に対する長期間かつ詳細な調査は、簡単に得られるデータではなく、今後、収集したデータからさまざまな価値ある関係性を見いだせると考えている。また、調査のために構築したシステムは、今後アンケート調査を用いているさまざまな領域で利用可能である。後者に関しては、学内カーシェアシステムの改修が難しかったことから、実際に行動変容を用いた車両偏在問題の解決には至らなかったが、100 台 100 拠点という大規模な実データを利用した効用シミュレーションができたことは大きな成果であると考えている。引き続き、九州大学内のオンデマンド交通において、達成できなかった行動変容部分を進めていく予定である。

研究の進め方という観点では、概ねうまく進めることができたと考えている。テーマ毎に、さまざまな組み方で企業と連携することで、実データを取得するという観点と研究成果を実用化するという観点の両方において期待以上の成果をあげられたと考えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. 千住琴音, 諏訪博彦, 水本旭洋, 荒川豊, 安本慶一. ワンウェイカーシェアリング実現に向けた潜在的利用者による車両偏在問題の解決. 情報処理学会論文誌, 2019. Vol.60, No.10, pp. 1818-1828.
2. Zhihua Zhang, Yuta Takahashi, Manato Fujimoto, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto. Investigating effects of interactive signage-based stimulation for promoting behavior change. Computational Intelligence. 2019. Vol.35, No. 3, pp 643-668.
3. Yutaka Arakawa. Sensing and Changing Human Behavior for Workplace Wellness. Journal of Information Processing. 2019. Vol.27, pp. 614-623.
4. Edith Talina Luhanga, Akpa Akpro Elder Hippocrate, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto. Identifying and Evaluating User Requirements for Smartphone Group Fitness Applications. 2018. IEEE Access, Vol.6, pp.3256-3269.
5. Yugo Nakamura, Yutaka Arakawa, Takuya Kanehira, Masashi Fujiwara, Keiichi Yasumoto. SenStick: Comprehensive sensing platform with an ultra tiny all-in-one sensor board for IoT research. Journal of Sensors. 2017. Article ID 6308302, 16 pages.

(2)特許出願

研究期間累積件数:3 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

1.

発 明 者:荒川, 水本, 音田, 菅田, 佐野, 小花, 上西, 中島
発明の名称 :着座姿勢判定装置, 椅子, 着座判定方法, プログラム
出 願 人:国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学, オカムラ
出 願 日:2018/11/5
出 願 番 号 :JP20180208470

2

発 明 者:荒川, 水本, 音田, 菅田, 佐野, 小花, 上西, 中島
発明の名称 :着座姿勢判定装置, 椅子, 着座判定方法, プログラム
出 願 人:国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学, オカムラ
出 願 日:2018/11/5
出 願 番 号 :JP20180208469

3.

発 明 者:荒川, 音田, 小花, 上西, 中島
発明の名称 :着座姿勢判定装置, 椅子, 着座判定方法, プログラム
出 願 人:国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学, オカムラ
出 願 日:2017/8/31
出 願 番 号 :JP20170167989

(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. IPSJ/IEEE Computer Society Young Computer Researcher Award
「Outstanding Research on Human Behavior Change by Information Technology」
(表彰式:2018 年 7 月 25 日) |
| 2. 島津 明人, 稲水 伸行, 花里 真道, 荒川 豊, 石井 香織. 働き方の近未来:働き方の多様化とポジティブメンタルヘルス. 産業ストレス研究(Job Stress Res.). 2019. Vol.26, No.4, 日本産業ストレス学会 |
| 3. 荒川豊. [招待講演]センサによるコンテキスト認識と行動変容 ～情報技術によるスマートオフィスの実現に向けて～. 第 26 回日本産業ストレス学会, 2018 年 12 月 1 日. |
| 4. 荒川豊. [招待講演]オフィス環境におけるコンテキストセンシングと行動変容—情報技術によるスマートオフィスの実現に向けて—. 日本行動医学会第 24 回学術総会. 2017 年 12 月 2 日. |
| 5. 荒川豊. [招待講演]オフィスにおける従業員のメンタル状態センシングと行動介入. JST-NSF-DATAIA 国際連携シンポジウム～IoT が切り拓く未来～, 2019 年 3 月 11 日. |

研 究 報 告 書

「触れ合いデータを収集する子供アンドロイド高機能化」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研 究 者: 石原 尚

1. 研究のねらい

本研究のねらいは、人と親密に触れ合いながら場をセンシングできるロボットを開発し、そのロボットを用いて触れ合いのビッグデータを収集し、価値のある情報を人から引き出す動作方法を実験的に見つけ出すことで、人社会において人型ロボットが効果的に情報基盤の向上に貢献する「共生ロボット情報化社会」の実現に結び付けることである。人と人のインタラクションで交わされる情報はビッグデータであり、個人個人の特性に合わせたサービスを提供する情報技術基盤構築に貢献しうる価値のあるデータが含まれていると考えられるが、そのようなデータを効果的に収集する方法は確立されていない。本提案では、触れ合いの情報を主観視点で能動的に人から引き出し、効果的に収集できる情報収集装置の一形態として子供型アンドロイドを考える。柔らかくふくよかな皮膚で覆われつつも、柔らかくまた幅広い動作が可能であり、人の接触を敏感に感知でき、さらに人に似た豊かな表情を呈示可能な、「人と親密に触れ合うこと」に特化した感知・呈示機能を有する子供型アンドロイドロボットを開発し、その触れ合い性能の高機能化に取り組む。そして、親密な触れ合いの中で生じる情報はどのようなのか、人からの豊かな情報を引き出すためにはいかなる振る舞いをロボットにさせることが効果的か、また、ロボットの振る舞いや身体要素の違いによって引き出される情報はどのように変わっていくのか、といった触れ合いに関するビッグデータを実験的に収集して分析する。さらにその分析結果に基づいて、より効果的に価値ある情報を引き出せるようにロボットの振る舞いや身体要素を洗練させていく。このようにして、触れ合い性能に特化した子供型アンドロイドを、人社会の中で作用する、能動的且つ親和的な情報収集デバイスとして活用する「共生ロボット情報化社会」の実現を目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、①アンドロイド身体デバイス開発、②デバイスの評価解析、③デバイスに対する人からの入力データ収集と分析、④デバイスの対人影響解析、の4領域の研究を並行して進めることで課題の達成を試みた。領域①では、頭や手などの部位毎に必要な機能要件を定め、構造や作成法検討を含めたデバイス開発を行った。具体的には、16の皮膚駆動ユニットを搭載した頭部(業績(1)-3)、三次元方向の接触力を推定可能な肉厚柔軟皮膚センサ(業績(1)-5)、及びこのセンサを備えるアンドロイドハンド(業績(3)-5)を開発した。領域②では、それらに対して、人と親密に触れ合う機能を高める上で必要な評価解析法を策定の上実施し、具体的な改善点を特定して改善に繋げた。頭部に対しては、駆動ユニット毎の皮膚の操作性を定量的に評価し(業績(1)-3)、操作性の低いユニットを特定するとともに、表情の遷移過程に時間的ニュアンスを持たせることを可能にした。アンドロイドハンドに対しては触感

印象評価を実施し、関節の可動域や方向、また表面摩擦が印象を損なう主要因であることを特定した(業績(3)-5)。領域③では、アンドロイド骨格への皮膚実装完了を待たずして皮膚センサへの入力データ解析の研究を開始するため、局所部分に複雑な操作を加える外科手術操作を題材とし、皮膚デバイスに対して縫合操作が加えられた場合の三次元変位データを取得し、人の緊張状態や動きの癖なども把握できる可能性を示した(業績(3)-3)。領域④では、身体デバイスの仕様を変えた複数の条件で人への影響の変化を調べ、仕様と人への影響の関係を解析し、人に所望の影響を与えるための仕様の在り方を絞り込んだ。異なる材料で作成したハンドをアンドロイドに取り付け、その触感と性格印象を調査し、子供アンドロイドに人が触れた際に、親しみやすく、また活き活きしつつかも弱い印象を与えるための皮膚の触感の要件を特定した(業績(1)-1)。上記取り組みを通じて、アンドロイドの性能評価解析法、また皮膚触感による性格印象呈示の可能性を切り拓くことができた。加えて、アンドロイドを高機能化する過程で得られた部分装置や解析技術がそれら単体で社会課題の解決に資する技術として転用される事例も生まれ、アンドロイド高機能化というテーマに関して本課題開始前には想定していなかった価値を見出すことができた。

(2) 詳細

領域①「アンドロイド身体デバイス開発」

頭部や手部ごとに必要な機能要件を定め、構造や作成法の検討を含めたデバイス開発を行った。具体的には、16の顔変形ユニットを搭載した子供アンドロイド頭部(業績(1)-3)、三次元方向の接触力を推定可能な肉厚柔軟皮膚センサ(業績(1)-5)、及びこのセンサを備える小型アンドロイドハンド(業績(3)-5)を開発した。図1に示すこの頭部は、柔らかい触感や外観印象となるように皮膚を厚めにし、また例えば小鼻をひくつかせたり、下唇で上唇を押し上げるなど、口や鼻の周囲の表情が豊かになるような仕様とした。図2に示す皮膚センサは、シリコンゴム層中に局所的に配合した強磁性粉末の三次元位置をゴム層下に敷いたコイル回路で遠隔推定する方式とした。この方式によって、身体部位に応じた測定範囲や感度の調整が容易で、大変形や衝撃にも強く、さらに良触感となる触覚機能付き皮膚を実現した。図3に示すアンドロイドハンドは、触覚センサが搭載されていることを人に意識させることなく、人の手に近い感触を与えられるように、人の

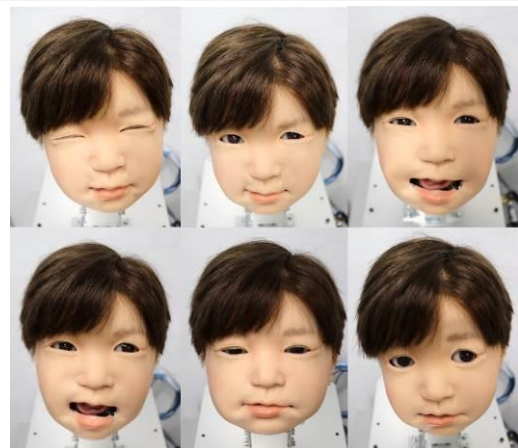


図 1 開発した頭部

図2に示す皮膚センサは、シリコンゴム層中に局所的に配合した強磁性粉末の三次元位置をゴム層下に敷いたコイル回路で遠隔推定する方式とした。この方式によって、身体部位に応じた測定範囲や感度の調整が容易で、大変形や衝撃にも強く、さらに良触感となる触覚機能付き皮膚を実現した。図3に示すアンドロイドハンドは、触覚センサが搭載されていることを人に意識させることなく、人の手に近い感触を与えられるように、人の

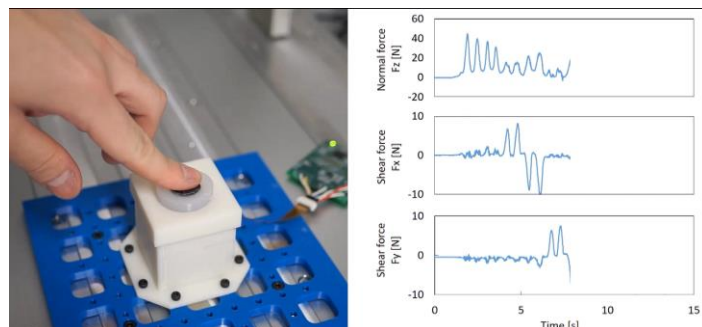


図 2 開発した触覚センサ

骨の形状を模した骨格上に前述の皮膚センサを実装した。

領域②「身体デバイスの評価解析」

上記領域①で開発したデバイスに対して、人と親密に触れ合う機能を高めるために必要な評価解析法を策定の上実施し、具体的な改善点を特定して改善に繋げた。頭部に対しては、内部の皮膚駆動ユニットへの動作指令の変化に応じた顔皮膚表面各点の三次元変位の分布を計測することで、駆動ユニット毎の皮膚の操作性を定量的に評価した(業績(1)-3)。これによって、操作性の低いユニットを特定するとともに、表情を切り替える際の遷移過程に時間的なニュアンスを持たせることが可能になった。またこの評価に基づいて、操作性の低いユニットの機構の改良も実施した。アンドロイドハンドに対しては、触感印象評価を実施し、関節の可動域や方向、また皮膚表面の摩擦が印象を損なう主要因であることを特定した(業績(3)-5)。



図 3 アンドロイドハンド

領域③「入力データの収集と分析」

各デバイスに対して複雑多様な入力操作が行われる状況を設定し、得られたデータの特徴を分析することで、将来的な大規模入力データの解析を進める上の指針を得た。アンドロイド上への皮膚実装完了を待たずして皮膚センサデバイスへの入力データ解析の研究を開始するため、局所部分に複雑な操作を加える外科手術操作を題材とし、皮膚デバイスに対して縫合操作が加えられた場合の三次元変位データを取得した(業績(3)-3)。このデータには手の震えのような周期変動も載っていたことから、開発したセンサを用いることで、単に触り方のパターンだけでなく、人の緊張状態や動きの癖なども把握できる可能性が示された。また、この研究の実施に際し、触覚センサの構造を見直し、金属接近によるセンサ誤反応の影響低減も達成した。

領域④「身体デバイスの対人影響解析」

身体デバイスの仕様を変えた複数の条件で人への影響の変化を調べ、仕様と人への影響の関係を解析し、人に所望の影響を与えるための仕様の在り方を絞り込んだ。子供アンドロイドに人が触れた際に、親しみやすく、また生き生きしつつもか弱い印象を与えるための皮膚の触感はいかなるものであればよいかを特定するため、異なる材料で作成したハンドをアンドロイドに取り付け、その触感と性格印象を調査した(業績(1)-1)。統計的な解析の結果、感触を良くすることが親しみやすさと生き生きした印象を高め、しっとりと丸みを帯びた触感がか弱さと生き生きした印象を高め、また表面の滑らかさの触感がか弱い印象を高めることが分かった。皮膚の弾力触感は、生き生きとした印象を高める一方でか弱い印象を損なうため、決定の難しい触感特性であることもわかった。

3. 今後の展開

①アンドロイド用皮膚への変温・変色機能の実装

- ②人の顔面皮膚変形を再現するためのアンドロイドの顔皮膚材料と構造の革新
- ③アンドロイド皮膚への触覚センサの大規模実装
- ④人の表情のアンドロイドへの転写
- ⑤頭部・上半身・手部・脚部骨格機構の統合と機械信頼性向上
- ⑥全身骨格機構への皮膚実装
- ⑦アンドロイド感覚入力から表現への結び付け

4. 自己評価

これまで工学研究として体系的な取り組みがなかったアンドロイドロボットの高機能化という挑戦課題に対して、(1)「触れ合いやすく、感知力と表現力に優れるものにする事で人から情報を得やすくする」という目標設定からトップダウン的に身体各部の機能要件を定めること、(2)機能の改善点を特定することができる評価解析方法を確立すること、の2点を重視した課題細分化を行うことで、解決可能かつ建設的な課題に落とし込むことができた。研究を進める上では、機械工学や情報工学だけでなく、電気電子工学、応用化学、心理統計学、認知科学、発達心理学、医歯学などの分野の技術や知見の結集が必要となり、連携を開始するまでに時間を費やしたものの、具体的な成果が実際に始まるまで各分野の研究者との連携体制の構築を進めることができた。課題の遂行につれて当初想定していなかった問題が多く表面化したため、人から価値のある情報を能動的に引き出せる子供アンドロイドを実現する、という最終的な目標の達成には届かなかったものの、表面化した諸問題を解決するために開発した装置や解析法それ自体が特徴的な技術として注目され、アンドロイドへの搭載という用途以外の利活用の道を見出すことができた。今後は、このさきがけ研究で見出した多くの価値を社会に還元できる形に具現化していくため、アンドロイド高機能化という垂直方向と、個々の派生技術の社会実装という水平方向の両方向で効率的に成果を生み出せるように研究体制を整えていく。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. Yuki Yamashita, Hisashi Ishihara, Takashi Ikeda, and Minoru Asada. Investigation of causal relationship between touch sensations of robots and personality impressions by path analysis. International Journal of Social Robotics. 2019, 11(1), pp. 141-150.
2. 山下裕基, 石原尚, 池田尊司, 浅田稔. 触感がもたらすロボット性格印象の変容に対する外見の人らしさの影響. 認知科学. 2018, 25(4), pp. 435-450.
3. Hisashi Ishihara, Binyi Wu, Minoru Asada. Identification and evaluation of the face system of a child android robot Affetto for surface motion design. Frontiers in Robotics and AI, 2018.
4. Hisashi Ishihara, Nobuyuki Ota, and Minoru Asada. Derivation of simple rules for complex flow vector fields on the lower part of the human face for robot face design. Bioinspiration&Biomimetics. 2017, 13, 015002.
5. Takumi Kawasetsu, Takato Horii, Hisashi Ishihara, and Minoru Asada. Flexible Tri-axis tactile sensor using a spiral inductor and magnetorheological elastomer. IEEE Sensors. 2018,

(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: 川節拓実, 堀井隆斗, 石原尚

発明の名称: 触覚センサ

出 願 人: 大阪大学

出 願 日: 2017 年 9 月 5 日

出 願 番 号: 2017-170627.

2.

発 明 者: 石原尚, 川節拓実, 堀井隆斗.

発明の名称: 情報処理装置、情報処理システム、およびセンサ装置

出 願 人: 大阪大学

出 願 日: 2019 年 1 月 18 日

出 願 番 号: 2019-007356 .

(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. (プレスリリース)新型子供アンドロイドの表情変化の作り分けに成功 アンドロイドの表情にニュアンスをつける新技術. 2018 年 11 月 14 日.

2. (受賞)学生奨励賞(共著)「子供型アンドロイドの接触反応表現のための柔軟な表情生成器と割り込み表情制御器の開発」HAI シンポジウム. 2019 年 3 月 9 日.

3. (学会発表) Kohei Fukuda, Takumi Kawasetsu, Hisashi Ishihara, Takato Horii, Ryoichi Nakamura, Hiroshi Kawahira, Minoru Asada. Measurement of Three-Dimensional Force Applied to Elastic Suture Training Pads for Laparoscopic Suturing. 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). Germany, 27 Jun. 2019.

4. (学会発表)福岡慶太, 石原尚. 子供型アンドロイドの接触反応表現のための柔軟な表情生成器と割り込み表情制御器の開発. HAIシンポジウム ポスターセッション. 神奈川県川崎市, P-31. 2019 年 3 月 8 日.

5. (学会発表)水野海渡, 川節拓実, 石原尚, 堀井隆斗, 浅田稔. 子供アンドロイドの接触反応実験に向けた骨格と触覚を備える小型手部の開発. ロボティクス・メカトロニクス 講演会, 広島県広島市, 2019.

研究報告書

「医療ビッグデータからの病態進行のシミュレーションによる先制医療に向けた研究開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研究者: 河添 悦昌

1. 研究のねらい

- 医療への AI 応用が本格化しているなか、画像や動画を対象とした AI は撮影モダリティの数だけ開発され、多くの報告がなされている。その一方で、投薬オーダや保険登録病名、検査結果といった種類のデータは、多くの系列からなる時系列としての性質を持つデータであるが、全系列が同時に測定されず、また測定間隔が不規則であることが解析上の問題となる。本研究では、このような多系列からなる医療データを利用する手法の開発を目指す。
- このような技術開発が必要な一方、医療分野における予測モデルを臨床現場で活用するためには、技術開発だけでは十分ではない。諸外国と比べ医療が普及・成熟している本邦において、AI による予測モデルの臨床現場への導入を進めるためには、予測モデルが臨床のアウトカムに与える具体的なインパクトを示す必要がある。開発した予測モデルを利用したと仮定した場合に、このようなアウトカムに与える影響が同時に提供できれば、導入を進めるための一つの手がかりになると考えられる。

2. 研究成果

(1) 概要

- 電子カルテデータは longitudinal なデータを多く含み、これは 1 つの対象について経過を追う複数の時点で観察結果を記録したものであるが、このことが予測モデルの開発を困難としている。例えば、血液や尿などの検体検査結果は典型的な longitudinal データであり、極めて多くの項目からなる多変数の時系列データであるが、全項目が同時に測定されず、また測定間隔が不規則であることにより時系列データとして扱う際に多くの欠損を生じ、解析の上での問題となる。また、検体検査結果以外にも、投薬オーダや保険登録病名などの情報を利用する上でも同様の問題が生じる。本研究の狙いの一つは、複数の医療データを時系列データとして活用する手法を開発することである。
- 本研究もう一つの狙いである、予測モデルが臨床のアウトカムに与える効果の見積もりについて、これを行った研究を提示する。この研究ではまず、高齢の入院患者における転倒の発生により延長する入院日数を、因果推論の手法により推定する。次に、診療テキストを利用して入院患者における転倒の発生を予測するモデルを開発し、このモデルの予測に従った転倒予防介入を行ったと仮定した場合に、どの程度の入院日数が短縮されるかを見積もりを行う。このことにより、どの程度のコストをかけてまで予測モデルを導入すべきかを判断する一つの手がかりを提供できると考えられる。

(2) 詳細

研究テーマ 1: 多系列医療データの表現手法と深部静脈血栓の発生予測モデルの開発

- これまで、不等間隔で測定される血液検査の欠損値の補間に畳み込みオートエンコーダを使った手法を適用し、線形補間に比べ精度の向上を認めること、ならびに、糖尿病検査項目の系列から、欠損を考慮したエンコーダ・デコーダモデルを用いて低次元特徴量を取り出し、この特徴量を元に予後分類を行うモデルの効果を報告してきた。
- 最終年度はこれを発展させ、多系列の共起関係から求めた分散表現によって医療データを表現する手法、ならびに深部静脈血栓の発生を予測するタスクにおける表現の有効性を検討した。
- 提案手法による特徴量を説明する。1症例における多系列を週の単位で量子化するとともに、値を2値に離散化する。同じ週において同時に値が1となる系列を共起している系列とし、全系列の共起頻度をカウントした行列 M から正の相互情報量を算出した行列 M_{PPMI} を得る。 M_{PPMI} を特異値分解し、特異値の小さなものを一定の基準で切り捨てることで次元を削減する。削減された行列において系列に対応する行をその系列の分散表現とする。同じ週に異なる系列の値が1となる場合には、分散表現ベクトルの各次元の最大値を採用することで複数の系列を集約する。提案手法による特徴量とベースライン(代表値)による特徴量を入力とするロジスティック回帰により DVT の有無を予測するタスクの精度を比較した。また、提案手法の特徴量を系列データとして扱い、bi-LSTM により DVT 有無を予測するモデルの精度の評価も行った。
- 提案手法による特徴量とベースラインの特徴量を入力とするロジスティック回帰モデルの ROC-AUC は、それぞれ 0.62 と 0.61 であり有意な差は見られなかった。また、提案手法による特徴量を Bi-LSTM に入力するモデルの精度は 0.61 であり、同様に有意な差は見られなかった。
- 提案手法による特徴量とベースラインの特徴量を入力とするロジスティック回帰モデルの精度に差が見られなかった理由として、実験に利用したデータセットは血液検査結果のみで DVT を推定するに十分な情報が含まれていたと考えられ、他カテゴリの系列との共起関係も埋め込むことのできる、提案手法の優位性を示すための適切なデータセットではなかった可能性が考えられた。

研究テーマ 2: 診療テキストからの機械学習モデルによる高齢患者の転倒予測と予測がもたらす効果の検討

- 医療機関において、高齢の入院患者の転倒は寝たきりや要介護状態をきたすことから、これを予防することが重要課題である。多くの病院では、入院時のリスクアセスメントツールにより転倒評価が行われるが、手作業による労力の問題や結果の再現性の問題から、電子カルテに記録される情報を2次的に活用してより高い精度の転倒予測を行うことが期待される。また、転倒の発生によりどの程度入院日数が延びるかを具体的に見積もった研究は知られていない。この日数が見積もられることにより、どの程度のコストを掛けてでも転倒を予防するべきかの目安になる可能性がある。

3. 今後の展開

- 研究テーマ 1 の多系列医療データの表現手法と深部静脈血栓の発生予測モデルについて、

疎な時系列情報として観測される医療データを表現する方法として、同じく離散的な情報を扱う自然言語処理の分散表現の手法に着想を得て、これを適用する手法を提案した。提案手法を評価するために用いたデータセットは実診療から得られた深部静脈血栓の発生有無がラベル付けされたものであるが、様々なバイアスの影響で提案手法を評価するために適切ではなかった可能性があるため、他のデータセットでの評価が必要であると考えている。

- 研究テーマ2の診療テキストからの機械学習モデルによる高齢患者の転倒予測と予測がもたらす効果の検討について、本研究ではまず因果推論の手法により、転倒が発生することにより延長する入院日数を見積もった。次に、診療テキストから転倒の予測を行う機械学習モデルの精度を評価し、従来のリスクアセスメントツールに用いられるロジスティック回帰の精度と比較を行った。最後に、モデルの予測に従ったと仮定した場合に入院期間がどの程度短縮するかとその損益分岐点を見積もった。研究の結果、診療テキストには、転倒に関するリスクアセスメントツール以上の情報が含まれていることがわかり、機械学習モデルがこれを利用して一定の精度で予測が可能になったと考えられた。また、これまで、高齢の入院患者が転倒することにより延長する入院日数の具体的な値は知られていなかったため、本研究で示す結果が病院内の転倒予防対策における一つの指標になる可能性がある。更に、研究の過程で作成した事前学習済みの汎用的言語モデルを一般に公開することにより、医療分野での自然言語処理の精度向上に貢献する可能性がある。

4. 自己評価

- 採択時の提案研究は、リアルワールドの医療データを利用するものであるため、電子カルテからこれを抽出し、大規模なデータセットを用意することの困難さとデータセットに含まれるバイアスの影響もあり、当初想定していた目的に十分に達成できなかった。一方で、医療の分野では、機械学習による予測モデルの精度を示すだけでは臨床現場への普及は難しく、予測モデルがもたらす臨床アウトカムの見積もりが必要であると考えた。研究期間の途中から追加した研究テーマ2ではこのことに取り組み、これまで知られてこなかったことを明らかにするとともに、予測モデルがもたらす具体的な臨床アウトカムが提示できたと考えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- Hayakawa M, Imai T, Kawazoe Y, Kozaki K, Ohe K., Auto-Generated Physiological Chain Data for an Ontological Framework for Pharmacology and Mechanism of Action to Determine Suspected Drugs in Cases of Dysuria., Drug Safety. 2019;42:1055-1069

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

(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)

- 河添 悦昌, 嶋本 公德, 篠原 恵美子, 山口 亮平. 事象の共起関係から求めた分散表現を用いた多次元医療データによる深部静脈血栓症の発症予測. 第2回日本メディカ

ル AI 学会学術集会 (2020/01/31)

- 河添悦昌, 倉沢央, 岩井聡, 香川璃奈, 大江和彦, 状態空間モデルと深層ニューラルネットワークによる検体検査結果の欠損値推定精度の比較, 医療情報学 37(Suppl.), pp.820-824, 2017.

研究報告書

「様々な形式のデータを言語で柔軟に記述する汎用的技術の開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研究者: 高村 大也

1. 研究のねらい

本研究の狙いは、様々な形式のデータを言語で表現するための汎用的な方法を開発することである。センサの普及やストレージの拡充により、金融データ、生理指標データ、人間の行動データなどを含む様々なデータが、数値データ、カテゴリカルデータ、テキストデータなど様々な形式で大量に蓄積されている。しかし、こういったデータが何を意味しているかを知るためには、人間が解釈する必要がある。さらにデータの解釈を他の人間に伝えるためには言語表現(テキスト)という形で説明する必要がある。これをコンピュータにより自動的に行うことができるようにすることで、蓄積されたデータが有効利用できるようになる。また、用途などにより、長さを含めた様々な制約が、生成されるテキストに課されることも応用上は多い。そこで本研究では、様々な形式のデータをテキストで柔軟に表現するための汎用的な方法を開発することを目的とする。より具体的には、《課題1》時系列数値データに対する説明テキスト生成手法の開発、《課題2》複数のデータに対する説明テキスト生成手法の開発、《課題3》テキスト生成において出力を柔軟に制御する技術の開発、の3つの課題を実施する。

これにより、様々なデータの意味が人間に理解しやすくなる。特にデータのドメインの専門家でない者が労力をかけずにデータを解釈したいときなどに有用である。また、テキスト化されたデータはマイニング手法を適用しやすく、大量のデータにおいて何が起きているのかを把握しやすくなる。

データをテキストで表現するための手法としては、言語生成能力の高い encoder-decoder ニューラルネットワークを拡張したモデルなどを考えている。

2. 研究成果

(1) 概要

いくつかのデータセットを題材に、各課題に関し研究開発を実施した。時系列数値データとしては、気象データと経済指標時系列データを準備し、それぞれに対する説明テキストを生成するニューラルネットワークを構築した。気象データは2次元データの時系列であるので、畳み込みニューラルネットワークなどで2次元データをエンコードしてから時系列モデルに入れる仕組みを用いた。このような手法を用い、時系列数値データから、高い精度で説明テキストを生成できることを実証した。また、これらのデータは複数の指標からなっており、複数のデータに対する説明テキスト生成手法の開発も同時に行った。これらのデータからのテキスト生成に加え、サッカーのプレーデータからのテキスト速報の生成や、バスケットボールのスタッツからの試合サマリの生成などを通し、技術開発を行った。サッカーのプレーデータは、プレイイベントが起こった時間、選手の位置、またプレーの種類など多様なデータから成る。これらのデータをエンコードし、デコード時には適切なプレイイベントにアテンションを当てる仕組みを

導入することで、より正確なテキスト速報を生成した。また、スタッツからの試合サマリの生成では、スタッツのどの部分に言及するかを明示的に決定する仕組みと、これまでどの部分に言及したかを記憶する仕組みを導入することで、より正確な試合サマリを生成することに成功した。出力テキストの制御技術の開発に関しては、テキストの出力長の制御技術、応答生成におけるテキストのスタイルの制御技術、また試合サマリ生成におけるサマリ著者の執筆スタイルの制御技術について、開発および検証を行った。また、上記3つの各課題に加え、近年提案された多くのテキスト生成技術を俯瞰的に整理し、どのような選択肢があり、どのような場合にどの手法を用いるべきかについて議論した。さらに、それらの手法を包含する一般的な枠組みを提案した。

(2) 詳細

《課題1》時系列数値データに対する説明テキスト生成手法の開発

時系列数値データとして、気象データを取り上げた(図1)。これは、日本の各地における気象関連の11指標(気温、気圧、湿度など)の値を、現時点から1時間ごとに84時間先まで予測したものである。すなわち、各指標が二次元データの時系列で表現されることになる。これに対し、各時点での情報を畳み込みニューラルネットワークあるいは多層パーセプトロンでエンコードし、これをさらにリカレントニューラルネットワークに入れて時系列としてモデル化した。さらに、天気予報コメント生成時のメタ情報(月、日、曜日、時間、場所)を埋め込みベクトルで表現して追加入力とすることで、メタ情報に依存する言語表現を生成できるようにした[主要な学会発表1]。

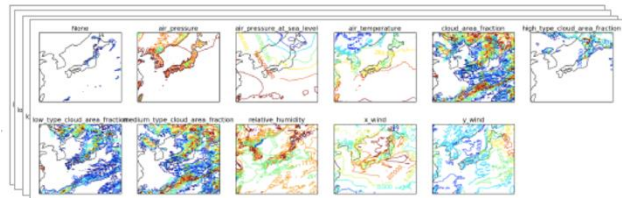


図1: 入力気象データの視覚化

《課題2》複数のデータに対する説明テキスト生成手法の開発

経済指標時系列データからの市況コメントの生成技術の開発を行った[論文発表4]。特に、複数の指標を入力として、日経平均の動きを、その変化要因(例:「米株高を好感し」とともに記述する技術を開発した。具体的には、主な記述対象である日経平均株価に加えて、東証株価指数、ダウ平均株価、S&P500、上海

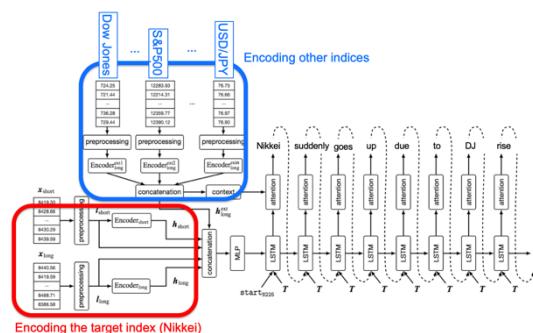


図2: 複数の経済指標を入力とし説明テキストを生成するニューラルネットワーク

総合指数, FTSE100 種総合株価指数, USD/JPY, USD/EUR の数値時系列を入力として、状況に応じて各指標にアクセスしつつ、日経平均の動きを変化要因とともに説明するニューラルネットワーク(図2)を構築した。例えば、

「日経平均、続落で始まる 米株安で、円高が重荷」

という市況コメントを出力することができる。これは NEDO 委託事業「人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発」との共同研究である。

また、サッカーのプレーデータからテキスト速報を生成する技術を開発した[論文発表 3]。プレーデータとは、試合中の各プレーイベント(シュート、パスなど)に対し、その時間、位置、関わった選手、など様々な情報を加えたデータである。関連しうるプレーイベントが複数存在するので、適格的にプレーイベントにアクセスすることで、より良いテキスト速報を生成することを可能にした。例えば、“Odion Ighalo has a shot blocked.”や、“Chris Smalling is shown yellow card for a foul on Dwight Gayle.”のようなテキスト速報が、開発手法により実際に生成された。

さらに、バスケットボールの試合のスタッツ(各選手の得点数、リバウンド数などのデータ)から試合サマリを生成する技術を開発した[論文発表 1]。この研究課題の特徴としては、各選手の得点数、リバウンド数など複数の種類のデータが入力となるため、入力データのサイズが大きいこと、また出力テキストも他のデータと比較すると長い文章であることが挙げられる(図 3)。単純なエンコーダ-デコーダでは、適切な文章が生成できないことがわかっている。本研究では、入力データのどの部分に言及するかを明示的に決定する、いわゆる内容選択をモデルに組み込んだ。さらに、サマリ全体として一貫性のある文章が生成できるように、テキストを生成しながら、そこまでに言及した情報をトラッキングし、それをテキスト生成に利用する仕組みを導入した。これは NEDO 委託事業「人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発」および産総研・東工大実社会ビッグデータ活用オープンイノベーションラボラトリ「ビッグデータを活用するデータ処理技術の開発」との共同研究である。

		スタッツ																試合サマリ	
TEAM	PLAYER	PTS	REB	AST	STL	BLK	TOV	FGM	FGA	FTM	FTA	PF	PTS	REB	AST	STL	BLK	SUMMARY	
		PTS	REB	AST	STL	BLK	TOV	FGM	FGA	FTM	FTA	PF	PTS	REB	AST	STL	BLK		
ATLANTA	Al Horford	12	10	3	1	2	4	4	10	2	4	2	12	10	3	1	2	The Miami Heat defeated Atlanta Hawks, 103 - 95, at Philips Arena on Wednesday. Atlanta was in desperate need of a win and they were able to take care of a short-handed Miami team here. Defense was key for the Hawks, as they held the Heat to 42 percent shooting and forced them to commit 16 turnovers. Atlanta also dominated in the paint, winning the rebounding battle, 47 - 34, and outscoring them in the paint 58 - 26. The Hawks shot 49 percent from the field and assisted on 27 of their 43 made baskets. This was a near wire-to-wire win for the Hawks, as Miami held just one lead in the first five minutes. Miami (7 - 15) are as beat-up as anyone right now and it's taking a toll on the heavily used starters. Hassan Whiteside really struggled in this game, as he amassed eight points, 12 rebounds and one block on 4-of-12 shooting. Tyler Johnson was the team's best player, as he tallied 27 points and five assists off the bench. Goran Dragic continued his good form, scoring 21 points and handing out four assists. Rodney McGruder got the start for Justise Winslow and finished with 11 points, five rebounds and five assists. It doesn't get any easier for the Heat, as they play the Cleveland Cavaliers on the road for their next game. Atlanta (11 - 12) had lost seven - straight headed into this game, so to say this win was needed would be a drastic understatement. Dwight Howard took a lot of the load on his broad shoulders, as he tallied 23 points, 17 rebounds and four assists. It wasn't just offense though, as he held the dominant Hassan Whiteside in check. Paul Millsap also played great, accumulating 21 points, nine rebounds, four steals and three blocks in the victory. Dennis Schroeder was the only other player in double figures, accruing 17 points, four rebounds and seven assists. Atlanta will look to build off this win on Friday, when they play the Milwaukee Bucks on the road.	
	DeAndre Ayton	10	12	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	12	2	1	1		
	Wendell Carter	10	10	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	10	2	1	1		
	Josh Richardson	10	10	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	10	2	1	1		
	Jeff Teague	10	10	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	10	2	1	1		
	Clayton Kershaw	10	10	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	10	2	1	1		
	Justin Verlander	10	10	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	10	2	1	1		
	Jacob deGrom	10	10	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	10	2	1	1		
	Shane Bieber	10	10	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	10	2	1	1		
	Gerrit Cole	10	10	2	1	1	3	4	10	2	4	2	10	10	2	1	1		
MIAMI	Jimmy Butler	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Tyler Johnson	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Willie Reed	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Devin Williams	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Leke Babbitt	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Clayton Kershaw	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Justin Verlander	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Jacob deGrom	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Shane Bieber	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		
	Gerrit Cole	27	12	5	1	1	2	11	23	10	20	4	27	12	5	1	1		

図 3: スタッツと試合サマリの例

《課題 3》テキスト生成において出力を柔軟に制御する技術の開発

対話における応答生成課題において、応答者の発話スタイルを考慮した応答生成モデル(図 3)を開発した[論文発表 2]。特に、応答者の過去の発話傾向と発話スタイルを関連付けてニューラル応答生成に利用することに成功した。ニューラルネットワークの構造を図 4 に示す。提案手法におけるスタイル付で必要なのは過去の発話集合であり、ここから発話傾向を導出することができるので、応答者がニューラルネットワークの訓練データに出現していなくても、利用可能である。これが類似の既存手法との大きな差異である。

また、日本語文圧縮という研究課題において、データセットを作成し、出力長を制御する技術の効果について検証した[論文発表 5]。さらに、上記で言及したバスケットボールの試合のサマリ生成においては、生成時に、該当するサマリ著者の情報を入れることで、テキストのスタイルが制御できることを示した[論文発表 3]。

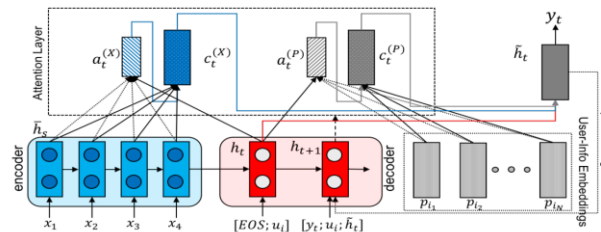


図 4: 応答生成のニューラルネットワーク構成

また、上記 3 つの各課題に加え、近年提案された多くのテキスト生成技術を俯瞰的に整理し、どのような選択肢があり、どのような場合にどの手法を用いるべきかについて議論した[主要な学会発表 2]。特に、入力データの性質に応じたエンコード方法の選択、内容プランの導入方法、エンティティのトラッキング方法などについて、議論した。

3. 今後の展開

本さがけ研究では、時系列数値データを含む複数の入力に対し、適切な説明テキストを生成する技術、および出力テキストのスタイルなどを制御する技術を開発した。また、新たなデータセットに対して、どのようなテキスト生成モデルで臨むべきかについての戦略を整理することができた。実応用に向けて必要となることの一つとして、生成されたテキストの内容の根拠となるものを示せる技術が挙げられる。それによりユーザが納得して使用してくれるものと思われる。また、より幅広い利用に向けては、現実の問題では、大規模な訓練データが用意できないこともあり、小さな訓練データでモデルが学習できるようにすることが挙げられる。

また、よりリアルタイム性が重要となる実況中継のような応用のためには、いつ生成するのか、どのくらいの長さの出力をするのか、などが適切に決定できる必要があり、基盤技術の開発が必要となる。

4. 自己評価

研究用のデータセットが十分に揃っていない、また自動評価方法も確立しておらず人手での評価が必要である、などの点で、チャレンジングな課題であった。しかし、さがけのサポートにより、時系列数値データを含む複数の入力に対し、適切な説明テキストを生成する技術が開発できた。また、個々の技術を俯瞰することでテキスト生成課題に臨む際の戦略が整理でき、それより汎用性が確保できた。研究の進め方に関しては、2 つの研究組織にまたがってプロジェクトをすすめることになったため、若干の難しさがあった。

技術としては、実用レベルに達していると考えられ、自動記事生成や速報テキスト生成などに利用できるの、適切な適用の場を見つけることで普及していこう。また、開発技術

の、スマートスピーカーへの応用や、実況生成などへの拡張などにより、さらに多くの場面で活用できるようになる可能性がある。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Hayate Iso, Yui Uehara, Tatsuya Ishigaki, Hiroshi Noji, Eiji Aramaki, Ichiro Kobayashi, Yusuke Miyao, Naoaki Okazaki, Hiroya Takamura. Learning to Select, Track, and Generate for Data-to-Text. Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2019. pp. 2102–2113.
2. Abdurrisyad Fikri, Hiroya Takamura, Manabu Okumura. Stylistically User-Specific Response Generation. International Natural Language Generation Conference (INLG). 2018. pp. 89–98.
3. Yasufumi Taniguchi, Yukun Feng, Hiroya Takamura, Manabu Okumura. Generating Live Soccer-Match Commentary from Play Data. AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2019. pp. 7096–7103.
4. Tatsuya Aoki, Akira Miyazawa, Tatsuya Ishigaki, Keiichi Goshima, Kasumi Aoki, Ichiro Kobayashi, Hiroya Takamura, Yusuke Miyao. Generating Market Comments Referring to External Resources. International Natural Language Generation Conference (INLG). 2018. pp. 135–139.
5. Shun Hasegawa, Yuta Kikuchi, Hiroya Takamura, Manabu Okumura. Japanese sentence compression with a large training dataset. The 55th annual meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). 2017. pp. 281–286.

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件 (公開前の出願件名については件数のみ記載)

(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. 村上聡一郎, 笹野遼平, 高村大也, 奥村学. “数値予報マップからの天気予報コメントの自動生成”. 言語処理学会年次大会. 2017.
2. 高村大也. “データを言語で記述するための一般的枠組み”. 人工知能学会全国大会. 2020.

招待講演

1. 高村大也. “言語生成技術 –データを言葉で記述する–”. JST-NSF 国際連携シンポジウム. 2019.
2. 高村大也. “言語生成技術”. 2019 年度第 5 回画像応用技術専門委員会. 2020.

3. 高村大也.“言語理解と言語生成”. 医学情報学連合大会. 2019.
4. 高村大也.“自然言語分野におけるグランドチャレンジ”. MIRU 第 21 回 画像の認識・理解シンポジウム. 2018.

研究報告書

「ネットワーク上の信号情報処理: 感染や災害の拡大を最小限に抑えるための基盤技術」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研究者: 田中 雄一

1. 研究のねらい

高速フーリエ変換(FFT)をはじめとした時間—周波数変換は、長い間データ解析ツールとして中心的な存在であった。FFT 等の信号処理技術は今日あらゆるデバイスで動作し、センサなどから得られた生のデータを、価値のある情報へと文字通り「変換」してきたと言える。一方、現在までの(デジタル)信号処理では「物理的に近い位置にある信号には近いインデックスが与えられている」という一つの大きな仮定が存在する。例えば音声等の時系列信号は強くこの仮定に従うし、画像等の多次元信号も、一般には格子点上に信号が配置される。信号処理がデータ解析ツールとして有用であったのは、従来の信号では、この仮定が(ある程度)成り立っていたからに他ならない。

一方、センサネットワーク、ソーシャルネットワーク、神経網、交通網等の広い意味でのネットワーク上に存在する大規模データ(信号)——ビッグデータ——は複雑な構造を持つため、前述した仮定が普通成り立たない。すなわち、従来利用されてきた信号処理技術・ツールを用いてこれらのビッグデータを解析することは非常に困難である。結果として、現在までのビッグデータ解析には、信号処理分野からの貢献が非常に小さかった。

本研究では、「安心・安全」な社会システムの実現を出口に見据え、信号情報処理の基盤技術の研究を進展させることをねらいとした。特に、我々の周りに存在する無数のセンサデータを有効に活用するために、信号処理の立場からセンサビッグデータ解析の基盤技術の提案を目指す。具体的には、ユーザやセンサ等の関わり・繋がりをネットワークとして考え、そのネットワーク上で信号処理(データ解析)を行う、グラフ信号処理及び関連研究分野の発展を中心として研究を行った。

さがけ研究で取り組んだ主な研究項目は以下の通りである。

1. 不均一なグラフ上のデータをサンプリングするための理論とアルゴリズム
2. 劣化したグラフ上のデータを復元するためのアルゴリズム
3. データからネットワーク(グラフ)を推定する手法
4. グラフ信号処理の実データへの応用

2. 研究成果

(1) 概要

グラフサンプリング定理を利用し、高速にグラフの部分頂点を選択するアルゴリズムに関して成果を挙げた(論文発表 1)。本アルゴリズムはグラフを行列で表した隣接行列・グラフラシアンなどの変分作用素の固有値分解を必要としないため、従来手法と比較して数十倍～数千倍高速に部分頂点を選択することができる。また、理論面においては、提案した評価関

数が多いの従来手法を特別な場合として含むことを明らかにした。さらに、グラフ信号処理のためのグラフ周波数領域におけるサンプリング手法を提案した(論文発表 4)。本サンプリングは従来の頂点領域における手法と根本的に異なるパラダイムであり、従来手法に内在する数多くの問題点を解決した。

劣化したグラフ上のデータを復元するアルゴリズムでは、2 種のアプローチを主に用いた。1 点目はグラフ上でデータ(信号)を帯域ごとに分割する、グラフウェーブレット・フィルタバンクを用いたアプローチである(論文発表 3)。ノイズ除去やぼけ除去に関して、従来手法と比較して大きな性能向上を果たした。2 点目は繰り返し処理に基づくアプローチである(論文発表 2)。特に凸最適化の反復アルゴリズムを拡張した Plug-and-Play アルゴリズムを利用し、現実的な計算時間で 10 万頂点を越えるグラフ上のデータを復元する手法を実現した。

グラフ信号処理は、信号だけでなくその背後に存在するグラフもデータ解析に必要であるが、グラフが与えられていない場合も数多くある。そのため、データの集合からグラフを推定する問題にも取り組んだ。特にネットワークが時間的に変動する時変グラフの推定に対し、従来手法と比較してよりネットワークがスパースになるよう定式化を行うことで、非常に精度よくグラフ推定ができることを明らかにした。

本研究の実データ解析への応用にも取り組み、成果を上げた(未公開)。

(2) 詳細

上記研究項目ごとの概要は以下の通りである。

1. 不均一なグラフ上のデータをサンプリングするための理論とアルゴリズム

グラフサンプリング定理は、時間領域のデータに対する(Shannon の)サンプリング定理のグラフ上データへの拡張として捉えられる。その本質は「グラフ上で滑らかに変動するデータを、その部分集合からいかに忠実に復元できるか」である。グラフ上のデータは通常の信号と異なり不規則な構造を持つため、サンプリング処理自体に任意性がある。本研究で取り組んだ問題は、

- ・ 様々なグラフサンプリング定理を、統一したフレームワークで記述することが可能か？
- ・ 多数の頂点を持つグラフから、その適切な(=データを高精度で復元できる)部分頂点を高速に選択する手法はどのようなものか？

の 2 点を中心である。

本項目では、グラフ局所性作用素を用いることで上記の問題に取り組んだ。グラフ局所性作用素は、各頂点とその近傍頂点上に局所的に存在する「フィルタ」であり、頂点領域・グラフ周波数領域双方で応答が局所化していることに特徴がある。サンプリングしたデータからの他の頂点上のデータの復元は、この局所性作用素によって行わ

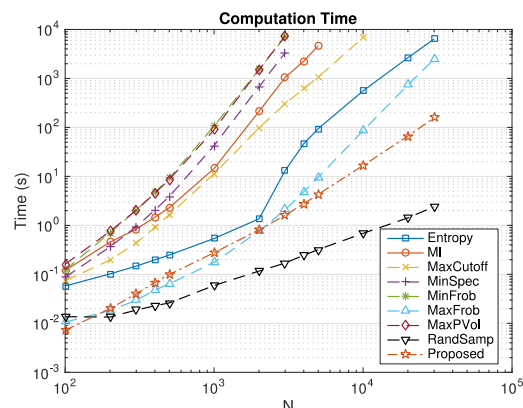


図 1 頂点選択の計算時間の比較。横軸はグラフの頂点数、縦軸は計算時間。両軸とも対数スケール。提案手法を赤色で示した。黒色は乱択による選択手法(信号復元精度が低い)。

れる。すなわち、一般の信号処理と同様の考え方で補間が行われることになる。サンプリング点選択は、直感的には局所性作用素ができるだけ重ならないような部分頂点集合を求める問題として定式化できる。さらに、局所性作用素は固有値分解を必要としないアルゴリズムを利用して実装できるため、従来手法で課題であった計算量の大きさを克服することができる。

従来のサンプリング頂点選択アルゴリズムは、行列値関数の最小化・最大化に基づいている(どのような行列を使うか、どのような関数にするか、等が手法によって異なる)。本研究では、従来手法で用いられている様々な行列が局所性作用素として表現でき、さらに、多くの行列値関数が局所性作用素を利用した評価関数の特別な場合として表現できることを明らかにした。

実際の頂点選択アルゴリズムをシミュレーションデータにより比較した従来手法と比較した。計算時間を図1に示す。図からわかるように、数十倍～数千倍高速に部分頂点を選択することが可能となった。

本成果は信号処理分野の権威ある論文誌である IEEE Transactions on Signal Processing へ掲載された(論文発表1)。

上記で述べたサンプリングは頂点の部分集合を選択する手法であり、従来の信号処理における時間領域でのサンプリングに相当する。時間領域でのサンプリングは周波数領域(フーリエ領域)で等価な表現が可能であることが昔から知られており、それを利用した様々なマルチレートシステムや信号処理アルゴリズムの提案や、解析手法が考案されてきた。一方で、グラフ信号処理システムは基本的にシフト不変性を持たないため、従来の信号処理のようにグラフ周波数領域で頂点領域のサンプリングを表現することは一般に不可能である。

本項目ではその欠点を逆に利用し、グラフ周波数領域でのサンプリングを新たに提案した。グラフ信号のサンプリングを周波数領域で定義することにより、1) シフト不変空間でのサンプリング(通常のサンプリング)と同様の処理をグラフ信号処理でも実現できる、2) 原信号の周波数特性をサンプリング後も引き継ぐことができる、等の利点がある。さらに、特別な場合において、頂点領域とグラフ周波数領域でのサンプリングが一致することを明らかにした。

本成果は信号処理分野の権威ある論文誌である IEEE Transactions on Signal Processing へ掲載された(論文発表4)。

2. 劣化したグラフ上のデータを復元するためのアルゴリズム

グラフ上データは、通常の信号と同様に 1) ノイズ、2) 欠損、3) ぼけ、などの劣化過程が考えられる。本研究では、画像処理における修復手法にもとづき、これをグラフ上データのために拡張した。

画像処理では、信号を帯域ごとに分割し、それぞれの帯域(サブバンドと呼ばれる)ごとに別々の処理(例えば、閾値を変えた処理)を実行する処理が行われることが多い。そのために必要なのがグラフ上データを帯域ごとに分割するグラフウェーブレット・フィルタバンクであり、特に上記周波数領域でのサンプリングを利用したフィルタバンクを新たに設計し、これをノイズ除去へ応用した。ランダムセンサグラフ上のデータのノイズ除去結果を表

1 に示す. ほとんどの場合で提案手法が優れた性能を示すことがわかる.

本成果は信号処理分野の権威ある論文誌である IEEE Transactions on Signal Processing へ掲載された(論文発表 3).

表 1 グラフ上データのノイズ除去結果. ノイズは加法的白色ガウシアンノイズ. Graph-SS が提案手法.

Methods / Graphs	Random sensor			Swiss roll			Community		
σ	1/16	1/8	1/4	1/16	1/8	1/4	1/16	1/8	1/4
GraphQMF	11.61	7.80	3.81	9.96	5.73	2.67	10.43	5.89	1.23
GraphBior	11.70	7.82	3.70	10.03	5.73	2.60	10.33	5.93	1.20
GraphFC	11.69	7.85	3.82	9.88	5.65	2.70	10.50	5.91	0.96
DiffWav	4.18	3.26	2.25	1.60	1.00	0.19	1.77	1.08	0.08
SubGFB	11.23	6.82	2.42	10.18	5.97	1.71	14.71	9.83	2.65
GLP	8.36	5.69	3.73	9.73	5.51	1.71	7.67	4.85	1.69
GraphSS-O(N)	11.22	7.75	4.51	9.26	5.91	3.16	7.30	2.77	-0.42
GraphSS-O(C)	<u>12.87</u>	<u>10.32</u>	<u>6.28</u>	<u>11.98</u>	<u>7.78</u>	3.76	12.39	7.58	1.81
GraphSS-B(N)	11.20	7.75	4.52	9.29	5.89	3.06	7.25	2.82	-0.48
GraphSS-B(C)	13.93	10.78	6.32	12.08	7.87	3.75	12.06	7.33	1.69
GraphSS-I(N)	11.22	7.68	4.46	9.43	5.90	3.10	7.33	2.81	-0.43
GraphSS-I(C)	11.74	9.32	5.76	11.56	7.68	3.65	<u>13.05</u>	<u>8.02</u>	<u>2.03</u>
Noisy	13.33	7.34	1.39	11.85	5.83	-0.15	10.10	4.09	-2.00

さらに, Plug-and-Play アルゴリズムと呼ばれる繰り返し処理をグラフ信号処理のために利用可能とした. Plug-and-Play アルゴリズムは凸最適化の繰り返し処理の一部を任意のノイズ除去手法に差し替えることにより構成される信号の復元アルゴリズムである. 全体の問題としては(一般に)凸でなくなってしまう一方で, 実装的には優れた性能を示すことが知られている. 本研究はこの Plug-and-Play アルゴリズムを世界で初めてグラフ上データのために利用可能とした. さらに, 特別な場合において, 本アルゴリズムを用いたデータの補間がグラフサンプリング定理の一種を用いた場合と等価となることを明らかにした. 従来手法が 1 万頂点以下でメモリ不足になってしまう一方で, 提案手法は固有値分解不要なアルゴリズムとして実装することで 10 万頂点程度まで安定して動作可能であり, 実応用のためには非常に大きなアドバンテージとなる. 本成果は信号処理分野の著名な国際会議である ICASSP 2019 に論文が採録された(論文発表 2).

3. データからネットワーク(グラフ)を推定する手法

グラフ信号処理手法を用いるためには, 当然ではあるがデータサンプル間の関係を表すグラフが事前に必要である. 一方で, 環境センサデータや点群などではグラフが明に与えられていない場合が多い. さらに, 格子点上に存在するデータ(例えば画像)においても, サンプル間の関係をグラフとして表現できれば, そのデータに対する理解度が格段に深まる.

本項目では, 特に時系列データに着目し, 空間的ネットワークが時間的に変動する時変グラフの推定に取り組んだ. 従来まで行われてきたほとんどのグラフ推定アルゴリズムは時間的変動を考慮しない静的なグラフの推定問題であったため, 時変グラフ推定のために新たな評価関数を考案した. 特にネットワークの時間的変化がスパースになるような制約項をもとに, 凸最適化問題を解くことで, 時変グラフ推定を達成した. 本成果は信号処理分野の著名な国際会議である ICASSP 2019 に論文が採録された.

4. グラフ信号処理の実データへの応用

本研究においては理論やアルゴリズムを実データへ手法を応用することも重要である。様々な実データが候補として考えられるが、基本的には非公開データが主である。例えば公開データに対する応用として画像処理や点群処理が考えられる。本項目では画像処理に関して述べる。

画像処理の前処理として広く用いられているのが、バイラテラルフィルタ等を利用したエッジ保存型平滑化である。一般にはエッジ保存型平滑化ではフィルタ係数を自身と周辺の画素値から決定する。つまりフィルタ係数が画素位置に依存する。そのため、通常の意味での周波数解析は困難であった。上述のようにグラフ信号処理はシフト不変性を持たない処理に対し周波数的解釈を与えることが可能であるため、画素依存型の画像処理に対してグラフ周波数領域の処理として表現することが可能となり、画像処理に対する理解度が飛躍的に高まった。

本成果の一部は総説論文として Proceedings of IEEE へ掲載された(発表論文 5)。

3. 今後の展開

本さがけ研究で得られた成果は、グラフ信号処理基礎理論の広い範囲に渡る。本研究開始前は黎明期にあったグラフ信号処理が、基礎理論の充実により徐々に成熟期に入ってきたと考えられる(一方で国内では我々がほとんど唯一の研究グループである)。今後は、基礎理論の発展とともに、実際の社会システムの応用に向けてより一層力を入れて取り組み、信号処理のみならずより広い分野へと成果を波及することを狙う。

具体的には、IoT を含めた広い意味でのセンサネットワーク・生体情報処理・自動運転などに利用される点群データのリアルタイム分類等を見据え、研究を展開していく。

4. 自己評価

当初申請時より一部の研究目的が変遷したものの、大きな目標として掲げていたグラフ信号処理の基盤理論構築に関して大きな進展が得られた。海外との共同研究も順調に進展し、共著論文も多数発表することができた。基礎理論よりの成果であるため社会への普及には時間がかかるが、その端緒としての成果も得られたと考えている。今後は自分自身だけでなく、本さがけで得られた人的ネットワークも利用して社会実装を目指しチームとしての共同研究を開始したいと考えている。

自己評価としては当初考えていた以上の成果が挙げられた。さらに、今後の展開・発展も見込めると考えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. A. Sakiyama, Y. Tanaka, T. Tanaka, and A. Ortega, "Eigendecomposition-free sampling set selection for graph signals," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 67, no. 10, pp. 2679-2692, 2019.
2. Y. Yazaki, Y. Tanaka, and S. H. Chan, "Interpolation and denoising of graph signals using plug-and-play ADMM," in Proc. Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. (ICASSP), 2019,

pp. 5431–5435.
3. A. Sakiyama, K. Watanabe, Y. Tanaka, and A. Ortega, “Two-channel critically-sampled graph filter banks with spectral domain sampling,” IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 67, no. 6, pp. 1447–1460, 2019.
4. Y. Tanaka, “Spectral domain sampling of graph signals,” IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 66, no. 14, pp. 3752–3767, 2018.
5. G. Cheung, E. Magli, Y. Tanaka, and M. Ng, “Graph spectral image processing,” Proceedings of the IEEE, vol. 106, no. 5, pp. 907–930, 2018.

(2)特許出願

研究期間累積件数:0 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

(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. (ブックチャプター) Y. Tanaka and A. Sakiyama, “Oversampled transforms for graph signals,” in Vertex-Frequency Analysis of Graph Signals, L. Stanković and E. Sejdić, Ed., Springer, 2019.
2. (チュートリアル講演)田中雄一, グラフ信号処理～基礎から応用まで～, 第 22 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2019), 大阪, 2019 年 7 月
3. (招待講演)田中雄一, “ネットワーク上のデータの周波数解析: グラフ信号処理とその応用”, 電子情報通信学会総合大会, 東京, 2018 年 3 月
4. (招待講演)田中雄一, “グラフ信号処理の基礎理論と最近の成果”, 第 40 回情報理論とその応用シンポジウム, 新潟, 2017 年 11 月
5. (Tutorial Talk) Y. Tanaka, “Graph wavelets and filter banks: Designs in graph spectral domain,” Graph Signal Processing Workshop 2017, Pittsburgh, PA, May 2017.

研 究 報 告 書

「ユーザの適応能力を活用する共創型音声生成機能拡張技術の構築」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研 究 者: 戸 田 智 基

1. 研究のねらい

音声は、言語情報(何を話しているかという情報)のみでなく、パラ言語情報(どのように話しているかという情報)や非言語情報(誰が話しているかという情報)といった様々な情報も同時に伝達可能であり、円滑な意思伝達を実現する上で欠かすことのできない媒体である。我々は、発声器官を巧みに動作させることで、所望の言語情報とパラ言語情報を持つ音声を即時に発声することができるが、同時に、身体的制約により個人に応じた声質が決定され、意図とは無関係に非言語情報が音声に埋め込まれる。この音声生成過程における物理的制約は、時として様々な障壁をもたらす要因となり、例えば、喉頭摘出による発声障害のように、発声器官の一部が動作しなくなるだけで、自然な音声の発声は困難となる。

物理的制約を超えて音声を自由に発声する機能の実現を目指す技術として、音声生成機能を拡張する情報通信技術が挙げられる。統計的音声変換処理を活用することで、発声された音声に対して、言語情報を保持したまま所望の情報のみを即時に変換する処理を施すものであり、非言語情報さえも意図的に制御可能となる。この音声生成機能拡張技術を発展させることで、発声障害者や高齢者が自身の失われた声を取り戻すことや、健常者が個人の能力的制約を超越した音声の表情付けを可能とする新たな発声法・歌唱法を獲得することが可能となり、社会のさらなるバリアフリー化および活性化を推し進めることができると期待される。

これまでの音声生成機能拡張技術に関する研究は、音声変換システム側の性能改善に主眼を置いており、信号処理と機械学習という要素技術を改善することで、変換音声の品質改善や適用可能な応用範囲の拡大に取り組んできたが、未だ変換音声の品質は不十分であり、ユーザの意思を適切に伝達できる音声を生成できる水準には至っていない。本研究では、実用化に耐えうる変換音声の実現を目指し、従来とは異なるアプローチとして、人が持つ高い適応能力に着目し、システム側の性能改善のみではなく、ユーザ側の協力も最大限に活用することを考える。特に、音声生成機能拡張においては、最終的に生成される変換音声の品質は、入力であるユーザの音声に大きく依存する点に着目し、ユーザ側がシステム側に適応する仕組みを新たに導入することで、ユーザの意図を適切に反映した音声を高品質に生成する共創型音声生成機能拡張技術の構築に取り組む。

2. 研究成果

(1) 概要

従来の信号処理と機械学習に基づく統計的音声変換処理に対して、新たにユーザによる協力的な行動を利用する仕組みを導入することで、従来のシステムからユーザへの歩み寄りに加えて、ユーザからシステムへの歩み寄りも活用する共創型音声生成機能拡張技術の構築に取り組んだ。共創型音声生成機能拡張技術の概要を図1に示す。

まず、従来のアプローチに基づくベースラインとして、A)リアルタイムに動作する統計的音声変換基盤技術を用いて、各種応用例を想定した音声生成機能拡張プロトタイプシステムを構築し、さらには、実環境下への適用に向けた技術改善に取り組んだ。次に、共創型音声生成機能拡張技術の実現に向けて、B)ユーザが発声した音声のみでなく、発声時に生じる動作信号も入力として併用することで、より表情豊かな音声へと変換する基盤技術の構築に取り組んだ。これらの研究成果をベースとして、C)ユーザとシステムの歩み寄りを利用する技術として、ユーザの協力的動作を活用する共創型音声生成機能拡張技術の構築に取り組んだ。具体的には、喉頭摘出者を対象とした応用技術として、電気式人工喉頭を用いた発声に加え、演奏動作なども協力的動作として併用することで、自由度の高い即興性に優れた歌唱を可能とする歌唱支援システムを構築した。また、健常者を対象とした応用技術として、特定のキャラクターの声色による発声・歌唱を可能とするために、声の高さを真似た特殊な発声・歌唱を協力的動作として活用することで、耐雑音性に優れた変換処理を実現するボイスチェンジャー・ボーカルエフェクターを構築した。これらの結果から、共創型音声生成機能拡張技術により、従来のシステムからユーザへ歩み寄るアプローチのみでは実現困難であった機能を実現できることを示した。

これらの研究に加え、近年の深層学習の発展に伴う基盤技術の改善により、統計的音声変換においても大きな技術の進展が得られる可能性が高まったため、D)深層学習に基づく統計的音声変換基盤技術の改善にも取り組んだ。特に、深層波形生成モデルに基づく統計的声質変換技術を世界に先駆けて提案するとともに、国際的音声変換技術評価会 Voice Conversion Challenge 2018 においては、23 グループ中、世界 2 位および3位相当の性能を実現するシステムを構築するまでに至った。

共創型音声生成機能拡張 = 信号処理 + 機械学習 + 協力的動作

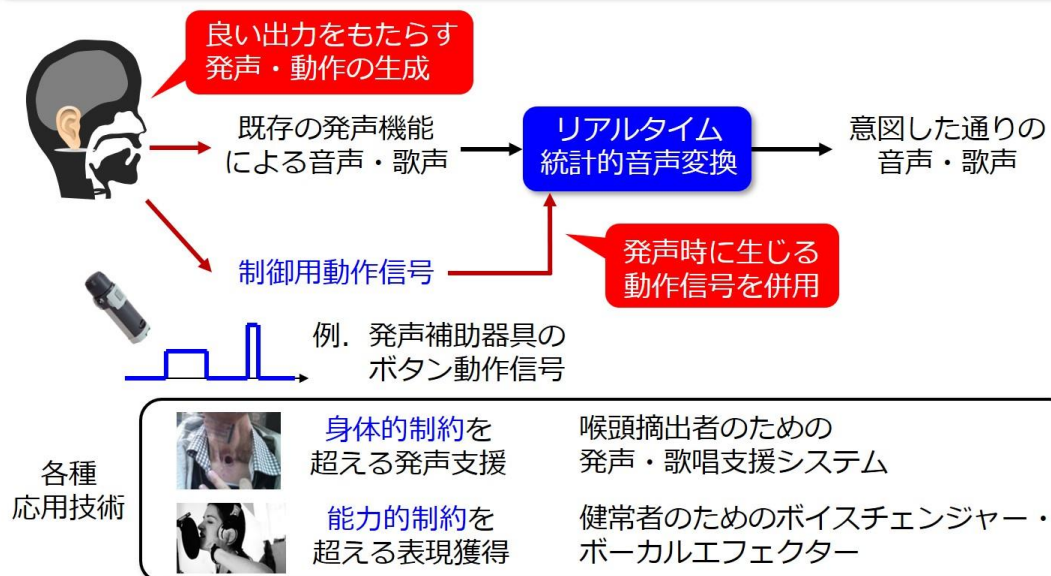


図1. 共創型音声生成機能拡張技術の概要

(2) 詳細

研究テーマ A「音声生成機能拡張プロトタイプシステムの構築」

リアルタイム統計的音声変換基盤技術を利用した音声生成機能拡張プロトタイプシステムとして、1) 喉頭摘出者が電気式人工喉頭を用いて発声した電気音声を自然な音声へと変換することで、身体的制約を超えた発声機能を獲得する発声支援システムと、2) 健常者が発声した音声を特定のキャラクターの声質へと変換することで、身体的制約を超えた音声表現を獲得するボイスチェンジャーシステムを構築した。また、各システムを実環境下で頑健に動作させるために、電気式人工喉頭の出力信号を直接制御する技術や、音声波形の直接加工処理に基づく音声変換技術【5. 主な研究成果リスト(1)1】など、変換モデル学習時と使用時の音響的不一致に対する頑健性を向上させる技術を構築した。

研究テーマ B「動作信号を併用した変換音声制御技術の構築」

喉頭摘出者のための発声支援システムにおいて、より表情豊かな音声の生成を可能とするシステムの実現を目指し、電気音声に加えて動作信号も併用する音声変換基盤技術の構築に取り組んだ。特に、多様な音声表情を含む歌声の生成を対象として、動作信号としてキーボードの演奏動作に着目し、MIDI(Musical Instrument Digital Interface)の音高情報から自然な歌声が持つ声の高さの変化パターンへと変換する技術、ならびに、電気音声の機械的な声質を緩和する技術を考案し、その有効性を示した【5. 主な研究成果リスト(3)1】。また、統計的音声変換技術も導入し、声質に関しても自然な歌声へと変換することで、より自然性の高い歌声による歌唱を可能とする歌唱支援システムを構築した。さらに、本技術の仕組みを応用し、喉頭摘出者の発声支援システムにおいて、電気式人工喉頭のボタン動作信号と変換音声の発話様式を統計的音声変換技術により結び付けることで、ボタン動作信号による発話様式制御機能を備えた発声支援システムを構築した。

研究テーマ C「発声者の協力的動作を活用した共創型音声生成機能拡張技術の構築」

ユーザである発声者・歌唱者とシステムがお互いに歩み寄り、より良い音声生成を可能とする音声生成機能拡張技術の一つとして、発声者の協力的動作を活用する共創型音声生成機能拡張技術の構築に取り組んだ。喉頭摘出者向けの応用技術として、キーボードの演奏動作を協力的動作として活用する技術を核とし、自由度の高い音高(メロディー)制御に基づく歌唱を可能とする歌唱支援システムを実現した(図2左図参照)。また、演奏を不得手とする喉頭摘出者向けには、協力的動作として、システムが提示する伴奏に合わせた電気式人工喉頭による同期発声を用いることで、事前に埋め込まれた音高パターンによる歌唱を可能とする音高パターン埋め込み型(カラオケ型)システムを構築した(図2右図参照)。一方で、健常者向けの応用技術としては、発声者の協力的動作として、同一音高歌唱・発声として、裏声などの特殊な歌唱・発声様式を活用することで、特定のキャラクターへの高精度な変換処理を実現するボーカルエフェクタ・ボイスチェンジャーを構築した。これにより、声の高さの変換処理を回避して、音声波形直接加工処理のみで統計的音声変換を実施することが可能となり、変換歌声、変換音声の耐雑音性の向上に成功した【5. 主な研究成果リスト(1)3】。一方で、裏声などの特殊な歌唱・発声様式の使用は、変換精度を若干劣化させる原因となり得ることも分かった。

研究テーマ D「統計的音声変換基盤の改善」

深層学習の発展に伴い、音声波形を直接モデル化する深層波形生成モデルが考案され、

音声合成基盤技術の性能が大幅に改善された。これにより、統計的音声変換においても大きな技術の進展が得られる可能性が高まったため、4) 深層学習に基づく統計的音声変換基盤技術の改善にも取り組んだ。音声特徴量から音声波形を合成するボコーダ処理に深層波形生成モデルを適用し、少量の音声データからでも高精度な音声波形を合成できることを世界に先駆けて明らかにし、深層波形生成モデルを用いた統計的音声変換技術を考案した【5. 主な研究成果リスト(3)4】。国際的音声変換技術評価会 Voice Conversion Challenge 2018 においては、従来型の音声変換基盤技術に基づき、国際的ベースラインシステム【5. 主な研究成果リスト(1)2】を構築するとともに、深層波形生成モデルを用いた統計的音声変換システムについても構築した【5. 主な研究成果リスト(1)5】。その結果、図3に示す通り、両システムは 23 グループ中、世界 2 位および3位相当の性能を達成するに至った。その後、統計的音声変換処理を考慮した深層波形生成モデル学習法を提案し、さらなる性能改善に成功した【5. 主な研究成果リスト(1)4】。

以上の通り、システムからユーザへの歩み寄りに相当する基盤技術の改善と、ユーザからシステムへの歩み寄りに相当するユーザの協力的動作を活用した統計的音声変換技術の構築を通して、共創型音声生成機能拡張技術を実現した。そのため、研究目的は概ね達成することができたといえる。国際講習会【5. 主な研究成果リスト(3)2】、国際会議チュートリアル【5. 主な研究成果リスト(3)3】、招待講演【5. 主な研究成果リスト(3)5】、Web ニュースでの技術紹介などのアウトリーチ活動を通して、本研究成果を広く周知することにも尽力した。

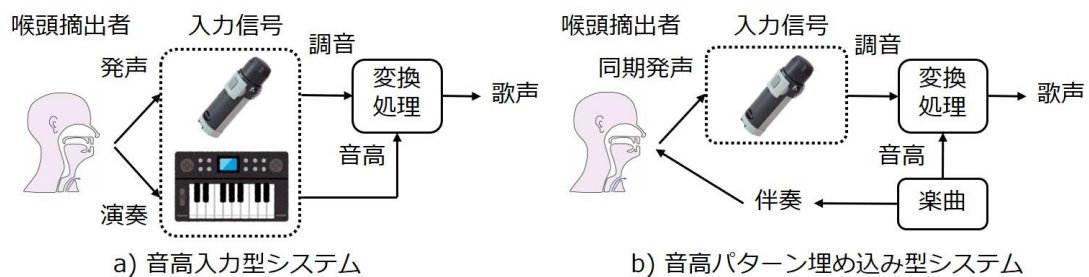


図2. 共創型音声生成機能拡張に基づく歌唱支援システム

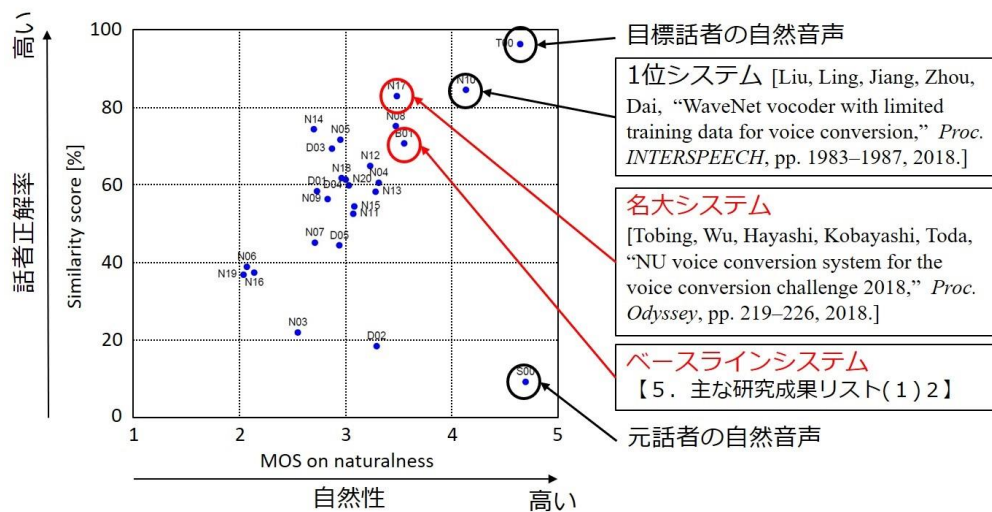


図3. 国際的音声変換技術評価会 Voice Conversion Challenge 2018 の結果

3. 今後の展開

本研究課題を通して、音声生成機能拡張技術の実用化に向けて、解決すべき技術的課題が明確となった。まず、研究テーマCの結果から、協力的動作として裏声などの特殊な発話様式を用いる場合、音高変換処理の回避による耐雑音性改善効果は得られるものの、若干の変換精度の低下を招く場合もあるといったトレードオフの存在が明らかとなった。また、特殊な発話様式は使用できる条件に限られることから、通常の発話様式についても利用可能な枠組みを検討する必要があるといえる。これに対し、研究テーマDの結果から、深層波形生成モデルの利用により、統計的音声変換において、高精度な音高変換処理の実現が可能であることが示された。そのため、システムからユーザへの歩み寄りとして、深層波形生成モデルを用いたリアルタイム統計的音声変換処理を実現することは、重要な研究課題といえる。

本研究課題では、様々な環境下で共創型音声生成機能拡張システムのデモを実施したが、その経験を通して、ユーザからシステムへの歩み寄りをさらに有効に利用するためには、データ駆動方式であるリアルタイム音声変換システムの挙動を、ユーザ自身が把握できる仕組みが必要であるとの考えに至った。そのための一手法として、インタラクションを通じてユーザがシステム挙動を把握する枠組みの構築が考えられ、1)発声・歌唱時に伴う多様なマルチモーダル動作信号の併用により、変換システム出力の意図的制御を高精度化し、2)機械学習への物理的制約の導入により、起こり得ないシステム出力を抑圧する不随意的制御を実現し、3)高精度かつ即時的なシステム出力フィードバックを達成する、といった技術的課題の解決が重要となる。これにより、即時的インタラクションの有効性と、システムを長期間使い続けることで生じる長期的インタラクションの有効性を調査することも可能となり、ユーザが自ずと協力的動作を習得していく過程をモデル化できると期待される。

以上の研究課題に取り組むプロジェクトを、JST CREST「共生インタラクション」領域の研究課題「音メディア機能拡張」(代表:戸田)として、2019年10月から開始している。

4. 自己評価

研究目的の達成状況:システムからユーザへの歩み寄りとユーザからシステムへの歩み寄りを活用した枠組みとして、ユーザの協力的動作を活用した統計的音声変換技術を構築し、共創型音声生成機能拡張の応用技術をいくつか具体化することができた。また、当初の計画にはなかった深層波形生成モデルに基づく統計的音声変換技術に関する研究についても、世界に先駆けて取り組むことができ、統計的音声変換基盤技術を大きく発展させることに貢献した。聴覚フィードバック制御による発話誘導に関しては、十分な成果は得られていないものの、本研究課題の主たる研究目的は概ね達成することができ、新たな技術課題を明らかにすることができた。

研究実施体制及び研究費執行状況:研究補助者を雇用することで、複数の研究課題を効率的に進めることができた。結果として、当初計画していなかった深層学習に基づく音声変換基盤技術の改善といった研究課題にも取り組むことができた。また、様々な国際会議にて論文発表を行うことで、音声変換分野以外の研究者に対しても、本研究成果を広く周知することができた。国際的音声変換評価会 Voice Conversion Challenge も盛り上がりを見せるなど、音声変換研究の活性化に大いに役立てることができた。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果:発声支援技術に関しては、富士通クラ

イアントコンピューティング株式会社と実用化に向けた共同研究を実施している。未だ、実用化には至っていないものの、実際の喉頭摘出者による評価実験を通して、多くの有益な知見を得ることができた。実用化に向けて、引き続き、JST CREST「音メディア機能拡張」プロジェクトで継続的に取り組む予定である。また、アウトリーチ活動の一環として、招待講演や各種メディアの取材に積極的に応じた。それに関連して、共創型音声生成機能拡張に基づくボイスチェンジャー・ボーカルエフェクタのデモを実施している様子が、動画として SNS 上で公開され、50 万回以上視聴されるなど、本研究課題の研究成果を社会的に知ってもらう機会を提供することができた。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Patrick Lumban Tobing, Kazuhiro Kobayashi, Tomoki Toda, “Articulatory controllable speech modification based on statistical inversion and production mappings,” IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2017, Vol. 25, No. 12, pp. 2337–2350.
2. 戸田 智基, 小林 和弘, “統計的声質変換ソフトウェア入門,” システム／制御／情報, システム制御情報学会, 2018, Vol. 62, No. 2, pp. 69–75.
3. Kazuhiro Kobayashi, Tomoki Toda, Satoshi Nakamura, “Intra-gender statistical singing voice conversion with direct waveform modification using log-spectral differential,” Speech Communication, 2018, Vol. 99, pp. 211–220.
4. Patrick Lumban Tobing, Yi-Chiao, Wu, Tomoki Hayashi, Kazuhiro Kobayashi, Tomoki Toda, “Voice conversion with CycleRNN-based spectral mapping and finely tuned WaveNet vocoder,” IEEE Access, 2019, Vol. 7, No. 1, pp. 171114–171125.
5. Yi-Chiao, Wu, Patrick Lumban Tobing, Tomoki Hayashi, Kazuhiro Kobayashi, Tomoki Toda, “Non-parallel voice conversion system with WaveNet vocoder and collapsed speech suppression,” IEEE Access, 2020, Vol. 8, No. 1, pp. 62094–62106.

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

(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. 国際会議論文: Kazuho Morikawa, Tomoki Toda, “Electrolaryngeal speech modification towards singing aid system for laryngectomees,” Proc. APSIPA ASC, 4 pages, 2017.
2. 国際講習会: Tomoki Toda, “Advanced voice conversion” and “Hands on voice conversion,” Speech Processing Courses in Crete (SPCC), 2018 and 2019, Greece.
3. 国際会議チュートリアル: Tomoki Toda, Kazuhiro Kobayashi, Tomoki Hayashi, “Statistical voice conversion with direct waveform modeling,” Tutorial, INTERSPEECH, 2019.
4. 解説論文: 戸田 智基, “機械学習と音声生成: 音声波形モデリングの進展,” 計測と制御, 2019, Vol. 58, No. 12, pp. 951–954.

5. 招待講演：戸田 智基, “音声変換技術と音声生成機能拡張への応用,” 電子情報通信学会 2020 年総合大会 ソサイエティ合同企画「情報通信技術と人間相互理解の未来」, 2020, 2 pages.

研究報告書

「情動や運動の記憶保持機能を基盤とした次世代語彙学習システムの設計」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研究者: 福島 政期

1. 研究のねらい

記憶に関する神経生理学や心理学の最新の研究成果より、人が新たな事象を記憶する際に、「情動(感情を含む)」や「運動」がその五感覚情報を長期記憶化させることが明らかになりつつある。例えばホラー映画など、「情動」をかきたてられた場面の体験は忘れたくても忘れられないことがある。また、「運動」には、神経細胞新生を促す効果や脳由来神経栄養因子を増加させる効果、ノルアドレナリンを増加させる効果など、学習に最適な脳と身体の状態をつくり出す機能がある。米国では 10 年以上前からこの機能に着目し、高校の 0 時限に体育の授業を取り入れる試みが行われている。

本研究課題では、近年明らかになりつつあるこのような情動や運動の生理学的効果と VR・AR 技術を統合し、記憶の長期化に効果的な語彙学習手法を創出することを目指す。長期的な記憶を得るために、英語と日本語を眺めながら機械的に反復するのではなく、情動や運動を伴った「体験」で学ぶ選択肢を学習者に提供する。これにより、留学が困難な状況や語彙学習に費やす時間が少ないなどの社会状況に調和させる。

情動の記憶保持機能を利用するアプローチでは、情動性の音声で英単語を暗記することで「少ない提示回数で覚えられる」学習手法を目指す。暗記直後の記憶情報だけではなく、1 週間後の記憶情報を測ることで、記憶が長期化されたことを検証する。また、英語から日本語、日本語から英語の相互の連合記憶を強化するための方法論も検討する。

運動の記憶保持機能を利用するアプローチでは、通勤・通学路に学習したい英単語を関連付けながら配置できる学習システムや、屋外を散歩しながら英単語に遭遇できるような学習システムを目指す。これにより、歩行やジョギングなどの軽度の運動をしながら学習したくなるような学習環境を実現する。また、歩行中に安心して扱える情報の視覚デザインについても基礎的な研究を行う。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究課題は、「情動」や「運動」の生理学的効果と VR・AR 技術を統合し、記憶の長期化に効果的な語彙学習手法を創出することを目指した。

情動については、英単語の意味を効果音やバイノーラル音声で表現し、3D の音響変化の記憶として残すことに取り組んだ。例えば「aerate - 空気を吹き込む」という単語は、ダミーヘッドマイクに息を吹きかけながら収録する。学習者は吹き込まれた息の体感を通じて、意味記憶ではなくエピソード記憶を形成し、情動を喚起することで長期的な記憶を得られた[1]。ただし、この音声集は、個々の単語を覚えることに特化していたため、各エピソードの場面や時間、登場人物が離散的になってしまったことがあった。そこで、人の自伝的記憶に語彙をマッピングしながら

ら覚えるアプリケーションを制作した。さらに、英単語とそれに付随するエピソード情報との連合記憶の関係を知らるために、映画を素材として用い、字幕の英単語とシーンの連合記憶を強化することに取り組んだ。具体的には、字幕の提示位置をシーンに応じて変化させることで、字幕の英単語とシーンの連合記憶を強化できることを示した[3]。

運動については、通勤・通学路に、学習したい英単語を関連付けながら覚える意図的学習法と、場所に関連した単語を音声聴取する偶発的学習法を実装し、評価した。まず、前者の手法が記憶に与える影響を調べた。場所に無関係な英単語 10 語を、場所に関連付けながら覚えた場合と、屋内の部屋で英単語 10 語を覚えた場合を比較したところ、前者のほうが長期記憶に残ることが示唆された。ただし、前者においても場所と単語の関連付けに失敗した場合は忘却してしまうことがあった。そのため、単語を表す画像を選定し、その画像を場所に関連付けて覚えらるスマートフォンアプリケーションを制作した[4]。後者は、通勤・通学のような隙間時間に利用できる、場所に関する単語が音声で再生される偶発的語彙学習手法である。本手法で英単語を学習する場合と安静状態で英単語を学習する場合の両方を経験し、両者の忘却数の差異を比較した。その結果、本手法によって忘却数の低減が示唆された[2]。屋外での学習において、音声に加えて文字を用いて学習する際に、AR 用ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を利用することが想定される。その際のテキストの視覚デザインについても基礎的な検討を進めた[5]。

(2) 詳細

<研究項目 1>

英単語学習で利用される発音を確認する用途の音声の多くは、英語母語かつ訛りの少ないナレータの発音であり、正しく聞き取りやすいが印象に残りにくい。そこで、英単語の意味を効果音やバイノーラル音声で表現し、3D の音響変化の記憶として残すことに取り組んだ(図 1)。例えば「aerate - 空気を吹き込む」という単語は、ダミーヘッドマイクに息を吹きかけながら収録する。学習者は吹き込まれた息の体感を通じて、意味記憶ではなくエピソード記憶を形成し、情動を喚起することで長期的な記憶を得る。発音を確認する用途の音声(Baseline)と本手法をフラッシュカードアプリで比較したところ、Baseline よりも約 1.6 倍の英単語を長期記憶に残すことに成功した[1]。



図 1 左:学習の様子と画面、右:英単語を 10 語暗記した際の忘却数の比較結果

ただし、これらの音声集は、個々の単語を覚えることに特化していたため、各エピソードの場面や時間、登場人物が離散的であった。そこで、人の自伝的記憶に語彙をマッピングしながら覚えるアプリケーションを制作した。まずは、日本人の英語学習者向けの単語データである SVL12000 のすべてを、音のみで意味を他者に伝達できるものとそうでないものに分類した。次

に、伝達できると判断された単語をグルーピングして、10 単語のプロットを制作し、キャラクターと共にその単語をストーリーで学習できるアプリケーションを制作した(図 2)。

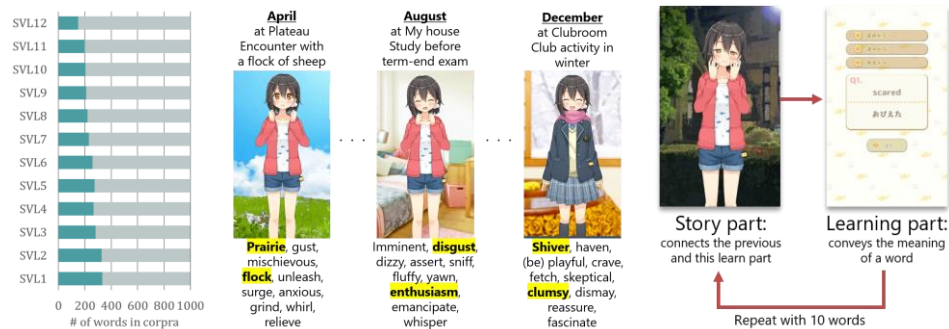


図 2 左:単語の分類結果(濃青が伝達可能)、中央:単語セットの例、右:学習画面

英単語とそれに付随するエピソード情報との連合記憶の関係を知るために、映画を素材として用い、字幕の英単語とシーンの連合記憶を強化することに取り組んだ。具体的には、字幕の提示位置をシーンに応じて変化させることで、英単語と日本語訳の連合記憶および、英単語とシーンの連合記憶が強化されるかどうかを調べた(図 3)。ひとつの映画から 10 シーンを選び、実験参加者間で比較したところ、字幕の英単語とシーンの連合記憶は強化されることは示せたが、シーンと日本語訳との連合記憶を強化することは現状できなかった[3]。



図 3 左:字幕位置を固定した場合と動かしした場合、右:シーンに関する再認テストの結果
＜研究項目 2＞

通勤・通学路に、学習したい英単語を関連付けながら覚える意図的学習法と、場所に関連した単語を音声聴取しながら学習する偶発的学習法を実装し評価した。

前者の手法が記憶に与える影響を調べるために、場所に無関係な英単語 10 語を、場所に関連付けながら覚えた場合と、屋内の部屋で英単語 10 語を覚えた場合を比較したところ、前者のほうが約 1.4 倍の英単語を長期記憶に残すことができた(図 4 左、中央)。ただし、前者においても場所と単語の関連付けに失敗した場合は忘却してしまうことがあった。そのため、英単語を表す画像を選定し、その画像を場所に関連付けて覚えられるスマートフォンアプリケーションを制作した[4](図 4 右)。学習者はアプリケーションの AR 機能を使い、場所に画像を配置するだけで関連付けを行うことができる。

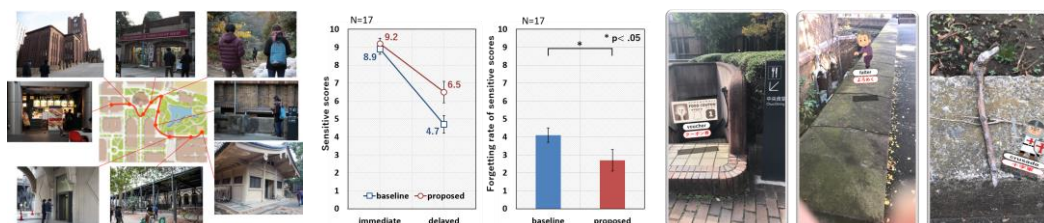


図 4 左:場所のリスト、中央:実験結果、右:AR 機能で画像を関連付けるアプリケーション

後者は、通勤・通学のような隙間時間に利用できる、場所に関する単語が音声で再生される偶発的語彙学習手法である(図 5)。本手法で英単語を学習する場合と安静状態で英単語を学習する場合(Baseline)の両方を経験し、両者の忘却数の差異を比較した。その結果、安静状態と本手法の条件間に有意差が認められ、本手法の学習によって忘却数が低減されることが示唆された[2]。



図 5 左:実験で利用した場所と単語の例、右:実験結果

屋外での学習において、音声に加えて文字を提示する際に、AR 用ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を利用することが想定される。その際の文字の視覚デザインについても基礎的な検討を進めた。HMD にテキストを表示する場合、画面の座標系でテキストを固定する方法(Screen)と、外部環境の座標系でテキストを固定させる方法(World)が考えられる(図 6)。ここでは、トレッドミルで歩行しながら、これら二つの座標系でテキストを表示した際の可読性と認知負荷、身体負荷を計測し、環境固定の方がすべてのスコアが高いことを示した[5]。



図 6 左:画面固定のテキスト表示と環境固定のテキスト表示、右:可読性と認知負荷に関する比較結果。Screen が画面固定で、World が環境固定を表す。

3. 今後の展開

<研究項目 1>

これまでは実験室の統制された環境での実験しか行えていなかった。今後は、日常生活の環境で大規模な実証実験を行う。そのために現在、スマートフォンアプリケーションのデバックやサーバー構築などを進めている。

スマートフォンアプリケーションの収録単語数を拡充する。現在、アプリに収録できた語彙は 90 単語であり、TOEIC レベル B(どんな状況でも適切なコミュニケーションをできる素地を備えている)の必要語彙数 6000 語には及ばない。語学学習者が本アプリで TOEIC レベル B の語彙に到達するためには、コンテンツの拡充が必須である。今後、語学学習企業と連携し、コンテンツを拡充する。

<研究項目 2>

研究項目 1 と同様に日常生活の環境での大規模な実証実験を行う。そのために、屋外の場所

に英語を表す画像を関連付けた写真を学習者同士で共有できるプラットフォームを構築する。また、場所から単語を生成するアルゴリズムを洗練させ、スマートフォンアプリとして実装する。

4. 自己評価

＜研究目的の達成状況＞

おおむね達成できている。特に研究項目 1 のえもたんはリリースに向けて進んでおり、新規の学習手法を設計・実装し、評価を積み重ねて社会に還元するまでに至った。しかし、研究項目 2 は、評価を積み重ねる段階で、研究期間が終了してしまい、社会に成果を還元するまでに至らなかった。また、研究項目 1 では、HMD や触覚モダリティとの統合を検討する予定だったが、進めることができなかった。

＜研究の進め方(研究実施体制及び研究費執行状況)＞

おおむね妥当な体制と執行状況であった。苗村教授の所属研究室の学生と共に、特に評価と考察について議論ができた。また、同じ学科の濱田助教やアリ助教と連携し、本研究課題に関連した研究成果を挙げることができた。ただし、実施すべき量に対して人手が足りず、学術成果数としては課題が残った。

＜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)＞

科学技術分野に波及しつつある。本研究課題以前は、運動の記憶保持機能を取り入れた語学学習の研究は、情報系の学会でほとんど発表されていなかった。しかし、2019 年度の情報処理学会の研究会で運動を利用した語学学習の研究が発表された。また IEEE Pervasive Computing では、2018 年に「Augmenting Humans」という特集号が組まれ、そのキーワードの一つに memory augmentation systems が挙げられた。さらに、東大にバーチャルリアリティ教育研究センターが設立し、エドテック連携研究機構が設立する予定である。学術界として、ここ 3 年で、VR や AR を教育や学習に統合する流れが加速している。今後、5 年間はこの流れが続くと予想している。

経済への波及はまだ十分ではない。これは研究成果をスマートフォンのアプリとしてリリースできていないためである。2020 年のリリースを機に徐々に認知されていくのではないかと考えている。今後、継続的に研究成果を社会に還元することで、情動や運動を踏まえた語学学習を経済へ波及させていく。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Shogo Fukushima: “EmoTan: enhanced flashcards for second language vocabulary learning with emotional binaural narration”, Research and Practice in Technology Enhanced Learning, vol. 14, no. 1, 16 pages, 2019.11.
2. Ari Hautasaari, Takeo Hamada, Kuntaro Ishiyama, and Shogo Fukushima: “VocaBura: A Method for Supporting Second Language Vocabulary Learning While Walking”, Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol. vol. 3, no. 4, Article 135, 23 pages, 2019.12.

- | | |
|----|--|
| 3. | 九鬼 慧太, 上久保 竜輝, 宗 健智, 福嶋 政期, 苗村 健: “映画を用いた英単語学習における話者追従字幕がコンテンツの記憶保持に与える影響”, 信学技報 MVE2019-20, vol. 119, no. 190, pp. 79-84, 2019.8. |
| 4. | 上久保 竜輝, 九鬼 慧太, 宗 健智, 福嶋 政期, 苗村 健: “写真撮影によって日常空間と単語を紐づける英単語学習”, 信学技報 MVE2018-78, vol. 118, no. 502, pp. 143-148 2019.8. |
| 5. | 福嶋 政期, 濱田 健夫, ハウタサーリ アリ: “AR 用ヘッドマウントディスプレイでのテキストの提示座標系が可読性に与える影響”, 第 36 回 VR 心理学研究委員会、琉球大学医学部, 2020.2. |

(2)特許出願

研究期間累積件数:1 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

1.

発 明 者: 福嶋 政期

発明の名称: コンテンツ作成方法

出 願 人: 産業技術総合研究所

出 願 日: 2017/11/30

出 願 番 号: 特願 2017-230887

(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. MVE 賞. 濱田 健夫, 福嶋 政期, ハウタサーリ アリ: “場所に関連した単語の音声提示による偶発的語彙学習手法”, 電子情報通信学会 信学技報 MVE2017-71, vol. 117, no. 485, pp. 29-33, 2018.3.
2. 中村光貴, 福嶋政期, 苗村健: “場所法を応用した AR 英単語学習システムに向けた基礎検討”, 情報処理学会第 79 回全国大会(日本, 名古屋), 2017.3
3. 中村 光貴, 荒見 篤郎, 上久保 竜輝, 福嶋 政期, 苗村 健: “英単語暗記システムのための綴りの類似性に関する基礎検討”,信学技報 MVE2017-37, vol. 117, no. 392, pp. 51-56, 2018.1.
4. 福嶋 政期: “情動喚起を伴う立体音響ナレーションで覚える体感型英単語学習の設計”, 電子情報通信学会 MVE 研究会 (MVE) 2017-70, vol. 117, no. 485, pp. 23-28, 2018.3
5. Shogo Fukushima, Ari Hautasaari and Takeo Hamada: “Second Language Vocabulary Learning While Walking”, In Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019 (AH2019). ACM, New York, NY, USA, Article 44, 2019.3.
6. Shogo Fukushima: “Design of Enhanced Flashcards for Second Language Vocabulary Learning with Emotional Binaural Narration”, 10th Augmented Human International Conference (AH2019), Article No. 46, 2019.3
7. 宗 健智, 九鬼 慧太, ハウタサーリ アリ, 福嶋 政期, 苗村 健: “歩行時のスマートグラスにおける縦書きと横書きの可読性に関する比較”, 信学技報, vol. 119, no. 457, pp. 257-262, 2020. 3.

研 究 報 告 書

「科学的発見のための非線形機械学習技術の創生」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研 究 者: 山田 誠

1. 研究のねらい

マテリアルズインフォマティクス, バイオインフォマティクス, ヘルスケア等の分野において, 計測機器の高度化や実験手法の発展により**大量かつ複雑なデータ**を得られるようになっている。しかし, 上記分野においては, 新規の科学的発見をすることが非常に重要なタスクであるが, 近年では新薬開発に数百億の費用がかかる等, データ増加だけでなく新規の重要な物質や化合物を見つけるための期間や費用も増大している。そのため, 科学的発見を効率化し, 医薬品や製品をいち早く消費者の元へ届けるだけではなく, 製品価格の上昇を抑えることが学術界のみならず産業界においても重要課題となっている。このような背景のもと, 人工知能や機械学習といった統計的な手法がデータ処理に積極的に用いられている。特に, **機械学習**は近年飛躍的な発展を遂げており, 学術界・産業界から大きな注目を浴びている。本研究の狙いは, 材料科学や創薬科学等の新規の科学的発見が非常に重要な分野において, 大量の候補から効率よく目的となる材料や化合物を自動的に見つけ出す機械学習技術基盤を構築することである。

私が提案する研究プロジェクトでは, 材料の候補物質選択や個別創薬に関連する高次元データ処理課題を抽出し, その課題を機械学習の問題として定式化する。具体的には, グラフ構造や非線形構造を持つ高次元大規模データベースからの特徴選択のデータ処理課題を軸に研究を展開していく。本プロジェクトでは, スパースモデリングを用いて上記の課題を定式化し, 新規の科学的発見手法の基礎理論を確立する。さらに, 高精度かつスケーラブルな機械学習ソフトウェア基盤を構築し, 材料科学や創薬科学においてパラダイムを生み出すことを目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

本さがけにおいては, 高次元小標本に対する, 非線形高次元統計モデリングに関する基礎研究およびその応用研究に取り組んだ。その結果, 非線形特徴選択の方法論において, 数十万次元といった超高次元データから入出力間に非線形関係のある特徴を選択する方法を開発できた。さらに, 小規模サーバーで超高次元データから特徴選択できるように HSIC Lasso を拡張した Block HSIC Lasso を提案した。本拡張により, 従来は扱うことのできなかった GWAS データから効率的に非線形関係のある特徴を選択できるようになった。そして, 白血病, アトピー性皮膚炎の発現量データにこれらの開発した特徴選択手法を用いることで, 白血病に関しては有望な治療標的をいくつか見いだすことに貢献した。

超高次元特徴選択の貢献に加え, 本さがけを通して非線形選択的推論の方法を世界に先駆けて提案することができた。具体的には, 重要な非線形手法の代表的な方法であるカーネル法に基づいた非線形選択的推論の枠組みを確立した。選択的推論とは, 特徴選択後で選択した特徴が統計的に優位かどうかを検定する方法論のことである。本貢献により, 既存の独

立性検定, 二標本検定, 適合度検定において選択的推論が可能となった. 今後, 提案する枠組みが拡張されることで, 新規の科学的発見を加速できると確信している.

(2) 詳細

研究テーマ A「非線形特徴選択手法のアルゴリズム開発」

(A-1) 高次元非線形特徴選択に関する研究

大規模分散処理を利用して数十万次元といった超高次元データから入出力間に非線形関係のある特徴を選択する方法を開発した. さらに, 小規模サーバーで数十万次元の大きさの問題を解けるように HSIC Lasso を拡張した Block HSIC Lasso を提案した. 本拡張により, 従来は扱うことのできなかった GWAS データから効率的に非線形関係のある特徴を選択できるようになった (表1).

表1. 大規模データにおける実験結果.

データ	特徴数	サンプル数	Raw	LARS	HSIC Lasso
RA	352,773	3,451	0.671 ± 0.002	0.572 ± 0.002	0.767 ± 0.004
T1D	352,853	3,443	0.671 ± 0.006	0.569 ± 0.004	0.788 ± 0.002
T2D	353,046	3,456	0.609 ± 0.004	0.565 ± 0.005	0.675 ± 0.003

さらに, 提案した Block HSIC Lasso の Python コード(pyHSICLasso)を Github で配布する等, 機械学習以外の研究者も容易に使えるようにした. これらの研究成果を, トップジャーナルである IEEE TKDE および Bioinformatics 氏に報告したところ, TKDE に関しては出版後 popular Documents の上位に 1 年以上連続でランクされる等非常に高い注目を集めた. バイオデータのような数十万次元といった高次元データから非線形性を利用して特徴選択できるソフトウェアは非常に少ないため, 今後本ソフトウェアが普及することで, 従来見つからなかった発見が可能となることを期待している. HSIC Lasso のアルゴリズム研究開発に加え, HSIC Lasso の理論的性質 (Consistency, Support recovery)を明らかにした. 本研究成果は, AISTATS 2020 に報告予定である.

$$\min_{\alpha \in \mathbb{R}_+^d} \frac{1}{2} \left\| \bar{L} - \sum_{k=1}^d \alpha_k \bar{K}^{(k)} \right\|_F^2 + \lambda \|\alpha\|_1$$



pyHSICLasso

github.com/riken-aip/pyHSICLasso

\$ pip install pyHSICLasso

図1. pyHSICLasso パッケージ.

(A-2) 非線形選択的推論の確立

バイオデータのような入出力間に非線形関係のあるデータから, 重要な非線形特徴を選択できるカーネル法に基づいた非線形選択的推論の枠組みを確立した. 選択的推論とは, 特徴選

択後で選択した特徴が統計的に優位かどうかを検定する方法論のことである。これにより、既存の独立性検定、二標本検定、適合度検定において選択的推論が可能となった。以下に、本さがけで提案した方法をまとめる。

- **選択的独立性検定**: Hilbert-Schmidt Independence Criterion(HSIC)を用いた選択的推論手法(hsicInf)を開発。(AISTATS 2018)
- **選択的二標本検定**: Maximum Mean Discrepancy (MMD)を用いた選択的推論手法(mmdInf)を開発。(ICLR 2019)
- **選択的適合度検定**: Kernel Stein Discrepancy (KSD)を用いた選択的推論手法(ksdInf)を開発。(NeurIPS 2019)

図2に人工データにおける True Positive Rate (TPR)および False Positive Rate (FPR)の結果を示す。この結果から、線形手法である larInf は線形データには有用であることがわかるが(図2-(a)), 一方で非線形データにおいては全く重要な特徴を検出できていないことがわかる(図2-(b)). 提案法である hsicInf はそのような非線形データにおいて重要な特徴を選択できている。

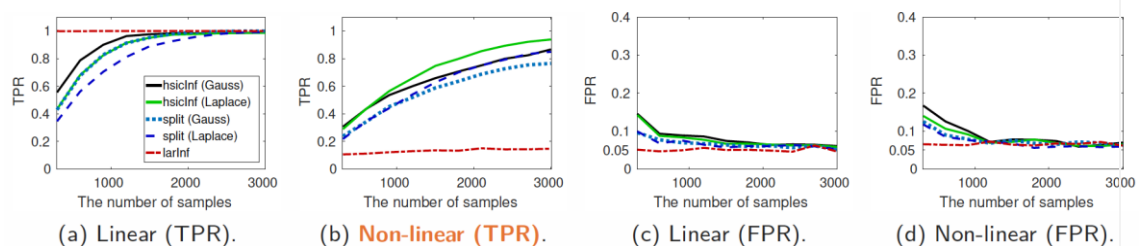


図2 hsicInf の結果。

研究テーマ B「機械学習アルゴリズムの開発」

(B-1) 構造化データからの非線形特徴選択法の開発

HSIC Lasso を拡張しグラフデータからの非線形特徴選択法を開発した。具体的には、HSIC Lasso が弱教師有り学習の設定にも容易に拡張できる特性を利用して、各ノードに高次元のデータがのっているグラフデータからの特徴選択手法を提案した。本研究成果は AAAI 2020 に採録され、単純な方法ながら高い評価を受けた。

(B-2) トポロジカルデータ解析のためのカーネル法の研究開発

近年、トポロジー情報を機械学習に利用する研究が盛んに行われており、トポロジカルデータ解析(TDA)と呼ばれている。TDAにおいては、パーシステント図を用いたデータ解析が主流であり、そのためパーシステント図間の類似度を測ることが非常に重要である。そこで、我々は、パーシステント図が非負データであることに注目し、Fisher 情報量に基づいた新規のカーネルを提案した。さらに、本手法を変化点検出等のタスクに適用したところ、非常に高い精度を得ることができた。さらには、提案したカーネルを用い、トポロジー情報を用いたベイズ最適化の枠組みを提案した。

研究テーマ C「実応用」

機械学習の応用研究としては、以下の4つのプロジェクトと共同で研究を実施した。

(C-1) HSIC Lasso を用いたうつ病予測の研究

HSIC Lasso を利用したことで、従来法よりも高い精度でうつ病の兆候を予測することができるようになった。本結果は、Translational Psychiatry に採録された。

(C-2) 急性白血病のための治療法の探索

白血病のデータから HSIC Lasso を利用することで治療標的を見つけ、その見つけ出した遺伝子を阻害する薬を使ってケミカルスクリーニングを実施した。そうしたところ、白血病を殺すことのできる治療標的を複数発見することができ、その知見を元にヒト化マウスを用いて実験をしているところである。本成果は、ジャーナル投稿に向けて準備しているところである。

(C-3) アトピー治療法の探索

アトピーデータ(発現量)から HSIC Lasso を用いて複数の特徴を選択し、選択した特徴から創薬に利用できそうな遺伝子を絞り込んでいるところである。今後は、選択した特徴からペプチドを作り、マウスを用いて評価する予定である。

(C-4) グラフェン画像処理

グラフェン画像から自動でグラフェンの枚数を推定する問題に関して、物体検出アルゴリズムの U-net を利用することで、少しの訓練を受けた人間と同等以上の検出結果を出すことができた。本成果は NPJ Computational Materials (Impact factor 9.2)に採録された。

3. 今後の展開

さきがけ研究において、高次元データから非線形特徴選択のできる方法を複数提案し、特に HSIC Lasso がバイオや医療データにおいて有用であることを実験から検証した。その一方で、機械学習手法単体における新規の科学的発見が非常に難しいということも今回の研究を通じてわかった。そのため、データからのみの発見を目指すだけではなく、評価系も含め治療標的探索プロセス全体を最適化する人間参加型機械学習基礎技術の研究が重要だと考えている。

4. 自己評価

研究目標は概ね達成されたと考えている。特に、非線形特徴選択の方法論においては、従来予定していたよりもはるかに大きな成果を得られることができた。また、機械学習系の難関国際会議に10本以上の成果を出せる等、十分に大きな成果を出せたと考えている。一方で、社会実装に関連する新規科学的発見に関しては、期間中に何かしらの成果を公表できると考えていたが、自分が当初予定しているよりも時間がかかってしまっている。これは機械学習の研究に比べサイエンスの研究の方が実験や共同研究に時間がかかることが主な理由であるが、こちらは工夫

の仕方によってはより効率化できるのではないかと考えている。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果に関しては、現在、白血病やアトピー性皮膚炎の新規治療薬の共同研究を進めているところであり、概ね順調に進んでいる。そのため、これらの成果が世にでることによって達成されと考えている。また、今回開発した pyHSICLasso のパッケージに関しては、すでに公開しており、多くの研究者が利用を始めている。そのため、方法開発の成果は直接見えにくいですが、着実にサイエンスの研究を加速することに貢献していることを実感している。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. **Makoto Yamada**, Yuta Umezu, Kenji Fukumizu, Ichiro Takeuchi: Post Selection Inference with Kernels. AISTATS 2018: 152–160.
2. **Makoto Yamada**, Jiliang Tang, Jose Lugo-Martinez, Ermin Hodzic, Raunak Shrestha, Avishek Saha, Hua Ouyang, Dawei Yin, Hiroshi Mamitsuka, Süleyman Cenk Sahinalp, Predrag Radivojac, Filippo Menczer, Yi Chang: Ultra High-Dimensional Nonlinear Feature Selection for Big Biological Data. IEEE Trans. Knowl. Data Eng. 30(7): 1352–1365 (2018).
3. **Makoto Yamada**, Denny Wu, Yao-Hung Hubert Tsai, Hirofumi Ohta, Ruslan Salakhutdinov, Ichiro Takeuchi, Kenji Fukumizu: Post Selection Inference with Incomplete Maximum Mean Discrepancy Estimator. ICLR (Poster) 2019.
4. Héctor Climente-González, Chloé-Agathe Azencott, Samuel Kaski, **Makoto Yamada**: Block HSIC Lasso: model-free biomarker detection for ultra-high dimensional data. Bioinformatics 35(14): i427–i435 (2019).
5. Jen Ning Lim, **Makoto Yamada**, Bernhard Schölkopf, Wittawat Jitkrittum: Kernel Stein Tests for Multiple Model Comparison. NeurIPS 2019: 2240–2250.
6. Benjamin Poignard, **Makoto Yamada**, Sparse Hilbert-Schmidt Independence Criterion Regression. AISTATS 2020, in press.
7. Jennings Lim, **Makoto Yamada**, Wittawat Jitkrittum, Yoshikazu Terada, Shigeyuki Matsui, Hidetoshi Shimodaira. More Powerful Selective Kernel Tests for Feature Selection AISTATS 2020, in press.

(2) 特許出願

研究期間累積件数：0 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

(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. Ryoma Sato, **Makoto Yamada**, Hisashi Kashima: Approximation Ratios of Graph Neural Networks for Combinatorial Problems. NeurIPS 2019: 4083–4092
2. Tam Le, **Makoto Yamada**, Kenji Fukumizu, Marco Cuturi: Tree-Sliced Variants of Wasserstein Distances. NeurIPS 2019: 12283–12294
3. Tam Le, **Makoto Yamada**: Persistence Fisher Kernel: A Riemannian Manifold Kernel for

Persistence Diagrams. NeurIPS 2018: 10028–10039

4. **Makoto Yamada**, Wenzhao Lian, Amit Goyal, Jianhui Chen, Kishan Wimalawarne, Suleiman A. Khan, Samuel Kaski, Hiroshi Mamitsuka, Yi Chang: Convex Factorization Machine for Toxicogenomics Prediction. KDD 2017: 1215–1224

5. **Makoto Yamada**, Koh Takeuchi, Tomoharu Iwata, John Shawe-Taylor, Samuel Kaski: Localized Lasso for High-Dimensional Regression. AISTATS 2017: 325–333

研究報告書

「漸進的な言語理解・知識獲得に基づく音声対話システム」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 12 月～2020 年 3 月

研究者: 吉野 幸一郎

1. 研究のねらい

本研究課題では人間と協働を行うことができる音声対話システムを目指して、主として対話システムが取り扱う言語理解、言語理解空間の設計、言語理解に基づく漸進的な知識の更新などに焦点を当てる。また、ユーザとリアルタイムでやりとりを行うことができるシステムの構築を目指し、理解の漸進性についても取り組む。具体的には、ユーザの発話に含まれる述語と項の関係に着目した言語解析を漸進的に行い、この結果に応じて自身の知識を更新するような対話システムの構築を行う。また、対話を通じてユーザに対して情報開示要求を行い、受動的な知識更新だけでなく、システムが必要とするような情報を能動的かつ対話的に取得するような機能についての研究開発を行う。これらにより、ユーザとリアルタイムで情報授受を行い、知的協働を行うことができる対話エージェントの構築と、この関連技術の開発を目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

研究目的の実現のため、漸進的な話し言葉の言語理解、対話を通じた知識の獲得、情報案内対話のモデル化、対話意図に基づく言語生成システムの研究を行った。要素技術にフォーカスしたテーマにおいては、いずれも学術論文を発表した。また、一部の研究成果についてはソースコードやデータの公開を行った。

(2) 詳細

研究テーマ A「漸進的な話し言葉の言語理解」

音声対話において、ユーザ発話を漸進的にリアルタイム処理する能力が重要である。音声認識の分野においては、認識のリアルタイム化が進んでいる。そこで本研究テーマでは、逐語的に与えられる音声認識結果に対してリアルタイムで言語理解を行うシステムの構築に取り組んだ。具体的には、単語が認識時点で与えられることを仮定し、ユーザの発話終了を待たずユーザの発話意図を推測するようなシステムの構築に取り組んだ。

言語理解のタスクとして、述語を中心とした項の意味役割を当てる項構造解析(意味役割ラベル付与)と、あらかじめ定義された対話フレームの中身を当てる対話状態推定に取り組んだ。図1に提案した枠組みを示す。提案システムにおいては、まず前向きな再帰型ニューラルネットワーク(LSTM)で逐次的に項構造解析または対話状態推定を行う。この解析結果と、発話全体を与えた場合に得られる解析結果との差異を学習に用い、ユーザ発話の途中であ

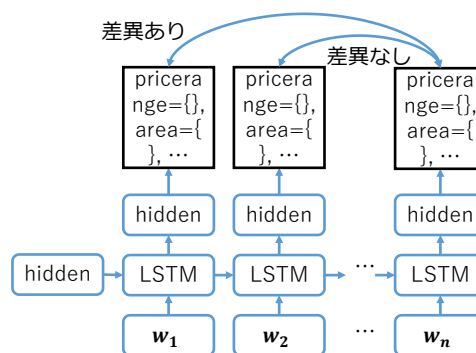


図 1. 漸進的言語理解器

でも頑健に言語理解を行うことができるシステムの開発を行った。本研究テーマでは提案時の研究目標を概ね達成し、今後は実システムでの応用を行う。研究成果としては査読付き国際会議で発表を行った(原著論文-3)他、開発したソースコードの公開を行った。

研究テーマ B「対話を通じた知識の獲得」

ユーザとシステムの対話においては様々な情報がやり取りされるが、この対話的やり取りを通じて様々な知識を更新することができる。従来型の対話システムにおいて、システムの知識はデータベースやオントロジーに基づく静的なものであったが、対話中から得られた知識からこれを動的にアップデートすることが本研究テーマの目的である。このため、対話相手から能動的に知識を引き出すための質問生成と、システムが必要とする知識を対話相手から収集する際の情報取得における対話戦略最適化に取り組んだ。質問生成においては、ユーザ発話中の述語項構造と大規模 Web データから収集された格フレームの情報を活用、

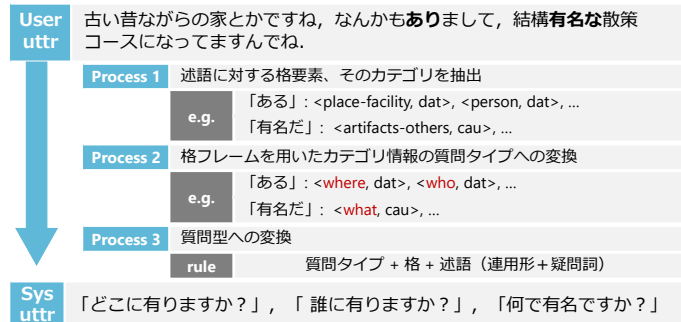


図 2. 質問生成の枠組み

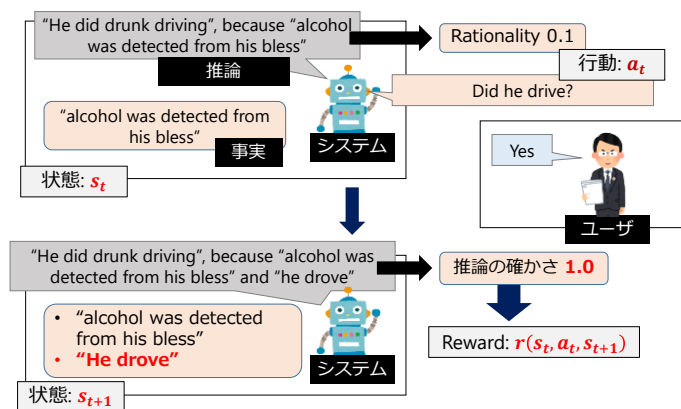


図 3. マルコフ決定過程に基づく質問の決定

「哲学の道は結構有名な散策ルートなんですよ」「何で有名ですか?」のように、システム側の理解において不足する情報を補う質問を生成することができるシステムを構築した(図 2)。本システムでは、対話の様々な文脈において、人手で構築した質問テストセットのうち、87%を自動生成できることを確認した。また、知識収集を行う対話戦略最適化においては、情報授受過程をマルコフ決定過程として定式化した。この定式化に基づき、強化学習を用いることでより迅速にシステムが必要とする知識の構築できることを示した(図 3)。本研究の成果は学術論文誌や査読付き国際会議論文として発表した(原著論文-1)。システムが対象とする知識や質問の範囲には用いたデータセットに由来する偏りがあり、より汎用的なシステムを構築することは今後の課題である。

研究テーマ C「情報案内対話のモデル化」

対話システムがユーザとやりとりをする中で、どのような情報がどのような形式で授受されたかを可視化することが必要である。このため、項構造に基づく言語理解基盤の構築を行った(非公開項目)。また、対話のプロトコルとしての対話行為に着目し、対話行為の推定とこれに基づく適切な対話行為決定のモデル化を行った。また、対話の種類として、情報の授受が行われる図書館の司書対話(Reference Interview)に着目して分析を行った。対話行為推定や対話行為決定においては、畳み込み構造を持つニューラルネットワーク(CNN)を用いて高

い推定精度を実現した(原著論文-5)。特に行為レベルでのモデル化は提案時の目標をほぼ達成し、対話コンテンツレベルでのモデル化についても論文執筆を行っている。加えて、これらの対話データへのアノテーション基準の構築と、アノテーション付与データの作成を行った。アノテーションデータについては順次公開を進めている。

研究テーマ D「対話意図に基づく言語生成システム」

対話システムの意思決定、行動決定は対話制御によって行われるが、これをユーザに伝えるためには言語生成システム

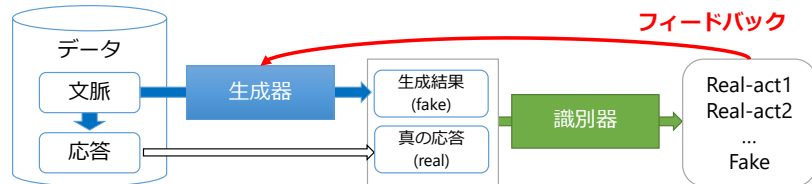


図 4. 対話意図に基づく言語生成システム

が必要である。また、この言語生成システムは、対話システムが持つ意図に従った生成を行っていることが保証されることが望ましい。そこで、系列データに対する敵対的学習を適用することで、より意図した内容を入力する言語生成器の構築を行った(図 4)。具体的には、既存の敵対的学習の枠組みに、意図(act)に従っているかどうかを多クラス分類で識別する仕組みを導入し、この効果を確認した。本成果は査読付き国際会議論文として発表を行った(原著論文-2)。本テーマは研究提案時には企図しなかったものであるが、本研究提案の主要テーマである対話システムにおいて重要な役割を担うものである。

3. 今後の展開

現在、音声認識の精度が向上したことから、音声を用いたアシスタントシステムが注目を集めている。しかし、それらが基にする理解や制御の枠組みは昔から続くフレーム表現、オントロジーを抜け出していない。一方で研究レベルでは、ニューラルネットワークを用いた対話生成の枠組みが盛んに研究されているものの、その制御の難しさからなかなか商用へと繋がっていない。本研究課題における成果はこうした状況を打開し得るものであり、特に人とやりとりを行うシステムに求められる説明可能性を実現するものである。特に本研究成果では裁判における論証や観光案内などの対話ドメインで、論理や推論を扱うことができる対話システムを構築しており、今後様々な対話ドメインでの実証が期待される。

また、本研究では事態表現として述語項構造を用いたが、事態同士の関係をどう取り扱うかについては明らかでない部分も多く、今後の課題であると言える。特に、因果関係や論理の支持、反論などは人手で構築したものを用いているが、これらを自動構築する手法の検討が必要である。

言語理解の漸進性という点においては、漸進的な理解やターンテイキングをある程度実現したものの、実際に人間が行うターンテイクから考えると単純化されたモデルである。また、対話行為レベル、非言語イベントなどで表出される現象との統合など、今後の課題が多く残されている。

これまでの対話研究では、多くがユーザの対話目的を想定し、システムがそれを助けるものとする対話シナリオを設計してきた。これに対して、システムが自身の対話目的を持ち、これに対応する明示的な意図やユーザへの情報要求を持つことは、今後対話システムの社会実装を行う上で重要な項目である。システムが明示的に対話目的への意志を示すこ

とで、ユーザ側もシステムとの対話に入りやすくなり、より社会実装が進むと考えられる。

4. 自己評価

研究目的の達成状況としては、各研究テーマにおいては概ね目的を達成し、また研究提案時には着想しなかったテーマでの研究進捗もあった。一方で、言語理解基盤の構築においてはまだ研究が必要な項目が残っている。特に論理等の取扱いについては新たな研究課題が明らかになったので、今後これを進めていく必要がある。研究実施体制および研究費執行状況としては、初年度に実験基盤を整え、最終年度に向かって成果報告や国際共同研究を増やしていくなど、適正な執行ができたと考えている。一方で、各研究項目全体を統合したシステム構築はプロトタイプ構築に留まっており、これを実証実験可能な形に持っていくことが重要な課題である。研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果としては、対話システムの国際ワークショップで Best paper award を受賞するなど、今後有望な研究としてある程度認知されたと考えている。また、対話システム研究コミュニティにとって本研究課題で構築したデータセットは重要であり、今後この活用を考えている。また、構築している言語理解基盤を様々なドメインで活用し、その効果について調査する。特に近年、言語理解基盤としては言語モデルに基づく BERT と呼ばれる手法が一般化しつつあるが、本提案手法は BERT と比較して言及された内容の可視化が容易であり、異なる情報を抽出できている可能性がある。この比較評価についても今後行う。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. 勝見 久央, 吉野 幸一郎, 平岡 拓也, 秋元 康佑, 山本 風人, 本浦 庄太, 定政 邦彦, 中村 哲 “論証対話システムにおける情報探索対話戦略の最適化.” 人工知能学会論文誌, Vol.35, No.1, DSI_D, pp.1-12, 2020
2. Seiya Kawano, Koichiro Yoshino, Satoshi Nakamura. “Neural Conversation Model Controllable by Given Dialogue Act Based on Adversarial Learning and Label-aware Objective”, In Proceedings of INLG, Tokyo, Japan, October 2019
3. Andrei Catalin Coman, Koichiro Yoshino, Yukitoshi Murase, Satoshi Nakamura and Giuseppe Riccardi. “An Incremental Turn-Taking Model for Task-Oriented Dialog Systems.” In Proceedings of INTERSPEECH2019, Graz, Austria, September 2019
4. Shohei Tanaka, Koichiro Yoshino, Katsuhito Sudoh, Satoshi Nakamura. “Conversational Response Re-ranking Based on Event Causality and Role Factored Tensor Event Embedding.” In Proceedings of 1st workshop on NLP for ConvAI workshop in ACL conference, Florence, Italy, 2019.7 (**Best Paper Award**)
5. Seiya Kawano, Koichiro Yoshino, Yu Suzuki, Satoshi Nakamura. “Dialogue Act Classification in Reference Interview Using Convolutional Neural Network with Byte Pair Encoding.” International Workshop on Spoken Dialogue System Technology (IWSDS2018), Singapore, Singapore, May 2018 (**Best Paper Award Nominee**)

(2) 特許出願

研究期間累積件数:0 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

(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. Best Paper Award, ACL2019 1st workshop on NLP for Conversational AI, NLP for ConvAI workshop committee, 2019 年 8 月 1 日.
2. Chiori Hori, Julien Perez, Ryuichiro Higashinaka, Takaaki Hori, Y-Lan Boureau, Michimasa Inaba, Yuiko Tsunomori, Tetsuro Takahashi, Koichiro Yoshino, Seokhwan Kim “Overview of the Sixth Dialogue System Technology Challenge: DSTC6.” Computer Speech & Language, Vol. 55, pp.1-25, 2019.5.
3. Yukitoshi Murase, Koichiro Yoshino, Satoshi Nakamura “Associative Knowledge Feature Vector Inferred on External Knowledge Base for Dialog State Tracking.” Computer Speech & Language, Vol.54, No.3, pp.1-16, 2019.3.
4. 2018 年度論文賞, 言語処理学会, 2019 年 3 月 8 日.
5. Koichiro Yoshino, Chiori Hori, Julien Perez, Luis Fernando D’ Haro, Lazaros Polymenakos, Chulaka Gunasekara, Walter S. Lasecki, Jonathan K. Kummerfeld, Michel Galley, Chris Brockett, Jianfeng Gao, Bill Dolan, Xiang Gao, Huda Alamari, Tim K. Marks, Devi Parikh and Dhruv Batra. “Dialog System Technology Challenge 7.” Thirty-second Conference on Neural Information Processing Systems, 2nd Conversational AI Workshop, Montreal, Canada, Dec. 2018.

アンドロイド身体の研究という新たな領域が見えた

石原 尚（大阪大学 大学院工学研究科・講師）

研究課題名：「触れ合いデータを収集する子供アンドロイド高機能化」 研究期間：2016.12～2020.3



図 子供アンドロイド Affetto の新型頭部の表情の例

この図はさがけ期間中に実施した頭部機械性能評価に基づいて 2019 年 12 月に改良を加えた子供アンドロイド Affetto の新型頭部の表情の例です。各表情や、表情の間の時間的遷移の作りこみによる写実性の向上は今後の課題ですが、動作はより滑らかになり、また大きな動きを出した場合でも皮膚素材が断裂する危険性が抑えられました。

この研究では、世界に先駆けて「人と触れ合えるアンドロイドロボットの身体の高機能化」に取り組みました。特に、柔らかい皮膚を単なる人の外見に似た覆いから「人と様々な情報を交わすための装置」に昇華させ、アンドロイドが本来持つ価値を発揮させて応用可能性を高めることを意図して研究を進めました。顔は柔軟面の変形によって情報を呈示する装置であり、その変形をいかに緻密に操れるかを精確に評価することで、微妙な表情変化をも操れるようになりました。また、アンドロイドの皮膚に触れたときの触り心地がアンドロイドの印象をどのように左右するかも詳しく調べ、皮膚の触感デザインによって好みの印象のアンドロイドを造りだせる可能性を示しました。加えて、触覚を備える肉厚なアンドロイド皮膚を手術の技能評価に活用するという応用例も出てきました。これらの成果によって、アンドロイド身体の研究が工学として成立すること、その研究が非工学分野にも応用可能であることが示されました。

>>参考情報

➤ 論文

1. Ishihara *et al.* Identification and evaluation of the face system of a child android robot Affetto for surface motion design. *Frontiers in Robotics and AI*, 2018.
2. 山下ら. 触感がもたらすロボット性格印象の変容に対する外見の人らしさの影響. *認知科学*. 2018, 25(4), pp. 435-450.

➤ 特許出願

1. 触覚センサ, 2017-170627(2017)
2. 情報処理装置、情報処理システム、およびセンサ装置, 2019-007356(2019)

➤ 受賞

1. 「HAI シンポジウム学生奨励賞（共著）」(2019)

➤ プレスリリース

1. 「新型子供アンドロイドの表情変化の作り分けに成功 アンドロイドの表情にニュアンスをつける新技術」(2018 年 11 月)
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20181114_1