

「情報環境と人」研究領域 領域活動・評価報告書
－平成26年度終了研究課題－

研究総括 石田 亨

1. 研究領域の概要

本研究領域は、人とのインタラクションが本質的な知的機能の先端研究を行い、その成果を情報環境で共有可能なサービスの形で提供し、さらに研究領域内外の他のサービスとのネットワーキングにより複合的な知能を形成していくことを目指している。

具体的には、人とのインタラクションが本質となる、ユビキタスコンピューティング、アンビエントインテリジェンス、知能ロボット、コミュニケーションやグループ行動支援などを実現するための知的機能の先端研究、ユーザビリティテスト、エスノグラフィ、統計分析など、利用現場における知的機能の評価研究、さらに研究成果を社会に提供するためのサービスコンピューティングを用いた知的機能のネットワーキング研究を対象としている。

2. 事後評価対象の研究課題・研究者名

件数：14件(内、大挑戦型 0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、「情報環境と人」領域に設けた選考委員(領域アドバイザー)12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) 採択候補者の地域性、男女共同参画の視点について、昨年以上に重視することを申し合わせた。
- 4) 選考に当たっては、さきがけ共通の選考基準(URL: <http://www.jst.go.jp/pr/info/info825/besshi4.html>)に加え、領域独自の5段階の総合評価基準を策定し以下の点を重視した。「基礎研究」は、情報学の基礎研究として、他のさきがけ研究者にも大きな影響を与えるものを厳選した。「要素技術」や「システム技術」などの先端技術研究は、新しい情報環境を構築・促進する観点から知的機能を実現する先鋭的な切り口や研究が成功したときのネットワーク社会へのインパクトを重視した。フィールド研究は、問題解決の技術手段の明確さや深さと共に、フィールドの問題を解こうとするモチベーションがあるかどうかを見極めながら選考を進めた。また、「大挑戦型」は、挑戦すべきゴールが明確で大きな発展が期待できるテーマかどうかを基準とした。

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12名が分担し申請131件について、統一した評価基準に基づき書類審査を行った。次に、領域アドバイザーが、一堂に会して27件(申請全体の1/5)を面接対象とした。2日間に亘る面接の結果、最終的に12件を採択した。書類審査では、総括からアドバイザーに対して具体的事実を端的に記入いただくこと、原則として書類選考の結果不採択となった申請者には不採択理由としてそのまま応募者にフィードバックするので申請者を意識した記述するよう依頼し了承を得て行った。書類選考会では、査読結果や評価コメントに大きな差があったものについては、評価要因を全員で共有して集中的に審議した。また、地域性や男女雇用参画の多様性の観点を踏まえ、面接の可能性について数回の議論をふまえて候補者を選出した。面接選考会は、27の候補課題を8つに分類し、3~4人のグループ単位で行い、分類課題終了都度審議を行った。面接対象者の1名が車いす利用であったため、面接会場をバリアフリー会場に移動して行った。2日間に亘る面接結果から、アドバイザーに採択候補者(7名~15名)の推薦依頼をし、その結果をふまえて総合選考の結果、採用候補課題12件を選定した。今年度も当初予定していた知的機能のネットワーキングに関する研究課題は採択に至らなかった。なお、上記選考を経た課題の内、大挑戦型審査会(書類選考会議)へ2課題を推薦した。

選考	書類選考	面接選考	採択数		
			12件	内訳	3年型
対象数	131件	27件			

()内は大挑戦型としての採択数。

備考:

1)平成 23 年度採択課題のうち、以下は今年度事後評価対象としない。

・藤木 淳研究者

研究期間が 5 年で、今年度終了しないため。今年度は中間評価を実施する(中間評価結果:
http://www.jst.go.jp/kisoken/presto/evaluation/mid-term/midterm_h26hyouka.html)。

・寺澤 洋子研究者

ライフイベントにより研究を一時中断し、終了年度がずれるため。

2)加えて、以下を今年度の事後評価対象とする。

・尾形哲也研究者、梶本裕之研究者、辻 俊明研究者、長谷川晶一研究者 (平成21年度採択)
研究期間が5年で、今年度終了するため。

5. 研究実施期間

平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月(3年型)

平成 21 年 10 月～平成 27 年 3 月(5年型)

6. 領域の活動状況

(1)領域会議: 14 回 (うち、3 回は「ミニ領域会議」)

平成 21 年度 1 回

平成 22 年度 2 回 (うち、1 回はさきがけ「知の創生と情報社会」研究領域との合同開催)

平成 23 年度 2 回

平成 24 年度 3 回 (うち、1 回は参加希望者のみによる「ミニ領域会議」を開催)

平成 25 年度 3 回 (うち、1 回は参加希望者のみによる「ミニ領域会議」を開催)

平成 26 年度 3 回 (うち、1 回は参加希望者のみによる「ミニ領域会議」を開催)

「ミニ領域会議」は、硯川研究者が、障がいのため地方開催の領域会議に参加できないことを補うために、国立障害者リハビリテーションセンターで硯川研究者を交えて開催しているものである。

(2)研究報告会: 3 回 (公開)

平成 24 年度 1 回 (公開 終了報告会)

テーマ: ～未来社会に向けた若き情報技術者たちの挑戦～ にてデモ・実演も実施

平成 25 年度 1 回(公開 研究報告会) 情報処理学会 インタラクション 2014 と連携開催

テーマ: ～突き抜けるさきがけ研究の成果から～ にてデモ・実演も合同実施

平成 26 年度 1 回(公開 研究報告会) 情報処理学会 第 77 回全国記念大会でのイベント企画共催

テーマ: さきがけ「情報環境と人」 ～研究に翼を! さきがけ最終報告会～

(3)合同セッション&シンポジウム: 7 回 (公開 一般参加)

平成 21 年度 1 回 (JAWS2009 にて、「知の創生と情報社会」研究領域と合同開催)

平成 21 年度 2 回 (情報処理学会 50 周年記念大会で「知の創生と情報社会」領域と合同セッション
開催、JAWS2010 にて、「知の創生と情報社会」領域と第 2 回目の合同開催)

平成 23 年度 1 回 (CREST シンポジウムでの連携発表)

平成 24 年度 2 回 (第 1 回 さきがけ&CREST 3 領域合同シンポジウム開催)

3 年間共通のコンセプトテーマ: 情報学による未来社会のデザイン

第 1 回テーマ: ～大量データにもとづく未来社会のデザイン～ デモ・展示

(電子情報通信学会全国大会での合同セッションは準備するも東日本大震災で中止)

平成 25 年度 1 回 (第 2 回 さきがけ&CREST 3 領域合同シンポジウム開催)

3 年間共通のコンセプトテーマ: 情報学による未来社会のデザイン

第 2 回テーマ: ～情報が拓くヘルス&ウェルネス～ 大会場での体験型デモ展示

平成 26 年度 1 回 (第 3 回 さきがけ&CREST 3 領域合同シンポジウム開催)

3 年間共通のコンセプトテーマ: 情報学による未来社会のデザイン

第 3 回テーマ: ～人間力・社会力を強化する情報技術～ デモ・展示

(4) 研究総括(技術参事)の研究実施場所訪問:

①海外を除く国内全研究者の研究室訪問と上司への挨拶を早期に完了した。(サイトビジット)

- ・尾形研究者: 京都大学 奥乃教授(大学院情報学研究科 知能情報学専攻)を訪問 2009/11/17
- ・梶本研究者: 電気通信大学(研究室が独立運営のため研究室)を訪問 2010/3/10
- ・辻 研究者: 埼玉大学 阿部教授(電気電子システム工学科)を訪問 2009/11/27
- ・長谷川研究者: 電気通信大学(研究室が独立運営のため研究室)を訪問 2010/3/10
- ・山下研究者: 産業技術総合研究所(つくば)野田五十樹チーム長(サービス工学センター)を訪問 2011/10/11 ※野田チーム長はさきがけ(情報と知)経験者
- ・岡崎研究者: 東北大学(仙台キャンパス) 亀山充隆教授(大学印情報学研究科長)、乾健太郎教授を訪問 2011/10/31 ※乾教授は、さきがけ(情報と知)経験者
- ・硯川研究者: 国立障害者リハビリテーションセンター研究所、加藤所長(研究所)、井上剛伸部長(福祉機器開発部)を訪問 2011/11/1
- ・狩野研究者: 国立情報学研究所(神保町)神門典子教授、相澤彰子教授を訪問 2011/11/1
- ・Adam研究者: 京都大学(吉田キャンパス)田中克己教授を訪問 2011/12/21
- ・栗田研究者: 広島大学(東広島キャンパス)辻敏夫教授(大学院工学研究科)を訪問 2012/2/23
- ・櫻井研究者: 九州大学(伊都キャンパス)横尾真教授(システム情報科学研究院)を訪問 2012/2/24
- ・小林研究者: 埼玉大学(久野義徳教授)を訪問 2012/6/22
- ・鈴木研究者: 筑波大学(山海嘉之教授)を訪問 2012/6/22

②サイトビジット以外の研究総括(または技術参事)の研究実施場所訪問:

- ・小林研究者(3期生)サイトビジット時に同埼玉大学の辻研究者(1期生)を、また、ミニ領域会議時に硯川研究者をそれぞれ総括が研究室訪問した。
- ・海外の金井研究者を除く研究者に対して、技術参事が必要により別途訪問した。
主な内容は、研究者の異動に伴う研究環境の確認(尾形研究者、辻研究者(准教授昇任に伴う研究室)、長谷川研究者)、文部科学省のさきがけ研究者代表訪問同行(JST本部依頼・梶本研究者)、ミニ領域会議の事前打合せ(硯川研究者)、さきがけヒューマン図鑑ビデオ収録・訪問取材時に研究進捗や課題など相談対応(尾形研究者、梶本研究者、辻研究者、長谷川研究者、栗田研究者、櫻井研究者、小林研究者)、特許出願促進検討(梶本研究者、辻研究者、狩野研究者)など。

7. 事後評価の手続き

年2回の領域会議開催前には、研究者が作成した領域独自の半期毎の研究報告書をアドバイザーにも配布して、適時・適切な評価とアドバイスを行った。また、最終年度は、一般公開の研究報告会(情報処理学会 第77回全国記念大会(会場:京都大学吉田キャンパス)との連携開催)ならびに領域会議での発表・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)

- | | |
|--------------|---|
| 平成 26 年 12 月 | 研究報告書提出 |
| 平成 27 年 1 月 | 研究総括による評価、対象者全員へのフィードバックとフォロー |
| 平成 27 年 1 月 | 第 11 回領域会議の発表・デモ展示において、研究総括・アドバイザーの助言・指導 |
| 平成 27 年 3 月 | 研究成果報告会開催(情報処理学会主催の第 77 回全国記念大会との連携開催)
(研究成果発表ならびに一般参加者、および領域関係者からの質問討議) |

8. 事後評価項目

- (1) 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況
- (2) 得られた研究成果の科学技術ならびに社会への貢献など
- (3) 成果の科学的・技術的インパクト、特に情報環境におけるネットワーク社会へのインパクト
- (4) 業績については、海外の類似研究との相対的なレベルや国際競争力および本人の主動度

9. 評価結果

「情報環境と人」領域を今回終了した研究者たちの活動で特筆すべきは、ヘルスケアとウェルネスに関わる研究である。本来、そうしたテーマに特化した募集はしていなかったにも関わらず、多くの優れた研究者が社会貢献を強く意識して研究を進めたことが印象的であった。例えば梶本氏は、自ら発見したハンガー反射を、頭部姿勢異常の疾患として知られる痙性斜頸へ応用し、全国 7 つの医学部と大学病院での治療につな

げた。辻氏は、力覚信号処理により患者の運動能力や体調を定量化できることを示し、医療介護機器分野におけるリハビリ支援ロボットの新たな方向を示した。鈴木氏は、身体運動検知・記録・光提示技術を用いて、社会的交流を導くソーシャル・プレイウェアを開発し、臨床発達心理学や発達小児医学の研究者と共に特別支援学校に適用した。車椅子に関わる2名の研究者の成果も特筆に値する。小林氏は、車椅子に自動制御機能を加え、車椅子利用者と同伴者のコミュニケーションの支援を実現した。硯川氏は、自らが車椅子利用者である一人称的視点と、工学者である客観的視点の双方を活かし、電動車椅子を対象としたライフログシステムにより長期にわたるユーザビリティ評価の枠組みを生み出した。東日本大震災も研究者に大きな影響を与えた。岡崎氏は、震災後の膨大なWebデータから因果関係知識を獲得する技術を開発し、福島県の農作物に対する風評分析を行った。新規の研究分野への挑戦も目覚ましい。Jatowt氏は、ビッグデータから過去を遡る計算歴史学を提唱し、金井氏は、インターネットが脳機能に与える影響を解明すべく壮大な挑戦を試みている。

1. 尾形 哲也 研究者「長期インタラクション創発を可能とする知能化空間の設計論」(5年型)

本研究では、ロボットの環境への適応や人とのコミュニケーションを、神経回路モデルを用いて実現しようとしている。多自由度柔軟関節を持つ人型ロボットを利用した研究環境を構築し、神経回路モデルを用いた動作学習、道具利用、さらに言語やコミュニケーションに関する研究で成果をあげてきた。また、これらの研究成果を基に認知科学等の研究者と交流を深め、新しい学術領域を開拓しつつある。さらに深層学習に着目し、ロボットに応用している。Deep Neural Network(DNN)と再帰結合型神経回路網モデル Recurrent Neural Network(RNN)を実世界学習に応用し、システムが取得するセンサデータを未加工のまま学習し表現を自己組織化する試みは興味深い。本成果は国際ジャーナル Robotics and Autonomous Systems(RAS)のトップダウンロード論文となるだけでなく、国内外の学会での招待講演や企業との共同研究等に発展し、研究者としての飛躍に繋がっている。以上の様に、機械学習のロボットへの適用という重要な課題に取り組み、その研究基盤を構築した。今後、これらの成果を国内外の研究者や企業と共同し発展させていくことを期待する。

2. 梶本 裕之 研究者「触覚の時空間認知メカニズムの解明に基づく実世界情報提示」(5年型)

本研究の主要な成果は、頭部の圧迫による回旋現象であるハンガー反射に着目し、生起条件を初めて明らかにすると共に、医療応用に結びつけ、製品化まで実現したことである。若手の大学研究者として、異例とも言える優れた研究活動である。まずハンガー反射現象が、当初想定された圧迫によるものではなく、皮膚の剪断変形によって生じるものであることを明らかにし、この成果に基づいて身体各部で同様の現象が生じることを確認している。さらにハンガー反射から得られた知見を、頭部姿勢異常の疾患として知られる痙性斜頸へ応用し、症状を抑制する装具を開発している。実際に、全国7つの医学部および大学付属病院による治験へとつなげ、また医療機器としての製品化も行っていることは高く評価できる。さらに運動錯覚現象を身体各部で生起させるという観点から、関節部への振動呈示や手掌部全体を覆う触覚提示、腱受容器の電気刺激による運動錯覚生起といった新たな手法を確立している。こうした試みは、従来ロボットの遠隔操縦などの分野に限定されてきた運動感覚呈示を、より低コストに、より日常的な環境で、しかも身体全体に対して可能とするものであり、医学療法やリハビリテーションなど幅広い展開が期待される。本研究の成果が認められ、触覚のトップカンファレンスにおけるプログラムチェア就任や、平成25年度文部科学大臣表彰を受賞するなど、本分野の若手トップランナーとして注目されるに至っている。

3. 辻 俊明 研究者「力覚信号処理技術に基づくリハビリ支援ネットワーク」(5年型)

患者の状態を測るツールとしての、リハビリ支援ロボットの可能性に着目したユニークな研究である。訓練中のセンサ情報を有効利用する新たなサービスの創出を目指し、人に接する機構とその安全技術、患者の状態を推定する力覚信号処理技術、訓練効果を高める力の可視化技術などの技術開発を進めてきた。力覚信号処理により患者の運動能力や体調を定量化できることを示すと共に、力の可視化が運動訓練の効果を高めることを明らかにしている。リハビリ支援ロボットのネットワーク化による情報共有については引き続き研究が必要であるものの、地道な開発が必要とされる医療介護機器の分野において、既に大きな成果を挙げている。とりわけ、情報技術と力覚信号処理技術の導入によって、リハビリ支援ロボットに、労働力の代替という枠組みを超えた新たな方向を示したことは高く評価できる。本研究の反響は大きく、研究の成果を核に据えた複数企業との共同研究に発展し、埼玉県先端産業創造プロジェクトにも指定された。現場で多くの人々に使われることが前提の研究であるので、地方自治体や介護施設の後押しを得たことによる今後の展開への期待は大きい。学術コミュニティでも、IEEE Industrial Electronics Society, Technical

Committee on Motion Control の Chair への就任が決まるなど、世界から研究者が集う技術委員会の若手の牽引役として活躍している。

4. 長谷川 晶一 研究者「作業プロセスの環境非依存化による作業集合知の形成」(5年型)

作業の計測や記録を集積して集合知とすることで、作業と結果の改善や支援、作業内容の検討や討議の支援を行う研究である。作業手順に実行環境を与えることによる知識獲得支援手法と、感覚提示による記述獲得支援手法を提案し、必要なシミュレーション技術、計測提示技術の開発を行ってきた。着眼点、アプローチに独自性があり、バーチャルリアリティ分野での実績もあり、作業の集合知の実現に取り組み、その過程で発見される研究課題が解決されることを期待した。期間内の研究成果は、加熱調理のシミュレーションと感覚提示技術に時間を要し、集合知の実現に取り組むには至っていないのは残念である。人工知能という、研究者が信じる新規分野に果敢に挑戦してきたが、一方で、人工知能技術で何が可能かという洞察が十分でなかったように思われる。研究成果のリストにあるように、物理シミュレーションでは最優秀論文賞を得る力を有している。本さがけ研究を通じて様々な研究領域との交流を行い、広い視野を備えてきているので、今後の飛躍を期待したい。

5. Adam Jatowt 研究者「集合記憶の分析および歴史文書からの知識抽出手法の開発」

新しい技術が生まれると多くの研究者は未来を描く。しかし、過去に思いを馳せる研究者が何人かいてもよい。本研究は Web や SNS を資料と捉え、その分析に基づく新しい歴史学を構想するものである。研究の目的は 2 つあり、一つは集団の記憶を分析することで、もう一つは過去について書かれた文書の分析ツールを開発することである。研究の過程で多くの技術が生まれている。例えば、文書が作成された時期と書かれた内容の時期を抽出する技術、文書間のリンク構造を調べ過去の影響を分析する技術、事物の呼称がどのように変遷してきたかを分析する技術などである。分析対象は、Wikipedia や Google Booksなどで、文書の規模は 1TB にものぼる。さらに、自ら研究するだけでなく、異分野の研究者からなるコミュニティを育ててきたことは高く評価できる。HistoInformatics と呼ばれる国際ワークショップが生まれ、そのコミュニティからこの分野で初めてのサーベイ論文が出版されている。さがけに相応しい新しい研究テーマで、今後の展開が楽しみである。

6. 岡崎 直観 研究者「知識の自動獲得・構造化に基づく情報の論理構造とリスクの分析」

本研究では、震災後の膨大な Web データを対象に、自然言語処理技術を発展的に用いて、大規模なデータから因果関係知識を獲得する基礎技術を生み出した。そうした技術を適用し、ツイートデータを対象にデマなどの誤情報を収集し、投稿者の「同意」「反論」「疑問」などの態度を推定し、福島県の農作物に対する風評分析を行っている。さらに、信憑性の低い情報をリアルタイムでモニタリングするシステムを開発するなど、研究の技術的・社会的意義は極めて大きい。その成果は、国際会議や論文誌で受賞しているだけでなく、NHK スペシャルで放映されるなど、学術的にも社会的にも高く評価されている。岡崎氏は、震災直後に東北大学に採用された。さがけの申請時には、研究の対象を震災データに絞ってはいなかったが、異動後、社会的要請に応え、研究の方向を見直し、自らの技術を用いて全力で震災データに取り組んでいった。若手研究者であるにも関わらず、多くの会議から講演を招待されていることも、岡崎氏の研究成果や研究姿勢に対する高い評価を表している。

7. 金井 良太 研究者「インターネット環境が脳と認知機能へ与える影響の解明」

本研究は、インターネットの出現が人間の脳と認知機能に与える影響を、認知神経科学の手法を用いて明らかにすることを目的としている。出現の前後を比較するには、時系列の変化を追跡する必要があるが、実際にそうした観察するのは容易ではない。そのため、被験者をインドに求め、インターネットの出現を演出し、その前後の脳の構造変化を捉えようとした。実験の許可を得ることを含め、準備に長時間を費やした結果、データの取得が可能となり分析が始まろうとしている。この間、並行して行われた、マルチタスキングと脳構造に関する研究では、75人の英国学生を被験者として、マルチタスキングが安静時の脳機能に影響を与えることを導き、多くのメディアの注目を集めた。また、広範な質問紙調査からは、メールと社会性の関係など、インターネット利用が影響を与える脳の部位が明らかとなりつつある。研究の性格上、期間内に完全な結論を得ることが難しくなっているが、研究を継続し、当初の目的であるインターネットと脳構造の関係を明らかにし、社会を啓蒙することを期待したい。

8. 狩野 芳伸 研究者「解析過程と応用を重視した再利用が容易な言語処理の実現」



本研究では、研究者が持つ卓越した実装力を遺憾なく発揮して、自然言語処理に関わるワークフローの自動生成、自動インストール、自動実行、評価メトリクスの視覚化といった機能を統合し、自然言語処理プラットフォーム「Kachako」を実現した。さらに、他のさきがけ研究者や、国立情報学研究所を中心とする「ロボットは東大に入れるか(東ロボ)」プロジェクトなど、多くの共同研究を通じて、プラットフォームの有効性を実証的に示してきた。その成果が認められ、国際会議の招待講演や国際会議での受賞などが増えてきている。今後は自然言語処技術を活用する研究のハブとなることを通じて、世界に影響を与える活躍を期待したい。

9. 栗田 雄一 研究者「マルチスケール身体モデルに基づく運動評価技術の開発とその応用」

本研究は、生体力学的な筋骨格モデルや筋収縮モデルに加えて、主観的な感覚・感性知覚モデルを用いて人の運動感覚を評価し、製品のユーザビリティの向上や人の運動アシストに寄与することを目的としている。客観的モデルと主観的モデルの双方を用いて、人が感じる効果を最大限に導き出すところに研究の特徴がある。例えば、筋活動が低いときに人が外部刺激の強さを正確に知覚することを利用し、上肢の感覚運動機能を向上させるウェアラブルスーツを開発している。また、開発した身筋活動推定プラットフォームを自動車のステアリング操舵に応用する実験を進めている。さらに、こうした研究活動をヒューマンモデリングと呼び、数度の国際ワークショップを主催しリーダーシップを発揮していることは高く評価できる。人と機械の接触面が様々に拡大する近未来において、重要性を増す研究であるので、今後も活動を継続し世界をリードする研究者となることを期待したい。

10. 小林 貴訓 研究者「グループコミュニケーションの解明に基づく車椅子型移動ロボットシステムの開発」

本研究は、車椅子利用者と同伴者のコミュニケーションを支援するために、車椅子に自動制御機能を加えようとするのである。そのために、様々なコミュニケーションの状況での、同伴者と車椅子の適切な位置関係を、エスノメソドロジーと呼ばれる研究手法を用いて分析している。また、分析のためのツールとして、身体の向き、移動方向・速度、互いの距離などから、グループの活動を自動認識するシステムを開発している。本研究の応用範囲は広い。介護施設などでは、少人数の介護者が多くの車椅子利用者を誘導する場合もある。老夫婦が共に車椅子利用者であり同伴者である場合もあるだろう。車椅子という機械に適切な情報環境を与えることによって、車椅子を操作する負担を軽減し、安全で快適な生活を支援できれば素晴らしい。技術開発に留まらず、介護施設と協働し、実証実験を開始できる段階にまで至ったことは高く評価できる。研究が継続され、社会に貢献する技術が生まれることを期待したい。

11. 櫻井 祐子 研究者「情報環境での人間行動モデルに基づく知識・情報取引メカニズム設計論の構築」

クラウドソーシングは将来の労働市場を一変させる可能性を秘めている。本研究は、ミクロ経済学やゲーム理論を背景に、人々がクラウドソーシングに適切に能力と時間を提供するための制度設計を生み出そうとするものである。マイクロタスクに関しては、作業者の自信の度合いを用いることで、高品質かつ可用性の高いクラウドソーシングが実現できることを示した。さらに、作業者が報酬プランを選ぶことで、間接的に自信を表明する仕組みを開発している。また、チーム型クラウドソーシングに関しては、協力ゲーム理論を応用し、最適な提携構造の形成を可能とするアルゴリズムを提案している。この研究は国際会議で最優秀論文に選ばれている。本研究は、情報経済の理論研究者が、実世界の問題であるクラウドソーシングの制度設計に挑戦したもので、その研究姿勢は高く評価できる。理論的研究の成果を実応用に活かす方法は一通りではない。今後はさきがけでの経験を活かし、基礎研究が世の中を変えるシナリオを様々な構想し、社会の変革をリードしていくことを期待したい。

12. 鈴木 健嗣 研究者「ソーシャル・プレイウェアによる社会的交流支援」

本研究では、グループ行動支援のための身体運動検知・記録・光提示技術を開発し、人々の社会的交流を導くための「ソーシャル・プレイウェア」に適用した。また、その効果を広汎性発達障がい児を対象とした実証実験で確認している。例えば、子ども達が輪になって手を繋ぐと手首に装着したデバイスが発光するサービスなどは、子ども達にもわくわく感があり、見ていて心温まるものがある。こうした研究は情報技術としては興味深いのが、適用先にとってはテクノロジープッシュになりがちである。そのため本研究では、臨床発達心理学や発達小児医学の研究者と連携し、特別支援学校を場として進めた。適切な情報環境により発達障がい児の社会性形成支援が可能になることを示し、情報技術のみならず発達障がいを専門とする国際ジャーナルにも発表している。情報科学と臨床医学の境界領域で、双方に認められる成果を生み出すことは容易なことではなく、研究者の姿勢と努力は高く評価されるべきものである。また、この成果は

JST CREST 事業に採択されるなど、さらに研究が発展しつつある。

13. 硯川 潤 研究者「福祉機器安全設計のためのマルチモーダル評価情報の統合基盤構築」

本研究は、福祉機器の安全・安心に関わる評価方法を、量的評価と質的評価の双方を含むものとして確立する試みである。福祉機器は、技術シンポにより高機能化が可能となる一方で、様々な身体的・心理的状況にある障害者や高齢者をユーザとするため、ユーザビリティの評価が重要であるが、確立された方法はなかった。そこで本研究では、長期にわたる観測を実現するために、電動車椅子を対象としたライフログシステムを開発している。また、リハビリテーション専門職による福祉機器の適合プロセスを記録し、専門職が収集する評価項目が集約されていく様子を明らかにしている。こうした研究を進める基礎が採択時に備わっていたとは必ずしも言えないが、自らが車椅子利用者であることによる一人称的視点と、工学者としての客観的視点の双方を持ち、妥協なく福祉機器のあるべき姿に迫ろうとした研究姿勢は評価できる。福祉機器は今後もさらに必要性が高まる分野である。研究を継続し、我が国の福祉機器のレベルを、欧米を凌ぐものに高めていくことを期待したい。

14. 山下 倫央 研究者「複合階層モデルを用いた都市エリアシミュレーションの開発と利用方法の確立」

本研究は、混雑の回避や避難の誘導などのための施策が与える影響を、シミュレーションにより明らかにすることを目的としている。これまでの交通シミュレーションなどとの違いは、高並列なクラスタ環境やモバイル環境の著しい発展を取り込み、市民が参加できる施策の評価やデザインを指向している点である。各人のマイクロモデルと数万人規模のマクロモデルをリンクさせる連結アルゴリズムを開発したことも新しい。計算量を抑えるための次元歩行者モデルや、歩行者密度から速度を導出する関係式の精緻化などの技術的進歩も見られる。シミュレーションパラメータの組み合わせを網羅的に生成し分析することで、最適な施策のデザインにも迫ろうとしている。多くの実証実験に参加し、技術を確認しながら研究を進めた点も評価できる。東京オリンピックに向けて実用的な大規模シミュレーション技術を世に送り出し、社会に貢献することを期待したい。

10. 評価者

研究総括 石田 亨 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、役職は平成27年3月末現在)

五十嵐 健夫	東京大学大学院情報理工学系研究科・教授
井佐原 均	豊橋技術科学大学情報メディア基盤センター・教授
石黒 浩	大阪大学大学院基礎工学研究科・教授
片桐 恭弘	公立はこだて未来大学 副学長・教授
葛岡 英明	筑波大学大学院システム情報工学研究科・教授
竹林 洋一	静岡大学創造科学技術大学院・教授
塚本 昌彦	神戸大学大学院工学研究科・教授
中小路 久美代	京都大学 学際融合教育研究推進センター デザイン学ユニット・特定教授
橋田 浩一	東京大学大学院 情報理工学系研究科 ソーシャルICT研究センター・教授
美濃 導彦	京都大学学術情報メディアセンター・教授
森川 博之	東京大学先端科学技術研究センター・教授
山田 敬嗣	Senior Vice President, NEC Asia Pacific Pte. Ltd.

(参考)

件数はいずれも、平成27年1月末現在。

(1)外部発表件数

	国内	国際	計
論文	29	112	141
口頭	267	121	388
その他	26	11	37

合計	322	244	566
----	-----	-----	-----

(2)特許出願件数

国内	国際	計
14	0	14

(3)受賞等(主要受賞のみ)

21件(9研究者)

・尾形哲也研究者

Best paper award (Robotics) IEEE/SICE (H23.12)

・梶本 裕之研究者

1. Best Presentation Award, 2010/7/10, H. Kajimoto, Electro-tactile Display with Real-time Impedance Feedback, EuroHaptics2010
2. 優秀講演賞, 2011/12/23, 梶本:電気触覚ディスプレイを用いた円筒形マスタハンドの設計, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会.
3. Best Paper Award (1st), 2012/3/10, Y. Kuniyasu, M. Sato, S. Fukushima, H. Kajimoto, "Transmission of Forearm Motion by Tangential Deformation of the Skin," Augmented Human2012.
4. Best Paper Silver, 2013/11/15, Y. Kurihara, T. Hachisu, K. J. Kuchenbecker, H. Kajimoto, Virtual Robotization of the Human Body via Data-Driven Vibrotactile Feedback.10th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2013).
5. Emerging Technologies Prize, 2013/11/22, Y. Kurihara, T. Hachisu, K. J. Kuchenbecker, H. Kajimoto, Jointonation: Robotization of the Human Body by Vibrotactile Feedback. ACM SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies.

・辻 俊明研究者

1. Best presentation recognition, IEEE IECON2014, 2014年10月29日
2. 日本機械学会奨励賞(研究), 日本機械学会, 2014年4月18日
3. 日本機械学会賞(論文), 日本機械学会, 2011年4月21日
4. 研究奨励賞, 日本ロボット学会, 2010年9月23日

・長谷川晶一研究者

The AH'12 Best Papers Awards for Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihiro Kato, Hironori Mitake and Makoto Sato. Realtime Sonification of Center of Gravity for Skiing

・岡崎直観研究者

1. 石田實記念財団研究奨励賞. 岡崎直観. 大規模データに基づく自然言語処理とその応用に関する研究. 2014年11月14日
2. AMT2014 Best Paper Award. Keita Nabeshima, Junta Mizuno, Naoaki Okazaki and Kentaro Inui. Mining False Information on Twitter for a Major Disaster Situation. 13 August 2014.
3. 言語処理学会第20回年次大会 優秀賞. 島岡聖世, 村岡雅康, 山本風人, 渡邊陽太郎, 岡崎直観, 乾健太郎. ガウス分布による単語と句の意味の分布的表現. 2014年3月20日.
4. 言語処理学会 2013年度論文賞. 鍋島啓太, 渡邊研斗, 水野淳太, 岡崎直観, 乾健太郎. 訂正パターンに基づく誤情報の収集と拡散状況の分析. 2014年3月19日
5. 第26回日本リスク研究学会年次大会 優秀発表論文賞. 岡崎直観, 佐々木彬, 乾健太郎, 阿部博史, 石田望. ツイッター分析に基づく福島県産桃に対する風評の実態解明とその対策. 2013年11月16日

・狩野芳伸研究者

Best Paper Award, International Workshop on Analytics Services on the Cloud, International Conference



on Service Oriented Computing.

・櫻井祐子研究者

PRIMA2011 Best Paper Award (PRIMA 2011), 2011, pp.4-18

・鈴木健嗣研究者

こども環境学会論文賞、平成 26 年度こども環境学会

・山下 倫央研究者

1. 優秀論文賞(2012), 山下倫央、岡田崇、野田五十樹, 大規模群集流動の制御に向けたシミュレーション環境の構築, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム JAWS(Joint Agent Workshop and Symposium) 2012
2. 受賞: 優秀ポスター賞(2013), 山下倫央, 人の流れの計測とシミュレーション, 合同エージェントワークシ

(4) 招待講演

国際 21 件

国内 50 件

- ・尾形哲也研究者 (国際 3 件、国内 9 件)
- ・辻 俊明研究者 (国際 4 件、国内 6 件)
- ・Adam Jatowt 研究者 (国際 3 件)
- ・岡崎直観研究者 (国内 10 件)
- ・金井良太研究者 (国際 1 件、国内 4 件)
- ・狩野芳伸研究者 (国際 1 件、国内 5 件)
- ・栗田雄一研究者 (国内 3 件)
- ・櫻井祐子研究者 (国内 1 件)
- ・鈴木健嗣研究者 (国際 9 件、国内 7 件)
- ・硯川 潤研究者 (国内 3 件)
- ・山下倫央研究者 (国内 2 件)

■ プレスリリース、出版(TV, 新聞などメディア報道含む)

・辻 俊明研究者(TV、新聞)

1. リハビリ支援ロボットで筋力を推定、可視化する技術、テレビ東京 WBS(ワールドビジネスサテライト、トレンドたまご)、2013 年 12 月 6 日放映
2. 未来の起源, TBS(TV), 2014 年 3 月 16 日放映
3. 「腕の筋トレ効率支援」日経産業新聞、2014 年 1 月 10 日掲載
4. 「筋肉の動きを可視化したリハビリ支援ロボット」R-cloud、DigInfo TV, 2013 年 12 月 4 日
5. 「Rehabilitation support robot R-cloud makes muscle movement visible」DigInfo TV, Dec. 4th, 2014

・金井良太研究者(プレスリリース)

本研究の前半の集大成である論文(Loh & Kanai, 2014)のプレスリリース(2014 年 9 月 25 日)は世界中で幅広く取り上げられた。サセックス大学のメディア担当の報告では総計で 300 以上のメディアに取り上げられ、2000 万から 3000 万件の閲覧があったとされている。代表的メディアとしては、ハフィントンポスト、デイリーメール紙、フォーブス誌などに記事が掲載されている。

・狩野芳伸研究者(民放 TV)

「ロボットが東大を目指す 人に近い人工知能とは」生放送ゲスト出演。

・鈴木健嗣研究者(新聞)

中日新聞平成 25 年 6 月 21 日 1 面トップ記事: 自閉症小児の笑顔計測(日本神経科学大会・社会的にインパクトの高い研究として選定しプレスリリース)。



・岡崎直観研究者(NHK テレビ、朝日新聞他地方紙)

新聞社やテレビ局への技術提供・取材協力を行っている(全国紙での紙面掲載 6 件、地方紙での紙面掲載 1 件、テレビ局への取材協力 1 件)。2013 年夏の参議院総選挙や2014 年夏のサッカーW 杯では、新聞社と共同でウェブサービスを開発しており、産学連携の新しい形を切り開くことができた。

著作物

・金井良太著研究者 『脳に刻まれたモラルの起源』(岩波科学ライブラリー) 2013 年 6 月発刊。

(3年型)

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職(平成27年3月末現在) (応募時所属)	研究費 (百万円)
Adam Jatowt (兼任)	集合記憶の分析および歴史文書からの 知識抽出手法の開発 (京都大学 大学院情報学研究科)	京都大学 大学院情報学研究科 特定准教授 (京都大学 大学院情報学研究科 特定准教授)	39
岡崎 直観 (兼任)	知識の自動獲得・構造化に基づく情報の 論理構造とリスクの分析 (東北大学 大学院情報科学研究科)	東北大学 大学院情報科学研究科 准教授 (東北大学 大学院情報科学研究 科 准教授)	41
金井 良太 (兼任)	インターネット環境が脳と認知機能へ与 える影響の解明 (サセックス大学)	サセックス大学 心理学 リーダー (准教授) (ロンドン大学 認知神経科学研究 所 研究員)	39
狩野 芳伸 (兼任)	解析過程と応用を重視した再利用が容 易な言語処理の実現 (静岡大学 情報学研究科)	静岡大学 情報学研究科 情報学 専攻 准教授 (情報・システム研究機構 ライフ サイエンス統合データベースセンタ ー)	40
栗田 雄一 (兼任)	マルチスケール身体モデルに基づく運動 評価技術の開発とその応用 (広島大学 大学院工学研究院)	広島大学 大学院 工学研究院 准教授 (広島大学 大学院工学研究員 准教授)	40
小林 貴訓 (兼任)	グループコミュニケーションの解明に基 づく車椅子型移動ロボットシステムの開 発 (埼玉大学 理工学研究科)	埼玉大学 大学院 理工学研究科 准教授 (埼玉大学 理工学研究科 助教)	30
櫻井 祐子 (兼任)	情報環境での人間行動モデルに基づく 知識・情報取引メカニズム設計論の構築 (九州大学 大学院システム情報科学研 究院)	九州大学 大学院システム情報科 学研究院 准教授 (九州大学 大学院システム情報 科学研究院 准教授)	32
鈴木 健嗣 (兼任)	ソーシャル・プレイウェアによる社会的交 流支援 (筑波大学 大学院システム情報工学研 究科)	筑波大学 システム情報系 准教 授 (筑波大学 大学院システム情報 工学研究科 講師)	38
硯川 潤 (兼任)	福祉機器安全設計のためのマルチモー ダル評価情報の統合基盤構築 (国立障害者リハビリテーションセンタ ー(研究所) 福祉機器開発部)	国立障害者リハビリテーションセン ター研究所 福祉機器開発室長 (国立障害者リハビリテーションセ ンター(研究所) 福祉機器開発部 研究員)	39
山下 倫央 (兼任)	複合階層モデルを用いた都市エリアシ ミュレーションの開発と利用方法の確立 (独)産業技総合研究所 サービス工学 研究センター)	(独)産業技総合研究所 サービス 工学研究センター 主任研究員 (独)産業技総合研究所 サービ ス工学研究センター 研究員)	38

(5 年型)

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職(平成27年3月末現在) (応募時所属)	研究費 (百万円)
尾形 哲也 (兼任)	長期インタラクション創発を可能とする 知能化空間の設計論 (京都大学 大学院情報学研究科)	早稲田大学 理工学術院 基幹理 工学部 教授 (京都大学 大学院情報学研究科 准教授)	82
梶本 裕之 (兼任)	触覚の時空間認知メカニズムの解明に 基づく実世界情報提示 (電気通信大学 電気通信学部)	電気通信大学 大学院 情報理工 学研究科 准教授 (電気通信大学 電気通信学部 准教授)	60
辻 俊明 (兼任)	力覚信号処理技術に基づくりハビリ支 援ネットワーク (埼玉大学 大学院 理工学研究科)	埼玉大学 大学院 理工学研究科 准教授 (埼玉大学 工学部 助教)	65
長谷川 晶一 (兼任)	作業プロセスの環境非依存化による作 業集合知の形成 (東京工業大学 精密工学研究所)	東京工業大学 精密工学研究所 准教授 (電気通信大学 電気通信学部 准教授)	35

研究報告書

「長期インタラクション創発を可能とする知能化空間の設計論」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成21年10月～平成27年3月

研究者: 尾形 哲也

1. 研究のねらい

本研究課題では、人間とロボットを含む実世界の知能システムが互いの予測と適応を繰り返すことで、発展していくコミュニケーション(事象やそれを表すサイン)に着目した。実環境変化を予測する順モデルを構築し、これを能動的な環境認知、言語への変換、さらにインタラクションに適用する。このモデルから、人間と長期に渡って飽きずにコミュニケーションできる知能システムの設計論を構築し、複数のロボットシステムへの適用を図る。

クラウドに代表される計算機上のデータは、現実の物理世界を反映してはいるが、その処理過程は現実世界のダイナミクスとは乖離しており、ロボットのような実世界で稼働するシステムが直接利用する事は難しい。本研究では「物理的な”身体”という拘束条件を介した環境とのインタラクションが、観測データの解釈のための文脈を与える」という視点からの知能システムの実現を目指した。

具体的には以下の3つの研究項目を挙げて取り組んだ。

第一の研究では、実環境データを神経回路モデルにより動的に構造化する手法に取り組む。具体的には、人間型ロボットによる能動的な物体等の知覚プロセスを、神経回路モデルを利用して学習、汎化する事で、感覚運動データからの物体や道具等の表現の獲得を目指した。

第二の研究では、言語を神経回路モデルにより”力学モデル”として表現し、実環境モデルと統合について、神経回路を用いた手法の検証を行う。具体的には、ロボットの感覚運動データとそれに対応する文章の相互連想を神経回路で実現する。ここで重要となるのは、一つの行為を表現する文章は多様に存在し、また逆に一つの文章に対応する行為も多様に存在する、という多義性の問題について、実世界の文脈から如何に一意的な解釈に落とし込むのか、という点にある。

第三の研究では、人間と実世界システムのコミュニケーションに関する研究を行う。ここでは、多感覚・多自由度を有する実ロボットのコミュニケーションに必要な機能の拡充として、多次元のマルチモーダル情報統合、またシステムのフレームワーク、さらに相互適応過程の解析等が重要な研究課題となる。具体的には、画像処理や音声認識機能の拡充と、神経回路モデルによる統合表現の獲得、さらにロボットを初めとする多種のハードウェアとの統合を可能とする開発環境設計を行い、最終的なインタラクション系を構築する。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、実世界と情報世界の統合を目指す上で、大型神経回路モデルによる表現獲得、身体性による実世界とのインタラクションを特に重視した。ここで神経回路として、深層学

習モデル(Deep Learning)、特に Deep Neural Network(DNN)と再帰結合型神経回路網モデル Recurrent Neural Network (RNN)を利用することで、システムが取得するセンサデータを未加工のまま学習し、その適切な表現を自己組織化するとともに、時系列的な文脈を反映した行動生成と言語との統合を行った。さきがけの支援を得て構築した大型の並列計算機を用い、DNNとRNNを実世界学習に応用した。また大量のロボットの行動学習データの取得、および開発した手法を多様なロボットハードウェアに適用するために、特に RT-Middleware を利用した総合システム開発の枠組みを構築した。

本課題では上記の3つの研究項目について、それぞれ以下のような成果をあげている。

まず、能動知覚による環境理解では、身体による能動的かつ探索的な環境理解に着目し、ランダムな身体運動(バブリング)から、その身体モデルと、環境内の物体、道具利用を学習する手法を提案した。特に神経信頼学の概念である「道具身体化」に着目し、神経回路モデルを利用したモデルを実ロボットに導入しその効果を確認した。

言語と運動の統合モデルについては、特に言語の多義性が、実世界の文脈から一意に決定していくプロセスに着目し、実ロボットを利用した実験系とモデルを提案した。特に視野画像、関節角度、文字列という情報から、単語、文法および運動との相互連想を可能とする基礎モデルを提案した。さらにインタラクションに主眼を置き、言語と行為の系列を、RNNの同一リミットサイクルに埋め込む形で学習させる方法を提案、ロボットに実装している。

人間と実ロボットのインタラクションに関しては、深層学習モデル(Deep Learning)による感覚運動学習機構の提案を行った。まず要素技術として発話時の唇画像と音響信号を Deep Autoencoder と Convolution Neural Network により学習し、HMMにより統合する音声認識システムを構築しその性能を評価した。さらに複数のDNNを統合した人間型ロボット用のマルチモーダル学習の手法を提案し、実装と評価を行った。この成果は深層学習を実ロボットに応用した先駆的な研究として評価されている。

以上の枠組みを拡張する形で、人間と人間型ロボットアクトロイドのインタラクション発達学習、さらに人間型ロボット NAO による人間との描画インタラクションの研究を展開した。

(2) 詳細

1. 能動知覚による身体・物体の理解と道具身体化

物理的な身体を有する、知能システムは自らの行為を利用した、能動的かつ探索的な環境理解を行う事が出来る。本研究では、身体バブリングからその身体モデルと、環境内の物体、道具のモデルを獲得する手法を提案した。具体的には、神経心理学における道具身体化(人間やサルが道具使用時に道具を自己身体の一部として知覚する現象)を神経回路によりモデル化した。DNN を利用する事で、未加工の多次元視野画像を入力として、RNN の学習を可能とする枠組みを新たに提案した(図1)。

提案モデルでは、①身体バブリングによりロボットの身体モデルを RNN で一旦学習する。その後、遅いダイナミクスを持つニューロン群(②PB ノード)を付加して、身体モデルを変調させる事で「道具を持った身体」を表現させる。RNN の Regression により、目標の視野画像の入力から、その画像を再現する道具を利用した物体操作の連想を実現した。これらの成果は 2 件の国際ジャーナル、4 件の国際会議論文で発表を行っている。

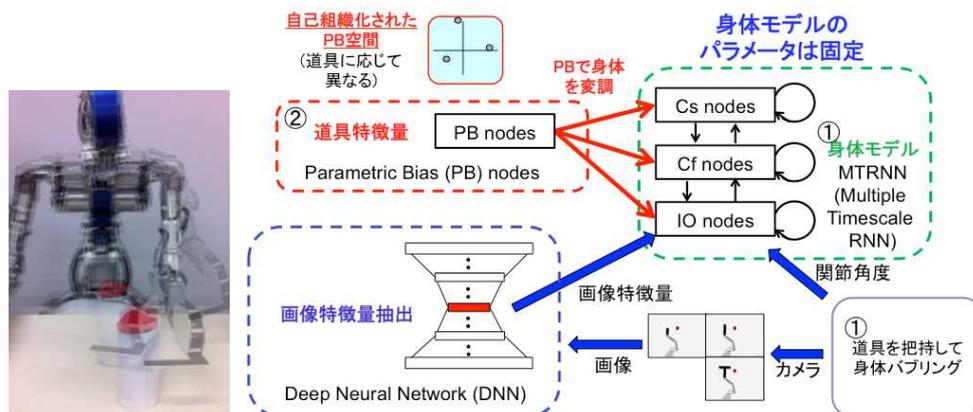


図1 アクトロイドによる実験と提案モデルの概要

以上の研究成果によって、本研究項目の課題であった環境の能動的理解について、多次元のセンサ入力から、身体と環境の内部表現を獲得する基本的な枠組みを構築できたと考える。今後は同様のモデルを多様なタスクに応用できると期待される。

2. 神経回路モデルを利用した言語と運動の変換モデル

実環境データと言語の曖昧な関係性を、身体を有したロボットに獲得させるために、特に再帰結合型神経回路を用いた、動作パターンと文の相互連想モデルをいくつか提案した。初期のモデルでは、視野画像、関節角度、文字列に応じた複数の RNN を統合したモデルである。文章を構成するアルファベット列から単語とその格、および格の構造(文法)を複数の RNN に獲得し、運動との相互連想を可能とした。

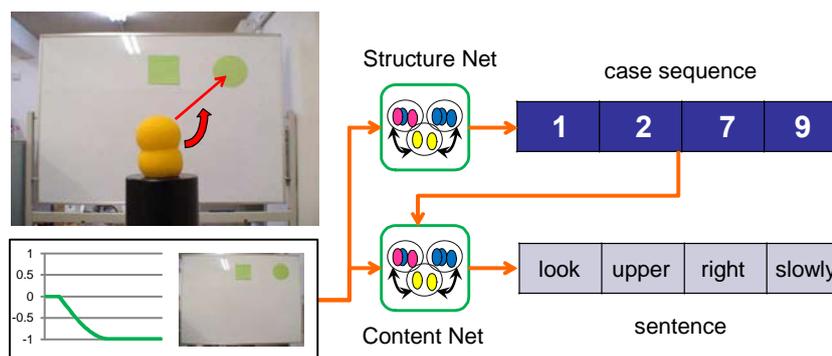


図2 文章生成の例

図 2 に文章の生成例を示す。ロボットは、ボード状の形状と運動、およびそれを表現するアルファベット列(例: "granceatcirclequickly.")を与えられる。これを繰り返し学習する事で、ロボットは単語と文法の表現を獲得する(例えば、"grance at circle quickly."と解釈できるようになる)。このモデルでは、行動と言語の多義性があるケースについて学習をさせた場合も、神経回路モデルが実世界情報を利用することで、ある程度のレベルで一意的な解釈を得られる

ことも示した。本成果は、1件の国際ジャーナルおよび2件の国際会議で発表を行った。

また本モデルをインタラクションに主眼を置いたモデルとして発展させた。具体的には、神経回路モデルに、言語と行為の構造を単一リミットサイクルに埋め込む形で学習させる方法を提案し、その対応を順計算のみで即時的に出力可能なモデルを実現した。

以上の研究成果によって、本研究項目の目的であった、多義性を含む言語と運動の統合の枠組み、およびロボットインタラクションへの道筋を確立できた。今後、3.で述べる深層学習のモデルと統合することで、より多様なインタラクションが可能になると期待される。

3.実ロボットにおける多次元のマルチモーダル情報の統合とインタラクション

特に深層学習モデルを利用した、多自由度・多感覚機能を有するロボットと人間とのインタラクションを目指し、マルチモーダル統合の研究および、インタラクション研究を行った。

基本的な、インタラクションデバイスとして、唇画像と音声を利用したマルチモーダル音声認識を行った。唇画像は Convolutional NN (CNN)、音声情報は Deep Denoising Autoencoder を用い、Multi-stream HMM (MSHMM)により統合した(図3)。孤立単語認識タスクで検証した結果、ノイズ頑健性の向上について確認した。本成果は国際ジャーナル1件、国際会議論文1件にて発表をしている。

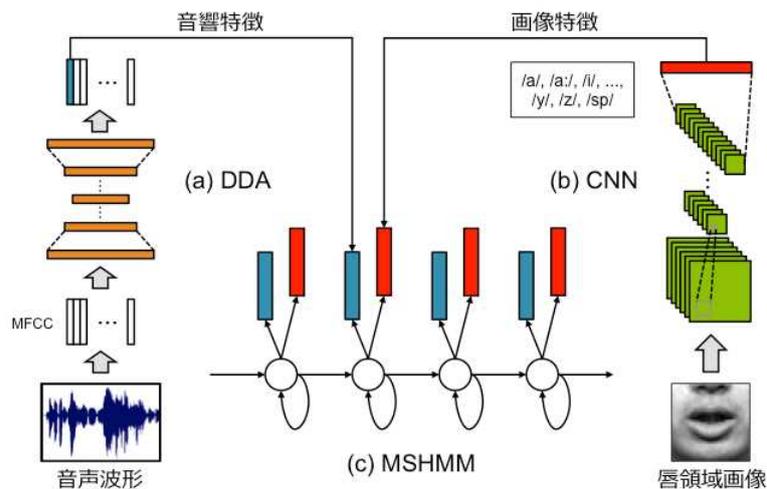


図3 深層学習によるマルチモーダル統合音声認識システム

以上の成果を自律ロボットの行動生成の枠組みに利用するフレームワークを提案した。具体的には、Time-delay 型の Deep autoencoder を、ロボットによる複数物体の操り動作学習(視聴覚運動時系列の統合学習)に適用した(図4)。画像、音響信号などの多次元(3000~4000次元)のデータを Deep autoencoder で30次元に圧縮し、その時系列データをさらに別の Deep Autoencoder で学習する。

このモデルにより、ロボットの複数の動作に対して、その感覚・動作データの系列に対して、感覚特徴量だけでなく運動単位(プリミティブ)を内部に自己組織化する。この内部表現を利用することで、クロスモーダルな記憶想起を実現し、身体運動情報とそれに伴う音響情報から、異なったモーダル間の共起性(予測)を正しく反映した画像情報の復元、さらに運動の生

成が可能となった。また、獲得された内部表現の解析から、提案モデルは視聴覚運動情報の共起性を自己組織的に構造化し、記憶学習していることを確認した。

本成果は1件の国際ジャーナルおよび2件の国際会議論文で発表をした。本成果は国際ジャーナル、Robotics and Autonomous Systems (RAS)において平成26年8月から12月現在迄、同ジャーナルの「トップダウンロード論文」になっている。

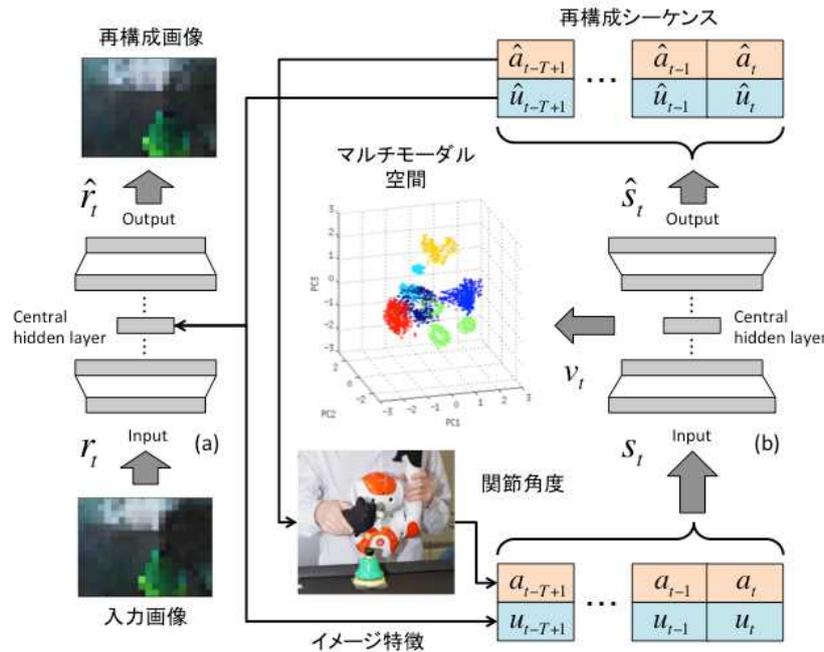


図4 深層学習モデルによるロボットのマルチモーダル統合システム

従来のロボットシステム開発の多くは、リアルタイム制御や割り込み、並列処理等、異なったハードウェアの為に独自のソフトウェアをバラバラに作成しており、Web上のビッグデータ、高次認識や機械学習等のクラウドソフトウェアを直接利用することが困難であった。そこで我々は本研究で開発した神経回路を中心とした機械学習技術を、実際のロボットインタラクションに適応するため、ロボット様のOperating Systemの規格であるRT-Middlewareに準拠したソフトウェアコンポーネントを開発し、Web上に公開した (<http://ogata-lab.jp/ja/> 公開技術.html)。

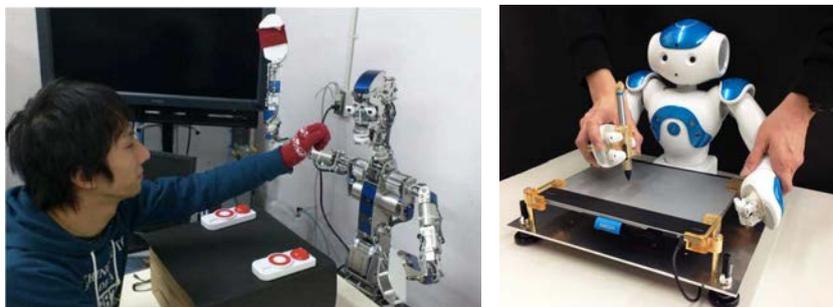


図5 アクトロイドとの模倣インタラクションとNAOとの描画インタラクション

これらのコンポーネントにより、深層学習に必要な多自由度ロボットの感覚運動データを、Open-HRP 等の動力学シミュレータ上で大量に取得可能となっただけでなく、開発したアルゴリズムを複数の異なるロボットに再利用することが容易となった。

これらを利用し、養育者と幼児のモーショニーズ(単純かつ誇張された行為)、さらに神経回路モデルの段階的構造化の概念を組み合わせた模本インタラクション(図 5 左)、また発達のな描画行為の獲得過程を介したインタラクション(図 5 右)等の研究も行った。

本研究項目の目的であった人間とのインタラクションについては、デモンストレーションの段階に留まったが、以上の研究成果から、ロボットに必要となる多次元の感覚入力と運動に関する学習の枠組みを汎用のロボット OS 上に構築できた。この成果により、1. で述べた環境認識モデルとの統合研究では、新たな成果が出始めている。また2. の言語モデルとの統合と多様なインタラクションが可能になると期待できる。

3. 今後の展開

今後は、得られた研究成果を踏まえ、実環境で活躍する知能システムであるロボットと、深層学習に代表される機械学習モデルの統合に向け、本格的な研究を展開していく。

第一の研究項目である、ロボットの身体と環境理解に関連して、柔軟関節を有したロボットのダイナミックな動作制御に機械学習を応用する方法を構築していく。今後、本研究で利用したアクトロイドのような、空気圧もしくは油圧アクチュエータを利用した、柔軟関節を有する多自由度ロボットハードウェア技術の発展が大きく見込まれる。これらのロボットは、ダイナミックかつ効率的な動作生成だけでなく、耐久性や人間とのインタラクションでの安全性に優れているが、現状ではその制御法は確立されているとは言えない。現在、我々は機械学習手法を利用した枠組みに取り組みしており、近い将来に本さきがけの成果として発展させていきたいと考えている。

第二の研究項目である言語と運動の学習に関して、より多機能のロボットに導入する事でタスクを複雑化させていく。RNN を利用したマルチモーダルな言語モデルに関しては、近年、画像を深層学習モデルで処理し、そこから画像の説明文を出力するモデルも提案されている。これらのモデルは本課題で提案した、ロボットの運動と言語の統合モデルと構造上共通する部分が多く、言語モデルの語彙、文法拡張の問題は大きく改善すると期待できる。しかし、実ロボットにおいては、画像や音響等、受動的な感覚だけでなく、それに付随する能動的な運動(経験)のデータが必要であり、本課題の第三の研究項目であるマルチモーダル情報統合、インタラクションの枠組みの成果を生かして取り組んでいく必要がある。

第三の研究項目である、実ロボットのインタラクションは今後も大きな課題である。深層学習モデルや RNN 等の神経回路モデルでは、センサ入力の特徴量を学習過程で自己組織化するアプローチにより、画像、音声等の情報処理分野で大きな成果をあげている。しかしその対象は主に認識(ラベル付け)処理であり、ロボットや自律自動車等の実世界システムの動作制御には直接利用できない。実世界で活動するシステムは、センサ入力だけでなく動作出力という物理的連続量を、環境とのインタラクションから構造化していくことが必要であり、「身体性」の問題の解決が大きな課題になると予想される。我々の研究ではこの問題を直接扱ったが、現状では類似の問題意識を持ったシステム開発研究は少ない。これらの研究にはロボットハードウェアの技術と機械学習の技術の統合環境が必要不可欠である。さきがけの支援を

得て、これらの開発環境が充実してきている。今後さらに研究を押し進めていく。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

ロボットに代表される実世界知能システムと人間とのコミュニケーションをとるための、システム構成について神経回路モデルを基盤とした基礎的な研究を行った。具体的には、さきがけの補助を受けて、多自由度柔軟関節を持つ人間型ロボットアクトロイド、および複数のロボットをプラットフォームとして、環境の能動的な理解、運動学習、言語学習、インタラクション発達等のモデルを提案、実装した。結果として当初の予想より深い形で、それぞれの問題の理解と問題点の明確化を行う事ができた。以上の成果を複数の海外論文誌での発表を行うことで、人間の認知機構の構成論的アプローチに基づく学術的な理解に対する貢献ができた。これらの成果を受け期間3年目に新学術領域研究へ参加することができ、多様な研究者との連携を進めている。

また深層学習を利用した、モダリティ統合、実ロボットの行動生成に関する研究を遂行する事で、提案する基礎モデルのスケラビリティを大幅に拡張するなど、当初計画には無かった成果を得る事ができ、学術誌や招待講演等において高い評価を得ることが出来た。これは深層学習をロボットシステムへ応用に関する先駆的な提案であり、ロボット知能化の分野に対して貢献ができた。現在、この技術を利用して新たな企業との共同研究を進めている。期間3年目に所属を異動したため、当初に予定していた固定した知能化環境の長期確保が難しく、人間との継続的なコミュニケーション研究は十分に行えなかった。しかし実ロボットシステムと深層学習等の機械学習の統合などの実際のフィールド研究に必要となる、ロボットOSに関する技術開発を、当初の計画を超えて進める事ができ、多様なシステムを開発可能な環境構築に対して貢献ができた。

以上を統括すると、人間の認知モデルという学術研究、深層学習によるロボット知能化研究、さらにこれらの機械学習と実ロボット統合する為のロボット OS 開発、という3つ領域において貢献ができた。今後は、このさきがけでの成果を受けて、国内外の研究者および企業とこれらの展開していく。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究では、ロボットの環境への適応や人とのコミュニケーションを、神経回路モデルを用いて実現しようとしている。多自由度柔軟関節を持つ人型ロボットを利用した研究環境を構築し、神経回路モデルを用いた動作学習、道具利用、さらに言語やコミュニケーションに関する研究で成果をあげてきた。また、これらの研究成果を基に認知科学等の研究者と交流を深め、新しい学術領域を開拓しつつある。さらに深層学習に着目し、ロボットに応用している。Deep Neural Network (DNN) と再帰結合型神経回路網モデル Recurrent Neural Network (RNN) を実世界学習に応用し、システムが取得するセンサデータを未加工のまま学習し表現を自己組織化する試みは興味深い。本成果は国際ジャーナル Robotics and Autonomous

Systems(RAS)のトップダウンロード論文となるだけでなく、国内外の学会での招待講演や企業との共同研究等に発展し、研究者としての飛躍に繋がっている。以上の様に、機械学習のロボットへの適用という重要な課題に取り組み、その研究基盤を構築した。今後、これらの成果を国内外の研究者や企業と共同し発展させていくことを期待する。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

- | |
|--|
| 1. Kuniaki Noda, Yuki Yamaguchi, Kazuhiro Nakadai, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Audio-Visual Speech Recognition using Deep Learning, Applied Intelligence, Springer, accepted, IF: 1.853, Nov. 2014. |
| 2. Kuniaki Noda, Hiroaki Arie, Yuki Suga, and Tetsuya Ogata: Multimodal Integration Learning of Robot Behavior using Deep Neural Networks, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 62, No. 6, pp. 721-736, 2014. IF: 1.156, (doi: 10.1016/j.robot.2014.03.003) |
| 3. Tetsuya Ogata, and Hiroshi G. Okuno: Integration of behaviors and languages with a hierarchal structure self-organized in a neuro-dynamical model, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence 2013, pp. 94-100, Singapore, Apr. 16-19, 2013. |
| 4. Wataru Hinoshita, Hinoshita Arie, Jun Tani, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Emergence of Hierarchical Structure mirroring Linguistic Composition in a Recurrent Neural Network, Neural Networks, Vol. 24, No. 4, pp. 311-320, Jan. 12. 2011. IF: 2.076 (doi: 10.1016/j.neunet.2010.12.006) |
| 5. Tetsuya Ogata, Sun Nishide, Hideki Kozima, Kazunori Komatani, and Hiroshi G. Okuno: Inter-modality Mapping in Robot with Recurrent Neural Network, Pattern Recognition Letters 31, pp. 1560-1569, 8 June 2010. IF: 1.062, (doi: 10.1016/j.patrec.2010.05.002) |

(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)

招待講演

1. 深層学習によるロボットの感覚運動ダイナミクスの学習、第8回全脳アーキテクチャ勉強会、 Grantウキョウサウスタワー、2014年11月10日。
2. ディープラーニングによるロボットの行動経験の学習、国際ロボットカンファレンス 2014、JA 共済ビル カンファレンスホール、2014年8月29日。
3. 深層学習を用いたロボットのマルチモーダル学習と今後の展開、第3回データ工学ロボティクス研究会公開講演会、国立情報学研究所(NII)、2014年3月28日。
4. ロボット行為と階層型神経回路モデルの段階的発達モデルと言語学習、日本発達心理学会・日本赤ちゃん学会共催シンポジウム、日本発達心理学会 26回大会、京都大学吉田南キャンパス、2014年3月21日。
5. ロボットの感情、自己・他者のモデル、第9回テーマ別創成塾「ロボット工学と倫理」、大阪大学吹田キャンパス、2013年10月28日。

6. 階層型神経回路モデルの段階的な予測学習と生成行為の変化、第2回日本発達神経科学学会、きゅりあん(品川区立総合区民会館)、2013年9月22日。
7. Active Space-Body Perception and Body Enhancement using Dynamical Neural Systems, Workshop on “Cognitive Neuroscience Robotics”, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI2013), 19th April 2013. (Keynote speech)
8. ロボットの発達学習と人間とのコミュニケーション、日本大学総合基礎科学研究科、日本大学文理学部キャンパス、2012年11月20日。
9. 神経力学モデルによる認知ロボティクスの試み、発達原理の科学と発達障害の理解に向けて日本ロボット学会ロボティック・サイエンス研究会、京都大学東京オフィス、2011年7月4日。
10. Toward to HRI based on Neuro-dynamical System, JST-NSF Workshop on HRI (2011), USA. 30th Nov. 2010. (Invited talk)
11. 神経力学系予測モデルによるロボット身体拡張認知への試み、ロボット工学セミナー第59回シンポジウム、人に拡張身体感をもたらすロボティクスの実現に向けて、名古屋大学 VBL セミナールーム、2010年9月21日。
12. Model of Tool-Body Assimilation based on Neuro-Dynamical System, JSPS-DFG Round Table on ‘Cooperative Technology in future: Cognitive Technical Systems’, Organizers: Prof. A. Iriki, Prof. Y. Kuniyoshi, Prof. M. Buss, Prof. Ritter, 9th Feb. 2010. (Invited)

受賞

1. Best paper award (Robotics)、IEEE/SICE International Symposium on System Integration 2011 (SII2011)、2011。

主要な学会発表(国際ジャーナル、査読付き国際学会プロシーディング)

1. Kuniyuki Takahashi, Tetsuya Ogata, Hadi Tjandra, Yuki Yamaguchi, Shigeki Sugano: “Tool-body Assimilation Model Based on Body Babbling and Neuro-dynamical System,” Mathematical Problems in Engineering, Article ID 837540, (IF: 1.383), Accepted, 2014.
2. Yang Zhang, Tetsuya Ogata, Shun Nishide, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, “Classification of Known and Unknown Environmental Sounds based on Self-organized Space using Recurrent Neural Network,” Advanced Robotics, Special Issue on Dynamical System Involving Symbol Processing, Vol. 25, No. 17, pp. 2127-2141 (2011).
3. 日下航, 尾形哲也, 小嶋秀樹, 高橋徹, 奥乃博: RNNを備えた2体のロボット間における身体性に基づいた動的コミュニケーションの創発, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 4 (ロボティックサイエンス論文特集号), pp. 532-543, May, 2010.
4. Kuniaki Noda, Yuki Yamaguchi, Kazuhiro Nakadai, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Lipreading using Convolutional Neural Network, Proceedings in Interspeech, Sep.

- 2014, Singapore.
5. Kuniyuki Takahashi, Tetsuya Ogata, Hadi Tjandra, Shingo Murata, Hiroaki Arie, and Shigeki Sugano: Tool-body Assimilation Model based on Body Babbling and a Neuro-dynamical System for Motion Generation, In Artificial Neural Networks and Machine Learning – ICANN 2014, LNCS8681, pp. 363–370, 2014 (Proceedings of the 24th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2014), Hamburg, Germany, September 2014)
 6. Kuniaki Noda, Hiroaki Arie, Yuki Suga, and Tetsuya Ogata: Multimodal Integration Learning of Object Manipulation Behaviors using Deep Neural Networks, Proceedings of IEEE-RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013), pp. 1728–1733, IEEE/RSJ, Tokyo, Nov. 3–7, 2013.
 7. Keita Mochizuki, Shun Nishide, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Developmental Human-Robot Imitation Learning of Drawing with a Neuro Dynamical System, Proceedings in IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2013), pp. 2336–2341, Oct. 2013, Manchester, UK. 財団法人 原総合知的通信システム基金 第44回 国際会議論文発表者助成
 8. Harumitsu Nobuta, Kenta Kawamoto, Kuniaki Noda, Kohtaro Sabe, Hiroshi G. Okuno, Shun Nishide and Tetsuya Ogata: Body area segmentation from visual scene based on predictability of neuro-dynamical system, Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN-2012), June 10–15, 2012, Brisbane, Australia.
 9. Kenri Kodaka, Tetsuya Ogata, Shigeki Sugano: Rhythmically Adaptive Localization in Incomplete RFID Landmark Environments, Proceedings of IEEE-RAS International Conference on Robotics and Automation (ICRA-2012), pp. 2108–2114, May 14–18, 2012, St. Paul, MN.
 10. Kenri Kodaka, Tetsuya Ogata, Hirotaka Ohta and Shigeki Sugano: Exploring Movable Space using Rhythmical Active Touch in Disordered Obstacle Environment, Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2011), pp. 485–490, Dec. 20–22, 2011, Kyoto, Japan. Best Paper Award (Robotics)
 11. Hiromitsu Awano, Shun Nishide, Hiroaki Arie, Jun Tani, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Use of a Sparse Structure to Improve Learning Performance of Recurrent Neural Networks, Proceedings of 18th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2011), Part III, pp. 323–331, LNCS7064, Springer-Verlag, Shanghai, Nov. 13–17, 2011.
 12. Zhang Yang, Shun Nishide, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Cluster Self-organization of Known and Unknown Environmental Sounds using Recurrent Neural Network, Proceeding of the International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2011), LNCS6791, pp. 167–175, Oral, Espoo, Finland, June 14–17, 2011.

研究報告書

「触覚の時空間認知メカニズムの解明に基づく実世界情報提示」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成21年10月～平成27年3月

研究者: 梶本 裕之

1. 研究のねらい

ヒューマンインタフェース技術は情報の「認識(入力)」と我々の「運動(出力)」をよりスムーズに接続するための技術であるが、情報認識のためのディスプレイ技術が主に視聴覚において長足の進歩を遂げる一方で、我々の運動出力は長い間キーボードやマウスの操作に限定されてきた。しかし近年、身体運動計測技術が安価に入手可能となったことに伴い、全身運動を用いたヒューマンインタフェースが一般用途に普及しつつある。こうしたインタフェースはビデオゲーム、遠隔操縦、スポーツ等における運動教示、リハビリテーション等多岐にわたる応用が考えられるが、運動した際に本来感じるべき運動感覚の呈示が必要となる。

従来の運動感覚提示は主にロボット技術の援用によって行われており、典型的にはユーザがロボットマニピュレータの末端を把持するものであった。大型化、高コスト化は避けられず、遠隔医療のような限定された場面でしか利用できなかった。また錯覚現象による擬似的な力覚提示を利用する試みはいくつか存在したが、微かな力を感じる程度であり、力覚提示手段として一般的に利用できる強度を持った現象ではなかった。

これに対して本研究はまずハンガー反射と名づけた皮膚圧迫によって生じる頭部回旋運動現象を利用する。本現象は軽い皮膚圧迫で強い主観的な回旋力を生じる。この現象の機序を解明し身体全体へ適用、全身の運動を誘発する手段として確立する。さらに関節部への触覚提示によって身体姿勢を誤認させる手法、筋骨格内の深部感覚受容器に対する刺激によって擬似的な運動を生起させる手法も検討し、小型軽量の装置による運動感覚提示のスタンダードを築く。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究ではまず運動錯覚現象の一種であるハンガー反射現象に着目した。本現象は皮膚の圧迫のみで明瞭な外力を錯認する現象である。この現象の生起条件は頭部の特定部位に圧迫が加わることであったが、最終的には皮膚の剪断(横ずれ)方向に加わった歪が外力と誤認され、これに従う形で運動が生じている現象であることが明らかとなった。

この機序に基づき、身体他の部位でも同様の現象が生じるかを確認し、手首、足首、胴のいずれの部位においても同様の現象が強く生じることが明らかとなった。

本現象は主観的には強い外力によって姿勢を矯正されるものであるため、一種の矯正具としての応用が可能と考えられた。そこでハンガー反射と同様の頭部姿勢に関する疾患として知られる痙性斜頸への応用を行った。本疾患は従来、ボツリヌス毒注射、脳深部刺激等の高コストな対症療法しか存在しなかったが、これらに比べて圧倒的に患者の負担が少ない手法

となる可能性が高い。現在複数医療機関による治験を行っている。

運動に関する錯覚現象としては他に触覚や視覚によって引き起こされるものが知られているが、こうした従来のクロスモーダル(感覚間相互作用)現象で見られた錯覚は感覚量の高々10%程度を変化させるにとどまり、応用用途は限定されると考えられた。しかしハンガー反射はこうした従来の手法に比べて圧倒的に強い抗いがたい錯覚を生じた。この原因の一つとして、皮膚の剪断変形が広範囲な皮膚に効率的に刺激を与えるものであることが考えられた。つまり運動に関する感覚は非常に多くの手がかり(皮膚感覚、深部感覚、視覚等)の複合によって生じているため、強い錯覚の生起のためには一種の「多数決」に勝つ必要がある。従来の皮膚感覚による運動感覚の錯誤の多くは指先のごく一部への感覚提示を行ってきたが、単純な大面積化が強い錯誤生成の決め手となる可能性がある。この考えに基づき手掌部全体を覆う皮膚感覚提示装置を世界で初めて開発した。また身体の各関節付近の皮膚刺激を行い、擬似的な運動感覚として誤認させる手法を開発した。

ここまで述べてきた運動感覚提示は一貫して他の感覚による錯誤を用いたものであるが、運動感覚提示に直接寄与する深部感覚器を刺激する手段があるならそれもコンパクトな運動感覚提示という当初の目的にかなう。この考えから腱への電気刺激による力覚提示を実現し、明瞭な運動錯覚を生じることを初めて示した。

(2) 詳細

1. ハンガー反射現象の解明と臨床応用

ハンガー反射は頭部をハンガーで挟むことで特定部位を圧迫すると頭部が付随に回旋してしまう錯覚現象である。本現象は他の力覚に関するどの錯覚現象よりも強力な錯誤を生じるため、小型軽量の力覚提示を実現する突破口となる可能性がある。本研究期間の前半において本現象の生起条件は頭部の特定部位に圧迫(垂直方向の力)が加わることであったと考えていたが、同様の圧迫を身体他の部位に与えても類似の現象が生じないという問題があった。これに対して皮膚の剪断(横ずれ)方向に歪を加える装置を作成すると、従来の頭部回旋が生じていた圧迫部位以外の部位を刺激してもハンガー反射が安定して生じることが確認された。すなわち、ハンガー反射においては皮膚の剪断変形がもっとも重要であり、これが外力と誤認され、従う形で運動が生じている現象であることが明らかとなった(図1)。また頭部が前後に長い楕円形状であることが、ハンガー等を装着した際に一定方向の皮膚変形を生じやすいという幾何学的な問題であることが明らかとなった。



図1 (左) ハンガー反射の機序 (右) 剪断変形を生じさせる装置
この解明された機序に基づき、身体他の部位でも同様の現象が生起することを確認した

[受賞3]。特に手首、足首、胴はいずれも頭部と同様断面は楕円形であり、ハンガー様の装具を装着して皮膚変形を生じやすい。これらのいずれの部位においても同様の現象が強く生じることを見出し、さらに力覚提示として汎用化するため、装着後に皮膚変形を調整する機構を作成した(図 2)。

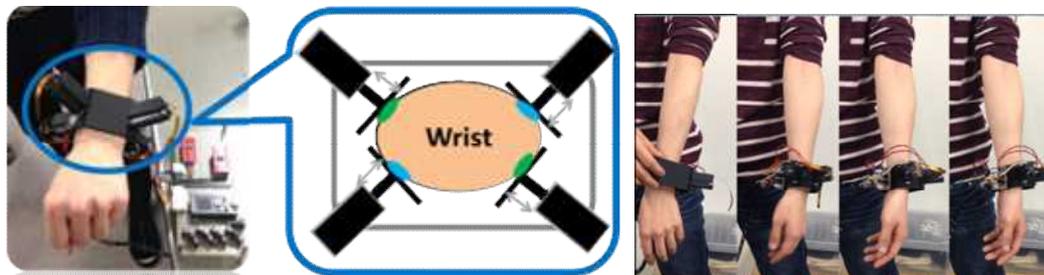


図 2 前腕用力覚呈示装置

ハンガー反射現象の医療応用も進めた。ハンガー反射と同様の頭部姿勢の異常に関する疾患として痙性斜頸が知られている。原因不明の疾患であり、従来はボツリヌス毒の注射による運動の抑制や脳深部刺激によって症状を抑える手法が取られてきたが患者への精神的、経済的負担が極めて大きかった。これに対して、患者にハンガーをかぶせて症状とは逆向きのハンガー反射を生じさせると疾患が緩和することが判明した(図 3)。本研究に関しては現在複数の医療機関による正式な医療治験の段階であり、この治験を実現するためにハンガーに替わる装具の開発を行なった[特許1、4] (図 4左)。また症状の定量評価に関してこれまで医療機関においては目視による姿勢計測が行われ患者と医師に多大な時間的負担を必要としていたものを、身体姿勢のモーションキャプチャ技術を用いて簡便な症状スコアリングシステムを構築した(図 4)。



図 3 痙性斜頸患者へのハンガー反射の適用。(左)適用前の症状、(左中)ハンガー装着時、(中)装具の形成、(右中)装具装着時、(右)使用 1 ヶ月後

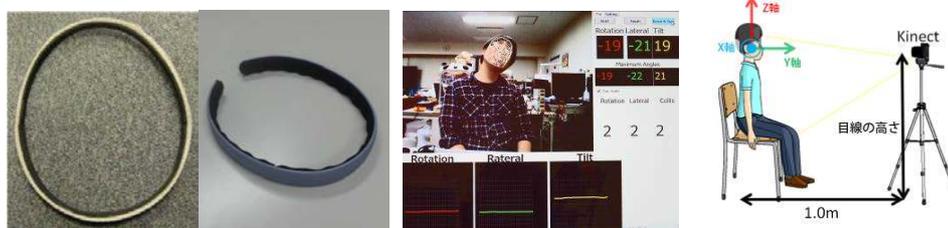


図 4 (左) プラスチック製装具、アルミ製装具 (右) 症状スコアリングシステム

2. 皮膚感覚による運動感呈示

皮膚感覚提示によって運動に関する感覚(位置感覚、力覚)を生起する錯覚現象は従来も

知られてきたが、ハンガー反射のように抗いがたい力を錯覚させる現象は他に知られていなかった。この原因の一つとして、皮膚の剪断変形が広範囲な皮膚に効率的に刺激を与えるものであることが考えられた。従来の皮膚感覚による運動感覚の錯誤の多くは指先のごく一部への感覚呈示を行ってきたが、単純な大面積化が強い錯誤生成の決め手となる可能性がある。この考えに基づき、大面積の触覚提示を実現する手法として手掌部全体を覆う皮膚感覚提示装置を世界で初めて開発した。電気刺激の採用により世界で初めて指先から掌までを1500点余りの刺激点で刺激しうるシステムが完成した[論文 1、2、3、受賞 1、2](図 5 左)。また身体の各関節付近の皮膚に振動刺激を行うことで、擬似的な運動感覚として誤認させる手法を開発した(図 5 中右)。本手法は自己の姿勢に関する錯覚を生じるだけでなく、例えばロボットの関節を想起させる振動を用いることで身体が変容する体験を生み出す装置となった[受賞 4、5]。



図 5 (左)電気触覚を用いた手掌部全体への触覚呈示 (中、右) 関節部への触覚呈示による運動感覚および身体感覚改変

3. 腱電気刺激による運動感覚呈示

以上までに述べた運動感覚呈示は皮膚感覚による錯誤を用いたものであるが、運動感覚に直接寄与する深部感覚器を刺激する手段があるなら最も効率のよい提示手段となりうる。従来から腱への振動刺激によって筋紡錘が活動し運動錯覚を生じるという現象は知られていたが、小型化等の理由から電気刺激を用い、腱に存在するゴルジ腱器官を刺激することによって運動錯覚を生起することを検証した(図 6)[論文 4、5]。その結果強力な運動錯覚を生じうること、ただし3割程度の被験者では外力錯覚が生じるものの運動の錯覚には至らないことが判明した。後者の結果については今回の刺激対象が力覚を担当する三種の受容器のうちの一種類のみであるために運動の錯覚を生じるに至らなかったのではないかと考えられる。



図 6 腱電気刺激による運動錯覚の生成。(左) 刺激部位 (右) 右腕刺激時の姿勢錯誤を左腕で示したもの。

以上のように本研究は運動感覚を小型軽量の装置で強力に呈示する手法を提案し、一部

は医療応用に進展し、また運動感覚を生じさせる触覚提示という分野を開拓した。

3. 今後の展開

(1) ハンガー反射の脳内プロセスの解明

本研究では、ハンガー反射について生起条件が明らかとなり、「皮膚せん断変形の外力としての誤認」が力覚の生起および回旋運動の生起に繋がっている点までを明らかにした。しかし次のような疑問は未解明である。第一に誤認された外力によってなぜ自発的な回旋運動が生じるのか(これは外力に「対抗」する向きに回旋が生じても良いはずであるが、実際には外力に「追従」する)。第二にこの自発的な回旋運動はなぜ自己の運動とは認識されずに他者によって「回されて」いると感じるのか、という疑問である。以上の疑問点は結局、ハンガー反射の脳内プロセスに関する疑問である。今後はこの錯覚現象を、「無意識下の反応」と「意識下の認識」に分けたモデルで説明可能と考えている。ハンガーを装着することによって活動する脳内部位が特定されることにより、ハンガーの装着が「瞬間的な矯正具」としての役割しか果たさないのか、「長期の運動学習装置」としての役割を果たすのかが明らかとなり、医療福祉に応用する際の合理性と限界を説明することになると考えている。

(2) 全身触覚呈示装置の開発

本研究を通じて電気刺激による大面積触覚呈示と関節部への振動による擬似身体姿勢呈示の手法を確立した。これらの手法はビデオゲーム等のエンタテインメントへの応用が容易であると考えられ、実際にデモンストレーション等を行ってきたが、その中で実用に足る触覚呈示のためには身体計測から触覚呈示までの遅延時間を数ミリ秒以下に抑えないと没入感がかえって損なわれることが判明している。今後はこうした計測の簡略化手法を確立することによって、コンテンツ分野での実用化を行っていく。

(3) 感覚器刺激による運動感覚の生起

筋や腱に存在する運動感覚器を刺激することによる運動感覚の生成は原理的な検証は行ったものの、3割程度の被験者では力感覚のみ生じ運動する感覚を生じないことが明らかとなっている。この問題を解決するため頭部搭載ディスプレイや皮膚感覚呈示を組み合わせた複数感覚の重畳呈示を行い、安定した運動感覚呈示を実現する。さらにリハビリテーションへの応用を行う。

以上の三点は今後も継続的な研究開発を行い、(1)については2年以内の解決、(2)については1年以内の実用展開、(3)については3年以内の実用展開への着手を行う。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

本研究は、運動ないし運動感覚を低コストに生起させるインタフェースの開発を目標として、次のような科学技術への貢献および社会実装を実現した。科学技術への貢献に関してはまず

ハンガー反射によって運動を生じる錯覚現象の機序を明らかにし、それに基づいて全身への力覚呈示手段とした。現在複数の研究グループが同様の手法を外科手技の伝達等に利用する提案をするに至っており、本分野に一定の影響を与えることが出来たと考えている。さらに感覚提示に関する原理的な考察から腱受容器電気刺激によって運動感覚を直接的に生起できることを示し、今後の運動感覚に関する科学的解明に有用なツールを提供した。社会実装に関してはハンガー反射の機序に基づく痙性斜頸患者のための装具の製品化(2014年12月段階で医療機器番号取得済み)まで行っており、運動障害に関するトップカンファレンスにおいても海外の専門医から強い関心を集めている。本疾患の患者は当然世界中に居り、今後高価な薬品や手術の恩恵を得られない発展途上国において特に真価を発揮すると予想される。本研究では人の錯覚現象の解明からインタフェース応用までの一連の流れを示すことが出来たが、今後さらに具体的な応用事例を増やしていく予定である。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究の主要な成果は、頭部の圧迫による回旋現象であるハンガー反射に着目し生起条件を初めて明らかにすると共に、医療応用に結びつけ、製品化まで実現したことである。若手の大学研究者として、異例とも言える優れた研究活動である。まずハンガー反射現象が、当初想定された圧迫によるものではなく、皮膚の剪断変形によって生じるものであることを明らかにし、この成果に基づいて身体各部で同様の現象が生じることを確認している。さらにハンガー反射から得られた知見を頭部姿勢異常の疾患として知られる痙性斜頸へ応用し、症状を抑制する装具を開発している。実際に、全国7つの医学部および大学付属病院による治験へとつなげ、また医療機器としての製品化も行っていることは高く評価できる。さらに運動錯覚現象を身体各部で生起させるという観点から、関節部への振動呈示や手掌部全体を覆う触覚提示、腱受容器の電気刺激による運動錯覚生起といった新たな手法を確立している。こうした試みは、従来ロボットの遠隔操縦などの分野に限定されてきた運動感覚呈示を、より低コストに、より日常的な環境で、しかも身体全体に対して可能とするものであり、医学療法やリハビリテーションなど幅広い展開が期待される。本研究の成果が認められ、触覚のトップカンファレンスにおけるプログラムチェア就任や、平成25年度文部科学大臣表彰を受賞するなど、本分野の若手トップランナーとして注目されるに至っている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. H. Kajimoto: Electro-tactile Display with Real-time Impedance Feedback. EuroHaptics'10 Proceedings of the 2010 international conference on Haptics – generating and perceiving tangible sensations: Part II, Lecture Notes in Computer Science 6192, Springer-Verlag, pp. 58-64, 2010.

2.	H. Kajimoto: Electro-tactile Display with Real-time Impedance Feedback using Pulse Width Modulation. IEEE Transactions on Haptics, vol.5, no.2, pp.184-188, 2012.
3.	H. Kajimoto: Design of Cylindrical Whole-hand Haptic Interface using Electrocutaneous Display. Published in EuroHaptics'12 Proceedings of the 2012 international conference on Haptics - perception, devices, mobility, and communication - Volume Part II, Lecture Notes in Computer Science 7283, Springer-Verlag, pp. 67-72, 2012.
4.	H. Kajimoto: Immobile Haptic Interface Using Tendon Electrical Stimulation, Proceedings of 9th International Conference on Advances in Computer Entertainment, Lecture Notes in Computer Science 7624, Springer-Verlag, pp. 513-516, 2012.
5.	H. Kajimoto: Illusion of Motion Induced by Tendon Electrical Stimulation, in Proceedings of IEEE World Haptics Conference, pp.555-558, 2013.

(2)特許出願

研究期間累積件数:4件

1.
 - 発明者: 旭 雄士、佐藤 未知、梶本 裕之
 - 発明の名称: 装具
 - 出願人: 富山大学、電気通信大学
 - 出願日: 2010/3/4
 - 出願番号: 特願 2010-047789, 特開 2011-147749, 特許第 5552844 号
2.
 - 発明者: 梶本 裕之
 - 発明の名称: 電気刺激装置及び電気刺激方法
 - 出願人: 電気通信大学
 - 出願日: 2010/06/07
 - 出願番号: 特願 2010-130532
3.
 - 発明者: 横山 牧、梶本 裕之
 - 発明の名称: 端末装置及び入力補助シート
 - 出願人: 電気通信大学
 - 出願日: 2013/3/11
 - 出願番号: 特願 2013-47852, 特開 2014-174809
4.
 - 発明者: 梶本 裕之、佐藤 未知、井口 竹喜, 旭 雄士
 - 発明の名称: 装具
 - 出願人: 電気通信大学, 富山大学、菊池製作所
 - 出願日: 2014/9/29
 - 出願番号: 特願 2014-198623

(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. Best Presentation Award, 2010/7/10, H. Kajimoto, "Electro-tactile Display with



Real-time Impedance Feedback”, EuroHaptics2010

2. 優秀講演賞, 2011/12/23, 梶本: 電気触覚ディスプレイを用いた円筒形マスタハンドの設計, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会.
3. Best Paper Award (1st), 2012/3/10, Y. Kuniyasu, M. Sato, S. Fukushima, H. Kajimoto, “Transmission of Forearm Motion by Tangential Deformation of the Skin,” Augmented Human2012.
4. Best Paper Silver, 2013/11/15, Y. Kurihara, T. Hachisu, K. J. Kuchenbecker, H. Kajimoto, Virtual Robotization of the Human Body via Data-Driven Vibrotactile Feedback.10th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2013).
5. Emerging Technologies Prize, 2013/11/22, Y. Kurihara, T. Hachisu, K. J. Kuchenbecker, H. Kajimoto, Jointonation: Robotization of the Human Body by Vibrotactile Feedback. ACM SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies.

研究報告書

「力覚信号処理技術に基づくリハビリ支援ネットワーク」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 21 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: 辻 俊明

1. 研究のねらい

本研究課題ではリハビリ支援機器の訓練動作をサーバにデータベースとして記録するシステムを提案した。本システムでは運動データに力覚信号処理を施すことにより療法士と患者の情報を抽出し、その情報を訓練に利用する。そして各患者の状態改善に関するデータを収集し、そのデータに基づいてライブラリに保存された各リハビリ動作の効果とリスクを数値化、提示することにより、個々の症例に合ったリハビリ動作の自律的再生や統計に基づく精緻な効果・リスク評価が可能となる。換言すると、力覚信号処理技術を媒体として実世界における知的機能(リハビリ装置)と情報環境(ネットワークサーバ)を組み合わせることで、個人の特性に合わせた高度なサービスを提供し、リハビリ支援ロボットの新たな設計指針を確立することを目指し、研究を実施した。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究ではリハビリ支援機器の訓練動作をサーバにデータベースとして記録するシステムを開発した。そしてそのデータを有効利用することにより新たなリハビリ支援機器のサービスを創出することを目指した。研究成果は以下の 3 点に要約される。

1. リハビリ支援ロボットおよび力覚検知システムの開発
2. 力覚信号処理を応用した訓練方法・評価方法の確立
3. 訓練データベースの構築とその解析

その詳細を以下に述べる。

(2) 詳細

リハビリ支援ロボットおよび力覚検知システムの開発

上肢用、下肢用のリハビリ支援ロボットを開発した。それぞれの仕様と概要を表 1 に示す。いずれも椅子に座った状態で訓練する上肢用ロボットは力覚に基づく繊細なロボットとのインタラクションを被験者が得られるようにするため、軽量・高バックドライバビリティの特長を持つ空気圧人工筋を実装した。一方、下肢用ロボットは高い耐荷重を持つ電磁モータを採用した。空気圧人工筋を用いた制御系は制御帯域が低いことを課題とするため、自動介助運動時の誘導の性能が低下することが懸念される。そこで機械的な剛性が任意に設定できるという人工筋の特長を有効利用し、機械的剛性の調整により制御帯域の低いアクチュエータでの誘導を実現する技術を開発した。また、これらのリハビリ支援ロボットに力覚信号処理に基づく制御系を実装するためには安全性の確保が重要である。安全性を確保する上で最も大きな課題は、断線や衝突に起因する力覚センサの故障である。そこで冗長性を有する力覚センサを開発し、耐故障

信号処理技術を実装することにより故障のリスクを大幅に削減することに成功した。

表 1 開発したロボットの仕様比較

	上肢	下肢
自由度	2	2
運動平面	水平面	矢状面
アクチュエータ	空気圧人工筋	DC モータ
最大力	10N	50N
		

力覚信号処理を応用した訓練方法・評価方法の確立

リハビリ支援ロボットは運動中の定量的なデータを容易に取得できることを利点とする。また、得られたデータを信号処理で加工すればリハビリに資する情報を抽出することが可能となる。その最も基本的な一例として、訓練実施時の力センサの応答から上腕部の 3 対 6 筋の張力分布を推定し、CG により可視化、表示するプログラムを開発した。その概要を図 1 に示す。目に見えない力の情報をリアルタイムで可視化して表示することにより、患者と療法士が能率的に筋の状態を把握しながらトレーニングすることが可能となる。

次に、ロボットで定量的な評価が容易になる施術の一例として、上肢用リハビリ支援ロボットを利用した可動域(ROM: Range Of Motion)測定の方法を提案した。訓練中の手先の位置情報から情報圧縮された ROM のデータを抽出する方法を示した。従来は関節角などの一次元のデータで ROM を記録していたが、本来人の四肢の ROM は空間的分布を持つものである。健康者を被験者とする実験により、関節毎に試験を行う従来の手法よりも詳細なデータが得られることが確認された。それに対して試験の時間は短く、従来の方法との差は見られなかった。また、抵抗運動可動域試験の手法を新たに提案した。本提案法を実装した試験によりロボットを用いた可動域試験はその空間的分布を得るのに適していることが示された。また、ROM の分布のみならず、どの方位に力が多く出せるかを調べられることが確認された。

以上、筋力可視化と ROM 評価というロボットの特長を活かした新規サービスの方法論を論文誌、国際会議、展示会等で発表した。学会のみならず医療・福祉・介護の分野からも大きな反響が得られたため現在その社会実装に向けた活動を進めている。



図 1 上肢 3 対 6 筋の張力推定と可視化

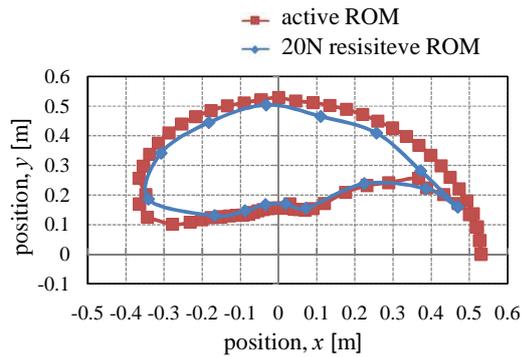


図 2 上肢の可動域計測結果

訓練データベースの構築とその解析

上記力覚信号処理技術を実装した訓練システムを用いて運動訓練のデータベースを構築した。そしてそのデータベースが創出する新しい付加価値について検証した。具体的には運動データベースから類似運動を検索する技術を開発したほか、データベースの情報を実際にインタフェースの設計に有効利用する事例を提示した。

まず検索技術の基礎検証を実施した。被験者 5 名に対して拘束なし、肩拘束、肘拘束、肩・肘拘束の 4 通りの拘束条件を与え、リハビリ支援ロボットで楕円を描く運動を 5 回実施させた。従って、リハビリ支援データベースは計 100 データで構築されている。運動照合する技術として DP マッチング法を導入し、入力データと登録データとのデータ間距離を以下の式を用いた算出した。

$$D(X, F) = (1 - \alpha)X + \alpha F \quad (1)$$

$D(X, F)$ はデータ間距離である。 X, F は位置情報、力情報を規格化したもののデータ間距離であり、 α は位置情報の重み係数である。計算結果の内、最もデータ間距離の小さい登録データを導出し、これを照合結果とする。統計的な性能評価を行うため Leave One Out Cross Validation (LOOCV) 法を導入し、検証を実施した。その結果、力情報を導入した運動照合は位置情報のみの運動照合よりも高い精度を持つという結果が得られた。

次に訓練データベースを利用し、新たな付加価値を創出する例として、インタフェースの設計にデータベースを利用する方法論を開発した。片麻痺患者を対象とした上肢の他動運動訓練を患者自身が実施するためには他動運動を行うロボットアームの操作を健側で行う必要がある。そこで 5 名の訓練データから健側のジョイスティックの操作性を評価するための項目を抽出した。その結果を図 4 に示す。ここで x 軸は運動と垂直に交わる方向、y 軸は運動と同じ方向を指す。ジョイスティックの剛性が低いほど力の制御が容易になる反面、遅れによる位置の誤差が顕著になる傾向にあること、操作力がジョイスティックに正確に伝わり、操作の誤差が低減できる適切な剛性が存在することが明らかになった。また、運動訓練のデータベースから適切なパラメータ値が抽出できることが実証された。

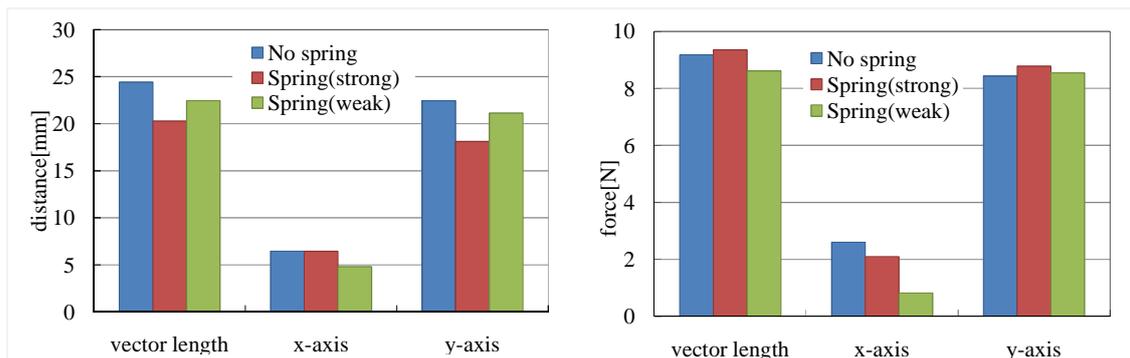


図 4 健側でジョイスティックを操作した際のロボットの追従誤差および操作力

3. 今後の展開

平成 26 年度よりメーカ・介護施設等と協働で本さがけ研究の成果の実用化を目指した活動を開始している。強固な連携体制とこれまでのさがけ研究における実績が評価され埼玉県先端産業創造プロジェクトに指定されている。産官学の連携のもと、社会実装を目指して活動する予定である。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

本研究課題では、運動データに力覚信号処理を施すことにより療法士と患者の情報を抽出し、その情報を訓練に利用する技術を開発した。力覚信号処理の実装によって、ロボット特有の付加価値が得られることが、複数の事例を通じて実証された。その結果、既存にない新しいサービスの創出に成功しており、この点において当初の目的は達成されている。既に実用を想定した実証研究が企業との連携で始動していることは、本研究成果の現場における期待の高さを示すものである。ネットワーク上でのデータベースの利用に関する効果の検証は引き続き研究が進められており、その成果を近く公知となる予定である。以上まとめると、当初の計画内容は概ね達成され、その成果を展開する次のステージに進みつつある。

現在連携している介護施設の数 は 2 社であり、本さがけ研究の成果の社会実装に向けて活動を進めている。現時点では限られた企業を対象としたプロジェクトであるが、他に同様のフレームワークを展開している組織は存在せず、我々の試みの有効性を世界に先駆けて実証すれば、2 社にとどまらず、日本国内、ひいては世界の標準の方式として広められると期待される。高齢者の介護や未病予防のための運動訓練について必要性が高まっているという社会的背景を踏まえれば、研究成果の波及効果は大きいと予想される。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年 2 回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

患者の状態を測るツールとしての、リハビリ支援ロボットの可能性に着目したユニークな研究である。訓練中のセンサ情報を有効利用する新たなサービスの創出を目指し、人に接する機構とその安全技術、患者の状態を推定する力覚信号処理技術、訓練効果を高める

力の可視化技術などの技術開発を進めてきた。力覚信号処理により患者の運動能力や体調を定量化できることを示すと共に、力の可視化が運動訓練の効果を高めることを明らかにしている。リハビリ支援ロボットのネットワーク化による情報共有については引き続き研究が必要であるものの、地道な開発が必要とされる医療介護機器の分野において、既に大きな成果を挙げている。とりわけ、情報技術と力覚信号処理技術の導入によって、リハビリ支援ロボットに、労働力の代替という枠組みを超えた新たな方向を示したことは高く評価できる。本研究の反響は大きく、研究の成果を核に据えた複数企業との共同研究に発展し、埼玉県の先端産業創造プロジェクトにも指定された。現場で多くの人々に使われることが前提の研究であるので、地方自治体や介護施設の後押しを得たことによる今後の展開への期待は大きい。学術コミュニティでも、IEEE Industrial Electronics Society, Technical Committee on Motion Control の Chair への就任が決まるなど、世界から研究者が集う技術委員会の若手の牽引役として活躍している。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. T. Tsuji, T. Yokoo, Y. Hasegawa, K. Abe, Y. Sakurai, S. Ishii: "Development of Rehabilitation Support Robot with Guidance Control Based on Biarticular Muscle Mechanism," IEEJ Journal of Industry Applications, 2014, Vol. 3, No. 4, pp. 350-357
2. T. Tsuji, C. Momiki, S. Sakaino: "Development and Evaluation of an Operation Interface for Physical Therapy Devices Based on Rehabilitation Database," IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2014, pp.3543-3548
3. T. Tsuji, M. Yamada, Y. Kaneko: "A Robot Measuring Upper Limb Range of Motion for Rehabilitation Database," Journal of Robotics and Mechatronics, 2013, Vol. 25, No. 3, pp. 515-520
4. T. Tsuji, C. Momiki, S. Sakaino: "Stiffness Control of a Pneumatic Rehabilitation Robot for Exercise Therapy with Multiple Stages," IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2013, pp. 1480-1485
5. T. Tsuji, N. Kurita, M. Yamada, S. Sakaino, Y. Kaneko: "Rehabilitation Database Based on Haptic Signal Processing," IEEE Humanitarian Technology Conference, 2013, pp. 13-18

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 3 件

1.

発明者: 辻俊明、羽生良輔:
 発明の名称: 外力検出インタフェースの故障検知方法
 出願人: 埼玉大学
 出願日: 2010/6/9
 出願番号: 特願 2010-131795

(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)

主要な学会発表

1. R. Matsuzaki, J. Okuma, S. Sakaino, T. Tsuji: "Contact State Recognition Based on Haptic Signal Processing for Robotic Tool Use," Int. Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014), 2014
2. T. Kaneko, S. Ito, S. Sakaino, T. Tsuji: "Haptic Data Compression for Rehabilitation Databases," IEEE Workshop on Advanced Motion Control, 2014
3. D. Takahashi, T. Furuya, S. Sakaino, T. Tsuji: "Experimental Evaluation of Bilateral Control of Velocity Control System Using Electric and Hydraulic Actuators," The 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 4118-4123, 2013
4. T. Tsuji, C. Momiki, S. Sakaino: "Stiffness Control of a Pneumatic Rehabilitation Robot for Exercise Therapy with Multiple Stages," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1480-1485, 2013
5. T. Tsuji, N. Kurita, M. Yamada, S. Sakaino, Y. Kaneko: "Rehabilitation Database Based on Haptic Signal Processing," IEEE Humanitarian Technology Conference, pp. 13-18, 2013
6. R. Matsuzaki, M. Kamibayashi, S. Sakaino, T. Tsuji: "Classification of a Hybrid Control System for Robotic Tool Use," IEEE International Conference on Mechatronics, pp. 712-717, 2013
7. N. Kurita, S. Sakaino, T. Tsuji: "Whole-body Force Sensation by Force Sensor with End-effector of Arbitrary Shape," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 5428-5433, 2012
8. T. Tsuji, T. Yokoo, S. Sakaino: "High Bandwidth Attitude Control Based on Musculoskeletal System with Biarticular Muscles," The 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 5428-5433, 2012
9. 辻 俊明, 大西 公平: "筋骨格アクチュエータに基づくモーションコントロール," 電気学会誌, 2012, Vol. 132, No. 9, pp. 606-609. (解説記事)
10. T. Yokoo, T. Tsuji, S. Sakaino, S. Abe: "Development of a Physical Therapy Robot for Rehabilitation Databases," IEEE Workshop on Advanced Motion Control (AMC2012), 2012

受賞

1. Best presentation recognition, IEEE IECON2014, 2014年10月29日
2. 日本機械学会奨励賞(研究), 日本機械学会, 2014年4月18日
3. 日本機械学会賞(論文), 日本機械学会, 2011年4月21日
4. 研究奨励賞, 日本ロボット学会, 2010年9月23日

著作物

1. "筋力可視化による筋トレ支援装置の開発", 進化する運動科学の研究最前線, pp.347-353, 株式会社エヌ・ティ・エス

メディア報道

1. “筋肉を鍛えるロボット”，テレビ東京、2013年12月6日
2. 未来の起源，TBS，2014年3月16日
3. “腕の筋トレ効率支援”，日経産業新聞、2014年1月10日
4. “筋肉の動きを可視化したリハビリ支援ロボット R-cloud”、DigInfo TV，2013年12月4日
5. “Rehabilitation support robot R-cloud makes muscle movement visible”，DigInfo TV，Dec. 4th，2014. _

研究報告書

「作業プロセスの環境非依存化による作業集合知の形成」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成21年10月～平成27年3月

研究者: 長谷川 晶一

1. 研究のねらい

料理やスポーツのような身体を用いて行う作業には様々な知識が含まれている。しかし次のような困難があるため、知識を取り出して集積し、集合知を作ることは容易でない。

1. 無意識の問題: 熟達につれて知識が身につく意識なくなるため、熟達者でも技に関する知識に気づいてそれを言語化して伝えることは容易でない。

2. 環境依存性: 作業の動作は、身体、環境によって変わるため、動作の中の技に関わる点に着目して言語化する必要がある。

3. 言語の問題: 言葉が指す内容は、使われることで、使用者間で一致していく。多くの人々がお互いの姿を見ながら作業を言葉で説明する環境がなければ言葉が指す内容は一致しない。

これらの問題を解消することで、作業の知識を獲得して集合知を作成可能にすることが本研究のねらいである。

料理のような作業やスポーツ等の技の伝承では、指導者は学習者を観察することで、学習者が必要としている知識を意識し、学習者の状況を想像して指示することができる。この指示を集積することができれば、作業の集合知が作成できると考えられる。しかし、2. 状況依存性と3. 言葉の問題があるため、そのままでは集積できない。そこで本研究では、テーマ A 作業環境と学習者をシミュレータ内に作り、人工言語で作業の指示を行うことで、言語と環境を統一した上で指示を収集することと、テーマ B 言語化しやすい感覚指標を提示することで、言語を統一して指示を収集することをめざす。

2. 研究成果

(1) 概要

研究テーマ A「解釈統一のためのシミュレーション」

料理について、作業環境と学習者をシミュレータ内に作り、人工言語で作業の指示を行うことで、環境と言語を統一した上で指示を収集することを目的に、シミュレータの研究開発を行った。

まず、実験により、学習者の映像だけを見ることで、指導者が様々な知識に気づき適切な指示を追加できることを確認した。この仕組の学習者と指示に用いる言語を統一するために、バーチャルな作業環境と学習者をシミュレータ内に作ることを目指し、シミュレータの研究開発を行った。料理で生じる現象は多岐にわたり、全部を再現可能なシミュレータの開発には時間がかかる。そこで、焼き調理再現のためのシミュレータを開発した。焼き調理では、食材の配置を変化させながら伝熱させて食材を加熱し、物理化学変化を生じさせる。これを再現するため、配置の変化と伝熱を少ない計算量で再現するシミュレーション手法を提案し、シミュレータを開発した。

ところで、加熱調理では、食材表面に現れる液体による見た目や音の変化や、硬さの変化を手がかりに火加減を調節する。そこで、食材内の流体移動のシミュレーション、食材表面に現れる流体の映像表現手法、食材の変形のシミュレーション手法について研究開発を行った。

研究テーマ B「感覚指標提示による運動の言語化の同一化」

言語化しやすい感覚指標を提示することで言語を統一して知識を収集することをめざし、スキーマに加重中心位置を音程と音量として聴覚提示することを提案した。これにより提示感覚を指標として運動の統一した言語化が実現できると考えられる。実験により実現の可能性が示された。

(2) 詳細

研究テーマ A「解釈統一のためのシミュレーション」

バーチャルな作業環境と学習者をシミュレータ内に作り、人工言語で作業の指示を行うことで、環境と言語を統一した上で指示内容を収集することを目的に研究開発を行った。

1. 知識獲得手順の有効性の確認

初心者学習者が指示に基づいて作業をする際の映像を観察することで、指導者が自己の知識に気づき、学習者への指示を加筆修正できることを確認した。具体的には、指導者が記したレシピにしたがって料理初心者である学習者が調理を行う。指導者は学習者による作業が自己の考える作業と異なることに気づき、レシピの指示を加筆修正する。学習者の作業が指導者の考えと一致するまで繰り返した後、別の初心者がレシピに従い作業したところ、指導者の考える調理を行うことができた。以上から、学習者を用意することで知識に気づくことができ、映像提示だけでも効果があることが確認できた。



学習者の調理映像を見ながらレシピを加筆修正する指導者

この知識獲得手順では、作業と指示に用いる言葉の解釈が、作業環境と学習者に依存する。これを統一するため、作業環境と学習者を計算機シミュレーションによって構築することを目指し、作業環境シミュレータを作成した。

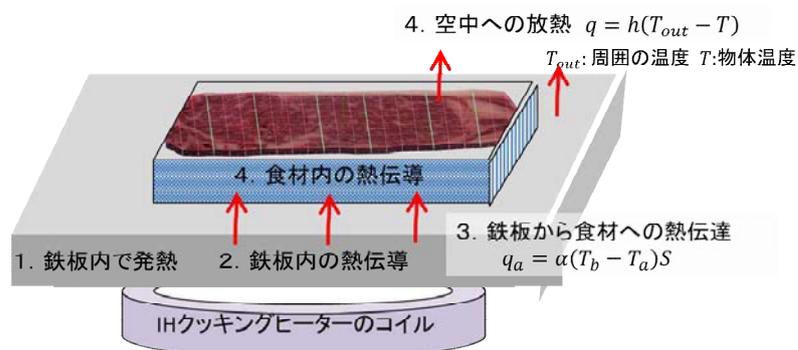
2. 作業環境シミュレータの作成

料理で生じるすべての現象を再現可能な作業環境シミュレータの開発には時間がかかる。

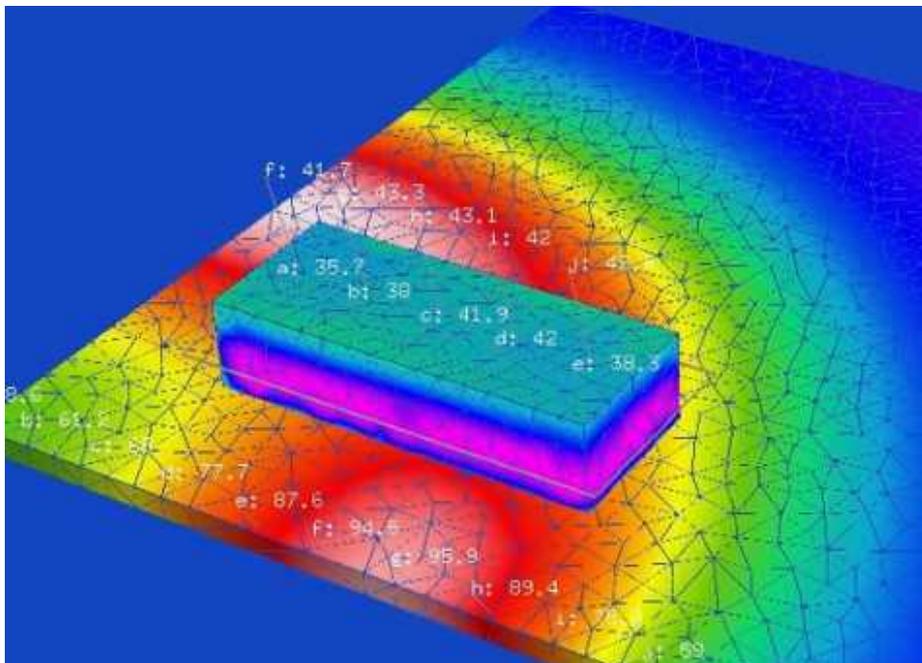
そこで、焼き調理再現のためのシミュレーションを目標とした。焼き調理では、食材の配置を変化させながら伝熱させて食材を加熱し、物理化学変化を生じさせる。これを再現するため、配置の変化と伝熱を少ない計算量で再現するシミュレーション手法を提案した。

2.1 加熱のシミュレーション

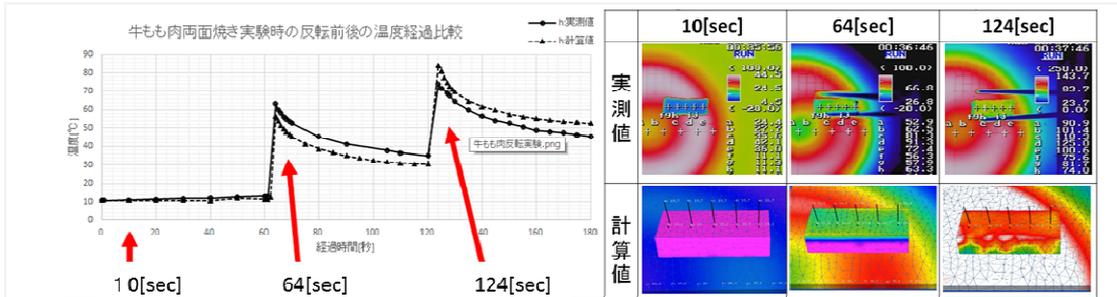
食材の運動には剛体の動力学シミュレータを用い、伝熱は、物体内の熱伝導、物体間の熱伝達、空気への放熱や輻射熱による放熱、調理器具(IHヒータ)からの加熱を、有限要素法を用いてシミュレーションする。ヒータの加熱量、物体間の伝熱、空気への放熱の係数は不明なので、熱カメラにより現実の加熱調理を計測し、シミュレーションと計測が合致するよう同定した。これにより、焼き調理中の食材の温度変化を(食材数が少なければ高性能なPCで、実時間で)シミュレーションできることを示した。



加熱シミュレーションの対象

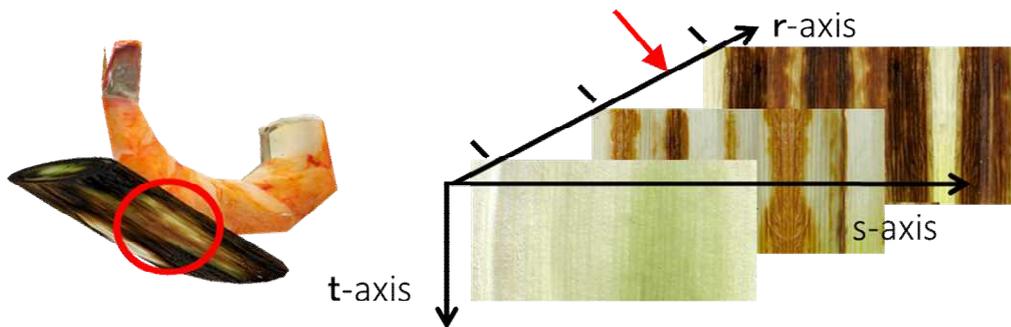


リアルタイム加熱シミュレーションの可視化映像



現実の加熱調理との比較

また、加熱調理に応じた食材の色変化を表現する手法を開発した。温度による水分量の変化とこれらに連れて生じる褐色化・炭化は、食材加熱時の水分量変化におおよそ対応する。そこで、食材を加熱しつつ、水分量と画像(スキャナにより取得)を記録し、食材モデルの部位(頂点)ごとの水分量に対応する画像をテクスチャとして用い、補間して表示する。これにより、一つの食材の一部だけが加熱されて温度が上昇しすぎた場合などに生じる褐色化や炭化を表現することができた。

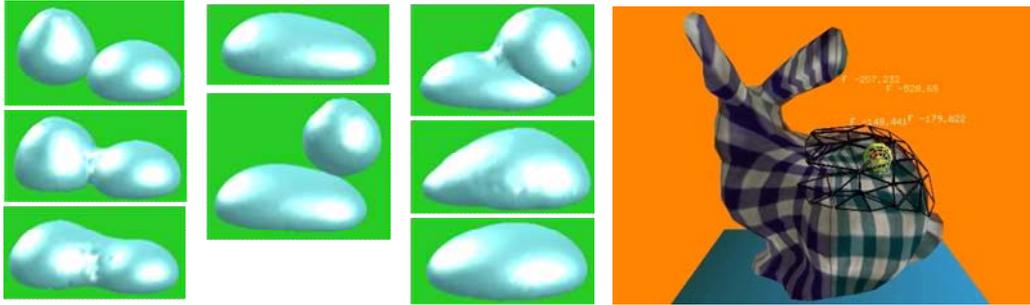


色変化の映像表現: 頂点毎に異なる深度のテクスチャを用い部分毎の変化を表現

制作したシミュレータの機能を評価するため、力覚インタフェースと映像ディスプレイを付け、ステーキのレシピを参考に調理作業を再現したところ、シミュレータの誤差に応じて誤った火加減を習得することが観察された。そこで、実際に食材を加熱した場合の温度変化を熱カメラで記録し、再現できるようにシミュレーションのパラメータ(放熱率、加熱量、熱伝達率)を同定した。これにより正確なシミュレーションが可能になった。

2.2 加熱に伴う食材変化のシミュレーションと表現

ステーキのレシピなどには、食材表面に現れる液体による見た目や音の変化や、硬さの変化を手がかりに火加減を調節するような指示があり、調理作業の知識獲得のためには、シミュレータにこれらの再現が求められると考えられる。そこで、食材内の流体の移動のシミュレーション、食材表面に現れる流体の映像表現手法、食材の変形のシミュレーション手法について研究開発を行った。



表面モデルによる流体シミュレーションと Oriented Particle による変形のシミュレーション

食材内の流体移動シミュレーションは、多孔質内の水分移動の法則であるダルシーの法則を水分油分に拡張した支配方程式を有限要素法でシミュレーションすることで行った。現実の食材加熱との比較、同定を今後進めたい。食材内の水分移動が食材表面に向けて起こると、食材表面が濡れた状態となり、さらに液体が増加すれば液滴となり表面を移動し始める。これらを高速にシミュレーションするために、表面形状だけをモデルとして持つ擬似流体シミュレーションの開発を行い、液滴の融合を再現できることを確認した。今後食材のシミュレーションに統合し、濡れた食材表面の映像表現手法も含めて研究を進めたい。

食材は柔軟物であり加熱により柔軟性が変化する。この変化も火加減等の調節の手がかりとなっている。柔軟物の変形のシミュレーションは有限要素法で行うと、剛性行列の更新が必要になり、時間がかかることが知られている。そこで、Oriented Particle という Shape Matching(幾何的な変形アルゴリズム)による変形を利用して高速に変形をシミュレーションする手法を、動力学シミュレーションと合わせて利用することを試みている。

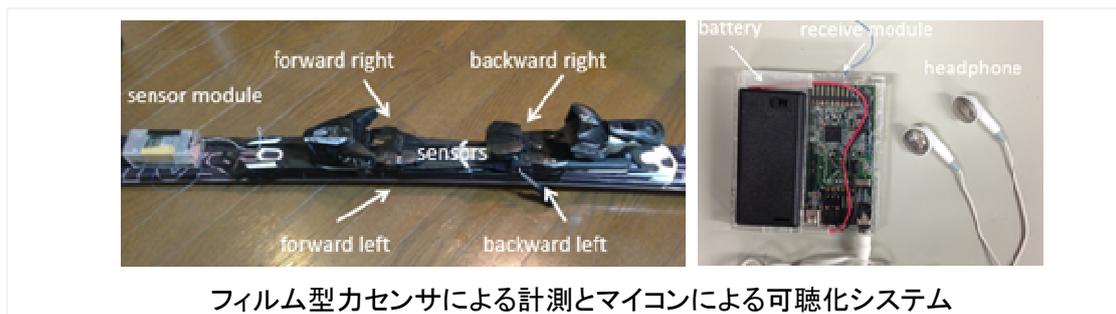
3. 学習者のシミュレーションモデル

指示言語統一のため、プログラミング言語(Python)を用いて作業環境内の食材や調理器具を直接動かしたり力を加えたりすることで作業を行う、最小限の学習者モデルを作成した。プログラミング言語に用意した機能は、火加減を調節する、力を加える、調理器具内の食材の向きを反転するといったプリミティブな操作だが、ライブラリとして利用できるクラスや関数を作ることで、複雑な処理を一言で指示できるようになる。

研究テーマ B「感覚指標提示による運動の言語化の同一化」

言語化しやすい感覚指標として、スキー滑走中の加重を音程・音量により感覚提示し、滑走時の運動の言語化に共通の指標を与えることで言語化を同一化することを目指す。スキー滑走の制御の半分は加重制御により行われるため、加重の時間変化を、注意を向けやすく滑走中にあまり利用していない聴覚に提示することで、提示音の抑揚表現、言語表現による指示を可能にする。

フィルム型力センサによる計測とマイコンによる可聴化システムを開発して実験を行ったところ、初級者が加重中心を認識できるようになり、前傾姿勢の指示に従った加重中心で滑走できた。また、中上級者2名がショートターンを行ったところ、1名がバランスを崩す数ターン前に加重の乱れがあることを発見し、提示音を用いた言語・抑揚表現によりもう1名に伝えたところ、もう1名も同様の現象を発見でき、感覚指標提示の効果が観察された。



フィルム型力センサによる計測とマイコンによる可聴化システム

3. 今後の展開

研究テーマ A「解釈統一のためのシミュレーション」については、これまでに、初心学習者への指示として調理作業の知識獲得を行う手法の有効性を確認し、指導者からの知識獲得のための、調理作業環境のシミュレーションモデルを作成した。また、現実の調理を正確に反映する焼き調理のシミュレータが完成まであと30%程度となった。プログラミング言語による指示により調理作業を行う学習者シミュレーションモデルにより作業を行い、作業過程と結果を映像提示できることを確認した。

今後、焼き調理のシミュレータを完成させ、プログラミング言語を用いていくつかのレシピをシミュレーションし、共通ライブラリを作成する。次に、共通ライブラリを元に、レシピの手順木に基づいて調理を行う学習者シミュレーションモデルを作成する。手順木入力のための GUI やシミュレーション映像の提示を行う Web アプリを作成し、レシピを入力すると、対応する料理のシミュレーション映像を作成する Web サービスを作成する。これにより、記述を統一した形で調理作業の知識を収集することを目指す。

研究テーマ B「感覚指標提示による運動の言語化の同一化」については、原理の確認と有効性を示唆する事象が観察された。今後、統制された実験、指導者との共同研究を進め、スポーツの練習、指導への応用を目指す。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

研究目的の達成状況:

提案時に研究計画を実行可能な範囲に絞り込めていなかったこと、調理シミュレーションの開発に見積の2倍程度の時間を要していることがあり、研究期間が足りず当初の目標を達成することはできなかった。しかし、期間中に研究方針と方法の明確化ができたので、今後の研究により、目標を達成できると考えている。また、研究過程で得られた成果には多くの波及効果が期待される。

研究の進め方:

研究方針の検討に時間を要したこと、研究機関の異動があったことがあり、研究実施体制を整え、研究を推進するために時間を要した。研究は、ほぼ私と研究室学生によって実施した。当初の見通しよりも、シミュレーション手法の研究開発に時間を要したため、計画通りの研究を期間内に進めることができなかった。研究費の執行も計画通りに行うことができなかった。

波及効果:

物体運動により熱伝達が変化する状況を高速にシミュレーションする手法を確立したことは、研究過程での重要な成果であり、これまで計測とモデル化が難しかった加熱調理の食材への影響を予測することが可能になる。また、シミュレーションでは内部まで可視化することができるので、安全な調理のガイドライン作成等にも役立つと考えられる。また、複数の有限要素法モデルのインタラクションを高速にシミュレーションするために利用できるため、人が物体操作の手がかりとして利用している物体振動の触覚提示への応用も期待される。当初の目標を達成でき、Web アプリとしてのサービスを開始できれば、人々が持つ料理についての知識が収集でき、料理の分析(栄養・食感・健康性といった食品機能や安全性の分析)、料理文化の流通や発展につながると考えられる。また、作業には、気づくことの難しい暗黙の知識が含まれていること、それを引き出して形式知化するためには学習者が必要なことを、多くの人に気づかせる効果もあると思われ、人の身体知・暗黙知についての意識改革につながることも見込める。

言語化しやすい感覚指標の提示では、軽量で安価な装着型の計測装置が設計可能なこと、提示遅れの影響に見直しを与え、無線化したセンサの設計を可能にしたことは研究過程での成果であり、スキー競技者、指導者に興味を持ってもらうことができた。また、自己の身体像のずれを指標により修正できた初級者が観察できたこと、同一の言語化により容易に意思疎通できることが観察できたことは、研究過程での発見であり、今後再現性のある実験による検証が期待される。

当初の目標を達成でき、感覚指標に基づいて言語化抑揚表現化された技についての知識を流通させることができれば、自己の身体の認識と制御をあまり正確に行うことができなく本格的にコーチに習う機会も少ない一般の人や運動の苦手な人に、スポーツの楽しみを伝えるツールにもなり得るので、人々の健康増進につながると考えられる。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

作業の計測や記録を集積して集合知とすることで、作業と結果の改善や支援、作業内容の検討や討議の支援を行う研究である。作業手順に実行環境を与えることによる知識獲得支援手法と、感覚提示による記述獲得支援手法を提案し、必要なシミュレーション技術、計測提示技術の開発を行ってきた。着眼点、アプローチに独自性があり、バーチャルリアリティ分野での実績もあり、作業の集合知の実現に取り組み、その過程で発見される研究課題が解決されることを期待した。期間内の研究成果は、加熱調理のシミュレーションと感覚提示技術に時間を要し、集合知の実現に取り組みには至っていないのは残念である。人工知能という、研究者が信じる新規分野に果敢に挑戦してきたが、一方で、人工知能技術で何が可能かという洞察が十分でなかったように思われる。研究成果のリストにあるように、物理シミュレーションでは最優秀論文賞を得る力を有している。本さきがけ研究を通じて様々な研究領域との交流を行い、広い視野を備えてきているので、今後の飛躍を期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. Shoichi Hasegawa, Yukinobu Takehana, Alfonso Balandra, Hironori Mitake, Katsuhito Akahane and Makoto Sato. Vibration and Subsequent Collision Simulation of Finger and Object for Haptic Rendering. Published in Euro Haptics 2014, Haptics: Neuroscience, Devices, Modeling, and Applications Lecture Notes in Computer Science. 2014, pp. 352-359.
2. Ikumi Susa, Yukinobu Takehana, Alfonso Balandra, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa: 'Haptic Rendering based on Finite Element Simulation of Vibration', Haptics Symposium, pp.123-128, 2014. (国際会議口頭発表予稿)
3. Fumihiko Kato and Shoichi Hasegawa. Interactive Cooking Simulator Showing food ingredients appearance changes in frying pan cooking. CEA '13 Proceedings of the 5th international workshop on Multimedia for cooking & eating activities. pp. 33-38, 2013. (国際会議口頭発表予稿)
4. Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihiko Kato, Hironori Mitake, Makoto Sato: 'Realtime sonification of the center of gravity for skiing', AH '12 Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference, 2012. AH'12 Best Papers Awards.(国際会議口頭発表予稿)

(2)特許出願

なし

(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)

国内会議

1. 柴田真一, 長谷川 晶一, 三武 裕玄 : 焼き調理における食肉中の液体成分移動シミュレーション, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, セッション 33E-6, 2014.
2. 大脇遼, 長谷川 晶一 : 自己運動とフィードバック音高の関係認識における遅れの影響, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 記事番号 12B-2, 2014.
3. 大脇遼, 長谷川 晶一 : スキーの加重中心の可聴化における時間遅れの影響, 日本スキー学会第 24 回大会講演論文集, pp.20-23, 2014.
4. Ding Haiyang, 長谷川 晶一, 三武 裕玄 : 方向情報つき粒子による変形物力覚レンダリング, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, セッション 21A-4, 2014.
5. 長谷川 晶一, 石島 誠一郎, 加藤 史洋, 三武 裕玄, 佐藤 誠 : スキーのための加重のリアルタイム可聴化, エンタテインメントコンピューティング 2012 ワークショップ, 2012.
6. 加藤 史洋, 長谷川 晶一 : 料理シミュレーションのためのリアルタイム熱伝達・伝導シミュレーション, CEDEC, 2012.
7. 加藤 史洋, 長谷川 晶一 : 料理シミュレータのための有限要素法による熱伝導シミュレ

- 一タ, 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会論文集, セッション 32C, 2011.
8. 加藤 史洋, 三武 裕玄, 長谷川 晶一 : 体験型料理シミュレータ, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, pp.390-393, 2010.

受賞

1. The AH'12 Best Papers Awards for Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihiro Kato, Hironori Mitake and Makoto Sato. Realtime Sonification of Center of Gravity for Skiing

解説記事

1. 長谷川 晶一, 三武 裕玄, 田崎勇一 : 動作行動開発のための物理エンジン Springhead, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.9, pp.841-848, 2012.

研究報告書

「Analyzing Collective Memory and Developing Methods for Knowledge Extraction from Historical Documents (集合記憶の分析および歴史文書からの知識抽出手法の開発)」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: Adam Jatowt

1. 研究のねらい

History as a representation of the past has many functions. It helps to create meaning, helps to settle foundations of our nations, identities and memories, and is one of the fundamental subjects taught from elementary schools onwards. Nowadays, due to the increasing activities in digitizing and opening historical sources, the field of history can greatly benefit from the advances of computer and information sciences. New computer science techniques can be applied to help verify and validate historical assumptions based on text analytics and through comparison of multiple perspectives.

This project has **two objectives**. First, it aims at providing **computational framework for analyzing collective memory** focusing on questions such as how much the past matters for our society, how people remember and forget the past and how they find and access history-related information. Collective memory refers to the memory that members of the society share about the past. Among the aspects that we research in the study of collective memory are the patterns of remembering/forgetting, of past events, the types of remembered information and the characteristics and access statistics of past-related information.

The second objective is to provide **automatic tools for studying and understanding historical documents and documents about the past**. Here we aim to provide methods to automatically estimate temporal characteristics of documents such as when a particular document has been written and about what time period it is. Other aspects that we work on are the analysis of the scope of the language evolution, design of computational techniques for studying changes in word meaning across time and design of methods for extracting knowledge from temporal document collections and document archives.

2. 研究成果

(1) 概要

The following achievements have been obtained In the progress of this research:

Collective Memory Analysis. We have offered methodology that applies topic modelling for analyzing collective memory decay over time and for investigating which past events are remembered and which are forgotten in the context of different countries. Our approach has been implemented on the collection consisting of 2.4 million news articles about diverse

countries. We then extended our analysis to history-related data found in the English Wikipedia, which can be considered as comprehensive source of our memory of the past. Novel approach was applied in this case due to different character of data in the Wikipedia.

Temporal Document Analysis. We have designed framework for estimating two types of times related to documents: creation time and focus time. The former is the publication date of a document and the latter is the time period about which the given document is. The proposed approach has been also extended to find the approximate creation time of images based on machine learning.

Language Evolution Study. We have provided framework for detecting and visualizing changes in meaning of words over time based on the largest available historical corpus, Google Books, that contains over 1TB of text data (about 0.3 trillion words). We also have solved the temporal correspondence problem by proposing method based on deep learning for finding objects in the past that correspond to present objects (e.g., Walkman in 1980s and iPod in 2010s). This method can be applied in automatic timeline construction and can support users searching in longitudinal archives by suggesting names of past entities.

Extracting Knowledge from Archives. We have designed system for visually comparing data derived from documents created in different times. It represents documents retrieved from two different time periods as two side-by-side tag clouds or word graphs. In another work we have built system for automatic summarization of product evolution (e.g., evolution of walkman or phone).

Studying how Users Search for Past Information. We studied how users retrieve information related to the past from the Web, what techniques or tactics they use and what problems they encounter. The study was first conducted on 110 users as online questionnaire and then on 30 searchers in controlled laboratory settings. The findings were compared with those obtained for searching topics that relate to the present or the future.

Visualization Tool for Analyzing Past References in Twitter. Multi-facet visualization system has been created to portray the scope of temporal attention of Twitter users and the particular topics they mention when they refer to the past or the future. We have used two datasets for presenting the results: 31M Japanese tweets and 198M USA tweets collected over time periods of several months.

Community Service & Building. We have organized two international, interdisciplinary workshops related to computational history (called “HistoInformatics”) together with history science researchers, as well as we have organized NTCiR-11 task related to temporal information access. Similar task is scheduled to be continued in NTCiR-12. We have published survey on temporal IR and co-organized ICADL2014 and SocInfo2013 conferences that are partially related to the topics of Sakigake grant.

(2) 詳細

Investigating Collective Memory. The research problem related to this topic is to provide

efficient tools for analyzing *collective memory*. Previous studies of collective memory were limited to manual interrogations of subjects. Given the abundance of information in digital form nowadays it is possible to use computational approaches. For making this possible, we have focused on two data sources that we believe reflect social memory well: news articles and Wikipedia pages.

We approached the first data source, i.e. *news articles*, by applying topic modelling and statistical analysis. Based on the collection of 2.4M news articles about different countries we portrayed the pattern of memory decay over time (exponential forgetting) and we detected topics remembered in context of particular country for particular year. The study was then extended by biasing topics by additional variable, publication year of news articles. This allowed finding topics from a past year remembered at a particular year (e.g., recurring memories like anniversaries) to demonstrate that collective memory also changes over time.

The *Wikipedia* constitutes extensive source of historical data. In particular, the link structure and access patterns of Wikipedia articles about historical topics can be utilized to show how much the past matters to us and how much it is remembered. With this objective, we have analyzed the connectivity of Wikipedia pages about historical persons with those about the current persons as well as we measured the access frequency of Wikipedia pages on historical persons. The results show the decay in the amount of information, the decay of connectivity to the present and the decrease in the accumulated interest of Wikipedia visitors, the more time ago a particular historical person lived. The results of this work has been submitted to Web Science Track of WWW2015 conference [1].

Temporal Document Analysis. Most of evidences about the past are in the form of text documents. To study the collective memory and history in general, one first needs to understand documents that refer to the past or are from the past. In order to facilitate such historical and memory analysis we provide series of methods for estimating document temporality. In particular, we estimate two key types of time for any input text document in digital form: the *creation time* and *focus time* [2]. The former is the publication date of a document and the latter is the time period to which the given document refer. Below, we describe our approach to these two estimation problems.

Document creation time is estimated by aggregating time distributions of n-grams extracted from the document ([1,2,3,4,5]-grams). The frequency distributions of n-grams over time are obtained from Google Ngram dataset that has been constructed from Google Books datasets and dates back to 17th century. It contains over 1TB of text data (about 0.3 trillion words). Based on this approach we have built online service that outputs estimated document age for any input document and also visualizes age of particular words contained in this document similarly to the heat map visualization. The purpose of such visualization is to indicate portions of the document that may have been copied from some older documents and to provide more informative analysis to any researchers who wish to know or verify the true age of their documents. Online service that estimates document date and visualizes age of its content will be soon available.

Besides the method which analyzes text documents, we have also designed machine learning based approach for estimating the approximate age of images that are input in digital format [3]. Our approach achieves F-measure equal to 0.51 using SVM-based classification of 1000 street images into one of 5 mutually exclusive photography eras from 1826 to 2011 (baseline random classifier achieves F-measure equal 0.2).

Document focus time [2] is understood as time period to which document content refer. For example, document that is about World War II would have focus time from 1939 to 1945. In Fig. 1 we show example of a document whose content is mapped to focus time.

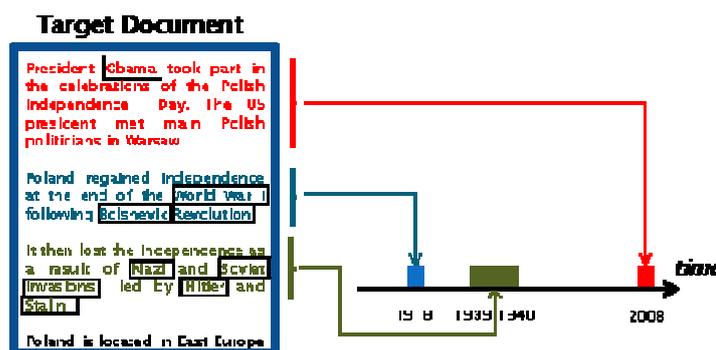


Figure 1 The concept of focus time shown as example of hypothetical document that is mapped to timeline (framed words help to position the document in time).

The estimation of document focus time is easy when underlying documents contain many temporal expressions such as dates. However, state-of-the-art approaches and tools fail to find such time in the absence of temporal expressions. We have solved this problem by building sets of automatic methods for document focus time estimation which utilize statistical co-occurrences of words and years within large document collections. The experiments on datasets created from historical textbooks, history-related web pages and Wikipedia pages on past events indicate that our method outperforms baselines, especially when documents have few dates achieving average error of 15 years of focus time detection (the total timeline length is 110 years). More detailed overview of this work has been conditionally accepted to appear in the special issue on “Time and IR” in the Information Processing and Management Journal [4].

Language Evolution Study. Our language is in the constant process of evolution. This is evident for anyone who reads old texts, especially, ones created more than few decades ago. Knowledge of the word semantic change over time should help to better understand past documents and could improve OCR algorithms. At the same time, word meaning evolution is interesting to many people as evidenced by lots of popular science books on language change.

We first attempted at *quantifying selected aspects of language evolution* such as usage of words [5] or changes in readability of old documents over time [6]. We then provided framework for *analyzing and visualizing the change in meaning of words* using the largest available historical corpus, Google Books [7]. Using three different representations of word context the proposed framework determines the change in word usage, change in sentiment and the change in similarity to related words for a given input word. Due to large size of the

datasets we needed to use Kyoto University Supercomputer to handle the processing. Our method has been also implemented on the Corpus of Historical American English. We plan to offer online service in 2015 to let users investigate the evolution of interesting words.

In the latest work we have solved the *temporal correspondence problem*, i.e., finding objects in the past that correspond to present objects. Given the input object name (e.g., iPod) and the target time period (e.g. 1980s) the task is to find the counterpart object that existed in the target time. The knowledge of temporal counterparts can help alleviate terminology gap problem for users searching within temporal document collections such as archives, can help automatic timeline construction or temporal summarization or can have usage in education. The main challenge of the temporal correspondence task comes from the change of the context (in Latin: “omnia mutantur”, i.e., “everything changes”) that results in low overlap of context terms. Thus it is difficult to find corresponding objects by directly employing distributional semantics to capture object meaning and by comparing their context vectors. We propose an unsupervised approach in which we first apply deep learning to represent the meaning of words within different time periods. We then transform the representation of terms in different temporal spaces to match terms semantically similar yet syntactically different.

Retrieving Knowledge from Archives. Many tasks in history involve comparison of large number of documents published at different times. We have designed system for *comparative knowledge extraction from temporal document collections* like archives. It compares the sets of documents retrieved from two time periods using two side-by-side panes displaying either comparative tag clouds or comparative word graphs. The system allows inputting a given entity (i.e., Japan) and comparing its context over two different time periods (e.g., 1980s and 2000s). To spot differential knowledge it detects similarities and differences related to the queried entity in different time periods by term cloud annotation and graph synchronization.

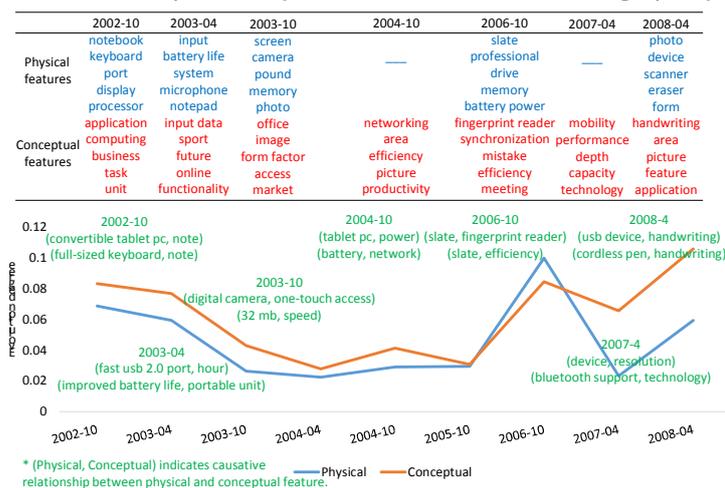


Figure 2 Example of product timeline visualization: “Tablet” 2002 – 2008.

In another research we have built automatic system for portraying the evolution of products and technology in general. Given an input query representing product type such as Walkman this system extracts terms that characterize milestones in the evolution of the product and calculates evolution degree of representative past product models. The resulting visualization

is in the form of timeline portraying conceptual and physical evolution of the product (see Figure 2 for example). We have submitted this research results to DASFAA' 15 conference [8].

Studying how Users Search for Past Information & Improving Temporal IR. To learn about the past, users often search information on the Web. We studied how they can succeed in retrieving such information, what techniques or tactics they use, which web sites they visit and what problems they encounter. The study was first carried as online questionnaire [9] and then conducted in controlled laboratory settings on 30 users [10]. The obtained findings were compared with those obtained for search topics that relate to the present or the future.

We have also organized NTCiR-11 data mining challenge about temporal information access [11,12]. The task is called Temporalia and is composed of two subtasks. The first one aims to detect temporal orientation of search queries, while the objective of the second one is to retrieve documents related to past, present, future or atemporal documents for given sets topics. This has been the first test bed fully dedicated for temporal IR. 9 teams from 7 countries have participated in this task. The official datasets from Temporalia will be released in 2015. Our proposal for NTCiR-12 data challenge has been accepted as a core task.

Visualization Tool for Analyzing Past References in Twitter. Understanding *the way in which users refer to the past in their daily lives* is also related to the topic of collective memory and its development. We have constructed visualization system to portray the scope of temporal attention of Twitter users and the topics they mention when they refer to the past (memories) or to the future (predictions). We have used two datasets for presenting the results: 31M Japanese tweets and 198M USA tweets collected over 6 and 4 months, respectively. Since there no temporal taggers are available for Japanese language, we have built our own dedicated system for detecting temporal expressions in Japanese tweets. The goal of the visualization system is to effectively compare past- and future-related references in tweets. Tweets that contain temporal expressions related to the past and the future are visualized on exponential timeline in the form of a heat map, and the representative terms are collected for different timeframes of temporal attention (see Fig. 3 for overview). Users can interactively investigate the results by selecting different timeframes of attention or different publication dates. The results of this work has been accepted at WWW2015 conference [13], while the online service is provided for public use.

Community Service & Community Building. Besides organizing the Temporalia task at NTCiR-11, I have organized two international, interdisciplinary workshops related to computational history, called "HistoInformatics" [14] and I served as PC co-chair of two international conferences (SocInfo2013 and ICADL2014) that are partially related to the topics of digital humanities. Finally, we have published an extensive survey on Temporal IR and related applications including the description of the computational history field in [15].

In general, the temporal document analysis and the language evolution study were the most

challenging problems. For the former, novel techniques had to be used which can determine document focus time or its publication date in the absence of temporal expressions within document content and its timestamp. The latter problem involved usage of high speed processing architecture to tackle big data to capture the language used at different times.

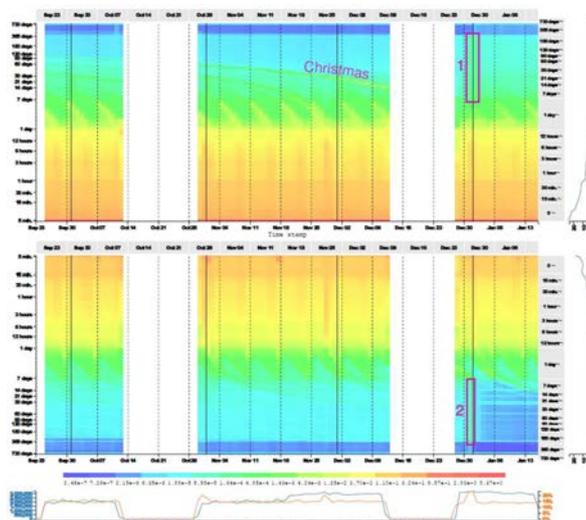


Figure 3 Visualization of temporal attention of Twitter users in US dataset (future on the top and past on the bottom parts of the graph, boxes 1 and 2 indicate new year effect).

- [1] A. Jatowt, Daisuke Kawai, K. Tanaka: How Much the Past Matters? Analyzing Historical Social Networks in Wikipedia, [paper submitted to Web Science Track of WWW2015 conference]
- [2] A. Jatowt, C.M. Au Yeung, K. Tanaka: Estimating document focus time. CIKM 2013: 2273–2278
- [3] G. Dias, J. G. Moreno, A. Jatowt, R. Campos: Temporal Web Image Retrieval. SPIRE 2012: 199–204
- [4] A. Jatowt, C.M. Au Yeung and K. Tanaka. Generic Method for Detecting Content Time of Documents. Information Processing and Management Journal (IPM) [under revision after conditional acceptance]
- [5] A. Jatowt and K. Tanaka: Large Scale Analysis of Changes in English Vocabulary over Recent Time, Proceedings CIKM 2012, ACM Press, Maui, Hawaii, USA, pp. 2523–2526 (2012)
- [6] A. Jatowt and K. Tanaka: Longitudinal analysis of historical texts' readability. Proceedings of the 12th ACM/IEEE–CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL 2012), ACM Press, pp. 353–354 (2012)
- [7] A. Jatowt and K. Duh: A Framework for Analyzing Semantic Change of Words across Time, Proceedings of Digital Libraries Conference (JCDL 2014/TPDL 2014), IEEE Press, London, UK, pp. 229–238 (2014)
- [8] Y. Zhang, A. Jatowt, and K. Tanaka: Object Evolution Summarization based on Analyzing Physical and Conceptual Changes. [Submitted to DASFAA2015 Conference]
- [9] H. Joho, A. Jatowt, R. Blanco: A survey of temporal web search experience. Proceedings of the 3rd TempWeb2013 workshop, WWW (Companion Volume) 2013, ACM Press, pp. 1101–1108
- [10] H. Joho, A. Jatowt, and R. Blanco: Temporal Information Searching Behaviour and Tactics, Information Processing and Management Journal (IPM) (to appear in 2015)
- [11] H. Joho, A. Jatowt, R. Blanco: NTCIR Temporalia: a Test Collection for Temporal Information Access Research. Proceedings of the 4th TempWeb2014 workshop, WWW (Companion Volume) 2014, ACM Press, 845–850

- [12] H. Joho, A. Jatowt, R. Blanco, H. Naka and S. Yamamoto: Overview of NTCiR-11 Temporal Information Access (Temporalia) Task, Proceedings of NTCiR-11, Tokyo, Japan, (2014)
- [13] A. Jatowt, E. Antoine, Y. Kawai, T. Akiyama: Mapping Temporal Horizons, Analysis of Collective Future and Past related Attention in Microblogging. Proceedings of WWW 2015, ACM Press, (full paper), (to appear in May 2015)
- [14] A. Jatowt, G. Dias, M. Duering and A. van Den Bosch: The HistoInformatics2014 Workshop, Socinfo2014 Workshop Proceedings, Springer LNCS (to appear in 2015)
- [15] R. Campos, G. Dias, A. M. Jorge, A. Jatowt: Survey of Temporal Information Retrieval and Related Applications, ACM Computing Surveys, Vol. 47(2), ACM Press, pp. 1-41, 2014

3. 今後の展開

We plan to actively continue working on topics of this project. Our future plans embrace the following topics:

Studying Concept Evolution over Time. We plan to build system for analyzing evolution of meaning of entire concepts rather than evolution of words. This necessarily requires detection of sets of words that commonly constitute concepts. For example, to detect the evolution of the concept of “programming” we need to detect the evolution of many specific programming languages instead of looking only at the evolution of the term “programming languages” alone.

Temporal Correspondence. Our next focus is on considering user intent by suggesting different facets of queried objects and letting users choose any of them for biasing the temporal counterpart search. For example, to find temporal counterpart of current politician one can focus on different aspects of that person such as opinions on economy, international politics or even his persona life. Depending on different facets used one can detect different counterparts of the entity in the past. This study will be also extended to finding similar or related news events in the past to a given present news. Such extension should support prediction tasks on the future progress of developing events.

4. 評価

- (1) 自己評価
(研究者)

The initial plans of this research assumed exploratory character since the research area is still quite new. The scope of our work has then become quite large. In the process of conducting the project we have been finding interesting and useful research directions which we pursued. Our work is thus not limited to one or few narrow domains but has rather broad character. Thanks to this, solutions and ideas from one topic can support and complement those in the other topic while the broad perspective allows for selecting most interesting and promising directions. We managed to publish the results of core subtopics in well-respected conferences or journals, and the results of other subtopics are to be published later. In general, there are still many open avenues for further research within this context that are exciting and

useful, and which we plan to continue exploring in the near time.

Many of proposed approaches required processing and managing large data such as large collections of news articles, Google Ngrams based on results of Google Books projects or crawled tweet collections. We have thus necessarily spent much effort on creating efficient infrastructure. Thanks to the large scale data approach our results are reliable and have more impact.

Collaboration with history science researchers is an important issue. Interdisciplinary collaboration requires not only networking but also understanding requirements, expectations and possibilities of both sides. We have teamed with several historians, who are interested in computer-based solutions to the history field, to establish a series of interdisciplinary workshops in conjunction with international conferences on social informatics. The interdisciplinary character of such workshops assumes that each paper must be evaluated by professionals from computer science and from history science. Through these initiatives we had many chances to learn about interdisciplinary collaboration and to discuss our research ideas with history and social science researchers. We plan to continue more intensive collaboration in the future.

We want to emphasize that during the progress of this project, balanced effort went into conducting own research geared towards scientific publications and into offering community service. The latter consisted in preparing datasets for research community, constructing online services, co-organizing conferences and workshops, and completing survey article.

When it comes to administering the funding and maintaining the human network, both of these tasks went smoothly and without any bigger obstacles. The established human connections will be maintained in the future.

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

新しい技術が生まれると多くの研究者は未来を描く。しかし、過去に思いを馳せる研究者が何人かいてもよい。本研究は Web や SNS を資料と捉え、その分析に基づく新しい歴史学を構想するものである。研究の目的は 2 つあり、一つは集団の記憶を分析することで、もう一つは過去について書かれた文書の分析ツールを開発することである。研究の過程で多くの技術が生まれている。例えば、文書が作成された時期と書かれた内容の時期を抽出する技術、文書間のリンク構造を調べ過去の影響を分析する技術、事物の呼称がどのように変遷してきたかを分析する技術などである。分析対象は、Wikipedia や Google Books など、文書の規模は 1TB にものぼる。さらに、自ら研究するだけでなく、異分野の研究者からなるコミュニティを育ててきたことは高く評価できる。HistoInformatics と呼ばれる国際ワークショップが生まれ、そのコミュニティからこの分野で初めてのサーベイ論文が出版されている。さきがけに相応しい新しい研究テーマで、今後の展開が楽しみである。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. A. Jatowt and K. Duh: A Framework for Analyzing Semantic Change of Words across Time, Proceedings of Digital Libraries Conference (JCDL 2014/TPDL 2014), IEEE Press, London, UK, pp. 229–238 (2014)
2. A. Jatowt, C.M. Au Yeung and K. Tanaka: Estimating Document Focus Time, Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM 2013), ACM Press, San Francisco, CA, USA, pp. 2273–2278 (2013)
3. A. Jatowt, E. Antoine, Y. Kawai, T. Akiyama: Mapping Temporal Horizons, Analysis of Collective Future and Past related Attention in Microblogging. Proceedings of the 24th International World Wide Web Conference (WWW 2015), ACM Press, (full paper), (to appear in 2015)
4. A. Jatowt and K. Tanaka: Large Scale Analysis of Changes in English Vocabulary over Recent Time, Proceedings of the 21st ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM 2012), ACM Press, Maui, Hawaii, USA, pp. 2523–2526 (2012)
5. H. Joho, A. Jatowt, and R. Blanco: Temporal Information Searching Behaviour and Tactics, Information Processing and Management Journal (IPM) (to appear in 2015) (collaborative with NTCiR-11 “Temporalialia” task organizers)

(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. *External News Report*: L. Hoffmann, “Looking Back at Big Data”, Communications of ACM (CACM)(April 2013)
<http://cacm.acm.org/magazines/2013/4/162509-looking-back-at-big-data/fulltext>
(this report provides introduction to computational history and mentions our research work on collective memory analysis as main example)
2. *Edited book (conference proceedings)*: A. Jatowt, E.-P. Lim, Y. Ding, A. Miura, T. Tezuka, G. Dias, K. Tanaka, A. J. Flanagan, B. Tian Dai (Eds.): Social Informatics – 5th International Conference, SocInfo 2013, Kyoto, Japan, November 25–27, 2013, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science 8238, Springer 2013, ISBN 978-3-319-03259-7 (2013)
3. *Edited book (conference proceedings)*: K. Tuamsuk A. Jatowt, E. Rasmussen (Eds.): “The Emergence of Digital Libraries – Research and Practices” The 16th International Conference on Asia-Pacific Digital Libraries, ICADL 2014, Chiang Mai, Thailand, November 5–7, 2014, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science 8839, Springer 2014, ISBN: 978-3-319-12822-1 (2014)

4. *Edited book (workshop proceedings)*: A. Nadamoto, A. Jatowt, A. Wierzbicki, J. L. Leidner (Eds.): “Social Informatics – SocInfo 2013 International Workshops, QMC and HISTOINFORMATICS”, Kyoto, Japan, November 25, 2013, Lecture Notes in Computer Science 8359, Springer 2014, ISBN 978-3-642-55284-7 (2014)

研究報告書

「知識の自動獲得・構造化に基づく情報の論理構造とリスクの分析」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成23年10月～平成27年3月

研究者: 岡崎 直観

1. 研究のねらい

インターネットやモバイル通信などの情報通信技術により、一般の人がいつでも、どこでも、誰でも繋がり、情報交換を行えるようになった。一方、情報の流通が活発になったからといって、我々は意思決定を正確に下せるようになったのであろうか？ 広辞苑によると、情報とは「判断を下したり行動したりするために必要な知識」であるから、多くの情報が得られることによって、意思決定に必要な知識が増えるはずである。しかし、情報の受け手の「情報処理能力」の壁により、実際には新しい情報環境の恩恵を受けられないことが多い。

本研究では、インターネット上に鏤められている知識を獲得・集約し、一般の人の行動決定を支援するシステムを開発する。具体的には、人間の安全・安心・危険・不安に直結するドメインにおいて、ある情報を信じて意思決定を行うことが、良いとされているのか、悪いとされているのかを、計算機がインターネット上の情報を自動的に分析し、その回答の根拠情報と共に提示する技術を構築する。この技術を確立するには、自然言語処理や情報検索の研究分野で、多くの課題に取り組む必要がある。

例えば、「放射線の影響を減らすためにイソジンを摂取する」という行動に関し、その賛否を意味的に集約し、行動に関する是非を根拠情報と共に提示することを考える。この行動に関しては、「放射線の影響を減らすためにイソジンを摂取するのは間違い」など、直接的に行動を否定する言及もあった。また、「イソジンを飲むと嘔吐する」など、危険な事態を提示することで行動を間接的に否定する言及もある。ここで例示した情報提供者のソーシャルな関係が近ければ、発信された情報間の意味的な近さを近似できる。また、先に挙げた行動に対して「イソジンを飲むと嘔吐する」の命題が反論していることを認識するには、「放射線は毒物である」「毒物の影響を減らす→安全である」「嘔吐する→危険である」という知識を組み合わせた上で、前者の行為が安全を目的としているのに、後者の命題が同じ行為の危険性を主張しているため、これらが対立関係にあると認識できる。

本研究では、情報間の意味的な関係の高精度な解析と、意思決定支援システムの開発を目的とし、以下の研究項目に取り組む。

- A. 大規模なテキストからの常識的な知識の獲得
- B. 情報間の意味的關係の解析
- C. 意思決定支援システムの構築

2. 研究成果

(1) 概要

研究項目A「大規模なテキストからの常識的な知識の獲得」では、(弱)教師あり学習に基づ

く手法(文献5, 6, 9)、数量に関する常識的な知識の獲得(文献7)、因果関係の知識獲得を進めた(文献10)。また、分散並列処理、オンライン学習、近似頻度計測などの技術を応用し、数億ページを超える大規模な言語データからの知識獲得に成功し、先行研究との優位性を実証した。これらは、学習に用いるコーパスや訓練事例のドメインに依存しない手法となっており、本研究で用いている東日本大震災後の言語データだけでなく、大規模なWebコーパス(150億文)など、一般ドメインのコーパスからも知識を獲得できる。

研究項目B「情報間の意味的關係の解析」では、東日本大震災後のツイートを用い、信ぴょう性の低い情報の検出や情報の構造化に関する研究を進めた。東日本大震災では、「イソジンを飲むと放射線予防になる」「関東の若者に鼻血症状が見られる」などの誤情報が拡散し、その社会的な影響は今もなお根強い。多くの人から訂正されている情報(=信憑性の低い情報)を網羅的に収集・集約する手法を開発した。震災時の人々の実際の会話データから流言・誤情報を見つけ出し、その拡散・収束過程を調査する試みは、本研究が初であり、AMT 2014 Best Paper Award および言語処理学会 2013 年度論文賞を受賞した(文献3, 4)。さらに、福島の桃の購買に関する風評の実態をツイートから分析するため、評判情報分析とネットワーク分析を組み合わせ、人々の意見の意味的關係を解析した。誤情報や風評の拡散の温床とされたソーシャル・ネットワークで、風評を減らすためのリスクコミュニケーションに関する知見が得られ、リスク研究学会で優秀発表論文賞を受賞した(文献2)。また、本研究で得られた知見の一部はNHKスペシャル「震災ビッグデータ2」で放送された。

研究項目C「意思決定支援システムの構築」では、信憑性の低い情報を常時モニタリングするシステムを開発した。このシステムでは、情報間の意味的關係の解析(研究項目B)に基づき、信憑性の低い情報を支持する情報、反論を与える情報に分類して情報を提示できる。さらに、情報間の意味的關係をブラウザ上で可視化するシステムを開発した。最終的な意思決定を行う利用者に対して、背後にある情報を可視化することで、情報の善し悪しや意思決定を支援する環境を提供した。

(2) 詳細

研究テーマ A 「大規模なテキストからの常識的な知識の獲得」

- Wikipedia から抽出したエンティティの知識をシードとして、ウェブページ1千万文書からエンティティの知識インスタンスを自動的に拡充する手法(集合拡張)を開発した。本研究では、Wikipedia から自動獲得したカテゴリの上位下位関係を制約として活用することで、意味ドリフトを軽減する効果が得られることを示した(文献6)
- リスク情報に多く含まれる数量の意味解析に向けて、数量の大小に関する知識の自動獲得手法、およびその知識を用いた数量の大小判定手法を提案した。本研究は、人間の主観を客観に一般化するという難しいタスクであるが、抽出された知識が人間の感覚と高い相関を示すことを実験的に確認した(文献8)。
- 固有表現抽出器(エンティティの意味クラスの推定)の性能を改善するため、ラベル情報に階層構造を持たせる手法(文献5)、エンティティの周辺文脈をマイニングする手法(文献9)を提案した。
- 因果関係知識の獲得に取り組んだ。新聞記事などでは、「UnitedHealth buys Pacificare.」

という文の後に、「The acquisition gives UnitedHealth operations in Nevada.」という文が出現することがある。このようなイベント共参照を含む文章に、大規模なテキストから自動的に獲得した知識を適用し、「buy(A, B) ^ headquartered-in(B, X) ⇒ operate-in(A, X)」という一般化された因果関係知識を獲得する手法を考案した(文献10)。

- 世の中に存在するあらゆる関係(is-a, born-in など)に関し、それらの関係にあるインスタンス(エンティティの組)をテキストから自動的に獲得する手法(教師なし関係抽出)を開発した。近似頻度計算と次元圧縮を利用した手法およびシステムを開発し、数十億文規模の超大規模コーパスから良質なパターンの意味表現を現実的な時間で学習できた。

研究テーマB「情報間の意味的関係の解析」

- 東日本大震災時に拡散した誤情報の網羅的な収集:「〇〇というのはデマ」「〇〇という事実は無い」など、誤情報を訂正する表現(以下、訂正パターン)に着目し、誤情報を自動的に収集する手法を提案した(図1左)。収集した誤情報のそれぞれに対し、ソーシャルメディア上での拡散・収束状況、訂正情報の拡散・収束状況を分析した(図1右)。評価実験では、まとめサイトから取り出した誤情報のリストを正解データと見なし、提案手法の精度や網羅性に関して議論した(文献1, 4)。
- ツイートに対する同意・反論・疑問などの論述関係を整理するため、返信や非公式リツイートの関係にあるツイート(返信・引用ツイート)によって表明される投稿者の「同意」「反論」「疑問」などの態度を推定する手法を提案した(文献7)。
- 福島県産の桃に対する立場(肯定的か否定的か)と、それぞれの立場における議論を分析した。ツイート本文の極性分析とリツイートネットワークの分析により、福島産の桃に関する議論は肯定派・否定派に分断されており、立場を途中で変えたり、立場を横断して健全な議論をした形跡が見られなかったことが分かった(図2)。分析から、産地ではなく精密な情報で自ら判断したいという意見を発見し、検査結果のデータを積極的に開示したり、議論の見通しを良くすることで、両派の溝を解消する可能性が見えた(文献2)。

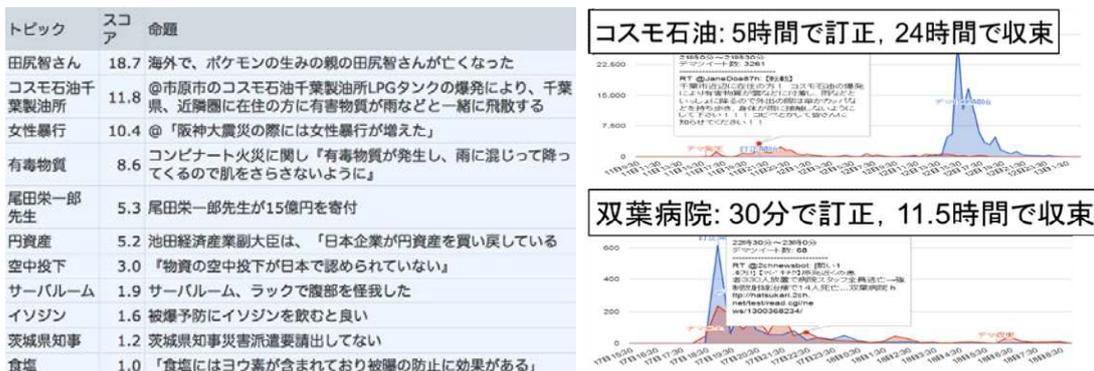


図1. ソーシャルメディアから抽出した誤情報(左)と拡散収束過程(右)

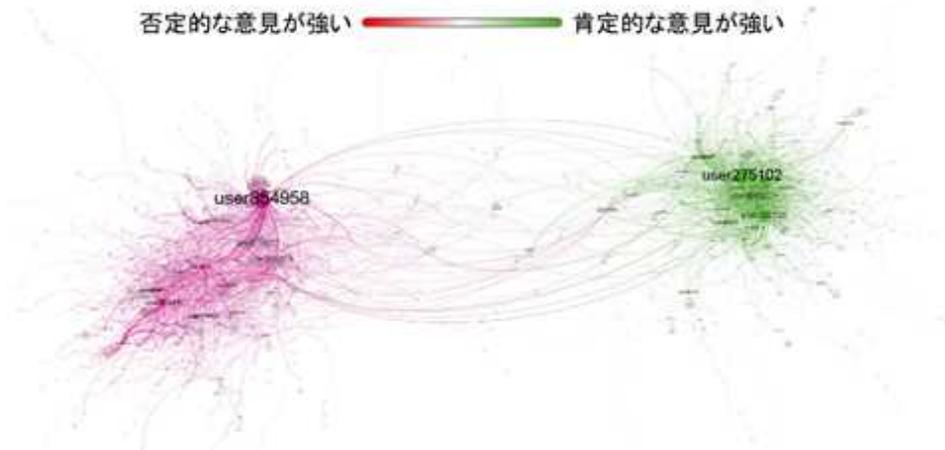


図2. 福島の水蜜桃に関するツイートの意見分析およびソーシャル・ネットワーク分析

研究テーマC「意思決定支援システムの構築」

- 研究テーマBの成果に基づき、信憑性の低い情報をリアルタイムでモニタリングするシステムを開発した(図3)。このシステムでは、信憑性の低い情報を支持する情報、反論を与える情報に分類して情報を提示できる。
- 情報間の意味的な関係をブラウザ上で可視化するシステムを開発した。

順位	誤情報	訂正数	初出	NEW
1	18才未満がLINEが使えなくなる It will be prohibited for people under 18 years old to use LINE (a SNS service).	667	2013-07-24	NEW
2	フォロー以外へのリプライは規約違反だから凍結される An Twitter account who sends a reply to those followed/following the account will be suspended because that violates the terms of service.	490	2013-07-26	NEW
3	自民党が徴兵制を検討 The Liberal Democratic Party considers the institution of conscription.	467	2013-07-17	NEW
4	ドイツの食品基準は日本より厳しい Germany has more strict criteria for food safety than Japan.	336	2013-07-24	NEW
5	山本太郎は福島県産は放射性廃棄物と言った Taro Yamoto said that food products from Fukushima are 'radioactive waste'.	211	2013-07-21	NEW
6	秋から18歳未満のLINE使用が禁止になる年齢制限開始	184	2013-07-24	NEW
7	あと、比例で個人名を書けばワタミの元会長に票が入らない	129	2013-07-20	NEW
8	選挙で議員が選ばれるので、民主主義国家である	103	2013-07-09	
9	田舎の駅では、切符を渡す機械がなく、駅員さんが一つ一つ目視で管理している	63	2013-05-18	
10	三宅洋平さんを応援したいと思う人ほど、彼の不正選挙や人工地震	63	2013-07-25	NEW

図3. リアルタイムで誤情報を監視・閲覧するシステム

3. 今後の展開

計算機が利用できる大規模な知識ベースの獲得に関しては、人手で整備したもの

(WordNet や UMLS など)、Wikipedia のような半構造言語資源から抽出したもの(YAGO、DBPedia、Freebase など)、研究テーマAのように計算機が自動的に獲得したものが使われるようになってきた。大規模な知識ベースが整備されつつあるためか、近年では知識ベースに基づいて意味的な推論を行う手法が再興の兆しを見せている。したがって、テキスト中で言及されたエンティティや関係の曖昧性を解消しながら、知識ベースに対応付ける「グラウンディング問題」が、今後の重要な研究テーマになると考えている。本プロジェクトで構築した手法や言語資源は、テキストと大規模知識ベースとのグラウンディング問題の研究を進める上での基盤技術となるであろう。

研究テーマBの成果は、デモシステム等で社会に還元できる形態となっている。さらに、本さがけプロジェクトの成果の出口として、データ駆動型ジャーナリズムに着目し、新聞社やテレビ局への技術提供・取材協力を行った(全国紙での紙面掲載 5 件、地方紙での紙面掲載 1 件、テレビ局への取材協力 1 件)。このように、研究テーマBの社会実装への展開はすでに始まっている。今後は、個別的分析案件ごとに開発していた分析手法の中で共通性の高い部分(例えば事態の成立・不成立を推定する問題や事象の主体を推定する問題)を切り出し、応用の幅を広げながら学術研究としての体系化していきたい。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

研究項目Aでは、ウェブ数億ページを入手可能な最大規模のコーパスと想定し、その規模に耐える知識獲得手法を探求した。(弱)教師あり学習、教師なし学習のそれぞれの設定において、他に類を見ない超大規模コーパスから知識を自動獲得するための計算基盤インフラと、その規模に耐える手法・ツールを構築し、数千万規模の関係インスタンスを含む知識ベースを現実的な処理時間(数日程度)で構築するという目標を達成できた。東日本大震災時の言語データにも本手法を適用し、関係インスタンスを獲得し、研究項目Bの研究の精度向上に貢献した。本研究項目は、2013 年頃から流行している分散表現の学習や構成的意味論の研究と関連が深く、エンティティや関係知識の意味計算モデルへの発展を見込んでいる。

研究項目Bでは、情報の信憑性や論述関係を実データで分析し、計算機で情報を整理する技術の開発しながら、本さがけプロジェクトの出口を探った。大規模災害時に情報の混乱が引き起こされた事例と、情報の混乱が発生するメカニズムを、震災後1週間の全量(約2億)ツイートデータから解明するという、従来の言語処理の枠にとらわれないフィールドに挑んだ。データ利用規約上の制約から、国内ジャーナルへの投稿となったが、本研究成果は言語処理学会の論文賞を受賞した。また、本成果を発展させた研究も、Active Media Technology に関する国際会議において Best Paper Award を受賞した。本研究の成果をリスクコミュニケーションに応用した研究では、自分の専門外であるリスク研究学会において研究の価値が認められ、優秀発表論文賞を受賞した。当初の目標以上の研究成果を生み出したと考えている。

研究項目Cで本さがけ研究の成果をデモシステムとして世の中に発信したことをきっかけとして、マスメディアと共同研究の体制を組めたことも大きな収穫であった。言語というメディアを通じて個人や社会を分析し、一般向けのサービスを開発するという貴重な経験を積むことができた。一方で、言語よりも言語を利用する「人」に一步踏み込んだ解析が必要であり、現状の言語処理で達成できている部分、実社会から自然言語処理に向けられている期待とのギャ

ップの深さを体験した。本さがけ研究の経験を活かし、文全体や文を超えた文脈の理解や、言語を発する人や社会の理解に向けた研究を継続していきたい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究では、震災後の膨大な Web データを対象に、自然言語処理技術を発展的に用いて、大模なデータから因果関係知識を獲得する基礎技術を生み出した。そうした技術を適用し、ツイートデータを対象にデマなどの誤情報を収集し、投稿者の「同意」「反論」「疑問」などの態度を推定し、福島県の農作物に対する風評分析を行っている。さらに、信憑性の低い情報をリアルタイムでモニタリングするシステムを開発するなど、研究の技術的・社会的意義は極めて大きい。その成果は、国際会議や論文誌で受賞しているだけでなく、NHK スペシャルで放映されるなど、学術的にも社会的にも高く評価されている。岡崎氏は、震災直後に東北大学に採用された。さがけの申請時には、研究の対象を震災データに絞ってはいなかったが、異動後、社会的要請に応え、研究の方向を見直し、自らの技術を用いて全力で震災データに取り組んでいった。若手研究者であるにも関わらず、多くの会議から講演を招待されていることも、岡崎氏の研究成果や研究姿勢に対する高い評価を表している。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Naoaki Okazaki, Keita Nabeshima, Kento Watanabe, Junta Mizuno, Kentaro Inui. Extracting and Aggregating False Information from Microblogs. Proceedings of the Workshop on Language Processing and Crisis Information 2013, IJCNLP 2013, pp. 36–43, Nagoya, Japan, October 2013.
2. 岡崎直観, 佐々木彬, 乾健太郎, 阿部 博史, 石田 望. ツイッター分析に基づく福島県産桃に対する風評の実態解明とその対策. 第 26 回日本リスク研究学会年次大会, 2013 年 11 月. (優秀発表論文賞)
3. Keita Nabeshima, Junta Mizuno, Naoaki Okazaki and Kentaro Inui. Mining False Information on Twitter for a Major Disaster Situation. In Proceedings of the 2014 International Conference on Active Media Technology (AMT2014), pp.99–106, August, 2014. (Best Paper Award)
4. 鍋島啓太, 渡邊研斗, 水野淳太, 岡崎直観, 乾健太郎. 訂正パターンに基づく誤情報の収集と拡散状況の分析. 自然言語処理, Vol. 20, No. 3, pp. 461–484, 2013 年 6 月. (言語処理学会 2013 年度論文賞)
5. Han-Cheol Cho, Naoaki Okazaki, Makoto Miwa, Jun'ichi Tsujii. Named entity recognition with multiple segment representations. Information Processing & Management, Vol. 49, No. 4, pp. 954–965, July 2013.

(2)特許出願

研究期間累積件数:0件

(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)

受賞

- 石田實記念財団研究奨励賞. 岡崎直観. 大規模データに基づく自然言語処理とその応用に関する研究. 2014年11月14日
- AMT2014 Best Paper Award. Keita Nabeshima, Junta Mizuno, Naoaki Okazaki and Kentaro Inui. Mining False Information on Twitter for a Major Disaster Situation. 13 August 2014.
- 言語処理学会第20回年次大会 優秀賞. 島岡聖世, 村岡雅康, 山本風人, 渡邊陽太郎, 岡崎直観, 乾健太郎. ガウス分布による単語と句の意味の分布的表現. 2014年3月20日.
- 言語処理学会 2013年度論文賞. 鍋島啓太, 渡邊研斗, 水野淳太, 岡崎直観, 乾健太郎. 訂正パターンに基づく誤情報の収集と拡散状況の分析. 2014年3月19日
- 第26回日本リスク研究学会年次大会 優秀発表論文賞. 岡崎直観, 佐々木彬, 乾健太郎, 阿部博史, 石田望. ツイッター分析に基づく福島県産桃に対する風評の実態解明とその対策. 2013年11月16日.

招待講演

- 岡崎直観. EMNLP 2012 参加報告. NLP 若手の会 第7回シンポジウム, 2012年9月.
- 岡崎直観, 吉永直樹, 工藤拓. 言語処理研究におけるソフトウェアの開発と公開. 言語処理学会第19回年次大会(NLP2013)・チュートリアル, 2013年3月.
- 岡崎直観. 大規模データを利活用する自然言語処理. 東京大学大学院情報理工学研究科コンピュータ科学専攻講演会, 2013年10月.
- 岡崎直観. AGL 2013 参加報告 ~ 会議概要と応用技術 ~. 第3回テキストマイニング・シンポジウム(信学技報), 2013年10月.
- 岡崎直観, 津田大介, 奥山晶二郎. ジャーナリズム再考:ビッグデータとテクノロジー. ソーシャルメディアウィーク東京 2014, 浜離宮朝日ホール(東京都), 2014年2月.
- 岡崎直観. 言葉を操るコンピュータの最前線 - 自然言語処理の基礎からビッグデータへの応用まで. QuickSolution イノベーション・フォーラム 2014, 2014年6月.
- 岡崎直観. 言語処理がつなぐビッグデータと社会. 言語処理学会20周年記念シンポジウム, 2014年10月.
- 岡崎直観. 大規模言語データに基づく自然言語処理とその応用. 第17回情報論的学習理論ワークショップ(IBIS2014), 企画セッション 4: 機械学習のウェブデータおよびマルチメディア活用, 2014年11月.
- 岡崎直観. 災害と言語処理(仮題). 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会(CVIM), 2015年3月(予定).
- 岡崎直観. 単語や句の分散表現の学習とその応用(仮題). 2015年度 人工知能学会全

国大会(第 29 回), OS-1 意味と理解のコンピューティング, 2015 年 6 月(予定).

原著論文

6. 高瀬翔, 岡崎直観, 乾健太郎. カテゴリ間の兄弟関係を活用した集合拡張. 自然言語処理, Vol. 20, No. 2, pp. 273–296, 2013 年 6 月.
7. 大和田裕亮, 水野淳太, 岡崎直観, 乾健太郎, 石塚満. 返信・非公式リツイートに基づくツイート空間の論述構造解析. 自然言語処理, Vol. 20, No. 3, pp. 423–460, 2013 年 6 月.

国際会議論文

8. Katsuma Narisawa, Yotaro Watanabe, Junta Mizuno, Naoaki Okazaki, Kentaro Inui. Is a 204 cm Man Tall or Small? Acquisition of Numerical Common Sense from the Web. Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), pp. 382–391, Sofia, Bulgaria, August 2013.
9. Han-Cheol Cho, Naoaki Okazaki, Kentaro Inui. Inducing Context Gazetteers from Encyclopedic Database for Named Entity Recognition. Proceedings of the 17th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD 2013), pp. 378–389, Gold Coast, Australia, April 2013.
10. Shohei Tanaka, Naoaki Okazaki, Mitsuru Ishizuka. Acquiring and Generalizing Causal Inference Rules from Deverbal Noun Constructions. Proceedings of the 24th International Conference on Computational Linguistics (COLING 2012): Posters, pp. 1209–1218, Mumbai, India, December 2012.

国内口頭発表

11. 岡崎直観, 成澤克麻, 乾健太郎. Web 文書からの人の安全・危険に関わる情報の抽出. 言語処理学会第 18 回年次大会(NLP2012), pp. 895–898, 2012 年 3 月.
12. 岡崎直観, 乾健太郎, 水野淳太, 鍋島啓太, 渡邊研人, 大和田裕亮. ツイッターデータの意味的解析による災害情報拡散の分析. 東日本ビッグデータワークショップ最終成果報告会, 2012 年 10 月.
13. 岡崎直観, 乾健太郎. Word2vec の並列実行時の学習速度の改善. 情報処理学会第 217 回自然言語処理研究会, 2014-NL-217(8), 2014 年 6 月.

著書

14. 岡崎直観, 鍋島啓太, 乾健太郎. 言語処理による分析—日本栄養士会活動報告の分析. 日本栄養士会雑誌, Vol.55, No.12, pp.6–8, 2012 年 12 月.

研究報告書

「インターネット環境が脳と認知機能へ与える影響の解明」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: 金井 良太

1. 研究のねらい

インターネットの出現により、私たちの生活環境は大きく変化した。あまりに日常生活に浸透しているために、すでに実感は薄いかもしれないが、ネットの出現は人類史上まれに見る技術革命である。歴史上、文字の発明や産業革命のように、人間の創りだしたテクノロジーが、人間自身の生活の様相を根本的に変えてしまうことは度々あった。インターネットの出現は、それらに比類する社会的変革を生み出している。

インターネットが既に社会生活の一部として定着した現代社会で、我々は膨大な情報に常にアクセスできる状況に身をおきながら、気になったことがあれば検索することで無尽蔵に情報を掘り下げて知ることができる。むしろ、消化しきれない程の情報を常に浴びせかけられるかのような情報過多な環境で生活するようになった。また、ネットは双方向型コミュニケーションのメディアとして発展を遂げ、ツイッターやフェイスブックのようなソーシャルメディアもまた私達の生活の一部となり、人間の社会的関係性に変容をもたらしている。

このように人間を取り巻く情報環境が変化したことで、人間の脳や認知機能もこの環境に対応するように変化してきているのではないだろうか。これまで、ネットの出現により深く物事を考える能力が損なわれ、注意力も散漫になっているという否定的な意見がある一方で、多様な情報がすぐに手に入る環境のおかげで「認知的な余剰」が生まれ、人間はよりクリエイティブで生産的なことに集中できるようになったというポジティブな意見も主張されてきた。しかしながら、ポジティブな意見もネガティブな意見も現時点では未検証の仮説であって、主観的な印象と状況分析に基づいて議論されているにすぎない。

本研究では、インターネットによって、人間の脳と認知機能にどのような変化が起きているのかを、認知神経科学の手法を用いて検証することを目的としてきた。特に脳の構造 MRI 画像の解析と、個人差の心理学で用いられる質問紙などの方法を組み合わせることで、インターネットの利用の仕方や頻度が、脳の構造や心理指標とどのような関係にあるか調査した。その実験方法としては、「横断的研究」と呼ばれる相関に基づいた研究と、「縦断的研究」と呼ばれる時系列の変化を追跡する研究を行った。前者は、脳構造の解析手法や心理テストの手法の確立と、初歩的な仮説の検証を目標とし、後者は因果関係の立証を目標とした研究である。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、前半では「横断的研究」により、インターネットの使用状況や、「メールでのコミュニケーションを好む」などの心理的態度が、個人の脳構造や心理特性とどのような相関関係にあるかを明らかにした。そのために、インターネットやソーシャルメディアの利用状況を測定するために質問項目を作成し、脳の構造 MRI 画像、拡散 MRI 画像、安静時の活動fMRI のデータを取得した。それらを元に、インターネットで多数のメディアを同時に利用するマルチタスクの傾向が、脳の構造にどのように反映されているかを明らかにした。特に顕著な研究成果としては、日常的にネット上でマルチタスクをしている人では、脳の前部帯状回という部位の体積が著しく減少していることが見出された。この脳部位は、タスク間のスイッチを行うような状況で活動を示すことが知られており、また損傷を受けると、タスクのスイッチの能力が低下することが知られている。このことより、もともと前部帯状回の体積が小さい人では、自分の集中すべき課題に専念することが苦手で、ネットの環境において、たえず重要でない情報に注意を惹かれ無駄なマルチタスクを行う傾向があるように解釈できる。

しかしながら、「横断的研究」では、相関関係のみしか発見することができず、因果関係がどのような方向で働いているかを判別することができない。例えば、上の例では脳の構造が、個人の行動を規定しているという解釈をしているが、逆の可能性、すなわち、日常的にマルチタスクを行うことで、前部帯状回の萎縮が生じているということも考えられるのである。

本研究の後半では、ネットの利用と脳構造の変化についての因果関係を探るために、「縦断的研究」を行った。特に、インターネットの利用前と利用後の生活で、同じ被験者において脳の構造や認知能力に変化が生じるのかを検証した。しかしながら、現在では先進国においてネットを使わずに生活している人を被験者として募集するのは非常に困難である。その問題を克服するために、本研究ではインドのコルカタにおいて、ネットやパソコンを殆ど利用したことのない人を探して、その人達に定常的にインターネットを利用してもらい、その前後で脳の構造が変化するかを MRI 画像により検証した。

(2) 詳細

本研究では、注意力などの認知機能と、共感などの社会性というふたつの要素がインターネットの利用により変化するのではないかと考え注目してきた。

まず注意力についてだが、ネット環境がもたらした日常的なマルチタスキングと脳構造の関係をボクセル形態解析という手法を用いて明らかにした。この研究(Loh & Kanai 2014)では、75人のイギリスの学生の脳構造 MRI 画像を撮像し、また日常的なマルチタスキングの度合いを既に確立されたマルチメディアマルチタスキング指標(Ophier, Nass & Wagner, 2009)を用いて測定した。脳構造のボクセル形態解析により、日常的にマルチタスクを行いがちな人では、前部帯状回の体積が小さくなっていることが明らかになった(図1に前部帯状回の部位が示されている)。また、この部位で認められた負の相関を図2に参考までに示した(注:全脳解析で同定さ

れた部位に置ける相関は誇張されている可能性がある)。

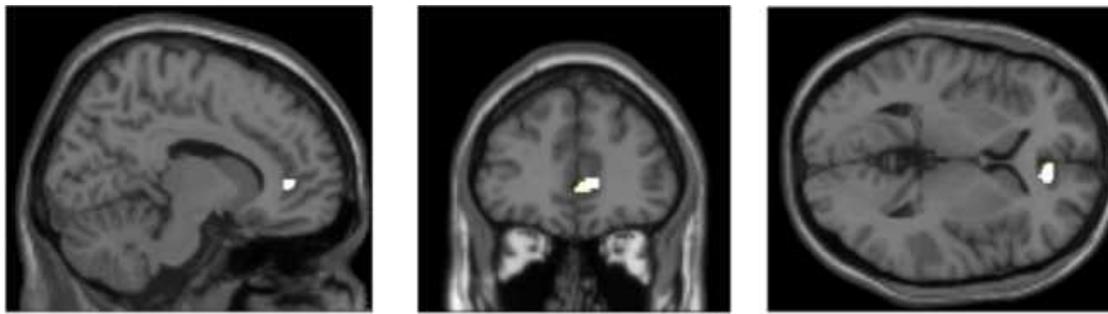


図1: マルチタスキングの度合いと負の相関を示した脳部位を示している ($p < 0.05$ corrected for the whole brain)。

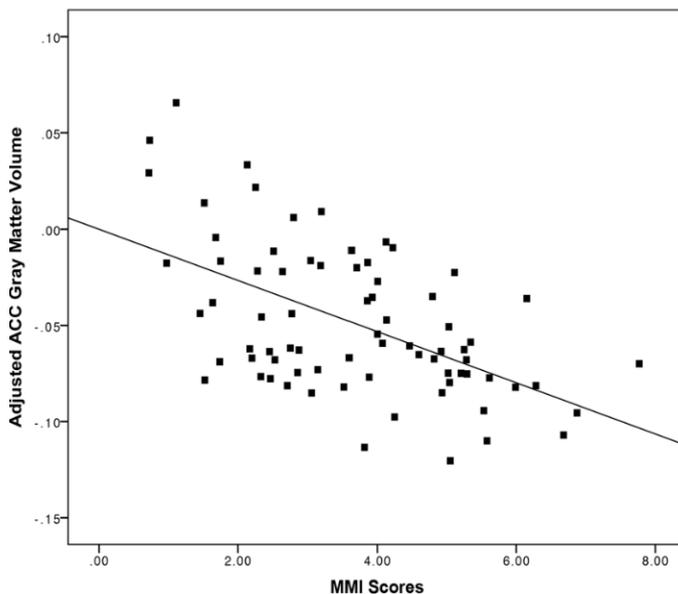


図2: マルチタスクの度合いを示す MMI の指標と図1で示された前部帯状回の体積(年齢や性別の補正後の値)の関係。

また、安静時中の脳活動を機能MRIにより計測したところ、前部帯状回と楔前部の機能結合度が、マルチタスクを行う人では低くなっていることが明らかになった。この前部帯状回と楔前部(あるいは後部帯状回)の機能的結合(すなわち活動の相関)は、我々が特に外部の刺激に対して情報処理をしていない安静時に活動を高めるデフォルト・モード・ネットワークを構成しており、日常的なマルチタスクが、このデフォルト・モード・ネットワークの機能的統合を阻んでいる可能性を示唆している。つまり、マルチタスキングを日常的に行っている人では、なにもしていない安静時においても、脳が落ち着いた状態を保つことができずにいる可能性がある。

一方、社会性に関する「横断的研究」では、まず多様な質問紙を構成することで、社会性と関連する因子を同定することから始めた。

メールやフェイスブックなどのソーシャルメディアなどの利用の仕方や、それらのコミュニケーションメディアに対する態度として、次のような主要な要因が同定された。メールについては、3つの要素。

- ①. メールでのコミュニケーションを実際に人と話すよりも好む傾向。
- ②. メールでのやりとりの量が多く、すばやく処理する傾向。
- ③. メールでのコミュニケーションを丁寧に行う傾向。

これら3つの要素について、ボクセル形態解析を行い、対応する脳の部位を求めた。その結果、メールでのコミュニケーションを好む人では、上部側頭溝(STS)と紡錘回と呼ばれる脳の部位の体積が小さいことが判明した。前者は他人の表情などを読み取る社会性の能力と関係し、後者は顔の認識などに関わる部位だと考えられる。また、②と③については左の頭頂葉に相関する部位が見出された。またフェイスブックに関しては、一般的な利用度が前部島皮質と相関しており、中毒との関係が示唆される。この研究から、ネットでのコミュニケーションに関する多数の要因が同定され、その中には脳の部位と明らかな相関を示すものが見つかった。その詳細は、現在論文として執筆中である。

また本研究の後半では「縦断的研究」を行ってきた。これまでインターネットを利用していなかった人が、インターネットへのアクセスを持ち利用を始めることで、認知機能や社会性に変化が生じるかの因果関係を調査するために、インドのコルカタにて、これまでインターネットを利用していなかった人での研究を行ってきた。調査項目としては、上記の「横断的研究」により確立した認知課題と心理テストを用い、さらにMRIの構造画像を一ヶ月の期間を間に設けて計測した。

現在データ収集の最終段階にあり、断定的な結論を出すことは難しいが、予備的な実験結果としては、知能テストのような認知機能には好ましい影響がある反面、衝動性が高まり持続的な集中力が若干落ちるといった傾向が認められている。ただし、現在はデータ数が少なく決定的な結論を出す段階に至っておらず、データ収集を研究期間終了に近い時期まで継続し、その上で正式な結論を発表したい。

3. 今後の展開

データの収集が最終段階にある現時点では、まだインドでのデータは増え続けており、最終的なデータ分析が網羅的にはできていない状況にある。研究期間終了後も、データ解析を行い論文として発表を進めていく必要がある。

今後の展開としては、日本国内でもネットの利用について頻度に幅のある高齢者を対象として、どのようなネットの利用がなされているのかを研究したい。例えば、ネットを使うことで老後のソーシャルネットワークの維持に貢献できるのか、あるいは、日々情報を多く吸収することで認知症の予防効果があるのではないかと考えており、今後の研究課題として残っている。

また、本研究の提案当時はまだ普及が始まったばかりだったスマートフォンも、現在では大部分に普及し、日常生活の一部となっている。スマートフォンの特徴として、これまでのパソコンを介したネットへの接続と比べて、常時人間とネットが繋がった状態となっている。これは、さらに

質的に異なる変化を人間の脳にもたらしている可能性があり、また中毒性も非常に高いように思える。このような印象を、具体的な研究データにもとづいて検証することで、スマートフォンが人間の認知機能や脳にどのような影響を与えているのかを理解することは、テクノロジーが子供の教育や人間の幸福にどのような影響を及ぼすのか考える上で非常に興味深いテーマである。

そして、今回の研究で明らかになった脳とネットの利用の仕方の関係を、今後どのように人間が利用する情報技術のデザインなどに活かすことができるのかなどは、今後の課題である。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

今回の「さきがけ」研究では、人間の創りだす環境が、人間自身の脳にどのような影響を及ぼすのかという問題を認知神経科学の手法により明らかにすることを目標と掲げ取り組んできた。このような課題は、通常の学問の領域を越えた学際的な研究であると同時に、日常的に一般の方々にとっても関心の深いテーマである。この研究課題に関して、これまでは実際に脳や認知課題を用いて定量的に評価されずに、単に各分野の有識者が主観的な印象のみでインターネットの有害性や文化的な利点を述べてきたにとどまっている。本研究において、インターネットの脳へ与える影響を、脳 MRI 画像データや認知課題による定量的な認知能力評価を行い、定量的に研究するための実験を行ってきた。このような取り組みは脳がどのように人間自身が生み出した情報環境から影響を受けているのかという、社会神経科学の基礎研究としても意義があり、また同時に社会的関心の高い研究テーマを行うことができた意義が大きい。

大きな研究成果のひとつは、インターネットの利用度と認知機能と脳構造の関係性を明らかにするための課題セットと解析手法を確立し、それらを用いて、インターネットの利用の仕方が個人の性格特性や脳構造とどのように関係しているかを明らかにしたことである。この研究成果は、査読付きの論文として出版され(Loh & Kanai, 2014)、数多くのメディアの注目を集める研究成果となった。また、現在もその過程で発見のあった追加項目について論文出版に向けて準備を続けている。

また本研究課題において野心的な研究企画としては、インドにおいて始めてインターネットを利用する被験者が、どのような認知能力の変化と脳構造の変化を示すかを研究した。現在、研究完了へ向けてデータ取得の最終段階に入っているが、ネットが脳にどのような影響を及ぼすかを直接的に示すための必要な価値の高いデータの取得が実現できた。特に、ネットを使う前と後とで脳の構造の変化を調べるチャンスは、あと5年もしたら皆無になってしまうかもしれないという状況を考えると、本さきがけ研究においてこのような研究がタイムリーに実現できたことは、日本のみならず世界的に社会的意義の大きい研究成果である。ここでの研究成果は、今後論文として発表することで、一般社会にも共有される知識となり、また貧困社会における情報格差についても広範な示唆をもつ研究成果となる。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、インターネットの出現が人間の脳と認知機能に与える影響を、認知神経科学の手法を用いて明らかにすることを目的としている。出現の前後を比較するには、時系列の変化を追跡する必要があるが、実際にそうした観察するのは容易ではない。そのため、被験者をインドに求め、インターネットの出現を演出し、その前後の脳の構造変化を捉えようとした。実験の許可を得ることを含め、準備に長時間を費やした結果、データの取得が可能となり分析が始まろうとしている。この間、並行して行われた、マルチタスキングと脳構造に関する研究では、75人の英国学生を被験者として、マルチタスキングが安静時の脳機能に影響を与えることを導き、多くのメディアの注目を集めた。また、広範な質問紙調査からは、メールと社会性の関係など、インターネット利用が影響を与える脳の部位が明らかとなりつつある。研究の性格上、期間内に完全な結論を得ることが難しくなっているが、研究を継続し、当初の目的であるインターネットと脳構造の関係を明らかにし、社会を啓蒙することを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- | |
|---|
| 1. Loh, K.K. & Kanai, R. Higher media multi-tasking activity is associated with smaller gray-matter density in the anterior cingulate cortex. <i>PLoS ONE</i> (2014), 9(9):e106698. |
| 2. Kanai, R. , Bahrami, B., Duchaine, B. Janik, A., Banissy, M., & Rees, G. Brain structure links loneliness to social perception. <i>Current Biology</i> (2012), 22, 1975-1979. |
| 3. Kanai, R. , & Tsuchiya, N. (2012). Primer: Qualia. <i>Current Biology</i> , 22, R392-R396. |
| 4. Kanai, R. , Muggleton, N.G., & Walsh, V. (2012). Transcranial direct current stimulation (tDCS) of the frontal eye fields during pro- and antisaccade tasks. <i>Frontiers in Psychiatry</i> , 3:45. |
| 5. Sharot, T.*, Kanai, R.* , Marston, D., Korn, C., Rees, G. & Dolan, R. (2012). Selectively altering belief formation in the human brain. <i>PNAS</i> . (* joint first author). |

(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

- 2012年3月 AAAI Spring Symposium Series
Kanai, R. Brain Structure and Individual Differences in Social Behaviors.
- 2012年4月 British Association for Cognitive Neuroscience: BACN
Kanai, R. Transcranial alternating current stimulation (tACS): a new promising tool for oscillatory brain entrainment? Effects on perception and somatosensation.
- 2013年3月 AAAI Spring Symposium Series

- Goh, C., Kano, Y. & Kanai, R. Neuroprofiling: Personalized Brain Visualization.
- 2013年3月 AAAI Spring Symposium Series
Loh, K.K & Kanai, R. Individual Differences in Social Media Use Are Reflected in Brain Structure.
 - 2013年7月 Association for Scientific Studies of Consciousness
Seth, A.K. & Kanai, R. Integrated information, predictive coding, and qualia.

招待講演等

- 2012年7月 玉川大学グローバル COE 若手の会
題目「Brain structure and individual differences in complex social behaviour」
- 2013年3月 German Neuroscience Society
題目「Brain structure correlates of individual differences in perceptual rivalry」
- 2013年5月 さきがけ「脳情報の解読と制御」の領域会議における特別講演。
題目「インターネットと脳」
- 2014年2月 玉川大学脳科学研究所リトリート
題目「And now for something completely different」
- 2014年10月 日本神経臨床生理学会
題目 『tDCS による脳機能研究の発展と臨床応用の現在』

プレスリリース

本研究の前半の集大成である論文(Loh & Kanai, 2014)のプレスリリース(2014年9月25日)は世界中で幅広く取り上げられた。サセックス大学のメディア担当の報告では総計で300位上のメディアに取り上げられ、2千万から3千万件の閲覧があったとされている。代表的なメディアとしては、ハフィントンポスト、デイリーメール紙、フォーブス誌などに記事が掲載されている。

著作物

『脳に刻まれたモラルの起源』(岩波科学ライブラリー)金井良太著 2013年6月発刊。

研究報告書

「解析過程と応用を重視した再利用が容易な言語処理の実現」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: 狩野 芳伸

1. 研究のねらい

本研究のねらいは、解析過程と応用を重視した自然言語処理技術を開発することである。

近年、産業界でも自然言語処理技術の需要が高まっている。しかし、自然言語処理技術の利用には高度な専門知識を持ったプログラミング作業が必要であった。本研究では、専門外でもより多くのユーザが専門的な自然言語処理技術を利用できるようになることを目指し、利用に際して必要となる様々な作業の自動化を支援する実行プラットフォームを構築する。プラットフォームは、データやツールの組合せ、インストール、実行、評価、分析(統計・視覚化)といった機能を、国際標準 UIMA に準拠しつつ統一的な実行プラットフォームとして極力汎用になるよう実装する。また、プラットフォーム自体を任意のマシンで実行可能とし、プラットフォームを始めて使う時点からの徹底した自動化プラットフォームを目指す。

プラットフォームの開発と同時に、新規に、あるいは既存のツールやデータを再利用の容易な形に再構成したうえで、UIMA 準拠かつプラットフォーム互換のツールキットとして統合する。ツールキットに関しても、極力任意のマシンで実行できる可搬な実装とするとともに、プラットフォームにおける自動組み合わせ機能に対応できるよう、適切な入出力定義をする。入出力のデータ型定義は、将来の発展を考慮して汎用かつ体系的な階層をなすようにする。

並行して、より自然な動作ができる言語処理ツールの研究を行う。既存の言語処理ツールの多くは、ツール自体がどれほど人間の作成した正解と一致するかという性能評価を向上させるべくチューニングされている。その一方で、ツールの解析過程は人間のそれとは異なったものになっている。そこで、人間の言語処理における解析過程の知見を取り込んだモデルの構築と、プラットフォームでの応用評価を目指す。

総合すると、質問応答から音声認識まで、さまざまな互換ツールを標準ツールキットとしてプラットフォームとともに配備し、実用的アプリケーションでの応用を試みる。ツールの配備はオープンアーキテクチャとし、第三者も容易に配備の追加ができるようにする。全体として、世界に類を見ない統合全自動言語処理システムを構築するのが狙いである。

2. 研究成果

(1) 概要

プラットフォームの構築は、おおむね狙い通りのものが完成した。すなわち、データやツールの組合せによる自動ワークフロー生成、自動インストール、自動実行、メトリクスのカスタマイズ可能な比較評価統計、汎用視覚化といった機能を、国際標準 UIMA に準拠しつつ統一的な実行プラットフォーム”Kachako”として構築した。また当初計画にはなかったが、共同研究を通じ、テキストとアノテーションの同時検索システムの実装を行い、統合システムの出力を汎用的なクエリで検索可能とした。

ツールキットの構築においては、質問応答・音声認識・大学入試自動解答・医薬品文書解析など、当初予定にはなかったさまざまなツールへの対応も含め、多くの共同研究を通じて達成することができた。また、大学入試の自動解答では最高の成績を達成するなど、応用においても成果を上げた。

(2) 詳細

研究テーマ A「プラットフォームの構築」

プラットフォームの構築については、国際標準に準拠しつつデータ型階層の定義をはじめとするバックエンドの機能を設計することが一つの課題であった。また、グラフィカルユーザーインターフェース(GUI)を適切にデザインすることで、自動化・省力化という大きな目標をより洗練されたレベルで達成した。

テキストとアノテーションの汎用大規模同時検索について以下で詳述する。自然言語処理においては、他の分野より複雑で、相互に依存関係のあるデータ構造(アノテーション)を扱う傾向にある。本研究で構築した Kachako プラットフォームにおいても同様であり、得られた出力に対して検索機能を実現することは非常に重要であった。そこで、国立国語研究所との共同研究として、Kachako プラットフォームに統合された、アノテーション構造とテキストを同時にクエリ指定できる検索システムを開発した。実装は Apache Solr をベースとして安定性とスケーラビリティを実現し、クエリは領域代数を拡張したものを適用可能とすることで汎用性を担保した。

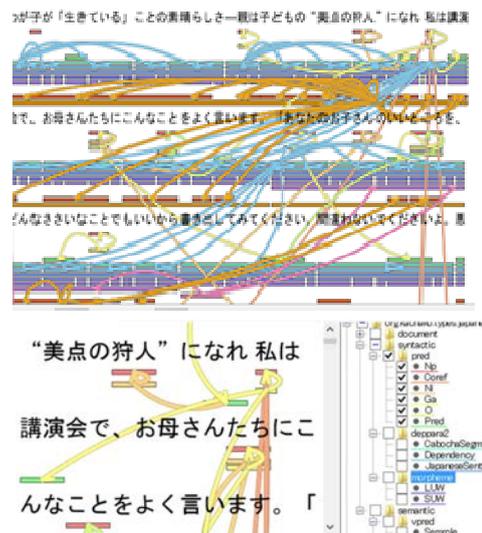


図. 汎用視覚化機能の表示例
BCCWJ の各種アノテーションを同時表示(上図)通常はフィルタや検索などで絞り込んで表示する(下図)

研究テーマ B「ツールキットの構築と応用」

ツールキットの構築は、下記で各個に詳述するように当初計画よりも様々な研究協力に発展した。以下で説明するツールはいずれも、統合プラットフォーム Kachako に互換であり、統合されている。また、いずれも再利用性を高めるために、できるだけ小さなコンポーネントに分割して実装、再構成している。

国立情報学研究所を中心とする「ロボットは東大に入れるか(東ロボ)」プロジェクトでは、東京大学に合格しうる人工知能の開発をめざし、まずは大学入試センター試験の自動解答に挑戦している。この東ロボプロジェクトに参画し、解答器の開発基盤およびセンター試験社会科の自動解答器構築を行った。社会科解答器については代ゼミ模試タスクにおいて最高の成績を達成した。

国立国語研究所では、大規模均衡日本語コーパス(BCCWJ)を開発している。BCCWJ は

基本となるテキストデータに加え、複数の共同研究チームにより各種の言語学的アノテーションが各個に独立して付与されている。具体的には、形態素・品詞・係り受け・述語項構造などである。国語研究所との共同研究を通じて、これらのテキスト・アノテーションを互換化・標準化したうえで重ね合わせ、Kachako プラットフォームに読み込むコンポーネントを開発した。

質問応答システムは、Apple 社の Siri に代表されるように近年需要の高いアプリケーションであるが、日本語で利用可能なものはすくなく、質問応答システムを Kachako プラットフォームに追加することは重要な研究要素であった。国立情報学研究所との共同研究として、横浜国大およびカーネギーメロン大学の協力を得て、複数の質問応答システムのコンポーネント化と互換化、視覚化ツールの実装を行った。これら Factoid 型の日本語質問応答システムを用いて国際コンテスト型ワークショップ NTCIR-11 QALab タスクを開催した。

本領域 2 期生の駒谷研究者と、音声言語処理に関する研究協力をを行い、音声認識システムおよびその言語モデル生成を Kachako 対応コンポーネントとして再構築した。

研究テーマ C「自然な言語処理モデルの研究」

より自然な言語処理を実現しうるモデルの研究のため、国立情報学研究所・国立障害者リハビリテーションセンター等と協力して視線追跡装置を用いた心理言語学的な実験を行った。これにより、文読解時の視線停留パターンと文章の性質、被験者の認知能力などとの相関がわかり、言語モデル構築のための知見を得ることができた。

3. 今後の展開

本研究は自然言語処理の資源・ツールを「使う」ことでの全自動化を目指し、国際標準準拠の自動化支援プラットフォームの構築と、プラットフォーム上で利用可能な言語資源・ツールの収集・構築・互換化を行ってきた。今後は、「作る」「チューニング」「カスタマイズ」のサポートをより充実させるため、プラットフォーム機能への機械学習手法の統合を進めたい。コンポーネントについては、コーパスリーダーと評価メトリクスを中心に、さらに多言語・多ドメインの言語資源・ツールの組み込みを目指したい。また、システムのメンテナンスやサポート、ユーザコミュニティの構築といった研究者のみでは難しい課題を、企業との連携を視野に入れて進めていきたいと考えている。これにより、最終的に社会還元、社会実装が達成できるものと考えている。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

自然言語処理の自動化を支援するプラットフォームの構築と、プラットフォーム上で動作する互換ツールキットの構築は、いずれも当初計画を上回る規模と内容で達成できた。これはひとえにさきがけ研究のサポートあればこそであり、領域内外の共同研究が多く生まれたのもさきがけ研究に採択されたことが大きい。一方で自然な言語モデルの構築は、プラットフォームとツールキットの構築に注力したこと、また研究を進めるにつれテーマそのものがより長期の研究を必要とすることがわかってきたことから、今後の研究の発展が課題である。

研究体制としては、研究者自身の作業が研究の中核であり、さきがけの個人型研究そのもののスタイルで研究を推進してきた。

本研究におけるシステムの構築は、要素要素それぞれが一つの研究テーマをなす規模のものであると同時に、それらを統一的、調和的にひとつのシステムにまとめるという野心的な計画であったが、現実にもそのようなシステム構築に成功した。すなわち、データやツールの組合せによる自動ワークフロー生成、自動インストール、自動実行、メトリクスのカスタマイズ可能な比較評価統計、汎用視覚化、テキストとアノテーションの同時検索といった機能を、国際標準 UIMA に準拠しつつ統一的な実行プラットフォーム”Kachako”として構築した。一貫して自動化という究極的なユーザ視点から、個々の機能とその統合に必要な設計とシステム構築の研究を行い、個別の機能においても統合システム全体としても、世界的にも他に類を見ない独自のシステムを実現できた。

またツールキットの構築においては、質問応答・音声認識・大学入試自動解答など多様なツールを互換ツールキットとして統合した。プラットフォーム上でのツールキットの実装とその応用により、構築したシステムの実用性を示すことができた。

本研究の成果は、実社会での需要に直結している。産業、研究、教育のいずれの分野においても大きな需要が見込めるため、そのような需要に対応できる運用の仕組みが構築できれば社会への波及効果は非常に大きい。また、本研究の成果をコアとする共同研究もさまざまな分野で拡大しており、いずれも直接的な実社会での応用が見込まれるテーマとなっている。今後さらに研究を発展させ、社会実装につなげていきたい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究では、研究者が持つ卓越した実装力を遺憾なく発揮して、自然言語処理に関わるワークフローの自動生成、自動インストール、自動実行、評価メトリクスの視覚化といった機能を統合し、自然言語処理プラットフォーム「Kachako」を実現した。さらに、他のさきがけ研究者や、国立情報学研究所を中心とする「ロボットは東大に入れるか(東ロボ)」プロジェクトなど、多くの共同研究を通じて、プラットフォームの有効性を実証的に示してきた。その成果が認められ、国際会議の招待講演や国際会議での受賞などが増えてきている。今後は自然言語処技術を活用する研究のハブとなることを通じて、世界に影響を与える活躍を期待したい。自然言語処理プラットフォームと互換ツールキットの構築について、統合システムの実装を達成している。共同研究を通じた技術の発展や、今後の社会・経済への波及効果が期待できる成果である。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

著者. 発表論文タイトル. 掲載誌名. 発行年, 巻号, 始頁-終頁, その他

1. Yoshinobu Kano. Kachako: a Hybrid-Cloud Unstructured Information Platform for Full Automation of Service Composition, Scalable Deployment and Evaluation. In the 1st

International Workshop on Analytics Services on the Cloud (ASC), the 10th International Conference on Services Oriented Computing (ICSOC 2012). pp.72–84. Shanghai, China, November 12th 2012.
2. Yoshinobu Kano. Towards automation in using multi-modal language resources: compatibility and interoperability for multi-modal features in Kachako. In the 8th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2012), pp. 1098–1101. Istanbul, Turkey, May 23rd, 2012
3. Yoshinobu Kano. Kachako: Towards a Data-Centric Platform for Full Automation of Service Selection, Composition, Scalable Deployment and Evaluation. In the International Conference of Web Services (ICWS 2012), pp. 642–643. Hawaii, USA, June 24th, 2012.
4. Tadayoshi Hara, Chen Chen, Yoshinobu Kano, Akiko Aizawa. Modeling Comma Placement in Chinese Text for Better Readability using Linguistic Features and Gaze Information. In the The Second Workshop on Predicting and Improving Text Readability for Target Reader Populations (PITR 2013), ACL 2013 Workshop. pp. 49–58. The National Palace of Culture, Sofia, Bulgaria. August 8th, 2013.
5. 狩野 芳伸. 統合研究基盤: 質問応答システムの互換コンポーネント化による再利用性向上と開発自動化支援. 人工知能学会誌, 27(5) 特集号「ロボットは東大に入れるか」, pp.492–495. 2012年9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)

[国際会議招待講演] Yoshinobu Kano. Kachako for Fully Automated NLP: from workflow creation to large scale parallel processing with ready-to-use NLP toolkit. In Conference of the Pacific Association for Computational Linguistics (PACLING 2013). An invited talk. September 3rd, 2013. Keio University, Tokyo.

[受賞] Best Paper Award, International Workshop on Analytics Services on the Cloud, International Conference on Service Oriented Computing. (筆頭著者として) 2012

[講演発表] 狩野芳伸. 「暗記」と人間の知的な処理(社会科). ロボットは東大に入れるか 2013 – 東ロボくん、代ゼミ模試に挑戦! – 代々木ゼミナール本部校 代ゼミタワー. 2013年11月23日

[講演発表] 狩野芳伸, 増田勝也. テキストとアノテーションの汎用同時検索システム. 第6回コーパス日本語学ワークショップ. 国立国語研究所. 2014年9月9日.

[メディア] ロボットが東大目指す 人に近い人工知能とは. 生放送ゲスト出演. 深層NEWS, BS日テレ. 日テレタワースタジオ. 2014年2月26日

研究報告書

「マルチスケール身体モデルに基づく運動評価技術の開発とその応用」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成23年11月～平成27年3月

研究者: 栗田 雄一

1. 研究のねらい

本研究は、情報技術を活用してコンピュータ内に人の特性を考慮した身体モデルを構築することで、生体力学的根拠が明確な運動の制御性・効率性を評価する手法を開発し、人の運動特性の可視化へつなげるとともに、製品ユーザビリティの評価、人の運動アシストへ応用していくことを目指す。モーターや人工筋で駆動するロボットとは異なり、人は冗長性の高い筋骨格システムにより身体を動かしている。人の力学的特性を踏まえた身体モデルをシステムに持たせることで、外的運動情報の入力に基づき筋活動レベルでの身体活動を推定し、人の主観的な負担感の評価へもつなげられる可能性を秘める。そこで本研究では、身体モデルとして筋や骨などの機構的・力学的関係を模した筋骨格モデル、運動指令から筋の運動単位が活動し筋全体が収縮するまでの筋収縮モデル、さらに人の主観的な感覚・感性知覚モデルとを利用し、人の運動感覚の評価を目指す。これらのモデルを利用して、心理物理実験による主観的感覚の収集というアプローチと、筋収縮の組み合わせによる運動生成というアプローチの両者を組み合わせ、人の感覚運動を評価する技術の確立をねらう。

2. 研究成果

(1) 概要

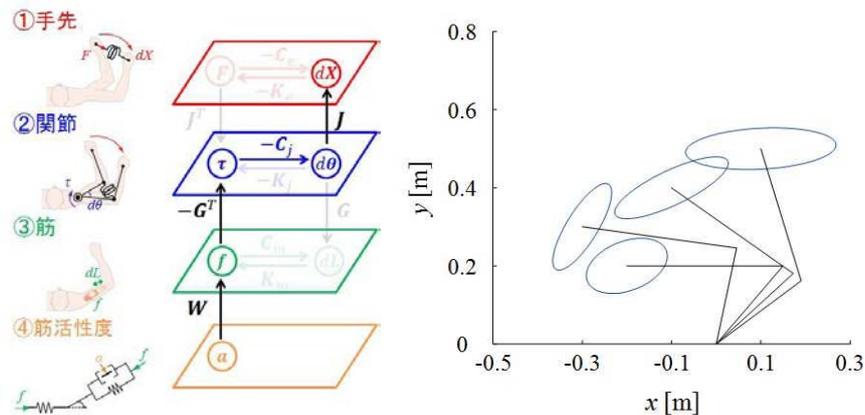
本研究では、筋や骨の機構的・力学的関係を模した筋骨格モデル、運動指令から筋の運動単位が活動し筋全体が収縮するまでの筋収縮モデル、さらに人の主観的な感覚・感性知覚モデルをそれぞれ構築し、これらを通じて人がある運動を行う際に身体でどのように筋が活動するか、さらに筋活動にともなって人が運動をどう知覚するかを評価するプラットフォームを構築した。構築したプラットフォームに対して人の運動データならびに外部から与えられる力を入力することで、その運動を実現するために必要な筋活動や、運動アシストによる筋負担低減効果の評価、ならびにそれを人がどのように感じるかを予測することが可能になる。具体的には、筋活動変化が2次元空間における手先変位に与える影響を可視化する筋活性度コンプライアンス楕円の解析的算出を行うとともに、3次元モデルへ拡張することでステアリング操舵におけるカフィードバックを主観的に人がどう感じるのかを予測するシステムの構築を行った。さらに開発したプラットフォームを利用して、人の運動を効果的に補助するためのアシストウェアの開発も行い、適切な筋力補助が人の感覚運動機能を高める効果があることを発見した。くわえて、電気刺激により筋を強制収縮することで、仮想的な力覚感を作ることができるシステムを開発するとともに、視覚や振動覚といったマルチモーダルな情報を付加することでカ

覚の強さを増すことができることの発見にもつながった。

(2) 詳細

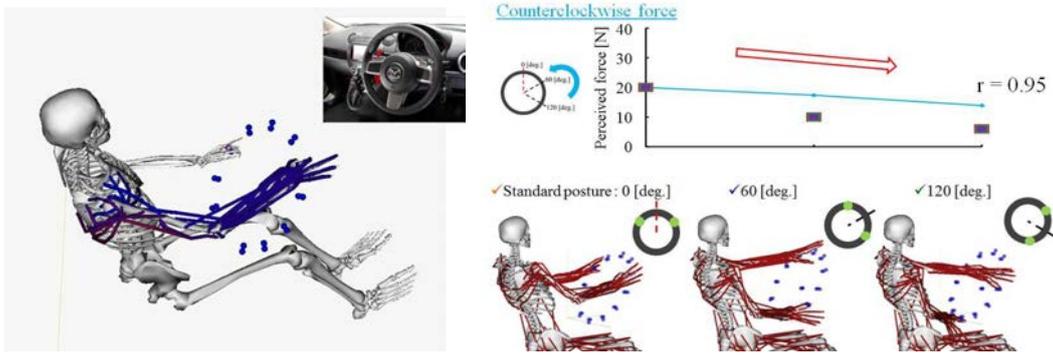
テーマA：筋骨格モデルに基づく手先コンプライアンス楕円の解析的算出法の提案

装着型ロボットは、人に直接負荷を与えることから、安全性に対する配慮が必要とされる。人の運動を害さないようなスムーズで賢いアシストを行うためには、人の筋骨格系のもつダイナミクスを考慮することが重要である。しかし人のダイナミクスを実測することは非常に手間がかかる。そこで本研究では、上肢の2関節6筋モデルと、手先位置、関節角度、関節トルク、筋活性度の関係性から、手先筋活性度コンプライアンス楕円を解析的手法で求める手法を提案した。コンプライアンス楕円は、長軸が小さな筋活性度変化で手先が大きく変化することを意味し、短軸が逆に筋活性度変化に対して手先変位が小さいことを意味する。筋活性度が脳からの運動指令とより強い関係性があることを考えると、提案手法により得られた楕円体は手先の柔らかさの評価であると同時に、手先を動かす際のしんどさを評価する指標であるとも言える。今回の運動評価手法は、人に直接的に負荷を与える機器のアシスト制御戦略を考える上でも有用である。



テーマB：筋力推定に基づくステアリング操作時の力知覚モデルの構築

よりよい製品作りにおいて、物理的なスペックやコストに加えて、主観的な使いやすさなどを考慮することが求められている。ここで人間の運動・知覚特性のモデル化ができれば、製品の設計段階で人の主観的感覚を予測することも可能となりうる。本研究では、筋活動量が力知覚量に影響するという仮説をたて、人の心理物理実験から得られたデータに基づき、ステアリング操作時の力知覚特性モデルを構築した。3次元筋骨格モデルを利用してステアリング操舵時の各姿勢における筋活性度推定を行い、筋活動量に対してウェーバー・フェヒナー則に従う非線形の知覚変換フィルタをかけることで、人の主観的な力知覚量の変化特性を推定する手法を提案し、その評価を行った。



テーマC：人の力知覚機能を向上させるウェアの開発

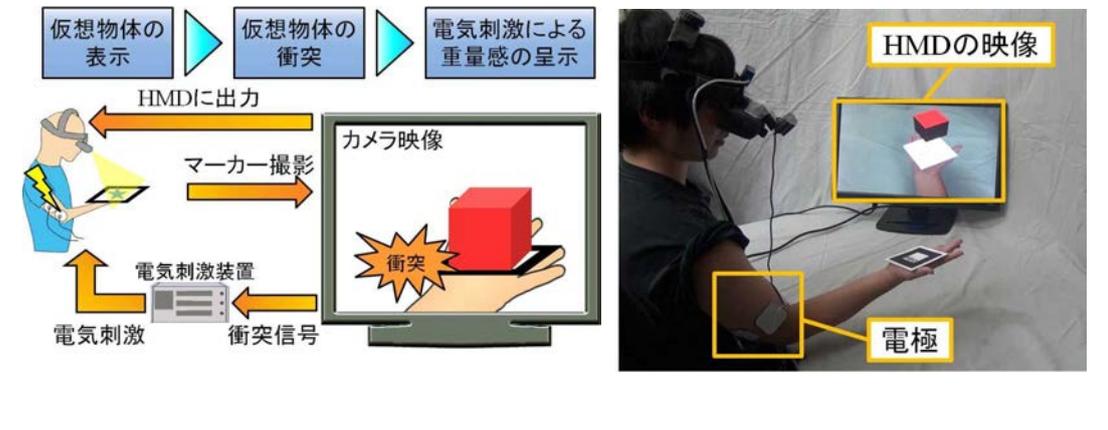
障害者や高齢者のためだけでなく、過酷な環境下で働く健康な人々に対しても運動機能や行動能力を向上させる力学的アシストへのニーズがある。人の骨格筋には筋紡錘やゴルジ腱器官といった感覚器が存在しており、これらの感覚器の機械的感度および中枢での感覚情報処理に対して、筋活動の度合いが影響を及ぼしている。テーマBの研究より、重量知覚に筋活動が影響することが確認されていた。特に筋活動が低いとき、より正確に外部刺激の強さを知覚することができることを示唆されており、これは適切に筋活動をアシストすることで、知覚感度を高め、感覚運動機能を向上させることができることを示唆している。そこで本研究では、伸縮性素材を用いて上肢の筋負担を補助し感覚運動機能を向上させることのできるウェアラブルスーツ：SEnS (Sensorimotor Enhancing Suit)を開発し、その評価実験から有効性を確認した。



テーマD：骨格筋電気刺激ならびに視覚・振動覚刺激による仮想重量感呈示手法の提案

力覚や触覚は物体に触れたときにその物体の存在や性質などを認識するために大変重要な感覚である。ウェアラブルな力覚呈示を実現するためには装置を小さくする必要があるが、発揮力が小さくなったり力呈示が可能な範囲に制限があったりといった問題がある。そこで第三の手法として、電気刺激を利用する。重量感には筋や腱内に存在する受容器が重要な役割を果たしていることから、筋収縮によってこれら受容器を刺激することにより、仮想的な重量感を与えることができる可能性がある。本研究では、電気的筋肉刺激を用いて重量感を呈示するシステムの構築を行い、開発したシステムを用いて

視覚・触覚情報による重量感の変化に関する検証実験を行った。実験の結果、視覚・触覚刺激を与えることで同じ電圧の電気刺激でも知覚する重量感が変化することを確認した。また、電気刺激に視覚・触覚刺激を加える事で重量感の調節が行える可能性を示した。



3. 今後の展開

我々は様々な機器や製品によって支えられて生活しているが、かしこいサポートを行うためには、人と機械との物理的・心理的インタラクションが不可欠である。したがって、人や人を含めた機械システムのモデル化や、機械システムを介した人間の機能拡張に関係する研究分野が重要性を増すとともに、これらの技術を応用した機器や製品がますます開発されるようになっていこう。これらの機器は、身体機能の拡張や補助、安全かつ安心な生活を送るためのサポート、そして人間を取り巻くサービスの質的向上につながるものが強く期待されており、本研究により開発した人の運動感覚評価プラットフォームを核として、今後は人をスムーズかつ安全にアシストするロボット制御への応用、人が主観的に感じる感覚予測と体感や主観のデザインへの応用、使いやすさの定量評価、現場で働く人々を補助するスーツの開発などへ展開していく。

4. 評価

(1) 自己評価

研究目的の達成状況

生体力学的な作用としてのマルチスケール性のモデリングを目的とした研究として、2次元筋骨格モデルに基づく手先コンプライアンス楕円の解析的算出手法を考案した。これにより従来のように人を厳密に固定して測定せずに手先運動特性が評価できるようになり、人の特性を考慮した機器設計への応用可能性が拓けた。また、人の感覚特性も考慮した評価にも取り組み、3次元筋骨格モデルに基づく人の主観的力知覚特性の評価法の開発を行った。この研究は自動車メーカーからの強いニーズに基づいて車のステアリング操舵を最初の対象として実験を行っており、さきがけ研究により開発した身体モデルによる筋活動推定プラットフォームを産業応用する最初の事例となった。さらに、人の感覚運動特性を向上させるアシストウェアという世界的に見ても例

のない新しい概念の運動アシスト手法を提案し、プロトタイプウェアの製作と効果検証まで行った。くわえて、骨格筋電気刺激を使って仮想力覚感を出すという斬新なアイデアも提案し、基礎的考察を行った。このように、運動評価を目的とした筋活動推定プラットフォームの開発という技術的な核となる成果に加えて、アシストウェアや力覚呈示手法といった社会応用性、インタラクティブ性の高い新コンセプトのアプリケーション開発まで研究期間内に遂行できたことから、当初予定していた目的はおおむね達成できたと評価できる。

研究の進め方（研究実施体制及び研究費執行状況）

さきがけの研究をより円滑に進めるべく、学内の研究スペースの整備を行うため途中年度で当初予算計画を若干変更した年度もあったが、研究遂行のためには大いにプラスになった。実施体制には大きな変更もなく、おおむね計画通りの執行ができた。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果

人の特性を理解して製品やサービスを設計することの重要性は誰もが異論ないことと思うが、その方法論は経験的な知識に頼っているのが現状である。開発した筋活動推定プラットフォームは、工学的に根拠のある定量的な指標を算出できるため、社会実装と親和性が高い。すでに、本研究により開発した人の運動感覚を評価する技術を核として、様々な共同研究の芽がうまれている。また、「ヒューマンモデリング」をキーワードとした国際交流にも積極的に取り組み、広島、香港、東京で、それぞれ複数の国内・国外研究者が講演する国際ワークショップをリーダーシップをとって主催し、分野の啓発と国際的なプレゼンスの向上を目指した活動を行った。さらに日本ロボット学会誌において特集号の編集を担当してヒューマンモデリングの工学応用に対する啓発に努めるとともに、日本機械学会や計測自動制御学会の主催する国内学会でオーガナイズドセッションを企画したり、広島市内でイブニングセミナーの立ち上げとファシリテータをつとめることを通じて研究者の地域における情報発信の新しい場の提供を目指したりするなど、新しい分野を開拓し、国際・国内を問わずネットワークを拡げる活動も行っている。今後は具体的な応用や社会実装を見越した研究にもより力をいれていきたい。

(2) 研究総括評価（本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った）。

（研究総括）

本研究は、生体力学的な筋骨格モデルや筋収縮モデルに加えて、主観的な感覚・感性知覚モデルを用いて人の運動感覚を評価し、製品のユーザビリティの向上や人の運動アシストに寄与することを目的としている。客観的モデルと主観的モデルの双方を用いて、人が感じる効果を最大限に導き出すところに研究の特徴がある。例えば、筋活動が低いときに人が外部刺激の強さを正確に知覚することを利用し、上肢の感覚運動機能を向上させるウェアラブルスーツを開発している。また、開発した筋活動推定プラットフォームを自動車のステアリング操舵に応用する実験を進めている。さらに、こうした研究活動をヒューマ

ンモデリングと呼び、数度の国際ワークショップを主催しリーダーシップを発揮していることは高く評価できる。人と機械の接触面が様々に拡大する近未来において、重要性を増す研究であるので、今後も活動を継続し世界をリードする研究者となることを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文（原著論文）発表

1	Yuichi Kurita, Minoru Shinohara, and Jun Ueda, Wearable Sensorimotor Enhancer for Fingertip using Stochastic Resonance Effect, IEEE Transactions on Human-Machine Systems, Vol. 43, Issue 3, pp. 333-337, 2013
2	石川敬明、辻敏夫、栗田雄一、電気刺激ならびに視覚・振動覚刺激による仮想重量感呈示、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol. 19, No. 4, pp. 487-494, 2014
3	Yuichi Kurita, Wearable Haptics, In E. Sazonov and M. Neuman (ed.), Wearable Sensors, Chapter 1.3, ELSEVIER, September 2014
4	Yuichi Kurita, Kohei Sakurada, and Tosho Tsuji, Evaluation of endpoint compliance based on the estimation of the muscle activity, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, pp. 1187-1189, Krakow, Poland, July 19-23, 2014
5	Yuichi Kurita, Jumpei Sato, Takayuki Tanaka, Minoru Shinohara, and Tosho Tsuji, Unloading muscle activation enhances force perception, Augmented Human 2014, March 7-9, 2014

(2) 特許出願

研究期間累積件数： 2 件

1

発 明 者： 栗田雄一、辻敏夫、櫻田浩平
発明の名称： 人体運動評価装置、方法、およびプログラム
出 願 人： 広島大学
出 願 日： 2012/12/7
出 願 番 号： 特願 2012-267838、 特開 2014-113225

2

発 明 者： 栗田雄一、辻敏夫、近藤雅也
発明の名称： 工業製品デザインシステム、方法、およびプログラム
出 願 人： 広島大学
出 願 日： 2014/2/25
出 願 番 号： 特願 2014-033795

(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）

・論文（国内）

1. 佐藤純平、竹村和紘、山田直樹、岸篤秀、西川一男、農沢隆秀、辻敏夫、栗田雄一、筋力推定に基づくステアリング操作時の力知覚モデル、日本機械学会論文集C編、

Vol. 79、No. 808、pp. 4917–4925、2013

・口頭（国際）

1. Takaaki Ishikawa, Toshio Tsuji, and Yuichi Kurita, Wearable pseudo-haptic interaction by using electrical muscle stimulation, AsiaHaptics2014, A-14, Tsukuba, November 18–20, 2014
2. Jumpei Sato, Kazuhiro Takemura, Naoki Yamada, Atsuhide Kishi, Kazuo Nishikawa, Takahide Nouzawa, Toshio Tsuji, and Yuichi Kurita, Investigation of subjective force perception based on estimation of muscle activities during steering operation, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 76–81, Kobe, Japan, Dec. 14–17, 2013

・口頭（国内）

1. 岸下優介、辻敏夫、栗田雄一、筋負担度のリアルタイム可視化システムの構築、平成 26 年度日本人間工学会中国・四国支部、関西支部合同大会、2014
2. 石川敬明、辻敏夫、栗田雄一、骨格筋電気刺激による重量感呈示（視覚と振動刺激の影響）- 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集、pp. 436–437、2014
3. 栗田雄一、佐藤純平、田中孝之、篠原稔、辻敏夫、感覚運動機能を向上させるウェアラブルスーツ：SEnS、第 32 回日本ロボット学会学術講演会、RSJ2014AC2Q2-04、2014
4. 栗田雄一、近藤雅也、辻敏夫、筋負担度を考慮したインタフェースデザイン法の提案、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集、3P1-H07(1)-(2)、2014
5. 佐藤純平、田中孝之、篠原稔、辻敏夫、栗田雄一、力知覚機能を向上させるウェアラブルスーツ、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集、3P1-H05(1)-(3)、2014
6. 石川敬明、辻敏夫、栗田雄一、電気刺激による重量感に対する視覚および振動刺激の影響、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集、3P2-B05(1)-(2)、2014 櫻田 浩平、辻 敏夫、栗田 雄一、手先筋活性度コンプライアンスの提案、第 58 回システム制御情報学会講演論文集、pp. 121–127、2014
7. 栗田雄一、櫻田浩平、辻敏夫、筋骨格モデルを利用した手先筋活性度コンプライアンスの評価、第 19 回ロボティクスシンポジウム、2014
8. 栗田雄一、佐藤純平、辻敏夫、竹村和紘、山田直樹、岸篤秀、西川一男、農沢隆秀、筋力推定に基づく力知覚の感覚量評価の試み、日本人間工学会誌、2013
9. 栗田雄一、佐々木桂一、辻敏夫、筋骨格モデルを用いた筋力推定に基づくドア開閉の効率性評価、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集、2A2-D02、2012
10. 櫻田浩平、佐藤純平、辻敏夫、栗田雄一、筋骨格モデルと終点誤差を考慮した運動評価、第 45 回日本人間工学会中国・四国支部大会講演論文集、pp. 154–155、2012
11. 佐々木桂一、栗田 雄一、辻敏夫、筋骨格モデルを利用した上肢到達運動の効率性評価、第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集、pp. 1646–1649、2011

・その他（出版物、講演、受賞）

1. Yuichi Kurita, Human Assistive System for Improving Sensorimotor Performance, 2014 International Workshop on Human Assistive Systems Based on Human Modeling in Tokyo, Workshop talk, 2014. 12. 14
2. Yuichi Kurita, Computational Modeling of Subjective Force Sensation for Assisting Human Activity, IEEE ICRA 2014 Workshop on Human Modeling and Control for Assistive Technologies, Workshop talk, 2014. 6. 1
3. 栗田雄一、主観的な感覚はデザインできるか ～運動・知覚のヒューマンモデリングと工学的応用～、デジタルヒューマン技術協議会招待講演、2014. 8. 29
4. 栗田雄一、心地よいアシストを実現するための人の感覚運動特性モデリング、信州大学 人を支える知能ロボティクス・メカトロニクス技術講演会招待講演、2014. 8. 27
5. 栗田雄一、人を賢くサポートするためのコンピュータシヨナルヒューマンモデリング、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門東北地区特別講演会：ロボティクスによる人間支援最新技術招待講演、2014. 7. 4
6. 栗田雄一、広島大学研究推進機構平成 24 年度特に優れた研究を行う若手教員 (Distinguished Researcher) 受賞、2013. 2. 26

研究報告書

「グループコミュニケーションの解明に基づく 車椅子型移動ロボットシステムの開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: 小林 貴訓

1. 研究のねらい

車椅子利用者が同伴者と一緒に出かけるとき、車椅子が、まるで利用者が操作しているかのように、同伴者に自動的に追従すれば、車椅子を操作する精神的、身体的負担を軽減できる。また、介護施設などの現場では人手不足が深刻化しており、食事や入浴のために、多くの高齢者を居室から食堂や浴室に移動させるため、2台の車椅子を一人の介護者が移動させることも珍しくない。介護においては、顔をみて話しかけることが認知症の進行抑止や心身の健康維持に重要であることが知られているが、このような状況では、介護者と車椅子利用者の間で顔を見ての会話もできないという。そこで、本研究では、車椅子が周囲の状況を認識し、車椅子利用者と同伴者のグループメンバー相互のコミュニケーションに配慮して車椅子が協調的に自動追従し、車椅子利用者と同伴者がグループで楽しく会話しながら移動できるシステムの開発と評価を行う。同伴者と車椅子利用者のグループでの会話を支援するため、移動時の同伴者と車椅子の適切な位置関係を社会学的分析手法(エスノメソドロジー)に基づいて明らかにする。また、同伴者との協調移動を可能とするため、レーザ測域センサとカメラを用いて車椅子周辺の人物行動を計測・理解する。さらに、複数の車椅子を協調移動させるため、複数の車椅子間でお互いの位置関係を取得・共有する技術を確立し、障害物検知機能などと組合せて、実際の介護施設で動作可能な試作機を作成し、その評価を行う。

2. 研究成果

(1) 概要

グループで移動する人々の様子をビデオに録画して分析すると、グループメンバーの位置関係は道幅などの周辺状況を第1に、会話の相手との会話しやすい位置関係を第2に優先して調整される。また、対面での会話と同様に、移動中でも相手の視線獲得、すなわち相手の顔が見える位置に居ることが会話の始めやすさに影響を与える。2台の車椅子を縦、横、斜めの3つのフォーメーションで移動させ、同伴者2人と一緒に移動する様子を分析すると、縦のフォーメーションで車椅子を移動させた場合には、4人全員が参与する会話が行われず、横、斜めのフォーメーションの場合には4人全員が参与する会話が行われた。このことから、グループメンバー間の距離よりも、相手の視線獲得の容易さが会話への参与のしやすさに重要な役割を果たしていることが明らかとなった。そこで、相手の顔が見えるフォーメーションで移動できるロボット車椅子システムの開発を行った。まず、車椅子周辺の人物の位置や身体の向き、顔向きを車椅子に取り付けたレーザ測域センサとカメラを用いて、実時間で計測する手法を開発し、車椅子が同伴者に自動追従できるようにした。また、ポールに取り付けたレーザ測域

センサを室内に複数配置し、得られる距離データを統合的に処理することで、観測領域内の全ての人物の追跡を可能とした。このとき、追跡に用いるパーティクルフィルタの仮説の評価に GPU を用いることで、20 人以上を実時間で追跡可能とした。さらに、複数人物の行動履歴から、互いの距離、移動方向、移動速度、身体の向きなどを手がかりとして、グループで移動する人物群を自動認識する手法を開発した。車椅子は周辺の人物とのグループ判定を行うことにより、自身が所属するグループを自動的に認識することが可能となった。また、グループメンバとフォーメーションを維持して移動するために、複数の車椅子が環境中の自己位置を認識し、得られた位置情報を共有することで、複数のロボット車椅子間の相互位置を把握する手法を確立した。これらの手法をパッケージングして、実際の介護施設で動作可能なシステムを開発した。

(2) 詳細

【車椅子を含めた移動中のグループコミュニケーションの解明】

2人の車椅子利用者に車椅子を操作してもらい、同伴者と一緒に移動しながら会話する際の位置関係(フォーメーション)を調査した。その結果、車椅子利用者は、道幅などの周辺状況を第1に、会話の相手との会話しやすい位置関係を第2に優先して自身の位置を調整していることが分かった。このことから、コミュニケーションとフォーメーションには密接な関わりがあることが分かった(図1)。

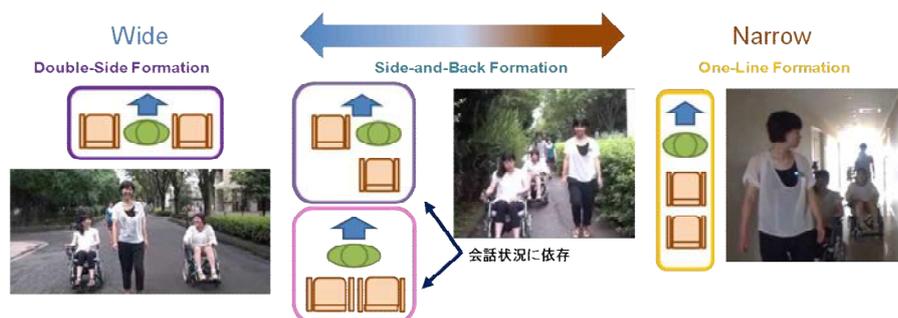


図1 周辺状況とフォーメーション

また、車椅子が同伴者の後ろにいる場合には、同伴者が車椅子を見ることができず不安となり、車椅子が同伴者の前には、車椅子搭乗者が同伴者を見ることができないため不安となることが分かった。このことは、介護施設における介護士との議論により得られた知見であるが、位置関係を変更できるロボット車椅子システムを開発し、被験者実験を行った結果、このことが定量的に裏付けられた(図2)。



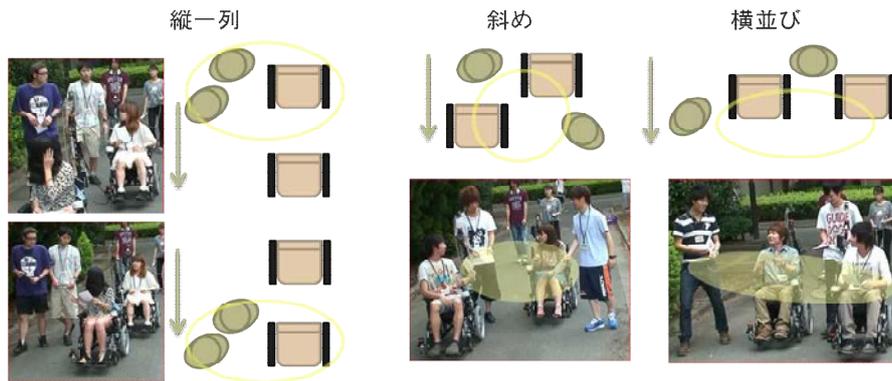
図2 車椅子と同伴者の位置関係

同伴者1人と車椅子1台が移動する場合の詳細な分析を行ったところ、対面で会話を開始する場合と同様に、移動中でも相手の視線獲得が会話の始めやすさに影響を与えることが分かった。すなわち、同伴者から話しかけるときの車椅子利用者から話しかけるときの、横並びの位置が良く、それ以外の位置関係では、最初の発話でスムーズに会話が始まらないことが分かった。また、同伴者と車椅子利用者が介護する人と介護される人というカテゴリで認識される場面があるが、これを身体配置との関係に着目して分析した。買い物時の身体配置と役割について観察したところ、車椅子利用者と同伴者がそれぞれの前方の空間(操作領域)を互いに共有する場合に、対等の関係と思われる会話がなされ、同伴者が車椅子利用者の操作領域を内包する場合は、同伴者が車椅子利用者の面倒を見ようとする振る舞いが観察された。このことから、同伴者は自身の役割に応じて身体配置を変えうることが分かった(図3)。



図3 位置関係と役割

グループでの移動の様子の分析では、車椅子をWoZ法により遠隔操作し、2台の車椅子を縦、横、斜めの3つのフォーメーションで移動させ、同伴者2人と一緒に移動の様子をビデオで記録した。同伴者には、位置取りについての指示は行わず、4人全員での会話を誘発するようなタスク(食材を4人に割り当て、すべてを使った献立を決める)を与えた。記録したビデオ映像を分析した結果、縦のフォーメーションで車椅子を移動させた場合には、4人全員が参与する会話が行われず、横、斜めのフォーメーションの場合には4人全員が参与する会話が行われることが分かった。実験実施前は、グループ構成員間で最も離れている人同士の距離が短いほど(グループが小さくまとまっているほど)全員の参与が促されるのではないかと考えていたが、実際には、お互いの距離よりも、視線獲得の容易さが会話への参与のしやすさに重要な役割を果たしていることが分かった。すなわち、2台の車椅子を縦のフォーメーションで移動させると、車椅子搭乗者同士の視線獲得が難しくなり、同伴者の2人は自由な位置取りで移動できるため、どちらかの車椅子搭乗者一人との会話は容易に行えるが、車椅子搭乗者2人が参与した会話は難しくなることが分かった。これは、車椅子1台と同伴者1人の場合と同様の性質をもつ結果であり、複数人から構成されるグループにおいても、相手の視線獲得を容易にする位置関係を維持することがコミュニケーションの支援に重要であることが分かった。特に、車椅子搭乗者は腰から下が固定されていることから、身体ひねりを行うことができず、複数の車椅子が縦一列に並んでしまうと非常に話しにくいいため、車椅子はお互いに少し横にずらすことが重要であることが分かった(図4)。



- ・ 参与の枠組みが4人を包括しない
- ・ 会話の分裂も
- ・ 4人を包括する参与の枠組みを形成できる
- ・ O空間, Fフォーメーションの形成がみられる

図4 グループのフォーメーションと参与の枠組み

【人物行動計測技術の開発】

レーザ測域センサとカメラを用いて、人物の身体の位置と向き、顔の向きを実時間で計測する手法を開発した。同伴者の肩の形状が計測できるように、レーザ測域センサを同伴者の肩付近の高さに水平に設置し、得られた距離データを画像上にマップすると、図5に示すような同伴者の肩の輪郭の一部が観察される。このとき、同伴者の肩の輪郭を楕円形と仮定すると、観察される肩の輪郭部分は、レーザ測域センサとの位置関係により向きが変化する楕円形の一部として観察できる。そこで、同伴者の肩あたりの高さを水平に切断したときの輪郭形状として予測される一定の大きさの楕円形を追跡対象モデルとして用い、運動モデルにランダムウォークを採用したパーティクルフィルタにより同伴者の身体の位置と向きを追跡する。

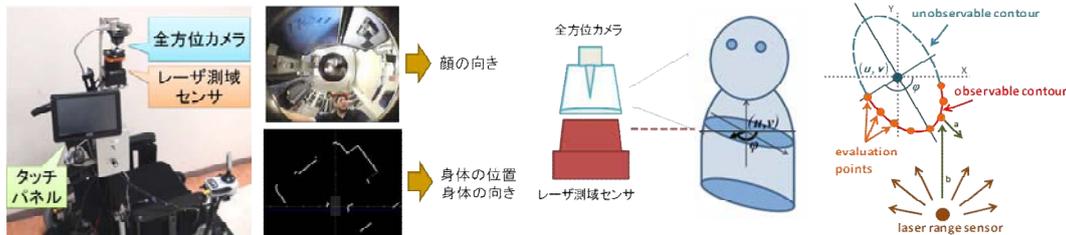


図5 レーザ測域センサとカメラを持ちた人物追跡

また、レーザ測域センサに加えて、全方位カメラを合わせて用いることで、同伴者のおおよその顔向きを計測できる。これには、画像から人物頭部7方向を検出する識別器を事前準備し、それらをパーティクルフィルタの仮説に基づいて選択的に用いることで尤度を評価し、頭部位置とともに顔向きを推定する。また、カメラによる見えを用いることで、身体の向きに紐付けた同伴者の服の色を記憶し、同伴者を見失った場合に再検出することも可能とした。

さらに、環境にセンサを設置することで、観測領域内の同伴者や他の歩行者など動きを実時間で計測する手法を開発した。具体的には、レーザ測域センサを取り付けたポールを室内に幾つか置くことで、複数のレーザ測域センサから得られる距離情報を統合し、観測領域内の全ての人物を追跡する。このとき、パーティクルフィルタの仮説の評価に GPU を用いることで、20人以上を実時間で追跡することを可能とした(図6)。

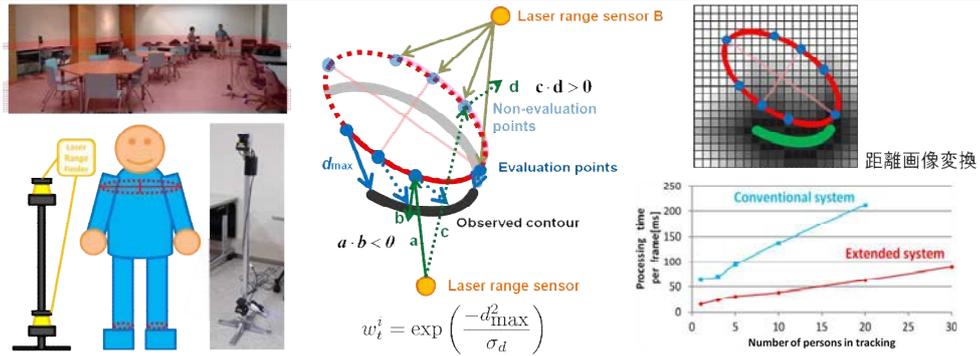


図6 センサポールを用いた実時間複数人物追跡

このようにして得られた複数人物の行動履歴から、グループで移動する人物の自動認識を行う手法を開発した。人物ペアを互いの距離、移動方向、移動速度、身体の向きなどを特徴量として同じグループに所属するかどうかの判定を行う識別器を構築する。そして、構築した識別器を追跡中の全ての人物ペアに適用し、人物グループの認識を行う。本システムの車椅子は自身の位置や移動方向などが既知であるため、本手法により、周辺の人物とのグループ判定を行うことで、自身が所属するグループを自動的に認識することが可能となった(図7)。

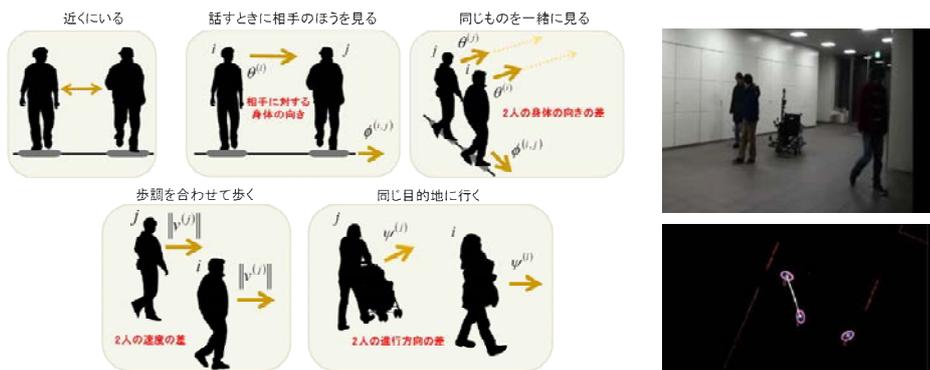


図7 人物グループの認識

【車椅子の自律移動機能の開発】

複数の車椅子それぞれが環境中の自己位置を認識し、得られた位置情報を共有することで、複数のロボット車椅子間の相互位置関係を把握する手法を確立した。具体的には車椅子に取り付けたレーザ測域センサから得られる距離データを、オドメトリや内界センサを用いて補正・蓄積し、事前に環境地図を作成する。そして、環境地図と現在の距離データの整合性をパーティクルフィルタにより評価することで、各車椅子で自己位置を推定する。これにより、複数の車椅子がフォーメーションを維持して移動することが可能となった(図8)。

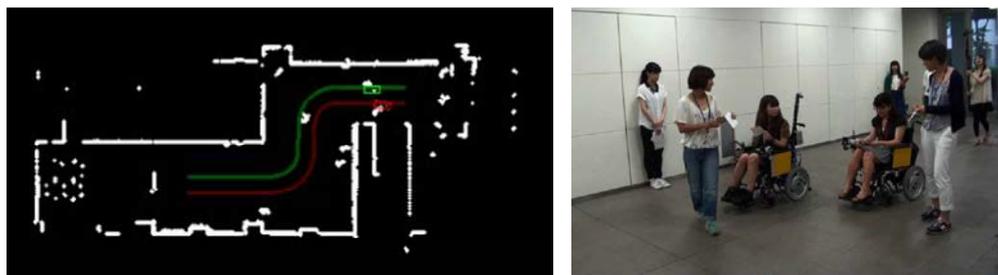


図8 環境地図に基づく複数車椅子のフォーメーションを維持した移動

3. 今後の展開

本研究により、移動時の同伴者と車椅子の位置関係を適切に制御することがコミュニケーションにおいて有用である明らかとなった。また、環境中での車椅子の位置や姿勢を推定する自己位置同定技術、同伴者や他の歩行者の位置や姿勢の計測技術の基礎を確立することができた。今後は、システムの実用化に向け、ロボット車椅子移動時の安全性の確保のため、比較的小さな障害物の出現検知や、テーブルや椅子などの位置が変わりやすく、複雑な形状をしている障害物の回避手法の開発などを進める。最終的には、超音波センサなどにより、車椅子の進行方向にある物体を検知することで障害物への接触を回避するが、本ロボット車椅子は同伴者と一緒に移動するため、同伴者や他の歩行者の振舞いを手掛かりとした障害物回避手法を取り入れたいと考えている。例えば、同伴者や他の歩行者は、ロボット車椅子が常に追跡しているので、環境中で人が良く通る場所や、人が通ったばかりの場所は障害物が無い可能性が高い。そこで、できるだけそのような場所を通ることで、障害物との接触を避けるようにすることを検討している。また、実際の介護施設での使用を考えると、システムの頑健性が重要となる。車椅子躯体やセンサ等電子機器を総合的にパッケージングすることで、実際の介護業務の一部で試使用が可能なレベルでの安定性や頑健性を確保し、実際の介護施設での実証実験を進める。さらに、公園などの屋外での長距離の移動を可能にするなど、個人型移動ロボットを日常生活環境に共在させるための研究を継続してゆきたいと考えている。

4. 評価

(1) 自己評価

当初からの目標に向かって研究開発を続けてきた結果、車椅子利用者を交えた移動時のコミュニケーションと身体配置の関係を明らかにすることができた。移動時は、通路幅などの周囲の状況に制約を受けつつ、メンバが身体配置を変化させるが、移動中においても相手の視線獲得がコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす。特に、車椅子搭乗者は、歩行者に比べて上体をひねることが難しいため、相手の視線獲得のためにはフォーメーションが重要となることが分かった。また、コミュニケーションを支援するフォーメーションを自動構築可能なロボット車椅子システムを開発し、介護施設での実証実験を開始できる段階まで到達することができた。本研究を通じて、要素技術ではなく、複雑なシステムを作り上げて、実際の現場に投入することの難しさを痛感したが、一方で、実際にある程度使える状態にまでパッケージングしなければ、システムの評価できないことも分かった。今後、実際の介護施設での実証実験を通して、介護者の負荷軽減だけでなく、コミュニケーション支援におけるシステムの有効性について明らかにする予定である。これらの成果から、搭乗者がいる自律移動ロボットが日常生活環境に共在する社会にむけた先駆的な研究ができたと考えている。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、車椅子利用者と同伴者のコミュニケーションを支援するために、車椅子に自

動制御機能を加えようとするのである。そのために、様々なコミュニケーションの状況での、同伴者と車椅子の適切な位置関係を、エスノメソロジーと呼ばれる研究方法を用いて分析している。また、分析のためのツールとして、身体の向き、移動方向・速度、互いの距離などから、グループの活動を自動認識するシステムを開発している。本研究の応用範囲は広い。介護施設などでは、少人数の介護者が多くの車椅子利用者を誘導する場合もある。老夫婦が共に車椅子利用者であり同伴者である場合もあるだろう。車椅子という機械に適切な情報環境を与えることによって、車椅子を操作する負担を軽減し、安全で快適な生活を支援できれば素晴らしい。技術開発に留まらず、介護施設と協働し、実証実験を開始できる段階にまで至ったことは高く評価できる。研究が継続され、社会に貢献する技術が生まれることを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- | |
|--|
| 1. 小林 貴訓, 行田 将彦, 田島 知弥, 久野 義徳, 山崎 敬一, 渋谷 百代, 関 由起子, 山崎 晶子, “多人数場面において受容者の予期を支援するケアサービスロボット,” 情報処理学会論文誌, vol.52, no.12, pp.3316-3327, 2011. |
| 2. Y. Kobayashi, Y. Kinpara, E. Takano, Y. Kuno, K. Yamazaki and A. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Moving with Caregiver Collaboratively,” International Conference on Intelligent Computing (ICIC2011), Lecture Notes in Computer Science, vol.6839, pp.523-532, 2012. |
| 3. 小林 貴訓, 高野 恵利衣, 金原 悠貴, 久野 義徳, 小池 智哉, 山崎 晶子, 山崎 敬一, “同伴者の振舞いの観察に基づいて自動併走するロボット車椅子,” 情報処理学会論文誌, vol.53, no.7, pp.1687-1697, 2012. |
| 4. Y. Kobayashi, R. Suzuki and Y. Kuno, “Robotic Wheelchair with Omni-directional Vision for Moving alongside a Caregiver,” Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2012), pp.4177-4182, 2012. |
| 5. 鈴木 亮太, 新井 雅也, 佐藤 慶尚, 山田 大地, 小林 貴訓, 久野 義徳, 宮澤 怜, 福島三穂子, 山崎 敬一, 山崎 晶子, “複数同伴者とのグループコミュニケーションを考慮した複数ロボット車椅子システム,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J98-A, no.1, 2015. |

(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)

【主要な学会発表】

1. Y. Kobayashi, M. Gyoda, T. Tabata, Y. Kuno, K. Yamazaki, M. Shibuya and Y. Seki, “Assisted-Care Robot Dealing with Multiple Requests in Multi-party Settings,” Proc. HRI2011 Late Breaking Report, 2011.
2. Y. Kobayashi, Y. Kinpara, E. Takano, Y. Kuno, K. Yamazaki and A. Yamazaki, “Robotic

- Wheelchair Moving with Caregiver Collaboratively Depending on Circumstances,” Proc. CHI2011 Extended Abstracts, pp.2239–2244, 2011.
3. R. Suzuki, Y. Sato, Y. Kobayashi, Y. Kuno, K. Yamazaki, M. Arai and A. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Moving Alongside a Companion,” Proc. HRI2013 Demonstration, pp.D01, 2013.
 4. Y. Kobayashi, R. Suzuki, Y. Sato, M. Arai, Y. Kuno, A. Yamazaki and K. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Easy to Move and Communicate with Companions,” Proc. CHI2013 Extended Abstracts, pp.3079–3082, 2013.
 5. Y. Sato, M. Arai, R. Suzuki, Y. Kobayashi, Y. Kuno, K. Yamazaki, A. Yamazaki, “A Maneuverable Robotic Wheelchair Able to Move Adaptively with a Caregiver by Considering the Situation,” International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man2013), pp.282–287, 2013.
 6. M. Arai, Y. Sato, R. Suzuki, Y. Kobayashi, Y. Kuno, S. Miyazawa, M. Fukushima, K. Yamazaki, A. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Moving with Multiple Companions,” International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man2014), pp.513–518, 2014.

【受賞】

1. M. Yousuf, Y. Kobayashi, Y. Kuno, A. Yamazaki and K. Yamazaki, “Development of a Mobile Museum Guide Robot That Can Configure Spatial Formation with Visitors,” International Conference on Intelligent Computing (ICIC2012), Lecture Notes in Computer Science, vol.7389, pp.423–432, 2012. (Best Paper Award)
2. R. Suzuki, Y. Sato, Y. Kobayashi, Y. Kuno, K. Yamazaki, M. Arai and A. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Moving Alongside a Companion,” Proc. HRI2013 Demonstration, pp.D01, 2013. (Best Demonstration Award)
3. T. Onuki, K. Ida, T. Ezure, T. Ishinoda, K. Sano, Y. Kobayashi, Y. Kuno, “Designing Robot Eyes and Head and Their Motions for Gaze Communication,” International Conference on Intelligent Computing (ICIC2014), pp.607–618, 2014. (Best Paper Award)

研究報告書

「情報環境での人間行動モデルに基づく知識・情報取引メカニズム設計理論の構築」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成23年10月～平成27年3月

研究者: 櫻井 祐子

1. 研究のねらい

本研究では、ヒューマンコンピューテーション／クラウドソーシングで人間の知を有効に活用するために、人間が個々の能力を十分に発揮するインセンティブ(誘因)を与えるためのメカニズム設計(制度設計)を行うことを目的とする。

メカニズム設計(制度設計)とは、ある環境に存在する人間の集団が何らかの社会的意思決定を行う際、望ましい結果を得るためのメカニズムを設計することである。ネットワーク環境の発展に伴い、計算機科学とミクロ経済学／ゲーム理論の新たな融合領域として活発に研究が行われており、インターネットオークションや検索連動型広告オークションなど実サービスの基盤技術として適用されている。

近年、計算機と人間のどちらか一方では求解が困難な問題に対して、計算機と人間の知を組み合わせることで問題解決を図るヒューマンコンピューテーションの概念が提唱された。クラウドソーシングはヒューマンコンピューテーションを実現するプラットフォームであり、仕事発注者と作業者を仲介する仕組みである。クラウドソーシングは新たな労働力確保の手段としても着目されているが、実サービスで用いるためにはその作業品質や必要に応じた労働力の確保が課題となっている。従来、作業品質管理や労働力の確保は作業発注者側に委ねられていた。

そこで、本研究課題では、作業者らもこれらの課題解決に自発的に貢献することで効率的なクラウドソーシングシステムの構築を目指す。具体的には、実際のクラウドソーシングを利用して人間の行動データを取得し、人間の認知力や理解力に応じた適切なインセンティブの与え方(報酬設定)を実現する、知識・情報取引メカニズム設計理論の構築を行う。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究の主な研究成果は下記の3項目である。

- (1) マイクロタスク型クラウドソーシングのためのメカニズム設計技術
- (2) 参加型クラウドソーシングのためのメカニズム設計技術
- (3) チーム型クラウドソーシングのためのタスク割当て技術

各研究において、人間行動に関する「知識力の相違」、「自己充足性」、「人と人の相互作用」の側面にそれぞれ着目した。

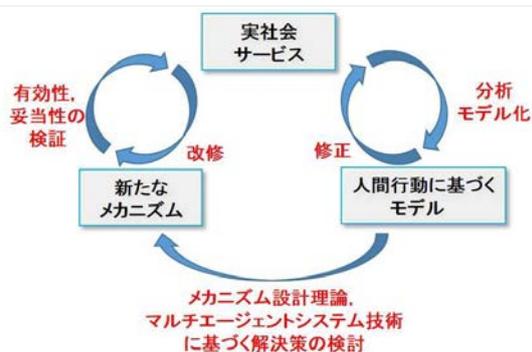


図1: 研究方法の概要

本研究では、図1に示す研究方針に基づいて実環境で取得したデータを活用し、不正行為に頑健である(嘘を付いても効果がない)といった理論的に望ましい性質を保証するだけでなく、実際のクラウドソーシングサービスを利用して有効性の検証を行った。

(2) 詳細

【研究テーマ1】 マイクロタスク型クラウドソーシングのためのメカニズム設計技術の確立

これまで、メカニズム設計理論においては、メカニズム参加者は合理的で、行動を選ぶための計算能力に制限がなく、自身の効用を最大化する行動を非常に多数の候補から適切に選択できるということを仮定していた。しかしながら、クラウドソーシングのように不特定多数の人々が参加する場合、メカニズム(ルール)自体を理解できない、自身の効用を最大化する行動は限られた候補からしか選択することができないといった課題があることを、実際のクラウドソーシングサービスを利用した予備実験で明らかにした。

そのため、本研究テーマでは、一般の人々を対象にした場合でも、理論的に望ましい性質を満たすだけでなく、人間の行動選択に即したメカニズム(報酬設定)の開発を行った。

マイクロタスク型クラウドソーシングは、画像判断などの単純作業であり、誰もが容易に実行できるため、クラウドソーシングで実行される作業の主流となっている。その一方で、必ずしも発注者が望む品質が得られるとは限らないため、効率的に結果を得ることが求められている。そこで、本研究テーマでは、各作業者の作業結果に対する自信(confidence)に着目し、自信に応じた報酬の差別化を行うことで、作業者の能力の差別化を実現可能にした(図2)。

自信に関して数値を直接的に入力させる場合、過大評価や過小評価などの認知バイアスだけでなく、評価そのものが難しいという問題があることが判明した。そのため、作業者に自信を直接表明させるのではなく、報酬プランを選ばせることで間接的に自信を申告させるという間接表明メカニズムを開発した。実際の作業者による作業結果では、本メカニズムを適用しない単純多数決の場合よりも安い費用で正解を得ることに成功した。



図2: Amazon Mechanical Turkでの作業画面の例

【研究テーマ2】 参加型クラウドソーシングのためのメカニズム設計技術の開発

クラウドソーシングは、実社会の情報を効率的に取得するために利用されることも多く、参加型クラウドソーシングと呼ばれる。例えば、地図情報をできる限り正確かつ迅速にアップデートするために、街の写真を撮って収集する取り組みなどが挙げられる。このとき、作業発注者としては、労働力の確保が課題の一つとなる。本研究テーマでは、作業者が作業可能な時間帯を予測し、その予測通りに行動するための誘因を与える(自己充足性を満たす)メカニズムの検討を行った。

作業者に自身の行動を予測させる場合、実際に行動を決定するとき、予測と異なった行動を取った方が作業者の利得が増加する可能性がある。さらに、作業者が取り得る行動は無限に存在するため、最適な予測を決定することは計算量的に求解困難である可能性がある。そ

のため、本研究では、予測通りに行動することで利得の最大化が保証される報酬メカニズムを提案するとともに、期待利得を最大化する予測を決定するためのヒューリスティックアルゴリズムの開発を行った。

このメカニズムは、クラウドソーシングでのスケジュール管理でなく、電力会社やバス会社といった、顧客の需要を満たす必要がある供給者にとって需要と有益であると考えられる。

【研究テーマ3】 チーム型クラウドソーシングのためタスク割当て技術の開発

複数の作業員（エージェント）がチームを組むことで作業が完了するチーム型クラウドソーシングでは、人と人との間に生じる相互作用を考慮する必要がある。すなわち、作業員をどのように組み合わせるかによって結果（利益）が大きく異なる。この問題を解決する一つの手段として、ゲーム理論の一分野である協力ゲーム理論を応用することができる。協力ゲーム理論は、利己的に行動するエージェント間で提携を形成することのできる場合のエージェントの振る舞いに関する理論である。利己的なエージェントが協力関係を結び、チーム（提携）を形成する場合に解くべき問題は次の二つに分けられる。一つ目が最適な提携構造の形成であり、一般に提携構造形成問題と呼ばれ、全員で協力することが最適ではない場合に、得られる利益の総和が最大となるようにエージェントの集合を分割する問題である。二つ目が各提携での利益の配分についてである。

本研究テーマでは、まず、提携構造形成問題に対して、人工知能分野でブール関数を簡略に表現するグラフ表現である二分決定グラフを応用し、高速に最適な提携構造を発見するアルゴリズムと、利得の配分について、各エージェントが提携から逸脱する誘因を持たないことを保証する利得配分をエージェント数の多項式時間で求解可能なアルゴリズムを開発した。

次に、得られた利益の配分方法に関して、最も良く知られている配分方法としてシャプレイ値が存在する。シャプレイ値は各エージェントの提携に対する貢献度の期待値であるが、求解に関する計算量の問題があった。本研究テーマでは、提携間で外部性がある場合、すなわち、他の提携がどのように構成されているかによって得られる利益が異なる場合において、エージェントの関係を木構造で簡潔に表現することで、木のノードの数の多項式時間で求解可能なアルゴリズムの提案を行った。

3. 今後の展開

本研究の成果は、実環境で取得したデータに基づいて、人間の行動特性を考慮したメカニズム設計に関する基盤技術を構築したことである。メカニズム設計理論は社会的に望ましい結果を得るためのルールの構築に有用である。しかしながら、クラウドソーシングの状況では不適切ないくつかの前提が置かれていたことを明らかにし、クラウドソーシングに適したメカニズムの開発を行った。

クラウドソーシングは新たな労働市場の場としても注目されているだけでなく、市民科学のプラットフォームとしても有効であると考えられている。本研究では金銭的報酬に特化してメカニズム設計を行ったが、市民科学での作業に対する動機付けは非金銭的誘因も含まれる。また、本研究で対象としたマイクロタスク、参加型、チーム型クラウドソーシング以外に様々な形態のクラウドソーシングが存在する。

本研究で得られた結果を発展させ、社会的／経済的持続可能なクラウドソーシングシステム

の構築を目指して、人間の行動特性を十分に考慮し、可用性の高いメカニズムの開発を行うために、人間を主体としたメカニズム設計理論に関する研究を推進していきたい。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

クラウドソーシングでは、作業品質管理と労働力の確保が重要な課題である。本研究では、メカニズム設計理論を応用し、人間に適切なインセンティブを与えることで、高品質かつ可用性の高いクラウドソーシングを実現するメカニズムの開発を行った。まず、作業者の知識や能力の分散が大きいクラウドソーシングの状況に既存メカニズムを適用してもメカニズム設計者／作業発注者の意図通りの結果を得ることができないことを指摘した。すなわち、従来のメカニズム設計理論では、メカニズムの存在性やメカニズムの計算論的な実行可能性は議論されているが、人間に対する実現可能性は十分に議論されていなかったことを意味する。そこで、本研究では、人間の選好／個人情報に関する表明能力の限界、行動の不確実性、認知バイアスの存在を考慮することで、作業者らに直接的に選好を表明させるのではなく、行動選択の結果から選好を抽出する間接表明メカニズム等を開発することで、作業結果の品質を従来よりも頑健に推定すること、作業者(労働力)を安定的に確保することを可能にした。

クラウドソーシングという複雑かつこれまで十分に検討されていなかった実問題に対して、理論と実社会を繋ぐ研究成果を創出することができた一方で、限定的な状況での有用性の検証や理論的成果に留まっている研究もある。したがって、実証実験を継続すると共に、今後も、人間の行動特性を考慮し、実社会に適用可能なメカニズム設計理論の体系化を行っていききたい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

クラウドソーシングは将来の労働市場を一変させる可能性を秘めている。本研究は、ミクロ経済学やゲーム理論を背景に、人々がクラウドソーシングに適切に能力と時間を提供するための制度設計を生み出そうとするものである。マイクロタスクに関しては、作業者の自信の度合いを用いることで、高品質かつ可用性の高いクラウドソーシングが実現できることを示した。さらに、作業者が報酬プランを選ぶことで、間接的に自信を表明する仕組みを開発している。また、チーム型クラウドソーシングに関しては、協力ゲーム理論を応用し、最適な提携構造の形成を可能とするアルゴリズムを提案している。この研究は国際会議で最優秀論文に選ばれている。本研究は、情報経済の理論研究者が、実世界の問題であるクラウドソーシングの制度設計に挑戦したもので、その研究姿勢は高く評価できる。理論的研究の成果を実応用に活かす方法は一通りではない。今後はさきがけでの経験を活かし、基礎研究が世の中を変えるシナリオを様々に構想し、社会の変革をリードしていくことを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. **Yuko Sakurai**, Tenda Okimoto, Masaaki Oka, Masato Shinoda, Makoto Yokoo: Ability Grouping of Crowd Workers via Reward Discrimination. The 1st AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing (HCOMP 2013), 2013, pp.147-155
2. **Yuko Sakurai**, Tenda Okimoto, Masaaki Oka, Makoto Yokoo: Strategy-Proof Mechanisms for the k-Winner Selection Problem. The 16th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2013), 2013, pp.292-307
3. **Yuko Sakurai**, Makoto Yokoo: Generalized Partition Mechanism Framework for Combining Multiple Strategy-Mechanisms. IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT-2012), 2012, pp.502-509
4. **櫻井祐子**, 沖本天太, 岡雅晃, 横尾真. エージェント間に外部性が存在する場合の戦略的操作不可能な割当てメカニズムの提案. 電子情報通信学会論文誌 J96-D(12), 2013, pp.2960-2969
5. **Yuko Sakurai**, Suguru Ueda, Atsushi Iwasaki, Shin-ichi Minato, Makoto Yokoo: A Compact Representation Scheme of Coalitional Games Based on Multi-Terminal Zero-Suppressed Binary Decision Diagrams. The 14th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2011), 2011, pp.4-18

(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)

【国際会議】

- Masaaki Oka, Taiki Todo, **Yuko Sakurai**, Makoto Yokoo: Predicting Own Action: Self-fulfilling Prophecy Induced by Proper Scoring Rules. The 2nd AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing (HCOMP 2014), 2014, pp.184-191
- **Yuko Sakurai**, Tenda Okimoto, Masaaki Oka, Masato Shinoda, Makoto Yokoo: Quality-control mechanism utilizing worker's confidence for crowdsourced tasks. The 12th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2013), 2013, pp.1347-1348
- **Yuko Sakurai**, Masaaki Oka, Satoshi Oyama, Makoto Yokoo: How confident are you? Classification of Workers in crowdsourcing. The 4th annual Web Science Conference (Web Science 2013), 2013 (Poster presentation)

【国内会議】

- **櫻井祐子**, 沖本天太, 岡雅晃, 兵藤明彦, 篠田正人, 横尾真: クラウドソーシングにおける品質コントロールの一考察. 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2012), 2012

- 櫻井祐子, 上田俊, 岩崎敦, 横尾真: MTZDD に基づく提携ゲームの簡略記述法の提案. 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2011), 2011

【解説記事】

- 櫻井祐子, 松原繁夫: ヒューマンコンピューテーションのためのメカニズムデザイン. 人工知能学会論文誌, 2013, Vol.29, No.1, pp.19-26

【招待講演】

- 櫻井祐子, アウトソーシングからクラウドソーシング - 数百万の「人力」へのアクセスが拓く世界 -. CEATEC JAPAN (10年後の暮らしをスマートにする+ α な価値を創る AI), 2013年10月

【受賞】

- PRIMA2011 Best Paper Award
Yuko Sakurai, Suguru Ueda, Atsushi Iwasaki, Shin-ichi Minato, Makoto Yokoo: A Compact Representation Scheme of Coalitional Games Based on Multi-Terminal Zero-Suppressed Binary Decision Diagrams. The 14th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2011), 2011, pp.4-18

研究報告書

「ソーシャル・プレイウェアによる社会的交流支援」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: 鈴木 健嗣

1. 研究のねらい

本研究は、実空間において人々をつなぎ社会的交流を導くための「ソーシャル・プレイウェア」を提案し、これを用いることで人々の社会的交流の機会の創発、及び社会性形成支援を目指す。拡張生体技術を応用した装着型デバイス及び空間メディア化技術のためのデバイスを利用し、物理的な接触の検知による社会的身体接触解析、空間計測技術による運動状態解析、表情表出や循環系計測に基づく情動評価などに基づき、屋内外を問わず自由に柔軟かつ人間に親和的な「遊び」の情報物理環境の構築に挑戦する。

幅広い人々が楽しくリハビリテーション・運動療法・コミュニティスポーツなどに励むことを支援する新しいデバイス群である「プレイウェア」が提唱されている。これを社会的交流の機会創出支援へと展開する取り組みとして、複数人でのインタラクションを柔軟に計測し、人々の社会的行動を誘発することを目的としたデバイス群を「ソーシャル・プレイウェア」と位置づける。本研究では、このようなデバイス開発のみに留まらず、複数人によるグループ行動支援への介入を主眼とし、これを広汎性発達障がい児を対象とした実証実験により、社会的交流の機会の創発、及び社会性形成支援の有効性を検証する。また提案するデバイス群により、身体接触・空間移動・表情表出の定量化を実現することで、複数人でのインタラクションにおける新たな評価手法を提供すると期待出来る。

このように、障がい者や高齢者を含む幅広いユーザがソーシャル・プレイウェアを用いることで、これらを利用した創造的な遊びの活動によって幼児は自信を持ち、楽しい活動がうまくいくと自尊心が高まることが期待出来る。また、運動療法においても、認知もしくは身体的能力のレベルにかかわらず、誰もが動き、交流し、経験し、楽しむ環境を提供することが可能になる。これにより、運動による身体的利点を享受するだけでなく、学び、共有し、感情を表現し、目的を設定し、自立して運動する機会をも提供することができるなど、社会的交流を促し社会生活へ適応するための支援に大きく寄与するものと考ええる。

2. 研究成果

(1) 概要

以前から、発達障害や知的障害を持つ小児の特徴の一つとして、仲間との相互作用が著しく困難であることが指摘されてきた。彼らは、自発的模倣や視線を合わせることが苦手、他者に興味を持たない、思うことを上手く伝えられない、他者が近寄ってくるのを嫌がるなど、仲間と適切な社会的交流を行うことが難しい。この問題の原因は、社会的スキルの欠如だけではなく、彼らが仲間と交流する機会や経験が不足していることにもあると報告されている。実際に遊びなどの集団行動において、彼らは自ら「一緒に遊ぼう、入れて」といった明示的方略

を用いないため、仲間との社会的交流を発展する機会を得ることができず、1人遊びに終始してしまう場面がある。一方、支援者が社会的交流の機会を促進するよう指示で与えることにより、時間経過とともに他者との相互作用が増加するようになるという報告もされている。このように、彼らに適切に社会的交流の機会を提供することが重要であり、これにより社会的交流の支援・促進に繋がると考えられる。

このように、社会的交流を苦手とする小児らを支援するために、交流の機会を創出することが極めて重要であるが、これを支援する有効な方法やツールは十分とは言えない。そこで本研究では、物理的な接触の検知による社会的身体接触解析、空間計測技術による運動状態解析、表情表出や循環系計測に基づく情動評価を可能とするデバイス群である「ソーシャル・プレイウェア」を開発し、情報機械技術を用いた小児同士の社会的交流の機会創出を支援について多くの成果を得た。このような自発的な社会的交流の機会を創出することにより、彼らを自然に遊びの空間へと導き、仲間との相互作用に喜びや楽しみを感じる経験の中で、社会的交流を支援することが可能であることを見出している。

(2) 詳細

研究テーマ① 生体拡張技術に基づく装着型デバイス開発研究

電気生理学的手法及び人体間通信技術に基づき、小児らの運動状態解析や情動評価を可能とする先進的なデバイス技術開発を行った。

- ・ 身体接触拡張技術: 小児でも容易に適用可能な身体運動検知・記録・光提示技術の開発を行った。ここでは、子ども達が手首に装着するだけで、握手動作の記録・識別・提示・拡張が可能となるインタフェースを実現した。



- ・ 生理信号拡張技術: 運動中においても安定的・継続的に脈拍計測を可能にする装着型デバイス。ここでは、柔軟素材に電極を編み込んだブレスレットを開発した。また、連携するデンマーク工科大学と共同研究を実施し、タイル型のインタフェースにより実空間を柔軟に計測可能なデバイスとあわせ、運動中の生体信号計測と光提示による効果検証を実施した。



研究テーマ② 実空間を柔軟に計測可能なデバイスの開発

- (1) 空間計測可能なデバイスを利用し、小児の運動状態計測だけでなく、共同作業や交流を促す空間メディア生成デバイスの開発を行った。特に、新たに相対的な位置関係に応じて発光するビブズ(デジタルビブズ)を開発し、これを用いた空間位置計測について検証を行った。これは、小型の無線デバイスと3軸姿勢センサを組み合わせて、実空間における対人交流中の物理的な位置関係・姿勢の変化に応じて光提示を実現する機器である。ビブズやボールに実装し、



ボール遊び中の交流状況の把握や、ボール投げ行動の支援・教示など、自閉症児・知的障がい児らの行動促進に関する研究成果を得ている。

研究テーマ③ ソーシャル・プレイウェア実証実験

- ・ 発達障がい児を対象とした社会的交流の機会創出支援の検証を行った。特別支援学校、NPO、発達障害研究所などでの実証研究を通じ、人工物のデバイスを用いて、社会的交流の機会創出に寄与・適用可能であるかについて検証を行った。
- ・ 自閉症児の接触行動促進を目指し、接触検知インタフェースの装着前後における接触状況の増加の有無を検証するため、発達障がい児7名を対象としたケーススタディを実施し、良好な研究成果を得た。
- ・ また、自閉症児の社会的交流の機会創出を目指し、デジタルビブス装着前後における交流状況の増加を検証するため、発達障がい児7名を対象としたケーススタディを実施し、良好な研究成果を得た。
- ・ さらに、自閉症スペクトラム障害児を対象とし、装着型表情計測表情の定量化による評価法としての表情尺度について検討を行った。長期計測実験を通じ、世界で初めてポジティブな行動と笑顔表出の関係を定量化することが可能となった。
- ・ ソーシャル・プレイウェア基盤化研究：リハビリテーションへの動機付けを継続させるソーシャル・プレイウェアの実験的研究を行った。特に、先天性腕切断の障害を持つ小児に対する筋電義手訓練の研究を通じ、現場の意見を取り入れながら新たなインタラクションの創出に取り組んだ。ここでは、筋電義手訓練にもソーシャル・プレイウェアの考え方を取り入れて、社会的インタラクションを促進する訓練法の開発で成果を得た。

3. 今後の展開

このように、複数人によるインタラクションに着目し、「ソーシャル・プレイウェア」と名付けた一連のデバイスによる新しい社会的交流の機会創出に挑戦してきた。これは可能な限り簡便でかつ多くの人々に利用可能なデバイスを導入し、人と情報環境の調和のために応用するという目標を定めて大きく発展させつつある。本研究成果により、これまで質の評価が行われて来た分野において、「接触の計量」「表情の定量化」を通じた新たなインタラクションの評価手法の構築も可能になってきている。そこでこれまで得て来た情報工学的な成果に基づき、臨床発達心理学・特別支援学校・発達小児医学の研究者と連携しながら当該技術の深化と新たな療育ツールの展開を進めて行きたいと考えている。

さらに、研究者のみによるチームでなく、特別支援学校、医療機関、実証研究拠点、特定非営利活動法人からなる実証拠点を共同研究チームとして、一体的に研究を推進する重要性を明確にした。新技術開発とともに療育現場応用を目指してきた本研究では、早期から研究者のみならず現場の支援者とともに協働することで、その後の社会実装が大きく伸展することがわかった。このように、基礎研究の結果を統合しながら、病院、発達障害研究所、発達障害者支援センター、児童発達支援施設、保育園、学校などで活用してもらい、エビデンスにもとづいた社会性機能障害への実践的成果を上げていきたい。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

- ・本さがけ研究の大きな成果は、社会性行動に困難のある発達障がい児を対象とし、装着型デバイスによる生体拡張技術や情動計測といった人工物の介入による社会性形成支援が可能になることを、世界に先駆けて見出したことである。
- ・本さがけ研究の成果が認められ、国内学会及び国際学会の招待講演が増え、本分野のトップランナーの一人として注目されるようになっただけでなく、特別支援教育やリハビリテーション分野などでの公演が増え、学際的研究を実践する研究者としての飛躍につながった。
- ・本さがけ研究の成果により、人々に親和的な物理世界と情報環境の結合を目指し、発達支援や特別支援教育といった実世界での出口を見据えた発達心理学・医学との共同研究に発展し、JST CREST 事業への応募・採択に至り、研究者としての飛躍につながった。
- ・本さがけ研究領域内で交流の成果(寺澤洋子研究者)が企業や他大学との新たな共同研究に発展し、研究者としての飛躍につながった。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究では、グループ行動支援のための身体運動検知・記録・光提示技術を開発し、人々の社会的交流を導くための「ソーシャル・プレイウェア」に適用した。また、その効果を広汎性発達障がい児を対象とした実証実験で確認している。例えば、子ども達が輪になって手を繋ぐと手首に装着したデバイスが発光するサービスなどは、子ども達にもわくわく感があり、見ていて心温まるものがある。こうした研究は情報技術としては興味深いのが、適用先にとってはテクノロジープッシュになりがちである。そのため本研究では、臨床発達心理学や発達小児医学の研究者と連携し、特別支援学校を場として進めた。適切な情報環境により発達障がい児の社会性形成支援が可能になることを示し、情報技術のみならず発達障がい専門とする国際ジャーナルにも発表している。情報科学と臨床医学の境界領域で、双方に認められる成果を生み出すことは容易なことではなく、研究者の姿勢と努力は高く評価されるべきものである。また、この成果に基づき JST CREST 事業に採択されるなど、さらに研究が発展しつつある。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Gruebler, A., and Suzuki, K., Design of a Wearable Device for Reading Positive Expressions from Facial EMG Signals, *IEEE Transactions on Affective Computing*, 5(3):227-237, 2014.
2. Shimokakimoto, T., Miura, A., Suzuki, K., bioToys: biofeedback toys for playful and self-determined physiotherapeutic activities, *Artificial Life and Robotics*, 19(2):150-156, 2014.
3. 鈴木 健嗣, 三浦 麻希, 着用型機器を用いた人々の相互作用行動の計測に基づく社会的交流支援, 行動リハビリテーション, 3:2-12, 2014.

- | |
|---|
| 4. Funahashi, A., Gruebler, A., Aoki, T., Kadone, H., Suzuki, K., The Smiles of a Child with Autism Spectrum Disorder During an Animal-assisted Activity May Facilitate Social Positive Behaviors - Quantitative Analysis with Smile-detecting Interface, <i>Journal of Autism and Developmental Disorders</i> , 44 (3):685-693, 2014. |
| 5. 下柿元 智也、鮎澤聡、鈴木 健嗣、運動訓練のための実時間脈波検出と装着型提示デバイスへの応用、 <i>情報処理学会論文誌</i> , 54 (4):1480-1488、2013。 |

(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. 基調講演(Keynote Talk)、「Smile Sharing: Technologies for Facilitating Social Positive Behaviors」、European Conference on Ambient Intelligence、Eindhoven、Netherlands、2014。 |
| 2. 招待講演、「Smiles of children with special needs may facilitate social positive behaviors」RoboBusiness Europe、LEGOLAND、Billund、Denmark、2014。 |
| 3. 基調講演、「行動と情動の理解を目指す行動科学とリハビリテーション応用」、行動リハビリテーション研究会、神奈川、2013。 |
| 4. 特別講演、「ソーシャル・プレイウェア:遊びを通じた社会的交流支援」、子どもの運動シンポジウム、第60回日本教育医学会記念大会、茨城、2012 |
| 5. こども環境学会論文賞、平成26年。 |
| 6. 中日新聞平成25年6月21日1面トップ記事:自閉症小児の笑顔計測(日本神経科学大会・社会的にインパクトの高い研究として選定プレスリリース) |

研究報告書

「福祉機器安全設計のためのマルチモーダル評価情報の統合基盤構築」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成23年10月～平成27年3月

研究者: 硯川 潤

1. 研究のねらい

福祉機器はその高度化・情報化が進む一方で、症状や残存機能が一様でない障害者・高齢者をターゲットユーザとするため、「安全・安心」を設計・評価することが極めて難しく、統一的なアプローチが存在しない。心理・情緒的な要素を考慮する必要のある安全性を評価するためには、量的計測データに加えて主観的・質的な評価情報をも含んだ包括的なアプローチが必要である。福祉機器は、多様な身体・認知特性を有する障害者や高齢者に使用される。使用するのは当事者だけではなく、家族・介護従事者・医療専門職といった中間ユーザが存在する。使用環境も病院・施設・家庭と多岐にわたる。これらの状況をすべて考慮し、適切な評価プロトコルを策定することは、例え「福祉工学」の専門家であっても極めて難しい。まして、専門外の工学系研究者・企業開発者が、実験模擬環境で取得する評価測定データは、質・量ともに不十分である場合が多い。

そこで本研究では、福祉機器開発の各プロセスにおける様々な評価情報の長期的な収集・蓄積と、その統合的な処理・解釈を支援することで、機器の安全設計・評価を促進するための基礎的指針を構築する。質的アプローチによる生活状況やニーズの深い理解と、実使用環境から収集される測定データの定量性・客観性とを有機的に統合させることができれば、安全・安心という極めてあいまいな概念を評価するための強力なツールになると考える。

以上の目的を達成するために、本研究では以下の項目の達成を目指した。

【研究テーマ A】: ライフログプラットフォームを用いた実環境での臨床評価データ収集手法の構築

多様な福祉機器に加速度センサなどのプローブを複数実装し、利用動態を網羅的に計測する「ライフログ」を臨床評価に導入することを試みる。臨床評価のエンドポイントをあらかじめ設定せず、網羅的に取得したライフログの対照群との比較から、新機器導入におけるアウトカムをボトムアップ的に同定することで、生活の質の変化など既存指標で測定しにくいアウトカムの定量化を目指す。

【研究テーマ B】: 専門職による福祉機器適合プロセスの定量解析

福祉機器の適切な評価のためには、リハビリテーションに関わる医療・福祉専門職がどのような視点で機器と人との適合を実現しているかを解明する必要がある。そこで、専門職による機器の適合プロセスを記録・分析し、多職種連携の数値的特徴から、適合プロセスのあり方を議論する。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究課題では、福祉機器の安全設計を支援するための臨床評価手法の構築を目的とし



図2 シニアカーに実装した WELL-SphERE システム a) 全体図, b) 操作ログ取得モジュール固定位置

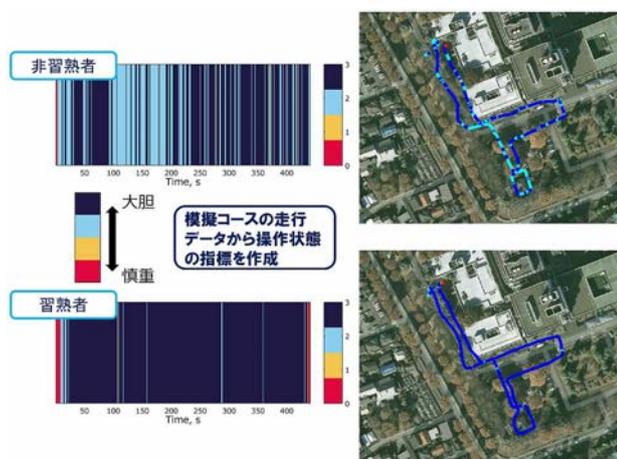


図3 電動車椅子の操作ログから推定した操作の慎重さ

り、例えばハンドル操作角度誤差は 0.0 ± 0.6 deg という高い精度を達成できていた。以上より、開発したシステムは多様なモビリティ支援機器に汎用的に適用可能であることが分かった。

■ライフログの解釈と得られる情報

本ライフログシステムでは臨床現場で簡易に実装可能であることを最優先してセンサユニットを設計しており、ログの精度を向上させる手法が必要となる。そこで、電動車椅子のジョイスティック操作角度を中心に、可能な限り有用な情報を抽出するためのアルゴリズムを開発し、検証実験を通してそれを最適化した。その結果、3種類の補正手法を提案でき、各手法のパラメータを最適化したところ、有意な精度向上を確認できた。さらに、電動車椅子走行中の多次元センサ情報を縮約し、走行状態・操作状態に関する複数の状態推定を実現するためのデータ解釈手法を構築した。例えば、路面の段差や粗さを、加速度センサやジャイロセンサの出力値を組み合わせることで、統計的に判別できた。また、図3に示したように、標準コースの走行ログから作成した基準値にもとづき、操作者の慎重さを定量化することにも成功した。

このように、ライフログから網羅的に評価情報を抽出することで、従来は主観的な指標に頼ることが多かった福祉機器の臨床評価に、汎用性のある定量アプローチを導入できたことは意義深く、先進的な福祉機器実用化に資する技術を構築できたと考えられる。

【研究テーマB】

リハビリテーション専門職による福祉機器適合プロセスを記録し、内容分析の手法を用いてプロセス分析を行い、複数セッティング間での特徴比較を行った。協力を依頼した更生相談所において、仮想の相談者を対象とした電動車椅子の模擬的な処方業務を、動画にて記録した。模擬処方には各更生相談所の実スタッフが参加し、実際の業務フローにもとづいた処方プロセスを再現した。仮想相談者として、車椅子の実ユーザである障害当事者（頸髄損傷・C4）に協力を依頼し、全ての事例で同一の相談者への処方作業を記録した。

分析時には、記録した動画から、仮想相談者とスタッフ間の会話を抽出し、意味のある最小単位を切片として区切った。各切片には、その評価内容に応じて以下の5カテゴリから成る特徴ベクトルを付した。

i) 話者 (社会福祉士:SW, 理学療法士:PT, 相談者:CL, 販売業者:PV, 医師:DR, 看護師:NS, リハエンジニア:EG)

ii) ICF 区分 (心身機能, 身体構造, 活動・参加, 環境因子, 個人因子)

iii) 質的分析で定義したカテゴリコード 2) (基本情報, 機器へのニーズ, 現在の車椅子の情報, 生活機能, 生活環境, 身体への調整, 適合, 書式への記録, 制度, 使用の支援)

iv) 時間区分 (過去, 現在, 未来)

v) 情報の入出力関係 (処方者への入力, 相談者への出力)

特徴ベクトルの各要素は 2 値として、同一カテゴリ中では最もあてはまる一項目のみが 1 となるように定義した。

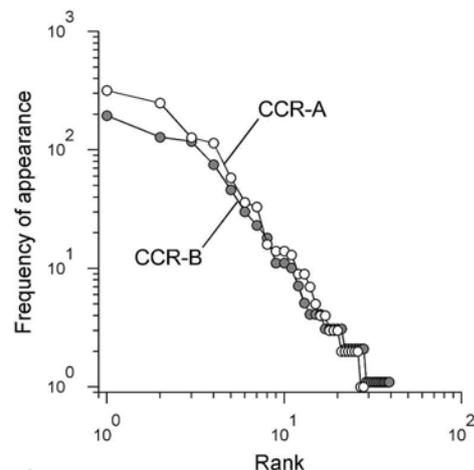


図 4 特徴ベクトルグループの頻度順位分布

以上の分析から、専門職による福祉機器の適合プロセスには以下のような特徴がみられることが分かった。

- ・特徴ベクトルグループの頻度順位分布はべき乗則に従い(図 4)、環境因子, 活動・参加, 心身機能の現状を把握するための切片の出現頻度が支配的である。これは、専門職間で共通した項目に言及している一方で、取得する情報の種類に職種ごとの分担が存在していることを示唆している。

- ・時系列的に近接した領域では、同質の情報が異なる専門職によって反復して確認される。特に、± 4 項目程度までは同種の項目が出現する確率が高くなる。適合プロセスにおいて、微視的には同種の話者が話者を変えて反復される傾向にあることが示唆された。

- ・プロセス全体を見ると、取得される情報に重複はなく、新種の評価情報が偏りなく分散されているが、医師の診察では他のスタッフに取得された情報の再確認が主となる。多職種連携の核として医師が存在し、多様な職種からの情報が集約されていく様子を、定量的にも確認できたと考える。

このような知見は、質的な分析で指摘されていたものと一致しており、定量性を加え、異なる組織間での共通点を抽出することで、より確度の高い分析を実現できたと考える。

3. 今後の展開

本研究で構築したライフログプラットフォームは、今後福祉機器の臨床評価の支援基盤として国立障害者リハビリテーションセンター研究所内にて継続的に運用する予定である。近年、ロボ

ット技術を活用した支援機器の開発が盛んであるが、本研究で得られた成果を導入することで、適切な効果の計測が可能になると考える。特に、QOL の改善や安心・安全といった心理的効果など、従来の評価手法では見過ごされがちだったアウトカムを定量的に評価できる点で、ユーザビリティの高い機器開発に寄与できる。

また、専門職による適合プロセスの定量分析手法は、リハビリテーションの臨床現場における高度な暗黙知を形式知化するナレッジマネジメント研究として、今後も様々な場面に展開可能である。専門職の臨床経験に裏打ちされた知見を一般化できれば、リハビリテーションや機器適合の均霑化を促進でき、人材育成などにも活用できる。学術的には、リハビリテーションのプロセス分析に質的・量的の融合的アプローチを導入できたことが重要な成果であると考えており、今後もナレッジマネジメント手法として発展させていく。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

障害者のリハビリテーションに特化した国立研究機関の職員として、現場における課題解決に速やかに反映可能な技術構築を心掛けた。福祉機器の臨床評価に関しては、研究開始時から今日に至るまで、開発プロセスのボトルネックの一つとして認識されており、汎用的な定量アプローチを提案・試用・検証できた意義は大きいと考える。また、専門職の適合プロセス分析については、3年半という比較的長期の研究期間を活かし、複雑な臨床現場の現象を緻密に紐解き、独創的な分析結果を得られた。いずれの成果も、リハビリテーション研究を担うナショナルセンターのミッションとしても重要な課題に先鞭をつけることができ、リハビリテーションの質向上に資するものであると考える。

一方で、現実的な課題解決に焦点を当てるあまり、学術的な展開については一部に課題を残した。例えば、ライフログの解釈手法や精度向上のアルゴリズムなどについては、より一般的な応用を志向した研究の進め方も考えられたはずであり、今後の課題としたい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、福祉機器の安全・安心に関わる評価方法を、量的評価と質的評価の双方を含むものとして確立する試みである。福祉機器は、技術シンポにより高機能化が可能となる一方で、様々な身体的・心理的状況にある障害者や高齢者をユーザとするため、ユーザビリティの評価が重要であるが、確立された方法はなかった。そこで本研究では、長期にわたる観測を実現するために、電動車椅子を対象としたライフログシステムを開発している。また、リハビリテーション専門職による福祉機器の適合プロセスを記録し、専門職が収集する評価項目が集約されていく様子を明らかにしている。こうした研究を進める基礎が採択時に備わっていたとは必ずしも言えないが、自らが車椅子利用者であることによる一人称的視点と、工学者としての客観的視点の双方を持ち、妥協なく福祉機器のあるべき姿に迫ろうとした研究姿勢は評価できる。福祉機器は今後もさらに必要性が高まる分野である。研究を継続し、我が国の福祉機器のレベルを、欧米を凌ぐものに高めていくことを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Suzurikawa J, Iwata K, Matsumoto O, Inoue T, "Feasibility Test and Characterization of Wheelchair Everyday Life Log with a Smartphone-Based Electronic Recording Equipment.", Proceedings of 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 502-507, 2014.
2. Suzurikawa J, Kinoshita T, Inoue T, Kamo M, Iida N, Iwamoto K, Matsumoto O, "Evaluation of Changes in Power Wheelchair Maneuver Induced by a Downhill Turning Prevention Control on Cross Sloped Surfaces.", IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng., 7, pp. S184-S186, 2012.
3. 硯川潤, 木下崇史, 加茂光広, 飯田教和, 岩田拓也, 松本治, 井上剛伸, "簡易形電動車いすのための片流れ検知・軽減走行技術による操作量変化の予測モデル構築.", ライフサポート, 24, pp. 128-134, 2012.
4. 崎山美和, 硯川潤, 中村美緒, 久米洋平, 河上日出生, 井上剛伸, 新規性の高い福祉機器のリハビリテーション専門職による初期試用評価の特徴分析, 日本生活支援工学会誌, in press.

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 1件

1.

発 明 者: 硯川潤

発明の名称: 操作状態計測システム、操作状態計測方法、及びプログラム

出 願 人: 国立障害者リハビリテーションセンター

出 願 日: 2012/10/26

出 願 番 号: 特願 2012-236589

(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)

【査読付きプロシーディング】

Komoto K, Suzurikawa J, "Feasibility Test and Characterization of Wheelchair Everyday Life Log with a Smartphone-Based Electronic Recording Equipment.", Proceedings of 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 176-181, 2012.

Komoto K, Suzurikawa J, "Estimation Method of Wheelchair State during Joystick Operation Using WELL-SphERE.", Proceedings of the 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 2499-2502, 2013.

【招待講演】

硯川潤, "小さな親切? 大きなお世話? -車いす研究者の福祉機器開発よもやま話-", 日本機械学会イブニングセミナー(第148回), 2012-4-25, 東京.

硯川潤, "福祉機器の開発・評価支援手法.", かながわロボットミーティング I 「介護・医療ロボット」フォーラム, 2013-10-23, 海老名, 神奈川県.

硯川潤, “ユーザー視点から構想する技術開発のあり方ー福祉機器開発の場合.”, コミュニティ工学フォーラム 2013, 2014-02-08, 名古屋.

【書籍】

硯川潤, “3.1.2 生活支援機器.”, ヒトの運動機能と移動のための次世代技術開発～使用者に寄り添う支援機器の普及へ向けて～, 株式会社エヌ・ティー・エス, pp. 281-288, 2014.

研究報告書

「複合階層モデルを用いた都市エリアシミュレーションの開発と利用 方法の確立」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: 山下 倫央

1. 研究のねらい

近年、スマートグリッドやスマートコミュニティといった都市機能を連携して扱う取り組みが盛んになり、実施する施策が都市全体に与える影響を俯瞰するためのツールとしてのシミュレーションモデルが求められている。しかし、社会システムの最小構成要素である人間の意思決定メカニズム自体が物理モデルに比べて複雑なため、一般モデルの構築が進んでいないことや、意思決定に関して実験室的状況と実際の場で大きく異なることが物理モデルに比べて起きやすいことが原因となり、社会システムの振る舞いの正確な予測を困難にしている。

シミュレータを施策の評価ツールとして用いる場合には、多数のパラメータによってエージェントや環境を詳細に記述し、特定の社会現象を完全に再現することだけではなく、ある程度の正確性を持って社会現象を再現した上で、施策の与える影響を網羅的に把握することも重要である。

本研究では、各主体の物理的な移動モデルと業務プロセスモデルといったマイクロモデルに基づいて、数千人～十万人規模のマクロモデルを構築する複合階層モデルの開発をおこなう。モデル化の対象としては、大規模イベント時の来場者や大規模災害発生時の避難誘導を取り上げる。計算速度と再現精度のトレードオフを考慮しつつ、計測したデータとモデルのパラメータ、また、マイクロモデルとマクロモデルをリンクさせることができる連結アルゴリズムを開発し、シミュレータとして実装する。さらに、効率的なシミュレータの利用方法として、数万から数十万通りのシミュレーションの試行結果に基づく網羅的な分析手法を開発する。これらの要素技術を統合して、大規模な人間活動を対象としたシミュレーションモデルの開発とその利用方法の確立を目指す。

本研究では単なるモデルの開発・シミュレータの実装に留まらず、実際のフィールドにおける技術の適用も重要視する。また、単なるシミュレーション技術の開発に留まらず、実際のフィールドでのモデル構築やパラメータの同定に必要なデータの計測を行う。フィールドを管理・運営する組織との連携を行い、シミュレーション技術、計測技術、情報配信技術を投入して、群集流動の制御・管理における問題の把握・解決策の構築を行う。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、下記の研究テーマ A から D までを扱い、これらの要素技術を統合して、都市規模での人間活動を対象としたシミュレーションモデルを開発し、その運用方法を確立した。以下にその内容を示す。

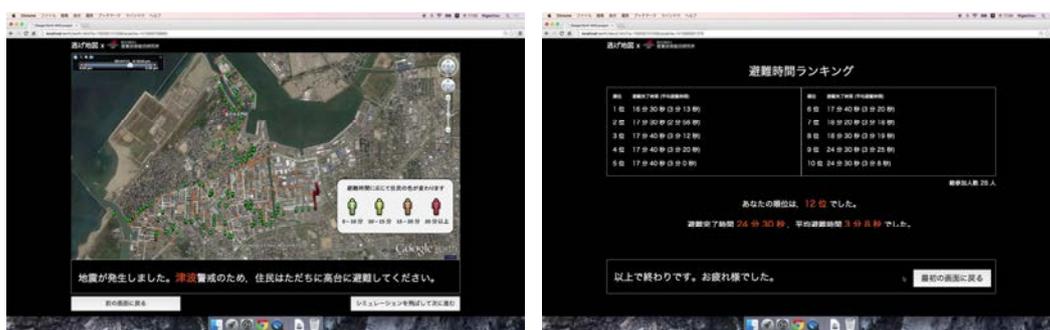
(2) 詳細

研究テーマ A 「複合階層モデルの開発」

歩行者が移動する空間を一次的に表現した次元歩行者モデルを提案した。二次元平面上での近傍の歩行者を探索したり、移動方向を決定する計算過程を省略しているため、多数の歩行者の挙動を高速に計算することが可能とした。避難完了時間の短縮要因の検討をシミュレーションの対象として取り上げ、高速計算を生かして得られた多数の試行結果に対して重回帰分析を適用することで、各避難条件の影響力を定量的に把握することを可能とした。【論文 1】

追従モデルや密度モデルより再現精度は下がるものも高速に計算することができる期待密度モデルを提案して歩行者シミュレータ CrowdWalk に実装し、その有効性を確認した。歩行者の移動速度を決定する追従モデルや密度モデルでは 1 シミュレーションステップは 0.1 秒から 1.0 秒に設定している。この設定では歩行者数が数十万人に増加した場合、歩行者の移動の計算時間が増加する。そこで、1 ステップに対応する時間を延伸して、歩行者の移動を高速に計算可能な期待密度モデルを提案した。期待密度モデルでは歩行者間の相互作用ではなく、各リンクの歩行者の通過量を見積もり、その量から各リンクでの移動速度を算出するという場ごとの速度を算出するというラグランジ的なアプローチを採用して高速計算を実現した。【論文 2】

これらの研究成果を実装した歩行者シミュレータ CrowdWalk を利用して、一般市民向けのシミュレーション展示にも取り組んでいる。金沢 21 世紀美術館「ジャパン・アーキテクツ 3.11 以後の建築」の逃げ地図プロジェクトの一部として 2014 年 11 月から 2015 年 5 月まで石川県金沢市大野町を対象とした避難シミュレーションを展示している。図 1 にシミュレーションのスクリーンショットを示す。この展示では来場者が避難条件を選択することが可能であり、避難条件に応じた避難者の動きが Google earth を利用したビューアで確認できる。結果は、全避難者の避難完了時間と平均避難完了時間に基づいて順位が表示される。【成果 7】



(a)避難シミュレーションの画面 (b)結果表示画面

図 1 金沢 21 世紀美術館で展示されている避難シミュレーション

研究テーマ B 「連結アルゴリズムの開発」

ステレオカメラで計測した歩行者群の移動データを基に、計測範囲内の歩行者密度から速度を導出する関係式の精緻化を行った。避難経路の道幅が狭くなる集中流において、密度に

基づく歩行速度モデルと歩行速度の標準偏差モデルを構築した。【論文 3】

研究テーマ C「網羅的な分析方法の開発」

多くの歩行者を的確に誘導するための計画を立案支援するために、クラスター環境において網羅的分析を容易に実行可能なシミュレーションコントローラ PRACTIS を開発した。網羅的分析では、シミュレーションの中で扱われるいくつかのパラメータに対して複数の取りうる値を設定し、その全ての組み合わせの設定に対してシミュレーションを試行する。そして、各パラメータの違いがシステム全体の挙動に与える影響を検証し、システム全体としての傾向を把握する。神奈川県鎌倉市材木座付近の津波避難を網羅的分析の対象として取り上げ、約 10 万通りの避難経路の重複パターンを比較した。【成果 3】

研究テーマ D「問題解決に向けた情報配信技術の適用」

申請時には研究課題として挙げてはいなかったが、群集流動の制御に向けた情報配信を関門海峡花火大会において行った。

同じ領域のさきがけ研究員の荒巻英二先生(京都大学)の提供する 100 人マップをベースとした図 2 に示される混雑情報配信ウェブサイト「じーもの花火混雑マップ」(※「じーも」は北九州市門司区のキャラクタ)を用いて、収集した混雑状況の配信を行った。

西日本工業大学 岩田敦之先生と連携して、大型プロジェクトで近隣施設に経路情報を射影するガイドプロジェクションをおこなった。図 3 に示されるガイドプロジェクションでは、1 行 15 文字程度で 3 行の文字情報を建物の壁面に投射し、経路情報やイベント情報の提供をおこなった。これらの情報配信技術がトラブルなく運用可能であることを確認すると共に、運営者・来場者に好評を得ることができた。【成果 6】



図 2 混雑情報配信ウェブサイト「じーもの花火混雑マップ」のスクリーンショット

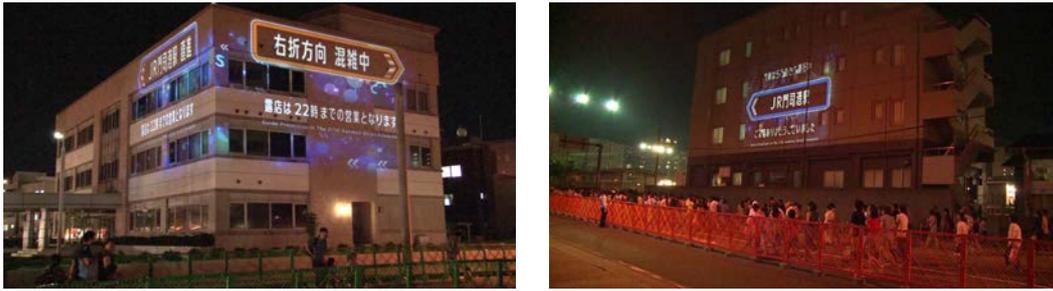


図3 ガイドプロジェクションの実施状況

その他の研究成果

避難シミュレーションの開発・適用の成果が評価されて、日本地震工学会の会長特別委員会「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会」や研究委員会「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会」の委員となった。

さらに、内閣府の創設した SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな防災・減災機能の強化」における「巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発」(代表者 工学院大学 久田嘉章 教授) に北千住エリアと新宿エリアの群集流動のシミュレーションを担当する研究分担者として参加している。

3. 今後の展開

本研究では、都市規模での人間活動を対象としたシミュレーションモデルを開発し、その運用方法を確立することで、非常時の避難行動や平常時の大規模誘導といったことを扱うことができるようになった。今後の課題としては、シミュレーションを適用するオペレーション全体の期間短縮が挙げられる。

外部機関と連携して、シミュレーションを避難誘導や雑踏警備の計画策定支援に用いる場合、シミュレーションを適用可能な期間は短く、三か月程度であることも多い。何も決まっていないとシミュレーションを行うことができないし、計画の全ての項目が確定した後では、単に計画の評価を行うだけとなり、シミュレーション結果を還元することができない。そのため、短期間でシミュレーション結果を出す必要がある。

そこで、本研究の今後の展開としては、シミュレーションの計算時間の短縮だけではなく、シミュレーションを適用するオペレーション全体の期間短縮による機動的な運用を目指す。そのためには、1. シミュレーションに用いるデータの標準化、2. 編集が容易な行動モデル、3. パラメータ調整の自動化、4. 分析方法の類型化が必要であると考えている。

1. シミュレーションに用いるデータの事前準備

歩行者シミュレーションを稼働させるには、歩行者の移動可能な領域を示す地図データ、歩行者の発生場所と目的地といった歩行者データ、災害発生時の避難であれば、津波や浸水、延焼といった災害データが必要になる。それぞれのデータに関して、入手にかかる時間を事前に把握しておく必要がある。

2. 編集が容易な行動モデル

シミュレーションの対象に合わせて、新たな行動モデルをゼロから開発し、実装することには

時間がかかってしまう。そのため、過去に構築したモデルを軽微な修正で、別の行動を表現可能とする自由度が高く、避難や大規模誘導において多くの行動を表すことのできる行動モデルが必要とされる。

3. パラメータ調整の自動化

実際の移動データ等を計測していた場合には、シミュレーションモデル構築後にパラメータの調整を行い、現実の状況を再現する必要がある。そのため、どのパラメータを調整すれば事前に把握しておくことが重要である。また、実データを持っている場合には、データ同化には通常時間がかかるため、ある程度の自動化を行うことができるモジュールをしておく必要がある。

4. 分析方法の類型化

津波避難であれば全員の避難完了時間や平均避難完了時間というように求められるシミュレーションの結果がある程度定型化している。そのためいくつかのシミュレーションの利用シーンを想定しておくことが必要である。各シーンにおいて求められるシミュレーション結果の分析方法を事前に用意しておき、すぐに出力可能としておくことが重要である。

これらの項目に関して研究を進め、機動的なシミュレーションの適用が可能となれば、シミュレーションの利用可能な状況が飛躍的に増えることが期待できる。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

本研究では、都市規模での人間行動を対象とした群集流動のシミュレーションモデルを開発し、運用方法を確立することを目指してきたが、歩行者シミュレータの機能実装、実データのモデルへの還元、シミュレーションコントローラの開発とその応用を行うことで達成することができた。また、シミュレーション技術に加えて、混雑情報の配信やガイドプロジェクションといった誘導手法を提供し、群集流動の制御に向けた現実的なアプローチを行うことができた。シミュレーションをベースとした誘導支援によって、安全・安心で効率的な流動制御の実現可能性を示すことができたことは社会的に意義が高い。群集流動の誘導支援の社会実装をさらに進めるための今後の課題としては、機動的な運用方法の開発が挙げられる。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、混雑の回避や避難の誘導などのための施策が与える影響を、シミュレーションにより明らかにすることを目的としている。これまでの交通シミュレーションなどとの違いは、高並列なクラスタ環境やモバイル環境の著しい発展を取り込み、市民が参加できる施策の評価やデザインを指向している点である。各人のマイクロモデルと数万人規模のマクロモデルをリンクさせる連結アルゴリズムを開発したことも新しい。計算量を抑えるための一次元歩行者モデルや、歩行者密度から速度を導出する関係式の精緻化などの技術的進歩も見られる。シミュレーションパラメータの組み合わせを網羅的に生成し分析することで、最適な施策のデザ

インにも迫ろうとしている。多くの実証実験に参加し、技術を確認しながら研究を進めた点も評価できる。東京オリンピックに向けて実用的な大規模シミュレーション技術を世に送り出し、社会に貢献することを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. 山下 倫央, 副田俊介, 大西 正輝, 依田 育士, 野田 五十樹. 一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用. 情報処理学会論文誌, 2012, Vol. 53, No. 7, pp.1732-1744.
2. 山下 倫央, 岡田 崇, 野田 五十樹. Implementation of Simulation Environment for Exhaustive Analysis of Huge-scale Pedestrian Flow. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration. 2013, Vol. 6, No.2, pp137-146.
3. 野中 陽介, 大西 正輝, 山下 倫央, 岡田 崇, 島田 敬士, 谷口 倫一郎. 大規模な避難シミュレーションのための歩行速度モデルの精緻化. 2013, 電気学会論文誌C, Vol. 133, No. 9, pp.1779-1786.
4. 山下 倫央, 松島裕康, 野田五十樹, Exhaustive Analysis with a Pedestrian Simulation Environment for Assistant of Evacuation Planning, The Proceedings of the Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics 2014 (PED 2014), Vol. 2, pp. 264-272, 2014 年

(2)特許出願

なし

(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. 受賞:優秀論文賞(2012), 山下倫央、岡田崇、野田五十樹, 大規模群集流動の制御に向けたシミュレーション環境の構築, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS(Joint Agent Workshop and Symposium) 2012
2. 受賞:優秀ポスター賞(2013), 山下倫央, 人の流れの計測とシミュレーション, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS(Joint Agent Workshop and Symposium) 2013
3. 山下倫央, 大西正輝, “オリンピックにおける人の流れの解析,”情報処理(特集:オリンピックのための情報処理), No.55, Vol. 11, pp. 1189.1195, 2014 年
4. 山下倫央, 野田五十樹, “避難シミュレーションの実社会への応用,”情報処理(特集:マルチエージェントシミュレーション), No.55, Vol. 6, pp. 572-578, 2014 年
5. 山下倫央, 荒牧英治, 宮部真衣, 岩田敦之, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹. 大規模群集流動の制御に向けた統合支援サービスの提案, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS(Joint Agent Workshop and Symposium) 2014
6. 出展:逃げ地図シミュレータ(2014), 金沢 21 世紀美術館「ジャパン・アーキテクツ 3.11 以後の建築」(2014 年 11 月-2015 年 5 月) 逃げ地図プロジェクトの一部として