

「情報環境と人」研究領域 領域活動・評価報告書
－平成25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： 7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) 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/info666/shiryou4.html>)の他、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名が分担して各申請の書類査読(書類審査)を行い、51件(申請全体の1/2)を選定した。次に、書類選考会議においてアドバイザー全員が一堂に会して議論を行い、26件(申請全体の1/4)を面接対象とした。書類選考会では、査読結果に大きな評価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、男女雇用参画の多様性の観点を踏まえた議論をした。2日間に亘る面接および総合選考の結果、最終的に採用候補課題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	106件	26件			12件

()内は大挑戦型としての採択数。

備考:

1)平成22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。

・荒牧英治研究者、城戸 隆研究者、寺田 努研究者、三木則尚研究者

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/index.html>.)

・館 知宏研究者

大挑戦型として採択され、期間延長審査の結果、2年間延長することが決まったため。

5. 研究実施期間

平成 22 年 10 月～平成 26 年 3 月(3年型)

6. 領域の活動状況

1) 領域会議: 11 回 (うち、2 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 回はさががけ「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)

2) 研究報告会: 2 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 インタラクシオン 2014 と連携開催

テーマ: ～突き抜けるさががけ研究の成果から～ にてデモ・実演も合同実施

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 さががけ&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 回目のテーマ: ～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 さががけ&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 回目のテーマ: ～情報が拓くヘルス&ウェルネス～ 体験型デモ・展示

4) 研究総括(技術参事)の研究実施場所訪問: 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。

・城戸研究者: 理研ジェネシス株式会社(塚原代表取締役社長、河原取締役 COO)を訪問 11/30

・荒牧研究者: 東京大学 堀井教授(知の構造化センター長)を訪問 10/21

・館 研究者: 東京大学 加藤教授(生活文化研究科学科長)を訪問 11/30

・三木研究者: 慶応大学 澤田教授(機械工学科学科長)を訪問 12/16

・塚田研究者: お茶の水女子大学 河村副学長を訪問 12/20

・大澤研究者: 国立情報学研究所 山田教授を訪問 12/20

・高野研究者: 東京大学 中村教授を訪問 01/05

・中澤研究者: 大阪大学 竹村教授(サイバーメディアセンター長)を訪問 02/01

・寺田研究者: 神戸大学 塚本教授(領域アドバイザー)を訪問 02/01

・森嶋研究者: 筑波大学 植松研究科長、田中知的基盤研究センター長を訪問 02/02

・駒谷研究者: 名古屋大学 佐藤教授を訪問 04/14

・井ノ口研究者: 新潟大学 間瀬教授(災害・復興科学研究所)を訪問 04/19

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 インタラクシオン 2014 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 1 月	第 9 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 26 年 1 月	研究成果報告会開催(情報処理学会主催のインタラクション 2014 と連携開催) (研究成果発表およびデモ・展示) インタラクション 2014 ならびに一般参加者、および領域関係者からの質問討議
平成 26 年 3 月	研究報告書提出
平成 26 年 3 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

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7名の研究者は、将来の情報環境を構築すべく、それぞれに個性に富んだ研究を進めてきた。駒谷氏、高野氏、中澤氏は理論的研究を、大澤氏、塚田氏、森嶋氏は実践的研究をそれぞれ進めた。

なかでも高野氏の運動の記号化に関わる研究は、実用規模のデータの集積と並列処理による実装技術を含み理論研究の域を越えている。また、中澤氏の角膜イメージング法は特許化も行われ、米国の研究プロジェクトで社会実装に用いられる予定である。一方、森嶋氏のクラウドソーシングに関わる研究は、新たな意味論を含むプログラミング言語を提案するなど理論に裏打ちされた実践研究である。このように、理論と実践のウェイトは違うものの、将来の情報環境を目指す研究がその双方に積極的に関わるものとなったことを高く評価したい。加えて特筆すべきは、井ノ口氏の研究である。東日本大震災という未曾有の環境で続けられるアクションリサーチは、他の研究者にとっても大きな刺激となった。

研究成果以外にも注目すべきことがある。それは、今回終了した7名を含む36名のさきがけ研究者が相互に協力し、様々な共同研究や国際ワークショップ・シンポジウムを始めていることである。若い研究者が生涯続く繋がりを形成しつつあることが、さきがけ研究のもう一つの大きな成果だろう。

1. 井ノ口 宗成 研究者「迅速な災害対応のための空間を用いた情報統合技術の確立」

本研究は、その成果を論文で計ることはできない。採択直後に東日本大震災が発生した。直ちに内閣府に緊急地図作成チームを発足させ、279 人日を動員し 500 枚の地図を作成し、災害状況の把握に大きく貢献した。復旧・復興期には、空間情報を取り扱える被災者台帳システムを構築し、現在、岩手県の7つの被災市町村が活用している。さらに、タブレット端末に着目し、災害情報に位置情報を付与して入力できるシステムを開発した。このシステムは、災害現場の支持を得て、福知山市、大島町などで多数の被災家屋の登録に用いられている。さきがけにおいても、防災学あるいは情報学を専門とする若手研究者相互の交流に努めた。「空間を用いた災害情報の統合」という大きな目標に向けた実践的研究に啓発された情報学研究者は多い。培われた研究者間のヒューマンネットワークは、今後の日本の防災に大きく寄与するだろう。

2. 大澤 博隆 研究者「擬人化を利用した人間の認知知能補助インタフェースの開発」

擬人化エージェントのインタラクションに与える影響は議論されて久しい。しかし従来は、擬人化の効果を、社会心理学的に分析したものが主であった。これに対し本研究は、エージェントを実装する工学者の視点で、どの機能要素がエージェントの社会性に影響を与えるかを明らかにしようとしている。即ち、擬人化の要素は分割可能であると捉え、各要素が付与された機器が、ユーザとの間でどのようなインタラクションを可能とするかを分析している。得られた知見は、例えば2軸に限定されたデバイスでも擬人化の効果があるなど、直ちに機器の実装に適用できる。また、機器デザインのニーズから研究を始めることで、新たな研究課題が生まれている。例えば、応答がユーザの信頼を生むような機器を設計するという課題から、ゲーム理論に基づく優れた基礎研究が生まれ最高峰の国際会議に採択されている。このように本研究は、擬人化エージェントという普遍的な課題に対し、これまでにない新しいアプローチで接近するもので、その取り組みは高く評価できる。今後は、蓄積された多くの分析結果を整理し、体系化していくことを期待したい。

3. 駒谷 和範 研究者「発話行動の階層的理解に基づく相互適応型音声インタラクション」

本研究は、これまで音声認識技術に頼ってきた音声対話の理解を、発話行為の分析技術を加えることによって、大きく前進させようとする試みである。そのために、音声対話を社会レイヤ、言語レイヤ、信号レイヤに階層化し、これまで研究の対象となり難かった社会レイヤに着目し、システムの話しかけられやすさを評価・向上させる技術を開発している。また不適切なターンテイキングを検出することで誤分割された発話断片を結合し、正しい発話区間を得る手法を開発している。さらに人のシステムに対する同調行動に着目し、音声認識が容易な語彙に発話を誘導する技術も提案している。このような、人の発話行為を分析することで音声対話の理解を進める研究には新規性があり、その方向性は高く評価できる。今後も、ヒューマノイドロボットとの対話など、将来の情報環境での音声対話を現実のものとするよう、研究を継続していくことを期待する。
4. 高野 渉 研究者「行動の記号化を基盤とした身振り・言語を通じてコミュニケーションするロボットの知能設計」

人間の身体運動を記号として解釈し、自然言語を用いてロボットの運動を生成することを目指した研究である。本研究の特徴は、理論に裏付けられた大規模な実装にある。まず、身体運動の記号化では、465個の運動記号を学習するシステムを構築し 88%の認識率を達成している。また、その学習のために、クラウドソーシングを活用して 6 万件の運動アノテーションデータを収集している。さらに、並列計算によってリアルタイムで運動を認識できるシステムを構築し、320プロセスの実装で100倍の性能向上を達成している。こうした成果は、従来の理論研究とは一線を画すもので、実際にロボットを自然言語で制御する突破口を開くものとして高く評価できる。今後は、急速に発達するウェアラブルコンピューティングとの接点を探りつつ、人とロボットの共生社会を実現していくことを期待したい。
5. 塚田 浩二 研究者「実世界コンテンツを創造/活用するためのミドルウェア」

生活環境でのコンテンツ生成と利用を加速するために、生活そのものをデジタル化して記録する衣食住ライフログと、生活の中で情報提示を行う衣食住ディスプレイの開発を行っている。衣食住ライフログは、ユーザーの日常生活での行動を契機に無意識のうちに情報収集を行うもので、情報を記録するための負担が小さい。但し、記録対象が顔や服など品質が重要となる場合にも、最小限の手間で高い品質の記録を可能としている。一方、衣食住ディスプレイは、スマートフォンやタブレットなどの汎用端末とは発想が異なり、日用品の利用を情報の提示機会と捉えるもので、生活習慣の改善などに繋がる可能性を持つシステムである。また、こうしたシステムの実装を支援するミドルウェア「MobiServer」を構築し、さまざまなプログラミング言語から利用可能としている。さらに、情報／電気／構造の融合に着目した新しいツールキットの取り組みを進めている。これらの研究は、デジタルアプリケーションの普及と呼応するもので、研究者の才能を核とした市民参加のものづくりへと発展することを期待したい。さががけ期間中にイグノーベル賞を受賞したことも、研究に彩りを添えている。
6. 中澤 篤志 研究者「広領域・非装着型視線検出技術の開発」

本研究は、角膜イメージング法を用いて注視点検出技術の開発を行い、理論的にも実際的にも注目すべき成果を上げている。角膜イメージング法は、採択当時は余り注目されていなかったが、研究者の努力もあり、今日では広く知られる技術となった。本研究では、まず、多数の赤外 LED のスポット光を壁に投影し、その角膜反射から注視点を解析的に判別するシステムの開発に成功している。次に、一連の角膜反射画像を解析し、画像を複数組み合わせ高解像なシーンを復元することに成功している。特筆すべきは、本研究が一貫して乳幼児の心理状態の推定を目的に行われたことである。乳幼児の発達障害の早期発見・理解という社会課題を掲げつつ、基盤的な技術が研究され、国際特許の申請に至ったことを高く評価したい。今後も研究が継続され、ウェアラブルコンピューティングなどへの適用が行われることを期待したい。
7. 森嶋 厚行 研究者「人と計算機の知の融合のためのプログラミング言語と開発環境」

本研究では、クラウドソーシングを対象とするプログラミング言語 CyLog とプラットフォーム Crowd4U を考案・開発している。プログラミング言語 CyLog は、従来の論理型言語に人が評価する述語を導入したものである。論理型言語の問題分割能力をクラウドソーシングの高次処理に用いることができるのに加え、ゲーム理論を用いて言語の表現力を理論的に主張していることに新規性がある。一方、クラウドソーシングプラットフォーム Crowd4U は非商用で、大学や国立国会図書館などの公的機関の問題解決に利用が広ま

っている。また、災害時の状況把握への応用など、公共性の高い活動に適用が試みられている。今後の非商用分野での展開に期待したい。さらに、研究成果が最近刊行された当該分野の英文ハンドブックに掲載されていることも高く評価できる。近年、急展開したクラウドソーシング研究に日本の研究者が先鞭をつけた意義は大きい。

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26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	公立ほこだて未来大学 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	産東京大学大学院 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26年3月末現在。

(1) 外部発表件数(研究者本人の主なもののみ)

	国内	国際	計
論文	30	20	50
口頭	73	70	143
その他	29	4	33
合計	132	94	226

(2) 特許出願件数

国内	国際	計
1	1	2

(3) 受賞・表彰・感謝状等(さきがけの研究者主体のものに限定)

・井ノ口 宗成研究者

- 感謝状 京都府福知山市「平成25年台風18号の家屋被害認定調査に対するオンライン調査の手法」(H25.11.22 受賞)
- 感謝状 京都府「台風18号災害における被災者の速やかな生活再建に寄与」(H26.2.4 受賞)
- 感謝状 京都府京都市「平成25年台風18号の家屋被害認定調査から京罹災証明発行に至るまでの被災者支援」(H26.3.20 受賞)

・大澤 博隆研究者

- Best Video Award 1st Prize: 9th ACM / IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (H26.3)
- Best Paper Award 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2012), (H23.3)



3. 優秀論文賞 (一般発表):情報処理学会 第27回ユビキタスコンピューティング
システム研究会 (H22.12)

- ・駒谷 和範研究者
研究会優秀賞 日本人工知能学会 (H23.6)
- ・高野 渉 研究者
優秀論文賞 日本ソフトウェア科学会 JAWS2011 (H23.11)
- ・塚田 浩二研究者
 1. 審査員特別賞 電子工作フェスティバル 2012 (H24.12)
 2. 優秀賞 Mashup Awards 6 リクルート主催 (H22.12)
 3. イグノーベル賞 (Acoustics) (H24.10)
- ・中澤 篤志研究者
 1. 優秀論文賞 情報処理学会 GRAPHICS と CAD 研究会 (H23.11)
 2. 25 年度画像科学奨励賞 コニカミノルタ科学技術振興財団 (H26.1)
- ・森嶋 厚行研究者
2012 年度論文賞 日本データベース学会 (H25.6)

(4)招待講演

国際 11 件

国内 20 件

- ・井ノ口 宗成研究者(国内 2 件)
- ・大澤 博隆 研究者(国際 1 件)
- ・高野 渉 研究者(国際 3 件、国内 1 件)
- ・駒谷 和範 研究者(国際 1 件、国内 1 件)
- ・塚田 浩二 研究者(国際 1 件、国内 14 件)
- ・中澤 篤志 研究者(国際 4 件、国内 1 件)
- ・森嶋 厚行 研究者(国際 1 件、国内 1 件)

「情報環境と人」領域 事後評価実施 研究課題名および研究者氏名

(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26年3月末現在) (応募時所属)	研究費 (百万円)
井ノ口 宗成 (兼任)	迅速な災害対応のための空間を用いた情報統合技術の確立 (新潟大学)	新潟大学 災害・復興科学研究所 助教 (新潟大学 災害復興科学センター 特任助教)	34
大澤 博隆 (兼任)	擬人化を利用した人間の認知知能補助インタフェースの開発 (筑波大学)	筑波大学大学院システム情報工学研究科 助教 (国立情報学研究所コンテンツ科学研究系 特任研究員)	40
駒谷 和範 (兼任)	発話行動の階層的理解に基づく相互適応型音声インタラクション (名古屋大学)	名古屋大学大学院工学研究科 電子情報システム専攻 准教授 (京都大学大学院情報学研究科 助教)	29
高野 涉 (兼任)	行動の記号化を基盤とした身振り・言語を通じてコミュニケーションするロボットの知能設計 (東京大学)	東京大学大学院情報理工学系研究科 講師 (同上)	38
塚田 浩二 (兼任)	実世界コンテンツを創造/活用するためのミドルウェア (公立はこだて未来大学)	公立はこだて未来大学 情報アーキテクチャ学科 准教授 (お茶の水女子大学お茶大アカデミックプロダクションセンター 特任助教)	41
中澤 篤志 (兼任)	広領域・非装着型視線検出技術の開発 (京都大学)	京都大学大学院情報科学研究科 准教授 (大阪大学サイバーメディアセンター 講師)	32
森嶋 厚行 (兼任)	人と計算機の知の融合のためのプログラミング言語と開発環境 (筑波大学)	筑波大学大学院 図書館情報メディア系/知的コミュニティ基盤研究センター 教授 (筑波大学図書館情報メディア研究科 准教授)	42

研究報告書

「迅速な災害対応のための空間を用いた情報統合技術の確立」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 22 年 10 月～平成 26 年 3 月

研究者: 井ノ口 宗成

1. 研究のねらい

近年、我が国では地震災害や豪雨災害といった自然災害が頻発化するだけでなく、その被害は巨大化しており、災害への備えだけでは災害を防ぐことは難しい。ひとたび災害が発生すると多くの人的・物的被害が発生し、行政としては混沌とした状況下で時間の切迫性を受けながら迅速かつ効果的な対応が求められる。迅速な対応を支えるために、災害対応現場においては IT システムの導入が進められ、迅速かつ効果的な対応を支援する仕組みが開発されている。しかしながら、行政の対応方針は現場の被害状況や新しい課題の発生に大きく左右され、統一的な調整が取られていないのが現状である。そのため、IT システムは事前からフレームが決められており、現場対応とのズレから、十分なシステム活用に至っていない。

そこで本研究では、様々な目的のもとで収集、整理された質の異なる情報に対して、効果的な情報の集約・統合を可能とする仕組みを構築し、現場で遂行される災害対応の質を高め、効率性・効果性を高めることを目的とする。情報集約・統合の一般的な手法としては、各種のデータセットに対して共通の項目(主キーと呼ばれる)を設定し、共通の項目が一致するデータ同士を結合する方法がとられる。しかし、災害対応の現場では、ある1つの目的のためにデータを収集・構築することが多く、当初の目的を超え、たとえば部局横断で情報を集約・統合することは困難である。この課題に対して、それぞれのデータが表す空間的な場所の関係性から情報の近さを導出し、関係性の高いデータ同士を集約・統合する仕掛けを構築することを目指す。

一方、災害対応の質を高めるためには「効果的な状況認識の統一」が欠かせないとされている。状況認識の統一とは、災害対応の従事者が配備された期間内に実現すべき事項を記した「現場対応計画」を着実なものとするために、被害発生状況や活動を取り巻く環境、活動に必要な人的・物的資源などを総合的に把握し、関係機関・関係者の間で共有し、お互いに齟齬なく共通した状況認識を実現するものである。この状況認識の統一において空間上での可視化は効果的とされている。先述のように、情報の集約・統合の段階で空間を扱えば、各々の情報は空間情報として扱われることとなる。本研究を通して、空間情報を用いた状況認識の統一は、大規模災害の際にどのような効果を発揮するかを明らかにする。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、被災地の自治体において実際に収集・作成されたデータを対象として、情報集約・統合の可能性を追求することとした。とくに、2011年3月に東北地方太平洋沖地震が発生したことにより、よい広域で複合的な大規模災害である本災害を対象とし、自治体と協働する形で対応のスピード感を持ったまま、現場での実装・検証を繰り返す方法を選定した。具体的

には、主に以下の3つの研究を行なうことで、災害対応現場における情報の集約・統合の実態把握・解決策の検討、ならびに災害対応に対する空間的可視化の効果検証を行なった。

A) 国レベルでの状況認識の統一を目指した空間情報のマッシュアップの実現

本災害は未曾有の災害であり、広域複合災害であったがために、状況認識の統一は非常に難しいと判断された。そこで、発災翌日より内閣府において「緊急地図作成チーム」を発足し、国が対応戦略を決定する上で時系列的にどのような地図を必要とするかを明らかにした。また、各種の情報と専門家の知見を空間上でマッシュアップ(統合)することで、発災直後の状況把握が困難な状況下で、被害状況の推定を行ない、先を読んだ対応の支援を実現した。

B) 県・市レベルでの被災者生活再建過程における状況認識の統一と戦略的対応の実現

A)は緊急・応急期の対応である。災害対応過程では、その後に復旧・復興期を迎える。そこで被災地である岩手県ならびに沿岸市町村を対象として、復旧・復興期の空間情報の活用可能性を追求した。被災者に対する個々の支援を総合的に把握するために「岩手県被災者台帳システム」を構築・実装し、その中に空間情報を取り扱えるような仕掛けを導入した。対応が進む過程で情報が蓄積され、お互いに参照可能な形となる。これにより、被災地における被災者の実態を的確に把握でき、効果的な支援策展開を実現した。また市町村と県が協働する環境を整え、全体としての状況認識の統一を実現した。

C) 現場対応過程における空間情報収集方策の追究

B)を推進する過程での最大の課題は「エクセル等で管理される文字情報(住所情報)から空間情報へ変換するには高い精度を持つことが出来ない」ことであった。そこで、タブレット端末を活用し、現場の災害対応の過程で知り得た情報に対し、即時的に位置情報を付与できる仕組みを開発した。これを平成 25 年台風 18 号・台風 26 号の被災地で実証検証をおこない、その有効性を示した。

(2) 詳細

研究テーマ A:「国レベルでの状況認識の統一を目指した空間情報のマッシュアップの実現」

2011年3月の東北地方太平洋沖地震(以下、東日本大震災)発生を受け、内閣府合同庁舎5号館において、緊急地図作成チームを発足した。3月12日から4月26日まで活動を実施し、のべ279人日を動員し、500枚の地図を作成した。これは、各省庁からあがってくる報告情報に対し、住所や自治体名、地物名などを手がかりに空間情報へと変換し、目的に応じて空間上で集約することで可視化し、国レベルでの状況認識の統一を支えた。災害対応の現場では、実際に発生した被害状況に応じて、利用可能な資源を勘案し、対応にかかる戦略を決定する。本災害では、「実際の被害状況」の把握が非常に困難であった。この状況下で、様々な情報を空間情報として扱い、空間上でマッシュアップすることで、状況の推定を行なった。状況の推定においては、平時から実施している「防災計画策定のための被害発生シナリオ」を参考に、災害発生後に収集されたハザード観測情報(津波潮位、震度分布等)を条件としてシナリオを絞り込み、被災地で起こっている状況を同定した(図1)。本災害では、各機関がウェブ上で空間的可視化を進めていたが、「分かった状況を可視化」にとどまっており「被災地がこうなっているであろう」という推測までは至っていない。本研究を通して、各種情報のマッシュアップならびに

専門家集結により得られた大きな成果である。また、500 枚の地図を目的別に整理し、大規模災害に対する国レベルでの状況認識を統一する際に把握すべき状況を明らかにした(表1)。これは国の災害情報管理に係る方針改定に寄与したと考えている。

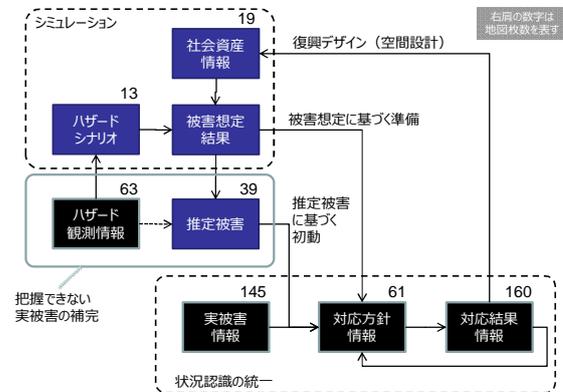


図1 初動対応における推定被害の活用

地図の位置づけ	可視化された内容による地図の分類	枚数	計	
ハザード観測情報	放射能観測状況	63	63	
ハザードシナリオ	原発避難勧告・指示エリア	8		
	東電による計画停電予定状況	5	13	
推定被害情報	建物単位の震度分布図	1		
	原発避難勧告・指示エリア内の建物分布状況	5		
	低標高地域における建物分布状況	33	39	
実被害情報	孤立島の発生状況	31		
	行方不明	3		
	負債者の発生状況	40		
	建物被害	23		
社会資産情報	火災の発生状況	13	145	
	各自治体の人口・世帯数	2		
	65歳以上人口の分布状況	8		
	要援護者受入れ可能施設状況	7		
	衛星写真による被災エリアの実態	2	19	
	輸送拠点と輸送可能性の関係	5		
対応方針情報	県別避難指示の検討資料	1		
	特定被災区域指定の検討資料	1		
	特定被災地方公共団体指定の検討資料	5	61	
	避難所開設状況	8		
災害対応結果情報	安否確認状況	1		
	救助法の適用	8		
	救助法・支援法の適用	3		
	物資調達実施状況	1		
	応援職員派遣状況	2		
	ライフラインの復旧状況	58		
	白地図(対応結果の記録用)	18		
	トレンドリーダーによる災害への社会の影響の可視化	7	160	
	合計		500	500

表1 状況認識の統一に必要な地図一覧

研究テーマ B:「県・市レベルでの被災者生活再建過程における状況認識の統一と戦略的対応の実現」

研究テーマ A の後、東日本大震災の被災地では復旧・復興期を迎え、効果的で確実な被災者の生活再建支援が大きな課題となった。これまでの災害では局所的であったため、被災市町村だけに閉じた支援で十分であったが、東日本大震災では複数市町村が広域にわたって被災し、足並みをそろえ、被災市町村全体として被災者生活再建支援を進める必要があり、県も調整する役割を担った。また、各種の支援はそれぞれに担当部局が決定しており、支援の実態を総合して把握することは困難であった。この課題に対し、被災者への生活再建支援の状況を総合的に管理できる「被災者台帳システム」を設計・開発した。これは、ウェブベースの仕組みとし、どの市町村であっても、統一的な これは 2007 年新潟県中越沖地震に柏崎市で設計・開発した基礎システムを向上的に発展したものである。本システムは個票にて被災者個人・世帯単位で、各部局が進める支援の詳細を管理できる。また、様々な支援内容を統合し条件に基づいた情報抽出も可能としている。さらに本システムではすべての情報に対して空間情報を付与する仕掛けとしている。岩手県との協働により、岩手県にサーバーを設置し、システム運用環境を整えた。現在、沿岸に位置する7つの被災市町村が本システムを活用しており、本報告書執筆時点でも利活用が継続し被災者生活再建支援を進めている(図2)。

本システムは情報管理システムである一方で、空間的な情報集約を可能としている。その成果として、研究テーマ A と同様に被災地の状況の可視化を通して、進捗管理ならびに課題同定を実現した。具体的には、各部局がそれぞれに進める支援状況を空間上で集約・統合することにより、「すべての支援が完了」「一部の支援のみ完了」「まったく支援が進んでいない」を可視化し、当該被災者がどの地域に集中し、その足止め要因は何かを同定する過程を進めた。これにより、被災者生活再建支援を進める上での戦略決定において、「対象者数」「分布状況」「要因把握」の3側面から状況認識の統一を図り、各市町村で実態に即した解決策を検討し、確実かつ迅速な支援へと展開した。

この研究テーマを進めるに当たり、最大の課題は「空間情報が付与されていない情報群に対して空間情報をどのように付与するか」である。一般的には「住所情報」を用いた「ジオコーディング(あるいはアドレスマッチング)」という技術がある。しかし既存研究により、我が国の住居表記方法は完全統一されておらず、また重複住所も多々存在することが指摘されている。この解決に向け、大槌町・宮古市を対象とし、すべての被災者に係る情報を人力で空間情報付与を行ない、その同定プロセスを明らかにするとともに、定量評価を実施した(図3)。先述のジオコーディング技術では住所情報と位置情報の関連を示した「住所テーブル」にマッチング率が依存するものの、ひとが作業をする場合、背景図(住宅地図やランドマーク地図など)の文字情報を参照することで格段にマッチング率を高めることを示した。図4に示すように、段階を経て様々な空間情報を参照していくことにより、その精度を高めることができるため、高精度な空間情報付与に係るモデルができたと位置づけられる。

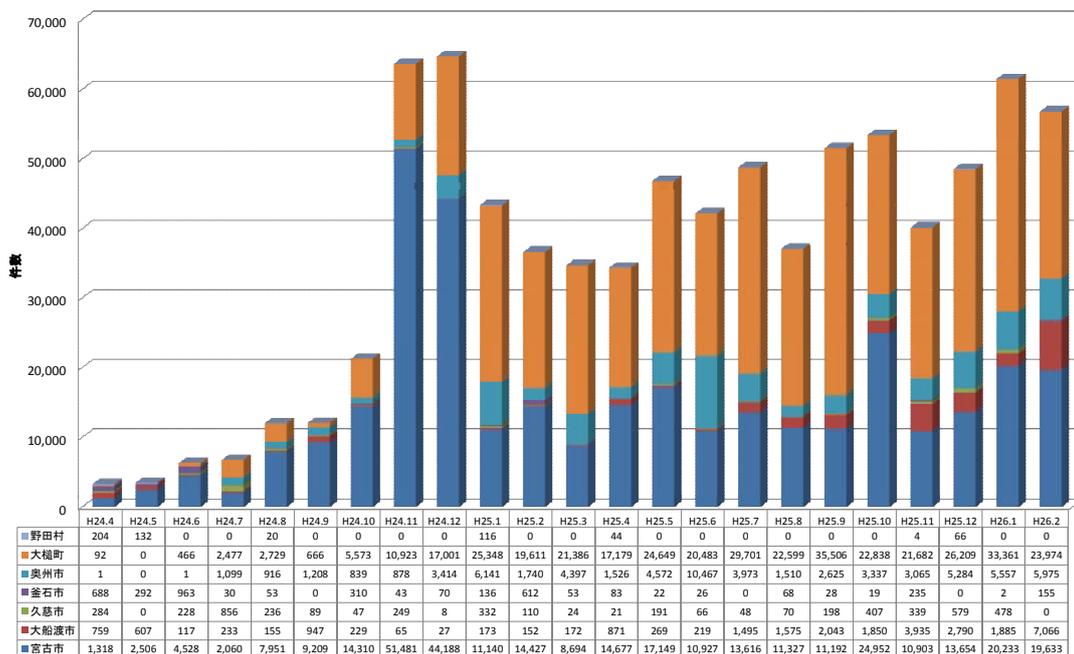


図2 岩手県の沿岸7市町村による被災者台帳の活用実態(H.24.4~H26.2)

ID	個別化の根拠	○	△	×	総計
1	住所・表札が一致	3,427			3,427
2	集合住宅	1,599			1,599
3	住所で区別可能	184			184
4	氏名(漢字)一部のみ不一致	10			10
5	住所が一致し、氏名は不一致だが家控から判断		229		229
6	表札データはないが、家控から判断		108		108
7	複数棟のアパートが存在		47		47
8	表札が店舗名の可能性		42		42
9	住所の記載ミスと判断		31		31
10	同姓で2軒あり、表札から個別化		29		29
11	枝番が一致し、氏名は不一致		26		26
12	住所が一致し、家控が複数あり判断不可			224	224
13	表札なしの家控が複数あり判断不可			23	23
14	家控が存在しない			17	17
15	同姓が3軒以上あり判断不可			9	9
	総計	5,220	512	273	6,005
	判定率	86.9	8.5	4.5	100.0

※ 宮古市と大槌町において重複となった住所に対して実施。
黒地の項目は、宮古市においてのみ表出化した根拠。

図3 空間情報化にかかる人力による同定プロセスと解決の定量分析

研究テーマ C:「現場対応過程における空間情報収集方策の追究」

先述の通り、災害対応の現場では空間情報をもたない情報群が大量に発生するため、それらに後追いで空間情報へ高精度に返還することは困難である。一方で、空間情報として情報を扱うことが出来れば、それらを集約・統合し、新しい知見を導出できることも明らかとなった。そこで、「現場対応の過程で空間情報を付与できる仕掛けがあれば、早い段階から精度の高い空間情報を取得でき、様々な情報集約・統合へと発展できる」と考えた。既存にも類似の仕組みはあるが、災害対応現場で使える標準的な仕組みとしては確立していない。

2013 年には台風18号が京都府京都市・福知山市・舞鶴市を、台風26号が東京都大島町を中心に襲来し、大きな被害が発生した。これを機に、災害対応従事者が現場対応(建物被害認定調査)を進める中で、対応情報を記録するという本来業務に加え、オンラインでの地図を活用し、空間情報を付与する仕組みを設計・開発した。この仕組みは、発災直後より被災自治体の職員が実施する「建物被害認定調査」を対象として、タブレット端末を用いて調査を行なう過程で、対象地物(家屋等)の空間情報を画面上で同定し登録するものである。これまでの現場対応の経験知から「被災前の状況」「被災後の状況」が対応の助けになることは明らかであった。そこでクラウドサービスを活用し、GoogleMap や国土地理院の航空写真、被災前の住宅地図などを1つの画面上でマッシュアップし、地図上での操作で位置登録が出来る仕掛けとした。

この仕組みを台風18号では福知山市、台風26号では大島町で実装し、検証した。とくに大島町では GoogleMap の住宅地図は整備が進んでおらず、我が国の民間が保有する住宅地図提供の支援を受けて実装した。いずれも平時から空間情報として取り扱われているため、1つのプラットフォーム上で統合し、タブレット端末へ配信する仕組みとした。また、GoogleMap の API を活用し住所検索を可能としたことに加え、タブレット端末の強みを活かし搭載された GPS から端末の場所を抽出する機能を導入した。この結果、福知山市では約 770 件、大島町では約 840 件の被災家屋に係る位置情報を取得し、各被災者・世帯へと空間情報の付与に成功した。これらはその後の対応、とくに被災者生活再建支援過程において、研究テーマ B と同様に空間上での情報集約・統合へ利用し、効果的な支援の実現に向けて推進している。これについては、進行中であり、現時点で報告できる成果としてとりまとまっていな。しかし、本研究で構築した仕組みは、災害対応過程で利用する様々な情報システムと連携できるようウェブで利用できる仕組みとして標準化を図っている。今後の災害発生時においても、早期立ち上げを実現し、初動段階から着実な空間情報取得を可能とし、社会発信を進めた。



図4 各種のクラウドサービスを統合した災害対応過程での空間情報付与システム概要

3. 今後の展開

本研究を開始するや否や、2011年3月11日には東日本大震災という大規模災害が発生した。また、それ以降も豪雨災害・台風災害など、災害発生が尽きることはなかった。本研究では防災研究者として、様々な被災現場において災害対応従事者とともに現実の課題を解決しながら、その思考プロセスをモデル化し、さらには現場で生成される様々な情報を、空間を用いて集約・統合することを重ね、状況認識の統一をはかり、意思決定を支援してきた。

本研究の成果の多くは、現場での課題解決を中心に実施してきた。これは実態を大きく反映しており、真に役立つ仕組み作りのあり方の追究、さらには現場との調整力の向上を実現できた。その一方で、社会全体の防災力を向上させるためには、本研究で得られた知見を他地域へ還元する必要がある。今後、本研究で得られた知見を還元できる基盤としてのプラットフォームを構築し、積極的な還元を図りたい。

また本研究を推進する過程で、東日本大震災の発生も後押しし、「研究テーマ A」については内閣府で地図作成機能の体制整備について積極的な検討が進められている。「研究テーマ B」については、災害対策基本法の改正にともない「被災者台帳の必要性」が明文化された。本研究の成果は、社会全体としての枠組みの中で推進を支えたと考えている。一方で、制度が整備されたからと言って現場で得られた「生の声」が反映されるとは限らない。そのため、本研究で蓄積された現場の実態を制度の上で仕組み化し、上記のプラットフォームに反映させながら、社会還元を推進したいと考えている。

さらに、さきがけ研究における領域会議を通して、情報分野における最先端の研究を進める研究者と交流が深まった。災害の現場は「ICT 導入」と言いながらも、システムと実務者との乖離が大きく、ICT の効果的な活用に至っていない。その多くは「利用者目線でないシステム開発がなされている」ことであり、最先端と言いながらも現実的なソリューションを持つさきがけ研究者と交流が深まったことは大変に有意義であった。今後、20～30年以内の発生確率が高まっている南海トラフ巨大地震は、我が国に東日本大震災以上の災害をもたらすことが危惧されている。それまでの間、現場での研究をさらに進め、知見を社会に還元するプロセスを継続するとともに、さきがけ研究者との共同研究を推し進め、ICTと人の観点から防災力の高い社会を実現したいと考えている。そのためにも、いかに現場の実態をモデル化し、社会で検証を重ね、モデルの精緻化と社会還元を続けていきたい。

4. 評価

(1) 自己評価

3年半という研究期間の中で、研究開始直後に東日本大震災が発生したという機会もあり、現場検証型での研究を邁進し続けた。その結果として、災害対応現場で真に必要とされている情報群の同定や情報群導出のための空間情報活用方策についての研究は大きく進んだ。一方で、混沌とした対応現場で発生する各種の情報の実態を明らかにし、その解決策の追究を重ねてきた。この点では社会貢献をするとともに研究を大きく推進できたと考えている。社会貢献という視点からは、「今後の展開」でも述べたように、法制度整備の必要性を謳う上で少なからず貢献したのではないかと考えている。2011年4月12日には第177回国会 総務委

員会に参考人として招聘され、被災者台帳システムの重要性を述べるとともに、東日本大震災の被災地での「広域・複合災害であるが故に発生しうる生活再建の難しさ」を述べたことで貢献できていると自己評価している。

また、本研究を採択されるまでは、防災分野の研究者との交流のみにとどまっており、情報分野の研究者との交流は皆無であった。なぜならば、災害対応の現場では「情報システムは実務者との乖離が大きく、また即時的な立ち上がりがなく、役に立たない」という印象が強かったからである。しかし、さきがけ研究「情報環境と人」に参画している研究者は、いずれも情報分野ではトップレベルであるとともに、現実的な利用可能性を常に考え、利用者目線で研究をしていた。災害対応現場の実状に深く興味を示す研究者も多かった。このような研究者との交流を深め、実防災で役立つ情報の仕組みを構築するにあたり、現に各期生といくつかの共同研究を立ち上げられたことは、私自身として評価できる点である。さらに、さきがけ研究での交流を契機に、情報分野の大きな学会である「電子情報通信学会」と実務者目線での災害対応を研究する学会である「地域安全学会」の架け橋役をつとめ、「減災情報システム合同研究会」を立ち上げ、防災研究者と情報研究者が協働で社会の防災力向上を追究する環境を整えた。先述の通り、我が国は今後「南海トラフ巨大地震」「首都直下地震」の発生が懸念されており、1研究者の活動だけで社会を救える状況にはない。若手を中心とした協働体制を平時から構築し、それぞれの専門性を有機的かつ現実的に結び合い、社会還元を通して、大規模災害を乗り越えるべきだと考えている。本さきがけ研究期間内に、その基礎が出来たことは大きな一歩であり、それに寄与できたことは評価できると考えている。

(2) 研究総括評価

本研究は、その成果を論文で計ることはできない。採択直後に東日本大震災が発生した。直ちに内閣府に緊急地図作成チームを発足させ、279人日を動員し500枚の地図を作成し、災害状況の把握に大きく貢献した。復旧・復興期には、空間情報を取り扱える被災者台帳システムを構築し、現在、岩手県の7つの被災市町村が活用している。さらに、タブレット端末に着目し、災害情報に位置情報を付与して入力できるシステムを開発した。このシステムは、災害現場の支持を得て、福知山市、大島町などで多数の被災家屋の登録に用いられている。さきがけにおいても、防災学あるいは情報学を専門とする若手研究者相互の交流に努めた。「空間を用いた災害情報の統合」という大きな目標に向けた実践的研究に啓発された情報学研究者は多い。培われた研究者間のヒューマンネットワークは、今後の日本の防災に大きく寄与するだろう。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Munenari Inoguchi, Keiko Tamura, Reo Kimura, Takashi Furuya, Haruo Hayashi, Structure of Web-Based Victims Master Database of the Life Rebuilding Process –A Study of the Great East Japan Earthquake of 2011–, 15th World Conference on Earthquake Engineering Proceedings, 2012, CD-ROM (8pp.).
2. 井ノ口 宗成・田村 圭子・木村 玲欧・小原 亜希子・林 春男, 広域災害を対象としたウェ

<p>ブ配信型被災者台帳システムの実装－岩手県・宮古市を中心とした東日本大震災被災自治体の試み－, 地域安全学会論文集, No.18, 2012, pp.351-361.</p>
<p>3. 井ノ口 宗成・田村 圭子・木村 玲欧・林 春男, 被災地の早期復興に向けた住所情報の空間情報化に関する基礎研究, 電子情報通信学会 2012年総合大会 公開シンポジウム AS-5. 安全・安心な生活のための情報通信システム, 梗概集, 2012, pp.2.</p>
<p>4. Munenari Inoguchi, Haruo Hayashi, Visualization Methods and Associated Challenges of Disaster Data for Common Operational Picture – A Case Study of the 2011 Great East Japan Earthquake based on the Activities of Emergency Mapping Team of the Cabinet Office –, Journal of i-society 2012, CD-ROM(5pp.).</p>
<p>5. 井ノ口 宗成・田村 圭子・林 春男, タブレット端末を活用した空間情報を基礎とする調査の可能性－平成 25 年台風 18 号災害を事例として－, 電子情報通信学会 第 4 回 安全・安心な生活のための情報通信システム研究会, 梗概集, 2013, pp.4.</p>

(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)

【主な招待講演】

- ・ 井ノ口 宗成, 「被災者生活再建支援過程における被災者台帳の実効性」, 第177回国会 総務委員会 第9号, 参考人, 2011.4.12.
- ・ 井ノ口 宗成, 「東日本大震災における空間情報マッシュアップを活用した行政組織の総合的な状況認識の統一」, (財) 測量調査技術協会, 2011.11.29.

【解説・寄稿】

- ・ 井ノ口 宗成, 「緊急地図作成チームによる国レベルでの状況認識の統一に向けた取り組み」, 電子情報通信学会誌 95(3), pp.224-230, 2012.03.
- ・ 井ノ口 宗成, 「『被災者台帳』～生活再建支援システムの実現に向けて」, 消費者情報, No.422, pp.16-18, 2011.6.
- ・ 井ノ口 宗成, 「IT化社会の自治体機能を被災時にはどのように確保するか」, 都市問題, Vol.102, pp.15-20, 2011.6.
- ・ 井ノ口 宗成・田村 圭子・林 春男, 「さまざまな機関が提供する空間情報を整理・提供－東北地方太平洋沖地震緊急地図作成チーム(EMT)」, GIS NEXT, 第 35 号, 2011.4.

【プレスリリース】

- ・ 「平成 25 年台風 18 号の家屋被害認定調査に対するオンライン調査」に関して
 - H25.9.27 読売新聞(朝刊)
 - H25.9.27 毎日新聞(朝刊)
 - H25.9.27 朝日新聞(朝刊)
 - H25.9.27 産経新聞(朝刊)
 - H25.9.27 京都新聞(朝刊)

【感謝状】

京都府福知山市「平成 25 年台風 18 号の家屋被害認定調査に対するオンライン調査の
手法」(H25.11.22 受賞)

京都府 「台風 18 号災害における被災者の速やかな生活再建に寄与」
(H26.2.4 受賞)

京都府京都市 「平成 25 年台風 18 号の家屋被害認定調査から罹災証明発行に至るまでの
被災者支援」(H26.3.20 受賞)

研究報告書

「擬人化を利用した人間の認知機能補助インタフェースの開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 26 年 3 月

研究者: 大澤 博隆

1. 研究のねらい

近年の技術発展に伴い、日常生活における機器が、外部の情報を用いた多数の機能を備えるようになった。また、ユーザの行動や身の回りの環境を検知するための技術も発達している。これらの技術発達によって、将来的にわれわれの生活する環境に、機器やセンサ・ロボット同士が連携してユーザにサービスを行うことが考えられる。これらの高度な機器は、内部に複雑な状態遷移を持ち、従来の単機能の道具と同じ類推で捉えることがユーザにとって難しい。このため、せっかく高機能な智能化空間、優れた機能をユーザに提供しても、それらの機能の大半が使用されない状況にある。

このような智能化空間上で複雑な情報をユーザに提示する際に、擬人化されたエージェントを介した情報提示に有用性があることが、様々なヒューマンエージェントインタラクション研究から発見されてきた。擬人化エージェントの形態には人間に類似したものから、動作によって他者性を感じさせるものなど、様々な形態が考えられる。どのような形態が適切であるかは、ユーザの嗜好やエージェントを要求するアプリケーションによってまったく異なってくる。しかし、これまでの研究では、人間にエージェントを感じさせる擬人化の要素を分割可能なものと捉えておらず、どのような擬人化表現がどのような用途に有効であるか、詳しく検討してこなかった。

上記の不明点・問題点を解決するため、本研究では、独立した擬人化エージェントを用い、そこに機能を集約させるのではなく、擬人化された要素を一つ一つ独立に環境に対して付与し、環境中の機器に対し必要十分な量の社会的チャンネルを付与する、分散化された擬人化インタフェースを提案した。従来のエージェントシステムは、人間を模したロボットや仮想エージェントを作成し、このエージェントを智能化空間のインタフェースとして使い、全ての社会的チャンネルを持たせることを目標としていた。これに対し、本研究が提案する認知補助擬人化インタフェースでは、形状・動作・タイミングなど、ユーザにエージェントを感じさせる擬人化要素のうち、特に効果的となる要素だけを選択的に環境中の機器に適用する。これにより機器の機能・ユーザの期待度に合わせた擬人化が可能となる。

本研究ではロボット技術や情報技術を用いて、このような擬人化のトリガーとなる個々の現象を、センサやアクチュエータを用いて環境中に再現し、ユーザの環境に対する擬人化を促す、認知補助擬人化インタフェースを提案する。本研究では、ユーザの擬人化を誘発するような動作を環境に後から設置することで、社会的チャンネルの一部または全部を機器に与え、ユーザと機器の間のインタラクションに適用する。従来手法に加え社会的なチャンネルを環境に与えることで、今まで伝えづらかった機器の複雑な機能や内部状態遷移などを、人間の認知能力に収まる範囲で伝えることが可能になると考えられる。

2. 研究成果

(1) 概要

認知補助擬人化インタフェースでは従来研究と異なり、ユーザにエージェントを感じさせる擬人化を要素単位で捉え、この要素を既存のシステムに必要なに応じて付け加える。そのため、本研究の目的を達成するための既存デバイスは存在しなかった。認知補助擬人化インタフェースを達成するためには、個々の擬人化要素を達成するためのデバイス・ソフトウェアの開発、各擬人化要素がどのようなユーザに対して受け入れられるかを調べるための対人評価をバランスよく進める必要があった。両目標は、作成したデバイスの評価に使い、評価から得た結果をデバイス作成に参照するなど、密接に関わる。

認知補助擬人化インタフェースを達成するため、本研究ではまず対象となる擬人化要素の効果を検証し、次に見つけた効果を応用する、という2段階に分けて研究を遂行した(図1)。擬人化要素の効果の検証では、従来研究で扱われてきた擬人化要素のうち、どういった要素の集合がどういった工学的な有用性をもたらすか、という観点で調べる。擬人化要素の応用では、発見した要素を組み合わせでどのような新しい応用が生まれるか示す。

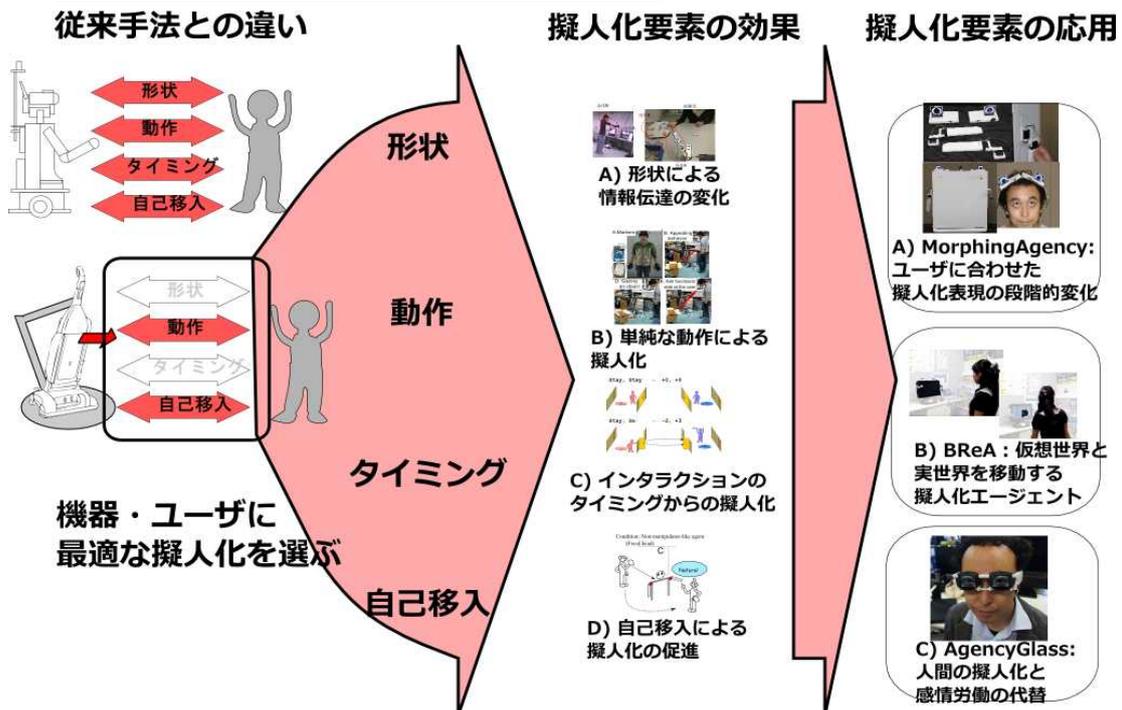


図1: 研究の進め方

1) 擬人化要素の効果

A) 形状による情報伝達の変化: 擬人化を段階的に行う際には、必ずしも人間型でないエージェントが存在しうるが、人間に類似していないエージェントで対話プロトコルがどう変化するか従来は不明だった。このため、首が自由に動く人間類似型ロボットと首固定のロボットを用いて、人間同士が情報を伝え合うことでプロトコルを発見させ、その変化を調べた。結

果、首固定の場合にコミュニケーションがエージェント主導になることがわかった。首固定の場合、人間型と違う機能を持つエージェントを人間に対し想起させ、ユーザが自分と同じような機能を持っていることを想起しなくなるため、エージェントの行動に合わせるようになる、という効果を持つと推測される。

- B) 単純な動作による擬人化: 機器を擬人化して情報提示する際には、人間と同じようなジェスチャではなくもっと単純な振る舞いからユーザに情報を伝える状況が考えられるが、単純な振る舞いからどれだけ情報が伝達できるか、従来研究では限られた範囲しか検討されていない。このため、2軸の限定された動作を行うデバイスを作成し、作成したデバイスから物集めの課題が実行できることを確認した。2軸の動作でも対象が擬人化され、さらに、対象からの意図をユーザに受け取らせることができる、ということがわかった。
- C) インタラクションのタイミングからの擬人化: 人間は単純な応答から相手に意図を感じ、相互信頼を発生させることが従来研究では知られており、同様の手法を機器に適用させることで円滑な情報伝達が可能になると考えられる。しかし従来研究では、機器と人間との相互信頼が単純なやりとりからどのような条件で発生するかわかっていなかった。このため、囚人のジレンマ類似の利得表を用いた人間同士のゲームおよび計算機上のシミュレーションを行って、相互で意図を読み合う仕組みを検討した。その結果、利得の獲得に遅延が発生する Anti-max 条件の利得交換が、内部状態の分岐を増やし、相手の意図を読む機能を触発する、ということが示唆された。本結果と同じ利得交換を機器に当てはめることで、ユーザと機器との継続的なインタラクションを期待できる。
- D) 自己移入による擬人化の促進: ユーザの対象への擬人化を促進する方法として従来は人間に近づける手法が行われてきた。しかしこれでは、擬人化エージェントを好まないユーザを好むようにすることはできず、擬人化手法の対象者を広げることができない。このため、ユーザに擬人化機器と同じ立場を体験させて自己移入させる、という手法を評価した。結果、人間以外の形状のエージェントで、同じ立場を体験させることでユーザの自己移入が進み、擬人化に反応するしきい値を下げ、エージェントへの評価が向上することを確認した。

2) 擬人化要素の応用

前項で得られた擬人化表現の要素を応用し、A) ユーザの属性やタスクによって擬人化の段階を変える MorphingAgency、B) スクリーン上の空間と実世界を移動できる擬人化エージェント BReA、C) 人間の擬人化を行い、人間の社会的な機能を助ける AgencyGlass の3つの新しいアプリケーションを実装し、提案した。

(2) 詳細

1) 擬人化要素の効果

A) 形状による情報伝達の変化: 人間への類似度によって対話プロトコルが変化するか?

人間のもつ形状のうち、どの要素がどういった情報を伝えているか調べるため、モダリティの増減が可能なロボットを作成した(図3)。このロボットを使って、首が動く一般的な人間類似ヒューマノイドエージェントによる情報伝達と、首が固定されたエージェントの情報伝達の手法を検討し、情報伝達のプロトコルがどのように変化するか調べた。その結果、首固定の条件で、会話が人間主導からロボット主導に移行することが分かった。首固定の場合、人間型と違う機能を持つエージェントを人間に対し想起させ、ユーザが自分と同じような機能を持っていることを想起しなくなるため、エージェントの行動に合わせるようになる、という効果を持つと考えられる。本結果は従来の人間同士のプロトコルを模倣するだけでなく、人間の認知的能力に合わせた擬人化のプロトコルを発見できることを示した。

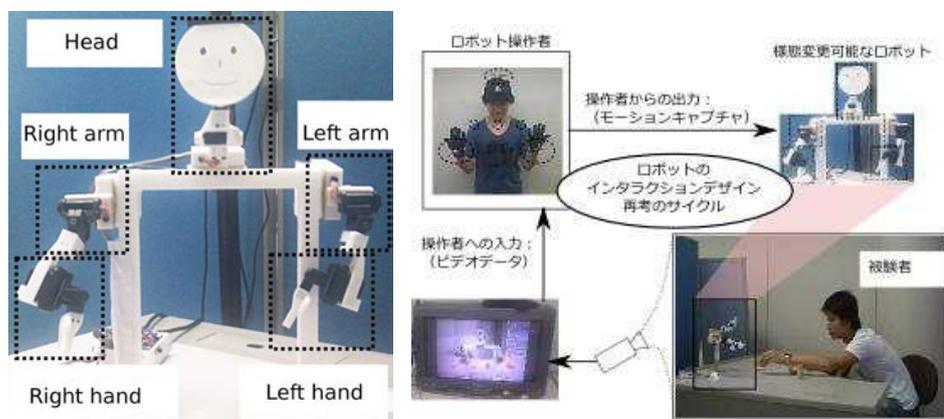


図 3: モダリティ変更可能なロボット(左。パーツの取り外しや位置変更が自由に可能)とこれを用いたプロトコル発見実験の様子(右)

B) 単純な動作による擬人化: 単純な振る舞いによって対象を擬人化させられるか?

形状だけでなく動作から人間は対象を擬人化しうるので、どのような要素が最低限必要かわかっていなかった。そのため、回転テーブルを用いた事前実験において、ヨー軸、ピッチ軸を動かす実験、全方位台車を用いてユーザの後ずさりや平行移動を再現した。結果、回転動作によりユーザの行動を誘導可能なこと、平行移動のみではユーザが十分に誘導されないことを確認した。事前実験を元に二軸で動く箱を作成し、この箱を使ってユーザに物集めを誘導するタスクを達成できるか、人間の操作で確かめた。誘導が成功した状況の人間の頭と手の位置と向き、箱の位置と向きのデータを、モーションキャプチャシステムを用いて計測し、3段階の動作モデルを作成した(図4)。そして、モーションキャプチャシステムを用いて、人間操作者の操作と同様な動きを、ユーザの頭と手によって自動で動かす機器を作成し、誘導タスクを行った。被験者実験により、二軸の振る舞いで相手に物集めを誘導することが可能なことがわかった、また、自動/手動のタスクがユーザから区別できず、人間の操作と同程度の品質の誘導が可能となることがわかった。本研究より、2軸では対象が擬人化され、さらに、対象からの意図をユーザに受け取らせることができる、ということがわかった。

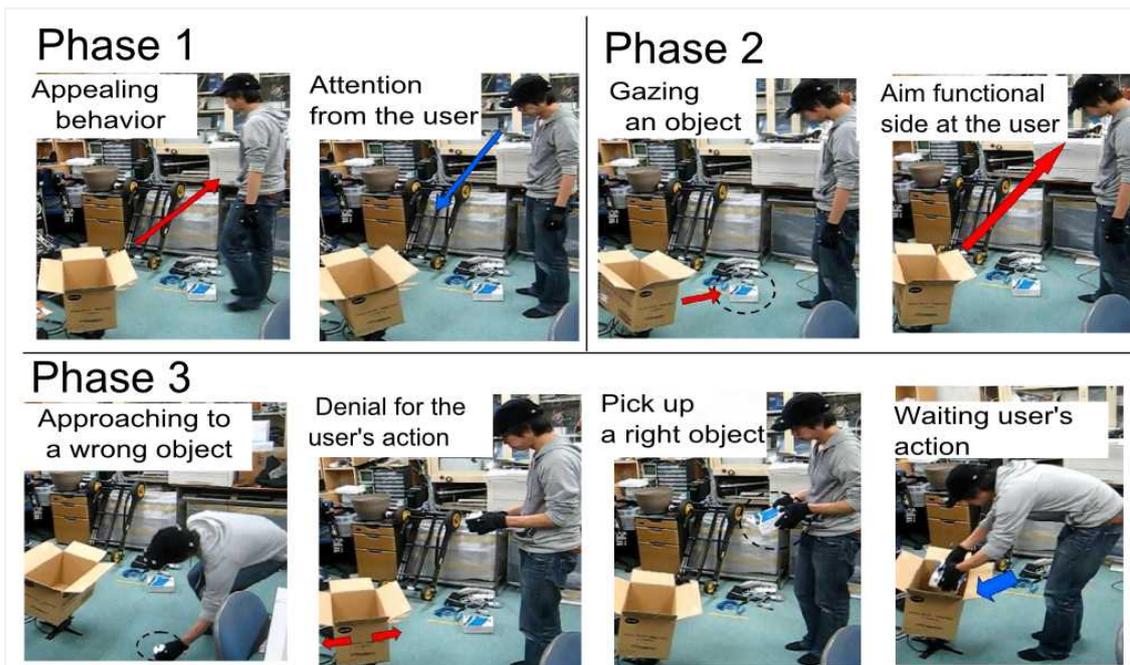


図 4: 二軸のアクチュエータによる単純な振る舞いとこれを用いた意図伝達。3段階に分かれており、プロトコルの確率と機器から人間への情報伝達、人間から機器への情報伝達の段階がある。

C) インタラクションのタイミングからの擬人化: どのような時系列のやりとりが擬人化を促進するか?

人間は形状や動作だけではなく、他者からのインタラクションのタイミングによっても相手を擬人化し、意図を感じることができる。こうしたやりとりが成立する過程については、ゲーム理論の分野で研究が行われているが、意図を感じるためのやりとりがどのように発生するか、ユーザが単純なやりとりからどのように相手の意図を感じるか、充分にわかっていなかったため、人間間のゲームを行って条件を調べた。結果、Anti-max Prisoner's Dilemma (AMPD) と呼ばれる、両者の利得が交互に裏切り返した時に最も高くなる改変された繰り返し囚人のジレンマゲーム条件で、意図の読み合いが起こることがわかった。また AMPD と一般的な囚人のジレンマゲーム (IPD。両者が協調の場合に両者の平均的な利得が最大化される) と、MMPD ゲーム (AMPD と IPD どちらでも両者の平均的な利得が最大化される) シミュレーションによって比較した結果、AMPD 条件において、上位のエージェントが利得を得るため、相手の戦略に合わせた対応を行う分岐の多い内部状態を発達させることがわかった。分岐の多い内部状態の発生は、AMPD が相手の意図を推測する課題であることを推測させる。また、マッチングの際実際に使われている分岐が多いことは、得られた分岐が生存にとって意味のある複雑化を示していることを示唆する。本シミュレーションで得られた戦略木を擬人化された機器に適応し、複雑な内部状態を設定することで、人間がインタラクションをより継続させやすくなることが事前実験によりわかった (図 5)。

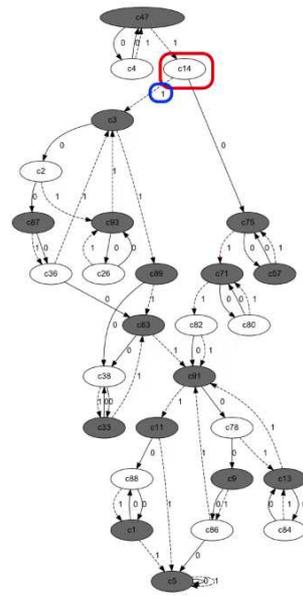


図 5: :AMPD 条件によって得られた戦略木(右)と、それを用いた人間と擬人化機器間のインタラクション評価(左)

D) 自己移入による擬人化の促進: エージェントの立場に立たせることで擬人化を促進できるか?

擬人化エージェントの立場を経験することで自身がエージェントの対話形式を理解しやすくなるという自己移入(Empathy)現象が発生することを、B)で用いたエージェントを利用して確認した。被験者を人間類似型と首固定エージェントを使った実験に参加させ、擬人化エージェントを操作した後に擬人化エージェントとやりとりを行うもの、擬人化エージェントを操作せず、擬人化エージェントとやりとりを行うものそれぞれについて、正確性と自然さをどう評価するか検討した。その結果、人間類似型に対しては操作を体験したかどうかで評価は変わらないものの、首固定エージェントの場合は、操作を体験したもので正確性と自然さの評価が向上することを発見した。エージェントの立場に立たせることで、擬人化に反応するしきい値を下げる事ができた。

2) 擬人化要素の応用

A) MorphingAgency: ユーザに合わせた擬人化表現の段階的変化

研究目的のため、既存の機器に対して後から取り付け、対象を擬人化し、擬人化デバイスの形状を変化させることで、ユーザに対するインタフェースの段階を制御するためのデバイスを作成した(図 6)。本デバイスは軽く、マウンタを使用して任意の場所に取り付けることが可能である。本デバイスを用いた3種類のコンセプトデモとして、エージェントの存在感を段階的に変化させ、ユーザの年齢や性別に対応した最適な擬人化表現を選ぶ morphExplainer (図 7)、エージェントが様々な機器間を移り変わるように見せる transExplainer(図 8)を作成した。morphExplainer を用いた被験者実験では 16 人(女性 5

人、男性 11 人)の被験者を用いて、目と手のデバイスが変化することでどの程度存在感が変わるかを調べた。その結果、目と手、目のみ、手のみ、何もしないといった表出の変化に合わせ、ユーザの認知するエージェントの存在感が段階的に減少することを発見した。trasExplainer では、冷蔵庫から食品を取り出して電子レンジで温める、という説明の際に説明をするエージェントがそれぞれの機器を乗り移る説明シナリオを作成し、事前実験として、シナリオを体験したユーザが複数の機器の背後に同一のエージェントが存在すると理解することを確認した。



図 6 :形状を変化させる目・手デバイス



図 7 :ユーザの年齢や性別に合わせ形状を変化させ、機能説明を行う morphExplainer



図 8 :擬人化デバイスを変化させ、説明者であるエージェントが機器間を移動する transExplainer

B) BReA: 仮想世界と実世界を移動できる擬人化エージェント

ディスプレイに取り付け、形状を変化する擬人化デバイスを使うことで、画面内と画面の外をシームレスに行き来する擬人化エージェントシステム BReA(Blended Reality Agent)を作成した(図 9)。大学内の販売業者と協力し、作成した BReA を構内の店の販売説明員として使用し、58 人

のユーザとの相互作用を評価した。結果、擬人化デバイスを変化させてエージェントが移り変わる演出を入れることで、仮想画面から実世界への指示が伝わり、ユーザが指示された方向を向くことを、仮想空間上の出来事にユーザが同調して身体を動かす、などの行動を行った。これらはいずれも、スクリーン上のバーチャルエージェントでは達成しづらいとされてきた項目であり、デジタルサイネージを用いた広告手段を拡張する手法として有用である。

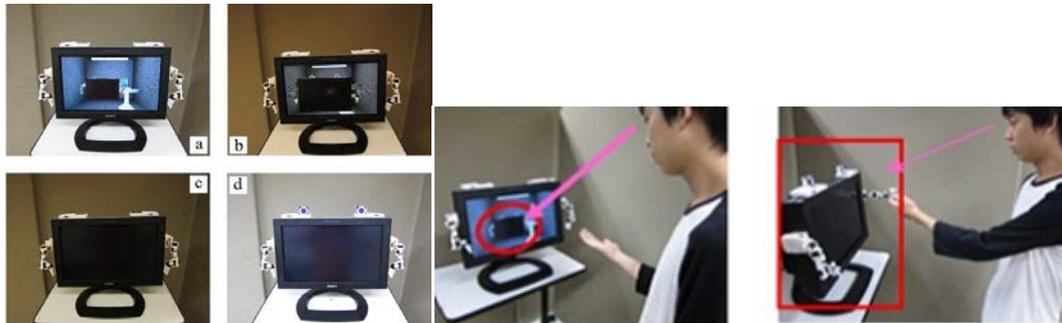


図 9: 擬人化デバイスを変形させ、仮想空間と実空間の間で連続的なエージェントの移動を達成する BReA(左 abcd: 仮想世界から実世界へのエージェントの推移 右: 動作の様子)

C) AgencyGlass: 人間の擬人化と感情労働の代替

擬人化表現を物体ではなく人間に取り付ける AgencyGlass を開発した(図 10)。AgencyGlass は外部に向かって人間の目を表示し、内部の加速度センサ・ジャイロセンサを用いてユーザの行動を計測するとともに、外部に取り付けられた画像検出デバイスを用いて外部の人間の行動をモニタリングし、場面に合わせた視線や感情表現を再現する。事前実験により、相手の視線の方向に合わせてデバイスが動くことで、相手が自分と同じものに注目しているように感じさせ、会話を促進させることがわかった。本結果は、擬人化手法によって他者に対する注意の労力を軽減し、人間の認知的負荷を下げた結果といえる。



図 10::AgencyGlass による人間の擬人化と感情表現の自動化(左: 擬人化表現の装着の様子 右: 外部カメラと連動させ、ユーザの向いた方向に視線を向けた例)

3. 今後の展開

本さがけ研究より、機器をユーザから見た時に擬人化させる際にどのような外見や振る舞い、タイミングが有効であるか、明らかになった。今後は、明らかになった知見をモデル化し、既存の

擬人化エージェント研究では達成できない課題を達成する新しい形の情報提示手法として、形状変更可能な擬人化デバイスや、AgencyGlass を使った様々なアプリケーションを作成していく予定である。

4. 評価

(1) 自己評価

本研究では、独立した擬人化エージェントを用い、そこに機能を集約させるのではなく、擬人化された要素を一つ一つ独立に環境に対して付与し、環境中の機器に対し必要十分な量の社会的チャンネルを付与する、分散化された擬人化インタフェースの研究を行ってきた。成果として、擬人化要素の効果の検証と擬人化要素の応用をそれぞれ行った。領域会議の結果を踏まえ、本研究では評価実験よりも新規提案や新規の課題発見を中心に研究を進めた。

擬人化を喚起する全ての条件について、効果の評価ができたわけではないが、形状、動作、タイミングといったそれぞれの要素の組み合わせで、人間がどういった影響を受けるか評価できた。非人間型のエージェント(首固定、二軸)において意図伝達に成功した成果は、ロボティクスやヒューマンエージェントインタラクションの分野に広く応用可能な知見である。

また、擬人化要素を個別に捉えることによって可能となる新しい擬人化要素の、従来の対話型エージェントとは異なる利用法として、擬人化表現の段階的変化を行うためのMorphingAgency、スクリーンと実世界を行き来する擬人化エージェント BReA、人間の擬人化など、様々な応用例を提案した。これらの知見は、現在研究されている人工知能やロボティクスの基礎技術の新しい利用法を提案し、応用技術と結びつけるものであり、基礎技術と社会の両方に貢献するものになると考えられる。

さらに、本研究テーマの擬人化と密接な関わりがあり、人間から社会的に受け取られるエージェントと人間とのインタラクションを研究するヒューマンエージェントインタラクション(HAI)の研究分野において、解説や国際会議の立ち上げなどを行い、HAI 研究の発展に貢献した。

(2) 研究総括評価

擬人化エージェントのインタラクションに与える影響は議論されて久しい。しかし従来は、擬人化の効果も、社会心理学的に分析したものが主であった。これに対し本研究は、エージェントを実装する工学者の視点で、どの機能要素がエージェントの社会性に影響を与えるかを明らかにしようとしている。即ち、擬人化の要素は分割可能であると捉え、各要素が付与された機器が、ユーザとの間でどのようなインタラクションを可能とするかを分析している。得られた知見は、例えば2軸に限定されたデバイスでも擬人化の効果があるなど、直ちに機器の実装に適用できる。また、機器デザインのニーズから研究を始めることで、新たな研究課題が生まれている。例えば、応答がユーザの信頼を生むような機器を設計するという課題から、ゲーム理論に基づく優れた基礎研究が生まれ最高峰の国際会議に採択されている。このように本研究は、擬人化エージェントという普遍的な課題に対し、これまでになかった新しいアプローチで接近するもので、その取り組みは高く評価できる。今後は、蓄積された多くの分析結果を整理し、体系化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. Hirotaka Osawa, Michita Imai, Possessed Robot: How to Find Original Nonverbal Communication Style in Human-Robot Interaction, <i>International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART)</i> , pp. 632–641, 2012/2.
2. Hirotaka Osawa, Kunitoshi Tobita, Yuki Kuwayama, Michita Imai, Seiji Yamada, Behavioral Turing Test using Two-axis Actuators, <i>International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)</i> , pp. 328–333, 2012/9.
3. Hirotaka Osawa, Michita Imai, Morphing Agency: Deconstruction of an Agent with Transformative Agential Triggers, <i>Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (alt.chi)</i> , pp. 2237–2246, 2013/5.
4. Hirotaka Osawa, Michita Imai, Evolution of Mutual Trust Protocol in Human-based Multi-Agent Simulation, <i>12th European Conference on Artificial Life</i> , pp. 692–697, 2013/9.
5. Hirotaka Osawa, Intelligence Arms Race: Delayed Reward Increases Complexity of Agent Strategies, <i>International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems</i> , p. (accepted), 2014/5.

(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(国際発表)

- Mahisorn Wongphati, Hirotaka Osawa, Michita Imai, 3D Low-profile Evaluation System (LES) An Unobtrusive Measurement Tool for HRI, *International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 162–167, 2011/7.
- Masa Ogata, Yuta Sugiura, Hirotaka Osawa, Michita Imai, Pygmy : A Ring-shaped Robotic Device that Promotes the Presence of an Agent on Human Hand, *Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*, pp. 85–92, 2012/8.
- Hirotaka Osawa, Thibault Voisin, Michita Imai, Partially Disembodied Robot: Social Interactions with a Robot's Virtual Body, *International Conference on Social Robotics*, pp. 438–447, 2012/10.
- Masa Ogata, Yuta Sugiura, Hirotaka Osawa, Michita Imai, iRing: intelligent ring using infrared reflection, *Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pp. 131–136, 2012/10.
- Mahisorn Wongphati, Yushi Matsuda, Hirotaka Osawa, Michita Imai, Where do you want to use a robotic arm? And what do you want from the robot?,

International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 322–327, 2012/9.

- Hirotaka Osawa, Michita Imai, Enhancing Empathy toward an Agent by Immersive Learning, *The 1st International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. III–2–2, 2013/8.
- Yusuke Kanai, Hirotaka Osawa, Michita Imai, BRaA: Potentials in Combining Reality and Virtual Communications with Blended Reality Agent, *IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 605–609, 2013/8.

・招待講演(国際会議講演)

1. Hirotaka Osawa, Kentaro Ishii, Seiji Yamada, Michita Imai, Grounding Cyber Information in the Physical World with Attachable Social Cues, *IEEE 17th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications*, pp. 41–47, 2011/8.

・招待講演(国内会議講演)

1. 大澤博隆, 擬人化現象を考慮した人-ロボット間のインタラクション設計, 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(SI2013), 2013/12/18.

・ジャーナル論文(国内)

1. 大澤博隆, 飛田国星, 桑山裕基, 今井倫太, 山田誠二, 二軸の振る舞いによる人間-空箱間の物集めタスクの実行, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, vol. 15, no. 1, pp. 39–50, 2013.
2. 大澤博隆, 今井倫太, エージェントのインタラクション戦略探索のための没入型発見法, *人工知能学会論文誌*, vol. 28, no. 2, pp. 160–169, 2013.

・受賞

1. Best Video Award 1st Prize: 9th ACM / IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, March, 2014
2. Best Paper Award: 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2012), February, 2012
3. 優秀論文賞(一般発表): 第27回ユビキタスコンピューティングシステム研究会, July, 2010

・解説記事

1. 大澤博隆, ヒューマンエージェントインタラクションから見る人工物・人工システムのエージェントエンシー, *日本ロボット学会誌*, vol.31, no. 11, pp. 40–45, 2013.
2. 大澤博隆, ヒューマンエージェントインタラクションの研究動向, *人工知能学会誌*, vol. 28, no. 3, pp. 405–411, 2013.
3. 大澤博隆, 人工知能はどのように擬人化されるべきなのか?: 人の擬人化傾向に関わる知

見と応用, 人工知能学会誌, vol. 29, no. 2, pp. 182-189, 2014.

研究報告書

「発話行動の階層的理解に基づく相互適応型音声インタラクション」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成22年10月～平成26年3月

研究者: 駒谷 和範

1. 研究のねらい

音声対話における発話の理解には、その言語表現(テキスト)の理解にとどまらず、発話という行為自体の包括的な理解が必要である。これまでの対話システムに関する研究の多くでは、入力されてくるテキスト(音声の場合では音声認識結果)のみを処理の対象としている。これは音声インタラクションの一面をモデル化しているに過ぎない。音声対話における発話という行為には、その言語情報だけではなく、それが行われたこと自体やそのタイミング、さらには発話が行われた状況も重要な情報である。

本研究では、従来の音声認識結果に偏重した音声対話理解を越え、頑健な音声対話システムの実現を目指す。特に、ヒューマノイドロボットとの音声対話を、ロボット自身に備え付けられたマイクを通じて実現する場合には、周辺雑音の混入や、話者の口元にマイクがないことなどにより、音声認識性能の劣化が著しい。音声認識誤りに頑健な音声対話を実現するには、発話の包括的な理解が不可欠である。つまり、発話行為理論(Speech Act Theory)における発話内行為レベルの情報だけでなく、発話行為レベルや発話媒介行為レベルの情報を、音声発話を解釈する場合に考慮することにより、頑健な音声対話の実現を目指す。

さらに、音声言語を用いたインタラクションではユーザ適応が本質的に必要である。なぜならどのようなユーザに対しても一様な応答を行うのは非協調的だからである。例えば、ユーザが既知っている内容について、長々と説明を行うのは協調的ではない。つまりシステムがユーザに合わせて応答することが望まれるが、その一方で、ユーザがシステムの発話に応じて、自身の発話表現を変えるという現象も観測されている。本研究では、音声対話システムにおけるこのような双方向の適応に着目する。このようなユーザの適応に関する知見を蓄積することにより、相手に応じた音声対話システムの実現を目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究ではまず、発話行動の階層的理解というコンセプトを提案した。発話の階層的理解の概念図を図1に示す。近年、Appleの「Siri」やNTTドコモの「しゃべってコンシェル」など、スマートフォン上のアプリが多くのユーザにより使用され始めているが、これらにおける音声対話は、この階層の中の言語レイヤのみを扱っている。一方、ヒューマノイドロボットとの音声対話を、ロボット自身に備え付けられたマイクを用いた場合でも、頑健に実現するには、図1における言語レイヤ以外、つまり、社会レイヤや信号レイヤでも、ユーザとロボットの対話がかみ合っている必要がある。

本研究では、この各階層での情報を見出し、音声対話システムで考慮することで、ロボットとの音声対話を雑音に対してより頑健にできることを新たに示した。これは、実際にロボットを使った音声対話システムの開発を通して得られたものであり、対話システムの言語的側面のみに着目している従来研究では得られ難い知見である。具体的には、まず社会レイヤにおける制約を新たに「話しかけられやすさ」としてモデル化し、これを利用して雑音を棄却できることを示した。次に、信号レイヤでの齟齬に起因する誤りの存在

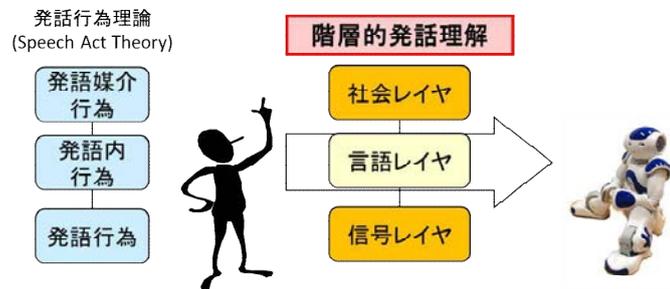


図1：階層的発話理解の概略

を指摘し、これから生じる2つの誤りをそれぞれ修復する手法を提案して、これをシステムに実装した。さらに、ユーザとシステム間の適応は、このそれぞれのレベルでも観測される。本研究ではまずこのうちの言語レイヤにおける相互適応について調査を行った。

(2) 詳細

研究テーマ①：「社会レイヤにおける制約のモデル化と利用」

人間同士の対話には、対話者同士が無意識のうちに守っているルールが存在する。例えば、「言いたいことがあっても相手が話している間には話し始めない」ことや、「相手の話を聞く際には相手の方を向く」こと等である。我々は、このように人間が対話相手の状態を考慮して話しかけるという社会的規範が、ヒューマノイドロボットに話しかける際にも同様に成り立つと考え、ロボットの状態に基づき、ユーザが各時点で話しかけられると感じるか否かを予測するモデルを構築した(図2)。

従来研究では、対話システムは常に受動的に、入力される情報を処理する。これに対して本研究は、システム(ロボット)の状態を考慮に入れ、これがユーザに与える影響を踏まえて、入力音を解釈する枠組みを新たに示したものである。

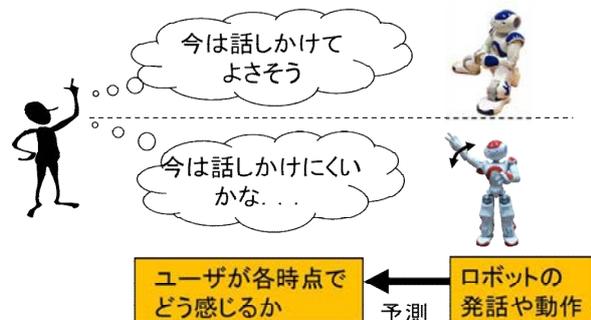


図2：話しかけやすさの予測の概要

ロボットの状態は、その姿勢や動作、直前の発話内容を特徴として表現した。ロボットが任意の時点での話しかけられやすさを予測できれば、協調的なユーザがロボットに話しかけないタイミングを、ロボットが知ることができる。これにより、そのようなタイミングでの入力音は雑音等である可能性が高いとみなし、これを棄却するなど、社会レイヤにおける制約を、頑健な音声対話の実現に利用できる。

具体的には、ヒューマノイドロボットの挙動列に対し、本研究室の学生3名を被験者としてデータ収集を行い、ユーザが話しかけやすいか否かを予測可能であることを示した。まずユーザが実際に話しかけやすい状態か否かを付与した学習データを、マウスをクリックさせることで作成した。その後、機械学習により、各時点での話しかけられやすさを予測するモデルを

構築し、性能を検証した。この結果、ユーザが話しかけやすいと感じたタイミングを、87.4%の精度で予測できることを示した。

さらに、本モデルが、個人差や実験前に与えた教示に適応可能であることを示した。この成果は、本モデルを実際の対話システムに適用する際に必要である。

研究テーマ②:「信号レイヤにおける齟齬の修復」

音声対話システムでは、ユーザが話している最中にも関わらず、システムが話し始めてしまう場合がある。この問題は、ユーザの発話区間の誤検出により生じる。我々はこの現象を「発話の誤分割」と呼んでいる。これは、信号レイヤでの齟齬に相当する。

従来の音声対話システムでは、そもそもこのような問題を扱っていなかったり、スマートフォン上での push-to-talk(押してから話す)ボタンを使用して回避したりしている。これに対してロボットとの対話では、そのようなボタンは利用できないため、この信号レイヤの問題を解決する手法が必要である。本研究ではこの問題を明示的に指摘したうえで、これにより生じる2つの問題、つまり音声認識誤りとシステムの不適切な発話タイミングの両方を、解決する手法を新たに開発した。

音声認識誤りを修復するには、正しい発話区間に対して(再度)音声認識を行う必要がある。まず、修復が必要である場合に、誤分割された発話断片対を結合し、再度音声認識を行うことで正しい音声認識結果を得る手法を開発した。さらに、この修復が必要か否かの判定をより高精度に行うために、発話断片対から得られる様々な特徴を用いて、修復必要性の判定を二値分類問題として機械学習により判定する手法も開発した。この際に、有効かつドメインに依存しない特徴のみを用いるために、2種類の特徴選択法を適用した。これにより、ベースラインでは77.7%であった判定精度が、85.6%に向上した。

不適切なターンテイキングの修復にも取り組んだ。発話の誤分割時にシステムが誤って話し始めるのを防ぐルールを記述し、MMDAgent(名古屋工業大学で開発)上に実装した。発話の修復時に再度音声認識を行うため遅延が生じるが、システムにフィルターを生成させることで、不自然な間が生じることを防ぐようにシステムを実装した。

研究テーマ③:「対話システムにおける語彙の適応の調査」

人間同士の対話において、使用する表現を対話中に相手と同調する現象(lexical entrainment)が知られている。これは、同一の対象に対して複数の呼び方がある場合に観測できる現象である。このため本研究では、音声対話システムにおける語彙の同調を確認し知見を蓄積するために、まず簡略表現を認識・理解し、それを応答に用いる音声対話システムを構築した。ここでの簡略表現とは、例えば「ファミリーマート」に対する「ファミマ」のように、名称の一部を省略し短くした表現を指す。システムのタスクは、名古屋地区のコンビニやファーストフード店3068件に対する検索である。

従来の、システムを用いた語彙の同調の研究では、システムが用いた表現を、ユーザが使用するかどうかを調査するものが多い。これに対して本研究は、双方向の同調現象に着目した点に特色がある。つまり、ユーザがシステムの表現に同調する場合の調査に加えて、システムがユーザの表現に同調する機能を実装し、その場合にユーザの印象に与える影響も調査した。

被験者 33 名に対する評価実験の結果、システムが店の名前をチェーン名や支店名で参照した場合のうち 83%で、システムと同じ表現をユーザが用いることが確認された。この結果は、ユーザ発話を音声認識が容易な語彙に誘導したり、ユーザが使用する可能性が高い語彙に高い言語モデル確率を与えたりすることにより、音声認識誤りの防止に役立つ。さらに、ユーザが使用した語彙をシステムが使用した場合のユーザの印象を調査したところ、70%の被験者はシステムのこの機能に気づかず、残りの被験者にも概ね好感を持っていたことから、この機能は違和感なく受け入れられていたことが示唆された。今後、このような機能が、システムとの社会的な関係性の構築に有用となるかどうかを調査するうえでの糸口を得た。

3. 今後の展開

本研究では、音声対話システム、特にロボットとの音声対話を行う際に有効となる情報を新たに取得し、音声対話に用いる手法を提案した。近年、ロボティクス技術の進展に伴い、ロボットと音声対話を行うことに対するニーズや期待が高まっている。実環境での音声認識には様々な困難があることから、頑健なロボット対話を実現するためには、本研究により新たに提案したような、言語レイヤの情報を補う情報が不可欠である。

今後の展開として、以下が挙げられる。まず、本研究では、階層的発話理解を掲げ、社会レイヤや信号レイヤにおける制約の利用や問題の解決を提案したが、本研究で提案したものが、そのレイヤから得られる情報の全てというわけではない。階層的発話理解という枠組みの中で、他にも捉えるべき現象や、利用可能な情報がないかどうか、引き続き検討が必要である。

相互適応については、本研究では音声対話システムにおける語彙の双方向の適応を実現・検証するに留まった。ねらいとしては、語彙つまり言語レイヤのみに留まらず、社会レイヤや信号レイヤでの適応も捉えることを考えていたが、そこまでは至れなかった。今後、言語レイヤで得た知見や方法論を生かして、社会レイヤや信号レイヤでの、ふるまいの適応の検証や実現に展開したい。

最終的には、実環境で動作するロボットにおける実証実験へと展開する必要がある。雑音がある実環境下でも、ロボットと対話すること自体のニーズは大きい。音声認識技術そのものの発展も取り入れながら、より適切な要素統合を行い、最終的により頑健な対話システム構築を目指したい。

4. 評価

(1) 自己評価

音声対話が必須となる状況設定のひとつとして、ヒューマノイドロボットとの音声対話に新たに着手した。新しいロボットの使用したシステム構築に試行錯誤が必要であったため、時間がかかってしまった。この結果として、階層的発話理解の部分については、社会レイヤ、信号レイヤの両方に関する新たな手法を開発できたものの、それらを相互適応という観点までは進められなかった。ただ、音声インタラクションに含まれる、言語情報以外にも活用するという視点自体は、今後も持ち続けるべきものを提案できたと考えている。

本研究の問題点として、個別の要素に関しては提案手法による性能改善が示されているが、これらの性能改善が音声対話全体にどの程度の影響があるのかが明らかでない点が挙げられ

る。音声対話システムは様々なモジュールから構成されるため、一部のモジュールの性能変化が全体の性能にクリアに反映されるとは言い難い。例えば、別のモジュールの性能がボトルネックになり、全体の性能には反映されないということがしばしば生じる。またシステム構築に労力が必要であることから、適切なタスク設定も必要である。このような困難があるものの、提案手法のインパクトをより明確に示すには、統合されたシステムにおいて、その有効性を示す必要がある。

より印象的なデモの見せ方も工夫する必要がある。エラーハンドリングをテーマとしている以上、「賢い応答ができる」ではなく、「誤動作せずに普通に動く」ことが研究成果となるが、その中でも、研究の良さをどのように見せるのかについて、さらに工夫を講じたい。「困難な客観的評価に拘泥するのではなく、主観的に素晴らしいデモを見せるべき」というコメントは、これからも念頭に置いて研究を進めたい。

(2) 研究総括評価

本研究は、これまで音声認識技術に頼ってきた音声対話の理解を、発話行為の分析技術を加えることによって、大きく前進させようとする試みである。そのために、音声対話を社会レイヤ、言語レイヤ、信号レイヤに階層化し、これまで研究の対象となり難かった社会レイヤに着目し、システムの話しかけられやすさを評価・向上させる技術を開発している。また不適切なターンテイキングを検出することで誤分割された発話断片を結合し、正しい発話区間を得る手法を開発している。さらに人のシステムに対する同調行動に着目し、音声認識が容易な語彙に発話を誘導する技術も提案している。このような、人の発話行為を分析することで音声対話の理解を進める研究には新規性があり、その方向性は高く評価できる。今後も、ヒューマノイドロボットとの対話など、将来の情報環境での音声対話を現実のものとするよう、研究を継続し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, 査読付国際学会プロシーディング)発表

1. Kazunori Komatani, Kyoko Matsuyama, Ryu Takeda, Tetsuya Ogata, Hiroshi G. Okuno: Evaluation of Spoken Dialogue System that uses Utterance Timing to Interpret User Utterances. Proc. IWSDS, pp.315--325, 2011.
2. Kazunori Komatani, Mikio Nakano, Masaki Katsumaru, Kotaro Funakoshi, Tetsuya Ogata, Hiroshi G. Okuno: Automatic Allocation of Training Data for Speech Understanding based on Multiple Model Combinations. IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.9, pp.2298-2307, 2012
3. Kazunori Komatani, Akira Hirano, Mikio Nakano: Detecting System-directed Utterances using Dialogue-level Features. Proc. Interspeech, 2012.
4. Kazunori Komatani, Shojiro Mori, Satoshi Sato: Constructing Language Models for Spoken Dialogue Systems from Keyword Set. Proc. IEA/AIE-2013, Contemporary Challenges and solutions in Applied Artificial Intelligence, Studies in Computational Intelligence, Vol. 489, pp.69--76, 2013.

5. Kazunori Komatani, Naoki Hotta, Satoshi Sato: Restoring Incorrectly Segmented Keywords and Turn-Taking Caused by Short Pauses. Proc. IWSDS, pp.27-38, 2014.

(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)

主要な学会発表

1. 駒谷 和範, 松山 匡子, 武田 龍, 高橋 徹, 尾形 哲也, 奥乃 博: 発語行為レベルの情報をユーザ発話の解釈に用いる音声対話システム. 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.12, pp.3374-3385, 2011.
2. Taichi Nakashima, Kazunori Komatani, Satoshi Sato: Integration of Multiple Sound Source Localization Results for Speaker Identification in Multi-party Dialogue System. Proc. IWSDS, 2012. (also published from Springer: Natural Interaction with Robots, Knowbots and Smartphones, pp. 153-165, 2014).
3. Takaaki Sugiyama, Kazunori Komatani, Satoshi Sato: Predicting When People will Speak to a Humanoid Robot. Proc. IWSDS, 2012. (also published from Springer: Natural Interaction with Robots, Knowbots and Smartphones, pp. 187-198, 2014)
4. 駒谷 和範, 中島 大一, 杉山 貴昭: ロボット自身のマイクを介した Nao との音声対話. 情報処理学会研究報告, Vol.2013-SLP-095, No.9, 2013. (査読無)
5. 杉山 貴昭, 駒谷 和範, 佐藤 理史: ヒューマノイドロボットが話しかけやすさを予測するモデルの構築. 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.3, pp.255-260, 2013.
6. Tsugumi Otsuka, Kazunori Komatani, Satoshi Sato, Mikio Nakano: Generating More Specific Questions for Acquiring Attributes of Unknown Concepts from User. Proc. 14th Annual SIGDIAL Meeting on Discourse and Dialogue, pp. 70-77, 2013.
7. 杉山 貴昭, 駒谷 和範, 佐藤 理史: ロボットへの話しかけやすさモデルの評価と個人差や教示による変動への対応. 人工知能学会論文誌, Vol.29, No.1, pp. 32-40, 2014.
8. Takaaki Sugiyama, Kazunori Komatani, Satoshi Sato: Evaluating Model that Predicts When People will Speak to Humanoid Robot and Handling Variations of Individuals and Instructions. Proc. IWSDS, pp.62-72, 2014.
9. 秋田谷 樹, 駒谷 和範, 佐藤 理史: 音声対話システムにおける簡略表現の使用とそのユーザ発話への影響. 人工知能学会研究会資料, SIG-SLUD-B303-03, pp.15-21, 2014. (査読無)

招待講演および依頼講演

1. 駒谷 和範: “音声対話システム技術の現状と課題”, 電気関係学会東海支部連合大会シンポジウム「ここまでできる言語処理技術—音声・言語情報処理の最先端—」, 2012年9月25日
2. Kazunori Komatani: “Hierarchical Utterance Understanding for Robust Human-Robot Spoken Dialogues”, International Workshop on Spoken Dialogue Systems (IWSDS2014),

2014年1月18日

受賞

1. 人工知能学会 研究会優秀賞（2011年6月受賞）

新聞報道

1. 中日新聞・ジュニア中日「心が通じる！？会話ロボット」（2013年8月18日掲載）

研究報告書

「行動の記号化を基盤とした身振り・言語を通じて コミュニケーションするロボットの知能設計」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成22年10月～平成26年3月

研究者: 高野 渉

1. 研究のねらい

人間は、他者の動きを自らの身体に置き換え、そこから湧き上がってくる感覚を共有することで、他者の行動を理解する。たとえば、ヘビの動きを観察して、その運動を自身の身体に投影して、感覚を共有することができるだろうか？人間とヘビの身体構造には大きな隔たりがあり、その間の身体運動の変換は容易にはできない。そのため、ヘビの感覚を推定することができず、結果として理解できない、親近感の湧かない存在になってしまう。一方、手足を有した人間のような姿・形をしている動物キャラクタが動き回る様子を見ると、その動きからそのキャラクタが意図していること、その動作の目的を知らず知らずのうちに推測していることはないだろうか？これは、そのキャラクタの身体が人間の身体に類似していることによって、キャラクタの動きを容易に自身の身体運動に置き換えることができるからである。そして、人間と類似した身体構造を有するヒューマノイドロボットは、このような擬人化能力を大いに刺激し、人間・ロボットの関係性を大きく変える可能性を秘めている。

また、人間は、連続情報の身体運動を離散的に情報圧縮して記号として扱っている。他者が歩く動作は、手足の動きの連続値の時系列情報として感覚される。しかし、この連続情報を分割・分類することによって「歩く」という記号として理解している。歩く動作を他者に伝達する場合には、歩くジェスチャを再現する必要なく、「歩く」という単語のみでその動きを伝えることができる。さらに、「歩く」と他の記号を組み合わせることによって、多様な動作を簡単に作り、創造することも可能になった。このように、実世界に膨大に溢れている連続情報を切り分けて、分類することによって、実世界を記号として知覚し、記号を効率的に計算処理することによって、高度な思考や効果的なコミュニケーションを実現してきたのである。

このように、実世界を自分の身体に投影して理解する擬人化能力と、実世界に溢れた連続情報を離散的に分割・分類する記号化能力が、人間の思考・コミュニケーションの高度な認知メカニズムの基礎ある。本研究では、人間の身体運動を運動パターンとして分割・分類して記号として表現する方法論、およびその運動の記号と自然言語を結びつけることによって、動作を言語して理解し、言語から身体運動を創造することができるロボットの知能構成論を確立することを目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究課題では、人間の全身運動を記号として表現し、その記号と自然言語を結びつけることによって、人間の行動を言語して理解でき、言語表現に対応する行動を生成することができるヒューマノイドロボットの知能を設計する。その基盤技術として、以下の項目に関する研究

を行った。

- (A)人間の全身運動と自然言語モデルを統合する数学的手法の開発 [2][3]
- (B)クラウドソーシングを用いた運動と自然言語の大規模化 [3]
- (C)大規模な運動の学習認識の高速化手法の開発 [3]
- (D)環境適応するための運動の記号からの全身運動生成手法の開発 [1]

項目(A)では、全身運動と単語の関係性および文章における単語の並びの関係性を統計モデルによって抽出した。この2つの関係性を用いることによって、人間の全身運動を文章として理解するための計算法、および与えられた文章に対する全身運動を生成する計算法が確立した。

項目(B)では、全身運動および言語表現を大規模化することによって、多様な動き、多様な文章を理解できる枠組みへと発展させた。特に、ウェアラブルモーションセンサスーツを着用した人間の日常データを記録することによって運動の大規模化、動きへ多様な文章を付与する方法としてクラウドソーシングを活用することで、大規模な動き・言語のデータを収集できる環境を整備した。

運動・言語データの数が増大するにつれて、運動と言語の双方向計算に掛かる時間が膨れ上がる。そこで、全身運動データから最も確率が高い運動の記号を検索する計算、およびその記号から単語を並び替えて文章を生成する計算をそれぞれ並列に処理するアルゴリズムを構築した。それをクラウドコンピュータにて実装することで、リアルタイムで行動を認識できるシステムを構築した。

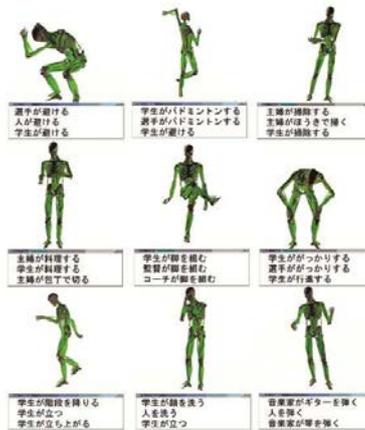
また、身体を通して環境に働き掛ける機能として、上述のように記憶した人間の全身運動を環境に適応するように修正を加えて再利用する運動生成手法を構築した。ターゲットとなる物体の位置に応じて手先位置の軌道を修正する方法や環境から受ける外力を目標値となるような環境とインタラクションするための軌道生成および制御方法を開発した。

このように、多様な全身運動を言語として高速に理解できる計算から、言語入力から環境に応じた全身運動生成までを実現する計算方法を開発した、これは、身振り手振りを伴いながら言語を用いてコミュニケーションするヒューマノイドロボットの知能の基盤となる。

(2) 詳細

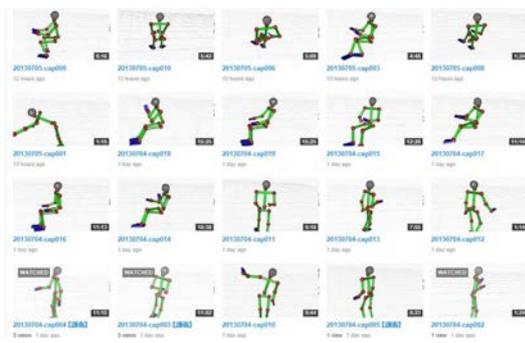
研究テーマ(A)「人間の全身運動と自然言語モデルを統合する数学的手法の開発」

人間の全身運動の時系列データを統計モデルのパラメータとして情報圧縮する。各モデルを運動の記号とみなし、その記号とその運動アノテーションの対応関係を統計モデルによって学習する。これによって、運動から単語が確率的に連想することが可能になる。また、運動アノテーション内における単語の並びを単語Ngramとして統計的数式モデルに落とし込む。これによって、先の運動から連想された単語を用いて、適切に並べ替えることによって文章を作成することができる。465 個の運動記号、764 個の運動アノテーションを学習したシステムを構築した。全身運動を文章として理解する計算で、88%の認識率が達成できた。



研究テーマ(B)「クラウドソーシングを用いた運動と自然言語の大規模化」

日常生活における人間の行動および言語表現は複雑かつ多様である。このような多岐に渡る行動を理解するロボットの知能を構築する方法として、大量の運動データと言語表現を活用したデータ駆動型アプローチが有効である。しかし、これまでの光学式モーションキャプチャを利用したデータ収集法は、計測設備の条件から運動データの大規模化に限界が見えていた。そこで、どこでも人間の動きを計測できるようにウェアラブルモーションスーツを着用した被験者の運動データを蓄積できる計測環境を整備した。これによって、これまでの 20 分程度の運動データから約 20 時間の運動データを収集することに成功した。また、その運動データに文章を付与する作業において、誰でもが動きを見てその動きを表現する文章を与えることができるクラウドソーシングの環境整備した。その結果として、現在約 60,000 個の文章からなるアノテーションデータを収集した。



CG動画を見ていただき、英語で文章記載（その2）

このタスクって、どんな内容？

【タスク詳細】
人間の動作を計測したCG動画を確認し、動作内容を英文で記述して頂くタスクです。
【英語、例】 a student sits in the desk, he operates a PC
予め時間と主題が入力されています。その時間にどんな動きに見えたかを主題に続く形で文章として入力してください。
CG動画は別の動作が分かりにくい場合がありますが、直観で記載頂く結構です。

※作業実指画面に同意があるので、確認の上、作業を実施してください。
※英文でご記入下さい。
※翻訳サイトへのリンクを用意しているため必要に応じてご利用ください。

【注意】
不適切な回答をされた場合、今後回答を依頼する場合がございますので、ご了承ください。

タスクのサンプル画面

タスクの概要
タスクの種類
もらえるポイント
タスクにかかるめやす時間
残り件数
実質できる件数の上限
報酬詳細
残り日時
オーナー

研究テーマ(C)「大規模な運動の学習認識の高速化手法の開発」

運動や言語のデータが膨大になるにつれて、観察した運動を言語表現として理解する計算も膨れ上がる。特に、人間とインタラクションするヒューマノイドロボットにおいて、その計算時間による遅れは全体の性能評価に直結する。そこで、その計算の高速化として、(1)観察した運動に一番合致する運動記号の統計モデルを選択する計算、および(2)運動記号から文章を



生成する計算をそれぞれ並列処理化するアルゴリズムを構築した。(1)では、観察した運動データが各運動記号の統計モデルから生成される確率の計算を独立に処理する。(2)では、文章生成は、単語を並べて単語列を作る探索計算であり、複数の単語列から単語を追加して文章を求める計算部分を並列化する方法を考案した。考案したアルゴリズムをAmazonのクラウドコンピュータ(CPU E5-2670 8core、メモリ 60.5GB)に実装した。運動から文章を生成する計算に従来の手法では620秒掛かるところ、考案したアルゴリズムによって320プロセスの並列化を行い6.1秒に短縮できることを確認した。

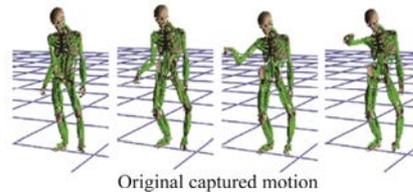
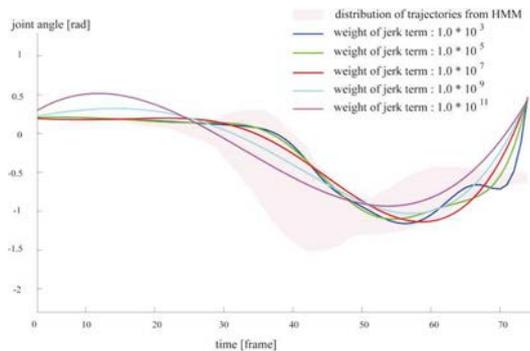
**研究テーマ(D)「環境
適応するための運動の記
号からの全身運動生成手
法の開発」**

人間の全身運動を記憶
し、その動きをロボットの

行動生成に再利用することで人間のような自然な振り舞いをするヒューマノイドロボットを実

現できる。しかし、記憶した動きをそのまま再生するだけでは、求められるような行動を実現することができない。例えば、ある位置に置かれたコップに手を伸ばさず動きを記憶し、コップの位置が異なる状況下で同じ動きを行っても手先はコップに到達することはなく、その動きは意味のないものになってしまう。コップの位置を考慮し、手先がコップに到達するように記憶した運動を修正する必要がある。そこで、生成する運動の軌道が学習した統計モデルから生成される確率と手先がターゲットの位置の誤差を足し合わせた評価関数を設計した。その評価関数を最大化する軌道を最適化問題として解くことによって環境に適応した全身運動を生成する計算方法を確立した。ターゲットに手先を伸ばさず運動を学習した運動記号のモデルを用いて、ターゲットの位置を変えても学習した動きに類似しながら手先がターゲットに到達するような運動を生成できることを確認した。さらに、この手法を力制御へ展開することによって、環境と身体的作用・反作用力を理想な状態に維持しながら動きを制御する手法へと発展させた。

The number of process	(1) motion recognition time [s]	(2) sentence generation time [s]
1	3.4492	620.895
16	0.2354	67.2654
320	0.0427	6.1809



3. 今後の展開

本研究課題では、人間の全身運動を統計モデルとして記号化し、その記号と言語の関係性を抽出することによって、ヒューマノイドロボットが人間の動作を文章として理解すること、および入力された文章から全身運動を生成することを可能とする知能を構築した。特に、運動データや言語データが増大しても、多様に動きを理解できることを確認し、運動や単語の種類に対するスケーラビリティを示すことできた。しかし、身体運動は身体の動きだけで必ずしも記述されるものではない。モノに手を伸ばし、操作し、環境に作用する動きが実世界には多様に存在する。本研究課題で開発した枠組みを、物体操作に係わる運動へ展開することでより詳細に人間の行動を正確に理解できる知能へ繋げて行く必要がある。特に、以下のような基盤技術を確認しながら、物体操作に関する行動認識や行動生成技術を向上させていく必要があるであろう。

- ・身体運動と環境のインタラクションに関する記述法の開発
- ・全身運動に指の動きを追加するための計測環境の整備
- ・環境中のモノなどを指し示す言語表現の増加に伴うスケーラビリティの確保
- ・環境中のモノをカメラや距離センサで分節化・分類する手法の開発
- ・身体と環境の作用・反作用力を運動のモデル化に組み入れる手法の開発

4. 評価

(1) 自己評価

本研究課題では、人間やロボットの身体運動に関する実世界情報と自然言語を統合することによって、多様な身振り手振りや言語表現を交えてコミュニケーションするロボット知能の基盤を確立することを研究目標に掲げている。本研究成果の位置づけおよび自己評価は以下の3点として纏められる。

これまでの行動認識では、観察された運動データを 20 程度のクラスターに分類する問題として設定されて、今も Chalearn (Challenges in Machine Learning)などでジェスチャ認識精度が競われている。しかし、本研究では数千種類の運動を認識し、数万語の単語を用いてその行動を表現する問題としてジェスチャ認識を捉えており、これまでのジェスチャ認識と比較して、カバーする運動の多様さ、言語表現の豊かさでは間違いなくトップクラスである。また、このようなデータセットを公開することで運動認識の分野を引っ張っていくことも期待できる研究成果を上げていることも評価できる。

ヒューマノイドロボットの運動制御に関する研究は古くから行われているが、歩行などの動きに関する安定性に関する制御手法にフォーカスが向けられがちである。そのため、歩行以外の動きを制御するコントローラを設計する指針があまり考案されていない。本研究成果では、多様の運動パターンを統計モデルとして表現することで、そのモデルから全身の運動軌道を発生する生成器としての利用することで、複雑多岐に渡る運動を実行するヒューマノイドロボットのコントローラの要素となる。

自然言語処理にて開発されてきた言語モデルを利用しながら、それを実世界の運動と繋が

る枠組みを開発したことは、ロボット研究だけでなく自然言語処理研究にも簡易に利用できるメリットがあり、その波及効果は大きいと評価できる。

(2) 研究総括評価

人間の身体運動を記号として解釈し、自然言語を用いてロボットの運動を生成することを目指した研究である。本研究の特徴は、理論に裏付けられた大規模な実装にある。まず、身体運動の記号化では、465 個の運動記号を学習するシステムを構築し 88%の認識率を達成している。また、その学習のために、クラウドソーシングを活用して 6 万件の運動アノテーションデータを収集している。さらに、並列計算によってリアルタイムで運動を認識できるシステムを構築し、320プロセスの実装で100倍の性能向上を達成している。こうした成果は、従来の理論研究とは一線を画すもので、実際にロボットを自然言語で制御する突破口を開くものとして高く評価できる。今後は、急速に発達するウェアラブルコンピューティングとの接点を探りつつ、人とロボットの共生社会を実現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. 高野 渉, 濱野 聖也, 中村 仁彦, “統計的相関を用いて運動と言語の構造を結びつけたデータベースの設計”, 電気学会論文誌 C, Vol.133, No.9, pp.1680-1686, 2013 |
| 2. 高野 渉, 中村 仁彦, “全身運動から言語空間の構築と運動の認識への応用”, 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.4, pp.361-369, 2013 |
| 3. 高野 渉, 鮎澤 光, 濱野 聖也, 梅澤 慶介, 中村 仁彦, “身体運動と言語を結ぶロボットの統計的情報処理”, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.7, pp.12-21, 2012 |
| 4. 高野 渉, 上段 達弘, 中村 仁彦, “運動の認識・生成計算の再帰的情報処理を通じた群集をすり抜けるヒューマノイドロボット”, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.11, pp.2466-2476, 2012 |
| 5. 高野 渉, 今川 洋尚, クリッチ・ダナ, 中村 仁彦, “クリスタルボール, “運動の記号推論を通じた未来の行動予測”, 日本ロボット学会誌, Vol.29. No. 8, pp.745-751, 2011 |

(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)

主な国際学会

1. Wataru Takano, Yoshihiko Nakamura, “Synthesis of Whole Body Motion with Pose-Constraints from Stochastic Model,” Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Hong Kong, China, May.31-June.7, 2014 (to be published)
2. Yusuke Goutsu, Wataru Takano, and Yoshihiko Nakamura, “Generating Sentence from Motion by using Large-Scale and High-Order N-grams,” Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 151-156, Tokyo,

Japan, November, 2013.

3. Wataru Takano, Junichi Ishikawa, Yoshihiko Nakamura, “Recovery of 3 Dimensional Human Whole Body Motion from a Monocular Image Sequence by Using Human Behavior Database”, The 2nd IFToMM Asian Conference on Mechanism and Machine Science, Tokyo, Japan, Nov.7–10,2012
4. Wataru Takano, Yoshihiko Nakamura, “Bigram-Based Natural Language Model and Statistical Motion Symbol Model for Scalable Language of Humanoid Robots”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1232–1237, St. Paul, USA, May 14–18, 2012
5. Wataru Takano, Hiroataka Imagawa, Yoshihiko Nakamura : “Prediction of Human Behaviors in the Future through Symbolic Inference,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1970–1975, Shanghai, China, May 9–13, 2011

受賞

1. 郷津 優介, 小林 誠季, 小原 潤哉, 草島 育生, 武市 一成, 高野 渉, 中村 仁彦, “運動・音声・画像の特徴を用いた統合モデルによるマルチモーダルジェスチャ認識”, 第19回ロボティクスシンポジウム 優秀論文 ファイナリスト, 2014.3.13–14
2. 高野 渉, “クリスタルボール:運動の記号推論を通じた未来の行動予測”, 日本ロボット学会研究奨励賞, 2011.9.8
3. 高野 渉, 中村 仁彦, “ヒューマノイドロボットの運動の言語理解と言語からの運動生成計算”, Joint Agent Workshop and Symposium 2011 優秀論文賞, 2011.10.26–28

招待講演

4. Wataru Takano : “Towards Language from Database of Human Whole Body Motions”, Workshop on Semantics, Identification and Control of Robot-Human-Environment Interaction, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Karlsruhe, Germany, May 6–10, 2013
5. Wataru Takano : “Scalable Stochastic Modeling of Human Whole Body Motions”, Workshop on Behavior Learning through Body/Environment Interactions, IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Roma, Italy, June 24–27, 2012
6. Wataru Takano, “Robotics Education with NAO –Beauty in Behaviors of Human and Humanoid Robot”, Workshop on Educating Robotics Engineers and Scientists, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1970–1975, Shanghai, China, May 9–13, 2011
7. 高野 渉, “身体運動の記号と自然言語を結び付ける数理モデルからロボットの知能へ”, 日本ロボット学会ロボット工学セミナー「意味や状況を扱うロボット技術—記号化・対話・ビッグデータ」, 東京, 2013.10.9

研究報告書

「実世界コンテンツを創造／活用するためのミドルウェア」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 22 年 10 月～平成 26 年 3 月

研究者: 塚田 浩二

1. 研究のねらい

近年、多数の Web サービスの登場／浸透に見られるように、情報環境においては、さまざまなコンテンツをユーザが手軽に検索／取得し、さらに創造／発信できる環境が整ってきた。一方、身近な家庭生活などの実世界では、情報環境以上に多様なコンテンツに溢れているが、それらを Web コンテンツと同じように活用することは難しい。さらに、生活空間では情報環境よりはるかに多様な利用状況が存在するため、コンテンツを適切な手段で提示することも困難である。そこで本研究では、生活環境において多様なコンテンツを手軽に創造／活用するためのシステム群「日用品インタフェース」を構築する。まず、衣食住に関わる生活空間の多様なコンテンツを、情報環境で汎用的に利用可能な実世界コンテンツとしてデジタル化する「衣食住ライフログ」では、ユーザの使い慣れた操作を用いたインタラクション手法を提供し、ユーザの利用負担を減らしつつ、適切なコンテキストを付加する。次に、家庭生活／実世界の多様なコンテキストに応じて、多様なコンテンツを提示／活用する「衣食住ディスプレイ」では、ユーザの状況に応じて、各種メディアや情報の粒度を組み合わせた多様な情報提示手法を提供することで、多様なコンテンツを、効果的なタイミングで、生活を妨げずに提示する。さらに、こうした日用品インタフェースの実装を効率化／汎用化するためのツールキット／ミドルウェアを構築する。

2. 研究成果

(1) 概要

生活環境で利用するインタラクティブ・システムの構築手法としては、多数のセンサ／コンピュータを環境側に配置したり、ユーザ自身にセンサ／コンピュータを身につけさせる方法が一般的である。これらの手法は主に、ユーザの行動や状況認識を目的とするが、センサの配置や装着自体がユーザの行動を阻害する可能性も高くなる。

こうした問題を解決するために、我々は家具／生活小物／食器などの身近な日用品に、センサ／コンピュータ等を組み込んだ「日用品インタフェース」を開発してきた。普段利用している日用品の機能を拡張することで、ユーザの負担が少ない状態で、さりげなく生活をサポートするシステムを構築できると考える。

本研究ではこうした日用品インタフェースを生活空間での情報収集／情報提示に活用するための「1. 衣食住ライフログシステム」「2. 衣食住ディスプレイシステム」を構築すると共に、その実装を支援するための「3. ミドルウェア／ツールキット」の設計／開発を行った。さらに、日用品インタフェースのような発明品を研究室での試作に終わらせず、社会を巻き込んで展開するための枠組みとして、「4. 社会参加型研究」の実践を進めた。なお、最後に 2012 年に受賞した「5. イグノーベル賞受賞と講演活動」について簡潔に紹介する。

以下、各項目の詳細について述べる。

(2) 詳細

1. 衣食住ライフログシステム

一般的なライフログシステムは、センサ／カメラを常時ユーザが携帯し、大量の情報を記録した後に、後から中身を解析することが多かった。例えば、常時装着型カメラを用いて一定時間毎に自動的に写真を撮影し、後から写真を画像解析してコンテキストを推定するアプローチが一般的である。しかし、こうしたアプローチは生活環境ではノイズが多い／装置の携帯が負担／常時撮影によるプライバシーの課題といった問題があった。そこで、生活の中で日用品を利用する場面をライフログの取得機会として、適切なコンテキストと共に手軽に記録できる「衣食住ライフログシステム」を構築した。

ここでは、生成するコンテンツの性質に応じて、ユーザの手間をどの程度かけるかという観点から「無意識で活用できるライフログ」「一手間かけるライフログ」の二種類を紹介する。

無意識で活用できるライフログシステムとしては、「DrawerFinder」や「AwareHanger」等がある。DrawerFinder は、引出型収納箱を開閉するだけで、箱の中身／周辺の写真を自動記録し、Web ブラウザから確認できるシステムである。(図 1、国際会議 7)。AwareHanger は、洗濯物用のハンガーに、2つの電極と無線センサを取り付けることで、洗濯物の乾き具合を随時取得し、乾燥状況などを通知することができる(図 2、国際会議 5)。これらのシステムでは、ユーザは普段通りの行動(収納箱を開く／洗濯物を干す)だけで、自動的に情報収集を行うことができるため、極めて少ない負担でシステムを利用できる。

一手間かけるライフログシステムとしては、「TagTansu」や「SmartMakeupSystem」等がある。TagTansu は、洋服をフックに掛けるだけで、洋服の写真を撮影／分類してデータベース化できるダンス型システムである。ベースとなるシステムはさががけ研究開始以前に実装していたが、生活空間での長期運用を意識して、機能／デザイン／堅牢性を配慮した再設計を行い、実験住宅 OchaHouse のクローゼットに完全に組み込む形で実装した(図 3、受賞 3)。SmartMakeupSystem は、小型 PC ベースの簡易な化粧台にカメラ、RFID リーダーを組み込むことで、化粧品の利用履歴／化粧顔写真を手軽に記録し、SNS 経由でグループ間共有して化粧バリエーションの増加などに役立てるシステムである。5名のユーザの家庭でシステムを2週間程度試用する実験を行い、結果をジャーナル論文にまとめた(論文 2)。これらのシステムでは、記録対象が「洋服」や「顔」であり、写真の品質が重要になることから、品質の担保が難しい自動記録手法は採用しなかった。代わりに、「フックに洋服を掛ける」といった最小限の手間で、高品質な写真を記録できるように配慮した



図 1 DrawerFinder の外観



図 2 AwareHanger の外観



図 3 OchaHouse に導入した TagTansu の外観

2. 衣食住ディスプレイシステム

生活空間での情報提示システムは、近年ではスマートフォン／タブレット等の汎用端末が

利用されることも多いが、情報の粒度 (Foreground/Background) や、メディア (視覚/聴覚/触覚等)、提示タイミング等を考慮し、ユーザの活動を阻害しないように設計する必要がある。そこで、生活の中で日用品を利用する場面を情報の提示機会として、利用状況に合わせた粒度/メディア/タイミングで情報提示を行う「衣食住ディスプレイシステム」を構築した。ここでは、日用品自体が情報を提示するだけでなく、そこからユーザの生活行動の改善を支援する「行動改善を促すディスプレイ」システムを紹介する。

EaTheremin は、フォークの持ち手と先端を電極とすることで、食事を食べる際に食材の抵抗値や食べ方に応じて様々な効果音をフィードバックするシステムである。当初はエンターテインメント的側面に注目して開発したが(国際会議 4)、試用の中で食べず嫌いや注意散漫といった子供の食問題を改善できる可能性に着目し、実生活で運用するために堅牢性/スタンドアロン動作/価格/サイズ感等に配慮した改良を重ねた上で(図 4、受賞 2)、5 家庭での 1 週間の実運用の効果を検証し、その結果をジャーナル論文としてまとめた(論文 1)。PotPet は、植木鉢に複数のセンサと移動機能を搭載し、自律的に移動可能な植木鉢型ロボットである(図 5、国際会議 8)。日光を自動的に浴びに行き、水分が少なくなると動き回って人の注意を惹きつけ、水をもらうとくるくる回って喜ぶといったように、植物の状態を動きでフィードバックする。自律的に育成を支援する部分と、人の手を掛ける部分を用意したのが特徴である。MediAlarm は、複数のメディアを組み合わせた目覚まし時計型のシステムであり、ユーザの睡眠状況を取得して SNS 上で共有し、フォロワーからのリプライを受けると専用の音でアラームを鳴らしつつ、リプライ内容を時計のディスプレイに提示する。これにより、誰が何と言って起こそうとしているかを、目覚ましを見るだけで確認することができる。著者の一人が半年以上の運用を行い、その効果やコミュニケーションの影響を検証し、ジャーナル論文を執筆した(図 6、論文 3)。



図 4 EaTheremin の外観



図 5 PotPet の外観



図 6 MediAlarm の外観

3. ミドルウェア/ツールキット

日用品インタフェースのような独自のインタラクティブ・デバイスはハードウェア/ソフトウェア両面の開発が必要となるため、一般に手間がかかる。そこで、様々なセンサ/アクチュエータを PC 等から手軽に使うためのツールキットがこれまでも多数提案されてきた。一方、単一のツールキットだけで多数のシステムを構築することは難しいため、結局制御方法の異なる複数のツールキットを使い分けることになり、面倒であった。そこで、多数のツールキットをさまざまな言語から統一の作法で手軽に扱うためのミドルウェア群「MobiServer」の開発を以前から進めてきた。さきがけ研究初期は、この MobiServer の拡張を進めた。たとえば、USB 接続の汎用 I/O デバイス Gainer を手軽に扱うためのミドルウェア「GainerServer」や、無線通信モジュール XBee を無線センサとして手軽に扱うためのミドルウェア「XBeeServer」を実装した。さらに、制御コマンドを即座にプレビューできる機能を追加し、マニュアルなどをほぼ参照しなくてもミド

ルウェアを利用できるよう改良した。また、MobiServer を用いたシステム開発手法に着目し、ジャーナル論文を執筆した(論文 5)。

研究当初は、継続的にこのミドルウェアを発展させる予定だったが、(1)研究期間中に、Arduino 等のマイコンベースのツールキットが急速に普及し、PC ベースのツールキットが主流ではなくなりつつあり、(2)PC/マイコンベースに限らず、既存のツールキットでは日用品インタフェース開発の重要な部分をサポートできないことに気付いたため、新たなツールキットの開発を進めることにした。すなわち、日用品インタフェースの実装には、「情報(プログラミング)」「電気(電子回路)」「構造(筐体)」の三要素が必要となるが、これまでのツールキットの多くは、「センサ/アクチュエータを如何にプログラムから効率的に制御するか」という、「情報+電気」の部分のみに注目しており、構造のサポートはほとんど行われず、個人のスキルやノウハウに任されていた。しかし、生活環境で安定して利用できる日用品インタフェースを開発するためには、筐体等の構造部分の完成度が重要である。このように、従来のツールキットでは、「ひとまず動作するものを素早く作る」ことは容易になっても、中長期的に安定動作するシステムを作ることは難しかった。本研究では、この「構造」部分に焦点を当てて、情報+電気+構造を結ぶ新しいツールキットを提案するべく、コンセプトの整理と試作を進めた。(※本報告書執筆時点では未発表のため、詳細は非公開欄に記載。)

4. 社会参加型研究

さきがけ研究を進める中で、日用品インタフェースのように「生活に身近なシステムを作っているのに、実際に社会展開することは難しい」というジレンマを強く感じるようになった。ソフトウェアの発明と異なり、ハードウェアの世界では、「(研究室での)試作」と「(量産を伴う)製品」の間に大きな壁があり、いかに試作技術を高めても世の中に流通させることは困難だった。こうした状況を打破するための研究成果の社会展開手法として、(1)ハードウェアベンチャー/(2)クラウドファンディング/(3)シチズンサイエンスといったムーブメントに積極的に取り組んだ。

(1)ハードウェアベンチャーについては、個別のハードウェアベンチャー企業と議論を深めると共に、後述のニコニコ学会βで「ハードウェアベンチャー」を題材としたセッションを企画し、試作と量産の違いや資金調達手法、ハードウェア特有の困難さについて日本を代表するハードウェアベンチャー社長の生の声を描いた。本セッションはニコニコ生放送で数万人のオンライン視聴者を得ると共に、日経 BP 等の媒体で詳しく報道された(招待講演 6、メディア 3、5)

(2)クラウドファンディングについては、日用品インタフェースのようなインタラクティブ・デバイスを社会展開するための資金調達/広報手段として着目しており、前述の食事を奏でるフォーーク「EaTheremin」を題材に、実際に「Cerevo Dash」というサービス上で挑戦した。結果的には目標金額を達成することはできず失敗に終わったが、国内の研究者業界では最初期の試みであり、多くの課題発見を行うことができたため、今後の展開につなげていきたい。なお、本試みはクローズアップ現代(3Dプリンタ特集)等、複数のメディアで紹介された(メディア: 6)

(3)研究者や開発者と一般ユーザが集まって同じ立場で意見交換、議論を行うコミュニティ活動「シチズンサイエンス」の取り組みを進めた。具体的には、シリコンバレーで生まれたライフログ/ヘルスケアのコミュニティ「Quantified Self」の日本版をさきがけ同期の城戸研究者らと共同で 2011 年に立ち上げ、これまでに 5 回のミートアップを開催すると共に、動画アーカイブの作成や講演を行った。また、ニコニコ動画上で活躍する本職ではない野生の研究者を発

掘るコミュニティ「ニコニコ学会β」の立ち上げ／運営に参加し、先に述べたハードウェアベンチャーセッションの企画／座長に加え、2回の登壇発表を行った(招待講演:4)。また、こうしたシチズンサイエンスの動向について、「市民参加型コミュニティ」と題して情報処理学会巻頭コラムの執筆を行った(解説:1)。

5. イグノーベル賞と講演活動

直接のさきがけテーマではないが、人の発話を阻害する装置「SpeechJammer」で2012年のイグノーベル賞を受賞するとともに(受賞:1)、国内外数百以上のメディアで配信された(メディア:10、11)。これ以降様々な分野で多くの講演／取材依頼を現在に至るまで継続的に頂き、私自身の研究、ひいてはHCIや情報科学の魅力を社会にアピールできると判断したものについて積極的に対応した。国内／国際学会をはじめ多彩なコミュニティでの招待講演(招待講演:1～5)や、ドラえもん書籍／高校生向け受験冊子／企業経営者向け媒体／NHK視点論点等多数のメディアでメッセージ発信を行った(メディア:1、2、4、7、8、9)。

3. 今後の展開

今後は、日用品インタフェースを提案／試作／運用するだけでなく、社会の中で利用／流通できるような支援ツールや枠組み作りに併せて取り組んでいきたい。

さきがけ期間では多数の日用品インタフェースの試作と実生活での運用に取り組んできたが、その過程の中で、実装したシステムを実生活で安定的に運用／評価するためには、(1)デモの現場だけ動けばよいという「瞬間」視点から、長期的に安定動作する「持続」視点への転換や、(2)1台のデバイスが動けばよいという「ワンオフ」実装から、複数台のデバイスを同品質で実装するための「(極)小ロット」実装への転換が必要であることを強く認識した。

私自身も含めて、既存のプロトタイプ支援ツールの多くは、「アイデアを素早く形にする」ことのみを支援してきたが、今後は単なる素早さだけではなく、『丈夫に／低コストで作り、実生活／社会で利用する』ことを目指した、「出口を見据えたプロトタイプ支援」が必要になると考えている。

このための出口としては、「中長期的な一般家庭での運用」、「ファブリケーション環境を前提とした設計図の共有と再構築」、「ハードウェアベンチャーやクラウドファンディングを活用した小ロット生産」の3つを大きく考えており、社会参加型研究の取り組みを続けていく中で、支援ツールから社会的枠組みまでを組み合わせた実現を目指す。

4. 評価

(1) 自己評価

衣食住ライフログ／ディスプレイシステムを中心とした日用品インタフェースの提案／試作／運用／評価は順調に進んだと考えている。一方、ミドルウェア／ツールキットについては、当初はPC等からセンサ／アクチュエータを手軽に扱うためのミドルウェア群を改良／発展させていたが、2-3で述べた理由から方向性を大きく切り替えたため、進捗が遅くなり、さきがけ期間終了までに発表できなかった点が心残りである。

その過程で注力した社会参加型研究については、クラウドファンディング等の社会システムの活用や、ハードウェアベンチャー等の試作と製品の壁を超える試みに積極的に取り組んだ。さらに、ニコニコ学会β / Quantified Self 等の市民参加型コミュニティの積極的な参加 / 運営に関わる等、学会とは異なる新しいコミュニティ形成に努めた。

また、2012年9月のイグノーベル賞受賞をきっかけに、様々な分野で多くの講演 / 取材依頼を継続的に頂き、さきがけ研究、ひいてはHCIや情報科学の魅力を広くアピールする機会と考へ、積極的に対応した。

総合的には、さきがけ研究期間においては、一定の研究業績 / 十分な社会認知度 / 今後の明確な研究の方向性を得ることができたと考えている。進捗の遅れたツールキットについては、今後注力して発表 / 社会展開を行っていきたい。

(2) 研究総括評価

生活環境でのコンテンツ生成と利用を加速するために、生活そのものをデジタル化して記録する衣食住ライフログと、生活の中で情報提示を行う衣食住ディスプレイの開発を行っている。衣食住ライフログは、ユーザーの日常生活での行動を契機に無意識のうちに情報収集を行うもので、情報を記録するための負担が小さい。但し、記録対象が顔や服など品質が重要となる場合にも、最小限の手間で高い品質の記録を可能としている。一方、衣食住ディスプレイは、スマートフォンやタブレットなどの汎用端末とは発想が異なり、日用品の利用を情報の提示機会と捉えるもので、生活習慣の改善などに繋がる可能性を持つシステムである。また、こうしたシステムの実装を支援するミドルウェア「MobiServer」を構築し、さまざまなプログラミング言語から利用可能としている。さらに、情報 / 電気 / 構造の融合に着目した新しいツールキットの取り組みを進めている。これらの研究は、デジタルファブリケーションの普及と呼応するもので、研究者の才能を核とした市民参加のものづくりへと発展することを期待したい。さきがけ期間中にイグノーベル賞を受賞したことも、研究に彩りを添えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Azusa Kadomura, Koji Tsukada, Itiro Siio, EducaTableware: Sound Emitting Tableware for Encouraging Dietary Education, Journal of Information Processing, Vol.22 No.2 (accepted)
2. 中川 真紀, 塚田 浩二, 椎尾 一郎: Smart Makeup System: ライフログを用いた化粧支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No.4, pp. 1563-1572
3. 沖 真帆, 塚田 浩二, 椎尾 一郎: MediAlarm: 多様な目覚めを支援する起床支援インタフェース, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.13 No.4, pp. 323-334 (Nov, 2011)
4. 神原 啓介, 半田 智子, 塚田 浩二, 椎尾 一郎, 日常空間で常時利用するためのカーテンメタファを用いたビデオコミュニケーションシステム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.13, No.4, pp.291-302 (Nov. 2011).

5. 神原啓介, 塚田 浩二: ユビキタスコンピューティングに適した GUI 開発手法, 日本ソフトウェア科学会論文誌(コンピュータソフトウェア), Vol.28, No. 4, pp. 172-182, 岩波書店 (Apr, 2011)

(2) 特許出願

無し。

(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)

国際会議

1. Azusa Kadomura, Cheng-Yuan Li, Yen-Chang Chen, Koji Tsukada, Itiro Sii, and Hao-hua Chu. Sensing fork: eating behavior detection utensil and mobile persuasive game. Extended Abstracts on CHI 2013 (WIP), pp.1551-1556. (May, 2013)
2. Maho Oki, Koji Tsukada, Kazutaka Kurihara, Itiro Sii: HomeOrgel: Interactive music box to present actual home activities, Proceedings of APCHI 2012, pp.177-186 (Aug, 2012)
3. Chiho Watanabe, Koji Tsukada, Itiro Sii: JewelryStudio: System for capturing/browsing pictures of jewelry from multiple viewpoints, Proceedings of AVI2012, pp.673-676, (May, 2012)
4. Azusa Kadomura, Reina Nakamori, Koji Tsukada, Itiro Sii: EaTheremin, ACM SIGGRAPH ASIA 2011, Emerging Technologies, (Dec, 2011)
5. Nanami Tajima, Koji Tsukada, Itiro Sii, AwareHanger: Context-aware hanger for detecting laundry states, Adjunct Proceedings of Pervasive 2011(Poster), pp. 13-16 (Jun, 2011) 【Best Poster Award】
6. Maki Nakagawa, Koji Tsukada, Itiro Sii, Smart Skincare System: Remote Skincare Advice System Using Life Logs, Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference (AH2011), pp. 21:1-21:8, ACM Press, (Mar, 2011)
7. Mizuho Komatsuzaki, Koji Tsukada, Itiro Sii: DrawerFinder: Finding Items in Storage Boxes using Pictures and Visual Markers, Proceedings of 2011 International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI2011), pp.363-366, 2011.
8. Ayumi Kawakami, Koji Tsukada, Keisuke Kambara, and Itiro Sii, PotPet: Pet-like Flowerpot Robot, Proceedings of 5th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI 2011), pp.263-264 (2011).

解説記事:

1. 塚田 浩二: 市民参加型コミュニティ, 情報処理学会誌, Vol.54, No.11, 巻頭コラム (Nov, 2013)
2. 塚田 浩二: 「研究 100 連発」, ニコニコ学会βを研究してみた(江渡 浩一郎 編), pp. 132-147, 河出書房新社, 2012/5/8
3. 塚田 浩二: Phidgets 入門-工作不要の元祖フィジカル・ツールキット(夏休み工作のためのフィジカルコンピューティング特集), 情報処理学会誌, Vol.52, No.8, pp. 926-929

(2011)

受賞(本人のみ):

1. Ig Nobel Prize (Acoustics), for creating the SpeechJammer — a machine that disrupts a person's speech, by making them hear their own spoken words at a very slight delay, 2012.
2. 電子工作コンテスト 審査員特別賞, EaTheremin, 2012.
3. マッシュアップアワード6 優秀賞, TagTansu: 洋服とWebをつなぐマッシュアップ・クローゼット, 2010.

招待講演／パネル:

1. 塚田 浩二, 「日用品インタフェースとその社会展開」, 日本デジタルゲーム学会年次大会, 招待講演, 2014/03/10
2. 塚田 浩二, 「ユーモア精神と豊かな着想の大切さ」, 第46回 道南地区老人福祉施設職員研究大会, 基調講演, 2013/09/27
3. Koji Tsukada: SpeechJammer & Augmented Commodities, Banquet talk at the First International Conference on Human-Agent Interaction (iHAI2013), 2013/08/08
4. 栗原 一貴, 塚田 浩二, 「イグノーベル賞受賞記念講演」, 第三回ニコニコ学会β, 六本木ニコファーレ, 2012/12/22
5. 塚田 浩二「実世界とIT・デジタルコンテンツの融合によるユビキタスコンピューティング実験住宅」, スマートコミュニティが拓く新ビジネス創出セミナー, 港勤労福祉会館 (2012/10/29)
6. (※パネル企画／座長)塚田 浩二, 「ハードウェアベンチャー」, 第四回ニコニコ学会β(ニコニコ超会議2内), 幕張メッセ(2013.4.28)

メディア(※塚田本人が直接対応したものから抜粋)

1. Biz コンパス「リーダーに聞く」, 「アイデアの価値は「かたち」にして初めてわかる」 2013/10/15, <http://www.bizcompass.jp/interview/049-1.html> (※経営者向け Web マガジン. 各業界のリーダーの仕事術として塚田インタビューを紹介)
2. 進研ゼミ「学べる大学探せる辞典」, 巻頭メッセージ「好奇心は学問だ」, 2013/6 (※高校2年生向け進学情報誌. 塚田から受験生へのメッセージを掲載)
3. 日経BP社ITPro, 「なぜ今ハードウェアベンチャーなのか、SpeechJammer 共同開発者の塚田浩二准教授に聞く」, 2013/6/10
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20130606/482830/>
4. マガジンハウス WEB ダカーポ, 「ハリーポッターの世界が現実には!?日用品×コンピュータの可能性」, 2013/5/10, <http://dacapo.magazineworld.jp/top/110720/>
5. 日経BP社ITPro, 「起業するなら今、日本の家電力は世界一」、ハードウェアベンチャーがニコニコ学会βで熱弁, 2013/04/30
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20130430/474401/>
6. NHK「クローズアップ現代」, 「3Dプリンター革命 変わるものづくり」, 2013.3.12

7. ドラえもん科学ワールド Special -ひみつ道具 Q&A-, 2013/02/28 (※ひみつ道具「おそだ飴」との比較で「SpeechJammer」が紹介)
8. NHK「視点・論点」, 「発明とその社会展開」, 2012.10.19.
9. NHK 教育テレビ 高校講座 情報 A 「ネットワークの仕組み」, 2012/6/28 (※塚田がゲスト講師として全編で実験住宅 OchaHouse と日用品インタフェースを紹介)
10. Physics Central, “Silencing with the Speech Jammer”, 2012/11/21
<http://physicscentral.com/explore/action/speech-jam.cfm>,
11. Seattle times, “Shut up! Speech jammer among 2012 Ig Nobel winners”, 2012/09/21
http://seattletimes.com/html/business/technology/2019216227_apusignobels.html
(※AP 通信配信で世界中多数のメディアで報道.)

研究報告書

「広領域・非装着型視線検出技術の開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成22年10月～平成26年3月

研究者: 中澤 篤志

1. 研究のねらい

本研究では「角膜イメージング法」を使った新しい注視点検出技術および関連技術の開発を行った。注視点検出とは人が見ているシーン中の点を推定する技術であり、興味・意図推定や心理状態の推定、コミュニケーション解析などに利用されている。特に私は本技術が乳幼児の発達障害の早期診断に有効であることに着目し、この用途に使用可能な技術の開発に取り組んだ。

「さきがけ」研究としての本取り組みの狙いは3つある。1つは角膜イメージング法による注視点計測手法の確立である。この方法は、人の角膜に反射する映像を撮影することで人がどこを見ているかを推定する。従来の視線検出法である PCCR 法に比べ非装着、校正不要、パララックス誤差がないという顕著な長所が得られる。一方角膜の表面反射は弱いため、シーン光が暗い場合に推定が難しくなる。これを解決するため、シーンを時系列パターンで照明する手法を提案・実装し、有効性を確認した。また、角膜の反射光を頭部が動く状況下でも捉えられるように、カメラを格子状に配置し焦点パラメータを距離カメラを使って動的にチューニングするシステムを開発した。

2点目としては本技術を、注視点推定のみならず、他の手法や新しい情報獲得に用いるための理論・基礎技術・応用技術を確立することである。まず、眼球の表面反射系を計算するための手法を導いた。次に、人の注視方向が光軸とは異なることからこれを補正する手法を求めた。これらの基礎理論を用いて、眼球の表面反射光からシーンを高解像で復元する超解像復元法を開発した。また同理論およびランダムリサンプリングによるロバスト画像マッチング法を開発することで、シーンの画像と角膜表面反射画像を頑健に対応付ける手法を開発した。

3点目としては、コンピュータサイエンスとライフサイエンス・心理分野等を融合した新しい研究分野を立ち上げることである。私は乳幼児の行動解析のコンピューテーショナルなアプローチに着目し、この分野で先進的な研究をしている研究者を集めワークショップを開催し、将来的な継続研究分野として発展させるべく活動を行った。本グループには、「さきがけ」メンバーを始め日本で先進的な研究を行っている研究者、および NSF プログラム Computational Behavioral Science のメンバーが含まれ、活発な議論が行われた。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では「角膜イメージング法」を使った新しい注視点検出技術およびその関連技術の開発を行った。注視点検出とは、人が見ているシーン中の点を推定する技術であり、興味・意図推定や心理状態の推定、コミュニケーション解析などに盛んに利用されている。特に本研究では乳幼児の発達障害の早期診断に注視点推定が有効であることに着目

し、この用途に使用可能な技術を開発することを目的とした。

これを実現するため、私が従来から取り組んでいる角膜イメージング法を用いる手法を研究した。これは、人の角膜に反射する映像を撮影することで、目に入射するシーンからの光を直接捉える方法である。つまり、シーンの画像と角膜に反射した画像を直接対応付けることで、人がどこを見ているかを推定したり、人の周辺視の推定を行う。この方法を使うと、従来の視線検出法である PCCR 法に比べ非装着、校正不要、パララックス誤差がないという顕著な長所が得られる。一方角膜の表面反射は弱いため、シーン光が暗い場合に推定が難しくなる。

これを解決するため2種類のシステムを開発した。シーン点と角膜反射を頑健に対応付けるためには、シーンを照明すればよい。この考え方に基づき、シーンに赤外 LED によるスポット光を多数投影するシステム(LED-AP)を開発した。この装置は格子状に配置したパワー赤外 LED からなり、各々の点灯パターンを高速で切り替えることが可能である。格子の各 LED を異なる時系列パターンでコード化し、それを撮影した画像からパターンを復元することで各々の照明位置を復元し、シーン点と角膜反射点の対応付けを得る。これにより注視点を判別することが出来る。同様の考え方を用い、小型 LED マーカーとして搭載したシステムも開発した。この小型マーカーをオブジェクトに貼り付けることで、注視対象物を判別する構成も可能である。

乳幼児を対象にしたシステム開発は、ジョージア工科大学の James Rehg 教授のグループと中心に推進している。本グループでは、NSF Expedition プログラムの1つである Computer Behavioral Science プロジェクトを推進しており、乳幼児の行動解析や視線行動解析から、発達障害の診断手法を開発しようとしている。本研究はこのプロジェクトの視線検出装置の開発部分を担っており、乳幼児の動作に対して安定的に角膜表面反射の画像を取得できるカメラを開発している。本システムを構築し、実際の乳幼児の視線検出実験を行った。

(2) 詳細

研究テーマ A : 透視投影系における角膜イメージングの理論の導出

まず、角膜イメージング法の基礎技術となる、シーン光の眼球表面での反射問題についての定式化を行った。同様の研究は従来でもあったが、我々はこれを透視投影系において解析的に導出する手法を導いた(論文 1,2)。これにより眼球の撮影画像から、シーン光の状況を正確に推定することが可能となった。

研究テーマ B : アクティブライティングを用いた注視点推定法の研究

研究テーマ A で得られた結果を用いて、人の眼球の表面反射から注視点推定を行う手法を開発した。この問題を解決するに、以下の技術を開発した

1. 角膜反射画像から注視点からの光を推定する技術

人の眼球および角膜を球面と見なし、その3次元球面状の光の反射を計算することで、注視点からの光が角膜画像中のどこで反射したかを解析的に求める手法を開発した(図1左)。我々はこの点を GRP (Gaze Reflection Point)と呼ぶ。人の視線は眼球

の光軸とは多少ズレているため、これを補正する手法も開発した(図1右)。これにより眼球反射画像の GRP に対応したシーン点を求めれば、注視点も求まることになる。

2. アクティブライティングによりシーンと角膜反射点を対応付ける技術

一方、シーンと角膜表面反射画像を対応付けるのも難しい問題である。これは、角膜反射画像は品質が悪い(暗い、低解像度、ノイズが多い)という問題のためである。これを解決するために、シーンを時系列パターン光で照明し対応付ける手法を開発した。パワーLED とフレネルレンズをアレイ状に配置し、シーンにスポット光を照明する LED-AP (LED Array Projector)を開発した(図2左)。また同様の考え方をを用いて、小型のプログラマブル発光マーカーをシーン中のオブジェクトに貼り付け、注視対象物を検出する構成も開発した(図2右)。

この技術を実装し、実験により検証を行った。その結果、従来法(PCGR 法)と同様の性能(誤差平均0.7~0.9度)を示し、また従来法では誤差が大きくなることが知られている、奥行き変化がある状況でも安定した注視点推定が可能であることを示した。

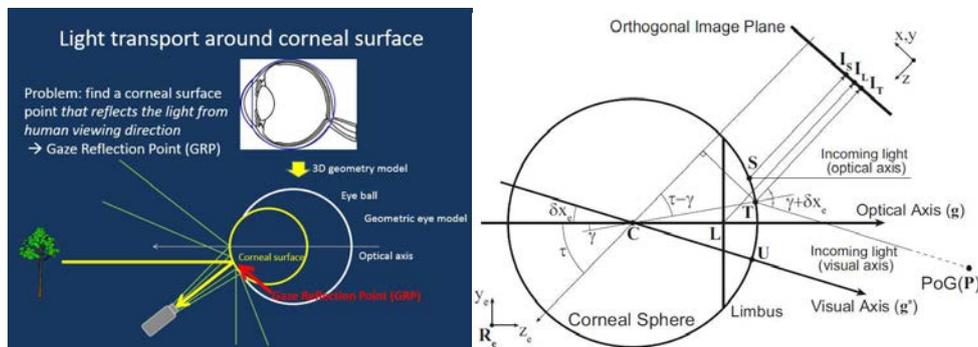
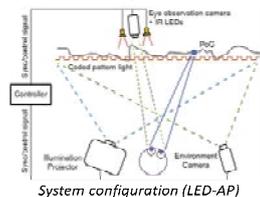


図1 角膜表面における表面反射系。(左)眼球の3次元モデルとシーンの反射像。(右)眼球の視線と光軸の差異を考慮した反射計算。

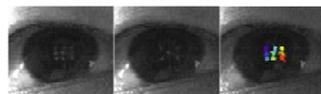
LED array projector (LED-AP)



LED array projector (42 LEDs)



System configuration (LED-AP)



Corneal reflection images of a 9 LED config. (left, center) and a code recovery result (right)

Coded LED marker



Coded LED marker



System configuration (Coded LED marker)



Corneal reflection images. Bright points are reflections of two markers. Magenta: Iris boundary, Yellow: GRP

図2 アクティブライティングによる視線検出法。左:LEDアレイによる方法, 右:発光マーカーによる方法

研究テーマ C :眼球表面反射からの超解像シーン推定法

研究テーマ A の基礎技術を使うと、角膜の表面反射画像からシーン画像の超解像復元を行う事が可能になる(発表論文4)、この流れおよび結果を図3(左)に示す、まず複数の角

膜表面反射画像から眼球の姿勢推定を行い、眼球面周囲の光線マップを推定する、これらの光線マップを位置合わせ(レジストレーション)し、注目領域周辺を中心とした局所平面に投影する、この投影した画像中で超解像処理を行う事で、図3(右)のような結果を得ることが出来る、このように本研究では、角膜の表面反射画像を複数組み合わせれば、比較的高解像なシーンの情報を復元できることを示した。

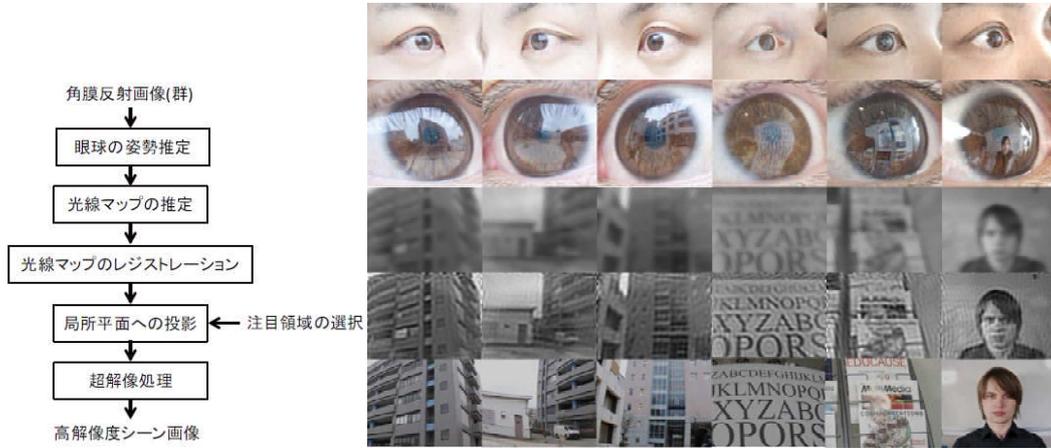


図3 角膜表面反射画像からの超解像シーン復元法。(左)手法の流れ、(右)結果。最上行:入力画像, 2行:眼球領域, 3行:単一画像からのシーン復元結果, 4行:複数画像から提案手法で超解像復元した結果, 5行:実際のシーン画像。

3. 今後の展開

今後は、本手法を利用し実際の乳幼児の視線検出システムとして実用していく事が目標となる。乳幼児の眼球表面反射計測システムはジョージア工科大学のグループと共同開発しており、現在同大学内にある Children Observation Lab での実験を計画している。まずは、完全にパッシブな画像を使って計測を行った後、状況に応じてアクティブ光を用いたシステムの導入を検討しているところである。

一方、近年の Glass system に代表されるヘッドマウントシステムの急速な注目度を考えると、ヘッドマウントシステムに視線検出装置を搭載しインタフェースとして利用する事が展開として考えられる。本研究を発展させヘッドマウントシステムに実装すべく、必要な技術を開発していくことが重要であると考えている。

4. 評価

(1) 自己評価

理論面について

角膜イメージング法の理論面については、本研究で十分な成果が上げられたと考えている。角膜イメージング法は従来から存在はしていたが、私の研究は、その新しい解析手法、人の個人誤差の補正手法、アクティブライティングの方法などを開発することで、視線検出システムとして十分な性能を持ち、また従来法よりも優れた点が多いことを見いだした。また、研究テーマ D(非公開事項)では、角膜イメージングの新たな基礎技術となる重要な方法を開発できたと考えている。またこれを発展させた研究テーマ E(非公開事項)では、角膜イメージング法

が従来の視線検出を超えた、新しい情報を提供することを示したものと考えている。

実応用面について

実応用面については、私は従来からつながりのあるジョージア工科大学のグループと共に、乳幼児のための遠隔角膜画像計測システムの開発に取り組んだ。ただし、本研究は初年度より準備していたものの、当初考えていた PTZ (Pan tilt zoom) カメラによる構成が、乳幼児の計測実験にはノイズとなることが議論の上で指摘されたため、計画変更を行い、カメラを格子状に配置し、それぞれのカメラのフォーカスを動的に制御するというシステムの開発を行った。このような経緯から、研究終了時間近くにシステムが完成し、乳幼児に対する実験を開始できる状況になった。まだ本システムを実応用に供するには時間のかかる状況ではあるが、今後も精力的に問題点を発見し、来年・再来年度中を目処に実システムとして提供したいと考えている。

(2) 研究総括評価

本研究は、角膜イメージング法を用いて注視点検出技術の開発を行い、理論的にも実際的にも注目すべき成果を上げている。角膜イメージング法は、採択当時は余り注目されていなかったが、研究者の努力もあり、今日では広く知られる技術となった。本研究では、まず、多数の赤外 LED のスポット光を壁に投影し、その角膜反射から注視点を解析的に判別するシステムの開発に成功している。次に、一連の角膜反射画像を解析し、画像を複数組み合わせ高解像なシーンを復元することに成功している。特筆すべきは、本研究が一貫して乳幼児の心理状態の推定を目的に行われたことである。乳幼児の発達障害の早期発見・理解という社会課題を掲げつつ、基盤的な技術が研究され、国際特許の申請に至ったことを高く評価したい。今後も研究が継続され、ウェアラブルコンピューティングなどへの適用が行わ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. Atsushi Nakazawa and Christian Nitschke, "Point of Gaze Estimation through Corneal Surface Reflection in an Active Illumination Environment", 12th European Conference on Computer Vision (ECCV), pp.159-172, 2012.
2. Atsushi Nakazawa and Christian Nitschke, "Equipment and Calibration-Free Eye Gaze Tracking (EGT) using Eye Surface Reflection and High-Framerate Programmable Illumination Projector", JST Workshop conjunction with IEEE-VR, 2011.
3. Atsushi Nakazawa, Christian Nitschke, "Point of Gaze Estimation through Corneal Surface Reflection in an Active Illumination Environment", 画像の認識と理解シンポジウム 2013.
4. Christian Nitschke and Atsushi Nakazawa, "Super-Resolution from Corneal Reflections", 23rd British Machine Vision Conference (BMVC), pp.22.1-22.12, 2012.
5. 中澤 篤志, ニチュケ クリスティアン, ラドコフ アレクサンダー, 竹村 治雄: "眼球の表

面反射と高速アクティブ光投影を用いた非装着・事前校正不要な注視点推定”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)講演論文集, pp. 41-48, Jul. 2011.

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 3件

1.

発明者: 中澤 篤志

発明の名称: 注視点検出装置、注視点検出方法、個人パラメータ算出装置、個人パラメータ算出方法、プログラム、及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体

特許権者: 独立行政法人科学技術振興機構

特許番号: 特許第5467303号

2.

上記1の国際特許移行をJSTにて決定済み

3. (出願まで非公開で願います)

発明の名称(仮): 眼球角膜表面反射と環境画像の自動位置合わせ法

(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. GRAPHICS と CAD 研究会優秀論文賞, 中澤篤志, 情報処理学会, 2011 年 11 月
2. 平成 25 年度コニカミノルタ画像科学奨励賞

国際シンポジウム主催

1. First International Symposium on Computer Behavior Science, Organizer, 2013 年 9 月.
URL: <https://sites.google.com/site/cbsshonan/>

招待講演

1. Atsushi Nakazawa, "Computational behavioral science – what's going on in computer science about behavioral observation?", Inuyama Comparative Social Cognition Symposium, 2014.
2. Atsushi Nakazawa, "Sensory techniques for Developing Interactive Agents", 2013 Japan-Korea Workshop on Information, Communication and Robotics Technology Innovation for Population Aging, 2013.
3. Atsushi Nakazawa, Christian Nitschke, "Point of Gaze Estimation through Corneal Surface Reflection in an Active Illumination Environment", 画像の認識と理解シンポジウム 2013.
4. Atsushi Nakazawa and Christian Nitschke, Corneal Imaging Technique: state-of-the-art theories and applications, Georgia Institute of Technology Tech Talk, 2013.

5. 中澤 篤志, ニチュケ クリスティアン:“眼球表面の光学系とその注視点検出への応用”, HI 学会コミュニケーション支援専門研究会, 2011.10.28.

論文

1. David Tsai, Matthew Flagg, Atsushi Nakazawa and James M. Rehg, “Motion Coherent Tracking Using Multi-label MRF Optimization”, International Journal of Computer Vision, DOI 10.1007/s11263-011-0512-5, <http://www.springerlink.com/content/b433v666376j8521/>, 2011.12.
2. Christian Nitschke, Atsushi Nakazawa, Haruo Takemura, “Corneal Imaging Revisited: An Overview of Corneal Reflection Analysis and Applications”, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications (CVA), Vol. 5, pp. 1-18, 2013.
3. Christian Nitschke, Atsushi Nakazawa, Haruo Takemura, “Display-camera calibration using eye reflections and geometry constraints”, Computer Vision and Image Understanding, Volume 115, Issue 6, Pages 835-853, 2011.6.

国際会議

1. Norimichi Ukita and Atsushi Nakazawa, “Human Body-parts Tracking for Fine-grained Behavior Classification”, IEEE Workshop on Decoding Subtle Cues from Social Interaction in conjunction with ICCV 2013, 2013.
2. Christian Nitschke, Atsushi Nakazawa and Toyoaki Nishida, “I see what you see: Point of Gaze Estimation from Corneal Images”, Asian Conference on Computer Vision (ACPR2013), 2013.
3. Takuya Yasunaga and Atsushi Nakazawa, “Human-Computer Dance Interaction with Realtime Accelerometer Control”, ACM Multimedia 2012, pp.1157-1160, 2012.
4. Christian Nitschke, Atsushi Nakazawa and Haruo Takemura, “Practical Display-Camera Calibration from Eye Reflections using Coded Illumination”, First Asian Conference on Computer Vision, 2011.
5. Atsushi Nakazawa and Kensuke Yasufuku, “DISASTER SCENE ANALYSIS AND SIMULATION USING LASER RANGE IMAGES”, International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation, pp.265-272, Kobe, 2011.
6. Naoki Numaguchi, Atsushi Nakazawa, Takaaki Shiratori and Jessica K. Hodgins, “A Puppet Interface for Retrieval of Motion Capture Data”, Proceedings of the 2011 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation (SCA '11), pp.157-166, 2011.
7. Christian Nitschke, Atsushi Nakazawa, Haruo Takemura, “Eye Reflection Analysis and Applications”, International Computer Vision Summer School (ICVSS2011), 2011.

国内会議

1. 中澤篤志, ニチュケ クリスティアン, 角膜イメージング法を用いた校正無し注視点推定, 第 31 回 日本ロボット学会 学術講演会, 2013.
2. Christian Nitschke, Atsushi Nakazawa, "Super-Resolution Scene Reconstruction from Corneal Reflections", 画像の認識と理解シンポジウム 2013.
3. 中澤篤志・クリスティアン ニチュケ, "角膜イメージング法を用いたパララックス誤差に頑健な注視点推定法", 画像センシングシンポジウム 2013.
4. 沼口直紀, 中澤篤志, 白鳥貴亮, ジェシカ ホギンス: "センサ内蔵人形インタフェースを用いた大規模モーションキャプチャデータの検索手法", 信学技報, vol. 111, no. 430, PRMU2011-193, pp. 41-46, 2012 年 2 月 9 日.
5. 安永 卓哉, 中澤 篤志, 竹村 治雄: "加速度センサによるユーザコントロールを導入した音楽に合った舞踊動作の自動生成", 研究報告音楽情報科学研究会(MUS), 2012-MUS-94, Vol.25, pp.1 - 6, 2011.1.27.
6. 沼口直紀, 中澤篤志, 白鳥貴亮, ジェシカ ホギンス: "センサ内蔵人形を用いたモーションキャプチャデータの検索手法", 情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会 145, 2011.11.17.
7. 安永卓哉, 中澤篤志, 竹村治雄: "加速度センサによるユーザコントロールを導入した音楽に合った舞踊動作の自動生成", 第 4 回楽天開発シンポジウム, 2011.11.19.
8. 中澤 篤志, ニチュケ クリスティアン, ラドコフ アレクサンダー, 竹村 治雄: "眼球の表面反射と高速アクティブ光投影を用いた非装着・事前校正不要な注視点推定", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)講演論文集, pp. 41-48, Jul. 2011.
9. ニチュケ クリスティアン, 中澤篤志, 竹村治雄, "新しいインタラクション技術およびシーン理解のための眼球姿勢推定および反射解析に関する研究", コンピュータビジョンとイメージメディア研究会(CVIM177-2011), 2011.

研究報告書

「(研究課題名)」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 22 年 10 月～平成 26 年 3 月

研究者: 森嶋厚行

1. 研究のねらい

本研究では、デジタルコンピュータと人の知を利用するハイブリッドコンピューティングを設計・実装するための“プログラミング言語”および“開発実行環境”を開発する。かつては、プログラミングの対象は計算機の動作だけであった。一方、近年は計算機では処理が困難な問題の処理を人間に委託するヒューマンコンピューテーションや、不特定多数の人に委託するクラウドソーシングが注目を集めている。今後人類が直面する困難な問題を解決するために、得意分野が異なる計算機と人間の知を融合して立ち向かう事が重要になると考えられる。

本研究で対象とするアプリケーションは次の性質を持つものである。(1) データの生成、入力、維持、検索などが主要な機能であり、かつ(2) 計算機だけでなく人による処理が重要な構成要素である。これらの性質を満たすアプリケーションは数多く存在するが、プログラムを体系的に記述するための枠組みはこれまで開発されていない。

これまでデータ中心型のプログラミングでは、SQL を代表とするデータベース言語が利用されていた。しかし、既存のデータベース言語では、そのセマンティクスで閉世界仮説(Closed World Assumption。必要な情報は全て計算機に格納されており、データベースが現実世界を完全に反映していると考えられること)を採用している。したがって、データベースには存在しないが人が知っているデータを扱うための処理は、データベース言語が扱う問題の範囲外になっており、上手く抽象化できず汎用言語で作り込みをせざるを得なかった。

そこで、本研究では、データベース言語を拡張して、閉世界仮説を前提としない意味を持つプログラミング言語を設計し、人と計算機の知の融合に関する研究を行う。また、これを実行するための開発実行環境を構築する。

本研究のチャレンジは二つの側面からとらえることができる。(1) 人と計算機の協調処理を記述し、プログラムし、議論するための宣言的なアブストラクションや関連する理論などの科学的知見の追求というサイエンス面でのチャレンジ。(2) 人と計算機の知の融合を実現するアプリケーションを迅速に開発・実行するための開発実行環境を構築するというソフトウェア工学的なチャレンジ。これらは本研究の両輪であり、どちらも平行して進めることに意義があると考えられる。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、特にクラウドソーシングを想定し、人と計算機の処理を組み合わせた応用プログラムを記述するためのプログラミング言語 CyLog の設計およびその開発実行環境を構築し、並行してそれらを利用した理論・応用研究を行った。主な成果は次の通りである

【人の知の利用という視点からのプログラミング言語表現力の理論解析】理論研究における重要な貢献は、人による作業を構成要素として含むプログラミング言語の表現力の評価尺度として、プログラミング言語によって表現可能な(ゲーム理論的な意味での)ゲームのクラスを導入した事である。プログラミング言語が表現可能なゲームのクラスが大きいと言うことは、人の知を利用した処理の記述力が高いことを意味する。この評価尺度を利用して、既存のプログラミング言語、とくにクラウドソーシングを記述するための言語と比較して、CyLog がより表現力が高く、かつ宣言型記述が可能な言語である事を示した。

【クラウドソーシングにおける高次処理の可能性の開拓】既存のクラウドソーシング技術では、データの処理などを人に委託するものの、クラウドソーシングする問題自身の分割や処理の最適化といったより高次の処理は委託しないと言うことが一般的であった。本研究では、これらの高次処理をクラウドソーシングする枠組みを提案し、実験により特定の文脈においては有効なアプローチであることを示した。

【クラウドソーシングの研究インフラ構築】これまで、汎用のクラウドソーシングプラットフォームは商用のものが一般的であったが、CyLog プログラムの処理系を実装した非商用クラウドソーシングプラットフォーム Crowd4U を構築し、国内 20 大学の協力者を得て、大学間ネットワークを作った。これは、我々の知る限り、汎用クラウドソーシングエンジンを持つ世界初の大学間ネットワークである。

【応用領域専門家と協力したクラウドソーシング応用研究】構築したシステムを利用して、国立国会図書館の書誌情報のデータクリーニングや、竜巻災害時の状況把握のためのクラウドソーシング応用の研究を推進した。どちらも応用領域の専門家の協力を得て研究を進め、クラウドソーシングがこれらの領域で十分利用可能である事を示すことができた。

(2) 詳細

【研究テーマ A: 人と計算機を対象としたプログラミングの理論研究】

(1) 人と計算機の知の融合のためのプログラミング言語とその表現力の理論解析

CyLog は、データベース言語の一つである Datalog 風のプログラミング言語であり、人と計算機の知を融合したデータ集約型アプリケーションを簡潔に記述・実装可能である。CyLog では、Datalog の述語の一部が“オープン”であることを許可する。これは、その述語の評価が計算機ではなく人によって行われることを表すものであり、人と計算機の処理の融合を宣言的に記述することを可能にしている。しかし、そのような“オープンな”言語の問題は、プログラムのセマンティクス(実行時の結果)が明らかでなくなることである。本研究では、CyLog にデータ入力者へのフィードバックの仕組みを用意し、ゲーム理論を用いて「データ入力者が合理的であれば到達する結果」をプログラムのセマンティクスとすることを提案した。

本理論研究における最も重要な貢献は、人による作業を構成要素として含むプログラミング言語の表現力の評価尺度として、プログラミング言語によって表現可能な(ゲーム理論的な意味での)ゲームのクラスを導入した事である。さらに、現在一般的なマイクロタスク型クラウドソーシングプラットフォームで広く利用されているマイクロタスクテンプレートによるタスク記述の一般化であり、かつ CyLog と同等の表現力を持つ抽象表現 CTS ルールを提案した。また、既存のクラウドソーシング記述のための言語と比較して、CyLog が宣言的記述可能、チューリング完全、実装可能なゲームのクラスが大きい(多種多様である)という望ましい性質を満たすことを証明した(図 1)。

Measure	Declarative Description	Turing complete	Class of games
Abstraction / Framework			
MTurk alone	No	No	$\subseteq g_1$
CrowdForge	No	No	$\subseteq g_N$ (generally, $N = 3$)
CrowdDB / Deco / Qurk	Yes	No	$\subseteq g_N$
CTS Abstraction/CyLog	Yes	Yes	g_x
Imperative programming languages with MTurk API	No	Yes	g_x

図 1. クラウドソーシング記述言語の表現力の比較

(2) クラウドソーシングによる高次処理の可能性の開拓

既存のクラウドソーシング技術では、データの処理などを人に委託するものの、クラウドソーシングする問題自身の分割や処理の最適化といったより高次の処理は委託しないと言うことが一般的であった。本研究では、これらの高次処理をクラウドソーシングする枠組みを提案し、実験によって特定の文脈においては実現可能であることを示した。具体的には、データの結合演算における最適化のクラウドソーシング、および、データの列挙演算における問題分割のクラウドソーシングを行った。詳細は次の通りである。

- ・Crowdsourced Join Prefilter: クラウドソーシングを用いて、二つのデータ集合のマッチング(結合演算)を行う Crowdsourced Joins の研究を行った。特に、Crowdsourced Joins の処理の効率化そのものをクラウドソーシングする仕組みが可能であることを示した。具体的には、M 個のデータと N 個のデータの結合を行うためには、単純には $M \times N$ の比較タスクが必要であるが、そのタスク数を減らすための Join-Prefilter の発見をおこなうためのタスクをクラウドソーシングによって処理し、その増加分を差し引いても、最終的に必要なタスク数を大幅に削減可能であることを示した。

- ・Crowdsourced Data Enumeration: クラウドソーシングを用いて数多くのデータを列挙する演算において、分割統治を用いた手法を提案し、それにより再現率が向上することを理論的、実験的に示した。本手法は、問題領域に存在する階層構造をあらかじめ与えることにより、トップダウンに問題を分割するプロセスをクラウドソーシングを用いて行い、より小さな範囲のデータ列挙を行うタスクを多数生成することにより、最終結果の再現率の向上を図るものである。

【研究テーマ B: 開発実行環境の構築研究】

本テーマにおいては、単に CyLog の処理系を構築するだけでなく、クラウドソーシングの研究インフラの構築に向けた研究をおこなった。特に、国内 20 大学の協力者を得て、大学間ネットワーク Crowd4U を構築した。これは、我々の知る限り、汎用クラウドソーシングエンジンを持つ世界初の大学間ネットワークである。Crowd4U に関しては各種デモンストレーション発表を行ったほか、次に説明するとおり、Crowd4U を活用したクラウドソーシングの応用研究を行った。

【研究テーマ C: プログラミング言語・開発実行環境の応用研究】

本テーマにおいては、開発したプログラミング言語および開発実行環境を単に利用するというだけでなく、応用領域専門家と協力して、現実の問題を指向したクラウドソーシング応用研究を推進した。主なものは次の 2 つである。

・クラウドソーシングを用いた書誌情報のクリーニング: 国立国会図書館の書誌情報を利用し、機械的書誌同定を行った結果のうち同定の誤りの可能性があるものを対象として、間違いであるものを見つける「書誌誤同定判定タスク」をクラウドソーシングする研究を行った。様々なデザインのマイクロタスクを用意し、数少ないタスク数で精度の高い結果をもたらすようなタスクデザインを発見した。

・クラウドソーシングによる竜巻経路推定実験: 災害時に重要かつ困難な事は、災害状況の把握である。本研究では、2012 年に起きたつくば市での竜巻被害を題材に、クラウドソーシングによる竜巻経路推定の可能性を探る研究を行った。基本的なアイデアは、近年 Web に竜巻などの写真が直ちにアップロードされることに着目し、それらの写真と地図をマッチングするタスクを設計し、それらの結果から経路推定を行うものである。

3. 今後の展開

CyLog/Crowd4U を活用してより深い理論研究、より高度な応用研究を進めていきたい。

4. 評価

(1) 自己評価

研究成果は、ほぼ当初の研究のねらいに沿った形で得られたと考えられる。研究の方向性は提案時からそれほど悩むことなく、確信を持って進めることができたが、当初計画に記載したストーリーが埋まるよう幅広く研究を進めたため、全体的に、深い研究成果が得られたとは必ずしも言えない。しかし、当初描いた構想のほぼ全体を一周できたことにより、この領域におけるさらに深い研究の推進に必要な知見の入手や問題点の発見等につながったと考えられる。開発実行環境を、クラウドソーシングの研究インフラとして利用可能な大学ネットワークとして設計し、本格的な構築の第一歩を踏み出したことは、今後のクラウドソーシング研究の発展への貢献につながる可能性がある。また、応用研究に関しては、さきがけ研究者のつながり等も利用し、研究のための応用でなく、現実の問題を持つ領域でのクラウドソーシング応用に取り組むことによって、実利用可能性の検証と知見を得て、システム設計・実装などにもフィードバックすることができた。今後は、これまで得られた成果を踏まえ、より深い理論研究とより高度

な応用研究を進めていきたい。

(2) 研究総括評価

本研究では、クラウドソーシングを対象とするプログラミング言語 CyLog とプラットフォーム Crowd4U を考案・開発している。プログラミング言語 CyLog は、従来の論理型言語に人が評価する述語を導入したものである。論理型言語の問題分割能力をクラウドソーシングの高次処理に用いることができるのに加え、ゲーム理論を用いて言語の表現力を理論的に主張していることに新規性がある。一方、クラウドソーシングプラットフォーム Crowd4U は非商用で、大学や国立国会図書館などの公的機関の問題解決に利用が広がっている。また、災害時の状況把握への応用など、公共性の高い活動に適用が試みられている。今後の非商用分野での展開に期待したい。さらに、研究成果が最近刊行された当該分野の英文ハンドブックに掲載されていることも高く評価できる。近年、急展開したクラウドソーシング研究に日本の研究者が先鞭をつけた意義は大きい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Atsuyuki Morishima, Shiori Tomita, Takanori Kawashima, Takeshi Harada, Norihiko Uda, Sho Sato, Yukihiro Abematsu. A Crowdsourcing Approach for Finding Misidentifications of Bibliographic Records. In iConference 2014 Proceedings (p. 177–191), 2014.
2. Atsuyuki Morishima, Takanori Kawashima, Takashi Harada, Norihiko Uda, Ikki Ohmukai. L-Crowd: A Library Crowdsourcing Project by LIS and CS Researchers in Japan. In Proceedings of International Conference on Digital Libraries 2013 (ICDL2013), pp. 40–47, New Delhi, 27–29 November, 2013. (Invited Paper)
3. Kenji Gonnokami, Atsuyuki Morishima, Hiroyuki Kitagawa, “Condition–Task–Store: A Declarative Abstraction for Microtask–based Complex Crowdsourcing,” The First VLDB Workshop on Databases and Crowdsourcing (DBCrowd2013) , pp.20–25, Aug 2013.
4. Atsuyuki Morishima, Norihide Shinagawa, Tomomi Mitsuishi, Hideto Aoki, Shun Fukusumi, “CyLog/Crowd4U: A Declarative Platform for Complex Data–centric Crowdsourcing,” PVLDB 5(12): 1918–1921 (2012), Istanbul, Turkey, Aug 27–31, 2012.
5. Atsuyuki Morishima, Norihide Shinagawa, Shoji Mochizuki. The Power of Integrated Abstraction for Data–centric Human/Machine Computations. First International Workshop on Searching and Integrating New Web Data Sources (VLDS2011), pp. 5–9, September, 2011

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

- ・ 受賞: 2012 年度日本データベース学会論文賞(福角駿, 森嶋厚行, 品川徳秀, 北川博之, 「DB 抽象化とゲーム理論に基づくマイクロブログからの構造データ抽出 GWAP の開発」, 日本データベース学会論文誌, Vol 11, No. 1, pp. 19–24, 2012 年 6 月.)

- 著書: Atsuyuki Morishima, “CyLog/Crowd4U: A Case Study of a Computing Platform for Cybernetic Dataspaces,” Handbook of Human Computation, Pietro Michelucci (eds.), Springer, Nov. 2013 (Invited Chapter)
- 招待論文・講演: Atsuyuki Morishima, Takanori Kawashima, Takashi Harada, Norihiko Uda, Ikki Ohmukai. L-Crowd: A Library Crowdsourcing Project by LIS and CS Researchers in Japan. In Proceedings of International Conference on Digital Libraries 2013 (ICDL2013), pp. 40-47, New Delhi, 27-29 November, 2013.
- 招待講演: 森嶋厚行「Crowd4U/L-Crowd: アカデミアによる高度クラウドソーシングプラットフォームと図書館情報分野への応用」, 情報処理学会第 112 回情報基礎とアクセス技術研究会/第 45 回デジタル図書館ワークショップ合同研究会, 2013 年 9 月 26 日.