

**「情報環境と人」研究領域 領域活動・評価報告書**  
**－平成24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：8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/shiryoku4.html>）の他、以下の点を重視した。フィールド研究は、問題解決の技術手段が明確さ深さと共に、フィールドへのコミットメントの深さを評価の基準とする。フィールドが技術開発の単なる例題に過ぎないと思われる申請は採択対象とせず、場合によっては、当初想定した技術手段を捨てても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る。先端技術研究は、知的機能を実現する先鋭的な切り口と、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評価基準とする。基礎研究は、今後の情報環境と人に関わる重要な研究で、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する。

## 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名が書類審査し、34件（申請全体の1/3）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、25件（申請全体の1/4）を面接対象とした。2日間にわた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。当初予定していた知的機能のネットワーキングに関わる研究課題は採択候補とならず、次年度に期待することとなった。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1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	8件(0件)
対象数	99件	25件			12件	内訳

( )内は大挑戦型としての採択数。

## 5. 研究実施期間

平成21年10月～平成25年3月

## 6. 領域の活動状況（領域外とのコラボレーションを含む）

1) 領域会議：8回

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 回は参加希望者による「ミニ領域会議」を開催)

2) 研究報告会: 1 回 (公開)

平成 24 年度 1 回 (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

3) 合同セッション&シンポジウム: 6 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 22 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 (さががけ&CREST 合同シンポジウム開催、3 年連続開催予定)

(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)

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。

- ・和泉研究者: 産業総合研究所 持丸センター長(デジタルヒューマン研究 C)を訪問 10/26
- ・山岸研究者:(株)国際電気通信基礎技術研究所川人所長(脳情報研究所 さががけ総括)を訪問 11/16
- ・高梨研究者: 京都大学 河原教授(学術情報メディアセンター)を訪問 11/17
- ・田中研究者: 筑波大学 山海教授(大学院システム情報工学研究科)を訪問 12/07
- ・緒方研究者: 徳島大学 矢野教授(工学部 知能情報工学科)訪問 12/18
- ・高玉研究者: 電気通信大学を訪問 03/10
- ・坊農研究者: 国立情報学研究所(NII) 東倉洋一副所長・教授(CREST総括)を訪問 04/13
- ・原田研究者: 東京大学 國吉教授(東京大学大学院情報理工学系研究科)を訪問 05/13

7. 事後評価の手続き

年 2 回の領域会議開催前に研究者が作成した領域独自の半期毎の研究報告書を領域アドバイザー全員にも配布して、進捗報告に基づく適時・適切な評価とアドバイスを受けた。また、最終年度は、一般参加者を含む研究報告会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 24 年 12 月 研究報告会開催(研究成果発表、デモ展示)

一般参加者および研究総括・アドバイザーによる討論・助言・指導

平成 24 年 12 月 第7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 24 年 2 月 研究報告書提出

平成 24 年 3 月 研究総括による評価

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

9. 事後評価

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。平成 21 年度の採択は 12 課題であり、本年度終了の 3 年型は 8 課題であった。

終了課題は、フィールドに根ざした研究、先端技術開発、基礎研究に分類することができる。フィールドに根ざした研究は 4 課題(高齢者介護支援、障害者支援、留学生の教育支援、児童の教育支援)、先端技術開発は 2 課題(大量データに基づく画像認識、マルチエージェントシミュレーション)、基礎研究は 2 課題(脳計測の利用、多人数インタラクション分析)である。

本領域では、募集の条件として「フィールドに根ざした研究」を強調していないが、「情報環境と人」とい



特質から、課題フィールドに真剣に取り組む研究が多かったことは印象的である。研究総括とアドバイザーは、論文が書きにくいであろう実問題のフィールドに真剣に取り組む若い研究者に敬意を持って接してきた。こうした研究者の方向性は、研究の社会的貢献が求められる我が国の状況に合致するものと思われる。そこで以下の評価では、所謂「研究成果」に留まらず、社会的貢献についても記載するよう努めている。

○ 和泉 潔研究者「集団としての人間の行動軌跡解析と場のデザイン」

センサーから得られる人の行動データに基づいて行動モデルを構成し、マルチエージェントシミュレーションによって活動場の評価を行うという意欲的な研究である。本研究の優れた点は、マルチエージェントシミュレーションが本質的に持つ「シミュレーションの信頼性」と「出力結果の恣意性」という問題に正面から取り組んでいることである。まず、シミュレーションの信頼性に関しては、行動データを計測し、そのデータを多次元抽象空間を移動する軌跡に変換し、軌跡の挙動や軌跡間の相互作用を解析して集団行動をシミュレートする技術を開発している。出力結果の恣意性に関しては、むしろシミュレーションで生じた興味ある状況を積極的に再現し、そのとき何が生じていたかを調べて、新しいマイクロ-マクロ関係を発見する構成論的手法「可能世界ブラウザ」を提唱している。

実際に医療機関との共同研究により、手術室内の機器配置やレイアウト、チーム作業ルールなどを入力条件としてシミュレーションを実施し、室内デザインの評価を行った。その結果、ニアミス回数の多い最悪のケースを提示することにより、通常では発見できないリスク状況をユーザ自らが発見し対応できることを明らかにしている。

こうして得られた手法は、マーケティング分野にも展開されつつある。今後は、複雑化する社会システムのデザインにマルチエージェントシミュレーションを適用していくことを期待したい。

○ 緒方 広明研究者「ラーニングログを用いた協調学習情報基盤の開発」

本研究は、次世代の e-Learning 環境として、実世界インタラクションに基づく協調学習システムを開発したものである。本研究の優れた点は、ライフログからコンテンツを切り出して学習に活用するという基本的なアイデアを、認知科学などの知見に基づき生まれた LORE モデルに基づき実装し、教育に適用してその効果を確認している点である。本研究が提案する LORE モデルは、ラーニングログを用いた協調学習のモデルで、記録(Log)、組織化(Organize)、再利用(Reuse)、評価(Evaluation)の4つのプロセスからなる。まず、ラーニングログの記録方式としては、学習者が写真を撮影してラーニングログに登録する Active 方式と、ライフログカメラ等を用いて自動的に撮影を行う Passive 方式を提案し、一日に撮影される数千枚の写真から、ラーニングログとして登録すべき写真を自動的に推薦する機能を実現している。一方、ラーニングログの再利用方式としては、登録されたラーニングログを利用してクイズを提示する「過去の学習体験を思い出す方式」と、現実世界で学習者の周辺にあるラーニングログやタスクを表示して「他者の学習から学ぶ方式」を提案している。さらに、本システムを用いた実践として、シームレス学習環境を提案し英語の講義で評価を行っている。また、実装されたシステムは、Web 版と Android 版が公開されている。

本研究は、最先端の情報環境を十分な考察を経て教育現場に導入したものであり、教育工学関連の国際学会で多数の受賞を得るなど高い評価を受けている。

○ 高玉 圭樹研究者「学習進化機能に基づくスパイラル・ケアサポートシステム」

本研究は、被介護者への個別対応から介護士の育成支援までを含むトータルな介護支援システムの構築を目標としている。本研究の優れた点は、まず研究の評価方法を確立したことである。

具体的には、介護支援の評価指標として「快眠」をとりあげ、無拘束で睡眠段階を推定する技術を開発した。即ち、ベッドの下に心拍データを測定可能なセンサーを敷き、そのデータから各人の睡眠段階を推定した。機械学習技術の適用により、1段階の睡眠段階のずれを許容した場合、92.4%という高い正解率で睡眠段階の推定を可能としている。次に、被介護者を快眠に導くケアプラン作成を目指して、どの日でも深く眠れる条件を表す汎用知識と、誕生日などの条件を表す特殊知識に分け、汎用知識と特殊知識を同時に獲得可能なデータマイニング手法を考案している。さらに、得られたケアプランの有効性を実際の介護施設で検証し、健常者で9歳若い睡眠、認知症者では7歳若い睡眠の実現に成功している。

本研究は、介護環境を先端情報技術を用いて改善し、介護施設との連携によってその効果を検証したもので、介護の重要性が高まる我が国において、大きな社会的貢献に繋がる研究である。

○ 高梨 克也研究者「多人数インタラクション理解のための会話分析手法の開発」

従来の会話分析は2者間に着目したものが主流であったが、情報環境では多人数インタラクションの分析が重要となる。そこで本研究は、グループでのミーティングなど多人数の会話分析手法の開発を目指している。



本研究の優れた点は、実験室で収録されたデータを対象としていた従来の分析手法を、実社会における自然な多人数マルチモーダルインタラクションの分析に適用できるよう拡張していることである。そのために、まず、実社会のミーティングのフィールド調査を継続的に行っている。次に、従来の会話分析手法をフィールド調査に適用するために「フィールド会話分析」と呼ばれる方法論を構築している。例えば、分析に際し、「参加者は何者として発言しているか」、「参加者は何が気になっているか」などに着目し、会話の参与役割が組織上の役割とどのように関連しているかを解明している。本研究では、こうした方法論の構築と並行して、科学コミュニケーターなどの「コミュニケーション実践職」を対象に、コミュニケーション活動の支援を試みるアクション・リサーチを行っている。サイエンスカフェや科学館フロアでの展示説明の直後に、これに対する振り返り活動を、参加者と分析者の双方が参加して行う手法を提案し、本研究で開発したビデオ閲覧ツールを用いて支援を実践している。

本研究は、長期間を要する基礎研究であるが、さきかけの期間でフィールドデータを蓄積・分析し、研究の方向性を明らかにしたことは評価できる。会話分析に基づくシステム設計ができる数少ない研究者として、情報環境に関わる他の研究者との交流を深め、分野全体を支える基礎理論を構築していくことを期待する。

○ 田中 文英研究者「世界の子供達をつなぐ遠隔操作ロボットシステム」

子どもが「海外に置かれたロボットを遠隔操作し現地の活動に参加する」ことを目的とした夢のある研究である。遠隔操作ロボットは古くから研究されているが、子どもを操作者とした試みは行われていない。

本研究の優れた点は、遠隔操作ロボットを実際に開発し、実験室実験と社会実験を通してその可能性を明らかにしたことである。まず、ロボットの開発では、子どもの全身動作を活かすこと、事前説明無しに使えること、操作に際して重量抵抗があること、入手が容易で汎用性が高いことなどの要求を満たす三輪車型の操作インターフェースを開発している。フィールド実験により、同インターフェースが既存のゲームコントローラと比較して遠隔操作に有効であることを確認している。次に、つくば市内の幼稚園、小学校の 50 名以上の子ども達の協力を得て、ビデオ会議をベースラインとし、ロボット操作を入れるか入れないかを条件とする被験者実験を行っている。その結果、ロボット操作によって被験者の反応が有意に向上することを示している。さらに、オーストラリアと日本の小学校を本システムでつなぎ、200 名以上の子ども達の交流活動を実現した。

本システムにより、面識が無く言語の壁がある中でも密なコミュニケーションが生まれることが観察された。特に、物の受け渡しなどを契機としてコミュニケーションが顕著に誘発された。この活動は教育現場からも好評を博し、現地の新聞社やテレビ局によって報道されている。

今後、ロボットがコミュニケーションのメディアとして果たす効果の解明と、実システムの運用が行われることを期待する。

○ 原田 達也研究者「大規模 web 情報とライフログによる実世界認識知能の構築」

本研究は、情報世界と物理世界をシームレスに繋ぐシステムと、それを支える高速アルゴリズムに関する研究である。本研究の優れた点は、大量のアノテーション情報などを利用する、圧倒的な性能を誇る画像認識アルゴリズムを開発したことである。まず、コードブックや局所特徴のマッチングを利用しない効率的な画像表現手法を提案し、線形識別機の利用にもかかわらず、最新の手法と同等の識別性能が出ることを確認している。次に、画像に付随する複数のラベルを用いる学習アルゴリズムを提案し、ラベルと画像の対応を学習する画像アノテーション問題で最新手法を越える性能を確認している。さらに、こうしたアルゴリズムを用いて、大規模データに基づく画像認識システムを構築し、国際的な画像識別コンペティションにおいて、複数部門で1位、2位の成績を上げている。ここまででも十分な研究成果と言えるが、加えて、画像認識における最終目標である、画像を説明する自然文の自動生成に取り組んでいる。具体的には入力画像のキーフレーズを推定するマルチキーフレーズ問題を提唱し、これを効率よく解くアルゴリズムを開発している。

本研究が目指す画像情報を認識し言葉で表現する技術は、ライフログなどに応用すると、膨大に記録されるデータに意味づけを行い検索することができる。近未来の情報環境を見据えた、世界にアピールできる切れ味のよい研究成果である。

○ 坊農 真弓研究者「インタラクション理解に基づく調和的情報保障環境の構築」

ろう者同士や、ろう者と聴者間のインタラクションを、エスノグラフィによって明らかにする社会的価値が高い研究である。本研究の優れた点は、インタラクション分析という科学研究に留まらず、遠隔地にいるろう者と聴者が対等に議論可能な場である調和的情報保障環境の構築とそのガイドライン整備を行っていることである。まず、手話インタラクション及び音声インタラクションを収録し学術用コーパスとしてまとめている。具体的には、ろう者・聴者・通訳者の定例ミーティングの様子を、2年半の期間、4台のビデオカメラで撮影し続けた。一方で、音声・インタラ

クションと手話インタラクションの基本的な違いを調査するため、実験室環境で4人の話者を10台のビデオカメラで収録している。収録課題はジェスチャー研究やコーパス作成に頻りに用いられる知名度の高いものを用い、音声インタラクションと手話インタラクションを同条件に統制している。また、高臨場感の次世代遠隔会議システムを用いて、音声8人会話、手話8人会話のデータを収録している。さらに、手話インタラクションのアノテーションスキームを考案し、実際に学術コーパスを構築すると共に、日本国内の学術イベントに手話通訳者を派遣するためのガイドラインを整備している。

自らも手話通訳の活動を行い、それを通じて問題領域の認識を深めることができる数少ない研究者として、今後も継続して手話インタラクション研究を進めていくことを期待したい。

○ 山岸 典子研究者「脳活動の推定に基づく適応的な環境知能の実現」

人の注意に関する認知メカニズムを脳計測技術を用いて解明し、注意の方向や準備状況を理解し適応する情報環境の実現を目指す野心的な研究である。これが実現されれば、注意の向いた「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよいタイミング」で提示できることになる。注意が向いていれば認識にかかる時間も短く、内的準備が万端であれば作業効率が向上するからである。本研究の優れた点は、脳活動計測による科学的知見の蓄積を行うと共に、それに留まらず、次世代の情報提示機能を実現することを目標に科学研究の方向付けを行っていることである。本研究では、まず、脳計測データから「注意を向けている方向」の推定に成功し、次いで、オンラインの脳計測データから、時々刻々と変化する「注意を向けている方向」の推定に成功している。さらに、注意はまず空間的な選択から始まり、その後、認識対象となる文字などの特徴選択を行なっていることを明らかにしている。加えて、心理物理学的手法を用いて人が作業にとりかかるまでに要する準備のメカニズムを明らかにしている。こうした研究成果は、インパクトファクターの高い国際論文誌に採択され高く評価されている。

今後は、心理学と脳研究の双方に実績がある研究者として、科学研究に立脚した情報環境のデザインに先鞭をつけることを期待する。

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25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	(株)SRA 先端技術研究所・所長
橋田 浩一	産業技術総合研究所 知能システム研究部門・上席研究員
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	NEC C&C イノベーション推進本部・本部長

領域アドバイザー(五十音順。所属、役職は平成25年3月末現在)

(参考)

件数はいずれも、平成25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	34	24	58



口 頭	144	100	244
その他	14	5	19
合 計	192	129	321

(2)特許出願件数

国 内	国 際	計
0	0	0

(3)受賞等(さきがけの研究者主体のものに限定)

- ・和泉 潔研究者
  1. 最優秀論文賞 日本ソフトウェア科学会 JAWS2012 (H24.10)
  2. 企業賞 日本ソフトウェア科学会 JAWS2012 (H24.10)
  3. 研究会優秀賞 人工知能学会 (H24.1)
- ・緒方 広明研究者
  1. Best Paper Award 8th World Conference on Mobile and Contextual Learning, (H21.10)
  2. Best Technology Design Paper Award ICCE2010 (H22.12)
- ・高玉 圭樹研究者
  1. 最優秀発表賞 第2回進化計算学会 進化計算シンポジウム 2011 (H22.12)
  2. 最優秀発表賞 第3回進化計算学会 進化計算シンポジウム 2012 (H23.12)
- ・高梨 克也研究者
  - 優秀デモ・ポスター賞 2012 年度情報処理学会情報教育シンポジウム (H24.8)
- ・田中 文英研究者
  1. Best Paper Award 4th International Workshop on Cybernetics (IWC 2011) (H23.3)
  2. CoTeSys Best Paper Award Finalist IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011) (H23.9)
- ・原田 達也研究者
  1. 世界第1、2位 Large Scale Visual Recognition Challenge 2011 (ILSVRC2011) (H21.9)
  2. インタラクティブセッション賞 第14回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2011) (H23.7)
  3. Best Application of a Theory Framework Special Prize ACM Multimedia 2011 Grand Challenge (H23.12)
- ・坊農 真弓研究者
  1. 社会言語科学会徳川宗賢賞(萌芽賞) 29回社会言語科学研究大会 (H24.1)
  2. 優秀賞 人工知能学会研究会 (H24.6)

(4)招待講演

国際 19 件

国内 32 件

- ・和泉 潔研究者(国内 11 件)
- ・緒方 広明研究者(国際 12 件)
- ・高玉 圭樹研究者(国内 5 件、国際 2 件)
- ・田中 文英研究者(国内 11 件、国際 6 件)
- ・原田 達也研究者(国際 1 件)
- ・坊農 真弓研究者(国内 1 件)
- ・山岸 典子研究者(国内 4 件)

以上

## 「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

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職(平成25年3月末現在) (応募時所属)	研究費 (百万円)
和泉 潔 (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 (産業技術総合研究所)	東京大学大学院工学系研究科 准教授 (産業技術総合研究所 主任研員)	41
緒方 広明 (兼任)	ラーニングログを用いた協調学習情報 基盤の開発 (徳島大学)	徳島大学大学院ソシオテクノサイエ ンス研究部 准教授 (同上)	39
高玉 圭樹 (兼任)	学習進化機能に基づくスパイラル・ケ アサポートシステム (電気通信大学)	電気通信大学大学院 情報理工学研究科 教授 (同電気通信学部 准教授)	28
高梨 克也 (専任)	多人数インタラクション理解のための 会話分析手法の開発 (京都大学)	JST さきがけ研究者 (同上)	40
田中 文英 (兼任)	世界の子ども達をつなぐ遠隔操作ロボ ットシステム (筑波大学)	筑波大学大学院システム情報工学 研究科 准教授 (同上)	39
原田 達也 (兼任)	大規模 web 情報とライフログによる実 世界認識知能の構築 (東京大学)	東京大学大学院情報理工学研究科 准教授 (同上)	39
坊農 真弓 (兼任)	インタラクション理解に基づく調和的情 報保障環境の構築 (情報・システム研究機構国立情報学 研究所)	情報・システム研究機構国立情報 学研究所 コンテンツ科学研究系 助教 (同上)	42
山岸 典子 (出向)	脳活動の推定に基づく適応的な環境 知能の実現 (株)国際電気通信基礎技術研究所)	(株)国際電気通信基礎技術研究所 認知機構研究所 主任研究員 (同 脳情報研究所 主任研究員)	40

# 研究報告書

## 「集団としての人間の行動軌跡解析と場のデザイン」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 21 年 10 月～平成 25 年 3 月

研究者: 和泉 潔

### 1. 研究のねらい

エージェントベースの社会シミュレーション研究は 1990 年代から、交通流・人流や金融市場、社会ネットワーク形成など様々な社会経済現象について多くの学術的成果をあげてきた。しかし、これらのシミュレーションが、実際の社会経済の現場で制度や場の設計に応用されるには、いくつかの壁があった。特に、シミュレーションの信頼性と出力結果の恣意性に関する問題が大きい。本研究のねらいは、これらの課題を解決する新たな社会シミュレーションの基盤技術を開発し、実際の社会経済の現場に応用することである。

学術面の目標は、前述の 2 つの問題を解決するために、実データ解析とシミュレーションの統合に基づいた新たな方法論を開発することである。まず、シミュレーションの信頼性を担保するために、実社会の行動データを反映したシミュレーションモデルを構築するデータ解析技術を開発した。医療機関や経済の現場との協力により、医療スタッフや経済活動参加者らの様々な行動データを計測した。次に行動データを、多次元の抽象的な空間上を移動する軌跡に変換し、軌跡の動的挙動や軌跡間の相互作用を解析し、計算機上に集団行動をシミュレートする技術を開発した。構築されたモデルの各エージェントのマイクロな行動は、実際の個人のリアルな行動を反映している。出力結果の恣意性に関しては、この弱点を逆に強みとするように、シミュレーションで興味ある状況を積極的に再現してしまい、そのとき中で何が起きているかを調べて、新しいマイクロ・マクロ関係を発見する構成論的なシミュレーション手法「可能世界ブラウザ」を提唱した。

実応用上の目標は、手術のようなチーム作業を行う物理環境や、金融市場やマーケティングのような社会経済活動を行う情報環境などの実務の関係者と共同で、実際の空間設計や制度設計に応用することである。チーム作業に関しては、作業空間内の人的物的資源の最適配置・情報共有による研修や訓練の効率化を通して、作業スタッフの働きやすい環境を提供してチーム作業の安定性やパフォーマンスの向上を支援する。社会経済活動に関しては、社会的な意思決定を行う際の情報選択メカニズムを分析する。例えば、集団心理により非合理的な行動を引き起こす社会的状況を特定し、集団として不安定になるメカニズムの解明を行う。これにより、不安定性の予防に有効な社会経済制度の設計を支援する。

### 2. 研究成果

#### (1) 概要

本研究の主な研究成果は、次の 3 つの項目からなる。

#### 【研究テーマ A: 行動データ解析技術の開発】

本研究では、行動データを多層的な解像度で分解して解析することにより、ユーザの目的・属性の違いを考慮した多様な行動モデルを構築する手法を新たに開発した[1-4]。まず、実世界でセンサ等から得られた行動データから、行動パターンの分類に適した多次元の抽象的な

空間(特徴量空間)を構成し、各行動データを特徴量空間上の軌跡や分布に変換する。これにより、ユーザ行動の動的な構造や軌跡間の関係性を抽出しやすくなる。次に、区分毎の行動データの特徴量を用いて、複数の典型的な行動パターンの抽出を行う。これにより、実際の行動データから、エージェントシミュレーションに利用可能な行動モデル抽出が可能となった。

**【研究テーマ B: マルチエージェントモデル構築技術の開発】**

実データから抽出した複数の行動モデルを用いて、計算機上にマルチエージェントモデルを構築する手法を開発した[5-8]。シミュレーション結果によって実際の社会活動の場を設計するのに必要となる、可視化や現場での分析・評価手法を開発した。評価のための外部データベースとの情報授受システムの設計と実装、設計支援に用いるためのユーザインターフェースの手法「可能世界ブラウザ」を開発した。実社会の社会活動場面での多様な行動モデルを規定し、コンピュータ上で動的に制御して現象を再現するマルチエージェント手法を用いる。これにより、従来の手法では解析することが困難であった、ユーザ間の相互作用から発生する集団現象を解析できた。

**【研究テーマ C: エージェントシミュレーションによる社会デザイン手法の開発】**

構築したマルチエージェントモデルに、医療と経済に関する実データを用いた計算の試行を行い、様々な社会的意思決定の現場にシステムを試用し有効性の評価を行った。手術室内のチーム作業に関しては、実際の医療機関との共同研究により、手術室内の機器配置やレイアウト、チーム作業ルールなどを入力条件として、各条件での室内デザインの評価実験を行った[9,15]。経済現象の金融市場に関しては、取引所との共同研究により、市場に関連する経済状況、値幅制限や空売り規制など取引ルールを入力条件として、市場価格の変動の大きさや市場取引の潤滑さを評価した[12-14]。経済活動のマーケティングについて、マーケティング会社と web 広告会社との共同研究により、購買データや web 履歴データを利用したエージェントシミュレーションを基に、ターゲットマーケティングによる販売促進戦略決定を支援するシステムを構築した[10,11]。

**(2) 詳細**

**【研究テーマ A 行動データ解析技術の開発】**

- 共同作業現場として協力医療機関の手術室において、計 200 時間以上の手術での各 5-8 名のスタッフの移動データを取得した。取得した動線データから手術の各ステージでの典型的な行動パターンを抽出する手法を新たに開発した。手術室内の共同作業で計測された行動データ(軌跡データ)の特徴量を用いてワークフロー分析を行うデータ解析手法を開発した[2]。本手法を用いて、手術スタッフの直近の移動軌跡より手術ステージの進行を推測するアルゴリズムや、手術前半の軌跡データから手術終了時間を推定する手法を開発した[1]。
- 経済行動として、取引市場との共同研究により、金融市場の大量な注文データを分析し、金融取引時の取引状況パターンの抽出を行う手法を開発した。本手法により、増資公表前の不正取引検出を支援するための異常検出アルゴリズムを開発した[4]。さらに、マーケティング分野において、ID 付 POS データと呼ばれる各顧客の購買履歴から、エージェントシミュレーションにつながる購買行動パターン抽出手法を開発した[3]。

#### 【研究テーマB マルチエージェントモデル構築技術の開発】

- 手術室内の共同作業で計測された行動データ(軌跡データ)の解析結果を基に、マルチエージェントモデルの構築手法を開発した[5]。構築したモデルは、比較的データ解析時に明確に抽出できた作業行動パターンを反映するよう実装し、可視化や現場での分析・評価部分も構築した。
- 手術室内移動のマルチエージェントモデルだけでなく、複数の社会経済現象を対象として、実データに基づいたエージェントシミュレーション結果を実デザインに生かすために、「可能世界ブラウザ」という、構成論的なアプローチに基づくエージェントベースの社会シミュレーション研究の方法論を新たに提唱した[6-8]。

#### 【研究テーマC エージェントシミュレーションによる社会デザイン手法の開発】

- 構築した手術室内移動のマルチエージェントモデルを使用して、実際の病院関係者に本システムを使ってもらい、手術室のレイアウト変更を想定しながら、レイアウト評価の実用イメージを分析した[9,15]。手術室の大型器具の入れ替えに伴うレイアウト変更を想定して、手術室内移動のマルチエージェントモデルによる室内デザインの評価実験を行った。シミュレーション結果の提示手法に関して、複数試行の平均を見せるだけでなく、ニアミス回数の多い最悪のケースを提示する手法により、通常では発見できないリスク状況をユーザが自発的に発見し、対応できやすくなる結果を明らかにした。
- 経済現象に関しては、東京証券取引所との共同研究により、エージェントシミュレーションにより、取引注文価格の最小単位の設定に関する評価手法を開発した [13]。さらに、市場に関連する経済状況、値幅制限や空売り規制など取引ルールを入力条件としたエージェントシミュレーションにより、市場価格の変動の大きさや市場取引の潤滑さを評価した[12,14]。これらのシミュレーション結果を実際の市場制度のデザインに活用するための共同研究を継続している。
- マーケティング会社との共同研究により、実際の購買データに基づいたシミュレーションによる購買ターゲットの特定を題材にして、可能世界ブラウザを応用した[11]。また、web 広告会社と共同研究により、本手法を web 広告配信の戦略決定にも応用した[10]。シミュレーション結果の特定ケースに着目した分析により、目的の達成に大きく関係している行動タイプを特定し、さらにその成分の組み合わせから具体的な顧客像の推定を行うことで顧客ターゲットングにつなげることができた。

## 2\* 非公開の研究成果

特になし

## 3. 今後の展開

本研究の第一の成果は、様々な社会経済の実務者との共同により、実データ分析とエージェントシミュレーションの統合による社会的な活動の場を支援するための基盤技術を構築したこと



である。本研究で開発した実データとシミュレーションの統合の基盤技術を用いて、様々な社会経済の実務者と共同で制度設計や空間設計に応用するプロジェクトが複数立ち上げることができ、今後もさらにこれらの実応用プロジェクトを発展させていく。

たとえば、提案技術を医療現場に適用することによって、手術ワークフローの可視化や手術工程の分類により、効率的で安全な作業空間のデザインに応用する。これにより、チーム作業現場でのスタッフ間の連携、作業機器や作業環境とスタッフとの連携を支援する。具体的には、重要点判別(作業工程の変化など)・エラー予測・人的物的資源の最適配分・作業空間設計・情報共有による教育の効率化を支援する。このように本研究の成果を利用して、スタッフの働きやすい環境を提供することによるチームパフォーマンスの向上といった間接的な支援を目指す。

さらに、提案手法を経済現場に適用することによって、金融市場やマーケティングを含む実際の社会経済的状况での意思決定を支援する新たな技術体系を提示することができる。本研究では、社会経済現象に対して、個人のレベルからそれらが集合した集団システムのレベルに至るまでの過程において、情報の自己組織化という観点からモデル化を行う。このようなシステムを構築することによって、社会経済的状况における意思決定に関しても、新しい技術体系を提供することができる。現在行っている、金融取引所やマーケティング会社、web 広告会社との共同研究をさらに発展させることにより、提案手法の実応用の事例を発展させ、実用に必要な方法論も確立していく。

また本研究の理論研究の面からの発展として、具体的なモデルの構築を通して、広く社会的な状況における協同現象を解明する基礎となり得るような、新しい理論的枠組を提供することができる。本研究で提案した可能世界ブラウザの概念をより精緻化し、複数の社会的意思決定に適用するための、基準や方法論を構築し、新たな学術コミュニティの構築を目指していく。

#### 4. 自己評価

本研究の成果として、最初の研究のねらいである、実データ分析とエージェントシミュレーションの統合に関する基盤技術の開発に関して、大枠の目標は達成されたと考える。解析やシミュレーションに関する個々の技術要素は、研究開始時期に想定していた統合による使用だけでなく、各技術単独でも新たな応用事例を発見することができた(ワークフロー分析、市場分析など)。

実際の現場への応用という面においては、当初の想定以上の現場の方々との共同研究を行うことができ、研究事例を広げることができた。特に、マーケティング分野への適用は、本研究を進めていくうちに新たに発展した適用分野である。

学術的な成果として、可能世界ブラウザという新たなエージェントシミュレーション手法を提唱できたことが大きいと考える。上述のマーケティング分野の共同研究先は、このアプローチに関して賛同してくれて、共同研究を進めている。本アプローチをより発展させるために、汎用的なツールや方法論の確立が必要であると考えられる。

#### 5. 研究総括の見解

センサーから得られる人の行動データに基づいて行動モデルを構成し、マルチエージェントシミュレーションによって活動場の評価を行うという意欲的な研究である。本研究の優れた点は、マルチエージェントシミュレーションが本質的に持つ「シミュレーションの信頼性」と「出力結果の恣

意性」という問題に正面から取り組んでいることである。まず、シミュレーションの信頼性に関しては、行動データを計測し、そのデータを多次元抽象空間を移動する軌跡に変換し、軌跡の挙動や軌跡間の相互作用を解析して集団行動をシミュレートする技術を開発している。出力結果の恣意性に関しては、むしろシミュレーションで生じた興味ある状況を積極的に再現し、そのとき何が生じていたかを調べて、新しいマイクロ-マクロ関係を発見する構成論的手法「可能世界ブラウザ」を提唱している。実際に医療機関との共同研究により、手術室内の機器配置やレイアウト、チーム作業ルールなどを入力条件としてシミュレーションを実施し、室内デザインの評価を行った。その結果、ニアミス回数の多い最悪のケースを提示することにより、通常では発見できないリスク状況をユーザ自らが発見し対応できることを明らかにしている。こうして得られた手法は、マーケティング分野にも展開されつつある。今後は、複雑化する社会システムのデザインにマルチエージェントシミュレーションを適用していくことを期待したい。

## 6. 主な研究成果リスト

### 【研究テーマ A: 行動データ解析技術の開発】

1. 和泉 潔, 奈良 温, 伊関 洋, 鈴木 孝司, 南部 恭二郎, 鎮西 清行, 村川 正宏, 坂無 英徳, 手術室内の情報収集による術中モニタリングと手術戦略デスク, 電子情報通信学会誌, vol.94, no. 4, pp. 288-293, 2011.
2. A. Nara, K. Izumi, H. Iseki, T. Suzuki, K. Nambu, and Y. Sakurai, Surgical Workflow Monitoring based on Trajectory Data Mining, in T. Onoda, D. Bekki, S. Tojo, Y. Ohsawa, T. Isozaki (eds.), New Frontiers in Artificial Intelligence (LNAI6797), Springer, pp.283-292, 2011.
3. 山本 仁志・諏訪 博彦・岡田 勇・小川 祐樹・和泉 潔・磯崎 直樹・服部 進, ID-POS の購買履歴情報に基づく購買人格の抽出と分析, 経営情報学, 2011 年春季全国研究発表大会 (2011).
4. 宮崎 和泉・鳥海: 混合ガウスモデルを用いた市場注文状況の変化の検出, JPX ワーキングペーパー, vol.3 (in press)

### 【研究テーマ B: マルチエージェントモデル構築技術の開発】

5. K. Izumi, K. Takadama, H. Hattori, N. Nishino, and I. Noda, Social and Group Simulation Based on Real Data Analysis, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.2 pp. 166-172, 2011.
6. 和泉 潔, 現実のデータに基づく社会/集団シミュレーション, 応用数理, Vol.21, No.2, pp. 86-96, 2011.
7. 和泉 潔, 可能世界ブラウザ: エージェントシミュレーションによる社会デザイン, 日本機械学会第 25 回計算力学講演会, 神戸, 2012 年 10 月 7 日 [招待講演]
8. 和泉 潔 他 著, 実世界とエージェントシミュレーション協同研究委員会 編, 実世界とエージェントシミュレーション, 電気学会技術報告, 2012.

### 【研究テーマ C: エージェントシミュレーションによる社会デザイン手法の開発】

9. K. Izumi, Y. Nishida, and Y. Motomura, Risk Evaluation by Human Trajectory Simulation based on Real Data, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.2 pp. 220-225, 2011.
10. 柴田 一樹, 和泉 潔, 磯崎 直樹, 吉村 忍, 閲覧行動タイプに基づいたウェブ広告配信



シミュレーションモデル, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS2012, 2012年10月26日, 掛川

11. 和泉 潔, 池田 竜一, 山本 仁志, 諏訪 博彦, 岡田 勇, 磯崎 直樹, 服部 進, 可能世界ブラウザとしてのエージェントシミュレーション: ターゲットマーケティングへの応用, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS2012, 2012年10月26日, 掛川.
12. 水田 孝信, 八木 勲, 和泉 潔: 現実の価格決定メカニズムを考慮した人工市場の設定評価手法の開発, 人工知能学会論文誌, 第27巻6号, p. 320-327, 2012.
13. 水田 孝信, 早川 聡, 和泉 潔, 吉村 忍: 人工市場シミュレーションを用いた取引市場間におけるティックサイズと取引量の関係性分析, JPX ワーキングペーパー, vol.2 (2013)
14. C. WANG, K. IZUMI, T. MIZUTA, and S. YOSHIMURA, Investigating the Impact of Trading Frequencies of Market Makers: a Multi-agent Simulation Approach, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, (in press).
15. 和泉 潔, 手術室内の情報収集に基づく手術安全支援: 術中モニタリングと室内環境設計, 第36回未来医学研究会大会, 2013年4月13日 [招待講演].

(1) 論文(原著論文)発表

1. 鳥海 不二夫, 山本 仁志, 諏訪 博彦, 岡田 勇, 和泉 潔, 橋本 康弘, 大量 SNS サイトの比較分析, 人工知能学会論文誌, 25 巻 1 号, pp.78-89, 2010
2. 和泉 潔, 後藤 卓, 松井 藤五郎, テキスト情報による金融市場変動の要因分析, 人工知能学会論文誌, 25 巻 3 号 pp.383-387, 2010
3. I. Yagi, T. Mizuta, K. Izumi, A study on the effectiveness of short-selling regulation using artificial markets, Evolutionary and Institutional Economics Review, Vol.7, No.1, pp. 113-132, 2010.
4. Takao Terano, Tohgoroh Matsui, Kiyoshi Izumi, Alexis Drogoul, Benoit Gaudou, and Nicolas Marilleau, Agent-based Simulation for Complex Systems: Application to Economics, Finance and Social Sciences, in Practical Multi-Agent Systems Studies in Computational Intelligence, Volume 325/2011, 145-147(2010)
5. Fujio Toriumi, Kiyoshi Izumi and Hiroki Matsui: Market Participant Estimation by Using Artificial Market Advances, in Practical Multi-Agent Systems Studies in Computational Intelligence, Volume 325/2011, 201-215(2010)
6. I. Yagi, T. Mizuta, and K. Izumi, A study on the market impact of short-selling regulation using artificial markets, in Practical Multi-Agent Systems Studies in Computational Intelligence, Volume 325/2011, 217-232(2010)
7. 八木 勲, 水田 孝信, 和泉 潔, 人工市場を利用した空売り規制が与える株式市場への影響分析, 人工知能学会論文誌, Vol. 26 (2011), No. 1 pp.208-216.
8. 和泉 潔, 後藤 卓, 松井 藤五郎, テキスト分析による金融取引の実評価, 人工知能学会論文誌, Vol. 26 (2011), No. 2 pp.313-317.
9. K. Izumi, K. Takadama, H. Hattori, N. Nishino, and I. Noda, Social and Group Simulation Based on Real Data Analysis, Journal of Advanced Computational Intelligence and

Intelligent Informatics, Vol.15, No.2 pp. 166-172, 2011.
10. K. Izumi, Y. Nishida, and Y. Motomura, Risk Evaluation by Human Trajectory Simulation based on Real Data, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.2 pp. 220-225, 2011.
11. 和泉 潔, 奈良 温, 伊関 洋, 鈴木 孝司, 南部 恭二郎, 鎮西 清行, 村川 正宏, 坂無 英徳, 手術室内の情報収集による術中モニタリングと手術戦略デスク, 電子情報通信学会誌, vol.94, no. 4, pp. 288-293, 2011.
12. 和泉 潔, 現実のデータに基づく社会/集団シミュレーション, 応用数理, Vol.21, No.2 , pp. 86-96, 2011.
13. 山本 仁志, 諏訪 博彦, 岡田 勇, 鳥海 不二夫, 和泉 潔, 橋本 康弘, コミュニケーション構造の推移による大量 SNS サイトの分類, 日本社会情報学会誌, Vol.23, No.1, pp.33-43, 2011(9).
14. 松井 藤五郎, 後藤 卓, 和泉 潔, 陳ユ, 複利型強化学習の枠組みと応用, 情報処理学会誌, 52 巻 12 号, pp. 3300-3308 (2011).
15. 和泉 潔, 後藤 卓, 松井 藤五郎, 経済テキスト情報を用いた長期的な市場動向推定, 情報処理学会誌, 52 巻 12 号, pp. 3309-3315, 2011.
16. A. Nara, K. Izumi, H. Iseki, T. Suzuki, K. Nambu, and Y. Sakurai, Surgical Workflow Monitoring based on Trajectory Data Mining, in T. Onoda, D. Bekki, S. Tojo, Y. Ohsawa, T. Isozaki (eds.), New Frontiers in Artificial Intelligence (LNAI6797), Springer, pp.283-292, 2011.
17. Tohgoroh Matsui, Takashi Goto, Kiyoshi Izumi and Yu Chen, Compound Reinforcement Learning: Theory and An Application to Finance, in Scott Sanner and Marcus Hutter (eds.), Recent Advances in Reinforcement Learning (LNAI 7188), pp. 321-332, Springer, 2012.
18. 和泉 潔, 松井 藤五郎, 金融テキストマイニング研究の紹介, 情報処理, vol.53, no. 9, pp.932-937, 2012.
19. 水田 孝信, 八木 勲, 和泉 潔: 現実の価格決定メカニズムを考慮した人工市場の設定評価手法の開発, 人工知能学会論文誌, 第 27 巻 6 号, p. 320-327, 2012.
20. 八木 勲, 水田 孝信, 和泉 潔, 人工市場を用いた市場暴落後における反発メカニズムの分析, 情報処理学会論文誌, 53 巻 11 号, pp. 2388-2398, 2012.
21. 和泉 潔, 余野 京登, 陳 ユ, 後藤 卓, 松井 藤五郎, 英文経済レポートのテキストマイニングと長期市場分析, 日本金融・証券計量・工学学会論文誌, (in press)
22. Chi WANG, Kiyoshi IZUMI, Takanobu MIZUTA, and Shinobu YOSHIMURA, Investigating the Impact of Trading Frequencies of Market Makers: a Multi-agent Simulation Approach, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, (in press).

(2)特許出願

なし。

(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)

- [招待講演] 和泉 潔, 手術室内の情報収集に基づく手術安全支援: 術中モニタリングと室内環境設計, 第 36 回未来医学研究会大会, 2013 年 4 月 13 日.
- [招待講演] 和泉 潔, 可能世界ブラウザ: エージェントシミュレーションによる社会デザイン, 日本機械学会第 25 回計算力学講演会, 神戸, 2012 年 10 月 7 日
- [招待講演] 和泉 潔, 金融市場における自動取引戦略の生態学, 進化経済学会 ミニ・シンポジウム「技術と進化経済学/先端技術から長期展望まで」, 2012 年 7 月 14 日, 東京.
- [招待講演] 和泉 潔, 金融市場 とビッグデータサイエンス, MPT フォーラム, 2012 年 5 月 5 日, 東京.
- [招待講演] 和泉 潔, 教育現場における MAS の利用事例紹介-プログラミングだけでないプログラミングの講義, 第 12 回 MAS コンペティション, 2012 年 3 月 9 日, 東京.
- [招待講演] 和泉 潔, エージェントシミュレーションはリスク予防に役立つか, 日本ソフトウェア科学会第 28 回大会, 2011 年 9 月 29 日, 那覇.
- [チュートリアル講演] 和泉 潔, 実世界とエージェントシミュレーションの現状と課題, 平成 23 年(2011 年)電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2011 年 9 月 8 日, 富山.
- [招待講演] 和泉 潔, 松井藤五郎, Web 上のテキストから金融市場が予測できるか ~ 金融テキストマイニング研究の紹介 ~, 電子情報通信学会 人工知能と知識処理研究会, 2011 年 5 月 26 日, 東京.
- [招待講演] 和泉 潔, 実世界とエージェントシミュレーション, 電気学会 全国大会.
- [招待講演] 和泉 潔, 松井藤五郎, 金融市場におけるテキストマイニング, 電子情報通信学会 総合大会.
- [招待講演] 和泉 潔, 「みんなの気分」で株式市場が分かるか, 日本経営工学会 「予測市場と集合知活用」研究部会, 2011 年 3 月 11 日, 東京.
  
- JAWS2012 最優秀論文賞  
和泉 潔, 池田 竜一, 山本 仁志, 諏訪 博彦, 岡田 勇, 磯崎 直樹, 服部 進, 可能世界ブラウザとしてのエージェントシミュレーション: ターゲットマーケティングへの応用, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS2012, 2012 年 10 月 26 日, 掛川.
- JAWS2012 企業賞  
柴田 一樹, 和泉 潔, 磯崎 直樹, 吉村 忍, 閲覧行動タイプに基づいたウェブ広告配信シミュレーションモデル, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS2012, 2012 年 10 月 26 日, 掛川
- IEEE Computer Society Japan Chapter JAWS Young Researcher Award  
柴田 一樹, 和泉 潔, 磯崎 直樹, 吉村 忍, 閲覧行動タイプに基づいたウェブ広告配信シミュレーションモデル, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS2012, 2012 年 10 月 26 日, 掛川
- 2011 年度 人工知能学会 研究会優秀賞  
松井 藤五郎, 後藤 卓, 和泉 潔, 陳 ユ 「オンライン勾配法による投資比率最適化付き複利型強化学習」, 人工知能学会 第 8 回 人工知能学会 ファイナンスにおける人工知能応用研究会, 2012 年 1 月 28 日, 東京.

- 杉原 正顯 編, 和泉 潔 他著, 岩波講座 計算科学 第 6 巻 計算と社会, 岩波書店, 2012.
- 和泉 潔 他, 実世界とエージェントシミュレーション, 電気学会, 2012.
- 石田 基広, 金 明哲 編, 和泉 潔 他著, コーパスとテキストマイニング, 共立出版, 2012.
  
- 日本経済新聞, 東証と東大大学院、株の高速取引で共同研究, 2012 年 12 月 10 日, 朝刊
- 東京証券取引所プレスリリース, 東京証券取引所と東京大学は「金融商品市場の安定化・効率化に向けた情報技術の研究」に関する共同研究を開始します, 2012 年 12 月 10 日
- 日本取引所プレスリリース, JPX ワーキングペーパー『人工市場シミュレーションを用いた取引市場間におけるティックサイズと取引量の関係分析』を公表しました, 2013 年 1 月 30 日

# 研究報告書

## 「ラーニングログを用いた協調学習情報基盤の開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成21年10月～平成25年3月

研究者: 緒方 広明

### 1. 研究のねらい

近年、スマートフォンやタブレット端末等を教育や学習に用いたモバイル学習環境の研究が盛んに行われている。従来の教室の枠を超えて、モバイル端末等を用いて、教室外の日常生活の中でも学習の機会を増やし、学習を支援する試みである。特に、語学学習においては、日常生活を送る中で獲得される部分も多いため、現在、数多くの研究がなされている。

一方、情報記憶装置の低価格化や情報圧縮技術の進歩により、ビデオ映像や写真を用いて日常生活での出来事を一元的に記憶していくライフログが可能となってきた。

本研究では、次世代の e-Learning 環境として、日常生活での学習の体験映像をラーニングログとして蓄積し、他の学習者と共有することで、知識やスキルの獲得を支援する、協調学習の情報基盤を開発する。特に、その場所や時間など学習者の周囲の状況に適した情報を学習者に知らせ、学習者の環境やニーズと調和して適切な情報コンテンツを提供し、学習プロセスを支援する学習環境の構築を目指す。具体的には、以下の点を中心に研究を行う。

- (1) 日常生活の中で学習した内容を記録するためのラーニングログとして、どのような情報が必要かを調査する。
- (2) ラーニングログを用いた学習を効果的に行うための、協調学習のモデルを提案する。
- (3) 蓄積されたラーニングログを活用して、効果的に学習を行う方法を提案する。
- (4) 上記の提案を元に、ラーニングログシステムを開発する。
- (5) 開発されたシステムを用いて、実践的な評価を行い、システムの有効性を検証する。

### 2. 研究成果

#### (1) 概要

本研究では、ラーニングログを用いた協調学習のモデルとして、LORE モデルを提案した。LORE は、記録(Log)、組織化(Organize)、再利用(Reuse)、評価(Evaluation)の4つのプロセスからなる。また、このモデルを元に、Web 版と Android 版のアプリケーションを開発した。ラーニングログの記録の方法としては、スマートフォンのカメラなどを用いて学習者が写真を撮影してラーニングログを登録する Active 方式と、ライフログカメラをもちいて自動的に学習の機会を記録する Passive 方式を提案し、それぞれについて支援機能を開発した。また、ラーニングログを利用して、学習者の状況に合わせて適切な場所やタイミングでクイズやタスクを推薦する機能を実現した。さらに、本システムを用いた実践として、シームレス学習環境を提案し、英語の講義で実践評価を行った。

#### (2) 詳細

## 1. ラーニングログを用いた協調学習モデル LORE 提案

LORE とは英語で「言い伝えや伝承」という意味があり、教科書などには掲載されていないが、日常生活の中から、体験的に知識を獲得して、伝承することを意図として提案した(図 1)。これは、以下の4つのプロセスからなる。

(1) Log:日常生活において疑問に思ったことや分からないことがあった時、自分で様々な方法を駆使して調べたり、誰かに質問することで、学習したことをラーニングログという形で、写真や動画、位置情報などと一緒にシステムに記録し、共有する。

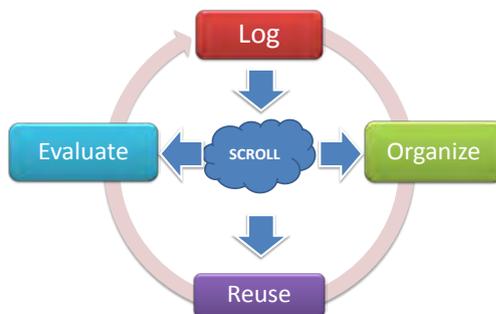


図 1: LORE モデル

(2) 組織化(Organize):

蓄積されたラーニングログを、学習教材として利用しやすくするために体系化する。例えば、類似データが存在する場合は、同じカテゴリとして結合し、構造化してデータ管理を行う。

(3) 再利用(Reuse):

共有されたラーニングログのデータを様々な形で学習に再利用する。例えば、ラーニングログが登録された状況と同様の状況下に学習者がいるとき、そのラーニングログに気付かせることによって、過去の学習内容を忘れないようにする。

(4) 評価(Evaluate):

学習者のこれまでの学習内容を分析・評価し、システムが各学習者に適した学習方法を提案する。

## 2.システムの開発

本研究では、Java言語を用いてAndroid版(図 2 左)とWeb版(図 2 右)を開発した。これは、多言語に対応している。また、Web版は、<http://ll.is.tokushima-u.ac.jp>で一般公開されており、Android版は、Google Playから無料でダウンロード可能である。

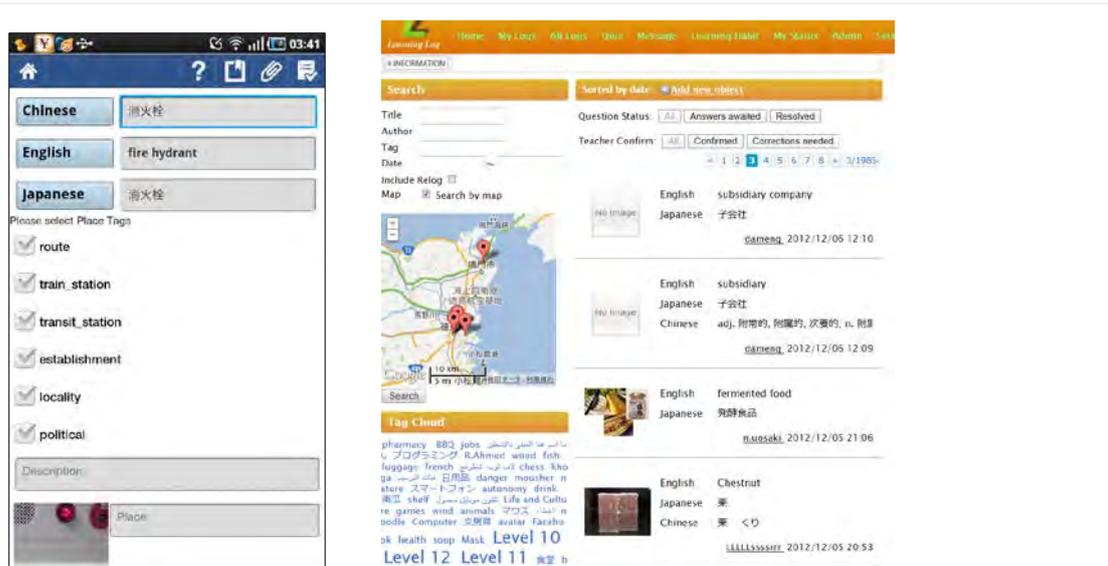


図2: Android 版(左)と Web 版(右)のインタフェース

### 3.Active と Passive 記録方式によるラーニングログの記録支援

ラーニングログの記録方法としては、Active 方式と Passive 方式の2種類を提案した(図3)。Active 方式は、学習者が何か学んだ時に、スマートフォンのカメラなどを用いて、Active に写真を撮影してラーニングログを登録する方式である。一方、Passive 方式は、ライフログカメラ等を用いて、自動的に撮影を行う方式である。Active 方式に比べて、撮影を忘れる機会が減少したり、一日の行動を振り返って、学習したことを思い出すことにより、リフレクションの効果があるという長所がある。しかし、一日に数千枚の写真が撮影されるため、その中からラーニングログとして登録すべき写真を推薦する機能を実現した。



図3: Active 方式(左)と Passive 方式(右)によるラーニングログの記録

### 4. 個人に適応したラーニングログの利用方法の提案

本研究では、過去の学習体験を思い出したり、他者の学習から学ぶ方法として、2つの方式を提案した。1つめは、登録されたラーニングログを利用して、クイズを提示する方式である。この場合、どのようなタイミングでどのような状況で学習者に提示するのが適切かを判断する必要がある。そこで、認知科学等の知見を元に、学習のタイミング、学習内容、学習の場所等を考慮して、適切にクイズを提示する機能を Android 版に開発した(図4)。2つめは、タスクを行うことによって、体験学習を支援する Learning Log Navigator を提案した。これは、Android 端末のカメラを用いて、現実世界の上に、学習者の周辺にあるラーニングログやタスクを表示

して、学習を促す機能である。

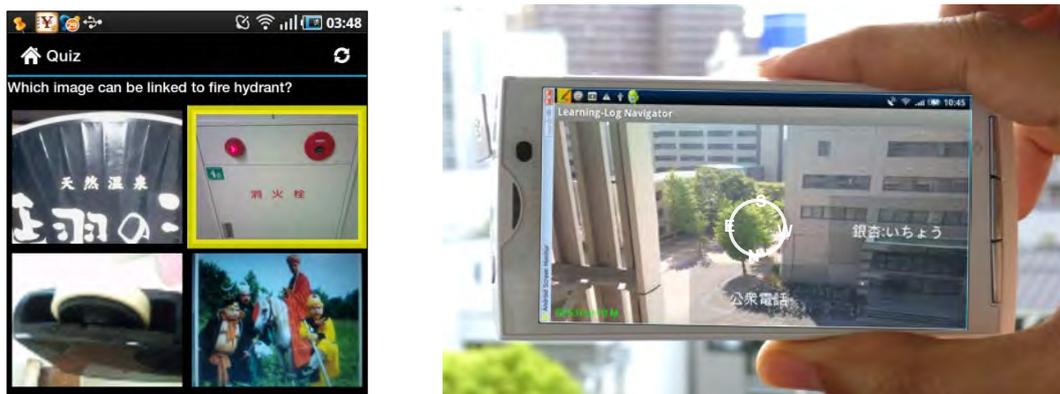


図4: クイズ(左)と Learning Log Navigator(右)のインターフェース

### 5. シームレス学習環境への適用

本研究では、SCROLL システムを大学での講義で利用して、日常生活の中で学んだ内容と、講義内容とを結びつけて学習を行う、シームレス学習方式を提案した(図5)。また、シームレス学習を効果的に運用するために、教師のためのガイドラインを作成した。



図5: シームレス学習環境の例

### 3. 今後の展開

今後の研究課題は以下の通りである。

#### (1) ラーニングログの分析機能の構築

蓄積された大量のラーニングログを分析して、学習パターンを見つけ出し、結果を視覚的に提示する機能を実現する。

#### (2) 留学生の日本語学習等を対象とした長期の評価の実施

留学生が日本に来た時から、本システムを利用してもらい、留学生達が、どのように日本語

を習得していくか、プロセスを理解し、本システムを用いて適切に学習の支援が行えているか、評価を行う。

(3) 語学だけでなく、他の学習領域での利用

これまでは、日本人による英語学習と、留学生による日本語学習を支援の対象としてきた。今後は、語学学習だけでなく、社会や理科、家庭科なども支援の対象とする予定である。

(4) Facebook 等のソーシャルメディアとの連携

近年は、Facebook などに日常の体験を記述することが多く行われている。そのような中から、ラーニングログとして登録できる情報を探索して、登録の支援を行う。また、SCROLL での学習のプロセスも伝える手段として、Facebook などを用いる予定である。

#### 4. 自己評価

3年半の間の研究期間を通して、協調学習のモデルの提案やシステムの開発、システムを利用した新しい学習方法の提案をすることができた。人が日常生活の中から、どのように学び、どのように発達していくかは、まだまだ未知の部分が多い。今後、本研究が、日常体験の中で学ぶプロセスを解明し、人々の学びを促進する情報環境を提供することは非常に重要であり、今後も本研究を引き続き行いたいと考えている。

#### 5. 研究総括の見解

本研究は、次世代の e-Learning 環境として、実世界インタラクションに基づく協調学習システムを開発したものである。本研究の優れた点は、ライフログからコンテンツを切り出して学習に活用するという基本的なアイデアを、認知科学などの知見に基づき生まれた LORE モデルに基づき実装し、教育に適用してその効果を確認している点である。本研究が提案する LORE モデルは、ラーニングログを用いた協調学習のモデルで、記録(Log)、組織化(Organize)、再利用(Reuse)、評価(Evaluation)の4つのプロセスからなる。まず、ラーニングログの記録方式としては、学習者が写真を撮影してラーニングログに登録する Active 方式と、ライフログカメラ等を用いて自動的に撮影を行うPassive 方式を提案し、一日に撮影される数千枚の写真から、ラーニングログとして登録すべき写真を自動的に推薦する機能を実現している。一方、ラーニングログの再利用方式としては、登録されたラーニングログを利用してクイズを提示する「過去の学習体験を思い出す方式」と、現実世界で学習者の周辺にあるラーニングログやタスクを表示して「他者の学習から学ぶ方式」を提案している。さらに、本システムを用いた実践として、シームレス学習環境を提案し英語の講義で評価を行っている。また、実装されたシステムは、Web 版と Android 版が公開されている。本研究は、最先端の情報環境を十分な考察を経て教育現場に導入したものであり、教育工学関連の国際学会で多数の受賞を得るなど高い評価を受けている。

#### 6. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- (1) [Hiroaki Ogata](#), Mengmeng Li, Bin Hou, Noriko Uosaki, Moushir M. El-Bishouty, Yoneo Yano, SCROLL: Supporting to Share and Reuse Ubiquitous Learning Log in the Context of Language Learning, International Journal of Research and Practice on Technology

Enhanced Learning (RPTEL), Vol.6., No.2, pp.69–82, 2011.
(2) <u>Hiroaki Ogata</u> , Noriko Uosaki, A new trend of mobile and ubiquitous learning research: towards enhancing ubiquitous learning experiences, International Journal of Mobile and Learning Organization, Vol. 6, No.1, pp.64–78 (2012).
(3) Noriko Uosaki, <u>Hiroaki Ogata</u> , Mengmeng Li, Bin Hou, Towards seamless vocabulary learning: how we can entwine in-class and outside-of-class learning, Int’l J. of Mobile and Learning Organization, Vol.6, No.2, pp.138–155 (2012).
(4) Ho Bin, <u>Hiroaki Ogata</u> Mengmeng Li, Noriko Uosaki, PACALL: Supporting Language Learning Using SenseCam, International Journal of Distance Education Technologies, (in press)
(5) Mengmeng Li, <u>Hiroaki Ogata</u> , Bin Hou, Noriko Uosaki, Context-aware and Personalization Method in Ubiquitous Learning Log System, Journal of Educational Technology & Society (in press)

(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)

受賞

- (1) Hiroaki Ogata, Enhancing Ubiquitous Learning Using Video-based Life-Log, Proc. of 8th World Conference on Mobile and Contextual Learning, pp.87–93, Orlando, USA, Oct. 2009. (Best Paper Award)
- (2) Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, Noriko Uosaki, Moushir M. El-Bishouty, Yoneo Yano: Ubiquitous Learning Log: What if we can log our ubiquitous learning?, Proc. of ICCE 2010, pp. 360–367, Malaysia, Dec. 2010. (Best Technology Design Paper Award)
- (3) Mengmeng Li, Hiroaki Ogata, Bin Hou and Noriko Uosaki and Yoneo Yano, Personalization in Context-aware Ubiquitous Learning-Log System, Proc. of IEEE WMUTE 2012, pp.41–48, Takamatsu, Japan, March 2012. (Best Student Paper Award)

招待講演

- (1) Hiroaki Ogata, Sharing Experiences with Social Media for Technology Enhanced Ubiquitous Learning, Technology Enhanced Learning Conference 2009, Taipei, Taiwan, October, 2009. (Keynote)
- (2) Hiroaki Ogata, Task Recommendation for Ubiquitous Learning, International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR 2010), pp.307–310, Wuhan, China, March 6–7, 2010. (Keynote)
- (3) Hiroaki Ogata, Context-Aware Ubiquitous Learning Environments for Language Learning, UbiLearn 2010, Kaohsiung, Taiwan, April 12, 2010. (Keynote)
- (4) Hiroaki Ogata, The Role of Technology in Enhancing Ubiquitous Learning Experiences, ICCE



- 2010, Malaysia, November 28–30, 2010. (**Keynote**)
- (5) Hiroaki Ogata, Bridging Learning inside and Outside Classroom Using Digital Ubiquitous Learning Logs, e-Learn 2010, Taipei, Taiwan, December 24–25, 2010. (**Keynote**)
  - (6) Hiroaki Ogata, Role of ubiquitous learning log, Edutainment 2011, Taipei, Taiwan, September 8–10, 2011. (**Keynote**)
  - (7) Hiroaki Ogata, Research trends on mobile and ubiquitous learning, MSE 2011, Chengdu, China, October 1–3, 2011. (**Keynote**)
  - (8) Hiroaki Ogata, How can Networked Digital Technologies Enhance Ubiquitous Learning?, NDT 2012, Dubai, UAE, April 24–26, 2012. (**Keynote**)
  - (9) Hiroaki Ogata, Computer Supported Ubiquitous Learning, KSET 2012, Seoul, South Korea, May 25–26, 2012. (**Invited talk**)
  - (10) Hiroaki Ogata, Ubiquitous Learning Log Projects, 2013 NMC Horizon Project Summit for Future Education, Austin, USA, Jan 22–24, 2013. (**Invited talk**)
  - (11) Hiroaki Ogata, New trends of mobile and ubiquitous learning research, ASCE 2013, Taichung, Taiwan, June 18–20, 2013. (**Invited talk**)
  - (12) Hiroaki Ogata, Augmenting Learning–Experiences in the Real World with Digital Technologies, IEEE ICRTIT 2013, Chennai, India, July 25–27, 2013. (**Keynote**)

#### 著書

- (1) 緒方広明、モバイルユビキタス技術を用いたシステム開発、教育工学とシステム開発、教育工学選書、4、ミネルヴァ書房、pp.138–146, 2012.
- (2) Marcelo Milrad, Lung-Hsiang Wong, Mike Sharples, Gwo-Jen Hwang, Chee-Kit Looi, Hiroaki Ogata, Seamless Learning: An International Perspective on Next Generation Technology Enhanced Learning, Handbook of Mobile Learning, Lin Muilenburg and Zane Berge (Eds), Handbook of Mobile Learning, Routledge (in press)
- (3) Hiroaki Ogata, Noriko Uosaki, Bin Hou, Mengmeng Li, Kousuke Mouri, Supporting Seamless Learning Using Ubiquitous Learning–Log System, Seamless Learning in the Age of Mobile Connectivity, Springer (in press)

#### 国際会議

- (1) Mengmeng Li, Hiroaki Ogata, Bin Hou, Satoshi Hashimoto, Noriko Uosaki, Yoneo Yano: Development of Adaptive Vocabulary Learning Using Mobile Phone Email, Proc. of International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technologies in Education, pp.34–41, Kaohsiung, Taiwan, Apr. 2010.
- (2) Hiroaki Ogata, Toru Misumi, Bin Hou, Mengmeng Li, Moushir M. El-Bishouty, Yoneo Yano: LORAMS: Sharing Learning Experiences with Social and Ubiquitous Media, Proc. of International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technologies in Education, pp.151–155, Kaohsiung, Taiwan, Apr. 2010.
- (3) Bin Hou, Hiroaki Ogata, Masayuki Miyata, Mengmeng Li, Yoneo Yano: Development of



- Web-based Japanese Mimicry and Onomatopoeia Learning Assistant System with Sensor Network, Proc. of International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technologies in Education, pp.117–121, Kaohsiung, Taiwan, Apr. 2010.
- (4) Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, Noriko Uosaki, Moushir M. El-Bishouty, Yoneo Yano: SCROLL: Supporting to Share and Reuse Ubiquitous Learning Log in the Context of Language Learning, Proc. of mLearn 2010, pp.40–47, Malta, Oct. 2010.
  - (5) Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, Noriko Uosaki, Moushir M. El-Bishouty, Yoneo Yano: Ubiquitous Learning Log: What if we can log our ubiquitous learning?, Proc. of ICCE 2010, pp. 360–367, Malaysia, Dec. 2010. (Best Technology Design Paper Award)
  - (6) Noriko Uosakai, Mengmeng Li, Bin Hou, Hiroaki Ogata, Yoneo Yano: Supporting an English Course Using Handhelds in a Seamless Learning Environment, Workshop Proc. of the 18th International Conference on Computers in Education (ICCE2010), pp.185–192, Putrajaya, Malaysia, Dec. 2010.
  - (7) Noriko Uosaki, Mengmeng Li, Bin Hou, Hiroaki Ogata and Yoneo Yano: Seamless Learning Environment to Support English Course Using Smartphones, Joint Proc. of the Work-in-Progress Poster and Invited Young Researcher Symposium at the 18th International Conference on Computers in Education ICCE 2010, pp.37–39, Putrajaya, Malaysia, Dec. 2010.
  - (8) Noriko Uosaki, Mengmeng Li, Bin Hou, Hiroaki Ogata and Yoneo Yano: Seamless Vocabulary Learning in English Course Using Mobile Devices, Doctor Student Consortium Proc. of the 18th International Conference on Computers in Education, ICCE 2010, pp.21–24, Putrajaya, Malaysia, Dec. 2010.
  - (9) Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, Noriko Uosaki, Yoneo Yano: Supporting Language Learning Using Ubiquitous Learning Log, Proc. of Mobile Learning 2011, pp.256–260, Avila, Spain, March 2011.
  - (10) Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, and Noriko Uosaki and Yoneo Yano, Learning by Logging: Supporting Ubiquitous Learning Using a Lifelogging Tool, Proc. of IEEE TESL 2011, pp.552–557, Dalian, China, Oct 2011.
  - (11) Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, and Noriko Uosaki, Effectiveness of Ubiquitous Learning Log System, Proc. of ICCE 2011, pp.412–416, Chiang Mai, Thailand, Dec. 2011.
  - (12) Noriko Uosaki, Hiroaki Ogata, Taro Sugimoto, Bin Hou, and Mengmeng Li, Seeking for Seamless Language Learning: How can we entwine formal learning with informal learning?, Proc. of ICCE 2011, pp.417–421, Chiang Mai, Thailand, Dec. 2011.
  - (13) Bin Hou, Hiroaki Ogata, Toma Kunita, Mengmeng Li, Noriko Uosaki, Passive Capture for Ubiquitous Learning Log Using SenseCam, Proc. of ICCE 2011, pp.396–400, Chiang Mai, Thailand, Dec. 2011.
  - (14) Mengmeng Li, Hiroaki Ogata, Bin Hou, and Noriko Uosaki, Personalization and Context-awareness Supporting Ubiquitous Learning Log System, Proc. of ICCE 2011, pp.391–395, Chiang Mai, Thailand, Dec. 2011.

- (15) Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, and Noriko Uosaki, Context-Aware Support for Lanugage Learning Using Ubiquitous Learning Logs, Proc. of TE 2011, pp.31-36, Dallas, USA, Dec. 2011.
- (16) Hiroaki Ogata, Bin Hou, Mengmeng Li, Noriko Uosaki, Learning by Logging: How can We Use Life-log Photos for Learning, Proc. of Mobile Learning 2012, pp.256-260, Berlin Germany, March 2012.
- (17) Mengmeng Li, Hiroaki Ogata, Bin Hou and Noriko Uosaki and Yoneo Yano, Personalization in Context-aware Ubiquitous Learning-Log System, Proc. of IEEE WMUTE 2012, pp.41-48, Takamatsu, Japan, March 2012. (Best Student Paper Award)
- (18) Noriko Uosaki, Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, How We Can Entwine In-class Vocabulary Learning with Out-class one in English Course for Japanese EFL Learners, Proc. of IEEE WMUTE 2012, pp.102-106, Takamatsu, Japan, March 2012.
- (19) Bin Hou, Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Noriko Uosaki, PACALL: Supporting Language Learning Using SenseCam, Proc. of IEEE WMUTE 2012, pp.127-131, Takamatsu, Japan, March 2012.
- (20) Mengmeng Li, Hiroaki Ogata, Bin Hou, Noriko Uosaki and Yoneo Yano, SCROLL: System for Capturing and Reminding of Ubiquitous Learning Log, Proc. of IEEE WMUTE 2012, pp.328-330, Takamatsu, Japan, March 2012.
- (21) Bin Hou, Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Noriko Uosaki, Supporting Language Learning Using SenseCam, Proc. of IEEE WMUTE 2012, pp.331-332, Takamatsu, Japan, March 2012.
- (22) Hiroaki Ogata, Bin Hou, Mengmeng Li, Noriko Uosaki, Supporting Daily Reflection in Ubiquitous Learning Using a Life-logging Camera, Proc. of ED-Media 2012, Denver, USA, June 2012.
- (23) Noriko Uosaki, Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Bin Hou, Supporting English Vocabulary Learning with SCROLL, Workshop Proc. of CollabTech 2012, pp.9-12, Sapporo, Japan, August, 2012.
- (24) Mengmeng Li, Hiroaki Ogata, Bin Hou and Noriko Uosaki, A Context-aware Multimodal Interface for Mobile Learning, Proc. of CollabTech 2012, pp.149-150, Sapporo, Japan, August, 2012.
- (25) Bin Hou, Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, Noriko Uosaki, Supporting Daily Reflection for Ubiquitous Learning Log Using SenseCam, Proc. of CollabTech 2012, pp.2-7, Sapporo, Japan, August, 2012.
- (26) Kosuke Mohri, Bin Hou, Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, and Noriko Uosaki, Learning Log Navigator : Augmented Awareness Past Learning Experience, Proc. of LTLE 2012, pp.159-162, Fukuoka, Japan, Sep. 2012.
- (27) Bin Hou, Kosuke Mohri, Hiroaki Ogata, Mengmeng Li, and Noriko Uosaki, Using SenseCam for Capturing Ubiquitous Learning Log, Proc. of LTLE 2012, pp.267-272, Fukuoka, Japan, Sep. 2012.
- (28) Mengmeng Li, Hiroaki Ogata, Bin Hou and Noriko Uosaki, Context-aware Multimodal Interfaces Enhancing Ubiquitous Learning, mLearn 2012 Oct. 2012.

- (29) Mengmeng Li, Hiroaki Ogata, Bin Hou and Noriko Uosaki, How to increase ubiquitous experiential learning, Prof. of ICCE 2012, pp.393–397, Singapore, Nov. 2012.
- (30) Hiroaki Ogata, Bin Hou, Mengmeng Li, Noriko Uosaki, Role of Passive Capturing in Ubiquitous Learning, Por. of Mobile Learning 2013 (in press)

# 研究報告書

## 「学習進化機能に基づくスパイラル・ケアサポートシステム」

研究タイプ： 通常型

研究期間： 平成 21 年 10 月～平成 25 年 3 月

研究者： 高玉 圭樹

### 1. 研究のねらい

我が国は、2025 年に総人口の 35%(3500 万人)弱が 65 歳以上の高齢者が占めると推定され、世界で最も高齢化が進んだ社会となる。このような社会情勢の中、現在の介護福祉施設は 65 歳以上の高齢者(老人福祉法上では 40 歳以上)で、介護保険上「要介護」に認定された人を対象とした入所サービスを実施しており、自宅で適切な介護を受けることが困難な高齢者がケアを受けている。入居者の多くは「自立」が困難、もしくは寝たきりの高齢者であるため、各居室で生活する入居者に対し、複数の介護士が交代で食事から運動、服薬、排泄等の生活支援および健康状態の管理を行っている。

このような背景から、本研究では現代の高齢化社会に欠くことのできない介護支援に焦点をあて、(1)入居者(高齢者)、(2)介護士、(3)経営者が抱えるそれぞれの問題を相乗効果的に解決することによって介護の質の向上を目指す。特に、介護施設において重要な「快眠・快食・快便」という健康的で過ごし易い快適な生活の中で「睡眠」に着目し、深い睡眠を導く介護支援に取り組む。具体的には、(1)入居者の観点では睡眠が浅く夜中に起きる回数が多い問題、(2)介護士の観点では入居者毎の個別ケアが厳しい問題、(3)経営者にとっては介護のノウハウが明らかでないために、介護の質を維持できない問題があるため、それらの解決策を探究する。

この目標達成に向け、本研究では「(1)無拘束で睡眠状態を推定できれば、入居者の睡眠を妨げずに睡眠の良し悪しを評価できる、(2)入居者の睡眠状態を評価できれば、深い睡眠を導く入居者毎のケアプランを設計できる。(3)深い睡眠を導く介護が実現すれば、その介護ノウハウが蓄積され、それが再び入居者への介護に活用される」という介護支援のスパイラル向上を目指す。具体的には、(1)入居者毎に異なる睡眠のリズムと年齢にともない浅くなる睡眠変化を考慮した睡眠モニタリングエージェント、(2)入居者毎に深い睡眠を導く適切なライフスタイルを設計するケアプラン設計エージェント、(3)入居者毎に用意されたエージェントに蓄積された介護記録から有用な知識を抽出する介護士育成支援エージェントを考案する。更に、それらを統合したスパイラル・ケアサポートシステムを構築し、その有効性を介護福祉施設にて検証する。

### 2. 研究成果

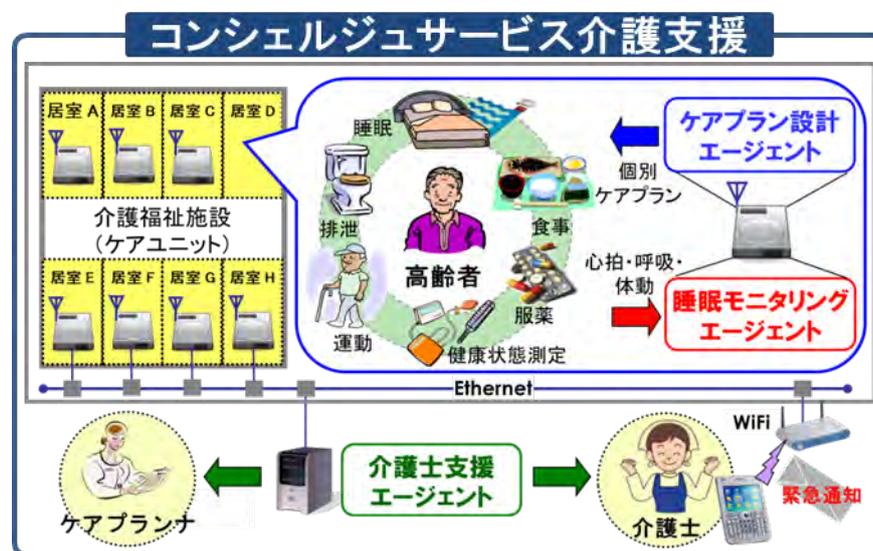
#### (1)概要

提案するスパイラル・ケアサポートシステムは、今まで決められたスケジュール(食事やリハビリの時間が決められているなど)での生活しかできなかった入居者に対して、個々のライフスタイルを考慮した上での適切な介護を実現できるコンシェルジュサービス介護支援を可能にした。具体的には、下図に示すように3つの機能(睡眠モニタリングエージェント、ケアプラン設計

エージェント、介護士支援エージェント)が有機的に結び付くことによって実現する[1, 4]。システム構成としては、睡眠モニタリングとケアプラン設計の両エージェントは、各居室の PC (あるいはタブレット)に導入され、入居者の睡眠状態を把握するとともに、深い睡眠を導くケアプランを設計する。一方、介護士支援エージェントは介護施設のサーバ室の PC に導入され、介護のノウハウを蓄積することによって介護の質を向上させる。

これらの 3 種類のエージェントは次のように機能する。まず、健康モニタリングエージェントは、就寝中に入居者の心拍と体動のデータをベッドの下に敷いたセンサから無拘束状態で測定し、入居者の睡眠段階の推定を可能にする[2]。続いて、ケアプラン設計エージェントは、推定した睡眠段階から数多くのケアプラン(一日のスケジュールに相当する)の中で入居者が深い睡眠を導いたケアプランを選び、どのような要因が深い睡眠を導くのかのデータマイニング(例えば、午前中にリハビリをすると眠りが深くなるなどの知識抽出)を可能にする[3]。さらに、介護士支援エージェントは、このような知識を蓄え、介護士間での共有を促進するとともに、入居者の気持ちの変化を察知し、それを介護士に伝えることによって、入居者に寄り添った介護を実現する[5]。

このようなエージェントが連携することによって、コンシェルジュサービス介護支援が可能となる。具体的には、健康モニタリングエージェントが入居者毎の睡眠状態を把握するとともに、ケアプラン設計エージェントがその情報を基に入居者毎に適したケアプランを設計し、介護支援エージェントが入居者の気持ちの変化を介護士に伝えることによって、入居者ごとのケアを可能にする。このような介護は現在の介護施設では実現できておらず、個々の入居者に対していきいきとしたライフスタイルを提供する新たな介護の可能性を示している。



## (2) 詳細

### ○研究テーマ1: 個人差と年齢の影響を考慮した睡眠段階推定技術の確立

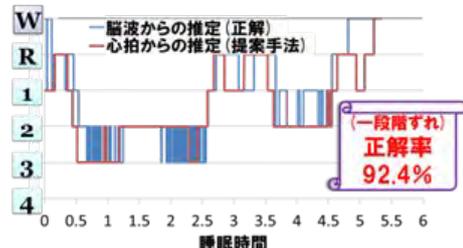
無拘束で睡眠段階を推定する技術には、心拍データから中周波数成分を抜き出す方法が提案されているが、(1)推定精度は個人差があるだけでなく、同じ人でも日によって異なる。また、(2)年齢とともに変化する睡眠段階(高齢者になると深い睡眠の割合は減ることなど)は考慮で

きておらず、介護施設にいる入居者にそのまま適用するには限界がある。そこで、本研究では個人差と年齢の影響を考慮した睡眠段階推定方法[2]を考案し、その有効性を介護施設で検証した。具体的には、下図(左と中央)のように、ベッドの下に心拍データを測定可能なセンサ(本研究では EMFIT 社のセンサを採用)を敷き、そのデータから各人にあつた睡眠段階の推定に成功した。病院で採用されている睡眠段階測定法である脳波から推定した睡眠段階と比べたところ、下図(右)のようにほぼ同じ睡眠段階を推定できていることが明らかになった。なお、縦軸は睡眠段階、横軸は時間を示し、青は脳波から推定した睡眠段階、赤は提案手法で推定した睡眠段階を示している。特に、1 段階の睡眠段階のずれを許容した場合、92.4%と高い正解率で一致している。

### ・介護施設でのシステム設置



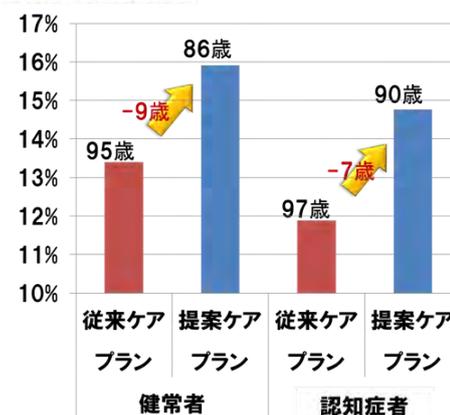
### ・実験結果



### ○研究テーマ2: ケアプランのためのデータマイニング技術の確立

今まで数多くのデータマイニング手法が提案されているが、介護施設で生活する入居者の睡眠に関する知識をマイニングする場合、(1)同じスケジュールでも睡眠の深い日と浅い日がある(これは矛盾したデータを意味し、ノイズに対処する以上に困難である)。また、(2)どの日でも深く眠れる汎用知識に加えて、誕生日など特別な日の特殊知識の同時獲得ができない(多くの手法は後者をノイズとして扱う)。そこで、本研究では矛盾したデータの重みを下げ、汎用知識と特殊知識を同時に獲得可能なデータマイニング手法[3]を考案し、その有効性を介護施設で検証した。具体的には、提案手法で得られた知見をケアプランに適用したところ、右図のように深い睡眠を表す睡眠段階 3 と 4 の割合が健常者も認知症者も高くなった。なお、縦軸は睡眠段階 3 と 4 の割合、横軸は健常者と認知症者の違いを示し、赤は従来ケアプラン、青は提案ケアプランを示している。特に、この睡眠段階 3 と 4 の割合で寝る人の年齢を全国平均から計算すると、健常者で 9 歳若い睡眠、認知症者では 7 歳若い睡眠の実現に成功している。

### 睡眠段階34割合



### ○研究テーマ3: 高齢者の気持ちの変化を察知する技術の探究

介護士が入居者にしてあげたいことと入居者が望むことは必ずしも一致しないため、ずれが生じ、介護の質が向上しない。そこで、本研究では入居者の気持ちを察知し、それに即したケアプランを提供することで介護士と入居者のずれを減少させる手法[5]を考案し、その有効性を介護施設で検証した。具体的には、提案手法で得られた知見をケアプランに適用したところ(厳密には、食事(特に副食)の量を半分以下とし、かつ、嫌いで実施していないリハビリを午前中

に実施したところ)、睡眠が深くなることが分かった。下表は朝食(副食)の量とリハビリに関するもので、左から項目、介護士がしてあげたいこと、介護士の思う高齢者の希望、提案手法が推定した高齢者の希望を表し、数値(0~100)は希望の大きさを表している。これより、食事の量もリハビリも高齢者の希望が異なるため、実際に高齢者に尋ねたところ、同室の方が亡くなり食欲が湧かなくなり、かつ、そのときから自分の死を意識し、今患っている糖尿病と戦うためにリハビリに前向きになったとのことである。このような高齢者の希望の推定は提案手法のみが成功しており、それに即した介護が深い睡眠に貢献している。

－ 食事:副食の量を半分以下

項目	介護士	高齢者(現在)	高齢者(推定)	
朝食(副食)	食べない	0.00000	0.04135	0.00000
	少量	0.00048	0.98472	0.00000
	∴	0.28609	10.29261	99.00000
	中間	13.31050	47.21935	0.00000
	∴	47.87307	95.08146	0.00000
	定量	100.00000	84.03362	0.00000

－ リハビリ:“なし”→“午前”

項目	介護士	高齢者(現在)	高齢者(推定)	
リハビリ	なし	10	50	1
	午前	100	15	50
	午後	50	10	3
	両方	40	10	0

3. 今後の展開

今までは、介護施設で生活している高齢者に対するコンシェルジュサービス介護支援を探究してきたが、全員が介護施設に入居できるわけではない。この問題を解決するために、提案システムの在宅介護への展開を検討している。具体的には、高齢者、その家族、病院、デイケアセンターをコンシェルジュサービスネットワークで結び、ケアサポートエージェントによる広範囲からの見守りを実現する。例えば、高齢者を機械的に24時間見守るだけでなく、深く眠れない日々が続いたら、その家族に通知し、家族から電話をかけるきっかけを与えるようなエージェントと人の協同による「つながり」を深めるケアなどが考えられる。

さらに、このような在宅介護を中心としたコンシェルジュサービスネットワークを広げ、数多くの在宅に提案エージェントを導入することによって、街全体で見守りを可能にするスマートタウンを構想している。現在、数多くの介護施設や病院などの接点があったため、それらを活かして展開したいと考えている。

4. 自己評価

本研究では、介護支援における入居者(高齢者)、介護士、経営者が抱えるそれぞれの問題を解決することによって介護の質の向上を目指してきた。この目標に対し、介護施設の入居者にとって重要な「快眠・快食・快便」のうち「睡眠」の側面であるが、各問題は解決され、個々のライフスタイルを考慮した上での適切な介護を実現できるコンシェルジュサービス介護支援の可能性を示すことに成功した。これより、さきかけ研究期間で得られた研究成果は研究のねらいを「睡眠」の側面からある程度実現できたと考えている。ただ、提案手法の有用性を検証するには、介護施設の数も高齢者の数も十分ではない。得られた成果をより確実にするには、それらの数も増やしていかなければならず、ここは今後の課題として実施していく予定である。

5. 研究総括の見解

本研究は、被介護者への個別対応から介護士の育成支援までを含むトータルな介護支援システムの構築を目標としている。本研究の優れた点は、まず研究の評価方法を確立したこと



である。具体的には、介護支援の評価指標として「快眠」をとりあげ、無拘束で睡眠段階を推定する技術を開発した。即ち、ベッドの下に心拍データを測定可能なセンサを敷き、そのデータから各人の睡眠段階を推定した。機械学習技術の適用により、1段階の睡眠段階のずれを許容した場合、92.4%という高い正解率で睡眠段階の推定を可能としている。次に、被介護者を快眠に導くケアプラン作成を目指して、どの日でも深く眠れる条件を表す汎用知識と、誕生日などの条件を表す特殊知識に分け、汎用知識と特殊知識を同時に獲得可能なデータマイニング手法を考案している。さらに、得られたケアプランの有効性を実際の介護施設で検証し、健常者で9歳若い睡眠、認知症者では7歳若い睡眠の実現に成功している。本研究は、介護環境を先端情報技術を用いて改善し、介護施設との連携によってその効果を検証したもので、介護の重要性が高まる我が国において、大きな社会的貢献に繋がる研究である。

## 6. 主な研究成果リスト

### (1) 論文(原著論文)発表

1. Takadama, K.: ``Towards Spiral Care Support System: Evaluating Sleep Stage for Care Plan Optimization,`` The Fourth International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT 2010), 2010.
2. Takadama, K., Hirose, K., Matsushima, H., Hattori, K., and Nakajima, N.: ``Learning Multiple Band-Pass Filters for Sleep Stage Estimation: Towards Care Support for Aged Persons,`` IEICE (The Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers) Transactions on Communications, Vol. E93-B, 2010, No. 04, pp. 811-818.
3. Takadama, K.: ``Exploring Individual Care Plan for a Good Sleep,`` The AAAI (The Association for the Advancement of Artificial Intelligence) 2012 Spring Symposia, Self-tracking and Collective Intelligence for Personal Wellness, 2012, pp. 60-64.
4. Takadama, K.: ``Towards Next-generation Care Support: Your Own Agent improves Your Health,`` International Conference on Humanized System 2012 (ICHHS 2012), 2012 (invited talk).
5. Takadama, K.: ``Towards a Care Support System that Can Guess The Way Aged Persons Feel,`` The AAAI (The Association for the Advancement of Artificial Intelligence) 2013 Spring Symposia, Data Driven Wellness: From Self-Tracking to Behavior Change, 2013, in press.

### (2) 特許出願

なし。

※今後、特許の出願を大学の担当者と検討する予定である。

### (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)

・招待および依頼講演

1. 高玉 圭樹: ``学習進化機能に基づくスパイラル・ケアサポートシステム``, 人工知能学会, JAWS'09 (Joint Agent Workshops and Symposium), 2009, pp. 46.
2. 高玉 圭樹: ``学習進化機能に基づくスパイラル・ケアサポートシステム: 睡眠中にそっと見守る自分だけのパートナー``, 情報処理学会, 創立 50 周年記念全国大会, 2010.



3. 高玉 圭樹: ``コンセルジェサービス介護支援: そっと見守るあなただけのエージェント'', 計測自動制御学会, システム・情報部門, 第5回関係論的システム科学調査研究会, 2012.
4. 高玉 圭樹: ``コンセルジェサービス介護支援: あなたの健康を把握・改善するエージェント'', 千葉労災病院リハビリテーション科研究会, 2012.
5. 高玉 圭樹: ``コンセルジュサービス介護支援: あなただけのライフスタイル設計に向けて'', 第2回総合コミュニケーション科学シンポジウム, 2013.

・受賞

1. 進化計算学会 進化計算シンポジウム 2011 最優秀発表賞(論文賞)
  2. 進化計算学会 進化計算シンポジウム 2012 最優秀発表賞(論文賞)
- ※ 上記以外に、さきがけ関連の研究で指導学生が受賞したものとして、IEEE CIS 日本支部 Young Research Award(2件)、進化計算学会 進化計算シンポジウム 2010 ベストポスター発表賞(1件)がある。

# 研究報告書

## 「多人数インタラクション理解のための会話分析手法の開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 21 年 10 月～平成 25 年 3 月

研究者: 高梨 克也

### 1. 研究のねらい

グループでの情報交換や合意形成は現代社会の重要な活動の一つである。こうした活動の効率を向上させる情報処理技術の開発には、多人数インタラクションを理解するための手法の開発が求められる。そこで、本研究では、ミーティングを中心に、実社会のさまざまな情報環境で行われている、多様な目的や形態での多人数インタラクションのフィールド調査を行うことを通じて、従来実験室収録されたデータを主な対象としていた分析手法を、実社会における自然な多人数マルチモーダルインタラクションの分析に適用できるように拡張することを試みる。さらに、こうした分析手法を用いた分析で得られた知見に基づき、多様な形態の多人数インタラクションを支援するための情報コミュニケーション技術に関するデザイン提案を行うことを目指す。

応募当時、本研究者は、複数の関連研究者と共に、『多人数インタラクションの分析手法』というこの分野での初の教科書を刊行し、情報系分野と人文系分野のそれぞれで散発的に行われていた試みを統合する枠組みを提示しつつあった。しかし、同書では、マルチモーダルインタラクションの高精細のデータ収録とコーパス作成に基づく定量的分析が意識されていたため、収録はさまざまなセンサ等が設置されたノイズの少ない実験室環境で行われ、インタラクションの内容も、実験者が被験者に課題を与える実験的なものがほとんどだった。しかし、本研究領域のテーマである「情報環境」について研究するためには、人々が日常的な環境でどのようにしてコミュニケーションを行っているかを、その自然さを損ねることなく把握することが不可欠であると考えられた。例えば、「収録のため」に行われた架空かつ単発の実験とは異なり、実社会でのミーティングでは参加者には明確な活動の動機がある。さらに、これらの活動は「現に誰もが行っている」ものである以上、座席配置や既存の情報機器の利用などについて、グループごとの「既存の工夫」(エスノメソッド)があると考えられるため、新規情報技術の導入によってこれらの既存の工夫が阻害されることがないように配慮しなければならない。これらの点を考慮し、本研究では、実社会におけるミーティングの継続的なフィールド調査を通じて、多人数インタラクション分析の方法論をフィールド調査に応用するためにどのような拡張や工夫が必要となるかを解明することを目的として掲げた。

### 2. 研究成果

#### (1) 概要

本研究では、従来の会話分析を中心としたインタラクション分析の手法をフィールド調査に応用するための方法論である「フィールド会話分析」の構築を行った。「フィールド会話分析」では、実社会における情報環境の自然さを最大限の重視する立場から、「たとえ収録が行われなかったとしても、その会話は同様に行われるはずのものである」という基準を満たす「自然に発生」する「リアルデータ」だけを対象とし、これを実際にインタラクションが行われている

現場に出向いて収録した。また、当事者の活動の動機を重視する観点から、長期的目標を目指し、一定期間継続するグループミーティングを主要な対象と定めた(成果(3)3)。具体的な分析の詳細については、下記の研究テーマ A「ミーティングのフィールド会話分析のための重点分析項目の抽出」を参照されたい。

次に、現代社会における多人数インタラクション分析に対するニーズや動向の調査を通じて、実社会におけるコミュニケーション活動への介入を行うための方法論として、「当事者を交えたデータセッション」というアクション・リサーチ的な実践枠組みの構築とこの活動を支援するツールの開発を行った。これについては、下記の研究テーマ B「当事者を交えたデータセッションの実践手法と支援ツールの開発」を参照されたい。

## (2) 詳細

### 研究テーマ A「ミーティングのフィールド会話分析のための重点分析項目の抽出」

実社会で行われている継続的なグループミーティングを、その自然な環境を損ねることなくフィールド調査するためには、日常生活環境に見られる、従来の実験室収録とは異なる次のようなさまざまな「複雑さ」に対処できなければならない。

- ① □ 社会的環境の複雑さ: 社会的役割・関係が重要になる。多職種性、暗黙の共有知識、利害対立など。
- ② 認知的環境の複雑さ: 関与が複数・複雑になる。話す/聞くだけでなく、記録や検索など、情報機器の操作なども同時並行的に行われる。

これらの 2 点の複雑さに対処できる分析枠組みを構築するため、本研究では、次のような分析上の観点に焦点化したデータ分析を進めることが有効であることを、事例分析を通じて検証してきた(図 1)。

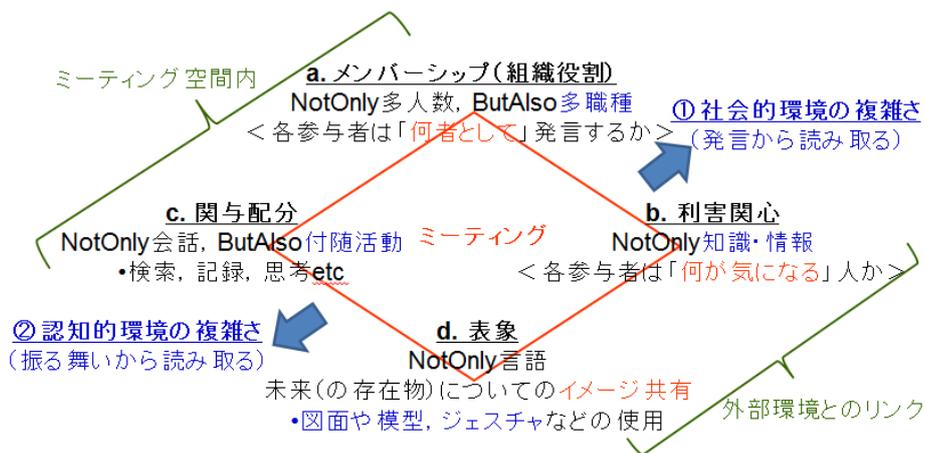


図 1 フィールド会話分析における重点分析項目

まず、①の「社会的環境の複雑さ」については、話し手や受け手、傍参加者といった会話の中での参加役割が、各メンバーの組織上の役割とどのように関連しているかを解明する【a. メンバーシップ】の分析が重要になる。これは単に「多人数」であるだけでなく、例えば「多職種」といった観点につながるものであり、分析の際の着眼点としては、「各参加者は『何者とし

て』発言しているか」を重視した分析を行うことの有効性が示された(成果(1)3)。さらに、こうした組織役割の背後には、役割ごとの【b. 利害関心】が存在しているという点も重要になる。そのため、従来のように、参与者間にどのような「知識」や「情報」の分布が見られるかという点だけでなく、「各参与者が『何が気になる』人か」を考慮した分析が特に有効になることが分かった(成果(1)5)。

次に、②の「認知的環境の複雑さ」については、実社会環境では、ミーティングの参与者は単に会話だけをしているとは限らず、これと並行して、情報検索や記録、思考といったさまざまな「付随活動」にも関与しているため、これらの複数の活動への【c. 関与配分】の調整に着目することが有効になる(成果(1)1、(3)4)。さらに、ミーティングは言語の使用だけで成り立っているわけではなく、図面や模型、ジェスチャなどの視覚的な【d. 表象】を言語と組み合わせる使用することによって成り立っているという点の重要性も明らかになった(成果(1)2)。

#### 研究テーマB「当事者を交えたデータセッションの実践手法と支援ツールの開発」

フィールド調査を通じて見えてきたのは、コミュニケーション環境に関する支援のニーズは必ずしも情報技術によるものだけには限られず、むしろ、情報技術による支援の可能性はコミュニケーション活動のより広範な社会的文脈の中に埋め込まれた形でしか存在しない、という点である。そのため、本研究では、不特定の一般ユーザの支援を目的とした技術を開発するのではなく、コミュニケーション支援のニーズがより明確に存在している、科学コミュニケーターやコンサルタント、ファシリテーターなどの「コミュニケーション実践職」にターゲットを絞り、彼らのコミュニケーション活動の遂行や向上の一環として無理なく包摂される可能性のある支援を漸進的に試みていくアクション・リサーチを行った。

具体的には、サイエンスカフェなどにおけるコミュニケーション実践を対象とした多人数インタラクション分析の結果を運営者にフィードバックすることを通じて、科学者のコミュニケーション能力の向上を目指すトレーニングプログラムの開発に貢献するとともに(成果(1)3)、サイエンスカフェや科学館フロアでの展示説明、ビジネスワークショップ、経営コンサルタントなどのコミュニケーション実践の直後に、これに対する振り返り活動(リフレクション)を、参加者と分析者の双方が参加して行う「当事者を交えたデータセッション」の手法を提案し、これを本研究で開発したビデオ閲覧ツールを用いて支援する試みをフィールド実践した(成果(3)5)(図2)。



れていると同時に多角的で複雑な対象について、その自然さを損ねることやその一部だけを恣意的に切り取るなどを極力避けながら分析するための方法論の構築を目指してきた。こうした膨大な対象を前にするならば、本研究が期間内に達成できたことはほんのごくわずかであったと、力不足を感じざるを得ない。しかし、その反面、「この方向に沿ってこのまま進めていけばよい」といえるような、「適切なスタートの切り方」ができたとは自負している。

当初の目的の一つであったコミュニケーション支援技術のデザイン提案という点については、コミュニケーション実践職のための振り返り活動の支援という、必ずしも一般的とは言えないかもしれない領域を焦点にしたが、これは、ニーズの存在が確実な領域を対象とし、また、実際に使い続けてもらえるものであるという点を重視した開発を継続可能な形で行っていくという実践のモデルケースを自ら自覚的に構築していくことが重要であると考えたことによる。こうした方向性での知見がコミュニケーション実践職以外のユーザについてどの程度適用できるかは未知数である反面、少なくとも、自らのコミュニケーション実践とその環境の向上や改善に関する明確な動機を持ったユーザならば、インタラクション分析へのニーズを持っており、どのような点での支援が有効であるかを継続的に引き出していく取り組みも可能であるということが明らかになった点は一定の成果だと考えている。

## 5. 研究総括の見解

従来の会話分析は2者間に着目したものが主流であったが、情報環境では多人数インタラクションの分析が重要となる。そこで本研究は、グループでのミーティングなど多人数の会話分析手法の開発を目指している。本研究の優れた点は、実験室で収録されたデータを対象としていた従来の分析手法を、実社会における自然な多人数マルチモーダルインタラクションの分析に適用できるよう拡張していることである。そのために、まず、実社会のミーティングのフィールド調査を継続的にやっている。次に、従来の会話分析手法をフィールド調査に適用するために「フィールド会話分析」と呼ばれる方法論を構築している。例えば、分析に際し、「参加者は何者として発言しているか」、「参加者は何が気になっているか」などに着眼し、会話の参与役割が組織上の役割とどのように関連しているかを解明している。本研究では、こうした方法論の構築と並行して、科学コミュニケーターなどの「コミュニケーション実践職」を対象に、コミュニケーション活動の支援を試みるアクション・リサーチを行っている。サイエンスカフェや科学館フロアでの展示説明の直後に、これに対する振り返り活動を、参加者と分析者の双方が参加して行う手法を提案し、本研究で開発したビデオ閲覧ツールを用いて支援を実践している。本研究は、長期間を要する基礎研究であるが、さきがけの期間でフィールドデータを蓄積・分析し、研究の方向性を明らかにしたことは評価できる。会話分析に基づくシステム設計ができる数少ない研究者として、情報環境に関わる他の研究者との交流を深め、分野全体を支える基礎理論を構築していくことを期待する。

## 6. 主な研究成果リスト

### (1) 論文(原著論文)発表

1. 高梨克也. 複数の焦点のある相互行為場面における活動の割り込みの分析. 社会言語科学. 2011, 14(1), 48-60

2. Katsuya Takanashi and Takeshi Hiramoto. Designing a future space in real spaces: Transformation of heterogeneous representations of a “not yet existing” object. Lecture Notes in Computer Science, 2012, Volume 7258/2012, 277-290, DOI: 10.1007/978-3-642-32090-3_25
3. 高梨克也, 加納圭, 水町衣里, 元木環. 双方向コミュニケーションでは誰が誰に話すのか?—サイエンスカフェにおける科学者のコミュニケーションスキルのビデオ分析—. 科学技術コミュニケーション. 2012, 11, 3-17
4. 高梨克也. 三者会話の調査・分析法. 日本語学. 2013, 2013年1月号, 58-69, 明治書院
5. 高梨克也. 展示制作のための多職種ミーティングにおける問題提起の分析. 知識共創. 2013, 3, (印刷中)

(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. 木村大治, 中村美知夫, 高梨克也(編著). インタラクションの境界と接続. 昭和堂, 2010
2. 高梨克也, 関根和生. サッカーにおける身体の観察可能性の調整と利用の微視的分析. 認知科学. 2010, 17(1), 236-240, 大会発表賞受賞
3. 高梨克也. 実社会で自然に生起する継続的なミーティング活動のフィールド調査の狙いと工夫. 人工知能学会研究会資料, 2011, SIG-SLUD-B101, 55-62
4. 高梨克也, 平本毅. ミーティングの周辺の参加者が何かに気づくとき. 電子情報通信学会技術報告 HCS2011-41, 2011, 77-82
5. 高悠史, 高梨克也. コミュニケーション実践の直後のリフレクションを可能にするビデオ閲覧環境の開発. 電子情報通信学会技術報告, 2013, HCS2013-, (印刷中)

# 研究報告書

## 「世界の子ども達をつなぐ遠隔操作ロボットシステム」

研究タイプ： 通常型

研究期間： 平成 21 年 10 月～平成 25 年 3 月

研究者： 田中 文英

### 1. 研究のねらい

本研究では、子ども達が海外に置かれたロボットを遠隔操作することによって、現地の教室活動にリアルタイムに参加できるシステムを開発する。

現在、ビデオ会議などの手法はすでに外国語教育の現場でも用いられているが、とくに学習初期や早期教育の場合、生徒が外国人を目の前にして上手くコミュニケーションできず固まってしまう問題がある。それに対して、遠隔操作ロボットを用いた場合、生徒は外国人との間で映像音声のみならず物体を介した意思疎通を図ることも可能となり、固まらずにコミュニケーションできる可能性がある。もしもこうしたシステムが実現できれば、外国語教育において大きな価値を提供できる。また、将来的にこうしたシステムが社会に導入されれば、留学など異文化体験に興味はあれども最初の一步が踏み出せない人々や金銭的に余裕の無い人々でも、手軽に、しかも現在の PC 上のサービスと比べて格段にリッチな体験をすることが期待できる。

遠隔操作ロボット研究の歴史は古く、近年では遠隔コミュニケーションを目的とした研究や開発も盛んになり始めている。しかしながら、子どもを操作者とした試みはこれまで行われていない。そこで本研究では、子ども(3 歳以上)自身により操作が可能な遠隔操作ロボットシステムを開発し、その有効性をコミュニケーション教育の場面で検証する。さらには同システムで実際に世界をつなぐ試みを行い、テストケースとして世の中に発信する。

### 2. 研究成果

#### (1)概要

本研究は、大別して以下の3テーマについて行われた。

- ①子ども用の遠隔操作ロボットシステムの開発
- ②コミュニケーション促進性に関する検証実験
- ③同システムで異国間の子ども達をつなぐテストケースの社会発信

①では、主に就学前の 3～5 歳を対象とした三輪車型の操作インタフェースと、主に 6 歳以上を対象としたグローブ型の操作インタフェースを開発し、英会話教室や幼稚園・小学校などの教育現場におけるフィールド実験を通して主にユーザビリティの観点から評価と改善のサイクルを継続した。その結果、要求仕様通り、最低限のインストラクションで子どもでも直観的に操作可能な遠隔操作ロボットシステムを得ることができた。これらの開発過程やユーザビリティの観点から行った調査結果を論文等で報告した。

②では、①で開発されたシステムを、教育効果・意義の観点からその効果を検証する実験を行った。具体的には、英会話教育の場面で、子ども達のコミュニケーションを促進することができるかどうか、そしてできたとしたらその要因は何であるかを調査する実験を計画し、幼稚園と小学校、総計 50 名以上の参加者の下で実験を行った。その結果、本システムは従来型のビデオ会議よりも有意に子ども達のコミュニケーションを促進し得ることが示された。さらには外国人の側においても、本システムを用いることにより子ども達との意思疎通が格段に図りやすく、教示行為も行い易いというフィードバックが得られている。

③では、とくに研究期間の後半において様々な教育現場に出向き、本研究と本システムを社会発信する活動を継続した。そこでは、英会話学校、幼稚園や小学校など現場の先生方のみならず、つくば市教育委員会の方々、つくば市長にも活動を見て頂くことができた。さらに、最終年度にはオーストラリアの小学校 (Snowy Mountains Grammar School) と日本の小学校 (春日学園) を実際に本システム上でつなぐトライアルを実施し、200 名以上の子ども達に交流活動へ参加して頂き、インパクトのある社会発信を行うことができた。

また、①～③に加えて、新規に教育支援ロボットの研究も行った。ここでは、子ども達の英語教育を新しい形で支援するロボットを開発し、導入効果を検証するフィールド実験を行った。実験の結果、同ロボットは子ども達の英単語学習を有意に促進できることが判明した。

以上の活動は、Human-Robot Interaction 分野の主要国際会議 (ACM/IEEE HRI, IEEE RO-MAN) など 10 件の査読付き論文、13 件の招待講演 (内 3 件は国際会議)、さらに当該分野のトップジャーナルである Journal of Human-Robot Interaction に論文が掲載されている。また同時に、国内外の新聞や TV など各種メディアにて報道されている。研究活動と並行して、各地の幼稚園や小学校を中心とする教育関連施設からの要請を受けて多数の出前授業やデモンストレーションを行い、社会発信と同時に社会貢献を意識する活動を継続した。

## (2) 詳細

### 研究テーマ①「子ども用の遠隔操作ロボットシステムの開発」

冒頭(1. 研究のねらい)にも記したように、これまで子ども自身により操作される遠隔操作ロボットは開発されてこなかった。そのため要求仕様についても不明であり、筆者らはまず要求仕様を探る目的で現場観察から本研究テーマを開始した。本研究の将来的な出口の一つとして幼児英語教育を想定していたため、幼児英語教育に長い歴史と実績・ノウハウを有する(株)こども英会話のミネルヴァに協力を要請し、同社長からの快諾を得て、つくば市にある同社の教室で研究活動を開始した。

フィールド観察および現場の先生方や保護者の方々との会話の中から、(Ⅰ)操作インタフェースは子どもの全身動作を活かすこと、(Ⅱ)3 歳の子どもでも詳しい事前説明無しに使えること、(Ⅲ)安全性の観点から操作に際してある程度の重量抵抗があること、(Ⅳ)操作インタフェースは入手が容易で汎用性の高いものをベースとすること、などの要求仕様が見えてきた。そこで、これらの要求仕様を満たすものとして三輪車型の操作インタフェース【図 1】を開発し

た。引き続き行われたフィールド実験により、同インターフェースが既存のゲームコントローラと比較してロボット遠隔操作に有効であることが確認されている。本研究では、この他にも年齢帯に応じた操作インターフェースの開発を行い、教室でテストするというサイクルを継続した。例えば、就学年齢程度以後になると複雑な操作を行うことへの意欲も強くなっていくため、両手同時操作などの要素を取り入れることが有効になってくる。そのため、モーションセンサを組み入れてジェスチャー認識機能を実装したデータグローブ型インターフェース等も開発した。

## 研究テーマ②「コミュニケーション促進性に関する検証実験」

Skype 等に代表されるビデオ会議は、すでに様々な教育現場においても利用されている。しかしながら、英会話など異言語コミュニケーションの場面では、とくに学習初期の子ども達などの場合、外国人を目の前にして上手くコミュニケーションできず固まってしまうことが多々ある。これに対して、遠隔操作ロボットシステムを介した場合、子ども達は映像音声に加えて物体把持や身体動作によるコミュニケーションをとることが可能となり、外国人との間でも固まらずにコミュニケーションできることが期待できる。この点を検証するため実験を行った。

つくば市内3か所の幼稚園、および小学校の協力を得て、4歳から8歳まで総計50名以上の子ども達を対象として実験を行った。実験は、前半にビデオ会議をベースライン配置して、後半にロボット操作入力を入れるか入れないかの二条件・被験者間配置デザインをとった。遠隔地は筑波大学内に仮想外国の教室を用意し、英語ネイティブの留学生とロボットを配備した【図2】。レッスンは、各セッション開始時にランダムに選ばれる3種類の物体を用いたストーリーテリング形式のものを用いた。実験の結果、ロボット操作入力は被験者の留学生に対する反応率を有意に向上することが判明し、本研究の仮説が立証された。さらには、実験に参加した留学生の多くが、ロボット条件のほうが教える側としても教え易いというコメントを残しており、実際に留学生の行動分析からもそうした傾向が明らかになった。

## 研究テーマ③「同システムで異国間の子ども達をつなぐテストケースの社会発信」

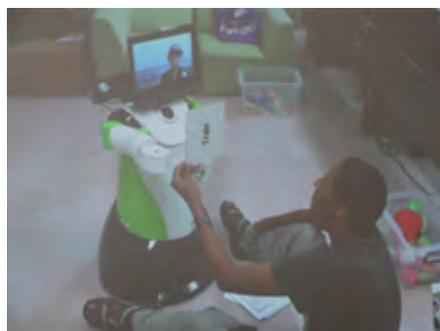
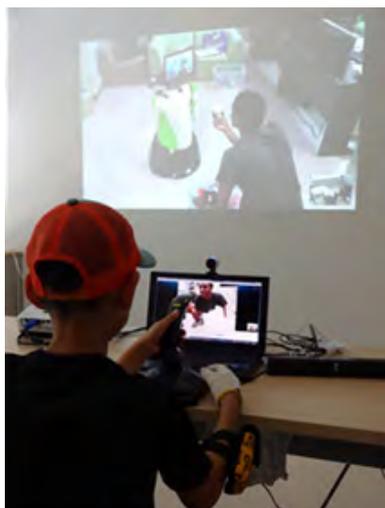
2012年11月に、オーストラリア南部の小さな街 Jindabyne にある Snowy Mountains Grammar School と、つくば市の春日学園(春日小学校・中学校)を、実際の授業中に本システムで接続するトライアルを行った。オーストラリア側はネットワークインフラ環境がベストとは言えない山奥の学校であり、公衆3G回線を携帯ルータから利用した。これは現在の先進国においてはミニマムレベルに近い環境であり、逆にこの環境下で示された結果は、世界のかなり広いエリアにおいて同等以上のことが実現できるものと思われる。

3日間のテストトライアルの間に、小学1年生・3年生で双方合計200名以上の子ども達に参加して頂くことができた。実験のため条件を統制した「研究テーマ②」と異なり、自然な授業の文脈下で、かつ集団の中で行われたという違いがあるものの、「研究テーマ②」の実験から導かれた結論と同じこと、つまり、本システムを間に挟むことによって、まったく面識が無く、言語の壁がある中でも非常に密な相互コミュニケーションが実現可能であることが観察された。とくに、物の受け渡し【図3】などの契機を通じて顕著にコミュニケーションが誘発されていた。また、ロボットを用いることによって非常に多様な教室活動に参加できることが分かった。

一連の活動は、子ども達や保護者、教育現場からも大変好評を博し、新聞社やテレビ局、地元の各種広報メディアなどによって広く報道された。本テーマについては未だ内容を論文にまとめたり学会発表を行ったりするに至っていないため、数多く蓄積された知見をこれから順次各方面にて発表していく予定である。(最初の論文は3月×切のロボット分野の主要国際会議であるIROSに投稿する予定で現在執筆を進めている)



【図1】三輪車型・遠隔操作インタフェース



【図2】遠隔操作ロボットで外国人のレッスンに参加



【図3】オーストラリア(左)と日本(右)の小学校間でのフィールドテスト

### 3. 今後の展開

「遠隔操作ロボット」とは、実際には幾つかの重要要素に分解できるものと思われる。たとえば、「操作者の身体動作入力」+「ロボットの表出」+「通信路での情報の遮断・加工」+「その他」という分け方が考えられる。そして本研究では主に前 2 要素に焦点をあてて調べる実験を行ってきた。ところが、3 番目の要素である「通信路での情報の遮断・加工」という点についても大きなユースケースを示しそうな場面が見つかった。それは、発達障害などによりコミュニケーションに障害を有する方々を支援する機器への応用である。自閉症に関するよく知られた仮説の一つに、感覚器官から入ってくる莫大な情報量への対応困難さや、情報のまとめあげの困難さなどが指摘されている。遠隔操作ロボットを間に挟むことによって、適度に情報を遮断・加工することができれば、そうした人々のコミュニケーションを支援し、社会参加を促すことが可能になるかもしれない。筆者らは、東京大学の当事者研究グループとの共同で、すでにこの研究テーマに着手し始めた。当然のことながら、現在筆者らが有するインタフェースは全て健常児を対象としたものであり、ギャップも多く存在するが、当事者の方々からはすでに多くのフィードバックと強い期待を頂いている。

また、これまで対象としてきた、健常児の教育支援等を目的とした研究も引き続き継続する。さきかけの 3 年半で得られた様々な教育現場や企業とのネットワークを活かして、今後中長期的には、ロボット技術を活かし得る具体的な教育カリキュラムの検討も行いたいと考えている。

### 4. 自己評価

子ども向けの遠隔操作ロボットシステムを開発し、その有効性と特質を教育の場面で検証し、さらには世界の子ども達をつなぐテストケースを社会に示すとした、当初目標の最主要部分については一定の達成を得たものと考えている。

ただし、こうした研究を「一発もの」に留めず、継続して現場で利用可能かつ有用なものとするためには、まだ不十分な面がある。例えば、応募時の計画では開発したシステムを Web サービスと接続するという計画も盛り込んでいたが、これについては 3 年半の研究期間内に行うことができなかった。システムを長く使ってもらうためには、コンテンツ・ジェネレーションという要素が含まれていることが肝心であると考えている。Web サービスから新しいコンテンツを随時加えていくことによって、遠隔操作ロボットシステムを教育の現場でより長く使えるようにしようと当初描いていたが現在までは行い得ておらず、本システムの開発面における今後の重要課題の一つであると考えている。

### 5. 研究総括の見解

子どもが「海外に置かれたロボットを遠隔操作し現地の活動に参加する」ことを目的とした夢のある研究である。遠隔操作ロボットは古くから研究されているが、子どもを操作者とした試みは行われていない。本研究の優れた点は、遠隔操作ロボットを実際に開発し、実験室実験と社会実験を通してその可能性を明らかにしたことである。まず、ロボットの開発では、子どもの全身動作を活かすこと、事前説明無しに使えること、操作に際して重量抵抗があること、入手が容易で

汎用性の高いことなどの要求を満たす三輪車型の操作インターフェースを開発している。フィールド実験により、同インターフェースが既存のゲームコントローラと比較して遠隔操作に有効であることを確認している。次に、つくば市内の幼稚園、小学校の50名以上の子ども達の協力を得て、ビデオ会議をベースラインとし、ロボット操作を入れるか入れないかを条件とする被験者実験を行っている。その結果、ロボット操作によって被験者の反応が有意に向上することを示している。さらに、オーストラリアと日本の小学校を本システムでつなぎ、200名以上の子ども達の交流活動を実現した。本システムにより、面識が無く言語の壁がある中でも密なコミュニケーションが生まれることが観察された。特に、物の受け渡しなどを契機としてコミュニケーションが顕著に誘発された。この活動は教育現場からも好評を博し、現地の新聞社やテレビ局によって報道されている。今後、ロボットがコミュニケーションのメディアとして果たす効果の解明と、実システムの運用が行われることを期待する。

## 6. 主な研究成果リスト

### (1) 論文(原著論文)発表

1. <u>田中 文英</u> . 子どものころとからだを動かすロボット. 人工知能学会誌. 2013, Vol.28(2), 採録決定
2. <u>Fumihide Tanaka</u> , Shizuko Matsuzoe. Children teach a care-receiving robot to promote their learning: field experiments in a classroom for vocabulary learning. Journal of Human-Robot Interaction. 2012, Vol.1(1), 78-95
3. <u>田中 文英</u> . 幼児教育現場におけるソーシャルロボット研究とその応用. 日本ロボット学会誌. 2011, Vol.29(1), 19-22
4. <u>Fumihide Tanaka</u> , Takeshi Kimura. Care-receiving robot as a tool of teachers in child education. Interaction Studies. 2010, Vol.11(2), 263-268
5. <u>田中 文英</u> , 小嶋 秀樹, 板倉 昭二, 開 一夫. 子どものためのロボティクス:教育・療育支援における新しい方向性の提案. 日本ロボット学会誌. 2010, Vol.28(4), 87-94

### (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. Toshimitsu Takahashi, Masahiko Morita, <u>Fumihide Tanaka</u> . Evaluation of a tricycle-style teleoperational interface for children: a comparative experiment with a video game controller. Proceedings of the 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2012, 334-338
2. <u>Fumihide Tanaka</u> , Toshimitsu Takahashi. A tricycle-style teleoperational interface that remotely controls a robot for classroom children. Proceedings of 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2012, 255-256
3. Toshimitsu Takahashi, Masahiko Morita, <u>Fumihide Tanaka</u> . Operational feedback

considering social contingency for robot teleoperation. Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2011, 234–239

4. Fumihide Tanaka, Toshimitsu Takahashi. Linking children by telerobotics: experimental field and the first target. Proceedings of 6th ACM/IEEE International Conference on Human–Robot Interaction, 2011, 267–268

5. Fumihide Tanaka, Tomoyuki Noda. Telerobotics connecting classrooms between Japan and US: a project overview. Proceedings of the 19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2010, 197–198

# 研究報告書

## 「大規模 web 情報とライフログによる実世界認識知能の構築」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成21年10月～平成25年3月

研究者: 原田 達也

### 1. 研究のねらい

画像から一般的な物体やシーンを認識することはコンピュータビジョンの究極の目標の一つである。一般的な物体・シーンを認識する分野は「一般物体認識」と呼ばれコンピュータビジョンの中でも競争が熾烈であり、その進化のスピードは目を見張るものがある。しかしながら、実世界に存在する物体は無数であり、これらの多様性を適切に記述できるほどの性能に至っていないのが現状である。

そこで、本研究の目的は、真に実世界で利用可能な視覚を中心としたマルチモーダルデータを認識する知能を構築することにある。実世界を認識する知能の構築には知識の獲得が必要不可欠であるが、この知識構築のために大規模 web データとライフログの双方を活用する。また、大規模データから概念構造やコンテキストを抽出し、これらを用いることでセマンティックギャップを乗り越えた実世界認識アルゴリズムを開発する。

さらに本研究課題では、実世界データをより深く認識するために、データを単純な単語として理解するだけでなく、実世界データを人が理解可能な文章として記述することで、より深い認識アルゴリズム構築の試みを行う。

本研究により、実世界とサイバー世界をシームレスに接続する実世界認識知能のブレークスルーを狙う。この実世界認識知能の構築により、情報学のみならず人の認知プロセスの解明や、超高齢化社会で活躍するロボットの知能としても将来的に活用可能である。

### 2. 研究成果

#### (1) 概要

本研究で得られた研究成果は以下の3点にまとめられる。

- 1) 画像認識に適切な、効率的かつ豊かな表現が可能な画像特徴量の設計
- 2) 画像を認識し、適切な文章を付与する文章自動生成システムの開発
- 3) 世界最高レベルの画像認識システムの構築

## (2) 詳細

### 1) 画像認識に適切な、効率的かつ豊かな表現が可能な画像特徴量の設計

局所特徴群から画像特徴に変換する表現手法は、画像の識別性能を左右する重要なモジュールである。デファクトスタンダードの画像表現手法は Bag of Words であり、多くの手法はコードブックを基盤とした手法となっているが、コードブックを基盤とした手法はコードワードへの割り当ての計算コストが高い。そこで本研究では、コードブックや局所特徴のマッチングを利用しない効率的な画像表現手法を提案する。提案手法は局所特徴群をガウシアンマルコフ確率場でモデル化することで局所特徴間の空間情報を効率的に表現する。さらにこのモデルに対し情報幾何の知見に基づいてモデルに適切な特徴ベクトルを定義する。さらに特徴ベクトル間の適切な距離計量の特徴量に埋め込む。提案する特徴は線形識別機の利用にもかかわらず、最新の手法と同等の識別性能が出ることが確認できた。

### 2) 画像を認識し、適切な文章を付与する文章自動生成システムの開発

画像を説明する自然文の自動生成は、画像認識における最終目標の 1 つと言える。既存の説明文生成手法では、画像それぞれに対して「主体、動作、光景」などの属性を表すラベルなど、セマンティックな知識を手作業で与える必要があり、多様で大量な画像データへの拡張が困難であった。そこで本研究では「画像の内容はいくつかのキーフレーズで表現でき、これらを単純な文法モデルで正しく繋げば画像説明文を生成できる」という仮説をたて、画像と説明文のみからなるデータセットを用いて入力画像のキーフレーズを推定するマルチキーフレーズ問題を新たに提唱し、これを効率よく解くアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムを用い、実際に画像と文章のペアのみから入力画像に対して適切な文章を生成することが可能であることが分かった(図 1 参照)。



図 1: 画像から自動的に生成された文章の例

さらに、文章生成のための画像認識システムの中核となる複数のラベルと画像との関係性

を効率よく学習するオンライン学習機の開発を行った。画像認識において、多種多様な対象を認識するには大量の学習データが必要となる。大量の学習データを一気に学習するには大量の主メモリを必要とするため実際に解くことは困難である。そこでデータを1つずつ読み込みそれまでの学習結果を更新するオンライン分類学習手法が提案されている。通常、オンライン学習手法は1つのサンプルに複数のクラスラベルが付与されていても問題ないが、1つの訓練サンプルごとに正しいラベルと誤ったラベル1つずつのみを扱うため、学習がなかなか進まないラベルや、ほとんど学習されないラベルが生じる可能性がある。そこで本研究では、画像に付随する複数のラベルから得られる pairwise loss 全ての平均を用いる Passive-Aggressive with Averaged Pairwise Loss (PAAPL) を提案し、複数ラベルと画像を学習する画像アノテーション問題において最新手法を越える性能が獲得できることを確認した。

### 3) 世界最高レベルの画像認識システムの構築

上記1)、2)から得られた知見を活用することで大規模データを用いた画像認識システムを構築し(図2参照)、国際的なコンペティションにおいて、画像識別部門で2位、動物の種類を細かく分類する詳細な画像識別部門で1位の成績を上げた。

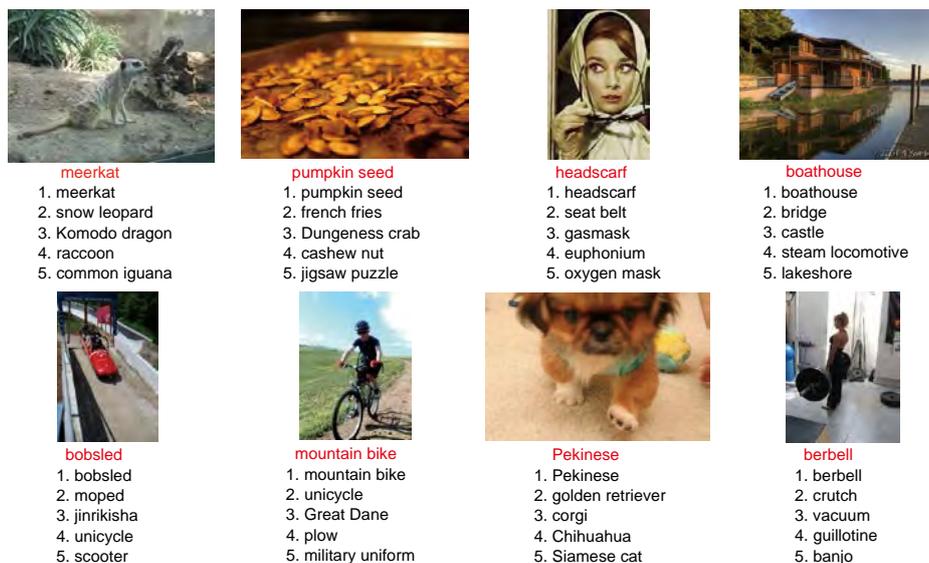


図 2: 実現した画像認識システムによる画像の認識結果例

### 3. 今後の展開

高性能な実世界認識システムを構築するためには高品質なデータセットが必要となる。現状では、全てのデータが人手によってラベル付与されている状況を仮定しているが、多種多様な物体を認識するためには、この仮定は人的コストが高くつくため現実的でない。ラベルが明示的に与えられていないデータであっても、人的コストを最小限にしながら自動的に学習するシステムの構築が必須である。

また、Web に存在する画像は人間が意識的にアップロードしたものであり、人間という高度なフィルタを通して。つまり Web 上の画像認識と真の実世界画像認識とは依然として大きな隔りがある。この人間が持つようなフィルタ(特徴抽出)構築は根本的問題であり、ブレイクスルーが必要となる。例えば、眼鏡に搭載されたカメラと人の視線情報を組み合わせることで人の意図に沿った注視対象を抽出し、現在までに構築した高性能な画像認識システムと組み合わせることで、本当の意味での実世界認識に適應する試みを進める必要がある。

#### 4. 自己評価

画像を中心とした実世界認識知能を目指して、大規模なデータから効率的に高性能な認識システムを獲得するアルゴリズムを構築した。最終的に構築された画像認識システムは世界最高レベルのものであり、この点に関して高く評価できる。しかしながら、真の実世界認識知能には道半ばであり、この目的を実現するためには曖昧模糊とした実世界の中から重要な情報を発見する高度な知能の構築に注力する必要がある。

#### 5. 研究総括の見解

本研究は、情報世界と物理世界をシームレスに繋ぐシステムと、それを支える高速アルゴリズムに関する研究である。本研究の優れた点は、大量のアノテーション情報などを利用する、圧倒的な性能を誇る画像認識アルゴリズムを開発したことである。まず、コードブックや局所特徴のマッチングを利用しない効率的な画像表現手法を提案し、線形識別機の利用にもかかわらず、最新の手法と同等の識別性能が出ることを確認している。次に、画像に付随する複数のラベルを用いる学習アルゴリズムを提案し、ラベルと画像の対応を学習する画像アノテーション問題で最新手法を越える性能を確認している。さらに、こうしたアルゴリズムを用いて、大規模データに基づく画像認識システムを構築し、国際的な画像識別コンペティションにおいて、複数部門で1位、2位の成績を上げている。ここまででも十分な研究成果と言えるが、加えて、画像認識における最終目標である、画像を説明する自然文の自動生成に取り組んでいる。具体的には入力画像のキーフレーズを推定するマルチキーフレーズ問題を提唱し、これを効率よく解くアルゴリズムを開発している。本研究が目指す画像情報を認識し言葉で表現する技術は、ライフログなどに応用すると、膨大に記録されるデータに意味づけを行い検索することができる。近未来の情報環境を見据えた、世界にアピールできる切れ味のよい研究成果である。

#### 6. 主な研究成果リスト

##### (1) 論文(原著論文)発表

##### 1) 画像認識に適切な、効率的かつ豊かな表現が可能な画像特徴量の設計

1. Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Graphical Gaussian Vector for Image Categorization. In The Twenty-Sixth Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS



2012), 2012.
2. Tatsuya Harada, Yoshitaka Ushiku, Yuya Yamashita, and Yasuo Kuniyoshi. Discriminative Spatial Pyramid. In The Twenty-Forth IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2011), pp.1617-1624, 2011.
3. Tatsuya Harada, Hideki Nakayama, and Yasuo Kuniyoshi. Improving Local Descriptors by Embedding Global and Local Spatial Information. In The 11th European Conference on Computer Vision (ECCV 2010), 2010.
4. Hideki Nakayama, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Global Gaussian Approach for Scene Categorization Using Information Geometry. In The Twenty-Third IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2010), 2010.

2) 画像を認識し、適切な文章を付与する文章自動生成システムの開発

1. Yoshitaka Ushiku, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Efficient Image Annotation for Automatic Sentence Generation. In The 20th Annual ACM International Conference on Multimedia (ACMMM 2012), pp.549-558, 2012.
2. . Yoshitaka Ushiku, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Understanding Images with Natural Sentences. In The 19th Annual ACM International Conference on Multimedia (ACMMM 2011), pp.679-682, 2011.
3. Yoshitaka Ushiku, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Automatic Sentence Generation from Images. In The 19th Annual ACM International Conference on Multimedia (ACMMM 2011), pp.1533-1536, 2011.

3) 世界最高レベルの画像認識システムの構築

1. 郡司直之, 樋口貴之, 安本晃基, 村岡宏是, 牛久祥孝, 原田達也, 國吉康夫. 複数の画像特徴と Passive-Aggressive を用いた fine-grained classification. PRMU, to appear, 2013.
2. Yoshitaka Ushiku, Hiroshi Muraoka, Sho Inaba, Teppei Fujisawa, Koki Yasumoto, Naoyuki Gunji, Takayuki Higuchi, Yuko Hara, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. ISI at ImageCLEF 2012: Scalable System for Image Annotation. CLEF 2012 Evaluation Labs and Workshop, Online Working Notes, 17-20 Rome, Italy.

(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. First place in the fine-grained classification task, second place in the classification task, Large Scale Visual Recognition Challenge 2012 (ILSVRC2012)  
Tatsuya Harada, Naoyuki Gunji, Takayuki Higuchi, Koki Yasumoto, Hiroshi Muraoka, Yoshitaka Ushiku, Yasuo Kuniyoshi. The PASCAL Visual Object Classes Challenge 2012 (VOC2012), 12th October 2012, ECCV 2012, Florence, Italy



2. ACM Multimedia 2011 Grand Challenge Best Application of a Theory Framework Special Prize  
Yoshitaka Ushiku, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. A Understanding Images with Natural Sentences. the 19th Annual ACM International Conference on Multimedia (ACMMM 2011), pp.679-682, 2011.
3. Third place in the classification task, second place in the detection task, Large Scale Visual Recognition Challenge 2011 (ILSVRC2011)  
Tatsuya Harada, Asako Kanezaki, Yoshitaka Ushiku, Yuya Yamashita, Sho Inaba, Hiroshi Muraoka, Yasuo Kuniyoshi. The PASCAL Visual Object Classes Challenge Workshop 2011, 7th November 2011, ICCV 2011, Barcelona, Spain.
4. IEEE ICME2011 Student Travel Grant  
Yuya Yamashita, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Causal Flow. 2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2011), paper\_356, 2011.
5. 第14回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2011)インタラクティブセッション賞  
牛久祥孝, 原田達也, 國吉康夫. 画像・文章間の類似度学習による画像説明文の自動生成. 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011), pp.365-372, 2011.
6. 2011PRMU 研究奨励賞.  
牛久祥孝, 山下裕也, 井村純, 中山英樹, 原田達也, 國吉康夫. 複数画像特徴とクラスラベルの相関に着目した距離計量による大規模画像分類. パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), pp.1-8, 2011.
7. Third place, Large Scale Visual Recognition Challenge 2010 (ILSVRC2010)  
Tatsuya Harada, Hideki Nakayama, Yoshitaka Ushiku, Yuya Yamashita, Jun Imura, and Yasuo Kuniyoshi. The PASCAL Visual Object Classes Challenge Workshop 2010, 11th September 2010, ECCV 2010, Crete, Greece.

# 研究報告書

## 「インタラクション理解に基づく調和的情報保障環境の構築」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 21 年 10 月～平成 25 年 3 月

研究者: 坊農 真弓

### 1. 研究のねらい

情報機器の発展はろう者の生活に大きな変化をもたらしてきた。例えばポケベルや携帯メールは外出先での連絡を可能にし、自宅で FAX を待つ従来の生活を一変させた。今後は映像通信技術の発展に伴い、手話を用いた映像による社会参画の機会が増えると予想される。本研究では、遠隔地にいるろう者と聴者が対等に議論可能な場として、映像通信技術を用いた調和的情報保障環境の構築とそのガイドライン作成を目指してきた。

### 2. 研究成果

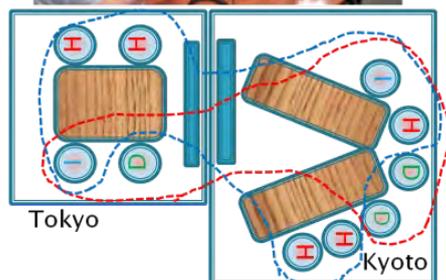
#### (1) 概要

研究成果は主として次の3つに分けられる。(1)インタラクションデータの収録、(2)インタラクションデータのアノテーションと分析、(3)調和的情報保障環境構築のためのガイドライン整備、である。具体的には収録された手話インタラクション及び音声インタラクションを学術用のコーパスとしてまとめ、言語学・社会学・人類学などの分野で議論されるマルチモダリティ、マルチスペース、マルチアクティビティの観点からインタラクション研究を進めている。ここから得られたインタラクションの様々なルールは、工学分野で開発される次世代システムのデザインに応用可能であると考えられる。

#### (2) 詳細

##### 研究テーマ A「インタラクションデータの収録」

##### (A-1) テレビ会議を介した遠隔手話通訳場面の長期的収録



2009年10月からおよそ2年と半年の間、異なる言語を用いる人々の遠隔会議の様子をエスノグラフィするため、研究室で開催しているろう者・聴者・通訳者の定例ミーティング(1か月に2,3回程度実施)の様子をビデオカメラで撮影し続けた。ミーティングはNIIと京都大学をテレビ会議システムで接続して行われ(高梨克也氏協力)、両会場それぞれに2台のビデオカメラを設置し、遠隔手話通訳場面を収録した。一度のミーティングは2時間～2時間半で、2年と半年の間、集中・継続的にデータ収録を実施した。データ収録一度につき、4台のビデオカメラを動かしている。

### (A-2)実験環境における課題会話データの収録

2010 年、音声インタラクションと手話インタラクションの基本的な構造の違いを調査するため、実験環境で課題会話の収録を実施した。収録のための実験環境は、NTT コミュニケーション科学基礎研究所の大塚和弘氏の協力を得た。この収録環境は 4 人の話者を 10 台のビデオカメラで収録可能なものである。収録課題として、ジェスチャー研究で頻繁に用いられている「アニメーション再生課題」やコーパス作成の際に頻繁に用いられる「砂漠遭難課題」などの一般で知名度の高いものを用い、音声言語インタラクションと手話インタラクションを同条件に統制することに努めた。



### (A-3) 次世代テレビ会議システムを用いたインタラクションの収録

2010 年 9 月、次世代の映像通信技術を用いたインタラクションを観察するため、CISCO システムズ株式会社が所有する CISCO Telepresence TP3000 と TP3200 という次世代テレビ会議システムを 3 日間お借りし、データ収録を実施した。CISCO のシステムは、高い臨場感を持って遠隔会議が可能なもので、ここで音声 8 人会話、手話 8 人会話、研究室ミーティングの 3 種類のデータを収録した(収録課題は上述の実験環境と同じものを使用)。



8 人会話では東京(六本木)に 4 名、大阪(新大阪)に 4 名実験協力者を配置し、課題会話を 3 つさせた。データ収録の総時間は、6 時間に及ぶ。データ収録一度につき、8 台のビデオカメラを動かしているため、データ量はその 8 倍になる。

2012 年 6 月、よりタイミングに焦点をあてた分析を行うため、再度 CISCO の次世代テレビ会議システムをお借りし、遠隔条件でのじゃんけんと対面条件でのじゃんけんを収録した。収録には、ろう者 7 名と聴者 8 名が参加し、ペアになって総当たり戦のじゃんけんを実施する。ELAN(後述)を用いた詳細なアノテーションと分析により、モダリティの異なる両コミュニティの身体動作のタイミングを観察した。

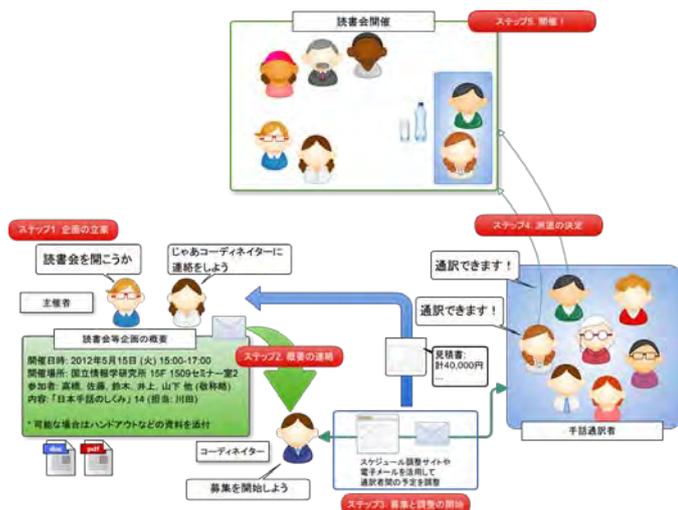
研究テーマ B「インタラクションデータのアノテーションと分析」

研究テーマ A で述べたデータに対、アノテーションスキームを考案し、アノテーションを試みた。具体的には、実際に手話を生活言語とするろう者をアノテーターとして 3 名アルバイト雇用し、ネイティブによるアノテーション作業を進めてきた。作業には MPI で開発されている ELAN を用い、手話動作のアノテーション概念として、ジェスチャー研究で用いられる「ジェスチャー単位」を使用した。



### 研究テーマ C「調和的情報保障環境構築のためのガイドライン整備」

研究テーマ A と B で得た知見をもとに、日本国内の学術イベントに手話通訳者を派遣するための社会システムを構築した。学会や研究会などの学術イベントに高い技術を持った手話通訳を派遣するためのガイドラインはこれまで存在しなかった。本研究では、手話通訳コーディネータを 1 名設置し、ガイドラインを整備することにより、現在までに 4 件の手話通訳紹介を行った(他数件調整中)。



### 3. 今後の展開

研究 A で収録された 3 種類のインタラクションコーパスは、これまでに類を見ない非常に価値のあるものである。今後は、データのアノテーションやトランスクリプション作業を継続し、国際ジャーナルへの投稿と採択を目指し、既存のインタラクション理論の刷新を試みる。

### 4. 自己評価

本研究では、映像通信技術を用いた手話インタラクション・音声インタラクションのあり方を会話分析の手法で分析し、映像通信技術が我々の日常をどのように変えていっているのかをエスノグラフィックに観察した。希少価値のあるインタラクションデータであることは学術的にも高く評価できる。またその研究成果から情報保障のガイドラインを整備したことにより、映像通

信技術が手話を生活言語とする人々の学術イベントへの積極的な参加を可能にした。本研究は「人から考える情報環境」、すなわち「いまの人と社会がどのように情報技術を受け入れるか」を議論するものである。研究期間内に国際ジャーナルへの投稿と採択を達成できていないが現在投稿準備中である。今後もこのアプローチを継続することで、社会的意義が高く、なおかつパラダイムシフトを起こすことが可能な研究として展開させていくことが十分可能である。

## 5. 研究総括の見解

ろう者同士や、ろう者と聴者間のインタラクションを、エスノグラフィによって明らかにする社会的価値が高い研究である。本研究の優れた点は、インタラクション分析という科学研究に留まらず、遠隔地にいるろう者と聴者が対等に議論可能な場である調和的情報保障環境の構築とそのガイドライン整備を行っていることである。まず、手話インタラクション及び音声インタラクションを収録し学術用コーパスとしてまとめている。具体的には、ろう者・聴者・通訳者の定例ミーティングの様子を、2年半の期間、4台のビデオカメラで撮影し続けた。一方で、音声インタラクションと手話インタラクションの基本的な違いを調査するため、実験室環境で4人の話者を10台のビデオカメラで収録している。収録課題はジェスチャー研究やコーパス作成に頻りに用いられる知名度の高いものを用い、音声インタラクションと手話インタラクションを同条件に統制している。また、高臨場感の次世代遠隔会議システムを用いて、音声8人会話、手話8人会話のデータを収録している。さらに、手話インタラクションのアノテーションスキームを考案し、実際に学術コーパスを構築すると共に、日本国内の学術イベントに手話通訳者を派遣するためのガイドラインを整備している。自らも手話通訳の活動を行い、それを通じて問題領域の認識を深めることができる数少ない研究者として、今後も継続して手話インタラクション研究を進めていくことを期待したい。

## 6. 主な研究成果リスト

### (1) 論文(原著論文)発表

- |   |
|---|
| 1. 坊農真弓 (2011)「手話会話に対するマルチモーダル分析—手話三人会話の二つの事例分析から」『社会言語科学』13巻2号. pp.20-31. (徳川宗賢賞萌芽賞受賞論文)     |
| 2. 坊農真弓, 菊地浩平, 大塚和弘 (2011)「手話会話における表現モダリティの継続性」『社会言語科学』14巻1号 pp.126-140.                      |
| 3. 岡田将吾, 坊農真弓, 角康之, 高梨克也. (印刷中)「会話インタラクションにおけるジェスチャーの量的分析を支援する時系列データマイニング手法の開発」『社会言語科学』15巻1号. |
| 4. 菊地浩平, 坊農真弓 (印刷中)「相互行為における手話発話を記述するためのアノテーション・文字化手法の提案」『手話学研究』22巻                           |

### (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(国際会議のみ)

- **Mayumi Bono.** (2013) Bodily Stance Display in Narrative: An Analysis of Sequential Structure in JSL Conversation. 13th International Pragmatics Conference. (Sep.8-13, 2013,

New Delhi, India)

- Kouhei Kikuchi, **Mayumi Bono**. (2013) Organization of repair and temporal structure of utterances in Japanese Sign Language. 13th International Pragmatics Conference. (Sep.8-13, 2013, New Delhi, India)
- **Mayumi Bono**. (2012) Multimodality and Multi-spatiality in Japanese Sign Language Conversation. Multimodality in Multispace Interaction (MiMI). JSAI-isAI 2012, Proceedings of the Second International Workshop on Multimodality in Multispace Interaction. pp.49-60 (Nov.30-Dec. 1, 2012, at Miyazaki AZM hall)
- Kouhei Kikuchi, **Mayumi Bono**. (2012) Interpretation as a situated activity: An analysis of participation framework in reading session between Hearing and Deaf people. Multimodality in Multispace Interaction(MiMI). JSAI-isAI 2012, Proceedings of the Second International Workshop on Multimodality in Multispace Interaction. pp. 38-48 (Nov.30-Dec. 1, 2012, at Miyazaki AZM hall)
- Eiji Toyama, Kouhei Kikuchi, **Mayumi Bono**, Yasuharu Den. Interactional viewpoint: an analysis of speech and gesture in co-telling conversation. ISGS 5, International Society for Gesture Studies, (Jul. 24-27, 2012, Sweden)
- Kouhei Kikuchi, **Mayumi Bono**. Proposal of a new transcription scheme for sign language utterances in interaction. ISGS 5, International Society for Gesture Studies, (Jul. 24-27, 2012, Sweden)
- Eiji Toyama, Kouhei Kikuchi, **Mayumi Bono**. Joint Construction of Narrative Space: Coordination of gesture, sequence and gaze in Japanese three-party conversation. Coordination of Multimodality in Multispace Interaction (MiMI). JSAI-isAI 2011 (Dec. 1-2, 2011 at Sunport Hall Takamatsu)
- Kouhei Kikuchi, **Mayumi Bono**. An analysis of gaze and body orientation in sign language conversation in telecommunication environment. Coordination of Multimodality in Multispace Interaction (MiMI). JSAI-isAI 2011 (Dec. 1-2, 2011 at Sunport Hall Takamatsu)

## 受賞

- 徳川宗賢賞萌芽賞(2011年度第11回)坊農真弓「手話会話に対するマルチモーダル分析—手話三人会話の二つの事例分析から—」(受賞日:2012年3月11日)
- 人工知能学会研究会優秀賞(2011年度)東山英治, 傳康晴, 坊農真弓, 大塚和弘. (2011) ジェスチャーの視点再考, 第62回人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会. SIG-SLUD-B101-15(7/22) pp.71-74. (2011年7月23日-24日, 九州工業大学飯塚キャンパス). (受賞日:2012年6月14日)

## 著作物

- 坊農真弓・高梨克也共編／人工知能学会編(2009)『知の科学 多人数インタラクションの分析手法』オーム社.
- 坊農真弓(2010)「手話会話における分裂—視覚的インタラクションと参与枠組み」木村大治・中村美知夫・高梨克也(編)『インタラクションの境界と接続』, pp.165-185. 昭和堂.



#### 一般雑誌

- 坊農真弓(2013)「手話三者会話における身体と視線」『日本語学 1 月号』Vol.32-1

#### プレスリリース

- NHK 教育「ろうを生きる 難聴を生きる」「手話コーパスを作る」2012 年 5 月 6 日放送  
<http://www.nhk.or.jp/fukushi/chokaku/backnumber/2012/05/0506.html>

# 研究報告書

## 「脳活動の推定に基づく適応的な環境知能の実現」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 21 年 11 月～平成 25 年 3 月

研究者: 山岸 典子

### 1. 研究のねらい

情報通信技術が生活の隅々で利用され、あらゆる人や物が結びつき、いつでも、どこでも、だれでもその恩恵をうけることができる情報環境の研究開発が進められている。このような状況において、どんな人でも必要な情報を自然に受けとることができる環境知能の創出が必要となっている。本研究開発では、脳活動・心理生理指標計測技術およびオンライン推定、情報提示技術を有機的に組み合わせることで、「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよいタイミング」で提供される適応的環境知能(アンビエントインテリジェンス)を構築する基盤技術の開発をする(図1)。なお、過度の支援により自ら考え、行動することをしない人間を生み出すことが危惧されるため、設計にあたっては人間の知力や行動力を最大限に引き出すことを支援するように留意する。本技術は、人間の知的生産活動が情報環境によって支援され、より創造的な活動になることに貢献することが期待される。

### 人間の意図を認識する環境知能を実現する基盤技術の研究

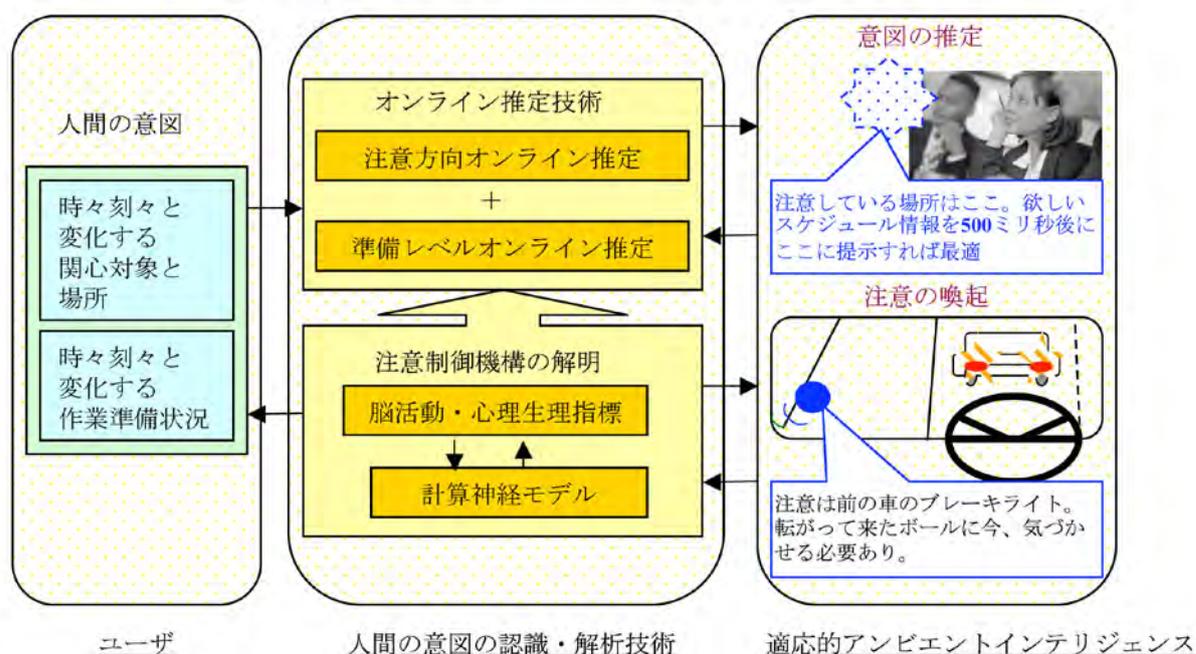


図1 研究構想図

近年、心理学的また脳活動計測技術を使った研究の蓄積により、情報システムの使い易さや、それを使った知的作業のパフォーマンスに影響を与えているものは、機能設計の良し悪しだけでなく、利用するユーザのその時々の中の状況であることが明らかになりつつある。例えば、意識もしくは注意と呼ばれるものが向いていなければ、目に映るものも、耳から入るものも、人は認識することができず、大切な情報を逃してしまうことになる。逆に注意が向いているものについてはその認識にかかる時間も短く、詳細情報までも処理されている。また同じ人物が同じ作業を行う時でも、その人の内的準備が万端であれば、その作業パフォーマンスは良く、逆に準備が不十分な時に作業が開始されればパフォーマンスは悪いものとなる。

これらの知見は、莫大な、そして人間に有用な情報が常にどこにでも提供される情報環境が実現されても、ちょうどよいタイミングで、欲しい場所に、欲しい物が、提供されなければ、人間がその情報環境の恩恵を受けることができないことを示している。逆に、人間の意図や注意の方向、次の知的作業への準備状況などが推定できれば、その状況に応じて必要な情報を必要な場所にちょうどよい時に提供することが可能となり、人間の知的活動は情報環境により支援され、より創造的なものとなる(図1、右上)。また、ある人が緊急にある場所や物に注意を向けなければならぬ状況時には、情報環境がその人の注意の方向を推定し、その方向が違っていた場合、注意喚起の警告を出し、生活の安全・安心を向上させることができる(図1、右下)。

そこで本研究では、人にとって適応的な情報環境を実現する、適応的環境知能の実現に向けて、具体的に以下の2つの要素技術の開発を行う。

(1) 脳活動、心理生理指標からユーザの注意する方向の推定手法の研究開発

(2) 脳活動、心理生理指標からユーザの知的作業への準備状況の推定技術の研究開発

これらを組み合わせることにより、適応的環境知能の創出を目指す。

## 2. 研究成果

### (1)概要

本研究では、人にとって適応的な情報環境を実現する適応的環境知能の実現に向けて、脳活動からユーザの意図(注意)する方向を推定する手法の研究開発を行った。また、ユーザの知的作業への準備状況の推定技術の開発のために、準備過程の機構を明らかにした。

具体的には、大きく次の4点を実現した。

1. 人の脳活動計測データから、人の内的状況である「注意を向けている方向」の推定に成功。
2. 脳活動計測データから人の内的状況を推定する新手法(デコーディングの新手法)を開発。この手法により従来の手法の問題点が解決されただけでなく、神経科学的に推定結果が解釈できるようになった。
3. オンラインで、人の脳活動計測データから、時々刻々と変化する人の内的状況である「注意を向けている方向」の推定に成功。
4. 人の作業準備が整う機構を心理物理的に、また神経科学的に明らかにした。

これらを実現したことで、脳活動計測データおよびオンライン推定、情報提示技術を有機的に組み合わせることが可能となり、ユーザの内的状況を知り「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよ

「タイミング」で提供される適応的環境知能(アンビエントインテリジェンス)を構築すること(図1)が現実のものとして可能であることが示せた。

研究成果は国内外の学会で発表し、論文はインパクトファクターの高い論文誌に受理された(原著論文、学会発表)。情報、神経科学、生理学、自動車技術の分野から招待講演の依頼を受け、講演を行ったところ、将来的な共同研究の可能性が見出された(招待講演)。

## (2) 詳細

各項目について内容を報告する。

### 1. 人の脳活動計測データから、人の内的状況である「注意を向けている方向」の推定に成功。

fMRI(機能的磁気共鳴装置)ならびに MEG(脳磁場計測装置)を用い、被験者が注意を四半視野(右上、右下、左下、左上)のいずれかに向けている時の脳活動データを複数セッションにわたり計測した。fMRI データを緩やかな制限として MEG データの逆問題を解き、脳表上の神経活動をミリ秒単位、センチメートル単位で推定した。このデータを用い、注意の向きを推定するデコーダーを作成した。テストデータをデコーダーで判別を行った。この結果、目を動かすことなく、注意を動かした時点でなんの視覚刺激がないときでも、脳活動データからユーザがどこに注意を向けているかを優位に推定することに成功した(学会発表[国際]2,3,10)。脳活動計測データのうち、特にアルファー波と呼ばれる帯域の脳活動データを用いることで推定に成功した。このことで注意が視覚野のアルファー波を四半視野ごとに変化させていることが示唆された。

### 2. 脳活動計測データから人の内的状況を推定する新手法(デコーディングの新手法)を開発。この手法により従来の手法の問題点が解決されただけでなく、神経科学的に推定結果が解釈できるようになった。

近年、デコーディング手法として SLR (Sparse Logistic Regression)が開発され、広く利用されている。しかし、SLR は往々にして結果が Sparse 過ぎることが問題となっていた。そこで我々は神経活動は時空間的に連続であることが多いことを考慮し、デコーディング手法に時空間的 Smoothness を導入した新しい手法を開発した。この手法により、デコーディング率自体が以前の方法に比べて上がったと同時に、重みの結果も神経科学的に理解しやすいものとなった。この優位性はシミュレーションと MEG の実データを用いた解析で示された(原著論文 2, 学会発表[国際]4, 6)。本研究のオンライン推定にも当手法を活用し成果を上げた。

### 3. オンラインで、人の脳活動計測データから、時々刻々と変化する人の内的状況である「注意を向けている方向」の推定に成功。

上記1と2の成果をもとに、オンラインで MEG 装置から時々刻々と計測されるデータを用いてユーザの注意を向けている方向を推定した。まず、MEG 装置からミリ秒単位でデータを読み出し、予め作成したデコーダーにより注意方向を判別するシステムを構築した。システムが安定して作動するようになってから、実際に人を対象とした実験を行い、オンラインでユーザの注意方向を推定することに成功した。また、fMRI 計測も行い、MEG データと合わせ、脳表上の神経活動を推定し、どの脳部位が注意の制御にどのように関わっているかを検討した。注意はまず空間的な選択を行い、その後でターゲット文字などの特徴選択を行なっていることが明らかになった。注意方

向のオンライン化の実現で BMI(Brain Machine Interface)への応用の可能性が示せた。オフラインでの解析により注意機構の解明につながる発見があった(学会発表[国際]8)。

#### 4. 人の作業準備が整う機構を心理物理的に、また神経科学的に明らかにした。

心理物理学的手法を用いて、ユーザが作業にとりかかるまでの準備のメカニズムを明らかにした。ユーザに作業準備が十分になった時点を報告してもらった実験を行うと、十分になるまでの時間の分布が Later model で説明できるもので、これはユーザの内的な準備レベルが蓄積されていき、閾値に達すると「準備ができた」と報告するモデルで説明できるものであった。またユーザが「準備ができた」と思っている時は、そうでない時に比べて、視覚感度が優位に上がることが明らかになった(原著論文 1, 学会発表[国際]1)。また、この一連のプロセスが進められている脳部位を fMRI と MEG で明らかにした。これらの知見を使うことで、ユーザの準備レベルを推定し、準備ができた時に作業を提示しユーザのパフォーマンス向上を支援することが可能となる。

### 3. 今後の展開

本研究の結果により、脳活動計測データおよびオンライン推定、情報提示技術を有機的に組み合わせることで、ユーザの内的状況を知り、「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよいタイミング」で提供される適応的環境知能(アンビエントインテリジェンス)を構築することが現実に可能であることが示せた。当初この大きな目標を達成するには「注意機構の解明」の知見を活かし、「オンライン推定技術」を開発することで可能になる(図 1 中央)と考えていたが、本研究を進めるうちに、この反対方向の矢印が必要であることが判明した。人の状況の推定を脳活動から進めることで、注意機構のさらなる深い解明につながる仮説が生まれた。これを検証し、そこから得られた知見をさらに活かすことでより良い推定技術が開発できる。今後は、この認知機構の基礎的理解と BMI(brain machine interface)的応用のサイクルを回しながら、人類に科学的側面から、そして社会的側面からも貢献していきたい。

### 4. 自己評価

研究の目的を達成するための基盤研究を、三年という短時間に凝縮して遂行できた。大きな目標を常に意識し、研究総括やアドバイザーの助言を活かし、また所属する研究所の研究者との共同研究も発展させることで、本研究を大きく進められたと思う。適応的環境知能の実現に、人の内的状況の推定が将来、デバイスの超小型化などを踏まえ、現実に利用できる可能性が示せたと考える。

### 5. 研究総括の見解

人の注意に関する認知メカニズムを脳計測技術を用いて解明し、注意の方向や準備状況を理解し適応する情報環境の実現を目指す野心的な研究である。これが実現されれば、注意の向いた「欲しいところに欲しい情報が、ちょうどよいタイミング」で提示できることになる。注意が向いていれば認識にかかる時間も短く、内的準備が万端であれば作業効率が向上するからである。

本研究の優れた点は、脳活動計測による科学的知見の蓄積を行うと共に、それに留まらず、次世代の情報提示機能を実現することを目標に科学研究の方向付けを行っていることである。本

研究では、まず、脳計測データから「注意を向けている方向」の推定に成功し、次いで、オンラインの脳計測データから、時々刻々と変化する「注意を向けている方向」の推定に成功している。さらに、注意はまず空間的な選択から始まり、その後に、認識対象となる文字などの特徴選択を行なっていることを明らかにしている。加えて、心理物理学的手法を用いて人が作業にとりかかるまでに要する準備のメカニズムを明らかにしている。

こうした研究成果は、インパクトファクターの高い国際論文誌に採択され高く評価されている。今後は、心理学と脳研究の双方に実績がある研究者として、科学的研究に立脚した情報環境のデザインに先鞭をつけることを期待する。

## 6. 主な研究成果リスト

### (1) 論文(原著論文)発表

1. Yamagishi, N., Anderson, S.J., & Kawato, M. (2010). The observant mind: self-awareness of attentional status. Proceedings of the Royal Society, B, 277. 3421-3426
2. de Brecht, M., Yamagishi, N. (2012). Combining sparseness and smoothness improves classification accuracy and interpretability. NeuroImage, 60, 1550-1561.

### (2) 特許出願

なし。

### (2) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

#### 学会発表 [国際学会]

1. Yamagishi, N., Naito, E., Anderson, S.J., Kawato, M. (2010, June) The neural basis of self-monitoring attentional status. Talk at the 14<sup>th</sup> annual meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness, Toronto, Canada.
2. Yamagishi, N. (2010) From neural synchrony to conscious mind: Introduction. Organizer of the symposium 'From neural synchrony to conscious mind', talk at the 33<sup>rd</sup> annual meeting of the Japan neuroscience society, Kobe, Japan. [Abstract] *Neuroscience Research*, vol68, Supplement1, Pages e23. (doi:10.1016/j.neurres.2010.07.341)
3. Yamagishi, N., de Brecht, M., Kawato, M. (2011) Decoding of attentional direction. Talk at the 34<sup>th</sup> annual meeting of the Japan neuroscience society, Yokohama, Japan. [Abstract] *Neuroscience Research*, vol71, Supplement. Pages e49. (doi:10.1016/j.neurres.2011.07.208)
4. de Brecht, M., Yamagishi, N. (2011) Decoding brain activity with smooth sparse regression. Poster presented at the 34<sup>th</sup> annual meeting of the Japan neuroscience society, Yokohama, Japan. [Abstract] *Neuroscience Research*, vol71, Supplement. Pages e201-202. (doi:10.1016/j.neurres.2011.07.872)
5. Takeda, Y., Yamanaka, K., Yamagishi, N., Sato, M. (2011) Estimating waveforms common across trials from MEG data in various stimulus-response tasks. Poster presented at the

- 34<sup>th</sup> annual meeting of the Japan neuroscience society, Yokohama, Japan. [Abstract] Neuroscience Research, vol71, Supplement. Pages e209. (doi:10.1016/j.neurres.2011.07.908)
6. de Brecht, M., Yamagishi, N. (2011, November) Smooth sparse classification of recorded brain activity. Poster presented at the Annual meeting of the Society for Neuroscience 2011, Washington D.C., USA.
  7. Takeda, Y., Yamanaka, K., Yamagishi, N., Sato, M. (2012, August) Revealing covert brain activity from MEG measurement. Poster presented at the 18<sup>th</sup> International Conference on Biomagnetism, Paris, France.
  8. de Brecht, M., Yamagishi, N. (2012, September). Online decoding of attentional states. Poster presented at the 35<sup>th</sup> Annual meeting of the Japan Neuroscience Society, Nagoya, Japan.
- [Abstract] will be published in Neuroscience Research.
9. Takeda, Y., Yamanaka, K., Yamagishi, N., Sato, M. (2012, September) Revealing covert brain activity from MEG. Poster presented at the 35<sup>th</sup> Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Nagoya, Japan. [Abstract] will be published in Neuroscience Research.
  10. Yamagishi, N., de Brecht, M., Kawato, M. (2012, December). Decoding of attentional states. Poster presented at the 2012 International Workshop on Perceptual Learning, Nara, Japan.

#### 学会発表 [国内学会]

1. 山岸, Anderson, 川人 (2010年1月). 準備ができた時とは - 内観的注意シフトと視覚感度. 日本視覚学会 2010年冬季大会, 東京, 口頭発表
2. 武田, 山中, 山岸, 佐藤 (2011年9月) EEG/MEGデータからの試行間で共通した波形の推定. 医用診断のための応用統計数理の新展開III. 統計数理研究所, 東京, 口頭発表
3. 武田, 山中, 山岸, 佐藤 (2012年7月) MEGデータからのセンサ間で同期した $\alpha$ 振動の抽出. 神経オシレーション: 共振とディスリズム. 自然科学研究機構岡崎カンファレンスセンター, 愛知, ポスター発表.
4. 山岸典子 (2012年11月8日) こころの時代をデータで支える. 情報学による未来社会のデザイン シンポジウム - 健全でスマートな社会システムに向けて - 第一回大量データにもとづく未来社会のデザイン, (主催(独)科学技術振興機構、日本学術会議)、一橋大学一橋講堂, Tokyo, Japan. ポスター発表.

#### 招待講演

1. [2010, March 11] 情報処理学会創立 50周年記念(第72回)全国大会さきがけシンポジウム (2010.3.9-11) ‘脳活動の推定に基づく適応的な環境知能の実現’
2. [2012, July 12] 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ 人間とICTの倫理を考える研究会 (2012.07.11-12) ‘Towards providing useful information to users at the best time and place by predicting internal state from brain activities’



3. [2012, August 20] 公益法人 自動車技術会 第3回ドライバ評価手法検討部門委員会  
‘脳活動の推定に基づく人を助けるインタフェースの開発’
4. [2012, October 4] 生理学研究所 生理学会「視知覚の理解へ向けて-生理、心理物理、  
計算論による探求-」(2012.10.4-5) ‘視覚注意のデコーディング’