

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月15日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2014～2018

課題番号：26118002

研究課題名(和文) 成人間インタラクションの認知科学的分析とモデル化

研究課題名(英文) Cognitive Analysis and Modeling of Human-Human Interaction

研究代表者

植田 一博 (UEDA, Kazuhiro)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：60262101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 83,600,000円

研究成果の概要(和文)：(1)相手に対する情動状態が影響するインタラクションに着目し、その開始時における自他間の内的状態に基づく空間的接近行動をモデル化した。そして、他者の内的状態が行動から推定可能なことを示した。(2)旅行代理店の店員が顧客の要望を聞き出しプランを提案する際の対話と非言語情報を分析した。その結果、インタラクションの成否に与える言語・非言語情報の時間的な推移を解明できた。(3)非母語コミュニケーションにおける訛りに起因するミス・コミュニケーションを分析した。母語聴取者のシャドーイング音声を用いて訛りを定量化し、さらにシャドワーの挙動から、訛りに起因する主観的な「聞き取りにくさ」を客観的に予測できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人同士のインタラクションは、コミュニケーション欲求に基づく関係形成フェーズ、関係形成後の他者の内的状態の推定に基づく他者理解フェーズ、さらに理解の齟齬の検出に基づく相互調整フェーズの3つのフェーズからなる。研究1で最初のフェーズを、研究2-1と2-2で残りの2フェーズを分析でき、かつインタラクション相手の内部状態を推定するための他者モデルを構築できた。これはインタラクションのモデル研究に大きな前進をもたらした。さらに、研究2-1の成果はビジネス交渉の教育に応用できる。また、研究2-2の成果は、非母語話者に対する効果的な言語教育の実現という社会的な需要に沿うものであり、社会的な意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：First, focusing on the interaction that affects emotional state to the other party, we modeled spatial approach behavior based on internal states between oneself and others at the beginning of interaction. It was shown that the internal states of others could be estimated from their behavior. Second, we analyzed the dialogues and various kinds of non-verbal information when a clerk of the travel agency found out a customer's request and suggested travel plans. We could clarify the influence of temporal transition of verbal and non-verbal information on the success or failure of interaction between a clerk and a customer. Finally, we analyzed miscommunication caused by thick accents of non-native language speakers. The shadowing speech of a native language listener was used to quantify how thick the accents of a non-native speaker were, and we could objectively predict, from the behavior of native shadowers, subjective "listening difficulty" caused by thick accents.

研究分野：認知科学, 知能情報学

キーワード：認知科学 人工知能 ヒューマンインタフェース コミュニケーション 社会系心理学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人はコミュニケーションを通じて他者の選好・価値観・態度(以下、選好と略記)を推定し、これを利用することで提案や協調的な振る舞いが可能となる。選好は主に言語を介して伝達されるが、言語では明確に表出されない曖昧な選好も存在し、その推定には非言語情報が重要だと予想される。非言語情報を利用した選好の推定に関して、若井ら(2005)は、実験参加者の視線と姿勢の観測に基づいた興味度推定手法を提案している。また、藤江ら(2005)は、韻律と頭部の動きより発話者の態度(否定的・肯定的)を推定する手法を提案し、ロボットへ実装することでその対話の自然さを評価している。これらの研究では、実際のコミュニケーションにおいて、人が相手の非言語情報をどのように利用しているのかまでは明らかにしていないが、そのような分析を行ったものとして Pentland (2010)がある。具体的には、人が無意識のうちに発し、自分の態度や意図を正直に伝えるシグナルである「正直シグナル」を、発話者の体動や対話者間の距離、発話における声の調子や身ぶりの大きさ・頻度などの指標である「ソシオメーター」を用いて計測することにより、給与交渉やスピード・デート(日本でいうお見合いパーティー)などにおける人の振る舞いを予測することが可能なことを示している。Pentland (2010)は短いインタラクションにおける正直シグナルの検知による人の行動の予測を研究対象にしているが、店員が客の要望を聞き出してその客に合ったプランを提案するような、ある程度の時間継続するコミュニケーション場面では、正直シグナルとなり得るソシオメーターの種類が動的に変化し得る。この状況では、どのようなソシオメーターが正直シグナルになり得るかはインタラクティブに決まる可能性がある。しかしながら、実際のコミュニケーションにおいて、どのような非言語情報から人は正直シグナルを読み取り、それを将来の行動にどのように利用しているのか、それが時間とともにかつインタラクティブにどのように変化していくのかを明らかにした研究は我々が知る限り存在しない。

2. 研究の目的

本研究では、非言語情報を利用した他者の内部状態推定の動的な過程(インタラクションで人がどのような他者モデルをもち、それにしたがってどのようにインタラクションが行われ、他者モデルがどのように変更されるのか)の分析を通して、他者の内部状態推定を行う際に人が利用している認知モデル、すなわち他者モデルを明らかにする。特に成人同士および成人と人工物の間のインタラクションを分析の対象とする。コミュニケーションにおける非言語情報を利用した他者の内部状態推定の動的な過程として、コミュニケーション開始時におけるコミュニケーション場の成立に関わる他者の情動状態推定の過程と、顧客と店員とのコミュニケーションに代表される、コミュニケーションを通じた他者の価値選好推定の過程の2つがある。本研究では両者を研究対象とする(それぞれ研究1と研究2)。研究2に関しては、我々が日常経験するリアルフィールドを研究対象として設定し、注文服や旅行パッケージなどの対面販売状況における、インタラクション時の非言語情報から顧客の意図推定を可能にする他者モデルの分析(研究2-1)と、非母語コミュニケーションを対象とした訛りに起因するミス・コミュニケーションの分析と訛りに対する選好度の自動計測(研究2-2)を実施する。

3. 研究の方法

以下、研究1、研究2-1、研究2-2ごとに説明する。

(1) 研究1: コミュニケーション場の成立に関わる他者の情動状態推定に関する研究

相手に対する情動的な内部状態に基づく主体間の距離と位置関係の動的な変化を伴う原初的なインタラクションに注目し、各主体のコミュニケーション場の成立欲求を推定するための認知モデルを構築する。そのため、インタラクションの主体の視覚的情報、言語やジェスチャー、ポスチャーなどのシンボリックな情報を排除したミニマムなインタラクションを行える実験環境を構築する。その中で、様々な制約の下でのインタラクションを観察し、人間同士が他者認知を行なう上での原初的な側面、すなわち身体的なインタラクションの過程を説明するための基礎データを得る。さらに、実験データを用いた計算シミュレーションを通して、インタラクションの形成段階における認知過程の計算論的モデルの構築を目指し、行動レベルにおけるモデルの妥当性の検証を行う。

(2) 研究2: コミュニケーションを通じた他者の価値選好推定に関する研究

研究2-1: 対面販売状況における顧客の意図推定を可能にする他者モデルの分析

旅行代理店の店員が客の要望を聞き出してプランを提案する際の対話を分析する。この分析を通して、当初は客自身も気づかなかったような潜在的な選好が対話を通して導き出される過程を明らかにし、a)客の選好がどのような非言語的な反応に現れるのか、b)店員は客の反応をどのように知覚するのか、c)客の選好の知覚が店員の提案にどのように利用されるのか、d)店員の熟達度に応じて価値選好推定過程は異なるのか、に関する知見を得る。

研究2-2: 非母語コミュニケーションを対象とした訛りに起因するミス・コミュニケーションの分析と訛りに対する選好度の自動計測

日本人大学生が読み上げた英語音声データベース(ERJ)から抽出された発声を、日本人と遭遇

したことがない米国人約 150 名に書き取らせることで作成された、ミス・コミュニケーションの膨大な事例集をもとに、a)どのようなミス・コミュニケーション（聞き取れないという事象）が生じるのかを分析し、b)聞き取り困難な箇所を自動検出する枠組みを検証し、c)自動音声分析・認識技術を使った自動検出を検討する。さらに、ある訛りを有する話者がどのような訛りに苦手意識をもつのかという選好を自動推定する技術も確立する。

4. 研究成果

以下、研究 1、研究 2-1、研究 2-2 ごとに説明する。

(1) 研究 1：コミュニケーション場の成立に関わる他者の情動状態推定に関する研究

個人間のインタラクションは、他者に対して効果を与える行為を遂行する欲求（control）と、他者からの行為を受け入れることに対する欲求（acceptance）の 2 つが直交する 2 次元座標系（図 1）のもとで、相互にそれぞれの個体の 2 つの欲求レベルを充足するための効用関数（図 2）を最大化する原初的構造によって成り立つという仮説に基づき、各個体の内部状態の遷移を表現する計算論的モデルを構築した。このモデルに基づき、互いに未知の人同士が遭遇する場面での、一人称視点での各個体の内的状態の変化を推定できることを、実験データを通して示した。

本モデルの効用関数に基づき、インタラクションする 2 者のそれぞれの位置関係と相互の距離、および身体方向の変化から得られる時系列的な物理量より、それぞれが他者との間にどのような関係状態を形成しようとしているのかを推定できる。その結果、狭い路地での 2 者のすれ違い行動からそれぞれの内的状態（相互に道を譲り合おうとすると接近するほど鉢合わせを繰り返してしまったりする等）を推定したり、作業に集中している者の作業を中断させる際にどのような接近行動と声かけのタイミングが最も polite であるか（相手の正面から接近する場合には、できるだけ相手の視野外から近づくことで相手の作業の邪魔をせず、同時に声かけに対して確実に反応を得られる方向から呼び等）を推定できた。

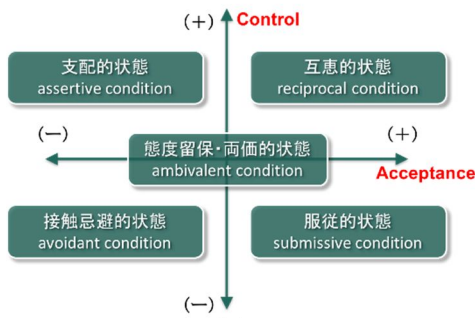


図 1

・効用関数

・自身の内部状態と関与の度合いから効用値を求める

$$u(\cdot) = c(z)\alpha_{PQ} + a(z)\alpha_{QP}$$

$$= c(z)f(r_{PQ}, |\theta_{PQ}|) + a(z)f(r_{QP}, |\theta_{QP}|)$$

・エージェントは接近・回避行動（相対位置の変化）により関与の度合いを変化させようとする

$$u(z, r_{PQ}, \theta_{PQ}, \theta_{QP}) \leq u(z', r'_{PQ}, \theta'_{PQ}, \theta'_{QP})$$

自身の内部状態、距離、相対角度に応じて効用値が増加するように行動する（次位置を決定する）

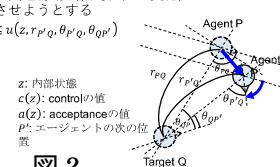


図 2

(2) 研究 2：研究 2：コミュニケーションを通じた他者の価値選好推定に関する研究

研究 2-1：対面販売状況における顧客の意図推定を可能にする他者モデルの分析

スキルの高い販売員と低い販売員との意図推定を比較した。その結果、スキルの高い販売員は顧客の心的状態を首尾よく推定していることがわかった。具体的には、販売員が予測した旅行の各項目（予算、ホテルなど）の優先度と顧客の優先度の一致度を相関係数により算出し、ランクを要因とする Wilcoxon 検定を行なった結果、高ランク販売員の方が正確性は高い傾向にあった（図 3）。また顧客の前かがみになる行動は、販売員のスキルが高いときにより心的状態と相関をもちやすいことが明らかになった。以上から、スキルの高い販売員は、顧客が旅行相談中に前かがみになる行動から顧客の心的状態を首尾よく推測している可能性、およびインタラクションの中で効果的に顧客の前かがみを表出させている可能性が示唆された。

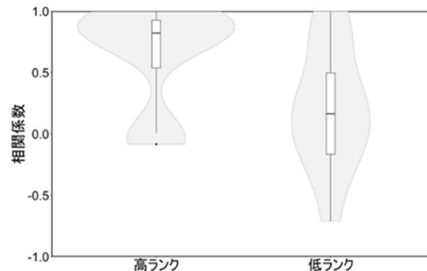


図 3

さらに、対話中に観察された言語・非言語情報により定義されるインタラクション状態の時間的な推移を Hidden Markov Model により分析することで、上手くいった対話といかなかった対話の違いを検討した。その結果、インタラクションの成否に影響する言語・非言語情報の時間的な推移が明らかになった。

研究 2-2：非母語コミュニケーションを対象とした訛りに起因するミス・コミュニケーションの分析と訛りに対する選好度の自動計測

まず、Speech Accent Archive を利用し、世界中の様々な英語発音を特定の学習者を中心に添えて俯瞰するための技術（発音クラスタリングとその可視化）を検討した。その結果、図 4 のような、特定の学習者を中心に据えて、他の学習者を発音の違いの観点から、発音の違いを可視化したものを作成できた。図の上半分は同性、下半分は異性、距離が発音距離、また、角度は年齢を表している。

日本語教育史上初の、任意テキストに対して共通語として(分かり易く)読み上げるための韻律制御を教える教育インフラ OJADを開発した。その教育的効果の検証を実施し、また合計104回の講習会を国内外で行なった。

発音や習熟度以外の要因によっても「聞き取り易さ」は阻害される。環境要因による様々な音声・音響変形を技術的に模擬し

(Technically-Enhanced High Variety Phonetic Training), 外国語の聞き取りを大きく阻害する要因を特定し、その要因に特化した聴解教材を構成することで、聴取の頑健性を向上させた。

さらに、非母語コミュニケーションを対象とし、a)母語聴取者のシャドーイング音声の崩れに対する音響分析と深層学習ベースの音声認識技術を使って訛りを定量化し、b)顔の表情筋の動きを4チャンネル計測するなどシャドワーの挙動を多角的な観点からセンシングし、訛りに起因する主観的な「聞き取りにくさ」を客観的に予測した。

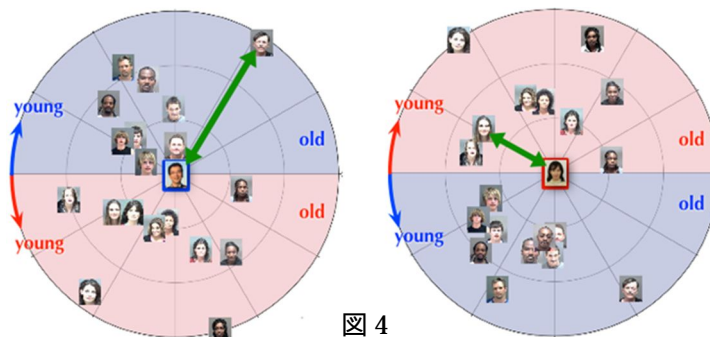


図4

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計24件)

伊達宏子, 中村則子, 峯松信明: OJAD を用いた音読練習による日本語韻律自然性の向上に関する実験的検証, 査読有, 音声研究, 23, pp.6-21 (2019.4).

櫻哲郎, 渋谷友紀, 植田一博: 文楽人形遣いの型動作伝達の時間特性, 電子情報通信学会論文誌 A, 査読有, J102-A(2), pp.6-14 (2019.2).

Honda, H., Shirasuna, M., Matsuka, T., & Ueda, K.: Do people explicitly make a frame choice based on the reference point?, Frontiers in Psychology, 査読有, 9:2552 (2018.12).

吉岡源太, 竹内勇剛: 互恵的な関係を築くための配慮に基づく身体的なアプローチ, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 査読有, 20(4), pp.417-426 (2018.11).

Fujisaki, I., Honda, H., & Ueda, K.: Diversity of inference strategies can enhance the wisdom-of-crowds effect, Palgrave Communications, 査読有, 4:107 (2018.9).

Rienovita, E., Taniguchi, M., Kawahara, M., Hayashi, Y. & Takeuchi, Y.: Implementation of Interactive Peer Learning Environment Enhances Learners' Self-Esteem and Self-Efficacy, International Journal of Learning Technologies and Learning Environments, 査読有, 1(1), pp.1-24 (2018.4).

Sato, Y., Sugimoto, Y., & Ueda, K.: Real objects can impede conditional reasoning but augmented objects do not, Cognitive Science, 査読有, 42(2), pp.691-707 (2018.2).

本田秀仁, 松井哲也, 大本義正, 植田一博: 旅行相談場面の販売員-顧客間のインタラクション: 販売員のスキルの違いに見る心的状態の推定と非言語行動の分析, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, J101-D(2), pp.275-283 (2018.2).

Ohmoto, Y., Matsuda, T., & Nishida, T.: Experimentally Analyzing Relationships between Learner's Status in the Skill Acquisition Process and Physiological Indices., International Journal on Advances in Life Sciences, 査読有, 9(3 & 4), pp.127-136 (2017.12).

渋谷友紀, 櫻哲郎, 佐々木正人, 植田一博: 文楽における浄瑠璃と人形遣いの呼吸の同期, 認知科学, 査読有, 24(4), pp.518-539 (2017.12).

藤崎樹, 本田秀仁, 植田一博: ヒューリスティックの集合知: 集団意思決定の視点に基づく適応的性質の理論的分析, 認知科学, 査読有, 24(3), pp.284-299 (2017.9).

Suzuki, M., Kuroiwa, R., Innami, K., Kobayashi, S., Shimizu, S., Minematsu, N., & Hirose, K.: Accent sandhi estimation of Tokyo dialect of Japanese using conditional random fields, Trans. IEICE, 査読有, E100-D(4), pp.665-661 (2017.4).

Minematsu, N., Nakamura, I., Suzuki, M., Hirano, H., Nakagawa, C., Nakamura, N., Tagawa, Y., Hirose, K. & Hashimoto, H.: Development and evaluation of online infrastructure to aid teaching and learning of Japanese prosody, Trans. IEICE, 査読有, E100-D(4), pp.662-669 (2017.4).

須藤明人, 藤原直哉, 徳田慶太, 本田秀仁, 植田一博: 意味ネットワークの経時変化で表現された計算論的なコンセプト創出モデルとその実装, 認知科学, 査読有, 24(1), pp.33-51 (2017.3).

河野慎, 植田一博: Recurrent Neural Network によるマイクロブログの投稿位置推定, 人工知能学会論文誌, 査読有, 32(1), pp.WII-E_1-8 (2017.1).

熊崎周作, 竹内勇剛: 人の共感的反応を誘発する状況に依存した人工物の振る舞い, 電子情報通信学会論文誌(A), 査読有, J100-A(1), pp.24-33 (2017.1).

本武陽一, 福田玄明, 植田一博: 人とエージェント間での内集団関係形成: ERP を用いた検討, 人工知能学会論文誌, 査読有, 31(6), pp.AI30-J_1-10 (2016.11).

- 河野慎, 遠藤結城, 戸田浩之, 小池義昌, 植田一博: Recursive Autoencoder にもとづいた移動軌跡からの特徴量自動抽出手法の提案, 日本データベース学会論文誌, 査読有, 14(12), pp.1-6 (2016.3).
- 山本紗織, 竹内勇剛: 返報義務感を低減させる Human-Agent Interaction デザイン, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会), 査読有, 27(6), pp.898-908 (2015.12).
- Short, G., Hirose, K., Kondo, M., & Minematsu, N.: Automatic recognition of Japanese vowel length accounting for speaking rate and motivated by perception analysis, Speech Communication, 査読有, 73, pp.47-63 (2015.10).
- 21 峯松信明: 日本語音声・テキストコーパス情報処理に基づくオンライン韻律教育インフラの構築, 音声研究, 査読有, 19(1), pp.13-81 (2015.10).
- 22 Short, G., Hirose, K., Kondo, M., & Minematsu, N.: Automatic recognition of Japanese vowel length accounting for speaking rate and motivated by perception analysis, Speech Communication, 査読有, 73, pp.47-63 (2015.7).
- 23 Suzuki, M., Kurata, G., Nishimura, M., & Minematsu, N.: Discriminative re-ranking for automatic recognition by leveraging invariant structures, Speech Communication, 査読有, 73, pp.208-217 (2015.6).
- 24 Takahashi, K., Fukuda, H., Samejima, K., Watanabe, K., & Ueda, K.: Impact of stimulus uncanniness on speeded response, Frontiers in Psychology, 査読有, 6(662) (2015.5).

〔学会発表〕(計 146 件)

以下に, 招待講演の情報のみを記載する。

植田一博: 行動から人の意図や選好を読み取る, 第 1 回デンソー・東大新価値創造に向けた研究討議の会. (2018.5). (東京, 日本)

植田一博: 認知科学からみた「AI」, 東大教養シリーズ第 1 回: AI とのつきあい方, pp.(2017.11). (東京, 日本)

植田一博: 演技者の動作計測に基づく芸談の検証 –能楽と文楽を例にして–, MAC 3D セミナー2017. (2017.10). (東京, 日本)

Minematsu, N.: OJAD: web-based prosodic reading tutor of Japanese, ISAPh2016. (2016.3). (Nagoya, Japan)

Honda, H., Hisamatsu, R., Ohmoto, Y. & Ueda, K.: Estimation of customer's preference from verbal and non-verbal cues in face-to-face selling situation, HAI2015 Workshop on Cognitive Interaction Design. (2015.10). (Daegu, South Korea)

Minematsu, N.: Perceptual and structural analysis of pronunciation diversity of World Englishes, EJHIB2015. (2015.8). (Sao Paulo, Brazil)

Minematsu, N.: OJAD and its practical use for teaching/learning Japanese prosody, ASSTA Research Event Program. (2015.4). (Brisbane, Australia)

Minematsu, N.: Perceptual and structural analysis of pronunciation diversity of World Englishes, O-COCOSDA. (2014.9). (Puket, Thailand)

Minematsu, N.: How to survive the diversity of pronunciation of World Englishes? -- Experimental facts and technical solutions --, The 19th conference of Pan-Pacific Association of Applied Linguistics (PAAL2014). (2014.8). (Tokyo, Japan)

〔図書〕(計 5 件)

中川聖一, 小林聡, 峯松信明, 宇津呂武仁, 秋葉友良, 北岡教英, 山本幹雄, 甲斐充彦, 山本一公, 土屋雅稔 [著]: 音声言語処理と自然言語処理, コロナ社 (2018.8).

内村直之, 植田一博, 今井むつみ, 川合伸幸, 嶋田総太郎, 橋田浩一 [著]: はじめての認知科学, 新曜社 (2016.3).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ: <https://www.cognitive-interaction-design.org/>

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 竹内 勇剛

ローマ字氏名: TAKEUCHI, Yugo

所属研究機関名: 静岡大学

部局名: 情報学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 00333500

研究分担者氏名: 峯松 信明
ローマ字氏名: MINEMATSU, Nobuaki
所属研究機関名: 東京大学
部局名: 工学系研究科
職名: 教授
研究者番号(8桁): 90273333

研究分担者氏名: 大本 義正
ローマ字氏名: OHMOTO, Yoshimasa
所属研究機関名: 京都大学
部局名: 情報学研究科
職名: 助教
研究者番号(8桁): 90511775

研究分担者氏名: 本田 秀仁
ローマ字氏名: HONDA, Hidehito
所属研究機関名: 安田女子大学
部局名: 心理学部
職名: 講師
研究者番号(8桁): 60452017

研究分担者氏名: 遠山 紗矢香
ローマ字氏名: TOHYAMA, Sayaka
所属研究機関名: 静岡大学
部局名: 情報学部
職名: 助教
研究者番号(8桁): 80749664

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 坂本 孝丈
ローマ字氏名: SAKAMOTO, Takafumi

研究協力者氏名: 吉岡 源太
ローマ字氏名: YOSHIOKA, Genta

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。