解説

コミュニケーションロボットの 社会実装にむけた研究と開発†

久保田 直行*

1. はじめに

近年、多種多様なスマートスピーカーが発売されている。話しかけるだけで、天気やニュースを伝えてくれるだけでなく、音楽の再生や家電の操作なども簡単に行えるようになった。我々は、スマートスピーカーが実行できる機能を知っているため、それに合わせた会話を試みるが、その機能に限定すれば、まるでチューリングテスト [1, 2] をパスしているようにも思えてくる。チューリングは、「計算機構と知能」の論文の中で、チューリングテストに合格すれば、機械が知能を持っていると定義したが、電話での自動音声案内、スマートデバイスの音声アシスタント機能、スマートスピーカーとのやりとりのように、機械との音声コミュニケーションがますます身近な存在になるにつれ、機械が話しているときは静かに待ち、一呼吸あけてから話しかけ、そして機械からの返答を少し待つというターンテイクのタイミングの取り方と時間的な遅延にも慣れてきた。必要な情報を得るための多少の待ち時間は、許せてしまう。一方、最近の SNS（social networking service）でのやりとりでは、時間との戦いが繰り広げられている。一瞬で「既読」がつき、その後、直ちに返信が来る。10 分も放置していると、催促が来てしまう。そして、たかだか 10 分しか経っていないにもかかわらず、「遅くなってごめん」と書いた上で、たわいもない雑談を続ける。色々な意味でフェーストゥフェースのコミュニケーションとの違いにも慣れてきたが、思い返せば、電子メールが普及してきた頃、「電子メールは電話と異なり、相手の時間を気にせず、自分も時間を選べるので便利」と言われていたことを懐かしく感じる。

さて、コミュニケーションロボットとのやりとりは、どうであろうか。情報支援や家電操作支援に関する機能のみを必要とするユーザにとっては、スマートスピーカーやスマートデバイスで十分であろう。我々は、コミュニケーションロボットに何を期待し、どのような機能を必要としているのか、コミュニケーションロボットの市場と動向を概観してみる。

国際ロボット連盟は「2018 年度 World Robotics Report」 [3] において、2017 年のサービスロボットの世界における売上高

が前年に比べ 39% 増加し、66 億米ドルに達し、販売台数も 85% 増加したと発表している。エンターテインメントロボットなどの個人用サービスロボットは、25% 増の 850 万台が販売され、今後も順調に増加すると見込まれている。経済産業省の「ロボット産業市場動向調査結果」 [4] によると、2025 年には、日本のサービス分野における将来のサービスロボットの市場規模が全体の 50% となる 2.6 兆円になると予測している。このようにサービスロボットへの期待が高まる中、IDC Japan 株式会社が 2018 年に発表した「国内サービスロボット／ドローンユーザー利用動向調査結果」 [5] によると、サービスロボットの活用領域は、「受付／案内／接客」が 34.8% で最も高く、顧客と対話するコミュニケーションロボットへの需要が高い。また、2018 年に開発されたサービスロボットの動向に関する調査結果 [6] では、ホビー（17.9%）、教育（15.4%）、見守り・コミュニケーション（8.9%）、アミューズメント（7.7%）、家事支援（5.8%）、案内受付（5.1%）と続き、ロボットのコミュニケーションに関する機能への需要は高い。

現在、業務の高コスト構造を改善するために、業務を行うロボットだけでなく、機能（サービス）を提供する制御用ソフトウェアをクラウド経由で貸し出す RaaS（Robot（あるいは、Robotics）as a Service）に関する事業が普及し始めている [7]。RaaS では、ロボットの稼働状況などもクラウド上で管理できるため、ロボットの台数や使用量、使用時間などに合わせた課金の仕組みを提供でき、初期導入費なしにロボットを提供するビジネスも展開されている。また、RaaS では、人間とのコミュニケーションに必要な音声・画像処理機能をクラウド上の深層学習を用いて実装でき、各種設定もロボット上で行うのでは無く、クラウド上でできるため、専門知識の無いユーザーも容易に利用できる点も普及に貢献している。

以上のように、コミュニケーションロボットへの需要はますます高まっており、人間のような自然なコミュニケーションを実現するためのシステム開発も盛んに行われている。実際、様々なチャットボットが開発され [8, 9]、リアルな実体を持つコミュニケーションロボットにも容易に実装できるようになった。仮想空間上のチャットボットとの大きな違いは、コミュニケーションロボット自体が我々人間の存在を認識し、我々が見ている世界をも認識していると感じさせてしまう点である。その結果、ロボットとのコミュニケーションにおいて、人間が使っている言語ラベルとしての記号と実世界の意味を結びつけること（シンボルグラウンディング問題への対処）、「わかる」

† Research and Development Towards Social Implementation of Communication Robots
Naoyuki KUBOTA

* 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科
Graduate School of Systems Design, Tokyo Metropolitan University

ことを期待してしまう。おそらく、スマートスピーカーやスマートデバイスには期待しないであろう。

本稿では、まず、RaaS を中心としたコミュニケーションロボットに関する研究開発の現状について簡単に紹介する。次に、我々人間が行っているコミュニケーションについて説明した上で、コミュニケーションロボットに求められる能力について考える。最後に、コミュニケーションロボットとの未来について展望する。

2. コミュニケーションするロボット

2.1 コミュニケーションロボットの社会実装

近年のコミュニケーションロボットの多くは、音声・画像認識などの機能をクラウドシステムに頼っている。Cyber-Physical System (CPS) では、物理世界のデータを IoT デバイスなどで計測・収集し、仮想世界上のビッグデータを解析・学習した上で、それらの結果を物理世界での制御やサービスにフィードバックする [10]。RaaS は、まさに CPS を具現化している。

国内における RaaS の先駆的事例であるソフトバンクロボティクスの Pepper の法人モデル「Pepper for Biz」[11] の導入企業数は、2018 年 10 月現在、2000 社を超えたという。Pepper for Biz 基本プランでは、業界にあわせた会話や動きを設定した 200 テンプレートが用意され、誰でも簡単にアプリケーションを作成することができ、さらに、必要にあわせて、顧客へのクーポンの配信や写真撮影などのサービスなど、様々なサービスをインテグレーションすることができる。例えば、山口ら [12] は、これらのサービスを用いて、各種センサによる性別や年齢の推定、さらに表情変化を利用した商品推薦を行うとともに、インタラクションによる客のニーズ収集に向けた実証実験を行っている（図 1）。

海外での RaaS の例として、Aeolus Robotics 社の「アイオロス・ロボット」[13] のレンタルサービスが 2019 年に開始される予定である。クラウドではなくロボット内に高度な物体検知・空間認識・生体信号検知機能が実装され、介護施設内の監視や日用品の運搬といった介護士の業務サポートを行うことを目的に開発され、空港・ホテル・レストラン・病院などの公共施設内のパトロールや配達業務にも展開される予定である。

富士ソフト社の PALRO [14] は、できる限り、PALRO 内で音声対話などの基本処理を行っているが、クラウドサービスとの連携も進んでおり、現在、多くの高齢者施設などで用いられている。レクリエーションのコンテンツが豊富で、1 年間を通して、様々なエンターテインメントを提供する。例えば、大保らは、PALRO の多様なコミュニケーション機能を活かして、ショッピングセンターを対象とした情報推薦に関する実証実験を行っている [15]。

Double Robotics 社の Double [16] は、人間との直接的なコミュニケーションを対象とはせず、人と人を繋げるインタフェースとなるテレグジスタンスの環境を提供する。また、オリイ研究所 [17] は、孤独の要因となる移動・対話・役割などの問題を解決し、これからの時代の新たな「社会参加」を実現するために、OriHime や OriHime-D を開発した。OriHime は、「その場にいる」ようなコミュニケーションを実現し、テ

図 1 Pepper を用いたサービスの実証実験例 [12]

図 2 PALRO を用いたショッピングセンターにおける情報推薦の実証実験例 [15]

レワークなどに用いられている。OriHime-D は、遠隔で接客やものを運ぶ業務などを行うことができ、カフェでの実証実験が行われている。

紙面の関係上、多くを紹介できないが、ヴイストンの「Sota」[18] やシャープの RoBoHoN [19] も様々なシーンで用いられ、ハウステンボスの「TELLBO」[20] やユカイ工学の「BOCCO emo」[21] など、積極的に触りたくなるようなデザインも増えてきた。

2.2 コミュニケーションロボットの機能と課題

上述のように、コミュニケーションロボットは、人との直接的なコミュニケーションだけでなく、人と人を繋ぐコミュニケーションを間接的に支援する。本稿では、近年のコミュニケーションロボットの利用シーンを (1) テレグジスタンス支援、(2) 個人特化支援、(3) 場所依存支援、(4) 一般情報支援に分類する。

テレグジスタンス支援では、テレワークや単身赴任、入院など、離れて暮らす人のために用いられ、人と人のコミュニケーションを自然に繋ぐ。話した内容や顔の表情などにしたがって、相手側のロボットがジェスチャや顔などの表出を行い、あたかも本人と会話を行っているかのような演出を行うインタフェースの役割を果たす。離れた人々がメッセージのやりとりを気軽に行えるように、子供やペットをイメージした親しみやすいデザインが増えている。実際、長期間に渡り、使用すると、その人のように思えてくるという意見もあり、非常に有意

義な社会実装である。一方で、これらのロボットの多くは、オフライン時に動作や会話などが無いため、オフライン時のコミュニケーションのデザインをどのように行うかが課題の一つである。

個人特化支援では、独居高齢者などを対象とした日常生活における見守りや情報支援が行われる。例えば、コミュニケーションロボットとの会話などを通して収集された個人情報に基づき、適切な発話内容が選択されたり、さらには、スマートデバイスのコンテンツとの連携に基づき、通院や各種予定の通知などを行う [22, 23]。しかしながら、個人情報を利用した発話には、プライバシーを伴う内容もあるため、個人宅に来客などがあった際の発話内容の取捨選択方法なども重要な課題の一つである。

場所依存支援では、空港や観光地、美術館、ショッピングセンターなど公共空間での情報支援が主な業務である [24, 25]。現在は、デジタルサイネージやタッチパネルを用いたインフォメーションサービスの置き換えが中心であり、利用者の目的地までの物理的な誘導支援などは限定的に用いられている。情報支援に関して、電車やバスの発車時刻の案内や天気や災害情報の案内は、比較的、容易に行える。実際、イベントの開催情報案内など、Linked Open Data (LOD) との連携が進みつつある反面、当該施設の案内や近隣で公開されている情報の多くが PDF であるため、ロボットの発話用としての再利用が困難であるというコンテンツの問題がある。例えば、美術館や科学館で用いられている音声ガイドレシーバーの音声情報は、多くの場合、コンテンツが長く、インタラクティブなロボットとのコミュニケーション用には設計されていない。もし、各種説明用の文章・音声データが複数の短めの文章で構成され、さらに、関連キーワードのタグ付け（属性付与）ができるのであれば、受付用ロボットの質疑や順路に沿った案内だけでなく、美術館や科学館の案内 web ページ上で、チャットボットを用いた質問コーナーにも活用できる。また、近隣の商店街も、このようなコンテンツを利用することができれば、様々なサービスと連携できる（図 3）。さらに、利用者の属性にあわせて、話し方さえも適応的に変えることができれば、自然なコミュニケーションを実現できる。これからは、様々な用途を考慮したコンテンツのデザインを行う必要があり、コンテンツのデザイン次第では、個人を対象とした支援だけでなく、地域コミュニティの支援にも繋げることができる [26, 27]。

一般情報支援では、スマートスピーカー的な役割が期待される。個人特化支援とは異なり、例えば、不特定の利用者から「明日の天気は？」や「エアコンをつけて」などの問いかけに対し、パッシブに機能し、ロボット側からは、挨拶などの一般的な会話以外、アクティブにコミュニケーションを行わない。音声対話による最低限必要な情報支援を求めるのであれば、ロボットとしての物理的な存在感は不要であり、コミュニケーションロボットはスマートデバイスの置き換え的存在となり、そのような観点からコミュニケーションロボットが不要とまで言われている。しかしながら、コミュニケーションロボットは、顔やジェスチャーなど、ノンバーバルな物理的反応を伴うため、無機質感が少なく、親しみやすい。したがって、利用

図 3 コミュニケーションロボットとコンテンツのデザイン

者の嗜好にあわせた選択にゆだねるカタチで、様々な形状のスマートスピーカーとコミュニケーションロボットの商品化が展開されていくと考えられる。

3. ロボットのコミュニケーション

3.1 コミュニケーション技術

前章では、コミュニケーションロボットの社会実装の現状について説明し、利用シーンを分類した上で今後の課題について検討したが、本章では、自然なコミュニケーションを実現するために必要な理論と技術について考える。前にも述べたが、コミュニケーションロボットの普及に伴い、時間と場所、経験を共有するロボットに対し、利用者自身、つまり、自分という存在をも理解して欲しいと期待してしまうかもしれない。例えば、ペットの犬は、飼い主と経験を共有することにより少しずつ学習が進み、その空間における互いの共存・共生のあり方を調整しつつ、社会的な関係性を構築する。そのような関係性の構築には互いの存在を理解し合うことが不可欠であろう。

現在、深層学習が社会に深く浸透し、我々は、音声・画像認識技術をはじめ、日常生活においてその恩恵を受けている。画像・音声認識技術の多くは、何らかの特徴を抽出し、それが最終的に何であるか、人間が理解可能な言語ラベルとして出力する。一般に、シンボルグラウンディング問題は、記号システム内の記号（ここでは、言語ラベル）と実世界における意味を結びつけることができるかという問題である [28–30]。何らかの言語ラベルを最終的に出力する認識技術は、シンボルグラウンディング問題を解いていると言えるのであろうか。例えば、人間がコミュニケーションロボットにリンゴを見せて、ロボットから「そのリンゴ、おいしそうだね」と返答があり、人間が「そうだね」と話したとしよう。現在、このような会話は、難なく実現できる。コミュニケーションロボットやチャットボット、スマートスピーカー（以下、これらをまとめて、スマートエージェントと呼ぶことにする）は過去の膨大な会話データから学習した発話システムを用いて、意味が通じそうな発話を行う。つまり、スマートエージェントは、意味を理解しているとは言いがたく、単に人間が理解できそうな意味を含む発話をしているに過ぎない。スマートエージェントの音声・画像認識シ

システムは、日々、膨大なデータを吸収し、人々が利用することによって、さらに学習し続ける。それを利用するスマートエージェントとコミュニケーションを行っている人間は、いったい何と話をしているのか、考えさせられる。もちろん、スマートエージェントは、利用者の個人情報も利用し、コミュニケーションを通して利用者の嗜好などを抽出し、あたかも利用者に適応しているように思える。しかしながら、利用者である自分という存在を理解しているのかはよくわからない。逆に考えると、どのような要素があれば、利用者である自分という存在を理解していると思えることができるのか、次の節で考えてみる。

3.2 コミュニケーションにおける階層性と意図共有

新学術領域「共創的コミュニケーションのための言語進化学」では、「階層性」と「意図共有」を2つの柱として、言語進化（共創言語進化）のメカニズムを解明しようと試みている [29, 30]。例えば、日本語で「魚の赤いカバン」が意味する内容は、図4に示すように、少なくとも3種類の解釈が考えられよう。基本的に3つ以上の記号が組み合わせられる場合、構造依存性が生じ、複数の階層構造の可能性が生じてしまう [30]。また、図5のように、「魚の赤いカバンを取って」と言われれば、我々は、どれを選択すべきか、迷ってしまうであろう。それは、グライスの4つの格率のいずれかが満たされていないからである [26, 31]。グライスは「会話における自身の貢献を、そのときどきに参加している会話のやりとりの中で合意されている目的や方向性にあうようにせよ」という協調原理と以下の4つの格率を提案した。

- 量の格率：会話の目的に必要な情報量は与え、それ以上は、与えないようにせよ
- 質の格率：真であることを言うようにせよ
- 関係性の格率：関連性のあることを言うようにせよ
- 様態の格率：わかりやすい言い方をするようにせよ

受け手は、話し手が上述の4つの格率に従って情報提供していると期待している。先ほどの例では、量の格率に従うと「赤い絵のカバン」と言えば十分であろうし、関係性の格率に従えば「机の上のカバン」と言えば一つに特定できる。

スペルベルとウィルソンの関連性理論 [31] では、話し手や聞き手が関わっている環境を「認知環境」とし、話し手の認知環境に近い形に聞き手の認知環境を拡張することで「相互認知環境」として共有されると考えられている。聞き手が認知している環境情報に基づき、伝えたいことをより少ない言葉で適切に伝わるように表現している（関連性の伝達原則）。話し手は、時々刻々と認知環境の想定を更新しながら、聞き手とのコミュニケーションを進める。したがって、この例において、机の上を相互認知環境として共有するために、まず「机の上をみて」と言った後に、「カバンを取って」と言えばよい。しかし、このコミュニケーションロボットに「カバンを取って」とお願いすれば、把持するだけで動かないかもしれない。ここで、我々が期待している「取って」という言葉には、単に「取る」という行為だけでなく、「持ってくる」という行為も暗に含まれて

図4 「魚の赤いカバン」の解釈における階層性

図5 ロボットとの意図共有

図6 過去把持と未来予持

いる。つまり、このロボットに対し様態の格率が満たされていない。したがって、コミュニケーションロボットには、「机の上のカバンを取って、持って来て」とお願いすべきであろう。我々が行っている円滑なコミュニケーションでは、実に多くのことを潜在的に考慮していることがわかる。

3.3 コミュニケーションにおける記憶

円滑なコミュニケーションを行うためには、4つの格率や関連性理論を考慮した上で、過去の経験も考慮する必要がある。例えば、図6のように、翌日に「カバンを取って」とお願いすれば、共有された過去の経験の記憶にしたがい、昨日と同じカバンを選択できるだろう。現象学 [32] では、経験において、何かが「意識に残る」意識のされ方を過去把持と呼び、自覚せずに予測している意識の働きを未来予持と呼ぶ。人間のもつ想定とは、今に直属する過去把持と未来予持を含んでおり、コミュニケーションにおいて、未来予持にあわせて互いの認知環境を拡大・縮小し、相互認知環境として共有していると考えられる。円滑なコミュニケーションを行うためには、このような能力をコミュニケーションロボットにも持たせる必要がある。

一般に、記憶は時間的な観点から短期記憶と長期記憶に分けられ、長期記憶は陳述記憶と非陳述記憶に分類される [33]。陳述記憶は、さらにエピソード記憶と意味記憶に分類される。人間との円滑なコミュニケーションを実現するためには、エビ

ソード記憶に基づく経験の共有が重要になる。例えば、筆者らは、人間との円滑なコミュニケーションを実現するために、エピソード記憶に基づく学習方法を提案してきた [34]。具体的には、各種センサネットワークデバイスを用いて得られた人間の状態や物体に関する情報から人間の認知環境を推定し、人間が行う行為と物体との対応関係を学習し、これらの学習結果を次のコミュニケーションに反映する (図 7)。

3.4 エピソード記憶に基づくコミュニケーション

本研究では、学習された行為と物体の関係性に基づき、人間の次の行動を予測するために、ナイーブベイズを用いた手法を提案した。実験例として、ロボットが想定する人間の認知環境内の物体の情報を用いて机の上にある物体を認知した後部屋の中から何を選択するのかを予測し、推定した認知環境と予測に基づくコミュニケーションを紹介する。ここでは、実験の簡単化のために、図 8 における実験環境内の物体は、事前に Convolutional Neural Network (CNN) にて認識できるように学習を行った。また、OpenPose [35] を用いて RGB 画像を入力として全 25 点の身体部位の情報を獲得し、CNN を用いて、人間の向きの推定と行動推定を行った。ここで、人間の向きに合わせて、人間の認知環境内にあるであろう物体の認識を行い、これを想定として扱い、過去に人間が扱った物体の時系列の関係性からナイーブベイズを用いて次の行為の予測を行う (未来予持)。

エピソード記憶に基づくコミュニケーションの有効性を示すために、以下のような実験を行った。具体的なシナリオとして、被験者が帰宅した際、「ワインを買ってきたよ」と、ロボットにワインボトルを見せて、グラスを取りに左側のキャビネットの方に向かう。ここで、相互認知環境を介したコミュニケーションに関して、以下の 3 種類の条件で実験を行った。

- (実験条件 1) 未来予持された想定と一致する場合
- (実験条件 2) 未来予持された想定と一致しない場合
- (実験条件 3) 未来予持された想定における物体が認知環境内に無い場合

実験条件 1 では、ワイングラスを取って、座椅子に座ると、ロボットは、「ワイングラスで飲むと美味しいよね」と発話した。実験条件 1 での学習により経験が更新された後、次に、実験条件 2 として、上述のように、ロボットにワインボトルを見せた後、キャビネットにグラスを探しに行く。しかしながら、被験者は、ワイングラスではなく、コップを取ると、未来予持された想定と異なるため、「コップで飲むなんて珍しいね」と発話した。最後に、実験条件 3 として、ロボットにワインボトルを見せた後、キャビネットにグラスを探しに行くが、グラスの探索に時間がかかり、未来予持された想定における物体 (ワイングラス) が認知環境内に存在しないため、ロボットは、「ワイングラスなら反対の棚にあるよ」と発話した。このように、利用者と共有された経験をエピソード記憶として学習し、それを活用することにより、コミュニケーションが円滑に進む。ただし、このような実験結果を示しても、シンボルグラウンディング問題を解いているのかどうかは明確にはわからない。記号

図 7 エピソード記憶に基づく学習

図 8 エピソード記憶に基づくコミュニケーションの実験例

の意味とは何かを明確に定義することはできないが、少なくとも経験を共有することにより、意図共有はできそうである。

4. さいごに

本稿では、まず、コミュニケーションロボットの市場動向を紹介し、RaaS の現状について概観した上で、コンテンツのデザインに関する問題やシンボルグラウンディング問題など、コミュニケーションロボットの社会実装と運用の難しさについて説明した。特に、コミュニケーションにおける構造依存性の問題は、我々人間も理解に苦しむシーンが多々ある。コミュニケーションロボットを社会実装していく上で、これらの問題も知能化技術の高度化により少しずつ改善できるかもしれないが、様々なコミュニケーションロボットが次々と商品化されていくのは間違いない。

最後に、コミュニケーションについて、別の観点から考えてみることにする。1950 年代にテレビを中心としたメディア革命がおこったとき、「メディアとは身体拡張である」とする身体拡張説を唱えたマクルーハンは、「人間が使う技術というのは、身体の活動の延長であり、メディアを使用することで、人間が行いうる記号活動の範囲は拡大する」と述べた [36, 37]。さらに、マクルーハンは、メディアは「メッセージ」とであると定義した上で、「新聞であれ、テレビであれ、人々が社会の情報に接するとき、その内容としてのメッセージを受け取って

るので無く、そういうメディアに接することで生活のスタイルを作っている。情報を知ることにより、それに揺さぶられる快感を目指している」と述べ、メディアは「マッサージ」であると言い換えた。まさに現在の状況そのものである。また、我々人間は、SNSを通して、互いに新しい情報を創出し、共有するとともに、スマートエージェントは、その情報から学習し続けている。

現在、我々が利用するメディアは、Virtual Reality (VR) として融合され、VR は、ネットゲーム内でのプレイヤー間の連携だけでなく、ダンスパーティ [38] などの社会的なイベントも展開されており、今後は、疑似恋愛 [39] までも演出してしまうかもしれない。日々、メディアは進化・成長し、近い将来、スマートエージェントが利用者の代わりにイベントに参加し、疑似恋愛までもこなしてくれるかもしれない。

グリーンフィールド [40] が予測したように、VR の中で多くのことができるようになり、実環境では自分の代わりにコミュニケーションロボットが、会話の間を紡ぎつつ、相手の意図を理解し、こちらの意図を伝え、半自律的に交渉を成立させ、さらに、人工知能は、その交渉自体をも学習し、次の交渉に備える、そんな時代が近づいている。

人工知能は、ありとあらゆるデータを飲み込もうとするが、質の高いデータを選ばないと、質の高い学習はできない。Human-in-the-loop [41] では、専門的な知識を持つ人間が人工知能と協力しながら学習を展開していく人間参加型の機械学習の重要性を示唆し、コミュニケーションロボットは、そのインタフェースになり得る。また、半教師あり学習 [42] では、自らデータを選別しながら教師データを生成し、学習を進める。さて、学習し続けるスマートエージェントの挙動は、StarTrek に出てくる Borg [43] に似ているように思える。Borg は、全宇宙の文明、文化、知能を吸収同化しようとする。Borg に所属する生命体は「ドローン」と呼ばれ、ドローンには個人という概念がなく、集合体という共有意識をもって活動し、脳に直結された通信装置で常に情報を共有している。ドローン自体は、集合体全体の意思決定に従い行動するため、個別に意思決定や判断を行わない。我々、現在の人間は、集合体として物理的に結合されてはいないが、協調フィルタリングの結果に基づく推薦情報を、深く考えることなく、そのまま利用している。また、スマートエージェントから、日々の生活に有益な情報を受け取り、それに従っている。つまり、集団で全体の意思決定を生み出し、それに束縛される。この意思決定の過程は、Borg のような挙動であり、人工知能がイニシアティブをとった Human-in-the-loop もまた、Borg のような挙動になるのかもしれない。Borg のエピソードで、一番、興味深かったのは、ピカード艦長が同化から戻ったとき、「Borg の中では意思決定から解放され、心地よかった」というようなことを言ったことである。決断することや取捨選択には、苦痛を伴うことが多い。コミュニケーションロボットは、人間と経験を共有することにより、この苦痛を共有してくれるのか、この苦痛を和らげてくれるのか、考えさせられる。近い将来、コミュニケーションロボットの存在意義を考えつつ、経験が共有できることを活かした自然なコミュニケーションが実現できることを期待する。

謝辞

本稿の執筆にあたって、橋本智己先生には、有益な助言をいただいた。また、本稿の階層性と意図共有に関する議論は、新学術領域「共創的コミュニケーションのための言語進化学」における議論から多くの知見を得たものであり、関係諸氏に謝意を表する。

参考文献

- [1] A. M. Turing: "Computing Machinery and Intelligence," *Mind*, Vol.59, pp. 433-466, 1950.
- [2] 人工知能学会: チューリングテストと中国語の部屋. <https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/AItopics3.html> [accessed Sep. 5, 2019]
- [3] International Federation of Robotics: WR 2018 Service Robots press release Japanese. https://ifr.org/downloads/press2018/2018-10-18_PR_IFR_WR_2018_Service_Robots_Jap.pdf [accessed Oct. 18, 2018]
- [4] 経済産業省: ロボット産業市場動向調査結果, 2013.
- [5] IDC Japan 株式会社: 国内サービスロボット／ドローンユーザー利用動向調査結果. <https://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/20180822Apr.html> [accessed Apr. 8, 2019]
- [6] 2018 年に国内で開発されたサービスロボットの動向に関する調査結果を発表. <https://www.asratec.co.jp/2019/01/31/23946/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [7] 総務省: 平成 30 年版情報通信白書. <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/30honpen.pdf> [accessed Sep. 5, 2019]
- [8] IBM: IBM Watson. <https://www.ibm.com/watson/jp-ja/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [9] 株式会社マックスマウス: 頼友. <https://aiyoritomo.com> [accessed Sep. 5, 2019]
- [10] R. Baheti and H. Gill: "Cyber-physical Systems," *The Impact of Control Technology*, Vol.12, No.1, pp. 161-166, 2011.
- [11] ソフトバンクロボティクス: Pepper for Biz. <https://www.softbankrobotics.com/jp/product/biz2/> [accessed Apr. 8, 2019]
- [12] 木村慶, 大西佑城, 下川原 (佐藤) 英理, 山口亨: "対話ロボットによる情報推薦とインタラクションがもたらすユーザ状態の変化獲得," 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 1881-1884, 2017.
- [13] Aeolus Robotics (アイオロス・ロボティクス). <https://aeolusbot.com/our-robots/> [accessed Apr. 8, 2019]
- [14] PALRO. <https://palro.jp> [accessed Sep. 5, 2019]
- [15] 杉本昇大, 大保武慶, 久保田直行: "店舗案内のための没入感を高めるマルチロボットコミュニケーション," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 講演論文集, 1A1-C01, 2019.
- [16] Double 2 遠隔プレゼンスシステム. <http://www.nihonbinary.co.jp/Products/Robot/double.html> [accessed Sep. 5, 2019]
- [17] オリイ研究所. <http://orylab.com/> [accessed Apr. 12, 2019]
- [18] Sota. <https://sota.vstone.co.jp/home/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [19] RoBoHoN. <https://robohon.com/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [20] TELLBO. <https://www.huistenbosch.co.jp/event/tellbo-robot/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [21] BOCCO emo. <http://www.bocco.me/emo/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [22] J. Szeles, N. Kubota, and J. Woo: "Weather Forecast Support System Implemented into Robot Partner for Supporting Elderly People using Fuzzy Logic," *Proc. of 2017 Joint 17th World Congress of Int. Fuzzy Systems Association and 9th Int. Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems*, pp. 1-5, 2017.
- [23] W. Woo, K. Wada, and N. Kubota: "Robot Partner System for Elderly People Care by using Sensor Network," *Proc. of 2012 4th IEEE RAS & EMBS Int. Conf. on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, pp. 1329-1334, 2012.
- [24] Y. Shimizu, S. Yoshida, J. Shimazaki, and N. Kubota: "An Interactive Support System for Activating Shopping Streets using Robot Partners in Informationally Structured Space," *Proc. of 2013 IEEE*

Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts, pp. 70-75, 2013.

- [25] S. Sun, T. Takeda, H. Koyama, and N. Kubota: "Smart Device Interlocked Robot Partners for Information Support Systems in Sightseeing Guide," *Proc. of 2016 Joint 8th Int. Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems and 17th Int. Symp. on Advanced Intelligent Systems*, pp. 586-590, 2016.
- [26] 久保田直行: "人間共生システムにおけるコミュニケーションのデザインからエクスペリエンスのためのデザインへ," 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.27, No.6, pp. 182-192, 2015.
- [27] 久保田直行: "コミュニティとシステム," 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.29, No.4, pp. 120-127, 2017.
- [28] S. Harnad: "The Symbol Grounding Problem," *Physica D: Non-linear Phenomena*, Vol.42, Issues 1-3, pp. 335-346, 1990.
- [29] 共創的コミュニケーションのための言語進化学. <http://evolvinglinguistics.net/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [30] 橋本敬: "コミュニケーションの3つのレベルにおける接地・脱接地," 日本認知科学会第32回大会, pp. 116-119, 2015.
- [31] D. Sperber and D. Wilson: *Relevance – Communication and Cognition*, Blackwell Publishing Ltd., 1995.
- [32] 山口一郎: 実存と現象学の哲学, 放送大学, 2009.
- [33] L. R. Squire and S. M. Zola: "Structure and Function of Declarative and Nondeclarative Memory Systems," *Proc. of the National Academy of Sciences*, Vol.93, No.24, pp. 13515-13522, 1996.
- [34] 久保田直行: "コミュニケーションロボットのための認知環境に基づく行動認識," 画像ラボ, 2019 (予定).
- [35] Z. Cao, T. Simon, S. E. Wei, and Y. Sheikh: "Realtime Multi-person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields," *Proc. of 2017 IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 1302-1310, 2017.
- [36] M. McLuhan: *Understanding Media: The Extensions of Man*, McGraw-Hill, 1964.
- [37] 石田英敬: 現代思想の地平, 日本放送出版協会, 2005.
- [38] バーチャル空間でのDJライブ. <http://wavexr.com> [accessed Sep. 5, 2019]
- [39] 伊藤匠: VRなんて絵空事. <http://renga.com/anzai/lab/esoragoto/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [40] スーザン・グリーンフィールド: 未来の私たち, NPO 科学技術社会研究所, 2008.
- [41] The Power of Human-in-the-Loop: Combine Human Intelligence with Machine Learning. <https://blogs.technet.microsoft.com/machinelearning/2016/10/17/the-power-of-human-in-the-loop-combine-human-intelligence-with-machine-learning/> [accessed Sep. 5, 2019]
- [42] 鈴木大慈: "機械学習の概要," 応用数理, Vol.28, No.1, pp. 32-37, 2018.
- [43] Borg. https://intl.startrek.com/database_article/borg [accessed Sep. 5, 2019]

(2019年6月20日 受付)

[問い合わせ先]

〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

首都大学東京大学院 システムデザイン研究科

久保田 直行

E-mail: kubota@tmu.ac.jp

—— 著 者 紹 介 ——

久保田 直行 [正会員]

1992 年大阪教育大学教育学部教養学科卒業。
1994 年北海道大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。1997 年名古屋大学大学院工学研究科マイクロシステム工学専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。1997 年大阪工業大学工学部機械工学科助手, 1999 年同講師。2000 年福井大学工学部知能システム工学科助教授, 2004 年東京都立大学大学院工学研究科機械工学専攻助教授となり, 2005 年首都大学東京システムデザイン学部ヒューマンメカトロニクスシステムコース准教授, 2012 年同教授, 2018 年首都大学東京システムデザイン学部機械システム工学科教授, 現在に至る。その間, 2002 年から 2008 年まで科学技術振興機構研究員兼任。英国王立協会客員教授 (ポーツマス大学, 2007 年)。韓国ソウル国立大学客員教授 (2009 年から 2012 年) 他。IEEE, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会, システム制御情報学会, 日本機械学会, などの会員。