

ロボットに「身体」と「心」は必要か：
HAI 研究のこれまでと今後の展望
Does a robot need “body” and “mind”?:
History and future perspective of HAI studies

鈴木 聡^{1*} 今井 倫太² 竹内 勇剛³
Satoshi V. Suzuki¹ Michita Imai² Yugo Takeuchi³

¹ 成蹊大学理工学部

¹ Faculty of Science and Technology, Seikei University

² 慶應義塾大学理工学部

² Faculty of Science and Technology, Keio University

³ 静岡大学創造科学技術大学院／情報学部

³ Graduate School of Science and Technology / Faculty of Informatics, Shizuoka University

Abstract: Recent developments in information and communication technologies and robotics have enabled smooth human-agent interaction (HAI) in our daily life. Researchers of HAI have adapted various approaches to design and evaluate agents; however, the lack of communication among the researchers, focusing on different goals of agent design, may prevent the development of agents for practical use. In this paper, the authors review the history and recent trends in HAI studies from the following perspective: embodiment of the agent, function to adapt environment of the agent, and researchers' viewpoint to interpret behavior of the agent. Based on the review, the authors propose the future scope of HAI studies.

1 はじめに

自然言語処理, 音声対話, 感性情報処理, コンピュータグラフィックス (CG), ロボティクスなどの要素技術の発達に伴い, 計算機環境における人間とエージェントの社会的インタラクション (ヒューマンエージェントインタラクション: HAI) の有用性が高まっている. なお HAI におけるエージェントの定義は多岐にわたると考えられるが, 本稿では [Russell 03, 馬場口 15] の議論を踏まえ, 環境認識, 長期の持続性, 変化への対応といった特徴を持ち合わせた, 人間や環境の相互作用を志向するシステムのことを指す. 2030 年頃には, 定型的な業務のみならず不定形業務に対しても, 人間との対話を通して, こうしたエージェントによる情報処理が人間と代わって業務を推進できるとする技術予測も存在す

る [NTT 技術予測研究会 15]. そしてこれまでこのような要素技術を活用しながら, 数多くの人間とエージェントの社会的インタラクションに関する研究がなされてきた [山田 07, Cassell 00, Prendinger 04]. こうした研究を通じた知見の蓄積と要素技術の発展により, HAI はますます日常生活の中に浸透すると予想できる.

本稿では, 以下の 3 つの論点をもとにこれまでの HAI 研究におけるエージェントの位置づけを振り返り, 今後の研究の展望を示す. 第 1 の論点は, エージェントは身体を持つ必要があるかという点である. エージェントが身体を持つという前提なしに, ユーザとの円滑な相互作用が成立するかということである. 身体を持たない, 表象された知識モデルに基づくエージェントの設計では環境の変化に堪えられないという批判は人工知能に関する議論の中で古くから存在する [Dreyfus 72, Brooks 91]. HAI においては人間とのインタラクションという領域に絞ってエージェントを設計すれば事足りるともいえるが, それでも身体を持つという前提が必要かどうかという議論がある. 第 2 の論点

* 連絡先: 成蹊大学理工学部システムデザイン学科
〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1
E-mail: ssv@svslab.jp

は、エージェントの適応性について、つまりエージェントはユーザや環境の認識とフィードバックに関する高度に知的処理を行う機能を持つ必要があるか、そしてそのような機能はどの程度高度であれば十分なのかという点である。そして第3の論点は、エージェントの設計の際に、ユーザ視点を持つべきかどうかという点である。[Norman 91]の人工物の振る舞いに関する視点の分類として、ユーザ、ユーザが取り組むタスク、ユーザとタスクを媒介する人工物を三人称的にすべて含む視点（システムビュー）、人工物を介してタスクに取り組むユーザ本人からの一人称視点（パーソナルビュー）を挙げている。これを踏まえ、本稿では、ユーザ視点で人工物を捉え、ユーザが無自覚に人間とみなし、人間と同様の社会的インタラクションを行う人工物としてユーザ視点のエージェント、設計者視点で人工物を捉え、ユーザと社会的インタラクションを行うことを想定して設計された人工物として設計者視点のエージェントと定義する。いずれの定義においても、アニメーションを伴うCGキャラクターである身体化エージェントや、ヒューマノイドロボットなど、外観・挙動から「人間らしさ」が誘発される要素を持つ人工物がエージェントの典型例として挙げられるが、後述するように人間は些細な手がかりから無自覚に「人間らしさ」を見いだすことや、「人間らしい」外観を持たなくとも人間の社会的インタラクションが誘発されるエージェントの設計を試みる研究も多数存在する点に注意が必要である。本稿では、これまでの人間とエージェントの社会的インタラクションに関する研究を上記の3つの論点を軸に振り返り、エージェントの研究の進め方について今後の展望を述べる。

2 エージェントの「身体」と「心」をめぐる言説

2.1 人工物のエージェント性に関する研究の潮流

1950年代以降の人工知能研究の進展に伴い、自律的に振る舞い人間と相互作用する人工物の設計について研究が進められてきた。1970年代から1980年代にかけては、人間の認知能力を記号化し人工物に再現させようとするアプローチが主流であったが、人間と人工物をとりまく状況の理解など、多くの障壁に直面した[Suchman 87, Winograd 86]。その後、このような障壁を克服する流れとして、センサモータカップリングなどにみられる人工物の身体性に着目した研究[Pfeifer 99, Brooks 91]や自然界や生物の構造を

ヒントにした自律的に振る舞う人工物設計に関する研究[Pfeifer 99]が機械学習の研究とともに進展した[Suchman 87]。

その一方で、人工物の設計の違いから、人間がいかに人工物のエージェント性を見いだすかに着目した研究も歴史を持つ。Turingは模倣ゲームという名で人間の発言を真似た人工物について、人間と同等の知能を持つかどうかを判別することで人工物の知性を判断する手法を示した[Turing 50, Christian 12]。しかし、このような手法による人工物の知性の評価には大きな課題を残している。実際、来談者の発言のおうむ返しをベースとした対話によるカウンセリングの手法をプログラムとして実装したELIZAは、その単純さにもかかわらず対話を通してコンピュータが知性を持ちうると多くの人間に確信させるまでに至った[Weizenbaum 76]。Turkleは、コンピュータに関わる人々へのインタビューに基づき、コンピュータの仕組みの理解が進んでいない子供はコンピュータを生物とみなす傾向があるが、理解が進むにつれコンピュータを機械とみなす傾向が強まることを示し、コンピュータの知性に対する姿勢がコンピュータの仕組みの理解に依存することを主張した[Turkle 84]。さらに、Reeves and Nassは、実験室実験を通して、年齢やコンピュータの仕組みの理解に関係なく、人間はコンピュータとの相互作用の中で無自覚にコンピュータの人間らしさを見だし、対人的な応答をする傾向があると主張した[Reeves 96]。これらの知見、ならびに対話相手の実態を判断するという姿勢のもとでコンピュータないし人間とテキストベースで対話を行うという模倣ゲームという相互作用の形態が特殊であり、日常生活におけるコンピュータとの対話の中でも、コンピュータに対する知識が豊富なユーザであっても対話相手を人間と思いつく例も多い[Christian 12]ことから、一般に人間が無自覚にエージェントを人間とみなす傾向があるといえる。

2.2 人間はいかにエージェントの「身体」と「心」を見いだすか、もしくは見いだしているように見えるのか

人間は人工物の振る舞いに対して、振る舞いの原因を無自覚に見いだそうとする。その振る舞いの見いだし方について、[Dennett 87]は次の3つの段階があると説明している。物理法則に基づいて振る舞いとして理解する物理姿勢(physical stance)、ある決まったメカニズムに基づく機械的な振る舞いとして理解する設計姿勢(design stance)、そしてある意図を持った生物のような振る舞いとして理解する志向姿勢(intentional

stance) である。人間が人工物をエージェントとみなすケースは、エージェントは生物のような振る舞いをする存在と捉えられているため、志向姿勢に該当する [Reeves 96]。また、これに関連して、人工物に対する姿勢 (スタンス) を定量的に評価する試み [寺田 12] や、エージェントとのインタラクションの前にエージェントの動作原理についてあらかじめ教示した上で実験を行い、エージェントの印象について評価を試みた研究 [Sundar 00, Jettmar 02, 林 08] がある。これらの研究は、人間がエージェントが主体性を持って振る舞っていると知覚されることもありうるという前提で成り立っていると考えられる。

しかし、エージェントが主体性を持って振る舞っていると知覚することは、ユーザはエージェントが「心」を持っていると認識していることと等価ではない点に注意が必要である。人間は他者を理解する際に、自己の経験をもとにして他者の内面の推測をつねに行っているわけではない。そのような迂遠な認知過程を経なくても容易に、自動的に理解できる場面も多く、その裏づけになる知見も多数存在する [信原 14]。また、自己の経験以外にも偏見やステレオタイプに代表されるような、社会的知識に基づく他者理解など、自己の経験に依らない他者理解の認知過程も人間は生得的に持ち合わせている可能性も指摘されている [福島 11]。エージェントの理解については、人間はエージェントの内面の推測を行っているとする考えもある [今井 06] 一方で、エージェントと円滑にインタラクトできている状況である限りはユーザはエージェントの内面を推測せず、対人的な応答を無自覚に行うとする考え方もある [Nass 00]。以上の点から

- ユーザ視点のエージェントを考えた場合、ユーザはつねにエージェントの内面の推測を行っているという前提でユーザを捉えてよいのか
- 設計者視点のエージェントを考えた場合、ユーザの内面の推測に強く依存したエージェントとのインタラクション設計を行ってよいのか

という問題が浮上するが、この問題にどのように対峙すればよいかについては後に議論する。

2.3 エージェントが「身体」を持つことの影響

2.1 節にて述べたように、エージェントとしての人工物研究の中でも、身体を持たないエージェントとユーザとのインタラクションを対象にしたものは数多く、このような身体を持たないエージェントを対象にした「人間らしさ」についての議論も長い歴史がある。しかし、身体を持つエージェントの利点は大きいと考えられる。身

体を持つエージェントを呈示された環境の方がエージェントの呈示されない環境よりユーザへの影響が大きいことが示されている。古くは [Lester 97] が学習支援システムにおけるエージェントの身体のプレゼンスが学習者の学習経験にポジティブな影響を与える現象をペルソナ効果 (persona effect) と名づけた研究が知られているが、これを含め特に教育場面におけるエージェントの研究では身体のプレゼンスの有無による比較を行っておらず、エージェントの身体の有用性について十分な検討ができていない点が批判されている [Heidig 11]。そのような批判もある一方で、エージェントの身体的なプレゼンスがユーザに与える影響の大きさを、エージェントを扱った複数の実験結果に対するメタ分析から明らかにした研究も存在する [Yee 07]。もちろん外観の設計次第ではエージェントが身体を持つ利点なくなることもありうる [森 70, 小松 09] が、エージェントが身体を持つことを前提とした HAI の設計が重要と考えられる。

また、エージェントの身体は典型的なヒト型の CG キャラクタやヒューマノイドロボットばかりが研究の対象となっておらず、また実用を想定した場合においても典型的なヒトの外観を持つエージェントが最適であるとも限らないため、情報通信技術の柔軟性 [Fogg 03] という利点を生かしたエージェントの設計を行うことが重要である。まず、柔軟なエージェントの外観設計の基礎となる、人間が人工物の挙動から知覚される生物らしさ CG キャラクタであれば ITACO [小川 06] のように、エージェントの身体を投影する場所の自由度も高まる上に、エージェントの身体の呈示がなくてもエージェントの存在感をユーザに示すことも可能である。また、外観が PC やプリンタなど通常生物らしさを誘発するような外観を持たない人工物であっても、ユーザの動作に合わせた応答をしたり [吉池 09]、生物の身体に模したパーツを付与したり [大澤 08] することによって、ユーザにとってエージェントと認識されるような存在になりうる。

2.4 人間とエージェントにおける適応性と生得性

人間には身体や認知の機能についてあらかじめ備わっているものもあれば、環境との相互作用の中で身につくものもある。しかし、適応性と生得性という観点で心理学の歴史をたどると、このような人間観が大きく揺らぎながら知見が蓄積されてきたといえる。20 世紀前半に興った機能主義や古典的行動主義に基づく心理学では、心は「空白の石版 (blank slate)」であるという考えを前提に環境との適応を中心に人間を捉え、生得性の側面が

軽視されてきたが、その後そのような人間観による研究の限界が見え、20世紀半ばの認知革命を契機に人間の生得的な認知機構にも目が向けられるようになった歴史がある [Pinker 02]。このような経緯を経ながら、人間の身体・認知における機能の適応的な面・生得的な面双方が着目されるようになってきたのである。本稿ではこの考え方をエージェントの機能の見方にも導入し、エージェントの機能を捉える際にも適応性・生得性双方の側面に着目する。

3 HAI 研究における「心」と「身体」、適応性と生得性

以上の議論を踏まえて、エージェントの「心」と「身体」をどのように位置づけているか、そしてエージェントの持つ機能の「適応性」と「生得性」という観点でこれまでの HAI に関連する研究を概観する。図 1 にその関係を示す。

3.1 身体を持つことを前提としない生得的機能を重視したエージェント

身体を持つことを前提としない生得的機能を重視したエージェントの例としては、あらかじめ決められたルールに基づく動作のみであたかも知的な振る舞いをするかのように見えるプログラムという意味で、2.1 節でも言及した ELIZA やテキストベースの対話エージェントも含まれる。また、Media Equation [Reeves 96, Nass 00] の研究の中には身体化エージェントの身振りの大きさ [Isbister 08] や表情生成 [Brave 05, 中嶋 04] に着目した研究など、エージェントが身体を持つことを前提した研究も一部存在するが、主に対人社会心理学の知見において他者を PC に置き換えた実験室実験により、ユーザと PC のテキストベースのインタラクションの中で、テキストの誘発する最低限の社会的手がかりにユーザが応答することが示唆される研究が多くを占める。2000 年代に入り、前述の Nass ら自身の研究以外にも、エージェントに対する身体的な応答に着目した研究も現れた（たとえば [Takeuchi 05, 鈴木 08] など）が、これらの研究の基礎にはテキストベースのインタラクションに基づく Media Equation 研究の知見が存在する。

3.2 身体を持つことを前提としない適応的機能を重視したエージェント

身体を持つことを前提とせず、かつ環境に適応し学習する必要がある環境におけるエージェントの研究事例

としては、人狼ゲームでプレイヤーとして対戦可能なエージェントの開発 [篠田 14] が挙げられる。人狼ゲームは、プレイヤーが置かれた状況をすべて把握することが不可能な不完全情報ゲームであり、またプレイヤーごとに場に提供可能な情報をコントロールしたり、プレイヤー間のコミュニケーションが勝敗の鍵を握っていたりするなど、状況を分析的に捉えながら戦略を練るためのエージェント設計が不可欠であり、環境に適応する機能がエージェントに求められているといえる。エージェント間の社会的インタラクションを擬人化エージェントにより行う試み [小林 14] もあるが、人狼ゲームがもともと言語のみで進行するゲームで、オンラインでテキストベースで盛んにゲームが行われてきた経緯もあり [篠田 14] 身体を持つことを前提としない側面も強いと考えられる。

3.3 身体を持つことを前提とした生得的機能を重視したエージェント

エージェントの身体性を考慮した上で生得的機能を設計する事例も多数存在する。古くから存在する知識モデルをあらかじめ作り込む例もここに位置づけられるが、その限界もすでに指摘されており (1 節参照)、この問題をあらかじめロボットの設計段階で対処する方法も模索が進んでいる。コミュニケーションを指向するロボット [Brooks 99, Breazeal 02, 石黒 05] のように、環境からの入力に合わせる柔軟さをある程度備えながらもあらかじめ決められた機構に基づいて環境に対して応答する例もある。さらに、コミュニケーションの機能について前提を置かず、エージェントの外観の設計に重心を置き人間とエージェントの関係を捉える研究 [石黒 07] もここに位置づけられる。このようなエージェント設計のアプローチはヒトをはじめとした生物の模倣によることもあるが、生物の模倣を徹底して目指すことがゴールではなく、エージェントならではの機構を追求することが有益になりうる [浅田 10] 点にも注意が必要である。

3.4 身体を持つことを前提とした適応的機能を重視したエージェント

環境に適応する機能に着目しながら、身体を持つことを前提にエージェントを設計した事例も多数存在する。人間の応答に応じてエージェントの内部状態も変化するが、エージェントの応答に応じて対話相手の人間もまた内部状態が変化する点を前提にインタラクションを設計する人間とエージェントの相互適応 [岡 06, 小松 03, 山田 05, Xu 12] や、環境との相互作用により学習する機構を備えたロボットを通して人間の認

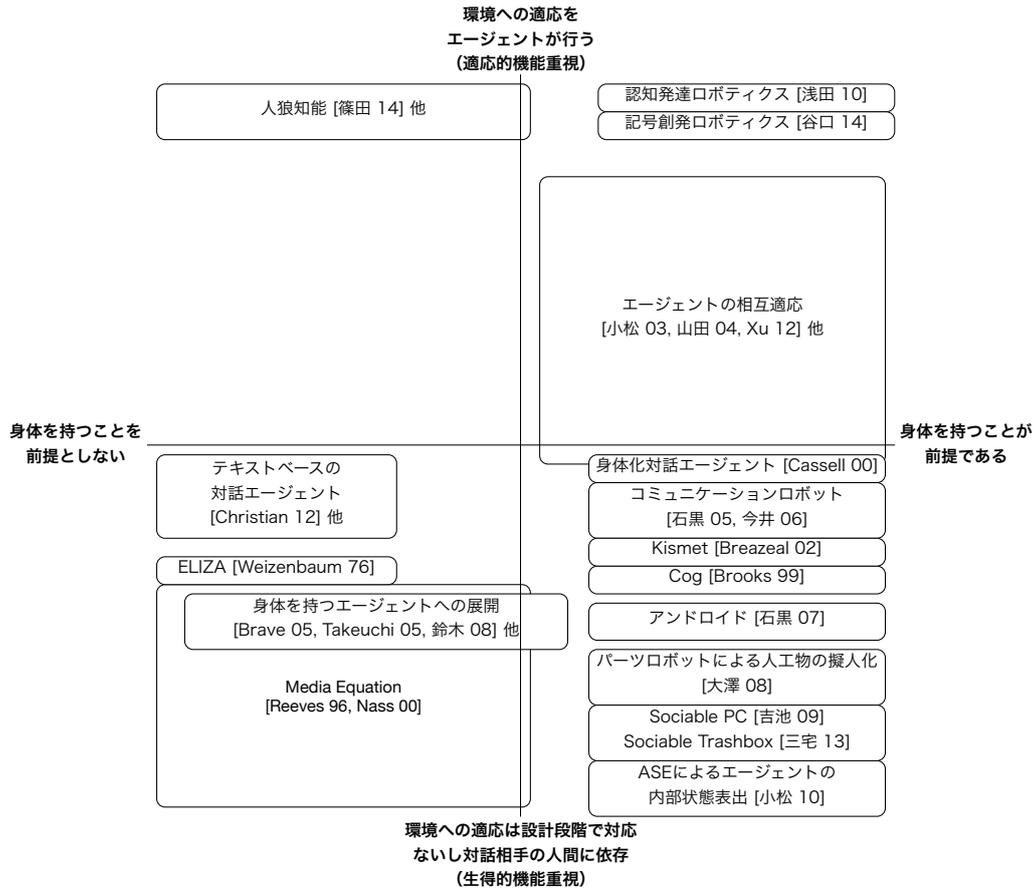


図1 HAI に関連する研究の位置づけ

知機構の解明を目指す認知発達ロボティクス [浅田 10]、環境との相互作用を通して概念や言語を獲得する機構を備えたロボットを通してロボット工学としての応用を見据えながら人間の知能のメカニズムの解明にも迫ることを試みる記号創発ロボティクス [谷口 14] などが挙げられる。HAI においてエージェントの適応的な機能を論じる場合、エージェントの置かれた環境、およびエージェントがあらかじめ備える機能を整理した上で、ユーザにとって有益なエージェント設計の目標を設定することが重要となる。

4 HAI 研究の論点と今後の展望

4.1 HAI における倫理的問題

エージェントとの相互作用により、時としてユーザが不利益を被る場合も考えられる。このような不利益が生じる要因やエージェントの設計者の責任についても古くから議論があるが、その多くはエージェントの持つ機能に対するユーザの期待という観点からである。2.1 節

で言及した ELIZA により、カウンセラーの仕事プログラムに任せることも可能ではないかという議論が巻き起こったが、原則として来談者の発言のおうむ返しや確認が主でしかないプログラムに過剰な期待を抱くことに [Weizenbaum 76] は警告を発している。[岡田 14] は、将来ロボットが高齢者の話し相手として関わっている場面を仮定する中で、ロボットの提供できる機能が高齢者の期待に応えられていない可能性を危惧しながら、技術的に可能な範囲での人とロボットの適切な関係について論じている。その一方で、エージェントと対話する人間が満足している状態が続くのであれば、エージェントの機能が実際にはユーザの期待に沿えない状況であっても問題ないという意見もある [小野 09]。HAI における倫理的問題は、このようにエージェントの実際の機能とユーザが期待する機能とのギャップの中で論じられることが多く、これを避ける意味でもエージェントの設計を極力シンプルにすべきであるという主張もある [森 70, 岡田 05, 小松 09, 竹内 13]。

しかし、HAI における倫理的問題はこれにとどまる

ものではなく、実応用を見据えるとエージェントの責任が重大になる。[Fogg 03] はユーザを説得する情報通信機器の倫理的問題という観点から論じているが、中にはたとえばユーザに対して必要以上に個人情報の提供や課金を求めるような場合に生じる、ユーザを強制的にある行動に導いたり、ユーザを意図的に騙したりする事例と、ユーザを説得して望ましい態度・行動に導く情報通信機器との違いを説明している。このような倫理的問題を論じる際に、設計者はユーザを欺いたり倫理的に問題のある行動を強制したりする意図があったかどうか、そしてユーザが倫理的に問題のある行動を起こした際、その行動は設計者が予測可能であったかどうかを明確にすることで、設計者の責任が明確になると説明している。さらに、倫理的問題点を議論するためにユーザと設計者を中心とした利害関係を整理し、設計の前提となっている価値観や概念を明確にすることが重要であると主張している。[Fogg 03] も述べるように利害関係の前提となる価値観や概念の議論は困難を伴うが、特に実応用を考えた場合に前述のようなエージェントの実状とユーザの期待とのギャップを超えたこのような議論が必要となる。

4.2 エージェントの誘発するソーシャルキュー

エージェントの誘発するソーシャルキュー（社会的・身体的応答を誘発する手がかり）[Reeves 96, Fogg 03] について、これまで多くの研究の知見が蓄積されてきた。ユーザはエージェントの言動から無自覚にソーシャルキューを見だし、対人的な応答を発言ないし行動で示す [Reeves 96, Takeuchi 05]。このようなソーシャルキューについて、[Fogg 03] は身体的 (physical)、心理的 (psychological)、言語的 (language)、社会的規範 (social dynamics)、社会的役割 (social role) に分類している。以上のように、ユーザに影響を与えるソーシャルキューについては様々な観点から論じられる可能性を持つ。

しかし、ソーシャルキューという観点からエージェントを捉えた場合、エージェントの表現手法やそのユーザへの影響について多様な議論や応用の可能性があるにもかかわらず、既存のエージェントに対してこれらの分析をしないまま応用場面にエージェントを登場させ、エージェントの持つ能力が十分機能したとはいえない状況に陥ってしまったり、その議論が [Reeves 96] の提案する対人社会心理学の実験室実験の応用の枠の制約を受けていたりする面もある。言い換えれば、多様な議論や応用の可能性があり関連する研究の蓄積は

あるものの、それらの知見の体系化を試みた場合、前述の制約からはみ出す知見の扱いについて不透明な点があるということでもある。[Fogg 03] の分類に該当しない極めて人工的なソーシャルキューに相当するもの ([小松 10] など) や、無意識下の認知過程に訴えかける形でユーザに影響しうるソーシャルキューの存在を示唆する研究 ([Scholl 00, Bailenson 05, Fukuda 10, Takahashi 11, 鈴木 14] など) もある。また、実応用を考えた場合、社会的役割はユーザに大きな影響を与えると考えられるが、その背景となる知見が十分議論されているとはいいがたい。[Fogg 03] の挙げた例では主従関係 (医師、教師、ペット、案内役) や内集団ないし外集団のメンバー (チームメイト、競争相手) に分類できるが、これは Media Equation の研究の裏づけがあるものといえる。主従関係 (ペットを除く) はエージェントに対する権威づけ [Nass 96b]、内集団・外集団はエージェントに対する内集団・外集団のラベルづけ [Nass 96a] がユーザに影響を及ぼすことを示唆する研究がそれぞれ社会的役割の影響を裏づけるものとして位置づけられ、これは [Reeves 96] の提案する対人社会心理学の知見を応用するという研究手法の派生と考えられる。[Reeves 96] はその一方で、エージェントの実応用を考えた場合、どのようなエージェントが有用であるかについて映画やドラマのようにエージェントの「キャスティング」を考えるという発想でエージェント設計を行うとよいとも提案している。この考え方を基にエビデンスを生かす方法論としては、たとえばインタフェース設計において各種調査をもとに想定されるユーザ像 (ペルソナ) を具体的に設定し、そのユーザの挙動から必要な機能について決定してゆくペルソナ法 [Cooper 07, 内田 14] をエージェント設計にも応用し、エージェントもペルソナとして設定し機能を決定する方法が考えられる。

4.3 ユーザとエージェントの関係の変遷

ユーザはメディアとして新奇な存在といえるエージェントと接する際、比較的想起しやすい人間との接し方を無自覚のうちに想起し、エージェントを含めた社会的に振る舞うとみなした人工物の接し方に当てはめることを繰り返し、無自覚に学習してしまった結果としてエージェントに対して対人的応答をするという Media Equation という現象が起こるとというのが [Nass 00] の主張である。この知見は対人社会心理学の実験室実験の応用という枠組から生まれたものであり、短期的な視点でユーザとエージェントの関係を捉え、この知見を基にエージェントを設計する方法は有効といえる。しかし、エージェントと接するまでにユーザが接してきた

メディアの性質が世代が進むにつれ今後大きく変わる [Prensky 01, Bennett 08] ことも考えられ、同様の知見が今後も通用するかは不明である。また、2.2 節で触れたようにユーザはエージェントを志向姿勢で捉えているというのが Media Equation の前提であるが、長期的に同じエージェントと相互作用を続けたユーザは、志向姿勢であたかも人間相手のように接したかと思えば、不具合が起きた際などは設計姿勢で機械としてエージェントに接しながらユーザとエージェントの関係を深める傾向がみられる可能性も、[久保 15] が紹介した AIBO (ソニー) とユーザとの接し方の変遷から考えられる。人間とエージェントの関係を捉える研究手法についてはすでに多くのアプローチが試みられている [須藤 11] が、人間とエージェントの関係を長期的なスパンで捉え観察法ベースで検討する研究 ([小嶋 08, Tanaka 07] など) や人間とエージェントの関係を回顧的に捉える研究 ([松本 03] など、一般的な情報通信機器の例では [安藤 07] など) を踏まえ、人間のエージェントに対する接し方の変化を前述の枠組みで多面的に捉える必要がある。

4.4 ユーザ視点・設計者視点双方を生かす研究の必要性

以上のような点を考慮しながら実応用を見据えながら HAI 研究を進める必要があるが、身体を持つことの前提の有無については比較的敷居が低く、身体を持たないエージェントが身体を持つ場合の検討に関する研究は多く展開されたことは 3 節の議論および図 1 から示唆される。しかし、図 1 の縦軸方向、つまりエージェントの適応的機能・生得的機能の想定については研究者間の見解で大きなギャップがある可能性がある。極度に生得的機能を重視した研究を続ける研究者は 2.2 節を想起するとユーザ視点でエージェントを捉えている傾向が強く、適応的な要素を多く備えるエージェントは「なしくずしの機能追加主義」[Norman 13] の中で機構の複雑化を招き実用に支障をきたす危険性があると考え、よりシンプルなエージェントの設計が可能ではないかと捉えてしまう可能性がある。その一方、様々な場면을想定して適応的機能を備えるエージェントの設計を主に推進してきた研究者は、設計者視点でエージェントを捉える傾向が強く、生得的機能を重視したユーザ視点の研究は一般性に欠け、知見の応用が難しいと捉えてしまう可能性もある。このような研究者間の齟齬は [岡田 05] から読み取れることである。

このような齟齬を乗り越えるには、たとえば [小松 03] や [中野 07] のように同じ研究者ないし研究グループの

中で、まず人間同士の相互作用に焦点を当てて、人間をエージェントに置き換えた場合に必要な機能を洗練させる手法により適応的機能と生得的機能のバランスをとる方法がある。これは有効な方法と考えられるが、心理学などの人間を体系的に観察する手法とエージェントを工学的に実装する手法の双方を同じ研究者・研究グループが身につけている必要がある、多くの研究者にとってハードルが高い。しかし見解の違う研究者同士の共同研究も、見解の違いによる断絶を乗り越える難しさがあることは前述の通りである。たとえば多様な分野の研究者との対話の中で、エージェント設計の中に [Kelley 05] などを参考に着想・調査・実装の各段階を調整しながら一体的に進められる役割を各研究者が見いだし、適応性・生得性のバランスをとりながら過不足のない機能を備えたエージェントの設計を行う方法はひとつの理想と考えられる。ここまで考えずとも、たとえば実験室実験が中心の生得的機能を重視した研究を行う研究者であれば実験室外でのフィールド実験を行うアプローチなどを検討したり、エージェントの作り込みが中心の適応的機能を重視した研究を行う研究者であれば、想定する人間とエージェントの相互作用場面の中にめったに起こり得ず想定するのが無駄な場面がないか、ユーザ中心の研究を参考にエージェントの機能を単純化できないかといった検討をしたり、4.1~4.2 節で指摘した論点を含め異なるスタンスの研究者が共通に抱える問題意識の中で共同研究ができないか模索したりするなど、異なるスタンスの研究者の歩み寄りが図れないかを考えることが重要と考える。

5 まとめ

本稿では、エージェントの身体、ならびに機能の適応性と生得性という観点から HAI 研究を捉え直し、各研究者の研究スタンスの違いから起こる研究観の齟齬をいかに克服し、これまでの研究の蓄積を生かしながら、想定される多様な環境に堪えるユーザにとって有用なエージェントの設計が行える研究の可能性について論じた。本稿で示した研究を振り返る視点と今後重要視する論点はあくまで相対的なひとつの見解に過ぎず、今後異なる切り口で研究を再整理し、新たな論点を探る必要もある。このように過去の研究の蓄積を生かし、異なるスタンスの研究者の相互作用を生かしながら、広く深くエージェント研究を展開することが今後の課題である。

参考文献

- [安藤 07] 安藤 昌也, 黒須 正明: 長期間の製品利用におけるユーザの製品評価プロセスモデルと満足感の構造, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 9, No. 4, pp. 443–454 (2007)
- [浅田 10] 浅田 稔: ロボットという思想: 脳と知能の謎に挑む, *NHK ブックス* 1158, 日本放送出版協会, 東京 (2010)
- [馬場口 15] 馬場口 登, 山田 誠二: 人工知能の基礎, オーム社, 東京, 第 2 版 (2015)
- [Bailenson 05] Bailenson, J. N. and Yee, N.: Digital Chameleons: Automatic Assimilation of Nonverbal Gestures in Immersive Virtual Environments, *Psychological Science*, Vol. 16, No. 10, pp. 814–819 (2005)
- [Bennett 08] Bennett, S., Maton, K., and Kervin, L.: The ‘digital natives’ debate: A critical review of the evidence, *British Journal of Educational Technology*, Vol. 39, No. 5, pp. 775–786 (2008)
- [Brave 05] Brave, S., Nass, C., and Hutchinson, K.: Computers that care: Investigating the effects of orientation of emotion exhibited by an embodied computer agent, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 62, No. 2, pp. 161–178 (2005)
- [Breazeal 02] Breazeal, C.: *Designing Sociable Robots*, MIT Press, Cambridge, MA, USA (2002)
- [Brooks 91] Brooks, R. A.: Intelligence without representation, *Artificial Intelligence*, Vol. 47, No. 1–3, pp. 139–159 (1991)
- [Brooks 99] Brooks, R. A., Breazeal, C., Marjanović, M., Scassellati, B., and Williamson, M. M.: The Cog Project: Building a Humanoid Robot, in Nehaniv, C. L. ed., *Computation for Metaphors, Analogy, and Agents*, Vol. 1562 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 52–87, Springer, Berlin Heidelberg, Germany (1999)
- [Cassell 00] Cassell, J., Sullivan, J., Prevost, S., and Churchill, E. eds.: *Embodied Conversational Agents*, MIT Press, Cambridge, MA, USA (2000)
- [Christian 12] Christian, B.: *The most human human: What artificial intelligence teaches us about being alive*, Penguin, London, UK (2012), 吉田 晋治 (訳), 機械より人間らしくなれるか?: AI との対話が、人間でいることの意味を教えてくれる, 草思社, 東京 (2012)
- [Cooper 07] Cooper, A., Reimann, R., and Cronin, D.: *About face 3: The essentials of interaction design*, Wiley, Indianapolis, IN, USA (2007), 長尾 高弘 (訳), *About Face 3: インタラクシオンデザインの極意*, アスキー・メディアワークス, 東京 (2008)
- [Dennett 87] Dennett, D. C.: *The Intentional Stance*, Bradford Books/MIT Press, Cambridge, MA (1987), 若島 正, 河田 学 (訳), 「志向姿勢」の哲学: 人は人の行動を読めるのか?, 白揚社, 東京 (1996)
- [Dreyfus 72] Dreyfus, H. L.: *What computers can't do: A critique of artificial reason*, Harper & Row, New York, NY, USA (1972), 黒崎 政男, 村若 修 (訳), コンピュータには何ができないか: 哲学的人工知能批判, 産業図書, 東京 (1992)
- [Fogg 03] Fogg, B. J.: *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, USA (2003)
- [Fukuda 10] Fukuda, H. and Ueda, K.: Interaction with a Moving Object Affects One's Perception of Its Animacy, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 2, No. 2, pp. 187–193 (2010)
- [福島 11] 福島 宏器: ミラーとメンタライジング: 社会脳の見取り図, 子安 増生, 大平 英樹 (編), ミラーニューロンと〈心の理論〉, 新曜社, 東京 (2011)
- [林 08] 林 勇吾, 三輪 和久: 人間とエージェントが混在する状況におけるコミュニケーションの認知的・感情的心理特性, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 10, No. 4, pp. 445–455 (2008)
- [Heidig 11] Heidig, S. and Clarebout, G.: Do pedagogical agents make a difference to student motivation and learning?, *Educational Research Review*, Vol. 6, pp. 27–54 (2011)
- [今井 06] 今井 倫太, 鳴海 真里子: 人間の五感を利用したロボットとのコミュニケーションへの没入の実現, *計測自動制御学会論文集*, Vol. 42, No. 4, pp. 342–350 (2006)
- [Isbister 08] Isbister, K. and Nass, C.: Consistency of personality in interactive characters: Verbal cues, non-verbal cues, and user characteristics, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 53, No. 2, pp. 251–267 (2008)
- [石黒 05] 石黒 浩, 宮下 敬宏, 神田 崇行: コミュニケー

- ションロボット：人と関わるロボットを開発するための技術，オーム社，東京（2005）
- [石黒 07] 石黒 浩：アンドロイドサイエンス：人間を知るためのロボット研究，毎日コミュニケーションズ，東京（2007）
- [Jettmar 02] Jettmar, E. and Nass, C.: Adaptive Testing: Effects on User Performance, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '02)*, pp. 129–134, Minneapolis, MN, USA (2002)
- [Kelley 05] Kelley, T. and Littman, J.: *The ten faces of innovation : IDEO's strategies for beating the devil's advocate & driving creativity throughout your organization*, Doubleday, New York, NY, USA (2005), 鈴木 主税 (訳), *イノベーションの達人! : 発想する会社をつくる 10 の人材*, 早川書房, 東京 (2006)
- [小林 14] 小林 優, 大澤 博隆, 稲葉 通将, 篠田 孝祐, 鳥海 不二夫, 松原 仁, 片上 大輔：擬人化エージェントを用いた議論の雰囲気を実現する人狼対戦システムの開発，電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2014 論文集, pp. 331–336 (2014)
- [小松 03] 小松 孝徳, 鈴木 健太郎, 植田 一博, 開 一夫, 岡 夏樹：発話理解学習を利用した適応的インターフェイス：人間同士のコミュニケーション成立過程からの知見，システム制御情報学会論文誌, Vol. 16, No. 6, pp. 260–269 (2003)
- [小松 09] 小松 孝徳, 山田 誠二：適応ギャップがユーザのエージェントに対する印象変化に与える影響，人工知能学会論文誌, Vol. 24, No. 2, pp. 232–240 (2009)
- [小松 10] 小松 孝徳, 山田 誠二, 小林 一樹, 船越 孝太郎, 中野 幹生：Artificial Subtle Expressions : エージェントの内部状態を直感的に伝達する手法の提案，人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 733–741 (2010)
- [小嶋 08] 小嶋 秀樹, 仲川 こころ, 安田 有里子：ロボットに媒介されたコミュニケーションによる自閉症療育，情報処理, Vol. 49, No. 1, pp. 36–42 (2008)
- [久保 15] 久保 明教：ロボットの人類学：二〇世紀日本の機械と人間，世界思想社，京都（2015）
- [Lester 97] Lester, J. C., Converse, S. A., Kahler, S. E., Barlow, S. T., Stone, B. A., and Bhogal, R. S.: The Persona Effect: Affective Impact of Animated Pedagogical Agents, in *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97)*, pp. 359–366, Atlanta, GA, USA (1997)
- [松本 03] 松本 斉子, 平井 葉子, 往住 彰文：共存的人工物としての人形型玩具，認知科学, Vol. 10, No. 3, pp. 385–400 (2003)
- [森 70] 森 政弘：不気味の谷，*Energy*, Vol. 7, No. 4, pp. 33–35 (1970)
- [中嶋 04] 中嶋 宏, 森島 泰則, 山田 亮太, Brave, S., Maldonado, H., Nass, C., 川路 茂保：人間－機械協調システムにおける社会的知性：心のモデルとパーソナリティによるエージェントの社会的応答について，人工知能学会論文誌, Vol. 19, No. 3, pp. 184–196 (2004)
- [中野 07] 中野 有紀子：エージェントによるしぐさと視線のコミュニケーション，山田 誠二 (編), *人とロボットの〈間〉をデザインする*, 第 4 章, pp. 88–113, 東京電機大学出版局, 東京 (2007)
- [Nass 96a] Nass, C., Fogg, B. J., and Moon, Y.: Can computers be teammates?, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 45, No. 6, pp. 669–678 (1996)
- [Nass 96b] Nass, C., Reeves, B., and Leshner, G.: Technology and Roles: A Tale of Two TVs, *Journal of Communication*, Vol. 46, No. 2, pp. 121–128 (1996)
- [Nass 00] Nass, C. and Moon, Y.: Machines and Mindlessness: Social Responses to Computers, *Journal of Social Issues*, Vol. 56, No. 1, pp. 81–103 (2000)
- [信原 14] 信原 幸弘：他者理解：共感とミラーニューロン，信原 幸弘, 太田 紘史 (編), *認知篇, シリーズ新・心の哲学 I*, 第 5 章, pp. 207–252, 勁草書房, 東京 (2014)
- [Norman 91] Norman, D. A.: Cognitive artifacts, in Carroll, J. M. ed., *Designing interaction: Psychology at the human-computer interface*, pp. 17–38, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1991)
- [Norman 13] Norman, D. A.: *The design of everyday things*, Basic Books, New York, NY, USA, rev. and expanded edition edition (2013), 岡本 明, 安村 通晃, 伊賀 聡一郎, 野島 久雄 (訳), *誰のためのデザイン? : 認知科学者のデザイン原論, 増補・改訂版*, 新曜社, 東京 (2015)
- [NTT 技術予測研究会 15] NTT 技術予測研究会 (編) : 2030 年の情報通信技術：生活者の未来像, NTT 出版, 東京 (2015)
- [小川 06] 小川 浩平, 小野 哲雄：ITACO : メディア間を移動可能なエージェントによる遍在知の実現，ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, No. 3, pp.

- 373–380 (2006)
- [岡 06] 岡 夏樹, 山田 誠二: 適応のためのインタラクシ
ョン設計, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 642–647
(2006)
- [岡田 05] 岡田 美智男, 松本 信義, 塩瀬 隆之, 藤井 洋之,
李 銘義, 三嶋 洋之: ロボットとのコミュニケーション
におけるミニマルデザイン, ヒューマンインタフェ
ース学会論文誌, Vol. 7, No. 2, pp. 11–19 (2005)
- [岡田 14] 岡田 美智男, 松本 光太郎 (編): ロボットの悲
しみ: コミュニケーションをめぐる人とロボットの生
態学, 新曜社, 東京 (2014)
- [小野 09] 小野 哲雄, 園山 隆輔, 村川 賀彦, 山田 誠二,
角所 考, 今井 倫太, 竹内 勇剛: パネル討論: HAI 研
究のおもしろさとは何か?: インタラクシオンデザ
イン, 産業化・事業化, アカデミックの立場から, 人工
知能学会誌, Vol. 24, No. 6, pp. 876–884 (2009)
- [大澤 08] 大澤 博隆, 大村 廉, 今井 倫太: 直接擬人化手
法を用いた機器からの情報提示の評価, ヒューマン
インタフェース学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 11–20
(2008)
- [Pfeifer 99] Pfeifer, R. and Scheier, C.: *Understand
ing intelligence*, MIT Press, Cambridge, MA, USA
(1999), 石黒 章夫, 小林 宏, 細田 耕 (訳), 知の創成:
身体性認知科学への招待, 共立出版, 東京 (2001)
- [Pinker 02] Pinker, S.: *The blank slate: The modern
denial of human nature*, Viking, New York, NY,
USA (2002), 山下 篤子 (訳), 人間の本性を考える:
心は「空白の石版」か〈上・中・下〉, NHK ブックス
1010・1011・1012, 日本放送出版協会, 東京 (2004)
- [Prendinger 04] Prendinger, H. and Ishizuka, M.:
*Life-Like Characters: Tools, Affective Functions,
and Applications*, Springer, Berlin, Germany (2004)
- [Prensky 01] Prensky, M.: Digital Natives, Digital
Immigrants Part 1, *On the Horizon*, Vol. 9, No. 5,
pp. 1–6 (2001)
- [Reeves 96] Reeves, B. and Nass, C.: *The Media
Equation: How people treat computers, television,
and new media like real people and places*, Cam
bridge University Press, New York, NY, USA
(1996)
- [Russell 03] Russell, S. J. and Norvig, P.: *Artificial
intelligence: A modern approach*, Prentice Hall,
Upper Saddle River, NJ, USA, 2nd edition edition
(2003), 古川 康一 (監訳), エージェントアプローチ
人工知能, 第 2 版, 共立出版, 東京 (2008)
- [Scholl 00] Scholl, B. J. and Tremoulet, P. D.: Per
ceptual causality and animacy, *Trends in Cognitive
Science*, Vol. 4, No. 8, pp. 299–309 (2000)
- [篠田 14] 篠田 孝祐, 鳥海 不二夫, 片上 大輔, 大澤 博隆,
稲葉 通将: 汎用人工知能の標準問題としての人狼ゲー
ム, 人工知能学会第 28 回全国大会, 2C4-OS-22a-3
(2014)
- [Suchman 87] Suchman, L. A.: *Plans and situated ac
tions: The problem of human-machine communica
tion*, Cambridge University Press, Cambridge, UK
(1987), 佐伯 胖 (監訳), 上野 直樹, 水川 喜文, 鈴
木 栄幸 (訳), プランと状況的行為: 人間-機械コミュ
ニケーションの可能性, 産業図書, 東京 (1999)
- [Sundar 00] Sundar, S. S. and Nass, C.: Source orien
tation in human-computer interaction, *Communi
cation Research*, Vol. 27, No. 6, pp. 683–703 (2000)
- [須藤 11] 須藤 智, 原田 悦子: 心理学とソーシャルロ
ボット: 分析手法を中心として, 日本ロボット学会誌,
Vol. 29, No. 1, pp. 14–18 (2011)
- [鈴木 08] 鈴木 聡, 森島 泰則, 中村 美代子, 槻館 尚武, 武
田 英明: 身体化エージェントの身体方向・登場位置が
ユーザに与える影響, 知能と情報 (日本知能情報ファ
ジィ学会誌), Vol. 20, No. 4, pp. 513–525 (2008)
- [鈴木 14] 鈴木 聡, 齋藤 涼, 岡部 哲也, 小方 博之: ヒト
型シルエットで表現された身体化エージェントが誘発
する社会的促進・社会的抑制, 電子情報通信学会 HCG
シンポジウム 2014 論文集, pp. 384–389 (2014)
- [Takahashi 11] Takahashi, K. and Watanabe, K.:
Multi-Modal Inference in Animacy Perception for
Artificial Object, *i-Perception*, Vol. 2, No. 8, p. 752
(2011)
- [Takeuchi 05] Takeuchi, Y. and Watanabe, K.: So
cial Identification of Embodied Interactive Agent,
IEICE Transactions on Information and Systems,
Vol. E88-D, No. 11, pp. 2517–2522 (2005)
- [竹内 13] 竹内 勇剛, 上杉 繁, 寺田 和憲, 片上 大輔: イ
ンタラクシオンのミニマルデザイン, ヒューマン
インタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 1, pp. 1–14
(2013)
- [Tanaka 07] Tanaka, F., Cicourel, A., and Movell
an, J. R.: Socialization between toddlers and
robots at an early childhood education center, *Pro
ceedings of the National Academy of Sciences*, Vol.
104, No. 46, pp. 17954–17958 (2007)
- [谷口 14] 谷口 忠大: 記号創発ロボティクス: 知能のメ
カニズム入門, 講談社選書メチエ 577, 講談社, 東京
(2014)

- [寺田 12] 寺田 和憲, 岩瀬 寛, 伊藤 昭: Dennett の論考による三つのスタンスの検証, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J95-A, No. 1, pp. 117-127 (2012)
- [Turing 50] Turing, A.: Computing Machinery and Intelligence, *Mind*, Vol. LIX, No. 236, pp. 433-460 (1950)
- [Turkle 84] Turkle, S.: *The second self: Computers and the human spirit*, Simon and Schuster, New York, NY, USA (1984), 西 和彦 (訳), インテイメイト・マシン: コンピュータに心はあるか, 講談社, 東京 (1984)
- [内田 14] 内田 瑛, 國上 真章, 中野 健次, 吉川 厚, 寺野 隆雄: ベルソナ・コンジョイント法: ケース学習における組み立てによる認知の変化を測る, 人工知能学会第 28 回全国大会, pp. 1B5-OS-12b-3 (2014)
- [Weizenbaum 76] Weizenbaum, J.: *Computer power and human reason: From judgment to calculation*, W. H. Freeman, San Francisco, CA, USA (1976), 秋葉 忠利 (訳), コンピュータ・パワー: 人工知能と人間の理性, サイマル出版会, 東京 (1979)
- [Winograd 86] Winograd, T. and Flores, F.: *Understanding computers and cognition: A new foundation for design*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA (1986), 平賀 譲 (訳), コンピュータと認知を理解する: 人工知能の限界と新しい設計理念, 産業図書, 東京 (1989)
- [Xu 12] Xu, Y., Ohmoto, Y., Okada, S., Ueda, K., Komatsu, T., Okadome, T., Kamei, K., Sumi, Y., and Nishida, T.: Formation conditions of mutual adaptation in human-agent collaborative interaction, *Applied Intelligence*, Vol. 36, No. 1, pp. 208-228 (2012)
- [山田 05] 山田 誠二, 山口 智浩: 人間と擬人化エージェントによるマインドマッピングの相互適応, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol. 17, No. 3, pp. 289-297 (2005)
- [山田 07] 山田 誠二 (編): 人とロボットの〈間〉をデザインする, 東京電機大学出版局, 東京 (2007)
- [Yee 07] Yee, N., Bailenson, J. N., and Rickertsen, K.: A Meta-Analysis of the Impact of the Inclusion and Realism of Human-Like Faces on User Experiences in Interfaces, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)*, pp. 1-10, San Jose, CA, USA (2007)
- [吉池 09] 吉池 佑太, 岡田 美智男: ソーシャルな存在とは何か: Sociable PC に対する同型性の帰属傾向について, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-A, No. 11, pp. 743-751 (2009)