

特集 「認知的インタラクションデザイン学」

人工物デザインのための ユーザ認知モデル構築とその応用

Artifact Design with User's Cognitive Model

山田 誠二
Seiji Yamada

国立情報学研究所, 総合研究大学院大学, 東京工業大学
National Institute of Informatics./SOKENDAI./Tokyo Institute of Technology.
seiji@nii.ac.jp, <http://www.ymd.nii.ac.jp/lab/seiji/>

寺田 和憲
Kazunori Terada

岐阜大学工学部電気電子・情報工学科
Electronics and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Department of Electrical, Gifu University.
terada@gifu-u.ac.jp, <http://www.elf.info.gifu-u.ac.jp/terada/>

小林 一樹
Kazuki Kobayashi

信州大学学術研究院
Academic Assembly, Shinshu University.
kby@shinshu-u.ac.jp, <http://www.cs.shinshu-u.ac.jp/~kkobayashi/>

松井 哲也
Tetsuya Matsui

国立情報学研究所
National Institute of Informatics.
tmatsui@nii.ac.jp

Keywords: interaction design, cognitive model.

1. はじめに

本特集 [植田 16] の母体となっている本文部科学省科学研究費助成金・新学術領域研究「認知的デザイン学」(No. 26118005)*¹における領域全体の研究テーマは、「他者モデルを利用したインタラクションデザイン」であり、C01 班のテーマは、「人の持続的な適応を引き出す人工物デザイン方法論の確立」である。特に、我々が計画班を構成する C01 班は、C02 班（研究テーマ：人の適応性を支える環境知能システムの構築）と同様に、この領域全体のテーマに対して、認知モデルを導入したインタラクションデザインに基づく工学的な実装（具体的には、人工物やユーザインタフェースの実装）を行い、参加者実験により評価することを指向している。この点において、本特集の他の解説で紹介されている、人間や動物の他者モデルの分析を中心に行う A 班、B 班の科学的指向とは異なり、あくまでも C01 班はモノをつくる工学的指向を採っている。

本稿では、主に C01 計画班における研究例の解説を中心として、我々が何を目指し、そのような研究方針のもとに、実際どのような研究を展開しているのかについて、関連する既存研究にも触れながら紹介していく。

2. C01 班の研究指針

本研究で扱う対象領域は、人間（ユーザ）と人工物（システム、エージェント）とのインタラクションデザインであり、また通常ユーザは一人である場合を想定しているため、ここでは「他者モデル = (人工物から見た) ユーザモデル」と考える。また、逆にユーザから見ると人工物のモデル（特に人工物を擬人化するエージェントの場合）は、一種の他者モデルと考えられるため、そのような他者モデルの解釈で研究を進めていく。

2.1 研究のモデル：MDE プロセス

研究を進めるプロセスのモデルである MDE プロセスを図 1 に示す。ここでは、ユーザインタフェースの設計をはじめユーザとシステムの関係構築、ユーザエクスペリエンスのデザインまでを含む広い概念であるインタラクションデザインを人間-システム系の設計と捉えている。まず、モデリングフェーズである「人間の（適応）認知モデル構築 M」において、人間-システム系に含まれるユーザの（適応）認知モデルの構築を行う。このユーザの認知モデル構築は、従来広く研究されているユーザの振舞い、戦略、選好などに関する認知特性 [山田 15] からユーザが対象人工物やシステムのアルゴリズムやメカニズムをどのように認識するかという適応アルゴリズム理解の認知モデル [Terada 13] まで幅広いレンジをも

*1 <http://www.cognitive-interaction-design.org/>

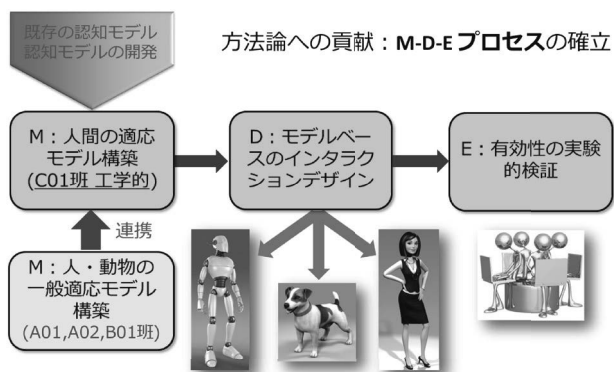


図1 モデリング-開発-評価のプロセス

つ。

また、この認知モデリングのフェーズMでは、純粋に科学的なモデル構築よりは、人工物設計やインタラクションデザインに応用できることを指向したモデル構築を目指している。そのため、全く新しいモデルの構築でなくとも、既存の認知モデルを応用面から詳細化、特化、チューニングすることも行いつつ、研究を進めていく(図1)。さらに、将来的には、A班、B班で開発された成人、子供、動物の認知モデルを導入することで、領域内の研究連携を深めていく予定である。

続く、開発フェーズである「モデルベースのインタラクションデザインD」では、フェーズMで構築されたユーザの(適応)認知モデルを取り込んだ人間-人工物系としてユーザインタフェースを実装する。そして、次の評価フェーズ「有効性の実験的検証E」では、参加者実験によりフェーズDで実装したユーザインタフェースの評価実験を行う。この評価フェーズEでは、できるかぎり客観的評価指標であるユーザの行動、生体情報(アイトラッキング情報や発汗、心拍などの生体信号)を計測し、その実験結果に対して統計的検定を施すことで有効性を評価する。また、主観的な評価指標としては、アンケート調査とその結果の因子分析により、主要因を探り、その軸上における各水準の関係からインタラクションデザインの設計指針にアプローチする。このように、HCIにありがちな新しいユーザインタフェースをつかって簡単なケーススタディで終わるという研究ではなく、できる限り厳密な参加者実験による評価を目指している。

2.2 ユーザからシステムへ・システムからユーザへの適応

我々は、認知モデリングフェーズMで構築する認知モデルにおいて、ユーザの適応を取り込むことを目指している。この適応については、人間(ユーザ)とシステム(人工物、エージェント)間における以下の三つの適応について、認知モデル的な視点から解明し、インタラクションデザインを実現、評価することを目指す。

- 人間からシステムへの適応：人間は対象に不可避的

に適応すると考えられるが、その人間からシステムへの適応を促進・誘導する技術を研究する。この技術の実現には、人間がどのように対象システムのアルゴリズムを理解するかを研究する必要がある。特に、対象システムがユーザ適応システムである場合に、その適応アルゴリズムをユーザがどのように理解するかを理解することが重要である [Terada 13]。人工知能では、インタラクティブ機械学習において、ユーザからシステムへの適応を促すインタラクションデザインが研究されている [Amershi 14]。

- システムから人間への適応：適応ユーザインタフェース (adaptive user interface) [Findlater 04, Oviatt 08] に代表されるユーザ適応システムが、この「システムから人間への適応」の実装型である。ユーザ適応システムが有益か否かは、ユーザ、システム、そしてタスクに依存すると考えられている。
- 相互適応：ユーザとユーザ適応システムは、互いに相手に適応することになるが、ここでは特にユーザとシステムが適応対象を共有しており、互いの適応が干渉する系 [山田 07] を相互適応と呼ぶ。この適応干渉の解決方法としては、適応の同期をとる、片方の適応を停止するなどの回避する方法が一般的である。

以上のような研究指針のもと、我々はすでにさまざまな研究を進めている。次章以降では、そのような研究について、計画班の研究例を中心に紹介する。なお、すでに完成している研究が多いが、一部現在進行中のものも含む。

3. PRVA の設計指針の実験的アプローチ

3.1 外見の設計へのアプローチ

擬人化エージェントを構成する重要な要素である「外見 (appearance)」、「振舞い (behavior)」などをタスクに応じて適切に決定することは、擬人化エージェントのデザインにおいて重要かつ難しい課題である。我々のサブグループでは、この問題に対して、オンラインショッピングで商品推薦を行う擬人化エージェントである PRVA (Product Recommendation Virtual Agents) の外見の設計へアプローチしており [梁 15, Terada 15]、ここではその研究を解説する。具体的な方法論としては、いくつかの特徴的な外見をもつ PRVA を用意し、参加者実験によりそれらの推薦効果を調査して、PRVA に適した外見を実験的に調査した。また、多様なアンケート調査結果を因子分析し、その結果から外見設計の要因を考察した。

§1 PRVA の外見の選定

一般に無数に考えられる PRVA の外見から、実験に用いる少数の特徴的な外見を選定することは難しい。この問題に対して、ここでは人間のエージェントを認識

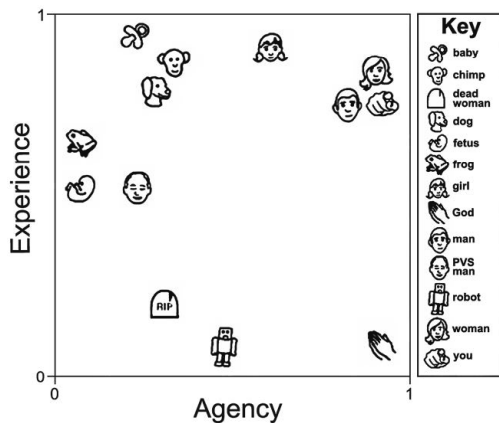


図2 Agency と Experience の 2 軸上のエージェント [Gray 07]

する次元に関する研究である Gray らの研究成果 [Gray 07] をもとに、特徴的な外見を選定した。Gray らは、さまざまな外見をもつエージェントを参加者が認識するとき、そこにはどのような要因が効いているのかを大規模な参加者実験により検証している [Gray 07]。詳細なアンケート調査の実験を因子分析した結果、図 2 にあるように、Agency と Experience の二つの要因が基本になっていることが示されている。この結果は、エージェント認識に対する一種の認知モデルと考えられ、この認知モデルをベースに特徴的な外見をもつ (図 2 の四隅に位置する) PRVA を選定した。具体的には、四隅に位置する「人型エージェント (若い女性)」、「ロボットエージェント」、「犬エージェント」、「仏像エージェント」の PRVA に、「テキスト」と人間 (若い女性) の「実写ビデオ」を加えた 6 種の PRVA を用意した。

§ 2 購買意欲の実験的調査と考察

音声は用いず推薦文のみで推薦を行う PRVA と商品の組合せを、先の六つの外見と別に用意した六つの商品との全組合せで実装した。そして、参加者一人にその全組合せを見せて (参加者内配置)、購買意欲を数値で答えてもらい推薦効果を調べた。その実験結果に分散分析と下位検定を適用したところ、多くの外見のペアに有意差

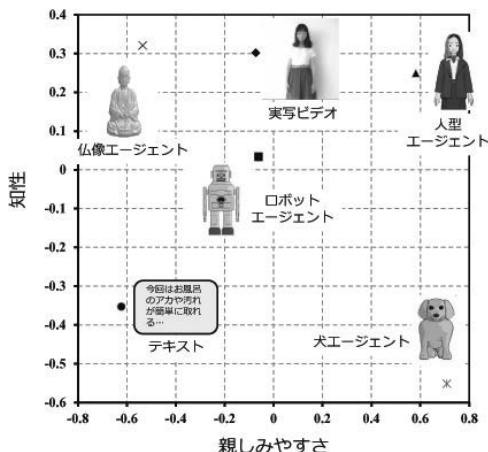


図3 親しみやすさ-知性の 2 軸における PRVA [梁 15]

が認められた (最良:人型エージェント, 最悪:仏像エージェント)。これにより、外見による購買意欲への影響が確認され、その優劣が示された。

さらに、エージェントに対する印象評価のアンケート調査の結果に因子分析を適用して、主要因を調べた結果、「親しみやすさ」と「知性」の 2 要因が検出された。その 2 軸上に各 PRVA をプロットしたものが、図 3 である。人型エージェントが、親しみやすさと知性の両方を備えて、高い推薦効果を示している。一方、犬エージェントは、親しみやすさが高く、知性は低いが、そこそこの推薦効果であり、仏像エージェントは、その逆の性質をもち、テキストだけよりも低い推薦効果となっている。これらの結果から、PRVA の外見は、この「親しみやすさ」と「知性」を基準として、それらを高くすることが望ましいという設計指針が示唆されたと考えられる。

3.2 外見と振舞いの設計へのアプローチ

さらに、我々のサブグループにより、外見と振舞いの関係の観点から、PRVA の設計指針にアプローチする研究を行った [黒田 16]。そこでは、まず AB 一貫性という概念を導入している。

§ 1 AB 一貫性

PRVA を構成する重要な要素として、前節で実験的に検証した外見に加えて、「振舞い (behavior)」がある。この研究 [黒田 15] では、振舞い設計に対する新しい視点として、「外見」と「振舞い」の一致度である AB 一貫性という概念を導入し、AB 一貫性の観点から外見と振舞いの設計指針に関する知見を得ることを試みている。

具体的に、実験で用いた AB 一貫性 (大中小) とそれを構成する外見と振舞いのペア (外見, 振舞い) を図 4 に示す。なお、PRVA の外見は、日本人, 欧米人, ロボット, 犬の四つであり、それぞれの外見に対して自然な振舞いを用意している。これらを用いて、前節と同様の参加者実験を行った。

§ 2 実験結果と得られた知見

購買意欲の実験結果に対する分散分析、下位検定の結果、AB 一貫性に主効果が認められ、AB 一貫性が大き

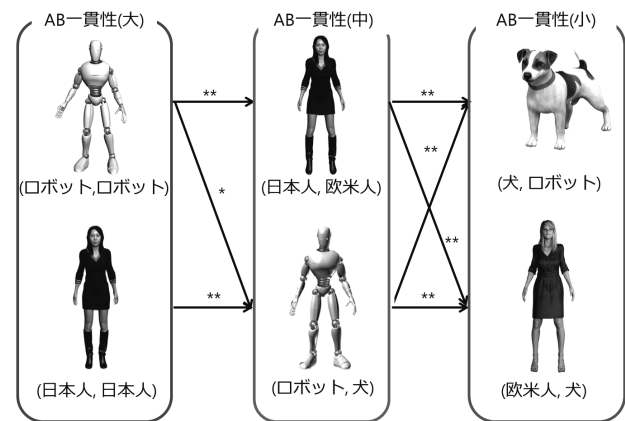


図4 六つの AB ペアの AB 一貫性

い (違和感が小さい) PRVA のほうが有意に推薦効果が高いことがわかった。よって、PRVA の外見と振舞いの一貫性は重要であり、PRVA のデザインにおいては、違和感のある組合せは避けたほうがよいことが示唆された。

この結果に対して、認知モデル的な観点から考察がされている [黒田 16]。それが、図 5 に示す、認知的不協和から因果関係を紡いで購買意欲低下に至る因果モデルである。これは仮説であるが、このような認知モデルが実験的検証を経て、より一般性と予測可能性をもつものになることが期待される。

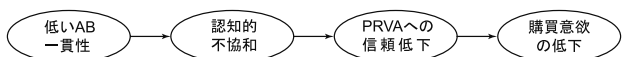


図 5 認知的不調和の因果関係に関する仮説 [黒田 16]

4. ロボットとのコミュニケーションにおける心

我々は、コミュニケーションを非ゼロ和ゲーム的状况において利害を調整するための手段であると考えている [伊藤 14]。人の社会では協力すればより高い利益が得られるような仕組みがつけられている。しかし、協力関係を維持するためのルール (例えば商取引における手形) を巧みに利用し搾取 (取込み詐欺) することも可能である。このような状況では誰が信頼できる見方で誰が油断ならない敵かをいち早く同定し同盟関係と敵対関係を明確化することが重要であり、Dunbar は人同士のコミュニケーションの主な目的は、この関係の構築と維持にあるとしている [Dunbar 98]。

コミュニケーションにおける心の役割は他者と、自身の振舞いを抽象度の高い表現としてまとめることにある。振舞いについての抽象表現を用いる理由は、人の場合特に、センサ入力と行動出力の関係が多様だからである [Whiten 96]。例えば、図 6 (a) のようなネズミの行動モデル化を考える。この場合、ネズミの状態 (センサ入力) と行動出力はそれぞれ 3 個である。しかし、ネズミをいずれの状態に置いたとしても三つの行動が出力されるので、入出力関係の組合せは 9 通りである。これらの関係をすべて記述し、明示的に記憶するためには多くの記憶領域を必要とする。このような関係の記述を単純化し、認知資源を節約する方法は図 6 (b) のように「喉

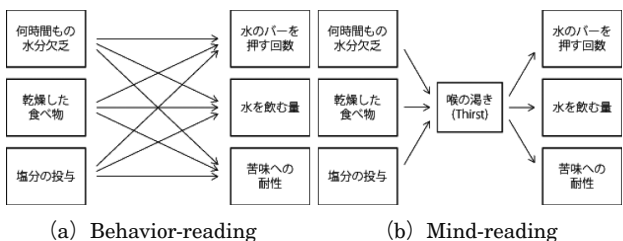


図 6 Behavior-reading と Mind-reading ([Whiten 96] を日本語に翻訳)

が渇いた」という抽象状態 (意図, 心) を媒介させることである。記述の単純化は他者の振舞い理解に心的状態を帰属する利点の一つである。なお、Whiten はこのような二つの振舞い記述方法を behavior-reading と mind-reading と呼んでいるが、Dennett は設計スタンス、意図スタンスという呼び方をしている [Dennett 87]。他者に心的状態を帰属することの利点は情報の圧縮による認知資源の節約だけでなく、他者の未来の行動予測にある [Call 08, Gergely 03]。特に、対象とする他者が異なる状況 (センサ入力異なる) に置かれたときにどのような行動をするかを予測するためには、振舞いの起源として心的状態を帰属することが必要不可欠である [Gergely 95, Gergely 03]。

協力・競合の両方の状況において他者の心を読むことは重要である。意図に基づいて他者の行動予測を行い、自分の行動を調整できなければ協力的行動は実現できない。一方で、競合状態において相手に悪意を帰属できなければ簡単に搾取されてしまう。このように、人によって構成される非ゼロ和ゲーム的社会においては、心を介したコミュニケーションは重要である。では、ロボットと人のコミュニケーションはどうだろうか。我々は競合状態において、人がロボットに対して心的状態を帰属するかどうかを調べた [寺田 12]。競合状態において相手に意図を帰属する利点は相手が悪意のある存在として認知し、いち早く対抗戦略を取ることである [Miller 97]。我々は、競合ゲームにおいて相手が嵌め手を出したことに気付いたときに、人がその後どのような戦略を取るかを調べた。嵌め手は客観的 (behavior-reading による) には選択規則の変化である。しかし、相手が振舞いの多様性をもつ知的なエージェントであると考えれば、悪意のある振舞いとして認定し (mind-reading によるモデル化)、将来のさらなる騙しに備えなければならない。対戦相手として知的に見えないクマロボットと知的な人を用いて実験参加者の戦略を比較した。その結果ロボットと対戦した実験参加者は対戦相手が嵌め手を出した後、behavior-reading による振舞い理解と搾取を行い、人と対戦した実験参加者は mind-reading による振舞い理解と対抗戦略を取った。この実験結果が意味することは、人はロボットが知的に見えない場合には behavior-reading を行うということである。

社会では大きな目標の達成や高い利益の獲得のために組織を形成し、リーダーの意思決定に従ってフォロワが行動することがある。我々は、リーダーはフォロワに対して behavior-reading を行い、フォロワはリーダーに対して mind-reading を行うという仮説をもっている。寺田らの研究 [寺田 12] では、利害が対立する状況において、知的でないロボットに対しては人は mind-reading を行わないという結果が得られた。では、利害が一致する状況でロボットがリーダーとなる場合はどうか。C01 班では現在、ロボットと人との合目的的コミュ

ニケーションにおいて、知的能力、リーダーシップの度合い、外見がリーダー・フォロワの決定にどのように寄与するかについて研究を行っている。

5. 周辺認知テクノロジー PCT

人間は日常生活の中で非常に多種多様な情報を受け取っている。しかし、そのすべてを同じように処理してはならず、意識的に情報を選択している [Plude 94]。この意識を向ける対象の選択のことを注意というが、有名な例では、カクテルパーティ現象 [Conway 01] があげられる。カクテルパーティ現象が示す人間の興味深い認知機能は、注意していない対象からの情報も受け取っており、背景で行われる自動的な処理に応じて注意を自然に切り替えられる点である。ここでは、その原理や処理過程に立ち入ることはしないが、このような注意対象の決定に大きな影響を与える要素は、人間と人工物とのインタラクションを設計するうえで適切に扱われる必要がある。

本章では、このような注意の切替わりが生じる状況における人間と人工物とのインタラクションデザインに焦点を当てる。ある対象に注意している状況は、認知機能を意識的に働かせているという点で、その認知機能は「中心的」な役割を果たしている。それに対し、ある対象への注意の背景で自動的に働いている認知機能は、注意における「周辺の」な役割と位置付けられる。この周辺の認知機能に着目して、人間と人工物とのインタラクションを設計することを、ここでは周辺認知テクノロジー PCT (Peripheral Cognition Technology) と呼ぶ。以下では、これまで我々のサブグループが取り組んだ PCT について説明する。

5.1 ペリフェラル情報通知

人間が認識できる視野領域は、あるタスクに集中していると集中していないときよりも狭くなるのが指摘されており [Crundall 99, Williams 95]、視野ナローイング VFN (Visual Field Narrowing) と呼ばれている。このタスクへの集中度によって変化する周辺視野領域を VFN 領域と呼び、VFN 領域を用いて情報通知に関するインタラクションをデザインしたものがペリフェラル情報通知 [山田 15] である。

近年は生活環境がデジタル機器で囲まれており、PC やスマートフォン、タブレットなどからさまざまな情報がユーザに通知される。そのような情報通知は、最新の情報に素早くアクセスするために有用であるが、通知のたびにユーザの注意を強制的に奪う機会になることが問題である [Iqbal 10]。ユーザにとっては、通知機能をオフにしなくても注意を奪わず、最新の情報を可能な限り素早く入手できることが望ましい。

ペリフェラル情報通知は、この通知問題に対処するた



図7 ペリフェラル情報通知

めの手法である。ユーザに通知すべき情報が届いたとき、ペリフェラル情報通知は、図7のように VFN 領域に相当するディスプレイ上の位置に 2 cm 四方ほどの小さな通知用の人型アイコンを表示する。アイコンは透明状態から非透明状態になるまで 4 秒かけてフェード表示される。

そのため、VFN 領域のアイコンはユーザが集中している状態では認知されず、非集中時に自動的に認知される。

この手法の効果は参加者実験によって確認されており、タスクの難易度が高いときはユーザに認知されにくく、タスクの難易度が低いときに認知されやすい。また、ユーザが通知を認知するまでの時間も、従来手法であるバルーン通知と比較してわずかに遅延する程度であり、ユーザの注意を奪わず、それでいて非集中時には素早く通知内容にアクセスできる手法である。

5.2 シェイプシフティングデバイス

デバイスの設計に PCT を応用した例として、シェイプシフティングデバイス [Kobayashi 13a, Kobayashi 13b] がある。このデバイスは緩やかに機器の姿勢を変化させてユーザの注意を奪わずに情報通知を行うことが目的である。ペリフェラル情報通知はディスプレイの中限定されているが、シェイプシフティングデバイスは、



図8 シェイプシフティングデバイスによる情報通知

より広い利用環境への応用を目指している。

シェイプシフティングデバイスは、稼働する台座部分が本体であり、その上にスマートフォンやタブレットPCを乗せて使用する。図8のように通知時には、非常にゆっくりと静かに台座が持ち上がり、ユーザに気付かれないように、上に乗せたスマートフォンを起き上がらせる。ユーザは作業への集中が低下したときに初めてデバイスの姿勢変化に気が付き、情報通知が成立する。通知時の変化に一目で気付くように、このような姿勢変化が通知表現として採用されている。

このデバイスを用いた参加者実験では、シェイプシフティングによる通知が行われた際の使用状況が調査され、全通知数の45%において注意を奪わずに通知できることが示された。実験は、典型的なオフィス環境を模した状況で実施されているが、デスクから離れて戻ってきたタイミングで通知に気付く場合が全通知数の29%であり、ディスプレイを用いない状況での有効性が示唆された。

このように、ペリフェラル情報通知やシェイプシフティングデバイスによる情報通知は、意識を向ける認知の中心に対して周辺的な役割を果たす認知機能に着目し、インタラクションが設計されている。その特性上、緊急の情報伝達には適さないが、このような設計手法は、次々に生活環境に進出してくる新しい人工物に過度に反応的にならずに、注意をコントロールするために重要である。今後、より適用範囲を広げつつ効果を高めるために、影響を及ぼし合う要素同士の関係を明らかにするモデル化が課題である。

6. 信頼できるエージェントとは何か

本章ではユーザの擬人化エージェントに対する信頼をモデル化し、操作することを可能にする方法を考える。本研究では、特にオンラインショッピングにおけるユーザと商品推薦エージェントPRVAの間の信頼を考える。まず、ユーザと擬人化エージェントの間の信頼とは一体どのようなものだろうか。人と人の間の信頼に関しては、山岸[山岸98]が実験を含めて詳しい考察を行っており、ここでは、その研究に基づいて信頼概念を整理してみる。山岸はまず一般的に信頼と呼ばれている概念の中から、被信頼者の「能力に対する期待」などを除外する。さらに、狭義の信頼概念を分解し、信頼者と被信頼者の個別な関係に由来する信頼を「人間関係の信頼」、被信頼者の一般的な特性に起因する信頼を「人格的信頼」と呼んでいる。

一方、人間とコンピュータ間の信頼については、Artz and Gilによるサーベイ[Artz 07]がある。この中で彼らが過去の研究に見られる三つの定義としてあげているのが、コンピュータの「評判に基づく信頼」、「能力に基づく信頼」、「振舞いへの期待に基づく信頼」である。

先の[山岸98]による信頼概念の分類と照らし合わせてみると、重要な違いとしてまず、山岸においては狭義の信頼から除外した「能力」を基準とした信頼が、[Artz 07]では重要な信頼の定義の一つとしてあげられていることが指摘できる。また、[山岸98]に見られる「人間関係の信頼」に相当するものは、[Artz 07]には見られない。さて、では被信頼者が擬人化エージェントの場合はどうであろうか。擬人化エージェントに対する信頼は、基本的にはコンピュータに対する信頼と同じものだと思うのだが、「擬人化」という心理作用が加わることによって、人間同士の信頼に関する要素が加わる可能性も考えられる。このような意味で、擬人化エージェントへの信頼は、人間への信頼とコンピュータへの信頼を重ね合わせたものであると想定できる。

6.1 PRVAを信頼するという事

次に、PRVAにおける信頼の在り方を検討する。Kimら[Kim 08]は、オンライン上の商取引における消費者の意思決定をモデル化している。この中で、そのサイトでの取引に対する消費者の信頼形成には、特に「サイトの安全性」と「情報の質」が関与していることが示されている。ここで前述の信頼モデルと比較すると、「サイトの安全性」に対する信頼とは「人格」に対する信頼であり、山岸[山岸98]の定義による狭義の「信頼」に相当すると考えることができる。もちろん、実際にはサイトの安全性は多分に技術的な側面が大きい、あくまで擬人的にサイトやPRVAを一つの人格をもつものと考えれば、これは裏切る・裏切らないという人格的な要素に相当するものであろう。他方の「情報の質」に対する信頼は、[Artz 07]における「能力への信頼」に相当するものである。つまり、オンラインショッピングのサイトへの信頼は、人と人の信頼の中に見られる要素と人とコンピュータの間の信頼に見られる要素が共に含まれているといえる。PRVAにも、この両方の側面から消費者の信頼を高めることが求められることになる。さらに考察すると、「能力」は商品の説明文の妥当性などから論理的に判断が可能だが、「人格」とは本来は短期間で見極めるのは非常に困難なものであり、ある程度は感性的な判断が必要となる。これは、意思決定に関する精緻化見込みモデル[Petty 86]とも合致する。

6.2 PRVAにおける信頼形成モデル

信頼を形成するための経路は、論理的な経路と感性的な経路の二つがあることが予想される。ここから我々は、PRVAの状態を操作してユーザの信頼を高める手法を提案したい。ユーザが論理的な推論からPRVAを信頼するようになる理由の一つとして、「PRVAの知性」が考えられる。特に、いわゆる「知的に見える話し方」をPRVAに実装することによって、正しい情報を大量に示すよりも簡易に知性をユーザに知覚させることができる

と想定できる。実際、知的なエージェントほど信頼できることは [Geven 06] によって示されている。

一方の感性的な判断をもたらす要素としては「ユーザの感情」が考えられる。ポジティブな感情のときほど他の人間を信頼しやすいことは [Dunn 05] で示されている。ユーザの感情をポジティブにする手法はいろいろ考えられるが、PRVA を実装する環境が変わっても修正せずに使える手法として、エージェントとユーザ間の情動伝染 (emotional contagion) を利用することが考えられる。情動伝染とは、話者の間で一方の話者の感情が他方に伝染する現象 [Hatfield 94] であるが、擬人化エージェントとユーザの間でも起こり得ることが知られている [Dimas 11, Tsai 12]。これらの先行研究では、エージェントの表情によってエージェントの感情を表出し、その感情をユーザに伝染させることが可能であることが示されている。

まとめると、PRVA のポジティブな感情をユーザに伝染させ、それによりユーザから PRVA への信頼を高めることが考えられる。「知的な話し方」と「笑顔」が人と人とのコミュニケーションにおいて重要なものであることは、日常生活レベルにおいても直感的に肯定できることであると思われる。それが PRVA でも成立し得るかどうか、そしてそれが社会的に実用的なものかどうかを検討することで、人とエージェントの関係の新たな可能性を見いだすことを目指したい。

本章で見てきたように、「信頼」概念には人と人の間・人とコンピュータの間・オンラインショッピングサイトとユーザの間についてそれぞれ異なった概念が採用されており、すべての分野の定義を包括する究極的な定義はいまだ確立していない。ここで検討した人と擬人化エージェント、特に PRVA の間の信頼とは、上記の三つの関係性の要素すべてを包含する信頼である。この分野において信頼概念を確立すれば、それは上記の三つの信頼を統合するものになる可能性がある。本研究の最終的な射程はここにあるといえる。

7. ま と め

本稿では、本新学術領域プロジェクトにおける我々 C01 班の研究方針、研究例について、計画班の成果を中心に解説した。研究例は、エージェントのデザイン、インタフェースのデザイン、認知科学的考察などの我々の幅広い研究テーマを示している。また、どの研究もユーザの認知モデルを積極的に取り込んだインタラクションデザインを目指していることがわかると思うが、「適応モデル」については、一部の研究しか対応できておらず、今後の期待される。

なお、紙面の制約もあり、今回の解説では、公募班の研究を紹介できなかったが、それらについては別の機会に紹介できれば幸いである。

謝 辞

本稿執筆の一部は、学術領域研究「認知的デザイン学」(No. 26118005) の助成を受けたものである。記して感謝いたします。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Amershi 14] Amershi, S., Cakmak, M., Knox, W. B. and Kulesza, T.: Power to the people: The role of humans in interactive machine learning, *AI Magazine*, Vol. 35, No. 4, pp. 105-120 (2014)
- [Artz 07] Artz, D. and Gil, Y.: A survey of trust in computer science and the semantic web, *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Vol. 5, No. 2, pp. 58-71 (2007)
- [Call 08] Call, J. and Tomasello, M.: Does the chimpanzee have a theory of mind? 30 years later, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 12, No. 5, pp. 187-192 (2008)
- [Conway 01] Conway, A. R., Cowan, N. and Bunting, M. F.: The cocktail party phenomenon revisited: The importance of working memory capacity, *Psychonomic Bulletin & Review*, Vol. 8, No. 2, pp. 331-335 (2001)
- [Crundall 99] Crundall, D., Underwood, G. and Chapman, P.: Driving experience and the functional field of view, *Perception-London*, Vol. 28, No. 9, pp. 1075-1088 (1999)
- [Dennett 87] Dennett, D. C.: *The Intentional Stance*, Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press (1987)
- [Dimas 11] Dimas, J., Pereira, G., Santos, P. A., Prada, R. and Paiva, A.: I'm happy if you are happy: A model for emotional contagion in game characters, *Proc. 8th Int. Conf. on Advances in Computer Entertainment Technology*, pp. 2:1-2:7 (2011)
- [Dunbar 98] Dunbar, R.: *Grooming, Gossip, and the Evolution of Language*, Harvard University Press (1998)
- [Dunn 05] Dunn, J. R. and Schweitzer, M. E.: Feeling and believing: The influence of emotion on trust, *J. Personality and Social Psychology*, Vol. 88, No. 5, pp. 736-748 (2005)
- [Findlater 04] Findlater, L. and McGrenere, J.: A comparison of static, adaptive, and adaptable menus, *Proc. SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI 04)*, pp. 89-96 (2004)
- [Gergely 95] Gergely, G., Nádasdy, Z., Csibra, G. and Bíró, S.: Taking the intentional stance at 12 months of age, *Cognition*, Vol. 56, No. 2, pp. 165-193 (1995)
- [Gergely 03] Gergely, G. and Csibra, G.: Teleological reasoning in infancy: The naïve theory of rational action, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 7, No. 7, pp. 287-292 (2003)
- [Geven 06] Geven, A., Schrammel, J. and Tscheligi, M.: Interacting with embodied agents that can see: How vision-enabled agents can assist in spatial tasks, *Proc. 4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordiCHI'06)*, pp. 135-144 (2006)
- [Gray 07] Gray, H. M., Gray, K. and Wegner, D. M.: Dimensions of mind perception, *Science*, Vol. 315, No. 5812, p. 619 (2007)
- [Hatfield 94] Hatfield, E., Cacioppo, J. T. and Rapson, R. L.: *Emotional Contagion*, Cambridge University Press (1994)
- [Iqbal 10] Iqbal, S. T. and Bailey, B. P.: Oasis: A framework for linking notification delivery to the perceptual structure of goal-directed tasks, *ACM Trans. on Computer-Human Interaction*, Vol. 17, No. 4, pp. 15:1-15:28 (2010)
- [伊藤 14] 伊藤 昭, 寺田和憲: 人工知能と心の理論, 心を持つロボットへの試み, 臨床発達心理学実践研究, Vol. 9, pp. 16-20 (2014)
- [Kim 08] Kim, D. J., Ferrin, D. L. and Rao, H. R.: A trust-based consumer decision-making model in electronic commerce: The role of trust, perceived risk, and their antecedents, *Decision Support Systems*, Vol. 44, No. 2, pp. 544-564 (2008)
- [Kobayashi 13a] Kobayashi, K. and Yamada, S.: Shape changing device for notification, *Proc. Adjunct Publication of the*

- 26th Annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology (UIST'13), pp. 71-72 (2013)
- [Kobayashi 13b] Kobayashi, K. and Yamada, S.: Shape changing device to inform of notification based on peripheral cognition technology, *Proc. 1st Int. Conf. on Human-Agent Interaction*, p. I-2-1 (2013)
- [黒田 16] 黒田拓也, 山田誠二, 寺田和憲: オンラインショッピングにおける商品推薦エージェントの外見と振る舞いの関係が購買意欲に与える影響, *人工知能学会論文誌*, Vol. 31, No. 2 (2016)
- [梁 15] 梁 静, 山田誠二, 寺田和憲: オンラインショッピングにおける商品推薦エージェントの外見とユーザの購買意欲との関係, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 17, No. 3, pp. 307-316 (2015)
- [Miller 97] Miller, G. F.: Protean primates: The evolution of adaptive unpredictability in competition and courtship, Whiten, A. and Byrne, R. W., eds.: *Machiavellian Intelligence II: Extensions and Evaluations*, pp. 312-340, Cambridge University Press (1997)
- [Oviatt 08] Oviatt, S., Swindells, C. and Arthur, A.: Implicit user-adaptive system engagement in speech and pen interfaces, *Proc. 26th Annual SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI'08)*, pp. 969-978 (2008)
- [Petty 86] Petty, R. E. and Cacioppo, J. T.: *The Elaboration Likelihood Model of Persuasion*, Springer (1986)
- [Plude 94] Plude, D. J., Enns, J. T. and Brodeur, D.: The development of selective attention: A life-span overview, *Acta Psychologica*, Vol. 86, No. 23, pp. 227-272 (1994)
- [寺田 12] 寺田和憲, 山田誠二, 伊藤 昭: ボーナス付きマッチングペニーゲームにおける人間からエージェントへの適応プロセスの解明, *人工知能学会論文誌*, Vol. 27, No. 2, pp. 73-81 (2012)
- [Terada 13] Terada, K., Yamada, S. and Ito, A.: An experimental investigation of adaptive algorithm understanding, *Proc. 35th Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci'13)*, pp. 1438-1443 (2013)
- [Terada 15] Terada, K., Jing, L. and Yamada, S.: Effects of agent appearance on customer buying motivations on online shopping sites, *Proc. 33rd Annual ACM Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI'15)*, pp. 929-934 (2015)
- [Tsai 12] Tsai, J., Bowring, E., Marsella, S., Wood, W. and Tambe, M.: A study of emotional contagion with virtual characters, in Nakano, Y., Neff, M., Paiva, A. and Walker, M. eds.: *Intelligent Virtual Agents*, pp. 81-88, Springer (2012)
- [植田 16] 植田一博, 竹内勇剛, 大本義正, 本田秀仁: 成人間インタラクションの認知科学的分析とモデル化 (特集: 認知的インタラクションデザイン学), *人工知能*, Vol. 31, No. 1, pp. 11-18 (2016)
- [Whiten 96] Whiten, A.: When does smart behaviour-reading become mind-reading?, Carruthers, P. and Smith, P. K., eds.: *Theories of Theories of Mind*, pp. 277-292, Cambridge University Press (1996)
- [Williams 95] Williams, L.: Peripheral target recognition and visual field narrowing in aviators and nonaviators, *Int. J. Aviation Psychology*, Vol. 5, No. 2, pp. 215-232 (1995)
- [山田 07] 山田誠二 (監著): 人とロボットの〈間〉をデザインする, 東京電機大学出版局 (2007)

- [山田 15] 山田誠二, 森 直樹, 小林一樹: 周辺認知テクノロジーPCTによるユーザの作業に干渉しないペリフェラル情報通知, *人工知能学会論文誌*, Vol. 30, No. 2, pp. 449-458 (2015)
- [山岸 98] 山岸俊男: 信頼の構造: こころと社会の進化ゲーム, 東京大学出版会 (1998)

2015年11月5日 受理

著者紹介



山田 誠二 (正会員)

1984年大阪大学基礎工学部卒業。1989年同大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。1989年大阪大学基礎工学部助手。1991年大阪大学産業科学研究科助教授。1996年東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授。2002年国立情報学研究所教授。現在に至る。HAI ヒューマンエージェントインタラクション、知的インタラクティブシステムに興味をもつ。情報処理学会、日本ロボット学会、AAAI、IEEE、ACM各会員。



寺田 和憲 (正会員)

1995年大阪大学工学部卒業。2001年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。2000年独立行政法人通信総合研究所特別研究員。2002年岐阜大学工学部助手。2007年同助教。2014年同准教授。現在に至る。人工知能、社会的ロボット、心、感情の研究に従事。日本ロボット学会、情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会、電子情報通信学会、IEEE、ACM各会員。



小林 一樹 (正会員)

2000年茨城大学卒業。2002年同大学院理工学研究科メディア通信工学専攻修了。2006年総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻修了。博士(情報学)。同年、関西学院大学博士研究員。2008年信州大学助教。2013年より同大学准教授。ヒューマンロボットインタラクション、ヒューマンエージェントインタラクション、環境情報センシングに関する研究に従事。ACM、電子情報通信学会、農業情報学会、ヒューマンインタフェース学会、日本ロボット学会、日本知能情報ファジィ学会各会員。



松井 哲也 (正会員)

2008年神戸大学理学部地球惑星科学科卒業。2013年同大学院理学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。同年、神戸大学特別研究員。2015年より国立情報学研究所特任研究員。HAI、特にユーザに人格・知性を感じさせる擬人化エージェントの設計と社会への実装に興味をもつ。ヒューマンインタフェース学会、歴史文化工学会各会員。