

人間とエージェント間の適応ギャップ

Adaptation Gap between a Human and an Agent

山田 誠二*¹
YAMADA Seiji

小松 孝徳*²
KOMATSU Takanori

*¹国立情報学研究所，総合研究大学院大学
National Institute of Informatics, Sokendai

*²公立はこだて未来大学 システム情報科学部
Future University-Hakodate

How to design appearance of an interactive agent like a software agent, a pet robot, is an important and difficult problem in Human-Agent Interaction. However few experimental studies to investigate relationship between agent's appearance and other factors have been done. In this paper, we propose a novel concept "Adaptation Gap (AG)" as relationship between function estimated by a user due to the appearance and function implemented on the agent actually. Using this AG, we can give design policy to agent's appearance. Also we develop the experimental scenario to verify AG in a human-agent cooperative task.

1. はじめに

現在，人間とインタラクションをもつことを目的とした様々な擬人化エージェントやロボット（以降，単に「エージェント」）が研究開発されている [Cassell 00]．それらの中には，ソフトウェアの利用を支援する擬人化エージェントである Microsoft Agent，エンタテインメントが目的のペットロボット AIBO，部屋の掃き掃除をする Roomba など，実用化されているものも多い．一般に，これらのエージェントは，人間や動物に類した外見（appearance）を持つものが多いが，外見をどのように設計すればよいかについては，実証に基づく設計指針がこれまで十分には示されていない [Yamada 06]．よって，外見を人間や動物に近づければいいのか，エージェント独自の外見を持つべきなのかがわからないまま，個別のエージェントについて，デザイナーがアドホックにその外見を設計を行っているのが現状である．このような議論は，近年の HAI (Human-Agent Interaction) 研究 [山田 06] においても最も重要なトピックの 1 つである．なぜなら，人間は相手の外見に基づいて相手の行動を予測するモデルを構築する傾向が強く，エージェントがどのような外見を持つのかということは，その人間のエージェントとのインタラクションである HAI に大きな影響を及ぼすからである．

エージェントの外見がユーザに与える影響についての研究として，Kiesler [Kiesler 95]，Goetz, Kiesler & Powers [Goetz 03] の研究が挙げられる．Kiesler [Kiesler 95] は，コンピュータの画面に現れる犬型擬人化エージェントと被験者と協調して，“囚人のジレンマ”ゲームを行う実験を行った．そして，犬を飼った経験のある被験者ほど，その犬型擬人化エージェントと密に協調する傾向が強いことを実験的に示している．また，Goetz et al. [Goetz 03] は，ヒューマノイドロボットの顔のデザインの違いが，ユーザに与える印象についての実験的な調査を行った．その結果，ユーザは，人間と似たような顔を持つロボットに対して，そのロボットが社会的なタスクを遂行できると思いきみをする傾向があること，一方，ユーザは，典型的な機械の顔を持つロボットには，従来ロボットが行ってきたようなタスクしか遂行できないように感じる傾向があることを示した．これらの研究は，エージェントの外見に対するユーザのモデル化の断片的な傾向を示しているが，より一般的な関係の解明が

必要だと考えられる．

エージェントの外見の問題に取り組むためのアプローチには，様々なものが考えられるが，我々は，エージェントの外見が適切に設計されていないと，ユーザは最初からまったくエージェントを相手にしなくなるか，あるいは，最初は相手にしていても，すぐに無視するようになるかと考える．逆に，エージェントの外見が適切に設計されていれば，そのエージェントの機能，タスクに依存せずに，ユーザはエージェントとインタラクションを継続すると考える．また，エージェントの外見は，ユーザがモデル化するエージェントの機能と実際にエージェントに実現されている機能のギャップに依存して，決定，設計されるべきであると仮定する．

このような考え方から，本稿では，エージェントの外見とそのエージェントがもつ機能の関係に着目し，エージェントの実際の機能と人間がエージェントの外見からモデル化する機能との差異を意味する概念である適応ギャップを提案する．さらに，エージェントの外見からモデル化される機能が実際の機能に等しいか，劣るように設計することが，エージェントの外見の設計にとって重要であるという適応ギャップ仮説を提案し，それを被験者実験により検証する実験計画を行う．

2. 適応ギャップ

2.1 エージェントの外見

現在，人間とインタラクションをもつことを目的とした様々な擬人化エージェントやロボットなどのエージェントが開発されている．擬人化エージェントや ECA (Embodied Conversational Agent) の分野でも，様々なエージェントが開発されてきた [Cassell 00]．一方，ロボットの分野では，人間と同じように二足で歩行し，握手ができるような腕をもつ ASIMO, HRP-2 のなどのヒューマノイドロボット，そしてソニーの犬型ロボット AIBO が開発されてきた．

興味深いことに，これまで人間とインタラクションをもつことを目的に研究開発されてきたこれらのエージェントのほとんどは，実世界において我々に親しみのある人間や動物などに類似した外見を持つように設計されており，そのような外見が人間のそれらに対する擬人化を促進することで，人間とエージェントの円滑なインタラクションに適していると考えられている．そして，このような考え方は，研究者を始め，多くの人に無理なく受け入れられているようである．

しかし，本当に人間や動物に似た外見を持つことが，HAI

の観点から見て、優れた外見の設計指針なのだろうか。また、人間がエージェントとやりとりする情報とは独立に、エージェントの適切な外見は自動的に決定されるものなのだろうか。

実際のところ、エージェントの外見をどのように設計すればよいかについては、実証に基づく設計指針がこれまで十分には示されていない [Matsumoto 05][Yamada 06]。換言すると、エージェントの外見と、エージェント設計のさまざまな要因と関連性を解明する研究がほとんどなく、その関係がわかっていないことを意味する。

このような背景から、我々は、エージェントの外見の設計に関して、その外見とエージェントとの機能との関係を精査することで、エージェントの外見を設計するアプローチを研究してきた。その結果、エージェントの機能に依存して、必ずしも外見を人間や動物に近づける必要がない場合があることを示した [Yamada 06]。本稿では、さらにその考え方を進展させ、一般化した適応ギャップという新しいコンセプトを提案し、エージェントの外見と機能の関係を表す HAI における新たな知見を示す。

2.2 人間からのエージェントへの適応

人間同士のコミュニケーションの場合、人は他者に関する自分なりの認知に基づいて、相手を理解したり将来の行動を予測して、その人物に対する接し方を学習していく。このような現象は、人の内面的な特徴や心理過程を推論する働きを研究する、社会心理学分野における対人認知としておいて多くの研究が行われてきた。そして、その対人認知を考える上で重要な要素が、以下のようにまとめられている [中島 04]。

- 要因 1 (相手に帰属する要因): 認知対象から直接与えられる刺激情報や、その対象が過去にとった行動や第三者から聞いた風評。
- 要因 2 (自分に帰属する要因): 認知者の主体的要因。
- 要因 3 (環境、状況に帰属する要因): 認知に影響を及ぼす状況による要因。

Media Equation [Reeves 98] が主張しているように、人間と人工物であるエージェントとの関係に、人間と人間との関係を説明する社会心理学の知見が応用できるとするならば、人間はそのエージェントに対しても、自分なりの認知に基づいてその人工物に対する接し方を決定していると考えられる。その場合、その認知プロセスに大きな影響を及ぼすものは、要因 1 の「エージェントがどのような形状や情報を表出するのか」、要因 2 についての「エージェントを主観的にどのように捕らえているのか」、要素 3 の「どのような状況でそのエージェントと対峙しているのか」のように具体的に列挙できる。

人間があるエージェントを初めて見た場合 (もしくは、エージェントがまったくなじみのない外見をしていた場合)、上記の要因 1, 2 が希薄であるために、ユーザはそのエージェントとどのようにインタラクションをもてばいいのかかわからない。よって、人間にとって、親和性の高い外見を持つエージェントは、要因 1, 2 を強くするために重要な役割を果たしていると考えられる。このような考えから、人間はエージェントに対して、その外見からエージェントをモデル化し、そのモデルに基づいて、エージェントとのインタラクションを構成していくという考えが導かれる。これは、人間からエージェントへの適応を意味し、適応ギャップを考える上での基本的な前提である。

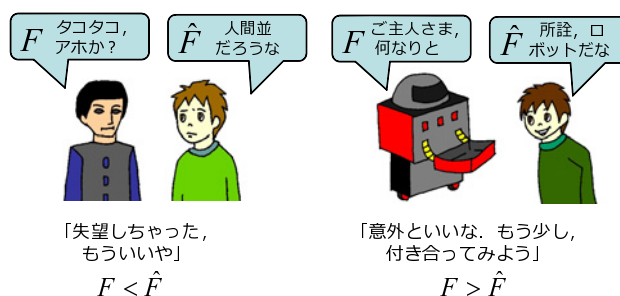


図 1 適応ギャップ

2.3 適応ギャップ

前節での考察により、人間とエージェント間のインタラクションを考えた場合、まず、人間はそのエージェントの挙動を推測するために、そのエージェントの外見を基にエージェントのモデル化を行う。そして、そのモデルに基づいて自ら行動し、それにエージェントが反応するというようにインタラクションを構築していく。そして、インタラクションを継続していくことで、自らの持つエージェントのモデルを実際のエージェントの挙動をもとに修正していき、結果として円滑なインタラクションを構築するにいたる。これらのプロセスは、人間からエージェントへの適応である。

ただし、ユーザが獲得するエージェントのモデルによっては、このエージェントとインタラクションする価値はないと判断され、その結果、最初からインタラクションを開始しない場合、またはインタラクションを途中で打ち切る場合がある。これらの現象は、すでに商品化されたペットロボットなどにおいて度々報告されており [芳賀 02]、この問題を改善しなければ、今後日常生活に浸透していくことが期待される多くのエージェントも同様の問題に直面する恐れがあるからである。

このように、人間がエージェントとのインタラクションを継続できない現象の原因として、我々が着目するのは、エージェントの外見と機能の関係である。前節の議論にあるように、人間からエージェントへの適応であるエージェントのモデル化は、インタラクションを開始する直前にそのエージェントの外見やステレオタイプの情報に基づいて構築されると考えられる。そして、このモデルとは、基本的には、エージェントの機能のモデル \hat{F} である (1)。そして、実際にエージェントに実装されている機能を F とする。ここで、適応ギャップ AG とは、人間によるエージェントの (機能) モデルと実際のエージェントの機能との差異、つまり $AG = F - \hat{F}$ と定義される (1)。この適応ギャップを考えることにより、人間とエージェントの外見、機能との関係、エージェントの外見の設計論についての議論が展開できる。

適応ギャップの考えは、次のような素朴な観察に基づいている。たとえば、人間と非常に類似した外見を持ったヒューマノイドロボットとインタラクションをする場合を考えよう (1)。この場合、ユーザはそのエージェントの外見から「人間並のことができるに違いない (\hat{F} = 人間並の機能)」と考えるだろう。しかし、実際のヒューマノイドロボットとインタラクションを継続していくうちに、「なんだ、エンピツも握れないのか」、「僕の話の意味はわからないんだ」などと、そのロボットの真の機能 F に気づいてしまうことで、ユーザが作り上げられたモデルが崩壊し、結果としてインタラクションを中断してしまうと考えられる。このことは、エージェントの外見からモデル化 (人間からエージェントへの適応) された機能と、そのエー

エージェントの持つ実際の機能との間にギャップが存在することを意味し、我々はそれを適応ギャップと名付けた。この例からもわかるように、人間とエージェントのインタラクションの継続には、適応ギャップという軸で考えると得られる知見が多い。

さらに、適応ギャップを元に、エージェントの外見と機能、人間の適応とインタラクションの継続性の関係について、以下の適応ギャップ仮説を考える。

適応ギャップ仮説

1. $AG = 0$ ($F = \hat{F}$): エージェントの外見からモデル化される機能 \hat{F} と、実際のエージェントの機能 F が等しい場合であり、このとき適応ギャップは起こらず、人間は最初からエージェントとの確にインタラクションを構築できる。しかし、ユーザはエージェントを道具のように認識しており、インタラクションの継続を通して人間が適応する楽しみはなく、飽きが生じてしまう可能性が高い。
2. $AG < 0$ ($F < \hat{F}$): エージェントの外見からモデル化される機能 \hat{F} が、実際の機能 F よりも高い場合で、負の適応ギャップが生じる。この場合は、人間が F を知って落胆し、それ以降のインタラクションを継続しなくなる可能性が高い。
3. $AG > 0$ ($F > \hat{F}$): エージェントの外見からモデル化される機能 \hat{F} が、実際の機能 F よりも低い場合で、正の適応ギャップが生じる。この場合、人間が継続的にエージェントとインタラクションをもち、時間をかけて適応していく。

この仮説が正しいとすると、我々の考えるエージェントの外見の設計指針は、次のようになる。人間とエージェントの継続的なインタラクションを構築するためには、エージェントの外見は、 $AG > 0$ ($F > \hat{F}$) を満たすように、つまり、エージェントの外見から人間によりモデル化される機能が実際の機能よりも低くなるように外見を設計すべきである。このことは、機能的に不十分な現在のエージェントに対して、人間や動物並の機能を想起させるようなリアルな外見は好ましくないことを意味する。

3. AG 仮説の検証実験

3.1 実験目的と協調タスク

本実験の目的は、人間とエージェント（ロボット）間で、AG 仮説が成り立つことを実験的に検証することである。そのためには、まずできるだけ一般的な協調タスクを設定する必要があるが、現在の技術的な限界から実現できる人間とエージェントの協調タスクは限定される。また、手続き的に複雑な協調タスクでは、実行プロセス自体が複雑になり、エージェントに対するユーザの態度の変化を適切に観察することが難しい。このような背景から、我々は、本実験の協調タスクとして、「ここ掘れワンワン」タスクを提案、採用する。

「ここ掘れワンワン」タスクとは、エージェントのアドバイスを受けながら、何ら背景知識が影響しない3つの選択肢から一つを選択する問題である。エージェントからのアドバイスが、「花咲爺さん」におけるポチからお爺さんへのアドバイスに類似していることから、この名前がついている。このタスクは、ユーザ（被験者）のタスクに関する事前知識を全く必要とせず、また背景知識にもまったく依存しない。さらに、エージェントとの協調が、3択問題のアドバイスという非常に単純なインタラクションに限定されているため、ユーザがエージェ

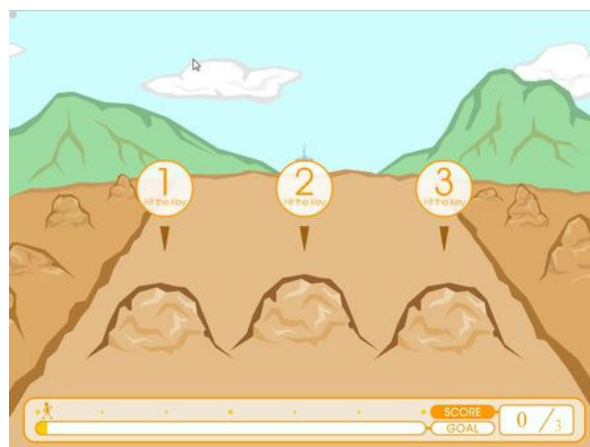


図2 「ここ掘れワンワン」タスクのスナップショット

ントとのインタラクションを継続しているのか、拒否しているのかを短いインターバルで観測できる点が特長である。

以下に、「ここ掘れワンワン」タスクの手続きを示す。ユーザは、エージェントのアドバイスを参考にしながら、自身で選択肢を決めて選択し、正解であれば、規定の点数を獲得し、不正解であれば得点はない。そして、できるだけ高得点を獲得することが、タスクの目標である。

1. PC 上に3つの選択肢が表示される（図2）。
2. エージェントが正解の選択肢のラベル（1,2,3の数）の回数だけ、MindStomsはピーブ音を出し、AIBOは吠える。
3. ユーザが、一つの選択肢を選択し、クリックする。このとき、ユーザがエージェントのアドバイスに従うかどうかは、任意である。
4. ユーザの選択が正しかったかどうかを音と図で知らせる。正しければ、ポイントが加算される。
5. 規定回数に達してなければ、1.へ。達していれば、終了。

実験環境は、机の上に、PCが一台置かれており、そのPC上でのフラッシュ再生により、3択問題が順次被験者に提示される。PCの横には、エージェントが設置され、上記Step.2のようにして、ユーザにアドバイスを与える。

アドバイスを与えるエージェントは、以下の2つである。

- AIBO: 典型的な犬型ロボット（図3）。犬とのアナロジーから信頼できそうな印象をうけ、選択肢のアドバイスも信用できそうな感じをユーザへ与える。
- MindStoms: 虫型のロボット（図4）。あまり親しみのない外見で、知的な印象がない。ユーザへの選択肢の正しいアドバイスは、難しそうな印象を受ける。

この実験設定では、AIBOの真の機能： F_A 、AIBOの外見からモデル化される機能： \hat{F}_A MindStomsの真の機能： F_M 、MindStomsの外見から推定される機能： \hat{F}_M となる。

まず、我々は、AIBOとMindStomsの外見からユーザがモデル化する機能は、AIBOの方がMindStomsを凌いでいる、つまり $\hat{F}_A > \hat{F}_M$ と仮定する。さらに、AIBOとMindStomsの真の機能が全く同じ F に設定できる、つまり $F = F_A =$



図 3 犬型ロボット (AIBO ESR-7)

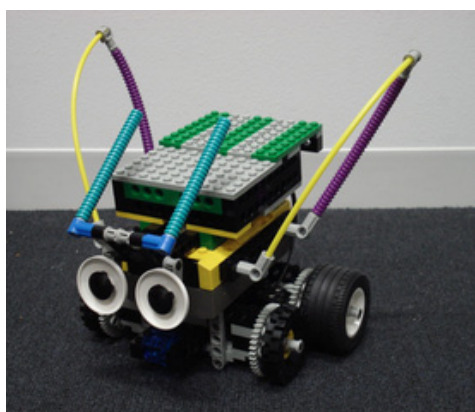


図 4 虫型ロボット (MindStorms)

F_M とできるとする。このとき、 $\hat{F}_M < F < \hat{F}_A$ となる実験が「ここ掘れワンワン」タスクによって可能なら、適応ギャップ仮説 (2.3) における $AG < 0$ ($F < \hat{F}$) が AIBO の実験により、 $AG > 0$ ($F > \hat{F}$) が MindStorms の実験により成り立つ。よって、これらの AIBO, MindStorms においてユーザの行動を観察することにより、適応ギャップの効果が検証できる。

本実験でエージェントの機能 F とは、正しい選択肢をアドバイスする能力を意味し、具体的には、正しいアドバイスを与える確率である正解アドバイス確率 R で制御される。よって、AIBO, MindStorms の正解アドバイス確率を両方とも同じ R に設定することで、前述の $F = F_A = F_M = R$ を成り立たせることができる。このとき、 \hat{F}_A, \hat{F}_M は、AIBO, MindStorms の外見を見たときにユーザによりモデル化された R の推定値 \hat{R}_A, \hat{R}_M となる。

次に、予備実験により、複数の被験者に AIBO, MindStorms を提示して、 \hat{R}_A, \hat{R}_M を推定してもらい、その平均値をそれぞれ \hat{F}_A, \hat{F}_M とする。ここで、 $\hat{F}_A < R < \hat{F}_M$ となる R を設定することにより、前述のように適応ギャップ仮説における $AG < 0$ ($F < \hat{F}$) が AIBO の実験により、 $AG > 0$ ($F > \hat{F}$) が MindStorms の実験により成り立つ。

3.2 実験

予備実験で、得られた R を設定して、「ここ掘れワンワン」タスク (3.1) を AIBO, MindStorms について、被験者実験を行う。このとき、実験前には、タスクについてのインストラクションを与え、AIBO, MindStorms の提示順序は、各被験者

でランダムに設定する。また、「ここ掘れワンワン」タスクは、ユーザが退屈しないように、4つのステージからなり、背景や画面が変わるようになっている。さらに、exploration の効果を与えるために、後半のステージでは、1回の選択の得点を倍にする。

各選択でエージェントがアドバイスした選択肢、ユーザが実際に選んだ選択肢をすべて記録する。これにより、ユーザがエージェントのアドバイスに従ったかどうかを観測できる。我々の予測では、AIBO については、 $AG < 0$ のために、徐々にエージェントからのアドバイスを無視するようになり、MindStorms では、継続してアドバイスに従う傾向が見られると考えている。また、実験前後でのエージェントに対する心証の変化を、実験前と後でのアンケート調査により調べる。

4. まとめ

エージェントの機能と外見の関係について、適応ギャップを提案し、その適応ギャップの条件によって、ユーザのインタラクションの継続性を説明した。また、適応ギャップ仮説を検証する実験計画を立て、その評価方法を示した。

現在、実験計画の最終的な詰めを行っており、その後すぐに実験に入る予定である。

参考文献

- [Cassell 00] Cassell, J., Sullivan, J., Prevost, S., and Churchill, E. eds.: *Embodied Conversational Agents*, MIT Press (2000)
- [Goetz 03] Goetz, J., Kiesler, S., and Powers, A.: Matching Robot Appearance and Behavior to Tasks to Improve Human-Robot Cooperation, in *In Proc. of RO-MAN'03*, pp. 55-60 (2003)
- [芳賀 02] 芳賀 義典: 玩具ビジネスの特徴とロボット玩具の方向性, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 7, pp. 683-686 (2002)
- [Kiesler 95] Kiesler, S., Sproull, L., and Waters, K.: A Prisoner's Dilemma Experiment on Cooperation with People and Human-like Computers, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 79, No. 1, pp. 47-65 (1995)
- [Matsumoto 05] Matsumoto, N., Fujii, H., Goan, M., and Okada, M.: Minimal Design Strategy for Embodied Communication Agents, in *Proc. of RO-MAN'05*, pp. 335-340 (2005)
- [Reeves 98] Reeves, B. and Nass, C.: *The Media Equation*, CSLI Publications (1998)
- [山田 06] 山田 誠二, 角所 考, 小松 孝徳: 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 648-653 (2006)
- [Yamada 06] Yamada, S. and Komatsu, T.: Designing Simple and Effective Expression of Robot's Primitive Minds to a Human, in *Proc. of IROS'06*, pp. 2614-2619 (2006)
- [中島 04] 中島 義明, 安藤 清志, 子安 増生, 坂野 雄二, 繁樹 算男, 立花 政夫, 箱田 裕司 (編): 心理学辞典, 有斐閣 (2004)