

HAIによる環境知能の実現へ向けて

小野 哲雄

公立はこだて未来大学 情報アーキテクチャ学科 〒041-8655 函館市亀田中野 116-2

E-mail: tono@fun.ac.jp

あらまし 本発表では、近年のHAI (Human-Agent Interaction) に関する研究成果にもとづき、環境知能の実現可能性について議論を行う。環境知能に関する研究では、人間と環境との相互作用に知能の本質があると考え、人工知能 (情報処理) 技術を用いて環境を知的化することを目指している。本発表では、エージェントやロボットに関連する人工知能技術に加え、人間の多様な認知的要素を取り入れた相互作用の観点から環境知能について考察する。

キーワード ヒューマンエージェントインタラクション、コンテキストの継承、認知的引き込み、潜在認知

Toward Realization of Ambient Intelligence on the Basis of Human-Agent Interaction

Tetsuo Ono

Department of Media Architecture, Future University-Hakodate

Abstract: In this talk, we discuss a possibility of Ambient Intelligence (AI) on the basis of Human-Agent Interaction. In the field of research in AI, it is believed that interaction between humans and environment is essential for constructing an intelligent system. I will consider this AI from the viewpoint of human factors as well as agent and robot technologies.

Keywords: Human-Agent Interaction, Succession of Context, Cognitive Entrainment, Subliminal Cognition

1. はじめに

人工知能の研究の進展とともに、システム内部の「閉じた系」において知能を実現することの難しさが明らかとなってきた。これに対して、システムが人間や環境とインタラクションを行うような「開いた系」において知能の実現を試みようという研究が広がりを見せている。この場合、知能はシステムと人間 (環境) とのインタラクションによって生じる現象とみなすべきであり、このような知能を発現させるシステムを実現するためには、両者の間のインタラクションをどのように設計するかが鍵となるであろう。

特に環境の知能化に関する議論は近年さかんに行われており、研究会¹やシンポジウム²も開催されている。「環境知能」の特徴として、ユビキタス・コンピューティングやパーペシブ・コンピューティングなどの概念以上に多様な要因が関わる、より広範な概念として提案されている[外村 08]。しかしその概念の本質は、環境に潜む知能、もしくは知能が埋め込まれた環境を指し示しており、初期的な目標としては、これらを人工知能 (情報処理) 技術を用いて実現することである。

¹ 環境知能研究会 (2000年～、情報処理学会関西支部)

² 環境知能シンポジウム (2006年、NTT)

本発表では、近年さかんに研究が行われている、HAI (Human-Agent Interaction) に関する研究成果にもとづき、環境知能の実現可能性について議論を行う。具体的には、コンテキストの継承や身体的引き込み (body entrainment) など人間の潜在認知にもとづくはたらきが環境にあるメディアの機能に付加されることにより、環境知能がボトムアップに形成される可能性について議論する。

2. HAIにおけるコンテキストの継承

本節では、HAI における研究成果の1つである、エージェントが環境内にあるさまざまなメディアを移動しながら、コンテキストを継承する手法を紹介する。本手法を用いることで、人間はエージェントの発話を理解することが可能になり、さらにエージェントやメディアに対する愛着が生起することを示す。

2.1 背景と目的

近年、コンピュータの小型化、高性能化が進み、我々の日常生活のさまざまな場面において、コンピュータとインタラクションを行う機会が多くなってきた。しかし、人間とこれらのコンピュータとのインタラクションはまだまだ円滑なものとはなっていない。なぜならば、環境に存在するコンピュータのセ

ンサは人間の行動の文脈（コンテキスト）を理解することが難しく、またコンピュータに対する入出力方式は従来のデスクトップメタファに基づいたものが多いため自然なインタラクションを行っていく。音声などのモダリティを用いたインタフェースも可能ではあるが、その認識率の問題とともに、環境にある人工物が急に音声を発しても、人間はそれを聞き取り、理解することが難しいという問題がある[Ono 00]。今後、人間とコンピュータおよび人工物の間に関係を構築し、両者のコミュニケーションを円滑にするための手法を考える必要があるだろう。

2.2 方法論

2.1 節の問題点をふまえ、本節ではエージェントマイグレーションの機構を用いて、システムと人間が関係を構築し、コンテキストを継承する研究事例を紹介する。ここでエージェントマイグレーションの機構とは、エージェントがあるメディア（たとえばディスプレイ）から他のメディア（たとえば PDA）などへネットワークを経由して乗り移るメカニズムを指す。

本節で紹介する ITACO システムは、ユーザに対して文脈に応じた適切な支援を行うエージェントシステムである。エージェントは日常的なユーザとの対話により、ユーザの趣味や行動の傾向を記憶することが可能である。そして、収集したそれらの個人情報をもとにして、各ユーザに特化したさまざまな支援を行う。図 1 に ITACO システムの概念図を示す。たとえば、エージェントは外出するときにユーザの服に装着されたウェアラブルコンピュータへ乗り移り、スケジュールや公共交通機関の情報などをユーザに与え、帰宅したらテーブルランプへ乗り移り電気をつけるといったユーザの日常的な行動を支援する。本研究では、限定された条件下において動作する ITACO システムを試作した。具体的には、タブレット PC 上に存在するエージェントが、ユーザとの対話によってさまざまな情報を得たうえで、ウェアラブルコンピュータや、テーブルランプへ乗り移るシステムである。

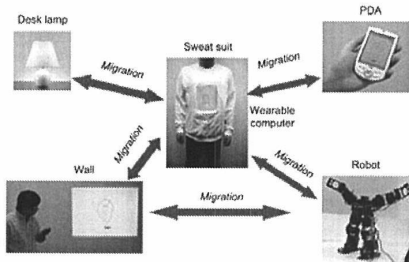


図 1 ITACO システムの概念図

2.3 本研究の意義

本節で紹介した研究のポイントは、エージェントマイグレーションの機構を用いたことにより、ユー

ザと人工物の間に相互依存的なサイクルを形成することができるということである。

我々の先行研究では、エージェントがノート PC からロボットのディスプレイへ乗り移ったことにより、その後のロボットの発話が被験者により理解され、さらにロボットの依頼を実行するというサイクルが形成されることが明らかとなっている[Ono 00]。これに対して、エージェントが乗り移らない場合は、ロボットからの一方だけの情報提示になってしまい、被験者とのインタラクションのサイクルは形成されない。

他の研究事例では、エージェントが被験者のウェアラブルコンピュータからテーブルランプへ乗り移ったことにより、その後のランプの点灯と被験者のランプに対する愛着の生起というサイクルが確認された[小川 06]。これに対して、エージェントが乗り移らなかった場合は、被験者とランプという人工物との間にインタラクションのサイクルは形成されなかった。

結論として、エージェントマイグレーションの機構を用いることにより、人間と人工物の間に関係を成立させ、コンテキストを継承させることができた。この関係の構築とコンテキストの継承が両者の間に、発話理解の促進および愛着の生起という認知プロセスを起こさせたと考えられる。

3. HRI における身体的引き込み

本節では、人間と円滑にコミュニケーションを行うことができるロボットを実現するため、コミュニケーションにおける身体性に注目した研究を紹介する。具体的には、人間とロボットが身体的な引き込みをとおして関係を構築することの重要性とそれを実現するための手法を示す。さらに、この関係が構築された場合、認知的な引き込みにより、人間とロボットの双方の情報伝達が円滑になることを示す。

3.1 背景と目的

近年、円滑なコミュニケーションを実現するためには、言語情報の伝達だけでは不十分であることが明らかとなり、非言語情報を活用するための研究がさかに行われている。しかし、非言語情報をたんにネットワークを介して伝達してもそこに円滑なコミュニケーションが実現されることはない。この理由として我々は、コミュニケーションの場で対話者間のインタラクションによって創られるような「共創」される情報を研究の対象としてこなかったためではないかと考えている。

上記の問題点を考察するため、我々は「共創対話」という枠組みを提案した[小野 01a, Ono 01b]。共創対話とは、従来の情報技術では十分に扱えなかった、身体と同調的動作による対話者間の関係の構築、およびこの関係に基づく情報伝達のメカニズムを理解するための枠組みである。つまり、従来の情報技術

では、通信回線の伝送路にのるような「伝達」できる情報のみを扱い、コミュニケーションの場で「共創」される情報は対象としてこなかった。このことが、人間と人間および人間と人工物のコミュニケーションを行う際の違和感や不自然さを生じさせる原因となっていたのではないだろうか。

3.2 方法論

3.1節で述べた共創対話の概念を検証するため、具体的な事例として、道案内における人間同士および人間とロボットの身体動作と情報伝達との関係に注目した実験を行った。人間同士の道案内では、話し手も聞き手も互いに身体の向きや首、腕の動きを自律的かつ同調的に調節しながら関係を構築し、目的の場所までの道順を伝達もしくは理解しようと試みている。たとえば、両者は互いに身体の向きを相手と同じ方向になるように調節したり、同じ方向を指差したりする動作が見られる(図2左)。このような身体動作が困難なとき、両者は互いに違和感を持ち、目的の場所までの道順という情報が伝わりにくくなることが明らかとなった[小野 01a]。

人間同士の道案内の実験結果から、以下の仮説を立てることができる。

- (a) 身体と同調的動作 ⇔ 関係の構築
- (b) 関係 ⇔ 共有視点の形成
- (c) 共有視点 ⇔ 円滑な情報伝達

つまり、(a)対話者間の身体と同調的な動作が両者の間に関係を構築し、(b)この関係に基づき、話し手と聞き手がお互いの空間座標系から共有視点を形成しようと試みる。(c)この共有視点の形成が円滑な情報の伝達を可能にしていると考えられる。我々はこのような過程を、「認知的な引き込み」(cognitive entrainment)と呼んでいる。

実際にコミュニケーションロボットを用いて、上記の仮説を検証した。まず、ロボットが被験者に道順を教える場合を考える[小野 01a, Ono 01b]。ロボットの身体動作をパラメータとして条件を設定したところ、ロボットが人間に近い身体動作を行いながら道案内をした条件では、被験者は引き込まれるような身体動作を行うことが観察された(図3左)。さらに、この条件では道案内の情報が正確にロボットから被験者へ伝わっていた。これに対して、ロボットが身体動作を行わずに道案内した条件では、被験者の身体動作もまったく観察されず(図3右)、また道案内の情報も正確には伝わらなかった。

次に、被験者がロボットに道順を教える場合を考える[Sakamoto 05]。実験では、道を教える被験者の動きに対して同調的な身体動作が可能なロボットシステムを構築し、実験を行った。この結果、ロボットが被験者の動きに対して同調的な身体動作をした場合、被験者は道順を想起し、話しやすくなることが明らかとなった(図2右)。これに対して、ロボットが同調的な身体動作を行わない場合、被験者による円滑な説明が行われないことが明らかとなった。

3.3 本研究の意義

3.2節で紹介した研究事例のポイントは、対話者同士の同調的な身体動作が両者の間に相互依存的なサイクルを形成したこと、およびこのサイクルにより相互の情報伝達が円滑になったことである。

システムと人間とのインタラクションの設計を考える場合、本章で示した研究事例は重要な示唆を与えるだろう。つまり、コミュニケーションロボットを用いた場合でも、そのロボットに人間が行うような同調的な身体動作を行わせれば、人間も引き込まれるような身体動作を行い、さらに人間同士の対話のように情報の理解や想起が促進されるのである。この場合、両者間の相互依存的なサイクルの形成(関係の構築)が、人間の認知プロセスに影響を与えていたと考えることができる。



図2 人間同士の道案内における身体と同調的動作(左)とロボットに道を教える条件での同調的的身体動作(右)



図3 ロボットが身体動作を用いて人間に道を教える条件(左)とロボットが身体動作をせずに道を教える条件(右)

4. 環境知能の実現へ向けて

本稿では、HAIに関する研究成果にもとづき、エージェントマイグレーションによるコンテキストの継承が人間と人工物の対話を円滑にし、ロボットとの身体的インタラクションが認知的な引き込みを起こし、情報伝達が円滑になることを示した。

本発表では、これらのHAIに関する研究成果にもとづき、環境知能の実現可能性について議論することを目的としていた。具体的には、コンテキストの継承や身体的引き込みなどの人間の潜在認知にもとづくはたらきが、環境にあるメディアの機能に付加されることにより、環境知能がボトムアップに形成されるのではないかと考えている。つまり、環境知能はたんなるシステムの機能として実現されるのではなく、人間の多様な認知的要素、特に情動や潜在

認知などの顕在化されないレベルでのインタラクションをとおして実現されるのではないだろうか。以下の節では、これらの仮説を検証するためのテストベッドとして構築して「ITACO on the Room」環境を紹介する。

4.1 環境知能の実験環境

ソフトウェアのアーキテクチャ

環境知能を実現する技術として、分散知能やマルチエージェントシステムの知見は重要となるであろう。特に、すでに述べたように擬人化され、不完全な知識しか持たないエージェントがメディア間を移動する以上、他のエージェントとの協調が知能化において必須となるであろう。現在、このような立場からソフトウェアシステムの構築を行っている。

ハードウェアのアーキテクチャ

現在構築している実験環境では、各種のセンサとアクチュエータを備えたデバイスを設計し、実験環境に多数配置している。具体的には、ネットワークに接続された各デバイスには、入力として温度や赤外線センサ、マイクロフォンが埋め込まれ、出力としてLEDやFAN、スピーカが装備されている。

「部屋」との予備的なインタラクション実験

本研究では、予備的なインタラクション実験として、図4に示すようなコンセプトにもとづき、人間と「部屋」とのインタラクション実験を行っている。具体的には、ユーザの趣味や嗜好を理解しているエージェントが「部屋」に「乗り移って」おり、エージェントは常時ウェブの情報を監視している。このエージェントは通常は呼吸のリズムを刻みながら部屋にいる（ユーザにとっての Background）が、ユーザにとって有益な情報を見つけた場合、ユーザの Foreground へ移動し、ユーザにその情報を提供する。

このような部屋とユーザのインタラクション実験の結果、多くの被験者が、エージェントが部屋に移動したことを理解しており、その「部屋」に対して、「生物性」や「意図性」を感じているという結果が得られた[板垣 08]。部屋とインタラクションを行うことは、人間にとって経験のないことだと考えられるが、このような簡単なインタラクション実験でも効果が見られるということはその実現の可能性を示していると考えられる。

4.2 環境知能の今後へ向けて

環境知能は多様な要因が関わりあう、広範な概念として提案されているため、学際的な研究分野としての魅力とともに、その応用例は我々の想像力を刺激してやまない。言うまでもなく、さまざまな場面でユーザの利便性を向上させることが可能であろうし、さらに広く建物内の最適化や交通システムの効率化も期待できるであろう。また、従来の ICT が十分に貢献できなかった、本来の人間同士のコミュニケーションを豊かにしていくことも可能だろう。

さらに興味深いのは、環境が知能化したとき、これまで知的主体であった人間がどのように変化していくのかということである。相互作用に知能の本質があるとすれば、革新的な変化が人間の側に起こる可能性が大きいのではないだろうか。

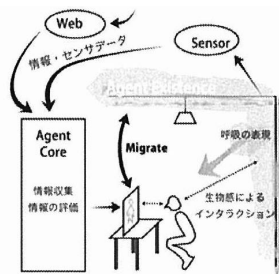


図4 環境知能の実験環境のコンセプト図

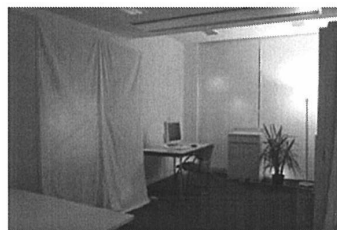


図5 環境知能の実験環境の実装例

参考文献

- [板垣 08] 板垣祐作, 小川浩平, 小野哲雄. ITACO on the Room: アンビエントな情報提供を行う生物感のあるエージェントの提案, HAI シンポジウム 2008.
- [駒込 07] 駒込大輔, 鈴木道雄, 小野哲雄, 山田誠二. RobotMeme: 模倣による人-ロボットの周辺の相互適応, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 47-57.
- [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).
- [Ono 00] Ono, T., Imai, M. and Nakatsu, R.: Reading A Robot's Mind: A Model of Utterance Understanding Based on the Theory of Mind Mechanism, Proceedings of Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2000), pp. 142-148 (2000).
- [小野 01a] 小野哲雄, 今井倫太, 石黒浩, 中津良平: 身体表現を用いた人とロボットの共創対話, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 6, pp. 1348-1358 (2001)
- [Ono 01b] Ono, T., Imai, M. and Ishiguro, H.: A Model of Embodied Communications with Gestures between Humans and Robots, Proceedings of Twenty-third Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci2001), pp. 732-737 (2001).
- [Sakamoto 05] Sakamoto, D., Kanda, T., Ono, T., Kamashima, M., Imai, M. and Ishiguro, H.: Cooperative Embodied Communication Emerged by Interactive Humanoid Robots, The International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 62, issue 2, pp. 247-265 (2005).
- [外村 08] 外村佳伸他: 環境知能のすすめ—情報化社会の新しいパラダイム, 丸善 (2008).