

# 人間とエージェントの協調行動

三宅 美博

東京工業大学（院）総合理工学研究科

miyake@dis.titech.ac.jp

## 概要

協調行動プロジェクトでは人間とエージェントのインタラクションのデザイン原理を明らかにすることを目標に設定した。そして人間のネットワークとエージェントのネットワークのインタフェース領域に注目し、両領域間での社会的インタラクションを介して実現されるリアルタイムの情報統合システムの構築をめざした。特に、このような社会的インタフェース領域の特徴を、人間とエージェントのネットワークインタフェースだけではなく、個と社会のインタフェースでもあるという点において捉え、その具体的な実現可能性を探り、最終的には、本プロジェクトの成果として、いくつかの有用な人間-エージェントシステムのデザインに成功した。

## 1. 背景

われわれの日々の暮らしのなかで安心と安全を脅かす事態が頻発している。このような状況の中で、社会システムの再生への機運が高まっており、そのひとつの方法として安心と安全の回復を支援できるネットワーク技術に注目が集まっている。(たとえば、文科省「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」報告書 [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kagaku/anzen/houkoku/04042302.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/anzen/houkoku/04042302.htm))

その一方で、情報ネットワーク(インターネット等)を介する社会的コミュニケーションの現状は上記の期待から大きく異なっている。人間同士の一体感や信頼感を希薄化させてしまうことや、ネットワーク上で記号化される情報が量的爆発を生じていることなど、依然として多くの問題を抱えているのである。そしてこれらが原因となり社会的コミュニティの弱体化やデジタルディバイドなどの問題も生じている。人工知能批判で有名な哲学者ドレイファスは、既に、このような問題の原因として、ネットワーク上での身体性の欠如とそれに基づくコンテキスト情報の共有の困難さを指摘した。(H.L.ドレイファス：インターネットについて、産業図書 2002)

したがって、社会における安心と安全の回復のネットワーク技術とは、コミュニケーションにおけるコンテキストの共有支援技術であり、そのためには身体性の共有が不可欠と考えられる。そこで、エージェントに身体性を与え（これはシンボルグラウンディング問題やフレーム問題と深く関係する）、それをエージェントネットワークとして情報ネットワーク上に構成し、これによって人間同士のコミュニケーションを支援することが有効になる。そして社会的システムにおける安心と安全の回復に寄与することが期待されるのであ

る。

## 2. 活動計画の概要

これを実現するためには、人間のネットワークとエージェントのネットワークのシームレスな接続が不可欠であり、その上で社会的コミュニケーションにおけるコンテキスト共有の支援システムとして統合することが求められる。このような背景の中で、協調行動プロジェクトのミッションは、人間とエージェントのインタラクションのデザイン原理を明らかにすることに設定した。特に、人間のネットワークとエージェントのネットワークのインタフェース領域に注目し、両領域間での社会的インタラクションを介して実現されるリアルタイムの情報統合システムの構築をめざしたのである。

われわれはこのような領域を「社会的インタフェース」とよび、図1に示すように、その特徴を、人間のネットワークとエージェントのネットワークのインタフェースにあるだけでなく、個と社会のインタフェースでもあるという点において捉えた。そして、このような社会的インタフェースとして構築される人間とエージェントの協調行動の実現と、その設計論の確立に関わる研究を推進した。

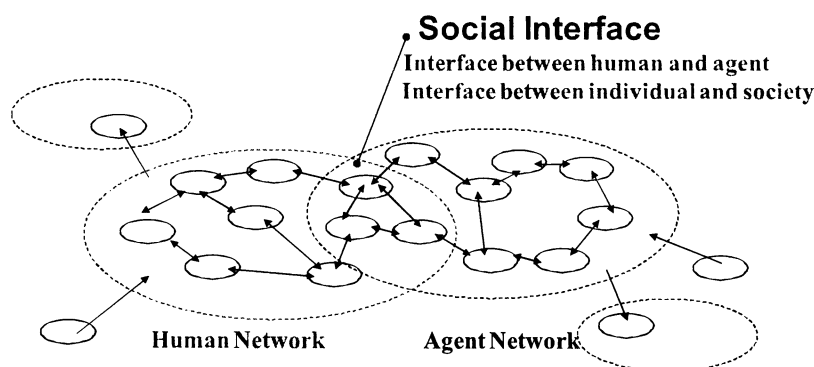
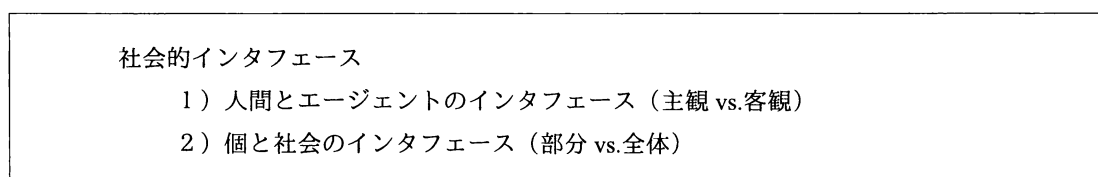


図1 社会的インタフェース

このような問題設定の下では、図2のような2つのディメンジョンが重要になる。第1のディメンジョンは、人間とエージェントの関係である。これはインタラクションを内側から捉える主観的視点と外側から捉える客観的視点のあいだの問題になる。第2のディメンジョンは、個と社会の関係である。これはシステムを部分の視点から捉える立場と全体の視点から捉える立場のあいだの問題である。そこで以下のような研究分野を設定し、共同研究を推進することの有効性が考えられる。

- 1) エージェントネットワークに関する研究  
     エージェントの知能化、身体化、群化、ネットワーク化に関する研究
- 2) ヒューマンネットワークに関する研究  
     人間の認知および身体的・社会的コミュニケーションに関する研究
- 3) 社会的システムとしての統合に関する研究  
     社会技術的な観点から上記の2つの領域を統合するインクルーシブな研究活動

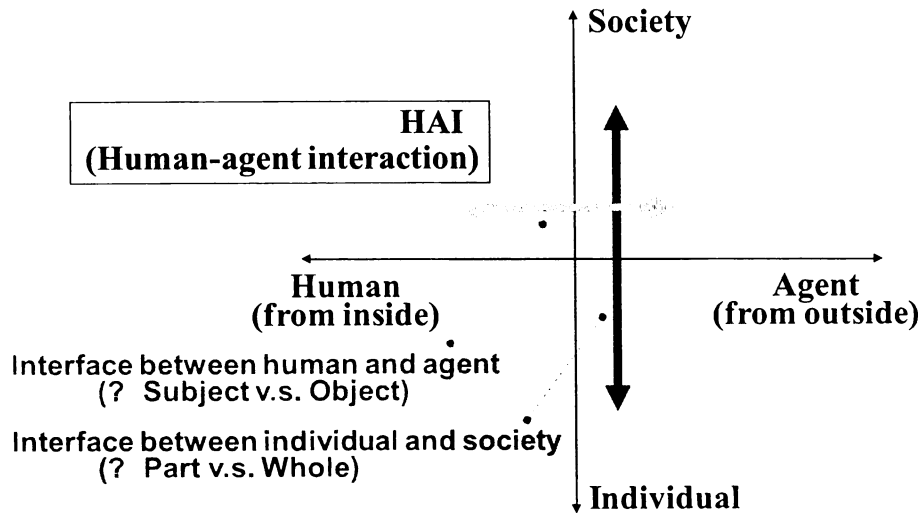


図2 協調行動グループのディメンジョン

したがって、人間とエージェントの両側面から協調行動のメカニズムを調べることが不可欠であり、エージェント側からは構成論的手法を用いて客観的視点において、人間側からは心理学的手法を用いて主観的視点において分析することが可能である。また、このような相補的アプローチの研究成果を踏まえて、個と全体の関係において、人間とエージェントのインタラクションに基づく社会性の実現へと統合することが重要である。さらに、これらのシステム論的基盤としてエージェント制御に関する基礎的研究も同時に推進されなければならない。

具体的には、上記の2つのディメンジョンを図3のように組み合わせることによって、4通りの研究スタイルが可能になった。長谷川はエージェント側から構成論的手法を用いてインタラクションの研究に取り組み、三宅は人間側から心理学的手法を用いてコミュニケーションの分析を行なった。さらに、この成果を踏まえ、片上（新田）は人間とエージェントのインタラクションに基づく社会性の実現へと展開した。さらに、これらのシステム論的基盤としてエージェント制御に関する基礎的研究が村田によって推進されたのである。

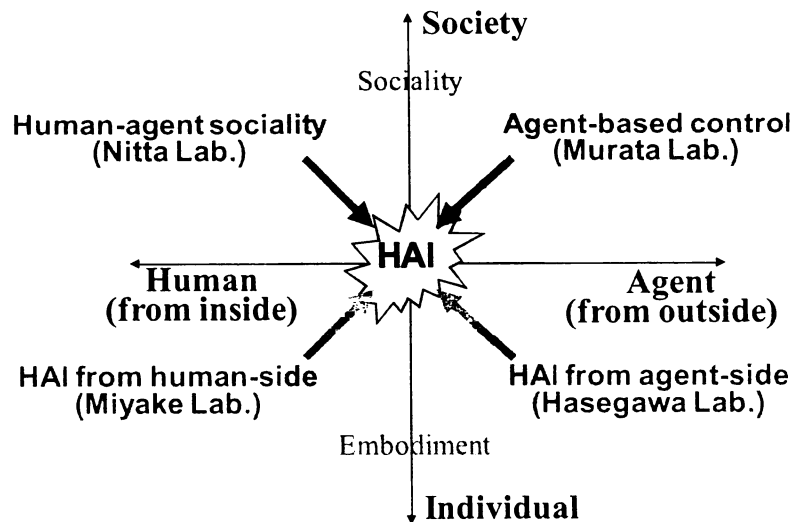


図3 メンバーの連携関係

このように協調行動グループは、人間社会とエージェント社会のインタフェースの領域に研究ターゲットを置いている唯一のグループであり、その研究目標を社会的インタフェースと設定することで、本 COE プロジェクトに対して重要な役割を担っている。

### 3. 研究活動の成果

われわれは定期的に協調行動グループのセミナーを開催し、その研究成果の発表や意見交換を通して、上記の目標に向かって連携を強めた。その結果、以下のような成果を得ることができた。

#### 3.1 三宅グループ

三宅らは、人間とエージェントのインタラクションにおける主観的側面として、「間(ま)」の共有の問題に注目し、前半のステージでは対話における「間」の共有機構の分析とそのタイミング制御モデルの構築にとりくみ、後半のステージではそのメカニズムを活用した情報統合支援システムの開発へと展開した。

前半のステージでは、人間同士の対話コミュニケーションにおける発話と身振りの時間的構造の分析がなされた。具体的には、以下に示すような2者間での簡単な指示・応答場面を対象とし、

発話 1. 指示者が「積み木を取ってください」という指示を被指示者に出す

発話 2. 被指示者は「はい」という返事をして机の上の積み木をひとつ取る

図4の状況において実施された。このとき発話と身振りの時間特徴量としては、図5に示すパラメータ群を用い、これらの特徴量の全ての組み合わせについての相関解析を行うことで、指示・応答対話における発話と身振りのタイミングを包括的に分析した。

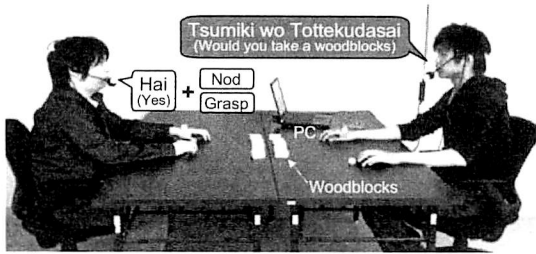


図4 指示・応答対話

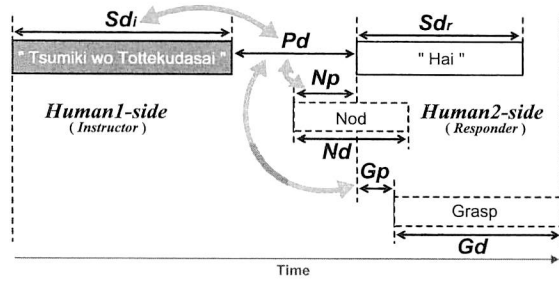


図5 対話の時間的特徴量

その結果、人間同士の指示・応答対話において、被指示者の発話と身振りの開始タイミングが、指示者の発話長に依存して変化することを明らかにし、図6に示すような3つの相関関係の存在を報告した。さらに、この結果を踏まえて「間」の共有のためのタイミング制御モデルを構築し、その実験的検証を行なった。

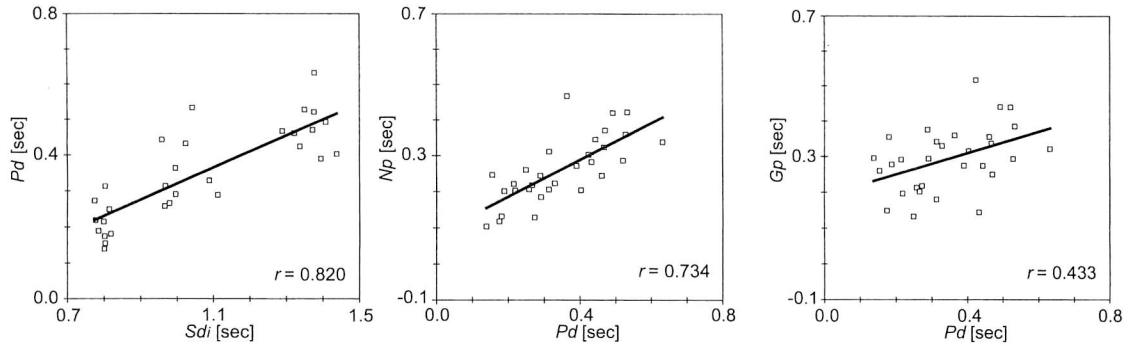


図6 発話と身振りの相関関係

後半のステージでは、人間同士の指示・応答対話において明らかにされた発話と身振りのタイミング機構を図7のように、物理的エージェントとしてのコミュニケーションロボットを用いて人とロボットのインタラクションとして再構成し、それに基づく「間」の共有から対話への影響を調査した。その結果、図8のようにタイミング制御の有無によって、対話の印象に差が現れることが示された。特に、高齢者において差が顕著に現れ、タイミング制御モデルを搭載したロボットのインタラクションの方が情報統合へ向けて好ましい印象を与えることが明らかになった。さらに、タイミング制御の有無によって、発話の意味解釈が変化することも示された。

これらの結果から、指示・応答対話における発話と身振りのタイミングの時間的構造としての「間」が、対話の印象に影響することを実証した。さらに、タイミングという非言語的コミュニケーションが、発話の意味やその解釈といった言語的コミュニケーションに影響を与える可能性を示唆した。したがって、タイミング制御を介する「間」の共有がエージェントに身体性を与え、共創的情報統合に有効であることが示された。

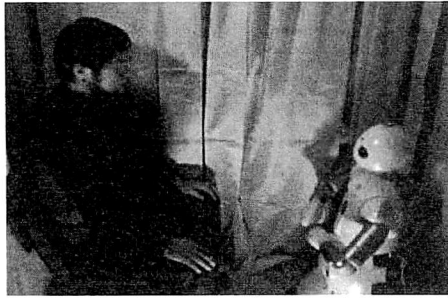


図7 人間とロボットの対話

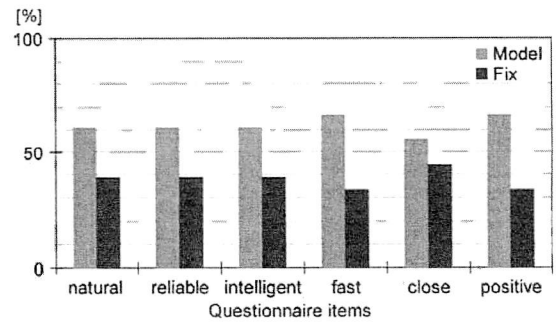


図8 対話の印象評価

### 3.2 長谷川グループ

長谷川らは、人間とエージェントのインタラクションにおける客観的側面として、物理的身体を持ったエージェント（ヒューマノイドロボット）に自己増殖型ニューラルネットを用いた学習メカニズムを搭載し、人間や環境との相互作用を通じて発達的に学習するシステムを構築した。さらに、このシステムに「動き」の概念の獲得や文法の獲得をするメカニズムを搭載することに成功した。

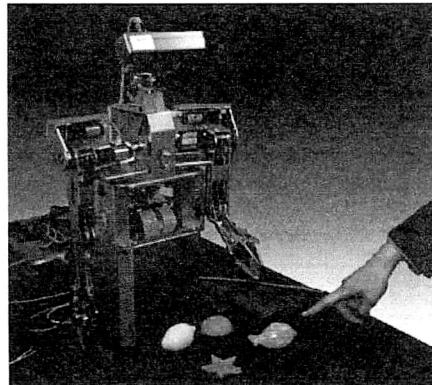


図9 長谷川グループの成果

### 3.3 片上（新田）グループ

片上らは、人間とエージェント間のインタラクションによるエージェントの社会性の獲得に注目し、それを実現するためにエージェント内の学習機構について構成論的に研究を進めた。その結果、社会性獲得に必要な幾つかの要素と、いくつかの副次的効果があることを示した。さらに、そのモデル化と検証を達成した。

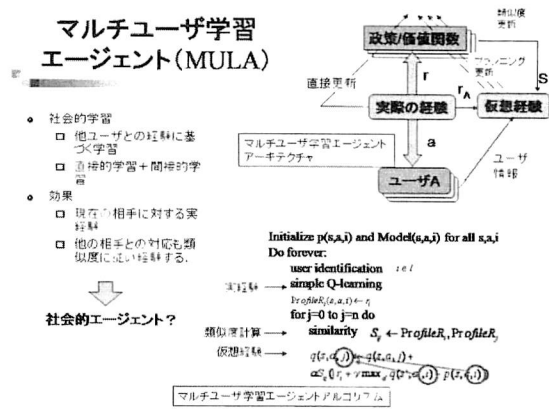


図 1 0 片上グループの成果

### 3.4 村田グループ

村田らは、多数のエージェントの協調作業における、作業環境とエージェントの相互作用を制御の側面から検討した。ロボットエージェントによる構造物構築のモデル化をおこない、作業環境（構造物）自身が拡散過程によって形成する場によりロボット群が適切に制御され、かつロボット群が構造物を構築するという相互作用的な関係により、効率のよい作業および故障や外乱に強いシステム構成が可能であることを明らかにした。

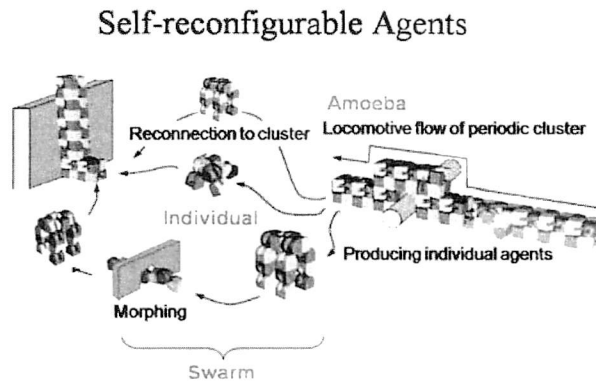


図 1 1 村田グループの成果

## 4. さまざまな連携と情報発信

協調行動プロジェクトでは、プロジェクト内にサブグループをつくり緊密な連携の下に研究教育活動を進めた。加えて、他の研究プロジェクトとの連携も重視し、特に「交渉エージェントと法システム」グループは、人間とエージェントを含むインタラクションシステムという視点から研究アプローチを共有しているため、両研究プロジェクト合同のセミナーを定期的に開催した。詳細は、新田による説明を参照していただきたい。

若手研究者の育成の具体策としては、博士課程学生を RA として採用し研究活動の支援を行なうとともに、RA セミナーやグループセミナーにおける発表を通して研究者としての基礎的トレーニングを実施した。さらに武者修行プログラムを積極的に活用し、博士課程学生の海外への派遣（ハートフォートシャ大学・イギリス）および海外の博士課程学生の招聘（ハートフォートシャ大学・イギリスおよび北京大学・中国）を実施し国際連携も深めた。

これらの研究成果の国内外に向けての情報発信としては、主たるものは学会発表と論文発表であった。ただ、その発表数が非常に多く、しかも分野が多岐にわたるため、その詳細は本 COE プロジェクトの最終成果報告書を参照していただきたい。