ISSN 1883-1966

NII Today

National Institute of Informatics News

国立情報学研究所ニュース

No. 44 June 2009

特集 インタラクションデザイン

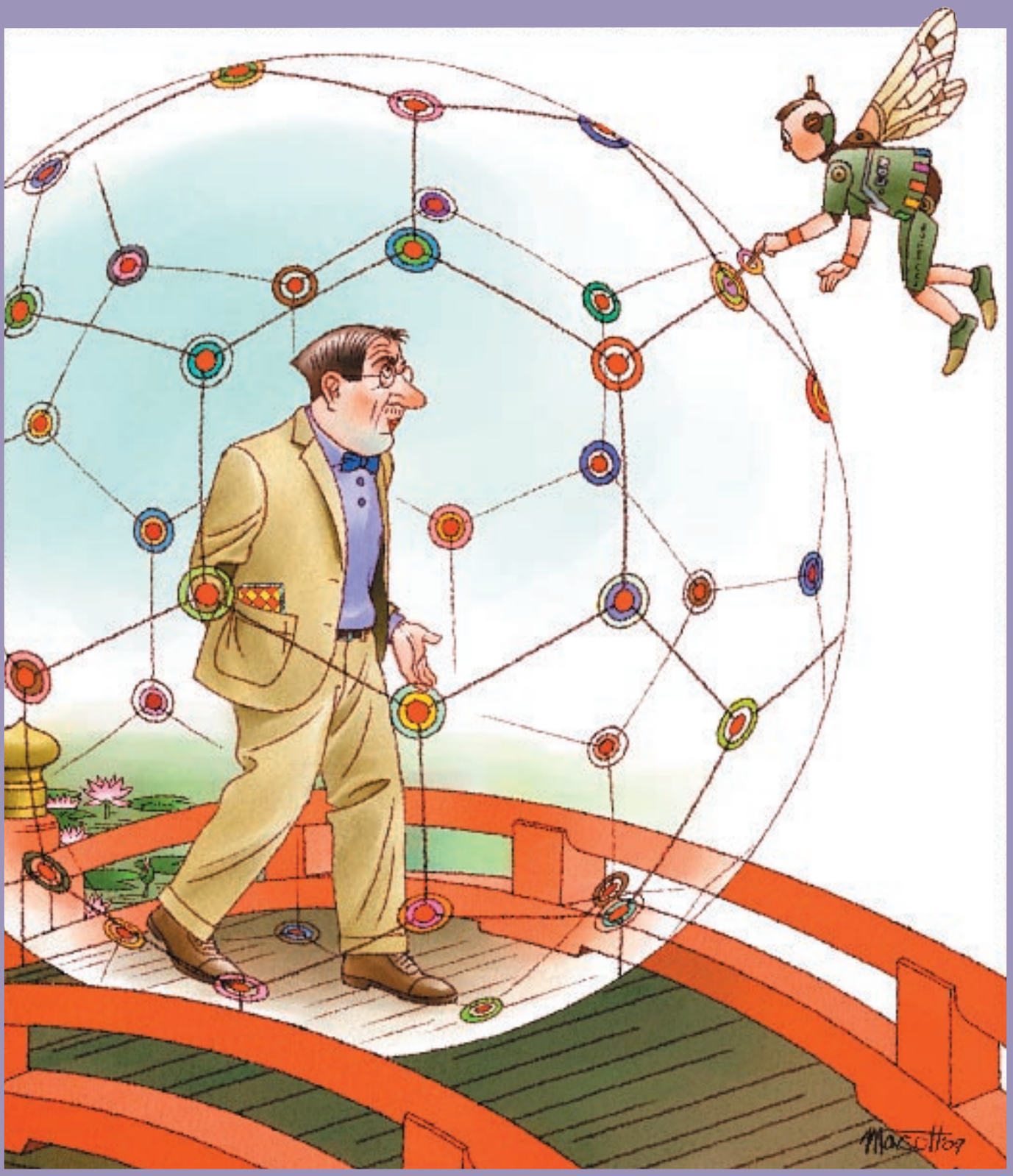
HAIが切り拓く未来
——そのデザインをどう考えるか

人と対話し見まねで行動するロボット

3Dインターネットで
対話しながら科学できる基盤づくり

コラボレーションで生まれた「超音波位置認識」

ダンゴムシだって考えている?!



NII SPECIAL

INTERACTION DESIGN

HAIが切り拓く未来

―そのデザインをどう考えるか

山田誠二

やまだ・せいじ
国立情報学研究所
コンテンツ科学研究系教授

田井中　山田さんは、人とロボットや擬人化エージェント(*1)とのインタラクション、つまり「HAI(Human-Agent Interaction)」を研究されています。まず、インタラクションとは何でしょうか？

山田　インタラクションとは、人間と何かがやりとりする際のあらゆる情報を指します。つまり、自然言語(*2)による対話のほか、対象の外見、形状、表情、感覚、しぐさ、ジェスチャー、誘発される行為、感情など、やりとりのなかで発生する情報すべてです。とくに、言語の情報よりもむしろ、言語化されない「ノンバーバル」な情報に重きを置いて研究しています。それを、①「人間とロボット」、②「人間と擬人化エージェント」、③「(エージェントを介した)人間と人間」という、3つの関係に分けて研究を進めているところです。これらの3つのインタラクションを比較し、共通点・相違点を明らかにすることで、エージェントのデザイン方法論を導き出したいと考えているのです。

田井中　まず、①のロボットですが、現在、ペットロボットやお掃除ロボットなどが生活に入ってきています。今後、どのようなロボットが求められるでしょうか？

山田　火星の探査のような特殊な場面を除いて、日常の環境において自律型ロボットである必要はないと考えています。むしろ人が操作しやすく、人間と協調作業ができるロボットのほうがいい。しかも、言語や文化に依存することなく、たとえば表情やしぐさなど、人間が直感的にわかる情報を出せるロボットが好ましいと思います。

とくにデザインで重要なのは、外見と機能の差異が小さいことです。「適応ギャップ」と言っていますが、外見が人に近いロボットだと、人間はそのロボットを人のように対話できると期待しますが、実際にその期待が裏切られると失望して、関心をなくしてしまう。一方で、外見はあまり役に立ちそうにないけれど、そこそこの機能を持っているとうまくやっていける。ギャップは少ないほうがいいのです。

これは、人間同士の関係でも同じですね。第一印象のいい人が期待を裏切ると、より悪い印象になってしまうことは、社会心理学でも明らかにされています。しかも、ロボットを人の姿に近づけすぎると違和感や不快感を抱くようになる。これを、森政弘先生(*3)は「不気味の谷」と名づけています。

田井中　現状は、ロボットよりも人間のほうがはるかに優秀ですから、その姿もそれ相応であるべきなんですね。

(*1) エージェント：ユーザーの意図に沿って自律的な判断で機能を実行するもので、次世代のユーザーインターフェースとして期待される。
(*2) 自然言語：人間が通常の意思疎通に用いる言語で、プログラミング言語などと区別する言い方。
(*3) 森政弘：日本における自動制御、ロボット工学の先駆者。東京工業大学名誉教授。
(*4) セカンドライフ：米国 Linden Lab 社が2003年から運営するインターネット上の仮想世界。アバターを使って会話や買い物、仕事など、仮想の暮らしが体験できる。(6~7ページの記事参照)

NII Interview
Seiji Yamada+Madoka Tainaka

田井中麻都佳

たいなか・まどか
科学技術編集ライター
文部科学省 科学技術・学術審議会専門委員

そういう意味では、お掃除ロボットは成功していますね。そこそこの仕事はしてくれるし、愛着をもって名前をつける人もいます。

山田　人はロボットに名前をつけるように、「擬人化」が鍵を握っています。たとえば冷蔵庫に目や腕をつけ、「僕のお腹を開けてね」としゃべると、人は自然にドアを開ける。ロボットに左右二つの目があると、人間はそのエージェントに愛着をもつことも、今井倫太研究室（慶應義塾大学）の研究により解明されつつあります。

田井中　次に、②の擬人化エージェントというのは？

山田　ソフトウェアで実装されたエージェントのことで、ロボットのように物理的な身体は持ちません。Microsoft Office で疑問点やヘルプの説明をしてくれるイルカがそうですね。セカンドライフ (*4) のアバターも擬人化エージェントです。現代社会では、コンピュータや携帯端末と向き合う時間が長いですし、ロボットに比べてはるかに低コストで作れますから、今後、その役割は大きくなっていくはずです。ただ Microsoft のイルカは不評で、最近のバージョンでは機能から消えてしまいました。それは、ユーザーが出てきてほしいタイミングで出てこないからなんですね。

擬人化エージェントの使い勝手をよくするためには、視線やマウスの動き、GPS（全地球測位システム）など位置情報から利用者の行動パターンを解析することで、利用者がどんな情報をどのタイミングで欲しているかを見極め、的確に提供をすることが重要です。そうした問題点がクリアできれば、いずれ、擬人化エージェントが、スケジュール管理をしてくれたり、外出する際には、エージェントが携帯に移動して街の情報などを教えてくれたり、パーソナルな秘書としての役割を果たしてくれるようになるかもしれません。

> エージェントは、
> 人と人をより豊かにつなぐ
> 可能性を秘めている。

田井中　こうした研究の進展により、③の人と人のインタラクション、すなわち、ロボットや擬人化エージェントを介した人間同士のやりとりも、より円滑にできるということでしょうか。

山田　ええ。すでに、ロボットや擬人化エージェントを介することで自閉症のお子さんとのコミュニケーションが促進されたり、人間同士のインタラクションを円滑にしたりするといった知見も得られつつあります。人間はロボットや擬人化エージェントに比べればはるかに賢いですから、機械に完璧を求めるのではなく、人間の機能をうまく引き出すようなインタラクティブな人工物の在り方を考えていくべきなのではないでしょうか。

インタビューアーの一言

TV コマーシャルで ASIMO の動く姿を見ていると、空を飛ぶことはできないけれど、すでに鉄腕アトムに近いロボットが実現しているかのような錯覚を覚える。しかし、現実は程遠い。それなら、人間の能力をうまく活用することで、人間に役立つロボットや擬人化エージェントをデザインしよう、というのが山田さんの発想だ。AI や人間型ロボットの研究が行き詰まりを見せるなかで、確かにこうした試みはより現実的であり、かつ、人と人工物のよりしなやかで心地よい在り方を提示できるのではないかと思った。

NII SPECIAL
インタラクションデザイン

INTERACTION DESIGN

人と対話し見まねで行動するロボット

ロボットのイメージが機械的なものから人間的なものへ近づきつつある。
いわゆるヒューマノイド（人間型）ロボットが家庭へも進出してくるような時代を迎えて、人間と自然に
コミュニケーションができるロボットの開発が期待されている。

稲邑哲也
Tetsunari Inamura
情報プリンシプル研究系准教授

「料理をしてくれる!」「掃除をしてくる!」……人間の動きを模して、人間をサポートするような働きをしてくれる人間型ロボットは、実用化への期待が膨らんでいる。しかしその裏では、ソフトウエア工学者が、この場合にはこう動く、ここで失敗したらこうやり直すというように様々な状況を想定して膨大なプログラムを書いておかなければならず、しかも限られた実験セットでしか動かせないのが現状だ。

アドリブに応えられるロボットを作る

情報学プリンシプル研究系の稲邑哲也（いなむらてつなり）准教授は、「今のロボットはアドリブに弱く、想定している場所・道具・仕事以外のことに対しては手も足も出ません。簡単な指示だけで、多様な環境で迅速に適応できるロボットシステムを作りたい」と語る。

ロボットには得意、不得意がある。得意なのは、細かい精度の制御、大量な情報の正確な記憶と再現、決められたルールに従いミスをしないこと。一方、あいまいな言葉の解釈、知らない環境への対応、人間に対する自然な振る舞いなどは不得意だ。すべての状況を網羅的に記述しておくことは不可能である。あらかじめ人間が評価関数を与えて、強化学習をして目標に向かって適切な行動を獲得させていく方法でも、膨大な時間と試行回数が必要で、ユーザーに高い負荷がかかってしまう。家事ロボットのように一般の用途に役立つロボットを開発していくには、従来とは異なったアプローチが求められる。

「見よう見まね」から適切に問いかける

稲邑准教授は、人間がプログラムしなくても、ロボットが人とのインタラクションの中から学んでいく方法はないかと模索した結果、人間の脳のメカニズムを参考に２つの方法をとることにした。１つは人間が動作をして、ロボットがそれを見て動きを学んでいくという、文字通り“見よう見まね”。もう１つは、自然な言葉で、目的や動作をロボットに説明するものだ。

ロボットが、人間の行動をあたかもビデオテープに録画するようにそっくりコピーしてしまうと、アドリブが利かせられなくなる。例えば、掃除でゴミ箱にゴミを捨てるという動作であれば、まねるべきものは、手の動きや足の動きではなく、ゴミを移動させるという目的の達成だと理解できればよいが、それはロボットには難しい。

そこで、ロボットから人間に質問をしてもらい、それに人間が簡単に答え、それを解釈して行動するというインタラクティブな対話能力を、ロボットに埋め込むことを目指した。「人間も初心者は、知らないことは教わって学んでいくのが当たり前で、ロボットにも学習のプロセスが必要。しかし、１から 10 まで尋ねるのでは意味がないので、適切な問いを発せられるようになって、初めてロボットは使える知能機械になる」と稲邑准教授は説明する。

ミラーニューロンとミメシス仮説

そこで、稲邑准教授が着目したのは、神経生

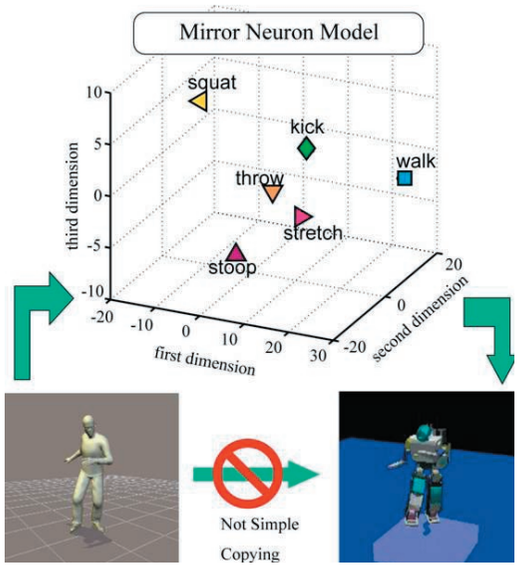


図1

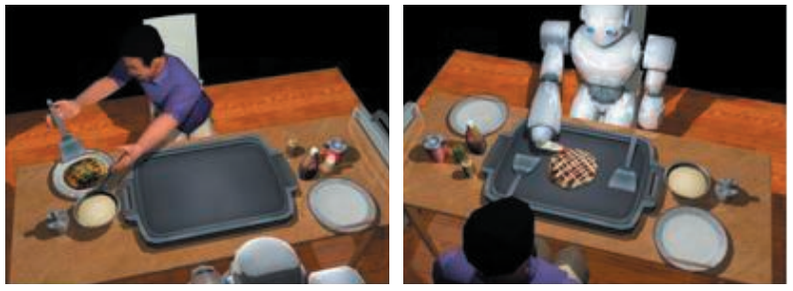


図2　SIGVerse における「お好み焼き調理の協調タスク」。左ではユーザーが操作するアバターがお好み焼きを皿に移している。この間ロボットは、人間の動作を観察しながら並列で処理できる作業を行う。右ではユーザーがアバターをなかなか操作しなかったため、ロボットが自らお好み焼きを調理している。このようにユーザーの挙動に応じてエージェントがどのように動作するのかを確認しながら、知能ロボットの動作を決定するプログラムを作成していくことができる。

理学の知見であるミラーニューロン(*1)と人類学、考古学におけるミメシス仮説(*2)である。ミラーニューロンでは他者の行動を自らの行動パターンに変換していると考えられており、このミラーニューロンの工学的モデルを構築することで見よう見まねの機能の実現を目指している。

次に、ミメシス仮説とミラーニューロンの機能を統合して考察を進めると、他者の行動を抽象化しそれを言語的に表現しつつコミュニケーションをすることも見よう見まねと深い関係にあることになる。

稲邑准教授はこれらの機能を数式モデルで表現している。まず時系列パターンである動作を隠れマルコフモデルと呼ばれる方法を用いてパラメーターとして抽出し、これを原始シンボルと呼んでいる。そして、その各原始シンボル間の関係性(類似性)を距離と見なし、原始シンボル空間と呼ばれる位相空間上に各動作を配置する手法を提案している。ロボットが未知の動作に遭遇しても、この原始シンボル空間を参照することで、既知の基本動作を組み合わせて、その動きを模倣することができるようになるのである(図1)。

バーチャルな実験空間を整備する

ロボットの研究では、実物大のロボットを使えればいいが、そのロボットを作るだけでも膨大な予算が必要で、完成してもメンテナンスに多くの人手がかかる。そのためCGなどを駆使したバーチャルな研究環境が求められている。

NIIではグランドチャレンジ(*3)のプロジェクトとして、コンピュータ内の仮想空間で、様々な分野の研究者が人間の社会的知能についての研究を自由に進められるように、異分野融合プラットフォーム「SIGVerse」(*4)の構築を進めている(図2)。

人間に近い知覚・知能、運動能力、コミュニケーション能力を持ったエージェント(ロボット)もこの空間内に配置して、視聴触覚が扱える複雑な環境で動かしたり、自ら開発した知能エージェントや疑似環境を送り込んだりすることもできる。例えば、空間内のロボットに会話をさせ、その会話によって社会がどう動くかをシミュレートし、さらにその変化した社会に対してロボットがどのような発言をすべきかが計算されるような使い方ができ、実社会とのつながりが重視されたものになっている。

稲邑准教授もこのプロジェクトでロボットシミュレーター部分の開発を手がけており、物理法則、感覚、コミュニケーションの3つをきちんとシミュレートできる環境の整備を目指している。「ロボットにはありとあらゆることを期待される宿命を負っているとも言えます。その期待に応えるために、きちんとした実験道具を世の中に提供し、そこで人間とインタラクティブに対話して見まねをしながら動作を獲得していくようなロボットを実現していきたい」と抱負を語る。このような研究から何が生まれてくるか、今後の動向が注目される。

(取材・構成　塚崎朝子)

(*1) ミラーニューロンとはサルの脳の前頭葉に偶然発見された部位で、他者の行動を見たり、自らの意志で行動するなど特定の種類の行動を映す鏡(ミラー)のように活性化される神経細胞である。

(*2) ミメシスとはギリシャ語で模写、模倣を意味しており、他人の行動を模倣する能力こそがコミュニケーション能力の萌芽だとするものである。

(*3) 次世代の情報学が立ち向かって行くべき難問に対する研究を支援するために、国立情報学研究所が進めている所内プロジェクトの名称。

(*4)SIGVerse は仮想環境であり、大規模な数のエージェントが仮想環境内で並列分散的に対話行動しているが、それらのエージェントは実世界のユーザーオペレーターや、実機ロボットとも接続している。このようなシステム構成により、実世界でのインタラクションの設計を仮想環境を通して効率的に評価・開発することが可能になる。

NII SPECIAL

INTERACTION DESIGN

3Dインターネットで対話しながら科学できる基盤づくり

3Dインターネット上で、ユーザーが自分の分身（擬人化エージェント）を用いて会話や情報交換をし、共同で実験や研究ができるような新しいプラットフォームの構築が始まっている。これは参加型科学の基盤になるとともに、環境にやさしい社会への貢献としても期待されている。

Helmut Prendinger
ヘルムト・プレンディンガー
コンテンツ科学研究系准教授

2008年6月にスタートしたGlobal Labは、NIIのグランドチャレンジ・プロジェクトの1つで、コンテンツ科学研究系のプレンディンガー(Helmut Prendinger)准教授がリーダーを務めている。ネットワークに接続するだけで、いつでもどこからでも参加できる手軽さをもつこのプラットフォームは、単なるウェブ上の空間ではなく、現実をより忠実に模した3次元の仮想世界で、次世代のウェブづくりを目標にしている。

Prendinger Lab(プレンディンガー研究室)は、現在、唯一の世界規模の研究室であり、3Dインターネット(Second Lifeとそのオープンソース版であるOpen Simulator)の包括的な研究開発を行っている。3Dインターネットは、1万1000人の出席者を集めるSupercomputing 2009会議(*1)の「推進分野」に選ばれており、このテーマの重要性を示している。

Global Labには、オンラインで結ばれた「セカンドライフ(Second Life)」と呼ばれる実世界をシミュレートできる3次元の仮想世界が広がっており、ユーザーが創造し参加することで成り立っている。ユーザーは自分の分身であるアバターと呼ばれるキャラクターを使用して、世界中のユーザーと会話や情報交換をしたり、様々な実験をしたり、共同作業をすることもできる。また、バーチャルモビリティ(virtual mobility、仮想移動)技術によって、実際には移動することなく活動に参加できるので、地球環境にやさしいことも大きな特徴になっている。

セカンドライフ専用の言語と技術の開発

プレンディンガー准教授はGlobal Labの開発に当たって、まず独自のMPML3D(Multimodal Presentation Markup Language 3D)という言語を開発した。MPMLは、キャラクター(エージェント)を用いて、複数の入出力方式を利用できるように開発されたXML準拠のマークアップ言語(*2)である。MPML3Dは、それをさらに進化させた世界初の仮想世界のセカンドライフ用エージェントのオーサリング言語(*3)である。また、同様にセカンドライフの環境をオーサリングできるEML3D(The Environment Markup Language 3D)の開発も行っている。これらはプログラム言語の専門家でなくても容易に使用できるため、研究を効率的に進めるツールとなる。

セカンドライフの最先端技術では、自動的にアバターの感情表現を表出する「EmoHeart」や、ジェスチャーを生成する「AuGe(Automatic Gesture)」という技術の付加に成功している。これらは、東京大学の石塚満教授の研究室と共同開発した。「EmoHeart」では、ユーザー同士がアバターを介してコミュニケーションする時に、チャットのメッセージを打ち込むと、自動的に解析されて、相手のアバターの胸に感情を示すハート型のオブジェが現れる(図1)。それに合わせて、「AuGe」によって感情に適した表情や動作が選択される。これで、アバターはよりリアルな形で情報交換ができるようになる。

センサーネットワークによる実験

いろいろな科学実験を模擬的に行うこともできる。例えば、センサーネットワークによって個体を識別するRFID(Radio Frequency

(*1) http://sc09.supercomputing.org/

(*2) 文章の構造や修飾に関する情報を文章の中に記述するための言語。

(*3) テキストや画像、映像、音声など各種のデータをまとめて、マルチメディアコンテンツを作るオーサリング作業で用いられるプログラミング言語。

図1 「EmoHeart」では、感情を示すオブジェが現れる。

図2 遠隔地でもリアルタイムでモニターできる。

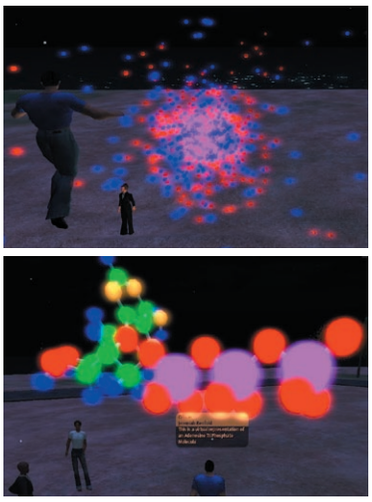


図3 天文学（上）や分子生物学（下）の分野でも活用が期待される。

Identification）と呼ばれる無線ICタグを、現実のユビキタス環境で実験するには費用がかかる。また、ミニチュアモデルでは柔軟性に欠け、二次元のソフトウェアソリューションでは正確さを欠くが、Global Labはこうした技術の試験台として利用できる。疑似空間上のRFIDタグで、アバターを調整することもできる。実装前の評価に用いたり、専門家でなくても実験できるのが利点だ。プレンディンガー准教授は、「実際の実験をするよりも、Global Lab上で検証するほうが、何が問題で何を解決すべきかが分かりやすくなる」と語る。

また、日常生活の料理や掃除などから生じる生活音をあらかじめ記録しておき、センサーネットワークを介して感知した音に応じて、アバターにその動きをシミュレートさせることもできる。

遠隔地にある農業を支援する

さらにバーチャルモビリティでは、遠隔地にある水田などをリアルタイムでモニターできるので、制御可能なサーバーを備えた参加型の農業システムも稼働している。信州大学や新潟大学の協力で、サイバースペースに集まって米を栽培したり、ワイン畑を観察したりもしている（図2）。また、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センターからリアルタイムで配信される天候・土壌などのデータや画像を用いて仮想空間を作り、それらを共有しながらオンライン上での意思決定を支援するシステムも実現した。

また、国立天文台とは、星団の進化について、可視化するなど、実験できるプラットフォームも開発した。さらに、一般ユーザーが化学物質の分子構造について共同研究をしたり、気候変動モデルの検証ができるようなシステムの構築も進めている（図3）。天文台との間は、NIIの運用する世界最高速の学術情報ネットワークSINET3でつながれている。

参加型科学や環境にやさしい社会の実現

Global Labは、誰もがセンサーネットワークや農業、天文学、分子生物学の実験に参加できる可能性を秘めている。プレンディンガー准教授は、「3Dのインターネットに基づき、先進的なコミュニケーションと参加型科学のための基盤づくりを目指している。我々は扱っている科学分野の専門家ではないが、研究の基盤を提供することはできる」と語る。参加型科学は、専門家でなくても、ネットワークやコンピュータを駆使して、従来の研究で得られた知見やデータベースなどを統合して、新たな知を発見したり活用したりできる、eサイエンスに向かうプロセスと言ってもよいだろう。

さらに准教授は「この基盤が整備されれば、社会的コミュニケーションの質を犠牲にすることなく、人や物の移動がバーチャルで代替可能になり、環境にやさしい社会の実現にも貢献できる。さらに、現実に近い形で環境仮説を検証することができるようになるので、環境意識を高めることにも役立つ。今後はさらにスケールアップを目指したい」と、その将来性を熱く語る。

（取材・構成　塚崎朝子）

コラボレーションで生まれた「超音波位置認識」

個人や組織のコラボレーション（共同研究）によって数多くの成果が生み出されている。「コラボレーション」という言葉が世をにぎわすようになったのは今世紀に入ってから。しかし、ここで紹介するNIIと大学のコラボレーションは、すでに1990年代から始まっていた。

「インタラクティブ東京」。2008年9月にお台場の日本科学未来館で行われた、インタラクティブ技術をテーマにした一般向け展示イベントである。ここに、NIIアーキテクチャ科学研究系の橋爪宏達（ひろみち）教授らが開発した「超音波位置認識」が出展された（次ページの写真）。これは、目標とする物体に向けて超音波を発して、到達するまでの時間によってその位置を測る技術である。

新しい試作基板の性能について議論する、左から橋爪教授、前田氏、杉本准教授。

ものさしを使わずに位置を測るのは、とくにめずらしいことではない。たとえばGPS（全地球測位システム）は、人工衛星から電波を飛ばして、その到達時間により測っている。しかし、GPSの電波は室内には届かない。また位置測定は数メートルの誤差があり、狭い室内で使うには十分な精度とはいえない。

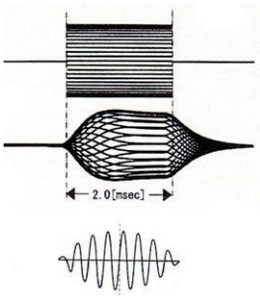


図　送信時にはシャープだった超音波の形（上）が、“なまった”形（中）で受信される。帯域が狭い通信素子特有の現象である。うなり波形（下）だとこのひずみは起こらない。（橋爪、金子、杉本、2008より転載）

橋爪教授らの開発した超音波による位置測定では、実測距離が3mのときの誤差が0.3mm以内と抜群の精度を誇る。これまでは超音波の計測では数センチメートルの誤差は避けられないと考えられていた。教授らは、あるアイデアによって誤差を100分の1にしたのである。

「うなり」を使って誤差を小さく

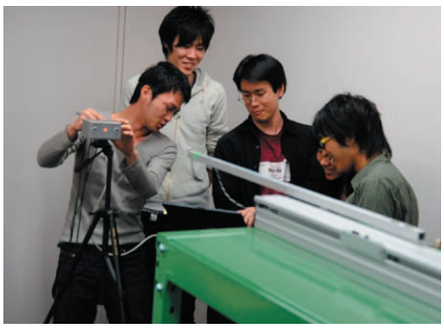
日常生活のいろいろなところで超音波は使われている。眼鏡レンズの洗浄、医療のエコー検査、自動ドア、あるいは車間距離測定やパーキングメーターなどだ。強力な超音波によりプラスチックを溶接することもできる。とはいえ、単純に空気中を伝わる超音波を使った機器の市場はそれほど大きくはない。超音波を用いて計測することは、その需要を広げる可能性をもつ。

超音波とは、人間の耳では聞こえない周波数の音波をさす。人間の耳の可聴域はおよそ20Hz~20kHz（キロヘルツ）といわれる。そのうち耳には聞こえないほど高い音、一般的には20kHz以上のものを超音波と呼んでいる。橋爪教授が用いたのは、自動ドアセンサーなどで多く使われる周波数40kHzの超音波である。音波は、上下に揺れる海の波と違い、空気や水などの圧力の高低が進行方向に伝わっていくため圧力波とも疎密波とも呼ばれる。空気中では超音波は減衰が早く、およそ数十メートルしか届かない。

さて、橋爪教授はこの超音波の測定誤差をどのように改良したのだろうか。じつは、超音波を単に飛ばしたときの数センチメートルの誤差は、原理的に避けられない（左の図）。受信したとき波形がなまってしまうからだ。

そこで、「位相一致法」という異なる原理を持ち込むことにした。周波数39.75kHzと40.25kHzの2つの超音波によって生じる「うなり」から、波形を特徴づける「位相」情報

超音波位置認識を実演する。(インタラクティブ東京 2008 にて)



超音波を用いて、移動物体の距離と角度を測定する学生たち。

を取り出すのだ。これにより、実測距離が 3 m のときの誤差が長さ 0.3 mm 以内、角度 0.2 度以内という、室内での実用には十分な位置測定性能を実現することができた。

使い道は募集中！

この技術はどんな場面で使われるのだろうか。橋爪教授と共同で研究を行っている東京大学大学院工学系研究科の杉本雅則准教授は、「これは基礎的な研究成果で、用途を限定するつもりはありません。広く使って欲しいと思っているので、用途のオファーは大歓迎です」という。

また杉本准教授は、この研究の始まった経緯をこう語る。「モバイル用の小型情報機器が広く使われるにつれ、たとえば『ボールを投げるように情報を投げる』というようなアイデアが考えられました。手にしたデバイスをあちこちの相手に向けて振ると、メールを送れたり原稿を印刷できたり。これを実現するには、目的物の正確な位置を見積もり適切な状況判断をする必要がありました。そのためにミリ単位の精度が必要になったのです」。

超音波位置認識の研究は、すでに次の段階へ進んでいる。これまでは対象物までの距離と角度を 2 次元的に測っていただけだが、現在は動く対象物の位置を 3 次元的に測ることや、超音波で対象の映像を得ることにも挑戦しているという。

自然に生まれたコラボレーション

杉本准教授は博士課程を修了した後、NII の前身である学術情報センターのソフトウェア工学研究部門に助手としてやってきた。それが橋爪教授(当時 助教授)との最初の出会いである。そのため「橋爪先生は私の師匠です」(杉本准教授)という関係だった 2 人だが、99 年に杉本准教授が東京大学に移ってからは共同研究者という立場に変わっていく。NII と東大という枠を越えて、自然にコラボレーションするようになったのである。

橋爪教授は、大学と NII のような研究所との最大の違いは「学生の存在」としたうえで、「学生のパワーはすごい。若いからときどきとんでもないミスをしますが、それが逆に研究の新たなヒントになったりもします」とコラボレーションの利点を語る。一方の杉本准教授も、「橋爪先生は、週 1 回の研究室の打ち合わせに参加し、学生指導もしていただけるので、学生たちにも好評です」といまの状況を歓迎する。

そこに、さらに 2008 年 10 月、総合研究大学院大学の学生が加わる。博士課程の前田泰成氏は、4 年前に橋爪教授と出会った。教授が上智大学の非常勤講師だったとき、前田氏がマイクロプロセッサに関する質問をしたのが始まりだったという。「彼は電子回路を作るのがうまいから、研究の幅が広がり、非常に助かっています」と橋爪教授。3 人は、互いに全幅の信頼を置いているようだ。これからもさらに様々な人を巻き込み、新しいコラボレーションが生まれ、新たな研究成果が生み出されることだろう。

(取材・構成　吉戸智明)

ダンゴムシだって考えている?!

NII では 3 年ほど前から、ヒトとダンゴムシの行動を比較するちょっと変わった研究が行われている。信州大学などとの連携で始まったこの研究は、「知的な行動は大脳が起こすもの」というこれまでの常識を覆すかもしれないと、最近注目されている。それはどういうことなのか、共同研究の最新状況を聞いた。

古山宣洋
Nobuhiro Furuyama
情報社会相関研究系准教授

「ダンゴムシは知的か？」と聞かれて「知的だ」と答える人はあまりいないだろう。しかし、本当にそうなのだろうか？この問題に答えるために、情報社会相関研究系の古山宣洋（ふるやまのぶひろ）准教授は“知的とは何か”の研究に取り組んでいる。

ヒトは行動を起こす前に、計画を立てる。行動した後は、結果を検証する。計画に問題があればそれを改善して次の行動を起こす。これを繰り返すことで、行動はしだいに洗練されていく。この試行錯誤が、ヒトが知的だとされる所以で、大脳が行っているとされている（図 1）。一方、大脳をもたないダンゴムシの行動は機械的だと言われる。例えば、ダンゴムシは障害物に出くわして最初に右に曲がると、次の障害物のところでは必ず左に曲がる。障害物に対して単純に右折・左折を交互に繰り返す（交替性転向反応という）。そうすれば障害物から効率的に逃げられることを本能的に知っているからで、考えた上での行動ではない。

「大脳＝知的」という呪縛への挑戦

「これまで心理学は、“ヒトは常に知的だ”とういう思い込みに縛られてきたと思います」と心理学を学び、ヒトの身体について研究してきた古山准教授。ヒトの行動のすべてを、大脳が支配していると考えていいのだろうかと疑問を投げかける。一方、ある種の動物はそれほどの根拠もなく機械的だとされてきた。この心理学の常識と動物行動学の常識に疑問をもつ研究者が出会ったことで、ヒトとダンゴムシの行動を比較する共同研究が始まった。ヒトの行動については、古山准教授、早稲田大学の三嶋博之准教授、丸山慎 NII 特任研究員が、ダンゴムシ研究は信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点の森山徹特任助教と滋賀大学の右田（みぎた）正夫准教授がそれぞれ担当している。

ダンゴムシの潜在能力を知るために、例えば、中央に飛び石のような突起のある環状通路を歩かせた。周りに水が張られているので、溺れる危険の中を進むことになる。それでも、乾燥を嫌うダンゴムシは普通、突起に登るような上へ向かう行動はとらない。突起と水という障害物を避けながら、機械的な交替性転向反応を示す（図 2）。しかし、どんなに進んでも水の危険から逃れることができないと、突起によじ登り触角を振り回すようになる。まるで上に逃れる場所はないか探っているようだ。この行動について古山准教授は、「ダンゴムシだって考えているんだと思いました」と興奮気味に話す。

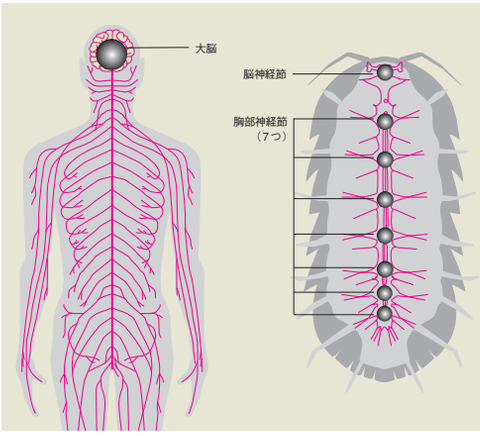


図 1　ヒトとダンゴムシの神経系
ヒトは発達した大脳が神経系全体を制御している。一方、ダンゴムシは 7 つに分かれた胸ごとにある神経節が体の動きをバラバラに制御している。頭部にある脳神経節は全体のバランスを取っているにすぎないとされている。

ダンゴムシも道具を使う？

さらにダンゴムシの触角にチューブをかぶせて行動を観察した（図 3）。チューブをつけたことで、触角は元の 1.5 倍ほどに伸びたかの

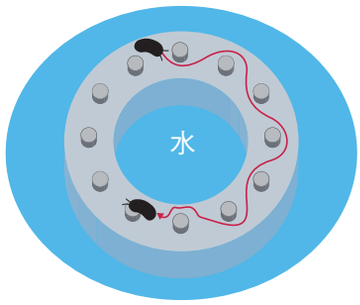


図２　環状通路を歩くダンゴムシの行動変化
機械的な交替性転向反応により障害物を回避していたダンゴムシも、時間がたつと突起によじ登るなどの特異な行動（上）を見せるようになる。これが、環境への適応の第一歩だ。（照明の具合でダンゴムシは白色に見える。）

ようだ。この状態では、慣れない道具を使うようにぎこちなく歩くのが観察された。さらに階段を降りる実験も行った（図４）。段差は上から下へ少しずつ高くなるので、ダンゴムシはあるところまでしか降りられない。チューブをかぶせると、降りられる段差は高くなる。しかし、10 分もすると元に戻ってしまった。

これは何を意味するのだろうか？ダンゴムシは通常、触角が届く距離は安全に降りることができると機械的に判断しているようだ。チューブをかぶせられて触角が長くなると、より高い段差を降りられるようになる。しかし、体の大きさに比べてあまりに高い段差を降りようとする様子は、はた目にも無謀に見える。そのことをダンゴムシも 10 分間で学習するらしい。たった 10 分の間に、触角が届いたら降りるという単純な判断から、もっと複雑な判断をするように適応したと考えられる。「これまでには見られない特異な行動の始まりは、環境への適応の第一歩です」と古山准教授。これまで生き抜いてきたダンゴムシには、それ相応の環境への適応能力が備わっているということだ。

ヒトの適応行動

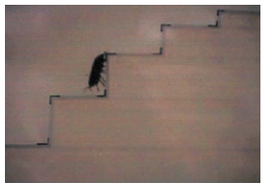
一方、ヒトの行動は常に大脳に支配されているのだろうか。その答えを求めて、古山准教授は、20 代 ~30 代の被験者 26 人に紙やすりの粗さを識別させる実験を行った。実験は、①素手、②指にセロハンテープを巻く、③指に紙やすりを巻く、④素手に戻るという４つの条件で行った。注目したいのは、どの条件でも正解率にそれほど差が見られなかったことだ。何かを巻きつけられて指の感覚が鈍った状態では、被験者の自信度は素手の時に比べて低下する。しかし、そのぶん被験者は指を強く押し付けたり、円を描くように動かしたり試行錯誤する。これは、指先の感覚が鈍ったことに対する適応行動だ。その結果、正解率は下がらない。これは、大脳で感じている自信度と、実際の正解率に相関関係がないことを示した点でも興味深い。

種を超えた情報獲得機構

古山准教授らがダンゴムシ研究に取り組んでいるのは、単にその行動を知りたいからではない。どんな生き物も、生きるために環境からさまざまな情報を知覚して行動している。まったく異なる神経系をもつヒトとダンゴムシの行動を比較すれば、環境からの情報獲得機構について、種を越えた共通原理を見出せるかもしれない。それがこの共同研究のねらいだ。確かに、チューブをかぶせられたダンゴムシが環境から情報を得ようと懸命に動く様子は、紙やすりの粗さを判断しようと必死に指を動かすヒトの姿に通じるものがありそうだ。こうした行動は大脳で考えて起こるものではなく、体で感じているものなのではないかと古山准教授は考えている。

大脳では説明できない“情報の知覚”の存在を裏付ける研究例は、まだ少なく結論を導き出すほどのデータがそろっていない。しかし、「“情報の知覚”や“知能”について新たな見解をもたらすことになるはず」と古山准教授らは期待している。NII のダンゴムシ研究は“知的とは何か？”という問いに、まったく新しい答えを提供することになるかもしれない。（取材・構成　池田亜希子）

図３　触角にストロー状のテフロンチューブを装着されたダンゴムシ
触角がまるで 1.5 倍に伸びたように見える。迷惑だなぁ…などと考えているのだろうか？



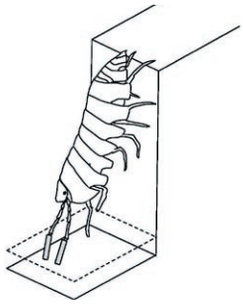


図４　ダンゴムシの限界下降距離
体長 11 mm のダンゴムシは、通常 12 mm までしか降りられない。チューブをつけると 15 mm まで降りることができるが、それは一時のことで、実験開始から 10 分後には、また 12 mm に戻ってしまう。

NII ESSAY

三国志の時代とは違う！

市瀬龍太郎（国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系准教授）

三国志は、西暦二〇〇年前後の中国で、英雄達が、それぞれの国を作ろうと奮闘する姿を描いた物語である。この物語の魅力の一つは、さまざまな個性を持った人物同士の交わりであろう。劉備玄徳は、強い武将を多く抱えながら、当初、戦に負け続けた。しかし、軍師の諸葛孔明を得てから、彼の戦略立案によって、戦に勝てるようになった。この出会いによって、劉備玄徳は自分の足りない知識を補うことができ、歴史に残る活躍ができるようになったと言えよう。

知識の融合がより強力な知識を生む

世の中で、研究者というと、部屋に一人でこもり、黙々と何かを考えていると思っている人もいるかもしれない。しかし、近年の科学は細分化が進み、一人でできることは限られてきている。特に、学際領域となる情報学の分野では、多くの人が持つさまざまな知識を融合していく必要がある。一人が持っている知識だけで解決できなかった問題も、別の人が持つ知識を補うことで、新しく解決につながっていく。

劉備玄徳と諸葛孔明の出会いは、ある人物が個人的に紹介したのがきっかけであった。時代が時代なので、人のつながりを通すぐらいしか、自分の必要な知識を持つ人物がどこにいるのかを発見する手法は無かったのであろう。

一方、現代の研究者の世界に目を向けてみると、研究者が得た知見は、全世界に配布される論文の形式で公開されている。論文には、研究に貢献のあった研究者の名前が記されているため、コンピュータの前にいるだけで、データマイニング技術により、世界中のどのような人物やグループが、必要な知識を持っているのかということを容易に発見することができる。さらに、どのような人のつながりが新たな知識を生み出していくのかということでさえ、解明されつつある。

人類の課題解決に役立つ情報学へ

近年になり、人物に関する情報は、研究者を対象とした論文の情報だけでなく、一般の人を対象としたソーシャルネットワーキングサービスなど、さまざまな場所に広がってきている。これらの情報を使うと、どのような人物が必要な知識を持っているのか、どのような人のつながりが、新しい知を作り出していくのかが分かってくる。そして、情報学の技術は、知を世界的な規模でつなぎ、人間の知の限界を越えて、現在人類が直面している課題解決への術（すべ）となることを信ずる。