特集 ロボットメディアによる人間情報処理研究

1

ロボットメディアによる人間情報処理研究

萩田 紀博
ATR

ロボットは身体性を持っているがゆえに他の情報処理メディアとは異なっている．その身体性が人同士のコミュニケーションや人とペットがふれあう相互作用に対応しやすく設計されていれば，マニュアルが要らない究極のヒューマンインタフェースができあがる．同時に，人（々）とロボットのインタラクションを解析することによって，人間自身がどのようにしてコミュニケーションを行っているのかも理解できるようになるだろう．この意味で，ロボットは人間のコミュニケーションを解明するための有効な人間シミュレータになる．ここでは，本特集の導入部として，ロボットというメディアを用いて人間情報処理機構の解明にヒントを与えてくれる最新の研究と全体的な枠組みを紹介する．

ロボットは存在感メディア

ロボットはどんな点で他の情報処理メディアと異なるのだろう．それを理解しやすい例は，アイコンタクトである．図 -1(a) のように，ロボット自身が人の目の辺りをじっとフォローすると，見られた人自身が他人から見られているような一種独特の存在感を感じてしまう．最近の高解像度 CCD カメラを利用すれば，ロボットが人の瞳をかなり正確に捉えて追従することが可能になっているが，ロボットがそれほど正確に追従しない場合でさえも，他人に見つめられているような存在感を感じてしまう．この状態でロボットが話し始めたら，さらにロボットの存在感を感じてしまうことだろう．

ロボットはマニュアルの要らない究極のヒューマンインタフェース

人とロボットのインタラクション実験で，存在感以外にも興味深い現象を観測することができる．人同士が普段からやっている，挨拶（「おはよう」,「さようなら」,「こんにちは」等）や「抱っこして」などの対話行動（会話とジェスチャが連動した振る舞い）を人に話しかけると，人は即座に応答することができる．図 -1(b) のようにロボットが「握手して」といって右手を差し出せば，人も右手を出して，ロボットの右手を握ろうとする．「抱っこして」と言われれば，見事に自分の両腕をロボットの脇の下に入れて抱っこをする現象が観測される．人間のコミュニケーション手段をそのまま使えるロボットはマニュアルの要らない情報処理メディアともいえる．

ロボットの持つ人間に似た存在感と人間と同様のコミュニケーション手段が使えるという意味でロボットというメディアは人間情報処理の研究と深くかかわっている．

ロボットメディアによる人間情報処理研究の枠組み

次にロボットというメディアと人間の情報処理過程とを対比させてみよう．人間情報処理研究といえば，見る，聞く，話す，考えるなどの機能を解明する研究を挙げることができる．これまでの知能ロボット研究が取り組んできたロボット単体の古典的なパターン認識や人工知能の機能だけでは人が満足する実用レベルには達していない．これに対して，最近のロボット研究では，環境にたくさんのカメラや無線タグリーダなどを設置することで，単体のロボットでは捉えることが難しい，人々の行動や環境の状況を認識・理解することができる．この研究は「環境知能の研究」と呼ばれている．これによって，個体

としての知覚・運動・認知過程を解明する研究だけでなく，集団の中でロボットが社会的にどのように振る舞うかを科学する「社会的知能の研究」を推進することが可能になった．社会的知能については，知覚・運動・認知過程が複雑に絡み合う過程であり[1]，環境知能とロボット単体がネットワークを介して結合することで，この複雑系を解明するという新しいアプローチが進展している．

図 -2 には，これらの新しい研究分野を付け加えた，ロボットメディアによる人間情報処理研究の枠組みを示す．図 -2 に示すようにロボットに近づいた子供たちがロボットに質問する状況を想像してみよう．このコミュニケーション過程は**図 -3** に示すように，いくつかのステップに分解できる．処理するステップの順番は必ずしもこの通りであるとは限らないが，ここではこの順に各ステップに要求される技術課題と最新の研究成果を簡潔に紹介する．

コミュニケーション過程

ステップ 1：ロボット単体の知覚機能

子供たちがロボットに近づいてくる時点で，ロボットは，まず単体の知能（知覚機能）を使って，音声がどちらの方向からくるのか（音源定位）や何を質問しているのか（音声認識・理解）を知覚しなくてはならない．ロボットは知覚機構を解明するためのテストベッドとして利用されている[2]．

ステップ 2：環境状況の認識・理解

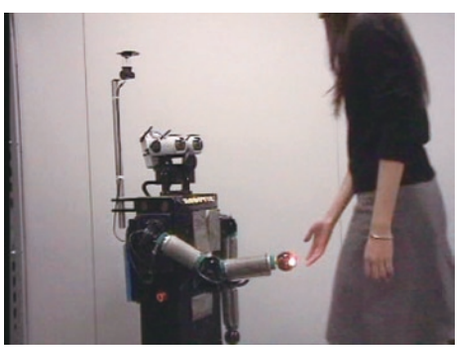
ステップ 1 と同時かそれ以前に環境知能を取得できれば，子供たち 2 名が近づいてくることも事前に察知できる．ロボットが今どんな環境にいるのかはステップ 1 とステップ 2 を併用する場合が多い．知覚情報基盤と呼ぶセンサネットワークの研究[2]や複数の環境センサが協調・連携するネットワークロボット技術に関する研究[3]など多くの手法が提案されている．

ステップ 3：対人距離

子供たちが必要以上にロボットに近づきすぎて，ロボットがジェスチャを行った場合に子供たちに腕や体が当たってしまう危険性がある．その意味でロボットは適切な対人距離を保たなければならない．子供たちとの対人距離を適切に保ち，しかも周りにいる人々や障害物に当たらないようにするために，位置の計測と移動物体などの変化を逐次計測しておく必要がある．対人距離の研究



(a) アイコンタクト



(b)「握手してね」

図 -1　ロボットによる対話行動の例



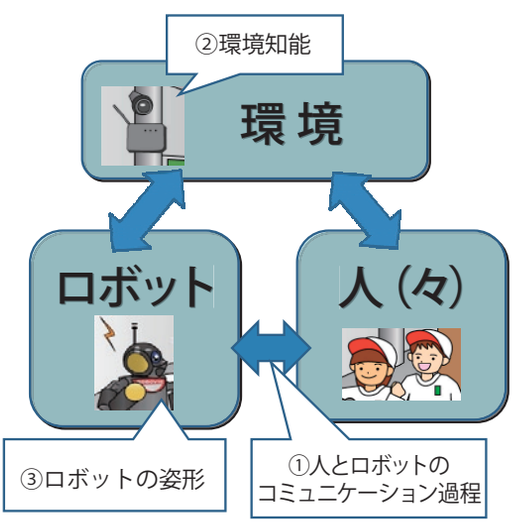


図 -2　ロボットメディアによる人間情報処理研究の枠組み

については Hall による 4 クラスの距離が知られているが，実環境で大人と子供では対ロボット距離に違いがあることなどが知られている [2]．また，ロボットが人にどのように近づけばよいかについても研究が進められている [4]．

ステップ 4：ロボットの共創対話

ロボットが子供たちの方に向きを変えてアイコンタクトを行い，環境状況に応じて対話行動が行われる．このときに，子供たちがロボットに道を案内してほしい場合は，ロボットは子供たちの方を向いて「何かお困りですか？」と尋ねて，子供たちから行きたい場所を聞き，「あっちの方に行ったら，階段があるから，その階段を下りて右に行くとありますよ」という対話と同時に案内する「あっち」の方向を指さす対話行動をとる．両者が同じものや方向を見る，この対話行動は「共同注意」と呼ばれ，個人だけでなく集団を誘導する場合にも有効な手段であることが実験的に確かめられている [2]．関連研究では，認知発達ロボティクスと呼ばれる人型ロボットや人工物を用いて認知科学的アプローチに基づいて，乳幼児らの共同注意機構と社会的振る舞いの関係を解析する研究がある．

ステップ 5：状況に応じた対話行動

状況が分かった後に，ロボットはどのようにして，音声対話，ジェスチャ，表情，感情などの対話行動を実行すればいいのだろうか．言語的なコミュニケーションだけでなく，頷きや表情，感情表現などの非言語（ノンバーバル）コミュニケーションの重要性が以前から指摘されている [5]．MIT で開発された顔ロボット Kismet[6] など 10 年ほど前から研究が進められてきた．ロボットが適

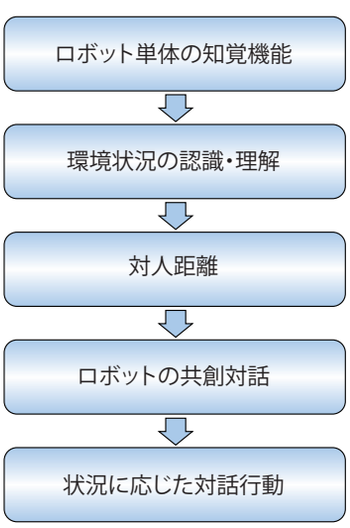


図 -3　人とロボットとのコミュニケーション過程

度にアイコンタクトすると，話を聞いている人がより話の内容を覚えることや，その際の望ましいアイコンタクトの頻度など [7]，ロボットの視線の利用に関して海外でも研究が進められている．集団との会話などにロボットがどのように参与するかの研究では，PC 内のエージェントに比べて，実世界のロボットの方がグループに参与しやすくなることも知られている [8]．

複数人の前でロボットが話す場合には，だれがロボットに話しかけ，だれに回答しなければならないかを判断しなくてはならない．カメラで顔認識する方法や人が無線タグなどの電子タグを持ち，ロボットに搭載したタグリーダがこのタグを検出する方法や環境センサと連動するネットワークロボットによる方法などが提案されている．

問題は街中や公共施設などの実環境では音声認識が 100%確実に認識することが難しいために，ロボットが人の発話内容を理解できないことが起きることである．これに対処するために，オペレータが遠隔にいて対話操作を行う方法が開発されている．通常は自律的にロボット単体で音声や画像認識を行い，ユーザの内容が理解できない状況をなんらかの手段で検出できた場合に遠隔操作に切り替える方式が検討されている [2]．遠隔操作を取り入れることで，ユーザはロボットとの対話を続けることができるため，結果として，人とロボットとのコミュニケーション過程を解析するデータを収集することができる．人がロボットに合わせていく，コミュニケーションにおける「引き込み現象」があることも分かっている [2]．遠隔操作を自閉症児のインタラクション分析に用いた例もある [2]．

一方，音声認識の誤認識があっても，ユーザが親の立場で，ロボットが幼児の立場で親が幼児の過ちを許すように，誤認識を許容させる親和性がロボットにあることも知られている [2]．

ロボットの姿形を科学する

不気味の谷とロボットの姿形（外見）の影響は？

コミュニケーション過程とは別にロボットそのものの姿形（外見）も人間の情報処理過程に影響を及ぼす重要な要因の 1 つになり得る．ロボットの姿形が人間に似てくると人の親近感は増すが，あまりにも似てしまうと返って不気味さが増して親近感が急激に減る．しかし，さらに人の動きや話し方に限りなく近づくことで再び親近感が増すという特性がある．この急激に下がる部分は不気味の谷と呼ばれている [2]．自分とそっくりに作ったアンドロイド（ジェミノイド）では，遠隔操作でアンドロイドの目の前にいる人と対話することができる．ジェミノ

イドは操作者にあたかも自分自身の抜け殻を遠隔地で操作するかのような感覚を与えることも分かっている．あらかじめ環境センサ群を利用して観測された自分自身の無意識的動作が自律モードで生成できるようになっている．実験を通じて，人は普段の自分自身の動きや仕草を必ずしも把握していないことに気づくという．アンドロイドの研究を通じて，人間が無意識のうちに行っている動作についても人間の重要な情報処理機構であることが分かる．

ロボットが社会に受け容れられるかは長期的な実験が重要

人がロボットを受け容れるかという実験は一般に期間を十分にとることが大事である．ロボットの期待やあこがれに対する初対面の印象が，何度も使っていくうちに薄れていく場合も多い．この意味で，長期的にロボットの必要性，有用性，信頼性などを解析する必要がある．これまでにも，学校，駅，博物館，ショッピングセンタ，介護施設，病院などでロボットの実証実験が実施されてきた．愛知万博の会期中 6 カ月の間，パートナーロボット「PaPeRo」とふれあったアテンダントがロボットに対してどのようなイメージを持てたかという分析を行い，人によってまちまちの反応が返ってくることが報告されている [2]．子供たちがダンスロボットと長期的な関係を構築した事例の報告もある [9]．年齢層や各人の興味，性格などについても詳細な検討が必要であり，できるだけ母集団が確保できる実験環境を整備することが重要になってくる．

今後の展望

人とロボットのコミュニケーションに関する研究はまだ緒についた段階と言っていい．人間の情報処理過程を解明するためのヒントとなる知見は社会的知能を中心に進んできている．その中心的な課題はロボットが人々の中で社会的にどのように振る舞うかという点にある．学際的な研究が海外でも盛んになってきており，これを主題として扱う Human-Robot Interaction という国際会議も近年始まったところである．

ロボットが環境知能とも連携して，社会ルールやモラルの下で人々とコミュニケーションする過程を分析することで，個体の情報処理では気づかなかった新しい知見が出てくることが十分に予想できる．心理学，認知科学，社会科学などの研究者とも連携して，ひと回りスケールの大きいコミュニケーション研究に発展していくことを期待している．最後に，ここで挙げた参考文献以外にも本特集に関連する多くの研究成果があるが紙面の関係で割愛したことを一言述べておく．

参考文献

1) Brooks, R. A., Breazeal (Ferrell), C., Irie, R., Kemp, C. C., Marjanovi'c, M., Scassellati, B. and Williamson, M. M. : Alternative Essences of Intelligence, Proceedings of the American Association of Artificial Intelligence (AAAI-98) (1998).
2) 特集「ロボットメディアによる人間情報処理研究」，情報処理，Vol.49, No.1, pp.1-50 (Jan. 2008).
3) 土井美和子，萩田紀博，小林正啓 : ユビキタス技術 ネットワークロボット―技術と法的問題，オーム社，2007 年 10 月 28 日発行 .
4) Dautenhahn, K., Walters, M., Woods, S., Koay, K. L., Nehaniv, C. L., Sisbot, E. A., Alami, R. and Siméon, T. : How May I Serve You? A Robot Companion Approaching a Seated Person in a Helping Context, ACM/IEEE Annual conference on Human-Robot Interaction, pp.172-179 (2006).
5) Yamamoto, M. and Watanabe, T. : Timing Control Effects of Utterance to Communicative Actions on Embodied Interaction with a Robot, IEEE International Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN2004), pp.467- 472 (2004).
6) Breazeal, C. and Scassellati, B. : A Context-dependent Attention System for a Social Robot, in Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artifical Intelligence (IJCAI 99) (1999).
7) Mutlu, B., Forlizzi, J. and Hodgins, J. : A Storytelling Robot : Modeling and Evaluation of Human-like Gaze Behavior, Humanoids'06.
8) Shinozawa, K., Naya, F., Yamato, J. and Kogure, K. : Differences in Effect of Robot and Screen Agent Recommendations on Human Decision-Making, IJHCS, Vol. 62/2, pp.267-279 (2005).
9) Tanaka, F., Cicourel, A. and Movellan, J. R. : Socialization between Toddlers and Robots at an Early Childhood Education Center, Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America (2007).

（平成 19 年 12 月 3 日受付）

萩田　紀博（正会員） hagita@atr.jp

1978 年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了．同年電電公社（現 NTT）武蔵野電気通信研究所入所．NTT 基礎研究所，ATR メディア情報科学研究所長などを経て，現在 ATR 知能ロボティクス研究所長．文字認識，画像認識，コミュニケーション科学，コミュニケーションロボット，ネットワークロボットなどの研究に従事．工学博士．