

対話型ヒューマノイドロボットからの日常生活の中の友達関係の推定

神田 崇行[†] 石黒 浩^{†,††}

本稿では日常生活の場での人間同士の集団行動から人間関係を推定するという社会的ロボットへの新しいアプローチを報告する。日常生活の場で活動する対話ロボットは、人間の実空間の中で社会的行動を引き起こす。例えば、人々がロボットの前に友達を伴ってやってくるというのはもっとも典型的な行動である。我々の開発した対話型のロボットは、擬人的な身体を用いた対話行動により人間の自発的な相互作用を誘発し、人々の集団行動を引き起こす。一方、実験結果から、このような集団に含まれる個人を同時にロボットが認識することで、ロボットは人々の人間関係（特に友達関係）を推定することが可能であることがわかった。本稿では、小学校における2週間の実験から開発したロボット Robovie が見出すことができた子供たちの友達関係について報告する。このような人間関係の推定は、ロボットが社会的な振る舞いをする上でもっとも基本的なものとなると考えられる。

Reading human relationships from an interactive humanoid robot

TAKAYUKI KANDA[†] and HIROSHI ISHIGURO^{†,††}

This paper reports our novel approach to developing a social robot. Such a robot reads human relationships from their physical behavior. We have developed an interactive humanoid robot that attracts humans to interact with it and, as a result, induces their group behaviors in front of it. In our approach, the robot recognizes friendly relationships among humans by simultaneously identifying each person in the interacting group. We conducted a two-week experiment in an elementary school, in which Robovie demonstrated proved reasonable performance in identifying friendships among the children. We believe this ability to read human relationships is essential to behaving socially.

1. はじめに

近年のロボット工学の発展により、Sony の Aibo¹⁾ や MIT の Kismet²⁾ などのように、さまざまな対話型のロボットが開発されてきている。これらのロボットは従来の産業用のロボットといった決まったタスクを実行するロボットと異なり、人間の日常生活の場での幅広い支援をすることが期待されている。我々が開発している対話型のロボットも日常生活の中で人間と対等なパートナーとして存在することを目指している³⁾。このような日常生活型のロボットは「ものを運ぶ」といった物理的な支援のみでなく、「道を教える」といった情報面での支援も行うようになると考えられる。

さらに、このような対話型のロボットに社会性を持たせる研究が行われはじめている。特に、我々はロボットが人間の意図や関係を読み取る能力が重要であると

考える。たとえば、発達ロボティクス分野で注目されている共同注意機構⁴⁾ は人間が他者の意図を読み取る基本的な能力である。ロボットにこのような意図理解能力を持たせる研究としては Scassellati らの開発したヒューマノイドロボット Cog⁵⁾ や小島らの Infanoid⁶⁾ がよく知られている。これらのロボットは人間の視線の先を追従することで人が注視する対象物をロボットも注視することができる。つまり、これらのロボットは人間の意図を行動から推定する。さらに、我々の先行研究において、対話型のロボットは人間の主観的な評価を身体動作から推定することが可能であった⁷⁾。しかし、これらの従来研究はいずれも人とロボットとの一対一の関係を対象としたものである。これまでに多数の人とロボットとの間で生じる社会的な行動をとりあつかうような研究は少ない。我々は、ロボットが真に社会的であるためには人々の間の社会的な関係も読み取ることが必要であると考えられる。

人間の社会的な関係を表現するためにソシオメトリックやソシオグラムといった表現方法が確立されてきている。また、各自の好きな人や嫌いな人の名前の

[†] ATR 知能ロボティクス研究所

ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

^{††} 大阪大学

Osaka University

回答を求めるソシオメトリックテストといった質問紙調査によりこのような人間関係を調査する方法が見出されている。従来、学校や会社においてもこのような人間関係の調査は広く行われてきたが、最近では「嫌いな人の名前を答えることがいじめを促進する」といった考えから徐々に調査が難しくなっている。

一方、コンピュータを通じて人間の行動を観察する研究は従来から行われており、人間同士の人間関係を取り扱う研究も見られる。Watts と Strogatz はコンピュータシミュレーションにより“small-world network”とよばれるシンプルなネットワーク構造が大規模な人間関係をモデル化することができることを見出した⁸⁾。Eveland らは CSCW システム上での人間関係をソシオグラムでプロットすることにより分析した⁹⁾。また、野村らは web ページ間のリンク関係からオンライン上の人間関係を分析するシステムを開発した¹⁰⁾。このような CSCW システムや web ページといったオンライン上での人間行動をもとにした人間関係の研究は従来から行われてきたが、近年のユビキタス環境の発展をもとに実空間の中での人間関係の分析、推定が可能になってきていると考えられる。

本稿では、対話型ロボットを用いて日常生活の中で人間関係を読み取る試みについて報告する。このような人間関係に関する能力は、人間社会の中で活動するロボットが社会的であるために基本的なものであると考える。我々の開発した対話型のヒューマノイドロボット Robovie は自律的に人間と相互作用を試み、結果として周囲に人間の社会的な行動(たとえば、友達と一緒にロボットと遊びにくるといった集団行動)を引き起こす。ここで、ロボットが周囲の人間を同時に個人同定することにより、ロボットは人間の間の友達関係を推定することが可能である。小学校で行った 2 週間の実験の結果、提案手法によって子供たちの友達関係の推定が可能であることが見出された。

なお、現在のセンサ情報処理技術では音声や画像による安定した個人識別は困難である。そこで、本研究では個人同定はロボットの境界センサのみに依存せず、むしろ近年のユビキタス環境のアプローチから、人間に ID を発信するタグを取り付け、この情報をもとに個人同定することを試みる¹¹⁾。このような ID を発信するタグの利用は実際の日常生活の場での利用を考えた場合には過渡的なものであるが、我々は将来的には携帯電話のように多くの個人が携帯型の電子装置を持ち、これらの装置が非接触型タグを内包し個人識別に利用可能になる可能性が非常に高いと考えている。また、将来的に個人識別が音声や顔画像、虹彩などの情

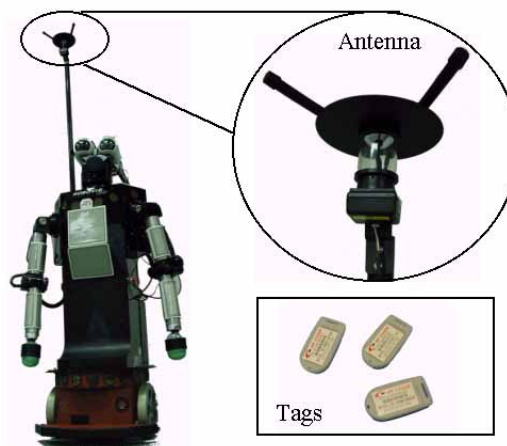


図 1 Robovie と無線タグ
Fig.1 Robovie and Wireless tags

報により特定のデバイスなしに実現可能になる可能性も十分に大きい。これらの技術が実現した場合には本研究で得られた成果が ID タグを取り付けることなく利用可能となる。

2. Robovie: 対話型ヒューマノイドロボット

2.1 ハードウェア構成

図 1 の左側に本研究に用いたヒューマノイドロボット Robovie を示す³⁾。Robovie は人間に似た表現能力と認識能力を持つという特徴がある。4 自由度の腕、3 自由度の頭部、各 2 自由度の眼球部(カメラ内部の可動部)により人間とのコミュニケーションに用いることのできる様々なゼスチャが可能である。また、マイクロフォン、接触センサ、超音波センサ、ステレオカメラ、全方位視覚センサ、といった多様なセンサにより、自律的に人間と相互作用することが可能である。さらに、コンピュータやモータ制御ボードといった制御機器を全て内蔵している。

2.2 無線タグによる個人同定

多数の人を同時に個人同定するために、このロボットに無線タグシステムを搭載した¹¹⁾。図 1 右下にタグと名札への取り付け例を示す。名札の大きさは約 5[cm] であり子供でも容易に持ち運ぶことができる。このタグは 303[MHz] の周波数で ID 情報を一定の時間間隔で発信し、ロボット本体に取り付けた読みとりシステムがこの信号を受信することでロボット制御システムに個人の ID が通知される。また、この際の受信感度を調整することでロボットからのタグの大まかな位置も検出可能である。

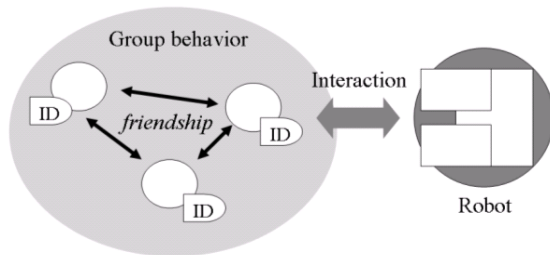


図 2 友達関係推定のメカニズム
Fig. 2 Mechanism of reading humans' friendly relationships

2.3 Robovie の対話行動

これまでの研究により, Robovie には自律対話機能が実装されている¹²⁾. この対話行動のデザインは、「ロボットは自律的に小さい子供のするようなコミュニケーションを行う」というアイデアに基づいている. たとえば, 握手, 抱擁, じゃんけん, 体操のまね, 挨拶, 歌を歌う, 簡単な話しかけ, といった約 70 の対話行動が実装されている. また, 頭をかく, 腕を組むといった約 20 の待機行動, 歩き回るといった約 10 の移動行動も実装されている. 合計で 100 種類の行動が用意され, これらの行動のなかで合計で 300 種類の発話と 50 単語の音声認識が可能である.

対話行動の一部は, 前節の個人同定機能を直接利用する. たとえば, ある対話行動において, ロボットは近くの子供の名前を呼んで「くん, 遊ぼうよ」といった発話を行う. このような行動は子供たちをロボットの近くに來させるのに有効であった.

ロボットの行動は次のようなシンプルなルールに従って出現する. ロボットは時に「触ってね, 遊ぼうよ」と呼びかけて相互作用の開始のきっかけをつくる. また, 子供たちが反応しないときには待機行動や移動行動を行う. 一度子供たちがロボットの呼びかけに反応すると, 反応がある限りロボットは握手やじゃんけんといった対話行動を続ける. 子供たちが反応をやめると, ロボットも対話行動をやめて「バイバイ」といった待機行動や移動行動を再開する.

3. ロボットからの友達行動の推定

我々のアプローチは図 2 に示すような二つの機能からなる. 人間は友好的な関係を持つ人々とはしばしば集団行動を行う. 一方, ロボットは自らの自律対話機能によってロボットの前の人々の自発的な集団行動を引き起こす.

3.1 集団行動と友達関係

好き嫌いは人間関係の基本となるものである. たと

えば, Heider のバランス理論によれば, この好き嫌いに基づいて人間は自分の意見さえも変化させる¹³⁾. また, 発達心理学分野において, Ladd らによれば, 子供たちが友好的な関係に基づいて集団を形成し, ともに行動することが見出されている¹⁴⁾. つまり, もしこのような自発的な集団行動を観察することができれば, 集団のメンバー間にあるであろう友好的な関係を推定することができると思われる.

3.2 対話型ロボットによる集団行動の誘発

開発した対話型ヒューマノイドロボット Robovie は自律的に人間と相互作用を行う. 対話的な行動をすることで, このロボットは人々からの相互作用をはたらかける. 一方, 人々はしばしば友人などと集団で行動する. つまり, ロボットは周囲での人間の集団行動を引き起こし, 集団のメンバーを同時に個人同定することで, メンバー間の友好的な関係を推定することが可能になる.

このような友好的な関係は, 単純に日常生活のなかで人々の集団行動を観察することでも可能であるかもしれない. しかし, 人々は時に必要を感じ, あるいは要求されて集団行動をする. たとえば「みんなで協力して重い荷物を運ぶ」場面を想定すると, このような集団行動においてはメンバー間にならずとも友好関係があるというよりは, むしろ「小学校における給食当番」のように特別な人間関係が無い場合も多い. 我々は, ロボットとの相互作用のように自発的な集団行動を観察することがより良い推定を可能にすると考えている. また, 将来的にロボットは英語を教える¹⁵⁾といったさまざまな対話タスクを日常生活の中で行うようになると思われるが, このような対話タスクをする中で対話型ロボットが人々からの自発的な対話を観察する機会は今後ますます増えてゆくと思われる.

3.3 友達関係推定のアルゴリズム

ロボットはセンサ情報から常にロボットの近傍の人々の ID を取得していると仮定する. (実際に, 本稿で用いるロボットは無線 ID タグシステムにより半径 1~2m 以内の人々の ID を取得可能である.) ここで, ロボットの近傍に滞在している人を広い意味でロボットと対話しているとみなす. このとき, ロボットは常に人 A のロボットとの対話時間 (T_A), また人 A と人 B が同時にロボットと対話していた時間 (T_{AB} , ただしこれは T_{BA} と等しい) を積算することができる. ここで, 人 A と人 B との推定友達関係 ($Friend(A \rightarrow B)$) を以下のように定義する:

$$Friend(A \rightarrow B) = \text{if}(T_{AB}/T_A > T_{TH}) \quad (1)$$

$$T_A = \sum \text{if}(\text{observe}(A) \text{ and } (S_t < S_{TH})) \Delta t(2)$$

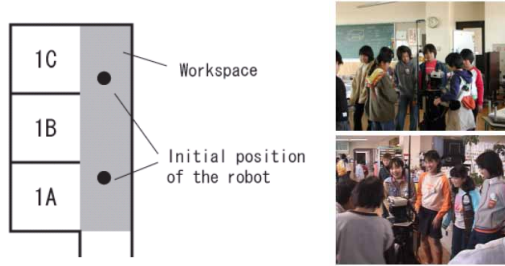


図 3 実験環境

Fig. 3 Environment of the elementary school where we installed the robot

$$T_{AB} = \sum_{if(observe(A) \text{ and } observe(B) \text{ and } (S_t < S_{TH}))} \Delta t \quad (3)$$

なお $observe(A)$ はロボットが人 A の ID を観測している時に真となる関数であり、 $if()$ は括弧内が真のときに 1、それ以外は 0 となる関数である。また、 T_{TH} は同時滞在時間に関する閾値である。さらに、我々は S_{TH} なる閾値を設けた。これに伴って、式 (2)(3) に示すように時刻 t においてロボットの周囲の人数 S_t が S_{TH} 以下の場合にのみ T_A と T_{AB} を積算する。これは、ロボットの周囲の滞在人数が多ければ多いほど、複数の友達グループや無関係の他人が同時に滞在してしまい、友達関係推定に影響する可能性があるため、これを取り除くための閾値である。(無線タグシステムの反応時間から、次章の評価実験において Δt は 1 秒とした。)

推定友達関係 ($Friend(A \rightarrow B)$) は「人 A が人 B のことを友達だと思っていること」を表す。つまり、非対称の友達関係を扱う。これは、人 A が人 B と同時滞在して長期的にロボットと対話したとしても、人 B にとっては人 A は多数の同時滞在して対話した人の一人であるかもしれない。そこで、この友達関係の非対称性と同時滞在の非対称性を関連付けるように上記アルゴリズムを考案している。

4. 評価実験

提案する友達推定手法の有効性を検証するために、開発した対話型ヒューマノイドロボットを用いて小学校において 2 週間のフィールド実験を行った際の相互作用データを分析した。文献 15) に報告するように、本実験はもともと子供たちの英語学習を促進する目的で行われたものであるが、本稿ではこの相互作用データをテストセットとして本手法の検証に用いる。

4.1 実験方法

実験は和歌山大学附属小学校において、6 年生を対

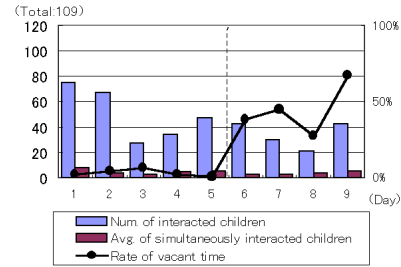


図 4 ロボットとの対話人数の遷移

Fig. 4 Transition of interaction between the robot and children

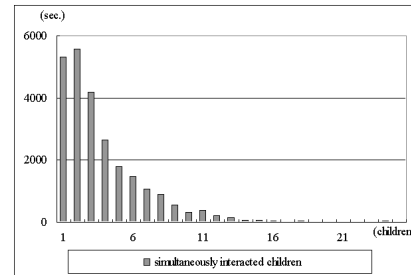


図 5 ロボットとの同時人数の分布

Fig. 5 Distribution of simultaneously interacted children

象に 2 週間にわたって行われた。開発したロボットを小学校の教室に面した廊下に設置した。1 学年は 3 クラスから構成され、実験時には 6 年生 109 名 (男子 53 名、女子 56 名) の生徒が在籍していた。実験は 9 日間の登校日を含む。図 3 に実験環境の見取り図を示す。

この小学校では教室と廊下の間に壁が存在せず、廊下が半ばオープンスペースの空間になっている。この廊下に同一のハードウェア、ソフトウェアを持つ 2 台のロボット Robovie を休み時間の間設置した。また、子供たちに、実験期間中無線タグが埋め込まれた名札を所持させ、ロボットが相互作用の際に個人を識別できるようにした。

また、実験前に質問紙調査により子供たちの友達関係を調査した。質問紙では子供それぞれに、友達の名前を列挙してもらうように求めた。つまり、子供 A が子供 B を友達であると答えたとしても、子供 B は子供 A を友達であると答えない場合もある。このように、子供 A と子供 B の間の友達関係は非対称であるので、とりうる友達関係の総数は $P(109, 2)$ である。この調査に基づく友達関係を、提案手法によるロボットからの観察に基づく友達関係推定の結果と比較した。

4.2 実験結果

4.2.1 ロボットとの対話人数

図 4 に 2 週間の実験中のロボットと対話した子供た

ちの人数の遷移を示す．横軸は実験日を表し，1日目から5日目までが1週目に対応し，6日目から9日目までが2週目に対応する．ロボットの前に子供が誰もいない空時間 (Rate of vacant time) は1週目はほぼゼロであったが，2週目に入ってから増加し50ロボットが徐々に飽きられてきたことを示すと考えられる．また，Num. of interacted children は各日にロボットと対話した子供の人数を示し，Avg. of simultaneously interacted children は各日の子供たちの平均同時滞在人数を示す．実験開始日には同時滞在人数がやや高くなる傾向があり，一日の平均が7.8名に達したものの，以後は比較的少くなり平均2~5名で推移した．図5はロボットとの同時滞在人数毎の滞在時間の分布を示す．横軸が同時滞在人数，縦軸が各同時滞在人数毎の秒数を示す．グラフからロボットの前に2人で訪れるケースが最も多く，ついで1人，3人以上となっていたことが分る．

4.2.2 実験結果：信頼性と被覆

子供たち間の友達関係の数はそれほど多くないため，実験結果の分析は推定された関係の適切さ (信頼性と被覆率) によって行った．これは，web 検索のような情報検索技術の評価と類似している．被覆率は推定結果が全ての正答のうちのどれ程の正答を推定に含んでいるかを表し，信頼性はこの推定がどの程度正答を含んでいるかを表す．一般に信頼性と被覆率はトレードオフの関係になると考えられる．つまり，より多くの正答を推定しようとした場合 (被覆率が大きい) には誤った推定も多くなる (信頼性が低い)．我々の実験では，合計で1092の友達関係が質問紙調査から報告されたが，一方で109名の子供たちの間でとりうるすべての関係は11772とあり ($=P(109, 2)$) である．つまり，もし「常に友達関係が無い」という分類を行う推定アルゴリズムを考えると，これは90.7% ($=1 - 1092/11772$) の正答率となるが，もちろんこのような推定は全く有用で無いからである．信頼性と被覆率は以下のように定義される (ただし「正答」および「正しい友達関係」とは質問紙調査により得られた友達関係を意味する)：

表1および図6に閾値 (S_{TH} と T_{TH}) を変化させながら行った推定の結果を示す．図6において random とはすべての関係が友達であるとみなす無作為な推定の結果である．総計11772関係中の1092が友達関係であるから，このような推定の信頼性は9.3%である．つまり，random に示される結果は提案する推定手法の性能の下限を示すといえる．

表1 様々なパラメータに対する推定結果

Table 1 Estimation results with various parameters

coverage reliability	T_{TH}						
	0.3	0.2	0.1	0.05	0.01	0.001	
S_{TH}	2	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04
		1.00	0.93	0.79	0.59	0.54	0.54
	5	0.00	0.02	0.06	0.11	0.18	0.18
		1.00	1.00	0.74	0.47	0.29	0.28
	10	0.00	0.00	0.04	0.13	0.29	0.31
		-	1.00	0.74	0.46	0.23	0.20

「-」は友達関係が1つも推定されなかったため reliability が計算されなかったことを示す

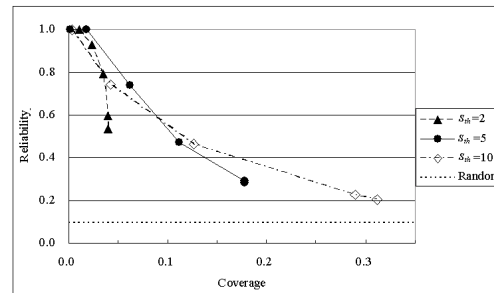


図6 様々なパラメータに対する推定結果 (表1) の図示
Fig. 6 Illustrated estimation results with various parameters

$$\text{信頼性} = \frac{\text{推定された友達関係の正答数}}{\text{推定された友達関係の総数}}$$

$$\text{被覆率} = \frac{\text{推定された友達関係の正答数}}{\text{正しい友達関係の総数}}$$

図中の他の系列は S_{TH} を変化させた場合の推定結果の推移を表す．各系列において個々の点は異なる T_{TH} に対応する．明らかに，信頼性と被覆率の間には T_{TH} によってコントロールされるトレードオフがある． S_{TH} はトレードオフに対しては影響が少なく，本実験では被覆率0.15以上では $S_{TH} = 10$ が，それ以外では $S_{TH} = 5$ が最も良い推定結果を示した．以上の結果から，提案手法により全体のたとえば5%の友達関係の推定は80%以上の信頼性で実現され ($S_{TH} = 5$ の場合)，15%の友達関係はほぼ50%の信頼性で実現された ($S_{TH} = 10$ の場合)．

4.2.3 性別の影響

さらに，推定の妥当性を検証するために性別に関して詳細な分析を行った．まず，子供たちの関係を male-male (男性間の友達関係)，female-female (女性間の友達関係)，male-female (男女間の友達関係) の3つに分けて，各グループについて信頼性と被覆率を計算した．表2および図7に $S_{TH} = 5$ の時の結果を示す ($S_{TH} = 2$ ， $S_{TH} = 10$ の場合もほぼ類似の結果となったため報告は省略する)．結果として，male-male および female-female グループではすべての関係を含

表 2 性別の影響
Table 2 Gender effects

reliability	T_{TH}					
	0.3	0.2	0.1	0.05	0.01	0.001
Male-Male	-	1.00	0.81	0.60	0.45	0.44
Female-Female	1.00	1.00	0.80	0.61	0.43	0.41
Male-Female	-	-	0.20	0.03	0.01	0.01

「-」は友達関係が 1 つも推定されなかったため reliability が計算されなかったことを示す

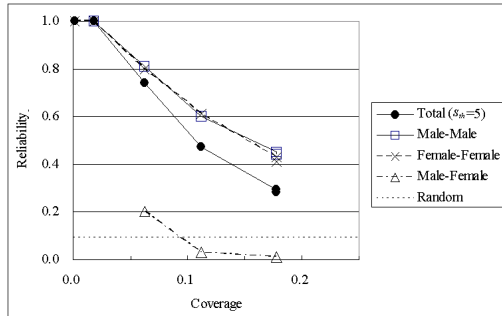


図 7 性別の影響 (表 2) の図示
Fig.7 Illustration of gender effects

む場合 (total) に比べて良い性能を示している一方, male-female に関しては極めて低い性能を示していることが見出された。実際, 子供たちは異性間の友達関係はほとんど質問紙に報告していなかったが (合計 23 関係であった), 提案手法はこれに比べて非常に多くの関係を推定していた。我々はこの結果について, 異性間の友達関係と集団行動の関係は同性間とは異なるであろう一方で, 提案手法が質問紙では検出できない人間関係を検出できる可能性も持つものであると考えている。

5. 考察と結論

本稿では人同士の友好的な関係を推定する対話型ロボットについて報告した。この人間関係の推定は, ロボットが子供たちの友好的で自発的な集団行動を生じさせ, 一方で多数の子供を同時に個人同定することによって実現された。実験の結果, 提案手法により質問紙による友達関係のたとえば 5% を 80% の信頼度で, また 15% をほぼ 50% の信頼度で推定することに成功した。我々はこの結果は推定アルゴリズムが非常に単純であるにもかかわらず十分な性能を発揮していると考えられる。つまり, 対話型ロボットが友達関係を話題にしたり, あるいは友達同士である可能性がある場合に振舞いを変えようといった社会的な行動をするために利用可能な初期の性能に到達していると考えられる。

また, 推定の被覆率という意味では 15% の関係をほぼ 50% の信頼度での推定という性能は一見情報検

索などの性能と比較すると低いようにも見えるが, そもそも推定の対象となる友達関係は各個人による主観報告の結果であり, たくさん友達の名前を回答したり, 友達だと思っている相手と一緒に行動する相手が異なる子供の場合には推定が難しいといった問題の難しさを考慮すると, 現在の基礎的な知見としては十分な性能であると我々は考える。また, 実験結果は, 子供たちが恥らって質問紙に答えなかったかもしれない異性間の友達関係を提案手法により推定できた可能性を示唆していると考えている。

このような人間関係を理解するロボットの能力は, 日常社会のなかでロボットが社会的であるために基本的なものであるといえる。たとえば, もしロボットが人間関係を安定して推定できれば, 友達の輪に加わったり, いじめ問題を緩和するといったことも将来的には可能になる。

一方, 実験結果には信頼性と被覆率のトレードオフが見出された。つまり, 同時滞在時間に関する推定の閾値を厳しくすることで, 得られる友達関係の推定量は減るものの, 推定の信頼性は向上する。一方, 閾値を緩和することで, 信頼性は減少するものの多くの関係を推定することができる。しかし, この閾値を緩和しても実験において 30% 以上の友達関係を推定することが困難であった。我々は, これは子供たちがロボットと対話したデータ量が十分でなかったことが原因ではないかと考える。今後, より長期にわたって子供たちとロボットとの相互作用データを収集することにより, このようなトレードオフについての検証を行うとともに, 友達関係に限らずそれ以外の関係についても有効な人間関係推定ルールを発見を行うことは興味深い将来課題である。

また, 本稿ではロボットの前で生じる集団行動の観察からの友達関係推定を扱ったが, たとえば廊下に取り付けたカメラなどの定点観測による情報からの人間関係はどのようなものであるのかを見出し, ロボットが引き起こす集団行動をロボットが観察する本手法と定点観測などによる情報とを相補的に利用することで, より豊かで高精度の人間関係推定を実現することも重要な将来課題であると考えられる。

謝辞 本研究は通信・放送機構の研究委託「超高速知能ネットワーク社会に向けた新しいインタラクション・メディアの研究開発」により実施したものである。本研究を実施するにあたりご協力いただいた和歌山大学附属小学校の先生および生徒の皆様方に感謝します。また, 本実験への ATR 知能ロボティクス研究所の平野貴幸氏および Eaton Daniel 氏のご協力に感謝

します。

参 考 文 献

- 1) M. Fujita, : AIBO; towards the era of digital creatures, *Int. J. of Robotics Research*, Vol. 20, No. 10 (2001) 781-794
- 2) C. Breazeal and B. Scassellati: A context-dependent attention system for a social robot, *Proc. Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence*, pp.1146-1151, (1999).
- 3) 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 前田武志, 中津良平: 研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット“Robovie”の開発, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J85-D-I, No.4, pp.380-389, Apr. (2002).
- 4) C. Moore, and P. J. Dunham, eds.: *Joint Attention: Its Origins and Role in Development*, Lawrence Erlbaum Associates, (1995)
- 5) B. Scassellati: Investigating Models of Social Development Using a Humanoid Robot, *Biorobotics*, MIT Press (2000).
- 6) 小嶋秀樹, 高田明: 社会的相互行為への発達のアプローチ — 社会のなかで発達するロボットの可能性, 人工知能学会誌, Vol.16, No.6, pp.812-818, (2001).
- 7) 神田崇行, 今井倫太, 小野哲雄, 石黒浩: 人-ロボット相互作用における身体動作の数値解析, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2699-2709, (2003)
- 8) D. J. Watts and S. H. Strogatz : Collective dynamics of 'small-world' networks, *Nature*, Volume 393, Issue 6684, pp.440-4429, (1998)
- 9) J. D. Eveland and T. K. Bikson : Evolving electronic communication networks: an empirical assessment, *Proc. of the 1986 ACM conference on Computer-supported cooperative work*, pp.91-101, (1986)
- 10) 野村早恵子, 小山聡, 早水哲雄, 石田亨: WEB コミュニティ発見のための HITS アルゴリズムの分析と改善, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J85-D-I, No. 8, pp.741-750, (2002)
- 11) T. Kanda, T. Hirano, D. Eaton, and H. Ishiguro, : Person Identification and Interaction of Social Robots by Using Wireless Tags, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (2003)
- 12) T. Kanda, H. Ishiguro, M. Imai, T. Ono and K. Mase: A constructive approach for developing interactive humanoid robots, *IEEE/RSJ*

International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1265-1270, (2002)

- 13) F. Heider: *The Psychology of interpersonal relations*, Wiley (1958)
- 14) G. W. Ladd, J. M. Price, and C. H. Hart: Preschooler's behavioral orientations and patterns of peer contact: predictive of peer status?, in Asher S. R. and Coie J. D. (eds.) *Peer rejection in childhood*, Cambridge University Press, pp.90-115, (1990)
- 15) T. Kanda, T. Hirano, D. Eaton, and H. Ishiguro: Interactive Robots as Social Partners and Peer Tutors for Children: A Field Trial, *Journal of Human Computer Interaction*, Vol.19, (2004)

(平成 xx 年 x 月 x 日受付)

(平成 xx 年 x 月 x 日採録)



神田 崇行 (正会員)

1975 年 12 月 7 日生 . 1998 年京都大学工学部情報工学科卒業 . 2000 年同大学大学院情報学研究科社会情報学専攻修士課程修了 . 2003 年同専攻博士課程修了 . 博士 (情報学) .

現在, ATR 知能ロボティクス研究所研究員 . ヒューマンロボットインタラクション, 視覚移動ロボットに興味を持つ .



石黒 浩 (正会員)

1963 年 10 月 23 日生 . 1991 年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士課程修了 . 工学博士 . 同年山梨大学工学部情報工学科助手, 1992 年大阪大学基礎工学部システム工学科助手 . 1994 年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授 . 2001 年, 和歌山大学システム工学部情報通信システム学科教授 . 現在, 大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻教授, ATR 知能ロボティクス研究所第二研究室客員室長 . 視覚移動ロボット, 能動視覚, パノラマ視覚, 分散視覚に興味を持つ . 人工知能学会, 日本ロボット学会, 電子情報通信学会, IEEE, AAAI 各会員 .