

人間-ロボット間相互作用に関わる心理学的評価

神田 崇行* 石黒 浩*¹ 石田 亨*¹

Psychological evaluation on interactions between people and robot

Takayuki Kanda *, Hiroshi Ishiguro *¹ and Toru Ishida *¹

For realizing robots working in human society, interaction between people and robots is one of the important issues. We have developed a robot that behaves based on visual information and interacts with people. The robot controls its gazing direction for representing the internal states. By using the robot, we have evaluated impressions given by the robot based on psychological methods. SD method and factor analysis have been applied to evaluate the impressions. As a result of the experiments, impressions of the robot principally consisted of 4 factors: familiarity, enjoyment, activity, and performance evaluation, and these have been effected by computer skills of subjects. In addition, we have verified that gazing direction control promotes interactions between people and the robot.

Key Words: psychological evaluation, semantic differential method, impression, interaction

1. はじめに

知能ロボットシステムの利用には様々な形態が考えられるが、その1つとして人間の日常生活の中で人間と関わりながら活動する知能ロボットシステムが期待されている。特にSONYのAIBOに代表されるペットロボットの研究・開発は盛んである。このように日常生活の場で活動する初期の知能ロボットの利用目的は、エンターテインメントにあると考えられるが、いちど利用法が見いだされれば様々な利用が可能なロボットはインターネットにおけるWWWのように爆発的に普及すると期待される。

無論、人間と関わるロボットの研究としてはエンターテインメントロボットにとどまらない。センシングや制御などのロボティクス技術の進歩を背景に、ロボットに心や感情を持たせることで人間社会への親和性を高める研究も盛んに行われている。尾形らは、自己保存の機能を持つロボットを、人間の脳モデルに基づき開発し、ロボットに心が発生する可能性を追求した[2]。この研究における“ロボットの複雑さが増すにつれて、また自己保存を意図することによって、感情が発現する”という仮説は興味深い。また、山本はコンピュータプログラムに対する対人行動、すなわち疑似対人行動についての考察を行い、機能の向上だけで対人疑似行動が引き起こされるのではなく、他にも何らかの要素が必要であると考察している[3]。

さらには、人間とロボットとの間のインタラクションを評価する研究が、主にロボットがとる個々の要素行動を評価する立場から行われている。柴田らは、人間の行動に反応して感情的に振る舞うペットロボットを開発し、尻尾を振る犬型ロボットと人間とのインタラクションについての心理学的実験を行った[6]。また、佐藤らは親和感を与える反射行動をぬいぐるみ型ロボットに実装するために、SD法を利用して反射行動の印象評価実験を行った[5]。この評価実験において佐藤らはロボットの行動と親和感との関係を調査し、受容的行動が親和感を演出すると結論づけた。この研究において、人間がロボットを評価する際の一つの要素として親和感があげられているのは興味深い。しかし、これらの従来研究はいずれも評価対象はペットロボットを想定して、小型のぬいぐるみ等を用いたものであり、複雑な機構を持つロボットを対象としたものではなかった。

ここで、複雑な機構をもつロボットとは何かを考える。本来ロボットは自立しているべきであり、かつ情報を取り入れ自らの判断で行動できるものでないとならない。また、ロボットを評価する上では、人間はロボットに体があるのとないのでは異なった印象をもつものとする。つまり、たとえ目や手といったロボットの一部分のみを評価する場合でも、体があるのとないのではロボットに対する印象が異なる。ゆえに、ロボットを評価する上では、目や手といったロボットの一部分のみを評価するだけでなく、ロボット全体を評価する必要があると考えられる。そこで、本論文においては、複雑な機構を持つロボットを、体を持ち様々な部位から構成され、かつ情報を取り入れ自らの判断で行動するものと定義し、以下での議論を進める。

原稿受付 2000年3月24日

*京都大学

*Kyoto University

より複雑な機構を持つロボットの評価へとつながる研究も行われている。猪岡らはSD法を用いることでロボットアームの動作の与える印象を評価し、人間的な印象を与えるようにアームを動作させた[6]。また、顔ロボットの表情[7]や音声対話ロボット[8]などの研究も行われている。しかし、これらの研究はロボットの特定の部位や動作に注目した研究であり、人間とロボット全体とのインタラクションを評価するものではない。

尾形・菅野らは[9]において人間とロボットとの間の情緒的コミュニケーションの実現を目指し、開発したロボットの評価実験を行った。この研究での、人間とロボット全体との間のインタラクションを評価する試みは大変興味深いものである。一方、ロボットの印象を評価する観点からみると、この研究において用いられた形容詞対はわずか5つであり、その個数、選定基準ともにあいまいなものであることなど、ロボットを評価するための実験条件については今後議論して行くべき課題が多い。

以上に述べた研究背景のもと、本論文では知能ロボット全体から人間が受ける印象に関する心理学的実験を試みる。とくにここでは、ロボットが視線制御動作を伴う場合と伴わない場合についての実験を報告する。一般に心理実験は対象をできる限り単純化して、突き止めたい現象だけが浮きぼりになるように配慮する。しかし、一方で、本論文で突き止めたい問題は、知能ロボット(複雑な機構を持ち、センサ情報をもとに周囲の状況に自律的に対応し、行動する機械)における冗長な振る舞い(ここでは視線制御、実際に本実験で用いたロボットは視線制御することなく環境を認識する、実験参照)が人間に与える印象である。そして、この実験における我々の仮説は、

ロボットは機能だけでなく、その機能を身体で表現することで人間に知的な印象を与える

というものであり、ロボットとコンピュータの違いを身体を持つことの効果(身体性)に見出そうというものである。

本実験において、われわれは上記仮説を検討するために視線制御に注目した。視線制御はロボットの機能を身体で表すもっとも顕著な機能の一つである。知能ロボットの印象、すなわちどれだけ知的であるかという観測者の主観的印象は、この視線制御の結果に現れるといえる。一方で、視線制御のみを取り出す(たとえば、首だけのロボットを作る)のでは、ロボットが遭遇する状況は人間によって意図的に制限される。また、体があるのとないのとは視線制御から受ける印象も異なる。自立したメカニズムを持ち、自律した行動をとるロボットを用いてこそ、ロボットに多様な状況が発生し、視線制御にも様々な意図が観測者の主観として表出する。我々の目的は、自律した行為主体と見なせる知能ロボットに対する観測者の印象を視線制御を通して評価するというものである。

印象評価の方法としてはSD法[10]を用いた。本研究で扱うような知能ロボットが、どのような観点で評価されるのかについての研究は、これまでは行われていない。本研究では因子分析を用いて検証するが、因子分析には少なくとも100以上のデータが望まれる。そこで、本実験では十分なデータが集められるように50人以上の被験者に対し2回ずつ、のべ100人以上を対象とした実験を行った。用いた形容詞対は従来の心理学研究[11]をふまえた上で、予備実験を通して決定した。このよ

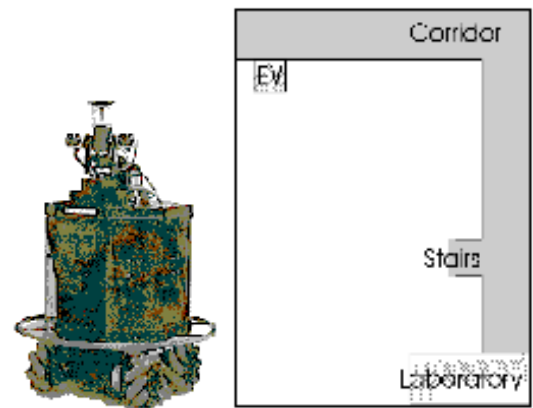


Fig. 1 Developed robot and Environment

うな慎重な実験を行ったが、我々の予想に反し、その結果は単純に結論づけられるものではなかった。本論文では、実験の詳細な報告と、結果の解析に加えて、ロボット総体を対象にした印象評価において、どのような工夫が必要であるかを考察する。

2. 印象評価実験

2.1 実験に用いたロボット

ハードウェアの構成

Fig. 1に今回の実験に用いたロボットを示す。ロボットのハードウェアを決定するに当たっては、複雑な機構をもつように、つまり自立したメカニズムで自立した行動をとることができるように、また自らの機能を身体で表す機能をもつように配慮した。

ロボットの本体は高さ約1.3m、直径0.6mである。ロボットの上部には3つのカメラがとりつけてある。カメラは2つ組み合わせさせてステレオビジョンとしても働く。3番目のカメラは全方位の視覚情報を得ることが出来る全方位視覚センサである。これらの視覚センサの取り付け部に回転台(カメラ回転台)が設置されており、3自由度で回転可能である。移動系は車輪型で、左右二つのモータの回転速度を変えることによって移動方向を変える。各車輪には回転動作をスムーズにするために8個のローラーが取り付けられている。またロボットが小さな段差やでこぼした地形を横切ってもほぼ直立するように、車輪の取り付け部にディファレンシャルギアが装備されており、姿勢の安定を保つことができる。カメラ以外のセンサとしては接触センサと超音波センサが搭載されている。接触センサはロボットの周囲にロボットを取り囲むように上下2段に合計16個が取り付けられ、超音波センサもロボットを取り囲むように8台設置されている。車輪およびカメラ回転台はロボットの内部に搭載されたコンピュータによって制御される。また、内蔵のバッテリーにより3時間以上の連続動作が可能である。

基本誘導機能

動作環境は、片側に扉が並ぶ幅約1.6mの廊下である(Fig. 1)。この環境で、ロボットは実験室を出て廊下に沿って移動する。

実験に用いたロボットの行動制御プログラムは状況依存モ

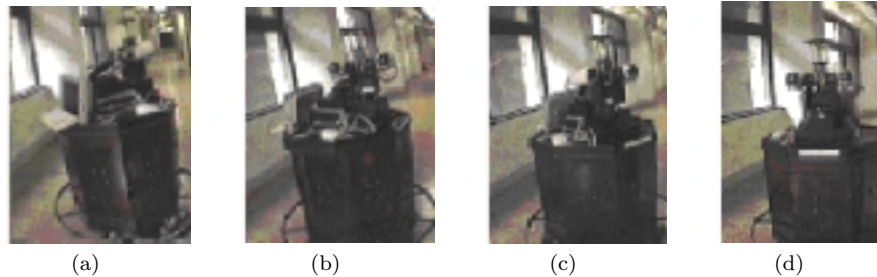


Fig. 2 Example of moving robot

ジュールを用いた開発手法 [12] に従って作成された。この手法では、状況依存モジュールは局所的環境で特定の動作を実現するプログラムを意味し、それらを組み合わせることでロボット制御プログラムが実現される。この動作環境でロボットを移動させるために、廊下に沿って移動する、廊下の方向を向くといった 20 個の状況依存モジュールを作成した。

視線制御によるコミュニケーション

視線制御によってロボットの意図を表すコミュニケーションを試みた。ここで、ロボットの意図とは観察者からみたロボットのみかけの意図を意味し、実際にはロボットの内部状態を意味する。具体的には、たとえばロボットが移動する際に注目する目標物があれば、その目標物を見るようにロボットの視線方向を変化させる、あるいは接触センサが反応した方向へ視線を向けるといった動作をとる。さらに、ロボットの移動方向がふさがれたり、周囲の人間を発見した場合にも視線方向を変えることによりロボットの意図を表す。このような視線制御動作はロボットの移動にとっては冗長な動作であり、この動作をすることでロボットの内部状態のみかけの意図として表現している。

Fig. 2はこのようなロボットの動作例を示す。この図ではロボットが廊下で向きを変えている際に (a) 周囲の人間を発見し、まず (b) 視線方向を変化させることで自らの移動方向を表し、続いて (c) 視線方向を元に戻して本体の回転を始め、最後に (d) 目的となる方向に本体を向ける。

ロボットが移動中に人を発見すると、人と関わるような行動をとる。具体的には、人の方に本体を向ける行動、人の方に近づく行動、首をかしげるなどの感情を表現するような行動である。これらの行動を実現するための知覚情報処理においては、視線制御の有無に関わらず機能するように実装されている。すなわち、ロボットは視線を変える直前に必要な視覚情報をすべて取り込み、視線制御中は視覚情報を取り込まない。

2.2 実験の構成

今回の実験では、自らの意図を示す視線制御に伴うロボットの印象を評価する。この比較対象として、視線制御は行わないが、他の機能は等しい行動制御プログラムによって同じロボットを行動させた。作成した行動制御プログラムにおいて視線制御は人を発見したり移動したりするというロボットの行動能力には関係しない。ロボットの観察者 (以下では被験者と呼ぶ) は、この 2 種類の自律的に行動するロボットをそれぞれ 1 回ずつ観察する。この観察順序によって被験者を 2 群に分けた: 1 回目に視線制御するロボット (M: camera Move 条件)、2 回

目に視線制御しないロボット (N: camera No move 条件) を観察する被験者群 (MN 群) と、逆順で観察する被験者群 (NM 群) である。すなわち、被験者内配置法により被験者を振り分け、観察の順序を変えることで持ち越し効果の相殺を意図した。また、各群の 1 回目の観察を比較することで被験者間配置法による実験とみなすことができるよう、被験者に 2 回目の観察があることを知らせない等の注意を払った。

被験者は、ロボットの動作を 1 回につき 5 分間観察し、2 回の観察の直後にそれぞれ 7 段階 28 の形容詞対からなる SD 法による印象評価のための質問紙に回答する。さらにロボットの印象を自由記述方式で回答する。被験者の注目する点や行動も興味の対象であったため、観察の際に特に注目点や、特定の行動は指示しなかった。特に専門知識を持たない被験者を集めるため、応募を京都大学の学部 1,2 回生に限定してアルバイトを募集し、先着順に 66 人 (平均年齢 19.5 才) を採用した。

3. 実験結果

3.1 質問紙による調査結果

各観察毎に質問紙に自由記述によりロボットの外見で印象的だった部分及び印象的だった動作について回答を求めた。また 2 回の観察の後には 2 回の観察の違いについての質問を行った。

外見についての回答では、「車輪についた多数のローラが印象的」「カメラが目のように見える」と答える人が多く、またコンピュータのキーボードや配線用のコードが見えることで機械的な印象を受けた人が多かった。ほかに色も暗い、形が角張っている等の点が機械的な印象を与えた。

動作に関しては、カメラが動くことで生きているように見える、かわいらしいといった印象が多く、動きが鈍く単調である、ロボットの動く目的がわからない、といった意見もあった。

本実験ではこのロボットについての 2 種類の行動パターンについて被験者が観察を行ったが、この観察の際に注意散漫になる被験者がいた。このような被験者のデータを取り除くため、実験後の聞き取り調査において、ロボットが視線制御をしたかどうかという 2 回の観察の違いを質問し、この違いを答えられなかった被験者のデータを除外した。このような注意散漫な観察の原因としては、被験者をアルバイトにより募集したことが考えられる。

3.2 因子分析と標準因子得点

実験中にロボットが停止した被験者と、質問紙の回答に欠落がある者、ロボットが視線制御をしたかどうかという 2 回の観

Adjective pairs	Mean	S.D.
やさしい 怖い	4.20	1.22
感じのよい 感じのわるい	4.36	1.42
親しみやすい 親しみにくい	4.33	1.58
安全な 危険な	4.78	1.44
暖かい 冷たい	4.05	1.26
かわいらしい にくらしい	4.90	1.27
うちとけた 堅苦しい	3.69	1.48
わかりやすい わかりにくい	3.70	1.70
近づきやすい 近づきがたい	4.15	1.60
明るい 暗い	3.75	1.51
思いやりのある わがままな	3.90	1.34
人間的な 機械的な	3.08	1.58
充実した 空虚な	3.79	1.34
面白い つまらない	4.87	1.67
愉快的な 不愉快的な	4.62	1.29
好きな 嫌いな	4.66	1.43
興味深い 退屈な	4.53	1.63
良い 悪い	4.62	1.28
複雑な 単純な	4.54	1.74
速い 遅い	3.02	1.37
すばやい のろい	2.95	1.35
はげしい おだやかな	3.14	1.38
積極的な 消極的な	4.33	1.46
強気な 弱気な	3.81	1.50
派手な 地味な	3.03	1.24
陽気な 陰気な	3.86	1.38
敏感な 鈍感な	3.81	1.55
賢い 愚かな	4.32	1.54

Table 1 Evaluated adjective pairs and the results

察の違いを答えられなかった者の合計 7 名のデータは除外した。結果的に、59 名の被験者の SD 法による印象評価が得られた (Table 1)。また、各形容詞対 (adjective pairs) についての 7 段階尺度 (非常に・かなり・やや・どちらでもない・やや・かなり・非常に) の評価を、ポジティブな形容詞側 (Table 1 中の左側の形容詞) が高くなるように 1 から 7 までの数値化した。Mean はこの各形容詞対についての評価の平均値を表し、S.D は標準偏差を表す。

さらに、この印象評価データの因子分析を行った。はじめに共通性の初期値を 1 とし、反復主因子法により因子を抽出した。後続因子との固有値の差に基づいて 4 因子解を適当と判断した。再度 4 因子解を仮定した反復主因子法を実行した結果、累積説明率は 57.8% となった。バリマックス回転後の各項目の因子負荷量を Table 2 に示す。Table 2 において因子負荷量の絶対値 0.60 以上を示した項目の内容を参考に各因子を解釈した。(表中では負荷量の絶対値 0.50 以上のものを太字とした。) Factor I から IV が、因子 I から IV それぞれについての因子負荷量を表し、Communality は共通性を表す。Expl. Var はこの各因子の説明分散である。

まず、因子 I については「安全な」「やさしい」等で負荷量が高かったが、「わかりやすい」「近づきやすい」は因子 I に強く支配され、他因子の関与が小さかった。そこでこの因子はロボットへの近づきやすさや親しみやすさであると解釈し、「親近性」因子と名付けた。因子 II については「面白い」「愉快的な」などの被験者自身の快・不快に基づく情緒的な評価を行う形容詞対

で負荷量が高く「愉快性」因子と命名した。因子 III はロボットの動作そのものの活発さに関わるため「活動性」因子と名付けた。因子 IV については「敏感な」はロボットが人を発見する反応性に関わると考え「賢い」とともにロボット自身の性能に関わるような評価となることから「性能評価性」因子と名付けた。

さらに、以下での分析のために標準因子得点を計算した。ここで、因子 k 観察データ i に関する標準因子得点 S_{ik} とは平均 0、標準偏差 1 となるように因子得点 F_{ik} を標準化したものである。 $F(F_{ik})$ と共通因子負荷量行列 $\Lambda(\lambda_{jk})$ 、 X_{ij} を観察 i 変量 (形容詞対に対する評価値) j についての観察データとするときの観察データ行列 $X(X_{ij})$ の間には独自因子行列を $E(E_{ij})$ として、

$$X = F\Lambda' + E$$

の関係が成り立つ。

このように抽出された 4 因子の因子得点「 S_{i1} = 親近性 (Familiarity) 得点」「 S_{i2} = 愉快性 (Enjoyment) 得点」「 S_{i3} = 活動性 (Activity) 得点」「 S_{i4} = 性能評価性 (Performance) 得点」をロボットの印象の比較対象として利用することで、より本質的な実験結果の理解を意図する。

3.3 実験条件と印象の比較

統計的有意性の検定のために、印象やロボットの行動についての数値データに対しては t 検定、被験者が特定の行動をとったかどうかについての度数データに対しては直接確率計算

	Factor				Communality
	I	II	III	IV	
やさしい	0.747	0.238	-0.160	0.076	0.646
感じのよい	0.727	0.436	0.052	0.265	0.792
親しみやすい	0.708	0.505	0.170	-0.092	0.794
安全な	0.697	-0.058	-0.214	-0.020	0.535
暖かい	0.693	0.279	0.093	0.027	0.568
かわいらしい	0.609	0.563	0.087	0.121	0.710
うちとけた	0.596	0.286	0.264	-0.086	0.514
わかりやすい	0.588	-0.055	-0.056	0.034	0.353
近づきやすい	0.574	0.132	0.046	0.023	0.349
明るい	0.524	0.398	0.467	-0.254	0.716
思いやりのある	0.516	0.247	-0.221	0.266	0.447
人間的な	0.492	0.192	0.318	0.114	0.393
充実した	0.389	0.205	0.308	0.272	0.362
面白い	0.131	0.827	0.231	0.109	0.765
愉快的な	0.359	0.744	0.241	-0.003	0.741
好きな	0.447	0.716	0.070	0.021	0.718
興味深い	0.157	0.676	0.345	0.216	0.647
良い	0.454	0.594	0.073	0.142	0.584
複雑な	-0.072	0.495	0.184	0.299	0.373
速い	0.085	0.081	0.796	0.369	0.783
すばやい	0.084	0.093	0.794	0.267	0.717
はげしい	-0.318	0.155	0.713	-0.078	0.640
積極的な	0.089	0.325	0.584	-0.037	0.456
強気な	-0.252	0.007	0.584	-0.001	0.405
派手な	0.131	0.198	0.576	0.070	0.393
陽気な	0.358	0.443	0.537	-0.202	0.654
敏感な	0.051	0.176	0.510	0.578	0.628
賢い	0.208	0.425	0.146	0.508	0.503
Expl. Var	5.85	4.70	4.29	1.35	16.19

Table 2 Factor Pattern (Varimax normalized)

	Group	NM		MN	
	Condition	NM-N	NM-M	MN-M	MN-N
	Num. of sub.	29	29	30	30
The robot's impressions (factor scores)	Familiarity	0.19	0.29	-0.04	-0.42
	Enjoyment	0.19	0.16	0.18	-0.52
	Activity	-0.52	0.98	-0.18	-0.26
	Performance	0.41	0.04	-0.23	-0.20
S.D. of the factor scores	Familiarity	0.77	0.88	0.94	1.06
	Enjoyment	0.90	0.79	0.89	0.99
	Activity	0.76	0.83	0.85	0.60
	Performance	0.92	0.88	0.69	0.88

Table 3 Comparison of subject's impressions in observing conditions

を行った。マーク+は有意傾向 ($p < 0.10$)、*は5%水準で有意 ($p < 0.05$)、**は1%水準で有意 ($p < 0.01$) を意味する。

被験者内配置における比較

今回の実験では、開発したロボットは自らの意図を表現するために視線制御を行う。それぞれの被験者は視線制御するロボットとそうでないロボットの双方を1回ずつ観察したが、この2回の観察間の印象について比較した。Table 3にこれらの4つの観察条件毎に被験者が受けた印象についての因子得点の平均値 (The robot's impression) と標準偏差 (S.D. of the factor scores) を示す。表中のNM群 (Group) は最初に視線制御をしないロボットを観察し、次に視線制御をするロボットを観察した被験者群であり、この1回目の観察をNM-N条件 (Condition)、2回目の観察をNM-M条件とする。MN群はこの逆順に観察を行った被験者群であり、この観察をそれぞれMN-M、MN-Nとする。たとえばNM群の被験者数 (Num. of sub.) は29人である。この被験者群は最初に視線制御をしないロボットを観察したが、この際の印象は4つの因子得点に反映され、例えば親近性得点の平均値は0.19、標準偏差は0.77であった。

そもそも開発したロボットにおいて視線制御は、ロボットの意図を表現することによって親しみやすい印象を与え、また、ロボットの理解を容易にすることを目的とする。そこで、このような視線制御の効果は観察順には無関係であると考え、以下のような仮説について検証した。

仮説1: ロボットが視線制御をした方が親近性があり、愉快で、活動的で、性能が高いという印象を与える。

観察順毎にこの仮説を検証した。t検定の結果、NM条件では活動性得点の差が有意であり、MN群では愉快性得点の差が有意となった。(Fig. 3, 4)。Fig. 3は視線制御なし ありの順で観察した被験者群の、視線制御しないロボットの観察 (NM-N) と視線制御するロボットの観察 (NM-M) の印象比較であり、活動性に有意差 ($p < .01$) があった。また、Fig. 4は視線制御ありなしの順で観察した被験者群の、視線制御するロボットの観察 (MN-M) と視線制御しないロボットの観察 (MN-N) の印象比較であり、愉快性に有意差 ($p < .01$) があった。

つまり、視線制御は被験者の印象の内の愉快性や活動性に影響し、仮説は一部分だが検証できたと言える。実験群毎に有意差が出た項目に違いがあったが、この原因としては、2回目の観察の際は被験者が観察に飽きてしまっていることが考えられ

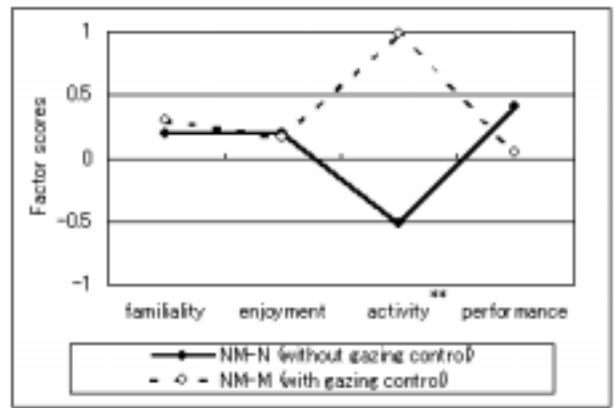


Fig. 3 Comparison in NM-group

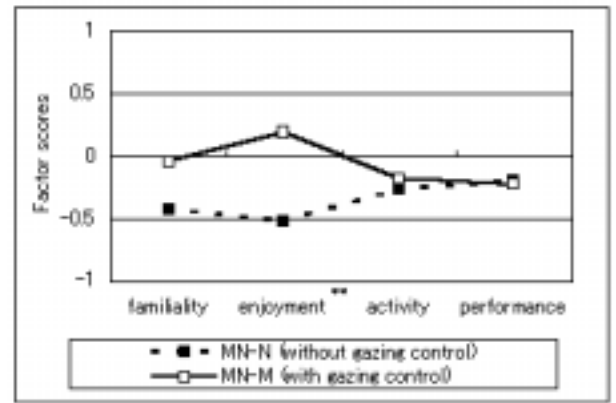


Fig. 4 Comparison in MN-group

る。さらに、被験者は2回目の観察の際に、一見すると前回と全く同じロボットを目にすることから「MN群の被験者はすでにこのロボットが視線方向を変えることを観察しているため、2回目の観察ではロボットが視線方向を変えないことをあまり意識しない」ことがMN群で活動性得点に有意差が見られなかった原因と考えられる。一方でNM群では「これまで全く動かなかった視線方向が突然変わった」ことによって活動性について強い印象を受けたことが考えられる。

被験者間配置としての比較

今回の実験においては同一被験者の2回の観察間の印象差は視線制御効果のみでなく、前に行った観察の持ち越し効果による影響が大きかった。そこで、各実験群の1回目の観察のみを比較することにより、視線制御効果を検証した。

視線制御効果については、仮説1と同様に以下の仮説をたてた。

仮説2: 視線制御をするロボットを観察した被験者の方がこのロボットに関して親近性があり、愉快で、活動的で、性能が高い印象を受ける。

t検定の結果、性能評価性得点以外での有意差はなく、性能評価については視線制御しないロボットを観察した方が性能

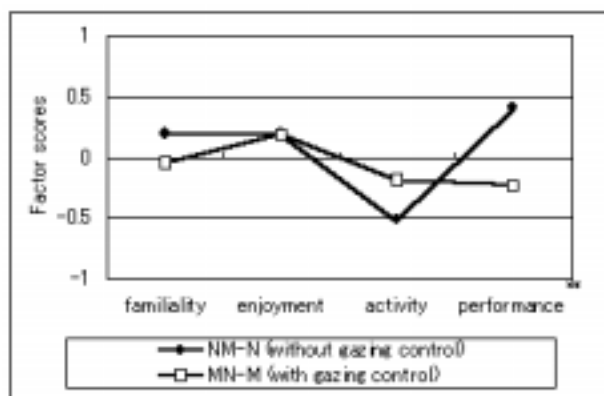


Fig. 5 Comparison between two groups

が高い印象を受けるという有意差 ($p < .01$) があつた (Fig. 5) . Fig. 5において, MN-Mは視線制御ありなしの順で観察した被験者群の1回目の観察を意味し, NM-Nはこの逆順で観察した被験者群の1回目の観察を意味する. つまり, 親近性や愉快性, 活動性について仮説は検証できず, 性能評価に関しては仮説とは逆の結果であつたことが分かつた. これは, 今回のロボットの性能がそもそもあまり高くないため視線制御を行った結果, 性能が低いと判断されてしまつたのではないかと考えられる.

経験や興味による被験者の分類

今回の印象評価実験に対して被験者の興味の差がどのような影響を与えたのかを検証するために, 興味などに関する質問紙調査の結果と印象評価実験の結果を比較した. 興味などに関する質問は11の問からなり, 各問は3つの選択肢から1つを選択し回答する方式となっている (Table 4). 比較に際しては被験者の2回の観察それぞれを1データとして計算した. また各群の平均値に有意差があるかどうかを分散分析によって検定した.

ここで, 分散分析とはいくつかの条件間の平均値が等しいという仮定を検定するものであり, 各条件の分散を計算することにより検定が行われる.

分散分析の結果を Table 5に示す. 表中の各問は Table 4の問に対応し, 回答数はこの問の各設問1, 2, 3を選択した人数, 親近性, 愉快性などは各設問1, 2, 3を選択したグループのこの因子得点の平均値を意味する. またこの因子得点それぞれについて各設問1, 2, 3を選択したグループの間での平均値を分散分析した際に差が有意 ($p < .05$) であつた項目については有意性のマーク (*), また有意傾向 ($p < .1$) であつた項目については有意傾向のマーク (+) を付加した.

この分析の結果, コンピュータの使用歴やプログラム経験はロボットへの印象に関係が深いようであつた. 性能評価性得点に関して, コンピュータ使用歴に関する設問への回答ごとの被験者の因子得点を分散分析したところ, 平均値の差が有意となつた. 活動性得点に関する設問2の分析結果から, プログラム経験がある人はロボットを活動的であると見る傾向があつたといえる.

またロボットへの関心の程度も, 印象に影響した. ロボット

Q.1	コンピュータの使用歴はどのぐらいですか?
1	5年以上
2	1~5年
3	1年未満/事実上, コンピュータを使用していない
Q.2	コンピュータプログラムを作成したことがありますか?
1	趣味やアルバイトなどで, 時々を作成する
2	作成したことがある
3	作成したことがない
Q.3	テレビ番組(ニュースを除く)などでロボットコンテストを見たことがありますか?
1	毎年, 1度は見る
2	見たことがある
3	見たことがない
Q.4	家にロボットのおもちゃ(プラモデル等の模型やファービー等のペットロボット)を持っていますか?
1	たくさん持っている
2	少しは持っている
3	まったく持っていない
Q.5	スターウォーズ, スタートレックなどのSF映画, SFテレビ番組を好んでよく見ますか?
1	好んでよく見る
2	時々見る
3	自ら積極的に, あまり見ない
Q.6	ヒューマノイド(人間型ロボット)を見たことがありますか?ただし架空の物は除きます.
1	興味を持って, よく見た
2	見たことがある
3	見たことがない
Q.7	「ロボット」という言葉を聞くとどのようなものを想像しますか?
1	鉄腕アトムやドラエモンのように, 人間を越える能力をもち自らの判断で人間を手助けするもの
2	ペットロボットのように, 自分で何らかの判断をするものの人間の手助けはしないもの
3	産業用ロボットのように, 人間の指示通りに単純作業を繰り返すもの, 自らは知的判断をしないもの
Q.8	金銭的に手が届けば, AIBOのようなペットロボットを購入したいですか?
1	ステレオやビデオカメラ, デジカメ等の数万円程の電化製品よりもかなり高額であっても購入したい
2	ステレオやビデオカメラ, デジカメ等の数万円程の電化製品と同程度の価格なら購入したい
3	あまり購入したいとは思わない
Q.9	ロボットが自律的(自分で判断する)な行動をする事に期待しますか?
1	ロボットには自律的に行動してほしい
2	どちらかともいえない
3	ロボットには自律的な行動は期待しない
Q.10	日常生活の場で活動するヒューマノイドはいつ頃実現可能になるとお考えですか?
1	15年以内
2	30年以内
3	30年以上未来になる/実現は無理
Q.11	ロボットが日常生活の場に入ってくることで, あなたの日常の暮らしは楽になるとお考えですか?
1	とても楽になる
2	それなりに楽になる
3	あまり変わらない/むしろ楽ではなくなる

Table 4 Questions of interests

コンテストを「毎年1度は見る」と答えた被験者群は「見たことがある」と答えた被験者群よりもロボットが活動的であるという印象を受ける傾向があった。またSF映画を「好んでよく見る」と答えた被験者群は「時々見る」または「積極的には見ない」と答えた被験者群よりもロボットを活動的でないと感じた。ヒューマノイドを「興味を持ってよく見た」被験者群は「見たことがある」「見たことがない」と回答をした被験者群よりも印象についての愉快性得点が高かった。被験者自身がロボットにどのような期待を持っているかとロボットへの印象との関係については、活動性得点について日常生活の場で活動するヒューマノイド実現までの期間の質問(Q.10)への回答ごとの被験者の因子得点を分散分析したところ平均値の差が有意となった。

コンピュータスキルに基づく分類

続いて、コンピュータの使用歴やプログラム経験が、視線制御効果に及ぼす影響について分析した。ここでは以下のような仮説を検証した。

仮説3: コンピュータスキルが低い人と高い人では、視線制御するロボットと視線制御しないロボットとの間の印象の差が異なる。

この仮説を検証するため、前述の質問紙調査のコンピュータスキルについての回答と視線制御の有無の2要因に対する分散分析を行った。コンピュータ使用歴と視線制御の有無の2要因に対する分散分析の結果、活動性と性能評価性の双方について視線制御の有無との間の相互作用が有意であった。また、2回の観察の間での活動性得点の差が、使用歴「5年以上」及び「1~5年」を選択した被験者群において有意となった。性能評価性得点については「5年以上」を選択した被験者群において有意差があった。

相互作用が有意であった活動性得点について、LSD法を用いた多重比較をしたところ、視線制御あり条件(M-condition)において「5年以上」と答えた被験者群の平均値が、「1~5年」及び「1年未満」を選択した被験者群よりもそれぞれ有意に大きかった($p < .05$)。また性能評価性得点については、視線制御なし条件(N-condition)において「5年以上」と答えた被験者群の性能評価性得点の平均値が「1~5年」及び「1年未満」の被験者群よりもそれぞれ有意に大きかった($p < .05$)。Fig. 6にコンピュータの使用歴と視線制御効果の関係を示す。

ここで、多重比較とは複数の条件間の平均値が互いに等しくない場合にどの母集団の平均値が互いに異なるのかを2平均ずつを対にした多数回の比較によって調べる方法である。ここでは検定力が高く計算が容易なLSD法をもちいる。LSD法は、分散分析の結果が有意のときに限って用いられ、有意水準を満たす最小の幅を計算し、全部の条件の組み合わせについてその幅が、条件の差よりも大きければ有意であるとする検定方法である。

プログラム経験と視線制御効果の関係についても各因子得点について分散分析を行ったところ、性能評価性得点と視線制御の有無の相互作用が有意であり、多重比較の結果プログラムを「時々作成する」と答えた被験者群の性能評価性の得点が「作成したことがない」と答えた被験者群よりも有意に大きかった

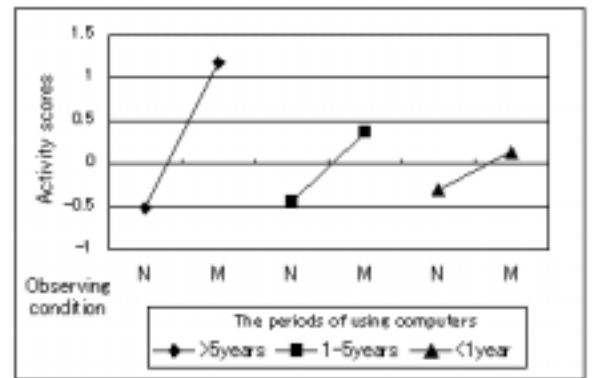


Fig. 6 The periods of using computers and effect of the gazing direction control

($p < .05$).

以上の分析から、仮説のとおり被験者の受けた印象についてコンピュータスキルと視線制御の有無の間には相互作用があり、親近性や愉快性得点についてはコンピュータスキルの影響が少ないが、活動性や性能評価性得点に関してはコンピュータスキルの違いが影響していることがわかった。被験者のコンピュータスキルが高い場合、視線制御するロボットの活動性を高く評価する傾向があり、視線制御を行わない場合の性能についても高く評価する傾向があった。また、コンピュータスキルの高い被験者は視線制御することによりロボットの性能が低くなったと感じる傾向があった。

4. 考 察

われわれは本実験を通して1つの実験テーマ「視線制御動作をする知能ロボットの印象の評価」を追求した。仮説1~3はこの過程で生じたものである。仮説1ではこの実験テーマそのものをとりあつかい、被験者の個人差などを出来る限り取り除いた比較に関して、視線制御効果を検証した。仮説2では被験者の個人差を許容しつつ、逆に観察順による影響を取り除くような比較に関して、視線制御効果の検証を行った。仮説3では、ロボットそのものに対する印象や視線制御効果と、被験者の個人差の間の相関関係の検証を行い、特にこの種の評価に対して影響の大きいコンピュータスキルに関する仮説を検証した。ロボットへの印象や視線制御効果と、被験者の個人差との間の相関関係に関する議論は奥が深いものであり、1つの仮説を検証することで議論し尽くされるものではないが、ここでは実験データ数の問題もあり、1つの仮説検証のみを行った。以下ではこのような仮説検証を行う中から判明した視線制御効果についてまとめ、さらに実験の際に問題となったことについて考察を行う。最後にロボットの取った行動と被験者の受けた印象との関係について考察する。

4.1 視線制御効果

開発したロボットは自らの意図を表現するために視線制御を行う。この視線制御は、ロボットの意図を表現することによって親しみやすい印象を与え、また、ロボットの理解を容易にす

	Ans.	Q.1 Computer experience	Q.2 Program- ming exp.	Q.3 Robot contests	Q.4 Toys	Q.5 SF movies	Q.6 Human- oid	Q.7 Imagi- nation	Q.8 Pet robots	Q.9 Autonomy	Q.10 Everyday life robots	Q.11 Useful- ness
Num. of Ans.	1	10	5	15	3	7	4	18	2	21	20	8
	2	20	12	44	24	27	24	8	16	24	19	42
	3	29	42	0	32	25	31	33	41	14	20	9
Fa- mil- arity	1	0.32	-0.27	-0.01	-0.35	-0.41	0.11	-0.04	-0.52	0.03	-0.19	0.47
	2	-0.02	-0.07	0.00	-0.02	0.06	0.04	-0.22	0.05	0.19	0.03	-0.01
	3	-0.09	0.05	—	0.05	0.05	-0.05	0.08	0.01	-0.37	0.16	-0.37 +
En- joy- ment	1	0.04	-0.06	0.15	0.50	0.14	0.85	0.23	-0.75	-0.09	-0.05	0.09
	2	0.28	0.21	-0.05	0.10	0.05	-0.15	-0.13	0.14	0.06	0.13	0.02
	3	-0.21	-0.05	—	-0.12	-0.09	0.01	-0.09	-0.02	0.04	-0.08	-0.17
Ac- tiv- ity	1	0.33	0.71	0.31	-0.53	-0.57	-0.17	0.23	-0.10	-0.23	-0.22	-0.05
	2	-0.04	0.07	-0.11	0.12	0.10	0.00	-0.24	0.30	0.16	0.32	-0.01
	3	-0.09	-0.10	—	-0.04	0.06	0.02	-0.07	-0.11	0.07	-0.08	0.10
Per- for- mance	1	0.50	0.26	0.14	-0.18	-0.11	-0.09	-0.23	0.13	-0.27	-0.14	0.13
	2	-0.17	0.13	-0.05	-0.05	0.06	-0.04	0.01	-0.03	0.25	0.25	0.01
	3	-0.06	-0.07	—	0.05	-0.03	0.04	0.12	0.01	-0.01	-0.09	-0.15
		*								+		

Table 5 Interests and impression evaluation (Each question is shown in Table 4)

ることを目的とした。実験の結果、同じ被験者が2種類の動作を見比べた場合には、

- 視線制御を行うことが愉快性や活動性において印象の違いをもたらす。

ことが分かった。視線制御を行うロボットの方が愉快で活動的な印象を持たれたことから、このような印象差は人間ロボット間インタラクションに有効であると考えられる。一方、視線制御を行うロボットを観察した被験者と行わないものを観察した被験者の印象を比較した場合、

- 視線制御を行わないものの方が性能が高いという印象を与える。

という傾向があった。この印象差の原因として、今回のロボットの性能がそもそもあまり高くないため視線制御を行った結果、性能が低いと判断されてしまったと考えられる。被験者のコンピュータスキルとロボットについての印象を比較したところ、

- コンピュータスキルの高い被験者ほど、視線制御するロボットを、より活動的で性能が低いと考える傾向があった。

つまり、コンピュータスキルの高い人ほど、ロボットについて今回の実験結果を反映した評価をし、コンピュータスキルの低い人は2回の観察の間の印象差が少なくなる傾向があった。これらの結果から、今回行った視線制御はロボットを愉快で活動的に印象付ける影響を持ち、本研究の仮説は支持されたと言える。

4.2 実験における問題点

仮説は支持されたが、実験はいくつかの問題点も残している。問題点としては以下があげられる。

- (1)被験者が同じものを2回観察することによる慣れや飽きによる影響が大きかった。
- (2)速度が遅いなど、被験者の期待するほどはロボットの性能が高くなかった。

(3)ロボットの外見が機械的な印象を与えがちであった。

今回の実験では、2種のロボットの観察順によって被験者の受けた印象に大きな差があった。このような持ち越し効果は、被験者間配置によって実験を行うことで解消できるが、印象差が小さい場合や個人差の影響が大きい場合には不向きである。今回の実験において行った被験者間配置による比較では「親近性」「愉快性」「活動性」の間に統計的な有意差は出なかった。このことが、被験者が知能ロボットについてあまり強い比較対象を持つことが少ないために1回目の観察では無難な評価を行いがちであることに起因するのか、両者の本質的な印象の差異が微小であるからなのかはわからない。いずれにしても、知能ロボットの印象を評価するにあたっては、被験者が一般に比較対象となる知能ロボットをあまり身近に持たない現時点では、このような複雑な印象評価は被験者内配置によって行うか、あるいは比較対象を与えることが望ましいと考えられる。むしろ、被験者が飽きてしまわず、かつ、十分な観察が行われるように観察時間を設定することが望まれる。

本実験においても2回の観察の間に慣れの影響が生じたと考えられる。実験の際はこのような慣れが影響しないように被験者間配置によって実験を行い、視線制御効果についての考察を行った。しかしながら、それぞれの観察順の中では、このような慣れの影響でロボットに対する評価が悪化した可能性がある。一般に、ロボットの中身の機能が十分でない場合には、観測が進むうちに観察者の評価は悪化すると考えられ、このような評価の悪化が、各観察順についての2回の観察の間で生じた可能性がある。

また実験結果から、視線制御を行うことによってロボットの性能が低いと判断される傾向があったが、これはそもそもロボットの性能が被験者の期待するほど高くなかったことが原因であろう。プログラムの改良によりロボットの性能が改善する部分もあるにしても、ハードウェア技術によって性能が限定さ

Condition	N (camera No-move)			M (camera Move)			Act. to people	Few	Many	P
	None	Some	P	None	Some	P				
Avoidance behavior										
Num. of subjects	17	11		15	19		Num. Of sub.	28	28	
Familiarity	-0.05	-0.08	0.96	0.37	0.02	0.32	Familiarity	-0.02	-0.18	0.54
Enjoyment	0.09	-0.42	0.20	0.22	-0.01	0.34	Enjoyment	-0.10	0.53	0.01 *
Activity	-0.37	-0.70	0.08 +	0.81	0.09	0.06 +	Activity	-0.24	0.32	0.04 *
Performance	0.06	-0.07	0.76	0.14	-0.32	0.14	Performance	-0.17	0.11	0.28
Moved distance(m)	11.72	11.33	0.88	9.63	10.08	0.80	Moved dist. (m)	12.70	7.07	0.00 **
Interaction time (sec)	158.1	122.1	0.06 +	149.9	124.3	0.08 +	Int. time (sec)	114.1	202.8	0.00 **
Obstruct	0.41	0.55	0.76	0.40	0.42	1.00	Obstruct	0.21	0.68	0.00 **
Cross	0.47	0.55	1.00	0.67	0.68	1.00	Cross	0.39	0.64	0.11
Swing hands	0.06	0.09	1.00	0.13	0.11	1.00	Swing hands	0.07	0.25	0.14
Hide eye(s)	0.00	0.45	0.01 **	0.13	0.05	1.00	Hide eye(s)	0.00	0.32	0.00 **
Eye contact	0.59	0.36	0.44	0.67	0.53	0.64	Eye contact	0.25	0.75	0.00 **
Look inside	0.35	0.36	1.00	0.40	0.42	1.00	Look inside	0.29	0.50	0.17

Table 6 The avoidance behavior and impressions

Table 7 The robot actions to people

れる部分が多い。より高性能のロボットが実現できるようになった際に、再びこのような実験を行うことは興味深い。

外見については、今回の実験でもできるだけ機械的な部分を覆い、被験者にあまり先入観を与えないように配慮したが、自由回答においてコードやキーボードが機械的な印象を与えた。この結果をふまえ、実験の目的と比べて外見があまり印象的にならないように配慮する必要がある。

ところで、今回の実験で行った視線制御は意図表現の手段として十分だったのだろうか。被験者の観察の様子や自由記述の回答を検討すると、必ずしも十分でなかったと言える。被験者の観察の様子を見る限り、ロボットが人間と関わる行動をとった際は視線制御によって周囲の人を認識していることが伝わった場合も多い。しかし、一方でロボットが移動する際には自らの移動方向へと視線を向ける視線制御を行うが、このような視線制御に対しては「ロボットの視線がきよるきよるしていかわいい」といった自由記述回答が得られた。このように、一部の視線制御については、本来の実験意図とは異なる解釈が行われていたと考えられる。

4.3 ロボットの行動に対する印象評価

今回の実験では視線制御の効果だけでなく、ロボットや被験者の行動と印象の関係についても考察できるデータが得られている。観察の際にロボットのとる行動は被験者の行動や周囲の状況により変化し、各観察毎に異なる。ここでは、ロボットのとった様々な行動と被験者が受けた印象の関係を検討し、人間とロボットのインタラクションについて考察する。

障害物回避行動

開発したロボットは壁等の障害物に接触すると視線制御する場合にはカメラをその障害物の方向に向けて自らの注意方向を示しながら、接触センサによって障害物回避を行う。この行動は自由記述回答において印象的だとする被験者が比較的多かった。この障害物回避行動について、観察中に2回以上回避行動をとったロボットを観察した被験者と全く回避行動をとらなかったものを観察した被験者の間での印象の違いについて比較した。

Table 6にこれらの被験者間の観察データについての平均値の差を示す。表中の Moved distance は5分間の観察中にロボッ

トの移動した距離、Interaction time は5分間の内で人間の方を向くなどのインタラクション行動をとっていた時間の平均値である。また「Obstruce」等は観察中に各群の被験者が該当する行動をとった比率を表す。

観察中にロボットが障害物回避行動をすることは被験者の印象を悪化させると考えられるが、視線制御を行うことでこの印象悪化を低減することができるのではないかと予想した。しかし被験者の受けた印象に関して、視線制御を行うことと回避動作との間に特別な関係は見いだせなかった。

ロボットによる対人行動

ロボットが人間に関わる行動の中で最も実行頻度が高かったのが「人間がいる方向を見つけて、その方向を向く」行動である。ここではこの行動と被験者の受けた印象の関係を比較する。2回の観察を合計してロボットの「人間のいる方向を向く(Action to people)」行動の実行回数が多い上位25%と下位25%の被験者の間での比較を行ったところ、「愉快性」(上位0.53> 下位-0.10*)「活動性」(上位0.32> 下位-0.24*)の2項目が有意であった(Table 7)。

ロボットの行動では「Moved distance」「Interaction time」に有意差があった。これは人間とかわかることで移動距離が減少したことを意味する。人間の行動では2回の観察の間での差は「Obstruct(立ちふさがり)」「Hide eye(s)(目隠し)」「Eye contact(視線あわせ)」で有意となった。これは単に実装の問題で、今回開発したロボットはロボットの前後に人が近づくか、あるいはカメラ画像の大きな変化に反応して対人行動をとるため、人間がロボットに関わる行動をすることが多ければ多い程ロボットが人間と関わる行動をとったことが多くなった。

人間による対ロボット行動

では、人間がロボットに関われば関わる程、人間はロボットのことを愉快だと思うのだろうか。これを調べるために今回は被験者のロボットへの働きかけ行動と、ロボットへの印象を比較した。2回の観察中に被験者がロボットに対しとった行動が「Obstruct(立ちふさがり)」などの7カテゴリに当てはまる数の上位25%(=該当カテゴリ数が2回の合計で5以上)の被験者を「積極的にかわり群」(23名)とし、下位25%(=同1以下)の被験者を「消極的にかわり群」(16名)とした。比較の結果、愉快性に有意傾向があったが、有意差はなかった。これら

のことから「被験者がロボットに関わった際にロボットが人間と関わる行動をするが、このようなかわりあいが多ければ被験者はロボットが面白いと思う」ことが推測できる。一方、人間がロボットに関わる度合いが大きいからといってロボットのことをそれほど愉快だと思うわけではなかった。この両者の間には、ロボットがどれほど人間の行動に適切に反応したかという反応性の問題があるように思える。

5. おわりに

本稿では、自律行動し人間と関わろうとする知能ロボットが人間に与える印象についての印象評価実験の報告をした。今回観察を行ったロボットについて被験者は主に4つの観点でロボットを評価していることが分かった。また視線制御は人間とのインタラクションに有効であった。

この実験結果は一般的であるとは限らず、今回の実験条件に依存する部分が含まれると考えられる。特にロボットの外見は印象について大きな影響力を持つ。このロボットの外見を変えると観察者はどのような印象をもつであろうか？このロボットは目が非常に特徴的であるため、目にあたる部分が観察者にはっきり分かっていたら外見を変えても同じ結果が得られると考えられる。もし見かけがもっとかわいければ、その見かけや動作でもっと人の気を引くことができるだろうが、そこに観察者が知的な印象を持つかどうかは分からない。いずれにせよ、中身の機能が十分でない場合、長時間にわたって観測を行うことで外見の差による影響は無くなっていくのではないだろうか。

しかしながら、観察者が人間と関わるロボットを上記のような観点で評価することや、複数の観察対象がある際の観察順が印象に与える影響等の実験結果は他の知能ロボットの印象評価を行う際の有効な手がかりとなるものと考えられる。

また、本実験の観察において、被験者がロボットのカメラにあまり注意しなかったことから、被験者にとってはこのロボットの顔があまり重要ではなかった事が推測される。この結果から考察されるのは、ロボットにとっての顔の役割である。ロボットが対話の対象となると思われるようになるにつれて、ロボットにとっての顔や目の役割が非常に重要になってゆくのではないだろうか。この考えに基づくと、人間型のロボットを観察する際には、観察者がロボットの顔や目を見る頻度が、人間がこのロボットを対話の対象であると考えている度合いを表す1つの指標となるとの仮説を立てることが出来る。将来課題として、このような指標を用いて知能ロボットの評価実験を試みることも興味深い。

参考文献

- [1] "AIBO Homepage," <http://www.sony.co.jp/soj/aibo/>
- [2] T. Ogata, S. Sugano: "Emotional Behavior Adjustment System in Robots," IEEE Internal Workshop on Robot and Human Communication, pp.352-357,1997.
- [3] 山本吉伸: "疑似対人行動 - 誘発の条件," 認知科学, Vol.1, No.2, pp.95-99, 1994.
- [4] T. Shibata, M. Yoshida, J. Yamato: "Artificial Emotional Creature for Human-Machine Interaction," Proceedings of the IEEE System, Man, and Cybernetics, pp.2269-2274,1997.

- [5] T. Sato, T. Harada, T. Mori: "Contact Interaction Robot," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.312-317, 1997.
- [6] S. Shibata, H. Inooka: "Psychological evaluations of robot motions," International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.21, pp483-494, 1998.
- [7] 小林宏, 原文雄, 内田豪, 大野宗久: "アクティブ・ヒューマン・インターフェース(AHI)のための顔ロボットの研究," 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.1, pp.155-163, 1994.
- [8] 松坂要佐, 東條剛史, 久保田千太郎, 田宮大介, 古川賢司, 早田啓介, 中野裕一郎, 小林哲則: "複数話者による対話システム," インタラクシオン '99, pp.33-34, 1999.
- [9] 尾形哲也, 菅野重樹: "情動モデルを有する自律ロボット WAMOEBA-2 と人間との情緒交流," 日本機械学会論文集(C編), vol.65, No.633, pp.1900-1906, 1999.
- [10] 岩下豊彦: "SD法によるイメージの測定 その理解と実施の手引," 川島書店, 1983.
- [11] 末永俊郎 編: "社会心理学研究," 東京大学出版, 1987.
- [12] H. Ishiguro, T. Kanda, K. Kimoto, T. Ishida: "A Robot Architecture Based on Situated Modules," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, 1999.
- [13] 本名信行ほか編: "ノンバーバル・コミュニケーション," 大修館書店, 1981.
- [14] V. Bruce 著, 吉川左紀子訳: "顔の認知と情報処理," サイエンス社, 1990.
- [15] K. Isbister, H. Nakanishi, T. Ishida, C. Nass: "Helper Agent: Designing an Assistant for Human-Human Interaction in a Virtual Meeting Space," International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI-2000), 2000 (to appear).
- [16] 田中敏: "実践心理データ解析," 新曜社, 1996.
- [17] 柳井晴夫ほか: "因子分析 - その理論と方法 -," 朝倉書店, 1990.

神田 崇行 (Takayuki Kanda)

1975年12月7日生。1998年京都大学工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院情報学研究科社会情報学専攻修士課程在学中。

(日本ロボット学会学生会員)

石黒 浩 (Hiroshi Ishiguro)

1986年山梨大学工学部計算機科学科卒業。1988年同大学院修士課程修了。1991年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻修了。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。現在、京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授。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、電子情報通信学会、情報処理学会、IEEE、AAAI各会員。

(日本ロボット学会正会員)

石田 亨 (Toru Ishida)

1976年京都大学工学部情報工学科卒業。78年同大学院修士課程修了。現在、京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻教授。工学博士。人工知能、コミュニケーション、社会情報システムに興味を持つ。情報処理学会、電子情報通信学会、人工知能学会、日本ソフトウェア科学会、IEEE、ACM、

AAAI各会員。