

人間と機械の共同注意に関する研究

有田 亜希子[†] 小松 孝徳[†] 松田 剛[†]
開 一 夫^{†,††} 松本 吉 央^{†††}

本研究では、人間と相互作用するロボットに対する人間の認識が、ロボットの振舞いや相互作用する時間とともにどう変化するかを調べることを目的とし、人間と機械の共同注意及び視線追従に着目して行動実験を行った。実験の結果、共同注意をロボットとの相互作用として行った被験者は、ロボット側の視線の移動に対して視線追従を行うこと、その割合はロボットの振舞いや時間の経過、被験者の意識によらずほぼ一定であることがわかった。また、刺激の時間間隔 (ISI) を短くすると視線追従の割合が減少するという興味深い結果が得られた。

Joint Attention about human and robot

AKIKO ARITA,[†] TAKANORI KOMATSU,[†] GOH MATSUDA,[†]
KAZUO HIRAKI^{†,††} and YOSHIO MATSUMOTO^{†††}

The purpose of this study is to investigate how human recognize the interacting robot, and how does it change in the course of interaction. To that end, we focused on "Joint Attention" and "Gaze Following" to recognize the human recognition, and we conducted experiments controlling the pattern of interaction. The results of two experiments suggests that the rate of gaze following to the robot doesn't depend on the pattern of robot action and the length of interaction, but depend on ISI (Inter-Stimulus Interval) which is the time from task to task.

1. はじめに

人間と相互作用するような機械を、人間は一体どのように認識しているのだろうか？工場などでは既に自動組み立て作業ロボットなどが使われているが、人間と密な相互作用を行うロボットはそれらと異なる認識をもたらす可能性がある。

本研究では、人間とロボットの間の相互作用とその時間の長さがロボットへの認識にどのような影響を与えているかを行動実験によって調べることを目的とした。

この目的のため、本研究では人間と機械の共同注意及び視線追従に着目した。視線追従とは文字通り「視線を追うこと」であり、「相手が注意を向けているところに注意を向ける」という「共同注意」のひとつである「視覚的共同注意」の礎になっている⁵⁾。

疑似的に共同注意を行うようなロボットに対して人間が視線追従を行うことは、有田らの実験³⁾によって示唆されていたが、疑似的な共同注意が本当に視線追従を行うのに必要な要素であるかどうかは示されてい

なかった。

そこで、今回は「疑似的な共同注意」と「それ以外の振る舞い」をロボットに取らせたとき・取らせないときにおいて人間の視線追従を行う割合がどのように変化するかを調べた。

また、視線追従はより低次の注意の働きによって成立すると考えられている²⁾。「注意」に関する研究では注意の解放に関してある程度の時間が必要なことが知られている¹⁾。そこでロボットとの相互作用において試行の「間」がどの程度影響を及ぼすかを調べるために、刺激の呈示時間間隔 (ISI: Inter-Stimulus Interval) を長短の2通り用意して実験を行った。

2. 方 法

本実験を行うために、まず『共同注意を行っているように見えるロボット』を作成した。実際の共同注意においては人間が注意を向けている対象を同定する必要があるが、ここではこれを疑似的に達成するため、以下のような機能を持つ実験システムを構築した。

- 人間の動作に対してすぐに反応できるロボットとロボット制御系
- 人間の注意を固定・解放するためのライトとライ

[†] 東京大学

^{††} 科学技術振興事業団さきがけ研究 21

^{†††} 奈良先端科学技術大学院大学



図 1 実験に使ったロボットの外觀

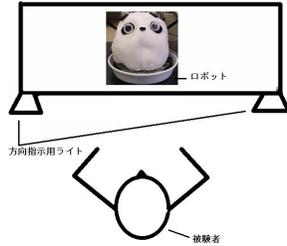


図 2 実験風景（模式図）

制御系

実験に使ったロボット（図 1）は移動用の車輪を持ち、制御用 PC（Pentium3-500Hz:VineLinux2.0）からシリアルポートを通じてモーターコマンドを受け取り、平面上を移動することができる。また、被験者の左右に置いたライトは実験者の手で点消灯の調節が可能であり、ロボットと同時に制御することができる。

実際の実験においては、被験者に左右のライトが点灯したらライトを見、消灯したら正面のロボットを見るように教示することで、人間側の注意（視線方向）を制御する。図 2 は実験環境の模式図である。

実験は以下の 2 つのフェーズによって構成されている。

InteractionPhase 被験者とロボットの間相互作用を持たせるフェーズ。被験者にはライトが点灯したら点灯したライトの方を速やかに向くライトが消えたら正面のロボットを速やかに見ることが指示されている。ライトの点灯は約 1 秒である。InteractionPhase はライトが点灯したときのロボットの動きによって 3 種類にわけられる。

パターン A 点灯したライトの方を向き、消灯したら正面を向く。（疑似共同注意）

パターン B 点灯したライトと逆を向き、消灯したら正面を向く。（反共同注意）

パターン C ライトが点灯しても正面を向いたままである。（無反応）

TestPhase 被験者がロボットの視線を追従するかを調べるためのフェーズ。ライトの点灯なしにロボットが左右いずれかのライトを見、約 1 秒の間

を置いてロボットが正面を向く。

実験は InteractionPhase を 10 回と TestPhase10 回をランダムに組み合わせたものを 1 ターンとし、5 ターンを 1 セットとする。InteractionPhase のパターン 1 つにつき 1 セット、計 3 セットを被験者に対して行う。パターンの呈示順序は被験者ごとに変えて行い、後に順序の効果を検定した。

ライトの点灯、ロボットの挙動ともに左右のカウンターバランスがとれるようにランダムに配置した。フェーズの時間間隔（ISI（刺激呈示間隔）：本実験ではロボットが正面を向いて停止している時間）は実験 1 が 2.0 秒、実験 2 が 1.2 秒である。

被験者は 10 代後半から 20 代前半の大学生 12 人（実験 1・実験 2 とともに 6 人ずつ）であり、実験中の被験者の顔および眼球の移動をデジタルビデオカメラ（Sony:DCR-PC7）を用いて計測した。

表 1 被験者に行ったアンケート

今回のロボットの動きからどのような印象を受けましたか？（0 は「どちらともいえない」、1 は「やや」、2 は「まあまあ」、3 は「かなり」）

動きに意図がある	+3	...	-3	意味不明な動きである
生き物的である	+3	...	-3	機械的である
動きにつられやすい	+3	...	-3	動きにつられにくい

また、各パターンの試行後にアンケートを行った。アンケート方式は SD 尺度法⁷⁾を用いた。SD 尺度法とは、印象に関する形容詞句とその反対の意味の語句の対を用意し、被験者に呈示した評価対象について、その対の形容詞句に関して段階的評価をしてもらう評価法である。表 2 にアンケートの概要を示す。本実験では 3 つの形容詞対を 7 段階に分割し評価をもらった。また、ロボットの反応についての感想も自由記述形式でコメントしてもらった。

3. 分析

TestPhase における「ロボットが左右のライトを見た」ときの被験者の眼球運動及び顔の動きを分析の対象とし、TestPhase の回数に対して被験者がロボットの視線を追従した回数（割合）を評価の対象とした。被験者の反応はデジタルビデオカメラに録画して分析した。ロボットの動きと時間的に一致しない眼球反応はカウントしなかった。分析は 2 名（有田・松田）で行い、その一致率は 94.7 パーセントであった。

ビデオの分析、及びアンケート結果に関して、InteractionPhase のパターン A,B,C の呈示順序による効果は見られなかったため、全て同一パターンごとに集

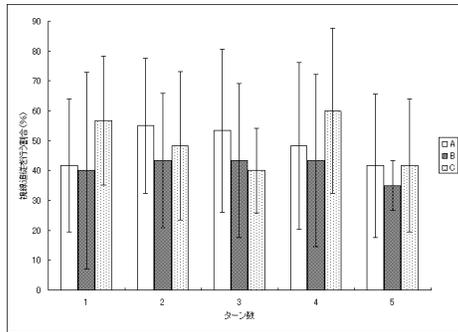


図3 実験1におけるターン数と視線追従を行う割合の関係

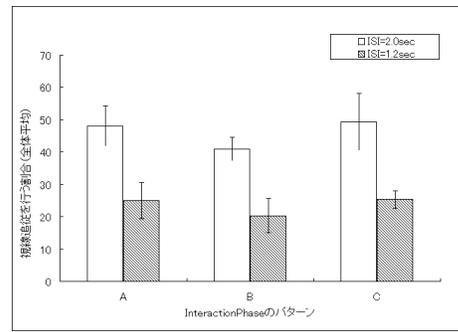


図5 実験1・2における視線追従の割合の比較

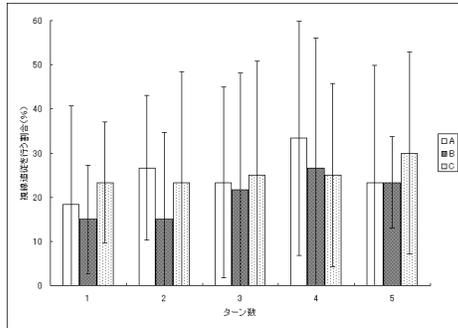


図4 実験2におけるターン数と視線追従を行う割合の関係

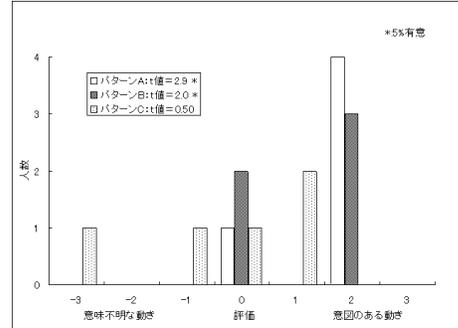


図6 実験1 アンケート：動きに意図があるか？

計して分析を行った。

アンケートの結果に関してはt-検定を行い、意見の有意な偏りがあるかどうかを調べた。本実験では有意水準を5パーセントとした。各設問の回答は-3から3までの整数値である。本実験では被験者数はそれぞれ6人なので、回答数も各設問につき6個ずつである。

検定統計量 t を以下のように算出する。

$$t = \frac{\bar{X}\sqrt{6}}{s} \quad (1)$$

ここで \bar{X} はアンケート回答の平均値、 s は回答の標本標準偏差である。t 分布表⁸⁾ から、自由度 5、有意水準 5% の場合のパーセント点は 0.96 である。よって上の式から得られる t の絶対値が 0.96 より大きい場合は、そのときの反応行動が特定の印象を与えると結論できる。

4. 結果

図中の*印は5%水準で有意な差があることを示している。また図示されているのは有田が分析した結果の図である。

図3は実験1 (ISI=2.0s) におけるターン数と視線追従を行った割合の関係の図である。パターン A,B,C ともにターン間における反応の割合に差は見られない。また、パターン間においても反応の割合に差は見られ

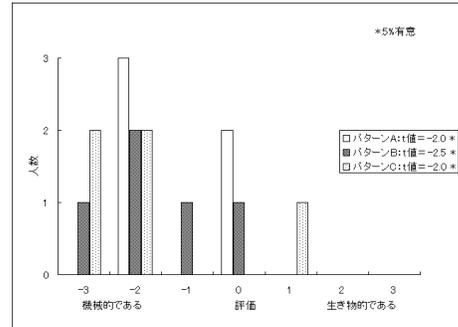


図7 実験1 アンケート：生き物的か

ない。このことから、視線追従を行う割合は「ロボットが人間と同じ方向を向く・逆を向く・動かない」という振舞いの違いによらず一定であること、また相互作用を行う時間に対してもほぼ一定であることがわかる。

図4は実験2 (ISI=1.2s) におけるターン数と視線追従を行った割合の関係の図である。図3と同じく、パターン A,B,C ともにターン間における反応の割合に差は見られず、パターン間においても反応の割合に差は見られない。また、図3と比べると視線追従の起こる割合が低いことが判る。

図5は実験1 (ISI=2.0s) と実験2 (ISI=1.2s) においてパターン A,B,C に対して生じた視線追従の割合を比較したものである。この図から、明らかに実

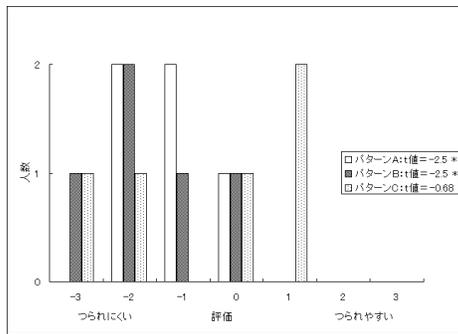


図 8 実験 1 アンケート：動きにつられやすいか

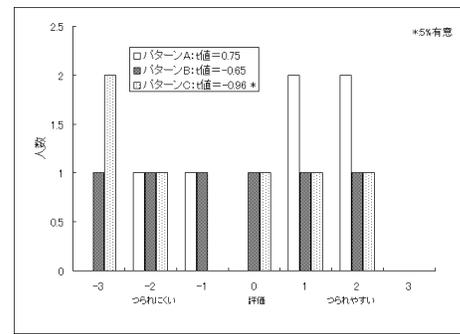


図 11 実験 2 アンケート：動きにつられやすいか

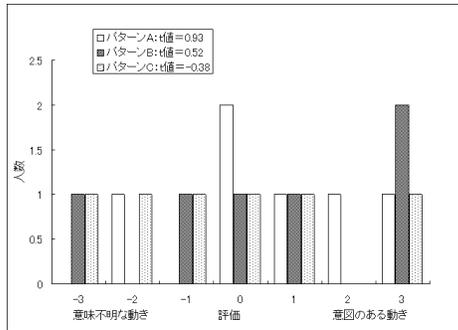


図 9 実験 2 アンケート：動きに意図があるか？

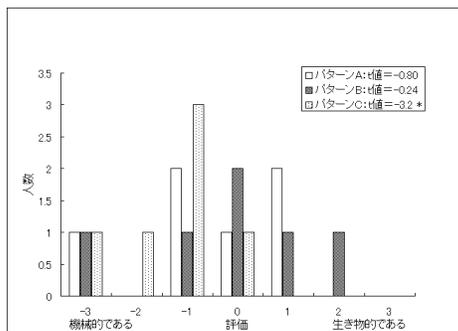


図 10 実験 2 アンケート：生き物的か

験 1 の方が視線追従が起こる割合が大きいこと、つまり ISI が長い方が視線追従が起こりやすいことがわかる。なお分散分析を行った結果、5 パーセント水準で視線追従を行う割合は実験 1 の方が多いことが確かめられた。

図 6,7,8 は実験 1 (ISI=2.0s) におけるアンケートの結果を纏めたものである。

図 6 は「ロボットの動きに意図があるか？」という問いに対する集計結果である。パターン A とパターン B については「意図のある動き」であると感じているが、パターン C に関しては有意な偏りがないことがわかる。

図 7 は「ロボットの動きが生き物的か？」という問

いに対する集計結果である。全てのパターンにおいてロボットの動きは「機械的である」と感じていることがわかる。

図 8 は「ロボットの動きにつられやすいか？」という問いに対する集計結果である。パターン A,B に関しては「つられにくい」と感じている。一方でパターン C に関しては有意な偏りは見られないが、つられやすいと感じている被験者がいることがわかる。

図 9,10,11 は実験 2 (ISI=1.2s) におけるアンケートの結果を纏めたものである。

図 9 は「ロボットの動きに意図があるか？」という問いに対する集計結果である。どのパターンに関しても有意な偏りはみられないが、パターン B に対してやや意図を感じている傾向がある。

図 10 は「ロボットの動きが生き物的か？」という問いに対する集計結果である。パターン C に関しては「機械的である」と感じている一方で、パターン A,B に関しては生き物的だと感じている被験者も見受けられる。

図 11 は「ロボットの動きにつられやすいか？」という問いに対する集計結果である。パターン C に関しては「つられにくい」と感じている。パターン A はつられやすいと答えている被験者がやや多いのに対し、パターン B は完全に評価がばらけているのがわかる。

以上のことから、ISI が長い方が被験者は視線の追従を行いやすく、また特定の印象を対象から受けていることが判る。

5. 考察と今後の展望

実験 1, 2 を通して判ったことは以下の事柄である。

- (1) 相互作用を行う時間の長さやロボットの人間に対する行動のパターンは、人間がロボットに対して視線追従を行う割合に影響を与えない。
- (2) ISI の長さが視線追従の割合に影響を与えている
- (3) 「つられていない」と感じていても実際には視

線追従は行われている

- (4) 意図も感じず生き物らしくない対象に対しても視線追従は行われる

まず上記の3と4に関してだが、これは相手に意図を感じるか感じないか、生き物らしいと感じるかどうかには視線追従の割合は関係ないということである。これは「つられていない」と感じていても視線追従が起こることと合わせ、視線追従が極めて反射に近い行動であることを示唆している。逆に言えば、人間は「生き物らしい」と感じていない対象に対しても視線追従を行うということである。

今回の結果から、ロボットが人間の動きに反応するかしないかは視線追従を行う割合には関係がないことが判った。しかし、これは幼児の動きに反応するぬいぐるみと反応しないぬいぐるみで実験を行った Johnsonの結果⁴⁾とは反するものである。これが幼児(生後8ヵ月)と成人との差から来るものなのか、それとも使用したぬいぐるみの外見や実験環境などによるものなのかは判らない。ただ、成人にとっては対象(ロボット)のふるまいの規則性が明らかであるという点で、3パターンのどれも同じ認識をされた可能性がある。ここから得られる仮説は「ロボットの振る舞いが一定であれば人間がロボットに対して視線追従を行う割合は変化しない」ということである。この仮説を確かめるためには、ロボットの振る舞いを不規則にした実験を行って比較する必要がある。この場合、行動の「種類」だけではなく動く速さや反応の時間といった時間的な要素を変化させることも考えるべきだろう。

また、今回の実験ではISIの長さによって視線追従を行う割合に差が生じたが、ISIに比例して視線追従の割合が増加するのか、増減があるのか、また閾値のようなものがあるのか定かではない。視覚的注意に関連する「ギャップ効果」の研究⁶⁾からは、対象に注意を向けて固視するためにはあらかじめ「視覚的注意の解放」が行われている必要があり、「解放 - 固定」に最適な時間間隔が200ms程度であることが知られている。しかし今回の時間間隔はこれに比べると非常に大きく、実験状況もかなり異なることから単純に比較するのは難しい。これに関してはISIの値を変えて追試を行うとともに、実験の間、どのように注意の「固定 - 解放」が行われているのかを知る必要がある。

本実験では、視線追従の根幹だと考えられている「注意のシフト」の研究²⁾と同様に反応をビデオに録画し、眼球運動を測定している。また、「注意のシフト」研究で成人を被験者とした場合はターゲットを捕捉するまでの反応時間が尺度になっている⁹⁾。しかし「ギャッ

プ効果」ではより精度の高い眼球のサッカード運動を計測しており⁶⁾、「注意」の研究であっても全くタイムスケールが異なっている。過去の様々な研究と比較検討するためには、被験者のより詳細な眼球運動と合わせて反応時間も測定する必要がある。また、外的に観測できる現象と合わせて脳の中でどのような活動が起こっているかも興味のあるところである。眼球運動の検出・反応時間・事象関連電位の3つを同時に測定できるような実験環境を整え、その上で相互作用や時間間隔と人間の認識との関係を調べることで、より有用な結果が得られるだろう。以上を備えた実験環境を現在構築中である。視線の検出には松本の作成した視線検出システム¹⁰⁾を利用する予定である。

これらの研究により、人間同士のコミュニケーションのように、人間が「自然に」注意を向けるような対象を作る上で必要な要素は一体何であるのかが、ゆくゆくは判るのではないかと考えている。

参 考 文 献

- 1) 正高.(1999). 赤ちゃんの認識世界. ミネルバ書房
- 2) 板倉.(2000). 心を読む: 比較認知発達の見点から. 知能と複雑系,122,25-30
- 3) 有田, 小松, 開, 松本 (2000). 人間と機械の共同注意に関する研究. 日本認知科学会第18回発表論文集,204-205
- 4) Johnson,S.,Slaughter,S. & Carey,S.(1998).Whose gaze will infants follow? The elicitation of gaze-following in 12-month-olds. *Developmental Science*,1,233-238
- 5) Baldwin,D.A.(1995).Joint Attention - It's Origins and Role in Development -.(大神英裕監訳. ジョイント・アテンション: 心の起源とその発達を探る.(1999). ナカニシヤ出版)
- 6) Braun,D.,&Breitmeyer, B.G. (1988).Relationship between directed visual attention and saccadic reaction times. *Experimental Brain Research*,73,546-552
- 7) 斎藤.(1978). セマンティック・ディファレンシャル(SD法). 人間工学,14(6),315-325
- 8) 東京大学教養学部統計学教室.(1991). 統計学入門. 東京大学出版会.
- 9) Driver,J.Davis,G.,Ricciardelli,p., Kidd,P., Maxwell,E., & Baron-Cohen,S.(1999).Gaze perception triggers reflexive visuospatial orienting. *Visual Cognition* 6,509-540
- 10) 松本 & Alexander Zelinsky.(1999). リアルタイム視線検出システムの開発, 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 413-414