

## 電気企鵝に宿るエージェンシーの幻想

-ぬいぐるみロボットのリズムパラメータが相互作用時の印象形成に与える影響-

高橋英之<sup>†1</sup> 伴碧<sup>†2</sup> 佐武宏香<sup>†1</sup>  
遠藤信綱<sup>†1</sup> 守田知代<sup>†1</sup> 浅田稔<sup>†1</sup> 下條信輔<sup>†3</sup>

正弦波に応じてリズムを変動させる太鼓をたたきぬいぐるみロボットを開発、正弦波のパラメータがどのようにそのロボットとの被験者のリズムインタラクション（交互太鼓たたき課題）における主観的感覚に影響を与えるのかについて調べてきた。その結果、リズムを決める正弦波周期が長くなればなるほど、ロボットが被験者に追従しているという社会的感覚が生じ、その結果、ぬいぐるみロボットに対する親しみなどの主観的印象が向上することが示された。

### How the rhythmic properties of a stuffed animal robot influence the subjective impression to the robot?

HIDEYUKI TAKAHASHI<sup>†1</sup> MIDORI BAN<sup>†2</sup> HIROKA SABU<sup>†1</sup>  
NOBUTSUNA ENDO<sup>†1</sup> TOMOYO MORITA<sup>†1</sup> MINORU ASADA<sup>†1</sup>  
SHINSUKE SHIMOJO<sup>†3</sup>

We found the phenomenon that subjects sometimes feel phantom agency (the sense that the robot follows the subject's rhythm) to a stuffed animal robot during the alternate drumming session with the robot even if the robot's rhythm is absolutely controlled based on a sin wave function. In this study, we investigated how the parameters of the sin wave influence the sense of the robot's phantom agency and the impression (e.g. familiarity) of the robot.

#### 1. はじめに

近年、エンターテインメントの一環としての家庭用ロボットに注目が集まっている。これらのロボットは複雑な仕事を行うことよりも、そこにいてくれるだけでユーザーに暖かい気持ちを感じさせ、ストレスを軽減させるコンパニオンアニマル的な役割が期待されている。このような目的を達成するためには、ユーザーがロボットに何らかの社会性（エージェンシー）を感じる事が重要になる。

ヒューマンロボットインタラクションの研究分野において、ロボットに如何にエージェンシーを感じさせるのかはとても重要なトピックである。これまでにロボットのエージェンシーを高めるために、外見をリアルにしてロボットを人間に近づける[1]、ダンスなど凝った動きをロボットにとらせる[2]、もしくはユーザーの動きにリアクティブにロボットを反応させる[3]、などロボットを高機能化する試みが行われてきた。これらのロボットの高機能化はしばしば高いエージェンシーをロボットに感じさせる一方で、高コストであり、玩具などに応用することは現実的ではない。また現在のロボットの技術水準から家庭内の様々な状況や文脈に応じて的確にロボットに反応をとらせることは現実的ではなく、文脈にそぐわないロボットの反応はユーザーを却って飽きさせる要因になる恐れがある。そこで我々はロボットを無理に高機能化せず、外見や振る舞いに取

えて曖昧性を持たせることにより、ユーザーの想像力を引き出し、ロボットとの良好な関係が維持させたいと考えている。

本研究では、被験者とぬいぐるみロボットの交互太鼓叩き課題において、ぬいぐるみロボットが実際には正弦波にもとづく機械的なリズムに従って太鼓を叩いていても、被験者がしばしば「ロボットが自分にリズムを合わせてくれる」という感覚を抱く現象に注目し、正弦波の周期がこの感覚に及ぼす影響、さらにこの感覚が生じることによるロボットに対する被験者の印象の変化について調べた。

#### 2. 実験に用いた太鼓ロボットについて

本研究で用いる太鼓ロボットは、独自に開発したオリジナルのものである（図1）[4]。関節をモータで動かすことにより、太鼓をパチで叩くことができる。太鼓は被験者用のものと、ロボット用のものがそれぞれ存在し、打点を歪みセンサーで検出、マイコンボード(Arduino Uno)でそれぞれの打点を統合、記憶することが可能である。またロボットの打点タイミングは、マイコンボードによって厳密にコントロールすることができる。基本的にロボットの外見はアルミニウムでできた機械的なものであるが、ぬいぐるみをアタッチメントとして取り付けることにより、外見をデザインすることも可能である。

†1 大阪大学 Osaka University  
†2 同志社大学 Kyoto University

†3 Caltech

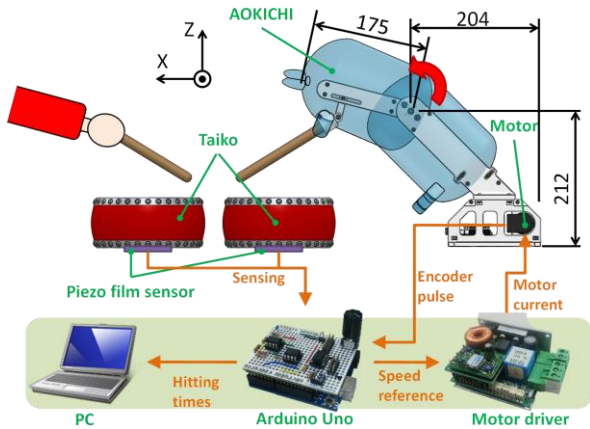


図1. 本実験で用いたペンギンロボット

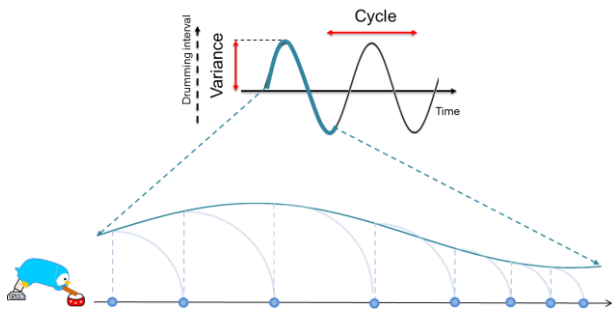


図2. 正弦波によるロボットの打点タイミングの制御

今回の実験では、ロボットの打点間隔を正弦波にもとづいて決定した(図2)。具体的には、ある時刻 $h_t$ においてロボットが打点を行った場合、次の打点タイミング $h_{t+1}$ は下記の式で決定される。

$$h_{t+1} = h_t + I + L \cdot \sin\left(\frac{2\pi h_t}{C}\right)$$

ここで $I$ は平均打点間隔、 $L$ は正弦波の振幅、 $C$ は周期になる。この式から分かるように、ペンギンのリズムは完全に被験者の太鼓たたきとは独立して刻まれている。すなわちペンギンのリズムは一切、被験者を追従していない。

本研究では $I$ と $L$ のパラメータはそれぞれ1000ms, 200msに固定し、 $C$ (リズムの変動周期)のパラメータがどのように、このロボットと交互太鼓たたき課題を行う被験者のロボットに対する感覚や印象に影響を与えるのか調べた。 $C$ のパラメータが小さい値の場合には、ロボットのリズムは高頻度で変動し、大きな値の場合には緩やかに変動する。

### 3. 実験1：ロボットの機械的リズムに感じる被追従感

今回、被験者にはロボットとの交互太鼓たたき課題とし

て実験に参加してもらった。被験者には「ロボットが太鼓をたたき始めたら、テンポよくロボットと交互に太鼓を叩いてください。」と教示をした。一回の太鼓叩きセッションは20秒であり、セッションを終えた後に、「どれだけロボットとリズムがあっていたか?」、「どれだけ自分がリズムをあわせてあげたか?」、「どれだけロボットがリズムを合せてくれたか?」、「どれだけ演奏が楽しかったか?」、それぞれに対して7件法で被験者に回答してもらった。



図3. ぬいぐるみ条件(左)と機械条件(右)

実験条件として、 $C$ の値が5sec, 10sec, 20secの三種類を用意し、それぞれの条件を被験者はそれぞれ3セッションずつ行った(全9セッション)。行うセッションの提示順序は被験者ごとにランダム化した。またロボットの外見が結果に与える影響を調べるために、ペンギンのぬいぐるみをロボットに装着した条件と、装着していない機械的な外見の条件の二つを用意し(図3)、被験者はどちらかの見た目の条件に割り振られた(ぬいぐるみ条件10名、機械条件9名)。

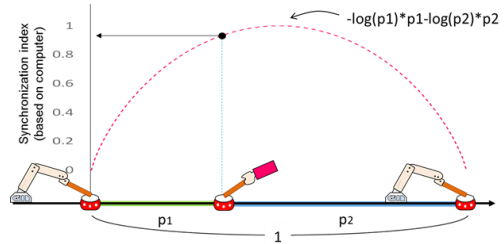


図4. Synchronization index

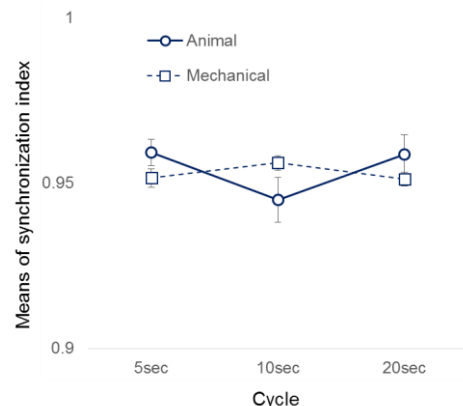


図5. 条件ごとの synchronization index の平均値

まず被験者がどれだけこの課題を正確に行っているのかを評価するために、被験者がどれだけロボットの打点タイミングの中間に近い位置に叩いているのかを図4のような指標(synchronization index)を用意することで評価した。そ

の結果、条件間にこの指標の値に差がない、すなわちどの条件でも同程度に被験者は正確に太鼓を叩いていることが分かった（図5）。ただし質問紙の結果から、被験者の主観的なリズムの合っている感は、ボットのリズムを決める正弦波の周期が長くなる（Cの値が大きくなる）に従って強まることがみてとれた。

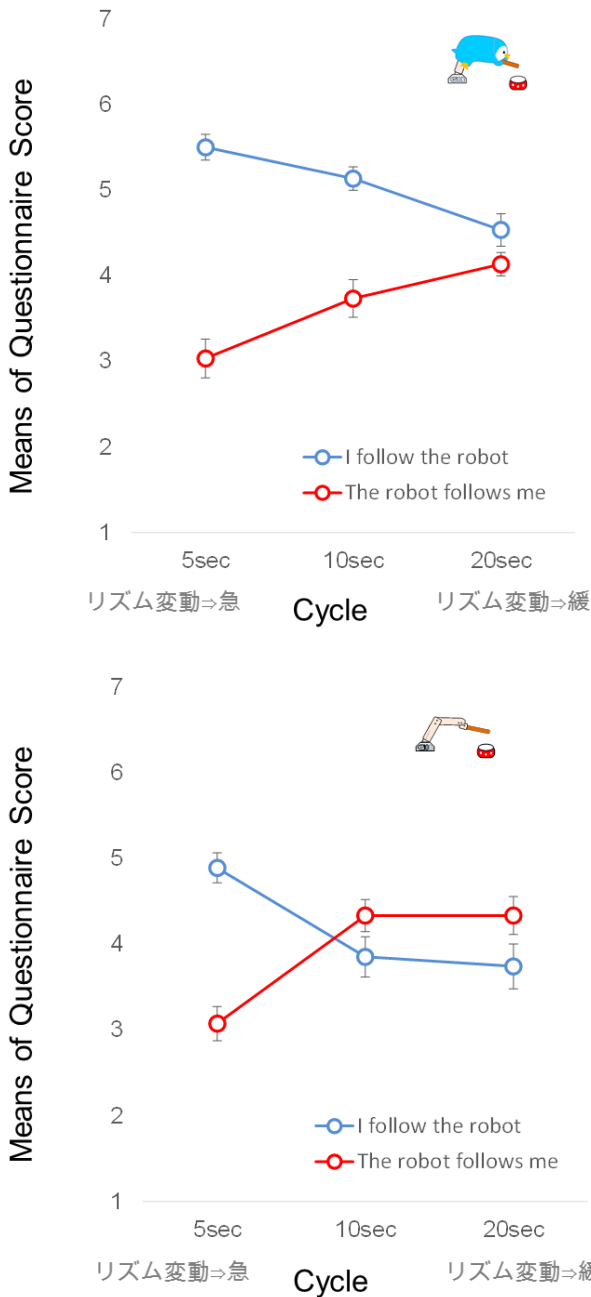


図6. 条件ごとの合わせている感（追従感：青線）と合わせてもらっている感（被追従感：赤線）

図6. は条件ごとの被験者の主観的なロボットのリズムに合わせている感（追従感）と合わせてもらっている感（被追従感）の平均値である。ロボットの外見によらずロボットのリズムを決める正弦波の周期が長くなる（Cの値

が大きくなる）に従って追従感が減衰し、被追従感が強まる傾向があらわれた。しかし前述のように、実際にはロボットには被験者のリズムに追従する機能は一切備わっておらず、ここで被験者が感じる被追従感は完全なる被験者の錯覚であると言える。

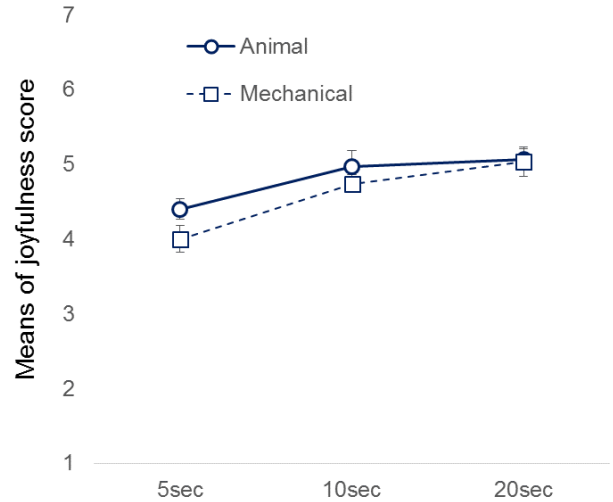


図7. 条件ごとのセッションの楽しさの平均値

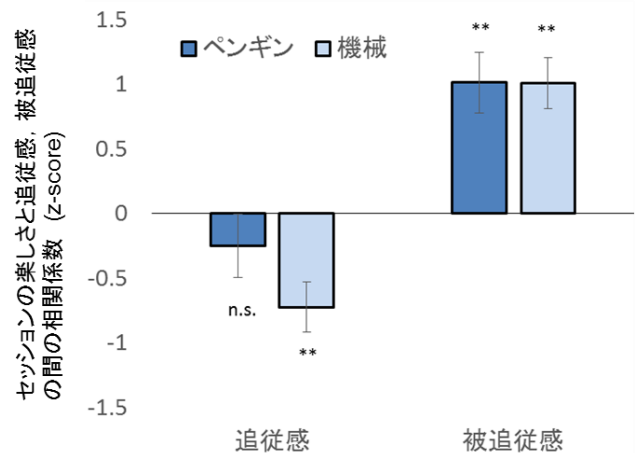


図8. 楽しさの評定と追従感・被追従感の相関係数の平均値 (z-score)

またセッションの楽しさに対する評定値も、正弦波の周期が長くなればなるほど増加する傾向があらわれた。また個人内で楽しさの評定と追従感・被追従感の評定値の相関係数を求め、個人ごとの相関係数をz変換して被験者間でone sampleのT検定を行ったところ、被追従感についてはロボットに見た目によらず有意にセッションの楽しさと正の相関がみられた。これはロボットが自分に合わせてくれているという錯覚が、セッションの楽しさに結びつくことを示唆する。また興味深いことに、ロボットへの追従感と楽しさの相関については、機械的な見た目のロボットに対しては負の相関が有意にあらわれたが、ぬいぐるみの外見のロボットに対してはこのような負の相関があらわれな

った。これは機械的な外見のロボットに対して追従感を感じることは楽しさを減衰させる要因になるが、ロボットをぬいぐるみのような外見にすることでこのような傾向が減衰するというを示唆するものである。

以上、まとめると今回の実験では実際には被験者が完全にどの条件においてもペンギンのロボットに自ら追従していたが、正弦波の周期というパラメータを変えることで、被験者のこの追従感が減衰し、実際にはロボットに機能としては備わっていない被追従感を感じるようになることが示唆された。

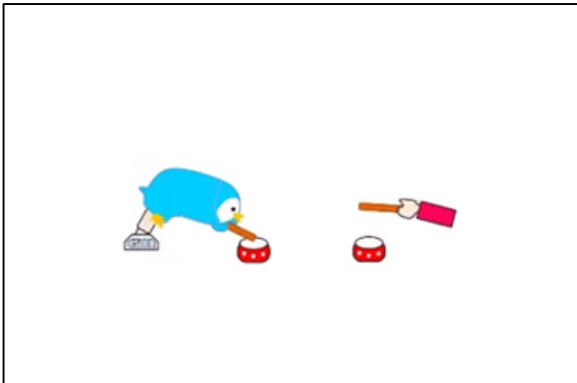


図 9. fMRI 計測用の実験課題

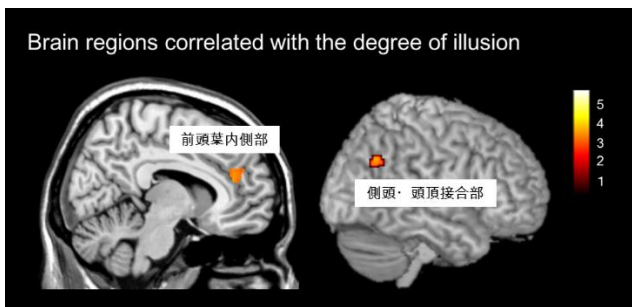


図 9. 被追従感の錯覚に応じて活動が高まる脳領域

では次の疑問として、このように被験者がロボットに感じる非追従感とは社会的エージェントに対して感じるエージェントと等価なのであろうか？被験者が本当にエージェントをロボットに対して感じているかどうかは、質問紙だけでは伺うことができない。認知神経科学の研究において、我々が他のエージェントの存在を知覚した際に、前頭内側部や側頭・頭頂接合部などの社会脳と呼ばれる脳領域の活動が高まるということが報告されている（引用）。そこで今回行った課題をテレビ画面上のアニメーションで行う fMRI 計測用の課題に改良（図 9）、この課題により生じる被追従感の錯覚量と活動が正の相関をする脳領域を探索したところ、社会脳と呼ばれる前頭葉内側部と側頭・頭頂接合部の活動が錯覚量と相関することが分かった。この結果は、社会性というものを全く埋め込んでいない機械的なリズムに対しても、リズムのパラメータに応じて被追従感と

いうある種のエージェントを我々が錯覚することを示唆する。

#### 4. 実験 2：被追従感の幻想によるロボットの印象形成



図 10. 二台のロボットとの太鼓たたき課題

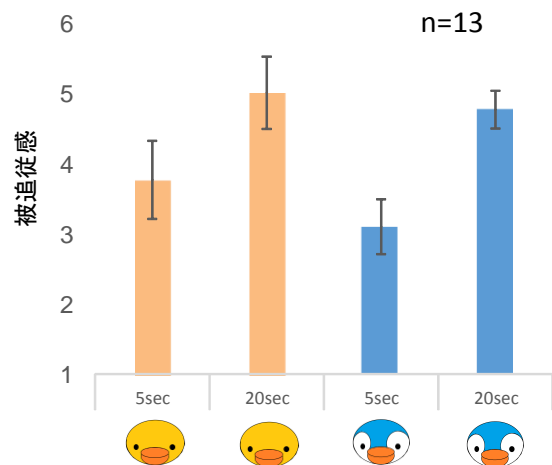


図 11. 見た目と C のパラメータに応じたロボットに感じる被追従感

我々が機械的なリズムに対して感じる被追従感は非常に原始的なエージェントと言える。ではこのようなエージェントを感じることで、ロボットに感じるより高次のエージェント、例えばロボットに対する社会的な印象や態度、にも影響が生じるのであろうか？それを検討するために異なる見た目のぬいぐるみを装着した太鼓たたきロボットを二台用意し（図 10）、被験者には交互にそれぞれのロボットと 20 秒のセッションを 3 回、計 6 回行ってもらった。ここで一つのロボットは  $C=5\text{sec}$  の正弦波のパラメータでリズムを刻み、もう一方のロボットは  $C=20\text{sec}$  のパラメータでリズムを刻んだ。他の正弦波のパラメータは実験 1 と同様のものを用いた。どちらのロボットがどちらのパラメータでリズムを刻むのかは被験者ごとにランダム

イズした。

被験者は1回のセッションごとに、直前にセッションを行ったロボットがどれだけ自分のリズムを追従したのか7件法の質問紙により評定した。そして6セッションを終えたのち、それぞれのロボットに対する印象を21項目のロボットの印象に関する7件法の質問紙[5]により被験者に答えてもらった。図11はそれぞれのパラメータのロボットに対して被験者が感じた追従感、図12はそれぞれのパラメータのロボットに対して被験者が感じた印象(代表的な7項目に関して)である。

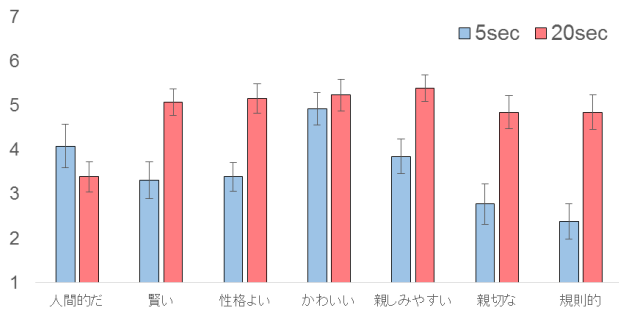


図12. Cのパラメータに応じたロボットの印象

図11から分かるように、二つのロボットを比較する実験においても、c=20secのロボットに対して、被験者はロボットの見た目によらず高い被追従感を感じる事が分かった。またロボットに対する印象として、賢さ、性格の良さ、親しみやすさ、親切さの評定値がc=20secのロボットにおいて高くなる傾向があらわれた。これは正弦波の周期という物理的なパラメータの違いが、ロボットに対する社会的な印象にまで影響を及ぼすことを示唆する興味深い結果である。

## 5. まとめ

今回の研究から、ロボットに社会的な機能を何も持たせなくても、物理的なパラメータの違いがロボットに対するエージェンシーの知覚に大きな影響を与えることが分かった。このような存在しないエージェンシーを感じる錯覚(エージェンシー錯覚)をより原理に踏み込んで研究していくことで、被験者に高いエージェンシーを持続的に感じさせるエンターテインメントロボットの開発などにつながる可能性がある。

## 参考文献

- 1) Ishiguro, H. (2007). Android science. In *Robotics Research* (pp. 118-127). Springer Berlin Heidelberg.
- 2) Michalowski, M. P., Simmons, R., & Kozima, H. (2009, September). Rhythmic attention in child-robot dance play. In *Robot and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on* (pp. 816-821). IEEE.
- 3) Yamaoka, F., Kanda, T., Ishiguro, H., & Hagita, N. (2007). How

contingent should a lifelike robot be? The relationship between contingency and complexity. *Connection Science*, 19(2), 143-162.

4) Takahashi, H., Endo, N., Yokoyama, H., Horii, T., Morita, T., & Asada, M. (2014, October). How does emphatic emotion emerge via human-robot rhythmic interaction?. In *Proceedings of the second international conference on Human-agent interaction* (pp. 273-276). ACM.

5) Takahashi, H., Terada, K., Morita, T., Suzuki, S., Haji, T., Kozima, H., ... & Naito, E. (2014). Different impressions of other agents obtained through social interaction uniquely modulate dorsal and ventral pathway activities in the social human brain. *cortex*, 58, 289-300.