

生理現象としての心拍と行動の組み合わせによる エージェントの内的欲求表出モデルの検討

Discussion of Agent's Internal State Expression Model Based on Behavior and Physiological Expression

吉田 直人^{1*} 上野 楓² 間瀬 健二³ 米澤 朋子²
Naoto Yoshida¹ Kaede Ueno² Kenji Mase³ Tomoko Yonezawa²

¹ 名古屋大学未来社会創造機構

¹ Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

² 関西大学総合情報学部

² Faculty of Informatics, Kansai University

³ 名古屋大学情報学研究科

³ Graduate School of Informatics, Nagoya University

Abstract: In this paper, we discussed a desire expression model as an internal expression of agents based on a combination of voluntary behavior and involuntary physiological phenomena. The experimental results show that the agent's desire can be expressed in both behavior and heartbeat expression. On the other hand, the possibility of affecting the suppressed desire state of the desire such as "being patience" was indicated only in the physiological phenomenon. It is considered that the internal state of the suppressed desire is expressed when the high desire expression by the heartbeat and the low desire expression by the action are expressed simultaneously, and the suppression of the desire decreases when both action and heartbeat indicate high desire.

1 はじめに

近年、身近な家電製品や自動車、街中の様々な機械に対話機能が搭載されるようになった。用途やユーザが達成したい目的がある程度限定されたシステムにおいては、複雑なインタフェースや操作を必要とせずとも、発話のみで目的が達成しやすいという利点がある。

一方で、人間どうしのコミュニケーションでは、会話における言葉遣いや、仕草の違いが、ユーザに異なる解釈を与える可能性があり、また、気分や感情などの言語化しづらい情報は言語以外の情報で表現されることもあるため、人間とのコミュニケーションを主眼においたシステムではこれらの様々な要素を考慮することが重要だと考える。このようなことから、人間とエージェントのコミュニケーションに関する研究においては、仕草や表情などのノンバーバル情報がユーザに与える影響を明らかにしたり、モダリティを組み合わせることでより複雑で繊細な意図を表現しようとする

る試みが多く存在する [1, 2, 3, 4].

中でも我々は、これまでに、人間の意識的/無意識的な情動と密接に関わりのある、生理現象をコミュニケーションモダリティとして、人間とエージェントのコミュニケーションに活用できないか検討してきた。特に、動物を模したコミュニケーションロボットなどは、人間どうしの場合よりも、より近接的かつ接触を介したコミュニケーション [5] が行われる場合が多く、様々なモダリティの中でも特に皮膚の触覚を介して知覚しやすいという生理現象の特徴が生かされると考えた。

これまでの研究で、ロボットの擬似的な呼吸や心拍などの生理現象によって、Russell の情動円環 [6] における覚醒度やポジティブ-ネガティブなどの感情価の一部といった、感情の基本的要素が表現できる可能性が示されており、より具体的な状況を設定することによって、エージェントの意図や特定の感情を解釈するための表現モダリティの一つとなる可能性が期待されている。

ここで、具体的な感情の例として、欲求を取り上げる。欲求は動物や人間の行動に大きな影響を与える基本的要素である。マズローの欲求階層説 [7] においても、先に述べた覚醒度や感情価に関わる情動は、身の

*連絡先: 名古屋大学未来社会創造機構ナノライフシステム研究所

〒 464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町
E-mail: yoshida@cmc.is.i.nagoya-u.ac.jp

安全や生命維持のための、生理的欲求や安全欲求と密接に関係している。このことから、「お腹を満たすための食べ物が欲しい」や、「楽しく遊ぶためのおもちゃが欲しい」などの様々な欲求に関して、生理現象によってその感情を表現できる可能性がある。

本研究における予備検証では、エージェントの欲求に関わる行動と、生理現象としての心拍数の変化のいずれにおいても、欲求の強さの違いを示すことができたものの、生理現象では心拍数の強さによって「興味がある」、「我慢している」などの状態に影響を与えていたことから、欲求行動と生理現象では表現される欲求の解釈が異なる可能性がある。

上野ら [4, 8] の研究では、エージェントの欲求に関わる行動をモデル化しており、精神物理学の観点からエージェントの欲求に基づく行動を決定するパラメータの一つとして、欲求に対する抑制パラメータを設定している。欲求の抑制に関しては、すでに他者が所有しているからという他者の所有との関係性や、儉約など社会性の観点から欲求が抑制されることはあり得ると考えられる。一方で、抑制パラメータによってエージェントの行動は抑えられるが、これによって欲求の行動が抑制された状態の内部状態をどのようにして定義するか、また、その状態をユーザが知覚できるかについては明らかになっていない。

そこで本稿では、エージェントの欲求行動と生理現象としての心拍表現が欲求に与える影響に関する予備検証について触れた上で、随意的な行動と不随意的な生理現象としての心拍表現の組み合わせによる、欲求に関わるエージェントの内部表現モデルについて検討する。実験において、エージェントの行動と心拍数を変化させることで、内的な欲求の強さと欲求に対する抑制の大きさを評価し関係性について分析する。

2 関連研究

まず、エージェントの欲求表出に関する研究を取り上げる。北村ら [9] は、ロボットの意図や興味の表現のための視線動作デザインにおいて、「いる」、「いない」の表出を試み、ロボットの凝視時間によって、ユーザに異なる解釈を与えることを示した。本研究では、これにもとづき、欲求行動のひとつとして物体の凝視を用いている。

次に、人工物が動物や人間の生理学的反応を模すことによって、内部状態を表現しようとする試みはいくつか存在する [1, 5, 2, 3, 4]。いずれの研究においても、生理現象で表現される情動はきわめて低次元の内部状態である。本研究では、欲求に関わるコンテキスト（目の前にお菓子やおもちゃが置かれる）と欲求行動を組み

合わせることによって、生理現象に意味付けを行い、欲求に関する情動としてユーザに知覚させることを狙う。

また、物体に対する欲求はその対象の所有のきっかけとなる感情である。ロボットやエージェントの所有に関係する研究には、アバターや遠隔操作ロボットを操作している際の所有感覚の錯覚に関するものがある [10, 11]。しかしながら、独立したエージェントの内部状態の一つとして「所有意識」については、十分に議論がなされていない。ロボットやバーチャルエージェントが人間との共同生活において社会的に振る舞うためには、所有の概念を認識し所有欲求を表現することが不可欠である。特に、所有の概念の発達段階にある幼児教育 [12, 13] においては、ブロックやパズルなどの知育玩具を複数人で共有したり取り合ったりすることで、自他の所有の区別を身に着けることから、幼児教育支援ロボットは自らの欲求を状況に応じて適切に表現する必要がある。ロボットによる生理現象を利用した欲求の複雑な表現は、ロボットを用いて気軽に、他者の理解や気持ちの学習を行う機会を提供することに繋がると期待される。

3 欲求表現の予備的検討

3.1 実験概要

エージェントの欲求を示す行動（以後、欲求行動と記す）に関して、これまでの研究 [4, 8] で、物体への視線行動、物体の凝視、物体への接近などが挙げられている。

一方、エージェントの生理現象によって欲求が表現できるかについては明らかでない。そこで、これまでに提案された欲求行動に加え、生理現象として擬似的な心拍を用い、欲求行動と同じくエージェントの異なる欲求状態の表現に影響を与えるか検証する。また、欲求行動と心拍提示によって表現される欲求が互いに影響する可能性についても調査するため、本実験では、エージェントの欲求行動（要因 A）と心拍数（要因 B）の 2 要因による実験とした。過去の研究結果 [4, 8] に基づき、3 種類の欲求行動と（図 1）、4 種類の心拍を次のように設定した。

要因 A：欲求行動

- a1 デフォルト → 物体に視線を向ける
- a2 デフォルト → 物体を凝視する
- a3 デフォルト → 物体を凝視しながら近づく

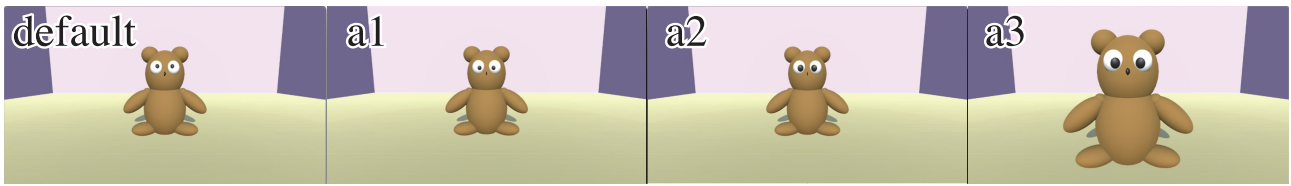


図 1: エージェントの欲求行動



図 2: 実験環境

要因 B : 心拍

b1 心拍なし

b2 心拍数 60 → 心拍数 60

b3 心拍数 60 → 心拍数 80

b4 心拍数 80 → 心拍数 100

実験参加者は 20 歳～29 歳 (平均 23.4, SD 2.42) の 18 名 (男性 9 名, 女性 9 名) である。2 要因 12 条件の被験者内実験で、実験条件は順序交差が施された。実験参加者は、24 インチのスクリーンに提示されるクマのバーチャルエージェントの印象を評価する。また、手には擬似心拍再現装置の入った小さなくまのぬいぐるみ (高さ 15cm) を持つ。実験環境を (図 2) に示す。実験監督者は実験参加者に対し、画面に映るクマのキャラクターはクマのぬいぐるみのアバターであり、クマのぬいぐるみからは心臓の鼓動を感じるが、それは画面のクマのキャラクターのものとして評価するように指示する。実験が始まると、実験監督者がクマのエージェントの前に、箱に入ったお菓子を置く。全試行においてお菓子は全て異なる。その後エージェントは、各条件のいずれかの反応をする。

実験参加者はエージェントの様子を確認し、質問紙の次の項目に 1～5 (1 全くそう思わない - 5 非常にそ

う思う) の当てはまる度合いを回答する。質問項目は、欲求の強さに関する Q1, Q2, Q3, 欲求に付随する感情への影響について考察するための Q2, より長期的な感情の傾向に関わる「性格」としての Q5, Q6 で構成する。

Q1 クマはお菓子を「欲しい」と思っていた。

Q2 クマはお菓子を「我慢」していた。

Q3 クマはお菓子を「気にして」いた。

Q4 クマはお菓子を「自分のものにしたい」と思った。

Q5 クマの性格は「積極的」だ。

Q6 クマの性格は「遠慮がち」だ。

3.2 実験結果

次に実験結果について述べる。図 3 と表 1, 2 に Q1, Q2, Q3, Q5, Q6 の要因毎に分けた各水準の平均と標準誤差を、図 4 に Q4 における全水準の平均と標準誤差と交互作用における水準間の有意差 ($p < .05$) を示す。

Q1, Q3, Q6 では、要因 A と要因 B の両方で単独で有意差 ($p < .05$) が得られた。Q5 では、要因 A の単独で有意差 ($p < .05$) が得られた。Q2 では、要因 B の単独で有意差 ($p < .05$) が得られた。Q4 では、要因 A - 要因 B 間に交互作用が見られた。

次に、各要因における条件間の多重比較の結果を述べる。Q1 では、要因 A に関して、a3 が a1 および a2 より有意に高く評価された。また、a2 が a1 より有意に高く評価された。要因 B に関しては、b2-b3, b3-b4 に有意差は見られないが、b4 は b1, b2, b3 は b1, b2 に比べて有意に高く評価された。Q2 では、要因 B に関して、Q1 と同様に b2, b3 が有意に高く評価された。Q3 では、要因 B に関して、Q1 と同様に b2, b3 が有意に高く評価されたが、要因 A に関しては、多重比較における各条件間に有意差は見られなかった。

Q4 では、要因 A-要因 B 間に交互作用があり、b0 のとき、a3, a2 は a1 に比べて高く評価され、b2 のとき、a3 は a1, a2 に比べて高く評価され、b3 のとき、a3 は a1, a2 に比べて高く評価された。要因 A が a1 のとき、

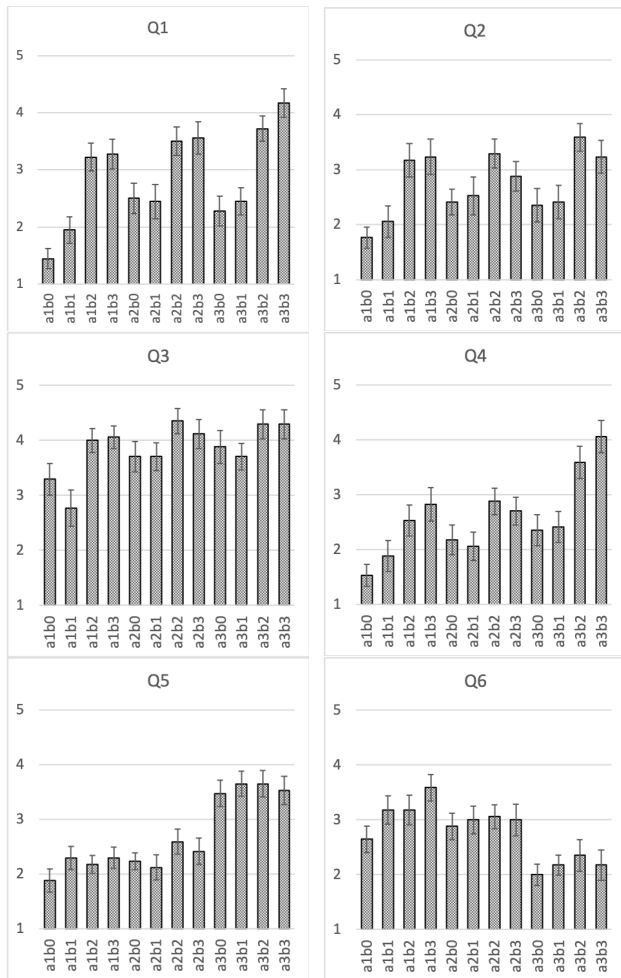


図 3: 予備実験における質問項目ごとの平均および標準誤差

要因 B の b4 の b3 の間、b2 と b1 間に有意差は見られないが、b4 と b3 は b2 と b1 に比べて有意に高く評価され、要因 A の b4 のときも同様の結果であった。

Q5 では、要因 A に関して、a3 が a1 および a2 より有意に高く評価された。Q6 では、要因 A に関して、Q5 と同様に a3 が a1 および a2 より有意に高く評価されたが、要因 B に関しては、多重比較における各条件間に有意差は見られなかった。

4 欲求表現モデルに関する仮説

4.1 予備検証の考察

まず、予備検証の結果をもとに、心拍によって表現されるエージェントの欲求表現について考察する。実験の結果から、エージェントの心拍は欲求行動と同様に単独で欲求に影響することが示唆された。さらに、自分の所有物にしたいという明確な欲求に対しては、生

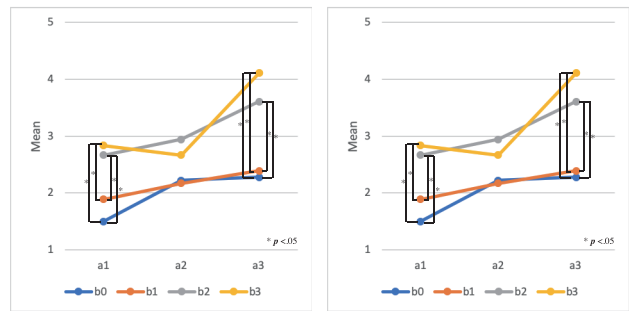


図 4: Q4 の交互作用における平均値と有意差

表 1: 予備実験における 2 要因分散分析結果

Items	A		B		Interaction	
	F	p	F	p	F	p
Q1	10.243	<.05	27.11	<.05	1.233	0.2955
Q2	2.422	0.1039	15.647	<.05	1.417	0.2153
Q3	3.31	0.4860	12.304	<.05	1.191	0.3170
Q4	13.21	<.05	15.612	<.05	2.543	<.05
Q5	22.819	<.05	1.257	0.2991	0.851	0.5341
Q6	11.481	<.05	2.864	<.05	0.914	0.4880

理現象としての心拍の変化と欲求行動を組み合わせることによって、強い欲求を主張することができる可能性が示唆された。

一方で、欲求行動では、「気になる」といった欲求への過渡的な状態や、「我慢する」などの欲求に関して抑圧的な状態の変化を十分に表現することができない一方で、心拍数の変化を用いることでこれらの違いを表現できることが示唆された。また、欲求行動や心拍表現に基づく性格の認識への影響については、「積極的」や「遠慮がち」などの性格については、欲求表現の変化によって示されるものの、心拍の変化では十分に表現することは難しいと考えられる。

4.2 欲求行動と生理現象の組み合わせ仮説

予備検証では、エージェントの欲求に関わる行動と、生理現象としての心拍数の変化のいずれにおいても、欲求の強さの違いを示すことができたものの、生理現象では心拍数の強さによって「気になる」、「我慢している」などの状態に影響を与えていたことから、欲求行動と心拍では表現される欲求の解釈が異なる可能性がある。

この理由として、行動と生理現象の随意性と可視性の違いによる可能性が考えられる。欲求行動における視線行動に関しては、随意的な行動と不随意的な行動の両方の場合があるが、物体を凝視したり、物体に近く行動は意図的に行われる可能性が高いと考えられる。その一方で、生理現象は基本的に不随意的な現象であり、その中の心拍に関しては、意図的かつ迅速に変化させ

表 2: 予備実験における Ryan 法による多重比較結果

Items	Factor A	Factor B
Q1	a1-a3, a2-a3	b4-b1, b4-b2, b3-b1, b3-b2
Q2	None	b3-b1, b3-b2, b4-b1, b4-b2
Q3	None	b3-b2, b3-b1, b4-b2, b4-b1
Q4	a3-a1, a3-a2	b4-b1, b4-b2, b3-b1, b3-b2
Q5	a3-a1, a3-a2	None
Q6	a1-a3, a2-a3	None

ることは容易ではない。さらに、行動は視覚によって確認される一方で、心拍は視覚では確認できず相手の側から能動的に接触することで、触覚を介して確認されるものである。

このようなことから、実験参加者はエージェントの心拍を欲求に関わる内面的な感情と捉え、対照的に、欲求行動を自発的な欲求の表現と捉えた可能性が考えられる。しかしながら、予備検証では、心拍数が高い場合においてより「我慢」の状態を感じさせたが、これは心拍数と欲求の強さの関係と同じであり、「欲求が強いが我慢は低い」などの状態が表現可能かなど、欲求と我慢の状態の関係に関しては明らかでない。

そこで、我々は行動と生理現象の特徴の違いに基づいて、欲求と抑制の関係性について下記のような仮説を立てた。

仮説 1 欲求は行動と心拍それぞれによって表現することができる。

仮説 2 行動と心拍によって表現された欲求が高いほど欲求の抑制の感情が知覚される場合がある。

仮説 3 行動によって表現される欲求よりも心拍によって表現される欲求のほうが高いとき、その差に応じて欲求の抑制が知覚される。

仮説 1 および仮説 2 に関しては、予備検証においてもその可能性が示唆されている。仮説 3 に関しては、本来であれば、エージェントの欲求に対してユーザが知覚する欲求の強さは、行動によるものと心拍によるものが同じはずである。しかしながら、エージェントが自ら意図的に制御できる行動によって表出される欲求が、不随意的な心拍によって表現される欲求よりも低い場合、エージェントが意図的に欲求を抑制している、つまり、我慢していると考えられる可能性が考えられる。これらの仮説を検証するため、次の検証を行った。

5 欲求行動と生理現象の関係性検証

実験参加者は予備検証とは異なる 20 歳~29 歳 (平均 22.6, SD 2.15) の 18 名 (男性 10 名, 女性 8 名) である。実験参加者は、24 インチのスクリーンに提示さ

れるクマのバーチャルエージェントの印象を評価する。また、手には擬似心拍再現装置の入った小さなくまのぬいぐるみ (高さ 15cm) を持つ。実験環境は予備検証と同様の環境で実施した。実験監督者は実験参加者に対し、画面に映るクマのキャラクターはクマのぬいぐるみのアバターであり、クマのぬいぐるみからは心臓の鼓動を感じるが、それは画面のクマのキャラクターのものとして評価するように指示する。実験が始まると、実験監督者がクマのエージェントの前に、おもちゃを一つ置く。おもちゃには、小児用のおまごなどに使われるプラスチック製の野菜や果物を模したものを扱い、全試行において全て異なるものを使用する。その後エージェントは、各条件のいずれかの反応をする。

本実験では、予備検証に基づき欲求の表現を行わない状態を除いた、3 種類の欲求行動と 3 種類の心拍変化を用いた。各パターンは次の通りである。

A: 欲求行動

- a1 デフォルト → 物体に視線を向ける
- a2 デフォルト → 物体を凝視する
- a3 デフォルト → 物体を凝視しながら近づく

B: 心拍変化

- b1 心拍数 60 → 心拍数 60
- b2 心拍数 60 → 心拍数 80
- b3 心拍数 80 → 心拍数 100

まず、3 種類の欲求行動と 3 種類の心拍変化による欲求の強度を定量化するため、実験参加者に各行動および心拍変化を提示し、次の質問紙を用いて、0-100 の数値化を行った。

Q1. おもちゃに対する「欲求」の度合いを教えてください。

0 100

全くいない |—————| 絶対にほしい

値の 0 と 100 には「欲しい気持ち」として想像する下限と上限を適用するように事前に教示し、直線上に × の印をつける方法で回答した。また、行動と心拍の調査の順序、および各条件の呈示順序は順序交差を施した。実験協力者が各値から印までの距離を測定し、数値化を行った。

次に、欲求行動を要因 A、心拍変化を要因 B とした 9 条件で、実験参加者に各行動と心拍変化の組み合わせを提示し、各組み合わせ条件下での欲求の強さ、お

Q1. おもちゃに対する「欲求」の度合いを教えてください。

0 100

全くいらぬ |-----| 絶対ほしい

Q2. 欲求に対する「抑制」の度合いを教えてください。

0 100

全くおさえでない |-----| この上なくおさえられている

よび、抑制の大きさを、次の質問紙を用いて 0-100 の数値化を行った。

Q1 の値の 0 と 100 には「欲しい気持ち」として想像しうる下限と上限を適用するように事前に教示し、Q2 の値の 0 と 100 には「欲しい気持ちを我慢している状態」として想像しうる下限と上限を適用するように事前に教示し、直線上に × の印をつける方法で回答した。また、全条件間で呈示順序は順序交差を施した。実験協力者が各値から印までの距離を測定し、数値化を行った。

6 実験結果

まず、欲求行動と心拍変化の全 6 条件間の欲求強度を比較した。1 要因分散分析の結果、有意な主効果 ($F(5, 85) = 44.27, p < .01$) が認められた。図 5 に欲求行動と心拍変化の各条件の平均値、標準誤差、および、Holm 法 (5%水準) による多重比較における有意差を示す (* $p < .05$)。結果から、欲求行動と心拍変化はいずれも欲求行動と心拍変化の各水準に合わせて、欲求強度が増加することが言える。よって仮説 1 は支持された。一方で、欲求行動と心拍変化の各水準のどうしの間では欲求強度の有意な違いは見られなかった。このことから、実験で用いる各 3 種類の欲求行動と心拍変化は、比較的同程度の欲求強度であることが示唆される。

次に、欲求行動を要因 A、心拍変化を要因 B とした 2 要因 9 条件で、Q1. 欲求強度、Q2. 抑制強度のそれぞれについて、2 要因分散分析を行った。

Q1 に関して、要因 A の単独で有意な主効果 ($F(5, 85) = 22.22, p < .01$)、および、要因 B の単独で有意な主効果 ($F(2, 34) = 57.06, p < .01$) が認められた。一方で、要因 A と要因 B に有意な交互作用は認められなかった。

Q2 に関して、要因 A の単独で主効果 ($F(5, 85) = 3.03, p < .10$) に有意な傾向、および、要因 B の単独で有意な主効果 ($F(2, 34) = 17.30, p < .01$) が認めら

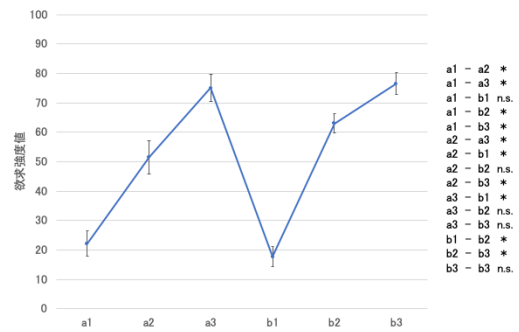


図 5: 欲求行動と心拍変化の 6 条件間の欲求強度比較

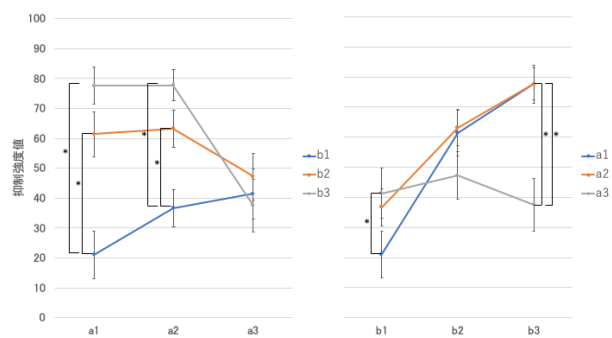


図 6: 要因 A-B 交互作用の多重比較における平均値、標準誤差および有意差

れた。また、要因 A と要因 B に下記の有意な交互作用 ($F(4, 68) = 9.82, p < .01$) が認められた。水準 b1 における要因 A の主効果 ($F(2, 34) = 4.23, p < .05$)、水準 b3 における要因 A の主効果 ($F(2, 34) = 11.01, p < .01$)、水準 a1 における要因 B の主効果 ($F(2, 34) = 24.51, p < .01$)、水準 a2 における要因 B の主効果 ($F(2, 34) = 16.51, p < .01$) が有意であった。Holm 法 (5%水準) によるそれぞれの多重比較の結果の有意差 (* $p < .01$) を図 6 に示す。

この結果から、欲求行動 3 種類、心拍変化 3 種類の中で、行動によって最も高い欲求が表現されている場合には、心拍変化が抑制に与える影響は見られないが、行動によって表現される欲求がそれより低い場合には、心拍変化で表現される欲求が高い場合に、最も低い場合よりも、高い抑制の値が示されたと言える。

この結果は仮説 3 を一部支持するが、その一方で、欲求行動 3 種類のうちの b2 と b3 や、心拍変化 3 種類のうちの a1 と a2 において、表現される欲求強度による抑制の有意な差が見られず、仮説 3 における欲求行動と心拍変化の「その差に応じて欲求の抑制が知覚される」に関して十分でない。

表 3: 欲求行動の欲求値 – 心拍変化の欲求値, 抑制強度値, 欲求強度値の相関の平均値と標準偏差

N = 162	心拍-行動	抑制値	欲求値
Mean	3.05	62.11	51.59
SD	41.04	29.81	34.69

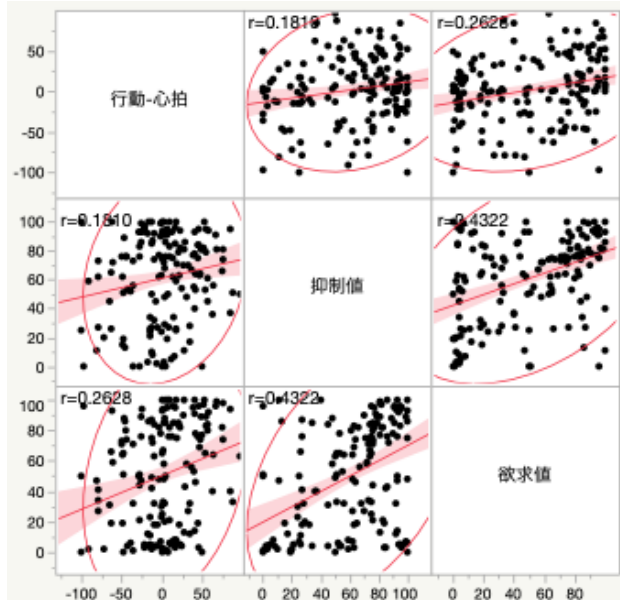


図 7: 欲求行動の欲求値 – 心拍変化の欲求値, 抑制強度値, 欲求強度値の相関

そこで、実験参加者が、欲求行動3種類および心拍変化3種類に対し、それぞれ単独で欲求の強さを評価した数値を用いて、欲求行動3種類と心拍変化3種類の組み合わせ9種類時の欲求強度の差の値を算出し、その値と抑制強度の値を用いて相関分析を行った。表3は心拍変化の欲求値 – 欲求行動の欲求値, 抑制強度値, 欲求強度値についての平均および標準偏差を示し、散布図を図7に示す。結果から、抑制強度値と欲求強度値の間に有意な相関 ($r = 0.43, p < .01$) が見られた。これは、欲求がそもそも極めて低い場合に、抑制は生じないため妥当であると考えられる。一方で、心拍変化の欲求値 – 欲求行動の欲求値と抑制強度値には、ほとんど相関 ($r = 0.18$) が見られなかった。

ここで、実験参加者の回答データにおいて、同条件に欲求の強さと抑制の強さが近い値をとる傾向と2つの値が大きく異なる傾向が見られることで、欲求の感じ方にパターンがある可能性が考えられたため、欲求の強さに関する回答データをもとに、K-means法による被験者の2クラス分類を実施した結果、群1 12名、群2 6名に分けられた。

この群を被験者間要因とし、欲求行動3種類と心拍

表 4: 欲求行動の欲求値 – 心拍変化の欲求値, 抑制強度値, 欲求強度値の相関の平均値と標準偏差

N = 117	心拍-行動	抑制値	欲求値
Mean	3.83	62.39	50.50
SD	42.65	30.51	37.06

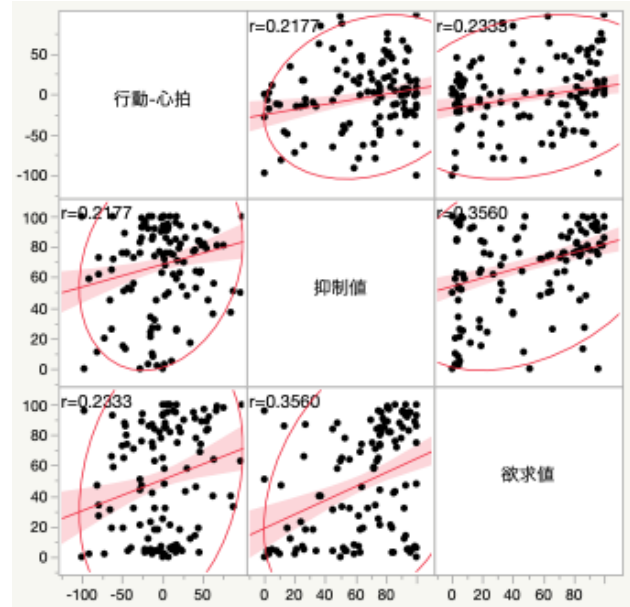


図 8: 欲求行動の欲求値 – 心拍変化の欲求値, 抑制強度値, 欲求強度値の相関

変化3種類の組み合わせ9種類の被験者内要因の2要因で、2要因分散分析を実施したところ、心拍変化がb2あるいはb3の全ての条件で、有意差 ($p < .05$) あるいは有意傾向 ($p < .10$) が見られ、群2では心拍変化による抑制への有意な差が見られなかったことから、この2つの群は心拍変化と欲求の捉え方が異なる可能性が示唆された。

12名の群の回答データに対し、再度、相関分析を実施した。結果を表4は心拍変化の欲求値 – 欲求行動の欲求値, 抑制強度値, 欲求強度値についての平均および標準偏差を示し、散布図を図8に示す。結果から、抑制強度値と欲求強度値の間に有意な弱い相関 ($r = 0.36, p < .01$) が見られたほか、心拍変化の欲求値 – 欲求行動の欲求値と欲求強度値の間に有意な弱い相関 ($r = 0.23, p < .01$)、心拍変化の欲求値 – 欲求行動の欲求値と抑制強度値に有意な弱い相関 ($r = 0.21, p < .01$) が見られた。

これらの結果から、仮説2に関しては支持され、仮説3については十分でないものの今後の検討の余地があると考えられる。

7 考察

以上の分析結果から、エージェントの欲求行動と生理現象としての心拍は、いずれも欲求の表現モダリティとして有効である可能性が高い。また、その表現の種類や、心拍数を変化させることにより、異なる強度の欲求表現が可能であるといえる。

さらに、エージェントの欲求行動と心拍表現は、欲求に関する要素の差異を感じさせる可能性があり、その一つとして、心拍表現がユーザによるエージェントの欲求の抑制の知覚に影響を与えるものである可能性が高い。また、欲求行動と心拍による欲求表現を組み合わせることで、エージェントの欲求に対する我慢の状態を感じさせる可能性がある。

具体的には、本研究で対象とした欲求行動や心拍変化においては、心拍によって高い欲求を表現する一方で、欲求行動を視線行動などの表出される欲求が低い行動とすることで、欲求に対する抑制の状態が表現され、反対に、欲求行動と心拍による欲求表現が共に高い欲求を示す場合には、欲求に対する抑制の表現は弱くなると考えられる。

一方で、「行動によって表現される欲求よりも心拍によって表現される欲求のほうが高いとき、その差に応じて欲求の抑制が知覚される」という仮説に対し、本実験の結果は十分でない。本研究で用いた欲求行動や心拍変化は、単独において、その種類に応じて有意に欲求の強さが異なるものの、組み合わせにおいては、これら欲求の差と抑制の強さに有意な強い相関は見られなかった。

ただし、欲求行動における物体への視線行動や接近、さらに、心拍などの複数の要因を組み合わせることによる感じ方の個人差などの影響の可能性も示唆されたことから、各要因による影響や感じ方の詳細な調査を行う必要がある。また、本実験における調査では、モデル化のための欲求の強さの数値化を実施したが、心拍／行動の要因内における相対的な評価になったために正しい比較が行われなかった可能性も考えられるため、今後、欲求を評価するための明確な条件などを設定した絶対評価や、定量的な評価指標について検討した上での調査を実施する余地がある。

なお、本研究では、エージェントの物体に対する欲求に焦点を当て、欲求が生じると想定される状況を設定かつ教示をした条件下において実施した実験であるため、物体に対するものではない欲求など種類の異なる欲求や、異なるシーンにおける欲求の表現に関しては、さらなる検討が必要である。

8 おわりに

本研究では、随意的な行動と不随意的な生理現象としての心拍表現の組み合わせによる、欲求に関わるエージェントの内部表現モデルについて検討した。実験の結果、エージェントの欲求の強さは、行動と心拍表現のいずれでも表現できるが、生理現象でのみ「我慢」などの欲求の抑圧された欲求状態に影響を与える可能性が示唆され、心拍によって高い欲求を表現する一方で、欲求行動を視線行動などの表出される欲求が低い行動とすることで、欲求に対する抑制の状態が表現され、欲求行動と心拍による欲求表現が共に高い欲求を示す場合には、欲求に対する抑制の表現は弱くなる場合があると考えられる。

今後、様々な欲求行動や心拍などの複数の要因を組み合わせることによる感じ方の個人差などの影響について調査し、エージェントの複雑な欲求表出のための、欲求と抑制のパラメータにもとづく行動表出の設計について検討する。

謝辞

本研究は一部JSPS 科研費 17J00704, 19K12090, 19H04154 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Steve Yohanan and Karon E MacLean. Design and assessment of the haptic creature's affect display. In *Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction*, pp. 473–480. ACM, 2011.
- [2] Tomoko Yonezawa, Xiaoshun Meng, Naoto Yoshida, and Yukari Nakatani. Involuntary expression of embodied robot adopting goose bumps. In *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, pp. 322–323. ACM, 2014.
- [3] Naoto Yoshida and Tomoko Yonezawa. Investigating breathing expression of a stuffed-toy robot based on body-emotion model. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction*, pp. 139–144. ACM, 2016.
- [4] Naoto Yoshida and Tomoko Yonezawa. Arousal and valence in robot's emotional expression of breathing and heartbeat. pp. 330–332, 12 2018.

- [5] Takanori Shibata and Kazuyoshi Wada. Robot therapy: A new approach for mental health-care of the elderly—a mini-review. *Gerontology*, Vol. 57, No. 4, pp. 378–386, 2010.
- [6] James A Russell. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 39, No. 6, p. 1161, 1980.
- [7] Abraham Maslow and KJ Lewis. Maslow’s hierarchy of needs. *Salenger Incorporated*, Vol. 14, p. 987, 1987.
- [8] Kaede Ueno, Naoto Yoshida, and Tomoko Yonezawa. Internal flow model and behavioral design for an anthropomorphic agent’s ownership-desire model. pp. 362–364, 12 2018.
- [9] 裕貴北村, 将英湯浅, 直樹武川. 「人の視線」と「ロボットの視線」が伝える意図の比較分析：ロボットの「コチラガホシイ」の視線動作デザイン. 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol. 109, No. 457, pp. 55–60, mar 2010.
- [10] Maryam Alimardani, Shuichi Nishio, and Hiroshi Ishiguro. Humanlike robot hands controlled by brain activity arouse illusion of ownership in operators. *Scientific reports*, Vol. 3, p. 2396, 08 2013.
- [11] T. Waltemate, D. Gall, D. Roth, M. Botsch, and M. E. Latoschik. The impact of avatar personalization and immersion on virtual body ownership, presence, and emotional response. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 24, No. 4, pp. 1643–1652, April 2018.
- [12] James K Beggan. On the social nature of nonsocial perception: The mere ownership effect. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 62, No. 2, p. 229, 1992.
- [13] Philippe Rochat. Possession and morality in early development. *New directions for child and adolescent development*, Vol. 2011 132, pp. 23–38, 2011.