The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019

人とロボットの対面相互作用におけるまばたき模倣と内受容感覚の影響

Influence of Eye Blink Mimicry and Interoceptive Awareness on Human-Robot Interaction

江谷 友梨[*1] Yuri Etani　長井 志江[*2] Yukie Nagai　セオフィリス コンスタンティノス[*2] Konstantinos Theofilis　明和 政子[*1] Masako Myowa

[*1] 京都大学 Kyoto University　[*2] 情報通信研究機構 National Institute of Information and Communications Technology

As robots are increasingly employed in human society, establishing affective relationship between people and robots is very important. We examined whether eye blink mimicry by a robot and individual differences in interoceptive awareness influence the affective relationship between people and the robot or not. Our results demonstrated that neither of them was statistically related to the affective relationship. However, our closer analysis revealed that people tended to imitate the robot making eye blink and that spontaneous eye blink synchrony enhanced the rapport expectation with the robot. This finding provides a great insight into future design of HRI studies.

1. 問題と目的

近年ロボット技術の発展に伴い、ロボットが様々な場面で活用されるようになり、ロボットはわたしたちにとってより身近な存在となっている。人とロボットの共生社会が目前に迫る今、両者が親和的な関係を築いていけるか否かは重要な問題である。本研究では、人とロボットが親和的な関係を築く鍵となる要因について、見た目が人に酷似していないヒューマノイドロボットを用いてロボット側の要因と人側の要因の双方から検討する。

まず、本研究ではロボット側の要因として、ロボットによる「まばたきの模倣」を扱う。人は相手の姿勢や身振りを無意識的に模倣する傾向（自動模倣）があり、模倣された人は模倣した人に対する好ましさを無意識的に高め、インタラクションが円滑に進む（カメレオン効果）[Chartrand 99]。模倣による効果は人型をした CG のエージェントやアンドロイド（人間酷似型ロボット）に対しても確認されており、参加者の頭の動きを模倣した方が模倣しないよりも発話の内容に説得力があり、好感度が高いと評価される [Bailenson 05, Shimada 08]。しかし、[Bailenson 05][Shimada 08]では、発話の内容に対する賛成度やエージェントに対して感じた印象のみを評価しており、その後の人と人以外のエージェントの関係性については検討されていない。本研究では、ロボットと親和的な関係を築くことを期待しているかどうかを評価する尺度を用いることで、まばたきの模倣が人とロボットの親和的な関係構築に与える影響について検討する。

次に、本研究では人側の要因として「内受容感覚の個人差」を」扱う。内受容感覚とは、「身体内部の変化に関する感覚であり、心臓の鼓動の存在や、胃や内臓の圧迫感そのものに関する感覚」[寺澤 14]である。この内受容感覚に敏感な人ほど相手を自動模倣しやすい傾向にある[Ainley 14]。[Stel 10]によると、模倣には双方向の影響があり、模倣される側だけでなく模倣する側も相手に対する親密さやインタラクションの円滑さを高く評価することがわかっている。したがって、内受容感覚に敏感な人はインタラクション中に相手を模倣しやすいがために、相手と親密な関係を築きやすいと考えられる。また、内受容感覚に敏感な人がインタラクションの相手から模倣された場合は、自身の自動模倣と相手からの模倣の相乗効果によってさらに相手と親和的な関係を築きやすくなると考えられる。

本研究の目的は、①ロボットによるまばたきの模倣②内受容感覚の個人差が人とロボットの親和的な関係構築に影響するかどうかについて検討することである。ロボットとの親和的な関係の築きやすさは質問紙により評価する。①についてはロボットにまばたきを模倣される条件でインタラクションを行うまばたき模倣群と、ロボットがランダムにまばたきをする条件でインタラクションを行うまばたきランダム群の 2 群を設定し、両群の反応を比較する。②については内受容感覚の個人差を心拍カウント課題により評価し、ロボットと親和的な関係を築く期待度を評価する質問紙得点との相関関係を調べる。本研究の仮説は以下の通りである。①まばたきランダム群よりもまばたき模倣群の方が、ロボットと親和的な関係を築く期待度を高く評価する。②内受容感覚に敏感な人（心拍カウント課題の得点が高い人）ほど、インタラクションを通してロボットと親和的な関係を築く期待度が高くなる。また、その傾向はまばたきランダム群よりもまばたき模倣群で強くなる。

2. 方法

2.1 実験参加者

実験には大学生、大学院生 35 名が参加した（うち男性 14 名、平均年齢 21.94 歳）。そのうち 18 名（うち男性 7 名）がまばたき模倣群に、17 名（うち男性 7 名）がまばたきランダム群に割り当てられた。4 名のデータに不備があり、分析から除外した。最終的には 31 名のデータを分析した（うち男性 11 名、平均年齢 21.94 歳）。そのうち 15 名（うち男性 5 名）がまばたき模倣条件で、16 名（うち男性 6 名）がまばたきランダム条件でインタラクションを行った。ただし、まばたきランダム群の全まばたきに対する iCub を逆模倣したまばたきの割合と、iCub と同期したまばたきの割合には平均値から標準偏差の 3 倍以上離れているデータがそれぞれ 1 件ずつあったため、相関分析の際はそのデータを追加で除外して分析を行った。本研究は、京都大学心の先端研究ユニット倫理審査委員会より承認を得て実施された（承認番号 30-P-13）。

2.2 実験装置

(1) 心拍計測

内受容感覚の個人差を評価するために心拍カウント課題を行った。参加者の実際の心拍数の測定にはマルチセンサー生

連絡先：江谷友梨，京都大学，etani.yuri.35x@kyoto-u.jp

理計測装置 NeXus10 システム(MindMedia B.V. Netherlands, キッセイコムテック)を用いた。

(2) ロボット

参加者は、iCub と名付けられたロボットとインタラクションを行った(図 1a)。iCub は、EU プロジェクト RobotCub の一部として IIT(Italian Institute of Technology)で開発されたヒューマノイドロボットである。iCub は高さ 104cm、重さ約 22kg で、53 個のモーターを持ち、頭、腕、手、腰、脚を独立に動かすことができる[Metta 08]。本調査では、頭とまぶたのみを動かすよう設定した。iCub の真後ろにスピーカーを置き、そこから流れる音声を iCub の発話とした。音声は[Tatsukawa 16]で用いられた日本語のラジオ番組を iCub の見た目に合うようボイスチェンジしたものを用いた。ラジオは全部で 227 秒の長さに編集された。発話中 iCub は口に相当する部分に赤色の四角形と棒状の LED ライトを交互に表示することで口の開閉を表した。さらに、iCub は参加者の顔が常に眼球のカメラ画像の中心に来るよう、頭部と視線方向を制御することで参加者の顔の動きを追いかけた。まばたき模倣条件の場合、iCub は参加者のまばたきを検出し(図 1b)、参加者の約 380 ミリ秒後にまばたきをした。ただし、iCub がまばたきをするためにまぶたを閉じている間などは参加者のまばたきを検出・模倣できなかった。まばたきランダム条件の場合、iCub は約 6 秒に 1 回の頻度でまばたきをした。

2.3 実験手続き

参加者が入室して iCub と向かい合う位置に置かれた椅子に座った後、実験目的や手続きについてインフォームドコンセントを行い、実験参加および映像撮影の同意を得た。

(1) 内受容感覚の個人差の計測

手順は[Ainley 14]に従った。参加者は両鎖骨の下および左腹部の 3 箇所にポータブル電極を貼り付け、心拍カウント課題を行った。心拍カウント課題では、参加者は「はじめ」の合図から「やめ」の合図までの一定時間内に知覚された心拍数を数えて報告することが求められた。15 秒の練習試行の後、25 秒、35 秒、45 秒の 3 試行がランダムな順序で行われた。心拍カウント課題に続いて時間カウント課題[Dunn 10]を行った。これは参加者が自分の心拍に関する知識をもとに心拍数を回答していないかを確認する目的で行われた。「はじめ」の合図から「やめ」の合図までの秒数を数えて報告することが求められた。19 秒、37 秒、49 秒の 3 試行がランダムな順序で行われた。その後、参加者は「1 分間に自分の心拍は何回あると思うか」という質問に対して口頭で回答した。

(2) RERS への回答(事前テスト)

参加者は目の前にいる iCub と親和的な関係を築く期待度について Rapport-Expectation with a Robot Scale (RERS) [Nomura 16]で評価した。質問は 18 項目あり、7 件法で評価した。最後にロボットの印象に関する自由記述欄が設けられた。

(3) iCub とのインタラクション

参加者はまばたき模倣条件もしくはまばたきランダム条件でインタラクションを行った。参加者はインタラクション中に、話しかけてくる iCub に対して自由に動いたり話したりすることが許された。ただし、顔は常に iCub の方を向いているよう求められ、iCub には接触しないよう教示した。インタラクションの様子は 2 台のビデオカメラ(HANDYCAM FDR-AX100, SONY)で撮影した。1 台は参加者の顔を、もう 1 台は iCub の顔を撮影した。

(a)

(b)

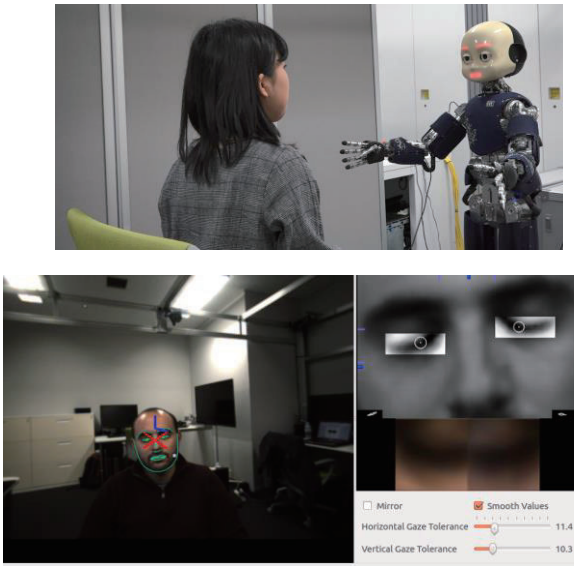

図 1. (a)インタラクションの様子, (b)iCub の眼球のカメラ画像(左の写真の×印が参加者のまばたきの検出)

(4) RERS への回答(事後テスト)

インタラクションを通して iCub と親和的な関係を築く期待度がどのように変化したかを調べるため、参加者は再び RERS に回答した。

(5) その他の質問紙への回答

最後に参加者は基本情報および iCub に真似されていると感じることがあったか否かを尋ねる質問紙に回答した。

2.4 分析方法

本研究では統計ソフト SPSS(IBM SPSS Statistics ver.25)を用いて分析を行った。統計的検定の際の有意水準は全て有意確率 $p < .05$ に設定した(両側検定)。

(1) RERS 得点の分析

RERS の回答には順に 1～7 点を与え(一部の逆転項目には 7～1 点を与え)、合計点を算出した。Cronbach の α 係数は事前テスト、事後テストでそれぞれ $\alpha = .81$、$\alpha = .92$ であった。したがって、内的整合性は十分であると評価された。

(2) ビデオ映像の分析

まばたき模倣群については、インタラクション中に参加者がした全てのまばたきと iCub に模倣されたまばたきの回数を記録した。まばたきランダム群については、参加者がした全てのまばたき、①偶発的に iCub に模倣されたまばたき、②iCub とタイミングが一致したまばたき、③iCub を逆模倣したまばたきの回数を記録した。また、①②③を足したものを④iCub と同期したまばたきとした。

(3) 内受容感覚の個人差の分析

心拍カウント課題の得点は、1/3 Σ(1-(|実際の心拍数-数えた心拍数|/実際の心拍数)) [Schandry 81]によって算出した。得点は 0 から 1 の値を取り、この得点が高いほど内受容感覚に敏感であると評価した。また、時間推測課題の得点も同様に、1/3 Σ(1-(|推測した時間-実際に経過した時間|/実際に経過した時間))によって算出した。

3. 結果

3.1 RERS 得点

まばたき模倣群の参加者のうち 8 人が iCub にまばたきを模倣されていることに気づいた。一方まばたきランダム群では iCub は任意のタイミングでまばたきをしていたが、3 人がまばたきを真似されていると感じたと回答した。群（まばたき模倣群・まばたきランダム群）とまばたきの模倣に対する気づきの有無（気づいた・気づかなかった）を参加者間要因、回答時期（事前テスト・事後テスト）を参加者内要因とする 3 要因分散分析を行った結果、全ての主効果と交互作用に有意差はみられなかった。（群の主効果：$F(1,27) = 1.60$, $p = .22$, $\eta_p^2 = .06$；回答時期の主効果：$F(1,27) = 1.14$, $p = .30$, $\eta_p^2 = .04$；気づきの有無の主効果：$F(1,27) = 2.02$, $p = .17$, $\eta_p^2 = .07$；群と回答時期の交互作用：$F(1,27) = .01$, $p = .93$, $\eta_p^2 = .00$；群と気づきの有無の交互作用：$F(1,27) = 2.55$, $p = .12$, $\eta_p^2 = .09$；回答時期と気づきの有無の交互作用：$F(1,27) = .23$, $p = .64$, $\eta_p^2 = .01$；群と回答時期と気づきの有無の交互作用：$F(1,27) = .53$, $p = .47$, $\eta_p^2 = .02$）。図 2 に、群およびまばたきの模倣に対する気づきの有無ごとに事前テストと事後テストの RERS 得点の平均値を示した。

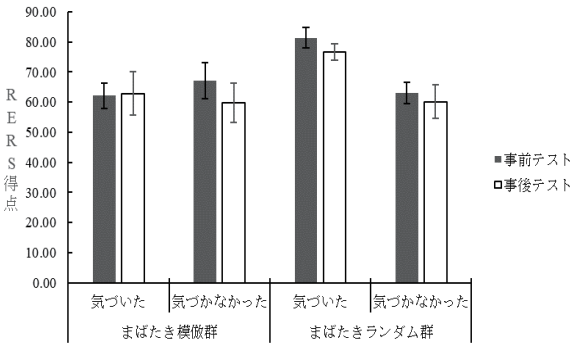

図 2. 各要因における RERS 得点の平均値（エラーバーは標準誤差）

3.2 人とロボットのまばたきのタイミング

表 1 に、まばたき模倣群の参加者の全まばたきに対する iCub に模倣されたまばたきの割合（a）、また、まばたきランダム群の参加者の全まばたきに対する①偶発的に iCub に模倣されたまばたき、②iCub とタイミングが一致したまばたき、③iCub を逆模倣したまばたき、④iCub と同期したまばたきの割合（b）の平均値と標準偏差を示した。

表 1. 参加者の全まばたきのうち（①偶発的に）iCub に模倣されたまばたき、②iCub と一致したまばたき、③iCub を逆模倣したまばたき、④iCub と同期したまばたきの割合の平均値と標準偏差（単位：%）

(a) まばたき模倣群

模倣	
平均値	標準偏差
72.67	11.94

※（b）の③と④は外れ値を除外しているため、④の平均値と標準偏差はこの表の①＋②＋③の値とは異なっている。

(b) まばたきランダム群

①偶発的に模倣		②一致		③逆模倣		④同期（①+②+③）	
平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
8.37	2.60	2.09	1.08	9.46	2.98	19.48	3.65

また、独立変数を群（まばたき模倣群・まばたきランダム群）、従属変数を iCub に模倣されたまばたきの割合（まばたきランダム群の場合は①偶発的に iCub に模倣されたまばたきの割合）とする対応のない t 検定を行った結果、まばたき模倣群の方がまばたきランダム群よりも iCub に模倣されたまばたきの割合が有意に高かった（$t(15.24) = -20.42$, $p = .00$, $g = -7.34$）。したがって、本研究では iCub によるまばたきの模倣を群によって操作することができていた。一方、まばたきランダム群において全まばたきに対する④iCub と同期したまばたきの割合と RERS 得点の変化量（事後テストの得点 - 事前テストの得点）の相関分析を行った結果、有意な関係はみられなかった（$r = .35$, $p = .20$）。

3.3 内受容感覚の個人差

心拍カウント課題の得点と時間推測課題の得点の相関分析を行った結果、有意な関係はみられなかった（$r = .17$, $p = .37$）。また、心拍カウント課題の得点と参加者が推測した 1 分間の自分の心拍の回数の相関分析を行った結果、有意な関係はみられなかった（$r = .00$, $p = 1.00$）。つまり、参加者は時間感覚や知識に基づいて心拍を報告していたわけではなかった。

3.4 内受容感覚の個人差と RERS 得点および逆模倣の関係

まばたき模倣群において心拍カウント課題の得点と RERS 得点の変化量の相関分析を行った結果、有意な関係はみられなかった（$r = -.38$, $p = .16$）。まばたきランダム群についても、相関分析の結果、心拍カウント課題と RERS 得点の変化量の間に有意な関係はみられなかった（$r = .13$, $p = .63$）。また、まばたきランダム群において、心拍カウント課題の得点と③iCub を逆模倣したまばたきの割合の相関分析を行った結果、有意な関係はみられなかった（$r = .25$, $p = .36$）。

4. 考察

4.1 まばたきの模倣が親和的な関係構築に与える影響

本研究では、RERS 得点についてまばたき模倣群とまばたきランダム群に統計上の差は見られなかった。よって、仮説①は支持されず、人と人に酷似していないロボットのインタラクションにおいて、まばたきの模倣が親和的な関係構築に影響を与える可能性は認められなかった。この結果については以下の 4 点の可能性が示唆される。1 点目は、人と人でないエージェントのインタラクションにおいては、模倣によって説得力や好感度などの印象が変化することはあっても、その後の関係の構築を求めるレベルまでは影響しない可能性である。進化論的な観点では、人は社会的な集団のメンバーと親和的な関係を構築することが必要不可欠だったため、自動模倣が発達したと主張している [Lakin 03]。人とロボットが親和的な関係を築くことは将来的には必要不可欠であるが、現時点ではまだその必要性を感じている人は少ないと推測できる。そうした見方にもとづけば、人とロボットのインタラクションにおいては模倣による親和的な関係を築く効果がみられなかった結果に説明をつけることができる。2 点目は、模倣による親和的な関係を築く効果は、模倣をするエージェントが人に酷似した外見や動きをしている場合に限られる可能性である。[Bailenson 05]や[Shimada 08]とは異なり、本研究の iCub はところどころ金属部分が露出していたり、口の動きを LED ライトで表現していたりと、人に酷似しているわけではなかった。このことから、模倣によって親和的な関係を構築するには、人に酷似した見た目や動きが大きく影響する可能性がある。3 点目は、模倣による親和的な関係を築く効果は、まばたきのような小さな動きではなく、ある程度大きな動きを模倣する必要がある可能性である。模倣によって相手と親和的な関係を築くには、

普段の会話の中でも相手に対して目を向けるような動きを模倣する必要があるのかもしれない。4 点目は、インタラクションの相手に模倣されることによって親和的な関係を築くことができる現象には大きな個人差がある可能性である。本研究ではまばたき模倣群内でも RERS 得点の変化量の値のばらつきが非常に大きかった。しかし、模倣によって親和的な関係を築くためには無意識的な模倣のやりとりであることが重要であるため、この個人差には模倣に対する気づきの有無が影響している可能性がある。本研究では気づきの有無の主効果は有意ではなかったが、今後気づきの有無に焦点を当てて詳しく検討する必要がある。

一方、本研究では有意な関係ではなかったが、まばたきランダム群において④iCub と同期したまばたきの割合と RERS 得点の変化量の間に正の相関関係がみられた。人とアンドロイドのインタラクションでは、人はアンドロイドの話し手のまばたきに同期してまばたきをする傾向がある[Tatsukawa 16]。この同期はアンドロイドが人から目を逸らして話した場合は消失し、人がアンドロイドの手に触れて話を聞いた場合は強化される。本研究の結果は、人とロボットのまばたきの同期が、両者が親和的な関係を築くための要因となる可能性を示す 1 つの知見となりうる。

4.2 内受容感覚の個人差が模倣による親和的な関係構築に与える影響

本研究では、内受容感覚の個人差を正しく計測できていたにもかかわらず、まばたき模倣群、まばたきランダム群共に心拍カウント課題の得点と RERS 得点の変化量の間に統計上の関係はみられなかった。したがって、仮説②は支持されなかった。また、まばたきランダム群において心拍カウント課題の得点と全まばたきに対する③iCub を逆模倣したまばたきの割合の間にも統計上の関係はみられなかった、よって、本研究では人と人に酷似していないロボットのインタラクション場面において、内受容感覚の個人差と模倣を介した親和的な関係の築きやすさの間には関連がない可能性が示された。内受容感覚の個人差と自動模倣の間に関連があることを示した[Ainley 14]で行われた課題は、自動模倣の抑制が求められた。他方、本研究では自動模倣を介した親和的な関係の築きやすさに焦点を当てた。したがって、内受容感覚の個人差は自動模倣の抑制には関連するが、自動模倣の起こりやすさやそれによる相手との親和的な関係の築きやすさには関連しないと考えられる。また、内受容感覚と社交不安の間には正の相関関係がある[Terasawa 13]。さらに、内受容感覚に敏感な人は自他の区別をしやすい[Tsakiris 11]。したがって、内受容感覚に敏感な人ほど、人ではない存在であるロボットと親和的な関係を築くことが困難である可能性が示唆される。それによって模倣による親和的な関係を築く効果が相殺されてしまった可能性も考えられる。

5. まとめ

本研究では、ロボットによるまばたきの模倣や内受容感覚の個人差が、人とロボットの親和的な関係構築に与える影響を検証したが、有意な結果を見出すことはできなかった。しかし、本結果は先行研究で報告された人とロボットの間のカメレオン効果を否定するものではなく、考察で述べた実験条件の違いが影響していると考えられる。興味深いことに、まばたきランダム群においては人がロボットのまばたきを逆模倣するような場面が観察され、まばたき同期が多いほど親和的な関係構築への期待も高まることが示された。すなわち、まばたきの模倣に限らず逆模倣や偶発的なタイミングの一致によっても親和的な関係を築きやすくなる可能性が示唆された。今後この点に着目してさらなる考察を進めていく必要がある。

参考文献

[Ainley 14] Ainley, V., Brass, M., & Tsakiris, M: Heartfelt imitation: High interoceptive awareness is linked to greater automatic imitation, *Neuropsychologia*, 60, 21-28, 2014.

[Bailenson 05] Bailenson, J. N., & Yee, N: Digital chameleons-Automatic assimilation of nonverbal gestures in immersive virtual environments, *Psychological Science*, 16(10), 814-819, 2005.

[Chartrand 99] Chartrand, T. L., & Bargh, J. A: The chameleon effect: the perception-behavior link and social interaction, *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(6), 893-910, 1999.

[Dunn 10] Dunn, B. D., Galton, H. C., Morgan, R., Evans, D., Oliver, C., Meyer, M., Cusack, R., Lawrence, A. D., & Dalgleish, T: Listening to your heart: How interoception shapes emotion experience and intuitive decision making, *Psychological Science*, 21(12), 1835–1844, 2010.

[Lakin 03] Lakin, J. L., Jefferies, V. E., Cheng, C. M., & Chartrand T. L: The Chameleon effect as social glue: Evidence for the evolutionary significance of nonconscious mimicry, *Journal of Nonverbal Behavior*, 27(3), 145-162, 2003.

[Metta 08] Metta, G., Sandini, G., Vernon, D., Natale, L., & Nori, F: The iCub humanoid robot: an open platform for research in embodied cognition, *PerMIS '08 Proceedings of the 8th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems*, 50-56, 2008.

[Nomura 16] Nomura, T., & Kanda, T: Rapport–expectation with a robot scale, *International Journal of Social Robotics*, 8(1), 21–30, 2016.

[Schandry 81] Schandry, R: Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology*, 18(4), 483–488, 1981.

[Shimada 08] Shimada, M., Yamauchi, K., Minato, T., Ishiguro, H., & Itakura, S: Studying the influence of the chameleon effect on humans using an android, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 767-772, 2008.

[Stel 10] Stel, M., & Vonk, R: Mimicry in social interaction: Benefits for mimickers, mimickees, and their interaction, *British Journal of Psychology*, 101(2), 311–323, 2010.

[Tatsukawa 16] Tatsukawa, K., Nakano, T., Ishiguro, H., & Yoshikawa, Y: Eyeblink synchrony in multimodal human-android interaction, *Scientific Reports*, 6, 39718, 2016.

[Terasawa 13] Terasawa, Y., Shibata, M., Moriguchi, Y., & Umeda, S: Anterior insular cortex mediates bodily sensibility and social anxiety, *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(3), 259–266, 2013.

[寺澤 14] 寺澤悠理・梅田聡: 内受容感覚と感情をつなぐ心理・神経メカニズム, *心理学評論*, 57(1), 49-66, 2014.

[Tsakiris 11] Tsakiris, M., Tajadura-Jiménez, A., & Costantini, M: Just a heartbeat away from one's body: Interoceptive sensitivity predicts malleability of body-representations, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1717), 2470‑2476, 2011