

## メタ相手モデルが生体情報に与える影響について

## Influence of brain activity from perception of “meta-opponent model” in interactive problem

浅田 麻菜<sup>\*1</sup>  
Mana ASADA

伊藤 毅志<sup>\*1</sup>  
Takeshi ITO

<sup>\*1</sup> 電気通信大学 情報・通信工学専攻

Department of Communication Engineering and Informatics, The University of Electro-Communications

Mental model for opponent is used for enrich human-human communication. Prior research has suggested that frequent changes of reasoning levels for opponents has been contributed to the human communication, and the highest level has been the reasoning as a mental model of “me” within the opponent. We defined this high-level reasoning as “meta-opponent model” and made experiments whether this model could be existed under the non-body and non-human agent. The experiment has consisted of two experiments, verbal protocol experiment and fNIRS experiment, and also each experiment had four conditions with three different agent programs and an additional instruction that the opponent was human. The results indicated that adequate complexity of problem was needed for “meta-opponent model”.

## 1. はじめに

人間は人間同士のコミュニケーションにおいて、相手に対するメンタルモデル(相手モデル)を持ってコミュニケーションを行っている。これに関し横山らは、人間同士のコミュニケーションにおいて、相手に対する推定の深さに 4 つのレベル(「他者の意図の推定を行わず自己の目標に基づくレベル」「自己の意図を他者に明示することにより、他者を誘導するレベル」「他者の意図に基づいて行動を決めるレベル」「他者が持つ自己のモデルを想定して行動を決めるレベル」)が存在するとし、これらを刻々と変化させることで、高度なコミュニケーションを行っているとした[横山 09]。

一方、マシンなどの人工物とのコミュニケーションを考えると、人間側が人工物に対して十分な知性を感じていないために、自分に対するモデルを持っていないという前提でコミュニケーションを行い、結果、人工物に対して信頼感を持たず高度なコミュニケーションを構築できないという問題がある。例えば、e-learning などの現場では、コンピュータが学習者に対するモデルを有しないために、学習者が提示される情報に対して信頼感を持たず、結果として十分な学習効果が得られないという問題点の存在が指摘されている[Kidd 04]。本研究では、このように「他者が自己に対するモデルを持っているというモデル」を「メタ相手モデル」と呼び、このメタ相手モデルの存在が人間間における高度なコミュニケーションを創出していると考えられる。

上述のような、インタラクションする相手がヒトかモノかという相手に対する思い込みで変容する人間の行動・脳内での制御モデルについて高橋らはマッチングペニー課題を用いた実験により提唱した [高橋 11]。マッチングペニー課題は 2 人が 2 種類の記号から同時に 1 種類を選択し、相手と違う記号を選択した場合に得点の得られる課題である。しかしマッチングペニー課題は単純であるため、相手モデルが無くても思考可能な課題であることが指摘されている[佐藤 08]。

そこで本研究では、複数の戦略が選択できる課題を用いて、人間が「メタ相手モデル」を人工物に対しても持ち得るのか、また、持ち得る場合、そのときに人間の認知過程と脳活動に与える影響について調べることを目的とする。

## 2. 実験

### 2.1 実験参加者

本実験には大学生 8 名(男性 5 名, 女性 3 名, 平均年齢=19.8 歳 ( $SD=1.04$ ), 右利き)が参加した。本実験は電気通信大学倫理審査委員会の倫理審査にて承認を受け実施した。また、実験参加者には実験開始前に説明を行い、同意する場合は同意書に署名をさせ実施した。

### 2.2 使用機材

脳血流量計測のために、ウェアラブル光トポグラフィ(WOT-160 (日立製作所), サンプリングレート 5[Hz], チャンネル数 16)を使用した。チャンネルの配置図は以下の通りである。

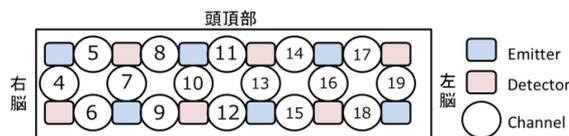


図 1 チャンネル配置図

### 2.3 使用課題

本実験では、2 者がそれぞれ 3 種類の記号の中から 1 種類の記号を同時に選択する「記号合わせゲーム」を使用した。図 2 はゲームにおける利得表である。

このゲームでは同調的行動に対して利得の大きな記号(いちご)と、敵対行動に対して利得の大きな記号(ぶどう), またその中間の利得となる記号(みかん)の 3 種類の記号が存在する。実験では、3 種類の記号の中から 2 者が同時に 1 つの記号を選択することを 20 回連続で行うこととした。

相手	いちご	みかん	ぶどう
自分	いちご	みかん	ぶどう
いちご	10	5	0
みかん	12	7	3
ぶどう	15	8	4

図 2 課題における利得表

連絡先: 浅田 麻菜, 電気通信大学 情報・通信工学専攻,  
東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, asada@minerva.cs.uec.ac.jp

## 2.4 手続き

実験では4つの挙動を行うプログラムを使用した4条件下で実験を行った(表1参照)。実験実施の際は各4条件で、20回ずつ記号の選択を行わせた。なお本実験では、実験協力者に実験中の課題得点が170点を超えた場合に、得点に応じて謝金が増加するという教示を与えた。

表1 実験条件と使用プログラムの挙動

条件名	使用プログラムの挙動
L条件	実験参加者の直前試行での選択記号を選択
M条件	実験参加者の直前3試行の選択記号を多数決
P条件	実験参加者の第1試行から直前試行までの選択記号から多数決
PH条件	P条件と同じプログラムを使用。実験参加者には遠隔操作で相手が人間であるという教示

また、実験は各条件に対して発話プロトコルを採取する発話プロトコル実験(1試行20秒)を実施した後、同様にfNIRSを用いて実験を行うfNIRS実験(1試行5秒)を行った。また、両実験において記号選択に掛かる時間についても計測を行った。なお、各実験内での各条件の実施順序はランダムとした。

## 3. 結果

### 3.1 実験参加者の分類

発話プロトコルについては、発話内容を文字に起こしたうえで、8種類の要素に分類を行い思考内容の分類を行った。この結果に加え、PH条件における記号選択の平均反応時間、また各試行における選択時間の標準偏差を指標として、実験参加者の課題処理行動を3つの分類に分けた。

1つ目は思考に関する発話がほぼ存在せず、記号選択時間が全体的に短時間で各試行における標準偏差が小さいことから反射的・作業的に実験を行ったと考えられる【R群】(2人)、2つ目は思考に関する発話は存在するが相手モデルに関する発話が確認できず、平均記号選択時間としては平均程度だが、試行間での標準偏差が小さいグループ、すなわちゲームとして本課題に取り組んだ【G群】(2人)、そして3つ目は相手モデル・メタ相手モデルに関する発話が存在し、記号選択時間の試行間変化の標準偏差が比較的大きいメタ相手モデル・相手モデルについて思考を行う【M群】(4人)であった。

### 3.2 fNIRS 実験

図3はメタ相手モデルについて発話を確認した実験参加者M-1の【P】条件、【PH】条件における酸素化ヘモグロビンの変化量([oxyHb])の課題開始時・終了時のトポグラフィ表示の結果である。なお、fNIRSで計測可能な[oxyHb]と[deoxyHb]を比較した場合、脳活動に対してより明確な反応をするのが[oxyHb]であると考えられているため、本研究では分析対象として[oxyHb]に着目した[Scholkmann 14]。

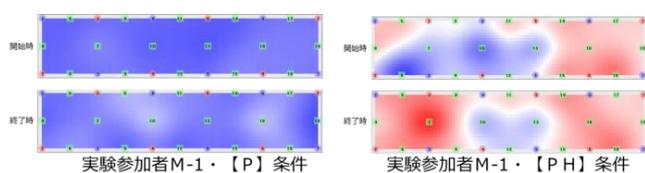


図3 トポグラフィ表示

このような結果に対し、0.01[Hz]のハイパスフィルタと0.8[Hz]のローパスフィルタでノイズ成分を除去した後、3秒間ごとに加算平均を求めた。次にコントロール課題時の反応の平均値をとり、この平均値を用いてベースライン処理を行った。このベースライン処理を行った波形の刺激提示時間について平均値をとり、これを当該チャンネルでの平均値とした。結果、チャンネル7(内側前頭前野付近)で有意な賦活を確認した。

一方でゲームとして実験を行った【G群】の実験参加者G-2の各4条件に対して同様の処理を行ったが、有意賦活するチャンネルを確認することはできなかった。

## 4. 考察

### 4.1 脳血流量変化への影響

本実験の結果より、メタ相手モデルについての思考を確認できた実験参加者において、内側前頭前野付近での賦活を確認することができた。内側前頭前野の活動について、他者が自己を評価する可能性を感じる場合に、自己の評価を守るよう行動変容が起こる audience effect が確認される際に賦活を確認したという多くの研究が存在する [Frith 12]。これらの研究では、目や写真や実際の人間という身体性を提示し視覚的刺激を用いることで実験参加者に他者の存在を感じさせており、「相手」からの実際のインタラクションが伴う点において本研究とは異なるが、メタ相手モデルを感じる実験参加者において内側前頭前野付近で賦活が確認された背景には、同様の機構が影響している可能性があると考ええる。

しかし一方で、内側前頭前野は自己の得られる報酬の評価をとらなう、ギャンブル性を感じる場合に賦活するという指摘もされている[高橋 11]。本実験では課題に対する取り組み方略の異なる3群を分類したが、【M群】に分類された実験参加者の中においても、試行を重ねる中の一部において他の群で特徴的とされる思考を行う可能性も否めない。この点については反応時間などの指標を用い、思考内容に基づいた更なる分析が必要だと考える。

### 4.2 課題の複雑さによる影響

本実験で使用した課題は、相手の選択記号に対して自己が協調的戦略をとるか、或いは敵対的な戦略を選択するかを、自他の選択履歴などを基に思考する必要のある複雑な課題であった。

寺田らは「協調記号合わせゲーム」を用いて、人間がエージェントの持つ適応アルゴリズムを理解する認知過程を調べ、主に過去の履歴を基にした帰納的アルゴリズム理解と、既存のアルゴリズムについての知識を適用する演繹的アルゴリズム理解が存在することを指摘している[寺田 13]。本研究の使用課題においても、【M群】に分類された実験参加者群、すなわち記号選択時間の標準偏差が大きく、相手モデル・メタ相手モデルについての思考を確認できた実験参加者内部では、相手が人間だという教示を受けたことで、自己の内部に存在する人間の挙動や思考過程を既存の概念として利用された可能性が高い。つまり、課題遂行中に演繹的アルゴリズム理解と、過去の履歴を基に行われる帰納的アルゴリズム理解と共に行われている可能性が考えられる。

以上のことから、相手モデルやメタ相手モデルを思考させるためには、相手が人間であるというような明示的な教示を与えるだけでは不十分で、既存の知識を適用するメリットが存在する程度の複雑さが課題自体にも求められていることが考えられる。

すなわち、「人工物に対して十分な知性を感じられないため、十分なインタラクション感を得られない」という問題の根底には、人工物に対峙した際にユーザ内部に演繹的アルゴリズム理解が適用できそうな概念が想起されず、相手理解方略を変化させるような深い思考をする必要がないため、相手モデルやメタ相手モデルについての思考が形成されず、結果的に人工物とのインタラクション感がえられないという流れが示唆される。

## 5. おわりに

本研究では「相手に対する相手モデルを通して感じる自分に対するモデル」という高次の推定をメタ相手モデルとし、複雑な行動選択が可能な課題を使用した実験から、人工物が相手の場合でもメタ相手モデルを持ち得ることを確認した。また、その際の脳活動を fNIRS で計測した。結果、メタ相手モデルを持つ思考を確認できた実験協力者において、内側前頭前野付近での賦活を確認することができた。またメタ相手モデルを持たせるためにはある程度複雑な課題を用いる必要性が示唆された。一方で、課題にどの程度の複雑さが存在すればメタ相手モデルを含むような深い思考を喚起することが可能なのかについては今後検討する必要があると考える。

## 参考文献

- [横山 09] 横山 絢美, 大森 隆司; “協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析”, 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界, 92(11), 734-742 (2009)
- [Kidd 04] C. Kidd, C. Breazeal.; Effect of a robot on user perceptions, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3559-3564 (2004).
- [高橋 11] 高橋 英之, 岡田 浩之: “社会認知における「社会的思い込み効果」の役割とその脳内メカニズム”, 認知科学 18(1), 138-157 (2011)
- [佐藤 08] 佐藤 友美, 大塩 立華, 吉田 和子, 石井 信; “他者の内部状態推定と行動予測を用いた意思決定モデル”, 電子情報通信学会技術研究報告. NC, 107(413), 73-78 (2008)
- [Scholkmann 14] Felix Scholkmann, Stefan Kleiser, Andreas Jaakko Metz, Raphael Zimmermann, Juan Mata Pavia, Ursula Wolf, Martin Wolf :A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology, NeuroImage, vol.85 (1), pp 6-27 (2014)
- [Frith 12] Chris D. Frith, Uta Frith: Mechanisms of social cognition: Annual Review of Psychology. 63, 287-313 (2012)
- [寺田 13] 寺田 和憲, 山田 誠二, 伊藤 昭; “適応アルゴリズム理解のための認知モデル”, 2013 年度認知科学会第 30 回大会論文集 (2013)