

行為の自他帰属性の解明へのフォワードモデルからのアプローチ

○新井 航平 (東大) 大武 美保子 (東大) 川端 邦明 (理研)

池本 有助 (東大) 前田 貴記 (慶大)

加藤 元一郎 (慶大) 浅間 一 (東大)

Experimental Analysis of the Attribution of Own Actions to the Intention of Self or Others by the Forward Model

○Kohei Arai(Univ. of Tokyo), Mihoko Otake(Univ. of Tokyo), Kuniaki Kawabata(RIKEN),

Yusuke Ikemoto(Univ. of Tokyo), Takaki Maeda(Keio Univ.),

Motoichiro Kato(Keio Univ.) and Hajime Asama(Univ. of Tokyo)

Abstract— Recently, the human cognitive mechanisms have been studied for designing user-friendly interface. One of the key issues is the attribution of own actions to the intention of self or others. It is known that the Schizophrenic patients who sometimes attribute their own actions to the intentions of others may perceive themselves as causing events which they do not in fact control, when they feel they are in voluntary movement. In this study, we conducted the similar experiments with the normal subjects. We conducted simulations through extending the multiple forward models, which successfully described the experimental results.

Key Words: Forward model, schizophrenia, attribution of own actions, simulations, experimental analysis

1. 序論

科学技術の進歩に伴い様々な場面で機械が用いられるようになり、使い易い機械設計の必要性が増している。これに伴い、近年では、ヒューマンインタフェースに人間の認知特性を考慮した設計が行われている。その一つに”行為の自他帰属性”の問題があり、これを解明することは使い易いヒューマンインタフェースの設計に繋がると考えられる。“行為の自他帰属性”とは、人間がある行為をした際にその行為を自己に帰属するか他者に帰属するかの判断の傾向のことであり、近年のfMRIやPET等イメージング技術を用いた研究でその機能がヒトの脳内にあるということが示唆されている [1] [2]。また、行為の自他帰属性の脳内メカニズムを説明するモデルとして、これまでに例えば Forward model [3], Who system [4] といった仮説が提案されている。

一方で、医学的知見から行為の自他帰属性と統合失調症との関係が示唆されており、行為の自他帰属性のメカニズムを調べるにあたり、統合失調症を研究することは有効である。統合失調症とは脳をはじめとする神経系の病気で、人の声や物音、電波やテレパシーなどそこに実在しない音が聞こえる幻聴や、間違った考えを修正できなくなったり、被害を受けていると思いがちになる妄想などの多彩な症状を示す精神疾患の一つである。これらの症状の一部は、行為の自他帰属性の異常として説明することができる。例えば、妄想や

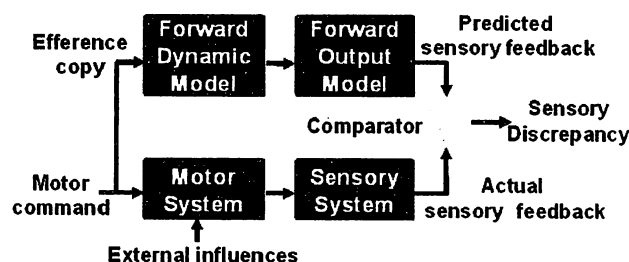


Fig.1 The forward model of motor control [3]

幻覚といった臨床上の症状は、思考や発言といった自己の行為を正当に自己に帰属することができなく、自己の行為を過小に自己に帰属してしまっている状態（過小帰属）であると解釈することができる。また、統合失調症患者を被験者とした行為の自他帰属性に関する実験も行われている。Frankらの実験 [5] では、被験者はジョイスティックを握る自己の画像をコンピュータ画面上で見ながら、実際にジョイスティックを操作するというタスクを行う。コンピュータ画面上の画像は被験者の操作に連動して動くが、その動きの応答性には、遅延や運動方向の角度のずれなどのバイアスが含まれる。この実験では、統合失調症患者は健常者よりも遅延や運動方向の角度のずれなどに気付きづらいという結果が得られた。つまり、統合失調症患者はコンピュータ画面上で生成された運動を過大に自己に帰属した（過大帰属）と解釈することができる。この他にも、統合

Table 1 Corresponding actions to orders

	order	action
type1	「Light!!」	light
type2	「Sound!!」	sound
type3	「Light!!」	light & sound

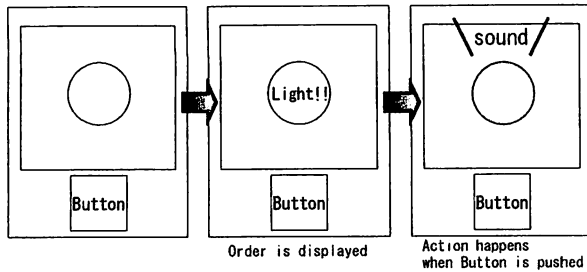


Fig.2 A graphical user interface for type3 experiment

失調症患者に対する実験で過大帰属の傾向がみられることが報告されている [6]. このように、統合失調症では行為の自他帰属性に異常がみられる。しかし、なぜ臨床上的症状で過小帰属がみられる患者において実験上では過大帰属がみられるのかについては、これまでに提案されている仮説では説明しきれていない [7]. そこで、本研究では行為の自他帰属性の判断のモデルに Fig.1 の Forward model を仮定し、被験者実験、計算機シミュレーションを通じてモデルを拡張し、より詳細な行為の自他帰属性モデルを構築することを目的とする。

2. Forward model の検討と拡張

本研究の最終的な目標は、従来の Forward model を拡張し、過大帰属・過小帰属の問題を含んだ統合失調症患者の行為の自他帰属性の異常を説明できるモデルを構築し、行為の自他帰属性のメカニズムの詳細を理解することである。Forward model を拡張するためには、その前段階として従来の Forward model を検証しなければならない。故に、本研究ではまず、統合失調症の自他帰属性の研究を参考に被験者実験を行い、実験結果から行為の自他帰属性のメカニズムを持つ一般的な特徴を見出す。さらに、その特徴を実現するような Forward model を構築し、計算機シミュレーションを行うことで、そのモデルの妥当性を検証する。

3. 被験者実験

3.1 実験用アプリケーション

アプリケーションは画面中央に命令が表示された後にボタンを押すと簡単なアクションが起こるものであり、条件の異なる 3 種類が存在する。各タイプの命令、及びアクションを Table 1 に示し、タイプ 3 のケースに

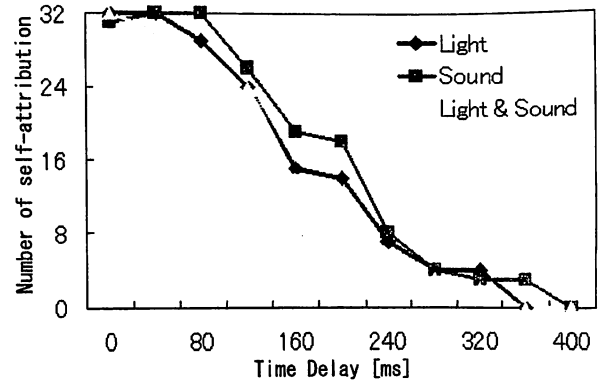


Fig.3 Relationship between the number of self attribution and TD: sum of 8 subjects

ついてアプリケーションの概観を Fig.2 に示す。また、各タイプはボタンを押す動作とアクションの間に時間差 (Time Delay, 以後 TD) を含む。TD は 40[ms] 間隔で 0[ms]~400[ms] までの 11 段階あり、各タイプで各 TD は 4 回ずつ登場する。故に、各タイプは計 44stage からなる。各 TD は各タイプのタスクにおいてランダムに登場する。

3.2 実験プロトコル

被験者は全 8 人で、各被験者はタイプ 1~3 の全てを行う。また、行うタイプの順番による結果の偏りをなくすために、被験者によって行うタイプの順番を変える。被験者には、各アクションが遅れる場合がある、という情報のみを与え、各 stage ごとに自分が各アクションを起こした感覚があるかないかを評価する。

3.3 実験の結果と考察

Fig.3 に実験結果 (被験者 8 人合計) を示す。横軸はタスク中で登場する TD を表し、縦軸は、各 TD の全登場回数 32 回 (各タイプ中 4 回×被験者 8 人) のうちその TD を伴うアクションが自己の行為の結果だと判断された回数 (自己帰属回数) を表す。

まず、各タイプのグラフの形状が類似していることから、感覚フィードバックのタイプに拠らず同様の行為の自他帰属の判断メカニズムが存在している、と考えられる。次に、行為の自他帰属性の時系列変化についての考察を行う。まず、各被験者がタスクを行う中で、登場する各 TD に対してどのように判断を下したかを調べた。Fig.4 に、ある被験者のタイプ 1 における例を示す。横軸はそのタイプにおける stage (1~44) を表し、縦軸は各 stage で登場する TD の値を表す。Fig.4 の被験者の場合、このタイプのタスク序盤では自己と他者とを区別する基準が 200~240[ms] にあるが、タスク終盤ではそれが 50[ms]~80[ms] となっており、判別

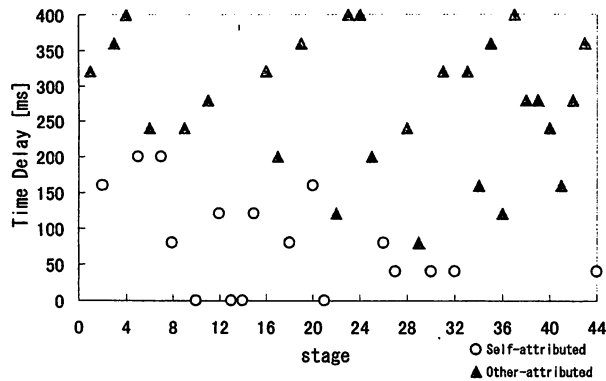


Fig.4 Attribution of one subject on each stage: x-coordinate is a number of stage; y-coordinate is TD. Circle dots are self attributions while the triangle dots are other attributions.

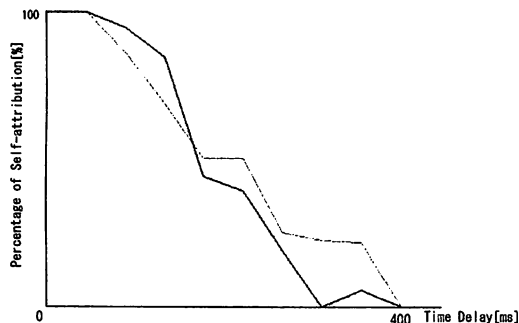


Fig.5 The percentage of self-attribution on each TD in the first 22 stages and the second 22 stages (sum of 8 subjects : the first 22 in gray, the second 22 in black)

基準がタスク中で変化したということが分かる。このように、全てのタイプにおいて行為の自他帰属の判別基準はタスク中に変化し得る、という特性が見られた。

さらに、行為の自他帰属性がタスク進行に伴い、どのように変化したのかを調べた。Fig.5に、タスクの前半22ステージとタスクの後半22ステージの各TDにおける自己帰属率(=100×自己帰属回数[回]/各TDの登場回数[回])を比較したグラフ(被験者8人合計)を示す。タスク前半22ステージは灰色で、タスク後半22ステージは黒で示されている。このグラフより、タスク前半よりも後半の方がグラフの勾配が急になる、ということが予想される。故に、このグラフの勾配の変化のタスク進行に伴う推移を調べるために、このグラフをロジット曲線と仮定しロジスティック回帰により一次近似直線を求めることで、その勾配の変化を調べた。タスク中の各22ステージから得られるTD-自己帰属率グラフ(被験者8人合計)を以下の式(1)によりロ

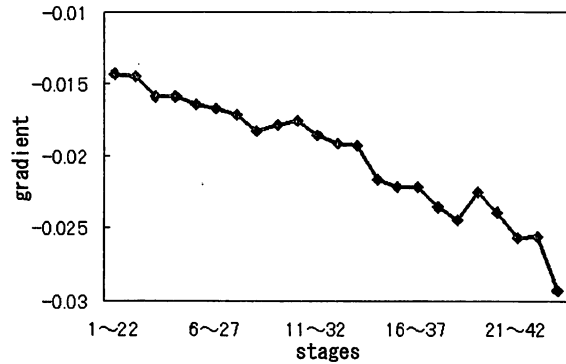


Fig.6 The gradient of the line which is produced by logistic regression analysis on each 22-stages

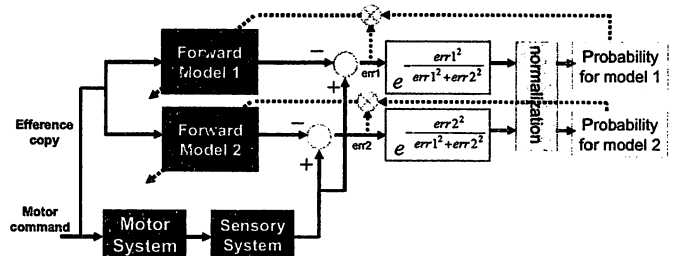


Fig.7 Multiple forward models [8]

ジット変換したグラフの一次近似直線の勾配のタスク進行に伴う推移を Fig.6 に示す。

$$\text{logit}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad (1)$$

横軸はどの stage からどの stage までの 22 ステージについてのデータにロジスティック回帰を行ったのかを表し、縦軸は、ロジスティック回帰により求めた一次近似直線の勾配を表す。Fig.6より、タスクの進行に伴いグラフの勾配が急になっている(勾配の絶対値が大きくなっている)ことが分かる。このことから、タスク進行に伴い自他帰属の判断基準が明確化する、という特性が示された。

4. 計算機シミュレーション

4.1 モデル

実験結果から得られた、行為の自他帰属の判別基準の、

- タスク中での変化
- タスクの進行に伴う明確化

を実現するモデルを提案し、計算機シミュレーションを行うことで、その妥当性を検証する。上記の二つの特性を満たす、つまり、各 TD における自己帰属率曲線が左右に推移しながら、その勾配がタスク進行に伴い急になる、という特性を、フォワードモデルが満たすた

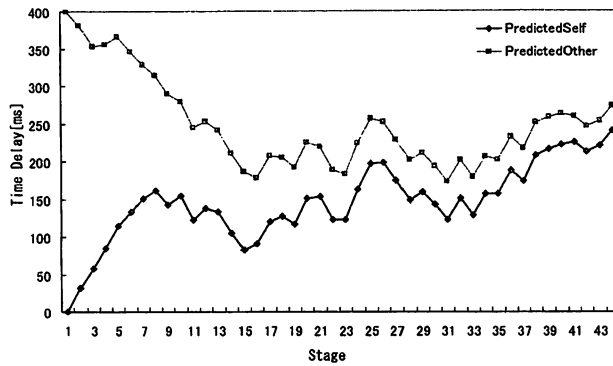


Fig.8 Transition of predicted TD

めには、2つの予測値(最も自分だと思えるTD, 最も自分だと思えないTD)を用意し、それらが変化することで曲線の形状が変化するという方法をとることが有効であると考えられる。そこで、motor controlの分野で提案されているFig.6に示すWolpertらのMultiple forward models[3]を本実験で用いたタスクに適用した。並列に存在する二つのForward modelは各々その時点で最も自分だと思える、または思えないTDを予測し、それらの予測値が各stageでの判断結果によって変化するとした。

4.2 計算機シミュレーション結果

実際に各被験者が行った実験で登場したTDのセットを入力として計算機シミュレーションを行った。この際、各Forward modelが予測する値には初期値が必要となるが、被験者実験の結果より、最も自分だと思えるTDの初期予測値は0[ms]、最も自分だと思えないTDの初期予測値は400[ms]とした。Fig.7に各Forward modelが予測するTDがタスクの進行に伴いどのように変化したかの例を示す。横軸はそのタイプにおけるstage(1~44)を表し、縦軸は各Forward modelが予測するTDの値を表す。二つの予測値の各stageでの値の平均値がそのstageでの行為の自他帰属の判別の基準値となり、二つの予測値の間隔が、判断基準の曖昧さを表す。この例にも現れているように、全てのTDのセットにおいて、

- 自他帰属の判別基準値のタスク中での変化
- 自他帰属の判別基準のタスク進行に伴う明確化

がみられた。故に、先の被験者実験から得られた自他帰属性判別の二つの特性を実現できていると考えられ、Multiple forward modelsのような並列処理モデルが存在する可能性が示唆された。

5. まとめと展望

被験者実験と計算機シミュレーションによってForward modelの検討を行った。Multiple forward modelsを用いることで被験者実験から得られた自他帰属判別の基準の変化と明確化という特性を実現することができることを確認した。

今後の課題として、登場するTDを変えた同様の実験を行い、Multiple forward modelsの妥当性をより検討することや、統合失調症の病態を説明するための系を新たに今回具体化したForward modelに追加し、計算機シミュレーションを行い統合失調症の病態と比較することで新たに追加する系の妥当性を検証し行為の自他帰属性のメカニズムを理解することなどが挙げられる。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現—移動知の構成論的理解—」によるものである。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Farrer C, Frith CD: Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage* 15: 596-603, 2002.
- [2] Farrer C, Franck N, Georgieff N et al: Modulating the experience of agency: a positron emission tomography study. *Neuroimage* 18: 324-33, 2003.
- [3] S.J. Blakemore, D.A.Oakley, C.D.Frith: "Delusion of alien control in the normal brain," *Neuropsychologia* 41, 1058-1067, 2003.
- [4] Georgieff N, Jeannerod M: "Consciousness of external reality: a "who" system for consciousness of action and self-consciousness. *Conscious Cogn*", 465-477, July.1998.
- [5] Frank N, Farrer C, Georgieff N et al: Defective recognition of one's own actions in patients with schizophrenia. *Am J Psychiatry* 158: 454-459, 2001.
- [6] Daprati E, Frank N, Georgieff N et al: Looking for the agent: an investigation into consciousness of action and self-consciousness in schizophrenic patients. *Cognition* 65: 71-86, 1997.
- [7] 加藤元一郎, 前田貴記: 統合失調症の自我障害の脳科学. *MARTA No.4*: 13-16, 2005.
- [8] D.M.Wolpert, M.Kawato: "Multiple paired forward and inverse models for motor control," *Neural Networks* 11, 1317-1329, 1998.

19th SICE Symposium on Decentralized Autonomous Systems
January 29-30, 2007, Tokyo

第19回自律分散システム・シンポジウム

資 料

期 日：2007年 1月29日 (月), 30日 (火)

会 場：東京工業大学 大岡山キャンパス



SICE®

企 画：自 律 分 散 シ ス テ ム 部 会
主 催：(社) 計 測 自 動 制 御 学 会 シ ス テ ム ・ 情 報 部 門
The Society of Instrument and Control Engineers

協 賛：システム制御情報学会, 電子情報通信学会, 電気学会, 情報処理学会,
人工知能学会, 日本ロボット学会, 日本機械学会, 精密工学会, 日本神
経回路学会, 日本生体医工学会, 応用物理学会, 日本生物物理学会, 化
学工学会, Japan Chapter of IEEE Control Systems Society, Japan Chapter of
IEEE Systems, Man, and Cybernetics
身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現に関する調査研究会

カタログ番号 07 SY 0001