

## 触感覚有無が自他帰属性に与える影響に関する研究

### Study of Effect That Haptic Sensibility Give to the Attribution of Own Actions to Self or Others

○ 村林 正堂 (東大) 池本 有助 (東大)  
 正 大武 美保子 (東大) 前田 貴記 (慶應大)  
 加藤 元一郎 (慶應大) 正 浅間 一 (東大)

Masataka MURABAYASHI, the University of Tokyo, masataka@race.u-tokyo.ac.jp  
 Yusuke IKEMOTO, the University of Tokyo  
 Mihoko OTAKE, the University of Tokyo  
 Takaki MAEDA, Keio University  
 Motoichiro KATO, Keio University  
 Hajime ASAMA, the University of Tokyo

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 patients with schizophrenia 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 design the experiment using a haptic device in order to investigate the difference of attribution of own actions when subjects lose haptic stimuli which would happen under normal circumstances. In the result, we show that haptic stimuli does not have implications for the attribution of own actions when anticipated actions happen, but influence it when actions happen with time delay.

**Key Words:** Mobiligence, Interface, Haptic, Attribution of own actions, Sense of Agency

### 1. 緒言

### 2. 自他帰属性

現在の社会では、科学技術の進歩によって、様々な場面で機械が使用されるようになり、使いやすい機械設計の必要性が増してきている。そのためには、インターフェースの質を高めていくことは重要である。特に人と機械の間のインターフェースであるヒューマンインターフェースは最近注目を集めており、人間の認知や心理の特性を考慮した設計が行われはじめていく。そういった認知特性のひとつに“行為の自他帰属性”というものがある。この“行為の自他帰属性”のシステムを解明することは使い易いヒューマンインター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る。健常者はこの判断を正しく行うことができるが、統合失調症の症例である自我障害を持っている人々の中では、この判断が正しくできず、自他帰属性に異常が見受けられる。近年の研究で、その脳内メカニズムを説明するモデルとして、forward model(図1)[1]や Who system[2]といった仮説が提案されている。特に forward model を支持する知見が見受けられる[3]。本研究では、体性感覚の一つである触感覚を変化させた際の自他帰属性の変化を、触覚デバイスを用いた被験者実験によって確かめる。

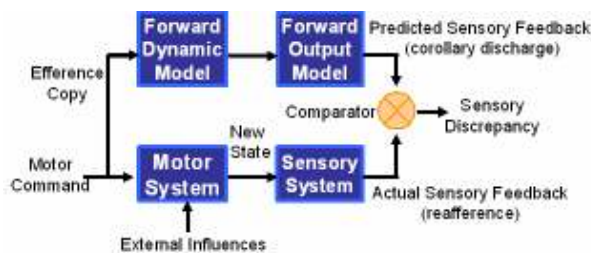


Fig. 1 forward model of motor control [1]

#### 2.1 自他帰属性とは

自己意識の脳科学が近年盛んであり、その中で自他帰属性(self-other attribution)は Sense of Agency(意志作用感)というパラダイムで研究されている。Sense of Agency とは行為や思考をしたときに、その作用主体(agent)が自己であるという体験のことである。自他帰属性は、自己の身体が運動を起こすときに、それが自らの意思作用によるものなのか、それとも他の意思作用によるものなのかについての判断の傾向、つまり、その運動にたいして Sense of Agency を感じるかどうかの傾向、と定義される。

#### 2.2 自他帰属性と脳

自他帰属性はその機能が脳内にあると考えられている。fMRIを用いて脳内の活動の様子を観察した実験がある[3]。これはジョイスティックを用いて、画面上の円形の物体をT字路に沿って動かすように指示し、物体の反応の主体を自己に帰属するかどうかの判断をさせ、そのときの被験者の脳内活動を fMRI によって計測するものである。さらに、物体のジョイスティックに対する応答性を試行ごとにランダムに変化させる工夫を行っている。この実験からは物体の運動が他人の意図の影響下にあると感じられる場合(他者帰属)には両側頭葉下部、各回が賦活され、自己の意図の影響下にあると感じられる場合(自己帰属)には、両側頭葉皮質前部が賦活されるということが示された。ほかにも、fMRI を用いた同様の実験は行われており、自己帰属条件が弱まるほど、右頭頂葉下部の賦活が強くなり、逆に、自己帰属条件が強まるほど右島皮質後部の賦活が強まることが示されている[4]。

#### 2.3 forward model について

る行為を行うとき、脳の中では内部モデル(inner model)が働く。内部モデルとは、周りの環境をモデルという形で脳の中の神経回路網の中に記憶させているものであり、順モデル(forward model)と逆モデル(Inverse Model)の二つに区別される。forward

model とはある運動指令(Motor Command)が出されたときに、そのコピーをインプットとし、その結果の予測をアウトプットとするものであり、Inverse Model は逆に目標の状態をインプットとし、必要とされる運動の推定をアウトプットとする。行為の主体を判断するためにはこの forward model が使われていると考えられている[5]。自他帰属の判別機構は forward model であるということである。

図 1 の詳細について説明する[1]。運動指令が運動系(motor system)にはいると同時に、運動指令のコピーである遠心性コピー(efference copy)が Forward Dynamic Model に入力される。そこで、運動指令が実行された場合の次の状態(new state)が予測され、それが目的状態と比較される。次に Forward Output Model によって、運動指令による感覚的な結果を予測して、随伴反射(corollary discharge)の形となり、感覚系(sensory system)から得られた実際の感覚フィードバック(actual sensory feedback)と比較される。この比較は、運動指令による感覚的な効果をキャンセルするために使われる。自分で自分をくすぐるとくすぐったくないが、他人による刺激であるとかくすぐったいのは、これによって説明される。このキャンセル機能により、自分の行った行為を自己に帰属することができる。しかし、ある実験環境ではこの予測システムを利用することにより、行為の主体判断を狂わせることができる。具体的には、「実際のその行為の主体は自己であるにもかかわらず、他人に主体を感じる場合」と「実際のその行為の主体は他人にも関わらず、自己に主体を感じる」場合である。たとえば先ほどのジョイスティックを使い行為の主体感を狂わせる実験は後者の、つまり、他人の行為を自分だと判断してしまうような実験系の例といえる。

これらの主体判断の狂いは以下のように説明することができる。前者の場合なら「自己」が行為を起こしたときに予測したフィードバックと一致するような実際の感覚フィードバックを「他人」が作り出されると、随伴反射と実際の感覚フィードバックにずれが生じないので、実際には他人がやった行為であるにもかかわらず、あたかも自己の行為だと認識してしまうと考えられる。後者の場合なら「自己」が行為を起こしたときに、何らかの方法で予測とは違うように外部から変化を加えると、その変化が起こることを自己が知らなければ、随伴反射と実際のフィードバックにずれが生じるので、他人の行為だと錯覚してしまうといえる。

上記のように、行為の自他帰属の判断に狂いが生じるのは、その狂いを起こすことを目的とした実験においては起こりえるが、通常状況ではある行為の主体判断を正しく行うことができる。しかし、その判断を正しく行えない、つまり、自他帰属性が失われている人たちが存在する。統合失調症(schizophrenia)の中の自我障害を持っている人たちである。

### 3. 統合失調症

#### 3.1 統合失調症の症例

統合失調症は脳をはじめとする神経系の病気であり、妄想や幻覚、思考貧困などの多彩な症状を示す精神疾患の一つである。発病率は全人口の約 1%といわれており、珍しい病気ではない。その症状は様々であるが、大きく分けて陽性症状と陰性症状の二つに区別できる。陽性症状にはシュナイダーの第一級症状、幻覚、妄想、緊張病症状、自閉症状などがある。シュナイダーの第一級症状とは「考想化声」、「問答形式の幻声」、「自己の行為に随伴して口出しする形の幻声」、「身体への影響体験」、「考想奪取やその他の思考領域での影響体験」、「考

想伝播」、「妄想知覚」、「感情、衝動ないし意思の領域に出現するその他の作為体験・影響体験」のことをさす[6]。一方、陰性症状には、感情鈍磨、思考貧困、意欲や自発性の欠如、無快楽性などが含まれる。

#### 3.2 統合失調症と自他帰属性の関連

統合失調症の陽性症状の一部は従来の精神医学における自我障害であると考えられている。例えば、シュナイダーの第一級症状に含まれる「考想伝播」は思考そのもの、患者の内心そのものが直接に無媒介的に周りの世界に広がり伝わると感じられるものであり、患者の体験に即して記述すれば「考えることが自分ひとりのものではなく、他人がそれに関与している。それどころか、全世界がそれを知っている」ということである。この「考想伝播」や「作為体験」などの自我障害は、sense of agency という枠組みを使うことにより、自他帰属性の障害として捉えなおすことができる。「作為体験」は自己の身体運動が起こるときにそれが自らの意思によるものなのか、それとも他の意思作用によるものなのかについての判別における誤帰属(mis-attribution)と説明することができる。このように、統合失調症と自他帰属性との関連が深いことから、自他帰属性のメカニズムを解明するにあたり、統合失調症の自他帰属異常を研究することは有効であると思われる。最近では、実際に統合失調症の患者に対する実験も行われている。例えば Frank らが行った実験[7]では、被験者にジョイスティックを操作するというタスクを与える。コンピューター画面上にはジョイスティックを持った被験者たちが映っているのだが、試行ごとにランダムで応答に遅延があったり、運動の角度にずれがあったりする。この実験は統合失調症の患者にも健常者にも同様に行われたのだが、結果として、前者のほうが後者よりも時間遅れや角度のずれに気づきづらい傾向が見られた。

また、正しい行為の主体帰属ができなくなっている人たちの中には頭頂葉が縮んでいる症例が報告されている[8]。くわえて、作為体験があるような患者に対する実験により、右頭頂葉下部と角回が作為体験時に過活性したり[9]、右頭頂葉下部が安静時にも過活性したり[10]することが示されている。

これらのことより、頭頂葉が自他帰属性において、重要な役割を果たしていることが考えられ、頭頂葉が支配している「体性感覚」に変化を引き起こしたときの自他帰属性の変化を確認することは意味のある行為だと考えられる。

## 4. 実験

本研究では、触覚呈示デバイス PHANToM (Fig. 2)を用いて、仮想空間上の落下する物体に対して自他帰属性を持つかどうかを実験によって確かめる。



Fig. 2 PHANToM (SensAble Technologies, Inc)

#### 4.1 被験者

8人の健全な大学院生である。被験者には実験後にインフォームドコンセントをとっている。

#### 4.2 アプリケーション

ディスプレイ上におけるアプリケーションの基本的なインターフェースを Fig. 3 に示す。仮想空間上には三種類の物体を用意した。

##### Cursor

仮想空間上に存在する緑色の円錐型オブジェクトであり、実空間の指の動きに対応して動く。Cursor が仮想空間上の物体に触れると、PHANToM を通して指にその触覚が伝わってくる。

##### Box

仮想空間上に存在する、黒色の立方体型のオブジェクトであり。この物体の動き(下方向への等速運動)に対して自他判断をおこなってもらう。また、指を動かすための合図の役割も果たしており、赤く色が変わる。

##### Start

仮想空間上に存在する、水平面に平行である透明な平面型のオブジェクトである。位置は Box の上にある。基本的に被験者は Cursor を Start の下面に接しておくように求められる。

これらの仮想空間上の物体と触覚呈示デバイスを用いて、被験者実験を行う。また、本実験は Practice, Test の二つのパートに分けられている。各パートはそれぞれ task 数とアクションのパターンに違いがある。アクションのパターンに関しては後述する。

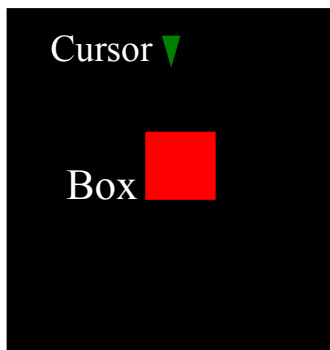


Fig. 3 Cursor and Box in this Experiment. Start is invisible but it is above Box.

#### 4.3 実験手順

被験者は、腕の位置が快適になるようにいすの高さを調節し、その顔の高さと腕の位置をできるだけ保持する。また、周りの音が聞こえないようにヘッドホンを装着し、外部からの視覚的な刺激を避けるために暗い部屋で行われた。

被験者にはまず PHANToM に関する説明を十分に行う。その後、自由に動かす時間を被験者に与え、取り扱いに慣れさせる。

次に、仮想空間について被験者に説明する。Box を「非常にバランスの不安定なもので、すこし触ったりあるいは衝撃があつたりするだけでも落ちてしまう仮想空間内にある物体」、Start を「タスク中において基本的に指を保持しておくための

物体」と教える。実験の手順は以下のようになっている。被験者は cursor を Start に接するように求められる。このとき十分にその位置を確認する(図 4)。準備ができたなら、被験者はキーボードの H キーを押す。Cursor が消え、ランダム時間後に Box が赤くなる(図 5)。それを合図として、Start から指を動かし、Box を動かす(図 6)。被験者はその動く様子を見て、自分が起こした行為かそれとは違うかを判断し、前者ならば S キー、後者ならば O キーを押す。この一連のタスクをここでは stage と定義する。被験者は stage を決まった回数だけ繰り返す。

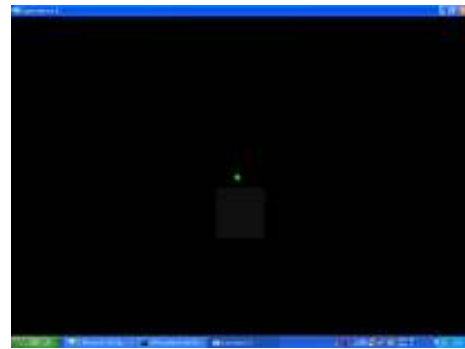


Fig. 4 Subjects push “H” on the keyboard after putting Cursor on the bottom of Start.



Fig. 5 Color of Box change after pushing “H”. This change is a cue for subjects to control Cursor (which has cleared already) and move Box.

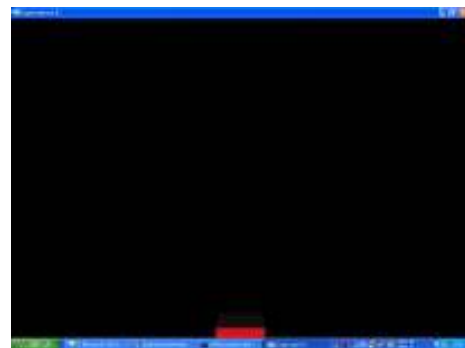


Fig. 6 Moving Box. Subjects attribute the result to self or others that are in the virtual world. When subjects attribute to self, they push “S” on the keyboard and when subjects attribute to others, they push “O”.

#### 4.4 実験要因



今回の実験における要因の種類は二つである。一つの要因は Box を押した後に時間遅れがあるかどうか、もう一つの要因は、Box に触覚があるかどうかである。

これら二つの要因の組み合わせである 4 種類のアクションのパターン A1, A2, A3, A4 を含む。アクションのパターンによるフィードバックの違いは表 1 にまとめられる。また、パートごとに出現するアクションのパターンの種類については表 2 にまとめられている。

Table. 1 Action pattern in this experiment

		Box落下時間遅れ	
		なし	あり
Box触覚	あり	A1	A3
	なし	A2	A4

Table. 2 Differences about the number and kinds of tasks between Practice part and Test part

パート	出現するパターン	回数
Practice	A1	100
Test	A1, A2, A3, A4	200 (50 x 4)

#### 4.5 結果

結果図 7 のようになった。横軸に時間、縦軸に全被験者の自己帰属割合の平均をとる。□は触覚刺激ありを意味し、○は触覚刺激なしを意味する。表はこのデータを Box 触覚有無 × 視覚遅れ有無に対して二要因分散分析を被験者内で行った分散分析表である。Box 触覚有無に対しても、視覚遅れ有無に対しても有意な主効果が見られた ( $F(1,7) = 52.88, p < .001$ ;  $F(1,7) = 20.14, p < .005$ )。また、Box 触覚有無と視覚遅れ有無の間の交互作用に関して有意な主効果が見られた ( $F(1,7) = 10.48, p < .05$ )。ここで、Box 触覚有無と視覚遅れ有無の間の交互作用に関して下位検定で単純主効果の検定を行った。視覚遅れの単純主効果は触覚があっても、なくても有意差が見られた ( $F(1,14) = 16.25, p < .005$ ;  $F(1,14) = 60.82, p < .001$ )。Box 触覚の単純主効果は時間差があるときのみ有意差が見られた ( $F(1,14) = 28.83, p < .001$ )。

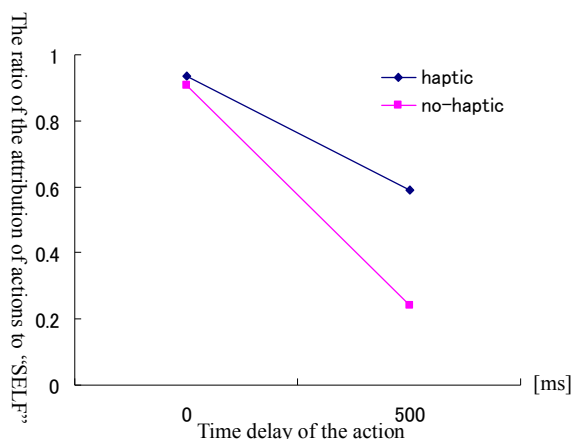


Fig. 7 the result of this experiment.

#### 4.6 考察

結果より、Box の触覚がなくなったときにも、時間遅れがあるときには、自己帰属に影響が出ることが示唆された。Forward

Model を適応させて考えるのであれば、行為の「目的」による感覚的な結果（この場合であるなら Box が下に落ちていく視覚による感覚フィードバック）のみを予想しているのではなく、その過程で起こる Box の触覚のような行為の「手段」による感覚的な結果も考慮に入れていることが考えられる。また、「目的」による感覚的な結果と「手段」による感覚的な結果のどちらの影響をより強く受けるかは、図 7 より、時間遅れがなければ、触覚刺激の有無に問わずその自己判断はほとんど変わらないこと、つまり、Box 触覚の単純主効果は時間差がないときには有意な差が見られないことから、目的による感覚的な結果の影響を強く受ける可能性があるといえる。

## 5 総括

本研究では、体性感覚のうちの触覚の有無が自己帰属性に与える影響を実験によって確かめた。その結果、行為の結果の時間遅れが無い場合は影響はないが、遅れがある場合は、自己帰属性に影響があることが分かった。

今後は、体性感覚のうちの深部感覚に影響を与えたときの自己帰属性の変化を実験によって確かめていく。また、本研究の実験を更に精緻化し、その実験結果より自己帰属性のメカニズムを構築する。

#### 謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費特定領域「身体、脳、環境の相互作用による適応的運動機能の実現—移動知の構成論的理解—」によって行われた。ここに感謝の意を表する。

## 文 献

- [1] Blakemore, S.J, Oakley, D.A, and Frith, C.D., Delusions of alien control in the normal brain. , *Journal of Motor Behaviour*, Vol. 25, No.3 (2003), pp. 203-216.
- [2] Jeannerod, M, Farrer, C. and Frank, N. et al., Action recognition in normal and schizophrenic subjects. In Tilo Kircher and Anthony David, editors, *The self in Neuroscientific and Psychiatry*, Cambridge University Press, New York(2003), pp. 380-406
- [3] C.Farrer and C.D.Frith. Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action : the neural correlates of the experience of agency. , *Neuroimage*, Vol. 15(2002), pp. 596-603
- [4] C.Farrer, N.Frank, N.Georgieff, C.D.Frith, J.Decety, and M.Jennerod. Modulating the experience of agency: a position emission tomography study. *NeuroImage*, Vol. 18(2003), pp.324-333
- [5] Miall, R.C. Weir, D.J. Wolpert, D.M. and Stein, J.F., Is the cerebellum a smith predictor? *Journal of Motor Behavior*, Vol. 25, No. 3(1993), pp. 203-216
- [6] Schneider, K. *Clinical Psychopathology*. New York: Grune and Stratton. 1959
- [7] Frank, N. Farrer, C. and Georgieff, N. et al, Defective recognition of one's own actions in patients with schizophrenia. *Am J psychiatry*, Vol. 158(2001), pp. 454-459
- [8] Martha E. Shenton, Chandlee C. Dickey, Melissa Frumin and Robert W. McCarley. A review of MRI findings in schizophrenia. *Scizophrenia Research*, Vol. 49(2001), pp. 1-52
- [9] Spence, S.A. Brooks, D.J. Hirch, S.R. et al., A PET study of voluntary movement in schizophrenic patients experiencing passivity phenomena (delusion of alien control). *Brain*, Vol.120, No. 11(1997), pp.1997-2011
- [10] Frank, N. O'Leary, D.S. Flatium, M. et al., Cerebral blood flow changes associated with Schneiderian first-rank symptoms in schizophrenia. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*, Vol.14(2002), pp.277-282