

身体拡張に関わるメカニズムの検討

—受動的／能動的刺激入力による差異、および、ミラーシステムとの関連性—

上 田 祥 代*

Mechanisms of extended body phenomena:

the differences between passive and active inputs, and relation to mirror system

UEDA Sachiyo

abstract

Our recognition of our own body can be extended to out of the body area. For example, watching a rubber hand being stroked, while one's own unseen hand is synchronously stroked, may cause the rubber hand to be attributed to one's own body (rubber hand illusion: RHI). Visuo-tactile correlation drive the illusion as a necessary, but sufficient. The correspondences of the rubber hands' posture and appearance with body-schema are also necessary conditions. On the other hand, in active behavior, those conditions are not necessary. It is sufficient for recognizing extended body that visual feedback was a predictable consequence of movement. In addition, it is reported that mirror system and empathy are related to extended body phenomena. Thus, take into consideration above, this article proposes the model about extended body mechanisms, then consider the future research.

Key words : Extended body, self recognition, Multi-modality integration, Mirror-System, empathy

1. はじめに

自分の身体とは何か、と問われると、我々は当たり前のように自己身体を認識することができる。通常それは、物理的な身体と同義と考えられる。そしてその物理的身体は、視覚、聴覚、体性感覚等の感覚入力から、身体図式 (Head & Holms, 1911) として頭の中に保持され、身体認識の基礎を担っている。「身体図式」は外界に自らはたらきかける際に、適切な行動をするための無意識的な基盤という意味で用いられることもある。これに対して、通常自分の身体を想像するときに描かれる、より意識的な身体に関する知識は「身体イメージ」と呼ばれる。

しかし近年、そのような物理的な制約を超えて、外界の対象を自分の身体として認識する例が報告され、その成立要因や脳内での活動、さらに応用技術について多くの検討がなされてきている。物理的な自己身体外の対象を自分の身体と認識するメカニズムを明らかにすることで、翻って、自己認識に関する示唆や、身体認識に関わる疾患の治療に役立つ知見が得られることが期待される。また、近年発展がめざましい仮想現実の分野でも、仮想現実環境内の対象を自分とみなす感覚が生じることも報告されており、観察者にとって臨場感、あるいはテレプレゼンスといった感覚が強くなるような技術の開発への応用にもつながるものと考えられる。

キーワード：身体拡張、自己認識、多感覚統合、ミラーシステム、共感

*平成22年度生 人間発達科学専攻

そこで、本論文では、「外界の対象を自分の身体として認識すること」を「身体拡張」と呼び、身体拡張に関する心理学的、神経科学的研究の知見を概観する。そして、受動的、能動的な刺激入力による身体拡張成立条件の違いや、ミラーシステム、および共感との関連性から、どのようなメカニズムが寄与していると考えられるのかについて、モデルを提示する。また、近年では身体拡張が身体レベルを超え、他者に対する社会的概念や感情面に影響することも報告されている。このことは、身体拡張のメカニズムや、拡張された身体を知覚することで観察者の認知、感情、社会的コミュニケーションに対してどのような影響を与えるのかを考える上でも大変興味深い。よって、これらに関わる研究についてもふまえた上で、今後の身体拡張研究の展望を考えていきたい。

2. 拡張される身体の認識

自分の身体を認識するとはどういうことだろうか。主観的な感覚としては大きく、自己所有感 (ownership) と運動主体感 (agency) が挙げられる (Jeannerod, 2003)。前者は、身体が自己に帰属するという感覚であり、例えば「その手は私のものだ」という表現で表される。この感覚は視覚、触覚、自己受容感覚の一致によってもたらされるものと考えられる。後者は観察される運動が自分によって引き起こされているという感覚であり、例えば「その手を動かしているのは私だ」という表現によって表される。この感覚は視覚と自己受容感覚の一連の関係性によって生じると考えられる。両者とも、普段私たちが自己身体に対して自然と抱いている感覚である。

以下では、「外界の対象を自分の身体として認識する現象」(これを「身体拡張」と呼ぶ)を扱うが、自己所有感や運動主体感の有無が、身体拡張が成立していることを定義づける1つの指標となる。これに加え、いくつかの客観的指標も無意識的な身体の認識の変化を測定することを可能にする。多角的な指標を用いることで、自己身体認識のメカニズムに関する有用な知見を得ることができるとも言える。

2-1 受動的に与えられる視触覚刺激の同期

2-1-1 ラバーハンドイリュージョン (RHI)

身体拡張を成立させるための条件として、視覚刺激と触覚刺激が時空間的に同期して与えられることが必要であることが示されている。これは、ラバーハンドイリュージョン (RHI) と呼ばれる現象を用いて、盛んに検討されてきた (Botvinick & Cohen, 1998; Armel & Ramachandran, 2003; Takiris & Haggard, 2005; Bertamini et al, 2011)。RHIとは、Botvinick & Cohen (1998) によって最初に報告されたもので、ラバーハンド (ゴム製の義手) と自分の手を並べて置き、衝立によって自分の手は隠されラバーハンドだけが見える状態のときに、両方の手が同期してブラシでなでられ続ける (約30分間) ことで、自分の手がなでられている感触がラバーハンドから感じられるようになるというものである。これは、ラバーハンド (視覚刺激) がなでられるリズムと自分の手 (触覚刺激) がなでられるリズムが同期していなければならず、両者が非同期の場合やまったく別の位置に与えられるときには生じない。

2-1-2 RHIの測度

このようなRHIの成立は質問紙による内観報告 (Botvinick & Cohen, 1998) に加え、自分の手の位置を答えるという客観的指標によって測定される (Takiris & Haggard, 2005; Dursin et al., 2007; Kammers et al., 2009; Bertamini et al., 2011)。これは、自分の手の位置が、視触覚刺激が与えられる前よりもラバーハンドに近い位置に知覚されたときに、RHIが生じているとする。また、ラバーハンドの指をそり返させた場合に、発汗による電気抵抗値 (SCR) が生じるかを測定するという研究もある (Armel & Ramachandran, 2003; Honma et al., 2009)。一方、知覚判断ではRHIが生じていても、行動的な課題には影響がない、つまりRHIが生じているとは言えないという例も報告されている (Kammers et al., 2009)。知覚的には自分の手の位置の錯覚が起きていても、片方の手に向かってもう一方の手を弾道運動させるという課題においては正しい位置に腕を動かすことができるのである。これは、目的によって情報の処理のされ方が異なるという先行研究と一致するものであり、RHIはあくまで知覚的な判断においてのみ表れるのか、どのようなレベルでのメカニズムが関与しているのかということを考える上でも興味深い。いずれにしても、自己身体の認識において何を測度とするかということ是非

常に重要である。

2-1-3 RHIの成立におけるトップダウン的情報の役割

上記の研究など、RHIの成立に視触覚刺激の同期が必要条件であることは多くの研究で示されているが、十分条件であるかということについても議論がなされている。Armel & Ramachandran (2003)の研究では、視触覚の同期した刺激を与えることで、実際の身体図式とは一致しない2mのラバーハンドや、机などに対してまでもSCRが生じた。このことは、自己身体としての認識は、視触覚の一致というボトムアップ情報のベイズ的な知覚学習が必要ではあるが、実際とは異なる身体図式や、ニュートラルなオブジェクトまでを柔軟に組み入れる可能性のあること示唆するものである。つまり、外界の対象を自己身体に帰属するためには視触覚刺激の同期があれば十分であり、それがあれば身体とは機能的にも形態的にも類似しないオブジェクトまでも自己身体と見なすことができるという考え方が一方で成り立つ。

これに対し、脳内に保持されている身体図式などトップダウン的情報がRHIの成立に影響を及ぼし、それと矛盾する場合はRHIが生起しないという報告もある。Takiris & Haggard (2005)は、90°回転した角度でラバーハンドを置いた場合や、実際の手とラバーハンドの左右が異なる場合、及び木製スティックに対してはRHIが生じないことを示した。視触覚刺激が同期して与えられても、ラバーハンドの形態が実際の身体図式と矛盾する場合には、RHIは生じなかったのである。さらに、人差し指と薬指の両方に刺激を与えた場合、中指の位置錯覚が、非同期条件よりも同期条件で有意に大きくなった。RHIが単純に視触覚刺激の同期というボトムアップ処理のみに依存しているのであれば、RHIは局所的な対応関係にのみ表れると予想される。つまり、刺激されていない中指にRHIが生じたことは、実際の身体図式と照らし合わされることでRHIが成立することを示唆している。

他にも、鏡を用いた環境では、1)ラバーハンドを直接見る条件、2)鏡に映ったラバーハンドが自分の手のように置かれているのを見る条件(実際の身体図式と一致)、3)鏡条件の鏡像と全く同じ姿勢で他者が向かい合って座る条件、4)鏡条件のラバーハンドが木製スティックに替えられた条件において、1)と2)のみが同様のRHIを示した(Bertamini et al, 2011)。これは、鏡に映ったラバーハンドや向かい合う他人の手は自分の手とは異なる向きを示すが、その手が自分の手だという認識が生じる場合には、RHIが成立することが示唆される。

2-1-4 視触覚の同期刺激を伴わない場合のラバーハンドの効果

通常のRHIのように視触覚の同期刺激が与えられるわけではなく、見かけが類似したラバーハンドをただ置いただけの場合でも、ラバーハンドに与えられる視覚刺激が触覚に影響を及ぼす場合がある。そしてこのときも、身体図式との一致という条件が必要であることが示されている。

Pvani, Spence, & Driver (2000)は、身体近傍の視覚妨害刺激が触覚弁別に影響を与えるという現象を用い(=視触覚干渉課題 ※解説1参照)、ラバーハンドの向きの効果を調べた。ラバーハンドが実際の身体図式と一致する向きに置かれた条件と、90°回転し置かれた条件で、ラバーハンド付近に呈示された視覚刺激が触覚刺激を妨害する効果を測定した結果、ラバーハンドと実際の身体図式が一致するときのみ視覚刺激の妨害効果が得られた。Mravita et al. (2002)も同じく視触覚干渉課題を用い、鏡に映る手の付近に呈示された視覚刺激が触覚判断への妨害効果を示すことを報告した。距離的に同じ位置に見える視覚刺激でも正方形のオブジェクト付近に呈示された視覚刺激によっては触覚判断が妨害されないことから、鏡像のように自己身体と同じ形態が重要であることが示唆される。

さらに、視覚刺激のみからRHIが生じるという報告もある。Durgin et al. (2007)が行った220人の被験者を対象にした実験では、ラバーハンドにレーザー光を当てられるのを観察するだけで、66%の被験者が光の当てられた部分に触覚刺激を感じた。また、触覚刺激を感じた被験者は自分の手の位置をラバーハンドに近い方向に知覚していた。Homma et al. (2009)は鏡を用いて自分の手とラバーハンドが同じ位置にあるように知覚できる状況で、ラバーハンドの手にレーザー光を照射した。そして、自分の手の裏表(甲が上か、掌が上か)がラバーハンドと逆になる条件の場合に、レーザー光の当てられた指(例:人差し指)と手を逆向きにしたときに空間的に一致する指(例:薬指)の両方で、SCRの上昇が見られた。これらの研究は、触覚刺激自体に関しては情報

価値のない身体の視覚情報が、触覚感度を上昇させるという報告 (Kennett et al., 2001; Mirams et al, 2010) と共通するものと思われる。

2-1-5 RHIと仮想現実環境での自己身体認識

外界の対象に対して自分の身体位置がずれて認識されるためには、その対象の形態が「身体」と類似したものであることが必要であることは、仮想現実環境での実験でも示されている。

Lenggenhager et al. (2007) は、RHIの手続きを改変し、仮想現実環境上で自分の前方方向に見える、1) 自分の後ろ姿、2) 他人の後ろ姿、3) 直方体のオブジェクトのいずれかと、実際の自分の背中を同期して刺激したときに、自分の存在する位置の錯覚が生じるかを調べた (図1 参照)。結果、1) と2) において、非同期条件に比べ、同期して視触覚刺激が与えられたときに、自分の位置を有意に前方にずれて知覚した。3) では同期条件と非同期条件で差がなかった。自己所有感を問う質問紙でも、1) と2) では同期条件の方が非同期条件よりも得点が高かった。

この研究のもう1つの意義は、自己身体の全体像が自己意識 (self-consciousness) と切り離されて、体の外に知覚されうることを示したことである。別の研究でも、仮想現実環境上のマネキンに対して自己位置錯覚が生じた場合に、自分の身体への痛みの閾値が上昇することが示されており (Hänsel et al, 2011)、自分の身体が仮想現実環境の刺激の方向へ移動している感覚が生じることが示唆される。つまり、自分は「ここ」にしながら、「そこ」にある像を自己身体であると知覚する。一方、RHIでは自己意識と自己身体の全体像は一致しており、「ここ」にいる自分の延長として、身体外の対象を身体の一部としてみなす。通常、自己身体を見るときも腕などは視界の一部に入ってくるものであるから、ラバーハンドを見るときも視点としては変わらない。実際の身体図式と同じ、またはその延長として自己身体に組み入れられる現象がRHIと言える。自己身体と外界の対象についての、前者の「全体-全体」の関係と、RHIのような『全体-一部』の関係は、別の次元として捉える必要があるだろう。

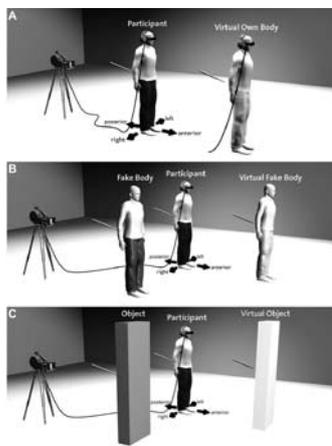


図1 Lenggenhager et al. (2007) の実験状況

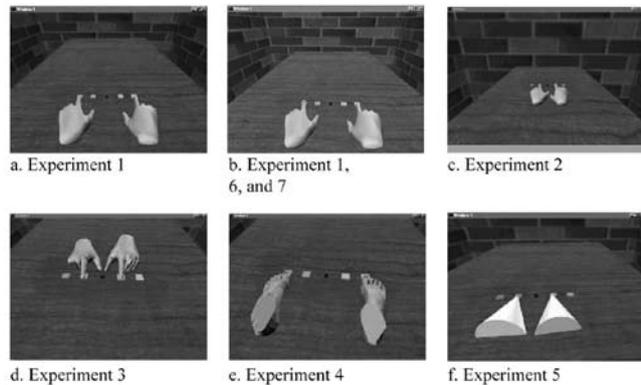


図2 Short & Ward (2009) の実験で仮想現実環境上に呈示された視覚刺激

2-2 能動的なアクションと視覚フィードバック

前節では、視覚刺激と触覚刺激の同期した入力が身体拡張の成立に及ぼす効果について概観したが、視触覚刺激は常に受動的に与えられるものであった。しかし、私たちは意図を持って身体を動かすことができ、その運動による体性感覚と視覚のフィードバックが与えられる。そのため、自分の意図と身体の関係は非常に重要となってくる。そこで本節では、能動的なアクションと身体拡張についての研究を概観し、身体拡張の成立要因について検討する。いくつかの報告から、運動命令が導き出す予測と、視覚フィードバックが一致する場合、受動的な視触覚刺激の入力の場合と異なり、実際の身体図式との一致や身体との形態的類似性が決定的要因とはならないことが示唆されている。

2-2-1 予測と視覚フィードバックの一致

Short & Ward (2009) は、自己身体のアクションに伴う視覚フィードバックを操作することのできる仮想現実環境での実験によって、身体拡張の成立に決定的となる要因を調べた (図2参照)。彼らがもとした研究は、Hari & Jousmaki (1996) が最初に報告したもので、自己身体と一致する位置にある光点は、光点が自己身体と隣接する位置にあるときよりも、検出が促進されるという現象を示したものである (※解説2参照)。つまり、自己身体上に位置する光点は、自己身体外 (外界) にある光点よりも速く検出されると言える。Short & Ward (2009) はこの光点の検出促進が生じるか否かを身体拡張成立の測度として用い、実験を行った。

Short & Ward (2009) の実験では、被験者はヘッドマウントディスプレイを装着し、仮想現実環境にある手を観察する。実際の手は前にある机の上に乗せられ、前述のHari & Jousmaki (1996) の課題を行う。実際の手動きは仮想現実環境の手動きに、時間的なずれはなく、反映される。実験の結果、仮想現実環境においてもHari & Jousmaki (1996) で得られた結果は繰り返され、それは、仮想現実環境上の手が実際の手身体図式と異なる場合 (手が前方の遠くに見える、鏡のように向かい合って配置) や、形態的類似性がない場合 (手ではなく足、円錐のオブジェクト) でも同様であった。しかし、同じ手の形をしていても実際の手動きと一致しない動きを見せる場合 (全く動かない、50%の確率で動く) には、反応時間の短縮は見られなかった。このことから、視覚刺激の処理の促進をもたらすためには、アクションの意図から予測される結果と視覚フィードバックとの一致が重要であり、身体図式の一致や身体との形態的類似性は必須条件ではないことが示された。さらに、仮想現実環境上の視覚刺激に対する自己所有感や運動主体感と、視覚刺激への反応時間の短縮率との相関を見たところ、両者の間には正の相関が見られ、運動結果の予測と視覚フィードバックとの一致は自己身体の主観的認識に関連することも示された。

身体図式の一致や身体との形態的類似性の影響がRHIとは異なった結果になったことは、RHIでは自己位置錯覚や触覚の反応を測度とするのに対し、Short & Ward (2009) の研究では視覚刺激に対する反応時間を測度としているという、測度の違いによるものとも考えられる。しかし、次に述べる影を用いた実験などで触覚の感度上昇を測度している場合にも同様に、形態の類似性が必須条件とはならなかった。

2-2-2 因果関係の学習による自己身体認識変化

形態が身体と類似していない外界のオブジェクトにおいても、自己身体と同様に多感覚の相互作用が生じるという報告は、「影」を用いた研究、あるいは、道具の能動的使用の研究でも見られる。そして、これらの研究に共通するのは、アクションとそれに伴う外界のオブジェクトの変化 (視覚フィードバック) という因果関係の学習過程を通して、そのオブジェクトに自己身体としての認識が拡張されるということである。

「自分の影」は、自分の動きと時空間的に一致する動きをし、かつ、自己身体との解剖学的な類似性があることから、自己身体認識において特別な役割を果たす外界のオブジェクトであると考えられる。Pavani & Castiello (2004) は、視覚触覚干渉課題を用い、自分の影の付近に呈示される光点が、触覚刺激の弁別判断に影響を与えることを示した。全く同じ光点が同じ位置に呈示されても、影が映されていない場合にはそのような干渉効果がないことから、自己身体と同様に、影の存在が光点による触覚判断への干渉効果が生じさせたことを示唆する。Galfano & Pavani (2005) は、空間的注意に関するPosnerのパラダイム (Posner & Cohen, 1984) を改変し、手の影を事前に呈示することで、その手に対する注意が後続の触覚弁別判断に影響するかを調べた。結果、左右どちらかの手の影を1750ms前に呈示し、その後、人差し指と親指のいずれに触覚刺激が与えられたかを答えさせるとき、予め影は無関係なことが教示され、かつ、比較的長いブランクがあるにも関わらず、影が映された手の触覚弁別判断時間は促進された。身体への注意が自己身体の触覚の鋭敏性を向上させることが報告されているが (Kennett et al., 2001)、同様に、影への注意が触覚の鋭敏性を向上させることが示されたのである。さらに、Pavani & Galfano (2007) は、影の示す空間領域付近に呈示される視覚刺激 (光点) に対する処理が促進されるのか、それとも、影が示す身体部位の触覚刺激感度が向上するのかを調べた。結果、実際の手やその影付近に呈示される光点への反応に対しては、影による促進効果は見られず、影が投影される側の手の触覚刺激判断のみに反応時間促進がみられた。このことは、手の影はその領域に対して視覚的注意を引きつけるというよりも、影が示す身体部位に対しての注意を高めること、そしてそれは触覚に対して選択的な促進効果を見せ

ることを示唆する。また、Pavani & Galfano (2007) の研究では、形態的に手と類似しない影であっても、手の動きとの因果関係を学習することによって、徐々に影の効果が見られるようになることも示された。逆に、手と同じ形をした影でも、単に写真の影を呈示したもので手の動きとの因果関係が全くない場合には、最初は見られた影の効果が次第に減少する。

道具の能動的使用によっても、身体範囲は拡張される。Maravita et al. (2002) は視触覚干渉課題を用い、道具の能動的使用による変化を調べた。ゴルフクラブ状の道具の先端に呈示される視覚刺激は身体から離れているため、最初は妨害効果が見られなかったが、道具を腕と平行にしたり、交差させたりする動作を繰り返し行うことで、道具の先端に呈示される視覚刺激が触覚判断を妨害するようになることが示された。道具の使用によって身体範囲が道具の先端にまで拡張されることは、マカクザルの感覚性両ニューロン (bimodal neuron) の反応を計測することによっても示されている (Iriki et al., 1998; Obayashi et al., 2000)。感覚性両ニューロンとはマカクザルの頭頂葉に存在するもので、身体に関する視覚と体性感覚の両方に反応する、つまり、身体のある部分を見たときとその部分に刺激が与えられたときの両方に反応するニューロンである。この反応も道具の使用を学習した結果生じるものであることが示されている。

3. 身体拡張とミラーシステム、共感性との関わり

身体拡張はこれまで、視触覚の同期した刺激入力や、能動的なアクションと視覚フィードバックの一致など、多感覚の情報の統合という観点から検討されることが多かった。

しかし、上記で述べたRHIの成立における身体図式との一致の重要性や、視覚優位の現象は、それだけではない身体拡張のメカニズムを示唆する。すなわち、それらは脳内に形成され保持されている身体図式を元に、対応した部位の視覚-触覚の自動的活性化が生じるという過程が、RHIに関わっていることを示すものではないかと考えられる。筆者は、RHIの成立には、「受動的に与えられる視触覚刺激の同期が分析されることによって、自己所有感覚の更新が行われる過程」と、「身体図式に照らし合わせ、視覚刺激が対応する部位の触覚刺激の自動的活性化を生じさせる過程」の両方が含まれているのではないかと考える。後者の過程はミラーシステムが関与する過程である。実際の身体図式とラバーハンドが一致した場合や形態が類似している場合には、前者と後者の二重の効果によってRHIが生じやすくなる。だが、身体図式と一致しないラバーハンドやニュートラルなオブジェクトの場合は、後者が生じにくい（ミラーシステムは既に存在する回路において最も大きく活性化される）、RHIの生起はしにくくなる。このことを以下にモデル図で示す（図3）。

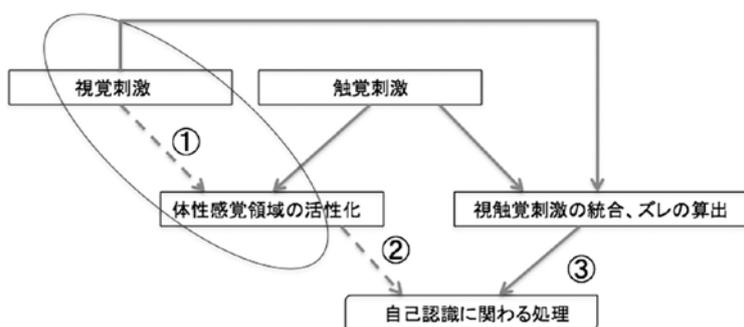


図3 身体拡張メカニズムについてのモデル

①はミラーシステムを示しており、視覚刺激が身体、特に自分の身体と類似する場合に活性化される経路である。ミラーシステムは視覚刺激と体性感覚の活性化の相関関係によって形成されたものならば、自分の身体やそれに類似する形態の視覚刺激を見たとき、既存の体性感覚は最も活性化される。そして、その活性化がきわめて大きいとき②に、自己身体の実感が生じると考えられる。同時に、視覚刺激と触覚刺激の時空間的ずれの算出を経て、ずれが検出されなかった場合③も、自己身体の実感が生じる。視覚刺激が身体図式と一致しない場合や、形態的類似性がない場合には①②は生じず、③のみからでは自己身体の実感は生じにくくなる。

能動的アクションの場合、アクションと視覚刺激との因果関係が学習されることによって、身体図式や身体との形態的類似性は身体拡張成立の必須条件ではなくなる。これは、楕円で示した部分を学習によって形成するからではないかと考える。すなわち、アクションと視覚刺激との因果関係が築かれることによってミラーシステムと同様のつながりを学習し、身体との類似性がなくても①が活性化されることによるものではないかと考える。

ミラーニューロンとは、マカクザルにおいて最初に発見されたもので、他のサルや人が行動するところを見るだけで、自分が行動するときと同じニューロンが活性化されるというものである。人間でも同様のミラーシステムが報告されており (Keysers et al., 2004; Wenderoth et al., 2006; Gazzola et al., 2007)、例えば、他者が目標志向の行動をするところを観察するときと自分が目標志向行動をするときで、同じ脳部位が活性化される、あるいは、他者の感情的な表情を見た時に、同様の感情に関連する部位が自動的に活性化されるということが観察される。

また、このような自動的シミュレーションをもたらすミラーシステムは、共感の基礎となるものであると考えられている。ということは、ミラーシステムが身体拡張に関わっているとすれば、身体拡張と共感性の間にも関連性があるのではないかと予測できる。このような研究はまだ多くは行われていないが、RHIの生起のしやすさと共感傾向の個人差との相関を示した研究が最近報告された。Asai et al. (2011) は、共感と統合失調傾向を測る尺度を用い、その得点とRHIの生起度合いとの相関を検討した。結果、共感と統合失調傾向はともに、RHIの生起のしやすさと正の相関を示した。Asai et al. (2011) は、統合失調症患者は多感覚の統合に問題があるにも関わらず、統合失調傾向が上記の結果を示したことから、RHIを多感覚の統合の観点からのみ説明することの限界も指摘している。さらに意外にも、共感性の下位カテゴリである認知的な共感性はRHIとの相関を示さず、感情的な共感性を示す尺度との相関が見られた。Asai et al. (2011) は、痛みの共感 (Singer et al., 2004) やミラー共感の強さ (Banissy & Ward, 2007) にもこの感情的共感性との相関があったことから、感情的共感性は共有された自他間の表象に依存するものではないかと説明している。

4. 身体認識を超えたレベルでの視触覚同期刺激の影響

最近では、身体拡張を引き起こす手続きを用いることで、単純な身体知覚レベルを超えた自他境界の希薄化をもたらすということも報告されている。Takiris (2008) は、自分と他者の顔のモーフィング画像を用い、自分の顔とビデオに映る顔 (モーフィング画像) について、同期/非同期のタイミングで頬をなでる条件を設定した。その結果、同期条件の方が非同期条件よりも、モーフィング画像を自分顔と判断するようになった (より他人顔の割合が多い場合でも、自分の顔であると判断する)。

Paladio et al. (2010) は、Takiris (2008) と同様の方法を用い、他者に対する身体知覚 (身体感覚の自他同一化、顔の類似度)、社会的知覚 (内的特性の自他同一化度、近接性、魅力度)、一致行動 (他者が行ったと示される行動と同様の行動を、被験者が行う) を測定した。結果、ほとんど全てにおいて、同期条件の方が非同期条件よりも自他の境界の希薄化を示す結果となった。これらは、同期した視触覚刺激の入力が、高次の知覚や感情、社会的概念にまで影響を及ぼすことを示している。

5. 身体拡張に関わる脳活動

身体拡張が生じているとき、あるいは、自己の身体を認識するときの脳内の活動を計測することで、それらに関わる領域が推定されている。Ehrsson et al. (2004) は、fMRIを用いてRHIが生じている間の脳活動を計測した。結果、RHIの成立時には、運動前野、頭頂間溝、小脳のはたらきが活発になることが示された。特に、運動前野はラバーハンドに対する自己所有感に、頭頂葉や小脳では多感覚の統合に寄与していることが示唆され、身体中心の参照フレームにおける多感覚の統合が自己帰属メカニズムの基礎となっていると彼らは主張する。嶋田 & 開 (2005) は、自己身体認識における視覚と体性感覚の時間的一致が重要であることから、両者の整合性を操作した場合の脳活動を計測した。彼らは、被験者の腕を受動的に動かしている画像を本人に見せ、その間の時間的遅れをいくつかの段階に分けた。そして、それぞれの条件での頭頂葉の活動を近赤外線分光法 (NIRS) によ

て計測した。結果、被験者が自分の腕と画像の間の遅延幅が小さいと判定した条件では左右の上頭頂葉が、遅延幅が大きいと判定した条件では下頭頂葉が強く活動した。また、右下頭頂葉や右上側頭溝 (STS) は、自己運動に対する視覚フィードバックが時間的、空間的にずれていたときなど、他者についての情報を感知したときに活動することが報告されている (Farrer, et al., 2003; Leube, et al., 2003)。これらのことから、頭頂葉での視覚、体性感覚の統合は自己認識、自他の区別に重要であることが窺われる。

6. 身体拡張研究の今後の展望

本論文は、身体拡張に関する研究を概観し、受動的な視覚刺激の同期した入力や、能動的アクションと視覚フィードバックの一致、および、ミラーシステムが自己身体認識にどのように関わるのかについて検討し、身体拡張のメカニズムについてのモデルを呈示した。さらに、身体拡張と共感性との関連性、概念的なレベルに及ぶ影響を示唆する研究から、身体拡張研究の広がり可能性が見えてきた。

特に、能動的アクションと視覚刺激との間の因果関係がミラーシステムの形成に関わっていたり、あるいは、因果関係の学習によってミラーシステムと同様のシステムが形成されたりするならば、能動的アクションによる身体拡張と共感性にはより大きい関係があることも考えうる。実際、好感度の高い他者とはより同調行動が多く見られる、あるいは逆に、同調行動を多くすることによって他者に対する好感度が高くなるという研究もある。このような関係性が身体拡張の生じているオブジェクト等に関しても生じるかということも興味深い。

医療現場などで用いられる仮想現実技術の発達と身体拡張研究の知見の利用によって、我々が拡張身体を操作し、拡張身体を通して環境や他者と関わるのが身近な問題となりつつある。身体拡張研究は自己身体認識のメカニズムの解明だけでなく、このような応用分野で非常に重要となってくると考えられる。そのため、その成立メカニズムに加え、拡張された身体を通じたアクションによって私たちがどのような認知的、感情的経験をするのか、影響を受けるのかについて、多角面からの検討が必要になってくるものと思われる。

※解説1 視覚干渉課題

両手の親指を下、人差し指を上にした状態で、その4つの指のいずれかに触覚刺激が与えられる。被験者の課題はなるべく早く、正確に、人差し指と親指のどちらに触覚刺激が与えられたかを答えることである。反応は主に足踏みペダルで行われることが多い (人差し指=つま先、親指=かかと)。このとき、異なる指 (親指に対して人差し指、またはその逆) に視覚刺激が与えられた場合、触覚刺激の弁別判断は妨害され、反応時間の超過やエラーの増加が見られる。また、この妨害効果は視覚刺激と触覚刺激が同じ側の手に与えられた場合の方が大きい。例えば、右手の人差し指の触覚刺激判断は、右手の親指に視覚刺激を与えられたときに妨害され、その妨害効果は左手の親指に視覚刺激を与えられたときより大きい。このような視覚の干渉は、視覚刺激が身体から離れた場所に呈示される時には生じないこと (e.g., Maravita et al., 2002)、手を交差したときには空間的には正中線より左にある視覚刺激が右手の触覚弁別判断に大きい妨害効果を及ぼす (Spence et al., 1998) ことから、単に空間的な注意の定位が原因ではなく、身体近傍に特有に見られる現象と考えられる。よって、この視覚干渉課題を用いることで、視覚刺激が呈示された領域が自己身体として認識されているかの客観的指標を得ることができる。

※解説2 Hari & Jousmaki (1996) の実験

基本的な手順は以下の通りである。横一列に整列する4つの正方形のパッチの内側の組 (中央の2つ)、または、外側の組 (外側の2つ) のどちらかに左右の手の人差し指をおく。そして4つのパッチのいずれかが光るのだが、光ったパッチが右寄り2つのいずれかならば右手の人差し指をあげ、左寄り2つのいずれかならば左手の人差し指をあげる。このとき、人差し指が置かれた直下のパッチが光る方が、隣接するパッチが光る場合よりも反応が早くなることが示された。これは当初、刺激-反応適合性説 (Short & Ward, 2009) によって説明されていたが、後の研究などから、自己身体と認識される領域上の光点に対する反応は、それ以外の領域にある光点よりも速くなることを示された (Whitely et al., 2004, 2007)。

文献

- Asai, T., Mao, Z., Sugimori, Eriko, & Tanno, Y. (2011). Rubber hand illusion, empathy, and schizotypal experiences in terms of self-other representations. *Consciousness and Cognition*. *in press*.
- Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response. *Proceedings of the Royal Society, B, Biological Sciences*, *270*, 1499-1506.
- Banissy, M. J., & Ward, J. (2007). Mirror-touch synesthesia is linked with empathy. *Nature Neuroscience*, *10*(7), 815-816.
- Bertamini, M., Berselli, N., Bode, C., Lawson, R., & Wong, L.T. (2011) The rubber hand illusion in a mirror. *in press*
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, *391*,756.
- Durgin, F.H., Evans, L., Dunphy, N., Klostermann, S., & Simmons, K. (2007) Rubber Hands Feel the Touch of Light. *Psychological Science*, *18*, 152-157.
- Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, *305*, 875-877.
- Gazzola, V., Rizzolatti, G., Wicker, B. & Keysers, C. The anthropomorphic brain: the mirror neuron system responds to human and robotic actions. *Neuroimage* *35*, 1674-1684 (2007).
- Short, F., Ward, R. (2010). Virtual Limbs and Body Space: Critical Features for the Distinction Between Body Space and Near-Body Space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *35*, 4, 1092-1103.
- Galfano, G., & Pavani, F. (2005). Long-lasting capture of tactile attention by body shadows. *Experimental Brain Research*, *166*, 518-527.
- Hari, R., & Jousmaki, V. (1996). Preference of personal to extrapersonal space in visuomotor task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *8*, 3, 305-307.
- Hänsel, A., Lenggenhager, B., von Känel, R, Curatolo, M., & Blanke, O. (2011). Seeing and identifying with a virtual body decreases pain perception. *European Journal of Pain*, *in press*.
- Honma, M., Koyama, S., & Osada, Y. (2009) Double tactile sensations evoked by a single visual stimulus on a rubber hand. *Neuroscience Research*, *65*, 307-311.
- Jeannerod, M. (2003). The mechanism of self-recognition in humans. *Behavioural Brain Research*, *142*, 1-15.
- Iriki, A. et al. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport*, *7*, 2325-2330.
- Iriki, A. et al. (2001). Self-images in the video monitor coded by monkey intraparietal neurons. *Neuroscience Research*, *40*, 163-173.
- Ishibashi, H. et al. (2000) Acquisition and development of monkey tool-use: behavioural and kinematic analyses. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, *78*, 1-9.
- Kammers, M.P.M., de Vignemont, F., Verhagen, L., & Dijkerman, H.C. (2009). The rubber hand illusion in action. *Neuropsychologia*, *47*, 204-211.
- Kennett, S., Taylor-Clarke, M., & Haggard, P. (2001). Noninformative vision improves the spatial resolution of touch in humans. *Current Biology*, *11*, 1188-1191
- Keysers, C., Wincker, B., Gazzola, V., Jean-Luc, A., Fogassi, Leonardo, Gallese, V. (2004). A Touching Sight: SII/PV Activation during the Observation and Experience of Touch, *neuron*, *42*, 2, 335-346.
- Lenggenhager, B., Tadi T., Metzinger, T., & Blanke, O. (2007). Video Ergo Sum: Manipulating Bodily Self-Consciousness. *Science*, *317*, 1096-1099.
- Maravita, A., Husain, M., Clarke, K., & Driver, J. (2001) Reaching with a tool extends visual - tactile interactions into far space: evidence from cross-modal extinction. *Neuropsychologia*, *39*, 580-585.
- Maravita, A., Iriki, A. (2004). Tools for the body (schema). *TRENDS in Cognitive Sciences*, *8*, 2, 79-86.
- Maravita, A., Spence, C., Kennett, S., & Driver, J. (2002). Tool-use changes multimodal spatial interactions between vision and touch in normal humans. *Cognition*, *83*, B25-B34.
- Maravita, A., Spence, C., Sergent, C., & Driver, J. (2002). Seeing your own touched hands in a mirror modulates cross-modal interactions. *Psychological Science*, *13*(4), 350-355.
- Mirams, L., Poliakoff, E., Brown, R. J., & Lloyd, D. M. (2010). Vision of the body increases interference on the somatic signal detection task. *Experimental brain research*, *202*(4), 787-94.

- Obayashi, S., Tanaka, M. and Iriki, A. (2000). Subjective image of invisible hand coded by monkey intraparietal neurons. *Neuroreport*, *11*, 3499-3505.
- Pladino, M. P., Mazzurega, M., Pavani, F., & Schubert, T. W. (2010). Synchronous Multisensory Stimulation Blurs Self-Other Boundaries. *Psychological Science*, *21*, 1202-1207.
- Pavani, F., & Castiello, U. (2004). Binding personal and extrapersonal space through body shadows. *Nature Neuroscience*, *7*, 13-14.
- Pavani, F., & Galfano, G. (2007). Self-attributed body-shadows modulate tactile attention. *Cognition*, *104*, 73-88.
- Pavani, F., Spence, C., & Driver, J. (2000). Visual capture of touch: Out-of-the-body experiences with rubber gloves. *Psychological Science*, *11*, 353-359.
- Ramachandran, V. S., Rogers-Ramachandran, D., & Cobb, S. (1995). Touching the phantom limb. *Nature*, *377*, 489-490.
- Singer, T., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science*, *303*(5661), 1157-1162.
- Spence, C., Kingstone, A., Shore, D.I. and Gazzaniga, M.S. (2001). Representation of visuotactile space in the split brain. *Psychological Science*, *11*, 90-93.
- Spence, C., Pavani, F., & Driver, J. (1998). What crossing the hands can reveal about visuotactile links in spatial attention. *Abstracts of the Psychonomic Society*, *3*, 13.
- Tsakiris, M. (2008). Looking for myself: Current multisensory input alters self-face recognition. *PLoS ONE*, *3*, e4040. Retrieved July 15, 2009, from <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0004040>
- Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005). The rubber hand illusion revisited: Visuotactile integration and self-attribution. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *31*(1), 80-91.
- Wenderoth, N., Toni, I., Bedeleem, S., Debaere, F., Swinnen S.P. (2006). Information processing in human parieto-frontal circuits during goal-directed bimanual movements. *NeuroImage*, *31*, 264-278.
- Whiteley, L., Kennett, S., Taylor-Clarke, M., & Haggard, P. (2004). Facilitated processing of visual stimuli associated with the body. *Perception*, *33*, 307-314.
- Whiteley, L., Sopence, C., & Haggard, P. (2007). Visual processing and the bodily self. *Acta Psychologica*, *127*, 129-136.