Self-Touchによるラバーハンド錯覚に関連した脳活動

Brain Activity Associated with Self-touch Rubber Hand Illusion

林田 一輝^{1,2)} 大住 倫弘³⁾ 今井 亮太^{1,4)} 森岡 周^{1,3)}

KAZUKI HAYASHIDA, RPT^{1,2)}, MICHIIRO OSUMI, RPT, PhD³⁾, RYOTA IMAI, RPT, MS^{1,4)}, SHU MORIOKA, RPT, PhD^{1,3)}

¹⁾ Department of Neurorehabilitation, Graduate School of Health Sciences, Kio University: 4-2-2 Umami-naka, koryo-cho, Kitakatsuragi-gun, Nara 635-0832, Japan TEL +81 745-54-1601 E-mail: kazuki_aka_linda@yahoo.co.jp

²⁾ Department of Rehabilitation, Fujiikai Rehabilitation Hospital

³⁾ Neurorehabilitation Research Center, Kio University

⁴⁾ Department of Rehabilitation, Kawachi General Hospital

Rigakuryoho Kagaku 31(6): 805–810, 2016. Submitted May 6, 2016. Accepted Jul. 8, 2016.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to investigate the brain mechanisms of body ownership through self-touch using the rubber hand illusion method. [Subjects and Methods] Twenty healthy individuals participated in this study. Using functional near-infrared spectroscopy, brain activity was measured under four conditions: 1) self-touch, 2) self rubber hand illusion (illusion induced by touching self with a rubber hand), 3) other-touch (touched by others), and 4) other rubber hand illusion (illusion induced by being touched by a rubber hand held by an experimenter). [Results] The premotor cortex was bilaterally activated under all the conditions. The supplementary motor cortex was only activated in Condition 2. [Conclusion] The results reveal that increase of body ownership due to self-touch is related to the activity of the supplementary motor area.

Key words: Self-Touch, sense of ownership, rubber hand illusion

要旨:〔目的〕今回 Rubber Hand Illusion を用いて Self-Touch による身体所有感の脳内メカニズムを検証した。〔対象と方法〕健康者 20 名を対象に① Self-Touch, ② Self Rubber Hand Illusion (ラバーハンドに触れることによる錯覚), ③ Other-Touch (他者から触れられる), ④ Other Rubber Hand Illusion (ラバーハンドに触れられることによる錯覚) の 4 条件で機能的生体近赤外線分光装置を用いて脳活動を計測した。〔結果〕全条件で両側運動前野が, 条件②のみ補足運動野が活動していた。〔結語〕Self-Touch による身体所有感の錯覚の惹起には補足運動野の活動が関与している。
キーワード: Self-Touch, 身体所有感, ラバーハンド錯覚

¹⁾ 畿央大学大学院 健康科学研究科 神経リハビリテーション学研究室: 奈良県北葛城郡広陵町馬見中 4-2-2 (〒635-0832) TEL 0745-54-1601

²⁾ 藤井会リハビリテーション病院 リハビリテーション部

³⁾ 畿央大学 ニューロリハビリテーション研究センター

⁴⁾ 河内総合病院 リハビリテーション部

I. はじめに

我々は視覚や触覚などの様々な感覚の統合によって自己身体を認識することができる。Gallagher¹⁾は、この自己身体認識の一つに身体所有感 (sense of ownership) を挙げている。身体所有感とは「自己の身体が自分のものである」という意識であるとされている。

脳卒中後遺症のひとつに、自己の手足の存在を感じない半側身体失認と呼ばれる症状があり²⁾、麻痺肢に対する非帰属感とも定義される。Feinberg³⁾は脳卒中患者を損傷半球ごとに分析を行ったところ、半側身体失認を有する患者は右前頭葉から側頭葉、頭頂葉に至る広範囲に病巣を有していたと報告している。半側身体失認の症状には左上肢の忘却、不使用、喪失感などがあり、自己の身体を認識できないことは日常生活場面で様々な困難を強いられることになる。このような半側身体失認に対するリハビリテーションとして、忘却肢に注意を促すことや忘却肢の使用促進⁴⁾などはあるが、その治療法は未だ確立されていない。

近年、感覚障害や半側身体失認に対する Self-Touch (以下 ST) による介入が注目されている⁵⁻⁷⁾。ST とは自己の身体部位を用いて他の自己身体部位に触れる経験であり、能動的な自己による触覚刺激である⁸⁾。先行研究によると右半球損傷後に感覚障害を呈している患者は、麻痺手が他者の触覚刺激を知覚することは困難であったが、自身の非麻痺手の触覚刺激は知覚することが可能であったとされる⁹⁾。さらに、脳卒中後の感覚障害に対する ST を用いた介入により、22 人のうち 17 人の麻痺手の知覚が鮮明化されたと報告されている⁶⁾。また、van Stralen⁷⁾は ST による身体所有感の変化に関する興味深い実験を報告している。具体的には、自身の左手 (麻痺手)、実験者の左手、左手のラバーハンド、右手のラバーハンド、実際の手とは水平方向へ逆向きに配置した (対面に配置された) 左手のラバーハンドに対して ST を行った時の身体所有感の変化を調査したものである (ラバーハンドに触れる行為も ST と表現)。その結果、全条件において身体所有感が生起されたというものであり、この研究によって ST は身体所有感の惹起を促進させるということが実験的に明らかになった。またこの報告では身体所有感の損失に関して「この腕はあなたのものですか」という質問に対して 4 件法で回答する方法 (1: 全く感じない, 4: とてもそう感じる) で評価しており、ST を行った時は身体所有感の損失の程度は低かったことも示されている。

このように ST は身体所有感の惹起には非常に有効な手段であることが明らかにされている。しかしながら、ST のメカニズムについては、触覚刺激のタイミングの予測、触る手の固有感覚情報、注意の影響などの心理的メカニズム⁷⁾は明らかにされてきているが、その脳内

機構は明らかにされていない。そこで今回、ST による身体所有感の脳内活動を明らかにすることを研究目的とした。

近年、身体所有感の生起プロセスの調査を行うのに有効な実験的手法として Rubber Hand Illusion (以下 RHI) がある⁹⁾。RHI とは、隠された本物の手と偽者の手 (ラバーハンド) が同時に刺激されると、ラバーハンドが自分の手のように感じる錯覚のことである。Ehrsson¹⁰⁾は、健常者を対象にした実験で RHI は刺激するタイミングがずれたり、ラバーハンドの向きを実際の手とは逆向きに配置すると錯覚が起こりにくくなったことから、身体所有感の生起には、触覚刺激と視覚刺激の時間的・空間的な整合性が重要であり、時間的・空間的に一致した条件においてのみ、運動前野の活性化が認められたと報告している。実際の身体とラバーハンドの位置を変えた時の身体所有感の錯覚の程度を調査した研究では、ラバーハンドが実際の身体の位置から離れば離れるほど錯覚強度は低くなった¹¹⁾。Shimada¹²⁾は、触覚刺激に対して視覚刺激を 400 ms 以上遅延させると有意に身体所有感の錯覚が生じにくくなることを報告している。このように RHI は、身体所有感に関連する要因を調査することができ、身体所有感の生起プロセスを解明する手掛かりになると考えた。そのため今回の実験では RHI を用いて ST による身体所有感の脳内活動を検証した。

II. 対象と方法

1. 対象

健常右利き大学生 20 名 (男性 7 名、女性 13 名、平均年齢 21.9 ± 1.0 歳) とした。対象者には本研究の趣旨を十分に説明し参加の承諾を得た。本研究は畿央大学研究倫理委員会にて承認されたうえで実施した。

2. 方法

課題は ST, Self Rubber Hand Illusion (ラバーハンドに触れることによって惹起させる錯覚: 以下 SRHI), Other-Touch (自己の身体部位を他者から触れられる経験: 以下 OT), Other Rubber Hand Illusion (ラバーハンドに触れられることによって惹起される錯覚: 以下 ORHI) の 4 条件とした (図 1)。触覚刺激は絵筆を用いて左母指を刺激することとした。なお、SRHI 条件において、本物の手には実験者が触覚刺激を与え、ラバーハンドには被験者が触覚刺激を与えた。実験者と被験者が与える触覚刺激が時間的に一致するようにメトロノームのタイミング (1 Hz) に合わせて刺激を行った。課題時間は、各条件ともに安静 10 秒、課題 40 秒、安静 10 秒を 3 回連続して行った。身体所有感の錯覚の有無を明らかにするために、ST 条件と SRHI 条件、OT 条件と ORHI 条件を設け、機能的生体近赤外線分光装置

図1 研究で実施した実験条件

- 1) Self-Touch : 被験者の左手を自身の右手で刺激する。
- 2) Self Rubber Hand Illusion : 被験者の左手は実験者が、ラバーハンドは自身の右手で刺激する。左手は仕切りで見えないようにする。
- 3) Other-Touch : 被験者の左手を実験者が刺激する。
- 4) Other Rubber Hand Illusion : 被験者の左手、ラバーハンドの両方を実験者が刺激する。左手は仕切りで見えないようにする。

[functional near infrared spectroscopy : fNIRS (FOIRE3000, 島津製作所製)] を使用しその脳内活動を検討した。また、錯覚条件である SRHI 条件と ORHI 条件を比較し自己による接触と他者からの接触の違いによる身体所有感の脳内活動および主観的錯覚強度と自己受容感覚ドリフト¹³⁾を検証した。この自己受容感覚ドリフトとは、被験者自身の手の定位が錯覚によって偽物の手の方にずれる距離のことを示し、客観的なラバーハンド錯覚の指標として用いられている¹³⁾。実際には隠された左母指の位置を右手でポインティングし、その位置を錯覚前後で比較した。各錯覚条件の順序による影響を除外するために、Self 条件は ST 条件・SRHI 条件の順で実施し、Other 条件は OT 条件・ORHI 条件の順で実施し、Self 条件と Other 条件を被験者毎にランダムに施行した。

錯覚の主観的評価として、SRHI 条件と ORHI 条件終了後に「ゴムの手が自分の手のように感じましたか」という問いに回答させた。この質問紙は身体所有感の主観的錯覚強度の程度を数値評価スケール (Numeric Rating Scale : NRS) を用い、7段階評価で行うものであり、1「全くそう思わなかった」、2「ほとんどそう思わなかった」、3「あまりそう思わなかった」、4「どちらでもない」、5「ややそう思った」、6「かなりそう思った」、7「完全にそう思った」という質問にした。これに関する検定に

図2 全頭用ファイバフォルダ装着例

は、Wilcoxon の符号順位検定を用い、有意水準は 5% とした。また、客観的評価として SRHI 条件、ORHI 条件終了後、自己受容感覚ドリフトを調べた。今回の実験の目的は、ST による身体所有感の惹起に関わる脳活動を調査することであり、身体所有感の錯覚が生じている者を対象とする必要があったため、錯覚が惹起しやすい者を選定した。主観的錯覚強度と脳活動に正の相関を示す¹⁰⁾ことが言われており、また自己受容感覚ドリフトはプラス値で錯覚が惹起していることを示す¹³⁾。そのため主観的錯覚強度 3 以下回答、自己受容感覚ドリフトがマイナス値のどちらか一方でも当てはまる者を分析から除外した。これらの統計処理は統計ソフトウェア Excel (Microsoft 社製) を用いた。

脳活動の測定には、fNIRS を用い、被験者の頭部に全頭用ファイバホルダを密着するように装着した (図 2)。国際 10-20 法に準じ左右の外耳孔を結んだ線と鼻からの垂線が交わる点を Cz と規定し、Cz 上に受光プローブ R9 を設置した。送光プローブ (T) 15 本と受光プローブ (R) 15 本を左前頭から順に 5 × 6 の配列で配置し、全 49 ch (前頭葉～頭頂葉) で測定した。部位の同定には、統計マッピングソフトウェア NIRS-SPM (Statistic Parametric Mapping)¹⁴⁾ による解析を行い有意水準は 5% とした。これは MATLAB 上で動くソフトウェアで一般線形モデルを採用しており、安静から課題が始まることによって応答する脳血流量を測定する。また、NIRS-SPM は NIRS 信号を周波数分解し、課題に関する主成分を再構成することにより脳活動を抽出する。さらに、t 検定を用いることで有意水準を満たした脳部位を画像化することが可能である。指標には酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) を用い、条件ごとの集団解析により脳活動部位を同定した。領域を Region of Interest によって設定した。安静時に対する課題時の脳活動を ST 条件と SRHI 条件、OT 条件と ORHI 条件、ST 条件と OT 条

図3 安静時と比較して有意にoxy-Hbが増加していた領域

件, SRHI 条件と ORHI 条件で各々検討することにより各条件における脳活動の特徴を考察した。

III. 結果

実験の結果7名の被験者が除外されたため, 13名(男性6名, 女性7名)を分析対象とした。主観的錯覚強度はSRHI条件で5(4-6.5) [中央値(四分位範囲)], ORHI条件で5(4.5-6) [中央値(四分位範囲)]を示し, Wilcoxonの符号順位検定の結果, 条件間で有意差はみられなかった。自己受容感覚ドリフトはSRHI条件で 2.3 ± 1.6 (平均値 $\pm$ 標準偏差) cm, ORHI条件で 2.1 ± 1.3 (平均値 $\pm$ 標準偏差) cmを示し, 対応のあるt検定の結果, 条件間で有意差はみられなかった。

NIRS-SPMの結果から, ST条件は両側運動前野(6野)と左感覚運動野(3, 4野) ($p < 0.05$), SRHI条件は両側運動前野(6野)と補足運動野(6野) ($p < 0.05$) が, OT条件では両側運動前野(6野), 右感覚運動野(3, 4野), 右頭頂葉(7野) ($p < 0.05$), ORHI条件は両側運動前野(6野)と左感覚運動野(3, 4野) ($p < 0.05$) が, それぞれ安静時と比較して課題時にoxy-Hbが増加していた(図3)。

IV. 考察

ST条件とOT条件を比較すると, ST条件では左感覚運動野, OT条件では右感覚運動野, 右頭頂葉のoxy-

Hbが有意に増加していた。これまでにBlakemoreら¹⁵⁾は自身によって生成された触覚刺激の感覚フィードバックが予測できるかできないかの実験条件を用いて他人にくすぐられるとくすぐったいが, 自分でくすぐってもくすぐったくはないという現象のメカニズムについて検証しており, 感覚フィードバックと予測が一致するとくすぐったくないという結果が報告された。これは自分でくすぐると予測が可能であり, それによって感覚フィードバックに抑制をかけていることを示唆している。本研究もこれと同様に, ST条件では, 自分の右手で左手を触るため, 左手からの情報を予測することが可能である。そのため右手からの感覚情報, つまり左感覚運動野の情報処理を優先させ, 受動的である左手からの感覚情報, つまり右感覚運動野の活動に抑制をかけていたのではないかと考えられる。そのためST条件では左感覚運動野の活動がみられたと考えられる。また, OT条件では左手からの感覚情報のみであるため, 右感覚運動野が活動していたのではないかと考える。

本結果よりすべての条件で両側運動前野が活動していた。Shimadaら¹⁶⁾は身体所有感が生起するメカニズムを調べるために被験者の手を受動的に動かした時の視覚と固有感覚が一致しているかどうかを判定する実験を行った。その結果, 視覚と固有感覚が時間的に同期しているときに上頭頂小葉の活動が認められており, ここでは身体所有感の生起に頭頂葉が重要である考察されている。しかしながらこの報告は, 頭頂葉のみの計測であり他の皮質領域の活動については不明である。また,

Graziano ら¹⁷⁾もサルの実験から RHI の主要なメカニズムとして頭頂葉の機能が重要であると報告しているが、実験では空間的な一致・不一致条件での頭頂葉のニューロン活動が調査されている。これら二つの先行研究^{16,17)}は触覚刺激を用いていないため本実験内容とは異なり、特に視覚と固有感覚の影響が頭頂葉を活動させた要素として考えられる。一方で Ehrsson¹⁰⁾らは RHI において運動前野の活動が重要であると主張している。これは、運動前野は手の位置の変化、動きに反応するため、手と認識している中心基準が実際の手の位置からラバーハンド側にシフトしたことによって運動前野が活動したのではないかと考察されている。本結果では、錯覚条件でない ST 条件と OT 条件においても錯覚条件と同様に両側運動前野が賦活しており、RHI における大脳の特異的な賦活部位を示すことはできなかった。運動前野には視覚と体性感覚の両方に反応するバイモダルニューロンが存在していると報告されている¹⁸⁾。本研究における、ST 条件、OT 条件、SRHI 条件、ORHI 条件は触覚刺激とその視覚刺激が時間的・空間的に整合性があるために運動前野のバイモダルニューロンの賦活が生じたと考えられた。このことから今回の実験条件では、身体所有感の生起に必要な異種感覚統合を基盤とした神経ネットワーク^{10,16,17)}が作動したと考える。しかしながらこのような空間的な違いがあってもバイモダルニューロンが活動するかどうかは、ニューロンレベルで観察しなければ確認できないため、今後の課題である。

ST 条件と SRHI 条件を比較すると、SRHI 条件において補足運動野が特異的に活動していた。今回の実験の条件において、Other 条件に対する Self 条件の相違点は自身による運動の有無である。Self 条件の要素を考えると、ST 条件では右手に運動情報と感覚情報、左手に感覚情報があり、それに加えて SRHI 条件では身体所有感の錯覚が惹起される。Self 条件の特徴的なことは右手と左手から同時に二つの感覚がフィードバックされるということである。すなわち、運動感覚や対象物（左手）に接触したことによる右手の触覚と、右手に触れたことによって生じる左手の触覚である。補足運動野は運動遂行前に予測された感覚の結果を提供する役割がある¹⁹⁾。また、White ら²⁰⁾は「触覚刺激のタイミングの予測」が SRHI において重要な要素であることを明らかにしている。これらのことから SRHI において身体所有感の錯覚が生じる際には触覚の予測機構に基づいた補足運動野の賦活が確認された。ST 条件でも感覚の予測は可能であるが、運動感覚の方が強いいため、NIRS-SPM の結果として補足運動野の活動は得られなかったと考える。

一方、Other 条件には運動はなく受動的な触覚が生じる。それぞれの要素として OT 条件は左手の感覚情報があり、それに加えて ORHI 条件は身体所有感の錯覚が惹起している。OT 条件では左手を接触された情報が対

側の一次体性感覚野に投射されたことによって右感覚運動野が賦活したと考えられる。また一次体性感覚野で処理された情報が頭頂葉へ向かい、ここで視覚情報と感覚情報が統合されたため OT 条件では右頭頂葉が賦活したのではないかと考えた²¹⁾。また、OT 条件に対して ORHI 条件では左感覚運動野が賦活していた。感覚刺激は刺激側と反対側の一次体性感覚野に投射するが、刺激側と同側の一次体性感覚野も賦活するとの報告もされており、これは皮質間の投射によるものであると考察されている²²⁾。ORHI 条件における左感覚運動野の賦活は、同様に右感覚運動野からの投射を示しているのではないかと考えた。Shokur ら²³⁾は、サルにおいて視覚刺激と触覚刺激を一致または不一致させた時の脳活動を記録している。その結果、視覚と触覚の一致によって一次体性感覚野と一次運動野が活動しており、これが RHI の経験に参与する可能性を報告している。このことから ORHI 条件の左感覚運動野は錯覚の惹起に関連した脳活動であると考えられる。

主観的錯覚強度について SRHI 条件と ORHI 条件との間で有意な差は認められなかった。また、これは ORHI 条件の前述の先行研究¹⁰⁾と同程度であった。自己受容感覚ドリフトに関しても SRHI 条件と ORHI 条件との間で有意な差は認められず、これは自己による触刺激がラバーハンド錯覚に与える影響を調査した先行研究²⁴⁾と同程度であった。今回の結果から SRHI 条件と ORHI 条件は同等の錯覚が惹起することが再確認された。先行研究¹⁰⁾において RHI の脳活動を調べた実験は ORHI 条件がほとんどであり、SRHI 条件の脳活動を調べた先行研究は見当たらなかった。本実験では SRHI 条件における脳活動を調べた結果、ORHI 条件とは異なった脳活動を示し、補足運動野が特異的に活動していた。先行研究においても錯覚を引き起こす条件によって脳活動が異なることが示唆されており^{10,25)}、今回の結果からも錯覚の強度や程度といった評価では差はなかったが、錯覚が惹起されるプロセスが異なるため脳活動は異なったことが考えられた。これらのことから健常者において身体所有感の錯覚を惹起させるための手段として自己による接触と他者による接触のどちらでもその程度は変わらないが、大脳皮質の機能不全が生じている患者ではその損傷部位によって自己による接触と他者による接触では身体所有感の惹起の程度は異なる可能性がある。本実験結果より SRHI 条件と ORHI 条件で脳活動が異なったことは新たな発見であり、身体所有感を生起させる場面において SRHI 条件のような能動的な要因と ORHI 条件のような受動的な要因をその損傷部位により区別する必要がある。これらのことから半側身体失認を呈する脳卒中患者のリハビリテーション手段として特に補足運動野が保たれている症例に対しては能動的な要素を用いることにより身体所有感の異常を改善させることができるのではない

図4 各条件における脳活動とその機能的役割に関する考察

いだろうか。

本結果より得られた脳活動の考察をまとめると、すべての条件で異種感覚統合による運動前野の活動を認めた。ST条件は感覚予測によって感覚運動野の活動を抑制し、OT条件は感覚刺激によって感覚運動野と頭頂葉が活動していた。また、SRHI条件は感覚予測に基づく錯覚の惹起によって補足運動野が活動し、ORHI条件は感覚刺激に基づく錯覚の惹起によって感覚運動野が活動していた（図4）。

fNIRSの測定範囲は皮質レベルであり、脳深部の活動を捉えることができない。そのため皮質下の活動は不明である。また、今回は条件毎の課題時の脳活動は明らかになったが、NIRS-SPMは条件間での比較ができないため課題時にどの条件が最も活動したかは不明である。今後、脳波などを用いて皮質下の脳内活動と条件ごとの脳活動の差を明らかにしていく必要がある。

引用文献

- Gallagher II: Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends Cogn Sci*, 2000, 4(1): 14-21.
- Feinberg TE, Haber LD, Leeds NE: Verbal asomatognosia. *Neurology*, 1990, 40(9): 1391-1394.
- Feinberg TE, Venneri A, Simone AM, et al.: The neuroanatomy of asomatognosia and somatoparaphrenia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2010, 81(3): 276-281.
- 村山尊司: 標準理学療法 専門分野 神経理学療法. 吉尾雅春・他(編), 医学書院, 東京, 2013, p128.
- Weiskrantz L, Zhang D: Residual tactile sensitivity with self-directed stimulation in hemianesthesia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1987, 50(5): 632-634.
- Valentini M, Kischka U, Halligan PW: Residual haptic sensation following stroke using ipsilateral stimulation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2008, 79(3): 266-270.
- van Stralen HE, van Zandvoort MJ, Dijkerman HC: The

role of self-touch in somatosensory and body representation disorders after stroke. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2011, 366(1581): 3142-3152.

- Schütz-Bosbach S, Musil JJ, Haggard P: Touchant-touché: The role of self-touch in the representation of body structure. *Conscious Cogn*, 2009, 18(1): 2-11.
- Botvinick M, Cohen J: Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 1998, 391(6669): 756.
- Ehrsson HH, Spence C, Passingham RE: That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, 2004, 305(5685): 875-877.
- Lloyd DM: Spatial limits on referred touch to an alien limb may reflect boundaries of visuo-tactile peripersonal space surrounding the hand. *Brain Cogn*, 2007, 64(1): 104-109.
- Shimada S, Fukuda K, Hiraki K: Rubber hand illusion under delayed visual feedback. *PLOS ONE*, 2009, 4(7): e6185.
- Tsakiris M, Prabhu G, Haggard P: Having a body versus moving your body: How agency structures body-ownership. *Conscious Cogn*, 2006, 15(2): 423-432.
- Ye JC, Tak S, Jang KE, et al.: NIRS-SPM: Statistical parametric mapping for near-infrared spectroscopy. *Neuroimage*, 2009, 44(2): 428-447.
- Blakemore SJ, Frith CD, Wolpert DM: Spatio-temporal prediction modulates the perception of self-produced stimuli. *J Cogn Neurosci*, 1999, 11(5): 551-559.
- Shimada S, Hiraki K, Oda I: The parietal role in the sense of self-ownership with temporal discrepancy between visual and proprioceptive feedbacks. *Neuroimage*, 2005, 24(4): 1225-1232.
- Graziano MS, Cooke DF, Taylor CS: Coding the location of the arm by sight. *Science*, 2000, 290(5497): 1782-1786.
- Graziano MS, Yap GS, Gross CG: Coding of visual space by premotor neurons. *Science*, 1994, 266(5187): 1054-1057.
- Haggard P, Whitford B: Supplementary motor area provides an efferent signal for sensory suppression. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2004, 19(1): 52-58.
- White RC, Aimola Davies AM, et al.: Touch and feel? Using the rubber hand paradigm to investigate self-touch enhancement in right-hemisphere stroke patients. *Neuropsychologia*, 2010, 48(1): 26-37.
- 岩村吉晃: 神経心理学コレクション タッチ. 医学書院, 東京, 2001, p196.
- Blatow M, Nennig E, Durst A, et al.: fMRI reflects functional connectivity of human somatosensory cortex. *Neuroimage*, 2007, 37(3): 927-936.
- Shokur S, O'Doherty JE, Winans JA, et al.: Expanding the primate body schema in sensorimotor cortex by virtual touches of an avatar. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, 110(37): 15121-15126.
- 金谷翔子, 石渡貴大, 横澤一彦: 自己による触刺激がラバーハンド錯覚に与える影響. 基礎心理学研究, 2011, 30(1): 11-18.
- Limanowski J, Lutti A, Blankenburg F: The extrastriate body area is involved in illusory limb ownership. *Neuroimage*, 2014, 86: 514-524.