

# Rubber Hand Illusion を用いた視触覚統合についての脳磁図解析

## An MEG study of visual-tactile integration using the rubber hand illusion

○佐久間遥 青山敦 本多敏  
慶應義塾大学

Haruka Sakuma, Atsushi Aoyama, Satoshi Honda  
Keio University

**Abstract:** Rubber hand illusion (RHI) is a visual-tactile illusion in which perceived hand ownership is transferred to a rubber hand from a hidden actual hand after a period of synchronous visual and tactile stimulation to the rubber hand and actual hand, respectively. As the temporal dynamics of this illusion have not been clarified, we measured brain activities related to the RHI generation using magnetoencephalography (MEG). Activation source analysis showed that the left primary and secondary somatosensory areas and intraparietal sulcus were activated from 50–100 ms poststimulus, irrespective of the generation. However, the activity strength in the parietal area was larger in the RHI condition than that in the non-RHI condition. Moreover, these activity started earlier than prefrontal activity that reflects the cognitive processing. The results suggest that cooperative activation of somatosensory and multisensory parietal areas begins at an early stage and is involved in the RHI generation.

**Key Words:** rubber hand illusion (RHI), magnetoencephalography (MEG), multisensory integration, body image

### 1. 序論

近年ハイテク義手の開発が進んでいるが、義手を自己の身体の一部として捉えるためには、義手からの視覚情報と手の身体イメージの統合が重要である。視覚、触覚、及び体性感覚の一つである自己受容感覚の多感覚統合に起因し、この視触覚統合を解明する鍵となる現象として、Rubber Hand Illusion (RHI) がある。RHI とは、目の前のラバーハンド（ゴム手）と見えない位置の実際の手を同時に数分間タップすることで、ラバーハンドから触覚が生じているように感じる錯覚である [1]。RHI の検証方法としては、「ラバーハンドが自分の手のように感じる」などの質問項目に答えさせたり、触覚の生じた位置を報告させたりする「内観報告」や、隠れた実際の手の主観的位置の移動を生成前後で比較する「心理物理学的手法」、発汗による皮膚の電気抵抗値を測定する「皮膚電位反応」、そして「脳イメージング手法」などが存在する。「脳イメージング手法」に関して、RHI 生成前後の脳の活動を fMRI で測定した研究では、RHI 生成後に運動前野、頭頂間溝、小脳などで活動が見られることが分かっている [2]。しかしながら、fMRI の時間分解能は数秒程度であるため、RHI 生成時の活動の時間推移については明らかにされていない。そこで本研究では、高い時間分解能を持ち、脳神経細胞の電氣的な活動に伴って発生する脳磁場を非侵襲的に計測する手法である脳磁図 (MEG : magnetoencephalography) を用いて、RHI 生成時の脳活動を計測・解析した。

### 2. RHI 生成前後における脳磁図計測

MEG を用いた場合の RHI 生成前後の活動部位が fMRI を用いた場合と同一であることを確認し、更にその時間的な推移を調べるため、RHI 生成前後における脳磁図の計測を行った。

#### 2-1 実験設計

被験者は、インフォームド・コンセントを得た右利きの 20-30 代の男女 8 名とした。実験プロトコルは、東京電機大学ヒト生命倫理委員会の承認を得た。右手の甲を歯ブラシでタップする 2s の動画 (1s で最下点に達し右手の甲に接触) を 54cm 目のスクリーンに投影し、ブラシが手に

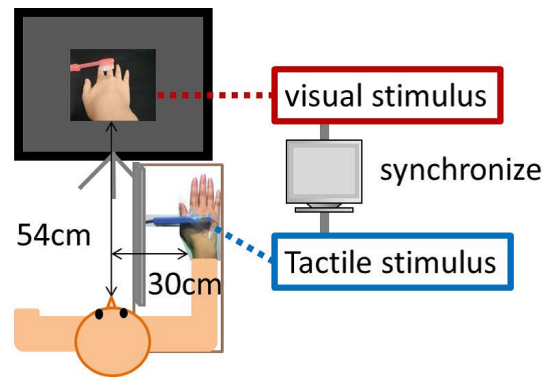


Fig. 1 Experimental settings

接触するタイミングに同期させて、卓上に置いた実際の右手に対して 50ms のタップ刺激を行った (Fig.1 を参照)。MEG 計測は、計測前の 4 分間で RHI を生成させた状態で開始する RHI 生成条件と非生成条件を交互に 2 ブロックずつ行った。各ブロックは、3s の刺激間隔で 80 試行とした。

#### 2-2 計測および解析

脳活動計測には Neuromag 社製 122 チャンネル全頭型 MEG 計測装置を用い、磁気シールドルーム内にて計測を行った。計測データは、0.03–40Hz のバンドパスフィルタに通し、サンプリング周波数は 1kHz とした。解析時間は、視覚刺激の歯ブラシの最下点を基準として 0–400ms の区間を対象とし、各刺激に対し 80 回の加算平均を行った。解析には、最小ノルム推定法 (MNE Suite, MGH) による電流源の推定を行い、標準脳 (Freesurfer, MGH) と重ね合わせることで脳機能の局在性を調べた。また、視触覚統合を司る部位である頭頂間溝において、電流密度 (MNE : Minimum Norm Estimate) の算出を行った。

### 3. 結果と考察

最小ノルム推定による 50ms 毎の経時的な電流源推定結果 (0–400ms) を Fig.2 に示した (被験者 A)。RHI 生成条件・非生成条件ともに、左側の一次・二次体性感覚野、頭頂

間溝や中心後溝を含む左側の頭頂野において、50–100msから活動が見られたが、生成条件においては非生成条件に比べて頭頂部の活動強度が大きく、400msまで持続していた。これらの活動は、認知処理を反映する前頭前野 [3] の活動よりも早くから開始していた。このことは、触知覚処理を行う対側の体性感覚野と共に、視触覚統合領域である頭頂野が早期から協調的に活動することを示しており、頭頂野から体性感覚野へのフィードバックによる変調が RHI 生成に関わっている可能性が考えられた。さらに、被験者 A–E における、左半球の頭頂間溝における電流密度の値 (0–700ms) を Fig.3 に示した。なお、右半球の頭頂間溝においては活動が殆ど観測されなかった。このことから、頭頂間溝においても刺激側に対して対側優位の傾向が見られることが分かった。Fig.3 より、被験者 A–E の全ての被験者において、100ms 前後のピーク値は生成条件が非生成条件より大きくなっていることが分かる。この結果より、多感覚統合を司る頭頂間溝は RHI 生成時のタップ直後に、非生成時よりも強く活動していることが明らかになった。

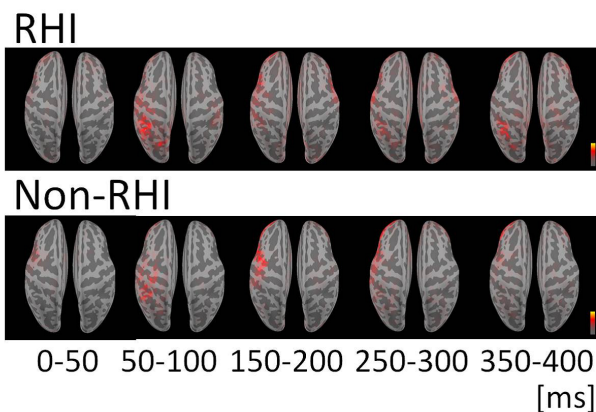


Fig. 2 Activation sources for RHI and NonRHI conditions

#### 4. 結論と今後の展望

本研究では、fMRI 研究と同様に、RHI パラダイムにおいて、頭頂間溝を含む頭頂野と一次・二次体性感覚野、前頭前野の活動が確認できた。さらに、RHI 生成時には、体性感覚野の活動と共に 100ms 以内に開始する頭頂野の活動が強まることが分かり、これらの活動が早期から RHI 生成に関わっていることが明らかになった。今後は、被験者数を増やし、これらの活動の時間周波数特性を解析していく予定である。

#### 参考文献

- (1) Botvinick, M., & Cohen, J Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see, *Nature*, 391, 756, 1998.
- (2) Ehrsson HH, Holmes NP, Passingham RE, Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas, *J Neurosci* 25: 10564–10573, 2005.
- (3) Taihei Ninomiya, Hiromasa Sawamura, Ken-ichi Inoue, and Masahiko Takada, Segregated Pathways Carrying Frontally Derived Top-Down Signals to Visual Areas MT and V4 in Macaques, *J Neurosci* 32: 6851–6858, 2012.

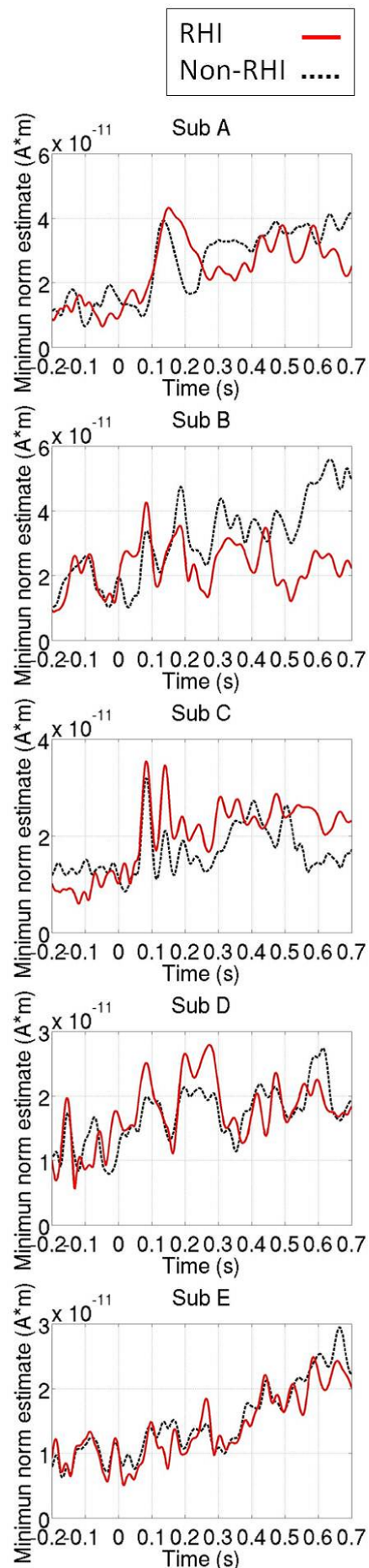


Fig. 3 Intensity of activity in the intraparietal sulcus