

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25245069

研究課題名(和文) 運動知覚における視聴覚情報統合のメカニズムの解明

研究課題名(英文) Brain mechanisms in audio-visual motion perception

研究代表者

杉田 陽一 (Sugita, Yoichi)

早稲田大学・文学学術院・教授

研究者番号：40221311

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 29,700,000円

研究成果の概要(和文)： 視覚刺激の点滅に同期させて、音を左右の耳から交互に提示し、点滅刺激が左右に動いているように見えるときに、動きの処理の中枢であるhMT野が活動することが明らかになった。事象関連電位を用いた視聴覚統合の研究は、仮現運動刺激と学習性の音、視覚刺激の対連合刺激を用いて、学習性の音によって誘発される運動刺激と仮現運動刺激との間にミスマッチ負電位が検出できるか否かを検討した。音による視覚刺激の動きに順応させる以前だと、仮現運動刺激と学習性の音、視覚刺激の対連合刺激を使った課題で、明瞭な視覚性ミスマッチ負電位が観察された。しかし、対連合に順応した後には負電位が消失した。

研究成果の概要(英文)： It was demonstrated that sounds can trigger illusory visual apparent motion to static visual stimuli (sound-induced visual motion: SIVM): A visual stimulus blinking at a fixed location is perceived to be moving laterally with the presence of an alternating left-right sound source. We investigated brain activity related to the perception of SIVM using a 7T fMRI. Specifically, we focused on the patterns of neural activities in SIVM and visually induced visual apparent motion (VIVM). We observed activation in the middle occipital area thought to be involved in visual motion processing (V5/hMT) for SIVM and VIVM, and the magnitude of the activation in this area was positively related to those in the superior temporal regions. Moreover, the activation of the superior temporal area was greater in SIVM compared to VIVM. These findings indicate that similar but partially different neural mechanisms could be involved in auditory-induced and visually-induced motion perception.

研究分野：知覚心理学

キーワード：視聴覚統合 fMRI 事象関連電位

1. 研究開始当初の背景

受容器官から伝えられた感覚情報は、その性質に応じて細分化され(たとえば、視覚の場合には輝度、色彩、方位などに細分化される)それぞれが独立した神経経路で並列的に処理された後に感覚連合野で個々のモダリティごとに再統合され、その後始めて異なったモダリティの感覚情報が統合されると考えられていた。

聴覚刺激によって、物体の運動方向や運動速度が大きく変化して感じられることは良く知られていたが、我々は、聴覚刺激が積極的に動きの知覚を誘発するという現象を見つけ出した。一定の位置で点滅する視覚刺激に同期させて、音を左右の耳に交互に呈示すると、視覚刺激が左右に動いているように感じられること、さらに、動いて知覚される頻度および動きの大きさ(距離)が、視野の周辺部に行くにつれて徐々に大きくなることを明らかにした(Hidaka et al. 2009)。

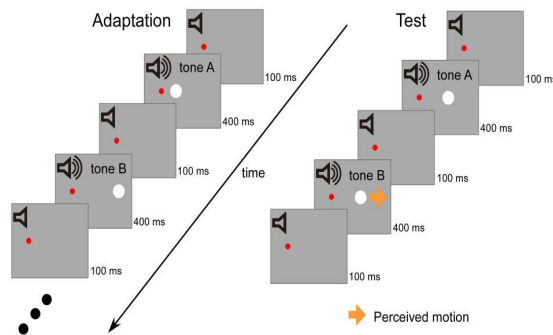


図1. 音に伴随する運動残効。仮現運動に同期させて、2つの音を交互に提示される事態に3分間順応すると、音に同期して点滅する静止刺激が動いて見えるようになる。

音に伴随する運動残効も極めて容易に形成されることも明らかにした(図1)。視覚的な動きに同期させて2つの異なる音が交互に呈示される事態に3分間順応させた。その後、視覚刺激を同じ位置に2回呈示し順応に用いた音を同期させると、視覚刺激が動いて知覚されることが明らかになった(Teramoto et al. 2010)。これまでに報告されている随伴残効は、長時間の順応時間(15分~1時間)を必要としているのと比べて、この残効は、3分間という極めて短い順応時間で形成された。

「音に伴随する運動残効」が順応した網膜位置に強く依存し、順応位置とは異なる網膜位置でテストしても効果が全く観察されないことも明らかになった。さらに、順応に使った2つの音の高低ではなく、それぞれの音の周波数にも強く依存することも明らかになった(Kobayashi et al. 2012)。以上の結果は、視聴覚情報の間で生起する随伴残効が知覚あるいは応答バイアスなど高次中枢からのフィードバックに因るものではなく、感覚情報処理の極めて早期の段階で生起していることを示唆していた。

2. 研究の目的

感覚情報統合の仕組みについて数々の議論がなされてきた中で、Singerらのガンマオシレーション(Nature, 1995)は良く知られている。ガンマオシレーションとは、脳内において一つの纏まりあるものを表現している複数の細胞の活動が同期しているという説である。逐次処理の早期の段階にある細胞から高次の段階にある細胞まで、同期して活動するというものである。ところが、我々の心理物理実験の結果は、「音に伴随する運動残効」が順応した網膜位置に強く依存するばかりでなく提示した音の周波数にも強く依存するなど逐次処理の極めて早期の段階で既に異種感覚統合が行われていることを強く示唆していた。感覚情報処理の比較的早期の段階の神経細胞は特定のモダリティの刺激に対してのみ選択的に応答するので、他のモダリティの刺激はこれらの細胞を賦活しないものの、その活動を大きく修飾することによって、感覚統合が行われているとのだろうと予測していた。この予測を確かめるために、fMRI法を用いて、聴覚刺激によって運動刺激や静止刺激に対する視覚系の活動がどのように変化するかを確認する。また、fMRI法と比べて格段に時間分解能が高い誘発電位記録法によって、fMRI法では不可能な時間経過の観測を行って相互作用の経路を推定しようと試みた。

3. 研究の方法

(1)「音によって視覚刺激が動いて見える現象」の脳内メカニズム

一定の位置で点滅する視覚刺激に同期させて、音を左右の耳に交互に呈示すると、視覚刺激が左右に動いているように感じられる。当然のことながら、音を両耳に呈示したり、あるいは左右どちらか一方の耳に呈示したりしても、視覚刺激に動きは感じられず、同じ位置で点滅を繰り返しているように見えるだけである。これら2つの条件で、視覚領野の活動に違いがあるのか否か、さらに、視覚刺激が動いて見える時の活動が、実際に動いている物体を見ている時の活動と似ているのか否かを検討するために、これら3種類の刺激を見ている時の脳活動を fMRI で測定する。

(2) 音に伴随する運動残効の脳内メカニズム

仮現運動刺激に同期させて高さが異なる2つの音を交互に呈示する事態に3分間順応させた後に、同じ位置で点滅する視覚刺激に同期させて2つの音を交互に呈示すると、点滅する視覚刺激が動いて知覚されるようになる。音が同期して提示される点滅刺激に対する脳の活動が、順応の前と後とで大きく変化しているだろうと予想される。これを確認するために、高さが異なる2つの音を交互に同期させて呈示される点滅刺激と音の条件は同じであるが視覚刺激の位置も左右交互

に変化させて仮現運動が見える刺激の2つに対する脳活動を fMRI で測定する。さらに、順応後にも同じ測定を行って、順応によって活動に変化が現れる部位を同定する。

(3) 誘発電位による時間経過の観測

fMRI を使って、課題に対して活動する脳部位を同定することはできるが、時間分解能が極めて長いため、活動の時間経過を観察することは極めて困難である。そこで、fMRI で用いた課題と同じ課題を用意して、仮現運動を見ているとき、音によって動いているように見える視覚刺激を見ているとき、さらに音に随伴する運動残効によって動いているように見える静止刺激をみているときに誘発される電位(事象関連電位)を記録して、2つの波形の相違を検討する。

尚、本研究において、主観的判断を求める時には、応答バイアスの影響を最低限に抑えるため、動いた方向が右か左か、2肢強制選択法を用いて恒常法(method of constant stimuli)で判断を記録した。そして、各実験参加者の実験結果に対して、最尤法で正規累積分布関数を当てはめ、判断が50%になる点を求めて主観的静止点(point of subjective stationarity: PSS)とした。

4. 研究成果

音(白たい色雑音)を左右の耳から交互に呈示するのに同期させて、静止した視覚刺激を点滅させると、点滅刺激が左右に動いているように感じられる。この時の脳活動と点滅する視覚刺激の位置を左右交互に変化させて仮現運動を生じさせた時の脳活動を比較すると、視覚的な動きの処理に深くかかわっている hMT 野がどちらの刺激に対しても共通して活動していることが明らかになった(図2)。

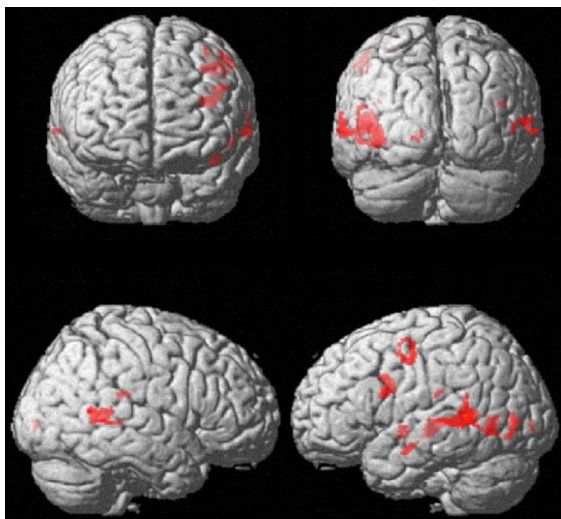


図2 .fMRI 画像。仮現運動をみている時と音によって静止刺激が動いているように見えている時に共通して活動部位が赤色で示されている。

動いているように知覚される時に、視覚的な動きの処理を行う回路が活動していることを確認するために、最近新たに考案された

fMRI 画像を撮像する際の deactivation 法(急速順応法)を使って、脳活動の記録を行った(図3)。これは、刺激 A に対する脳活動を記録した後に、刺激 B を複数回呈示する。その後、改めて刺激 A に対する脳活動

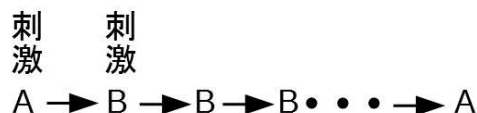


図3 . Deactivation 法

を記録する。このとき、刺激 A と刺激 B のどちらに対しても共通して活動する部位は、繰り返し活動することによって、2度目に呈示される刺激 A に対する活動が、最初に呈示した刺激 A に対する活動と比較して、減少するが、刺激 A に対して特異的に活動する部位の活動には変化が見られないだろうという心理物理学で蓄積された実験結果に基づいている。

我々は、動いている刺激(仮現運動刺激)に対する脳活動を記録した後に、音を同期させて呈示することによって動いているように見える静止刺激を複数回呈示した。その後、改めて、動いている刺激(仮現運動刺激)に対する脳活動を記録すると、視覚的な動きの処理に深くかかわっている hMT 野の活動が著しく減少していることが明らかになった。この結果は、静止した物体が動いているかのように見える時、脳内で視覚的な動きの処理が行われていることを示唆している。

仮現運動刺激に同期させて高さが異なる2つの音を交互に呈示する事態に3分間順応させた後に、同じ位置で点滅する視覚刺激に同期させて2つの音を交互に呈示すると、点滅する視覚刺激が動いて知覚されるようになる。この現象の脳内メカニズムを明らかにするために、静止した視覚刺激の点滅に同期させて高い音(2000Hzの純音)と低い音(500Hzの純音)を交互に呈示した時の脳活動を記録した(この時に、視覚刺激は静止していると感じられる)。しかし、仮現運動刺激に同期させて2つの音を交互に呈示する事態に3分間順応させた後に、まったく同じ刺激に対する脳活動を記録した(この時には、静止した視覚刺激が動いていると感じられる)。すると、視覚的な動きの処理に深くかかわっている hMT 野が、順応前と比べて順応後には、強く活動することが明らかになった。この結果は、視聴覚刺激に対する順応の効果が、連合野ではなく視覚領の活動の変化となって現れていることを示している。

誘発電位法でも、同じような結果が得られている。我々は、定常的に呈示される刺激 A に交えて、時折、刺激 B を呈示すると、刺激 B に対して、潜時180ミリ秒から250ミリ秒の間で、負の電位が記録される。これはミスマッチ負電位と呼ばれ、2つの刺激の物理的な違いが弁別されていることを示している。

脳波は、アクティブ電極を用いて、32ch 脳波計で記録した。0.3~30 Hz のバンドパスフィルターをかけた後、初めの視覚刺激の提示前 100 ミリ秒から 2 番目の視覚刺激提示から 300 ミリ秒後まで、少なくとも 100 回の加算平均を行って誘発電位を求めた。

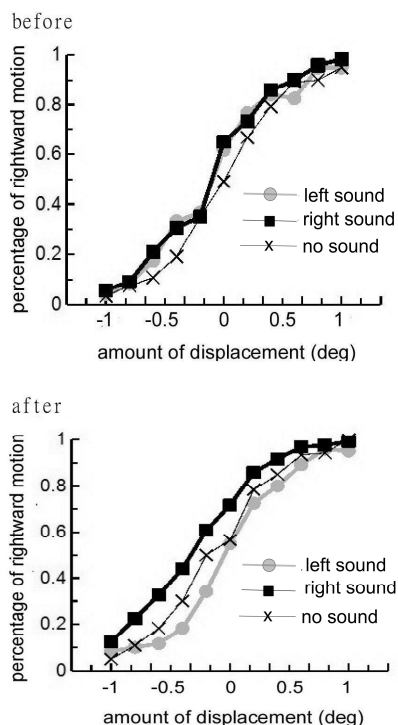


図4 移動方向の主観的判断。縦軸は右方向の動きと判断した割合、横軸は2点の移動角度で+は右方向への移動距離、-は左方向の移動距離を表す。順応前に音の影響はなかったが、順応後には音によって判断が大きく変化した。

最初に、静止した視覚刺激の点滅に同期させて高い音と低い音を交互に提示した時の脳活動を記録した(図4: この時に、視覚刺激は静止していると感じられる)。この記録を行っている最中に、低頻度刺激として、実際に動いている仮現運動刺激を提示して、ミスマッチ負電位を求めた。

最初に点灯する刺激(S1)の位置と2回目に点灯する刺激(S2)の位置が同じか異なっているかを弁別することによって、仮現運動刺激と静止刺激の点滅との間の相違が知覚される。したがって、ミスマッチ負電位が記録できるとすれば、2回目の刺激(S2)が点灯した後150ミリ秒から250ミリ秒経過した時に記録されるはずである。

順応前に誘発電位を記録すると、仮現運動刺激と視覚刺激の点滅が容易に弁別できるため、2回目の刺激(S2)から150ミリ秒ほど経過した時点でミスマッチ負電位が記録された(図5で、Y軸の上方向が負、下方向が正の電位を示している)。ところが、順応の後には、負電位が消失した。これは、順

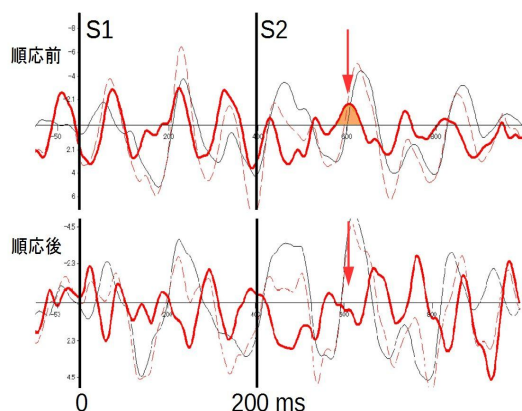


図5 ミスマッチ負電位。順応前には2番目の刺激の立ち上がりから150ミリ秒後近辺にミスマッチ負電位が観察されたが、順応後には消失した。

応によって、静止刺激の点滅が動いて感じられるようになるため、仮現運動との区別が出来なくなったことに起因すると考えられる。

ミスマッチ負電位の潜時は、主観的には判断の際に出現するP300の潜時と比べて100ミリ秒ほど短い。そのため、ミスマッチ負電位の発生源は逐次処理の早期の段階にあると考えられ、早期の段階で既に視聴覚統合が行われているという我々の主張を支持している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- 1 Hidaka, S., Teramoto, W., & Sugita, Y. Spatiotemporal processing in cross-modal interactions for perception of the external World: A review. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 9:62 (2015) doi: 10.3389/fnint.2015.00062
- 2 Nakashima, Y., Iijima, T., & Sugita, Y. Surround-contingent motion aftereffect. *Vision Research*, 117, 9-15 (2015) doi: 10.3389/fnint.2015.00062
- 3 Nakashima, Y., & Sugita, Y. Surround-contingent tilt aftereffect. *Journal of Vision*, 14, 1-6 (2014) doi:10.1167/14.14.5

〔学会発表〕(計 7 件)

- 1 Omi, T., Teramoto, W., Higuchi, S., Hidaka, S., & Sugita, Y. Audio-visual integration for motion perception. Society for Neuroscience, Chicago, USA Oct. 19, 2015.
- 2 Nakashima, Y., Iijima, T., & Sugita, Y. Surround-contingent tilt aftereffect

revealed by Pavlovian differential conditioning. Society for Neuroscience, Washington DC, USA. Nov. 17, 2014.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉田 陽一 (SUGITA, Yoichi)
早稲田大学・文学学術院・教授
研究者番号：4 0 2 2 1 3 1 1

(2) 研究分担者

遠山稿二郎 (TOHYAMA, Kojiro)
岩手医科大学・バイオイメージングセンター・教授
研究者番号：1 0 1 2 9 0 3 3

月浦崇 (TSUKIURA, Takashi)
京都大学大学院・人間-環境学研究科・准教授
研究者番号：3 0 3 4 4 1 1 2

(3) 連携研究者

()
研究者番号：