

視覚運動情報に対する予測と認知の関係の検討

Relationships between Prediction and Cognition for Visual Motion Information

三尾 恭史†

青山 敦‡

小山 祐徳†

川澄 正史†

Takafumi Mitsuo

Atsushi Aoyama

Hironori Koyama

Masashi Kawasumi

1. はじめに

ヒトはスポーツやコミュニケーションなどの日常の中で、視覚運動情報に対して予測を行う場面が多くある。予測を行うことにより、高度・高速な情報処理が可能になることが考えられ、予測と視覚認知には密接な関係が示唆される。しかし、予測を行うことが、視覚認知にどのような影響を及ぼしているか明らかでない。予測を行っている際の脳内では、標的に対する期待を反映するSPNm(Stimulus Proceeding Negativity)と呼ばれる脳成分が頭頂部優位で現れることが知られている¹⁾。また、視覚認知の際の脳内では、標的の刺激の検出・認知を反映するP300mと呼ばれる脳成分が刺激呈示後300ms前後で現れることが知られている²⁾。SPNmとP300mは、高次脳機能の研究で多く議論がされているが、両成分の関係性については調べられていない。

本研究では、SPNmとP300mに着目し、予測と視覚認知の関係について脳磁図計測装置(Magnetoencephalography: MEG)を用いて検討を行った。

2. 実験方法

2.3 視覚刺激

視覚刺激を Fig.1 に示す。視覚刺激は、手掛かりの情報である板の形状(穴なし/穴あり)と、標的となる情報であるボール動作(通過/跳弾)を対応付け、計 4 パターンの視覚運動情報とした。4 パターンを、板の形状にボール動作が対応する標準刺激と、板の形状とボール動作が対応しない標的刺激の 2 種に分類した。標準刺激は、(穴なし=跳弾/穴あり=通過)の組み合わせとし、標的刺激は、(穴なし=通過/穴あり=跳弾)の組み合わせとした。

2.2 実験デザイン

実験デザインを Fig.2 に示す。視覚刺激の呈示時間は、2sec(1sec で標準刺激・標的刺激の判明)とし、刺激間隔は 200~400ms の範囲とした。視覚刺激は、呈示 100 回毎に 30s の休憩時間を挟み合計 500 回呈示した。標準刺激は高頻度(80%)で、標的刺激は低頻度(20%)でランダムに呈示した。課題として、標準刺激・標的刺激を右示指で弁別させた。弁別には、非磁性体の光センサーを用いた。標準刺激には、右手人差し指で応答させ、標的刺激には右手中指で応答させた。視覚刺激に注意を向けさせるため、刺激呈示開始から標準刺激・標的刺激の判明までの 1sec までの間に、標準刺激が必ず出るよう予測を指示した。また、弁別は可能な限り早く応答するよう指示した。

2.3 計測および解析

被験者は、正常な視覚機能を有する 20 代学生 3 名を用いた。全ての被験者は右利きであった。なお、倫理的配慮とし、被験者には事前実験内容、注意事項、被験者自身の負うリスクについて説明し、同意を得て、実験を行った。

計測には Neuromag 社製 122 チャンネル全頭型脳磁図計測装置を用いた。実験は高性能磁気シールドルーム内で行った。計測の際、オンラインで 0.03-200Hz 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、標準刺激/標的刺激に対し視覚刺激呈示開始を基準として-0.100ms~2100ms の区間(1sec で標準刺激・標的刺激の判明)を対象とし、各刺激に対して 80 回以上加算平均を行った。

最初の解析では、予測と視覚認知の比較を行うため、RMS(Root Mean Square)解析を行い、頭頂部を対象として SPNm と P300m の相関関係を調べた。このとき P300m は、通過/跳弾後を基準に 200~500ms(1200~1500ms) の範囲のピーク値/潜時の 2 つを評価とした。SPNm は 400~1000ms の範囲の、平均 RMS 値・ α 帯域(8-13Hz)の平均 RMS 値・ β 帯域(14-28Hz)の平均 RMS 値・ θ 帯域(4-7Hz)・ γ 帯域(30-50Hz)の平均 RMS 値の 4 種を評価とした。

次に、頭頂部における各試行の脳磁界応答(時間領域-100~2100ms, 周波数領域 8~50Hz)に対して Wavelet 解析を行った後、条件毎に加算し、標準刺激と標的刺激の時間周波数特性の比較を行った。

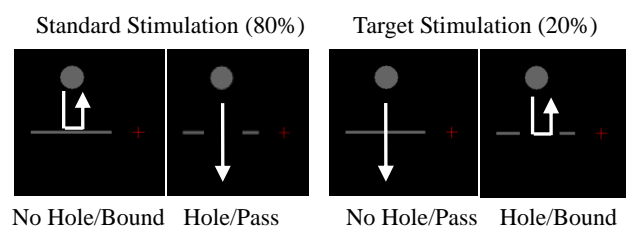


Fig. 1. Visual motion stimulation

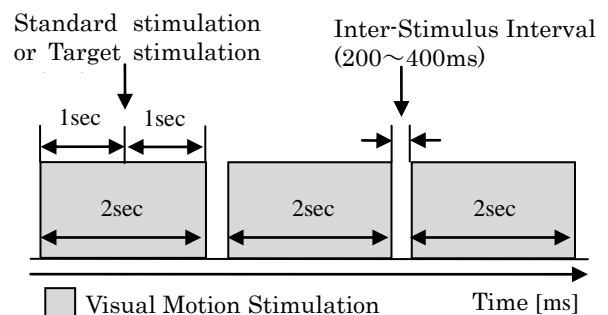


Fig. 2. Experimental design

† 東京電機大学大学院未来科学部情報メディア学専攻

‡ 東京電機大学先端工学研究所

3. 結果

最も P300m が顕著に現れた被験者 A における、頭頂部を含む 8 チャンネルにおける標準刺激・標的刺激に対する加算平均波形を Fig.3 に示す。標的刺激においてのみ、刺激判明後 240ms(横軸上 1240ms)付近で磁場強度が増大し、第一のピークが確認された。また、直後に磁場強度が減少し、続けて刺激判明後 320ms(横軸上 1320ms)付近で第二のピークが確認された。これは、第一のピークは、ピーク値が $96 \pm 27 \text{ fT/cm}$ であり、潜時が $243 \pm 27 \text{ ms}$ であった。第二のピークは、ピーク値が $114 \pm 32 \text{ fT/cm}$ であり、潜時が $320 \pm 71 \text{ ms}$ であった。標準刺激・標的刺激において、刺激呈示後 500ms 付近から 1300ms 付近まで磁場強度が一定に増大した。これは SPNm の活動とみられる。

刺激の単一試行毎に RMS 解析を行って得られた、SPNm と P300m の各値における相関関係を Table.1 に示す。SPNm の平均 RMS 値と P300m のピーク値が最も相関が高かった ($R=0.71$)。また、 θ 帯域の平均 RMS 値と P300m のピーク値・潜時で僅かに負の相関がみられた。

標準刺激・標的刺激に対し、頭頂部を対象に時間周帯域数解析を行って得られた図を Fig.4 に示す。標的刺激において、刺激呈示後 1200~1400ms 付近で、 α 帯域の増大がみられた。また、 β 帯域から γ 帯域にかけて持続的に活動がみられた。

4. 考察

標的刺激においてのみ、標準刺激・標的刺激の判明後 240ms 付近に第一のピークが確認された。これは、P300m の早期成分(潜時が 200~280ms)である P3a と考えられる。続けて 320ms 付近に現れた第二のピークは、P300m の後期成分(潜時が 300~500ms)である P3b と考えられる。これは、刺激の判明後 240~320ms 付近で標的刺激の認知・検出をしていることを示している。

α 帯域の自発脳活動は、視覚入力によって減少することが知られているが、本研究では通過・跳弾の条件に関わらず、標的刺激呈示後 200~400ms で活動増大がみられた。この α 帯域の活動は、視覚入力の変化によるものではなく、予測の外れの認知・検出に関係しているものと考えられる。しかし、単一試行毎の解析では、この α 帯域の活動強度と P300m の活動強度に相関がみられなかった。したがって、今後さらに関係性の検討が必要である。一方で、SPNm と P300m の活動強度に正の相関がみられた。これは、可能な限り早く弁別を行わせるという課題下において、手掛かりとなる情報に対する期待のレベルに依存して、視覚認知処理が行われたためと考えられる。

θ 帯域の活動強度と P300m の強度・潜時で、負の相関がみられた。 θ 帯域は、一般にリラックス状態時に現れることが知られている。P300m は、非集中時や疲労時に潜時の延長が起こり、潜時の延長が P3a の振幅低下に起因することが示唆されており、本研究では、P300m の潜時の延長と振幅低下の原因は、予測時の θ 帯域と関係がある可能性を示唆している。

4. おわりに

本研究では、手掛かりに対応するボール動作を予測させ、視覚運動情報におけるヒトの予測と視覚認知の関係

について検討を行った。結果、標的の認知・検出が、標的呈示後 250ms 付近から行われており、頭頂部における α 帯域の活動と関係があることが示唆された。また、SPNm と P300m の活動強度に正の相関がみられた。さらに、SPNm における θ 帯域の強度と、P300m の強度・潜時に負の相関がみられ、予測時の θ 帯域と P300m の関係が示唆された。

参考文献

- 1) Silvia Poli, "Stimulus-Preceding Negativity and heart rate changes in anticipation of affective pictures", International journal of psychophysiology, Vol.65, pp32-39, 2007.
- 2) Linden DE, "The P300: where in the brain is it produced and what does it tell us?", Neuroscientist, Vol.11, pp.563-576, 2005.

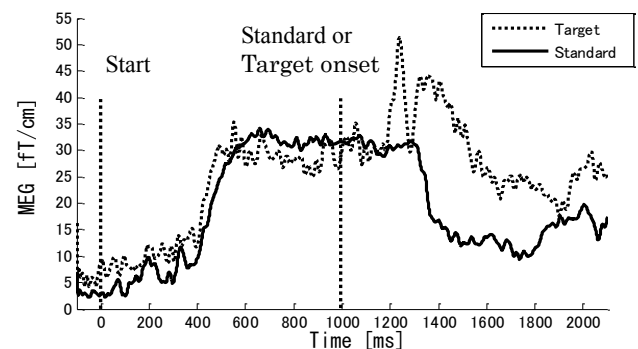


Fig. 3. RMS waveforms

Table 1. Correlation coefficient (relationships between SPNm and P300m)

SPNm	P300m	
	Peak Intensity	Peak Latency
RMS waveforms	0.71	0.06
α waveforms	-0.03	0.11
β waveforms	0.18	-0.07
θ waveforms	-0.24	-0.21
γ waveforms	0.08	0.05

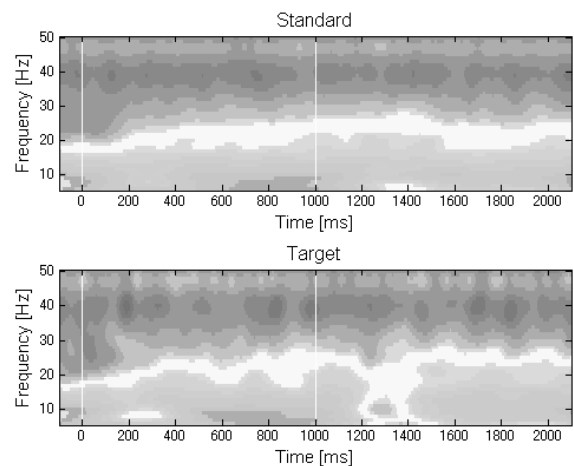


Fig. 4. Results of time-frequency analysis (parietal area)