

# 神経振動が顔認知の系列依存性に与える影響

村井祐基

情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター

外界を安定的に知覚するため、視覚系は現在の感覚入力と事前の履歴情報を統合して外界の状況を最適推定する。系列依存性はその現象的証左の1つで、刺激に関する知覚や判断が直前の知覚体験に引きずられる現象である。本研究では、顔認知の系列依存性に焦点を当て、異なる周波数帯の神経振動が感覚情報の符号化や情報統合の重み付けに関与しているという仮説を脳波計測で検証した。実験では連続的にモーブした顔画像を短時間呈示し、調整法で知覚を報告させながら脳波を記録した。結果として、顔呈示400ms程前の $\theta$ 波・ $\beta$ 波位相に応じて系列依存性が周期的に変動した。低周波・高周波の神経振動位相が、刺激呈示時点での感覚サンプリングを規定する準備状態や、履歴表象の重み付けに関与することを示唆している。

Keywords: face perception, serial dependence, EEG, oscillation

## 問題・目的

顔の知覚・認知はさまざまな社会生活場面で重要な機能だが、網膜上に投影される顔の像は目の動きや瞬き、遮蔽、照明の変化など様々な要因によって不安定である。にも関わらず顔の見えに支障をきたさないのは、視覚系が様々な事前情報を拘束条件として用い知覚を安定化しているからである。系列依存性はこのような安定化メカニズムの一つで、現在の知覚・判断が直前の知覚体験へ引きずられる現象であり、顔認知においてもアイデンティティ・表情・魅力度など様々な顔特徴において報告されている(e.g., Liberman et al., 2014; Taubert & Alais, 2016; Taubert et al., 2016)。

一方、系列依存性の強さは同じ観察者内でも変動する。近年、この変動には「感覚入力を優先する状態/事前情報を活用する状態」という内部状態のゆるやかな切り替わりが関与していることが示唆されているが(Weilnhammer et al., 2024)、試行レベルの変動を説明する枠組みに欠けてきた。本研究では、より短い時間スケールで働くメカニズムとして、刺激呈示前の脳波位相に着目する。神経振動の位相はこれから呈示される刺激に対する感覚サンプリングの精度や注意の状態、事前情報への重み付けを制御することが報告されている(Busch et al., 2009; Mathewson et al., 2009; Sherman et al., 2016)。そこで本研究では、顔認知課題中に脳波信号を記録し、刺激呈示前の脳波位相によって事前情報への重み付けの変化を通じて系列依存性が体系的に変化するか検証することを目的とした。

## 方法

**参加者** 38名の参加者が実験に参加した(女性10名, 男性28名, 年齢: 20-31歳)。うち1名を行動データ, 1名を計測上の問題により分析対象から除外した。

**刺激・課題** 実験課題の模式図を図1に示す。顔刺激はEkmanの3人の女性中立表情から連続モーブで作成

した60種類の円環状刺激を用い、髪などの外形手がかりを除くため楕円でトリミングした。

各試行では、まずランダムな標的顔を500ms呈示し、直後に残効を抑制するためノイズマスクを500ms呈示した。その後調整用顔刺激が現れ、参加者は矢印キーで顔を連続的に変化させ、テスト顔と同じ顔に調整した。試行間間隔は2-3秒でランダム化し、1ブロックあたり50試行を計10ブロック実施した。

**脳波計測・解析** 行動実験を遂行している際の脳波を32ch脳波計で計測した(actiCHamp Plus, Brain Products社)。解析はEEGLAB(Delorme & Makeig, 2004)及びカスタムコードを使用した。前処理としてダウンサンプリング、ハイパス、ラインノイズ除去、リファレンス、ICAによる眼球運動成分等の除去といった標準的な処理を行った後、Wavelet解析におけるエッジ効果を排除するため2~1sと広い時間窓でエポック化した。位相は3-40HzをMorlet Waveletで算出し、各周波数・各時点における位相を $15^\circ$ 刻みで分類した。各ビンにおいて系列依存性の効果量を算出し、位相と系列依存性の間の関係性をCircular-linear correlationで定量化した。この相関係数が有意であるか検証するため、各参加者内で位相ラベルをシャッフルしたうえで相関係数を1000回計算し、観測された相関係数をz値化した。時間×周波数の多重比較はクラスタベースの補正を実施した。

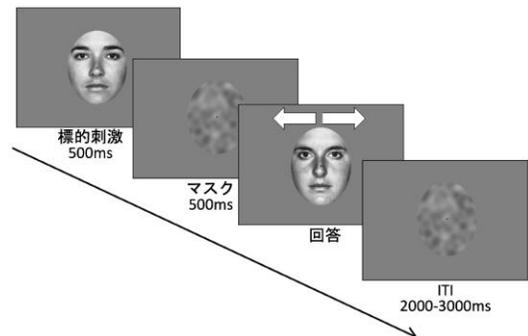


図1. 試行の流れ。

## 結果

**顔認知の系列依存性** 代表的な参加者の例を図2に示す。系列依存性を定量化するために、現在試行における回答誤差を直前試行と現在試行の顔のモーフ度の差の関数として図示した。本来課題は現在試行の顔刺激のみに基づいて行われるべきであり、もし過去の情報が現在の課題遂行に何の影響もなければ、フラットな関数形状になるべきである。ところが、先行研究と同じく、現在試行の回答が直前試行の顔の側に引きずられる、典型的な系列依存性が観察された。Von Mises 関数の一次導関数をフィットし、その半振幅を効果量として定義すると、群レベルで有意な系列依存性が観察された( $t(35)=8.95, p < .001, d_z=1.49$ )。

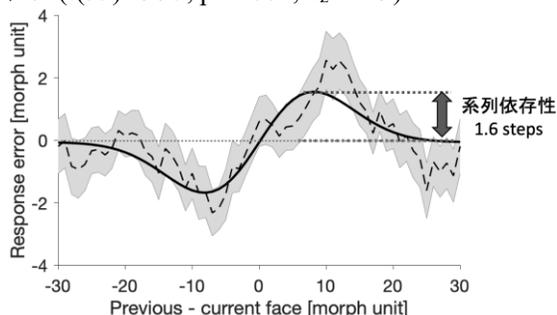


図2. 代表的な参加者の結果。回答誤差(縦軸)が直前試行と現在試行の顔の差(横軸)に依存して変動する。

**刺激前位相による行動指標の変化** 次に、系列依存性の効果が刺激呈示前の脳波位相に応じて系統的に変化するかどうかを調べた。系列依存性と位相の関係は刺激呈示前の特定の時間帯に有意に現れ、しかも周波数帯域の異なる2つのクラスタとして観察された。第一に、刺激呈示の430ms程前にシータ～アルファ帯域(6-9Hz)で、また375msほど前に低ベータ帯域(14-17Hz)で位相依存クラスタが現れた。チャンネルごとの相関係数を見たところ、前者のクラスタは頭頂・側頭、後者のクラスタでは前頭・後頭で高い相関係数が観察された。例として、後頭チャンネルにおける位相と系列依存性の関係性を図3に示す。このように、特定のタイミング・周波数・部位において、振動位相によって系統的に系列依存性の効果量に変化する事がわかる。以上の結果から、少なくとも異なる2種類の振動位相に同期して系列依存性が変動することが示唆される。

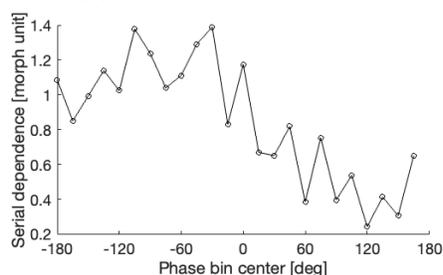


図3. 位相と系列依存性の関係(-375ms, 15Hz, P4).

## 考察

本研究では、顔認知における系列依存性が、刺激呈示前の脳波位相によって系統的に変動することを示した。特にシータ～アルファ帯と低ベータ帯という2つの振動帯域がタイミング的にも頭皮上の分布的にも異なる特性を示した点は重要である。このことは、複数の振動成分が異なる機能を担いながら履歴情報の活用を変調している可能性を示唆する。

本研究の特色の一つは、刺激直前ではなく400ms程前のタイミングで位相依存性が強く観察された点にある。シータ～アルファ帯は刺激呈示に先立つ注意や感覚情報取り込みのゲインのゆらぎ、ベータ帯は予測符号化やフィードバックへの関与(Ranieri et al., 2025)が示唆されており、感覚情報の符号化と事前情報の統合という異なる機能との関連性において系列依存性を変調した可能性がある。個人差との関連や周波数帯域間の二重解離について更なる検討が必要である。

## 引用文献

- Busch, N. A., Dubois, J., & VanRullen, R. (2009). The phase of ongoing EEG oscillations predicts visual perception. *Journal of Neuroscience*, 29(24), 7869–7876.
- Liberman, A., Fischer, J., & Whitney, D. (2014). Serial dependence in the perception of faces. *Current Biology*, 24(21), 2569–2574.
- Mathewson, K. E., Gratton, G., Fabiani, M., Beck, D. M., & Ro, T. (2009). To see or not to see: Prestimulus alpha phase predicts visual awareness. *Journal of Neuroscience*, 29(9), 2725–2732.
- Ranieri, G., Burr, D. C., Bell, J., & Morrone, M. C. (2025). Serial dependence in face-gender classification revealed in low-beta frequency EEG. *BMC Biology*, 23(1), 203.
- Sherman, M. T., Kanai, R., Seth, A. K., & VanRullen, R. (2016). Rhythmic influence of top-down perceptual priors in the phase of prestimulus occipital alpha oscillations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(9), 1318–1330.
- Taubert, J., & Alais, D. (2016). Serial dependence in face attractiveness judgements tolerates rotations around the yaw axis but not the roll axis. *Visual Cognition*, 24(2), 103–114.
- Taubert, J., Alais, D., & Burr, D. (2016). Different coding strategies for the perception of stable and changeable facial attributes. *Scientific Reports*, 6, Article 32239.
- Weilhammer, V., Murai, Y., & Whitney, D. (2024). Dynamic predictive templates in perception. *Current Biology*, 34(18), 4301–4306.e2.