

## 視覚情報処理におけるアルファ波のクロック機能 —アルファ周波数とジター周波数の関係—

南 宇人\*\*\*・天野 薫\*\*\*

\*脳情報通信融合研究センター (CiNet)

\*\*大阪大学 大学院生命機能研究科

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘1-4

### 1. はじめに

ヒトの脳から発生する8~12Hz程度の電氣的信号はアルファ波と呼ばれ、脳波(EEG)の中で最も顕著な成分の一つである。アルファ波は安静閉眼時に増大するため、古くは脳のアイドリング状態を反映しており、情報処理には直接関与していないと考えられていた。しかしながら近年の研究によってアルファ波が視覚情報処理と密接に関与していることが報告されている<sup>1-3)</sup>。例えば、注意を向けた視野と対側の後頭部においてアルファ波が有意に抑制されることが広く知られている<sup>1)</sup>。また、Mathewson<sup>2)</sup>の研究では、メタコントラストマスキングにおけるターゲット刺激の知覚の有無が、ターゲット刺激提示時のアルファ波の位相に応じて変化することが明らかになった。fMRIを用いたScheeringa<sup>3)</sup>の先行研究においては、チェッカーボード刺激提示直後の視覚野におけるBOLD反応が、アルファ波の位相に依存することも報告されている。このようにアルファ波と視覚情報処理の関連が報告されているが、アルファ波が具体的にどのような機能を果たしているのかは明らかになっていない。

脳磁図(MEG)を用いた我々の先行研究では、アルファ波が視覚情報処理のリズムを決めている可能性が示唆された<sup>4)</sup>。この研究で用いられたジター錯視<sup>5)</sup>は、近接する輝度境界と等速で運動する等輝度境界が、揺れて感じられる現象

である。この研究から、ジター錯視の主観的な周波数が10Hz程度であり、ジター錯視の知覚と相関して、ジターの見えと同じ周波数の脳活動、すなわちアルファ波が増大することが明らかになった。見えの周波数と脳活動の周波数の一致は興味深いものであるが、アルファ波の増大が、ジター錯視の成立に関与しているのか、ジター知覚の結果から影響を受けているのかは明らかでない。

そこで本研究ではアルファ波がジター錯視の成立に関与しているという仮説を実証すべく、被験者間でのアルファ波の周波数とジター周波数の関係を検証した。ジター錯視の知覚がアルファ波周波数に与える影響を排除するため、アルファ波の測定は刺激を提示していない安静状態で行った。もし、アルファ周波数の個人差がジター周波数に反映されていれば、脳内に元々存在するアルファ波がジター知覚の成立のほうに関与していることが示唆される。

### 2. 実験方法

#### 2.1 被験者

男性8名、女性2名の計10名が実験に参加した。すべての参加者は裸眼または矯正によって正常な視覚を有していた。

#### 2.2 実験装置

視覚刺激は、CRTディスプレイ(DellP1130, 21インチ、解像度800×600、リフレッシュレート120Hz)上に呈示された。視野角は40deg×30degであった。視覚刺激は、Psychophysics Toolbox Version 3を用いて制御した。実験は

暗室内で行われた。

EEG測定にはNeuroelectrics社製脳波計測器Starstimを用いた。Ag/AgClドライ電極を使用し、チャンネル位置はC1, C2, P3, Pz, P4, PO7, Oz, PO8の8カ所とした。サンプリング周波数は500Hzとした。

### 2.3 手続き

開眼、閉眼時におけるアルファ波の測定と、ジター周波数の推定を別々に行った。

アルファ波の測定では、ディスプレイに何も呈示していない状態で、安静開眼状態と安静閉眼状態をそれぞれ30秒間、交互に5回ずつ繰り返し、その時のEEGデータを測定した。目の開閉のタイミングは音による合図で教示した（一音で開眼、二音で閉眼）。測定したEEGデータを1024msのウィンドウ（512タイムポイント）で等分割してそれぞれに高速フーリエ変換(FFT)を適用し、開眼、閉眼時それぞれで得られた145個のパワースペクトラムを加算平均した。8~13Hz内でパワーの最も強い周波数をアルファ周波数と定義した。

ジター周波数の測定では、図1のような視覚刺激を呈示した。上視野にはジター錯視刺激を、下視野には物理的ジター刺激を呈示した。上視野の緑のバー( $x=0.30, y=0.61$ )は、赤い正方形( $x=0.64, y=0.34, Y=12.2 \text{ cd/m}^2$ )と主観的等輝度になるよう交照法によって事前に調

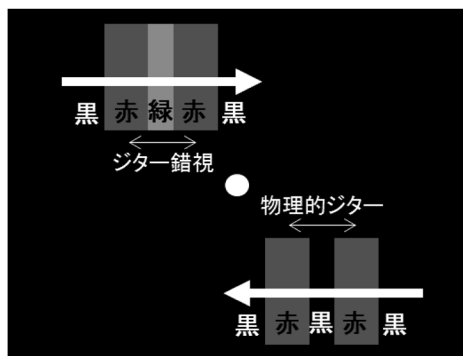


図1 心理実験時で提示した視覚刺激。上段にはジター錯視によって緑のバーが揺れて感じられる刺激を、下段には黒のバーが物理的に揺れる刺激を提示し、被験者にどちらの揺れが速いか判定させた。物理的な揺れの周波数はランダムに変化させた。

整した。下視野には、上視野と同じ赤い正方形上で、低輝度の緑のバーが物理的に揺れている画像を呈示した。物理的な揺れの周波数は4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13Hzの中から各20回ランダムに選ばれた。赤の正方形の各辺は1.6deg, 緑のバーの幅は0.32 deg, 運動速度は5.8 deg/sとした。赤の正方形の中心は固視点の上下5.6degの位置とした。被験者は上下いずれの刺激が早く揺れて感じられるかをボタン押しによって回答した。

物理的に揺れるバーの周波数を横軸に、物理的な揺れのほうがジター錯視の揺れよりも早いと回答した割合を縦軸にとってプロットし、累積正規分布関数をフィットした。縦軸が50%になる周波数を、ジター錯視の周波数と定義した。

### 3. 結果

図2に典型的な被験者における脳波のパワースペクトラムを示す。広く知られている通り、アルファ帯域において明瞭なピークが見られ、その強度は安静開眼時よりも安静閉眼時のほうが大きかった。また、両条件下でのアルファ周波数はどちらも8.3Hz程度であった。一方、図2の右側はジター錯視の主観的周波数の測定において得られた心理測定関数であり、推定されたジター周波数も8.3Hz程度と、アルファ周波数とよく一致していた。他の被験者でも同様の傾向が観察された。

横軸を閉眼時のアルファ周波数、縦軸をジ

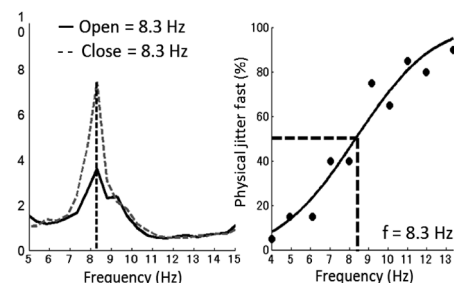


図2 典型的な被験者における脳波のパワースペクトラム（左）とジター錯視の主観的周波数測定における心理測定関数（右）。

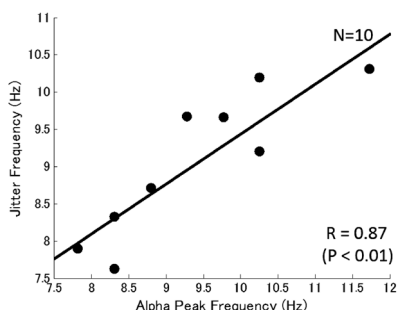


図3 閉眼時のアルファ周波数とジッター周波数の関係。

ター周波数にとって全被験者のデータをプロットしたのが図3である。アルファ周波数とジッター周波数の間に、 $r=0.87$  ( $p<0.01$ )という強い相関が見られることが明らかになった。

#### 4. 考 察

本研究によって、ジッター錯視の見えの周波数の被験者間変動は、アルファ周波数の個人差を反映していることが明らかになった。アルファ周波数の計測は、ジッター知覚時ではなく刺激を観察していない安静時に行っている。よってジッター知覚の結果生じる脳活動は存在せず、得られたアルファ周波数は脳内に元々存在するアルファ波の周波数を反映すると考えられる。この周波数とジッター錯視の周波数の相関は、脳内に元々存在するアルファ波のリズムでジッター錯視が知覚されている可能性を示唆している。ホイール錯視を用いたRodika<sup>7)</sup>の研究でも、ホイール錯視の点滅のリズムが、アルファ波の周波数とよく一致していることが示されており、アルファ波の同様な機能を反映している可能性が考えられる。

以下では、本実験の結果に基づき、視覚情報処理におけるアルファ波の具体的な機能について考察する。脳内の視覚情報処理経路には、動的な視覚情報を処理する背側経路と、オブジェクト等の処理を行う腹側経路の二つが存在することが知られている<sup>6)</sup>。ここでは、それぞれの経路において位置情報の処理が行われており、両者が相補的に機能していると仮定する。すなわち背側経路では運動情報に基づく高時間解像

度、低空間解像度の位置表象が、腹側経路ではオブジェクト処理に基づく低時間解像度、高空間解像度の位置表象が存在すると考えられる。

ジッター錯視刺激観察時には、赤緑等輝度境界の運動が赤黒輝度境界の運動よりも遅く知覚されるため、背側経路における運動に基づく緑のバーの位置表象は赤の正方形より相対的に遅れる。一方、腹側経路では形状に基づく正確な位置情報が得られる。これら二つの位置情報の乖離が、アルファ波のリズムで定期的に補正され、ジッターが近くされると考えられる。すなわち、アルファ波は視覚領域間で情報のやり取りをするリズムを決めるクロックのような機能を果たしていると考えられる。现阶段では、このモデルはスペキュレーションの域を出ないため、MEGを用いた活動源推定やfMRI計測を組み合わせ、今後より詳細な検討を行っていく予定である。

#### 文 献

- 1) O. Jensen, M. Bonnefond and R. VanRullen: An oscillatory mechanism for prioritizing salient unattended stimuli. *Trends in Cognitive Sciences*, **16**, 200–206, 2012.
- 2) K. E. Mathewson, G. Gratton, M. Fabiani, D. M. Beck and T. Ro: To see or not to see: Prestimulus alpha phase predicts visual awareness. *The Journal of Neuroscience*, **29**, 2725–2732, 2011.
- 3) R. Scheeringa, A. Mazaheri, I. Bojak, D. G. Norris and A. Kleinschmidt: Modulation of visually evoked cortical fMRI responses by phase of ongoing occipital alpha oscillations. *The Journal of Neuroscience*, **31**, 3813–3820, 2011.
- 4) K. Amano, D. Arnold, T. Takeda and A. Johnston: Alpha band amplification during illusory jitter perception. *Journal of Vision*, **8**, 1–8, 2008.
- 5) D. H. Arnold and A. Johnston: Motion induced spatial conflict. *Nature*, **425**, 181–184, 2003.

- 6) J. Wang, T. Zhou, M. Qiu, A. Du, K. Cai, Z. Wang, C. Zhou, M. Meng, Y. Zhuo, S. Fan and L. Chen: Relationship between ventral stream for object vision and dorsal stream for spatial vision. *Human Brain Mapping*, **8**, 170–181, 1999.
- 7) R. Sokoliuk and R. VanRullen: The Flickering Wheel Illusion When alpha Rhythms Make a Static Wheel Flicker. *The Journal of Neuroscience*, **33**, 13498–13504, 2013.