

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12041

研究課題名(和文) 両眼合成周波数 SSVEP による視覚的注意の空間分布の計測

研究課題名(英文) Measurement of spatial distribution of visual attention by using SSVEP evoked by dichoptic stimulation

研究代表者

栗木 一郎 (Kuriki, Ichiro)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：80282838

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：脳波を用いた視覚的注意の分布について計測技術を確立する研究を行った。視野を複数の領域に区切り、それぞれを異なる周波数で点滅させる事により、視野の位置に対応した誘発脳波が発生する。注意が向いた視野位置に対応する脳波成分は振幅が増大し、注意の向きを特定することができる。本研究では左右眼で縦/横方向に視野を分割して両眼融合させることにより、使用する周波数の数を削減する試みを行った。具体的には、縦方向を3分割、横方向を5分割し、8種類の周波数で15の区分の注意状態を検出することができる。周波数の数を減らすことで信号処理の負担を減らす事ができ、注意の向きの推定に成功した。

研究成果の概要(英文)：We investigated and established a method to measure the distribution of visual attention by using visually evoked potential (VEP). When an image of visual scene is sectored and each sector flickers in time, VEPs with corresponding temporal frequency (SSVEP) will be induced. By monitoring the changes in amplitude of this SSVEP we can monitor the state of visual attention at each sector. In the present study, we sectored left/right eye images in different ways; e.g., left-eye image was sectored vertically and right-eye image was sectored horizontally. If the number of vertical and horizontal sectors are 5 and 3, respectively, the total number of frequency used is 8 but we can obtain attentional state of 15 sectors. According to the reduction of SSVEP frequencies, it was possible to obtain better S/N ratio, and we succeeded in estimating the focus of attention by this method.

研究分野：視覚科学

キーワード：視覚的注意 脳波 SSVEP 信号処理

### 1. 研究開始当初の背景

視覚的注意は、眼球運動とは別に動かすことができず、注視点と違って広がりを持っている。従って眼球運動計測では十分に測定できない。一方で、注意位置・広がり、教育や介護、機械操作の指導・管理などの視点で重要な情報であり、客観的に計測する装置の開発が重要であると考えられている。我々は、これまでに定常的視覚誘発電位 (Steady-state visually evoked potential: SSVEP) を用いた注意の特性の測定技術を開発してきた。この技術・知見を応用して、視覚的注意の位置・広がりを客観的に測定する方法について研究を行なった。

SSVEP を用いた BMI (brain-machine interface) 研究は多いが、視覚的注意の広がりを測定することに焦点を置いたものは少ない。本研究では、メッシュ状に注意の分布を測定する SSVEP の方式として、左右眼に分離提示したフリッカーにより誘発された脳波を用いた方法について検証する。

左右眼に異なる周波数の光の点滅を提示すると、その周波数の和もしくは差の周波数 (合成周波数) をもつ脳波が生じることが報告されていた。本研究では、その現象を利用し、縦に分割した画面と横に分割した画面をヘッドマウントディスプレイ (HMD) などによって左右眼に独立に提示する方法を提案した。画面上の区域によって、左右眼の点滅が重なり合った部分で生じる合成周波数が異なるように周波数のペアを決めれば、視野を左右眼で同時に見たときに発生する合成周波数の変化によって、注意の分布状態を推定することが可能となると予想される (図 1)。

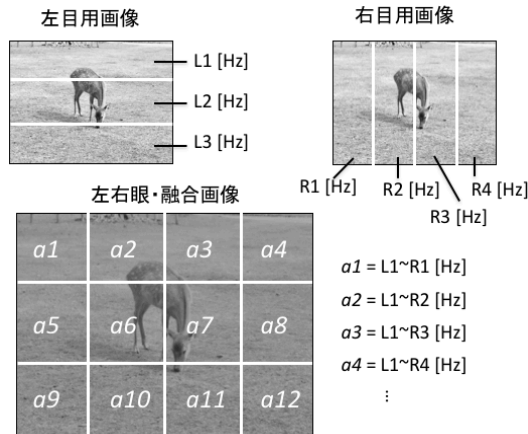


図 1. 左右眼分離提示による合成周波数の誘発原理。

左右眼で計測の縦横を分割する方法は、使用する時間周波数の数を削減できる利点もある。通常の SSVEP では、区域の数だけ周波数が必要である。しかし図 1 の例では、 $3+4=7$  つの周波数で  $3 \times 4=12$  区域の注意状態を検出できることになる。S/N が十分に高く計測できる脳波の周波数が限られていることから、周波数の効率的利用にも繋がる。

### 2. 研究の目的

視覚的注意の向きと広がりを SSVEP により計測する手法について、注意研究のための基盤技術を研究する事を目的とした。特に、左右眼に縦横方向で異なる点滅周波数パターンの画像を提示し、両眼を使って視野を観察した際に誘発される脳波に基づいて、注意の向き／広がりを計測する技術について実装を試みる事を主目的とした。

### 3. 研究の方法

[1] 左右眼分離提示と位相テンプレートマッチング解析

研究開始直後、当初提案した方式 (図 1) に関する試行実験を様々な条件で行なったところ、合成周波数の振幅が小さすぎて検出できない問題に直面した。合成周波数に関する先行研究では、視野内に単独で点滅光を提示したときの誘発脳波／誘発脳磁界に関する研究であり、複数の周波数の点滅が混在する条件での合成周波数に関する研究は存在しなかった。

そこで、刺激方法／解析方法を切り替え、図 1 のように左右眼に分離して提示する条件下で脳波測定を行うが、各周波数 (図 1 の L1~L3, R1~R4) に対応した SSVEP を直接計測する事で、縦方向 (L1~L3) と横方向 (R1~R4) の注意の位置・広がり の計測方法を研究する方針に切り替えて研究を実施した。

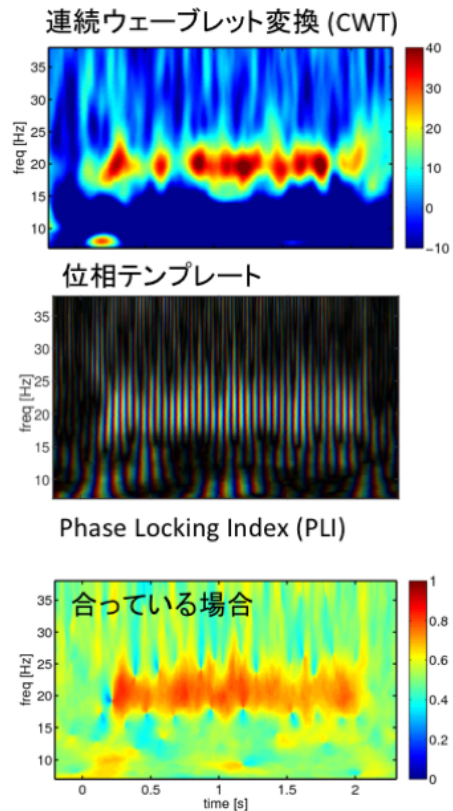


図 2. 位相テンプレートマッチング。

さらに、使用する周波数の数を削減するため、左右眼の各々で提示する点滅は時間周波

数を一定にし、位置により位相を変えて点滅させた場合での領域弁別性能を評価する研究を行なった(図4)。さらに位相検出力を高めるため、位相テンプレートマッチングという方法を導入した。予め特定の周波数・位相における視覚刺激の点滅により誘発された脳波パターンを複数試行計測しておき、その連続ウェーブレット変換(continuous wavelet transform: CWT)からテンプレートを作成する。測定されたデータのCWTとテンプレートとを比較し、合致の程度によりどの周波数・位相に振幅の上昇が存在するかを検出する手法である(図2)。

[2]物体随伴性注意の広がり SSVEP による測定

SSVEP を用いた注意の広がりに関するもうひとつの測定手法に関する実験として、注意の広がりについて研究した心理物理実験の課題(Egry et al., 1994)を実施中に SSVEP を測定する実験を行なった。細長い四角形の端に標的刺激を呈示する位置を定め、図3下に例示したようにアルファベットをランダムに表示する。例えば「H」を標的刺激として、被験者は標的刺激が呈示されたらボタンを押す課題を行う。同時に、例えば右上に注意を向けるように指示する。このとき、右下の標的位置は、注意位置(右上)と同じ物体(長方形)の中に属する。一方、左上の標的位置と注意位置(右上)の間の距離は、右下の標的位置と注意位置の間の距離と同じである。もし注意が物体に関係なく円形に広がるのであれば、同一物体内(右下)と別物体(左上)の注意強度は同一になる。この帰無仮説に対し SSVEP により4ヶ所の標的位置の振幅変化に着目して実験を行なった。

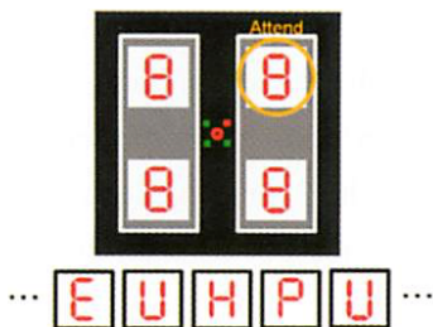


図3. 物体随伴性注意の測定 (Kuriki et al., 2016)

心理物理実験(Egry et al., 1994)では、4ヶ所の標的位置に呈示された「H」に対する反応時間は、注意位置(右上)に呈示された「H」に対する応答時間が最も短く、次に注意位置と同一物体内(右下)に呈示された「H」に対する応答時間が短くなり、同距離だが別物体内にある標的位置(左上)に対する応答時間が長くなった。このように物体の形にそって注意の効果が現れる現象を物体随伴性注意(object based attention)と呼ぶ。

もしも視覚的注意が、物体の形に影響されて決まるのであれば、SSVEPでも心理物理実験と同じように、右下の位置に対するSSVEPが左上よりも注意による振幅の増大が大きく現れることが予想される。

#### 4. 研究成果

[1]左右眼分離呈示・位相テンプレートマッチング

図4に示すように、左右眼で縦方向/横方向に視野を分割し、異なる周波数・位相で点滅させたときの脳波(SSVEP)を測定した。

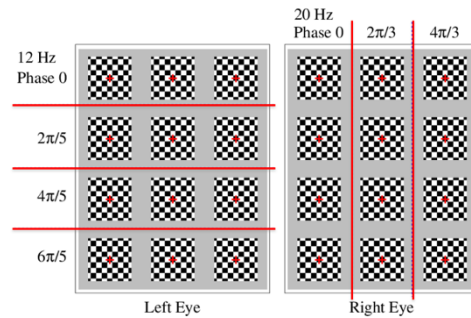


図4. 左右眼分離呈示における位相の分布。

この測定データに連続ウェーブレット変換を施し、位相テンプレートマッチングによる評価を行なった結果が図5である。上が12Hz(左目:上下方向)、下が20Hz(左目:左右方向)に対するマッチング結果を示している。この結果を総合したところ、約50%の正答率を示した。標的の数が15箇所存在することから、チャンスレベル(約6%)に比較すると十分に高い正答率だが、BMIに用いるには正答率が十分ではない。今後は位相テンプレートマッチングの精度を向上させ、リアルタイムの位置推定を可能とする信号処理の研究を行う予定である。

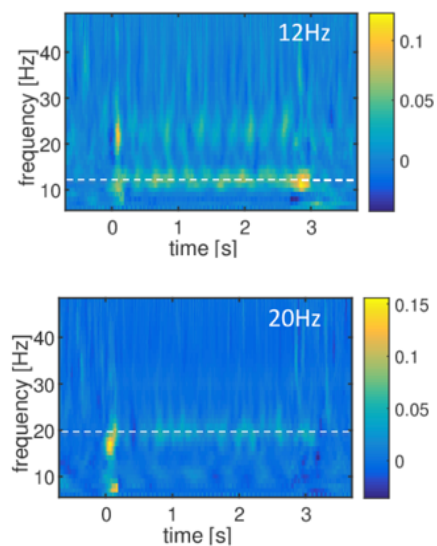


図5. 位相テンプレートマッチング結果. 検出に成功した例。(篠崎ら, 2017)

[2]物体随伴性注意の広がり SSVEP による測定

図 6 に SSVEP の測定結果を示す。左から、注意位置、同一物体内の標的位置、等距離の異なる物体内の標的位置、対角位置の 4 ヶ所において標的が示された時の SSVEP の振幅変化を示す。心理物理実験の結果からの予想と同様に、同一物体内に呈示した標的に対する SSVEP の振幅増大が、等距離にある別物体の中の標的位置より大きくなる結果を得た。これは視覚的注意の広がりには等方的（円形）に広がるのではなく、物体形状に沿って不定形に広がる様子を示している。

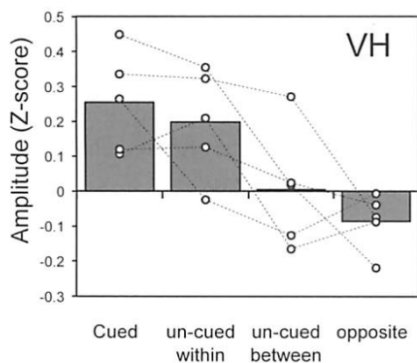


図 6. 物体随伴性注意の SSVEP 測定結果 (Kuriki et al., 2016)

本研究全体の成果をまとめると、物体随伴性注意を SSVEP により測定できた(4[2])ことから、不定形の注意の広がりを測定する技術の必要性があることが示された。また、両眼分離呈示と位相テンプレートマッチングを組み合わせた技術において、チャンスレベル以上の正答率が得られた(4[1])ことより、注意の方向と広がりを測定するシステムの実現可能性が存在することが示された。今後の研究として、位相テンプレートマッチングの前処理により推定精度を高めるなどの研究を行う必要があると考えている。

将来的には、HMD とシーンカメラを組み合わせたシステムにモバイル脳波計を用いて、視野の画像を左右眼で別々に分割・点滅（図 1）して呈示する方法によって生じた脳波（SSVEP）を解析し、実世界の場面でリアルタイムに注意位置・分布が計測できるシステムの実現を目指したいと考えている。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Ichiro Kuriki, Nobutaka Omori, Yoshiyuki Kashiwase, Kazumichi Matsumiya, Rumi Tokunaga, and Satoshi Shioiri. (2016) Measurement of object-based attention using steady-state visual evoked potentials. *Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology*. 査読有り. 33(1), 33-46. doi: 10.5674/jjppp.1505si

2. 篠崎隆志, 栗木一郎. (2016) 両眼独立な点滅刺激を用いた定常的視覚誘発脳反応による多コマンド BMI. 計測自動制御学会 (SICE) 第 31 回生体生理工学シンポジウム LE2016 抄録集, pp.93-94. 査読なし.

[学会発表] (計 5 件)

1. 金子沙永, Søren K Andersen, 栗木一郎. 定常視覚誘発電位を使ったヒト色相選択性応答の検証. 日本視覚学会 2018 冬季大会, 東京, 2018/1/17-19.
2. Takumi Miura, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki, Satoshi Shioiri. Measuring Attentional Facilitation Related to Preparation of Hand Movements. Asia-Pacific Conference on Vision 2017, Tainan, Taiwan, July 13-17, 2017.
3. 篠崎隆志, 栗木一郎. 両眼独立な点滅刺激を用いた定常的視覚誘発脳反応における周波数組み合わせの検討. 日本視覚学会 2017 年冬季大会, 東京, 2017/1/20.
4. 篠崎隆志, 栗木一郎. 両眼独立な点滅刺激を用いた定常的視覚誘発脳反応による多コマンド BMI. SICE 第 31 回生体生理工学シンポジウム LE2016, 大阪, 2016/11/4.
5. 篠崎隆志, 横田悠右, 成瀬 康, ヘッドマウントディスプレイと SSVEP の移送テンプレートマッチングを用いた BMI システム. 日本神経科学大会, 神戸, 7/28-31/2015.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗木 一郎 (KURIKI, Ichiro)  
東北大学・電気通信研究所・准教授  
研究者番号：80282838

(2) 研究分担者

篠崎 隆志 (SHINOZAKI, Takashi)  
国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・研究員  
研究者番号：10442972