

平成29年3月13日

国立大学法人 筑波大学  
国立大学法人 北海道大学  
国立大学法人 九州大学

## 頭の中で想像する内容を脳波リズムの位相差が切り替える ～振動子モデルによる脳型コンピュータへの応用に期待～

### 研究成果のポイント

1. 想像する内容が視覚か聴覚かによって前頭の脳波<sup>(1)</sup>の中のシータ波とアルファ波<sup>(2)</sup>の位相差<sup>(3)</sup>が異なる現象、およびそれを実現する振動子モデル<sup>(4)</sup>を発見しました。
2. 異なる脳波リズムの同期<sup>(5)</sup>を用いた数理モデル<sup>(6)</sup>に関する新たな知見を得ました。
3. この振動子モデルを使うことで柔軟に思考を切り替える脳型コンピュータの開発が期待されます。

国立大学法人筑波大学システム情報系の川崎真弘助教、北海道大学の秋山正和助教、九州大学の手老篤史准教授、東北大学の西浦廉政教授、理化学研究所の山口陽子チームリーダーらの研究グループは、ヒトが脳内でイメージ操作するときに、シータ波とアルファ波という異なる周波数の脳波リズムの位相差が情報の振り分けを行っていることを、脳波データ解析及び数値シミュレーションを用いて発見しました。

今回発見された結果によって、ヒトの複雑な認知機能は様々な脳波リズムの協調によって実現されている可能性が明らかになりました。この発見から、ヒトの脳活動から検証された振動子モデルによる、柔軟な思考を実現する脳型コンピュータの開発が期待されます。

本研究の成果は、2017年3月7日付で「Scientific Reports」で公開されました。

\* 本研究は、文部科学省が助成する新学術領域研究「伝達創成機構」(研究期間:平成21～25年度)およびテニュアトラック普及・定着事業・個人選抜型(研究期間:平成25～29年度)によって実施されました。

### 研究の背景

ヒトは様々な状況下で多様な情報の中から必要な情報を柔軟に選択し、思考できます。これを作業記憶と呼び、この脳メカニズムを理解することは脳型コンピュータを実現するうえで必要不可欠です。そこで、その基礎研究として、視覚と聴覚作業記憶に関わる脳メカニズムを明らかにすることにしました。従来の脳神経科学では、作業記憶時に活動する脳部位間に様々な周波数の脳波リズムで同期するネットワークが存在するという報告はありましたが、これらの脳波リズム間のメカニズムは不明でした。本研究では、視覚と聴覚作業記憶時に脳波測定を行い、脳波リズム間の関係を特定することと、この関係の妥当性を数理モデルの作成およびその数値シミュレーションによって検証しました。

### 研究内容と成果

視覚作業記憶課題と聴覚作業記憶課題時の脳波測定実験を行い、両課題時の脳波解析結果を比較検

討しました。実験にあたっては、14名の健常者(右利き、27.9歳、女性4名、男性10名)が、理化学研究所研究倫理委員会の同意書に記入し、脳波測定実験に参加しました。視覚作業記憶課題において、参加者は、PCディスプレイ上に提示された5×5のマス目にある円の位置を記憶し、その後に提示される矢印の方向に従って、頭の中で繰り返しイメージ操作を行いました。聴覚作業記憶課題では、参加者は、イヤホンから提示される数字を記憶し、その後に提示される数字を、頭の中で繰り返し足し算を行いました。脳波はシールドルーム内にて64電極で計測しました。

脳波データ解析の結果より、両課題とも、前頭のシータ波とアルファ波の位相が同期することがわかりました。しかも興味深いことに、視覚と聴覚作業記憶課題ではこのシータ波とアルファ波との間には位相差があることがわかりました。

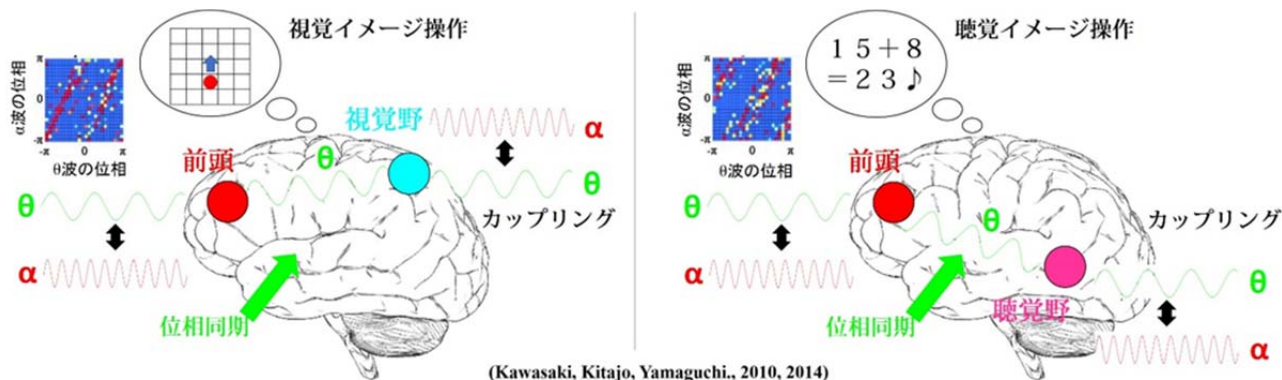
そこで、この位相差の意味を検証するためにシータ波とアルファ波の振動数比に着目し、位相振動子を用いた数理モデルを作成しました。シータ波とアルファ波は2つの作業記憶課題時において、位相差を持ちますが、数理モデルではそれらを単純化し、三角関数の波として入力信号としました。入力信号は数理モデル内の位相振動子の働きにより、増幅したり変調されたりしますが、興味深いことに、特定の位相差が入力された場合にのみ、内部の状態変数が励起されることがわかりました。数理的な解析の結果、この励起は三角関数の直行関係からある程度説明ができることがわかりました。また、様々な被験者のデータを統計的に処理したところ、シータ波とアルファ波の関係をマップにした実験結果と、我々の数理モデルによる理論曲線が定性的に一致しました。これらのことから、2つの作業記憶課題時における位相差は作業記憶課題時に重要な働きをしていることが、実験と理論の両面から理解できることがわかりました。

近年の神経科学の成果として、我々の日常の機能は非常に多彩であり、一つの脳部位や脳波リズムだけでなく、複数の脳波リズムが協調して達成されることがわかってきています。脳部位と脳波リズムの組み合わせだけでは情報処理に限りがありますが、本研究ではこれらの脳波リズムの位相差も情報を持ちうることを示し、情報処理の限界を広げる可能性を初めて示しました。

### 今後の展開

本研究によって特定された脳波リズム間の位相差を用いることで、複雑な機能を柔軟に切り替えるシステムを構築することが可能となります。さらに、認知脳活動として説明することがこれまで困難だった症例などの原因解明に貢献できる可能性があります。今後は、この理論を多くの周波数の脳波リズムに拡張することで、機能の多様化を検証する必要があります。

### 参考図



図：視覚作業記憶操作課題時と聴覚作業記憶課題時の脳内の同期現象のイメージ図(kawasaki, et al., 2010, 2014 参照)。左上のシータ波とアルファ波の位相関係が両課題で異なる。

## 用語解説

### 注1) 脳波

脳波とは、頭皮上におかれた電極からその下に存在する神経細胞集団の電気的な変化の総和。脳波リズムとはこの脳波の中に含まれるある一定のリズムのこと。

### 注2) シータ波とアルファ波

人の脳波リズムで4～7ヘルツ(シータ波)と9～12ヘルツ(アルファ波)にピークを持つ成分。

### 注3) 位相差

波は周期的に振動を繰り返すが、1周期の間でどのタイミングにあるかを表す量として位相がある。2つ以上の波では、その位相がぴったりそろわばかりでなく、ずれることもある。このずれを位相差と呼ぶ。

### 注4) 振動子モデル

周期的に変化する系に関して、その状態を位相振動子により表現するようなモデルのことで、同期や脱同期の状態を数値化できる特徴がある。また位相振動子同士のカップリングなども比較的容易に記述できる。

### 注5) 同期

独立した2つの異なるリズムをもった振動事象が、ある相互作用が加わることで、同じリズム(調子)で振動すること。

### 注6) 数理モデル

現象を記述するために、必須な要素を数量化し、それらの関係性を数式で表現したもの。

## 参考文献

- Masahiro Kawasaki, Keiichi Kitajo, and Yoko Yamaguchi (2010) Dynamic links between theta executive functions and alpha storage buffers in auditory and visual working memory. *European Journal of Neuroscience*, 31:1683–1689.
- Masahiro Kawasaki, Keiichi Kitajo, and Yoko Yamaguchi. (2014) "Fronto-parietal and fronto-temporal theta phase synchronization for visual and auditory-verbal working memory." *Frontiers in Psychology*, 5:200

## 掲載論文

【題名】Theta-alpha EEG phase distributions in the frontal area for dissociation of visual and auditory working memory。

(前頭葉におけるシータ波とアルファ波の位相分布が視覚作業記憶と聴覚作業記憶を切り分ける)

【著者名】 Masakazu Akiyama, Atsushi Tero, Masahiro Kawasaki, Yasumasa Nishiura, Yoko Yamaguchi

【掲載誌】 *Scientific Reports*  
doi:10.1038/srep42776

問合わせ先

川崎 真弘(かわさき まさひろ)

筑波大学 システム情報系 助教

住所 〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: kawasaki@iit.tsukuba.ac.jp

Tel: 029-853-8009

秋山 正和(あきやま まさかず)

北海道大学 電子科学研究所附属社会創造数学研究センター 助教

住所 〒001-0020 北海道札幌市北区北 20 条西 10 丁目

E-mail: akiyama@es.hokudai.ac.jp

Tel: 011-706-3362

手老 篤史(てろう あつし)

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 准教授

住所 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744番地 ウェスト1号館D708

E-mail: tero@imi.kyushu-u.ac.jp

Tel: 092-802-4477