

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 7日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650139

研究課題名（和文） 脳のアルファリズムと時間情報処理—強制同期法による研究—

研究課題名（英文） Alpha rhythms in the brain related with time information processing

研究代表者

北澤 茂 (KITAZAWA SHIGERU)

大阪大学・生命機能研究科・教授

研究者番号：00251231

研究成果の概要（和文）：本研究では、10 Hz の α 波が脳の時間情報処理の基本周波数ではないか、という α 波仮説を、外部からの強制同期法を開発して検証することを目的とした。その結果、一部の被験者において、外部から印加した α 波帯域の交流刺激の位相に依存して2つの刺激の時間順序判断が有意な影響を受けることが示された。交流刺激を印加しない対照実験においては、時間順序判断が左右の半球間の位相差にも依存することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：We aimed to test an “alpha rhythm hypothesis” that the 10-Hz alpha rhythm is the basic mode for temporal information processing in the brain, by developing a method to synchronize brain activity to a specific frequency. In some participants, we found that the correct response rate in the temporal order judgment of two successive stimuli depended on the phase of alternate currents applied transcranially with an alpha band frequency. In a control experiment without current application, we found in addition that the temporal order judgment depended on the phase difference between the two hemispheres.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：感覚・知覚・注意・脳波・リズム

1. 研究開始当初の背景

脳の時間情報の処理モデルの大半は、脳の中にリズムを刻む「クロック」を仮定している。しかし、その周波数が何 Hz であるのか、は未解明の問題として残されている。

脳のクロックの基本周波数が 10Hz のアルファ波である、というアルファ波仮説にはおよそ 50 年の歴史がある。例えば Kristofferson らは 1967 年の Science 誌に「脳の時間量子はアルファ波の 1 周期である」と発表している。光と音の同時性判断の弁別閾値が各被験者のアルファ波の 1 周期と関連したことがその根拠である。しかし、後続研究

はほぼ皆無で、アルファ波仮説は歴史の中に埋もれた。

その後、80 年代から注目されたのは 40 Hz 程度のガンマ波である。Singer らは麻酔したネコの一次視覚野で、長い棒状の視覚刺激に対し、棒の両端を受容野とする数ミリ離れたニューロン群が 40 Hz 程度の同期活動を示すことを報告した (Gray et al., Nature 1989)。以来、脳の広範囲の 40Hz の同期現象が覚醒したヒトでも報告され、注目を集めてきた。しかし覚醒したヒトのデータはマイクロサッカードに伴うアーチファクトにすぎないことが最近報告され (Yuval-Greenberg

Neuron, 2008)ガンマ波がヒトの脳の基本周波数である可能性はほぼ否定された。

我々は、これまで、右手と左手に加えた触覚刺激の時間順序判断に関する研究を行い、左右の手を交差すると、100-200 ms 間隔の刺激の時間順序が逆転することを発見し報告した(Yamamoto & Kitazawa Nature Neuroscience 2001a, b)。この逆転の原因を明らかにするための予備的な脳波計測で、全く予想外に、一つ目の刺激を入力する際のアルファ波の位相と、順序判断の逆転の間に相関があることを見出した。われわれのデータは、歴史に埋もれたアルファ波仮説を支持する強力な証拠となる可能性があるが、残念なことに位相の推定が困難な被験者も多く、再現性に問題があると判断して発表を見送ってきた。

ところが、最近、頭皮の上から加えた微弱な交流刺激で人の脳に影響を与えることができるという報告(Kanai et al, 2008, Current Biology)を読み、この技術を使えばアルファ波仮説を直接検証できるのではないかと着想するにいたった。Kanai らによれば、一次視覚野の上にアルファ波の周期で刺激を与えると、閉眼時にはその周期で明滅が知覚されるという。つまり、明確な位相を持った活動を微小な電流刺激で作ることができるということになる。

研究開始当初は、この技術を発展させて、脳の様々な領域と範囲で、位相の揃ったアルファ波の活動を作りだし、時間順序判断と位相の間の相関を明確に示すことを目標としていた。我々の触覚の実験系だけでなく、Kristofferson らの音と光の同時性判断など、異種感覚の実験系にも研究を広げ、感覚種によらず脳の時間情報処理にアルファの位相が重要な役割を果たすことを示したいと考えていた。

2. 研究の目的

本研究では、10 Hz の α 波が脳の時間情報処理の基本周波数ではないか、という α 波仮説を、経頭蓋的に微弱な交流刺激を加えて α 波の位相を同期させる手法(強制同期法)を開発して、時間知覚がアルファ波の位相に依存することを明確に示すことを目標とした。

3. 研究の方法

(1) 強制同期法を用いた位相依存的な視覚順序判断の変化

視覚の時間順序判断が α 波の位相に依存して変化するかを明らかにするため、健常な成人3名を対象として、2つの視覚刺激の順序判断を行う際に、4, 8, 15 Hz の経頭蓋交流刺激を行った。電極は頭頂部と後頭部の2箇所におき、大脳皮質の視覚領域に電流が流れるように工夫した。被験者が画面の中央固

視点を注視している状態で、視覚刺激を固視点の左右5度の位置に1つずつ提示した。2つの視覚刺激の提示間隔は、10、20、30、40、80、160 ms の6条件を設定した。解析は、各視覚刺激が交流刺激のどの位相で提示されたかを算出し、各位相における時間順序の正解率を求めた

(2) 強制同期法による位相依存的な触覚順序判断の逆転

我々は、以前、手を交差すると左右の手に1回ずつ与えられた触覚刺激の時間順序が逆転することを発見した。この逆転現象が α 波の位相に依存して生じているかを明らかにするために、手を交差して触覚刺激の時間順序を判断しているときに、左右の側頭部に電極を付け、12.5 Hz の交流刺激を健常な成人被験者5名に対して行った。

(3) 強制同期法による左右半球の情報統合の変化

次に、大脳皮質の左右半球の情報統合が α 波の交流刺激を加えることにより、強化されるかを調べる実験を行った。先行研究から、視覚刺激が左上・右下の2点と、左下・右上の2点に交互に提示されると、その刺激が左右あるいは上下のどちらかに動いているように錯覚が生じる。この運動錯視は、半球間の神経接続が密な人ほど、左右の動きがみえやすいことが報告されている。そこで、この刺激を様々な距離で提示したときに、左右・上下どちらの動きがみえるのかを健常な被験者10名に判断させた。そのさい、左右の側頭部に電極をおき、1, 4, 10, 25, 45 Hz の各周波数の交流刺激を行い、交流刺激が、動きの見える頻度に影響を与えるかを調べた。

(4) 強制同期を用いない対照実験

時間順序判断が α 波の位相に依存して逆転するかどうかを9名の被験者を用いて確認する実験を行った。

4. 研究成果

(1) 強制同期法を用いた位相依存的な視覚順序判断の変化

8 Hz の交流刺激により、順序判断それ自体のパフォーマンスには違いがなかったにもかかわらず(図1上)、20 ms の時間差の条件で、位相が0度の周辺は正解率が100%に達している一方、200度の周辺は正解率が0%近くまで低下していた(図1下)。位相角度統計解析を行った結果、この分布は有意に偏っていた($p < 0.001$)。4 Hz と 15 Hz の刺激では有意な変化は見られなかった。 α 波の位相に依存して時間順序の逆転が生じている可能性が示唆された。

各刺激提示間隔における正答率の分布

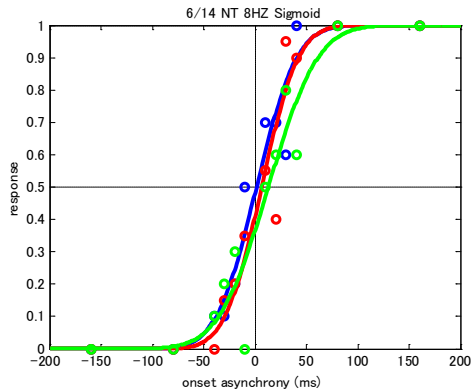
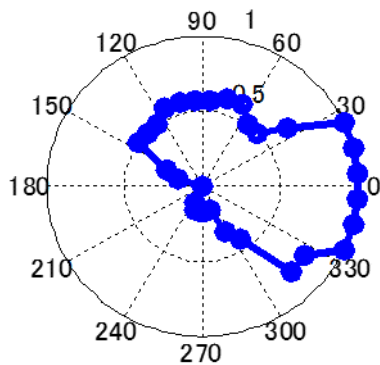


図1 強制同期法による視覚順序課題での正答率の分布
(上)各時間差における正答率 青線：刺激前、

20 ms 時間差での正答率分布



赤線：刺激中、緑線：刺激後
(下)20ms 差での時間順序判断の各位相における正答率の位相分布

(2) 強制同期法による位相依存的な触覚順序判断の逆転

時間順序判断の逆転効果が強い被験者1名において、150 ms の時間差で刺激が提示されたとき、位相0度で刺激がでると正しい時間順序で答えられていたのに対し、位相180度で提示されるとその順序が逆転するという、位相依存的な時間の逆転現象が生じていた(図2)。しかし、時間順序逆転効果が低い被験者では、試行数が少ないこともあってか、そのような位相に依存した正答率の変化がみられなかった。

(3) 強制同期法による左右半球の情報統合の変化

一部の被験者で4 Hz と 10 Hz の交流刺激により、左右の動きの見える割合が増加していたが、逆に減少する人もおり、統計的に有意な傾向は認められなかった。

150ms: correct response rate for each phase

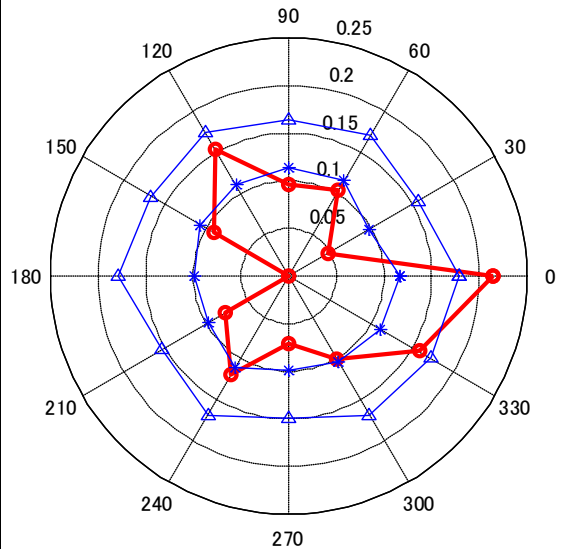


図2 150 ms 間隔で触覚刺激が提示されたときの正答率の位相分布 (赤線)
青線は有意水準($p < 0.05$)を示す。

(4) 強制同期を用いない対照実験

左右の手に加えた時間差 100 ms 程度の刺激に先行する 300 ms 程度の期間において、順序判断の正解試行と、逆転試行の間に有意な位相差が生じていることを確認した。さらに一部の被験者では、左右の半球の α 波の位相差が2つの特定の値に集中する傾向があり、判断の正解、不正解が位相差の状態に対応する有意な傾向を示した。つまり、時間順序判断は左右の半球間の位相差の状態にも依存することが示唆された。2 枚の電極を左右に貼付した実験(2)では、両半球の位相を逆位相に固定する方向にドライブがかかり有意な効果が生じなかった可能性がある。

今後は、なぜ α 波の位相や左右半球間の位相差が順序判断に影響を与えるのかに関する仮説を構築して、複数の電極を用いた効果的なドライブ法を開発して研究を展開する必要があるだろう。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① Takahashi, T., Kansaku, K., Wada, M., Shibuya, S. & Kitazawa, S. Neural correlates of tactile temporal-order judgment in humans: an fMRI study. *Cereb Cortex*, doi:10.1093/cercor/bhs179, (in press) 査読有.
- ② Yamamoto, S., Miyazaki, M., Iwano, T. & Kitazawa, S. Bayesian calibration of simultaneity in audiovisual temporal order judgments. *Plos One*, 7, e40379, (2012) 査

読有.

- ③ Nagai, Y., Suzuki, M., Miyazaki, M. & Kitazawa, S. Acquisition of multiple prior distributions in tactile temporal order judgment. *Front Psychol*, 3, 276, (2012) 査読有
- ④ Ono, F. & Kitazawa, S. Shortening of subjective visual intervals followed by repetitive stimulation. *PloS One* 6, e28722, (2011), 査読有.

[学会発表] (計 5 件) うち招待 5 件

- ① 北澤 茂, こころの時間—現在・過去・未来の起源を求めて—. 第 1 回自然科学研究機構コロキウム, 2013 年 2 月 6 日, 箱根プリンスホテル, 神奈川.
- ② 北澤 茂, こころの時間—新しい学術領域の創出を目指して—. 第 17 回日本神経精神医学会特別講演, 2012 年 12 月 7 日, 昭和大学, 東京.
- ③ 北澤 茂, 脳の中の時間:腕の交差や目の動きで逆転する時間. 第 71 回めまい平衡医学会総会特別講演, 2012 年 11 月 28 日, 学術総合センター, 東京.
- ④ 北澤 茂, 脳の中の時間. 第 9 回感性学研究会, 2012 年 3 月 5 日, 九州大学, 福岡.
- ⑤ 北澤 茂, 脳の中の時間:腕の交差や目の動きで逆転する時間. 身体性情報学研究会, 2011 年 11 月 19 日, 芝蘭会館, 京都.

[図書] (計 1 件)

- ① Fujisaki, W., Kitazawa, S. & Nishida, S. Multisensory timing. in *The New Handbook of Multisensory Processes* (ed B Stein) pp.301-318 (MIT Press, 2012). 査読有

[その他]

<http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/jpn/general/lab/181/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北澤 茂 (KITAZAWA SHIGERU)
大阪大学・生命機能研究科・教授
研究者番号: 00251231

(2) 研究分担者

中野 珠実 (NAKANO TAMAMI)
大阪大学・生命機能研究科・准教授
研究者番号: 905889201