

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2013～2017

課題番号：25119002

研究課題名(和文)時間順序を作り出す神経メカニズムの解明

研究課題名(英文)Neural basis for our perception of temporal order

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 67,500,000円

研究成果の概要(和文)：我々は過去 - 現在 - 未来にわたる時間の意識を「こころの時間」と名付ける。本研究課題は「現在」周辺の時間の流れの神経基盤の解明を目的として研究を行い、1) 大脳内側面の楔前部と呼ばれる領域の周期活動(波)が、「現在」周辺の2つの信号を空間内で位置づけてから順序決定するプロセスに関与していること、2) 楔前部は「現在」を示す文に強く応答すること、3) 楔前部には、安定した外部空間座標系も表現されていること、を明らかにした。これらの結果から、楔前部は、流入し続ける信号に適切な空間内の位置と他の信号との相対的な順序を与えて「現在」周辺の事象の流れを紡ぎ出しているのではないかと推定する。

研究成果の概要(英文)：We refer to the awareness of time, over the past, present and future, as the “mental time”. This project aimed at elucidating neural basis for the flow of time around the “present” in particular. Our study has shown that 1) the alpha-band rhythm with its source located in the medial surface of the cerebral cortex (precuneus) plays an essential role in the determination of temporal order between two successive events, 2) the precuneus responds strongly to verbal stimuli that refer to the present, and 3) the precuneus represents an allocentric spatial coordinate that is fixed to the external world. From these findings, we infer that the precuneus is responsible for producing our awareness of the present events by localizing each sensory signal to a relevant location in space in a relevant order in relation to the other signals.

研究分野：認知神経科学

キーワード：こころの時間 時間順序判断 楔前部 波

1. 研究開始当初の背景

物理学的な時間は一様に流れて戻らない。一方、「こころの時間」は前後が入れ替わることもある。たとえば左手と右手に加えた0.1-0.2秒差の信号の順序は手を交差するだけで入れ替わる。右手と左手に与えた刺激の時間順序判断は、手を平行に机の上に置いた場合には、時間差30ms程度で7割、100msで95%以上の正解が可能である。しかし、腕を交差させると、刺激時間差0.2秒程度の範囲で時間順序の判断の逆転が増え、極端な場合には判断曲線がN字型を示す(Yamamoto & Kitazawa, *Nat Neurosci*, 2001)。この腕交差に伴う時間順序の逆転現象は、皮膚からの信号が空間座標系に位置づけられてからはじめて順序付けられることを強く示唆する。我々はさらに非侵襲脳活動計測の結果と心理物理実験の結果から、2つの信号は空間的な位置の情報と動きの情報に分解された後に統合されて時間順序が再構成されるという仮説(動き投影仮説、図1)を提唱した(Takahashi & Kitazawa, *Cerebral Cortex*, 2013)。

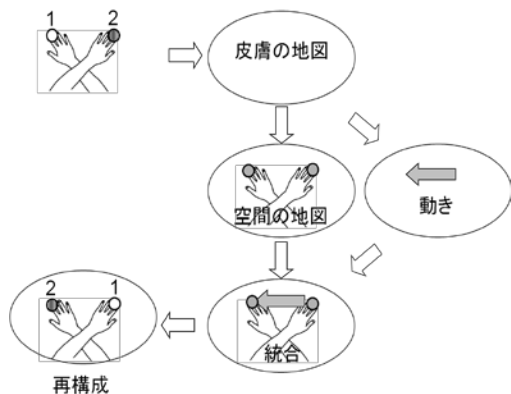


図1 「動き投影仮説」による腕交差時の時間順序判断逆転の説明 (Takahashi & Kitazawa, *Cerebral Cortex*, 2013)

本研究の研究開始当初の第一の目的は、申請者らが提唱した「動き投影仮説」を検証することを通じて、時間順序を作り出す神経メカニズムを解明することである。

一方、本研究課題が所属する「こころの時間学」領域全体としては、脳の中に「過去-現在-未来」の時間地図を描くことを第一の目標として掲げていた。哲学者のマクタガートは「過去-現在-未来」をA系列と呼び、時間の意識の本質であるとした。しかし、どのような事象も、生起が予測されている間は「未来」に属し、生起時は「現在」を通過するものの、すぐに「過去」へと去っていく。A系列はこのような不安定で、直接研究することが難しい対象である。一方、2つの事象LとMの順序は、一度定まってしまうと変わることがない。これをB系列と呼ぶ。B系列はA系列から派生することも哲学的には認められている。われわれは、2つの手に加えた刺激の順序(B系列)を定める「統合」か

ら「再構成」の神経基盤はA系列の「現在」の神経基盤そのものである可能性があるとして予想して、この仮説を検証することを第2の目的とした。

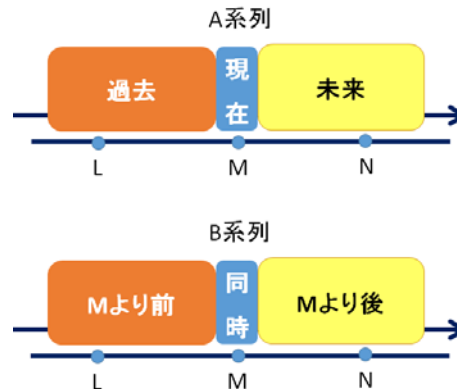


図2 マクタガートのA系列とB系列

2. 研究の目的

本研究の第一の目的は、申請者らが過去の成果に基づいて提唱した「動き投影仮説」を検証することを通じて、時間順序を作り出す神経メカニズムを解明することである。特に感覚情報統合のクロックとして古くから注目されてきた10Hzの脳波であるα波に注目して、α波の位相が「統合」の過程に影響を与えるかどうかを検討した。

第二の目的は、脳の時間地図が存在するかどうかを「こころの時間学」領域の学際的な共同研究を通じて検討し、「現在」の神経基盤と「統合」の神経基盤の関係を明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1) α波が時間順序判断に与える効果の検討

22名の健常被験者を対象として、交差した左右の手に与えた刺激の時間順序を判断する際の脳の活動を160チャンネルの全脳型脳磁図計(PQA-160C, 横河電機製)で計測した。脳活動データには独立成分分析を適用し、α帯域のパワーが強い方から5個の成分を選び、それぞれの成分の信号源をSPM12(解析ソフト)に組み込まれたベイズ推定のアルゴリズムを使って推定した。さらに、5個の独立成分のα波それぞれについて、瞬時位相を推定して、瞬時位相と時間順序判断(正解または逆転)の間に有意な相関があるかどうかをブートストラップ法を使って検定した。

(2) 脳の時間地図の検討 (B01 大津班との共同研究)

①「今 会議を 始める」、「昨日 本を 読んだ」、「明日 本を 読む」、などの「時の副詞+目的語+異なる時制の動詞」という単純な文を聞いたときに、A系列の位置によって異なる活動をする脳領域を日本語話者18名の協力を得て探索した。刺激文のうち、ZZ

割は「今日、山を読む」「来月、カレーを食べた」のような目的語と動詞の組み合わせか、時の副詞と動詞の時制の組み合わせがおかしい非文とした。被験者には文を読み上げる音声刺激を聞いて、「文が不自然だ」と感じた時だけボタンを押すように求めた。従って、MRI スキャナーの中の8割程度の試行では被験者は何も動作せず安静に音声刺激を聞いていただけである。我々はできるだけ自然な条件で、自発的に生まれてくる「現在性」「過去性」「未来性」を捉えたいと考えて、この実験条件を設定した。

②各刺激がそれぞれの被験者にどのような「現在性」「過去性」「未来性」を帯びて感じられたのかを確認する必要がある。そこで、スキャン後にすべての刺激について9段階（遠い過去は1、現在は5、遠い未来は9）の評価を求めた。1-4の評価をえた刺激を「過去」刺激群、5を「現在」群、6-9を「未来」群として、それぞれの群の刺激によって生じる脳の活動を比較した。

#### 4. 研究成果

(1)  $\alpha$ 波が時間順序判断に与える効果

①  $\alpha$ 波が5個の独立成分に分解できることを発見した。

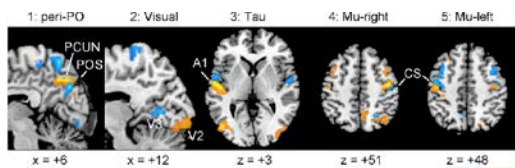


図3 5個の独立な $\alpha$ リズムの信号源 (Takahashi & Kitazawa, *J Neurosci*, 2017)

パワーが最も大きい成分の信号源は楔前部に位置していた(楔前部成分)。2番目以降は、低次視覚野(視覚成分)、一次聴覚野( $\tau$ 成分)、右中心溝周辺(右 $\mu$ 成分)、左中心溝周辺(左 $\mu$ 成分)に位置していた。従来、10Hz前後の帯域の脳波には生理学的に異なる3成分( $\alpha$ 、 $\tau$ 、 $\mu$ )があるとされてきたが、明快な分類が困難で議論が続いてきた。独立成分分析を使うことで、これらの成分を包含する5個の成分を客観的に分離して、信号源を推定することに成功した。これは、本研究の予想外の成果に数えることができる。

②1つ目の刺激を加えた際の楔前部成分の位相が逆転の有無と相関することを発見した。

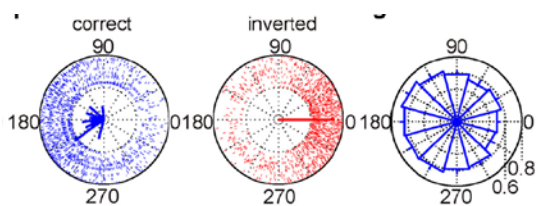


図4 楔前部成分の位相に応じて正解(correct)と逆転(inverted)が生じていた。

特に位相との相関が最も高くなるのは、1つ目の手の刺激開始から40ms後に過ぎないことが明確になった。楔前部(precuneus)は上丘(SC)—視床(LP/Pul)系を介して皮膚からの短潜時入力を受けるので、楔前部成分はこの上丘—視床系からの皮膚座標系の投射の強さを10Hzでコントロールするものと推定した(図5)。

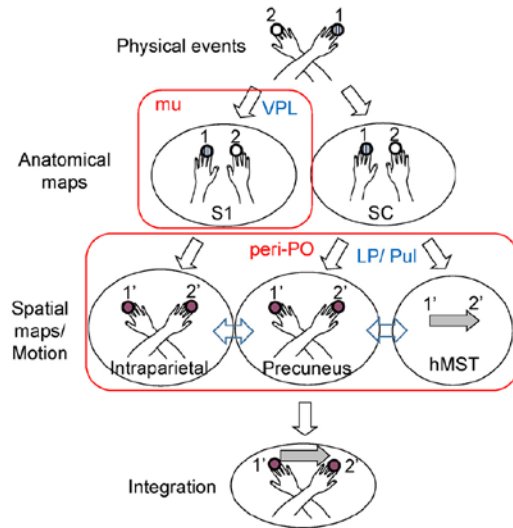


図5 本研究課題で推定された「時間順序判断」の神経基盤 SC:上丘, LP/Pul:視床の核群, Precuneus:楔前部

別途進めた空間座標系に関する研究では、楔前部に外部環境に固定された安定した空間座標系が存在することを見出している(Uchimura et al., *Eur J Neurosci*, 2015)。本研究で見出した楔前部成分の信号源の位置とよく重なるため、楔前部は「現在」周辺の情報を「外部空間」で統合するのにうってつけの領域とすることができるだろう。

本研究項目では、時間順序判断における情報の統合において、楔前部が中心的な位置を占める可能性が強く示唆されることとなった。

(2) 脳の時間地図の検討 (B01 大津班との共同研究)

「現在>過去」と「未来>過去」の比較だけで有意な活動上昇の差が検出された。「現在>過去」の比較では楔前部が、「未来>過去」の比較ではそれよりも前方の帯状回が描出された(Tangら、投稿準備中)。ここでも改めて「現在」が楔前部に位置する可能性が示された。

「今・ここ」の情報は「現在」として楔前部で統合されるのではないか。これが本研究課題で得られたメッセージである。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計11件)

① Inoue, M. & Kitazawa, S. Motor error in

parietal area 5 and target error in area 7 drive distinctive adaptation in reaching. *Curr Biol* (in press). (査読有)

② \*北澤茂. 時間順序を作り出す神経メカニズム. *Brain and Nerve* 69:1203-1211 (2017). (査読無)

③ Takahashi, T. & Kitazawa, S. Modulation of illusory reversal in tactile temporal order by the phase of posterior alpha rhythm. *J Neurosci* 37, 5298-5308 (2017). (査読有)

④ \*Nakano T, Kitazawa S. Development of long-term event memory in preverbal infants: an eye-tracking study, *Sci Reports*, 7: 44086, (2017) (査読有)

⑤ Inoue, M., Uchimura, M. & \*Kitazawa, S. Error signals in motor cortices drive adaptation in reaching. *Neuron* 90, 1114-1126 (2016). (査読有)

⑥ Uchimura, M., Nakano, T., Morito, Y., Ando, H. & \*Kitazawa, S. Automatic representation of a visual stimulus relative to a background in the right precuneus. *Eur J Neurosci* 42, 1651-1659 (2015). (査読有)

⑦ \*Ohmae, S., Takahashi, T., Lu, X., Nishimori, Y., Kodaka, Y., Takashima, I. & \*Kitazawa, S. Decoding the timing and target locations of saccadic eye movements from neuronal activity in macaque oculomotor areas. *J Neural Eng* 12, 036014 (2015). (査読有)

⑧ \*Yamamoto, S. & Kitazawa, S. Tactile temporal order. *Scholarpedia J* 10, 8249 (2015). (査読有)

⑨ Suda, Y. & \*Kitazawa, S. A model of face selection in viewing video stories. *Sci Rep* 5:7666, 1-11 (2015). (査読有)

⑩ Nishikawa, N., Shimo, Y., Wada, M., Hattori, N. & \*Kitazawa, S. Effects of aging and idiopathic Parkinson's disease on tactile temporal order judgment. *PloS One* 10, e0118331, 1-15 (2015). (査読有)

⑪ Inoue, M., Uchimura, M., Karibe, A., O'Shea, J., Rossetti, Y. & \*Kitazawa, S. Three timescales in prism adaptation. *J Neurophysiol* 113, 328-338 (2015). (査読有)

[学会発表] (計 26 件)

① Kitazawa S. Separation of independent sources and roles of alpha-band rhythms. The 4<sup>th</sup> CiNet Conference: Neural oscillation and

functional connectivity. Osaka, Japan (2018).

② Tang L, Takahashi T, Kitazawa S, Shimada T, Komachi M, Konishi N, Nishiyama Y, Iida T, Otsu Y. A map of time in the precuneus: an fMRI study with speech stimuli. The 40<sup>th</sup> Annual meeting, Japan Society for Neuroscience (2017).

③ Kitazawa S. Interaction between space, "motion" and time in our conscious mind. Time in Tokyo: International Symposium on temporal perception and experience. Tokyo, Japan (2016).

④ Kumano H, Kitazawa S. Transient representation of pre- and post-saccadic information in motion area MT and MST: a possible neural basis of chronostasis. Neuroscience 2016, San Diego, USA (2016).

[その他]  
領域ホームページ  
[http://mental\\_time.umin.jp/](http://mental_time.umin.jp/)

## 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

### (3) 連携研究者

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：90589201

高橋 俊光 (TAKAHASHI, Toshimitsu)  
大阪大学・生命機能研究科・助教  
研究者番号：00250704

熊野 弘紀 (KUMANO, Hironori)  
山梨大学・総合研究部・助教  
研究者番号：40568235