

中山人間科学振興財団活動報告書 2018

中山賞大賞

研究テーマ

「心の時間」の心理学・生理学的研究

北澤 茂

大阪大学大学院生命機能研究科

実在しない時間の心理と生理研究は可能か？

“The unreality of time”と題する論考で、マクタガート (McTaggart) は時間には2種類の系列があると述べている¹⁾。もう少し正確に言えば、出来事 (event) の時間の中での位置は2つの方法で区別されるという。

まず、「それぞれの位置は、過去、現在、未来のいずれかである。」彼はこれをA系列と名付けた。A系列の特徴は変化にある。ある出来事は遠い未来から近い未来を通して現在を通過して近い過去から遠い過去へと過ぎ去っていく。この動きはいつまでも止むことはない。逆に、過去—現在—未来という時間の軸が、一列に並んだ出来事の上を未来の方向に動き続けている、とみなすこともできる (図1上)。

次いで、「それぞれの位置はあるものより早く、それ以外のあるものよりも遅い。」彼はこれをB系列と名付けた。B系列の特徴は不変性にある。事象Lと事象Mの前後関係は、LとMの組に対して一意に定まり、その関係は「未来永劫」変わることはない。

マクタガートはA系列がB系列よりも本質的であることを示した上で、A系列が実在すると仮定した場合の不都合を並べ上げて、時間は実在しないと結論した。論考の道筋こそ違え、スピノザ、カント、ヘーゲル、ショーペンハウアーら、名だたる哲学者が同じ結論に到達しているというから穏やかではない。

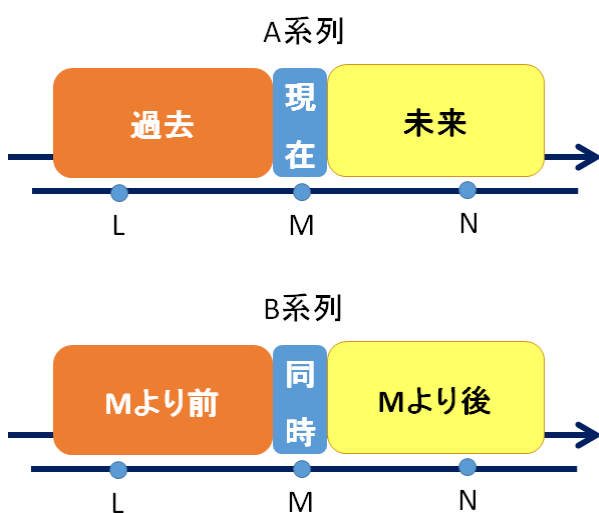


図1 マクタガートのA系列とB系列

しかし、論考の最後に、マクタガートはこうも述べている。「(われわれがあらゆることを時間の中に位置づけて知覚するという)は我々が物事 (things) を知覚する唯一の方法である。」つまり、われわれの「ところ」が一種の方便として時間を作り上げて使っていることは認めているのだ。従って、時間が実在しないとしても、「ところ」、あるいは脳、がいかにして時間を作り出すのかを研究することには十分な意義がある。

時間順序(B系列)の心理—腕交差による時間の逆転—

2つの信号Aと信号Bの時間的な順序を弁別する課題を考えよう。物理学の理想的な観測者は一つ一つの出来事が起こった時間を時計で正確に読み取ることが出来る。このような理想的な観測者がいれば、信号Aと信号Bの順序を判断するのは簡単である。それぞれの信号の到着時刻を観測して、その時刻に従って並べればよい。脳はもちろん理想的な観測者ではない。しかし、理想的な観測者に似た役割を果たす決定機構が仮定されることが多い。SternbergとKnoll²によれば、時間順序の決定機構は信号Aの到着時刻 T_A と信号Bの到着時刻 T_B を読み取って、到着時刻の差($T_B - T_A$)の単調増加関数 G に従う確率で信号の順序を決定する(図2左)。このモデルは実際のデータを基本的にはよく説明する。縦軸に信号Aが早いと判断する確率、横軸に信号AとBの時間差をとってデータをプロットすると、いわゆるシグモイド(S字状)のグラフが得られる(図2右)。75%正解を与える時間差(JND: just noticeable difference, 最小弁別値)に関しては、経験を積んだ被験者では感覚の種類(視覚、聴覚、触覚)の組み合わせによらずほぼ一定で20-30 ms程度であるとされてきた^{3,4}。その後の研究⁵で、触覚はやや分解能に優れ、視覚—聴覚の組み合わせが劣る、と修正されたが、基本的にシグモイドがデータによく合うことにかわりない。

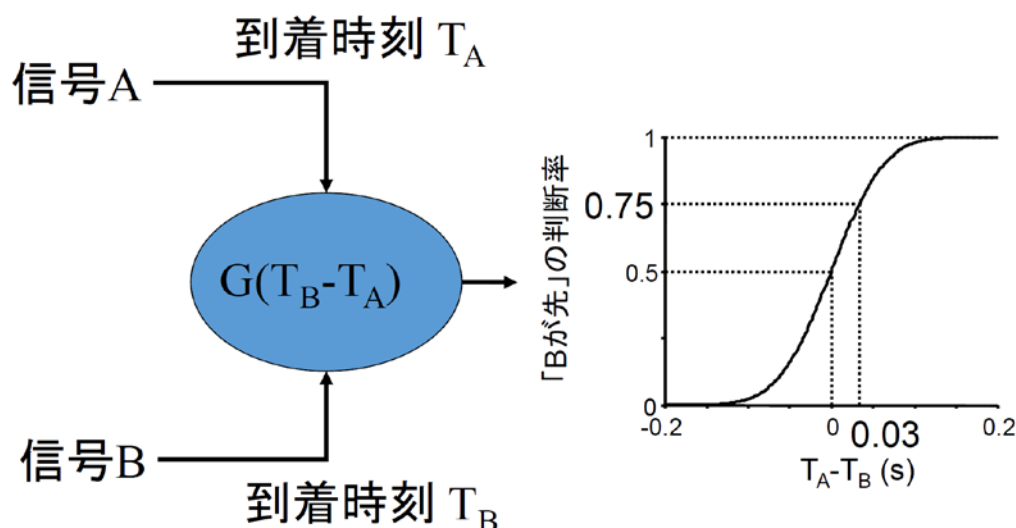


図2 時間順序(B系列)の心理で仮定されるシグモイド型の判断曲線

ところが、私たちはシグモイド曲線と全く異なるN字型の反応曲線が得られる条件を発見した⁶。手を普通に並べて目を閉じて左右の手に加えた刺激の順序を回答する。この場合は刺激時間差が100 msあればほぼ100%正解できる。しかし、手を交差するとそうは行かない。刺激時間差100 - 200 msをピークとして間違いが増える。極端な被

験者では反応曲線が N 字型になる (図 3)。手に持った棒を交差しても⁷、バーチャルリアリティの世界で交差しても⁸、手と足を交差しても⁹同様の現象が生じることが知られている。

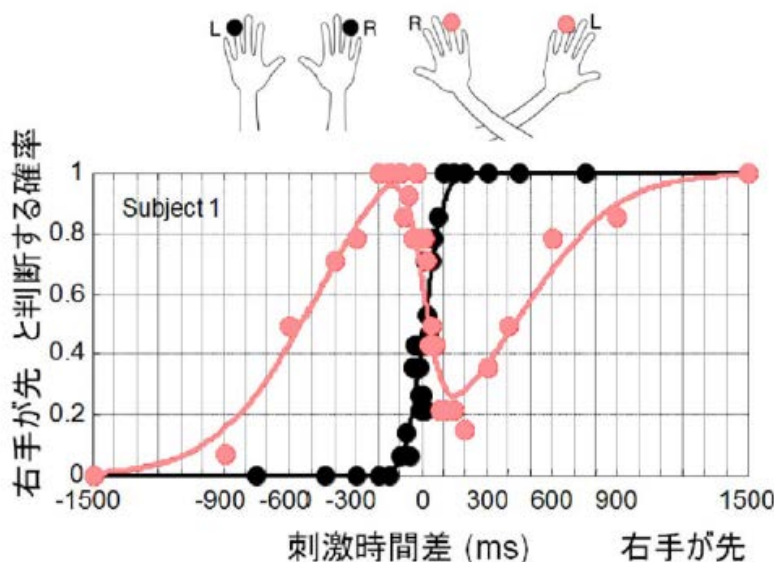


図3 腕交差に伴う時間順序(B系列)の逆転

これは何を意味するのか。図 2 に示すような時間順序判断機構が皮膚からの信号を直接受け取るのであれば、手の配置の影響は決して受けることはない。手を交差すると劇的に判断が変わるということは、「時間順序判断機構は皮膚からの信号を直接受け取っているのではない」、ということになる。手の皮膚からの信号は空間内で位置付けられてから、時間順序を付与されるのだ。2 信号の順序決定ですら、予想外に手ごわい問題なのだ。

時間順序の神経基盤—B系列の生理—

我々は磁気共鳴スキャナー(MRI)を使って、左右の手に加えた触覚刺激の時間順序判断に貢献する脳の領域を検索した¹⁰。心理学的研究から予想された通り、空間を表現すると考えられてきた頭頂葉や運動前野の関与が示された。さらに、予想外のことだったが、頭頂葉と側頭葉の結合部領域(側頭頭頂結合部)の関与が強く示唆された。この領域は生物や体の「動き」を表彰する領域と重なっていた。これらの結果から、私たちは、時間順序は信号の「空間」位置の情報を「動き」の情報と統合して脳が「作り出す」と考えた。B系列に関係する他のグループの研究でも、側頭頭頂結合部、頭頂葉、運動前野の関与が報告されている^{11,12}。

物理学のように、厳密にこの仮説を検証することはなかなか困難なのだが、「動き」の偽情報を与えることで私たちの時間順序判断が逆転させうるというデータは、一つの

傍証となるだろう¹³。

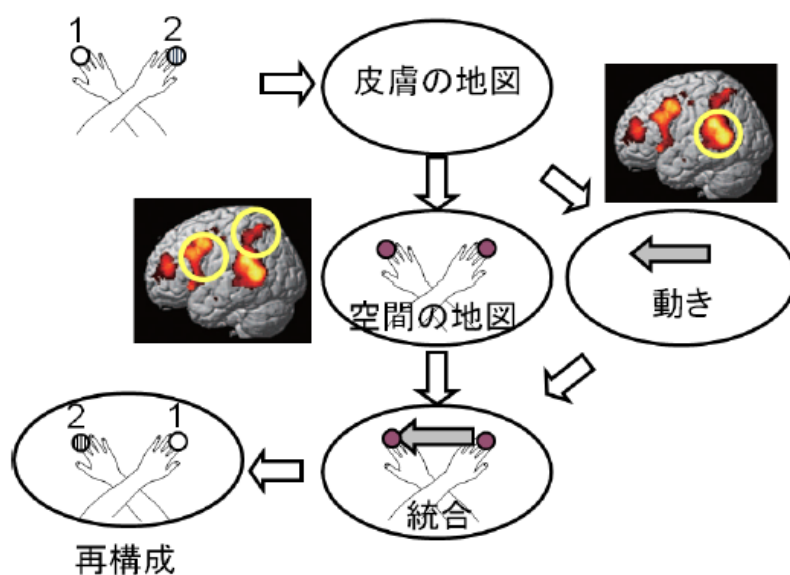


図4 時間順序の動き投影仮説 時間順序は信号の空間位置（頭頂葉）と動きの情報（側頭頭頂結合部）を統合（運動前野）して脳が作り出すのではないか

現在・過去・未来の神経基盤 —A系列の生理—

マクタガートはA系列の議論の中で、事象の過去性(pastness)、現在性(presentness)、未来性(futurity)という用語を導入している。雨を話題にしている場面を考えよう。「雨が降って来たね」という発言を聞けば我々は瞬時に「現在」の降雨が話題になっていることを理解する。同様に「ひどい雨だったね」と聞けば「過去」、「雨が降るかな」と聞けば「未来」の降雨が話題になっていることを理解する。つまり、我々は言語表現の微妙な差異から、降雨という事象をA系列の中に瞬時に位置づけている。これはそれぞれの短い文が、「現在性」「過去性」「未来性」を帯びて感じられるからではないだろうか。そうであるなら、文を聞いて「現在性」「過去性」「未来性」に応じた活動をする領域こそ、A系列の神経基盤の候補となるだろう。

我々は、「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探索した¹⁴。刺激文のうち、2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。

各刺激が私たちの心の中に喚起する「現在性」「過去性」「未来性」は、MRI スキャナーを出てから、事後的にアンケート形式で確認した。その上で、「現在性」「過去性」「未来性」に特徴的な脳活動を調べたところ、「現在性」が脳の内側後方の「楔前部」と呼ばれる領域を強く活動させることが明らかになった。

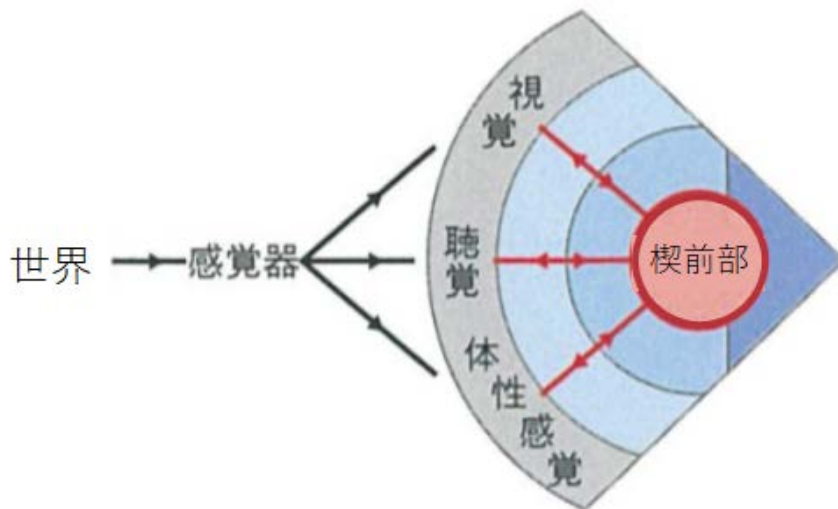


図5 脳のネットワークの中心=楔前部に表現される「現在」

楔前部は記憶課題などの意図的な認知課題を行うと血流が減少し、ぼんやりしているときにむしろ血流が増加する領域である。何もしないデフォルト状態でも活動する領域として発見された「デフォルトモードネットワーク」の一部である{Raichle, 2015 #1872}。そのため、それほど重要な機能はないと考える研究者も多かった。しかし、近年のネットワーク解析の結果によれば、楔前部は大脳皮質ネットワークの最強のハブ=ネットワークの中心なのだ。ぼんやりしているときによく活動する領域、ではなくて、「ぼんやりしている時にすら活動している」きわめて重要な領域、という考え方が支持を集め始めている。

この「楔前部」は感覚器の信号が入力する一次感覚野からは最も離れている(図5)。外界の「今」をそのまま反映すべき「現在」が、外界から最も離れた領域に表現されるというのは矛盾のように思われる。しかし、「現在」は実在しないのだ。ところが、あるいは脳が、作り出したなにものか、である。それを認めてしまえば、すべての感覚種の情報統合することができ、感覚器の状態の影響を受けない領域に、安定した時間の意識の原点が成立することは極めて合理的だといえるだろう。

楔前部は、認知症が発症するよりも 20 年も先行して脳の老廃物であるアミロイドが蓄積し始める領域としても知られている。そして、認知症の初発症状は、「今日は何日ですか」という質問に答えられなくなることで、つまり時間の見当識を失うことなのだ。楔前部が最初に障害される認知症の初発症状が、時間の見当識喪失なのだ。「現在」が楔前部に表現されているという私たちの研究の結論を支持する証拠といえるだろう。

「時間」は手ごわい研究対象である。しかし、その心理と生理を研究することで、ヒトの認知機能と意識の本質に迫ることができるはずだ。受賞を励みとして、さらに研究を進めていきたい。

参考文献

- 1 McTaggart, J. E. The unreality of time. *Mind* **17**, 456-473 (1908).
- 2 Sternberg, S. & Knoll, R. in *Attention and Performance* (ed S. Kornblum) 629-685 (Academic Press, 1973).
- 3 Pöppel, E. A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences* **1**, 56-61 (1997).
- 4 Hirsh, I. J. & Sherrick, C. E., Jr. Perceived order in different sense modalities. *Journal of Experimental Psychology* **62**, 423-432 (1961).
- 5 Fujisaki, W. & Nishida, S. Audio-tactile superiority over visuo-tactile and audio-visual combinations in the temporal resolution of synchrony perception. *Exp Brain Research* **198**, 245-259 (2009).
- 6 Yamamoto, S. & Kitazawa, S. Reversal of subjective temporal order due to arm crossing. *Nature Neuroscience* **4**, 759-765 (2001).
- 7 Yamamoto, S. & Kitazawa, S. Sensation at the tips of invisible tools. *Nature Neuroscience* **4**, 979-980 (2001).
- 8 Moizumi, S., Yamamoto, S. & Kitazawa, S. Referral of tactile stimuli to action points in virtual reality with reaction force. *Neurosci Research* **59**, 60-67 (2007).
- 9 Schicke, T. & Roder, B. Spatial remapping of touch: confusion of perceived stimulus order across hand and foot. *Proceedings of National Academy of Science U S A* **103**, 11808-11813 (2006).
- 10 Takahashi, T., Kansaku, K., Wada, M., Shibuya, S. & Kitazawa, S. Neural correlates of tactile temporal-order judgment in humans: an fMRI study. *Cerebral Cortex* **23**, 1952-1964 (2013).
- 11 Davis, B., Christie, J. & Rorden, C. Temporal order judgments activate temporal parietal junction. *J Neurosci* **29**, 3182-3188 (2009).
- 12 Miyazaki, M. *et al.* Dissociating the neural correlates of tactile temporal order and simultaneity judgements. *Scientific Report* **6**, 23323 (2016).

- 13 Kitazawa, S. *et al.* in *Attention and Performance XXII*, (eds P. Haggard, M. Kawato, & Y. Rossetti) 73-97 (Oxford University Press, 2008).
- 14 Tang, L. *et al.* A map of time in the medial cerebral cortex: A cross-linguistic fMRI study with speech stimuli. *2018 Neuroscience Meeting Planner. Society for Neuroscience, 2018. Online.*, Program No. 169.121 (2018).