

**科学研究費助成事業「新学術領域研究（研究領域提案型）」 研究概要**  
**〔令和2年度中間評価用〕**

令和2年6月30日現在

<p>機関番号：14401</p> <p>領域設定期間：平成30年度～令和4年度</p> <p>領域番号：8002</p> <p>研究領域名（和文） 時間生成学—時を生み出すころの仕組み</p> <p>研究領域名（英文） Chronogenesis: how the mind generates time</p> <p>領域代表者</p> <p>北澤 茂 (KITAZAWA Shigeru)</p> <p>大阪大学・生命機能研究科・教授</p> <p>研究者番号：00251231</p> <p>交付決定（予定）額（領域設定期間全体）：（直接経費）1,157,200,000円</p>
--

**研究の概要**

我々は過去と現在と未来を区別しながら生きている。ヒトで特に発達したこの時間の意識—こころの時間—はどこからどのように生まれるのか。先行領域「こころの時間学」領域における5年間の学際研究は多数の優れた論文を生み出し、当初掲げた3大目標を達成する成果を挙げた。先行領域の成果をふまえて、さらに一層の飛躍を図るために、新たに時間情報を生成する「人工神経回路」を構築して対照として用いる。比較を通じて(1)「時の流れ」の意識が生れる過程、(2)脳内の周期的な「時を刻む」活動が時間の意識や運動のリズムを生み出す過程、(3)発達や進化とともに「時を獲得する」過程、(4)病気に伴って「時を失う」過程、の4過程を神経回路のレベルまで掘り下げて明らかにする。これまでに時間情報を識別する人工神経回路の構築に成功し、それぞれの研究項目で想定を超えるほどの成果を挙げつつある。

研究分野：哲学・言語学・心理学・情報学・工学・神経科学・医学

キーワード：時間地図・人工神経回路・時間の意識・臨床応用・発達・進化

**1. 研究開始当初の背景**

我々は過去と現在と未来を区別しながら生きている。ヒトで特に発達したこの時間の意識—こころの時間—はどこからどのように生まれるのか。先行領域「こころの時間学」領域における5年間の研究は多数の優れた論文を生み出し、当初掲げた3大目標を達成する成果を挙げた。

成果1. 大脳皮質内側面に「未来—現在—過去」の時間地図を描き出すことに成功した

成果2. 実験動物研究で開発された「こころの時間」の操作法を臨床応用につなげた

成果3. エピソード様記憶の系統発生と個体発生を明らかにした

しかし、地図は、背景にある情報処理の本質までは教えてくれない。そこで、我々は、ヒトとヒト以外の動物の脳を対象として神経活動の計測を行い、「未来—現在—過去」の区別と推移を知覚・識別する神経活動の実体を脳内で探索して明らかにすること、を新たな目標として掲げた。しかし、神経活動の観察だけに基づいて、背景にある情報処理の本質を推定することには限界もある。この限界を超えるために、我々が出した答えは「作って理解すること」である。

**2. 研究の目的**

目標1. 「未来—現在—過去」の区別と推移が生成される過程を明らかにすること。

目標2. 深層学習などの人工知能研究の発展をとりこんで、「作って理解する」こと。

本領域では、人工神経回路を用いた脳機能研究のトップランナーたちの参加を得て、時間を生成する人工神経回路の構築にチャレンジする。この人工神経回路と脳から得られるデータを詳細に比較検討することで、時間生成の神経基盤の理解が飛躍的に進むことが期待される。

目標3. 日常誰もが抱く疑問に科学的な回答を与えること。

「思い出が懐かしいのはなぜか」「楽しい時間はなぜ速く過ぎるのか」「退屈な時間はなぜ苦痛なのか」などの誰もが日常抱く疑問は、科学的な取り扱いが困難だった。本領域では、この問い

にも認知神経科学的に反証可能なパラダイムを構築すると共に、深層学習を適用する。時間認知課題に向き合っているときの脳活動のデータを深層学習で判別させることで時間感覚を生み出す神経活動の実体を抽出し、これらの疑問に正面から答える。

目標 4. 「未来—現在—過去」の時の流れを操作する方法を開発する。

時間を生成する人工神経回路を使えば、「こころの時間」の操作の方法を人工神経回路上で探索できる。認知症の初期に失われる「時間の見当識」を回復するための操作法開発が目標となる。

目標 5. 「未来—現在—過去」の時間の意識の発生過程を詳細に解明する。

先行研究では「過去」の発生だけが明らかになった。本領域では、子供の言語データから深層学習によって導き出される神経回路を大人のそれと比較することで、「未来—現在—過去」の時間の意識の発生を対象を拡張して、発生過程を詳細に解明する。

### 3. 研究の方法

本領域では、融合研究の目的を端的に「作る」「流れる」「刻む」「獲得する」「失う」の5項目に整理し、各項目を推進するのに最適な研究者を複数の研究分野から選んで配置することで、融合研究を強力かつ効果的に推進することとした。

A01「時を作る」(嶋田・浅原・小林・青山): 学習に必要な自然言語のコーパスを浅原(自然言語処理)が構築し、何を学ばせるかを青山(哲学)が中心となって絞り込み、小林(知能情報学)が深層学習に持ち込み、嶋田が言語学の立場から総括する。

B01「時が流れる」(北澤・中野・西本・貴島・柳澤): 時間意識の本質とされる「未来—現在—過去」の時間の「流れ」の実体を、楔前部を中心とする大脳皮質内側面に注目して解明する。北澤(神経生理学)がサルの神経活動を、中野(認知神経科学)と貴島と柳澤(脳神経外科学)がヒトの脳活動を計測して、西本(工学・神経科学)が人工神経回路との比較を行う。

C01「時を刻む」(田中・村上・寺尾・天野): 知覚と行動のオンライン制御に関わる時間情報の脳内機構を周期現象に着目して調べる。田中(神経生理学)、村上(実験心理学)、寺尾(臨床神経生理学、神経内科学)、天野(認知科学、情報工学)がそれぞれの技術を持ち寄って、時間知覚と運動タイミングを司る神経機構を明らかにするとともに、その病態の解明と介入法の開発を進める。

D01「時を獲得する」(平田・上原・酒井): こころが時間を理解する過程の個体発生と系統発生を探る。上原(発達心理学)はヒトにおける個体発生を探り子供の発話コーパスを構築する。平田(比較行動学)はヒトに最も近縁な類人猿であるチンパンジーとボノボや、ヒトと遠い関係にあるイヌやウマを対象にした比較認知科学的な実験研究を行う。酒井(数理神経科学)は発達研究と種間比較研究を通じた理解を目指すための数理モデルを構築して、データと照合する。

E01「時を失う」(池谷・梅田・河村): こころの時間がどのように崩壊し、疾患となるのかを神経科学(池谷)、認知神経科学(梅田)と臨床神経心理学(河村)の協力によって解明する。とりわけ、楔前部・脳梁膨大後部・前頭葉内側部といった大脳皮質正中線構造領域やパペッツ回路に代表される記憶関連ネットワーク、さらには眼窩前頭皮質や扁桃体などの情動・評価関連ネットワークに着目し、脳時間機能の正常と病態の輪郭を、ヒト臨床試験および動物実験を通じてあぶり出す。また、日常誰もがこころの時間に対して抱く疑問に科学的な回答を与える。

### 4. 研究の進展状況及び成果

領域のエンジンとなる A01 班は、日本語を入力として受け取り、事象の時間関係を識別する人工神経回路の開発に成功した。開発の過程で高性能サーバーを活用して言語入力をベクトル化するために開発した日本語 BERT モデルは一般公開して貴重な学術資源として利用されている(NLP2020 言語資源賞受賞)。さらに言語処理過程をヒトに近づけた新バージョンを英語で開発するなど、バージョンアップに取り組んでいる。このバージョンアップには、哲学・言語学・情報科学・神経科学の専門家が集う「時間言語フォーラム」を通じた学際的な議論が反映されている。つまり、A01 班は当初の計画通りに領域全体のエンジンとしての役割を果たしている。

一方、領域推進のプロペラとなる B01, C01, D01, E01 の4班は、それぞれの「流れる」「刻む」「獲得する」「失う」の研究テーマに沿った独創的な研究を展開して、すでに Science (2 報), Sci Adv (1), Nature Communications (3), Biol Psychiat (1), Brain (1), PNAS (2), Cell Reports (1), Neurology (2), eLife (3) をはじめとする評価の高い英文誌に査読論文 106 報を出版している。特筆すべき点は、これらの成果が本領域が掲げた5大目標のすべてをカバーしていることである。さらに研究5項目の間を結ぶ数十を超える連携計画が計画研究5班と公募研究14班の様々な組み合わせで進行し、総括班がそのうち15件を重点的に支援している。これらの連携研究からもすでに多くの予備的な成果が上がりつつある。コロナ禍で研究の減速を余儀なくされたにもかかわらず、当初の想定を上回るほどの成果を挙げつつある。

2019年度から参加した公募14班は、計画研究を補完する役割を十分に果たす成果を挙げている。例えば A01「作る」公募班の程は先進的な時間識別モデルを英語で開発して、計画班の小林、浅原らと協力して日本語化を進めている。C01「刻む」公募班の四本は、計画班の天野、公募班

の林らと stay-home が時間意識に及ぼす影響の国際研究を企画してすでに 100 名以上の参加者からのデータを取得して解析している。

#### 5. 今後の研究計画

計画研究は順調な進展を示しているため、今後も当初計画に沿って着実に推進する。

加えて、「モデル提供—データによる照合—モデルの改善」のループの回転を促進するために、総括班の連携研究推進予算を増額してサポートする。

さらに、言語学・哲学・心理学などの人文系の専門家がモデルを理解して、改善を提言できる環境を整えるために、講習会を繰り返し開催する。そこで、高性能サーバーを保守管理しながら、講習会の企画をサポートする専任の研究員を総括班で雇用する。すでに候補者の選考を終え、2020 年 9 月に着任する予定である。さらに、文理の研究者がモデル改善に向けて議論する検討会を開催する。

公募研究と計画研究の間の連携も数多く進行している。順調な現状を踏まえ、2021-22 年度の公募研究班の公募においても、前回の公募と同様に研究項目 A01(作る), B01(流れる), C01(刻む), D01(獲得する), E01(失う)のそれぞれについて、計画班の研究を補完する研究を各項目 2 名程度を目安として公募する。

#### 6. 主な発表論文等 (受賞等を含む)

論文発表 (査読あり)

Nakai, T., \*Nishimoto, S. Quantitative models reveal the organization of diverse cognitive functions in the brain. *Nature Commun* 11, 1142, (2020).

\*Yanagisawa, T., (他 4 名), Kishima, H., Kamitani, Y., Saitoh, Y. BCI training to move a virtual hand reduces phantom limb pain: A randomized crossover trial. *Neurology*, in press (2020).

Kameda, M., Ohmae, S., \*Tanaka, M. Entrained neuronal activity to periodic visual stimuli in the primate striatum compared with the cerebellum. *eLife*, 8, e48702, (2019).

\*Kunimatsu, J., Suzuki, T.W., Ohmae, S., \*Tanaka, M. Different contributions of preparatory activity in the basal ganglia and cerebellum for self-timing. *eLife*, 7, e35676, (2018).

Oishi, H., \*Takemura, H., Aoki, C. S., Fujita, I., Amano, K. Microstructural properties of the vertical occipital fasciculus explain the variability in human stereoacuity, *Proc Nat Acad Sci USA*, 115, 12289-12294, (2018).

Kano, F., Krupenye, C., Hirata, S., Tomonaga, M., Call, J. Great apes use self-experience to anticipate an agent's action in a false belief test. *Proc Natl Acad Sci USA*, 116, 20904–20909, (2019).

Miyawaki, T., Morikawa, S., Susaki, E. A., Nakashima, A., Takeuchi, H., Yamaguchi, S., Ueda, H. R., \*Ikegaya, Y. Visualization and molecular characterization of whole-brain vascular networks with capillary resolution. *Nat. Commun.*, 11:1104, (2020).

Ishikawa, T., Ikegaya, Y. Locally sequential synaptic reactivation during hippocampal ripples. *Sci. Adv.*, 6: eaay1492, (2020).

Masuda, A., Sano, C., Zhang, Q., Goto, H., McHugh, T.J., Fujisawa, S., \*Itoharu, S. The hippocampus encodes delay and value information during delay-discounting decision making. *eLife*, e52466, (2020).

\*Ikegaya, Y., Matsumoto, N. Spikes in the sleeping brain. *Science*, 366:306-307, (2019).

Nakashima, A., Ihara, N., Shigeta, M., Kiyonari, H., Ikegaya, Y., \*Takeuchi, H. Structured spike series specify gene expression patterns for olfactory circuit formation. *Science*, 365: eaaw5030, (2019).

Aoki, Y., Igata, H., \*Ikegaya, Y., Sasaki, T. Integration of goal-directed signals onto spatial maps of hippocampal place cells. *Cell Rep.*, 27:1516-1527, (2019).

Nomura, H., (他 20 名), Ikegaya, Y. Central histamine boosts perirhinal cortex activity and restores forgotten object memories. *Biol. Psychiat.*, 86: 230-239, (2019).

\*Takahata, K., (他 9 名), Umeda, S., Niwa, F., Mizushima, J., Morimoto, Y., Funayama, M., Tabuchi, H., Bieniek, K., Kawamura, K., Zhang, M. R., Dickson, D. W., Mimura, M., Kato, M., Sahara, T., Higuchi, M. PET-detectable tau pathology correlates with long-term neuropsychiatric outcomes in patients with traumatic brain injury. *Brain*, 142, 3265-3279, (2019).

Sakaguchi, T., Iwasaki, S., Okada, M., Okamoto, K., \*Ikegaya, Y. Ethanol facilitates socially-evoked memory recall in mice by recruiting pain-sensitive anterior cingulate cortical neurons. *Nat. Commun.*, 9:3526, (2018).

Honma, M., Masaoka, Y., Kuroda, T., Futamura, A., Shiromaru, A., Izumizaki, M., Kawamura, M. Impairment of cross-modality of vision and olfaction in Parkinson disease. *Neurology* 90(11), 977-984, (2018). 他 90 報

書籍 青山拓央. 心にとって時間とは何か. 講談社 (2019) 他 16 件

受賞 北澤茂. 中山人間科学振興財団・中山賞大賞 (2018)

浅原正幸, 加藤祥. NLP2020 言語資源賞 (2020)

黒田慧莉, 小林一郎. 情報処理学会第 82 回全国大会・大会優秀賞 (2020) 他 13 件

ホームページ等 <https://www.chronogenesis.org/>