

領域略称名：時間生成学

領域番号：8002

令和5年度科学研究費助成事業
「新学術領域研究（研究領域提案型）」
に係る研究成果報告書（研究領域）兼
事後評価報告書

「時間生成学—時を生み出すところの仕組み」

領域設定期間

平成30年度～令和4年度

令和5年6月

領域代表者 大阪大学・生命機能研究科・教授・北澤 茂

目 次

研究組織

- | | | |
|---|----------------|---|
| 1 | 総括班・総括班以外の計画研究 | 2 |
| 2 | 公募研究 | 3 |

研究領域全体に係る事項

- | | | |
|----|-----------------------------------|----|
| 3 | 交付決定額 | 6 |
| 4 | 研究領域の目的及び概要 | 7 |
| 5 | 審査結果の所見及び中間評価結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況 | 9 |
| 6 | 研究目的の達成度及び主な成果 | 11 |
| 7 | 研究発表の状況 | 16 |
| 8 | 研究組織の連携体制 | 21 |
| 9 | 研究費の使用状況 | 22 |
| 10 | 当該学問分野及び関連学問分野への貢献の状況 | 24 |
| 11 | 若手研究者の育成に関する取組実績 | 25 |
| 12 | 総括班評価者による評価 | 26 |

研究組織 (令和5年3月末現在。ただし完了した研究課題は完了時現在、補助事業廃止の研究課題は廃止時現在。)

1 総括班・総括班以外の計画研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
X00 総	18H05520 時間生成学 一時を生み出すところの仕組み	平成30年度 ～ 令和4年度	北澤 茂	大阪大学・生命機能研究科・教授	12
A01 計	18H05521 言語による時間生成	平成30年度 ～ 令和4年度	嶋田 珠巳	明海大学・外国語学部・教授	4
B01 計	18H05522 時の流れの神経基盤	平成30年度 ～ 令和4年度	北澤 茂	大阪大学・生命機能研究科・教授	5
C01 計	18H05523 知覚や行動に伴う心的時間の脳内 機構とその操作	平成30年度 ～ 令和4年度	田中 真樹	北海道大学・医学研究院・教授	4
D01 計	18H05524 時間の獲得の個体発生と系統発生	平成30年度 ～ 令和4年度	平田 聡	京都大学・野生動物研究センター・教授	3
E01 計	18H05525 時間処理およびその情動的価値の 生成と崩壊	平成30年度 ～ 令和4年度	池谷 裕二	東京大学・薬学系研究科・教授	4
総括班・総括班以外の計画研究 計 6 件 (廃止を含む)					

[1] 総：総括班、国：国際活動支援班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

2 公募研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
A01 公	19H05317 空間認知からの時間生成	令和元年度 ～ 令和2年度	有田 節子	立命館大学・言語教育情報 研究科・教授	1
A01 公	19H05318 ディープニューラルネットワーク によるテキストから時間情報の抽出	令和元年度 ～ 令和2年度	程 飛	京都大学・情報学研究科・特定 助教	1
B01 公	19H05306 Mind Time Machine の構築とシステ ムの主観的時間生成の解析	令和元年度 ～ 令和2年度	池上 高志	東京大学・総合文化研究科・ 教授	1
C01 公	19H05303 発話のリズムや順序を制御する神 経機構	令和元年度 ～ 令和2年度	田中 雅史	早稲田大学・文学学術院・専 任講師	1
C01 公	19H05305 時刻依存的な睡眠パターンを形成 する神経基盤の解明	令和元年度 ～ 令和2年度	平野 有沙	筑波大学・医学医療系・国際 統合睡眠医科学研究機構・ 助教	1
C01 公	19H05307 霊長類の行動タイミングを制御す る後頭頂葉と高次運動野の神経活 動連関の光計測と制御	令和元年度 ～ 令和2年度	蝦名 鉄平	東京大学・医学系研究科・助 教	1
C01 公	19H05308 外的刺激による間隔時間知覚の操 作とそのメカニズムの解明	令和元年度 ～ 令和2年度	四本 裕子	東京大学・総合文化研究科・ 准教授	1
C01 公	19H05310 報酬の遅延時間分布の知識に基づ いた適応的行動タイミング決定の 神経メカニズム	令和元年度 ～ 令和2年度	村上 誠祥	山梨大学・総合研究部医学 域・特任助教	1
C01 公	19H05311 未来を予測して身体運動の時間遅 れを克服する神経メカニズムの解 明	令和元年度 ～ 令和2年度	武井 智彦	京都大学・医学研究科/白眉 センター・特定准教授	1
C01 公	19H05313 知覚学習と脳刺激による主観的時 間の操作	令和元年度 ～ 令和2年度	林 正道	情報通信研究機構・脳情報 通信融合研究センター・研 究員	1

D01 公	19H05309 脳の時間の単位の進化：ヒト・サル・イルカの無侵襲脳波記録による検討	令和元年度 ～ 令和2年度	伊藤 浩介	新潟大学・脳研究所・特任准教授	1
D01 公	19H05315 “情動が時間知覚に与える影響”の発達過程とその個人差に関する神経生物学的研究	令和元年度 ～ 令和2年度	土居 裕和	国士館大学・理工学部・准教授	1
E01 公	19H05312 ヒト記憶における自己と時間の相互作用機構と作話症状の理解	令和元年度 ～ 令和2年度	月浦 崇	京都大学・人間・環境学研究科・教授	1
E01 公	19H05316 時間生成の解明に迫る比較認知神経科学	令和元年度 ～ 令和2年度	兎田 幸司	慶應義塾大学・文学部・助教	1
A01 公	21H00308 Temporal knowledge supervision for pre-training transfer learning models	令和3年度 ～ 令和4年度	程 飛	京都大学・情報学研究科・特定助教	1
B01 公	21H00299 楔前部の神経束ネットワークの構造学的解析	令和3年度 ～ 令和4年度	山口 淳	千葉大学・大学院医学研究院・教授	1
B01 公	21H00300 主観的な時間の流れを作り出す人工システムの実装とその解析	令和3年度 ～ 令和4年度	池上 高志	東京大学・大学院総合文化研究科・教授	1
B01 公	21H00314 神経活動の時間的ダイナミクスに埋め込まれる未来の運動情報の研究	令和3年度 ～ 令和4年度	羽倉 信宏	国立研究開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所脳情報通信融合研究センター・主任研究員	1
C01 公	21H00302 霊長類の行動タイミングを制御する脳領域間ネットワーク連関の光計測と制御	令和3年度 ～ 令和4年度	蝦名 鉄平	東京大学・大学院医学系研究科・講師	1
C01 公	21H00307 時間感覚と睡眠・覚醒リズムを形成する神経基盤の解明	令和3年度 ～ 令和4年度	小野 大輔	名古屋大学・環境医学研究所・講師	1
C01 公	21H00309 過去の感覚情報を未来の運動制御に活かす神経機構の生成と解明	令和3年度 ～ 令和4年度	武井 智彦	玉川大学・脳科学研究所・准教授	1
C01 公	21H00310 事象の終わりを表現するセルアセンブリの機能解析	令和3年度 ～ 令和4年度	水田 恒太郎	国立研究開発法人理化学研究所・生命機能科学研究センター・上級研究員	1

C01 公	21H00313 (廃止) タイミング予測を司る前頭前野一 小脳連関の神経回路基盤	令和3年度	堤 新一郎	国立研究開発法人理化学研 究所・脳神経科学研究セン ター・副チームリーダー	1
C01 公	21H00315 脳結合操作による時間情報処理ネ ットワークの因果的解明	令和3年度 ～ 令和4年度	林 正道	国立研究開発法人情報通信 研究機構・未来 ICT 研究所 脳情報通信融合研究センタ ー・研究員	1
D01 公	21H00297 発達期の展望記憶の成功と失敗に 関わる脳内ネットワークのダイナ ミクス	令和3年度 ～ 令和4年度	橋本 照男	東北大学・加齢医学研究所・ 助教	1
D01 公	21H00304 脳の時間の単位の進化：哺乳類6 種における無侵襲脳波記録による 検討	令和3年度 ～ 令和4年度	伊藤 浩介	新潟大学・脳研究所・准教授	1
E01 公	21H00296 失った過去を回復させる外部要因 と脳内調節因子の解明	令和3年度 ～ 令和4年度	野村 洋	名古屋市立大学・医薬学総 合研究院(医学)・教授	1
E01 公	21H00305 長期記憶の時間生成を担う睡眠/覚 醒サイクルにおける神経活動・シ ナプス動態	令和3年度 ～ 令和4年度	宮本 大祐	富山大学・学術研究部医学 系・准教授	1
E01 公	21H00311 多点同時光計測によるドーパミン 時計仮説の包括的検証	令和3年度 ～ 令和4年度	小澤 貴明	大阪大学・蛋白質研究所・助 教	1
E01 公	21H00312 社会的情報の影響を受ける時間処 理における扁桃体と線条体の機能 的結合形成	令和3年度 ～ 令和4年度	倉岡 康治	関西医科大学・医学部・助教	1
E01 公	21H00298 冬眠様状態の脳における時の流れ の研究	令和3年度 ～ 令和4年度	平野 有沙	筑波大学・医学医療系・助教	1
公募研究 計 31 件 (廃止を含む)					

[1] 総：総括班、国：国際活動支援班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

研究領域全体に係る事項

3 交付決定額

年度	合計	直接経費	間接経費
平成 30 年度	315,770,000 円	242,900,000 円	72,870,000 円
令和元年度	297,570,000 円	228,900,000 円	68,670,000 円
令和 2 年度	297,180,000 円	228,600,000 円	68,580,000 円
令和 3 年度	299,260,000 円	230,200,000 円	69,060,000 円
令和 4 年度	298,870,000 円	229,900,000 円	68,970,000 円
合計	1,508,650,000 円	1,160,500,000 円	348,150,000 円

4 研究領域の目的及び概要

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時の領域計画書を基に、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、どのような点が「革新的・創造的な学術研究の発展が期待される研究領域」であるか、研究の学術的背景や領域設定期間終了後に期待される成果等を明確にすること。

(1) 研究の学術的背景と研究目的

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
計画班・公募班の種々の研究から、後部帯状回—楔前部—脳梁膨大後部皮質—海馬を連絡する大脳皮質内側面に「未来—現在—過去」の時間地図が描き出された。

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
池谷班はヒスタミン H3 受容体逆作動薬によって、失われた過去の記憶が回復することを発見した。げっ歯目で得られた薬効は、ヒト臨床試験でも再現された。

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
平田班は、ビデオ画像を24時間隔てて2回視聴させるという新しい実験パラダイムを使って、類人猿にエピソード様記憶が存在することを突き止めた。中野班はこの手法をヒト幼児に応用し、生後18か月から同課題に成功し、その後さらに発達していくことを示した。

しかし、地図は場所を示すだけで、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、を本領域の目標として掲げた。

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。

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。

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などが目標となる。

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に対象を拡張して、発生の過程を詳細に解明する。

(2) 全体構想

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(図1)。

A01「時を作る」(嶋田・浅原・小林・青山):人工神経回路の構成を目標とする本領域の核となる班である。最初の目標は、自然言語(新聞記事や日常の会話)を入力として、複数のイベントの時間の前後関係を出力する人工神経回路を構築することである。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。



図1 研究5項目

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、時間地図の中核である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とくに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的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徹底し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、脳の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。

(3) 研究期間終了後に期待される成果(図2)

①「こころの時間」の機能を発揮する人工神経回路が構築される 自然言語を入力として、イベントの前後関係を出力する人工神経回路を、時間情報のアノテーションを施した大規模コーパスを使って開発する。この人工神経回路は時間生成の神経基盤解明のリファレンスとして役立つだけでなく、経済界などに大きな需要があり、社会的なインパクトは大きい。

②「時間地図」の機能と成因が明らかになる 大脳皮質内側面に発見された「未来—現在—過去」の時間地図の機能と生成の仕組みが明らかになる。特に、「時間」の意識の本質と指摘されてきた「未来—現在—過去」の区別と推移が生成される過程が神経回路のレベルで明らかになる。

③「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」などの日常の内観と神経活動の関係が明らかになる 本領域では、深層学習を活用して時間感覚を担う神経活動の実体を抽出し、科学的扱いが困難な主観的な時間感覚のメカニズムに迫る。社会から広く歓迎される成果となるだろう。

④ 新たな時間の操作法が開発され、認知症の早期診断や症状改善などへの応用が進む 認知症の初発症状は時間の見当識の障害であるため、本研究の成果は早期診断と初期治療に役立つ。認知症は大きな社会的問題であるため、インパクトと波及効果は計り知れない。

⑤ ヒトとヒト以外の動物、成人と子供、の共通点と相違点が具体的に解明される 系統発生および個体発生の両軸から、時間の発生を解明することは先行領域の特徴でもあったが、本計画ではここに深層学習による解析を加えることで、時間発生の理解を本質的に深める。

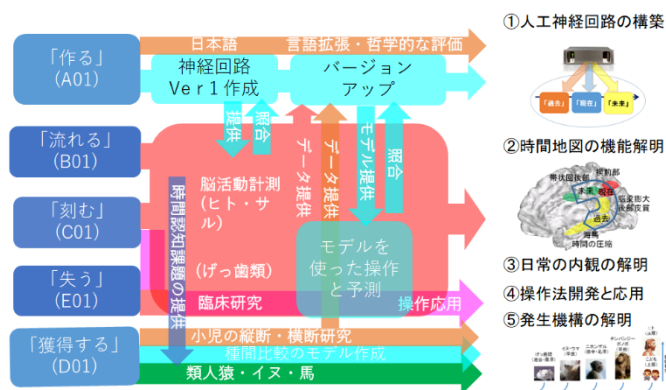


図2 終了時に期待される5つの成果(目標)

5 審査結果の所見及び中間評価結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況

研究領域全体を通じ、審査結果の所見及び中間評価結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該指摘及びその対応状況等について、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

(審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況)

(留意事項)

・深層学習のモデルによって真理探究ができるか疑問があり、特にポスト分析について線形分析以外のアプローチを考慮していない点が懸念されるため、他のアプローチも検討する必要がある。

中間評価時点の対応状況

我々は視覚系の研究の2つの成功例に学んで、深層学習のモデルと線形分析を使ったポスト分析を応募時の研究計画書に記載した。留意事項のご指摘を真剣に受け止め、線形分析に非線形のリンク関数を追加するというような小手先の対応を取るのではなく、これまでの成功例がなぜ単純な手法で成功したのか、を改めて分析して、**線形分析の成功事例の成功理由を再検討した。**

① 1つ目の成功例は2012年に発表された AlexNet である (Krizhevsky et al., 2012)。100万枚の画像を1000種類の名詞に分類することを誤差逆伝搬法で学んだ9層、80万個の人工神経回路の2層目には、Hubel と Wiesel が発見した一次視覚野の方位選択性を持つ細胞にそっくりな、特定の方位の縞模様に応答する「ニューロン」が育っていた。この事例では、見るからに似ているので、線形分析すら行われていない。しかし、フーリエ基底を用いた線形分析のレベルで特定の方位に選択性を示す人工ニューロンが育ったことを示すことができるのは疑いようがない。

② 2つ目の成功例は2014年に発表された Yamins らの研究である (Yamins et al., 2014)。ここでは5層の神経回路 (入力層+L1+L2+L3+L4) を深層学習によって画像識別を行うように育て上げ、高次視覚野に分類される側頭葉やV4野のニューロンの応答特性との比較を行った。具体的には、側頭葉とV4野のニューロンの応答をL1-L4の各層の人工神経回路のニューロンの応答を使って線形回帰できるかを検討した。すると、側頭葉のニューロンはL4層の人工ニューロンで最もよく回帰された一方、V4野のニューロンはL3層の人工ニューロンで最もよく回帰された。この結果から、Yamins らはV4野は側頭葉での対象識別という目的を達成するための前段の中間層として機能していると結論した。

これらの再検討から、視覚系を模した人工神経回路と、実際の脳の視覚野の「層対層」の対応関係を調べるにはまずは線形分析を行うことが妥当であろうと結論した。

終了時までの対応状況

実際には Transformer を使って構築した時間判断モデルの低次と高次の領域の「活動」と脳活動の間の **Banded-Ridge 回帰**を行った (小林, 2023)。Banded-Ridge 回帰分析は2022年11月に Gallant のグループが発表した新しい回帰分析法である (Dupre la Tour et al., 2022)。Ridge 回帰は独立変数の数が多い場合に、回帰係数の2乗和をペナルティとして誤差の2乗和に加えることで「なるべく少数の独立変数」で回帰モデルを作る方法である。推定されるモデルの汎化性能を向上させることが知られている。Banded-Ridge 回帰は、独立変数が数個のグループに分かれている状況で効果を発揮する方法で、Ridge 回帰のペナルティに掛ける係数をグループごとに設定する。これを行うと、人工神経回路の異なる層が脳の活動推定にどの程度の割合で貢献したかをワンショットで推定することができる。極めて多くの層や領域を持つ Transformer のどの領域がどのように脳活動の推定に効いているのかを系統的に調べる有効な手法と考えられる。

(参考意見)

・臨床にどのように応用できるかは明確でないという意見があった。

中間評価時点の対応状況

臨床応用については、前領域から引き継いだヒスタミンの記憶に対する作用が論文出版され (Nomura et al., 2019 **Biol Psychiat**)、基礎的な研究から臨床への応用について具体的なイメージを与えている。時間見当識障害が認知症の初発症状であることから、認知症早期診断ツールを開発する E01 班河村らの取り組みも、臨床へのわかりやすい応用例である。また、C01 班のパーキンソン病などの神経変性疾患での時間知覚を調べる研究や、将来の介入法としての経頭蓋磁気刺激や経頭蓋電流刺激を用いた脳機能の操作研究なども進んでおり、これらに関しても具体的な臨床応用への展開が期待される。

終了時の成果

(1) 脳内ヒスタミンを増加させる薬物によって過去の記憶想起を回復させることをこれまでに明らかにしてきたが、同種の薬物が大脳皮質の神経活動をどのように調節するかを解明した (Hirano et al., 2022, E01)。(2) 頭蓋磁気刺激の新しい手法を開発して、行動課題への影響を検討した (Kimura et al., *Brain Stimul.*, 2022, C01)。(3) 楔前部の静磁気刺激 (抑制) で 5 秒前の風景の記憶が著しく障害されることを示した (Yamazaki, Kitazawa, 2020, B01)。(4) E01 河村らは、脳内における時間認知の神経基盤の解明を目的に、脳損傷や認知症・パーキンソン病をはじめとする神経変性疾患罹患者、自閉症スペクトラム等の発達障害を対象に神経心理学的手法を用いた検討を行った。その結果、脳機能の変化によって生じる時間認知障害は異なる疾患の間で共通した特徴があることが示唆された (Honma et al. 2019 ; Honma et al. 2021 ; 河村ら 2021)。特にパーキンソン病患者では時間計測のトレーニングが時間認知障害の改善につながる可能性が示された (Honma et al. 2021)。また、平田 (D01 班) と河村 (E01 班) の共同研究で、動物行動学研究で用いられていたアイトラッキング法を用いたアルツハイマー型認知症患者の記憶時間評価の開発も行うことができた。これらの成果から、従来あまり注目されてこなかった高次脳機能としての時間認知に関する知見を積み上げるとともに、評価法および治療法という臨床応用への視界が開けた。

(中間評価結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況)

(評価結果の所見)

1. 一方、「時間」の捉え方が分野によって異なる面もあることへの対応は十分ではなく、今後の研究の進展において各分野の関係性が更に明らかにされることを期待する。

対応状況

各分野の関係性をさらに明らかにするために、A01 嶋田班が中心となって「時間言語フォーラム」を開催して、言語学、自然言語処理、神経科学、神経学分野の専門家の交流を重ねてきた。このフォーラムでは言語学者が話題提供する際には神経科学の専門家がコメンテータに立つ、あるいはその逆、ということを中心としていて、数時間にわたるフォーラムを通じて異分野の時間に対する考え方の相互理解と共有・修正の機会として実に見事に機能した。

各回の内容は 1.時間と語彙 (2019/5/18), 2.時間順序と因果 (2019/7/6), 3.時間と脳と言語 (2019/9/14), 4.時間・空間・ダイクシス (2019/11/10), 5.コーパスと言語処理技術によるアプローチ (2020/2/11), 6.時間と言語の哲学 (2020/7/18), 7.時間感覚の臨床研究 (2021/1/23), 8. 機械の時間処理 vs. 人間の時間処理 (2021/7/10), 9.非言語の存在力—動物の時間と運動 (2021/9/25), 10.テンスの形態論 (2021/11/13), 11.言語進化 x 時間生成 (2021/12/11), 12.アスペクトの形態論 (2022/5/28), 13.時間研究の神経学・神経科学 (2022/7/30), 14.テンスのない言語における時間 (2022/10/8), 15.脳のことば、神経のことば—脳内情報の解読と活用 (2022/12/3), 16. 主観と予測の神経科学と言語学 (2023/7/1) である。ほぼすべての研究代表者と分担研究者が講演あるいはコメントを行い、各回活発な意見交換、情報共有ができた。また、2023 年 7 月末には、総括班との共催で、異分野の時間生成学のメンバー 10 名が登壇して研究討議を行い、時間生成学および時間と言語をめぐる諸問題について、これまでの研究を相互参照しながら、総括を行う予定である。

「時間言語フォーラム」の研究活動は書籍として公刊し、その内容は研究者および一般に広く公開されている。フォーラム前半の内容は三省堂から出版され、領域全体で共有している (『時間と言語』嶋田・鍛冶編著 2021 年)。フォーラム後半の内容についても、三省堂からの出版(2024 年 3 月刊行予定)が決定しており、将来の時間研究の重要なリファレンスとなる。

2. 少し結論を急ぎ過ぎている側面も見受けられるので、確固たる科学的なデータに基づいた議論を丁寧に進めていただきたい。今後も厳密科学としてのスタンスを堅持しながら難問に挑戦していただきたい。

中間評価において紹介した一部の未発表データもその後着実に出版・報告され、国際誌におよそ 300 報の論文が掲載された。うち 38 報はいわゆるハイインパクトジャーナルに掲載されている。領域全体で、科学的なデータに基づいた議論を丁寧に行った成果が挙げられたものと考えられる。

6 研究目的の達成度及び主な成果

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、(2) 本研究領域により得られた成果について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。(1)は研究項目ごと、(2)は研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で記載すること。なお、本研究領域内の共同研究等による成果の場合はその旨を明確にすること。

【A01】「作る」班

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか。

①事象の時間関係をアノテーションした大規模言語コーパスを入力として、時間関係を出力する人工神経回路を構築することを第一の目標とした。浅原らは Chat-GPT にも用いられている Transformer (コンテキストに応じて語彙のベクトル化を行う人工神経回路) の有効性にいち早く注目して、Transformer の拡張モデルである BERT の日本語モデルを構築して公開した(浅原・加藤 2020、言語処理学会賞)。浅原、小林、公募班の Cheng らは、BERT を用いて、自然言語文書中の時間情報を識別する人工神経回路を構築し、世界トップ水準の性能を達成した(Cheng ら 2020)。②人工神経回路を他班に提供して、中間層の表現を脳活動データと対照して対応関係を明らかにすることが次の目標である。この点については、浅原と小林らは開発した人工神経回路を B01 班の西本や貴島らが取得した脳活動データの解析に適用して「時間地図」の描出と成因の解明に活用した。③さらに言語学、哲学の基礎的考察に基づいて、ヒトが脳内に抱く時間意識の実体解明を大きく進展させるとともに、哲学・言語学の分野にも新たな展開をもたらすことを最終的な目標とした。この目標については嶋田が中心となって「時間言語フォーラム」を開催して、言語学、自然言語処理、神経科学、神経学分野の専門家の交流を 15 回にわたり重ねてきた。フォーラムは異分野の時間に対する考え方の相互理解と共有・修正の機会として実に見事に機能した。以上の通り、領域の中核として、所期の 3 目標を十分に達成した。

(2) 本研究領域により得られた成果

<計画研究> ①人工神経回路の構築：国語研日本語ウェブコーパスを使って BERT を日本語化した(浅原・加藤 2020、NLP2020 言語資源賞)。さらに BERT を用いて自然言語文書中の時間情報を識別する人工神経回路を構築し、世界トップ水準の性能を達成した(Cheng ら 2020)。時間関係に関する常識を質問応答する英語の課題 (MC-TACO) を対象に、時間識別を行う深層学習モデルを構築し(Kanashiro et al., 2020) Allen Institute for AI が主催するコンペティションで世界 1 位を獲得した。②時間生成における言語の役割：人間の言語における「基本的な」時間語彙があるかどうかを明らかにすることは研究の目標の一つである。Kaji, Sasaki, & Shimada (2019)では時間語彙を対照するための枠組みを作り、周期的な時間に関する時間表現について日本語、英語、ロシア語、ツングース語に共通する特徴を明らかにした。嶋田・鍛冶編著 (2021)では時間表現の「基本的な」文法機構を検討する(嶋田章)とともに、「時間と言語」をテーマとした言語学、哲学、神経科学研究を全 14 章に纏めている。青山(2021)はエピソード記憶の成立において言語の果たす役割を検討した。③日常の内観の解明：「時間の流れ」の内観は日常的なものであり、かつ、地域や時代に縛られない一般性をもっている。しかし、この内観と、心理学・神経科学・物理学における重要なパラメータとしての時間とのあいだには齟齬がある。青山 (2019)は、ポストディクシオンと呼ばれる心理学・神経科学的現象や、物理法則の非 A 系列的性格等を多角的に論じることで齟齬の理由を明示した。また、嶋田らは事象順序の把握における時間副詞、時制辞、推論、アスペクトの機能の解明を進めた(嶋田・鍛冶 編著 2021, Yoshimoto et al. 2021)。④時間の発生機構の解明：D01 班と協力し、ヒトの成長および進化史の観点から時間概念の形成に関して考察した(平田・嶋田 2022)。

<公募研究> ①人工神経回路の構築：Cheng が開発した英語用時間識別モデルを小林、浅原らと共同で日本語化するとともに、入力層には浅原らが新たに開発した BERT モデルを用いた。その結果時間識別の対象全てで既存モデルを上回ることに成功した(Geng ら, 2020, 2021)。②時間表現の言語学的分析：日本語従属節の時制形式と時間解釈において、論理関係を表す副詞節と時間関係を表す副詞節の解釈の基準に差異があることから、統語構造のみならず副詞節の意味も時間解釈に影響を与えることを示した(有田 2021)。

【B01】「流れる」班

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか。

「過去-現在-未来」の時間の流れの意識の神経基盤を探求した。①北澤と A01 班の嶋田は日本語、中国語、英語を母語とする被験者群に対して言語刺激を用いた脳活動計測を行い、どの母語群でも大脳皮質内側面の楔前部が「現在感」を喚起する刺激に強く反応することを示した。②公募班の山口は、楔前部が

「過去」の記憶生成に重要な海馬傍回-海馬領域と強く結合していることを示した。③北澤は、楔前部を抑制すると、過去の記憶が障害されることを示した。これらの知見から、楔前部の現在の情報が海馬に送られて記憶の中に過去の事象が順序良く保存されていく、という現在から過去へ流れる時間生成モデルを提案した。④北澤と西本らは A01 班の浅原と小林らと共同して、自然言語刺激に対する人工神経回路と脳の応答を比較した。時間の順序構造に関する脳活動を網羅的に探索し、活動領域を特定した(A01 班、小林 2023)。⑤貴島と柳澤らは、動画視聴中の皮質脳波を計測し、時間情報に応じて楔前部や側頭葉の γ 帯域の脳活動が変化することを示した。最後に、北澤らは時間の流れの方向(時間の矢)の神経基盤を調査し、右大脳皮質-左小脳ループが関与することを示唆した。これらの研究から、楔前部と海馬のネットワークと右大脳と左小脳のループが時間の流れの神経基盤となることを示した。以上の通り、時間の流れの神経基盤を明らかにするという所期の目標は達成された。

(2) 本研究領域により得られた成果

<計画研究>①人工神経回路の構築：西本らは最新の画像生成 AI である Stable Diffusion の内部表現を介してヒト脳活動を解読して知覚内容を映像化した (Takagi & Nishimoto, 2023)。Science 誌を始めとする国内外の 60 を超える媒体で報道された。北澤は人工神経回路の基礎と神経科学への応用に関する解説書を著した(北澤 2020)。中野は人工神経回路を顔画像の認知科学研究や瞬目の確率推定に応用した(中野ら 2020, Nakano & Yamamoto, 2022)。貴島と柳澤らは人工神経回路を使って頭蓋内脳波波形からてんかん発作を同定することに成功した(Yamamoto et al., 2021)。本研究はてんかん財団研究褒賞等を受賞した。また機械学習の手法を改良して頭蓋内脳波や脳磁図信号を用いた疼痛制御や機器制御に応用した(Shiraishi et al., 2020, Yanagisawa et al. Neurology, 2020)。②時間地図の機能解明：北澤・嶋田(A01 班)らは言語刺激で喚起される「現在感」が日本語・中国語・英語を母語とする 3 群に共通して楔前部を強く活動させることを明らかにした(Tang et al. 2021)。北澤は静磁場を用いて楔前部を抑制すると、数秒前に見た風景の記憶が著しく障害されることを見出した(Yamazaki & Kitazawa, 2020)。西本らは 103 個の認知課題に対する脳の活動を計測・解析して、脳の認知機能マップと課題間の類似性を反映する課題機能マップを描き出した。時間認知機能は脳の様々な領域に様々な組み合わせで分布していることが明らかとなった(Nakai & Nishimoto Nat Commun, 2020)。③日常の内観の解明：北澤らは「時間が一方向に流れる」ように感じられる理由を探る実験系を開発して、脳の予測にかかわる左小脳の内部モデルと右外側大脳皮質が作る回路が重要な役割を果たすことを示唆する成果を得た (Hanyu et al., 2022, 2023)。

<公募研究> ①人工神経回路の構築：池上らは、視覚的な入力時系列の情報を圧縮したうえで新たな出力時系列を生成する人工神経回路を構築して、海馬が記憶した事象を replay する機能を模倣した(Kojima & Ikegami 2022)。さらに VR 技術を使って実装し Mind Time Machine II として公開した。②時間地図の機能解明：山口らは楔前部が「過去」の記憶生成に重要な海馬傍回-海馬領域と解剖学的にも機能的にも強く結合していることをヒトで示した (Jitsuishi & Yamaguchi, 2021, 2023)。羽倉は未来に行う運動を脳がどのように準備しているかを調べ、準備する運動候補の数が異なると、運動出力が同じでも違う運動として実行されていることを明らかにした(Hagura et al., 2020)。

【C01】「刻む」班

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか。

C01 班では、知覚と行動の制御に関わる時間情報の脳内処理のメカニズムの解明とその操作法の開発、さらには神経疾患における病態生理の理解を目指して研究した。計画班での 11 回に及ぶオンライン会議を通じて、多くの新しい知見が得られ、関連する学術分野に大きく貢献することができた。また、本領域の目標である③「日常の内観と神経活動の関係」の一部を明らかにし、④「新たな時間の操作法」を開発することができた。田中(神経生理学)らは、計時やリズム知覚を必要とする行動課題を行っているサルの小脳と線条体の神経活動を詳しく調べ、これらの皮質下部位の機能の違いを明らかにした。村上(実験心理学)らは、時間長や追従性などの心的時間軸上の知覚特性を心理物理学的手法および脳波計測を用いて調べ、運動対象の時間過大視や、復帰抑制の事態で生じる時間過小視が生じるメカニズムを解明するとともに、視覚運動・位置処理の律動性を明らかにした。寺尾(病態生理学)らは、ヒトで時間幅の認知や学習に関わる機構を詳しく調べ、とくにパーキンソン病での時間情報処理課題の成績とドパミン欠乏の程度や年齢との関係を明らかにし、さらに磁気刺激や脳深部刺激などによる介入研究を行った。天野(先端計測)らは、異なる周波数の神経律動が果たす機能の違いを心理実験、脳磁図計測の両面から検討し、注意の瞬きにシータ波とアルファ波が関与することを見い出すとともに、音刺激を用いた介入によってその大きさを変化させることに成功した。また、本研究項目には多くの公募研究班が参加し、げっ

歯類や鳥類、サルなどを用いた動物実験やヒトを対象にした心理実験、介入実験が多数行われた。これらにより、時間知覚・生成に関わる神経機構と疾病時の病態を明らかにし、新たな機能介入法を開発するという本研究項目の目的は十分に達成された。

(2) 本研究領域により得られた成果

<計画研究>期間中に 56 報の英文論文を発表した。代表的なものとして、同期運動やリズム知覚の際の神経活動をサルで調べた田中らの論文 (Kameda et al., *PNAS*, 2023; Okada et al., *Nat Commun*, 2022) や、脳情報の時間発展を視覚心理学実験で示した村上らの一連の *Vision Res* 論文、頭蓋磁気刺激の新しい手法や行動課題への影響を検討した天野らの論文 (Kimura et al., *Brain Stimul*, 2022) や寺尾らの論文 (Shirota et al., *Brain Stimul*, 2019)、パーキンソン病や脊髄小脳変性症での時間知覚を詳しく調べた寺尾らの複数の論文などを挙げるができる。また、村上は、世界的な時間研究者である Buonomano 博士 (UCLA) の書籍を邦訳し、時間研究の啓蒙を行った (村上, 2018)。

<公募研究>前期 7 課題、後期 6 課題 (うち 1 課題は重複制限のため廃止) の公募研究が参加した。時間情報処理の神経機構について多面的な解析が行われ、領域期間中に 46 報の英文論文が発表された。代表的なものを挙げると、①四本らは、コロナ禍による生活の変化が時間知覚に及ぼす影響を大規模な国際共同研究で調べ、その成果を公募期間終了後に論文発表した (Chaumon et al., *Nat Hum Behav*, 2022)。②林らは、時間知覚の神経基盤が時間長ごとに異なるチャンネルをもつことを示すとともに (Hayashi & Ivry, *J Neurosci*, 2020)、時間長の情報が持続時間 (単一の刺激の持続時間) として与えられる場合と間隔時間 (複数の短い刺激の時間間隔) として与えられる場合で異なることを明らかにした (Li et al., 2022)。また、③蝦名らは、マーモセットの脳皮質を対象としたカルシウムイメージング技術を開発し (Ebina et al., *PNAS*, 2019)、過去、現在、未来の行動指標 (前肢運動や視覚刺激等の情報) がどの領野で表現されているかを解析するための方法論を確立した (Matsuzaki & Ebina, *Nat Commun*, 2021)。④武井らは、時間遅れを伴う感覚情報を運動制御に活かすための予測神経メカニズムをサルで調べ、後頭頂葉において「過去」の感覚情報と予測的な情報を統合して、「現在」の状態を推定することを示唆する知見を得た (Takei et al., *Curr Biol*, 2021)。また、⑤小野らは、睡眠覚醒のタイミングを調節する哺乳類の概日時計中枢である視交叉上核における cAMP の機能を明らかにした (Ono et al., *Sci Adv*, 2023)。さらに、⑥村上(誠)らは、遅延報酬をどれくらい待って、いつ待つのを諦めるかを決定するための神経メカニズムを明らかにするために、頭部固定マウスにおける遅延報酬課題を確立するとともに、関連した研究成果を公募期間後に発表した (Cazettes et al., *Nat Neurosci*, 2023; Recanatesi et al., *Neuron*, 2022)。これ以外にも、概日時計から睡眠覚醒リズムを生み出す分子・神経機構を調べた研究 (平野)、鳴禽類およびヒトの発話リズムの研究 (田中(雅))、事象の終了後に時間特異的に活動する海馬の細胞群の活動を詳細に調べた研究 (水田) などによって、多くの研究成果が生み出された。

このように、C01 班からは期間中に多数の英文論文が発表され、当該分野に大きく貢献した。

【D01】「獲得する」班

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか。

こころが時間を生み出すのはなぜ、どのような仕組みによるのか、その個体発生 (ヒトの生後の発達) と系統発生 (生物進化) を明らかにし、究極要因 (進化的適応と機能) について検討することを目的とした。具体的には、第一に、個体発生を探る目的として、時間に関係したヒトの言語表現に関する発達加齢研究をおこない、ヒトがいつからどのように時間を認識するのかを明らかにすることを目指した。第二に、系統発生を探る目的として、ヒトとヒト以外の動物における時間認識及び認知における時間の影響の比較研究をおこない、時間が認知処理に及ぼす影響が生物進化においてどのように形成されてきたのかを明らかにすることを目指した。また、数理モデルを用いて時間に関係した心理・認知に迫り、脳内処理機構をモデル化すると同時に、進化的適応や機能について考察することを試みた。その結果、本領域設定期間において、A01 班が作成した数理モデルに、D01 班が収集した様々な年代の人 (幼児～大人) が作文した文章データを入力することにより、年代の違いを可視化することに成功した。また、ヒトを対象に設計された時間的特徴を組み込んだ強化学習モデルを用いてチンパンジーの認知課題の振る舞いを説明できる一方で、ヒト、チンパンジー、各種サル類、ウマにおいて聴覚誘発電位の潜時に顕著な違いが見られることも明らかとなった。究極要因としては、時間は変化をとらえて将来を予測するための媒体であるという適応的意義があり、ヒトはその時間窓を伸長させることで環境をより深く捉えることができるようになったと考えられる。ヒトを対象にした発達研究においても、ヒト以外の動物との比較研究においても、当初の目的に沿った研究成果をあげることができ、さらに研究成果の一般還元も兼ねて一般向け書籍「時

間はなぜあるのか」を刊行し、時間の適応的意義も含めた議論を展開できたことから、期待通りの達成度と言える。

(2) 本研究領域により得られた成果

<計画研究> ヒトを対象とした発達研究により、生後半年過ぎから言語音リズムを体得すること (Cheong & Uehara, 2021)、4歳頃の記憶に関する言葉を獲得し過去形の使用が格段と増える一方で4歳ではまだ未来に関する時の言葉を自発的には発しないこと (上原, 2020)、中高生は児童より未来イメージが具体的だが成人よりは未来展望が希薄であること (Kawasaki & Uehara, 2020; 川崎・上原, 2020) などが明らかとなった。また、A01班作成の数理モデルにD01班収集の作文データを入力することで、児童と成人(若年、中年、高齢者)の時間表現の違いが明らかになった(浅原・川崎・上原ほか、印刷中)。ヒト以外の動物の比較研究により、類人猿が自己経験を用いて他者の行動を予測することを視線計測の研究によって明らかにした(Kano et al. PNAS 2019)。また、これと同じ視線計測を用いて、ヒトの健忘症における記憶の再生において非顕在的な過程が含まれることが明らかになった(Hanazuka et al., 2021, E01班との共同研究)。コンピュータを用いたタッチパネル課題において、時間割引課題や非マルコフ連鎖課題をおこない、時間と関連した認知機構を明らかにするとともに、強化学習モデルによるフィッティングが可能であることを示した(Sato et al., 2021; 2023)。また、同様の強化学習モデルによって、ヒトの強迫性障害における行動パターンを説明可能であることも示した(Sakai et al., 2022)。D01班の平田とA01班の嶋田の共著により『時間はなぜあるのか』(ミネルヴァ書房, 2022)を著し、言語学と動物心理学の学際融合的議論をもとにして、時間の発生と進化について迫るとともに、進化的適応と機能についてまとめた。

<公募研究> 伊藤はヒト脳の進化における「脳サイズの増大」と「神経細胞数の増大」がヒト大脳の時間処理に与えた影響を明らかにするため、霊長類4種と非霊長類哺乳類2種(ウマ・マウス)で聴覚誘発電位の潜時比較に成功し、「脳サイズの増大」ではなく「神経細胞数の増大」によってヒト脳処理が遅くなったことを示す結果を得た(e.g., Itoh et al., 2022:公募班・伊藤とD01計画班との共同研究)。橋本は日常場面に近い展望記憶課題を、7~15歳の子ども108名に実施して、背景課題と未来に実行すべき意図とを行き来するダイナミクスに対応する動的脳内ネットワークを明らかにするとともに

(Hashimoto et al., 2022)、発達に伴いより動的、短時間での変動が高まるネットワークも発見した。土居は非接触型計測による情報反応評価系を確立し(Doi et al, 2021; 2022)、乳幼児の情動反応が時間知覚に与える影響を検証するための研究基盤を構築するとともに、時間知覚と関係する音楽・言語認知の進化的基盤に関して考察した(Doi & Masataka, 2021; Doi, 2020; 土居, 2021)。

【E01】「失う」班

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか。

適切な時間経験の感覚を持ち、時間に対して臨機応変に対処する能力は、生命の生存に必須であり、ヒトにおいては高度な社会を築くための心理基盤になっている。しかし、時間処理の能力がどのようにして脳の中で生まれ、またそれがどのように崩壊し、しばしば疾患となるのかは未解明である。E01班では、どのように秒、分、時間、日、年といった階層的時間を経験し、どのように過去と未来とブリッジすることで現在の自己に連続性を生じさせるか、また、こうした時間処理機能がどのように情動や意思決定に影響を及ぼすかを探究することを目標として研究を進め、当初の想定を超える優れた成果が得られた。分単位の長い時間の時間表象や、他者の時間経験の脳内表象などは、同分野でも特筆すべき知見をもたらし、さらに退屈な状態や低体温状態、不快な心理状態における時間知覚の変化、パーキンソン病や自閉スペクトラム症などの疾患や障害における時間変容を測定することにも成功し、心理的時間がどのように生成し、変動するのかの実体とメカニズムに迫ることができた。これらの実績は世界的に注目すべきものであり、本領域メンバーによる協働の賜である。

(2) 本研究領域により得られた成果

<計画研究> ①池谷: 動物は、将来起こる出来事を予測し、時間経過に応じて適切な行動を選択していく必要がある。このような時間の情報処理の脳内メカニズムに関する研究は、従来から行われてきたが、その多くは数秒単位(5秒から20秒程度)の短い時間を対象としたものであり、生存により重要な数分間におよぶ時間経過の認知に、脳のどのような神経活動が重要であるかという点はほとんど知られていない。そこで、5分おきにエサの報酬を獲得するようにラットを訓練させたところ、神経細胞は、分単位の時間経過と関連して活動を変化させることがわかった。本研究により新たに解明された数分間に及ぶ脳活動は、動物が時間経過を生体内に刻むための普遍的な機構と考えられる(Shikano, Curr Biol 2021)。

②池谷: マウスを遊具のない部屋に入れることで、遊具のある部屋では避けてしまうような嫌悪的な空

気刺激を自ら受けに行くようになることを発見した。同様な行動は、退屈を感じているヒトを対象とした心理学実験で報告があり、マウスの退屈を反映した行動であると考えられる。マウスが受動的にエアパフを受けた直後は、腹側線条体のドーパミン濃度が減少したのに対し、自ら空気刺激を受けに行く直前には、エサを食べる時と同じようなドーパミン濃度の増加が観察された。こうしたマウスの中には頻繁に空気刺激を受けに行く中毒状態になる個体が 20%程度存在し、一度中毒状態になると、遊具のある部屋に戻しても、頻繁に空気刺激を受けに行くことがわかった。本発見は、退屈の脳内メカニズムを解明する第一歩となるだけでなく、中毒や自傷行為など退屈感が関与するとされる精神障害の治療法の開発への貢献が期待される (Yawata et al., *Nat Commun* 2023)。

③ 藤澤：脳で認識される時間情報がどのように神経細胞で表現され、またそれが環境や状況に応じてどのように変化したり崩壊したりするのかを解明するため、げっ歯類動物での行動神経生理学的アプローチにより研究を進めた。その結果、海馬の時間を表現する細胞は必要に応じてその時間表象をフレキシブルに変えられるということを示した。本研究の結果は、海馬の細胞群の時間情報の表現とその変容の神経メカニズムを理解する上で重要な知見であると考えられる (Shimbo et al., *Sci Adv* 2021)。

④ 梅田：ヒトを対象とした時間的方向性に基づく思考の行動的特性とその神経メカニズムに関する実験を実施した。中心的に取り上げた認知機能は、未来思考性であり、脳機能画像研究の成果から、前頭前野の先端部に当たる前頭極 (ブロードマン 10 野) が共通して深く関与することが明らかになった (Katayama et al, 2019)。うつ病を対象とした研究の成果からは、うつ症状の緩和に伴い、症状が回復することと前頭極の課題遂行中の活動との間に密接な関係があり、未来思考性の変化がうつ症状の改善と深く関連することが解明された (Katayama et al., 2022)。また、未来思考性の背景にあるマインドワンダリングについても脳波を用いた検討を行い、注意制御が変化することが気づきの背景として作用し、思考の時間的方向性を導く可能性が示唆された (Shinagawa et al., 2021)。

⑤ 河村：脳内における時間認知の神経基盤の解明を目的に、脳損傷や認知症・パーキンソン病をはじめとする神経変性疾患罹患患者、自閉症スペクトラム等の発達障害を対象に神経心理学的手法を用いた検討を行った。その結果、脳機能の変化によって生じる時間認知障害は異なる疾患の間で共通した特徴があることが示唆された (Honma et al. 2019 ; Honma et al. 2021 ; 河村ら 2021)。特にパーキンソン病患者では時間計測のトレーニングが時間認知障害の改善につながる可能性が示された (Honma et al. 2021)。また、平田ら (D01 班) との共同研究で、動物行動学研究で用いられていたアイトラッキング法を用いたアルツハイマー型認知症患者の記憶時間評価の開発も行うことができた。これらの成果から、従来あまり注目されてこなかった高次脳機能としての時間認知に関する知見を積み上げるとともに、評価法および治療法という臨床応用への展望が生まれた。

<公募研究>

① 兎田：私たちは日常生活において「楽しい時間が早く過ぎ去る」ことを体験しているが、その具体的な神経基盤の大部分は明らかになっていない。時間の予測をしている最中の瞳孔の大きさを計測することによって、予測と生理指標の関係について明らかにし (Yamada & Toda, 2022)、薬理的な阻害によって時間の知覚を生み出している生物学的なメカニズムについても明らかにした (Kaneko et al., 2022)。

② 平野：冬眠のような低代謝・低体温状態においてどのように時の流れが認知されているのかを明らかにすることを目的に、冬眠様状態のマウスにおける概日時計の機能を調べた。その結果、冬眠中は神経活動が大きく抑制されているにもかかわらず概日時計は変わらぬ速さで時を刻んでいることが明らかとなった。さらに詳細な時間認知を明らかにするため、高い時間分解能で低体温誘導する実験系を確立した (Takahashi et al., 2022)。

③ 野村：これまでに脳内のヒスタミンを増加させる薬物 (H3 受容体拮抗薬・逆作動薬) によって失われた記憶想起が回復することを明らかにしてきたが、この種の薬物によって生体でどのように神経活動が調節されるかは不明だった。そこで嗅周皮質の多数の神経細胞の活動を同時にイメージングした結果、ヒスタミン H3 受容体拮抗薬ピトリサントが、嗅周皮質の一部の神経細胞の活動、特に同期活動を上昇させることがわかった。こうした同期活動の上昇が想起回復に関与する可能性が考えられる (Hirano et al., 2022)。

7 研究発表の状況

研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で、本研究領域により得られた研究成果の発表の状況（主な雑誌論文、学会発表、書籍、産業財産権、ホームページ、主催シンポジウム、一般向けアウトリーチ活動等の状況。令和5年6月末までに掲載等が確定しているものに限る。）について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。なお、雑誌論文の記述に当たっては、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究代表者（発表当時、以下同様。）には二重下線、研究分担者には一重下線、corresponding author には左に*印を付すこと。

【A01】「作る」班

<計画研究> 雑誌論文

- *浅原 正幸・川崎 采香・上原 泉・酒井 裕・谷口 巴・小林 一郎・越智 綾子・鈴木 彩香, 「過去」「未来」を主題とする作文の分析, 計量国語学, 34 卷 1 号, (2023,印刷中) (A01, D01 の共同)
- *小林一郎. ヒト脳における時間認識時の脳内状態推定. *Clin Neurosci*, 41(8), 4p. (印刷中).
- *Shimada, T. Contact-induced grammar formation: A model from a study on Hiberno-English. *Front Commun*, DOI 10.3389/fcomm.2022.832128 (2022).
- Kaji, H., Sasaki, F. & *Shimada, T. A contrastive study of basic terms of temporality and semantic change: Towards a lexical typology of time. *LACUS forum* 46: 3, 41-56 (2022).
- *浅原 正幸・田中 弥生 (2018), 修辞ユニット分析における脱文脈化指数の妥当性の検証, 国立国語研究所論集, 15 号, p.p.1-15.

書籍

永井均, 入不二基義, 青山拓央, 谷口一平, 『〈私〉の哲学 をアップデートする』, 春秋社, 2023.

平田聡・嶋田珠巳『時間はなぜあるのか? チンパンジー学者と言語学者の探検』ミネルヴァ書房, 2022.(A01, D01 の共同研究)

嶋田珠巳・鍛冶広真 編著『時間と言語』三省堂, 2021.

森田邦久 (編), 青山拓央ほか (共著), 『〈現在〉という謎 時間の空間化批判』, 勁草書房, 2019.

青山拓央『心にとって時間とは何か』, 講談社, 2019.

学会発表

- Yoshimoto, K., Tabolt, J., Zhou, Z. Kaji, H. & *Shimada, T. The Discourse Function of Aspect in Japanese. *Proc 19th Internat Workshop of Logic and Eng Nat Lang Semantics* 19, 98-102. (2022).
- * Kanashiro Pereira, L., Duh, K., *Cheng, F., *Asahara, M. & *Kobayashi, I. Attention-Focused Adversarial Training for Robust Temporal Reasoning. *The Eur Lang Res Association 2022*, Marseille, France, Jun.20-25, (2022).
- Geng, C., *Cheng, F., *Asahara, M., Kanashiro Pereira, L., *Kobayashi, I. Dependency enhanced contextual representations for Japanese temporal relation classification. *Proceedings of the 35th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation*, 170-179, (2021).
- * Kanashiro Pereira, L., Liu, X., *Cheng, F., *Asahara, M., *Kobayashi, I. Adversarial Training for Commonsense Inference. *Association for Computational Linguistics 2020 (ACL2020)*, (2020).
- *Cheng, F., *Asahara, M., *Kobayashi, I., Kurohashi, S. Dynamically updating event representations for temporal relation classification with multi-category learning. *EMNLP (Findings)* 1352-1357, (2020).
- 浅原正幸, 加藤 祥. BERTed-BCCWJ: 多層文脈化単語埋め込み情報を付与した『現代日本語書き言葉均衡コーパス』データ. 言語処理学会第 26 回年次大会, (2020).

主催シンポジウム

時間言語フォーラム 期間: 2019年5月~2023年5月までに、全15回実施。詳細は3頁。

Australian Systemic Functional Linguistics Association 2019 テーマセッション “Linguistic Chronogenesis: Text, Time, and the Processing of Temporal Experience” (越智 綾子、浅原 正幸、小林 一郎)

アウトリーチ

青山拓央, 岡ノ谷一夫, 「討議 幻想を超えて世界のありかたを語るために」, 『現代思想』, 49-9 号, 青土社, pp. 8-22, 2021.

<公募班> 書籍

有田節子. 「第10章 因果関係と時間 — 「原因」「結果」を主名詞とする連体修飾節を中心に」, 嶋田珠巳・鍛冶広真 編著『時間と言語』三省堂. 167-184 頁. 2021.

学会発表

Wan, Z., *Cheng, F., (他4名). Relation Extraction with Weighted Contrastive Pre-training on Distant Supervision. *Proc 17th Conf Eur Chapt Assoc Comp Linguistics (EACL)*, 2023, Dubrovnik.

【B01】「流れる」班

<計画研究> 雑誌論文 (英文27報中11報を掲載)

- Hanyu, N., Watanabe, K. & *Kitazawa, S. Ready to detect a reversal of time's arrow: a psychophysical study using short video clips in daily scenes. *R Soc Open Sci* 10, 230036 (2023).
- *Takagi Y., *Nishimoto S. High-resolution image reconstruction with latent diffusion models from human brain activity, *The IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, (2023).
- Moharramipour, A., Takahashi, T. & *Kitazawa, S. Distinctive modes of cortical communications in tactile temporal order judgment. *Cereb Cortex* 33, 2982-2996 (2023).
- *Nakano, T. & Yamamoto, T. You trust a face like yours. *Hum Soc Sci Commun* 9 (2022).

- Tang, L., Takahashi, T., Shimada, T., Komachi, M., Imanishi, N., Nishiyama, Y., . . . Kitazawa, S. Neural correlates of temporal presentness in the precuneus: A cross-linguistic fMRI study based on speech stimuli. *Cereb Cortex* **31**, 1538-1552 (2021). (A01, B01 の共同研究)
- Nakai, T., *Nishimoto, S. Quantitative models reveal the organization of diverse cognitive functions in the brain. *Nat Commun* **11**, 1142, (2020).
- Yamazaki, Y. & *Kitazawa, S. Transcranial static magnetic stimulation of the precuneus erases short-term scene memories. *SSRN Electronic Journal* doi:10.2139/ssrn.3741228, (2020).
- *Yanagisawa, T., Fukuma, R., (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* **95**, e417-e426 (2020).
- Shiraishi, Y., (3 名), Yamamoto, S., Saitoh, Y., Kishima, H., *Yanagisawa, T. Neural decoding of electrocorticographic signals using dynamic mode decomposition., *J Neural Eng* **17**(3), 036009, (2020).
- Nishimura, N., Uchimura, M., Kitazawa, S. Automatic encoding of a target position relative to a natural scene. *J Neurophysiol* **122**: 1849-60, 2019
- Aoe, J., Fukuma, T., *Yanagisawa, T., (他 4 名), Yamamoto, S., Onishi, Y., Kishima, H., Automatic diagnosis of neurological diseases using MEG signals with a deep neural network. *Sci Rep* **9**(1):5057, (2019).
- *北澤茂. 時間を生み出すところと脳. *Clin Neurosci*, **41**(8), 4p. (印刷中).
- 学会発表**
- Hanyu, N., Watanabe, K. & Kitazawa, S. Neural correlates of subjective discrimination between the directions of time flow. in *Neuro 2022* 1P-085 (Okinawa, 2022).
- Kitazawa, S. The here and now the default mode network. International Conference on Consciousness Research Network, Okazaki, Japan, 2019
- 中野珠実, 阪田篤哉, 岸本章宏. 深層学習を用いた瞬き確率推定によるハイライト映像の自動抽出. 情報処理学会全国大会, (2020).
- 書籍 北澤茂. 医師と医学生のための人工知能入門 192p, 中外医学社 (2020)
- 西本伸志. 脳内の意味表現『AI 事典 第3版』(中島秀之ら編) pp.336-337, 近代科学社 (2019)
- 主催シンポジウム**
- The 5th CiNet Conference: Computation and representation in brains and machines (2019年2月20-22日)
- アウトリーチ**
- 北澤茂. “時間”命を刻む神秘のリズム NHK ヒューマニエンス Q 2023年3月6日
- 北澤茂. 「時間」とは何か? NHK BS コズミックフロント 2022年1月6日
- <公募研究> 雑誌論文 (英文9報中2報を掲載)
- Jitsuishi, T. & *Yamaguchi, A. Characteristic cortico-cortical connection profile of human precuneus revealed by probabilistic tractography. *Sci Rep* **13**, 1936 (2023).
- Kojima, H. & Ikegami, T. Organization of a Latent Space structure in VAE/GAN trained by navigation data. *Neural Netw* **152**, 234-243 (2022).
- 学会発表** Ogasa, K., Yokoi, A., Okazawa, G., Hirashima, M. & Hagura N. Decision uncertainty as a context for motor memory. *MLMC: Advances in Motor Learning & Motor control*. (2021.10)
- 【C01】「刻む」班**
- <計画研究>雑誌論文 (英文56報中14報を掲載、邦文1報)
- *Nakada, H., Murakami, I. Local motion signals silence the perceptual solution of global apparent motion. *J Vision*, (in press).
- *Kameda, M., Niikawa, K., Uematsu, A., *Tanaka, M. Sensory and motor representations of internalized rhythms in the cerebellum and basal ganglia. *PNAS*, **120**, e2221641120, (2023).
- *Fiscaro F, (4 名), Ferri R, Terao Y, Ugawa Y, Pennisi M. The supporting (sometimes decisive!) role of transcranial magnetic stimulation in forensic medicine. *Brain Stimul*, **S1935-861X(23)01679-0**, (2023).
- Honma M, Sasaki F, (5 名), Iwamuro H, Shimo Y, Oyama G, Hattori N, *Terao Y. Role of the subthalamic nucleus in perceiving and estimating the passage of time. *Frontier Aging Neurosci*, **15**:1090052, (2023).
- Okada, K-I., Takeya, R., *Tanaka, M. Neural signals regulating motor synchronization in the primate deep cerebellar nuclei. *Nat Commun*, **13**, 2504, (2022).
- *Nakamura, T., Murakami, I. Temporal resolution and temporal extent of orientation repulsion. *Vision Res*, **200**, 108104, 1-11, (2022).
- Oishi, H., *Takemura, H., Amano, K. Macromolecular tissue volume mapping of lateral geniculate nucleus subdivisions in living human brains, *NeuroImage*, **119**777, (2022).
- Kimura, I., Ugawa, Y., Hayashi, M., *Amano, K. Quadripulse Stimulation: A Replication Study with A Newly Developed Stimulator, *Brain Stimulat*, **15**(3), 579-581, (2022). (公募班の林先生との共同研究)
- *Terao, Y., Honma, M., Asahara, Y., Tokushige, S.I., Furubayashi, T., (他 4 名), Ichikawa, Y., Chiba, A., Ugawa, Y., Suzuki, M. Time distortion in parkinsonism. *Front Neurosci*, **15**, 64881. (2021).
- *Masuda, Y., Takemura, H., Terao, M., Miyazaki, A., Ogawa, S., Horiguchi, H., Nakadomari, S., Matsumoto, K., Nakano, T., Wandell, B., Amano, K. V1 projection zone signals in human macular degeneration depend on task despite absence of visual stimulus, *Curr Biol*, **31**(2), 406-412, (2021).
- *Shirota, Y., Hanajima, R., Ohminami, S., Tsutsumi, R., Ugawa, Y., Terao, Y. Supplementary motor area plays a causal role in automatic inhibition of motor responses. *Brain Stimul*, **12**, 1020-1026, (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).
- Kupers, E., Wang, H., Amano, K., Kay, K., Heeger, D. *Winawer, J. A non-invasive, quantitative study of broadband spectral responses in human visual cortex, *PLoS One*, 13, e0193107, (2018).
- 書籍 (6件中1件を掲載)
- Buonomano, D.著 村上郁也 訳. 脳と時間: 神経科学と物理学で解き明かす〈時間〉の謎. 336p, 東京: 森北出版 (2018)
- 主な学会発表・招待講演 (32件中1件を掲載)
- 田中真樹 “Temporal information processing in the cerebellum and basal ganglia” 2023 Sharif Neuroscience Symposium, 2023年3月3日、オンライン
- 主催シンポジウム (3件) アウトリーチ活動 (6件中1件を掲載)
- 田中真樹, 岡田研一リズムに合わせてからだは動くしくみ. JT 生命誌研究館 生命誌, 111号 2022年12月
- <公募研究>雑誌論文 (英文46報中16報を掲載、邦文2報)
- Masuda, K., Kon, N., Iizuka, K., Fukada, Y., *Sakurai, T., *Hirano, A. Singularity response reveals entrainment properties in mammalian circadian clock. *Nat Commun*, (in press).
- *Cazettes, F., Mazzucato, L., Murakami, M., Morais, J. P., Augusto, E., *Renart, A., *Mainen, Z. F. A repertoire of foraging decision variables in the mouse brain. *Nat Neurosci*, (accepted) (2023).
- *Ono, D., Wang, H., (3名), Yamanaka, A., Li, Y., and Sugiyama, T. Network-driven intracellular cAMP coordinates circadian rhythm in the suprachiasmatic nucleus. *Sci Adv*, 9(1), DOI: 10.1126/sciadv.abq7032 (2023).
- Asano F, (12名), Hirano A, *Funato H, *Yanagisawa M. SIK3-HDAC4 in the suprachiasmatic nucleus regulates the timing of arousal at the dark onset and circadian period in mice. *Proc Natl Acad Sci USA*. 120, e221820912, (2023).
- Chaumon M, Rioux PA, Herbst SK, (25名), Yotsumoto Y, Vatakis A, Balci F, *van Wassenhove V. The Blursday database as a resource to study subjective temporalities during COVID-19. *Nat Hum Behav*, 6, 1587-1599, (2022).
- Recanatesi, S., Pereira-Obilinovic, U., Murakami, M., *Mainen, Z., *Mazzucato, L. Metastable attractors explain the variable timing of stable behavioral action sequences. *Neuron*, 110(1), 139-153, (2022).
- Li, L., Yotsumoto, Y., *Hayashi, M.J. Temporal perceptual learning distinguishes between empty and filled intervals. *Sci Rep*, 12, 9824, (2022).
- *Takei T, Lomber SG, Cook DJ, Scott SH. Transient deactivation of dorsal premotor cortex or parietal area 5 impairs feedback control of the limb in macaques. *Curr Biol*, 31, 1476–1487, (2021).
- Kolarski, D., Miró-Vinyals, C., Sugiyama, A., Srivastava, A., Ono, D., (4名), Szymanski, W., Hirota, H., and Feringa, L. B. Reversible modulation of circadian time with chronopharmacology. *Nat Commun* 12, 3164, (2021).
- *Matsuzaki, M., and Ebina, T. Optical deep-cortical exploration in behaving rhesus macaques. *Nat Commun*, 12, 4656, (2021). (invited commentary) (査読あり)
- Okamoto, K., Ebina, T., Fuji, N., Konishi, K., Sato, Y., Kashima, T., Nakano, R., Hioki, H., Takeuchi, H., Yumoto, J., Matsuzaki, M., and *Ikegaya, Y. TB³⁺-doped fluorescent glass for biology. *Sci Adv*, 7, eabd2529, (2021).
- Yaron A, Kowalski D, Yaguchi H, Takei T, Seki K. Forelimb force direction and magnitude independently controlled by spinal modules in the macaque. *Proc Nat Acad Sci USA*, 117:27655–27666, (2020).
- *Hayashi, M.J., Ivry, R.B. Duration selectivity in right parietal cortex reflects the subjective experience of time. *J Neurosci*, 40(40), 7749-7758, (2020).
- *Matsuzaki, M. and Ebina, T. Common marmoset as a model primate for study of the motor control system. *Curr Opin Neurobiol*, 64, 103-110, (2020).
- Heming EA, Cross KP, Takei T, Cook DJ, Scott SH. Independent representations of ipsilateral and contralateral limbs in primary motor cortex. *eLife*, 1–26, (2019).
- Ebina, T., Obara, K., (8名), Yamamori, T., and *Matsuzaki, M. Arm movements induced by non-invasive optogenetic stimulation of the motor cortex in the common marmoset. *Proc Natl Acad Sci USA*, 116, 22844-50, (2019).
- 主催シンポジウム (3件中1件を掲載)
- 小野大輔, 平野有紗 第29回日本時間生物学会, (2022年12月3-4日), シンポジウムオーガナイザー
- アウトリーチ (27件中1件を掲載)
- 林正道 「Exhausted neurons help make time seem ... to ... drag」2020年9月14日 nature
- 【D01】「獲得する」班**
- <計画研究>雑誌論文 (英文36報中13報、邦文8報中4報掲載)
- * Sato, Y., Sakai, Y., Hirata, S. State-transition-free reinforcement learning in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Learn Behav* (2023).
- *上原泉. 幼児期から思春期の自伝的語りの変遷過程と経験の捉え方. *Clin Neurosci*, 41(8), 3p. (印刷中).
- *浅原正幸・川崎采香・上原泉・酒井裕・須藤百香・谷口巴・小林一郎・越智綾子・鈴木彩香. 「過去」「未来」を主題とする作文の分析. *計量国語学*, 34, (印刷中)
- Mitani, K., Kawabata, M., Isomura, Y., & *Sakai, Y. Automated and parallelized spike collision tests to identify spike signal projections. *iScience* 25(10) 105071 (2022).
- Sakai, Y., Sakai, Y., (2名), & *Tanaka, S.C. Memory trace imbalance in reinforcement and punishment systems can reinforce implicit choices leading to obsessive-compulsive behavior. *Cell reports* 40(9) 111275 (2022).

- *Uehara, I. Changes in children's episodic narratives through long-term repeated recall: Longitudinal case studies. *Jap. Psychol. Res.*, 63, 250-264, (2021).
- *Cheong, Y., Uehara, I. Segmentation of rhythmic units in word speech by Japanese infants and toddlers. *Front. Psychol.*, 12, 626662, (2021).
- *Sato, Y., Kano, F., Morimura, N., Tomonaga, M., Hirata, S. Chimpanzees (*Pan troglodytes*) exhibit gaze bias for snakes upon hearing alarm calls. *J. Comp. Psychol.*, 136, 44–53, (2021).
- *Hanazuka, Y., Futamura, A., Hirata, S., Midorikawa, A., Ono, K., Kawamura, M. The eyes are more eloquent than words: anticipatory looking as an index of event memory in Alzheimer's disease. *Front. Neurol.*, 12, 642464, (2021).
- *Sato, Y., Kitazaki, M., Itakura, S., (2名), Tomonaga, M., Hirata, S. Great apes' understanding of biomechanics: eye-tracking experiments using three-dimensional computer-generated animations. *Primates*, 62, 735-747, (2021).
- *Sato, Y., Sakai, Y., Hirata, S. Computerized intertemporal choice task in chimpanzees (*Pan troglodytes*) with/without postreward delay. *J. Com. Psychol.*, 135, 185–195, (2021).
- *Hirata, S., Betsuyaku, T., Fujita, K., Nakano, T., Ikegaya, Y. Phylogeny and ontogeny of mental time. *Neurosci. Res.*, 170: 13-17, (2021). (B01, D01, E01 班の共同研究)
- *Ishibashi, M., Uehara, I. The relationship between children's scale error production and play patterns including pretend play. *Front. Psychol.*, 11, 1176, (2020).
- *川崎・上原. 日本人中高生の男女が想起する重要な自伝的記憶の特徴. *認知心理学研究*, 18, 25-40, (2020) .
- *上原泉. 幼児期のエピソード記憶調査内の発話における過去形や時に関する言葉の使用. *お茶の水女子大学人文科学研究*, 16, 251-263, (2020) .
- *Kawasaki, A., Uehara, I. Cultural life scripts of Japanese adolescents. *Appl. Cogn. Psychol.*, 34, 357-371, (2020).
- *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).

書籍 (5件中1件掲載)

平田聡, 嶋田珠巳, 『時間は何ぞあるのか? チンパンジー学者と言語学者の探険』, ミネルヴァ書房, (2022)

招待講演等 (15件中1件を掲載)

Hirata, S. Understanding chimpanzees and bonobos. The 7th International Workshop on Tropical Biodiversity Conservation: Focusing on Large Animal Studies, Kota Kinabalu, Malaysia, (2018).

アウトリーチ(10件中1件を掲載)

平田聡. NHK 番組 「ヒューマニエンス (神経)」 出演 2023/4/25 放映

<公募研究> 雑誌論文 (英文 14報中 4報掲載、邦文 1報)

*Hashimoto T., Yokota S., Umeda S., Kawashima R. Dynamic functional connectivity associated with prospective memory success in children. *Neuroimage Rep* 2, 144, (2022).

*Itoh, K., Konoike, N., Nejime, M., Iwaoki, H., Igarashi, H., Hirata, S., Nakamura, K. Cerebral cortical processing time is elongated in human brain evolution. *Sci. Rep.*, 12, 1103, (2022).

*Doi, H., Iijima, N., (6名), Tsuji, T. Prediction of autistic tendencies at 18 months of age via markerless video analysis of spontaneous body movements in 4-month-old infants *Sci. Rep.*, 12, 18045, (2022).

*Doi, H., (4名), Nagasawa, T. Automatic classification of adult males with and without autism spectrum disorder by non-contact measurement of autonomic nervous system activation. *Front. Psychiatry*, 12, 625978, (2021).

招待講演等(2件) 学会発表(2件) 書籍(6件中1件を掲載)

伊藤浩介. 聴覚による知覚. 「霊長類学の百科事典」(中川尚史編), 丸善出版, (2023年 刊行予定) .

アウトリーチ活動 (2件中1件を掲載)

伊藤浩介. NHK 番組 「ヒューマニエンス (神経)」 出演 2023/4/25 放映

【E01】「失う」班

<計画研究>雑誌論文 (英文 97報中 26報掲載)

Yawata, Y., Shikano, Y., Ogasawara, J., Makino, K., Kashima, T., Ihara, K., (3名), S., Tanaka, K.F., *Ikegaya, Y. Mesolimbic dopamine release precedes actively sought aversive stimuli. *Nat. Commun.*, 14:2433, 2023.

Kuga, N., Nakayama, R., Morikawa, S., Yagishita, H., Konno, D., Shiozaki, H., Honjaya N., Ikegaya, Y., *Sasaki, T., Hippocampal sharp wave ripples underlie stress susceptibility in male mice. *Nat. Commun.*, in press.

Kuga, N., Abe, R., Takano, K., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Prefrontal-amygdalar oscillations related to social behavior in mice. *eLife*, 11:e78428, 2022.

Noguchi, A., Huszár, R., Morikawa, S., Buzsáki, G., *Ikegaya, Y. Inhibition allocates spikes during hippocampal ripples. *Nat. Commun.*, 13:1280, 2022.

Hoshi, Y., Shibasaki, K., Gailly, P., Ikegaya, Y., *Koyama, R. Thermosensitive receptors in neural stem cells link stress-induced hyperthermia to impaired neurogenesis via microglial engulfment. *Sci. Adv.*, 7:eabj8080, 2021.

Nishimura, Y., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Prefrontal synaptic activation during hippocampal memory reactivation. *Cell Rep.*, 34:108885, 2021.

Shikano, Y., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Minute-encoding neurons in hippocampal-striatal circuits. *Curr. Biol.*, 31:1–12, 2021.

Okamoto, K., Ebina, T., Fujii, N., Konishi, K., Sato, Y., Kashima, T., Nakano, R., Hioki, H., Takeuchi, H., Yumoto, J., Matsuzaki, M., *Ikegaya, Y. Tb³⁺-doped fluorescent glass for biology. *Sci. Adv.*, 7:eabd2529, 2021.

Igata, H., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Prioritized experience replays on a hippocampal predictive map for learning. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 118:e2011266118, 2021.

Miyawaki, T., Morikawa, S., Susaki, E. A. , (3名), 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:eay1492, 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. recommended in F1000 prime.
- *Nomura, H., Mizuta, H., Norimoto, H., (15名), Minami, M., Takahashi, H., Ikegaya, Y. Central histamine boosts perirhinal cortex activity and restores forgotten object memories. *Biol. Psychiat.*, 86: 230-239, 2019.
- Abe, R., Okada, S., Nakayama, R., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Social defeat stress causes selective attenuation of neuronal activity in the ventromedial prefrontal cortex. *Sci. Rep.*, 9:9447, 2019. recommended in F1000 prime.
- 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.
- 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.
- Shimbo, A., Izawa, E.I., & *Fujisawa, S. Scalable representation of time in the hippocampus. *Sci. Adv.* 7:eabd7013, 2021.
- Masuda, A.*, Sano, C., Zhang, Q., Goto, H., McHugh, T.J., Fujisawa, S., *Itohara, S. The hippocampus encodes delay and value information during delay-discounting decision making. *eLife*, 9:e52466, 2020.
- *Shinagawa, K., Itagaki, Y., Umeda, S. Coexistence of thought types as an attentional state during a sustained attention task. *Sci Rep*, 13:1581, 2023.
- Katayama, N., *Nakagawa, A., Umeda, S., Terasawa, Y., Abe, T., Kurata, C., Sasaki, Y., Mitsuda, D., Kikuchi, T., Tabuchi, H., Mimura, M. Cognitive behavioral therapy effects on frontopolar cortex function during future thinking task in major depressive disorder: A randomized clinical trial. *J Affect Disord*, 298:644-655, 2022.
- Katayama, N., *Nakagawa, A., Umeda, S., Terasawa, Y., Kurata, C., Tabuchi, H., Kikuchi, T., Mimura, M. Frontopolar cortex activation associated with pessimistic future-thinking in adults with major depressive disorder. *Neuroimage Clin*, 23:101877, 2019.
- Hanazuka, Y., Futamura, A., Hirata, S., Midorikawa, A., Ono, K., *Kawamura, M. The eyes are more eloquent than words: anticipatory looking as an index of event memory in Alzheimer's disease. *Frontiers in Neurology*, 1830, 2021.
- Honma, M., Murakami, H., Yabe, Y., Kuroda, T., Futamura, A., Sugimoto, A., Terao, Y., Masaoka, Y., Izumizaki, M., Kawamura, M., Ono, K. Stopwatch training improves cognitive functions in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neuroscience Research*, 99, 1325-36, 2021.
- Honma, M., Itoi, C., Midorikawa, M., Terao, Y., Masaoka, Y., Kuroda, T., Futamura, A., Shiromaru, A., Ohta, H., Kato, N., Kawamura, M., & Ono, K. Contraction of distance and duration production in autism spectrum disorder. *Scientific Reports*, 9 (1), 8806, 2019.
- Watanabe, K., Masaoka, Y., Kawamura, M., Yoshida, M., Koiwa, N., Yoshikawa, A., Kubota, S., Ida, M., Ono, K., Izumizaki, M. Left posterior orbitofrontal cortex is associated with odor-induced autobiographical memory: an fMRI study. *Frontiers in psychology*, 9, 687, 2018.
- <公募研究>雑誌論文 (英文 26 報中 4 報掲載)
- Takahashi M T, *Hirano A. (6名), Yanagisawa M, Vogt E K, Tokuda T, *Sakurai T. Optogenetic Induction of Hibernation-like state with modified Human Opsin4 in Mice. *Cell Reports Methods*, 2, 100336, (2022).
- Hirano K, Morishita Y, Minami M, *Nomura H. The impact of pitolisant, an H3 receptor antagonist/inverse agonist, on perirhinal cortex activity in individual neuron and neuronal population levels. *Sci Rep*. 12:70152022
- *Yamada, K. & *Toda, K. (2022). Pupillary dynamics of mice performing a Pavlovian delay conditioning task reflect reward predictive signals. *Front Sys Neurosci*, 16:1045764.
- Kaneko, S. †, Niki, Y., Yamada, K., Nasukawa, D., Ujihara, Y. & *Toda, K. (2022). Systemic injection of nicotinic acetylcholine receptor antagonist mecamylamine affects licking, eyelid size, locomotor and autonomic activities but not temporal prediction in mice. *Mol Brain*, 15, 77.
- 書籍 (6件中1件掲載)
- 河村満, 越智隆太, 花塚優貴, 二村明德, 緑川晶. 第2章時間の流れの科学—患者さんの内観からわかること, 時間と言語, 嶋田珠巳, 鍛冶広真 編, 三省堂, pp.24-39, 2021.
- 学会発表・招待講演等 (39件中2件掲載)
- 池谷裕二、自発脳、第39回日本脳神経外科コンgres総会(横浜)、2019年5月18日、特別講演
- Fujisawa, S. Neuronal encoding of temporal and spatial information in the hippocampus. The 1st Asia-Pacific Computational and Cognitive Neuroscience Conference (台湾、オンライン)、2020年9月27日、招待講演
- 主催シンポジウム (3件中1件掲載)
- 藤澤茂義、水関健司、脳の情報処理研究の最前線: 神経コーディングやオシレーションを中心として、千里ライフサイエンスセミナー(大阪)、2022年11月30日
- アウトリーチ(51件中4件掲載)
- 池谷裕二、「脳について知ろう」、2023年3月17日、有明学園有明高等学校 他全国で38件
- 池谷裕二、「数分間の時間認知を担う脳の神経活動を発見」、2021年2月5日、プレスリリース
- 藤澤茂義、「脳はいかにして”時間”を認識するのか?」、2021年4月12日、クローズアップ科学道
- 藤澤茂義、「海馬による相対的な時間表現」、2021年2月4日、プレスリリース

8 研究組織の連携体制

研究領域全体を通じ、本研究領域内の研究項目間、計画研究及び公募研究間の連携体制について、図表などを用いて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

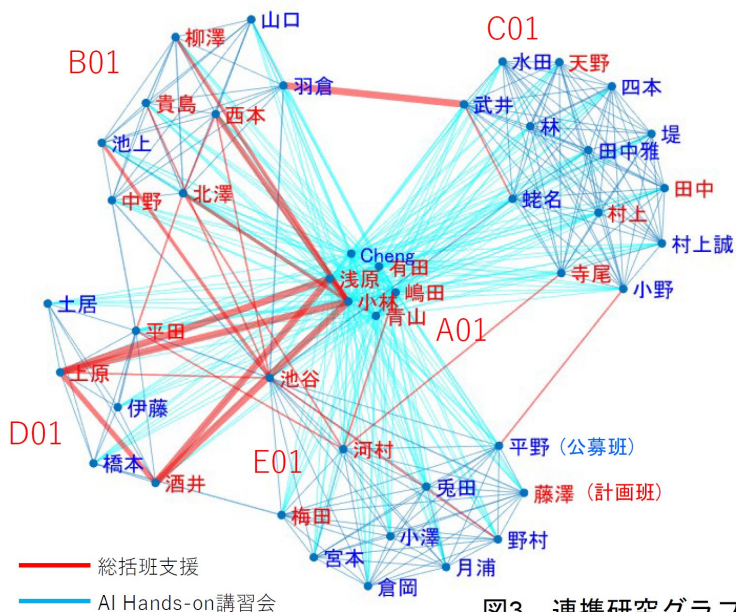


図3 連携研究グラフ

研究領域全体の5年間の連携の実績をグラフ化したのが左図である。A01「作る」班が領域の中心でエンジンの役割を果たし、B01「流れる」、C01「刻む」、D01「獲得する」、E01「失う」の4班が、4枚のプロペラとなって、5つの領域目標に向かって前進していくという当初の目論見（図1, 8ページ）通りの連携が一目瞭然である。

A01「作る」班は、計画班の浅原、小林、公募班のChengが中心となって、2019年3月、8月と2020年2月の計3回にわたり、総括班で導入した人工神経回路開発用のサーバーDGX-1システムを実際に使う形でのHands-on講習会を開催した。さらに2022年7月にはTransformerの仕組みの理解を深める講演会を開催した。A01班代表の嶋田は、領域内外の異分野交流を促進するために15

回にわたる「時間言語フォーラム」を開催した。領域内からは講師・コメンテータとして延べ16名が登壇した。参加者は一般も含め延べ730名を数える。これらのA01班が主導した研究項目間の連携の取り組みは「連携研究グラフ」の水色の線で示されている。A01班の貢献がいかに大きいものであったかがよくわかる。

総括班は領域内の連携研究を公募して支援した。グラフの赤線で示されている延べ21件の連携研究は、5研究項目間の8通り（A-B, A-D, A-E, B-C, B-D, B-E, C-E, D-E）の組み合わせをカバーしていた。その中には計画研究メンバー間の連携のほか、計画研究メンバー（赤文字）と公募研究メンバー（青文字）間の連携（B01公募池上—D01計画池谷）、さらには公募研究の若手研究者間の連携（B01羽倉—C01武井；C01小野—E01平野）も含まれていて、領域会議をきっかけとするボトムアップの連携が次々と生まれたことも注目値する。

C01班は代表の田中が中心となって11回に及ぶ計画班会議をオンラインで開催するとともに、領域会議の前後に計画班と公募班の間で研究の進捗を共有する機会を設けて班全体としての連携を進めた（青線）。C01班の中では、計画班と公募班、あるいは公募班間の連携研究で4本の英語論文が出版されている（Kimura et al., 2022a, b; Kawashima et al., 2022; Li et al., 2022）。

以下、連携研究の成果として出版されている論文(印刷中を含む)や書籍の一部をリストする。

- 1) 嶋田(A01)-北澤(B01),多言語に共通する現在感に相関する活動を楔前部で発見した(Tang et al., 2021)。
- 2) 嶋田(A01)-平田(D01)子どもの時間概念発達等に関する考察を行った(平田・嶋田2021書籍)。
- 3) 浅原・小林(A01)-上原・酒井(D01)児童～高齢者の作文データのモデル研究(浅原ら、印刷中)。
- 4) 嶋田-青山(A01) A系列・B系列の言語表現とダイクシス性に関する論考(青山・嶋田印刷中)。
- 5) 蝦名(C01公募)-池谷(E01計画)テルビウムドープガラスの蛍光を利用した標的パッチクランプ法を開発した(Okamoto et al., *Sci Adv*, 2021)。
- 6) 橋本(D01公募)-梅田(E01計画)子供の展望記憶に関わる動的networkを発見した(Hashimoto et al. 2022)。
- 7) 平田(D01計画)-伊藤(D01公募)聴覚誘発電位の特徴を霊長類各種で比較した(Itoh et al., 2022)。
- 8) 平田(D01)-河村(E01)平田が開発したアイトラッカーでのエピソード様記憶研究を認知症患者に適用し、言語化できないエピソード様記憶を認知症患者が備えていることを示した(Hanazuka et al., 2021)。
- 9) 池谷(E01)-野村(E01) H3受容体阻害によって忘れた記憶を思い出すことを示した(Nomura et al., 2019)。
- 10) 池谷(E01)-藤澤(E01) 歯状回門苔状細胞の海馬リップル波の応答の新しい解析方法を開発した。
- 11) 池谷(E01計画)-羽倉(B01公募)視覚運動課題において認知ストラテジーを用いることで手間移動が促進されることを発見した(De Havas et al., 2022)。

9 研究費の使用状況

研究領域全体を通じ、研究費の使用状況や効果的使用の工夫、設備等（本研究領域内で共用する設備・装置の購入・開発・運用、実験資料・資材の提供など）の活用状況について、総括班研究課題の活動状況と併せて具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。また、領域設定期間最終年度の繰越しが承認された計画研究（総括班・国際活動支援班を含む。）がある場合は、その内容を記述すること。

1. 総括班研究支援活動に係る研究費の使用状況

①GPU サーバーの導入と運用

A01 班が開発する人工神経回路モデルを領域全体で共有して活用することが本領域のグランドデザインであった。そのため、総括班が人工神経回路モデルの開発に用い、また共有するための高性能GPU(Graphical Processing Unit)サーバー（DGX-1 サーバースystem）を初年度(2018年度)に導入して運用した（初期費用 1,837 万円）。また、サーバースystemをできるだけ多くの領域メンバーに活用してもらうために1) 講習会を繰り返し開催するとともに、2)システムとユーザーアカウントの保守管理をする担当者を採用し、文系の研究者も含めて、領域全体で本当に活用できる体制を整えた。その甲斐あって DGX-1 の GPU8 枚はフル稼働となった。順番待ちの状況を改善するために2021年度に、あらたに単精度高速GPUである NVIDIA, A40 を8枚搭載した新規サーバーを追加導入した（初期費用 1,180 万円）。

2018年度 DGX-1 サーバースystem 1式 1,837万円 （大阪大学）

DGX-1 サーバースystemサポート費用 116万円

システム保守管理担当者人件費 16万円

2019年度 DGX-1 サーバースystemサポート費用 119万円

DGX-1 NVIDIA 保守延長費用 100万円

システム保守管理担当者人件費 65万円

2020年度 DGX-1 サーバースystemサポート費用 119万円

DGX-1 NVIDIA 保守延長費用 100万円

システム保守管理担当者人件費 65万円

2021年度 DGX-1 サーバースystemサポート費用 119万円

DGX-1 NVIDIA 保守延長費用 139万円

Solution Server 80232E2M-SDNV424WRTA-A40 1,180万円 （大阪大学）

システム保守管理担当者人件費 65万円

2022年度 DGX-1 サーバースystemサポート費用 119万円

DGX-1 NVIDIA 保守延長費用 130万円

システム保守管理担当者人件費 65万円

②サーバー利用のための講習会

2019年3月21日 会場：東京 10万円

2019年8月21日 会場：札幌市 40万円

2020年2月2日 会場：豊中市 673,400円

2022年7月7日 講演「ゼロから始める転移学習」ヤフー株式会社 柴田知秀先生（26,400円）

2. 研究領域の運営に係る活動

①領域会議・シンポジウム開催

各年度に2回ずつ計10回の総括班会議を開催して、研究領域の運営と研究支援に関する基本方針と具体的な実施事項を決定した。総括班会議には学術調査官とアドバイザーの先生方にも参加していただき、領域運営に関するアドバイスを受け、改善に努めた。

2018年9月24日 領域キックオフ公開シンポジウム 会場：文京区 参加人数52名。開催費用44万円

2019年2月2-3日 領域会議 会場：松山市 51名。69万円

2019年8月20-21日 領域会議 会場：札幌市 77名。230万円

2020年2月1-2日 領域会議 会場：豊中市 97名。221万円

2020年9月4日 領域会議 WEB会議形式 86名。3万円

2021年1月30日 領域会議 WEB会議形式 85名。7万円

2021年4月17日 領域会議 WEB会議形式 83名。10万円

2021年2月12日 領域会議 WEB会議形式 91名。24万円

2022年11月23-24日 国際シンポジウム（海外から5名招へい）85名。会場：名護市 605万円

2023年3月5-6日 領域会議 会場：広島市 79名。268万円

学会イベントの共催

2019年1月9-11日 第19回脳と心のメカニズム冬のワークショップ 35万円

2019年12月18-20日 次世代脳プロジェクト冬のシンポジウム 33万円

2020年1月8-10日 第20回脳と心のメカニズム冬のワークショップ 36万円

2023年1月5-7日 脳と心のメカニズム冬のワークショップ2023 23万円

②連携研究の推進

研究支援委員会が中心となって、複数の班を横断する連携研究を公募して、審査・採択して支援した。支援件数は5年間で21件、総額1,282万円に上った。その具体的な連携と成果については14ページに記載の通りである。

2018年度 6件 196万円

2019年度 5件 225万円

2020年度 2件 251万円

2021年度 4件 409万円

2022年度 3件 201万円

③若手・女性研究者の支援

研究成果の発表に係る旅費を中心として、40歳未満の若手研究者ならびに女性研究者に対する支援を行った。のべ91名、総額1,089万円にのぼる支援を行った。若手研究者の活躍の状況については18ページに記載した。

2018年度 15名 69万円

2019年度 21名 169万円

2020年度 4名 84万円

2021年度 8名 280万円

2022年度 43名 487万円

3. 繰越しが承認された計画研究の内容

X01 総括班

時間言語フォーラムの書籍化にあたって、核心的なテーマ3件についてこれまでの登壇者を中心に対談を行い、1章を追加することを計画した。対談の開催費用を繰り越した。

A01 班

新型コロナウイルスの感染拡大に伴い延期を余儀なくされたシンポジウムを開催する。国内研究報告会（2022年3月）・国内研究フォーラム（2023年7月）・国際研究フォーラム（2024年1月予定）の3段階に分けて実施する。

B01 班

実験動物（ニホンザル）の体調不良に伴い延期した非侵襲脳活動計測（fMRI）を実施する。

D01 班

コロナ禍によりヒトを対象としたデータ収集に制限が生じたことをふまえ、最終年度の繰り越し申請をおこなって、承認された。子どもの月齢や学年、ならびに小学校等の機関での通常活動等を考慮して、子どもの作文などのデータ収集を2023年度まで継続し、分析結果をまとめる。

E01 班

新型コロナウイルス感染症罹患者を対象に、新型コロナウイルス感染症に伴う後遺症と時間認知障害との関連について検討する。

10 当該学問分野及び関連学問分野への貢献の状況

研究領域全体を通じ、本研究領域の成果が当該学問分野や関連学問分野に与えたインパクトや波及効果などについて、「革新的・創造的な学術研究の発展」の観点から、具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、応募時に「①既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すもの」、「②当該領域の各分野発展・飛躍的な展開を目指すもの」のどちらを選択したか、また、どの程度達成できたかを明確にすること。

本研究領域は、「こころの時間学」領域（2012-17年度、事後評価 A+）の成果を継承して「②当該領域の格段の発展・飛躍的な展開を目指すもの」として発足した。これまでに、英語論文 298 報を始めとする成果を発信した。うち 38 報は、*Science* (2), *Nat Commun* (10), *Science Advances* (5), *Nat Neurosci* (1), *Neuron* (1), *Nat Hum Behav* (1), *Curr Biol* (3), *eLife* (5), *PNAS* (6), *Cell Rep* (3), *Neurology* (1) 等の「ハイインパクトジャーナル」に掲載された。当該/関連学問分野に与えた「インパクト」の高さを定量的に示すものだろう。以下、「領域終了時に期待される成果」(図 2, p8)として掲げた 5 項目に分けて、具体的に記載する。

①「こころの時間」の機能を発揮する人工神経回路が Transformer の上に構築された。

A01「作る」班は、「こころの時間の機能」を発揮する人工神経回路を構築するという難題に取り組んで成功した。(1) 日本語 BERT をいち早く構築して公開した(浅原・加藤 2020、言語処理学会賞)。ChatGPT にも用いられている Transformer にいち早く着目して日本語化を行い、公開したことは自然言語処理の分野にも大きなインパクトを与えた。(2) BERT を使って、2 つの文の間の時間関係や時間にまつわる常識を判断する人工神経回路の構築に成功した(Cheng ら 2020, Kanashiro ら 2020, Geng ら 2021)。Kanashiro らは国際コンペで 1 位を獲得した。(3) さらに、Transformer の「活動」と脳活動の関係を調べて、時間の情報が脳のどこで表現されているかを調べる手法を確立した(小林 2023)。高次機能の神経モデルを人工的に作り出して脳機能研究に応用したという点で、ヒト高次脳機能研究全般に波及する成果となった。

②様々な「時間地図」の機能と成因を明らかにした。

(1) 楔前部に現在の座があることを日本語話者だけでなく中国語、英語話者でも示した(Tang et al., 2021, A01+B01)。(2) 楔前部の現在の情報が海馬との強力な結合 (Jitsuishi & Yamaguchi, 2023, B01) を通じて過去(記憶)生成に用いられるという仮説を静磁場刺激法で検証した(Yamazaki & Kitazawa, 2020, B01)。(3) 時間が「一方向に流れる」、という信念に関しては、右大脳皮質と左小脳の予測ネットワークが関与していることを示唆した(Hanyu, 2022, B01)。(4) リズム知覚とリズム運動において小脳が周期的な事象の予測と運動タイミングの誤差検出に係ることを示した(Kameda et al., 2023; Okada et al., *Nat Commun* 2022, C01)。(5) 時間長の知覚地図が右頭頂葉にあることを示した(Hayashi & Ivry, 2020, C01)。Nature 誌を初め広く報道された。(6) 齧歯目が数分レベルの認知課題を解くことができることを証明し、神経基盤の一端を海馬で明らかにした (Shikano et al, *Curr Biol* 2021, E01)。(7) 海馬の神経細胞において、時間情報は空間情報と近いメカニズムを用いて表現されていることを解明した (Shimbo et al., *Sci Adv* 2021, E01)。

③「退屈な時間はなぜ苦痛なのか」などの日常の内観と神経活動の関係を明らかにした。

(1) 退屈な時間帯は嫌悪的であり、これを回避しようと積極的な行動をとることを齧歯目で確認した。こうした行動には島皮質が関与することが明らかとなった (Yawata et al., *Nat Commun* 2023, E01) (2) コロナ禍による生活の変化が時間知覚に及ぼす影響を大規模な国際共同研究で調べた (Chaumon et al., *Nat Hum Behav*, 2022, C01)。(3) 時間の内観に関連した啓蒙書を出版し (青山『心にとって時間とは何か』2019, A01; 平田と嶋田『時間はなぜあるのか? チンパンジー学者と言語学者の探検』2022, A01+D01; 村上訳『脳と時間: 神経科学と物理学で解き明かす〈時間〉の謎』2018; C01)、またテレビ番組 (NHK ヒューマニエンス、コズミックフロント等) を通じて解説した (北澤 2022, 2023, B01; 平田・伊藤 2023, D01)。

④ 新たなこころの時間の操作法を開発した。

(1) 脳内ヒスタミンを増加させる薬物によって過去の記憶想起を回復させることをこれまでに明らかにしてきたが、同種の薬物が大脳皮質の神経活動をどのように調節するかを解明した (Hirano et al., 2022, E01)。(2) 頭蓋磁気刺激の新しい手法を開発して、行動課題への影響を検討した (Kimura et al., *Brain Stimul*, 2022, C01)。(3) 楔前部の静磁気刺激(抑制)で 5 秒前の風景の記憶が著しく障害されることを示した (Yamazaki, Kitazawa, 2020, B01)。(4) パーキンソン病患者では時間計測のトレーニングが時間認知障害の改善につながる可能性を示した (Honma et al. 2021, E01)。

⑤ ヒトとヒト以外の動物、成人と子供、の共通点と相違点を解明した。

(1) ヒトを対象に設計された時間的特徴を組み込んだ強化学習モデルを用いてチンパンジーの認知課題の振る舞いを説明できる (Sato et al., 2021; 2023, D01) 一方で、ヒト、チンパンジー、各種サル類、ウマにおいて聴覚誘発電位の潜時に顕著な違いが見られることも明らかとなった (Itoh et al., 2022, D01)。(2) 年代を越えて収集した作文データを心理学的、あるいは計量言語学的な視点から分析することにより、年代や性による時間的な特徴の違いを明らかにした (上原 2020, 浅原ら 2023, D01+A01)。

11 若手研究者の育成に関する取組実績

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究遂行に携わった若手研究者（令和5年3月末現在で39歳以下。研究協力者やポスドク、途中で追加・削除した者を含む。）の育成に係る取組の実績について、具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

本領域では、若手研究者の育成を目的に、①若手・女性研究者研究支援制度を設けて公募と審査を行い、延べ91名、総額1,089万円にのぼる支援を行った。②領域会議においては、若手希望者を対象とするポスター賞を設け、全員で審査して投票によって受賞者を選考して、延べ38件の授賞を行った。これらの総括班による取組に加え、領域内の各研究班においても若手研究者の育成と支援が適切に行われ、大きな成果を挙げた。以下にその例を示す。

若手研究者の受賞(58件)

宮本大祐(36) 2023年4月、文部科学大臣表彰若手科学者賞
中嶋藍 (35) 2022年4月、文部科学大臣表彰若手科学者賞
平野有沙(37) 2021年4月、文科科学大臣表彰若手科学者賞
野口朝子 (27) 2022年9月、ロレアル・ユネスコ女性科学者日本奨励賞
木戸照明 (25) 2020年3月 令和元年度 東京大学総長賞
他、計58件（領域会議でのポスター賞は除く）。

若手研究者の昇格

教授（1件）

佐々木拓哉 (39) 2021年7月、東京大学大学院薬学系研究科助教から東北大学大学院薬学研究科教授
講師（6件）

助教（10件）

研究員（13件） 京大白眉研究者（1件）、RIKEN基礎特別研究員（2件）他計13件。

12 総括班評価者による評価

研究領域全体を通じ、総括班評価者による評価体制（総括班評価者の氏名や所属等）や本研究領域に対する評価コメントについて、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

総括班評価者 岡ノ谷一夫 所属 帝京大学 先端総合研究機構

総括班評価者 橋田 浩一 所属 東京大学 大学院情報理工学系研究科

本領域は、日常生活に不可欠な「過去—現在—未来」にわたるヒトの時間の認知が脳によって生み出される過程を、文理にわたる学際研究により解明しようとするものである。先行する「こころの時間学」領域（2012-17年度、事後評価A+）では、大脳皮質の内側面に「時間地図」を描き出すことに成功した。しかし、時間地図の機能と情報処理のメカニズムを掘り下げるにはさらなる研究が必要だった。本領域では近年急激に発展している人工神経回路モデルを使って、ヒトの時間情報処理モデルを作成しその動作を調べつつ、脳との対応関係を探ることで時間意識生成の過程を解明する、という野心的な構想を掲げ「当該領域の格段の発展・飛躍的な展開を目指すもの」として発足した。

これまでに、英語論文298報を始めとする成果を発信した。うち38報は、Science (2), Nature Communications (10), Science Advances (5), Nature Neuroscience (1), Neuron (1), Nature Human Behaviour (1), Current Biology (3), eLife (5), The Proceedings of the National Academy of Sciences (6), Cell Reports (3), Neurology (1) 等の「ハイインパクトジャーナル」に掲載されたことが注目に値する。研究成果の質と量の両面で、まずは評価できる数字である。

1. しかし、問われるのは設定目的に照らして十分な研究成果を挙げて目的を達成したのかどうかである。当初掲げた「領域終了時に期待される成果」の5項目（p8, 図2）について各々検討しよう。

①「こころの時間」の機能を発揮する人工神経回路をTransformer上に構築した。

プロペラの中心に位置するA01「作る」班は(1)日本語BERTをいち早く構築して公開し（浅原・加藤2020、言語処理学会賞）(2)BERTを使って、2つの文の間の時間関係や時間にまつわる常識を判断する人工神経回路の構築に成功した。Kanashiroらは国際コンペで1位を獲得した。(3)さらに、BERTの「活動」と脳活動の関係を調べて、時間の情報が脳のどこで表現されているかを調べる手法を確立した。BERTと脳の比較研究は、BERTがChat-GPTと同じTransformerを基本構造としていることから、「なぜChat-GPTが成功したのか」「ヒトの情報処理と同じなのか異なるのか」という誰もが抱く疑問の解決にも波及する。時間生成にとどまらない波及効果とインパクトを秘めた研究手法であると言えるだろう。特に、fMRIのデータをTransformerで言語表現に変換するなど、脳と人工神経回路を「繋ぐ」研究が最近になって進展しつつあるが、脳と人工神経回路を「比べる」本領域のアプローチをそれと融合することによって、脳と言語の研究が新たなステージを迎えると期待される。

② 様々な「時間地図」の機能と成因を明らかにした。

本領域では(1)楔前部と海馬を結ぶ内側大脳皮質の神経ネットワークが現在の情報から過去＝記憶を生成する過程に踏み込んだだけでなく、(2)小脳の予測機能がリズム知覚や、「時間が1方向に流れる」という信念の形成に重要な役割を果たしていること、さらに(3)時間長の知覚地図が右頭頂葉外側面にあることを示した。つまり、「時間地図は時間の様々な側面に応じて、それぞれ異なる領域に獲得されていること」を明らかにした。中間評価の所見でいみじくも指摘されたように「「時間」の捉え方が分野によって異なる面もある」。これは「時間」の概念が脳の様々な領域の、異なった性格の活動を反映して形成されたことに依るのだろう。「絶対的な時間」が実在しないことは哲学のみならず物理学の領域でも常識となっている。本領域の研究成果に依れば、(1)現在と過去に係るA系列の一部は大脳皮質の内側面で生成され(A01+B01+E01)、(2)未来に向かって一方向に流れるという向きは、小脳の予測機能が担う一方(B01+C01)、(3)時間の長さという量は、空間的な長さや数の大小などと同様に頭頂葉の外側部に表現されている(C01)のであろう。「時間地図」の機能と成因を明らかにする、という当初の目的が十分に達成されたと言えるだろう。これらの成果は上記①の(3)等との組み合わせによる次の大きな展開を予感させる。

③「退屈な時間はなぜ苦痛なのか」などの日常の内観と神経活動の関係を明らかにした。

(1) ヒトだけでなくげっ歯目も「退屈」を嫌い、「退屈」を回避する行動には島皮質が関与することを示した Yawata ら (E01 池谷班) の研究は、退屈という主観的体験を実験操作に落とし込んだ点が見事である。(2) コロナ禍による生活の変化が時間知覚に及ぼす影響を大規模な国際共同研究で調べた四本ら (C01 公募班) の研究も高く評価できる。

④ 新たなこころの時間の操作法を開発した。

こちらについては、(1) 脳内ヒスタミンを増加させる薬物によって過去の記憶想起を回復させるという操作法の薬効の背景を解明し (E01)、(2) 頭蓋磁気刺激の新しい手法を使って、楔前部を抑制すると顕著な記憶の障害が生じることを示し (B01, C01)、(3) パーキンソン病患者では時間計測のトレーニングが時間認知障害の改善につながる可能性を示した (E01)。時間計測のトレーニングは全く非侵襲であることから、特に臨床的にも注目される成果である。

⑤ ヒトとヒト以外の動物、成人と子供、の共通点と相違点を解明した。

(1) チンパンジーの認知課題の振る舞いをヒトと同じ強化学習モデルで説明できる一方で、ヒト、チンパンジー、各種サル類、ウマにおいて聴覚誘発電位の潜時に顕著な違いが見られることが明らかとなった。この知見は脳の大きさと時間感覚の関連を示唆するもので、極めて興味深い。

(2) 年代を越えて収集した作文データを心理学的、あるいは計量言語学的な視点から分析することにより、年代や性による時間的な特徴の違いを明らかにした。この成果は総括班の支援を受けた A01 班と D01 班の共同研究の成果である点も注目される。

2. 組織運営に関しては、p21 の連携グラフに示されている通り、各研究項目内で計画班と公募班の緊密な連携が取られていただけでなく、当初の領域設計の通りに A01 班を核とする 5 研究項目の連携が実現されていたと評価できる。(1) A01 班の嶋田らが中心となって開催した 15 回に及ぶ「時間言語フォーラム」、(2) A01 班の浅原、小林、Cheng らが中心となって実施した人工神経回路開発用のサーバーの講習会 (リアルに 3 回、1 回はオンライン) (水色の線) (3) 総括班が公募して支援した延べ 21 件の連携研究 (赤線) が効果的に組織全体の有機的な連携を促進したことが見て取れる。言語を扱う人工神経回路の研究と応用が脳科学も巻き込んで急速に進みつつあり、A01 班をハブとする組織構成には実に先見の明があった。

3. 研究費の使用

総括班で導入した人工神経回路開発用のサーバーは、講習会の開催と保守サポート担当の配置によって極めて有効に活用された。初年度に導入したものだけでは需要にこたえることができないほどで、4 年度目にはさらに高速なサーバーを導入して領域全体で活用した。サーバー関連への支出は総額で 4000 万円に上るものだったが、最近の発展が著しい人工神経回路をいち早く脳研究に取り入れ、日本語 BERT の公開、国際コンペティションでの 1 位獲得、脳活動データとの照合研究への応用、など期待を超える成果をあげたと評価できる。連携研究への支援 (1300 万円)、若手・女性研究者への支援 (1100 万円) も効果的であった。

4. 若手研究者育成への貢献度

文部科学大臣表彰若手科学者賞 3 件を含む 58 件の受賞は、圧倒的な実績である。若手研究者への手厚い支援と延べ 10 回の領域会議での地道なポスター賞の選考などの取り組みが奏功したものと評価できる。途中コロナ禍によってオンライン領域会議を余儀なくされたが、最後の 2 回の領域会議は対面で開催された。その熱気を帯びながらも親和性に満ちた雰囲気は、若手研究者に研究の素晴らしさを知らしめるものであったと評価者は感じた。

研究成果は専門誌の論文のみならず、発刊済みの日本語書籍 (4 件等) と 2023 年 8 月に刊行される「臨床神経科学」誌や 2024 年刊行予定の書籍でも日本語で取りまとめて出版される予定である。NHK の時間をテーマとする特集番組での研究代表者の解説や、池谷による小・中・高でのおよそ 40 回に上るアウトリーチ活動など、研究成果の積極的な公表、普及にも努めてきた。以上の通り、本領域は、研究領域としての設定目的を達成して、高い評価を得た前領域を凌駕する研究成果をあげたものと評価できる。