

領域略称名：時間生成学

領域番号：8002

令和2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）」
に係る中間評価報告書

「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2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	3
2	公募研究	4

研究領域全体に係る事項

3	研究領域の目的及び概要	6
4	審査結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況	8
5	研究の進展状況及び主な成果	10
6	研究発表の状況	15
7	研究組織の連携体制	20
8	若手研究者の育成に関する取組状況	21
9	研究費の使用状況・計画	22
10	今後の研究領域の推進方策	23
11	総括班評価者による評価	25

研究組織（令和2年6月末現在。ただし終了した研究課題は終了時現在、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、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	兔田 幸司	慶應義塾大学・文学部・助教	1
公募研究 計 14 件					

[1] 総：総括班、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 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、この間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（20 ページ、7. 連携体制、上段の図を参照）。

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。

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）がサルらの神経活動を、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（20 ページ、7. 連携体制、中段の図を参照）

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。

4 審査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。

(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。

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。我々は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、下記の方針で対応することとした。

(1) 線形分析の成功事例の成功理由の再検討

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線形分析が十分に有効であることが確認できた。我々は再検討の結果を別の視点から捉えなおして、線形分析で成功するほどに、比較的単純な層構造の深層学習モデルが視覚系の本質を反映していたと考えることにした。

(2) 線形分析が奏功するまで時間識別のモデルの改良を繰り返す

つまり、線形分析が奏功しないとすれば、それは元のモデルが悪いからだ、ととらえて、線形分析が奏功するまで時間識別のモデルの改良を繰り返すことを基本戦略として採用することとした。A01班の時間識別モデル version 1 から version 2 へのアップグレードもこの基本戦略に沿った改良となっている。Version 1 では文中の単語間の依存構造を予め分析して、最短経路の依存構造に含まれる単語だけを使う、という前処理を行っていた。しかし、このような処理を日常我々が行っているとはとても思えない。そのような指摘に基づいて、「最短経路の依存構造」は捨てて、文章の単語をそのままの順序で入力するモデルに改良が進められ、結果として識別精度も高まることとなった (Cheng ら、発表準備中)。

(3) 人文系の専門家がモデル改善に参加して真理を探究する

このようなモデルの改良は単に識別精度を上げるということでは実現できない。識別精度は向上するものの、ヒトの脳からは遠く離れて行くという事例には事欠かないのが実情である。ヒトの時間情報処理の真相(真理)に近づく方向に質的な改良を加え続けていくには、ヒトの知を専門とする哲学・言語学・心理学・認知科学の専門家の関与が必要となる。本領域では、人文知の専門家がモデルを理解して実際に使いこなして、人の応答とモデルの応答を試行錯誤して比較できる環境を整えるために、人工神経回路モデルの使い方の講習会を繰り返し開催する。そのために、講習会の企画運営を主要な業務と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、文理の研究者が忌憚なく意見を交換してモデルを更新しながら真理を探究する検討会を領域会議の際に開催する。

(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。

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。

5 研究の進展状況及び主な成果

(1) 領域設定期間内及び中間評価実施時までには何をどこまで明らかにしようとし、中間評価実施時までにはどこまで研究が進展しているのか、(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) 何をどこまで明らかにしようとし、中間評価実施時までにはどこまで研究が進展しているのか

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。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。さらに他班からのフィードバックと、言語学、哲学の基礎的考察に基づいて、人工神経回路の時間識別モデルを改良する。このループを回すことで、ヒトが脳内に抱く時間意識の実体解明に向けた取組みを大きく進展させるとともに、哲学・言語学の方針にも新たな展開をもたらすことが最終的な目標となる。

A01 班の中心的な課題である人工神経回路の構築に関しては、これまでに英語コーパスと日本語コーパスを用いて時間識別モデルを構築することに成功した。日本語に関しては、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の日本語文脈事前学習言語モデル(BERT)の構築に成功し(言語処理学会賞)、先行してアップデートした英語モデルと同等の人工神経回路の構築を進めている。他班との共同で脳活動データの蓄積も着実に進展して、データと神経回路の比較対照に進む準備が整った。

(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：現代日本語書き言葉コーパス(BCCWJ-TimeBank コーパス)を対象にし、文中または文間に含まれる時間関係を識別する日本語で初の深層学習モデルを構築した。文中の単語間の関係を捉えるのに単語間を結ぶ最短経路の依存構造(SDP)に含まれる単語に基づき識別を行うことで高精度の識別が行えることが先行研究によって既知である。このことから、識別モデルへの入力情報として、SDPを踏まえて単語を選別したものを用いるモデルを構築した。また、深層学習モデルへ入力される単語は、NINJAL Web Japanese Corpus(NWJC コーパス)を使って事前に訓練されたBERTモデルを用いて、日本語における時間関係識別を行い、識別対象すべてにおいて、これまでの精度を上回る結果を得た。

また、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、Allen Institute for AIが主催するLeaderboard(共通のデータセットに対して構築した手法を競い合い順位を表示するもの)において、2020年2月27日に1位、5月12日に3位、6月11日に1位となるなど世界のトップを走り続けている。②時間語彙の類型：出来事を時間の流れの中に位置づける言語表現は言語により違いがあるが、言語間で共通する特徴はあるか。人間の言語において「基本的な」時間語彙はあるか。あるとすればどのようなものか。これらを明らかにすることは研究の目標の一つである。Kaji, Sasaki, & Shimada (2020)では言語間で時間語彙を対照するための枠組み作りを試み、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いくつかの特徴を明らかにした。周期的な時間の場合は、周期の種類や周期と表現される時間の関係、発話時またはそれ以外の基準時と出来事の先後関係に注目して分類を行った。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(たとえば古今東西の言語の多くに「時間の流れ」に類する表現が見られる)。にもかかわらず、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り、McTaggartの用語でいえば、前者が必要とする「時間のA系列」を、後者は必要としていない。青山(2019)では、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、この齟齬の具体例を示した。また、「時間の流れ」の内観がもし錯覚であるとしても、その公共的錯覚はヒトに共通の認知機構に依存するはずであり、青山(2019)ではこの依存関係に詳細な哲学的分析を加えた。

<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)。②時間語彙の類型：時間表現の言語学的分析：日本語条件文のテンスとモダリティの相互性を検討した(有田, 2020)。

【B01】「流れる」班

(1) 何をどこまで明らかにしようとし、中間評価実施時までにはどこまで研究が進展しているのか

本項目では、哲学者が時間意識の本質ととらえている「未来—現在—過去」の時間の流れの神経基盤を明らかにすることを目標としている。先行領域の成果に基づいて、「現在」を表現していると思われる楔前部周辺に特に注目して、ヒトとサルの脳活動を計測するとともに、A01 班から提供を受ける人工神経回路の中間層と比較対照することで作業仮説を検証する。中間評価実施時までには、ヒトの脳活動計測研究を進めるとともに、サルの非侵襲脳活動計測の実験系を作り計測を開始することを目標として、下記の 5 項目の研究を推進した。①人工神経回路と脳の比較を通じた時間表現の神経基盤の解明：脳活動データについては Nakai & Nishimoto (2020, *Nat Commun*)、人工神経回路の脳研究への応用については単行本(北澤, 2020) を出版するなど着実に進展した。②言語を介さない時間地図の描出：中間評価までに課題を確立して、データ取得を開始することを目標とした。3 秒の自然動画刺激データベースの動画 (360 本) を用いた言語を介さない新たな心理物理課題を作成して、応答に関する定量モデルを作成した。fMRI を用いた脳活動計測を開始した。③時間の流れの内観と脳の内部状態の関係の解明：中間評価までに課題を確立することを目標とした。瞬目の同期が動画を視聴している時にどれだけ関心を持って見ているかの引き込まれ方の定量指標となることを示す成果を得た (Nakano & Miyazaki, 2019)。④サルの時間地図を描き解明する：ヒトと同等の自然動画刺激を使ってサルの脳機能画像の計測を開始することを目標とした。すでに 2 頭のサルの訓練を終了して、②で開発した非言語性の自然動画刺激を提示して fMRI を使った脳機能画像計測を開始した。⑤ヒトの脳磁図/皮質電位計測研究：健常被験者に用いるのと同じ動画と音声刺激を提示して、脳外科の治療で楔前部に硬膜下電極を埋設した患者の脳から脳磁図(MEG)・皮質電位計測 (Electrocorticogram, ECoG) を随時行うことを目標とした。すでに Tang ら(2020)と同じ言語刺激課題を用いて、5 名の被験者からのデータを得た。

(2) 本研究領域により得られた成果 <計画研究> 上記 5 項目に関連する代表的な成果を解説する。

①②Nishimura, Uchimura, Kitazawa (2020) *Journal of Neurophysiology*：現在を表現する領域である楔前部には、目を動かしても動揺しない背景を基準とする空間座標系も配置されている。新しい背景に遭遇した後、新しい背景を基準とする座標系が成立するには 1 秒程度の時間を要する。楔前部には 1 秒程度の「現在」周辺の情報を統合する機能が備わっている可能性がある。①②③Nakai & Nishimoto (2020) *Nature Communications*：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。時間認知に関連する 8 個の認知課題の分布については 1) 未来想像課題(10)と過去想起課題(14)は極めて近い、2) 刺激音のリズムが一定かどうかの判断(88)と、音の継続時間の判断(68)は比較的近いのに、動画の継続時間の判断(67)は 3 倍程度離れている、3) 時計の時刻を読む課題(19)は他の課題の対極にある、など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。「時間の流れ」の神経基盤の比較対象を定める重要な成果となった。⑤Shiraishi, Kishima, Yanagisawa ら(2020) *Journal of Neural Engineering*：時間の認知の脳内メカニズムを解明するには、多数の ECoG 電極が持つ情報を効果的に引き出して作業仮説を検証することが重要である。本研究では従来のフーリエ変換を用いた解析法に変わる *Dynamic Mode Decomposition* 法を用いた解析法が、運動の推定精度を向上させることを示した。今後の研究にもこの手法を活用する。

<公募研究> 池上らは、深層ネットワークを用い自己組織化される認知地図には、「時間の伸び縮みが地図の表象に埋め込まれている」ことを示した(Homma et al. 2020)。また独自の刺激を避けるニューラルネットワークの原理を提唱し、認知進化をクラス分けした(Sinapayan, 2020)。これらの理論をベースに 2010 年に構築した機械(Mind Time Machine)を発展させる形で、新しく時間をつくる機械を構築中。

【C01】「刻む」班

(1) 何をどこまで明らかにしようとし、中間評価実施時までどこまで研究が進展しているのか

本計画研究では、動物実験を中心に行う研究代表者とヒトを対象とした研究を進める 3 名の研究分担者で研究チームを構成し、「リズム知覚と同期運動」、「計時と時間生成」の二つの観点から時間情報処理の神経機構を明らかにするとともに、その操作法の開発と神経疾患における病態生理の理解を目指している。いずれの観点についても、現時点までおおむね順調に研究が進展している。

研究代表者の田中(神経生理学)らは、サルを用いて計時やリズム知覚を必要とする行動課題の際の脳各部の神経活動を調べており、成果の一部について論文発表を行った。また、大型のサル用ケージを導入するなど今後の実験を効率よく進めるための環境整備も行ってきた。領域設定期間の後半では、これまで調べてきた皮質下部位に加えて大脳皮質との機能連関も明らかにする。研究分担者の村上(実験心理

学)らは、時間的同期や知覚時間長の特性に関して、とりわけクロスモーダル知覚や内発性注意との関連で新たな現象を発見し、秒未満の視知覚に関する解明を進めてきた。すでに外発性注意の焦点の動きに伴う時間知覚の変容についてデータ解析を終えており、また主テーマのひとつである視覚および聴覚の律動的刺激の受容の時間解像度およびバイアスに関して予備実験を進めている。研究分担者の寺尾(病態生理学)らは、リズム形成能力についてパーキンソン病と進行性核上性麻痺での比較を行っている。これまでに、進行性核上性麻痺患者ではパーキンソニズムの程度が同程度であっても、時間情報処理の障害が大きくなる傾向を認めている。また、並行して進めている磁気刺激に関しても健常者からすでにデータを収集して解析を進めており、時間幅の誤学習は右側前頭前野への4連発刺激(QPS)によって干渉されることを見出している。さらに天野(先端脳計測)らは、短時間で連続して呈示した2つ目のターゲットを見落としやすくなる注意の瞬きと呼ばれる現象を用いて、視知覚のリズムについて検討を行っている。2つ目のターゲット刺激の検出成績が、ターゲット刺激間の時間差に応じて周期的に変動し、その変動周波数は課題に関係のない妨害刺激の有無によって変化することを見出している。

今後は、これらの研究を有機的に連携させることにより、時間情報処理のより包括的な理解を目指す。

(2) 本研究課題により得られた成果 <計画研究>中間評価までに18報の英文原著論文を発表した。研究代表者らの実験動物を用いた研究については、小脳核と線条体で進めてきた神経活動記録の研究成果の一部(Kunimatsu et al., 2018; Suzuki & Tanaka, 2019; Kameda et al., 2019)と、眼球運動を用いた時空間適応学習の行動解析について論文をまとめた(Itoh et al., 2020)。村上らは、秒未満の時間知覚について心理物理実験を行った(Hayashi et al., 2018; Hayashi & Murakami, 2019)。特に、高精度で知覚時刻を実測する方法を開発して錯視を用いて注意の移動に伴う時間知覚の変化を調べたところ、復帰抑制によって標的への反応が遅れる効果が、標的のオンセットの知覚の遅れで説明できることを発見した(Hayashi et al., 2019)。寺尾らは、パーキンソニズムを呈する神経疾患患者で時間生成・再生課題・二分課題・時間誤学習課題を行い、秒単位の記憶を伴う課題の成績が症状の進行とともに低下することを見出した(Honma et al., 2018; Tokushige et al., 2018)。また、様々な神経疾患患者で時間認知・生成に関わる神経機構の機能異常を調べ、疾患群ごとの特徴を明らかにした。さらに、健常者に時間幅を実際と違う時間長として学習する誤学習課題を行わせ、これに対する連続磁気刺激の影響を調べた。これらの研究成果は国際専門誌に投稿中である。天野らは、拡散強調MRIを用いて時間知覚と密接に関係するアルファ律動の個人差と白質線維の関連を詳細に調べ、視放線が関与することを明らかにした(Minami et al., 2020)。また、同様の技術を用いて奥行き知覚の精度が垂直後頭束の微小構造と相関することを示した(Oishi et al., 2018)。現在、視覚性短期記憶課題、有効視野課題などを行っている際のMEG計測を行い、課題成績とアルファ波の強度、周波数、位相の関係性を検討しつつ、経頭蓋電流刺激によってアルファ波を操作した際の課題成績の変化を調べる実験を進めている。また現在、経頭蓋電流刺激を用いて時間知覚を操作する試み(田中、天野、寺尾)や神経疾患や発達障害における時間識別能の検討(寺尾、河村)、時間的注意の発達に関する研究(村上、上原)など、計画班内・班間の共同研究も進行中である。このように、順調に研究が進捗しており、今後さらに多くの成果が期待される。

<公募研究>こちらにも、各班で順調に研究が進捗している。四本らは注意によって点滅刺激に対する時間知覚が変化することを発見し、蝦名らは光刺激によってマーモセットの行動を変化させる技術を開発し、武井らは把持動作に関わる神経機構をサルで詳細に調べ、それぞれ国際誌に論文を発表した。また、長期にわたる時間弁別訓練による頭頂葉機能の変化の探索(林・四本+天野)、パーキンソン病患者における規則的なリズムや時間の知覚の研究(四本+寺尾)、運動の予測制御に関する研究(武井・蝦名)、Social distancing時の時間知覚(四本・林+天野)など公募研究が計画研究と連携して補完するような興味深い研究が進行し、順調に成果が生み出されている。特にSocial distancing時の時間知覚研究は、国際共同研究となっていて、外出自粛中の5月に108名分のphase1データをオンラインで収集した。特殊な状況での貴重なデータから日常の内観と脳機能の関係についての洞察が得られるものと期待される。

【D01】「獲得する」班

(1) 何をどこまで明らかにしようとし、中間評価実施時までどこまで研究が進展しているのか
領域設定期間内の目標および研究内容は、大きく以下の3項目である。

①時間に関係したヒトの言語表現に関する発達加齢研究：ヒトの子どもと高齢者の発話や作文のデータを収集して、A01班の研究において明らかになることが見込まれるヒト大人の言語空間との相違を検証する。これによって、言語に見られる時間ベクトルの発達変化が明らかになる。②ヒトとヒト以外の動物における心的時間旅行の比較研究：アイトラッカーを使って予期的視線を計測するという申請者が考案

した新機軸の手法を用いて比較研究をおこない、過去の出来事の記憶や将来の予想は、社会的な領域で特に顕著に立ち現れてくる現象なのか、それとも非社会的な領域も含めて領域普遍的に見られる現象なのかを検証する。③時間に関係した心理・認知の数理モデルの検証ならびに行動特性の解明：時間に関係した心理・認知について、数理モデル・計算論的アプローチから仮説を導き、ヒト乳幼児やヒト以外の動物を対象にして実証データを得ると同時に、種比較によって時間に関係する行動特性の系統発生を探る。また、社会性との関係でヒトに顕著に発達した行動である「同調」と、時間知覚における「周期現象」との関係に着目し、リズムに合わせる同調行動の個体発生と系統発生を探る。以上の大項目3つについて、まずは研究手法と研究体制を確立し、中間評価実施時までそれぞれの細部項目について研究成果を順次得ていくことを計画し、以下に示す通り計画通りに研究が進展した。

(2) 本研究課題により得られた成果 <計画研究>①時間に関係したヒトの言語表現に関する発達加齢研究：ヒト幼児を対象にした自然な場面での発話データの収集に着手し、縦断的研究を継続している。時間に関係した多様な言語表現について、語彙の獲得当初は誤用が多くみられるが、やがて正しい用法が身についていく様相が明らかになりつつある。成果の一部を論文として公表した(平田,2019, 発達; 平田,2020, 発達, 印刷中)。また、A01 班嶋田、D01 班分担者・上原と共著でミネルヴァ書房から書籍を刊行する作業を進めており(2021年秋刊行予定)、時間に関するヒトの言語表現の発達とその進化的基盤について、研究成果をこの書籍にまとめる予定である(A01班との共同研究)。②ヒトとヒト以外の動物における心的時間旅行の比較研究：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. 2019, PNAS)。自己の過去の経験をベースにして他者の将来の行動を予想するという高度な認知機能を類人猿が持つことを示唆する研究成果である。過去の出来事の記憶や将来の予想が社会的な領域で特に顕著に立ち現れてくるという当初の予想に沿った結果と言える。国内外の新聞やインターネット記事においても成果が取り上げられた。また、この研究パラダイムをE01班と共有し、認知疾患をもつヒトでの研究に着手した(E01班との共同研究)。その結果、刺激動画を見た記憶がないという言語報告をおこなう患者においても、視線ではその動画内容の記憶を示すデータが得られており、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りつつある。認知疾患の切り分けに役立つ新たな手法として期待できる。③時間に関係した心理・認知の数理モデルの検証ならびに行動特性の解明：チンパンジーを対象にした遅延時間割引課題で、報酬取得後の「待ち時間の長さ」も考慮に入れて行動選択をおこなうことが示された。ヒトを対象にした時間再生課題において、刺激履歴が再生時間に及ぼす効果を説明するモデルについて検証した。公募班・伊藤との共同研究で、聴覚誘発電位の潜時を霊長類で種間比較したところ、マーモセット40ms、アカゲザル50ms、チンパンジー60ms、ヒト100msとなった。ヒトの音声言語を可能にする聴覚処理時間窓の伸長の系統発生をたどる成果である。ヒト乳幼児を対象にしたリズム知覚の研究で、1歳半の段階で外部リズム音に対して自己運動の随伴的变化が見られ、2歳半の時点からリズム合わせ行動が見られることが示された。「久しぶり」と感じる時間的長さについてチンパンジーとヒトを比較する研究をおこなったところ、チンパンジーが「久しぶり」と感じるのは2週間程度の時間的隔たりがあった場合であり、ヒトと類似していることが明らかになりつつある。時間に関係した我々ヒトの「日常の内観」の系統発生を示す成果である。<公募研究> 伊藤：持続時間を様々に変えた時のAEP振幅の変化を調べることで、ヒトとアカゲザルで聴覚処理の時間特性に種差があることを明らかにした(Itoh et al., 2019)。また、マーモセットの無侵襲AEP波形の形状や潜時を世界で初めて記載した。さらに、ヒトとヒト以外の霊長類4種で系統発生に対応した聴覚知覚の時間窓の伸長が見られることが明らかとなった。土居：①：若年成人を対象に、fNIRSを用いた非侵襲的脳機能計測を行った。その結果、顔画像の持続時間知覚課題遂行中に、運動前野・背外側前頭前野の一部が、特異的に賦活されることを見いだした。②：視聴覚情報の時間的同期/非同期性に対する、乳児の生理学的応答を計測するための新たな実験系を確立した。

【E01】「失う」班

(1) 何をどこまで明らかにしようとし、中間評価実施時までどこまで研究が進展しているのか
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。以下に示す通り、中間評価実施時まで想定を超える成果を挙げた。

(2) 本研究課題により得られた成果 <計画研究>池谷班では、まず動物実験によって「時間」が個体

間でコピーされることを示した。これはヒトにおける共感の原始的な形態であると考えられた。さらにエタノールによって共感様反応が増幅することを示した (Sakaguchi et al., *Nat Commun*, 2018)。さらに実験動物研究で開発された心理的時間の操作法を臨床応用につなげた。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 (Nomura et al., *Biol Psychiat*, 2019)。また人工知能を用いて神経活動の時間の系列を解読した。この活動時間パターンが可塑性の駆動力になっていることを見出した (Nakashima et al., *Science*, 2019)。経験が睡眠中に時間経過とともに記憶として固定化されることを示した研究について解説・評論をおこなった (Ikegaya et al., *Science*, 2019)。時間処理において現在の人工知能には欠けているアルゴリズムを見出した (Ishikawa et al., *Sci Adv*, 2020)。脳の血管網を解析する手法を開発し、時間研究における fMRI 信号と神経活動に還元するための基礎知見を整えた (Miyawaki et al., *Nat Commun*, 2020)。

梅田班では、まずノスタルジア研究について、懐かしさや久しぶりという感覚が生じやすい状況を明らかにした。一時的に集中して経験し、その後に経験が途絶えるという条件で生じやすく、かつポジティブな出来事でそれが強かった。未来思考に関しては、前頭前野の先端部である前頭極 (Brodmann 10 野) を中心としたネットワークが重要な役割を担っていること、また、そのネットワークの活動が、心臓を中心とした内臓の動きと深い関連があることを、求心性信号を脳波で捉える研究で明らかにした。また、抑うつ症状との強い関連性があることも示された。マインドワンダリングの研究においては、ぼおつとすることを予測する信号のパターンを明らかにすることや、安静時脳活動のゆらぎの質と認知障害の程度に深い関連性があることが、計算論的アプローチによる解析によって見出された。さらに、情動の同期に関しては、自律神経レベルのマルチ指標の解析を行い、顔における皮膚血流の同期が生じていることなどを明らかにした。いずれも情動や記憶の時間的特性と関連の深い事実であり、今後も継続して進める。

河村班では認知症やパーキンソン病、発達障害を対象とし、臨床神経心理学的なアプローチ法を用いてこころの時間の解明を行った。(1) 現在取り組んでいる研究課題として (A) 脳へ磁気刺激を与える手法 (TMS) を用いることで、健常者の時間認知能力にどのような影響が表れるか? (B) 長期的なエピソード記憶の保持が困難と考えられてきた認知症患者が、非言語的な指標 (視線) においてエピソード記憶を示すか? (C) 時間の見当識に特化した検査バッテリーによって認知症の早期診断が可能か? の3点を進めた。以上の研究課題は (A) はサヴァン症候群や時間認知の脳部位に関する先行研究をもとに磁気刺激を加える部位の候補をリストアップし、健常な大学生を対象に予備的なデータを取得した。(B) は認知症、軽度認知症障害 (MCI) および健常高齢者を対象に同一ビデオを2回呈示し、2回目の呈示時に次の展開を予測するような視線パターンや注視時間が得られるか否かでエピソード記憶の有無について評価した。(C) は認知症患者を対象に、時間の見当識課題や独自に作成した日常生活における時間推測課題を課し、それらの得点と MRI や SPECT などの脳画像データとの関連について調べた。また (2) 本研究課題により得られた成果として (A) アルツハイマー型認知症の時間認知の特徴には「過去の出来事は鮮明に浮かぶ反面、未来のことを想像することができない」などがあることを面接法によって明らかにした研究や (B) 発達障害の一つである自閉症は時間・空間を短く見積もること、また細部に注目する度合いが強い自閉症者ほど、時間・空間の見積もりが短くなることを実験心理学的な手法を用いて明らかにした研究、さらには (C) 主観的な時間感覚が歪んでいるパーキンソン病患者にストップウォッチを用いたトレーニングを課すことにより、抑制機能や衝動性が改善されることを示した。

藤澤班では、数秒から数十秒の時間知覚であるインターバル計時について着目し、脳の海馬領域において時間の経過が個々の神経細胞によってどのように表現されているかについて研究を行った。本研究では、試行ブロックごとに計時すべき時間間隔が変化するように設定された間隔二等分課題を行い、その行動中のラットの海馬からシリコンプローブを用いた電気生理学記録手法を用いて神経細胞の活動を大規模に観測することにより、海馬時間細胞は時間間隔の変化に合わせて時間を相対的に表象していることを明らかにした。この結果は、海馬の時間細胞は必要に応じてその時間表象をフレキシブルに変化できることを示しており、げっ歯類動物の時間知覚の神経基盤を解明する上で大変重要な結果である。また、この海馬での時間表現は、動物の計時行動にも強く反映されていることも明らかにした。

<公募研究> ヒト脳機能画像を用いてエピソード記憶における過去の想起と未来の想像に関する前頭前皮質の役割を明らかにしたこと (月浦)、スナネズミにおいてレーザーを用いて聴覚時間知覚の操作に成功したこと (兎田) が特筆すべき成果である。

6 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、一般向けのアウトリーチ活動等の状況。令和2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

Kaji, H., Sasaki, F., Shimada, T. Contrastive Study of Basic Terms of Temporality and Semantic Change: Towards a Lexical Typology of Time. *LACUS Forum*, volume 46 (2020年9月刊行予定)。(査読あり)

宮内拓也, *浅原正幸. 「日本語における名詞句の情報構造と語順の相関についての統計的検討」, 自然言語処理, (27)2, 2020年。(査読あり)

*耿晨セイ, 程 飛, Lis Kanashiro Pereira, 浅原正幸, 小林一郎. 「依存関係と文脈表現を用いた日本語時間関係識別」, 2020年度人工知能学会全国大会(第34回)、熊本、2020年。(査読なし)

黒田慧莉, 小林一郎. 「ヒト脳内での予測を対象とする深層生成学習モデル構築への取り組み」, 2020年度人工知能学会全国大会(第34回)、熊本、2020年。(査読なし)

学会発表

Geng, C., Kanashiro Pereira, L., Cheng, F., Asahara, M., Kobayashi, I. Dependency enhanced contextual representations for Japanese temporal relation classification. 言語処理学会第26回年次大会, 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

浅原正幸. クラウドソーシング結果の可視化手法と統計処理. 日本言語学会第158回大会, 2019

嶋田珠巳. 言語の中と外—アイルランド英語、言語接触、時間と脳をめぐって. 京都大学言語学懇話会 第109回例会, 2019

書籍

青山拓央. 『心にとって時間とは何か』, 講談社 (2019)

主催シンポジウム

一般公開で「時間言語フォーラム」を実施している。講演とディスカッションで構成。

第1回「時間の語彙」(2019年5月18日): 「ツングース諸語の時間にかんする語彙の体系」鍛冶広真(明海大学) / 「日本語の時に関する語彙とその変遷」佐々木文彦(明海大学) / 「ティンリン語の語彙に見られる時間の観念」大角翠(東京女子大学名誉教授)

第2回「時間順序と因果」(2019年7月6日): 「日本語における時間と事象表現間の時間的順序関係 ～選択体系機能言語学の観点から」越智綾子(国立国語研究所) / 「因果の because と推論の because」西山佑司(慶應義塾大学名誉教授・明海大学名誉教授)

第3回「時間と脳と言語」(2019年9月14日): 「脳から見た呼応と併合の時間的処理」酒井邦嘉(東京大学) / 「「時間」を生み出す脳」河村満(奥沢病院名誉院長/昭和大学医学部脳神経内科客員教授)

第4回「時間・空間・ダイクシス」(2019年11月10日): 「中国語における「時」の空間性」木村英樹(東京大学名誉教授/追手門学院大学客員教授) / 「トルコ語における空間指示と時間」林徹(放送大学文京学習センター/東京大学名誉教授) コメントレーター: 平田聡(京都大学野生動物研究センター)

第5回「コーパスと言語処理技術によるアプローチ」(2020年2月11日): 「BERTによる文脈化単語埋め込みに基づく意味空間」浅原正幸(国立国語研究所) / 「時間の言語的意味のコーパス化—日本語テンス・アスペクト表現理解過程の解明に向けて」吉本啓(東北大学)

<公募研究> 学会発表

有田節子. 日本語条件文のテンスとモダリティ. 同志社ことばの会 2019年度年次大会. 2020.

Geng, C., Cheng, F., Kanashiro Pereira, L., Asahara, M., Kobayashi, I. 依存関係と文脈表現を用いた日本語時間関係識別, 人工知能学会, 2020.

【B01】「流れる」班

<計画研究> 雑誌論文

- Nakai, T., *Nishimoto, S. Quantitative models reveal the organization of diverse cognitive functions in the brain. *Nat Commun* 11, 1142, (2020). (査読あり)
- *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*, (in press). (査読あり)
- Shiraishi, Y., Kawahara, Y., Yamashita, O., Fukuma, R., Yamamoto, S., Saitoh, Y., Kishima, H., *Yanagisawa, T. Neural decoding of electrocorticographic signals using dynamic mode decomposition., *J Neural Eng* 17(3), 036009, (2020). (査読あり)
- Nishimura, N., Uchimura, M., Kitazawa, S. Automatic encoding of a target position relative to a natural scene. *J Neurophysiol* 122: 1849-60, 2019 (査読あり)
- 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). (査読あり)
- *Nakano, T., Miyazaki, Y. Blink synchronization is an indicator of interest while viewing videos. *Int J Psychophysiol*, 135, 1-11 (2019). (査読あり)
- Tang, L., Takahashi, T., Shimada, T., Komachi, M., Imanishi, N., Nishiyama, Y., Iida, T., Otsu, Y., *Kitazawa, S. Neural correlates of temporal presentness in the precuneus: a crosslinguistic fMRI study based on speech stimuli. bioRxiv 10.1101/2020.06.17.158485 (査読なし・A01 班との共同研究)

学会発表

- Kitazawa, S. The here and now in the default mode network. The 20th RIES-Hokudai International Symposium, Sapporo, 2019 (国際・招待)
- Kitazawa, S. Neural bases for producing temporal order. IDG/ McGovern Institute for Brain Research, Peking University, 2018 (国際・招待)
- Kitazawa, S. The here and now the default mode network. International Conference on Consciousness Research Network, Okazaki, Japan, 2019 (国際・招待)
- Nishimoto, S. Representation and Computation in brains and machines. The 5th CiNet Conference, Osaka, Japan, 2019
- Nakano, T. Cognitive and social functions of spontaneous blinks. The 41st European Conference of Visual Perception. Trieste, Italy, 2018.
- Kishima, H. Real-time neurofeedback to modulate β -band power in the subthalamic nucleus in Parkinson's disease patients. WSSFN2019, New York, USA, 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)
- *中野珠実. 生理心理学と精神生理学 III巻 第8章 default mode network と瞬き 北大路書房 (2018)

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)
大会長: 西本伸志, 副大会長: 北澤 茂

アウトリーチ

- 北澤 茂. 「人工知能と脳」 2019年3月9日 世界脳週間 奈良女子大附属中等教育学校
柳澤琢史. 「のぞいてみよう! 脳の世界」 2019年9月1日 阪大中之島センター

<公募研究> 雑誌論文

- Sinapayan, L., Masumori, A., Ikegami, T. Reactive, Proactive, and Inductive Agents: An Evolutionary Path for Biological and Artificial Spiking Networks. *Front Comp Neurosci* 10.3389/fncom.2019.00088 (2019). (査読あり)

学会発表

- 本間航平, 丸山典宏, 升森敦士, 池上高志. 階層型リカレントニューラルネットワークが作る認知地図と

【C01】「刻む」班

＜計画研究＞ 雑誌論文(査読あり)

- *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).
- *Takeya, R., Patel, A.D., *Tanaka, M. Temporal generalization of synchronized saccades beyond the trained range in monkeys. *Front Psychol*, 9, 2172, (2018).
- Tokushige, S.I., Matsuda, S.I., Oyama, G., Shimo, Y., Umemura, A., Sasaki, T., Inomata-Terada, S., Yugeta, A., Hamada, M., Ugawa, Y., Tsuji, S., Hattori, N., *Terao, Y. Effect of subthalamic nucleus deep brain stimulation on visual scanning. *Clin Neurophysiol*, 129, 2421-2432, (2018).
- Tokushige, S.I., *Terao, Y., Matsuda, S., Furubayashi, T., Sasaki, T., Inomata-Terada, S., Yugeta, A., Hamada, M., Tsuji, S., Ugawa, Y. Does the clock tick slower or faster in Parkinson's disease? - Insights gained from the synchronized tapping task. *Front Psychol*, 9, 1178, (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).
- *Hayashi, D., Iwasawa, H., Osugi, T., Murakami, I. Feature-based attentional selection affects the perceived duration of a stimulus having two superposed patterns. *Vision Res*, 156, 46-55, (2019).
- *Hayashi, R., Murakami, I. Distinct mechanisms of temporal binding in generalized and cross-modal flash-lag effects. *Sci Rep*, 9, 3829, 1-12, (2019).
- *Suzuki, T.W., *Tanaka, M. Neural oscillations in the primate caudate nucleus correlate with different preparatory states for temporal production. *Commun Biol*, 2, 102, (2019).
- 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).
- *Hayashi, D., Sawa, T., Lavrenteva, S., Murakami, I. Inhibition of return modulates the flash-lag effect. *J Vis*, 19, 5:6, 1-15, (2019).
- *Honma, M., Itoi, C., Midorikawa, A., 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. *Sci Rep*, 9, 8806, (2019).
- *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).
- Itoh, T.D., Takeya, R., *Tanaka, M. Spatial and temporal adaptation of predictive saccades based on motion inference. *Sci Rep*, 10, 5280, (2020).
- Minami, S., Oishi, H., Takemura, H., *Amano, K. Inter-individual differences in occipital alpha oscillations correlate with white matter tissue properties of the optic radiation. *eNeuro*, 7(2), (2020).

＜公募研究＞ 雑誌論文(査読あり)

- *Matsuzaki, M., Ebina, T. Common marmoset as a model primate for study of the motor control system. *Curr Opin Neurobiol*, 64, 103-110, (2020).
- Ebina, T., Obara, K., Watakabe, A., Masamizu, Y., Terada, S., Matoba, R., Takaji, M., Hatanaka, N., Nambu, A., Mizukami, H., Yamamori, T., *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).
- Li L., Ito S., Yotsumoto Y. Effect of change saliency and neural entrainment on flicker-induced time dilation, *J Vis*, (in press)
- Recanatesi, S., Pereira, U., Murakami, M., Mainen, Z., Mazzucato, L., Metastable attractors explain the variable timing of stable behavioral action sequences. *bioRxiv*, doi.org/10.1101/2020.01.24. 919217 (2020).
- Oya, T., Takei, T., *Seki, K. (TO and TT contributed equally) Distinct sensorimotor feedback loops for dynamic and static control of primate precision grip. *Comm Biol* 1-13. (2020).
- *Cross, K.P., Cluff, T., Takei, T., and Scott, S.H. Visual feedback processing of the limb involves two distinct phases. *J Neurosci* 39, 6751-6765. (2019).
- Heming, E.A., *Cross, K.P., Takei, T., Cook, D.J., Scott, S.H. Independent representations of ipsilateral and contralateral limbs in primary motor cortex. *eLife* 8, 143. (2019).

学会発表

Hayashi, M.J. Decoding time in human frontoparietal cortex. The 2nd Annual Conference of the Timing Research

【D01】「獲得する」班

＜計画研究＞ 雑誌論文(査読あり)

- 川崎 采香, 上原 泉. 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* (印刷中)
- Kawasaki, A., Uehara, I. Cultural life scripts of Japanese adolescents. *Appl Cogn Psychol*, 34, 357-371, (2020)
- Ishibashi, M., Uehara, I. The relationship between children's scale error production and play patterns including pretend play. *Front Psychol* (in press).
- 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).
- Rios, A., Soma, S., Yoshida, J., Nonomura, S., Kawabata, M., Sakai, Y., Isomura, Y. Differential changes in the lateralized activity of identified projection neurons of motor cortex in hemiparkinsonian rats. *eNeuro*, 10, 6(4). (2019).
- Sato, Y., Hirata, S., Kano, F. Spontaneous attention and psycho-physiological responses to others' injury in chimpanzees. *Anim Cogn*, 22, 807-823. (2019).
- Ringhofer, M., Go, C. K., Inoue, S., Mendonça, R. S., Hirata, S., Kubo, T., Ikeda, K., Yamamoto, S. Herding mechanisms to maintain the cohesion of a harem group: two interaction phases during herding. *J Ethol*, 38, 71-77, (2019).
- 平田 聡. ヒト幼児の時間の理解—自然な発話事例による考察. *発達*, 159, 95-103, (2019).
- Hirata, S., Myowa, M. Understanding about others' action in chimpanzees and humans. In: Shigemasu, K., Kuwano, S., Sato T., Matsuzwa, T. (Eds.), *Diversity in harmony: insights from psychology*, Wiley Blackwell, Hoboken, USA, pp. 85-103, (2019).
- Kano, F., Moore, R., Krupenye, C., Hirata, S., Tomonaga, M., Call, J. Human ostensive signals do not enhance gaze following in chimpanzees, but do enhance object-oriented attention. *Anim Cogn*, 21, 715-728. (2018).

学会発表

- Kawasaki, A., Uehara, I. Autobiographical memory in young and middle-aged adult Japanese men and women. 19th European Conference on Developmental Psychology, Athens, Greece, 2019

アウトリーチ

- 平田 聡. 「類人猿の心と行動」2019年12月1日 熊本県教育センター科学展 (崇城大学)

＜公募研究＞ 雑誌論文(査読あり)

- Matsuda, M., Igarashi, H., Itoh, K. Auditory T-complex reveals reduced neural activities in the right auditory cortex in musicians with absolute pitch. *Front Neurosci*, 6, 3, 809. (2019)
- Itoh K, Nejime M, Konoike N, Nakamura K, Nakada T. Evolutionary elongation of the time window of integration in auditory cortex: macaque vs. human comparison of the effects of sound duration on auditory evoked potentials. *Front Neurosci*, 13, 630. (2019).
- Doi, H., Shinohara, K. Low Salivary Testosterone Level Is Associated With Efficient Attention Holding by Self Face in Women. *Front Behav Neurosci*, 13, 261. (2019)

【E01】「失う」班

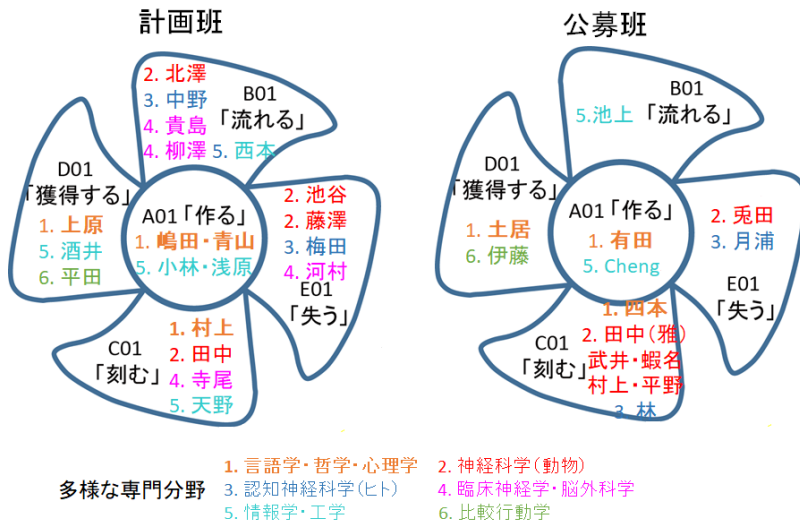
＜計画研究＞雑誌論文(査読あり)

- *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:eay1492 (2020).
- *Kurosaki, Y., Terasawa, Y., Ibata, Y., Hashimoto, R., Umeda, S. Retrospective time estimation following damage to the prefrontal cortex. *Journal of Neuropsychology*, 14, 135-153 (2020).
- Masuda A, Sano C, Zhang Q, Goto H, McHugh TJ, Fujisawa S., *Itohara 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).
- Nomura, H., Mizuta, H., Norimoto, H., Masuda, F., Miura, Y., Kubo, A., Kojima, H., Ashizuka, A., Matsukawa, N., Baraki, Z., Hitora-Imamura, N., Nakayama, D., Ishikawa, T., Okada, M., Orita, K., Saito, R., Yamauchi, N., Sano, Y., Kusuhara, H., Minami, M., *Takahashi, H., Ikegaya, Y. Central histamine boosts perirhinal cortex activity and restores forgotten object memories. *Biol. Psychiat.*, 86: 230-239 (2019).
- *Takahata, K., Kimura, Y., Sahara, N., Koga, S., Shimada, H., Ichise, M., Saito, F., Moriguchi, S., Kitamura, S., Kubota, M., 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., Suhara, T., Higuchi, M. PET-detectable tau pathology correlates with long-term neuropsychiatric outcomes in patients with traumatic brain injury. *Brain*, 142, 3265-32797 (2019).
- *Ito, Y., Shibata, M., Tanaka, Y., Terasawa, Y., Umeda, S. Affective and temporal orientation of thoughts in depression and anxiety traits: Electrophysiological evidence. *Brain Research*, 1719, 148-156 (2019).
- 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: Clinical*, 23, 101877, (2019).
- *Ito, Y., Terasawa, Y., Umeda, S., Kawaguchi, J. Spontaneous activation of event details in episodic future simulation. *Frontiers in Psychology*, 10, 625 (2019).
- Honma, M., Itoi, C., Midorikawa, A., 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. *Sci Rep.* 9, 1-8 (2019).
- *Kawamura, M., Miller, M.W. History of Amusia. *Frontiers Neurology Neuroscience* 44, 83-88, (2019).
- Kato, T.M., Fujimori-Tonou, N., Mizukami, H., Ozawa, K., Fujisawa, S., *Kato, T. Presynaptic dysregulation of the paraventricular thalamic nucleus causes depression-like behavior. *Sci Rep.* 9, 16506. (2019)
- *Honma, M., Masaoka, Y., Koyama, S., Kuroda, T., Futamura, A., Shiromaru, A., Terao, Y., *Ono, K., Kawamura, M. Impaired cognitive modification for estimating time duration in Parkinson's disease. *PLoS ONE* 13, e0208956, (2018).
- 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).
- <公募研究> 学会発表
- Katsumi, A., Iawata, S., Tsukiura T. Representing myself in multiple ways: Dissociable activation between different levels of abstractness for self in autobiographical memories. 49th annual meeting of the Society for Neuroscience, Chicago, USA, 2020.
- Toda, K., Yatagai, S., Yamada, K., Yamamoto, K., Sakurai, K., Meck, WH., Yin, HH. Neural mechanism of time perception. 日本生理学会第 97 回大会, 別府, 2020
- Yatagai, S., Yamada, K., Yamamoto, K., Sakurai, K., Toda, K. Neural correlates of time perception in head-fixed mice. 日本動物心理学会第 79 回大会, 東京, 2019

7 研究組織の連携体制

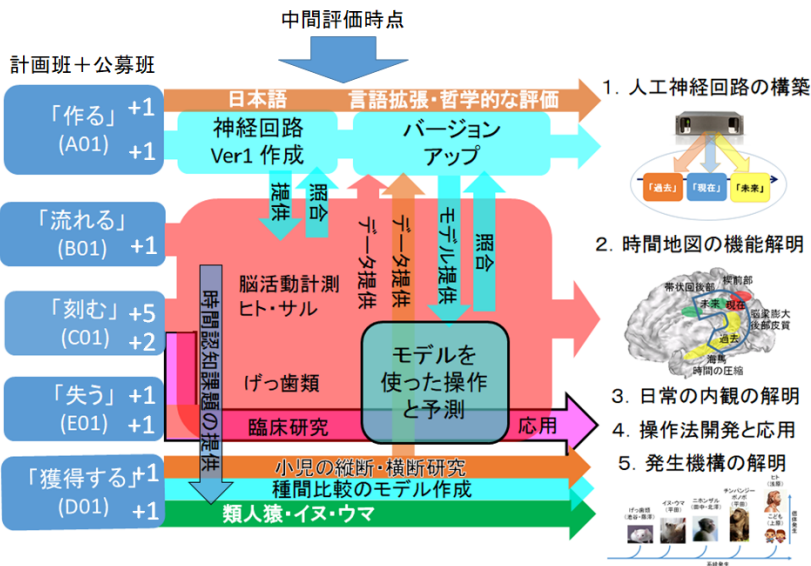
研究領域全体を通じ、本研究領域内の研究項目間、計画研究及び公募研究間の連携体制について、図表などを用いて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。



A01「作る」班が領域の中心でエンジンの役割を果たし、B01「刻む」、C01「流れる」、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(上図)。

本領域の著しい特徴は、従来の専門別の班編成を避け、各班の中に1. 言語学・哲学・心理学、2. 神経科学(動物)、3. 認知神経科学(ヒト)、4. 臨床神経学・脳外科学、5. 情報学・工学、6. 比較行動学、の中の4つ以上の専門分野の専門家が参加していることである(上図)。こうすることで、情報学・工学の知識が不可欠な人工神経回路の開発と、それを脳神経科学のデータと比較対照して時間生成の神経基盤を解明し、さらには臨床応用につなげていく、という学際研究が、班の中でも進む仕掛けとなっている。

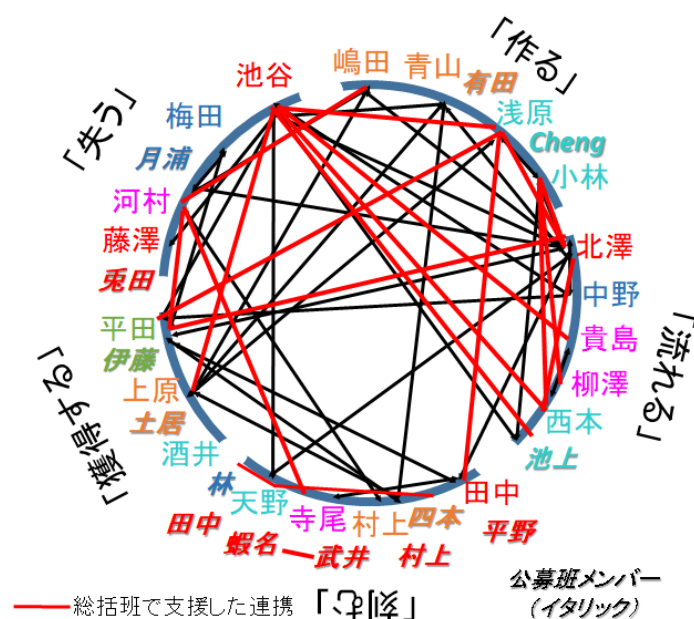
班の間の5年間の連携計画は中段の図の通りで、A01「作る」班からの神経回路提供と他4班からのデータ提供のループを複数回回転させて、モデルをアップデートしながら神経基盤の解明を精緻化していく。中間評価時点では、



1回目のループの照合過程が進行中で、さらにA01班は他班からのコメントを反映してバージョンアップに着手している。

この基本計画以外にも、班の間を超えた30を超える連携計画が進行中で、すでに論文化が進んでいる案件も多数ある(下段)。

さらに、2年度目には公募14班が加わった(上段右パネル)。6専門分野と5計画班すべてについて新たな公募研究班からの参加者を得た。公募班を含む連携計画もすでに複数立ち上がり、うち4件には総括班からすでに支援を行うレベルとなっている。従来の計画班の間の連携研究と併せて、緊密な連携体制が整った。



8 若手研究者の育成に係る取組状況

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2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。）の育成に係る取組状況について、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領域内で共有するスーパーコンピューターDGX-1の利用を推進するための講習会の開催、②若手研究者を中心としたワークショップ等の共催と支援、③領域内の若手研究者（連携研究者・研究協力者など）の学会参加のための旅費支援などを、総括班が中心となって進めている。

①DGX-1講習会

・領域内の研究者が DGX-1 システムにおける pytorch システム構築の手順マニュアルを作成し、講師を務める講習会をこれまでに3回開催（約110万円）

②若手研究者を中心としたワークショップ等の共催と支援

- ・脳と心のメカニズム冬のワークショップの共催（H30年度：約36万円、R1年度：約36万円）
- ・次世代脳プロジェクト冬のシンポジウムの共催（R1年度：33万円）

③若手研究者の旅費等の支援

若手研究者の研究発表のため、年度内に3回の募集を行い、学会参加のための旅費・参加費の支援を随時行っている。

- ・Society for Neuroscience、Timing Research Forum 2、2019 Conference on Cognitive Computational Neuroscience、言語処理学会、情報処理学会、日本生理学会など（約100万円）
- ・領域会議（約140万円）

上記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ており、一部については既に成果を挙げている。以下にその例を示す。

若手研究者の受賞・昇進など

- ・情報処理学会第82回全国大会大会優秀賞（A01班：黒田）をはじめ、学会賞の受賞8件
- ・[Lis Kanashiro Pereira](#)（A01班）が時間に関する常識を理解するタスクにおいて世界1位を記録
- ・新保彰大（E01班）が2019年度理化学研究所桜舞賞受賞
- ・班員、研究分担者、連携研究者の昇任・昇格4件
- ・班員の研究室から学振特別研究員に採用2名

各研究班での若手研究者の採用・支援状況

- ・研究費を利用した助教、研究員の雇用2件

9 研究費の使用状況・計画

研究領域全体を通じ、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、研究費の使用状況や今後の使用計画、研究費の効果的使用の工夫について、総括班研究課題の活動状況と併せて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

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成功の鍵を握っている。そのため、総括班が人工神経回路モデルの開発に用いるための高性能サーバー（DGX-1 サーバースystem）を導入して運用している。また、活用のための講習会を繰り返し開催して、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ている。研究費の具体的な使用状況を、関連する総括班の活動状況と併せて列挙する。

【研究費の使用状況】

2018年度 DGX-1 サーバースystem 1式 18,373,778円（大阪大学）
DGX-1 サーバースystemサポート費用 1,166,400円
2019年度 DGX-1 サーバースystemサポート費用 1,188,000円
DGX-1 NVIDIA 保守延長費用 1,004,080円

DGX-1 講習会

2019年3月21日 会場：東京 97,880円
2019年8月21日 会場：札幌市 400,000円
2020年2月2日 会場：豊中市 673,400円

シンポジウム・領域会議開催

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 442,062円
2019年2月2-3日 領域会議 会場：松山市 691,306円
2019年8月20-21日 領域会議 会場：札幌市 2,303,734円
2020年2月1-2日 領域会議 会場：豊中市 2,212,185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 356,400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 329,120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 363,000円

講師の招へい

2019年2月2-3日 領域会議 特別講師 河原達也先生（31,540円）
2019年2月20-22日 The 5th CiNet Conference David Cox 先生（285,270円）
2019年7月29日 The 15th Asia-Pacific Conference on Vision Rufin VanRullen 先生（296,000円）
2020年2月1-2日 領域会議 特別講師 渡邊正峰先生（66,400円）

連携研究費

2018年度 6件 1,965,769円
2019年度 5件 2,254,224円

若手・女性研究者支援費

2018年度 15名 689,577円
2019年度 21名 1,689,336円

広告費用

「時間生成学」学会告知チラシ・ポスター 136,447円

10 今後の研究領域の推進方策

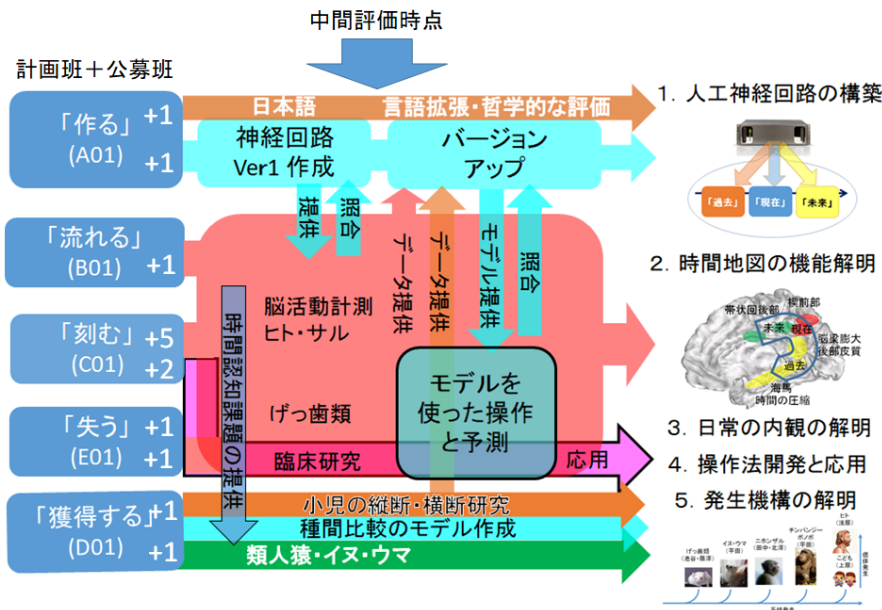
研究領域全体を通じ、今後の本研究領域の推進方策について、「革新的・創造的な学術研究の発展」の観点から、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、今後公募する公募研究の役割を明確にすること。また、研究推進上の問題点がある場合や、国際的なネットワークの構築等の取組を行う場合は、その対応策や計画についても記述すること。

(1) 研究5項目の推進方策

①計画研究の推進

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(Ver1)の開発に成功した。

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、B01, C01, D01, E01 のプロペラ 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), 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（次ページの表を参照）。

以上の通り、計画研究は順調な進展を示しているため、各計画班の研究に関しては今後も応募時の計画を堅持して着実に推進していく。

②項目間の相互作用の推進

次に点検すべきは、A01 班とプロペラ 4 班の間の「モデル提供—データによる照合—モデルの改善」のループが回っているかどうか、という計画班の間の相互作用である。この点に関しても、A01 班が開発した BERT モデルを高性能サーバー上で領域全体で共有し、その使用方法についての懇切丁寧な講習会を 2020 年 2 月に開催するなど、A01 班からプロペラ 4 班への「提供」のベクトルは実現されている。一方、データによる照合に関しては、B01 班西本が音声付動画（TV 番組）視聴時の脳活動データ 60 時間分を提供する一方、A01 班浅原らが音声のテキスト化と時間関係のアノテーションを進めており、A01 班が開発したモデルと B01 班のデータを使った照合の一手手前の段階まで進んでいる。つまり、当初計画の「提供—照合」ループの一巡にめどがついた状況である。C01, D01, E01 各班と A01 班の間にも、同様の連携計画が進行している（次ページ表）。ただし、この相互作用は、コロナ禍によって 3-6 か月の減速を余儀なくされた。そこで、総括班の連携研究推進予算を増額して、強力に連携研究をサポートして推進する。

③モデル改善に人文知を活用する方策

本領域で決定的に重要なのは、提供—照合のループを回しながらモデルを改善して、脳の時間情報処理に近づけていくことである。これは単に識別成績の数字を向上させるプロセスではない。人工神経回路モデルが人間の時間の意識を説明しているのか、という根本的な評価は、正解率ではなく、哲学・言語学・心理学などの人を対象とする学問分野の人文知によってのみ可能となる。従って、人文知の専門家がモデ

	A01「作る」	B01「流れる」	C01「刻む」	D01「獲得する」	E01「失う」
1. 人工神経回路の構築	Geng+(2020) 黒田+(2020) 浅原+(2020) 他2件 受賞3件	Aoe+(2019) 中野(2020) 北澤(2020)			Ishikawa+(2020) Sci Adv Nakashima+(2019) Science
2. 時間地図の機能解明	B01 班との共同研究進行中	Nakai+Nishimoto, Nat Commun (2020) 他3件 A01 班との共同研究3件進行中	Kunimatsu+ (2018) eLife Kameda+(2019) eLife Protopapa+ (2019) PLoS Biol Li+ (in press)		Miyawaki+(2020) Nat Commun Ito+(2019) Futamura+(2018) 他3件
3. 日常の内観の解明	青山(2019)	中野(2020) 池上-E01 池谷の共同研究進行中	Iizuka+(2019) 岩田+(2020)	チンパンジーの「久しぶり」研究進行中	Sakaguchi+(2018) Nat Commun Kurosaki+(2020)
4. 操作法開発と応用	E01 班との間で「認知症と時間認知：B系列課題の取り組み」進行中	E01 班との間で「人工知能技術と神経回路操作の連携研究」他1件進行中	岩田+(2020) 蝦名:光遺伝学による操作法開発中 E01 班との TMS を使った共同研究進行中	E01 班との共同研究進行中 「アイトラッキングを用いた認知症に残存するエピソード記憶の探索」	Nomura+(2019) Biol Psychiat Ikegaya+(2019) Science Futamura+(2019) 認知症早期診断ツール 他2件
5. 発生機構の解明	D01 班との共同研究進行中	D01 班との共同研究進行中		Kano+(2019) PNAS Kawasaki+(2020) 他2件 Doi+(2020), Itoh+(2019)	D01 班との共同研究進行中

ルを理解して、人と比較できる環境を整えることこそ本領域の成功のカギとなる。そのためには、人工神経回路モデルの実態と使い方をわかりやすく解説する講習会を繰り返し開催する必要がある。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。

(2) 公募研究の役割

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。コロナ禍を逆手に取る実行力は印象的で、**想定を超える活力を領域に与えている**。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**。

以下、例を挙げるが、これらに限るものではない。研究項目A01: 時間表現に関する言語類型論的研究、時間認識と言語表現に関する調査研究、B01:過去-現在-未来の意識を情報統合理論の観点から解明する研究、過去-現在-未来の時間の流れの意識の神経基盤に関する研究、C01:ヒトや実験動物を対象にした時間知覚に関する神経科学的研究、磁気刺激や電気刺激を用いた時間知覚の操作法の開発、D01:多様な動物を対象とした広範な種比較研究、幼児の発話等データにおける時間表現に関する研究、E01:時間の価値生成およびその喪失に関する脳科学的研究、時間失認に関する臨床神経科学。

(3) 国際シンポジウムの一本化

コロナ禍のために、2020年9月に予定していた国際シンポジウムは2年延期して、2022年度の国際シンポジウムと一本化する。2020年の国際シンポジウムに計上していた費用は、コロナ禍で遅れた連携研究を再加速するための支援にダイナミックに振り替えて活用する。

11 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 東京大学大学院総合文化研究科

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意識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」（2012年-2017年）領域では、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、時間地図は場所を示しているが、情報処理のメカニズムを深く検討するためには別の視点が必要であった。

そこで、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ている。以下、研究の進展状況、組織運営、研究費の使用、今後の推進方策の4項目について評価する。

① 研究の進展状況

計画研究5班は、哲学・言語学・情報学・工学の専門家が集まったA01「作る」班が人工神経回路モデルを作成し、「流れる」「刻む」「獲得する」「失う」をキーワードとするB01, C01, D01, E01の4班が脳のデータを取得して、両者間の「モデル提供—データによる検証—モデルのアップデート」のループを回転させることで、ヒトの時間生成の真相に迫る、という基本構想に従って研究を進めている。

領域の駆動部分となる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(Ver1)を開発した。こ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モデルは一般公開され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。このようにA01班は、当初の計画通りに領域全体の駆動部分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。特にE01班は質・量ともに瞠目すべき成果を挙げている。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。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と言える。

② 研究組織

A01班を中心としてB01-E014班がプロペラ状に配置された基本構想に加えて、計画研究5班と公募研究14班を縦横無尽につなぐ数十の連携研究が進行している。その中の主要な連携研究15件を総括班が効果的に支援していることも注目に値する。全体として、研究者相互に有機的連携が保たれ、研究が効率的に進められている。また、若手研究者と女性研究者を対象とする研究の支援も総括班が恒常的に行っており、こうした研究者の育成にも配慮が行き届いている。その結果として、若手研究者が相次いで受賞している。

③ 研究費の使用・適切性

人工神経回路モデルの構築と実際のデータの照合に利用するために、2000万円を超える高性能サーバーシステムを総括班が導入・運営している。高額な投資に見合う成果が挙げられているのかを批判的に検討する必要があるが、言語入力をベクトル化するために開発した日本語BERTモデルの一般公開とバージョンアップだけでも、すでに十分な費用対効果があったと判断される。

④ 今後の研究領域の推進方策

計画5班の研究は基本的には順調に進んでいるので、当初計画通りに進めるという方針は妥当である。それに加えて、「人文系の研究者にもモデルを使いこなして改良のアイデアを提供する」ことを求めようとしていることが注目に値する。人文知を活用するために、相互理解推進を主務とする専任の研究員を総括班に配置するのも妥当な推進方策と言えるだろう。今後の研究が順調に進展して、「時間生成」の真相に迫る画期的な成果が挙がることを大いに期待したい。

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、「過去—現在—未来」という時間の認知が生み出される仕組み、その認知を操作する方法、その認知が発達する過程などを、学際的なアプローチによって明らかにする試みである。特に、近年目覚しく発展した深層神経回路網等の技術に基づいて時間認知の計算モデルを構成し、その計算過程を脳の働きと対応付けるという「作って理解する」人工知能の方法論を用いている点が注目される。

その方法論の中核を担う計画研究 A01「作る」班が人工神経回路モデルを作り、B01「流れる」班、C01「刻む」班、D01「獲得する」班、E01「失う」班が各々の観点から生理学的データを観測して、両者の間で仮説検証サイクルを回すことにより、時間生成の仕組みを解明すべく研究に取り組んでいる。また、これらの計画研究 5 班だけでなく公募研究 14 班にわたる数十件の連携研究もなされており、そのうち主な 15 件を総括班が適確に支援していることも高く評価できる。本領域が掲げた 5 大目標のすべてにわたって 100 報を越える論文がトップ国際ジャーナルに掲載されるなど、すでに大きな成果が得られている。さらに、総括班は若手研究者と女性研究者への支援も提供しており、若手研究者の相次ぐ受賞などにつながっている。

領域会議に参加するたびに多くの興味深い発表や議論に触発されるが、特に A01 班のテーマが評価者の専門に近いので、「作って理解する」観点からやや具体的なコメントを記しておきたい。

A01 班は、事象の時間関係を識別する人工神経回路を開発し、そのために構築した日本語 BERT モデルを一般公開して有用な言語資源として他の研究者の利用に供するなどの成果を上げている。人工神経回路モデルの構築と運用のために高額の高性能サーバーシステムを総括班が導入・運営しているが、これらの成果はその投資に十分見合う効果と考えられる。また、これらの研究には、哲学・言語学・情報科学・神経科学の専門家が「時間言語フォーラム」での学際的な議論を通じて参画している。さらに今後は人工神経回路の中間層と脳の活動との比較対照等も計画されており、A01 班は想定通り領域全体のエンジンの役割を果たしていると言えよう。

本領域においてこの「作って理解する」アプローチがさらに発展することに期待したい。たとえば、人間が発話を容易に時間反転させられないことは、BERT のようなモデルでは説明できず、もちろん RNN のようなモデルでは説明にならないが、何らかの神経生理学的な知見を人工神経回路に(人工的ではなく自然に)反映させることによって説明できるかも知れない。また、審査結果の所見での指摘に対して、比較的単純な層構造の深層学習モデルが視覚系の本質を反映しているとの認識から、深層神経回路網と線形分析の手法を極める方針が示されており、この方針は妥当と思われるが、この方法は人工神経回路と脳の視覚野の「層対層」の対応関係など比較的微細な分析には有効であるものの、時間的前後関係の判断などもっとマクロな認知過程は巡回的な情報処理による収束計算と非線型性を含んでおり、通常の深層神経回路網では心理学的・生理学的に妥当なモデル化ができないだろう。一方、たとえば双対学習(A 型の入力から B 型の出力を求める深層神経回路網と B 型の入力から A 型の出力を求める深層神経回路網をサイクル状に結合した神経回路網は A 型の入力から B 型の出力を求める際の精度も B 型の入力から A 型の出力を求める際の精度も高い)のような先行研究から、サイクルの組合せであるような人工神経回路が、音声の産出と認識、言語表現の産出と理解などがそれぞれサイクルをなし一体であることを表現しつつ、時間の認知を含む多様な認知現象の非線型性を自然に説明できる可能性もある。本領域においては、そのような可能性を追究する手がかりが得られるのではないかと期待される。

以上をまとめると、本領域の研究の進捗は順調であり、今後の進展も大いに見込めるので、計画通りに進めるのが妥当である。とりわけ、「作って理解する」方法論の成果を明確化して積極的に発信し、関連研究分野に広く波及効果をもたらすことを期待する。