

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：38005

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06561

研究課題名(和文)人工知能と脳科学の融合研究の推進

研究課題名(英文)Promotion of Integrated Research in Artificial Intelligence and Brain Science

研究代表者

銅谷 賢治(Doya, Kenji)

沖縄科学技術大学院大学・神経計算ユニット・教授

研究者番号：80188846

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 51,500,000円

研究成果の概要(和文):新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」の総括班として、領域内外の研究者の知識と情報の共有と共同研究の実現、融合領域の研究を担う若手の育成、研究成果の幅広い社会への広報を目標に活動を行った。企画実行委員会は、領域会議を年2回開催し、合同ワークショップ等により幅広い研究者との議論の場を提供した。育成支援委員会は、「脳科学と人工知能」サマースクールを2度に渡り開催し、学生/研究者のラボ間派遣支援を行った。広報連携委員会は、webサイトの運営、ニュースレターの発行、アウトリーチ企画を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

領域研究者の幅広い共同研究により、人工知能技術の脳科学への応用、脳科学の知見に基づく新たな人工知能の開発の両面で、新たな研究をスタートし多数の論文として出版することができた。また人工知能と脳科学の融合研究の可能性を、学生から社会人まで幅広い層に知らせることができた。

研究成果の概要(英文):As the management team of the research area "Correspondence and Fusion of Artificial Intelligence and Brain Science", we aimed to promote collaborations of researchers inside and outside the research area, to train young researchers in the interdisciplinary research field, and to publicize the research accomplishments widely to the society. The Planning and Executive Committee held area meetings twice a year to promote joint research, and organized joint symposia and workshops to provide the forums for discussions among researchers from wide fields. The Development Support Committee held the "Brain Science and Artificial Intelligence" summer school twice and supported the dispatches of students and researchers between labs for continuous joint research. The Public Relations Committee publicized the research results through updating the area website, publishing newsletters, and holding outreach events.

研究分野: 計算神経科学 computational Neuroscience

キーワード: 人工知能 脳科学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ビッグデータと計算機技術の進歩により、機械学習による人工知能が様々な分野で実用化され、より幅広い分野への適用の期待が高まっていた。特に2012年以降、画像認識において、ディープラーニングと呼ばれる脳の視覚野の階層的な処理機構を起源とする学習方式が非常に高い性能を示すことが明らかになり(Krizhevsky et al., 2012)、脳にならった学習方式の可能性に新たな注目が集まっていた。

一方脳科学においても、機械学習の一種である強化学習のアルゴリズムがいかに脳で実現されているかという問いから、報酬の予測誤差をドーパミンニューロンが表現する(Schultz et al. 1997)、行動の選択肢の価値を線条体ニューロンが学習する(Samejima et al., 2005)、報酬予測の時間スケールの制御にセロトニンが関与する(Miyazaki et al., 2012)などの画期的な知見が得られている。またイメージングなどによる大量の実験データを解析する上でも、機械学習アルゴリズムの活用は必須のものとなりつつあった。

それまで人工知能研究と脳研究は、「電子回路で知能を実現するには脳での実現法にこだわる必要はない」という視点と、「脳のような高度な知能の実現例があるのだから、それに学ばない手はない」という視点から、接近と乖離を繰り返してきたが、ディープラーニングの成果は再び両者の接近を促していた。

2. 研究の目的

新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」の総括班の目的は、領域内外の研究者の知識と情報の共有をはかり実のある共同研究を実現すること、融合領域の研究を担う若手の育成をはかること、そして生まれた研究成果を広く社会に広め応用につなげていくことである。

3. 研究の方法

以下の組織構成で活動を展開した。

- 1) 企画実行委員会：領域会議の企画実行と領域内の共同研究促進
- 2) 育成支援委員会：サマースクールの開催と学生 / 研究者のラボ間派遣支援
- 3) 広報連携委員会：研究成果の広報とアウトリーチ活動の企画実行

4. 研究成果

1) 企画実行委員会

領域会議を年2回のペースで企画開催し、各研究の進捗状況を確認するとともに、課題間での連携について議論を深めた。同時に開催した総括班会議で、各委員会の活動計画についての議論を行なった。

2016年8月11-12日に「人工知能と脳科学」+ポスト京「脳と人工知能」合同ワークショップを湘南国際村センターにて開催し、理研AIPの杉山将所長、全脳アーキテクチャイニシアティブの山川宏代表をゲストとして今後の人工知能と脳科学の目指すべき方向について討論を行うとともに、プロジェクト内、プロジェクト間での有機的な連携による研究展開のための議論を深めた。また「人工知能と脳科学」キックオフシンポジウム+公募説明会を2016年9月13日に東京大学で開催し、大学のみならず産業界からも多くの参加者を迎え、領域のめざす融合研究について説明と議論を行なった。

2017年5月にはロンドンでGatsby Computational Neuroscience Unitとの合同ワークショップをDeepMindからのスピーカーを交えて開催し、人工知能と脳科学を融合する研究の到達点と今後について議論を行った。7月の神経科学大会、9月の神経回路学会でそれぞれ、人工知能と脳科学を融合する研究者を招きシンポジウムを開催した。2018年1月には韓国のAI Flagship Projectとの合同ワークショップを開催した。

2018年10月の日本神経回路学会の機会に甘利俊一先生をOISTに招き、深層学習の数理について特別講演を行なっていただいた。

2019年12月の次世代脳ワークショップでは、新学術3領域合同シンポジウムを開催した。2020年1月の脳と心のメカニズム第20回冬のワークショップでは、主催団体としてスペシャルセッション「脳と人工知能」の企画運営を行った。

また中間評価、事後評価、成果報告に向けて、研究成果の取りまとめと報告書の作成を行った。

2) 育成支援委員会

2017年8月、2019年7-8月に理化学研究所において「人工知能と脳科学の対象と融合」若手サマースクールを開催し、講師として国内の先端的な研究者と多数の学生の参加を得た。

また2017年5月にCiNetにてISSAサマースクールを共催し、意識と知能の起源に関心を持つ世界各国からの大学院生、ポスドクを集め講義と討論を行った。

2017年12月の次世代脳ワークショップでは、新学術4領域合同の若手シンポジウムを開催した。また、領域内のラボの間での若手研究者の派遣の支援を行った。

2018年10月の日本神経回路学会の初日に深層学習の基礎と応用のチュートリアルを企画、開催した。12月の次世代脳ワークショップでは、公募研究代表者の内部英治博士が逆強化学習のチュートリアルを行なった。

また、人工知能と脳科学系のラボの間での若手研究者の派遣の支援をおこなった。

3) 広報連携委員会

webサイト(www.brain-ai.jp)を立ち上げ、領域のねらいと活動計画、イベント予定、研究公募、研究成果などの情報を発信した。

ニュースレターを計10号を発行し、各計画研究、公募研究の内容を紹介するとともに、リレー対談という形で領域の研究者の生の声を伝え、また領域主催、共催のイベント、領域メンバーの参加した主要国際会議などのレポートを掲載した。最終号は領域成果報告特集号として発行した。

アウトリーチ活動として、脳と心のメカニズムワークショップの主催団体として企画運営を行い、ASCONE2016、第2回全脳アーキテクチャハッカソン等を共催した。

2017年11月から2018年1月にOISTにて人工知能美学芸術展を共催し、シンポジウム講師の招聘を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Doya K, Friston K, Sugiyama M, Tenenbaum J	4. 巻 155
2. 論文標題 Neural Networks special issue on Artificial Intelligence and Brain Science	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 328-329
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neunet.2022.08.018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Taniguchi T, Yamakawa H, Nagai T, Doya K, Sakagami M, Suzuki M, Nakamura T, Taniguchi A	4. 巻 150
2. 論文標題 A whole brain probabilistic generative model: Toward realizing cognitive architectures for developmental robots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 293-312	6. 最初と最後の頁 293-312
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neunet.2022.02.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Doya K, Ema A, Kitano H, Sakagami M, Russell S	4. 巻 152
2. 論文標題 Social impact and governance of AI and neurotechnologies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 542-554
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neunet.2022.05.012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Doya K, Taniguchi T	4. 巻 29
2. 論文標題 Toward evolutionary and developmental intelligence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Current Opinion in Behavioral Sciences	6. 最初と最後の頁 91-96
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cobeha.2019.04.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 銅谷賢治、松尾豊	4. 巻 71(7)
2. 論文標題 人工知能と脳科学の現在とこれから	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BRAIN and NERVE 増大特集 人工知能と神経科学	6. 最初と最後の頁 649-655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11477/mf.1416201337	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計41件（うち招待講演 38件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 人工知能・脳科学・法
3. 学会等名 第22回神経法学研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 人工知能と脳の作動原理
3. 学会等名 第52回日本臨床神経生理学会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Data-Driven and Theory-Driven Approaches in Neuroscience
3. 学会等名 2nd Taiwan Society for Neuroscience Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 人工知能は脳から何を学べば良いのか
3. 学会等名 応用脳科学コンソーシアム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 人工知能と脳科学
3. 学会等名 OIST 10th anniversary （招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 「人工知能美学芸術展：美意識のハードプロブレム」に出展作品についての小講演
3. 学会等名 第40回AI美芸研「人工知能美学芸術展：美意識のハードプロブレム」全体報告（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Embodied agents for survival, reproduction, and prediction
3. 学会等名 Embodied agents for survival, reproduction, and prediction（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Context-dependent interaction of dopamine and serotonin
3. 学会等名 Deep Reinforcement Learning Workshop, NeurIPS2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Canonical Cortical Circuits and the Duality of Inference and Control
3. 学会等名 国立精神神経研究所第43回発表会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 理論ベース / データ駆動の脳科学
3. 学会等名 中部大学AI数理データサイエンスセンター キックオフシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 動物の行動と神経活動を予測する
3. 学会等名 日本動物実験代替法学会第34回大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 進化するスマホロボットは何をめざすか
3. 学会等名 第38回AI美芸研シンポジウム「コンセプチュアルウイルス」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Natural and artificial reinforcement learning
3. 学会等名 Deep Reinforcement Learning Workshop, NeurIPS2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 The duality of inference and control as a key to understanding canonical cortical circuits
3. 学会等名 "RIKEN-OIST symposium "Kinds of Minds-What is thinking?" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 The duality of control and inference as a clue for cracking the codes of frontal and sensory cortical architectures
3. 学会等名 CJK Symposium 17, Theoretical Brain, The 44th annual meeting of the Japan Neuroscience Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Duality of control and inference and the cortical circuit architecture
3. 学会等名 SBDM 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What can we learn from the brain for future AI?
3. 学会等名 Brain2AI Workshop, International Conference on Learning Representations (ICLR 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 人工知能は脳から何を学べば良いのか
3. 学会等名 応用脳科学アカデミーアドバンスコース「脳とAI」第1回 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Communication and Self-organization of Intelligent Agents
3. 学会等名 NOLTA 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 脳とAIの接点から何を学びうるのか
3. 学会等名 第5回全脳アーキテクチャシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Toward the society of AI agents: what should we learn from the brain and human society
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Intelligence and Brain Science 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What can we further learn from the brain for artificial intelligence?
3. 学会等名 Neurotheory Forum (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What can we further learn from the brain for artificial intelligence
3. 学会等名 Neuroscience2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 人工知能と脳科学の融合と社会
3. 学会等名 第8回神経法学研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What can we further learn from the brain for artificial intelligence?
3. 学会等名 脳と心のメカニズム第20回冬のワークショップ（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What Can We Learn from the Brain for Next AI?
3. 学会等名 The 3rd Ryudai-OIST Symposium: Basic Medical Science to Clinical Medicine（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 Mental simulation in mice and evolving rewards in robots
3. 学会等名 第12回日本人間行動進化学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Artificial Intelligence and Brain Science
3. 学会等名 The Joint Symposium of WPI-IIIS, Ph.D. Program in Humanics, and 36th Takamine Conference (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 ベジアンブレインの今日
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Big Data Challenges in Neuroscience
3. 学会等名 IEEE CIS Summer School: Big Data Analytics and Stream Processing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 人工知能と脳科学
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Reinforcement learning: Computational theory and neural mechanisms
3. 学会等名 IRCN Neuro-Inspired Computation Course (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Neural circuits for reinforcement learning and mental simulation
3. 学会等名 5th Coreto Core International Symposium "3D LabExchange Program" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 想像力と知能の脳回路を可視化する
3. 学会等名 第58回日本核医学会学術総会-合同特別講演(県民公開講座を兼ねる)(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 ロボットと人工知能から行動障害と脳機能へのアプローチ
3. 学会等名 第22回日本摂食障害学会学術集会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 人工知能は脳から何を学べるか
3. 学会等名 26回脳の世紀シンポジウム「AIと脳」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 脳の回路モジュールはなぜうまく繋がれるのか
3. 学会等名 第3回 全脳アーキテクチャシンポジウム 「脳に学んで良き汎用知能に至る道筋」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 脳内シミュレーションの神経機構
3. 学会等名 第32回日本整形外科学会基礎学術集会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 ベイズ推定による脳機能モデルと脳データ解析
3. 学会等名 新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」若手サマースクール
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 ベイズ推定による脳機能モデルと脳データ解析
3. 学会等名 新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」若手サマースクール
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 銅谷賢治
2. 発表標題 ベイズ推定による脳機能モデルと脳データ解析
3. 学会等名 新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」若手サマースクール
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 Doya K	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Cambridge University Press	5. 総ページ数 27
3. 書名 "Computational Cognitive Models of Reinforcement Learning" The Cambridge Handbook of Computational Cognitive Sciences	

1. 著者名 Doya K	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Cambridge University Press	5. 総ページ数 20
3. 書名 "Reinforcement Learning" The Cambridge Handbook of Computational Cognitive Sciences	

1. 著者名 銅谷賢治	4. 発行年 2019年
2. 出版社 人工知能美学芸術研究会	5. 総ページ数 2
3. 書名 自律学習ロボットは何の夢を見るか 人工知能美学芸術研究会編著「人工知能美学芸術展記録集」	

1. 著者名 銅谷賢治	4. 発行年 2019年
2. 出版社 人工知能美学芸術研究会	5. 総ページ数 171
3. 書名 人工知能美学芸術展 in OISTを振り返って 人工知能美学芸術研究会編著「人工知能美学芸術展記録集」	

1. 著者名 監訳：銅谷賢治（著者：Terrence J. Sejnowski）	4. 発行年 2019年
2. 出版社 ニュートンプレス	5. 総ページ数 381
3. 書名 ディープラーニング革命（Deep Learning Revolution）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット https://groups.oist.jp/ncu 人工知能と脳科学の対照と融合 http://www.brain-ai.jp/jp/ 脳と心のメカニズム第20回冬のワークショップ「脳と人工知能」スペシャルセッション http://brainmind.umin.jp/wt20_report.html 「人工知能と脳科学の対照と融合」若手サマースクール http://www.brain-ai.jp/jp/summer_school2019/ 沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット https://groups.oist.jp/ncu 人工知能と脳科学の対照と融合 http://www.brain-ai.jp/jp/ 沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット https://groups.oist.jp/ncu 人工知能と脳科学の対照と融合 http://www.brain-ai.jp/jp/ 新学術領域研究「人工知能と脳科学」webサイト http://www.brain-ai.jp 「人工知能と脳科学」サマースクール2017 webページ http://www.brain-ai.jp/jp/summer_school2017/ ISSAサマースクール2017 webページ https://groups.oist.jp/issa</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	坂上 雅道 (Masamichi Sakagami) (10225782)	玉川大学・脳科学研究所・教授 (32639)	
研究分担者	中原 裕之 (Hiroyuki Nakahara) (10312282)	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・ チームリーダー (82401)	
研究分担者	谷口 忠大 (Tadahiro Taniguchi) (80512251)	立命館大学・情報理工学部・教授 (34315)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計8件

国際研究集会 脳と心のメカニズム第20回冬のワークショップ	開催年 2020年～2020年
国際研究集会 The 28th Annual Conference of the Japanese Neural Network Society (JNNS2018)	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 SBDM Satellite workshop Learning and decision-making at the interface between Neuroscience, Artificial Intelligence and Robotics.	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 The 9th International Symposium on "Biology of Decision Making" (SBDM2018)	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 ISSAサマースクール2017	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 脳と心のメカニズム第18回冬のワークショップ	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 脳と心のメカニズム第17回冬のワークショップ	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 International Symposium on Artificial Intelligence and Brain Science 2020	開催年 2020年～2020年

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------