

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：38005

研究種目：国際共同研究加速基金（国際活動支援班）

研究期間：2016～2022

課題番号：16K21738

研究課題名（和文）人工知能と脳科学の融合研究の国際ネットワーク形成

研究課題名（英文）Correspondence and Fusion of 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） 36,100,000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」の国際活動支援班として、人工知能と脳科学の融合研究の国際的なネットワークの形成を目標に活動を行った。海外ラボと研究者を派遣招聘することで、継続的な共同研究のベースを築いた。2017年にGatsby合同ワークショップ、2020年、2022年にInternational Symposium on Artificial Intelligence and Brain Scienceを開催、Neural Networks誌の特集号を編集し、研究成果の発信を行った。領域の成果報告ビデオを英語、日本語で作成し、領域Webサイト、YouTube等で公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工知能と脳科学の融合研究の成果と可能性について世界的に情報発信をおこなうとともに、その研究に取り組む国際的なネットワークの形成に貢献することができた。

研究成果の概要（英文）：As the international activity support team of the research area "Correspondence and Fusion of Artificial Intelligence and Brain Science", we aimed to develop an international network of interdisciplinary research on artificial intelligence and brain science. We held a joint workshop with Gatsby Computational Neuroscience Unit in London in 2017 and International Symposium on Artificial Intelligence and Brain Science in 2020 and 2022, which helped to form a network with world-class researchers. We dispatched researchers to and from overseas labs to lay the foundation for continuous collaborative research. We edited the special issue on Artificial Intelligence and Brain Science in the Neural Networks journal to feature the research accomplishments and future prospects in this interdisciplinary field.

We created a video featuring the accomplishment of the area both in English and Japanese, and published them on the area website, YouTube, and Vimeo.

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」の国際活動支援班の目的は、人工知能と脳科学の融合研究の国際的なネットワークを形成することである。

3. 研究の方法

目標の達成のため、以下の3つの事業を推進した。

1)人工知能と脳科学の融合研究の国際拠点との合同ワークショップや、国際的な研究リーダーを招いてシンポジウムを開催する。

2)人工知能と脳科学の融合領域で先進的な研究を行う海外のラボとの間で、研究者を派遣招聘することで、新たな手法や知見を学ぶとともに、継続的な共同研究のベースを築く。

3)「人工知能と脳科学」国際シンポジウムを開催し、それをもとに学術誌特集号を出版し、領域の成果を世界的に発信するとともに、国際的なネットワークの継続的展開をはかる。

4. 研究成果

1)国際拠点との合同ワークショップ

2017年5月にロンドンのGatsby Computational Neuroscience Unitとの合同ワークショップを、理研AIPの杉山将所長、Preferred Networksの岡野原大輔副社長、Google DeepMindのShakir Mohammed, Shane Legg博士ら日英を代表するAI研究者らの参加を得て開催した。

2017年7月の神経科学大会では「人工知能と脳科学」シンポジウムを企画し、DeepMindのMatthew Botvinick博士、EUのHuman Brain ProjectのKarlheinz Meier教授、IBM Watson LabのJames Kozloski博士ら、先端的な融合領域の研究者の招聘し議論を行った。

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月の神経回路学会に、Gatsby Computational Neuroscience Unit DirectorのManeesh Sahani教授を特別講演に招聘し、今後の連携についての議論をおこなった。

2)先進的研究グループとの研究者の派遣・招聘

国際共同研究に向け、米国Harvard大、ドイツDarmstadt大などへの学生の派遣を実施した。あいにくプロジェクト後半は、コロナ禍のため学生、研究者の海外相互派遣は中断したが、2023年には繰越予算により米国MITのSlotine教授を招聘し、OIST, ATR, NTTにて機械学習と運動制御についての講義を行なってもらい、共同研究に向けた議論を行った。

3)国際会議、出版、インターネットによる情報発信

International Symposium on Artificial Intelligence and Brain Scienceを、2020年10月10-12日、コロナ禍のためオンラインで開催した。MITのJosh Tenenbaum教授、UCLのKarl Friston教授をコオーガナイザーとし、Turing賞を受賞したYann LeCun博士、AlphaGoの開発者David Silver博士ら国内外、領域内の研究者26名を講師として迎え、1807名の参加登録のもと、ビデオ発表とライブ討論を行った。

ウェブサイトに国際シンポジウムの特設ページ(<http://www.brain-ai.jp/symposium2020/>)を設け、宣伝に活用するとともに、開催後には講師の許可を得た発表ビデオが聴講できるようにした。

国際シンポジウムでの議論をもとに、Neural Networks誌の特集号Artificial Intelligence and Brain Scienceを、Doya, Friston, Sugiyama, Tenenbaumをゲストエディターとして企画

し、40 件の論文を収録し出版した。シンポジウム講演者の共著による展望論文と、本研究領域の成果の論文は下記 web サイトよりアクセス可能であり、オープンアクセスとした。

<https://www.sciencedirect.com/journal/neural-networks/special-issue/1017VB2Z2R5>

2020 年に続く第 2 回の国際シンポジウム International Symposium on Artificial Intelligence and Brain Science 2022 を、Neuro2022 のサテライトシンポジウムとしてハイブリッド開催し、Turing 賞を受賞した Yoshua Bengio 博士らのオンライン講演に加え、Gatsby Computational Neuroscience Unit の Maneesh Sahani 教授、DeepMind の Aida Nematzadeh 博士らの現地参加を得て、今後の研究についての議論をおこなった。<http://www.brain-ai.jp/symposium2022/>

ウェブサイト(<http://www.brain-ai.jp>)の英語ページも活用し、2017 年の合同ワークショップ、2020 年、2022 年の国際シンポジウムなどの情報発信を国際的に行った。

領域の研究成果と貢献を広く世界的に宣伝するため、成果報告ビデオを英語および日本語で制作し、領域 web サイトおよび YouTube、Vimeo において公開した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 7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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Matsuo Yutaka, LeCun Yann, Sahani Maneesh, Precup Doina, Silver David, Sugiyama Masashi, Uchibe Eiji, Morimoto Jun	4. 巻 152
2. 論文標題 Deep learning, reinforcement learning, and world models	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 267 ~ 275
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neunet.2022.03.037	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 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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Friston K, Moran, R J, Nagai Y, Taniguchi T, Gomi H, Tenenbaum J	4. 巻 144
2. 論文標題 World Model Learning and Inference	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 573-590
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neunet.2021.09.011	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 該当する

1. 著者名 Macpherson T, Churchland A, Sejnowski T, DiCarlo J, Kamitani Y, Takahashi H, Hikida T	4. 巻 144
2. 論文標題 Natural and Artificial Intelligence: a brief introduction to the interplay between AI and neuroscience research	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 603-613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2021.09.018	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 該当する

1. 著者名 Meta-learning, social cognition and consciousness in brains and machines	4. 巻 145
2. 論文標題 Langdon A, Botvinick M, Nakahara H, Tanaka K, Matsumoto M, Kanai R	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 80-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2021.10.004	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 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 2019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 -

〔学会発表〕 計40件 (うち招待講演 33件 / うち国際学会 28件)

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 The Taiwan Society of Cognitive Neuroscience Meeting (TSCN) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What it takes to create a humanoid
3. 学会等名 Humanoids2022 (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 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 Doya K
2. 発表標題 Canonical Cortical Circuits and the Duality of Inference and Control
3. 学会等名 神経研究所発表会 (Online) (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 International Workshop on Next Generation Embodied Intelligence (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 Context-dependent interaction of dopamine and serotonin
3. 学会等名 COSYNE2022 (Online) (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 Reinforcement learning, Bayesian inference and the brain
3. 学会等名 AI and Brain Computation (lecture at summer school) (Online) (招待講演)
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 (招待講演)
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 ICLR2021 (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 Neural circuit for mental simulation
3. 学会等名 China-Japan Expert Symposium on Brain Science (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 AI and brain science
3. 学会等名 2020 IEEE CIS Summer School on Emerging Research Trends in Computational Intelligence: Theory and Applications (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 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 (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 World Wide NeuroTheory Forum on Sept. 11, 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 Neural circuits for mental simulation
3. 学会等名 Online seminar NeuFo Monday Seminar, University of Geneva (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 How to let robots learn, develop, communicate and evolve
3. 学会等名 Latin American Summer School on Cognitive Robotics (LACORO) (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 Neuroscience2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Toward multi-scale brain data assimilation
3. 学会等名 CNS*2020 Workshop: Machine learning and mechanistic modeling for understanding brain in health and disease (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 How Can the Brain Connect Predictors and Actors on the Fly?
3. 学会等名 Workshop on Learning for flexible, context-sensitive behavior (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 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 Toward whole-brain multi-scale modeling
3. 学会等名 NBNI: Neurobiology and Neuroinformatics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Patience, Confidence and Serotonin
3. 学会等名 Blue Brain Seminar. EPFL (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)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Neural circuit for mental simulation
3. 学会等名 Computational and Systems Neuroscience 2019 (COSYNE2019) (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 Patience and beyond
3. 学会等名 COSYNE 2019 Workshop -Advances and Convergences in 5-HT Research (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 OIST-KAIST Symposium: Intelligence in Biological Systems and Its Application to Machines (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Introductory talk: Building autonomous robots to understand what brains do
3. 学会等名 Satellite workshop of The 8th International Symposium on Biology of Decision Making (SBDM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018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 Seminar at Cold Spring Harbor Laboratory
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 How does the brain wire up itself on the fly?
3. 学会等名 Seminar at Institute for Advanced Study, Princeton (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Neural Circuit for Mental Simulation
3. 学会等名 the Princeton University Neuroscience and Social Decision Making (NSDM) talk series
4. 発表年 2018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 Canonical Computaiton in Brains and Machines Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What should we further learn from the brain?
3. 学会等名 Joint Workshop of Korean AI flagship project and Japan ese AI and Brain Scinence project
4. 発表年 2018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 Brain and AI Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018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 SCiNDU: Systems & Computational Neuroscience Down Under (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What can we further learn from the brain?
3. 学会等名 24th International Conference on Neural Information Processing ICONIP2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Artificial Intelligence and Brain Science
3. 学会等名 Seminar at Kyungpook National University
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What should We further Learn from the Brain?
3. 学会等名 Brain-AI Workshop, NYU Shanghai (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 What should we further learn from the brain?
3. 学会等名 Korean AI Flagship Project Workshop (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Reinforcement learning: basic concepts and recent advances
3. 学会等名 Workshop on "Human & Machine Learning" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Doya K
2. 発表標題 Neural mechanisms of reinforcement learning and mental simulation
3. 学会等名 Workshop on "Human & Machine Learning" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Doya K	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Artificial Intelligence Art and Aesthetics Exhibition - Archive Collection.	5. 総ページ数 2
3. 書名 Can Robots Find Their Own Goals? What Will Adaptive Autonomous Robots Dream Of? in Artificial Intelligence Art and Aesthetics Research Group ed.	

1. 著者名 Doya K	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Artificial Intelligence Art and Aesthetics Exhibition - Archive Collection.	5. 総ページ数 171
3. 書名 Can Robots Find Their Own Goals? Looking Back at Artificial Intelligence Art and Aesthetics Exhibition in OIST. in Artificial Intelligence Art and Aesthetics Research Group ed.	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>人工知能と脳科学の対象と融合 http://www.brain-ai.jp/jp/ Neural Networks Special Issue https://www.sciencedirect.com/journal/neural-networks/special-issue/1017VB222R5 International Symposium on AI and Brain Science http://www.brain-ai.jp/symposium2022/ 沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット https://groups.oist.jp/ja/ncu 人工知能と脳科学の対象と融合 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象と融合 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象と融合 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象と融合 http://www.brain-ai.jp/jp/ OIST Workshops on AI and Neuroscience</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 (Sakagami Masamichi) (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 (Taniguchi Tadahiro) (80512251)	立命館大学・情報理工学部・教授 (34315)	

6. 研究組織（つづき）

	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	松尾 豊 (Matsuo Yutaka) (30358014)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601)	

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11件

国際研究集会 The 9th International Symposium on "Biology of Decision Making" (SBDM2019)	開催年 2019年～2019年
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 脳と心のメカニズム第19回冬のワークショップ	開催年 2019年～2019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 The 18th China-Japan-Korea Joint Workshop Neurobiology and Neuroinformatics (NBNi2018)	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 The 2018 Conference on Artificial Life (ALIFE2018)	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 2017 Brain-AI Workshop	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 Symposium on the Biology of Decision Making 2017	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 Gatsby - Kakenhi Workshop on AI and Neuroscience	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
国際研究集会 International Symposium on Artificial Intelligence and Brain Science 2022	開催年 2022年～2022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