

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 30 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：2011～2015

課題番号：23120001

研究課題名（和文）予測と意思決定の脳内計算機構の研究推進

研究課題名（英文）Elucidation of the Neural Computation for Prediction and Decision Making

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） 69,000,000円

研究成果の概要（和文）：企画実行委員会は、計10回の領域会議を開催し、International Symposium on Prediction and Decision Makingを2回開催し世界的な研究ネットワークの形成に貢献した。研究支援委員会は計6回の公開チュートリアルを開催し、領域の研究室間での研究者派遣の旅費のサポートを行った。広報連携委員会は領域webサイトを立ち上げ、ニュースレターを計9号発行した。アウトリーチ活動として各地のサマースクール、トレーニングコース、高校生体験理科教室などに共催、講師派遣を行い、若手研究者の育成と、高校生や教師に研究の進歩と楽しさを伝えることに努めた。

研究成果の概要（英文）：The Planning and Executive Committee organized ten Area Meetings and two International Symposium on Prediction and Decision Making, which contributed to the establishment of a world-wide research network. The Research Support Committee organized six Open Tutorials and supported travels for exchanges of researchers across labs in the Area. The Public Relations Committee set up the Area Web Site and published nine Newsletters. As outreach activities, it supported summer schools, training courses, science classes for high school students, which contributed to training of young researchers and promotion of interests in science to students and school teachers.

研究分野：脳科学

キーワード：神経科学 意思決定 強化学習 内部モデル 脳内シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

日々の行動から人生の選択にいたるまで、人がどのような原理とメカニズムにより意思決定を行っているのかは、哲学から心理学、経済学、政治学、脳科学、精神医学にわたる大きな問題である。人の意思決定への科学的アプローチは、長らく哲学的考察と行動学的記述に限られて来たが、近年の fMRI など非侵襲脳活動計測技術と行動学習の計算理論を統合した研究により、意思決定に必要な計算処理に関わる脳部位が具体的に明らかになりつつある。さらに各種の実験動物でそれらに相当する脳部位での神経活動を詳細に記録し操作する技術により、意思決定の過程を神経細胞のなす回路の機能として解明することが現実的な可能性となりつつある。

2. 研究の目的

「予測と意思決定」新学術領域の目的は、人の意思決定の原理と脳機構を、論理学や統計推論の理論、人の行動解析と脳活動計測、実験動物での神経活動の計測と操作、計算機シミュレーションとロボットによる再構成を通じて解明することである。

意思決定には、直感的、習慣的なモデルフリーの機構と、計画的、適応的なモデルベースの機構が考えられるが、これらがいかに選択され統合されるのか、後者で必要な「脳内シミュレーション」による行動結果の予測がどのような神経回路の働きにより実現されているのか、またそれらが分子や遺伝子によりいかに制御されているのかを、最新の実験技術と数理手法を駆使して明らかにすることをめざす。

本領域の総括班の役割は、メンバー間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、新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

1) 企画実行委員会

年に2度の領域会議を開催し、計画研究、公募研究のメンバー間の知識共有をはかり、共同研究をうながす。また平成 25, 27 年度には国際ワークショップを企画し、研究成果を世界に発信するとともに、海外の先進的な研究者とのネットワークの構築をはかる。

2) 研究支援委員会

計算理論とアルゴリズム、神経回路の可視化と操作等のテーマでチュートリアルコースを開催し、メンバー内の知識と技術の向上をはかるとともに、メンバーに限らずより広く若手の育成をはかる。また、メンバー間のデータ解析とモデリングの共同研究の支援と、さらに実験で得られたデータやアルゴリズムの共有をはかる。

3) 広報連携委員会

新学術領域の研究活動と成果を幅広く広

報するため、web サイトの立ち上げと更新、ニュースレターの発行、プレスリリース等を行う。また、意思決定の科学に多くの国民、特に子供たちの関心を喚起するため、一般向けの講演会やサイエンスカフェなどのアウトリーチ活動を企画実行する。さらに研究成果を社会応用につなげるため、医学、教育、産業界との連携をめざした懇談会などを企画する。

4) アドバイザー委員会

年に2度の領域会議などの機会に計画研究、公募研究の進捗を評価し、それぞれの専門知識と経験をもとにアドバイスを行う。

4. 研究成果

1) 企画実行委員会

毎年2回、計10回の領域会議を開催し、計画研究および公募研究の進捗状況の共有と議論を行った。また同時に総括班会議を開催し、各委員会の活動状況の確認と活動計画の検討を行った。

“International Symposium on Prediction and Decision Making”を2013.10.13~14 京都大学、2015.10.31~11.1 東京大学の2回開催し、領域の研究者と世界の先進的な研究者らとのネットワークを広げるとともに、当領域が推進する「モデルベース意思決定」「脳内シミュレーション」に関する研究への世界的な関心を高めることに貢献した。

H24年度「伝達創生機構」(津田一郎代表)、H26年度「こころの時間学」(北澤茂代表)との合同シンポジウムを開催し、また領域会議を「包括脳ワークショップ」に合わせて開催することにより、他の新学術領域や研究プロジェクトとの交流を促進した。

2) 研究支援委員会

下記6回の公開チュートリアルを開催し、領域内外のメンバーに新たな手法の理解と導入を促進した：

2012年6月：モデルベースとモデルフリーの意思決定

2012年11月：脳画像研究の基礎から先端まで

2013年6月：脳内ネットワーク解明のための測定法と解析法

2013年11月：機械学習とモデルベース神経活動解析法

2014年6月：ヒトの意思決定過程の測定とモデル化

2015年4月：光学イメージングと操作の拓く可能性

また、領域の研究室間での共同研究と技術移転を奨励するため、研究者派遣の旅費のサポートを行った。

3) 広報連携委員会

領域 web サイト www.decisions.jp を立ち上げ、領域のねらいと概要、会議等の案内と報告、研究成果の広報を行った。

ニュースレターを計9号発行し、計画研究代表者のリレー対談、領域メンバーによる論

文の紹介、主催／共催した会議、シンポジウム、アウトリーチ活動の報告を掲載した。

アウトリーチ活動として、IBRO Training Course、Machine Learning Summer School (MLSS)、Initiative for a Synthesis in Studies of Awareness (ISSA) Summer School 認知科学会サマースクール、Autumn School for Computational Neuroscience (ASCONE)、玉川大学脳科学トレーニングコース、ABLE (Agents for Bridging Learning research and Educational practice)、玉川大学高校生体験理科教室、世界脳週間 SSH 講座などに共催、後援、講師派遣を行い、若手研究者の育成と、高校生や教師方にこの領域の研究の進歩と楽しさを伝えることに努めた。

4) アドバイザー委員会

領域会議に出席し、研究の進捗と推進の方策についてアドバイスをを行うとともに、中間評価、事後評価の報告書に対し評価コメントを行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① Balleine B, Dezfouli A, Ito M, Doya K (2015). Hierarchical control of goal-directed action in the cortical-basal ganglia network, *Science Direct*, 5, 1-7 (査読有). DOI:10.1016/j.cobeha.2015.06.001

② 船水章大, 銅谷賢治, 予測 大脳新皮質のベイジアンフィルタ仮説 (2015). *生体の科学*, 66, 33-37 (査読無). DOI:http://dx.doi.org/10.11477/mf.2425200100

③ 宮崎佳代子, 宮崎勝彦, 銅谷賢治, 報酬のための辛抱強さを調節するセロトニンの役割, (2015). *生体の科学*, 66, 38-43 (査読無). DOI:http://dx.doi.org/10.11477/mf.2425200101

④ Doya K, Shadlen M N. (2012). Decision making, *Current Opinion in Neurobiology*, 22, 911-913 (査読無). DOI:10.1016/j.conb.2012.10.003

[学会発表] (計 20 件)

① 銅谷賢治, 脳内シミュレーションの神経回路機構, 生理研シンポジウム「次ステージ機能生命科学の展望」, 2016. 3. 10, 岡崎コンファレンスセンター, 愛知県岡崎市

② Doya K, Neural mechanisms of mental simulation, PKU McGovern Institute for Brain Research series, 2016. 3. 22, Peking University, Beijing, China

③ Doya K, Neural implementation of mental simulation, The 5th International conference on Cognitive Neurodynamics, 2015. 6. 5, Sanya, China

④ Doya K, Learning algorithms and the brain architecture; Bayesian inference and mental simulation, ISSA Summer School, 2015. 8. 7, Center for Planetary Science, Kobe, Hyogo

⑤ 銅谷賢治, 行動学習の多層的な表現・アルゴリズムとその制御, 発達神経科学学会第 4 回大会, 2015. 9. 6, 大阪大学, 大阪府吹田市

⑥ Doya K, Neuronal mechanism of reward-based learning and decision, Brain Conference 2015; Joint Conference of KSBNS and KSND, 2015. 9. 11, Korea Brain Research Institute, Daegu, Korea

⑦ Doya K, Artificial intelligence and brain science, International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences 2015, 2015. 11. 29, OIST, Okinawa

⑧ 銅谷賢治, 機械学習と脳科学, 第 24 回 インテリジェント・システム・シンポジウム FAN2014, 2014. 9. 18-19, 北見工業大学, 北海道北見市

⑨ Doya K, Toward the neurophysiology of mental simulation, 17th World Congress of Psychophysiology (IOP2014), 2014. 9. 24, International Conference Center Hiroshima, Hiroshima

⑩ 銅谷賢治, 強化学習の脳機構: 大脳基底核とドーパミン・セロトニンの役割, 第 19 回 情動・社会行動と精神医学研究会, 2014. 12. 19, 京都大学芝蘭会館, 京都府京都市

⑪ 伊藤真, 経験によって変わる意思決定, 新学術領域研究「予測と意思決定」主催-SSHサイエンス先端講座 2, 2013. 2. 2, 奈良女子大学 附属中等教育学校, 奈良県奈良市

⑫ 銅谷賢治, 数理モデルと機械学習がひらく神経科学の可能性, Neuro2013:WFSBP-Neuro Joint Symposium 2, 2013. 6. 23, 国立京都国際会館, 京都府京都市

⑬ Doya K, Multiple strategies for decision making, SBDM 2012: Second symposium on Biology of Decision Making, 2012. 5. 10, Paris, France

⑭Doya K, Reinforcement learning and the basal ganglia, CogSci2012: Neural Computations Supporting Cognition: Rumelhart Prize Symposium in Honor of Peter Dayan, 2012. 8. 2, Sapporo, Hokkaido

⑮銅谷賢治, 知識の表像, 認知科学会サマースクール2012, 2012. 9. 4, 神奈川県箱根市

⑯Doya K, Model-free and model-based reinforcement learning, The 76th Annual Convention of the Japanese Psychological Association, 2012. 9. 13, Senshu University, Kawasaki, Kanagawa

⑰銅谷賢治, 意思決定, 学習, 合理性, 日本科学哲学会第45回(2012年)大会シンポジウム・ワークショップ, 2012. 11. 10, 宮崎大学, 宮崎県宮崎市

⑱銅谷賢治, 強化学習と意思決定の脳科学, ASCONE2012「脳科学への数理的アプローチ」, 2012. 11. 23, 長野県諏訪市

⑲Doya K, 1.Reinforcement learning and the basal ganglia, 2.Bayesian inference and model-based decision making, IBRO-UNESCO School on Computational and Theoretical Neuroscience, 2012.12.5 - 21, Hyderabad, India

⑳銅谷賢治, 強化学習理論と心の科学, 2012. 12. 16, 玉川大学グローバルCOEプログラム 公開シンポジウム, 2012. 12. 16, 玉川大学, 東京都町田市

〔図書〕(計2件)

①今井むつみ, 岩波新書, 学びとは何か, 2016, 230

②Doya K, Kimura M, Elsevier, The basal ganglia, reinforcement learning, and the encoding of value. In Glimcher PW, Fehr E (eds.) Neuroeconomics: Decision Making and the Brain, 321-333. Academic Press.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.decisions.jp>

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

坂上雅道 (SAKAGAMI, Masamichi)
玉川大学
脳科学研究所・教授
研究者番号: 10225782

(3) 研究分担者

岡本仁 (OKAMOTO, Hitoshi)
国立研究開発法人理化学研究所
発生遺伝子制御研究チーム・チームリーダー
研究者番号: 40183769

(4) 研究分担者

柴田智広 (SHIBATA, Tomohiro)
九州工業大学
生命体工学研究科・教授
研究者番号: 40359873

(5) 連携研究者

岡田光弘 (OKADA, Mitsuhiro)
慶應義塾大学
文学部・教授
研究者番号: 30224025

(6) 連携研究者

疋田貴俊 (HIKIDA, Takatoshi)
京都大学
医学研究科・特定准教授
研究者番号: 70421378

(7) 連携研究者

杉山将 (SUGIYAMA, Masashi)
東京大学
新領域創成科学研究科・教授
研究者番号: 90334515

(8) 連携研究者

木村實 (KIMURA, Minoru)
玉川大学
脳科学研究所・教授
研究者番号: 40118451

(9) 連携研究者

今井むつみ (IMAI, Mutsumi)
慶應義塾大学
環境情報学部・教授
研究者番号: 60255601

(10) 連携研究者

高橋英彦 (TAKAHASHI, Hidehiko)
京都大学
医学研究科・准教授
研究者番号: 60415429