

令和元年5月30日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2014～2018

課題番号：26120001

研究課題名(和文)脳内身体表現の変容機構の理解と制御に関する総括研究

研究課題名(英文)Comprehensive research management for understanding the plasticity mechanism of body representations in brain

研究代表者

太田 順(Ota, Jun)

東京大学・人工物工学研究センター・教授

研究者番号：50233127

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 54,800,000円

研究成果の概要(和文):513篇を超える学術論文(うち国際誌353篇)、371件を超える国際会議発表、726件を超える国内口頭発表を行っている。国際学術誌や国内学術誌において本領域で推進する異分野融合研究に関する論文特集号を発行している。2018年末には、領域の研究成果の一部を2冊の専門書としてとりまとめ、東京大学出版会より出版している。これらは、本領域が開拓した新しい学術領域に新たに参画する初学者向けの教科書として利用することを想定している。以上のように、研究は順調に進捗した。若手の会も組織され、異分野融合研究を主体的に行う次世代の若手研究者の育成も着実に進められている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人が身体運動を学習する過程における脳内の複数時定数の活動動態をfMRI計測データから機械学習により同定した研究(脳科学班)、歩行・上肢運動における筋シナジーの解析アルゴリズムの開発(システム工学班)と適応動態の解析(A02)、身体錯覚や没入型VRを用いたリハビリシステムの開発とその脳内身体表現への介入の解析(リハビリ医学班)等、学術的意義の高い成果を出した。本領域の研究成果は、のべ14,000人以上に対し広くアウトリーチされており、社会的意義の高さを物語っている。

研究成果の概要(英文):The program has over 513 journal papers (including 353 international journals), over 371 international conference presentations, and over 726 domestic oral presentations. We publish transdisciplinary research papers steadily and especially we published two textbooks from University of Tokyo Press (in Japanese) in the end of 2018. Young researchers association is also organized, and the training to the next generation researchers is carried out to undertake excellent studies on interdisciplinary research field.

研究分野：システム工学

キーワード：脳内身体表現 脳科学 システム工学 リハビリテーション医学

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

運動器の障害により、要介護リスクを背負うロコモティブシンドローム患者数は700万人、また脳卒中や脳変性疾患の総患者数も数百万人に及び、多くは運動麻痺等、身体機能の障害に苦しむ。これらを克服する有効なリハビリテーション（リハビリ）法の確立が急務である。この鍵を握るのは、加齢や疾患に伴う身体機能の変化への脳の適応メカニズムの解明を志す脳科学と考えられる。従来の脳科学でも、身体運動の制御機構や身体の構造・姿勢の認知機構を扱う研究は存在した。しかし、そこで扱われる身体は所与のものと想定されており、加齢や疾患等に起因する身体の構造・機能の変化は考慮されていなかった。そのため、身体の構造や機能を適切に変化させることを目指したリハビリテーション医学（リハビリ医学）に有効な脳科学的知見は多くない。この点に関する先駆的研究として、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現—移動知の構成論的理解（略称：移動知）」（H17～21年度）が挙げられる。そこでは、脳が適応的な運動や行動を発現するメカニズムにおいて、「身体」が果たす役割の重要性がいち早く注目され、本研究の代表者および研究分担者の多くを含む研究者による先導的な研究活動が行われてきた。この共同研究を背景に、我々は多数の要素を統合し数理モデルとして整合的に記述できるシステム工学を仲立ちとして、脳科学とリハビリ医学を融合し、運動制御や身体認知とこれらの長期的変容の脳機能を統合的に解明しながら、真に効果的なリハビリ法の確立を目指す学問が必須と考えるに至った。

本領域では、上記の目的を達するため、脳科学班（A班）、システム工学班（B班）、リハビリ医学班（C班）の3班構成で組織する。上記3分野の研究者の有機的結合により、身体認知・運動制御における脳内身体表現の働きの解明とその計算モデルに基づいた新しいリハビリテーションの方法論が確立され、新たな融合研究領域が創成される。図1に方法論の概要を示す。ここでは、脳内身体表現マーカーにより患者の脳内身体表現を把握し、脳内身体表現モデルを用いて脳内身体表現状態変数（患者の治療状態）の推定値を得ることで、その状態に適したリハビリ手法を選択するというものである。本領域では、脳内身体表現の解明に対し、主に身体認知の観点から取り組む01研究項目群、運動制御の観点から取り組む02研究項目群を上記A、B、C班に各々配し、相互連携により、多様な側面から脳内身体表現の解明を目指す。更に、研究内容のより一層の充実を図るため、MRIの大規模解析、モデルベーストリハビリテーションの実践的評価、生理データ・行動データを用いた脳神経筋骨格ヒューマンモデルのシステム同定等を遂行できる研究者を公募研究者として採用した。

2. 研究の目的

脳科学・システム工学・リハビリテーション医学の融合により、脳内身体表現の変容と身体運動との相互作用を解明する身体性システム科学という学術分野を創成する。

- 1) 脳内身体表現の神経機構解明とマーカー探索：身体の認知的側面（運動主体感や身体保持感）と運動的側面（筋シナジー制御）から介入神経科学的実験をヒトやサルで展開し、脳内身体表現の神経機構、変容過程を解明、脳情報復号化技術より脳内身体表現マーカーを探索する。
- 2) 脳内身体表現の計算論的機能モデルの構築：神経生理学的実験データ、リハビリテーション中の行動学的臨床データに基づき、脳内身体表現の活動(fast dynamics)と変容(slow dynamics)のダイナミクスを各々時定数の異なる力学系としてモデル化する。
- 3) 脳内身体表現によるリハビリテーション原理の解明：脳内身体表現マーカーを活用することでリハビリテーションの効果の定量化を行い、脳内身体表現モデルと統合することで予後予測を行うとともに、身体全体の感覚運動機能の適正化を目指す新しい介入法を実現する。

脳科学・神経生理学的知見と計算論的機能モデルを有機的に組み合わせ、リアルタイムな脳内身体表現とその長期変容を把握するマーカーを同定できる点が独創的であり、リハビリテーションに応用する波及効果が高く意義深い。

研究成果を社会に発信する方法としては、一般公開シンポジウムや国際シンポジウムを通して成果を社会に発信する。

3. 研究の方法

以下の方法論を採用する。

- 1) 領域内メンバー同士の相互理解を高めるための研究交流の促進：領域内部の情報交換を促進するため、総括班メンバーの研究進捗報告会を四半期ごとに実施するとともに、領域内部者向けの研究交流会（領域会議）を各年1回開催する。また、総括班内にwebコンテンツ管理システムサーバ（CMSサーバ）を設置し、研究交流に活用する。
- 2) 研究データを即時共有する情報環境の整備：総括班内に設置したCMSサーバに、すべての研究者が研究結果を統合的に格納する共有データベース機能を設け、各研究者に自身の研究成果を共有データベースに集約することを義務化する。これを領域内の他の研究者が即時に見られる情報環境を整備することにより、共同研究を支援する。
- 3) 国内外への情報発信：中間・最終年度には国際的に著名な当該分野の研究者を招聘して招待講演を依頼するとともに、本領域プロジェクトの中間/最終報告に向けた外部識者らによる評価を得るための国際シンポジウムを開催する。さらに国内で一般公開シンポジウムを開催し、広く一般に向けたアウトリーチ活動にも力を入れる。最終年度には、脳内身体表現の神経機構、脳内身体表現マーカー、計算論的機能モデル、モデルベーストリハビリテーション等に関する

知見を書籍の形で出版し、学術研究領域の創成に資する。

4. 研究成果

領域開始から現在までのところ、513 篇を超える学術論文（うち国際誌 353 篇）、371 件を超える国際会議発表、726 件を超える国内口頭発表を行っている。開始 2 年目以降には、着実に融合研究論文が出版され、また国際学術誌（雑誌 Advanced Robotics 等）や国内学術誌（計測自動制御学会誌「計測と制御」）において本領域で推進する異分野融合研究に関する論文特集号を発行した。また国際会議、国内会議において多くのオーガナイズドセッション、ワークショップを開催した。2018 年度は、領域の研究成果の一部を 2 冊の専門書としてとりまとめ、東京大学出版会より出版した（太田ら編：身体性システムとリハビリテーションの科学 1「運動制御」、近藤ら編：身体性システムとリハビリテーションの科学 2「身体認知」）。これらは、本領域が開拓した新しい学術領域に新たに参画する初学者向けの教科書として利用することを想定している。以上のように、研究は順調に進捗している。具体的な成果としては、ヒトが身体運動を学習する過程における脳内の複数時定数の活動動態を fMRI 計測データから機械学習により同定した研究（脳科学班）、歩行・上肢運動における筋シナジーの解析アルゴリズムの開発（システム工学班）と適応動態の解析（A02）、身体錯覚や没入型 VR を用いたリハビリシステムの開発とその脳内身体表現への介入の解析（リハビリ医学班）、が挙げられる。計画研究に加え、公募研究にも各研究分野の第一級の研究者が参画し、密に議論を重ねたことで、当初計画を超える研究提案がいくつもなされ進捗している。領域の重要な成果となる公募研究の多くは第Ⅱ期公募も継続して採択されたことから、多くの研究成果が得られた。また、本領域の研究成果は、のべ 14,000 人以上に対し広くアウトリーチされている。若手の会も組織され、異分野融合研究を主体的に行う次世代の若手研究者の育成も着実に進められている。

国際シンポジウム（EmboSS2015 と EmboSS2018）を 2 度開催し、海外から当該分野で著名な研究者を招聘した。領域からも複数名が登壇した。領域内外から多くのポスター発表があり、熱心に議論が行われた。それに併設して、評価会議を開催し、評価委員の方々から領域の方向性について評価をいただいた。

領域全体会議を計 6 回開催し、領域メンバーの講演、ポスター発表、関連分野の研究者による招待講演、議論を行った。

本領域では、領域立ち上げの初年度から、研究項目間を横断する研究を推進してきた。公募班を含めた連携が極めて円滑に進んだ。具体的には①運動主体感、②姿勢保持、③筋シナジー、④身体保持感、⑤上肢運動、⑥ジストニア、⑦脳イメージング、⑧歩行、⑨把持、⑩人工拇指、⑪ソフトタッチ、⑫はいはい、⑬身体図式、⑭神経可塑性、⑮ソフトアクチュエータ、等についてコラボレーションが進んだ。

「身体性システム科学」という新しい学術領域を創成し、学問として体系化するためには、異分野融合の理念に精通して実践的に研究を推進できる若手研究者の育成が不可欠であると考えた。このため本領域では、領域に所属する若手研究者の会「身体性システム若手の会（通称若手の会）」を組織化した。領域の若手研究者とその研究協力者から約 50 名が参加した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 23 件）

太田 順、概要説明：身体性システム科学、第 36 回日本ロボット学会学術講演会、2018 年

Jun Ota、The 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2017), Workshop: Embodied-Brain Systems Sciences - from body representation in human brain toward rehabilitation technology, 講演, Overview of embodied-brain systems science, Vancouver, Canada, 2017 年.

太田 順、茨城県立医療大学第 2 回先端ニューロリハビリテーションセミナー、招待講演、新学術領域・身体性システム概要説明、阿見、茨城、2017 年.

Jun Ota、華南理工大学、招待講演、Introduction and Overview of Embodied-Brain Systems Science, 広州、中国、2017 年.

太田 順、第 25 回高度先進リハビリテーション医学研究会、招待講演、脳内身体表現の変容機能の理解と制御—脳科学、システム工学、リハビリテーション医学の融合、東京、2017 年.

太田 順、第 224 回生命科学フォーラム、招待講演、「脳の中の身体」解明に基づくリハビリテーションのニューパラダイム—新学術領域「身体性システム科学」の創出とその革新的展開を目指して—、東京、2017 年

Jun Ota、38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and

Biology Society (EMBC 2016) Workshop: Embodied-Brain Systems Science, 講演, Concept of embodied-brain systems science, Orland, FL, U.S.A., 2016 年

Jun Ota, The 14th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-14), plenary speech, Overview of embodied-brain systems science, 上海, 中国, 2016 年

Jun Ota, Japan-Europe international meeting on Embodied-brain System Sciences, 講演, Embodied-brain systems science: introduction and overview, Taormina, Italy, 2016 年

Jun Ota, The University of Messina, 招待講演, Embodied-brain Systems Science: introduction and overview, Messina, Italy, 2016 年

Jun Ota, University of Padova, Workshop on Embodied-Brain System Science and Robotics Engineering for Rehabilitation, 招待講演, Embodied-brain Systems Science: introduction and overview, Padova, Italy, 2016 年

Jun Ota, Fondazione Santa Lucia, 招待講演, Embodied-brain Systems Science: introduction and overview, Rome, Italy, 2016 年

Jun Ota, 第 93 回日本生理学会大会公募シンポジウム「Central presentation of embodiments and its role in the functional organization and re-organization of cognitive-behavioral linkage. 中枢神経系における身体表現と認知-運動連関の機能構築・再構築」, 講演, Embodied-brain systems science and modelling, 札幌, 2016 年

太田 順、包括型脳科学研究推進支援ネットワーク冬のシンポジウム, 新学術領域「身体性システム・こころの時間学: 身体とこころの融合」, 講演, 身体性システム, 東京, 2015 年

Jun Ota, World Engineering Conference and Convention (WECC2015), 講演, Understanding brain plasticity on body representations to promote their adaptive functions - Embodied-brain Systems Science -, Kyoto, 2015 年

Jun Ota, The 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2015), Workshop: Embodied-Brain Systems Sciences, 講演, Introduction to embodied-brain systems science, Hamburg, Germany, 2015 年

太田 順、第 167 回藤田保健衛生大学リハビリテーション部門研修会, 招待講演, 身体性システム科学の紹介, 豊明, 愛知, 2015 年

Jun Ota, 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015) Workshop: Embodied-Brain Systems Science, 講演, Overview of the research program on embodied-brain systems sciences - understanding brain plasticity on body representations to promote their adaptive functions -, Milano, Italy, 2015 年

太田 順、高槻高等学校東京大学柏キャンパス施設見学, 講演, 身体性システム科学, 柏, 千葉, 2015 年

太田 順、NII OPEN HOUSE 2015 新学術領域研究発表「脳内身体表現の変容機構の理解と制御」, 講演, 概要-身体性システム科学-, 東京, 2015 年

太田 順、KACITEC 総会, 講演, 「身体性システム科学」構築に向けて, 柏, 千葉, 2015 年

Jun Ota, The 7th International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA), plenary talk, Embodied-brain Systems Science - understanding brain plasticity on body representations, 広州, 中国, 2014 年

太田 順、第 20 回創発システムシンポジウム, 基調講演, 創発, 移動知, そして身体性システムへ, 長野, 2014 年

〔図書〕(計 2 件)

太田 順、内藤 栄一、芳賀 信彦(編著)、身体性システムとリハビリテーションの科学 1 運動制御、東京大学出版会、2018 年

近藤 敏之、今水 寛、森岡 周 (編著)、身体性システムとリハビリテーションの科学2 身体認知、東京大学出版会、2018年

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

領域ホームページ <http://embodied-brain.org/>

領域ホームページ英語版 <http://embodied-brain.org/en/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：内藤 栄一

ローマ字氏名：Naito, Eiichi

所属研究機関名：国立研究開発法人情報通信研究機構

部局名：脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室

職名：研究マネージャー

研究者番号 (8桁)：10283293

研究分担者氏名：出江 紳一

ローマ字氏名：Izumi, Shin-ichi

所属研究機関名：東北大学

部局名：医工学研究科

職名：教授

研究者番号 (8桁)：80176239

研究分担者氏名：近藤 敏之

ローマ字氏名：Kondo, Toshiyuki

所属研究機関名：東京農工大学

部局名：工学研究院

職名：教授

研究者番号 (8桁)：60323820

研究分担者氏名：村田 哲

ローマ字氏名：Murata, Akira

所属研究機関名：近畿大学

部局名：医学部

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：60246890

研究分担者氏名：花川 隆

ローマ字氏名：Hanakawa, Takashi

所属研究機関名：国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター

部局名：脳病態統合イメージングセンター

職名：部長

研究者番号 (8桁)：30359830

(2)研究協力者

研究協力者氏名：今水 寛

ローマ字氏名：Imamizu Hiroshi

研究協力者氏名：関 和彦

ローマ字氏名：Sekii, Kazuhiko

研究協力者氏名：高草木 薫

ローマ字氏名：Takakusaki, Kaoru

研究協力者氏名：浅間 一

ローマ字氏名：Asama, Hajime

研究協力者氏名：芳賀 信彦

ローマ字氏名：Haga, Nobuhiko

研究協力者氏名：稲邑 哲也

ローマ字氏名：Inamura, Tetsunari

研究協力者氏名：山下 淳

ローマ字氏名：Yamashita, Atsushi

研究協力者氏名：篠田 義一

ローマ字氏名：Shinoda, Yoshikazu

研究協力者氏名：才藤 栄一

ローマ字氏名：Saitoh, Eiichi

研究協力者氏名：伊藤 宏司

ローマ字氏名：Ito, Koji

研究協力者氏名：Paolo Dario

ローマ字氏名：Paolo Dario

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。