

令和 7 年 6 月 14 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：2019～2023

課題番号：19H05722

研究課題名（和文）身体-脳の機能不全を克服する潜在的適応力のシステム論的理解の総括研究

研究課題名（英文）Administrative research on hyper-adaptability for overcoming body-brain dysfunction

研究代表者

太田 順（Ota, Jun）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：50233127

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 69,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本総括班は、研究全体のマネジメントを行いながら、研究設備共有、若手育成、国際交流、評価を担当した。深層学習を用いた動画像解析、グレイボックスモデルによる因果推論、脳刺激と行動解析の同時計測など、多様な手法が展開され、神経動態の解明ツールの共有化が進められた。また、国内外の学会でのオーガナイズドセッション、国際シンポジウムHypAd2021、2023の開催、英語・日本語の学術特集号の編集などを通じて、国際的な学術発信を積極的に行った。若手研究者の育成にも注力し、勉強会・研究会・国際会議発表を通じて研究基盤の継承と発展を推進した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、「超適応」という新たな適応概念の神経メカニズムを理論的かつ実証的に明らかにした。特に、光遺伝学・ロボット介入・脳刺激を用いた因果検証可能な実験環境の整備や、共通解析基盤の領域内共有など、研究インフラの実装と活用が横断的な連携を促進した点が学術的に重要である。さらに、若手主導の研究活動や国際シンポジウム、学会発表、特集号の企画を通じて、次世代研究者育成とグローバルネットワークの形成にも寄与した。これらの成果は、個別最適化されたりハビリ支援技術や身体・神経機能の補助機器の社会実装を見据えた、持続可能な研究・開発基盤の確立につながっている。

研究成果の概要（英文）：This research project aimed to elucidate the neural principles of “hyper-adaptability.” By integrating neuroscience and systems engineering, we developed a multidisciplinary framework to investigate this phenomenon. Shared infrastructures for behavioral and neural data analysis were established, enabling efficient cross-laboratory collaborations. We organized international symposia, including HypAd2021, 2023, and published special issues in peer-reviewed journals such as Advanced Robotics and Measurement and Control, contributing to the dissemination and theoretical development of the hyper-adaptability concept. Young researchers played key roles in planning and presenting results at domestic and international venues. Through these collective efforts, we achieved a deeper structural and functional understanding of hyper-adaptability and laid the groundwork for its translation into applications in rehabilitation, assistive robotics, and neuroadaptive systems.

研究分野：システム工学，脳科学，数理モデリング

キーワード：脳科学 システム工学 適応

## 1. 研究開始当初の背景

本研究領域は、超高齢社会において深刻化する脳・身体機能障害に対して、従来の適応概念を超える「超適応（Hyper-Adaptability）」の原理解明を目指して立ち上げられた。脳卒中や脊髄損傷、高次脳機能障害、そしてフレイルティといった多様な機能障害は、個体の身体-脳システムに大きな再構成を強いる。こうした変化に対して、生体は神経回路の再構成と運動戦略の再編成によって柔軟に対処するが、その実態と機序は未解明であった。特に、進化や発達の過程で機能的に失われた神経ネットワークが、障害下で再度動員されるという事例（例：Isa, 2019）に注目し、従来の運動学的適応とは異なる、より高次の代償適応現象が存在すると仮定した。こうした背景から、神経科学とシステム科学を融合し、超適応という新たな適応枠組みを体系化する必要があると考えた。このため、複数の障害モデル・疾患モデルに対する介入実験と、数理モデリングによる因果推論を組み合わせることで、普遍的な計算原理としての超適応の本質に迫ることを目的とした。その中で総括班は研究全体のマネジメントを行いながら、研究設備共有、若手育成、国際交流、評価を担当した。

## 2. 研究の目的

脳機能への障害に対する「生体構造の再構成」と「行動遂行則の再編成」を伴う神経系の超適応原理を脳神経科学とシステム工学の密な連携によってアプローチし、急性/慢性疾患やフレイルティの原理を包括的に理解することが本研究領域の目的である。総括班はこの領域全体の活動を円滑に推進するために、以下の3点を目的とした活動を行う。

- (1) 研究者同士の相互コミュニケーションの充実により共同研究、施設共同利用を活性化させる
- (2) 国際学術誌・国際会議への積極的な配信により、研究分野のプレゼンスの向上と国際共同研究を推進する
- (3) 若手研究者に対する研究支援、海外派遣、若手グループの組織化により、若手研究者の育成を目指す

## 3. 研究の方法

本領域は、脳機能への大きな障害に対する神経制御系の超適応原理を、脳神経科学とシステム工学の密な連携によってアプローチし、急性/慢性疾患やフレイルティの原理を包括的に理解する学問分野の創出を目指すものである。これを実現するためには以下の3点の充実が学際融合領域における研究促進に不可欠である。すなわち、(1) 領域内の研究者同士の相互交流の促進、(2) 個々の研究で得られた知見を他の研究項目の研究者らと即時共有する情報環境の整備、および(3) 国内外研究組織への情報発信である。そこで総括班における研究支援活動を上記の3つの方向とする。(1)については定期的に総括班会議を開催し、領域の方向性の現状確認と見直しを行なう。(2)については、いくつかの装置について、領域間、分野間の共同利用を促進する。(3)については、中間・最終年度に国際的に著名な当該分野の研究者を招聘して国際シンポジウムを開催する。さらに国内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。学会のオーガナイズドセッション、特集号等を企画する。

#### 4. 研究成果

(1) 領域内連携と共同利用の促進：総括班では、領域全体の共同研究を促進するために、先端的な共有解析インフラの整備を進めた。具体的には、Deep Learning Box II 2台を導入し、動画像解析システムを構築した。このシステムは、機械学習を用いて行動映像から対象動作の時系列情報を抽出可能とし、A02-B02、A05-13-B02 など複数の研究項目間で活発に活用された。たとえば、サル筋再配置モデルにおける代償運動の出現過程や、シナプスコネクター投与後のラットの回復評価に貢献している。加えて、遠隔接続ソフトウェアを通じて、領域内研究者が全国各地から同システムにアクセス可能な体制を構築し、効率的なリソース活用と研究の迅速化を実現した。

さらに、A01 で取得された脊髄損傷モデルサルの神経活動データ（皮質脳波、筋電、行動）が B05-4 などにおけるモデル構築・検証に用いられ、E/I バランス推定やデータ同化技術の展開に繋がった。サル・ネコからの中枢神経活動の多チャンネル記録についても、A 班間でアンプや信号処理ユニットを共有し、装置の統一によってコスト削減とデータの互換性向上を両立した。また、B03 で開発された動物用ロボットマニピュランダムを A03 のげっ歯類実験と連携させ、力学干渉環境と深部脳刺激の併用による学習促進を実現し、神経介入の新たな可能性を提示した。加えて、解析システムの活用範囲は A02-B03 連携にも広がり、ヒト-ロボットインタラクション課題における動作同期性の評価にも利用された。また、領域内で取得された標準化データセットを用いた比較解析も開始され、横断的な知見統合の基盤形成に寄与している。

(2) 学術交流・国際発信の推進：本領域では、国内外の学術的プレゼンスを高めるべく、多数の会議・出版活動を実施した。2023 年 10 月には京都大学にて HypAd2023 国際シンポジウムを対面開催し、イタリア、米国、スイス、スペインから著名研究者を招へいした。14 名の領域内代表者による口頭発表と、60 件のポスターによる議論が行われ、超適応概念の理論深化と今後の連携体制強化に資する成果を得た。また、領域内総括班会議および外部評価委員会を併設し、研究評価と将来展望の議論も実施された。さらに IEEE-EMBC2023 (シドニー)、MHS2023 (名古屋)、日本神経科学会 (仙台)、自律分散シンポジウム (東京農工大) などでもオーガナイズドセッションを開催し、国内外の研究者との連携を深めた。出版活動としては、Advanced Robotics と計測と制御にて超適応特集号を編集・刊行し、学術的成果を体系的に発信した。これにより、当該研究分野における国際的リーダーシップの確立に寄与した。

(3) 若手研究者の育成：若手研究者の育成とネットワーク形成も重点的に推進された。若手の会を中心として、2020 年以降、研究交流会 (広島、京都)、勉強会 (「計算論的神経科学」「身体運動制御と適応」)、およびシンポジウム (HypAd2021、EMBC2020) を継続的に開催した。特に、EMBC2023 では若手主導のスペシャルセッションが企画され、研究成果発信と海外研究者との議論を促進した。また、2023 年 11 月にはムーンショット目標 3 と合同で東京大学にてワークショップを開催し、2024 年 2 月の自律分散シンポジウムでは若手発表の場を設け、発表力と企画力の向上を図った。

知識基盤整備として、文献・資料・動画の共有を行い、勉強会の成果は領域内の共通知識資源として蓄積された。また、領域内データ共有体制を整備し、若手が独自にデータ解析やモデル構築に取り組める環境を構築した。さらに、Advanced Robotics、Journal of Robotics

and Mechatronics 等の国際誌での特集号の編集を通じて、若手が編集活動や論文査読に携わる機会を創出した。

さらに、若手が主導するワーキンググループが立ち上げられ、疾患モデルの横断的比較や、感覚・運動連関のモデリングに関する議論が活性化された。このような活動を通じ、若手が企画・運営・研究発信を一貫して経験する体制が整備されたことは、今後の次世代研究者育成においても意義深い成果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 太田 順	4. 巻 61
2. 論文標題 「超適応の科学」が目指すもの	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 264 ~ 269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11499/sicejl.61.264	査読の有無 無
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 Kondo Toshiyuki, Ota Jun, Chiba Ryosuke, An Qi, Kutsuzawa Kyo	4. 巻 34
2. 論文標題 Special Issue on Systems Science of Hyper-Adaptability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 699 ~ 699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0699	査読の有無 無
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 Kaminishi Kohei, Chiba Ryosuke, Takakusaki Kaoru, Ota Jun	4. 巻 76
2. 論文標題 Investigation of the effect of tonus on the change in postural control strategy using musculoskeletal simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 298 ~ 304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2019.12.015	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6件（うち招待講演 4件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 太田 順
2. 発表標題 身体性システム科学とリハビリテーション - 超適応の科学解明に向けて -
3. 学会等名 BiNI Perspective Conference 2021 ~ 創造的進化のための洞察を求めて ~ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jun Ota
2. 発表標題 Science of hyper-adaptability: An Overview
3. 学会等名 Scientific Lectures in South China University of Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jun Ota
2. 発表標題 Hyper-adaptability for overcoming body-brain dysfunction and development of a new rehabilitation device
3. 学会等名 Workshop program KSU (King Saud University) & U Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田 順
2. 発表標題 超適応の科学
3. 学会等名 第50回 日本臨床神経生理学会学術大会 関連学会合同シンポジウム 超適応の臨床生理学
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田 順
2. 発表標題 身体性システム科学と超適応の科学
3. 学会等名 第30回 日本神経回路学会全国大会 (JNNS2020) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田 順
2. 発表標題 超適応への道のり
3. 学会等名 計測自動制御学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>超適応ホームページ  <a href="https://www.hyper-adapt.org/">https://www.hyper-adapt.org/</a>  超適応ホームページ  <a href="https://www.hyper-adapt.org/">https://www.hyper-adapt.org/</a>  超適応ホームページ  <a href="https://www.hyper-adapt.org/">https://www.hyper-adapt.org/</a>  超適応ホームページ（日本語）  <a href="https://www.hyper-adapt.org/">https://www.hyper-adapt.org/</a>  超適応ホームページ（英語）  <a href="https://www.hyper-adapt.org/en/">https://www.hyper-adapt.org/en/</a></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	伊佐 正  (Isa Tadashi)  (20212805)	京都大学・医学研究科・教授   (14301)	
研究分担者	近藤 敏之  (Kondo Toshiyuki)  (60323820)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授   (12605)	
研究分担者	船戸 徹郎  (Funato Tetsuro)  (40512869)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・准教授   (12612)	

## 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	花川 隆 (Hanakawa Takashi) (30359830)	京都大学・医学研究科・教授  (14301)	
研究分担者	相澤 秀紀 (Aizawa Hideki) (80391837)	広島大学・医系科学研究科(医)・教授  (15401)	
研究分担者	小池 康晴 (Koike Yasuharu) (10302978)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授  (12608)	
研究分担者	今水 寛 (Imamizu Hiroshi) (30395123)	東京大学・大学院人文社会系研究科(文学部)・教授  (12601)	
研究分担者	安 ち (An Qi) (70747873)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授  (12601)	
研究分担者	井澤 淳 (Izawa Jun) (20582349)	筑波大学・システム情報系・准教授  (12102)	
研究分担者	関 和彦 (Seki Kazuhiko) (00226630)	国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター・神経研究所 モデル動物開発研究部・部長  (82611)	追加：2022年7月28日
研究分担者	筒井 健一郎 (Tsutsui Ken-ichiro) (90396466)	東北大学・生命科学研究所・教授  (11301)	追加：2022年7月28日

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2件

国際研究集会 The 1st International Symposium on Hyper- Adaptation (HypAd2021)	開催年 2021年～2021年
国際研究集会 MHS 2021(32nd International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science)	開催年 2021年～2021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
---------	---------