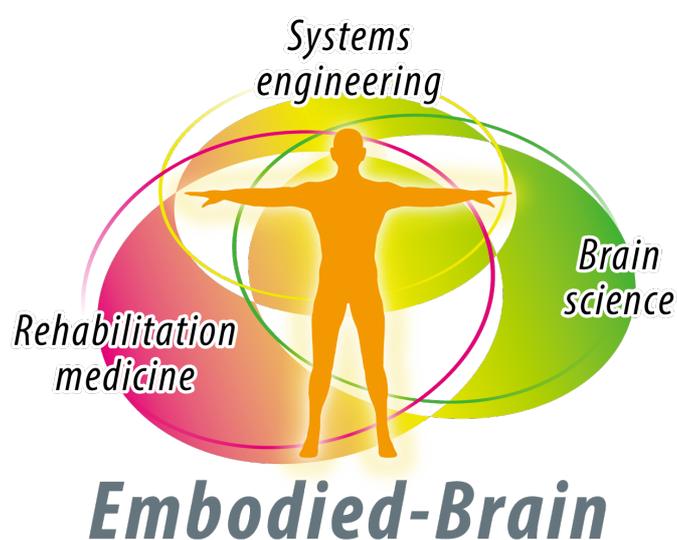


平成 26 年～30 年度 文部科学省 科学研究費補助金
新学術領域研究（研究領域提案型）

「脳内身体表現の変容機構の理解と制御」

H26 年度 研究成果報告



領域略称名：身体性システム

領域番号：4603

設定期間：平成 26 年度～平成 30 年度

領域代表者：太田 順（東京大学）

<http://embodied-brain.org>

目 次

領域概要・総括班の活動報告

領域代表 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

A 班（脳科学）活動報告

班代表 内藤栄一（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究マネージャー）

A01 研究項目の研究成果報告

研究代表者 今水 寛（国際電気通信基礎技術研究所 認知機構研究所 所長）

A02-01 研究項目の研究成果報告

研究代表者 関 和彦（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 部長）

A02-02 研究項目の研究成果報告

研究代表者 高草木 薫（旭川医科大学 医学部 教授）

B 班（システム工学）活動報告

班代表 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

B01 研究項目の研究成果報告

研究代表者 浅間 一（東京大学 大学院工学系研究科 教授）

B02 研究項目の研究成果報告

研究代表者 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

G 班（リハビリテーション医学）活動報告

班代表 出江 紳一（東北大学 大学院医工学研究科 教授）

G01 研究項目の研究成果報告

研究代表者 出江 紳一（東北大学 大学院医工学研究科 教授）

G02 研究項目の研究成果報告

研究代表者 芳賀 信彦（東京大学 大学院医学系研究科 教授）

H26 年度活動報告

H26 年度研究業績リスト

メンバーリスト

うす緑の色紙はさむ

うす緑の色紙はさむ

領域概要・総括班の活動報告

太田 順

東京大学 人工物工学研究センター

I. 本領域の目的

超高齢社会を迎えた我が国では、加齢に伴う運動器の障害や脳卒中・脳変性疾患による運動麻痺等が急増しており、これらの運動機能障害を克服する有効なリハビリテーション法の確立が急務である。その鍵を握るのは、身体機能の変化に対する脳の適応メカニズムの解明である。例えば、加齢による転倒の増加は、運動機能の低下に脳の適応が伴っていないことを示唆する。また逆に、運動器には障害が無い病態でも身体認知に異常が生じ得る。これらの事実は、我々の脳内には身体のモデル（脳内身体表現：脳内身体表現：身体内部表現。運動遂行に関連して様々な感覚入力によって時々刻々と更新される姿勢・身体構造等を表すもの）が構築・保持されており、これに異常が生じると感覚系や運動系に深刻な障害が起きることを意味する。

本領域では、脳内身体表現の神経機構とその長期的変容メカニズムを明らかにし、リハビリテーション介入へと応用することを目的とする。このため、システムの振る舞いを数理モデルとして統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テーション医学を融合することを試みる（図1）。これにより、運動制御と身体認知を統合的に理解し、真に効果的なリハビリテーション法を確立する「身体性システム科学」なる新たな学問領域の創出を目指す。

II. 本領域の内容

本領域では上記目的の達成に向け6つの研究項目（A01, A02, B01, B02, C01, C02）を設ける。研究項目 A01・A02 は、それぞれ身体認知（運動主体感や身体保持感）と運動制御（筋シナジー制御、先行性姿勢制御）の観点から介入神経科学的手法を用いた実験をヒトおよびサルで展開し、脳内身体表現の神経機構ならびにその変容過程の解明を試みる。脳情報復号化やウィルスベクター技術を用いることにより脳内身体表現の変容を反映する脳内身体表現マーカーを探索する。研究項目 B01・B02 は、神経生理学的実験データ、リハビリテーション中の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。研究項目 C01・C02 は、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効果の定量化に取り組む。また、脳内身体表現モデルと統合することでモデルベーストリハビリテーションを実践し、介入の予後予測を行う。さらに、身体全体の感覚運動機能の適正化のための新しい介入法の開発を目指す。

III. 期待される成果と意義

脳科学とリハビリテーション医学の知見を、システム工学を仲立ちとして有機的に組み合わせることで期待される成果として以下3点が挙げられる。

1) 身体認知や運動制御を担う脳内身体表現の時々刻々の状態とその長期的変容を直接・間接的に反映する脳内身体表現マーカーを同定することによって、リハビリテーション介入の効果の定量評価が可能となる。

2) 脳内身体表現の変容機構（slow dynamics）を明らかにし、そこへの介入を可能とする技術を開発することによって、従前の経験ベース・試行錯誤的方法から、予後予測が可能なモデルベーストリハビリテーションへと革新的に展開する。

3) 身体認知と運動制御という生存に不可欠な脳の重要機能の仕組みを記述し、これらに共通する脳の計算原理に迫る。

IV. 班構成

本領域の運営を円滑に進めるため、下記の通り総括班を組織する。

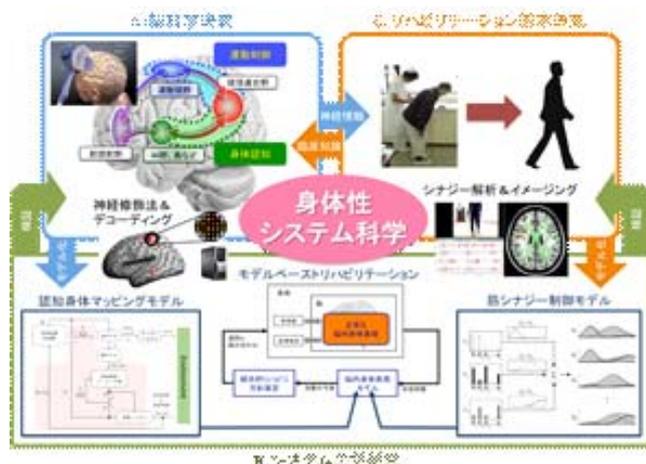


図1 本領域の全体像

X00 項目 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

研究代表者：太田 順（東京大）、研究分担者：内藤栄一（NICT）、出江紳一（東北大）、近藤敏之（東京農工大）、連携研究者：今水 寛（ATR）、関 和彦（NCNP）、高草木 薫（旭川医大）、浅間 一（東京大）、芳賀信彦（東京大）、村田 哲（近畿大）、稲邑哲也（NII）、花川 隆（NCNP）、研究協力者：岩村吉晃（上野学園大）、評価者：篠田義一（東京医科歯科大）、才藤栄一（藤田保健衛生大）、伊藤宏司（立命館大）、Paolo Dario（Scuola Superiore Sant'Anna）。

V. 活動

当領域では、これまでに以下の活動を行った。

キックオフミーティング（共同プロジェクト研究会）

日時：2014年7月31日(月)13:00～8月1日12:00

場所：東北大学電気通信研究所 大会議室

参加人数：30名

内容：東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究と共催で研究会を開催した。領域代表、班代表、計画研究代表者による講演の後、領域の運営方法について意見交換を行った。

キックオフシンポジウム・公募説明会

日時：2014年9月29日(月)13:30-17:40

場所：東京大学本郷キャンパス 伊藤謝恩ホール

参加人数：190名

内容：一般参加者を対象とした公開シンポジウムとして、領域代表による領域概要説明、班代表による各班の研究概要説明、領域内研究者による講演2件（大木、稲邑）、公募説明・質疑応答を行った。

第1回領域全体会議

日時：2015年3月9日(月)13:30～11日(水)12:00

場所：花巻温泉ホテル千秋閣 大会議室

参加人数：70名

内容：領域代表、班代表、各研究項目の研究代表者によるH26年度の研究成果報告、総括班評価者・招待講演者による特別講演3件（篠田、伊藤、土屋）、領域メンバーによるポスター発表を行った。

第1回総括班会議

日時：2014年9月29日(月)11:30-13:00

場所：東京大学本郷キャンパス伊藤謝恩ホール

出席人数：18名

内容：領域の運営方法、5年間の活動計画等について議論した。

第2回総括班会議

日時：2015年3月11日

場所：花巻温泉ホテル千秋閣 会議室

出席人数：18名

内容：初年度を総括するとともに、領域の活動計画について議論した。

学会活動：オーガナイズドセッション

(1) システム・情報部門学術講演会(SSI2014)

日時：2014年11月21日(金)

場所：岡山大学津島キャンパス

内容：「脳内身体表現に基づく適応的運動機能のシステム論的理解」と題するOSを行った。発表10件。

(2) 第27回自律分散システム・シンポジウム

日時：平成27年1月23日

場所：東京理科大学神楽坂キャンパス

内容：「身体性システム科学」と題するOSを行った。発表8件。

(3) 第20回ロボティクスシンポジウム

日時：2015年3月15日(日)～16日(月)

場所：軽井沢プリンスホテルウエスト

内容：「身体性システム」と題するOSを行った。発表4件。

領域ホームページの構築・公開

領域の日本語版ホームページ (<http://embodied-brain.org>) を構築し、2014年8月19日より公開した。英語版ホームページ (<http://embodied-brain.org/eng/>) も2014年10月31日より公開した。

VI. 今後の予定

H27年度は公募班研究者が合流することで領域の研究実施体制が完成する。早期に領域全体会議を開催し、計画班と公募班の連携強化・情報共有と領域の達成目標を確認する機会を設ける。また、国際ワークショップを企画し、本領域の成果を国内のみならず世界的に広報することに務める。

具体的な予定は以下のとおりである。

- (1) 2015年5月、ロボティクス・メカトロニクス講演会2015(京都)にてオーガナイズドセッションを企画する。
- (2) 2015年7月4日、第2回領域全体会議(杏林大学、三鷹)を開催する。
- (3) 2015年8月31日～9月2日、第21回創発システム・シンポジウム(諏訪東京理科大学)に協賛する。基調講演、ワークショップ講師を推薦する。
- (4) 2015年10月、国際会議(IROS2015)において国際ワークショップを企画する。
- (5) 2015年10月～11月、第1回一般公開シンポジウム(東京)を開催。領域の研究成果を広くアウトリーチする。
- (6) 2016年3月、第3回領域全体会議(花巻温泉ホテル千秋閣)を開催する。

うす緑の色紙はさむ

うす緑の色紙はさむ

A 班（脳科学）の活動報告

内藤 栄一

情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター

I. 脳班の目的

A 班(脳科学班)では、脳内身体表現の神経実態の解明と脳内身体表現マーカーの提案を行うことを目的とする。脳内身体表現と身体認知および運動制御との因果性を明らかにするため、身体意識（運動主体感と身体保持感）、協調的筋活動（シナジー）制御、予期的姿勢・歩行制御の問題を対象にした介入神経科学的実験を展開する。ヒトおよびサルなどの動物を対象とし、仮想現実課題による身体認知の操作、感覚系への物理的介入による筋骨格状態の操作、訓練によるサルの歩行様式の操作（2足歩行化）などに対する脳内身体表現の変容過程について電気生理学的手法や脳機能画像法などの手法を用いて明らかにする。さらに、脳情報復号化（デコーディング）技術を導入して行動変化を予測可能な脳活動を同定し、これを脳内身体表現マーカーの候補として、B 班でのモデル構築やC 班のリハビリ原理の解明に役立てることを目的とする。

II. 班構成

上記の目的を達成するため、以下の班構成をとった。

研究項目 A01 脳内身体表現の変容を促す神経機構

研究代表者 今水寛(ATR)

研究分担者 村田哲(近大)、大木紫(杏林大)、前田貴記(慶応大)

連携研究者 4名

ヒトおよびサルなどの動物を対象とし、仮想現実課題による身体認知の操作を通して、身体意識（運動主体感と身体保持感）に関する脳内身体表現の神経実態を解明することを目的とする。

研究項目 A02-01 身体変化への脳適応機構の解明

研究代表者 関和彦(NCNP)

研究分担者 内藤栄一(NICT)、寛慎治(東京都神経研)

連携研究者 13名

ヒトおよびサルなどの動物を対象とし、感覚系への物理的介入による筋骨格状態の操作を通して、協調的筋活動（シナジー）制御に関する脳内身体表現の神経実態を解明することを目的とする。

研究項目 A02-02 姿勢-歩行戦略の変更に伴う脳適応機構の解明

研究代表者 高草木薫(旭川医大)

研究分担者 中崎克己(近大)

連携研究者 1名

サルなどの動物を対象とし、訓練による歩行様式の操作（2足歩行化）などに対する脳内身体表現の変容過程について電気生理学的手法を用いて、脳内身体表現の神経実態を解明することを目的とする。

III. 活動報告

(1)キックオフ会議

日時：平成 26 年 7 月 31 日 13:00-19:00、8 月 1 日 9:00-12:00

場所：東北大学電気通信研究所

内容：研究代表者である今水、関、高草木が、各研究項目での研究の現状と今後の研究計画について説明した。A01 では仮想現実課題を通じた身体認知の操作をキーワードにこの変容に関与する脳内身体表現マーカーを同定し、C01 でのリハビリテーション介入の効果の定量化に貢献すること、A02 では筋シナジーを再構築する新しいリハビリテーション介入を確立するため基礎データの提供をすることを申し合わせた。

(2)A02 班会議

日時：平成 26 年 9 月 30 日 9:00-17:00

場所：国立精神・神経医療研究センター

内容：A02 研究項目に関与している研究者全員と B02 および C02 の研究者の一部が、研究の現状と今後の研究計画について発表した。この会議では、A, B, C を跨いだ 02 研究項目において、筋シナジーを解析する場合に B02 班より提供される共通解析プログラムを使用することを決め、この使用法を共有するとともに、班間連携の促進を図った。

(3)A01 班会議（01 項目群研究会）

日時：平成 26 年 11 月 2 日 14:00-17:00

場所：東京大学工学部

内容：A01 研究項目の研究代表者、分担者、連携研究者が集まり、B01・C01 研究項目の研究者らと、身体意識の数理モデル、統合失調症患者における運動主体感の変容に関する具体的なデータについて発表を行い、今後のアプローチについて議論を行った。この議論を受けて、B01 項目矢野と A01 項目前田・今水らの間で、患者における運動主体感の変容を、ベイズ推定の枠組みで数理モデル化するプロジェクトを開始した。

(4)A 班全体会議

日時：平成 27 年 1 月 16 日 14:00-19:00

場所：東京大学医学部病院

内容：A(脳科学)班のメンバーおよび B および C 班の研究者 30 名が一堂に会し、会合を行った。A01 項目からは、まず今水が発表を行った。VR を用いた仮想現実課題において、健常被験者では、自己の運動とアバターの運動とのずれを学習できることを示し、この時の運動主体感や身体保持感の度合いを、fMRI を用いた、脳情報復号化（デコーディング）技術で推定する試みを説明した。さらに、村田は、運動主体感や身体保持感の生成に深く関与すると推定されるサルの下頭頂葉からの細胞活動記録を行い、この活動が自己の運動だけでなく、自分の行った運動の視覚的フィードバックの処理にも関与することを突き止め、下頭頂葉の神経基盤が運動主体感や身体保持感の生成において重要であることを示した。A02 項目からは、連携研究者の平島(NICT)と廣瀬(NICT)が発表を行った。平島は、工学と脳科学で筋シナジーの定義が異なっている点を指摘し、今後両者の融合をスムーズに図るための定義づけを明確にした。廣瀬は、現在 7 テスラ MRI で研究を行っている、筋シナジーに関するヒトの脳内神経機序の解明に関する進捗状況を説明した。

おわりに

本年度の具体的研究成果は、各研究項目の報告で詳細に報告している。次年度は、A01 項目に関しては、リハビリテーションへの活用を視野に入れて、運動主体感や身体保持感の度合いを、fMRI などを用いた脳情報復号化（デコーディング）技術で推定する研究に着手する。A02-01 項目に関しては、サルにおいて、感覚系への物理的介入により筋骨格状態を操作し、協調的筋活動（筋シナジー）制御に関する運動野などでの脳内身体表現の同定を目指す。ヒトでは、fMRI を用いた筋シナジーの脳内身体表現の神経実態に迫る。A02-02 項目では、サルやネコを対象にした歩行様式の操作（2 足歩行化）に対応した予期的姿勢・歩行制御の脳内身体表現の変容を明らかにしていく。すべての研究結果を、速やかに B, C 班と共有する。また、A01 項目は、C01 と共同で、患者における身体認知の変容に関与する脳内身体表現マーカーの同定に着手する。A02 項目は、筋シナジー制御に関与する脳内神経機構を解明し、C02 と共同で筋シナジーを再構築する新しいリハビリテーションを提案する。

A01 研究項目の研究成果報告

今水 寛

国際電気通信基礎技術研究所・認知機構研究所

Abstract—本研究項目では、脳内身体表現の知覚的側面として身体意識を主に扱い、その神経基盤を明らかにするとともに、身体意識が脳内身体表現を変容させる過程を調べ、身体意識を介入・操作する手法を開発する。今年度は、身体意識の客観指標を構築するための実験方法、脳活動解析法を開発するとともに、サルを対象とした電気生理実験で脳内身体表現の一部を特定することに成功した。

I. はじめに

脳が健全に体を動かすためには、自己の身体に関する情報が脳内で適切に表現されている必要がある（脳内身体表現）。加齢や怪我により身体に変化が生じたときには、脳内身体表現もそれに応じて変容する必要がある。しかし、変容は必ずしも適切に行われるとは限らず、身体機能は回復しても、思うように手足を動かさない状態が続く場合もある。また、幻肢痛のように、脳内身体表現と現実の身体の乖離に悩まされる場合もある。脳内身体表現の変容過程は未解明の部分が大きく、このような脳と身体の乖離を修復するための有効な手段は未だに存在していない。本研究項目では、脳内身体表現の知覚的側面を主に研究し、その成果をもとに、乖離した脳と身体との関係を適切に誘導・修復する手法の開発を目指す。

II. 目的

本研究項目では、脳内身体表現の知覚的側面として、身体意識の神経基盤を明らかにすることを目的とする。ここで、身体意識とは「自身が運動している」という運動主体感と、「これが自身の身体である」という身体保持感を意味する。さらに、身体意識が脳内身体表現を長期的に変容させる過程を明らかにし、脳内身体表現を適切に誘導する手法の開発を行う。これらの目的に対して、健常者や統合失調症患者を対象とした行動実験と脳活動計測、脳情報の復号化（デコーディング）、サルを対象とした電気生理実験で横断的なアプローチを行う。

III. 研究成果

本年度の具体的な成果を以下に4つ挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. 身体意識の客観指標の構築に向けた基礎技術開発

研究代表者らのグループは、脳活動から身体意識を客観的に評価するために、以下の2点に取り組んだ。

1) 運動主体感の指標としての「意図による束ね (intentional binding)」の神経基盤の解明：主体的・意図的に運動して（例えばボタン押し）外界に変化を生じさせる（フラッシュの点灯）とき、運動とその結果の主観的な時間間隔は、実際の間隔よりも短くなることが知られている (intentional binding)。この現象は、運動主体感の心理物理的な指標として有効であるとされている。本研究では、脳活動と intentional binding の対応関係を調べ、主体感を脳活動から評価する方法を開発することを目的とする。具体的には、主体的にボタンを押してフラッシュを点灯させる課題を行っているときの脳活動を脳磁図で計測し、ボタンを押す前の運動準備電位が、フラッシュが点灯する時点に引き寄せられるかどうかを調べた。今年度は、指数関数モデルを用いて、脳磁図から運動準備電位を同定する方法、運動準備電位の時間遅れを定量的に計測する方法の開発を行った。

2) 身体意識の復号化のための基礎技術開発：主体感・保持感を脳活動から復号化・再構成して客観指標を構築するための基礎技術開発として、脳活動から人間の行動を予測することを行った。具体的には作業記憶トレーニングの成績を、トレーニング前の安静状態の脳活動から73%の精度で予測することに成功した[1]。これらの研究で開発した、脳活動からヒトの行動や心理を推定する技術を用いて、次年度以降は、脳活動から身体意識を客観的に推定・予測することを行う予定である。また、主体感と保持感の神経基盤に関連する心理物理研究で、連携研究者の浅井は、記憶の中で自己の行為を識別するためのシステム[2]、身体保持感に基づく自動的な運動補正の仕組み[3]、主体感が保持感を導く仕組み[4]を解明した。

B. 仮想現実を用いたシステムの構築と身体意識変化の計測

研究分担者の大木紫（杏林大学）らのグループは、ヒトの身体意識を心理実験で操作・介入するため、仮想現実を用いたシステムを構築し、健常者で実験を行った[5-8]。被験者は自身の腕を動かすことによりコンピュータ・グラフィックス (CG) の”手”を操作し、CG に対する身体所有感と運動主体感の程度、身体意識に関わるとされる客観的指標（実際の手の位置の視覚判断や反対側の手による判断、到達運動、運動の軌跡）を計測した。CG の見た目は被験者の身体所有感に影響を及ぼし、CG の動きの時間遅れは運動主体感に影響を与えた。客観的な指標として、反対側の手による運動を行った手の位置判断は身体所有感を、運動の上手さは運動主体感を、一部反映した。仮想現実をより長期間(2 時間程度)操作させる

と、時間経過に個人差はあるものの、すべての被験者で身体所有感と運動主体感の向上が観察され、今後、身体意識の長期的な変化を調べる実験系として有効であることを検証した。

C. サルを対象とした電気生理実験による脳内身体表現の解明

研究分担者の村田哲（近畿大学）らのグループは、自己の身体の状態を符号化する脳内身体表現の神経基盤を調べるため、サルの下頭頂葉の AIP 野及び PFG 野の手操作運動関連ニューロンやミラーニューロン[9-12]の活動を記録した。その結果、これらのニューロンが把持運動中の手の視覚フィードバックに応答し、キネマティクスを視覚的に符号化していることを明らかにした。この結果は、*J. Cognitive Neuroscience* に報告した[13]。また、身体意識にとって重要な感覚フィードバックの予測誤差を計算する神経基盤を調べるために、体性感覚野の触覚ニューロンが、運動遂行中に活動に影響をうけるかどうかの実験の準備を開始した。

D. 統合失調症患者における運動主体感の変容を調べるための方法論の構築と数理モデルの探索

研究分担者の前田貴記（慶應義塾大学）らのグループは、統合失調症患者にも適応可能な、運動主体感の計測方法（Keio method）を開発してきたが、今年度は方法論の構築と数理モデルの探索を主に行った。具体的には、

1) 統合失調症患者を対象として研究を進める上で、主体感のような主観的な経験を客観的に計測する Keio Methods の有効性を総説にまとめ、方法論的な指針を検討した[14]。

2) 運動主体感を計測するためには、患者の時間知覚が正常であることを担保する必要がある。複数のモダリティーに渡って、50~100msec レベルでの時間順序判断を行わせ、時間知覚を調べる方法を新たに開発し、特許申請を行った（日本・欧州・米国）。

3) 既に行っている健常者の脳活動と比較して、統合失調症患者における運動主体感の変容の原因を解明するため、Keio method を行っているときの統合失調症患者の脳活動計測を開始した。

4) 国立精神・神経医療研究センターの山下祐一先生と共同で、Keio Method の“行動”データをもとに、ニューラルネットワークのシミュレーションアプローチから運動主体感の脳神経回路レベルでの脳基盤を予測する研究を進めた。

5) B01 班の矢野史朗先生と共同で、運動主体感の判断をある種の推論過程ととらえ、どのような推論の上で、行動データとして現れているのかについて、特にベイズ推定の側面から、解析を行うことを開始した。

6) B01 班の浅間一先生らと、遠隔操作ロボットの実用性を高めることを目的として、運動主体感を増強させる因子についての基礎研究を進めた。

7) Keio method において強化学習的にフィードバックを行うことで、統合失調症の運動主体感の異常を、健常者のシグモイド曲線に近づけるよう調律することが可能ではないかと考え、“運動主体感調律”とでも言うべき認知リハビリテーションのための実証研究を進めた。

IV. おわりに

今年度は、身体意識の神経基盤を解明するための基礎的な実験方法、解析方法、モデル化の準備と開発を行った。特に、身体意識の客観指標を構築するための実験方法の検討と、身体意識を再構成するための復号化手法の基礎技術開発を行った。また、サルを用いた電気生理実験では、脳内身体表現の神経基盤として、身体状態の符号化を行う脳部位を特定することに成功した。これらの過程で国際誌に論文を掲載することもできた[1][2-4][13]。B 班と共同で、身体意識のモデル化にも着手した。次年度は、今年度に開発した実験方法や解析方法を基礎にして、身体意識の客観的な指標を確立、その神経基盤を解明するとともに、脳内身体表現の長期的な変化を調べる実験に着手して行きたい。

REFERENCES

- [1] M. Yamashita, M. Kawato and H. Imamizu, “Predicting learning plateau of working memory from whole-brain intrinsic network connectivity patterns.” *Scientific Reports*, 5(7622), pp. 1-8, 2015.
- [2] E. Sugimori and T. Asai. “Attribution of movement: Potential links between subjective reports of agency and output monitoring.” *Q J Exp Psychol (Hove)*. [Epub ahead of print], pp. 1-17, 2014.
- [3] T. Asai, “Illusory body-ownership entails automatic compensative movement: for the unified representation between body and action.” *Exp Brain Res*. 233(3), pp. 777-85, 2015.
- [4] T. Asai, “Agency elicits body ownership: Proprioceptive drift toward a synchronously acting external proxy.” *Exp Brain Res*, in press.
- [5] S. Shibuya and Y. Ohki, “Changes in bodily self-consciousness and body representations by manipulating virtual body part.” *Neuro* 2014, パシフィック横浜, 2014年9月13日
- [6] 渋谷賢・大木紫, “仮想身体の操作による身体性自己意識と身体表現の変化。第6回多感覚研究会,” 広島大学, 2014年11月12日
- [7] 渋谷賢・大木紫, “拡張した仮想身体の操作の時間遅れが身体性自己意識と身体表現に及ぼす影響。” 第6回多感覚研究会。広島大学, 2014年11月13日
- [8] 渋谷賢・大木紫, “拡張した仮想身体の操作が身体性自己意識および身体表現に与える影響。” 日本基礎心理学会第33回大会。首都大学東京, 2014年12月6日
- [9] 村田哲・泰羅雅登, “ミラーニューロンを再考する。” *BRAIN and NERVE: 神経研究の進歩*, 66(6): p. 625-634, 2014.
- [10] 村田哲・前田和孝, “ミラーニューロンの明らかにしたもの 再考。” *BRAIN and NERVE: 神経研究の進歩*, 66(6): p. 635-646, 2014
- [11] 村田哲, “ミラーニューロンと身体性。” 第24回認知リハビリテーション研究会。” 2014年11月1日
- [12] 村田哲・前田和孝, “社会的行動発現のための感覚運動制御システム。” *Clinical Neuroscience*, 33(2), pp.151-154, 2015
- [13] K. Maeda, H. Ishida, K. Nakajima, M. Inase, and A. Murata, “Functional Properties of Parietal Hand Manipulation-related Neurons and Mirror Neurons Responding to Vision of Own Hand Action”. *J Cogn Neurosci*. 27(3), pp. 560-72.
- [14] 前田貴記, “自我の脳科学から考える統合失調症—精神病理学と脳科学のありうべき連携.” 特別企画「統合失調症治療の現在」, こころの科学 180号, pp. 79-86, 2015

A02-01 研究項目の研究成果報告

関和彦

国立精神・神経医療研究センター 神経研究所

Abstract—In the FY2014, we established 1) Stroke model using common marmoset, 2) understanding the fast and slow dynamics in human body cognition and motor control, and development of new fMRI decoding method, and 3) understanding on the mechanisms used by Purkinje cells to influence limb motor control and on the plastic changes that underlie motor learning in theocerebrobellum.

I. はじめに

研究項目 A02-01 では関（代表者）内藤・寛（分担者）及び 13 名の連携研究者というメンバーで構成される。国立精神・神経医療研究センター、情報通信研究機構、東京都医学総合研究所という我が国を代表する神経科学の研究拠点をベースに項目内、班内及び領域内連携を確立して筋シナジー制御器の状態を反映する脳内身体表現マーカーの確立をめざす。

II. 目的

本研究項目の具体的な目的は筋シナジー生成器及び制御器の脳内神経基盤を明らかにし、身体の筋骨格構造の変化や体性感覚の遮断に対する上記神経機構の可塑性 (slow dynamics) を実験的に明らかにする事である。

III. 研究成果

本年度の具体的な成果を以下に 4 つ挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. 筋シナジー抽出システムの開発 (02 項目共同)

今年度は B 班と共同で LAB VIEW をベースにしたオンライン型筋シナジー抽出システムのプロトタイプを作成し、機能評価を進めた。記録すべき筋の選択、クロストークの除去方法などが次年度への課題として残された。さらに、C 班とは実際に計測を予定している現場で健康人を対象とした歩行解析のための測定を行い、筋電図計測の際の問題意識を共有した。

B. 運動麻痺を併発する脳梗塞モデルサルの開発

研究代表者らのグループは、小型霊長類であるマーマモセットを対象にして、ヒトの脳深部の脳卒中を再現した、新たな霊長類モデルを世界で初めて確立した[1]。つまり、コモンマーマモセットの前脈絡叢動脈を外科的手術によって閉塞させる技術の開発に世界で初めて開発した。前脈絡叢動脈は内包の血流の大部分を供給しており、ヒトではこの血管の閉塞によって、重篤な運動麻痺を引き起こされる事が知られている。そこで、まずマーマモセッ

トの前脈絡叢動脈の解剖学的特徴を世界で初めて明らかにし (図 1)、それにあわせた手術方法を開発した。この技術を用いて前脈絡叢動脈を閉塞させたコモンマーマモセットの脳構造を MRI で調べてみると、確かに内包に相当する部分に脳卒中が確認できた。加えて、手術後のコモンマーマモセットでは 2 週間に渡る運動麻痺を確認した。これらの結果は、研究グループが開発したサルモデルがヒトの脳卒中による運動麻痺を忠実に再現したモデルである事を示している。この研究成果は、脳深部 (白質) に限定した脳卒中を、霊長類において引き起こす事に成功した初めての報告となった。

当研究項目では今後 4 年間で脳内身体表現マーカーとしての筋シナジーの脳内表現とその可塑性メカニズムを明らかにしてゆく。今回開発された動物モデルは、C 班で行われるリハビリ研究に重要な基礎知見を提供するのみならず、リハビリ効果=脳内身体表現マーカーの変容の検証において重要な役割を果たす。

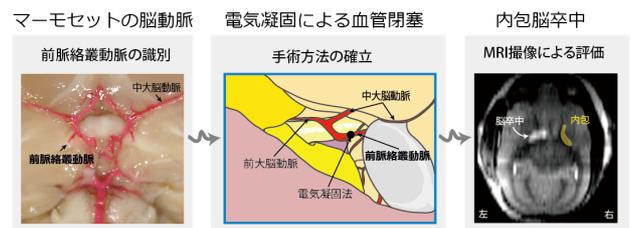


図 1 サルにおける内包脳卒中モデル

C. ヒトの身体認知と運動制御に伴う fast と slow dynamics の解明と新しい fMRI デコーディング法の開発

研究分担者の内藤 (情報通信研究機構) らのグループは、ヒトの身体認知と運動制御に関する以下の成果を得た。池上らは、前頭-頭頂ネットワークに存在するミラーニューロンシステム機能に着目し、ダーツのエキスパートが素人のダーツ運動を観察すると、自身のダーツ運動が乱れることを明らかにし、他者の身体運動認知 (理解) が自己の運動制御に直接影響を与える形で相互作用している事実を明らかにした [2]。また、Ganesh らは、左半球前頭-頭頂ネットワークの機能と考えられる道具の身体化の問題を通して、この 2 つのシステムの存在を示した。ヒトが長い道具を手を持って到達運動を行うと、脳は直ちに道具で拡張した腕の分だけ実際の自分の腕が短くなったと知覚する (fast dynamics)、ところがこの試行を繰り返すと、今度は徐々に自分自身の腕が長く

なる知覚をする(slow dynamics) [3]。この事実は、前頭頭頂ネットワークに存在すると仮定される身体認知マッピング器に、fast と slow の 2 つの dynamics があることを明確に示した。さらに、内藤らは、運動領野ネットワークにおける脳内身体表現の slow dynamics に関して、ブラジルサッカー代表ネイマールの足運動に関わる脳内表現は、他のプロ選手やオリンピック水泳選手に比べても、有意に小さく限局しており、これが長期的運動訓練に伴う脳内表現の可塑的变化である可能性を報告した(図)。この成果は、国内外の多くの新聞やメディアなどで話題となった[4, 5]。

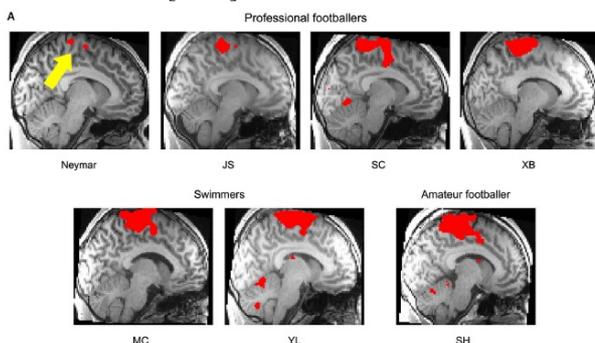


図2 ネイマールの足運動に関わる脳内表現

また廣瀬らは、新しい fMRI デコーディング法を開発した[6]。iSLR という新しい方法を開発し、従来のヒト脳機能マッピングでは分離することが難しかった脳内身体表現を分離して同定することに成功した。これにより、ヒトにおける筋シナジー生成器及び制御器の脳内神経基盤を解明するための解析ツールが完成した。

D. 小脳内部モデルの出力生成メカニズムの解明

研究分担者の寛（東京都医学総合研究所）らのグループは小脳における状態予測の生成メカニズムを解明した。霊長類小脳の大部分は大脳皮質と強力なループ回路で結ばれ、運動制御に重要な役割を果たしている。例えば腕を動かす時、大脳運動野で運動指令が作られ、小脳はその運動指令に基づいて次の瞬間の状態を予想し、小脳核から大脳運動野へと送り返す。この様な再帰的プロセスによって運動は半自動化され、特に注意を集中しなくても運動がスムーズに行えると考えられる。ところが、この機能の要諦である小脳核の予測出力生成メカニズムには大きな矛盾があった。小脳核のニューロンは、小脳皮質のプルキンエ細胞から常に強い抑制を受けているが、運動時には大脳からの入力によってプルキンエ細胞の活動が増加するとされてきた。その場合、小脳核細胞はさらに強く抑制されるはずであるが(図3左)、実際の運動時の小脳核細胞は強い興奮を示すことが示されてきた。

そこで我々は、小脳の出力生成メカニズムを明らかにするために、手首運動課題を行うニホンザルで、小脳神経細胞の活動を詳細に調べ、入力から出力に至る一連の情報処理過程を分析した。その結果、大多数のプルキンエ細胞は運動開始直前に活動が停止し、逆に小脳核細胞では大多数において活動の増加が見られた。これらの

結果は、脱抑制と呼ばれるメカニズムによって小脳核細胞の活動が増加したことを示している(図3右)。

以上の結果をふまえると、小脳皮質にある抑制性介在細胞(とりわけバスケット細胞)の機能的重要性が浮かび上がって来る。小脳皮質には極めて多数の抑制性介在細胞があり、それらがプルキンエ細胞の活動を強力に抑制できることは知られていたものの、小脳理論では忘れ去られてきた。今回の我々の研究で、小脳の出力生成ではむしろ、抑制性介在細胞によるプルキンエ細胞の抑制が主役であることが明らかになった[7,8]。

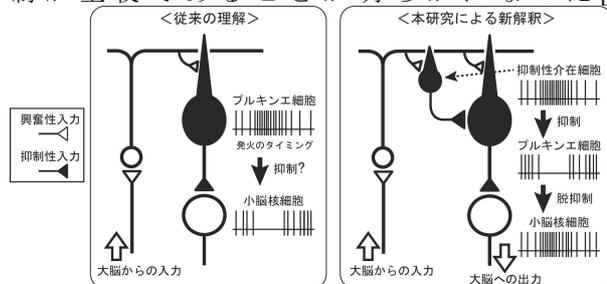


図3 小脳の出力メカニズム：(左)従来、(右)本研究の成果。

この小脳出力生成における主体の逆転は、複雑スパイクの小脳出力への影響を抑制から増強へと逆転させるものであり、従来の小脳学習理論に根本的な修正を迫る。

IV. おわりに

今年度は3拠点において、今後の当該項目の活動における基盤的な研究成果が確立した。次年度以降、これをベースに共同研究を加速させていくとともに、B班およびC班との班間連携を促進させる。

REFERENCES

- [1] S. Puentes, T. Kaido, T. Hanakawa, N. Ichinohe, T. Otsuki, K. Seki, "Internal capsule stroke in the common marmoset" *Neuroscience*, vol. 284, pp. 400-411, 2015.
- [2] T. Ikegami, G. Ganesh, "Watching novice action degrades expert motor performance: Causation between action production and outcome prediction of observed actions by humans," *Scientific Reports*, vol. 4, 6989; doi: 10.1038/srep06989, 2014.
- [3] G. Ganesh, T. Yoshioka, R. Osu, T. Ikegami, "Immediate tool incorporation processes determine human motor planning with tools," *Nature Communications*, doi: 10.1038/ncomms5524, 2014.
- [4] E. Naito and S. Hirose, "Efficient foot motor control by Neymar's brain," *Frontiers in Human Neuroscience*, doi: 10.3389/fnhum.2014.00594, 2014.
- [5] D.E. Callan and E. Naito, "Neural processes distinguishing elite from expert and novice athletes," *Cognitive and Behavioral Neurology*, vol. 27, no. 4, pp. 183-188, 2014.
- [6] S. Hirose, I. Nambu, E. Naito, "An empirical solution for over-pruning with a novel ensemble-learning method for fMRI decoding," *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 235C, pp. 238-245, 2015.
- [7] T. Ishikawa, S. Tomatsu, Y. Tsunoda, D.S. Hoffman, S. Kakei, "Mossy fibers in the cerebellar hemisphere show delay activity in a delayed response task," *Neuroscience Research*, vol. 87, pp. 84-89, doi: 10.1016/j.neures.2014.07.006, 2014.
- [8] T. Ishikawa, S. Tomatsu, Y. Tsunoda, J. Lee, D.S. Hoffman, S. Kakei, "Releasing dentate nucleus cells from Purkinje cell inhibition generates output from the cerebrocerebellum," *PLoS ONE*, vol. 9, No. 10, e108774, 2014.

A02-02 研究項目の研究成果報告

高草木 薫（研究代表者）

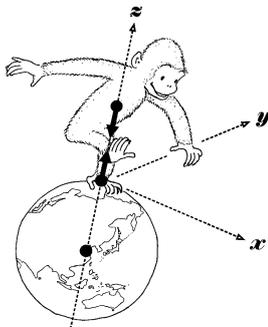
旭川医科大学医学部・脳機能医工学研究センター

要旨—随意運動の発動と遂行に伴う予測的姿勢調節には感覚系と運動系の機能統合が必要である。本課題では、この予測的姿勢調節を可能にする大脳皮質および皮質下機構の解明を目指す。解析には、従来の電気生理学的手法に加えて遺伝学/薬理学的手法を用い、サルとネコを対象に神経生理学的研究を行う。本研究により、前頭-頭頂ネットワークで生成される概念的な身体図式の内的表象によって実現される適応的姿勢-歩行制御の神経基盤が明らかになると期待している。

I. はじめに

ヒトを含む殆どの哺乳動物の身体は頭部や頸部、体幹、前肢（上肢）、後肢（下肢）などの体分節が柔軟な関節によって連結された集合体である。その姿勢は、これらの体分節が重力環境の下で相対的に配置されることにより構成される（姿勢定位）[1]。立位を静的に保っている動物では身体の質量中心に加わる重力（Fig. 1, 下向きの矢印）と足底部に生じる抗力（上向きの矢印）が釣り合うため、身体は理想的な位置に維持される（静的平衡）。

Fig. 1. 姿勢制御は感覚系と運動系の機能統合の過程であり、地球中心の基準座標系における姿勢制御：空間内における相対的な体分節の配置と平衡



“姿勢”という言葉は単に静的な平衡状態にある全体分節の空間内配置を意味するだけに留まらず、ある空間内において運動時に安定状態で保持される体分節の配置をも意味している（動的平衡）[1]。例えば机上のリンゴへのリーチング動作は一側上肢に限局した動作であるにも関わらず、身体の質量中心の平衡状態を乱す。この不均衡を生じさせないために、運動肢以外の体分節は、目的動作に先行して再配置され、リーチング動作を遂行するに相応しい姿勢が新たに構成される。また歩行や走行といった全身運動の場合、左右の上下肢が律動的な前後方向への運動を繰り返す一方で、フランクフルト平面（左右の外耳孔と左眼窩を通る平面）や体幹軸は、各々、鉛直軸に対して凡そ一定の角度に維持される[2]。このように運動と姿勢との相補的な関係はしばしば氷山に例えられる。即ち“運動”は水面上から観察できる氷山の一角であり、そして水面下に沈む大部分の氷塊が、時に最も重要となる“姿勢”である[3]。

姿勢定位と姿勢平衡という二つの行動目的を成功裏に導く。平衡覚・視覚・体性感覚などの多種感覚情報は統

合されて中枢神経系に必要な地球中心基準座標系が提供される。さらにこれらの感覚情報に基づいて、脳は身体とその環境に関する内的表象を形成する。この内的表象はしばしば“身体図式”と呼ばれ、先天的、かつ、学習によって獲得されると考えられている[4]。

上肢のリーチングや歩行の何れにおいても、目的とする動作には、常に、これを最適に遂行するための姿勢制御が先行する。この過程は予期的姿勢調節（APA）と呼ばれる。この姿勢調節は様々な脳病変によって障害されることから、脳損傷を有する患者の運動能力を再獲得するためには、このメカニズムを解明しなければならない。しかし、予期的姿勢調節のプログラムがどの様に生成され、また、どの様な下行路によって実現されるのか、という本質的な問題は未解明のままである。

II. 研究目的と作業仮説

本研究の目的は適応的な姿勢-歩行戦略を可能にする大脳皮質および皮質下神経機構の解明である。そこで、この研究を進めるにあたり、以下の作業仮説を設ける。第一の仮説は、多種感覚情報は頭頂葉（例えば、霊長類の頭頂-島-前庭皮質；PIVC）において統合され[5, 6]、内的な身体表象（身体図式）が生成される。第二の仮説は、この情報がブロードマンの6野に対応する補足運動野や背側運動前野に転送され、この前頭-頭頂ネットワークが運動プログラムの生成に決定的な役割を担う。第三の仮説は、予期的姿勢制御が皮質-網様体投射[7]と網様体脊髄路を經由して脊髄に伝達される。そして、第四の仮説は、前頭-頭頂ネットワークの作用が短期ならびに長期の姿勢歩行戦略の変更に極めて重要な役割を担う。

III. 研究計画

本研究課題ではサルとネコという異なる動物モデルを用いて3項目の研究を実施する。研究手法としては電気生理学的手法に薬理学的手法、遺伝学的手法、そして、脳イメージング手法を組み合わせる。

A. サルの姿勢-歩行戦略に関与する皮質神経機構の解明

無拘束のサルに流れベルトの上で四足歩行と二足歩行を交互に変換しながら行うような歩行運動課題を訓練する。この歩容の変換によって、姿勢の空間配置は著しく変化する（Fig. 2）。

この実験標本で次の研究を実施し、姿勢-歩行戦略の短期変更（即時適応）における大脳皮質機能を解明する

- ① 頭頂葉における身体認知情報の生成；PIVCを含む頭頂連合野の皮質ニューロン活動を記録し、これが多

種化感覚情報を受容するのか、そして、異なる姿勢-歩行戦略においてどのように発射パターンを変化させるのかを評価する。

- ② 姿勢-歩行戦略に及ぼす頭頂葉機能の解析；頭頂様に GABA 作動性薬物 (Muscimol) を微量注入し、歩行の動力学的解析 (筋活動解析と動作解析) を行う。
- ③ 姿勢-歩行戦略を決定する前頭頭頂ネットワーク機能の解析；補足運動野と背側運動前野の皮質ニューロン活動を記録し、頭頂葉からの入力様式と脳幹網様体への出力様式を解析する。また、障害物回避や歩行開始時など予期的姿勢調節時における発射パターンを解析する。

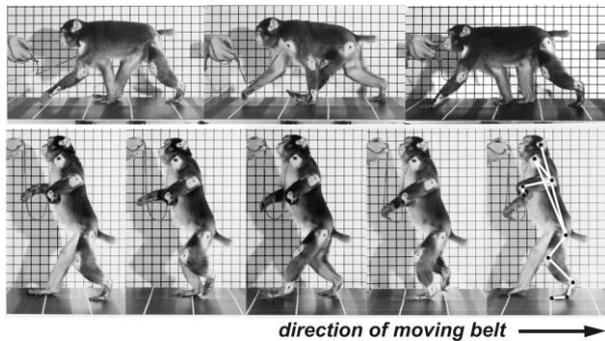


Fig. 2. 一頭のサルによる四足歩行 (上段) と二足歩行 (下段)。

B. サル姿勢歩行戦略の発達に伴う前頭-頭頂ネットワーク改変機構の解析 (脳機能イメージング法)

これは Group A02-01 との共同研究である。サルが学習によって 4 速歩行から 2 足歩行を獲得するプロセスにおける前頭-頭頂ネットワーク機能の変化を 7T-fMRI を用いて解析する。これにより、新たな姿勢-歩行戦略の獲得における脳活動の長期変更 (可塑的变化) の過程を可視化することができる。

C. ネコのリーチングタスクにおける予期的姿勢調節に関与する大脳皮質-皮質下機構の解明

ネコに対して、床反力計の上に直立姿勢を維持しながら一側前肢を用いて餌取り到達運動課題を行うように訓練する。到達運動に先行する予期的姿勢調節は運動肢の床反力増加 (Fig.3B 上) と重心の変移 (Fig.3B 下) として観察される。この標本において、大脳皮質ニューロン活動および網様体脊髄路ニューロンの活動を記録し、予期的姿勢調節時における神経細胞活動と体幹・四肢筋活動や床反力変化の対応関係を解析する。この解析により、皮質-網様体脊髄路が予期的姿勢調節の遂行にどのように関与するのかを解明する。

記録実験の終了に引き続き、同一ネコに対して皮質機能障害実験を行う。具体的にはウイルスベクター二重感染によって 6 野に起始する皮質-網様体投射の機能を選択的に脱落させ (二重遺伝子導入法) [8], この投射系の一過性機能脱落直後に生じる姿勢調節障害の急性期と回復過程の動力学的解析 (筋活動・床反力・動作) を行う。

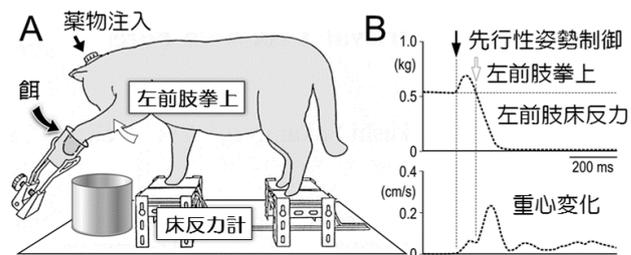


Fig. 3. A: ネコの到達運動課題, B: 予期的姿勢調節。

IV. 平成 26 年度の進捗状況

初年度において高草木 (研究代表者) と船越 (研究連携者) は旭川医科大学においてネコにおける電気生理実験のセットアップと運動課題を行う実験環境を整えていた。近畿大学の中嶋 (研究分担者) は、サルの補足運動野からの記録実験を開始し、補足運動野では歩行中の姿勢に依存的な活動を示す細胞が極めて多く、歩容の変換過程でのみバースト活動するニューロンを同定しており、これは一次運動野ニューロンの活動 [9] とは異なることを見出している。

次年度も本来の計画に沿って研究を継続すると共に、臨床応用が可能で、かつ、身体図式の“可塑的”な表象を具現化できる電気生理学的パラメータや動力学的パラメータの抽出に努力する。

REFERENCES

- [1] F.B. Horak and J.M. Macpherson, “Postural orientation and equilibrium,” in Handbook of Physiology, Section 12 Exercise: Regulation and Regulation of Multiple Systems, L.B. Rowell and J.T. Shepherd, Eds. New York: Oxford Univ. Press, 1996, pp. 255-292.
- [2] A. Berthoz and T. Pozzo, “Intermittent head stabilization during postural and locomotory tasks in humans,” in Posture and Gait: Development, Adaptation and Modulation, B. Amblard, A. Berthoz and F. Clarac, Eds. Amsterdam: Excerpta Medica, 1988, pp. 189-198.
- [3] J. Massion, “Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination,” Prog. Neurobiol., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [4] F. Lestienne and V.A. Gurfinkel, “Postural control in weightlessness: a dual process underlying adaptation to an unusual environment,” TINS, 11: 359-363, 1988.
- [5] T. Brandt and M. Dieterich, “The vestibular cortex, its locations, functions, and disorders,” Ann. N.Y. Acad. Sci., 28: 293-312, 1999.
- [6] O.J. Grusser, M. Pause and U. Schreier, “Localization and responses of neurons in the parieto-insular vestibular cortex of awake monkeys,” J. Physiol., 430: 537-557, 1990.
- [7] Kaier and Kuypers, “Distribution of corticospinal neurons with collaterals to the lower brain stem reticular formation in monkeys (Macaca fascicularis),” Exp. Brain Res., 74: 311-318, 1989.
- [8] M. Kinoshita, R. Matsui and S. Kato et al., “Genetic dissection of the circuit for hand dexterity in primates,” Nature, 487: 235-238, 2012.
- [9] K. Nakajima, “Bipedal locomotion in monkeys and primary motor cortex,” Biomechanism Gakkaishi, 38: 66-69, 2014 (in Japanese).

うす緑の色紙はさむ

うす緑の色紙はさむ

B 班（システム工学）の活動報告

太田 順

東京大学 人工物工学研究センター

I. 研究計画

システム工学班（B 班）では、感覚運動連関を表す fast dynamics に影響を受ける脳内身体表現の変容 slow dynamics の数理モデルの構成を目指している。なお、2005～2009 年に行われた文科省特定領域研究「移動知」では、主に感覚・運動連関としての fast dynamics を扱ってきたのに対し、本身体性システムプロジェクトでは、slow dynamics を中心的に扱う点が特徴である。

B 班は以下の 2 つの研究項目から構成される（図 1）。

B01 項目は、身体認知からのアプローチを指向する。身体意識（身体保持感、運動主体感）を生み出す脳内身体表現を、「認知身体マッピング器」としてモデル化する。ポイントとなるのは脳内身体表現であるが、ここでは、それを、感覚情報を修飾し、時には歪ませることもある、ある種のフィルタと考える。この生成・更新が、知覚経験や身体意識、運動企図、運動や感覚フィードバックの予測等にどのような影響を受けるかを明らかにする。

B02 項目は、運動制御からのアプローチを指向する。多数の筋の協調構造を表す筋シナジーを環境等の状況に応じて調節する脳内身体表現を「筋シナジー制御器」としてモデル化する。ベルトが左右に分離され、速度を別々に制御できる左右分離型トレッドミルを用い、筋シナジー制御器のモデル化を目指す。また、ヒトが起立保

持をしている際の姿勢制御則をモデル化する。

上記 2 つの項目は、slow dynamics を有する脳内身体表現を共有している。環境に働きかけ、slow dynamics を有する脳内身体表現を介して、環境および身体を認知する人間を表す数理モデル構築を目指す。身体認知と運動制御の関係に関する仮説的モデリング（A 班）、モデルベースリハビリテーションのためのモデル構築（C 班）という形で脳科学、リハビリテーション医学への貢献を図る。

II. 班構成

各研究項目のメンバーを以下に示す。

班代表：太田 順（東京大）

B01 項目 脳内身体表現のスローダイナミクスモデル

研究代表者：浅間 一（東京大）。研究分担者：近藤敏之（東京農工大）、田中 宏和（北陸先端大）、矢野史朗（立命館大）。連携研究者：山下 淳（東京大）、井澤 淳（筑波大学）、矢野 雅文（東北大）。

B02 項目 脳内身体表現を変容させる運動制御モデル

研究代表者：太田 順（東京大）。研究分担者：青井 伸也（京都大）、千葉 龍介（旭川医大）。連携研究者：緒方 大樹（東京大）、船戸 徹郎（電気通信大）、柳原大（東京大）、土屋 和雄（京都大）。

III. 班会議他

システム工学班では、以下に示す班会議を開催した。

日時：2014年12月22日(月) 15:00～18:00

会場：東京大学本郷キャンパス工学部14号館7階713号室
出席者：班メンバー他、合計 20 名。

内容：計画班研究者 4 名による研究計画、進捗状況の報告および総合討論を行った。

その他、研究項目単位ならびに他の研究項目と合同で小規模の会議を開催した。また学会オーガナイズドセッションを介して相互に議論を進めた。

IV. 今後の予定

今後は、半年に 1 回程度班会議を開催し、計画班メンバーと、4 月以降新たに加わる予定の公募班メンバーとの相互議論の場を設定する。これより、B 班の目指す目標を、班員全員が相互に連携しながら達成することを目指す。

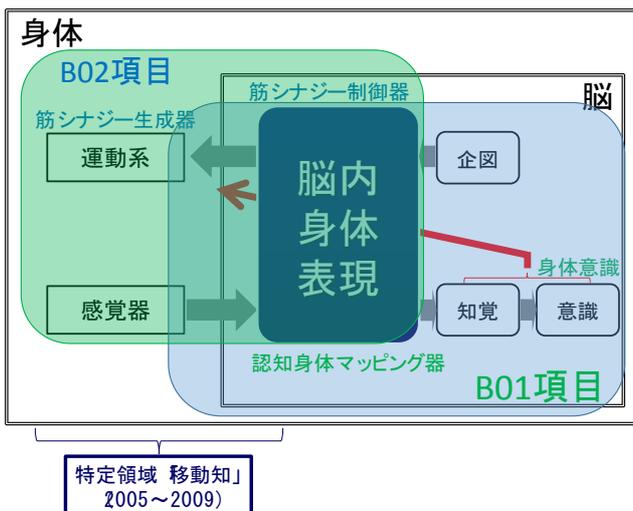


図 1 B 班内の各項目の位置づけ

B01 研究項目の研究成果報告

浅間 一

東京大学 大学院工学系研究科

Abstract—Body consciousness such as sense of agency and sense of ownership is generated in real time based on the body representation in brain. This process can be called “fast dynamics.” On the other hand, the body representation is created, updated and transformed through perceptual and motion experience, which can be called “slow dynamics.” In this group, the these dynamics on the process creating and updating body representation in brain related to body consciousness are investigated and modelled mathematically.

I. はじめに

運動主体感や身体保持感などの身体意識は、脳内身体表現に基づき実時間で創出される(fast dynamics). 一方、脳内身体表現は知覚運動経験を通してゆっくりと生成・更新され、変容する(slow dynamics). 研究項目 B01 では、この身体意識に関する脳内身体表現の生成・更新のダイナミクスの数理モデル化を行う。

II. 目的

本研究項目の具体的な目的は、身体意識の創出と脳内身体表現の変容の数理モデル化、認知身体マッピング器モデルの検証、およびモデルベーストリハビリテーションへの応用の検討である。これを達成するために、図 1 に示す体制で研究を実施する。

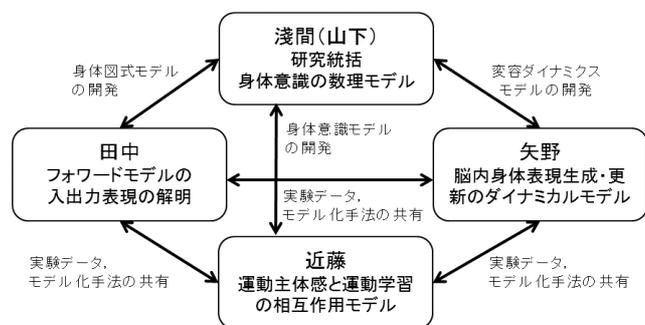


図 1 研究体制

III. 研究成果

本年度の具体的成果の概要を以下に記す。

A. 身体意識の数理モデル

研究代表者の浅間（東京大学）のグループは、運動主体感が生じる場合、外界のフィードバックと脳内の運

動信号に基づく予測の照合のほかに、パフォーマンスに基づく推論や目標に関わる期待など高次的な処理の影響について調べた。その結果、上記の高次的な処理は運動主体感に大きく影響することがわかった。具体的には、操作者に気づかずにパフォーマンスを向上させる補助を行うと、運動主体感が向上することが明らかになった[1]。また、目標を持って行動を行う場合、目標に達成できるかどうかは運動主体感に大きく影響し、目標を持たない場合よりも運動主体感が生じにくいことがわかった。身体意識が生起する過程において、高次的な処理の重要性が示唆された。

また、運動主体感について、課題を行う際の操作力が与える影響について調査した。課題としてはスイッチ操作課題を採択し、押すのに必要な力が異なる 3 種類のスイッチを用いて運動主体感の評価を行った。その結果、図 2 に示すように、運動の帰属があいまいになる 700ms において、操作力が強い場合の方が有意に運動主体感を強く感じる事が明らかになった[2]。

さらに、人間が環境の中において、脳内身体表現と感覚器官から得られるフィードバックとの比較を元に運動主体感や身体保持感を知覚し、またその結果に基づき脳内身体表現の調整、更新を行っている想定し、単純な腕の運動における過去の認知実験の参考に基礎的なモデル化を試みた。

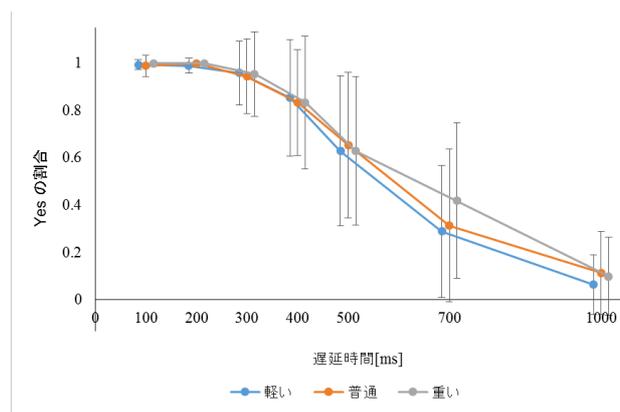


図 2 操作力の違いによる運動主体感の変化

B. 身体意識と運動学習の相互作用モデル

研究分担者の近藤（東京農工大学）らのグループは、身体意識（SoO, SoA）が運動学習に及ぼす影響の分析ならびに脳内身体表現マーカーとなり得る脳計測データ

の定量化指標を探索することを目的としている。本年度は、(1) 運動想起型 BCI のための事象関連脱同期特徴量のニューロフィードバック訓練に視覚・体性感覚の呈示が及ぼす影響の分析と(2) 身体錯覚 (RHI 課題) 時の NIRS データに対する Granger Causality 特徴量を用いた機能的結合の解析に取り組んだ。

前者については、一人称視点からの上肢運動映像を視聴しながら運動想起を行うニューロフィードバック訓練を4日間続けることで、運動想起型 BCI の随意制御能力が有意に向上する[3]のに対し、ロボットにより他動的な体性感覚刺激を受けながら運動想起訓練を行った場合には、同能力は向上しない可能性を示した[4]。後者については、同期・非同期など様々な刺激条件で再現性高く RHI 実験を実施するために、RHI 実験を自動化する機構を開発しその有効性を評価した。また前頭前野・運動前野・運動野をカバーするように Cz を中心に 20 チャンネルで NIRS 計測を行い、刺激条件ごとにチャンネル間の Granger Causality 解析を行った結果、強固な身体保持感を体験している期間に、右前頭前野から右腹側運動前野に向けた因果性が特に有意に増加していることが確認された。

C. フォワードモデルの入出力表現の解明

研究分担者の田中 (北陸先端科学技術大学院大学) は順モデルの入出力表現解明に向けて、ヒト運動適応のモデル化を行った[5]。運動適応には身体の視覚情報を操作するキネマティクス適応と身体の力学を操作するダイナミクス適応が知られており、相互の干渉や運動汎化の心理実験から異なる神経基盤に基づくと一般に考えられている。運動野の情報表現としてベクトル外積を提案した先行研究を拡張し、ベクトル外積を基底とする視覚運動変換モデルを提案した。ヒト心理実験結果からキネマティクス適応である視覚回転適応は外部座標系、ダイナミクス適応である外力場適応は身体座標系で汎化することが知られているが、両方の結果をベクトル外積の基底で説明することができた。これは二種の運動適応を一つの統一的に記述する初めてのモデルである。

加えて、上記で提案したベクトル外積が頭頂葉・前頭葉運動ネットワークでどのように計算されているかに関して計算論モデルを提案した[6]。頭頂葉到達運動領域 (PRR) で目標物の視覚情報が処理され、前頭葉運動前野で各体部位の位置情報が計算され、それらを用いて第一次運動野で力学の計算に必要なベクトル外積が計算される。運動野での運動指令を受けて頭頂葉 5 野では身体状態の予測を行う内部順モデル計算を行う。このモデルは電気生理実験で知られている神経活動を概してうまく説明できる。

D. 脳内身体表現の生成・更新モデル構築

研究分担者の矢野 (立命館大学) のグループは、ヒトが自身の身体に関するモデルを学習、更新していく過

程の理解と、その過程への介入法的设计を目的としている。より具体的にはアスペルガー症候群患者が有すると報告される著しく関節数が少ない身体モデル (頭足図式) や、身体損傷患者が有すると報告される幻肢のような物理的身体と異なる関節自由度の身体モデルの学習過程の理解と介入である。

本年度は、統合失調症において身体モデルの異変や妄想の起点になると考えられる、自己主体感の異常を研究対象とし、健常者と統合失調症患者の自己主体感を統合的に説明する数理モデルを構築し、実データに基づき検証を進めた[7]。数理モデルは学習時に最小化しているであろう行為の予測と観測の二乗誤差と四乗誤差を考慮し確率分布つまり Quartic 分布として表現したものである。従来のコンパレータモデルの考え方の拡張となる。数理モデルにより統合失調症の自己主体感の異常挙動を予測し、自己主体感の脳部位同定を進め始めている。

視覚、触覚情報から状態空間モデルを獲得する手続きとして身体モデルの学習を考えると、特に非周期的な運動では運動試行毎に観測データの開始と終了時刻を揃える必要がある。自己主体感はこの役割をすると考えられ、今後身体モデルの研究へ発展させる予定である。

IV. おわりに

本年度は、運動主体感や身体保持感などの身体意識が生成・更新・変容する過程や、それに影響を及ぼす因子などについて調査し、その身体意識の脳内身体表現の slow dynamics のモデル化手法の検討を行った。次年度以降は、その具体的なモデルの構築を行うとともに、A01 班や C01 班と連携し、生理学研究で得られた知見との整合性の検証・評価、脳内身体表現への介入法の構築など、リハビリへの応用に向けた検討を行う。

REFERENCES

- [1] 温文, 山下淳, 浅間一, 連続制御における課題のパフォーマンスが運動主体感に与える影響, 日本基礎心理学会第 33 回大会, 首都大学東京南大沢キャンパス, 2014
- [2] 簗原凜, 温文, 濱崎峻資, 前田貴記, 加藤元一郎, 山川博司, 山下淳, 浅間一, スイッチ操作力の差異が運動主体感に与える影響の評価, 第 20 回ロボティクスシンポジウム, 発表予定, 2015.
- [3] T. Kondo, M. Saeki, Y. Hayashi, K. Nakayashiki, and Y. Takata: Effect of instructive visual stimuli on neurofeedback training for motor imagery-based brain-computer interface, Human Movement Science, 2014, doi:10.1016/j.humov.2014.08.014
- [4] 近藤敏之, 北原康佑, 林 叔克, 佐伯 碧, 運動想起型 BCI のためのニューロフィードバック訓練における受動的感覚呈示の影響, 第 27 回自律分散システムシンポジウム, pp.191-194, 東京理科大学 神楽坂キャンパス, 森戸記念館, 2015.
- [5] Tanaka, H., & Sejnowski, T.: Motor adaptation and generalization of reaching movements using motor primitives based on spatial coordinates. Journal of Neurophysiology, American Physiological Society, 113:1217-1233, 2015
- [6] 田中宏和, 到達運動の運動方程式と頭頂前頭運動野の座標系, 第 92 回日本生理学会・第 120 回日本解剖学会合同大会シンポジウム「世界の中の身体-脳の座標系-」, 神戸, 2015.
- [7] 矢野史朗, 沖村宰, 今水寛, 前田貴記: 統合失調症における運動主体感の実データに基づく分析と数理モデル化, 第 1 回身体性システム領域全体会議, 岩手, 2015

B02 研究項目の研究成果報告

太田 順

東京大学 人工物工学研究センター

Abstract— To elucidate mechanisms of the body representation in brain for adaptive motor control, we aim to construct fast and slow dynamics models by focusing on muscle synergy. We assume that the alteration of muscle synergy structure reflects the alteration of the body representation in brain, and we clarify the contribution of the body representation in brain through modeling the fast and slow dynamics of the synergy structure. As the start of this project in this year, we developed experimental systems for investigating posture and locomotion controls in humans and rats, and a calculation tool of muscle synergy for collaboration with brain and rehabilitation research groups.

I. はじめに

運動生成には、脳内身体表現が重要な役割を果たしており(fast dynamics)、脳の可塑性により、この脳内身体表現が長期的に変容する(slow dynamics)ことで、適応機能を生み出している。また、冗長多自由度の筋骨格系からなる生物の運動では、筋活動はタスクに応じた少数の典型的な時空間パターンの組み合わせで表現できることが知られている。この構造は筋シナジーと呼ばれ、生物の冗長性解決の戦略としてその存在が広く示唆されている。

本研究項目では、適応的な運動生成における脳内身体表現の機能解明のために、筋シナジーに着目して、脳内身体表現変容モデルの構築を目指す。具体的には、「運動における脳内身体表現の変容は筋シナジー制御器の変容として表出する」と考え、その slow dynamics と fast dynamics の数理モデルを構築することで、適応的運動機能に寄与する脳内身体表現の役割を明らかにする。

II. 目的

本研究項目では次の 3 つの研究目標を設定している。

1. 筋シナジー生成器と筋シナジー制御器による筋活動の生成 (fast dynamics) のモデル化：適応的運動における筋活動の即時的な生成メカニズムを筋シナジーの観点からモデル化する。
2. 筋シナジー制御器の変容 (slow dynamics) のモデル化：筋シナジー制御の変容を脳内身体表現の現れとして捉え、その長期的な変容をモデル化する。
3. 筋シナジー制御器の状態の推定とその応用：fast dynamics, slow dynamics により、生理学的データから現在の筋シナジー制御器の状態を推定する技術を確立する。更に、これを表示するシステムを構築すると共に、筋シナジー制御器の状態を予測するシミュレータの構築を行う。

III. 研究成果

本年度は、ヒトやラットを研究対象として、姿勢制御や歩行制御に関する研究を開始したので、それらについて報告する。また、脳科学・リハビリテーション医学研究項目との連携に向けた筋シナジー解析ツールの開発を開始したので報告する。

A. 姿勢制御研究

1) ヒトの代償性姿勢制御実験

ヒトの外乱に対し起立姿勢を維持する代償性姿勢制御において、よく知られる運動戦略としてアングルストラテジー(AS)とヒップストラテジー(HS)が挙げられている。AS は膝を伸ばしつつ足首周りのトルクで姿勢を維持する戦略であり、HS は膝を曲げ足首周りとは膝周り双方のトルクによる重心の安定を図る戦略である。従来研究では外乱の大きさによって、戦略が切り替わると報告されている。この姿勢維持戦略に着目し、姿勢制御のモデル化を試みる。具体的には、外乱の大きさのみならず、感覚や環境・身体状況を変更し、姿勢維持実験することにより、制御の変容をモデル化する。本年度では、当該目的に向け実験系の構築と予備実験を行った。傾斜がある床面に対し、床面を短時間動かす外乱を与えたところ、外乱の大きさは変わらずに傾斜面の角度変化により戦略の変容が観察された[6]。微小な傾斜面の変化に対する知覚が弱い高齢者の転倒に繋がる可能性が示唆された。

2) 筋骨格シミュレータによるヒトの姿勢制御考察

上記の姿勢制御実験・モデル化に加え、当該モデルの妥当性を検証するために、脳神経筋骨格シミュレータを構築する。モデルの妥当性検証のみならず、様々なパラメータ(筋力・時間遅延・感覚など)を変更することで、疾患やリハビリテーションの推定が可能になると考えられる。本年度では、筋骨格シミュレータ OpenSim を使い、PD 制御系と筋緊張に相当するフィードフォワード系の制御を付与することでヒトの起立姿勢維持をシミュレートした。感覚入力から筋出力までおよそ 100ms の時間遅延があるとされており、その時間遅延存在下で起立姿勢維持が可能となった[8, 9]。これにより、適切な筋緊張を阻害される疾患などのシミュレータの可能性が得られた。

3) ラット後肢2足直立姿勢制御

ヒトの直立動作には1 Hz未満のゆっくりとした重心動揺を伴い、神経疾患によって大きく変化することが知られている。この姿勢動揺に着目し、神経疾患による姿勢制御の変容メカニズムの解明に向けて、本年度はラットの後肢2足直立実験系を構築した[2]。正常無傷ラットを用いて2足直立実験を行ったところ、姿勢の補助なしに200秒以上の直立状態を計測することができた。更に、我々が既に提案しているヒトの直立姿勢制御に関する非線形PID制御に基づく数理モデルと、計測した圧力中心のパワースペクトルを用いて姿勢制御系を同定したところ、ラットとヒトの制御ゲインに力学系を説明する上で同等の特徴が見られ、同様の姿勢制御メカニズムを有することが示唆された[2]。

B. 歩行制御研究

1) ラット後肢左右分離型トレッドミル歩行

左右に分離された2つのベルトを持ち、それぞれの速度を別々に制御できるトレッドミルを用いて、ヒトや動物の歩行適応機能が調べられている。この特殊な歩行環境では、速度変化に応じて特徴的な短期的・長期的な適応が見られ、神経疾患によって、特に長期的な適応が大きく変化することが知られている。この神経疾患による歩行適応機能の変容メカニズムを明らかにするために、本年度はラットの後肢による左右分離型トレッドミル歩行の実験系を構築した[5]。正常無傷ラットを用いて運動計測を行ったところ、ヒトやネコと同様の短期的な適応が確認された。更に、我々がこれまで構築している筋シナジーに基づくラットの神経筋骨格モデルを改良してシミュレーションを行った結果、ラットと同様の短期的な適応が見られた[1]。また、前肢も含めた全身4脚の数理モデルの構築にも着手した[4]。

2) 小脳部分障害ラットの歩行

姿勢・歩行制御において重要な役割を果たすとされている小脳機能の解明・モデル化を行うために、小脳を部分的に除去したラットを用いた歩行実験を行い、その差異を定量的に計測する。具体的には、小脳の中央部と外側部をそれぞれ除去したラットを作成し、その歩行様態を計測した[7]。歩行における後肢の関節角度を計測すると、中央部除去個体では膝・踵ともに有意に関節角度が減少したが、外側部除去個体では有意な相違は見られなかった。これは、中央部が筋緊張に深く関わる事を示唆し、生理学的機序の解明の一助となり得ると考えられる。

3) ヒトの歩行・走行

運動学シナジーや筋シナジーなど、運動制御における低次元構造の研究より、ヒトの歩行・走行など適応的な歩容生成・遷移メカニズムが解明できると期待されている。運動計測に基づく運動学シナジー解析より、ヒトの歩行・走行を生み出す、共通、並びに特異な時空間構造

を明らかにした[3]。また、筋シナジーに基づく神経筋骨格系の数理モデルの構築に着手した。

これらの研究成果は、システム・情報部門学術講演会2014(2014年11月21~23日、岡山大学津島キャンパス)における「脳内身体表現に基づく適応的運動機能のシステム論的理解」スペシャルセッションでのポスター発表[1, 7, 8]や、第27回自律分散システム・シンポジウム(2015年1月22~23日、東京理科大学森戸記念館)における「身体性システム」オーガナイズドセッションでの口頭発表[2, 3, 4, 5, 6]などで発表している。

C. 筋シナジー解析ツールの開発

脳科学・リハビリテーション医学研究項目との連携に向けて、まずは研究項目間における筋シナジー解析手法の共通基盤の整備に着手した。具体的には、PC上で多入力の筋活動から筋シナジーを解析してその結果を表示するGUIツールを開発した。すでに班会議などで簡単なデモンストレーションなども行い、脳科学・リハビリテーション医学研究項目でも使用できるよう、項目間での調整を行っている。

IV. おわりに

本年度は、初年度における研究開始に伴い、主に実験系の構築と初期的な実験及び解析、ならびに解析ツールを開発した。これによりfast dynamicsに関する制御メカニズムの考察が可能となった。次年度より、上記実験の継続によるfast dynamicsモデルの精緻化とslow dynamicsモデル構築を開始する。また、他研究項目と連携し、実験データの解析とモデル化、ツールの提供を行っていく。

REFERENCES

- [1] 藤木, 青井, 柳原, 船戸, 富田, 荻原, 泉田, 土屋: ラットの神経筋骨格モデルに基づく後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行, システム・情報部門学術講演会 2014, pp. 859-864, 2014.
- [2] 佐藤, 船戸, 柳原, 佐藤, 青井, 藤木, 中野, 土屋: 神経疾患に伴う姿勢制御系の変容解明のためのラットの直立実験環境の構築, 第27回自律分散システム・シンポジウム, pp. 179-182, 2015.
- [3] 石塚, 大島, 青井, 船戸, 富田, 辻内, 伊藤, 土屋: 歩行・走行の関節運動に内在する低次元構造の解析, 第27回自律分散システム・シンポジウム, pp. 235-240, 2015.
- [4] 戸枝, 青井, 船戸, 土屋, 柳原: 筋シナジーの制御によるラット四脚神経筋骨格モデルの歩容生成とエネルギー効率の考察, 第27回自律分散システム・シンポジウム, pp. 241-246, 2015.
- [5] 藤木, 青井, 柳原, 船戸, 佐藤, 泉田, 土屋: ラット後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行の計測と解析, 第27回自律分散システム・シンポジウム, pp. 247-250, 2015.
- [6] 千葉, 高草木, 太田: 代償性姿勢制御における感覚情報の変化による制御の変容の定量化, 第27回自律分散システム・シンポジウム, pp. 183-186, 2015.
- [7] 白石, 高草木, 千葉, 太田: 小脳部分除去ラットによる歩行動作・歩行速度・平衡機能の定量的評価手法の検討, システム・情報部門学術講演会 2014, pp. 879, 2014.
- [8] Jiang, Chiba, Takakusaki, Ota: Realization of biped stance in consideration of neurological time delay through forward dynamics simulation, システム・情報部門学術講演会 2014, pp. 868-870, 2014.
- [9] Jiang, Chiba, Takakusaki, Ota: Stance postural control of a musculo-skeletal model able to compensate neurological time delay, In Proc. Int. Conf. Robot. Biomim. (ROBIO 2014), pp.1130-1135, 2014.

うす緑の色紙はさむ

うす緑の色紙はさむ

C 班（リハビリテーション医学）の活動報告

東北大学大学院医工学研究科 出江 紳一

I. 研究計画

C 班では、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効果の定量化に取り組む。また、脳内身体表現モデルと統合することでモデルベーストリハビリテーションを実践し、介入の帰結予測を行う。さらに、身体全体の感覚運動機能の適正化のための新しい介入法の開発を目指す。これらの課題を遂行するため、以下の研究項目を設定している。

C01：脳内身体表現の変容を用いたニューロリハビリテーション

我々の脳内に構築される脳内身体表現は、外部から観察することが困難とされている。そこで、四肢切断後に鮮明に知覚される切断肢の残存感覚である幻肢（脳内のみ存在する身体）という特殊な症状に着目し、心理物理学的手法により、脳内身体表現を定量化・可視化する。この結果を用いて、脳内身体表現への介入によるニューロリハビリテーションを確立する。

C02：感覚入力への介入を用いた姿勢・歩行リハビリテーション

脳内身体表現の姿勢・運動制御の側面は、筋シナジーの制御として捉えることができる。そこで本研究においては、各種運動障害をもたらす疾患について、筋シナジー制御がどのように異常なのかを定量化する。さらに、感覚介入により筋シナジー制御が（ひいては運動障害が）どのように改善するかを検討する。脳内身体表現の姿勢・運動制御の側面に着目したリハビリテーションを確立する。

II. 班構成

研究項目 C01

出江紳一・田中尚文・大内田裕（東北大学）：脳内身体表現の状態推定とその視覚化

稲邑哲也（国立情報学研究所）：ニューロリハビリテーションのための VR シミュレータの開発

研究項目 C02

芳賀信彦・四津有人（東京大学）：固有知覚障害による運動障害患者研究

花川隆（国立精神・神経医療研究センター）・北佳保里（千葉大学）：神経疾患による運動障害患者研究

横井浩史・杉正夫（電気通信大学）：脳卒中による運動麻痺患者研究

石黒章夫・大脇大（東北大学）：感覚モダリティー変換装置の開発と適用試験

III. 研究成果

本年度の具体的な成果については、各研究項目の報告書にて詳しく述べることにし、ここではその概要をピックアップして紹介する。

C01：脳内身体表現の変容を用いたニューロリハビリテーション

研究代表者の出江（東北大学）らのグループは、刺激検出反応課題を通して、身体の内傍とその周辺における刺激検出に要する時間を測定し、身体内外の注意量の違いを空間的にマッピングする試みを行った。また、研究分担者の稲邑（国立情報学研究所）のグループは、没入型仮想空間(VR)を導入したモデルベーストリハビリテーションの提案を行った。

C02：感覚入力への介入を用いた姿勢・歩行リハビリテーション

本年度は、各グループとも筋シナジーを計測するための機器整備を行った。また、感覚介入のためのデバイスの開発を試みた。健常者や各種運動障害患者に対し試用し、その効果を検証した。

IV. 主な活動

・ 全体会議・シンポジウム

キックオフミーティング(共同プロジェクト研究会)

日時：2014年7月31日、8月1日

場所：東北大学電気通信研究所 大会議室

出席者：班メンバー他 30 名

領域代表，班代表，計画・研究代表者による講演，領域の運営方法についての意見交換。

キックオフシンポジウム・公募説明会

日時：2014 年 9 月 29 日

場所：東京大学本郷キャンパス 伊藤謝恩ホール

出席者：領域メンバー，一般 190 名

一般参加者を対象とした公開シンポジウムを開催。領域代表による領域概要説明，班代表による各班の研究概要説明，領域内研究者による講演，公募説明・質疑応答。

第 1 回領域全体会議

日時：2015 年 3 月 9 日～11 日

場所：花巻温泉ホテル千秋閣大会議室

出席者：領域メンバー，70 名

領域代表，班代表，各研究項目の研究代表者による H26 年度の研究成果報告。総括班評価者・招待講演者による特別講演。領域メンバーによるポスター発表。

- ・ 班会議

第 1 回 A01・B01・C01 連携会議

日時：2014 年 10 月 27 日

会場：東京大学工学部

出席者：班メンバー他，合計 10 名

A01・B01・C01 項目の連携研究に関する議論。

C02 項目会議

日時：2014 年 12 月 1 日

会場：東京大学病院

出席者：班メンバー他，合計 8 名

研究進捗の報告と今後の課題についての討論。

第 2 回 A01・B01・C01 連携会議

日時：2015 年 1 月 5 日

会場：東京大学工学部

出席者：班メンバー他，合計 9 名

A01・B01・C01 項目における，今後の連携研究に関する議論。

C01,02 合同班会議

日時：2015 年 1 月 28 日

会場：東北大学医学部

出席者：班メンバー他，合計 15 名

C01,02 班研究者による活動報告および総合討論。

- ・ 勉強会・研究会

急性期リハビリ見学会

日時：2014 年 10 月 6 日

会場：東京大学院

出席者：班メンバー，3 名

東京大学医学部附属病院リハビリテーション部における急性期運動療法の実践を工学専門家に見学頂いた。

大木・出江研究室合同研究会

日時：2014 年 10 月 16 日

会場：東北大学医学部

出席者：班メンバー他，合計 20 名

大木研と出江研の脊髄損傷における共同研究の進捗状況に関して，中島助教による報告と，今後の検討課題について議論を行った。

01 項目群研究会

日時：2014 年 11 月 2 日

会場：東京大学工学部

出席者：班メンバー他，合計 7 名

A01・B01・C01 項目の連携に向けた合同研究会。矢野博士が身体像，身体図式のモデル化（試案）について，前田講師が統合失調症における SoA の応答について報告を行った。

C01 研究項目の研究成果報告

出江 紳一

東北大学大学院 医工学研究科

I. はじめに

我々の脳内に構築される脳内身体表現は、外部から観察することが困難とされている。そこで、四肢切断後に鮮明に知覚される切断肢の残存感覚である幻肢（脳内のみ存在する身体）という特殊な症状に着目し、心理物理学的手法により、脳内身体表現を定量化・可視化する。この結果を用いて、脳内身体表現への介入によるニューロリハビリテーションを確立する。

II. 目的

近年医療技術の進歩や普及により、脳卒中による死亡率が激減しつつあるが、後遺症として運動機能等に何らかの障害を有する患者数は増大の傾向にある。このため、運動障害に対する効果的なリハビリテーションのニーズが高まっており、様々な手法が開発されてきた。しかし現状では、治療的な介入により機能の向上がみられず、日常生活において十分に発揮されないまま、次第に患側肢の不使用が恒常化していき、介入の効果が持続しないことが多い。このことは現状のリハビリテーションによる効果が、麻痺肢を実用肢のレベルにまで到達させられていないことに起因している。麻痺肢が実用肢となるには、単純に運動機能が改善するだけでは不十分であり、麻痺肢を自己の身体の一部と認識する神経基板が再構築され、環境に適応した運動指令が出力されることが必要である。

そこで、麻痺肢が実用肢として適切に表象されるようになるために、身体認知の側面からみた脳内身体表現として認知身体マッピング器を仮定し、その活動を観測する。認知身体マッピング器とは感覚情報や運動情報から、身体の状態や身体を取り巻く環境の状態を推定する神経機構のことである。患者の麻痺肢は認知身体マッピング器の神経活動で表現され、麻痺肢に対応した独特の身体保持感や運動主体感などの身体意識が体験されると考える。この認知身体マッピング器は可塑的に変容し、これに伴い身体意識も変化すると考えられるため、逆にこの認知身体マッピング器に積極的に介入すれば、リハビリテーションの効果を上げることが可能と考えられる。しかしながら、現状では認知身体マッピング器というものを客観的に計測する手法は確立していない。

本研究項目では、まず脳神経疾患および四肢切断者が呈する特異な感覚運動障害（脳神経疾患における身体軸の知覚の歪みや学習された不使用、切断における幻肢・幻肢痛等）に着目する。こうした様々な症状に対し、

心理物理学的手法により、静的および動的な側面から四肢の脳内身体表現を定量化・可視化し、脳内身体表現を理解する。またこの結果をもとに、脳内身体表現への介入による、脳卒中後の運動障害に対しての新しいニューロリハビリテーションを確立する。

III. 研究成果

本年度の具体的な成果を以下に2つ挙げ、それぞれ概要を説明する。

A. 脳内身体表現の状態推定を実現する実験システムの構築

研究代表者らのグループは、刺激検出反応課題を通して、身体の近傍とその周辺における刺激検出に要する時間を測定し、身体内外の注意量の違いを空間的にマッピングする試みを行った。

身体およびその周囲空間には、身体外と比べ、空間的注意が強く向けられている。そのためこの空間における視覚刺激の検出処理が促進する現象が観測される（nearby hand effect; Tseng et al, 2012）。この特性を利用して、四肢切断患者および脳卒中後片麻痺患者にとって患側肢およびその周辺空間において刺激検出反応時間課題を行い、空間的注意の高まりを反映する反応時間短縮を指標に脳内身体表現の描出を行う。このように描出されたものは、その時点での認知身体マッピング器が表現している身体の状態を反映し、患者の身体保持感の指標となると考えられる。

臨床データ測定に先行し、まず健康成人 19 名に対し、自己の手とそれに類似した模造手を用いて刺激反応検出課題を実施した。机の上に置いた自己の左手および模造手上的の 2 箇所いずれかに視覚刺激をランダムに呈示し、視覚刺激の出現後に速やかに右手でボタン押しをするよう教示し、その反応時間を計測した。空間での自己手の位置の効果を除くため、自己手を正面に置く条件（Hand-L 条件）、自己手を交差させて置く条件（Hand-R 条件）の 2 種の実験条件を設定したが、いずれも自己手上的の視覚刺激に対する反応時間が模造手上的の視覚刺激に対する反応時間より有意に短くなった。さらに、両手を模造手とした統制条件では、左右の模造手上的の視覚刺激に対する反応時間に差は認められなかった。

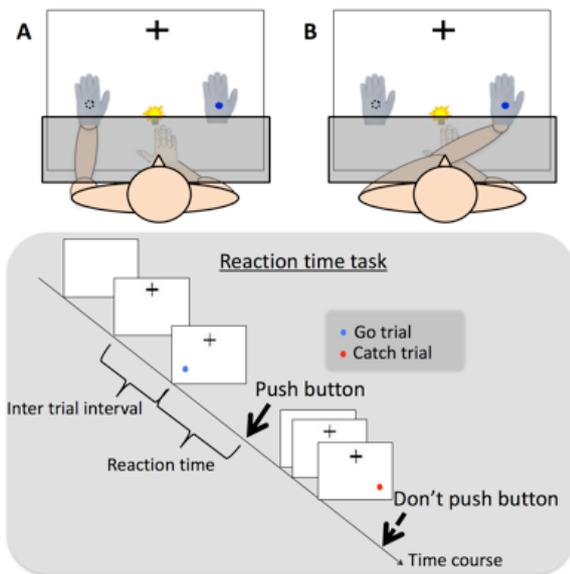


Fig. 1. 刺激反応検出課題の実験デザイン

これらのことから、自己身体の実在に空間注意が強く向けられ、注意の優位性は自己身体の実在分布の偏りに影響しないということも示唆された。こうして刺激反応検出課題を用いることで、反応時間の促進というパラメータを用いて、脳内身体表現を定量的に捉えることが可能になると考えられる。

B. ニューロリハビリテーションのためのVRシミュレータの開発

運動麻痺患者のリハビリテーションでは、患者の麻痺肢の脳内身体表現を適正化し、これを制御可能なものに導くことが重要である。麻痺肢を持つ患者は、脳と患側肢間のフィードバックの整合性がとれていないため、ボディイメージに歪みが生じ、身体軸の傾斜や患側肢への注意低下などが引き起こされることが知られている。そこで、研究分担者の稲邑（国立情報学研究所）のグループは、没入型仮想空間(VR)を導入したモデルベースのリハビリテーションの提案を行った。

従来のリハビリテーションでは、あらかじめ作成してあった固定的動作映像を見せる方法が主流となっていた。それに対し本研究項目では、患者の脳内身体表現を実時間で計測し、没入型VRインタフェースにより、患者の症状に応じて提示視覚情報を変更するアプローチを考案した。このインタフェースを用いた擬似運動体験を通して、患者の身体保持感や運動主体感の適正化を図る試みは、幻肢痛を伴う幻肢患者に対する模倣運動介入や、pusher症候群による身体軸の傾斜知覚の補正など様々な疾患のリハビリテーションへ応用が可能である。そのため、それぞれのニーズに対応したパラメータセッティング（四肢の長さ、視点の変更など）を考案し、患者の身

体保持感および運動主体感を効果的に誘導するニューロリハビリテーションのプロトタイプに実装した。

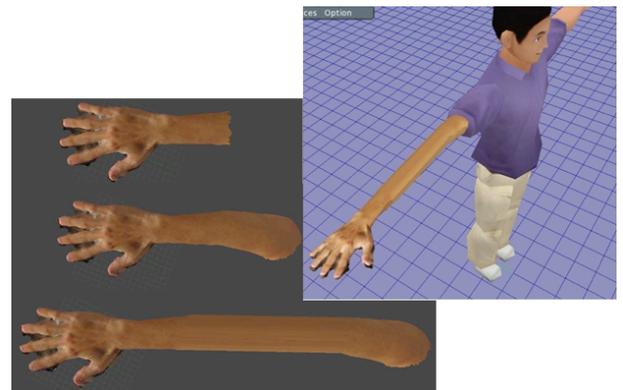


Fig. 2. 四肢の長さを変更した例

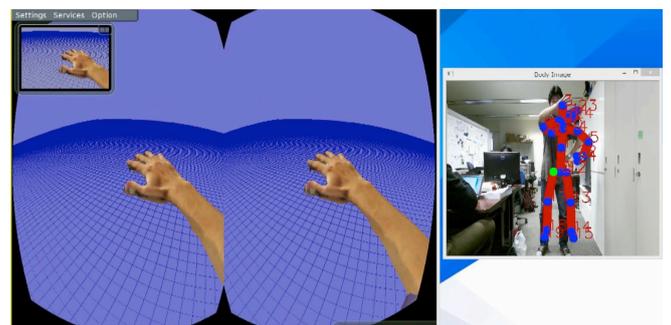


Fig. 3. HMDからの擬似運動呈示例

IV. 今後の展望

本年度は、刺激検出反応時間課題に用いる実験装置の構築および、健常成人を対象とした予備実験と並行し、臨床研究によるデータを取得するための倫理審査申請を行った。倫理委員会の承認を受け、次年度以降には、リクルートを行った脳卒中後運動障害患者および四肢切断者に対し、順次臨床データの測定を進めていく。測定データの結果をもとにして、本年度中に開発を進めてきたVRシミュレータを組み合わせた模倣運動介入を実施していく。

文献

- [1] P. Tseng, B. Bridgeman, and C.H. Juan, "Take the matter into your own hands: A brief review of the effect of nearby-hands on visual processing" *Vision research*, vol.72, pp. 74-77, 2012. (references)
- [2] H. Abe, T. Kondo, Y. Oouchida, Y. Suzukamo, S. Fujiwara, S. Izumi, "Prevalence and Length of Recovery of Pusher Syndrome Based on Cerebral Hemispheric Lesion Sidein Patients With Acute Stroke." *Stroke*, vol. 43, pp. 1654-1656, 2012.
- [3] N. Aizu, Y. Oouchida, S. Izumi. "Neglect-like symptoms of paretic limb by learned nonuse in chronic hemiplegia after stroke" in prep.

C02 研究項目の研究成果報告

芳賀信彦

東京大学医学部附属病院

I. はじめに

日本は超高齢化社会に突入し、要介護の認定を受けている高齢者は 500 万人以上にものぼる。その原因の多くは運動障害である。運動を適切に行うには、運動に先行あるいは随伴して種々の感覚入力を姿勢・運動制御に反映させる必要がある。すなわち、運動障害には単に運動器の問題だけでなく、各種感覚入力の障害も関わる。逆に、感覚介入によって運動障害を改善できる道筋もある。

姿勢・運動制御の障害は、全身の筋の時間的空間的活動パターンが障害されており、筋シナジー制御の異常があると考えられる。すなわち、脳内身体表現の姿勢・運動制御の側面は、筋シナジー制御をマーカーとして捉えることができる。本領域では、時々刻々の感覚入力から実時間で筋シナジーを制御する過程を *fast dynamics* と呼び、シナジー制御が疾病によって変容(悪化)したり、長期的なりハビリテーションによって変容(改善)する過程を *slow dynamics* と呼ぶ。

運動障害をもたらす各種疾患について、筋シナジー制御がどのように変容しているのかは十分に分かっていない。また、日々のリハビリテーションは *fast dynamics* に対する介入であるが、どのような介入がより効率的に *slow dynamics* をもたらすのか十分に分かっていない。本研究項目では、このような筋シナジー制御に関する未知の原理を解明し、感覚介入による運動障害の改善を目指す新たなリハビリテーション医学の学理を提案する。

II. 目的

本研究項目の目的は、筋シナジー制御の理解を通じて、新たなリハビリテーションを提案することである。具体的には

- 1) 筋電図や脳機能画像測定を通じて、筋シナジー制御器の機能を反映する脳内身体表現マーカーを同定する。運動障害におけるマーカーの変容を捉える。
- 2) 筋シナジー制御の *fast dynamics* が、感覚介入により、長期的にどのように変わるのか(*slow dynamics*)を解明する。
- 3) 医工連携により構成される筋シナジー制御器の数理モデルを活用し、運動障害の機能回復を効率的に導く新規なモデルベースドリハビリテーションを提案し検証する。

III. 研究内容と成果

A. 感覚障害による運動障害患者研究

研究代表者らのグループ(芳賀・四津)は、固有知覚障害患者として先天性無痛症などを対象とする。先天性無痛症は遺伝性感覚・自律神経ニューロパチーIV・V型に属し、温痛覚に先天的に異常を来している疾患である。本研究者は、先天性無痛症の歩容に異常があることは既に報告してきた[1]。本研究において、歩行時の筋シナジー制御の異常があるかどうかを捉える。さらに、筋シナジー制御の異常がある場合、温痛覚に代わる感覚介入をすることで、筋シナジー制御・歩容を改善できるかを検証する。具体的な代替の感覚介入として、足圧を音に変換する装具を大脇・石黒グループとともに開発し、聴覚フィードバックによる筋シナジー制御・歩容の改善を検証する。

本年度は、筋シナジー計測のための機器整備を行った。また、大脇・石黒グループらと開発中の足圧-聴覚フィードバック装具を、パイロットスタディーとして患者 4 名に試用し、患者当事者やその家族から意見を聴取した。結果、ケーブルの這わせ方、シートの性状、音の種類、本体・音源の構造に改善点があることが分かった。また、利用方法としてシンプルなアラームとして利用したり、学習方法として親と共に学習するなどの意見を得た。

B. 神経疾患による運動障害患者研究

研究分担者の花川・北グループは、パーキンソン病やジストニアを対象とする。本研究者は、パーキンソン病関連疾患の姿勢・歩行障害に関する脳機能画像研究を行ってきている[2]。本研究において、パーキンソン病の立位・歩行時の筋シナジー制御の異常を、ジストニアにおいては手指運動時の筋シナジー制御の異常を検証する。さらにリドカイン注入などの感覚介入による筋シナジー制御への影響を検証する。

本年度は、パーキンソン病については、上部腰曲がりでは外腹斜筋の異常収縮が関わること、下部腰曲がりでは大腰筋が関わりうることを明らかにした[3]。また、すくみ足の定量的評価にむけた機器整備を行った。ジストニアについては、行動実験とfMRIによる神経基盤の検討を行い、小脳の活動がジストニア症状と関連しうることを明らかにした[4]。更に、虚血性白質障害のすくみ

足において様々な白質部位が関わることを明らかにした [5].

C. 脳卒中による運動麻痺患者研究

研究分担者の横井・杉グループは、脳卒中を対象とする。本研究者は、上肢麻痺に対する BMI や、筋活動を誘発する電気刺激を用いた脳賦活を研究してきている [6]。本研究において、脳卒中の筋シナジー制御の異常を明らかにする。さらに電気刺激による能動的な感覚フィードバックによる介入を行い、シナジー制御への影響を検証する。

本年度は、膝伸展運動を誘発する FES において、どのような刺激パラメータが膝伸展運動を誘発しやすいのか、どのような刺激パラメータが脳活動を誘発しやすいのかを検証した。両者が必ずしも一致しないことを明らかにした。

D. 感覚モダリティー変換装具の開発と適用試験

研究分担者の大脇・石黒グループは、感覚モダリティー変換装具を開発し、芳賀・四津グループや C01 項目と協力して臨床効果を検証する。具体的には、歩行時の足圧を音に変換する装具を開発する。

本年度は、試作品として、圧力センサー5個を備え、音階や閾値をパソコンで調整できる装具を開発した。片麻痺患者1名に試用したところ、踵のセンサーで音が出るようにした時に、膝の過伸展が改善し、足圧中心の位置も後方に寄ることを明らかにした。

IV. おわりに

本年度は研究項目の初年度であり、4グループともに、筋シナジー制御の計測環境の整備や、fast dynamics への感覚介入をするためのデバイスの整備を行った。次年度以降は、計測を本格化し、さらには長期的な感覚介入が筋シナジー制御をどのように変容させるか (slow dynamics) を検証していく予定である。

REFERENCES

- [1] Zhang Y, Ogata N, Yozu A, Haga N: Two-dimensional video gait analyses in patients with congenital insensitivity to pain. *Dev Neurorehabil* 16: 266-270, 2013,
- [2] Shitara H, Shinozaki T, Takagishi K, Honda M, *Hanakawa T: Time course and spatial distribution of fMRI signal changes during single-pulse transcranial magnetic stimulation to the primary motor cortex. *Neuroimage* 56: 1469-1479, 2011,
- [3] Furusawa Y, Hanakawa T, Mukai Y, Aihara Y, Taminato T, Iawata Y, Takei T, Sakamoto T, Murata M: Mechanism of camptocormia in Parkinson's disease analyzed by tilt table-EMG recording. (in press)
- [4] Kita K, Hanakawa T, Furuya S, Sakamoto T, Osu R: Altered behaviors and cerebellar activation during sequential finger tapping in pianists with focal hand dystonia. *Neuroscience* 2014
- [5] Iseki K, Fukuyama H, Oishi N, Tomimoto H, Otsuka Y, Nankaku M, Benninger D, Hallett M, Hanakawa T: Freezing of gait and white matter changes: a tract-based spatial statistics study *Journal of Clinical Movement Disorders* (2015) 2:1
- [6] Yanagisawa T, Yokoi H, Yoshimine T: Electrocorticographic control of a prosthetic arm in paralyzed patients. *Annal Neurol* 71: 353-361, 2012,

うす緑の色紙はさむ

うす緑の色紙はさむ

H26 年度 活動報告リスト

- 1 日時：2014/7/10
場所：東北大学病院リハビリテーション部
名称：C02 班大脳 Gr 打ち合わせ
内容：感覚モダリティ変換装具の開発および実装に関する研究打ち合わせ，予備的計測の実施
- 2 日時：2014/7/18
場所：杏林大学第2病棟会議室 A
名称：杏林医学会第9回例会講演会
内容：出江教授による講演会，および領域の内容の宣伝活動
- 3 日時：2014/7/31-8/1
場所：東北大学電気通信研究所
名称：共同プロジェクト研究会，身体性システムキックオフ会議
内容：X00 他領域の主要メンバーが集まり領域運営について議論
- 4 日時：2014/8/1
場所：東北大学電気通信研究所
名称：02 項目研究打ち合わせ
内容：筋シナジー推定方法に関する研究打ち合わせ
- 5 日時：2014/8/5
場所：東京大学医学部附属病院リハビリテーション科教授室
名称：C02 班芳賀・大脳 Gr 研究打合せ
内容：装具の開発状況の報告および今後の研究方針に関する打ち合わせ
- 6 日時：2014/8/8-9
場所：筑波大学
名称：02 項目研究打ち合わせ
内容：筋シナジーの抽出方法や fMRI 実験との適合性についての議論
- 7 日時：2014/8/19
場所：旭川医科大学脳機能医工学研究センター准教授室
名称：A02-2, B02 項目研究打ち合わせ
内容：研究計画の確認と今後のスケジュールについての議論，
共同研究の方法についての打ち合わせ
- 8 日時：2014/8/20
場所：慶應義塾大学ストレス研究センター
名称：A01 班・B01 班合同研究打ち合わせ
内容：研究進捗の確認と今後の検討課題について議論
- 9 日時：2014/8/27
場所：杏林大学統合生理学教室
名称：研究打合せ
内容：MRI 内での腕運動解析装置の開発について打ち合わせ
- 10 日時：2014/8/28
場所：杏林大学統合生理学教室
名称：A01 項目研究打合せ
内容：身体意識の変容を計測する実験パラダイムの検討と，用いる装置についての概要を議論

- 11 日時：2014/8/30
場所：東大本郷 14 号館 713 室
名称：B01 項目研究打ち合わせ
内容：B01 項目の目標や方向性，研究進捗の確認と今後の研究課題について議論
- 12 日時：2014/9/11
場所：パシフィコ横浜
名称：Neuro2014 における身体性システム関連のシンポジウム開催
内容：内藤と村田が Neuro2014 においてエルセビア主催のシンポジウムのセッションにて座長を務め身体性システムの重要性を 100 名近くの研究者と共有した
- 13 日時：2014/9/11
場所：東北大学病院リハビリテーション部
名称：C02 班大脳 Gr 打ち合わせ
内容：感覚モダリティ変換装具の開発および実装に関する研究打ち合わせ，健常歩行への適用実験の実施
- 14 日時：2014/9/11
場所：同志社大学今出川キャンパス良心館ラウンジ
名称：小川・今水研究打ち合わせ
内容：運動主体感に関する共同研究の打ち合わせ
- 15 日時：2014/9/11
場所：同志社大学今出川キャンパス良心館 RY409 教室
名称：日本心理学会第 78 回大会公募シンポジウム
内容：日本心理学会第 78 回大会公募シンポジウム「習熟に伴う行動と脳の変容：言語，音楽，運動の学習から探る」における司会と身体性システム公募研究募集の広報
- 16 日時：2014/9/18
場所：同志社大学
名称：B02 班研究打ち合わせ
内容：研究進捗の確認と今後の課題の検討
- 17 日時：2014/9/18
場所：国際電気通信基礎技術研究所（ATR）今水居室
名称：浅井・今水共同研究打ち合わせ
内容：運動主体感に関する脳活動計測の実験案に関して議論
- 18 日時：2014/9/22
場所：東北大学病院リハビリテーション部
名称：C02 班大脳 Gr 打ち合わせ
内容：感覚モダリティ変換装具の片麻痺患者への実装に関する研究打ち合わせ，および予備的計測
- 19 日時：2014/9/24
場所：大手町 KDDI ビル 21F
名称：NICT 理事長記者説明会
内容：サッカーの達人ネイマールの効率的な足運動制御に関する最新の知見を解説し，神経介入によって運動の効率化を導くことで，運動学習の頭打ちを打開できる研究成果の発表を 9 社の記者に解説
記事参照 <http://eetimes.jp/ee/articles/1409/26/news036.html>

- 20 日時：2014/9/26
場所：大阪大学医学部視聴覚室
名称：特別講演
内容：運動の達人がどのように運動を制御しているのか，運動学習に伴って脳内身体表現がどのように形成されるのか，子供の発達に伴う脳運動制御機能の発達過程，さらに脳卒中などの損傷脳がどのように機能回復するのか，身体性システムの中心的トピックを解説
- 21 日時：2014/9/26
場所：CiNet
名称：A01, A02 代表打ち合わせ
内容：A01 班代表今水寛と A 班代表内藤栄一が A01 と A02 の融合について，7TMRI 実験の打ち合わせを通して議論
- 22 日時：2014/9/29
場所：伊藤謝恩ホール
名称：キックオフシンポジウム
内容：身体性システムのキックオフシンポジウムにおいて，脳科学の知見の紹介，応募の促進
- 23 日時：2014/9/29
場所：東大本郷 14 号館 330
名称：02 項目打ち合わせ
内容：筋シナジー構造の抽出ソフトウェアの方式と展開方法についての議論
- 24 日時：2014/9/29
場所：東京大学医学部附属病院リハビリテーション部運動療法室
名称：B02-C02 筋電計導入に関する打ち合わせ
内容：東京大学病院に導入する筋シナジー解析のための筋電計導入に関する打ち合わせ
- 25 日時：2014/9/30
場所：NCNP
名称：A02 班会議
内容：A02 班の研究計画について今後の検討課題の議論，筋シナジー抽出のための共通フォーマットの確認
- 26 日時：2014/10/6
場所：東大病院
名称：B02・C02 項目打ち合わせ
内容：東大病院リハビリセンターの見学および共通理解の話し合い
- 27 日時：2014/10/6
場所：東京大学医学部附属病院リハビリテーション部
名称：急性期リハビリ見学会
内容：東京大学医学部附属病院リハビリテーション部における急性期運動療法の，工学専門科による見学
- 28 日時：2014/10/8
場所：国際電気通信基礎技術研究所（ATR）今水居室
名称：浅井・今水共同研究打ち合わせ
内容：運動主体感に関する脳活動計測の解析結果に関する議論
- 29 日時：2014/10/10-11
場所：ヤマハつま恋リゾート
名称：研究打ち合わせ
内容：02 項目の研究の進め方についての議論

- 30 日時：2014/10/10
場所：東北大学病院リハビリテーション部
名称：C02 班大脇 Gr 打ち合わせ
内容：感覚モダリティ変換装具の開発および実装に関する研究打ち合わせ，健常者歩行への適用実験
- 31 日時：2014/10/15
場所：慶應義塾大学ストレスセンター
名称：A01・B01 合同打ち合わせ
内容：A01・B01 のメンバー合同による研究進捗の確認と今後の検討課題についての議論
- 32 日時：2014/10/16
場所：東北大医学部臨床講義室 1
名称：大木研と出江研の共同研究打合せ
内容：大木研と出江研の脊髄損傷における共同研究の進捗状況に関して，中島助教による報告および今後の検討課題についての議論
- 33 日時：2014/10/21-22
場所：筑波大学
名称：研究打ち合わせ
内容：共同研究に関する過去研究の確認，身体運動記憶に関するモデルのコンセプトの決定
- 34 日時：2014/10/22
場所：杏林大学統合生理学教室
名称：A01 打ち合わせ
内容：MRI 内での位置計測装置の設計のための業者との打ち合わせ
- 35 日時：2014/10/23
場所：筑波大学 総合研究棟 B 1224 室
名称：B01 班研究打ち合わせ
内容：身体操作感に関する計算論的モデルのコンセプトの決定
- 36 日時：2014/10/27
場所：東大本郷工 14 号館 713 室
名称：A01・B01・C01 連携会議
内容：A01・B01・C01 項目の連携研究についての議論および研究の進捗の確認と今後の検討課題についての議論
- 37 日時：2014/10/28-29
場所：筑波大学 総合研究棟 B 1224 室
名称：AB 間共同研究打ち合わせ
内容：自己操作感の過去研究に関する問題点の精査，心理物理実験のデザインについて検討
- 38 日時：2014/10/30-31
場所：旭川医科大学会議室
名称：A01, A02-2 研究打ち合わせ
内容：A01 項目，A02-2 項目のメンバーによる研究内容の確認，および今後の展開についての打ち合わせ
- 39 日時：2014/11/1
場所：無痛無汗症シンポジウム@神戸しあわせの村
名称：無痛無汗症への装具実装に関する打ち合わせおよび実装試験（C02 班芳賀-大脇 Gr）
内容：第 21 回無痛無汗症シンポジウムにおいて装具の実装に関する打ち合わせ，さらにシンポジウムの検診会において装具の実装に関する試験の実施

- 40 日時：2014/11/2
場所：東大本郷 14 号館 713 室
名称：01 項目群研究会
内容：A01/B01/C01 の連携に向けた合同研究会
矢野が身体像，身体図式のモデル化（試案）について報告
前田が統合失調症における SoA の応答について報告
- 41 日時：2014/11/10
場所：同志社大学
名称：B02 班研究打ち合わせ
内容：研究進捗の確認と今後の課題の検討
- 42 日時：2014/11/19
場所：大阪大学生命機能研究科・ナノバイオロジー棟 3 階セミナー室
名称：大阪大学大学院生命機能研究科・集中講義
内容：「運動と認知の脳科学」と題した集中講義の 1 コマにおける，身体性システムの概要と運動主体感に関する最近の研究成果についての概説
- 43 日時：2014/11/20
場所：東北大学病院リハビリテーション部
名称：C02 班大脳 Gr 打ち合わせ
内容：感覚モダリティ変換装具の片麻痺患者への実装に関する研究打ち合わせ，および予備的計測
- 44 日時：2014/11/21
場所：岡山大学
名称：計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会「身体性システム」スペシャルセッション
内容：ポスター発表(10 件)
- SS14-1 生理計測に基づくカーレーサのストレス推定：山川博司，レクオク ズン，山下淳，浅間一
 - SS14-2 ラットの神経筋骨格モデルに基づく後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行：藤木聡一朗，青井伸也，柳原大，船戸徹郎，富田望，荻原直道，泉田啓，土屋和雄
 - SS14-3 平面法則と主成分分析を用いた変形性膝関節症患者の歩行解析：石川雄己，安琪，中川純希，戸島美智生，安井哲郎，岡敬之，井口はるひ，真野浩志，芳賀信彦，山下淳，浅間一
 - SS14-4 Realization of Biped Stance in Consideration of Neurological Time Delay through Forward Dynamics Simulation：姜平，千葉龍介，高草木薫，太田順
 - SS14-5 ERD 検出にフリッカ刺激が及ぼす影響：亀田瑞貴，近藤敏之
 - SS14-6 電極の位置ずれによる EMG 変化を考慮した筋電制御：片岡一平，近藤敏之，Truong Quang Dang Khoa
 - SS14-7 BCI ニューロリハビリテーションに向けた運動負荷時事象関連脱同期の分析：中屋敷弘晟，近藤敏之
 - SS14-8 小脳部分除去ラットによる歩行動作・歩行速度・平衡機能の定量的評価手法の検討：白石匠，高草木薫，千葉龍介，太田順
 - SS14-9 機能的電気刺激時の筋張力の表面筋電図を用いた推定法：清水雄貴，齋藤晴紀，杉正夫，大平美里，森下壮一郎，中村達弘，加藤龍，横井浩史
 - SS14-10 上腕電動義手のブレイン・マシン・インタフェース制御のための周期的運動中のサル硬膜下電位からの筋電位推定：森下壮一郎，佐藤圭太，渡辺秀典，西村幸男，伊佐正，加藤龍，中村達弘，横井浩史

- 45 日時：2014/11/27
場所：筑波大学システム情報系 L3-301 会議室
名称：D.Ostry 教授講演会
内容：David J Ostry 教授（カナダ・マギル大）の講演会（講演題目「Motor learning and Sensory Plasticity」）の開催
- 46 日時：2014/12/1
場所：東大病院入院棟 A15 階小会議室
名称：C02 項目会議
内容：研究進捗の報告と今後の課題
- 47 日時：2014/12/1
場所：杏林大学統合生理学教室
名称：A01 打ち合わせ
内容：研究計画について議論
- 48 日時：2014/12/3
場所：ATR
名称：今水・矢野ミーティング
内容：矢野から SoA の数理モデルに関して、そのモデルから説明可能なこと・予測されること・実証に向けた取り組み案を紹介、および検討中のいくつかの研究計画についての紹介
今水先生から delay signal adaptation に関連した運動準備電位の発火部位・発火形状についての実証的研究について紹介、その他今後の研究体制についての議論
- 49 日時：2014/12/10
場所：慶應義塾大学ストレスセンター
名称：A01・B01 合同打ち合わせ
内容：A01・B01 のメンバー合同による研究進捗の確認と今後の検討課題についての議論
- 50 日時：2014/12/16
場所：東北大学病院リハビリテーション部
名称：C02 班大脇 Gr 打ち合わせ
内容：感覚モダリティ変換装具の片麻痺患者への実装に関する研究打ち合わせ、および予備的計測
- 51 日時：2014/12/22
場所：東大本郷 14 号館 713 室
名称：B 班会議
内容：B01 と B02 合同による研究の進捗報告と項目群間の連携方法についての議論
話題提供者：矢野史朗（立命館大学）、井澤 淳（筑波大学）、青井伸也（京都大学）、千葉龍介（旭川医科大学）
- 52 日時：2014/12/25
場所：慶應義塾大学病院
名称：SoA 研究打ち合わせ
内容：SoA 計測手法である慶應タスクを想定した SoA の計算論的モデルについての進捗報告、また今後の連携および関連研究についての情報交換
- 53 日時：2015/1/5
場所：東大本郷 14 号館 713 室
名称：A01 項目・B01 項目・C01 項目共同打ち合わせ
内容：A01 項目・B01 項目・C01 項目の共同研究打ち合わせ（身体性システム Sense of agency /ownership Slow Dynamics (SOS) 会議）の実施、今後の共同研究の課題についての議論

54 日時：2015/1/16

場所：東京大学医学部病院 中央診療棟 2，7 階，中会議室

名称：A 班会議

内容：今水，村田：脳班 A01 の研究進捗の報告／平島：A02 班からの筋シナジーの定義についての提案／廣瀬：MRI を用いた筋シナジー制御器の同定に関する提案

55 日時：2015/1/16

場所：東大本郷 14 号館 1126 室

名称：班代表会議

内容：領域の運営の仕方について議論

56 日時：2015/1/23

場所：東京理科大学

名称：自律分散システム・シンポジウム オーガナイズドセッション

内容：発表（8 件）

- 2C1-1 神経疾患に伴う姿勢制御系の変容解明のためのラットの直立実験環境の構築：佐藤陽太，船戸徹郎，柳原 大，佐藤 和，青井伸也，藤木聡一郎，中野和司，土屋和雄
- 2C1-2 代償性姿勢制御における感覚情報の変化による制御の変容の定量化：千葉龍介，高草木 薫，太田 順
- 2C1-3 感覚フィードバックを伴う機能的電気刺激を用いた運動機能回復応用に関する研究／健常者における脳活動の時間的推移に関する検証：大平美里，神澤明子，森下壮一郎，姜 銀来，山村 修，横井浩史
- 2C1-4 運動想起型 BCI のためのニューロフィードバック訓練における受動的感覚呈示の影響：近藤敏之，北原康佑，林 叔克，佐伯 碧
- 2C2-1 ラットモデルを用いた歩行中の障害物回避動作における延髄下オリブ核・登上線維系破壊の影響：佐藤 和，境 和久，青木 祥，端川 勉，柳原 大
- 2C2-2 歩行・走行の関節運動に内在する低次元構造の解析：石塚駿太郎，大島裕子，青井伸也，船戸徹郎，富田 望，辻内伸好，伊藤彰人，土屋和雄
- 2C2-3 筋シナジーの制御によるラット四脚神経筋骨格モデルの歩容生成とエネルギー効率の考察：戸枝美咲，青井伸也，船戸徹郎，土屋和雄，柳原 大
- 2C2-4 ラット後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行の計測と解析：藤木聡一郎，青井伸也，柳原 大，船戸徹郎，佐藤陽太，泉田 啓，土屋和雄

57 日時：2015/1/28

場所：東北大学大学院医工学研究科 医工学実験棟 2 階

名称：C01,02 班合同班会議

内容：C01 班活動報告，C02 班活動報告，他班との共同研究への可能性についての総合討論

58 日時：2015/1/29

場所：国際電気通信基礎技術研究所（ATR）1 階西 A 会議室

名称：田中・井澤・今水研究打ち合わせ

内容：運動学習における誤差と報酬の役割に関する共同研究打ち合わせ

59 日時：2015/2/1

場所：誠愛リハビリテーション病院 博多

名称：誠愛リハビリテーション病院 脳生理研修会

内容：誠愛リハビリテーション病院にて，160 名の療法士を対象とした「脳の感覚運動制御の仕組みと損傷脳の運動回復のルール」と題する講演を実施，身体性システムの成果をリハビリテーション現場の療法士に講義，リハビリテーション法のあり方，原理について議論

60 日時：2015/2/3

場所：東北大学病院リハビリテーション部

名称：C02 班大脇 Gr 打ち合わせ

内容：感覚モダリティ変換装具の片麻痺患者への実装に関する研究打ち合わせ，および予備的計測

61 日時：2015/2/14

場所：奈良女子大学附属中等教育学校

名称：スーパーサイエンスハイスクールサイエンス先端講座

内容：世界脳週間イベントの講義の一環として、「ネイマールに学ぶ、身体を動かす脳の仕組み」という講演を行い，身体の中の身体表現や脳が身体をどう動かしているかに関する講演および実験デモを行った．生徒・保護者 39 名，奈良育英生徒・教員 49 名，一般 3 名の合計 91 名が参加し盛会となった．

62 日時：2015/2/14

場所：ATR 脳情報研究所

名称：SoA の数理と実証に関するミーティング

内容：SoA に関する数理モデルの検証に向けた議論

慶應医・前田が測定した統合失調症患者（陽性・陰性）の SoA データについて，矢野がデータ分析し，SoA の適応過程について報告．今水から運動準備電位の測定方法についての研究についてのレビューと研究提案．以上について，今水，前田，沖村，矢野の 4 者によるデータ解釈や今後の実験についての議論

63 日時：2015/2/14

場所：東大病院リハビリ室

名称：筋シナジー計測機器設定

内容：筋シナジー計測機器のセットアップを行った．

H26 年度 研究業績リスト

学術論文

1. Sugimori, E., and Asai, T.: Attribution of movement: Potential links between subjective reports of agency and output monitoring., *Quarterly Journal of Experimental Psychology.*, in press
2. K. Takakusaki: Brainstem control of locomotion and muscle tone with special reference to the role of medullary reticulospinal neurons, *Parkinson's disease and related disorders*, in press.
3. A.H. Snijders, K. Takakusaki, B. Debu, A. Lozano, T. Azizi, S. Papa, S. Factor, M. Hallett: Physiology of freezing of gait *Movement disorder*, in press.
4. 高草木: 姿勢・運動制御の神経学的基盤, *臨床神経リハビリテーション*, 印刷中
5. 高草木: 姿勢・歩行の制御, *Clinical Neuroscience* 中外医学社, 印刷中
6. Masahiro Yamashita, Mitsuo Kawato, Hiroshi Imamizu: Predicting learning plateau of working memory from whole-brain intrinsic network connectivity patterns, *Scientific Reports* 5, Article number: 7622 doi:10.1038/srep07622, 2015
7. K. Maeda, H. Ishida, K. Nakajima, M. Inase and A. Murata: Functional properties of parietal hand-manipulation neurons and mirror neurons responding vision of own hand action, *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 27, No. 3, pp. 560-572, 2015
8. 村田哲, 前田和孝: 社会的行動発現のための感覚運動制御システム, *Clinical Neuroscience*, 33(2) 151-154, 2015
9. T. Asai: Illusory body-ownership entails automatic compensative movement: for the unified representation between body and action, *Experimental Brain Research*, Vol 233, Issue 3, pp 777-785, 2015
10. Puentes S, Seki K.: Internal capsule stroke in the common marmoset, *Neuroscience*, 284, pp.400-411, 2015
11. T. Okumura, T. Nozu, S. Kumei, K. Takakusaki, S. Miyagishi, M. Ohhira: Antinociceptive action against colonic distension by brain orexin in conscious rats, *Brain research*, 1598, 12-17, 2015.
12. J. Nakagawa, Q. An, Y. Ishikawa, H. Oka, K. Takakusaki, H. Yamakawa, A. Yamashita, and H. Asama: Analysis of Human Motor Skill in Dart Throwing Motion at Different Distance, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol.8, No.1, pp.79-85, 2015

13. Imaizumi, S., Asai, T., Kanayama, N., Kawamura, M., & Koyama, S.: Agency over a phantom limb and electromyographic activity on the stump depend on visuomotor synchrony: a case study., *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol 8, pp. 545., 2014
14. Maeda, K., H. Ishida, K. Nakajima, M. Inase, and A. Murata, Functional Properties of Parietal Hand Manipulation-related Neurons and Mirror Neurons Responding to Vision of Own Hand Action// *J Cogn Neurosci.*,2015. *27*(3): p. 560-72. doi: 10.1162/jocn_a_00742.
15. 村田哲, 前田和孝: 【ミラーニューロン】 ミラーニューロンの明らかにしたもの 再考, *BRAIN and NERVE: 神経研究の進歩*, 66(6): p. 635-646, 2014
16. E Naito and S Hirose: Efficient foot motor control by Neymar's brain, *Frontiers in Human Neuroscience*, 2014, doi: 10.3389/fnhum.2014.00594
17. 内藤栄一, 守田知代: ヒトの身体図式の脳内表現と身体的自己意識, *Brain and Nerve*, 2014, 66(4):367-380
18. DE Callan and E Naito: Neural processes distinguishing elite from expert and novice athletes., *Cognitive and Behavioral Neurology*, Vol. 27, No. 4, pp. 183-188, 2014
19. S. Hirose, I. Nambu, E. Naito: An empirical solution for over-pruning with a novel ensemble-learning method for fMRI decoding, *Journal of Neuroscience Methods*, 2015, Vol. 235C, pp. 238-245
20. 大屋知徹, 関和彦: 中脳赤核と運動機能一系統発生的観点から一, *脊髓外科*, Vol28. No.3, pp258-264, 2014
21. T. Umeda, T. Isa, and Y. Nishimura: Proprioceptive information coded by populational sensory afferents, *J. Phys. Fitness Sports Med*, Vol. 3, No. 5, pp. 477-482, 2014
22. T. Ikegami, G. Ganesh Watching novice action degrades expert motor performance: Causation between action production and outcome prediction of observed actions by humans. *Scientific Reports* 2014 4, 6989; doi: 10.1038/srep06989
23. Ganesh G, Yoshioka T, Osu R, Ikegami T: Immediate tool incorporation processes determine human motor planning with tools, *Nature Communications*, 2014, doi: 10.1038/ncomms5524
24. T. Ishikawa, S. Tomatsu, Y. Tsunoda, J. Lee, D.S. Hoffman, S. Kakei: Releasing dentate nucleus cells from Purkinje cell inhibition generates output from the cerebrocerebellum, *PLoS ONE*, Vol. 9, No. 10, e108774, 2014
25. T. Ishikawa, S. Tomatsu, Y. Tsunoda, D.S. Hoffman, S. Kakei: Mossy fibers in the cerebellar hemisphere show delay activity in a delayed response task *Neuroscience Research*, Vol. 87, pp84-89, doi: 10.1016/j.neures.2014.07.006, 2014

26. T. Nozu, K. Takakusaki, T. Okumura: Urocortin 2 blocks the suppression of gastric antral contractions induced by lipopolysaccharide in freely moving conscious rats, *Regulatory peptides*, 190, 12-17, 2014.
27. T. Nozu, K. Takakusaki, T. Okumura: A balance theory of peripheral corticotropin-releasing factor receptor type 1 and type 2 signaling to induce colonic contractions and visceral hyperalgesia in rats, *Endocrinology*, 155(12), 4655-4664, 2014
28. H. Matsui, T. Noguchi, K. Takakusaki, M. Kashiwayanagi: Co-localization of TRPV2 and insulin-like growth factor-I receptor in olfactory neurons in adult and fetal mouse, *Biological & pharmaceutical bulletin*, 37(12), 1907-1912, 2014.
29. 高草木: 脚橋被蓋核 (PPN) の機能と Parkinson 病, *神経内科*, 科学評論社, Vol.80(5), pp.527-535, 2014
30. L. Firmin, P. Field, M. Maire, A. Kraskov, P. Kirkwood, K. Nakajima, R. Lemon and M. Glickstein: Axon diameters and conduction velocities in the macaque pyramidal tract, *Journal of Physiology*, Vol. 112, No. 6, pp. 1229-1240, 2014
31. 中階克己: 霊長類の歩行と一次運動野, *バイオメカニズム学会誌*, Vol. 38, No. 3, pp. 175-180, 2014
32. T. Kondo, M. Saeki, Y. Hayashi, K. Nakayashiki, and Y. Takata: Effect of instructive visual stimuli on neurofeedback training for motor imagery-based brain-computer interface, *Human Movement Science*, 2014, doi:10.1016/j.humov.2014.08.014
33. Hirokazu Tanaka, Terrence Sejnowski: Motor adaptation and generalization of reaching movements using motor primitives based on spatial coordinates, *Journal of Neurophysiology*, 2015, DOI: 10.1152/jn.00002.2014
34. N. Haga N, M Kubota, and Z Miwa: Hereditary sensory and autonomic neuropathy types IV and V in Japan *Pediatrics International*, Epub Ahead of Print, 2014
35. 四津有人, 芳賀信彦, 太田順: 発達の見方とリハビリテーション, *Journal of Clinical Rehabilitation* 2014 Vol. 23, No. 9, pp. 902-906

1. M. Yamashita, M. Kawato, and H. Imamizu: Prediction of individual learning plateau of a working memory training from whole-brain resting state functional connectivity patterns, Society for Neuroscience 2014, Washington, DC., USA. 2014
2. T. Nakajima, S. Suzuki, H. Ohtsuka, T. Endoh, Y. Masugi, S. Irie, T. Komiyama, Y. Ohki: Plasticity of indirect cortico-motoneuronal excitations in relaxed hand muscles in humans. Society for Neuroscience 2014, Washington DC, USA, 2014
3. J. Yagi, Y. Kobayashi, N. Hirai, Y. Ohki: Electrophysiological characteristics of chloroquine-sensitive dorsal root ganglion neurons in rats. Society for Neuroscience 2014 Washington DC, USA, 2014
4. K. Seki: Subcortical control of voluntary movement, 18th Thai Neuroscience Society Conference 2014 and 2nd CU-NIPS Symposium, Bangkok, Thailand
5. H. Yaguchi, D. Kowalski, T. Takei and K. Seki: Posture dependency of the twitch responses induced by intraspinal microstimulation to the primate spinal cord, Society for Neuroscience 2014, Washington D.C., USA. 2014
6. T. Umeda, T. Isa, and Y. Nishimura: Sources of the premovement activity in the primary somatosensory cortex Neurobiology and Neuroinformatics (NBNI), Okazaki, Japan, 2014
7. T. Umeda, K. Takakusaki, and T. Isa: Glycinergic inhibition of the ipsilateral cortical excitation to forelimb motoneurons in monkeys 18th Thai Neuroscience Society Conference 2014 and 2nd CU-NIPS Symposium, Bangkok, Thailand, 2014
8. K. Takakusaki: Supraspinal Control of Locomotor Rhythm, Neuro-Oscillation Conference 2014, Okazaki, JAPAN, 2014
9. K. Takakusaki: Brainstem control of locomotion and posture, Scientific Program of the International Conference; New ideas, perspectives and applications in functional neurosurgery; State of the art of the deep brain stimulation of the pedunculopontine tegmental nucleus (PPTg area) (4th Symposium), Rome, Italy 2014
10. K. Takakusaki, R. Chiba, K. Obara, T. Nozu, and T. Okumura: Spinal interneuronal organization involved in the control of postural muscle tone in the cat, Neuroscience 2014, Washington DC, USA, 2014
11. Q. An, Y. Ishikawa, S. Aoi, T. Funato, H. Oka, H. Yamakawa, A. Yamashita, H. Asama: Analysis of Muscle Synergy Contribution on Human Standing-up Motion Using Human

Neuro-Musculoskeletal Model, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2015), Seattle, USA, 2015

12. Jiang Ping, Chiba Ryosuke, Takakusaki Kaoru & Ota Jun: Stance postural control of a musculoskeletal model able to compensate neurological time delay, Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2014) Bali, Indonesia 2014
13. Jun Ota, The 7th International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA), plenary talk, Embodied-brain Systems Science - understanding brain plasticity on body representations, 中国広州, 2014 12/18, 【招待講演】
14. Y. Oouchida, N. Aizu, K. Sugiyama, Y. Suzuki, E. Suzuki, S. Izumi: IMITATION MOVEMENT REDUCED PHANTOM LIMB PAIN IN BILATERAL LOWER LIMB AMPUTATION, 4th Asia-Oceanian Conference of Physical and Rehabilitation Medicine 2014 Bangkok, Thailand, 2014

国内会議 講演・口頭発表

1. 今水: ブレインマシンインターフェースの基礎技術と応用, 応用脳科学コンソーシアム・第4回 CiNet 脳情報研究ワークショップ【招待講演】, 京都大学・東京オフィス, 2015
2. 今水: 脳の仕組みの解明とブレイン・マシン・インターフェースへの応用, 第100回有機デバイス研究会「脳-究極の有機デバイス」【招待講演】, 静岡大学浜松キャンパス・佐鳴会館 2015
3. 大屋知徹, 武井智彦, 関和彦: 赤核脊髄路と皮質脊髄路の生み出す筋シナジー構造 生理学研究所研究会「行動システム脳科学の新展開」, 生理学研究所, 2015
4. 高草木: 認知症患者の行動科学-認知症を知る-, 第24回有病者歯科医療学会総会・学術大会, 旭川市大雪クリスタルホール, 2015
5. 高草木: 姿勢-運動と身体の認知, 第92回日本生理学会大会, 神戸コンベンションセンター, 2015
6. 中隼, 村田, 稲瀬: トレッドミル歩行中におけるサル補足運動野の単一神経細胞活動, 第92回日本生理学会大会, 神戸国際会議場, 2015
7. Qi An, 石川雄己, 青井伸也, 船戸徹郎, 岡敬之, 山川博司, 山下淳, 浅間一: 筋シナジーの時間パターンがヒト起立動作に与える影響の神経筋骨格モデルを用いた解明, 第20回ロボティクスシンポジウム, 軽井沢プリンスホテルウエスト, 2015
8. 蓑原凜, 温文, 濱崎峻資, 前田貴記, 加藤元一郎, 山川博司, 山下淳, 浅間一: スイッチ操作力の差異が運動主体感に与える影響の評価, 第20回ロボティクスシンポジウム, 軽井沢プリンスホテルウエスト, 2015

9. 近藤敏之, 北原康佑, 林 叔克, 佐伯 碧: 運動想起型 BCI のためのニューロフィードバック訓練における受動的感覚呈示の影響, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念館, 2015
10. 田中宏和: 到達運動の運動方程式と前頭頭頂運動野の座標系, 第 120 回日本解剖学会, 第 92 回日本生理学会大会 合同大会, 神戸国際会議場・展示場, 2015
11. 石塚駿太郎, 大島裕子, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田 望, 辻内伸好, 伊藤彰人, 土屋和雄: 歩行・走行の関節運動に内在する低次元構造の解析, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念館, 2015
12. 戸枝美咲, 青井伸也, 船戸徹郎, 土屋和雄, 柳原 大: 筋シナジーの制御によるラット四脚神経筋骨格モデルの歩容生成とエネルギー効率の考察, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念館, 2015
13. 藤木聡一郎, 青井伸也, 柳原 大, 船戸徹郎, 佐藤陽太, 泉田 啓, 土屋和雄: ラット後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行の計測と解析, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念館, 2015
14. 佐藤陽太, 船戸徹郎, 柳原 大, 佐藤 和, 青井伸也, 藤木聡一郎, 中野和司, 土屋和雄: 神経疾患に伴う姿勢制御系の変容解明のためのラットの直立実験環境の構築, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念館, 2015
15. 千葉龍介, 高草木薫, 太田順: 代償性姿勢制御における感覚情報の変化による制御の変容の定量化, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念館, 2015
16. 佐藤 和, 境 和久, 青木 祥, 端川 勉, 柳原 大: ラットモデルを用いた歩行中の障害物回避動作における延髄下オリーブ核-登上線維系破壊の影響, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念館, 2015
17. 大平美里, 神澤明子, 森下壮一郎, 姜 銀来, 山村 修, 横井浩史: 感覚フィードバックを伴う機能的電気刺激を用いた運動機能回復応用に関する研究: 健常者における脳活動の時間的推移に関する検証, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念館, 2015
18. 今水: 内在性脳活動からのヒトの行動予測, 日本心理学会第 78 回大会シンポジウム: 脳から知る心と体の現在・過去・未来～個性の理解から教育・スポーツ・リハビリへの応用まで～ 同志社大学今出川キャンパス, 2014
19. 今水: 計算論と神経科学からみた運動学習, セラピスト・リハビリ科医のためのニューロサイエンスセミナー2014「徹底理解! 基礎からわかる運動学習」【招待講演】, 兵庫医科大学, 2014

20. 八幡, 森本, 橋本, 柴田, 今水, 福田, 川久保, 桑原, 黒田, 山田, 加藤, 佐々木, 渡邊, 笠井, 川人: 安静時脳機能磁気共鳴画像を用いた機械学習による自閉症スペクトラム障害の神経基盤研究, 第 37 回日本神経科学大会, パシフィコ横浜, 2014
21. 山下, 川人, 今水: 内在的ネットワークの結合性から個人の作業記憶訓練の学習プラトールを予測する 第 37 回日本神経科学大会, パシフィコ横浜, 2014
22. 村田 哲, ミラーニューロンと身体性, 第 24 回認知リハビリテーション研究会, 研究者英語センター, 2014
23. 渋谷 賢, 大木 紫: 拡張した仮想身体 of 操作の時間遅れが身体性自己意識と身体表現に及ぼす影響, 第 6 回多感覚研究会, 広島大学, 2014
24. 渋谷 賢, 大木 紫: 仮想身体 of 操作による身体性自己意識と身体表現の変化, 第 6 回多感覚研究会, 広島大学, 2014
25. 渋谷 賢, 大木 紫: 拡張した仮想身体 of 操作による身体性自己意識と身体表現の変化, 第 37 回日本神経科学学会, パシフィコ横浜, 2014
26. Eiichi Naito: Introduction for Elsevier-NSR Symposium entitled Somatosensory: Fundamental sensory system for bodily alert, motor control, development, and self-consciousness, Neuro2014, パシフィコ横浜, 2014
27. 内藤栄一: ネイマールの脳から見える長期運動練習に伴う運動野の効率的運動制御, 第 8 回 MotorControl 研究会, 筑波大学, 2014
28. 雨宮 薫, 内藤栄一: ヒトの身体的自己意識に関わる右半球下前頭-頭頂ネットワークの役割, 第 8 回 MotorControl 研究会, 筑波大学, 2014
29. 荻原, 斉藤, 武井, 関: 3次元筋骨格モデルに基づくニホンザル精密把握動作の逆力学解析, Inverse dynamic analysis of precision grip in the Japanese macaque based on a three-dimensional musculoskeletal model. 第 37 回日本神経科学大会, パシフィコ横浜, 2014
30. 大屋, 武井, 関: 運動駆動細胞群の筋シナジー創出機構, 平成 26 年度生理学研究所研究会, 生理学研究所, 2014
31. 大屋, 武井, 関: 赤核の回路と機能における推察, 第 8 回 Motor Control 研究会, 筑波大学, 2014
32. 大屋, 武井, 関: 異なる下行路系から生み出される筋投射構造と筋シナジーへの収斂 第 37 回日本神経科学大会, パシフィコ横浜, 2014
33. 高草木: 脳の可塑性とロボットリハビリテーション, 第 4 回ロボットリハビリテーション研究大会, 札幌コンベンションセンター, 2014
34. 高草木: 網様体脊髄路-脊髄介在ニューロン系によるシナプス前抑制, 第 29 回日本大脳基底核研究会, 青森市文化観光交流施設 ねぶたの家 ワ・ラッセ, 2014

35. 高草木: 網様体脊髄路-脊髄介在ニューロン系による筋緊張制御の仕組み, 第94回北海道医学大会生理系分科会, 北海道大学, 2014
36. 高草木: 睡眠と姿勢筋緊張, 日本睡眠学会第39回定期学術集会, あわぎんホール(徳島県郷土文化会館), 2014
37. 高草木: 脚橋被蓋核領域と運動の制御, 関東機能的脳神経外科カンファレンス, 研究社英語センタービル, 2014
38. 高草木: 大脳基底核と運動の制御, 第37回日本神経科学学会 Neuroscience 2014, パシフィコ横浜 2014
39. K. Takakusaki: Spinal interneuronal organization involved in the reticulospinal control of postural muscle tone in the cat, Neuroscience 2014, パシフィコ横浜, 2014
40. 中階, 村田, 稲瀬: トレッドミル歩行中のニホンザル補足運動野の神経細胞活動 第37回日本神経科学大会, パシフィコ横浜, 2014
41. 温文, 山下淳, 浅間一: 連続制御における課題のパフォーマンスが運動主体感に与える影響, 日本基礎心理学会第33回大会, 首都大学東京南大沢キャンパス, 2014
42. 山川博司, レクオク ズン, 山下淳, 浅間一: 生理計測に基づくカーレーサのストレス推定, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014
43. 石川雄己, 安瑛, 中川純希, 戸島美智生, 安井哲郎, 岡敬之, 井口はるひ, 真野浩志, 芳賀信彦, 山下淳, 浅間一: 平面法則と主成分分析を用いた変形性膝関節症患者の歩行解析, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014
44. Kondo, T. and Sakamoto, T.: Effect of passive motor experience on adaptation of body schema, 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2014, 金沢大学, 2014
45. 亀田瑞貴, 近藤敏之: ERD 検出にフリッカ刺激が及ぼす影響, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014
46. 片岡一平, 近藤敏之, Truong Quang Dang Khoa: 電極の位置ずれによる EMG 変化を考慮した筋電制御, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014
47. 中屋敷弘晟, 近藤敏之: BCI ニューロリハビリテーションに向けた運動負荷時事象関連脱同期の分析, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014
48. 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8月31日
49. 姜平, 千葉龍介, 高草木薫, 太田順: Realization of Biped Stance in Consideration of Neurological Time Delay through Forward Dynamics Simulation, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014

50. 白石匠, 高草木薫, 千葉龍介, 太田順: 小脳部分除去ラットによる歩行動作・歩行速度・平衡機能の定量的評価手法の検討, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014
51. 藤木聡一郎, 青井伸也, 柳原大, 船戸徹郎, 富田望, 荻原直道, 泉田啓, 土屋和雄: ラットの神経筋骨格モデルに基づく後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014
52. 森下壮一郎, 佐藤圭太, 渡辺秀典, 西村幸男, 伊佐正, 加藤龍, 中村達弘, 横井浩史: 上腕電動義手のブレイン-マシン・インタフェース制御のための周期的運動中のサル硬膜下電位からの筋電位推定, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014
53. 清水雄貴, 齋藤晴紀, 杉正夫, 大平美里, 森下壮一郎, 中村達弘, 加藤龍, 横井浩史: 機能的電気刺激時の筋張力の表面筋電図を用いた推定法, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 岡山大学, 2014

書籍

1. 内藤栄一, 廣瀬智士, 南部功: ニュー運動生理学(I) (I) 第 1 章 運動と中枢神経 2)脳内表現 真興交易 (株) 医書出版部 2014
2. 高草木 他: 睡眠化学 第 10 章 覚醒から意識・行動へ 化学同人 印刷中
3. 高草木 他: Annual Review 神経 2015, オレキシンと姿勢制御, 中外医学社, 2015

報道発表

1. 2015年2月2日付の朝日新聞朝刊「科学の扉」に, 内藤博士, 出江教授, 太田教授のインタビュー記事が掲載された.
2. A01 項目の今水 寛 博士らの研究成果が, 2015年1月6日付の朝刊各紙 (日本経済新聞, 毎日新聞, 産経新聞, 京都新聞, 中日新聞) に掲載された.
「安静にしているときの脳活動から作業記憶トレーニング効果の個人差を予測することに成功～認知機能を回復させる方法の開発に大きく前進～」

受賞

1. 温文, 2014 年度日本基礎心理学会 優秀発表賞

メンバーリスト

総括班 X00 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

研究代表者 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

研究分担者 内藤 栄一（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究マネージャー）

研究分担者 出江 紳一（東北大学 大学院医工学研究科 リハビリテーション医工学分野 教授）

研究分担者 近藤 敏之（東京農工大学 大学院工学研究院 教授）

連携研究者 今水 寛（国際電気通信基礎技術研究所 認知機構研究所 所長）

連携研究者 関 和彦（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 モデル動物開発部 部長）

連携研究者 高草木 薫（旭川医科大学 医学部 教授）

連携研究者 浅間 一（東京大学 大学院工学系研究科 教授）

連携研究者 芳賀 信彦（東京大学 大学院医学系研究科 教授）

連携研究者 村田 哲（近畿大学 医学部 准教授）

連携研究者 稲邑 哲也（国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 准教授）

連携研究者 花川 隆（国立精神・神経医療研究センター 脳病態統合イメージングセンター 部長）

研究協力者 岩村 吉晃（上野学園大学, 東邦大学 名誉教授）

総括班評価者 篠田 義一（東京医科歯科大学 大学院医歯学総合研究科 名誉教授）

総括班評価者 伊藤 宏司（立命館大学 理工学部 教授, 東京工業大学 名誉教授）

総括班評価者 才藤 栄一（藤田保健衛生大学 医学部 リハビリテーション医学講座 教授）

総括班評価者 Paolo Dario (Scuola Superiore Sant' Anna 教授)

研究項目 A01 脳内身体表現の変容を促す神経機構

研究代表者 今水 寛（国際電気通信基礎技術研究所 認知機構研究所 所長）

研究分担者 村田 哲（近畿大学 医学部 准教授）

研究分担者 大木 紫（杏林大学 医学部 教授）

研究分担者 前田 貴記（慶應義塾大学 医学部 講師）

連携研究者 渋谷 賢（杏林大学 医学部 助教）

連携研究者 加藤 元一郎（慶應義塾大学 医学部 教授）

連携研究者 小川 健二（北海道大学 文学部 准教授）

連携研究者 浅井 智久（NTT コミュニケーション科学基礎研究所 研究員）

研究項目 A02

A02-01 身体変化への脳適応機構の解明

- 研究代表者 関 和彦（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）
- 研究分担者 内藤 栄一（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究マネージャー）
- 研究分担者 笥 慎治（東京都神経科学研究所 運動失調プロジェクト プロジェクトリーダー）
- 連携研究者 井上 謙一（京都大学 霊長類研究所 助教）
- 連携研究者 荻原 直道（慶應義塾大学 理工学部 准教授）
- 連携研究者 梅田 達也（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 室長）
- 連携研究者 大屋 知徹（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 室長）
- 連携研究者 平島 雅也（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 主任研究員）
- 連携研究者 池上 剛（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究員）
- 連携研究者 廣瀬 智士（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究員）
- 連携研究者 竹村 尚大（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究員）
- 連携研究者 Ganesh Gowrishanker（CNRS 研究員）
- 連携研究者 上原 信太郎（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 特別研究員）
- 連携研究者 関 庚甫（東京都神経科学研究所 運動失調プロジェクト 研究員）
- 連携研究者 李 鍾昊（東京都神経科学研究所 運動失調プロジェクト 研究員）
- 連携研究者 石川 享宏（東京都神経科学研究所 運動失調プロジェクト 研究員）

A02-02 姿勢-歩行戦略の変更に伴う脳適応機能の解明

- 研究代表者 高草木 薫（旭川医科大学 医学部 教授）
- 研究分担者 中隴 克己（近畿大学 医学部 講師）
- 連携研究者 船越 洋（旭川医科大学 医学部 教授）

研究項目 B01 脳内身体表現のスローダイナミクスモデル

- 研究代表者 浅間 一（東京大学 大学院工学系研究科 教授）
- 研究分担者 近藤 敏之（東京農工大学 大学院工学研究院 教授）
- 研究分担者 田中 宏和（北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授）
- 研究分担者 矢野 史朗（立命館大学 総合科学技術研究機構 専門研究員）
- 連携研究者 山下 淳（東京大学 工学系研究科 准教授）
- 連携研究者 井澤 淳（筑波大学 システム情報系 准教授）
- 連携研究者 矢野 雅文（東北大学 電気通信研究所 名誉教授）

研究項目 B02 脳内身体表現を変容させる運動制御モデル

研究代表者 太田 順（東京大学 人工物工学研究センター 教授）

研究分担者 青井 伸也（京都大学 工学研究科 講師）

研究分担者 千葉 龍介（旭川医科大学 医学部 准教授）

連携研究者 緒方 大樹（東京大学 人工物工学研究センター 助教）

連携研究者 船戸 徹郎（電気通信大学 情報理工学研究科 助教）

連携研究者 柳原 大（東京大学 大学院総合文化研究科 准教授）

連携研究者 土屋 和雄（京都大学 工学研究科 名誉教授）

研究項目 C01 脳内身体表現の変容を用いたニューロリハビリテーション

研究代表者 出江 紳一（東北大学 大学院医工学研究科 リハビリテーション医工学分野 教授）

研究分担者 稲邑 哲也（国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 准教授）

連携研究者 田中 尚文（東北大学 大学院医学系研究科 肢体不自由学分野 准教授）

連携研究者 大内田 裕（東北大学 大学院医学系研究科 肢体不自由学分野 助教）

研究項目 C02 感覚入力への介入を用いた姿勢・歩行リハビリテーション

研究代表者 芳賀 信彦（東京大学 大学院医学系研究科 教授）

研究分担者 花川 隆（国立精神・神経医療研究センター 脳病態統合イメージングセンター 部長）

研究分担者 横井 浩史（電気通信大学 情報理工学研究科 教授）

研究分担者 大脇 大（東北大学 電気通信研究所 助教）

連携研究者 石黒 章夫（東北大学 電気通信研究所 教授）

連携研究者 四津 有人（東京大学 大学院医学系研究科 特任助教）

連携研究者 杉 正夫（電気通信大学 情報理工学研究科 准教授）

連携研究者 北 佳保里（千葉大学 フロンティア医工学センター 助教）

