

様式6（第15条第1項関係）（採択年度＝平成26年度以降）

平成28年3月31日

独立行政法人 日本学術振興会理事長 殿	研究機関の設置者の 所在地	〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1	
	研究機関の設置者の 名称	国立大学法人東京工業大学	
	代表者の職名・氏名	学長・三島良直 (記名押印)	
	代表研究機関名 及び機関コード	東京工業大学	12608

平成27年度戦略的国際研究交流推進事業費補助金
実績報告書

戦略的国際研究交流推進事業費補助金取扱要領第15条第1項の規定により、実績報告書を提出します。

整理番号	G2701	補助事業の 完了日	平成28年3月31日	関連研究分野 (分科細目コード)	脳計測科学 (2602)
補助事業名（採択年度） 脳は身体運動をどう表現しているかー計算論的脳身体イメージン グ（平成27年度）				補助金支出額（別紙のとおり） 36,660,000円	
代表研究機関以外の協力機関 北陸先端科学技術大学院大学、名古屋大学					
海外の連携機関 University of California San Diego					
1. 事業実施主体					
フリガナ 担当研究者氏名	所属機関	所属部局	職名	専門分野	
主担当研究者 コイケ ヤスハル 小池 康晴	東京工業大学	ソリューション研究 機構	教授	計算論的神経科学 ／ブレイン・マシン ・インターフェ ース	
担当研究者 トウ タケシ 党 建武	北陸先端科学技術 大学院大学	情報科学研究科	教授	生理学的発話機構 ／脳構造イメージ 解析	
計1名					

フリガナ 連絡担当者	所属部局・職名	連絡先（電話番号、e-mailアドレス）
カナモリ アズサ 金森 あずさ	国際部国際事業課・スタッフ	Tel:03-5734-7690 e-mail:kokuji.jsps@jim.titech.ac.jp

2. 本年度の実績概要

本事業では、脳波解析および解析技術の世界的研究機関であるカリフォルニア大学サンディエゴ校との共同研究のもと、全身運動時の高精度な脳波を脳の計算理論に基づいて解析する「計算論的脳身体イメージング法」の確立を目指す。計算論的脳身体イメージング法は(1)計算論(2)脳身体信号同時測定法(3)脳身体信号解析法の三つ項目から構成されている。以下にそれぞれの項目に関する本年度の実績概要を述べる。

(1) 計算論

複数の計算モデルから予想される脳活動・行動結果を整理し、計算モデル間で最も差異が際立つ実験条件を検討した。特に、到達運動中の視覚運動変換中の第一次運動野の情報処理に関する計算論モデルに関して、田中（派遣者①）が提案している空間表現モデルと他のグループが提案している最適化モデル・ニューラルネットワークモデルの詳細な比較を行い、Neuroscience Research 誌にレビュー論文（査読有）としてまとめた。また、手先に外力が加わる力場到達運動中の脳内情報処理に関する計算論的な運動学習モデルを構築して、計算機シミュレーションによりモデルの有効性を確かめ、その成果を国際ワークショップにて発表し、学術論文として投稿するために現在準備を行っている。

(2) 脳身体信号同時測定法

カリフォルニア大学サンディエゴ校にて、脳波・身体運動同時計測の実験手法、実験コードのプログラミングとデータの前処理など MoBI 法の訓練を受けるとともに運動中の脳波・身体運動同時計測実験を行い、腕の到達運動に関して被験者 19 名、手首の回転運動に関して被験者 5 名、立位姿勢制御に関して 1 名、ジャグリング運動に関して 1 名の実験データを取得した。

(3) 脳身体信号解析法

計算論で最も理解が進んでいて多くの被験者の実験データが得られている到達運動課題に関して解析を行い、脳波独立成分が運動方向に対して方向選択性を示すことや姿勢の変化に応じて方向選択性が系統的に変化することを見出し、国際プロシーディング（査読有）として成果発表を行った。また、現在学術論文として投稿準備中である。

本年度は、若手研究者 4 名を連携機関であるカリフォルニア大学サンディエゴ校に派遣し、また同大学から 3 名の研究者を招へいした。田中（派遣者①）は、到達運動に関する実験の実施およびデータ解析を行うとともに、脳波の集団レベル解析に関する新たな解析手法に関する議論を行った。吉村（派遣者②）は、脳波・運動・筋活動の同時計測を行う実験の準備および MoBI 法の習得を目的として、日本においてこれまでに記録したデータを MoBI 法にて解析を行うための基盤を構築した。神原（派遣者③）は、手首運動およびジャグリング運動に関する実験の実施およびデータ解析を行うとともに、実験データの可視化を行うための解析ツールボックス MoBILAB の改良を行った。香川（派遣者④）は、立位姿勢制御に関する実験の立案、システム構築、および予備実験の実施をした。

また、招へいした 3 名の研究者には、脳波解析に関する知識提供とともに、脳波・身体運動データ同時計測システム構築に関する技術提供を行ってもらい、東京工業大学の実験システム構築に尽力してもらった。また、来年度に東京工業大学で行う実験に関するディスカッションを行った。

3. 到達目標に対する本年度の達成度及び進捗状況

計算論的脳身体イメージング法に関する本年度の達成度および進捗状況は下記の通りである。

(1) 計算論

計算モデル間の最も差異が際立つ実験条件を検討するため、第一次運動野に関する計算論モデルに関して空間表現モデルと他のグループが提案している最適化モデル・ニューラルネットワークモデルの詳細な比較を行った。それらの比較検討をまとめたものは、Neuroscience Research 誌にレビュー論文（査読有）として掲載された。また、運動学習過程の脳活動を計算論的に解明することを目指し、力場到達運動に関する運動学習モデルの構築、及び、シミュレーション実験を行い、学習中に脳内で表現されている可能性がある変数を定量的に予測することに成功した。また、その結果をもとにした実験計画の立案を行った。

(2) 脳身体信号同時測定法

脳波・身体運動同時計測実験を実施するための、実験コードのプログラミング技術やデータの前処理技術に関する訓練を受け、腕の到達運動、手首の回転運動、自己運動感覚誘発、ジャグリング運動に関する実験用プログラムの作成を行うとともに、いくつかの実験を実施した。これまでに所得した実験データは、腕の到達運動に関して被験者19名分、手首の回転運動に関して被験者6名分、ジャグリング運動に関して被験者1名分となった。さらに自己運動感覚誘発に関しては、4月に被験者3名分のデータ計測を予定している。

また、東京工業大学に脳身体信号同時測定実験を行える実験設備を構築するため、連携機関から研究者を3名招へいし、脳波、身体運動、筋電信号、ビデオの同時計測実験システムの開発を行った。また、その実験システムを利用し、他者との協調運動に関する予備実験を遂行し、実験システムが正しく動作していることを検証した。

(3) 脳身体信号解析法

脳波の信号解析法の方法論確立に向け、計算理論で最も理解が進んでいる到達運動や手首の回転運動の実験データの解析を行った。特に、到達運動時や手首の回転運動時の脳波信号データに関して、アーティファクト部分空間再構成法・独立成分分析・群クラスター解析などを適用し、脳波独立成分が運動方向に対して方向選択性を示すこと、また姿勢の変化に応じて方向選択性が系統的に変化することを見出した。これらの結果は、サル電気生理実験で観測されてきた脳活動の特徴とも一致しており、今回の解析手法の有効性を示すことができた。特に到達運動に関する脳波解析結果をまとめ、現在学術論文として投稿準備中である。さらに、到達運動データに対して、連携機関で現在開発が進んでいる多変量グレンジャー因果解析の集団レベル解析を適用し、その有効性を検証した。

また、複雑な運動を行っている際の脳内情報処理機構の理解に向けて、ジャグリング運動時の脳波および運動データ解析を行った。その結果、運動のリズムに関連する脳活動成分が脳の複数の部位から抽出できることを確かめられた。また、解析を進める上で新たに開発した機能を連携機関が開発している解析ツールボックス MoBILAB に追加し、同ツールボックスの改良を行った。

4. 日本側研究グループ（実施主体）の研究成果発表状況（本年度分）

①学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文又は著書

論文名・著書名 等	
<p>（論文名・著書名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年（西暦）について記入してください。）（以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・査読がある場合、印刷済及び採録決定済のものに限って記載して下さい。査読中・投稿中のものは除きます。 ・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。 ・著者名について、主著者に「※」印を付して下さい。また、主担当研究者には<u>二重下線</u>、担当研究者については<u>下線</u>、若手研究者については<u>波線</u>を付して下さい。 ・海外の連携機関の研究者との国際共著論文等には、番号の前に「◎」印を、また、それ以外の国際共著論文等については番号の前に「○」印を付して下さい。 	
1	Modeling the motor cortex: Optimality, recurrent neural networks, and spatial dynamics, ※ <u>Tanaka, H.</u> , Neuroscience Research, 104, 67-71, 2016 (査読有)
◎ 2	Coordinate Systems in the Motor System: Computational Modeling and EEG Experiment, ※ <u>Tanaka, H.</u> , Miyakoshi, M., & Makeig, S., In Advances in Cognitive Neurodynamics (V), 85-92, Springer Singapore, 2016 (査読有).
3	Perceptual Illusion and Development of a Sense-Centered Human Interface, <u>Yasuharu Koike</u> , Human-Harmonized Information Technology, Volume 1, Springer, pp 169-197, 2016, (査読無)
4	
5	

②学会等における発表

発表題名 等	
<p>（発表題名、発表者名、発表した学会等の名称、開催場所、口頭発表・ポスター発表の別、審査の有無、発表年月（西暦）について記入してください。）（以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発表者名は参加研究者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること。共同発表者がいる場合は、全ての発表者名を記載し、主たる発表者名は「※」印を付して下さい。発表者名について主担当研究者には<u>二重下線</u>、担当研究者については<u>下線</u>、若手研究者については<u>波線</u>を付して下さい。 ・口頭・ポスターの別、発表者決定のための審査の有無を区分して記載して下さい。 ・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。 ・海外の連携機関の研究者との国際共同発表には、番号の前に「◎」印を、また、それ以外の国際共同発表については番号の前に○印を付して下さい。 	
◎ 1	運動中の脳活動を理解するーモバイル脳身体イメージング法ー、※ <u>田中宏和</u> 、 <u>宮腰誠</u> 、Scott Makeig、上智大学物質生命理工学科コロキウム、上智大学四谷キャンパス、口頭発表、2016年1月18日（審査無・招待講演）。
◎ 2	運動中の脳活動を理解するーモバイル脳身体イメージング法ー、※ <u>田中宏和</u> 、 <u>宮腰誠</u> 、Scott Makeig、「脳・体・心の計算論的神経科学」ワークショップ、北陸先端科学技術大学院大学、口頭発表、2016年1月27日（審査無）。
3	Computational models for reaching control and their usage for predicting patient movements. ※ <u>神原裕行</u> 、 <u>川瀬利弘</u> 、 <u>吉村奈津江</u> 、 <u>小池康晴</u> 、「高齢化社会と情報システム」ワークショップ、東京理科大学、口頭発表、2016年3月21日（審査無・招待講演）
4	
5	

5. 若手研究者の派遣実績（計画）

【海外派遣実績（計画）】

年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	合計
派遣人数	4 人	4 人 (4 人)	4 人 (4 人)	12 人

※当該年度は実績、次年度以降は計画している人数を記載

【本年度の海外派遣実績】

派遣者①の氏名・職名：田中宏和・准教授

（当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

（2）脳身体信号同時測定法に関して、田中は派遣先にて到達運動中の脳波・身体運動同時計測実験を行い、被験者 19 名のデータを取得した。そのデータにアーティファクト部分空間再構成法・独立成分分析・群クラスター解析などを適用し、到達運動中の脳内身体運動表現を調べた。（3）脳身体信号解析法に関して、派遣先の宮腰・Makeig と多変量グレンジャー因果解析の集団レベル解析に関して議論した。宮腰が開発中の集団レベル解析法を田中が取得した到達運動中の脳波データに適用し、その有用性を検討した。

（具体的な成果）

（1）の計算論における、第一次運動野に関する計算論モデルに関して、田中が提案している空間表現モデルと他のグループが提案している最適化モデル・ニューラルネットワークモデルの詳細な比較を行い、Neuroscience Research 誌にレビュー論文（査読有）としてまとめた。（2）脳身体信号同時測定法に関して、予備的データを解析した結果を国際学会にまとめ、宮腰・Makeig と共著で国際プロシーディング（査読有）として発表した。また、新たに取得した計 19 名データを解析し、脳波独立成分が運動方向に対して方向選択性を示すこと、また姿勢の変化に応じて方向選択性が系統的に変化することを見出した。この得られた成果を国内研究会で二回口頭発表（そのうちの一回は田中が企画したワークショップ）し、モバイル脳身体イメージング法の普及に努めた。今回の結果を現在学術論文として投稿準備中である。

派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
アメリカ合衆国・カリフォルニア大学サンディエゴ校・スウォーツ計算神経科学センター・Scott Makeig 教授	64 日	120 日	146 日	330 日

派遣者②の氏名・職名：吉村奈津江・准教授

（当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

吉村は最新の脳機能イメージング解析法である変分ベイズ法を駆使して、fMRI-EEG 信号から運動課題中の筋張力を再構成するという特筆すべき成果を挙げており、本派遣の重要な推進力として不可欠である。本派遣では脳の筋張力生成メカニズム、すなわち「筋肉の最適活動度をどのように脳が制御しているのか」という問題に挑戦する。骨格自由度に比べて筋肉の自由度が高く、筋活動を一意に決める計算原理とその計算アルゴリズムの理解は未解決のまま残されている。平成 27 年度の派遣では、MoBI 設備に加えて筋活動計測用の筋電系を設定し、脳波・運動・筋活動の同時計測システムを準備する。

（具体的な成果）

「筋肉の最適活動度をどのように脳が制御しているのか」を解明するための実験計画を行い、脳波・運動・筋活動の同時計測を行うための筋電電極を日本にて準備し、スウォーツ計算神経科学センターに持参した。筋活動に関する脳内表現の解明を目的としたこの実験に加えて、人間に特有の感情に関する情報を脳波から解読するための実験を追加することについて、Scott Makeig 教授より同意を得た。また、MoBI 法の習得を目的として、日本においてこれまでに記録したデータを MoBI 法にて解析を行うための基盤を構築した。

派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
アメリカ合衆国・カリフォルニア大学サンディエゴ校・スウォーツ計算神経科学センター・Scott Makeig 教授	7 日	150 日	173 日	330 日

派遣者③の氏名・職名：神原裕行・助教

(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

神原の計算論モデルを複数の異なる座標系を用いて定式化することが可能なため、脳波信号と計算論との統計的比較が可能である。平成 27 年度は、(1)の計算論に関して、東京工業大学にて、手先に外力が加わる力場到達運動中の脳内情報処理に関する計算論的な運動学習モデルを構築して、計算機シミュレーションによりモデルの有効性を確かめる。また、ジャグリング運動を題材に環境とのインタラクションを含む運動中に自己と外界の運動情報が脳のどの部位で表現され、どのような過程を経て筋活動へと変換されるのかに関する計算論モデルの構築を目指し、(3)の脳身体信号解析法に関して、予備実験として三個のボールを用いたジャグリング運動時の脳活動と運動データを独立成分分析などの技術を用いて解析した。

(具体的な成果)

(1)の計算論に関して、計算論的な運動学習モデルを用いた計算機シミュレーションの結果を、国内で行われた国際ワークショップにて発表し、学術論文として投稿するために現在準備を行っている。また、(3)の脳身体信号解析法に関して、ジャグリング運動のリズムに関連する脳活動成分が脳の複数の部位から抽出できることを確かめられた。また、実験データの可視化を行うための解析機能を UCSD が開発している解析ツールボックス MoBILAB をもとに開発し、同ツールボックスの改良を行った。

派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
アメリカ合衆国・カリフォルニア大学サンディエゴ校・スウォーツ計算神経科学センター・Scott Makeig 教授	71 日	140 日	149 日	360 日

派遣者④の氏名・職名：香川高弘・助教

(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

香川は歩行制御に関する身体計測と力学的モデリングで優れた業績を挙げている注目の若手研究者である。歩行制御の脳内メカニズムはネコなどの四足歩行動物では詳細な研究が行われているが、ヒト二足歩行には姿勢制御や安定性など四足歩行にはない未解決の問題がある。本派遣では香川の提案する安定性を実現する歩行制御の数理モデルを計算論的脳身体イメージング法で検証する。平成 27 年度は歩行中の脳波信号と身体運動

を同時に計測する実験系を構築する。

(具体的な成果)

自己運動知覚に関わる脳情報処理について脳身体信号同時測定法を用いて調べるため、派遣先の Scott Makeig 教授らと実験計画を立てた。スウォーツ計算神経科学センター内の脳身体信号同時計測設備を利用して実験環境の構築を行った。具体的には視覚的な自己運動感覚を誘発するバーチャルリアリティ環境を構築し、提示する視覚刺激を身体運動計測（モーションキャプチャ、床反力計、筋電位）および脳波の計測と同期するシステムを構築した。予備実験を通して身体動揺を効果的に引き起こす視覚刺激の提示条件について検討した。また、28年度4月に被験者3名程度のデータを取得する予定を立て、その調整を行った。

派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
アメリカ合衆国・カリフォルニア大学サンディエゴ校・スウォーツ計算神経科学センター・Scott Makeig 教授	40 日	150 日	173 日	330 日

※本年度の派遣者毎に作成すること。

6. 研究者の招へい実績 (計画)

【招へい実績 (計画)】

年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	合計
招へい人数	3 人	5 人 (3 人)	5 人 (5 人)	5 人

※当該年度は実績、次年度以降は計画している人数を記載

【本年度の招へい実績】

招へい者②の氏名・職名：John Iversen・Project Scientist

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

Iversen 博士は物理学や運動生理学を専門とし、リズムや音楽の認知と生成に関する神経科学的研究において優れた業績を挙げてきた。線形代数を用いた脳磁図や脳波データの解析、およびプログラミングに関して専門的な技術を持ち、現在スウォーツセンターに設置された MoBI でデータの取得および解析を行っている。東京工業大学での脳波解析法に関する技術的な支援、ならびに運動時の脳活動の生理学的妥当な解釈に関する技術的な支援をお願いする。

(具体的な成果)

東京工業大学において線形代数を用いた脳波解析法に関する技術的な指導を行い、また運動時の脳活動の生理学的妥当な解釈に関してディスカッションを行った。

招へい元 (機関名、部局名、国名) 及び 日本側受入研究者 (機関名)	招へい期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
カリフォルニア大学サンディエゴ校、スウォーツ計算神経科学センター、米国 小池康晴 (東京工業大学)	8 日	20 日	20 日	48 日

招へい者③の氏名・職名：Makoto Miyakoshi・ Project Scientist

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

Miyakoshi 博士は実験心理学と計算論的神経科学が専門であり、認知機能や精神疾患に関する脳波研究および脳波信号解析を専門とする。平成 19 年には日本学術振興会特別研究員として日本心理学会に Makeig 博士を招聘してワークショップを開催、平成 23 年には海外特別研究員として Makeig 博士の研究所に滞在、現在は同研究所のポスドク研究員を務めている。平成 25 年には国際 EEGLAB ワークショップで講師を勤めた。現在脳波解析に関する日本語書籍（共著）を東京大学出版から出版予定である。平成 27 年度の招聘では東京工業大学での MoBI 設備の設置に関する技術的支援をお願いする。

(具体的な成果)

東京工業大学および北陸先端科学技術大学において信号解析および推測統計学を用いた脳波解析法に関してディスカッションおよび発表を行った。また、集団レベル多変量グレンジャー因果解析の開発を行い、プロトタイプを完成させた。

招へい元（機関名、部局名、国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
カリフォルニア大学サンディエゴ校、スウ ォーツ計算神経科学センター、米国 小池康晴（東京工業大学）	25 日	20 日	20 日	65 日

招へい者④の氏名・職名：Jason Palmer・ Project Scientist

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

Palmer 博士は脳波信号解析を専門とし、信号源の分布を混合ガウス分布で近似する適応混合独立成分分析 (Adaptive Mixture Independent Component Analysis, AMICA) といった優れた業績を挙げている。AMICA は EEGLAB 脳波解析法の核となる技術であり、オープンソースとして公開され脳波コミュニティで広く利用されている。AMICA は元々の独立成分分析を拡張したものであり、他の脳波信号解析法と比較して脳波成分の抽出と信号源推定において特に優れていることが示されている (Delorme et al. 2012)。平成 27 年度の招聘では AMICA の理論的背景を教授してもらい、東京工業大学で行う実験および解析方法に関するディスカッションを行う。

(具体的な成果)

東京工業大学において適応混合独立成分分析についての理論的背景についてディスカッションを行い、その最も効果的な適用のための技術的アドバイスを教授した。

招へい元（機関名、部局名、国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
カリフォルニア大学サンディエゴ校、スウ ォーツ計算神経科学センター、米国 小池康晴（東京工業大学）	5 日	20 日	20 日	45 日

※本年度の招へい者毎に作成すること。

7. 翌年度の補助事業の遂行に関する計画

翌年度に補助金の繰り越しをしないため、該当なし。

※ 補助事業が完了せずに国の会計年度が終了した場合における実績報告書には、翌年度の補助事業の遂行に関する計画を附記すること。