

令和 3 年 6 月 25 日現在

機関番号：82609

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19767

研究課題名（和文）意欲が運動パフォーマンスを生成する過程の神経基盤の解明

研究課題名（英文）Neural substrate for motivation control of motor performance

研究代表者

西村 幸男（Nishimura, Yukio）

公益財団法人東京都医学総合研究所・脳・神経科学研究分野・プロジェクトリーダー

研究者番号：20390693

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：運動パフォーマンスを左右する精神状態は、指導者・チームメイト等の他者からの関与や、勝敗等の成果に対する報酬によって変化するが、それらに対する行動メカニズムや神経メカニズムの詳細については未だ解明されていない点が多い。本研究では、金銭報酬および他者からの賞賛や叱咤といった声かけが運動パフォーマンスに影響を与えるメカニズムを、行動実験とfMRI実験により検討した。その結果、金銭報酬や声かけが運動パフォーマンスを向上させることを示唆する結果となった。さらに、中脳や皮質運動関連領域が、動機づけを高め、高い運動パフォーマンスを発揮する過程の神経基盤となりうることを示唆する結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金銭報酬および他者からの賞賛や叱咤といった声かけが運動パフォーマンスに影響を与えるメカニズムについて、行動実験およびfMRI実験を実施した。その結果、金銭報酬や声かけが運動パフォーマンスを向上させることを示唆する行動データおよび神経基盤が見出された。高い運動パフォーマンス成果を得るために動機づけを高めるにあたり、効果的な外部からの関与の方法についての基礎的なメカニズムおよびスポーツや教育現場への応用の足掛かりとなることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Motor performance is affected by mental states, which can be changed by external interventions such as mentor, team mates, and rewards for winning. However, the behavioral and neural mechanisms underlying such behavior remain still elusive. In the present study, we investigated impacts of monetary reward and verbal coaching on motor performance using behavioral and fMRI experiments in humans. We found that motor performance was enhanced by monetary reward or verbal coaching. In addition, we found the activations in the midbrain and cortical motor areas when higher rewards can be obtained, suggesting that these areas enhance motivation and generate better motor performance.

研究分野：神経生理学

キーワード：中脳 運動野 意欲 fMRI パフォーマンス ドーパミン

1. 研究開始当初の背景

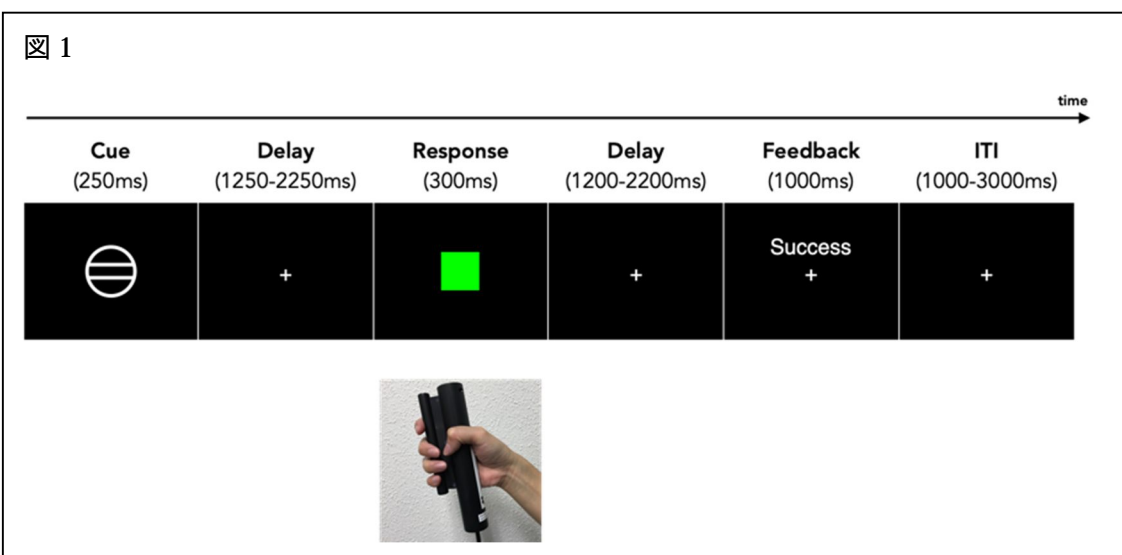
トップアスリートは並外れた身体機能のみならず、高い意欲とそれに支えられた不屈の闘志を兼ね備えている。闘志は厳しいトレーニングを乗り越える原動力となると同時に、心理的限界から肉体的限界にまでパフォーマンスを引き上げる。しかし、精神状態とパフォーマンスとの間の因果関係を説明する神経科学的根拠については未だ不明である。また精神状態は指導者・チームメイト・ライバルとの関わり合い等の社会的報酬や、勝敗等の成果に対する報酬によって変化し、結果的にパフォーマンスに大きく影響を与えるが、それらに対する行動メカニズムや神経メカニズムの詳細については未だ解明されていない点が多い。

2. 研究の目的

本研究では社会的要因によって左右される意欲・闘志や情動とそれにより制御される身体運動制御機構を、ヒトを対象とした実験で解明することを目指す。特に、(1) 勝敗に対する金銭報酬による介入(実験1) (2) 賞賛・叱咤等の他者からの介入(実験2) という2種類の社会的介入に着目し、それによって生じる意欲・情動とそれに伴う運動パフォーマンスを生成する行動メカニズムおよび神経メカニズムを、社会心理学的手法と脳機能イメージングとの組み合わせにより解明することを目指す。

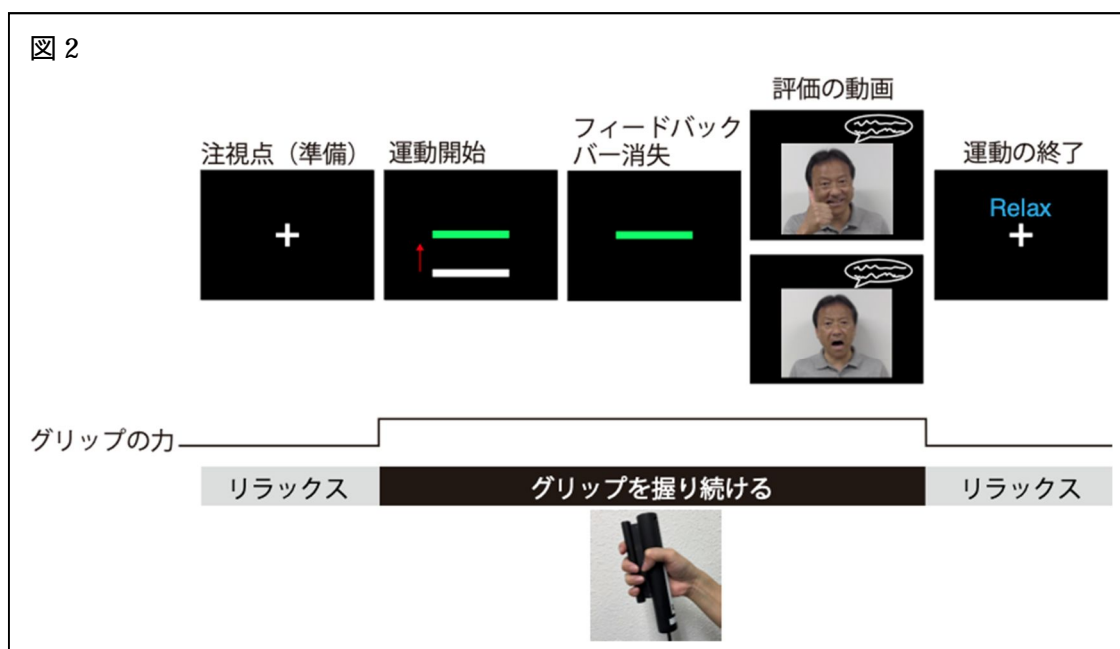
3. 研究の方法

(1) 金銭報酬による意欲の変化を操作するため、運動パフォーマンスの結果によって金銭を得るまたは得られない課題を作成した(図1)。合図が提示されたら素早く握力グリップを握ることが求められ、決められた時間よりも早く握れば500円または50円を得られる条件(獲得条件)。また反応時間によらず金銭の増減が生じない条件(コントロール条件)を設定した。各試行の最初に視覚刺激によって現在の試行が3種類のうちのどの条件なのかを指示した。獲得条件では、Go信号の提示後、規定の時間よりも早くグリップを握ることができれば、500円または50円の報酬を得られ、規定の時間よりも遅く握った場合は報酬が得られなかった。コントロール条件では、グリップを握る早さにかかわらず金銭報酬は得られなかった。各試行の最後に、その試行の成否(早く握れたか否か)と得られた金銭報酬の額がフィードバックされた。この課題を遂行中の健常参加者28名を対象に、行動指標の計測とfMRIを用いて脳活動の計測を行った。(実験1)



(2) 他者からの介入による意欲の変化を操作するため、運動パフォーマンスを他者が賞賛(ポジティブ介入)や叱咤(ネガティブ介入)する課題を作成した(図2)。グリップを握る強さに連動し、画面上の白いバー(フィードバック)が上下した。参加者はグリップを握り続け、できるだけ標的(緑色のバー)の位置にフィードバックバーを近づけるようにすることが求められた。標的の位置は、各参加者の最大握力の90%に位置する条件(高負荷条件)と、最大握力の40%に位置する条件(低負荷条件)の2種類があり、それらの条件の試行の順序はランダムであった。数秒後、フィードバックバーが画面上から消えるが、その間も参加者はグリップを握る力を維持

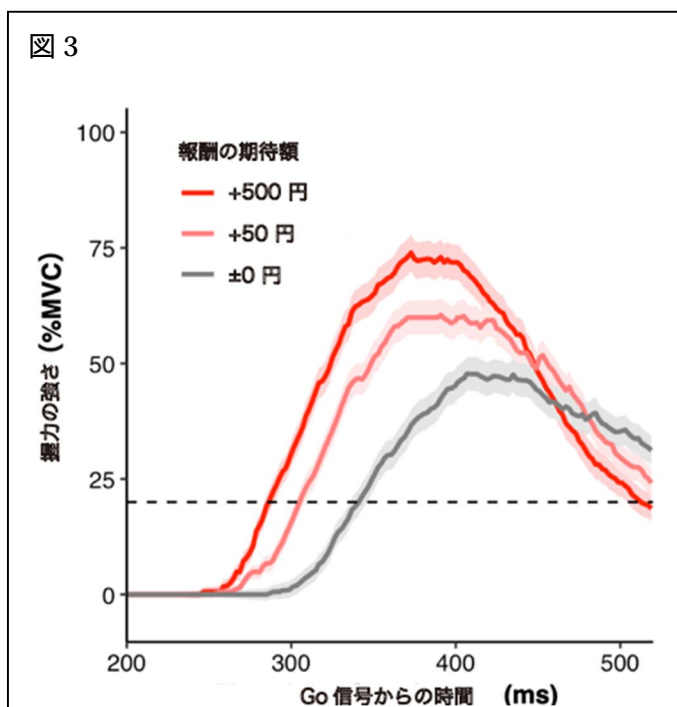
するように求められた。その後、参加者の行動を別の「評価者」が褒める（ポジティブ条件）もしくは叱咤する（ネガティブ条件）3秒弱の短いビデオ（動画と音声）を提示することで参加者の意欲を操作した。また、ポジティブ条件やネガティブ条件との比較対象として、ノイズの動画が提示される試行（ニュートラル条件）や、現在の握力を示す白いバーが画面から消えない試行（コントロール条件）もあった。35名の健常参加者が行動実験に参加した。（実験2）



4. 研究成果

(1) まず金銭報酬を用いた課題（実験1）について、行動指標の解析を行った（図3）。コントロール条件（獲得期待額が0円）に比べて、獲得条件ではグリップを握るのが早いという結果が得られた。また、グリップを握る握力の強さも獲得条件の方がコントロール条件より大きくなるといった興味深い結果も得られた。さらに、グリップを握る早さや握力の強さは、報酬の期待額が50円の条件よりも500円の条件の方がより顕著にコントロール条件との差が見られた。これらの結果は、報酬の期待額が大きいほど反応時間が早くなり、また握力が大きくなることを示す。

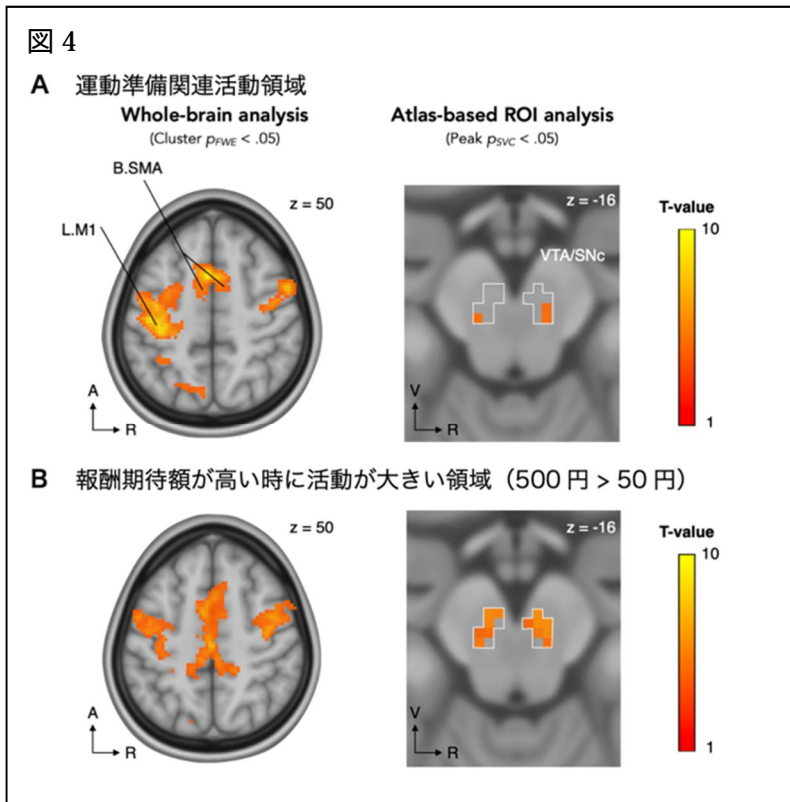
続いて、金銭報酬を用いた課題（実験1）の課題を遂行中の実験参加者よりfMRIを用いて脳活動を計測した。運動の意欲の高低は運動の準備中に現れると考えられるため、各試行の最初に示される視覚刺激



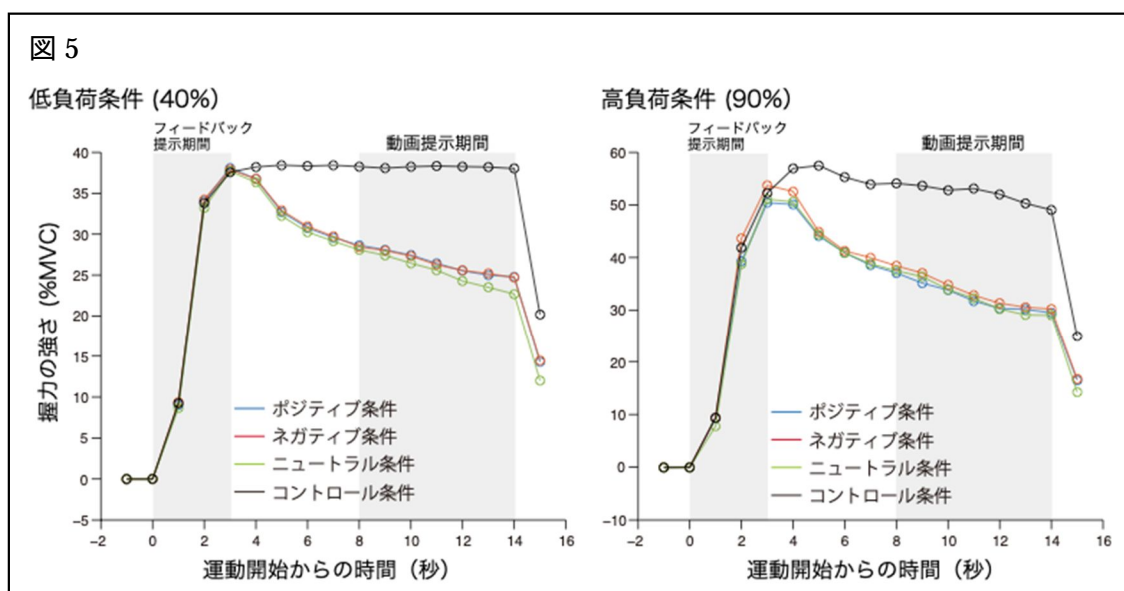
が提示された時から運動実行までの、運動準備期間を解析対象とした。まず、運動準備期間の脳活動を検討したところ、両側の補足運動野（SMA）に加えて、グリップ把握に使用する手（右手）と反対側（左半球）の一次運動野（M1）の活動の上昇が見られた（図4A左）。さらに、報酬予測に関与すると考えられる中脳の腹側被蓋野（VTA）と黒質緻密部（SNc）に限定した small volume correction 法を用いた解析を行ったところ、両側で活動の上昇が確認された（図4A右）。この結果は、金銭報酬によって動機づけが高まっている時ほど中脳の活動が高いことを示す。続

いて、獲得条件の報酬期待額の大小による活動の差異を検討した。その結果、両側の補足運動野と左半球の一次運動野において、報酬期待額が大きい時ほど活動が高いことが確認された(図4B左)。また、腹側被蓋野と黒質緻密部においても、報酬期待額が大きい時ほど活動が高いことが示された(図4B右)。この結果は、準備期間の活動は、金銭報酬額が高いほど皮質の運動関連領域に加え、中脳の活動が高まることを示す。

以上より、金銭による報酬期待により運動パフォーマンスが上昇することが示された。さらに、その一連の行動に、補足運動野や一次運動野といった運動関連領域に加え、腹側被蓋野や黒質緻密部といった報酬予測に関連する中脳の領域が強く関与することを示唆する。



(2) 他者からの介入による意欲の変化を操作する課題(実験2)について、行動指標の解析を行った(図5)。フィードバックが出続けるコントロール条件に比べて、フィードバックが3秒後に消える他の3条件では、握力が徐々に低下していくことが確認された(図5)。またコントロール条件について、低負荷条件では規定である最大握力の40%近くまで握力を維持できているのに対し、高負荷条件では規定である最大握力の90%よりも大幅に低い握力しか出せていないことが読み取れる。このことより、高負荷条件では各参加者はその時点での最大の握力を維持しようとしていたと考えられる。一方、低負荷条件では、余力を残していたと考えることができる。続いて、ポジティブ、ネガティブ、ニュートラルの3条件では運動開始8秒後に動画が提示されるが、低負荷条件ではポジティブ条件およびネガティブ条件では、ニュートラル条件に比べて握力が低下する割合が小さい(強い握力を出している)ことが認められた(図5左)。つまり、褒められたことや叱られたことによって、より強い力を出すことができることが示された。一方、高



負荷条件ではポジティブ条件やネガティブ条件と、ニュートラル条件の間に差は見られなかった。以上の結果より、運動パフォーマンスの維持や改善に賞賛や叱咤は有効であるが、それはある程度の余力が残っているときに限られるということが示唆される。

(3) 以上の研究より、金銭を用いた報酬や声かけによる賞賛や叱咤といった介入が、運動パフォーマンスに影響を与えることが明らかとなった。金銭報酬による操作で、中脳や皮質運動関連領域の活動が高まることがわかった。報酬期待に関連する中脳や、運動準備に関わる皮質運動関連領域が関与することで、動機づけに基づく高い運動パフォーマンスの生成が成し遂げられるということを示唆する結果である。また、声かけによる介入ではポジティブのみならずネガティブな言葉であっても運動パフォーマンスの上昇が確認された。この結果は、運動遂行時に賞賛や叱咤が有効であることを示唆する。しかし今回の成果は、運動パフォーマンスを上昇させる効果は運動を実施する人が余力を残しているときに限定されるといった可能性を示唆している。今回の課題では非常に短時間の影響のみを検討したが、声かけがより長期間の動機づけや運動パフォーマンスにどのように影響をするかは未知である。また、声かけによる運動パフォーマンスの向上の過程には未知の部分が多く、その全容の解明のため、基礎的な神経メカニズムの理解することが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 0件）

1. 著者名 Suzuki Michiaki, Onoe Kayo, Sawada Masahiro, Takahashi Nobuaki, Higo Noriyuki, Murata Yumi, Tsukada Hideo, Isa Tadashi, Onoe Hirotaka, Nishimura Yukio	4. 巻 30
2. 論文標題 The Ventral Striatum is a Key Node for Functional Recovery of Finger Dexterity After Spinal Cord Injury in Monkeys	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex	6. 最初と最後の頁 3259 ~ 3270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/cercor/bhz307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鈴木迪諒・中山義久・西村幸男	4. 巻 36
2. 論文標題 精神状態と運動パフォーマンス	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1216-1218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 2件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Suzuki M, Nishimura Y
2. 発表標題 脊髄損傷後の機能回復を支える腹側線条体の治療標的としての可能性
3. 学会等名 第97回日本生理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西村 幸男
2. 発表標題 BMI、それは日本で現実化する
3. 学会等名 第26回 TonomachiCafe (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西村 幸男
2. 発表標題 位置について、ヨーイ、ドンの神経科学
3. 学会等名 第27回脳の世紀シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 NAKAYAMA Y, SUGAWARA S, FUKUNAGA M , HAMANO Y, SADATO N, NISHIMURA Y
2. 発表標題 Involvement of the Dorsal Premotor Cortex in Goal-directed Motor Behavior.
3. 学会等名 The 25th annual meeting of the Organization for Human Brain Mapping (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki M, Nishimura Y
2. 発表標題 Coupling between the nucleus accumbens and motor cortex appears during demanding motor control.
3. 学会等名 第42回日本神経科学大会・第62回日本神経化学会大会合同大会 (Neuro2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sugawara S, Nakayama Y, Fukunaga M, Yamamoto T, Sadato N, Nishimura Y
2. 発表標題 VTA-M1 pathway contributes to human motivated motor outputs.
3. 学会等名 The 25th annual meeting of the Organization for Human Brain Mapping (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki M, Inoue K-I, Nakagawa H, Takada M, Isa T and Nishimura Y
2. 発表標題 Macaque ventral midbrain facilitates the output to forelimb muscles via the primary motor cortex.
3. 学会等名 Neural Control of Movement (NCM) 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihisa NAKAYAMA, Osamu YOKOYAMA, and Eiji HOSHI
2. 発表標題 Encoding of contralateral and ipsilateral hand movements by neurons and local field potentials in the primary motor cortex in monkeys.
3. 学会等名 48th annual meeting of the Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sho K. SUGAWARA, Yoshihisa NAKAYAMA, Tetsuya YAMAMOTO, Yuki H. HAMANO, Masaki FUKUNAGA, Norihiro SADATO, and Yukio NISHIMURA
2. 発表標題 The functional role of ventral midbrain for motivated motor outputs in humans.
3. 学会等名 日本神経科学学会第43回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	中山 義久 (NAKAYAMA Yoshihisa) (30585906)	公益財団法人東京都医学総合研究所・脳・神経科学研究分野・主席研究員 (82609)	

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0件

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
---------	---------