

## 自己評価報告書

平成23年 4月25日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究 (S)

研究期間：2008～2012

課題番号：20670008

研究課題名 (和文)

両腕協調運動の制御・学習を支える脳内過程

研究課題名 (英文)

Neural processes underlying motor control and learning of bimanual movement

研究代表者

野崎大地 (NOZAKI DAICHI)

東京大学・大学院教育学研究科・准教授

研究者番号：70360683

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、身体教育学

キーワード：身体システム学、運動学習、運動制御、リーチング運動

## 1. 研究計画の概要

ヒトは複数身体部位の運動を組み合わせ、多様な複合運動を構成する能力を備えている。我々はこれまでの片腕・両腕運動を対象とした研究により「素過程（各腕を動かす脳内過程）が組み合わせられて、複合運動（両腕運動）が構成される」という、両腕運動研究が拠り所としていた常識的な概念が誤りであることを明らかにしてきた。この「両腕運動を構成する右腕（左腕）運動は、片腕運動としての右腕（左腕）運動とは異なっている」という新しい描像を研究の出発点として設定すると、両腕運動制御の問題は単なる「協調」の問題だけに留まらず、その一見非効率な構造の機能的意義、構造の脳内表象、構造が運動学習過程に及ぼす影響、など多様かつ本質的に重要な問題を含んでいることが分かる。ロボットアームを用いた心理物理的実験、脳機能イメージング、片麻痺患者の調査、数学的モデル構築などの方法を用いて、これらの問題を解決し、両腕運動が構成・制御される原理解明を目指す。

## 2. 研究の進捗状況

(1) 両腕リーチング運動時に腕運動のキネマティクスに応じて外乱負荷を印加する計測システムを構築し、心理物理学的実験および数学的モデリングによって以下のことを明らかにした。

①ある方向に両腕を動かしながら獲得した一方の腕の運動学習効果が、両腕を独立に様々な方向に動かしたときにどのように汎化されるかを調べることにより、両腕のキネ

マティクス情報が運動学習メモリにおいて乗算的に統合されていることが明らかとなった。

②運動学習メモリ内でのこのような乗算的統合によって、両腕運動に応じて任意のダイナミクス環境に適応できる能力が実現されていることを実験的・理論的に明らかにした。

(2) 反対側の腕運動に応じて切り替わる運動学習メモリの脳内表象、また切り替わりのタイミングを以下のとおり明らかにした。

①片手だけで運動したとき、あるいはもう一方の手の運動を付け加えたときに、手首に加えた負荷に応答する脳領域（運動学習メモリ）を fMRI により同定したところ、両者は完全には一致せず、部分的に乖離している部分が存在していた。

②経頭蓋磁気刺激 (TMS) を用いて皮質脊髄路の興奮性を調べることにより、動作の実行より先立って運動学習メモリが切り替わっていることが明らかになった。

(3) 片麻痺患者3名に患側のリーチング運動を行ってもらったところ、うち1名で、健側の運動を付け加えることにより、動作に改善が認められた。

(4) 両腕運動以外にも、運動学習に関わる脳内過程が冗長性を持つ場合があることを以下のとおり明らかにした。

①ある動作を連続的に行う場合と、一回一回離散的に行う場合では、それを制御する脳内過程が異なることを、運動学習の転移を調べることにより明らかにした。

②視覚回転変換を応用した新しい方法を用いて、被験者が主観的には異なる運動を行っていると信じているが、実際に行っている

運動は同一という奇妙な状況を作り出した。さらに、これら同一の運動のそれぞれが別々の力学環境を学習可能であるという、異なる脳内神経リソースによって実行されていると証拠を得た。

### 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

H22 年度に得られた、運動学習メモリが両腕運動の情報を乗算的に統合していること、またこのような乗算的統合によって柔軟な両腕協調運動が実現されているという結果は、それまで予想していた「反対側運動による運動学習メモリの切り替わり」というメカニズムよりもより広い一般性を持つものであり、両腕協調運動制御の神経メカニズムの理解を飛躍的に高めた。また、研究を進めていく中で浮かび上がってきた両腕運動の制御・学習系が持つ本質的な問題、たとえば、複数のエラー情報がどのように適切に複数の制御器に割り当てられているのかを明らかにできたことも計画以上の成果である。他にも TMS を使った実験系を立ち上げ、皮質脊髄路の興奮性を調べることにより、運動学習メモリが動作実行前に、片腕運動と両腕運動で切り替わることが明らかになるなどの当初計画していなかった重要な成果も得られた。以上により、「当初の計画以上に進展している」と自己評価した。

### 4. 今後の研究の推進方策

最先端・次世代研究開発支援プログラムに採択されたため、H22 年度をもって本研究課題は辞退することとなった。最先端・次世代研究開発支援プログラムでは、この文部科学省科学研究費で得られた多くの知見をさらに発展させた研究を展開していく予定である。

### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1) Ikegami T, Hirashima M, Taga G, Nozaki D. Asymmetric transfer of visuomotor learning between discrete and rhythmic movements. *Journal of Neuroscience*, 30:4515-4521(2010)

2) Miyazaki M, Hirashima M, Nozaki D. The “cutaneous rabbit” hopping out of the body. *Journal of Neuroscience*, 30:1856-1860 (2010)

3) Nozaki D Torque interaction among adjacent joints due to the action of bi-articular muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41: 205-209 (2009)

4) Nozaki D, Scott SH, Multi-compartment model can explain partial transfer of learning within the same limb between unimanual and bimanual reaching. *Experimental Brain Research* 194:451-453(2009)

5) Kawashima N, Nozaki D, Abe MO, Nakazawa K, Shaping appropriate locomotive motor output through interlimb neural pathway within spinal cord in humans. *Journal of Neurophysiology* 99:2946-2955(2008)

[学会発表] (計 57 件)

1) Nozaki D. Limited transfer of learning between unimanual and bimanual skills within the same limb. Annual Meeting of the Neural Control of Movement (2008.5.2, Naples Beach, USA)

2) 野崎大地. 運動学習から覗く脳内過程. 日本ボバース研究会・関東ブロック研修会招待講演. (2009.2.28, 取手)

3) Hirashima M, Nozaki D. Adaptation to conflicting force fields by adopting different motor plans. Society for the Neural Control of Movement (2009.4.28-5.3, Hawaii)

4) Yokoi A, Hirashima M and Nozaki D. Similarity of various bimanual movements to unimanual movement as revealed by the motor learning transfer within the same limb. Society for Neuroscience (2009.10.17-21, Chicago)

5) Nozaki D. Switching of internal models with kinematics of contralateral limb. Okazaki International mini-symposium: Neural control of eye and hand movement. (2009.11.16, 岡崎)

6) 野崎大地. 柔軟な両腕協調運動を実現する運動学習メカニズム. 日本神経回路学会「脳と心のメカニズム」第 11 回冬のワークショップ(2011.1.11-13, 留寿都)

7) Nozaki D. Context dependent formation of internal models for reaching movements. Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation 2011 (2011.3.9-10. Tokorozawa)

[図書] (計 0 件)

[その他]

<http://www.p.u-tokyo.ac.jp/~nozaki>  
(個人ホームページ)