

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：33908

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700596

研究課題名（和文） 運動開始時の一過性の脳活動から潜在的な動作不安定性を評価する

研究課題名（英文） Movement initiation-locked brain activity can predict future movement instability.

研究代表者

荒牧 勇（ARAMAKI YU）

中京大学・スポーツ科学部・准教授

研究者番号：40414023

研究成果の概要（和文）：

周期的な両手運動では、左右の同じ筋肉を交互に動かす非鏡像モードは不安定である。ただしこの不安定さには個人差が大きく、しかも運動開始時の動作からはその後の動作安定性が予測しにくい。fMRI を用いて、両手非鏡像モードと鏡像モードの脳活動を解析した結果、両モードの運動開始時の一過性的大脑基底核被核の活動の差とその後の運動不安定性に高い相関が見られた。本研究の結果は、運動開始時の行動からは予測しにくい個々人の両手非鏡像運動の巧拙が運動開始時の脳活動からは予測できることを示している。

研究成果の概要（英文）：

In periodic bimanual movements, anti-phase-coordinated patterns often change into in-phase patterns suddenly and involuntarily. Because behavior in the initial period of a sequence of cycles often does not show any obvious errors, it is difficult to predict subsequent movement errors in the later period of the cyclical sequence. Here, we evaluated performance in the later period of the cyclical sequence of bimanual periodic movements using human brain activity measured with functional magnetic resonance imaging as well as using initial movement features. Eighteen subjects performed a 30 s bimanual finger-tapping task. Correlation analysis revealed that the difference in the anterior putamen activity during antiphase compared within-phase tapping conditions was strongly correlated with future instability as measured by the mean absolute deviation of the left-hand intertap interval during antiphase movements relative to in-phase movements ( $r = 0.81$ ). Our results suggest that initiation-locked transient activity of the anterior putamen can be used to predict future motor performance.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：大脳基底核 両手運動 fMRI 脳信号

1. 研究開始当初の背景

| 高齢者の歩行時の転倒、早口言葉中の突然の

言葉の乱れなど、我々の身体運動には突然のエラーを引き起こす不安定性が潜在している。こうした潜在的な不安定性は、転倒による骨折や工場での作業ミスなど重大な事故につながる危険性があるが、多くの場合、運動開始時の行動そのものからは予測しにくい。そこで本研究は、運動開始時の行動そのものからは推定が困難な潜在的な動作の不安定性を脳活動から推定することを目指す。

## 2. 研究の目的

本研究が突然の運動エラーの実験モデルとして取り扱うのは、周期的な両手協調運動時の相転移現象である。相転移現象は非同名筋の同時収縮（両手非鏡像モード）を繰り返していると、突然意思とは無関係に同名筋の同時収縮（両手鏡像モード）に切り替わってしまう現象である（Kelso, 1984, *Am J Physiol*）。本研究は、この両手協調タッピング課題を突然の運動エラーの実験モデルとして採用し、潜在的な動作不安定性を脳活動から予測する手法を開発することを本研究の目的とする。

潜在的な動作不安定性を運動開始時の脳活動から推定するにあたり、ターゲットとなりうる脳部位は、運動開始と深く関係のある大脳基底核である。動物実験では、ラットの大脳基底核被殻から運動開始時に一過性に活動するニューロンが存在することが報告されている（Romo et al., 1991, *Exp Brain Res*）。被殻吻側は前頭前野、前補足運動野、運動前野吻側、といった運動計画に関する脳部位との線維連絡が強いことから、一過性の被殻吻側の活動は運動の意図や計画にかかる一過性のコストを反映している可能性が考えられる。

本研究はたとえ動作に現れなくても、潜在的な動作不安定性を持つ課題を開始するためには脳内のコストは高くなる可能性があると考え、「運動開始時の被殻吻側の一過性の活動と潜在的な動作不安定性は相関する」という仮説を設定する。もしもこの仮説が正しければ、運動開始時の脳活動を観察すれば将来的に運動エラーが起こるかどうかが高い確率で予測できるはずである。

## 3. 研究の方法

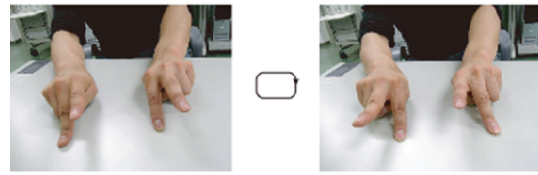
### (1) 運動課題

人差し指と中指を交互にタップする動作を左右の手で同時におこなう両手同時タッピング課題を30秒間遂行する。タッピングのパターンは2種類ある。1) 両手非鏡像モードでは左右の違う指同士を同時にタッピングし（図1上）、2) 両手鏡像モードでは左右手の同じ指同士を同時にタップする。

（図1下）タッピング運動の周波数は3Hz（ガイド音で被験者に提示する）とする。タップ

間隔の分散を動作不安定性の行動指標とする。

### 両手非鏡像モード



### 両手鏡像モード

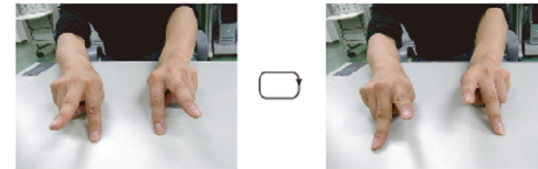


図1. 両手非鏡像モードと両手鏡像モード

### (2) fMRI 実験

fMRI 画像データ計測には3テスラMRI（シーメンス社製、申請者所属機関が保有）を用いる。30秒ごとのタスクと安静を3回繰り返すブロックデザインを1セッションとする。各条件（両手非鏡像条件と両手鏡像条件）ごとに4セッション、合計8セッション行う。

### (3) 脳活動の成分ごとの分離

30秒間の脳活動を運動開始成分と運動継続成分に分離する。運動開始に同期して、一過性に活動するタイプの回帰子と、運動の継続に同期して30秒間持続的に活動するタイプの回帰子を用意し（図2）、それら二つの回帰子を含む一般線形モデルを作成し、最小二乗法により脳活動信号をもっともよく説明するように各回帰子に対するパラメータ係数を決定する。

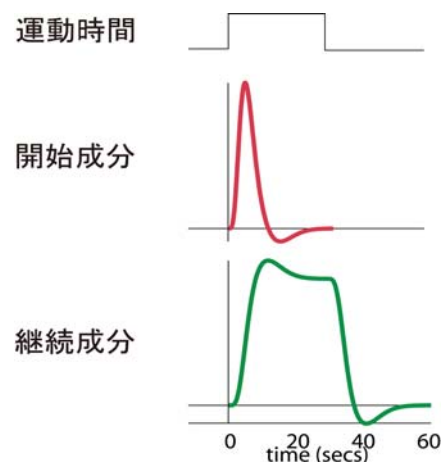


図2. 脳活動を分離する二つの成分に分離するための回帰子

#### (4) 行動指標と脳活動の相関解析

全脳の運動開始成活動成分の非鏡像モードと鏡像モードの差と、各行動指標における非鏡像モードと鏡像モードの差の相関を計算し、有意な相関がみられる脳部位を同定する。

#### 4. 研究成果

大脳基底核の被殻について、30秒間の運動開始と運動継続の成分を分けたものが図3である。吻側では運動開始に関連する活動が観察され、尾側では運動継続に関連する活動が観察された。これは、吻側が前頭前野、前補足運動野などの運動意図や計画に関連する脳部位と解剖学的な結合があること、尾側は一次運動野と解剖学的な結合があることを考えると妥当な結果である。

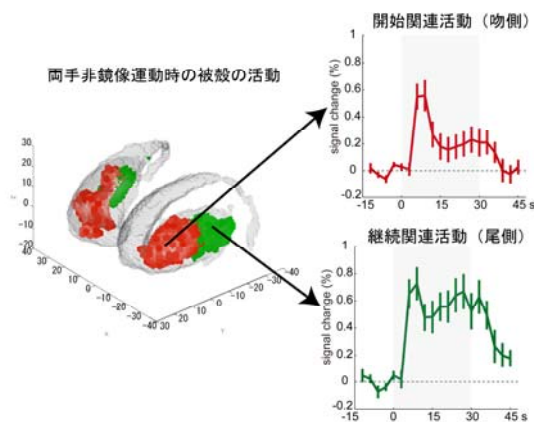


図3. 両手非鏡像運動時の大脳基底核被殻の活動

次に脳全体について、30秒間の運動課題後半の両手非鏡像運動の乱れ具合（運動開始後20秒から30秒の間の左手のタップ間隔の分散を指標とした。）と相関の高い運動開始関連の脳部位を同定した。その結果、大脳基底核被殻前部の活動と将来（運動開始後約20秒経過時からの10秒間程度）の運動の乱れ具合との間に、相関係数0.81という非常に強い相関があることが明らかとなった（図4）。これは両手強調運動が不得意な被験者の場合には、運動開始時の脳への負担が大きく、両手協調運動が得意な被験者の場合には脳への負担が小さいことを示唆しており、大脳基底核の一過性の活動を見れば、高い精度で両手非鏡像運動の将来のパフォーマンスが予測できることを示している。

本研究は、行動を観察するだけではわかりにくい、個々人の脳にかかる負担を、行動開始直後の大脳基底核の活動をモニターするだけで判定できることを示した。ここで着目した大脳基底核の被殻前部は、注意や意図、

運動の計画などに関連すると考えられている。また片手でのタッピング課題や指で力を発揮する課題でも大脳基底核被殻から運動開始時の一過性の活動が観察される。つまり本研究の結果は、両手動作に限定されるものではなく、さまざまな動作について、大脳基底核の脳活動から将来の運動パフォーマンスを予測できる可能性を示唆する。今後はこの知見を応用し、高齢者の日常動作の困難度の評価法やリハビリテーションにおける動作回復程度の評価法、スポーツ技能習得の評価法の開発などに展開していく。

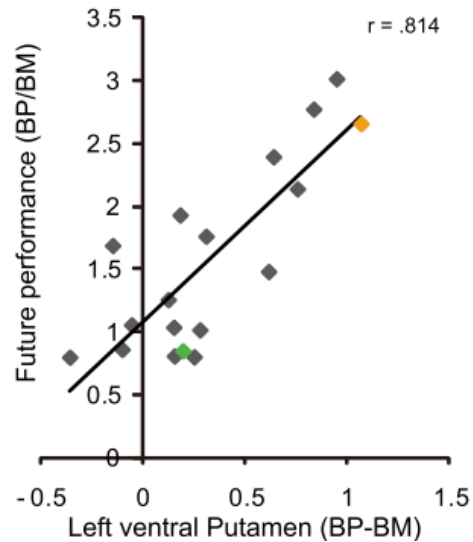


図4. 大脳基底核被殻と運動パフォーマンスの相関関係

#### 5. 主な発表論文等

（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2件）

1. Aramaki Y, Haruno M, Osu R, and Sadato R. Movement initiation-locked activity of the anterior putamen predicts future movement instability in periodic bimanual movement. *Journal of Neurosci.* 31 9819-23, 2011. 査読有り
2. Aramaki Y, Osu R, Sadato N. Resource-demanding versus cost-effective bimanual interaction in the brain. *Experimental Brain Research.* 203 : 407-418, 2010. 査読有り

〔学会発表〕（計4件）

1. 荒牧勇 大脳基底核活動モニタリングによる脳負担評価法の開発 第1回これか

- らの高齢社会をつくるシンポジウム  
2011.8.26 (名古屋、日本)
2. Aramaki Y., Kochiyama T., Osu R., Nozaki D. Decrease in effective connectivity from cerebellum to primary motor cortex during bimanual movements. Society for Neuroscience 40<sup>th</sup> Annual meeting. 2010. 11.14 (San Diego, USA)
  3. Aramaki Y., Kochiyama T., Osu R., Nozaki D. Modification of effective connectivity of cerebro-cerebellar loop by movement of the opposing limb. The 33rd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuro 2010) 2010.9.4 (Kobe, Japan)
  4. 荒牧勇、河内山隆紀、大須理英子、野崎大地 両手運動における大脳小脳連関の変調 第4回 生理学研究所 Motor Control 研究会シンポジウム 2010.5.28 (岡崎、日本)

[その他]

報道関連情報

1. 毎日新聞 2011年7月6日掲載
2. 科学新聞 2011年7月22日掲載
3. Yahoo ニュース 2011年7月6日掲載

ホームページ

<http://www.yuaramaki.com>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

荒牧 勇 (ARAMAKI YU)  
中京大学・スポーツ科学部・准教授  
研究者番号：40414023

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：