

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成 23 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	身体運動適応性の原理解に基ついた運動スキル・調節能の評価法と訓練方略の開発
研究機関・ 部局・職名	東京大学・大学院教育学研究科・教授
氏名	野崎大地

1. 当該年度の研究目的

「身体運動適応原理の包括的理解」「適応の観点からみた運動機能の評価と訓練方略の開発」という2つの研究目的を踏まえて、平成23年度の研究目標を以下の通り定めた。

(a) **運動計画—内部モデル—エラーの対応づけ**：脳がどのようにして、複数の身体部位のエラー情報を適切に該当する内部モデルの更新に用いることができるのかを明らかにする。

(b) **他の身体部位からの干渉を補償するメカニズム**：複数の身体部位を同時に動かす場合、それらの部位は互いに力学的影響を及ぼし合う。脳がこの力学的影響を保障する機序を明らかにする。

(c) **内部モデルの冗長性**：脳の持つ冗長な性質のおかげで、全く同一の身体運動が異なる脳内制御プロセスによって実行されうることを明らかにする。

(d) **脳内過程の解明**：運動の記憶が脳のどこにどのように表象されているのか、fMRI や経頭蓋磁気刺激(TMS)を運動学習実験と組み合わせることで明らかにする。

(e) **直立姿勢制御**：直立姿勢時の身体の動的特性を変化させる世界初のシステムを開発することで、直立姿勢制御におけるフィードフォワード的制御の重要性を明らかにする。

(f) **歩行制御**：半自動的な運動である歩行運動時の脚の動きがフィードフォワード的に制御されているかどうかを調べるために、ダブルベルト型のトレッドミルを用いて歩様を強制的に変更させるシステムを構築し、歩行運動が持つ柔軟な適応性、安定性の起源を明らかにする。

(g) **運動学習過程の数学的モデル化**：運動学習課題における変換を入力、運動成績を出力とみなし、運動学習過程の状態空間モデル化を試みる。モデルによって最大の運動学習効果をもたらすトレーニングスケジュール（入力）を理論的に導出し、実験結果と照合させて理論の妥当性を検討する。

(j) **脳の冗長性とリハビリテーション**：片麻痺患者を対象に、視覚運動変換、両腕運動などの運動課題を課し、本来出来ないはずの麻痺側の到達運動が可能になるかどうかを検討する。

(h) **ミスとスランプ**：到達運動による運動学習課題では、十分に新奇な環境に適応した後でも、突発的な運動成績の低下、運動成績のうねりなどの現象が生じる。こうしたミス・スランプ様の変化が、何か特別な運動適応動態を前兆として生起するものなのかどうかを明らかにする。

(i) **適応過程の個人差と運動能力**：到達運動、直立姿勢、歩行運動の3つの適応実験を、様々な年齢層の被験者について行い、適応能力の個人差、加齢変化を調べる。また、適応能力と直立姿勢維持能力や突発的なエラーやスランプとの関連の有無についても検討する。

様式19 別紙1

2. 研究の実施状況

- ・両腕を同時に動かす運動課題遂行中、一方の腕だけにカーソルが連動することを被験者が知っていても、カーソルに生じた誤差情報を元に反対側の腕運動に学習が生じてしまうこと（学習効果のクロストーク現象）を見出した（目標 a, 論文 1）
- ・反対側の腕からの干渉効果によって腕の運動メモリが部分的に切り替わり、反対側の腕運動によって生じる力学的な影響に応じた柔軟な制御が可能になることを明らかにした（目標 b, 論文 2, 5, 6）。
- ・異なる動作を計画しているにもかかわらず、物理的に同一の腕運動が実行されてしまう新奇な状況を作り出す運動課題を開発した。さらに、この物理的に同一の腕運動が、異なった脳内制御過程によって実行されていることを明らかにした（目標 c, 論文 4）。
- ・脳の一次運動野の活動レベルを表す運動誘発電位の大きさが、運動の実行前であっても、動作方向に応じて調整され、さらに運動学習の前後で変化することを明らかにした（目標 d, 論文準備中）
- ・ロボットアームを用いて、直立姿勢維持時に身体に外乱を印加するシステムを開発した（目標 e）。
- ・リーチング運動を連続的に繰り返す時の運動学習システムを同定し、連続運動固有のシステム特性を明らかにした。この結果から理論的に導かれる、連続運動においては視覚情報を 4, 5 サイクルに 1 サイクルだけ与えた方が運動学習の成績が向上するという予測を実証した（目標 g, 論文 3）。
- ・リーチング運動課題時に複数の視覚ターゲットが呈示されると、獲得した運動メモリをうまく想起できないこと（目標 i, 研究進行中）、また、このような外的な視覚情報の複雑さによって運動遂行時のミスが引き起こされうること（目標 h, 研究進行中）を明らかにした。
- ・運動学習における「忘却」の重要性を理論的に明らかにした（目標 g, 論文 7）。
- ・運動実行に伴う視覚的フィードバックが時間遅れを伴う状況で運動学習を行うとき、時間遅れに適応してから、効率的に運動学習が進むことを明らかにした（目標 a, 論文 8）。
- ・歩行制御（目標 f）については装置の導入が遅れているが、歩行動作を計測するための動作分析システムはすでに整備を終えており、装置設置後すぐに実験に取りかけられる体制にある。

3. 研究発表等

雑誌論文	(掲載済み一査読有り) 計 4 件
計 8 件	1. Shoko Kasuga, Daichi Nozaki (2011) Crosstalk in implicit assignment of error information during bimanual visuomotor learning. <i>Journal of Neurophysiology</i> , 106:1218-1226
	2. Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki (2011) Gain-field encoding of the kinematics of both arms in the internal model enables flexible bimanual action. <i>Journal of Neuroscience</i> 31:17058-17068
	3. Tsuyoshi Ikegami, Masaya Hirashima, Rieko Osu, Daichi Nozaki (2012) Intermittent visual feedback can boost motor learning of rhythmic movements: evidence for error feedback beyond cycles. <i>Journal of Neuroscience</i> 32:653-657
	4. Masaya Hirashima, Daichi Nozaki (2012) Distinct motor plans form and retrieve distinct motor memories for physically identical movements. <i>Current Biology</i> 22:432-436
	(掲載済み一査読無し) 計 2 件
	5. Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki (2011) Flexible switching of multiple internal models during bimanual movement. <i>Sportology</i> 1: 41-48
	6. 横井 惇、平島雅也、野崎大地(2012) 柔軟な両腕動作制御を可能にする脳内メカニズム. <i>バイオメカニクス研究</i> 15:144-154
	(未掲載一査読有り) 計 2 件
	7. Masaya Hirashima, Daichi Nozaki (2012) Learning with slight forgetting optimizes sensorimotor transformation

様式19 別紙1

	<p>in redundant motor systems. <i>PLoS Computational Biology</i> (in press)</p> <p>8. Takuya Honda, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki (2012) Adaptation to visual feedback delay influences visuomotor learning. <i>PLoS One</i> (in press)</p>
<p>会議発表 計 17 件</p>	<p>専門家向け 計 16 件</p> <p>Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki: Flexible bimanual action coordinated by gain-field encoding of both arms' kinematics in internal model. The 21st Annual Meeting Society for the Neural Control of Movement (2011.4.26-30, San Juan, Puerto Rico)</p> <p>Shoko Kasuga, Daichi Nozaki, Masaya Hirashima: Automatic processing of multiple error information in visuomotor learning. The 21st Annual Meeting Society for the Neural Control of Movement (2011.4.26-30, San Juan, Puerto Rico)</p> <p>Shinya Fujii, Hama Watanabe, Hiroki Oohashi, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki, Gentaro Taga: Audio-motor entrainment to a musical beat in 3- to 4-months- old infants. <i>Neuroscience and Music IV-Learning and Memory</i> (2011.6.9-12, Edinburgh, Scotland)</p> <p>野崎大地. 運動学習と脳内過程－神経・脳科学の最新の知見. 第 1 回東京工科大学神経・脳科学セミナー (2011.9.6, 蒲田) 【招待講演】</p> <p>Shoko Kasuga, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki: Automatic processing of multiple errors information in visuomotor learning. <i>Neuroscience2011</i> (2011.9.14-17, Yokohama)</p> <p>Takuya Honda, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki: Degradation of visuomotor learning due to delayed visual feedback is alleviated by prior adaptation to the delay. <i>Neuroscience2011</i> (2011.9.14-17, Yokohama)</p> <p>Hiroshi Kadota, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki: Learning-related changes in corticospinal excitability of wrist muscles prior to movement execution. <i>Neuroscience2011</i> (2011.9.14-17, Yokohama)</p> <p>Daichi Nozaki: Redundant nature of movement control process revealed by flexibility of motor learning. 柔軟な運動学習能力によって明らかになる運動制御系の冗長な性質. 第26回生体・生理工学シンポジウム (2011.9.20-22, Kusatsu) (Motor control studies for neurorehabilitation ニューロリハビリテーションと運動制御 Session Chair) 【招待講演】</p> <p>野崎大地. 運動制御・学習の脳内過程がもつ冗長性. 第 48 回日本リハビリテーション医学会学術集会 (2011.11.2-3, 千葉) (シンポジウム「脳の可塑性と運動学習ーリハビリテーションへの応用を目指してー」座長) 【招待講演】</p> <p>Kentaro Yamanaka, Hiroshi Kadota, Daichi Nozaki,: Cortical responses induced by transcranial magnetic stimulation to motor cortex during motor execution and inhibition. <i>Society for Neuroscience</i> (2011.11.12-16, Washington, DC)</p> <p>Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki: Dominant arm is not always dominant: Excellence of non-dominant arm in adapting to dynamical environments resulting from contralateral arm movement. <i>Conference on Systems-neuroscience and Rehabilitation</i> (2012.3.14-15, Tokorozawa)</p> <p>Kentaro Yamanaka, Hiroshi Kadota, Daichi Nozaki: Modulation of TMS-induced EEG dynamics during motor execution and inhibition. <i>Conference on systems neuroscience and rehabilitation. Conference on Systems-neuroscience and Rehabilitation</i> (2012.3.14-15, Tokorozawa)</p> <p>本多卓也、平島雅也、野崎大地. 視覚フィードバックの遅れによる視覚運動課題の学習低下が、遅れに適応することで軽減される. 第5回生理学研究所Motor Control研究会 (2011.6.16-18, 岡崎)</p> <p>春日翔子、平島雅也、野崎大地. 視覚運動変換学習における潜在的な視覚エラー処理過程. 第 5 回生理学研究所 Motor Control 研究会 (2011.6.16-18, 岡崎)</p> <p>門田宏、平島雅也、野崎大地. 力場学習に伴う皮質脊髄路の興奮性の変化. 第 5 回生理学研究所 Motor Control 研究会 (2011.6.16-18, 岡崎)</p> <p>Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, Daichi Nozaki: How does the internal model construct a model of the movement of the contralateral arm? : Flexible bimanual action coordinated by gain-field encoding of both arms' kinematics in the internal model. The 12th Winter Workshop on Mechanism of Brain and Mind (2012.1.16-18, Rusutsu)</p> <p>一般向け 計 1 件</p> <p>野崎大地. だまして分かる脳が身体を操るメカニズム. 第 114 回東京大学公開講座(2011.9.10, 東京)</p>

様式19 別紙1

図書 計0件	
産業財産権 出願・取得状 況 計0件	(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件
Webページ (URL)	<p>「邪魔しあいながら助けあう両腕一両腕を協調させて動かすためのメカニズムを解明」. 東京大学[広報・情報公開]記者発表一覧 <http://www.u-tokyo.ac.jp/public/public01_231123_02_j.html></p> <p>繰り返し運動の習得に「よく見る」ことは逆効果—周期運動の誤差情報を処理する脳内メカニズムが明らかに— Todai Research Highlight <http://www.u-tokyo.ac.jp/ja/todai-research/research-highlights/repetitive-movements/></p> <p>繰り返し運動の上達には、“時々”目を使うのがコツ！—周期運動に特有な運動誤差情報の脳内メカニズムが明らかに—. 東京大学[広報・情報公開]記者発表一覧 <http://www.u-tokyo.ac.jp/public/public01_240117_02_j.html></p> <p>異なる脳活動によって操られる同一の身体運動. 東京大学[広報・情報公開]記者発表一覧 <http://www.u-tokyo.ac.jp/public/public01_240210_03_j.html></p>
国民との科学・技術対話 の実施状況	<p>以下の非研究者向けの講演において研究成果をわかりやすく説明した。 第114回(H23秋)東京大学公開講座「だます」(2011.9.10, 東大安田講堂、一般人向け、700名程度参加):「だまして分かる脳が身体を操るメカニズム」 第1回東京工科大学神経・脳科学セミナー(2011.9.6, 蒲田東京工科大学、理学・作業療法士および一般人向け、80名程度参加):「運動学習と脳内過程—神経・脳科学の最新の知見」</p> <p>論文として発表した研究成果については、上記「Web ページ」に記載のとおりプレスリリースを出し、さらにtwitter や Facebook などのメディアを通じて積極的な配信に努めた。</p>
新聞・一般雑誌等掲載 計5件	<p>日経産業新聞(2012.1.24)「繰り返し運動 上達の秘訣」</p> <p>朝日新聞(2012.1.25;p8)「手元見ないと腕上達」</p> <p>電波タイムズ(2012.1.25;p1)「周期運動の脳内処理メカニズムを解明」</p> <p>山陽新聞(2012.2.21)「見過ぎないほうが上達早く」</p> <p>大分共同新聞(2012.2.27)「手元を見る回数減らすと上達」</p> <p>以上確認済分のみ</p>
その他	<p>Baugh LA, Flanagan JR (2012) Motor memory: When plans speak louder than actions. <i>Current Biology</i> 22:R155-R157 上記論文が論文4の紹介記事として掲載された。</p>

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	123,000,000	84,640,000	0	38,360,000	0
間接経費	36,900,000	25,392,000	0	11,508,000	0
合計	159,900,000	110,032,000	0	49,868,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	84,004,055	0	0	84,004,055	58,376,246	25,627,809	0
間接経費	25,392,000	0	0	25,392,000	24,228,923	1,163,077	0
合計	109,396,055	0	0	109,396,055	82,605,169	26,790,886	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	46,123,279	実験用機器類、解析用ソフト、書籍、その他消耗品
旅費	1,559,710	学会参加、成果発表等(Neural Control Movement 学会、北米神経科学学会 他)
謝金・人件費等	7,908,713	特任研究員人件費、研究室補佐員人件費、被験者謝金
その他	2,784,544	英文校正、ソフトウェアライセンス、その他
直接経費計	58,376,246	
間接経費計	24,228,923	
合計	82,605,169	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
6ch筋電図システム	Bag-6	1	2,100,000	2,100,000	2011/5/27	東京大学
14ch無線型筋電図 システム	Trigno-14T	1	3,990,000	3,990,000	2011/6/20	東京大学
光学式3次元モー ションキャプチャー システム	OQUS300+カメ ラ(5台)、計測、解 析用PC他	1	9,975,000	9,975,000	2011/7/25	東京大学
ロボットアーム型運 動計測装置 KINARM	作業領域760× 440mm、位置座標分 解能 0.003mm 他	1	10,461,220	10,461,220	2011/11/10	東京大学
ハイスピードマイク ロスコープ	VW-9000 コントロー ラ、VW-600C、高速カ ラーユニット他	1	6,951,000	6,951,000	2012/3/22	東京大学
TMSコイル位置制 御システム	三菱製 ロボット RV-2SD、制御プ ログラム他	1	7,492,800	7,492,800	2012/3/27	東京大学
光学式モーションキャ プチャーシステム、カメラ	OQUS300+カメ ラ	1	2,194,500	2,194,500	2012/3/27	東京大学