

**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 25 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」という研究目的及び前年度までの研究成果を踏まえ、平成 25 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**：運動エラーがどのように運動制御器に割り当てられるのか、両腕運動(Kasuga and Nozaki, J Neurophysiol 2011)、複数の視覚情報提示 (Kasuga et al., 投稿中)、視覚情報の時間遅れ(Honda et al., PLoS One 2012; Front Percept Sci 2012)などの様々な状況について明らかにしてきた。今年度は、それではこの修正が必ずエラーを減少させるように働くのはどうしてなのかというより根本的な問題を明らかにする。

(b) **他の身体部位からの干渉を補償するメカニズム**：腕運動の制御系が、もう一方の腕運動によって生じる力学的な干渉を補償するメカニズム (Yokoi et al., J Neurosci 2011)、およびその左右差を明らかにしてきた(Yokoi et al., J Neurosci (in press))。本年度は両腕に力学的相互作用を同時に印加した場合の運動学習系の振る舞いについて明らかにする。

(c) **内部モデルの冗長性**：脳活動に違いがあれば、同一の運動でも異なる内部モデルを構築可能(Hirashima and Nozaki, Curr Biol 2012)との結果に基づき、脳活動を経頭蓋直流電気刺激(tDCS)を用いて変化させることで人為的に複数の内部モデルを構築・切り替えることができるかどうか検討する。

(d) **脳内過程の解明**：経頭蓋磁気刺激 (TMS)を用い、運動学習に伴う一次運動野興奮性の変化を明らかにしてきた (Kadota et al., J Neurosci (in revision))。新たに完成したロボットアームを使った TMS 装置を用い、運動学習に伴う一次運動野皮質内の神経ネットワークの機能的変化を明らかにする。

(e) **直立姿勢制御**：直立姿勢制御時に課した新奇な環境への適応過程をみることによって、随意的な姿勢変化に伴う姿勢制御過程と反射的な姿勢制御過程の間の関連・相互作用を明らかにする。

(f) **歩行制御**：モーションキャプチャシステムにより計測した身体動作に変換を加え、リアルタイムでディスプレイに表示させるシステム、およびダブルベルト型のトレッドミルを用いた歩様を強制的に変更させるシステムを用い、視覚情報や体性感覚フィードバック情報を変化させたときの応答をみることにより、歩行運動の持つ柔軟な適応性、安定性の起源を明らかにする (H24 年度からの継続)。

(g) **運動学習過程の数学的モデル化**：運動学習過程をモデル化することにより、最適な学習方略を導くことができた (Ikegami et al., J Neurosci 2012)。両腕運動時の左右の腕運動制御過程間の相互作用を考慮したモデル、および、従来の単純な線形モデルでは表現しえない様々な運動学習動態を説明する新しいモデルを提案し、その妥当性の実験的検証を行う (H24 年度からの継続)。

(h) **脳の冗長性とリハビリテーション**：片麻痺患者を対象に運動課題を課し、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 (H24 年度からの継続)。

(i) 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、運動成績の変動などの現象が生じる。こうしたミス、スランプ様の変化が、特別な前兆を伴って生起するのかどうかを明らかにする（H24年度からの継続）。

2. 研究の実施状況

1の各項目に対応する実施状況を示す。

- ・ 視覚運動変換を利用した新しい運動課題を用いて、フィードバック応答とフィードフォワード制御器適応の間の関連を明らかにした(a)。
- ・ 両腕運動訓練パターンの種類の数を増やしても、その訓練効果が片腕運動に転移する量には変化がないことを明らかにした(b)。
- ・ tDCS の刺激極性に応じて力場を学習させると、その後、その極性を変えただけで獲得した運動記憶が自動的に想起されることが明らかになった(c)。
- ・ 新型 TMS システムを用いて、一次運動野近接領域内の促通性相互作用を明らかにした(d)。
- ・ 動作解析システム、トレッドミル、HMD を組み合わせた直立姿勢評価システムを開発した(e)。
- ・ 変換した動作を鏡のように呈示し、被験者の動きを無意識のうちに変化させるシステムを開発した(e,f)。
- ・ 歩行運動中に加えた意識下の外乱への応答から、高齢者の運動適応能力を評価する方法を開発した(f)。
- ・ 運動誤差を予測しつつ運動学習するという、我々が提案した新しい数学的モデルにより、様々な運動学習動態を統一的に再現できることを明らかにした(g)。
- ・ 片麻痺患者の運動制御能力に関して、制御能力と学習能力が必ずしも相関しないことなど新しい特徴を明らかにした(h)。
- ・ 突発的・継続的に生じる運動誤差の生起要因を調べるため、腕到達運動と脳波、皮膚抵抗、呼吸、血圧を同時に取得する実験系を構築した(i)。

3. 研究発表等

雑誌論文 計 7 件	(掲載済み一査読有り) 計 3 件 Shoko Kasuga, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u> " Simultaneous Processing of Information on Multiple Errors in Visuomotor Learning" <i>PLoS ONE</i> , 2013, 8(8):e72741 ISSN:1932-6203 < http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0072741 > Kentaro Yamanaka, Hiroshi Kadota, <u>Daichi Nozaki</u> "Long-latency TMS-evoked potentials during motor execution and inhibition" <i>Frontiers in Human Neuroscience</i> , 2013, 7:751 ISSN:1662-5161 < http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fnhum.2013.00751/abstract > Kentaro Yamanaka, <u>Daichi Nozaki</u>
---------------	---

	<p>“Neural Mechanisms Underlying Stop-and-Restart Difficulties: Involvement of the Motor and Perceptual Systems” <i>PLoS ONE</i>, 2013, 8(11):e82272 ISSN:1932-6203 < http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0082272></p> <p>(掲載済み一査読無し) 計1件 <u>野崎大地</u>: 身体運動の冗長な運動記憶 –脳内表象との関連–. <i>BRAIN and NERVE</i>, 2014, 66(4), 429-437 ISSN:1881-6096</p> <p>(未掲載) 計3件 Tomohisa Kato, Shin-ichiro Yamamoto, Tasuku Miyoshi, Kimitaka Nakazawa, Kei Masani, <u>Daichi Nozaki</u> “Anti-phase action between the angular accelerations of trunk and leg is reduced in the elderly” <i>Gait & Posture</i> ISSN:0966-6362 (in Press)</p> <p>Shinya Fujii, Hiroyuki Ohashi, Masaya Hirashima, Hama Watanabe, <u>Daichi Nozaki</u>, Gentaro Taga “Precursors of dancing and singing to music in three- to four-months-old infants” <i>PLoS ONE</i> ISSN:1932-6203 (accepted)</p> <p>Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u> “Lateralized sensitivity of motor memories to the kinematics of the opposite arm reveals functional specialization during bimanual actions” <i>Journal of Neuroscience</i> ISSN:0270-6474 (accepted)</p>
<p>会議発表 計32件</p>	<p>専門家向け 計30件 Takuji Hayashi, Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: Fast corrective responses to perturbations applied during reaching reflect estimated limb state: Evidence for optimal feedback control in the motor system. <i>The 23rd Annual Meeting Society for the Neural Control of Movement</i> (Puerto Rico, 2013. 4. 16-20)</p> <p>Takahiro Kimura, Ichiro Hidaka, Hiroshi Kadota, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: A novel robotized TMS system enabling the stimulation of multiple adjacent points of the human brain. <i>The 23rd Annual Meeting Society for the Neural Control of Movement</i> (Puerto Rico, 2013. 4. 16-20)</p> <p>Ken Takiyama, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: Prospective error to determine motor learning: A step toward a unified model of motor learning. <i>The 23rd Annual Meeting Society for the Neural Control of Movement</i> (Puerto Rico, 2013. 4. 16-20)</p>

Shoko Kasuga, Junichi Ushiba, Daichi Nozaki:

Trial-by-trial error correction strategy during mirror-reversal transformation learning.
The 23rd Annual Meeting Society for the Neural Control of Movement (Puerto Rico, 2013. 4. 16-20)

Masahiro Shinya, Daichi Nozaki, Kimitaka Nakazawa:

Does postural adaptation to moving platform transfer across voluntary sway and arm raising tasks?
The 23rd Annual Meeting Society for the Neural Control of Movement (Puerto Rico, 2013. 4. 16-20)

野崎大地:

筋骨格系に内在する冗長性問題とそれを解消する理論的枠組み.

シンポジウム「筋活動二乗和最小則が実現される脳内メカニズム」シンポジスト

第7回 Motor Control 研究会 (東京, 2013. 9. 5-7) 【企画】

進矢正宏、野崎大地、中澤公孝:

随意的な姿勢制御タスクで学習された適応的姿勢制御活動は腕挙げに伴う予測的姿勢制御に転移するか?

第7回 Motor Control 研究会 (東京, 2013. 9. 5-7) 【企画】

横井惇、日高一郎、平島雅也、野崎大地:

経頭蓋直流電流刺激を用いた複数の運動記憶の獲得及び想起.

第7回 Motor Control 研究会 (東京, 2013. 9. 5-7) 【企画】

木村岳裕、日高一郎、門田宏、平島雅也、野崎大地:

新型ロボットアーム TMS システムを用いた運動野隣接領域連携機能の検討.

第7回 Motor Control 研究会 (東京, 2013. 9. 5-7) 【企画】

林拓志、平島雅也、野崎大地:

到達運動のフィードバック修正には予測感覚情報が用いられる.

第7回 Motor Control 研究会 (東京, 2013. 9. 5-7) 【企画】

瀧山健、平島雅也、野崎大地:

予期される運動誤差が運動学習過程を決定する: 運動学習の統一理論モデルに向けて.

第7回 Motor Control 研究会 (東京, 2013. 9. 5-7) 【企画】

野崎大地:

脳の運動学習能力を測る

第13回東京大学生命科学シンポジウム (東京, 2013. 6. 8)

野崎大地:

	<p>Context dependent formation and retrieval of motor memoru: A clinical application perspective. シンポジウム「Integration of computational sensorimotor control and rehabilitation」 シンポジスト <i>Neuro2013</i> (Kyoto, 2013. 6. 20-23)</p> <p>Ken Takiyama, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: 前向き誤差に基づく運動学習：運動学習の統一理論に向けて; Prospective error to determine motor learning: A step toward a unified model of motor learning. <i>Neuro2013</i> (Kyoto, 2013. 6. 20-23)</p> <p>Takuji Hayashi, Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: Fast corrective responses to perturbations applied during reaching reflect estimated limb state: Evidence for optimal feedback control in the motor system. <i>Neuro2013</i> (Kyoto, 2013. 6. 20-23)</p> <p>Masahiro Shinya, <u>Daichi Nozaki</u>, Kimitaka Nakazawa: Absence of transfer in postural adaptation to moving platform across voluntary sway and arm raising tasks. <i>21st Conference of the International Society for Posture and Gait Research</i> (Akita, 2013. 6. 22-26)</p> <p><u>Daichi Nozaki</u>: Flexible Motor Control Learnt by Redundant Motor System. <i>35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society</i> (Osaka, 2013. 7. 3-7)</p> <p>Ken Takiyama, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: Prospective error to determine motor learning: A step toward a unified model of motor learning. 包括脳 夏のワークショップ (名古屋, 2013. 8. 30)</p> <p>日高 一郎、成瀬隆彦、<u>野崎大地</u>. Eye movements and emotional changes during "weapon focus" phenomenon. ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2013 (横浜, 2013. 9. 12-14)</p> <p><u>野崎大地</u>. Computational approach toward understanding of motor control and learning. (上肢運動の制御と学習のメカニズム ～基礎と臨床のクロストーク～ Organizer・Session Chair) ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2013 (横浜, 2013. 9. 12-14)</p>
--	---

	<p>木村岳裕、日高一郎、門田宏、平島雅也、野崎大地。 最新鋭ロボットアーム TMS システムの開発と運動野の連携機能の調査 生体医工学シンポジウム 2013 (福岡, 2013. 9. 20-21)</p> <p>日高一郎、浜崎洸太郎、木村岳裕、野崎大地。 視覚探索トレーニングによる周辺視力向上メカニズムの解明 生体医工学シンポジウム2013 (福岡, 2013. 9. 20-21)</p> <p>Takuji Hayashi, Atsushi Yokoi, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: Alteration of predicted state modulates fast force responses to perturbations: Evidence for optimal feedback control in the motor system. <i>Annual meeting of Society for Neuroscience (SfN2013)</i> (San Diego, USA, 2013. 11. 9-13)</p> <p>Takahiro Kimura, Ichiro Hidaka, Hiroshi Kadota, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: Stimulation of multiple adjacent points of the human brain using a novel robotized TMS system. <i>Annual meeting of Society for Neuroscience (SfN2013)</i> (San Diego, USA, 2013. 11. 9-13)</p> <p>Shoko Kasuga, Junichi Ushiba, <u>Daichi Nozaki</u>: Switching of the trial-by-trial learning rule from error-based correction to strategy during mirror-reversal reaching. <i>Annual meeting of Society for Neuroscience (SfN2013)</i> (San Diego, USA, 2013. 11. 9-13)</p> <p>Ken Takiyama, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: Prospective error determines motor learning: A step towards a unified model of motor learning. <i>Annual meeting of Society for Neuroscience (SfN2013)</i> (San Diego, USA, 2013. 11. 9-13)</p> <p><u>Daichi Nozaki</u>: Context dependent formation and retrieval of human motor memories. Global COE Program :The 9th International Sport Sciences Symposium on "Active Life" (Tokyo, 2013. 11. 30-12. 1) 招待講演</p> <p><u>野崎大地</u>. 運動誤差に応じて形成される運動記憶 高知工科大学脳コミュニケーション研究センター第5回 BrainCom 講演会 (高知県香美市, 2014. 3. 11)</p> <p>Akikazu Sasaki, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u>: Relationship between force direction and amplitude under a constant level of sense of effort. <i>5th Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation</i> (Tokorozawa, 2014. 3. 12-13)</p>
--	---

様式19 別紙1

	<p>Hiroaki Imagawa, Masaya Hirashima, <u>Daichi Nozaki</u> : Force field adaptation is accomplished by flexible combinations of muscle synergies. <i>5th Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation</i> (Tokorozawa, 2014. 3. 12-13)</p> <p>一般向け 計2件 <u>野崎大地</u> 「運動制御・学習理論の基礎」 第4回脳神経科学セミナー (長野県上田市, 2013. 8. 24)</p> <p><u>野崎大地</u> 「子どもの動きと脳」 日本学術会議公開シンポジウム「子どもの動きの獲得に必要な運動・身体活動」 (東京, 2014. 3. 10)</p>
<p>図書 計2件</p>	<p>野崎大地「脳と運動のふしぎな関係: 体で覚えるって、どういうこと? (くもんジュニアサイエンス)」 くもん出版 (2014) p109 ISBN-13/978-4774322407</p> <p>Nozaki D, Context-dependent formation and retrieval of human motor memories. In: <i>Clinical Systems Neuroscience: From Laboratory to Clinical Practice</i>. eds. Kansaku K, Cohen LG, Birbaumer N. Springer, Tokyo, Japan (印刷中)</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>研究室のホームページ <http://www.p.u-tokyo.ac.jp/~dnl/index.html></p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>「脳の運動学習能力を測る」 (2013. 6. 8, 東京) 第13回東京大学生命科学シンポジウム 参加者数 約300名 内容: 一般の聴衆向けに脳の運動学習能力とはなにか、どうやって測定し、測定することによって何がわかるのかをわかりやすく解説した。</p> <p>「運動制御・学習理論の基礎」 (2013. 8. 24, 長野県上田市) 第4回脳神経科学セミナー 参加者数 約80名 内容: 理学療法士、作業療法士を含む一般の聴衆向けに身体運動が脳によってどのように制御・学習されているのかを、本研究の成果を交えながら、基礎的な点から解説した。</p> <p>「子どもの動きと脳」 (2014. 3. 10, 東京) 日本学術会議公開シンポジウム「子どもの動きの獲得に必要な運動・身体活動」 参加者数 約100名 内容: 体育教育に興味を持つ一般聴衆に向けて、身体運動と脳の関係について今後どのような指針で研究を行っていくべきか意見を述べた。</p> <p>上記の他、研究室ホームページ、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>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計0件</p>	
<p>その他</p>	<p>Baugh LA, Flanagan JR (2012) Motor memory: When plans speak louder than actions. <i>Current Biology</i> 22:R155-R157; Hirashima and Nozaki (2012, <i>Current Biology</i>) の紹介記事として掲載された。</p> <p>「素顔のニューロサイエンティスト」 <i>Clinical Neuroscience</i> (月刊臨床神経科学) Vol. 31 No. 7 858-859</p> <p>「身体運動の制御と学習」, 体育の科学 (杏林書院) 64巻3月号より連載開始</p>

4. その他特記事項

「運動記憶の冗長性とその機能的意義」, 長野県上諏訪, 2013.10.11-14, 日本神経回路学会若手向け講習-Autumun School for Computational Neuroscience 2013-「運動～身体を動かす脳の謎」で講師を務めた。

東京大学大学院教育学研究科附属バリアフリー教育開発研究センター公開シンポジウム「最新テクノロジーとバリアフリー」(東京, 2014.3.1)で司会を務めた。

実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

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	104,130,000	18,870,000	0	
間接経費	36,900,000	31,239,000	5,661,000	0	
合計	159,900,000	135,369,000	24,531,000	0	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	5,903,437	18,870,000		24,773,437	24,773,437	0	
間接経費	3,910,367	5,661,000		9,571,367	9,571,367	0	
合計	9,813,804	24,531,000	0	34,344,804	34,344,804	0	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	5,961,876	実験用機器類、解析用ソフト、書籍、その他消耗品
旅費	3,194,751	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	14,651,043	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	965,767	英文校正、ソフトウェアライセンス、その他
直接経費計	24,773,437	
間接経費計	9,571,367	
合計	34,344,804	

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
アンウェイシステム		1	1,942,500	1,942,500	2014/2/12	東京大学
超ロングレンジCC Dレーザ変異セン		1	754,950	754,950	2014/2/18	東京大学
バイポーラリニアア イソレーター		2	255,150	510,300	2014/2/28	東京大学