

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 25 日現在

機関番号：82401
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2008～2011
課題番号：20700301
研究課題名(和文) 運動学習における記憶の転送と固定化の理論
研究課題名(英文) Theory of memory transfer and consolidation in motor learning
研究代表者
山崎 匡 (YAMAZAKI TADASHI)
独立行政法人理化学研究所・戦略ユニット・研究員
研究者番号：40392162

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：神経科学・神経科学一般

キーワード：小脳・運動学習・理論・モデル・シミュレーション

1. 研究計画の概要

小脳が運動制御を司っていることは十分なコンセンサスが得られているが、運動記憶が小脳内のどこに蓄えられるかは議論が分かれている。一つの仮説(伊藤仮説)では小脳皮質の平行線維-プルキンエ細胞シナプスに蓄えられるとし、別の仮説(Miles-Lisberger 仮説)では苔状線維-小脳核シナプスに蓄えられるとした。ごく最近、運動記憶は短期的にまず小脳皮質に形成され、学習を継続することでその記憶が徐々に小脳核に転送され、長期的に固定化することがわかってきた。よって「伊藤仮説対 Miles-Lisberger 仮説」の対決は一応の決着を見そうではあるが、そもそも記憶の転送が行われるメカニズムは全くわかっていない。本研究では、これまで私が構築してきた小脳モデルを元にして、記憶の皮質から核への転送メカニズムと核での固定化のメカニズムを理論的に考察する。

2. 研究の進捗状況

これまでに、記憶の転送をおこなう小脳モデルを構築した。本モデルは、小脳皮質に対応する liquid state machine と小脳前核-小脳核に対応する単純パーセプトロンからなるハイブリッドモデルである。小脳皮質の学習は下オリーブ核からの信号をトリガーとする長期抑圧・長期増強を機序とする。小脳核での学習は Bienstock-Cooper-Munro 則に従う。学習はまず小脳皮質で行われる。皮質の学

習後、皮質のプルキンエ細胞の出力を教師信号として、小脳核での学習が行われる。小脳皮質の学習後は皮質の記憶がリセットされ、あたかも記憶が皮質から核へと転送されるように見える。まずネットワーク全体の挙動を数学的に解析し、記憶が安定的に転送されることを確認した。それとともに、10万以上のスパイクニューロンからなるニューラルネットを計算機上に実装し、小脳が関与する代表的な運動学習の課題である視機性眼球運動(optokinetic response, OKR)のゲイン適応を再現することを試みた。大規模な計算機シミュレーションをおこない、実験データを再現することに成功した。

研究成果は日本神経回路学会全国大会と Society for Neuroscience の Annual Meeting で発表している。

現在論文を投稿中である。一年前に一度投稿したがその際は最終的に不採録となってしまったので、データを取り直しストーリーも練り直して再度投稿したところである。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)

現在、論文を投稿中であり、それが採録されればおおむね完了と考えている。特に「伊藤仮説対 Miles-Lisberger 仮説」の終結に向けて理論的な解釈を与えるこ

とは意義が大きいと考える。よって区分としてはおおむね順調に進展していると考えている。

本モデルは単に記憶の転送を行うためだけのものではなく、小脳のゲイン学習とタイミング学習、短期学習と長期学習、神経メカニズムと工学的応用を統一的に説明できる汎用のものとなった。特に興味深い挙動として、小脳内での時間の進むスピードを変化させることができる。これは、一度獲得した運動パターンをスピードを変えて再生できることを示唆するものであり、運動速度の汎化能力の機序となり得るものである。特に小脳のタイミング学習における代表的な実験パラダイムである瞬目反射の条件付けにおいて、条件刺激を変化させることで学習済みの瞬きのタイミングをずらすことが可能であることを計算機シミュレーションによって示唆しており、現在、共同研究で実際に動物を用いて再現するかどうかを調べてもらっているところである。

また予備的な結果だが、本モデルで運動学習における分散効果を再現できることが明らかになった。分散効果とは、トレーニングは一回に集中しておこなうよりも、何回かに分けて行ったほうが、トータルのトレーニング時間は一緒であっても効果が大きくなるという現象である。小脳が関与する運動学習では、すでに OKR のゲイン適応で分散効果が確認されている。分散効果の機序に対する我々の仮説は学習の飽和である。学習の飽和が起こるのが皮質なのか核なのかは実験的には明らかになっていないが、BCM 則に組み込まれている sliding threshold が自動的に学習を飽和させる効果を生むため、本モデルは自動的に分散効果を再現する。実際、本モデルにおいて OKR のゲイン適応のシミュレーションにおいて分散効果が確認できた。

4. 今後の研究の推進方策

今後は、第一に投稿中の論文採録を目指す。

時間の進み方を変化させる計算機シミュレーションを継続して行う。現在共同研究で動物を用いた実験を行っており、最初の結果を今年度国際会議で発表することが決まっている。将来的には実験と理論をセットにして論文投稿を目指す。

さらに、分散学習の計算機シミュレーションを継続して行う。今年度はすでに国際会議発表が1件決まっている。最終的には論文にすることを旨とする。

また、汎用の運動学習マシンとして、市販のヒューマノイドロボットの制御へ適用することを考えている。

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)

[学会発表] (計4件)

① Tadashi Yamazaki and Soichi Nagao.
A Role of Constraint in Cerebellar Learning and Memory Transfer.
Program No. 367.7. 2009 Neuroscience Meeting Planner. Chicago, IL: Society for Neuroscience, 2009.
Online. Chicago, IL, Oct 17–21, 2009.

② 山崎 匡, 永雄総一
小脳運動学習と記憶の転送における制約条件の役割,
日本神経回路学会全国大会 (JNNS2009),
東北大学, 仙台, 9月24–26日, 2009.

③ Tadashi Yamazaki and Soichi Nagao,
A computational model of the cerebellum for motor memory transfer,
38th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Washington DC. November 15–19, 2008.

④ 山崎 匡, 永雄総一,
記憶の転送を行う小脳のスパイキングネットワークモデル
日本神経回路学会全国大会 (JNNS2008),
産総研, つくば, 9月24–26日, 2008.