

論文内容の要旨

博士論文題目

Real-time constraints to learning and control of voluntary movement
(随意運動の学習と制御における実時間の制約)

氏名

Fredrik Bissmarck

This thesis seeks to elucidate the real-time constraints of cortical feedback loops for motor control. It investigates how a series of planned movements are gradually integrated into a fast skillful movement, and how the recruitment of sensory feedback may be altered through stages of learning.

In the first study, a general computational framework for combining and learning modalities with different latencies is proposed, based on the actor-critic algorithm. In simulations, it is shown that modules can effectively be combined and learned under the proposed framework for visuomotor tasks. The faster module could learn a more optimal motor skill without interference from the slower module. Furthermore, a slow general-purpose module could be used to train a fast specialized module that would take over control; after learning, the slower module would still contribute to robustness.

In the second study, behavioural long-term change in a sequential, manual motor task is investigated. It is found that subjects indeed changed their gaze strategy with learning. First, in slow performance, subjects would fixate each manual target. Then, in fast performance gaze fixated strategic points between targets. It is suggested that subjects need to make a trade-off for the loss of vision of gaze shifts on one hand, and of peripheral vision on the other.

Overall, this thesis demonstrates how real-time constraints are important factors for understanding the psychology and neurophysiology of motor skill learning.

(論文審査結果の要旨)

大脳皮質における運動制御のフィードバック回路は、実時間による制約を受けていると考えられてきたが、これまでその機構については研究がなされていない。本論文では、計算機シミュレーションと行動実験とを組み合わせ、個々の単純な動作を複雑で素早い運動へと統合していく過程と、その際の感覚系フィードバック情報の使用の様態を明らかにしようとした。本論文の主な成果は以下のように要約される。

- 1) 実時間運動タスクについて、遅延のあるマルチモーダルフィードバックを組み合わせるため、softmax 関数を用いたゲート機構を有するモジュラーフレームワークを提案した。シミュレーションの結果、actor-critic 法を用いた強化学習により潜時の短いモダリティが優位になることが示された。さらに、異なるコンテキストにおいてモジュール間のスイッチングが行われることにより、ロバストな運動が実現できることも明らかになった。
- 2) 行動実験では、被験者は、その操作スキルが速くなるに従って、注視戦略を長時間にわたって適応させる必要が生じることを示した。注視の移動はターゲットごとのものからより疎な系列ごとのものへと変化した。これは、一方では注視移動の視覚の損失を、他方では標的の eccentricity の損失を、トレードオフしているためと考えられた。
- 3) 連続したリーチングタスクにおいては、操作の精度はコンテキストに依存することが示された。空間表現の動的更新処理のベイズモデルを提案した。これにより観察された操作の精度が注視に依存することを部分的に説明できる。さらにこのモデルによって観察された注視行動が制約を受けることも示唆された。

以上の成果は、運動スキルの学習における心理学的、神経生理学的基盤を理解する上で、実時間による制約が重要な因子となることを初めて示したものであり、その意義は大きい。よって、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。