

論文内容の要旨

博士論文題目 霊長類の滑らかな眼球運動の並列制御経路モデル

氏名 田端 宏充

(論文内容の要旨)

本論文では、霊長類に特有の円滑性追跡眼球運動(smooth pursuit)及び追従眼球運動(ocular following responses: OFR)の実験データに基づき、smooth pursuitを駆動するための情報は、大脳皮質高次視覚野 MST 野の再帰結合神経回路で保持されるという理論的仮説を提案した。それに伴い、前庭神経核—小脳皮質間のポジティブフィードバック回路は、ずっと弱い働きしかしないと仮定した。この仮説は、前庭動眼反射(vestibuloocular reflex: VOR), smooth pursuit などの滑らかな眼球運動を制御するために、脳は二つの並列な制御回路を使用していることを意味する。第一の経路は、三半規管—前庭神経核—眼外筋であり、VOR の発現のための主な経路として働く。第二の経路は、MST 野—背外側橋核—小脳皮質—前庭神経核—眼外筋であり、smooth pursuit の発現のための主な経路として働く。そして、この理論的仮説に従い、次の3つの帰結を計算機シミュレーションで示した。

- (1) VOR, smooth pursuit, VOR cancellation 時の小脳皮質プルキンエ細胞と前庭神経核細胞の神経活動を、視線速度理論と同等に説明することができること。
- (2) 小脳皮質の学習を仮定するだけで、VOR 適応を再現することができること。
- (3) smooth pursuit, OFR, そして smooth pursuit と背景の広視野刺激を組み合わせた様々な眼球運動の実験データを再現できること。

また、提案した計算モデルの検証のために行った予備的な実験結果についても述べている。

本論文の結果は、VOR 適応が小脳皮質の学習に従って説明できる可能性を理論的に示唆するとともに、小脳皮質は誤り訂正学習により眼球プラントの制御器(逆ダイナクスモデル)を獲得し、VOR のための目標軌道情報は三半規管で、smooth pursuit のための目標軌道情報は小脳皮質高次視覚野 MST 野の再帰結合神経回路で計算されているという、霊長類の滑らかな眼球運動の脳内制御機構の計算論的枠組みを与えるものである。

氏名	田端宏充
----	------

(論文審査結果の要旨)

本論文は、霊長類の滑らかな眼球運動を計算論的神経科学の立場から解明しようとした研究で、成果は次の2点に要約される。

1. smooth pursuit を駆動するための信号が、MST 野のリカレント回路で保持されると考え、霊長類の滑らかな眼球運動のための並列制御経路仮説を提案した。これによって、霊長類は VOR を制御するために、三半規管—前庭神経核—眼外筋という経路と、smooth pursuit を制御するための MST 野—橋核—小脳皮質—前庭神経核—眼外筋という経路を使用している可能性を説明できることを示した。また、VOR のゲイン適応は VOR の副側経路である小脳皮質のシナプス可塑性で説明できることを示した。
2. smooth pursuit を駆動するための信号を保持するための MST 野のモデル候補として、局所的な興奮性結合と広域に広がる抑制性結合を持つ神経場を提案した。これによって、MST 野の細胞間結合によって生じるダイナミクスによって、smooth pursuit 時には神経活動が保持されるが OFR blank のときには神経活動が速やかに減衰するという実験結果を、視覚刺激の大きさというボトムアップな作用で少なくとも定性的に説明できること、smooth pursuit 中の突然の背景の動きによって生じる様々の眼球運動も説明できることを示した。

以上のように、本論文は、VOR 適応が小脳皮質の学習に従って説明できる可能性を理論的に示唆するとともに、小脳皮質は誤り訂正学習により眼球プラントの制御器(逆ダイナミクスモデル)を獲得し、VOR のための目標軌道情報は三半規管で、smooth pursuit のための目標軌道情報は小脳皮質高次視覚野 MST 野の再帰結合神経回路で計算されているという、霊長類の滑らかな眼球運動の脳内制御機構の計算論的枠組みを示したものとして、計算神経科学の分野において、学術上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。