

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料
〔事後評価用〕

平成16年度採択分

平成22年3月31日現在

研究課題名（和文） 脳における運動制御のための情報処理
機構の解明

研究課題名（英文） Information processing in neural
control of movements

研究代表者

河野 憲二 (KAWANO KENJI)

京都大学大学院医学研究科・認知行動脳科学分野・教授



推薦の観点：生体の持つ情報処理のための器官—脳—の機能として運動制御を取り上げ、実験的手法と計算論的手法の統合的研究により、脳のシステムとしての働きを深く理解する。

研究の概要：様々な動く視覚刺激を呈示したときに起こる眼の動き—視覚的眼球運動—のために脳が行っている情報処理のプロセスを、ヒト、サル、ネズミを対象とした行動実験とサルの脳からのニューロン活動記録実験により調べた。いずれの動物種でも視覚系は時空間フィルターの性質を持っていて、網膜から入った視覚刺激はフーリエ変換され、運動が検出され、その最大振幅をもつ調波によって視覚的眼球運動がドライブされることがわかった。

研究分野：神経科学

科研費の分科・細目：神経・筋肉生理学

キーワード：脳、神経、視覚、運動制御、眼球運動、情報処理

1. 研究開始当初の背景

視覚刺激の動きによって起こるゆっくりとした眼球運動（視覚的眼球運動）には、広い視野の視覚刺激が動く時、その動きを追いかけられるようにしておくる追従眼球運動と、動く視標を網膜中心窩で捉え追跡するために起こる追跡眼球運動がある。研究開始までの我々の研究で、双方ともに、大脳皮質、橋核、小脳を含む神経回路が関与していることが明らかとなってきた。この運動系の特徴は、潜時が短い運動であるにもかかわらず、大脳皮質と小脳がその制御に関与している点で、運動制御のための情報処理プロセスを理解するのに最もふさわしいシステムであると考えた。

2. 研究の目的

動物の運動は、素早く、滑らかであるという性質を持つが、さらに高等動物は、まわりの状況を把握し、対象物の性質や自分の内的な動機などによってその場その場にふさわしい適切な運動を行なうことができる。

視覚的眼球運動を対象とし、研究を進めることで、この動物の柔軟な運動制御機構を明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

本研究は、脳が持つ柔軟な運動制御のための情報処理機構を、視覚的眼球運動を対象と

し、(1) ヒト、サル、ネズミを対象とした視覚刺激によって誘発される眼球運動を計測する行動学的実験、(2) サルを対象に、眼球運動課題実行中のニューロン活動を記録する電気生理学の実験、(3) 行動学的実験と電気生理学の実験から得られたデータをもとに、シミュレーションなど数理科学的手法による構成的解析、を組み合わせ研究を進めた。

4. 研究の主な成果

(1) 視覚的眼球運動における、視覚—運動情報変換のゲイン調節の神経機構

広い視野の視覚刺激の動きで起こる追従眼球運動は反射的に起こる眼球運動で、制御機構も単純であると考えられるが、①サッカード運動直後のゲイン増加、②運動学習課題によるゲイン変化が観察される。この2種類の課題を実行中のサル大脳MST野のニューロン活動を記録すると、サッカード運動直後のゲイン増加(①)については、追従眼球運動のゲイン変化と並行するようなニューロン活動の変化が観察されたが、運動学習課題によるゲイン変化(②)については、ニューロン活動の変化は、追従眼球運動のゲイン変化に比べて少なかった。反射的に起こる追従眼球運動のゲイン制御でも課題によって神経回路の異なる部位での変化が関与することが明らかになった。

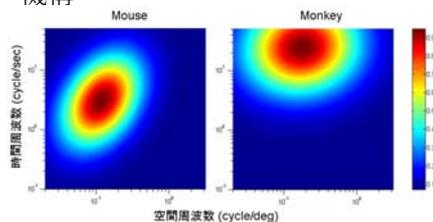
小さい視標の動きを追跡するために起こる追跡眼球運動は、注意や文脈などより高次の脳機能が関与して起こる眼球運動である。そこで、実行している眼球運動から独立して、様々なタイミングで視覚-運動情報変換の

〔4. 研究の主な成果 (続き)〕
ゲインを計測することを可能にする実験課題を開発し、③過去に実行した眼球運動の履歴と、④視標に対する注意、が視覚-運動情報変換のゲイン調節に関係することが明らかになった。これらの視覚-運動情報変換のゲインの調整の中には、視覚情報処理のかなり早い段階で起きているものがあることが明らかになったので、視覚刺激から動きの情報が抽出されるメカニズムをより深く理解するため、入力された視覚情報からの運動情報の検出機構を調べた。

(2) 入力された視覚情報からの運動情報の検出機構

矩形波からその基本周波数成分を差し引いた波 (Missing Fundamental, MF 縞) の仮現運動刺激を用いて、サルの追従眼球運動に用いられている視覚情報処理について調べた。MF 縞とは振幅が $1/3, 1/5, \dots$ と減少していく奇数調波 ($3f, 5f, \dots$) から構成される波である。この波を基本周期の $1/4$ 波長ずつ移動させると、刺激の動く方向とは反対の方向、即ち $3f$ 要素の動く方向に追従眼球運動が起こることが明らかになった。同様の視覚刺激に対する性質は、サルの輻輳開散運動についても観察された。これらの結果は視覚刺激から運動を検出する機構が、視覚刺激をフーリエ変換して、その最大振幅をもつ調波によってドライブされる、時空間視覚フィルターの性質を持っていることを示している。視覚的運動制御の性質を調べることで、初期視覚系の性質のより深い理解が可能になった。

(3) 齧歯類における視覚的眼球運動の制御機構



マウスでも広い視野の視覚刺激の動きは約 90 ミリ秒の潜時で視運動性反応を誘発することが明らかにしたが、その視覚刺激の特性に対する依存性は上図に示すように霊長類の追従眼球運動とは異なり、より低い空間、時間周波数の刺激が効果的であることがわかった。この結果はサルでの網膜中心窩と大脳視覚野の発達がマウスの網膜神経回路の基本機能により高い分解能を持たせるため

に発達した可能性を示すものである。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

複数の異なる方向に動く正弦波状縞を用いることによって、複数の選択肢から一つの行動を脳が選ぶ戦略として知られる Winner-Take-All 現象を確実に起こす実験課題を確立し、その課題を使って複数の脳部位からニューロン活動を記録した結果、脳の情報選択は単一領野で完成されるものではなく、次々と連続して情報の選択が起こり統合されることで最終的な行動に到ることを示した。この結果は脳の情報選択機構の理解に新たな知見を加え、神経科学全般にインパクトのある成果であると考えている。また、マウスの視覚的眼球運動系が、霊長類と同様の性質を持つことがわかり、低次の神経回路網レベルでの情報処理の解明が高次視覚情報処理機構の解明までダイレクトにつながる可能性が示され、新たな研究領域を拓いた。

6. 主な発表論文

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

1. Tabata H, Shimizu N, Wada Y, Miura K, Kawano K Initiation of the optokinetic response (OKR) in mice. *J. Vision* 10(1):13, 1-17, 2010.
2. Miura K, Sugita Y, Matsuura K, Inaba N, Kawano K, Miles FA. The initial disparity vergence elicited with single and dual grating stimuli in monkeys: evidence for disparity energy sensing and nonlinear interactions. *J. Neurophysiol.* 100: 2907-2918, 2008.
3. Hayashi R, Miura K, Tabata H, Kawano K. Eye movements in response to dichoptic motion: evidence for a parallel-hierarchical structure of visual motion processing in primates. *J. Neurophysiol.* 99: 2329-2346, 2008.
4. Tabata H, Miura K, Kawano K. Trial-by-trial updating of the gain in preparation for smooth pursuit eye movement based on past experience in humans. *J. Neurophysiol.* 99: 747-758, 2008.
5. Takemura A, Murata Y, Kawano K, Miles FA. Deficits in short-latency tracking eye movements after chemical lesions in monkey cortical areas MT and MST. *J. Neurosci.* 27: 529-541, 2007.

ホームページ等

http://www.med.kyoto-u.ac.jp/J/grad_school/introduction/1602/