予測動作を実現する脳内情報処理理解と ロボット制御への応用

Understanding information processing that achieves predictive motion and its application to robot control

平田豊

Yutaka Hirata

中部大学工学部ロボット理工学科

Dept. Robotic Science and Technology, Chubu University College of Engineering

1. はじめに

人の動作におけるタイミングの調節は，精密な運動に必要不可欠である．たとえば，スポーツや楽器の演奏などの運動では外部刺激に合わせて自分の体をタイミングよく動作させる必要がある．このような運動においてリズムを取る，タイミングを読むことは, 正確で遅れのない運動遂行のために重要である．運動の制御と学習の中核は小脳が担っており，こうしたタイミングの調節とそれに合わせた筋の張力調整においても，小脳が重要な役割を果たしている[1]. 小脳皮質の神経回路は部位によらず，マイクロゾーンと呼ばれる基本神経回路の繰り返しによる一様構造を呈する[1]．このことから小脳による運動制御と学習は，運動の種類に依らず共通のものと考えられている[2]．したがって，小脳による種々の運動のタイミング制御も，同一の基本原理により実現されているものと考えられる．こうしたタイミングと筋の張力調節が関与する学習機構の例として，周期同調（Period tuning: PT）と呼ばれる現象が示されている. PT は視運動性眼球運動（Optokinetic response: OKR）時に発現する. OKR は視界全体が同一方向に動いた際，眼がその方向に追従して動く反射運動であり，そのパフォーマンスは「眼球速度／視界の動き（視覚刺激）速度」で定義される OKR ゲインによって評価される．PT は，一定速度で動く周期的な視覚刺激を長時間与え続けた後，それより長い周期の視覚刺激を与えると，刺激開始後学習した周期に対応した時間が経過すると, 刺激持続中にも関わらず OKR ゲインが低下し始める現象である[3]．すなわち，この PT は，学習した周期的刺激の切り替わりのタイミングに合わせて OKR ゲインを調節する学習機構であると考えられる．また PT の学習後に視覚刺激を消して暗所にすると，今まで与えていた学習刺激時の OKR を再現したような眼球運動が生じ，その眼球速度は時間ともに減衰していくことも示されている[3]．このような持続性の視覚刺激を提示した後, 暗所において眼球運動が動き続ける現象は，視運動性後眼振（Optokinetic after nystagmus: OKAN）という現象と酷似している．そこで本研究では，PT と OKAN との関連を検討するために金魚，コイ，ゼブラフィッシュ，メダカ，ヒトを被験体とし，種間ならびに個体間の PT の差と OKAN の特性を比較するための行動実験を実施した.

2. 結果

本研究では，運動におけるタイミング学習の例として，視運動性眼球運動（OKR）における周期同調学習（PT）に着目し，ヒト，金魚，コイ，ゼブラフィッシュ，メダカにおいて行動実験を行った．その結果，ヒト，金魚，コイでPTが生じ，ゼブラフィッシュ，メダカではPTが生じないことを初めて示した．またPTと深い関わりがあると推測される視運動性後眼振（OKAN）の評価も同時に行い，PTが生じた金魚，コイではOKANが生じ，PTが生じなかったゼブラフィッシュ，メダカではOKANが殆ど見られないことが明らかとなった．本研究では実施しなかったがヒトにおいても明確なOKANが生じることが示されている[4]．さらに，PTが生じた金魚，コイにつ

いてそのPTのチューニング度合いとOKANの継続時間を比較したところ正の相関が見出された．これらのことから，PTの学習にはOKANが関与していることが示唆された．現在，PTの神経メカニズムを探るために，PT学習中の小脳神経細胞活動記録を行うとともに，小脳神経回路網の数理モデル[5]による解析・評価を実施している．

3. 参考文献

[1] M. Ito, The cerebellum and neural control., Raven Press, New York, 1984.

[2] 川人光男，脳の計算理論，産業図書，1996.

[3] E. Marsh, and R. Baker, Normal and adapted Visuooculomotor Reflexes in Goldfish, J Neurophysiol 77:pp.1099-1118, 1997.

[4] D. J. Ireland, R. M. Jell, Optokinetic after-nystagmus in man after loss or reduction of labyrinthine function - a preliminary report., J Otolaryngol, 11(2): 86-90, Apr. 1982.

[5] 稲垣圭一郎，小林誠一，平田豊，“小脳スパイクニューロンネットワークモデルによる周波数選択的 VOR 運動学習メカニズムの解析”信学論(D-II），vol.J94-D-II, no. 5, pp.919-928, May 2011.