

研究雑誌(91) 障害児教育・動作学誌上実習(九)、
姿勢の保持と歩行運動の神経機構(4)、「逆モデル」の利用と増強、前向き制御の仕組み。

藤井力夫

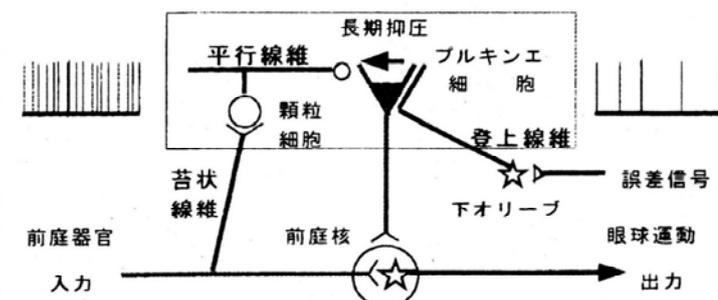
前回は、視野のなかのあるものに対し「何だろう」と思ったときの、上丘における「定位座標」の存在についてお話ししました。眼球の運動座標であるとともに、手足の運動座標にもなります。後は、どのように変換するか、力の入れ方、加速、速度など具体的な出力の問題です。座標の手がかりがありますので、予測的に動かすほどに誤差を修正できます。六ヶ月児の手指の到達行為でも予測的な動きを感じます。何かを見つけた乳児の目が手指の微妙な動きを準備、そんな姿に映ります。

です。プルキンエ細胞は、視蓋前域、下オリーブ核、登上線維と伝わってきた網膜像の誤差信号に応じ、平行線維からの伝達効率を減弱します。毎秒一回程度の信号ですが、数分の持続で学習(長期抑圧)します。逆転プリズムの装着に対しても、数時間で眼球運動を学習できるとのことです。
「逆モデル」の増強による前向き制御の理由は前庭小脳路が「逆算モデル」回路として誤差信号を受け、常時、学習しているからです(図B)。

を増強できる所以です。加速度、速度、ベクトルといった出力情報の逆算は計算論的にも可能で、実験的に再現されています(川入ら、一九九三)。
小脳における四つの「逆モデル」回路はさまざまにレベルのフィードバック回路に平行して、小脳への側副路が形成されています。発生学的に古い順から、前庭・小脳片葉路、脊髄・小脳虫部路、脊髄・小脳中間部路、大脳・小脳外側部路の四つです(図C)。これらは、前庭動眼反射、姿勢反射、歩行や手足の共同運動、随意運動といった運動の前向き制御に参画しています。階層的な関係を示すとともに、個別の運動の「逆モデル」習熟回路として、増強するほどにスムーズで滑らかな動作を保障しています。(北海道教育大学教授)

機能しつつある神経回路をすべて使った予測的な動き、そう言えるでしょう。今回は、上記表題で、前向き制御の仕組みについてお話ししたいと思います。
前庭動眼反射での誤差学習の小脳回路：前庭動眼反射については、何回かお話ししてきました(雑誌89・機構と意義、42・成熟と機能)。ここでは、網膜中心窩で画像を捉えるための誤差学習回路です。半器官から前庭神経核までの前庭小脳側副回路の存在が知られています。苔状線維、平行線維、プルキンエ細胞、前庭神経核の流れ(図A)

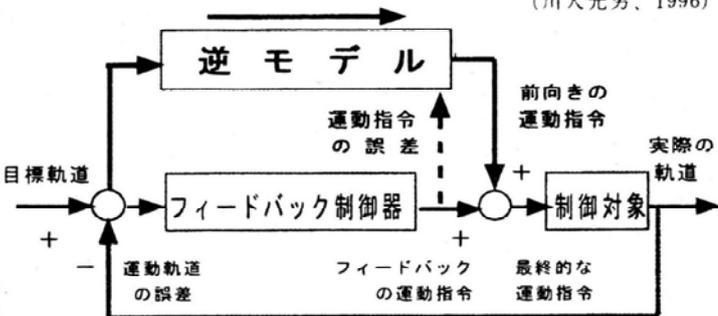
A、前庭動眼反射での誤差学習回路 (Ito, 1984)



注)、平行線維と登上線維からの信号がプルキンエ細胞に同時入力すると、平行線維からの伝達効率が長期抑圧される。プルキンエ細胞1つにつき、苔状線維を経て10万以上の平行線維とシナプス結合。登上線維からは網膜像のぶれの誤差信号が到達(数Hz)。誤差学習により頭の加速情報に対応した逆モデルが増強される(前庭小脳回路)。

B、「逆モデル」の増強による前向き制御

(川入光男、1996)



注)、誤差信号を受け取り制御しているだけでは遅延的。誤差のフィードバックに0.1秒以上は要す。出力モデル回路として常時、誤差信号を受け取れば、入力情報だけで前向き制御が可能となる。眼球運動、姿勢保持、歩行運動等、反射を基礎とする入出力回路は、誤差学習を司る小脳の側副回路を利用、「逆モデル」による前向き制御回路を増強させた。この原理は随意運動における大脳小脳回路にも適用される。

C、小脳・四つの機能部位と逆モデル回路

機能部位	部位	主入力	出力核	主出力	機能
前庭小脳	片葉	前庭器官	前庭核	動眼運動細胞	前庭動眼反射
脊髄小脳	虫部	脊髄 視聴覚 前庭	室頂核	脳幹 運動野	姿勢制御 他
	中間部	脊髄 大脳	中位核	大細胞性赤核 運動野	歩行運動 他
大脳小脳	外側部	大脳	歯状核	小細胞性赤核 運動野 運動前野	随意運動

注)、小脳の入出力の神経結合は解剖学的に四つに分けられる。発生学的にも対応関係にあり、「逆モデル」回路の習熟過程をも表現。