

研究雑話(99)

障害児教育・動作学誌上実習(17)
藤井力夫

姿勢の保持と歩行運動の神経機序(12)

歩行運動のリズム・パターン、「滑らかな収束点」。

前回は、歩行運動のリズム駆動が、当初から不安定な条件のもとで発動されてきたこと、それ故また、着地の状況をも予知したものとして習熟されてきたこと、これらについてお

話しました。小脳の成熟過程におけるプルキンエ細胞を媒介とした平行線維と登上線維の関係は、こうした習熟の理解にもとても興味深い事柄です。歩行のリズムが安定し、余分

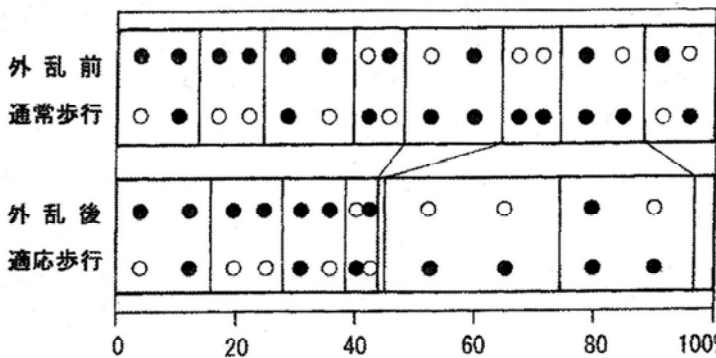
な力が抜けるほどに、各部を微妙に調節できるということでしょう。どのように調節されるのか。今回は、共同運動パターンの生成における「滑らかな収束点」の存在についてお話ししたいと思います。

パターン生成における「滑らかな収束点」の存在(図B)：どのように生成したと考えられるか。数理モデルからの整理を紹介しましょう。まず、手足の各関節運動を「振動子」として考えます。歩行運動の安定は、「振動子」間の結合が最も滑らかな状態に引き込まれたものとして理解します。図中(a)がそれで、アトラクタと呼びます。各振動子が無理なく協調できる点ということで、「滑らかな収束点」と名付けました。「収束点」がどこにあるか、小脳が記憶します。外乱が入ると記憶したそれと誤差が生じ、調節へと向かうわけです(b)。新たな収束点が必要ですが、それは振動子間の相互作用がギクシャクしない、最も減少したところに落ち着きます(c)。図A下段の外乱後適応歩行のサイクル内パターンは、こうして学習した産物です。一種の自己組織化現象と考えられます。

外乱には足腰からの立ち直り能力が重要：外乱に対応して新しい収束点が学習されます。小脳がこの役割を担います。そのためには、各関節の振動子がそれとしてリズムを刻むことが重要で、足腰からの立ち直りがいっそう大事ということになります。歩行運動と姿勢反射との関係は、実際には、足腰からの立ち直り能力として問われている、そう考えるのが合理的です。

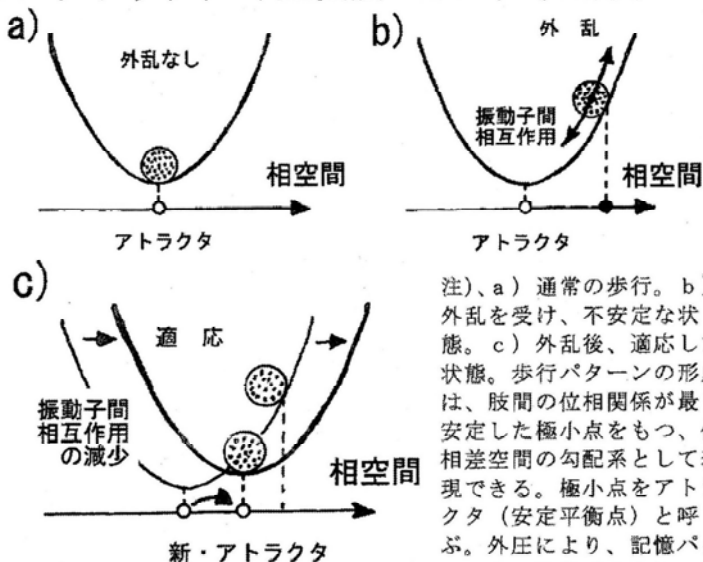
(北海道教育大学教授)

A. 外乱歩行における四肢間協調の変化。



注)、トレッドミルを3分割し、左前肢のみ2倍速で駆動させた。外乱当初は歩行パターンを大きく崩すが、3回目あたりから安定歩行を示す。外乱を加えられた左前肢の接床時間は短縮される。反対側の右前肢・遊離時間も短縮させ、左右周期を一致。新たな位相関係をもつ歩行パターンが構成された。上段：通常歩行。下段：外乱後適応歩行。サイクル内、8パターン。1サイクル、約0.9秒(柳原他、1999)。

B. アトラクタ(収束点)という考え方。



注)、a) 通常の歩行。b) 外乱を受け、不安定な状態。c) 外乱後、適応した状態。歩行パターンの形成は、肢間の位相関係が最も安定した極小点をもち、位相差空間の勾配系として表現できる。極小点をアトラクタ(安定平衡点)と呼ぶ。外圧により、記憶パターンとの誤差が生まれ、振

動子間の相互作用を減少させるべく、新たな極小点を調整するように働く。小脳がその役割を担っているものと仮定(柳原他、1999)。

な力が抜けるほどに、各部を微妙に調節できるということでしょう。どのように調節されるのか。今回は、共同運動パターンの生成における「滑らかな収束点」の存在についてお話ししたいと思います。

外乱歩行実験にみる四肢間協調の適応制御(図A)：トレッドミルを3分割し、一側前肢に外乱を加えた実験。普通には、一周期、3肢の接地相が交互に出現し、8つのパターンから構成されています。上段がそれで、下段は外乱後、慣れたときの新たな歩行のサイクル内パターンです。一側