

身体運動研究の動向（アフォーダンスと運動の自己組織化）

山崎 健（新潟大学）

はじめに

一九八四年に出版された“HUMAN MOTOR ACTION Bernstein Reassessed.”は、アムステルダム自由大学のH.T.A. Whitingの編集により、一九三四年から一九六二年にかけて発表されたロシア（当時はソ連）の生理学者、N.A. Bernsteinの六つの論文について、現代の著名な研究者たちがそれぞれに編みつつ最新の知見から再評価を行った大変に興味ある文献である。

Bernsteinは、いわゆる「西側」の研究者からは大変に高く評価され、前記の最後の論文では、生理学とサイバネティクスとの関係についても論じている。

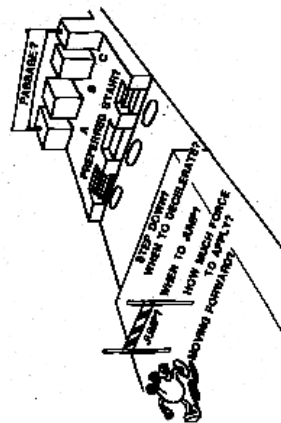
しかし、当時のソ連では「バブロフの唯物論的学説を批判する観念論的および機械論的な認識である」と非難され、我々の翻訳した「クレストフニコフ・スポーツの生理学（ロシア語版は一九五二年出版）」では、「大脳の協応系（運動構造基準）」は、中枢神経系を機械論的に区分するものである。・・・このベルンシュタインの学説は反動的で有害であり、運動習熟に関する我々の理解を何十年も後退させる・・・と書かれている。ところが、面白いことに一九五三年東独で「ドイツ語版として翻訳された」クレストフニコフの『身体運動の生理学』では、そのような記述は削除されている。

一九七〇年に邦訳された東独の「科学論 - その哲学的諸問題」K・マルクス大学哲学研究者集団・岩崎允胤訳（法政大学出版会）では、本来の統合諸科学としての横断

諸科学の「サイバネティクス」を「[いわゆる]統一科学ではないが、しかし科学の統一くいたるひとつの道であり、諸科学のあいだにかけられるひとつの橋である。（二三八・二三九頁）」と規定しており、同じ「東側」といっても複雑な内部事情が存在していた事がうかがえる。

このBernsteinの四番目の論文である“SOME EMERGENCY PROBLEMS OF THE REGULATION OF MOTOR ACTS（一九五七）」についての再評価が、M.T. TurveyとP.N. Kuglerという心理学と医療工学の研究者の論文“AN ECOLOGICAL APPROACH TO PERCEPTION AND ACTION.”である。

この文献中の以下の図が、実は現在話題の「ギブソンのアフォーダンス」をよく説明する。



図は、M.T. Turvey, P.N. Kugler : AN ECOLOGICAL APPROACH TO PERCEPTION AND ACTION, (In H.T.A. Whiting Ed. "Human Motor Action Bernstein Reassessed") pp.375 "A small sample of the meaningful problems that the surrounding layout of surface poses for locomoting animal."

「アフオーダンス」ということ

認知心理学で最近話題の生態学的アプローチのなかで、佐々木はソムリエや聴香師などの「わざ」に関わっての「知覚システムの束」の重要性を指摘する。(佐々木正人「アフオーダンス・新しい認知の理論」、岩波書店、一九九四年)

そして、初期の認知科学の「情報処理モデル」(刺激が頭の中で加工された結果としての情報)に対置するギブソンの「生態学的認識論」(周囲にある環境に情報(持続・面の配置と変化・面の変化)を「探索する」こと)を示し、「生態学的価値」としての身体にとっての「意味」や「価値」、「する抜けられるすき間」「上れる段」「つかめる距離」としての「アフオーダンス」の概念を紹介している(Turveyらの図を参照)。

そして、上位からの制御プログラムによる「古典的な運動制御モデル」に対して「このモデルは現在でも、運動の制御を考えるわれわれの常識の一部である。しかし、このモデルはやっかいな問題を抱えている。」(八四六)とし、「ベルンシュタイン問題(膨大な自由度の制御と動作の文脈依存性)」を示し、更に「瞬間的な運動の制御(100^{ms}秒以下で「反応時間」よりも短い)における知覚情報・運動処理プロセスの例として、Bootsmaによる卓球のスマッシュ時における「調整」の例を紹介した。

また、デビット・リーの「光学的流動(オプティカル・フロー)」と視覚情報「タウ(τ)」について、行為の制御に利用されている視覚情報で、光の流動に直接知覚できる「接触までの残り時間」(衝突・接触のアフオーダンス)、未来に起こる行為の

「結果」についての予見的(Prospective)情報の概念も紹介した。

そして、「知覚と行為のカップリング」について「そこに表現されているのは、向かってくる対象の速度と、向かっている知覚者の身体行為の速度が掛け合わされたときに生ずる意味、すなわち環境の変化と有機体の変化の関係として起こる『衝突までの時間』という情報である。」(九八・九九六)と論じている。

また、「事前に展開された中枢プログラミング」という概念によつて生ずるロボット制御における「フレーム問題(変動する複雑で多様な「環境」に事前に対応しきれないことによつて生ずる)」に対置するモデルとして、人工生き物「クリーチャー」のコンセプトを制御する「階層間の競合と折り合い」についても紹介している。

これらのギブソン学派の身体運動の研究は、常に『従来の』という枕詞がついてはいるものの、中枢プログラムからの「トップダウン制御の概念」に対して大きな一石を投じている。

運動と自己組織

多賀徹太郎の「脳と身体の動的デザイン運動・知覚の非線形力学と発達」(金子書房、二〇〇二年)は、難解ではあるが大変に興味ある文献である。

多賀は、一九六五年生まれの若手研究者で、東大大学院薬学系研究科から京大基礎物理学研究所、ボストン大学神経筋研究所研究員、東大大学院総合文化研究科基礎科学系助手を経て、現在東京大学大学院教育学研究科で「赤ちゃん研究」を行っているというユニークな経歴をもつ。

構成は、「非線形力学系における自己組織」「歩行における脳と環境の強結合」「身

体の自由度問題と脳のバインディング問題「初期発達過程におけるU字型現象」「脳と身体デザイン原理」となっており、研究テーマの経時的展開と対応している。

そして、「神経系≡制御系、身体≡被制御系、環境≡外乱」という『従来の定式』に対して、システムの要素を足し合わせてもシステム全体の性質が決まらない「非線形性」という概念からアプローチし、「自己組織としての非線形振動子の引き込み現象」としての歩行の神経筋骨格系モデルを示した。

そして、遅い系に引き込まれるスレイビングという概念とともに、シナジュエティックという、システムを構成する多数の要素が相互作用により全体としての秩序を生み出す協力現象の概念を示し、環境の不確実性に対する「グローバルエントレインメント(大域的引き込み)」による「脳と環境の強結合」の可能性を指摘した。

そして、徐脳ネコでの歩行実験で電気刺激強度上昇と移動速度増大でウォークからトロット、ギャロップへの四肢歩行位相の変化が、外的環境との相互作用の中で、環境からの情報にも柔軟に応答して決定されることを引用し、川人光男らの計算論的脳科学の内部モデルは「運動遂行のメカニズム」であつて「運動の生起」を説明してはいないと指摘した。(川人の文献は、「脳の計算理論」、産業図書(一九九六年)を参照のこと。)

また、合目的性と自己組織について、「歩行モデルでは、神経系と身体のようにヘテロな系が相互作用している。また、環境を一定の拘束条件とみなせば、これはもはや一定ではありえない。そして、何よりも決定的に違うのは、失敗ということの有無である。歩行モデルは転ぶ。」と指摘する(七

四・七五頁)。

運動発達におけるU字型現象についても、原始歩行が、姿勢制御の発達をはかるため一時的に消失し、再び独立歩行の開始から成人型歩行にいたる過程で再登場することから、運動の発達過程での自由度の凍結と解放というシエーマを示した(一〇二頁)。

多賀のいう運動の自己組織化の問題は、ギブソン学派の生態学的アプローチと同じロジックで、環境との相互作用で「競合と折り合い」をつけ、ボトムアップとトップダウンの情報の相互作用によりモジュール自体の働きが文脈に応じて変化することを指摘し、運動が自己組織的に決定されることを示している点で大変に興味深い。

スポーツ科学研究への貢献は？

これらのギブソン学派流の「アフォーダンス」の概念は、スポーツ科学研究にどのようなインパクトを与えるのであろうか。

視覚情報処理にかかわるタウ(七)の概念は、特にボールゲームにおける打球処理において、自己の身体的能力の「水準」に応じて「みえ」が変化することを暗示している。

テニスで、同じようにネットインしたボールであつても、プレーヤーのその時点での状況と能力により「とれるボール」であつたり「とれないボール」であつたりすることはよく経験する。これらの視覚・運動系の情報処理がどのようなプロセスで行われているかは興味ある研究対象といえる。

一関は、卓球のレシーブにおけるイレギュラーボールの処理にかかわつて、体幹を固定した場合とフリーな状態とは異なる戦略を用いて対応しているという興味ある研究を行った(一関紀子「打撃動作における急速な動作調整」、一九九六年度新潟大学

教育学研究科修士論文。

基本的には、インパクト時間を遅延させ、イレギュラーボールの情報処理時間を得ているが、体幹を固定されると獲得された動作パターンと異なる動作で対応（とにかく返球する！）し、Bootsmaの報告と同じく、インパクトの100^{ms}秒前でも手首の関節角度を変化させていることがわかった。

これらの現象への「生態学的解釈」は、従来の定型運動でのフィードバック型制御やフィードフォワード型制御、「外乱」へのサーボ制御といった概念よりも納得しやすいものと思われるが、どのような手続きで「競合と折り合い」が設定されているのかは「ブラックボックス」の域を出ない。

山崎と齋藤は、100mを10秒台で走るスプリンターについて、ミニハードドリルを行わせてその効果を検証した（山崎健・齋藤麻里子「一過性のトレーニングにともなうスプリントパフォーマンスの変容」日本陸上競技連盟紀要第十五巻、二〇〇二年）。

そして、10秒台で走るスプリンターでは明確な改善が見られるのに長距離選手群ではあまり効果が見られないこと、また、スプリンターは、日によって同一タイムではあってもスピードとストライド、スピードとピッチの相関係数が異なることが明らかとなった。

この結果も、動作の改善は、ドリル課題という環境との相互作用によってなされ、またその日の身体的状況に応じてストライドとピッチが「折り合いをつけて最速値に収斂した」と解釈することができる。

しかし、スプリンター群にのみ見られた動作の改善（具体的には接地脚の角度がブレーキをかけない方向に変化）は、彼らが事前に持っている「最適な中枢プログラム」

に「最適値制御とトルク最小モデル」という計算理論からたどり着いたという解釈も可能である。

いずれにしても、実験的データからの具体的証明は困難と考えられ、その意味ではいずれも「仮説の域」を出ておらず、どちらの解釈が妥当かと「折り合いをつけること（?）」も必要であろう。

おわりに

生態学的心理学に関わる「アフォーダンス」の問題は、「研究のリアリティ」を考える際に十分に視野に入れておかねばならない問題と考える。

また、様々な環境条件下でトレーニングを行うことは、動作系の改善のみにとどまらず、エネルギー供給系をも含めた「身体と環境との強結合（トップダウンとボトムアップ過程での多様な反復による再編）」を改善するものとも解釈できる。

しかし、スポーツパフォーマンスの向上がトレーニングの「最終目的」であれば、以下の指摘も十分な説得力を持っている。

「しかし、「砲丸が力強く押せない」、「後半で腰が落ちてしまう」とことの主たる原因は、体力レベルが低いことであり、動きだけを意識しても修正できないことが多いのである。」（尾縣貢「スポーツ技術と身体能力」、体育の科学 第五四巻二号、二〇〇四年）

その意味で、かつて山崎が指摘した、井尻正二の研究の七段階での「分析的レベル（経験・記述・分類・論理）」と「総合的レベル（理論・条件・実験）」との峻別と再構築が必要ではないかとも考えている。（山崎健「スポーツ技術の研究は何に貢献するか」、中村敏雄編・スポーツのルール・技術・記録、創文企画、一九九三年）