

スポーツ動作を知ろう

はじめに

私たちの身体は、骨と骨とが関節で結びつき、その関節をまたいで筋肉がついていて、その筋肉が収縮したり伸展したりすることにより「動き」がおこります。

通常、相対的に重たい骨の側（体の中心側）が軽い骨の側を引っぱる形となります。

「相対的」ですので、水泳のクロールでは、腕を動かして水を後方にかく（プル）とともに身体が前方に進むこととなります。

また、私たちの運動は、肘や膝の曲げ伸ばしといった単純な動きだけではなく、幾つかの動きが組み合わされた「動作」として、歩・走・跳・投・打・泳などの「基本的運動形態」として発現します。そして、多くの筋肉と関節が関与して運動が実現されるため、胴体や手足が、無数に勝手に動くようにする「自由度」が大変に高くなっています。この高い自由度がある程度の範囲内で類似したパターンに纏めているものが「基本的な動作」ということとなりますが、実は、「運動の制御」という考え方からは大変に難しい問題を抱えています。

それは、これだけ高い自由度を持った身体を、刻々と変化する複雑な環境条件下で、まったく同一の運動経過として、脳が事前に運動パターンを準備できるのかという問題です。

最近「生態学的心理学からのアプローチ」として「アフォーダンス」という考え方が注目されていますが、この膨大な自由度の事前制御の困難さは「ベルンシュタイン（二〇世紀中頃のロシアの生理学者）問題」という概念で取り上げられています。

例えば、熟練者の運動は、ほぼ同一の経過をたどるのですが、まったく同一ではなく、しかも、卓球のスマッシュや野球のノックなどは、打点は結構バラバラなのに、ボールの到達地点は「ピンポイント」に集まるという事実を十分には説明できないのです。（佐々木正人「アフォーダンス・新しい認知の理論」、岩波書店、一九九三年）

日常の動作とスポーツの動作

日常的な動作もスポーツの動作も、基本的運動形態としては同じです。しかし、スポーツの動作は、「競うこと」を前提としていますので、陸上競技などの量的評価であれ、体操競技などの質的評価であれ、大きな出力発揮が求められます。

例えマラソンのような長距離種目であっても、他人より速くゴールをすることが求められますので、単に「疲れない」「効率のよい」走法だけではだめで一定以上のスピードの発揮が求められ、ある程度短距離走的な動きが必要となります。

歩行運動などは、毎日何千歩と繰り返して反復（練習）をしていますので、そのなりに効率のよい速度とエネルギー消費の関係が成立しており、ヒトの歩行速度の平均が時速四K m程度とされるのもその結果です。しかし、エクササイズ・ウォーキングや競歩などでは、新たな運動経過と歩行速度（競歩のトップクラスなどは時速一五K m）をトレーニングで獲得しないといけなくなります。

親子のキャッチボール動作とピッチャーの投球動作の関係も同様で、マウンドからホームまでを時速一二〇K mを越える球速で投げるためには投動作の「特殊化」が必

要となります。この動作の特殊化がいわば「スポーツ動作の獲得」ということとなります。

また、「動作の転移」と呼ばれる面白い現象があります。

例えば、バドミントン経験者が、初めてテニスのフォアハンドストロークを行うと、グリップは類似しているので、最初はバドミントンの「サイドハンドストローク」の動作で対応します。そして、試行錯誤を繰り返しながら、テニスのボールとラケットとコートサイズに合わせた「フォアハンドストローク」に特殊化します。かといって、バドミントンのサイドハンドストロークの動作が失われたわけではありません。

この場合は、特殊化した動作の「再特殊化」ということとなり、動作パターンが増加したのか、サイドハンドストロークというパターンの対応幅が増加したのか、そしてそれらの脳内メカニズムは何か・・・という研究上も大変に興味のもたれる現象です。

前述の「アフオーダンス」を提唱する「ギブソン学派（ギブソニアン）」は、従来の「脳神経系が『制御』、骨格・筋系が『制御対象』、環境が『外乱』」というトップダウン的な考え方ではなく、環境との関係で「適当に折り合いをつけ」運動を「自己組織化」するという考え方を示しています。

となると、「転移」の問題と同様に、テニ斯拉ケットとボール（とコートサイズ）を何段階か準備し（折り合いをつけて）、「サイドハンドストローク」を洗練（特殊化）してゆくプロセスが考えられ、事実スウェーデンのトレトン社は二〇年以上前から三段階のラケットとボールを販売しています（現在使用されているスポンジボールの原型）。

動作の企画と発現

運動を行うためには、動きを司る大脳皮質運動野というところから「運動指令」が運動神経を伝わって脊髄から筋肉に到達して筋肉が収縮します。しかし、動こうとする意図（企画）は、それ以前に辺縁皮質や視床、大脳基底核という部分で発生します。大脳皮質運動野への電気刺激では「誰かが腕を動かした」と感じるのに対して視床への電気刺激では「腕が動かされた」と感じるという興味ある実験結果があります。

動作は「プログラム」であるといわれませんが、実際には「アイディア」や「プラン」の方が先行する訳で、「動かし方（プログラミング）」と「使い方（プランニング）」は脳内の部位と順序が異なるということになり、その練習のステップも、「動作を覚える」段階とその後の「動作を使う」段階とは異なることとなります。

また、運動野からの運動指令が、「関節トルク」という「力と速度」に関係が深く、「関節角度」とは関係が薄いということも知られています。

日本の運動生理学の権威・猪飼道夫先生は、筋肉の働きを記録する「筋電図」について、①どうやるか（Spacing）、②どこやるか（Timing）、③どの位やるか（Grading）の三つの視点からの三次元的分析を示しましたが、この運動指令の性質からは、「ある動作」を「どの位やるのか」が重要ということとなります。

「○●するように△▲してみよう！」という説明が有効な場面があるのはこのことと関係しているのかもしれませんが。

スポーツ心理学では、これをスキルの「記

述的定義」に対する「操作的定義」として
 います。ただし、「関節トルク」や「操作的
 定義」は、それぞれの体型や運動能力、運
 動経験や言語表現とかかわって、「共通する
 普遍的なもの」と「雑音（その人固有のも
 の）」とを含んでしまうことも指摘されてい
 ます。

何をトレーニングしているのか？

では、私たちがスポーツ動作のパフォー
 マンスを向上させようとトレーニングして
 いる時は、「何を」改善しようとしているの
 でしょうか。

「出力レベルの向上」という課題も重要
 ですが、出力は必ず「動作」をとめないま
 すので、「三〇秒間持続するフットワーク」
 といった、具体的な「動きを維持するエネ
 ルギー供給系」のトレーニングが求められ
 ます。

確かにスピード持久力を支える筋肉内の
 グリコーゲンの増加は重要なのですが、四
 〇〇m走とマラソンと各種の球技の中で求
 められる疾走とは、具体的運動遂行条件
 （テンポ変動、継続時間、動作選択、変容、
 疲労発現等）が異なり、スピード持久力も
 それらに依存して特異的に形成される可能
 性が高いのです。単に三〇〇m走のスピー
 ドが速いからといって、他の球技中の同様
 な距離での動きが可能かということは「ト
 レニングのリアリティ」という点で重要
 な問題です。

また、筋力増加の要因には、初期は筋線
 維の肥大を伴わない段階で、前述の動作を
 支える複数の筋肉群に対する運動司令の

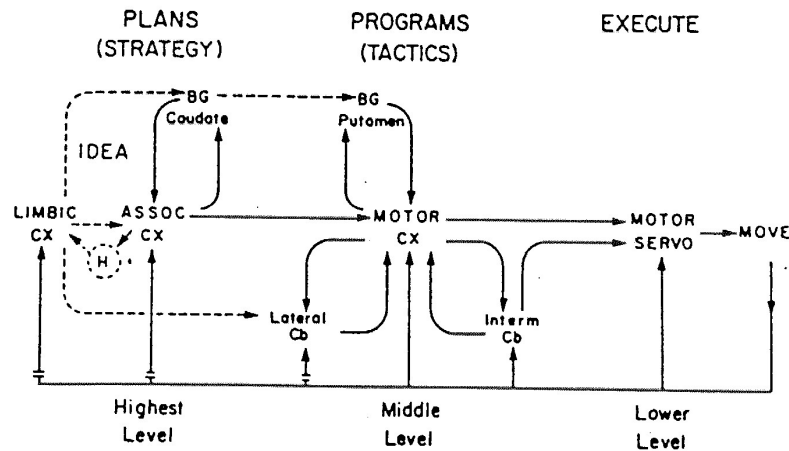


図 随意運動における情報の流れ (Brooks, V. B. 1986)

BG Caudate、大脳基底核・尾状核

BG Putamen、大脳基底核・被核

LIMBIC CX、辺縁皮質

ACCOC CX、連合皮質

MOTOR CX、運動皮質

MOTOR SERVO、動作サーボ

Lateral Cb、外側小脳

Interm Cb、内側小脳

H、海馬

「同期化」が先行します。その後、筋線維自体が肥大化して、「関節をまたいだ動き」としての筋力が増加しますが、「全体としての動き」での出力増加がみられるのかという点は「スキル」の問題とかわわっているので直接的ではありません。トップアスリ―は、筋力トレーニングの重要性と同様にその筋力を自分の求める動きの中で発揮する「出力・動作関係の改善」の重要性も認識しています。

ただ、筋肉量（筋力）の増加は、スポーツ障害の予防にとっては大変に重要な意味を持っており、ケガを防ぎながらトレーニング量を増加させることができ、結果として前述の動作のパワーアップがはかれることとなります。

筋肉の中には、いわゆる「瞬発系」の筋線維と「持久系」の筋線維とが混在しており、その両者の比率によって全体としてのその筋肉の性質（役割）が決まります。例えば、ふくらはぎの筋肉は、よく痙攣をおこす「腓腹筋」と体重を支えている「ヒラメ筋」という二つの筋肉があり、前者は比較的「瞬発系」が多く後者は比較的「持久系」が多いといわれています。そして、同じ「腓腹筋」であってもその中の「瞬発系」と「持久系」の比率によって個人差（短距離系が得意か長距離系が得意か）が生じます。そして、長距離型の筋肉であっても、瞬発系のトレーニングを繰り返せば瞬発系筋線維の機能が向上しスピード面は改善されます。運動を効率的に遂行するには「スキル」が重要ですが、このスキルを支えている筋線維は「瞬発系筋線維」ですので、実は、長時間持久的能力を効率的に発揮するためには「瞬発系筋線維」が必要である・・・という面白い関係にあります。

その意味でも、トレーニングで最も重要なことは、「正しい動き方（スポーツスキ）」をいかにして獲得するのかということとなります。

走りのメカニズム

走運動の発生

ヒトの移動運動としての「走」の発生は、おそらくは「逃避」や「狩猟」といった場面で「移動速度」を高める必要性から発生したものと思われます。逃避はあくまで短時間の「速度優先」ですが、東大の小林寛道先生は、汗腺の発達した体温調節能の高いヒトでは、長い時間獲物を追い続け「効率よく走る」という長距離ランナーとしての能力も発達したのではないかと指摘しています。

また、走運動における「弾性エネルギー」の利用にかかわって、着地における脚の伸展筋の伸張性収縮（着地で緩衝作用として膝がやや曲がること）が弾性エネルギーを蓄え、引き続いておきる短縮性収縮期に再利用され、仕事量を増すと同時にエネルギー消費を節約するメカニズムを指摘しました。

そして、ランニング効率は走速度の違いによって異なり、長距離走の速度では効率が低く、スプリントでは効率が低くなるこ

と、長距離選手と短距離選手では効率の良い速度が異なること（短距離選手が秒速1mほど速い）から、筋の特質による効率の違いの可能性を指摘しています。（小林寛道、走る科学、大修館書店、一九九〇年）

また、人類学者の香原志勢先生は、動物の移動方法は、馬に代表される「蹄（ひづめ）行」から犬や猫での「趾（指の腹）行」の段階を経て、人類独自の「蹠（つちふまず）行」という移動方法を生み出してきたとしています。人間は安定した直立二足歩行を行うため足底をベッタリとつけるのに対し、蹄行や趾行はスピードを得るため膝関節と足関節（踵と足指のつけね）にバネをもち、足をおろしても反撥力があり、この点で「蹠行は原始的で特殊化しない歩行法」であり「走る時は人間も趾行になる」ものの、スピードの点では蹄行や趾行へ移行した大部分の哺乳類に取り残されてしまったと指摘しています。（香原志勢、身体の履歴書、NHK、一九八六年）

筆者は、この「蹠行を基本とした解剖学的構造での趾行」という矛盾を解決するものが足弓（アーチ）の存在であり、伸張性収縮による弾性要素を利用して、足弓・足関節・膝関節・股関節という各部位を合理的に用いる「走運動パターン」ではないかと考えています。人類の最高疾走速度は秒速約一二〜一三mで七秒程度しか続かないもののかかなりのレベルにあるものと考えられます。

力の発生と「弾性的効率」

競歩のトップクラスは一〇Km三八分ほどで「歩き」ます。また、運動効率で見ると一般競歩選手が一七％程度であるのに対

し、トップクラスは二九％という驚異的効率を示すというデータがあります。（金子敬二、競歩におけるトップアスリートの技術、体育の科学、一九九一年）

これは、通常の歩行ではなく、前述の「弾性的効率」によるエネルギーの再利用という競歩独特の動き（スキル）の可能性が考えられます。

この弾性的効率（バネの要素）を利用するためには、「遊脚相」といって両脚が空中にある（跳んでいる）期間が必要です。ところが、両脚が空中にあるときは地面と接触できませんので「力の伝達」ができません。ハードルで歩幅が足りなくて跳びはねたりスプリント走の「オーバーストライド」でピッチが落ちてスピードが低下するのと同じメカニズムです。しかし、力の伝達を優先するあまり接地時間を長くすると、今度は弾性的効率がうまく使えずエネルギー利用効率が低下して疾走中に「疲労」してしまいます。

また、接地の際、どのような方向で力を加えるのかという「必要最小限のブレーキ効果」と「必要な弾性的効率」と「必要な推進力」を生むキック動作（技術）が求められます。ですから、接地時間と滞空時間の比率は、疾走速度と疾走距離、身体的能力とキック技術との関係で総合的に決定されることとなります。

東海大学の高野進先生のお話では、末續慎吾選手は、一昨年は一〇〇mでは滞空時間が短くなったが二〇〇mではまだまだ滞空時間が長く「休んでいた」ということで、その課題の改善が昨年の世界選手権二〇〇m銅メダルにつながったのではないかと考えられます。

三つのエネルギー生産系

私たちは、筋線維を収縮させるエネルギーを生産することで続けて運動ができます。基本的には、アデノシン三リン酸をアデノシン二リン酸に分解する際にエネルギーを生産する「ATP・CP系」というメカニズムが筋線維を収縮させています。これは、短距離走でも長距離走でも同じことです。ところがATP・CP系は、ほぼ七秒間で使い切られてしまいますので、せつせとエネルギーの再補充をしてやらないと筋線維は収縮できなくなってしまう。

有酸素エネルギー生産系は、グリコーゲンと脂肪を酸化することでエネルギーを補充するので持続的に運動ができるのですが、高出力ではない（ATP・CP系は体重1Kg当たり一三キロカロリー発生できるが有酸素系は三・六キロカロリー程度）ためスピードが求められる「競走」では都合が悪いのです。

そこで、筋肉内のグリコーゲンを無酸素的に乳酸に分解する「解糖系」が登場します。こちらは、体重1キログラムあたり七キロカロリー補充ができますが、最速で分解するとおよそ二三秒しかもちません（ATP・CP系の七秒とあわせて三〇〇m全力疾走程度）。その結果、「キツイ」と感じる「乳酸」を生成し、筋肉量の〇・三％蓄積すると運動が遂行できなくなるといわれています。この乳酸（おそらく八〇％ほど）を分解するには体内で一〇秒ほどの酸素の蓄えを使ってしまう、その酸素を補充するため、激しい運動後の「ゼイゼイ、ハーハー状態」が生じます。

有酸素レベルの持久走は本来苦しくはないのですが、レースとして競走をするそ

れ以上のレベルで走るため、解糖系も動員して「きつくて苦しい」状態を生じます。また、着地衝撃の吸収や走運動の効率を支えるランニングスキルも、筋線維の収縮によって支えられていますので、このATP・CP系や解糖系が中心となります。

私たちの身体は、いわば「ソーラーパネル付ハイブリッドエンジン車」となっていて、長距離選手はソーラー部分が大きくガソリンエンジン部分は小さいと考えられます。ですから、ガス欠になると、後はのんびりソーラーパネル分で充電してしか走れなくなりしますので「ペース配分」の重要性が指摘されます。シドニー五輪でQちゃん（高橋尚子選手）がシモン選手にゴール直前でグングン迫られてきた時は、両者のこのエネルギー生産系のモードの違いが垣間見られて大変面白い思いをしました。おそらく昨年の東京国際女子マラソンでの急失速もこのハイブリッドエンジン部分の持続能力とペース配分の関係で生じたものと考えられます。これは、市民ランナーのペース配分でも同様のことがいえます。

短距離走と長距離走

さて、ソーラーパネル付ハイブリッドエンジンを搭載した私たちの身体は、様々な速度で走ることが可能です。しかし、その絶対速度や持続時間には大きな個人差があります。例えば、男子マラソン選手は、ソーラーパネルだけで一Km三分（一〇〇m一八秒相当）で走れます。短距離選手は、乳酸を分解する酸素を十五秒蓄えることができます。私たちが一〇〇m一五秒かかる

ところを一〇秒で走れる所以でもあります。しかし、短距離走の場合は、エネルギー

生産系だけではなく、運動効率に関わるテクニカルな問題（ランニングスキル）も大きく関係します。

一九九一年東京の世界選手権一〇〇m決勝でのルイスとバレルのランニング（フォームとピッチ、ストライドの各項目）についての有名な分析結果があります。

レースは、九〇mまではバレルがリードし、ルイスは最後の一〇mでストライドを維持しながらもピッチを高めてスピードアップし、バレルのストライドは最長に伸びたもののピッチが低下してルイスに逆転されています。また、スピードとランニングフォームの関連については、ルイスもバレルも股関節で脚全体を前後に振る速度との相関が高く、膝関節の曲げ伸ばしの速度とはあまり相関がない（膝の角度はキック中ほとんど変化していない）ことが報告されています。（伊藤章、最新・陸上競技の科学第一巻一〇〇m走解説、ベースボール・マガジン社、一九九二年）

現在は、スピードはストライド（m）とピッチ（歩／秒）の積で決まるため、最適ストライドを維持しながらいかにハイピッチで走るのが重要とされています。

我々は、高さ一〇cmのミニハードルを設置した五〇m区間を、ハードルと同じ四歩一組で、なるべく速く走り抜けるドリルを行い、ピッチの向上とタイムアップ、接地動作の改善（腰の下に接地する）が見られることを報告しています。（山崎 健・斎藤麻里子、一過性のドリルによるスプリントパフォーマンスの変容、陸上競技紀要第一五巻、二〇〇二年）

「ストライド」の意識はできるのですが「ピッチの向上」はなかなか意識できないため、このドリルはスプリントランニング

を改善する上で大変に有効であると考えています。

このハイピッチランニングは、長距離走でも同様の意味を持ちます。

本号の「スポーツ動作を知ろう」でも述べたように、私たちの筋肉は、瞬発系と持久系の筋線維で構成されていますが、一秒間に何回収縮できるかという「周波数特性」というものもっています。瞬発系筋線維は一秒間に七〇〜九〇回収縮しますが、持久系筋線維は三〇〜四〇回であるといわれています。また、同じ瞬発系筋線維の収縮特性を分析すると、更にいくつかのグループに分かれていて交代しながら活動しているという側面（ドミナント現象）があります。

最大酸素摂取量の七〇%の同一の運動（マラソン程度）で、ペダルの回転数を一分八〇回にすると最大筋力の一一%出力ですむのに対し、一分四〇回では一七%に達し、回転数の多い方が相対的に動員される筋群が交代できる可能性があるという面白いデータがあります。（森谷敏夫、運動時の循環調節メカニズム研究の現状と課題、加賀谷・中村編・運動と循環、NAP、二〇〇一年）

つまり、同じスピードであっても、ピッチの速い方が多くの筋線維を利用できることとなり、ストライド走法ではいわば「速い筋線維の力任せ」にスピードを上げていることとなります。接地衝撃もピッチの速い方が少ないわけですので、衝撃吸収にも使われている筋肉への負担を減らすことができます。

ただ、短距離走と同様に競技のスピードはストライドとピッチと接地の仕方（スキル）によって相対的に決まりますので、女

子マラソンの野口みずき選手のように、筋力強化によるストライド走法（当然ピッチもそれなりに速い）という戦略をとる場合もあります。

私たちの前述の研究では、一〇〇mを一〇秒台で走るスプリンターは、同一タイムであっても、日によって「ピッチとスピード」と「ストライドとスピード」の関係（相関係数）を変えていることがわかりました。

おそらくその日の体調や環境との関係によつて無意識のうちに「戦略」を変えているようで、私たちの身体は、大変に複雑な運動のメカニズムを合目的に組織化するという素晴らしい能力をもっているように思われます。

そして、その能力を改善するためには、様々な環境下で課題を持つて意識的にトレーニングを行うことが重要と思うのです。