

陸上競技のサイエンス

人類史の視点から

サルとヒトとが別れたのはおよそ五〇〇〜六〇〇万年前と推定され、二〇〇二年七月にアフリカ・チャドで発見された人類最古の化石は「トウマイ」と呼ばれ七〇〇万年前と推定されている。

木村は、人類独自の移動方法として「直立二足姿勢」をあげ、上体が鉛直に立ち、股・膝関節が一八〇度伸びて直立二足姿勢が可能な骨格構造をもつヒトでは、直立を保つのに筋力とエネルギーをほとんど必要せず、脊柱のS字カーブとあいまつて動的な弾力的姿勢保持に役立っていること。ヒトの「ストライド歩行」では筋活動は交互に働いて休止時間が長く、活動電位も小さいため、エネルギー消費と疲労が少なく、持続性のある歩行が可能であることを指摘する。

小林は、走運動では「弾性エネルギー」の利用で、着地時の伸張性収縮を次の短縮性収縮に再利用(伸張反射)し、仕事量を増すと同時に、エネルギー消費を節約し、エネルギー効率(長距離走の速度では効率がよく、短距離走は秒速七m以上のところで効率が低い)ことから筋の特質により効率が違う可能性を指摘した。

この「弾性エネルギーの利用」や「運動効率」は、動作を一定の運動経過に「収斂」させるメカニズムとして働いているようで、各自の身体の構造と機能に応じて、その運動課題に最適な「効率」が幾つか存在しており、その効率とのズレが「教師役」として基本的な運動形態と運動経過を制御(小

脳での自動学習)しているのではないかと、いう仮説が考えられている。

ではスポーツが人類史的に形成されてきた身体文化ならば、スポーツの動きの発展に対応して我々の身体の構造と機能も変わってきたのであろうか？

解剖学的な答えは否。養老は、「ヒトは、ここ数万年ほど、解剖学的、すなわち身体的には変化していない」「おそらく、人の脳の機能もまた、数万年このかた変化していないはず」とする。つまり、数万年前に我々の身体は現在と同様の「走」や「跳」ができる身体を獲得していたこととなる。

スプリントのメカニズム

一九九一年東京で行われた世界陸上男子一〇〇m決勝は歴史的レースとされる。ルイスの九秒八六の世界新記録を筆頭に決勝進出者八人中六名が九秒台の自己ベストで走り、かつレースのバイオメカニクスの分析がそれまでの日本的スプリント観を払拭したという点でも画期的であった。レースでは、九〇mまでリードしたバレルがそれ以降オーバーストライドでピッチが低下し、逆にストライドを抑えピッチを若干上げたルイスに逆転されている。もしもルイスの逆転がなければ、バレルの九秒八八は「世界新記録」であり「ストライド神話」は崩壊しなかった。

また、ルイス、バレルとも膝関節や足関節の伸展速度は少なく、膝や足首を「固定」して走っていることも明らかになった。このことが「最適ストライドとハイピッチの維持」というスプリント走の理論モデルを明らかにし、それを可能とするための様々なドリルやトレーニングが改善されてきた。山崎と斎藤は、一〇秒台のスプリンターを

対象とした一過性の五〇mミニハドルドリル（ハドル走のように四歩一組で最高タイムをめざし数本反復する）の実施で、ドリル直後の疾走速度の向上と接地動作の改善（接地地点が重心の真下に近くなる）が得られており、長距離選手ではあまり改善効果が見られないことから短距離選手では既に獲得した「スプリント走の内部モデル」に収斂したものと推測している。

走幅跳のスタイル

同じく東京での世界選手権・男子走幅跳の決勝は、八m九五のパウエルと八m九一のルイスとで跳躍スタイルが異なっていた。ともに最終助走スピードはほぼ秒速一一mであるが、パウエルは「膝を伸ばした突っ張り型」の踏切で参加選手中最大の跳躍角度二三・一度、ルイスは逆に「膝をやや曲げた引っかけ型」の踏切で最小の一八・三度であった。ちなみに、女子の優勝者のカーシーは「パウエル型」、二位のドレクスラーは「ルイス型」であり、スプリンターとしても超一流のルイスとドレクスラーが同じタイプというのは大変に興味のもたれる結果である。

山崎と宮井は、普通的女子大学生にミニハドルドリル（一二歩助走で四歩目と八歩目にミニハドルをセットしハドルを越える動作を予備跳躍動作として一二歩目が踏切となる）を行い「最後の四歩はすばやく走る」という意識で練習を行わせた。ドリル後のトライアルでは跳躍距離は全員が向上したが、助走スピードの変化は踏切前四歩と踏切前五〜十二歩で内容が異なってきた。最初の八歩は、ストライドが減少してピッチが向上するが、ふみきり前四歩ではピッチは向上してはいるものの逆にス

ピードが低下した。また、トレーニング前では跳躍距離とスピードとに相関関係（助走が速ければ距離が跳べる）があったものが、トレーニング後は相関関係がみられなくなった。つまり、ラストの四歩が「踏切準備」としての性格と内容を持つてきたようで、踏切動作は、膝を軽く曲げてブレーキをかけないという「ルイス型」になっていた。しかし、丸山らが小学生の授業実践で行った同様の課題では、ほとんどの児童が「パウエル型」の踏切動作で記録を伸ばしている。

いずれのタイプにしても、跳躍時の足関節や膝関節は「伸張反射」によるごく短時間で大きな力を発揮する動作であり、立幅跳のような中程度の力を長い時間で発揮する屈曲・伸展動作とは異なる。これは工学的に「インピーダンスマッチング」といわれるもので、短時間で完了する跳躍時には、動作時間は長いが出力の小さい跳躍動作では適応できないことを意味している。

長距離走のメカニズム

小林の指摘するように人類学的に見て長距離走のほうは「運動効率」が良く、運動生理学的には時速八km以上では走ったほうが効率がよくそれ以下では歩いたほうが効率が良いとされている。

この「運動効率」は筋・関節・骨格系の「伸張反射」を基礎とした短時間伸張サイクル（SSC）の反復により実現される。本年三月のランニング学会でのウィリアムス氏の特別講演でもこのSSCと“Economy（経済性）”という概念の重要性が指摘された。

ランニング動作は、キックで推進力を得る「接地局面」とリバウンドにより弾性（運

動) 効率を上げる「滞空局面」とに分けられる。この接地局面(時間)と滞空局面(時間)の比率がランニングの様相(話題の「なれば走り」はこの接地時間に関連する)を決定しており、登りでは接地時間が長く推進力は得やすいが疲労しやすく、降りでは滞空時間を長くとれるが落下エネルギー以外の推進力を得ることが難しい。平地でも滞空時間が長ければ効率はよく疲れないものの推進力が得られず、逆に接地時間が長ければスピードは上がるが疲労もしやすい。

長時間遂行されるランニングでは、同一の運動遂行システムを継続することは現実的ではない。このため、選手はピッチやストライドを微妙に調節し、使用する筋線維や動作様式を変容させている。

瞬発性筋線維群の交代

短距離スプリントを含めランニング動作では、最適ストライドとハイピッチをいかに維持するかが重要である。

筋肉の電氣的活動を記録したものを筋電図という。筋電図のコンピュータ解析を行うと、速筋(瞬発)系と遅筋(持久)系とに分けられ、さらに速筋系の収縮のなかにも「かなり速い」ものから「やや遅い」ものまでのいくつかの筋線維グループが存在していることが知られている。

森谷は高橋の自転車ペダリング運動時のデータから、最大酸素摂取量の七〇%の同一の運動でも、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」と指摘する。

この長距離走でのランニングスキルを支えているものが抗疲労性の低い瞬発系筋線

維群であるということは大変に面白いメカニズムと考える。もしも、「力任せのストライド勝負」でラストスパートをかけると一部の瞬発系筋線維群のみが動員され、他のやや遅い瞬発系筋線維群は参加できず、結果的にゴールまでの運動効率の維持が困難となる。この点で、戦略的にはピッチを上げて(キック自体の負担を減らして)スパートをかけることも求められてくる。

オリンピックデスタンスのトライアスロン(スイム一・五km、バイク四〇km、ラン一〇km)の最後のランではハイピッチランニングがあまり見られない。戦略的に、成績に決定的なバイクパートで主要な瞬発系筋線維群を使ってしまう(ランパートでの逆転はあまり無いのでバイクパートに「勝負」をかける)、いわば「残存」速筋線維群(やや収縮速度の遅い瞬発系筋群)で持久的ランニングを遂行せねばならず、結果として疾走動作が変容する。これは、十種競技最終の一五〇〇m走でも同様の現象が見られる。通常、疲労の進行にともない「フォームが乱れる(悪くなる?)」と考えがちであるが、実はわれわれの身体は大変に巧妙にできていて、その時点での「残存エネルギー系」を最大限に「総動員(活用)」してゴールを目指しているのではないか。

スキルを支えている瞬発系筋線維群も「随意的収縮」の範囲内では完全に消耗することはありえない。筋線維自体の収縮能力は残存しているが脳内で中枢性抑制が先行する・・・いわゆる中枢性疲労発現・・・メカニズムが存在する。優れた競技者は、トレーニングの反復によりこの中枢性の疲労発現によるパフォーマンスの低下を「脱抑制」する方法を獲得している。(たとえば「かけ声効果」によるパフォーマンスの一過性

の改善など。)

無意識のうちにも巧みに速筋系線維群を交代させ運動を遂行してゆくメカニズムの存在は大変に不思議でまた魅力的なものと考えられる。

運動効率の意味するもの

伸張反射や短期伸張サイクルを基礎としたエネルギーの再利用とパフォーマンスの効率化(経済性)は、マイネルの指摘する「弾性」「伝導」「運動リズム」といった運動習熟の質的評価や「軽快さ」「心地よさ」とも対応する。

スポーツスキルの獲得(習熟)による動作改善は、川人の指摘する大脳皮質運動野からの運動指令の「関節トルク最小モデル」と対応した小脳での逆動特性学習を経て実現すると考えられている。

「運動効率」「経済性」といった概念が我々の運動経過をその時点で最適なものに「収斂」させるといふ仮説は大変に魅力的なもので、最近話題の佐々木の指摘する「アフオーダンス」や多賀の指摘する「引き込み現象」との関連も伺える興味深いテーマである。

文献

- ① 伊藤 章(一九九二)、最新・陸上競技の科学第二巻「二〇〇m」解説、ベースボール・マガジン社
- ② 川人光男(一九八八)、運動軌道の形成(伊藤・佐伯編「認識し行動する脳」)、東大出版会
- ③ 木村 賛(一九八〇)、ヒトはいかに進化したか、サイエンス社
- ④ 久保健・山崎 健・江島隆二編(一九九七)、走跳投の遊び・陸上運動の指導

と学習カード、小学館

- ⑤ 小林寛道(一九九〇)、走る科学、大修館書店
- ⑥ 佐々木正人(一九九四)、アフオーダンス・新しい認知の理論、岩波書店
- ⑦ 多賀敏太郎(二〇〇二)、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
- ⑧ 深代千之(一九九二)、最新・陸上競技の科学第二巻「走幅跳・三段跳」解説、ベースボール・マガジン社
- ⑨ マイネル：金子明友訳(一九八二)、スポーツ運動学、大修館書店
- ⑩ 丸山久志・山崎 健(二〇〇二)、走幅跳におけるミニハードルドリルの有効性、新潟体育学研究第二〇巻
- ⑪ 森谷敏夫(二〇〇一)、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」
- ⑫ 山崎 健(一九九三)、ランニングスキルの改善と歩数計測の意義、ランニング学研究 第一四巻
- ⑬ 山崎 健(一九九三)、スポーツ技術の研究は何に貢献するのか(中村敏雄編「スポーツのルール・技術・記録」)、創文企画
- ⑭ 山崎 健・斎藤麻里子(二〇〇二)、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
- ⑮ 山崎 健(二〇〇二)、移動運動の発達、たのしい体育・スポーツ 第一四八号、創文企画
- ⑯ 山崎 健(二〇〇五)、巧みに動くからだ、たのしい体育スポーツ 第二七九号、創文企画
- ⑰ 養老孟司(一九八九)、唯脳論、青土社