

陸上競技の記録は何によって決まってきたのか

↳スポーツ科学の研究から見えてくるもの

はじめに

陸上競技の発展は客観的な「世界記録更新」と一体となって受容されてきた。記録向上に向けた人類の営みは、文化や芸術、科学技術の発展と同等の価値観をもって論じられ、また一九世紀後半からはドーピングなどの負の遺産も内蔵させながら「勝利」と「記録」にこだわった「人間的営み」を積み重ねてきた。

オリンピックの男子一〇〇mの記録は、一九一二年ストックホルム五輪での世界陸連最初の公認記録10秒6から、二〇〇八年北京オリンピックの9秒68まで更新され、この記録更新速度（年度ごとの記録の伸び）から記録との回帰式を求めて未来を推測する方法が昔から行われてきた。「マラソン2時間はいつ達成されるのか？」などはその典型であり、多くの研究者が仮説を提示している。また、この回帰式（一定の傾向）からとび抜けた世界記録が更新されることもあり、一九八八年ソウル五輪・女子一〇〇mフローレンス・ジョイナーの10秒49や二〇〇九年ベルリン世界選手権・男子一〇〇mウサイン・ボルトの9秒58は「異次元の世界新記録」と評価されている（野口純正、二〇一三年）。

このような異次元の出来事を補正するために、世界記録の更新のみではなく「年度別一位のデータから推定する方法なども行われている。ただしこの回帰分析は「年度が進めば記録が伸びる」という若干ラフな方法であり、用具の変化（ロンドン五輪・水泳の高速水着での世界記録続出）やトレーニング科学の革新などはすべて「時の流れ」で一括りに扱われている。加えて、記録の向上に係る要因は、技術や用具の進化やルールの変更、競技者を支えるトレーニングシステムの確立（医科学サポートやトレーニングセンターの提供）、国民的サポートの充実など様々なものが関与してくる。

パフォーマンスを決めるもの

かつて日本の運動生理学の権威・猪飼道夫⁽¹⁾は、 $P \parallel C \cdot \int E (M)$ との数式を示し、パフォーマンス（P）が、サイバネティクス（C）の制御系と総体としての化学的エネルギー系（E）及び意欲（M）によって決定される概念を提示した。

山崎⁽²⁾は、この概念について、 $P \parallel s_1 \times r_1 + s_2 \times r_2 + s_3 \times r_3 + \dots + s_N \times r_N + b$ （その他の因子）、という重回帰式を示し、ハイパワー系（ATP・PCR系）やミドルパワー系（解糖系）、ローパワー系（有酸素系）などから構成されるエネルギー供給系（r）が、それぞれに応じたスキル（s）と密接に関連してパフォーマンスを決定するモデルを提示した。つまりパフォーマンスは、単に体力が向上したとか技術が改善されたからといって単純に決定されるものではない。

これはトレーニングのリアリティ（現実性）の問題であり「特異性」という概念でも説明され、現実のスポーツの場面では、様々な条件下でも的確に対応することが求められる。

「スタミナが切れて動きが悪くなりましたね」の「スタミナ」は「有酸素的持久力」ではなく「スピード持久力」であり、「無酸素性機構」とされる「解糖系」で筋グリコーゲンを分解して乳酸を生成するエネルギー供給系が関与する。「乳酸は疲労物質である」との概念は、現在では一九世紀の古い考え方とされ、感覚的に運動を制限する因子ではあるものの、実際には有酸素的にエネルギー源として「再利用」されることは現代の「常識」⁽³⁾である。

山崎^(16・18)は、三種類の筋線維（遅筋系と速筋系II aと速筋系II b）と三種類のエネルギー供給系からなる「3×3システム」という概念（図1）を示し、「動きをつくり出す

用具の変化

二〇〇八年北京五輪・水泳競技では「高速水着」が二五の世回新記録のうち二三を占め、

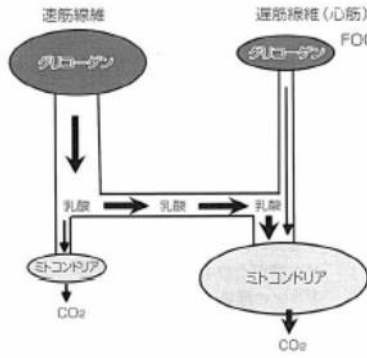


図2 乳酸シャトルの概念 (八田、2009)

動きをつくり出すシステム

	Type I	Type II a	Type II b
ATP-PCr系	○	◎	◎
解糖系	△	◎	●
有酸素系	◎	○	△

定本ら(1987年)の図を山崎が改変

図1 3つの筋線維群と3つのエネルギー供給系による3×3システム、定本ら(1987)

の図を山崎が改変、2014

システム」と「エネルギーをつくり出すシステム」が9個のマトリクス(行列)を前半と後半で「重みづけ」を変えながら対応する(例:同じ疾走速度を維持しながらストライド走法からピッチ走法に変えるなど)モデルを示した。八田(10)は、乳酸の再利用にかかわり、速筋系II bで生成した乳酸を遅筋系や速筋系II aの有酸素系システム(ミトコンドリア)でエネルギーをつくり出す「乳酸シャトル」という概念を示した(図2)。

翌年のローマの世界選手権では四三もの世界新記録が誕生した。そしてこの高速水着は使用禁止となったが世界記録は公認された。さらに二〇一二年ロンドン五輪では五つの世界新記録が「普通の水着」で誕生した。まさに記録向上への人間の「執念」を感じる(11)。

陸上競技での記録更新に最も関係したものは、陸上競技場のトラックの材質(サーフェス)と考えられる。かつてのアンツーカー(赤土)やシンダー(コークス)などの土の舗装から、一九六八年のメキシコ五輪からポリウレタンの全天候舗装となり、天候に左右されないサーフェスとなった。一九六四年東京五輪ではアンツーカートラックでボブ・ヘイズが10秒0の五輪新を記録し、四年後のメキシコ五輪では全天候トラックでジム・ハインズが9秒9(電気9秒95)の五輪新を記録している。

当初の全天候トラックは土の質感をのこした「チップ塗装」が採用されていたが一九九一年の東京世界陸上からは「ノンチップ塗装」が採用された(14)。チップ塗装はゴムの細かいかけらを振りかけて接着したような構造であったが、ノンチップ塗装ではキックロスの少ないフラットで硬いサーフェスとなった。キックロスの少ない特徴から、記録向上だけではなくスプリントランニング技術にも大きな影響を与えたといわれている。ちなみにノンチップ塗装の一九九一年東京世界選手権陸上ではカール・ルイスが9秒86の世界新記録で優勝している。

ランニング技術の進歩

一九九一年陸上競技世界選手権の短距離走に関するバイオメカニクスの分析(9)は、一九八〇年代後半から指摘されていた「日本のスプリント概念」に大きなインパクトを与えた。

特にカール・ルイスとリロイ・バレルを中心とした動作解析では、日本選手と比較して膝関節や足関節の使い方に大きな違いがあることが指摘された。伊藤(2)は、キック時の

膝関節と足関節の動きについて、世界の一流選手は最高疾走速度と最大伸展速度に負の相関（関節を伸ばさないほうが速い）がみられること、速度を決定する股関節伸展速度には違いがないこと、から従来日本で理解され指導されてきた内容が異なっていたことを指摘した。そして、未来のキック動作として「離地時に膝関節をさらに屈曲する」可能性を示唆した。小林⁽¹⁾は、膝をやや屈曲して接地するルイス型の「膝屈曲着地型」に対して、一九九九年に9秒79の世界新記録を出したモーリス・グリーン選手が、着地時のブレーキを少なくした「膝伸展着地型」を行っていることを指摘し、一〇〇m日本記録（10秒00）保持者の伊東浩司選手も同様の走法に改善し成功したことを指摘した。「膝伸展着地型」は動作が難しく往々にして重心のより前側の接地を招きブレーキをかけることとなるが、上体が遅れなければ（乗りこみ動作…踏み出した脚にすばやく上体を乗せる動き）大腿全体のスイングスピードを効率的に地面に伝えることができる。ちなみに、かつて末續慎吾選手は片脚が「グリーン型」動作であったが他脚は未だ「ルイス型」動作であったことが報告されている。

両足義足で「ブレードランナー」と呼ばれるオスカー・ピストリウス選手の疾走動作について、健常者では直線疾走時の床反力の利用効率が60%であるのに比べピストリウス選手は実に90%に達していることが推定されている（NHK・進化する義足、二〇〇八年放映）。このことは、計らずも足関節や膝関節を使用しないことが運動効率に貢献（スタートダッシュやコーナーリングでは当然不利となる）することを意味している⁽²⁾。これは小学生のスプリント・ドリルの効果を検討した山崎と石山⁽³⁾の研究でも同様であった。膝関節や足関節をある程度固定して走る疾走動作は、短距離疾走でも長距離走でも同様に重要なランニングスキルであり「バネ係数の変容」と表現されている。短距離走のバネ係数は疾走速度が非常に高いことから長距離

走に比較して「硬いバネ」といわれ、パウエル選手やボルト選手の大腿の腱は非常に硬いことが知られている（NHK・ミラクルボディ、二〇〇八・二〇一二年放映）。

故に、短距離疾走（スタートダッシュ以降の等速減速区間）では、接地の瞬間には関節をある程度固定したブレーキの少ない接地動作で、最適ストライドでハイピッチを維持することが原則となる。これは長距離走であっても同様のことと考えられ、山崎⁽⁴⁾は、一〇〇〇mレース後半に疾走速度と膝関節伸展速度に短距離疾走と同様の「負相関」がみられる例を報告した。

トレーニングの改善

このようなランニング技術に関する新しい知見は、スプリントトレーニングにどのような変革をもたらしたのであるか。小林⁽⁵⁾は「動作認知型トレーニング」という概念で、脚部の動きをシミュレートしたスプリント型や踏切型のトレーニングマシン、自転車型スプリントパワートレーニングマシンなどを作成しその効果を報告している。

膝関節や足関節をある程度固定し高いピッチを維持して走るスプリントランニングスキルを実現するために、マシンを用いないいくつかのドリルが考えられ実践されている。

桐生祥秀選手の所属した京都洛南高校のトレーニングドリル⁽⁶⁾は、ミニハードル（高さ一〇cm程度のもの）を一〜二m間隔に並べて「接地の体感」を重視したドリルで、伊東⁽³⁾の指摘する「乗りこみ動作（踏み出した脚にすばやく上体を乗せる）」を重視したものである。その他、力の伝わり方を実感するメディシンボール投げも取り入れられていて、3kgのボールで10mのバックネット越えが高校トップアスリートの条件とされている。女子の福島千里選手は「フレキシブルハードル」というバーの中央が可動式の器具を用いて、やはり「足さばき」を重視したトレーニングが紹介されている。

山懸亮太選手はメーカーやコーンを用いた

トレニングを行い、やはり動きを重視しつつ何回も何回も反復している映像が放送された(NHK・走り究める、二〇一三年放映)。

総じてこれらのトップクラスの選手のトレニングは、正確な動きを模索しながらトレニングの原理に従ってメニューを組み立てている。たとえば、一五〇m×三本各17秒5で走ったとしても、そのメニューをどのような意図と動きで実現できたのが重要となる。これは長距離走選手でも同様で、一〇〇m3分10秒×一〇本のインターバル・トレニングであつてもどのような走り方で一〇本走ったのが最終的には問われてくる。

また、図1のように一〇〇mレースの序盤と中盤と終盤では三つのエネルギー供給系のレベル(モード)が変動する。当然それに合わせて動き(ランニングスキル)を変容させていかないと破綻をきたす。9秒58のボルトの世界新記録の時も七〇m以降は速度低下を起こしており、この区間でのスキルは、加速のためではなく秒速一二mを超える疾走速度を維持することが求められる。当然終盤のエネルギーモードの変容した状態での疾走トレニングが必要であることから、かつて朝原宜治選手は、二時間練習の最後に二〇〇m疾走後、一分三〇秒間隔をあげて一〇〇mを走るようなトレニングメニューを実施した(NHK・燃え尽きるまで走るんだ、二〇〇八年放映)。

子どもたちの取り組むべき課題は？

この様なトップクラスの選手達は、子どもたちからの運動経験も豊富で身体感覚も動作感覚も極めて優れておりトレニング効果も高い。そのためそのメニューを直接子どもたちにアレンジし適応することは難しい。岡野(4)は、日本陸上競技連盟普及部としての活動を踏まえ、発達段階を考慮した子どもたちの指導メニューを提示している。

「一歩ごと」のミニハードドリルやラダー(梯子状のトレニング補助具)ドリルは子どもたちの練習課題としてよく利用され、

最近は「コーデイネーション能力」との関連でも注目されている。寒田(8)は、ピッチとストライドの関係を意識させるため、数レーンの走るコースに放射状にマークを置き一定のリズムで様々なピッチやストライドで走るドリルを実践している。

山崎と齋藤(15)は、一〇〇mを10秒台で走る男子短距離選手と長距離選手にハードル走のような「四歩一組」と「二歩ごと」の五〇mミニハードドリルを行わせ、「四歩一組」のミニハードドリルでは疾走動作の改善(接地位置が手前になる)やパフォーマンスの改善(ピッチの増加やタイムアップ)が見られるものの「一歩ごと」のドリルでは腿上げ角度は高くなるものの疾走パフォーマンスには影響がないことを報告した。またこの傾向は、長距離選手よりも短距離選手のほうが強いという興味ある結果を得た。これは「一歩ごと」のドリルは「足合わせ」の意識が強く働き疾走動作の改善にまで至らなかったものと考えており、10秒台で走る短距離選手は自身の中に「スプリント走の内部モデル」をすでに獲得していることから「四歩一組」のドリルでタイムアップを意識すること(ハードル間ではストライドは一定である)がピッチアップをもたらす疾走速度を改善させたものと考えている。

ケンパリングやラダードリルは、ウォーミングアップ効果はあるもののその動きの「拘束性」が強く、一歩ごとのマーク走やミニハードルドリルでは「足合わせ」感覚が軽減されるものの「トレニングの特異性(やったことだけが改善されスプリントパフォーマンスにあまり影響を与えない可能性)」が存在することを十分考慮すべきである。

競技者サポートシステム

十分なトレニングを行い、スプリントパフォーマンスを継続的に改善してゆくには「個人の努力」だけでは当然限界がある。

宮下(11)は、競技力の向上とコーチ・指導者の役割について、①指導者は、自分の専門

とするスポーツ競技の特徴を明確に意識しているべきである、②指導者は、選手の成長段階を考慮し、個人の特性に応じた指導を行うべきである、③指導者は、完成された選手の活躍を演出するブレイン集団(医師、栄養士、マッサージ師/アスレティックトレーナー/ゲームアナリスト)を組織すべきである、とし、特に③の問題の重要性を指摘した。

国立スポーツ科学センター(JISS)におけるトータルスポーツクリニック(TSC)の「チェックとサポート」について川原⁵⁾は、a メディカル、b フィットネス(身体資源系と身体機能系)、c スキル、d 栄養、e 心理、f 戦略・戦術、g 用具、からなるシステムを示し、競技力向上のためにはこれらの要素が重要であることを示唆した。

二〇〇八年の北京五輪や二〇一二年ロンドン五輪では、このJISSサポートが実を結んだと評価され、今回のソチ五輪で日本のメダルを支えたものが四億八千万円をかけた現地のマルチサポートハウス(ロンドン五輪では五億四千万円)であることはよく知られている。二〇〇一年に完成した国立スポーツ科学センターや二〇〇八年北京五輪直前につくられたナショナルトレーニングセンターがオリンピックや世界選手権で活躍する多くのアスリートを支えていることは、財政的な裏付けがあつて初めて可能となる日本のスポーツ政策の問題でもある。

おわりに

「陸上競技の記録は何によって決まってきたのか」について様々な角度から考えて来た。最近では遺伝子検査によって筋線維の組成を推定し、選手適性を「パワー型」「持久型」「複合型」のいずれかに分類するサービスマも行われている。また、筋線維組成だけではなく、運動能力やスキルテストなどを組み合わせたタレント診断・発掘システムも試みられている。かつて旧東独では、「最終身長」や「生物学的年齢(BA)」を様々な身体的指標から推定し将来性の判定が行われて

いた(NHK・金メダルへの道、一九八七年放映)。「暦年」が15歳で素晴らしい記録を持つについても「生物学的年齢」が18歳であれば今後の可能性に疑問符が付きエリートスポーツ学校からの退学を余儀なくされるシステムである。しかし、このシステムを活用しても、あるスポーツ学校では一〇〇名の入学者のうち六〇名がその年のうちに退学し内八割は将来性がないとの判定であつたと報道された。福岡県ではタレント診断システムを一〇年前から導入し、高校進学時に将来性の高い種目選択と進学先を決定させ世界選手権入賞などの成果を上げることが報道された(NHK・一五歳の決断、二〇一三年放映)。

これらのシステムは、本論で指摘した記録決定の「幾つかの因子」を特定したものであり、確かに速筋系筋線維(Ⅱb)は、主要な筋出力や巧緻性に決定的な意義を持つ。しかし、仮に「パワー系」や「持久系」と分類されたからといっても、我々の身体の構造と機能はそう単純ではない。

和田¹⁹⁾は、私たちの筋肉は、同じ筋

(例えば太腿の大腿四頭筋)であつても個人によつて筋線維組成が異なっており、かつそれぞれの関節の動きに応じてそれぞれの主動筋の組成が異なっていることを指摘している。例えば、肘の関節を伸ばす上腕三頭筋は投げる・打つなどの動作との関係で速筋系線維の割合が高く、逆に肘を曲げて物を保持することの多い上腕二頭筋は遅筋系線維の割合が高い。これは図1のように三つのエネルギー生産系と動きをつくり出す三種類の筋線維による3×3システムが、それぞれの筋のそれぞれ別の動きを支え、全体として協調して効率的な運動を実現しているからである。かつ前半と後半では、エネルギー系が変動(減少)することから、それらの重みづけを変化させ、全体の動きを変えながら破綻をきたさないように巧みに運動を遂行していることを意味する。これはいわば「戦略」とも関連したもので、ペース配分やサポートのタイミン

グなどは記録だけではなく勝敗ともかわつてくる。

かつて、男子1000mの世界記録保持者・ジャマイカのアサファ・パウエルは「最速」といわれたがオリンピックや世界選手権では勝てなかった。アメリカのタイソン・ゲイは「最強」といわれ世界選手権で金メダルを獲得し、現世界記録保持者のウサイン・ボルトは「最強・最速」と称賛された。

ジャマイカのスプリンターでも、優れた遺伝子を持ちながら世界選手権の代表になれない選手もいる。ケニアの長距離ランナーにも同様の事情があり、国籍変更によるオリンピックや世界選手権への出場の例もある。男子世界マラソン歴代一〇〇傑の九割がケニアとエチオピアの選手であるがモロッコやブラジル、スペインや日本の選手も名を連ねている。これらの記録が、遺伝子による筋線維組成の影響なのか骨格や筋のプロポーションにより生み出される動き（走法）の影響なのかそれともトレーニング内容や環境の影響なのかは未だ特定しきれていない。ただ、その背景に勝利と記録向上への人間の「あくなき執念」が存在することは論を待たない。

〈参考文献〉

- (1) 猪飼道夫、身体運動の生理学、杏林書院（一九七五年）
- (2) 伊藤 章、陸上競技・短距離、体育の科学 第五巻第一二号、杏林書院（二〇〇五年）
- (3) 伊東浩司、山懸亮太の「強さ」、月間陸上競技 二〇一三年八月号
- (4) 岡野 進、小学生の陸上競技指導と栄養・スポーツ障害、創文企画（二〇〇六年）
- (5) 川原 貴、国立スポーツ科学センタートータルスポーツクリニック（TSC）、臨床スポーツ医学 二二巻四号（二〇〇五年）
- (6) 月間陸上競技、洛南高校のトレーニング、二〇一三年一月号
- (7) 小林寛道、ランニングパフォーマンスを高めるスポーツ動作の創造、杏林書院（二〇〇一年）

(8) 寒田丈太郎、美しい走りを求めて、たのしい体育・スポーツ 第二七六号（二〇一三年）

(9) 日本陸連強化本部バイオメカニクス研究班、世界一流陸上競技者の技術、ベースボール・マガジン社（一九九四年）

(10) 八田秀雄、乳酸と運動生理・生化学、市村出版（二〇〇九年）

(11) 宮下充正、日本のスポーツ 勝利への選択、コーチングクリニック 第六巻九号（一九九二年）

(12) 山崎 健、スポーツの認識と習熟（伊藤・出原・上野編「スポーツの自由と現代」、青木書店（一九八六年）

(13) 山崎 健・石山和人、トレーニングによる小学生の疾走動作の変容、日本陸上競技連盟・陸上競技紀要 第一巻（一九九八年）

(14) 山崎 健、用具の変化と競技スポーツの在り方、スポーツのひろば 三四二号（二〇〇二年）

(15) 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、日本陸上競技連盟・陸上競技紀要 第一五巻（二〇〇二年）

(16) 山崎 健、エネルギー供給系と運動習熟の連関、現代スポーツ研究 第二二号（二〇〇一年）

(17) 山崎 健、人間の可能性とパラリンピックスとスポーツ科学、たのしい体育・スポーツ 第二七〇号（二〇一三年）

(18) 山崎 健、一〇〇〇〇mレース中のランニング動作変容に関するモデルの検討、ランニング学研究 第二六巻一号（二〇一四年）

(19) 和田正信、筋線維の種類と収縮特性（山地・大築・田中編「スポーツ・運動生理学概説」、明和出版（二〇一一年）

（やまざきけん／新潟大学）