

スポーツ科学研究の「これまで」と「これから」

山崎 健 (新潟大学)

はじめに

本年 8 月の日本体育学会第 66 回大会・公開シンポジウム「2020 東京オリンピック・パラリンピック」において、鹿屋体育大学の福永哲夫学長が「体育学における『スポーツ実践研究』のすすめ」として報告を行った。このなかで福永は、現代のスポーツ科学研究が、自然・人文・社会科学を基盤として発展してきたことと比較して、スポーツパフォーマンスを科学的に分析・統合する実践的研究はほとんど行われて来なかったことを指摘し、「スポーツ実践科学」の可能性を問うた。

井尻 (1966) は、科学研究における研究方法について、「体験的」「記載的」「分類的」「論理的」「理論的」「実験的」「条件的」の 7 段階を示した。これは、「体験的」から「論理的」に至る分析的段階と「理論的」から「条件的」に至る総合的段階と見なすことができる。

スポーツ科学における「基礎的分野」の研究においては、複雑な現象の解明が求められ、いわば「分析的段階」である程度完結していることが求められる。つまり「こういうメカニズムがあった」ということの説明できれば「このような結果が得られた」との結論が得られて評価される。山崎 (1993) は、「総合的段階」での評価体系が不十分であり、このことが「隔靴搔痒」と表現される競技現場との“ギャップ”を生むこと、基礎から応用に至る研究方法と対象の階層構造を想定したとき、その中に明らかな「欠けた階層 (missing hierarchy) ≒ 研究対象・研究方法・研究組織・研究者の不在」が存在するのではないだろうか、と指摘した。

現在では、国立スポーツ科学研究所 (JISS) やナショナルトレーニングセンター (NTC) が、トップアスリートを総合的に支援していることが認知されてきているが、スポーツ科学の「これから」の研究内容について、いまだ福永の指摘する「スポーツ実践科学」は未構築と考えられる。

本報告では、これまで「エネルギー供給系」と「スキル系」として個別に研究されてきた成果を概括し、それらの「連関 (Linkage)」の可能性を検討することでスポーツパフォーマンスの改善

に関わる実践的科学的研究の可能性を探ろうとするものである。

エネルギー供給系の研究

エネルギー供給系に関する研究は、筋収縮によって実現される運動の反復される遂行と関わり、アデノシン 3 リン酸を再合成するための、クレアチンリン酸系 (ハイパワー系)・解糖系 (ミドルパワー系)・有酸素系 (ローパワー系) という補填・生産機構の異なる 3 つのシステムの詳細な解析が行われてきた。また、運動を引き起こす筋の働きについても、遅筋系筋線維と速筋系筋線維とで、グリコーゲンの解糖と乳酸の蓄積の関係について解明されてきた。しかし、それらの相互移行や関係性の問題は「運動強度と持続時間」といういわば「大枠組み」で捉えられてきた。

定本ら (1987) は、筋の筋線維組成と酵素や代謝基質について、遅筋系 (Type I) と速筋系 (Type II a と Type II b) の 3 種類の筋線維がそれぞれ異なる性質を持つことを指摘した。

八田 (2009) は、この解糖系 (ミドルパワー系) に関わる乳酸の動態について、新たに「乳酸シャトル」という概念を導入して、同一筋内に存在する速筋系筋線維と遅筋系筋線維の関係性を明らかにしてきた。

特にこの乳酸の動態にかかわる研究結果は、トレーニング強度の決定について極めて重要な意義を持ち、従来経験的に決定されてきたインターバルトレーニングの「急走期」と「緩走期」が乳酸濃度 $4 \text{ }^{\circ}\text{mol}$ の「OBLA」と $2.3 \text{ }^{\circ}\text{mol}$ の「LT」に該当することを示した。そして、簡易乳酸濃度測定機器と時計型心拍計の普及が、個人の乳酸濃度と心拍数の対応を推定することを可能としスピード持久力のトレーニングに大きな貢献をした。

運動スキルの解明

一方スポーツ場面でのスキル系に関わる研究は、実験室内での制約もありもっぱら動作解析の手法を中心に 3 次元解析などの詳細な研究が報告されてきた。3 次元動作解析の手法は、任意の方向からの可視化や体幹や四肢の慣性モーメント

の計算、床反力データとの関連の検討などから「発揮された力の分析」から「力の出し方のメカニズム」に迫ろうとの試みもなされている。また、身体運動の複雑系解析に関して、複数の筋電図解析からひと纏まりの動きの性質を抽出しようとする「筋シナジー (Bernstein,1967)」の概念も導入されてきている。

運動習熟の中核である脳内機構の解明については、研究可能な動きが限定されるため基礎的段階からの推定が中心となる。脳波の周波数成分と動作への意識 (習熟)、様々な動作発現にかかわる脳の電位変動 (運動関連電位や誘発電位、経皮的磁気刺激等での推定)、動作実行時の脳内の電位変動や血流変動 (脳磁図や fMRI、光トポグラフなど) 等の手法が動作発現にかかわる基礎的知見を蓄積している。

運動の熟練にかかわり、伊藤 (1991) は、小脳外側部が制御対象の逆動特性学習を進めるというモデルを示した。小脳が動作の速い適応に関与していることは川人 (1988) も指摘しており、小脳機能を付与したロボットによるバッティング学習モデルが放映された (NHK: ミラクルボディ、2008)。

独・ライプツヒ学派のハルトマン (2009) は、動作のコアディネーションにかかわる「定位」「反応」「連結」「分化」「リズム化」「バランス」「変換」の7つの概念を示し、運動遂行のための「インテグレイション (統合)」としての機能を

指摘した。この中で、コアディネーションのトレーニング効果は、単にラダードリルやバランス機能の改善に留まるものでなく総体的なパフォーマンスの改善に関連する重要性を指摘した。荒木 (2009) は独自の「コアディネーション」という概念からそのトレイナビリティを明らかにした。

エネルギー供給系とスキル系の「連関」

山崎 (2011、2015a、2015b) は、エネルギー供給系と運動習熟の「連関 (Linkage)」の視点から、スポーツパフォーマンスの実践的研究の可能性を検討してきた。

多賀 (2002) は、歩行運動の複雑系の解析について、従来の「神経系」⇒「身体系」⇒「環境系」と至る概念について、トップダウンのシステムだけではなく、ボトムアップシステムを繰り返すことによる身体と環境の強結合 (グローバルエントラインメント) から形成される「非線形性」の重要性を示した。そして複数の系が同時に働くときに、最も遅い系に規定される「スレイビング」に対して、トップダウンとボトムアップの反復により新たなシステムが形成される「シナジェティック」の概念を指摘した。山崎 (2015) は、伊藤の指摘する小脳の逆動特性学習モデルに関わり「ダイナミックステレオタイプ」のマトリクスモデル (図 1) を示し、環境系や身体系の変動に対応する可能性を指摘した。

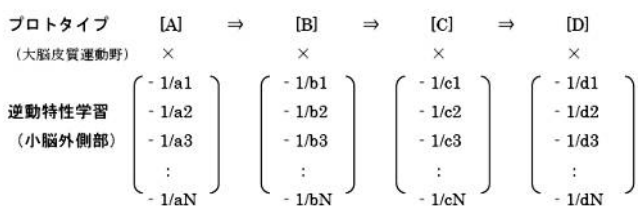


図 1 ダイナミックステレオタイプのモデル

猪飼 (1975) は、パフォーマンスが、サイバネティックス (スキル) 系と化学的エネルギー系と意欲によって決定されるとする、 $p=C \cdot \int E(M)$ のモデルを示した。山崎 (2011) は、このエネルギー供給性が、クレアチンリン酸系と解糖系と有酸素系の3つがそれぞれの発揮スキルと密接に関連し、かつ運動の継続的進行によるエネ

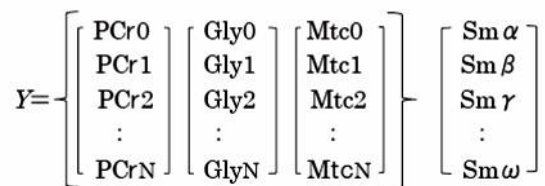


図 2 パフォーマンスのマトリクスモデル

ルギー系の減少に対応し「適応制御」するモデル (図 2) を示した。また、定本や八田の指摘する筋線維のタイプに応じた酵素や基質の特性や乳酸シャトルの概念から「3×3システム (図 3)」の可能性を示した。

| | | 動きをつくり出すシステム | | |
|-----------------|----------|--------------|----------|----------|
| | | Type I | Type IIa | Type IIb |
| エネルギーをつくり出すシステム | ATP-PCr系 | ○ | ◎ | ◎ |
| | 解糖系 | △ | ◎ | ● |
| | 有酸素系 | ◎ | ○ | △ |

図3 3×3システムのモデル



図4 3つのモデルの関係性

これら3つのモデルは、「動きを作り出すシステム」と「エネルギーを作り出すシステム」が互いに一定の関係性をもって「連関 (Linkage)」し「調和 (Harmony)」して運動を継続して遂行している可能性を示す (図4)。「これから」のスポーツ科学の実践的研究においては、この関係性を明確にしたモデルの構築が重要なものとなってくるのではないだろうか。

文献

1. 荒木秀夫、コーディネーショントレーニングとトレナビリティ、現代スポーツ研究 第10号、2009年、pp.26-28
2. Bernstein, N., Co-ordination and Localization Problem (In The coordination and regulation of movement) , PERGAMON PRESS, 1967, 15-59
3. 福永哲夫、体育学における「スポーツ実践研究」のすすめ、日本体育学会第66回大会大会号、pp.21

4. 井尻正二、科学論、築地書館、1966年、pp.2-103
5. 猪飼道夫、身体運動の生理学、杏林書院、1975年 pp.334-354
6. 伊藤正男、熟練の脳内メカニズム、体力科学、Vol.41(1)、1992年、pp.1-7
7. 川人光男、運動軌道の形成 (伊藤・佐伯編 認識し行動する脳)、東京大学出版会、1988年、pp.150-181
8. 野崎大地、筋骨格系の冗長性 1、体育の科学 第64巻11号、2014年、pp.793-797
9. C.ハルトマン：ライプチヒスポーツ科学交流協会誌、コーディネーション理論、コーチングクリニック 23巻4号、2009年、pp.48-52
10. 八田秀雄、乳酸と運動生理・生化学、市村出版、2009年、pp.60-77
11. 定本朋子・宮下充正、骨格筋線維にみられる運動の効果、臨床成人病 17巻5号、1987年、pp.811-817
12. 多賀巖太郎、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、2002年、pp.1-37
13. 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12号、2011年、pp.54-60
14. 山崎 健、運動処方とトレーニング (山地・大築・田中編「スポーツ・運動生理学概説」、明和書店、2011年、pp.180-181
15. 山崎 健、運動生理学の研究から見える身体運動システムの複雑さ、スポーツ社会学研究 第23巻1号、2015年、pp.35-46
16. 山崎 健、運動習熟とダイナミックステレオタイプの再考、陸上競技研究 第103号、2015年、pp.2-11