

## 学生女子 800m 選手のパフォーマンスおよびレースパターンと体力の縦断的变化

榎本靖士<sup>1)</sup> 門野洋介<sup>2)</sup> 丹治史弥<sup>3)</sup> 真下まなみ<sup>4)</sup> 中村真悠子<sup>4)</sup>

1) 筑波大学 2) 仙台大学 3) 東海大学 4) 株式会社セレスポ

### 1. 緒言

中距離走, とくに 800m 選手のパフォーマンスに影響する体力要因の研究は古くからおこなわれているものの, 長距離走ほど体力要因とパフォーマンスの関係は明らかになっていない. Lacour ら (1990) は, 複数の有酸素性能力の評価指標と 800m から 5000m の平均スピードの関係を分析した結果, 1500m から 5000m は OBLA や最大有酸素スピードと関係がみられたが, 800m の平均スピードとはいずれの指標とも関係がみられなかったことを報告している. 一方で, Di Prampero ら (1993) は, 最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) と無酸素性エネルギー供給能力を用いて理論上で維持できるスピードを推定し, 800m から 5000m までのパフォーマンスを精度よく推定できることを示している. すなわち, 800m においても有酸素性および無酸素性能力によってパフォーマンスを推定でき, かつそれらを高めることがトレーニング課題になり得るが, 800m ではそれらのパフォーマンスへの貢献は選手によって異なると考えられる. ここまで有酸素性能力および無酸素性能力と表現しているが, 800m は  $\dot{V}O_{2max}$  を明らかに超える強度のスピードを 2 分程度維持するため, 最大有酸素性スピード ( $v\dot{V}O_{2max}$ ) と運動時間に出力できる無酸素性エネルギー量 ( $\equiv$  MAOD) の配分となる. いずれのエネルギー供給においてもランニングエコノミー (RE) によってスピードが生み出されると考えられるため RE が強く影響するであろう. Ingham ら (2008) は, 統計的に推定した  $\dot{V}O_{2max}$  スピードが, 800m および 1500m パフォーマンスのスピードと強い関係を示したことから,  $\dot{V}O_{2max}$  と RE の有酸素性能力でパフォーマンスを説明できる可能性に言及している. 一方で, 実際にはそれらは相反する関係にあり両方を独立して変化させることの困難さ, そして実際のレースにおいてスタート直後の酸素摂取動態や  $\dot{V}O_{2max}$  の維持の影響についても論

じている.

Sandford ら (2019) は, 800m 選手には持久系とスピード系の選手がいること, そしてスピード系はおもに無酸素性能力と神経筋機能により影響されていることをモデルで説明し, とくに一流 800m 選手のパフォーマンスに影響を及ぼす要因を, 最大スプリントスピード (MSS), 最大有酸素性スピード (MAS), その差である無酸素性スピード余力 (Anaerobic Speed Reserve: ASR) から検討している. その結果, 一流 800m 選手の記録には MSS が最も強く影響しているものの, MSS が同じ程度であれば MAS もしくは ASR が影響することを論じている. また Bacher-Mena ら (2017) は, 一流 800m 選手の記録は 20m, 200m, 垂直跳などのスプリントおよびジャンプ能力によって, そのばらつきを説明できることを示している. すなわち, これまでの研究は 800m パフォーマンスにはエネルギー供給能力ばかりでなく神経筋機能による最大パワー, 特に最大スプリント能力と関係が強いことが示唆されている.

800m のレース分析は国際大会決勝などレベルの高いレースを対象におこなわれてきた (松尾ら, 1994; 松尾ら, 1997; 榎本ら, 2005; 門野ら, 2008). レース分析とは, 800m レースをビデオ撮影し, 100m ごとの通過タイムを読み取ることで, ペースおよびスピードの変化を分析することである. さらに, 100m 区間のストライドとピッチを算出することで, スピード, ストライドおよびピッチの変化を検討することができる. 800m ではレースパターンは人種によって異なること (Gyimes, 2013) や戦略的であることが示唆されている (Jones と Whipp, 2002; Thiel ら, 2012). Jones ら (2008) は, ペース配分を前半型, イーブン型, 後半型に分類し, 理論的に前半型のパフォーマンスが高くなることを主張している. しかし, エネルギー供給系モデルから実際のパフォーマンス向上に役立つよう検討しているものの, 実証はされていない. 中距離選手を対象

表1 分析対象レース

試合日		試合名	記録		
2010年	5月23日	関東インカレ	10KIC	2分04秒95	RP1
2011年	5月22日	関東インカレ	11KIC	2分06秒37	
2012年	5月20日	関東インカレ	12KIC	2分04秒57	RP2
	10月21日	かわさきフェスティバル	12KAW	2分03秒52	
2013年	5月26日	関東インカレ	13KIC	2分04秒61	

表2 体力テストの実施日

測定年	トレッドミルテスト	コントロールテスト
2010年	6月16日	-
	10月26日	
2011年	6月22日	2月4日
		6月15日
2012年	3月6日	7月10日
	6月27日	11月10日
	11月16日	
2013年	-	3月9日
		11月5日

にエネルギー供給系やレースモデルを提示し、科学的データをもとにパフォーマンス、レースパターンおよび体力との関係を実証した研究は極めて少ない。

門野（2012）は、学生男子800m選手1名を対象にレースパターン、走動作および体力の縦断的变化について検討している。その選手のパフォーマンスの向上と体力の変化が関連していないことから、体力が必要条件ではなく十分条件であること、一般的なパフォーマンスと体力との関係が選手個別のパフォーマンスとは必ずしも関係しないことを論じている。Sandfordら（2019）も800m一流選手における有酸素性および無酸素性能力の最低水準について言及しているものの、具体的な値は示していない。森丘ら（2011）は、学生女子中距離選手の縦断的なパフォーマンスと生理学的指標の変化をトレーニングとの関係について検討し、中距離選手における高強度トレーニングや質の高いトレーニングについて論じている。すなわち、レースパターンや走技術と体力は分けて評価されるものの、実践においては相補的に影響していることが主張されている。しかし、どのようなトレーニングや介入がパフォーマンスに影響し、あるパフォーマンス水準においてモデルを構成するどの要素の重要性が高いのかを論じていない。すなわち、これらの実践的研究は、中距離走のパフォーマンス向上と科学的データをもとにしたレースや体力の評価を関連させて論じているが、

中距離走におけるパフォーマンスモデルの検証やパフォーマンスに強く影響する要因の提示には至っていない。

そこで本研究は、学生女子中距離選手1名を対象に記録向上にともなうレースパターンおよび体力の変化をもとに対象選手のパフォーマンス要因を検討し、モデルの実証と効果的なトレーニング方法に関する示唆および今後の研究課題を得ることを目的とした。

## 2. 方法

### 1) 研究対象者

本研究の研究対象者は学生女子中距離選手1名（M選手）であった。身長は1.61 m、体重は47.6～50.6 kgの間で変化していた。M選手は3年生時（2012年10月）に800m学生歴代4位（当時）となる2分3秒52を記録した。表1は本研究で分析対象としたレースである。シーズンベスト（SB）と自己ベスト（PB）記録を出したレースを分析対象とした。著者は2011年よりM選手のコーチであった。

### 2) 体力測定

表2は体力測定実施日を示したものである。体力測定はトレッドミルテストとコントロールテストであった。

トレッドミルテストは、乳酸性閾値（LT）、ラン

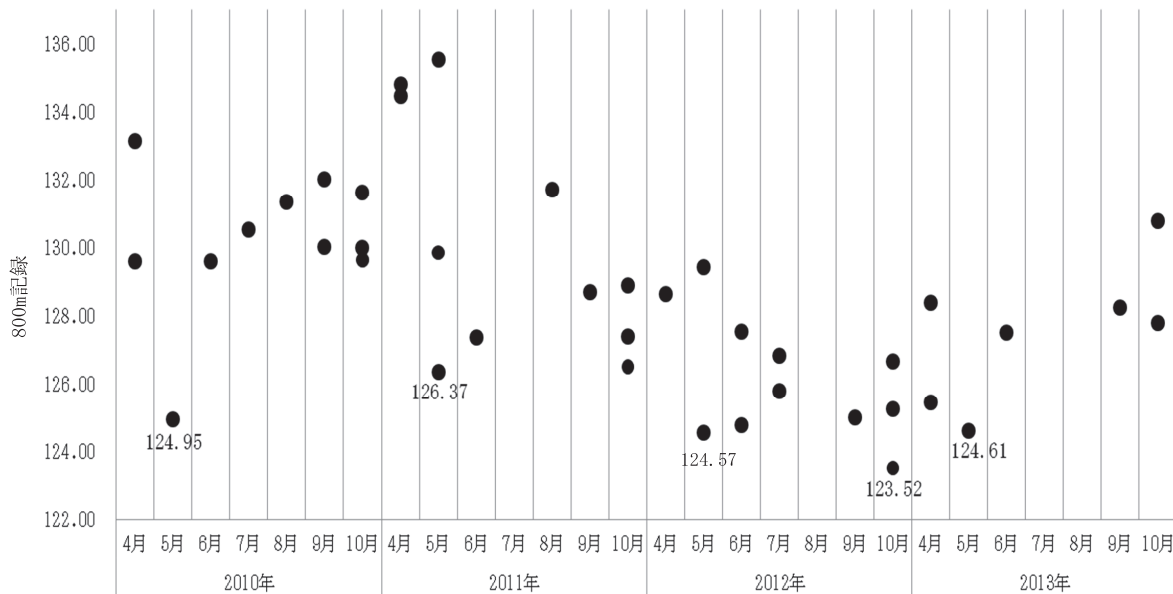


図1 対象期間における800m記録の推移

ニングエコノミー (RE), および最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2\max$ ), 最大有酸素性スピード ( $v\dot{V}O_2\max$ ) を得るためにおこなった. 最大下スピードの3分間走を2分間の休息をはさんで, 5~6セット実施した. 第1セットを190 m/分とし, セットごとに20 m/分増大した. セット間に指先より毛細管に採取した血液を乳酸分析器 (YSI 1500 SPORT, YSI 社) により血中乳酸濃度 (La) を分析した. 4mmol/L を最大下セット走終了の目安とした. その後, 5分間の休息の後, 最大下走の最終セットのスピード (270 m/分) からスタートし, 1分ごとに10 m/分漸増し, オールアウトまで走らせた. 酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) は呼気ガス分析機 (エアロモニタ, ミナト社) を用いてサンプリングチューブで採取した呼気の酸素濃度を計測し, 換気量を乗じて30秒ごとに算出した. 最大下セット走ではラスト30秒の値をその速度での $\dot{V}O_2$ とした.  $\dot{V}O_2\max$  はオールアウトセットにおける最大値とした. 心拍数 (HR) はハートレイトモニター (Polar 社) によって測定し, セット走では終了15秒前, オールアウト走では最大値を測定値とした.

最大下セット走におけるLaが2mmol/Lに相当するスピードをLTとし, REはLTにおける $\dot{V}O_2$ をその走速度で除すことで $O_2$ コスト (ml/kg/km) として評価した.  $v\dot{V}O_2\max$  (m/分) は $\dot{V}O_2\max$  を $O_2$ コストで除して1000を乗じて求めた.

コントロールテストは, 60m走, ベンチプレス最大挙上重量 (1RM), メディシンボール前および後方投げ, 立ち幅跳び, 立ち五段跳び, 垂直跳, リバウンドジャンプ, 200mバウンディング, 40秒ウィ

ングートテストであった. 60m走は陸上競技場トラック直走路にコースを設定し, 光電管をスタートから60m地点まで10m間隔で7台設置し, 自身のタイミングでスタートさせ, その間を全力で走り抜けたタイムを計測した. ベンチプレス1RMはおおよその1RMから2.5kg刻みで上下させて計測した. メディシンボール投は, 2kgのメディシンボールを使用し, 前方および後方投げを行わせ, 投距離をメジャーで計測した. 立ち幅跳び, および立ち五段跳びは, オールウェザーから砂場に向かって跳躍し, 跳躍位置から砂場の着地位置までの垂直距離をメジャーで計測した. 垂直跳および5回連続リバウンドジャンプは, 両手を腰に当てて腕の振り込みは使わずに行なわせ, マットスイッチを用いて踏切時間および滞空時間を計測し, 滞空時間から跳躍高を求めた. リバウンドジャンプ指数 (RJindex) は跳躍高を踏切時間で除すことで求め, 5回のうち最も良い値とした. 200mバウンディングは, 陸上競技場の400mトラック半周を, スタンディングスタートからできるだけ速く, 少ない歩数でバウンディングさせ, そのときの100mおよび200mのタイムおよび歩数を計測した. 40秒ウィングートテストは, 自転車エルゴメーター (POWERMAX-VII, コンビウエルネス社) を用いて40秒間の全力ペダリング運動を, 負荷を体重の7.5%で行わせた. 選手は40秒間のペース配分をせずに最初からできる限り全力でペダリングするよう指示された.

### 3) レース分析

分析対象レースはデジタルビデオカメラ

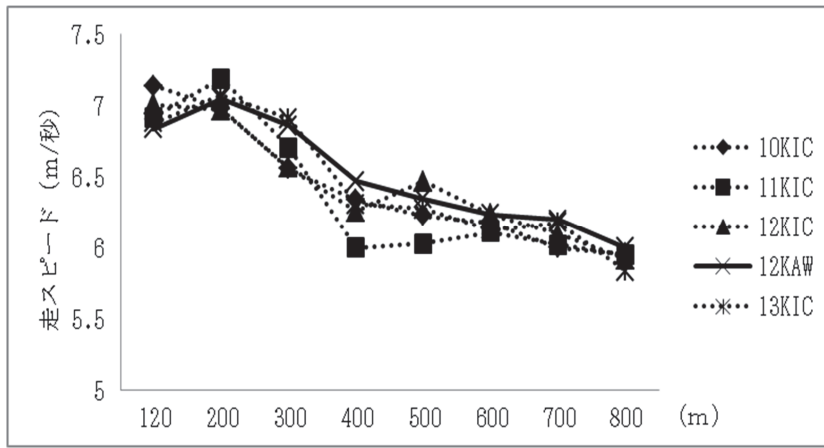


図2 10～13年のシーズンベスト記録および自己ベスト記録レースにおける走スピードの変化

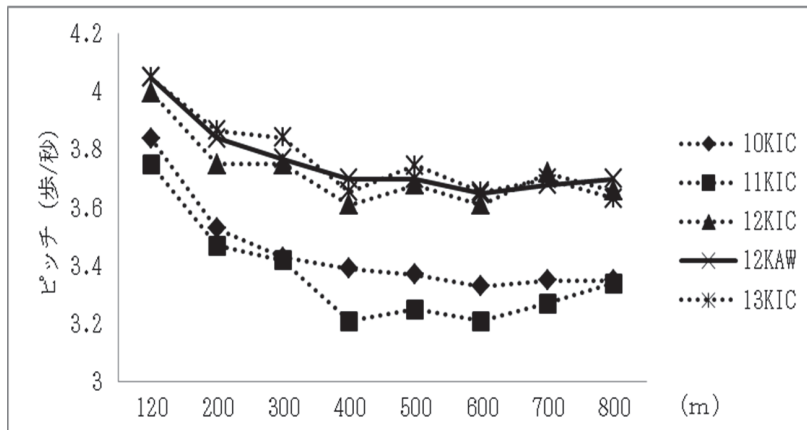
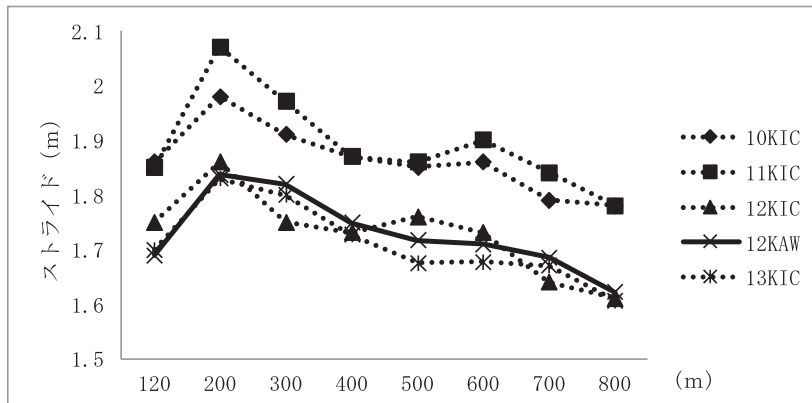


図3 10～13年のシーズンベスト記録および自己ベスト記録におけるストライドとピッチの変化

(Panasonic 社) によってパニング撮影された。撮影の一部は日本陸上競技連盟科学委員会の活動としておこなわれたものであった。撮影位置はトラック全体が見渡せるスタンドの十分に高い位置で、ブレイクラインおよび100mごとの通過地点が見えるところとした。電子シャッターは、スタート時にはスタートシグナルが映るように1/60秒、スタート後は1/500～1/1000秒に設定された。撮影した映像をコマ送りできるPCソフトを用いて100mごとの通過タイム（最初は120m、次が80m）を読み取った。1コマを1/59.94秒としてコマ数に乗じて通過時間

を算出した。各100m区間における区間タイムおよび区間スピードを算出するとともに、10歩に要した時間を同様にビデオ映像から読み取り、1歩の平均時間の逆数をピッチとし、スピードをピッチで除すことでストライドを算出した。

### 3. 結果

#### 1) レース記録とレースパターンの変化

図1は、M選手の研究対象期間における全レース結果を示したものである。2010年と11年において

シーズンインの4月に低い記録がみられるが5月の関東インカレでは2分4秒95 (10KIC) と2分6秒37 (11KIC) とそれぞれシーズンベストを記録した。2012年では4月から高い記録で推移し、関東インカレで2分4秒57 (12KIC) と自己記録を更新し、10月に2分3秒52 (12KAW) とさらに更新した。2013年は足の故障によって低調に終わったが、やはり関東インカレでは2分4秒61 (13KIC) と良い記録で優勝した。

分析対象レースにおける前半と後半の400mのタイムは、10KICで59.28, 65.68秒, 11KICで60.04, 66.37秒, 12KICで59.79, 64.77秒, 12KAWで58.95, 64.57秒, 13KICで59.06, 65.57秒であった。M選手は前半型のペース配分であったため、いずれのレースにおいてもスタートから先頭を独走する展開であった。12KAWではペースメーカーがいたため、400mまで2番手であったが、それ以降は独走であった。

図2は、2010年から13年におけるM選手のシーズンベストおよび自己ベストレースのスピードの変化を示したものである。いずれのレースにおいても120mから200mにおいて最大スピードが出現し、その後スピードが低減するパターンであった。12KICでは120m-200m区間で最も速い7.19 m/秒に達していたが、300mから大きく減速し、300m-400m区間で6.00 m/秒まで低下していた。その後やや増大するも、他のレースと同様に600m以降はスピードが低下していた。12KAWでは200m以降でスピードが低下するものの、大きく低下する区間はなかった。

図3は、図2と同様のレースにおけるストライドとピッチの変化を示したものである。ストライドは、いずれのレースにおいても120mから200mにおいてレースにおける最大値を示し、それ以降減少していた。ピッチはスタートから120mで最も大きく、400mまで減少し、それ以降はほぼ維持していた。10KIC, 11KIC (以降RP1) と12KIC, 12KAW, 13KIC (以降RP2) ではストライドとピッチの大きさに大きな差がみられる。すなわち、RP1ではストライドが最大で2.07 m, 最小で1.78 mであったが、RP2では1.86 m, 1.58 mと20 cmほど小さかった。ピッチの最大と最小はRP1では3.84, 3.21 歩/秒であったが、RP2では4.05, 3.57 歩/秒であった。

図4は、M選手の対象レースにおけるレース中のストライドとピッチの関係を示したものである。斜めの双曲線はそれぞれ5.0, 6.0, 7.0 m/秒のラインを示している。レース中のストライドとピッチが6.0m/秒から7.0m/秒あたりに分布しているが、

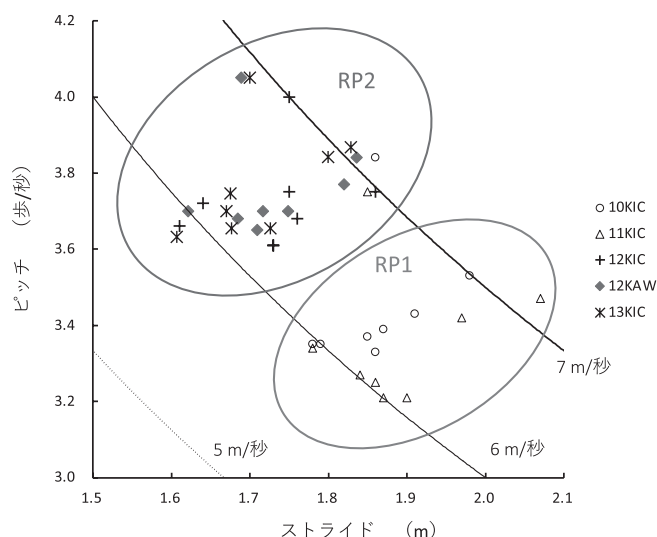


図4 M選手の対象レースにおけるストライドとピッチの関係

RP1とRP2では分布が異なっていることがわかる。10KIC, 11KIC, 12KIC, 12KAW, および13KICにおけるレースの平均スピードは、6.42, 6.37, 6.44, 6.50, 6.45 m/秒, 平均ストライドは、1.86, 1.89, 1.73, 1.70, 1.71 m, 平均ピッチは、3.45, 3.37, 3.72, 3.69, 3.77 歩/秒であった。RP1ではストライドが大きくピッチが小さいストライド型、RP2ではストライドが小さくピッチが大きいピッチ型であった。

## 2) 体力の変化

図5は、研究期間におけるM選手のトレッドミルテストの結果、最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ), ランニングエコノミー (RE), および最大有酸素性スピード ( $v\dot{V}O_{2max}$ ) の値を示したものである。

$\dot{V}O_{2max}$  は、2011年6月の68.3 ml/kg/分が最も高く、2012年3月の66.7 ml/kg/分が次いで高く、2012年6月と11月では56.9, 55.6 ml/kg/分と低下していた。REは2012年11月の184.3 ml/kg/kmが最も良く、2012年3月の220.4 ml/kg/kmが最も悪かった。 $v\dot{V}O_{2max}$  は2011年6月の324.1 m/分が最も高く、2012年3, 6, 11月では302.6, 292.8, 301.7 m/分と変化していた。

表3は、研究期間におけるM選手のコントロールテストの結果を示したものである。2011年は60m走の計測できていなかった。60mタイムは2012年7月に7.85秒と最も良かったが、最大疾走スピードは2012年11月に1.14秒 (8.87 m/秒, 526.3 m/分) と最も高く、2012年6月と2013年3月は1.19秒 (8.40 m/秒, 504.2 m/分) と1.17秒 (8.55 m/秒, 512.8 m/分) とやや遅かった。他のコントロー

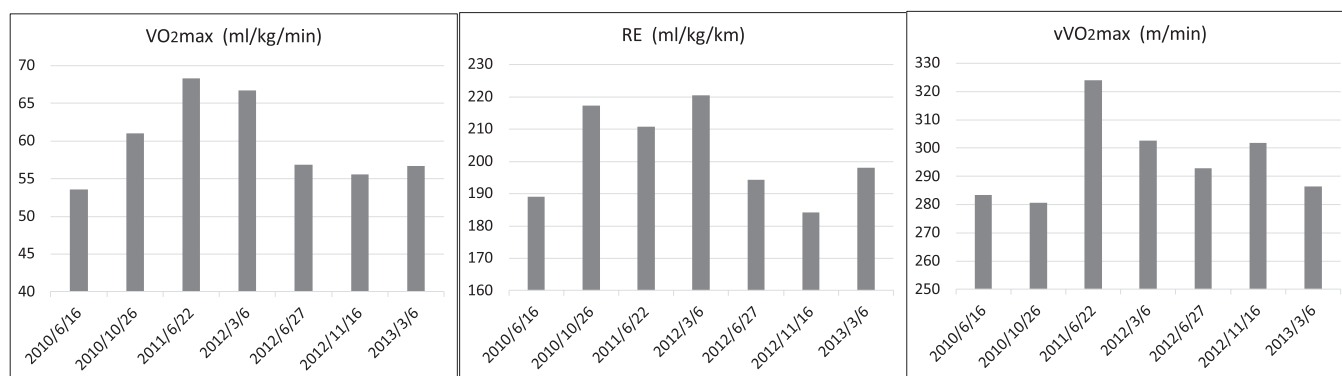


図5 研究期間におけるM選手の最大酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>max), ランニングエコノミー (RE), および最大有酸素性スピード (vVO<sub>2</sub>max)

表3 研究期間におけるコントロールテストの結果

測定日	2011年		2012年		2013年			
	2月4日	6月15日	7月10日	11月10日	3月9日	11月5日		
ハイパワー	6.0 m走	秒	-	-	7.85	7.99	8.18	7.97
	最高疾走速度	秒	-	-	1.19	1.14	1.17	1.20
	(区間 10m)	m	-	-	30~40	40~50	30~40	
	ベンチプレス (1RM)	kg	37.5	37.5	35.0	35.0	40.0	37.5
	メディシンボール投	2kg						
	前	m	11.0	11.6	12.0	12.5	12.2	11.6
	後	m	11.0	11.7	11.3	12.3	12.2	11.4
	立ち幅跳び	m	2.20	2.10	2.30	2.20	2.15	2.10
	立ち五段跳び	m	10.75	10.80	11.10	11.70	11.12	10.80
	垂直跳	cm	33.1	36.0	35.1	38.6	38.1	32.6
	リバウンドジャンプ							
	跳躍高	cm	31.6	33.6	35.7	38.3	37.7	34.4
	接地時間	ms	161	160	153	160	168	161
	Rjindex		1.964	2.102	2.335	2.392	2.246	2.137
ミドルパワー+技術	200mバウンディング							
	合計タイム	秒	39.2	-	37.0	40.4	-	39.7
	前半タイム	秒	19.8	-	-	20.2	-	19.66
	後半タイム	秒	19.4	-	-	20.3	21.6	20.04
	合計歩数	歩	91	-	88	86	91	88
	前半歩数	歩	46	-	44	46	45	43
	後半歩数	歩	45	-	44	40	46	45
ミドルパワー	40秒ウィングートテスト							
	負荷	kp	-	3.7	3.6	3.6	3.6	3.7
	ピーク回転数	r/m	-	147	139	137	125	121
	ピークパワー	W	-	547	500	493	463	437
	平均パワー	W	-	399	397	387	375	358

ルテストの結果では、2012年11月のメディシンボール前方および後方投げ、立ち五段跳び、垂直跳、リバウンドジャンプが研究期間において最も良い記録であった。さらに、200mバウンディングも合計歩数は最も少なかった(86歩)。

#### 4. 考察

##### 1) ストライドとピッチの組み合わせの変化

M選手は大学3年時の2012年10月に800mで2分03秒52の自己ベスト、当時学生歴代4位の記録を出した。大学入学時(高校時代)より先行逃げ切りのレースパターンを得意としていた。本研究で示

したシーズンベストのレースにおいてもすべて先頭を独走していた。一方で、2010年および11年シーズンのレースではスタートから高いスピードを獲得する反面、中盤に大きくスピードが低下する傾向がみられていた(図2)。大学2年時までの自己ベストである2分4秒95における1周目と2周目のラップタイムは59.28秒と65.68秒であり、2周目に6.40秒も大きく低下していた。この頃に、記録ばかりでなく選手権で勝つためにも、2周目に大きくスピードを落とさないことが必要と考え、そしてスピード低下は、スタート後に大きなストライドでスピードを増大し、その後にピッチとストライドがともに大きく低下することによって引き起こされていることを確認し、高いスピードをストライドよりもピッチを増大して獲得する走りへと修正することを試みた。その結果、2012年シーズン(大学3年時)にはスタートから高いピッチを持続できるようになり、レース中盤におけるスピードの低下も改善された(図2および図3)。

2010年と11年をRP1、2012年と13年をRP2としてみると、ストライドとピッチのパターンが大きく異なっていることがわかる(図4)。走スピードはストライドとピッチの積であるが、同じスピードであっても異なる組み合わせがあり得る。そして、RP1とRP2では明らかに分布が異なっていることがわかる。M選手にみられたスピードの低下はストライドかピッチのどちらかが大きく低下するというよりも、ストライドとピッチの両方の低下によってスピードが低下していたことを示しているが、RP2ではRP1と同じスピードであってもより大きいピッチ、小さいストライドにより走っていたことが示された。すなわち、一流中距離選手においてレースにおけるストライドとピッチの組み合わせがトレーニングによって変化したことを示しており、走技術の改善がなされたと言えるであろう。

## 2) 最大酸素摂取量とランニングエコノミーの変化

M選手は定期的にトレッドミルテストをおこなっており、 $\dot{V}O_{2max}$ 、ランニングエコノミー(RE)、 $v\dot{V}O_{2max}$ のデータが蓄積されていた。レースと必ずしも同じタイミングで測定できたわけではないので、レースパフォーマンスにこれらの体力要因が直接的にどのように影響していたかは推測の域は出ない。しかし、2010年からの変化をみると、2011年から2012年にかけて $\dot{V}O_{2max}$ が高く、その後、 $\dot{V}O_{2max}$ は低下しつつ、REが向上していたことが示されている(図5)。これまでも一流中距離

選手を対象に中・長期にわたる専門的トレーニングによって $\dot{V}O_{2max}$ とREが相反しながら変化するものの、REが向上する傾向が示されている(Svedenhag and Sjödín, 1985; Jones, 2006)。さらに、学生男子1500mおよび800mパフォーマンスに高強度走行におけるREが強く影響していることも報告されている(Tanjiら, 2017a; Tanjiら, 2017b)。本研究の結果は学生女子レベルの800mにおいてもREがパフォーマンスに及ぼす影響が大きいことを示唆していると考えられる。

中長距離パフォーマンスには $v\dot{V}O_{2max}$ が最も強く影響することが報告されている(Di Prampero, 1993; Inghamら, 2008)。800mにおいては有酸素性能力ばかりでなく、無酸素性能力も影響するため横断的な研究では有酸素性能力とパフォーマンスに関係がみられない場合も報告されている(Lacourら, 1990)。Di Prampero(1993)やJonesとWhipp(2002)などが示す800mパフォーマンスにおいて有酸素性と無酸素性エネルギー供給によってスピードが生み出されるモデルによると、両方のエネルギー供給がパフォーマンスに影響することは理論的に明らかである。しかし、それらの向上がパフォーマンスの向上とどのような関係にあるのか、さらにはどのように両者を高めるのかは議論が不足している。有酸素性および無酸素性能力が相互に関係することもトレッドミルテストにおいて示されており(佐伯ら, 1999)、とくに高強度におけるエネルギー供給系能力の向上と限界についてさらなる議論が必要であろう。

M選手のパフォーマンスの改善にはとくにREが影響していることが推測されるものの、シーズン中に $\dot{V}O_{2max}$ が低下したことによって $v\dot{V}O_{2max}$ はそれほど高くはなかった。冬期トレーニング中は主に持久系のトレーニングがおこなわれ、その後シーズン中はスピード系のトレーニングが多かった。REの向上は多くの要因が関与する可能性があるものの、筋力・パワーや神経系、さらにはランニングフォームによる改善が多く報告されている(Johnstonら, 1997; Saundersら, 2004; Storenら, 2008)。M選手がシーズン中のトレーニングによってREを改善した一方、シーズン前半の5月のレースにおいてシーズンベストを記録したことを踏まえると、 $\dot{V}O_{2max}$ が高く $v\dot{V}O_{2max}$ が高いときにパフォーマンスに貢献していた可能性が考えられ、REを向上しつつ $\dot{V}O_{2max}$ を維持することができればさらなる記録向上が期待できていたかもしれない。すなわち、学生女子800mにおいても $v\dot{V}O_{2max}$ が有酸素性

能力の重要な指標であるが、 $\dot{V}O_{2\max}$  と RE のどちらを向上して  $v\dot{V}O_{2\max}$  を高めるかのトレーニング戦略は極めて重要であろう。

### 3) 下肢のパワーおよびスプリント能力

コントロールテストで評価される体力は、力型やパワー型、垂直および水平方向動作、さらにはランニング型動作など、異なる要素を含むテストであった。しかし、M選手は2012年11月に60m走、メディシンボール投、立ち五段跳び、垂直跳、リバウンドジャンプで研究期間において最も良い記録であった。神経筋機能や無酸素性パワー発揮およびスプリント能力が中距離走パフォーマンスに及ぼす影響はこれまで報告されている (Bachero-Mena ら, 2017)。M選手においても自己ベスト記録を出したタイミングと最も近くに測定した2012年11月のコントロールテストにおける60m走の最大スプリント区間のタイムは1.14秒で、スピードは8.87 m/秒 (526.3 m/分) と最も高かった。

M選手において800mパフォーマンスが良かった時期に最大スプリントスピードが高かったことが示された。さらに、垂直跳やリバウンドジャンプが高かったことは下肢の神経筋機能およびパワーが高いことを示していると考えられる。基礎的な運動能力が専門的なパフォーマンスを構成していると考えられるならば、M選手は下肢のパワーが最大スプリントを高め、800mパフォーマンスに良い影響を及ぼしていたと考えられる。しかし、パワートレーニングはシーズン中には多く行われる傾向にあるものの、トレーニング内容はジャンプなどの基礎的な運動ではなく100mから150mくらいの距離のスプリントであった。むしろ特別なトレーニングとしては、レースパターンを変えるためのピッチを高めたレーススペースでの走トレーニングであった。すなわち、実際のレースの動きやパワーに近いトレーニング内容が結果的に体力に影響していたとも考えることができる。基礎的運動から実践的なパフォーマンスを構成するという構造は選手やコーチにとって演繹的思考には役立つものの、それらの複雑な相互関係には注意が必要であり、基礎的運動から専門的運動という一方通行の考え方は否定しておいた方がよいと考えられる。さらに、M選手が2013年よりアキレス腱炎を患い、選手キャリアにおいてさらに高いレベルには到達できなかった。障害にもさまざまな要因が関係するためピッチを高めるトレーニングやピッチの高い走りがアキレス腱炎の直接的な原因であったかどうかは不明である。また、そうであったとして適切なケア

や障害を予防するための動きの最適化を加味することでより高いパフォーマンスに到達できなかったのかを検討する必要もあるであろう。しかし、本研究で検証している実践が多くの学生女子中距離選手に当てはまるか、反省的思考と選手個々の効果的な方法の探索によって良いトレーニング計画や戦略を考える必要があるであろう。

### 4) 800m選手のトレーニングパラドックス

本研究で示した結果は、M選手のレーススペースにおけるピッチを高めたことは、REを高め、 $v\dot{V}O_{2\max}$ を高めた可能性、さらにはスプリント能力の向上とも関係していた可能性を示していると考えられる。一般のランナーばかりでなく、中距離選手にとってもピッチが高いこと、あるいはピッチを高めることがランニングエコノミーと関連することが多数報告されている (Cavanagh と Williams, 1982; Connick と Li, 2014; Moore, 2016; 丹治と鍋倉, 2018a; Quinn ら, 2021)。800m走とREはスピードが大きく異なるため、スプリントエコノミー (Paavolainen ら, 1999a) を用いてレーススピードにおけるストライドとピッチの組み合わせを検討することがさらに役立つ知見を得ることができると考えられる。しかし、中距離選手にとって重要なトレーニングおよび研究課題であるにもかかわらず、ストライドパターンの変更による選手個々の短期的および中長期的トレーニング効果に関する研究は不足している。

800mにおけるスプリント能力の重要性は近年着目されており (Sandford ら, 2019)、本研究でもスプリント能力と800mパフォーマンスとの関係は強いと考えられる結果であった。しかし、あくまでも持久力とスピードの関係が重要であることは言うまでもないであろう。一定の持久力を保ったままスピードを向上できるか、もしくはその逆にスピードを低下させずに持久力を向上させることが課題となる。M選手はREの向上により持久力を落とすことなく、スピード向上につながったと考えられた。800m選手がシーズン中に下肢のパワーや神経筋機能を向上することはREとスプリントの両方を同時に高める可能性があり、持久力とスピードの相反する要素を同時に向上するために役立つことを示唆していると考えられる。

$\dot{V}O_{2\max}$  や RE がシーズンの時期および中長期的トレーニングによって変化することはいくつかの報告が示している (Svedenhag and Sjödín, 1985; 森丘ら, 2011; 丹治と鍋倉, 2018b)。またマラソンの元世界記録保持者は $\dot{V}O_{2\max}$ を高い水準で維持した



まま RE を改善したことでマラソンの高いパフォーマンスにつながったことが報告されている (Jones, 2006). しかし, これらの研究において  $\dot{V}O_{2max}$  と RE が相反した変化を示すこと, すなわち  $\dot{V}O_{2max}$  が向上すると RE が低下し, RE が向上すると  $\dot{V}O_{2max}$  が低下する傾向にあることが指摘されている. これはすでにトレーニングパラドックスとして指摘されている問題であり (村木, 2007), 多くの事例によって検証されるべき重要な課題であろう. 持久力を最もよく評価する指標である  $v\dot{V}O_{2max}$  は  $\dot{V}O_{2max}$  と RE の組み合わせであるので, 持久力とスピードと同様に,  $\dot{V}O_{2max}$  と RE を同時に, あるいは計画的に目標とする時期や試合にその組み合わせが最適になるトレーニング計画が重要であろう.

本研究ではレースパターンの変化とパフォーマンスの関係を明確に検討することができた. これは M 選手が先行逃げ切り型を得意とし, ほとんどのレースにおいて独走していたため容易であった. 実際には他の選手との駆け引きやペースの意図的な変化, さらにはラストパートの影響があるため検証は複雑になる. そのため, モデルや理論を検証するためにはいくつかの要因を制限して検討することが有効かもしれない. Kadono ら (2013) は実験的に中距離選手の疲労による走動作の変化をバイオメカニクスの手法を用いて研究している. さらに門野(2015) は, レースパターンのモデル化と評価を提案して実践的なレース戦略やトレーニングに言及している. 今後はレースパターンばかりでなく体力や技術をモデル化し, 評価すること, さらには類型化することが体力, レースパターン, そしてパフォーマンスの改善に役立つ知見を得られるであろう.

## 5. まとめ

本研究は, 学生女子中距離選手 1 名を対象に記録向上にともなうレースパターンおよび体力の変化をもとに対象選手のパフォーマンス要因を検討し, モデルの実証と効果的なトレーニング方法に関する示唆および今後の研究課題を得ることを目的とした.

その結果, 記録が向上したときの特徴として以下のことが示された.

- ・レースパターンがピッチ型へと変化し, レース中盤でスピードが維持されていた.
- ・ランニングエコノミーが向上し, 最大有酸素性スピードが向上していた.
- ・最大スプリントスピード, 垂直跳, リバウンドジャンプなど体力要素が向上していた.

すなわち, レーススピードにおけるピッチの向上は, 下肢のパワーおよびスプリント能力と強く関係しており, さらにランニングエコノミーを高め, 有酸素性持久力にも良い影響を及ぼし, パフォーマンス向上につながったと考えられた. 中距離走におけるレースパターンおよび体力モデルについてこれまでの知見を実証しつつ, 新たな研究およびトレーニング課題について論じられた. 得られた知見の適用範囲や検証方法に注意が必要であるが, 科学的データに基づくトレーニングとその成果の検証がなされたことは意義あるものであろう.

## 引用文献

- Bachero-Mena, B. Pareja-Blanco F. Rodriguez-Rosell D, Yanez-Garcia JM, Mora-Custodio R, Gonzalez-Badillo JJ. (2017) Relationship between Sprint, Jumping and Strength Abilities, and 800m Performance in Male Athletes of National and International Levels. *J. Hum. Kinet.*, 58, 187-195.
- Cavanagh, P. R., Williams, K. R. (1982) The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine and science in sports and exercise*, 14 (1), 30-35.
- Connick, M. J., Li, F. X. (2014) Changes in timing of muscle contractions and running economy with altered stride pattern during running. *Gait & posture*, 39 (1), 634-637.
- Di Prampero, P. E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P., Soule, R. G. (1993) Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology*, 74 (5), 2318-2324.
- 榎本靖士, 阿江通良, 森丘保典, 杉田正明, 松尾彰文 (2005) 世界と日本の一流男子 800m 選手のレースパターンの比較. *陸上競技研究紀要* 1, 16-22.
- Gyimes, Z. (2013) Race Tactic Differences Between Elite East African and Caucasian Male 800m Runners. *New Studies in Athletics*, 28, 105-113.
- Ingham, S., Whyte, G., Pedlar, C., Bailey, D., Dunman, N., Nevill, A. (2008) Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Medicine and*

- Science in Sports and Exercise, 40 (2), 345-350.
- Johnston, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R., Vroman, N. B. (1997) Strength training in female distance runners: impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(4), 224-229.
- Jones, A. M., Whipp, B. J. (2002) Bioenergetic constraints on tactical decision making in middle distance running. *British journal of sports medicine*, 36 (2), 102-104.
- Jones, A. M. (2006) The physiology of the world record holder for the women's marathon. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 1 (2), 101-116.
- Jones, A. M., Wilkerson, D. P., Vanhatalo, A., Burnley, M. (2008) Influence of pacing strategy on O<sub>2</sub> uptake and exercise tolerance. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 18 (5), 615-626.
- 門野洋介, 阿江通良, 榎本靖士, 杉田正明, 森丘保典 (2008) 記録水準の異なる 800 m 走者のレースパターン. *体育学研究*, 53 (2), 247-263.
- 門野洋介 (2012) 800m 走パフォーマンス向上に伴うレースパターン, 走動作および体力の変化. *Journal of training science for exercise and sport*, 24 (1), 17-25.
- Kadono, H., Ae, M., Suzuki, Y., Shibayama, K. (2013) Effects of Fatigue on Leg Kinetics during All-out 600m Running. *International Journal of Sport and Health Science*, 11, 54-61.
- 門野洋介 (2015) 800m 走のレースパターンの分析・モデル化・評価と改善. *バイオメカニズム学会誌*, 39 (1), 11-16.
- Lacour, J. R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthelemy, J. C., Dormois, D. (1990) The energetics of middle-distance running. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 60 (1), 38-43.
- 松尾彰文, 杉田正明, 阿江通良, 小林寛道, 岡田英孝 (1994) 中長距離決勝におけるスピード, ピッチおよびストライドについて. 佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良(監修) *世界一流陸上競技者の技術*, ベースボールマガジン社, 東京, pp. 92-111.
- 松尾彰文, 杉田正明, 小林寛道, 阿江通良 (1997) アジア大会における中距離走者のスピード, ピッチおよびストライドの変化. 佐々木秀幸・小林寛道・阿江通良 監修 *アジア一流陸上競技者の技術—第 12 回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告—*. (財) 日本陸上競技連盟, pp. 83-97.
- Moore, I. S. (2016) Is there an economical running technique? A review of modifiable biomechanical factors affecting running economy. *Sports Medicine*, 46 (6), 793-807.
- 森丘保典, 品田貴恵子, 門野洋介, 青野博, 安住文子, 鍋倉賢治, 伊藤静夫 (2011) 陸上競技・中距離選手のトレーニング負荷の変化がパフォーマンスおよび生理学的指標に及ぼす影響について. *コーチング学研究*, 24 (2), 153-162.
- 村木征人 (2007) 相補性統合スポーツトレーニング論序説: スポーツ方法学における本質問題の探究に向けて. *コーチング学研究*, 21 (1), 1-15.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Härmäläinen, I., Nummela, A., Rusko, H. (1999a) Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology*, 86 (5), 1527-1533.
- Paavolainen, L. M., Nummela, A. T., Rusko, H. K. (1999b) Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 31 (1), 124-130.
- Quinn, T. J., Dempsey, S. L., LaRoche, D. P., Mackenzie, A. M., Cook, S. B. (2021) Step frequency training improves running economy in well-trained female runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35 (9), 2511-2517.
- 佐伯徹郎, 鍋倉賢治, 高松薫 (1999) 漸増負荷走行テストにおける最高走速度と有気的能力および無気的能力との関係. *体力科学*, 48 (1), 171-177.
- Sandford, G. N., Allen, S. V., Kilding, A. E., Ross, A., Laursen, P. B. (2019) Anaerobic speed reserve: a key component of elite male 800-m running. *International journal of sports physiology and performance*, 14 (4), 501-508.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., Hawley, J. A. (2004) Factors affecting

- running economy in trained distance runners. *Sports medicine*, 34 (7), 465-485.
- Storen, O., Helgerud, J. A. N., Stoa, E. M., Hoff, J. A. N. (2008) Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 40 (6), 1089-1094.
- Svedenham, J., Sjödin, B. (1985) Physiological characteristics of elite male runners in and off-season. *Canadian journal of applied sport sciences*, 10(3), 127-133.
- Tanji, F., Shirai, Y., Tsuji, T., Shimazu, W., Nabekura, Y. (2017a) Relation between 1,500-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained distance runners. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 6 (1), 41-48.
- Tanji, F., Tsuji, T., Shimazu, W., Enomoto, Y., Nabekura, Y. (2017b) Relationship between 800-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained middle-distance runners. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 6 (5), 355-358.
- 丹治史弥, 鍋倉賢治 (2018a) 中長距離ランナーにおけるステップ変数と走の経済性の縦断的变化の関係. *体育学研究*, 63 (2), 583-594.
- 丹治史弥, 鍋倉賢治 (2018b) 800m ランナーの生理学的変数と走パフォーマンスの縦断的变化の関係. *コーチング学研究*, 32 (1), 79-88.
- Thiel, C., Foster, C., Banzer, W., De Koning, J. (2012) Pacing in Olympic track races: competitive tactics versus best performance strategy. *Journal of sports sciences*, 30 (11), 1107-1115.