

## 2000 - 2010 年世界大会男女 20 kmW におけるレースペース分析

法元康二<sup>1)</sup>

1) 茨城県立医療大学保健医療学部

Analysis of pacing on men's and women's 20 km race walking event in world elite competitions from 2000 to 2010

Koji HOGA<sup>1)</sup>

1) School of Medical Health, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

### Abstract

**Purpose:** To investigate pacing of men's and women's 20 km race walking event on world elite competitions from 2000 to 2010. **Methods:** data of intermediate time at every 5 km for athletes of top twenty on both men's and women's 20km race walking event were collected from official results of each world elite competition. The relative intermediate speed was calculated by dividing the average speed of every 5 km split time by the average speed of the first place athlete. This relative intermediate speed data was grouped into five groups with every four places of final results. **Results:** Mean relative walking speed of every 5 km for the highest ranked group significantly increased from the start to the middle of race and kept to the finish. In other lower ranked groups, mean relative walking speed of every 5 km significantly decreased from the middle of race.

### I 緒言

Abbiss and Laursen (2008) は陸上競技ほか様々な計測競技における距離の異なる種目のペース配分戦略に関する研究を総説している。その結果、2分以上、4時間以内の種目では平均的なペース配分戦略が採用される傾向にあり、その根拠を明確に説明できるような研究は未だ見られないものの、レース終盤までパワー発揮を維持するためには、レース全体にわたって平均的なペースを維持できるようなペース戦略が有利であると報告している (de Koning et al., 1999; Thompson et al., 2003)。

このようなペース戦略に関する研究はタイムトライアルなどの単独走行種目が公式種目として実施される自転車競技や、セパレートレーンのみで全ての種目が行われるスピードスケート競技、競泳競技でモデルパターンの抽出を目指した研究が数多く行われている (van Ingen Schenau et al., 1990 ;

Foster et al., 1993 ; de Koning et al., 1999 ; Atkinson and Brunskill, 2000 ; Padilla et al., 2000 ; Perry et al., 2003 ; Thompson et al., 2003)。我が国では陸上競技以外では競泳短距離種目で研究が行われ (若吉と野村, 1989 生田ほか, 2002 ; 岩原, 2009), 近年ではスピードスケート競技でいくつかの研究がみられる (結城ほか, 1999 ; 湯田ほか, 2001)。

陸上競技では中長距離種目に関するものが早くからみられたが (金原ほか, 1971 ; 有吉, 1972), 近年では短距離 (持田ほか, 2008 ; 松尾ほか, 2010) から中長距離 (榎本ほか, 2005 ; 門野ほか, 2008), 障害走 (金子と山田, 2006 ; 柴山ほか, 2010) まで、ペース戦略について数多くの研究がみられる。しかし、有吉 (1994) のものを除いてそのいずれも長くても30分前後の時間で競われる種目に関するものであり、1時間以上の時間で競われる種目、五輪実施種目でいえば男女マラソン、男女20 kmW、男子

50 kmW についてペース戦略を分析した研究は非常に少ない。

Abbiss and Laursen (2008) は、フルマラソンにおいてレース序盤でのオーバーペースによる失敗を例に挙げ、長時間にわたる種目ではペース戦略が重要な要因となるとしている。そのため、1 時間以上の時間で競われる陸上競技競歩種目におけるペース戦略について分析することは、競技者が持っている能力を最大限に引き出し、高いパフォーマンスを達成するために役立つと考えられる。法元 (2010) は、2000 年から 2009 年までの世界大会 50 kmW でのペース配分について分析し、最終順位によるペース配分の違いについて報告している。同様に男女 20 kmW について分析することは、世界大会におけるレースの実態をとらえることに役立つであろう。

そこで、本研究では男女 20 kmW の世界大会における 5 km ごとのスプリットタイムを分析し、20 kmW のレースパターンに関する基礎的知見を得ることを目的とした。

## II 方法

### 1. データ収集

オリンピック、世界陸上競技選手権大会、ワールドカップ競歩を世界大会とし、2000 年から 2010 年まで実施されたそれぞれの競技会における男女 20 kmW において 20 位以内でフィニッシュした全競技者の記録を分析対象とした (表 1)。

データ収集に際しては、各大会の公式結果に掲載された各競技会の 5 km ごとのラップタイム (通過時間) をデータ根拠として 5 km ごとのスプリットタイムを算出した。また、対象期間内に実施されたオリンピックについては、2 km ごとのラップタイムの掲載であったため、4 km と 6 km のラップタイム平均値を 5 km 地点のラップタイム、14 km と 16 km のラップタイム平均値を 15 km のラップタイムとして出場全競技者の 5 km ごとのラップタイムデータよりスプリットタイムを算出した。

### 2. データ処理

分析対象とした各競技者のスプリットタイムから区間平均速度を算出し、20 位までの競技者を 4 位ごとに Rank-A から Rank-E まで 52 名ごとの 5 つの群に分類して各群の区間平均速度のレースごとの平均値と標準偏差を算出した。また、全ての競技会は競技規則に定められた 1 周 2km の周回コースで実施されたが、表 1 に示した通り競技会によって

Table 1 Men's and women's 20 km race walking events in world elite competitions from 2000 to 2010, which was analysed in the present study.

Year	Place	Category	Record of Winner		Judge
			Men's 20km	Women's 20km	Summary
2000	Sydney	OG	1:18:59	1:29:05	
2001	Edmonton	WCH	1:20:31	1:27:48	
2002	Turin	WCP	1:21:26	1:28:55	
2003	Paris	WCH	1:17:21	1:26:52	*
2004	Naumburg	WCP	1:18:42	1:27:24	
2004	Athens	OG	1:19:40	1:29:12	*
2005	Helsinki	WCH	1:18:35	1:25:41	*
2006	LaCoruña	WCP	1:18:31	1:26:27	*
2007	Osaka	WCH	1:22:20	1:30:09	*
2008	Cheboxary	WCP	1:18:15	1:25:42	
2008	Beijing	OG	1:19:01	1:26:31	*
2009	Berlin	WCH	1:18:41	1:28:09	*
2010	Chihuahua	WCP	1:22:35	1:31:55	*

OG: Olympic games, WCH: World championships, WCP: World cup

優勝記録が大きく異なっているように競技水準の違いがみられた。そこで、男女ごとの全競技会を通じた傾向の検討に際して競技会ごとの競技水準の違いを棄却するために、各レースの優勝記録の平均スピードで全競技者の記録の平均スピードを除することによって相対速度を算出した。

同様に、優勝記録の平均スピードで区間平均速度を除することによって、相対区間平均速度を算出し、4 位ごとに Rank-A から Rank-E までの 5 つの群の男女ごと全レースの平均値を算出した。

ペース変化に対する競歩審判員による歩型判定の参考とするために、公式競歩審判集計表が入手可能であった 8 大会については (表 1)、集計表に記載された注意および赤カードの回数と時間を各群で集計し、平均値を算出した。

### 3. 統計処理

統計処理は全て統計解析ソフト SPSS (IBM SPSS Statistics, version 19) を用いて行い、相対区間平均速度の区間ごとの変化と群間の差異を検定するために、反復測定による二元配置の分析を行った。また、各群の相対区間平均速度、区間平均速度および群間の赤カード枚数、赤カード時間の違いの検定は一元配置分散分析を用いた。いずれの場合にも主効果が認められた場合には、その後の検定に Bonferroni の多重比較を用いて検定を行い、有意水準はいずれの場合も 5% 未満とした。

### Ⅲ 結果

#### 1. 競技記録と順位

本研究で分析対象とした男子 20 kmW の 13 レース全ての平均優勝記録は 1 時間 19 分 35 秒，標準偏差は 1 分 38 秒であった。また，13 レース中の最低優勝記録は 1 時間 22 分 35 秒（2010 年ワールドカップ）で最高優勝記録（1 時間 17 分 21 秒，2003 年世界選手権）とは 5 分弱の差があり，最低優勝記録が対象全レースで何位に相当するかをみたところ最低で 29 位（2008 年ワールドカップ）に相当する記録であった。

また，女子 20 kmW についてみると，13 レース全ての平均優勝記録は 1 時間 27 分 59 秒，標準偏差は 1 分 50 秒であった。また，13 レース中の最低優勝記録は 1 時間 31 分 55 秒（2010 年ワールドカップ）で最高優勝記録（1 時間 25 分 11 秒，2005 年世界選手権）とは 7 分弱の差があり，最低優勝記録が対象全レースで何位に相当するかをみたところ最低で 28 位（2004 年ワールドカップ）に相当する記録であった。

以上のように，レースごとに異なる条件が競技記録へ大きく影響していると考えられることから，順位別の分類によって記録を集計した場合，レースごとの条件が集計結果に大きく影響すると考えられる。そこで，すべての順位と競技記録，また，レースごとの優勝記録平均スピードで除した値（相対スピード）と順位の間について調べた。その結果，男女 20 kmW の両方で順位と競技記録との間に有意な正の相関がみられた（男子 20 kmW:  $r = 0.652$ ,  $p < 0.05$ ,  $N = 260$ ; 女子 20 kmW:  $r = 0.664$ ,  $p < 0.05$ ,  $N = 260$ ）。また，順位と相対スピードの間にも有意な高い負の相関がみられた（男子 20 kmW:  $r = -0.913$ ,  $p < 0.05$ ,  $N = 260$ ; 女子 20 kmW:  $r = -0.816$ ,  $p < 0.05$ ,  $N = 260$ ）。

#### 2. 区間スピード変化

図 1 は順位別分類の各群の 5 km ごとの相対区間平均スピードの変化を男女別に示したものである。

男子 20 kmW の 5 km ごとの相対区間平均スピードについては，Rank-A 群はレース序盤 0 - 5 km 区間で  $0.98 \pm 0.01$  であったが，レース後半の 10 - 15 km 区間までに  $1.00 \pm 0.01$  まで増加した後，同じ値を維持してフィニッシュしていた。Rank-B 群は 0 - 5 km 区間から 5 - 10 km 区間まで  $0.99 \pm 0.01$  まで増加していたが，その後，10 - 15 km 区間まで同じ値を維持して， $0.97 \pm 0.02$  まで減少してフィ

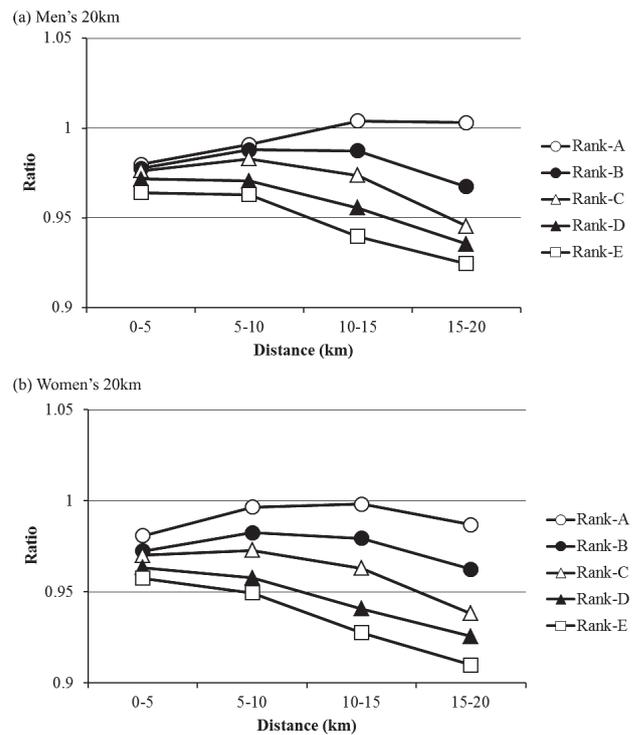


Figure 1 Change of averaged speed ratios in every 5km to the averaged speed of the first place competitors' records in men's 20 km (a) and women's 20 km (b) races for the mean value of five groups, grouped by rank in competition.

ニッシュしていた。Rank-C 群も 5 - 10 km 区間まで増加していたが，その後減少してフィニッシュしていた。Rank-D, E 群は 5 - 10 km 区間まで維持していたが，その後減少していた。また，群間 ( $f = 268.0$ ,  $p < 0.05$ ) および区間 ( $f = 90.2$ ,  $p < 0.05$ ) の両方で有意な主効果がみられた。多重比較の結果，群間では全ての群間で有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )，区間では 0 - 5 km 区間と 10 - 15 km 区間の間を除いて全ての区間間で有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

女子 20 kmW の 5 km ごとの相対区間平均スピードについては，Rank-A 群はレース序盤 0 - 5 km 区間で  $0.98 \pm 0.02$  であったが，5 - 10 km 区間まで  $1.00 \pm 0.01$  まで増加し，レース後半の 10 - 15 km 区間まで同じ値を維持した後， $0.99 \pm 0.02$  まで減少してフィニッシュしていた。Rank-B 群も A 群と同様の変化を示し，0 - 5 km 区間から 5 - 10 km 区間まで  $0.97 \pm 0.02$  から  $0.98 \pm 0.02$  まで増加していたが，その後，10 - 15 km 区間まで同じ値を維持して， $0.96 \pm 0.02$  まで減少してフィニッシュしていた。Rank-C 群は 0 - 5 km 区間から 5 - 10 km 区間まで同じ値を維持していたが，その後減少して

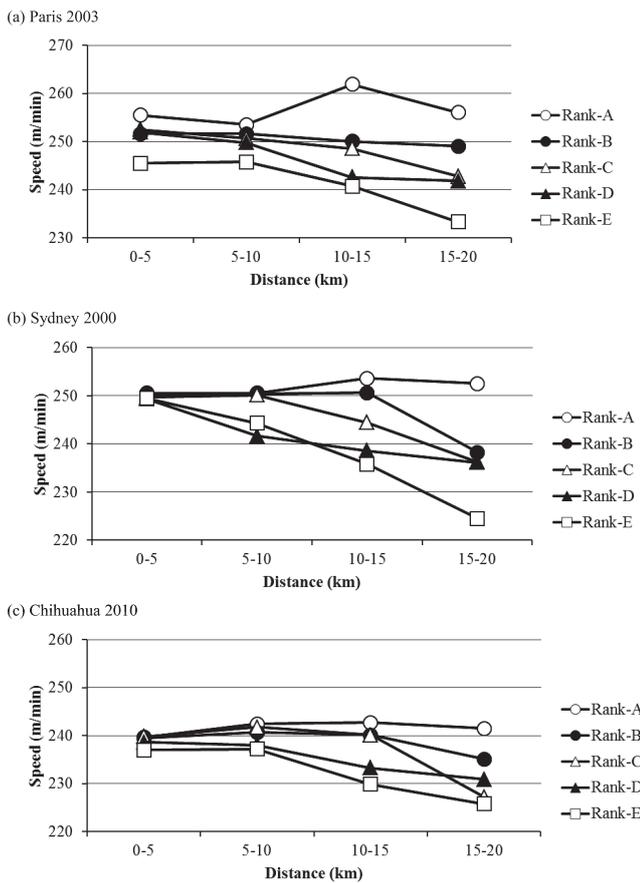


Figure 2 Change of averaged speed in every 5 km interval in men's 20 km of World Championships in Paris, 2003 (a), Olympic Games in Sydney, 2000 (b), and World Race Walking Cup in Chihuahua, 2010 (c) for the mean value of five groups, grouped by rank in each race.

フィニッシュしていた。Rank-D, E群は0-5 km区間から減少してフィニッシュしていた。また、群間 ( $f = 113.8, p < 0.05$ ) および区間 ( $f = 87.3, p < 0.05$ ) の両方で有意な主効果がみられた。多重比較の結果、群間では全ての群間で有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、区間でも全ての区間間で有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

図2は、分析対象となった男子20kmWレースのうち、優勝記録の最も高かった世界選手権パリ大会(パリ, 図2a)、優勝記録が対象レースの中央値であったシドニーオリンピック(シドニー, 図2b)、優勝記録が最も低かったワールドカップチワワ大会(チワワ, 図2c)の3つの各群の5 kmごとの区間平均速度の変化を示したものである。

パリの区間平均速度変化についてみると、群間 ( $f = 61.7, p < 0.05$ ) および区間 ( $f = 4.6, p < 0.05$ ) の両方で有意な主効果がみられた。多重比較の結果、群間ではRank-BとCの間と、Rank-Cと

Dの間を除く全ての群間で有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、区間では0-5 km区間と15-20 km区間の間のみ有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

シドニーについては、群間 ( $f = 67.5, p < 0.05$ ) および区間 ( $f = 68.9, p < 0.05$ ) の両方で有意な主効果がみられた。多重比較の結果、群間ではRank-BとCの間と、Rank-DとEの間を除く全ての群間で有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、区間ではすべての区間間で有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

チワワについては、群間 ( $f = 54.2, p < 0.05$ ) および区間 ( $f = 14.6, p < 0.05$ ) の両方で有意な主効果がみられた。多重比較の結果、群間ではRank-BとCの間と、Rank-CとDの間を除く全ての群間で有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、区間では0-5 km区間と5-10 km区間の間、および0-5 km区間と10-15 km区間の間を除く全ての区間で有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

図3は、分析対象となった女子20kmWレースのうち、優勝記録の最も高かった世界選手権ヘルシンキ大会(ヘルシンキ, 図3a)、優勝記録が対象レースの中央値であった世界選手権エドモントン大会(エドモントン, 図3b)、優勝記録が最も低かったワールドカップチワワ大会(チワワ, 図3c)の3つの各群の5 kmごとの平均速度の変化を示したものである。

ヘルシンキの区間平均速度変化についてみると、群間 ( $f = 27.9, p < 0.05$ ) および区間 ( $f = 21.3, p < 0.05$ ) の両方で有意な主効果がみられた。多重比較の結果、群間ではRank-BとCの間と、Rank-CとDの間、Rank-DとEの間を除く全ての群間で有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、区間では0-5 km区間と5-10 km区間の間を除く全ての区間で有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

エドモントンについては、群間 ( $f = 77.4, p < 0.05$ ) および区間 ( $f = 21.0, p < 0.05$ ) の両方で有意な主効果がみられた。多重比較の結果、群間ではRank-BとCの間と、Rank-DとEの間を除く全ての群間で有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、区間では0-5 km区間と5-10 km区間の間、5-10 km区間と10-15 km区間の間を除く全ての区間で有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

チワワについては、群間 ( $f = 50.3, p < 0.05$ ) および区間 ( $f = 6.9, p < 0.05$ ) の両方で有意な主効果がみられた。多重比較の結果、群間ではRank-BとCの間と、Rank-DとEの間を除く全ての群間で有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、区間では0-5 km区間と5-10 km区間の間、および0-5

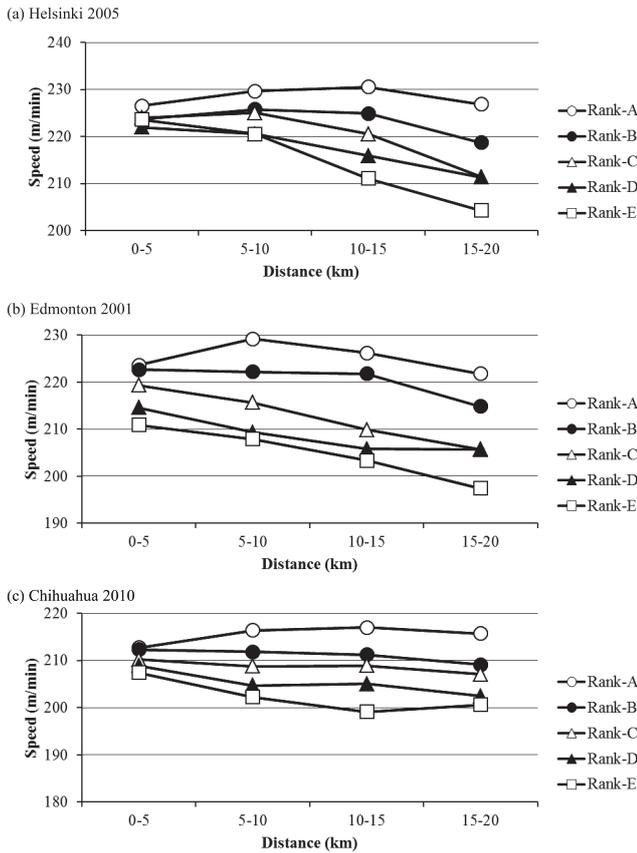


Figure 3 Change of averaged speed in every 5 km interval in women's 20 km of World Championships in Helsinki, 2005 (a), in Edmonton, 2001 (b), and World Race Walking Cup in Chihuahua, 2010 (c) for the mean value of five groups, grouped by rank in each race.

km 区間と 10 - 15 km 区間の間, 0 - 5 km 区間と 15 - 20 km 区間の間のみで有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ).

### 3. 歩型判定

表 2 は本研究で分析対象とした 13 大会のうち, 競歩審判集計表を入手できた 8 大会における男子 20kmW の 20 位以内の選手に出された赤カードの枚数および赤カードが出されたスタートからの時間について, 順位で分類した各群の平均値と標準偏差で示したものである. 女子 20kmW は表 3 に示した.

男子 20 kmW についてみると, 赤カードの回数については群間に有意な差が見られなかった ( $f = 1.2$ , n. s.). しかし, 赤カードの時間については群間に有意な差がみられ ( $f = 3.5$ ,  $p < 0.05$ ), 多重比較の結果, Rank-A と E の間でのみ有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ).

女子 20 kmW についてみると, 赤カードの回数に

Table 2 Averaged number and time of Red Card of five groups for men's 20kmW, grouped by rank in competition

Group	Number of Red Card Mean +/- SD	Time of Red Card (min) Mean +/- SD
Rank-A (N = 32) : 1 <sup>st</sup> - 4 <sup>th</sup> places	0.59 +/- 0.67	64.5 +/- 10.8
Rank-B (N = 32) : 5 <sup>th</sup> - 8 <sup>th</sup> places	0.63 +/- 0.83	51.8 +/- 13.1
Rank-C (N = 32) : 9 <sup>th</sup> - 12 <sup>th</sup> places	0.75 +/- 0.84	53.7 +/- 16.9
Rank-D (N = 32) : 13 <sup>th</sup> - 16 <sup>th</sup> places	0.47 +/- 0.62	52.4 +/- 18.9
Rank-E (N = 32) : 17 <sup>th</sup> - 20 <sup>th</sup> places	0.41 +/- 0.56	43.1 +/- 15.8

Table 3 Averaged number and time of Red Card of five groups for women's 20kmW, grouped by rank in competition

Group	Number of Red Card Mean +/- SD	Time of Red Card (min) Mean +/- SD
Rank-A (N = 32) : 1 <sup>st</sup> - 4 <sup>th</sup> places	0.66 +/- 0.65	62.1 +/- 21.8
Rank-B (N = 32) : 5 <sup>th</sup> - 8 <sup>th</sup> places	0.81 +/- 0.85	52.3 +/- 15.6
Rank-C (N = 32) : 9 <sup>th</sup> - 12 <sup>th</sup> places	0.53 +/- 0.67	53.5 +/- 15.9
Rank-D (N = 32) : 13 <sup>th</sup> - 16 <sup>th</sup> places	0.41 +/- 0.66	51.8 +/- 14.5
Rank-E (N = 32) : 17 <sup>th</sup> - 20 <sup>th</sup> places	0.41 +/- 0.71	45.8 +/- 15.0

については群間に有意な差が見られなかった ( $f = 1.9$ , n. s.). しかし, 赤カードの時間については群間に有意な差がみられ ( $f = 3.5$ ,  $p < 0.05$ ), 多重比較の結果, Rank-A と E の間でのみ有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ).

## IV 考察

### 1. 競技記録, 相対平均スピードと順位

男女 20 kmW とともに順位と競技記録との間に有意な相関がみられたことは, 気象条件等のレースごとの条件の競技記録への影響は分析対象レース全体でみた場合に大きくはなかったと考えられる. しかし, 順位と相対平均スピードとの間の相関係数の絶対値の方が高かったことから, それぞれのレースごとの順位の違いを検討するにあたっては, 相対値の方が適していると考えられ, 分析対象全体の検討は相対値で行い, 個々のレースの例を実際の平均スピードの変化から検討するものとする.

### 2. スプリットタイム変化

図 1a に示した男子 20kmW の相対区間平均スピード変化と図 2 に示した 3 つのレースの区間平均ス

ピードの変化の群間の差についてみると、多重比較の結果ですべてに共通していた群間の差は Rank-A と B の間のみであった。区間の間の差については、すべてに共通して有意な差がみられたのは 0 - 5 km 区間と 15 - 20 km 区間の間のみであった。

ここで、Rank-A と B のそれぞれ全レースの相対区間平均スピード変化について一元配置分散分析を行ったところ、ともに有意な差がみられ (Rank-A :  $f = 26.3$ ,  $p < 0.05$ ; Rank-B :  $f = 20.6$ ,  $p < 0.05$ ), Rank-A では 10 - 15 km 区間と 15 - 20 km 区間の間を除くすべての区間の間で有意な差がみられ、Rank-B では 5 - 10 km 区間と 10 - 15 km 区間の間を除くすべての区間の間で有意な差がみられた。また、Rank-C 以下のグループも有意に減少していた ( $p < 0.05$ )。以上の結果をまとめると、男子 20kmW では、4 位以上に入った競技者と 5 位以下でレースパターンに有意な差がみられ、4 位以上ではレース序盤から終盤にかけてスピードが増加するようなパターンを、5 位以下では減少するようなパターンであったといえる。

女子 20kmW についても図 1b に示した相対区間平均スピード変化と図 3 に示した 3 つのレースの区間平均スピードの変化の群間の差をみると、多重比較の結果ですべてに共通していた群間の差は Rank-A と B の間のみであった。区間の間の差については、すべてに共通して有意な差がみられたのは 0 - 5 km 区間と 10 - 15 km 区間の間、0 - 5 km 区間と 15 - 20 km 区間の間のみのみであった。

ここで、男子 20kmW と同様に女子 20kmW についても Rank-A と B のそれぞれ全レースの相対区間平均スピード変化の一元配置分散分析を行ったところ、ともに有意な差がみられ (Rank-A :  $f = 13.1$ ,  $p < 0.05$ ; Rank-B :  $f = 12.2$ ,  $p < 0.05$ ), Rank-A では 0 - 5 km 区間と 15 - 20 km 区間の間および 5 - 10 km 区間と 10 - 15 km 区間の間を除くすべての区間の間で有意な差がみられ、Rank-B では 0 - 5 km 区間と 10 - 15 km 区間の間および 5 - 10 km 区間と 10 - 15 km 区間の間を除くすべての区間の間で有意な差がみられた。また、Rank-C 以下のグループも有意に減少していた ( $p < 0.05$ )。以上の結果をまとめると、女子 20kmW でも男子 20kmW と同様に 4 位以上に入った競技者と 5 位以下でレースパターンに有意な差がみられ、4 位以上ではレース序盤から終盤にかけてスピードが増加するようなパターンであったといえる。

以上に示したように、男女 20 kmW で上位に入った選手は、終盤までスピードを増加させるという

パターンを示したが、これらの選手では、レース前半ではエネルギーを節約するために Abbiss and Laursen (2008) が生理的エネルギーの節約が必要な種目に多く見られるとした Negative Pacing 戦略をとっていたと考えられる。

それに対して、本研究で順位が低かった競技者はレース後半でスピードを落としている。Abbiss and Laursen (2008) は、4 時間を超える長時間のレースでは多くの競技者がエネルギーの枯渇によって、レース序盤にスピードが高く、フィニッシュに向けてスピードを落とす Positive Pacing のパターンとなっていると報告しているが、本研究で分析対象とした選手は男子で 1 時間 20 分前後、女子で 1 時間 30 分前後であり、ウルトラマラソン等よりも短い競技時間である。Arcelli (1996) はフルマラソンと 50 kmW のエネルギー代謝特性についても報告し、フルマラソンと 50 kmW とでは競技時間と運動強度を考慮した場合、体内に貯蔵し得るグリコーゲンのみではエネルギー源は枯渇し易く、遊離脂肪酸の活用が高いパフォーマンスの発揮には重要であることを述べている。また、Arcelli (1996) は、Arcelli (1976) の方法によって陸上競技トラック種目のフラット種目と競歩種目の世界記録におけるエネルギー (酸素) 需要量を推定し、20 kmW はスタート時に体内に保持していたグリコーゲンのみでエネルギー需要を賄える競技の上限であるとしている。遊離脂肪酸をエネルギー源とした発揮パワーはグリコーゲンよりも低くなることから、後半での著しいスピードダウンは、フルマラソンと同様に (Abbiss and Laursen, 2008), 20 kmW でもグリコーゲンの不足によるものと考えられることができる。

本研究における上位に入った被験者は、レース前半でエネルギー源の枯渇を避けるために徐々にスピードアップする戦略をとり、さらに、そのスピードが遊離脂肪酸の有効利用などエネルギーの代謝特性に見合ったものであったことで、グリコーゲン不足による大きなペースダウンを避けることができていたと考えられる。反対に、5 位以下の選手は、終盤の落ち込みが大きく、ペース設定が適切でなかったことがうかがわれる。

Padilla et al. (2000) が、スペインにおける自転車の 1 時間走行世界記録達成時のペース設定に関する事例を報告し、20 日間の準備期間において、複数回の血中乳酸血中濃度計測と走行フォームの空気抵抗計測を行い、世界記録達成に最適な走行フォームと走行スピードを設定してイーブンペース設定によって世界記録を達成したと述べている。ま

た, Marín (1990) は, 世界一流を含むスペイン代表の競技者がトレーニング期間中の複数回の血中乳酸濃度測定とコンコーニテストとを行うことで, 最適ペースを決定したことを報告している.

図 1 から 3 までに示したように, 順位の低かった競技者の場合はレース終盤のペースの落ち込みが多かったことで低いパフォーマンスとなっていたことから, こういった競技者では, レース序盤のペース戦略が適切でなかったことを示している. したがって, レースまでの準備期間において客観的な指標を最適な設定ペースを検討する作業を行うことは, レースにおいて高いパフォーマンスを達成するために重要であろう. さらに, レースでのペース設定だけでなく, このような指標はトレーニング負荷の設定にも用いられ, Marín(1990), Archelli (1996) や DaMilano et al. (2004) は個々の競技者のエネルギー代謝特性に関するこういった指標を用いて 50kmW のトレーニング負荷の管理にも用いられていることを報告しており, 20 kmW における高い競技パフォーマンスの達成には客観的指標によるエネルギー代謝特性の把握が有効であることを示唆している.

また, 表 2 および 3 に示した通り競歩審判集計表を入手できた 8 大会の判定結果を調べたところ, 本大会で分析対象とした 20 位以内の選手に出された赤カードの回数は群間で有意な差が見られなかった. また, 赤カードの出された時間には男女とも Rank-A - E 群間で有意な差がみられ, およそ 15 km 前後を通過する時間で有意な差がみられたことから, 4 位以上に入った選手と 16 位以下の選手との差に判定の影響もあったと考えることができよう. しかし, 全体の相対区間平均スピードは Rank-A - E 群間だけでなく他の群間でも有意な差がみられたにもかかわらず, 赤カードの平均時間では有意な差は他の群間ではみられなかったことから, 赤カードを受けるタイミングが群間のスピード変化の違いに影響したとは考えにくいであろう.

## V まとめ

本研究の目的は, 男女 20 kmW の世界大会における 5 km ごとのスプリットタイムを分析し, 20 kmW のレースパターンに関する基礎的知見を得ることであった.

本研究における分析によって得られた結果をまとめると以下ようになる.

各競技会における順位は, 競技記録よりも相対平

均スピードとの間の方が有意な高い相関がみられた.

5 km ごとの相対平均スピード変化の 4 位ごとのグループの平均値は, 4 位までのグループでレース序盤から終盤にかけて増加し, 5 位以下のグループではレース終盤まで減少するような変化をしていた.

以上の結果から, 世界大会で高い競技成績を達成するためには, レース終盤までスピードを増加できるような適切なペース設定でのレースが重要であると考えられ, そのようなペースを検討する作業を行うことは, レースにおいて高いパフォーマンスを達成するために重要であると考えられる.

## 文献

- Abbiss, C.R. and Laursen, P.B. (2008) Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine*, 38 (3) : 239-252.
- Arcelli, E. (1976) Spesa energetica nelle varie prove di corsa piana. *Atletica Leggera*, 197 : 43-44.
- Arcelli, E. (1996) Marathon and 50km walk race: physiology, diet and training. *New Studies in Athletics*, 11 (4) : 51-58.
- 有吉正博 (1972) 中距離走のペースに関する実験的研究. 東海大学紀要体育学部第 2 輯 : 43-54.
- 有吉正博 (1994) マラソンにおけるスピード, 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—第 3 回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書—. pp113-120.
- Atkinson, G. and Brunskill, A. (2000) Pacing strategies during a cycling time trial with simulated headwinds and tailwinds. *Ergonomics*, 43 (10) : 1449-1460.
- Billat, V. (2005) Current perspectives on performance improvement in the marathon: From universalization to training optimisation. *New Studies in Athletics*, 20 (3) : 21-39.
- DaMilano, S., La Torre, A., DaMilano, M. and DaMilano, G. (2004) Training methodology and examples in race walking carrying out for Japanese Association of Athletics Federations [CD-ROM, Italian], Scuola di

- Marcha e degli Sport di Saluzzo, Saluzzo, CN, Italy.
- de Koning, J.J., Bobbert, M.F., and Foster, C. (1999) Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2(3): 266-277.
- 榎本靖士, 阿江通良, 森丘保典, 杉田正明, 松尾彰文 (2005) 世界と日本一流男子 800 m 選手のレースパターンとの比較, *陸上競技研究紀要*, 1: 16-22.
- Foster, C., Snyder, A.C., Thompson, N.N., Green, M.A., Foley, M. and Schrage, M., (1993) Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25 (3): 383-388.
- 生田泰志, 宮下充正, 野村照夫 (2002) 第 9 回世界水泳選手権大会福岡 2001 における競泳のレース分析, *トレーニング科学*, 13(6): 167-172.
- 岩原文彦 (2009) レース分析から見えてくる泳法分析とその改善, *バイオメカニクス研究*, 13(1): 24-30.
- 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 800m 走者のレースパターン. *体育学研究*, 53 (2): 247-263.
- 金子公宏, 山田 洋 (2006) 女子 100 m ハードル選手のレースパターンと体力特性からみた今後の課題. *スプリント研究*, 16: 51-51.
- 金原 勇, 高松 薫, 辺土名博司, 阿江通良 (1971): ハイスピードの持続能力が高まるペースとフォームに関する実験的研究. 昭和 46 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. II, ハイスピード持続能力の解明: 30-46.
- Marin, J. (1990) Controlling the development of training in race walkers. *New Studies in Athletics*, 3: 49-53.
- 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 杉田正明, 土江寛裕, 阿江通良 (2010) 100 m のレース分析. 第 11 回世界陸上競技選手権大会 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟, 東京: pp5-16.
- 持田 尚 (2008) 短距離 世界と国内トップ女子 400 m スプリンターのレースパターン. *陸上競技学会誌*, (6): 14-20.
- Padilla, S., Mujika, I., Angulo, F., and Goiriena, J.J. (2000) Scientific approach to the 1-h cycling world record: a case study. *Journal of Applied Physiology*, 89: 1522-1527.
- Perry, S. Grappe, F., Girard, A., Bringard, A., Gros Lambert, A., Bertucci, W. and Rouillon, J.D. (2003) Physiological and metabolic responses of triathletes to a simulated 30-min time-trial in cycling at self-selected intensity. *International Journal of Sports Medicine*, 24(2): 138-143.
- 柴山一仁, 川上小百合, 谷川 聡 (2010) 2007 年世界陸上競技選手権大阪大会における男子 110 m ハードル走および女子 100 m ハードル走レースの時間分析. 第 11 回世界陸上競技選手権大会 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟, 東京: pp76-85.
- Thompson, K.G., MacLaren, D.P., Lees, A., and Atkinson, G. (2003) The effect of even, positive and negative pacing on metabolic, kinematic and temporal variables during breaststroke swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 88: 438-443.
- van Ingen Schenau, G.J., de Koning, J.J., and de Groot, G. (1990) A simulation of speed skating performances based on a power equation. *Medicine and Science in Sports and Exercises*, 22(5): 718-728.
- 若吉浩二・野村照夫 (1989) 競泳のレース分析. *体育の科学*, 39(7): 518-526.
- 湯田 淳・結城匡啓・藤井範久・阿江通良 (2002) スピードスケート 5,000m 競技における世界一流長距離選手のレースペースの分析. *バイオメカニクス研究*, 6 (2): 116-124.
- 結城匡啓・平野敬靖・森丘保典・阿江通良 (1999) スピードスケート 1000m 競技における世界一流男子選手のレースパターンとの分析. *バイオメカニクス研究*, 3 (4): 270-276.