

第104回日本陸上競技選手権大会（2021年）女子20km競歩における動作分析 - レース前後半での動作変容について -

佐藤 高嶺^{1) 2)} 大沼 勇人³⁾ 高橋 直己⁴⁾ 三浦 康二⁵⁾

1) 山形県上山市教育委員会 2) 筑波大学大学院 3) 関西福祉大学
4) 東京学芸大学大学院 5) 日本スポーツ振興センター

1 目的

2020年東京オリンピック女子20km競歩における出場可能人数3名のうち1名を残したまま、同大会はCOVID-19の影響により2021年へと延期された。参加標準記録に近い自己記録を持つ、河添香織選手（自衛隊体育学校）、淵瀬真寿美選手（建装工業）を中心として最後の1名が争われるかたちとなり、2021年開催の第104回日本陸上競技選手権大会での順位が代表選考において重要とされた。本報告は同大会女子20km競歩における代表内定者2名と代表争いの中心となった2名の計4名のレース前半と後半におけるキネマティクスの変容の変化に関する結果から、試合における動作の変容が競技結果へ及ぼした影響を示すことを目的とした。

2 方法

2.1 データ収集

第104回日本陸上競技選手権大会女子20km競歩における1周1kmの周回コース上に、3次元動作分析を行うための幅3.0m、長さ4.5m、高さ2.0mの分析空間を1箇所設置し、3次元DLT法を用いるために2台のハイスピードカメラ（Lumix DMC-FZ300, Panasonic, Japan）を用いて、サンプリングレート120fpsにて周回ごとに動作撮影を行った。

2.2 データ処理

分析対象者は本レース時点ですでに東京オリンピック女子20kmへの派遣が内定していた岡田久美子選手（ビックカメラ）、藤井菜々子選手（エディオン）および同種目への参加標準記録に自己記録が近く、残り1名の内定争いの中心となった河添香織選手（自衛隊体育学校）、淵瀬真寿美選手（建装工業）の計4名とした。競歩は審判により、競歩の定義に従って歩いているか目視によって判定される（日本陸上競技連盟, 2021）。定義に完全に従っていると審判が確信できない場合にはイエローパドルが競技者へ示され、定義に違反していると判断された場合にはレッドカードが審判員主任に渡される。本レースは3名の審判からレッドカードが渡された時点で2分間ペナルティゾーンにとどまらなくてはならず、4名以上の審判からレッドカードが渡された時点で失格とされた。今回、河添選手はレース終盤に4名以上からレッドカードが渡され、失格となったため、レース序盤とレース中盤、その他の3名についてはレース序盤とレース終盤のそれぞれにおいて身体の各分析点が十分に確認できる地点を分析地点とした。4名の各分析地点および競技成績は表1に示した。

2台のカメラから得られた各地点での映像を右足、もしくは左足の離地直前のコマ数を合わせることで同期した。その後、左右どちらかの足の離地直前の10コマ前から同側の離地直前までの1歩行サ

表1. 分析対象者の競技結果と分析地点

対象者	順位	記録	分析地点
藤井菜々子（エディオン）	1位	1時間30分45秒	2.5km/19.5km
岡田久美子（ビックカメラ）	2位	1時間31分51秒	1.5km/19.5km
淵瀬真寿美（建装工業）	3位	1時間36分49秒	1.5km/18.5km
河添香織（自衛隊体育学校）		DQ K1*	3.5km/13.5km

* K1:ロス・オブ・コンタクト

イクル（2歩）とそれに続く反対足の接地直後の10コマ後までの身体分析点25点およびコントロールポイントを動作解析ソフト（Frame-DIAS 6, Q' sfix 社製, Japan）を用いて、60Hzにてデジタル化した。得られた身体分析点の3次元座標値を3次元DLT法によって求め、バターワースデジタルフィルタを用いて平滑化した後、阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて、全身の身体重心位置を算出した。

2.3 分析項目

(1) 区間タイム

試合の公式リザルトから取得した各分析者の5km毎の区間タイム。

(2) ストライド

左右どちらかの足の離地直前から同側の離地直前（1サイクル）における重心の水平前後方向変位を2等分したもの。

(3) ピッチ

1サイクルに要した時間を2等分し、その値の逆数を1分間あたりの歩数に換算したもの。

(4) 歩行スピード

ストライドとピッチの積を1kmあたりの所要時間に換算したもの。

(5) 支持距離、非支持距離

本来、競歩は両足が同時に地面から離れることなく歩く競技であるが（日本陸上競技連盟, 2021）、今回、全ての分析対象者において両足が同時に地面から離れる局面が見られた。そのため、どちらかの足が地面と接している局面を支持期、両足が地面と離れている局面を非支持期とし、1サイクル中の支持期および非支持期

の水平前後方向変位をそれぞれ2等分することで、支持距離、非支持距離とした。

(6) 支持時間、非支持時間

1サイクル中の支持期および非支持期の時間をそれぞれ2等分することで、支持時間、非支持時間とした。

(7) 接地位置から身体重心までの距離

左右の接地時の身体重心から接地足側の踵点までの水平前後方向距離を平均したもの。

(8) 離地位置からつま先までの距離

左右の離地時の離地足側の足尖点から身体重心までの水平前後方向距離を平均したもの。

(9) 回復時間

離地から同側の接地までを歩行サイクルにおける回復期とし、左右の回復期に要した時間を平均したもの。

(10) 離地時身体重心速度ベクトル角

左右の足部離地時の身体重心速度合成ベクトルと水平面が成す角度を平均したもの。水平面より上を正の角度、水平面より下を負の角度とした。

(11) 離地時の膝関節角度

離地時の右大腿部に対する右膝関節屈曲伸展角度。

(12) 離地時の股関節角度

離地時の下脛部に対する右股関節屈曲伸展角度。

(13) 右回復脚股関節角速度

1サイクル中の右回復脚における股関節角速度。

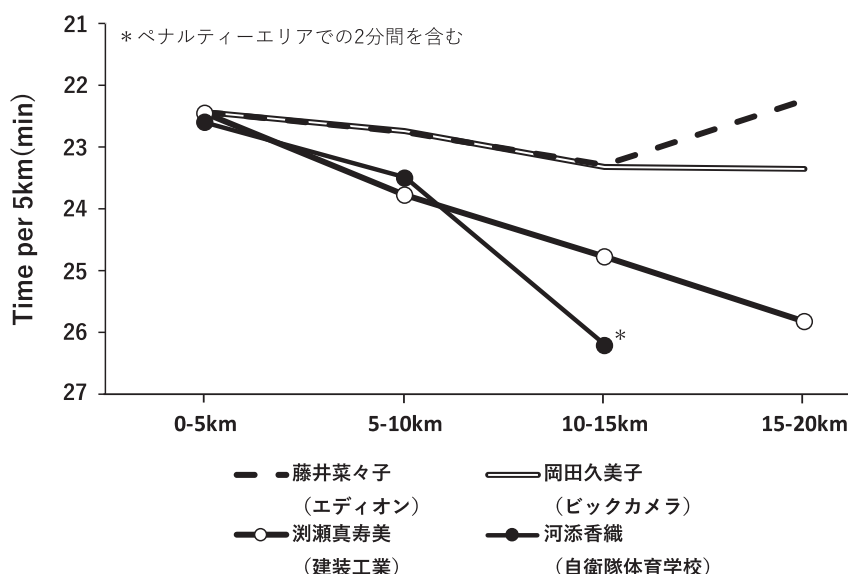


図1. 各分析対象者の5km毎の区間タイム

表 2. 各分析対象者におけるキネマティクスパラメータに関する分析結果

	歩行スピード (/km)	ストライド (cm)	ピッチ (歩/分)	接地位置から	離地位置から	支持距離 (cm)	非支持距離 (cm)	支持時間 (秒)	非支持時間 (秒)	回復時間 (秒)	離地時	離地時	離地時	
				身体重心まで の距離(cm)	身体重心まで の距離(cm)						身体重心速度 ベクトル角 (度)			股関節伸展 角度(度)
藤井菜々子 (エディオン)	2.5km地点	4分32秒	104	212	19	40	86	19	0.23	0.05	0.33	0.1	3.2	24.6
	19.5km地点	4分42秒	103	206	18	40	85	18	0.24	0.05	0.33	-0.1	10.9	22.0
岡田久美子 (ビックカメラ)	1.5km地点	4分32秒	107	206	19	37	82	25	0.23	0.07	0.35	1.6	9.8	21.1
	19.5km地点	4分57秒	98	206	17	41	83	14	0.25	0.04	0.33	-1.5	7.6	30.5
瀧瀬真寿美 (建装工業)	1.5km地点	4分34秒	103	212	20	41	91	12	0.25	0.03	0.32	0.0	7.6	31.2
	18.5km地点	5分23秒	96	195	18	41	87	8	0.28	0.03	0.33	-1.2	7.6	30.8
河添香織 (自衛隊体育学校)	3.5km地点	4分34秒	106	206	18	40	85	22	0.23	0.06	0.35	1.7	6.3	23.4
	13.5km地点	5分01秒	102	195	14	40	80	23	0.24	0.07	0.38	1.2	7.2	25.8

3 結果と考察

3.1 歩行スピードと区間タイムの変化

5km 毎の区間タイムの変化を図 1, キネマティクスに関するパラメータを表 2 にそれぞれ示した. レース序盤ではわずかながら内定者 2 名がほかの 2 名より歩行速度が大きかったものの, 大きな差ではなかった. 公式リザルトに示されたレース序盤の 5km の区間タイムは, 内定者 2 名に 1 秒遅れて瀧瀬選手, 10 秒遅れて河添選手が続いており, 内定者 2 名が他の選手を引っ張るかたちでレースが進んでいた. しかし, レースが進むとともに 4 名とも区間タイムが下がっていき, 後半の分析地点での歩行スピードは全員が低下していた. ただし, 藤井選手の 15-20km は区間タイムが上がっているため, 分析地点以外のところで歩行スピードの増加があったことがうかがえる. 一方で, 瀧瀬選手と河添選手はともにレースを通して区間タイムが減少しており, 内定者に比べてその減少が非常に大きかった.

3.2 ステップパラメータの変化

藤井選手はレース終盤にストライドはほぼ変わらなかったが, ピッチが低下したことで歩行速度が低下していた. しかし, Hanley et al. (2011) は, 世界一流競歩競技者たちの 20km 競歩中の動作を分析し, 男女ともにピッチが 200 歩/分であったことを報告している. このことを踏まえると, 藤井選手のレース終盤での 206 歩/分というピッチはレース終盤で低下したとはいえ依然として高い値であると考えられ, 著しい低下ではなかったと言える. このようにストライドおよびピッチの著しい低下を抑えたことにより, 後半の分析地点での歩行速度の減少が少ないことにつながったと考えられる.

岡田選手は藤井選手とは反対にレース終盤にストライドが大きく低下したことで, 歩行速度が減少していた. このストライドの低下は非支持距離の大き

な低下によるものであったことから, 非支持距離の低下が歩行速度の低下につながったと考えられる. また, 身体重心から接地位置までの距離もレース終盤に低下していたが, 反対に, 身体重心から離地位置までの距離は増加していた. これらのことから支持距離自体にはあまり変化がないものの, レース序盤に比べ, レース終盤では支持距離が全体的に後方へシフトしていたと言える.

瀧瀬選手は, レース終盤にストライド, ピッチの両方の低下により, 大きく歩行速度が減少していた. それぞれの構成要素のほとんどがストライド, ピッチが低下するように変化していたが, 非支持時間だけはレース序盤と変化がなかった. この非支持時間は 4 名の中で最も短く, 同時に非支持距離も最も小さい値を示した. 一方で, 低下した支持距離はレース終盤であっても全体の中で最も長く, ほかの選手に比べて支持距離がストライドの中の大きな割合を占めていた. 岡田選手とは異なり, 離地位置から身体重心までの距離に変化はなかったが, 身体重心から接地位置までの距離と非支持距離はともに短くなっていた. ピッチの低下に関しては, 回復時間よりも支持時間の増加が主な原因であった.

河添選手はほかの選手たちと異なり, レース中盤での分析となったが, 瀧瀬選手と同じくストライド, ピッチの両方が低下したことで歩行速度が減少していた. 支持距離が低下した一方で, 支持時間, 非支持距離, 非支持時間はわずかながら増加していた. 一方, ピッチの低下に関しては瀧瀬選手とは異なり, 支持時間よりも回復時間の増加によるところが大きかった.

3.2 身体重心速度ベクトル角および関節角度, 関節角速度の変化

Hanley (2014) は, 非支持時間と非支持距離との間に有意な正の相関関係があることを報告してい

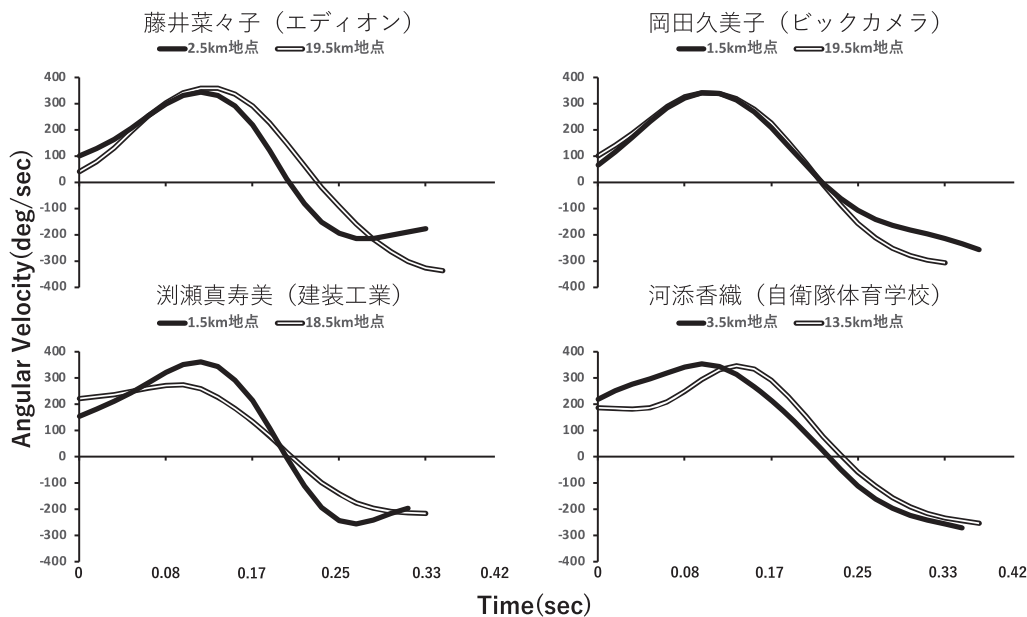


図2. 各分析対象者における各地点での右回復脚股関節角速度(+屈曲;-伸展)

る。また、山田ほか(1999)は非支持時間が短い競技者ほど支持期に股関節を伸展しきってから離地にかけて、股関節と膝関節をわずかに屈曲させる「ため」の瞬間があり、地面を最後まで押して離地していることを明らかにしている。今回、股関節については一貫した傾向は見られなかったが、非支持時間が短い瀧瀬選手はレース序盤、終盤ともに離地時の膝関節屈曲角度が全体の中で最も大きかった。瀧瀬選手は支持距離が大きく、離地位置も身体重心から遠いため、地面を押し切る離地となり、非支持時間、非支持距離ともに短かったと考えられる。また、岡田選手は、先に述べたようにレース終盤に支持距離が後方へとシフトしており、離地時の膝関節角度が序盤に比べ、10度近く大きく屈曲していた。このことは、離地前に身体重心が上昇することを抑えたり、反対に下降させたりすることにつながる。そのため、離地時身体重心速度ベクトル角の減少を引き起こすと考えられる。法元ほか(2001)は、レース中の離地時の身体重心速度ベクトル角が大きいかほど非支持時間が長くなる傾向があることを報告している。実際、今回非支持時間が長かった岡田選手と河添選手の序盤、河添選手の中盤の分析地点では離地時身体重心速度ベクトル角がほかの選手に比べて大きかったのに対し、角度が小さかった岡田選手と瀧瀬選手の終盤の分析地点では非支持時間は全体の中で短い値を示した。特に岡田選手はレース序盤には正の角度で離地していたのに対し、レース終盤には負の角度で離地していた。正の角度で離地した場合、身体は上昇しながら離地することになる。反対に負の角度で離地した場合には、身体は下降しながら離

地することになるため、非支持時間は短縮され、非支持距離も短くなると考えられる。これらのことから、岡田選手はレース終盤に支持距離が全体的に後方へシフトしたことで、地面を押し切る離地となり、身体重心が下降しながら離地したため、非支持時間および非支持距離が低下し、ストライドの低下に結びついたと考えられる。

図2に右回復脚の股関節角速度を示した。河添選手のレース中盤における右回復脚の股関節角速度はレース序盤に比べて、離地直後において屈曲速度が低下しており、脚の振り出しに遅れが見られた。この脚の振り出しの遅れは回復時間の増加につながり、レース中盤でのピッチの低下に関わっていたと考えられる。また、山田ほか(1999)は、非支持時間を長くする動作について検討し、回復時間と非支持時間に有意な正の相関関係があることを明らかにしていることから、ここでの回復時間の増加は結果的にレース中盤での非支持時間の増加と関係していた可能性がある。

まとめ

今回、順位が高いものほど前半の分析地点に対して、後半の歩行スピードの低下が少なかった。代表が内定している藤井選手、岡田選手がストライドあるいはピッチのいずれか一方の低下にとどめていたのに対し、瀧瀬選手、河添選手はストライドとピッチの両方が低下していた。これらのことから、ストライド、ピッチのいずれかの低下に留め、歩行スピードの低下を可能な限り少なくしたことが、競技結果

に影響を及ぼしたと考えられる。

参考文献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数. *Japanese Journal of Sports Science*, 15:155-162.
- Hanley, B., Bissas, A. and Drake, A. (2011) Kinematic characteristics of elite men's and women's 20 km race walking and their variation during the race. *Sport Biomechanics*, 10 (2) :110-124.
- Hanley, B. (2014) Biomechanical analysis of elite race walking. Doctoral thesis, Leeds Metropolitan University.
- 法元康二・阿江通良・榎本靖士 (2001) 競歩における歩行技術に関するバイオメカニクス的研究 - 競技規則への適合について -. *陸上競技研究*, 47 (4) :19-24.
- 山田英生・尾縣貢・永井純 (1999) ロス・オブ・コンタクト・タイムと下肢動作との関係. *陸上競技研究*, 39 (4) :20-28.