

2018年度および2019年度初頭国内主要競歩レースにおける世界・国内一流競技者の 下肢および体幹関節トルクの分析

三浦 康二¹⁾ 佐藤 高嶺²⁾ 奥野 哲弥²⁾

1) 日本スポーツ振興センター 2) 筑波大学大学院人間総合科学研究科

1. 目的

現在、オリンピック陸上競技・世界陸上競技選手権の両方において実施される競歩種目は、男子20kmWおよび50kmWと、女子20kmWである。これらの種目における世界一流競技者の競技中のキネティクス変数の分析は男子20kmWについてはこれまで多く行われてきているが(Hoga, K. et al., 2003; 法元・阿江, 2006; Hoga-Miura, K. et al., 2016a, 2017)、男子50kmWについてはまだなく、また、女子20kmWについてもHoga-Miura et al. (In Press)が支持脚膝関節の内外反関節トルクを推定したほかはみられない。

本報告では、2018年度および2019年度初頭に日本国内で実施された競歩種目の主要競技会における男子20kmW・50kmW、女子20kmWに出場した、男女20kmW世界記録保持者を含む世界・国内一流競技者の下肢および体幹関節トルクの分析結果を示すことを目的とした。女子50kmWについては出場者が少なかったことから分析対象としなかった。

2. 方法

分析競技会・レースは、第57回全日本高島競歩男子50kmWおよび男女20kmW(山形県高島町, 2018年10月28日)、第102回日本陸上競技選手権大会男女20kmW(神戸市, 2019年2月17日)、第103回日本陸上競技選手権大会男子50kmW(石川県輪島市, 2019年4月14日)であった。

これらの競技会は全て一周2kmの周回コースで行われたが、各競技会においてコース内の1箇所幅3.0m長さ4.5m高さ2.0mの分析空間を設置し、ハイスピードカメラ2台(カメラスピード:120fps)にて3次元DLT法による分析撮影を全ての周回について行なった。

撮影した競技者のうち、失格とならずにフィニッシュしたのべ48名(高島15名、神戸22名、輪島11名)を分析対象者とした。種目別の内訳は男子50kmW18名、男子20kmW20名、女子20kmW11名であった。この中にはオープン参加として日本選手権女子20kmWに出場した1名(女子20kmW世界記録保持者)および男子50kmWに出場した3名の外国人競技者を

Table 1 分析対象者の特性

	男子 50kmW (N = 17)		男子 20kmW (N = 20)		女子 20kmW (N = 11)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢 (才)	26.9	4.5	23.8	4.9	26.2	5.1
体重 (kg)	61.6	4.2	58.2	4.0	50.5	4.0
レース記録	3:46'27"6	5'46"1	1:21'15"3	2'01"3	1:32'53"2	3'17"8
レース前自己記録	3:45'16"6	5'35"6	1:21'38"4	4'26"0	1:32'11"3	4'59"6
達成率 (%)	99.7	2.6	100.5	4.1	99.3	5.4
分析地点 (km)	33.2	4.4	9.9	5.7	8.4	4.5
赤カード枚数 (枚)	0.59	0.62	0.55	0.60	0.18	0.40

Table 2 ステップ分析

	男子 50kmW			男子 20kmW			女子 20kmW		
	(N=17)			(N=20)			(N=11)		
	平均値	標準偏差	歩行スピードとの相関係数	平均値	標準偏差	歩行スピードとの相関係数	平均値	標準偏差	歩行スピードとの相関係数
レース記録平均スピード (m/秒)	3.68	0.09		4.10	0.10		3.59	0.13	
歩行スピード (m/秒)	3.78	0.22		4.25	0.17		3.67	0.25	
ピッチ (ステップ/秒)	3.33	0.14	0.72*	3.42	0.15	0.62*	3.41	0.37	0.45
ステップ時間 (秒)	0.30	0.01	-0.70*	0.29	0.01	-0.61*	0.29	0.03	-0.45
支持時間 (秒)	0.26	0.02	-0.63*	0.24	0.02	-0.72*	0.25	0.02	-0.90*
非支持時間 (秒)	0.04	0.01	0.35	0.06	0.01	0.27	0.04	0.02	0.84*
ステップ長 (m)	1.13	0.05	0.67*	1.24	0.05	0.34	1.08	0.05	0.70*
支持距離 (m)	0.90	0.06	0.09	0.92	0.05	-0.27	0.85	0.05	-0.67*
非支持距離 (m)	0.24	0.05	0.60*	0.32	0.07	0.43	0.22	0.06	0.87*

* $p < 0.05$

含む。Table 1 に競技会、種目別に分析対象者の特性を示した。

レース後に 1km ごとのスプリットタイムを入手し、各分析対象者の画像が 2 台のカメラに同時に映っていた周回のうち、最も速かった区間を Table 1 に示した分析地点とした。2 台のカメラのそれぞれの画像における各分析対象者の身体標点 25 点を分析点として 1 歩行周期 (2 歩) 分の動作をビデオ動作分析システム (Frame-DIAS IV, DKH 社製) により 60fps でデジタル化し、右足接地フレームを同期フレームとして 3 次元 DLT 法による 3 次元座標の再構築を行なった。

得られた分析点の分析画像面内の座標はバターワース型デジタルフィルターによって平滑化し、法元・阿江 (2006), Hoga-Miura et al. (2017) の方法に

より身体重心加速度および重心まわり角運動量を用いて推定した歩行中の地面反力に基づいて、支持期を含む下肢 3 関節まわりのトルクおよび肋骨下端中点に仮定した体幹関節まわりのトルクを算出した。

算出したデータは、支持期については右足接地から離地までを右足支持期として、右接地時点を 0%、右足つま先の離地時点を 100% として局面を規格化した。回復期についても、右足離地から右足接地までを右足回復期として、右足つま先の離地時点を 0%、右足接地時点を 100% として局面を規格化した。左足についても同様の規格化を行なったが、Hoga-Miura et al. (2016b) が示すように、男子 20kmW の一流競技者の支持期の時々刻々のキネマティクスにおいては有意な左右差がみられないことから、各分析対象者の規格化した左右の各支持期および回復

期のデータの平均値を算出してデータ比較を行なった。

3. 結果と考察

3.1 ステップ変数

Table 2に種目ごとのレーススピード、歩行スピード、ステップ頻度、ステップ時間、ステップ長を分析対象者の平均値と標準偏差で示した。ステップ時間とステップ長は支持期と非支持期に分けた。また、各変数の歩行スピードとの相関係数を示した。

歩行速度は男子 20kmW のものが最も大きく、次いで男子 50kmW、女子 20kmW のものであった。歩行スピードと有意な相関が 3 種目ともにみられたのはステップ頻度、ステップ時間、支持時間で、歩行スピードが高い場合には 3 種目ともにステップ頻度が高く、ステップ時間、支持時間が短くなっていた。

また、本報告における分析対象レースの全てで国際競歩審判員が判定にあたり、分析対象者に対して出された赤カードの平均値と標準偏差を Table 1 に示したが、1 名あたりの平均値が 1 枚未満だったように、本報告の分析対象者には判定上の課題はなかったといえるが、非支持時間も歩行スピードと有意な相関はなく、ロスオブコンタクト局面の発生はパフォーマンスと関係はなかったといえる。

ステップ長および支持距離、非支持距離は 3 種目そろって歩行スピードと有意な相関があったわけではなかったが、歩行スピードと支持時間の関係では、3 種目とも有意な負の相関がみられた。このことは、種目を問わず接地時間の短さがパフォーマンスと関係していたことを示している。

3.2 支持期におけるトルク

Figure 1 は支持期における足関節トルクの変化を接地から離地までを 100% として規格化し、各種目の平均値で示したものである。歩行速度との有意な相関のみられた局面を危険率 5% 水準で示した。

支持期 0-20% で背屈トルクが発生し、20% から離地までは底屈トルクが発生していたが、支持期 60% 付近で発生するピーク値は 3 種目で大きく変わらなかった。また、女子 20kmW のみ歩行スピードと有意な相関がみられた。

Figure 2a は支持期における膝関節の伸展・屈曲トルクの変化を Figure 1 と同様に示したものである。支持期 0-90% で屈曲トルクが発生していたが、支持期 50% 付近で発生するピーク値は 3 種目で大きく変わらなかった。また、男子 20kmW のみ歩行スピー

ドと有意な相関がみられた。

Figure 2b は支持期における膝関節の外反・内反トルクの変化を Figure 1 と同様に示したものである。支持期全体で外反トルクが発生していたが、支持期 40% 付近で発生するピーク値は 3 種目で大きく変わらなかった。また、男子 50kmW のみで歩行スピードと有意な相関がみられた。

Figure 3a は支持期における股関節の屈曲・伸展トルクの変化を Figure 1 と同様に示したものである。支持期 0-50% で伸展トルクが発生し、支持期 50% 付近で屈曲トルクに変化していたが、男子 50kmW のみ支持期 80% から離地までの局面で歩行スピードと有意な相関がみられた。

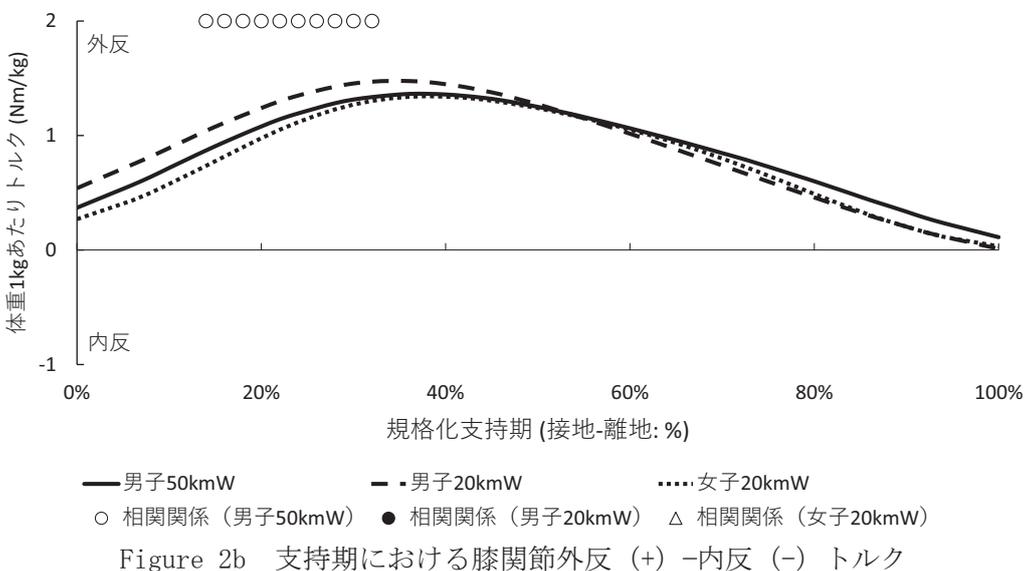
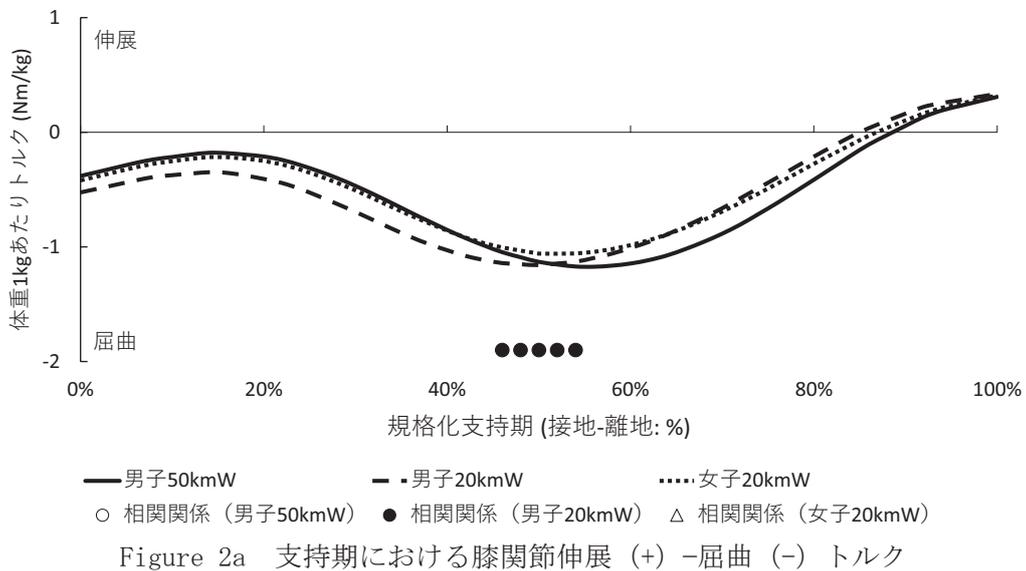
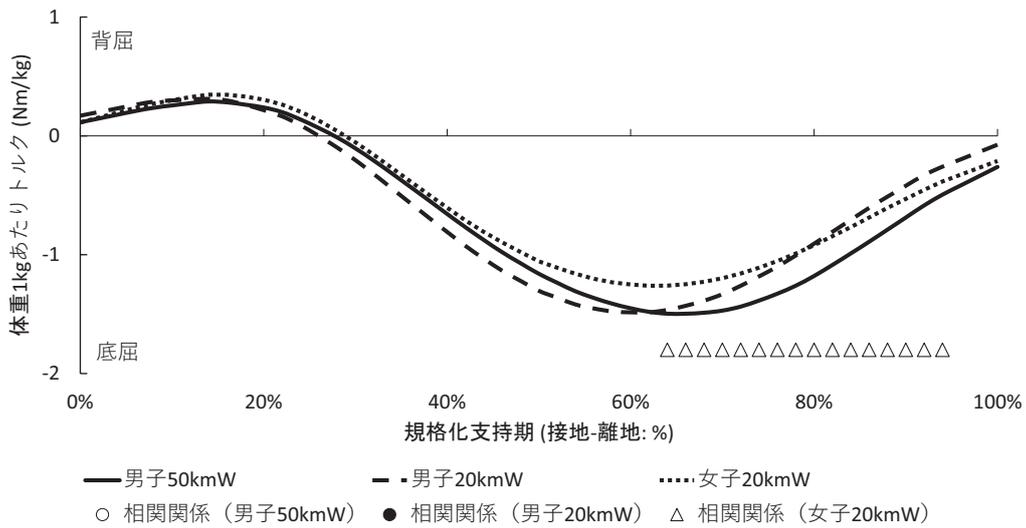
Figure 3b は支持期における股関節の外転・内転トルクの変化を Figure 1 と同様に示したものである。支持期全体で外転トルクが発生していたが、支持期 20-70% 付近で発生するピーク値は 3 種目で大きく変わらなかった。また、男子 20kmW の支持期 0-20% で歩行スピードと有意な相関がみられたほか、女子 20kmW の支持期 80-90% で歩行スピードと有意な相関が見られた。

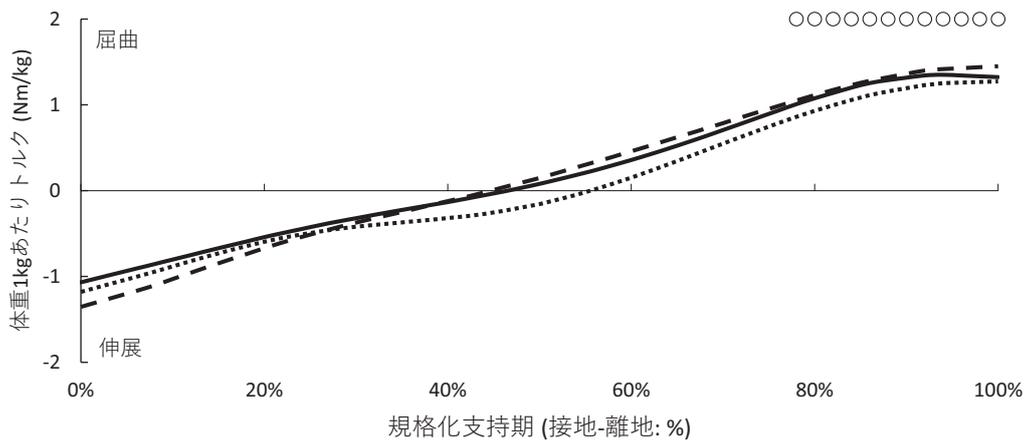
3.3 回復期におけるトルク

Figure 4 は回復期における膝関節の伸展・屈曲トルクの変化を離地から接地までを 100% として規格化し、Figure 1 と同様に各種目の平均値で示し、歩行速度との有意な相関のみられた局面を危険率 5% 水準で示したものである。回復期 0-40% で伸展トルクが発生し、回復期 40% 付近で屈曲トルクに変化していたが、男子 50kmW では回復期 0-20% の局面で歩行スピードと有意な相関がみられ、女子 20kmW では回復期 10-20% の局面で歩行スピードと有意な相関がみられた。

Figure 5 は回復期における股関節の屈曲・伸展トルクの変化を Figure 4 と同様に示したものである。回復期 0-40% で屈曲トルクが発生し、回復期 40% 付近で伸展トルクに変化していたが、男子 50kmW と女子 20kmW では回復期前半と回復期終盤で歩行スピードと有意な相関がみられた。

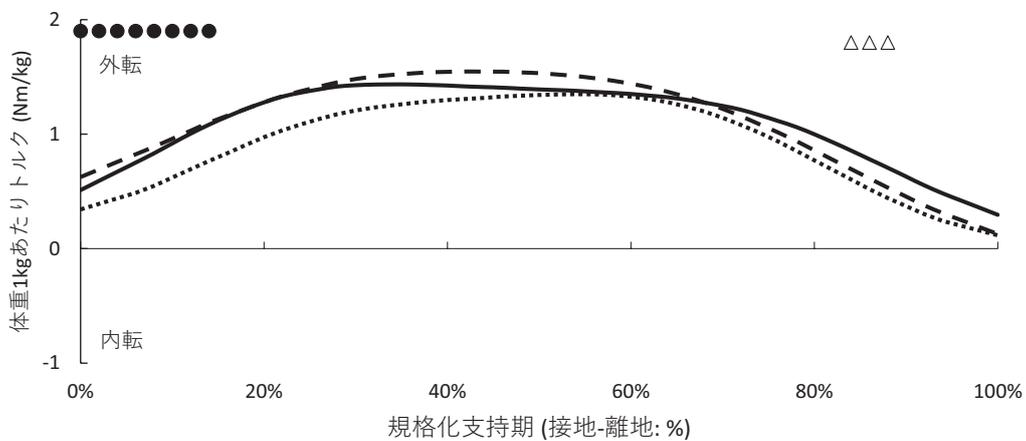
Figure 6 は肋骨左右下端中点に仮想した体幹関節の回旋トルクの変化を Figure 4 と同様に示したものである。回復期 0-40% で回復脚側を前方に動かす回旋トルクが発生し、回復期 40% 付近で回復脚側を後方に動かすトルクに変化していたが、3 種目の全てで回復期前半に歩行スピードと有意な相関がみられた。





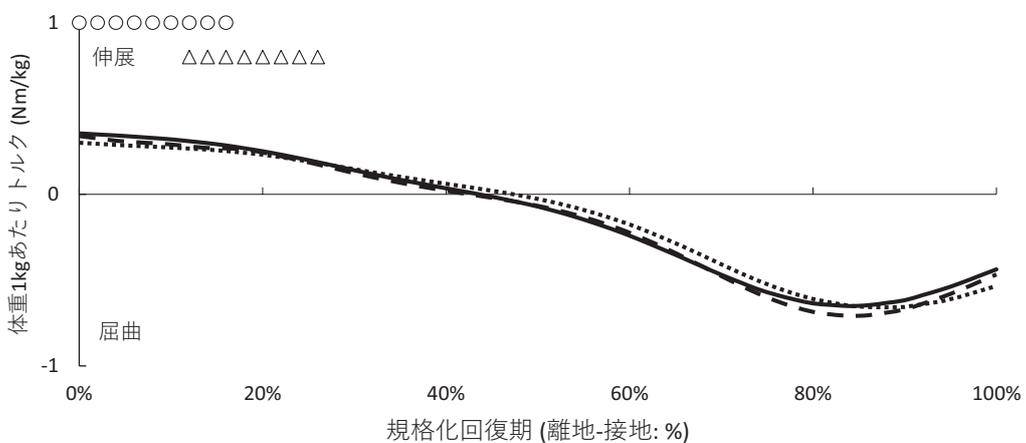
— 男子50kmW - - 男子20kmW 女子20kmW
 ○ 相関関係 (男子50kmW) ● 相関関係 (男子20kmW) △ 相関関係 (女子20kmW)

Figure 3a 支持期における股関節屈曲 (+) - 伸展 (-) トルク



— 男子50kmW - - 男子20kmW 女子20kmW
 ○ 相関関係 (男子50kmW) ● 相関関係 (男子20kmW) △ 相関関係 (女子20kmW)

Figure 3b 支持期における股関節外転 (+) - 内転 (-) トルク



— 男子50kmW - - 男子20kmW 女子20kmW
 ○ 相関関係 (男子50kmW) ● 相関関係 (男子20kmW) △ 相関関係 (女子20kmW)

Figure 4 回復期における膝関節伸展 (+) - 屈曲 (-) トルク

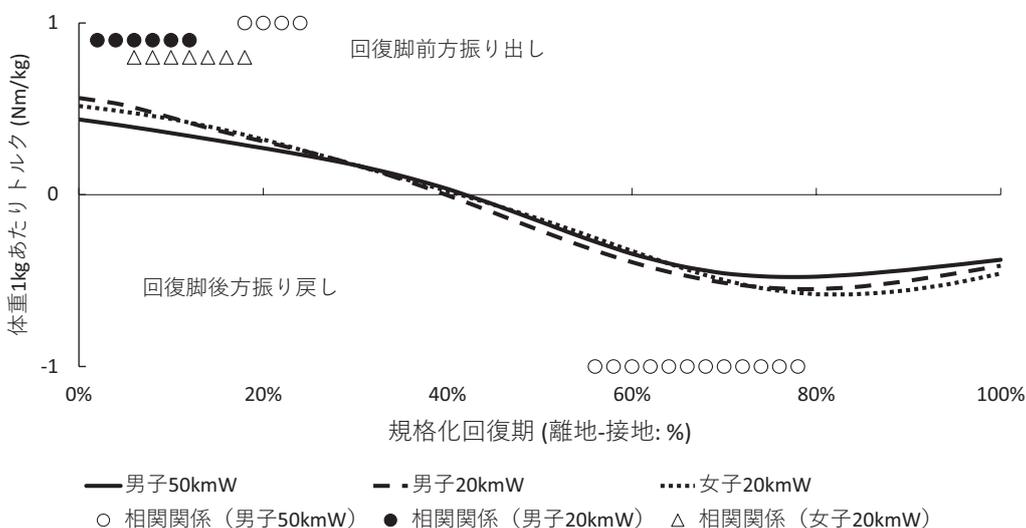
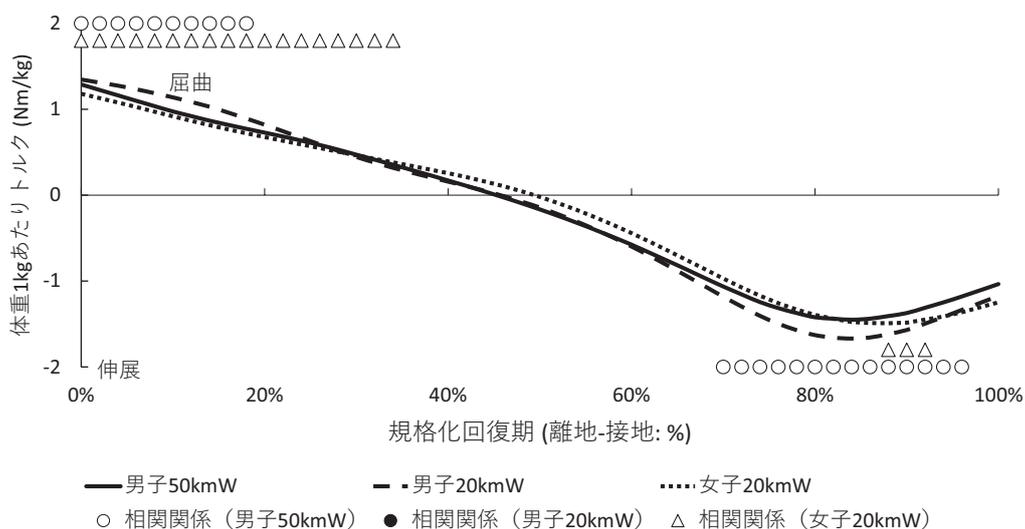


Figure 6 回復期における体幹回旋トルク：回復脚振り出し (+) -回復脚振り戻し (-)

3.4 男子 50kmW、男子 20kmW、女子 20kmW に共通してみられた特徴

本報告では競歩種目のオリンピック実施 3 種目すべてのキネティクスについて分析を行なった。

その結果、3 種目において共通した傾向がみられたのは、ステップ変数の分析では、支持時間の短さがスピードの高さに関係している点と、回復期序盤において回復脚を前方に振り出すような体幹回旋トルクであった。ステップ分析については、これまで実際のレースにおいて世界一流競技者を対象とした男子 20kmW (Hoga-Miura, K. et al., 2016a, 2017) および女子 20kmW (Hoga-Miura et al., In Press) の研究でも見られた。

また、体幹回旋トルクについては、これまでの男子 20kmW における研究では (Hoga-Miura, K. et al., 2016a)、支持期終盤におけるトルクと歩行スピードとの有意な関係があり、本報における分析と

局面が異なっていた。しかし、実験による分析では (法元ほか、2010)、支持期前半において回復脚を前方に振り出す体幹回旋トルクが歩行スピードと有意な相関関係があり、競歩における回復期と支持期はほぼ一致していることから、実際のレースにおける本報における分析は実験における結果を支持するものであったといえる。

一方、過去において男子 20kmW の実際のレースを対象とした分析 (Hoga et al., 2003) で歩行スピードと関係が強いとして報告された回復期後半の股関節伸展トルク、膝関節屈曲トルクは本報告では男子 20kmW で歩行スピードと有意な相関はみられなかった。Hoga et al. (2003) における分析対象者 28 名のパフォーマンスであるレース記録の標準偏差が 3 分 38 秒であったのに対し、本報では対象者 20 名に対し、標準偏差が 2 分 1 秒と小さく、より等質な標本に近かったことで有意な相関がみられなかったと

考えることができる。

このような標本の大きさの影響はステップ分析においてもあったと考えられ、男子 20kmW (Hoga-Miura, K. et al., 2016a, 2017) および女子 20kmW (Hoga-Miura et al., In Press) の先行研究においてみられたようなステップ長、支持距離と歩行スピードとの有意な正の相関が本報では男子 20kmW でのみみられなかった。

5. 文献

Hoga, K. et al. (2003) Mechanical energy flow in the recovery leg of elite race walkers. *Sports Biomechanics*, 2(1), 1-13.

法元 康二・阿江 通良 (2006) 力学的エネルギー利用の有効性からみたアテネオリンピック男子 20km 競歩におけるメダリストと日本人選手の比較. *陸上競技研究紀要*, 2, 38-46.

法元 康二ほか (2010) 競歩における左右下肢間の力学的エネルギーの流れと下胴および体幹の動作との関係. *トレーニング科学*, 20(3), 217-229.

Hoga-Miura, K., et al. (2016a) Kinetic analysis of the function of the upper body for elite race walkers during official men 20 km walking race. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(10), 1147-55.

Hoga-Miura, K., et al. (2016b) A three-dimensional kinematic analysis of men's 20-km walking races using an inverted pendulum model. *Gazzetta Medica Italiana-Archivio per le Scienze Mediche*, 175(7-8), 297-307.

Hoga-Miura, K., et al. (2017) Reconstruction of walking motion without flight phase by using computer simulation on the world elite 20km race walkers during official races. *Slovak Journal Sport Science*, 2(1), 59-75.

Hoga-Miura, K., et al. (In Press) A three-dimensional kinematic analysis of walking speed on world elite women's 20-km walking races using an inverted pendulum model. *Gazzetta Medica Italiana- Archivio per le Science Mediche*.