

原 著

## ローラースキー時の滑走速度を高めるためのキネマティクスの要因

## Kinematic factors for an increase in roller skiing speed

中井 聖<sup>1)</sup>伊藤 章<sup>2)</sup>Akira Nakai<sup>1)</sup>Akira Ito<sup>2)</sup>

## Abstract

The purpose of this study was to investigate kinematic factors for an increase in speed during level roller skiing with a diagonal stride. Two-dimensional kinematics were recorded in seven male collegiate cross-country ski athletes who roller skied with a diagonal stride at the paced speeds on a level track. Roller skiing speed had positive correlations with cycle length and cycle rate ( $r = 0.865, p < 0.001$ ;  $r = 0.906, p < 0.001$ ) and a negative correlation with cycle time ( $r = -0.900, p < 0.001$ ). A highly positive correlation was found between roller skiing speed and maximal horizontal velocity ( $r = 0.988, p < 0.001$ ). Maximal horizontal velocity negatively correlated with duration of double-support phase and transition phase and mean acceleration of the roller ski during double-support phase ( $r = -0.407, p < 0.05$ ;  $r = -0.915, p < 0.001$ ;  $r = -0.908, p < 0.001$ , respectively). Consequently, a dynamic forward leg swing would result in longer cycle length and hence increasing roller skiing speed. Greater deceleration of the roller ski before kicking and more rapid movements of kicking and transition to the opposite roller ski would cause acceleration of roller skiing speed. In addition, it is suggested that the above movements for shorter duration are required to increase roller skiing speed.

**キーワード** ダイアゴナルストライド, サイクル長, サイクル時間, サイクルレート, 水平最大速度

diagonal stride, cycle length, cycle time, cycle rate, maximal horizontal velocity

## 1. はじめに

クロスカントリースキー競技は長年に渡って、男子は10 kmから50 km, 女子は5 kmから30 kmの長距離で競われるディスタンス競技を中心に行われてきた。しかし最近になり、1 km程度の短いコースで争うスプリント競技が実施

されるようになった。滑走距離が短縮されたことによりレースは高速化し、滑走速度の上昇はクラシカル走法とスケーティング走法、それぞれの走法の滑走テクニックに変容をもたらした。

最近の滑走テクニックの特徴について、Stöggl et al. (2008) はスケーティング走法の従

<sup>1)</sup> 近畿医療福祉大学

Kinki Welfare University

1966-5 Takaoka Fukusaki-cho Kanzaki-gun Hyogo, Japan

<sup>2)</sup> 大阪体育大学

Osaka University of Health and Sport Sciences

1-1 Asashirodai Kumatori-cho Sennan-gun Osaka, Japan

来の滑走テクニックでは1サイクルの動作中に1回のポールでのプッシュ動作で推進していたが、スプリント競技の導入に伴う滑走速度の上昇に対応するため、1サイクル中にポールでのプッシュ動作を2回行うdouble pushテクニックが用いられるようになったと述べている。一方ダイアゴナルストライドについては、スプリント競技ではディスタンス競技と同程度のサイクル長で滑走しており、サイクルレートを増加させることで滑走速度を高めていること (Zory et al, 2005) や、脚でより強くキックしてストライドを伸長させるような下肢動作が顕著に見られるようになったこと (Lindinger et al, 2009) が報告されている。スプリント競技導入後の各走法の滑走テクニックについてキネマティクスの検討を加えることは、レースの高速化により変容した現在のクロスカンリースキーの滑走動作の特徴を理解する上で有効であると思われる。

ローラースキーで平地滑走する場合、身体重心はローラースキー上に位置し、主として水平前方方向へ推進しており、身体重心の水平方向の移動速度、すなわち滑走速度はローラースキーの水平方向の移動速度の影響を受けることが予想される。そこで本研究では、ローラースキーでダイアゴナルストライドを用いて低速から高速までの広範な速度で平地滑走させ、サイクル長やサイクルレート、ローラースキーの水平方向の移動速度などのキネマティクス変数を調べること、そして滑走速度を高めるために必要とされるキネマティクスの要因について検討することを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1 被験者

被験者は全関西学生スキー連盟に所属する男子大学生クロスカンリースキー選手7名であった。被験者の年齢 (平均±標準偏差) は  $19.6 \pm 1.5$  歳、身体特徴は身長:  $1.74 \pm 0.05$  m、身体質量:  $64.6 \pm 3.5$  kg、体脂肪率:  $15.5 \pm 1.3\%$  であった。被験者の競技レベルを示すSAJポイント<sup>1)</sup> は  $145.71 \pm 58.73$ 、ダイアゴナルストライドでローラースキー滑走した際の最大酸素摂取量

は  $61.4 \pm 7.0$  mL $\cdot$ kg<sup>-1</sup> $\cdot$ min<sup>-1</sup>であった。

なお、本研究は大阪体育大学研究倫理審査委員会の審査および承認を受けて実施された。被験者には予め研究の目的や方法、予想される影響について十分に説明し、書面で同意書を得た後、実験を実施した。

### 2.2 実験プロトコル

全ての実験は全天候型の400 mトラックにおいて負荷調整装置を装備したローラースキー (V2-920, V2 Jenex Inc.製) と各被験者が日常的にクラシカル種目で使用しているブーツおよびポールを使用して実施した。被験者に400 mトラックを予め規定した5つの速度 (1.67, 2.50, 3.33, 4.16, 5.00 m $\cdot$ s<sup>-1</sup>) でダイアゴナルストライドを用いてローラースキー滑走させた。各試行では被験者を自転車で先導して速度計と50 m毎の基準タイムを用いてペースを調整し、滑走速度を一定に保つよう配慮した。ダイアゴナルストライドは競技では主に登坂時に用いられる滑走テクニックであり (Smith, 2003)、平地で摩擦負荷の少ないローラースキーを用いてダイアゴナルストライドで滑走した場合、その動作は登坂時と幾分異なることが予想された。そのため本研究では、Nakai and Ito (2011) がダイアゴナルストライド滑走時の機械的効率を平地滑走で求めた際に用いた方法に倣い、負荷調整装置を用いてローラースキーに一定の摩擦負荷を加え、登坂時の動作に近づくよう配慮して実験を行った。

### 2.3 測定方法および分析方法

400 mトラックの直線区間において、各試行時の被験者の矢状面上の滑走動作をデジタルビデオカメラ (DSR-PD150, Sony社製) を使用して60 Hzで撮影した。本研究では左右ローラースキーが揃った時点から次に左右ローラースキーが揃った時点までを1ストライドの滑走動作と定義し、2ストライド分の滑走動作を1サイクルの滑走動作とした (図1a参照)。被験者を18セグメントからなるリンクセグメントモデル (左右上下肢それぞれ3セグメント、頭と胴、

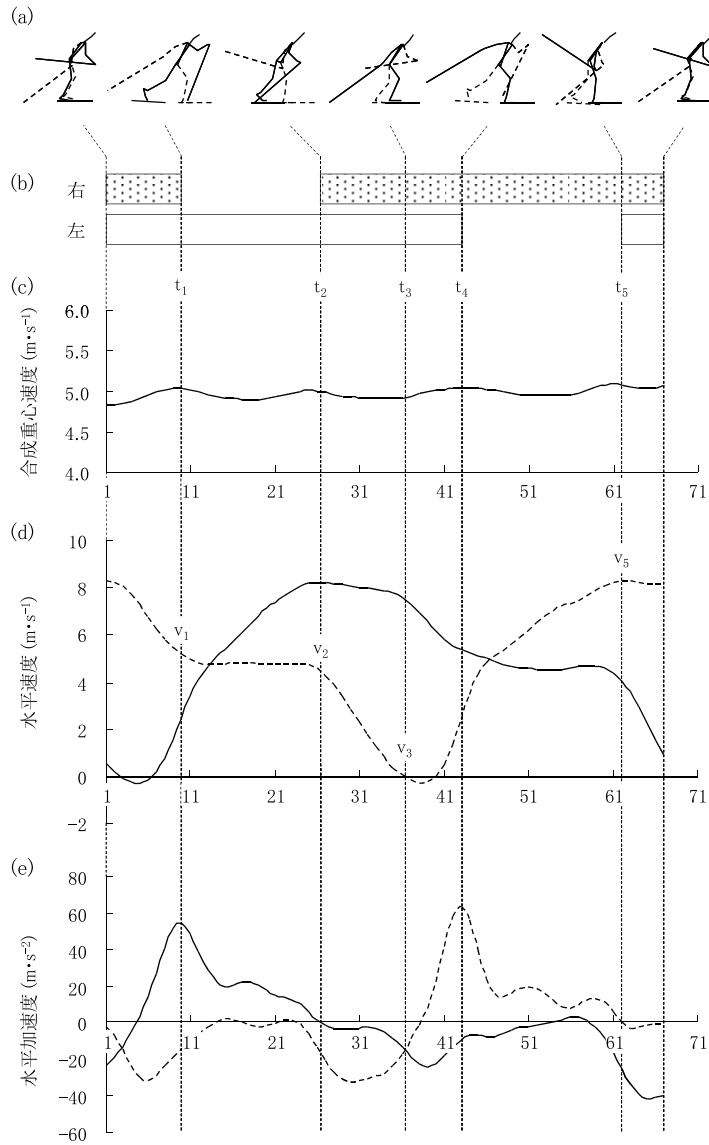


図1. ダイアゴナルストライドでローラースキー滑走した際の1サイクルの滑走動作 (a) と左右ローラースキーの接地期 (b), 身体合成重心の水平速度 (c), 左右ローラースキーの水平速度 (d) および水平加速度 (e) の典型例。実線は右, 破線は左を示す。t<sub>1</sub>: 右ローラースキー離地時点, t<sub>2</sub>: 右ローラースキー接地時点, t<sub>3</sub>: 左脚キック開始時点, t<sub>4</sub>: 左ローラースキー離地時点, t<sub>5</sub>: 左ローラースキー接地時点, v<sub>1</sub>: 左脚支持開始時の水平速度, v<sub>2</sub>: 両脚支持期開始時の水平速度, v<sub>3</sub>: 乗り換え期開始時の水平速度, v<sub>5</sub>: 水平最大速度。

左右ローラースキーおよび左右ポール) とみなし, 撮影した映像の1サイクル分の滑走動作をビデオ動作解析システム (Frame-DIAS 3.22, DKH Inc.製) を使用して解析周波数60 Hzでデジタル化した。分析平面の水平方向かつ被験者

の進行方向をX軸, 鉛直上方向をY軸として静止座標系を設定し, 2次元パニングDLT法を用いてリンクセグメントモデルに対応する分析点の座標値を算出した。座標較正による算出値の平均誤差はX軸方向が0.001 m, Y軸方向が

0.002mであった。算出された分析点座標値を4次のButterworth low-pass filterを用いて残差分析法 (Winter, 2005) により分析点ごとに決定した最適遮断周波数 (X座標: 1.5~8.4 Hz, Y座標: 1.3~8.9 Hz) で平滑化した。平滑化された分析点座標値から、身体部分慣性係数 (阿江, 1996) の質量中心比を用いて各身体セグメントの重心座標を求め、ローラースキーおよびポールの実測した重心位置を用いてそれぞれの重心座標を求めた。求められた各セグメントの重心座標から身体合成重心および左右ローラースキーの水平方向の速度 (以下、水平速度)、左右ローラースキーの水平方向の加速度 (以下、水平加速度) を算出した。身体合成重心の水平速度の1サイクル間の平均値を滑走速度として用い、サイクル長は1サイクル間の身体合成重心の移動距離、サイクル時間は1サイクルの所要時間、サイクルレートはサイクル時間の逆数として求めた。

本研究では左右ローラースキーの動きに焦点を当て、1サイクル中の滑走動作における時点および局面を以下のとおり定義した。右脚でキック動作がなされた後、右ローラースキーは後輪、前輪の順に離地する。前後輪がともに離地して右ローラースキーが完全に離地する時点を右ローラースキー離地時点 (図1の $t_1$ ) とした。その後、右脚は一旦後方への蹴り上げられた後、前方へスイングされる。右脚の前方へのスイング動作により空輪された右ローラースキーは前輪、後輪の順に接地する。前輪の接地によって右ローラースキーの接地が開始する時点を右ローラースキー接地時点 ( $t_2$ ) とした。右脚は引き続き前方にスイングされ、左脚ではキック動作が行われるが、左脚によるキック動作が開始する時点を左脚キック開始時点 ( $t_3$ ) とした。左脚でのキック動作後、左ローラースキーの前後輪が完全に離地する時点を左ローラースキー離地時点 ( $t_4$ )、その後の左脚の後方への蹴り上げ動作および前方へのスイング動作によって空輪された左ローラースキーの前輪が接地する時点を左ローラースキー接地時点 ( $t_5$ ) とした (図1 aおよびb参照)。

そして、右ローラースキー離地時点から右ローラースキー接地時点までの左脚のみの支持で滑走する局面を左脚支持期 (図1の $t_1$ から $t_2$ )、右ローラースキー接地時点から左脚キック開始時点までの左右両脚の支持で滑走する局面を両脚支持期 ( $t_2$ から $t_3$ )、左脚キック開始時点から左ローラースキー離地時点までの左脚でのキック動作と右脚支持への移行が行われる局面を乗り換え期 ( $t_3$ から $t_4$ )、左ローラースキー離地時点から左ローラースキー接地時点までの右脚のみの支持で滑走し、左ローラースキーが空輪される局面を左脚遊脚期 ( $t_4$ から $t_5$ ) とし、各局面の所要時間を求めた。また、左ローラースキーの水平速度が滑走速度に与える影響について検討するため、左脚支持が開始する右ローラースキー離地時点 ( $t_1$ ) の左ローラースキーの水平速度 (以下、左脚支持開始時の水平速度;  $v_1$ )、左ローラースキー接地時点 ( $t_2$ ) で最大となる左ローラースキーの水平速度 (水平最大速度;  $v_5$ ) を求めた。右ローラースキー接地時点 ( $t_2$ ) の左ローラースキーの水平速度 ( $v_2$ ) から左脚キック開始時点 ( $t_3$ ) の左ローラースキーの水平速度 ( $v_3$ ) を減じ、両脚支持期の時間で除して、両脚支持期の平均加速度を算出した。

なお、ローラースキーの垂直方向の速度はローラースキーが離地している間にしか生じず、水平速度の15%程度と小さいため、本研究では水平速度のみを分析対象とした。また、先行研究 (Komi, 1987) ではポールのプッシュ動作による水平方向への力発揮はキック動作の15%程度とされ、本研究でもポールのプッシュ動作の力積はキック動作の10%程度と小さかったため、ローラースキーの水平速度に対するポールのプッシュ動作の影響については考慮しなかった。

## 2.4 統計処理

本研究では被験者7名に対して5つの速度条件で試行を実施した。全被験者の全ての試行時のデータを一群として変数ごとに2変数間の相関分析を行い、Pearsonの積率相関係数を用いてその関係を示した。滑走速度と左脚支持期、両脚支持期および乗り換え期の関係については

重回帰分析を行い、決定係数と推定値の標準誤差を用いて重回帰式の適合度、標準化係数を用いて滑走速度に対する各変数の影響度を示した。全ての統計処理は統計解析ソフト (SPSS 15.0J for Windows, SPSS Inc.製) を使用して行い、統計的有意水準は5%未満に設定した。

### 3. 結果

#### 3.1 1 サイクル中の左ローラースキーの水平速度および水平加速度の変化

1 サイクルの滑走動作と左右ローラースキーの水平速度および水平加速度の典型例を図1に示した。左ローラースキーの水平速度は右ローラースキー離地時点 ( $t_1$ ) まで大きく減速した

が、左脚支持期ではほぼ一定の値を示した。右ローラースキー接地時点 ( $t_2$ ) 以降、左ローラースキーの水平速度は再び減速し、左脚キック開始時点 ( $t_3$ ) で0となり、左脚のキック動作時には0以下であった。左脚でのキック動作に伴い、左ローラースキーには正の水平加速度が生じ、左ローラースキー離地時点 ( $t_4$ ) で水平加速度は最大値を示した。左脚でのキック動作以降、左ローラースキーの水平速度は増加し続け、左ローラースキー接地時点 ( $t_5$ ) で最大値を示した後、減少に転じた。

#### 3.2 滑走速度と各変数との関係

実験により得られた各試行での変数を被験者

表1. 被験者が規定速度で滑走した際の滑走速度と各変数

被験者	滑走速度 ( $m \cdot s^{-1}$ )	サイクル長 (m)	サイクル時間 (s)	サイクルレート (Hz)	左脚支持期 (s)	両脚支持期 (s)	乗り換え期 (s)	左脚支持開始時の水平速度 ( $m \cdot s^{-1}$ )	両脚支持期の加速度 ( $m \cdot s^{-2}$ )	水平最大速度 ( $m \cdot s^{-1}$ )
A	1.81	3.83	2.12	0.47	0.60	0.13	0.30	2.14	-8.21	3.51
	2.68	4.51	1.68	0.59	0.42	0.18	0.20	3.02	-11.89	4.66
	3.31	5.02	1.52	0.66	0.47	0.12	0.18	3.70	-18.59	5.71
	4.46	5.36	1.20	0.83	0.32	0.17	0.12	4.56	-22.69	7.33
	4.97	5.46	1.10	0.91	0.27	0.17	0.12	5.17	-27.45	8.25
B	1.73	3.34	1.93	0.52	0.35	0.27	0.30	1.86	-5.43	3.75
	2.35	3.88	1.65	0.61	0.38	0.17	0.23	2.41	-9.78	4.55
	3.33	4.83	1.45	0.69	0.38	0.18	0.17	3.50	-15.08	6.23
	4.10	5.26	1.28	0.78	0.32	0.18	0.12	4.42	-16.00	7.35
	4.74	5.46	1.15	0.87	0.33	0.13	0.12	4.75	-28.19	7.65
C	1.95	3.38	1.73	0.58	0.32	0.25	0.27	2.08	-6.79	3.84
	2.50	5.08	2.03	0.49	0.47	0.23	0.18	2.67	-9.68	4.39
	3.13	5.22	1.67	0.60	0.40	0.25	0.13	3.45	-10.82	5.42
	4.33	6.06	1.40	0.71	0.43	0.15	0.12	4.65	-23.60	6.94
	5.13	6.67	1.30	0.77	0.35	0.20	0.10	5.87	-23.95	7.93
D	1.87	4.25	2.27	0.44	0.55	0.27	0.18	1.91	-5.51	3.71
	2.51	4.76	1.90	0.53	0.55	0.15	0.20	2.56	-9.46	4.64
	3.29	5.38	1.63	0.61	0.52	0.12	0.15	3.38	-18.76	5.55
	4.13	5.99	1.45	0.69	0.52	0.13	0.10	4.44	-19.44	6.90
	4.95	6.27	1.27	0.79	0.47	0.10	0.10	5.64	-26.78	7.96
E	1.66	3.68	2.22	0.45	0.38	0.53	0.27	1.62	-2.89	2.88
	2.40	4.36	1.82	0.55	0.48	0.20	0.23	2.22	-11.01	3.87
	3.16	4.54	1.43	0.70	0.38	0.18	0.13	3.24	-16.49	5.25
	3.71	4.49	1.15	0.87	0.37	0.10	0.12	3.78	-23.48	6.75
	4.94	5.36	1.08	0.92	0.33	0.12	0.08	5.17	-33.20	7.78
F	1.85	4.56	2.47	0.41	0.87	0.08	0.27	1.98	-9.56	3.16
	2.65	5.04	1.90	0.53	0.58	0.08	0.20	3.08	-18.44	4.69
	3.26	5.65	1.73	0.58	0.60	0.12	0.15	3.36	-18.94	5.59
	4.51	6.46	1.43	0.70	0.48	0.15	0.10	4.94	-27.14	7.21
	4.92	6.23	1.27	0.79	0.35	0.18	0.10	5.39	-23.09	8.13
G	1.66	3.46	2.08	0.48	0.62	0.18	0.27	1.66	-7.45	3.19
	2.63	5.09	1.93	0.52	0.60	0.13	0.20	2.39	-13.63	4.71
	3.54	5.55	1.57	0.64	0.38	0.22	0.15	3.70	-13.96	5.97
	4.03	5.64	1.40	0.71	0.47	0.13	0.13	4.25	-21.54	6.88
	4.56	6.08	1.33	0.75	0.48	0.08	0.12	5.17	-28.61	7.24
平均	3.34	5.03	1.62	0.65	0.45	0.17	0.17	3.55	-16.79	5.70
標準偏差	1.14	0.90	0.36	0.14	0.12	0.08	0.06	1.27	7.95	1.66

ごとに表 1 に示した。規定した 5 つの速度 (1.67, 2.50, 3.33, 4.16, 5.00 m·s<sup>-1</sup>) で行った各試行時の滑走速度 (平均 ± 標準偏差) は 1.79 ± 0.11 m·s<sup>-1</sup>, 2.53 ± 0.13 m·s<sup>-1</sup>, 3.29 ± 0.13 m·s<sup>-1</sup>, 4.18 ± 0.28 m·s<sup>-1</sup>, 4.89 ± 0.18 m·s<sup>-1</sup>であった。

滑走速度, サイクル長, サイクル時間およびサイクルレートの各変数間の相関分析を行った結果を表 2 に示した。滑走速度とサイクル長およびサイクルレートには正の相関 ( $r = 0.865, p < 0.001$ ;  $r = 0.906, p < 0.001$ ), 滑走速度とサイクル時間には負の相関が見られた ( $r = -0.900, p < 0.001$ )。サイクル長とサイクルレートの間には正の相関関係が認められた ( $r = 0.585, p < 0.001$ )。

表 2. 滑走速度, サイクル長, サイクル時間およびサイクルレートの間関係

変数A	変数B	相関係数	有意水準
滑走速度	サイクル長	0.865	***
滑走速度	サイクル時間	-0.900	***
滑走速度	サイクルレート	0.906	***
サイクル長	サイクルレート	0.585	***

$n = 35$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

滑走速度と左脚支持期, 両脚支持期および乗り換え期の関係について重回帰分析を行った結果を表 3 に示した。滑走速度は左脚支持期, 両脚支持期および乗り換え期と負の相関を示した (それぞれ  $r = -0.465, p < 0.01$ ;  $r = -0.396, p < 0.01$ ;  $r = -0.920, p < 0.001$ )。重回帰分析の結果, 滑走速度と左脚支持期, 両脚支持期および乗り換え期の間で有意な回帰式  $y = -2.189x_1 - 2.830x_2 - 13.387x_3 + 7.069$  ( $y$ : 滑走速度 (m·s<sup>-1</sup>),  $x_1$ : 左脚支持期 (s),  $x_2$ : 両脚支持期 (s),  $x_3$ : 乗り換え期 (s),  $r^2 = 0.883$ ,  $SEE = 0.408$ ) が得られた。左脚支持期, 両脚支持期, 乗り換え期の標準化係数はそれぞれ -0.232, -0.202, -0.756 であった。

表 4 に滑走速度および水平最大速度と各変数との 2 変数間の相関分析を行った結果を示した。滑走速度と水平最大速度および左脚支持開始時の水平速度, 水平最大速度と左脚支持開始時の水平速度には非常に高い正の相関関係が認められた (それぞれ  $r = 0.988, p < 0.001$ ;  $r = 0.990, p < 0.001$ ;  $r = 0.977, p < 0.001$ )。水平最大速度は両脚支持期, 乗り換え期, 両脚支持期の平均加速度と有意な負の相関を示した (それぞれ  $r = -0.407, p < 0.05$ ;  $r = -0.915, p < 0.001$ ;  $r = -0.908, p < 0.001$ )。

表 3. 滑走速度と左脚支持期, 両脚支持期および乗り換え期の関係

変数	$B$	$SEB$	$\beta$	$r$	$VIF$
左脚支持期	-2.189	0.751	-0.232 **	-0.465	1.688
両脚支持期	-2.830	1.101	-0.202 *	-0.396	1.634
乗り換え期	-13.387	1.430	-0.756 ***	-0.920	1.729
定数	7.069	0.371			
$SEE$	0.408				
$r^2$	0.883				

$n = 35$ , \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .  $B$ : 標準化係数,  $SEB$ : 回帰係数の標準誤差,  $\beta$ : 標準偏回帰係数,  $r$ : 相関係数,  $VIF$ : 変動インフレーション因子,  $SEE$ : 推定値の標準誤差,  $r^2$ : 決定係数。

表4. 滑走速度および水平最大速度と各変数との関係

変数A	変数B	相関係数	有意水準
滑走速度	水平最大速度	0.988	***
滑走速度	左脚支持開始時の水平速度	0.990	***
水平最大速度	左脚支持開始時の水平速度	0.977	***
水平最大速度	両脚支持期	-0.407	*
水平最大速度	乗り換え期	-0.915	***
水平最大速度	両脚支持期の平均加速度	-0.908	***

$n = 35$ , \* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

#### 4. 考察

1 サイクルの滑走動作と左ローラースキーの水平速度や水平加速度との対応関係について検討すると、図1の典型例に示したとおり、左脚支持期では前方へ推進する左ローラースキー上にある左脚のみの支持で滑走しており、左ローラースキーの水平速度は身体合成重心の水平速度と同程度の速度を保っていた。その後、右ローラースキーの接地により両脚支持での滑走となり、左ローラースキーは大きく減速するが、依然として水平前方への速度を有していた。この間キック動作前の左ローラースキーは前方にスイングされる右ローラースキーと比べて大きく減速した。先行研究 (Vähäsöyrinki et al., 2008) ではキック時に効果的に力発揮して推進するためにはキック直前までに十分に減速しておくことが重要であるとされており、本研究でも左ローラースキーをキック動作の準備のため意識的に減速していたと推察される。また、左脚でのキック動作時に左ローラースキーの水平速度が0以下となったことは、左脚でのキック動作は左ローラースキーが路面に停止した状態で力発揮して行われることを示している。左脚でのキック動作以降、左ローラースキーには正の水平加速度が生じた。左ローラースキー離地時点から左脚は一旦後方に蹴り上げられ、左ローラースキーの水平加速度が左ローラースキー離地時点の最大値から大きく減少する時点から前方に振り戻される。よって、左脚の前方への

スイング動作が開始されるまでの左ローラースキーの水平前方への加速度は、左脚のキック動作、右脚への支持移行および左ローラースキーの離地の結果として生じたものであると考えられる。左脚遊脚期には、左ローラースキーの水平速度は左脚の前方へのスイング動作によって身体合成重心の水平速度以上の速度まで増加した。左ローラースキーの接地後も左脚の前方へのスイング動作は継続し、左ローラースキーは身体合成重心の水平速度よりも高い水平速度を維持していた。以上のような滑走動作と左ローラースキーの水平速度や水平加速度との対応関係は、ローラースキー滑走時特有の動作や身体合成重心が常に水平前方方向に推進してキック時以外はローラースキーが水平前方への速度を有することに起因すると考えられる。

本研究では身体合成重心の水平速度の1サイクル間の平均値を滑走速度とした。身体合成重心の水平速度は1サイクル間でほぼ一定の値であったこと (図1c参照) から、その方法の妥当性が示された。また、各試行における滑走速度と規定速度との誤差は2.5%程度であり、各被験者は規定速度にほぼ近い速度で滑走していた。滑走速度の増加に伴ってサイクル長、サイクルレートはともに増加した (表2)。Bilodeau et al. (1992) はクロスカンリースキーでダイアゴナルストライドを用いて平地滑走した場合と登坂した場合のサイクル長およびサイクルレートを調べ、平地滑走時は滑走速度の増加に伴

いサイクル長は増加、サイクルレートは低下するのに対して、比較的緩い斜度（8.7%）を登坂する際にはサイクル長とサイクルレートがともに増加すること、また登坂時は平地滑走時に比べてサイクル長が減少することを報告している。一方、Stöggli and Müller（2009）はダイアゴナルストライドを用いて一定の滑走速度でローラースキー滑走させて斜度を増加（10.5～21.2%）した場合、斜度の増加に伴ってサイクル長とサイクルレートの両方が低下するが、キック時の力発揮を増大させることで一定の滑走速度を維持していると述べている。本研究で得られた滑走速度とサイクル長およびサイクルレートとの関係は比較的緩い斜度を登坂する場合と一致する。したがって、負荷調整装置を用いてローラースキーに一定の摩擦負荷を加えてダイアゴナルストライドで平地滑走した場合、加えられた摩擦負荷によってサイクル長が減少することや滑走速度を維持するために短時間により力強くキックすることが必要になることから登坂時の動作に近似した動作となると考えられる。

Norman et al.（1985）は競技成績が異なる選手を対象としてダイアゴナルストライドを用いてクロスカントリースキーで滑走した際のサイクル長と下肢動作の関係について検討し、競技成績上位の選手は脚を大きくスイングさせて前方への推進時間を長くすることでサイクル長を伸長し、滑走速度を高めているとしている。滑走速度の増加に伴ってサイクル長とサイクルレートがともに増加し、サイクル長の増加に伴いサイクルレートが増加するという本研究の結果（表2）を考え合わせると、ダイアゴナルストライドでのローラースキー滑走時の滑走速度を高めるためには、脚の前方へのスイング動作をより積極的に行い、ローラースキーの前方への推進距離を増加させてサイクル長を伸長すること、さらにその動作をより短時間で行うことが必要であると考えられる。

滑走速度とサイクル時間の間に見られる強い関連（表2）は、サイクル時間を構成する左脚支持期、両脚支持期および乗り換え期が滑走速

度に影響を与え得ることを示唆している。表3に示したように、滑走速度と左脚支持期、両脚支持期および乗り換え期には関連が認められ、滑走速度を高めるためには各局面がそれぞれ短縮されることが必要となる。重回帰分析の結果から、滑走速度は左脚支持期、両脚支持期および乗り換え期の3変数でほぼ説明され、3変数がともに短縮されれば滑走速度が増加することが示唆される。また、乗り換え期の標準化係数の絶対値は左脚支持期や両脚支持期よりも著しく大きく、他の局面と比較して時間的に短い乗り換え期を短縮することでより効果的に滑走速度が高まると考えられる。したがって、滑走速度を効果的に増加させるためには左脚でのキック動作と右脚支持への移行を素早く行うことに重点を置き、1サイクル中の動作全体をより短時間で行うことが必要であると考えられる。

次に、左ローラースキーの水平速度が滑走速度に与える影響について検討した。左ローラースキーの1サイクル間の水平速度は左ローラースキー接地時点で最大となった後、左脚支持期以外は左脚キック開始時点の0まで漸減し、その後左脚のキック動作と前方のスイング動作により再び最大値まで増加するという変化を示した（図1d参照）。よって、左ローラースキーの水平最大速度を高めればそれ以降の左ローラースキーの水平速度全体が高まる可能性が示唆される。表4に示したとおり、滑走速度、水平最大速度および左脚支持開始時の水平速度の間には非常に強い関連が見られ、左ローラースキーの水平最大速度を増加させることで左脚支持開始時の水平速度が高められ、1サイクルにおける滑走速度全体が高まると考えられる。加えて、両脚支持期が短いほど、両脚支持期の平均加速度が小さいほど、また乗り換え期が短いほど水平最大速度が高いという結果から、減速期にある左ローラースキーをより早く減速してキック動作を行い、右ローラースキーに素早く乗り換えて右脚での支持により短時間で切り換えることで、左ローラースキーの水平最大速度が高まると考えられる。

以上のことから、ダイアゴナルストライドで



ローラースキー滑走する際に滑走速度を高めるためには、

- 1) 脚の前方へのスイング動作を積極的に行い、ローラースキーをより前方へ推進させてサイクル長を伸長すること
- 2) キック動作前のローラースキーを早く減速して素早いキック動作を行い、反対側のローラースキーに短時間で乗り換えることで遊脚期のローラースキーの水平最大速度を高めること
- 3) これらの動作全体をより短時間で行うことが有効であると考えられた。

#### 注

- 1) SAJポイントは全日本スキー連盟(SAJ)のランキングシステムであり、点数が低いほど高い競技レベルであることを示している。

#### 文献

- 阿江通良(1996)日本人幼少年およびアスリート の身体部分慣性係数. 体育学研究, 15 (3) : 155-162.
- Blodeau, B., Boulay, M. R., and Roy, B. (1992) Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24 (8) : 917-925.
- Komi, P. V. (1987) Force measurements during cross-country skiing. *Int. J. Sport Biomech.*, 3 (4) : 370-381.
- Lindinger, S. J., Göpfert, C., Stöggl, T., Müller, E., and Holmberg, H. -C. (2009) Biomechanical pole and leg characteristics during uphill diagonal roller skiing. *Sports Biomech.*, 8 (4) : 318-333.
- Nakai, A. and Ito, A. (2011) Net efficiency of roller skiing with a diagonal stride. *J. Sports Sci.*, 29 (4) : 423-429.
- Norman, R., Caldwell, G., and Komi, P. (1985) Differences in body segment energy utilization between world-class and recreational cross-country skiers. *Int. J. Sport Biomech.*, 1 (3) : 253-262.
- Smith, G. A. (2003) Biomechanics of cross coun-

try skiing. In: Rusko, H. (Ed.) *Cross Country Skiing*. Blackwell Science: Oxford, pp. 32-61.

- Stöggl, T. and Müller, E. (2009) Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41 (7) : 1476-1487.
- Stöggl, T., Müller, E., and Lindinger, S. (2008) Biomechanical comparison of the double-push technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing. *J. Sports Sci.*, 26 (11) : 1225-1233.
- Vähäsöyrinki, P., Komi, P. V., Seppälä, S., Ishikawa, M., Kolehmainen, V., Salmi, J. A., and Linnamo, V. (2008) Effects of skiing speed on ski and pole forces in cross-country skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 40 (6) : 1111-1116.
- Winter, D. A. (2005) *Biomechanics and motor control of human movement* (3rd ed.) . John Wiley & Sons : Hoboken, NJ.
- Zory, R., Barberis, A., Rouard, A., and Schena, F. (2005) Kinematics of sprint cross-country skiing. *Acta Bioeng. Biomech.*, 7 (2) : 87-96.