

クロスカントリースキーのスタート局面におけるクラシカル走法の技術の特徴
Characteristics of classic style technique during starting phase
in cross-country skiing

藤田善也¹⁾, 石毛勇介²⁾, 吉岡伸輔³⁾, 衣笠竜太^{4,5)}, 土屋純⁴⁾
Zenya Fujita¹⁾, Yusuke Ishige²⁾, Shinsuke Yoshioka³⁾, Ryuta Kinugasa^{4,5)}, Jun Tsuchiya⁴⁾

¹⁾早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

²⁾国際武道大学体育学部

³⁾立命館大学スポーツ健康科学部

⁴⁾早稲田大学スポーツ科学学術院

⁵⁾理化学研究所

¹⁾ Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

²⁾ Faculty of Physical Education, International Budo University

³⁾ Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University

⁴⁾ Faculty of Sport Sciences, Waseda University

⁵⁾ RIKEN

キーワード: 滑走速度, ストライド, ピッチ, ダイアゴナル走法, ダブルポーリング走法

抄 録

本研究は, クロスカントリースキー競技クラシカル種目のスタート局面におけるダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法をキネマティクスの手法を用いて解析し, それぞれの走法の特徴を明らかにすることで, 加速局面においてより高い滑走速度を得るための示唆を得ることを目的とした. 被験者は, 日本代表を含む大学クロスカントリースキー競技者 5 名とした. 被験者には, 雪上での 50m の直線コースにおいて, ダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法, さらに被験者が最も滑走速度が高くなるように前述の 2 走法を自由に組み合わせた試技(以下, コンビネーション試技)を用いて静止した状態から最大努力で滑走させた. 被験者の実施をレーザー瞬時速度測定器と高速度ビデオカメラを用いて記録し, 50m の所要時間, 10m 毎の平均速度および最高速度, 総サイクル数, ピッチおよびストライドを算出した. その結果, (1) 50m の所要時間に差はみられなかった, (2) 最高速度はダブルポーリング走法がダイアゴナル走法と比較して有意に高値を示した, (3) 滑走速度は, 10-20m 区間においてはダイアゴナル走法がダブルポーリング走法より有意に高値を示し, (4) 30-50m 区間においてはダブルポーリング走法がダイアゴナル走法より有意に高値を示した, (5) コンビネーション試技は, スタート直後にダイアゴナル走法を実施し, その後ダブルポーリング走法に切り替えて実施されていた. 以上の結果から, クラシカル種目におけるスタート局面では, まずスタート直後の加速に優れるダイアゴナル走法を用いて, 次にダイアゴナル走法より最高速度の高いダブルポーリング走法に切り替えるというコンビネーション技術が, 高い滑走速度を得るために重要となることが示唆された.

スポーツ科学研究, 8, 3-11, 2010 年, 受付日:2010 年 11 月 5 日, 受理日:2011 年 1 月 22 日
連絡先:藤田善也 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15 e-mail: z.fujita.w-ski@akane.waseda.jp

I. 緒言

1985 年のノルディックスキー世界選手権より、クロスカンリースキー競技では、クラシカル種目とフリー種目の 2 種類の競技が行われている。クラシカル種目はスキーを平行にした状態で滑走す

るクラシカル走法で行うのに対し、フリー種目はスキーを V 字に開いて滑走することで、クラシカル走法より高い速度を獲得できるスケーティング走法で行うのが一般的である。クラシカル走法には主に 3 種類の滑走技術が用いられている(図 1)。



図1. クラシカル種目の3走法 (A) ダブルポーリング走法, (B) キックダブルポーリング走法, (C) ダイアゴナル走法

ダブルポーリング走法 (以下, ダブルポーリング) は, 左右対称でかつ同時にポールのプッシュ動作を行うことで推進力を得る滑走技術であり, 平地の滑走やラストスパート, スプリント競技などで多く用いられている(Bilodeau et al., 1996, Mittelstad et al., 1995, 鈴木ら 2008). キックダブルポーリング走法 (以下 K-ダブルポーリング) は, ダブルポーリングのポーリング動作の間に片足のキック動作によって推進力を加える滑走技術であり, 平地もしくは緩やかな上り坂で用いられている (Bilodeau et al., 1996, Rusko, 2003). ダイアゴナル走法 (以下, ダイアゴナル) は, 腕によるポールのプッシュ動作と反対側の脚によるキック動作を用いた滑走技術であり, 急な上り坂で多く使

用される走法である(Bilodeau et al., 1996, 小林, 1980, 鈴木, 2008). これらの走法を比較した研究では, ダブルポーリングおよびK-ダブルポーリングがダイアゴナルと比較してエネルギー効率に優れていることや, K-ダブルポーリングがダブルポーリングと比較してストライドの獲得には優れているが, 速度とピッチの獲得には優れていないこと(Hoffman, 1995, Saibene, 1989)が示されており, 各走法に一長一短の特徴があることがわかる. 競技のスタート時においては, 一般にダイアゴナルを用いて滑走速度をある程度高めたのちにダブルポーリングを実施することが多いが, スタート直後からダブルポーリングを用いる選手も見受けられる. 一方で, K-ダブルポーリング走法を用いた

スタートは見受けられない。このことは、先にも述べたとおり、K-ダブルポーリングが速度とピッチの獲得に優れていないためであると考えられる。つまり選手は、スタート時の加速局面において、スタートダッシュを用いて他の選手よりも先行するだけでなく、その後のレースストラテジーを想定しながら、効率よく、且つ、高い滑走速度を獲得するために最適な滑走技術を選択していることが考えられるが、選手がどの走法をいつの地点で実施しているのか、走法の切り替えが行われているのか、などの特徴は明らかになっていない。

2010 年バンクーバーオリンピック男子スプリント競技において 30 位までの決勝トーナメント出場者を決する予選では、30 位の選手と 31 位の選手のタイム差はわずか 0.10 秒であった(F.I.S.公式記録より, <http://www.fis-ski.com/>)。また一斉スタートで行われる準々決勝の全 5 レース中 3 レース、準決勝の全 2 レース、および決勝の 1 レースでは、写真判定によって勝敗が決定されている(テレビ中継映像より)。これらの結果からスプリント競技は、コンマ数秒を競う種目であることが伺える。一方で、決勝トーナメントのスタート局面をみると、スタート動作に優れる選手と劣る選手ではスタートの数秒後にスキー板 2 本分(およそ 4m に相当)以上の差がついていることが確認できる(テレビ中継映像より)。つまり、スタート技術の向上によってコンマ数秒の時間短縮は十分に可能であり、より高い競技パフォーマンスを獲得できる可能性があるといえる。そこで本研究は、スタートの加速局面におけるダブルポーリングとダイアゴナルの走法の特徴を明らかにし、より高い滑走速度を得るための示唆を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、日本代表を含む大学クロスカン트리スキー競技者 5 名(年齢 20.2 ± 0.8 歳, 身長

174.4 ± 5.5 cm, 体重 71.9 ± 3.1 kg)であった。実験に先立って、東京大学倫理審査委員会の承認を受けた。各被験者に本研究の目的と実験方法を説明した上で、実験のインフォームドコンセントを得た。

2. データの取得

実験には、平坦に整備されたクロスカンリースキーのクラシカル専用コースの平地 50m を使用した。実験試技は、ダブルポーリングおよびダイアゴナルと、被験者が最も滑走速度が高くなるように前述の 2 走法を自由に組み合わせた試技(コンビネーション: 以下コンビ)の計 3 種類とした。なお、K-ダブルポーリングは、スタート局面において一般的に実施されていないことから、解析対象から除外した。各試技は、スタート地点に被験者を静止させ、スタート地点から 50m 地点通過までを最大努力で滑走させた。スタート地点後方 10m からレーザー瞬時速度測定器(LAVEG-Sports, JENOPTIK 社製)を用いて滑走速度を試技ごとに測定した。また各試技とも側方から高速度ビデオカメラ(EX-F1, Casio 社製)を用いて毎秒 300 フレーム、露出時間 1/1000 秒によりパニング撮影をした。各走法につき 2-5 回の試行を行い、最も滑走速度の高かった 1 試技を分析対象とした。各被験者とも、試行間に 5 分間以上の休息をさせた。なお、実験は、全被験者のすべての試技を同じ日に実施した。実験に用いたコースの雪質は固く、実験前後にコースの相違はみられなかった。

3. 分析項目

レーザー瞬時速度測定器から得られた腰部の変位は、バターワースデジタルフィルタを用いて遮断周波数 3 Hz で平滑化し、スタートから 50m 通過までの所要時間、10m ごとの平均速度を算出した。また、被験者ごとに 10m の平均速度の中

から最も高い速度を最高速度とした。側方のカメラ映像から 30m 地点のリファレンスマーカー上を腰部が通過した時点と腰部の位置がスタートから 30m を超えた時点を、腰部の変位とカメラ映像との同期地点とした。同期させたカメラ映像を用いて、ボールの接地を 1 サイクルの開始とし、次のボールの接地を 1 サイクルの終了として、両時点のフレーム数と腰部の変位から各試技の総サイクル数、1 サイクルごとの滑走速度およびピッチを算出した。さらに 1 サイクルごとの滑走速度とピッチから 1 サイクルごとのストライドを算出した。

4. 統計処理

各測定項目は平均値 ± 標準偏差で示した。50m の所要時間、最高速度、総サイクル数およ

び 10m ごとの滑走速度の比較には、ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いた。危険率は、5 % 未満を有意として判定した。

III. 結果

1. 所要時間、最高速度と総サイクル数

各試技における 50m 所要時間、最高速度、総サイクル数は、表 1 に示した。50m 所要時間には、有意差は認められなかった。最高速度は、ダブルポーリングがダイアゴナルと比較して有意に高値を示した。総サイクル数は、ダイアゴナルがダブルポーリングと比較して有意に高値を示した。

表 1 各走法の 50m 滑走時の所要時間、最高速度、総サイクル数

	ダブルポーリング	ダイアゴナル	z	p	コンビネーション
50m 所要時間 (s)	9.39±0.59	9.15±0.39	0.67	0.500	9.00±0.65
最高速度 (m/s)	6.90±0.26	6.80±0.31	2.02*	0.043	7.05±0.40
総サイクル数 (times)	12.33 ± 1.03	20.17 ± 1.60	2.04*	0.041	16.33 ± 0.52

各走法の値は、平均値 ± 標準偏差で示した。* : $p < 0.05$ (両側検定)

コンビネーションは参考値として掲載した。

2. コンビネーション試技

2 走法を自由に組み合わせたコンビでは、全被験者ともスタート直後にダイアゴナルを実施しており、その後 1 名が 9 サイクル目にダブルポーリングへと走法の切り替えを行っており、他の 4 名は 11 サイクル目にダブルポーリングへと走法の切り替えを行っていた。つまり本研究ではコンビはダイアゴナルからダブルポーリングへと走法を切り替えて滑走する試技であったことが確認された。

3. 速度曲線

図 2 は各走法におけるスタートから 50m までの 1 サイクルごとの速度の平均値と標準偏差を示したものである。すべての走法において、スタート直後から急激な速度の増加がみられ、20m 付近からは滑走距離の増加に伴って緩やかな速度の増加がみられる。速度曲線の平均値をみるとスタート直後からコンビおよびダイアゴナルが高い速度を示しており、次いでダブルポーリングが高値を示した。

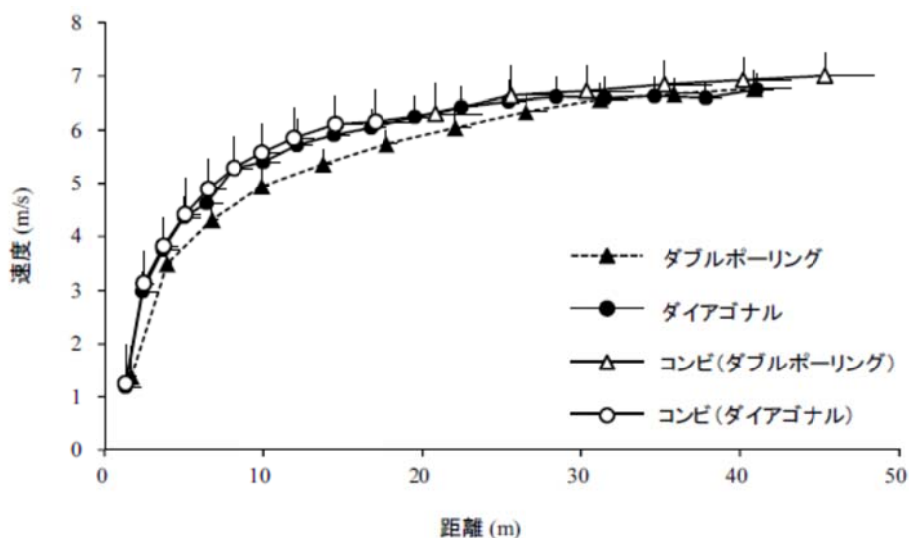


図 2 各走法の 1 サイクル毎の速度の変化

4. ストライドとピッチ

図 3 は各走法におけるストライドの平均値と標準偏差を示したものである。ストライドは各走法ともスタートから 50m 地点まで徐々に増加していた。ダイアゴナルのストライドが短く、ダブルポーリングのストライドが長いという特徴が示された。図 4 は各走法におけるスタートから 50m までの 1 サイクルごとのピッチの平均値と標準偏差を示したものである。ダイアゴナルのピッチには、スタート直後から急激なピッチの増加がみられ、その後に低下

し、11 サイクル目以降はほぼ一定であった。ダブルポーリングのピッチには、急激な変化はみられなかった。2 走法を比較すると、ダブルポーリングのピッチが低く、ダイアゴナルのピッチが高い特徴が示された。コンビのストライドおよびピッチは、スタートから 15 m 付近まではダイアゴナルと同様の傾向を示し、走法をダブルポーリングへと変更した 25 m 以降はダブルポーリングとほぼ同様の傾向を示した。

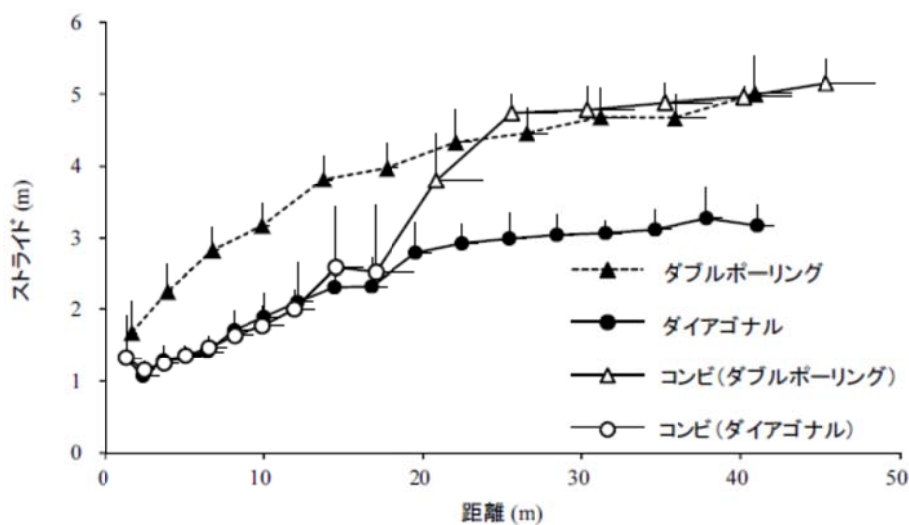


図 3 各走法の 1 サイクル毎のストライドの変化

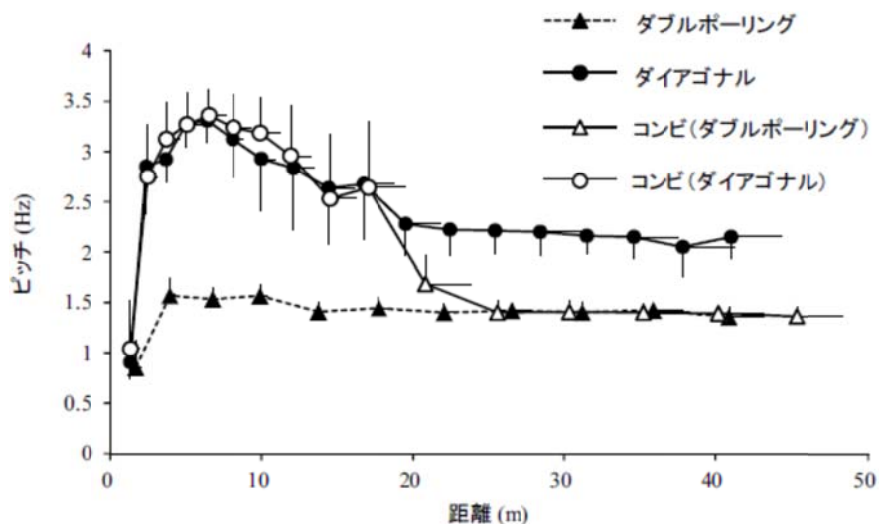


図 4 各走法の 1 サイクル毎のピッチの変化

5. 走法間の速度の変化

図 5 はダブルポーリングおよびダイアゴナル走法の 10m 区間ごとの速度の分布を示したものである。ウィルコクソンの符号順位和検定の結果、10-20m 区間においてダイアゴナルがダブルポー

リングと比較して有意に高値を示した。また、30-40m および 40-50m 区間においてはダブルポーリングがダイアゴナルと比較して有意に高値を示した。

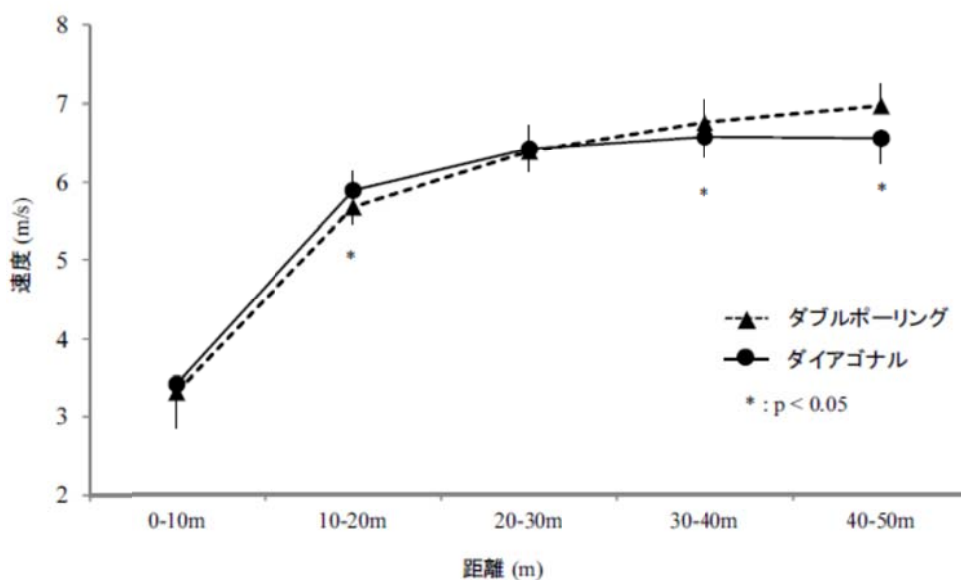


図 5 ダブルポーリング走法とダイアゴナル走法のスタート局面における 10m ごとの滑走速度の比較

IV. 考察

1. ダブルポーリングおよびダイアゴナル走法の特徴

本研究では、スタート時の加速局面において最適な走法を明らかにするために、クラシカル種目で用いられる2走法の50mの所要時間を比較した。その結果、所要時間には走法間に有意差はみられず、50mの滑走時に突出して優れた単一の走法はなく、ほぼ同程度の時間で滑走できることが示された。しかしながら、最高速度や総サイクル数、ストライド、ピッチの結果をみると2つの走法の特徴は異なっていることから、各走法の長所と短所が相互に影響し合った結果、同程度の時間で滑走がなされたことが推察される。したがって、各走法の特徴を明らかにした上で、スタートからの加速に有効な走法について考察する。

1). ダブルポーリング走法

ダブルポーリングおよびダイアゴナルは、1サイクル毎の速度曲線を見ると、スタート後に急激な増加がみられる点では一致する。しかし、総サイクル数、ストライドおよびピッチからみると、異なる特徴を持つ走法であるといえる(表1, 図2, 3, 4)。ダブルポーリング中のストライドは、滑走距離が伸びるにつれて増加しているが、ピッチには変化がみられなかった。これらのことからダブルポーリングは、スタート局面において、ストライドを増加させることで加速を行っている走法といえる。スタートからの速度増加の程度はダイアゴナルに比べて比較的緩やかに増加しており、最高速度に到達するまでに、比較的長い距離を要することが示唆された。一方で30-50m区間ではダイアゴナルより高い速度を獲得していた。これらのことからスタート局面において、ダブルポーリングは高い速度を獲得できるが、加速にはある程度の距離および時間が必要な走法であることが示唆される。

2). ダイアゴナル走法

ダイアゴナルは、ダブルポーリングと比較するとストライドが低く、ピッチが高い走法であるといえる(図3,4)。図3をみると、ストライドはダブルポーリングと同様に滑走距離が伸びるにつれて増加している。一方、図4をみると、ピッチはスタート直後に急激な増加を示しており、ダブルポーリングとは異なる特徴を持つことが明らかである。これらのことからダイアゴナルは、スタート局面において、ピッチを急激に増加させながらストライドを増加させることで加速を行っている走法といえる。速度の変化をみると、20-30m区間で最高速度に近い速度まで達しており、ダブルポーリングと比較すると高い速度を獲得するまでに必要な距離は比較的短いといえる。しかしながら30-50m区間ではダブルポーリングと比較して低値を示しており、30m以降はダブルポーリングより滑走速度に劣る走法であるといえる。これらのことからスタート局面において、ダイアゴナルはスタート直後の加速に優れた走法であることが示唆される。

2. コンビネーション試技の検討

コンビ試技時においては、指示していないにもかかわらず、全被験者がダイアゴナルからダブルポーリングへと走法の変更を行っていた。このことは、選手がコンビ動作を経験則などから直感的に採用しているか、あるいはトレーニングの過程において指導者に指摘されて、より滑走速度を高めやすい切り替えを実施していることを示唆するものである。そこで、各被験者に聞き取り調査を実施したところ、全被験者が指導を受けていないという内証が得られた。つまり、スタート時において、ダイアゴナルからダブルポーリングへと走法を切り替える手段は、トレーニングの過程において指導者に指摘されているというよりもむしろ、選手の直感によって一般的に行われているといえる。そこでスタート直後に行われるダイアゴナルとその後

に切り替えて実施されるダブルポーリングの 2 つの走法の特徴を踏まえた上で、コンビ試技時における切り替えの利点について検討する。図 2 をみると、30m 付近においてダイアゴナルとダブルポーリングとの速度曲線が交差しており、ダブルポーリングがダイアゴナルの速度に達したことが示されている。また、コンビとダイアゴナルの速度曲線(図 2)をみると、25m まではほぼ同様の変化を示しているが、25 m 以降にコンビがダイアゴナルよりやや上方へと伸びていることがわかる。さらに 10-20m 区間においてはダイアゴナルがダブルポーリングより優れており、40-50m 区間においてはダブルポーリングがダイアゴナルより優れていること(図 5)を踏まえると、コンビでは、まず加速に有利なダイアゴナルを用いることでスタート直後に高い速度を獲得し、次にダブルポーリングへと走法を変更することでダイアゴナルでは頭打ちとなる 30m 以降においても、より高い速度を獲得していることが推察される。

一方で、参考値として示したコンビの所要時間と最高速度は、ダブルポーリングやダイアゴナルとほぼ同等の値を示した(表 1)。このことは、ダブルポーリングとダイアゴナルが有する加速に有利な特徴を生かしたコンビを実施しても、単一の走法との差がないといえる。つまり 2 走法の有利な特徴を生かしても、走法の切り替え動作そのものが、滑走速度の増加を妨げる一要因となっていることが考えられる。図 2 をみると、コンビ試技時において、走法が変更された 20m 地点の速度曲線が一度平行になっていることが確認できる。また同時に切り替え動作直後の 11 サイクル目のストライド(図 3)が、単一の走法の値には達していない。したがって、コンビ実施の利点を生かすためには、ダブルポーリングへの切り替え直後に単一の走法程度のストライドを獲得し、一連の滑走速度を低下させない技術を身につけることが、重要であるといえる。

ここで、実際の競技場面を想定すると、短距離種目であるスプリント競技においても約 1 km を滑走しなければならないことから、加速局面においては最高速度を獲得すると同時に、疲労を極力蓄積しない走法を選択することが重要となる。Mittelstadt et al.(1995)は、傾斜 1.7%の緩やかな上り坂における同一速度(67, 94, 121, 148, 174 m/min)下でダブルポーリングとダイアゴナル滑走中の血中乳酸濃度を比較した結果、走法間に有意差がないことを示している。しかしこの報告では滑走後の血中乳酸濃度が $2.0\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ 程度であり、Mognoni et al.(2001)や Mygind et al.(1994)が示したクロスカントリースキー競技の試合後の血中乳酸濃度($9.2\text{-}14.0\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)と比較すると設定された運動強度が低かったため、走法間の血中乳酸濃度に差がなかったことが考えられる。一方、別の研究(Saibene et al.(1989), Hoffman et al.(1990))では、平地における同一速度(14.2 km/h)下でダブルポーリングとダイアゴナル滑走中の心拍数と酸素摂取量を比較した結果、ダイアゴナル滑走中の心拍数と酸素摂取量はダブルポーリングよりも有意に高値であることが示されている。つまり、平地の同一速度下において、ダイアゴナルはダブルポーリングよりも運動強度が高く、長い時間にわたって運動を継続するための運動効率に優れた走法であることが推察される。これらのことを踏まえると、加速局面でコンビにおいてダイアゴナルからダブルポーリングへの切り替えが行われたことは、走法の切り替えによって滑走速度を減少させるリスクを伴いながらも、運動を持続しやすいダブルポーリングを実施することで、その後の滑走を有利にする方策を選択したと考えられよう。

本研究は、スタートの加速局面のみに焦点を当てたが、レース全般にわたって、単一の走法で滑走することは少なく、走法を切り替えるのが一般的である。選手は、高い速度を維持しながら滑

走を継続できる走法をコースの雪質や斜度に応じて選択しており, 切り替えのタイミングの技術も競技成績と大きく関わっていると考えられる. この点については, 今後より詳細な研究が必要である.

V. 結論

本研究は, クロスカントリースキー競技クラシカル種目の加速局面におけるダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法を比較し, それぞれの走法の特徴を明らかにすることで, 加速局面においてより高い滑走速度を得るための示唆を得ることを目的とした. その結果, ダイアゴナル走法がスタートからの加速に最も優れた走法であること, 加速局面後期にはダブルポーリング走法がダイアゴナル走法より滑走速度の獲得に有利な走法であることが明らかとなった. またスタート局面においてスタート直後にダイアゴナル走法を行い, その後, ダブルポーリング走法に走法を切り替える滑走技術は, 高い滑走速度を得るために合理的に選択された動作であることが示唆された.

参考文献

- ・ Bilodeau B., Rundell, K. W., Roy, B., Boulay, M. R.: Kinematics of cross-country ski racing, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28: 128-138, 1996.
- ・ Hoffman, M. D., Clifford, P. S.: Physiological responses to different cross country skiing techniques on level terrain, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22: 841-848, 1990.
- ・ Hoffman, M. D., Clifford, P. S., Bender, F.: Effect of velocity on cycle rate and length for three roller skiing techniques, *Journal of Applied Biomechanics*, 11: 257-266, 1995.
- ・ 小林規: 交互滑走の動作分析, *体育の科学*, 33: 895-899, 1980.
- ・ Mittelstad, S. W., Hoffman, M. D., Watts, P. B., O'Hagan, P., Sulentic, J. E., Drobish, K. M., Gibbns, T. P., Newbury, V. S., Clifford, P. S.: Lactate response to uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole techniques, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27: 1563-1568, 1995.
- ・ Mognoni, P., Rossi, G., Gastaldelli, F., Canclini, A., Cotelli, F.: Heart rate profiles and energy cost of locomotion during cross-country skiing races, *European Journal of Applied Physiology*, 85: 62-67, 2001.
- ・ Mygind, E., Andersen, L. B., Rasmussen, B.: Blood lactate and respiratory variables in elite cross-country skiing at racing speeds, *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 4: 243-251, 1994.
- ・ Rusko, H.: *Cross Country Skiing*, Blackwell Science, 32-61, 2003.
- ・ Saibene, F., Cortili, G., Roi, G., Colombini, A.: The energy cost of level cross-country skiing and the effect of the friction of the ski, *European Journal of Applied Physiology*, 58: 791-795, 1989.
- ・ Stöggl, T. L., Müller, E.: Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41: 1476-1487, 2009.
- ・ 鈴木典: クロスカントリースキー — 腕を使って速く滑る —, *体育の科学*, 58: 788-793, 2008.