

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750302

研究課題名(和文) バイオメカニクス的手法を用いたクロスカントリースキー競技の滑走技術の評価

研究課題名(英文) Biomechanical evaluation of the techniques of cross-country skiing

## 研究代表者

藤田 善也 (FUJITA, Zenya)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・講師

研究者番号：30633226

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではクロスカントリースキー競技において、バイオメカニクス的手法を用いて滑走技術の評価を行った。その結果、(1)V2スケーティング走法中の滑走速度の増加は、ポールおよびローラースキーを用いた短時間での大きな力発揮と関係があること、(2)世界一流選手は日本人選手と比較して平地と下り坂のパフォーマンスに優れること、(3)最大努力のダブルポーリング走法でのタイムトライアルは、選手のパフォーマンスを評価するために有効であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, the skiing techniques were evaluated using biomechanical analysis in cross-country skiing. It revealed that (1) the increase in the skiing velocity of V2 skating was associated with the rapid force exertion of pole and roller ski, (2) the skiing techniques of elite cross-country skiers in flat and downhill sections were superior to those of Japanese skiers, and (3) the time trial of double poling technique was useful in the evaluation of skiers' performance.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：パフォーマンス評価 キネマティクス キネティクス

### 1. 研究開始当初の背景

クロスカン트리スキー競技は、雪上に設けられたコースを両手に装着したポールと両足に装着したスキー板を用いて滑走し、その所要時間を競う競技である。本競技を対象とした研究では、最大酸素摂取量をはじめとする持久力に関するパラメータと競技成績との間に強い相関関係があることが示されており、選手の持久力を高めることが重要と考えられてきた。一方で、斜度や速度に応じて滑走動作の異なる複数の走法を用いて滑走すること、ポールやスキー板を用いて推進力を獲得することから、選手の滑走技術に着目した研究が進められるようになってきている。クロスカン트리スキー競技の滑走技術に着目した研究では、競技会中の運動学的研究や実験環境を設定した滑走中の運動学的研究がある。前者では選手の技術に着目しており、成績上位群は滑走速度が高いこと、身体各部位の関節角度が下位群と異なること<sup>①</sup>、下り坂の滑走技術が高いこと<sup>②</sup>が示されている。これらの研究は、世界一流選手の滑走技術を評価したものであり、競技現場にとって有益な情報となり得る。しかし、競技成績で劣る日本人選手の滑走技術の良し悪しを客観的に示す結果がなく、滑走技術を高めるためのトレーニングの方策が十分に明らかにされていないのが現状である。一方、後者の研究では、ポールとスキー板から検出された反力が滑走速度の増加に伴って増加すること<sup>③</sup>等が明らかになっているものの、クラシカル種目で用いられる3走法とフリー種目で用いられる3走法のすべてを対象に研究されたものはない。走法の異なる選手の滑走技術を評価し、さらに世界一流選手と滑走技術を比較することができれば、日本人選手の競技力向上に有益な情報を得ることが可能となる。

### 2. 研究の目的

本研究では、(1)クロスカン트리スキー競技におけるV2スケーティング走法中の滑走技術、(2)世界一流選手と日本人選手との滑走技術の差の抽出、および(3)滑走技術に差のある走法を対象とした選手のパフォーマンス評価方法の検討を目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) クロスカン트리スキー競技におけるV2スケーティング走法中の滑走技術

#### ① 被験者

被験者はクロスカン트리スキー競技者2名であった。本研究の主旨を口頭で説明したうえで、書面による同意を得た。

#### ② ポール反力の計測

本研究を実施するために、従来よりも小型・軽量化された圧電式力センサ内蔵型ノルディックポールを製作した(図1)。高感度力センサ(9217A, Kistler Japan Co., Ltd., Japan)は、ポールのしなりによってモーメ

ントがかからないように金属製の筒の中に配置した。センサによって検出された信号は、小型チャージアンプ(5030A, Kistler Japan Co., Ltd., Japan)によって電圧値に変換し、ワイヤレス8chロガー(SS-WS1311, Sports Sensing Co., LTD, Japan)にサンプリング周波数1000Hzで記録した。得られた電圧値は、PCに取り込み、キャリブレーション係数を乗じて力へと変換した。



図1. 製作された圧電式力センサ内蔵型ノルディックポール

#### ③ ローラースキー反力の計測

ローラースキー反力システムは、競技用ローラースキー(Skating 610 A, Marwe oy, Finland)の底部の前後に歪ゲージ(1000Ω, N11-FA-5-1000-11, SHOWA Measuring Instruments Co., Ltd., Japan)を専用接着剤(CN, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., Japan)で貼付し(図2)、コーティング剤(N-1 YK20L, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., Japan)で一次コーティングを施し、エポキシ系強力接着剤(Standard Araldite, Huntsman Japan Co., Ltd., Japan)で二次コーティングを施して製作した。ローラースキー反力システムの信号は貼付された歪ゲージからブリッジ回路内蔵型歪ゲージロガー(SS-WS1307, Sports Sensing Co., LTD, Japan)にサンプリング周波数1000Hzで記録した。なお、ローラースキー反力システムは、測定前にフォースプレートを用いて力の校正を行い、キャリブレーション係数を算出した。



図2. 歪ゲージを貼付したローラースキー反力システム

#### ④ 実験プロトコル

実験は、国立スポーツ科学センター2階体

力科学実験室2に設置されている大型トレッドミルにて実施された。被験者に、力計測用のポールおよびローラースキーを装着させた。被験者の背部に小型チャージアンプおよびワイヤレス8chロガーを装着させた。

トレッドミルの斜度を5%に設定し、時速12km、14kmの2種類の試行を15秒間実施した。試行中の走法はV2スケータリング走法とした。

#### ⑤ 分析項目

分析は試行ごとに、15秒間に行われた全サイクルを対象とした。1サイクルは両方のポールの接地から、次のポールの接地までとした(図3)。1サイクル中のポールを用いた上肢の動作は、ポールの接地から離地までをポーリング局面、ポールの離地から次のポールの接地までをスイング局面とした。1サイクル中のローラースキーを用いた下肢の動作は、ローラースキーの接地から一度、反力が大きくなり、その後減少して最小になるまでをグライド局面、グライド局面終了時から再度、反力が大きくなり、ローラースキーの離地までをプッシュオフ局面とした。

滑走中のサイクル頻度は1サイクルに要した時間の逆数とした。滑走中のストライド長は、トレッドミル速度を先に求めたサイクル頻度で除した値とした。ポール反力のピーク値は、ポール接地直後の衝撃によるスパイクを除き、ポーリング局面(図3)中期の最高値とした。ローラースキー反力のピーク値はプッシュオフ局面のローラースキー反力の最高値とした。

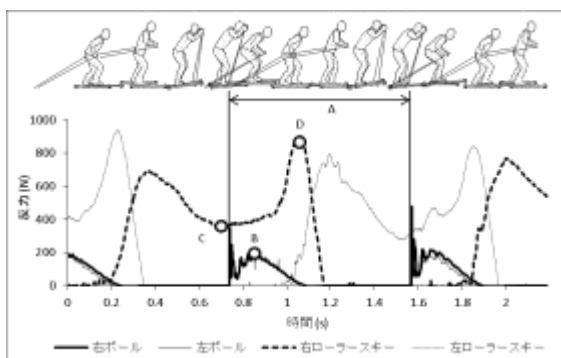


図3. V2スケータリング走法中のポールおよびローラースキー反力

(2) 世界一流選手と日本人選手との滑走技術の差の抽出

#### ① 被験者

被験者は、カザフスタン、アルマティにおいて行われた2015ノルディックジュニア世界選手権の男子1.3kmクラシカルスプリント競技予選に出場した日本人選手を含む男子クロスカン트리競技者77名であった。

#### ② 撮影方法

使用されたコースの1.0kmの上り坂を撮影地点とした。コースの左側方にハイスピードカメラ(HC-W850M, Panasonic corporation, Japan)を設置し、サンプリング周波数120Hz、シャッタースピード1000Hzで選手の滑走動

作を撮影した。なお、撮影地点で選手が用いた走法はダイアゴナル走法であった。全選手が通過した後に2mのキャリブレーションポールをカメラに映しこませた。

#### ③ 分析方法

撮影された映像はPCに取り込み、プログラミングソフトウェア(Matolab R2010b, The MathWorks, Inc., United States)を用いて、左ポール接地時と次の右ポール接地時の左大転子点をデジタル化し、座標値とフレーム数を取得した。キャリブレーションポールの長さをもとに、座標値を実長換算して実座標を得たうえで、1サイクル中のストライド長を算出した。またフレーム数からサイクル時間を算出し、その逆数をサイクル頻度とした。ストライド長とサイクル頻度の積で滑走速度を算出した。被験者の所要時間と得られた滑走速度との関係はピアソンの積率相関係数を用いて求めた。危険率は5%とした。

(3) 滑走技術に差のある走法を対象とした選手のパフォーマンス評価方法の検討

#### ① 被験者

大学スキー部に所属するクロスカントリスキー競技者21名を対象とした。本研究の主旨を口頭で説明したうえで、書面による同意を得た。

#### ② 実験方法

上り坂のアスファルト路面において、2.5kmの最大努力の滑走を1時間の休息を挟んで計2回の試行を行わせた。その際、1回目はダブルポーリング走法のみでの滑走を、2回目はクラシカル種目で用いられる3走法を自由に組み合わせて滑走するよう指示した。それぞれの試行中の被験者の所要時間を計測した。

使用されたコースの1.5kmの上り坂を撮影地点とした。コースの左側方にハイスピードカメラ(HC-W850M, Panasonic corporation, Japan)を設置し、サンプリング周波数120Hz、シャッタースピード1000Hzで選手の滑走動作を撮影した。全選手が通過した後に2mのキャリブレーションポールをカメラに映しこませた。

#### ③ 分析方法

撮影された映像はPCに取り込み、動作解析ソフトウェア(Frame dias V, DKH, Japan)を用いて、身体座標点13点とポール先端1点の計14点をデジタル化した。得られた座標値は4点実長換算法を用いて実座標へと変換した。

ポール接地から次のポール接地までを1サイクルと定義した。得られた座標から1サイクル中の身体重心および身体重心速度を算出した。ポール接地から離地までをポーリング局面、ポール離地から次の接地までをスイング局面と定義した。サイクル長、サイクル頻度、ポーリング時間、スイング時間、各関節の角度および角速度を算出した。

ダブルポーリング走法での所要時間とク

ラシカル総合滑走での所要時間、および所要時間と算出された各項目との関係は、ピアソンの積率相関係数を用いて求めた。危険率は5%とした。

#### 4. 研究成果

(1) クロスカントリースキー競技におけるV2 スケーティング走法中の滑走技術

① 滑走速度の増加に伴うサイクルパラメータの変化

2名の被験者の滑走中のストライド長は12km/hでは3.27m、3.18mであり、14km/hでは3.68m、3.38mであった。また滑走中のサイクル頻度は12km/hでは1.05Hz、10.2Hzであり、14km/hでは1.15Hz、1.06Hzであった。これらの結果は、斜度5%の上り坂のV2 スケーティング走法では滑走速度の増加に伴い、ストライド長およびサイクル頻度が増加することを示唆するものである。

② 滑走速度の増加に伴うポールパラメータの変化

V2 スケーティング走法中には、一峰性のポール反力と二峰性のローラースキー反力が検出された(図4)。2名の被験者の滑走中のポール反力のピーク値は12km/hでは154N、106Nであり、14km/hでは170N、109Nであった。また、滑走中のポーリング時間は12km/hでは0.32s、0.34sであり、14km/hでは0.30s、0.29sであった。さらにスイング時間は12km/hでは0.66s、0.62s、14km/hでは0.65s、0.59sであった。これらの結果は、斜度5%の上り坂のV2 スケーティング走法において、選手が短時間でより大きなポールによる力発揮を行い、且つポールを素早くスイングすることで滑走速度を高めていることを示唆するものである。

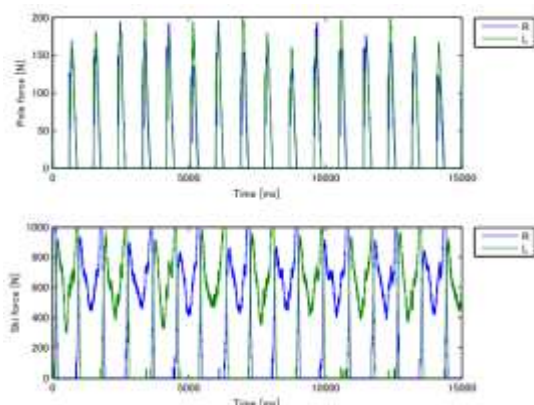


図4. 滑走中のポール反力およびローラースキー反力

③ 滑走速度の増加に伴うローラースキーパラメータの変化

2名の被験者の滑走中のローラースキー反力のピーク値は12km/hでは1034N、724Nであり、14km/hでは1105N、803Nであった。またグライド局面とプッシュオフ局面の豪合計時間は、12km/hでは1.12s、1.10s、14km/hでは1.08s、1.01sであった。これらの結果

は、斜度5%の上り坂のV2 スケーティング走法において、選手が短時間でより大きなローラースキーによる力発揮を行うことで滑走速度を高めていることを示唆するものである。

これらの結果を踏まえると、V2 スケーティング走法において滑走速度を高めるには、ポールとローラースキーのそれぞれを用いて短時間で大きな力発揮を行うことで、ストライド長とサイクル頻度を増加させることが重要であるといえる。

(2) 世界一流選手と日本人選手との滑走技術の差の抽出

① 所要時間と上り坂におけるダイアゴナル走法中のサイクルパラメータとの関係

2015 ノルディックジュニア世界選手権男子スプリント競技の所要時間とダイアゴナル走法中の滑走速度との関係は、図5に示した。統計処理の結果、所要時間と滑走速度の間には強い負の相関関係が認められた( $r = -0.819$ ,  $p < 0.001$ )。この結果は、1.0 km地点のダイアゴナル走法の滑走速度を高めることは所要時間の短縮と関連することを示唆するものである。

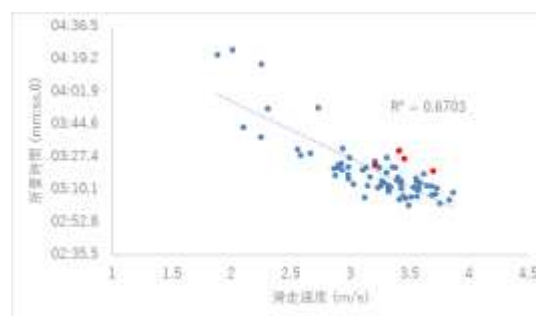


図5. 2015 ノルディックジュニア世界選手権男子スプリント競技の所要時間とダイアゴナル走法中の滑走速度との関係。日本人選手を赤で図示した。

② 日本人選手の特徴

日本人選手の競技成績は47位、57位、62位、67位であり世界に大きく差をつけられる結果であった。撮影地点における日本人選手の滑走速度に着目すると、ダイアゴナル走法の滑走速度は全体で6位、49位、22位、31位(競技成績順に記載)であり、競技成績に対して比較的高いパフォーマンスを発揮していることが示された。同コースは、スタート直後、平地と下り坂が連続したのちに撮影地点の上り坂を経てフィニッシュを迎える。このことを踏まえると、日本人選手は撮影地点の上り坂以外の地点で世界一流選手により大きな差をつけられていたことが示唆される。平地や下り坂ではダイアゴナル走法ではなく、ダブルポーリング走法やダウンヒル滑降が使用される<sup>④</sup>ことを踏まえると、日本人選手は平地のダブルポーリング走法や下り坂のダウンヒル滑降のパフォーマンスを高めることが、国際競技力を向上させるうえ

で重要であることが推察される。

(3) 滑走技術に差のある走法を対象とした選手のパフォーマンス評価方法の検討

① ダブルポーリング走法のみを試行とクラシカル総合滑走による試行との比較

各試行の所要時間は、ダブルポーリング走法での試行では  $779.4 \pm 112.5$  s, CL 試行では  $935.7 \pm 179.6$  s であり、ダブルポーリング走法での試行が有意に高値を示した ( $p < 0.001$ )。また DP 試行とクラシカル総合滑走による試行の所要時間との間に有意な相関関係がみられた ( $r = 0.949$ ,  $p < 0.001$ )。ダブルポーリング走法での試行の所要時間の短縮がクラシカル総合滑走による試行の所要時間の短縮に関連することが示唆された。このことは本研究で実施したダブルポーリング走法のパフォーマンス評価方法が、同競技のパフォーマンスを評価するうえで有効な指標であることが示唆するものである。

② ダブルポーリングのみを試行における上り坂の優れたダブルポーリング走法の滑走技術

ダブルポーリングのみを試行における所要時間と滑走速度には、有意な負の相関関係がみられた。また、競技パフォーマンスに優れた選手は、短時間でダブルポーリング動作を行っており、ポーリング局面において肘関節を素早く屈伸させ、股関節および膝関節をより屈曲させた状態からさらに素早く屈曲させていることが示された。さらにポールを前方にスイングさせるリカバリ局面において、股関節および膝関節を素早く伸展させていることが示された。

<引用文献>

- ① Gregory et al. (1994) Kinematic analysis of skating technique of Olympic skiers in the women's 30-km race. *J. Appl. Biomech.* 10: 382-392.
- ② Street et al. (1994) Relationship between glide speed and Olympic cross-country ski performance. *J. Appl. Biomech.* 10: 393-399.
- ③ Stöggl et al. (2010) General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 21 : 791-803.
- ④ 藤田善也ほか(2016) クロスカン트리スキー競技クラシカル種目におけるスキー板およびサブ走法の選択に関する研究: スケーティング走法専用スキー板を使用したダブルポーリング走法およびヘリンボーン走法に着目して. 体育学研究, 早期公開.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1 件)

- ① 藤田 善也、藤田 佑平、井川 純一、鈴木 典 クロスカン트리スキー競技におけるローラースキーによる上肢のパフォーマンス評価方法の検討、第 26 回冬季スポーツ科学フォーラム 2015 新潟・湯沢、2015 年 8 月 10 日、新潟県湯沢町

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 善也 (FUJITA Zenya)

早稲田大学スポーツ科学学術院・講師 (任期付)

研究者番号 : 30633226