

平成 22 年 6 月 14 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間： 2007～2009

課題番号：19700503

研究課題名（和文） クロスカントリースキー滑走法の力学的特性の解明

研究課題名（英文） Biomechanical analysis of cross-country skiing.

研究代表者

山本 敬三（YAMAMOTO KEIZO）

北翔大学・生涯学習システム学部・准教授

研究者番号：00405698

研究成果の概要（和文）：本研究はクロスカントリー（以下、CC）スキーの SS 走法を対象とし、斜度変化に対する運動力学的な対応を解明することを目的とした。斜度条件を規定するため、トレッドミル上で実験を行い、斜度を 3% から 11% まで、2% 毎変化させた。被験者にはローラースキーを使用させて滑走動作を課した。滑走中の主な推進力を発揮するポーリング動作とスキーキック動作をバイオメカニクス的手法で分析した。ポーリング角、スキー開き角を三次元動作分析で、ポーリング力、足底圧を力覚センサで計測した。結果、斜度増加に伴って、スキー開き角とポーリング力については有意に増加し（ $P<0.05$ ）、ポーリング角と足底圧については有意な変化は見られなかった。このことから、斜度変化による必要推進力の変動分を、ポーリング動作では力の大きさで、スキーキック動作では力の作用方向で対応することが分かった。上肢と下肢とでは、斜度変化に対する力学的な対応に違いがあることが分かった。

研究成果の概要（英文）：This study was aimed at elucidating the biomechanics of the Super-Skating (SS) technique in a cross-country skiing. The experiments were carried out on a treadmill to prescribe a degree of the slope, which was changed a degree from 3% to 11% for every 2% (5 conditions). The subject performed SS technique with roller skis at the speed of 5.5 km/h. The pole-pushing and ski-kicking movements during roller-skiing were analyzed biomechanically. The poling angle and ski-opening angles were measured by three-dimensional motion capture, and the pole-pushing force and ski-kicking force were acquired from strain gauges and foot sensors, respectively. As a result, the ski-opening angle and the pole-pushing force were significantly ( $P<0.05$ ) increased at the slope condition of 11% compared with those of 3% and 5%. Neither the poling angle nor ski-kicking force changed on any condition. Collectively these data indicate that dynamic corresponding in the poling was different from that in the skiing. For the increase of a degree of the slope, the skier increases the polling force itself in the polling movement and changes the direction of the ski-kicking force in the skiing.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19 年度	1,300,000	0	1,300,000
20 年度	500,000	150,000	650,000
21 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	300,000	2,600,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：クロスカントリースキー、スケーティング走法、力学分析、動作分析、スキーキック力、ポーリング力

### 1. 研究開始当初の背景

競技力向上を目指した CC スキー研究の問題点は、ポーリング力計測等の力量計測が実験室レベルで行われ、実動作中における力学的特性および滑走技術力の評価が十分でない点にある。特に、本研究で着目している SS 走法については、映像分析にとどまり、その力学的特性は未だ明らかになっていない。また、QS(Quick-Skating)走法においても、斜度によって走法は変化するため、斜度をパラメータの一つとして最適な身体動作を明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、CC スキーのレース展開で特に重要である SS 走法（加速時）と QS 走法（登坂時）に関して、その力学的特性を解明し、技術評価と最適動作の検討を行うことである。解析では 3 次元動作分析に加え、ポーリング力、スキーキック力の力量計測を行い、身体動作と推進力、滑走速度の関連性を検討する。

### 3. 研究の方法

被験者は女子選手 1 名（長野・ソルトレイクオリンピック大会出場者）とし、実験前にインフォームドコンセントを行い、承諾後、研究に参加してもらった。被験者にはトレッドミル（L3.1m×W1.8m）上でローラースキーによる SS 走法を課した。斜度をパラメータとし、3,5,7,9 および 11%の斜度条件でそれぞれ 1 分間滑走させた。滑走速度は 5.5km/h とした。滑走中の主な推進力を発揮するポーリング動作とスキーキック動作をバイオメカニクス的手法で分析した。ポールとローラースキーの動作を映像分析で、ポーリング力と足底圧を、力覚センサを用いて計測した。映像分析では、同期した 2 台のビデオカメラ（60fps）を用いスケーティング動

作を撮影し（図 1）三次元動作解析を行った（FrameDIAS II,(株)DKH）。分析から、スキー開き角（スキー接地時の左右スキーのなす角、図 2）、ポーリング角（ポール接地時のポールと斜面のなす角）を算出した。スキーキック力の計測では左右足底部の母趾球と踵の計 4 点に圧センサ（FlexForce 110N, センサ部 φ9.5mm, NITTA 社製）を装着して足底圧を計測した（サンプリング周波数 500Hz）。圧センサのキャリブレーションでは、各センサに規定の圧縮力（25N、50N および 75N）を加えた時の出力電圧を計測し、線形の単回帰分析から出力電圧-足底圧の回帰式を求めた。実験では、母趾球と踵のセンサから得られた波形のピーク値を求め、合計したものをスキーキック力の指標値とした。計測結果から最大キック力、サイクル時間を算出した。ポーリング力計測では、ポールのグリップ下部に 4 枚の歪みゲージ

（KFRP-2-120-C1-9L1M2R, KYOWA 社製）でブリッジ回路（直交配置法）を形成し、ポーリング時の圧縮荷重を電圧変換して計測した（サンプリング周波数 500Hz）。計測された電圧は、床反力計（BP6001200, AMTI 社製）を用いてキャリブレーションを行った（図 3）。床反力計上でポールを鉛直方向に荷重したときの電圧と床反力を計測し、両者の単回帰分析から電圧-力変換式を求めた。実験で計測されたポーリング力から左右それぞれのピーク値を求め、その合計を計測値とした。

各センサからの出力電圧をアンプ（ポーリング力は DL-170A, 足底圧は DL-250, S&ME 社製）で増幅し、携帯口ガー（DL-1000, S&ME 社製）で記録した。センサを含む計測装置の総重量は 320g であり、被験者の動作を妨げないよう、小型軽量化を実現した。

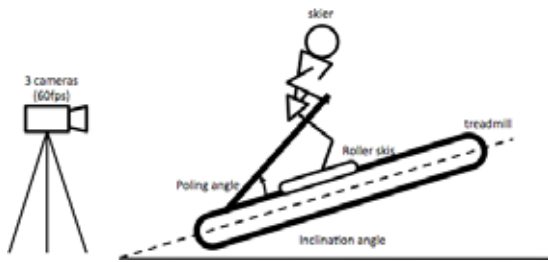


図1 実験系

ポーリング角はポール設置時におけるポールの長軸と床面のなす角度とする

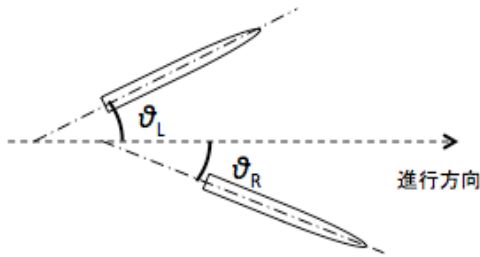


図2 スキー開き角の定義

スキー接地時の左右スキーと進行方向とのなす角度

統計処理においては、各項目の計測値から5サイクルの平均値と標準偏差を求めた。有意差検定には一元配置分散分析(ANOVA)および Scheffe's post hoc test を用いた。それぞれの有意性の判定には危険率を5%未満とした。また、各項目について左右差を分析するため t-検定を用いた。歪みゲージと足底圧センサのキャリブレーションでは、出力電圧と荷重値から Pearson の相関分析を行い、相関係数を求めた。また、単回帰分析を用いて電圧-力の回帰式を求めた。

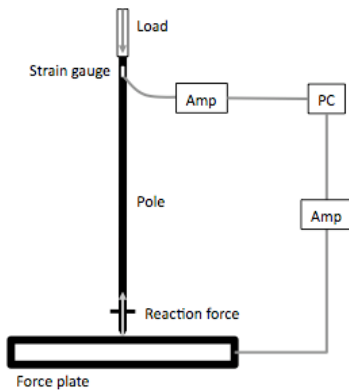


図3 ポーリング力の校正

床反力計上でポールを鉛直下向きに加重

した時の電圧値と床反力を計測した。

#### 4. 研究成果

足底圧計測で用いた各圧センサのキャリブレーション実験では、出力電圧と圧縮力に線形の相関関係が示された ( $R>0.95$ )。製作した歪みゲージセンサ付きポールのキャリブレーション実験から出力電圧とポーリング圧縮力の間には、線形の相関関係 ( $R>0.98$ ) が示された。回帰分析から電圧-力の変換式を求め、計測実験から得られた出力電圧からスキーキック力およびポーリング力を算出した。全てのセンサにおいて、高い相関関係を得ることができ、高精度の計測環境を確保できた。

計測実験では、斜度増加に伴って、スキー開き角とポーリング力については増加し、斜度条件 3%と 11%および 5%と 11%に有意差が認められた(図4および図5)。特にポーリング力については、斜度条件 9, 11%において左右差も検出された。しかし、ポーリング角と足底圧およびサイクル時間については斜度条件間で有意差は認められなかった。

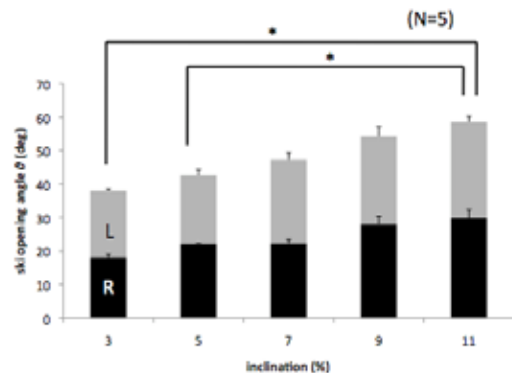


図4 各斜度条件におけるスキー開き角  
斜度増加に伴い、スキー開き角が大きくなる。  
(M+SD. \*P<0.05, ANOVA)

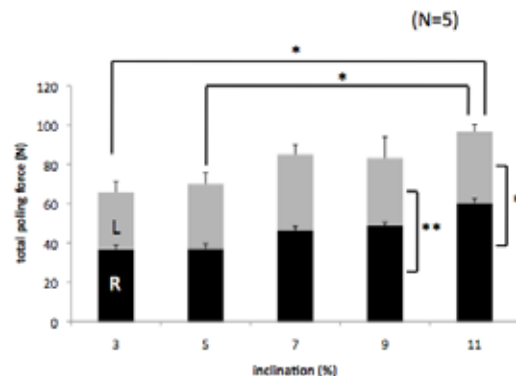


図5 各斜度条件におけるポーリング力  
斜度増加に伴って、ポーリング力が大きくなる。  
9%,11%では、左右差が現れる。(M+SD. \*P<0.05, ANOVA, \*\*P<0.05, t-test)

以上の結果より、斜度変化に対する動作戦略には、上肢のポーリング動作と下肢のスキーキック動作とではその対応方法が異なることが分かった。つまり、ポーリング動作では力の作用方向（ポーリング角）を変えず、その大きさ（ポーリング力）を変えて対応し、スキーキック動作では、力の大きさ（スキーキック力）は変えず、作用方向（スキー開き角）を調整することで推進成分を増減させる戦略を行ったことが示唆された。また、斜度条件 9,11% で確認されたポーリング力の左右差については、SS 走法から QS 走法へ移行する局面であったため、被験者の優位側である右のポーリング力が大きくなったと考えられる。

本研究における最も重要な知見は、SS 走法の推進力発揮・調整のメカニズムが上肢と下肢とで異なることが明らかとなった点であり、この成果は SS 走法の技術向上の指針となり得る。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

山本敬三、杉本つばさ、クロスカントリー  
—スキー滑走法の力学的特性— スーパー  
—スケーティング走法の分析—、北翔大  
学生涯スポーツ学部研究紀要、創刊号、  
1-7、2010、査読無

〔学会発表〕（計 2 件）

Sugimoto Tsubasa, Yamamoto Keizo,  
Kawahatsu Kiyonori, A pilot study of  
the influence of an inclination on V2  
skate technique in cross-country  
skiing, 4<sup>th</sup> International Congress on  
Ski Science and Skiing, Austria, 2007  
杉本つばさ、山本敬三、斜度変化がク  
ロスカントリースキー V2 スケーティ  
ング滑走動作に及ぼす影響、日本バイ  
オメカニクス学会、仙台大学、2008

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 敬三 (YAMAMOTO KEIZO)

北翔大学・生涯学習システム学部・准教授  
研究者番号：00405698