

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 20 日現在

機関番号：30117

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700620

研究課題名（和文） スキージャンプ・テイクオフ動作の力学的左右差の分析

研究課題名（英文） Analysis of biomechanical asymmetry on takeoff motion in ski-jumping

研究代表者

山本 敬三（YAMAMOTO KEIZO）

北翔大学・生涯スポーツ学部・准教授

研究者番号：00405698

研究成果の概要（和文）：

スキージャンプのテイクオフ動作では選手に短時間で高出力の踏切力が要求される。空力的に最適な飛行姿勢を形づくる上で、この踏切力に左右差がないことが望ましい。本研究ではバイオメカニクスの手法を用いて、踏切力の左右差を定量的に評価することを目的とした。関節運動や筋活動の大きさ、発揮タイミング等を分析項目とし、動作分析から股・膝・足関節の関節モーメントを算出して対称性指数を以て左右差の定量評価を行った。本研究より、テイクオフ動作の力学的左右差は、助走姿勢時の左右差の影響を強く受けることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

A high takeoff force in a short period is required in the takeoff movement of the ski jumping. It is desirable for this takeoff force not to have laterality in forming the most suitable flight posture aerodynamically. The purpose of this study was to evaluate the laterality of the takeoff force quantitatively using the biomechanical techniques. The laterality of the magnitude and timing of joint moment in lower limbs was analyzed by the motion analysis. The laterality was evaluated using symmetry index. It was recognized that laterality in the approach run posture had an influence on the laterality of the takeoff movement.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：スキージャンプ、テイクオフ動作、左右差

## 1. 研究開始当初の背景

スキージャンプの一連の動作は、主に助走、踏切、初期飛行、飛行、着地準備および着地の6局面に分類される。この中で着地準備と着地局面を除くと、ジャンパーの姿勢や動作

は左右対称であることが運動力学的にも空気力学的にも望ましい。空中局面において左右非対称の姿勢は空気力学的に不利であることから、フライト姿勢を形成するためのテイクオフ動作（踏切局面と初期飛行局面）に

において左右非対称の力発揮は、競技パフォーマンスを低下させる可能性が高い。左右対称性の崩れた飛行姿勢は、空気力学的な不安定要素となり得る。スキージャンパーの飛行局面は時間的に数秒と短いことから、空力的な不安定から安定状態へ回復することは困難である。このような理由から安定したフライト姿勢を形成するために、踏切局面における左右均等な力発揮が重要といえる。

運動力学的な左右差については、健常歩行などの比較的強度の運動においても左右差が現れることが報告されていることから (Sadeghi 2000)、スキージャンプのテイクオフ動作のように、短時間に大きな力発揮が要求される高パワーの運動においては、力学的な左右対称性が崩れやすくなると考えられる。これに対し、スキージャンプ・テイクオフ動作のバイオメカニクス的研究においては、その多くが矢状面内で分析され、左右差(非対称性)に関して言及された報告はない (Janura et al 1999, Virmavirta and Komi 1993ab)。助走姿勢から着地までの足底圧を計測した Virmavirta et al (2000, 2001) の報告では、両足で足圧および筋電計測を行っているものの、左右差に関しては言及されず、足指部と踵部の圧力比較から前後方向の足圧分析に重点が置かれている。Schwameder (2008) によるスキージャンプに関するバイオメカニクス的な研究報告のレビューにも、テイクオフ動作の力学的左右差分析が行われたという報告は見あたらない。一方で指導・競技現場においては、選手・コーチは実動作やビデオ映像等から姿勢や動作が左右非対称性であることを認識している (Iwata and Miyoshi 2005)。しかし、その左右差を定量的に評価する手法は確立されていないために、姿勢や動作の矯正は選手・コーチの手探りで行われているのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究ではテイクオフ動作をバイオメカニクス的に分析し、動作時の力学的左右差を検出・定量化することを第1の目的とした。また、選手個々の計測データをデータベース化し、指導現場へフィードバックする方法を検討することを第2の目的とした。

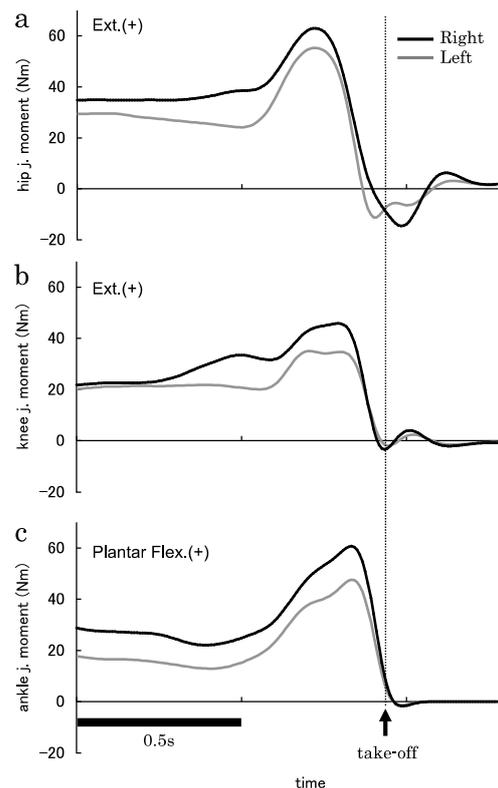
## 3. 研究の方法

### (1) 左右差の検出および定量化

左右差の検出および定量化には、バイオメカニクスの手法を用い、関節運動や関節モーメントの大きさ、ピーク値の発現タイミング等を分析項目とした。まず、実験室内の計測において定量化手法の実験系構築を行った。被験者は、スキージャンパー2名とし、モーションキャプチャと床反力計を用いて、シミュレーション・テイクオフ動作中における下

肢三関節(股・膝・足関節)の関節モーメントとパワーを算出し、対称性指数を以て左右差の定量評価を行った。この手法によって、関節部位別に力学的または時間的左右差を定量評価した(図1)。次に、助走姿勢時の左右差がテイクオフ動作に及ぼす影響を検討するため、インソール型足圧分布計測装置(Pedar-X, Novel社製)を用いて、実験室内および実ジャンプ計測の実験系の構築を行った。ここでは、実験室内では、選手14名を対象にシミュレーション・テイクオフ動作を課し、助走姿勢から離床までの踏切力の左右差を定量評価した。更に、実際のスキージャンプ動作中の足圧力分布を測定・分析する実験プロトコルを組み立てて、実動作中の足圧力分布を計測した。実験では、7名のジュニアジャンパーに協力してもらい、助走から着地までの足圧分布を計測した(図2)。実ジャンプ中の分析では、左右荷重の差に加えて、圧分布の左右差についても検討を行った。個々の選手の左右差特性をデータベース化し、選手・指導者へフィードバックした。

図1 下肢3関節の関節モーメントの経時



変化: (a)股関節、(b)膝関節、(c)足関節  
助走姿勢時に既に左右差が認められ、テイクオフ動作にも影響を及ぼすことが示された。

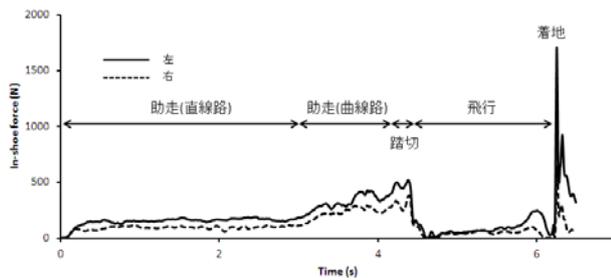


図2 実ジャンプ中における足底力発揮の左右差

助走姿勢時の左右差が踏切や飛行局面にまで影響を及ぼすことが示された。

#### (2) 指導現場への応用

指導現場において力学的左右差を簡便に計測できる機器の開発を行った。家庭用ゲーム機のコントローラであるバランスWiiボードを用いたトレーニング用ソフトウェアを作成し、スキージャンプ選手や指導者へ配付した。このシステムでは、足圧中心点と床反力鉛直成分をモニタリングでき、ジャンプ力と左右差を同時計測することができる。選手や指導者は、高価な計測機器を購入する事も特定の研究施設に赴く事もなく、指導現場で踏切力を計測することができる。現場で活用できる機器を提供し、これまで不可視であった床反力を視覚的に確認できる環境を整備した(図3)

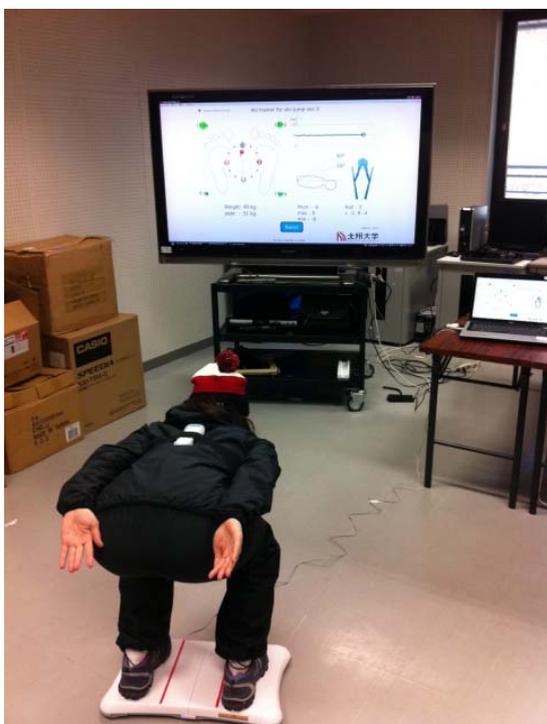


図3 力学的トレーニング用機器を用いた練習の様子

#### 4. 研究成果

モーションキャプチャシステムを用いた動作分析実験からは、関節毎に左右差を定量化でき、左右差の発生原因を追究する事ができた。これによってトレーニング方針を決定に役立つ資料を提供できた。更に、この研究成果から、床反力鉛直方向成分の波形で、左右差の簡易評価ができることが判明した(山本ら, 2010)。

足圧分布計測器を用いた研究結果から、テイクオフ動作の左右差は、助走姿勢時の偏荷重に影響を受けることが示され、助走姿勢時の対称性指数とテイクオフ踏切力の対称性指数に正の相関関係が認められた ( $r = .63$ ,  $P < .05$ , 図4)。実ジャンプ計測から、左右差が偏荷重のみならず、圧分布にも現れることが示された(図5)。圧分布の左右差分析については、定量的な分析手法の検討が今後の課題である。足底の圧力分布は、左右差矯正のためのシューズやインソールの開発に役立つ予定である。

スキージャンプの一連の動作は、理論的に左右対称が求められるにも関わらず、左右差分析に関する研究報告は極めて少ない。また、左右差の発生原因やメカニズムが明確になっていないことを鑑みると、本研究成果の学術的価値は高いと判断される。さらに、指導現場用トレーニング機器の開発・提供は、競技力向上に有用な成果を残すことができた。選手の踏切力や左右差を簡易判定することができる環境が整備され、トレーニング方向性を判断する資料を提供できた。今後の研究課題は、この力学的左右差の矯正方法についてアプローチすることである。

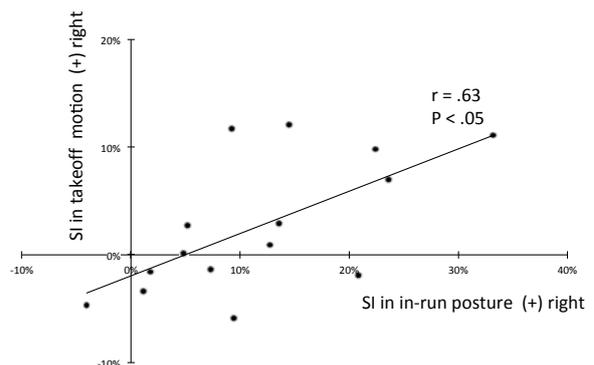


図4 助走姿勢の左右差とテイクオフ動作時の左右差の関係 (SI: symmetry index, 対称性指数)

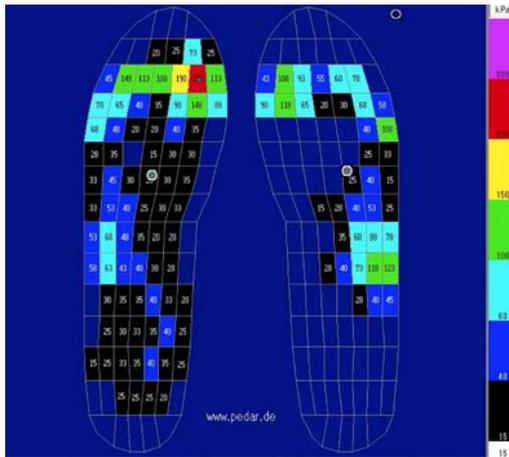


図5 踏切局面に見られる足底圧分布の左右差

左足は足裏全体に圧力発揮が認められるが、右足は前足部と外側部のみに圧力発揮が見られる。

#### 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 8 件)

- ① 山本敬三、松澤 衛、スキージャンプ・テイクオフ動作のバイオメカニクスのトレーニングの提案、北翔大学生涯スポーツ学部研究紀要、査読無、第 2 号、2010、1-10
- ② 松澤 衛、山本敬三、バランス Wii ボードを用いたスキージャンプ用トレーニング機器の開発、北翔大学生涯学習システム学部研究紀要、査読無、第 11 号、2010、1-13
- ③ 三浦望慶、竹田唯史、三浦 哲、山本敬三、国際スキー科学学会の動向-第 1 回から第 5 回学会までの軌跡とスキー研究の国際的な動向-、日本スキー学会誌、査読無、第 21 巻第 1 号、2010、47-54
- ④ 竹田唯史、近藤雄一郎、山本敬三、吉田真、吉田昌弘、小林宣子、川口城二、スキー・スケート選手育成に関する実践報告、北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報、査読無、第 2 号、2011、9-14
- ⑤ 吉田昌弘、山本敬三、吉田 真、2010 年度スポーツアカデミー実施報告、北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報、査読無、第 2 号、2011、15-17
- ⑥ 山本敬三、Methodology of biomechanical evaluation of laterality in ski-jumping take-off、北翔大学生涯スポーツ学部研究紀要、査読無、第 3 号、2012、1-11

- ⑦ 山本敬三、松澤 衛、敏捷性能力向上のためのトレーニング機器の開発、生涯学習システム学部研究紀要、査読無、第 12 号、2012、111-117
- ⑧ Keizo Yamamoto, Makoto Yoshida, Tadashi Takeda, Yuichiro Kondo, Masaki Katayose, Take-off force in ski jumping: age and gender differences, Science and Skiing V, 査読有, 2012, 637-644

[学会発表] (計 7 件)

- ① Keizo Yamamoto, Makoto Yoshida, Tadashi Takeda, Yuichiro Kondo, Masaki Katayose, TAKE-OFF FORCE IN SKI JUMPING: AGE AND GENDER DIFFERENCES, 5th International Congress on Science and Skiing(Austria), December 14-19, 2010, p. 70.
- ② T. Takeda, K. Yamamoto, Y. Kondo, ANALYSIS OF THE LADIES' S MOGULS AT THE VANCOURVER 2010 WINTER OLYMPIC GAMES, 5th International Congress on Science and Skiing(Austria), December 14-19, 2010, p. 153.
- ③ 山本敬三、特別講演「スポーツ・バイオメカニクスの現場応用」、第 23 回北海道スポーツ医科学研究会兼第 13 回体力医学会北海道地方会合同学会、北海道大学、2011 年 4 月 17 日
- ④ 山本敬三、トレーニング講習会「スキージャンプ選手のトレーニング」、第 2 回冬季スポーツ科学フォーラム in 野沢温泉、野沢温泉トレーニングセンター、2011 年 8 月 4 日
- ⑤ 山本敬三、松澤 衛、川初清典、バランス Wii ボードを用いたスキージャンプ用トレーニング機器の精度検証、第 21 回冬季スポーツ科学フォーラム in 野沢温泉、2011 年 8 月 4-5 日
- ⑥ 山本敬三、川初清典、スキージャンプ・テイクオフ動作のバイオメカニクスのトレーニングの提案、日本体育学会第 62 回大会 (鹿屋体育大学)、2011 年 9 月 25-27 日、予稿集 p. 142.
- ⑦ Tadayoshi Asaka, Hiroki Mani, Tatuya Izumi, Tomoya Konishi, Mina, Samukawa, Keizo Yamamoto, Yun Wang and Kazuhiko Watanabe, Characteristics of feedback postural control induced by unexpected surface perturbations in elite skiers, 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology, ICBBT-2012, February 26-28, 2012, Singapore

[その他]

ホームページ等

[http://web.me.com/kyamamoto\\_01/kyamamoto/Welcome.html](http://web.me.com/kyamamoto_01/kyamamoto/Welcome.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 敬三 (YAMAMOTO KEIZO)

北翔大学・生涯スポーツ学部・准教授

研究者番号：00405698

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：