

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 16 日現在

機関番号：82632

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350805

研究課題名(和文) スキージャンプ踏み切り動作終了時の姿勢が飛行局面に及ぼす影響

研究課題名(英文) Aerodynamic effects of a take-off style on early flight phase in ski jumping

研究代表者

山辺 芳 (Yamanobe, Kaoru)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・その他部局等・研究員

研究者番号：00346470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：スキージャンプ選手を対象とした踏み切り動作の風洞実験および2次元画像解析の結果から、合成重心の速度変化(水平方向： V_x 及び鉛直上向き方向： V_y)、6分力計から得られた力の積分値、そして空気力の積分値を求めた。 V_x 及び V_y の最大値(0.82及び2.59m/s)に対する抗力及び揚力の影響を速度とそれぞれの空気力の積分値との比で求めると V_x に対して抗力は-96.7%、 V_y に対して揚力は15.9%の割合を占めていた。すなわち、水平方向への床反力によって発揮された速度は空気抵抗によって約半分程度に減少させられ、鉛直方向の床反力による上昇速度には揚力による速度増大効果が示された。

研究成果の概要(英文)：We performed a wind tunnel experiment of the takeoff movement by ski jumpers. We also conducted two-dimensional image analysis for takeoff movement in the experiment. We calculated the velocity of the center of gravity of a jumper and resolved it into horizontal and vertical components as V_x and V_y . We calculated integral value of the ground reaction forces obtained from the balance. Then we estimated the integrated aerodynamic forces by subtracting the horizontal and vertical component of the integrals of forces from the V_x and V_y . The result shows that drag held -96.7% of ratios for V_x , and lift held 15.9% of ratios for V_y respectively. In other words, horizontal velocity component in takeoff movement which produced by the ground reaction force was decreased in half by the drag. On the other hand, vertical velocity component in takeoff movement which was produced by the ground reaction force was increased by the lift.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：スキージャンプ 踏み切り動作 空気力 揚力の利用 上昇速度

1. 研究開始当初の背景

スキージャンプの動作をスタートから着地まで概観すると、まず助走路を滑走し(助走路局面)、助走路の終端付近で踏み切り動作を行い(踏み切り局面)、その後空中に飛び出し(飛行局面)、着地する(着地局面)という経過をたどる。これまでの研究の多くは、これらの連続した局面を、局面毎に分析し、各局面において飛距離を最大化させるための技術的要因を明らかにしてきた。

しかしながら、これら一連の局面において、ある局面の物理量(速度など)や姿勢が、その後の局面の初期条件を決定することに注意する必要がある。例えば、踏み切り動作において上昇速度を最大化するために、股関節および膝関節を垂直跳びのように最大限に伸展させると、その後の飛行局面において大きな空気抵抗を受けるため、飛行速度の減速をもたらす、結果的に飛距離を最大化することが困難となる。すなわち、ある局面において、飛距離と相関の高いパラメータを一意に増大させることが、飛距離を単調に増大させるとは限らない。このように、スキージャンプの飛距離を最大化させる技術を論ずるには、各局面を関連づけた観点が必要であると考えられる。特に、選手・コーチから重要視されている踏み切り局面の動作技術を検討する際には、踏み切り局面がその後の飛行局面の動作に及ぼす影響をも考慮する必要がある。一方で、踏み切り動作完了時の股関節角度は、優れた選手群に限定しても、広範囲に分布していることが報告されており(Januraら2007; Virmavirtaら2009; 山辺ら2002)、指導者および選手は、踏み切り動作を選択する際の論理的な根拠を必要としている。しかしながら、踏み切り動作終了直後の姿勢を考慮した空気力学的資料は十分ではない。また、最近では踏み切り動作に伴って振り上げられた上肢の位置が、空気力に影響を与えることが指摘されているが(Yamanobeら2007)具体的な飛距離への影響はこれまで報告されていない。

これらの背景から、踏み切り動作完了時の姿勢の多様性(股関節角度および上肢位置)の飛行局面への影響を空気力学的な側面から検討することで、多様な踏み切り技術を論理的に理解することが可能になる。したがって、踏み切り技術を選択する際の具体的な根拠を明らかにすることができるものと考えられる。

2. 研究の目的

スキージャンプの踏み切り動作においては助走によって得られる助走速度が約25m/sと大きいことから、空気抵抗をできるだけ減らすことが重要と考えられてきた。一方で踏み切り動作を対象とした最近の風洞実験の結果から、揚力を利用した踏み切り時間の短縮が可能であることが報告されている。しかしながら、揚力の獲得要因となる体幹部の角

度増加(水平位から頭を起こす動作)は、揚力のみならず抗力も同時に増大させる要因と考えられるため、できるだけ抗力を増大させずに揚力を増大させることが技術的な課題となる。このような揚力の作用を積極的に利用できれば、上昇速度獲得のために有用であると考えられる。そこで本研究は、スキージャンプ選手を対象として風洞内で踏み切り動作を行わせ、流体力の影響を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

ジュニア期のジャンプ選手を対象として、風速25m/sの気流条件で踏み切り動作を実施させた(図1)。風洞床面に設置された6分力計によって空気力(揚力、抗力)を測定した。空気力データ収集に際しては専用アンプを介して24bitの分解能を持つA/D変換ボードによって、サンプリング周波数1kHzでコンピュータに取り込んだ。また、選手の右側面に設置した高解像度高速度ビデオカメラ(Phantom LC310, Vision Research社)を用いて、毎秒300~1000フレームの映像を撮影した(解像度1280×800ピクセル)。得られた選手の右側面映像の2次元画像解析を行った。同期信号ランプの画像への映し込みおよび同期信号のA/D変換ボードへの取り込みによってVTR画像と地面反力データとの同期を行った。画像解析から算出された重心の座標データを2階微分することで加速度を算出した。画像解析によって求められた加速度の鉛直および水平方向成分を6分力計によって測定された力データから差し引くことで正味の流体力(揚力・抗力)を推定した。



図1 風速25m/sで踏切動作を行う選手

4. 研究成果

(1) 図2及び図3は風速25m/sの条件下で踏み切り動作を行かせた際の選手の合成重心の速度変化(水平方向: V_x 及び鉛直上向き方向: V_y)、6分力計から得られた力の積分値(I_{Fpx} 及び I_{Fpy})そして空気力の積分値(I_{Drag} 及び I_{Lift})をそれぞれ示す。 V_x 及び V_y の最大値(0.82 及び 2.59 m/s)に対する空気力(抗力及び揚力)の影響を速度と

それぞれの空気力の積分値との比で求めると V_x に対して抗力は -96.7% , V_y に対して揚力は 15.9%の割合を占めていた。すなわち図2に示したように、水平方向への床反力によって発揮された速度は、空気抵抗に由来する I_Drag によって約半分程度に減少させられていた。また、図3に示されるように、鉛直方向の床反力に由来する I_Fpy が示した上昇速度成分は、実際の上昇速度曲線である V_y よりも小さかったことから、揚力に由来する I_Lift による上昇速度の増大効果が示された。さらに、図3に示したように、踏み切り動作の比較的初期の段階において獲得された上昇速度のほとんどは揚力によるものであった。スキージャンプの踏み切り動作は、その直前の助走局面において低くしゃがんだクローチング姿勢を取っているため、踏み切り動作の初期には股関節および膝関節角度が小さく、大きな力が出しにくい条件であることを考慮すると、このような踏み切り動作の初期における揚力の作用は上昇速度獲得のために考慮すべきものと考えられる。

(2) また、現在分析を進めている画像分析結果から股関節角度、膝関節角度、上肢回転角度および重心高を算出し、これらの姿勢を独立変数とした多変量回帰式によって空気力を推定するモデルを構築中である。踏み切り初期の揚力獲得と姿勢との関係を明らかにすることによって、流体力学的に有効な踏み切り動作への知見が得られるものと考えられる。

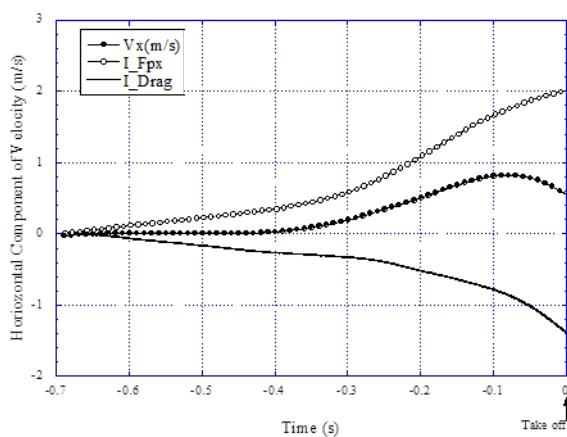


図3 合成重心速度の水平方向成分 (V_x :画像分析による速度、 I_Fpx :6分力計の積分値、 I_Drag :抗力の積分値)

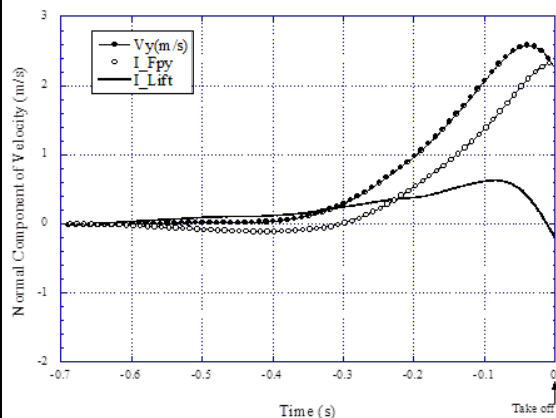


図2 合成重心速度の鉛直方向成分 (V_y :画像分析による速度、 I_Fpy :6分力計の積分値、 I_Lift :揚力の積分値)

<引用文献>

Janura M, Svoboda Z, Elfmark M, Uhlář R, 2007. Comparison of ski jump execution among the best jumpers. In V. Linnamo, P. Komi & E. Müller (Eds.), Science and Nordic Skiing. Oxford: Meyer & Meyer Sport Ltd., pp. 205-214.

Virmavirta M, Isolehto J, Komi PV, Schwameder H, Pigozzi F, Massazza G, 2009. Take-off analysis of the Olympic ski jumping competition (HS-106m). Journal of Biomechanics, 42, pp. 1095-1101.

山辺 芳, 渡部 和彦, 2002. 一流スキージャンプ選手を対象としたスキージャンプ踏切局面における床反力発揮の特徴. バイオメカニクス研究, 6, pp. 2-14.

Yamanobe K, Matsuo A, Mizusaki K, Watanabe K, Watanabe I, 2007. Aerodynamic characteristics of ski jumping in the early flight phase. In Proceedings of the International Symposium on Winter Sports Sciences Commemorating the 2007 FIS Nordic WC in Sapporo, Sapporo, pp.17-22.

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 2件)

山辺 芳, スキージャンプ競技の踏み切り動作に関するバイオメカニクス. バイオメカニクス研究, 査読無, Vol. 17, No.4, 2014, pp. 201-205

山辺 芳, スポーツにおける風洞実験装置の利用 .JATI EXPRESS, 査読無, 34, 2013, pp.38-39

[学会発表](計 2件)

山辺 芳, スキージャンプのバイオメカニクス的研究, 日本体育学会第 65 回大会バイオメカニクス専門領域キーノートレクチャー, 2014 年 8 月 28 日, 岩手大学(岩手)

Keizo Yamamoto¹, Makoto Tsubokura, Keiji Onishi, Tsubasa Sugimoto, Kaoru Yamanobe, Wind tunnel measurement of airflow around a ski jumper during takeoff, 6th International Congress on Science and Skiing, December 14 2013, Saltzburg (AUT)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山辺 芳 (Yamanobe Kaoru)

独立行政法人日本スポーツ振興センター

国立スポーツ科学センター・研究員

研究者番号: 00346470