

# 跳馬の前転とびにおける踏み切り動作の運動力学的研究

## A kinetic research of vault motion in gymnastic handspring vault

佐野真也 池上康男\* 布目寛幸\* 桜井伸二\*\*

Shinya SANO Yasuo IKEGAMI Hiroyuki NUNOME Shinji SAKURAI

\*名古屋大学 \*\*中京大学

### Abstract

The purpose of this study was to describe the kinetics of vault motion in gymnastic handspring vault. Male gymnasts performed a handspring vault using a springboard mounted on force platforms. The gymnasts were divided into 'double salt group' (they can perform 1 1/2 tucked salt in post flight) and 'handspring group' (they can not perform 1 1/2 salt in post flight). The board reaction force (BRF) acting on the gymnast was calculated by subtracting the inertial force of the springboard from the ground reaction force. These two groups showed similar average, peak and impulse of BRF. This suggests that handspring group gymnasts should develop some techniques other than the board contact technique.

Keywords : バイオメカニクス, 体操, 跳躍板

### 1. はじめに

跳馬の演技は助走, 踏み切り準備 (踏み切りで両足を揃えるための跳躍または後ろ向きで踏み切りのためのロンダート), 踏み切り, 第 1 空中局面 (踏み切り終了から馬体着手までの空中局面), 突き手, 第 2 空中局面 (馬体離手から着地までの空中局面), 着地の各局面に分けられる。これらの局面の中で踏み切りは, 力学的には跳躍板から身体へ加わる力によって, 助走で得た身体重心速度の方向を斜め上方向へと変え, 身体の回転 (宙返り) を発生させるという役割を担っている。

これまで, 踏み切りの重要性が指摘される (Prassas, 1999; 佐野, 2007) 一方で, 踏み切り時のパラメータを報告した研究 (Takei, 1988, 1989, 1991; Takei & Kim, 1990; Takei et al., 2003; Sano et al., 2007) は限られている。Takei et al. (2003) は前転とび前方抱え込み 2 回宙返りにおいて, 踏み切り時に跳躍板から身体へ加わる力の大きさが重要な要素の一つであることを指摘している。その一方で, Takei (1991) は前転とび前方抱え込み宙返りにおいて, オリンピック出場選手の上位群と下位群との間で, 踏み切りに関する力学的パラメータに有意な差はないという結果を得ている。これらの違いは, 技の実施に踏み切りが占める重要性の大きさは, 実施する技や選手のレベルによって異なってくることを示しているものと考えられる。

体操競技では, より高難度の技を習得することが競技力向上の要素の一つである。跳馬においては, 基本技として前転とびを最初に習得した後, 前転とび前方抱え込み宙返りまたは側転とび 1/4 ひねり後方抱え込み宙返りへと発展させて第 2 空中局面に宙返りを加え, さらに姿勢を伸身姿勢にしたりひねりを加

えたりして高難度の技にしていく, というのが一般的な流れである。この中で, 前転とびの習得後, 第 2 空中局面で宙返りを実施できるようにすることが, 競技歴の浅い選手にとっては最初の難関となる。しかしながら, 前転とびまでしか習得していない選手と, 第 2 空中局面で宙返りを実施できるようになった選手との間では, 基本技 (前転とび) においても踏み切り動作が違う可能性がある。

本研究の目的は, 第 2 空中局面で宙返りを実施できる選手とできない選手との間で, 前転とびの踏み切りに力学的な違いがあるかを明らかにすることである。

### 2. 方法

#### 2-1 被験者

被験者は, 大学男子体操競技選手 10 名であった。被験者を, 実施可能な最高難度の技が前転とび前方抱え込み宙返りまたは側転とび 1/4 ひねり後方抱え込み宙返り (踏み切りから着地までの間に 2 回転する技) のグループ (二回宙返り群) 6 名 (21.0 ± 3.2 歳, 1.71 ± 0.04m, 64.4 ± 4.9kg) と, 実施可能な最高難度の技が前転とび (踏み切りから着地までの間に 1 回転する技) のグループ (前転とび群) 4 名 (20.3 ± 0.5 歳, 1.70 ± 0.04m, 59.3 ± 3.8kg) とに分類した。

#### 2-2 実験試技

被験者に前転とびを 5 回ずつ行なわせた。全ての試技は日本体操協会公認審判員によって採点された。各被験者に対し, 最高得点を獲得した試技を分析の対象とした。

### 2-3 測定および分析方法

体育館の床に埋設した4枚の床反力計(Kistler, 9281B)上へ跳躍板(Senoh, Aj0504)を設置した。床反力(GRF)は、4枚の床反力計から得られたデータ(1000Hz)を合計して求めた。踏切動作および跳躍板の挙動それぞれを側方より500Hzのハイスピードビデオカメラ(NAC, HSV-C<sup>3</sup>)2台で2次元的に同期撮影した。画像データと床反力データとの同期を行なうため、撮影範囲内に設置した発光ダイオードを発光させると同時に、床反力データへパルスを発生させた。図1にハイスピードビデオカメラで撮影された跳躍板を、図2に実験の概念図を示した。

撮影された画像から、デジタルシステム(DKH,



図1:ハイスピードビデオカメラで撮影された跳躍板

Frame-DIAS)によって、跳躍板の側面に10cm間隔で貼り付けた反射シールの実空間座標値を得た。スムージングによる座標値のゆがみの影響を避けるため、踏み切り局面に加え前後20コマずつもデジタル化を行なった。座標値はバターワース型のローパスフィルターによりスムージングを行ない、ノイズを除去した。遮断周波数はWinter(1990)の方法を用いて計測点毎に決定した(16~34Hz)。

デジタル化で得られた計測点の座標値により、跳躍板を29セグメントから成るリンクセグメントモデルにモデル化した。跳躍板から身体へ加わる力(BRF)は、Sano et al.(2007)の方法に従い、リンクセグメントモデルから求めた跳躍板の慣性力でGRFを補正することにより得た。得られたBRFから、BRFの最大値(BRF\_peak)、BRFの平均値(BRF\_average)およびBRFの力積(BRF\_impulse)を求め、それぞれ、被験者の体重で除すことにより正規化した。

二回宙返り群と前転とび群との間のデータの差を検討するため、t検定を行なった。有意水準は5%とした。

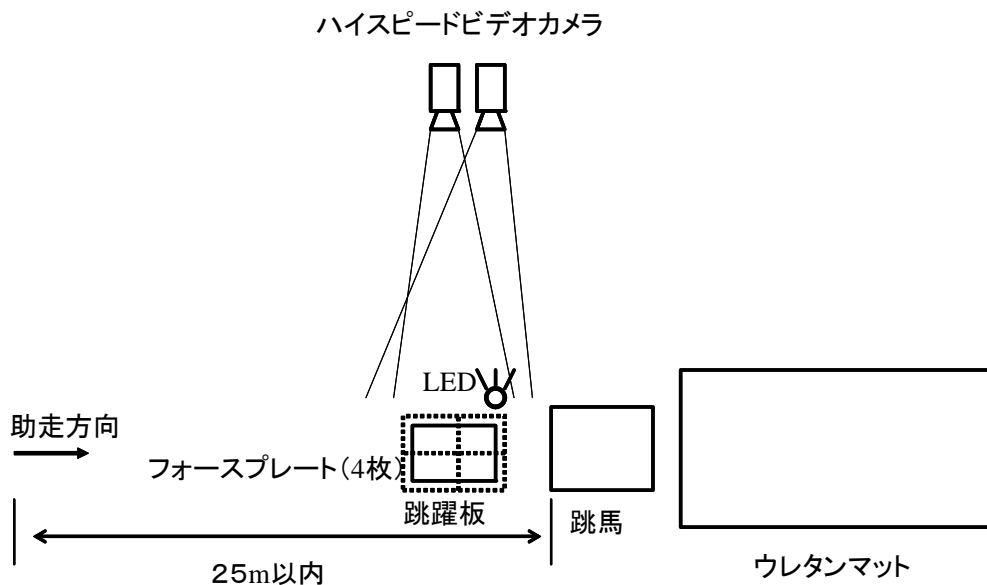
### 3. 結果

二回宙返り群および前転とび群のBRF\_peakの水平成分はそれぞれ、 $-59.0 \pm 17.7\text{N/kg}$  および  $48.1 \pm 6.8\text{N/kg}$ 、鉛直成分はそれぞれ、 $102.8 \pm 20.2\text{N/kg}$  および  $99.4 \pm 1.3\text{N/kg}$  であった。二回宙返り群および前転とび群のBRF\_averageの水平成分はそれぞれ、 $-17.5 \pm 3.1\text{N/kg}$  および  $14.0 \pm 1.3\text{N/kg}$ 、鉛直成分はそれぞれ、 $38.3 \pm 8.1\text{N/kg}$  および  $38.3 \pm 5.3\text{N/kg}$  であった。二回宙返り群および前転とび群のBRF\_impulseの水平成分はそれぞれ、 $-2.2 \pm 0.4\text{Ns/kg}$  および  $-1.9 \pm 0.2\text{Ns/kg}$ 、鉛直成分はそれぞれ、 $4.9 \pm 0.7\text{Ns/kg}$  および  $5.2 \pm 0.7\text{N/kg}$  であった。

BRF\_peak, BRF\_average, BRF\_impulse いずれも、二回宙返り群と前転とび群との間に統計的に有意な差はなかった(図3)。

### 4. 考察

本研究において、踏み切り時に跳躍板から身体へ加わる力に関する力学的パラメータ(力の最大値、力の平均、力積)は、



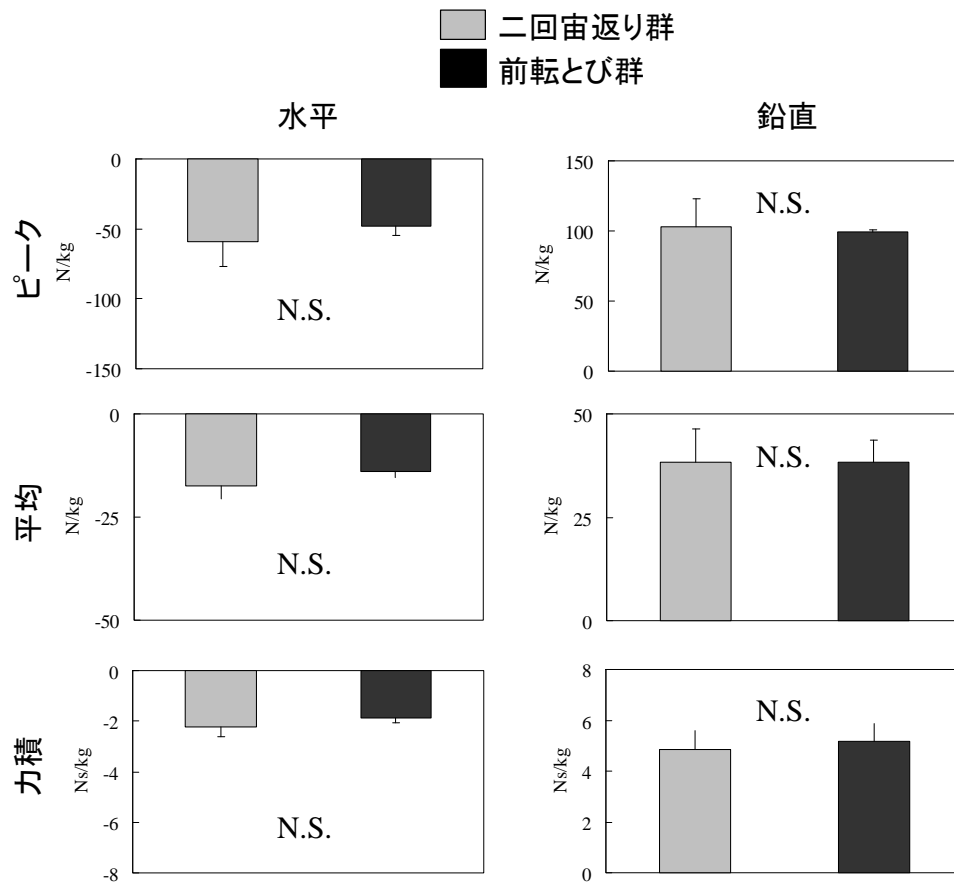


図 3: 跳躍板から身体へ加わる力のピーク, 平均, 力積

二回宙返り群と前転とび群との間に有意な差はなかった。一方、先行研究では、踏み切り時の力学的パラメータに差がなかったというもの(Takei, 1991)と、差があったというもの(Takei et al., 2003)とに報告が分かれている。

本研究の結果ならびに先行研究における報告間の違いは、実施する技や対象者のレベル差によって生じているものと思われる。本研究では、大学体操選手を対象とし、前転とびの実験的な実施によって比較を行なった。しかし、本研究と同じく踏み切り時の力学的パラメータに差がないという結果を得た先行研究(Takei, 1991)では、1988 オリンピック競技会中の規定演技(前転とび前方抱え込み宙返り)からデータを得て、出場者の上位群と下位群を比較の対象としている。一方、差があるという結果を得た先行研究(Takei et al., 2003)においては、2000 オリンピック競技会中の前転とび前方抱え込み2回宙返り(ローチェ。踏み切りから着地までの間に3回転)からデータを得、ローチェ実施者のうち上位群と下位群で比較を行なっている。これら3つの技は、後者ほど高難度な技である。

跳馬においては、踏み切りに失敗するとその失敗を突き手で補いきるのは難しい(Prassas, 1999)など、踏み切り局面の重要性が指摘されている(佐野, 2007)。しかしながら、馬体離手後の第2空中局面における身体重心上昇高や宙返りの回数には、第

1空中局面における力学的パラメータの組み合わせ(King et al., 1999)や、突き手において馬体から身体へ加わる力の大きさなど(Takei, 1991)も影響する。本研究の被験者は、前転とび群の実施可能な最高難度の技が前転とびであり、二回宙返り群は第2空中局面で前転とび群より1回余分に抱え込み宙返りができる(ただし、ひねりを加えたり伸身姿勢にしたりすることはできない)というレベルであった。両者の間で前転とびにおける踏み切り時の力学的パラメータに差がみられないという本研究の結果は、前転とび群レベルの選手が第2空中局面に宙返りを加えるためには、踏み切り以外の局面を改善する必要があることを示唆していると考えられる。しかしながら、踏み切り以外のどの局面に差があるのかは、本研究では明らかでなく、今後、検討していく必要がある。

## 5. 参考文献

- 1) Prassas S. (1999). Biomechanical research in gymnastics: What is done, what is needed. *Applied Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports: ACROBATICS*. 1-10.
- 2) Sano, S. Ikegami, Y. Nunome, H. Apriantono, T. & Sakurai, S. (2007). The continuous measurement of the springboard reaction force in gymnastic vaulting. *Journal of Sports Sciences*, 25, 381-391.

- 3) 佐野真也. (2007). 体操跳馬の踏切動作. *体育の科学*, 57(7), 511-515.
- 3) Takei, Y. (1988). Techniques used in performing handspring and salto forward tucked in gymnastic vaulting. *International Journal of Sport Biomechanics*, 4, 260–281.
- 4) Takei, Y. (1989). Techniques used by elite male gymnastics performing a handspring vault at the 1987 Pan American Games. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5, 1–25.
- 5) Takei Y. (1991). A comparison of techniques used in performing the men's compulsory gymnastic vault at the 1988 Olympics . *International Journal of Sport Biomechanics*, 7, 54–75.
- 4) Takei, Y. Dunn, J H. Blucker, E. (2003). Techniques used in high-scoring and low-scoring 'Roche' vaults performed by elite male gymnasts. *Sports Biomechanics*, 2(2), 141-162.
- 5) Takei, Y., & Kim, E. J. (1990). Techniques used in performing the handspring and salto forward tucked vault at the 1988 Olympic Games. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 111–138.
- 6) Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement* (2nd edn.). New York: Wiley.

(提出期日 平成20年11月28日)