

# フィギュアスケートにおける 2 回転と 3 回転 フリップジャンプの動作分析

山下 篤央・久米 雅・森井 秀樹

フィギュアスケート歴 12 年の女子ジュニア選手における 2 回転と 3 回転フリップジャンプの動作解析を行った。その結果、ジャンプの回転数の増加に伴い、Take-off 時の膝関節伸展角度および回転運動の跳躍幅と時間の増加が認められた。これらの変化には、角運動量を増加するためのスキルが関連していると考えられる。また、Take-off 時の左膝伸展角度が右膝伸展角度に比べ、高いことから左脚がジャンプ動作（跳躍高）に大きく貢献していることが示唆された。

キーワード：膝関節伸展角度、Take-off、女子ジュニア選手

## 1. はじめに

フィギュアスケートにおける 6 種類のジャンプには、1 回転、2 回転、3 回転があり、回転数に準じて得点が加算される。現在、特定のジャンプでは、4 回転が大きな得点を生むジャンプとして重要視されている。しかし、回転数が多くなれば、ジャンプの難易度は増す。

フリップは、トージャンプの一種であり、トー・サルコウとも呼ばれる。踏み切りのエッジはサルコウと同じで、トーを付きジャンプを行う<sup>1)</sup>。フリップの難易度は、アクセル、ルッツの上位から 3 番目に位置し、基礎点も同様な難易度として位置づけられている。このジャンプの成功は、大きな得点として期待できる。

フリップのメカニクスを理解することは、スキル指導の確認に繋がり、ジャンプの成功率を高めることになる。そこで本研究は、2 回転と 3 回転のフリップジャンプの動作解析を行い、その特徴を明らかにする。

## 2. 被験者

被験者はフィギュアスケートの競技歴 12 年の女子ジュニア選手であった。なお、ビデオ撮影は対象となる選手に対し、撮影内容およびその手順を説明し、同意の上で撮影を実施した。

## 3. 方法

撮影はスケートリンク上にて、それぞれのジャンプ試技の間には十分な休息を与え、それぞれのジャンプに対して被験者が集中できる環境を準備した。被験者には、関節角度算出のために、身体両側面の肩関節・大転子・膝関節・足関節の 8 箇所にマーカーを貼付し、2 回転と 3 回転のフリップジャンプをそれぞれ 5 回実施した。

ジャンプの撮影には、1 秒に 30 フレーム（1 フレーム 0.033 秒）撮影できる一般的なデジタルビデオカメラを用いた。ビデオカメラで撮影した映像は、0.033 秒間隔で静止画として取り込

み、画像解析ソフト ImageJ にて大転子・膝関節・足関節の 3 点から膝関節角度を算出した。

本研究の対象としたジャンプは、回転運動を伴うため、画像に映る側面のみを解析対象とした。フリップは左側面（後ろ向きに滑る）から画角に入り、回転動作を伴って右側面が目視可能（前向きに滑る）となる。このことから、膝関節角度の算出は、左脚の場合 Fig.1-①の様に映像で大転子・膝・足関節に貼付したマーカー

が全て目視可能な時点から、左脚がリンクから離れる直前までとした（Fig.1-⑨）。右脚の場合は Fig.2-①の様に上記の 3 点が目視可能な時点から、右脚がリンクから離れるまで（Fig.2-④）の値を算出した。また、これらのデータは踏み切る直前（一番最後のフレーム）のフレームを基準としてグラフを作成した。ジャンプ幅には、右脚がリンクから離れる直前と着氷時の Pixel 数を用いた（Fig.3）。

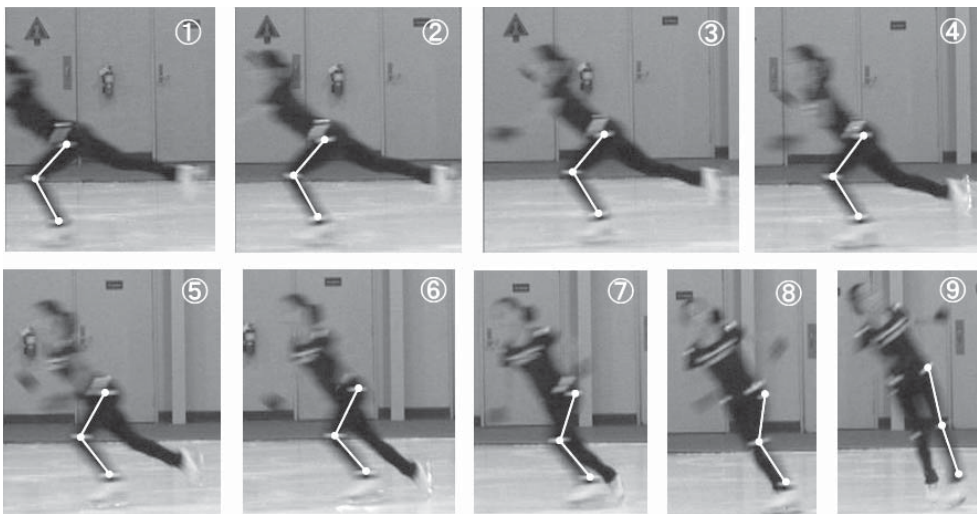


Fig.1 2 回転ジャンプ時の左膝関節角度

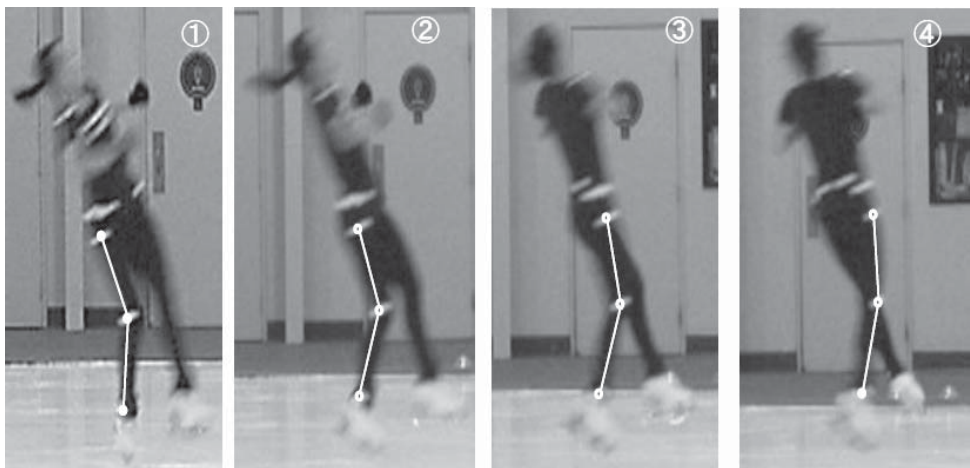


Fig.2 2 回転ジャンプ時の右膝関節角度

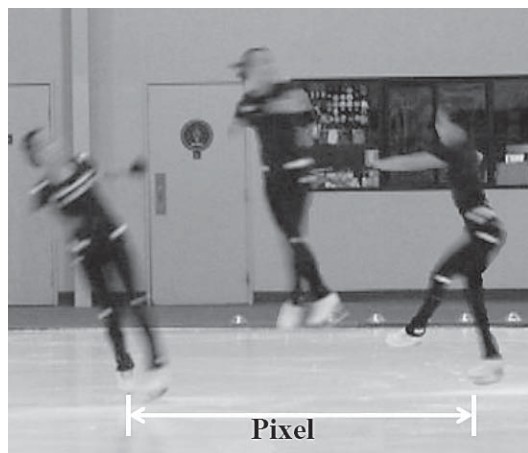


Fig.3 ジャンプ幅算出方法

#### 4. 結果

Fig.4 には、フリップ2回転と3回転時における左右の膝関節角度の経時変化を示した。まず、左脚における2回転の角度が、常に3回転よりも高値を示し、最大伸展位においても2回転の方が高い値を示した。しかしながら、両回転の8から9フレーム目の変化量を見ると、2回転では  $40.6^{\circ}$ 、3回転では  $62.9^{\circ}$  と3回転の方が高かった。次に右脚に関しては、大きな差変化は認められないものの3から4フレーム目の変化量に関しては左脚と同様に3回転 ( $26.1^{\circ}$ ) の方が2回転 ( $19.4^{\circ}$ ) よりも高値を示した。

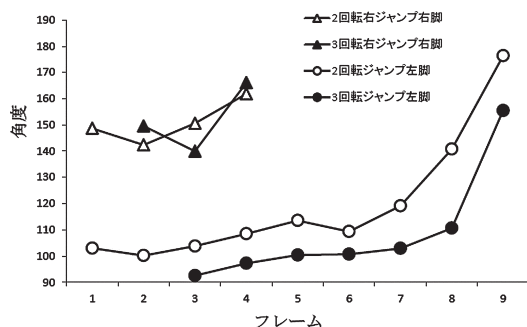


Fig.4 異なる回転数における膝関節角度の経時変化

Fig.5 は、両回転数の跳躍幅を、また Fig.6 には跳躍時間を示した。その結果、2回転に比べ3回転で跳躍幅は狭く、時間は長い結果となった。

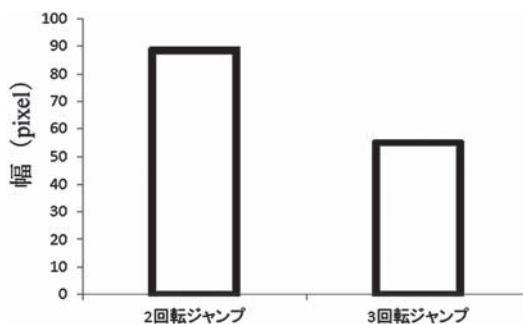


Fig.5 異なる回転数におけるジャンプ幅

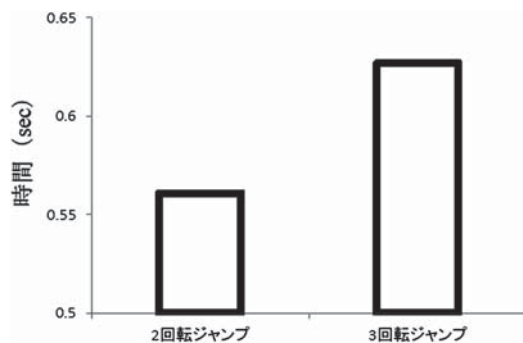


Fig.6 異なる回転数におけるジャンプ時間

#### 5. 考察

本研究は、フリップを Take-off 時の膝関節伸展の変位と回転運動の跳躍幅とその時間から、ジャンプのメカニクスを考察する。

##### a) Take-off 時の膝関節伸展角度の変位

角運動量はフィギュアスケートにおけるジャンプに大きく関係する。United States Olympic Committee は、ジャンプ時の回転数を生み出すには、Take-off 時に角運動量を増加することが必要であると報告をしている<sup>2)</sup>。また、ジャン

プを遂行するためには、並進運動と角運動を作り出すことが、Take-off時に主要な要素と考えられている<sup>3)</sup>。フリップを遂行するには、Take-off前に、左膝関節の大きな屈曲が必要である。この屈曲は、右脚の股関節伸展、膝関節の伸展による相互作用であり、右脚が回転の中心を作り、左脚が右脚を中心に角運動を起こす。本研究においても、左膝関節の大きな屈曲が認められた。また、2回転フリップの左膝関節伸展角度に比べ、3回転フリップの伸展角度は高くなることが明らかとなった。この変位量から、左膝関節伸展の速度が推察できる。3回転フリップ時のその膝関節伸展角度が高くなることから、伸展動作は速いと考えることができる。フィギュアスケートの指導現場では、角運動量を増すために素早く左脚を回転軸になる右脚に近づける指導を実際に行っている。

フリップにおける右脚は、氷上へのToe-pickの役割をし、Take-offを起こす。Toe-pickは、棒高跳びのポールボルトと同様な働きをし、トージャンプを実施するための力を生む原点と回転軸の中心となる<sup>1)</sup>。また、左脚が大きな角運動量を作るために、Toe-pickを行う際、右膝関節は軽度屈曲するとともに、角運動量を増すための左脚の氷上ルートを開ける。本研究においてもToe-pick時の軽度の膝関節屈曲が確認できる。また、回転数を増加させる場合、Toe-pick脚の膝関節の伸展角度が増加することも認められた。King<sup>4)</sup>らは、4回転トーループの動作解析において、Toe-pick側の膝関節伸展速度の上昇を認めている。回転軸の中心となる膝関節伸展角度が増すことは、伸展動作は速いと考えることができる。それは、角運動量を増すための動作であり、慣性モーメントを小さくすることを目的とするフィギュアスケートのスキルと考えることができる。

本研究では、右膝関節伸展角度よりも左膝関節伸展角度で大きな変位量が認められた。これは、ジャンプ動作において左脚の貢献度が高いことを示す。従って、本研究で解明した左膝関節伸展角度、右膝関節伸展角度の増加は、角運動量を増すための動作によるフィギュアスケートのスキルであると同時に、左右の関節角度の変位量の差は、左脚が跳躍に関与していることを示唆するものである。

#### b) 回転運動の跳躍幅と跳躍時間

1回転、2回転、そして、3回転のそれぞれのアクセルの跳躍高を測定した研究結果によると、回転数が増すにつれ跳躍高が高くなることが報告されている<sup>4)</sup>。また、回転数が増すと跳躍幅が減少するとの報告も存在する<sup>2)</sup>。これらの研究は、本研究のジャンプとは異なるが、回転数を増加するためには、回転数を完成するための時間が必要であることを示唆している。本研究では、2回転に比べ3回転で、跳躍幅は狭く、時間は長くなった。これは、高く狭く跳ぶことが3回転の特徴と考えられる結果であろう。

スケーターは空中での回転数を増すために、また、空中での体勢を安定させるために、上肢、下肢を回転軸の近くに、素早く集中させる。これは、慣性モーメントを小さくし、回転数を増やすことを目的とした動作である。3回転アクセルでは2回転アクセルに比べ、素早く回転軸中心に上肢、下肢を集中させる<sup>2)</sup>。3回転アクセルの跳躍高は、他のアクセルと比べ高い。従って、高く狭く跳ぶためには、慣性モーメントを小さくする必要があると考えられる。本研究で示した3回転フリップは跳躍幅が狭く、時間が長い。これは、小さい慣性モーメントを作り出し、ジャンプを完成させている結果と考えられる。

## 6. まとめ

本研究の目的は、フリップジャンプ動作の画像を解析し、そのメカニクスを明らかにすることである。その結果、ジャンプの回転数が増加すると、Take-off時の膝関節伸展角度の変位量も増加し、さらに回転運動の跳躍幅と時間が増加することが明らかになった。これらの原因は、角運動量を増加するためのスキルが関係していると考えられる。

左膝関節伸展角度と右膝関節伸展角度の変位量の違いは、跳躍高を増加させるには、左脚の貢献度が高いことを示唆する。しかしながら、本研究は、跳躍高に影響を与える股関節伸展速度<sup>5)</sup>については計測を行っていない。今後は、フィギュアスケート選手における股関節伸展速度と

ジャンプ動作について、さらなる検討を必要とする。

## 参考文献

- 1) Petkevich, JM. Sports Illustrated Figure Skating Championship Technique, 1989, pp.193, 237, 249-257, Sports Illustrated Book.
- 2) Shulman, C. The Complete Book of Figure Skating, 2002, pp.161-162, Human Kinetics
- 3) Kho, M. and Bishop, PJ. Ground Reaction Forces in Simulated Figure Skating Jump Takeoffs and Landing, <http://www.asbweb.org/conferences/1990s/1998/243/index.html>, North American Congress on Biomechanics, 1998
- 4) King, D., Smith, S., Higginson, B., Muncasy, Barry., and Scheirman, G. Characteristics of Triple and Quadruple Toe-Loops Performed during The Salt Lake City 2002 Winter Olympics, Sports Biomechanics 3 (1), pp.109-123, 2004
- 5) 原 樹子 他. スクワットジャンプの股関節初期角度の違いがパフォーマンスに与える影響, Japanese Journal of Elite Sports Support 1, pp.21-29, 2008

