

フィギュアスケートジャンプのバイオメカニクス
-クワッドサルコジャンプの運動学的研究-

Biomechanics of Jump in Figure Skating
-Kinematic Analysis of Quad.-Salchow Jump Motion-

池上久子* 池上康男** 佐野真也**
桜井伸二*** 吉岡伸彦****

Hisako IKEGAMI* Yasuo IKEGAMI** Shinya SANO**
Shinji SAKURAI*** Nobuhiko YOSHIOKA****

In figure skating, a successful jump with multiple rotations of the body is one of the most important factors to achieve a higher performance. In the present international figure skating events, excellent skaters perform jumps with more than three times of the body rotation. Recently, a Japanese junior skater has become to try Salchow jump with quadruple rotation of the body (Quad-Salchow jump).

In this case study, motions of the skaters body during Quad-Salchow jump were kinematically analyzed and important factors in success of Quad-Salchow jump were investigated.

Motions in Quad-Salchow jump of a junior skater in official practice in the all Japan junior figure skating championships held in 2002 were three dimensionally recorded by two synchronized high speed video cameras with 250 fps. Three dimensional coordinates of body landmarks were reconstructed by the direct linear transformation method (DLT). Some kinematic parameters which characterized the jump were calculated from three dimensional body coordinates of landmarks.

Main results were summarized as follows;

1. No differences could not be clarified for basic kinematic parameters on the jump such as approach velocity and initial conditions of the jump between successful and unsuccessful trials.
2. Actual numbers of rotation of body in the air were 2.94 in the successful jump and 2.91 in the unsuccessful jump even though in the jump with four times rotation of the body. This result indicated both successful and unsuccessful jumps were incomplete.
3. The flight time were 584 and 604 msec in successful and unsuccessful performance, respectively. Comparing with the results from the study on Triple-Lutz jump, these flight times were considered insufficient for four times of rotation of the body.
4. To accomplish a complete Quad-Salchow jump, a longer flight time should be needed enabled with higher initial vertical velocity of the body.

From the results of the present study, it is recommended for the training of junior skaters to obtain enhanced jump ability in skating.

キーワード: フィギュアスケート、クワッドサルコジャンプ、運動学

Key words: Figure skate, Quad.-Salchow jump, Kinematics analysis

* 南山大学総合政策学部
** 名古屋大学総合保健体育科学センター
*** 中京大学体育学部
**** 千葉大学教育学部
* Faculty of Policy Studies, Nanzan University
** Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University
*** School of Health and Sports Sciences, Chukyo University
**** Faculty of Education, Chiba University

【目的】

フィギュアスケート競技は、毎年7月1日を基準としたスケート年齢でシニア (15歳以上)、ジュニア (13～19歳)、ノービス A (11、12歳)、ノービス B (9、10歳) に分類されて行われている。シニアの大きな国際大会は、アメリカ、カナダ、フランス、ロシア、中国、日本の6カ国で開かれるグランプリシリーズ6大会と同シリーズで高ポイントの上位6選手だけが出場する決勝のグランプリファイナルの大会がある。2004年にはグランプリファイナルの大会に3名の日本女子選手が出場という快挙となった。その他に国際大会は世界をヨーロッパとそれ以外の地域に分けて開かれる四大陸選手権とヨーロッパ選手権、世界のトップが集まる世界選手権、そして4年に一度のオリンピックがある。ジュニアにもグランプリシリーズ、世界選手権がある。フィギュアスケートにはシングル、ペア、アイスダンスがあるが、美しさと力強さを備えた競技であり、多くの人を魅了するスポーツと言えよう。フィギュアシングルスケート競技はジャンプ、スピン、ステップから成り立っており、演技の中でジャンプの重要性がより一層高まっている。選手はより難度の高いジャンプに挑戦し、成功させようとする傾向が見られる。今日では世界一流の男子選手は4回転のジャンプは普通であり、女子選手の中にも4回転ジャンプに挑戦する選手も出始めている。ジャンプ動作に関するバイオメカニクスの研究は数少なく (吉岡1990、池上ら1992)、高難度のジャンプに関する研究はわずかにみられるのみである (池上ら1998、Ikegami H. 1999、Ikegami Y. 1999、池上ら2004)。

本研究ではクワッドサルコジャンプに挑戦して、成功した例と転倒した例について3次元の高速ビデオ撮影で記録し、クワッドサルコジャンプを成功させるために必要な動作を運動学的観点から調べ、ジャンプのトレーニングに役立つ資料を得ようとするものである。

【方法】

1. 対象

第71回全日本ジュニアフィギュアスケートジュニア選手権大会の公式練習におけるジャンプ動作を高速ビデオ撮影した。4回転ジャンプに挑んだ女子選手1名は、競技中には着地に成功することができなかったが、競技直前の公式練習で4回転ジャンプの着地に成功した。成功した例と転倒した例についてジャンプ動作を3次元分析し、ジャンプを成功させるために必要な動作を運動学的観点から調べようとした。

2. 動作の記録

撮影は、名古屋市総合体育館レインボーアイスアリーナで行った。アリーナの観客席のスタンドに2台の高速高スピードビデオカメラ (HSV-500C3、ナックイメージテクノロジー社) を同期装置とともに設置し、異なる2つの方向からジャンプ動作の同期撮影を行った。撮影速度は毎秒250フィールドであった。2台のカメラの光軸のなす角度はおよそ60度で、カメラの視野は、選手の練習を観察して最もジャンプが頻繁に行われるリンク上のエリアの1つをカバーできるように設定した (図1)。両カメラの視野内に助走から着地までが撮影されたものを分析の対象とした。

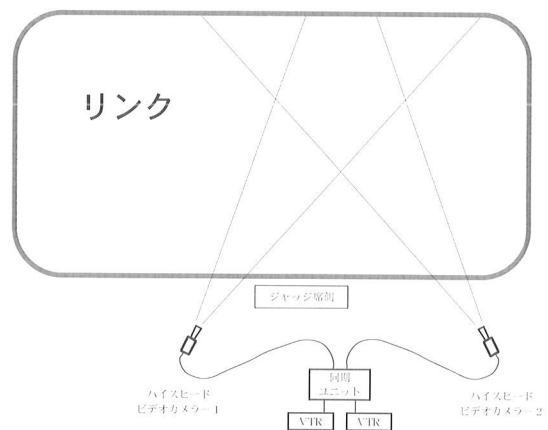


図1 スケートリンクの撮影場面



図2 キャリブレーション用のポール

3次元のキャリブレーションのため、試技の撮影終了後、4枚のリファレンスプレートが取り付けられたキャリブレーション用のポールを撮影範囲内の複数の場所に垂直に立てて撮影した(図2)。ポールを立てた位置のリンク上(平面上)の座標の測定を行った。撮影範囲に近いリンクの壁の直線部分に2つの固定点を定めた。2点間の距離は14.88mであった。ポールを立てた各々の地点と両固定点との距離を巻尺で計測し、後で計算により各地点の壁に平行な方向と直角な方向の変位をそれぞれ求めた。

3. ジャンプの局面分け

ジャンプを助走、踏切動作、空中動作に分けて検討した。助走は左足バックイン(A)から両足で滑走し、右足を蹴り上げ、右足が氷面から離れる瞬間(B)までとした。踏切動作はBの後、右足を蹴り上げて左スケート(ブレード)が氷面から離れる瞬間(離氷、C)までとした。空中動作はCの離氷の後、右スケートが氷面に接する瞬間(着氷、G)までの滞空期とした。空中動作の身体重心位置が最高地点に達したところを(E)として、その中間を(D、F)とした(図3)。

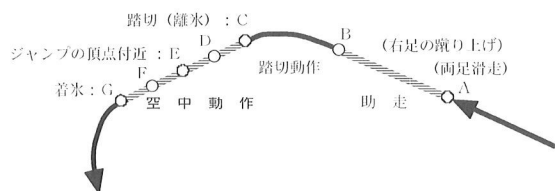


図3 サルコジャンプの局面分け

4. デジタイズ

公式練習中のクワッドサルコジャンプのうち転倒しなかったものは1例であったが、それを成功例とした。転倒例については動作が両カメラの視野に完全に収まっているものの中から踏切で失敗したものを除き、着地で失敗したものの中から最も成功例に近いものの1例を分析の対象とした。高速撮影で得られたビデオ画像からビデオ分析ソフト(フレームディアスII、DKH社)を用いて身体各部およびスケート(ブレード)の2次元座標をデジタイズにより得た。2台のカメラから得られた2次元座標をコントロールポイントの実座標のデジタイズ結果を用いてDLT法(池上ら、1991)により3次元座標を求めた。

5. ジャンプ動作中の運動学的パラメータ

得られた身体各部の3次元座標から身体重心の3次元座標を算出した。重心の算出には松井(1958)の身体重心係数を用いた。身体各部と身体重心の3次元座標から以下の各局面で必要と思われる運動学的パラメータを算出した(図4)。

[助走]

- 1) 助走速度 2) 重心高

[踏み切り動作]

- 1) 垂直速度 2) 水平速度 3) 踏切直前の速度

[踏切]

- 1) 重心高 2) 跳躍初速度 3) 跳躍角

[空中動作]

- 1) 滞空時間:ビデオのコマ数により求めたCからG時点間の経過時間 2) 空中での回転角度:両肩を

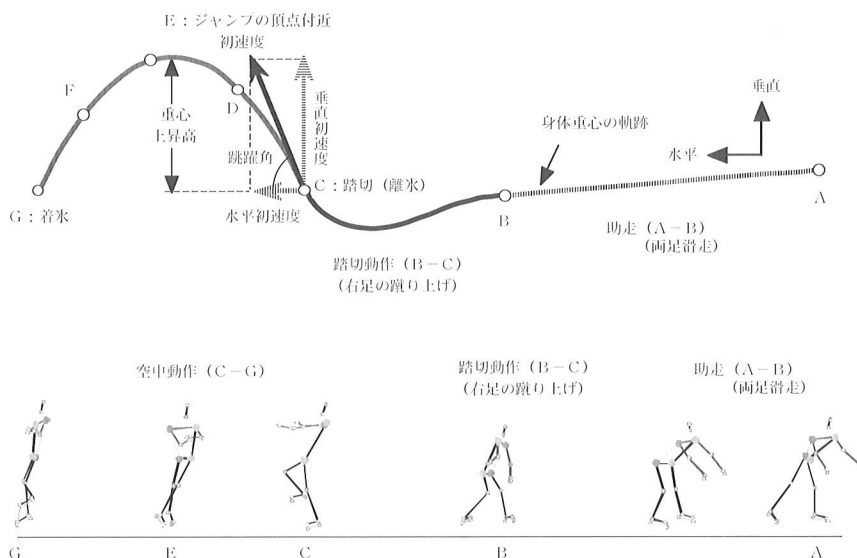


図4 クワッドサルコジャンプのパラメータ

結ぶ線分を氷面に投影し、その線分の回転角とした。3) 空中での回転数、4) 平均回転速度、5) 重心最高位、6) 実質跳躍高、7) 重心垂直移動距離、8) 水平方向跳躍距離

[着氷]

- 1) 着氷時速度

【結果および考察】

図5にはクワッドサルコジャンプの着氷に成功した例と転倒した例について各局面と着氷後のスティックピクチャーを示した。スティックピクチャーからみるとサルコジャンプは左足のバックインで滑走しながら踏み切るジャンプであるが、成功例も転倒例も前向き状態で踏切となっている (C)。このことは踏切前にすでに回転が始まっていることになる。また、着地は右足のバックアウトで行うが、両例とも前向きに降りていることが認められる (G)。6種類あるジャンプの中でアクセルジャンプは前向きで、他のジャンプは後ろ向きで踏み切り、着地はすべてのジャンプとも後ろ向きである。スティックピクチャーの観察から前向きに着地して、着地後に半回転していることが認められる。

表1にはクワッドサルコジャンプの着氷に成功した例と転倒した例について各局面と着氷後の運動学的パラメータを示した。図6に各局面での滑走速度を成功例と転倒例に分けて示した。助走速度は成功例が4.87m/sec、転倒例が5.13m/secであったが踏切動作までに減速となっており、踏切時には3.30m/sec および

2.84m/sec となっていた。いずれも助走から踏切までに減速しているが、転倒例の方がやや大きく減速していた。着氷後は転倒例では1.99/secにまで減速していた。成功例では踏切動作から着氷まで滑走速度に大きな差がみられなかった。

図7には成功例と転倒例の踏切時の初速度とその垂

表1 クワッドサルコジャンプの運動学的パラメータ

局面	運動学的パラメータ	成功	転倒
助走	助走速度 (m/sec)	4.87	5.13
	重心最下位置 (m)	0.71	0.69
踏切動作	垂直速度 (m/sec)	1.74	2.11
	水平速度 (m/sec)	3.22	3.39
	踏み切り直前速度 (m/sec)	3.30	2.92
踏切時	踏切時の重心高 (m)	1.05	1.09
	跳躍初速度 (m/sec)	4.23	3.86
	垂直初速度 (m/sec)	2.65	2.61
	水平初速度 (m/sec)	3.30	2.84
	跳躍角 (deg)	38.72	42.60
空中動作	滞空時間 (ms)	584	604
	空中での回転角度 (deg)	1058.79	1048.14
	空中での回転 (rev)	2.94	2.91
	平均回転速度 (rev/sec)	5.04	4.82
	重心最高位置 (m)	1.45	1.47
着氷	実質跳躍高 (m)	0.40	0.38
	重心垂直移動距離 (m)	0.74	0.78
	水平方向跳躍距離 (m)	1.68	1.77
着氷	着氷時速度 (m/sec)	3.23	1.99

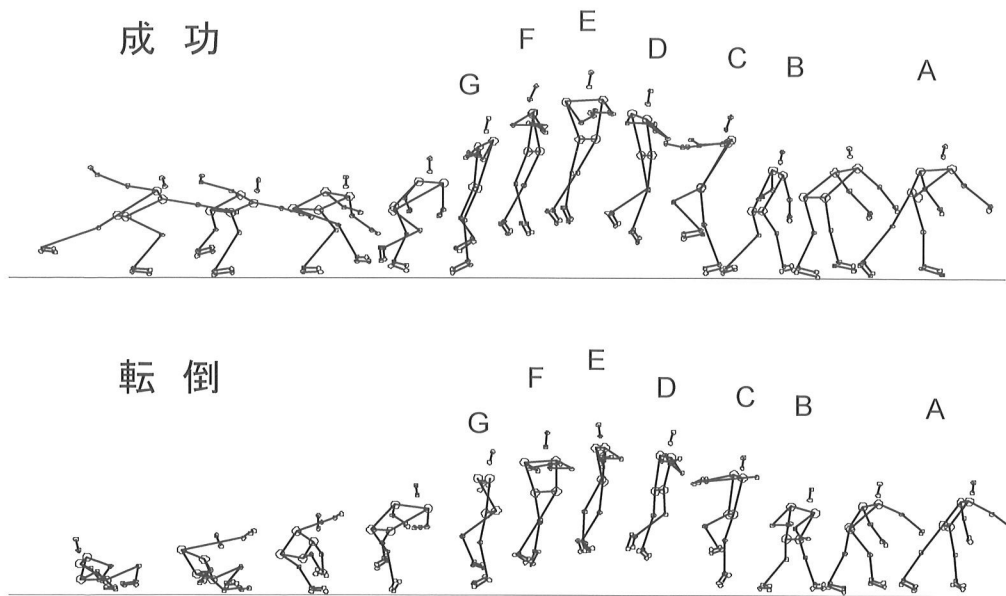


図5 クワッドサルコジャンプの成功例と転倒例のスティックピクチャー

フィギュアスケートジャンプのバイオメカニクス

直、水平成分および跳躍角を示した。跳躍初速度は成功例で4.23m/sec、転倒例で3.86m/secとなっていた。垂直成分と水平成分に分けてみると、垂直初速度は2.65m/sec および2.61m/secで、水平初速度とともに成功例の方がやや大きくなっていた。跳躍角は水平初速度が大きい成功例の方が小さくなっていた。

図8には身体重心位置の垂直方向の氷面からの距離を示した。助走時には最も重心位置が低くジャンプの頂点で最も高くなっていたが、成功例と転倒例では差が認められなかった。

図9には空中での回転数、回転速度、滞空時間について示した。成功例が2.94回転、転倒例が2.91回転であった。このクワッドサルコジャンプは4回転のジャンプであるが、空中では約73%の回転がなされ、踏切

前と着地後に残りの回転角を得ていた。回転速度は5.04rev/secと4.82rev/secで成功例の方がやや大きくなっていた。滞空時間はそれぞれ584msec、604msecで成功例の方が短くなっていた。

図10には踏切時の垂直初速度と跳躍高を示した。垂直初速度はわずかに成功例の方が高くなっていたが、跳躍高もわずかに垂直初速度の高い成功例の方が高くなっていた。

今回のクワッドサルコジャンプの成功例と転倒例を分析し、運動学的データをもとに検討したが、明確な差は認められなかった。スティックピクチャーからみても成功例、転倒例とも着地時に前向きにおりて着地後に半回転していた。成功例では、ブレードのトウを使って進行方向に身体の向きをうまく調節することが出来

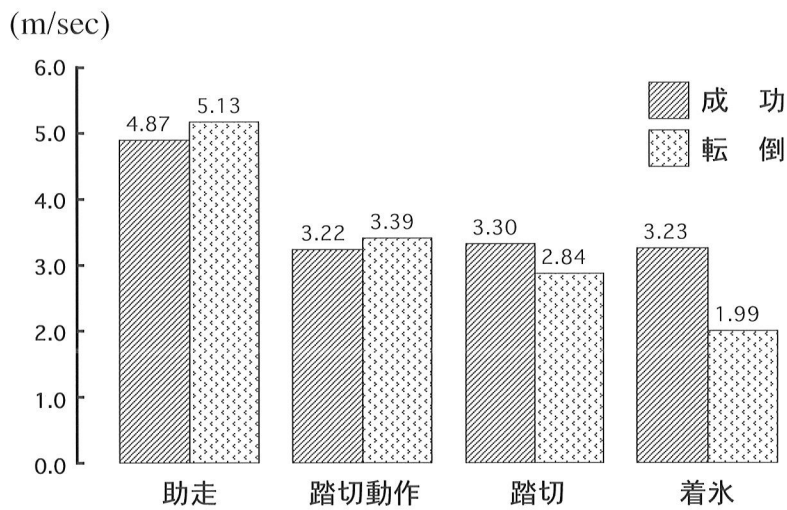


図6 クワッドサルコジャンプの各局面の成功例と転倒例の滑走速度

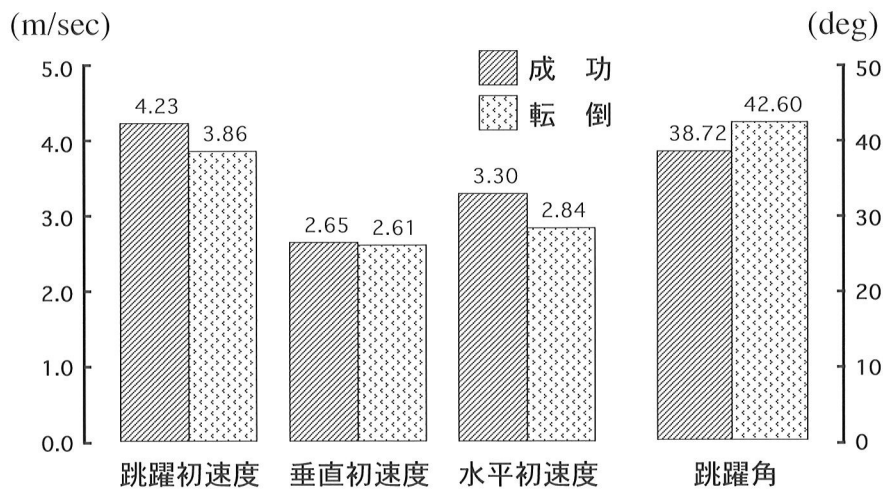


図7 クワッドサルコジャンプの成功例と転倒例の踏切時のパラメータ

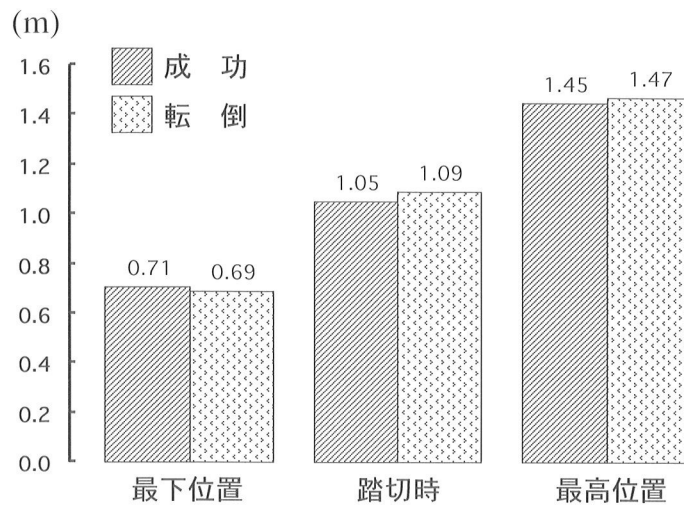


図8 クワッドサルコジャンプの成功例と転倒例の重心位置の変化

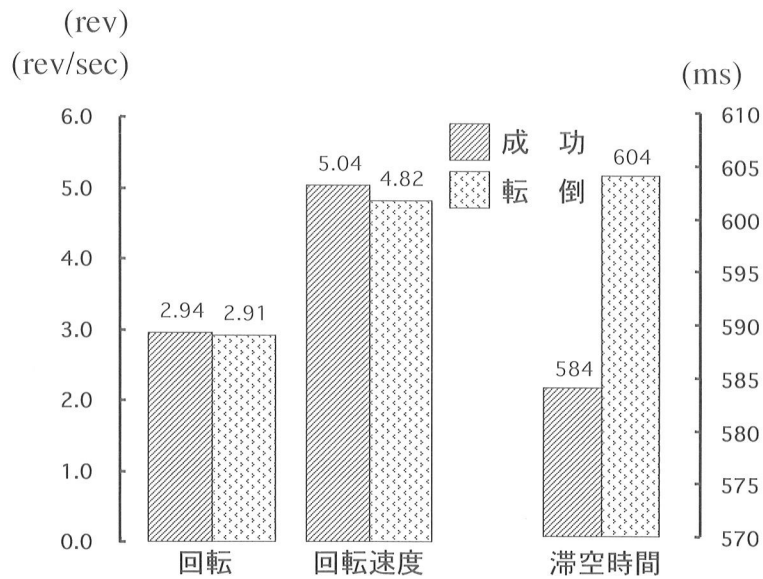


図9 クワッドサルコジャンプの成功例と転倒例の回転数、回転速度、滞空時間

た例であると考えられる。成功例も転倒例のジャンプもいずれも不完全なものであり、習熟過程にあると考えられる。

これまでに、女子選手のジャンプを運動学的に分析した報告は数少ないが、世界の一流選手に関しては1998年の長野オリンピックのフィギュアスケート競技における分析報告 (Ikegami H 1999) がある。ただし、対象としたジャンプはコンビネーションジャンプであり、3回転のルッツジャンプとの組合せであった。前半のトリプルルッツジャンプに関する3名の運動学的パラメータと比較すると、水平初速度が3.30m/sec、2.81m/sec、

4.52m/secでオリンピック選手の1名が大きくなっていた。また、垂直初速度は3.08m/sec、2.85m/sec、2.63m/secでオリンピック選手の2名が大きくなっていた。跳躍高は0.49m、0.39m、0.39mでオリンピック選手の1名は高く、2名とは差がなかった。しかし、1回転少ないルッツジャンプであることを考慮に入れば、本研究の対象選手はジャンプ高が不足していると言えるだろう。また、池上ら (2004) が報告したオリンピック選手の各種ジャンプの滞空時間では、女子オリンピック選手のトリプルルッツジャンプの平均値は578msecであった。今回のクワッドサルコジャンプの成功例が

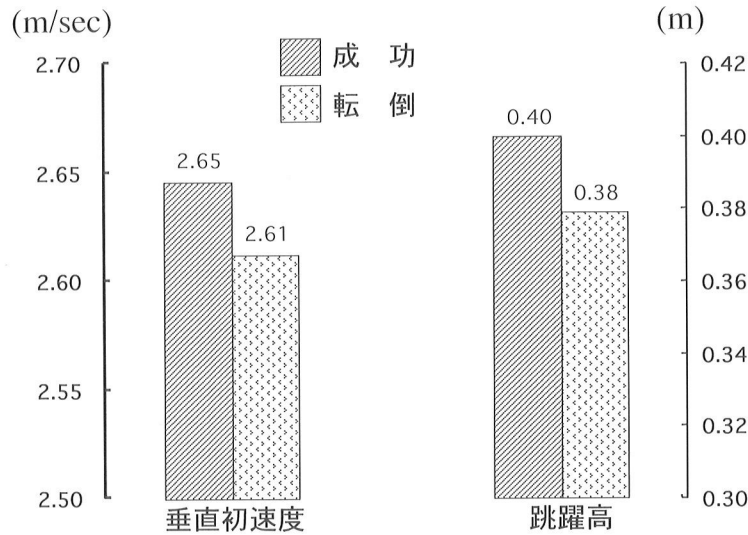


図10 クワッドサルコジャンプの成功例と転倒例の垂直初速度と跳躍高

584msec、転倒例が604msecでわずかに長いものの、3回転のジャンプに対し4回転のジャンプとしては滞空時間の不足であると言えよう。4回転ジャンプのデータとして男子のデータであるが、クワッドトゥループジャンプで滞空時間の平均値が711msecであった。男子のデータとは直接比較の対象にはならないが、かなり滞空時間が短いことが認められる。池上ら(2004)が報告した女子ジュニア選手のトリプルアクセルジャンプについて検討した結果からも滞空時間の不足が指摘されている。

回転数の多いジャンプを成功させるのが困難な理由は、基本的に両立が困難な2つの条件を実現させなければならないためと考えられる。一つは、空中で必要な回転を得なければならないため、滞空時間が長い必要がある。滞空時間は跳躍高に依存するので、より高いジャンプが要求される。ジャンプ高を得るためには大きな垂直初速度が必要になる。二つ目に、回転数が多くなれば必要な回転を空中で終了させるために踏切時における身体の回転速度が大きい必要がある。これは踏切動作でより大きな身体の角運動量を得なければならないことを意味する。踏切動作において、より大きな垂直初速度と角運動量を同時に得ることは一般に困難であろう。このことが多回転ジャンプの高難度とされる理由となっている。

クワッドサルコジャンプの成功率を上げるためには、まずは滞空時間を確保することであろう。そのためには垂直初速度を高めて跳躍高を得ることである。ジャンプ力を高めるためにはフィギュアスケートのジャンプ動作に対応したトレーニングの導入が必要であると考

えられる。

2004年度のフィギュアスケートの大会から新採点方式が導入された。新採点方式を導入するきっかけは、ソルトレイクシティオリンピックでの不正採点問題であった。従来の採点では審判員がスケーターの演技をみて技術的要素および芸術的要素を6点満点からの減点法で採点していた。採点の基準は各審判員が総合的に判断してスケーター間の相対的な比較を行い算出していた。そして、各審判の順位付けによって行われていた。新採点方式では、各種ジャンプ、スピン、ステップなどに細分化された要素ごとに難度に応じて基準点を設け、それぞれの出来によって点数を加減して採点されるようになった。各種の演技に対し評価を完全数値化して、上限のない絶対評価とする方法である。旧採点方式ではショートプログラムの順位が総合順位に大きく反映していたが、この方式では、ショートプログラムの失敗を挽回することも可能である。しかし、あらかじめプログラムの難易度から採点を予測することが可能であり、その計算によってはあえて難しいジャンプをしなくても着実に得点を獲得することの方が得策な場合も計算できる。

新聞報道(中日新聞、2004)によれば、「小手先でちょこちょこいろんなものをちりばめて演技する方が点数が上がる。転んだら損。4回転ジャンプをしようなんていう気持ちは失せる。難しい技術に挑戦すればボーナス点がもらえる。そうしないと、スポーツの持つ本来の意味がなくなる。」と解説されていた。非常に人気の高いフィギュアスケート競技であるが、採点ルールの改定により、本研究で取り上げたような難度の高いジャ

ンプに挑戦する若手選手出現への期待が減少するかもしれない。

【まとめ】

クワッドサルコジャンプの動作を3次元高速度ビデオ撮影で記録し、着氷に成功した例と転倒した例について分析し、運動学的パラメータを算出し、トレーニングに役立つ資料を得ようとした。

1. 成功例と転倒例における運動学的パラメータに明らかな差を見いだすことはできなかった。
2. クワッドサルコは4回転のジャンプであるにもかかわらず、空中での回転数は成功例でも2.94回転であった。
3. クワッドサルコジャンプの滞空時間は成功例が584msec、転倒例が604msecで、4回転のジャンプとしては不足であると考えられた。
4. クワッドサルコジャンプの成功率を高めるためには滞空時間の確保が必要である。そのためには垂直初速度を高めて跳躍高を得る必要がある。氷上でのジャンプ力を高めるためにはフィギュアスケートのジャンプ動作に対応したトレーニングの導入が必要であることが示唆された。

【付記】

本研究遂行にあたり、「2004年度南山大学パツフェ研

究奨励金 I-A-2」の補助を受けた。

【文献】

- ・ 中日新聞 (2004) : 11月9日 (火) 朝刊 確実な演技目指す
- ・ Ikegami H, Sakurai S, Nunome H, Ikegami Y, Sodeyama H and Asano K (1999) : Biomechanics of combination jump in women's figure skating in 1998 Nagano Winter Olympic Games. International Society of Biomechanics XVII-the Congress Book of abstracts. pp.673.
- ・ 池上久子、池上康男、桜井伸二、岡本敦、吉岡伸彦 (2004) : フィギュアスケートジャンプのバイオメカニクス女子選手のトリプルアクセルジャンプの運動学的研究一. 総合保健体育科学 27: 17-26.
- ・ 池上康男、桜井伸二、矢部京之助 (1991) : DLT 法. Jpn. J. Sports Sci. 10: 191-195.
- ・ 池上康男、桜井伸二、矢部京之助、池上久子、吉岡伸彦 (1992) : フィギュアスケートにおけるジャンプ動作の三次元的分析. 総合保健体育科学 15: 71-75.
- ・ 池上康男 (1998) : フィギュアスケート. Jpn. J. Biomechanics Sports Exercise 2(4): 287-291.
- ・ Ikegami Y, Sakurai S, Nunome H, Ikegami H, Sodeyama H and Asano K (1999) : Kinematics analysis of jump motion of men's figure skating in 1998 Nagano Winter Olympic Games. International Society of Biomechanics XVII-the Congress Book of abstracts. pp.675.
- ・ 松井秀治 (1958) : 運動と身体の重心. 体育の科学社、東京.
- ・ 吉岡伸彦 (1990) : フィギュア・スケートのジャンプ. Jpn. J. Sports Sci. 9: 210-214.

(2004年10月28日受付)