

フィギュアスケートにおける多回転ジャンプの運動学的研究

Kinematic Analysis of Jump Motion with Multiple Rotations in Figure Skating

池上久子* 池上康男** 佐野真也**
水藤弘吏** 吉岡伸彦***

Hisako IKEGAMI* Yasuo IKEGAMI** Shinya SANO**
Hiroshi SUITOU** Nobuhiko YOSHIOKA***

In modern figure skating events, success of jumps with multiple rotations become more important factor to achieve a higher performance. The purpose of the present study is to investigate kinematic factors in successful jump with multiple rotations of the body.

Kinematical data obtained from the 3-D motion capture of the jump performance were used for analysis. The subjects of this study were two Japanese women, three Japanese men and two foreign men skaters. Three types of jumps (Axel, Salchow and toe-loop) with different numbers of rotation of the body were analyzed.

Main results from this study were summarized as follows;

1. Both the duration of flight and the height of the center of gravity of the skaters body in the jump with a large number of rotations were larger than in the jump with a small number of rotations.
2. The vertical component of initial velocity was larger in the jump with a large number of rotations while the magnitude of initial velocity did not depend on the number of rotations.
3. Longer duration of flight in the jump was most important to get higher success rate in each types of jumps.
4. As the duration of flight is determined by the initial vertical velocity at the takeoff of the jump, special training for takeoff technique which enable to get larger vertical initial velocity would be necessary for higher performance in the jump with multiple rotation.

キーワード: アクセル、サルコウ、トゥループ、初速度、滞空時間

Key words: Axel, Salchow, toe-loop, initial velocity, duration of flight

【はじめに】

フィギュアスケートにはシングル、ペア、アイスダンス、シンクロナイズドの競技があり、美しさと力強さを備え、多くの人を魅了するスポーツである。日本ではシングルスケーティングの競技人口が最も多く、世界の舞台においても活躍している。最近のシングル日本選手の活躍は目を見張るものがある。グランプリファ

イナルは6つの国際大会の順位に基づいた得点システムの上位男女各6名の選手が出場して行われるその年の世界で最後の試合である。2005年度グランプリファイナルには男子2名、女子3名の日本選手が出場し、女子選手は優勝、第3位、第4位となった。

シングルスケーティング競技ではジャンプ、スピン、ステップの細分化された要素があり、男子シニアフリープログラムでは14個の内、ジャンプに関する要素を最

* 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
*** 千葉大学教育学部
* Faculty of Policy Studies, Nanzan University
** Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University
*** Faculty of Education, Chiba University

大8個入れることができ、女子シニアフリープログラムでは最大13個の内、最大7個のジャンプ要素を入れることが可能である。成績に占めるジャンプの成果の割合が高いことから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みられる。今日では世界一流の男子選手は4回転あるいは3回転半のジャンプは普通であり、女子選手の中にも4回転あるいは3回転半のジャンプに挑戦する選手が出始めている。

ここでは、回転数の異なるジャンプ動作に関する分析から得られたデータをもとに回転数の多い高難度のジャンプ動作を成功させるための身体運動学的条件について考察し、高難度のジャンプを成功させる要因を探ることとした。

【方法】

1) 対象

日本女子選手2名 (NAK、AND)、日本男子選手3名 (KIS、NAN、HON)、外国選手2名 (KLI、STO)を対象にした。外国選手と日本選手1名は長野ホワイトリングで1998年に開催された、長野オリンピックフィギュアスケート競技、日本女子選手1名は名古屋市総合体育館レインボーアイスアリーナで行われた第71回全日本フィギュアスケートジュニア選手権大会、他の3名は2005年度の日本スケート連盟による野辺山での練習中の撮影から得られたものの中から回転数の異なるジャンプを対象とした。

2) 撮影方法

ジャンプ動作の撮影には2台のハイ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)を観客席のスタンドに設置し、異なる2つの方向から毎秒250フィールドで同期撮影を行った。撮影範囲の画角を決めるにあたっては、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、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)。キャリブレーションは、4個のリファレンスマークのついたポールを両カメラの撮影範囲の視野内に6カ所立てて撮影し、リンクサイドの2つの固定点からの距離を計測して位置を求めた。2台のカメラから得られたビデオ画像から身体各部およびスケートの2次元座標とコントロールポイントの実座標を用いてDLT法 (池上ら、1991)により3次元座標を求めた。

3) ジャンプの種類

ジャンプの種類には、トゥループ、サルコウ、ループ、フリップ、ルッツ、アクセルの6種類があり、それぞれに回転数に応じてシングル、ダブル、トリプル、クワッドがある。ジャンプの難易度を示す基礎点を表1に示した。ジャンプは右利きの選手の場合、踏切後に身体を反時計回りの長軸回りに回転させながら跳び、右足のバックアウトで着氷する。アクセルを除く5種類のジャンプは、後ろ向きに滑走して踏み切るが、アクセルだけは前向きに滑走して跳ぶためシングルジャンプが1回転半となる。トゥループ、サルコウジャンプのシングルは基礎点が0.4で最も低い。トリプルサルコウジャンプで4.5、クワッドサルコウジャンプは9.5である。クワッドアクセルはまだだれも成功していないが、13点となっている。演技点はトリプル、クワッドジャンプの場合は3点から-3点の範囲で7段階の評価がされる。ここではアクセルジャンプ (A)、サルコウジャンプ (S)、トゥループジャンプ (T) について分析した。

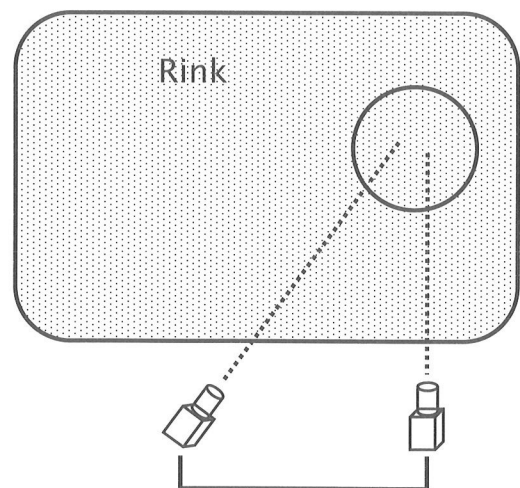


図1 カメラの位置と同期

表1 ジャンプの種類と基礎点

		シングル	ダブル	トリプル	クワッド
アクセル	A	0.8	3.3	7.5	13.0
ルッツ	Lz	0.6	1.9	6.0	11.0
フリップ	F	0.5	1.7	5.5	10.5
ループ	Lo	0.5	1.5	5.0	10.0
サルコウ	S	0.4	1.3	4.5	9.5
トゥループ	T	0.4	1.3	4.0	9.0

【結果および考察】

1) 滞空時間

滞空時間は、高速度ビデオ撮影に成功した映像からスケート靴のブレードのトゥが氷から離れる瞬間からトゥが氷に接地するまでの時間としてビデオのコマ数により求めた。

図2には7名の選手の回転数の異なるジャンプについて基礎点によってジャンプを3段階に分けて滞空時間を示した。滞空時間は女子選手〔NAK、AND〕に比べると男子選手の方が長い傾向が認められる。オリンピック男子選手 KLI は各3段階のジャンプとも最も滞

空時間が長くなっていた。回転数の異なるジャンプを個人内で比較すると、日本の HON 選手は4回転ジャンプの方が3回転半のジャンプよりやや短い、他のすべての選手では回転数の多い方が滞空時間も長いことが認められる。

2) 重心上昇高

スケート靴のブレードのトゥが氷から離れる瞬間からトゥが氷に接地するまでの身体重心は放物線を描く。図3には踏切時の重心位置から跳躍の頂点での重心位置までの距離として示した。重心上昇高も女子選手〔NAK、AND〕に比べると男子選手の方が高い傾向が

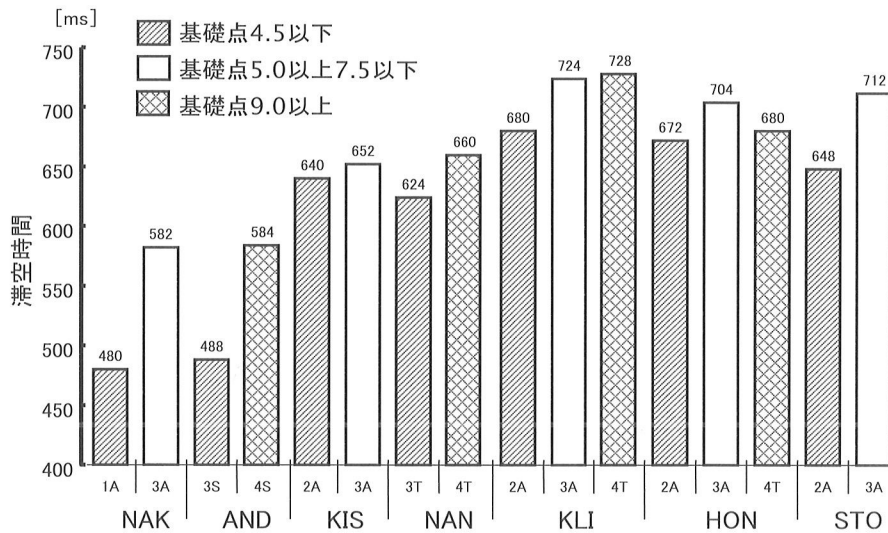


図2 回転数の異なるジャンプの滞空時間

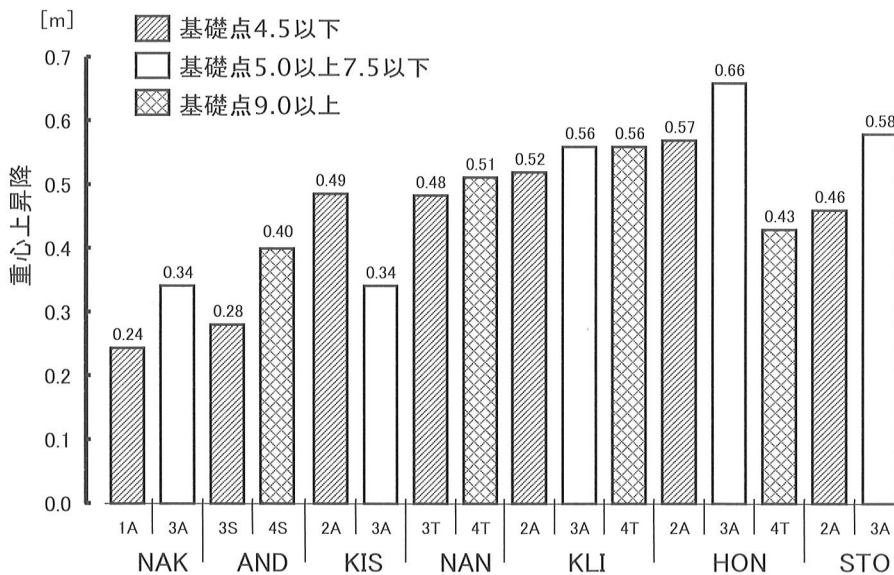


図3 回転数の異なるジャンプの重心上昇高

認められる。全体で最も高く跳んでいるのは HON 選手のトリプルアクセルジャンプである。回転数の異なるジャンプを個人内で比較すると、KSI、HON 選手では回転数が多いジャンプで必ずしも重心上昇高が高くはなっていないかったものの、他の選手では回転数が多い方が重心上昇高は高くなっていた。

3) ジャンプ時の初速度

ジャンプ中の重心の放物運動を決定する初期条件は踏切時の重心高に加え、初速度（絶対値、水平成分、垂直成分）と跳躍角であり、これらから跳躍高および重心上昇高、滞空時間が決まる。ジャンプ高を決める

要素は垂直初速度である。

図4には、跳躍初速度を示した。跳躍初速度も女子選手〔NAK、AND〕に比べると男子選手の方が高い傾向が認められるが、滞空時間ほどの大きな差ではない。回転数の異なるジャンプを個人内で比較すると、AND、HON 選手では回転数が多いジャンプで跳躍初速度が高くなっている傾向が見られるが、他の選手では回転数が多い方が低くなっていた。オリンピック選手の KLI は3種類のジャンプでジャンプの回転数が高くなると跳躍初速度は低くなっていた。

次にこの跳躍初速度を水平と垂直成分に分けて垂直初速度について図5に示した。垂直初速度も女子選手

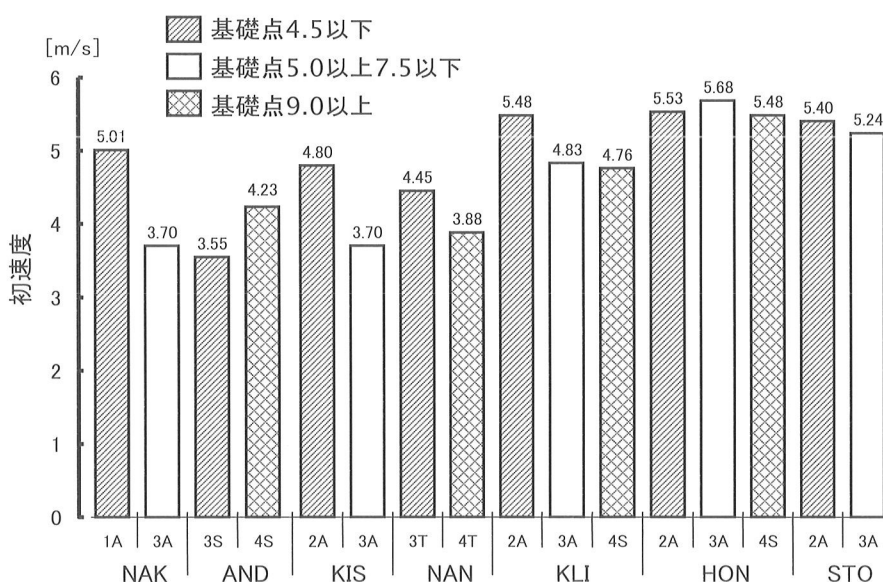


図4 回転数の異なるジャンプの跳躍初速度

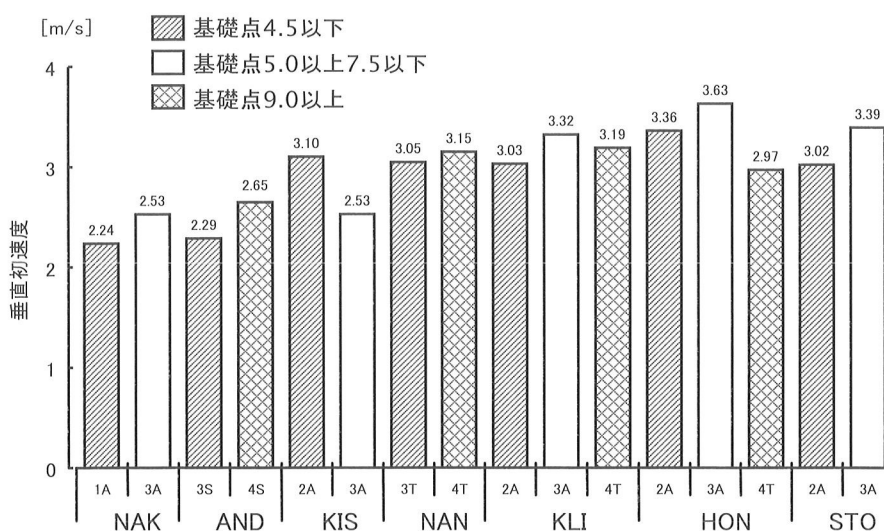


図5 回転数の異なるジャンプの垂直初速度

[NAK、AND] に比べると男子選手の方がやや高い傾向が認められるものの大きな差ではない。全体で最も垂直初速度が大きいのは最も高く跳んでいた HON 選手のトリプルアクセルジャンプである。回転数の異なるジャンプを個人内で比較すると、回転数が多いジャンプで垂直初速度は大きい傾向であった。しかし、HON 選手の 4 回転ジャンプは、初速度では他のジャンプと比較して差が認められなかったけれど、垂直初速度が低くなっていた。このことは水平成分の大きなジャンプとなっていたことになる。

これらの結果から、回転数が多くなると、より初速度の方向が上向きになると考えられる。

4) ジャンプの回転数

スケート靴のブレードのトウが氷から離れる瞬間からトウが氷に接地するまでの身体の回転数を示した。空中での回転角度は両肩を結ぶ線分を氷面に投影し、その線分の回転角とした。図 6 にはジュニア選手がトリプルアクセルを跳んだ際の各局面での回転数(池上ら、2004)とともに回転数の異なるジャンプの回転数を示した。アクセルジャンプは前向きで跳んで後ろ向きに着地するジャンプであるのでトリプルジャンプは 3.5 回転のジャンプである。しかし空中での回転数は 2.6 回転程度であった。踏切動作に入った後に肩が約 140 度回転し、その後に離氷していた。また、AND 選手のクワッドサルコジャンプでは 2.94 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(池上ら 2005a)。これまでに報

告されたアクセルジャンプの分析結果からも(池上ら、1992)踏切動作の開始から離氷時にかけてすでに回転が始まっていることが示されている。このことは離氷前にすでに身体が回転していることを示している。このような離氷前の身体の回転は、長野オリンピックのビデオ記録からアクセルジャンプに限らずルッツジャンプやトゥループジャンプにおいても認められている(Ikegami H et al., Ikegami Y et al. 1999, 池上、1998)。

着氷後の回転はルールによれば 4 分の 1 回転までの不足ならば容認されるが、4 分の 1 回転を超えてしまえば、回転不足となり 4 回転を試みたとしても 3 回転と判断される。この点からいえば日本選手の 3 回転半、4 回転のジャンプは完全なジャンプになっていないものとみられる可能性があり、ジャンプの習熟過程にあると考えられる。

5) 着地を成功させる条件

新採点方式(日本スケート連盟、フィギュアスケート資料室)では、技術審判による基礎点(Base Value)が決められ、各ジャッジによる要素点および構成点によって採点される。要素点は各種ジャンプ、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た基礎点と、それぞれの出来によって 7 段階の範囲で点数を加減して採点される演技点とがあり、基礎点と演技点をあわせた総要素点が算出される。また、プログラム全体に対してスケート技術(スケーティングの質、スピードなど)、要素のつながり(要素と要素の間のステップ、要素の入り方・出方など)、演技力(身のこなし、スタイル、スピードの変化など)、振付け(プロ

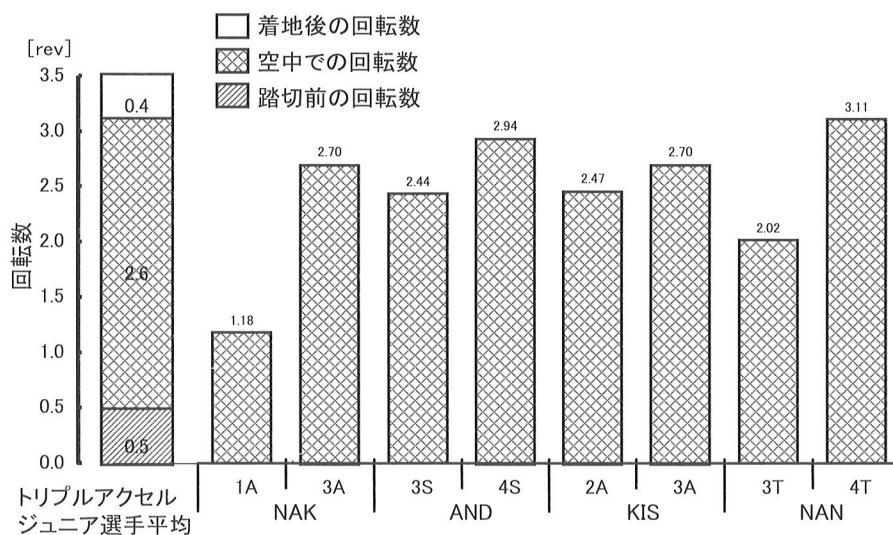


図 6 日本選手の異なるジャンプの回転数

グラム構成の調和、ハイライトの分布など)、曲の解釈(音楽に合わせた動き、音楽の表現など)、の5つについて要素を10点満点で採点し、別に決められた係数をかけて総構成点を算出する。違反や要素以外での転倒に対しては減点される。プログラムのスコアは総要素点に総構成点を加算し、減点があればそれを引いて算出する。ショートプログラムとフリースケーティングのスコアを加算した結果が最終スコアとなる。

新採点方式は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。この採点方式では、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、4回転ジャンプに挑戦して失敗すれば大きく減点されることになり、完成度の高い3回転ジャンプを成功させた方が高い得点となることもある。したがって、高い得点を得るためにはいかに高難度のジャンプを着実に着地するかが大きな要因となっている(池上、2005b)。

着地の際にスケート靴のブレードが身体の進行方向に対し、同じ方向を向いていれば、スケートは滑走することが可能となり、転倒する確率は小さくなる。しかし、進行方向に対しブレードが直角になって着地すれば、スケートは滑走することができないので、転倒することになる。着氷の際にブレードのトウを使って氷との接触面を小さくしておき、身体の進行方向にスケート靴のブレードを修正することによって転倒から回避することができる。この時、身体が持つ進行方向への速度は水平初速度とほぼ等しいと考えられるため、水平初速度が大きければ大きいほどブレードの進行方向への修正をより瞬時に行う必要がある。水平初速度が大きいジャンプは、ジャンプの跳躍距離が長くなり成功すれば迫力のあるジャンプとなるが、ブレードの進行方向への修正が困難な場合が多く、転倒から回避することが難しくなる。難度の高いジャンプを成功させるためには跳躍距離や水平初速度が大きくなり、垂直初速度が大きいジャンプの方が着地の成功する確率が高くなっていると考えられる。しかし、ジャンプの際に滑走スピードが落ちてしまうと、構成点が低い評価になってしまう。そのためにはジャンプの入り方や着地後の身体の使い方に工夫が必要であろう。

ジャンプ競技には走り高跳びや走り幅跳びなどがあるが、フィギュアスケートのジャンプは回転を伴った空中動作であり、跳ぶことと回転することを同時に行うところに難しさがある。これまでの研究から回転数の多いジャンプを成功させるためには2つの条件が必要である。1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。2つ目に、回転数が多くなるほど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くなければならない。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的に困難であろう。基本的に両立の困難な2つの条件を実現させなければならないため多回転ジャンプが高難度とされる理由となっている。

高難度の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。身体の回転技術を身につけるとともにジャンプ力を高める必要があり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。

【まとめ】

本研究では、回転数の異なるジャンプ動作に関する分析から得られたデータをもとに回転数の多い高難度のジャンプ動作を成功させるための要因を究明しようとした。そして以下のことが明らかとなった。

1. 回転数の多いジャンプの方が滞空時間は長く、重心上昇高が高いことが認められた。
2. 回転数の多いジャンプの方が跳躍初速度は必ずしも大きくないが、垂直初速度は大きい傾向があることが示された。
3. 高難度の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。
4. 身体の回転技術を身につけるとともにジャンプ力を高める必要があり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、「2005年度南山大学パッヘ研究奨励金 I-A-2」の補助を受けた。

文 献

- 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 17th Congress Book of abstracts. pp.673.

フィギュアスケートにおける多回転ジャンプの運動学的研究

- ・ 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-. 総合保健体育科学 27: 17-26.
- ・ 池上久子、池上康男、佐野真也、桜井伸二、吉岡伸彦 (2005a) : フィギュアスケートジャンプのバイオメカニクス -クワッドサルコウジャンプの運動学的研究-. 総合保健体育科学 28: 15-22.
- ・ 池上久子 (2005b) : フィギュアスケートのジャンプの回転技術. バイオメカニクス研究. JJBSE. 9(2): 104-111.
- ・ 池上康男、桜井伸二、矢部京之助 (1991) : DLT 法. Jpn. J. Biomechanics Sports Exercise. 10(2): 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 17th Congress Book of abstracts. pp.675.
- ・ 日本スケート連盟 : <http://www.skatingjapan.or.jp/index.shtml>.
- ・ フィギュアスケート資料室 : <http://www.geocities.co.jp/Athlete-Athene/9074/index.html>

(2005年12月26日受付)

