

国内インラインスピードスケート選手のフラットトラックにおける カーブ滑走動作に関する技術的要因の研究

岡部文武¹⁾ 藤田善也²⁾ 土屋 純²⁾

A study on the technical factors in curve skating on a flat track among Japanese inline speed skaters

Fumitake Okabe¹⁾, Zenya Fujita²⁾ and Jun Tsuchiya²⁾

Abstract

The purpose of this study was to investigate the technical factors in curve skating in inline speed skating on a flat track by comparing between an elite skater (n=1) and a trained skater (n=1) in flat track. Data on the three-dimensional coordinates of the skaters who participated in the 60th East Japan Roller Speed Skating Championship were collected to calculate kinematic parameters such as the trajectory of the center of body mass, joint and segment angles of the support leg, and tilt angles of the body and shank of the support leg during the curve skating using the direct linear transformation technique. In the left leg stroke of the top skater, the forward rotation of the thigh was greater than the forward bent of the shank and the forward movement of the center of the body mass was greater than that in the left leg stroke of the trained skater. The tilt angles of the body and the shank of the support leg to the inside of the curve of the top skater were greater than those of the trained skater. The top skater tilted the body and the shank of the support leg sideward largely during the right and left leg strokes. These results suggest that high degrees of rotation of the thigh of the support leg, and tilting of the body and the shank of the support leg to the inside of the curve were good technical factors in curve skating among Japanese inline speed skaters.

Key words: inline speed skating, curve skating, speed, technical factors, kinematics

インラインスピードスケート競技, カーブ滑走, 技術的要因, キネマティクス

I. 緒言

インラインスピードスケート競技は、ポリウレタン製のタイヤ（以下、「ウイール」とする）が一行に並んだインラインスケートを用いて、1周200mのバンクトラック、あるいは400~600mのサーキットトラックを1人~複数人で滑走し、滑走時間を競う競技である。トラックには、曲走路に傾斜のあるバンクトラックの他に、曲走路が平坦なフラットトラックがある。2013年のインラインスピードスケート競技世界選手権におけるシニア男子300m種目の滑走時間をみると、世界1位の選手の記録は23'89であったのに対して、日本選手は27'85であった。また、過去2年の世界選手権におけるシニア男子300m種目の滑走時間に

ついても、日本選手の滑走時間は世界1位の滑走時間と約3秒も差が開いていた。このことから、日本と海外との差は大きく開いているといえる。インラインスピードスケート競技では、スピードスケート競技のように、低い滑走姿勢を保ち、側方へのプッシュオフ動作により推進力を得る滑走動作が行われる。側方へのプッシュオフ動作により推進力を得る運動は、歩行やランニングのような運動様式とは異なり、日常では考慮を必要としない力学的要因と深く関連している。そのため、インラインスピードスケート競技では、体力的要因に加えて技術的要因が競技成績に及ぼす影響が大きいといえる。しかしながら、これまでインラインスピードスケート競技に関して滑走速度を大きくするための技術的要因を解明した研究は見当たらない。そ

1) 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科
Graduate school of Sport Sciences, Waseda University

2) 早稲田大学スポーツ科学学術院
Faculty of Sport Sciences, Waseda University

のため、インラインスピードスケート競技の競技成績の向上を図るためには、滑走技術に関する知見を得ることが重要といえる。

近年、スピードスケート競技に出場するインラインスピードスケート選手が増加し、スピードスケート競技の国際大会で活躍するようになってきている。例えば、2014年冬季オリンピックソチ大会スピードスケート競技男子500m種目で優勝したMicheal Mulder選手は2012年インラインスピードスケート競技世界選手権においても優勝している。両競技が外見上、よく似た滑走動作で行われること、世界一流選手が両競技において高い競技パフォーマンスを発揮していることを踏まえると、スピードスケート競技とインラインスピードスケート競技の滑走動作には競技間に類似性があるといえる。

インラインスピードスケート競技における滑走動作は、スピードスケート競技同様に、ストレート滑走動作とカーブ滑走動作に分類できる。スピードスケート競技とインラインスピードスケート競技の類似性に関して、de Boer et al. (1987b) はスピードスケート選手を対象に、ストレート局面におけるインラインスケート靴とスピードスケート靴装着時の滑走動作の相違を分析した。その結果、スピードスケート選手のインラインスケート靴装着時の滑走動作の特徴は、①スピードスケート靴装着時よりも身体重心が前方に位置すること、②身体傾斜角が大きいこと、③遊脚をプッシュオフ動作開始後に接地させているという点で相違があるが、滑走動作そのものは類似性を有していることを報告している。しかし、ストレート滑走動作における右脚の特徴のみに着目していることや、用具の違いがスピードスケート選手の滑走動作に及ぼす影響を分析していることから、カーブ滑走動作の類似性やインラインスピードスケート競技に関する技術的要因を十分に明らかにしたとはいえない。カーブ滑走動作は身体重心をカーブ内側に向かって移動させるため、常にカーブ外側に向かってプッシュオフ動作を行わなくてはならない。このとき、選手は、離地した右足を左足の前方を通過させてから着地させる一方で、左脚は右脚の後方でプッシュオフ動作を実施する必要がある。そのため、カーブ滑走動作はストレート滑走動作に比べて、難易度の高い動作であるといえる。これらの点から、インラインスピードスケート競技の競技成績の向上を図るためには、インラインスピードスケート選手を対象としたカーブ滑走動作のバイオメカニクスの研究を行うことが有効であるといえる。しかし、カー

ブ滑走動作においてde Boer et al. (1987b) のように、スピードスケート競技とインラインスピードスケート競技を比較した研究はない。インラインスピードスケート競技とスピードスケート競技の滑走動作が類似性を有していることを考慮すると、スピードスケート競技におけるカーブ滑走技術に関する技術的知見を踏まえて分析することで、インラインスピードスケート競技のカーブ滑走動作に関する技術的要因を明らかにできると考えられる。

スピードスケート競技では滑走時間を競うため、滑走速度を大きくすることが必要となる。滑走速度を大きくするためには、着氷から離氷までの1ストロークの仕事量とストローク頻度(ストロークに要した時間の逆数)の積で算出される出力パワーを大きくしなくてはならない(Ingen and Bakker, 1980; 結城ほか, 1996)。滑走動作が同一の場合、ストロークにおける仕事量が競技成績と関連があり、ストロークにおける仕事量の増大はプッシュオフ動作と関連があることが報告されている(Ingen Schenau et al., 1985)。プッシュオフ動作に関して、スピードスケート競技では、スケートの滑走方向に対して垂直な方向へのプッシュオフ動作と、滑走方向への身体重心速度成分の増大が身体重心の加速に貢献すると報告されている(Ingen Schenau and Bakker, 1980; 結城ほか, 1992)。また、プッシュオフ動作により得られる反力は、ブレードの傾斜角により水平成分と鉛直成分に分類でき、ストローク中の身体重心の加速は、スケートの曲線運動における内向きの水平成分が増大することによるものとされる(結城ほか, 1997)。このときの内向きの水平成分を大きくする動作特徴として、ストレート局面およびカーブ局面において身体傾斜角が大きいことが報告されている(de Boer et al., 1985, 1987b; 湯田ほか, 2003)。また、滑走方向への速度成分の増大は、プッシュオフ動作による身体重心の前方移動によるものと報告されている(結城ほか, 1992)。プッシュオフ動作は、膝を中心とする大腿の回転運動によるものであると報告されている(de Boer et al., 1989)。ストレート局面およびカーブ局面において、滑走速度の大きい選手はストローク開始時の支持脚の関節角度、とくに大腿が水平面となす大腿角が小さく(Ingen Schenau et al., 1983)、ストローク終盤に向けて大腿の前方回転を大きくしていることが報告されている(結城ほか, 1992; 湯田ほか, 2003)。

以上より、スピードスケート競技では滑走技術の解明に関して、下肢伸展動作および身体傾斜に着目した

研究がなされていることがわかる。そこで、本研究の目的は、スピードスケート競技の研究動向に倣い、下肢伸展動作および身体傾斜角に着目して、インラインスピードスケート競技のフラットトラックにおけるカーブ滑走動作の技術的要因を分析し、コーチングに役立つ知見を得ることとした。

II. 分析方法

1. 分析対象

2014年10月19日に熊谷スポーツ文化公園にて開催された、第60回東日本ローラースケートスピードスケート選手権大会男子300mタイムトライアル種目に出場した国際大会派遣候補選手のうち、撮影範囲内でカーブ滑走動作の左ストローク開始地点が近似する選手2名を分析対象者とした。なお、本研究では、分析対象者を競技成績の優劣により上位選手(年齢:17歳,身長:1.71m,体重:60kg)および下位選手(年齢:24歳,身長:1.63m,体重:61kg)と定義した。なお、上位選手の競技成績は26"30,下位選手の競技成績は30"60であった。上位選手は日本代表として国際大会出場経験があり、過去3年間の全日本ローラースピードスケート選手権大会300mタイムトライアル種目(以下,全日本選手権とする)において、優勝経験があった。一方、下位選手は国際大会の出場経験はなく、全日本選手権の最高成績は12位であった。

2. ビデオ撮影

ビデオ撮影は、埼玉県熊谷市の熊谷スポーツ文化公

園ローラースケート場のゴール直前のカーブ局面において行った。なお、熊谷スポーツ文化公園ローラースケート場は、カーブ局面に傾斜のないフラットトラックであった。国際大会派遣候補選手を2台の高速度カメラ(EX-F1, CASIO社製, 日本)により、側方(固定)および後方(固定)から毎秒300フレーム、露出時間1/2000秒で撮影した。撮影範囲は、カーブ中央付近からカーブ出口にかけて縦20m×横10m×高さ2mとし、それぞれX, Y, Z軸とした(図1)。2台の高速度カメラの同期は、それぞれの高速度カメラにより得られた映像から、右ウイールが離地した瞬間を目視にて確認して同期した。なお、実験に先立ち、撮影対象者には、本研究の目的を口頭にて説明したうえで、書面で同意を得た。

3. 算出項目及び分析項目

撮影された映像は3次元動作解析システム(DKH社製, Frame-DIAS V, 日本)を用いて、身体各部位21点を4コマごと(周波数100Hz相当)にデジタル化した後、左右大転子の中点を算出した。デジタル化された座標値は3次元DLT法により実長換算し、分析点22点の3次元座標値を算出した。算出された3次元座標値は、残差分析法(Wells and Winter, 1980)により最適遮断周波数(3.1~9.4Hz)を決定し、4次のバターワースローパスフィルタを用いて平滑化した。平滑化された3次元座標値から、身体を頭部, 体幹, 上腕, 前腕, 手, 大腿, 下腿, 足部の8つのセグメントからなる剛体セグメントリンクモデルに置き換え、日本人アスリートの身体部分係数(阿江ほか, 1992)

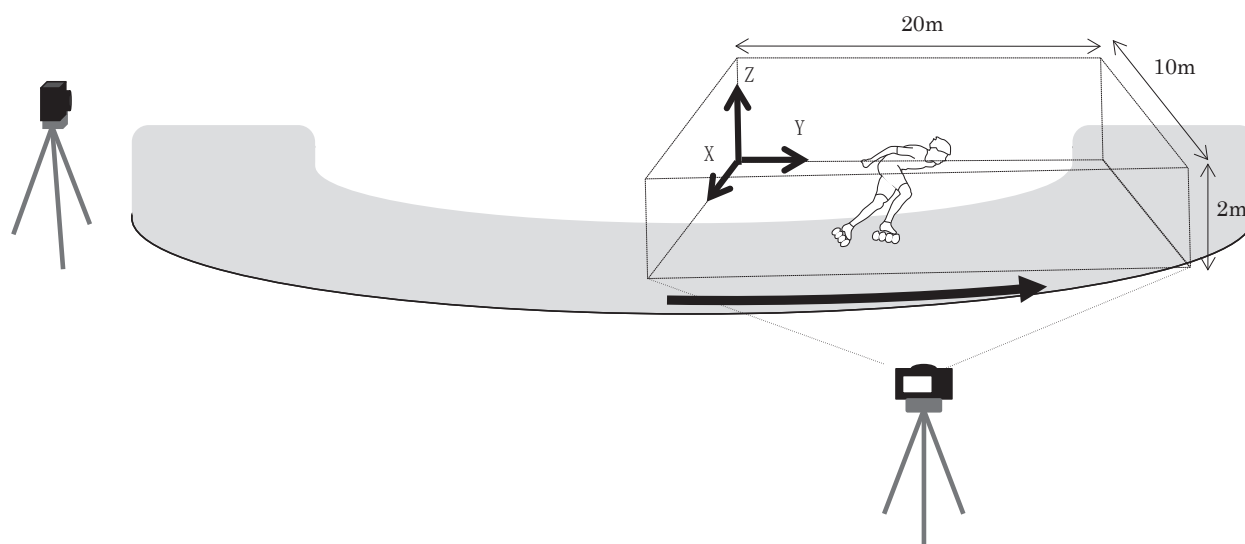


図1 撮影設定図

を用いて身体重心および身体重心速度ベクトルを算出した。さらに、静止座標系の原点を身体重心速度ベクトルの始点に移動した後、静止座標系のY軸と身体重心速度ベクトルが一致するように座標変換し、身体重心速度ベクトルをY'軸、水平面上でY'軸に直交する軸をX'軸、鉛直方向をZ'軸とする移動座標系を構築した(X', Y', Z')。

本研究では、右ウイールの離地から左ウイールの離地までを左ストローク、左ウイールの離地から右ウイールの離地までを右ストロークとし、左ストロークと右ストロークを合わせてスケートニングサイクルと定義した。また、左ストロークでは左脚を、右ストロークでは右脚を支持脚と定義した。本研究では、膝

関節伸展角速度増大開始点を基準として、各ストロークを滑走局面とプッシュオフ局面に分類した(図2)。

分析項目は、スピードスケート競技のカーブ滑走動作に関する研究(湯田ほか, 2003)に倣い、ストローク所要時間、X-Y平面に投影した支持脚足関節に対する身体重心の軌跡、身体重心水平速度、Y'-Z'平面に投影した支持脚の関節角度(股、膝、足関節)およびセグメント角度(体幹前傾角、大腿角、下腿前傾角)、X'-Z'平面に投影した身体傾斜角および下腿傾斜角とした(図3)。分析項目の定義に関して、ストローク所要時間は左右ストローク開始から終了までに要した時間とした。身体重心の軌跡は、支持脚の外踝を原点としたX'-Y'平面における身体重心の軌跡とした。各

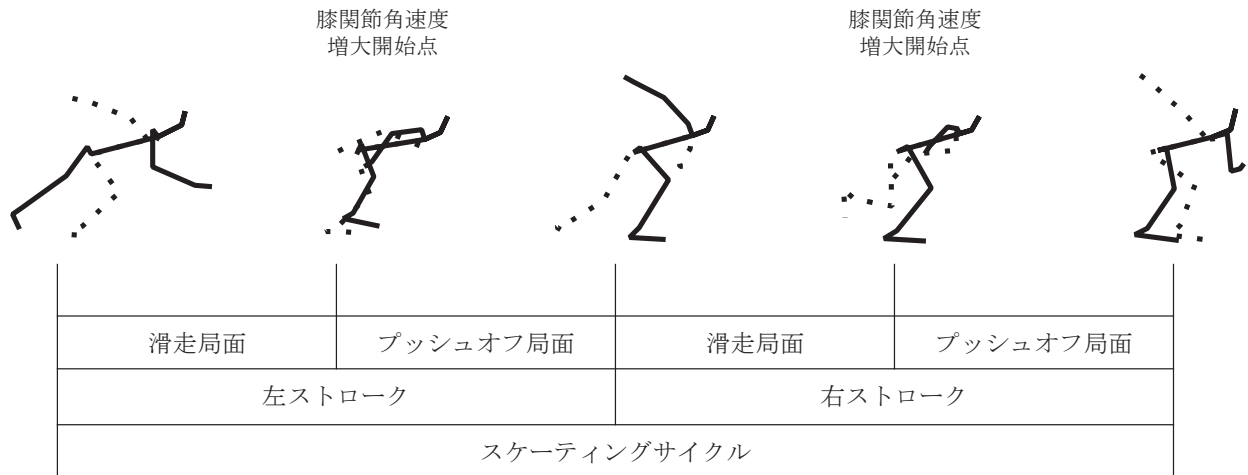


図2 ストローク及びびストロークにおける運動局面の定義

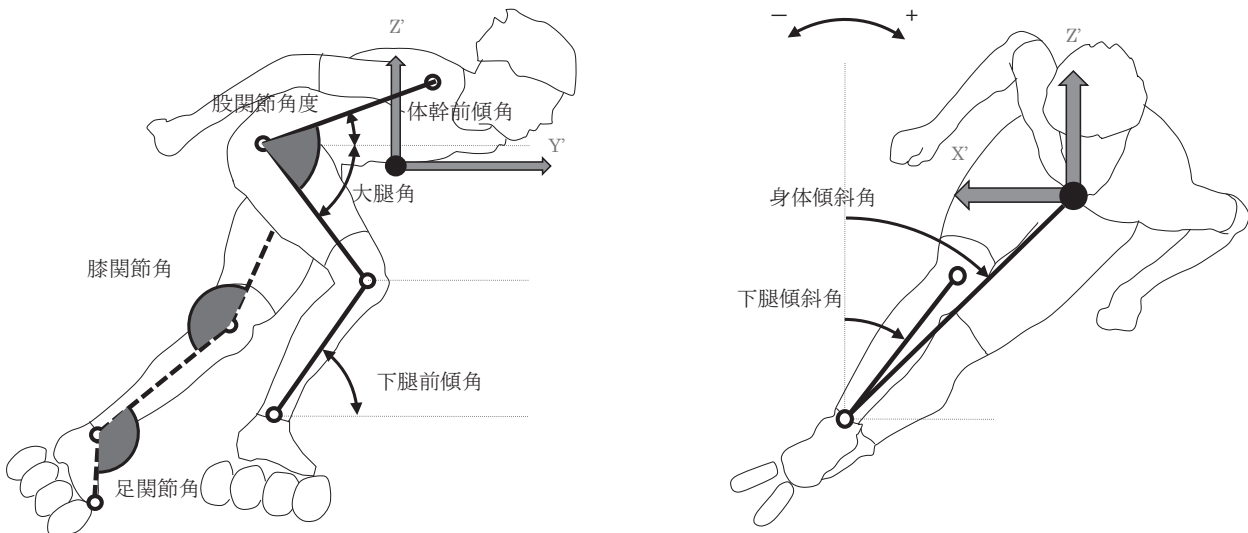


図3 関節角度及びセグメント角度の定義

セグメントの定義について、体幹セグメントは左右の両大転子の中点と胸骨上縁とを結んだ線分、大腿セグメントは左右の各大転子と左右の膝関節中心とを結んだ線分、下腿セグメントは左右の膝関節中心と左右外踝とを結んだ線分とした。体幹前傾角はY'軸と体幹セグメントのなす角度、大腿角はY'軸と大腿セグメントのなす角度、下腿前傾角はY'軸と下腿セグメントのなす角度とした。また、関節角度は、体幹セグメントと大腿セグメントのなす角度を股関節角、大腿セグメントと下腿セグメントのなす角度を膝関節角、下腿セグメントと足部セグメントのなす角度を足関節角とした。なお、各セグメント角は、体幹前傾角および下腿前傾角がY'軸を基準に反時計回りを正とし、大腿角はY'軸を基準に時計回りを正とした。また、関節角度は、伸展方向を正とした。身体傾斜角および下腿傾斜角は、それぞれ外踝と身体重心の結線、外踝と膝の結線が鉛直方向成分となす角度と定義した。身体傾斜角および下腿傾斜角の角度定義は、鉛直方向成分

を基準として時計回りを正とした。また、正方向への傾斜角の変化を「内傾」、負の方向への傾斜角の変化を「外傾」とした。なお、分析項目の時系列データは、左右それぞれのストロークに要した時間で規格化した。

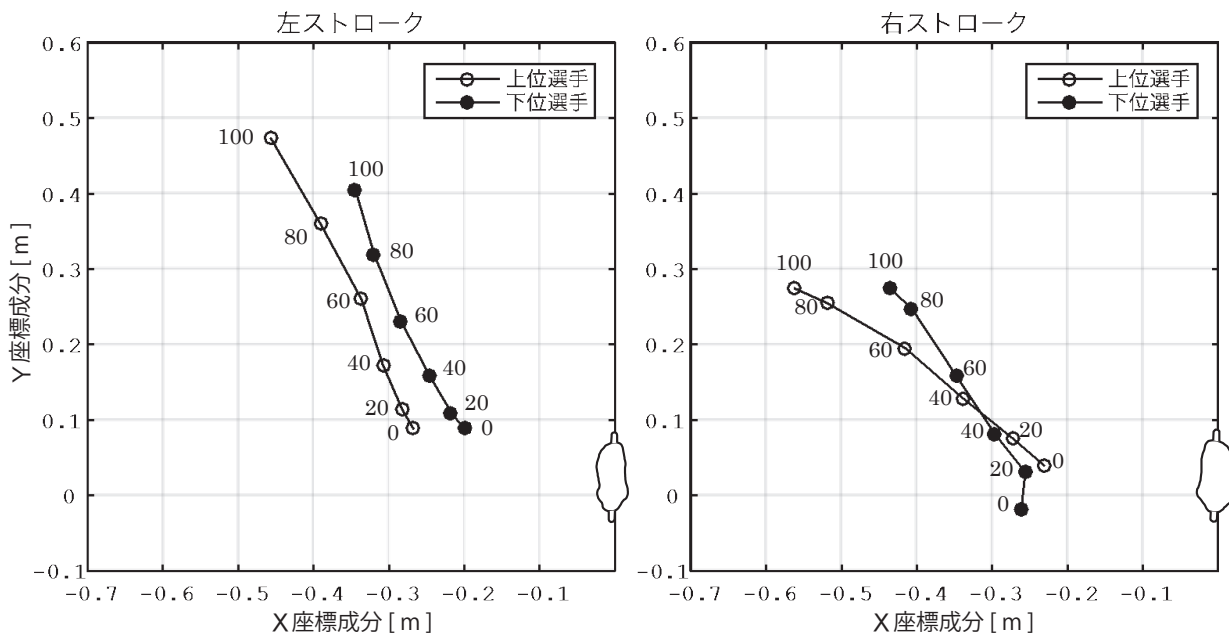
III. 結果

表1に、左右のストローク所要時間およびストロークにおける各局面に要した時間を示した。ストローク所要時間は、左ストロークでは上位選手が下位選手に比べて長かったが、右ストロークでは同値であった。各局面に要した時間は、左右のストロークの滑走路面と左ストロークのプッシュオフ局面では、上位選手が下位選手に比べて長かった。一方、右ストロークのプッシュオフ局面では、上位選手が下位選手に比べて短かった。

図4に左右のストロークにおける支持脚外踝に対する

表1 左右のストローク所要時間及びストロークの運動局面の所要時間

	左ストローク所要時間		右ストローク所用時間	
	滑走路面	プッシュオフ局面	滑走路面	プッシュオフ局面
上位選手	0.18sec	0.19sec	0.16sec	0.26sec
下位選手	0.16sec	0.16sec	0.15sec	0.27sec



†左右のストロークにおける支持脚外踝に対する身体重心の軌跡を水平面に投影した。図中の原点は左ストロークでは左脚の外踝、右ストロークでは右脚の外踝を示している。なお、20%ストロークごとに上位選手には白色の丸印、下位選手には黒色の丸印を付した。図中の数値は%ストロークを示している。

図4 左右のストロークにおける支持脚外踝に対する身体重心の軌跡

表2 左右のストロークにおける身体重心の移動距離

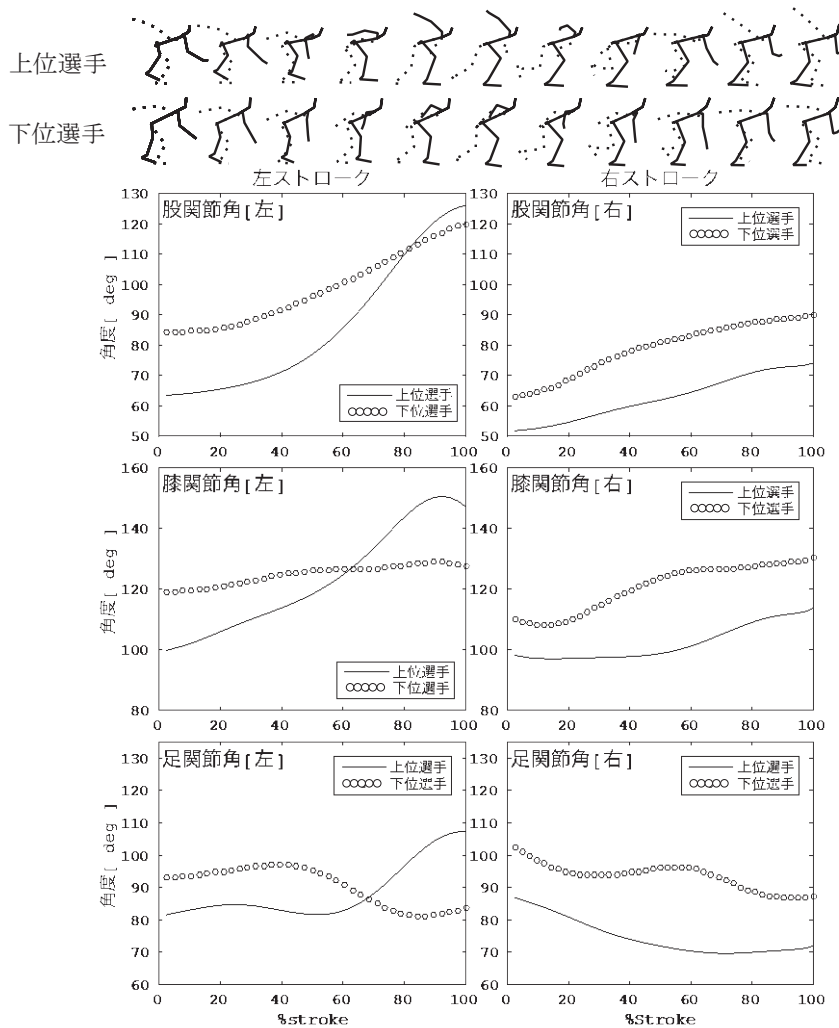
	上位選手	下位選手
左ストローク	0.46m	0.37m
X座標成分	0.20m	0.15m
Y座標成分	0.41m	0.34m
右ストローク	0.54m	0.39m
X座標成分	0.34m	0.19m
Y座標成分	0.24m	0.30m

る身体重心の軌跡を示した。また、表2に左右のストロークにおける支持脚外踝に対する身体重心の移動距離を示した。ストローク開始時の身体重心の位置は、左ストロークでは上位選手が下位選手に比べてよりカーブ内側に位置しており、右ストロークでは下位選手が上位選手に比べて、よりカーブ内側に位置していた。身体重心の移動距離は、左右のストロークともに

上位選手が下位選手に比べて大きかったが、身体重心の変化の仕方は左右のストロークで異なっていた。左ストロークでは両選手ともX座標成分が小さくY座標成分が大きかったが、右ストロークでは上位選手はX座標成分がY座標成分に比べて大きく、下位選手はY座標成分がX座標成分に比べて大きかった。

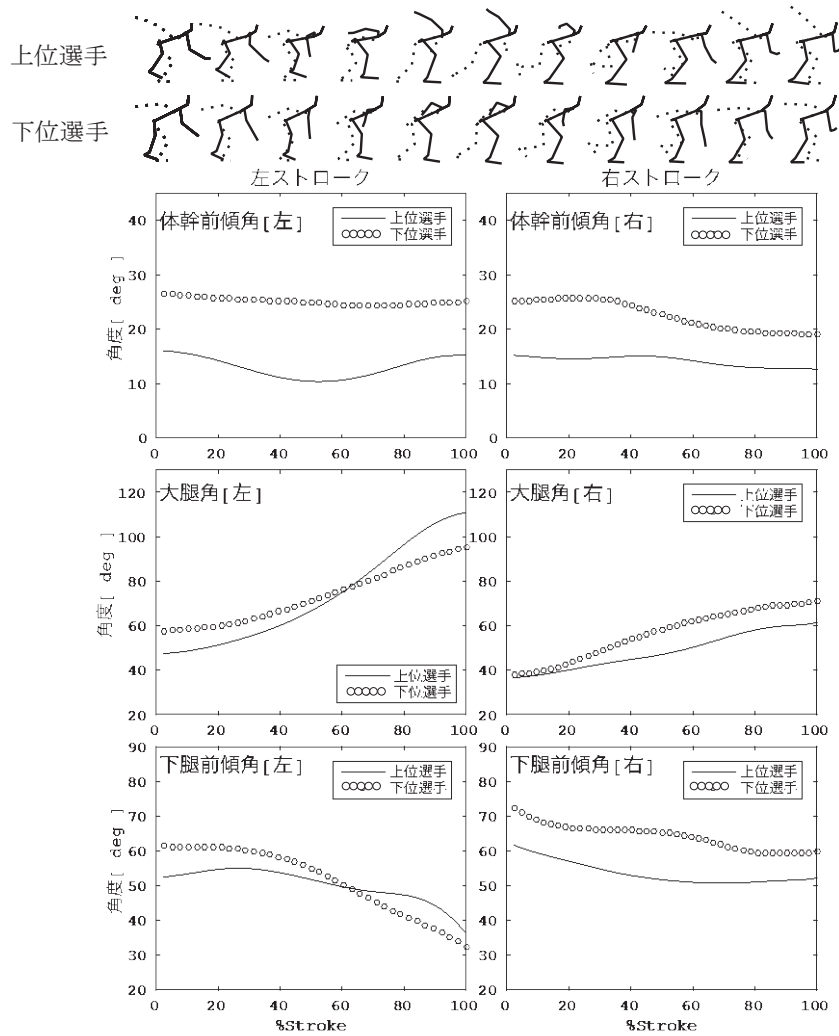
図5に左右それぞれのストロークにおける支持脚の関節角度の変化を示した。ストローク開始時の各関節角度は、左右のストロークともに上位選手が下位選手に比べて小さかった。

図6に左右のストロークにおける支持脚のセグメント角度の変化を示した。体幹前傾角は、左右のストロークともに、ストロークを通じて上位選手が下位選手に比べて小さかった。大腿角は、左右のストロークにおいて、両選手ともストローク終盤に向けて増大した。大腿の動作範囲（最大角度と最小角度の差）は、



† 図中のスティックピクチャは、実線が右半身、点線が左半身を示している。

図5 左右のストロークにおける支持脚の関節角度の変化



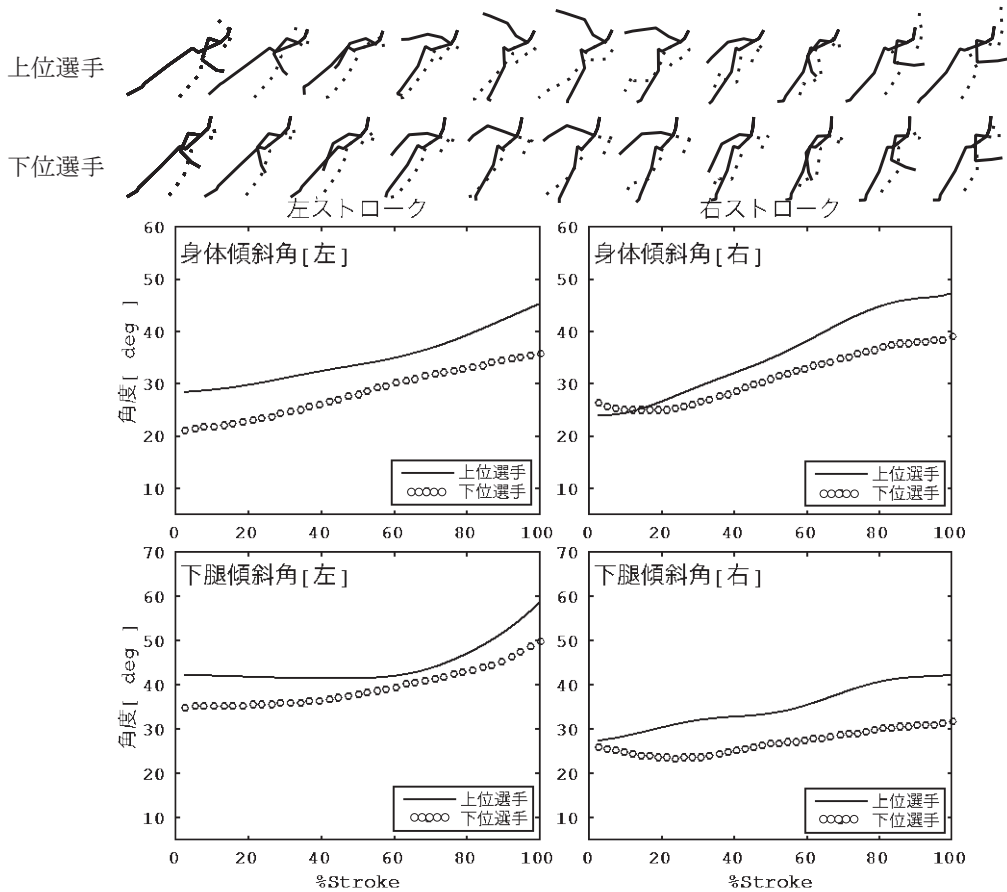
† 図中のスティックピクチャは、実線が右半身、点線が左半身を示している。

図6 左右のストロークにおける支持脚のセグメント角度の変化

左ストロークでは上位選手が下位選手に比べて大きかった（上位選手，6.5deg；下位選手，37.3deg）が，右ストロークでは上位選手が下位選手に比べて小さかった（上位選手，24.9deg；下位選手，33.0deg）．下腿前傾角は，左右のストロークで変化の仕方が異なっており，左ストロークでは，60%ストロークまでは上位選手が下位選手に比べて小さかったが，60%ストローク以降は上位選手が下位選手に比べて大きかった．一方，右ストロークではストロークを通じて上位選手が下位選手に比べて小さかった．また，下腿前傾角の動作範囲は，左ストロークでは上位選手が下位選手に比べて小さく（上位選手，18.8deg；下位選手，28.8deg），右ストロークでは上位選手が下位選手に比べて小さかった（上位選手，10.9deg；下位選手，12.9deg）．

図7に左右それぞれのストロークにおける身体傾斜角および下腿傾斜角の変化を示した．左ストロークで

は身体傾斜角および下腿傾斜角はストロークを通じて上位選手が下位選手に比べて大きかった．また，下腿傾斜角の変化の仕方について，上位選手は60%ストローク以降急激に増大したが，下位選手はストローク終盤に向けて増大するように変化した．一方，右ストロークでは，ストローク開始時の身体傾斜角は下位選手が上位選手に比べて大きかったが，20%ストローク以降は上位選手が下位選手に比べて大きかった．また，身体傾斜角および下腿傾斜角の動作範囲は，左ストロークでは身体傾斜角および下腿傾斜角ともに，上位選手（身体傾斜角，16.9deg；下腿傾斜角，17.3deg）が下位選手（身体傾斜角，14.6deg；下腿傾斜角，15.0deg）に比べて大きかった．右ストロークでも同様に，上位選手（身体傾斜角，23.3deg；下腿傾斜角，14.9deg）が下位選手（身体傾斜角，14.0deg；下腿傾斜角，8.2deg）に比べて大きかった．



† 図中のスティックピクチャは、実線が右半身、点線が左半身を示している。

図7 左右のストロークにおける身体傾斜角及び下腿傾斜角の変化

IV. 考 察

1. 身体重心の軌跡に関する考察

支持脚外踝に対する身体重心の移動距離は、両選手とも左右のストロークで異なっており、左ストロークでは滑走方向の移動を示すY座標成分がカーブ内側方向のX座標成分に比べて大きく、右ストロークではカーブ内側方向のX座標成分が滑走方向のY座標成分に比べて大きかった。このことは、インラインスピードスケート競技において、左ストロークでは滑走方向へ身体重心を移動させながら滑走しているが、右ストロークでは、カーブ内側に向かって身体重心を移動させながら滑走していると考えられる。これに対して、スピードスケート競技における身体重心の移動距離は、左ストロークではX座標成分が約0.35m、Y座標成分が約0.38mであり、右ストロークではX座標成分が約0.42m、Y座標成分が約0.35mであった(湯田ほか, 2003)。この結果は、スピードスケート競技においても、左ストロークでは身体重心が滑走方向へ大き

く移動し、右ストロークでは身体重心がカーブ内側に向かって大きく移動することを示すものである。しかし、左ストロークにおける身体重心の滑走方向への移動距離とカーブ内側方向への移動距離の差分は、インラインスピードスケート競技がスピードスケート競技に比べて大きかった。このことは、インラインスピードスケート競技の左ストロークでは、滑走方向への身体重心の移動を大きくしていることを示すものである。このような相違が生じた原因として、身体傾斜角と下腿傾斜角の動態が、両競技間で異なることが挙げられる。スピードスケート競技では、左右のストロークにおいて身体と下腿がともに内傾するように変化した(湯田ほか, 2003)。これに対して、インラインスピードスケート競技では、左ストロークにおいて下腿は70%ストローク付近まで内傾しなかったが、身体はストローク全体を通じてより内傾するように変化した。下腿が内傾しないにも関わらず身体が内傾したのは、X-Y平面においてY軸を基準として体幹セグメントが反時計回りに回転したためと考えられる。な

お、X'-Y'平面におけるY'軸を基準とした体幹セグメントの反時計回りの回転を、体幹のカーブ内側方向への回転と定義する。スピードスケート競技では、下腿と身体がともに内傾することから、体幹のカーブ内側方向への回転がインラインスピードスケート競技に比べて小さくなると推察される。体幹のカーブ内側方向への回転が大きくなる原因としては、インラインスピードスケート競技とスピードスケート競技で使用する道具が異なることが挙げられる。スピードスケート競技の滑走では、曲率のあるブレードが曲線運動をする。ブレードの曲率は、ブレードの底の曲率である「ロック」とブレード自体の曲率である「曲げ」に分類される。ブレード自体の曲率である「曲げ」は、曲走路と同方向である。これに対して、インラインスピードスケート競技の滑走では、側面に曲率のあるウィールが曲線運動をする。ただし、ウィールは曲率のないフレームで固定されている。そのため、曲走路を滑走する際には、自転車のハンドルの操作のように、フレームで固定されたウィールを滑走方向に対して反時計回りに旋回させるような動作が必要である。しかし、フレームに固定されたウィールの旋回は、ウィールの横滑りの原因となる。ウィールが横滑りをしたために身体の内傾が小さくなったと考えられる。以上より、インラインスピードスケート競技では、体幹がカーブ内側方向に向かって回転したことで、ウィールが横滑りしたため、カーブ内側方向への身体重心の移動距離が小さくなったと考えられる。これらのことから、身体重心の軌跡は、インラインスピードスケート競技とスピードスケート競技で異なることが示唆される。インラインスピードスケート競技においては、左ストロークで滑走方向への身体重心の移動を大きくし、右ストロークではカーブ内側方向への身体重心の移動距離を大きくする必要があると考えられる。

2. Y'-Z'平面における下肢の動作特徴に関する考察

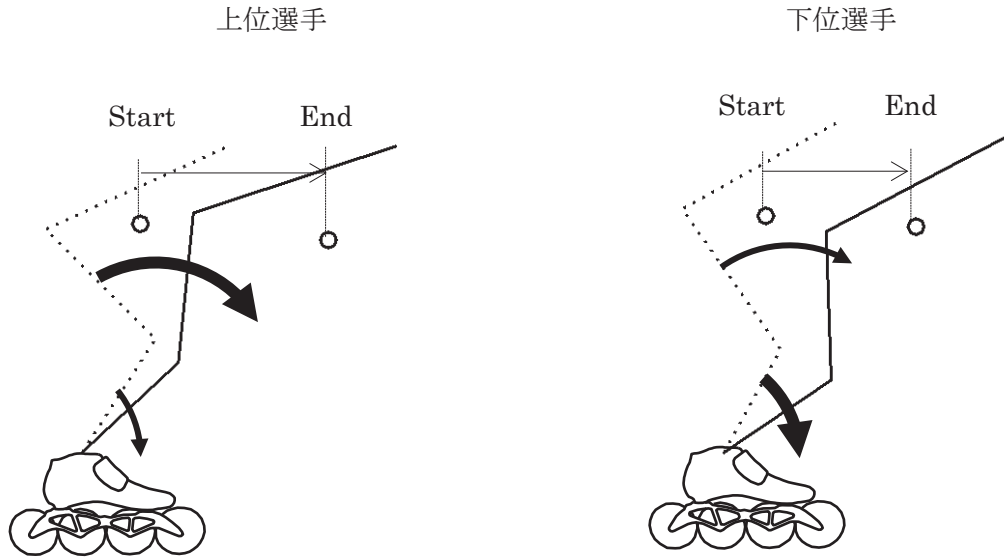
1) ストローク開始時の滑走姿勢について

左右のストロークの開始時の関節角度およびセグメント角度は、いずれの分析項目においても、上位選手が下位選手に比べて小さかった。これらの結果は、左右のストローク開始時において、上位選手の滑走姿勢は、各関節をより屈曲させた低い滑走姿勢であることを示すものである。スピードスケート競技において競技成績の優れた選手は、ストローク開始時に体幹を大きく前傾させ (Ingen Schenau and Bakker, 1980; Ingen Schenau, 1982)、大腿をより水平にした (Ingen

Schenau et al., 1983) 滑走姿勢であることが報告されている。このことを踏まえると、インラインスピードスケート競技のストローク開始時の優れた滑走姿勢には、スピードスケート競技と同様に、体幹と大腿をより水平に保った低い滑走姿勢であることが示唆される。

2) 支持脚の伸展動作について

左右のストロークにおいて、上位選手及び下位選手の股関節角及び膝関節角は、ストローク開始時から終了時にかけて増大することが示された。このとき、体幹前傾角はストロークを通じて下位選手が上位選手に比べて大きかった。これらのことから、上位選手は下位選手に比べて体幹をより水平にした状態で滑走していることがわかる。スピードスケート競技では、滑走中に体幹をより水平に保つことが空気抵抗の軽減につながるため、滑走速度を大きくすることができることが報告されている (Ingen Schenau, 1982)。本研究においても、上位選手の体幹前傾角が下位選手に比べて小さかったことから、体幹をより水平に保つ必要があると考えられる。また、スピードスケート競技では、体幹をより水平に保つことに加えて、プッシュオフ動作による仕事を大きくする必要があると報告されている (Ingen Schenau, 1982)。プッシュオフ動作による仕事の増大は膝関節の伸展によるものであり、膝関節の伸展は大腿の回転運動によるものであると報告されている (de Boer and Nilsen, 1989)。そこで、上位選手の下肢の動作に着目すると、下腿を前傾させる範囲が小さく、大腿の動作範囲が左ストロークでは大きく、右ストロークでは小さかった。インラインスピードスケート競技の左ストロークにおけるカーブ滑走動作は、スピードスケート競技と同様に、左右の脚を交差させながらプッシュオフ動作を行う難易度の高い動作である。左ストロークにおける支持脚のキネマティクスについて、スピードスケート競技では、優れた選手は滑走局面からプッシュオフ局面にかけて下腿の前傾を抑えるとともに、大腿の前方回転を大きくすることで身体重心の前方移動距離を大きくしていることが報告されている (湯田ほか, 2003)。そこで、本研究でも先行研究に倣い、左ストロークにおける下肢の伸展動作と身体重心の前方移動をスティックピクチャで表示した (図8)。左ストロークにおいて、大腿角の動作範囲が小さく下腿を前傾させる範囲が大きかった下位選手の身体重心の前方移動距離は0.3mであったが、大腿角の動作範囲が大きく下腿の前傾の範囲が小さ



† 図中のスティックピクチャは、胸肩、左大転子、左膝、左踝を結んだものである。点線で示したスティックピクチャは左ストローク開始時の左半身の滑走姿勢を示し、実線で示したスティックピクチャはストローク終了時の左半身の滑走姿勢を示している。

図8 左ストロークにおける下肢の伸展動作と身体重心の移動

かった上位選手の身体重心の前方移動距離は0.4mであり、上位選手が下位選手に比べて大きかった。しかし、左ストロークにおける下腿前傾角の動態は異なっており、スピードスケート競技では、80%ストローク以降に下腿が起き上がるように変化したが、インラインスピードスケート競技では80%ストローク以降も下腿が前傾するように変化した。スピードスケート競技の短距離種目におけるカーブ滑走動作では、左右のストロークにおいて、ストローク終了に向けて下腿がより前傾するように変化することが報告されている(Yuda et al., 2002)。さらに、スピードスケート競技短距離種目におけるカーブ滑走中の下腿前傾角の動作範囲は、上位選手が左ストロークで約20度、右ストロークで約15度であったのに対し、下位選手が左ストロークで約22度、右ストロークで約20度であり、上位選手が下位選手に比べて下腿の前傾を抑えていることが報告されている(Yuda et al., 2002)。これらの結果より、Y-Z'平面における左ストロークでの下肢の伸展動作は、スピードスケート競技と類似しており、インラインスピードスケート競技においても、ストローク全体を通じて下腿を前傾させるが、支持脚下腿の前傾を抑えて大腿の前方回転を大きくすることで身体重心の前方移動距離を大きくする必要があると考えられる。

一方、右ストロークにおける下肢の伸展動作について、スピードスケート競技では40%ストローク以降

に大腿角が急激に増大したが、インラインスピードスケート競技ではストローク全体を通じて一様に変化した。この原因として、遊脚の接地位置がスピードスケート競技とインラインスピードスケート競技で異なることが考えられる。Y'-Z'平面に投影した大腿のセグメント角度は、大腿の前後傾の度合いを示すものである。スピードスケート競技の右ストロークにおいて、40%ストローク以降に大腿の前方回転が大きくなるためには、遊脚をより前方に接地する必要があると推察される。また、大腿の前方回転により、滑走方向への身体重心の移動距離は大きくなる。そのため、スピードスケート競技では、遊脚をより前方で接地させることで大腿の前方回転を大きくし、滑走方向への身体重心の移動距離を大きくするように支持脚を伸展させていると考えられる。これに対して、カーブ内側方向にて遊脚を接地した場合、遊脚を前方で接地した場合に比べて身体重心はスケート靴の前方に位置する。身体重心がスケート靴の前方に位置することで、踵を挙上させるような力が大きくなる。インラインスピードスケート競技で大腿角が一様に変化したのは、遊脚をカーブ内側方向にて接地したため、身体重心がスケート靴の前方に位置し、踵を挙上させるような力が大きくなり、大腿の前方回転が小さくなったためと考えられる。また、インラインスピードスケート競技で使用されるトラックの曲走路の半径は、スピードスケート競技に比べて小さい、曲率半径が小さくなる

と、選手に作用する遠心力は大きくなる(対馬ほか, 1998)。そのため、インラインスピードスケート競技では、大きな遠心力に抗するために遊脚をカーブ内側方向で接地させていたため、大腿角がストローク全体を通じて一様に増大したと考えられる。

3. X'-Z'平面における身体傾斜と下腿傾斜に関する考察

カーブ局面では身体をカーブ外側に押し出すように遠心力が作用するため、遠心力に抗するには身体の内傾を大きくして求心成分を大きくしながら滑走する必要があるとされ、スピードスケート競技では、求心力成分を評価する指標として身体傾斜角と下腿傾斜角が挙げられる(湯田ほか, 2003)。そこで、本研究では身体傾斜角と下腿傾斜角により求心力成分を評価する。プッシュオフ動作中に発揮されるキック力の水平成分を大きくするためには、身体傾斜角と下腿傾斜角を大きくする必要があると報告されている(湯田ほか, 2003)。本研究において、右ストローク開始時の身体傾斜角と下腿傾斜角は、上位選手が下位選手に比べて大きく、右ストロークにおける身体傾斜角を除き、右ストローク中を通じて上位選手が下位選手に比べて大きかった。右ストロークにおける身体傾斜角は、20%ストロークまでは下位選手が上位選手に比べて大きかったが、20%ストローク以降は、上位選手が下位選手に比べて大きかった。これらの結果より、左右のストロークにおいて、上位選手が下位選手に比べて身体の内傾を大きくして滑走していると考えられる。また、下位選手の右ストロークにおいて、身体傾斜角と下腿傾斜角ともに、20%ストロークまで減少しており、0%から20%ストロークにかけて内傾が小さくなっていた。スピードスケート競技では、内傾を大きくすることが求心力成分を大きくすることにつながる。しかし、下位選手の右ストロークにおける内傾の減少は、求心力成分の減少であるため、身体重心の加速には貢献しないと考えられる。また、左右のストロークにおいて、身体傾斜角と下腿傾斜角の動作範囲は、上位選手が下位選手に比べて大きかった。そのため、求心力成分を大きくするためには、ストローク開始時の内傾を大きくし、ストロークにおける動作範囲を大きくする必要があると考えられる。

スピードスケート競技では、ストロークにおける身体傾斜角の動作範囲と下腿傾斜角の動作範囲はほぼ一致しているのに対し(湯田ほか, 2003)、インラインスピードスケート競技では、身体傾斜角の動作範囲が下

腿傾斜角に比べて大きかった。とくに、左ストロークにおける下腿傾斜角は、70%ストローク付近まで変化しなかったが、身体傾斜角はストローク全体を通じて増大した。そのため、身体重心がカーブ内側方向に向かって移動すれば、身体傾斜角は増大することになる。インラインスピードスケート競技において、下腿傾斜角が70%ストローク付近まで変化しなかったにも関わらず、身体傾斜角が増大したのは、体幹がカーブ内側方向に向かって回転したことで、身体重心もカーブ内側方向に向かって移動したためと捉えることができる。このことから、スピードスケート競技では、下腿と身体を同時に傾斜させているのに対し、インラインスピードスケート競技では、体幹をカーブ内側方向に向かって回転させることで、身体を傾斜させていると考えられる。第60回東日本ローラースケートスピードスケート選手権大会で使用されたトラックの曲走路の半径は16.8mであり、スピードスケート競技で使用されるトラックの曲走路の半径は26mであった。また、インラインスピードスケート競技の上位選手の平均身体重心速度は12.27m/sであり、スピードスケート競技のエリート選手の平均身体重心速度は13.16m/sであった(湯田ほか, 2003)。両競技の選手の身体質量が等しいと仮定すれば、選手に作用する遠心力は、インラインスピードスケート競技が8.96N、スピードスケート競技が6.66Nとなり、インラインスピードスケート競技における遠心力がスピードスケート競技に比べて大きくなる。インラインスピードスケート競技では、スピードスケートよりも大きな遠心力が選手に作用するため、より身体を傾斜させなくてはならない。そこで、体幹をカーブ内側方向に向かって回転させることで、身体の傾斜を大きくし、遠心力に抗したものと考えられる。

以上より、左ストロークにおける下腿傾斜角の動態は、スピードスケート競技とは異なるものの、インラインスピードスケート競技でも、身体や下腿の内傾を大きくすることで、身体重心をカーブ内側方向に向かって移動させる必要があることが示唆される。

結 論

本研究の目的は、国内インラインスピードスケート選手のフラットトラックにおけるカーブ滑走動作の技術的要因を分析し、コーチングに役立つ知見を得ることであった。本研究で得られた国内インラインスピードスケート選手の優れたカーブ滑走動作の特徴は以下

の通りである。

- 1) 左ストロークでは滑走方向へ身体重心を移動させているが、右ストロークではカーブ内側に向かって身体重心を移動させていた。
- 2) 左右のストローク開始時に、体幹と大腿をより水平に保った低い滑走姿勢であった。
- 3) 下肢の伸展動作に関して、左ストロークにおいて、支持脚下腿の前傾を抑えて、大腿の前方回転を大きくすることで身体重心の前方移動距離を大きくしていた。
- 4) 左右のストロークにおいて、身体および下腿をより内傾させており、ストロークにおける動作範囲が大きかった。

以上のことより、カーブ滑走動作の指導を行う際には、体幹と大腿をより水平にできるかという問題に着目する必要があることが示唆された。また、身体重心は、左ストロークでは滑走方向、右ストロークではカーブ内側方向に大きく移動していた。滑走方向に身体重心を大きく移動させるためには、下腿の前傾を抑え大腿の前方回転が大きくなるような支持脚の伸展動作をする必要があることが示唆された。一方、カーブ内側方向に身体重心の移動を大きくさせるためには、遊脚をカーブ内側方向で接地させて、身体と下腿の内傾を大きくする必要があることが示唆された。

文 献

- 阿江通良・湯海鵬・櫻井孝志 (1992) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. *バイオメカニズム*, (11) : 23-33.
- Ingen Schenau, G. J. van and Bakker, K. (1980) A biomechanical model of speed skating. *Journal of Human Movement Studies*, 6: 1-18.
- G. J. van Ingen Schenau (1982) The Influence of Air Friction in Speed Skating. *Journal of Biomechanics*, 15(6): 449-458.
- G. J. van Ingen Schenau, G. de Groot and A. P. Hollander (1983) Some Technical Physiological and Anthropometrical Aspects of Speed Skating. *European Journal of Applied Physiology*, 50: 343-354.
- Jos J. de Koning, Ruud W. de Boer, Gert de Groot, and Gerrit Jan van Ingen Schenau (1987) Push-off Force in Speed Skating. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3: 103-109.
- J. J. de Koning and G. J. van Ingen Schenau (2000) Performance Determining Factors in Speed Skating. In: *Biomechanics in Sport*, Zatsiorsky V. M. (Ed.), Blackwell Science Ltd., London, pp. 232-246.
- Jun Yuda and Michiyoshi Ae (2002) A COMPARISON OF THE SKATING TECHNIQUE IN THE CURVE FOR ELITE AND JUNIOR SPRINT SPEED SKATERS. *International Symposium on Biomechanics Sports*: 96-99.
- R. P. Wells and D. A. Winter (1980) Assessment of signal noise in the kinematics of normal pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, 1: 92-93.
- R. W. de Boer, Gertian J. C. Ettema, Hans van Gorkum, Gert de Groot, and Gerrit Jan van Ingen Schenau (1987a) Biomechanical aspects of Push-off Techniques in Speed Skating the Curves. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3: 69-79.
- R. W. de Boer, E. Vos W. Hutter, G. de Groot, and G. J. van Ingen Schenau (1987b) Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice. *European Journal of Applied Physiology*, 56: 562-569.
- Ruud W. de Boer and Kim L. Nilsen (1989) The Gliding and Push-off Technique of Male and Female Olympic Speed Skaters. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5: 119-134.
- 対馬勝年・木内敏裕 (1998) 高速スケートリンクの開発. *日本雪氷学会誌 雪氷*, 60 (5) : 349-356.
- 結城匡啓・阿江通良・浅見高明 (1991) スピードスケート500m レースの競技成績に影響を及ぼす技術的要因. *トレーニング科学*, 3 (1) : 21-30.
- 結城匡啓・阿江通良・浅見高明 (1992) スピードスケートにおける加速理論の再検討. *バイオメカニズム* (11) : 111-121.
- 結城匡啓・阿江通良・藤井範久 (1996) スピードスケート滑走中のブレード反力. *バイオメカニズム*, 13 : 41-51.
- 結城匡啓・阿江通良・藤井範久 (1997) スピードスケートの直線ストロークにおける加速の力学的メカニズム. *身体運動のバイオメカニクス* : 211-217.
- 湯田 淳・結城匡啓・阿江通良 (2003) 日本ジュニア長距離スピードスケート選手のカーブ滑走動作に関するバイオメカニクスの研究—世界一流選手との比較から— . *スポーツ方法学研究*, 16 (1) : 1-11.

平成28年4月19日受付

平成28年10月5日受理