

令和 4 年 5 月 5 日現在

機関番号：32671

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10940

研究課題名（和文）小学生におけるスピードスケートカーブ滑走動作の技術的特徴

研究課題名（英文）Technical characteristics of skating motion in elementary school children during the curve phase of speed skating

研究代表者

湯田 淳（YUDA, JUN）

日本女子体育大学・体育学部・教授

研究者番号：80415835

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、小学生におけるスピードスケートカーブ滑走動作の技術的特徴を技能レベルの向上と関連づけて明らかにすることであった。男子では、形態的な発育発達に伴って技能レベルは段階的に向上し、これは主にプッシュオフ動作によるストローク中の仕事の増大に起因することが明らかとなった。そして、カーブ滑走においては、技能レベルの向上に伴って、左ストロークにおける低い滑走姿勢や右ストローク開始時から中盤までの右下腿の内傾のタイミングの早さが段階的に獲得されていくことが明らかとなった。一方、女子では、技能レベルの向上と形態的な発育発達との間の密接な関係は確認できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スピードスケートにおけるカーブ滑走動作の技術的特徴については多くの報告がみられるが、それらはいずれもシニア（社会人や大学生）やジュニア（高校生や中学生）といった年代を対象としており、スケートを始めて間もない子どもたち（小学生）を対象とした研究はほとんどない。技術的難易度の高いカーブ滑走についてはより詳細にその動作習得過程を検討する必要があるが、児童期におけるその実態を捉えた報告は見当たらない。本研究は、神経系の発達が著しい児童期における滑走技術の特徴を明らかにするものであり、スピードスケートにおける発育発達期での技術指導を効果的に進めるために意義がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to determine the technical characteristics of skating motion in elementary school children during the curve phase of speed skating in relation to the development of skating skills. In boys, skating skills gradually improved with physical growth and development. This would mainly be due to an increase in work per stroke during the push-off movement. It was found that boys gradually improve their skating position (during the left stroke) and the timing of right shank tilting to the medial direction (from the start to the middle of the right stroke) with the development of skating skills. In contrast, no close relationship was found between the development of skating skills and physical growth and development in girls.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：スピードスケート カーブ滑走動作 発育発達 3次元画像解析

1. 研究開始当初の背景

スピードスケートは、深く屈曲した下肢での爆発的な伸展(プッシュオフ動作)が繰り返されるといった特徴を有しており、低く制限された滑走姿勢でスケートブレードを操作するといった高い技術性も要求される。スタート、ストレートおよびカーブと局面に応じて滑走動作に特徴があるが、中でも、遠心力に抗しながら身体をリンク内側に大きく傾斜させ、進行方向を時々刻々と左方向へ変化させる必要のあるカーブ滑走は特に技術性が高い。このため、カーブ滑走技術の特徴についてのバイオメカニクス的研究は数多く、多くの有益な知見が報告されている。優れたカーブ滑走動作については、競技力の極めて高い世界一流選手の技術的特徴(Yuda et al., 2007)や国内ジュニア選手の滑走動作の課題(湯田ら, 2003)などが画像解析法を用いて検討されており、その特徴が明らかとなっている。しかし、それらはいずれもシニア(社会人や大学生)やジュニア(高校生や中学生)といった年代を対象としており、スケートを始めて間もない子どもたち(小学生)を対象とした研究はほとんどない。このため、児童期における滑走技術の特徴は未だ明らかとなっておらず、この時期の子どもを対象とした指導法は現場の指導者が経験を基に模索しているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、小学生におけるスピードスケートカーブ滑走動作を3次元画像解析法によってキネマティクス的に分析し、カーブ滑走における技術的特徴を技能レベル向上の様相と関連づけて検討することによって、技能レベルに応じた児童への滑走技術の指導に役立つ基礎的知見を得ることである。

3. 研究の方法

(1) 被験者

被験者には、スピードスケートを専門とする小学4~6年生の男子選手56名および女子選手37名の計93名を用いた。計測に先立ってこれらの被験者には、研究のねらいや意義、計測状況、安全性などを説明し、被験者およびその保護者から協力の同意を得た。

(2) 分析試技およびビデオ撮影

試技は公益財団法人日本スケート連盟公認シングルトラック(インレーンのみの滑走)での500m全力滑走とした。滑走動作を分析するため、3次元計測範囲を400m室内リンク(北海道十勝オーバル)の第2インカーブ中央付近(350m付近)に設定し(インナーレーンのラインを基準に幅2.5m、長さ24m、高さ1.382m)、3台の高速度ビデオカメラ(JVC社製、スポーツコーチングカムGC-LJ25B)を用いて左側方(パンニング)、前方および後方(固定)から選手を撮影した(撮影スピードは300fps、露出時間は1/500s)。なお、この区間は最大スピード到達後のカーブ区間となる。また、500mゴールタイムを測定するため、1台のデジタルビデオカメラ(Panasonic社製、HC-V300M)を用いて、スタートピストルの閃光を写した後、選手を追従撮影した(撮影スピードは60fps、露出時間は1/500s)。

(3) 測定項目および算出法

得られた画像からビデオ動作解析システム(DKH社製、Frame-Dias)により身体各部位21点、ブレード端点4点およびリファレンスポイント1点(計26点)をデジタイズし、分析点25点の3次元座標をパンニングDLT法により算出した。得られた3次元座標は、残差分析法(Winter, 1990)により最適遮断周波数を決定し、4次のButterworth low-pass digital filterにより平滑化した。用いた遮断周波数は3.0~10.5Hzであった。本研究では、右ブレード離氷から引き続く右ブレード離氷までを1サイクルとし、支持側の脚を基準に左ストローク(右ブレード離氷から左ブレード離氷まで)および右ストローク(左ブレード離氷から右ブレード離氷まで)に分けて分析を行った。

横井ら(1986)の身体部分慣性係数を用いて身体重心の座標を求め、その変位を算出した。その後、身体重心の水平成分から水平速度を求め、1サイクルにおける平均値を平均重心水平速度とした。また、1サイクルおよび1ストロークに要した時間の逆数を算出

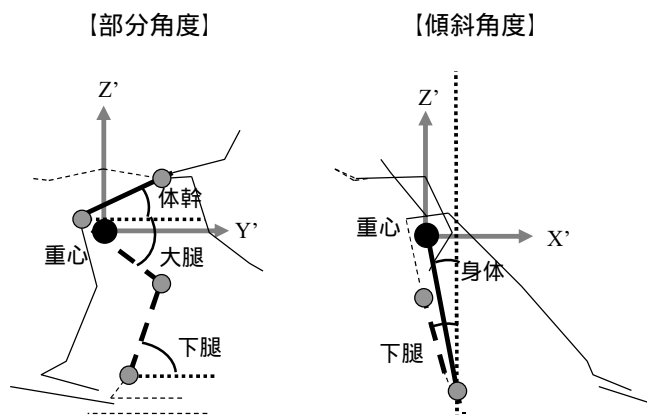


図1 本研究における角度定義

し、それぞれサイクル頻度およびストローク頻度とした。動作の分析に関しては、身体重心変位から重心速度ベクトルを算出し、静止座標系の原点を重心速度ベクトルの始点に移動した後、Y軸と重心速度ベクトルが一致するように座標変換することによって、身体重心を原点とする移動座標系 (X', Y', Z') を決定した。図1に本研究における支持脚の角度定義を示した。部分角度は、左右の股関節中点と胸骨上縁を結んだベクトル、支持脚における股関節と膝関節を結んだベクトルおよび足関節と膝関節を結んだベクトルがY'軸となす角をそれぞれ体幹角、大腿角および下腿角とし、いずれも各ベクトルをY'-Z'平面に投影することによって算出した。傾斜角度は、支持脚における足関節と身体重心を結んだベクトルおよび足関節と膝関節を結んだベクトルがZ'軸となす角をそれぞれ身体傾斜角および下腿傾斜角とし、いずれも各ベクトルをX'-Z'平面に投影することによって算出した。なお、傾斜角では、カーブ内側への傾斜(内傾)を正とした。

(4) グループ分け

試技における500mゴールタイムを求め、被験者を男女それぞれ、公益財団法人日本スケート連盟が認定するパッチテスト級(設定されたタイムをクリアすることによってパッチテスト級が段階的に認定される)に基づいてグループ分けした。本研究では、パッチテスト級を技能レベルと捉え、男子ではMG1(C級; 50秒00, 17名), MG2(D級; 55秒00, 26名), MG3(E級; 70秒00, 13名), 女子ではFG1(AおよびB級; 45秒00および48秒00, 6名), FG2(C級; 57秒00, 21名), FG3(D級; 65秒00, 10名)のそれぞれ3グループを設定した。

(5) データの規格化

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、各グループにおいてそれぞれ平均したものを平均パターンとした。

(6) 統計処理

男女それぞれにおいて、測定結果における技能レベル間の差を検定するために、それぞれの測定項目において対応のない一元配置の分散分析を行い、F値が有意であった場合はBonferroni法による多重比較を行った。これらの有意水準はいずれも5%未満とした。

4. 研究成果

表1に被験者の身体特性を平均値および標準偏差で示した。男子では、身長、体重および年齢は技能レベルの向上に伴い段階的に増大し、ほとんどのグループ間の比較において有意差がみられた。このことは、小学生という年代において、技能レベルは、男子では形態的な発育発達に伴って段階的に向上することを示唆している。一方、女子では、身長および年齢においてのみ有意差がみられ、グループ間の有意差もFG1との間のみ確認されるというように限定的であった。

表1 被験者の身体特性

グループ名	身長(m)		体重(kg)		年齢(歳)		
	平均値±標準偏差	差	平均値±標準偏差	差	平均値±標準偏差	差	
男子	パッチテストC級 (n=17)	MG1	1.53±0.07	MG1>MG2,	45.1±5.9	MG1>MG2,	11.6±0.6
	パッチテストD級 (n=26)	MG2	1.43±0.08	MG2>MG3,	37.8±9.9	MG2>MG3,	10.7±0.9
	パッチテストE級 (n=13)	MG3	1.36±0.05	MG1>MG3	34.0±5.8	MG1>MG3	9.9±0.9
女子	パッチテストA・B級 (n=6)	FG1	1.52±0.09		47.1±8.1		11.8±0.4
	パッチテストC級 (n=21)	FG2	1.42±0.07	FG1>FG2	38.0±9.5	ns	10.8±0.9
	パッチテストD級 (n=10)	FG3	1.42±0.09		39.6±7.9		10.0±1.1

>: p<0.05

表2に氷上におけるパフォーマンスを平均値および標準偏差で示した。男女いずれにおいても、技能レベルを表す500mタイムはグループ間で有意差を示し、第2インカーブにおけるパフォーマンスを表すといえる平均重心水平速度は技能レベルの向上とともに有意に増大していた。このことから、本研究におけるグループ間の各パラメータの相違をみることによって、技能レベルの向上に伴う滑走技術の変化を段階的に明らかにできると考えられる。動作の速さを表すパラメータとなるサイクル頻度をみると、男子ではいずれにおいてもグループ間に有意差はみられず、この傾向は左右ストローク頻度においても同様であった。ここで、滑走速度増大のためには、ストロークの仕事とストローク頻度との積で算出される出力パワーを大きくする必要があるのである(van Ingen Schenau and Bakker, 1980)ことを考慮すると、男子では発育発達に伴うストローク中の仕事の増大によって技能レベルの向上がみられたと推察される。一方、女子でのサイクル頻度をみると、FG1とFG3でのみ有意差がみられ(FG1>FG3)、ストローク頻度においては右ストロークでのみ有意差がみられた(FG1>FG3)。なお、本研究におけるFG1はパッ

デテスト A および B 級を有する選手であり，小学生という年代であるにも関わらず技能レベルは高かったといえる．

表2 氷上におけるパフォーマンス

グループ名	500mタイム (s)		平均重心水平速度 (m/s)		サイクル頻度 (cycle/s)		ストローク頻度 (stroke/s)			
							左ストローク		右ストローク	
	平均値 ± 標準偏差	差	平均値 ± 標準偏差	差	平均値 ± 標準偏差	差	平均値 ± 標準偏差	差	平均値 ± 標準偏差	差
MG1	47.69±1.75	MG1<MG2	11.47±0.49	MG1>MG2	1.07±0.08		2.34±0.19		1.97±0.16	
MG2	52.05±1.48	MG2<MG3	10.32±0.31	MG2>MG3	1.05±0.07	ns	2.33±0.20	ns	1.92±0.18	ns
MG3	57.97±2.77	MG1<MG3	9.16±0.54	MG1>MG3	1.05±0.08		2.43±0.26		1.85±0.15	
FG1	46.19±1.30	FG1<FG2	11.92±0.27	FG1>FG2	1.12±0.14		2.42±0.28		2.07±0.28	
FG2	52.04±2.36	FG2<FG3	10.41±0.58	FG2>FG3	1.02±0.08	FG1>FG3	2.19±0.19	ns	1.91±0.17	FG1>FG3
FG3	60.17±2.17	FG1<FG3	8.90±0.60	FG1>FG3	0.97±0.10		2.25±0.26		1.75±0.29	

<> : p<0.05

これらのことから，男子では，形態的な発育発達に伴って技能レベルは段階的に向上し，これは主にプッシュオフ動作(支持脚の伸展動作)によるストローク中の仕事の増大に起因することが明らかとなった．一方，女子では，男子のような傾向はみられず，技能レベルの向上と身長や体重といった形態的特徴の変化との密接な関係は確認できなかった．

ここからは，形態的な発育発達によって段階的に技能レベルが向上した男子に焦点をあてて検討を進めることとする．図 2 に，各年代でのカーブ滑走動作中の左右ストロークにおける部分角度の変化(男子)を平均値で示した．大腿角をみると，左ストローク前半において，技能レベルの向上に伴って左大腿角は段階的に小さくなっており，左大腿はより水平に近づいていた．ここで，滑走中のプッシュオフ動作は膝関節の急激な伸展の開始を基準として滑走局面(およそストローク前半)とプッシュオフ局面(およそストローク後半)に分けられ(van Ingen Schenau and Bakker, 1980)，滑走局面において大腿をより水平位に近づけ，深く下肢を屈曲した姿勢をとるためには下肢の大きな力発揮が要求されることが明らかとなっている．また，遠心力に抗しながら高速で滑走するカーブ滑走では下肢への負荷はさらに増大する．これらのことから，本研究でみられたカーブ滑走

における左ストロークでの低い滑走姿勢への段階的変化は，発育発達によって筋力・筋パワーが増大することによって実現できた可能性が示唆される．下腿角をみると，左右ストローク共に，MG3ではMG1および2と比較してストローク開始から中盤にかけて値が大きく，左右の支持脚下腿はより起き上がっていた．このことから，発育発達段階にあって，より技能レベルが低い選手では，カーブ滑走局面において下腿を十分に前傾させることが困難であることが推察される．下腿の前傾が不十分で，後方に起き上がるといった滑走姿勢は，膝関節における伸展トルクが十分に発揮できない「腰高の姿勢」(湯田ら, 2005)であると考えられるため，下肢における伸展パワーも低いことが推察される．これらのことから，児童期において比較的低い技能レベルにある子どものカーブ滑走動作改善の課題は，ストローク開始から支持脚下腿を十分に前傾させることにあると考えられる．

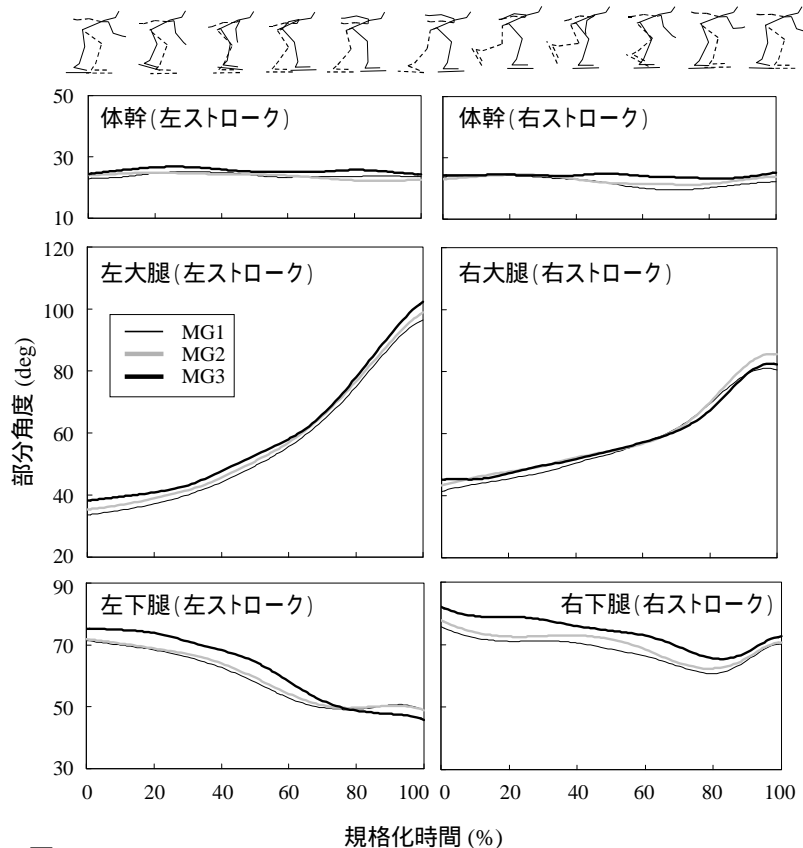


図2 各年代でのカーブ滑走動作中の左右ストロークにおける部分角度の変化(男子)

図3に、各年代でのカーブ滑走動作中の左右ストロークにおける傾斜角度の変化(男子)を平均値で示した。身体傾斜角は、いずれのグループにおいても、ストローク開始後、値は徐々に増大するといった類似した変化パターンを示し、ストローク全体を通して、その値は技能レベルの向上に伴って段階的に大きくなっていった。カーブ滑走では、スケーターは遠心力に抗するため身体をリンク内側に傾けて滑走する。滑走速度の増大は遠心力の増大を引き起こすため、スケーターにはより大きな内傾が求められる。本研究では、技能レベルの向上に伴って平均重心水平速度は段階的に有意に増大していたことから(表2)、左右ストロークにおける身体傾斜角の段階的増大は、滑走速度増大がその主要因であると考えられる。下腿傾斜角をみると、左ストロークでは身体傾斜角とほぼ同様の傾向を示したが、右ストロークでは異なっていた。すなわち、右ストローク開始時の下腿傾斜角はいずれのグループもほぼ同様の値を示したが、技能レベルの向上に伴ってその後の値の増大のタイミングが早まっており、技能レベルの高いグループほどストローク前半から中盤にかけて右下腿がカーブ内側により傾いていた。Yuda et al. (2004)は、カーブ滑走ではストローク前半におけるプッシュオフ力の水平成分の増大が重要となるため、ストローク前半においてスケートブレードをリンク内側に十分に傾けておくことが大きな滑走速度を得るための重要な技術的要因の一つであると報告している。本研究ではスケートブレードの傾斜角度は計測しなかったが、これを強く反映すると考えられる下腿傾斜角の変化から、技能レベルの向上に伴ってストローク中のプッシュオフ力の水平成分が増大し、これが滑走速度の増大に繋がったと推察される。

これらのことから、児童期男子のカーブ滑走においては、技能レベルの向上に伴って左ストロークにおける深い滑走姿勢が可能となり、滑走中の身体のカーブ内側へ傾斜も大きくなることが明らかとなった。また、右スケートブレードによる「氷の捉えの早さ」ともいえる、右ストローク開始時から中盤までの右下腿の内傾のタイミングの早さは、技能レベルに応じて段階的に獲得されていくことがわかった。

参考文献

- van Ingen Schenau G. J., Bakker K. : A biomechanical model of speed skating, *Journal of Human Movement Studies*, 6: 1-18, 1980.
- Winter, D. A. : *Biomechanics and motor control of human movement*, John Wiley and Sons Inc, New York, pp.41-43, 1990.
- 横井孝志, 渋川侃二, 阿江通良 : 日本人幼少年の身体部分係数, *体育学研究*, 31(1): 53-66, 1986.
- 湯田淳, 結城匡啓, 阿江通良 : 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的研究~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, 2003.
- Yuda J., Yuki M., Aoyanagi T., Fujii N., Ae M. : Changes in blade reaction forces during the curve phase due to fatigue in long distance speed skating, *International Journal of Sport and Health Science*, 2: 195-204, 2004.
- 湯田淳, 結城匡啓, 青柳徹, 藤井範久, 阿江通良 : スピードスケート長距離種目におけるカーブ滑走中の下肢キネティクスの変化, *バイオメカニクス研究*, 9(2): 53-68, 2005.
- Yuda J., Yuki M., Aoyanagi T., Fujii N., Ae M. : Kinematic analysis of the technique for elite male long-distance speed skaters in curving, *Journal of Applied Biomechanics*, 23: 137-147, 2007.

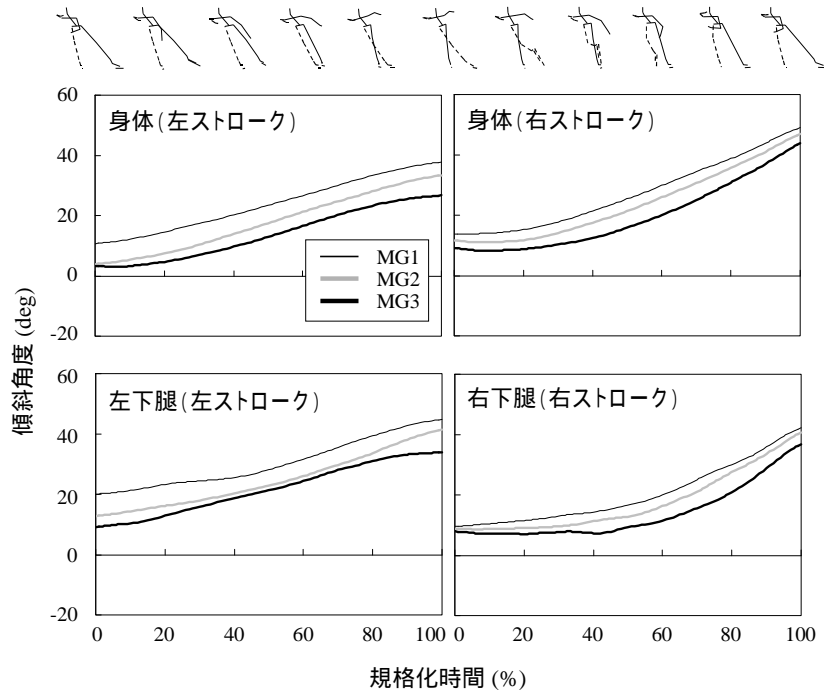


図3 各年代でのカーブ滑走動作中の左右ストロークにおける傾斜角度の変化(男子)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	横澤 俊治 (YOKOZAWA TOSHIHARU) (80400670)	独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・その他部局等・研究員 (82632)	
連携研究者	熊川 大介 (KUMAGAWA DAISUKE) (40439279)	国土館大学・体育学部・教授 (32616)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関