

原著論文

ビデオカメラを用いたスピードスケートにおけるストレートとカーブの加減速および
カーブのコースロスの評価

Evaluation of change in the speed during straight and curve skating and the excess
distance during curve skating in speed skating using a digital video camera

横澤俊治¹⁾, 加藤恭章¹⁾, 紅楳英信²⁾, 斉川史徳³⁾, 熊川大介⁴⁾
Toshiharu Yokozawa¹⁾, Takanori Kato¹⁾, Hidenobu Kobai²⁾, Fuminori Saikawa³⁾,
Daisuke Kumagawa⁴⁾

Abstract: This study aimed to investigate and assess the validity of a method to evaluate the change in the speed during straight and curve skating and the excess distance during skating the curved section in speed skating using only a digital video (DV) camera. In the 500 m races for men at national speed skating competitions, 27 skaters were captured by a DV at 60 frames/s, and by a local position measurement (LPM) system at 60 frames/s, which could automatically identify the skater's trajectory. The change in the speed during each of the straight and curve skating measured by the DV was calculated from the number of frames between the adjacent landmarks on the track. The excess distance during skating the curved sections was calculated by the difference between the official lane distance and the real skating distance, which was estimated from the average speed in the second half of the straight section just before the curved section and that in the first half of the straight section just after the curved section. These parameters measured by the DV were compared with those measured by the LPM using the Bland-Altman analysis. Significant correlations were observed for the changes in the speed during skating through all the straight and curved sections between the DV and LPM. Additionally, significant correlations were also observed for the excess distance during skating the curved sections except for the first inner-lane curved section between the DV and LPM, and the correlation coefficient was particularly large for the second inner-lane curved section. These results indicate that it is possible to evaluate the changes in the speed during straight and curve skating and the excess distance during skating the curved sections, except for the high acceleration phase just after the start using only the DV.

Key words : speed analysis, skating trajectory, local position measurement, longitudinal assessment
キーワード : スピード分析, 滑走軌跡, 位置計測, 縦断的評価

¹⁾ 国立スポーツ科学センター, ²⁾ 相澤病院, ³⁾ 松本市役所, ⁴⁾ 国士館大学

¹⁾ Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾ Aizawa Hospital, ³⁾ Matsumoto City Hall, ⁴⁾ Kokushikan University

E-mail : toshiharu.yokozawa@jpnnsport.go.jp

受付日 : 2019 年 6 月 24 日

受理日 : 2019 年 11 月 26 日

I. 緒言

スピードスケートは1周400mのトラックを用いて、決められた距離を反時計回りに滑走した時間を競う競技であり、いずれの種目においてもストレートとカーブの滑走が交互に繰り返される。また、ストレートでは左右の脚を交互に外方向にスライドさせながら滑走するのに対し、カーブでは左ブッシュオフ中に右脚を左脚とクロスさせながら前方に置く“leg over”技術が用いられる²⁾。したがって、スタートからゴールまでのスピードの変化を分析して課題を抽出しようとする際には、1週のラップタイムだけでなくストレートとカーブを分けて加減速を評価することが有効と考えられる。また、カーブでは滑走スピードだけでなくコースのどこを通過したかも区間タイムに影響するため、カーブの入口と出口の通過ラインがコーチング場面で重要視されている⁴⁾。これらを実評価するために、長野市オリンピック記念アリーナ（エムウェーブ）において選手の滑走軌跡とスピードを精密に計測するシステム（Local Position Measurement System；以下、LPMシステム）が設置された⁵⁾。我々はこれまで、LPMシステムによりレース中の加減速やコースロスを実量してきた⁴⁾。すなわち、ストレートからカーブ、およびカーブからストレートに変わる時点のスピードを比較することによって、ストレートとカーブを区分した詳細なスピード変化の評価を可能にし、さらにカーブにおける1フレームごとに移動した距離の区間内の総和の算出によってカーブのコースロスを実評価してきた。その結果、一定のラップタイムで滑走し続けている場合にも各周回においてストレートでは減速し、カーブでは加速していること、カーブにおけるコースロスの個人差が順位に影響し得るほど大きいことなどを明らかにしてきた。

LPMシステムが導入される前から、日本スケート連盟の科学サポート活動の一環としてデジタルビデオカメラ（以下、DV）を用いた簡易的なスピード分析は行われてきた^{6),7)}。その活動では、主にストレートとカーブの境界を通過するフレームを画像から読み取り、区間に要した時間をコース設

計上の距離で除すことにより平均スピードを算出する。この場合、ストレートとカーブの平均スピードが別々に算出できるため、一見どちらに課題があるのかといったことが評価できるように思える。しかし、ストレートの平均スピードとカーブの平均スピードのみではストレート滑走中およびカーブ滑走中に生じている加減速を実評価したことにはならず、さらにカーブの平均スピードが大きくても滑走スピード自体が大きかったのかコースロスが小さかったのかは判別できない。詳細な加減速や滑走軌跡が算出できる環境はLPMシステムを保有するエムウェーブに限られるため、上記の問題を解決してDVのみを用いてLPMシステムと同等の情報が得られるようになれば大変有益と考えられる。

一方、チームパシュートの導入によりゴール側ストレート（Finishing straight、以下、FS）中央部だけでなく反対側ストレート（Crossing straight、CS）中央部にもラインが引かれるようになったため、ストレートの前半と後半の平均スピードを比較することによってストレート滑走中の加減速が評価できると予想される。これに対してカーブ頂点には目印になるものが無いが、カーブ直前のストレート後半、当該カーブ、およびカーブ直後のストレート前半の通過時間を活用することによりカーブ中の加減速やコースロスが評価できる可能性がある。したがって、これらの手法によって得られた加減速およびコースロスをLPMによるデータと比較することによって、DVのみを用いた評価法が提案できる可能性があると考えられる。

以上のことから本研究の目的は、スピードスケートのストレートとカーブの加減速およびカーブのコースロスに関してDVを用いた方法とLPMを用いた方法を比較し、DVを用いた方法の妥当性と適用範囲を検証することとした。

II. 方法

1. 分析対象

対象競技会は、エムウェーブで開催された

2018/2019 ジャパンカップスピードスケート競技会第1戦（2018年10月19日）および第25回全日本スピードスケート距離別選手権大会（2018年10月26日）とした。事前に日本スケート連盟から大会実行委員会へ申請し、データ収集の許可を得た。両競技会の男子500 m レースに出場した日本スケート連盟強化選手延べ27名（インナーレーンスタート12名；記録 35.10 ± 0.30 s、アウターレーンスタート15名；記録 35.39 ± 0.40 s）を対象とした。

2. データ収集

1) DV による撮影

ホームストレート中央付近のスタンド最上段より、デジタルビデオカメラ（W870M、Panasonic 社製； 1920×1080 ピクセル）を用いて滑走中の選手を撮影スピード60 frames/s、露光時間 $1/350 \sim 1/500$ s で追従撮影した。

2) LPM システムによる座標値の取得

コース全周の直上に設置された28台のモノクロカメラ（UI-5240CP-M-GL、iDS 社製； 1280×1024 ピクセル）を用い、60 frames/s で撮影された同期画像をPCに取り込んだ。頭部および胴体を模式化したテンプレートを準備し、保存された

画像からカメラごとにテンプレートにマッチする選手を自動的に識別し、頭頂部の水平面内の2次元座標値を同定した⁵⁾。

3. データ処理と算出項目

1) DV による映像データの処理

1,000 m レースフィニッシュライン（以下、A地点）、フィニッシュライン（B地点）、第1カーブ出口（C地点）、CSのチームパシュートスタートライン（D地点）、第2カーブ入口（E地点）、第2カーブ出口（F地点）、2周目のA地点、2周目のB地点を通過ポイントとした（図1）。スタート時の閃光および左右どちらかのブレードが各通過ポイントを超えた最初のフレーム数を読み取った。ただし、最初に通過ポイントを超える1フレーム前（ $n-1^{\text{th}}$ frame）のブレード先端が次のフレーム（ n^{th} frame）の先端よりも明らかに通過ポイントに近かった場合には、両フレームの中間（ $n-0.5^{\text{th}}$ frame）を通過フレームと判断した。なお、区間についてはF～A地点をFS前半、A～B地点をFS後半、B～C地点をC1、C～D地点をCS前半、D～E地点をCS後半、E～F地点をC2と定義した（図1）。

ストレート各区間のコース上の距離を、通過フレームから求めた当該区間に要した時間で除すこ

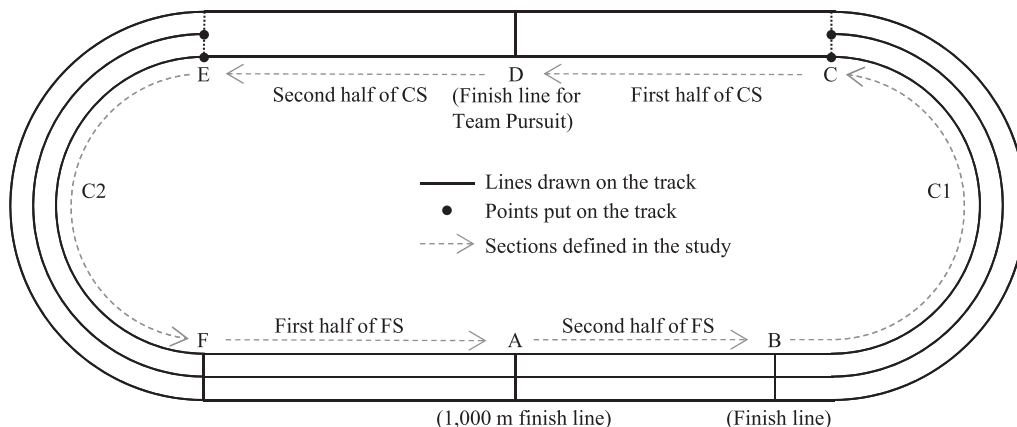


Fig 1. Waypoints and sections on the track. C1, CS, C2, and FS indicate first curve, crossing straight, second curve, and finishing straight, respectively.

とにより区間の平均スピードを算出した。そして、CS 後半の平均スピードから CS 前半の平均スピードを引いたものを CS スピード変化量、2 周目 FS 後半の平均スピードから 2 周目 FS 前半の平均スピードを引いたものを FS スピード変化量と定義した。カーブについては、カーブの頂点に目印となるものが存在しないため、CS 前半の平均スピードから 1 周目 FS 後半の平均スピードを引いたものを C1 スピード変化量、2 周目 FS 前半の平均スピードから CS 後半の平均スピードを引いたものを C2 スピード変化量と定義した。

さらに、カーブ区間 C1 および C2 におけるコースロスの定量のために、当該区間直前のストレート後半の平均スピードと当該区間直後のストレート前半の平均スピードの平均値をカーブ区間滑走中の平均スピードであると仮定した。この仮定はカーブ区間内のスピードが一定もしくは直線的に変化する場合にしか成立しないが、本研究ではその仮定の下で実際にどの程度の誤差が生じるかを検証した。そして、各カーブ区間滑走中の平均スピードと区間に要した時間との積（すなわち区間の滑走距離）からコース内側のラインの長さ（すなわちコース長）を引いた値をカーブの超過距離と定義した。

2) LPM データの処理

まず、DV から求めたストレートの区間平均スピードの精度を検証するために、LPM システムにより得られた滑走軌跡の 2 次元座標から各通過ポイントの通過時刻を読み取り、DV の場合と同様の手順で区間平均スピードを算出した。

次に、横澤ら⁴⁾の方法にもとづいて厳密なスピード変化量を算出した。まず、滑走軌跡の 2 次元座標を数値微分し、その絶対値を滑走スピードとした。そして、E 地点のスピードから C 地点のスピードを引いたものを CS スピード変化量、2 周目 B 地点のスピードから F 地点のスピードを引いたものを FS スピード変化量とした。同様に、C 地点のスピードから B 地点のスピードを引いたものを C1 スピード変化量、F 地点のスピード

から E 地点のスピードを引いたものを C2 スピード変化量とした。なお、ストローク中に生じる加減速の影響を排除するために、各地点のスピードは通過瞬間の値ではなく通過の前後 1 秒の平均値を用いた。

さらに、区間 C1 および C2 において 1 フレームごとに移動した距離を区間内で合計することにより実際に滑走した距離を求め、各区間のコース長との差により超過距離を算出した⁴⁾。

4. 統計処理

インナーレーンスタート（CS でアウターレーンに移動）の試行とアウターレーンスタート（CS でインナーレーンに移動）の試行では C1 と C2 の通過コースや距離が異なるため、いずれの変量もスタートレーンで区別して平均値と標準偏差を算出した。

また、区間平均スピード、スピード変化量、および超過距離に関する DV データと LPM データとの関係を検討するために、ピアソンの積率相関係数を算出した。さらに、系統誤差の有無を調査するために残差の 95% 信頼区間を算出し、Bland-Altman 分析を行った¹⁾。95% 信頼区間が狭いほど母平均が狭い範囲で推定できることを示し、95% 信頼区間が正または負に偏った範囲を示した場合には加算誤差が生じていたことになる³⁾。Bland-Altman plot、すなわち横軸に両手法の平均値、縦軸に DV による値から LPM による値を引いた値をプロットした際に（一例を図 2 に示した）、それらの相関が有意だった場合は比例誤差が生じていたと評価した³⁾。いずれも有意水準は 5% 未満とした。

Ⅲ. 結果

1. 区間平均スピード

表 1 は DV および LPM により算出したストレートの区間平均スピードの平均値、手法間の相関係数、回帰式の傾きと切片、95% 信頼区間、および Bland-Altman plot の相関係数を示したものである。いずれの区間においても DV と LPM との

間に有意な相関関係がみられた。ただし、インナーレーンスタートの FS_{s1} やアウターレーンスタートの CS_r のように回帰直線が原点から外れている場合があった。しかし、実際の DV による値の範囲内に限定すると、インナーレーンスタートの FS_{s1} が最小値 13.26 m/s、最大値 13.87 m/s、アウターレーンスタートの CS_r が最小値 15.81 m/s、最大値 16.35 m/s であり、これらの回帰式の解は、

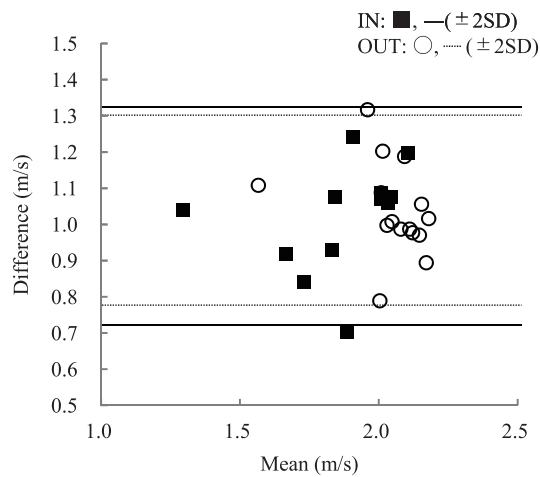


Fig 2. Example of Bland-Altman plot for changes in the speed in the first curved section for inner-lane start (IN) and outer lane-start (OUT). The solid and dotted lines indicate $\pm 2SD$ in IN and OUT, respectively.

それぞれ 13.25 m/s、13.79 m/s、15.77 m/s、16.24 m/s となり、いずれも DV による値の 1% 未満の相違に収まっていた。また、95% 信頼区間は多くの区間において正の範囲を示しており DV による値がわずかに過大評価していたが、Bland-Altman 分析による相関はみられず、比例誤差は認められなかった。

2. ストレートとカーブにおけるスピード変化量

表 2 は DV および LPM により算出した区間ごとのスピード変化量の平均値、手法間の相関係数、回帰式の傾きと切片、95% 信頼区間、および Bland-Altman plot の相関係数を示したものである。また、図 3 には区間ごとのスピード変化量に関する両手法間の関係を示した。いずれの区間においても DV と LPM との間に有意な相関関係がみられたが、回帰直線が原点から離れた場合や傾きが 1 を大きく下回る場合があった。また、C1 では 95% 信頼区間が 0 から大きく離れた範囲を示した。一方、いずれの区間においても Bland-Altman 分析による相関はみられなかった。

3. カーブの超過距離

表 3 は DV および LPM により算出したカーブの超過距離の平均値、手法間の相関係数、回帰式

Table 1. Average speeds (m/s) in each straight section measured by the DV and LPM, and correlation coefficients, coefficients of regression equation, 95% confidence intervals (CI) of residual, and coefficients of Bland-Altman (BA) analysis between the methods. FS_{s1} , CS_r , CS_s , FS_{r2} , and FS_{s2} indicate the second half of the finishing straight section in the first lap, first and second halves of the crossing straight section, and first and second halves of the finishing straight section in the second lap, respectively.

		DV	LPM	Correlation	Slope, Intercept	95% CI	BA analysis
Inner-lane start (n=12)	FS_{s1}	13.61 $\pm$ 0.19	13.57 $\pm$ 0.18	$r=0.94$ ($p<0.01$)	0.88, 1.57	0.01 ~ 0.09	$r=0.20$ (n.s.)
	CS_r	15.99 $\pm$ 0.19	15.94 $\pm$ 0.19	$r=0.98$ ($p<0.01$)	0.94, 0.95	0.02 ~ 0.07	$r=0.19$ (n.s.)
	CS_s	16.10 $\pm$ 0.17	16.09 $\pm$ 0.17	$r=0.97$ ($p<0.01$)	0.98, 0.24	-0.01 ~ 0.04	$r=-0.05$ (n.s.)
	FS_{r2}	15.95 $\pm$ 0.22	15.91 $\pm$ 0.21	$r=0.98$ ($p<0.01$)	0.97, 0.39	0.01 ~ 0.06	$r=0.07$ (n.s.)
	FS_{s2}	15.88 $\pm$ 0.28	15.73 $\pm$ 0.27	$r=0.98$ ($p<0.01$)	0.96, 0.51	0.11 ~ 0.18	$r=0.10$ (n.s.)
Outer-lane start (n=15)	FS_{s1}	13.51 $\pm$ 0.20	13.45 $\pm$ 0.20	$r=0.97$ ($p<0.01$)	1.01, -0.19	0.03 ~ 0.09	$r=-0.16$ (n.s.)
	CS_r	16.07 $\pm$ 0.19	16.00 $\pm$ 0.17	$r=0.95$ ($p<0.01$)	0.86, 2.25	0.04 ~ 0.11	$r=0.30$ (n.s.)
	CS_s	16.13 $\pm$ 0.19	16.09 $\pm$ 0.20	$r=0.98$ ($p<0.01$)	1.02, -0.33	0.01 ~ 0.06	$r=-0.19$ (n.s.)
	FS_{r2}	15.73 $\pm$ 0.24	15.70 $\pm$ 0.23	$r=0.98$ ($p<0.01$)	0.94, 0.92	0.00 ~ 0.06	$r=0.18$ (n.s.)
	FS_{s2}	15.63 $\pm$ 0.28	15.53 $\pm$ 0.29	$r=0.98$ ($p<0.01$)	1.00, -0.04	0.06 ~ 0.13	$r=-0.09$ (n.s.)

Table 2. Changes in the speed (m/s) in each section measured by the DV and LPM, and correlation coefficients, coefficients of regression equation, 95% confidence intervals (CI) of residual, and coefficients of Bland-Altman (BA) analysis between the methods.

		DV	LPM	Correlation	Slope, Intercept	95% CI	BA analysis
Inner-lane start (n=12)	C1	2.37 ± 0.26	1.35 ± 0.21	r=0.81 (p<0.01)	0.67, -0.24	0.92 ~ 1.12	r= 0.31 (n.s.)
	CS	0.11 ± 0.14	0.19 ± 0.16	r=0.81 (p<0.01)	0.92, 0.09	-0.14 ~ -0.02	r=-0.22 (n.s.)
	C2	-0.15 ± 0.19	-0.02 ± 0.16	r=0.82 (p<0.01)	0.70, 0.09	-0.21 ~ -0.06	r= 0.26 (n.s.)
	FS	-0.07 ± 0.10	-0.33 ± 0.15	r=0.78 (p<0.01)	1.14, -0.25	0.19 ~ 0.32	r=-0.53 (n.s.)
Outer-lane start (n=15)	C1	2.56 ± 0.14	1.53 ± 0.18	r=0.70 (p<0.01)	0.88, -0.73	0.96 ~ 1.11	r=-0.30 (n.s.)
	CS	0.05 ± 0.10	0.11 ± 0.15	r=0.62 (p<0.05)	0.95, 0.07	-0.13 ~ 0.01	r=-0.49 (n.s.)
	C2	-0.40 ± 0.12	-0.23 ± 0.11	r=0.58 (p<0.05)	0.52, -0.02	-0.23 ~ -0.11	r= 0.12 (n.s.)
	FS	-0.10 ± 0.12	-0.29 ± 0.14	r=0.62 (p<0.05)	0.73, -0.22	0.13 ~ 0.26	r=-0.21 (n.s.)

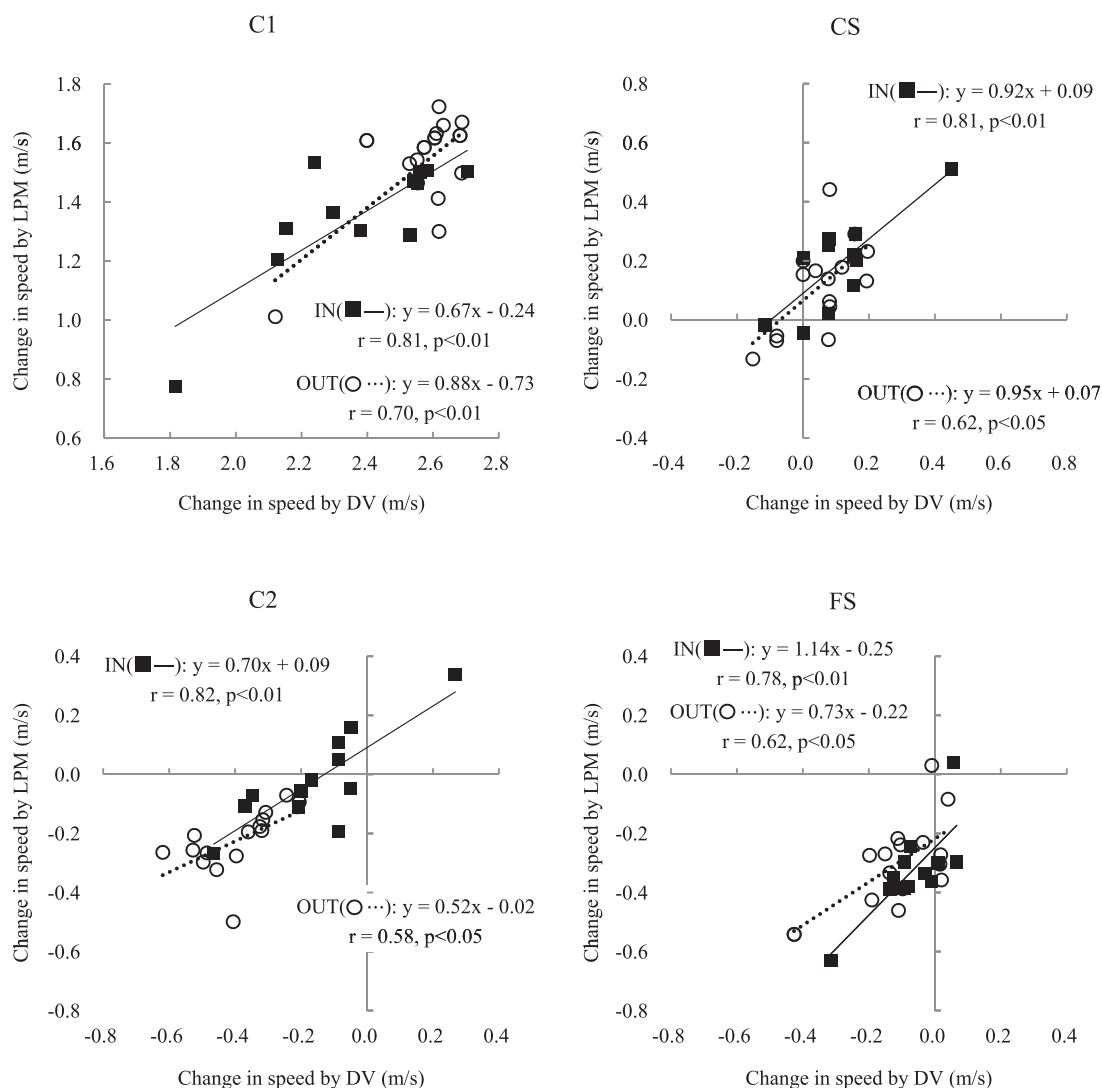


Fig 3. Relationships between change in the speed (m/s) measured by the DV and that measured by the LPM in each section.

の傾きと切片、95% 信頼区間、および Bland-Altman plot の相関係数を示したものである。また、図 4 にはカーブの超過距離に関する両手法間の関係を示した。インナーレーンスタートの C1 を除いて DV と LPM との間に有意な相関関係がみられた。特にアウターレーンスタートの C2（インナーレーン滑走中）の手法間の相関が高く ($r=0.94$, $p<0.01$)、その回帰式は $y=x$ に近いものであった。また、C1 では 95% 信頼区間が 0 から大きく離れた範囲を示し、アウターレーンスタートの C1 では Bland-Altman 分析による有意な相関関係がみられた ($p<0.05$)。

IV. 考察

1. DV による区間平均スピードの精度

DV によってストレートとカーブにおける加減速およびカーブにおけるコースロスを評価するためには、スピード変化量および超過距離の算出に用いられるストレートの区間平均スピードの精度が高いことが前提となる。いずれの区間においても DV と LPM との間に有意な相関関係がみられ、手法間で非常に近い値が得られていた。また、DV の区間平均スピードは LPM よりもわずかに過大評価していたものの、その残差の 95% 信頼区間は 0.1 m/s 前後であり、比例誤差もなかった (表 1)。これらのことから、DV による区間平均スピードは LPM を基準とした場合、概ね妥当と

Table 3. Excess distances (m) during skating through each curved section measured by the DV and LPM, and correlation coefficients, coefficients of regression equation, 95% confidence (CI) intervals of residual, and coefficients of Bland-Altman (BA) analysis between the methods.

		DV	LPM	Correlation	Slope, Intercept	95% CI	BA analysis
Inner-lane start (n=12)	C1	0.06 ± 0.79	2.44 ± 0.50	$r=0.57$ (n.s.)	- -	-2.81 ~ -1.94	$r=0.50$ (n.s.)
	C2	1.19 ± 0.53	1.23 ± 0.34	$r=0.68$ ($p<0.05$)	0.45, 0.69	-0.29 ~ 0.22	$r=0.52$ (n.s.)
Outer-lane start (n=15)	C1	-1.36 ± 0.71	1.08 ± 0.44	$r=0.59$ ($p<0.05$)	0.37, 1.58	-2.76 ~ -2.11	$r=0.53$ ($p<0.05$)
	C2	3.15 ± 0.80	2.88 ± 0.85	$r=0.94$ ($p<0.01$)	1.00, -0.29	0.11 ~ 0.44	$r=-0.19$ (n.s.)

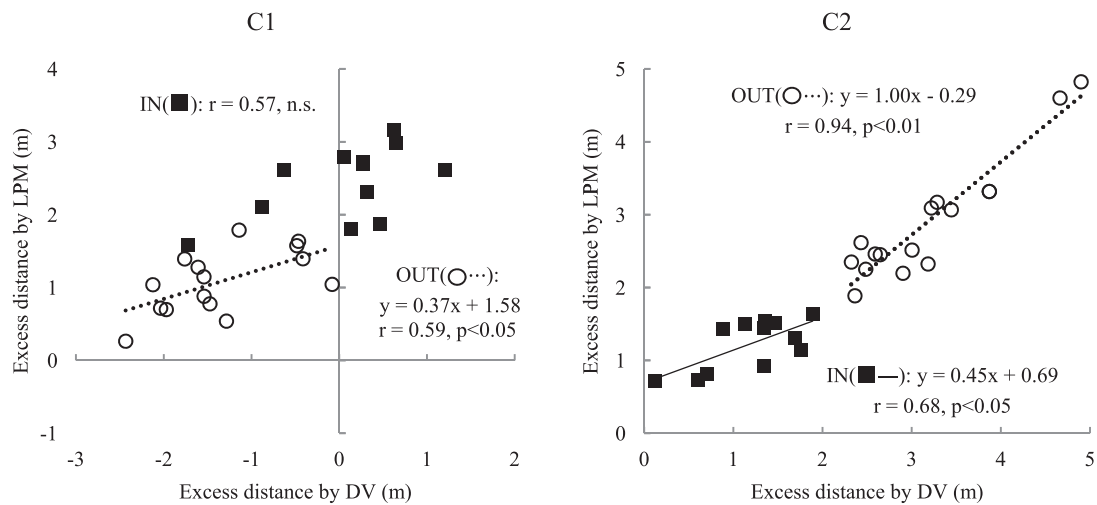


Fig 4. Relationships between excess distance (m) measured by the DV and that measured by the LPM in each curved section.

考えられる。

2. DV によるストレートとカーブにおける加減速の評価の可能性

DV による区間平均スピードの精度が高かったことから（表 1）、仮に LPM によって DV による方法と同様の計算でスピード変化量を算出すれば両手法の相違は小さいと考えられる。しかし、DV による方法における区間の定義はあくまで目印となるライン等の制約にもとづく代用であるため、LPM については横澤ら⁴⁾の本来の区間定義を基準として DV によるスピード変化量の評価の可能性を検討した。

DV で算出した各区間のスピード変化量は、LPM により算出したものとの間に有意な相関がみられ、比例誤差、すなわちスピード変化量の大小による誤差の増減はなかった（表 2、図 3）。これらのことから、DV を用いてストレートにおける前後半のスピードの差からストレート滑走中の加減速を評価することや、カーブについてその直前と直後のストレートのスピード差から加減速を評価することが可能と考えられる。特にカーブについては、カーブの中盤に目印になるライン等が存在しないため、カーブ直前のストレート後半とカーブ直後のストレート前半の平均スピードを活用したが、そのような入手しやすい情報のみからカーブの加減速が評価できることは、LPM が存在しない多くの競技会場においてスピード分析を実施する上で役立つ知見と言えよう。

一方、手法間に相関はあったもののスピード変化量の値自体は手法間で大きく異なる場合があり、その相関係数は必ずしも高いものではなかった。さらに、回帰直線が原点から離れた場合や傾きが 1 を大きく下回る場合があり、C1 では 95% 信頼区間が 0 から大きく離れる加算誤差が認められた。区間平均スピードは両手法間でほぼ一致していたことから（表 1）、スピード変化量の定義の相違、すなわち LPM によるスピード変化量がストレートとカーブそれぞれの入口付近と出口付近のスピードの差として算出しているのに対し、

DV では数十メートルにわたる範囲の平均スピード同士の差として算出していることが誤差の主要因であろう。これらのことから、DV によるスピード変化量の値を LPM で算出した場合と同等に扱うことはできないが、DV によって算出した 2 つのデータ間の差が残差の 95% 信頼区間を超えていれば概ねその差が意味のある差、すなわち仮に LPM で算出したとしても関係が逆転しない差であると解釈できるだろう。

3. DV によるカーブにおけるコースロスの評価の可能性

DV で算出したカーブの超過距離は、LPM により算出したものとの間に概ね相関がみられた（表 3、図 4）。特に、アウターレーンスタートの C2 では DV による超過距離が LPM による実測値に近く、相関も高かった。実際にどの程度外を通過して滑走していたかを計測することなく、各地点の通過時間のみから簡便にコースロスの程度を評価できることは重要な知見と考えられる。

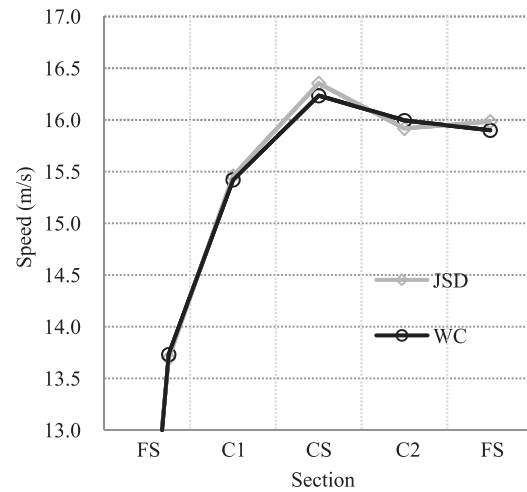
アウターレーンスタートの試行における C2 では、大きい滑走スピードに達した状態でインナーカーブに進入するためコースロスを生じやすい区間と予想される。さらに、C2 は大きい滑走スピードを維持する区間のため、スピード変化も C1 と比較して小さかった（表 2）。これらのことから、安定した滑走スピードで且つコースロスを生じやすい状況であったことがアウターレーンスタートの試行における C2 で手法間に高い相関がみられた要因と考えられる。一方、C1 の超過距離は LPM による実測と大きく値が異なり、さらにインナースタートの C1 では LPM との間に有意な相関がなく、アウターレーンスタートの C1 では Bland-Altman 分析から比例誤差が確認された。表 2 から分かるように 500 m における C1 の局面はその局面内で大きく加速するため、「FS 後半平均スピードと CS 前半平均スピードの平均が C1 滑走中の平均スピードである」という仮定が適切ではなかった可能性がある。以上のことから、この仮定にもとづく DV を用いたコース

ロスの評価は、スタート直後の加速局面には適していないと考えられる。

4. 競技会における応用と今後の課題

本研究の結果から DV のみを用いてストレートとカーブの加減速やカーブのコースロスを評価できる見通しが立ったため、LPM が備え付けられていないその後の国際競技会において評価を実践した。図 5 は、本研究の対象である第 25 回全日本スピードスケート距離別選手権大会（以下、JSD）に加え、その翌月行われたワールドカップ帯広大会（以下、WC、2018 年 11 月 16 日）を対象に男子選手 1 名の 500 m レース（アウターレーンスタート）の DV によるスピード分析帳票を、通常指導者にフィードバックしているフォーマットで例示したものである。上図がストレートを前後半に区分しない従来の分析区間にもとづく帳票、下図が今回の分析区間にもとづく帳票である。さらに、表 4 には同レースにおける各区間のスピード変化量および超過距離を示した。従来法のグラフ（図 5a）からは WC のほうがストレートの平均スピードが小さかったことが読み取れるが、ストレート滑走中の加減速やカーブのコースロスの大小は読み取れない。一方、今回の方法のグラフ（図 5b）からは、2 周目の FS において WC のほうが大きく加速していたように見える。2 周目の FS のスピード変化量は、JSD が -0.01 m/s、WC が 0.31 m/s であり、この差が同区間のスピード変化量に関する残差の 95% 信頼区間（表 2）を上回っていたことから、両者の相違は信頼に足ると考えられる。さらに、JSD では CS 後半と FS 前半の平均スピードに対して C2 の平均スピードが小さかったことから、コースロスが大きかったと予測できる。C2 の超過距離は、JSD が 3.00 m、WC が 1.69 m であり、この差は同区間の超過距離に関する残差の 95% 信頼区間（表 3）を上回っていたことから、実際にコースロスの相違は生じていたと考えられる。以上のことから、WC は JSD と比較して、2 周目の FS における加速と C2 のコースどりが優れていたと評価できるだろう。

a) Traditional method



b) Original method

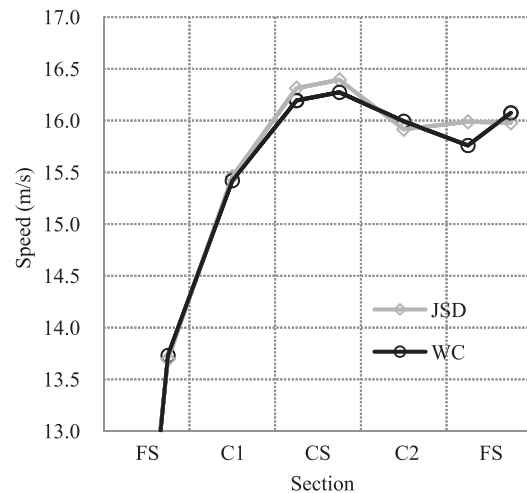


Fig 5. Example of the longitudinal assessment for average speed in each section using the DV: a) traditional method and b) original method. JSD and WC indicate 25th Japan Single Distance Championships and 2018 ISU World Cup in Obihiro, respectively.

Table 4. Example of the longitudinal assessment for change in speed and the excess distance in each section using the DV.

		JSD	WC
Change in speed (m/s)	C1	2.62	2.46
	CS	0.08	0.08
	C2	-0.41	-0.51
	FS	-0.01	0.31
Excess distance (m)	C1	-1.54	-1.58
	C2	3.00	1.69

このように、本研究で得られた知見を応用することにより、DV1台を用いるだけでスピード変化やコースロスに関する評価が可能になると考えられる。

本研究では最も滑走スピードが大きいと考えられる男子 500 m を対象に検証した。中長距離種目については、ストレートの減速とカーブの加速が交互に繰り返されるため⁴⁾、加減速は評価しやすいと予想される。一方、コースロスの評価については、500 m レースでは滑走スピードが安定してコースロスが生じやすい区間でより適した評価が可能だったことを踏まえると、安定したスピードで滑走していてコースロスが小さくない長距離種目⁴⁾においても十分可能と予想される。しかし、他の種目についても同様に検証した上で適用する必要があるだろう。

V. まとめ

本研究では、スピードスケート男子 500 m レースを対象に、ストレートとカーブの加減速およびカーブのコースロスに関して DV を用いた方法と LPM を用いた方法を比較し、DV を用いた方法の妥当性と適用範囲を検証した。さらに、DV を用いた方法による個人の縦断的評価を試みた。本研究で得られた結果と知見をまとめると以下のようになる。

- ①スピード変化量と超過距離の算出に必要なストレートの区間平均スピードは、いずれの区間においても DV と LPM との間に有意な相関関係がみられ、手法間で非常に近い値となっており、比例誤差もなかった。
- ②ストレートとカーブにおけるスピード変化量については、いずれの区間においても DV と LPM との間に有意な相関関係がみられたことから、DV のみからでもそれぞれの区間における加減速は評価可能と考えられる。ただし、その回帰直線は $y=x$ からは大きく外れ、加算誤差も生じていたことから、DV を用いて算出する場合には LPM で算出した値とそのまま比較することはできず、同じ手法同士の試行につい

て信頼区間に注意しながらその大小関係の評価すべきである。

- ③C2 における超過距離については、DV と LPM との間に有意な相関関係がみられ、特にアウターレーンスタートの C2 (インナーカーブ滑走中) では $y=x$ に近い高い相関がみられた。一方、C1 についてはインナーレーンスタートでは手法間に有意な相関関係がみられず、アウターレーンスタートでは比例誤差が生じていた。これらのことから、DV を用いたコースロスの評価はスタート直後の加速局面には適していないが、滑走スピードの変化が小さい局面であれば通過時間の情報のみからカーブのコースロスの大小を評価できることが示された。
- ④ストレートを前後半に分けて通過時間を読み取る今回の方法により、個々の選手の縦断的变化を詳細にとらえられる事例を示すことができた。

謝辞

本研究の実施にあたっては、公益財団法人日本スケート連盟の多くの関係者の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

文献

- 1) Bland JM, and Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 327: 307-310, 1986.
- 2) de Boer RW, Ettema GJC, van Gorkum H, de Groot G, and van Ingen Schenau GJ. Biomechanical aspects of push-off techniques in speed skating the curves. *Int J Sport Biomech*, 3: 69-79, 1987.
- 3) 下井俊典. 評価の絶対信頼性. *理学療法科学*, 26(3): 451-461, 2011.
- 4) 横澤俊治, 加藤恭章, 紅楳英信, 熊川大介. スピードスケート国際競技会の中長距離レースにおける滑走軌跡と速度の分析. *Sports Science in Elite Athlete Support*, 3: 27-38, 2018.

- 5) 横澤俊治, 高橋裕信. スピードスケート滑走軌跡即時フィードバックシステムの開発と活用. 映像情報メディア学会技術報告, 40 (43): 29-33, 2016.
- 6) 湯田淳. スピードスケートにおける競技力向上へのスポーツ科学の活用. 日本体育学会第62回大会予稿集, 29, 2011.
- 7) 結城匡啓. 長野オリンピックのメダル獲得に向けたバイオメカニクスのサポート活動: 日本スピードスケートチームのスラップスケート対策. 体育学研究, 44 (1): 33-41, 1999.