

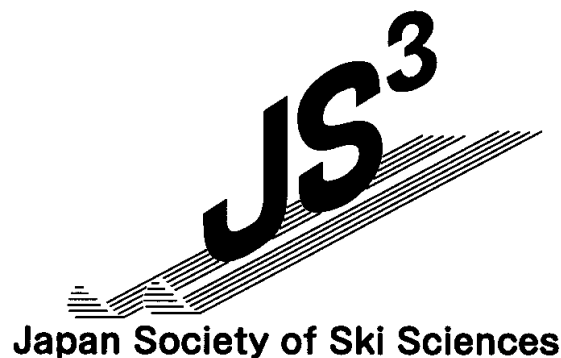
冬季オリンピック(1992)・仏・アルペールビル・スラローム選手の 「滑降速度と滑降方法」について, 選手による違い, 上

佐橋稔雄 古田拓 (愛知スポーツ物理学研究所)

Analysis of descent velocity and pattern of slalom skiers in Winter Olympic Games in Albertville, France, 1992 (1)

Toshio SAHASHI, Taku Furuta (Laboratory of Aichi Sports Physics)

抄録 競技スキーの一つは, 早いスキーと遅いスキーとが競い合う事である. なぜ, 早いスキーと遅いスキーが存在するのか. それらは, どこが違っているのか. その違いを知る為に, 冬季オリンピック・アルペールビル・スラローム選手の27人について, 選手の滑降を, NHKのテレビ像から調べた. その結果, 金メダルを得た選手とメダルの記録から離れた選手達の間では, スキー滑降の違いが観察された.



冬季オリンピック(1992)・仏・アルペールビル・スラローム選手の 「滑降速度と滑降方法」について、選手による違い、上

佐橋稔雄 古田拓 (愛知スポーツ物理学研究所)

Analysis of descent velocity and pattern of slalom skiers in Winter Olympic Games in Albertville, France, 1992 (1)

Toshio SAHASHI, Taku Furuta (Laboratory of Aichi Sports Physics)

Abstract: The goal of competitive skiing is to vie for the fastest completion of a run. To determine why there are fast and slow descents and what causes the differences, we analyzed the skiing descent of 27 slalom skiers in the Albertville Winter Olympic Games using video images broadcast on NHK. As a result, differences were found between the descent pattern of the gold-medalist skier and that of skiers whose run times were much slower than those of the medalists.

Keywords: ski, turning descent, ski descent, Winter Olympic Games, Albertville, slalom

1. 序文

競技スキーの一つは、早いスキーと遅いスキーとが競い合う事である。なぜ、早いスキーと遅いスキーが存在するのか。それらは、どこが違っているのか。その違いを知る為に、冬季オリンピック・仏・アルペールビル・スラローム選手の27人について、選手の滑降を、NHKのテレビ像から調べた。調べた競技はアルペン・スキー男子、2回の回転(スラローム)の内の、1回目のスラロームである。選手達はスタートとフィニッシュ間を、オリンピック発表の公式時間、51s~56sで滑っている。その間にポールは65本ある。解析した範囲は、スタート直後から始まり、ポール1~ポール6の間である。ポール1~6間の滑降時間と公式時間との間に相関関係が見つかった。ポール1~6間の時間の大小は、スキー滑降の遅い、早いに対応している。更に、ズレ・ターン滑降のズレの大きさ、選手のスキーが雪面から浮き(跳び)上がる回数、滑降軌道の違いにも対応していた。金メダル選手とメダルに近いグループの間ではスキー滑

降はよく似ていた。しかし、金メダル選手とメダルから離れたグループの間では、スキー滑降の違いが観察された。

2. テレビ像からスキーの軌跡を描く方法

2.1. 競技のテレビ像

テレビ像を解析する方法は、「佐橋(2009):日本スキー学会誌, 19(1), p101-112」¹⁾と同じである。オリンピック・スキー競技を放映しているNHKテレビをビデオに録画して、テレビ像を紙の上に記録する。これをプリントと呼ぶ。テレビ撮影では、ズーム・レンズの付いたカメラを用いている為、画面毎に像の倍率は異なっている。しかし、選手が用いているスキーの長さは一定であるので、プリント上のスキー長を倍率の基準に用いる事が出来る。選手によりスキー長は異なっているが、それは誤差の範囲と考えた。スキー滑降の後、選手は足からスキーを外して、縦にする。スキーの先端は選手の頭より少し上になる。これらから、先端のショベルの部分を除いて、スキー

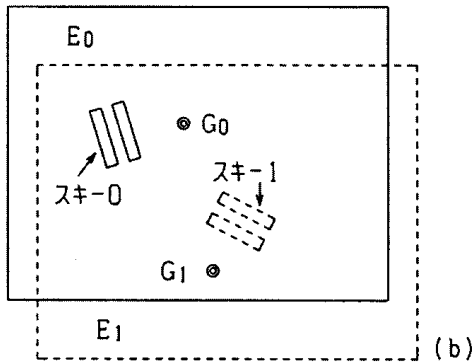
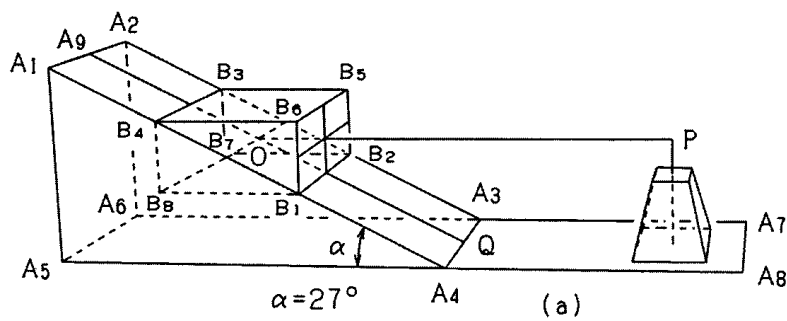


図1 (a)スキー滑降をする斜面と
テレビカメラP.
(b)2枚のカメラ像(プリント)の組み合わせ.

長を180cmとした。ポール1~6の雪面の範囲は、ビデオの画面から判断して平らな斜面と見なした。水平面に対する斜面の角度は27度とした。スキー滑降後の雪面上の跡を軌道、プリント解析から得られたスキーの跡を軌跡とした。

2.2. スキー滑降面とテレビカメラ

スキー場とテレビカメラの模型図を図1(a)に表す。A5A6A7A8は水平面である。A1A2A3A4はオリンピック選手が滑降する雪面である。雪面の中のB1B2B3B4はカメラで撮影している面であり、滑っている選手はB1B2B3B4の範囲内にいる。これを滑降面と呼ぶ。滑降面と水平面の間を傾斜角 α と名づける。カメラは脚立の上Pにある。B1B2B3B4の中心をOとする。線OPが線B1B2に比べて充分大きいとすれば、線B3B5と線B4B6はほぼ平行となる。面B1B2B5B6を線OPに垂直に描き、これを垂直面と呼ぶ。滑降面B1B2B3B4の像が垂直面B1B2B5B6に投影されて、それが縮小されてカメラの中に記録され、プリント面にて再現される。プリント面と垂直面との間の倍率、垂直面と滑降面

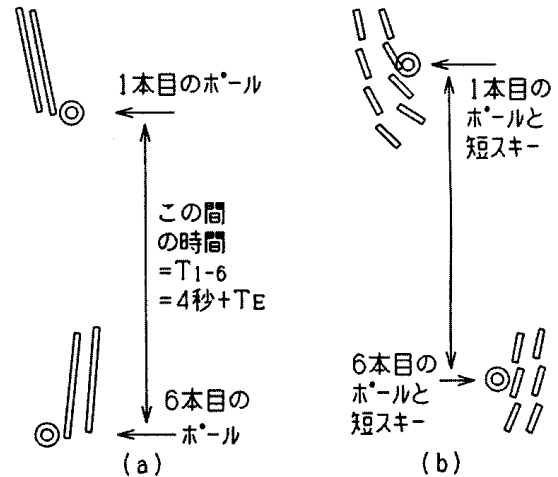


図2 ポール間の定義。(a)ポールとスキーの先端。(b)ポールと短スキー。

の間の角度が分れば、プリント面から滑降面の像を再現する事ができる。線OPと線OQとの間の角を中心角 A_0 とする。プリント面の大きさは、 $7 \times 9 \text{ cm}^2$ である。

選手は、滑降につれ上から下へ位置を変える。カメラも上から下へ向きを変える。しかし、雪面上のポールの位置は変わらない。ビデオは毎秒30の画面(フレーム、コマ)から出来ている。異なった2つの画面を、図1(b)の実線の像E0と点線の像E1に表す。各画面には、スキーとポールがある。選手は省略した。ポールは動かないので、各画面の2つのポールの位置(G0G1)を合せると、スキーの移動距離が分る。時間はビデオのコマ数から分る。距離と時間が分れば、速度、加速度、摩擦係数が分る。

2.3. プリント面から滑降面へ

プリント面と垂直面との間の倍率を C_k とすれば、

表1 回転1の出場選手とポール間のビデオコマ数。Noは公式タイムの順位。
s*は合計の秒数。No*はポール番号1~6間の時間順位。Mnは滑降出発順位、
とゼッケン番号。回転1は公式タイム。---はコースアウトで、無記録。全部で27人。

ポール番号	2	3	4	5	6	合計	s*	No*	Mn	回転1	No
ジラルデリイ	25	27	26	23	25.5	126.5	4s22	1	15	---	
シュタウブ	29	26	26	24	25	130	4s33		7	52s56	3
アルベルト・トンバ	28.5	27	25.5	23	26.5	130.5	4s35	2	12	53s01	5
ゲシュトライ	27.5	27	27	25	24	130.5	4s35		13	54s12	17
グリユネ	27	30	27	23	24	131	4s37		24	53s62	12
トマス・フォグデ	28	27.5	27	23.5	25.5	131.5	4s38	3	5	52s85	4
ビッター	29.5	28	26.5	22.5	25	131.5	4s38		4	53s19	8
ビアンキ	28	27	25	25	26.5	131.5	4s38		10	---	
ヤッケ	28.5	27.5	26.5	25.5	24	132	4s40	4	9	51s43	1
グロスヤン	27	29	27	24	25	132	4s40		19	53s79	13
トリッチア	28	26	27	25	26.5	132.5	4s42		6	52s50	2
フルセト	28	28	27	25	25	133	4s43		8	53s14	6
シュタンカ・シガ	27	28	26	26	27	134	4s47		2	53s51	10
木村公宣	30	26	27	25	26	134	4s47	5	30	---	
ロハー	28	28	26	25	27	134	4s47		23	---	
シュトロツ	27.5	28.5	28.5	24.5	26	135	4s50		14	54s06	15
ジェローサ	29.5	28	27	24	26.5	135	4s50		3	53s18	7
岡部哲也	29	28	27.5	22	29	135.5	4s52	6	22	54s99	18
石岡托也	31	24	32	24	25	136	4s53		32	---	
ロート	29	28	30	25	25.5	137.5	4s58		17	54s07	16
エリクソン	27	32	29	24.5	25	137.5	4s58		18	53s92	14
グリニス	30	31	27.5	23.5	26	138	4s60		11	53s31	9
ユハン・バルナー	30	29	29.5	24.5	25.5	138.5	4s62	7	21	55s29	19
ニルソン	28	30	30	25.5	25.5	139	4s63		20	53s58	11
ユルコ	27	28.5	28.5	27	28	139	4s63		31	55s95	20
ベルガント	30	28.5	27	27.5	29	142	4s73	8	34	56s27	21
ブラド・キング	34.5	28.5	27.5	25.5	29	145	4s83	9	33	56s42	22
平均	28.6	28	27.4	24.5	26	134.5	4s48				

$$\text{垂直面} = \text{プリント面} \times C_k \dots\dots\dots (1)$$

となる。カメラにズーム・レンズを用いている為、 C_k は定数ではない。プリント面の倍率Jを、スキー長や選手の肩の幅、身長のとれかを測定して、求める。 $C_k = C_s / J$ 、とすれば、 C_s は定数となり、垂直面の倍率も一定となる。

プリント面の座標(U_1, V_1)と垂直面の座標(S_1, T_1)と滑降面の座標(X_1, Y_1)を定義する。 A_0 は垂直面と滑降面とに関する角である。 $A_0 = \angle POQ$ 。一般には、 $A_0 \neq \alpha$ である。

$$\begin{aligned} X_1 &= S_1, & S_1 &= U_1 \cdot C_k \\ Y_1 &= T_1 / \sin(A_0), & T_1 &= V_1 \cdot C_k \\ X_1 &= U_1 \cdot C_k, & \dots\dots\dots (2) \\ Y_1 &= V_1 \cdot C_k / \sin(A_0) \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

スキーの両端の2点を、滑降面とプリント面で、(X_1, Y_1), (X_2, Y_2)と(U_1, V_1), (U_2, V_2)に取る。スキー長を $SL = 180\text{cm}$ 、とする。式(2)と(3)を用いると、

$$X_1 - X_2 = (U_1 - U_2) \cdot C_k, \dots\dots (4)$$

$$Y_1 - Y_2 = (V_1 - V_2) \cdot C_k / \sin(A_0),$$

$$(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 = (SL)^2, \dots (5)$$

となる。プリント面の倍率Jが得られれば、 C_k が得られ、中心角 A_0 が得られる。これにより、プリント面から滑降面を再現する事ができる。

2.4. スキーの滑降図

倍率Jや C_k 、中心角 A_0 が得られると、テレビ・カメラとビデオからプリント面ができ、プリント面から垂直面ができ、垂直面から滑降面ができる。そして、滑降面上のスキーの軌跡を紙の上に表す事が出来る。その1つが図1(b)のE₀になる。次のプリント面からもスキーの軌跡が得られ、図1(b)のE₁になる。各滑降面上のポールの位置を合せて行く。こうして、約80枚の滑降面を結び合せると、一人の選手のスキー滑降図が出来上がる。撮影に用いられたテレビ・カメラは、スキー選手から見て少し左の方に設置

表2 アルペン・スキー男子、回転1の成績と解析
Mn:ゼッケン番号 No:公式タイム

Mn	選手名(カ)	選手名(abc)	No	公式タイム
スエーデン	5 トマス・フォグデ	T. Fogdøe	4	52s85
ルウエー	9 フィン・クリスチャン・ヤッケ	F. Jagge	1	51s43
イタリア	12 アルベルト・トンバ	A. Tomba	5	53s01
ルゼンブルク	15 ジラルデリ	M. Girardelli		コースアウト
スエーデン	21 ユハン・バルナ	J. Wallner	20	55s29
ニホン	22 岡部哲也	T. Okabe	19	54s99
ニホン	30 木村公宣	K. Kimura		コースアウト
カナダ	33 ブラッド・キング	B. King	22	56s42
スロベニア	34 ベルガント	K. Bergant	21	56s27

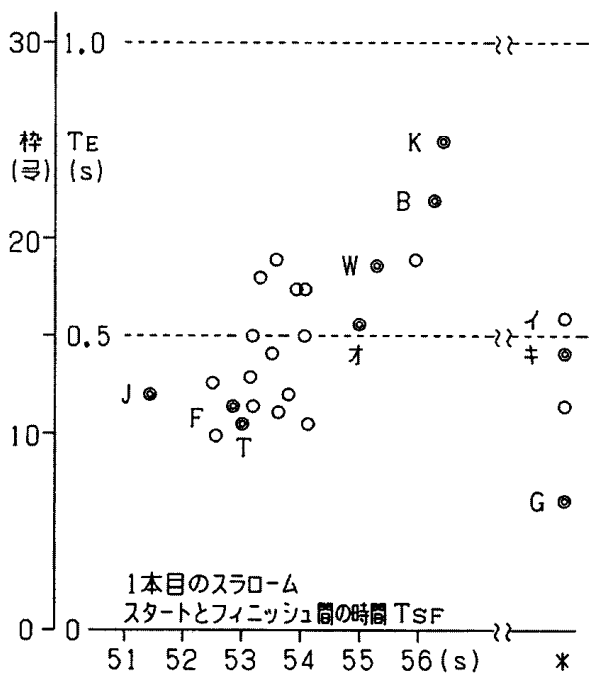


図3 スタートとフィニッシュ間の時間TsFとポール1~6間の時間T1-6.

されている。その為、スキー滑降図は上から下右へ、少し曲る。2009年の論文では滑降方向に補正を入れて、上から下への方向に修正した。それを斜視補正と呼んだ。補正では式(2)の X_1 が次のように変る。

$$\begin{aligned}
 X_1 &= S_1 + \{T_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \tan(\omega) / \sin(A_0)\} \\
 &= U_1 \cdot C_k + \{V_1 \cdot C_k \cdot \cos(\alpha) \cdot \tan(\omega) / \sin(A_0)\} \\
 &\dots (6)
 \end{aligned}$$

$$Y_1 = T_1 / \sin(A_0) = V_1 \cdot C_k / \sin(A_0)$$

スキーは、ポール1~6を周回しながら滑降する。その時の平均的な滑降曲線の方向を、滑降図の上で測った値が、 ω である。式(3)の Y_1 は変化しな

表3 X方向のポールの位置(cm)

ポール番号	1	2	3	4	5	6
キング	600	861	600	839	621	876
ベルガ	600	843	593	848	611	842
バルナ	600	846	603	842	620	868
オカベ	600	848	592	821	599	852
キムラ	600	821	608	821	650	879
ヤッケ	600	843	593	830	608	861
フォグデ	600	854	593	844	614	871
トンバ	600	878	600	857	589	855
ジラル	600	849	583	833	597	850
平均	600	849	596	837	612	862
X方向の差		249	-253	241	-225	250
誤差		± 30	± 10	± 20	± 30	± 20

表4 Y方向のポールの位置(cm)

ポール番号	1	2	3	4	5	6
キング	800	1486	2321	3151	3951	4725
ベルガ	800	1497	2346	3236	4005	4795
バルナ	800	1527	2353	3208	4011	4769
オカベ	800	1597	2407	3196	3936	4674
キムラ	800	1519	2310	3145	3889	4626
ヤッケ	800	1532	2460	3324	4178	4984
フォグデ	800	1572	2480	3355	4204	5021
トンバ	800	1627	2614	3444	4192	4935
ジラル	800	1489	2353	3250	4090	4903
平均	800	1538	2405	3257	4051	4826
Y方向の差		738	867	852	794	775
誤差		± 70	± 150	± 150	± 150	± 200

表5 ポール(PP)間の距離(cm)

ポール番号	2	3	4	5	6
X方向の差	249	253	241	225	250
Y方向の差	738	867	852	794	775
PP間の距離	779	903	885	825	814

い。補正したスキー滑降図に似た例が図4(a)である。◎の中心にポールがある。

3. 測定

3.1. 選手とポール間のコマ数

図2(a)のように、スキーの先端とポールが最も近いビデオ・像を探す。同じ様な次のポールを探す。その間のビデオ・コマ数を数える。ビデオは、1秒間に30コマである。表1は回転1に出場した選手とポール間のビデオ・コマ数である。ポール番号2は、ポール1とポール2の間を表す。トンバ選手は、ポール1～2間を28.5コマで滑降した。1～6間では、130.5コマであり、4s35であり、4秒と35/100秒である。回転1の時間53s01は、スタートとフィニッシュ間の時間であり、オリンピック発表の公式時間 T_{SF} である。

27人、全選手のポール1～6間の時間 T_{1-6} は、4秒と T_E 秒となる。 $T_{1-6} = 4 + T_E$ 。 $0 < T_E < 1$ 。 T_{SF} と T_E の関係を表したのが図3である。横軸は T_{SF} であり、51秒 $< T_{SF} < 57$ 秒である。縦軸は T_E である。○は表1のコマ数のみを測定した選手であり、◎は詳しく、スキーの滑降図を解析した選手である。横軸の*印は、ポール6の後でコース・アウトとなり、 T_{SF} が得られなかった選手である。◎には選手の頭文字がある。○の石岡選手には、イ、がある。図3には、右上がりの弱い相関関係が見られる。回転1のポール数は、全体で65本である。相関関係は、始めの6本のポールを周回するスキー滑降が、65本のポールを周回するスキー滑降に影響を与えている事を表している。

3.2. 選手とポールの位置

スキー滑降図を描く為に解析したのは、9人の選手(表2)である。滑降図に付随するポールの位置は、滑降図により少々異なっていた。これは、倍率 J や C_k が撮影毎に少しづつ異なっていた為であろう。表3はX方向のポールの位置をセンチで表したものである。ポール1を基準にとり、600cmとした。表4はY方向のポールの位置である。X、Y方向どちらも±10%位の違いがある。そこで、平均値をポールの位置とした。ポール間の距離を表5に示す。ポールの位置を決定した後で、再び

解析し直した図4が、岡部選手の滑降図である。ポールの位置を平均値から求める方法は、「佐橋(2012):日本スキー学会誌, 22, p43-64, トリノ」²⁾と同じである。

3.3. スキー滑降図

滑降図を作る為に解析した、プリント枚数は1秒間に15コマである。岡部選手の滑降図の図4(a)では、スキー長は180cm, 幅は10cmである。図4(a)は複雑過ぎるので、図4(b)は、スキー長を短スキー50cmとした。図4(c)は右スキー、図4(d)は左スキー、図4(e)は奇数番号スキー、図4(f)は偶数番号スキーである。◎の中心にポールがある。図4(g)はポールとスキー軌跡曲線を表す。このスキー軌跡曲線は次のように作られている。

図5(a)のように、2本のスキーを描く。右スキーの中心を C_R とし、左スキーの中心を C_L とする。 C_R と C_L の中心を B とする。図5(c)に、各スキーの中心 B の軌跡を曲線で描く。図5(d)に、ポールとスキー軌跡曲線を描く。

選手は、一般に両足スキーを雪面に接して、図6(a)と(b)のようにして滑降している。しかし、図6(c)のように片足スキー、又は図6(d)のように両足スキーが雪面から浮き(跳び、離れ)上がっているのが観察される。そのようなスキーを「浮きスキー」と呼び、その短スキーを、図4(b)に点線で描いた。実線の短スキーはスキーが雪面に接しているスキーである。

4. スキー滑降の形態

4.1. 定義

スキー角 δ と、スキー軌道の接線角 θ と、スキーの滑降軌道の曲率半径 R と、両スキーの横幅 L_Y と、縦幅 L_T と、ミカケの傾斜角 ψ と、滑降(接線)方向の速度 V と、滑降(接線)方向の加速度 G_c と、運動摩擦係数 μ の定義が「佐橋, 他(2008):日本スキー学会誌18(1)p87~89⁴⁾」に述べられている。それらを用いて、図4(a)のスキー滑降の形態を調べた。 δ , θ , L_Y , L_T は図5(a)と(b)にも描かれている。