

冬季オリンピックの解析の試み-2
イタリア・トリノ・2006の回転滑降, 上

佐橋稔雄 愛知スポーツ物理学研究所

Analysis of turning descent in Winter Olympic Games
in Turin, Italy, 2006 (II, Part 1)

Toshio SAHASHI (Laboratory of Aichi Sports Physics)

抄録 イタリア・トリノ・2006の回転滑降(スラローム)の軌跡を紙の上に描く事が出来た。選手5人の滑降軌跡を解析した。滑降軌跡は、カービング・ターンとズレ・ターンから出来ている事が分った。選手による滑り方の違いも分った。

冬季オリンピックの解析の試み-2 イタリア・トリノ・2006の回転滑降, 上

佐橋稔雄 愛知スポーツ物理学研究所

Analysis of turning descent in Winter Olympic Games in Turin, Italy, 2006 (II, Part 1)

Toshio SAHASHI (Laboratory of Aichi Sports Physics)

Abstract 1: The loci of turning descent of slalom skiers in the Winter Olympic Games in Turin, Italy, were successfully drawn on paper. We analyzed the loci of turning descent of five skiers and found that the loci were composed of those of carving turns and skidding turns. Differences in the method of descent among the skiers were also found.

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

1. 序文

スキーの回転滑降技術はスキーの形状と共に変わる, という事が一般的にいわれている. 近年, スキー場はカービング・スキーやカービング・ターンでにぎわっている. 冬季オリンピックもその範疇に入っているようだ.

1992年(H4)に著者は, NHKから放映された冬季オリンピック, フランス・アルペールビルの回転滑降(スラローム)をビデオに撮った. その後, その回転滑降の内の1例を解析した¹⁾. 解析の結果, その回転滑降はズレ・ターン³⁾から出来ていた.

現代のカービング・スキーの形状は, アルペールビルの時代のスキーの形状から随分変わって来ている. そこで, スキーの形状が回転滑降の競技にどのような影響を与えているかを知る為, 2006年(H18)にNHKから放映された冬季オリンピック, イタリア・トリノの回転滑降を解析してみた. その結果, トリノの回転滑降はカービング・ターン²⁾とズレ・ターンから出来ている事が分った.

2. 回転滑降をしているスキーの軌跡を描く方法

2.1. スキー場の模型図

テレビの雪面画像(スキー・スキーヤー)のビデオ・プリント(7×9cm², 以下プリントという)から雪面上の像(スキー・スキーヤー)を描く⁴⁾. 図1(a)は雪面の模型図である. $A_1A_2A_3A_4$ は平らな雪(斜)面であり, $A_5A_6A_7A_8$ は水平面である. 雪面の傾斜角は α である. 水平面上に脚立を建て, その上にテレビ・カメラ(以下カメラという)Pを置く. カメラの視野の中心を点Oとする. カメラで, Pから雪面 $B_1B_2B_3B_4$ を写す. それは, 次の事を意味する.

(1)カメラ線OPと面 $B_1B_2B_5B_6$ を垂直におき, 雪面 $B_1B_2B_3B_4$ の像(スキー・スキーヤー)を面 $B_1B_2B_5B_6$ に投影する. (2)投影された面 $B_1B_2B_5B_6$ の像(スキー・スキーヤー)と相似形の像(スキー・スキーヤー)が, カメラで撮影された映像(プリント)に描かれる.

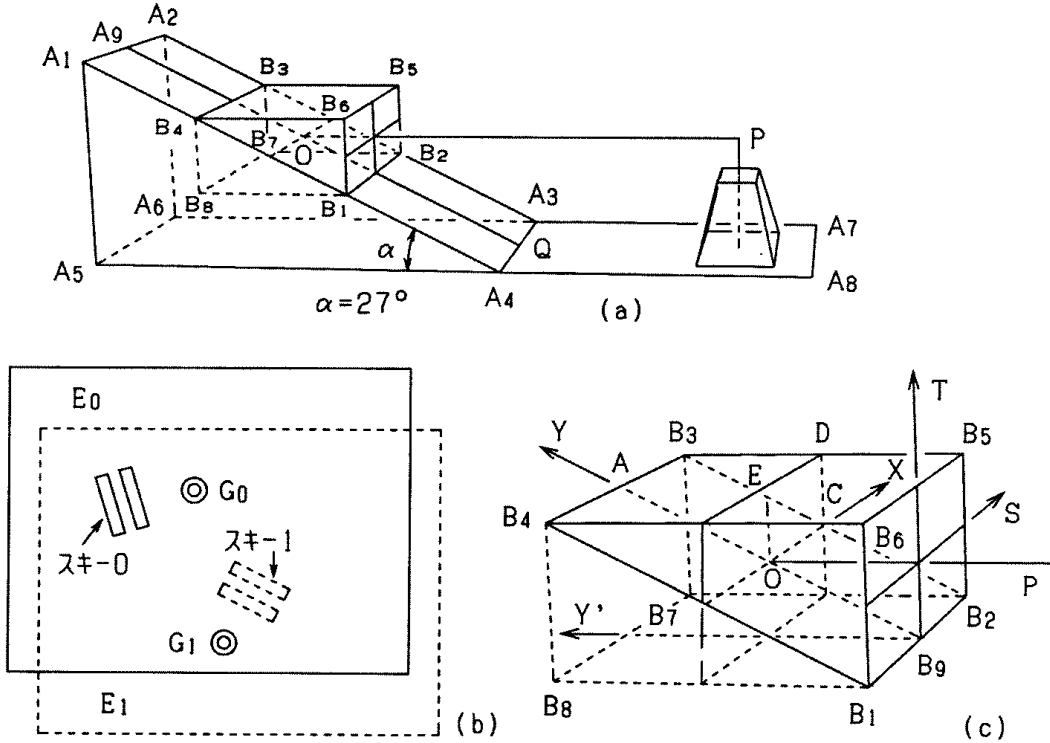


図1 (a)スキー場をビデオ・カメラで撮影する様子. (b)撮影された2つの画面の組合せ.
(c)スキー滑降部分の拡大図.

図1(a)では、線OPが水平面と平行に描かれている。線OPと水平面が平行でない場合でも、線OPと面B1B2B5B6は常に垂直である。従って面B1B2B5B6を垂直面と呼ぶ。カメラで撮影された映像をプリント面と呼ぶ。垂直面とプリント面の大きさの比率は「2.4.」で述べられる。この比率が分れば、垂直面上の像(スキー・スキーヤー)の大きさが分る。垂直面上のスキー・スキーヤーの内、スキーの大きさと、雪面上のスキーの大きさが分れば、雪面と線OPとの間の角度A0(中心角)が分る(「2.4.」)。角度A0が分れば、垂直面の像(スキー)から雪面の像(スキー)を描く事ができる。

滑降するスキーヤーを追いかけ、カメラは動く。図1(b)の様に、始めのプリント面から作られた雪面E0(実線)には、2つの標識(ポール, G0G1)◎と2本のスキーが描かれている。次のプリント面から作られた雪面E1(点線)にも、同様に2つの標識(G0G1)と2本のスキーが描かれている。スキーとカメラは動いても雪面の標識(G0G1)は動かない。2つの標識(G0G1)の位置を合せれば、スキーの動く距離が分る。時間はビデオのコマ数から

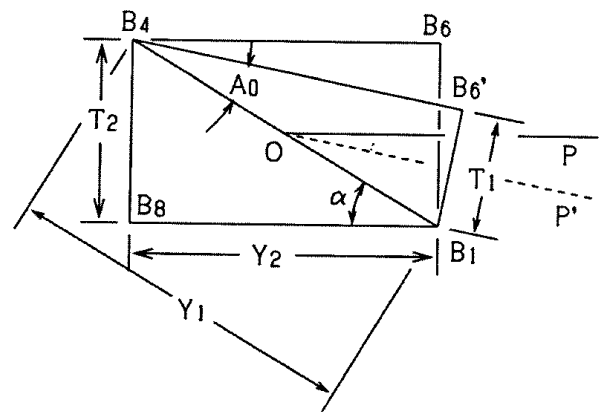


図2 (a)斜(雪)面と垂直面.

分る。従って2枚のプリント間の平行移動距離や速度が得られる。

解析には1秒間に15コマのプリントを用いた。スキーの長さは160cmである。以下、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表す。

2.2. 雪面と垂直面

図1(a)の雪面 $B_1B_2B_3B_4$ と、カメラ線 OP に垂直な垂直面 $B_1B_2B_5B_6$ を、図1(c)のように描き直す¹⁾。カメラとスキーヤーの間の距離が有限であれば、線 B_3B_5 と線 B_4B_6 は平行ではない。しかし、以後の計算がし易い様に、ここでは平行であると仮定する。図1(c)では、 $\angle B_4B_1B_8$ は雪面の傾斜角だから、 $\angle B_4B_1B_8 = \alpha$ となる。カメラ線 OP と雪面との角を中心角 A_0 とする。線 OP が水平線 $B_7B_9 (= B_8B_1)$ と平行な場合は、 $\angle POB_9 = A_0 = \alpha$ となる。線 OP が水平線 B_7B_9 と平行でない場合は、図2のように、線 OP が線 OP' に変わるとしよう。その時は、 $\angle P'OB_1$ は「中心角 A_0 」に相当するので、 $\angle P'OB_1 = A_0 \neq \alpha$ となる。平行である場合、ない場合共に垂直面 $B_1B_2B_5B_6$ は線 OP (又は OP')に垂直である。

図2のように、垂直面の座標を (S, T) で表す。この時、線 OP と水平線 B_8B_1 が平行な場合、雪面に対応する垂直面は、 (S_2, T_2) となる。線 OP' と水平線 B_8B_1 が平行でない場合、垂直面は (S_1, T_1) となる。ここで、 S 方向の座標の大きさは変わらないので、 $S_2 = S_1$ となる。このような、「中心角 A_0 」を見つける事ができれば、垂直面の像から雪面の像を求める事ができる。

2.3. プリント面から雪面へ

テレビ・カメラにはズーム・レンズが装着されている。カメラのレンズの焦点距離を適当に変え、写される像(スキー・スキーヤー)を拡大したり、縮小したりしてテレビ像(スキー・スキーヤー)は見易くなっている¹⁾。又、カメラとスキーヤー間の遠近によっても、テレビ像(スキー・スキーヤー)は拡大縮小する。このように、テレビ像(スキー・スキーヤー)に相当するプリントの像(スキー・スキーヤー)は、常に大きさを変えている。

従って、変化するプリント面の像(スキー・スキーヤー)の大きさに対して、垂直面の像(スキー・スキーヤー)の大きさを常に一定の大きさに出来る、倍率 C_k を求める必要がある。

$$\text{垂直面} = \text{プリント面} \times C_k$$

C_k は変数である。 C_k に、スキー・スキーヤーの大きさの倍率 J を含めれば、垂直面上のスキー・スキーヤーの大きさを全て同じに出来る。

$$\text{垂直面} = \text{プリント面} \times C_s / J$$

である。

$$C_k = C_s / J \quad \dots\dots\dots (1)$$

C_s は定数であり、 J は変数である。それらの求め方は後で示す。 J と C_s が決まれば、 C_k が決り、スキーの長さ SL から、図2を用いて A_0 を求める事ができる。それを次に示す。

座標について、プリント面 (U_1, V_1) に対応する垂直面を (S_1, T_1) とする。それに対応する雪面を (X_1, Y_1) とすると、次式が得られる。

$$X_1 = S_1, \quad S_1 = U_1 \cdot C_k,$$

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

$$X_1 = U_1 \cdot C_k, \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Y_1 = V_1 \cdot C_k / \sin(A_0). \quad \dots\dots (3)$$

スキーの両端の2点を、雪面上とプリント面上で、 (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) と (U_1, V_1) , (U_2, V_2) に取る。式(2)と(3)を用いると、

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

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

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

となる。 SL は既知だから、 C_k が既知であれば、未知は A_0 のみとなる。(5)式を用いればプリント面 (U_1, V_1) から A_0 が得られる。 C_k と J と C_s の求め方は次のようである。

プリント面上のスキーヤーが正面(カメラの方)を向いている時は、そのスキーヤーの両肩の幅の長さが式(4)の $(U_1 - U_2)$ に相当している。そして、実物のスキーヤーの肩の幅は $(X_1 - X_2)$ に相当している。式(4)から C_k が得られる。

スキーヤーの大きさの倍率 J は、プリント面上でスキーヤーの体の長さを測り、その平均的な比から得られる。又、スキーヤーの体の長さの代わりに、図5(a)のように、スキーの長さを用いる事も出来る。 J が得られれば、式(1)から C_s も得られる。

表1 アルペン・スキー男子複合の成績

国名	選手名(か)	滑降	回転1	回転2	合計	順位	選手名(abc)
アメリカ	テッド・リゲティ	1m41s42	44s09	43s44	3m09s35	①	Ted Ligety
クロアチア	イビツァ・コステリッチ	1m40s44	44s61	44s83	3m09s88	②	Ivica Kostelic
オーストリア	ライナー・シェーンフェルダ	1m40s02	45s67	44s58	3m10s67	③	Rainer Schoenfelder
チェコ	オンドレイ・バンク	1m40s50	45s34	44s36	3m11s00		Ondrej Bank
スイス	マルク・ベルト	1m42s24	44s37	44s21	3m11s22		Marc Berthod
オーストリア	ベンヤミン・ライヒ	1m40s42	44s23	----			Benjamin Raich
アメリカ	ボディ・ミラー	1m39s69	----				Bode Miller

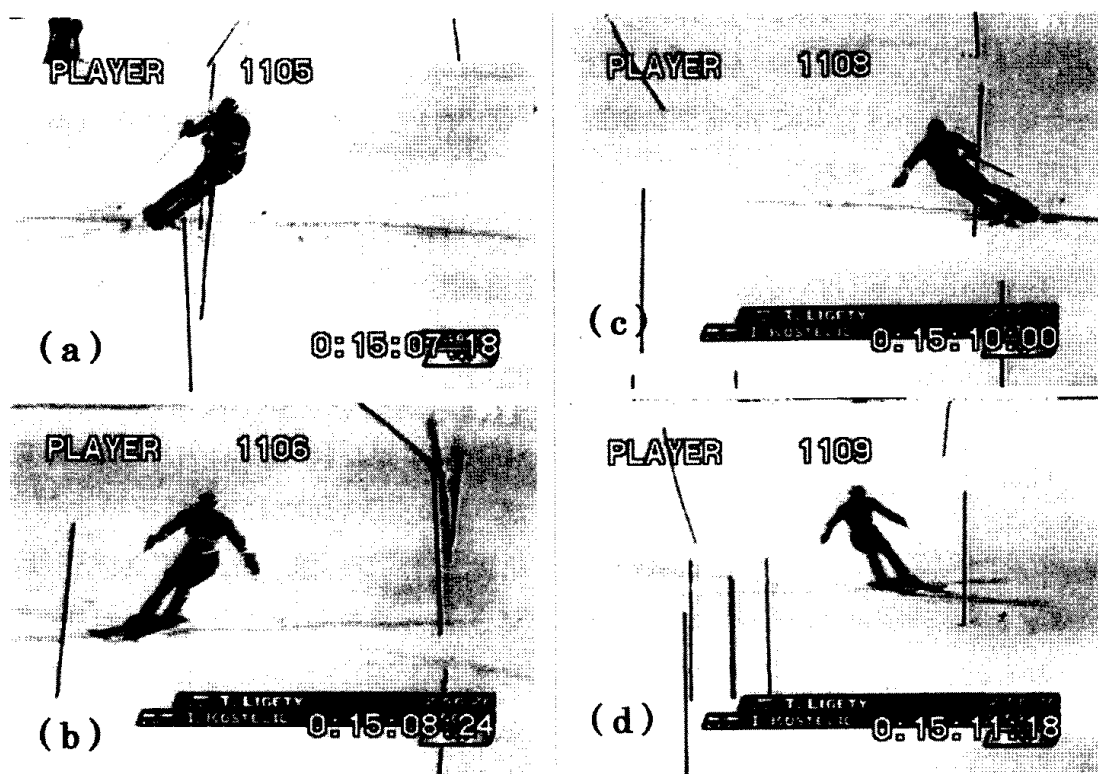


図3 コステリッチ選手のテレビ画面のプリントの例。

この様にして、 C_k を求めれば、 C_k と A_0 を用いて、プリント面(U_i, V_i)から雪面(X_i, Y_i)が得られる。各雪面に描かれたスキーと標識(ポール)の位置から、図1(b)を用いて、各スキー間の平行移動距離を求める事ができる。

3. トリノ・オリンピックの紹介

3.1. 回転(スラローム)

NHKで放映(2006, H18, 2, 15)されたテレビの解説によると、我々が解析したトリノ・オリンピックの競技は次のような内容である。

この競技はアルペン・スキー男子複合(コンバインド)である。それは、1日で1回の滑降(ダウンヒル)と2回の回転(スラローム)が行なわれ、その合計時間を競うものである。滑降は、2686m(メートル)から1886mへ標高差800m、全長2965m、平均斜度 15.6° である。滑降は昼間であり、回転は夕方から夜である。2回の回転では、スタートとフィニッシュの位置は同じであるが、ポールの位置が異なっている。1回目の回転(回転1)のポール数は56本であるが、2回目の回転(回転2)のポール数は55本である。ポール間隔はルール上では、13m以内である。

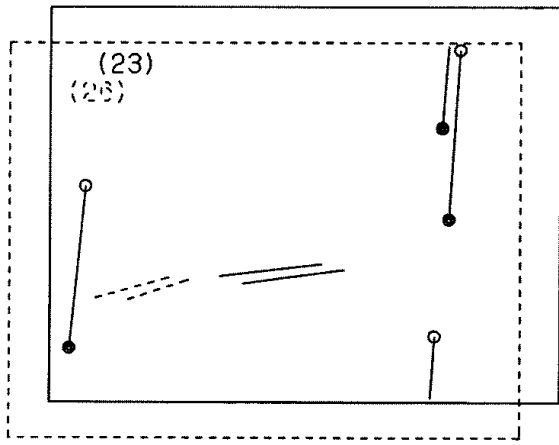


図4 (a) 2つの垂直(テレビ画)面の組合せ。
スキーヤーを省く。

これらの放映をビデオに撮り、2回目の回転の1部を解析した。この論文では、回転(スラローム)を回転滑降と呼んでいる。上位選手①②③の順位は表1のようである。それ以下の選手の順位は不明である。

ミラー選手の滑降タイムは、出場選手57人中1位である。ライヒ選手の滑降と回転1の合計タイムも、57人中1位である。---はコース・アウトで、無記録である。数字、3m09s35は3分9秒35を意味する。①②③は順に金銀銅メダルである。

3.2. テレビで見るスラロームの像

コステリッチ選手の例を基に、テレビに写るスラロームの像を見てみよう。プリント面には、図3のように、2本のスキーと何本かのポールが写っている。2つのプリント面を、図1(b)のように組み合わせると、図4(a)のようなスキーと標識(ポール)が出来上る。ここでは、スキーのみが描かれ、スキーヤーは省かれている。ポールの上端は○である。ポールの下端は雪の中に入っている。

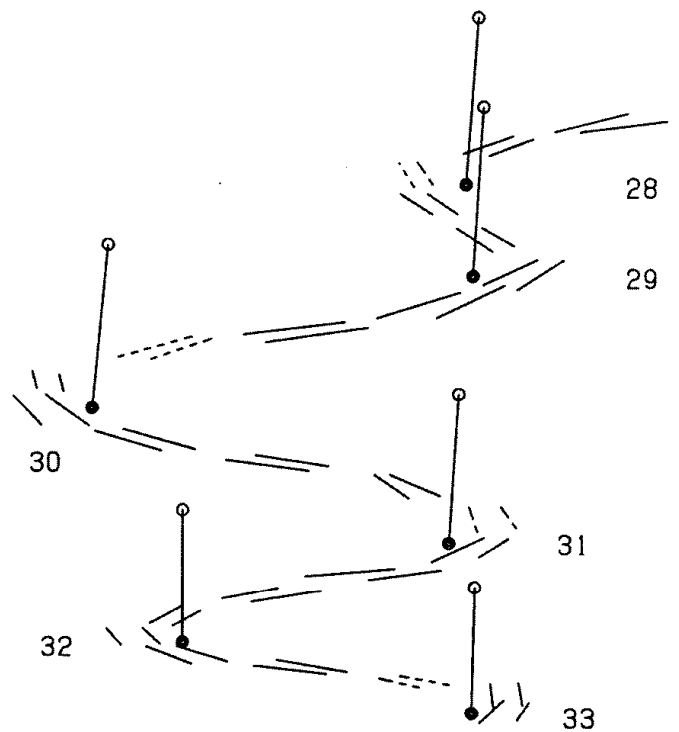


図4 (b) 観察した全画面(5コマ/秒)の組合せ。

ポールと雪の表面が接している位置が◎である。左上の番号は、図6~8のスキー番号(SkiNo)に相当している。図4(a)のように、プリント面を次々と組合せて行くと図4(b)となる。番号28~33はポール番号である。28が雪面の山側であり、33は谷側である。谷側に行く程、スキーが小さくなるように撮影されている。この図が、我々がテレビで見ているスキー(スラローム)の像(軌跡)である。このスキー軌跡は毎秒5コマである。図3(a)はコステリッチ選手がポール28を左回りに回っている図である。図3(b)はポール30の手前を滑降している図である。図3(c)はポール31を右回りする図である。図3(d)はポール33の手前を滑降している図である。図4(b)の点線のスキー軌跡が、図3の選手のスキーに相当している。

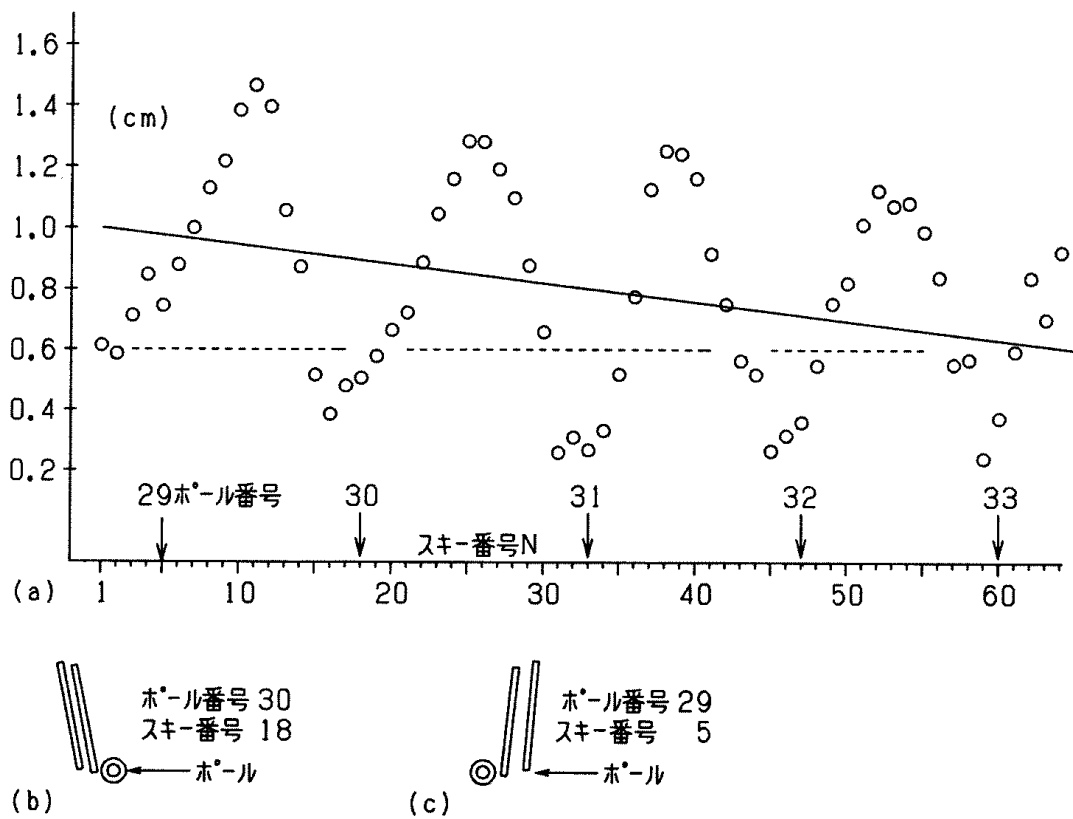


図5 (a)縦軸は、バンク選手のスキー長。横軸はプリント画面のコマ番号(15コマ/秒)。
(b)と(c)スキーとポールとの位置。

4. 測定

4.1. プリント面上のスキーの長さ

プリント面上のスキーの長さは、各プリント面により大きさを変えている。その変化を調べてみた。

図3のようなプリント面から、選手のスキーの長さを測る。2本のスキーの長さの平均値を、64コマのプリント面について表した結果が図5(a)である。図5(a)はバンク選手のスキー長変化の図である。スキーの長さはプリント面の中で横向きの際は長く、縦向きの際は短い。その為、長さは周期的に大きくなったり、小さくなったりしている。バンク選手の場合は、スキー番号Nが大きくなるに従い、スキーの長さは小さくなっている。大きさの比率は、ほぼ、 $J=1-N/150$ である。

図5(a)の横軸は解析したコマ数(スキー番号、プリント番号)Nである。ポール番号の矢印↓は、図5(b)、(c)のような位置にあるスキーのスキー番号の上に、描かれている。縦軸はプリント面上

のスキーの長さ(cm)である。解析したコマ数は、1秒間にN=15である。

4.2. ポール間の時間

放映されたテレビ画像では、ポール間の長さPPや最大傾斜線FLの方向は説明されていない。スキー運動を解析する為には、PPとFLを何かから求めなければならない。

ビデオ映像は每秒30コマの画像から出来ている。図5(b)と(c)のように、スキーの先端とポールがほぼ横線上に並んでいる画像がある。◎印の中心にポールが立っている。2つの◎の間の長さがPPである。そこで、回転2を滑った選手(放映された11人全員)について、PP間のビデオコマ数を調べた。PP間のコマ数を表2に示す。調べたポール番号は、1~55の内、29、30、31、32、33、である。これらのポール間のスキーの位置が、この論文では解析されている。

表2の番号30はポール番号29と番号30の間を示している。この間をベルト選手は、ほぼ27.5コマ