

冬季オリンピックの解析の試み
仏・アルペールビル・1992の回転滑降

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 Albertville, France, 1992

Toshio SAHASHI (Laboratory of Aichi Sports Physics)

抄録 NHKテレビで放映された、冬季オリンピックのスキークの回転滑降を紙面上に描き、解析する事を試みてみた。その結果、我々が過去に解析したいくつかのスキークの回転滑降とこの研究の回転滑降との間に類似点と相違点が見つけられた。

冬季オリンピックの解析の試み 仏・アルペールビル・1992の回転滑降

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 Albertville, France, 1992

Toshio SAHASHI (Laboratory of Aichi Sports Physics)

Abstract: We attempted to analyze the turning descent of slalom skiers in the Albertville Winter Olympic Games, which was broadcast on NHK, by drawing the locus of skis on paper. Both similarities and differences in the turning descent were found between this and the previous results of our analysis.

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

1. 序文

雪山の斜面を滑る滑降スキーとして、その頂点にあるのが、冬季オリンピックであろう。これを競技スキーと呼ぼう。これに対して、他の人とは競争をせず、スキー場で楽しく精神教育を目的として、スキー滑降をしている人がいる。更に、学校教育として身体教育と安全を目的に行うスキーもある。競技スキー以外のスキーを、教育スキーと呼ぼう。教育スキーの主眼は「安全に、楽しく、美しく」であると思われる。スキー場で見ると、スキー滑降の大部分は教育スキーである。我々が過去に、スキー研究¹⁻⁵⁾をしてきたスキーも全て、教育スキーである。そして教育スキーの内容は少しずつ明らかになってきた¹⁻⁵⁾。

競技スキーの主眼は、教育スキーの主眼とは異なっている筈である。又内容もそれぞれ異なっていると思われる。それでは、「どこが異なっているか」が我々の興味のある所である。この論文では、競技スキーの1例の解析を試みてみた。そして、競技スキーと、教育スキーとの違いを調べ

た。

競技スキーとして、NHKテレビで放映されたスキー映像を用いた。テレビ像をビデオに録画し、ビデオ画像をプリントして、スキー滑降を時間の関数として紙の上に描く事を試みた。テレビ像は、1992年(平成4年)冬季オリンピック、フランス・アルペールビルで行われた、スウェーデン、トーマス・フォグデ選手(Fogdoe)の回転滑降である。その結果、競技スキーの一例を紙面上に描くことが出来た。競技スキーと、著者等が過去に解析した教育スキーとの間には、類似点と相違点が見られた。

2. カメラとプリントと雪面

2.1. スキー場の模型図

テレビの雪面画像のビデオ・プリント(以下プリントという)から雪面上の図を描く。図1(a)は雪面の模型図である。A₁A₂A₃A₄は平らな雪(斜面)であり、A₅A₆A₇A₈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

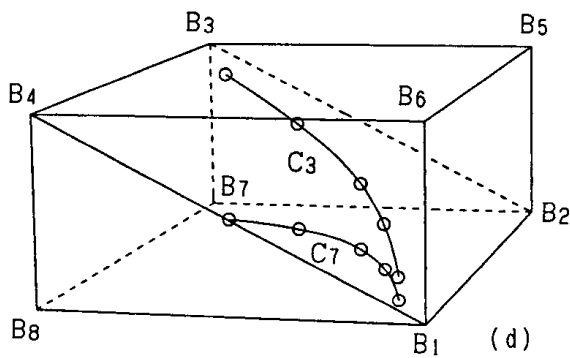
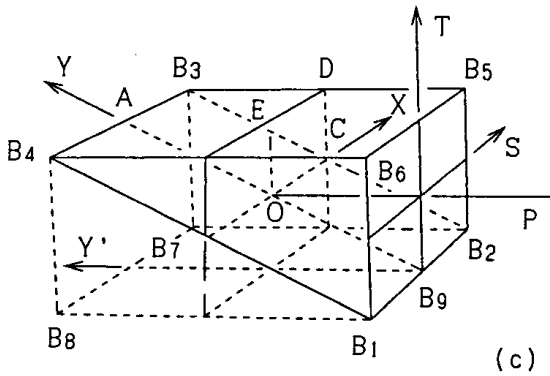
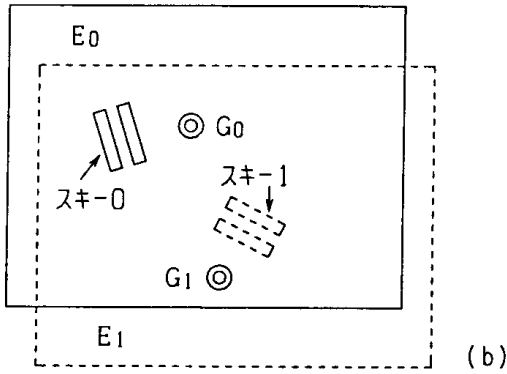
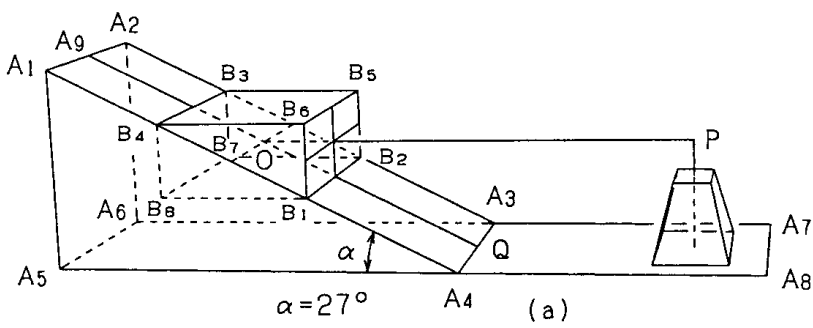


図1 (a) スキー場をビデオ・カメラで撮影する様子。(b) 撮影された2つの画面の組合せ。(c) スキー滑降部分の拡大図。(d) 斜面の図C₃を水平面に投影した図C₇。

にテレビ・カメラ(以下カメラという)Pを置く。Pから雪面B₁B₂B₃B₄を写す。カメラの視野の中心は点Oである。カメラ線OPと面B₁B₂B₅B₆を垂直におき、雪面B₁B₂B₃B₄の像を面B₁B₂B₅B₆に投影する。カメラで撮影された映像(プリント)は面

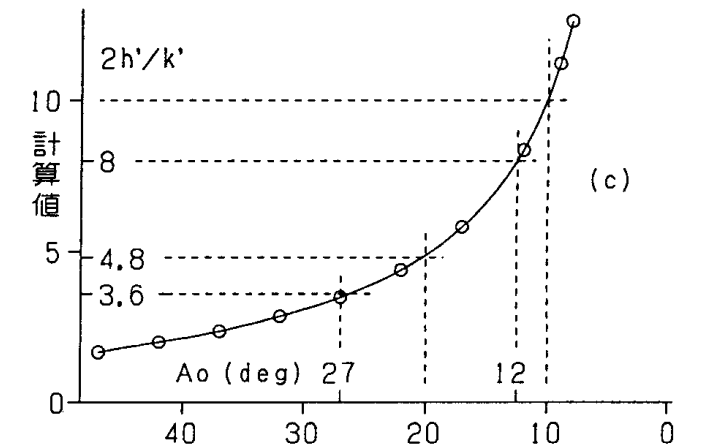
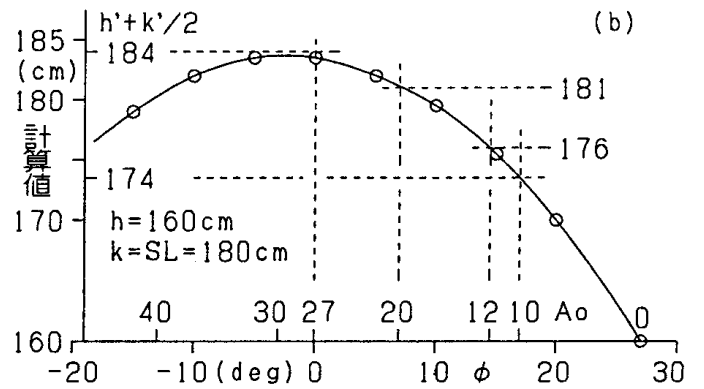
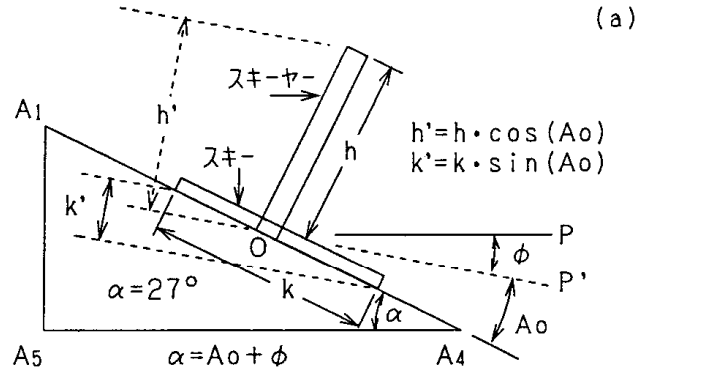


図2 (a) 斜面上の模型スキーヤーとスキー。(b) スキーヤーとスキーの像の大きさ。(c) スキーヤーとスキーの各大きさの比。

B₁B₂B₅B₆の像と相似形になる。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

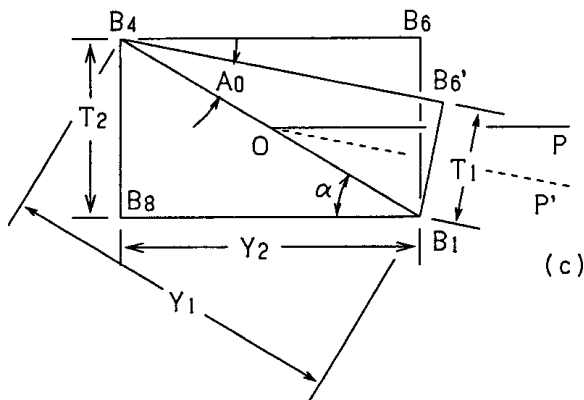
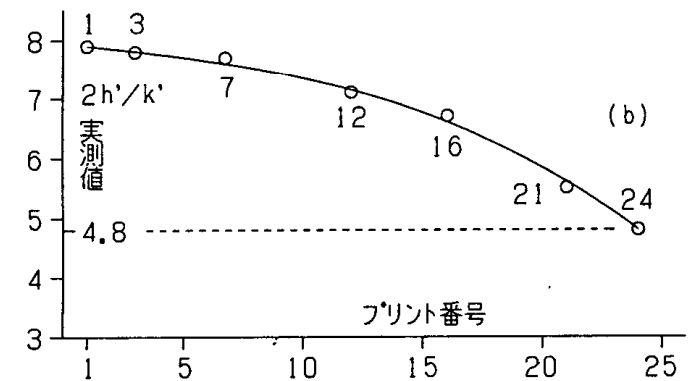
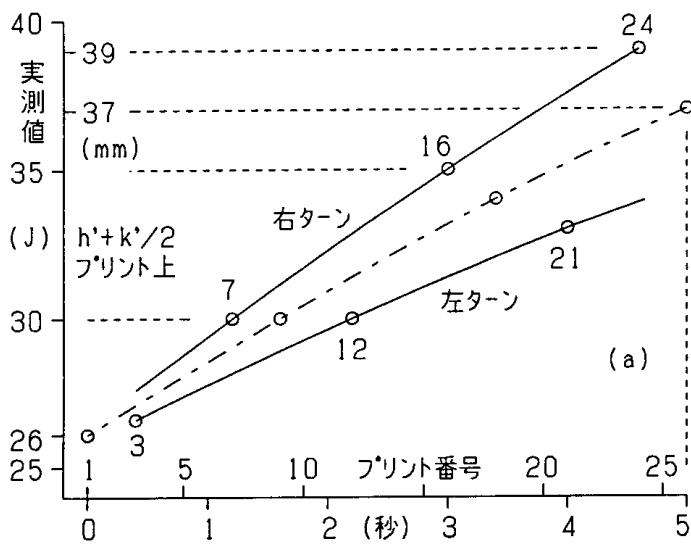


図3 (a) プリント上に於ける, スキーヤーとスキーの像の大きさの測定値.
 (b) スキーヤーとスキーの像の比の測定値.
 (c) 斜(雪)面と垂直面.

に垂直である. 従って面 $B_1B_2B_5B_6$ を垂直面と呼ぶ. 雪面上のスキーの長さが指定されれば, 雪面と垂直面との間の角度を知る事ができ(「2.4.」参照), それを用いて垂直面から雪面の図を描く事ができる. 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.

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, 始めのプリントから作られた雪面 E_0 には, 2本のポール◎と2本のスキーが描かれている. 次のプリントから作られた雪面 E_1 (点線)にも, 同様に2本のポールと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ポールは動かない. 2つのポールの位置を合わせれば, 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.

2.2. プリント上のスキーヤーの倍率

図1(a)の面 $A_1A_4A_5$ を図2(a)に描き直す. 斜面上にスキーヤーとスキーを描く. スキーヤーの身長を180cmとし, そのスキーヤーの滑降中の身長(高さ h)を $h=160$ cmとする. スキーの長さ k を $k=SL=180$ cmとする. スキーヤーはスキーの長さの中心に位置しているとする. スキー場の傾斜角 α は $\alpha=27^\circ$ とする.

カメラの方向 OP' が水平面と平行でない時, 斜面と線 OP' の間の角は A_0 となる. この A_0 の大きさを推定してみよう. スキー場の傾斜角は $\alpha=A_0+\phi$ である. カメラの方向 OP' から見た時, スキーヤーの高さ h は $h'=h \cdot \cos(A_0)$ に, スキーの長さ k は $k'=SL \cdot \sin(A_0)$ に変わる. プリント上でスキーヤーとスキーヤーが正面(カメラの方向)を見る時, スキーヤーの頭からスキーの先までの長さ hk は $hk=h'+k'/2$ となる. A_0 が変化した時, 長さ hk は図2(b)の様になる. プリント上には, いつもスキーが写っていたので, A_0 は零では無く, $10^\circ < A_0 < 27^\circ$ 位と考えてみる. この範囲に A_0 をとると, $(h'+k'/2)$ の値は174cm~184cmの範囲で変り, 変化率は6%位である. 更に, スキーヤー h' とスキー k' の1/2の比 $(2h'/k')$ は, 図2(c)のように $3.6 < (2h'/k') < 10$ の範囲で変る.

9×7 cm²のプリント上で, スキーとスキーヤーがカメラの方を向いている像を選ぶ. その時, プリント上での長さ $(h'+k'/2)$ を測定して見ると, 図3(a)の様になった. 右ターンの値は左ターンの値より大きかった. $(h'+k'/2)$ の平均値 J は26ミリ~37ミリの範囲で変り, 変化率は40%位になっ

た。そして比 $(2h/k')$ の値は、図3(b)から4.8~8と
なった。図3(b)の値を図2(c)に入れる事により
、 A_0 は $12^\circ \sim 20^\circ$ 位である事が推定される。

スキーヤーが山の上から下へ滑降して来る時、
図2(a)から、 A_0 も変化する。しかし、 $12^\circ < A_0 < 20^\circ$
の範囲内では、 $(h'+k'/2)$ の計算値の変化率(図2
(b))は3%位である。それは、スキーヤーによる $(h'$
 $+k'/2)$ の実測値の変化率40%(図3(a))に比べて
小さい。そこで、図2(a)から、 A_0 が変化しても、 $(h'$
 $+k'/2)$ の大きさは変らないとしよう。そうすれ
ば、実測による $(h'+k'/2)$ の変化(図3(a))は、カメ
ラからスキーヤー迄の遠近による変化と見なす
事ができる。プリントに写っているスキーヤー
の倍率はJに比例する。Jは、図3(a)から、プリント
番号1~26に従い、 $J=26 \sim 37$ となる。

2.3. 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。カ
メラとスキーヤー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、 $\angle B_4B_1B_8 = \alpha$ である。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_8B_1 と平行でない
場合は $\angle POB_9 = A_0 \neq \alpha$ 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に垂直であ
る。図3(c)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。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
座標の大きさは変らないので、 $S_2 = S_1$ となる。こ
のような A_0 を見つける事ができれば、垂直面から
雪面を求める事ができる。

2.4. プリント面から雪面へ

プリント面とそれに対応する垂直面 $B_1B_2B_5B_6$
の倍率 C_k を求めて見よう。

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

カメラとスキーヤー間の遠近により、プリント上

のスキーヤーの大きさは異なっていた。そこで、
プリントから作る垂直面上のスキーヤーの大き
さが、常に一定の大きさになるような変数 C_k を求
める。 C_k にスキーとスキーヤーの大きさを表す
図3(a)のJを含めれば、

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

となり、垂直面上のスキーヤーの大きさは全て同
じになる。

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

C_s は定数であり、その求め方は後で示す。 C_s が決
まり、 C_k が決れば、スキーの長さSLから、図3(c)を
用いて A_0 を求める事ができる。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。

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

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

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

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

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

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

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

$$(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 = (SL)^2.$$

となり、上式から A_0 が得られる。 C_s と C_k 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、式(1)から
 C_s が得られる。

この様にして、 C_k により、プリント面から垂直
面が得られる。 A_0 により、垂直面から雪面が得ら
れる。各雪面に描かれたスキーとポール的位置
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。

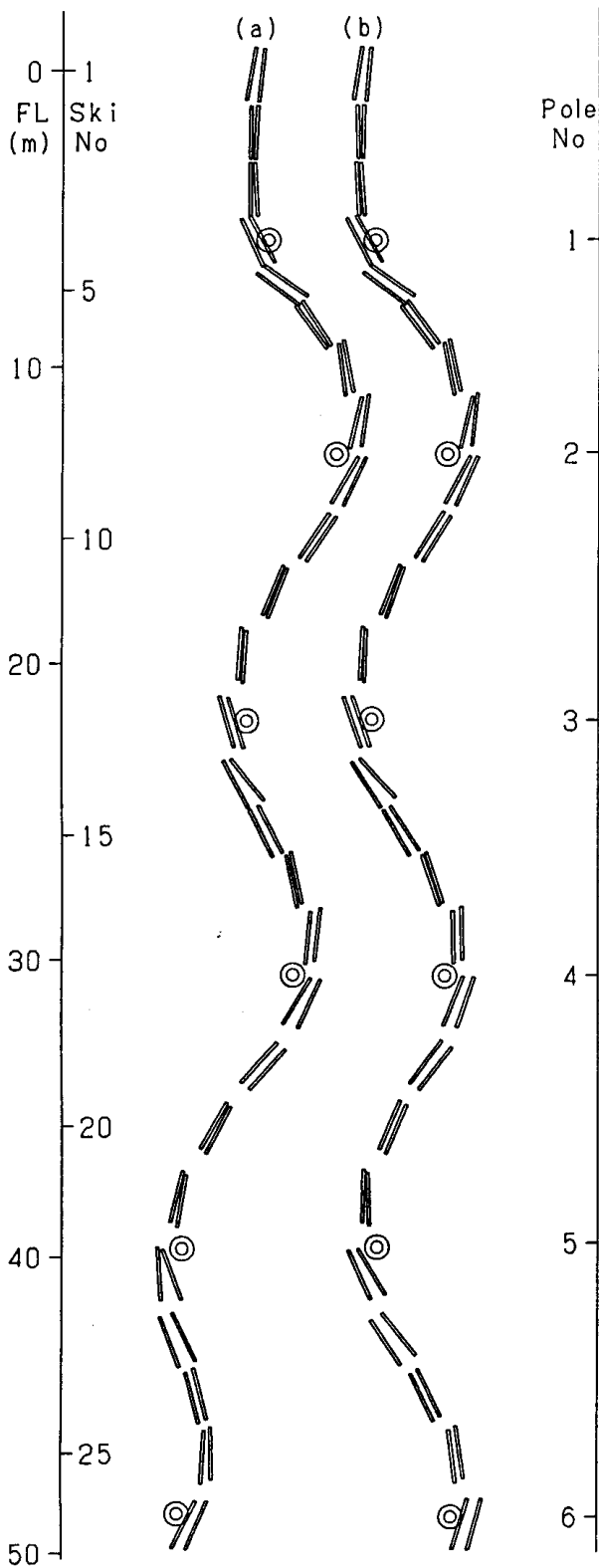


図4 (a) プリント26枚から作られたスキー回転滑降図.

(b) 斜視角補正されたスキー回転滑降図.

2.5. スキー滑降図と斜視角補正

26枚の各雪面の図には、スキーとポールが描かれている。そのスキーとポールを図1(b)の方法で順々に組合せて行くと、図4(a)のスキー滑降図ができ上がる。◎の中心がポールの位置を表し

ている。カメラから見て、左の方へ滑降をしている様に見える。図4(a)の、左右の縦軸は最大傾斜線の方角を向いている。

図4(a)はスキーヤーの回転滑降の正面(滑降方向)から撮影されたものではないようだ。図4(a)を、スキーヤーの滑降方向から撮影されたように補正する為に、次のように考えて見る。図4(a)のポールの位置◎のみを描き、縦軸を縮めた図5(a)を描く。このポールの図に「平均的なスキー滑降曲線」を描き入れる。この曲線が、図1(d)の斜面 $B_1B_2B_3B_4$ 上の曲線 C_3 とする。この曲線 C_3 を水平面に投影して見る。水平面 $B_1B_2B_7B_8$ 上に曲線 C_7 が作られる。この曲線 C_7 にポールを加えた図が図5(b)である。水平面上の「平均的なスキー滑降曲線」に沿って、図5(b)の様に接線角 ω を測定する。接線角 ω は片対数上ではほぼ直線となる(図5(c))。もし、この接線角 ω に沿った方向にカメラを向けて、スキー滑降を撮影したならば、図4(a)のスキー滑降は、左右のポールを回りながら、最大傾斜線の方角に滑降する図に変わるであろう。 ω を斜視角と名付け、斜視角が常に零になるように補正をして見る。補正をすれば、斜め左へ滑降している様に見える図4(a)は、真っ直下へ滑降する図4(b)に変わるであろう。次にその補正の仕方を説明する。

2.6. 斜視角補正

図1(c)は、「カメラ線OPと水平面が平行な場合($A_0 = \alpha$)」について描かれているが、一般には図3(c)のように $A_0 \neq \alpha$ である。図3(c)によれば、「平行な場合は(B_6B_1)から雪面(B_4B_1)を見ているが、平行でない場合は($B_6'B_1$)から雪面(B_4B_1)を見ている」事が分る。次に「2.3.」では、図1(c)の線 B_3B_5 と線 B_4B_6 は平行であると仮定された。その為に、図1(c)の垂直面上の値(S,T)は、面 $B_1B_2B_5B_6$ 上でも、面OCDE上でも同じ値になる。図1(c)の垂直面OCDEと斜面OCB₃Aを含む部分を図6(a)に描き直す。図6(a)の垂直面OCDEは、一般には図3(c)の面($B_6'B_1$)を意味している。

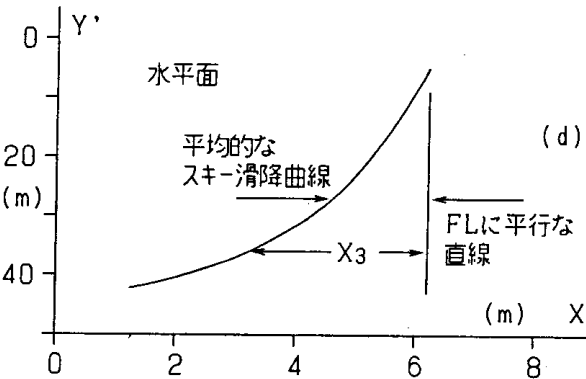
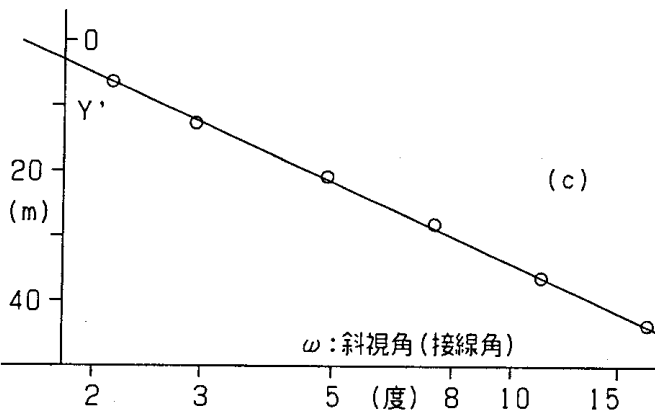
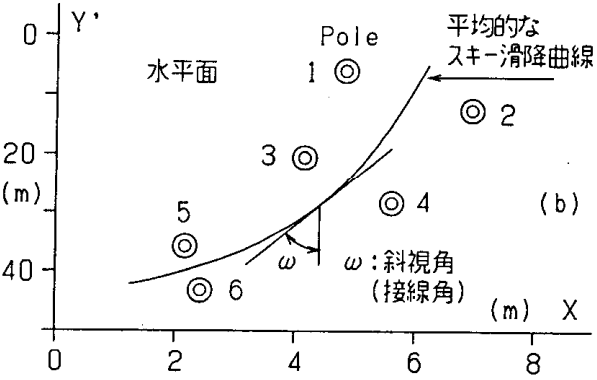
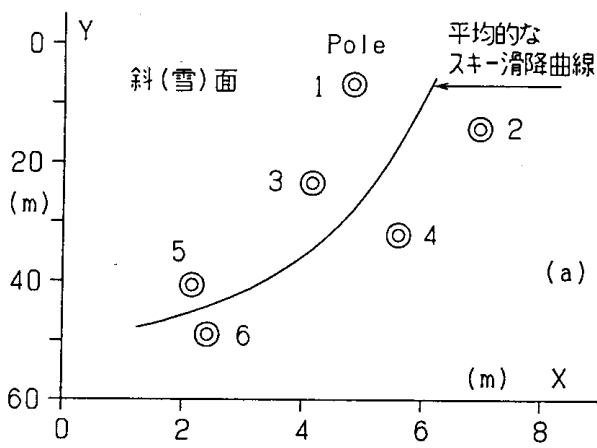


図5 (a) スキー場のポール◎と平均的なスキー滑降曲線。縦軸を1/10に縮小。
 (b) 斜視角 ω の定義。(c) 片対数上の斜視角 ω 。
 (d) 滑降曲線のFLからのズレ(X_3)。

図6(a)のOCB₃aは、水平面である。線AaとB₃b₃は垂線である。スキーヤーは始め斜面OCB₃A上を滑降していたが、やがて左の斜面OCQMへ移動してゆく。即ち、カメラは始め面OCB₃Aを垂直面の枠OCDEを通して撮影していたが、やがて面OCQMを同じ枠OCDEを通して撮影する事になる。ただし、スキーが上から下へ移動する効果は無視されている。更に、「2.1」で述べた「カメラ線と垂直面OCDEは常に垂直である」という事と相入れないが、計算を簡単にする為に、プリント面をC_x倍した像が垂直面OCDEになり、そのOCDEから左の斜面OCQMを見ると仮定した。図6(b)は水平面、図6(c)は垂直面、図6(d)は横面の図である。水平面の縦軸をY'と表した。

図6(a)において、スキーヤーが斜面OCB₃A上を滑降している時は、斜視角 $\omega=0^\circ$ の方向から撮影している。その時、図6(c)の垂直面OCDEの隅D(S_1, T_1)は、斜面OCB₃Aの隅B₃(X_1, Y_1)に対応し、隅B₃(X_1, Y_1)は図3(c)から、

$$X_1 = S_1, \quad Y_1 = T_1 / \sin(A_0)$$

となる。

垂直面OCDEの隅Dを、水平面上で考えれば、図6(b)のb₃はカメラが正面を向いた時の位置であり、qはカメラが左の方を向いた時の位置である。qをb₃の位置に移動させれば、カメラは正面を見ていても、いつもqを見る事が出来る。qをb₃の位置に移動させる事は、カメラが斜視角 ω の方向から見ている事と同じである。qをb₃の位置に移動する事が斜視角補正である。

斜視角補正された座標(X_1, Y_1)を見てみよう。Y軸の方は変らないから、 $Y_1 = T_1 / \sin(A_0)$ である。しかしX軸の方では、図6(b)により、mを原点として X_3 を加えれば、qはb₃となる。従って、図3(c)と図6(b),(d)を用いて、 X_1 は次の式から得られる。

$$Y_1 = T_1 / \sin(A_0), \quad Y_2 = Y_1 \cdot \cos(\alpha)$$

$$X_3 = Y_2 \cdot \tan(\omega) = Y_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \tan(\omega)$$

$$= \{T_1 / \sin(A_0)\} \cdot \cos(\alpha) \cdot \tan(\omega),$$

$$X_2 = S_1,$$

$$X_1 = X_2 + X_3$$

$$= S_1 + \{T_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \tan(\omega) / \sin(A_0)\}.$$