



図 10. パラレル・ターンの説明図.

(4) 写真上の座標から、雪面上のスキー座標を求め、グラフ用紙の上に描き、スキー滑降図とする。各スキー滑降図を、共存する物 K を媒介につなぎ合せて行く。

図 9(a) は、昭和 59 年 3 月、志賀高原山田牧場スキー場で撮影された 8 枚の写真を解析して得られた最初のスキー滑降図である。当時は、大変な仕事であったが、スキー滑降の軌跡が得られた時は感激したものである。ただし、図 9 は、平成 11 年に再解析された図である。図面の見方は論文²⁴⁾を参照されたい。

5.2 平行回転の意味

図 9(a) のスキー滑降図は我々が予想していた、パラレル・ターンの図ではなかった。日本スキー教程で解説されているパラレル・ターンは、どれを見ても、スキーの長さ方向へ滑降していた。図 10 は日本スキー教程(1994)p60 に掲載されているパラレル・ターンの写真である。スキーを平行にして、その平行方向へ滑降しつつ、回転するから、平行回転(パラレル・ターン)であると思っていた。我々も、雪上で、パラレル・ターンをしている時は、平行方向へ滑降しつつ、回転する様に感じていた。

図 9(b) では、滑降方向 θ とスキー方向 δ には $10^\circ \sim 20^\circ$ 位の差がある。スキーの方向へ滑降しているとは言い難い。最初に図 9(a) を見た時は、解析の仕方が間違っているのではないかと疑った。以来今日迄、多くのスキー場に於ける多くのスキーヤーのパラレル・ターンを解析してきた。それ等から、図 9(a) のスキー滑降の軌跡が誤りでない事が分った。

5.3 スキー滑降の論理的な解析

日本スキー教程のパラレル・ターンの写真が正確に作られているとは言い難い。スキー滑降について、我々の様な論理的な解析をして来なかった為に、教程の編集者達は、写真の並べ方を理解出来なかったのであろう。彼等は、16 ミリ・フィルムで撮影された個々の写真を、スキーが平行方向へ滑降しつつ、回転する様に並べたのであろう。我々も、図 9(a) の写真を色々な方法で並べてみよう。図 11 は、平行方向へ滑降しつつ、回転する様に並べた図である。スキーヤーの前に写っている景色はチグハグである。図 12 は前の景色を横方向に合せたものである。図 9(a) はスキーの後が回転滑降の外側に出ているが、図 12 は前側が外に出ている。図 13 は前の景色の縦横を合せて描いた図である。図 13 と図 9(a) は良く似ている。スキー・スキーヤーの写真を論理的に並べる工夫をした例²⁷⁾もあるが、スキー・テキストの殆どはスキー・スキーヤーの写真を図 10 の様に並べている。これらの事から、論理的にスキー滑降を解析する事は、極めて大切な事である事が分るのであろう。



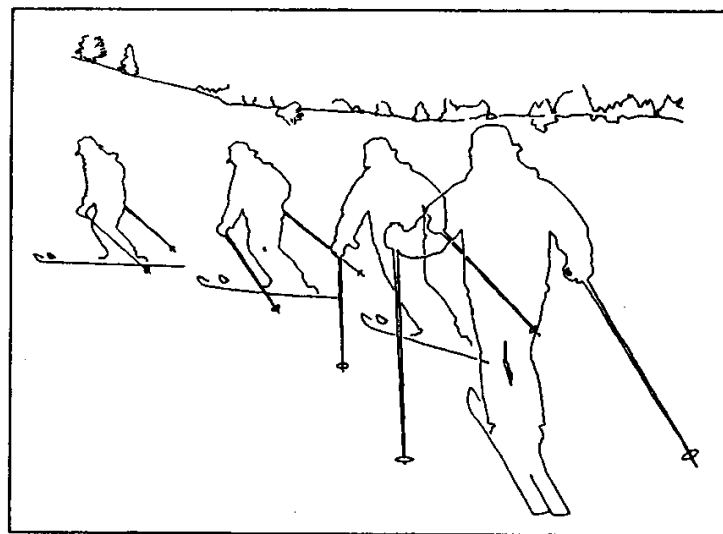
スキ-番号 8 6 4 3 2

図 11. 図 9 の写真の間違った並べ方の例.



スキ-番号 8 6 5 4 3 2

図 12. 図 9 の写真の間違った並べ方の例.



スキ-番号 8 6 4 2

図 13. 図 9 のスキーヤーの正しい描き方の例.

§ 6. 滑降図を作る為の問題点

6.1 問題点

図 9(a) の滑降図は、いわゆる試作品であった。作図の原理は分ったが、次の様な多くの問題点があり、実用的ではなかった。

(1) A_0 を出した後、他の座標を求める。これ等の数値の読み違い、書き違いから誤差が発生する。その数値も、3桁と4桁では誤差が異なってくる。写真が10枚位になると、座標の数は100位になる。

(2) 2つのスキー滑降の軌跡を別々のグラフ用紙に描き、共存する物 K を媒介にして、描き直す。2つの間の誤差は小さくても、10枚も軌跡を並べると、全体の誤差は大きくなる。誤差は、どの軌跡の組合せから、どれ位出るのか。

(3) 図 14 の様に雪面に凹凸があると、スキーは傾く。スキーの長さ $(a-b)$ は、カメラ p から見れば、長さ $(A-B)$ に見える。同じ長さのスキーも写真上では長く見え、中心角 A_0 は大きくなる。他の座標も全て変ってくる。

(4) 雪面からカメラ p 迄の高さ H が低いと、雪面上の凹凸の効果が大きくでる。

(5) 図 9(a) では、共存する物 K に雪面上の凹凸の模様を使っていた。曇り空の時は、写真には凹凸は写らない。図 15 参照。

6.2 スキー解析と計算機

スキー・データの入力は図 8 の様な座標である。紙面上に描かれた出力の一例が図 9(a) である。その間のデータの出し入れは誤差の原因となる。これ等を全て、計算機内で行なえば、(1) の問題は無くなる。その原理を述べてみる。写真の入力では図 5 の s が原点となる。

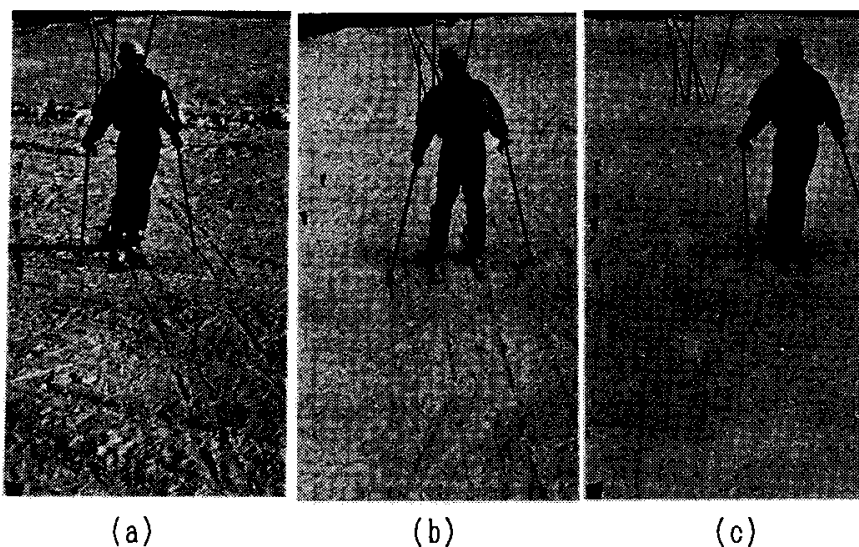


図 15. 天候による写真の変化。
中谷、朴の木平スキー場。1992,1,27.

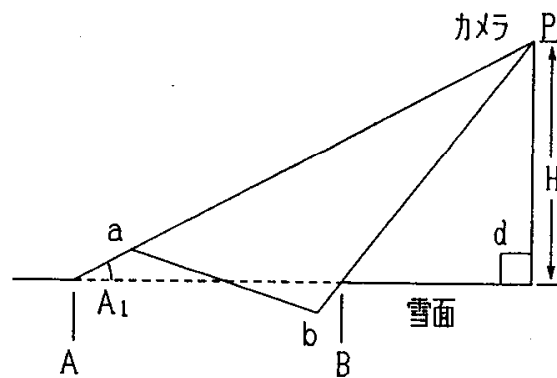


図 14. 雪面の凹凸によるスキーの長さの変化。

雪面上では o が原点となる。図 7 で、原点を o から足元 d に移せば、2つの視野は d から見た回転角の違いだけとなる。従って、10枚も写真を並べても、それらの間の回転角の補正を行えば、1つの座標(グラフ用紙)上のスキーの軌跡となる。更に、直接 CRT 上にスキー滑降の軌跡を描き、プロッタで紙面上に軌跡を描く事ができる。これ等の問題は計算機の発達(メモリの増加と速度)と普及(値段が安く)により、可能となった。

しかし、実際にやってみると、誤差が大きく成り、スキー滑降図にならない場合が多かった。誤差がどこから出てくるかを知る事はかなり難しく、試行錯誤で多くのプログラムを作り、誤差の大きさを調べていった。困難をきわめ、年月が経過した。



図 16. 角付け角の測定。
佐橋, 山田牧場スキー場. 1984, 3, 28.

§ 7. 滑降図を作る為の改良点

7.1 天候

スキーの滑降写真を撮っている時は、天候の事は余り意識に入らない。出来上がった写真を眺めて見て、曇り空の時はがっかりする。それを図 15 に示す。10 分間位で、天候は(a)快晴から、(b)薄曇り、(c)本曇りへと変った。我々は写真からスキー及びスキー場の状態を読み取ってスキーヤーの動きを調べているので、天候と太陽の方向が気になる。図 3 と図 15(a)では、太陽は山側にあり、雪面上のコントラストが大きく、雪面上の状態が良く分る。図 16 では、太陽は谷側にあるので、コントラストが小さく雪面は分り難い。

7.2 標識

天候が悪い時は雪面上の凹凸が写真に写らなかったので、滑降の付近に数個の標識を置いてみた。標識は図 7 の共存する物 K の代用である。その標識を図 15(a)のスキーヤーの左側の3角形で示す。その結果、下記の「スキー長法」より精度の良い A_0 が得られる事が分った。これは予想外であった。標識から A_0 を求める方法を次に示す。

標識が図 5 の apd 面内にあり、足元 d から標識迄の長さが図 6 の $(L+Y_2)$ である場合を考える。

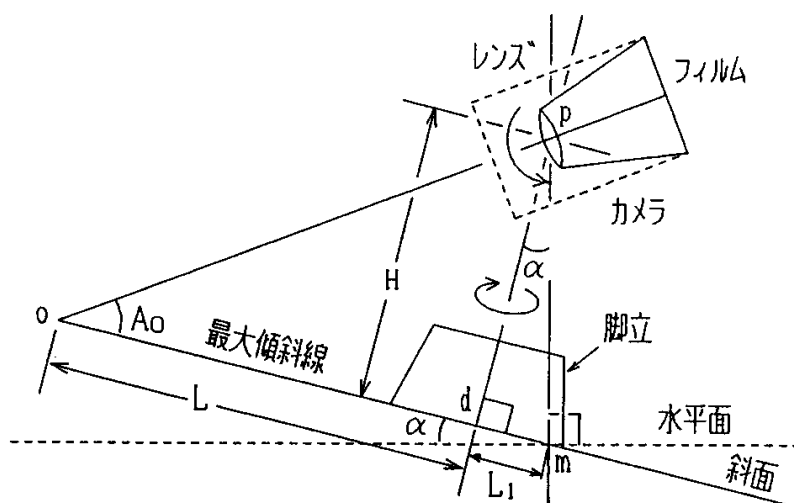
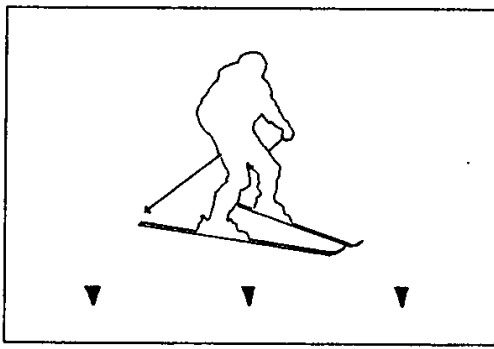
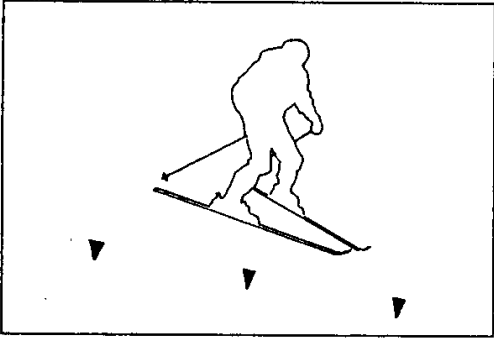


図 17. カメラの上下, 左右の回転.

この長さは測定可能である。写真上の標識から、角度 B_2 を求めると、式 5 から A_0 が得られる。標識迄の長さから A_0 を求めるので、「標識法」とする。標識が図 5 の apd 面内にはない場合は、複雑になるので省略する。その場合は論文²⁴⁾を参照されたい。標識がスキーヤーの周りに数個あれば、雪面の凹凸の効果は相殺され、平均的な値 A_0 が得られる。スキー長から得られる A_0 も、参考になる。



(a) M₁ M₂ M₃



(b) M₁ M₂ M₃

図 18.写真の回転.

§ 4の方法は、スキー長から A_0 を求めるので、「スキー長法」とする。この方法は雪面の凹凸による誤差を拾い易い。即ち、標識法では、足元 d から標識迄の長さを実測する為、誤差は標識-スキー間で発生する。他方、スキー長法では、誤差は足元-スキー間で発生する。

7.3 写真の回転

写真の回転角が数個の標識から得られる事が分った。スキーヤーが左から右へ滑降するにつれ、カメラも左から右へ向きを変える(図 17)。カメラの上下、左右への回転に従い、カメラの回転軸(上下、左右)が狂う事がある。カメラの軸が狂うと写真は回転し、図 18(a)は(b)になる。みかけ上標識 M_1 は遠くなり、 M_1 から得られる A_0 は大きくなる。 M_2 は中央にあるので A_0 の変化は小さい。 M_3 は近くなるので、 A_0 は小さくなる。もし凹凸の効果がなければ、図 18(b)を回転させて、(a)の状態にすると、3つの標識から得られる各 A_0 は同じ値になる。これにより、写真の回転角が分る。

上に述べた写真の回転は、フィルムから印画紙に引伸す時や、その印画紙を図 8 の様にグラフ用紙の上に張付ける時にも発生する。これらを含めた写真の回転角を数個の標識から補正する事ができる。

7.4 雪面の傾き

スキー写真の解析は、雪面(図 5 の ehjq)が水平面であると仮定して作図されている。しかし、実際には図 17 の様に雪面は傾いている。その為、カメラの鉛直下は d ではなく、 m となる。 d を雪面上で決めるのは難しい。図 19 は雪面上の図である。E-G は最大傾斜線 FL であり、M は標識である。カメラの鉛直下を m とすると、標識迄の長さ(M-m)は測定可能である。長さ L_1 の誤差が出る。図 17 で、長さ(p-m)がほぼ H であるとすれば、 L_1 は次式から得られる。

$$L_1/H = \tan \alpha \quad (7)$$

これらを使って、雪面上の作図の順序を述べてみよう。

(1) 標識-足元間の長さ(M-d)が既知であれば、§ 7.2 の標識法により M が写っている写真の A_0 が分る。 A_0 から雪面上のスキーの位置が得られる。各写真から対応する雪面を作る。それらを図 7 の様につなぐと一連のスキー滑降図となる(図 20)。この滑降図から、図 19 が出来る。

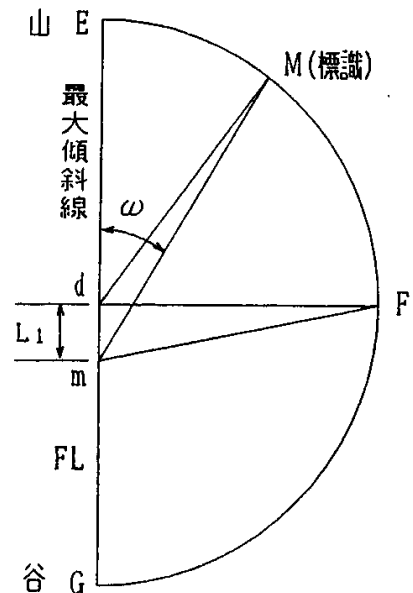


図 19.カメラの足元から標識迄の長さ.

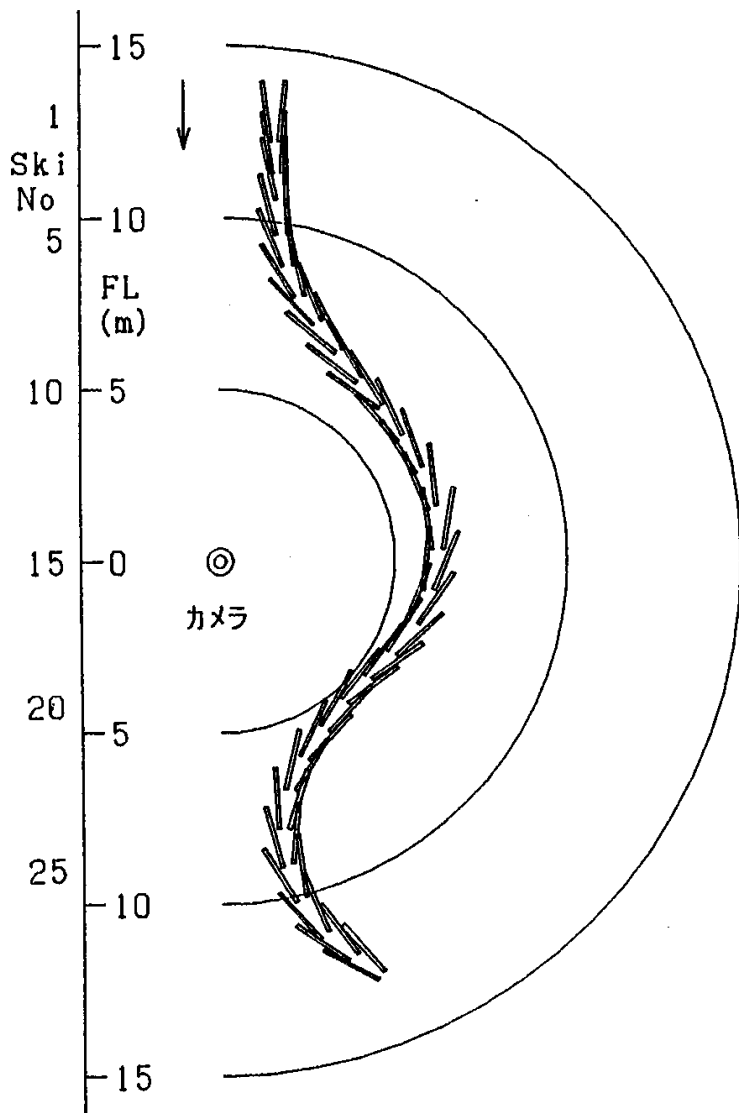


図 20. プルーク・ボーゲンの軌跡, 各スキー間は 1/4 秒である。

(2) スキー場では (M-d) が測定し難いので, (M-m) で代用する. (1) と同様にして, 近似的な図 20 を作り, 図 19 を作る. FL と (M-m) 間の角度 ω を出して, 近似的な (M-d) を次の式から求める.

$$(M-d) = (M-m) - L_1 \cdot \cos \omega. \quad (8)$$

式 (8) から得られた (M-d) を使って, (1) からやり直す. 数学的には, この方法はグルグルと続き, 収束 (誤差が段々小さくなる) 又は発散 (誤差が大きくなる) する. 我々はこの補正を 1 回行った. これを行わないと, 山側の FL 上では標識-足元間の長さを L_1 だけ大きく測定した事になる. 谷側では L_1 だけ小さく測定した事になる. L_1 の為に系統的な誤差が出てくる. L_1 の補正を行うと, 式 (7) からスキー場の傾斜角 α が得られる事も分った.

7.5 カメラの高さ

カメラの高さは高い方が良い. スキー場で特別な装置を作らずに撮影する方法は, 脚立に乗る事である. スキー場には, 我々の背丈位の脚立があった.

それに乗ると, カメラの高さは 2.5m 位になった. カメラはモーター・ドライブのついた 35 ミリ・フィルム, 焦点距離 50 ミリ, 36 枚である. 経験的に, 撮影し易く, 解析し易い距離を図 20 と図 21 を用いて説明する. カメラの足元から 5m 以内では, スキーが素早く視野から出てしまい, 解析し難い. 解析し易い範囲は, 5m (角度 $A_0=27^\circ$) から 10m (14°) 位である. 角度が 10° 以下では雪面の凹凸の誤差が入り易く解析が難しい. 5° 以下では, 凹凸の為殆ど不可能であった. ビデオカメラの場合も, 大体上と同じである.

カメラの高さ H が低いと, 雪面の凹凸の影響を受け易い. しかし, L_1 の効果は小さくなる. H が高いと各々逆になる.

我々は紙面上に描く滑降図の誤差が 10cm (スキー幅) 以下になる

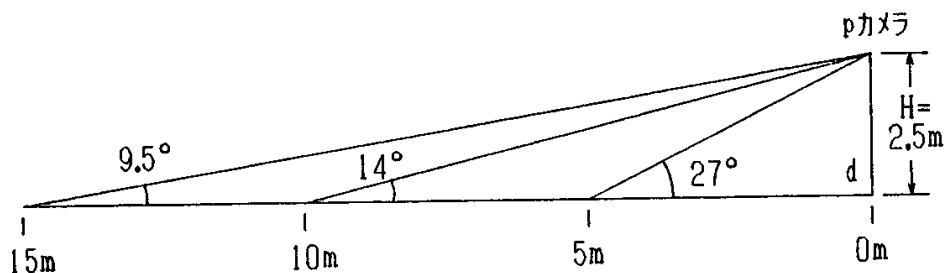


図 21. カメラの高さ H と中心角 A_0 .