

# スキーマの回転機構の実験的研究

## Ⅲ. 雪上スキーマの角付け角の測定

### Experimental Study of the Mechanism of Skiing Turus.

### Ⅲ. Measurement of Edging Angles of Skis on Snow Surface

佐橋 稔 雄

Toshio Sahashi

(Received October 18, 2002)

抄録 雪上を滑降しているスキーマの軌道(パラレル・ターン)から, 回転方向と角付け角との間の関係が調べられた。この関係は, 砂上を滑降している模型スキーマで見つけられた関係と同じであった。即ち, スキーマと水平面との間の角 $\beta_0$ が $\beta_0=0^\circ$ の時は, 直線滑降であり,  $\beta_0 \neq 0^\circ$ の時は, 回転滑降であった。この $\beta_0$ を角付け角と定義すれば, スキーマの回転は, 角付けのみで決まる事が理解される。筋力を用いてスキーマを回転させている, という意識(スキーマヤーマの回転意識)は, スキーマヤーマの心の問題として説明される事が出来る。

# スキーの回転機構の実験的研究

## III. 雪上スキーの角付け角の測定

### Experimental Study of the Mechanism of Skiing Turns. III. Measurement of Edging Angles of Skis on Snow Surface

佐橋 稔雄 \*

SAHASHI Toshio

#### Summary

By observing the track of a sliding ski during a parallel turn on a snow plane, we clarified the relationship between the direction of the ski turn and the edging angle. The relationship was the same as that observed in the experiment using a model ski sliding on a sand plane. Namely, when the angle formed between the horizontal plane and the ski,  $\beta_0$ , is  $0^\circ$ , the motion of the ski is a straight descent; when  $\beta_0 \neq 0^\circ$ , it is a turning descent. If we find the edging angle as  $\beta_0$ , it is understood that the turning of the skis is determined only by the edging angle. The skier's sense of making a ski turn using his muscular strength can be explained as a matter of the perception of the skier.

キーワード：スキー、回転滑降、角付け角

keywords: ski, turning descent, edging angle

#### 1. はじめに

著者らは模型のスキーが、柔らかい砂の上で滑降する状態を観察した<sup>1,2)</sup>。その結果、スキーが回転滑降する為の条件は、角付け角  $\beta_0$  が  $\beta_0 \neq 0^\circ$ <sup>2)</sup> を満たす事であった。この角付け角は「スキーと砂面との間の角  $\beta$ 」ではなく、「スキーと水平面との間の角  $\beta_0$ 」であった。即ち  $\beta_0 = 0^\circ$  は、直線滑降(直滑降、斜滑降及び、斜め横滑りを伴った直滑降、斜滑降)をする為の条件であり、 $\beta_0 \neq 0^\circ$  は、回転滑降をする為の条件である。スキーは角付け  $\beta_0$  の方向へ回転滑降をする。これを  $\beta_0$  則としよう。本研究では、雪面上でスキー軌道の角度  $\beta_0$  を測った。その時の連続写真から、雪面垂直観察法<sup>3)</sup>を用いてスキーの軌跡を描き、回転方向と角付け角との間の関係を調べた。そのスキーは「スキーヤーを乗せたスキー(スキーヤー・スキー)」と「スキーヤーの代わりに20kgの鉄板を乗せたスキー(鉄板スキー<sup>1)</sup>)」であった。その結果、砂スキー<sup>2)</sup>で見つけられた  $\beta_0$  則が、上記2種類の雪スキーについても成立つ事が確かめられた。 $\beta_0 \neq 0^\circ$  が

スキーの回転条件であれば、スキーの回転は重力の方向とスキーの傾きの方向との間の関係によって決まるはずである。

スキーでパラレル・ターンについて述べているテキスト<sup>4,5)</sup>から判断すると、スキーヤーは、「筋力で体を捻る事により、スキーヤーがスキーを回転させる。その為、スキーは回転する」と信じている様である。しかし、実験では、スキーヤーがスキーの上に乗っていても、乗っていないくても、同じ  $\beta_0$  則が成立している。スキーの回転滑降が、重力に対するスキーの傾きのみで決まるのであれば、回転滑降の為に、スキーヤーには次の事が要求される。その要求は「角付け角  $\beta_0$  を作る」事であるが、「筋力でスキーを回転させる」事ではない。それでは、パラレル・ターンをしている時の、「スキーヤーの回転意識」とは一体何であろうか。討論の中で、スキーヤーの回転意識は「スキーヤーの心の問題」として説明されている。この論文はJJAP(1996)<sup>6)</sup>に掲載された論文に、加筆をし、改良を加えたものである。

\*情報学部 情報学科

(Received October 18, 2002)

2. 実験

2.1 スキーと写真

スキーの滑降実験は、スキーヤー・スキーと鉄板スキーの2つの方法で行われた。スキー場の傾斜角  $\alpha$  は  $\alpha = 10^\circ$  であった。スキーが雪面上に置かれた数個の標識<sup>3)</sup>の近くを滑降し、それらを連続撮影した。これらの写真から雪面垂直観察法<sup>3)</sup>を用いて、スキーの軌跡を描いた。写真は0.25秒毎に撮られた。カメラは焦点距離50mmの35mmフィルム・カメラである。スキーヤーは全日本スキー連盟公認スキー教師である。 $\alpha$  と  $\beta_0$  は角度計<sup>2)</sup>で測定された。スキーの長さは200cmである。以下、スキー滑降後の雪面上の跡を軌道、写真解析から得られたスキーの位置を軌跡と表す。

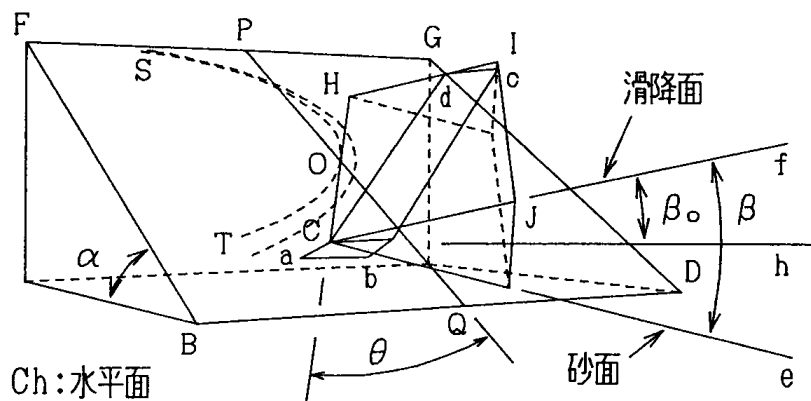


図1. 角付け角  $\beta_0$  と角付け角  $\beta$ .  
 $\alpha$  はスキー場の傾斜角である。

2.2 角付け角  $\beta_0$

図1にスキー場の模型図を表す。 $\alpha$  はスキー場の傾斜角、PQは最大傾斜線である。1本足のスキーヤーが斜面DGF B上をS、O、Tへ滑降する。点Oの滑降面の一部を拡大する(JHC)。滑降面上にスキーabcdがある。滑降方向HCは回転滑降S、O、Tの接線である。スキーの方向と滑降方向は、この図の様に一般には一致しない。直線Ceは斜面DGF B上にある。直線Cfは斜面から  $\beta$  だけ傾いた滑降面上にある。直線Chは滑降面から  $\beta_0$  だけ傾き、かつ水平面上にある。 $\beta_0 > 0^\circ$  の時は、スキーは右回り回転をする。 $\beta_0 = 0^\circ$  の時は、CfはChと一致し、スキーはHCの方向へ直線滑降をする。 $\beta_0 < 0^\circ$  の時は、スキーは左回り回転となる。これが  $\beta_0$  則であり、この  $\beta_0$  が回転を決めている角付け角(スキーと水平面との間の角)である<sup>2)</sup>。

2.4 雪面と  $\beta_0$

開脚で直滑降をした場合、脚とスキーが垂直であれば図3(a)のようになる。ここで、ADとABは脚の長さである。ECFは水平面(雪面)である。 $\theta$  は股角の半分であり、その  $\theta$  は雪面とスキー面との角度  $\beta_0$  に等しい。

開脚直滑降の測定結果では、図3(b)の様に、左右のスキーが内側に角付けされ、 $|\beta_0| < |\theta|$  であった。この図の様に、2本足の場合には、角付け角を右スキーでは  $\beta_0 > 0^\circ$ 、左スキーでは  $\beta_0 < 0^\circ$  と定義する。この図はスキーを後から見た断面図である(図5参照)。

2.3 斜滑降の傾斜角

スキー場を図2の様に描き直す。 $\alpha$  はスキー場の傾斜角である。CBは最大傾斜線である。CG方向に斜滑降するスキーヤーに対して  $\phi, \delta, \psi$  を定義する。 $\phi$  は斜滑降の斜角である。 $\delta$  は斜滑降の滑降角である。 $\psi$  はみかけ上のスキー場の傾斜角である。図2で、CB=1, DB=a, EF=CD=b, BE=c, FB=d, DG=f, KG=g, CE=h, JG=j, DK=kと置く。スキー場の傾斜角  $\alpha$  と斜滑降の斜角  $\phi$  から、 $c = \cos \alpha$ ,  $a = 1/\cos \phi$ ,  $c^2 + h^2 = 1$ ,  $a^2 = b^2 + 1$ ,  $d^2 = b^2 + c^2$ ,  $\tan \psi = h/d$ ,  $f = b \cdot \tan \phi$ ,  $g = f \cdot \cos \alpha$ ,  $j^2 = b^2 + g^2$ ,  $k = f \cdot \sin \alpha$ ,  $\tan \delta = k/j$  を用いると、みかけ上のスキー場の傾斜角  $\psi$  と斜滑降の滑降角  $\delta$  が得られる。

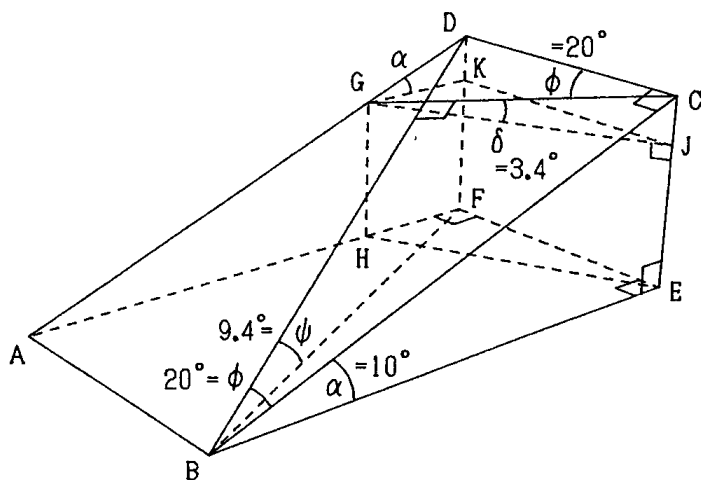


図2. 斜滑降の傾斜角。 $\alpha$  はスキー場の傾斜角、 $\phi$  はみかけ上のスキー場の傾斜角、CBは最大傾斜線である。

$$\psi = \tan^{-1}(h/d) = \tan^{-1}\{\sqrt{(1-c^2)/(b^2+c^2)}\},$$

$$\delta = \tan^{-1}(k/j) = \tan^{-1}\{f \cdot \sin \alpha / \sqrt{(b^2+g^2)}\}.$$

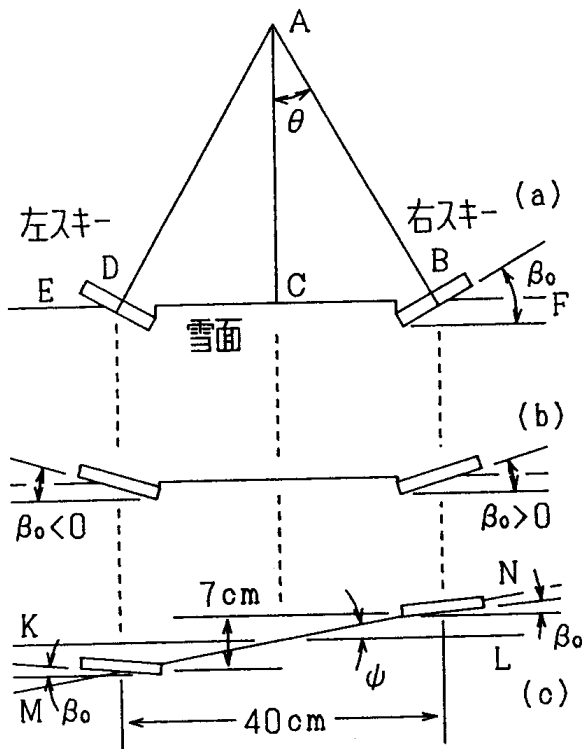


図3. 角付け角の図. (a):脚とスキーが垂直. ECFは雪面である. (b):直滑降の角付け角  $\beta_0$ . (c):開脚斜滑降の角付け角  $\beta_0$ . MNは雪面, KLは水平面,  $\phi$ はみかけ上のスキー場の傾斜角である.

2.5 斜滑降の  $\beta_0$

図4に,最大傾斜線から $70^\circ$  ( $\phi = 20^\circ$ )の方向に開脚斜滑降をした時の実験結果を描く. (a)は,スキーの軌跡である. (c)は左スキーの  $\beta_0$ の棒グラフである. (d)は右スキーの  $\beta_0$ の棒グラフである. 図4から,雪面に傾斜があるにもかかわらず,水平面に対して,左右のスキーはほぼ対称的に角付けをされている事が分る. その為,雪面に対する左スキーの角付け角  $\beta$ は右スキーの  $\beta$ より大きくなる. 図5のスキーの影がそれらの事を示している. これを図形的に描くと,図3(c)の様になる. 滑降方向に垂直な見かけ上の傾斜角  $\phi$ は約 $9^\circ$ である. 図4で,左右の  $\beta_0$ の値の和を  $\beta_{0s}$ と定義すると,軌道全体について,ほぼ  $\beta_{0s} = 0^\circ$ となる. 閉脚斜滑降(図4と同じ条件)においても,左右のスキーはほぼ対称的に角付け ( $\beta_{0s} = 0^\circ$ )をされていた.

1本足斜滑降(図4と同じ条件)の例を図6に示す. ○印は  $\beta_0 = 0^\circ$ を表している. 軌道全体について,ほぼ  $\beta_0 = 0^\circ$ である.

上の3つの斜滑降の各値を表Iに示す.  $\beta_0$ は絶対値である. 右スキーの中心と左足スキーの中心との間隔を中心幅とすると,開脚スキーの中心幅は約40cmである. 閉脚スキーの中心幅は約20cmである. 脚の長さは90cmである. 表Iから角付け角  $\beta_0$ は  $\theta$ に比例し,  $\beta_0$

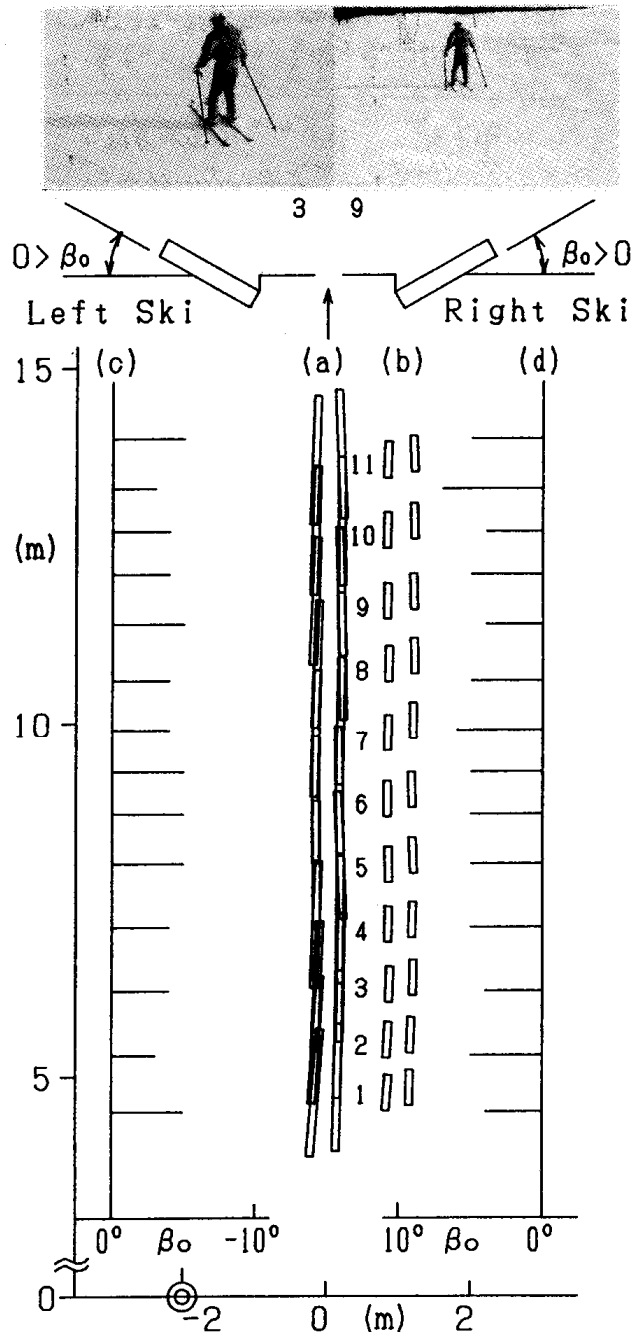


図4. 開脚斜滑降の軌跡と  $\beta_0$ . ⊗は観察しているカメラの位置である. (a)はスキーヤー・スキーの軌跡. 軌跡は重なり合って,見え難いので,スキーを50cmの長さにして,1m右側の(b)に再び描かれている. (a)の上の矢印はスキー滑降方向を示す. 縦軸の目盛は軌跡と角付け角を表している. 写真番号とスキー番号は各々対応している.

の大きさは  $\theta$ の約1/2である事が分る.

表1. スキーの中心幅と角付け角  $\beta_0$  と  $\beta_{os}$ .  $\alpha=10^\circ, \phi=20^\circ, \phi=9.4^\circ, \delta=3.4^\circ$ .

	中心幅	$\beta_0$	$\theta$	$\beta_{os}$
図4	40cm	$5^\circ \pm 1^\circ$	$12^\circ$	$0^\circ \pm 1^\circ$
...	20cm	$3^\circ \pm 1^\circ$	$6^\circ$	$0^\circ \pm 1^\circ$
図6	.....	$0^\circ \pm 1^\circ$	...	.....

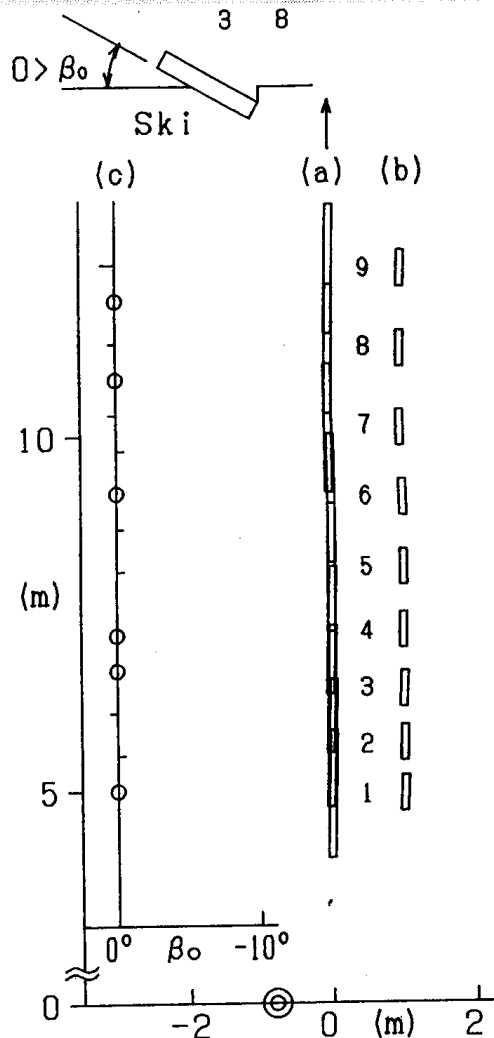
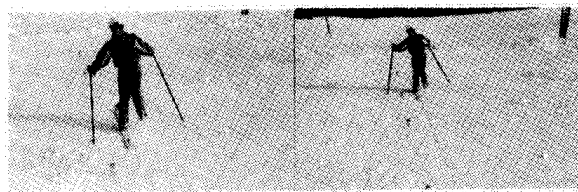


図5. この写真は、図3(c)と図4のスキー番号1に対応している。

2.6 パラレル・ターンの  $\beta_0$

図7に閉脚パラレル・ターンの軌跡と  $\beta_0$  の測定結果を示す。このスキーは、雪面に滑降の跡を残す為、横づれの少ない、いわゆる、カービング・ターンで滑降された。番号1~5は直滑降であり、スキーは内側に角付けされている。  $\beta_0$  の大きさは § 2.5 の閉脚斜滑降の場合と良く似ている。  $\beta_{os}$  についても、ほぼ  $\beta_{os}=0^\circ$  である。番号6から山回り回転に入り、右スキーの  $\beta_0$  は大きくなる。左スキーの  $\beta_0$  はマイナスからプラスへと変化する。両スキーでは、  $\beta_{os} > 0^\circ$  となる。番号10は山回りから谷回りへの変曲点である。この点で左右のスキーの角付けは対称的となり、  $\beta_{os}=0^\circ$  となる。番号11から谷回り回転が始り、左スキーの角付けは大きく、右スキーの角付けは小さく、  $\beta_{os} < 0^\circ$  となる。こうして、直滑降や変曲点では  $\beta_{os}=0^\circ$  となり、回転滑降では  $\beta_{os} \neq 0^\circ$  となる。番号12以降はスキーの横づれが大きく、軌道が残されていなかったため、角度  $\beta_0$  が測定されなかった。

図8は1本足滑降の軌跡と  $\beta_0$  の例である。番号1~5

図6. 1本足斜滑降の軌跡と  $\beta_0$ . (c)の○印は  $\beta_0=0^\circ$  を表す。

は直滑降である。番号10と11の間に変曲点がある。番号6~9は山回り回転であり、番号11~は谷回り回転である。図から、直滑降や変曲点では  $\beta_0=0^\circ$  であり、回転滑降では  $\beta_0 \neq 0^\circ$  である。

2.7 鉄板スキーの  $\beta_0$

図9は鉄板スキーの軌跡と  $\beta_0$  の測定結果の例である。このスキーでは、スキー靴の絞め金具の位置に靴の代わりに20kgの鉄板が置かれた<sup>1)</sup>。鉄板の位置をスキーの長さ方向に垂直にづらして、重心の位置を変えた。鉄板スキーは最大傾斜線(矢印)の方向にセットされ、滑降を始めた。スキーは重心がづれている方向へ回転をした。図10は鉄板スキーの軌跡から求められた

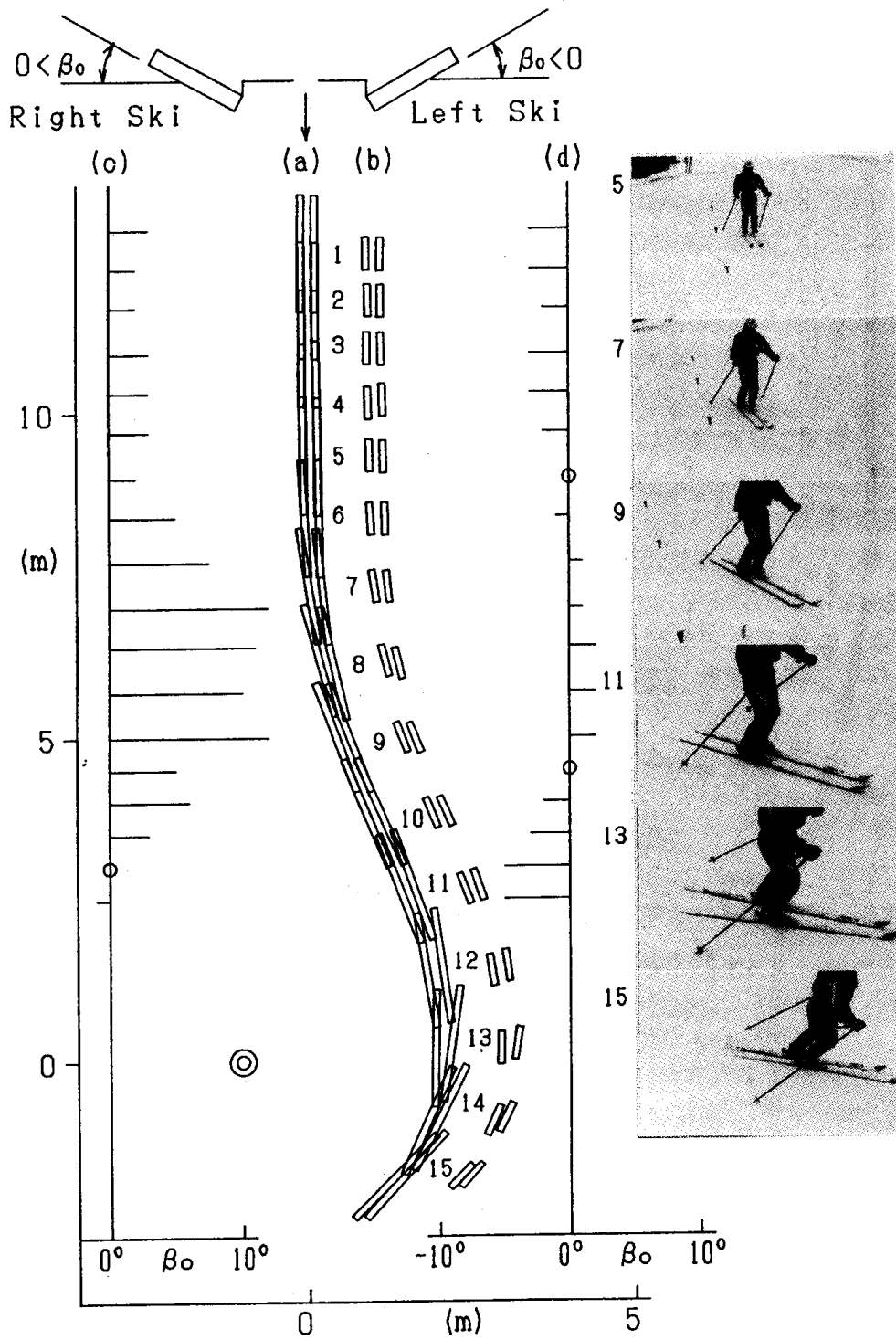


図7. 閉脚回転滑降の軌跡と  $\beta_0$ .