

スキーの回転機構の実験的研究  
Ⅱ. 角付け角の測定

佐橋稔雄(大同工業大学電気工学科)  
市野聖治(愛知教育大学体育教室)

Experimental Study of the Mechanism of Skiing Turns.  
Ⅱ. Measurement of Edging Angles

SAHASHI Toshio (Daido Institute of Technology)  
ICHINO Shoji (Aichi University of Education)

# スキークの回轉機構の実験的研究

## II. 角付け角の測定

佐橋稔雄(大同工業大学電気工学科) 市野聖治(愛知教育大学体育教室)

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

#### II. Measurement of Edging Angles

SAHASHI Toshio (Daido Institute of Technology)

ICHINO Shoji (Aichi University of Education)

#### 抄録

前の論文で我々は、スキークの角付け角が回轉滑降の要因の1つである事を述べたり、この論文では、角付け角の定量的な測定と滑降しているスキークの幾何学的なパラメーターの測定が行われた。そして、我々は次のことを見つけた。スキークが滑降している時、スキークの底面(軌道面)上で進行方向に垂直な線を定義する。その線が水平面上にあれば、その滑降は直線滑降であり、その線が水平面から正又は負の角度を持てば、その滑降は右回り又は左回りの回轉滑降である。

キーワード:スキーク,回轉,角付け角,山回り回轉,谷回り回轉

#### §1. 序文

筆者らは、雪の代りに砂を用い、模型のスキークを用いて実験室内でスキークの回轉機構の研究を行ったり、その結果、直滑降から山回り回轉を始める時に、回轉に寄与する要因は「角付け」と「スキークの前方部分の上への反り」である事が分かった。この論文では、角付け角 $\beta$ を「スキークの底面(軌道面)と砂面(斜面)の間の角」と定義して、回轉滑降をしている時の $\beta$ の大きさが調べられた。実験装置は前回と同じである。その結果、「スキークの回轉方向」と「角付け角 $\beta_0$ 」の間に密接な関係がある事が分かった。角付け角 $\beta_0$ は「スキークの底面と水平面の間の角」である。ここにスキーク力学の定量的な結果を報告する<sup>4)</sup>。

#### §2. 実験方法

##### 2.1 スキーク

模型スキークは図1のように、塩化ビニール(19×2×0.08cm<sup>3</sup>)で作られ、キャンバーなし、サイド・カーブ(カット)なしであり、その先端は上に曲っている。スキークの上にはアルミの柱と鉄板があり、その上の磁石を移動させて重心の位置が変えられた。磁石を含めた全体の重さは36gである。スキークには座標(x,y,z)が固定され、磁石を含むスキーク複合体の重心の位置は(x<sub>0</sub>,y<sub>0</sub>,z<sub>0</sub>)で

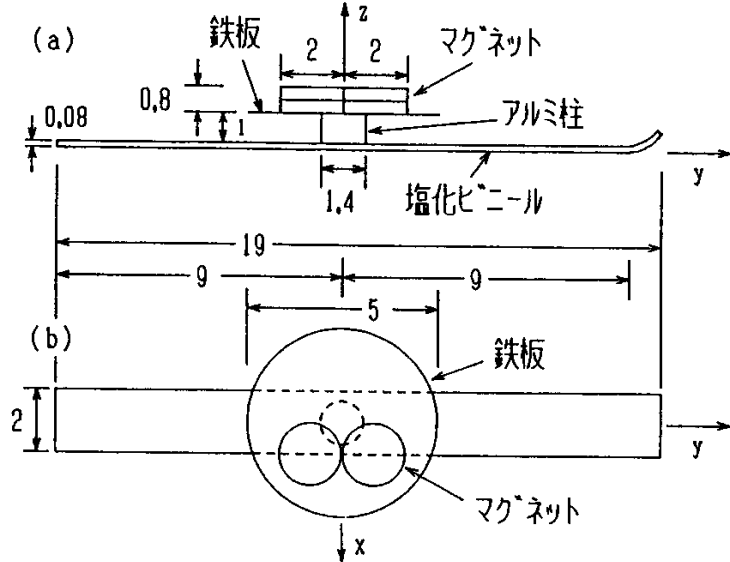


図1 模型スキーとそのx,y,z座標.  
(a)は横図,(b)は上図,単位はcmである.

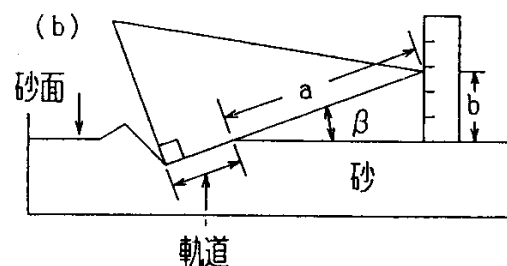
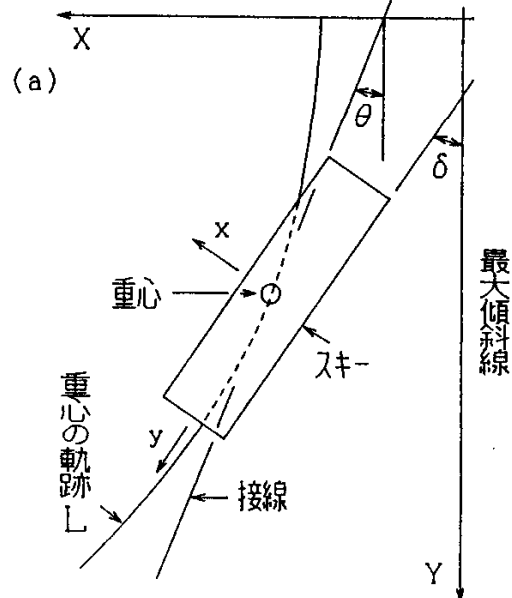


図2 (a) スキー角  $\delta$  と接線角  $\theta$ .  
(b) スキーの軌道面と砂面との間の角度  $\beta$  (角付け角).

表されている。実験では、 $x_0$ の値のみが変えられ、他は常に $y_0=0.00\text{cm}$ ,  $z_0=1.19\text{cm}$ であった。

スキーは細かい砂面上(傾斜角  $\alpha=26^\circ$ , 砂の粒径  $0.05\text{cm}$ 以下)を滑降していった。この砂は  $180 \times 80 \times 5\text{cm}^3$ の箱の中で  $1\text{cm}$ の深さに詰っている<sup>5)</sup>。砂面上の座標では、Y軸を最大傾斜線の方方向にとり、Y軸に垂直にX軸を取る。スキーの動きは  $0.25$ 秒間隔で連続的に写真に撮られた。

## 2.2 $L, \delta, \theta, \beta, \beta_0, R$ の測定

スキーの重心の軌跡Lが連続写真から調べられた。図2(a)のようにして、最大傾斜線とスキーとの間の角度  $\delta$  及び、最大傾斜線と軌跡Lの接線との間の角度  $\theta$  が測定された。図2(b)のように、スキーの軌道面内で進行方向に垂直な線と砂面との間の角度  $\beta$  (砂面に対する角付け角) が三角定規を用いて測定された。測定では、aの長さは約  $10\text{cm}$ であった。その時、bの長さは  $\pm 0.5\text{mm}$ 以内の誤差で測定された。従って、角度  $\beta$  の誤差  $\Delta\beta$  は  $\Delta\beta < 0.3^\circ$ であった。曲率半径Rは重心の軌跡Lから求められた。Rの符号は、軌跡が右回転の場合を  $0\text{cm} < R$  とし、左回転の場合を  $R < 0\text{cm}$  と定義された。

図3のCDGFは砂面(スキー場)である。CDKLは水平面であり、FCは最大傾斜線である。CJIHはスキーの底面(軌道面)に平行な面である。HCはスキーの重心の軌跡の接線に平行な線(進行方向即ち滑降方向)である。HCは一般的には、スキーの長さ方向とは異なっている。スキーの軌道面CJIH内で進行方向HCに垂直な線JCと水平面との間の角度  $\beta_0$  (水平面に対する角付け角) は  $\alpha, \beta, \theta$  を用いて、次のようにして求められる。

$$\theta \neq 0^\circ \text{の時は, } AC=1, AD=s, BD=q, CD=p=1/\tan \theta, AB=u=\tan \alpha, BC=v=1/\cos \alpha, \\ s^2=1+p^2, q^2=v^2+p^2, u^2=s^2+q^2-2sq \times \cos \beta, \beta_0=\beta-\beta_1 \text{ であり,}$$

$\theta=0^\circ$ の時は、 $\beta_1=0^\circ, \beta_0=\beta$  である。

ここで、 $\alpha$ はスキー場の傾斜角であり、 $\beta$ は砂面に対する角付け角である。角度 $\beta_0$ の誤差 $\Delta\beta_0$ は、上に述べた $\Delta\beta$ の値から $\Delta\beta_0 < 0.3^\circ$ である。以上のL,  $\delta, \theta, \beta, \beta_0, R$ をL~Rで表わす。図4はスキー滑降の例であり、図5と図6はスキーの動きを0.25秒間隔で描いた例である。

### 2.3 滑降の定義

この論文で用いられている滑降運動に関する定義は次のようである。

(A)  $\theta=$ 一定は直線滑降である。この運動はさらに3つの型に分類される。

(A1)  $\theta = \delta$ の時、(1)  $\theta = 0^\circ$ なら、直滑降であり、(2)  $\theta \neq 0^\circ$ なら、斜滑降である。

(A2)  $\theta \neq \delta$ と $\theta = 0^\circ$ の時、(1)  $\delta =$ 一定なら、斜め横滑りを伴った直線滑降(直滑降)であり、(2)  $\delta \neq$ 一定なら、重心の周りの自転を伴った直滑降である。

(A3)  $\theta \neq \delta$ と $\theta \neq 0^\circ$ の時、(1)  $\delta =$ 一定なら、斜め横滑りを伴った斜滑降であり、(2)  $\delta \neq$ 一定なら、重心の周りの自転を伴った斜滑降である。

(B)  $\theta \neq$ 一定は回転滑降である。それは次の2つに分類される。

(B1)  $\delta =$ 一定の時、斜め横滑りを伴った回転滑降である。

(B2)  $\delta \neq$ 一定の時、重心の周りの自転を伴った回転滑降である。

(C) 回転滑降では、 $d\theta/dY > 0$ が山回り回転であり、 $d\theta/dY < 0$ が谷回り回転である。

## §3. 結果

### 3.1 直滑降から始る回転滑降

図5(a)の様に、スキーが滑り始める時、スキーは最大傾斜線に平行にセットされた。重心が $x_0 < 0.50\text{cm}$ では、山回り回転の後、横滑りを伴った斜滑降又は谷回り回転で滑降をした。 $0.50\text{cm} < x_0$ では、山回り回転をした後山側へ倒れた。

$x_0 = 0.50\text{cm}$ のスキーの軌道の例が図4(a)-1であり、0.25秒間隔の動きは図5(a)である。

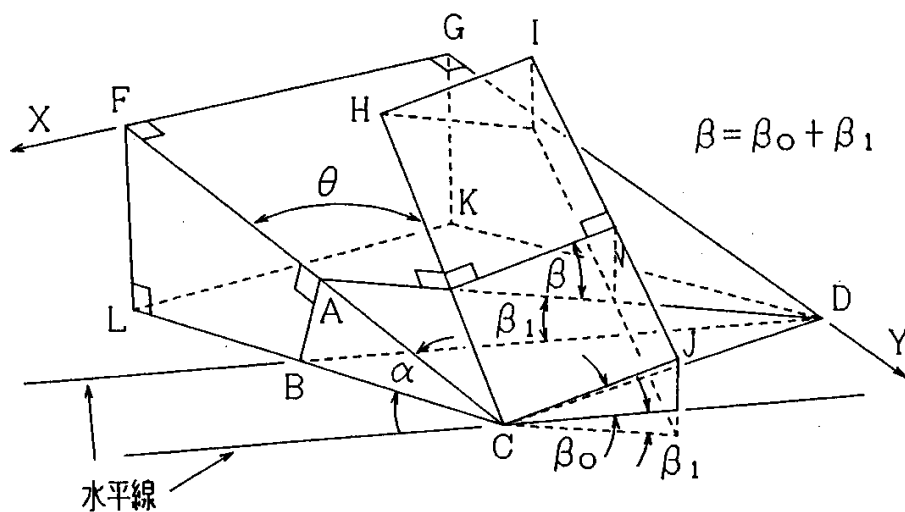


図3 砂面に対する角付け角 $\beta$ と水平面に対する角付け角 $\beta_0$ 。

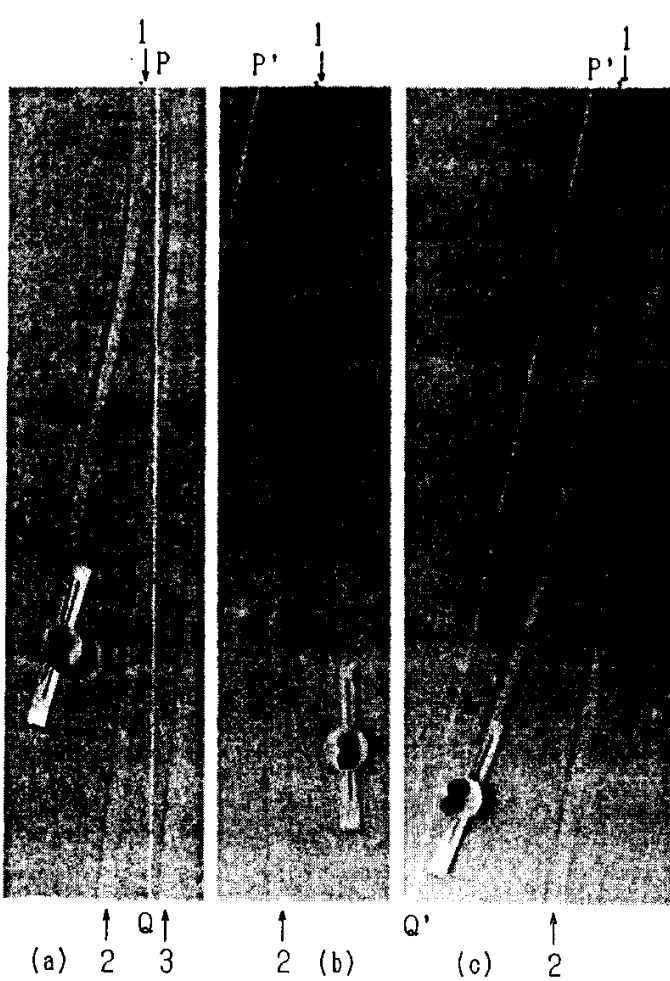


図4 スキーの回転滑降。白い線PQは砂面上4cmに最大傾斜線の方に沿って張った糸である。P'Q'は最大傾斜線と $12.5^\circ$ の方に張った糸である。

- (a)は直滑降から始る山回り回転。
  - (a)-1は $x_0=0.50\text{cm}$ の軌道で,出発後3秒。
  - (a)-2は $x_0=0.44\text{cm}$ の軌道である。
  - (a)-3は $x_0=0.38\text{cm}$ の軌道である。
- (b)は斜め横滑りから始る谷回り回転。
  - (b)-1は $x_0=-0.19\text{cm}$ の軌道で,出発後3秒。
  - (b)-2は $x_0=-0.13\text{cm}$ の軌道である。
- (c)は斜め横滑りから始る山回り回転。
  - (c)-1は $x_0=0.50\text{cm}$ の軌道で,出発後2.75秒。
  - (c)-2は $x_0=0.44\text{cm}$ の軌道である。

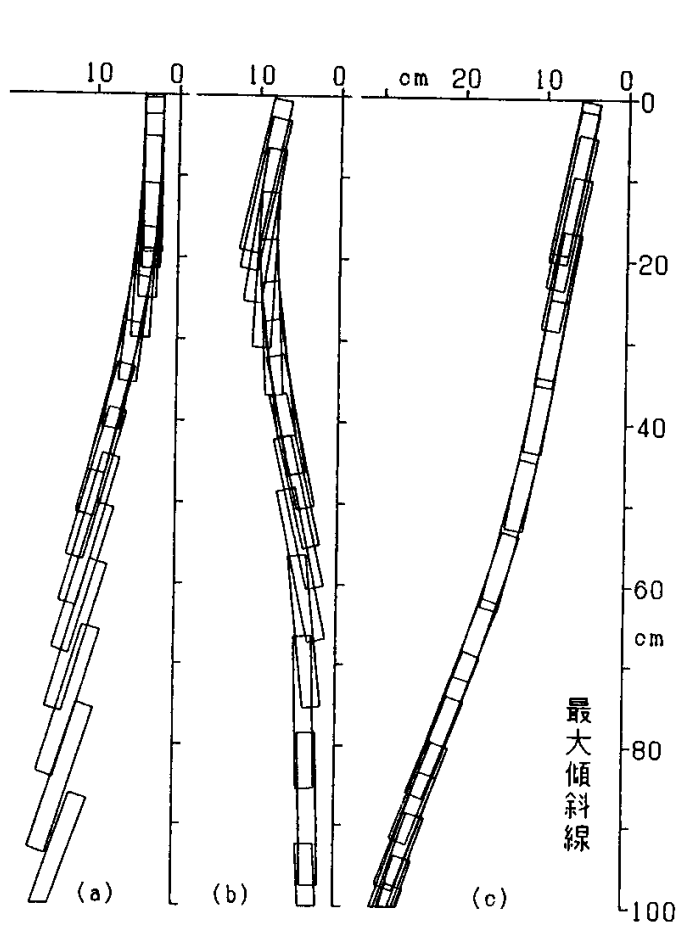


図5 図4のスキーを0.25秒間隔で描いた図。(a)は図4(a)-1, (b)は図4(b)-1, (c)は図4(c)-1に各々対応している。

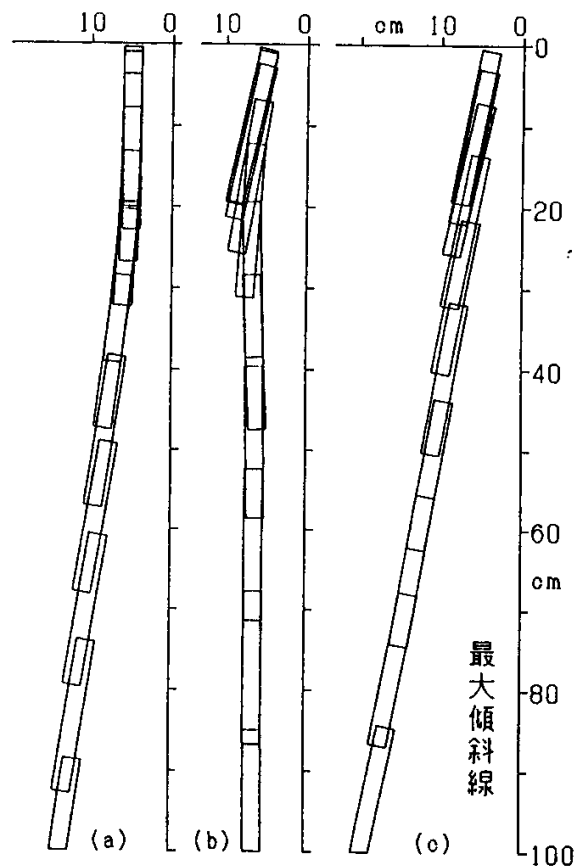


図6 (a)は図8, (b)は図10, (c)は図11のスキーを0.25秒間隔で描いた図。

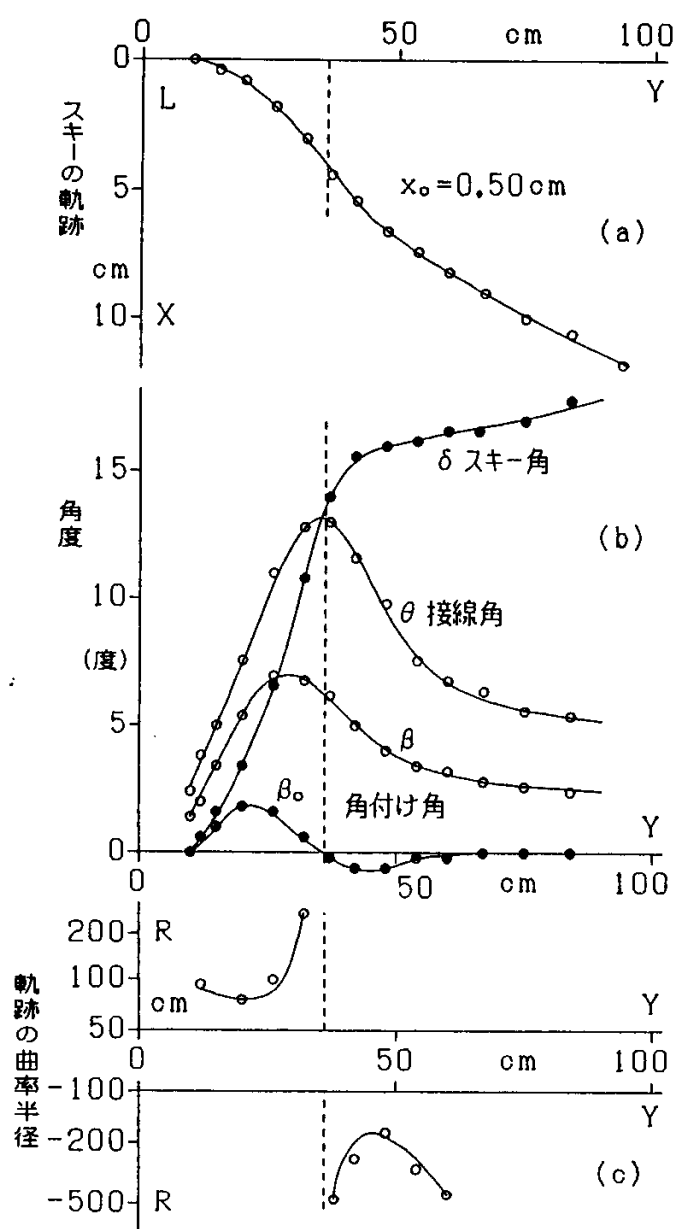


図7  $x_0=0.50\text{cm}$ の $L, \delta, \theta, \beta, \beta_0, R$   
(図4(a)-1と図5(a)に対応).

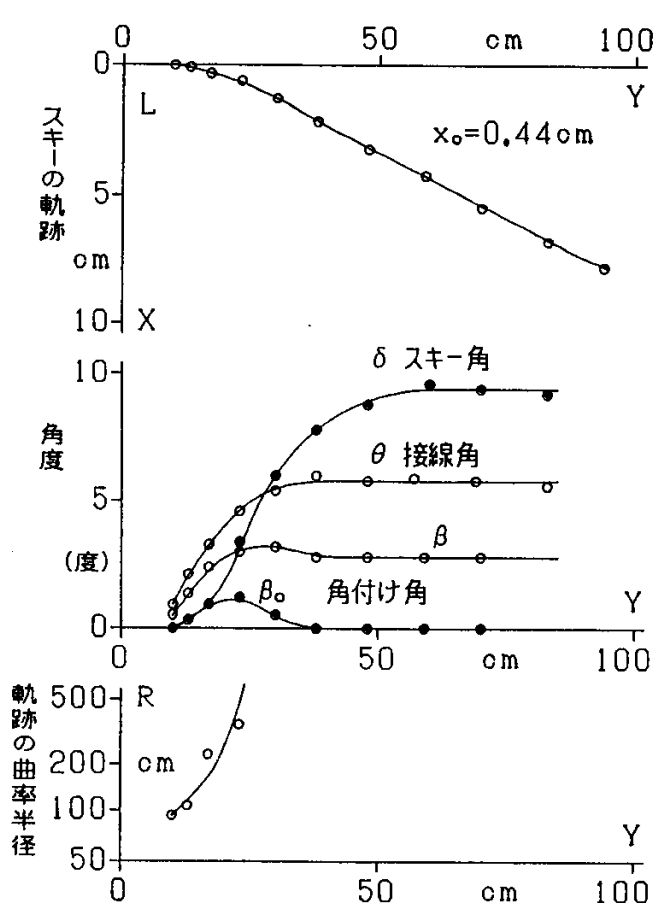


図8  $x_0=0.44\text{cm}$ の $L, \delta, \theta, \beta, \beta_0, R$   
(図4(a)-2と図6(a)に対応).

図5(a)の $L \sim R$ は図7に示される。図7の $Y$ 軸は最大傾斜線に平行である。図7(a)で、スキーの出発点は $Y=9\text{cm}$ である。 $Y=35\text{cm}$ で、(1)  $\theta$ が最大となり、軌跡の回転方向が変化する；(2) (c)のように、その前後で、半径 $R$ は $\pm R$ となり、 $R$ の符号が変わる；(3) (b)のように、 $\beta_0=0^\circ$ となる。しかし、 $\delta$ と $\beta$ には際立った特徴は見られない。 $\theta, R, \beta_0$ の値が顕著に変わる位置を $Y_0$ と名付けると、 $Y_0=35\text{cm}$ となる。 $Y_0$ は軌跡(a)の曲率半径(c)の符号が変わる変曲点(縦の点線)を示している。 $Y < 35\text{cm}$ では、 $0^\circ < \beta_0$ であり、山回り回転である。 $35\text{cm} < Y$ では、 $\beta_0 < 0^\circ$ であり、谷回り回転である。さらに、 $60\text{cm} < Y$ では、 $\beta_0 \approx 0^\circ, \theta \approx \text{一定}, \theta \neq \delta$ であり、スキーは自転と横滑りを伴った斜滑降である。

$x_0=0.44\text{cm}$ のスキーの軌道は図4(a)-2であり、その動きは図6(a)である。 $L \sim R$ は図8に示される。 $Y < 35\text{cm}$ では $0^\circ < \beta_0$ であり、山回り回転である。 $35\text{cm} < Y$ では、 $\beta_0=0^\circ, \delta = \text{一定}, \theta = \text{一定}, \theta \neq \delta$ であり、横滑りを伴った斜滑降である。

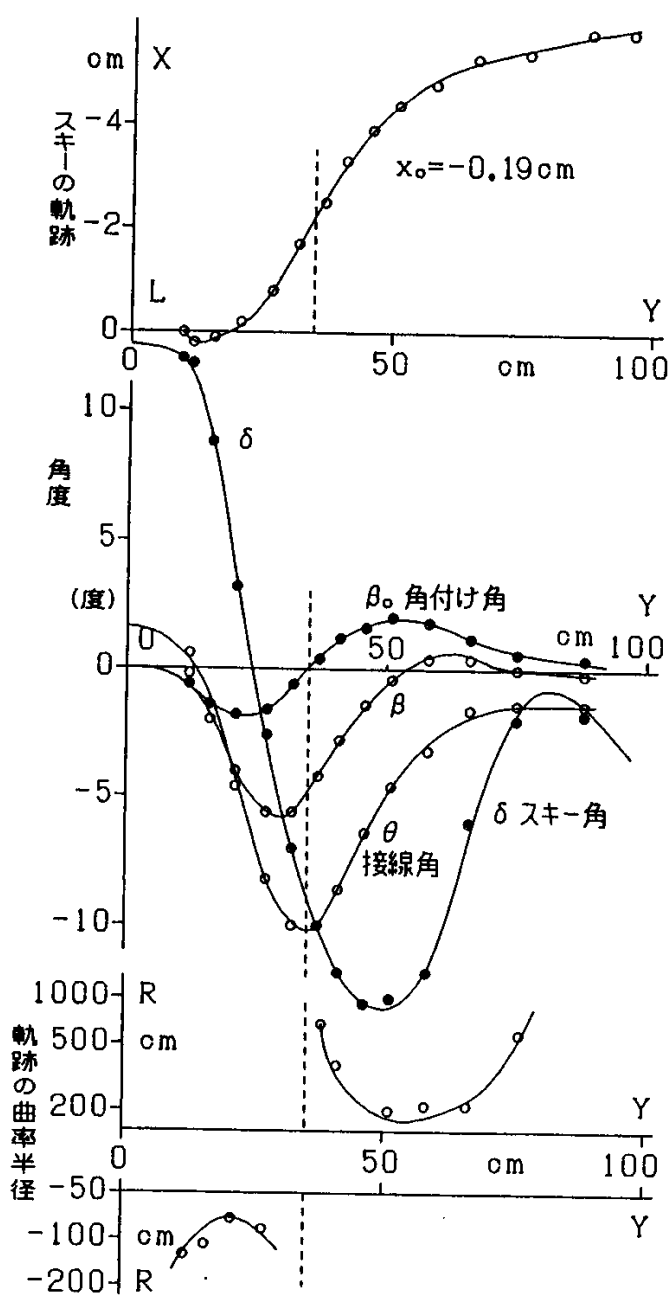


図9  $x_0 = -0.19\text{cm}$  の  $L, \delta, \theta, \beta, \beta_0, R$   
 (図4(b)-1と図5(b)に対応)。

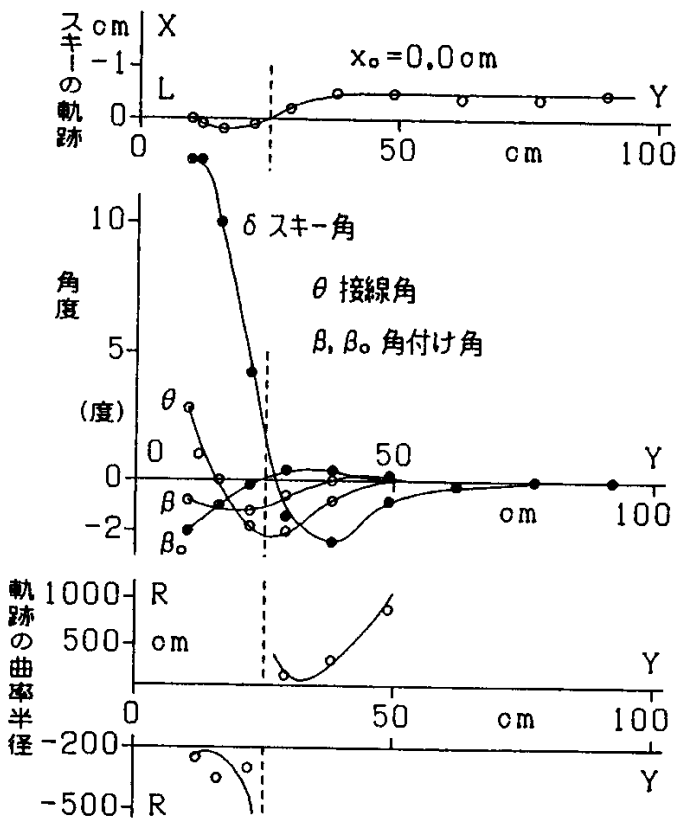


図10  $x_0 = 0.00\text{cm}$  の  $L, \delta, \theta, \beta, \beta_0, R$   
 (図6(b)に対応)。

### 3.2 斜滑降から始る回転滑降

図5(b)のように、スキーが滑り始める時、スキーと最大傾斜線との間の角度が $12.5^\circ$ にセットされた。重心が $-0.19\text{cm} < x_0 < 0.50\text{cm}$ の範囲内では、以下の例に示す様に、スキーは山回り、谷回り、横滑り、斜滑降などで滑降した。この範囲外では、滑降の後転倒した。

$x_0 = -0.19\text{cm}$ のスキーの軌道は図4(b)-1であり、その動きは図5(b)である。L~Rは図9に示される。Y < 14cmでは谷回り回転、14cm < Y < 35cmでは山回り回転、35cm < Yでは谷回り回転である。そして、Y < 35cmでは $\beta_0 < 0^\circ$ であり、35cm < Yでは $0^\circ < \beta_0$ である。従って、 $Y_0 = 35\text{cm}$ となる。

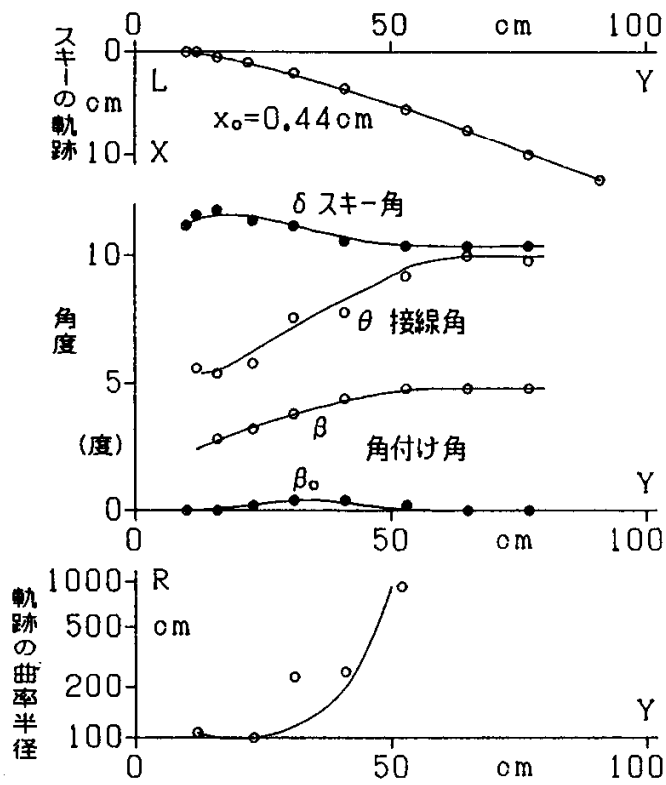


図11  $x_0=0.44\text{cm}$ のL,  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\beta$ ,  $\beta_0$ , R  
(図4(c)-2と図6(c)に対応).

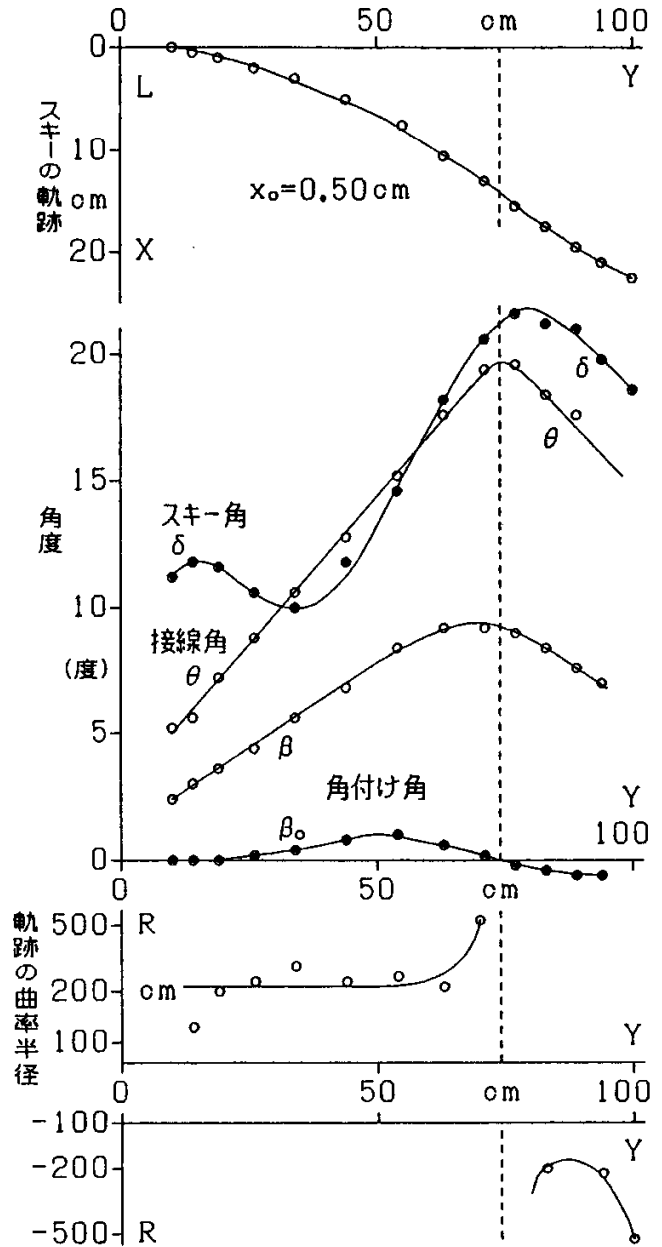


図12  $x_0=0.50\text{cm}$ のL,  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\beta$ ,  $\beta_0$ , R  
(図4(c)-1と図5(c)に対応).

$x_0=0.00\text{cm}$ のスキーの動きは図6(b)であり, L~Rは図10である.  $Y < 15\text{cm}$ では谷回り

回転,  $15\text{cm} < Y < 25\text{cm}$ では山回り回転,  $25\text{cm} < Y < 60\text{cm}$ では谷回り回転である.  $60\text{cm} < Y$ では  $\theta = \delta = 0^\circ$ であり, 直滑降である. そして,  $Y < 25\text{cm}$ では  $\beta_0 < 0^\circ$ であり,  $25\text{cm} < Y < 60\text{cm}$ では  $0^\circ < \beta_0$ であり,  $60\text{cm} < Y$ では  $\beta_0 = 0^\circ$ である. 従って,  $Y_0 = 25\text{cm}$ である.

$x_0=0.44\text{cm}$ のスキーの軌道は図4(c)-2であり, その動きは図6(c)である. L~Rは図11に示される.  $Y < 60\text{cm}$ では  $0^\circ < \beta_0$ であり, 山回り回転である.  $60\text{cm} < Y$ では  $\beta_0 = 0^\circ$ ,  $\theta = \delta = \text{一定}$ であり, 斜滑降である.

$x_0=0.50\text{cm}$ のスキーの軌道は図4(c)-1であり, その動きは図5(c)である. L~Rは図12に示される.  $Y < 45\text{cm}$ では,  $\delta \approx 10^\circ$ であり, 横滑りを伴った山回り回転である.  $45\text{cm} < Y < 75\text{cm}$ では,  $\theta \approx \delta$ であり, 切れこみのいい山回り回転(カービング・ターン)<sup>26)</sup>である.  $75\text{cm} < Y$ では谷回り回転である. そして,  $Y < 75\text{cm}$ では  $0^\circ < \beta_0$ であり,  $75\text{cm} < Y$ では  $\beta_0 < 0^\circ$ である. 従って,  $Y_0 = 75\text{cm}$ となる.





図13 雪上でのスキーヤーの片足滑降によるスキーの軌道.

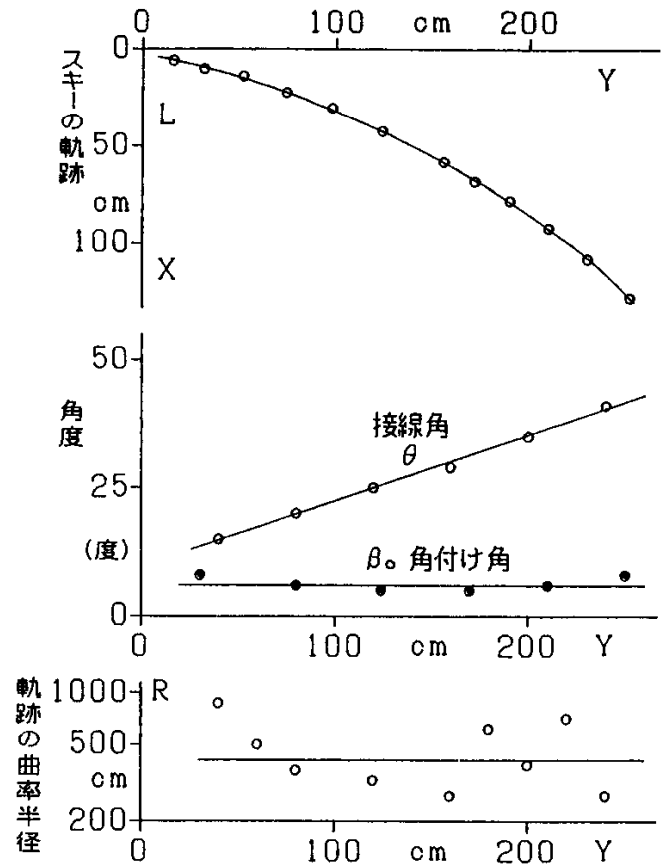


図14 図13のL,  $\theta$ ,  $\beta_0$ , R.

### 3.3 雪上でのスキーヤーによる回転滑降

図13はスキーヤーの片足滑降による、雪上でのスキーの軌道の例である。図14はそのスキーのL,  $\theta$ ,  $\beta_0$ , Rの測定値である。これは $\alpha=15^\circ$ ,  $\beta_0 \approx 5^\circ$ で山回り回転である。測定では、水平面に対する雪面の傾きを角度計で測り、最大傾斜線を求め、それを基準に軌道の位置が測定された。さらに、水平面に対する軌道面の傾き(角付け角 $\beta_0$ )が、上記の角度計で測定された。角度の誤差は $1^\circ$ 以内である。

## 4 討論

### 4.1 直線滑降

直線滑降と $\beta_0$ との間の関係を調べよう。表Iに示されている軌跡の範囲は、いずれも $\theta=$ 一定であるから、直線滑降である。この範囲内では全て $\beta_0=0^\circ$ である。(1)は $\theta \neq 0^\circ$ ,  $\delta \neq$ 一定だから、重心の周りに自転を伴った斜滑降である。(2)は $\theta \neq 0^\circ$ ,  $\theta \neq \delta$ ,  $\delta =$ 一定だから、斜め横滑りを伴った斜滑降である。(3)は $\theta = \delta = 0^\circ$ だから、直滑降である。(4)は $\theta = \delta =$ 一定 $\neq 0^\circ$ だから、斜滑降である。このように、直線滑降であれば、直滑降、斜滑降、又はそれらにスキーの自転、或いは斜め横滑りが伴っていても、常に $\beta_0=0^\circ$ である。従って、 $\beta_0=0^\circ$ は直線滑降をする為の要因である事が理解できる。

一般に、スキーヤーには、直滑降( $\delta = \theta = 0^\circ$ )と斜滑降( $\delta = \theta =$ 一定 $\neq 0^\circ$ )は異なった滑降(現象)として扱われている。しかし、角付け角 $\beta_0$ に関しては、直滑降と斜滑降は共に $\beta_0=0^\circ$ で、同じ