

# スノー・ボードの角付け角の測定

## Measurement of Edging Angle of Snowboard

佐橋 稔雄 市野 聖治

抄録 サイド・カットを持つスノー・ボードが雪面上で角付けされて、滑降している。このボードの幅の値が測定された。サイド・カットの曲率半径が、ボードの幅の1/2の値から求められた。ボードが滑降した後に、雪上には明確に1本の滑降軌道が残されていた。この滑降軌道の滑降面の傾きから、ボードが滑降していた時のボードの傾き角(水平角付け角 $\beta_0$ )が測定された。ボードのサイド・カットは、ボードの角付け角により変形する。変形したサイド・カットの曲率半径 $R_3$ が「円筒近似法」を用いて求められた。滑降軌道の写真が撮られた。この写真から「雪面垂直観察法」を用いて、滑降軌道が紙面上に描かれた。この軌道から、雪面上の滑降軌道の曲率半径 $R$ が求められた。角付け角により変形したサイド・カットの曲率半径 $R_3$ と雪面上の滑降軌道の曲率半径 $R$ との間の関係が調べられた。それによると、 $R_3$ と $R$ は必ずしも同じにはならなかった。雪上で測定された水平角付け角 $\beta_0$ の正負の符号と滑降方向の違いが対応していた。即ち、ボード滑降においても、スキー滑降と同様に「 $\beta_0=0$ は直線滑降である。 $\beta_0 \neq 0$ は回転滑降である。」が得られた。

# スノー・ボードの角付け角の測定

佐橋稔雄<sup>1)</sup> 市野聖治<sup>2)</sup>

## Measurement of Edging Angle of Snowboard

Toshio SAHASHI<sup>1)</sup> Shoji ICHINO<sup>2)</sup>

### Abstract

A snowboard having curved sides (sidecuts) maintains a certain angle between the board and the snow plane (edging angle) during descent. The width of the snowboard was measured after descent. The sidecut radius of curvature was calculated using half the value of the measured snowboard width. After the descent of the snowboard, a clear track was left on the snow plane. The inclination angle of the descending snowboard with respect to the horizontal plane (horizontal edging angle,  $\beta_0$ ) was obtained by measuring the inclination angle of the track on the snow plane.

The sidecut of the snowboard was deformed in accordance with the change of the edging angle. The radius of curvature of the sidecut deformed during descent,  $R_3$ , was calculated by the cylinder approximation. We photographed the track of the descending snowboard and drew the locus of the descent on paper by using the "method for drawing the locus of a sliding ski as observed from the direction perpendicular to the snow surface". The radius of curvature of the track left by the snowboard descending the snow plane,  $R$ , was obtained from this locus. When the relationship between  $R_3$  and  $R$  was examined,  $R$  did not always agree with  $R_3$ . However, the sign of  $\beta_0$  measured on the snow plane corresponded to differences in the descent direction of the snowboard. That is, we reached a finding similar to that for sliding skis; " $\beta_0 = 0$  indicates a straight descent and  $\beta_0 \neq 0$  indicates a turning descent."

**Keywords :** ski, snowboard, carve turn, edging angle, sidecut

### 1. 序文

スキー場において、カービング・スキーによるカービング・ターンは、スキーのサイド・カット（カーブ）に沿ってターンをしている。角付けされたスキーは、サイド・カットの曲率半径が小さくなり、よく回る」といわれている<sup>1,2)</sup>。そこで著者は、角付けにより変形したサイド・カットの曲率半径 $R_3$ と雪の上に残された軌道の曲率半径 $R$ との関係を調べた。それに

よると、「 $R_3$ と $R$ は、合う場合もあれば、合わない場合もある」という結論が得られた<sup>3)</sup>。即ち、雪の上に明確に、1本の滑降軌道が残されていても、変形したサイド・カットの曲率半径 $R_3$ とその軌道の曲率半径 $R$ とは、必ずしも同じではなかった。

この論文では、サイド・カットのエッジが付いたスノー・ボードについても、角付けにより変形したサイド・カットの曲率半径 $R_3$ と滑降軌道の曲率半径 $R$ との関係が調べられた。それによると、スキーの場合

1. 愛知スポーツ物理学研究所  
〒483-8164 愛知県江南市木賀東町新塚94
2. 鈴鹿国際大学  
〒510-0298 三重県鈴鹿市郡山町663-222

1. *Laboratory of Aichi Sports Physics*  
94, Shinzuka, Kiga-higashi, Konan, Aichi  
(483-8164)
2. *Suzuka international University*  
663-222, Ko'oriyama, Suzuka, Mie  
(510-0298)

と同様に、 $R_3$ と $R$ は必ずしも同じにはならなかった。しかし、スキーで得られた水平角付け角 $\beta_0$ の結果は、ボードでも同じであった。即ち、「 $\beta_0=0$ は直線滑降である」と「 $\beta_0 \neq 0$ は回転滑降である」<sup>4,5)</sup>というスキーの結果が、ボードでも得られた。

## 2. 実験

### 2.1. スノー・ボーダーと雪斜面（スキー場）の傾き

スキーヤーが滑っているスキー場で、スノー・ボーダーも滑っている。そこで、スキー場を雪斜面と言い換えよう。図1 (a) は雪斜面の模型図である。雪斜面CDGPと水平面CDWQとの間の角が傾斜角 $\alpha$ であり、 $\alpha$ は $30^\circ$ である。スノー・ボーダーは雪斜面の曲線SOT上を滑降している。滑降模型図は理解しやすいように、雪斜面の傾斜角が実際のものより大きく描かれている。以下に示す $\beta_0$ 、 $\theta$ 、 $\beta_1$ も理解しやすいように、実験値とは異なる大きな数値が示されている。

点Oを通るボードの滑降軌道面の一部を拡大したものが、面HIJKである。点Oに於ける滑降方向HKと最大傾斜線FLとの間の角 $\theta$ は $30^\circ$ である。角 $\theta$ は曲線

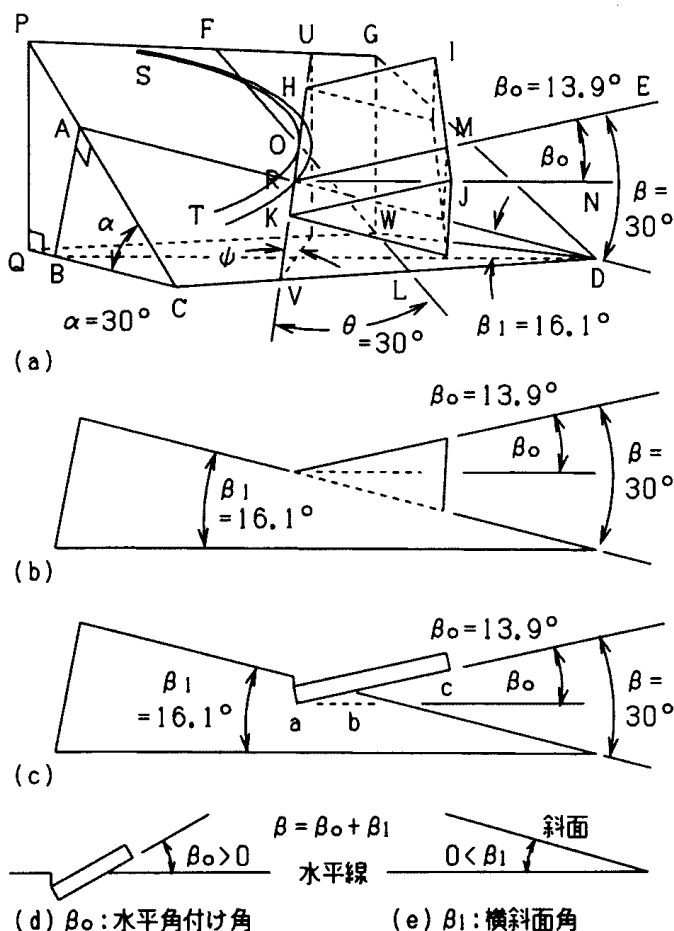


図1. 雪斜面（スキー場）とスノー・ボードの滑降面

軌道の点Oの接線角でもある。滑降面HIJKと雪斜面との間の角 $\beta$ を斜面角付け角といい、その大きさは $30^\circ$ である。水平角付け角 $\beta_0$ は、ボードの滑降面上で滑降方向HKに垂直な線MRと水平線NRとの間の角である。図1では $\beta_0=13.9^\circ$ である。上記のNRは次のように説明される。滑降方向の線UVに垂直に切った面がABDMRである。NRはこの垂直面上にあり、かつ点Rを通る水平面上にある。ボードが点Oを通り、更に山回り回転を続ける理由は、ボードの滑降面がHK方向とMR方向に下降する傾斜を持っているからであろう。

滑降方向に垂直に、雪斜面と滑降面が切り取られた断面ABDMRAを図1 (b) に示す。実際の滑降面は雪斜面の上ではなく、雪斜面を下に削った面上にあるので、断面は図1 (c) のように描くのが適当であろう。ボードacが滑降面abと接触している様子が理解できる。 $\beta_1=16.1^\circ$ は滑降しているスノー・ボーダーから見た横方向の雪斜面の傾き角であり、横斜面角としよう。図1 (a) を用いて、雪斜面の傾斜角 $\alpha$ と、滑降の軌跡から得られた滑降軌道の接線角 $\theta$ から、次式のように横斜面角 $\beta_1$ を求める事が出来る<sup>4,5)</sup>。測定値 $\beta_0$ を用いると、斜面角付け角 $\beta$ も得られる。

$$AC=1, AD=s, BD=q, \angle ADC=\theta,$$

$$CD=p=1/\tan \theta, \angle PCQ=\alpha, BC=v=1/\cos \alpha,$$

$$s^2=1+p^2, q^2=v^2+p^2, AB=u=\tan \alpha,$$

$$u^2=s^2+q^2-2sq \cdot \cos \beta_1, \beta=\beta_0+\beta_1.$$

### 2.2. ミカケの傾斜角 $\psi$ の定義

図2のCDGPは雪斜面である。図2のCDWQは水平面である。JLはボードの滑降（接線）方向であり、図1 (a) のUVに相当する。図2の最大傾斜線FLとJLの間の角を $\theta$ とする。雪斜面の傾斜角は $\alpha$ であるが、JL方向に滑降しているボーダーには、雪斜面の傾斜角は $\psi$ のように感じるであろう<sup>6)</sup>。この $\psi$ をミカケの傾斜角と呼ぶ。図2を用いると、次の式から、 $\alpha$ と $\theta$ を用

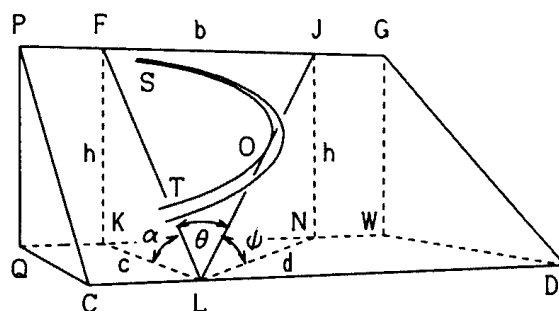


図2. 雪斜面のミカケの傾斜角 $\psi$

いて $\psi$ が得られる.

$$FL=1, JN=FK=h=\sin \alpha, KN=FJ=b=\tan \theta,$$

$$KL=c=\cos \alpha, NL^2=d^2=b^2+c^2, \tan \psi=h/d.$$

滑降しているボーダーの縦方向(滑降している方向)の傾斜角がミカケの傾斜角 $\psi$ である。 $\psi$ は縦斜面角でもある。「2.1.」のように、 $\beta_1$ は横斜面角である。

### 2.3. 角付けにより変形したサイド・カットの曲率半径(円筒近似)

図3 (a) は半径 $R_1$ のサイド・カットを持ったボードの模型図 $a'b'c'e'fg'$ である<sup>3)</sup>。図3 (b) は半径 $R_2$ の円筒を斜めに切った立体図である。雪面を水平面とする。切り口 $abck$ は水平面上にある。図3 (b) のように、特別な $\beta$ と $R_2$ を取れば、ボード $a'b'c'e'fg'$ を円筒の表面

に巻付けたもの(図3 (f))と、円筒の表面 $abcefg$ は、ほぼ等しくなる。従って、雪面上を角付け角 $\beta$ で滑降しているボードは $abcefg$ に相当する形に変形する、と仮定する事が出来る。図3 (b) を定量的に調べる為に、図3 (e) に円筒の横図、図3 (c) に円筒の上図を描く。図3 (d) は切り口 $abck$ に表われる楕円の平面図である。こうして、図3 (a) のサイド・カット $a'b'c'$ は、図3 (d) の楕円の実線部分 $abc$ で表される。

図3 (a) で、ボード長を $BL$ とする。サイド・カットの曲率半径 $R_1$ を与えれば、円弧 $a'b'c'$ の半角 $\xi_1$ は、

$$R_1 \cdot \sin \xi_1 = BL/2, \dots\dots (1)$$

から得られる。ボードのショベルの部分の幅 $C_2'$ は

$$C_2' = R_1 (1 - \cos \xi_1),$$

となる。図3 (e) と図3 (c) で、円筒の半径 $R_2$ と $\xi_2$

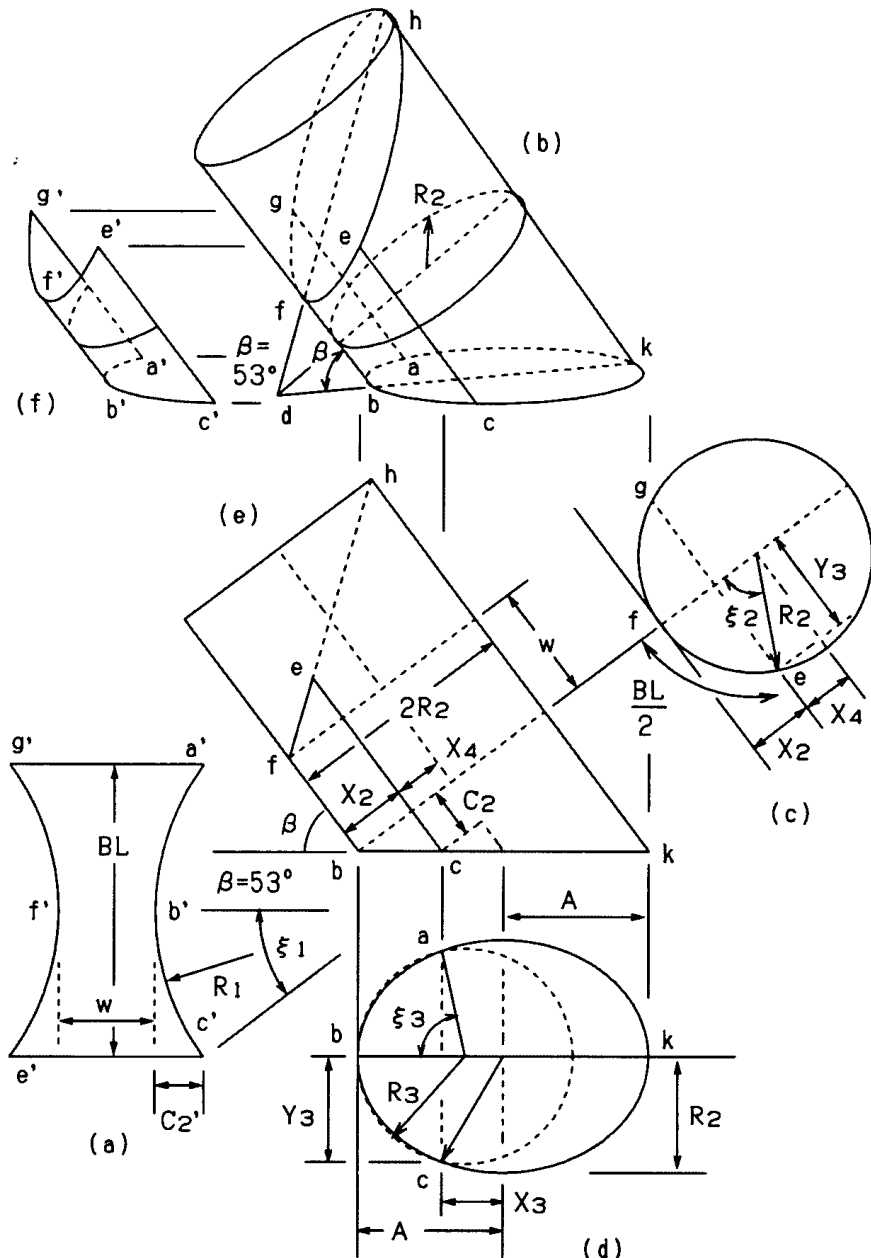


図3. 角付けされたボードの模型図

について、

$$R_2 \xi_2 = BL/2, \dots\dots (2)$$

となる。2ξ<sub>2</sub>は図3(c)の円弧efgに相当する中心角であり、その角は円筒の表面に張り付いたボードBLの長さにも相当している。C<sub>2</sub>は円筒上のシヨベルの部分の幅である。ここで、X<sub>2</sub>=R<sub>2</sub>(1-cos ξ<sub>2</sub>)、X<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>=tan βを用いると、C<sub>2</sub>は次式となる。

$$C_2 = R_2 (1 - \cos \xi_2) / \tan \beta.$$

ボードのシヨベルの部分の幅C<sub>2</sub>'と円筒のシヨベルの部分の幅C<sub>2</sub>が等しくなるようにβを取ると、

$$C_2' = R_1 (1 - \cos \xi_1) = R_2 (1 - \cos \xi_2) / \tan \beta, \dots\dots (3)$$

となる。式(1)と式(2)と式(3)から、R<sub>1</sub>とBLとβを与えれば、R<sub>2</sub>とξ<sub>2</sub>が得られる。X<sub>4</sub>=R<sub>2</sub>・cos ξ<sub>2</sub>、X<sub>4</sub>/X<sub>3</sub>=R<sub>2</sub>/A=sin β、Y<sub>3</sub>/R<sub>2</sub>=sin ξ<sub>2</sub>、から

$$A - X_3 = (R_2 - X_4) / \sin \beta, \dots\dots (4)$$

$$Y_3 = R_2 \cdot \sin \xi_2, \dots\dots (5)$$

が得られる。

図3(d)で、楕円上の3点(A-X<sub>3</sub>, Y<sub>3</sub>)、(0, 0)、(A-X<sub>3</sub>, -Y<sub>3</sub>)を通る曲線が、同じ3点を通る半径R<sub>3</sub>の円にほぼ等しいと仮定する。そうすれば、R<sub>1</sub>とBLとβから、円の半径R<sub>3</sub>が得られる。ξ<sub>3</sub>は円弧abcに相当する中心角の半分であり、R<sub>1</sub>ξ<sub>1</sub>=R<sub>3</sub>ξ<sub>3</sub>から得られる。

図3は、BL=1.6m、β=53°、R<sub>1</sub>=1.28m、R<sub>2</sub>=0.93m、R<sub>3</sub>=0.77m、ξ<sub>1</sub>=36°、ξ<sub>2</sub>=49°、ξ<sub>3</sub>=60°を用いて描かれている。

### 2.4. ボードの滑降軌道の作図

雪斜面の傾斜角αは10°であった。ボーダーが雪面上を滑降した軌道跡を写真に撮る様子を図4(a)に示す。aはスノー・ボードである。cは標識である。雪面を水平面と仮定し、点Pにカメラを置く。雪面A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>A<sub>3</sub>A<sub>4</sub>をカメラを通して見る。その視野の中心を点Oとする。線POに垂直な面をA<sub>3</sub>A<sub>4</sub>A<sub>5</sub>A<sub>6</sub>とする。垂直面A<sub>3</sub>A<sub>4</sub>A<sub>5</sub>A<sub>6</sub>に比例した像がカメラに記録される。Pから雪面に下ろした垂線の位置を点Qとし、高さhを測定する。図4(a)の中心を通る面PQA<sub>7</sub>を図4(b)に描く。L<sub>F</sub>をカメラの焦点距離とし、その面をカメラから得られるプリント面とする。

$$\angle POQ = A_0, \angle PcQ = A_1, \angle PA_7Q = A_2,$$

$$A_0 + B_1 = A_2 + B_2 = A_1,$$

$$\tan(A_1) = h/k_1, \tan(A_2) = h/k_2,$$

$$k_1 - k_2 = h \{ 1/\tan(A_1) \} - \{ 1/\tan(A_2) \} \dots\dots (6)$$

スキー・ストックを線QA<sub>7</sub>上に置く。c~A<sub>7</sub>間をス

キー・ストックの長さSLとする。ストックの端の位置をプリント上で測ると、角度B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>が得られる。次の式、

A<sub>1</sub>=A<sub>0</sub>+B<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>=A<sub>0</sub>+B<sub>1</sub>-B<sub>2</sub>、k<sub>1</sub>-k<sub>2</sub>=SLが成立する。これにより、式(6)の未知数はA<sub>0</sub>のみとなる。A<sub>0</sub>が得られれば、雪面と垂直面A<sub>3</sub>A<sub>4</sub>A<sub>5</sub>A<sub>6</sub>は1対1に対応する。ストックの線が線QA<sub>7</sub>上にはない場合は少し複雑になる。その時は雪面垂直観察法<sup>7, 8)</sup>を用いてA<sub>0</sub>が得られる。A<sub>0</sub>を中心角とする。プリント面と垂直面の倍率は一定であるので、プリント面の像から雪面の像を作図する事が出来る。

### 3. 結果

#### 3.1. ボードのサイド・カット(カーブ)の曲率半径R<sub>1</sub>

図5は、実験に協力して頂いた被験者ボーダーの滑降跡の写真である。ボーダーはSIA公認のスノー・ボード指導者である。滑降日は無風であり、雪温は-5度であった。図6は被験者が用いたボードの幅の値○と、ボードのサイド・カットの曲率半径の値◎である。

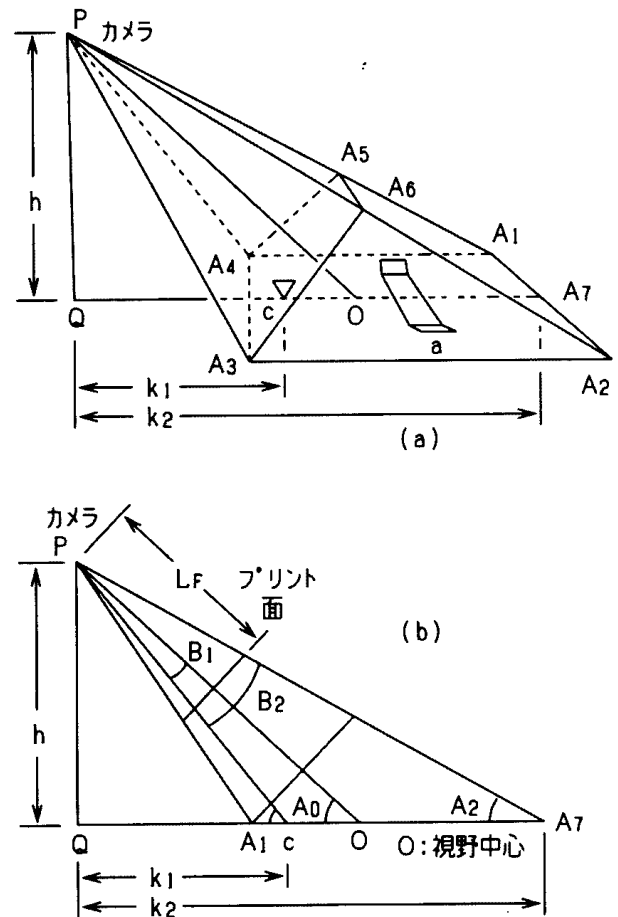


図4. 雪面をカメラで撮影する図



図5. スノー・ボーダーとボードの滑降軌道

◎は、ボードの1/2幅の曲線から得られる。このように、10cm間隔で測定して見ると、曲率半径は一定の大きさでない事が分る。そこで曲率半径の平均値が  $R_1=9.3\text{m}$  であると仮定して見る。ボードの長さ  $BL$  を図6から、 $BL=1.3\text{m}$  とする。これらの条件の元で、

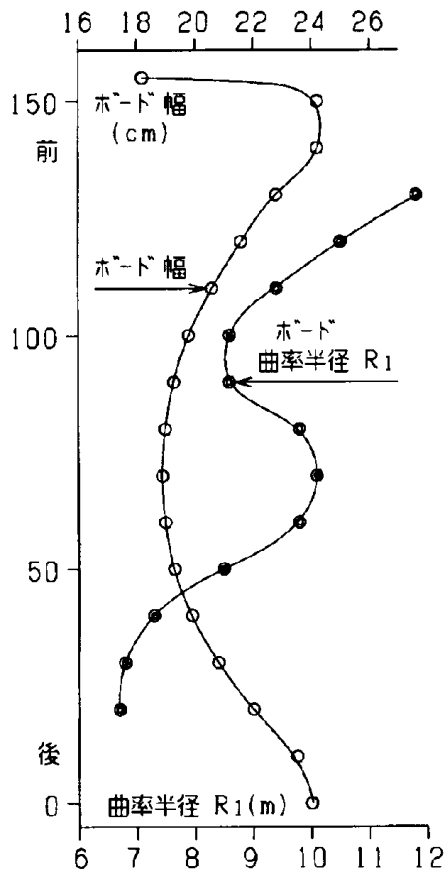


図6. ボードの幅と曲率半径  $R_1$

図3の斜面角付け角  $\beta$  を変えた時に、変形した曲率半径  $R_3$  と円筒の半径  $R_2$  がどのような値になるかを調べて見た。その結果を図7に示す。図7は、「2.3.」の円筒近似が、 $14^\circ < \beta < 77^\circ$  の範囲内で成立している事を示している。 $0^\circ < \beta < 13^\circ$  の範囲では、図3 (a) のボードの端、「a, c」が雪面から浮き上がり、円筒の一部にならなかった。従って、この範囲では円筒近似は成立していない。

### 3.2. スノー・ボード滑降の形態

ボードは雪斜面を上から下へ滑降する。図8 (e) に、FL上の位置を示す。図8 (b) はボードのエッジが作る軌道の跡を示している。図8 (b), (c), (d), (e) の縦軸の尺度は、皆同じである。図8 (b) の縦軸と横軸の尺度は同じである。FL上で測った、 $0\text{m} \sim 8.2\text{m}$  の間はボードの右エッジの跡である。 $8.2\text{m} \sim 14\text{m}$  の間は左エッジの跡である。下向きの矢印は最大傾斜線FLの方向である。図8 (a) は、図1 (c) のように横斜面角  $\beta_1$  とボードの水平角付け角  $\beta_0$  を表す図である。図の横矢印は、 $\beta_1$  と  $\beta_0$  の値がFL=3mの位置にある事を示している。横矢印のない場合も同様である。図8 (c) はボードの軌道の曲率半径  $R_{\text{◎}}$  である。図8 (d) の  $\theta$  は軌道の接線角であり、 $\beta_1$  は横斜面角、 $\beta_0$  は水平角付け角である。図8 (e) はミカケの傾斜角  $\psi$  である。これは縦斜面角でもある。

水平角付け角  $\beta_0$  が図3 (b) の  $\beta$  に等しいと見なすと、図8 (c) の円筒近似の値、曲率半径  $R_3$  ◎ が得られる。FL上で8.2mの位置で、軌道の回転方向が変わり、水平角付け角は  $\beta_0=0$  となっている。その前後、7m

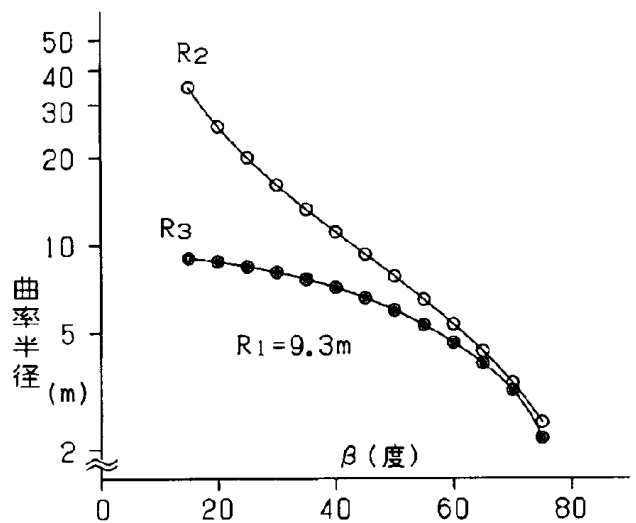


図7. 角付けされたエッジの曲率半径  $R_3$  と近似に用いた円筒の半径  $R_2$

～9.5m間では円筒近似の値 $R_3$ は得られなかった。

図8 (b) と同じような滑降を何回か被験者に求め、解析をした。その内の2つの解析結果が図8と図9である。それらは、よく似ている。

#### 4. 討論

##### 4.1. 角付けによるエッジのサイド・カット

ボードのエッジの曲率半径 $R_1$ は、ボードの全長を通して一定の値ではなかった。これを平均的な値に置換えて、円筒近似の曲率半径 $R_3$ を求めた。そして、 $R_3$ と滑降軌道の曲率半径 $R$ とを比べて見た。図8と図9から、円筒近似の値 $R_3$ と滑降軌道の曲率半径 $R$ は、一部を除いて、似た値にはならなかった。一部は図9の $FL=3m$ における値である。更に、軌道曲線の変曲点の前後では、円筒近似は成立していなかった。

これは「ボードの滑降軌道は、角付けにより変形したサイド・カットに沿って出来上がったものではない」事を意味している。カービング・スキーの場合でも同

様に「滑降軌道は、角付けにより変形したサイド・カットに沿っていない」であった。

実験結果に対して、カービング・スキーによるカービング・ターンの場合には、「カービング・ターンの軌道は、小さなズレが重なり合って出来ていると考えられる」と結論された<sup>3)</sup>。

ボードの場合も、雪面上に1本の軌道跡が明確に示されていても、「ボードの軌道は、小さなズレが重なり合って出来ている」と思われる。

##### 4.2. 水平角付け角 $\beta_0$

図8と図9によれば、ボードの回転滑降方向は $\beta_0=0$ を境に変っている。これは、ボーダーとボードの重さで変形した雪面の傾きを測定して得られた結果である。即ち、滑降面が重力方向に対して垂直でない場合は、傾いている方向に、回転方向が依存している事を意味している。スキー滑降で我々が「 $\beta_0=0$ は直線滑降である」と「 $\beta_0 \neq 0$ は回転滑降である」<sup>4,5)</sup>が、ボード滑降においても認められた事になる。

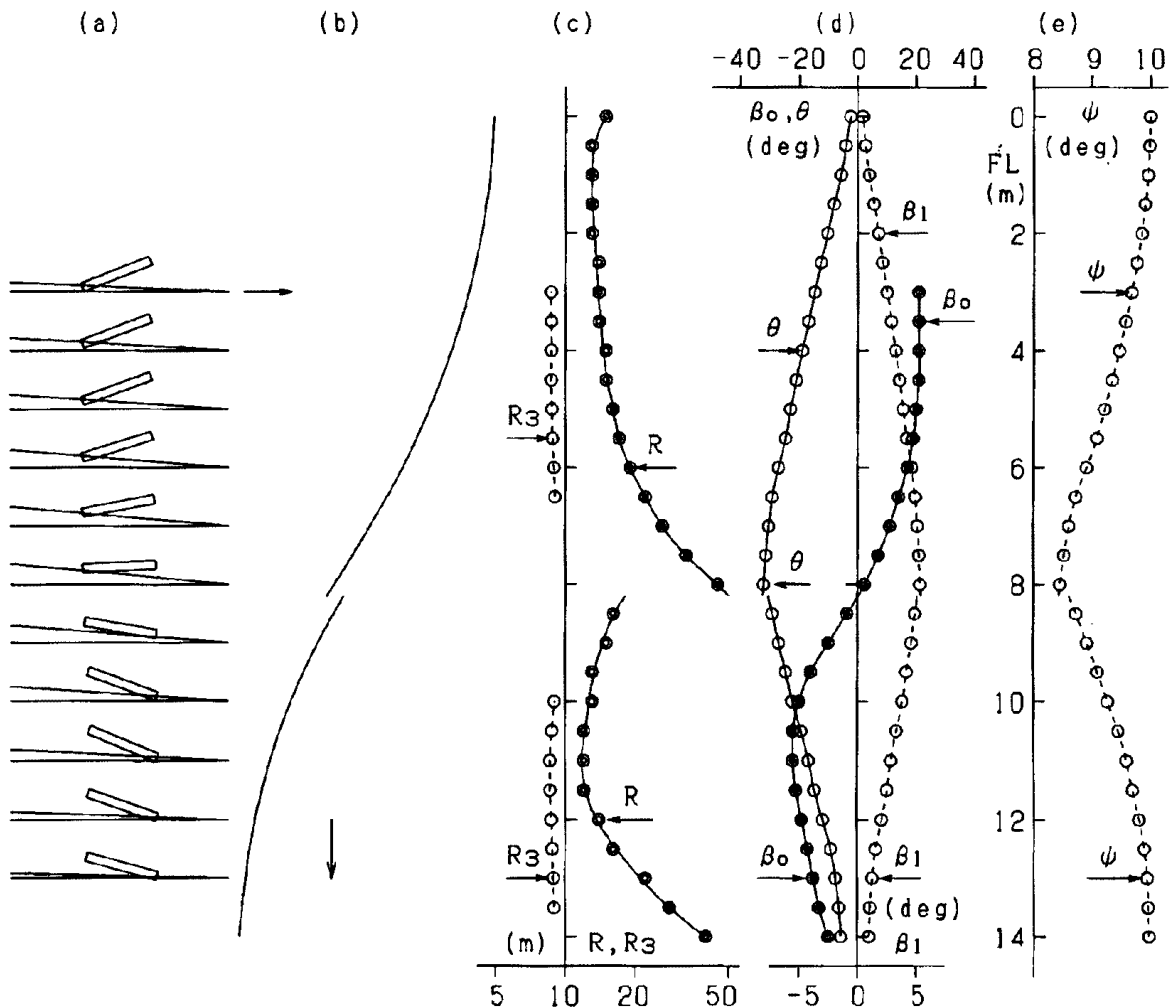


図8. ボードの滑降軌道の解析-1

5. 結論

一般に、サイド・カットを持つ、スキーやスノー・ボードでは、滑降はサイド・カット（カーブ）に沿って曲るといわれている<sup>1, 2)</sup>。そのサイド・カットも角付けによる効果で円筒近似が働き、更によく曲るといわれている。しかし、雪上のカービング・ターンの測定値は、円筒近似による値に、必ずしも合わない。更に、回転方向が変る前後では円筒近似は適応できない事も、スノー・ボードの滑降実験により分ってきた。従って、カービング・ターンの滑降軌道を円筒近似で説明する考え方には無理があるようだ。

謝辞

著者は雪上実験に対して、長野県志賀高原スキー場の杉山進スキー・アンド・スノー・スポーツ・スクールとスクールのボード指導者に感謝する。

参考文献

- 1) H. EVANS, B. JACKMAN, and M. OTTAWAY, (1974) : We Learned to Ski, St. Martin's Press, New York, 144-167.
- 2) 日本スキー教程 (1994) : 全日本スキー連盟編, スキー・ジャーナル, 東京.
- 3) Toshio SAHASHI and Shoji ICHINO (2001) : Carving-turn and edging angle of skis, Sports Engineering 4, 135-145
- 4) Toshio SAHASHI and Shoji ICHINO (1990) : Experimental Study of the Mechanism of Skiing Turns. 2. Measurement of Edging Angles, Japanese Journal of Applied Physics, 29, 1203-1208
- 5) 佐橋 稔雄, 市野 聖治 (2001) : スキーの回転機構の実験的研究 2. 角付け角の測定, 日本スキー学会誌11 (1), 203-212
- 6) Toshio SAHASHI and Shoji ICHINO (1996) :

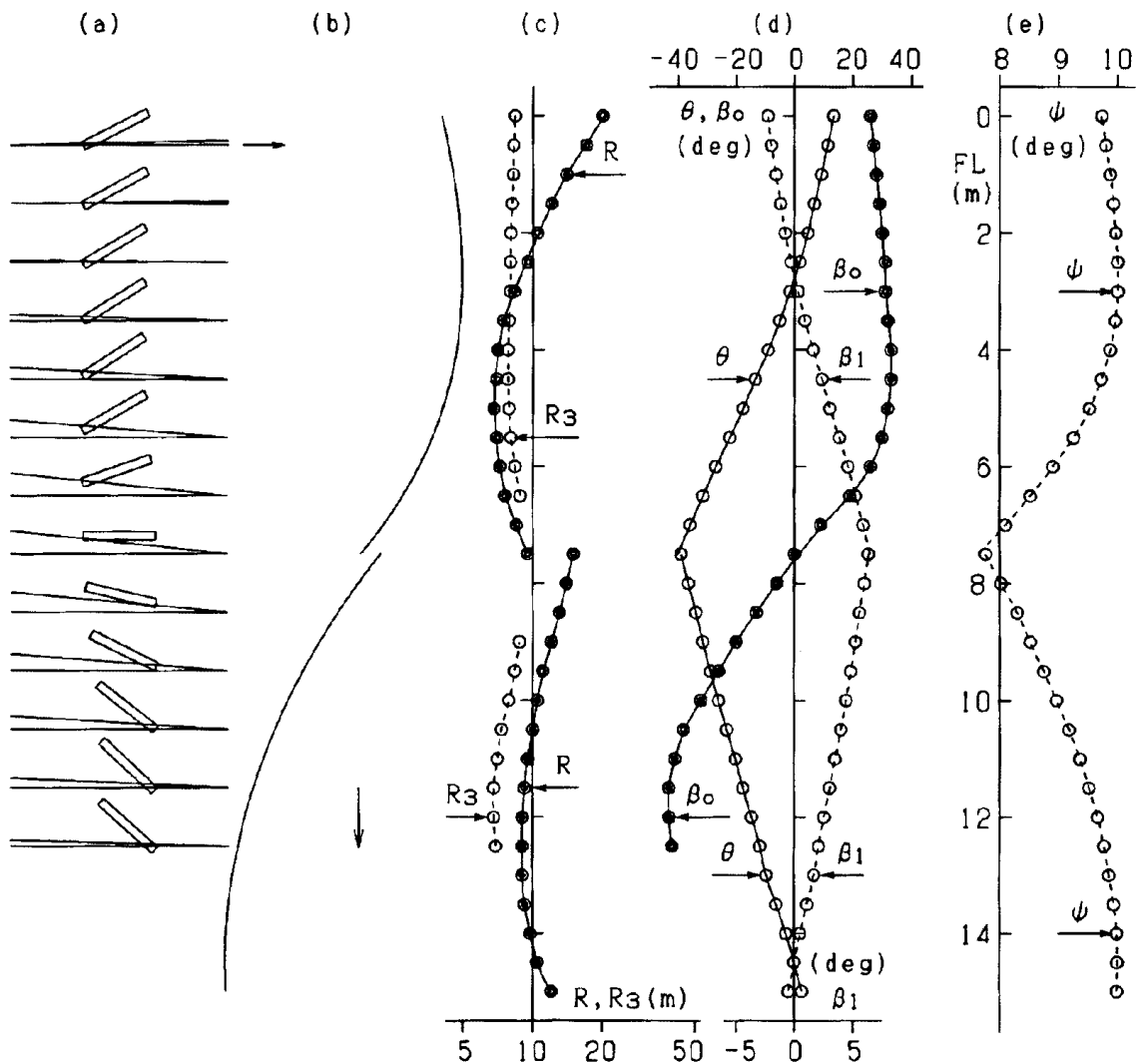


図9. ボードの滑降軌道の解析-2



Experimental Study of the Mechanism of Skiing Turns. 3. Measurement of Edging Angles of Skis on Snow Surface, Japanese Journal of Applied Physics, 35, 2377-2382

- 7) Toshio SAHASHI and Shoji ICHINO (1995) :  
Method for Drawing Locus of a Sliding Ski as Observed from Direction Perpendicular to Snow

Surface, Japanese Journal of Applied Physics, 34, 674-679

- 8) 佐橋 稔雄, 市野 聖治 (2001) : 雪面垂直観察法, 日本スキー学会誌11 (1), 213-221.

平成21年10月2日受理