

# ズレ・ターン滑降の機構

佐橋稔雄 (愛知スポーツ物理学研究所)

## Mecanism of descent with skidding turns

Toshio SAHASHI (Laboratory of Aichi Sports Physics)

抄録 雪上でパラレル・ターン滑降をするとき、スキーの長さの方向と滑降の方向は、必ずしも一致していない。スキーの長さの方向と滑降の方向が同じでない回転滑降のスキーは、横滑りをしながら、ずれながら回転滑降をしている。この回転滑降をズレ・ターンと定義し、その原因を調べてみた。

# ズレ・ターン滑降の機構

佐橋稔雄 (愛知スポーツ物理学研究所)

## Mechanism of descent with skidding turns

Toshio SAHASHI (Laboratory of Aichi Sports Physics)

Abstract: In the case of a skiing descent with parallel turns on snow, the longitudinal direction of the skis does not always conform to the direction of descent. For skis descending with turns, where the direction of descent is different from their longitudinal direction, the skis descend with skidding turns. Such a turning descent was defined as a skidding turn and its mechanism was studied.

Key words:ski,carving turn,step turn,wedeln,parallel turn,skidding turn

### 1. 序文

スキー運動(滑降)は,3次元運動を除いて2次元運動のみに限れば,直線滑降と回転滑降<sup>1)</sup>である. この回転滑降には,カービング・ターン滑降<sup>2)</sup>とズレ・ターン滑降<sup>3,4)</sup>がある. 我々が2本のスキーを平行にして,雪上で回転滑降をする時,我々は平行な2本のスキーの長さの方向に滑って行くように感じる. しかし,それを写真やビデオで,動画として記録し解析すると,我々の感じとは違ったスキーの軌跡が得られる. 得られた軌跡は,スキーの長さの方向と滑降の方向が異なる滑降であり,ズレ・ターン滑降と定義される滑降である. このズ

レ・ターン滑降のスキーは,横滑りをしながら,『ずれ』ながら回転滑降をしている. スキーの長さの方向と滑降の方向が同じである滑降は,カービング・ターン滑降であり,特別な訓練を経たスキーヤーの滑降である. 一般の回転滑降はズレ・ターン滑降である. この論文は,ズレ・ターン滑降がどうして起きるかを述べたものである.

### 2. 滑降

#### 2.1. スキー場

図1は, $A_1A_2A_3A_4$ を斜面とし, $A_3A_4A_5A_6$ を水平面とするスキー場を模型的<sup>5)</sup>に描いたものである.  $\alpha$ はスキー場の傾斜角である. FLは最大傾斜線である. スキーヤーは曲線SOTに沿って片足でカービング・ターンをしている. 点Oにおける滑降面の一部を拡大したものがHIJK面である. このスキーヤーは角付け角 $\beta$ で点Oを通過している.  $\beta$ は斜面角付け角である. 方向UVは滑降軌道SOTの点Oの接線方向 $\theta$ である. 滑降がカービング・ターンの場合, $\theta$ はスキーの長さの方向 $\delta$ と同じである. 図1は,スキー場の傾斜角を $\alpha = 30^\circ$ に,接線方向を $\theta = 30^\circ$ に,斜面角付け角を $\beta = 30^\circ$ として描かれている.

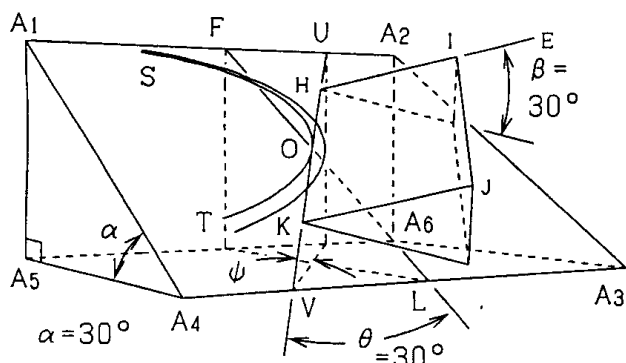


図1 スキー場の模型. スキー滑降軌道SOT. 斜面角付け角 $\beta$ . 接線角 $\theta$ .

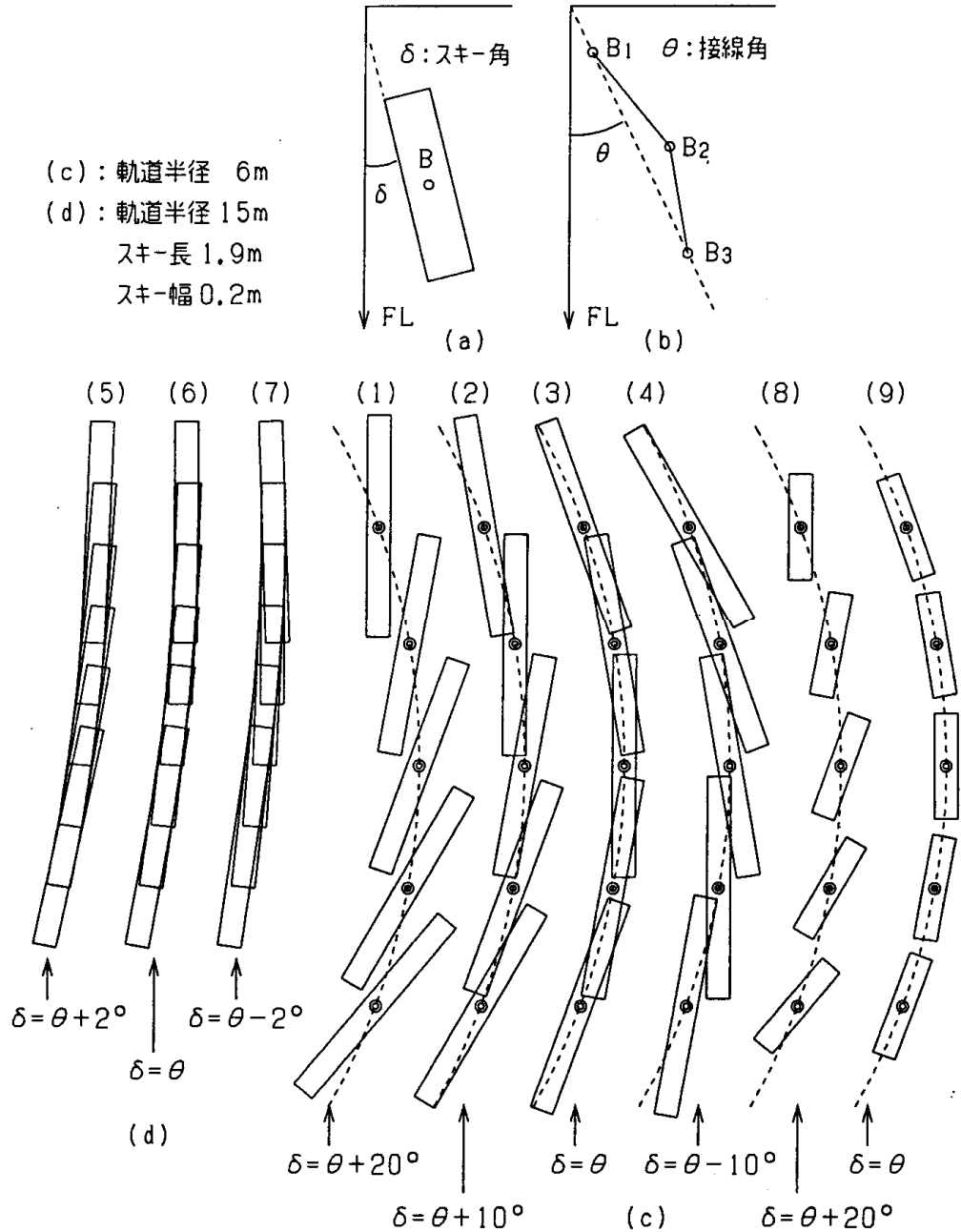


図2 (a)スキー角 $\delta$ . (b)接線角 $\theta$ . (c)カービング・ターンとズレ・ターンの模型.  
 (d)カービング・ターンの模型.

## 2.2. カービング・ターンとズレ・ターンの模型

図2(a)はFLに対するスキー角 $\delta$ とスキーの中心Bを示している。スキー場に、スキーの滑降軌道が出来る。図2(b)は、スキーの中心Bが、軌道上に観測点 $B_1B_2B_3$ を作る事を示している。軌道上の点 $B_2$ の滑降方向が、点 $B_2$ の接線方向となる。点 $B_2$ の接線角 $\theta$ は直線 $B_1B_3$ とFLの間の角と定義される。これを用いると、カービング・ターンは $\delta = \theta$ である<sup>2)</sup>。カービング・ターンの実測では、スキーの軌道半径が約15mの時、 $|\delta - \theta| \leq 2^\circ$ であった。実測に似た絵を描くと、図2(d)の(5)~(7)

となる。(6)が、 $\delta = \theta$ のカービング・ターンである。スキーの長さは180cmであり、スキーの幅は見やすいように2倍の大きさ20cmに描かれている。サイド・カットはなく平行スキーである。FLの方向は、(a)~(d)において、全て同じ方向である。

この論文では、実測により、カービング・ターンは $|\delta - \theta| \leq 2^\circ$ であり、ズレ・ターンは $|\delta - \theta| > 2^\circ$ である、と定義されている。図2(c)は軌道半径が6mのターンの模型図である。カービング・ターンは(3)であるが、見やすいようにスキーを

短くして(9)に再び示す。観測されたズレ・ターンの模型図は、(1)と(2)である。滑降方向 $\theta$ はスキー方向 $\delta$ と大きく異なり、スキーは横滑りしながら回転滑降をする。実測図は、図6,7に示され

ている<sup>3)</sup>。このズレ・ターンの特徴はスキーの後端が回転滑降の外側に、ずれている事である。(4)はスキーの前端が回転滑降の外側にずれており、我々がこれを観測した例はない。なお、(1)の短スキーが、(8)である。

5

### 2.3. ステップ・ターンの実例

図3(a)はステップ・ターンの右足スキーの実測例である<sup>4)</sup>。スキー番号1は左足スキーで滑降し、右足スキーは雪面から浮いていたので点線で示した。左足スキーは描かれていない。番号2,3は両足スキーで滑降をしていた。番号4以後は左足スキーが雪面から浮き上がり、右足スキーのみで滑降をしていた。図3(a)はスキーが重なり合っ

て見え難いので、図3(b)に短スキーにして再び描かれた。図3(c)の $\delta_R$ は右スキーのスキー角を表し、 $\theta_R$ は右スキーの中心のスキー軌道の接線角を表している。図3(a),(b)の滑降距離は10m位であり、図3(f)のように、200m離れて角度 $10^\circ$ でカメラから眺めると、各々図3(d),(e)のようになる<sup>5)</sup>。カービング・ターンの定義( $|\delta - \theta| \leq 2^\circ$ )を用いると、図3(c)のステップ・ターンでは、スキー番号2~8は右足カービング・ターンである。スキー番号9以後はズレ・ターンである。しかし、図3(e)を見ると、スキー番号2~9は右足カービング・ターンのように観察される。スキー番号9から10へスキーは、カービング・ターンを更に続け、そしてスキーの長さ方向に垂直にスキーが少し、『ずれ』ているように見える。スキー番号10から11へもスキーは、カービング・ターンを続け、そしてスキーの長さ方向に垂直にスキーの幅1つ分だけ『ずれ』ている様に見える。更にスキー番号11から12へもスキーは、カービング・ターンを続け、そしてスキーの長さ方向に垂直にスキーの幅1つ分だけ『ずれ』ている様に見える。

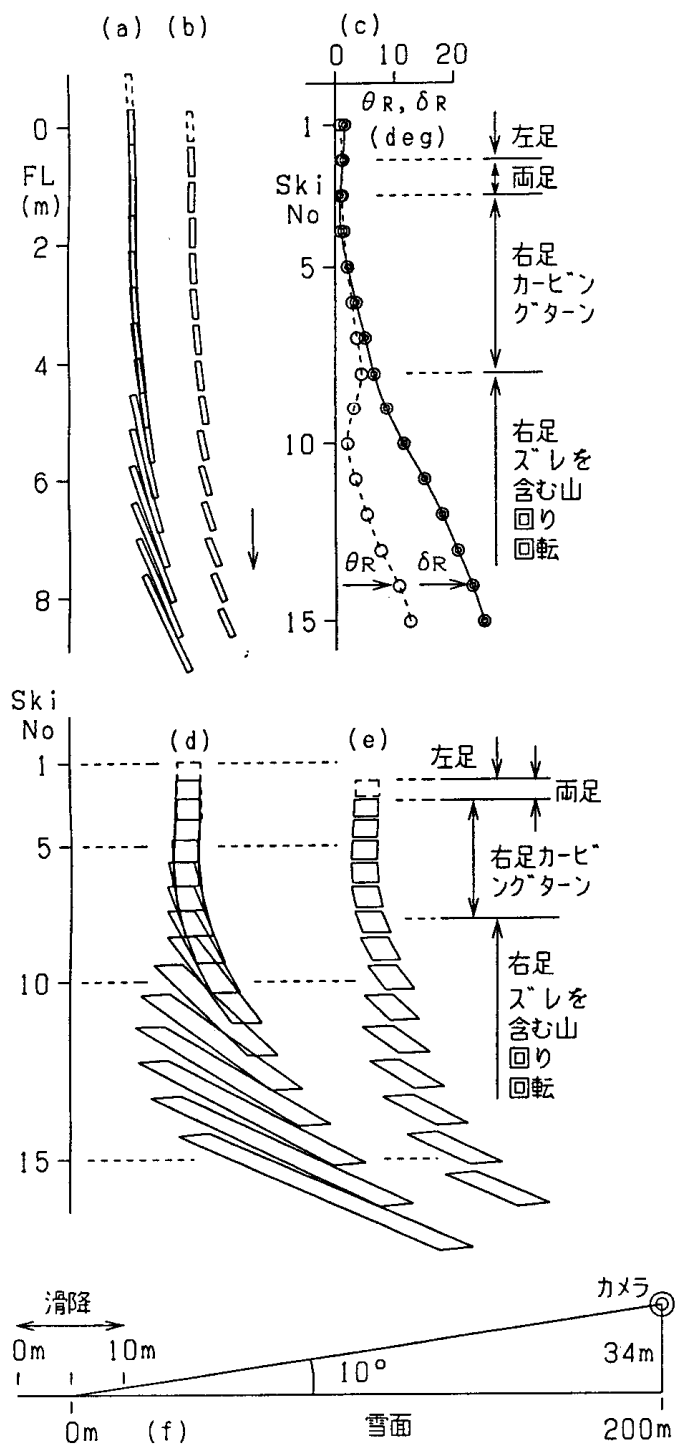


図3 (a) ステップ・ターンの右足スキー。  
 (b) 短スキー。(c) 右足スキーの接線角 $\theta_R$ とスキー角 $\delta_R$ 。(d) 200m離れて描く右足スキー。  
 (e) 同じく短スキー。  
 (f) 滑降スキーとカメラで眺める位置。

このように、「カービング・ターンと垂直方向へスキーの幅1つ分ずつの『ずれ』を、スキー番号10~15間で繰り返している」ように見える。これを模型的に描き直したものが図4(b)である。

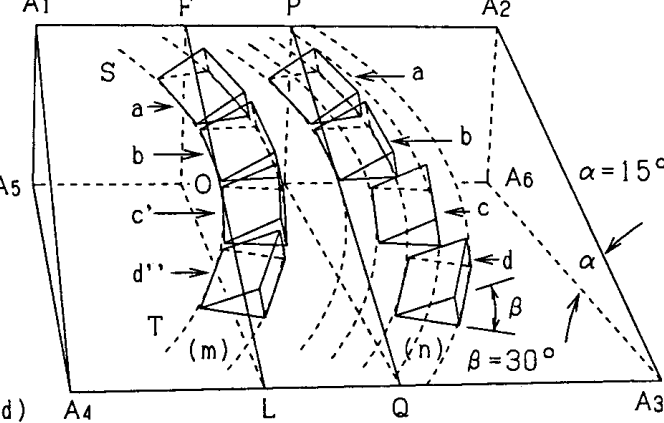
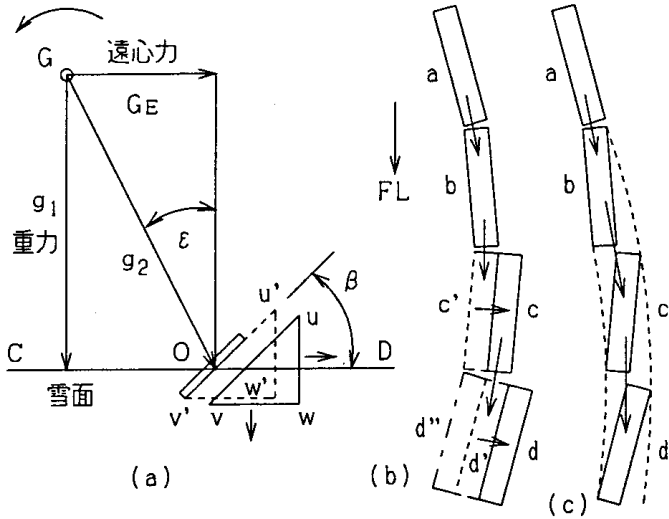


図4 (a)遠心力による、角付けされたスキーのズレ。(b)と(c)カービング・ターンとズレの組み合わせ。(d)立体図。

#### 2.4. カービング・ターンからズレ・ターンへ

図4(b)は $a \rightarrow b \rightarrow c'$ へとカービング・ターンをして、 $c' \rightarrow c$ へとスキーの長さ方向に垂直に、ずれている。更に、 $c \rightarrow d'$ へカービング・ターンをして、 $d' \rightarrow d$ へ、ずれている。『ずれ』の機構を雪面上に示しているのが図4(a)である。スキーヤーは紙面向こう側から手前へ雪面上を片足スキーで回転滑降をしている。スキーは $\beta$ だけ角付けされており、スキーは面 $(u'-v')$ 上にあり、点Oにある。Gを重心の位置とするスキーヤーは遠心力の加速度 $G_E$ の為、垂直方向から角 $\epsilon$ だけ傾く<sup>6)</sup>。  $g_1$ を重力の加速度とすると、合力の加速度 $g_2$ が重心Gからスキーの方向に働く。角付けされたスキーにより、雪の固まり $u'v'w'$ は斜めに力を受け、 $uvw$ へと移動する。雪面は硬いから雪面に垂直方向には

移動し難い。従って、雪面に平行に移動する。これが、スキーがスキーの長さ方向に垂直に、『ずれ』る理由である。雪の固まり $uvw$ は見易いように、スキーより大きく描かれている。この様子を立体的に描いたものが図4(d)である<sup>5)</sup>。円弧SOTに沿ってカービング・ターンをしているスキーの角付けを $abc'd''$ で表す。それが(m)である。c'のスキーがずれるとcのスキーになる。cがカービング・ターンをして、ずれるとdになる。これが(n)である。(n)を平面的な図で描くと図4(c)になる。

#### 2.5. ズレ・ターンの模型

図5(a)の(0)は円弧に沿うカービング・ターンである。スキーは短スキーで表されている。(1)はスキー幅1つ分ずつずれる、ズレ・ターンを表す。(2)はスキー幅2つ分ずつ、(3)はスキー幅3つ分ずつ、ずれるズレ・ターンを表す。点線は滑降軌道を表している。図5(b)はスキーの長さを本物の長さに描き直したものである。

#### 2.6. ウェーデルンとパラレル・ターンの実例

図6(a)は角田によるウェーデルン<sup>3)</sup>である。(a)は重なり合って見え難いので、短スキーにして(b)に描き直した。(c)に右スキーのみを表した。(d)は左スキーである。図6の(c)と(d)のスキー番号8~12,17~19,24~27の範囲の $\delta, \theta$ は、図5(b)の(2)と(3)のFLに沿う2m~6mの範囲のスキーの $\delta, \theta$ とよく似ている事が分る。図7(a)は市野によるパラレル・ターン<sup>3)</sup>である。図7の(a)~(d)は、図6の(a)~(d)に各々対応している。図7の(c)と(d)のスキー番号8~12,22~28,34~37の範囲の $\delta, \theta$ は、図5(b)の(2)と(3)のFLに沿う2m~6mの範囲のスキーの $\delta, \theta$ とよく似ている事が分る。

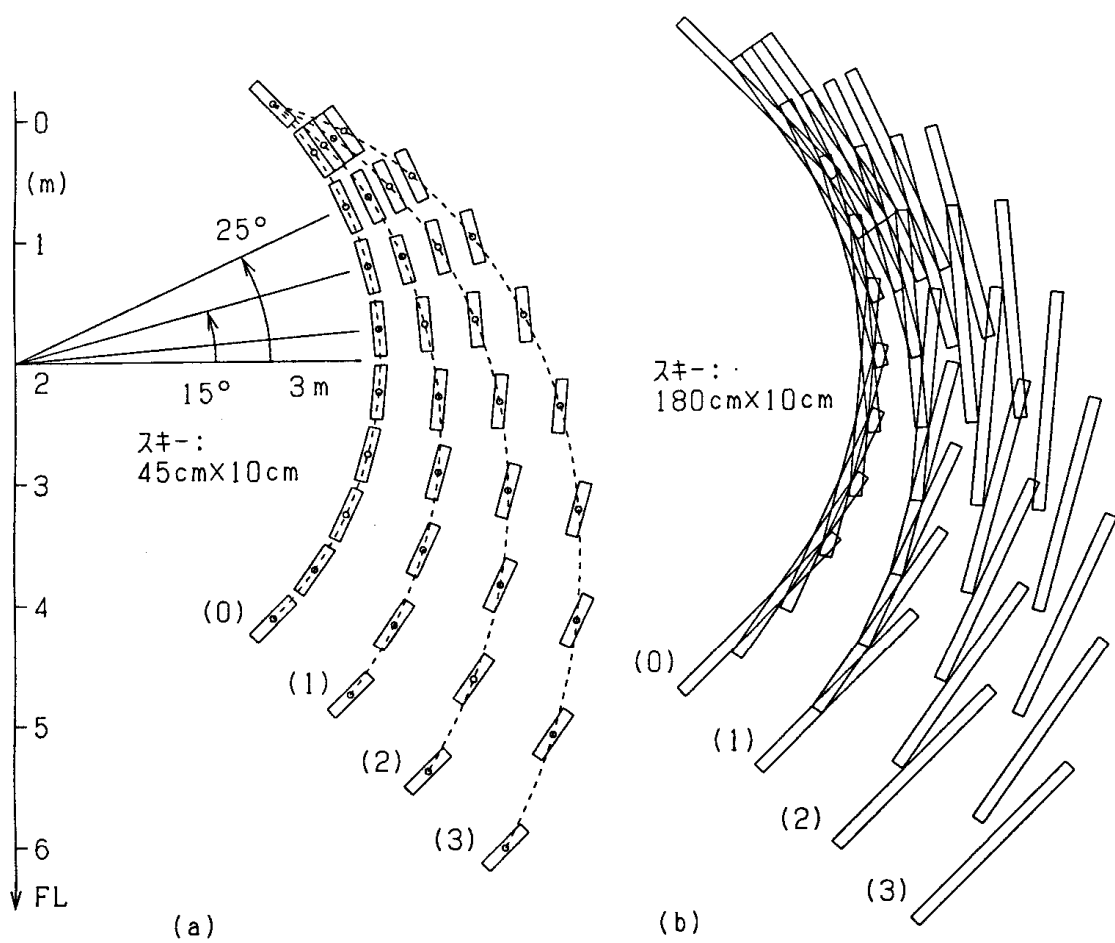


図5 (a)短スキーによるカビング・ターンとズレ・ターン. (b)標準スキーへの置き換え.

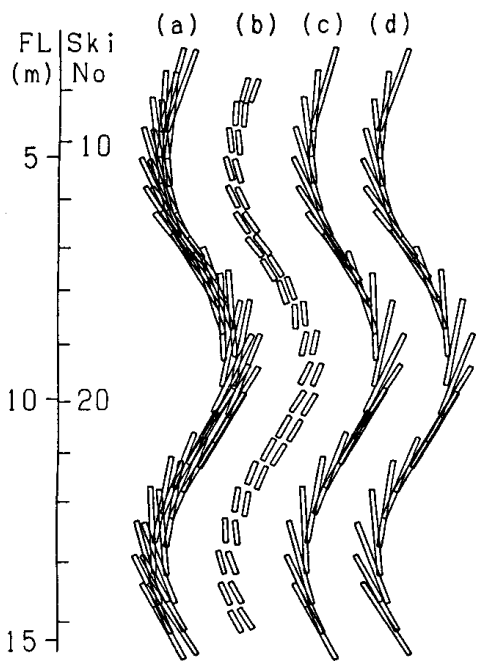


図6 (a)角田のウェーデルン. (b)短スキー. (c)右足スキー. (d)左足スキー.

### 3. 討論

#### 3.1. ズレ・ターン

図6と図7から回転滑降の部分では $|\delta - \theta|$ が大きく、ズレ・ターンが見られる。回転滑降の部分は曲率半径 $R$ が小さく、遠心力の加速度( $G_E = V^2/R$ )が大きい。  $V$ は滑降(接線)方向のスキーの速度である。その為、図4の重心の傾き角 $\varepsilon$ が大きくなり、スキーは角付けされていても、雪面上を滑り易い。これが、スキー滑降に『ずれ』を作っていると考えられる。

#### 3.2. 回転滑降の始り

図3のステップ・ターンでは、左足スキーから右足スキーへ滑降足が移された後が描かれている。これは、カービング・ターンから始りズレ・ターンへ移って行く過程である。図3のスキー番号10~15のズレ・ターンの部分から、ウェーデルンやパラレル・ターンのズレ・ターンが導かれた。

## 参考文献

- 1) Toshio SAHASHI and Shoji ICHINO (1998)  
:Coefficient of Kinetic Friction of Snow Skis during  
Turning Descents, Japanese Journal of Applied  
Physics 37,720-727.
- 2) Toshio SAHASHI and Shoji ICHINO (2001)  
:Carving-turn and edging angle of skis, Sports  
Engineering 4,135-145.
- 3) 佐橋稔雄,市野聖治,角田和代 (2008):ウェー  
デルンとパラレル・ターン,日本スキー学会誌18  
(1),87-99.
- 4) 佐橋稔雄,市野聖治 (2008):スキー滑降の軌  
跡を描く1つの方法,日本スキー学会誌18(1)  
,63-74
- 5) 佐橋稔雄 (2009):スキー滑降の立体作図法,  
スキー研究投稿中
- 6) 佐橋稔雄 (2008):カービング・ターン・スキ  
ーヤーの重力の加速度成分,日本スキー学会誌  
18(1),75-85

著者 佐橋稔雄(さはし としお)  
愛知スポーツ物理学研究所  
スポーツ物理学

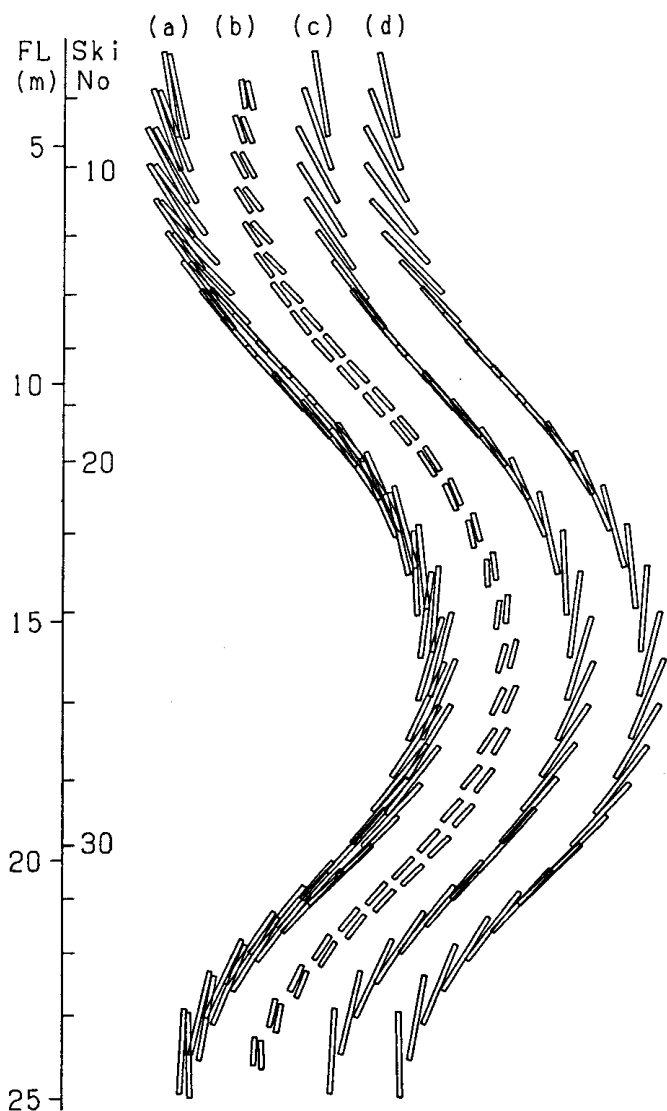


図7 (a)市野のパラレル・ターン。  
(b)～(d)は図6と同じ。

図3のスキー番号3～12の「カービング・ターンからズレ・ターンに移る部分」は角付け角の変化<sup>4)</sup>も伴っており、「回転滑降の始り」の過程を表している。一般的な「回転滑降の始り」も又,上の過程と同じ構造であろうと推定される。

## 4. 結論

スキーの回転滑降の始めに現われる,カービング・ターンからズレ・ターンに移る現象を用いて,ズレ・ターン滑降の機構が導きだされた。ズレ・ターンのズレは回転滑降の時に発生する遠心力の為に,スキーの長さ方向に垂直にスキーが『ずれ』る現象である。