

### 3.3.3. 厚さ3mmの反り無しスキー

図9(d)は、前方部分に反りのない、平らなスキーである。スキーの重心の位置は $x_0=0.5\text{cm}$ である。このスキーによる滑降過程を図11に示す。滑降方向 $\theta$ は、スキー番号4~9で $\theta=2^\circ\sim 3^\circ$ であるが、スキー方向 $\delta$ は、番号1~12で $\delta=0^\circ\sim 0.3^\circ$ である。こうして図11は、ほぼ自転のない滑降となった。

図10のスキー滑降図の一部と図11のスキー滑降図を4倍に拡大して、図9(a),(b)にそれぞれを示す。図9(a),(b)は、前方部分の反りの有無による滑降の違いを表している。即ち、図9(a)では、スキーの前方部分に反りがあり、スキーは自転を伴った山回り回転滑降(運動)をした。図9(b)では、スキーの前方部分に反りがなく、スキー角 $\delta$ はほぼ一定( $\delta\approx 0^\circ$ )であり、スキーは自転のない滑降(運動)をした。

図9(a),(b)のスキーでは、重心の位置が $x_0=0.5\text{cm}$ であり、「図2(a)が、HK方向とJK方向に下降する角付けを持っている」様に、同様の角付けが作られていた。その為に、「自転があれば、図9(a)の運動をする」、「自転がなければ、図9(b)の運動をする」と考えられる。図12(a)は図10(a)のスキー番号10のビデオ写真であり、図12(b)は図11(a)のスキー番号14のビデオ写真である。図9(b)と図12(b)から、反りを含まないスキーでは、一般に雪スキーで観察されるような自転を含む回転滑降はできない事が分る。

図9(b)は $\beta_0\neq 0^\circ$ であるが、ほぼ直線的な滑降であった。従って、序文で述べた、雪スキーと砂スキーによる「 $\beta_0\neq 0^\circ$ は、自転を含む回転滑降である」は、反りのないスキー滑降では、成立しないようである。

反り難い硬いスキーでも、滑降前にスキーの前方部分に反りが与えられれば(図9(c)と図10)、柔らかいスキー(図8)と同じ効果(自転を伴った回転滑降)がある事が分った。又実験によれば、柔らかいスキー程、自転を伴った回転滑降がし易い事も分った。しかし、これも柔らか過ぎてスキーの外形を保てない物は除かれなければならな

った。図8と図9(a)と図10の滑降は自転のある図2(b)と似ており、図9(b)と図11の滑降は自転のない図2(c)と似ている事が分るであろう。

## 3.4. 砂面とスキーの間の接触面

### 3.4.1. 斜面上のスキー

図13(a)の $A_1A_2A_3A_4$ はスキー場の斜面である<sup>10)</sup>。図13(e)は平行型模型スキーである。スキーの重心を中心から外す為に、重りの磁石を図13(e)のような位置においた。 $x_0=0.6\text{cm}$ である。このスキーをスキー場の斜面の「1」の位置に置く。スキー角 $\delta$ は、 $\delta=35^\circ$ である。後の測定によると、このスキーの斜面角付け角 $\beta$ は、 $\beta=5^\circ$ であった。 $\beta$ はスキーと斜面との間の角である。この傾き $\beta$ をもった面をスキー場の斜面 $A_1A_2A_3A_4$ 上に作る。それをスキー角 $\delta$ に沿う方向から眺めて見よう<sup>10)</sup>。その為にスキー場を回転すると、図13(b)のようになる。傾き $\beta$ の面はabcdである。この面は、スキー「1」の角付けの部分を拡大した面に相当している。角付けは描き易いように斜面より上に描かれている。

スキー方向に垂直に、スキーとスキー場を切り取った断面が $ARMA_3B$ である。それを図13(c)に描き直す。 $\angle AA_3B=\beta_1$ は横斜面角であり、 $\beta_1=16^\circ$ である。スキーと水平面との間の角は水平角付け角 $\beta_0$ であり、 $\beta=\beta_1+\beta_0$ の関係がある。スキーの長さの方向から見た様子を、改めて図13(d)のように描き直す。◎Gはスキーの重心の位置を表している。図13(a)の斜面上の「1」のスキーは、その後「2,3,4,5,6」のようにスキーの先端を下に向けつつ、山回り回転滑降をして行く。

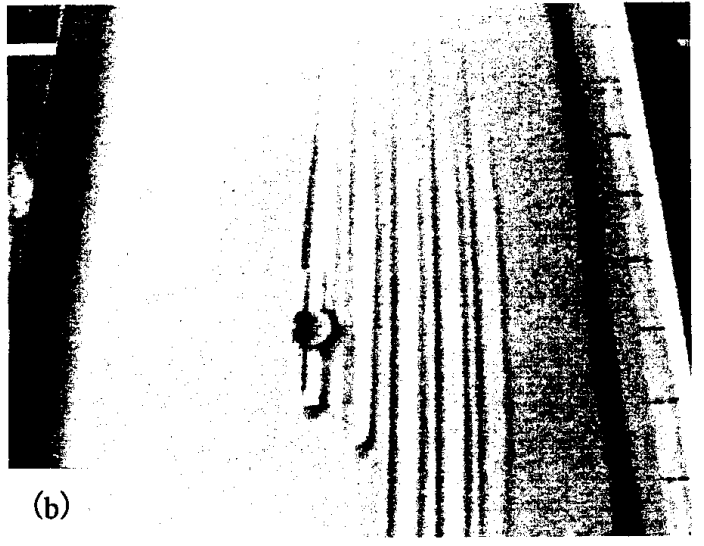
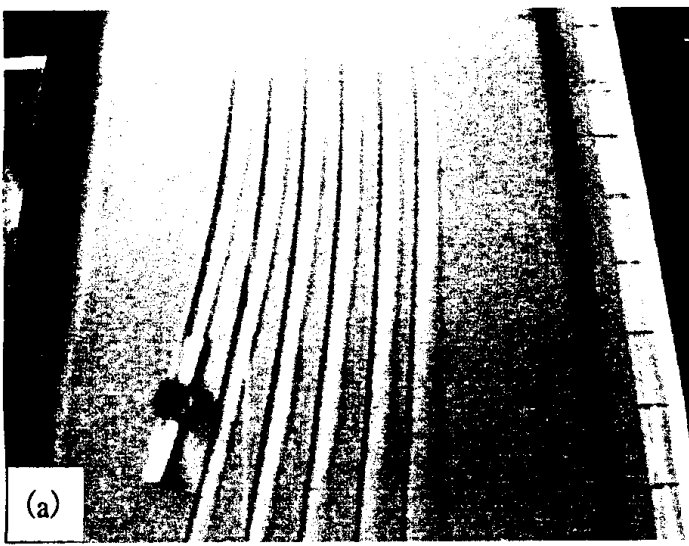


図12 (a) 図10のスキー番号10のビデオ・プリント. (b) 図11のスキー番号14のビデオ・プリント.

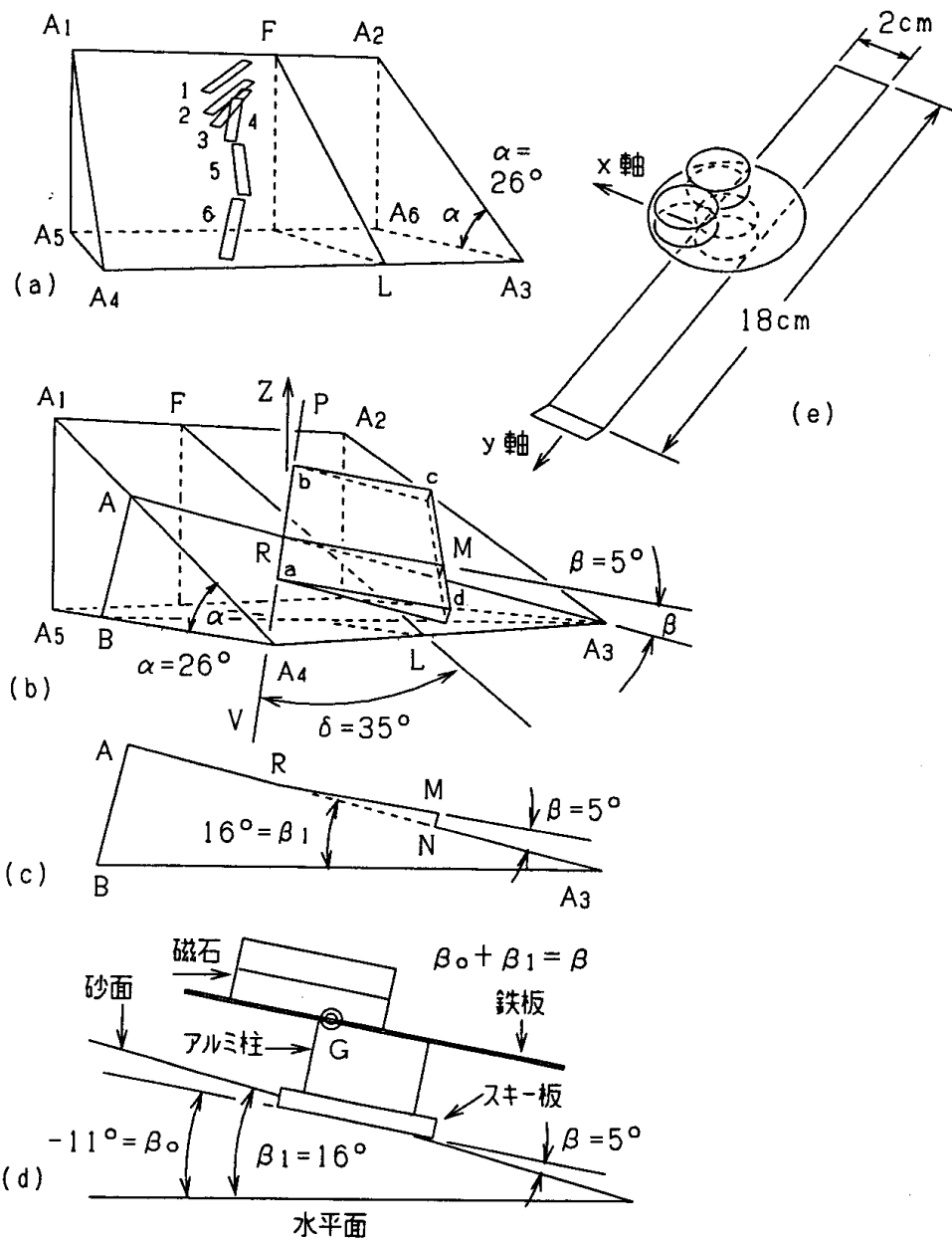


図13 斜滑降から始る横滑り,山回り回転滑降.

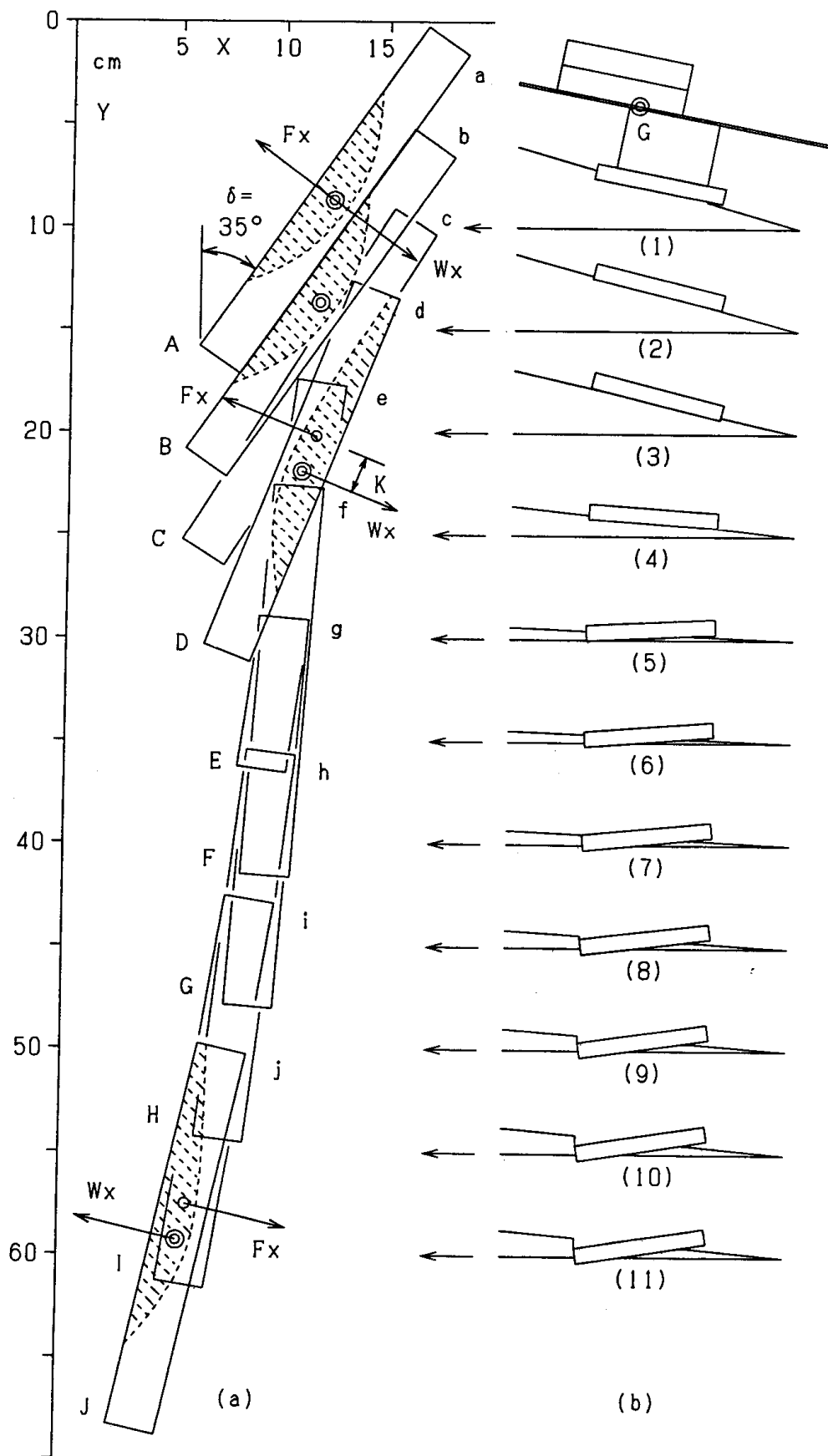


図14 (a)スキーと砂面の接触範囲. (b)スキーの傾き.

### 3.4.2. 接触面

図13(a)の斜面A1A2A3A4上のスキーを,斜面に垂直方向から見ているように描くと,図14(a)<sup>9)</sup>となる. このスキーは,図3(b)のスキーと同質,同形

で,厚さ0.8mmの透明なスキーである. これを用いて,砂面とスキーとの間の接触部分が調べられた. 砂とスキーが接触している範囲を「斜線の点線」で表す. 図14(b)-(1)は図13(d)と同じ図であ

る。図14(b)はいずれもスキーの長さ方向から見た見た図であり、「スキー場の横斜面角 $\beta_1$ とスキーの斜面角付け角 $\beta$ が分る」ように描かれた図である。(1)の横矢印は、この図は「スキーの中心が $Y=10\text{cm}$ にあった」時の図である事を、示している。(2)以後は横斜面角 $\beta_1$ と斜面角付け角 $\beta$ を持つスキーのみが描かれ、上部の磁石の部分は省略されている。

### 3.4.3. スキーに働く重力の加速度 $g$

図1(b)は滑降しているスキーヤーを含むスキーの重心の位置 $G$ と重力の加速度の大きさ $g$ を表している。 $g$ はスキーの傾きの方向により各成分に分けられる。 $g_y$ はスキーの長さ方向の成分である。 $g_y$ はスキーの推進(滑降)力を決める加速度である。 $g_x$ はスキー方向に垂直であり、滑降面上にある。 $g_x$ が滑降方向に垂直な時は、 $g_x$ により回転(公転)が決まる。水平角付け角 $\beta_0 \neq 0^\circ$ の時は、 $g_x \neq 0$ である。 $g_z$ は滑降面に垂直方向であり、摩擦力を決める加速度である。

図14(a)では、スキーの重心の位置をスキーの中心とみなして、 $\odot$ で表した。スキーの質量を $M$ で表すと、スキーの重心に働く力 $W$ は、 $W=Mg$ となる。 $x$ 方向に働く力は、 $W_x=Mg_x$ となる。摩擦力を $F$ とすると、 $F=\mu Mg_z$ となる。 $x$ 方向の摩擦力は $F$ の $x$ 成分であり、 $F_x=(\mu Mg_z)_x$ となる。摩擦力の方向は運動(滑降)方向と逆向きになる。 $\mu$ は運動摩擦係数である。

### 3.4.4. 接触面とスキーの自転運動

図14(a)に於いて、スキー(A-a)と(B-b)の間は横滑り斜滑降であり、自転を含まない滑降である。この間の接触範囲は中心 $\odot$ に関して、 $y$ 方向に対称に見える。

スキー(C-c)と(D-d)と(E-e)は左回りの自転を伴う回転滑降である。スキー(I-i)と(J-j)は右回りの自転を伴う回転滑降である。共に、接触範囲は中心 $\odot$ に関して、 $y$ 方向に非対称である。

スキー(A-a)と(B-b)は横滑り斜滑降であり、接触範囲が $y$ 方向に対称であり、自転を含んでいな

い。その為、スキー(A-a)のように、 $x$ 方向の力 $W_x$ と反対向きの摩擦力 $F_x$ の各作用点が、同じ中心 $\odot$ にあったと推定される。

スキー(D-d)と(J-j)では、接触範囲がスキー後部に拡っている。その為、 $F_x$ の作用点は中心 $\odot$ と後端の間にあったと思われる。スキー(D-d)と(J-j)では、スキーは自転しており、 $W_x$ と $F_x$ の各作用点の間隔 $K$ は、 $K \neq 0$ になると推定される。 $x$ 方向の力 $W_x$ と反対向きの摩擦力 $F_x$ の各作用点の間隔 $K$ は大きく、 $x$ 方向の力による自転効果が現われたのであろう。

スキーが自転する要因に、 $y$ 方向の力 $W_y$ と反対向きの摩擦力 $F_y$ の作用も考えられる。この場合は、各作用点の間隔は小さく、 $y$ 方向の力による自転効果は小さいであろう。従って、 $y$ 方向の説明を省略した。

## 4. 討論

### 4.1. サイド・カット

雪スキーと砂スキーで得られた結果は、「角付け角 $\beta_0=0^\circ$ 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。これは、スキーヤーを含むスキーの重さの為に雪(砂)面が変形し、その変形した面に、スキーの運動(滑降)が依存していた事を表している。これは又、滑降の仕方が、雪(砂)面の変形に依存し、スキーの外形には依存しない事を表している。そして、外形は自転の有無にも影響しない。図5のサイド・カットの実験はこの事を支持している。

### 4.2. 砂の厚さ

スキーの回転運動はスキーヤーを含むスキーの重さによる砂面の変形に依存している。砂の変形は砂の厚さに依存している。

### 4.3. スキーの反りと接触面

図8と図9(a)と図10のように、スキーの中心から先端迄の間に反りを含むスキーでは、自転を伴う回転滑降が得られる。その原因は、反りの為に、

スキーと砂(雪)面との間の接触面がスキーの後部に偏るからである。接触面は、スキーの運動中に摩擦力を作る。重心が作る重力の作用点と、接触面が作る摩擦力の作用点は、図14のように位置が異なれば自転効果が生じ、自転のある回転運動となる。図9(b)や図11のように、スキーに反りが出来ない材質を選べば、接触面がスキーの後部に偏る事はなかったのであろう。その為、重力と摩擦力の2つの作用点の位置が同じになり、自転のない回転運動となった。この回転運動は、自転のない横滑り回転滑降、又は横滑り斜滑降と思われる運動である。

## 5. 結論

スキーの前方部分に反りがあれば摩擦力は後方部分に偏る。これがスキーの回転滑降に自転が含まれる機構である。この砂スキーの滑降機構は、雪スキーの滑降機構にも共通していると思われる。

## 参考文献

- 1) 清水史郎,長谷川健二 (2005):スキー・ボード・ロボットの開発モデル膝関節の屈曲・伸展モデルと股関節屈曲・伸展,スキー研究 3(1),1-9.
- 2) 中野幸夫,多田憲孝 (2005):スキー・ロボットを用いたスキー操作の研究,スキー研究3(1),23-30.
- 3) 佐橋稔雄,市野聖治 (2001):スキーの回転機構についての実験的研究 2.角付け角の測定,日本スキー学会誌 11,(1),203-212
- 4) Toshio SAHASHI and Shoji ICHINO (1996):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
- 5) 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.
- 6) 佐橋稔雄,市野聖治 (2000):スキーの回転機構の実験的研究 サイド・カットの効果,日本スキー学会誌 10,(1),75-86.
- 7) 佐橋稔雄,市野聖治 (2001):スキーの回転機構の実験的研究 直滑降からの山回り回転,日本スキー学会誌 11,(1),195-202.
- 8) Toshio SAHASHI and Shoji ICHINO (2001): Carving-turn and edging angle of skis, Sports Engineering 4,135-145.
- 9) 佐橋稔雄,市野聖治 (2000):スキーの回転機構の実験的研究 反りの効果,日本スキー学会誌 10,(1),87-96.
- 10) 佐橋稔雄 (2009):スキー滑降の立体作図法,スキー研究投稿中

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