



スキーの回転機構の実験的研究

サイド・カットの効果

佐橋稔雄 市野聖治

日本スキー学会誌 第10巻 第1号別刷 2000年7月

スキーの回転機構の実験的研究

サイド・カットの効果

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.

Effects of a Side-Cut on Ski Turns

Toshio Sahashi (Daido Institute of Technology)

Shoji Ichino (Aichi University of Education)

抄録

サイド・カット(カーブ)がスキーの回転に与える影響を調べる為に、模型スキーを用いて、滑降実験が行われた。サイド・カットの形は直線型、糸巻型、樽型であり、これらのスキーは、柔らかい砂面上を滑降した。その時、砂の厚さを変えて実験をした。砂の厚さが大きく、スキーの滑降の跡が砂面上に残る時は、サイド・カットの効果は小さかった。砂の厚さが極端に小さく、スキーのエッジの部分のみの跡が砂面上にわずかに残る時に、サイド・カットの効果は大きく現われた。厚さが極端に小さい砂面はアイス・バーンに似た硬い雪面に相当すると考えられる。砂面上にスキーを角付けすると、砂面は角付けの形に変形する。砂面の変形を用いて、直線型スキーの回転機構が説明されている。

キーワード:スキー,サイド・カット,回転滑降,スキーのエッジ,角付け

§ 1. 序文

スキーヤーの雪上滑降(プルーク・ボーゲン, シュテム・ターン, パラレル・ターン, ウエーデルン)の軌跡が、調べられ、描かれた¹⁾。これらの雪上滑降は、主に回転滑降から作られている。この様な回転滑降の機構や原因を調べる為に、模型スキーを用いて実験をしてきた。実験は柔らかい砂面上におけるスキー滑降であった。その中で、我々は「角付けと、前方部分の反り」がスキー回転の要因である事を見つけた²⁾。この角付け角は、「スキーと砂面との間の角 β 」ではなく、「スキーと水平面との間の角 β_0 」であった³⁾。即ち $\beta_0=0^\circ$ の時は、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)であった。 $\beta_0 \neq 0^\circ$ の時は、回転滑降であり、角 β_0 の方向へ回転をした。これを β_0 則⁴⁾とする。この β_0 則は雪上のスキーヤー・スキーにおいても実証された⁴⁾。砂(雪)面上にスキーを角付けすると言う事は、「砂(雪)面が角付けの形に変形される」と言う事を意味している。その変形された面上で β_0 則が成立していた。

他方、多くのスキーのテキスト^{5,6,7)}では、サイド・カットの効果を用いて、スキーの回転機構が説明されている。我々の実験²⁾では、サイド・カットは回転に対して殆ど効果を持たなかった。そこで我々は、サイド・カットが回転に与える影響をもっと詳しく調べてみた。それらの結果、サイド・カットはスキー回転に影響を与える場合と、与えない場合がある事が分った。

討論では、サイド・カットのない直線型スキーの山回りの回転機構が「角付けと前方部分の反り」を用いて説明されている。

§ 2. 実験方法

2.1 スキー

模型スキーは図 1-(a)と(b)のように、塩化ビニール(19×2×0.08cm³)の板で作られた。スキーに荷重を与えない時は、スキーは平板であり(スキーにはキャンバーは無い),その先端は上に曲っていた。サイド・カットの形を変える為に、直線型(曲率半径 $r=無限大$,図 1-(b))の他に、糸巻型($r=150$ cm,図 1-(c))と樽型($r=-150$ cm,図 1-(d))の3種類のスキーが作られた。3種類共,中心部分の幅(wcm)は同じ大きさである。スキー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。磁石を含めたスキー全体の重さは約36gである。スキーには座標(x,y,z)が固定され,磁石を含むスキーの重心の位置は(x_0, y_0, z_0)で表されている。実験では, x_0 の値のみが変えられ,他は常に $y_0=0$ cm, $z_0 \approx 1.2$ cmであった。以後,重心の位置を x_0 で表した。単位の無い数値はすべて cm である。

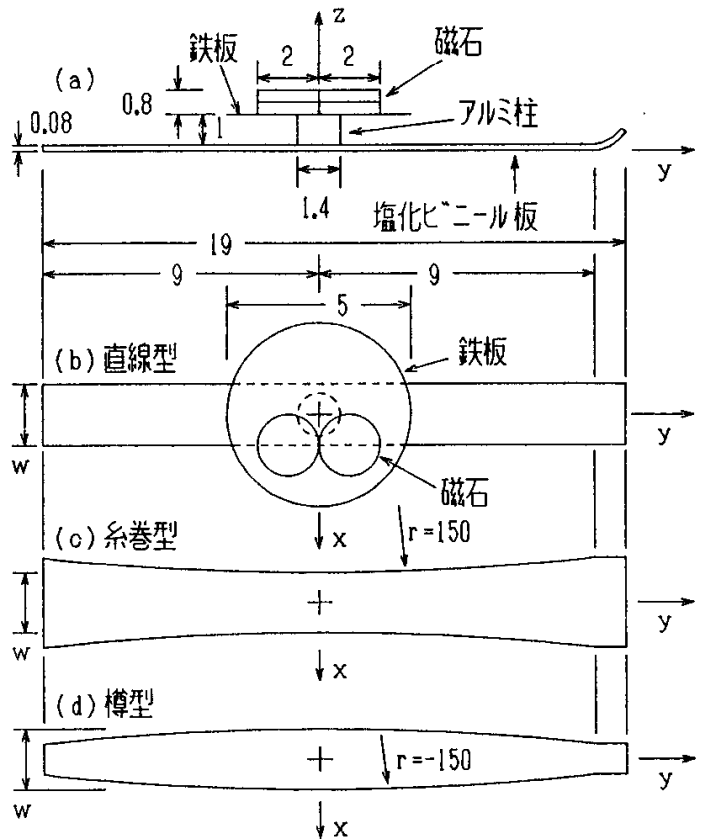


図 1. 模型スキー。(a)はスキーの横図である。(b)は直線型スキー,(c)は糸巻型スキー,(d)は樽型スキー,いずれもスキーの上図である。

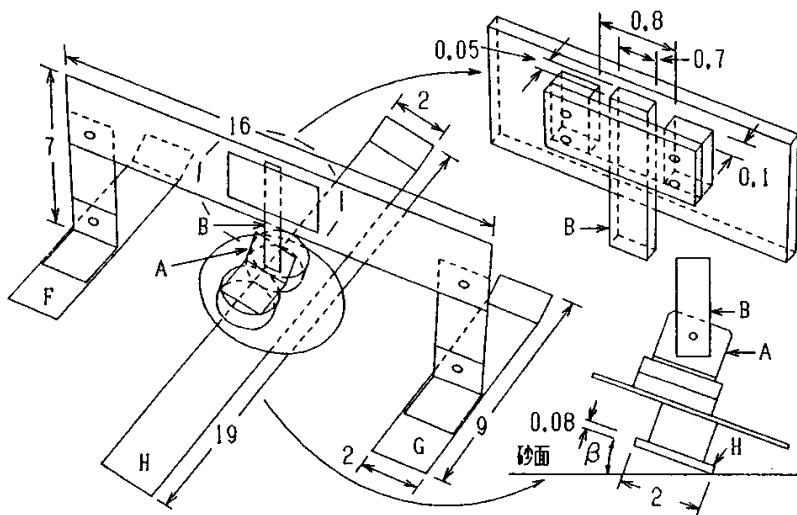


図 2. やぐら型スキー。
FとGは補助スキーで,角付けはない。
Hは主スキーで,角付け角 β がある。

2.2 やぐら型スキー

滑降中,角付け角 β を一定にする為に幾つかの実験では,図 2 のやぐら型スキーを用いた²⁾。それは砂面に平行な2つの補助スキー(FとG)を持っている。アルミ片BはAに固定され,Bは砂面に常に垂直方向に向く様に,やぐらで支えられている。Bは垂直方向に自由に動く事が出来るので,中央の主スキーH(直線型,糸巻型,又は樽型)の角付け角 β は滑降中常に一定の値に保たれた。主スキーを除く,やぐらの重さは30gである。

2.3 スキー場

スキーは細かい,柔らかい砂面上(傾斜角 $\alpha=26^\circ$, 砂の粒径 0.05cm 以下)を滑降した. この砂は $180\times 80\times 5\text{cm}^3$ の箱の中にあり,その深さは 5cm である. この箱を斜めにした時,砂が箱の底面上を滑らない様にする為に,底面に木綿の布を張付け,その上に砂が入れている. 滑降(砂)面上に X 軸,Y 軸があり,Y 軸は最大傾斜線の方

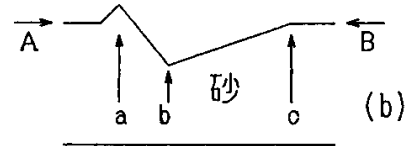
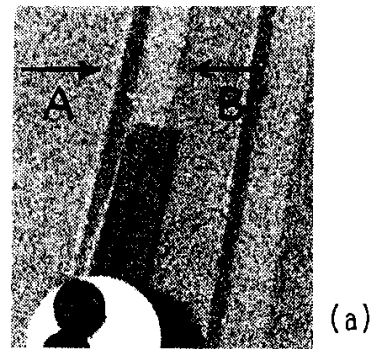


図3. スキーの軌道写真.
(b)の A-B は砂の表面である.
(a)と(b)の A-B は各々対応する.

2.4 スキーの重心の軌跡

砂面上をスキーが滑降し,スキーの軌道(図3)が作られた. 図3(a)は図5(c)に対応している. この軌道は3本の線 a,b,c から出来ており,線 b がスキーの重心の軌跡として用いられた. 図4-(a)は軌跡 b の1例である.

前の論文³⁾では,0.25秒間隔のスキーの連続写真からスキーの重心の軌跡が求められ,描かれた. 2つの方法で軌跡を作り,軌跡の変曲点と $\beta_0=0^\circ$ の位置を調べた. 両方共,変曲点と $\beta_0=0^\circ$ の位置はほぼ同じであった.

この論文では,軌跡の線 b から曲率半径 R を求め,R の最小値を R_0 とした(図4-(b)). 以下,スキー滑降後の砂面上の跡を軌道,線 b をスキーの重心の軌跡とする.

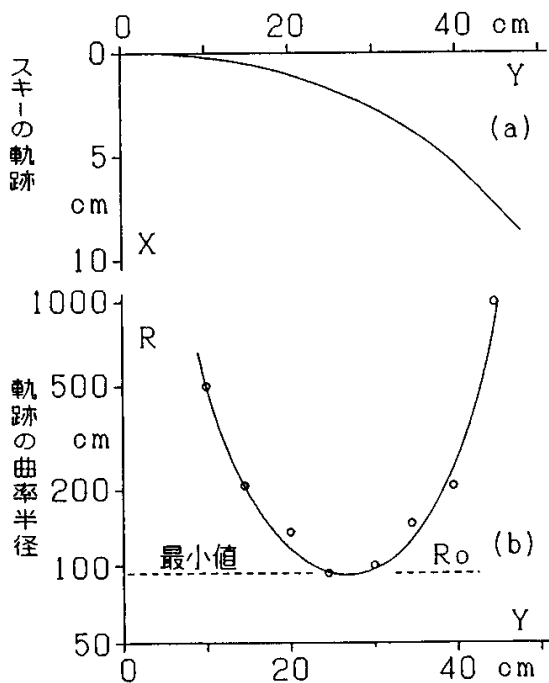


図4. スキーの軌跡と曲率半径の一例.
砂の深さは $s=0.5\text{cm}$,やぐら型スキーの主スキーは樽型,幅は $w=2.25\text{cm}$,角付け角は $\beta=15^\circ$ である.

§ 3. 結果

3.1 重心 x_0 と曲率半径の最小値 R_0

3種類のスキーの各々の中心の幅を $w=2.25\text{cm}$ にした. 砂の深さは $s=1.4\text{cm}$ であった. スキーの重心の位置 x_0 を色々変え,最大傾斜線 FL の方向にセットし,滑降実験を行った. その結果,3種類のスキーの滑降の仕方は微妙に異なっていたが,全てのスキーは重心の移動の方向に山回り回転をした. 図5は樽型スキー,図6は糸巻型スキーの例である. これらのスキーの軌跡から R_0 を求め,それらを図7に示す. 縦軸は R_0 であり,横軸は重心の座標 x_0 である. 測定回数は4回である. 測定値の平均値は○(糸巻型),●(直線型),□(樽型)であり,それらの上の直線は,測定値の範囲を示している. 3種類のスキーの x_0 は同じ値であるが,互いに重ならない様に,糸巻型は $x_0+0.1\text{cm}$ の位置に,樽型は $x_0-0.1\text{cm}$ の位置に描かれている. この図から, x_0 が大きくなると, R_0 は小さくなる事が分る.

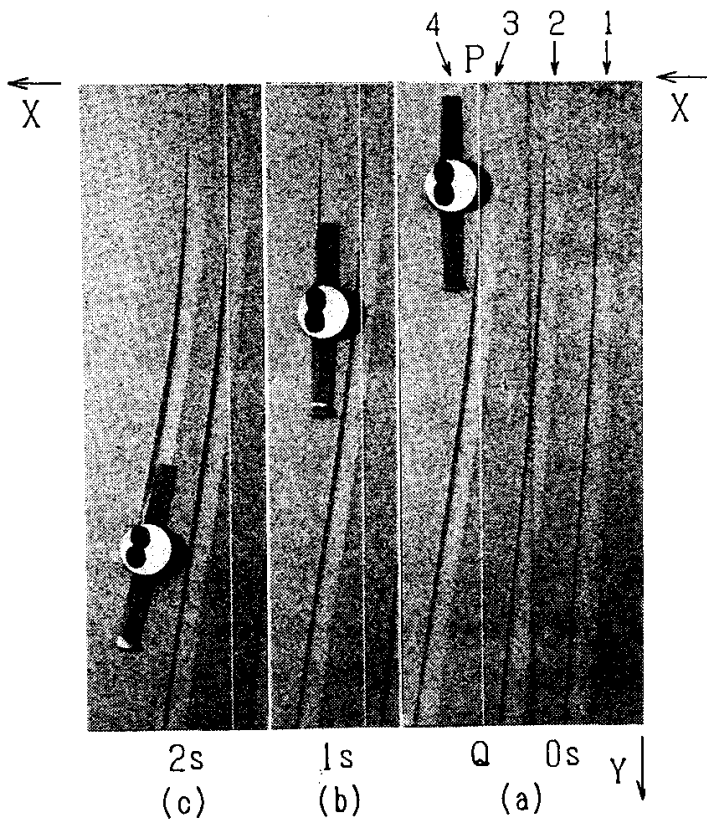


図 5. 樽型スキーの山回り回転。
軌道 1,2,3,4 は $x_0 = 0.31\text{cm}, 0.37\text{cm}, 0.43\text{cm}, 0.46\text{cm}$.

X, Y 面は砂面内にある。Y 軸は最大傾斜線に沿っている。スキー幅は $w=2\text{cm}$ である。白線 P-Q は砂面上 4cm に最大傾斜線に沿って張られた糸である。

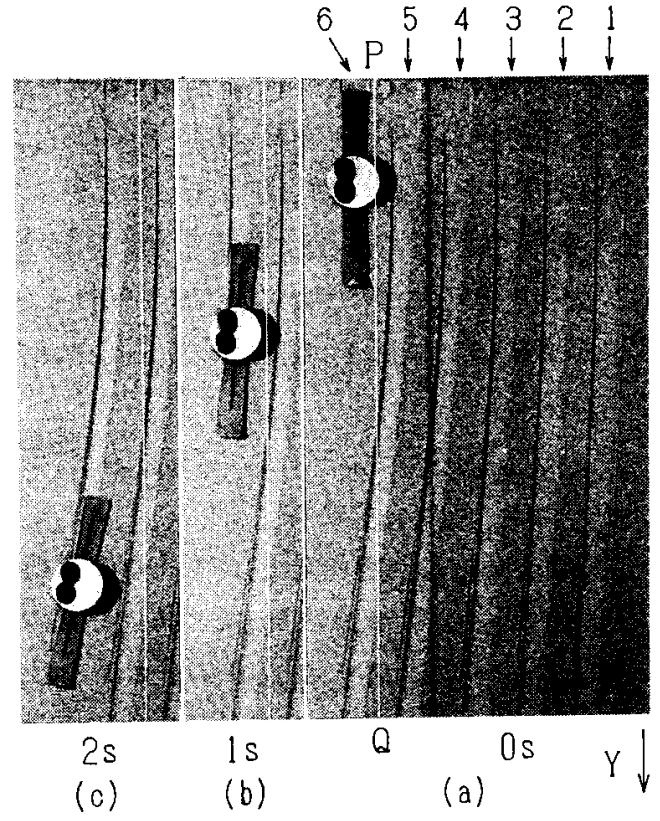


図 6. 糸巻型スキーの山回り回転。
軌道 1,2,3,4,5,6 は $x_0 = 0.19\text{cm}, 0.25\text{cm}, 0.31\text{cm}, 0.38\text{cm}, 0.44\text{cm}, 0.50\text{cm}$.

これは、「 x_0 が大きくなると、スキーは傾き易くなり、角付け角が大きくなり、その結果 R_0 が小さくなる」為と思われる。3 種類のスキーの R_0 は良く似ている。

以後、全ての実験で、滑降前に、スキーは FL に沿ってセットされた。又測定回数とそのグラフの描き方も、この章のそれらと同じであった。

3.2 スキー幅 w と x_0 と R_0

スキーの幅 w を 1.5cm と 1.9cm と 2.5cm に変えて、§ 3.1 と同じ滑降実験が行われた。 $w=1.9\text{cm}$ の時の R_0 が図 7 に点線で示されている。各 w について、3 種類のスキーの R_0 は良く似ていた。そして、同じ x_0 なら、 R_0 は w と共に小さくなった。それは、「 w が小さくなると、スキーは傾き易くなり、角付け角が大きくなり、その結果 R_0 が小さくなる」事で説明される。

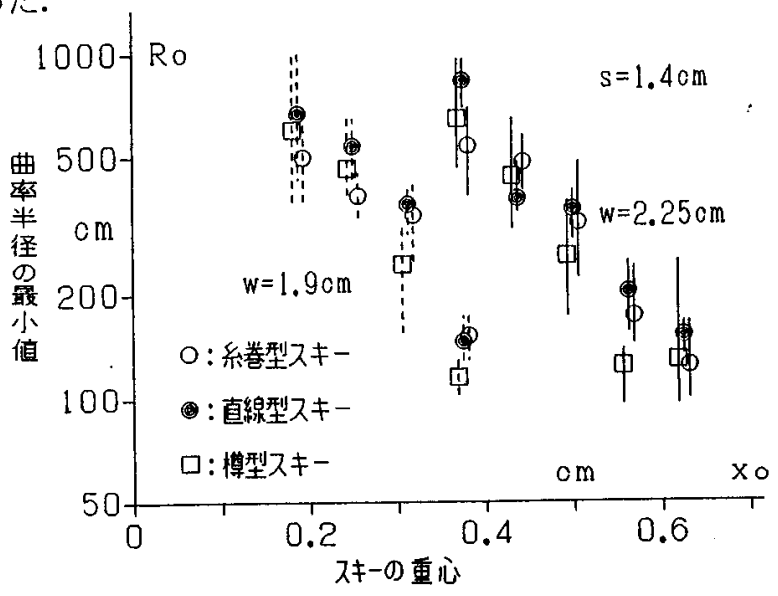


図 7. 重心の位置 x_0 と曲率半径の最小値 R_0 .
砂の深さは $s=1.4\text{cm}$.
スキー幅は $w=2.25\text{cm}$ と $w=1.9\text{cm}$.

3.3 砂の深さ s と x_0 と R_0

砂の深さを $s=0.5\text{cm}$ に変えて, $w=2.25\text{cm}$ のスキーの滑降実験が行われた. それらを図 8 に示す. 3 種類のスキーの各々について, x_0 が大きくなると, R_0 は小さくなった. 3 種類のスキーの R_0 の大きさは良く似ていた. しかし, $x_0=0.5\text{cm}$, $w=2.25\text{cm}$ に注目すると, 図 8 の R_0 は図 7 の R_0 よりも大きい事が分る. これは, 「砂が浅くなると, スキーが傾き難くなり, 角付け角が小さくなり, その結果 R_0 が大きくなる」為と思われる.

浅い砂は変形し難いので硬い雪, 深い砂は変形し易いので柔らかい雪に相当すると仮定しよう. そうすれば, § 3.3 の実験は, 「柔らかい雪上では, スキーは回転し易い」という我々の経験と一致する.

3.4 s と x_0

砂の深さを $0.05\text{cm} \leq s \leq 1.4\text{cm}$ の範囲で変えて, 図 7 と同じ滑降実験を行った. 3 種類のスキーに対する結果を図 9 に示す. $0.2\text{cm} < s$ では, 3 種類のスキーは共に角付けされた方向に山回り回転をし, 各々の R_0 は良く似ていた.

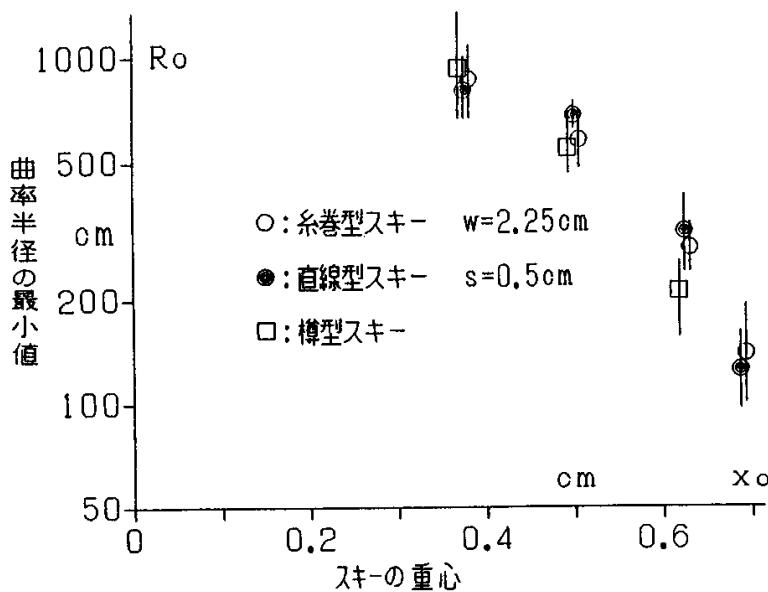


図 8. 重心の位置 x_0 と R_0 . 砂の深さは $s=0.5\text{cm}$.

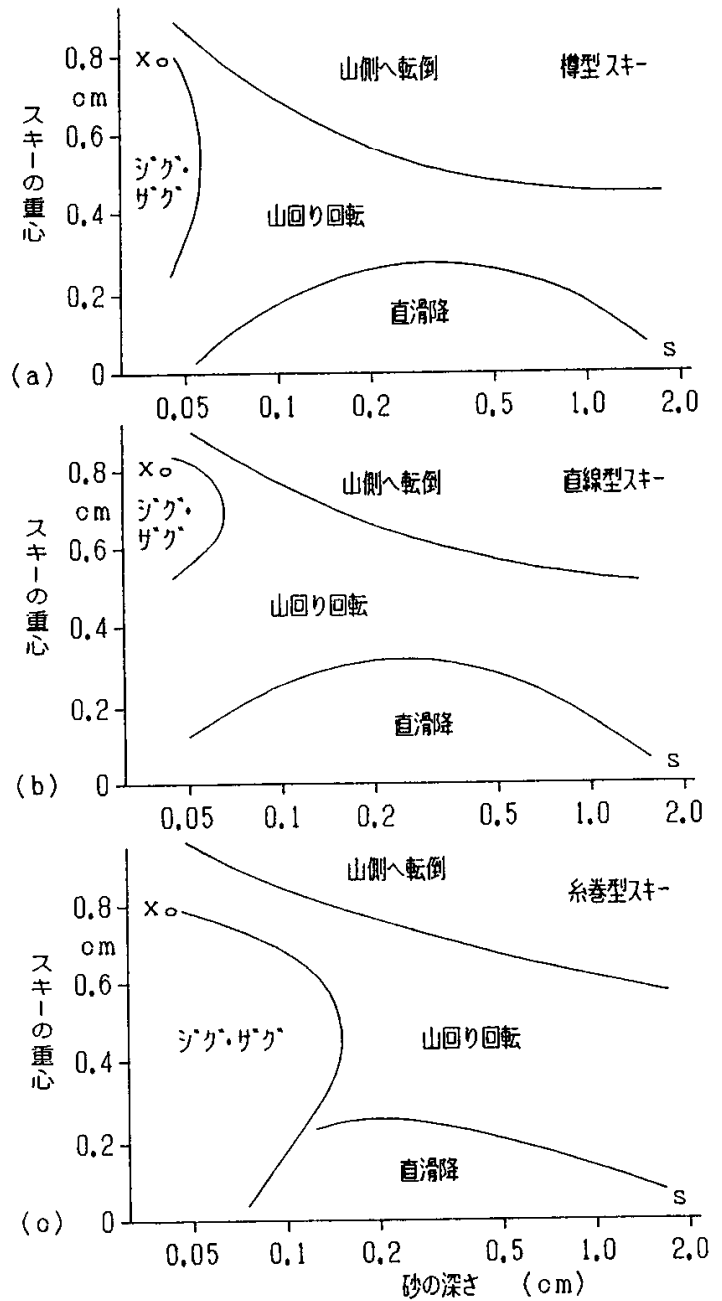


図 9. 重心の位置 x_0 と砂の深さ s . (a) は樽型, (b) は直線型, (c) は糸巻型.

$s < 0.1\text{cm}$ では, 3 種類のスキーの R_0 は各々異なっていた. 特に, 糸巻型スキーは単調な山回り回転をしなくなった. そこでは, 左右に蛇行をした. こうして, 3 種類のスキーの滑降の違いは砂の深さが小さい所で現われてきた. $s < 0.2\text{cm}$ の時, 糸巻型スキーは他のスキーに比べて直線滑降が困難であった. $s < 0.1\text{cm}$ では砂は殆ど無く, スキーは木綿の布の上を滑降している様であった.

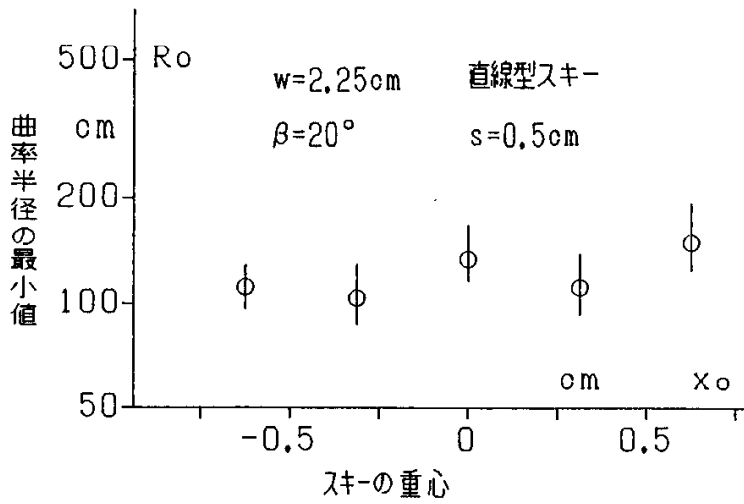


図 10. やぐら型スキーの重心の位置 x_0 と R_0 .

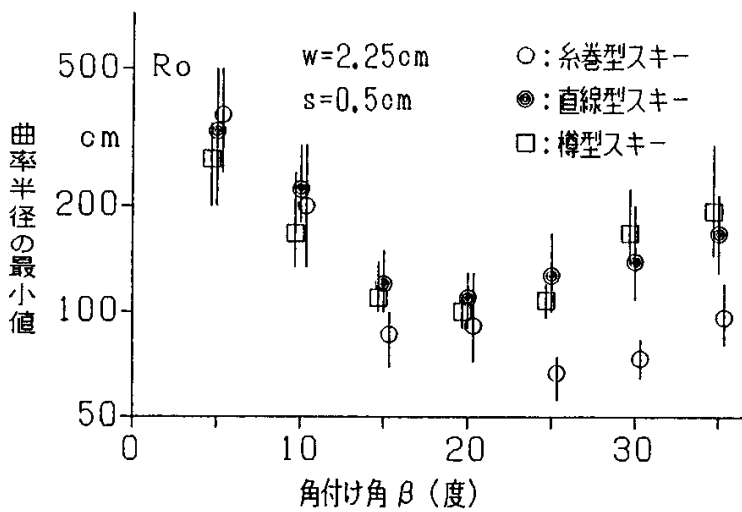


図 11. やぐら型スキーの角付け角 β と R_0 .

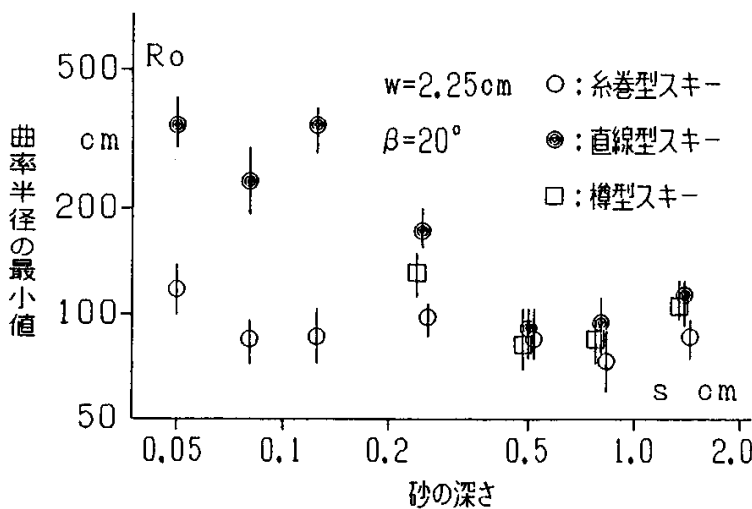


図 12. 砂の深さ s とやぐら型スキーの R_0 .

3.5 やぐら型スキーの x_0

図 2 のやぐら型スキーの主スキーに直線型スキーを選び、そのスキーの角付け角を $\beta=20^\circ$ とした。そして滑降実験を行った。スキーの幅は $w=2.25\text{cm}$ であり、砂の深さは $s=0.5\text{cm}$ であった。重心は $-0.62\text{cm} \leq x_0 \leq +0.62\text{cm}$ の範囲で変えられた。この時、スキーは角付けされた方向へ山回り回転をした。 x_0 が変化しても、 R_0 に大きな変化はなかった(図 10)。以後やぐら型スキーの実験では重心を $x_0=-0.31\text{cm}$ とした。

3.6 やぐら型スキーの β

やぐら型スキーに、3 種類のスキーを取付け、滑降実験を行った。スキーの幅は $w=2.25\text{cm}$ であり、砂の深さは $s=0.5\text{cm}$ である。 β の角度範囲は図 11 の様に $5^\circ \leq \beta \leq 35^\circ$ である。これらの範囲では、やぐら型スキーは、3 種類共に、角付けされた方向へ山回り回転をした。そして、3 種類のスキーの R_0 は良く似ていた。 $5^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$ では、 β が大きくなると、回転し易くなり、 R_0 は小さくなった。しかし、 $20^\circ \leq \beta \leq 35^\circ$ では、 β が大きくなると、回転し難くなり、 R_0 は大きくなった。この理由は討論で述べられている。

3.7 やぐら型スキーと s

砂の深さが $0.05\text{cm} \leq s \leq 1.4\text{cm}$ の範囲で変化した時、3 種類のスキーに対する R_0 の変化の様子が調べられた(図 12)。スキーの幅を $w=2.25\text{cm}$ にし、やぐら型スキーを用いて、角付け角を $\beta=20^\circ$ にした。図 12 の様に、砂の深さが $0.5\text{cm} \leq s$ では、3 種類のスキーは、

いづれも角付けされた方向へ山回り回転をし、 R_0 は良く似ていた。しかし、砂の深さが $s \leq 0.2\text{cm}$ では、樽型スキーは蛇行をした。更に、直線型スキーの R_0 は糸巻型スキーの R_0 に比べて著しく大きかった。こうして、3種類のスキーの滑降の違いが、砂の深さが $s \leq 0.2\text{cm}$ で現われた。この深さでは、砂の上に残されたスキーの軌道の幅(図3のb-c間)はスキーの幅の1/10以下であった。

3.8 s と β

やぐら型スキーを用い、角付け角を $5^\circ \leq \beta \leq 35^\circ$ の範囲で変え、砂の深さも $0.05\text{cm} \leq s \leq 1.4\text{cm}$ の範囲で変え、図12と同じ滑降実験を行った。3種類のスキーに対する結果を図13に示す。この図から、 $0.5\text{cm} < s$ では、3種類のスキーは共に山回り回転をし、各々の R_0 は良く似ていた。 $s < 0.2\text{cm}$ では、3種類のスキーの R_0 は各々異なっていた。特に、樽型スキーは山回り回転をせず、蛇行をした。そしてスキーの軌道の幅は小さかった。この様に3種類のスキーの滑降の違いは砂の深さの小さい所で現われた。

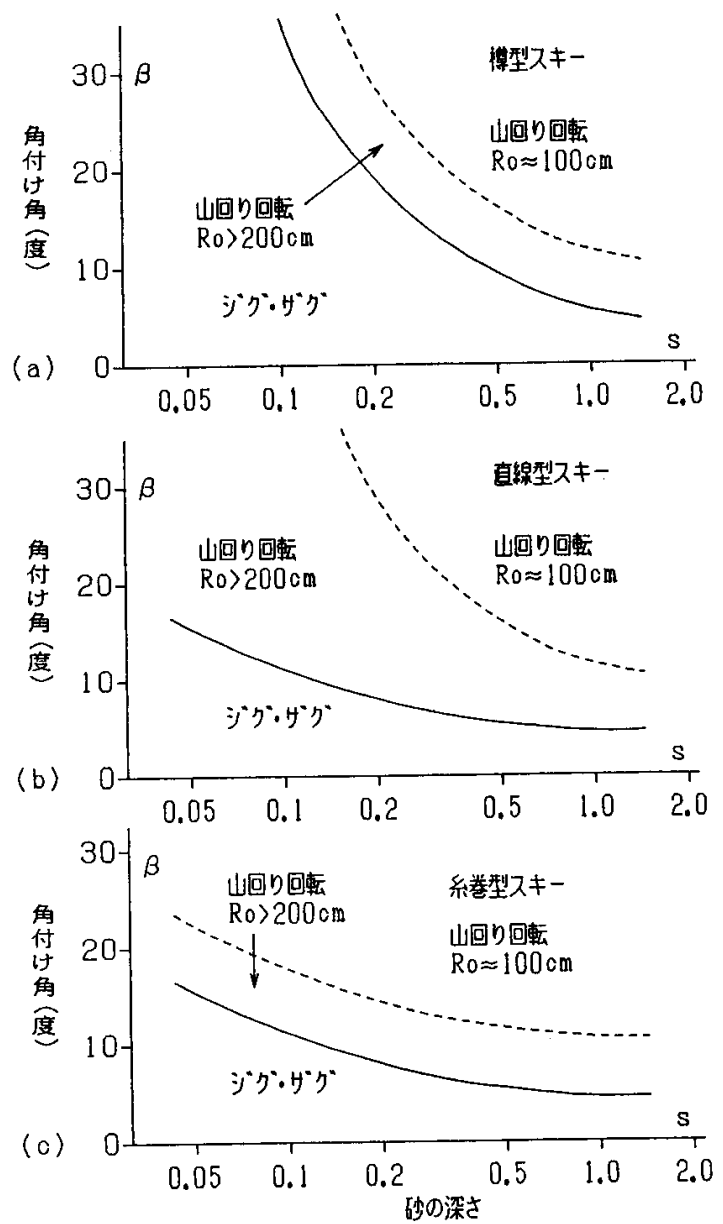


図13. やぐら型スキーの角付け角 β と砂の深さ s .

§ 4. 討論

4.1 サイド・カットの効果

前の実験²⁾で我々は、重心の位置 x_0 を同じにして、3種類のスキーの回転を調べた。その結果、回転方向は同じであったが、軌跡の曲率半径は樽型、直線型、糸巻型の順に小さくなった。つまり、糸巻型スキーが最も回転し易かった。この時、3種類のスキーの平均的な幅 w はほぼ同じであった。しかし、スキーの中心の幅 w の大きさでは、樽型 $>$ 直線型 $>$ 糸巻型であった。これはスキー幅が小さい時はスキーは回転し易いと言う § 3.2 の結果を用いて説明される。この論文では、スキーの中心の幅 w を同じ大きさにして、滑降状態と曲率半径を調べた(表I)。

砂の深さが $s > 0.5\text{cm}$ では、次の様であった。やぐら無しスキー(図7,8,9)では、3種類のスキー滑降は似ており、曲率半径もほぼ同じであった。やぐら付きスキー(図11,12,13)でも、3種類の滑降は似ており、曲率半径もほぼ同じであった。即ち、回転滑降の仕方では、サイド・カットの違い