



スキーの回転機構の実験的研究

反りの効果

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

反りの効果

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 Flexion on Ski Turns

Toshio Sahashi (Daido Institute of Technology)

Shoji Ichino (Aichi University of Education)

抄録

「スキーマの前方部分の反り」がスキーマの回転に与える影響を調べる為に、この実験が行われた。スキーマには、サイド・カットのない直線型の模型スキーマが用いられ、柔らかい砂面上を滑降した。実験の結果、スキーマの反りは、運動摩擦係数 μ を小さくし、スキーマを回転し易くする事が分った。これにより、反りがスキーマ回転に必要な要因である事が確かめられた。角付けと反りにより、スキーマと砂面間の接触面が偏る。それがスキーマの回転を作っている事が述べられている。

キーワード:スキーマ,回転滑降,スキーマの運動摩擦係数,スキーマの反り,角付け,サイド・カット

§ 1. 序文

パラレル・ターンについて次の様な技術理論がある^{1,2)}。(1)「上体を捻る事により、スキーマーはスキーマを回転させる事ができる」と言うローテーション技術が1938年に発表されている。(2)「下肢を捻る事により、スキーマーはスキーマを回転させる事ができる」と言う回旋技術が現在のテキストに述べられている。これらのスキーマ理論では、スキーマーが体を捻る方向と、その結果スキーマが回転する方向が同じであり、これは角運動量保存則に合わない。

我々は、パラレル・ターンの角付け角を調べて、直線滑降は $\beta_0=0^\circ$ 、回転滑降は $\beta_0 \neq 0^\circ$ である事を見つけた^{3,4)}。この β_0 は水平面に対する角付け角である。この β_0 を定義すれば、スキーマ回転の方向は β_0 の正負で決まるので、 β_0 則と呼んだ。

そして、パラレル・ターンをしている時、「スキーマーがスキーマを回している」と感じる意識を「スキーマーの回転意識」として捕え、次の様に説明した⁴⁾。それは「心の問題」であり、スキーマーの「錯覚」である。即ち、スキーマの角付けにより、スキーマが回転する。その為、体が倒れない(バランスを保持する)様に、スキーマーはスキーマの回転方向に体を回転させている。その時スキーマーは「スキーマを回している」様に感じるのである。

次に、我々はスキーマの回転機構を「角付けと前方部分の反り」を用いて説明した⁵⁾。その中で、「スキーマ・ターンの原因の1つは、角付けによる砂(雪)面の変形である」事が指摘された。

この論文では、「スキーマの反りがスキーマ回転に与える影響」が、模型スキーマを用いて詳しく調べられた。この実験から次の事が分った。(1)反りは滑降速度を大きくし、運動摩擦係数 μ を小さくする。(2)反りは、スキーマを回転し易くする。討論では、「変形された砂面とスキーマ間の接触面が角付けと反りの為に偏る。それがスキーマの回転を決めている。」事を述べた。

§ 2. 実験方法

2.1 スキーとスキー場

模型スキーは図 1 のように、塩化ビニール(19×2×0.08cm³)で作られた。スキーには、キャンバーはない(スキーに荷重を与えない時は、スキーは平面である)。サイド・カットもない(スキーの幅は先端から後端まで同じ大きさである)。スキーの先端(トップ)は上に曲げられている。スキーの幅は $w=2.25\text{cm}$ である。スキーの上にはアルミの柱と鉄板があり、その上に磁石がある。スキーには座標 (x,y,z) が固定され、重心 G の位置は (x_0,y_0,z_0) で表された。

原点はスキーの裏面上であり、かつアルミの柱の中央である。アルミの柱の中央を荷重点と定義した。アルミの柱とスキーの中心間の長さを P とし、柱と磁石の中心間の長さを Q とした。 P と Q を変え、スキー上の荷重点と重心の位置 G が調節された。

スキーの反りとは「アルミの柱と先端の間が上に曲げられている」事を言う。この実験に用いられた 5 種類のスキーの厚さと重さを表 I に示す。各厚さのスキーについて、反りと先端の部分の形の数例を図 2 に示す。# はスキーにつけたスキー番号である。図 2-#2 の 3mm 厚のスキーには、スキーの中央と先端との間に反りが付けられている。図 2-#5 の 3mm と 2.1mm~0.45mm のスキーには、反りは付けられていない。各厚さの数個のスキーについては、反りの部分又はトップの部分の曲線は微妙に変えられている。これらの曲線により実験結果は微妙に変化した。

表 I スキーの厚さと重さ

厚さ	3.0mm	2.1mm	1.5mm	0.8mm	0.45mm
重さ	18.4g	12.7g	8.6g	4.4g	2.3g

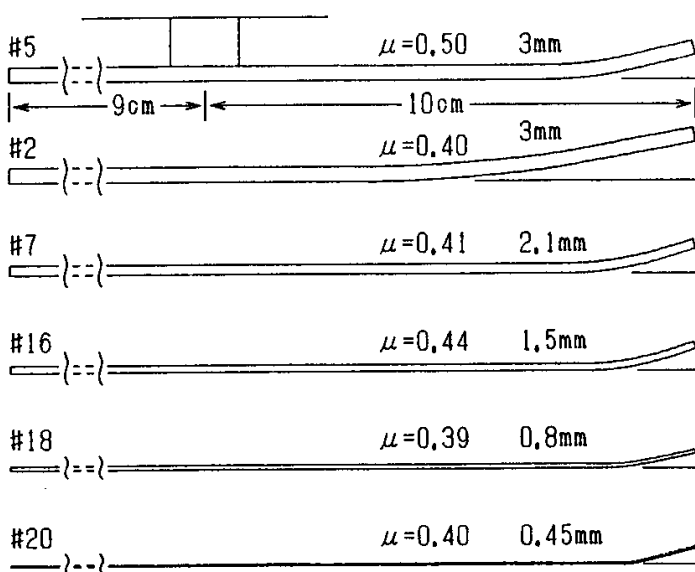


図 2. スキーの厚さと反り。
 μ は運動摩擦係数の測定値。

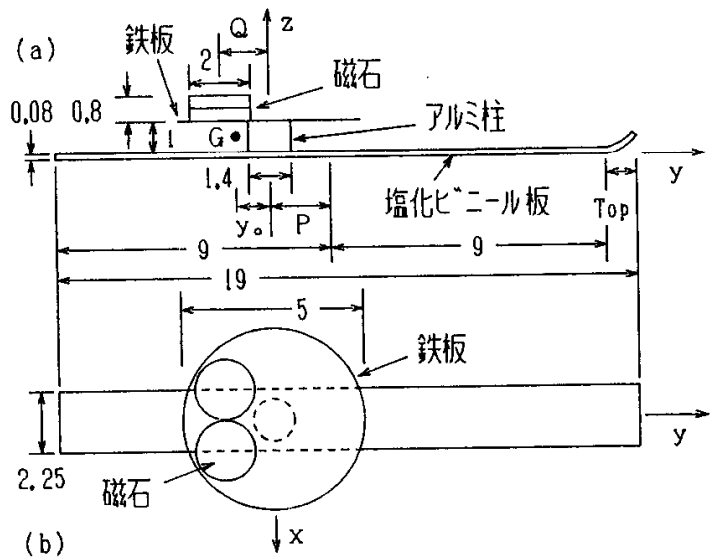


図 1. 模型スキー。
(a) はスキーの横図, (b) は上図である。

スキーは細かい砂面上(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 $s=1.4\text{cm}$ である。滑降(砂)面上に X 軸、 Y 軸がある。 Y 軸は最大傾斜線の方角である。

滑降中、角付け角を一定にする為に幾つかの実験では、図 3 のやぐら型スキー^{5,6)}が用いられた。これは砂面に平行な 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なる様に, やぐらで支えられている. B はやぐらの中で垂直方向に自由に動く事が出来る. その為, 中央の主スキー H (図 2 のスキーの 1 つ) 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, やぐら型スキーの重さは 30g である. この論文では, 単位の無い長さの数値はすべて cm である.

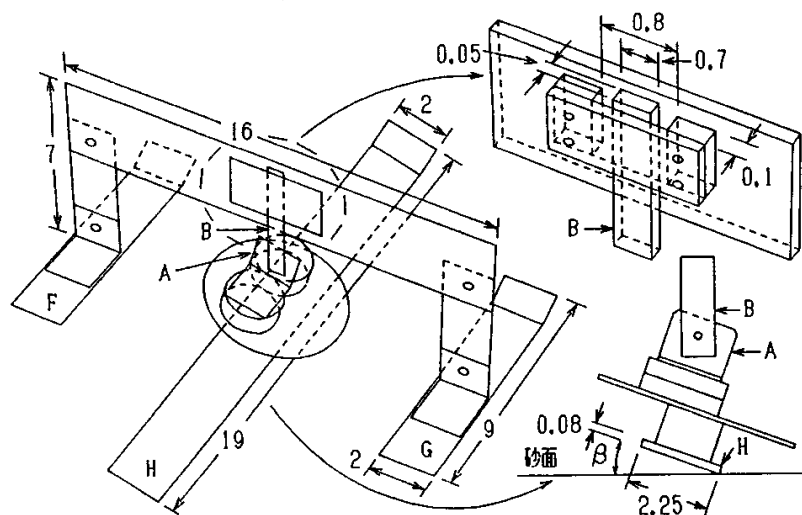


図 3. やぐら型スキー.

2.2 運動摩擦係数 μ

スキー (スキー上の物体を含む) の重さを Mg とし, 運動摩擦係数を μ とする. スキーが直滑降をしている時, 最大傾斜線の方に働く力 T は,

$$T = Mg \cdot \sin \alpha - \mu Mg \cdot \cos \alpha, \dots (1)$$

となる. g は重力の加速度である. 速度 0cm/s で滑降を始めたスキーが, 長さ $Y=100\text{cm}$ の間を滑降する時間 t 秒を測り, $\alpha=26^\circ$, $g=980\text{cm/s}^2$ を用いて, 次の式から μ 値を得た.

$$\mu = (\sin \alpha - 2Y/t^2g) / \cos \alpha \dots (2)$$

§ 3. 実験結果

3.1 スキーの厚さと μ

5 種類厚のスキーについて, $P=Q=0\text{cm}$, $x_0=y_0=0\text{cm}$, $z_0=1\sim 1.3\text{cm}$ の時の μ が求められた. 各厚さのスキーについて, 反り具合を変えた数種類のスキーが用いられた. これらの全てのスキーについて, 全重量が 50g になる様に鉄板上の物体 (磁石) の重さが調節された. その結果を図 4 に示す. 図 4 の # 番号は図 2 の # 番号に各々対応している. 以後 # 番号に関しては, 同じ番号は全て対応している. 図 2 の各スキーの μ は, この時の測定値である.

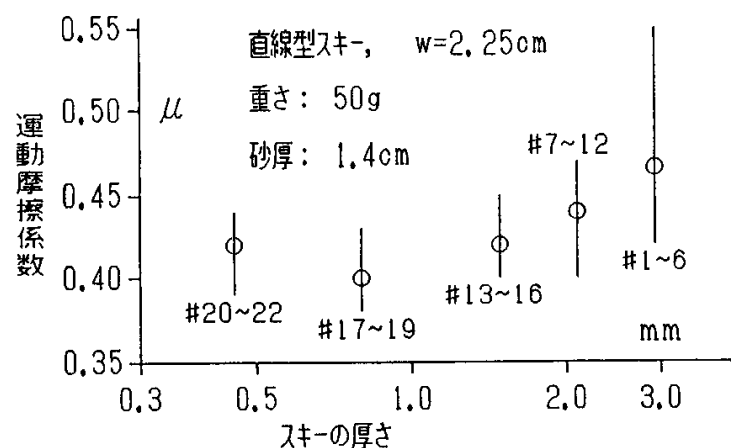


図 4. スキーの厚さと運動摩擦係数 μ .

3mm スキーでは, μ の平均値 (○印) は大きく, その値の拡り (縦線) も大きかった. その中で, 反り無しスキーの μ は最大となり, 反りが大きいスキーの μ は最小となった. 反り無し 0.8mm スキーは, 滑降中に前方部分が浮き上り, 反って来る事が実験的に確かめられている⁶⁾. 反り無し 3mm スキーが, 滑降中に反ってくる事は期待し難い. 3mm スキーでも, 滑降前のスキーに適度な反りを与えておけば, 0.8mm スキーと似た μ が得られた. 従っ

て、滑降前に与えた反りは、滑降中に作られた反りと同じ効果がある事が理解される。

2.1mm スキーでは、滑降前に反りは与えられていなかった。2.1mm の μ の平均値は、3mm の μ の平均値より小さかった。多分、滑降中のスキーに作られたわずかな反りから、 μ が小さくなったのであろう。1.5mm~0.45mm スキーでは、滑降前に反りは与えられていないが、滑降中に反りが観察された。 μ の平均値では、0.8mm スキーの μ は最も小さかった。このスキーでは、滑降中に出来た反りが最も効果的に μ を下げたと思われる。0.45mm スキーの μ の平均値は 0.8mm の μ の平均値より大きい。これはスキーが柔らか過ぎてスキーの中心部分のみが曲り、形が極端に下に凸になり、砂の抵抗が大きくなった為であろう。従って、滑降中に、スキーの中心部分が曲り過ぎ無い様な硬さがスキーには要求される。

上述の結果から、適度な硬さがあれば、スキーは柔らかい程、反りができ易くなる。スキーの反りにより、スキーの前方部分は浮き上がり、スキーは滑り易くなり、 μ が小さくなると思われる。

3.2 スキーへの荷重と μ

5 種類厚の各スキー(スキー上の物体を含む)の重さ Mg を変えて μ が求められた。 $P=Q=0\text{cm}$, $x_0=y_0=0\text{cm}$, $z_0=1\sim 1.5\text{cm}$ である。それらのうちの数個の例を図 5 に示す。3mm~0.8mm スキーでは、 M が大きくなる程、スキーは速くなり、 μ は小さく成った。 μ は M に依存する変数であった。図 5 の結果は次の様に考えられる。スキーと砂との間の抵抗を 2 つに分ける。(1)抵抗 1 を、スキーの先端から後端までの比較的平らな部分と砂との間の摩擦抵抗 F_1 とする。 F_1 はスキーの重さに比例し、その運動摩擦係数 μ_1 は重さに依存しないと仮定する。(2)抵抗 2 を、スキーの先端がその前にある砂を除くための抵抗(除砂抵抗) F_2 とする。 F_2 は重さに依存しない定数とし、その運動摩擦係数を μ_2 とする。スキーに働く力 Ma は次式となる。

$$\begin{aligned} Ma &= Mg \cdot \sin \alpha - Mg \cdot \cos \alpha (\mu_1 + \mu_2) \quad (3) \\ &= Mg \cdot \sin \alpha - (F_1 + F_2) \end{aligned}$$

ここで、 $F_1 = Mg \mu_1 \cdot \cos \alpha$, $\mu_0 = \mu_1 + \mu_2$, であり、式(1)の運動摩擦係数 μ は μ_0 に変る。スキーの先端の前にある砂(除砂抵抗 F_2 を作っている砂)が、スキーの重さに依らず一定であるとすれば、 F_2 は定数となる。従って、 $F_2 = Mg \mu_2 \cdot \cos \alpha$, に於いて、 $M \mu_2 = \text{定数}$,

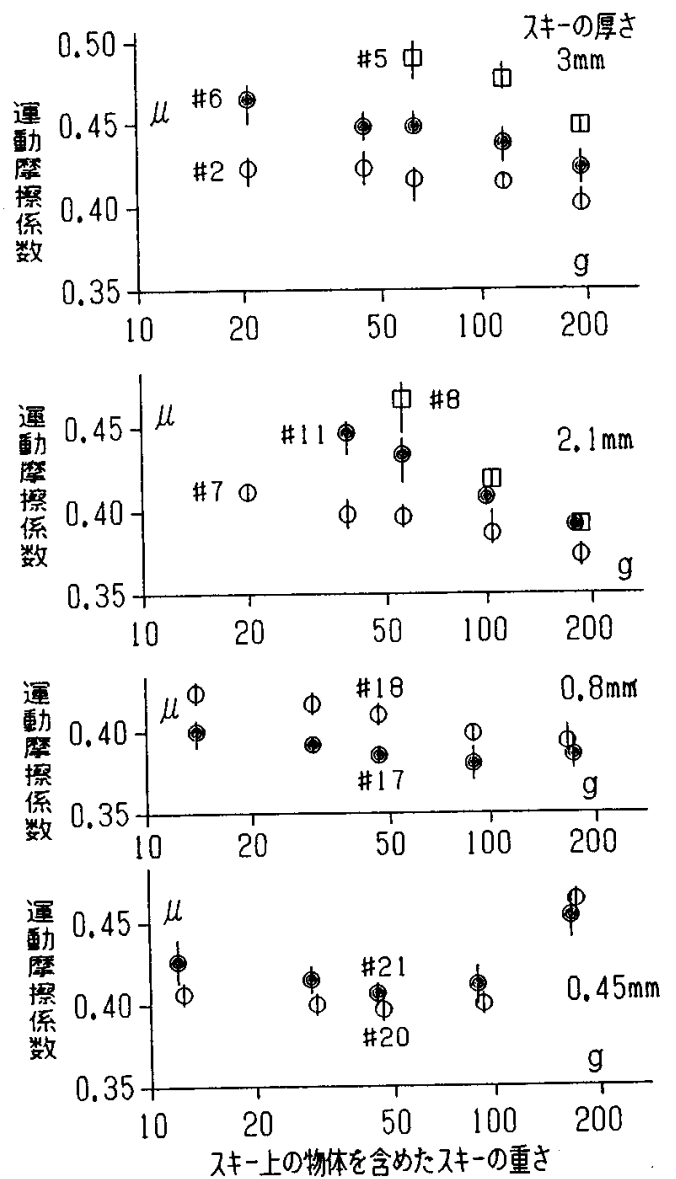


図 5. スキーに加えられる荷重と μ 。

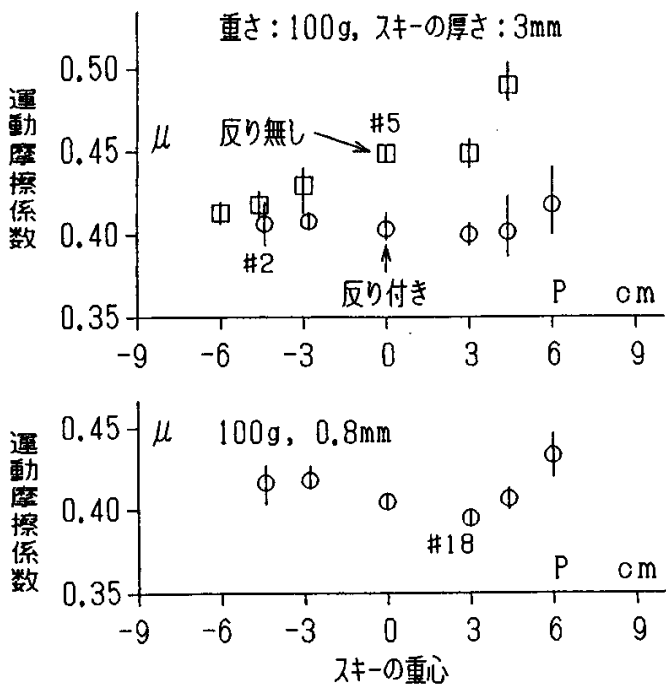


図6. 荷重点の位置Pと μ .

そして、この傾向は0.8mm スキーでも、 $M > 100g$ で現われている。従って、スキー上の物体の重さに適した硬さがスキーには要求され、その硬さの範囲内で、物体は重い程、 μ は小さく成る事が分る。

深雪スキーの場合、スキーの先端に加えられた雪からの抵抗は極めて大きい。深雪の中で、スキーヤーの体重が重い程滑り易いという我々の経験はこの実験結果と一致する。

3.3 スキー上の荷重点(アルミの柱の中央)の変化と μ

図1のPを変えた時、重心Gが常にz軸上にある様に、磁石Qの位置を調節した。スキーは5種類厚である。スキー上の物体を含めた各スキーの重さは100gであり、重心は $x_0=y_0=0cm$, $z_0=1\sim 1.4cm$ である。Pを $-7cm < P < +8cm$ の範囲で変えた時の μ が求められた。3mm スキーと0.8mm スキーの例を図6に示す。P=3はアルミの柱が、トップから6cmの位置にある事を示している。反り無し3mm スキーでも、荷重点を後方へ置けば μ は小さくなった。このスキーの前方は上に反り易くなり、反り付きスキーと同じ効果が得られた。反り付き3mm スキーでは、0.8mm スキーと

となり、 $\mu \propto 1/M$ となる。こうして式(3)から、スキーの重さMgが大きくなると、 μ_0 は小さくなり加速度aが大きくなる事がわかる。この μ_0 は図5の μ に相当している。これらの事は、「体重が重い程、スピードが出易い」と一般に言われている事の1つの理由であろう。

0.45mm スキーでは、 $M=50g$ で μ は最小と成っている。M < 50gでは、上述の結果と同じ様に、Mが大きいか程、 μ は小さくなった。M > 50gでは、逆にMが大きいか程、 μ は大きくなった。これは§3.1の結果と同様に、Mが大きくなると、スキーの形が下向きに極端に凸になった。その為、砂の抵抗が大きくなったと考えられる。

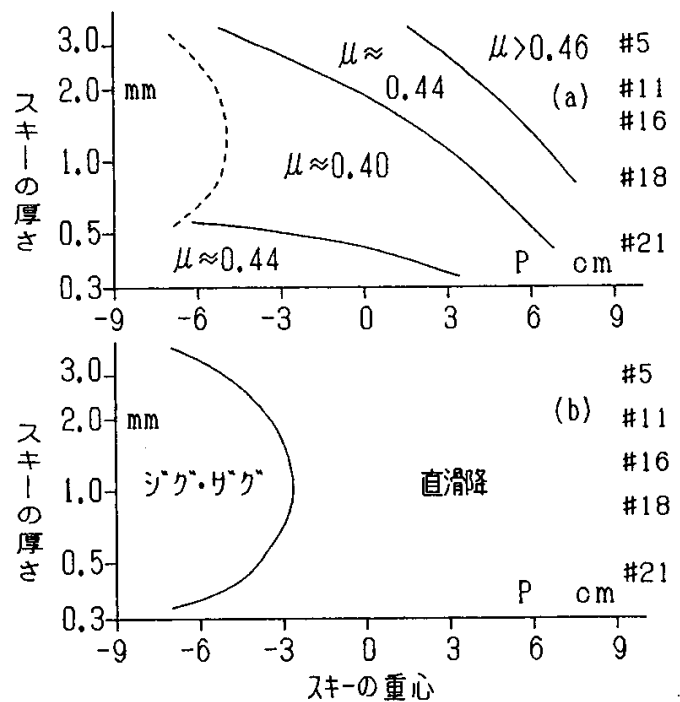


図7. 荷重点の位置Pとスキーの厚さと μ . (a)は運動摩擦係数, (b)は滑降状態。

同様に小さい μ が得られた。いずれも、アルミの柱をスキーの中央,又は前方に置けば,反りの効果は期待できず, μ は大きくなった。

図7-(a)は,各厚さの反り無しスキーについて, P と μ の関係を示したものである。スキーは適度な厚さがあれば,薄い(柔らかい)程, μ は小さくなる。又,荷重点を後方に置く程, μ は小さくなる。図7-(b)はそれらの滑降状態を示したものである。 $P > -3\text{cm}$ では,安定した直滑降となった。 $P < -4\text{cm}$ では,時々ジグザグ滑降となった。その中で μ の測定が出来なかった範囲を図7-(a)の点線で示す。

この実験から次の事が分った。スキーの前方部分には,反りにより μ を小さくする効果がある。スキーの後方部分には,スキーの直進性を良くする効果がある。

深雪の場合に,後傾姿勢を取った方が滑り易くなるといわれている。これは図7の様に,重心を後に置いた方が反りの効果が大きくなって滑り易くなり, μ は小さくなる事で説明される。

3.4 スキー上の重心の変化と μ

図1で $P=0\text{cm}$ とした時,磁石の位置 Q を調節してスキーの重心の位置 y_0 を変えた。スキーは5種類厚である。各スキーの重さは100gである。重心は $x_0=0\text{cm}$, $y_0=-2\sim+2\text{cm}$, $z_0=1\sim1.5\text{cm}$ である。この時の μ を求めた。図8は,3mmスキーと0.8mmスキーの場合の重心 G

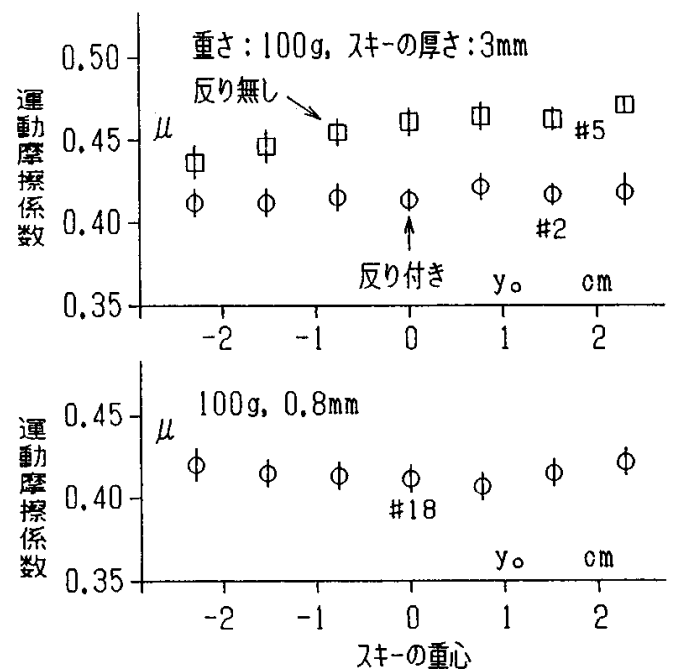


図8. 重心の位置と μ 。

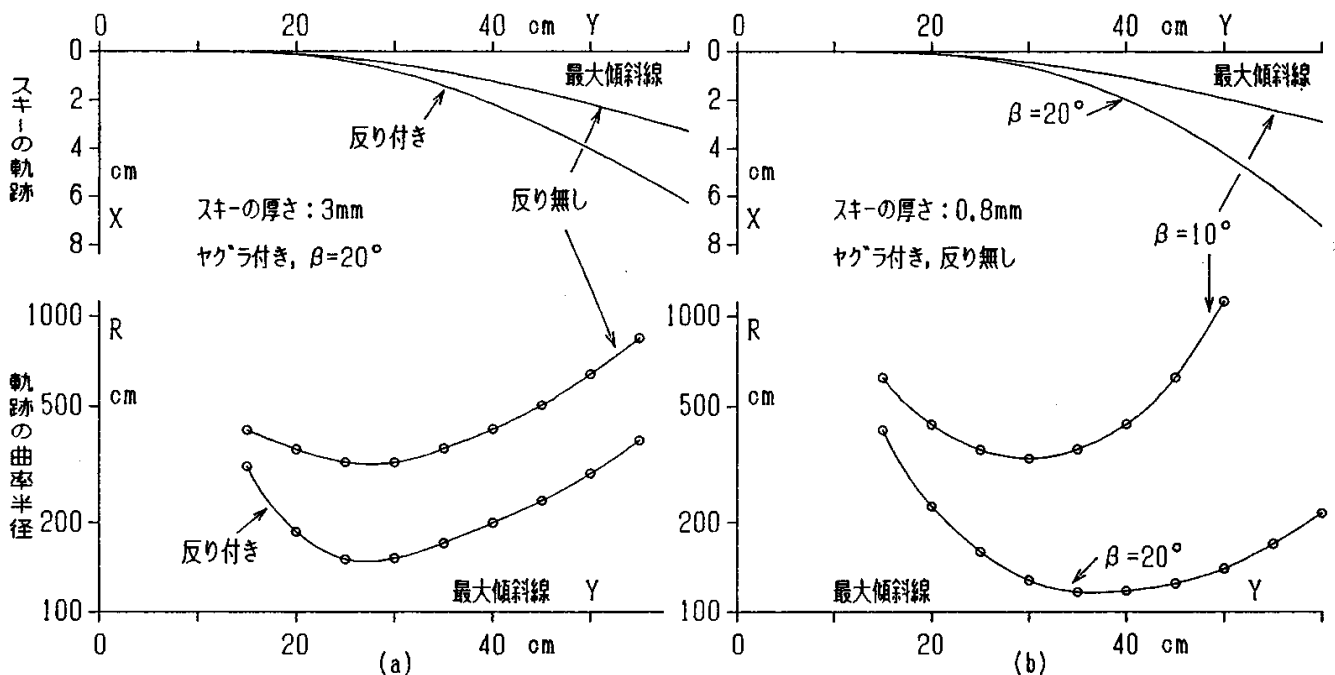


図9. やぐら型スキーの滑降の軌跡と曲率半径。

の位置 y_0 と μ との関係を示した例である。 μ の変化は、図 6 の荷重点を変えた時の μ の変化とよく似ていた。 反り無し 3mm スキーでは、重心が後に行く程、 μ は小さくなった。 重心が後にあれば、前方が高くなり、反りと同じ効果が出て来ると考えられる。 図 8 では、重心の位置変化の範囲が小さく、 μ の変化は僅かであった。 反り付き 3mm スキーでは、0.8mm スキーと同じ様に、 μ は小さく、重心の位置依存は小さかった。

雪スキーでは、足元を固定した時、重心を足元から前後させると滑降状態が変化するとされている。 しかし、この実験では反りの有無にかかわらず、 μ の変化は小さく、滑降状態は余り変らなかった。

3.5 やぐら型スキーの回転滑降

図 3 のやぐら型スキーの主スキー H に 5 種類厚のスキーの 1 つを選び、スキー H の角付け角を $\beta=20^\circ$, 又は 10° に固定した。

$P=Q=0\text{cm}$, $x_0=-0.3\text{cm}$, $y_0=0\text{cm}$, $z_0=1\sim 1.3\text{cm}$ である。 スキー H が同じ重さ 50g になる様に鉄板上の磁石を調節し、滑降実験を行った。 スキーは、角付けされた方向へ山回り回転をした。 その結果の 2 例を図 9 に示す。 図 9 はスキーの軌跡と、その曲率半径である。

軌跡の描き方は、前の論文の中で述べられている⁵⁾。 (a) は反り無しと反り付きスキーであり、両方共 3mm 厚であり、 $\beta=20^\circ$ である。 (b) は両方共反り無し 0.8mm スキーであるが、 β は 20° と 10° である。 次の様に、各組合せの軌跡とその曲率半径は良く似ている。

「 $\beta=20^\circ$, 反り付き 3mm スキー 」 と 「 $\beta=20^\circ$, 反り無し 0.8mm スキー 」。

「 $\beta=20^\circ$, 反り無し 3mm スキー 」 と 「 $\beta=10^\circ$, 反り無し 0.8mm スキー 」。

これらの事から、適当な反りがあれば、スキーの回転はスキーの厚さに依存しない事が分る。

β の角度を $5^\circ\sim 35^\circ$ と変え、5 種類のスキーについて、図 9 と同じ実験をした。 全てのスキーは角付けされた方向へ山回り回転をした。 軌跡の曲率半径の最小値 R_0 ⁵⁾ と β について、その例を図 10-(a), (b) に示す。 この図でも、反り付き 3mm スキーと、反り無し 0.8mm スキーに関しては、その R_0 と β の関係は良く似ている。 又反り無し 3mm スキーの R_0 は、反り付き 3mm スキーの R_0 より大きい。 即ち、反りが無いとスキーは回転し難い事が分る。

$5^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$ では、 β が大きくなると、 R_0 は小さくなった。 しかし、 $20^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$ では、 β が大

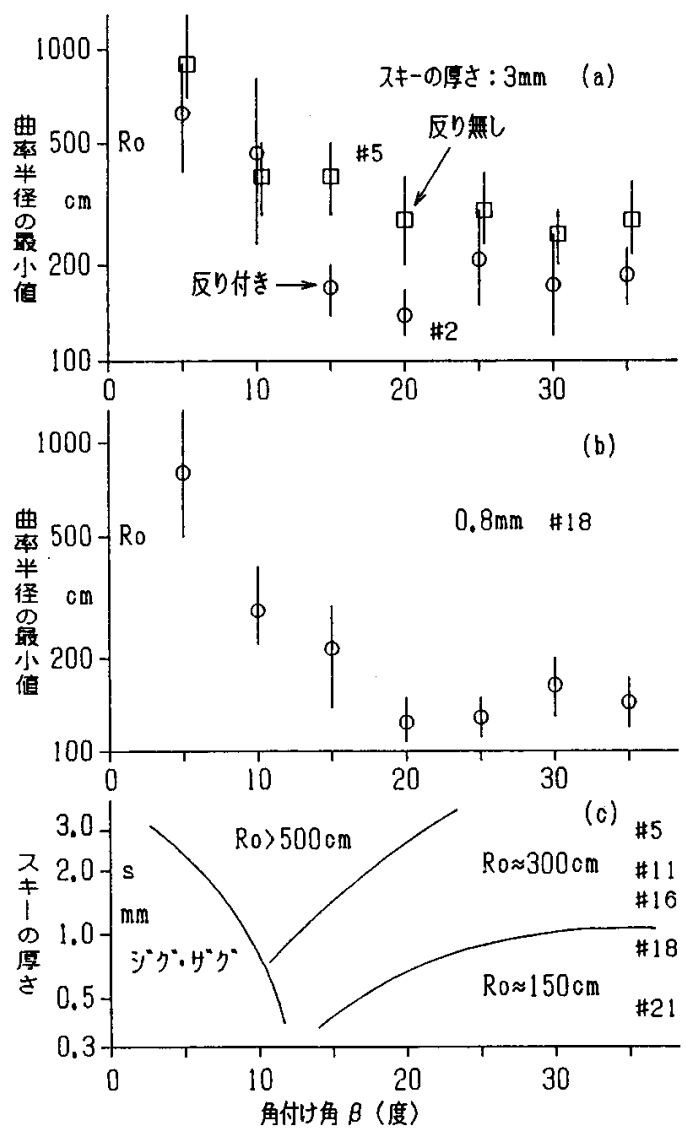


図 10. (a) と (b) は、やぐら型スキーの角付け角 β と、軌跡の曲率半径 R_0 。 (c) 砂の厚さ s と β と R_0 。

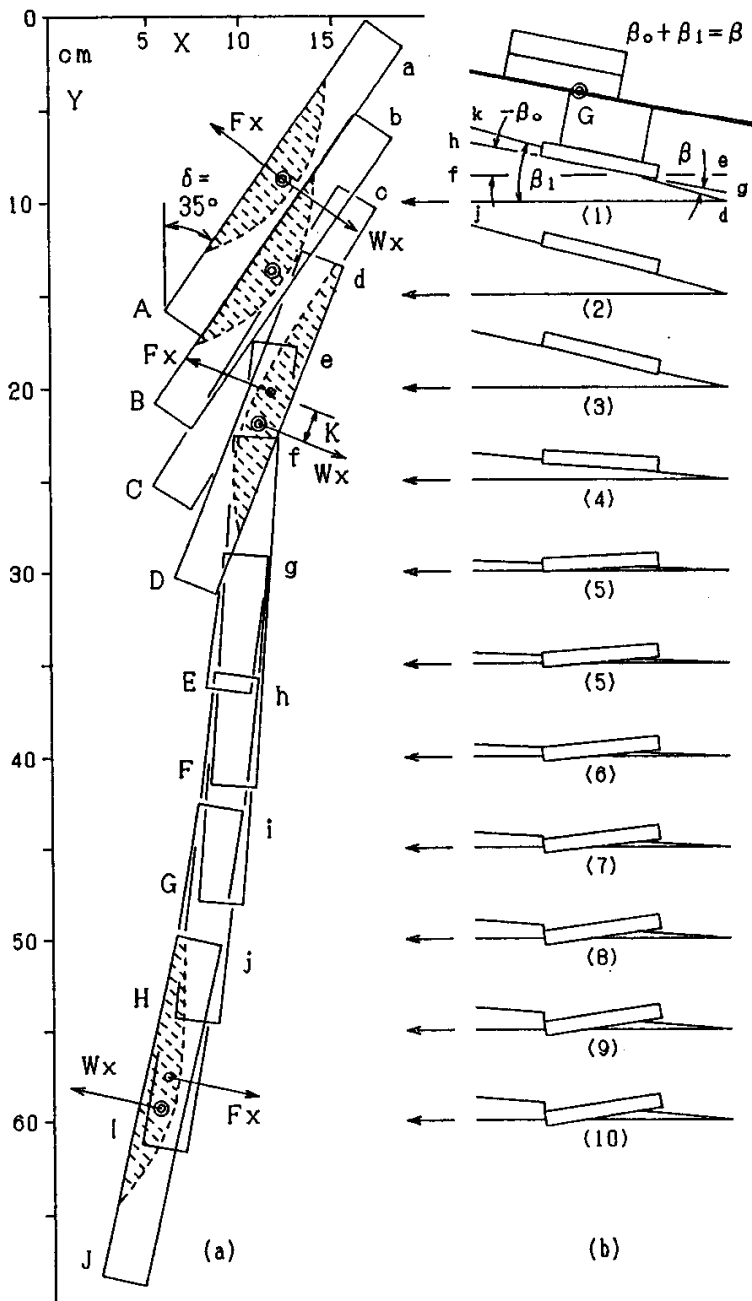


図 11. スキーと砂面との間の接触面の変化。
 (a)は接触面,(b)はスキーの中心部分の断面図。
 角度は実測値。Gは重心。(1)はスキーの
 中心が $Y=10\text{cm}$ (矢印)にきた時の断面図。

(横矢印)の位置にきた時の β, β_0, β_1 を示している。d-j と e-f は水平面であり、d-k は斜(砂)面であり、g-h はスキー面である。 β は砂面に対するスキーの角付け角であり、 β_0 は水平面に対するスキーの角付け角³⁾である。前から見て、重心は左側にあるが、荷重が小さい為右側に傾いている。傾いている方向(右側)に滑降し易いので、谷回り回転となる(B→D)。しかし、(F)→(J)では、スキーは左側に傾き、山回り回転となる。(2)では、スキーの中心が $Y=15\text{cm}$ の時のスキー面と砂面の断面が描かれている。以下同様である。

スキーに固定された座標(x,y)面上で滑降の機構を考えてみよう。スキー A では角付けにより、スキー全体の重力成分 W_x が長さ x に垂直な-x 方向に出来、摩擦抵抗 F_x が+x 方向に出来る。スキー A はセットの直後だから、接触面は重心の前後でほぼ同じであり、 W_x と F_x の間の腕の長さ K は零であり、偶力は発生しない。この為、スキーは A→B へ横滑り、平行移動となる。

きくなると、 R_0 も大きくなった。 β が大き過ぎると、反り難くなり、スキーは回転し難く成る。この理由は前の論文で述べられている⁵⁾。

反り無し 5 種類厚のスキーについて、 $5^\circ \leq \beta \leq 35^\circ$ の範囲で、 R_0 と β の関係を調べた。それを図 10-(c)に示す。反り無しスキーでは、厚さが小さい(薄い、柔らかい)程、回転し易い事が分る。

3.6 スキーと砂の間の接触面

0.8mm 厚(図 2-#18 と同形、同質)の透明スキーを用いて、スキーと砂との間の接触面^{5,6)}を調べた。図 11-(a)にその結果を示す。 $P=Q=0\text{cm}$, $x_0=0.56\text{cm}$, $y_0=0\text{cm}$, $z_0=1.2\text{cm}$ である。接触面は斜線の部分である。スキーの重心 G を◎印で示す。

スキーを最大傾斜線(Y 軸)から 35° の方向にセットした。スキーは A→B へと横滑り、平行移動をした。次に、B→C→D へとわずかに谷回り回転をした。そして、F→G→…→J へと、山回り回転をした。

図 11-(b)には、スキーの前方向から見た、水平面とスキー面と砂面の傾きが描かれている。角度は実測値である。(1)は、スキーの中心が $Y=10\text{cm}$