

スキーマの回転機構の実験的研究
I. 直滑降からの山回り回転

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.
I. An Uphill Turn from Straight Running Downhill

SAHASHI Toshio (Daido Institute of Technology)
ICHINO Shoji (Aichi University of Education)

スキーマの回転機構の実験的研究

I. 直滑降からの山回り回転

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.

I. An Uphill Turn from Straight Running Downhill

SAHASHI Toshio (Daido Institute of Technology)

ICHINO Shoji (Aichi University of Education)

抄録

本論文の目的は、模型スキーが角付けされた方向に回転滑降する事を示すことである。この模型スキーは平らな砂面上を滑降している。滑降の始めは直滑降であるが、すぐに回転滑降を始める。滑降しているスキーの前方部分は上に反り上がっている。これらの結果は、本物のスキーを使った野外の雪上実験でも確かめられている。

§1. 序文

スキーについての教科書が沢山出版されているが、スキーの回転機構を述べている科学的な教科書は極めて少ない。木下¹⁾はスキーの回転機構を迎え角の効果 considering して力学的に解説した。モラウスキー²⁾はスキーヤーの体角制御法でスキーの回転を議論した。リーとモットー³⁾は定常的な回転をカービング回転とスキディング回転に分けて説明した。しかしながら、これらの理論は実験的には確かめられていない。我々の実験的研究は、砂の斜面上で一本の模型スキーを使って、スキーの回転滑降に寄与する基本的な要因を明らかにする為に行われた⁴⁾。

§2. 実験方法

図1のように、模型スキーは塩化ビニールで作られ、直線型と糸巻型と樽型の3つの型に作られた。それらは、ほぼ $19 \times 2 \times 0.08 \text{cm}^3$ の大きさであり、先端は上に曲り、キャンバーのないスキーである。直線型はサイド・カーブなしであり、糸巻型はサイド・カーブ($R=+150\text{cm}$)あり、樽型は逆サイド・カーブ($R=-150\text{cm}$)ありである。塩化ビニールのヤング率は $3.5 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ である。短い垂直のアルミの柱がスキーの中央に固定され、柱の上には円形の鉄板が固定された。鉄板上の4つの磁石を移動させて、36gのスキー複合体(スキー+柱+鉄板+磁石)の重心を変えた。重心Gはスキーの下面から0.57cm上にあった。

模型スキーは細かい砂面上(粒径0.05cm以下、傾斜角 $\alpha \approx 26^\circ$)を滑降した。この砂は $180 \times 80 \times 5 \text{cm}^3$ の箱の中で1cmの深さに詰まっている。

滑降中、角付け角を一定にする為には幾つかの実験では、図2のやぐら型スキーが用いられた。

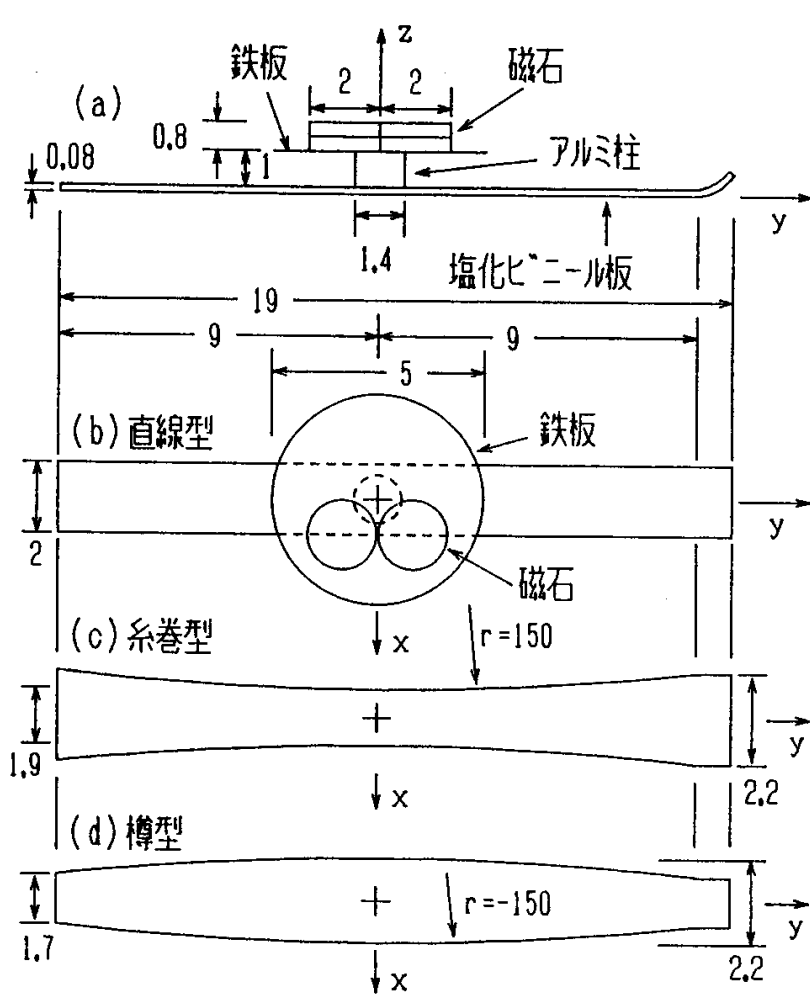


図1. 模型スキーとx,y,z座標系。
(b)と(c)と(d)の横図は(a)に同じ。

表された。x,y面はスキーの裏面上にあり、y軸はスキーの長さ方向である。重心が $x_0=0.00\text{cm}$, $y_0=0.00\text{cm}$, $z_0=1.19\text{cm}$ の時は、重心Gは $G(0.00, 0.00, 1.19)$ で表されている。

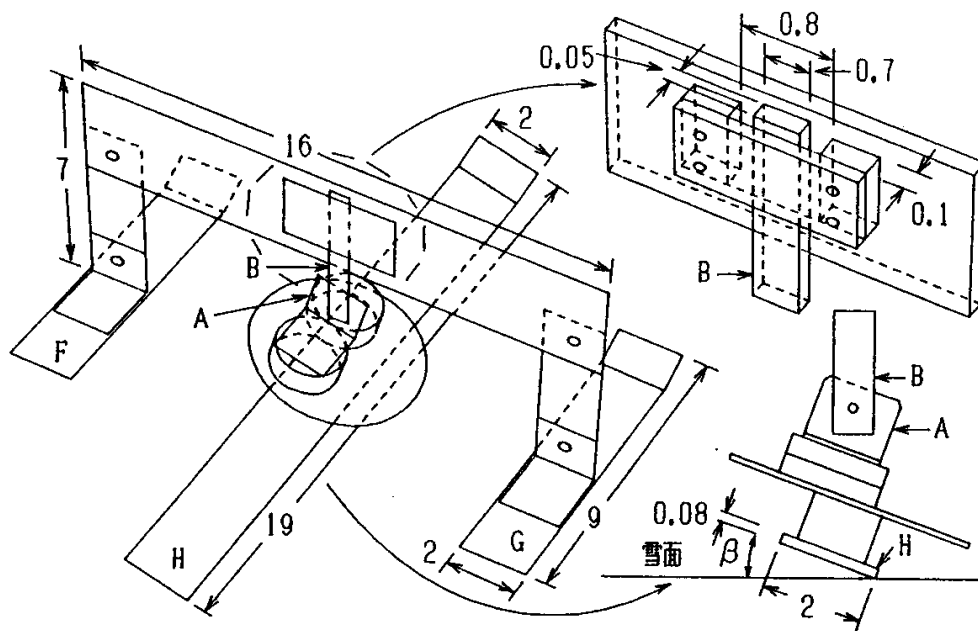


図2. やぐら型スキー

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。主スキーHには、直線型、糸巻型、樽型の1つが用いられた。アルミ片AとBが固定され、主スキーの角付け角 β は滑降中一定の値に保たれた。Bは砂面に垂直方向にのみ自由に動いた。主スキーを除く、やぐら型スキーの重さは30gであった。

雪上実験(図11)では、長さ180cmの本物のスキーの靴の位置に、スキーヤーの代わりに20kgの鉄の重りを乗せて、スキー滑降が行われた。

スキーの運動は、実験室と同様に野外でも、0.25秒間隔で連続的に写真に撮られた。

§3. 結果

図1のように、スキーの中心に原点を持つ直角座標系x,y,zがスキーに固定され、スキーの重心は $G(x_0, y_0, z_0)$ で

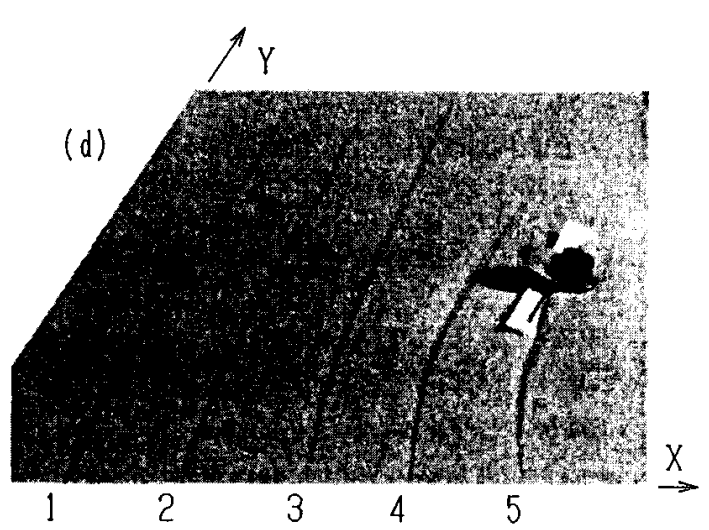
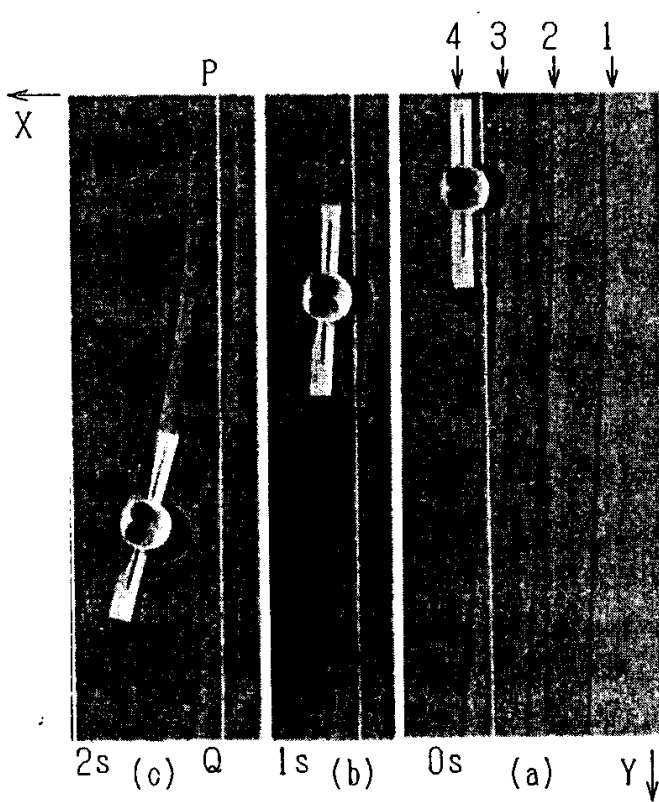
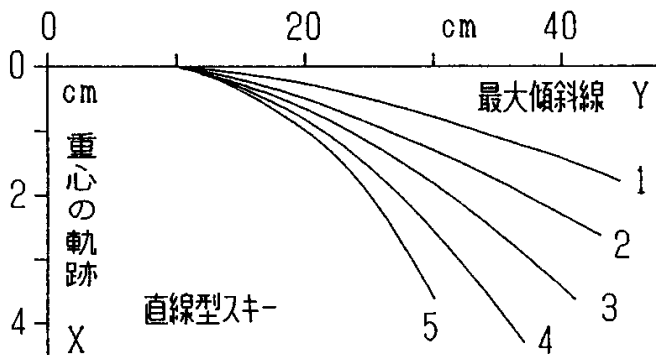
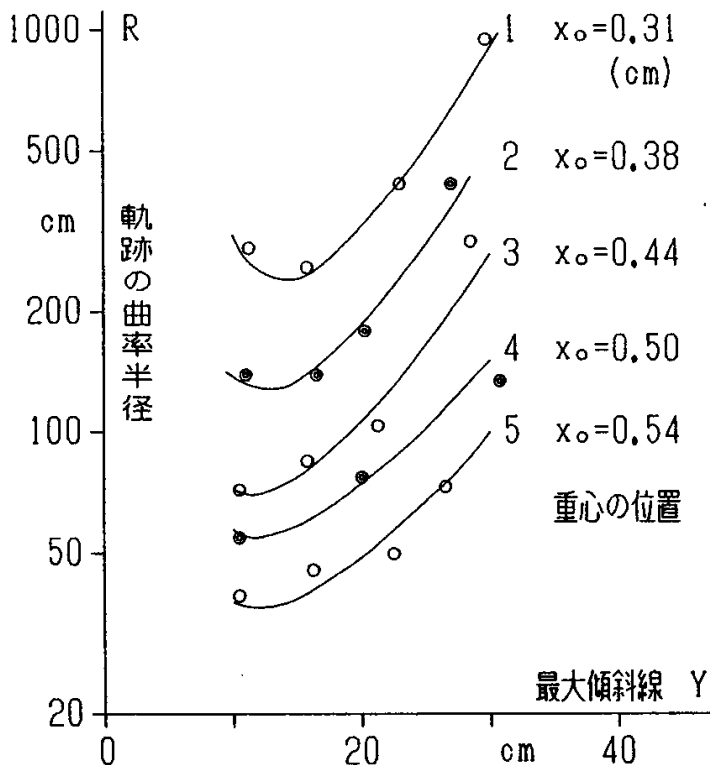


図3. (a)~(c):直線型スキーの山回り回転. X,Y面は砂面上にある. Y軸は最大傾斜線に沿っている. 白線P-Qは砂面上4cmに最大傾斜線に沿って張られた糸である. (d): (a)~(c)で用いられたスキーの後図.



3.1 運動摩擦係数

模型スキーが砂面上を滑降し,連続的に写真に撮られた. その連続写真からスキーの加速度が求められ,運動摩擦係数 μ が得られた. 重心Gが(0.00,0.00,1.19)の時の直線型のスキーの μ は 0.42 ± 0.02 であった.



3.2 山回り回転

直線型,糸巻型,樽型(3つの型)の全てのスキーについて,重心 x_0 を正の値に固定して,最大傾斜線に沿って滑降を始める実験が行われた. 図3は直線型スキーの1例であり,滑降を始めた時,すでにスキーは+x方向に角付けされていた. そして,全てのスキーが右方向に山回り回転をした. 図3は重心がG(0.50, 0.00, 1.19)の時の連続写真である. 図3(a)は出発前であり,(b)と(c)は各々出発後1秒と2秒である. (a)の軌道1,2,3はG(0.31,0.00,1.19)とG(0.38,0.00,1.19)とG(0.44,0.00,1.19)の軌道を表している. さらに(d)の軌道5はG(0.54,0.00,1.19)を表している. (a)と(d)の軌道1,2,3,4は各々対応している. 図4では,図3のスキー軌道の測定値(軌跡と曲率半径)が

図4. 直線型スキーの重心Gの軌跡とその軌跡の曲率半径R

描かれている。図3と図4の軌道1~5は各々対応している。図5では、重心がG(0.31,0.00,1.19)の時の3つの型の軌跡と曲率半径が描かれている。これらの実験から次の事が理解された。(1):もし、 x_0 が正に固定されると、3つの型のスキーの各々は右に角付けされ、右に回転する。 x_0 が負の時は、左に角付けされ、左に回転する。(2):軌道の曲率半径Rは x_0 の増加と共に減少する。 x_0 の同じ値に対しては、Rは糸巻型、直線型、樽型の順に増加する。

3.3 やぐらで支えられたスキーの山回り回転

主スキーに直線型スキーを用い、その重心をG(-0.31,0.00,1.19)に、角付け角を $\beta=10^\circ$ に固定した時の滑降の様子が図6に示されている。このスキーは最大傾斜線に沿って滑り始めると、すぐに山回り回転を始めた。図6(b)はこのスキーの後図である。3つの型のスキーはいずれも同じように、 x_0 の正負の値によらず β と同じ方向へ回転滑降をした。図7では、3つの β の値に対して、直線型スキーと糸巻型スキーの軌跡と曲率半径が描かれている。この図から半径Rは、スキーの型によらず、角付け角 β の増加と共に減少する事が分る。

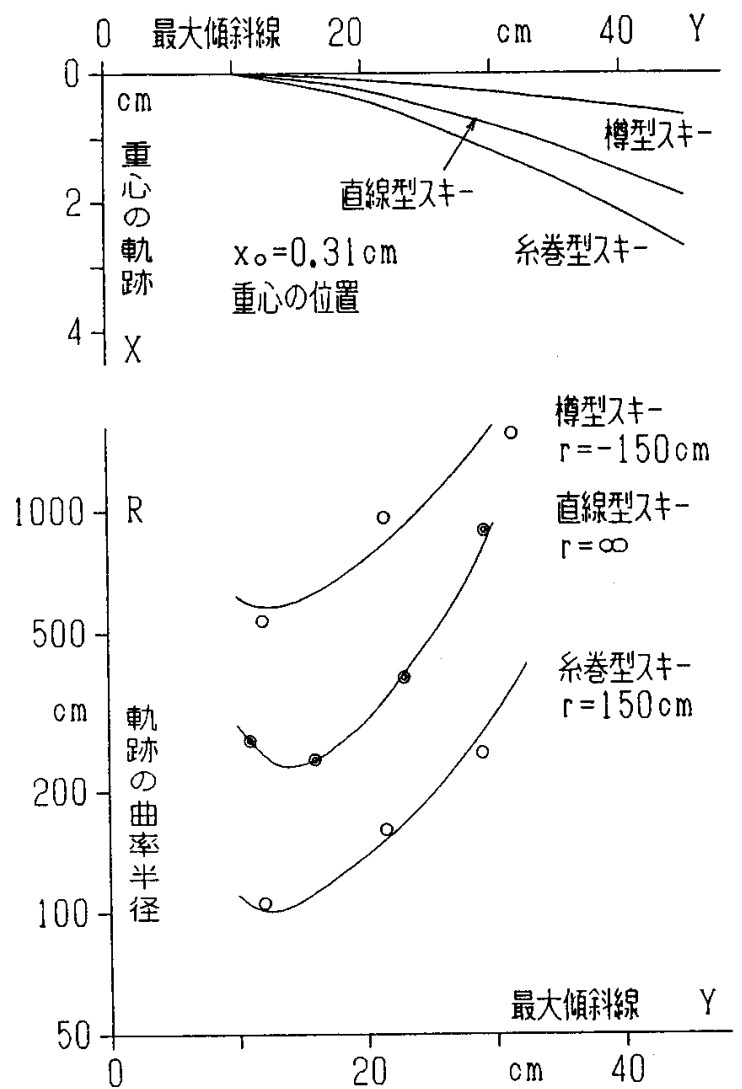


図5. 重心Gの軌跡とその軌跡の曲率半径R

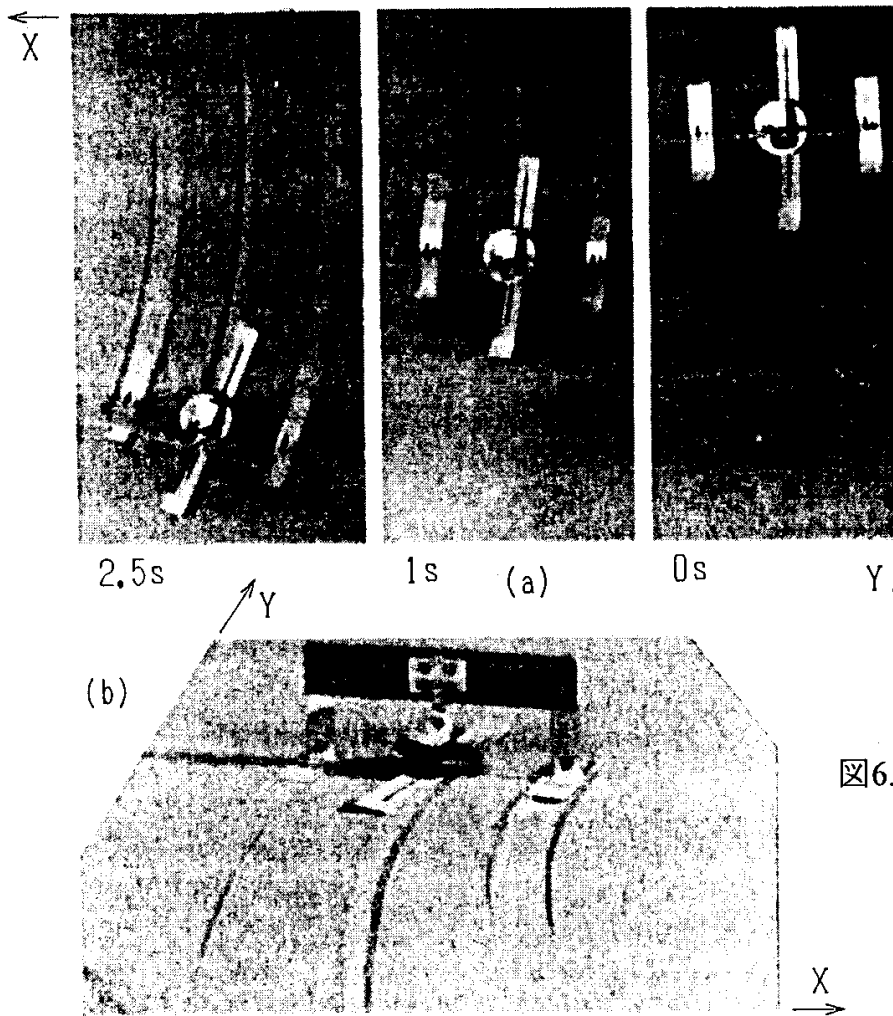


図6. やぐら付き直線型スキー.
(a)上図, (b)後図.

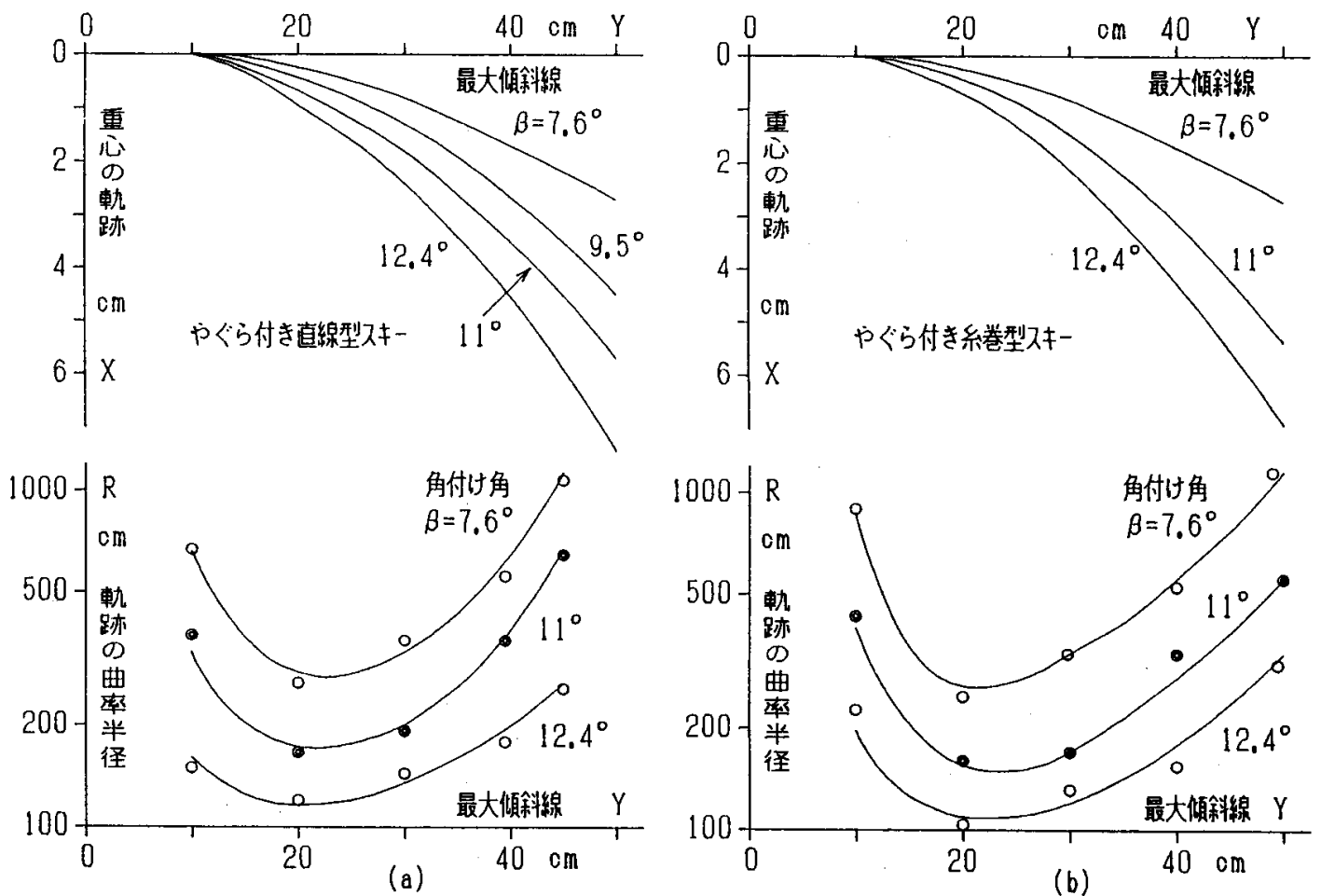


図7. 重心Gの軌跡とその軌跡の曲率半径R.
(a)やぐら付き直線型スキー. (b)やぐら付き糸巻型スキー.

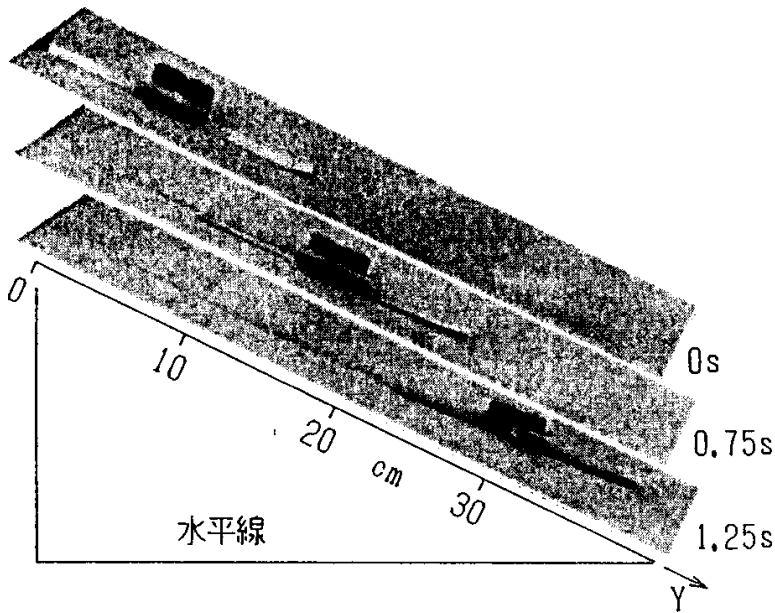


図8. 滑っているスキーの上への反り.

3.5 透明スキーを使った山回り回転

図1(b)のスキーと同じ大きさで、同じ材質の透明模型スキーが作られた。このスキーの重心は+x方向[G(0.44,0.00,1.19)]に固定され、図10(a)のように、最大傾斜線に沿って滑降を始めた。スキーの裏面と砂面との間の接触部分が滑降と共に変化してゆく事が、図10(b)の様に観察された。この図では、y軸に関して接触面が非対称になっている。それは角付けの為であろう。接触面は後方よりも前方の方が小さくなり、x軸に関して非対称になっている。x0=0cmの時は、x軸に関してのみ非対称であった。これらは図9(b)で示された反りの結果と一致している。

3.6 雪上での本物のスキーによる予備実験

角付けされた本物のスキー[G(1.18,1.10,6.33)]が、傾斜角 $\alpha=10^\circ$ の雪上を最大傾斜線に沿って滑降を始めた。そのスキーは図11の様に山回り回転をした。実験では、Gがx方向に移動するに従い、スキーはよく回転滑降する事が示された。雪温は -6°C (締まり粉雪)であった。

3.4 前方部分の上への反り

図8と図9(a)の様に、滑降しているスキーの影から、スキーの隅と砂面との間の垂直距離hが測定された。このスキーは直線型で、重心はG(-0.47,0.00,1.19)である。図9(b)のように、スキーの長さ方向の位置により、hの値は異なっている。スキーの滑降と共に、それらのhは変化している。滑べる前にはスキーは殆ど平らであるが、時間の経過と共に前方部分は上の方に反ってゆく事が分かる。

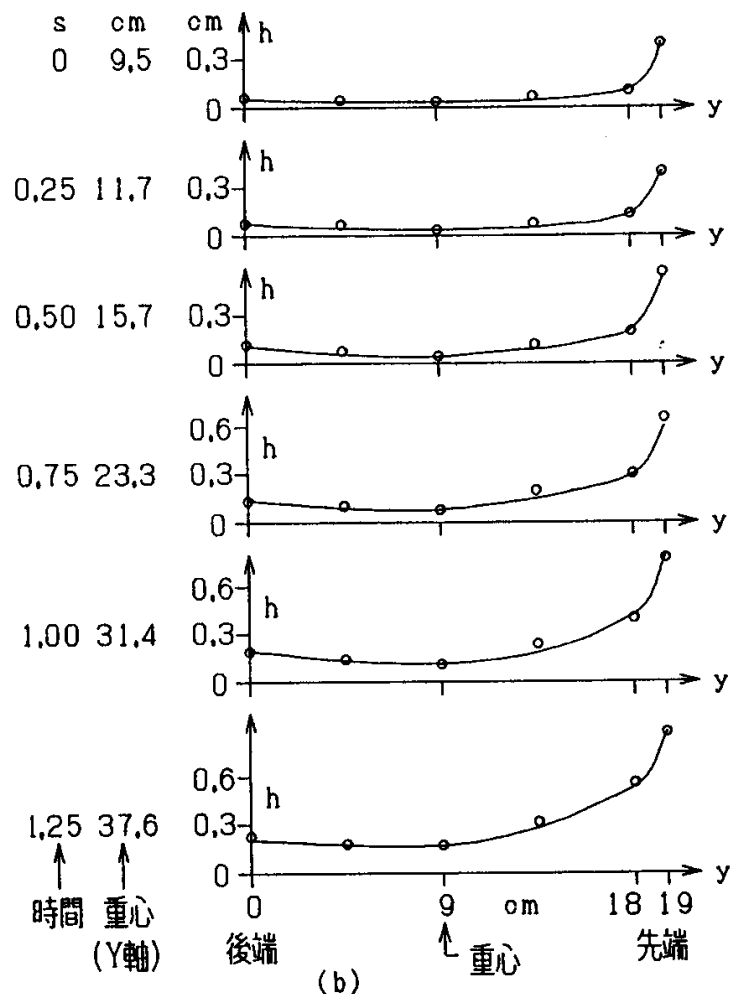
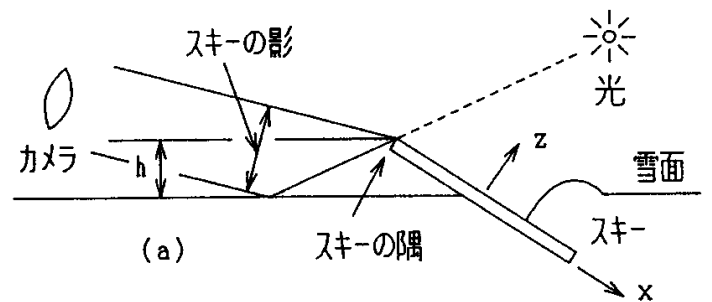


図9.スキーの隅と砂面間の垂直距離hの測定.