

カービング・ターンと角付け角

Carving-turn and Edging Angle of Skis

佐橋 稔 雄

Toshio Sahashi

(Received October 18, 2002)

抄録 カービング・スキーとノーマル・スキーを用いて、カービング・ターン滑降を行った。2種類のスキーの共通点では、カービング・ターンのズレ角と運動摩擦係数 μ は従来のパラレル・ターンのそれ等より各々小さかった。逆に、カービング・ターンの角付け角はパラレル・ターンの角付け角より大きかった。2種類のスキーでは共に、ズレ角の大きさは同じ位であり、角付け角も又同じ位であった。2種類のスキーの相違点では、カービング・スキーの μ はノーマル・スキーの μ より小さかった。カービング・スキーの滑降軌道の曲率半径 R もノーマル・スキーの R より小さかった。

カービング・ターンと角付け角

Carving-turn and Edging Angle of Skis

佐橋 稔雄*

SAHASHI Toshio

Summary

Carving-turn descents were performed with carving skis (shaped skis) and conventional skis. The two types of skis exhibited the following common characteristics during carving turn descents compared to conventional (parallel) turns: the amount of skidding was less and the coefficient of kinetic friction, μ , was smaller than these in a conventional (parallel) turn. On the other hand, the edging angles of both types of skis were wider than those for the parallel turn. Both types of skis exhibited almost the same skidding angle and edging angle. The differences between the two types of skis were as follows: μ of a turn was smaller with carving skis than that with conventional skis. Moreover, the radius of curvature of the sliding track, R , was smaller for carving skis than for conventional skis.

キーワード: カービングスキー, カービングターン, 運動摩擦係数, 角付け角, サイドカット, スキー滑降

Keywords: carving ski, carving turn, coefficient of kinetic friction, edging angle, side-cut, ski sliding

1. はじめに

近年カービング・スキーが多くのスキーヤーに用いられ,そのスキー滑降のテキスト¹⁾も出版されるようになってきた. このスキーはスキーの先端部分と後端部分の幅が従来のスキーのそれらより大きく作られている. このスキーを用いると,スキー・ターンがし易く,又カービング・ターンも容易であると言われている. そこで市野がカービング・スキーとノーマル・スキーを用いて,カービング・ターンを行った.

カービング・ターンが雪面上に残した軌道の跡からスキーの角付け角 β_0 を測定した. その大きさは $20^\circ \sim 40^\circ$ であった. カービング・スキーとノーマル・スキーについて言うと, β_0 の大きさはほぼ同じであった. 我々が測定した回転滑降の β_0 から推定すると,パラレル・ターンの β_0 は $5^\circ \sim 10^\circ$ 位である²⁾.

角付け角 β_0 はスキーと水平面との間の角である. 実験により, $\beta_0 = 0^\circ$ は直線滑降であり, $\beta_0 \neq 0^\circ$ は回転滑降である事が確かめられている³⁾. しかし, 一般に言われている角付け角 β はスキーとスキー場斜面との間の

角であり, β はスキーの回転方向を決める要因にはなっていない.

パラレル・ターンはスキーを平行にした回転滑降であり, 一般にズレを含んでいる. カービング・ターンはズレを含まない回転滑降と言われている. 滑降におけるズレ角は滑降方向とスキー方向との間の角として定義される.

カービング・ターンの滑降中に, その滑降をビデオ・カメラで撮影した. その連続写真から, 雪面垂直観察法⁴⁾を用いてスキーの軌跡を描き, 解析した. スキーの軌跡から, スキーのズレ角は極めて小さく $\pm 1^\circ$ 位である事が分った. カービング・スキーとノーマル・スキーについては, ズレ角の大きさはほぼ同じであった. 我々の論文⁵⁾によると, パラレル・ターンのスキーのズレ角は 20° 位である. ズレ角の小さいカービング・ターンの運動摩擦係数 μ は, ズレ角の大きいパラレル・ターンの μ より小さかった. カービング・スキーの μ は, ノーマル・スキーの μ より小さかった. スキー・テキスト^{6,7)}によると, スキーはサイド・カットの効果により回転する. そして, 角付けによりサイド・カットの曲率半径は

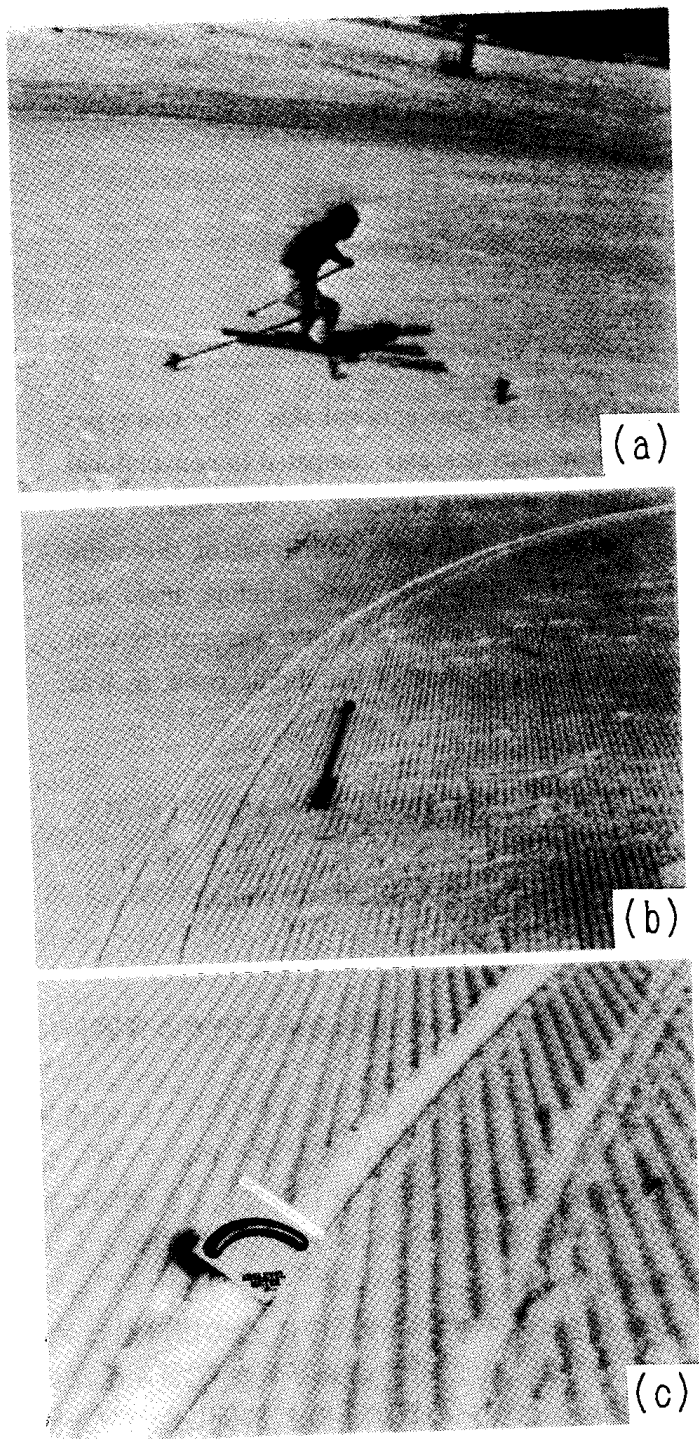


図1. カービング・スキーを用いた
カービング・ターン. (a) スキーヤー(市野).
(b) 滑降軌道. (c) 角付け角 β_0 の測定.

小さくなるので、スキーはさらに回転し易くなると言われている。そこで、角付けによるサイド・カットの曲率の変化を調べてみた。この論文はスポーツ工学に掲載された論文⁸⁾に、加筆をし、改良を加えたものである。

2. 実験

2.1 スキーと写真

スキー場の傾斜角 α は 10° であった。スキーヤーが

雪面上に置れた数個の標識の近くを滑降している姿をビデオ・カメラで連続撮影した。1例として、ビデオ・プリンターによるスキーヤーのプリントを図1-(a)に示す。1秒間に7.5コマのビデオ・プリントから雪面垂直観察法⁴⁾を用いて、スキーの軌跡を描いた。図1-(b)と図1-(c)はカービング・ターンの滑降軌道の写真の例である。スキーヤー(市野)は全日本スキー連盟公認スキー指導員である。スキーの長さは180cmである。以下、スキー滑降後の雪面上の跡を軌道、写真解析から得られたスキーの位置を軌跡と表す。滑降時の雪温は -6°C (締め粉雪) であり、ほぼ無風であった。

2.2 スキーとスキー場の傾き

図2(a)はスキー場の模型図である。斜面の傾斜角 α は 30° であり、スキーヤーは斜面上の点線SOT上を片足で滑降する。O点を通るスキーの滑降軌道面の一部を拡大したものが、面KHUJである。O点に於ける滑降方向HKと最大傾斜線FLとの間の角 θ は 30° である。角 θ は曲線軌道O点の接線角でもある。滑降面と斜面との間の角 β は 20° である。スキーの回転滑降方向を決める角付け角 β_0 はスキーの滑降面上で滑降方向HKに垂直な線MRと水平線NRとの間の角である。図2では $\beta_0 = 3.9^\circ$ である。スキーがO点を通り、更に山回り回転を続けるのは、スキー滑降面がHK方向とMR方向に下降する傾斜を持っているからであろう。滑降方向に垂直にスキー場と滑降面を切り取った断面ABDMRAを図2(b)に示す。実際の滑降面は斜面の上ではなく、斜面を下に削った面上にあるので、断面は図2(c)の様に描くのが適当であろう。スキーacが滑降面abと接触している様子が描かれている。 $\beta_1 = 16.1^\circ$ は滑降しているスキーヤーから見た斜面の傾き角であり、斜面角としよう。スキー場の傾斜角 α と、滑降の軌跡から得られた滑降軌道の接線角 θ から、計算により斜面角 β_1 を求める事が出来る³⁾。測定値 β_0 と、式 $\beta = \beta_0 + \beta_1$ を用いると、角付け角 β が得られる。

2.3 スキー角 δ と、スキー軌道の接線角 θ と曲率半径R

傾斜角 α のスキー場を図3(a)の様に描き直す。FLは最大傾斜線である。スキーの滑降方向をFBとすれば、FBとFLとの間の角は接線角 θ である。スキーが θ 方向に滑降した時の傾斜角を、みかけ上のスキー場の傾斜角 ϕ とする。 $AB=1, AC=FD=h, AF=CD=b, BC=c, BD=d, h=\sin \alpha, b=\tan \theta, c=\cos \alpha$ を用いると、傾斜角 ϕ は次の式から得られる⁵⁾。

$$\phi = \tan^{-1}(h/d) = \tan^{-1}\{h/\sqrt{(b^2+c^2)}\}.$$

斜面ABLFを図3(b)に描く。FLとスキーとの間の角がスキー角 δ である。スキーの先端と後端の4隅の中

央がBである。先端とは、スキーが雪面に接している部分の先端を意味している。滑降によりスキーの中心BはB₁,B₂,B₃へと移動する。B₁,B₂,B₃が通る軌道を仮定し、B₂点の接線角θを、B₁とB₃を結ぶ直線とFLとの間の角とする。その3点から軌道の曲率半径Rも得られる。これがB₂点の半径Rである。δとθの差がズレ角となる。

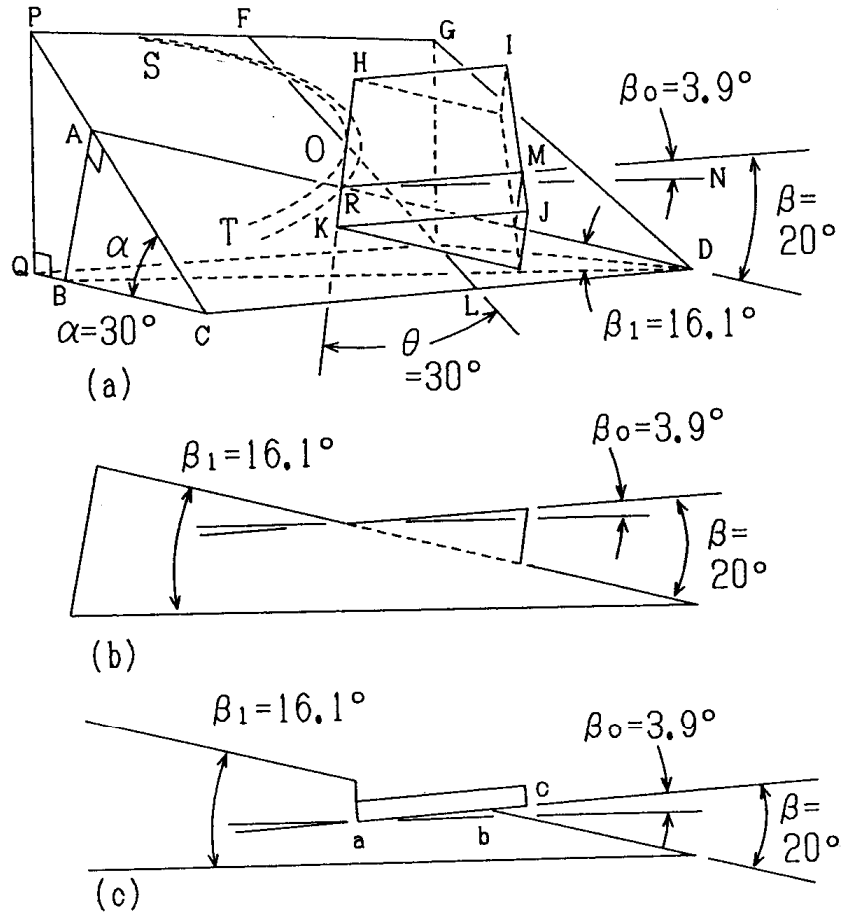


図2. スキー場とスキー滑降面の模型図.

2.4 スキーの加速度a

図3(c)において、B₁とB₂間の距離をS₁、平均速度をv₁とする。B₂とB₃間の距離をS₂、平均速度をv₂とする。B₁とB₂間の時間と、B₂とB₃間の時間は同じでtとする。重力の加速度をg(=9.8m/s²)とし、運動摩擦係数をμとする。B₁,B₂,B₃がFL上にある時は、S=(S₁+S₂)/2, v₁=S₁/t, v₂=S₂/t, 2aS=v₂²-v₁²を用いると、aはB₂点上のスキー加速度となり、次の式が得られる⁵⁾。

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = (S_2 - S_1) / t^2.$$

2.5 回転滑降中の運動摩擦係数μ

3点B₁,B₂,B₃が直線上にない時は、B₁とB₂間及びB₂とB₃間の軌道は曲線となる。これらの曲線の長さが直線S₁,S₂で表されると仮定する。3点B₁,B₂,B₃を通る曲線軌道上では、B₂点のスキーの加速度G_cは、S₁,S₂,t,φを用いると、次式の様になる。

$$G_c = g(\sin \phi - \mu \cos \phi) = (S_2 - S_1) / t^2.$$

G_cはスキーの滑降方向の加速度である。上式から、スキーの回転滑降中の運動摩擦係数μが得られる⁵⁾。

$$\mu = (\sin \phi - G_c / g) / \cos \phi.$$

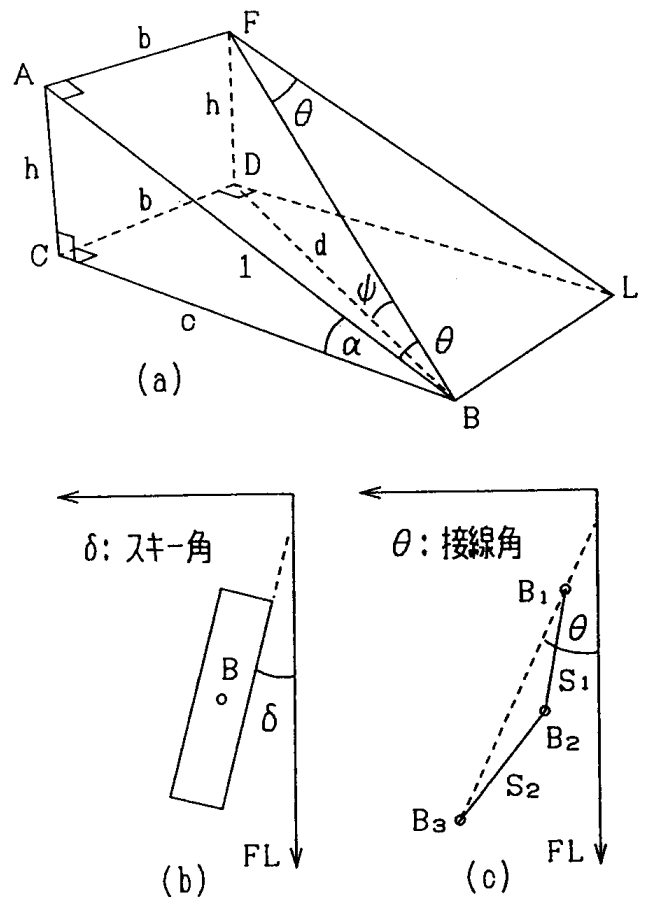


図3. (a)みかけ上のスキー場の傾斜角φ. (b)スキー角δ. (c)接線角θ.

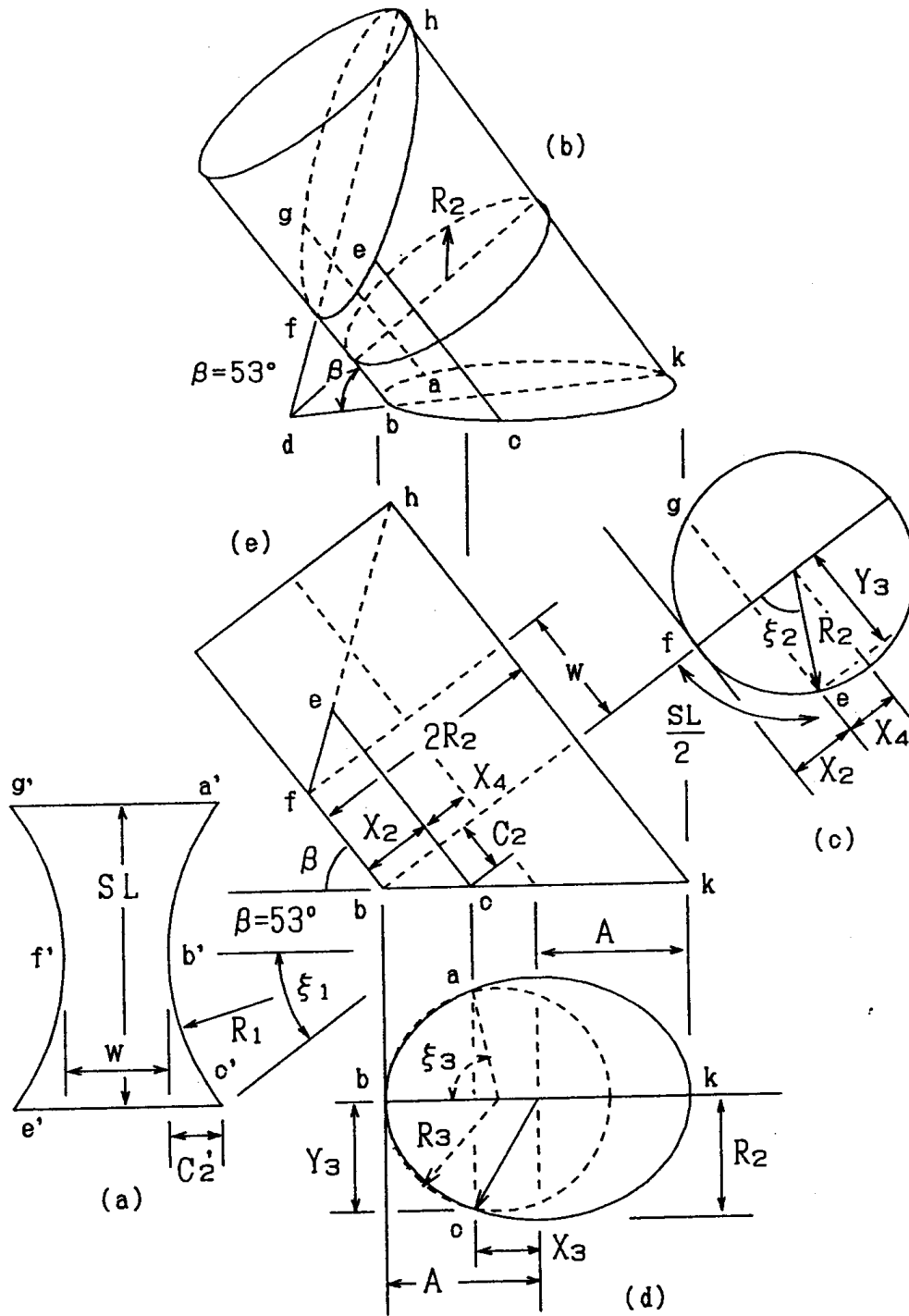


図4. 角付けされたスキーマの模型図.

2.6 角付けされたサイド・カットの曲率半径(円筒近似)

図4(a)は半径 R_1 のサイド・カットを持ったスキーマの模型図 $a'b'c'e'f'g'$ である。図4(b)は半径 R_2 の円筒を斜めに切った立体図である。切り口 $abck$ は水平面上にある。図4(b)のように、特別な β と R_2 を取れば、スキーマ $a'b'c'e'f'g'$ を円筒の表面に巻付けたものと、円筒の表面 $abcefg$ とを、ほぼ等しくすることが出来る。従って、水平面(雪面)上を角付け角 β で滑降するスキーマは $abcefg$ に相当する。水平面上では常に $\beta = \beta_0$ である。図4(b)

を定量的に調べる為に、図4(e)に円筒の横図、図4(c)に円筒の上図を描く。図4(d)は切り口 $abck$ に表われる楕円の平面図である。こうして、図4(a)のサイド・カット $a'b'c'$ は、図4(d)の楕円の実線部分 abc で表される。

図4(a)で、スキーマ長を SL とする。サイド・カットの曲率半径 R_1 を与えれば、円弧 $a'b'c'$ の半角 ξ_1 は、

$$R_1 \cdot \sin \xi_1 = SL/2, \dots (1)$$

から得られる。スキーマのショベルの部分の幅 C_2' は $C_2' = R_1(1 - \cos \xi_1)$ となる。図4(e)と図4(c)で、円筒の半径 R_2 と $2\xi_2$ について、

$$SL=2R_2 \xi_2, \dots (2)$$

となる。2ξ₂は図4(c)の円弧efgに相当する中心角であり、その角は円筒の表面に張り付いたスキーSLの長さにも相当している。C₂は円筒上のショベルの部分の幅であり、式C₂=R₂(1-cos ξ₂)/tan β、で表される。ここで、X₂=R₂(1-cos ξ₂)、X₂/C₂=tan β、である。スキーのショベルの部分の幅C₂'と円筒のショベルの部分の幅C₂が等しくなる様にβを取ると、

$$C_2=R_1(1-\cos \xi_1)=R_2(1-\cos \xi_2)/\tan \beta, \dots (3)$$

となる。上の式から、R₁とSLとβを与えれば、R₂が得られる。

$$X_4=R_2 \cdot \cos \xi_2, X_4/X_3=R_2/A=\sin \beta, Y_3/R_2=\sin \xi_2, \text{から} \\ A-X_3=(R_2-X_4)/\sin \beta, \dots (4)$$

$$Y_3=R_2 \cdot \sin \xi_2, \dots (5)$$

が得られる。

図4(d)で、楕円上の3点(A-X₃, Y₃), (0,0), (A-X₃, -Y₃)を通る曲線が、同じ3点を通る半径R₃の円にほぼ等しいと仮定する。そうすれば、R₁とSLとβから、円の半径R₃が得られる。円弧abcに相当する中心角の半分であるξ₃はR₁・ξ₁=R₃・ξ₃から得られる。図4は、SL=1.6m, β=53°, R₁=1.28m, R₂=0.93m, R₃=0.77m, ξ₁=36°, ξ₂=49°, ξ₃=60°を用いて描かれている。

3. 結果

3.1 カービング・スキーを用いたカービング・ターン

図5(a)はカービング・スキーを用いたカービング・ターン滑降の軌跡であり、↓は最大傾斜線FLの方向である。図5の縦軸は、FL上の距離とスキーの数を表している。図5(a)のスキーの軌跡は重なり合っており、見え難いので、スキーを50cmの長さにして、1m左側の図5(b)に再び描かれている。図5(c)と図5(d)はスキーの滑降方向で、かつ前から見た角付けの図であり、図2(c)に似た図である。この滑降方向はθ方向である。図5(c)と図5(d)には、スキーの角付け角β₀と斜面角β₁と両スキー間の長さが描かれている。スキー幅を10cmとした。図5(c)と図5(d)では、図2(c)のab(雪とスキーの接触部分)に相当する長さが任意の長さとして描かれている。図5(c)はスキーヤーの右スキーであり、図5(d)は左スキーである。図5(c),(d)-(1)は、左右のスキーの中心が最大傾斜線上の1mの位置にある図であり、その位置は横矢印で示されている。(2)は最大傾斜線上の2mの位置にある。(3)以下も同様である。図5(e)のβ_{0R}は右スキーのβ₀であり、β_{0L}は左スキーのβ₀である。R_Rは右スキー軌跡の曲率半径であり、R_Lは左スキーの曲率半径である。θは左右の接線角の平均値である。更に図5(e)には、θ方向から見た次の値が描かれている。即ち、みかけ上のスキー場の傾斜角ψ、スキーの加速度G_c、運動摩擦係数μ、速度vである。

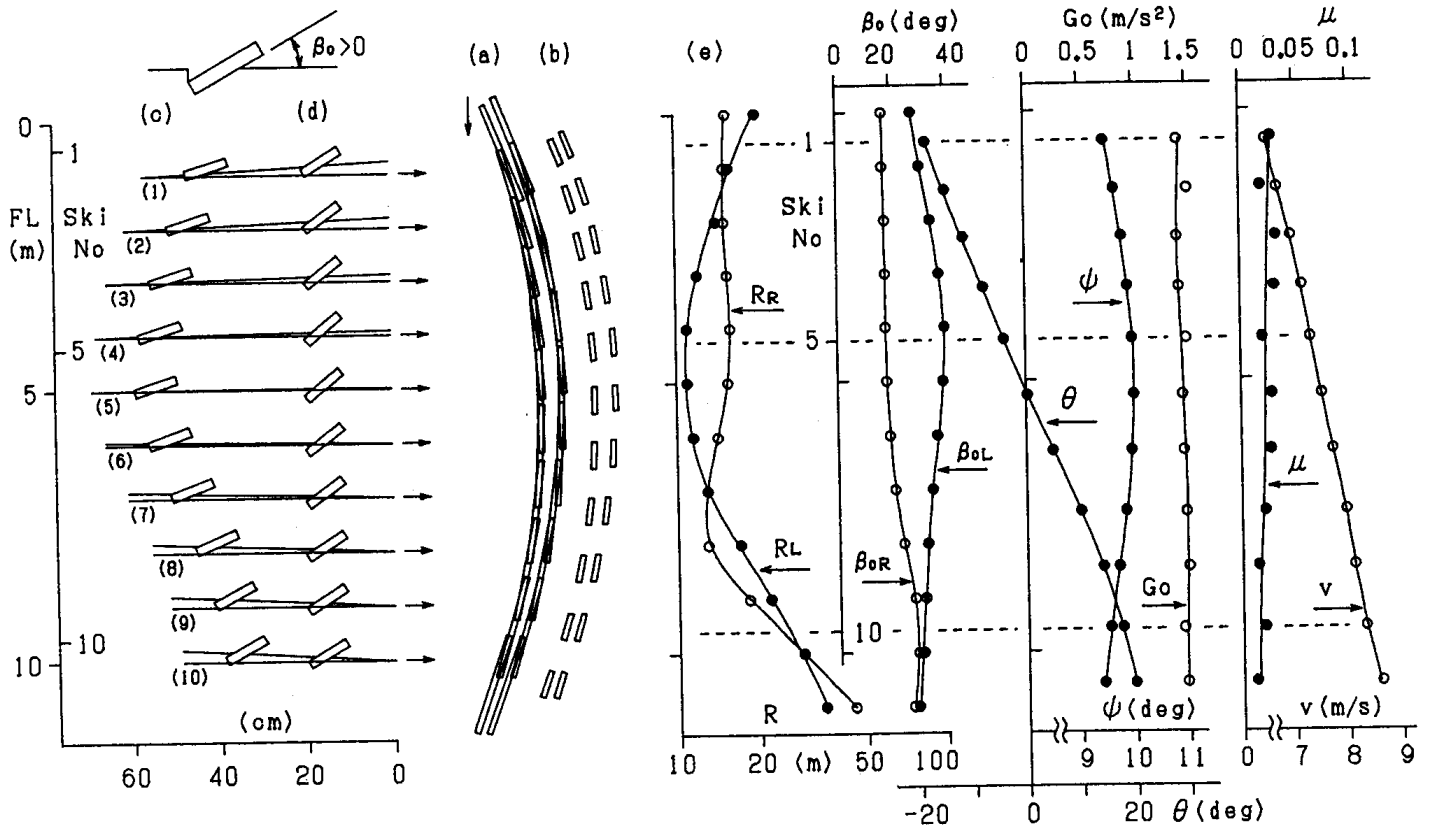


図5. カービング・スキーを用いたカービング・ターンの軌跡の解析。