

スキー研究の軌跡

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）

The Course of our Ski Research

Toshio SAHASHI (Daido Institute of Technology)

Shoji Ichino (Aichi University of Education)

スキー研究の軌跡

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)

The course of our ski research

Toshio Sahashi (Daido Institute of Technology)

Shoji Ichino (Aichi University of Education)

抄録

スキーとしてのスキーは、指導、怪我治療、器具改良、滑降機構等、多方面から研究されている。その中で、スキーの回転機構の解明の立場から、我々はスキーの歴史を述べ、スキー研究の問題点のいくつかを提示した。次に、我々の研究結果として、(1)スキー回転は角付け角 β_0 で決まる事を示し、(2)スキーヤーの回転意識は人間の錯覚である事を示した。

キーワード: スキー, 回転意識, 回転滑降, 角付け角

§1. 序文 スキーの歴史

雪国の生活の手段として、現在のスキーに相当する物が、世界各地の雪国から見つかっている。遺跡から発掘された物として、又伝統的な履物として、現在それらを見る事ができる。例として、日本の「かんじき」がある。以下日本スキー連盟のテキスト³⁾を参考にして、スキーの歴史を見て行く。

生活の手段から離れて、始めて誕生したのが、ルウエーの軍隊に1740年に作られたスキー隊であろう。スキー術は1867(慶応3)年にルウエーの国技となり、スキーとして認められる様になった。そして、スキー術が大系化され、周辺の国々にも広まって行った。その頃、ルウエーの平地スキーに対して、オーストリアでは山岳スキーが誕生し、1896(明治29)年には、オーストリアスキー術のテキストが発行される迄に至った。このスキー術では、手に1本杖を持って滑降を制御していた。その滑降術はフルク・ホーゲンとシュテム・ホーゲンであった。このスキー術が1911(明治44)年にオーストリアのルビにより、日本の北国の軍隊に紹介された(スキー学会第4回大会号, 1994, 表紙参照)。1924(大正13)年に第1回冬季オリンピックがオーストリアで開かれた。その時のスキー術はシュテム・ホーゲンとシュテム・タンであった。1930(昭和5)年にオーストリアでパラレル・タン技術が開発された。このパラレル・タンを、シュナイターによる滑降の姿(スキー学会第2回大会号, 1992, 表紙参照)として見る事が出来る。これは現在のスキー器具やスキーヤーの格好と余り変わっていない。そして、スキー術も大衆化され、各技術論が叫ばれた。1938(昭和13)年にローテーション技術がフランスで発表された。1955(昭和30)年にウエーテル技術がオーストリアで発表された。

第2次大戦が終り、日本の高度成長時代には、日本の各地にスキー場が作られスキーヤーが増加して行った。この頃、ヨーロッパの劇映画により、一般の人達にもパラレル・タンやウエーテルの滑降が紹介された。それを見た人は、スキー滑降の素晴しさ、優雅さに圧倒されたものであった。これが多くの人達を雪山へ誘惑した。パラレル・タンやウエーテル術を用いて、自分も滑降してみたいと思って

も、その滑降術は容易に習得出来るものではなかった。スキー場では、スキー滑降術を教えるスキー教室が盛況になり、スキー滑降を物理的に説明しようとする人達も現われてきた。

スキー滑降術の主なものは、(1)直線滑降、(2)回転滑降、の2つである。(1)の方は、競技的な優劣はあったとしても、誰にでも出来る滑降である。例えば、スキー場の滑降条件の良い所で、先生に2~3回教えてもらえば全員が出来る様になる。しかし、滑降は出来ても止まる事は出来ない。車のエンジンに相当するものが(1)であり、ブレーキに相当するものが(2)である。上記のプルク・ホークン、パラレル・ターン、ウイテル等の滑降術は(2)の範疇に入っている。この様な(2)の回転滑降を身につけなければ、スキー滑降術は成立しない。従って、スキー教室の先生の仕事の大部分は「スキーはどうしたら、回転滑降を出来る様になるか」を教える事である。スキー滑降術とは、回転滑降技術を意味している様だ。

§2. 回転滑降技術

初めて教えてもらった回転滑降技術はプルク・ホークンであった。これは滑降条件さえ良ければ、1日で出来る様になる。右足と左足に、交互に違った動きを与えさえすれば、右へ、左へと滑降回転をする。その理由も何となく分るし、そんなに困難な技術ではなかった。しかし、上手な人は両足を揃え、両足を同時に、右へ、左へと動かして滑降回転をする。とても格好の良い滑りであるが、真似の出来るものではなかった。これがいわゆるパラレル・ターンであった。これに似た滑降を片足でする人さえあった。

この様なパラレル・ターンも、見よう見まねで、何回かの練習の後、出来る様になる。パラレル・ターンができる様になって見ると、「昔はいくら体を捻って見てもスキーは回転しなかった。しかし今は体をほんの少し捻ってやれば、捻った方向へスキーは回転して行く」。なぜなのか、昔の私と今の私のどこが違うのか。多くのスキーにとって、これがスキー回転の実感であろう。

パラレル・ターンに似たターンが色々ある。それらの中で、ジャンプ・ターンやステップ・ターンの回転の理屈は分る様な気がする。分り難いのは、両足が同時に同じ運動をし、ジャンプや上下運動が殆どないパラレル・ターンであり、片足ターンである。以下この滑降を中心に考えて行く。

この回転滑降は「スキー(スキー板)の上に乗っている人(スキーヤー)が回転滑降をしたい方向へ自分の体を捻る(回す)と、スキーはその方向へ回転する」運動の様である。多くのスキーヤーもこの滑降を、「捻った方向へスキーは回転して行く」と理解している様である。

スキー技術の歴史を眺めて見ると、ロテーション技術では、スキーが回転する時、スキーヤーは自分の上体を回転したい方向に大きく捻っている。これは「体を捻りながら、おじぎをする」様な大きな動作である。ロテーション滑降では、左右の滑降の長さはスキーの長さの数倍、又はそれ以上であった。その後で、ウイテル技術が開発された。これは、左右の滑降の長さは

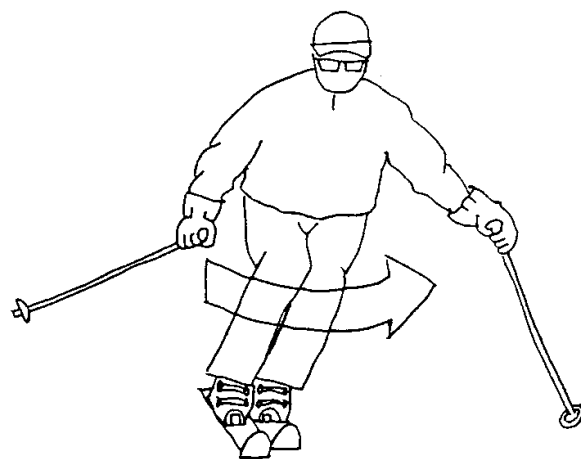


図1 回旋 スキーヤーが、筋力(膝を中心とした捻り)でスキーをまわす操作をいう(日本スキー教程,1994)

スキーの長さと同じ程度に短い滑降であり、同時に時間も短い。その為「おじぎ」の様な大きな動作は出来ず、上体を回転しない様にして、腰や膝を素早く捻る、小さな運動となっている。

ハイジュー-ル理論³⁾では、ウイ-テル滑降を示し、上体は逆捻りをしていると説明されている。しかし、そのウイ-テル滑降を観察して見ても、上体は常に最大傾斜線の方角を向いていて、膝とスキーのみが右へ、左へと向いている。我々の知る限りにおいて、他の滑降を含めて、スキーが右を向く時に、上体が左を向く様な滑降はない。即ち、逆捻りとは、「上体を逆に捻るのではなく、上体を回転しない様にして、下体のみを回転したい方向へ捻る」事を意味している様だ。逆捻りとは、スキー-ヤ-の感覚上の問題であろう。

現在の日本スキー-連盟のテキスト⁴⁾では、左右の滑降の長さが短い回転滑降(ウイ-テル)をショート-ターン、長い回転滑降(パラレル-ターン)をロング-ターンと呼んでいる。そして、腰や膝を捻ってスキーを回す運動を回旋と呼んでいる(図1)。ショート-ターンやロング-ターンでは、スキー-ヤ-は回旋運動によりスキーを回転していると説明されている。スキー-回転の為には、回旋以外にもいくつかの運動要素が加えられているのが普通である。上記のテキストでは、その運動要素に、角付けと荷重をあげている。

以上の様に、いつの時代の、どのテキストでも、回転滑降に共通するスキー-技術は「スキーを回転させる為に、回転方向へスキー-ヤ-の体を捻る」事の様である。

§3. スキー-研究

スキー-には、次の様な多くの研究がある。(1)回転滑降をいかにして教えるか、についてのスキー-指導法の研究。(2)スキー-には怪我がつきもので、怪我の治療法の研究。(3)スキー-器具の改良についての工学的な研究。(4)スキー-滑降の機構を解明する理学的な研究。(5)その他、競技、経営、社会、心理、文学等々の研究、がある。

ここでは、主にスキー-滑降の機構を解明する研究を中心に見てみる。イギリスの物理学者のホ-テン¹⁾は1939(昭和14)年に、スキー-滑降時の摩擦抵抗について研究した。雪面上の摩擦係数は普通の物体の摩擦係数に比べて小さく約1/10である。彼はその理由を摩擦熱による雪面融解で説明した。1951(昭和26)年に、航空工学者の谷⁵⁾はジャンプの風洞実験を行なった(図2)。彼は「スキー-飛躍の空気力学」の中でジャンプ-の体形と飛躍距離の関係を述べている。1955(昭和30)年に物理学者の木下^{2・5)}は直線滑降の測定をして、スキー-ヤ-の空気抵抗係数と雪の摩擦係数を求めた。1956(昭和31)年に工学者の西脇⁵⁾はスキー-ヤ-の足に加わる圧力を測定した(図3)。左右の足に4個づつ、合計8個の圧力計をスキー-靴とスキー-の間に入れた。ターンの時、スキー-ヤ-の外足に70%の圧力

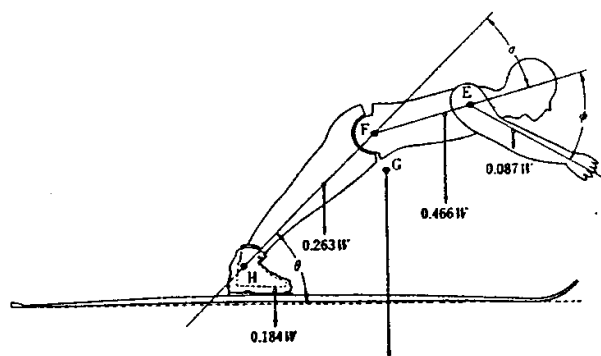


図2 風洞実験中の人体模型(谷, 1951)

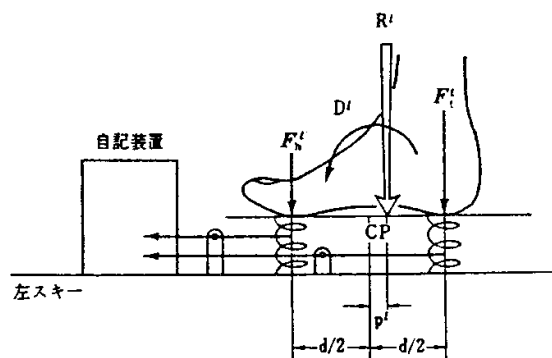


図3 足の下の圧力の自動記録(西脇, 1956)

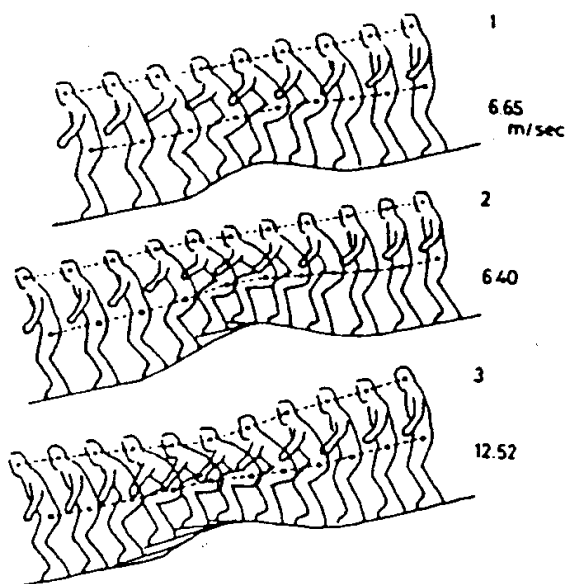


図4 瘤を通過する時の目と重心の位置の変化(袖山,1979)

がかかる事を見出した。1955~60年頃の詳細な研究資料を、1965(昭和40)年に物理学者の大西⁶⁾がまとめている。1971(昭和46)年に前述の木下²⁾はスキー・ターンをスキーのサイト・カット(カブ)と回旋を用いて説明した。1979(昭和54)年に体育学者の袖山¹¹⁾は瘤を含む直線斜面上で、スキーの重心が瘤の位置でどのように変化するかを実験的に示した(図4)。1985(昭和60)年に体育学者の清水¹⁰⁾はスキー・味ツトを用いて滑降実験を始めた。清水は味ツトを色々と改良して実験をした。そして、スキー・ターンは味ツト・ターンの滑降方法で説明出来ると主張した。しかし、スキー・ターンと味ツト・ターンの類似性を定量的に説明出来る実験は行なわれていない。

§4. スキ-研究の問題点

§2.に述べた様に、スキー-技術論では「体を捻って、スキーを回転させる」が中心であった。「体を捻る方向と、その結果回転するスキーの方向が同じ」であれば、これは、角運動量保存則に反している。捻った体の方向に、スキーが回転する事はない。物理法則に反する様な事が、歴史的にも主張され続けてきた。これを基にして、スキー-回転理論が作られ、スキー-回転教育も行われてきた。又この不思議な問題に真正面から取り組む研究者もいなかった。

木下⁵⁾や袖山¹¹⁾の研究は直線滑降上の研究である。西脇⁵⁾の研究は回転滑降上の研究であるが、どのような回転軌道でスキー-が滑降しているのか、回転軌道の描き方は、かなり曖昧である。それはスキー-の回転滑降の軌跡を定量的に記録する方法が確立していなかったからである。

回転滑降の時、スキー-がある時間にどこを滑降しているか、即ち、時間と位置の関係を正確に知る事は、回転滑降に関するスキー-力学の第一歩である。これが出来れば、速度、加速度、摩擦係数と分り、スキー-の運動が解明される糸口が見つかるであろう。

§5. 我々の研究の開始

1983(昭和58)年7月にスキー-研究を始めた。研究の始めはスキー-運動を良く観察する事である。その為には、実験室で手軽にスキー-運動を観察出来る様にする必要がある。スキー-場の雪には、雪以外の物で、温度や湿度等に関して安定な物が良いであろう。そこで、砂を用いた。この砂は、真夏の太陽で良く乾いた運動場の表面の砂を、0.5

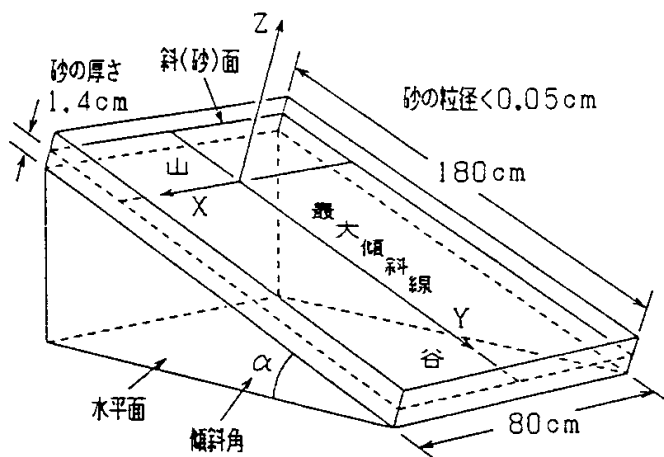


図5 実験室内の砂スキー-場。最大傾斜線
の方向にY軸、砂面に垂直にZ軸、
両軸に垂直にX軸。

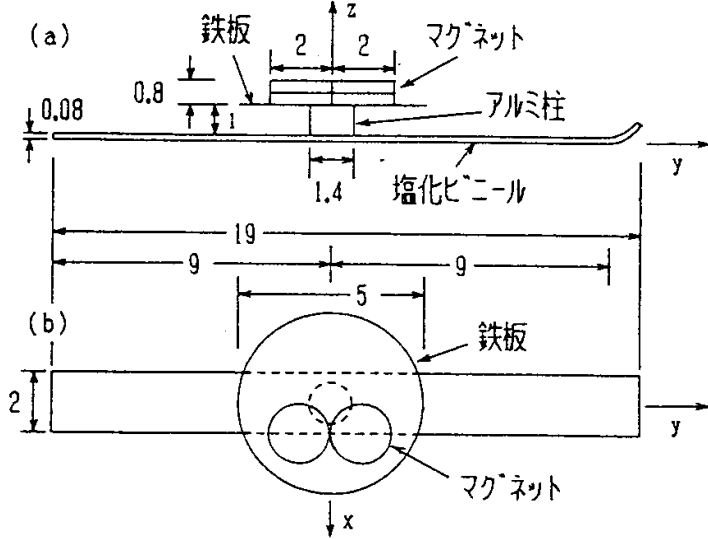


図6 直線型スキー. スキーの長さ方向にy軸, スキーに垂直にz軸, 両軸に垂直にx軸.

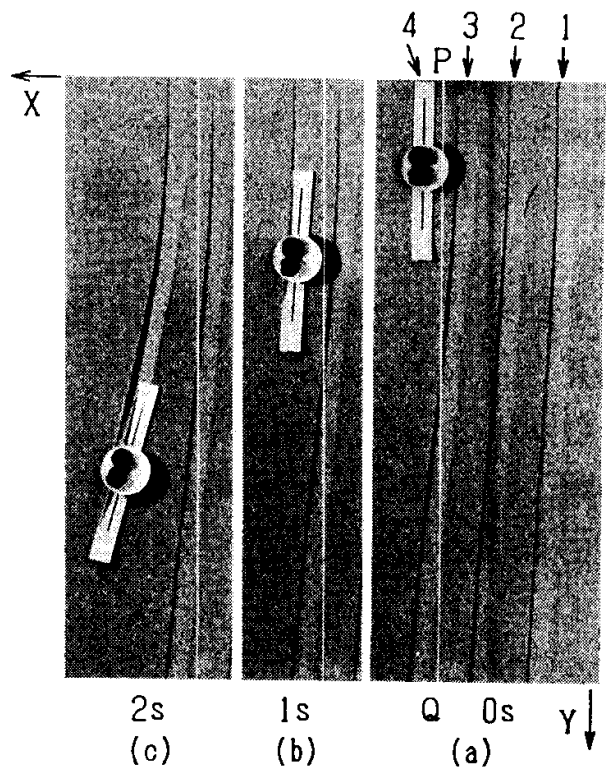


図7 直線型スキーの山回り回転 (a)はスキー出発時, (b)は1秒後, (c)は2秒後である.

ミ目の通し(ふるい)にかけた物である. 砂時計の砂の様な, さらさらとしたきれいな砂が出来上がった. スキー場は $180 \times 80 \times 5 \text{cm}^3$ の大きさの箱であり, その中に砂が入っている. それを図5に示す.

砂面の平面性を良くする為にスキー場の箱を卓球

台の上に置いた. 台の一方を床の上に置き, 他方を車用のジャッキで床から持上げて, スキー場の斜面を作った. スキーには, 学童が用いる0.8ミリ厚の塩化ビニールの下敷を用いて, 大きさを $2 \times 19 \text{cm}^2$ とした(図6). スキーの中央に, 7mmの柱を建て, その上に鉄板を置いた. 荷重を変化させる為に, 鉄板の上に磁石を並べた. 荷重の位置や量を変えて, 滑降の予備実験を繰り返した. 温度や湿度等に関して安定なデータが得られる事が分った. 記録によると, 予備実験の滑降回数は3000回位である. 滑降の回数を重ねるにつれ, 砂は硬くなり, 砂をほぐしてやると又柔らかくなる. そこで, この影響を考慮して実験をする事が必要である事も分った. 出来上がったスキー場(X, Y, Z)とスキー(x, y, z)の座標軸を各々図5⁸⁾と図6⁸⁾の様に定義する.

§6. スキー滑降の観察

模型スキーの上に置いた磁石の位置を変えて, 砂面上で滑降実験を行なった. 磁石の位置変化

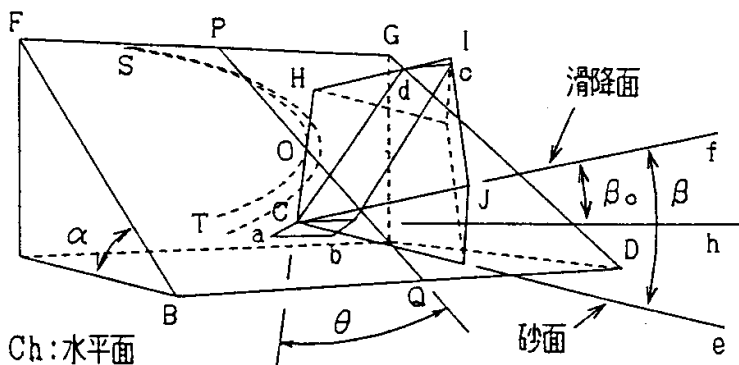


図8 スキー場の模型図

の方向は, (A1)スキーの長さのy方向, (A2)スキーに垂直のz方向, (A3)その両者に垂直のx方向である. 観察する方向は, (B1)斜面に垂直のZ方向(図7), (B2)X方向, (B3)スキーの滑降方向で, かつ前から見る θ 方向である(図8)⁸⁾. 観察の方法は, (C1)スキー滑降を, カメラで連続撮影し, その写真からスキーの位置と時間を調べ

る。(C2)スキー滑降後に、滑降面上のスキー軌道の位置を調べる。(C3)同質、同形の透明スキーを用いて、スキーと砂面との間の接触面の範囲を調べる⁷⁾。(C1)の連続撮影からは(D1)35ミリ写真フィルム・カメラ(図7)と(D2)ビデオカメラである。

上記の様に各方向から、各方法で観察し、記録し、解析した。その一部を紹介する。

(1)始めに、重心をx方向(A3)に変化させながら、斜面に垂直のZ方向(B1)から観察した。図7を例として、説明する。X,Y軸は図5のX,Y軸と同じである。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。番号1はスキーの重心が $x=0.31\text{cm}$ 、番号2は 0.38cm 、番号3は 0.44cm 、番号4は 0.50cm のスキー滑降軌道である。図7の様に、スキー(スキー上の物体を含む)の重心が、スキーの中心から離れる程、スキーは良く回転する事が分った。砂は粉体である為、スキーの重心がスキーの中心から離れるにつれて、スキーは傾いて行く。従って、回転の原因が、重心の位置変化に依るのか、スキーの傾きに依るのかについて、実験を始めた頃は分らなかった。これが理解出来る様になったのは、ごく最近の事である。

(2)次に、 θ 方向(B3)から見た時のスキーの動きを、図8を用いて説明する。 α は傾斜角、PQは最大傾斜線である。1本足のスキーヤーが斜面DGFB上をS, O, Tへ滑降する。点Oの滑降面の一部を拡大する(JIHC)。滑降面上にスキーabcdがある。滑降方向HCは回転滑降S, O, Tの接線である。スキーの方向と滑降方向は、この図の様に一般には一致しない。直線Ceは斜面DGFB上にある。直線Cfは斜面から β だけ傾いた滑降面上にある。直線Chは滑降面から β_0 だけ傾き、かつ水平面上にある。

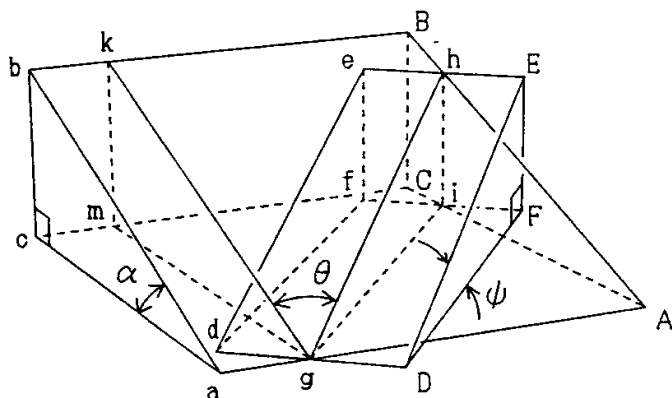


図10 直滑降と斜滑降

aACcとdDffは同一の水平面上にある。

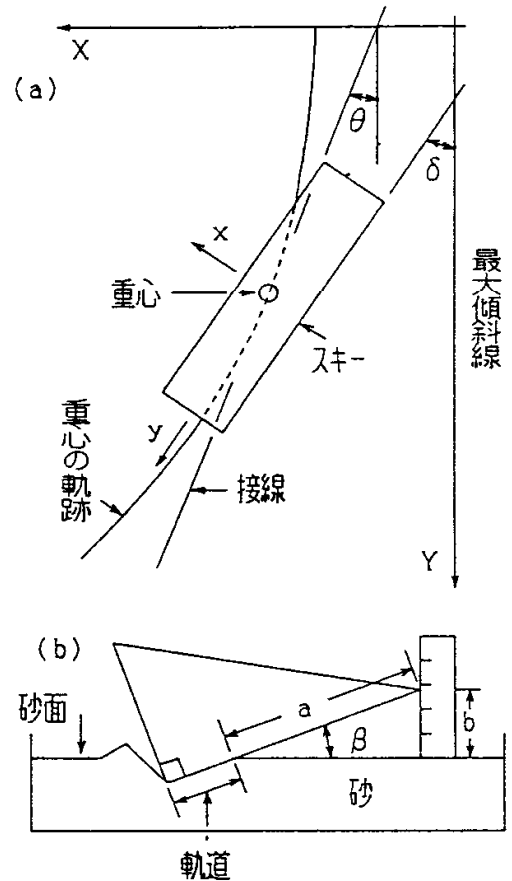


図9 (a)角度 δ と θ 。 δ はスキー方向と最大傾斜線との間の角度。

θ はスキー重心の軌跡の接線と最大傾斜線との間の角度。(b)スキーの軌道面と砂面との間の角度(角付け角) β 。

ここで β は、斜面に関する角付け角であり、 β_0 は水平面に関する角付け角である。 θ は図9(a)の様に定義され、図7の様な写真から得られる。 β は、スキーの滑降実験の後に、スキーの滑降軌道の傾きを、図9(b)の様に測定して得られる。即ち、砂面に接する直線定規と三角定規から、長さaとbを求めて β を得た。2つの定規は、スキー場の上においた横木を支点にして、安定が保たれている。 β_0 は、3つの実測値、傾斜角 α 、滑降角 θ 、角