

日本スキー学会 2016年度秋季大会

講演論文集



日時：2016年9月3日（土）

会場：中央大学後樂園キャンパス

日本スキー学会

Japan Society of Ski Sciences



ウェーデルン・スキーヤーの重心の軌跡-1

佐橋稔雄(愛知スポーツ物理学研究所)
市野聖治, 角田和代(鈴鹿大学)

キーワード: スキー, ウェーデルン, 回転滑降, ズレ・ターン, スキーヤーの形態

1. 序文

我々は、「実測によるスキーの運動の軌跡」と「回転滑降をしているスキーヤーに働く重力や遠心力の加速度¹⁾」と「立体的な作図法²⁾」を組合せて、「ウェーデルン・スキーヤーの重心の軌跡」と「そのスキーヤーのスキーの軌跡」を3次的に表現する事を試みた。この研究の目的は、2次元的なスキーの軌跡から、3次元なスキーとスキーヤーの軌跡を現す事である。

2. スキー滑降図

2.1. スキー滑降図・作成の概略

図1は、雪面 $A_1A_2A_3A_4$ 上を滑降するスキー ab を、ビデオカメラ P で脚立の上から撮影している図である。カメラ P と、カメラの視野の中心 O との間の線を PO とする。雪面の像が、 PO に垂直な面 $A_3A_4A_5A_6$ に投影される。投影された垂直面の像が、カメラに記録される。カメラで写された写真が、図2のようにグラフ用紙の上に貼られた。カメラの高さ h と雪面の標識 c の位置 k が分れば、垂直面の像から雪面の像を描く事ができる³⁾。雪面のスキーは、図1(b)の E_0 の ab である。スキーが動くと、スキー E_0 の ab は、 E_1 の $a'b'$ に変わる。スキーの隅の位置を図2のビデオ・プリント(写真)から測る。その位置を図1(c)の4つの◎で表す。次にスキー隅の位置の平均化⁴⁾を行う。その為に、2つの◎の中心を図3の3重丸で表す。2つの3重丸とスキー長さ SL とスキー幅 SW から、8つのスキー隅の位置 O ができ、それを図3と図4(a)に示す。スキーの動きから、8隅、16座標は16変数になる。図4(a)は、16変数から、6変数と2定数への変換を示している⁴⁾。

6変数とは「2つのスキーの間の中点 $B(X_0, Y_0)$, スキー横幅 L_y , スキー縦幅 L_t , 右スキー角 δ_R , 左スキー角 δ_L 」である。2定数とは、「スキーの長さ SL とスキーの幅 SW 」である。この6変数を基に、スキー滑降が解析され、滑降図が描かれた。

接線角 θ と曲率半径 R は、図4(b)から得られる¹⁾。図4(b)で、滑降に従い点 B は B_1, B_2, B_3 の様に移動する。

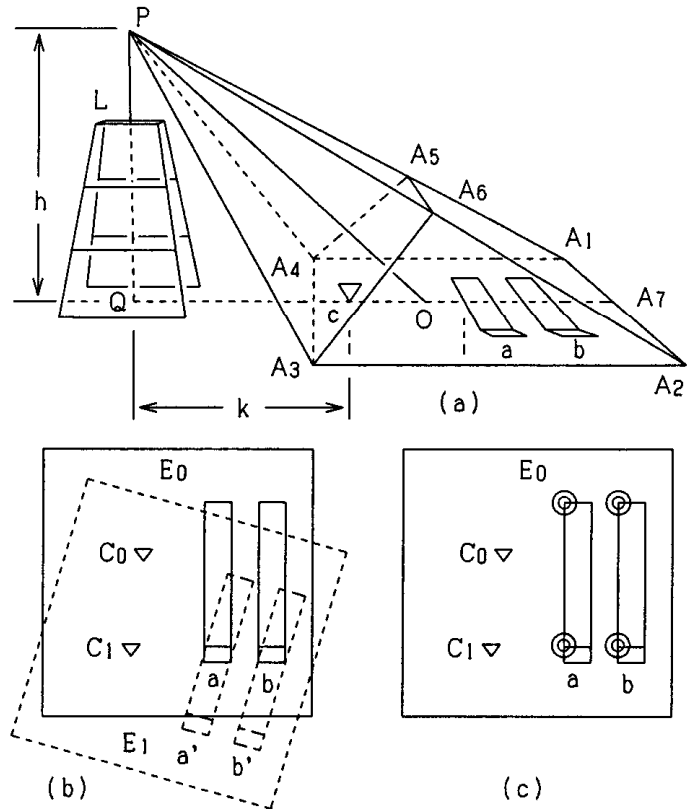


図1 滑降するスキーと撮影するカメラ。

- (a) スキー ab と標識 c とビデオカメラ P 。脚立 L 。
- (b) 2枚の雪面像。(c) スキーの隅の測定位置◎。

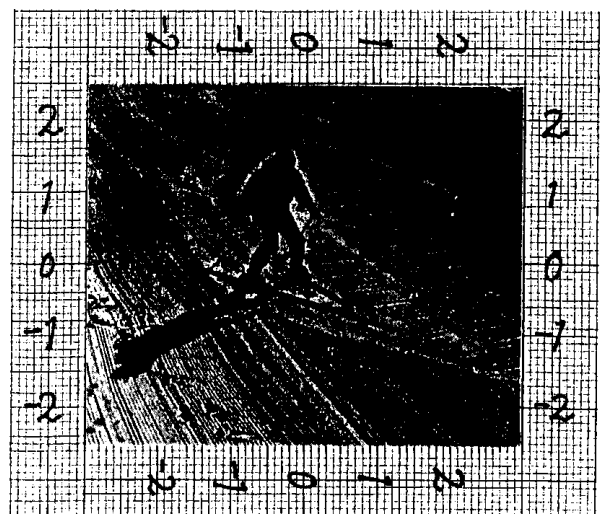


図2 グラフ用紙の上に張られたビデオ写真。

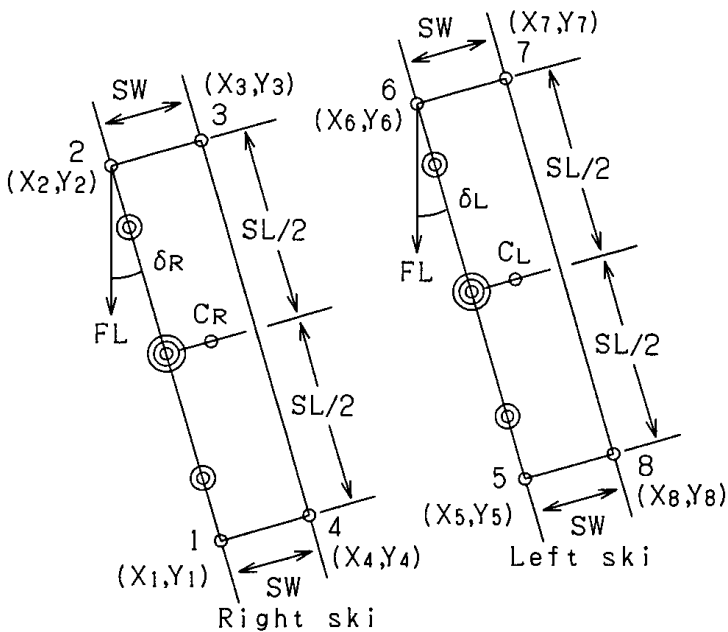


図3 スキー隅の位置の平均化。

点B₂の接線角 θ を、B₁とB₃を結ぶ直線とFLとの間の角と定義する。点B₁, B₂, B₃から曲率半径Rが得られる。

2.2. ウェーデルン滑降図

図5は、市野のウェーデルン滑降を解析した滑降図である。これは、「ウェーデルンとパラレル・ターン」⁵⁾の滑降と同日、ほぼ同時刻に滑降されたものである。スキー滑降後の雪上のスキーの跡を軌道、プリント解析から得られ、紙上に描くスキーの跡を軌跡とした。図5の中で、接線角 θ 、曲率半径R、滑降方向の速度V、滑降方向の加速度G_c、運動摩擦係数 μ 、は中点Bから作られている。

図5(a)は180cmのスキー、図5(b)は奇数番号のスキー、図5(c)は偶数番号のスキー、図5(e)は長さ50cmの短スキー、である。縦軸はFLの方向に沿っている。図5(d)とスキー軌跡上の小さい◎印は後[3.3.]で述べられる。図5(g)はスキー軌跡の曲率半径R、横軸は対数目盛である。R \geq 100mのRは全て、R=100mと描かれた。軌跡の変曲点もR=100mとした。

ビデオは毎秒30コマであるが、その内の毎秒7.5コマを使って図5のスキー解析が行われた。図5(g)の縦軸skiNoは、全部で36コマであり、その時間は4秒+(6/7.5)秒である。図6は角田の滑降図である。市野は全日本スキー連盟公認スキー指導員である。角田は全日本スキー選手権大会、滑降2位の元選手である。滑降時の雪温は-5°C(締めり粉雪)であり、ほぼ無風であった。

3. 3次元的な作図

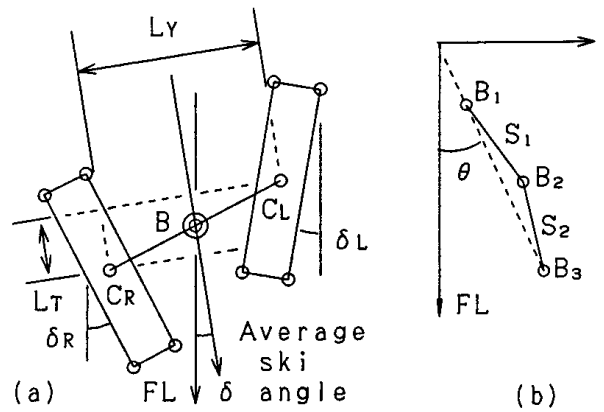


図4 定義。(a)16変数から、6変数と2定数への変換。(b)接線方向 θ の定義。

3.1. 回転滑降中のスキーヤーの重力の加速度

[前の論文のp78の図2]¹⁾を、再び描いて図7(a)とする。A₁A₂A₃A₄はスキー場斜(雪)面である。A₃A₄A₅A₆は水平面である。スキー場の傾斜角は、 α である。重心Gのスキーヤーが、1本足スキーでSOTの線上をウェーデルン滑降する。図7(a)は、ウェーデルンの滑降方向が、最大傾斜線FLの方向を向いた時の図である。角付け角は、 β_0 である。スキーヤーのスキーの角付け面を拡大した図が、aObhefである。スキーヤーの足元は、0である。この図は、滑降に伴う摩擦を無視しており、回転滑降に伴う遠心力も無視している。FLに沿って滑降する、スキーヤーの重心に働く重力の加速度gを分解すると、図7(b)となる。g_yはFLに沿う成分であり、g_iは斜面に垂直な成分である。図7(b)をLからFに沿って見ると、図7(c)となる。図7(c)を改良して、「2本足スキーと回転滑降に伴う遠心力」を考慮すると、次の図8(a)が得られる。

3.2. 重力と遠心力の加速度

図8(a)は、[前の論文のp80の図5(b)]¹⁾と同じである。図8(a)は、回転滑降をしているスキーヤーの滑降方向が、FL方向に向いた時に、FL線に沿ってLからFを見た図である。スキーを含むスキーヤーの重心の位置はGである。重心に働く重力の加速度はgである。遠心力の加速度はG_Eである。加速度gのスキーヤーが、滑降している方向と斜面に垂直な成分はg_iである。スキーヤーが回転滑降をしている時は、回転外側の足に体重の大部分が乗っているとされている。左足スキー0から重心Gへの傾きを、スキーヤーの身体傾斜角 ϵ ¹⁾とする。次のようにパラメータ¹⁾が決まる。

$$g_i = g \cdot \cos \alpha, \quad G_E = V^2/R, \quad \tan \epsilon = G_E/g_i.$$

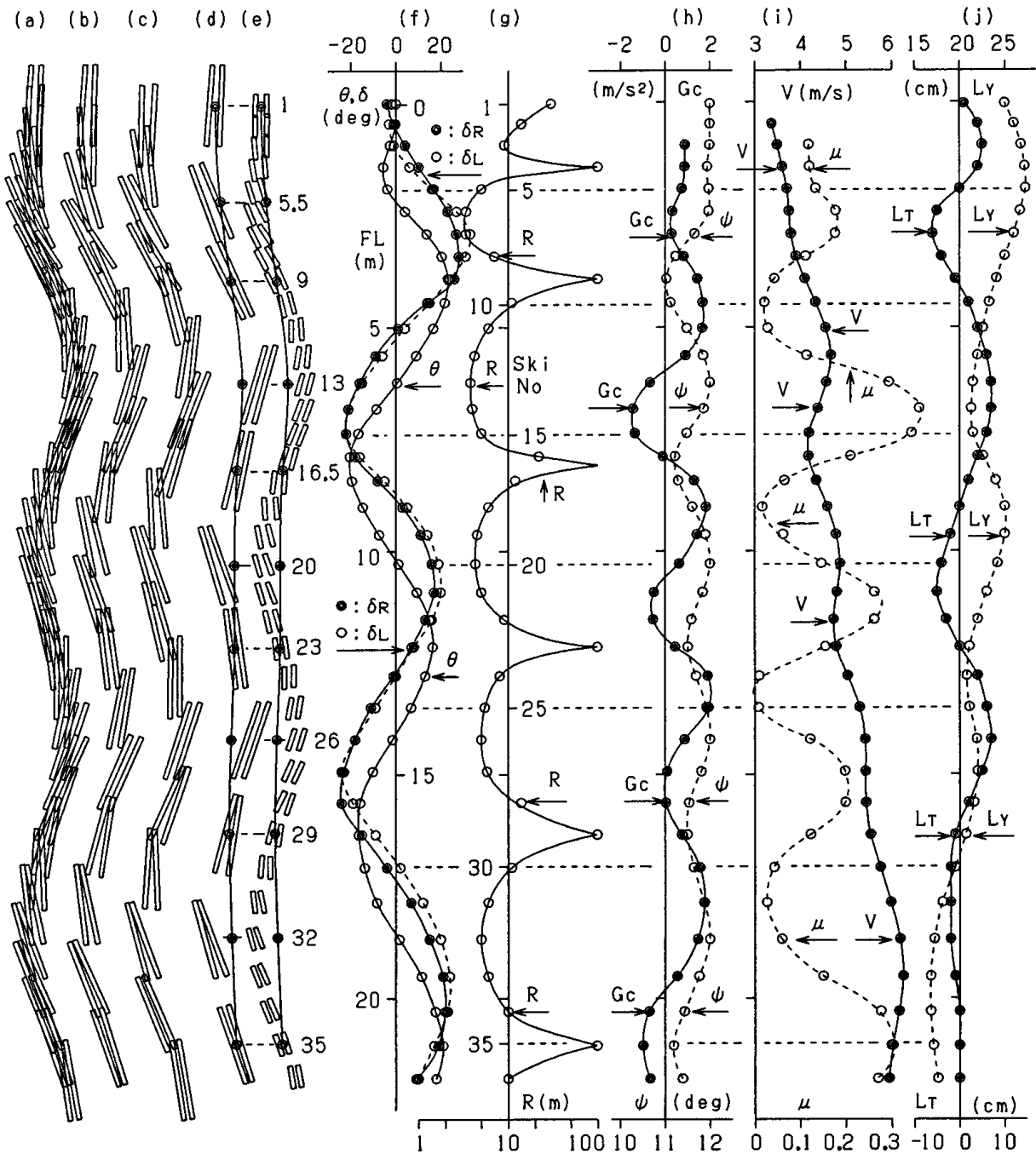


図5 市野のウェーデルン軌跡. (a)長スキー. (b)奇数スキー. (c)偶数スキー. (d)選択されたスキー. (e)短スキー. (f)○実線は接線角 θ , ○点線は左スキー角 δL , ◎実線は右スキー角 δR . (g)スキー軌跡の曲率半径 R . (h)○点線はみかけのスキー場の傾斜角 ψ , ◎実線はスキーの加速度. (i)○点線は運動摩擦係数 μ , ◎実線はスキーの速度. (j)○点線は2つのスキーの横幅 L_y , ◎実線は2つのスキーの縦幅 L_t .

図8(a)の数値は、図5のスキー番号26の数値であり、表1に与えられる。Ge, g1, g2の単位は cm/s^2 である。重心Gから雪(斜)面に垂直にg1を下ろした位置をGoとする。G~Go間の長さをHcとする。0~Go間の長さをRcとする。Gの曲率中心をC'とし、Goの曲率中心をCとする。Goの曲率半径とGの曲率半径が同じ大きさR'とすれば、C~Go=C'~G、である。スキー軌跡の曲率半径Rは、実験的には2本のスキーの中心から求められている。従って、Goの曲率半径R'は、 $R=R'+(Rc-Ly/2)$ となる。RとR'の差は、 $(Rc-Ly/2)$ である。表1によれば、 $(Rc-Ly/$

2)の大きさは、Rの1/10位であり、この大きさを無視すれば、 $R \approx R'$ となり、重心Gの曲率半径とRはほぼ同じになる。

$\theta = 0$ で、スキーヤーが左足又は右足に乗っている場合には、スキーヤーの重心Gと足元0の間の長さを100cmと仮定した。これを理解する為に、図5のスキー番号26のスキーを用いて、図8(c)を描いた。スキーヤーが2本のスキーの中央に乗っている場合には、重心と足元間の長さを90cmと仮定した。同様に、図5のスキー番号29のスキーを用いて、図8(b)を描いた。図8(b)と図8(c)