

ウエーデルンとパラレル・ターン

佐橋稔雄(愛知スポーツ物理学研究所)

市野聖治(愛知教育大学)

角田和代(名古屋市滝川小学校)

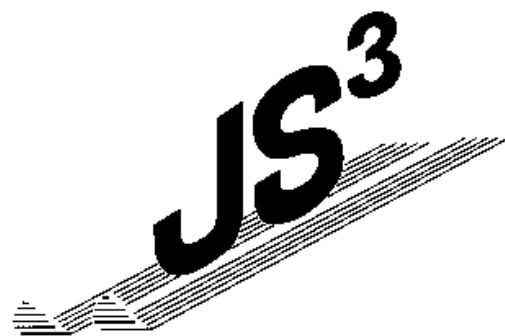
Wedeln and Parallel Turn.

Toshio SAHASHI (Laboratory of Aichi Sports Physics)

Shoji ICHINO (Aichi University of Education)

Kazuyo KAKUTA (Nagoya Takikawa Elementary School)

抄録 ウエーデルンとパラレル・ターンがビデオ撮影され、そのプリントから回転滑降の軌跡が描かれた。軌跡を解析した結果、速度、加速度、運動摩擦係数、2本のスキーの幅、スキー角、接線角が明らかになった。これらの値からカービング・ターン滑降やカービング滑降が、スキーの回転滑降の速度の増加に必ずしも寄与するものでない事が分った。



Japan Society of Ski Sciences

ウエーデルンとパラレル・ターン

佐橋稔雄(愛知スポーツ物理学研究所)

市野聖治(愛知教育大学)

角田和代(名古屋市滝川小学校)

Wedeln and Parallel Turn.

Toshio SAHASHI (Laboratory of Aichi Sports Physics)

Shoji ICHINO (Aichi University of Education)

Kazuyo KAKUTA (Nagoya Takikawa Elementary School)

Abstract. A video of people performing a wedeln and a parallel turn was taken, and on the basis of the video print obtained, a locus of turning descent was drawn. As a result of analyzing the locus, the velocity, the acceleration, the coefficient of kinetic friction, the distance between skis, the ski angle (the direction along the length of the ski), and the tangent angle of each ski with respect to the surface of the snow were clarified. From these values, it was found that a descent with carving turns and that with carving do not necessarily contribute to an increase in the velocity in a turning descent.

Key words : ski, carving turn, wedeln, parallel turn

1. 序文

スキー滑降の軌跡を描く方法が開発され¹⁾,滑降の様子が次第に明らかになってきた。我々は、始め35ミリ・フィルム・カメラを用い、スキー滑降の連続写真から滑降の軌跡を描いてきた²⁻⁵⁾。写真のコマ数の最大値は4枚/秒であった。この写真により、速度の遅い雪上のプルーク・ボーゲンや砂面上の模型スキーの滑降では、その滑降の様子を細かく観察する事ができた。

しかし、コマ数が小さいので、ウエーデルンやパラレル・ターンのような速度の速いスキーの動きを細かく観察する事は困難であった。その為に、スキー・ビデオの連続画像の解析が試みられた。ビデオ・プリントからカービング・ターン滑降が詳細に調べられた⁶⁾。解析に用いられたコマ数は7.5枚/秒であった。

今回、ウエーデルンとパラレル・ターンの画像

解析が行われた。この論文では、これらの滑降の共通点や相違点、異なるスキーヤーの共通点や相違点、スキーヤーの癖、回転滑降と運動摩擦係数の間の関係が述べられている。

2. 定義

2.1. スキー場の座標とスキー角 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1(a)の様に考える。A₁A₂A₃A₄を斜面、A₃A₄A₅A₆を水平面、FLを最大傾斜線とする。FLに沿って立方体を置き、辺に沿ってX,Y,Z軸を取る。FLの方向はY軸の方向である。X軸はY軸に垂直であり、共に斜面上にある。Z軸はX,Y軸に垂直である。図1(b)のように、スキーヤーが斜面上を回転滑降をする。スキーヤーが滑降した跡にスキー軌道が残る。その時の片足

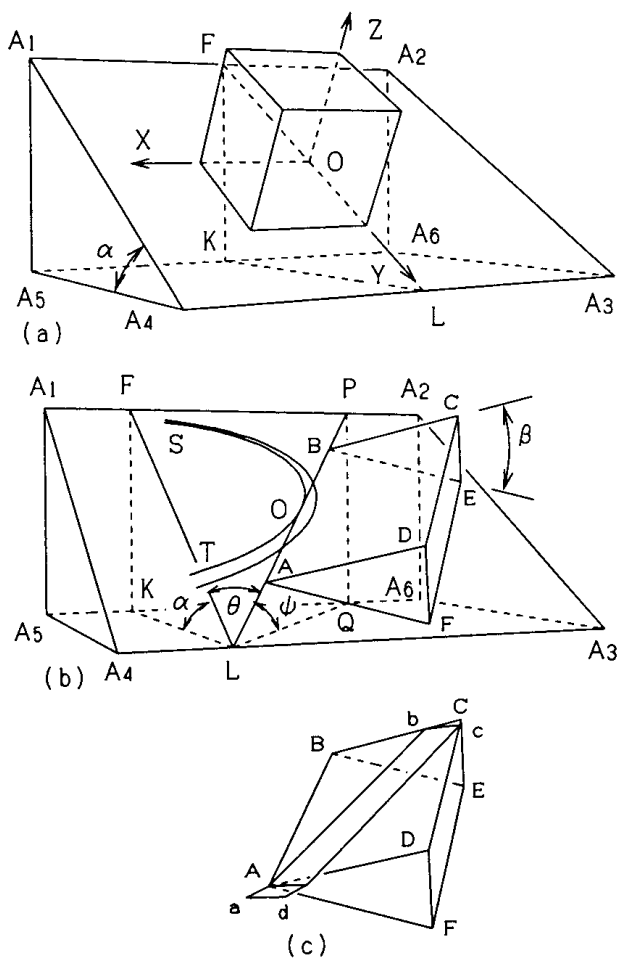


図1 (a) スキー場の斜面上のX,Y座標の定義。
 (b) スキー滑降の軌道SOTと斜面角付け角。
 (c) 滑降面上のスキー。

の軌道がSOTであるとする。PLは滑降方向であり、点Oの接線である。点Oの滑降面の一部を拡大したものがABCDである。滑降面と斜面の間の角が β である。 β は斜面角付け角である。滑降の方向はスキーの長さの方向と一致しない場合が多い。滑降面上のスキーを図1(c)のように、abcdと描く。図1(b)の斜面上の両スキーを図2(a)のように描き直す。FLとスキーとの間の角がスキー角であり、左右のスキー角を δ_L, δ_R で表す。両スキー角の平均値は $\delta = (\delta_L + \delta_R)/2$ となる。スキーの4隅の中央をCとすると、左右のスキーの中央は C_L, C_R となる。 C_L, C_R を結ぶ中点をBとする。図2(c)の様に、滑降により各スキーの中点Bは B_1, B_2, B_3 と移動する。 B_1, B_2, B_3 が通る軌道を仮定し、点 B_2 の接線を、 B_1 と B_3 を結ぶ直線とする。その接線とFLとの間の角を接線角 θ とする。その3点(B_1, B_2, B_3)から、点 B_2 の曲率半径Rが得ら

れる。

2.2. スキーの加速度a

図2(c)において、 B_1 と B_2 の間の距離を S_1 、平均速度を V_1 とする。 B_2 と B_3 の間の距離を S_2 、平均速度を V_2 とする。 B_1 と B_2 の間の時間と、 B_2 と B_3 の間の時間は同じであり、 t とする。重力の加速度を $g (= 9.8\text{m/s}^2)$ とし、運動摩擦係数を μ とする。 B_1, B_2, B_3 がFL上にある時に、 $S = (S_1 + S_2)/2, V_1 = S_1/t, V_2 = S_2/t, 2aS = V_1^2 - V_2^2$ を用いると、 a は点 B_2 上のスキー加速度となり、次の式が得られる。

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

ここで、「 $g \cdot \sin \alpha$ 」は重力の加速度の斜面上の成分である。「 $g \mu \cdot \cos \alpha$ 」は、「 $g \cdot \sin \alpha$ 」と反対方向を向く摩擦力の加速度である。 μ は運動摩擦係数であり、 $\mu = 0$ の時は、斜面上における自由落下となり、加速度 a は最大となる。 $\mu \geq 0$ である。

2.3. みかけ上のスキー場の傾斜角 ψ

図1(b)の様に、スキーがPL方向に滑降した時の傾斜角を、みかけのスキー場の傾斜角 ψ ⁴⁾とする。FL=1, PQ=FK=h=sin α , KQ=FP=b=tan θ , KL=c=cos α , QL²=d²=b²+c²を用いると、傾斜角 ψ は次の式から得られる。

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

2.4. 回転滑降中の運動摩擦係数 μ

3点 B_1, B_2, B_3 が直線上にない時は、 B_1 と B_2 間及び B_2 と B_3 間の軌道は曲線となる。これらの曲線の長さが直線 S_1, S_2 で表されると仮定する。3点 B_1, B_2, B_3 を通る曲線軌道上で、点 B_2 のスキーの加速度 G_c は、 S_1, S_2, t, ψ を用いると、次式で表される⁵⁾。

$$G_c = g(\sin \psi - \mu \cos \psi) = (S_1 - S_2)/t^2. \dots (1)$$

上式から、スキーの回転滑降中の μ が得られる。

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

V_1, V_2 はスキー軌道の接線方向の速度であり、 G_c は接線方向の加速度である。

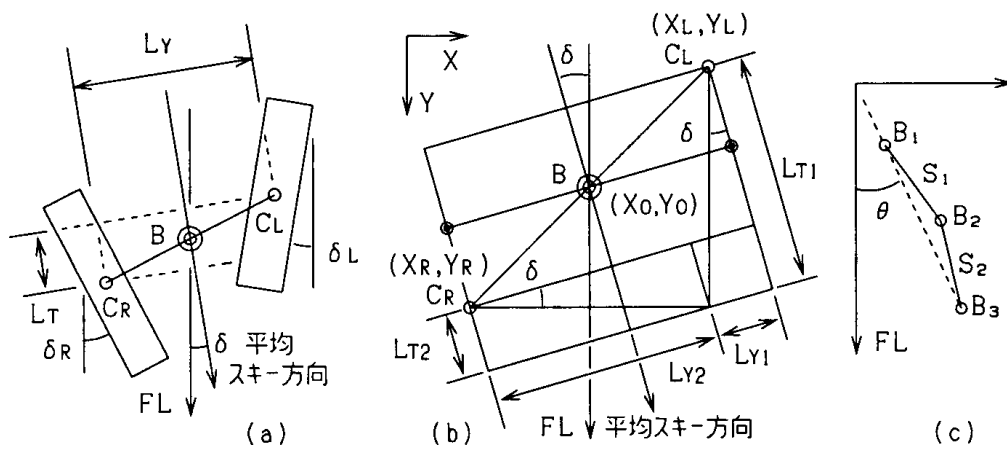


図2 定義 (a)スキー角 δ . (b)2つのスキーの横幅 LY と縦幅 LT .
(c)スキー軌道の接線方向 θ .

2.5. 両スキーの縦幅 LT と横幅 LY

図2(a)の様に, $CR-CL$ 間の長さの, δ 方向に垂直な成分をスキー横幅 LY とする. $CR-CL$ 間の長さの, δ 方向に平行な成分をスキー縦幅 LT とする. 右と左のスキーの中心を各々 $CR(XR, YR), CL(XL, YL)$ とし, CR と CL の中点を $B(X0, Y0)$ とする. LY と LT と B は図2(b)から次式のようなになる.

$$LY_1 = (Y_R - Y_L) \sin \delta, \quad LY_2 = (X_L - X_R) \cos \delta,$$

$$LT_1 = (Y_R - Y_L) \cos \delta, \quad LT_2 = (X_L - X_R) \sin \delta,$$

$$LY = LY_1 + LY_2, \quad LT = LT_1 - LT_2.$$

$$X_0 = (X_R + X_L) / 2, \quad Y_0 = (Y_R + Y_L) / 2.$$

X, Y 軸は図2に限り FL 方向に Y 軸,斜面上で Y 軸に垂直に X 軸をとった. 図2で表される方向が $\delta > 0^\circ$ とし,右スキーが左スキーより前に出た時が $LT > 0$ とした.

2.6. カービングとカービング・ターンとズレ・ターン

カービング・ターンは $\delta - \theta = 0^\circ$ で表されるが,実測では $|\delta - \theta|$ は 2° 位の大きさである⁶⁾. この論文でも, $|\delta - \theta| < 2^\circ$ であり,回転滑降をしているスキー滑降をカービング・ターンとした. しかし,左右の回転弧の境界には, $|\delta - \theta| < 2^\circ$ となっているスキー滑降がある. この部分はターンではなく,直線に近い滑降をしていると見なして,その滑降をカービングと呼ぶ. $|\delta - \theta| > 2^\circ$ であり,回転滑降をしているスキーは,横滑りを含む回転滑降をしている. この滑降では,



写真1 (a)スキーヤー角田.

(b)スキーヤー市野.

スキーはずれながら回転するので,これをズレ・ターンと呼ぶ.

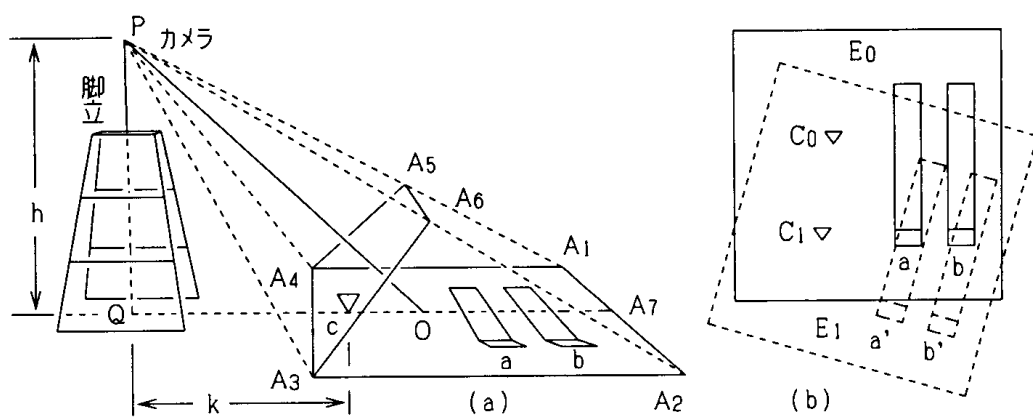


図3 (a) スキーヤーをビデオ撮影する様子. (b) ビデオ・プリントの組立.

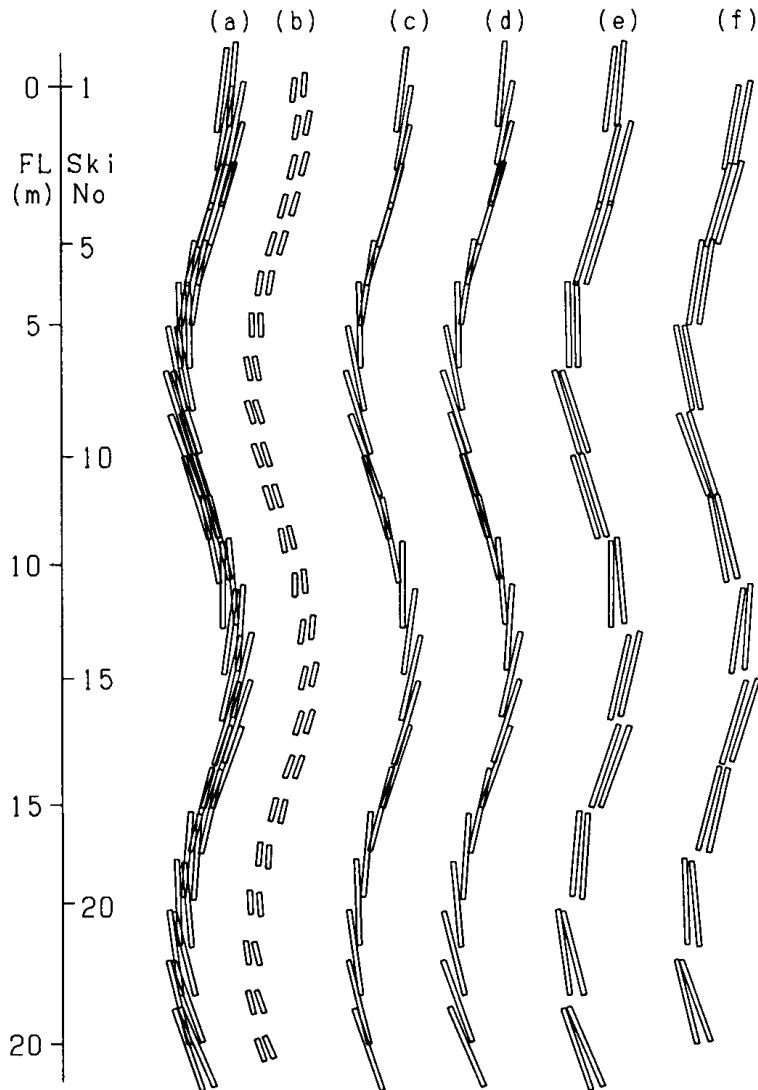


図4 (a) スキーヤー市野のウエーデルン軌跡. (b) 短いスキー. (c) 右足スキー. (d) 左足スキー. (e) 奇数スキー. (f) 偶数スキー.

3. 実験

3.1. スキーヤーの滑降とビデオ撮影

図3(a)はスキーヤーのスキーを脚立の上から

ビデオ・カメラPで撮影している様子を表している。A1A2A3A4が撮影される雪面の視野である。この視野の中心が線POである。線POに垂直に面A3A4A5A6があり、この面に比例した図がビデオ

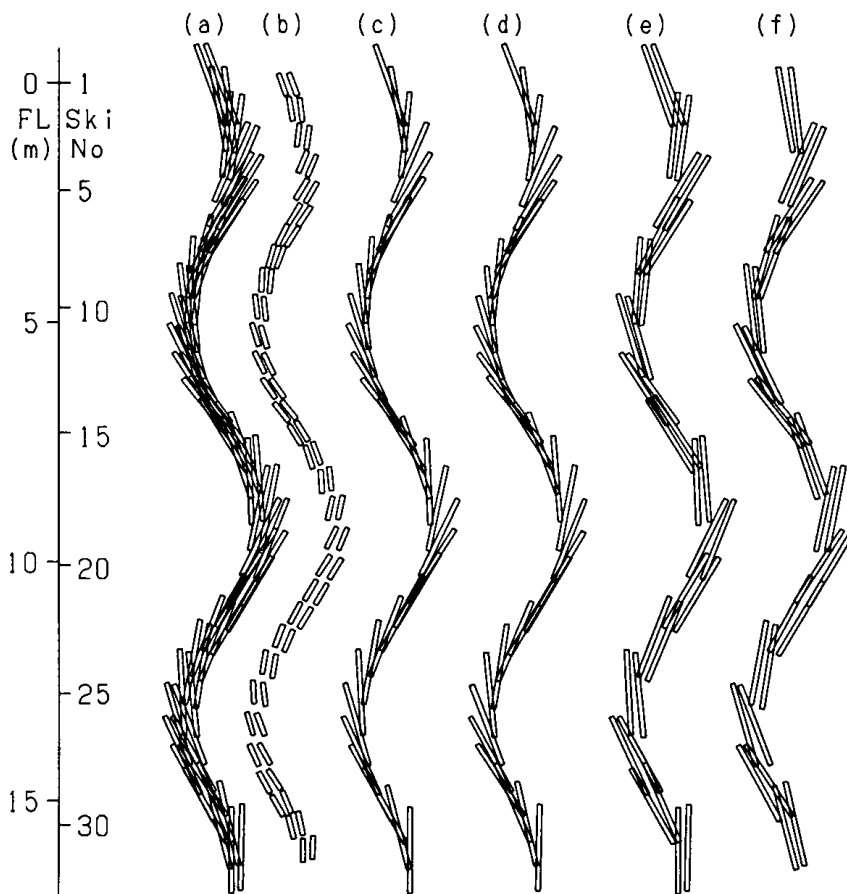


図5 (a)角田のウエーデルン軌跡。(b)～(f)は図4に同じ。

オ・カメラに記録され、プリントされる。雪面上にはスキーabと標識cがある。カメラPから雪面上に垂直に下ろした点をQとすると、 $PQ=h$ 、 $Qc=k$ である。hとkを測定しておけば、雪面垂直観察法¹⁾を用いて、プリント面A₃A₄A₅A₆から雪面A₁A₂A₃A₄を再現する事ができる。再現された最初のプリントを図3(b)のE₀とする。スキーヤーは脚立の周りを滑降する。スキーヤーを追いかけて、カメラも動く。次のプリントがE₁となり、点線で示す。カメラとスキーが動いても、雪面上にある複数の標識c₀,c₁は動かない。2つのプリントに共通して存在する標識の位置を合せれば、2つのプリント間の平行移動距離と回転角が分る。この様にして描かれたスキー滑降図が図4,5,6である。

スキー場の傾斜角 α は12°であった。スキーヤーは市野と角田であり、例として、スキーヤーのビデオ・プリントを写真1(a),(b)に示す。1(a)は角田であり、図5、スキー番号20のプリントである。1

(b)は市野であり、図6、スキー番号23のプリントである。解析には1秒間に7.5コマのビデオ・プリントを用いた。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。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、プリント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-5°C(締めり粉雪)であり、ほぼ無風であった。

3.2. ウエーデルン

図4は市野によるウエーデルンである。図4(a)は1秒間7.5コマのスキーを表している。図4(a)のスキーは重なり合って見え難いので、長さ50cmの短スキーにして図4(b)に再び描かれている。同じ理由で、図4(a)のスキーの軌跡を分解すれば、図4(c)は右足スキーとなり、図4(d)は左足スキーとなる。図4(e)は奇数番号のスキーであり、図4(f)は偶数番号のスキーである。図4のウエーデルン

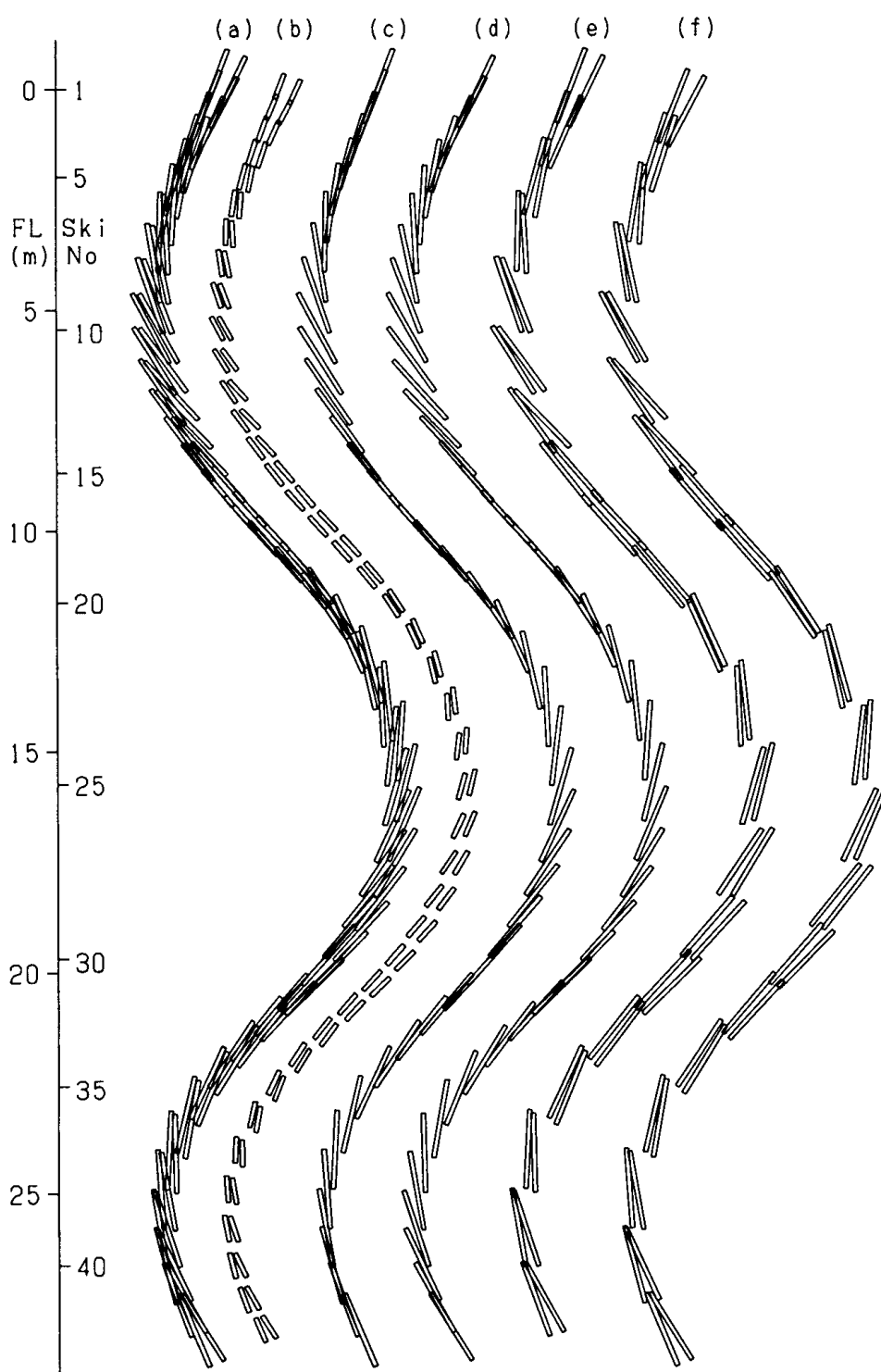


図6 (a)市野の平行・ターン軌跡. (b)~(f)は図4に同じ.

では,滑降がなるべくカービング・ターン滑降になるように意図して滑べられている. 図5は角田によるウエーデルンであり,図5(a)~(f)は図4のそれ等と各々対応している. 図5の滑降は左右のふれが大きく,スピードを抑えた従来からの滑降のウエーデルンである.

3.3. 平行・ターン

図6は市野による平行・ターンである. 図6

(a)~(f)は図4のそれ等と各々対応している.

4. スキー滑降の軌跡の解析

図7(a)は図4(b)の短スキーと同じ短スキーである. スキーヤーは市野である. 図7(b)は接線角 θ とスキー角 δ_R, δ_L である. $\theta, \delta_R, \delta_L$ の絶対値の最大は約 20° である. 図7(c)はスキーの軌道の曲率半径 R である. 図では最小値は $7m \sim 8m$ 位である. $R=100m$ は, $R \geq 100m$ を意味している.