

表1 位置変数X<sub>0</sub>の座標値の修正 (cm)

AxとBxは修正前. CxとDxは修正後.  
 $D_d = X_{0ds} - X_{0d}$ ,  $D_o = X_{0s} - X_o$ ,  $SD_d = \sum D_d$ .  
 $X_{0s} = \sum X_{0ds}$ ,  $X_o = \sum X_{0d}$ ,  $SD_o = \sum D_o$ .

スキー番号	Ax	Bx	Cx	Dx	Ex	Fx	Gx	Hx
前	差	後	差	差	和	差	和	差
X <sub>0</sub>	X <sub>0d</sub>	X <sub>0s</sub>	X <sub>0ds</sub>	D <sub>d</sub>	SD <sub>d</sub>	D <sub>o</sub>	SD <sub>o</sub>	SD <sub>o</sub>
1	796	0	796	0	0	0	0	0
2	819	23	818	22	-1	-1	-1	-1
3	831	12	834	16	4	3	3	2
4	844	13	843	9	-4	-1	-1	1
5	844	0	846	3	3	2	2	3
6	842	-2	842	-4	-2	0	0	3
7	833	-9	832	-10	-1	-1	-1	2
8	819	-14	816	-16	-2	-3	-3	-1
9	794	-25	792	-24	1	-2	-2	-3
10	759	-35	760	-32	3	1	1	-2
11	718	-41	720	-40	1	2	2	0
12	669	-49	673	-47	2	4	4	4
13	622	-47	620	-53	-6	-2	-2	2
14	564	-58	562	-58	0	-2	-2	0

表2 表1のX<sub>0</sub>の誤差の平均値と標準偏差

位置変数の誤差cm ミカケの速度の誤差cm  
 平均値Q 標準偏差R 平均値S 標準偏差T

X <sub>0</sub>	0.00	2.03	-0.14	2.70
Y <sub>0</sub>	3.07	5.61	-0.57	4.08
Y <sub>0</sub> <sup>o</sup>	0.21	4.89	-0.86	3.92
L <sub>Y</sub>	0.00	3.05	-0.14	4.31
L <sub>T</sub>	-0.07	2.25	0.21	3.26
δ <sub>R</sub>	0.00	0.93	0.07	1.39
δ <sub>L</sub>	0.00	1.00	-0.07	1.63

表3 SL' (写真上のスキー長)とL (カメラの足Q-スキーの長さ)とζ (覗き角)と針穴(直径0.5mm)

スキー番号	SL'	L	ζ	短径	長径
2:	2.10cm	9.0m	15.5	4.3cm	16.1cm
6:	2.25cm	8.0m	17.0	4.0cm	13.7cm
12:	2.05cm	9.5m	15.0	4.4cm	17.0cm

#### 5.4. スキーに作用する外力

測定値(変数)のバラツキを調べるには、変数の差、即ちミカケの速度を調べた方がバラツキが大きく観察できる。更に、ミカケの加速度にはもっと大きなバラツキが現われる。こうして、加速度を決めて、速度を決めて、位置の変数を決めた。この加速度と「スキーヤーを含むスキーの質量」の積が、「スキーヤーを含むスキー」に作用する外力になる。外力は重力と摩擦力の和である。摩擦は、スキーと雪との間の摩擦とスキーヤーと空気との間の摩擦の和から出来ている。

図7のスキー滑降の場合、1つの方向への回転滑降である。スキー運動はスキーの中心Bの運動である。「スキーヤーを含むスキー」に作用する外力がジグザグに変る事は考え難い。ニュートンの慣性の法則から、「スキーヤーを含むスキーの運動」は滑らかに運動する事が期待される。これが、変数が滑らかに変化するように修正した理由である。この論文の方法は数学的に証明された方法ではない。しかし、実用的には、誤差を小さくする1つの方法であろう。

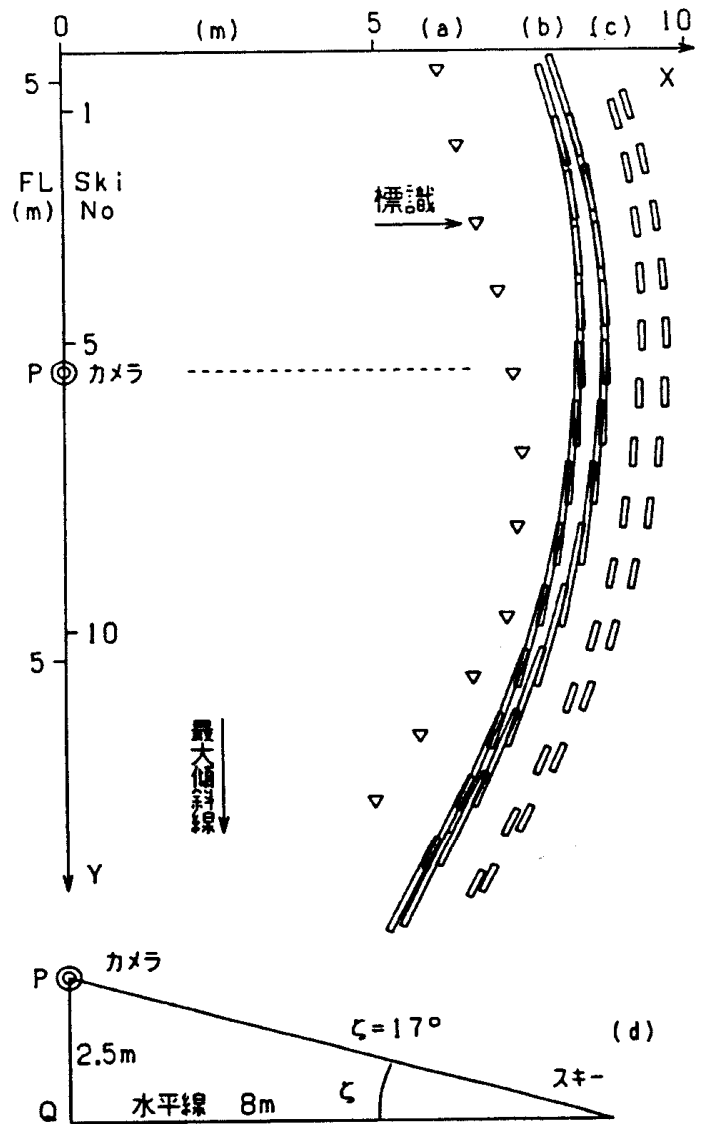


図6 スキー場における座標軸。

- (a)標識. (b)スキー. (c)短スキー.
- (d)カメラを通るX軸に平行な断面図.

#### 6. 結論

スキー研究を始めた頃は、1秒間に4コマ写る35ミリ・フィルム・カメラでスキーの連続写真を撮っていた。この写真は解像が良い。多分、現在の最高のデジタル写真よりも良いであろう。しかし早いスキーの動きを撮る事は出来なかった。次に、早い動きのスキー滑降の解析に、解像力は悪いが、1秒間のコマ数が多いビデオ・写真を用いた。スキーの8つの隅の位置を、6つの変数X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, L<sub>Y</sub>, L<sub>T</sub>, δ<sub>R</sub>, δ<sub>L</sub>に置換えた。各々の変数について統計的な修正をした後で、スキーの8つの隅の位置を再現した。修正は、「変数(物理量)は滑らかに変化する、加速度は自由落下の加速度より小さい、運動摩擦係数は正である。」の条件の元で統計的に行われた。修正の大きさは、写真上でスキー位置を特定する時に使う

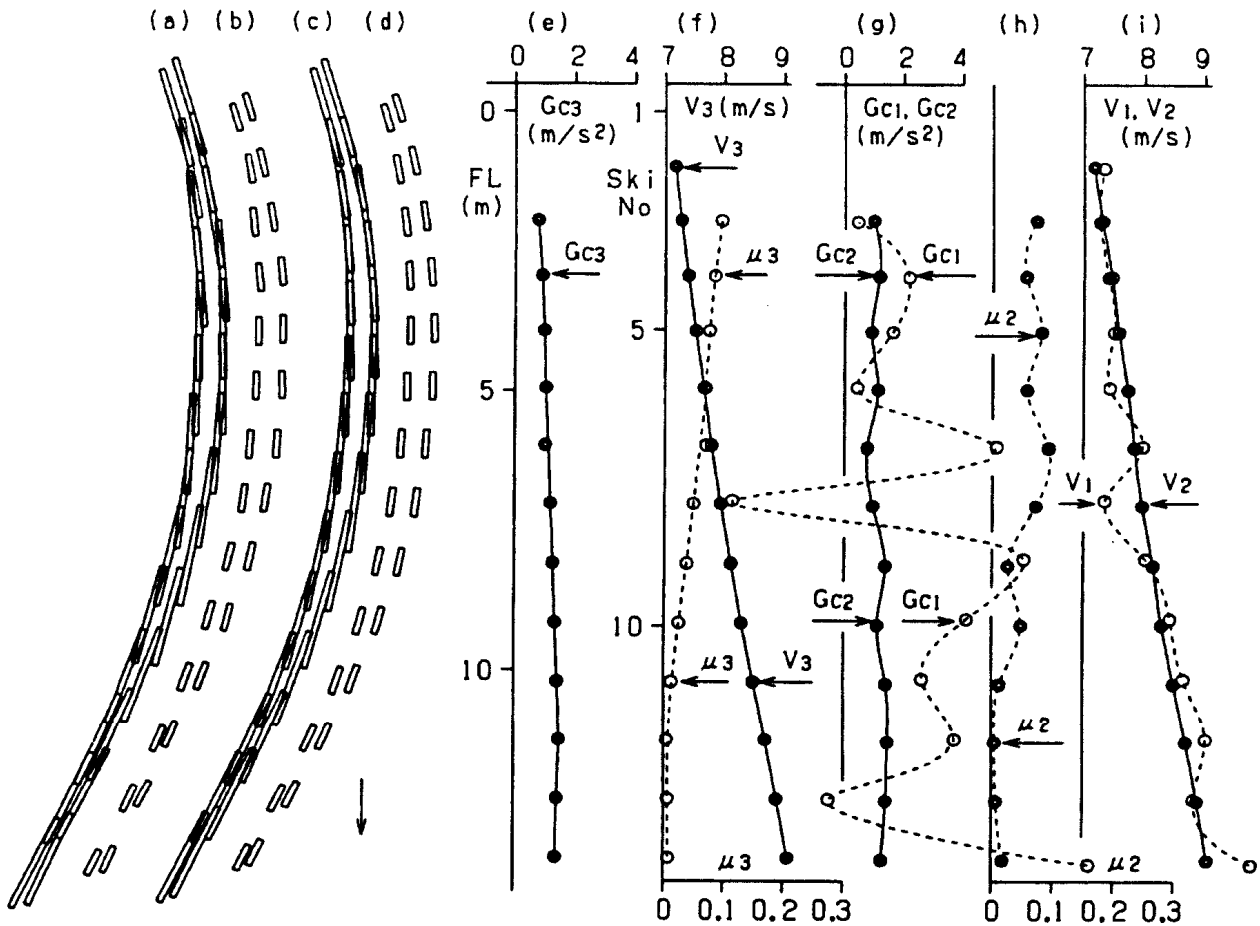


図7 修正前後のスキー滑降図。(a)と(b)修正前のスキー滑降図。  
 (c)と(d)修正後のスキー滑降図。(e)加速度 $G_{c3}$ 。(f)速度 $V_3$ と運動摩擦係数 $\mu_3$ 。  
 (g)加速度 $G_{c1}$ と $G_{c2}$ 。(h)運動摩擦係数 $\mu_2$ 。(i)速度 $V_1$ と $V_2$ 。

針の孔の大きさ位である事が分った。この方法により、複雑なウエーデルンやパラレル・ターンの滑降の軌跡も描く事ができるようになってきた。それらの解析により、スキー運動の細かい形態が少しずつ分ってきた。

謝辞 愛知教育大学名誉教授、市野聖治先生には、本論文を作成するにあたり、多大なご協力を頂き感謝している。

参考文献

- 1) 佐橋稔雄 スキー滑降図と測定誤差-1  
 日本スキー学会 2015年度研究会  
 講演論文集 2015, p. 38-43
- 2) 佐橋稔雄 (2016) ホームページ  
<http://skistudysa.web.fc2.com/>
- 3) 橋本智雄 (2000). 統計学, 共立出版, 東京, p. 1-37
- 4) 佐橋稔雄 (2011) スキー滑降図作成法,  
 日本スキー学会誌, 21(1) : p. 55-62

[追加] nはスキ-番号である. n=5の場合を例に取り, 次の各式を表1を用いて述べる.

\*1) Cx列の $X_{0s} = \sum X_{0ds}$ は, 「 $X_{0s5} = X_{0s1} + \sum X_{0dsn}$ , n=2~5間の和」, を意味する. Cx列の5番目の値846は, 「Cx列の1番目の $X_{0s1}$ と, Dx列の2番目の $X_{0ds2}$ からDx列の5番目の $X_{0ds5}$ までの和」であり,  $X_{0s5}$ である.

$$X_{0s5} = X_{0s1} + X_{0ds2} + X_{0ds3} + X_{0ds4} + X_{0ds5} = 796 + 22 + 16 + 9 + 3 = 846.$$

\*2) Fx列の $\sum D_d$ は, 「 $\sum D_{dn}$ , n=1~5間の和」, を意味する. Fx列の5番目の値2は, 「Ex列の1番目の $D_{d1}$ からEx列の5番目の $D_{d5}$ までの和」である.  $\sum D_{ds} = D_{d1} + D_{d2}$

$$+ D_{d3} + D_{d4} + D_{d5} = 0 + (-1) + (4) + (-4) + (3) = 2.$$

\*3) 平均値 $m = (\sum D_{0n})/n$ を, Gx列を用いて述べる.

$$m = (\sum D_{0s})/5 = (D_{01} + D_{02} + D_{03} + D_{04} + D_{05})/5 \\ = \{0 + (-1) + 3 + (-1) + 2\}/5 = 3/5.$$

\*4) 標準偏差 $s = \sqrt{[(\sum D_{0n}^2)/n] - m^2}$ を, Gx列を用いて述べる.

$$s = \sqrt{[(D_{01})^2 + (D_{02})^2 + (D_{03})^2 + (D_{04})^2 + (D_{05})^2]/5 \\ - m^2} \\ = \sqrt{[(0)^2 + (-1)^2 + 3^2 + (-1)^2 + 2^2]/5 - (3/5)^2} \\ = \sqrt{[15/5 - (3/5)^2]} = \sqrt{[2.76]} = 1.66$$