

3.6 遠心力と体重の増加

図6(a)の平行・ターンの軌跡に円軌道を重ねてみると,図8のようになった. スキーヤーは半径 $r_1=7m, 6m, 5m$ の各々の円軌道上を部分的に滑降していた事になる. 以下6mの円軌道について述べる. 円軌道とスキー軌跡が重なっている部分の角は1.24rad (71°)である. スキーの角速度は $\omega=0.93rad/s (=53^\circ/s)$ である. (1)雪面は水平面と仮定する. (2)半径 r_1 の円軌道内にある半径 r_2 の点線の円軌道は,スキーヤーの重心を雪面に投影した軌道であると仮定する. (3)スキーの中心とスキーヤーの重心は同じ角速度 ω で回転していると仮定する. 平行・ターンと円軌道が重なっている部分の中心Aの付近を考えれば,(1)~(3)の仮定は妥当なものであろう. 図9(a)は図8のA点上のスキーヤーを前から見た図である. Gはスキーヤーの重心である. その重心は鉛直線から角 ϵ だけ傾いている. スキーと重心間の距離を h とする. h を雪面上に投影した長さが p である. 図9(b)の様に,重心に働く遠心力は $Mr_2\omega^2$,重力は Mg である. 図8のA点の付近では, $\tan \epsilon = r_2\omega^2/g$ が成立している筈である. 図9から次式が得られる.

$$r_1 = r_2 + h \cdot \sin \epsilon = r_2 + h \cdot r_2 \omega^2 / \sqrt{g^2 + (r_2 \omega^2)^2}$$

r_1, h, ω, g を与えれば,上式から r_2 が得られる. 増加した体重の倍率 M_c は,

$$M_c = \sqrt{g^2 + (r_2 \omega^2)^2} / g$$

となる. $h=1m$ とすると, M_c は表Iの様な値になる. 図6の滑降では,遠心力の為に,体重は最大で約1.1倍に増加している. $r_1=6m$ の時, h を変えると倍率 M_c と p は図10の様に変化した.

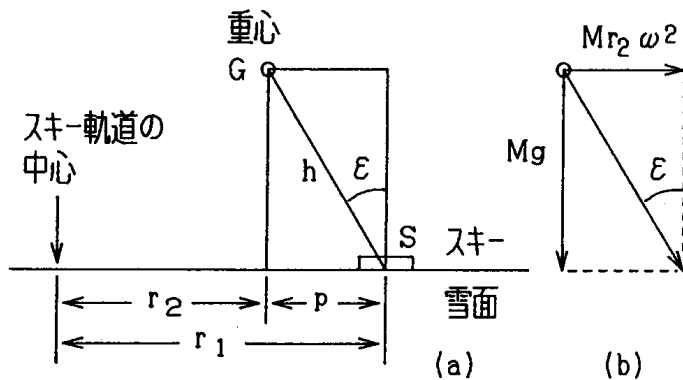


図9. (a) 図8のA点上のスキーヤーを前から見た図. ϵ は重心の傾き角である. h はスキーと重心の間の距離である. (b) スキーヤーの体重 Mg と遠心力 $Mr_2\omega^2$.

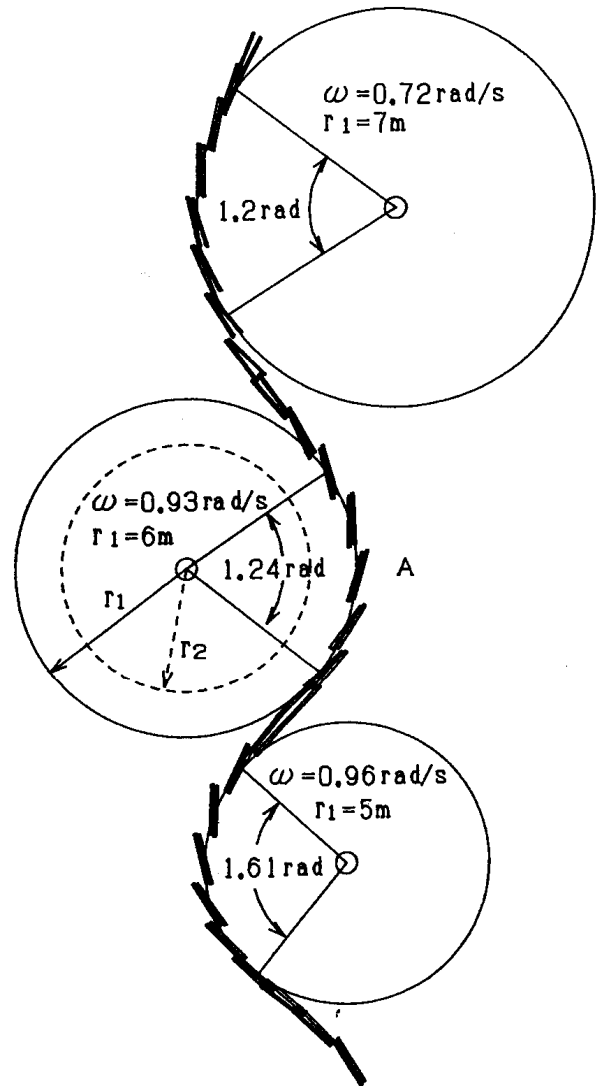


図8. 図6の平行・ターンの軌跡と円軌道.

4. 討論

4.1 プルーク・ボーゲン

プルーク・ボーゲンはスキーを逆V字型に開く回転滑降であり,図3(a)はその例である. この滑降は図4(a)の山開きシュテム・ターンの中にも観察される. それはスキー番号23~26である. プルーク・ボーゲンの特徴の1つは,「回転内側のスキーには横ずれが殆ど無く,外側のスキーには横ずれが大きい」事である.

EVANS等⁵⁾はスキー滑降の解説の中で,プルーク・ボーゲンの滑降を「回転内側のスキーには横ずれが大きく,外側のスキーには横ずれが無い」様に描いた. 描き方は述べられていない. 我々の観察結果と全く逆である. この不一致は,スキー滑降の描き方の困難性から来ているのかも知れない.

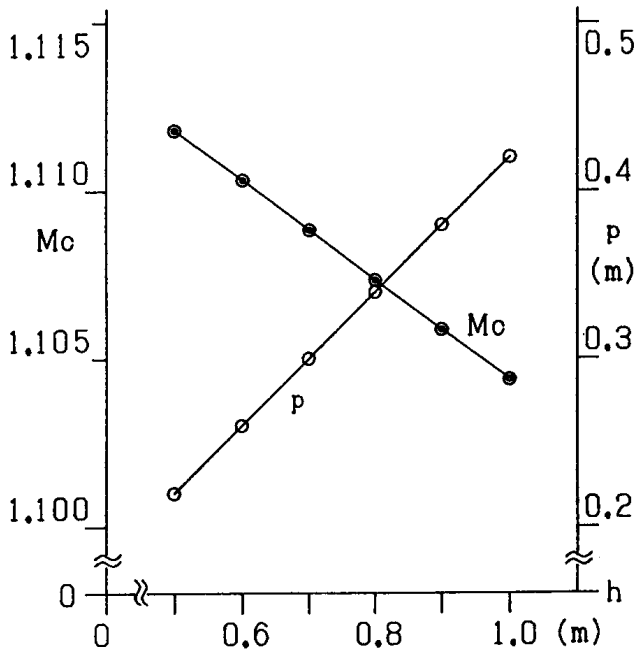


図10. hを変えた時の倍率Mcとpの変化.

4.2 パラレル・ターン :

パラレル・ターンと言う言葉には、2つの意味が含まれている。1つ目は、スキーをパラレル(平行 $\delta_R \approx \delta_L \approx \delta$)にして、ターン(回転滑降)をするという意味である ($\delta \neq \theta$)。2つ目は、スキーは平行なスキーの方向に滑降しながら回転して行くと言う意味である ($\delta \approx \theta$)。後者はカービング・ターンに近い滑降をする事を意味している。

多くのスキー教科書のパラレル・ターンの写真は、スキーはスキーの方向に滑降しながら回転する様に並べられている^{4,5,6}。そして、その様な絵も描かれている

表 I 回転滑降による体重の増加

スキ-の回転半径 r_1 (m)	7.00	6.00	5.00
スキ-の角速度 ω (rad/s)	0.72	0.93	0.96
重心とスキ-の間隔(雪面) p (m)	0.32	0.42	0.40
重心の傾き角 ε (度)	18.39	25.11	23.40
重心の回転半径 r_2 (m)	6.68	5.58	4.60
遠心力の加速度 $r_2 \omega^2$ (m/s ²)	3.26	5.59	4.24
スキ-の速度 v (m/s)	4.89	5.45	4.80
増加した体重の倍率 Mc (倍)	1.05	1.10	1.09

5,6)。多分、スキーヤーも、その様に信じているのであろう。図4,5,6から、2つのシュテム・ターンとパラレル・ターンを見ると、谷回りターンから山回りターンに移る前後で、5~6個のスキーの軌跡はよく似ている。この範囲のグラフから、 δ と θ との間に、約20°の違いが観察される。スキーヤーの意識と行動との間には、かなりの違いがある様だ。

4.3 リズミカルな滑降

スキー・ターンは左右の回転から成り立っている。最大傾斜線から山回り回転に移る時に μ が極大値を取る事が、これらの滑降の解析から分る。我々の経験からすると、左右の回転の間の時間が短く、かつ等しくなると、その滑降はリズミカルに感じられる様である。 μ が極大値を取る位置がリズミカルに感じられる位置に対応していると思われる。図7のウエーデルンでは、短い時間間隔で周期的に μ が変化しており、この図はリズミカルに感じる滑降を図的に表現している様に見える。

4.4 みかけ上の体重の増加

前の論文⁷で、パラレル・ターンをしている時の「スキーヤーの回転意識」は「心の問題」として説明される事が示された。即ち、スキーヤーがスキーを回していると思われていたが、しかしそれは「スキーヤーの錯覚」であった。スキーが回転するから、体が倒れない様に、スキーヤーはスキーの回転方向に体を回転させていたのであった。スキーの教科書には、スキーを回転させる為に、スキーヤーはスキーを足元の方向に「押す」と述べられている^{4,6}。それは、回転時に、スキーヤーがスキーを足元の方向に「押す」と感じた為であろう。

表 I の様に、図8のA点では、スキーヤーの体重はみかけ上約1.1倍に増加している。その体重はGSの方向に働く。この時、スキーヤーは自分の体重の1.1倍の体重を感じている筈である。この増加量が、回転時に、スキーヤーがスキーを足元の方向に「押す」と感じる原因であろう。

4.5 スキーヤーの姿勢

スキー滑降を直立型滑降と玉子型滑降とに分けると、スキーと重心との間の間隔 h は、前者では約1m、後者では約0.5mになる。図10によると、 h が小さい程、体重の倍率 Mc は大きくなる。これは、重心を低くして滑降した方が、「押す」感じがより大きくなるという我々の経験と一致する。

4.6 空気抵抗

スキーマの速度とスキーマの重心の速度は同じであると仮定する。その時、スキーマの空気抵抗を考慮すると、スキーマの加速度の式(1)は次の様になる。

$$Gc = g(\sin \phi - \mu \cos \phi) - Dv^2/M = (S_2 - S_1)/t^2 \dots (2)$$

ここで、Dは空気抵抗係数(kgw・s²/m²)である。図3~7の滑降は、直立滑降に近い姿勢であったので、D=0.03とする⁸⁾。スキーマの質量Mを70kgとする。vはスキーマの速度(m/s)である。空気抵抗を考慮しない運動摩擦係数をμ₀とすると、式(2)は次の様になる。

$$\mu = \{\sin \phi - (Gc/g) - (Dv^2/Mg)\} / \cos \phi = \mu_0 - \mu_1$$

上式のμ₀とμ₁は、

$$\mu_0 = \{\sin \phi - (Gc/g)\} / \cos \phi, \quad \mu_1 = Dv^2 / (Mg \cdot \cos \phi)$$

である。図3のスキー番号12と図6の12と図7の17のμの例を表IIに示す。スキーマの速度がv≈6m/sでは、空気抵抗がμに及ぶ効果は小さいと考えられる。一般に回転滑降中では、スキーマの重心の速度はスキーマの速度より小さいであろう。更に、スキーマの体形によるDの違い、微風、測定誤差の為、μの誤差Δμの範囲はΔμ≈0.01となるであろう。図3~7のμ値には、空気抵抗の効果は考慮されていない。

4.7 運動摩擦係数μの値

プルーク・ボーゲン⁹⁾は制動力が大きく安定した滑降であると言われている。その原因の1つは、運動摩擦係数が常に大きく、速度が小さい事であろう。

この実験におけるμの最大値μ_{max}と最小値μ_{min}を表IIIに示す。これによると、滑降速度が早い程、μ_{min}が小さく、μ_{max}が大きい事が分る。速度が早い程、その滑降の中に摩擦(制動)力の大きな滑降が含まれている事を表している。そして、摩擦係数μ_{min}が小さい程、早い滑降に適している事をもこの表は示している。これは我々の経験と一致している。

4.8 スキーマ滑降に於ける摩擦力の原因

スキーマ滑降の摩擦力には、スキーマと雪面間の摩擦抵抗の他にスキーマ先端の除雪抵抗や角付けから来る抵抗が含まれている筈である。従って、滑降時の運動摩擦係数μには、これらの全てが含まれる事になる。ボーデン⁹⁾はスキーマと雪面間の摩擦抵抗を摩擦融解で説明した。スキーマと雪面間のμが木下¹⁾、新保²⁾により調べられ、μ値は0.05~0.01位であった。

新保は除雪抵抗の効果を小さくする様にしてμ値を測定した。彼のμ値はスキーマ速度、荷重、雪温、雪質、ス

表II 運動摩擦係数と空気抵抗の効果

スキ-No	滑降	v(m/s)	φ(度)	Gc(m/s ²)	μ ₀	μ ₁
図3-12	プルーク・ボーゲン	3.54	5.98	0.61	0.042	0.0005
図6-12	パラレル・ターン	5.43	6.09	0.90	0.014	0.0013
図7-17	ウェーデルン	6.00	7.00	1.05	0.014	0.0016

表III 運動摩擦係数の最大値と最小値

滑降	μ _{min}	μ _{max}	v(m/s)
プルーク・ボーゲン	0.05	0.2	3~3.5
シュテム・ターン	0.02	0.2	3.5~4.5
パラレル・ターン	0.01	0.3	4~5.5
ウェーデルン	0.01	0.3	5~6.5

キーマ材質(スキーマ表面の凹凸の変化を含む)により変化していた。我々のスキーマ速度は2~7m/sであった。スキーマ面積を10×180cm²とすると、平均荷重は40g/cm²となる。スキーマの「立上がり」と「沈み込み」を考慮すると、スキーマ荷重は20~60g/cm²位になるであろう。我々の実験中、雪温、雪質、材質はほぼ一定と考えられる。新保の実験値から判断すると、速度、荷重、雪温、雪質、材質の変化による、我々のμ値の変化の範囲は小さく、0.01以下であろう。しかし、μ値の実験値の変化の範囲は大きく、0.01~0.3であった。

パラレル・ターンでは、スキーマ角δ≈0°がμ値の最小値に、δ≈最大がμ値の最大値に対応している。δが小さい所では、スキーマは谷側に角付けされ、谷回り回転をする。この時は斜面に対する角付けは小さくなり、角付けによる抵抗も小さくなる。δが大きい所では、スキーマは山側に角付けされ、山回り回転をする。そして、斜面に対する角付け角は大きくなり、角付けによる抵抗も大きくなる^{7,10)}。他の滑降においても、δと角付けの間の関係は良く似ている。従って、小さいμ値の滑降摩擦の原因の大部分はスキーマ雪面間摩擦によるのであろう。又、大きいμ値の原因は、それ以外に角付け角による抵抗を含む事によるのであろう。

5. 結論

回転滑降中では、スキーがほぼ最大傾斜線FLを向いている時、滑降は谷回り回転である。その時の μ 値は小さく、その値はスキー雪面間摩擦に依存している。スキーの向きがFLから離れている時、滑降は山回り回転である。その時の μ 値は大きく、その値は角付け角による抵抗に依存している。

謝辞

著者は愛知教育大学市野教授に対して貴重な討論を感謝する。又、スキーヤーとしての市野教授に感謝する。そして、雪上実験に対して岐阜県朴の木平スキー場の上平氏に感謝する。

参考文献

- 1) KINOSITA et al.: Japan Ski Kagaku (Scientific Study of Skiing in Japan) (Hitachi Ltd., Tokyo,1971) [in Japanese].
- 2) SHIMBO : Japan Ski Kagaku (Scientific Study of Skiing in Japan) (Hitachi Ltd., Tokyo,1971) [in Japanese].
- 3) SAHASHI and ICHINO : Jpn.J.Appl.Phys.34 (1995) 674-679.
- 4) MARUYAMA et al. : Japan Ski Kyotei (The Text of Ski Association of Japan) (Ski Journal, Tokyo,1994) [in Japanese].
- 5) EVANS, JACKMAN and OTTAWAY : We Learned to Ski (St.Martin's Press, New York,1974) 144-167.
- 6) GAMMA : The Handbook of Skiing (Pelhambooks,London,1981) 178-187.
- 7) SAHASHI and ICHINO : Jpn.J.Appl.Phys.35 (1996) 2377-2382.
- 8) KINOSITA : Ski no Kagaku (Science of Skiing) (Chuo Koron Sha, Tokyo,1973) 132 [in Japanese].
- 9) BOWDEN and HUGHES : Proc.R.Soc.A172 (1939) 280-298.
- 10) SAHASHI and ICHINO : Jpn.J.Appl.Phys.29 (1990) 1203-1208.
- 11) SAHASHI and ICHINO : Jpn.J.Appl.Phys.37 (1998) 720-727.