

左スキーについて、

$$\begin{aligned} X_L &= X_0 + (L_Y/2) \cos \delta - (L_T/2) \sin \delta, \\ Y_L &= Y_0 - (L_Y/2) \sin \delta - (L_T/2) \cos \delta, \\ M_3 &= X_L + (S_L/2) \sin \delta_L, N_3 = Y_L + (S_L/2) \cos \delta_L, \\ M_4 &= X_L - (S_L/2) \sin \delta_L, N_4 = Y_L - (S_L/2) \cos \delta_L, \\ S_5 &= M_3 - (S_W/2) \cos \delta_L, T_5 = N_3 + (S_W/2) \sin \delta_L, \\ S_6 &= M_4 - (S_W/2) \cos \delta_L, T_6 = N_4 + (S_W/2) \sin \delta_L, \\ S_7 &= M_3 + (S_W/2) \cos \delta_L, T_7 = N_3 - (S_W/2) \sin \delta_L, \\ S_8 &= M_4 + (S_W/2) \cos \delta_L, T_8 = N_4 - (S_W/2) \sin \delta_L. \\ \dots & \quad (6) \end{aligned}$$

が得られる。

4. 討論

4.1 35ミリ・フィルムとビデオ・テープ

我々のスキー実験の撮影は、平成6年(1994)迄、35ミリの連続写真カメラで行われた。平成9年(1997)以降はビデオ・カメラで撮影された。早く複雑なスキー滑降の解析は、解像度が悪いビデオ像の解析が可能になって始めて実現した。昭和58年(1983)に、スキー研究を始めて以来、遅いスキー滑降の解析に10年を要し、早いスキー滑降の解析には更に10年を要した。

35ミリ・フィルムのカメラでは、電池によるモーター駆動でフィルム送りが、行われている。フィルムが走る速度は、アナログ式の電動モーターに依存している。コマ数は、最速で、毎秒4コマである。アナログ式の電動モーターの為に、フィルム速度の正確性は低い。しかし、フィルム像の解像度は高い。

他方ビデオ・テープ送りは、水晶発振器によるパルス・モーターで行われている。テープ速度の正確性は高いが、テープ像の解像度は低い。コマ数は、毎秒30コマである。

テープ速度は、解析された1つのコマ(スキー軌跡)と次のコマ(スキー軌跡)の間の時間 t を決めている。テープ像の解像度はスキーの位置 (X, Y) を決めている。位置と時間の2つが正確であれば、正確な速度が決まる。同様にして、加速度が決まり、スキーに働く力が決まる。これにより、スキ

ーがどの様な運動をしているかが分る。正確な位置と時間は、スキー研究の為の大切な要素である。

4.2 スキー滑降の2次元運動解析

スキーヤーを含めたスキー運動は本来、3次元運動である。これを3次元運動として解析する試みがいくつかあった^{7,8)}。しかし、その解析から物理量(時間、位置、速度、加速度、角度)の内、位置が定量的に出されていない。従って、速度も加速度も出ない。3次元運動からスキーの詳細な運動を調べる事は、困難なようだ。3次元運動の解析は難し過ぎるのであろう。著者はスキーヤーを含めたスキー運動を、スキーのみの運動に置き換え、それを2次元運動にして、解析を進めてきた。

雪面を平らな面とすれば、スキー運動は2次元運動である。平面上を滑降するスキーを紙面上に描き出す事は、原理的にはそれ程困難な事ではない。しかし、これを試みるといくつかの難しさに当った。

1番目の難しさ。スキー運動は、2本のスキーがバラバラに動く運動である。従って2本のスキーの位置を定めるには、8隅の位置、16個の座標が必要となる。これらが時間と共に変り、スキー運動は16変数を扱う運動学となる。

2番目の難しさ。スキーの隅が、滑降するスキーが削り飛ばす雪片で見えなくなる事がある。更に、片方の足の陰になって見えなくなる事もある。スキー隅の位置の特定に推定値を用いる為、誤差が出る。

3番目の難しさ。スキーの動きは、雪面に対して垂直方向から観察するとよく分る筈である。それが出来ない為、スキーを斜め横から観察する。斜面の凹凸により、位置の測定値に大きな誤差がでる。この誤差が、16変数の各々に発生する事が、スキー解析を更に難しくする。

4番目の難しさ。スキー運動は、水平面に対してある角度 α を持つ斜面上で行われている。更に斜面から角付け角 β で運動をしている。最大傾斜線FLに対してある角度 θ の方向へ運動する。

スキーの長さ方向 δ は θ と同じではない。このような角, $\alpha \beta \delta \theta$ を持つスキーが, 水平面に対してどのような傾きを持つかを想像する事は極めて困難であった。著者は, 4番目の難しさを「スキー滑降の立体作図法⁹⁾」で解決した。

こうして得られたスキーのみの運動に, スキーヤーは必ず付随している。従って, スキーのみの運動は, スキーヤーを含めたスキー運動と見なす事が出来ると思われる。

この論文では, 変数の数を減らす為に, 16変数を6変数, 2定数に変換する事を述べている。これらの数値を扱う事は, コンピューター社会の現在ではそう難しい事ではない。しかしスキー研究の初期の試みでは, 著者は式(1)の計算の為に, 電卓程度のコンピューター(2kバイト位)を用いていた。計算尺や手回し計算機では困難である。スキー滑降の作図は, コンピューターの進歩と共に可能になった。

5. 結論

16変数を6変数, 2定数に変換する事により, 複雑なスキー計算を簡素化できた。この為, 何度も左右の回転滑降を繰り返す, ウエーデルンやパラレル・ターンの滑降解析が可能になった。これらの滑降の中にある細かい形体が少しずつ明らかになってきた。

参考文献

- 1) Toshio Sahashi and Shoji Ichino (2001) Carving-turn and edging angle of skis, Sports Engineering 4:135-145
- 2) 佐橋稔雄, 市野聖治 (2008) ウエーデルンとパラレル・ターン, 日本スキー学会誌, 18(1):87-99
- 3) 佐橋稔雄, 市野聖治 (2008) スキー滑降の軌跡を描く1つの方法, 日本スキー学会誌, 18(1):63-74
- 4) 佐橋稔雄 (2009) 冬季オリンピックの解析の試み, 仏・アルペールビル・1992の回転滑降,

日本スキー学会誌, 19(1):101-112.

- 5) 佐橋稔雄, 市野聖治 (2001) 雪面垂直観察法, 日本スキー学会誌11:213-221
- 6) 佐橋稔雄, 市野聖治 (2000) スキー研究の軌跡3, 紙面上に描くスキー滑降図, 日本スキー学会誌, 10(1):97-112.
- 7) 池上康男, 桜井伸二, 矢部京之助(1991) DLT法, Japanese Journal of Sports Sciences, 11(3):191-195.
- 8) 池上久子, 袖山紘, 池上康男(1991) スキーターンの3次元的分析, ウエーデルンの分析, Japanese Journal of Sports Sciences, 11(3):213-220.
- 9) 佐橋稔雄 (2009) スキー滑降の立体作図法, スキー研究, 6(1):33-40.

著者 佐橋稔雄(さはし としお)
愛知スポーツ物理学研究所
スポーツ物理学