

野外教育スキー実習における回転の静力学的原理に即した指導 — 学校および地域指導者が心得るべきスキー指導の根本原理 —

佐藤 眞久 (愛知大学)

On Static Principle of Rotation in case of Outdoor Education Ski Practices
Basic Principles of Ski Instructions which School and Regional Instructors
should mind

Masahisa Sato

要約：野外実習や地域でのスキー・スノーボードの指導での対象者は、多くは技術上達を目指して受講あるいは参加する訳ではない。このような対象者への指導において、指導者はスキー・スノーボードの回転の静力学的原理を理解して、その原理に則した指導にあたることが大切である。本稿では、特に学校や地域指導者が心得るべきスキーの回転の静力学的原理を、回転を生起する大原則である直線運動と外力（押す力・引っ張る力）という2つの要素から紐解いていく。この要素が実現される斜面として仮想斜面の概念が導入される。静力学的原理の理解を通して、多くのスキー技術は、この仮想斜面上での運動の原則を実斜面上で対処する方法に置き換えて組み立てられていることが理解できるようになるであろう。そのような例も具体的に紹介されている。

キーワード：野外教育, スキー・スノーボード実習, 静力学, 回転 (直線運動・外力), 仮想斜面

1. 序章

大学の教育課程において冬期の野外教育として多く採り入れられているものの1つはスキー・スノーボード実習であろう。

また、地域教育の一環として種々の組織でスキー・スノーボードの実習が採り入れられている。本稿では、以下、スキーという名称は特に断らない限りスキー・スノーボードを意味し、スノーボードを含めた意味で用いることにする。

スキー指導では、スキースクールを含めて一般的には技術指導が中心である。技術指導の指針として一般的な指導書には、全日本スキー連盟発行の日本スキー教程^[文献1]並びに全日本プロスキー教師協会発行のSIA Official Method^[文献2]があり、多くの指導者がこれらを参考にしている。スキースクールでの受講者の多くは技術向上を目指して講習を受けに

来るので技術指導が中心になるのは必然であろう。しかし、大学でのスキー実習では単位を取得するための授業の一環として参加する学生がほとんどで、スキー実習でしかスキーを生涯で行わない学生もいるであろう。このような学生には何を実習で学んで貰うことが適当であろうか。もちろん、野外教育の重要性は、学生や指導者との交流を通してコミュニケーション能力を高めること、実習全般を通して互いに協力しあって学習を進める協調性や互いを思いやる気持ちを醸成することにある。これらは冬期以外に行われる野外実習を含め野外教育の共通目的である。この点を前提に、本稿では特に冬期におけるスキー実習に付随する目的と指導について述べていく。

スキー実習終了後もスキーを継続する学生、実習以後全くスキーをしない学生にも、大学や高校教育を通じて学習してきた内容がスキーの実技実習の中

に実際に現れ、思考の中でしかなかった力学的な概念を体感し、学んできたものが技術の根本になっていることを理解していくことは、学問の重要性を肌で感じていくという意味で重要である。この理解は大学生だけでなく全てのスキー実習に携わる指導者にとっても重要である。大学や地域の指導者が行う雪上での実習では、受講者に体感的に捉えた技術指導を行うことが中心となるであろうが、その場合でも、この理解を踏まえて指導することが大切である。本稿の目的は、この大切さを数理物理的に説明することである。直接的に実習内でスキーの回転の根本を伝えられる対象としては、回転の力学について学習した大学生、特に理系の大学生あたりであろう。地域指導者で幼児や小中高生の指導にあたる場合は、力学的思考を中心に据えた指導は不可能であるので、本稿で述べる静力学的原理を踏まえた上で、参考文献^[文献3]にあるような指導を参考にするのが良いであろう。

本稿で述べるスキーの回転の根本原理を理解しておくことは、スキー技術の上達を目指そうという人にも有益である。上達を目指すスキーヤーは向上心故に多くの指導者から助言を求める傾向がある。このこと自体は上達のために重要であるが、時に言われたことを確実に身につけようと、言われたこと一点に集中して練習するあまり、滑りの感覚が何か不自然に感じてスランプに陥ることを、熱心に練習する多くの人が経験しているであろう。特に、スキーの技術検定合格を目指すスキーヤーに顕著に見られる傾向である。多くの助言を受けるが、指導者毎に表現が異なり同じ内容が異なるものに見えたり、また、感覚的な表現で伝えられる傾向もあり伝えられた内容が一見矛盾しているように感じることもある。個々の技術に固執して技術全般の把握を失念するのは、木を見て森を見ない例えそのもので、このような状態に陥らないためにも、本稿で示すスキーの回転の根本原理を理解して練習することが必要である。この理解を元に、指導者がスキーの回転のどの部分を伝えようとしているのかを自身で噛み砕いて考えられるようになることが重要なのである。

本稿の主要な概念として第3.3節で仮想斜面が導入される。これは、スキーがこの斜面に対し真下

方向に落下する見かけ上の斜面を意味する。スキーの回転は仮想斜面上で直線運動と外力で生じされると単純化される。仮想斜面を考える利点は、実斜面より運動原理を理解するのが容易なことである。もちろん、技術指導は実斜面で行われるので、実斜面での対処を練習するが、これも本稿で述べる統一的な静力学的原理を踏まえた上で指導や練習を行うことで合理的な滑りが実現できることになる。最終章にこの一例として斜滑降の実斜面での指導について記載してある。

本稿がスキー実習に携わる指導者および受講者にスキーを通して直接・間接に役立つことを期待するものである。

2. 回転の原動力

考察の原点であるスキーの回転の原理、すなわち、回転がどのように生じられるかという基本原理を本章で解説する。

2.1. 慣性の法則と外力

物体の運動の大原則に、力が作用しなければ物体は等速直線運動を続けるという「慣性の法則」(図1)がある。

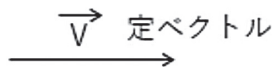


図1. 慣性の法則

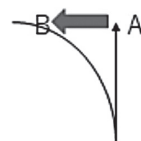


図2. 外力

運動している物体を直線上以外の場所に移動させるには、この物体に働く外力が必要である。図2において、等速直線運動でAまで移動するはずの物体をBに移動させるには、AからBへ向かう力が必要である。この外力を構成する力は次の2つの方向からの力に分類される。

- ①外側から押す力(図3-1)
- ②内側から引っ張る力(図3-2)



図3-1. 押す力



図3-2. 引っ張る力

①の代表例は図4-1のボートを竿で押す力である。②の代表例は図4-2の太陽が地球を引っ張る万有引力である¹⁾。

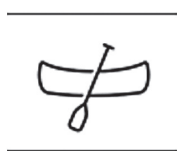


図4-1. 竿で押す力

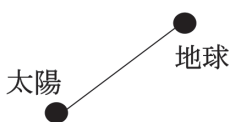


図4-2. 万有引力

整理すると、回転は直線方向の運動と外力（押す力・引っ張る力）の2つの力の作用で生起される。スキートの回転では、この2つの力がどのように生起されるかを考察するのが本稿の大きな目的である。

2.2. 回転の原動力（スケート）

第3章以降で述べるスキートの回転についての理解をより深めるため、斜度のない平面での回転であるスケートの回転の原動力について述べておく。原理的に相違があるわけではないが、スキーは斜面での回転であるため3次的に力の方向を考える必要があるのに対し、スケートはスケートリンクのような2次元平面での回転であるので、回転の原動力を捉えやすい。

真っ直ぐ滑り直線運動をしているスケートを回転させるのに外力が必要である。前節①の押す力で外力を得るためには足でスケートを外方向に押すことで、ボートを竿で押した時と同様に回転に必要な外力が得られる。前節②の引っ張る力を利用する方法として、体を回転したい方向の内側に移動する方法がある。このときの力の関係は図5のようになる。

鉛直方向に働く重力 (\vec{G})、脚で体を支える力 (\vec{F}) が、この2つの力から内向きに引っ張る力 (\vec{A}) が生起する。ベクトルの和で $\vec{G} = \vec{F} + \vec{A}$ と

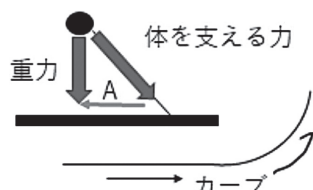


図5. スケートの回転

表される。

なお、回転の原理としては2つの方法から回転に必要な外力が得られるが、実際の滑りでは両者を同時にあるいは交互にと組み合わせて使いながら滑っている。

2.3. 回転の原動力（自動車・電車）

自動車や電車がカーブを曲がる（回転する）ときの引っ張る力の外力を考えてみる。自動車や電車は自ら軸を移動することはできないので、図6-1のように車は道路を傾ける（ヘアピンカーブにする）ことで、電車は路面を斜面にして線路を敷設することで図5と同じ状況を作り出し、引っ張る力を生起させている（図6-2）。

この場合、自動車はタイヤと路面の摩擦力で、電車は線路が支える力で斜面方向に落下をしない。路面が凍結等で摩擦力が減れば、自動車はスキーの落下と同じ原理で斜面方向に落下する。



図6-1. 斜面の走行

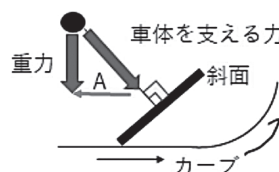


図6-2. 電車・自動車の回転

また、スキーを斜面に傾けて雪面に溝を作りながら進む場合はスキーの落下が押さえられ、線路上を走る電車と同じ動きになる。スキーの落下については次の章で詳述する。

2. 4. 進行方向の変更

自動車ではハンドル操作で前輪の向きを変えることで進行方向の変更ができる。スケートでは外脚で氷面を蹴るとき内足の向きを変えることで進行方向を変えることができる。この操作に対応するものがカービングスキーと言われるスキーには機能として備わっている。この機能については4. 4 節で取り上げる。

3. スキーの落下と仮想斜面

この章ではスキーの回転を生起する運動原理について述べていく。

3. 1. 落下の運動

前章で述べたように、スキーとスケートの回転運動は、直線運動と外力（押す力・引っ張る力）という観点で同一の原理から生起される運動である。では、スキーがスケートや自動車・電車の場合と大きく異なる点は何であろうか。スケートの運動は2次元運動であり、スキーの運動は3次元運動である点であることに起因する異なる現象がある。スキーは斜面の下方に滑って行ってしまう、すなわち、斜面を落下する（滑る）という点が大きく異なる。スケートでは体軸を回転内側へ移動しない限り重力が作用する運動は生じないが、スキーでは重力により落下運動が引き起こされてしまう。図7は重力から落下する力（斜面下方に滑る力）が引き起こされる力の関係を表したものである。図5と対比すると、スケートの回転の原動力を生起させる原理と同じ原理で落下する力が生起されていることがわかる。平面か傾きのある斜面かにより、回転の原動力

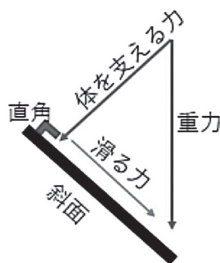


図7. 斜面での力

（外力）か滑る力（直線運動）の違いとして重力が作用し、回転運動を導くか直線運動を導くかの違いが生じる。

3. 2. スキーの直線運動

図7の原理で生ずるスキーの直線運動は、スキーの先端を向ける方向の違いで次の2つの典型的な運動に分類される。

- ①直滑降（図8-1）：スキーの先端を真下に向けての落下運動
- ②横滑り（図8-2）：スキーの先端を真横に向けての落下運動



図8-1. 直滑降

図8-2. 横滑り

スキーの先端の向きは①と②の中間的な向きになることが多いが、この場合の運動も②の横滑りと同一の力学的原理から生じていることを3. 4 節で説明する。いずれも重力はスケートの場合と異なり斜面への落下運動を生起している。これがスキーの回転に必要な要素の1つである直線運動である。

3. 3. 仮想斜面

スキーは雪面である斜面を滑っており、受講者はこの斜面上での複合した運動の結果としての現象である回転を視覚的・感覚的に捉えている。一方、スキーの回転運動を引き起こす直線運動と外力の各々の観点から回転を考えることは運動を理解する上では単純化され分かりやすい。そこで、本節ではまず直線運動の分析を行う。そのための重要な概念が、3. 4 節で導入する、直線運動をしている斜面としての仮想斜面である。抽象的であり理解しにくい面もあるので、イメージとして理解できるように、類似の状況である自転車が坂を登る場合を考えてみる。急な坂道を真っ直ぐ上に登るのは大変で、このような場合、坂を横向きに登ると楽である。これは坂

の斜面を登っているようだが、この斜面とは違う斜度の緩い仮想斜面を登っていて、その斜度が緩くなっているので楽に登りやすいと考えられる。すなわち、自転車の向きを軸に持つ自転車(体)と垂直な平面を考えると、自転車は実質的にはこの仮想斜面上を登っているのである。

3.4. 仮想斜面での落下運動(斜滑降と横滑り)

スキーの落下の制御方法としては、静止状態と落下が起きている場合に分けて、次の2つの方法がある。

- ①重力と同じ方向に立つ、すなわち、落下する力が生じない(図9-1)
- ②スキーのエッジを利用する(図9-2, 図9-3)

斜面を滑る②の場合における落下運動を考えてみる。図9-2と図9-3のように、スキー面は斜面と異なる平面を成し実際の斜面(以下、実斜面と呼

ぶ)と異なる。

この平面は、言わば見かけの斜面で、この見かけの斜面を仮想斜面と呼ぶ。正確に定義するなら、スキーを軸として体軸に垂直な平面である。図9-2の仮想斜面は実斜面より斜度が小さい場合である。一方、図9-3は仮想斜面の斜度の方が大きい場合で、実斜面で見るとエッジが2.3節で述べたような電車の走る斜面に敷いた線路の役目をして落下を押さえている。したがって、静力学的原理としては、斜面の線路上を走る電車と同等の力学的条件を有している。図9-1から図9-3のように、エッジの角度を変える²⁾、すなわち、仮想斜面を斜度のない斜面から斜度のある斜面に変えると、図7の原理で新しい仮想斜面を落下し、仮想斜面での直線運動が生起する。重要な点は、図10のようにスキーは仮想斜面に対して落下運動(直線運動)をしていることである。

スキーの向きと進行方向が一致しているときは、仮想斜面に対して直滑降をしているのであるが、この運動(滑り)を実斜面上の運動として見た場合には斜滑降と呼んでいる。他方、スキーの向きと進行方向が異なるときは、仮想斜面の真下方向への落下運動、すなわち、3.2節の横滑りとなっているが、この横滑りの用語を拡張して用いて、この運動(滑り)を実斜面上での(横方向に滑る)横滑りと呼ぶ。

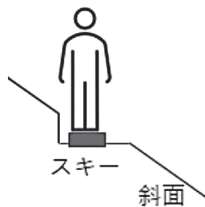


図9-1. 静止



図9-2. エッジの利用1



図9-3. エッジの利用2

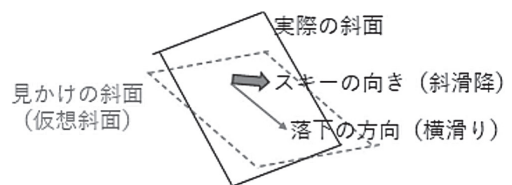


図10. 仮想斜面

実斜面での各々の滑りは3.2節の直滑降と横滑りを仮想斜面で行っているのであり、本質的には図7の直滑降(直線運動)なのである。このように、回転の要素である落下運動の観点からは各々同一の運動であるが、実斜面での斜滑降や横滑りは横方向へ移動する運動を伴った異なる運動要素が入っている滑りに見える。仮想斜面を考える利点はここであり、見かけに惑わされず、統一的に落下運動を扱え

るのである。

4. スキーの回転

第2章で述べたように、一般に回転は直線運動と外力（押す力・引っ張る力）の合成で生起する。現実的に、スキーでは実斜面での多様な動きが目に入るが³⁾、回転については、本質的に直線運動と外力を考えることに単純化される。第3章で述べたように、実斜面での落下は仮想斜面を考えると、仮想斜面での直線運動とみなせる。そこで、仮想斜面上での外力（押す力・引っ張る力）との合成での回転を考えることで、スキーの回転を一般の回転と同列に扱える。直線運動については第3章で考察したので、本章ではもう一方のスキーの回転要素である外力について考察する。

4.1. 押す力の利用

この節では外力として押す力から生起する回転について述べる。この場合、図3-1でのボートの竿の役目をする力が必要である。この力は、図11-1のように一方のスキー⁴⁾をスケートの回転のときのように雪面を押すことで作り出される。スキーの位置を固定して押す場合は4.4節で取り上げるとして⁵⁾、体軸を回転外側へ移動させながらスキーが雪面をこするような状態で外力（押す力）を生起させる場合を取り上げる、この操作をスキーをズラすと表現することが多い⁶⁾。特に、スキーの後端（テール）をズラすと図11-2のように両スキーは片仮名のハの字の形状になる⁷⁾。スキーのズレを使って押す力を利用した回転技術はブルークボーゲンと呼ば



図11-1. スキーのズレ



図11-2. ブルーク

れ、スキーの回転の基本技術となっている。

スキーの回転は、図12のように第2章の図2と同一な力学的関係になっている。



図12. スキーの回転

なお、前記では一方のスキーをズラした場合を述べたが、体軸を回転外側へ移動させながら両スキーを同時に雪面をこするような状態、すなわちズラして外力（押す力）を生起させた回転技術は基礎パラレルターンと呼ばれ、一般的なスキーヤーが目標とする滑りとされている。

4.2. 引っ張る力の利用

この節では外力として引っ張る力から生起する回転について述べる。平坦な斜面では第2章の図5のように体軸を回転の内側に移動することで引っ張る力を生起させた。それに対し、斜面ではこの原理である図5が3.2節の図7のようになり、第3章で述べた仮想斜面への直線運動（滑る力）を生起する。そこで、次に引っ張る力を生起させ回転するにはどうするか考える。引っ張る力は、どの斜面であろうと、体軸を回転したい内側に移動する⁸⁾ことで作られることから、引っ張る力を生起するには、平坦な斜面の場合と同様に、この仮想斜面に対して回転の内側に働く力を作る必要がある。すなわち、スケートの場合と同様に、体軸を回転の内側に移動することで引っ張る力を生起する。同じ重力が仮想斜面での直線運動（滑る力）と引っ張る力を同時に生起するのが斜面での運動であるスキーの特徴である。指導面から見た場合、直線運動と引っ張る力を認識できると技術指導が単純化される。指導者はこの点を理解しておくことは必須であろう。しかし、一般的な技術指導では、実斜面での運動に対しての対処を指導する形で行われるため、同じ重力を2つの力に分けて認識させるのは難しいであろう⁹⁾。

4.3. カービング技術とその指導

通常の滑りでは押す力と引っ張る力を組み合わせて滑っている。引っ張る力のみを利用して滑る技術はカービング技術と呼ばれる。したがって、カービングでの回転は仮想斜面で体軸を回転したい側に(平行)移動することで回転が生起するが、指導者はこの力学的構造を十分理解しておく必要がある。滑りの見本を見せるだけの指導では、次のような誤解を生じさせることになる。

- ①ズレのない滑りをすればカービングの滑りである。
- ②体を傾ければカービングの滑りができる。

この誤解は上達の妨げになり上達を遅らせる上、制御が効かない無謀な滑りを生じさせ危険も伴う。この点に関しては、今までに回転の原理を念頭に、滑りの見本と合わせて次の点を講習あるいは実習で解説しておくことが重要である。

- ①体軸を回転したい側に(平行)移動することで回転を生起する。
- ②押す力を使わないので、結果としてカービングの滑りはズレが少ない。また、体軸が内側に移動するので結果として脚部が傾く。しかし、体(体軸)は平行移動しているため、ほとんど傾かない。

上記の誤解のように、滑りの形だけを見て滑ると、結果として起こる現象を真似することになり、回転を生起することにならない。上級者ほどよく見られる傾向でもあるので、指導上注意が必要である。カービングでは脚部の傾きに伴って腰が雪面に近くなる現象が見られる。そのため、無理矢理腰を雪面に近づける滑りをしようとするスキーヤーが見受けられる。自分では近づいたつもりでも、実際はほとんど立っているときと変わらないことが多い。これも原理を無視して結果だけを求めようとしたことから生じるのである。そこで、次の節では、脚部の曲げについて述べておく。この点を理解すれば、ここで述べた誤解は解消し、必然的に腰が雪面に近づくことになる。

4.4. 股関節と脚部の曲げ

図13は斜面での両スキーと両脚の状態を示してい

る。Bは山側の脚と外スキー、Cは谷側の脚と内スキーを表している。これは実斜面での位置関係である。一方、スキーは仮想斜面を落下しているため、本来の内スキーと内脚はAの位置にあり落下するのだが、実斜面の下にスキーを潜り込ませることはできないので、aの位置にスキーが置かれることになる。

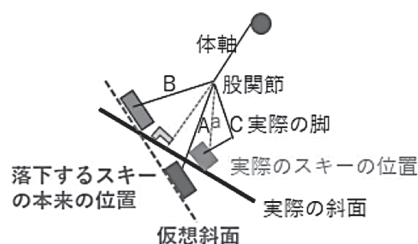


図13. 股関節と脚部の曲げ

仮想斜面では、Aの長さ B の長さは同じであるが、実斜面では【Aの長さ】 $>$ 【aの長さ】と変化してくる。【Aの長さ】 $>$ 【aの長さ】とすることは、仮想斜面上のスキーを実斜面上のスキーの位置まで持ち上げる動作にあたるので、体の動きとしては股関節を曲げる動きが必然的に必要になる。前節の腰が低くなる理由は【Bの長さ】 $>$ 【aの長さ】の結果から起こる現象である¹⁰⁾。また、股関節を曲げる動きに合わせて必然的にCのような膝部分の曲げ(脚部の曲げ)が伴う。

最近のスキー指導では、後に述べるカービングスキーの誕生により、プルークボーゲンの指導段階から、体軸を回転内側に移動する方法として股関節を曲げる指導をする傾向にある¹¹⁾。このような指導においても指導者は力学的な状況を把握して、静力学的な回転原理に沿った滑りの見せ方や説明の表現を工夫¹²⁾する必要がある¹³⁾。

4.5. ハンドル操作に対応する回転(カービング)

スキーの側面は直線ではなく曲線をなしている。この曲線をサイドカーブと呼んでいる。この曲線を近似する円を考えると、この曲線はほぼこの円周上に載っていると見なすことができる¹⁴⁾。この円の半径を回転半径(ラディウス)と呼ぶ¹⁵⁾。カービングスキーとは、図14のようにスキーの両端が広く中央部

が狭い形状をしたスキーである¹⁶⁾。



図14. カービングスキー

雪面上でスキーの中心部（スキー靴の土踏まず部分）を真上から真下に押す（荷重すると呼ばれる）とスキー板がしなり回転半径がさらに小さくなる特徴を持つ。特に、4.2節の引っ張る力を利用した滑りでは、両スキーのサイドカーブのなす曲線上を電車が線路の軌道上を進むのと同様にスキーが進み、2.3節で述べたのと同様な原理でスキーの回転が生起するが、さらに荷重を加えることで体軸を内側に移動したときのみよりも回転半径が小さくなる。スキーを真上から真下に押す力がスキーのたわみを生み先端が内側に入り込み進行方向が変わる現象は、自動車でハンドルを切ってタイヤの向きを変え進行方向を変えることに対応する。この特徴から、カービングスキーはスキー板そのものにスキーの向きを変えるハンドルのような機能が備わったスキー板と言える。結果として、仮想斜面上を落下（直線運動）すれば、回転運動が同時に導かれる¹⁷⁾。この特性を活かし、初級者から中級者の指導においては体軸を移動する練習を後に回し、スキーの中心部を荷重することを最初の指導の核心に据えることで、スキーが線路上を曲がって進む感覚で楽に回転ができることを実感させることができる。この指導は、滑りを楽しみながら早い上達を望めるので、2泊から3泊程度の短期間で行われる野外教育でのスキー実習では有効であろう。

4.6. カービングスキーのスピード制御

押す力を利用した回転では、進行方向と反対向きに力が加わるので、自動車ではブレーキを掛けた時のようにスピードが制御される。それに対し、カービング要素の滑りではこの様な減速要素はなく、これと違った力を利用してスピード制御を行う。引っ張る力を利用したカービングの滑りでは、電車の線路の軌道上を進むのと同様にサイドカーブの軌道上を

進むのであるが、違いは、電車は予め敷設してある地面の上の線路を進むのに対し、スキーでは雪面を掘った溝の軌道を進んでいくことである。実際、カービング（carving）とは、英語ではこの掘る（切り開く）という意味である¹⁸⁾。スキーの軌道掘っていき（切り裂いていく）ことから受ける抵抗が進む力に対抗してスピードを制御することになる。さらに、カービングスキーではスキーの中心部を真上から押す力によりスキーの先端（トップ）が内側に入り込み雪面への圧力が増して雪面を掘る抵抗がさらに加わりスピード制御の働きが増す。重力が滑る力・回転する力とスピードを制御する力を同時に生起するのである。指導者は、安全面の観点からこのメカニズムを十分理解し、安全面も含めて¹⁹⁾カービング要素の滑りを指導する必要がある。

5. スキーの回転局面とその帰結

本章では回転における力の働き方を3つの回転（ターン）局面に分けて述べ、さらに、その応用として回転の原理に則った姿勢について述べていく。図15は3つの回転局面、すなわち、ターン後半（A）、切り替え（B）、ターン前半（C）の運動局面におけるスキーの滑った軌跡を各々表したものである。各々の局面の特徴を順次調べていく。

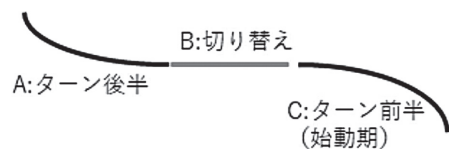


図15. 回転の3局面

5.1. 山側への回転

ターン後半（A）は山側へ向かう回転になっており、仮想斜面と力の関係では図16-1のような状態になっており、図から見える形状を指して、山側へ落下すると表現される。この局面での実斜面でのスキーの動きは、スキーを山側に向ければスキーが山を登り減速し、谷側に向ければスキーが落下しスピードが増す。スキーが実斜面に平行なら斜滑降になりスピードの変化はない²⁰⁾。

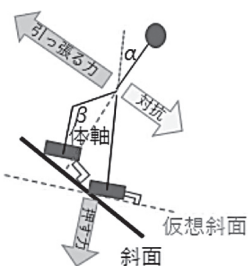


図16-1. 山回り局面

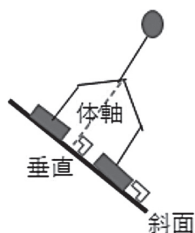


図16-2. 切り換え局面

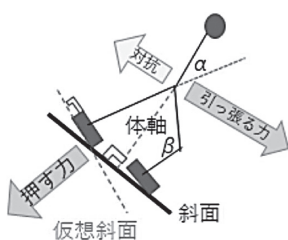


図16-3. 谷回り局面

5.2. 落下

切り換え (B) では、仮想斜面が実斜面と同じになる局面で落下を伴うことになり、図16-2のような状態になる。このときの姿勢は、斜度のない平坦な雪面で立ったときの姿勢と同じで、基本姿勢と言われる。なお、切り換えに要する時間は短いので、実際の落下は進行方向への移動距離に比べて極僅かである。しかし、進行方向への速度が小さい場合は3.2節で述べた斜滑降あるいは横滑りになる。また、ターン後半でスキーを押さえいていた力²¹⁾が解放されるので、スキーをスピード制御する抵抗が少なくなり、スキーが加速したように見える。

5.3. 谷側への回転

ターン前半 (C) は谷側への回転になっており、

仮想斜面と力の関係では図16-3のような状態になっている。この局面は、スキーを真上から押すことでターンを始動する時期であり、同時に4.6節の原理からスピードを制御する局面になっている²²⁾。

5.4. 体の向き原則

直滑降では斜面の真下に体を向けていく。スキーの回転は仮想斜面へ落下する運動であるので仮想斜面への直滑降と言える。したがって、どの回転局面でも体は仮想斜面の真下方向に向けるのが自然である。このように、体の向き原則は、スキーの実際の進行方向 (スキーの向き = 接線方向) でなく、仮想斜面の真下方向、すなわち、図17のように、回転し落下する場所に向けるのが自然である。指導者は、この落下の原則を踏まえて体の向きを指導していくことが大切である²³⁾。

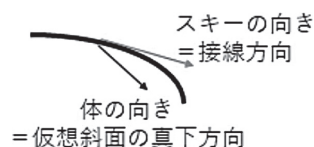


図17. 体の向き

5.5. 体軸の移動と外傾姿勢

Bの局面での基本姿勢は、平坦な雪面で立った状態で斜面を傾けたときの姿勢であるので体軸が安定している。この安定した状態は3つの局面すべてで共通である。すなわち、体軸が実斜面に垂直であることが最も安定した状態にある。ただし、AとCではBと異なり、仮想斜面方向に引っ張る力が生じるので、体軸を維持するために引っ張る力に對抗する力が必要になってくる。對抗する向きに体を引っ張る結果、体軸と外脚が成す2直線に図16-1と図16-3にある角 α が生じる。この理由から角 α は実斜面と仮想斜面の成す角度と一致する。見かけ上は上体 (体軸) が回転外側 (実斜面下方向) に傾いたように見えるので、この姿勢を外傾姿勢と呼んでいる。指導上は実際上傾いているのは脚部の方であることを認識しておく必要がある²⁴⁾。

Bの状態では、体軸は両スキーの中央部を通る直線上にあり、両スキーの幅はほぼ肩幅と同じである

(図18-1)。体軸が移動したとき最大で内スキーの真上に来る。このとき、図18-2のように長方形DEFGが平行四辺形KEFG'に変形する。

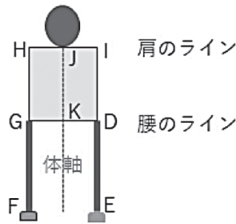


図18-1. 基本姿勢

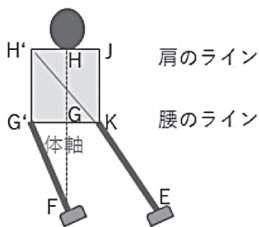


図18-2. 体軸の移動

これに伴い、上体の長方形DGHIは長方形KG'H'Jに移動している。したがって、内側の肩H'と腰を結ぶ直線H'Kは外脚の成す直線KEと一致する。すなわち、外脚の成す直線上に内肩があるという位置関係になる。斜度が上がるにつれ仮想斜面上の内脚G'Fは図16-1および図16-3のように畳まれるので、角 β は小さくなる。これにより、線分GFの長さが小さくなり、腰が斜面に近づいていく。この原理を理解すれば、4.3節のような誤解をすることはないので、指導上はこの点を踏まえていくことに注意が必要である²⁵⁾。

5.6. カービング要素とスキッピング要素

引っ張る力を利用した滑りがカービング要素の滑りで押す力を利用した滑りがスキッピング要素の滑りである。現象面では、カービング要素の滑りは線路上を走行する電車の動きのように2本の並行な1次元的な曲線を描いていく。スキッピング要素の滑りではスキーが横軸方向に動くため、三日月状のような2次元的な図形を描いていく。AとCの局面で、引っ張る力と反対側に外力が働いたときス

キッピング要素の滑りになる。プルークボーゲンや基礎パラレルターン等がスキッピング要素の滑りである。速度と回転半径の釣り合いが取れず、引っ張る力以上に外側へ押す力が強かったり、雪面でスキーを支える力以上に引っ張る力が強かったりする場合もスキッピング要素の滑りとなる。後者は、スケートでは外側に膨らんだ滑りの状態に対応し、仮想斜面での進行方向とスキーの実際の進行方向が一致しない滑りで、スキーが落とされると表現される。アイスバーンなどで生じやすく、斜面上を走る電車が、線路上から急に線路が途切れた所に入り走行したような状態である。

6. 結び

本稿はスキー・スノーボードの回転の原理を、直線運動と外力の2要素を用いて解説したもので、滑りを上達するための技術論ではない。しかし、この原理から派生する技術的なものについては、いくつか説明を加えている。その中で、仮想斜面の概念は原理を理解する上で重要な概念であることを納得されたであろう。この仮想斜面は直に感じ取れる対象物ではなく、感覚で感じるのは実斜面である。スキー技術を上達するには、滑りを通じてこの原理に則した滑りを、実斜面での感覚に置き換えて身に付ける必要が出てくるであろう。第5章の角 α や角 β は斜度や雪質に応じてどの位が適当かは、滑りの中で判断されるもので、経験や練習が必要である。しかし、無闇矢鱈に滑れば上達するするものでなく、真に上達を望むなら、本稿で述べた回転が生じる静力学的原理を理解するのが上達の早道であり、4.3節で挙げたような誤解が生じて上達を阻害するようなこともないであろう。

一方で、技術的な向上とは別に、スキー・スノーボードを地域指導者が指導するにあたっては、回転が生じる静力学的原理を理解し、その原理に則した指導を行うことで合理的で効果的な指導ができる。たとえば、3.4節で述べた回転運動を生み出す仮想斜面での直線運動である斜滑降(横滑り)を実斜面上で指導するには、次のような方法が有効であろう。山側のスキーの先端(トップ)を到達したい目

標物に向けたブルーク形状を作り、体の向き（上体の姿勢）を変えず（保持したまま）山側のスキーを谷側のスキーに平行になるように揃え、目標物に向かって滑っていく。これにより、本文で述べた実斜面上での真下方向への横滑りと同様な運動を、仮想斜面上で（真下方向への横滑りを）行っていることになっている。この様な回転に関する静力学的原理に則した指導を行うことで、合理的かつ自信を持った指導に寄与し、「なぜそうするのか」あるいは「なぜそうなるのか」という発問にも答えられ、時には発問者と議論し考えながら解決を探るようなコミュニケーションの場を作ることでもできる。野外実習でスキーを学ぶ理系の学生²⁶⁾には、高校・大学で必ず学ぶ机上での回転と関連付け、学習と実践を結びつけて考えることを期待したい。本稿が地域指導者の指導および理系の学生の考える力の育成に役立てばこの上ない幸せである。

注

- 1) 太陽と地球は互いに引っ張り合っているが、太陽の質量が地球の質量と比べて格段に大きいので、太陽が地球を引っ張っていると考えてよい。
- 2) エッジを外すと表現される。
- 3) 仮想斜面での動きは回転の原理から起こる単純な運動であるが、実斜面での動きは複雑で、多くの技術指導は実斜面での動作を調整して仮想斜面での回転を導く動作に合わせようとしていると言える。例えば、本文で述べたように斜滑降は仮想斜面への直滑降という単純な運動であるが、技術指導では実斜面での横移動の技術として練習を重ねる。
- 4) 通常は外スキー
- 5) カービング技術の導入で使われることがあり、ブルークターンと呼ばれる。
- 6) 技術的には主に、スキーの先端（トップ）をズラす、全体をズラす、スキーの後端（テール）をズラす、の3種類を用いることが多い。
- 7) この形状をブルークと呼ぶ。
- 8) 脚部が傾く操作が伴う。誤解されやすい表現だが、体あるいは脚を倒すと表現されることもある。実際は、体（体軸）は平行移動するだけで、ほとんど倒れてはいない。
- 9) 理系の学生は回転について種々の科目で習っているので、野外教育のスキーで理系の学生に対しては回転の原理を説明して指導することが有意義であろう。
- 10) これはスキー特有の現象であり、スノーボードでは脚がAとBの位置関係にある。スノーボードで脚が傾いていること、腰が斜面に近く見えるのは、仮想斜面に垂直に立っているため、実斜面と斜度の違いが生ずることから起こる現象である。
- 11) 4.1節で取り上げたブルークターンである。
- 12) 股関節を曲げるとだけ説明すると、この動作をする意図が正しく伝わらず、お辞儀をするような動作や体を内側に傾ける動作等で股関節の曲げを作ろうとする動作が見受けられる。
- 13) ブルークボーゲンには押す力を利用するもので、回転の外側に体軸を移動する動きになる。体軸を内側に移動するのかわりに外側に移動するのかわりで混乱が生じないようにすることも大切である。
- 14) 数学的には、サイドカーブの曲線を平面上の曲線として表しテーラー展開して、その2次式までの部分がなす2次曲線を考えると分かりやすい。より厳密には、サイドカーブ上の各点での曲率の逆数（曲率半径）を考え、その最大値である。
- 15) 例えば、回転半径が12mの場合はR12と記載されている。
- 16) 回転半径が比較的小さいスキーと言ってよい。
- 17) 回転がしやすい反面、直滑降がしにくい特徴がある。
- 18) 発音が日本語では似ている英語の曲がるの意味のcurvingと誤解されやすい。
- 19) 4.3節で述べたように、体を傾けるだけの滑りやズレないでスピードを出す滑りがカービングの滑りだと勘違いし、スピード制御ができてないスキーを生み出さないようにすることが、自他の安全を確保する上で大切である。
- 20) 実際は、雪面抵抗や空気抵抗などでスピードは減速する。
- 21) 4.6節であげた力などがある。
- 22) カービングスキーでは先端（トップ）が内側に過度に入り込み回転半径が小さくなり過ぎ急激な回転にならないように、上からの圧に加えて足先でスキーの先端を山側に押す操作をする。これによりトップにかなりの圧が掛かりスピードの制御（コントロール）がなさ

れる。これをトップコントロールと呼んでいる。これに対し、ブルークボーゲンや基礎パラレルターンなど、押す力を利用する回転は後端（テール）に大きな圧が掛かることから、テールコントロールと呼ばれている。

- 23) 初心者や初級者では、スキーに正対して体を傾けスキーを押す光景が見受けられる。上級者でもスキーの落下方向でなく別の向きに体を向けることがしばしば見受けられる。
- 24) 外傾姿勢という言葉から体を傾けることを受講者は連想しがちで、上体を動かして姿勢を作る傾向が見られるので、仮想斜面での脚部の動きを理解した上で誤解を与えない指導が求められる。
- 25) 見かけに惑わされて無理に体を雪面に近づけカービングをしようとする滑りが見受けられる。体軸の移動に伴って、結果として雪面に近づくのであって、自ら近づけても雪面に近づけるのはほとんど無理である。
- 26) 回転の学習をしている理系の学生は理解がしやすいだけで、もちろん、文系の学生でも十分理解が可能である。

参考文献

1. 全日本スキー連盟監修（2018），『日本スキー教程・新たな指導の道筋』，216ページ，山と溪谷社
2. 日本プロスキー教師協会（2020），『SIA Official Method -SIA オフィシャルメソッド』，210ページ，芸文社
3. 山田英美・川村恭平編（2004），『幼児キャンプ 雪の体験』，山梨幼児野外教育研究会監修，130ページ，春風社