スキーワックスの特性について

I. Hariu : Properties of Ski-wax.

針 生 巖 *

は し が き

スキーワックスの原理と云うことに關しては、一般にはほとんど知られていない。戦後の國外のことは判らないが、フランススキー界の第一人者と云われたエミール・アレーは其の著書で、スキーワックスの物理的現象は科學研究の對照にされたことがなかつたと云つてゐる。この事はわが國でも同様と云い得るのである。従つて文獻等を見ても原理というような事柄は何等知ることが出來ない。また、スキーワックス（以下單にワックスと云う）のメーカーも、これを使用する側のスキー指導にあたる人々も、はつきりした理論は示さない。この様な事情で、ワックスの作用が未だに謎とされているのである。ワックスに關する研究は多岐に亘り、雪・スキー等の物理的研究と並行しなければならず、殊に實驗室で簡単に出來ない低温作業の爲に、あまり手をつけられないのではないかと考えられる。筆者は科學者では無いが、多年興味をもつて調らべて來た。勿論學術的研究ではないが、ワックスの作用の原理と、ワックスの性質について大體の理論づけが出來た。その結果は、今後の研究者の研究の出發點として、又實用上の常識として幾分役立つこととも考えられる。よつて求められるまゝ記述することにしたのである。

1) スキーの滑りの問題

スキーワックスは、スキーの滑走に補助として使用されるものであることは、云うまでもない。そこで、ワックスを論ずる前提として、スキーの滑りとは如何なる現象かを明白に知る必要がある。そしてそれを基礎として考えなければ、ワックスの理論も成り立たない。

スキーの滑りの問題に關しては、故寺田寅彦博士の粉體力學說と、中谷博士の實驗があり、それを基にした黒田博士⁽¹⁾の論說がある。これを要約すれば、スキーが滑走する場合にスキーの下方の積雪内に流動層が出来る。流動層の上部はスキーと密着している。流動層の下は深部の動かない層とつながっているのであつて、結局流動層が出来るからスキーが滑ると云うのである。そしてこの現象は、粉雪の場合に限られてある。

この流動説は、スキー界に於ける唯一の基礎理論とされ、今日に及んでいる。最近のスキー書（竹節・野崎氏共著）にも記載されている。筆者はワックスの作用という見地からこの流動説に疑問をもち、種々なる實驗を試みた。其の一つとして第1圖に見るように雪中にインクの線を入れその上を滑り、斷面をつく

つてそこに出來た曲線によつて雪の動きを観察した。以下それについて述べよう。

積載層の構造は一定していないので、上の方法で現われる曲線も種々な形になる。幾回もの實驗觀察から、説明の便宜上曲線を理想化すれば、第2圖のようになると考えられる。

Aは積雪の壓縮される状態である。Bは

傾斜面の場合鉛直に入れた線の曲り方で。Cは雪面に直角に入れた場合の曲線である。

われわれはスキーが全部埋没するような深い雪中を滑る經驗をもつが、スキーの滑りと直接關係するの

* 札幌スキーワックス研究所

第2圖A 圧縮模型圖

B 傾斜面の圧縮曲線

はスキーの底面より下の部分である。従つてそれ以外のことは他の関係としてこゝでは考えに入れないこととする。

さてスキーが積雪上を進行する場合第2圖Aのように、スキーの上端から雪の層が押し傾けられるように圧縮されてゆく。スキーが進行するとともに、スキー前縁の曲つた部分では、接する雪が順次

スキーの底面へ押し入れられ、同時に圧縮されて行く。ただし、圧縮はスキー前縁のみでなく、より後方の底面でも行われている。それはスキーは構造上體重によつて緩かなカーブを生じ、局部的な圧縮の抵抗がかゝらぬように作られてある爲である。また、雪面に對し後部の方が深く埋れて進むため後部底面でも圧縮されることになる。かくしてスキーは圧縮しつゝ其の圧縮面を摩擦して進行することになる。

こゝで問題は摩擦の状態にうつる。この觀察にはガラス製の模型スキーを用いて顯微鏡によつて透視する方法をとつた。又滑走面の摩擦を増減する爲に種々なる性質のワックスを塗り、雪の粒の動き等を觀察した。これ等

の實驗から從來莫然と粉雪がスキーに附着してゆくと云われていたことは妥當ではなく、實は、雪の氷粒子はスキーの進行による摩擦に頑強に抵抗していると云ふべきで流動説で説くところとは異つた状態にあることが判明した。

それをたしめるには、摩擦の大なるワックスを滑走面に塗つて滑らして見ると、雪の粒子はワックスを押し分けて動くけれどもどこまでも、雪面に止まつているということである。又興味あることは、スキーと接觸している雪面は一つの幾何學な面というよりも寧ろ氷粒子の點の群であつて、しかも押しつけられていたりに並べられた點ではなく、氷粒の堆積された頂上の點であつて、その點上にスキーが支持されていると云ふ事實である。(この雪の状態はワックスの作用を理解する鍵になる)

齋藤鍊一氏⁽²⁾は積雪の構造について、雪の粒子という觀點から研究した。その結果によつて考えると、粒子の「橋」が圧縮によつて破碎される状態は第3圖のようになる。このように押し詰められた粒子に、上からスキーの壓力がかゝつてゐる爲、粒子間の摩擦即ち層としての迂りに對する抵抗が大きい。だから、雪面の粒子がスキーの底面によつて前方に引ずられても、それにたえ粒子は雪層の側にとどまることが考えられる。これが流動説の説くところと異り、雪粒子が雪の側にとどまる理由であらう。

以上を綜合すれば、スキーの滑りはスキー底面と雪面の摩擦による現象であつて、この摩擦力は小さい、その爲僅かな傾斜面でも重力によつて滑り落ちる。滑る際に雪が圧縮され、それによつて圧縮抵抗が生ずるが、これは比較的小さい。従つて滑ると云う結論になる。又滑りの際に起る雪層内部の動きは、圧縮による現われであつて、何等すべりを助ける因と

第3圖

ならず寧ろ抵抗となるのである。

そのことは壓縮を伴う新雪を滑る場合よりも、一度滑つて壓縮された雪面の方が速度が大きいという日常の経験からも頷けるのである。

そこで残る問題は何故スキーと雪面との間の摩擦が小さいかと云うことである。これには氷面の摩擦熱による溶解説等があるが、この問題は省略することにしよう

2) スキーワックスの一般的性質、種類

スキーの滑りは摩擦の状態の如何によるのである。従つて摩擦面が問題になる。雪面については大體前述のとおり點のように考えてよいし、一方ワックスを塗布しないスキーの滑走面にはどうしても凹凸があるから、そこに生ずる摩擦抵抗は強ち小さいとは云い得ない。そこで減摩用としてワックスが使われるのである。然し又、單に滑降の場合だけでなく登行する場合もあり、これには寧ろ摩擦大きく滑らぬ方が都合よい。そこで滑り止めの作用もするワックスが考案されたのである。

以上單に摩擦と言つたのも、實は二種類の摩擦にわけらるべきである。一つは雪粒子とワックスの面で行われる動摩擦で、他の一つはスキーと雪との間に介在して摩擦を増す作用、即ちワックスの内部摩擦とである。前者はスキー面にワックスが密着している結果生ずる摩擦で、後者は粒子がワックスにささり込み迂りに對する抵抗を示すことである。以下この點をワックスの作用見地から考えることにする。

ワックスを作用の面から分類すれば次のようになる。

A. 單に減摩作用のみのもの

滑走専用——(塑性型)

B. 減摩作用と増摩作用をするもの

登降兩用——(粘性型)・(準塑性型)

粘性型、塑性型については後述する。増摩作用とは靜止摩擦を増強することを云う。

Aの部類のワックスの有すべき條件は三つある。ワックスははがれてすぐ雪にとられることなくスキーの面についていること。雪が微粉狀になつた場合でもワックスに吸着されないこと。粘性が大でなければならぬこと等である。然し嚴密な固體ではない。又水と親和性のないという條件が必要である。

商品的にはAの部類に入れられているものに、液體のラック塗料があるが、これは減摩という見地からも重要ではあるけれども、むしろスキーの滑走面を硬く且つ平滑にする目的をもつものであつて、ワックスというよりもスキーの改良劑とみなすべきである。又塗料とワックスの性質を併せてもつものもある。これは木質面そのままのスキーには必要ではある。しかし、滑降を主とする場合現今では、塗料による滑走面の改良法が採用されたので、パラフィンのような硬さに比較して粘性の小さな塑性型のワックスが使用される。パラフィンワックスは溫度と雪粒子の大小によつて熔融點の異なる物が使用されている。低溫で粒子が小さい場合には融點の高い硬質のパラフィンを使用するが、溫度が比較的高い場合の粒子が大きな雪には軟質のものが使われる。この理由は明白でない、又實驗も行われていないので判然としないが考えられることは、粒子と面との間に介在するワックスの内部の迂りの性質のみでなく、ワックスの面の「搔き削られる際に生ずる抵抗」に關係すると云うことである。これ等の實驗は簡單のようで案外容易でない爲行われていないものと考えられる。

Bの部類のワックスは、商品的な種類は極めて多數にのぼり、其の性狀も區々で、何れが標準となるか撰定することは困難である。然し、何れも粘性と塑性を利用したものであるから、その強弱から二つの型に分けることが出来る。一つは低溫で粒子の小さい場合、又は溫度は高いが降雪中の雪華の微細な場合に使用するもので、又一つは粒子が大きな溫度の高い場合に使用するものである。前者は比較的硬く見掛は固型で硬さの割合に粘性は小さい、これを塑性型とする。後者は半固體で常溫では流動體もあり、軟質である割に粘性が大きい。これを粘性型と呼ぶ。何故この様な形態のワックスを必要とするかについては(ワ

ワックスの硬さ)の項で述べる。塑性型のワックスは蠟が主成分で85%に及ぶものもあり、粘性型はタール・樹脂其の他の粘性物質が主成分で蠟分をほとんど含まぬものもある。其の配合率も雪質により各適當に混合し數段階の硬さ(稠度という)に造られていて、其の稠度もメーカーによつて異つてゐる。このように稠度が區々であるということの原因は、ワックスは塗る厚さによつて力學的な作用を加減することが出来るからであると思う。

ワックスの原料の吟味には、物理的性質が第一義であつて、化學的な性質は保存性というような意味が主で第二義的におかれる。従つて原料もいろいろである。又この他に摩擦性、塗裝の難易、溫度に對する寛容度等の問題もあるがこれ等については省略する。

3) ワックスの作用

摩擦はワックスの面と氷粒子の面とで行われ、それは顯微鏡によつても見られる事實であるが、こゝに減摩作用をすると云う事が問題になる。一般に使用されているスキーの一方にワックスを塗り他方には塗らずに雪上を滑るとする、この場合塗つた方のスキーは滑りが良く塗らない方は滑らない。よつて此の場合ワックスは減摩作用をすることになる。又、前に述べたように塗料によつてスキーの滑走面を改良したスキーに、前例のようにワックスを一方に塗つて滑るとすると、塗らぬ方が滑りが良く塗つた方が滑りが良くない。此の場合は減摩作用はないことになる。これ等の矛盾はスキーの底面の狀況が改良されているかないかによつて生じたのであつてワックスが減摩作用をするか否かはワックスそれ自體よりも、それが如何に用いられたかによつてきまる相對的な問題である。然しこゝでは一般の見方に倣ふことにする。摩擦の狀態を考えて見ると粒子は軟質なワックスの面を押し分けながら摩擦する。このときワックスの粘性は流體のように作用し、第4圖(a)の如く粘子を下方に壓し、スキーを上方に浮す力が働く。従つて滑ることになる。また停止すれば圖(b)の如く粒子は深く内部にさゝり込み、靜止摩擦が増強されることになる。これを増摩作用と呼ぶのである。今これについて具體的な例をとつて見よう。吾々がスキーで実行するには一方のスキーに體重をおき他方のスキーを前方に滑らせこれに又體重をおく、この運動を交互に繰返す。加重されたスキーのワックスの面には粒子がさゝり込み、スキーと雪面との間でワックスは接着剤の役割をする、従つて上體を前方におく際の反作用に堪える。他の前方に出されるスキーでは、加重時にさゝり込んでいた粒子もワックスの粘性抵抗によつて、非常に深く喰ひ込むことが阻まれている。従つてさゝり込んでいた粒子がワックスから離脱するのも甚だしく困難ではなくワックスの表面を滑ることができる。

又傾斜面の滑走の際には體重が兩スキーに分配されていること、斜面の滑り運動の結果壓力の減少、ワックスの粘性抵抗が速度とともに増大すること等の條件が相よつて、粒子の喰ひ込みが浅くなり、滑走に支障ない。

第 5 圖

第 4 圖

以上のような現象を直接見ることは不可能であるが、前に述べたガラス製の模型スキーによつて實驗し、顯微鏡で見るとわかる。第5圖の寫眞はその一例である。さゝり込んだ粒子の跡(粒跡と云ふ)の直徑と滑りの跡(條痕と云ふ)の幅を比較して以上の理由が考えられよう。

以上によつて「登りには後滑りせず、前方へは滑る」と云う一見矛盾したワックスの作用が一應理解し得る。これには粘性と硬さが大きな役割を演じているものである。

4) ワックスの硬さと其の性質

ワックスの硬さ(稠度)は、ワックスの生命とも云うべき重要な性質である。これは雪の粒子との作用を決定づけるのであつて、粒子のさゝり込みと粘性抵抗をつかさどる。一般に粘稠な物質の硬さは(稠度)と云つて簡単に測定し處理されているが、ワックスのように微妙な作用をするものには、従来の稠度測定ではその性質が明瞭に判らない。筆者は二三測定を試みたが稠度が同一測定値のワックスであつても作用に大きな相異がある。この相異は塑性・粘性の如何による。従つてワックスの硬さというときは、塑性和粘性を分離して見る事が必要である。その定量的な研究は未完成であるから述べ得ないが、種々な種類のワックスを測定して見て「塑性學で云うところの流體的な性質と固體的な性質との二つの型があることが判つた。そこで流體的な性質の顯著なワックスを「粘性型」と呼び固體的な性質のものは「塑性型」と呼ぶことにしたのである。

以下この二つの型と硬さが、粒子との作用にどのような關係にあるかを記述しよう。

既述の如くワックスの増摩作用はワックスに粒子がさゝり込むことであるが、このさゝり込む深さは滑走の際に離脱し易い深さでなければならぬ。即ちさゝり込みの深さには粒子の大小に應じてある程度に制限が必要である。深さを制限する機構に二つの型がある。第6圖に見るように、(a)はワックス自體の侵入に對する抵抗によつて、粒子のさゝり込みを制限する方法であつて、其の爲には塑性型のワックスが必要である。(b)は粒子のさゝり込みがスキーの面で受けられるのであつて、これは軟質なワックスを使用し、粒子が制限なくさゝり込み、必然的に

第 6 圖

第 7 圖 温度とワックスの稠度變化

スキーの面に達する場合である。この場合、粒子を離脱し易くするにはワックスの厚さを適當に加減する方法をとる。この方法は粘性型のワックスによつて行われる。又(a)の方法は微細な粒子に對する方法であつて、(b)は大粒子の場合に多くとられる方法である。

このように、粒子のさゝり込みを制限する機構が二つに分れた理由は、ワックスの稠度の温度に對する變化度が粘性型和塑性型でちがう爲である。(第7圖参照)例えば塑性型のワックスは温度が高い雪面でも、大粒子の丸味ある面がさゝり込むだけ軟質にならない。それ故、(a)の型によつて深さが制限される。しかるに粘性型のワックスは、低温に於いても、微細な粒子の喰い込みを制限するだけの硬さにならない。即ち、(b)の型によつて喰い込みを制限することになる。實際には兩者の中間型のワックスもあり、又温度變化に順應せしめるよう考案されたワックスも見られるが完全ではない。

以上ワックスの増摩作用がワックスの硬さによつて行はれること、其の機構について述べた。然しながら單にワックスの硬さというときは粘性も含まれている。以下粘性について考えてみよう。滑走の場合に粒子の喰い込みを拒む面の抵抗力、喰い込んだ粒子がワックス内を穿るのをはばむワックスの内部抵抗力、この兩者は共に粘性が關係

する。この粘性抵抗力は、面の場合でも内部の場合でも大きい程有利である。そもそも、粒子のさゝり込みに對しては、ワックスに加えられる外圧とワックスが變形する度合の時間に對する關係が問題になるのであつて、この點でワックスの硬さということは粘性が大きな要素になつてゐるのである。既製のワックスは如上の理論が先行して組立てられたとは考えられないが、種々な觀察研究から以上の理論を見出し得る。

5) 塗 法 の 理 論

従來ワックスの理論が明かでなかつた爲塗法にも何等確たる説明がされていない。既に述べた事柄を據りどころとして、塗法についても一應解釋しておくことも無意義でないと思われる。

現在一般に行われる塗法を分けると次のようになると考えられる。

單塗法とは一種のワックスのみによる塗法であつて、これには應急、計畫の二法がある。復塗法とは二種以上のワックスを重ねて塗る塗法でこれにも應急、計畫の二法がある。以下番號順にこれ等の塗法が雪とどのような關係になるか述べて見る。

滑降塗法は雪との摩擦を小さくする爲既に述べたように塗料(ラック)によつて木質の面を改良し、パラフィン塗るのであつて、(1)(2)は簡單であり、重複するので省略する。

(3)は既に塗裝してあるワックスが増摩作用が不足する場合に、同一ワックスを厚く塗り、又は疎らに塗る場合である。厚くて疎らにぬれば壓する力が局部的に強くなる、従つて粒子がさゝり込む深さも増し、或る程度増摩作用を強める結果となる。然しこれには限度があり、他のより軟質なワックスを持たぬ場合の應急處置の塗法である。

(4)はワックスの厚さによつて粒子のさゝり込みを加減し、適當に登行の場合の摩擦力を得る計畫的な塗法である。この塗法には比較的軟質のワックスが使われるので粒子のさゝり込みはスキー面で止められる。従つて粒子の大小によりワックスの厚さが加減されなければならない。この理由は前項に詳述した。この塗裝が作用が不足の場合は(3)に、作用の過大の場合(滑りが悪い場合)は(5)の應急法に變化するのである。

(5)は(3)(4)で不適當な場合、他のワックスによつて行われる方法である。従つて作用の不足の場合には軟質なワックスを、作用の過大な場合にはより硬質なワックスか又はパラフィン等を重ね塗りする。

(6)は現在使用されているワックスの性質の短所を補う合理的な塗法と云える。塗裝方法は多少煩わしいので、それをいとわぬ競技の場合に行われる事が多い。この塗裝は軟質な粘性型ワックスが第一に塗られ、第二に比較的硬質な塑性型のワックスを塗る。従つて、表面は比較的硬く内部が軟質の状態にある。ワックスの厚さは、粒子の大小に應じ又溫度變化を勘案して加減される。この塗法によるワックスの作用は、増摩作用はスキー滑走面に直角な壓力によつて行われることから、軟質なワックスが作用し、滑走は滑走面に平行な摩擦であるから硬質のワックスが作用する。従つて粒子は比較的大きな場合でもさゝり込み、又粒子が小さい場合でも表面の硬いワックスは過度のさゝり込みを抑制する結果、使用範圍が廣いことになる。實際には完全に二層になつてゐるとは限らないが他の塗法と比較して合理的であることが頷ける。然しながら長距離の滑走には往々不適當になる場合もある。そのときは(5)の應急塗法による。

ワックスの塗法は作用から考へて、氷の粒子の大小、形狀を對照として行ふようにしなければならない。

從來氣温が云々されているが、氣温が雪の粒子をどのように變化させるかを考えるべきである。又ワックスは補助として使用されるもので、これによつてスキーが滑りよくすることは出来るけれども、スキー本來の滑りはスキーの力學的構造の適否にあるのであつて、同一ワックスを塗つてもその作用効果に差異があることは、日常よく見られるところである。

スキースポーツは自然の物理的な制約をうけることが甚だ大きい。來るべきオリンピック参加をのぞんでこれ等の研究の進展を祈つて擲筆することにする。

参 考 文 献

- (1) 黒田正夫：スキー年鑑，10 號 156 頁 1936 年
- (2) 齋藤鍊一：氣象集誌，第二輯 二十二卷一〜十二號，昭和 22 年

凍 傷 と そ の 治 療 法

H. Yoshimura : A Treatment of Frost Bite.

吉 村 壽 人 *

1. 研 究 の 發 端

Balzac の小説に *Le nez perdu* と言うのがある。一人のパリ子(1)が冬のモスコウへ旅行した。宿に着いて早速街の見物を思い立ち、新式流行の外套にくるまり、心はすんで出掛けた所が、向うから見知らぬロシア人がやつて來た。そこで「今日は」とやつた所ロシア人は挨拶を返さないのみか、何やらブツブツ言い乍らいきなり大きな手で雪をつかんでそれをパリ子の顔にパ とあてるなり、顔をゴシゴシこすつてもみくちやにしてしまつた。氣取つた積りのパリ子は果然自失の態で何んだか恐ろしくなつてさつきの元氣もどこへやらスゴスゴ宿へ引揚げた。さて宿の主人に一部百仕を話した所、主人は腹をかゝえて笑ひ出し、一枚の鏡を持つて來て「一寸御顔を見て御覽」と言う。そこで始めて自分の鼻が眞赤に凍傷になりかかっているのを見てハツと氣がついたと言う。これが大體の荒すぢであるが、それ程に凍傷の應急處置に對しては局所を雪で摩擦すべしと言う療法が廣く一般に信ぜられている。

私は最初この療法は凍結せる原形質が融解する場合に急速に暖められた時には何か非可逆的な變化が起るに對し、徐々に低温にて融解せられると可逆的に元の原形質に回復する所にその原理があると考えた。そこで白井清隆君と協力して三匹の家兎についてその左右の耳を寒劑につけて凍結させ、その後左方の耳はそのまゝ室温に放置して融解させるが、他方の右耳は一匹は 5°C 位の冷い水で徐々に回復させ、一匹は摩擦して回復させる。それから残りの一匹の家兎については 37°C の溫湯につけて回復させる。そうして三匹の兎の耳の凍傷を比較して、どんな變化がおこるかを觀察して見ようと思つた。これが私共の研究の發端である。

2. 凍 傷 應 急 處 置 法

以上の實驗の結果はどうなるか。百聞一見に如かず先ず、寫眞の成績を御覽になつて戴きたい。 5°C の

* 京都府立醫大、生理學教室