

最近の展望

UDC 796.92 : 531

スキーの科学的研究

大西 勁*

(昭和 40 年 1 月 22 日受理)

1. はじめに

昨秋は東京オリンピックが開催され、スポーツ愛好家に数々の話題を提供した。金メダルをとった種目、不振だった種目、それぞれに「根性」の重要さが叫ばれたが、同時に、科学的な練習や研究の必要性も認識された。

スポーツの科学的研究といえば、スキーに関する限りは、わが国における科学的研究は、大変進んでいて、スキーの滑走、回転、ジャンプ等の実技、スキーの材質の基礎的研究等、種々の興味ある研究が行なわれている。スキーという競技は、もちろん「根性」も大いに必要だが、スキー材の適、不適、ワックスの選択の良、否等によつて、勝敗が左右されることが非常に多い。したがつて、他のスポーツに比べて、このような科学的研究の果たす役割が、より大きいといえよう。近い将来には、日本でも冬季オリンピックが開催されることと思うので、この機会にスキーの科学的研究の現況を展望してみるのも興味あることと思われる。

2. スキーの滑走機構

スケートが氷の上を滑るのは、圧力により、スケートの刃の下の氷が融けて、薄い水のフィルムができ、潤滑作用をするためと考えられている¹⁾。しかし、スキーが雪の上を滑るのは少し違らしい。Bowden は、滑走面と雪の間のマサツ熱によつて雪が融け、水の薄い膜ができるから、スキーが滑ることを示した²⁾。彼は、この結論からの当然の帰結として、熱の伝導率が低くて、しかも水をよくはじくものほどよく滑るはずだとしてそのような材質を探し、テフロンが、まさにそうであることを示した³⁾。これについては、木下の解説⁴⁾があるから、ここでは詳しくは触れない。

わが国のこの方面の研究では、北大低温研の藤岡らの研究と⁵⁻¹⁰⁾、美津濃 K. K. の新保¹¹⁻¹⁶⁾の研究が光つて

いる。藤岡らは、スキーヤソリを使つてこの問題を研究し、Bowden の実験には色々の問題点があることを示した。そして、マサツ熱だけでは十分に滑走現象を説明することができないこと⁷⁾、圧力による雪の融点降下も、考慮する必要があること等を示した¹⁰⁾。新保は、スキーの滑走面や、スキーワックスについて種々の面から研究を行ない、滑走面があまり平滑であると、かえつて、運動マサツ係数 (μ_k) が静止マサツ係数 (μ_s) より大きくなることを示した (図 1)。これは、あまり平滑であると、

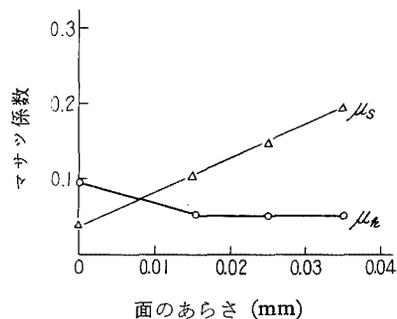


図 1 含水率の多い雪上の、プラスチックの、マサツ面のあかさ、マサツ係数の関係¹³⁾。気温 3°C、雪温 0°C。

滑走面が、水の膜を介して、雪面に吸いつけられるためと解釈されている¹³⁾。また、雪の代わりに無水マレイン酸の結晶を用いてモデル実験を行ない、やはりその融点附近では、雪面上のマサツと同様の種々の現象が認められることを見出した¹⁵⁾。

スキーが雪の上を滑る時には、滑走面におけるマサツ以外に、スキーが積雪中をもぐつて滑走するための抵抗を考えなければならない。藤岡らは、この問題を、積雪のレオロジカルな性質の面から研究している^{8,9)}。特に、積雪の大変形、破壊の機構と関連づけて論じているのは、注目に値する。

滑走面のみに由来する μ_k は、Bowden や新保による

* 名古屋大学理学部物理学教室

と、0.02~0.1 程度であるが藤岡によると、スキーが、密度 0.13 のしまり雪を 4 cm 圧縮して滑る時のスキー前部の抵抗による μ_k の増加高は、滑走面の μ_k と同程度になるので、馬鹿にならない¹⁹。

3. ジャンプの風洞実験とスキー科学研究会

1950 年頃大森健生は、谷¹⁷⁾、伊黒¹⁸⁾らの協力を得て、模型のスキーヤーを使つてスキージャンプの風洞による研究を行なつた。そして、空中姿勢はもつと前傾した方がよい。腕はグルグルと廻さない方がよい。等の結論を得たが、当時のスキー界には採り上げられなかつた。ところが 1952 年、戦後初めてのオスロ・オリンピックに参加したところ、外国の選手はまさにそのような姿勢で飛んでいたのが驚いた、という有名な話がある。その後、大森は、猪谷六合雄、東京の応物関係者等の協力を得て、スキー科学研究会 (SSS*) を作り、スキーに関する色々の理論的、実験的研究を共同で行なつたり、またその結果を発表する会誌「スキーの科学」を発刊したりして、この方面の研究を推進した。

4. スキーの滑降の研究

スキーの基本は直滑降である。直滑降の速度や、重心位置に関しては、名須川^{19,20)}、木下²¹⁾の理論的研究がある。直滑降の基礎的実験は、木下らが中心になり、SSS が 1955 年に、後樂園野球場に作られた人工雪スキー場で行なつた。そして、スキー滑降中の μ_k として 0.05、空気抵抗が DV^2 の形で与えられるとして、 $D \sim 0.04 \text{ kg} \cdot \text{wt} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^2$ という値が得られた^{4,22)}。

なお、速度の速定だけについていえば、10 年以上も前だが、山形大の長谷川らは、光線と光電管を組み合わせ、その間をスキーヤーが滑つて光をささぎる時の電気信号を記録して、近い二点間を滑る時間を正確に測定した。そして、ジャンプで空中に飛び出す瞬間の速度を測つたり²³⁾、回転で旗間に入る時と出る時のスピードを測定して²⁴⁾、実際のトレーニングにも有益な結果を得た。

5. ターン (回転) の研究

アイススケートのターンについては、旧く Carathéodory (熱力学の第 2 法則で有名なカラテオドリ) の研究がある²⁵⁾。マサツカによる non-holonomic な束縛条件が課せられた力学の問題の例として見事に解かれ、スケートのフィギュアの軌跡が解析されている**。ただし、この場合は、スケートは横滑りしない、という条件

で扱われている。スケートの場合は、この仮定は極めて妥当であるが、スキーの場合はむしろ、横滑りすることがかなり本質的であつて同じようには扱えない。また、スキーでは、パラレル技術、シユテム (開脚) する技術、その他、種々の技術があり、また、雪質や指導システムによつてもかなり違つてくるので、大変複雑である。しかし、目標としてパラレルクリスチャニヤと、全制動回転の二つが解析できるようになれば、大体成功と見てよいであろう。もちろん、まだ完全には誰も成功していないが、大森²⁶⁾、木下^{27,28)}らは、力学的にかなりのところまで解析を進めた。また、大森²⁹⁾はこれと関連して、滑降の安定性を論じ、締具の位置はもつと前に出した方が安定ではないかと考え、実際にそのような“フォア・パッケン・スキー”を試作してテストした。事実直滑降は非常に安定らしいが、ターンやキックターンにやや問題があり、実用化には至つていない。しかし、理論に基づいて出発した新しいスキー用具という意味で興味ある試みである。

名須川もクリスチャニヤの解析を始めていた³⁰⁻³²⁾。彼は数値計算や数値積分が得意であり、色々のスキーの力学の問題を具体的な数値として求め、一目で解るように図表に表わすのがうまかつた。(直滑降中の重心の位置に関する結果は、“名須川の図表”として、紹介されて

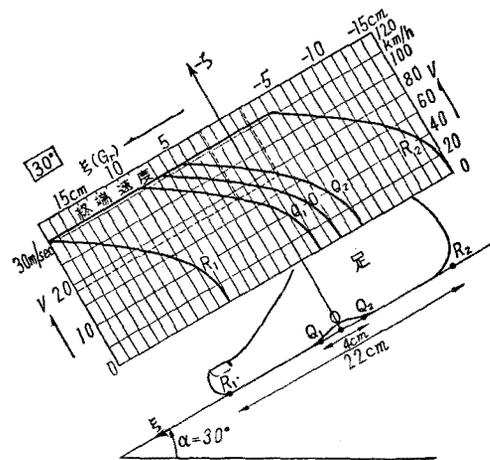


図 2 名須川の図表²¹⁾の一例

傾斜角 $\alpha = 30^\circ$
 $\mu_k = 0.04$
 $D = 0.0377 \text{ kg} \cdot \text{wt} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^2$
 ランナーの質量 = 69 kg
 スキーの質量 = 6 kg
 重心の高さ = 0.92 m
 空気抵抗の合力の着力点の高さ = 1.02 m
 として荷重点を R_1, Q_1, O, Q_2, R_2 に置くために、重心を置くべき位置を、速度の関数として示したもの。

* Society of Ski Science の略

** この論文については百々太郎氏に教えて頂いた。

いる。図 2²¹⁾。また、クリスチャニヤのきつかけについても、フラットラインという新しい概念を提出した³³⁾。これは、斜面との間にマサツ抵抗のない物体を、斜面上にそつて斜め下に投げ出した時にその物体が画く放物線状の軌跡であり、このラインからの外れが、スキーのターンであると考えるのである。また、彼は凹凸斜面の直滑降の問題を計算し³⁴⁾、それを展開して、クリスチャニヤターンの解析へと進む予定であった。しかし、このように意欲的な研究を進めている最中に心臓病の発作で、急逝したのは惜しみてもあまりあることであつた。

ターンの実験的究については、谷田部^{35),36)}の多方向映画撮影がある。ターンを行なつているスキーヤーを、左右、前後、真上等の種々の方向から同時に 16 ミリ映画に撮影し、スキーヤーの速度、加速度、上体の動き、左右スキーの位置、スキーの軌跡、ズレ等を記録するものである。雪上に適当な座標マークをおき、各カメラには同時に、写真用のフラッシュによつて同期信号が入るようにみてあつて、色々の面白いデータが得られている。

ターンの際に、足を通してスキーにどのような力が加えられるかというのは、スキーの実技、指導法等とも関連した大変重要な問題である。藤岡らは、スキーの上にバネで薄い金属板を支え、その上にスキー靴を固定し、バネの撓みを記録紙の上に自記記録することによつて、靴からスキーの前後方向に働く力を測定した^{37),38)}。彼らはスキーの滑走機構の研究が目的であつたが、西脇ら³⁹⁾⁻⁴¹⁾、大西ら⁴²⁾⁻⁴⁴⁾は、ターンの際にどのような前荷重、後荷重が加えられるか、どのようなエッチングのモーメントが与えられるか等を調べる目的で、図 3 のように四点到に小さいバネを入れて上板を支え、バネ、あるいは上板の撓みを自記記録する装置を製作して実験を行なつた(図 4)。また、前後方向力^{42),43)}、さらに回転モーメント(スキーの方向を変えるモーメント)⁴⁴⁾も同時に測定する試みがなされた。

これらの装置はいずれもかなり重いものであり(片方だけで約 3 kg)、バネの歪みを機械的に記録する代わり

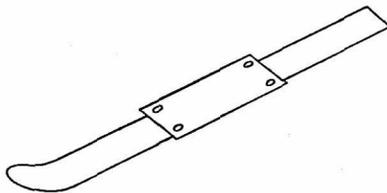


図 3 靴・スキー間力測定の原理図
○印の下にバネを入れ、撓み量を自記記録する。



図 4 西脇等の装置をつけた、猪谷千春選手(左)と大西等の装置をつけた杉山進選手。滑る時は電源とタイムマーカーが入つた小さいリュックを背負う。

に適当な力-電気変換器を使つて電氣的に記録する事を考えなければならない。スキーではないが外国で馬のヒヅメの中に小さなバネとストレインゲージを入れ、馬が歩く時の垂直方向力、水平方向力、前後モーメントを電氣的に記録している例がある⁴⁵⁾。また、これら信号をテレメータリングできればもつと実験には便利であろう。

この靴・スキー間の力の測定には一つの限界がある。すなわち、いくら靴からスキーに加えられる全部の力が同時に記録できても、それで上体の動きが全部解つたことにはならないのである。これは図 5 に見られる通り、スキーに F という力が働いたことが解つても、その F の延長線上に上体の重心 G があるのか、あるいはその延長線より a だけ離れた所に G があつて、その重心の廻りに M なるモーメントが働いているのかは決まらない⁴⁶⁾。これを解決する道は、靴・スキー間の力の測定と、多方向映画撮影を同時に行なうことだ。映画によつて上体の姿勢の変化の様子が解ると、力の変化と、姿勢の変化との関連がある程度まではつくだろう。また、こ

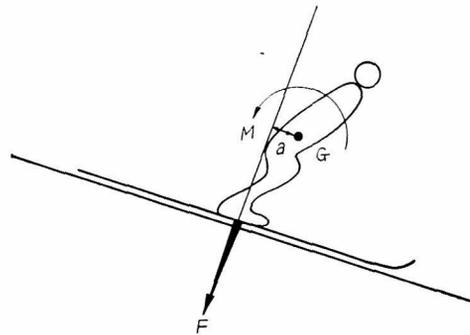


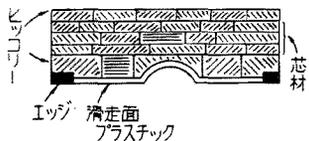
図 5 力 F が解つても、重心 G の廻りのモーメント M は解らつない。

の時に上体の姿勢の精密な印画が得られれば、松井の方法⁴⁷⁾によつて、ある程度の精度で上体の重心位置を計算することができる。事実、実験室内で静止したスキーヤーに色々の姿勢をとらせ、写真を撮影し、写真から計算した重心位置と、同時に靴・スキー間の力の測定を行なつて求めた重心位置とは、3,4 cm の精度で一致した⁴⁸⁾。しかし、運動中のスキーヤーについては、まだこの種の実験は行なわれていない。実際のターンについてこのような実験がもつと行なわれ、基礎的データがもつと揃えばターンの理論的研究もさらに進められるであろう。

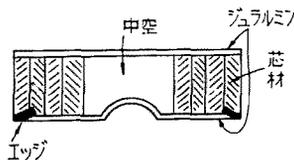
ただし、ここにもう一つ大きな難関が控えていることを忘れてはならない。それはスキーの横ズレに対する雪の抵抗の問題だ。スキーが前方に滑る時の抵抗については、2. で述べたようになかなか解明されたが、雪面に角ツケされある荷重を加えられたスキーが、斜め前方に横滑りしつつターンする時に雪から加えられる側圧抵抗については、まだあまり研究されていない。これについての十分なデータが揃わないと、ターンの本当の解析はできないので、スキーのターンについては研究しなければならないことがまだ沢山残されている。

6. スキー材の研究

スキーは、今から四千年以上も前から地上に存在したという。しかも、その形は現在のスキーとあまり変わらなかつたとのことである⁴⁹⁾。材料は昔から大体ずつと木材だつたらしい。三、四十年前までは一枚の板から作られ、特にヒッコリー材が最良とされていた。しかし一枚の板では、どうしても材質にムラがあり狂い易いので、何枚かを台板して製作されるようになった。また、ヒッコリーは重いという欠点があるので上下両面に用い、芯



(a) 両面ヒッコリースキー



(b) ヘッド・メタルスキー

図6 スキーの断面の例

材としてもつと軽い材を用いることも行なわれた。竹で作られることもあつたが、大部分は依然として木製であつた (図6 (a))。

スキー材に革命が起こつたのは、戦後アメリカの Head という航空機に関係したメーカーが、上下両面に航空機用の超々ジュラルミンを用いたメタルスキーを製作し、その性質のよいことが認められてからである。ヘッドのスキーの断面は、図6 (b) のように内部が中空になつており、いかにも航空機屋が作ったようなスキーである。また、最近では上下両面にガラス繊維強化プラスチック (いわゆるグラスファイバー) の板を用いたスキーも現われ、段々と利用者が増えてきたようである。

このように色々の種類のスキーが用いられるようになると、どうしても定量的にスキーの性質を表わす方法が必要になつてくる。南野⁵⁰⁾は雪をバネで置き代えることを考え、スキーを等間隔に置いた多数のバネ秤りで吊して中央に荷重し、その撓み具合を研究した。またスキーの前後に支点を入れ、中央に荷重して撓みを測定した。これらの方法を発展させ、スキーの種々の物理的性質を測定する試みが、美津野技術研究部の協力のもとに、大西^{51,52)}によつてなされた。木製スキーと、ヘッド・メタルスキーの大きな違いは、ヘッドでは弾性の比例限界が大きく残留歪が小さい。減衰振動の減衰率が非常に小さい、スキーのねじれ強度が大きい等であつた。これらはいずれも、上下両面に用いられたジュラルミンが強度メンバーをなして、内部の木材は単なる整形のための役割しかしていないこと。また、振動の減衰は、木材の粘性によるものであることを示している。振動の減衰は、一週期の間の弾性仕事に対する粘性によつて失われる仕事の比で表わすと、木製スキーでは 12~20% だがヘッドでは 2% にしか過ぎない。粘性によるこの振動エネルギーの吸収は、凹凸地を滑降する時にスキーに加えられる振動と、スキー・スキーヤー系の固有振動数との共振⁵³⁾を抑え、滑降を安定にする可能性がある⁵¹⁾。しかし反面、粘性によるエネルギー損失は、凹凸地を滑降するスキーの運動マサツ係数を増加させることになる⁵⁴⁾。たとえば、振幅 30 cm, 周期 4 m の凹凸地を、木製スキーとヘッド・メタルスキーで滑走したとすると、粘性による見かけの μ_k の増加は、前者では 0.05, 後者では 0.005 となる。雪上の μ_k を 0.05 とすると木製スキーでは、 μ_k がほぼ二倍になつたことに相当する⁵²⁾。斜面を 30°, スキーヤーの全重量を 60 kg とすると、この

* 普通、運動マサツ係数 μ_k は、表面の性質で定まるものである。したがつて、これはスキーの粘性による抵抗の増加から換算して、見かけの μ_k の増加である。

場合にスキーヤーに、斜面に平行に働く力は（空気抵抗を除く）、木製スキーでは 24.8 kg、ヘッドでは 27.1 kg となり、後者の方が一割ほど有利なことが解る。実際にはこのように大きい凹凸を直滑降することはあまりないが、しかし、粘性によるこの μ_k の差は、充分考慮されるべきである。最近、滑降競技にメタルスキーが好んで用いられる理由の一つは、このような所にあるのであろう。なおヘッド以外の木製スキーメーカーも、最近は大抵メタルスキーを手がけているが、ヘッドと同じような構造のスキーは製作できないと見えて、大体は両面ヒッコリーのスキーのヒッコリーの部分を、ジュラルミンで置きかえたようなスキーを作っている。粘性も木製スキーとヘッドの中間、あるいは木製スキーに近いものが多い。ただし、ねじれに対しては強い。スキーの回転性能の科学的研究は未だ十分行なわれていない。実際にはいて滑る感じを分析するので仲々大変であり、今後の課題の一つである。

外国におけるスキーの科学的研究の詳しいことは解らないが、スキーメーカーが独自に研究している以外はあまり行なわれていないようである。オーストリーのケスレー社が業界誌に一部発表しているが^{54,55}、わが国で早くな行なわれていたものと、非常によく似ていた。

7. ス ト ッ ク

ストックは、竹、竹のはり合わせ、スチール、グラスファイバー等で作られる。ストックに関する研究はほとんど発表されていないが、ストックのふり易さに関する研究がある。伊沢⁵⁶は、ストックの重量を M 、図 7 に見るように、全長を L 、上から握りの中心 C 、重心 G までの距離をそれぞれ x_c 、 x_g とした時、ふり易さの指数を

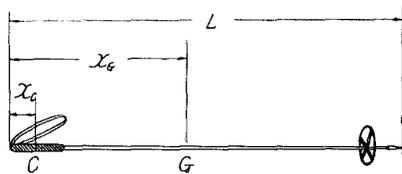


図 7 スキーストックの研究⁵⁶⁾

$$\lambda = \sqrt{\frac{l}{L} \left(\frac{x_g - x_c}{L} \right)^3}$$

で表わした。ただし l は、 C を中心として、ストックを握らせた時の相当振子の長さである。実験してみると、 M と λ が同時に小さい方が振り易いことを指摘した。

8. 締 具

数年前より、いわゆるセーフティー締具（転倒して、

無理な力が働くと外れる締具）が広く用いられるようになった。常時はどんなに烈しい滑降回転をやつても外れず、しかも転倒して足に捻挫や骨折の危険が生じた時のみに外れなければならないのだから、本当は非常にデリケートな機能を備えていなければならないはずだ。したがって医学、生理学の立場、スキー技術の立場、機械工学の立場、材料力学の立場等からの総合的研究が必要であるが、現在どの程度まで真剣に考えられて作られているか心細いものがある。特にわが国で考え出されたものはほとんどなく、大部分は外国製品のそのままの模倣で大変残念だ。セーフティー締具の研究は、今後の大きな課題である。

9. 運動生理学的研究, その他

石河ら⁵⁷は、スキーの運動の強さを測定するために、酸素消費量から代謝量を測定し、

$$\text{エネルギー代謝率} = \frac{\text{運動時代謝} - \text{安静時代謝}}{\text{基礎代謝}}$$

を測定した、これは平時の何倍のエネルギーを必要とするかを表わすものである。表 1 に、スキーの種々の運動時の代謝率、および、他のスポーツとの比較を示す⁵⁷。興味あるのはスラローム（回転競技）が、ランニングやボートレースよりも単位時間当たりに大きいエネルギーを必要とすることだ。また、一旗門を回転するに要するエネルギーは、0.354 kcal と推定された。

表 1 種々の運動のエネルギー代謝率⁵⁷⁾

スキー	歩 行	3.9~5.7
	登 行 (15° の斜面)	5.2~10.0
	直 滑 降 (秒速 10m 程度)	5.9~10.9
	スラローム (秒速 7~8m)	16.9~28.0
野 球 (投手)		5.6
ボートレース		10~20
ランニング (10,000m)		16.7

なお、狭義の科学的研究ではないが、人間の本能を考慮に入れた心理学的な立場からの、秀れたスキー指導法の研究も行なわれている⁵⁸⁾。

10. お わ り に

スキーの科学的研究を概観していえることは、日本では研究が外国に比べて大変進んでいるということだ。これはわが国におけるスキーの普及度の高さ、および、こり性で理屈好きな日本人の性格によるところが大きいのであろう。しかし、現状および前途は必ずしも樂觀したものではない。たとえば、北大低温研は、【積雪地にあり、雪や氷の研究が本業であるから、この種の研究には恵ま

れているが、残りの大半のスキー研究者は非積雪地に住み、本業の余暇にスキーを楽しみ、しかもそのスキーの楽しみの中にスキーの研究をするのであるから(われわれも寒い実験よりは何も考えずにスキーでスッ飛ばしている方が楽しい!), 研究条件はあまりよくない。事実、スキー科学研究会ができて、初めの数年(1954~1960年頃)は活発に種々の実験が行なわれ、会誌を出版したり対外的な研究発表会を開いたりしていたが、会員の本業が忙しくなるにつれて、活動は低下して行くようである。もともと「趣味」としての研究が多いからやむを得ないが、せつかく世界にさきがけてユニークなスポーツ科学の一面がわが国で開拓されたのに、このまま立ち消えになるのは惜しいと思われる。

わが国のスキーの科学的研究を進展させるには、スキーの研究に興味を持つ者が応用物理学会、体育学会、その他各種の学会、国内、および国際的なスポーツ科学の研究会と積極的に交流し、新しい研究発表の場を持つと同時に、互いに研究の交流を行なうこと、スキー団体、たとえば、スキー連盟の技術委員会や、オリンピック強化委員会等と関係を持つて、現在のスキー技術、スキー競技等の現実のスキーから、絶えず具体的な新鮮な研究テーマを見出し、新しい研究の面を開発すること、新しい研究者を獲得すること等が最も必要と思われる。

なお、本展望において文献の調査もれや誤りがあった際はお詫し頂くとともに、ごしどし御指摘頂ければ幸いである。

文 献

- 1) O. Reynold: *Scientific Papers*, Vol II (1901)
- 2) F. P. Bowden, and T. P. Hughes: *Proc. Roy. Soc. A* **172**, 280 (1939)
- 3) F. P. Bowden, *Proc. Roy. Soc. A* **217**, 462 (1953)
- 4) 木下是雄: *科学* **26**, 341 (1956)
- 5) 藤岡敏夫, 疋田裕: *低温科学, 物理篇* **13**, 37 (1954)
- 6) 藤岡敏夫, 木下誠一: *低温科学, 物理篇* **14**, 43 (1955)
- 7) 藤岡敏夫: *低温科学, 物理篇* **17**, 31 (1958)
- 8) 藤岡敏夫: *低温科学, 物理篇* **16**, 31 (1957)
- 9) 藤岡敏夫: *低温科学, 物理篇* **18**, 59 (1959)
- 10) 藤岡敏夫: *低温科学, 物理篇* **20**, 159 (1962)
- 11) 新保正樹: *雪水* **19**, 33 (1957)
- 12) 新保正樹: *雪水* **21**, 139 (1959)
- 13) 新保正樹: *雪水* **21**, 171 (1959)
- 14) 新保正樹: *雪水* **22**, 8 (1960)
- 15) 新保正樹: *雪水* **22**, 113 (1960)
- 16) M. Shimbo: *Rep. of Internat. Ass. of Hydrology Comm. of Snow and Ice, Helsinki Meeting* (1960)
- 17) 谷一郎, 三石智: *科学* **21**, 117 (1951)
- 18) 伊黒正次: *新版スキー講座* (白水社) **2**, 200 (1960)
- 19) 名須川渡: *スキーの科学* No. 1, 3 (1954)
- 20) 名須川渡: *スキーの科学* No. 2, 24 (1955)
- 21) 木下是雄: *スキーの科学* No. 2, 7 (1955)
- 22) 木下是雄: *スキーの科学* No. 2, 46 (1955)
- 23) 長谷川太郎: *スキー年鑑* No. 18, 95 (1950)
- 24) 野崎暁, 長谷川太郎: *スキー年鑑* No. 19, 75 (1951)
- 25) C. Carathéodory: *Z. angewante Math. u. Mechanik* **13**, 71 (1933)
- 26) 大森健生: *スキー年鑑* No. 18, 97 (1950)
- 27) 木下是雄: *新版スキー講座* (白水社) **2**, 138 (1960)
- 28) 木下是雄: 未発表
- 29) 大森健生: *スキー年鑑* No. 19, 82 (1951)
- 30) 名須川渡: *スキー* (朋文堂) No. 14, 46 (1957)
- 31) 名須川渡: *スキー年鑑* No. 23, 271 (1955-56)
- 32) 名須川渡: *スキーの科学* No. 3, 37 (1956)
- 33) 名須川渡: *スキーの科学* No. 3, 41 (1956)
- 34) 名須川渡: *スキーの科学* No. 2, 27 (1955)
- 35) 谷田部善雄: *スキーの科学* No. 2, 15 (1955)
- 36) 谷田部善雄: *スキーの科学* No. 3, 11 (1956)
- 37) 藤岡敏夫: *低温科学, 物理篇* **12**, 37 (1954)
- 38) 吉田順五: *低温科学, 物理篇* **12**, 51 (1954)
- 39) 西脇仁一, 萩三二, 平田賢: *スキーの科学* No. 3, 16 (1956)
- 40) 西脇仁一, 穂坂直弘, 萩三二: *スキーの科学* No. 3, 21 (1956)
- 41) 穂坂直弘, 萩三二, 山崎慎一郎: *スキーの科学* No. 4, 21 (1957)
- 42) 大西勁, 坂田五夫: *スキーの科学* No. 3, 27 (1956)
- 43) 大西勁, 長岡振吉: *スキーの科学* No. 4, 28 (1957)
- 44) T. Ohnishi: *Japan. J. appl. Phys.* **3**, 415 (1964)
- 45) G. Björck: *Acta Agriculturae Scandinavia, Suppl.* **4**, 1 (1958)
- 46) 大西勁: *スキーの科学* No. 3, 31 (1956)
- 47) 松井秀治: *運動と身体の重心* (体育の科学社) (1958)
- 48) 松井秀治, 大西勁: *日本体育学会第10回大会* (大阪, 1959)
- 49) 福岡孝行: *新版スキー講座* (白水社) **1**, 10 (1960)
- 50) 南野竹男: *高田工業試験場報告* (1955)
- 51) 大西勁: *新版スキー講座* (白水社) **1**, 123 (1960)
- 52) T. Ohnishi: *Japan. J. appl. Phys.* **3**, 218 (1964)
- 53) 大森健生: *スキーの科学* No. 5, 40 (1959)
- 54) Schultes: *Europa-Sport/Sport-Bedarf*, Januar, 46 (1962)
- 55) Schultes: *Europa-Sport/Sport-Bedarf*, Februar, 88 (1962)
- 56) 伊沢計介: *スキーの科学* No. 2, 42 (1955)
- 57) 石河利寛, 松井秀治, 渡辺俊男: *スキーの科学* No. 3, 43 (1956)
- 58) 猪谷六合雄: *スキーはバラレルから* (朋文堂) (1958)