スキーに関する研究について*

坂 田 敏 行^{*1}

A Review of the Study on Ski

Toshiyuki SAKATA

Key Words: Ski, Sports Engineering, Mechanical Property of Ski, Damping of Ski, Dynamics of Ski, Ski Control, Snowboard

1. はじめに

日本におけるスキーに関する研究は古くから行われており、その一部は1972年に開催された札幌冬季オリンピックを機に「日本のスキー科学」⁽¹⁾にまとめられた。約10年前より、「スポーツ工学」という言葉が研究者の間で認知され、スキーに関する工学的な研究も多数発表されるようになった。また、スノーボードの隆盛に刺激されたニューコンセプトモデルと総称されるスキー板の開発、あるいはネイチャースキーのような新しいスキー滑走の楽しみ方のためのスキー板の開発等も行われている。

現在、スキーは冬のレジャーおよびスポーツの代表の一つとして定着しており、スキーに関する研究は体育、物理、工学、医学、およびそれらの学際的な学問分野の観点から活発に行われている。ここでは、著者の手元にある資料の中から、スキーに関する工学的な研究を中心に比較的最近の研究を主に紹介する。

2. スキーに関する

学会・講演会・雑誌・単行本

スキーに係る学会としては「日本体育学会」が長い歴史を有するが、「日本スキー学会」、「日本スポーツ産業学会」、「The International Sports Engineering Association」等が活発な活動をしている。スキーに関する工学的な講演会としては「国際スキー科学技術研究会(日本スキー工業組合等主催)」が20年以上に渡って開催されており、「スポーツ工学シンポジウム(日本機械学会主催)」も約10年間にわた

って開催されている。定期的に開催される国際シンポジウムとしては、歴史のある「International Symposium on Ski Trauma and Skiing Safety」以外にも、1996年には「International Conference on Science and Skiing」が開催され、1998年には「The 2nd International Conference on The Engineering of Sport」が開催される予定である。また、1998年2月には長野冬季オリンピックを記念して「International Meeting of Sports Science Commemorating the 1998 Winter Olympics in Nagano」が開催された。スキーに関する論文は「日本スキー学会誌」、「スポーツ産業学研究(日本スポーツ産業学会機関誌)」、「Japanese Journal of SPORTS SCIENCE(日本バイオメカニクス学会編集)」、「体育学研究(日本体育学会発行)」等に数多く発表されている。1998年9月には国際的な雑誌「Sports Engineering」が新しく発刊される予定である。また、スキー関連の専門誌以外にも「スキーはサイエンスだ」という特集が組まれ⁽²⁾、スキーに関する広範な研究成果が掲載された。単行本「スキーの科学」⁽³⁾、「スキーの科学 ロボットが教えてくれた回転の秘密」⁽⁴⁾、「Skiing Mechanics」⁽⁵⁾、「THE PHYSICS OF SKIING, SKIING AT THE TRIPLE POINT」⁽⁶⁾等も出版された。

3. スキー用具に関する研究

スキー用具に関する専門の研究会としては、「国際スキー科学技術研究会(日本スキー工業組合等主催)」が毎年開催されている。本研究会では材料、構造、製法、PL法、特許、スキー関連産業の動向の分析等が発表される。

* 原稿受付 1998年3月30日。

*¹ 正員、中部大学工学部(☎487-8501 春日井市松本町1200)。

3・1 スキー板の材料・構造・製法 スキー板の材料は木(竹も少しは使用された), 合板, 金属, プラスチック, FRP へと変化してきた。金属の種類も鉄, アルミ, チタン等, FRP 用の繊維もガラス, カーボン, ボロン, ケブラー等, 最先端の材料が使用されている。文献(7)にはスキー板, スキー靴を含めてスポーツ用具に使用される材料の概要が説明されている。最近のスキー板の構造は長手方向, 厚さ方向, 幅方向にも変化を持たせた三次元構造であり, 製造法も構造に合わせて工夫されている。多種類の材料の使用と三次元構造の採用により, 設計の多様さを可能にしていると考えられる(概要については各スキーマーカのカatalogに掲載されている)。

3・2 スキー板の設計に関する研究 スキー板の構造と設計方針についてはスキーマーカ各社のパンフレットに解説されているが, 力学的に十分とはいえない。しかしながら, スキーに関する特許等のまとめが報告されており⁽⁸⁾, スキー板の構造に関してある程度の情報が得られる。また, 滑走中の状況に応じてスキー板の構造を適応制御することも夢ではなくなると考えられる⁽⁹⁾。スキー板の設計法に関する力学的な研究・解説はほとんど発表されていないが, 例外的な一連の研究が発表されている⁽¹⁰⁾。この研究は系統的に整理され, 学位論文としてまとめられた⁽¹¹⁾。実験により求められた三次元的な画像解析結果と滑走中のスキー板の変形等のデータを総合的に用いるスキー板の設計も行われている⁽¹²⁾。また, スキー板の設計法と製作したスキー板の評価法までを含めた「スキー開発支援システム」を構築する試みも行われている⁽¹³⁾。

3・3 「スキーテスト」 スキー専門雑誌の企画として「スキーテスト」が20年以上にわたって続けられている。この企画では毎年, その年の冬に市販予定のスキー板約100台の形状および機械特性を計測するとともに, ゲレンデ上での実走テストも併せて行っている。計測する項目は, 曲げ剛性, ねじり剛性, 慣性

モーメント, 質量, 長さ, 幅, 等多岐にわたっている。これらのデータは誌上で公表されており⁽¹⁴⁾, 一般スキーヤーのみならず, スキーマーカ等にも活用されてきたと考えられる。また, 測定結果を年度別に整理し, 分析することにより, スキー板の機械特性の年度別動向およびスキー板の設計に関するさまざまな結論を導いている⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。

3・4 スキー板の機械特性分布 「硬いスキー板」あるいは「柔らかいスキー板」等の言葉で表されるように, スキー板全体, 前半部, 後半部の平均の曲げ剛性およびねじり剛性が議論されるのが一般的である。すなわち, 従来のスキー滑走理論では, スキー板の曲げ剛性分布およびねじり剛性分布はほとんど考慮されていなかった。最近, 3・9節に示すように, 曲げ剛性およびねじり剛性のスキー板長手方向の分布を考慮した理論が提案されるとともに, 曲げ剛性分布およびねじり剛性分布の測定結果も発表されるようになった⁽¹⁷⁾。図1および図2はスキー板のモデル別に10台ずつのスキー板を選び, 曲げ剛性分布とねじり剛性分布を測定した結果である。図の横軸はテールより計ったスキーの長手方向の距離を示す。同じモデルに属するスキー板の場合でも, それぞれの曲げ剛性分布およびねじり剛性分布は相当異なることがわかる。

3・5 スキー板の減衰特性 スキー滑走時のスキー板の振動は大きくても小さくても不都合であり, 適度に制御する必要があるといわれているが, 「適度な振動」を定量的に示した研究は報告されていない。1998年に市販されたスキー板の減衰特性の測定結果が報告された⁽¹⁸⁾。スキー板の減衰性を増すために, スキー板用の動吸振器が開発されたこともある⁽¹⁹⁾。これらの動吸振器はすぐに姿を消したが, 減衰板は現在も使用されている。圧電素子を用いてスキー板の減衰性を高めることも行われている⁽²⁰⁾。

3・6 スキー板の溝の消滅 長年にわたって, スキー板の滑走面には長手方向に浅い溝が加工されてい

Fig. 1 Flexural rigidity of ski

Fig. 2 Twisting rigidity of ski

た。この溝はスキー板の直進性を確保するために重要と言われていたが、1988年頃を境に、一般に市販されているスキー板から消えてしまった。溝が不要になった理由に興味があるが、それを説明した文献を著者は目にしていない。

3・7 スキー板のサイドカット スキー板のサイドカット(サイドカーブとも呼ばれる)も時々変化している(図3参照、長さと幅の縮尺は異なる)。図3(a)に示す非対称形状のサイドカットを有するスキー板が1978年頃に発売された⁽²¹⁾。1982~1983頃にはサイドカットが直線に近いスキー板⁽²²⁾ [図3(b)]、ウエスト部分が膨れたスキー板⁽²³⁾ [図3(c)]等が発売された。図3(d)は当時の標準的なスキー板の形状である。また、スキー板の中心線に沿って長手方向に設けられた溝の幅を調整することにより、サイドカットを調整できるスキー板も発売された。これらは、3・8節で述べるニューコンセプトモデルの先駆けとも考えられるが、市場に受け入れられることもなく姿を消している。

3・8 ニューコンセプトモデルの開発 スキー板の種類(モデル)としてはGS(ジャイアント・スラローム)モデル、SL(スラローム)モデル、モーグルモデル、レディースモデル等のほかに、最近ニューコンセプトモデルが発売されている(図4参照)⁽¹⁶⁾。同じモデルに属するスキー板でも、メーカーによりその形状は多少異なる。図4の上半分は同一のスキーマーカのスキーモデルの形状を示す。また、下半分は1998年に各メーカーから発売されたニューコンセプトモデルの形状を示す。形状の比較から明らかなように、GSモデル等の従来モデルの名称がその用途を示していたのとは異なり、ニューコンセプトモデルとはさまざまな用途向けに新しく開発されたスキーモデルの総称であることが理解できる。3・7節でも述べたように、スキー板のサイドカットは長い間さまざまな検討されてきた。ニューコンセプトモデルはその延長線上にあると考えられるが、サイドカットだけではなく、スキー板の三次元的な構造解析とスキー滑走実験の成果が生か

されており、1980年頃の試みのように、簡単に消えてしまうことはないと考えられる。従来モデルのスキー板の幅を広く、長さを短く、曲げ剛性を小さくすることにより、ニューコンセプトスキーの滑走特性を実現できることを数値解析により示した研究も報告されている⁽²⁴⁾。

3・9 スキー板の動的挙動に関する研究 スキー板の変形を論じる場合、そのほとんどが均質はりの静的曲げ理論および静的ねりじ理論を使用しており、動的な研究はほとんど発表されていない(スキーマーカ各社では行われていると推定されるが、公表されていない)。文献(25)では雪面上に静止したスキー板に垂直荷重および曲げモーメントが作用した場合に生じるスキー板の動的応答を解析している。雪面は非線形床で近似し、スキー板は不均質直交異方性板で近似している。数値解析法の妥当性は実験結果により確認されている。スキー板の「面圧分布」を実験的に求めることが従来より行われていたが、上記数値計算法を用いて、面圧分布を予測することが可能となった。

3・10 スキー滑走系の連成運動に関する研究 スキヤーのスキー操作に応じてスキー板に荷重およびモーメントが作用し、その結果、スキー板には剛体運動と曲げ変形が生じ、雪面も変形する。スキヤーのスキー操作はスキー板に対する相対運動であり、スキヤーの運動と、スキー板の剛体運動と曲げ変形、雪面の変形は連成する。文献(26)、(27)では、スキヤーを質点で、スキー板を不均質直交異方性板で、雪面を非線形床でモデル化することにより、スキヤーの「立ち上がり加重動作」および「沈み込み抜重動作」に伴って生じる連成運動を解析している。連成運動解析法の開発により、スキー滑走に及ぼすスキヤーのスキー操作の影響を、スキー板の形状、機械特性等をも考慮して、数値計算結果から論じることが可能となった(4・3節参照)。

3・11 バインディングとスキー靴に関する研究

Fig. 3 Various shapes of ski sold on the market in 1978 through 1983

Fig. 4 Comparison of various ski models

バインディングとスキー靴はスキーヤーの傷害を防止するために非常に重要であり、それらに関する研究は「International Symposium on Ski Trauma and Skiing Safety」で活発に発表されている(発表の多くは単行本「SKING TRAUMA AND SAFETY」に収録されている)。また、バイオメカニクス関係の講演会でも多くの発表が行われている。バインディングの解放は機械式が主であるが、電気式⁽²⁸⁾、電気-機械式⁽²⁹⁾のバインディングの研究も古くから行われている。また、スキーブーツに関する力学的な研究も行われている⁽³⁰⁾。

3・12 スキーボールに関する研究 スキーボールの材料はアルミ合金からCFRPへの移行期にあり、その強度等に関する研究が報告されている⁽³¹⁾。

3・13 その他の用具に関する研究 スキーリフトおよびゴンドラ用の動吸収器が開発され、実用化された⁽³²⁾。チェアスキーの開発も行われた⁽³³⁾。また、スキーウェア等の改良も急速に進み、新しい機能を盛り込んだ新製品が開発されているがここでは省略する。

3・14 スノーボードの動的挙動に関する研究 スキー板とは異なるが、最近急速に普及しているのが、スノーボードである。スノーボードに関する工学的な研究はほとんど発表されていないが、文献(34)では雪面を非線形床で、スノーボードを不均質直交異方性板で近似することにより、雪面上に静止しているスノーボードに垂直荷重およびモーメントが作用する場合の動的応答の解析法を提案している。

4. スキー滑走に関する研究

スキーの滑走に関する研究の場合には、いまだ十分に満足できる解析方法が提案されていない。そのため、解析目的に応じて、さまざまな簡単化されたモデルが用いられている。

4・1 スキーの操作法に関する研究 スキーヤーのスキー操作とその結果生じるスキー滑走に関して行われたこれまでの研究は膨大な量である。実験的な研究がほとんどであり、画像解析が有力な実験手段として用いられている。スキー滑走中のスキーヤーの姿勢・スキー操作法とスキー滑走の関係を画像解析法を用いて三次元的に解析した一連の研究も行われている⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾。スキーヤーの滑走中の重心移動、スキー滑走の軌跡等の貴重な力学的データも多い。スキーロボットを使用した視覚的な実験も行われている⁽³⁷⁾。この方法は初心者にはスキー操作の基本原則を理解させるには有効であると考えられる。

4・2 スキー滑走の力学に関する研究 「スキーの科学」⁽³⁾をはじめとして、スキー滑走に関する力学の解析は、ほとんどの場合、スキー板を点あるいは剛体で置き換えることにより行われてきた。このため、スキー板の形状・機械特性のスキー滑走に及ぼす影響を明らかにすることができない。しかしながら、これらの理論はスキーヤーのスキー操作の結果生じるスキー滑走を、定性的な意味で、力学的に説明することができる実用的な滑走理論でもある。スキーの横ずれ回転⁽³⁸⁾、連続自動開脚パラレルターン⁽³⁹⁾等の一連の解析が行われている。

4・3 連成運動を考慮したスキー滑走に関する研究

スキーヤー、スキー板および雪面から成る系のスキー滑走の解析法で、スキー板の動的曲げ変形と剛体運動を考慮した解析法は非常に少ない。スキー板の静的曲げ変形およびねじり変形を用いて解析した研究⁽⁴⁰⁾、直交異方性不均質板の曲げ理論を用いて解析した研究⁽⁴¹⁾および三次元梁要素を用いて解析した研究⁽⁴²⁾が報告されている。文献(41)および(42)の方法を用いればスキー滑走に及ぼす、雪面の影響、スキー板の影響、スキーヤーのスキー操作の影響等を、定性的ではあるが、論じることができる。

4・4 スキー板と雪面との接触機構 スキー滑走では雪面の性質は非常に大きい影響を持つ。雪の性質に関しては北海道大学低温科学研究所の膨大な資料がある。このような研究成果から雪面の機械特性をどのようにして定式化するか、スキー滑走のシミュレーションにいかに取り入れるかが今後の課題である。雪面とスキー板の接触機構として、雪を水流と仮定したときの水流の衝撃、スキー板による雪の切削、および雪とスキー板との摩擦を考慮した研究も報告されている⁽⁴³⁾。凍結雪面の切削抵抗力⁽⁴⁴⁾、および回転滑降時の運動摩擦係数⁽⁴⁵⁾も測定された。また、接触機構を考える上で重要な要素であるワックスも研究されている⁽⁴⁶⁾。

4・5 スキーロボットによる滑走実験 スキーヤーによるスキー操作法に関する実験、スキー板の評価の実験等は実際に雪上で行われるが、モデル実験の場合にはスキーロボットも多く使用される⁽⁴⁾⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾。一種のロボットであるが、重りをスキーヤーの代わりに、雪の代わりに砂を用いたスキーターンの実験が行われた⁽⁴⁹⁾。スキーターンに及ぼすシューセンタ位置の影響に関する研究がロボット実験により行われた⁽⁵⁰⁾。実験結果は数値解析による結果と定性的に一致したことが報告された。ロボット実験はモデル実験であるため、得られた結果を直接スキーヤーによる滑走に結び

つけられないなど問題も多い。しかしながら、スキーロボットによる実験は、その実験の容易さと繰返し実験での再現性の良さから、定性的ではなく、定量的なスキー滑走のシミュレーション法を開発する初期の段階では欠かせない実験手段である。

5. スキージャンプと

エアリアルに関する研究

スキージャンプに関する研究も古くから行われており、スキージャンプの空気力学に関する研究⁽⁵¹⁾、スキージャンプの解説⁽⁵²⁾、風洞実験による空気抵抗の測定⁽⁵³⁾等多くの報告がある。最近では、V字飛行等の新しい飛行技術も開発されており、引続き研究が行われている^{(54)~(56)}。また、スキーのエアリアル競技の解析が行われた⁽⁵⁷⁾。

6. おわりに

著者の手元の資料と興味を基に、スキーに関する研究をまとめてみた。その関係する分野は広大であり、改めてスキー滑走の奥の深さを覗いた感じがしている。スキー滑走の研究では極めてわずかな研究だけを引用したが、優れた研究成果が多数発表されているのも承知している。しかしながら、ここでは、スキーヤー、スキー板(スキー靴、バインディングを含んで)および雪面の連成運動の定量的なシミュレーション法を開発するのに役立つと思われる研究論文を主として紹介した。

本文は日本機械学会創立100周年記念講演会「スポーツ工学シンポジウム」における基調講演の内容を加筆・削除したものである。基調講演に際して資料をご提供いただいた、福井大学の清水史郎先生、中部大学技術文化専門学校の中尾俊二郎先生、山形大学の浅井武先生、長野工業試験場の島田享久氏、株式会社ミズノの山田泰之氏に感謝する。

文 献

- (1) スキー科学研究会編, 日本のスキー科学, (1971), 日立製作所.
- (2) 特集記事「スキーはサイエンスだ」, Quark, 2-12(1983), 76-103.
- (3) 木下是雄, スキーの科学, 中公新書 339, (1973), 中央公論社.
- (4) 清水史郎, スキーの科学 ロボットが教えてくれた回転の秘密, KAPPA SCIENCE, (1987), 光文社.
- (5) Howe, J., *Skiing Mechanics*, (1983), Poudre Press.
- (6) Lind, D. and Sanders, S. P., *THE PHYSICS OF SKIING, SKIING AT THE TRIPLE POINT*, (1997), AIP Press.
- (7) 佐藤文宜, スポーツ用具を構成する材料, スポーツ工学シンポジウム講演論文集, No. 97-10-2(1997-7), 14-16.
- (8) 最近では毎年講演発表されている。例えば, 湯田敏秀, 「スキーに関する工業所有権の動向」, 国際スキー科学技術研究会第29回大会研究発表サマリー, (1996-11).
- (9) Ashley, S., Smart skis and other adaptive structures, *Mech. Eng.*, 117-11(1995), 76-80.
- (10) 棚橋良次, スキーの性能に及ぼす材料・構造の影響, ジョイント・シンポジウム1995講演論文集, No. 95-45(1995-10), 52-56.
- (11) 棚橋良次, 学位論文「スキー複合構造体の力学的設計法とその応用に関する研究」, (1996).
- (12) 雑誌「Skier」, 1997年号, No. 4(1996), 80-83.
- (13) 島田享久・ほか5名, スキー開発支援システムの構築・ほか3編, ジョイント・シンポジウム1996講演論文集, No. 96-20(1996-10), 65-78.
- (14) 「Skier」, 山と溪谷社, 1975年号より, 毎年数冊発行されている。
- (15) Sakata, T., Considerations on Mechanical Properties of Skis, SKIING TRAUMA AND SAFETY(Sixth International Symposium), STP, 938(1987), 86-99.
- (16) Sakata, T. and Ito, T., Considerations on Mechanical Properties and Shape of Skis, *PROCEEDINGS OF THE FIFTH JAPAN INTERNATIONAL SAMPE SYMPOSIUM*, (1997), 1335-1340.
- (17) 坂田敏行, スキー板の機械特性について, 日本スキー学会誌, 6-1(1996), 21-28.
- (18) 松前秀穂・坂田敏行・細川健治, スキー板のダンピング特性の現状について, 21世紀のダンピング技術シンポジウム講演論文集, No. 97-10-1(1997-7), 241-244.
- (19) 祖父江清恭・坂田敏行, スキー用減衰器の減衰効果, 中部大学工学部紀要, 24(1988), 11-15.
- (20) 「Skier」, 1997年号, No. 5(1996), 222-223.
- (21) 「Skier」, 1978年号, No. 1(1977), 337.
- (22) 「Skier」, 1983年号, No. 6(1983), 103.
- (23) 「Skier」, 1982年号, No. 5(1981), 126.
- (24) 谷徳之・坂田敏行・嶋崎竜也, スキーターンに及ぼすサイドカーブの影響, スポーツ工学シンポジウム講演論文集, No. 97-10-2(1997-7), 176-180.
- (25) Sakata, T. and Sato, H., Dynamic Bending Deformation of a Ski Lying on a Nonlinear Foundation, *Computational Mechanics '95, Proceedings of the International Conference on Computational Engineering Science*, (1995), 375-380.
- (26) 坂田敏行・包子邦光, スキーヤーとスキー板の連成運動(「立ち上がり加重」動作および「沈み込み抜重」動作の分析), 機論, 62-595, C(1996), 900-906.
- (27) Sakata, T., Coupled Motion of Skier, Skis and Snow, *Advances in Computational Engineering Science, Proceedings of the International Conference on Computational Engineering Science*, (1997), 426-431.
- (28) Lieu, D. K. and Mote, Jr., CD., An Electronic Ski Binding Design with Biofeedback, *J. MMech. Des.*, 102-10(1980), 677-682.
- (29) Hull, M. L. and Allen, K. W., Design of an actively Controlled Snow Ski Release Binding, *Trans. ASME, J. Biomech. Eng.*, 103(1981), 136-145.
- (30) Walkhoff, K. and Bauman, C. B., Alpine Ski Boot Hysteresis Characteristics Interpreted for Skier Target Groups Within the Current Standards, *SKIING TRAUMA AND SAFETY (Sixth International Symposium)*, ASTM STP, 938(1987), 127-144.
- (31) 北島正邦・ほか5名, スキーボールの機能性評価法, ジョイント・シンポジウム1995講演論文集, No. 95-45(1995-10), 42-46.
- (32) Matsuhisa, H., ほか2名, Design of Dynamic Absorber

- for a Gondola lift, *Proceedings of Asia Pacific Vibration conference '95 II*, (1995), 215-220.
- (33) 沖川悦三・ほか 8 名, 両下肢障害者用スキー用具「チェアスキー」の開発, ジョイント・シンポジウム 1997 講演論文集, No. 97-34(1997-10), 88-92.
- (34) 坂田敏行・河合茂博, スノーボードの動的曲げ変形解析, 機論, **61**-584, C(1995), 1469-1475.
- (35) 袖山紘・ほか 4 名, SKI SLAROM の分析, 日本スキー学会誌, **4**-1(1994), 47-55. 共著者を含む研究グループによる多くの研究がある.
- (36) 久代恵介・関矢貴秋・三浦望慶, スキーにおけるコブ斜面の安定滑走動作について, 日本スキー学会誌, **7**-1(1997), 89-98. 共著者を含む研究グループによる多くの研究がある.
- (37) 清水史郎, 科学的スキー上達法, (1995), 講談社. ほかにスキーロボットを用いた研究も多い.
- (38) 長谷川健二・清水史郎, スキーの横ずれ回転(ターン)の力学, *Japanese J. Sports Sci.*, **9**-12(1990), 809-818.
- (39) 長谷川健二・清水史郎, 連続自動開脚パラレルターン—アルペンスキーロボットの動作解析—, 日本スキー学会誌, **7**-1(1997), 134-144. 著者の研究グループによる多くの研究がある.
- (40) Anthony, A., Renshaw, A. A. and Mote, Jr., C. D., A Model for the Turning Snow Ski, *Int. J. Mech. Sci.*, **31**(1989), 721-736.
- (41) 坂田敏行・谷徳之, スキーターンに及ぼすスキー滑走系の影響—板曲げ理論による解析—, 日本スキー学会誌, **7**-1(1997), 193-204.
- (42) Casolo, F. C., ほか 3 名, Simulation Techniques Applied to Skiing Mechanics, *Proceedings of The first International Conference on Science and Skiing*, (1996), 116-130.
- (43) Hirano, Y. and Tada, N., Numerical Simulation of a Turning Alpine Ski during Recreational Skiing, *MEDICINE AND SCIENCE IN SPORTS AND EXERCISE*, (1996), 1209-1213.
- (44) 多田憲孝・平野陽一, スキー回転時の凍結雪面の切削抵抗の測定, ジョイントシンポジウム1997, No. 97-34(1997-10), 93-97.
- (45) 佐橋稔雄・市野聖治, 雪スキーの回転滑降の運動摩擦係数, ジョイントシンポジウム 1997, No. 97-34(1997-10), 98-101.
- (46) 松丸秀夫, スキーとスキーワックス, *Japanese J. Sports Sci.*, **4**-10(1985), 734-738.
- (47) 坂田敏行・酒井清司, ロボットを用いたスキー滑走に関する実験的研究, 総合工学(中部大学総合工学研究所), **7**(1995), 97-103.
- (48) 米山猛・香川博之, ロボットを用いたスキーターンにおける作用力の測定, ジョイント・シンポジウム 1996, No. 96-20 (1996-10), 145-149.
- (49) Sahashi, T., and Ichino, S., Experimental Study of the Mechanism of Skiing Turn., *Jpn. Appl. Phys.*, **35**-4, Part 1 (1996), 237-2382. この表題で第3報まであり, 第35巻の論文は第3報である.
- (50) Sakata, T., Development of Sking Robot and Its Application to Sking, *International Meeting of Sports Science Commemorating the 1998 Winter Olympics in Nagano (Program and Abstract)*, (1998), 39.
- (51) 谷一郎・井内松三郎・渡部勲, スキー飛躍の空気力学, II, 日本のスキー科学, (1971), 64-78, 日立製作所.
- (52) Logergist, C., スキー・ジャンプの力学, 自然, **33**-3(1978), 88-95.
- (53) 渡部和彦, 風洞実験による空気抵抗の測定, *Japanese J. Sports Sci.*, **1**-6(1982), 413-421.
- (54) 神博・ほか 4 名, スキージャンプの踏切直後の動作, スポーツ産業学研究, **3**-1(1993), 9-17.
- (55) 吉田和代・村上正秀・渡部勲, スキージャンプにおける空力特性に基づいた飛行曲線の最適化, ジョイント・シンポジウム 1996, No. 96-20(1996-10), 126-130.
- (56) 浅井武・赤塚孝雄, CFDを用いたV字スキージャンプのコンピュータシミュレーション, スポーツ工学講演論文集, No. 97-10-2(1997-7), 186-189.
- (57) 吉田和夫・中村拓哉, スキーのエアリアル競技におけるひねり宙返りの演技計画, スポーツ工学講演論文集, No. 97-10-2(1997-7), 181-185.