

スキーにおける工学的研究の動向と展望

多田 憲孝 (大阪国際大学短期大学部)

1. はじめに

日本スキー学会は1990年に発足したが、この時期は「スポーツ工学」の創成期にあたる。本学会においても多くのスポーツ工学の研究者により、滑走やスキー板に関する計測、滑走のメカニズムやシミュレーション、スキー&スキーヤーモデルやスキーロボットに関する研究、雪の摩擦や除雪抵抗の計測、スキー板等用具の解析や評価、チェアスキーの開発、スキーに関わる情報技術等、多彩な研究が発表された。本稿では、日本スキー学会20年間におけるスキーの工学的研究の足跡を追い、将来展望を考える。

メタル、ガラスやカーボン等の繊維強化プラスチック、アラミド繊維等と素材を変え、板の構造もキャップ等が出現する。板の形状についても大きなサイドカットをもつカービングスキーが登場する等変遷していく¹⁾。

本格的にスキーが工業製品として製造されるようになると、検査をはじめとする品質管理が導入され、1958年にスキーに関する日本工業規格JIS S7007 (アルペンスキー) が制定される。その後も1982年JIS S7019 (スキー試験方法)、1997年JIS S7028 (アルペンスキー用のスキー・ビンディング・ブーツ(S-B-B) システムの組立、調整及び検査方法) 等が制定されていく。

そして、1990年代よりスノーボードの生産も本格化していく。

2. スキーの工学的研究に関わる諸事の動向

日本スキー学会の工学的研究の位置付けを知るため、関連諸事の動向について述べる。

2.1 スキー板の変遷

日本のスキー板の工業的な製造は1912年小賀坂濱太郎氏により始まった。そして、図1に示すとおり、単板だったスキーはやがて合板、

2.2 スキーの工学的研究組織の動向

日本でスキーの工学的な研究の草分けは、やはり1953年に発足した「スキー科学研究会」であろう。これらの研究成果は1971年「日本のス

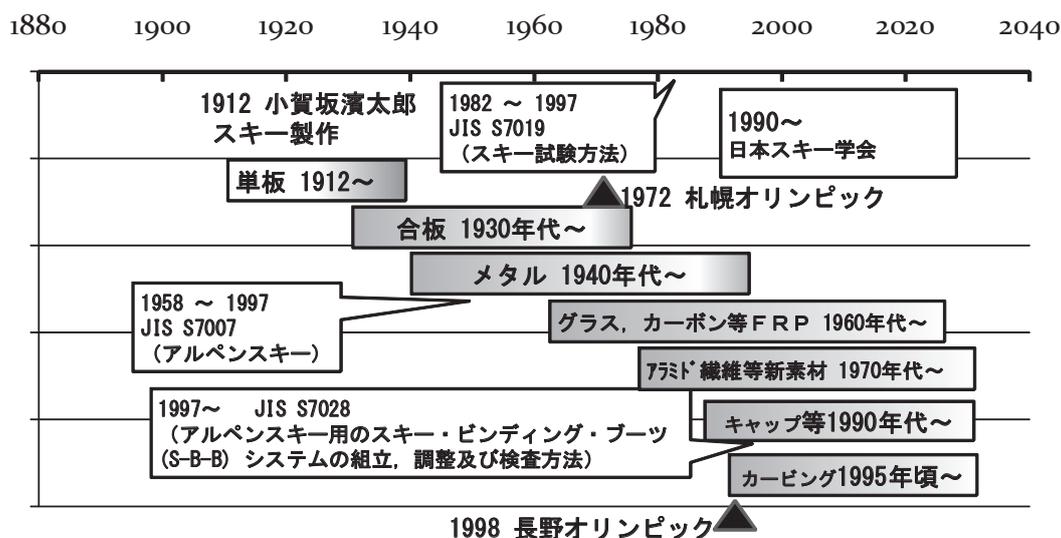


図1 スキー板の変遷とJIS

スキー科学」²⁾としてまとめられ、さらに1972年に開催された札幌オリンピック(第11回冬季オリンピック)に大いに貢献した³⁾。1968年に全国スキー製造技術研究会(後に国際スキー製造技術研究会に名称変更)が発足し、日本スキー工業組合の会員他、産学官の研究者により成果が発表されている⁴⁾。また、1991年には長野県スキー工学研究会が発足し、長野県工業試験場、信州大学及び長野県内のスキー関連メーカー等により様々な研究が進められた⁵⁾。しかし、長野オリンピック(第18回冬季オリンピック)の後に、双方とも残念ながら閉会となる。

海外では1974年にISSS(国際スキー安全学会)が発足し、1985年には新潟県・苗場にてISSS第6回国際会議が開催される³⁾。

1988年頃より機械工学研究者を中心に「スポーツ工学」なる学際領域を開拓する動きが始まる。

スポーツ工学とは、用具・ウェア・設備・施設を高性能化し安全性・快適性を高め、パフォーマンスの向上を目指すものである⁶⁾。

1990年には日本機械学会によって「スポーツ工学シンポジウム」が開催された。同年スポーツ産業学会が発足し、スポーツ工学専門分科会JSEAが設置される⁷⁾。そして、2006年には学術誌「スポーツ工学」が発行される。スポーツ工学の波は国際的にも広がり、1996年イギリス・シェフィールドにて「The First International Conferences on the Engineering of Sport」が開催され、1998年にはISEA(国際スポーツ工学会)が組織された。

2.3 日本スキー学会の発足

日本スキー学会は1990年に発足する。この時期、先に示したようにスキー板は様々な素材が使われ、構造も複雑化し、より高度な技術力が望まれる時代となっていた。また、学会発足の8年後には長野オリンピックが控えていた。そして、スポーツ工学の創成期でもあった。スキーの工学的研究の立場からすれば、たいへん良

い時期に日本スキー学会が発足したといえる。そして、本学会発足から20年間に渡り、多彩な研究発表がなされた。特に1998年第9回大会では、メインテーマを「スキー工学とその応用」とし、同タイトルの基調講演やスキー工学に関するシンポジウムが行われた。その後も、工学的研究は毎年本学会大会にて3~6件程度の発表があり、スキー研究の一分野を担っている。

3. スキーの工学的研究の動向と展望

ここでは、日本スキー学会の20年間において発表・投稿された工学的研究について、その動向と展望を述べる。

3.1 滑走・飛翔の計測技術と解析

滑走・飛翔するスキーやスキーヤーの位置、加速度、力等を測定し、その運動を解析した研究が数多くなされている。

滑走の様子をビデオ等で撮影し、DLT法、ビデオ解析システム等で、スキーヤーの身体各部位の位置・角度等を測定することができる。しかし、撮影の範囲が限定されてしまう等の欠点がある。それを補うため、スキーやスキーヤーに直接センサを取り付けて計測する技術が進んだ。センサにより加速度やGPS情報、力や歪等を測定し、これらより、滑走時のスキーの位置や速度、加速度、エッジング角度、スキーヤーの各部位の関節角度、スキー板に作用する力や歪、振動等を求めることができる。

例1) DLT法による身体各部位の位置・角度、スキーのエッジング角等の計測⁸⁾。

例2) ビデオ解析システム(Frame Dias, DKH社製)による滑走時の身体各部位の位置・角度等の計測⁹⁾(図2参照)

例3) 磁気式3次元位置センサ(FASTRAK, Polhemus社製)を用いたスキーヤーの姿勢の検出¹⁰⁾(図3参照) この研究では、6軸力センサ(IFS-105M50A220-I63, Niita社製)で雪面反力を測定し、スキーヤーの剛体リンクモデルから下肢各関節のモー

メントを算出している。

例4) ジャイロセンサ, 加速度センサ, 磁気センサ等による滑走時のスキーヤーの姿勢・エッジング量等の計測¹¹⁾

例5) 歪ゲージによるスキー板の歪量の計測¹²⁾

例6) 圧電式加速度センサ (352B10 他, PCB-PIEZOTRONICS 社製) によるジャンプスキー実飛行時の振動計測¹³⁾

計測機器は年々進歩しており, 新しいセンサや計測方法・記録方法が登場し, その精度も向上している。計測には多くのノウハウが必要であり, 独特のセンスとアイデアが求められる。今後, 計測技術に関する講習会やワークショップ等の学会での企画も望まれるであろう。

3.2 滑走・飛翔のメカニズムとシミュレーション

滑走のメカニズムについては, スキー板の物理的特性, スキー板の状態 (エッジング角等), スキーヤーの姿勢, 雪面抵抗等の様々な要因に着目した研究がなされている。そして, そのメカニズムを検証するため, スキー滑走のシミュレーション等が試みられている。メカニズムの理解は, スキー板の設計にも通じる。

例1) 模型スキーによる回転機構の解明¹⁴⁾。(図4参照)

例2) スキーロボット及びビデオ分析によるスラロームの技術分析¹⁵⁾

例3) カービングターンの谷回りの解析と回転滑走のシミュレーション¹⁶⁾ (図5参照)

例4) スキー板の形状及び機械特性を考慮した回転滑走のシミュレーション¹⁷⁾

例5) 雪の切削実験から得た雪面抵抗力の実験

式を用いた回転滑走のシミュレーション¹⁸⁾

これらの研究は, 着目した要因については知見が得られた。しかしながら, スキーのメカニズム全体を理解するには至っていない。さらに実用的レベルに高めるには, これらの研究の統合化が望まれる。共同プロジェクトによる取り組み等に期待したい。

3.3 スキー&スキーヤーモデル・スキーロボット

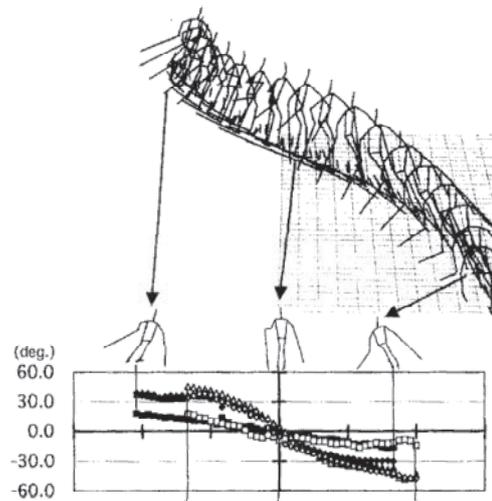


図2 ビデオ解析システムによる解析例 (三浦哲他, 引用文献9)



図3 スキーヤーに取り付けた各種センサ例 (長井力他, 引用文献10)

スキー及びスキーヤーの力学モデルやスキーロボットによって様々な解析がなされている。スキー滑走のモデルではスキー板は1本とし、スキーヤーを質点としたモデルが多い。スキーヤーに剛体リンクモデルを適用すると、下肢各関節角度や各関節のモーメント等を算出することができる。スキーロボットは様々な運動モデルが提案され、スノーボードにも適用されている。

- 例1) 1本のスキー板と質点のスキーヤーのモデルによる滑走シミュレーション例¹⁷⁾
- 例2) スキーヤーの2次元剛体リンクモデルを用いたコブ斜面滑走の力学的分析¹⁹⁾
- 例3) スキーヤーの3次元剛体リンクモデルを用いた腰部運動と滑走に関する解析¹⁰⁾。
- 例4) スキーヤー姿勢の可視化モデルと、スキーヤーの重心移動やスキー板に作用する力及びモーメント等に関するスキー操作のモデル²⁰⁾ (図6参照)

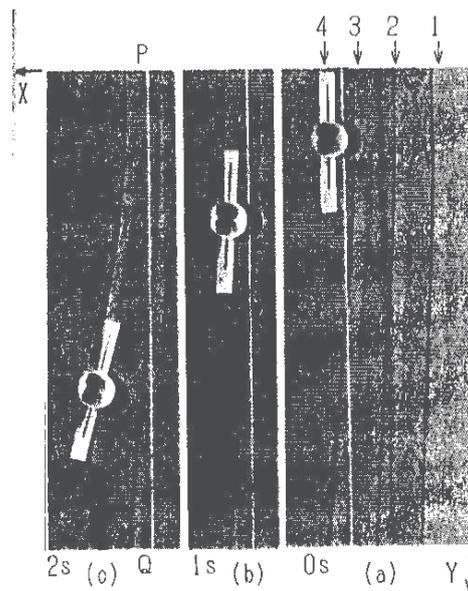


図4 模型スキーの滑走例
(佐橋稔雄他, 引用文献14)

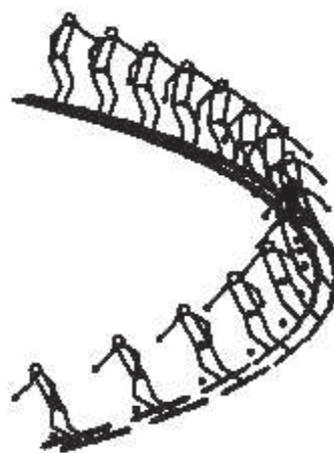


図5 回転滑走のシミュレーション例
(長谷川健二他, 引用文献16)

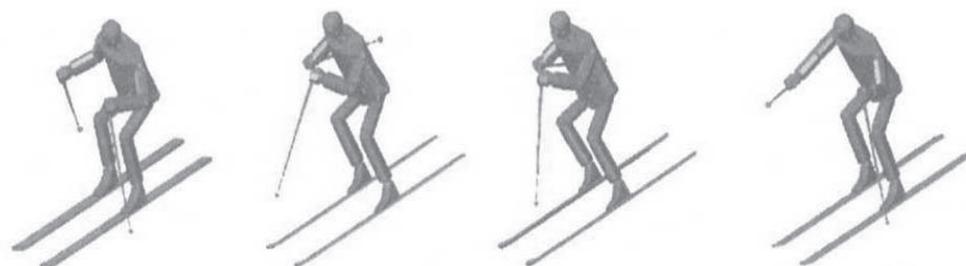


図6 スキー操作の可視化モデル例
(坂田敏行他, 引用文献20)

例5) 股関節回旋モデルとそれを実現するスキーロボットの開発²¹⁾ (図7参照)

例6) 膝関節・股関節の屈曲・伸展モデルとそれを実現するスノーボードロボットの開発²²⁾

スキー板のモデルは曲げ・振じりを考慮した精度の高いものが望まれるが、雪面モデルとも関連があり、難解な課題である。また、スキー板2本のモデルは、スキーヤーの体重配分の問題や、2本それぞれのスキー板の軌跡とスキー&スキーヤーの相対位置関係の整合性をどうするか等、課題は多い。

用具や人体のモデルは、ゴルフやテニス、機械体操等のスポーツ工学分野でも研究されており、スキーへの適用も検討したい。

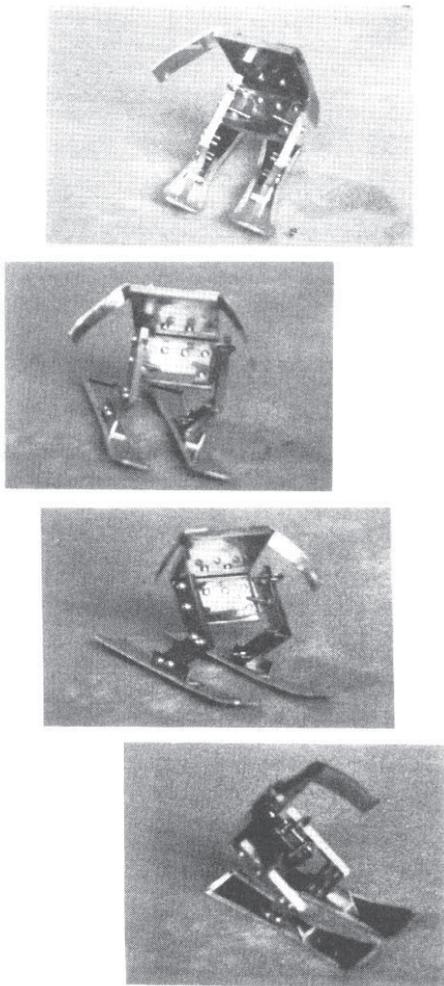


図7 スキーロボットの滑走例
(清水史郎他, 引用文献21)

スキーロボットは多種のモデルが開発されているが、今後、コンピュータによる制御技術や人工知能と融合することにより、スキー操作のさらなる知見が得られるであろう。

3.4 雪面抵抗の計測

スキーは雪の摩擦抵抗力が小さい故にできるスポーツであり、雪の除雪抵抗力がある故にターンや停止が可能となる。これまで雪の動摩擦係数や除雪抵抗力の測定実験が行われている。また、スキー競技会場の雪質に関する研究もある。

例1) モデルスキーを用いたスキーと雪との動摩擦係数の測定^{23), 24)} (図8参照)

例2) エッジングしたスキーを模したカッターによるしまり雪の除雪抵抗力の測定²⁵⁾ (図9参照)

例3) 長野オリンピックのアルペン白馬会場の雪質調査²⁶⁾

雪の摩擦係数は他の物質に比べ著しく小さいが、その理由はいまだ明らかでない²⁴⁾。今後、さらに精度の高い実験が求められる。

雪の除雪抵抗力を定量化するためには、理論解析とその検証実験が必要である。しかし、雪は焼結や含水等により、その物性が大きく異なり、作用力の速度によっても力学的挙動が異なる。また、スキーが負のすくい角で除雪する点も解析を複雑にしている。これらの実験では雪試料及び実験環境の確保が課題となる。今後さらなる研究の深化のためには、雪氷関連組織・施設との連携が望まれる。

3.5 スキー用具の物理的特性・性能評価

スキー板やブーツの機械的特性に関する研究がなされている。

例1) スキー板の曲げ剛性やシューセンタ位置等とスキーターンに関する研究¹⁷⁾ (図10参照)

例2) スキーブーツを選ぶ基準となる物理的パラメータに関する研究²⁷⁾

スキー用具に関する研究については、やはり工学系学会に比べ、本学会への発表・投稿は少ない。今後、本学会の特性を活かし、ユーザの立場からの用具評価等も検討し、この分野の強化が望まれる。

3.6 障害者スキー

主にチェアスキーの開発に関する研究がなされている。

例1) 長野パラリンピックに向けた両下肢障害者用チェアスキーの開発²⁸⁾

例2) スキー初心者でも楽しめる両下肢障害者用スキーの開発²⁹⁾ (図 11 参照)

日本スキー学会第13回大会ではテーマを「障害者スキー」とし、長野やソルトレイクでのパラリンピックで使用されたチェアスキーが紹介され、関心を集めた。このような企画が今後も望まれる。

3.7 スキーに関わる情報技術

マルチメディアやe-Learningを活用したスキー学習支援システムやヴァーチャルスキー、人工知能によるスキー指導システム等の研究がなされた。

例1) マルチメディアと e-Learning を用いたスキー学習支援システム³⁰⁾

例2) スキー滑走のコマ撮り機能等を取り入れた運動イメージ学習支援システム、映像遅延再生システム、そしてヴァーチャルスキーと人工知能を用いたスキー指導システム³¹⁾ (図 12 参照)

近年、携帯できる小型端末が普及し、ユビキタスコンピューティング（至るところにコンピュータがあり生活等を支援する情報環境）の実現も夢ではない。今後、工学分野はもちろん、スキー指導等の現場でも、ユビキタスコンピューティングが応用されていくだろう。

4. おわりに

日本スキー学会では発足後 20 年の間に、前述のとおり、数多くの多彩な工学的研究がなされ

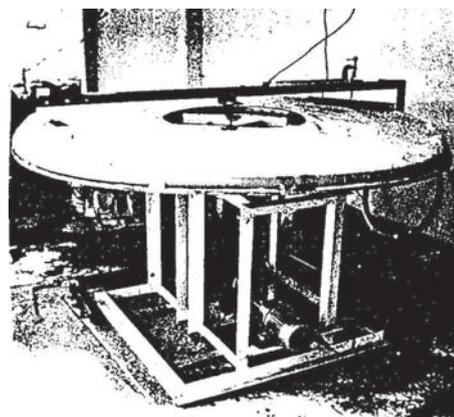


図 8 雪の動摩擦係数の測定例
(仁木國雄他, 引用文献 23))



図 9 雪の除雪抵抗力の測定例
(多田憲孝他, 引用文献 24))

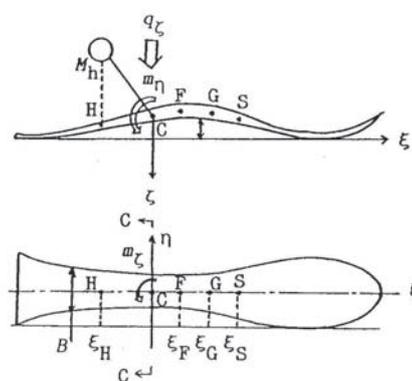


図 10 スキーの物理特性を考慮したモデル例
(坂田敏行他, 引用文献 17))

てきた。それぞれのカテゴリ内では多大な成果があったと言えよう。一方で、それらの研究が統合化され、実用レベルまで昇華したかという点、必ずしもそれは実現できていないのではな

いか。発足時はスポーツ工学の創成期でもあった故、その内容は基礎的・原理的なものが多く、かつ個々の研究の方向性は多様で分散化した感も否めない。基礎的研究の次の段階を迎え、実用化に向けた高い精度が求められるようになり、研究活動はやや停滞しているようにも感じられる。今後、これまでの研究成果を大局的に整理し、研究の相乗効果を高め、アスリートや社会に応えられる成果を期待したい。

謝辞

本稿を作成するにあたり、図の引用許可をいただきました研究者の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 平野克己 (1999) : スキー製造技術の変遷とスキー滑走評価, 日本スキー学会誌, 9(1), 35-36.
- 2) 日本のスキー科学 (1971), スキー科学研究会編, 日立製作所.
- 3) 木下是雄 (1999) : 国際スキー安全学会とのつながり, 日本スキー学会誌, 7(1), 15-18.
- 4) 全国スキー製造技術研究会 研究発表サマリー, 全国スキー製造技術研究会, 日本スキー工業組合. (第 21 回大会より国際スキー製造技術研究会に名称変更)
- 5) あゆみ (2000), 長野県スキー研究会.
- 6) 西脇剛史 (2006), スポーツ工学の魅力, スポーツ工学, 1, 7-11.
- 7) 宇治橋貞幸 (1997) : スポーツ工学 10 年の歩みと 21 世紀への展望, 日本機械学会スポーツ工学シンポジウム講演論文集, No.97-10-2, 1-8.
- 8) 袖山紘, 他 (1991) : SKI SLALOM の分析 (1), 日本スキー学会誌, 1(1), 49-55.
- 9) 三浦哲, 他 (2001) : カービングターン動作とキネマティクスからみた特長—カービングとスキディングのターン動作の比較—, 日本スキー学会誌, 11(1), 153-163.
- 10) 長井力, 他 (2004) : 腰部運動がスキー滑走に与える影響, スキー研究, 2(1), 9-16.
- 11) 廣瀬圭, 他 (2009) : 慣性センサを用いたスノーボード滑走におけるエッジング量計測法, スキー研究, 6(1), 27-32.
- 12) 影山義光, 他 (2007) : テレマーク・スキー滑走中の歪分布—テレマーク・ターンとアルペン・ターンの違い—, スキー研究, 4(1), 1-13.
- 13) 塩野谷明, 他 (2008) : ジャンプスキー実飛行時の振動計測—雪上ジャンツェとオールシーズンジャンツェにおけるジャンプ着地時の衝撃加速度の違い—, 日本スキー学会誌, 18(1), 109-114.
- 14) 佐橋稔雄, 他 (2001) : スキー回転機構の実験的研究 I —直滑降からの山回り回転—, 日本スキー学会誌, 11(1), 195-202.
- 15) 尾原味夫 (2007) : トップレーサーの技術の本質, 日本スキー学会誌, 17(1), 61-72.
- 16) 長谷川健二, 他 (2007) : カービングによる谷回りターンの力学, 日本スキー学会誌, 17(1), 91-95.
- 17) 坂田敏行, 他 (1995) : スキー板の形状及び機械特性に関する考察—スキーターンに及ぼす影響—, 日本スキー学会誌, 5(1), 187-196.
- 18) 多田憲孝 (2001) : スキー板の回転滑走の安定性評価に関する一考察, 日本スキー学会誌, 11(1), 187-193.
- 19) 池上康男, 他 (1991) : コブ越えの力学的分析, 日本スキー学会誌, 1(1), 41-48.
- 20) 坂田敏行, 他 (2005) : 定量化スキー操作モデル開発の試み, 日本スキー学会誌, 15(1), 57-66.
- 21) 清水史郎, 他 (1997) : アルペンスキーロボットの開発—股関節の回旋による連続自動回転モデル—, 日本スキー学会誌, 7(1), 122-128.
- 22) 清水史郎, 他 (2005) : スノーボードロボットの開発—膝関節の屈曲・伸展モデルと股

- 関節の屈曲・伸展モデル，スキー研究，3(1)，1-9.
- 23) 仁木國雄，他（2001）：モデルスキーを用いたスキー動摩擦係数測定と雪質および滑走面との関係，日本スキー学会誌，11(1)，175-186.
- 24) 仁木國雄，他（2005）：低速度におけるスキー滑走抵抗の理解，日本スキー学会誌，15(1)，67-78.
- 25) 多田憲孝，他（2005）：スキーのための雪の切削抵抗力の測定，スキー研究，3(1)，11-21.
- 26) 柳沼力夫，他（1999）：第18回オリンピック冬季競技大会 1998 長野アルペン白馬会場の雪質調査，日本スキー学会誌，9(1)，57-66.
- 27) 西垣昭，他（1999）：スキーブーツの研究－スキーブーツを選ぶ基準と締め付け（圧迫値）について－，日本スキー学会誌，9(2)，191-197.
- 28) 沖川悦三，他（1999）：長野パラリンピックに向けた両下肢障害者用スキー「チェアスキー」の開発，日本スキー学会誌，9(1)，47-56.
- 29) 土岐仁，他（1999）：両下肢障害者用スキーの開発（実機による滑走試験），日本スキー学会誌，9(1)，39-45.
- 30) 森本信雄，他（1999）：スキー学習サポートシステムにおける試み－運動・操作分類法の応用－，日本スキー学会誌，9(1)，233-242.
- 31) 小林規，多田憲孝，他（2006）：北方圏における冬季スポーツに関する研究（第2報），日本スキー学会誌，16(1)，117-127.

著者

多田憲孝（ただ のりたか）

大阪国際大学短期大学部

コンピュータシミュレーション，スキーの力学