原著論文

拡張現実感技術を用いたスキー指導システムの開発[†]

多 田 憲 孝*

Development of a Ski Instruction System Using Augmented Reality Technology[†]

Noritaka TADA*

Abstract

The purpose of this paper is to report on a ski instruction system using augmented reality (AR) technology that can display animated model demonstrations and give advice with an artificial voice in real time while the user is skiing.

For this system, student skiers are equipped with a mobile computer and a head-mounted display (HMD) with a video camera and earphones. The HMD shows an image of the skier's forward field of vision as captured by the video camera. This system uses markers positioned along the ski slope in place of the poles (gates) that show the skier which direction to turn. When the video camera on a turning skier captures a marker, the system displays instructions on the HMD in real time with AR technology. These instructions are in the form of a CG-animated virtual instructor that gives a model demonstration, virtual poles and flags, arc-shaped arrows to clearly show the turn direction, arrows mimicking force vectors to give instructions on weight transfer, and advice given with an artificial voice. We have confirmed that the system displays such instructions appropriately on an actual test run.

Key words : Ski, Instruction, Augmented Reality, Model Demonstration

1. は じ め に

多くのスキー学校では、指導者が模範演技を示した後、スキーヤー（学習者）の滑走を目視観察し助言を与える指導方法が実施されている。この方法では、滑走時のスキーヤーにリアルタイムで模範演技の提示及び助言を行うことは困難である。また、複数のスキーヤーを指導する場合には、順番待ちを強いることもある。そこで著者は、拡張現実感技術を用い、滑走時のスキーヤー（学習者）個々にリアルタイムで

指導情報を提示するスキー指導システムの開発を試みた。拡張現実感（Augmented Reality, 以下ARという）技術とは、コンピュータグラフィックス（Computer Graphics, 以下CGという）で生成した画像やアニメーション等の仮想物体を、現実環境内に重畳表示する技術である。

CGやAR技術等をスポーツ指導に応用した先行研究には、例えば次のものがある。Ungyeonらは、見本となる指導者のフォームの動作をCGで示し、それを学習者が模倣し動作を覚え

[†]原稿受付 2012年5月9日 原稿受諾 2012年6月14日

*大阪国際大学短期大学部 〒570-0014 大阪府守口市藤田町6-21-57

*Osaka International College, 6-21-57, Tohda, Moriguchi, Osaka, Japan (570-0014)

る指導方法「The “Just Follow Me” Method」を提案した¹⁾。また、松尾らはモーションキャプチャという手法で、各選手のスキージャンプのフォームを計測し、理想的フォームとの差異をスティックピクチャで示し、選手自身がフォームを客観的に確認できる手法を示した²⁾。本荘らは、トレーニング中にヘッドマウントディスプレイ（Head Mounted Display, 以下HMDという）により、学習者にリアルタイムで運動に関する情報を伝える手法を示した³⁾。さらに黒澤らは、AR技術にて、学習者の筋肉上に筋活動を表示する環境を作り、直感的に筋活動の知覚を補完する方法を試みた⁴⁾。著者は、スキーシミュレータと仮想現実感技術を用いて、仮想滑走時のスキーヤー（学習者）にリアルタイムで模範演技の提示及び人工知能による助言を行うスキー指導システムを開発した⁵⁾。しかしながら、野外で広範囲な移動かつ比較的高速な運動を行うスキーヤーに対して、CGやAR技術等を用いてリアルタイムで指導する研究は見当たらない。

本研究では、AR技術によって滑走時のスキーヤー（学習者）にリアルタイムで模範演技の提示及び助言等を行うスキー指導システムを開発し、滑走実験にてその指導内容を検証する。

2. システム概要

図1に、本システムの構成を示す。滑走するゲレンデ上にはAR用のマーカを設置する。AR技術を用いて、CGを現実環境内の意図した位置に重畳表示するには、現実環境の座標系とCGの座標系との位置合わせを行う必要がある。ここでは、ビデオカメラでマーカを捕捉し、その投影されたマーカの大きさや形状から、ビデオカメラとマーカとの幾何学的関係を求め、両座標系の位置合わせを行う。

スキーヤー（学習者）はビデオカメラ、HMD、イヤホン及びモバイルコンピュータを装着し滑走する。ビデオカメラはスキーヤーの前方視界の映像をリアルタイムで取り込み、その映像はHMDに表示される。スキーヤーは前

図1 スキー指導システムの構成

方のゲレンデ状況をHMDで確認して滑走する。

滑走時、ビデオカメラがマーカを捕捉すると、本システムはCGによって生成された指導情報（模範演技アニメーション等）を前方視界の映像に重畳表示する。また、人工音声で生成した助言をイヤホンから発声する。このように、本システムは滑走時のスキーヤー（学習者）個々にリアルタイムで指導情報を提示する。

3. 指導情報の作成

3.1 指導案の策定

スキー学校でよく見受けられる指導方法の一つに、指導者が先導滑走しながらスキーヤー（学習者）に模範演技を示す方法がある。その際、スキーヤーは指導者の演技を模倣する。指導内容は、優れた指導者の知識を具現化することが望ましい。指導案の一例として、ブランシュたかやまスキー学校の指導者らが作成した、子供のためのスキー指導書に記述されている「飛行機ターン」を参考にする⁶⁾。当文献でいう「飛行機ターン」とは、広げた両手を飛行機の翼に見立て、その手の上下動によりターンを導く指導方法である。これを基にAR用の指導案を、次のように策定した。

(1) 滑走方法

- ① 仮想ポールを2本設置し、ポール間を通過しS字に回転滑走する。
- ② 最初のポールは左ターンで通過し、次は右ターンとする。

(2)模範演技の提示

- ① CGによる仮想指導者がスキーヤー（学習者）の前を先導滑走し、模範演技を行うアニメーションを提示する。
- ② 仮想指導者は、飛行機の翼のように両手を横に広げ、プルークボーゲン姿勢で回転滑走する。また、ターン時、外足荷重を促すため、外足側の手をやや下げ、外足側の膝関節をやや屈曲させる。

(3)指導を補足する視覚情報の付加

- ① 回転滑走の目安となるよう、CGによる仮想ポール及び仮想フラッグをマーカー上に配置する。また、子供が楽しく練習できるよう仮想フラッグには動物等の絵を描く。
- ② ターン方向を明示するために、CGによる仮想円弧形状矢印を雪面上に配置する。なお、矢印は安全を考慮し、雪面が見えるよう半透明とする。
- ③ 外足荷重する際、その運動を促すために、力ベクトルを模した仮想矢印を外足近傍の鉛直下向きに設置する。その矢印の長さ太さは、荷重の量に応じて変化させる。

(4)助言の発声

- ① 模範演技を提示する際、人工音声により助言を発声する。
- ② 左ターン時は「飛行機みたいに曲がろう」、右ターン時は「次は左手を下げて曲がろう」と助言する。

なお、これらの指導案はあくまでも一例である。

3.2 模範演技アニメーションの作成

まず、模範演技を行う仮想指導者のモデルを作成する。使用したCGソフトウェア（終作社製、六角大王Super6）には、あらかじめ人体モデルが用意されている。この人体モデルに、スキー板とストックを付加して作成した仮想指導者モデルを図2に示す。各関節はボールジョイントでモデル化されており、屈曲角度等を任意に設定できる。なお、スキー板及びストックはそれぞれ足部、手部の骨格に剛接合（固定）した。

図2 仮想指導者モデル

また、ターンの方向を明示する仮想円弧形状矢印及び外足荷重を促す仮想矢印を、CGソフトウェアに用意されている基本図形を用いて作成した。なお、仮想円弧形状矢印は安全を考慮し、ゲレンデの雪面が見えるよう半透明（不透明度＝20%）とした。

そして、仮想指導者モデル及び仮想矢印等をアニメーション作成ソフトウェア（おちゃっこ製、RokDeBone2）に取り込み、キーフレーム法によりアニメーションを作成した。キーフレームとは、時系列で変化する対象物について要所要所の形態を記録したものをいう。キーフレーム法は、いくつかのキーフレームだけを作成し、キーフレーム間についてはコンピュータが補間し、円滑なアニメーションを生成する手法である。ここでは、キーフレームをターンの谷回り局面に2つ、フォールライン上に1つ、山回り局面に2つ、合計5つ設定した。図3はキーフレームの一例である。前述の指導案に従い、各キーフレームにて仮想指導者モデルの各関節角度及び滑走位置を調整し、それぞれのターン局面にふさわしい姿勢を作成した。また、外足荷重を促すキーフレームでは、外足荷重が大きい程、力ベクトルを模した仮想矢印の長さ及び太さを大きく描画し、それを外足近傍に配置した。この仮想矢印の長さ及び太さは定量的なものではなく、指導者の感覚的な指導情報を基に定めたものである。さらに、ターン方向を

図3 キーフレームの一例

明示する仮想円弧形状矢印（半透明）を雪面上に固定した状態で配置した。このような作業により、左右1ターンずつ、再生時間3秒のアニメーションを作成した。

なお、ここで使用したCG関連ソフトウェアは比較的操作が簡単であるため、コンピュータに習熟していないスキー指導者でも、容易に指導案を策定し指導用アニメーションを作成できるであろう。

3.3 仮想ポール・仮想フラッグの作成

図4に、作成した仮想ポール及び仮想フラッグを示す。CGライブラリ（OpenGL）に用意されている基本図形の円筒及び円錐を組み合わせ、仮想ポールを描画した。また、正方形板にテクスチャマッピングという手法で、文字情報も含めた2次元画像を貼り付けて、仮想フラッグを描画した。なお、その2次元画像には前述の指導案に従い動物の絵等を使用した。

3.4 助言の作成

本システムは、人工音声ライブラリ（アクエスト社製、AquesTalk2）を用いて助言等を発声できる。ここでは、模範演技のアニメーションを表示する際に、それに応じた助言を発声する。音声データは平仮名とアクセント記号等を組み合わせた文字列にて作成される⁷⁾。

助言の音声データの一例：「ひこ'ーき/みた

図4 仮想ポール・仮想フラッグの一例

図5 マーカとその配置

いに、まが'ろー。」

※シングルクォーテーション（'）はアクセント記号を、スラッシュ（/）は区切り記号を表し、それぞれ人工音声を制御する。

3.5 マーカと指導情報との対応付け

前述の指導案に従い、マーカを2種類用意した。図5に、そのマーカがゲレンデに配置されている様子を示す。マーカの模様は任意であるが、ここではアルファベット文字「A」及び「B」を記したものを、それぞれマーカ「A」、マーカ「B」と呼ぶ。そして、ビデオカメラがマーカ「A」を捕捉した場合には、左ターンの指導情報を提示し、同様にマーカ「B」には右ター

ARでは、一般に複数のマーカを同時に捕捉した場合には複数の情報が提示されるが、スキー指導の場面においてそれは適当ではない。そこで、各マーカにそれぞれ優先順位を示す番号を割り当て、優先順位が高い番号を持つマーカから順次通過していくように、各マーカをゲレンデに配置することにした。そして、ビデオカメラが複数のマーカを同時に捕捉した際、優先順位が高い番号のマーカだけを選択するよう制御した。これにより、複数の指導情報が同時に提示されることを回避できる。

なお、これらのプログラムはC言語で記述され、その開発環境にはソフトウェア開発ツール (Microsoft社製, Visual Studio 2010) を用い、マーカ捕捉部分, CG描画部分にはそれぞれARライブラリ (ARToolKit), CGライブラリ (OpenGL) を使用した。

ここでは2個のマーカを使用した。もちろん多数のマーカ (例えば「A」, 「B」, 「C」, ...) を使用したり, 同じマーカの出現回数を判断し, それに応じて実行内容を変更することで, より多彩で複雑な指導が可能である。

4. 検証実験

4.1 マーカ検出実験

AR技術をスキー滑走で利用するには、比較的遠方のマーカを捕捉する必要がある。そこで、マーカ検出性能を調べるために、サイズの異なるマーカを5種類用意し、それらをビデオカメラ (BUFFALO社製, BSW32K02H, 320万画素) で捕捉できる最長検出距離を測定した。マーカの模様は、マーカ「A」と等価なものを用いた。図6に、その測定結果を示す。縦軸は最長検出距離[m], 横軸はマーカサイズ (マーカの一辺の長さ) [m], 黒丸は各マーカの最長検出距離を表す。マーカサイズが大きい程最長検出距離は大きい。AR技術をスキー指導に利用するには、スキー滑走の回転弧の大きさや滑走速度を考慮し、最長検出距離は概ね20m以上必要である。よって、図6より使用できるマーカサイズは0.4m以上が適当であろう。一方で、マー

図6 マーカ検出性能

表1 滑走実験地の諸データ

実験地	マーカ間の距離 [m]	斜度 [度]	
		マーカ「A」近傍	マーカ「B」近傍
Aスキー場ゲレンデ (兵庫県)	12	14	4
Bスキー場ゲレンデ (長野県)	20	12	10

カの可搬性も考慮する必要がある。よって、スキー指導に使用するマーカサイズは0.4 ~ 1.0m程度が適当と思われる。

4.2 滑走実験

本システムの指導情報提示内容を検証するため、2箇所のスキー場のゲレンデにて滑走実験を行った。図5のように、2本の棒 (木製, $\phi 14 \times 900$ mm) をゲレンデ面に直角に突き刺して立て、その棒にマーカボード (基板部 $600 \times 600 \times 5$ mm, マーカ部 500×500 mm, 発砲ポリスチレン製, 270 g/枚) をヒモで結び付けて固定した。マーカの模様は、前述のマーカ「A」及び「B」の2種類である。表1に、実験を実施したゲレンデの斜度等を示す。斜度は角度測定器 (シンワ測定社製, スラントレベル PRO78555, 精度 $\pm 1.0^\circ$) にて測定した。

図7に、本システム機器の装着状態を示す。スキーヤー頭部には、両眼に対応したツイン液晶ディスプレイを持つHMD (Vuzix社製, iWear VR920, 解像度 640×480 画素) を装着し

図8 滑走実験の様子

(b) 拡大映像

図9 スキーヤー (学習者) に提示された指導情報の一例

た. HMDの上部にはビデオカメラ(BUFFALO社製, BSW32K02H, 320万画素)を, その両側部にはイヤホンを取り付けた. HMD+ビデオカメラ+イヤホンの総重量は約140g(接続コードは含まず)である. 背中にはHMDと接続したモバイルコンピュータ(SONY社製, VAIO VPCEE47FJ, 重量2.4kg)をリュックに入れ背負った.

図8に, 滑走実験の様子を示す. スキーヤー(学習者)はマーカー「A」の上部10mの位置から滑走を始め, プルークボーゲンにて2個のマーカー間を通過しS字に滑走した. 滑走速度はおよそ2m/sであった. その際にスキーヤーのHMDに投影された映像の一例を図9(a)に示す. 映像は①から⑤へ順次変化しており, 各映像間隔は0.5秒である. 同図より, スキーヤー(学習者)が回転滑走しながらマーカーに近づいてい

く際, 仮想指導者が先導滑走して模範演技を示していることがわかる. この仮想指導者の模範演技アニメーションは, マーカーAからBの間を滑走中に2回あるいは3回繰り返して再生された. この再生回数は指導案で想定する滑走速度に応じて, マーカー間距離及びアニメーションの再生時間を調整して設定できる.

図9(b)は, 指導情報の提示映像の一部を拡大したものである. 同図より, 各種指導情報が指導案に従って提示されていることがわかる. 2箇所のゲレンデでの滑走実験で, 同様な結果を得た.

なお, 本実験ではスキー滑走に支障が生じる程の画像処理の時間遅れは生じなかった. しか

し、本実験条件より高速に滑走する場合や首節を著しく速く上下する行為等がある場合、あるいは出力映像の解像度を高めた場合には、画像処理の時間遅れが懸念される。実用化においては、より能力の高い画像処理系が求められるであろう。

本システムの滑走実験により、次の指導内容を確認した。

- (1) 仮想指導者がスキーヤーの前を先行滑走し、円滑に模範演技を行っていること
- (2) 力ベクトルを模した仮想矢印の長さ及び太さが、ターン局面に応じて外足荷重を促すように、指導意図どおりに変化していること。
- (3) ターン方向を明示する仮想円弧形状矢印、仮想ボール及び仮想フラッグが適切な位置に提示されていること。
- (4) 模範演技に応じた助言がイヤホンから発声されていること。

このように、滑走時のスキーヤー（学習者）個々にリアルタイムで指導情報（アニメーション、画像、音声等）を提示できる点、実際には見えない力ベクトルや方向等を、指導意図に応じて矢印等で視覚的に提示できる点が、本システムの大きな特徴である。本システムで、優秀な指導者の指導知識を適切に具現化できれば、いつでも・どこでも・誰でも・安価に、その指導を享受できる可能性がある。また、このような指導知識の具現化が進めば、指導者の教育にも活用できる資料となろう。

また、直接的なスキー指導内容ではないが、本実験にて滑走時に動物の絵等を提示することができた。本システムでは、人気キャラクターによる模範演技や飛び跳ねる動物等を付加することも可能である。このように、学習対象者に応じて様々な仮想物体を提示できるため、楽しくスキーを練習させるエンターテインメント的な機能も、本システムの付加的価値と考えられる。

一方、本実験により確認された安全面に関する問題点を、次に挙げる。

- (1) HMDとビデオカメラによって前方視界を

確保する方法は、通常よりやや視野が狭く、また眼前を覆うため心理的不安を伴うことがある。

- (2) 仮想物体の表示により、その後方の視界が遮られることがある。
- (3) 通常の滑走より注視する視覚情報が増すため、周囲に対する注意力が散漫となるおそれがある。

近年、メガネのように前方視界が透過して見える光学シースルー型HMDが商品化されつつあり、これを導入すれば(1)の問題は解消されると思われる。(2)、(3)については、比較的平坦で整備されたゲレンデ面を使用し、かつロープ等によって閉ざされた滑走エリアを設け、スキーヤーの滑走間隔を十分に確保する等、安全面に配慮する必要がある。

5. ま と め

本研究では、AR技術を用いたスキー指導システムを開発し、その指導内容を検証した。そして、次の知見を得た。

- ① 本稿で提案した方法にて、容易に専門家の指導知識を模範演技アニメーション等に具現化することができた。
- ② AR技術をスキー指導に活用するための、マーカサイズと最長検出距離に関する基礎データを得た。
- ③ AR技術を用いて、滑走時のスキーヤーに対し、リアルタイムで視覚的指導情報や助言を提示することができた。
- ④ 実際には見えない力ベクトルや方向等を、指導意図に応じて矢印等で視覚的に提示する方法を示した。
- ⑤ AR技術で、楽しくスキーを練習させるエンターテインメント的な機能を付加できることを示した。
- ⑥ AR技術を用いる際の安全面に関する問題点を示した。

近年、滑走中のスキーヤーの位置や加速度、関節角度等を測定する技術⁸⁾が進化している。各種センサの値から、スキーヤーの姿勢や滑走

局面等を推定し、それらに応じた指導情報を生成することで、より多彩で動的なスキー指導システムの開発が今後可能となるであろう。

参 考 文 献

- 1) Ungyeon Yang, Gerard Jounghyun Kim ; Implementation and Evaluation of "Just Follow Me" : An Immersive, VR-Based, Motion-Training System, Presence, Vol.11, No.3, pp.304-323, 2002.
- 2) 松尾彰文, 他 ; Viconを利用したスキル向上へのサポート, 第2回JISS国際スポーツ科学会議 2004, pp.36-37, 2004.
- 3) 本莊直樹, 他 ; HMDを用いたスポーツスキルの学習方法の提案, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.1, pp.63-69, 2005.
- 4) 黒澤慎太郎, 他 ; 筋活動の知覚とトレーニングシステムに関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告MBE2008-101, pp.35-40, 2009.
- 5) 多田憲孝 ; シミュレータを用いたスキー指導システムの開発, スポーツ産業学研究, Vol.21, No.1, pp.19-26, 2011.
- 6) ブランシュたかやまスキー学校編著 ; こどもが伸びる! スキーの教え方ー人気キッズスクール虎の巻, スキージャーナル, p.78, 2006.
- 7) アクエスト編著 ; AquesTalk音声記号列仕様書Version 1.5, pp.4-5, 2007.
- 8) 廣瀬圭, 他 ; スキーヤーの関節角度・滑走速度計測によるスキー・ターンの運動解析に関する研究, スポーツ産業学研究, Vol.22, No.1, pp.1-8, 2012.