

【論文】

クロスカントリースキー競技を対象とした シミュレーショントレーニング・システム構築の試み

An Attempt to Establish Simulation Training Systems
on Cross-country skiing

鈴木 典

Suzuki Tsukasa

菅野 慎太郎

Kanno Shintaro

井川 純一

Igawa Junichi

目次

- 1 はじめに～シミュレーションと仮想現実・拡張現実～
- 2 シミュレーショントレーニング・システムにおける VR, AR の課題と活用の可能性
- 3 テニスのサーブとリターンをモデルとしたシミュレータの作製と適用
- 4 運動学習に関する心理学的知見～質的研究法と半構造化インタビュー～
- 5 研究の目的～クロスカントリースキーの競技種目特性からみて～
- 6 適用例
- 7 まとめ

要約

本研究はわれわれが以前、シミュレーションの概念を踏まえて作製したテニスのサーブとリターンをモデルとしたサービス・モーション・シミュレータの適用結果、およびここ数年の仮想現実（Virtual Reality/VR）や拡張現実（Augmented Reality/AR）の技術を勘案し、クロスカントリースキーのシミュレーショントレーニング・システムの構築を試みたものである。これは被験者正面の大型ディスプレイに投影されたクロスカントリースキーコースの起伏に即し、大型トレッドミル走路の斜度や速度を変化させるシステムであり、わが国トップレベルのクロスカントリースキー男子選手に適用後、質的研究法である

半構造化インタビューを実施し、得られた語りの内容を分析した結果、以下の知見を得た。

被験者から、コースの平地は実際の滑走イメージにかなり近似しているとの語りが得られた。ただし、急斜面から緩斜面へと登り坂の斜度が変化する局面、および長い距離の登り坂における微妙な斜面変化への対応が困難であり、滑走イメージと異なるとの語りが得られた。これに基づき、トレッドミル走路の斜度と速度を段階的に変化させたり、微妙な斜面変化を再現したりする改良を加え再度、被験者への適用を試みた結果、かなり滑走イメージに近似したとの語りが得られた。

シミュレーショントレーニングを運動学習効率の向上に利用する重要な要件となる実際の運動場面における反応動作との類似性が確認されたことから、本システムがクロスカントリースキー選手の運動学習を促進する可能性が示唆された。ただし刺激の呈示、および定量的フィードバック情報の還元にはVRやAR技術、コンピュータグラフィックスなどをより積極的に導入することが本システムの有効性を今後、さらに向上させる課題とみられた。

1 はじめに～シミュレーションと仮想現実・拡張現実～

シミュレーション (simulation) とはラテン語の *simulo* (まねる, ふりをする) を語源とし、中西 (1983, pp.14-24) によれば数値的, もしくは物理的モデルによる実験の総称であり、特にコンピュータを用いた実験がコンピュータ・シミュレーションと定義され、狭義には模倣そのものを指すが、広義にはモデル作成を含む概念とされる。機械工学や人間工学はもちろんであるが、スポーツ科学分野でも競技スポーツ, 健康スポーツを問わず、コンピュータ・シミュレーションの活用やシミュレータの開発が進んでいる (河原・鈴木, 1990; 河原ほか, 1990; 中西, 1983, pp.90-121)。

シミュレーションの用語は現在、巷間にも広く普及しており、世界大百科事典改訂版12 (下中編, 2005) によれば、「一般的にシミュレーションといえば、現実の世界に存在するシステム, あるいはこれから作ろうとするシステムのモデルを作り, これを使って実験することを指す。モデルの中には宇宙飛行士の訓練のためのカプセル模型のような機械装置もあり, このような装置はシミュレータと呼ばれている。しかし現在, 一般的によく使われているモデル作り, および実験の方法はコンピュータを使うものであり, コンピュータ・シミュレーションとも呼ばれている」とされる。さらに, APA 心理学大辞典 (ファンデンボス, G. R. 原著監修, 2013) によれば、「現実的な方法で環境の模擬実験を行うことによって, 社会や他の環境における個人の行動や心理的過程, 心理的機能を調査するために用いられる実験法」とされる。

スポーツ実践場面でもシミュレータはかなり以前から導入されており (河原・鈴木, 1990; 河原ほか, 1990; 坂田ほか, 1999; 長谷川ほか, 1998), ボール・ゲームの作戦盤などの簡単なものから, 野球のピッチング・マシン, テニスのストローク・マシン, 冬季スポーツの夏季シーズンのトレーニングに用いられるローラースキー¹⁾ やスライドボー

ドなど、またアルペンスキーやスノーボードのシミュレーションも試みられている。現在、コンピュータの発展により、これらのシミュレータも飛躍的な進歩を遂げ、作戦盤はハンドヘルド型やタブレット型のコンピュータへと変貌し、相手チームの戦略を瞬時に分析して、それに即した最適な攻撃パターンを選択することなども可能になっている。また、ピッチング・マシンやストローク・マシンも、ボールを放つマシンの周辺に投球やストローク動作の映像を投影し、よりスポーツ実践場面の視覚的イメージに近似した装置へと改良が進んでいる。これらはテレビやインターネットなど、多くのマスメディアでも取り上げられ話題になっている。

これに対しここ数年、仮想現実 (Virtual Reality/VR) や拡張現実 (Augmented Reality/AR) への注目度が社会現象と呼べる程の高まりをみせているようである。

VRはAPA心理学大辞典 (ファンデンボス, G. R. 原著監修, 2013) によれば、「記憶, 画像, コンピュータによって現実に似せて作られた三次元環境。飛行機の操作や宇宙の探索といったように直接, 体験するには費用が高く, 危険が伴う活動のために疑似環境が用いられる。疑似環境に没頭して訓練ができるように, リアルタイム・フィードバックのあるグローブや頭部モニターといった多くの補助的ハードウェアやソフトウェアが使用されている」とされ, 心理学辞典 (中島ほか編, 1999) によれば、「人工的な感覚刺激をコンピュータの制御などによって与えることにより, 仮想的に現実世界と同じ知覚環境を作り出すこと。ただ刺激を与えるだけでなく, 人間の動きに応じて刺激が変化したりするように制御され, 人間と現実世界のインタラクションのシミュレーションとなっている」とされる。

すなわち, 近年のVR技術, および作り出された疑似環境は人工的な感覚刺激の呈示だけでなく, ヒトの反応事態を含む装置や環境であり, フィードバック機能をもつシステムであることが理解される。なお, ベイレンソン (2018) はVRの登場により, ハンドヘルド型やタブレット型のコンピュータ, VTRなども, 既に「太古の技術」になったと述べる程, VRに高い関心を寄せている。

ARは現代用語の基礎知識 (佐藤優ほか, 2018) によれば、「情報技術によって, 現実世界を仮想世界にまで拡張し, 現実と仮想を重ね合わせた環境をいう。例えば, スマートフォンを風景にかざすと, 地名や店の名前が風景に重ね合わせて表示されるサービスなどが実現している」とされる。さらに, 「仮想物体を現実世界の中に重畳させる技術」(加藤ほか, 1999) であり, 「ユーザがみている現実のシーンにコンピュータグラフィクスによって描かれた仮想物体を重畳表示し, ユーザがいる場所に応じた情報を直感的に提示する技術である。この技術は, 現実環境と仮想環境を融合する技術である複合現実感 (Mixed Reality: MR) の一分野に含まれる」(神原, 2010) とされる。

これらから, VRは疑似環境における人工的な感覚刺激により, 現実世界に近似した知覚環境を体験する技術, ARは現実世界 (スマートフォンのカメラ機能による映像など) と仮想世界 (コンピュータによる情報など) を重ね合わせて呈示する技術と理解される。さらに, それぞれその技術によって作り出された装置や環境をも包括し, 「仮想現実」と「拡張現実」の言葉が違和感なく当てはまる概念といえよう。

VRの中で先ず思い浮かべられるのがVRゴーグルやVRヘッドセットなどを装着し,

視覚的に三次元空間を疑似体験する装置であろう。これらは頭部に装着したヘッドマウントディスプレイに三次元空間が投影される装置であり、スマートフォンにインストールされた映像操作が可能な様々なアプリケーション・ソフトウェアが利用でき、複数社から販売されている。

また、VRゴーグルやVRヘッドセットと座位や伏臥位で使用する専用の装置を組み合わせたVR体験施設も各地で賑わいをみせているようである。これは視覚や聴覚刺激だけでなく、映像や音響に対応した運動感覚的な刺激が疑似体験でき、さらにレバーやボタンの操作により、それらの刺激に即した反応が可能な装置である。

ARは医療や建築での活用も期待される技術であるが、2016年にスマートフォンにリリースされた「ポケモンGO」が解り易い一例となろう。これはスマートフォンのカメラ機能により呈示される映像情報にコンピュータによって呈示されるポケットモンスター(ゲームのキャラクター)を重ね合わせて呈示し、スマートフォンのボタン操作で捕獲するゲームである。このゲームが一世を風靡した時期にはスマートフォンから目を離さずに歩いたり、車両を運転したりする人々が増加し、その危険性が社会問題化した(武内ほか, 2017; 中村ほか, 2016)。

これらから、現代のVRやARは単に視覚的、聴覚的刺激の呈示に止まらず、運動感覚的刺激の疑似体験、およびそれらの刺激に即した反応動作を生起させることが可能な技術、装置と理解されよう。

2 シミュレーショントレーニング・システムにおけるVR、ARの課題と活用の可能性

昨今、シミュレーショントレーニング・システムの話しをすると、VRと同様の観点からの質問や意見の増加が感じられる。確かに両者は近似した概念と考えられるが、ここで特にゲーム性の高いVR体験施設とスポーツ実践場面におけるシミュレーショントレーニング・システムの違いを明記しておく必要がある。

先の概念に従えば、VR体験施設は「仮想現実」の文字通り、仮想環境の感覚刺激を疑似体験する装置であり、これに対し、スポーツ実践場面のシミュレーショントレーニング・システムはスポーツ実践場面に存在するモデルを作成することである。

ゲーム性の高いVR体験施設では例えば、ヒトが空を飛んでいる仮想環境における感覚刺激を想像的に呈示しており、そこから体験される運動刺激(専用装置の振動など)、あるいは飛んで行く方向や目標物を打ち落としたりする操作も、あくまで仮想の刺激に即した反応事態である。これに対し、スポーツ実践場面で利用されるシミュレータは競技やトレーニング場面に実在する感覚刺激や反応動作との類似性を前提としたモデルであり、前者とは明確に区別して扱うべきシステムといえる。ただし、スポーツ実践場面におけるシミュレーショントレーニング・システムへのVRやARの導入を全面的に否定する訳ではない。

例えば、VRゴーグルやVRヘッドセットなどのヘッドマウントディスプレイにより、

スポーツ実践場面の視覚や聴覚刺激を疑似体験する方法はマスメディアなどでも紹介されている通り、既に競泳、アルペンスキー、ゴルフなどの競技スポーツで導入されている。さらに、ヘッドマウントディスプレイによって呈示される刺激に対し、スポーツ実践場面と類似性の高い反応動作を生起させる技術や装置の開発へと、研究が進められている（佐野ほか、2017；田中・根本、1995）。

この内、ゴルフのシミュレータはVRの技術を利用し、ゴルファーの前面にコースの三次元空間を投影して、実際と同様のスイング動作によってボールをヒットすることから、スポーツ実践場面の感覚情報や反応動作をかなり忠実に再現するシステムといえる。高度なシステムになると、スイングスピードやボールヒットのクラブヘッドの角度などに基づき、打球のコースや球種、飛距離などを定量的にフィードバックする機能も備えている（佐野ほか、2017）。

また、主に歩行解析や歩行訓練（歩行のリハビリテーション）に用いられるGRAIL（Motec社製）もゴルフのシミュレータと同様、VRの技術を駆使して歩行者の前面に壮大なウォーキングコースの三次元映像を投影し、トレッドミル走路での歩行動作を実施する。歩行動作はリアルタイムに映像解析や床圧の分析が行われ、身体重心移動や関節角度、角速度、筋活動状態などの情報が正面に投影されたウォーキングコース上に呈示される（ARの導入）。さらに、それらの定量的フィードバック情報に基づき、医師や運動療法士による指導（定性的フィードバック情報）が提供される。

これらはVRやARの技術を巧みに利用したシミュレーショントレーニングの一例として、さらなる発展が期待されるシステムといえよう。

3 テニスのサーブとリターンをモデルとしたシミュレータの作製と適用

宇宙飛行士の訓練のためのシミュレータなどは学習者の操作に直接的に結びつく物理的モデルとそれらのコントロール、およびフィードバックに関する数学的モデルから構築され、コンピュータ・シミュレーションのハイブリッド・モデルの範疇に属する（中西、1983, pp.26-45）。そして、シミュレーショントレーニング・システムを利用し、運動学習効率の向上を図るにはフィードバック機能の存在が特に重要な要件になる。そこで、われわれ（河原・鈴木、1990；河原ほか、1990）は先にテニスのサーブとリターンをモデルとし、タイミング学習のためのサービス・モーション・シミュレータの作製から、シミュレーション・ランに至る適用を試みた。その結果、特にシミュレータの設計に関し、以下の知見を得た。

- 1) 実在するタイミング・スキル（サービス動作のタイミング）の刺激とシミュレータの刺激は時間的類似性が高いことが必要である。
- 2) タイミング・スキルの習得に際し、どのような種類の刺激（視覚刺激、聴覚刺激など）にするか、またどのような形態と機能を持たせるかが課題となる。

刺激の設計では実在するタイミング・スキルの刺激（ヒトによるサービス動作）が不安定で変則的なため、その中からタイミング学習に必要な要素のみを抽出し、簡便に呈示す

ることが運動学習を促進するとみられた。そこで、光刺激を用いサービス動作の時間経過をアナログ刺激、放たれたボールのコースを左右の矢印（デジタル刺激）で呈示し、ボールのヒット時点、レシーバー側のコートでのバウンド時点、リターンすべきタイミングを音刺激で呈示した。

3) 反応動作は実際の運動場面（サービスリターン動作）と時間的、空間的、運動強度の調整など、類似性が高い反応事態を設定すべきである。

反応事態の設計では学習の転移効果に関し、刺激が異なっても反応が近似していれば正の転移効果、刺激が近似していても反応が異なれば負の転移効果が認められることから、実際のサービス・リターンと類似性が高い反応事態を設定した。これらの1) から3) はシミュレータの物理的モデルに関する設計である。

4) リアルタイム・フィードバック機能は反応結果と最適タイミングの誤差を定量的な結果の知識（knowledge of results : KR）、タイミング・スキル習得に関する指導を定性的な結果の知識としてフィードバックする。

上記の4) はシミュレータの数学的モデルに関する設計であり、1) から3)、および4)の定量的フィードバック機能は全てコンピュータ制御によるシステムである。

なお、シミュレーション・ランでは実際のサービス・リターンとサービス・モーション・シミュレータに対する反応動作に準備動作（サーバーのボールヒットにタイミングを合わせてレシーバーが実施するスプリット・ジャンプ）を含め、時間的、空間的、運動強度の調整に関する類似性が認められた。また、被験者からも実際のサービス・リターンのイメージに極めて近似しているとの自省報告が得られたことから、コンピュータ・シミュレーションとしての妥当性が確認された。

これらの研究成果を踏まえ、VRやARの技術を導入したシミュレーショントレーニング・システムの設計に関する観点を整理すると、以下の4点がポイントとなろう。

- 1) システムはスポーツ実践場面の知覚情報や反応事態の厳密な分析に基づくこと（スポーツ実践場面に実在する知覚情報や反応事態との類似性が前提）。
- 2) 知覚情報は運動学習の目的に即した呈示方法を設定すること（例えばタイミング技能の習得が目的であれば、視覚的、聴覚的の刺激などから時間情報を抽出し、簡便な形状で呈示）。
- 3) 反応動作を生起させる運動感覚的刺激、および反応動作はスポーツ実践場面との類似性が高い反応事態として設定すること。
- 4) 定量的、定性的フィードバック情報をリアルタイムに還元すること。

そして、これらにVRやARの技術を巧みに導入することができれば、運動学習効率の向上に対し、精度の高いシステムの構築が可能になると考えられる。

4 運動学習に関する心理学的知見～質的研究法と半構造化インタビュー～

森丘（2017）はスポーツにおけるコーチングの現場には客観的（量的）に測定可能な事象と、選手やコーチの「コツ」や「イメージ」などの測定できない主観的（質的）な事

象が同居していると述べている。これは指導者によるコーチングだけでなく、競技者自身のスポーツ・パフォーマンスや運動学習にとっても同様である。この内、主観的（質的）な事象を観察・分析していく方法として質的研究法が用いられる。

質的研究法とは現象の性質や特徴など、数値で表せないデータ（質的データ）を扱う研究法を指し、仮説生成や研究対象の理論化、また要素の抽出といった目的で用いられる（寺下，2011）。質的データはインタビューによって得られる対象者の口頭データや、観察や映像などによって得られる視覚データ、また文章化されている文献や資料などの記述データが用いられ、その内容や特徴がテキスト化（逐語化）されて分析される（ウヴェェ，2002）。

数値を扱う量的データでは統計処理などを用いた分析が行われるが、質的データの分析はテキスト化されたデータから、明らかにしたい現象に対し意味のある単語や文脈を抽出する特有の分析が必要となる。また、質的研究では現象に関連する要因を見出すことが可能なデータを合目的的に収集するための理論的サンプリングが用いられ（戈木，2006）、量的研究におけるランダムサンプリングとは対照的に、一般には対象者が少数となる特徴がある（寺下，2011）。

近年、心理学では質的研究法への興味が高まり、様々な方法が開発されている。その背景として、量的研究で全ての自然現象や人間の心理的所作を数値で予測することが可能であると信じられるようになった科学観への反論として、質的研究のような観察やインタビューから得られる言語データを用いた新たな研究の可能性が求められた（瀬島，2005）。すなわち、量的研究法では説明し切れない領域への関心が広がり、言語などによる当事者の「感覚や経験の意味」を明らかにする研究の重要性が考えられることとなった。

スポーツ分野でも、質的研究法を用いた多くの研究が行われている。例えば、渡辺ほか（2009）は一流バレーボール選手を対象にインタビューを実施し、スキル獲得に影響した要因を明らかにした。また、浅野・中込（2014）は熟達したアスリートを対象に実施したインタビューデータを用いて、コツ獲得に至るプロセスをモデル化し、コツ獲得経験に伴う心理変容の特徴を明らかにしている。このように、質的研究では量的データでは見落とされてしまう対象者の経験内容に関する重要な情報を得ることができ、実験や統計には適さない複雑な状況、およびそれを経験している対象自身の解釈の仕方を探求するといった研究に適しているとされる（リチャード，2008）。

質的研究法の一つとして、半構造化インタビューが用いられる。この手法は質問項目や枠組みにある程度の構造化を施しつつ、実際のインタビュー場面で興味深いトピックや語りについて質問を加えたり、インタビューの展開に応じて質問の順序を変えたりして、インタビュー어의反応やインタビュアーの関心に応じて柔軟性を持たせるインタビュー法である（北山，2008）。そのため、個人の多様な経験や内界の個別性に関心を示しつつ、複数の対象者のインタビュー内容に統制を持たせることが可能となる。

これらから質的研究法、およびその一手法である半構造化インタビューはアスリートのスポーツスキルの習得過程、コツやカンの獲得経験、運動イメージの内容など、運動学習に関する量的データとして扱うことが困難な情報を得る貴重な方法といえよう。

5 研究の目的～クロスカントリースキーの競技種目特性からみて～

クロスカントリースキーは以前、「雪上のマラソン」と呼ばれたことがあり、陸上競技のマラソンや長距離種目、自転車競技のロード種目、トライアスロン競技などと同様に測定競技系・循環運動種目・持久系種目として位置付けられる。ただし近年、競技の高速化が著しく、オリンピックや世界選手権の最長距離種目となる男子 50km 競技でも、所要時間は 2 時間以内である。これは時速換算で 25km/h 以上であり、マラソン競技の世界記録より高速である。

これらのアスリートにとって、競技会場やコースを事前に視察、体験し、コースプロフィールに至適な運動イメージや戦略を構築することはピークパフォーマンスの発揮に対し、極めて有効な手続きとなり得る。ただし、それには現地への移動に伴う日程や経費など、様々な制約がある。

特に冬季競技種目であるクロスカントリースキーでは夏季シーズンから雪上の滑走動作に類似した動作形態でトレーニングができること、および日本では競技で使用されるコースが数か所に限定されているため、各コースプロフィールを想定したシミュレーショントレーニングが実践できることは競技力向上に不可欠といえる。本研究の筆頭著者が 2000～2010 年に北欧や中央ヨーロッパ諸国などを遠征した際、クロスカントリースキーの強豪国では既にこれらのトレーニングが実践されており、通常のトレーニングの一環として定着しているとみられた。わが国でも、ナショナルチームなどのトップアスリートでは大型トレッドミル走路をローラースキーで滑走するトレーニングや持久性機能の評価が一部で導入されているものの、普及率が低く、シミュレーションの技法もまだ手探りの状態である。

ただし、わが国のトップアスリートに注目すると、ローラースキーによるトレッドミル走路を利用した持久性機能の評価やトレーニングの頻度が高く、運動中の心拍数や酸素摂取量、乳酸値などの生理的運動強度、およびトレッドミル走路の速度や斜度などの物理的運動強度と運動イメージとがかなり鮮明に対応付けられていると考えられる。また、雪上のスキーにおける接雪抵抗や除雪抵抗とローラースキーにおける転がり抵抗の違いなどに伴う滑走イメージの差も明確に把握しており（北村ほか、2002）、それが運動学習における正の転移効果の獲得と負の転移効果の抑制に大きく貢献していると推測される。

また、先のゴルフや歩行運動と比較して動作形態がダイナミックなクロスカントリースキーの滑走運動をモデルとし、シミュレーショントレーニング・システムの適用を検討することは特に反応事態の設計に際し、様々なスポーツ実践場面への汎用を進める指針を提供すると考えられる。

これらを踏まえ、本研究では先ずわが国のクロスカントリースキーのトップアスリートを対象とし、先に示したシミュレーショントレーニング・システム構築の観点に基づく試作と適用に着手することとした。

6 適用例

シミュレーショントレーニング・システムを適用する第一段階として、刺激の提示方法は実際のクロスカントリースキーコースから選手がどのような情報を得ているかを確認することが先決と考えられた。そこで、複数の選手を対象として、選手が実際にみていると想定される平地、登り坂、下り坂のコース映像を呈示し、それらの映像が実際にみているコースに近似しているかどうかを確認した（以後、選手の目からみたコース映像）。今回の適用ではこの選手の目からみたコース映像をそのまま呈示し、そこから選手が滑走運動の時間的、空間的、運動強度の調整に関するどのような情報を得ているかを整理した上で、第二段階として、運動学習の目的に即した刺激を抽出し、VRやAR技術、コンピュータグラフィックスなどを用いて呈示することとした。また、刺激の提示方法と同様に定量的、定性的フィードバック情報も項目の選定を優先し、AR技術の導入などの提示方法は次の段階に持ち越すこととした。反応事態はトレッドミル走路におけるローラースキーとし、同条件での持久性機能の評価やトレーニング頻度の高いわが国のトップアスリートを適用の対象とした。

(1) 方法

1) 刺激呈示用映像（大型ディスプレイ再生用映像）の撮影

① 期日と場所

期日は2017年3月であり、場所は秋田県鹿角市のクロスカントリースキー競技コース（全長5km）で撮影した。

② 撮影の要領

スノーモービルの運転手の頭頂に小型ビデオカメラ（HERO5/GoPro社製）を装着し、選手の目からみたコースの映像を撮影した。撮影時のスノーモービルの速度は平地、登り坂、下り坂共に時速20kmを目安とした。これは同コースを使用して開催された財団法人全日本スキー連盟公認の競技会における男子10kmクラシカル競技優勝選手の5kmの所要時間（14分45秒）に基づいて設定した。

③ 映像再生速度とトレッドミル走路の速度・斜度の設定

スノーモービルによるコースの映像撮影時に運転手にGPS機能付きの腕時計（V800/Polar社製）を装着し平地、登り坂、下り坂のそれぞれの距離と斜度を算出した。

表1が斜度毎の映像再生速度に即したトレッドミル走路の斜度と速度であり、2通りの条件（パターン1とパターン2）を設定した。パターン1は男子10kmクラシカル競技の優勝タイムに基づき、パターン2は映像再生速度とトレッドミル走路の速度を20%減じた低速条件とした。なお、両条件における再生用の映像は撮影時の映像をハイスピードやスロー・モードで再生、編集した。

パターン2は同競技会の上位選手ではあるが、優勝タイムに基づくシミュレーションへの適応がやや困難とみられたことから、これらの選手の所要時間に基づき、パターン1より映像再生速度、トレッドミルの速度を20%減じた条件とした。

表1に示す通り，例えばパターン1は斜度10%以上の登り坂を10km/hで滑走する条件であり，優勝選手が斜度10%，距離1kmの登り坂を6分で登り切ったとすると，滑走速度は10km/hとなる。すなわち，この登り坂をシミュレートした際の映像再生速度は10km/hであり，登り坂の開始から終了まで6分間，呈示される。この映像に合わせ，トレッドミル走路も斜度10%，速度10km/hの条件が6分間，継続する。なお，同コースでの実際の競技における下り坂の滑走速度は約30km/hから60km/hであるため，所要時間が14分45秒（平均時速が20km/h以上）となる。

表1 パターン別のトレッドミル走路の斜度と速度

		登り坂 (斜度10%以上)	登り坂 (斜度10%未満)	平地 (斜度0%)	5kmの所要時間
パターン1	速度	10km/h	15km/h	20km/h	14分45秒
パターン2	速度	8km/h	12km/h	16km/h	18分10秒

2) シミュレーショントレーニング・システムの適用

図1がシミュレーショントレーニング・システムの全容，および被験者正面の大型ディスプレイに投影されたコースの映像である。映像再生速度，およびトレッドミルの斜度と速度は低速条件のパターン2に設定した。なお，下り坂は被験者の安全性を考慮して競技中より緩斜面（-3.3%），低速（23km/h）とし，クラウチング姿勢²⁾を保持できる設定とした。

シミュレーショントレーニング・システム



被験者正面の大型ディスプレイに投影されたコース映像



クラウチング姿勢による滑降



図1 シミュレーショントレーニング・システムの全容

① 被験者

被験者は全日本スキー選手権大会の優勝経験をもつわが国トップレベルのクロスカントリースキーの男子選手1名であり、ローラースキーによるトレッドミル走路を利用した持久性機能の評価やトレーニングの頻度の高い選手であった。

被験者にはプライバシーの厳守および、研究の趣旨、録音・分析手順・結果の公開といったデータの扱いについて書面および口頭で説明し、すべての事項に同意する意思の確認を行い、協力の了承を得たうえで調査を実施した。

② 滑走方法

トレッドミル走路における滑走では雪上での競技会やトレーニングで使用するものと長さや先端部分が多少、異なるがほぼ同じポール、およびローラースキーを使用し、雪上と同様の滑走方法を用いた。

③ フィードバック情報の提供

図2に示す通り、シミュレーショントレーニング・システムの適用中、被験者にはコース映像を再生する大型ディスプレイ（50インチ：縦が約1,100mm、横が約600mm）とは別のディスプレイ（35インチ：縦が約800mm、横が約400mm）を用い、定性的フィードバック情報としてVTR映像による滑走動作（2台のVTRカメラにより、選手の前頭面と矢状面を撮影した映像をディスプレイに分割呈示）、定量的フィードバック情報としてトレッドミル走路の速度、斜度、経過時間（物理的運動強度）、心拍数と酸素摂取量（生理的運動強度）をリアルタイムにフィードバックした。

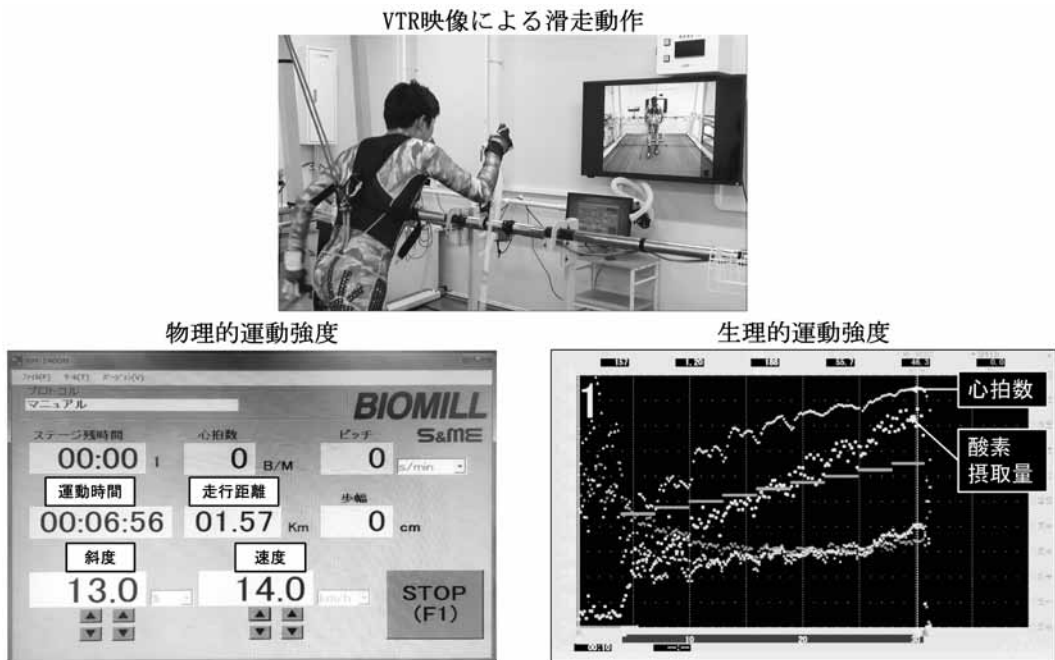


図2 定性的・定量的フィードバック情報

④ 半構造化インタビューの実施

被験者に対し、半構造化インタビューを実施し、実際の雪上とシミュレーショントレーニング・システムにおける滑走イメージの類似点と相違点に関する情報（語り）を収集した。半構造化インタビューにおける基幹的質問は「滑走イメージが一致していたと感じられた区間（登り坂、下り坂、平地など）はどこであり、どのような点が一致していましたか」、「滑走イメージが異なっていたと感じられた区間（登り坂、下り坂、平地など）はどこであり、どのような点が異なっていましたか」の2項目を設定した。

インタビューは原則として基幹的質問をガイドラインとし、語られた内容について深い意味を探る質問や、より詳細な回答を促す質問を適宜実施し、インタビューの流れに柔軟に対応して進めた。なお、インタビューを行う際、被験者には事前に研究目的やインタビューの流れを教示し把握させることでラポールの形成に努めた。

半構造化インタビューは最初の適用後（適用1）に実施し、得られた語りの内容に基づいてシミュレーショントレーニング・システムを改良（コース映像の再生方法、トレッドミル走路の速度や斜度など）して再度、適用（適用2）した後の計2回、実施した。

⑤ 語りの分析方法

分析に際し、「雪上のスキー滑走とシミュレーショントレーニング・システムにおける滑走イメージの一致点と相違点はどこか」というリサーチクエスチョンを設定し、その後の分析手続きは北崎・會田（2018）の方法を参考に実施した。

まず、インタビュー調査の発言内容を逐語録として文字に起こした。そして、語りの意味内容を崩さないように、文脈を尊重しながら語りの内容をまとめた。さらに、語りの内容を被験者に確認し、被験者の発言の意味内容と本研究者の解釈が適合しているか、加筆や訂正箇所はないかを確認した。修正の要求があった場合はそれに従い、語りの内容を修正した。続いて、逐語化された対象者の語りの内容から、滑走イメージの一致点と相違点が記述された箇所を抽出し、大型ディスプレイに投影したコースプロフィールの各区間と対応させた。

半構造化インタビューの実施から結果の分析に至る過程において、本研究の筆頭著者と質的研究に精通する共著者1名、クロスカントリースキー経験のある共著者1名との間で分析のトライアングレーションを行い、方法と結果に対する妥当性と信頼性を高めた。

(2) 結果

図3が適用1の平地条件において語りが得られた部分であり、コースプロフィールと語りの内容を対応させて示した。平地条件では被験者から、「平地ではダブルポーリング走法にうまく切り替えることができ、自身の滑走イメージとシミュレーショントレーニング・システムにおける滑走感覚を比較しても、違いが少なかった」とする語りが得られた。

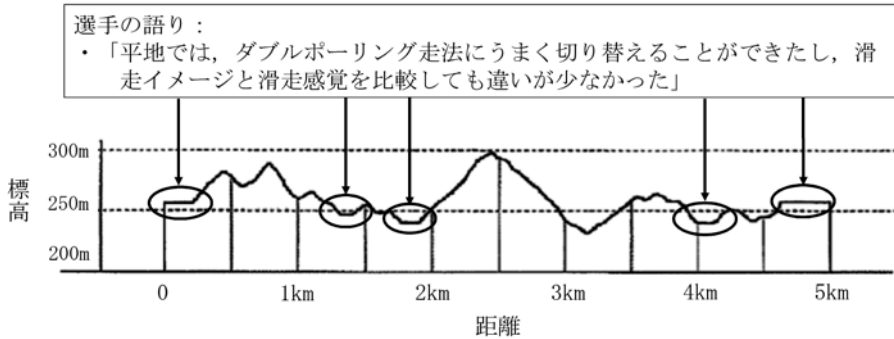


図3 平地に関する語り(適用1)

図4が適用1の登り坂条件において語りが得られた部分であり、コースプロフィールと語りの内容を対応させて示した。登り坂の条件の内、斜度10%以上の登り坂(図中※1)に対しては「急な登り坂ではダイアゴナル走法で滑走しやすく、自身の滑走イメージにも近く、シミュレーショントレーニング・システムにおける滑走感覚との違いが少なかった」とする語りが得られた。これに対し登り坂が継続する条件(図中※2)では「細かい斜度の変化に対して走法や滑走リズムを切り替えているため、シミュレーショントレーニング・システムにおける斜度と速度の微調整が必要と感じられた」とする語りが得られた。

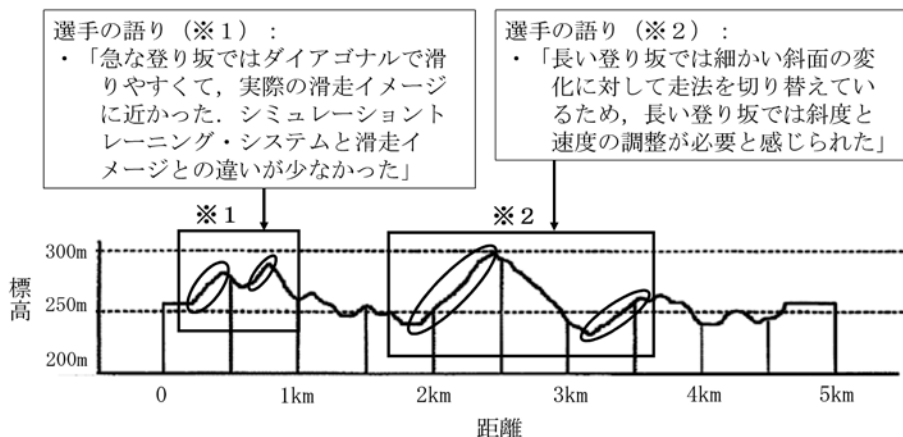


図4 登り坂に関する語り(適用1)

図5が適用1の登り坂から下り坂など、斜面に変化がある条件において語りが得られた部分であり、コースプロフィールと語りの内容を対応させて示した。被験者からは「自身の滑走イメージよりトレッドミル走路の速度が高く、適応が難しかった」、「登り坂の滑走リズムを活かして、下り坂に向けて加速して行きたいが、トレッドミル走路の速度が高くうまくできなかった」、「実際の競技やトレーニング場面では登り切る手前から徐々に加速して下り坂に移行するので、シミュレーショントレーニング・システムでその速度変化

を再現してほしい」, 「このコースは競技会やトレーニングで何度も使用しており, コースプロフィールと滑走イメージの対応がかなり鮮明にできているため, 走法を切り替える必要がある箇所はもっと細かく速度と斜度を設定してほしい」とする語りが得られた。

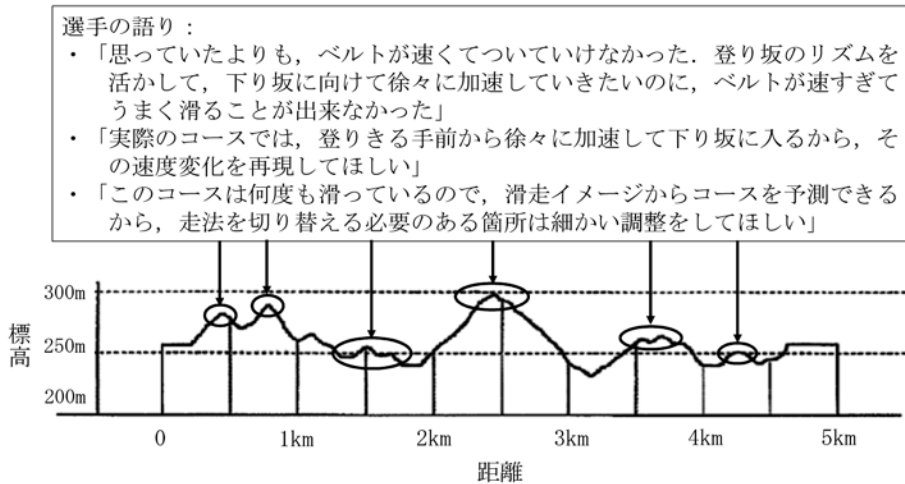


図5 斜面に変化がある部分に関する語り(適用1)

図6が適用1の登り坂が継続する条件, および斜面に変化がある条件において得られた語りの内容に基づき, トレッドミル走路の速度と斜度の設定を変え, 被験者に適用(適用2)した結果である。特にスタート直後の斜面に変化のある条件(平地～登り坂～下り坂: 図中の四角で囲った部分)を抽出し, コースプロフィールと語りの内容を対応させて図示した。

図中の表は適用1と適用2におけるトレッドミル走路の速度と斜度, および所要時間(プロトコル)の違いを示している。適用1の3ステージ目の斜度9.4%, 速度12km/h, 所要時間29秒間の設定を適用2では2つのステージ(3-(1)と3-(2))に分割し, 斜度は適用1と同様としたが, 速度と所要時間をそれぞれ, 9km/hで10秒間, 10km/hで19秒間(合計29秒間)とした。また, 4ステージ目の斜度0%, 速度16km/h, 所要時間14秒間の設定も, 適用2では2つのステージ(4-(1)と4-(2))に分割し, 斜度は適用1と同様としたが, 速度と所要時間をそれぞれ, 12km/hで10秒間, 14km/hで4秒間とした(合計14秒間)。他の部分も適用1で得られた語りの内容に基づき, これらとほぼ同様の要領で斜度, 速度, 所要時間を再設定して適用2を実施した。

適用2の結果, 被験者からは「登り坂の速度と斜度の変化が段階的であり, 走法の切り替えがスムーズにできた」, 「ステージ3から4(斜度10%以下の登り坂～平地)の速度と斜度の設定が滑走イメージに近かった」, 「ステージ3から5(斜度10%以下の登り坂～平地～下り坂)の速度と斜度の設定が, 登り坂から下り坂に向けて加速して行く滑走イメージと近かった」とする語りが得られた。

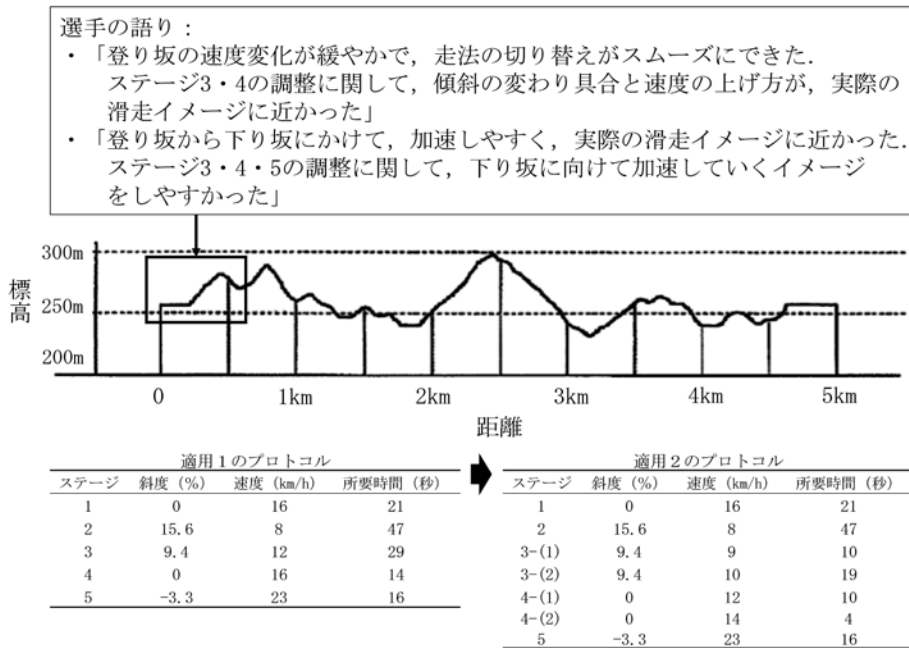


図6 登り坂が継続する部分および斜面に変化がある部分に関する語り（適用2）

(3) 考察と今後の課題

適用1の結果、平地と斜度10%以上の登り坂では被験者の雪上とシミュレーショントレーニング・システムにおける滑走イメージの類似性が認められた。このことはコース映像の呈示による視覚的刺激、およびトレッドミル走路の速度と斜度による運動感覚的刺激に対する被験者の反応動作が雪上での滑走イメージに近似していたことを示しており、シミュレーショントレーニング・システムの要件である「反応動作の類似性」を満たしていたと考えられる。

ただし、登り坂が継続する条件における微妙な速度や斜度の変化、および斜度10%以上の登り坂から10%以下の登り坂、さらに平地から下り坂へと、斜面が変化して行く条件では雪上とシミュレーショントレーニング・システムの滑走イメージに違いが認められた。これに基づき、適用2では適用1で単一の条件設定であった斜面（速度12km/h、斜度9.4%など）を2局面に分割（斜度は9.4%のままとし、速度を10km/hから12km/hに段階的に増加）して呈示するなど、被験者の語りにも即して速度と斜度を再設定した結果、雪上での滑走イメージにより近似したとする語りを得られた。この結果は競技レベルが高く、また競技会やトレーニングにおいて本コースでの滑走頻度が高いアスリートほど、コースプロフィールと滑走イメージの対応が鮮明にできており、僅かなコースプロフィールの変化に対しても走法を巧みに変えて対応し、高度なパフォーマンスを発揮している可能性が示唆される。すなわち、シミュレーショントレーニング・システムにおける様々な条件はトップアスリートほど、詳細に設定する必要があると考えられる。

本研究ではシミュレーショントレーニング・システムの適用（トレッドミル走路のプロトコル設定など）を半構造化インタビューから得られた被験者の語りという定性的情報に基づいて実施した。これは本システムを競技コースの疑似体験や滑走イメージの確認など、競技会に向けたコンディショニングの観点から用いる場合は妥当性が高いと考えられるが、滑走技能向上のための運動学習システムとして機能させるには定量的情報を含めた条件設定、およびフィードバック情報の呈示が不可欠となろう（ファンデンボス, G. R. 原著監修, 2013；原・鈴木, 1990；河原ほか, 1990）。

本研究における定量的フィードバック情報はトレッドミル走路の速度と斜度の物理的運動強度、心拍数と酸素摂取量の生理的運動強度であった。被験者はわが国トップレベルのアスリートであり、トレッドミル走路における心拍数や酸素摂取量の測定、Lactate curve test などの経験が豊富であり、速度や斜度、心拍数や酸素摂取量などの数値情報と運動感覚的イメージとが鮮明に結び付いていたため、これらの情報が本システム適用中の滑走動作の時間的、空間的、運動強度の調整に有益であったと考えられる。被験者からも、「トレッドミル走路の斜度や速度、心拍数、酸素摂取量などはこれまでの測定やトレーニングでも示された情報であり、今回も時々、これらを確認しながら滑走動作を調整した」との内省報告が得られた。これらはトップアスリートを対象に本システムを適用する際の定量的フィードバック情報としての妥当性が示唆されるが、トレッドミル走路を利用した測定やトレーニングの経験が少なく、競技レベルが低い被験者に対しては異なるフィードバック情報の呈示を検討する必要がある。

また、本研究では定性的フィードバック情報として、被験者の滑走動作を複数方向から撮影したVTR映像を還元したが、GRAILなどと同様にリアルタイムな映像解析結果に基づく滑走動作の時間的、空間的、運動強度の調整に関わる定量的フィードバック情報を、ARなどを導入して呈示することも重要な課題といえよう。

さらに、任意区間の所要時間の短縮や目標設定時間との誤差を消失する運動学習の促進に着目すると、生態心理学におけるアフォーダンスと自己組織化の理論に関し、山本(2005)がこれまでの研究成果(Gibson, 1979)に基づいて極めて興味深い知見を示している。

アフォーダンスは環境との相互作用の中で生物の行為可能性を指摘し、行為者が環境に埋め込まれる行為を導く情報を拾い上げることにより、各々の行為はその環境に適応するように生成されるとする理論である。また、自己組織化は運動情報理論に基づく運動システムアプローチと対比的に提案された行為システムアプローチにおける一つの考え方であり、自律的に秩序をもつ構造を作り出す現象を指し、ランダムから秩序へ、またはミクロからマクロへと自分で組みあがってしまう現象とされる。

さらに、自己組織化の特徴の一つとして相転移があげられる。相転移とはシステムの状態変化が緩徐ではなく突然、異なる状態（新たな秩序）に切り替わることであり、例えば馬の歩様の変化は酸素摂取量との関係で突然、異なる協応構造を示す相転移現象として位置付けられる。馬の歩様は歩く速度が一定の割合で高まると突然、常足から速足に変化し、さらに速度が高まると速足から駈足に変化する。これが自己組織化であり、ヒトの運動においても全く異なる協応構造に突然、切り替わる現象が起こっているとみられている。

また、周期運動課題となる台上で行うスキースラロームの模擬動作の実験結果から、学習者が自身の好みのテンポで学習するより、徐々にテンポを高めて行く方が、運動課題が自己組織化され易いとした知見も得られている。

任意区間の所要時間や目標設定時間との誤差を定量的フィードバック情報として還元することはシミュレーショントレーニング・システムの機能上、極めて重要な課題といえるが、所要時間の短縮や誤差を消失する運動学習の促進に対し、アフォーダンスや自己組織化の理論は貴重な指針を示していると考えられる。端的に言えば、本システムで用いた優勝タイムに基づくトレッドミル走路の速度設定、およびコース映像の再生速度（パターン1）を下位の選手に適用する方法、あるいは競技レベルによっては優勝タイムとまでは行かずとも、各選手の目標設定時間相当のトレッドミル走路の速度と映像再生速度を適用する方法などが自己組織化を促進する可能性が示唆される。これらの方法はシミュレーショントレーニング・システムの適用までは至らずとも、スポーツ実践場面で以前から試みられてきたトレーニング方法の一つであり、アフォーダンスや自己組織化はスポーツの実践知に対し、理論知による裏付けを提案すると考えることもできよう。

本研究ではシミュレーショントレーニング・システムを適用する第一段階として、刺激の呈示方法は先ず実際のクロスカントリースキーコースから選手がどんな情報を得ているかを確認すること、また定量的、定性的フィードバック情報も項目の選定を優先し検討を進めてきた。今後、刺激の呈示、および定量的フィードバック情報の提供に関してはVRやAR技術、コンピュータグラフィックスなどの積極的導入、また反応動作に対する定量的フィードバック情報として、リアルタイムな映像解析機能の導入を進めることなどが、本システムを運動学習効率の向上を意図して適用する重要な課題となろう。

7 まとめ

本研究はわれわれが以前、シミュレーションの概念を踏まえて作製したテニスのサーブとリターンをモデルとしたサービス・モーション・シミュレータの適用結果、およびここ数年の Virtual Reality（仮想現実/VR）や Augmented Reality（拡張現実/AR）の技術を勘案し、クロスカントリースキーのシミュレーショントレーニング・システムの構築を試みたものである。これは被験者正面の大型ディスプレイに投影されたクロスカントリースキーコースの起伏に即し、大型トレッドミル走路の斜度や速度を変化させるシステムであり、わが国トップレベルのクロスカントリースキー男子選手に適用後、質的研究法である半構造化インタビューを実施し、得られた語りの内容を分析した結果、以下の知見を得た。

- 1) コースの平地部分は実際の雪上とシミュレーショントレーニング・システムにおける滑走イメージがかなり近似しているとの語りが得られた。
- 2) 急斜面から緩斜面へと登り坂の斜度が変化する局面、および長い距離の登り坂における微妙な斜面変化への対応が困難であり、滑走イメージと異なるとの語りが得られた。
- 3) 2) に基づき、急斜面から緩斜面へと登り坂の斜度が変化する局面、および長い距離

の登り坂における微妙な斜面変化に対し、トレッドミル走路の斜度と速度を段階的に変化させたり、微妙な斜面変化を再現したりする改良を加え再度、被験者への適用を試みた結果、雪上での滑走イメージにかなり近似したとの語りが得られた。これらから、本システムを運動学習効率の向上に利用する重要な要件となる実際の運動場面における反応動作との類似性が確認された。

- 4) 本システムを滑走技能の向上を意図した運動学習システムとして機能させる際、競技会で優勝した選手の所要時間、あるいは各選手の目標設定時間などに基づくトレッドミル走路の速度、およびコース映像の再生速度を適用する方法の有効性が示唆された。
- 5) 本研究の今後の可能性として刺激の呈示、および定量的フィードバック情報の提供に関してはVRやAR技術、コンピュータグラフィックスの積極的導入、また反応動作に対する定量的フィードバック情報として、リアルタイムな映像解析機能の導入を進めることなどが、運動学習システムとしての有効性を一層、向上させる重要な課題と考えられた。

〔注〕

- 1) クロスカントリースキー選手の夏季シーズンのトレーニング用具であり、長さが約1mの板の両端にタイヤが装着されている。雪上で使用するスキーより長さは短く、ローラーブレードより長い(写真参照:ミヤコスポーツ株式会社HPより引用)。



- 2) 陸上競技短距離種目のクラウチング・スタートに近似したフォームであり、下り坂での空気抵抗を減じるため、ポールを両脇に抱え込み、上体を前屈させた姿勢(流線形)で滑降する(図1の右下の写真参照)。

(参考文献)

- 浅野知之・中込四郎(2014)「アスリートのコツ獲得におけるプロセスモデルの作成」『スポーツ心理学研究』第41巻,第1号,pp.35-50。
- ウヴェ・フリック:小田博志・山本則子・春日 常・宮地尚子訳(2002)「質的研究入門-「人間の科学」のための方法論-」春秋社。
- 加藤博一・Mark Billinghamurst・浅野浩一・橘啓八郎(1999)「マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション」『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』

- 第4巻, 第4号, pp.607-616。
- 河原正昭・鈴木 典 (1990) 「タイミング学習にかかわるシミュレーションの検討」『桜門体育学研究』第24集, pp.17-26。
- 河原正昭・鈴木 典・藤田厚・吉本俊明・深見和男・近藤明彦・佐藤雅幸・川島淳一・水落文夫・石井正弘 (1990) 「運動学習における時間的適応に関する研究 (その3) - 時間的シミュレータによるテニスのサービス・リターンの練習効果について -」『一般教育紀要 日本大学松戸歯学部』第16号, pp.83-91。
- 神原誠之 (2010) 「拡張現実感 (Augmented Reality : AR) 概論」『情報処理』第51巻, 第4号, pp.367-372。
- 北山八与・水落文夫・吉本俊明 (2008) 「男子大学陸上競技選手が認知する動機づけに影響を及ぼすコーチの言語および行動」『桜門体育学研究』第43集, 第2号, pp.45-63。
- 北崎悦子・會田 宏 (2018) 「テニスのグラウンドストロークにおけるショットのコンビネーションに関する実践知: 国際レベルで活躍した女子テニスプレイヤーの語りを手がかりに」『体育学研究』第63巻, 第1号, pp.421-431。
- 北村辰夫・吉本俊明・高橋正則・菅生貴之・水落文夫・鈴木 典・佐藤紀子・石井政弘 (2002) 「クロスカントリースキーとローラースキーによるスーパースケートの滑走動作の比較 - 全日本スキー連盟強化指定選手を対象として -」『日本大学文理学部人文科学研究所 研究紀要』第63号, pp.191-201。
- Gibson, J. J. : 古崎 敬・古崎愛子・辻敬一郎・村瀬旻共訳 (1985) 『生態学的視覚論』サイエンス社 (Gibson, J. J. (1979) The ecological approach to visual perception, Houghton Milton, Boston)。
- 戈木クレイグヒル滋子 (2006) 『グラウンデッド・セオリー・アプローチ 理論を生み出すまで』新曜社。
- 坂田敏行・月山雅晴・細川健治 (1999) 「スノーボード・ターンのシミュレーションに関する研究」『日本機械学会論文集』第65巻, 第639号, pp.193-199。
- 佐藤優・金田一秀穂・森永卓郎・平田直・島蘭進ほか (2018) 「拡張現実 (AR)」『現代用語の基礎知識 2019』自由国民社。
- 佐野高也・依田淳也・中村壮亮・橋本秀紀 (2017) 「VR 技術を用いた身体位置感覚の較正によるパッティングトレーニングシステムに関する研究」『日本機械学会論文集』第83巻, 第848号, pp.1-12。
- 下中直人編 (2005) 「シミュレーション」『世界大百科事典改訂版 12』平凡社。
- ジェレミー・ベイレンソン: 倉田幸信訳 (2018) 『VR は脳をどう変えるか? 仮想現実の心理学』文藝春秋 (Jeremy Bailenson (2018) EXPERIENCE ON DEMAND: WHAT VIRTUAL REALITY IS, HOW IT WORKS, AND WHAT IT CAN DO)。
- 瀬島克之 (2005) 「質的研究に問われるもの - 科学的研究としての背景と課題 -」『保健の科学』第47巻, 第5号, pp.353-360。
- 武内寛子・上田真由子・藤本秀二・中村志津香・芦高勇氣・和田一成 (2017) 「駅構内に

- おける歩きスマホの実態調査』『人間工学』第53巻, Supplement 1号, pp.304-305。
- 田中幹大・根本啓次 (1995) 「VRを利用したスキートレーニングシステムの実現」『テレビジョン学会技術報告』第19巻, 第21号, pp.13-18。
- 寺下貴美 (2011) 「第7回質的研究方法論～質的データを科学的に分析するために～」『日本放射線技術学会雑誌』第67巻, 第4号, pp.413-417。
- 中島義明・安藤清志・子安増生・坂野雄二・繁榊算男・立花政夫・箱田裕司編 (1999) 「仮想現実」『心理学辞典』有斐閣。
- 中西俊男 (1983) 『シミュレーションの発想：新しい問題解決法』講談社。
- 中村 葵・村田伸・飯田康平・井内敏揮・鈴木景太・中島 彩・中嶋大喜・白岩加代子・安彦鉄平・阿波邦彦・窓場勝之・堀江 淳 (2016) 「歩きスマホが歩行に及ぼす影響について」『ヘルスプロモーション理学療法研究』第6巻, 第1号, pp.35-39。
- 長谷川健二・清水史郎・小寺 忠 (1998) 「スキー操作とターンの機構」『日本機械学会論文集』第64巻, 第623号, pp.52-58。
- ファンデンボス, G. R. 原著監修：繁榊算男・四本裕子監訳 (2013) 「シミュレーション」『APA心理学大辞典』培風館。
- ファンデンボス, G. R. 原著監修：繁榊算男・四本裕子監訳 (2013) 「バーチャルリアリティ」『APA心理学大辞典』培風館。
- 森丘保典 (2017) 「コーチング学の体系化に向けたスポーツ科学の役割とは：スポーツ科学研究の射程」『スポーツ科学研究』第1集, pp.23-31。
- リチャード, L.・モース, M. J. : 小林奈美監訳 (2008) 『はじめて学ぶ質的研究』医歯薬出版株式会社 (Richards, L. & Morse, M. J. (2007) Read me first for a user's guide to qualitative methods. Thousand Oaks, : Sage publications)。
- 山本裕二 (2005) 『複雑系としての身体運動：巧みな動きを生み出す環境のデザイン』東京大学出版会。
- 渡辺英児・遠藤俊郎・松井弘志 (2009) 「質的研究法を用いた一流バレーボール選手におけるスキル獲得に関する研究」『バレーボール研究』第11巻, 第1号, pp.1-6。

(Abstract)

In this study we attempted establishing a simulation training system for cross-country skiing by considering not only the application results of a service motion simulator that we created earlier based on the concept of simulation and by modeling tennis services and returns, but also recent technologies such as virtual reality (VR) and augmented reality (AR). This system allows a large treadmill to change its incline or speed according to the undulation of a cross-country skiing course projected on a large display in front of a subject. It was applied to a top-level cross-country skier in Japan before conducting a semi-structured interview, that is a qualitative study method, to analyze their narratives, and thus the following information was gained.

The subject reported that flat areas of the course were quite similar to the real skiing image. However, he also reported that it was difficult to deal with situations such as when a steep ascent became gradual and on a long ascent with small changes in incline, the movement of the treadmill being different from his skiing image. Based on the information, we improved the system so that it would change the incline and speed gradually and that it could reproduce small changes in incline before applying it to the subjects again. He reported that the movement of the treadmill became more like their skiing image.

It was thus confirmed that the system enabled the subject to respond similarly to when he ski in the real situation, which is an important requirement for simulation training to be used for the improvement of motor learning efficiency, and therefore it was suggested that the system could be used to promote motor learning of cross-country skiers. However, tasks for the future also became clear that we need to further improve the validity of the system by such means as using computer graphics for stimulus presentation and bringing in VR and AR more actively for giving back qualitative and quantitative feedback.

