



拡張現実感を用いたスキー姿勢矯正支援エクサゲーム

Augmented Reality Exergame for Posture Correction in Alpine Ski

田部井勇輝¹⁾, Peng Yichen¹⁾, 小池英樹¹⁾

Yuki TABELI, Yichen PENG and Hideki KOIKE

1) 東京科学大学 情報理工学院 (〒 152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1, tabeli.y.1235@m.isct.ac.jp, peng.y.ag@m.titech.ac.jp, koike@c.titech.ac.jp)

概要: スキーでは斜面を滑走することから、滑走中の姿勢確認が難しいといった課題がある。既存のスキートレーニング支援システムはフィードバックに焦点を当てているものが多く、ユーザはフィードバックを基に自分自身で考えて姿勢改善する必要がある。そこで本研究では、姿勢矯正を目的とした従来のスキートレーニングを導入することで、自然な姿勢改善を支援するシステムを提案する。さらに、拡張現実を用いたゲーミフィケーションの手法を取り入れることで、ユーザのモチベーション向上にも焦点を当てる。本稿では本システムの設計や実装を示し、被験者実験の結果を通して本システムの有効性を議論する。

キーワード: ヒューマンコンピュータインタラクション, 拡張・複合現実, スキー, ゲーミフィケーション

1. はじめに

スキーは世界中で人気のあるウィンタースポーツであり、中でもアルペンスキーは旗門を設置したコースを滑り降り、そのタイムを競う競技である。ターンを通して旗門を通過する際には、背骨を垂直に保ち、外向傾姿勢を維持するといった正しい姿勢が求められる。上半身を内側に傾け、内側のスキー板へ過度に加重することは転倒の原因となり得る。しかし、初心者や中級者はターン時に無意識に上体を内側へ傾けてしまうことが多く、正しい姿勢の維持を困難だと感じる人が多い。また、スキーは斜面の大幅な移動を伴うスポーツであるため、鏡や撮影されたビデオを通して姿勢を確認するといった、他の競技でよく用いられる方法によるリアルタイムでの姿勢改善は難しい。

これらの課題に対処するため、スキートレーニングを支援する様々なシステムが提案されている。これらのシステムには、センサを用いてパフォーマンスを計測し、ユーザにフィードバックを提供するもの [1, 2] や、クロスリアリティ (XR) を用いて技能獲得のための視覚的情報を提示するもの [3, 4, 5] がある。しかし、多くのシステムはフィードバックに焦点を当てている一方で、ユーザの姿勢を矯正することに焦点を当てているシステムは少ない。フィードバックだけではユーザがそれを解釈し、自分自身で動作を修正するといった手間がかかってしまう。

また、従来のスキートレーニングでは、米国におけるスキーとスノーボードの国内競技連盟である U.S. Ski & Snowboard¹⁾や、カナダにおけるアルペンスキーの国内競技連盟

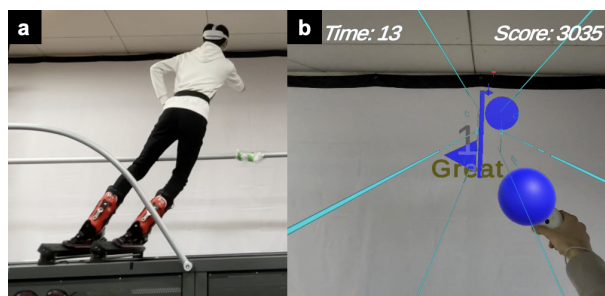


図 1: 本システムの概要: (a) 本システムを用いたトレーニングを実施する様子, (b) ユーザが AR 上に見る画面。

である Alpine Canada²⁾によって、特定のポーズを取りながらターンを行うことでターン中の姿勢矯正を促し、正しい姿勢の習得を目指すトレーニング手法が提案されている。例えば、両手を腰に当てるポーズは背骨がターンの内側へ傾くことを防ぎ、腕を身体の前方に伸ばすポーズは腰の向きを斜面の落下方向に合わせる効果が期待される。しかし、このようなトレーニング手法はポーズをとりながらターンをするだけであることから、単調であり、モチベーションの維持が難しいといった課題がある。

これらの課題を解決するため本研究では、姿勢矯正のトレーニング手法とゲーミフィケーションを統合した、拡張現実 (AR) ベースのスキートレーニング支援システムを提案する。本システムは、従来のスキートレーニング手法を導入し、ターン中に特定のポーズを取ることでユーザの姿勢を矯正することに焦点を当てている。ユーザは本システムを用いたトレーニングの中で、ターンしながら AR 上に提示され

¹<https://videos.usskiandsnowboard.org/coetv/detail/videos/drills/>

²<https://ltad.alpinecanada.org/coaches/>

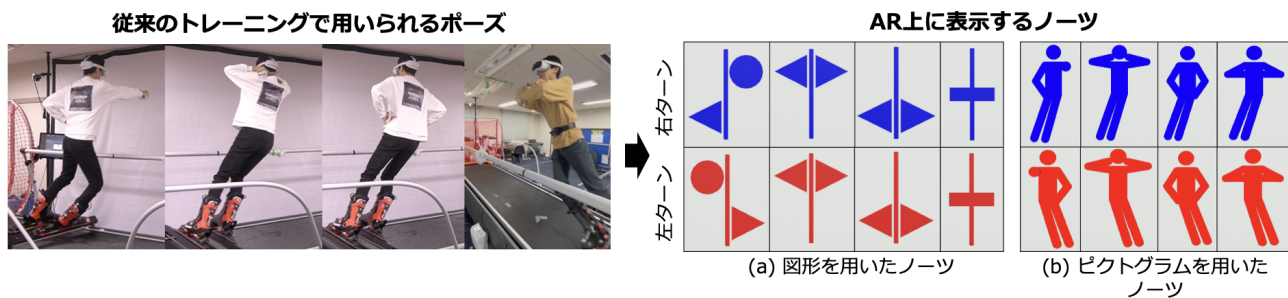


図 2: 本システムに採用したポーズとそれに対応するノーツ一覧。

たノーツに対応するポーズをとる (図 1 参照)。このトレーニングを通して、ターンにおけるユーザーの姿勢矯正を支援するとともに、スキートレーニングに対するモチベーション向上を目指す。

本稿では、本システムの設計や実装について示す。また、本システムの有効性を確認するための被験者実験を実施し、その結果や将来の課題について議論する。

2. 提案手法

本研究では、以下の 2 つの要件を満たすシステムを提案する。

- ターン中の姿勢を自然に改善できる、姿勢矯正を目的としたトレーニングを支援すること。
- ターン中の姿勢矯正だけでなく、スキートレーニングに対するユーザーのモチベーションも向上させること。

これらの要件を満たすために本研究では、従来のスキートレーニング手法を取り入れた AR エクサゲームを導入する。本システムでは、ユーザーが AR 上に表示されるノーツに従って特定のポーズをとりながらターンすることで、ターン中の姿勢矯正を支援する。採用する 4 種類のポーズは、Alpine Canada によって提唱されるトレーニング手法で用いられるポーズである。これらのポーズと AR 上のノーツとの対応関係を図 2 に示す。各ポーズには対応するノーツが 1 つずつ設定されている。システムはこれらのノーツを AR 上に提示し、ユーザーはターンをしながら、ノーツが通過するタイミングに合わせて指定されたポーズをとることが要求される。本システムを用いたトレーニングにより、ユーザーが自然に正しい姿勢を習得できるよう支援するとともに、トレーニングに対するモチベーションの向上を目的とする。

3. 実装

3.1 システム構成

本システムは、図 3 に示すように、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) とそれに付属するコントローラ、3 台の VIVE Tracker、および PC で構成する。

HMD として PICO 4 Ultra³ を使用する。PICO 4 Ultra は、3200 万画素のデュアルカラーパススルーカメラを搭載

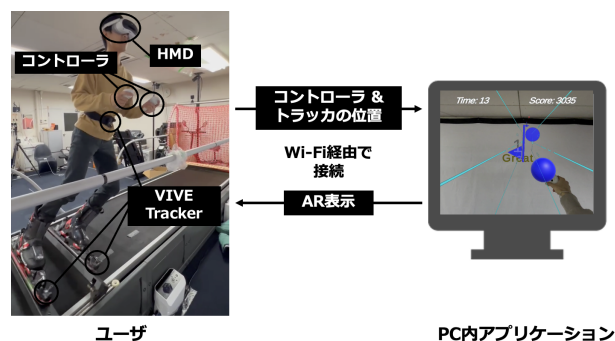


図 3: システム構成図。

し、105° の視野角 (FoV) を有しており、無線での使用が可能である。また、PICO 4 Ultra に付属するコントローラを両手用の入力デバイスおよびトラックとして使用する。さらに、VIVE Tracker⁴ を用いて腰および両足の位置を計測する。腰用の VIVE Tracker1 台は腰に巻いたベルトに装着し、足用の VIVE Tracker2 台は各スキー板に取り付ける。

HMD および 3 台の VIVE Tracker を PC に接続する。この接続を通じて、HMD とそのコントローラ、および VIVE Tracker からの位置情報と入力データを Wi-Fi 経由で PC に送信する。PC 上にあるアプリケーションはこれらのデータを取得し、処理をする。また、PC は AR 表示を Wi-Fi 経由で HMD へ送信する。加えて、HMD のパススルー機能を用いることで、ユーザーが現実における周囲環境を視認することを可能にする。

屋内で本システムを使用する際には、ターンの動作を再現するためにスキーシミュレータを使用する。本稿では、SkyTechSport の President Lux Model スキーシミュレータ⁵を使用する。

3.2 ゲームシステム

AR 環境においてポーズを示すノーツは、図 1 (b) に示すようにユーザーに向かって奥から手前に流れる。これらのノーツは左右交互に現れ、ユーザーは両足がノーツの外側を通過するようにターンする。両足がノーツの外側を通過した場合、そのノーツの通過は成功したと判定する。ユーザーがノーツ

⁴<https://www.vive.com/us/accessory/tracker3/>

⁵<https://config.skytechsport.com/product/president-lux.html>

³<https://www.picoxr.com/global>

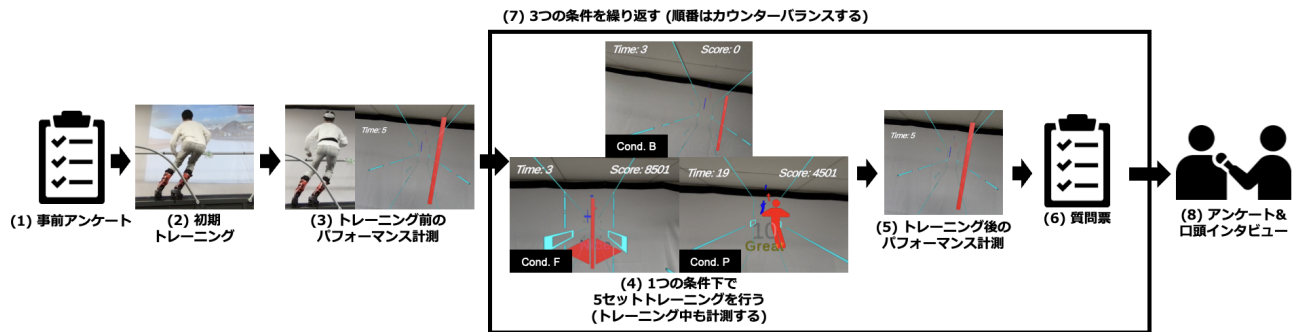


図 4: ユーザ実験の手順.

の右側または左側のどちらかを通過すべきかは、ノーツの位置と色によって示す。ユーザは、右側に配置された赤いノーツの場合は右側を、左側に配置された青いノーツの場合は左側を通過する。また、ノーツの通過に連続で成功した回数を、AR 上に白い数字で表示する。

ユーザは、ターン中に各ノーツが自分自身と接触するタイミングで、それぞれのノーツに対応するポーズを取る必要がある。図 2 に、本システムに導入されているノーツを示す。本システムでは 4 種類の異なるノーツを実装する。それぞれのノーツは特定のポーズに対応しており、トレーニング中は 4 種類のノーツをランダムな順番で提示する。また、図 2 (a) に示す、形状の違いが識別しやすい図形を用いたノーツと、図 2 (b) に示す、どのポーズが要求されているか直感的に理解しやすい人型のピクトグラムを用いたノーツの 2 種類を実装する。2 種類のノーツはトレーニング開始前にユーザが自由に切り替えることができるようにすることで、各ユーザの好みに合わせたトレーニングの実施を支援する。

3.3 姿勢評価

ユーザがノーツを通過する瞬間に、本システムはユーザがとったポーズの正確性を評価する。この評価は以下の手順で行われる。

- (1) ユーザが静止した状態で、各ポーズをとった際のコントローラの HMD に対する相対位置を記録する。
- (2) ターン中のコントローラ位置と、ステップ (1) で記録した位置との距離を算出する。
- (3) ステップ (2) で算出した距離が、あらかじめ設定した閾値以下かを評価する。距離が閾値以下であれば正しくポーズがとれていると評価し、閾値を超える場合はとれていないと評価する。
- (4) ステップ (3) の評価結果に基づいてスコアを算出し、現在の合計スコアに加算する。

この評価結果を、AR 上に表示される合計スコアおよび HMD に内蔵されるスピーカを通じた音声によって、ユーザにフィードバックする。

4. ユーザ実験

システムの有効性の検証と、本システムを用いたトレーニングに最も適したノーツの見た目に対する評価のため、評価実験を実施した。

4.1 条件

本実験において、参加者は以下の 3 つの条件下でトレーニングを実施した:

- **Cond. F:** 図 2 (a) に示す、図形を用いたノーツに合わせて本システムを使用する条件。
- **Cond. P:** 図 2 (b) に示す、人型のピクトグラムを用いたノーツに合わせて本システムを使用する条件。
- **Cond. B:** (ベースライン) 流れてくる旗門に合わせてポーズなしにターンする条件。

4.2 実験手順

本実験には、12 名 (女性 3 名、男性 9 名、平均年齢=23.2 歳、標準偏差=2.04) が参加した。参加者のうち 5 名はスキー経験が 2 年未満で、3 名が 2 年以上 5 年未満、4 名が 5 年以上であった。また、参加者のうち 7 名は XR の使用頻度に関して 1 ヶ月に 1 回程度、4 名は 1 年に 1 回程度使用していると報告し、1 名は XR を使用したことがないと報告した。

本実験は、図 4 に示す通りに実施した。実験中のアンケートにおいて参加者は、第 4.1 章に示す 3 条件の順位付けを行なった。また、参加者は実験中自由に休憩することができた。

測定では、AR 上でノーツを通過する瞬間における、地面に対して垂直な向きと背骨の傾きがなす角度を測定した。この角度が小さいほど、正しい姿勢であると評価した。背骨の傾きを表す角度は、参加者の頭部に装着された HMD と腰に装着された VIVE Tracker の位置に基づいて計算した。

4.3 結果と考察

地面に対して垂直な向きと背骨の傾きがなす角度の測定結果を図 5 に示す。結果として、トレーニング前後で角度が小さくなった参加者が見られた一方で、トレーニング前よりトレーニング後の方が角度が大きくなってしまった参加者も見られた。

しかし、図 5 より、トレーニング前の姿勢が悪かった参加者において角度の改善の傾向が見られた。特に、トレーニング前の計測で熟練したスキー選手の平均値よりも大きい角

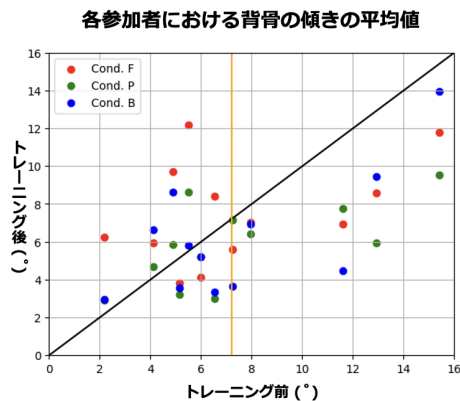


図 5: 地面に対して垂直な向きと背骨の傾きがなす角度の測定結果。斜めの黒い直線はトレーニング前と後で角度が等しくなる位置を表し、橙色の直線は熟練したスキー選手における平均角度 (7.20°) を示す。

度を示した参加者全員に関して、角度の改善が確認された。このことは、本システムが元々姿勢が悪い初級者にとって有効である可能性を示唆する。

一方、トレーニング前後で角度が悪化した原因として、ノーツとポーズの対応を考えながらターンすることが難しく、トレーニングを十分に実施できなかったことが挙げられる。実験後のインタビューにおいて、図形からなるノーツを用いたトレーニングに関して、特に認知負荷が高いというコメントが多く見られた。また、3条件の順位付けでは参加者12名のうち8名がCond. Pを1位と回答した。以上のことから、人型のピクトグラムを基に、ユーザの認知負荷を減らすための実装が必要だと考えられる。

5. おわりに

本稿では、従来のスキートレーニング手法を取り入れ、ユーザが特定のポーズを取りながらターンを行うARスキーエクサゲームを提案した。ターン中のユーザの姿勢矯正と、スキートレーニングに対するモチベーション向上を支援することを目的として、本システムの設計および実装を行った。また、本システムの有効性およびトレーニングに適切なノーツの評価のため被験者実験を実施し、本システムが初級者に対して有効である可能性とトレーニング中の認知負荷を減

らす必要性が示唆された。

今後の課題として、トレーニング中の認知負荷を減らす設計や、ユーザの熟練度に合わせてトレーニングの難易度を変更する機能の実装を計画している。また、本システムを実際のゲレンデ上で用いることで、実スロープでの使用に適した設計および実装の議論を進める予定である。

謝辞 本研究は JST CRONOS JPMJCS24N8, JST ASPIRE JPMJAP2404 および JST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2012 の助成を受けている。

参考文献

- [1] Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihito Kato, Hironori Mitake, and Makoto Sato: Realtime sonification of the center of gravity for skiing. In Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference (AH), No. 11, 2012.
- [2] Anton Kos and Anton Umek: Smart sport equipment: SmartSki prototype for biofeedback applications in skiing. Personal Ubiquitous Comput, Vol. 22, No. 3, pp. 535-544, 2018.
- [3] Takashi Matsumoto, Erwin Wu, Chen-Chieh Liao, and Hideki Koike: ARpenSki: Augmenting Ski Training with Direct and Indirect Postural Visualization. In 2024 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp. 1-9, 2024.
- [4] Yushi Okada, Chanjin Seo, Shunichi Miyakawa, Motofumi Taniguchi, Kazuyuki Kanosue, Hiroyuki Ogata, and Jun Ohya: Virtual Ski Training System that Allows Beginners to Acquire Ski Skills Based on Physical and Visual Feedbacks. In 2023 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 1268-1275, 2023.
- [5] Erwin Wu, Florian Perteneder, Hideki Koike, and Takayuki Nozawa: How to VizSki: Visualizing Captured Skier Motion in a VR Ski Training Simulator. In Proceedings of the 17th International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry (VRCAI), No. 5, 2019.