

視線誘導を用いた VR アルペンスキートレーニングシステム

木原 英一* Yichen Peng* Chen-Chieh Liao* Erwin Wu* 小池 英樹*

概要. 先行研究において、アルペンスキーの上級者と初心者の視線パターンの違いが示されており、他スポーツにおいて初心者が視線をトレーニングすることでパフォーマンスが向上するという報告がある。こうした背景から、アルペンスキーにおいても初心者が上級者の視線パターンを習得することで技能が向上すると考え、アイトラッキング機能付き VR ヘッドマウントディスプレイ (HMD) とスキーシミュレータを用い、視線誘導を行うことで技能向上を支援するシステムを提案する。本システムは目前の旗門より 1 つ先の旗門へ視線を誘導するために、タスクベースによる誘導手法、静的キューによる誘導手法、動的な誘導手法の 3 種類を実装した。

1 はじめに

スキーの技能習熟の支援を目的として、近年では XR 技術の活用が研究されているが、その多くは上級者の動作の提示やユーザ自身の身体動作の可視化によるフィードバックという手法が取られている。先行研究において、VR シミュレータ上で先行する上級者の動きを提示し [6]、それとユーザの動きとの差分を可視化する研究 [4] が提案されている。また、ユーザ自身の動きをキャプチャして VR 空間で確認する研究 [7] や、視覚に加え触覚フィードバックを用いて物理的に動作を支援するアプローチ [2, 5] も提案されている。しかし、視線のトレーニングに着目した先行研究は少ない。

アルペンスキーにおいては、上級者と初心者では滑走中の視線の使い方に差が見られる。上級者は目前の旗門より 1 つ先の旗門に視線が集中するのに対し、初心者は目前の雪面に視線が集中する傾向が見られる。また視線を切り替えるタイミングについては、上級者の方がターンのより早い段階で行う傾向が報告されている [1]。さらにスキー以外の他スポーツにおいても上級者と初心者の視線の使い方に差が見られ、初心者が視線をトレーニングすることでパフォーマンスも向上したことが報告されている [3]。以上を踏まえてアルペンスキーにおいても、初心者の上級者の視線パターンを訓練させることは技能向上に有効であると考えられる。

そこで本研究では、アイトラッキング機能付き HMD とスキーシミュレータを用い、上級者の視線パターンの習得を通してスキーの技能向上を支援する新しいトレーニングシステムを提案する。

2 提案手法

先行研究 [1] によると、上級者は目前の旗門より 1 つ先の旗門へ注視している時間の割合 (35.68%) が、初心者 (14.67%) に比べて有意に高かった。一方で、2 つ先の旗門については、上級者と初心者ともに注視する割合が極めて低かった (上級者 1.37%, 初心者 1.23%)。また視線を目前の旗門から 1 つ先の旗門へ切り替えるタイミングに関して、上級者は目前の旗門を通過するまでの軌道の約 45% を残した地点で 1 つ先の旗門へ視線を切り替えているのに対し、初心者は約 33% の地点で切り替えていた。

これらの知見に基づき本研究の提案手法では、誘導対象を 1 つ先の旗門とし、誘導のための視覚キューの表示は目前の旗門を通過するまでの軌道の 50% の地点から始める。また誘導対象は、目前の旗門を通過したタイミングで更新する。

2.1 タスクベースの視線誘導

ユーザに具体的なタスクを課すことで視線を強制的に 1 つ先の旗門へ向けさせ、その習慣化を促す手法である。本システムでは、ユーザに対し事前に黄色くハイライトされた 1 つ先の旗門を見るように指示を与える。その上で、図 1(a) に示すように誘導対象である 1 つ先の旗門を視認するタスクを課し、その成否を旗門の色の変化と音でフィードバックする。

2.2 静的な視覚キューによる視線誘導

ユーザの視線の位置に関わらず常に提示される視覚キューにより、ユーザに大きな負荷をかけずに自然に視線を 1 つ先の旗門へ促す手法である。図 1(b) に示すように、誘導する旗門全体を発光させる。

2.3 動的な視線誘導

ユーザの視線が不適切な位置に外れたことを検知して介入し、自発的な修正を促す手法である。図 1(c) に示すように、視線が手前に 2 秒以上連続で留

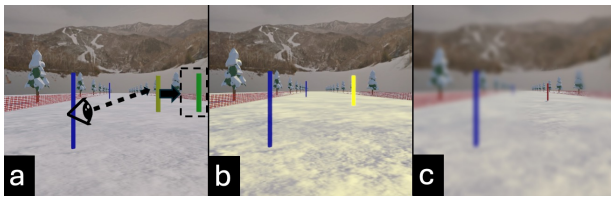


図 1. 提案する 3 種類の視線誘導手法。旗門を視認するタスクベースの誘導手法 (a), 旗門全体を発光させた静的キューによる誘導手法 (b), 視線が手前に留まると誘導対象 (赤色の旗門) の周辺以外にブラーがかかる動的な誘導手法 (c)。

まった場合に、1 つ先の旗門周辺以外の部分に徐々にガウシアンブラーをかける。

3 実装

3.1 ハードウェア構成

本システムのハードウェア構成を図 2(a) に示す。システムはスタンドアロン型 VRHMD である Meta Quest Pro とスキーシミュレータ¹から構成される。

HMD の視野角は水平 106° 垂直 96°, リフレッシュレートは 90Hz である。また HMD に内蔵されたアイトラッカーの最大サンプリング周波数は 90Hz である。取得した視線データのうち Meta XR SDK から提供される視線データの信頼度スコアが 0.5 未満のサンプルを除外して使用した。

VR 空間の描画やアイトラッキング、視覚キューの提示といった主要な処理は HMD が担い、スキーシミュレータは加重移動などのスキー特有の身体動作を可能にし、没入感を高める役割を持つ。

3.2 ソフトウェア構成

3.2.1 コース設計

滑走コースは図 2(b) に示すように、ショートターン区間、ロングターン区間、そして上級者と初心者の差が出やすい高難度ターンを組み合わせて設計した。特に高難度ターンは、視線誘導の有効性を評価しやすくするため、視線を先行させなければ最適なコース計画ができずターンが間に合わないよう意図的に設計されている。また、ユーザがコースレイアウトのパターンを記憶し、滑走が定型化することを防ぐため、各区間のターン数や出現順序、配置をランダム化した。

3.2.2 データ取得と分析機能

ユーザ実験および分析のため、システムはユーザの頭部 (HMD) の位置と回転、およびアイトラッ

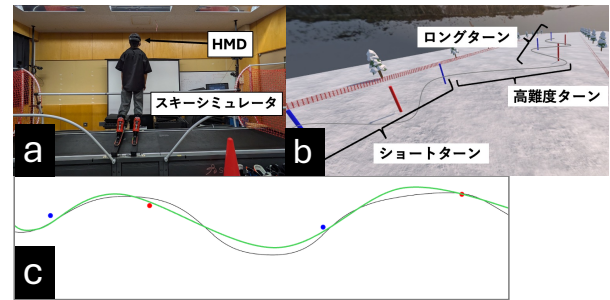


図 2. 本システムの概要。ハードウェアのセットアップ (a), コースレイアウトの一例 (b), ユーザ (黒) と上級者 (緑) の滑走軌跡の比較 (c)。

カから得られる視線の 3 次元座標を時系列データとして記録し、そのデータを用いて滑走を再現するリプレイ機能を実装した。リプレイ時には、ユーザの視線位置の可視化に加え、図 2(c) のように滑走の軌跡を模範となる上級者の軌跡と重ね合わせて表示でき、滑走後の定性的な分析に利用できる。

4 議論と結論

本研究では、アルペンスキー初心者が上級者の視線パターンを習得し技能向上することを支援するための VR トレーニングシステムを提案・実装した。本システムは、目前の旗門より 1 つ先の旗門を誘導対象とし、誘導手法としては、タスクベースによる誘導手法、静的キューによる誘導手法、動的な誘導手法の 3 種類を実装した。

しかし、提案した各手法が実際に初心者の視線パターンを改善し、滑走技能の向上に寄与するかどうかは未検証である。その検証のため、ユーザに誘導手法を体験する前後で、それぞれ誘導なしの滑走 (ベースライン) を計測し比較する実験を行う。記録した視線データからユーザの視線パターンが意図通りに変化したかを確認すると同時に、旗門の通過率や滑走の軌跡をパフォーマンスの指標として定め、それらを比較することで、各手法が滑走技能の向上にどの程度寄与するかを検証する。

デモ内容

本稿で提案する視線誘導を用いた VR アルペンスキートレーニングシステムを展示する。来場者は本稿で提案した視線誘導手法を体験できる。滑走後にはリプレイ機能を用いて、記録された自身の視線の動きを確認することができる。

¹ <https://www.skytechsport.com/ski-simulators-home>

謝辞

本研究は JST CRONOS JPMJCS24N8 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] M. Decroix, M. R. W. Norjali Wazir, L. Zeuwts, F. Deconinck, M. Lenoir, and P. Vansteenkiste. Expert - Non-expert differences in visual behaviour during alpine slalom skiing. *Human Movement Science*, 55:229–239, Aug. 2017.
- [2] J. Hoffard, T. Nakamura, E. Wu, and H. Koike. PushToSki - An Indoor Ski Training System Using Haptic Feedback. In *ACM SIGGRAPH 2021 Posters*, SIGGRAPH '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [3] J.-C. Lebeau, S. Liu, C. Sáenz-Moncaleano, S. Sanduvete-Chaves, S. Chacón-Moscoso, B. Becker, and G. Tenenbaum. Quiet Eye and Performance in Sport: A Meta-Analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 38:441–457, Sept. 2016.
- [4] T. Nozawa, E. Wu, and H. Koike. VR Ski Coach: Indoor Ski Training System Visualizing Difference from Leading Skier. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 1341–1342, 2019.
- [5] Y. Okada, C. Seo, S. Miyakawa, M. Taniguchi, K. Kanosue, H. Ogata, and J. 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.
- [6] E. Wu, T. Nozawa, F. Perteneder, and H. Koike. VR Alpine Ski Training Augmentation using Visual Cues of Leading Skier. In *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp. 3836–3845, 2020.
- [7] E. Wu, F. Perteneder, H. Koike, and T. Nozawa. How to VizSki: Visualizing Captured Skier Motion in a VR Ski Training Simulator. In *Proceedings of the 17th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry, VRCAI '19*, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.