スポーツクライミングにおけるOST-HMDの利用と効果の検証

大西 和歩[*1]　オーロスキ ジェーソン[*2]　浦西 友樹[*2]
ラサミー ポチャラ[*2]　竹村 治雄[*2]

Abstract – あらゆるスポーツにおいてトレーニングは上達に欠かせない要素であり、スポーツクライミングもその例外ではない。しかし、スポーツクライミングにおける細かい動作をトレーニングで習得することは困難であり、効率的にトレーニングの補助を行う方法が期待されている。近年の研究により、低い壁を登攀する際に補助を行う方法は確立されつつあるが、高さ 10 メートルを超えるような壁を登攀するクライマーの補助を行う方法は未だ確立されていない。本稿では、スポーツクライミングにおいて壁の高さによらず補助を行なえる方法として OST-HMD を利用し、波紋型マーカによりコースを提示する方法と、壁を表示するミニマップを提示する方法を提案し、それらの効果を検証するために行った実験について述べる。

Keywords ： スポーツクライミング, Augmented Reality (AR), Optical See-Through Head-Mounted Display (OST-HMD), bouldering

1　はじめに

スポーツクライミングとは、壁に設置された人工的な突起物であるホールドを支えとして、手足の力のみを用いて登攀する競技である。スポーツクライミングには大きく分けて 3 種の競技が存在し、それぞれスピード、ボルダリング、リードと呼ばれている。スピードでは 15 メートルの高さの壁を登攀する速さを競う。一方、ボルダリングでは高さ 4 メートル程度の壁に設定されたコースを制限時間内に登攀した数を競う。また、リードでは、競技者自身がロープによって安全を確保しながら 15 メートル以上の壁を登り、到達した高度を競う競技である。2020 年の東京オリンピックと 2024 年のパリオリンピックの競技種目としてスポーツクライミングが採用されており、近年スポーツクライミングに対する関心は更に高まっているといえる。

スポーツクライミングにおいては、人工壁にホールドで構成されたコースのことを課題と呼ぶが、オブザベーションという課題を下見し、道筋を確認する行為がある。オブザベーション中は、実際にホールドに触れることはできず、目で観察することのみが可能である。スポーツクライミングにおいては、ホールドの持ち方や、姿勢、体の動かし方が重要な要因となるので、事前に最適な登攀方法を予測し、覚えこむことができるオブザベーションは非常に重要である。しかしながら、遠目から課題を観察する場合と、実際に登攀する場合とでは感覚が異なり、オブザベーションにより決めた道順のとおりに登攀できるとは限らない。特に初心者においてはオブザベーションにより得られた情報をうまく利用できず、ホールドを見失ってしまうことさえある。そのため、トレーニング時にはホールドの持ち方や姿勢、体の動かし方のほかにオブザベーションの方法を学ぶことが必要だといえるが、初心者のうちはオブザベーションから得ることのできる情報が限られるため、登攀時に効率的に情報を与えて、補助を行うことが期待されている。

そのような補助の例として、プロジェクションマッピングにより登攀者の補助を行う方法がある [1, 2, 3]。しかしながら、プロジェクションマッピングによる補助は壁の高さが低いボルダリングに限られ、この技術をリードクライミングの高さ 10 メートルを超える壁に対して用いることは難しい。そこで本研究では、Optical See-Through Head-Mounted Display (OST-HMD) による視覚効果を用いることにより、リードクライミングを含むスポーツクライミングにおいて広く利用できる補助手法を提案する。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、2 節で関連研究について述べ、次に 3 節で提案手法について述べる。続いて 4 節で提案手法に対する実験評価について述べ、最後に 5 節でまとめと今後の課題について述べる。

2　関連研究

本節では、本研究と関連する、スポーツクライミングを補助する研究について述べる。まず、2.1 項では、プロジェクションマッピングを行い、補助を行うことのできる、Wiehr らによる betaCube[1] という箱型の装置について述べる。次に、2.2 項では、クライミングと Video See-Through Head-Mounted Display (VST-HMD) を組み合わせた例 [4] を挙げる。最後に 2.3 項で関連研究に対する本研究の位置づけについて

[*1]大阪大学大学院情報科学研究科
[*2]大阪大学サイバーメディアセンター

述べる。

2.1 BetaCube

BetaCube は、3D カメラとプロジェクターを備え付けた箱型の装置である。本装置ではカメラに映った映像からホールドを複数選択することにより課題を設定、保存でき、課題ごとのホールドにマーカを投影できるほか、登攀時の動画を録画し、後に再生することが可能である。これにより、口頭で説明が難しい細かい体の動きを実際に目の前で見ながら登攀できる。

2.2 VST-HMD の利用

Schulz らの手法では、通常のクライミングウォールに設定された課題を登攀する場合、VST-HMD をつけた状態で現実の課題を登攀する場合、また、VST-HMD をつけた状態でコントローラを用いて VR 空間上でクライミングを行う場合を比較実験している [4]。通常のクライミングは高さ 10 メートルの位置で行われ、VST-HMD をつけた状態でのクライミングは VR 空間の映像では 10 メートルの高さで同様の課題を行っているように見えるが、現実では 30cm の高さで課題を行っている。そして、コントローラを用いる場合は VR 空間上でコントローラのみを用いて登攀する。これらに対して恐怖心を比較した結果、VST-HMD をつけた状態での低所でのクライミングは、高所で実際にクライミングを行う場合と近い恐怖心が得られることがわかり、VR 空間の映像を見ながら現実の壁を登攀することは高度による恐怖心を克服するために効果的であると結論づけられている。

2.3 関連研究に対する本研究の位置づけ

Wiehr らのようなプロジェクションマッピングを用いた手法は、言葉による説明の難しい細かい動作を登攀時に映像で見せることが可能なため、非常に有用な方法である。しかし、プロジェクションマッピングでリードクライミングの高さ 10 メートルを超える壁に対して映像を投影することは、一般的なクライミングジムなどでは設備の制約などから実現が困難である。すなわち、この手法は壁の高さの低いボルダリングへの利用が現実的であり、リードクライミングにおいても利用できる補助方法が望まれる。そこで本研究では、OST-HMD を用いた補助を提案する。OST-HMD を用いた場合、登攀者のいる高さによらず映像を見せることができるため、高所でも補助を行うことが可能である。

また、[4] では、高所での恐怖心を克服するために HMD を用いる研究が行われたが、クライミングそのものの補助を行う研究はなされていない。この点において本研究は新たな試みであるといえる。また、[4] における実験で、VR 映像を信用してよいのか分からない、という意見が被験者により述べられている。VR 映像と現実のホールドの位置が完全に一致していたとしても、被験者にそれをにわかに信用させ、不安を感じさせることなく登攀させることは難しい。これに対して、本研究では OST-HMD を用いるため、現実世界のホールドが見える状態で視覚情報を付加するため、上述した手法のように被験者に不安を感じさせてしまう度合いは小さいと考えられる。

以上のように、本研究での OST-HMD を用いてスポーツクライミングの補助を行う手法は、既存の研究が孕む問題点を解決できるものであると考えられる。

3 提案手法

本節では、OST-HMD を利用し、スポーツクライミングの補助を行う提案手法について述べる。まず、3.1 項では、ホールドに視覚効果として波紋型マーカを表示する手法について述べる。次に、3.2 項では、クライミング時の課題をミニマップに表示する手法について述べる。

3.1 波紋型マーカによる補助

基本的にクライミングウォールには多数のホールドが取り付けられており、課題ごとに利用してもよいホールドがあらかじめ設定されている。利用してもよいホールドを見分けられるようにするために、ホールドに色付きのテープを貼り付けることが一般的である。しかし、この方法では、予め使って良いホールドを全て記憶していない限り、ホールドに付けられたテープの色を見分けるために時間を割くことになり、その間に体力を消費してしまう。これを避けるために、波紋型マーカによる補助を提案する。

波紋型マーカによる補助の手法を説明する。この手法では、登攀者が行おうとしている課題において、利用してもよいホールドのみから図 1 のような波紋を表示させる。図 2 に課題の例を表示している。円により囲まれているホールドのみが利用可能なものである。緑色の円で囲われたものが開始時に掴むホールドであり、赤色の円で囲まれているホールドが通常のホールドである。黒色の円で囲まれているホールドが最終的な目的地であり、両手で掴むことができれば登攀成功とみなす。この図 2 の課題に対して波紋型マーカによる補助を行ったものが図 3 である。これにより利用可能なホールドを可視化し、瞬時に認識することが可能になる。

3.2 ミニマップによる補助

クライミングを行う際に、オブザベーションで考えていた体の動きを実践できないことがある。筋力が足りなかったことや、考えていた動作が最適でなかったことが原因として考えられるが、そもそもオブザベーションで考えていた動作の使いどころが分からなくな

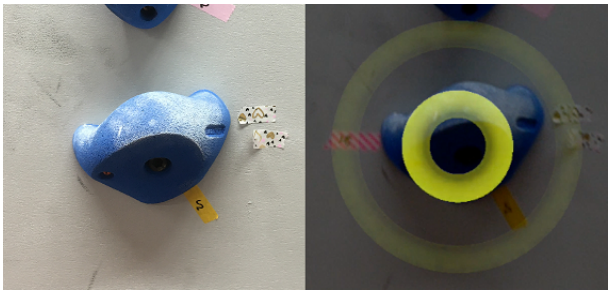

図 1　波紋型マーカの表示例

図 2　クライミングの課題例

図 3　波紋型マーカによる課題の表示

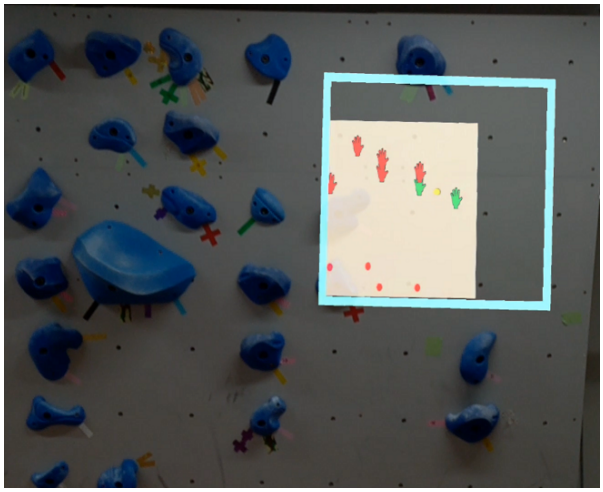

図 4　ミニマップの表示

る場合もある。これは、オブザベーションで見ていた視界と登攀時の視界が大きく異なることが原因である。このような現象を避けるために、OST-HMD を用いてミニマップを表示する手法を提案する。

ミニマップによる補助の仕様を説明する。図 2 の課題に対してミニマップを表示したものが図 4 である。このミニマップが、OST-HMD の画面上に表示される。ミニマップは正方形であり、ミニマップ上にはクライミングウォールを模した地図が表示される。このミニマップでは、情報過多を避けるため課題において利用可能なホールドのみが表示される。手で掴むことが予測されるホールドは赤い手形により表示され、足を使うことが予測されるフットホールドは赤い円により表示される。開始時に掴むホールドは緑色の手形により表示され、完登したかを判断するための最後のホールドは青色の手形により表示される。自身の頭の位置は黄色の円で表示される。また、この黄色の円は常にミニマップの中心に位置する。よって、ミニマップの見える範囲は登攀者の頭の位置に合わせて移動するようになっており、これにより登攀者は周辺のホールドの位置を常時確認することが可能である。

4　実験評価

本節では、3 節で提案した 2 つの手法について実験し，手法の有効性について評価した。まず、4.1 項で実験を行った際の環境と実験の流れについて説明する。次に 4.2 項で実験結果について述べる。最後に 4.3 項で実験結果からの考察を述べる。

4.1　実験の環境と流れ

本実験では、水平方向に 40 度、垂直方向に 30 度と比較的広い視野角を有する、Magic Leap One を OST-HMD として用いた。また、図 2 に示す、本研究室内

図 5　OST-HMD を装着した状態での登攀

に常設されているクライミングウォールを用いた。被験者には図 2 で示した課題を登攀させた。この課題は、初めて HMD を装着した状態でも登攀できるように、簡単なものに設定してある。被験者には OST-HMD を装着して波紋型マーカを表示させた場合、ミニマップを表示させた場合、OST-HMD を装着しない場合で計 3 度登攀させた。Magic Leap One を装着した状態で課題を登攀しているさまを図 5 に示す。実験時にはそれぞれの場合で課題を達成するために要した時間を計測し、これを OST-HMD の補助効果の指標とした。

次に実験の流れについて説明する。実験の流れを表 1 に示す。まず実験内容の説明を行い、その後オブザベーションと登攀を 3 度繰り返した。その間には 2 分の休憩を設けた。公平性を保つため、波紋型マーカを表示させた場合、ミニマップを表示させた場合、OST-HMD を装着しない場合の登攀の順序は一人目の被験者に対してランダムに決定し、それ以降は直前の被験者が登攀した順序を一つずつ入れ替えることとした。休憩時には登攀時の感想や意見を述べてもらい、この際被験者にはクライミングウォールおよびその課題を見せない様にした。本実験で用いた課題は 20 秒程度で完了可能なものであるが、被験者は最大 2 分まで登り直し可能とした。3 度の登攀を終えた後、被験者から全体のフィードバックを受け付けた。

4.2　実験結果

20 代の男性 5 名、女性 1 名に対して被験者実験を行った結果を図 6 に示す。図 6 は、計 3 回の登攀を全て完登できた男性 4 名、女性 1 名の計 5 名の被験者が登攀に要した時間を箱ひげ図で表したものである。今回の実験では、OST-HMD を装着してミニマップを表示した場合が最も登攀に時間を要し、OST-HMD を装着しない場合が最も短い時間で登攀ができるという結果になった。

次に、実験により得られたフィードバックについて

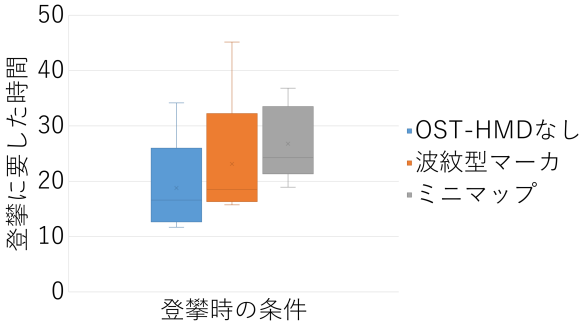

図 6　実験結果の箱ひげ図

述べる。表 2 に得られたフィードバックをまとめている。OST-HMD 利用時には、視野が狭まることや、視界が暗くなることなど、クライミングウォールに対する視認性が下がることが挙げられた。次に、波紋型マーカを体験した際には、直感的に利用でき、テープを見る手間が省けることが利点として多く挙げられたが、フットホールドの位置を提示する波紋が見えにくいことが欠点として挙げられた。首を動かさずに目線を下げるだけではフットホールドに対応する波紋が見えず、普段と比べ余分に首を動かす手間があると被験者は述べている。また、ミニマップに対する意見として、課題全体を理解しやすくなるが、地図上のホールドと実際のホールドの対応関係に確証が持てず、テープによって確認する手間があると述べられている。他にはミニマップを見る必要性が感じられず、ミニマップの見方に慣れる前に課題を終えてしまったとも述べられている。また、課題に対するフィードバックとして、課題が短く、2 度目のオブザベーションをする時点で課題を覚えてしまい、OST-HMD を利用する機会がなくなったという意見もあった。

表 1　実験の流れ

手順	所要時間
実験の説明	3 分
オブザベーション	1 分
一度目の登攀	1 分
休憩	2 分
オブザベーション	1 分
二度目の登攀	1 分
休憩	2 分
オブザベーション	1 分
三度目の登攀	1 分
フィードバック	3 分

表 2　実験時に得られたフィードバック

項目	フィードバック
OST-HMD 装着時	視野角が狭い フレーム部分で視野が狭まる 暗く、テープが見にくい
波紋型マーカ体験時	直感的に利用できる テープを見る手間が省けてよい フットホールドの波紋が見えにくい
ミニマップ体験時	テープを見る必要がある ホールドの対応関係が不明瞭 ミニマップを見る必要がない

4.3　考察

本実験の結果からは、クライミングにおける OST-HMD を用いた補助の優位性を示すことができなかった。この一因として、OST-HMD を装着した際に視野が狭まるといった欠点を補うほどの視覚効果を提示できなかったことが考えられる。波紋型マーカの提示においては、フットホールドの位置を提示する波紋が見えにくいという問題点があるため、意識的に下を見ずともフットホールドの存在を認識できるように改良する必要がある。改善例としては、OST-HMD で波紋型マーカを表示できない範囲にあるホールドには矢印を向けることで存在を示すことなどが挙げられる。

次に、ミニマップの提示においては、ミニマップ上のホールドと現実のホールドの対応関係に確証が持てず、テープを確認する手間があると述べられていた。これに対する改善案の一つとしては、図 2 のような実際のクライミングウォールに基づく映像をミニマップ上に表示することが考えられる。これにより、ホールドの形や周りのホールドの情報が利用できるため、ミニマップ上の利用可能なホールドと実際のホールドの対応関係を理解しやすくなると考えられる。また、それぞれの提案手法の欠点を補う方法として、ミニマップと波紋型マーカを同時に利用することも考えられる。これにより、意識的に首を下げて見るまでフットホールドの位置が分からない、という波紋型マーカの欠点をミニマップにより補いつつ、ミニマップ上のホールドと実際のホールドの対応関係に確証がもてないという欠点を波紋型マーカにより補うことができる。

また、実験の環境および手順が OST-HMD の利用に適していなかったことも提案手法の優位性を示せなかった原因の一つだと考えられる。特に課題の手順が短すぎたため、1 分間のオブザベーションと課題の登攀を計 3 回行う中で被験者が課題を記憶し、OST-HMD を有効に利用できる機会を損なってしまったことや、登攀時に初めて被験者に OST-HMD を装着させたことによって、視覚効果に慣れる前に課題を終えてしまったことなどが考えられる。よって、次回実験を行ううえでは、より長い課題を設定し、かつオブザベーションの段階で既に OST-HMD を装着するように変更すべきであると考えられる。

5　おわりに

本研究では、スポーツクライミングのトレーニングにおいて広く利用可能な補助方法として、OST-HMD を用いて波紋型マーカを表示する方法と、ミニマップを表示する方法を提案した。提案手法の効果を検証した実験の結果、提案手法の優位性を示すには至らなかったが、4.3 項で挙げたように問題点を多数発見できたため、今後は問題点を分析し、提案手法を改善することによって、スポーツクライミングのトレーニングの補助方法として、OST-HMD を用いた補助が有効であることを示す。

参考文献

[1] Frederik Wiehr, Florian Daiber: betaCube – Enhancing Training for Climbing by a Self-Calibrating Camera-Projection Unit; CHI EA ’16, pp. 1998–2004 (2016.May)

[2] Raine Kajastila, Perttu Hämäläinen: Augmented Climbing: Interacting With Projected Graphics on a Climbing Wall; CHI EA ’14, pp. 1279–1284 (2014.April)

[3] Raine Kajastila, Leo Holsti: The Augmented Climbing Wall: High-Exertion Proximity interaction on a Wall-Sized Interactive Surface; CHI ’16, pp. 758–769 (2016.May)

[4] Peter Schulz, Dmitry Alexandrovsky: The Role of Physical Props in VR Climbing Environments; CHI ’19, Paper No.: 183, pp. -1–13 (2019.May)

© 2021 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)