

# SRIPY: 氷雪路面歩行技術の向上のためのトレーニングゲーム

岡 秀哉<sup>†1</sup> 由谷 哲夫<sup>†2</sup> 渋谷 敦子<sup>†2</sup> 湯村 翼<sup>†1</sup>

**概要:** 氷や雪が路面を覆う冬道は、不慣れな歩行者にとって転倒のリスクが高い。しかし、冬道の歩行を訓練する機会はあまりない。そこで、氷雪の歩行をトレーニングするゲーム SRIPY を提案する。SRIPY では、プレイヤーは靴型コントローラを装着し、ゲーム画面の指示に従って足踏みを行う。靴型コントローラに敷かれた圧力センサが足底部の圧力を 6 点で計測し、そのバランスが氷雪歩行に適さない不均衡な場合にゲーム内でフィードバックを行う。本研究では、感圧導電シートと銅箔テープ、M5Stack を用いて靴型コントローラを、Unity を用いてゲーム画面を実装した。8 名の被験者に対して評価実験を行い、プレイ中の圧力データとゲームへの感想を収集し、それらを分析して課題を明らかにした。

## 1. はじめに

北海道をはじめとした、冬に雪が降る雪国と呼ばれる寒冷地域が世界中に存在する。雪国では、路面積雪が車両のタイヤ熱で凝固することや、路面の水分が氷結することで、滑りやすい道が発生する[1]。そして、氷雪が積み重なった状態の道を歩行すると、転倒するリスクがある。徒歩は一般的な移動手段で、雪国の日常生活では冬道歩行は避けがたい。氷雪状態の地面は転倒する可能性があり、特に氷雪歩行に不慣れな人にとって危険である。転倒時の被害は、腰部または頭部への衝撃、擦傷などが想定される。

氷雪上を上手に歩行するコツは足底全体で均等に体重をかけることである[2]が、通常の路面でそのような歩き方をすることはあまり無く、冬道に不慣れな人は氷雪路面の歩行技術を新たに習得する必要がある。しかし、氷雪歩行のトレーニングには困難を伴う。まず、氷雪歩行のトレーニングを行う機会は少ない。トレーニングが可能な場所が雪国に限られ、雪国でも冬以外に氷雪上を歩行する機会は少なく、一年中降雪しているのはカナダの一部地域などに限られる。さらに、氷雪歩行のトレーニングの機会があっても、技術を習得するまでの転倒リスクがトレーニングを妨げる。また、基本的には指導者はおらず自主的なトレーニングとなるため、トレーニングにおいてフィードバックが得られない。

そこで本研究では、氷雪歩行のトレーニングゲーム SRIPY (Snow Road walking Practice sYstem) を提案する。SRIPY では、実際に氷雪を歩行する代わりに安全な屋内でプレイする。プレイヤーは靴型コントローラを装着し、ゲーム画面の指示に従って足踏みを行う。靴型コントローラには圧力センサが敷かれ、足底部の 6 点で圧力を計測する。6 点の圧力のバランスによって歩行の正否を判定し、それに応じてゲーム画面で雪だるま型のキャラクターが進行する。ゲーム画面は 2D アニメーションで、雪だるま型のキャラクターが雪と氷の路面を進行する。歩行に失敗すると転倒のアニメーションが表示される。ゲーム画面には、可視

化した足底部の圧力分布や、歩行を改善するためのコメントを表示し、プレイヤーへのフィードバックを行う。

本研究は、雪道に不慣れな人の歩行技術の向上を目的とする。SRIPY は、場所や季節に関係なくいつでもプレイすることができるため、氷雪歩行トレーニングの機会を増やす。そして、屋内でプレイするため転倒リスクも少ない。ゲーム画面への情報表示により、わかりやすくプレイヤーにフィードバックする。氷雪歩行のトレーニングのゲーミフィケーションにより、訓練者のモチベーションを向上させ、歩行技術向上の一助となることを目指す。

## 2. 関連研究

氷雪路面の歩行は、雪国での大きな課題である[3]。路面状況の情報提供[4]や機械学習を用いた救急搬送者予測[5]などの対策が研究される。

本研究では、足底圧力を計測するために、圧力センサを用いて靴型コントローラを開発する。富田ら[6]や吉田ら[7]の研究では、足底圧を計測する装置を開発し、性能評価を行った。中井らの研究[8]では、MEMS3 軸力センサをインソールに配置して計測する装置が開発された。また、足底圧データを用いた歩行の分析も行われる。仙並と松田[9]の研究では、歩行リハビリへの活用を目的として、歩行開始時の足底圧を取得し分析した。また、バスケットボールのフリースロー[10]や空手[11]といったスポーツトレーニングにも活用される。ただし、これらの研究は、いずれも氷雪路面歩行のトレーニングを対象としたものではない。

本研究では、足底圧力をゲームのインタフェースとして用いる。足底圧力をインタフェースとして用いる研究として、足裏でのジェスチャ入力手法[12]や、左右の足底圧力分布の動的変化を生体認証に用いる研究[13]がある。また、姿勢認識を行う研究[14]や、足底圧力データから凹凸などの路面状況を推定する研究[15-17]もある。

<sup>†1</sup> 北海道情報大学

<sup>†2</sup> First Four Notes 合同会社

### 3. SRIPY

SRIPY には靴型のコントローラ(図 1)を使用する。このコントローラをプレイヤーが足に着用し、実際に圧力をかけることでトレーニングゲームを操作する。

トレーニングゲームはタイトル画面(図 2)から開始される。タイトル画面の状態では、コントローラが圧力を感知すると画面が遷移(図 3)し、カメラがキャラクターに注目してトレーニングゲームが開始される。

ゲームが開始されると、プレイヤーは雪だるま型キャラクターを操作してゴールを目指す。進行にはSTEP(図 3)と表示された間、前方向の道(図 4)に合わせ足踏みを繰り返す。路面は2種類用意されており、図 4、(a)の路面では足底部全体に圧力をかければ、容易に進むことが可能である。対して(b)の路面では、(a)の路面と比べて進行が困難となっており、より正確に足底部全体に圧力をかける必要がある。ゲーム画面の左上には、コントローラの圧力分布を表示する。足型内に表示された6つの円が、足底部の6箇所のセンサの圧力を示す。圧力が強くなるほど円の直径が大きくなり、色が白、黄、橙、赤の順に変化する(図 5)。加えられた圧力によりリアルタイムで足底部の状況を視認することができる。歩行時に圧力が偏っていた場合、キャラクターは転倒する。転倒すると、ゲーム画面ではキャラクターが崩れて転倒を表現する(図 6)。転倒、もしくは足底部前方および後方に転倒するおそれがある圧力が与えられた場合、転倒原因を警告としても画面左下に表示する(図 6)。プレイヤーは、足底部の圧力分布の表示と転倒原因のコメントを参考に、歩行を修正しながら進行を続ける。路面は10マス用意されており、10マス先の路面をゴールとする。ゴールに到達すると、リザルト画面(図 7)に遷移する。リザルト画面では、ゲーム開始からの秒数と転倒回数が表示され、トレーニングゲームは終了する。



図 2 タイトル画面



図 3 ゲーム開始

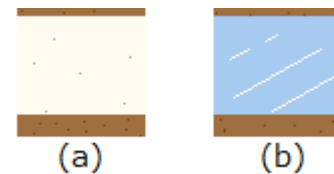


図 4 2種類の路面。(a)積雪路面、(b)氷路面

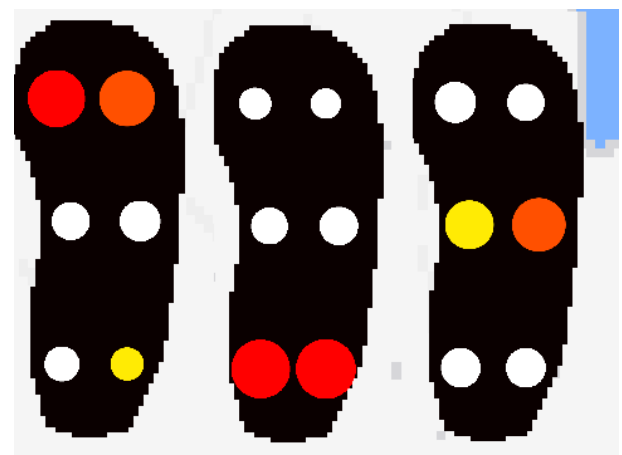


図 5 足底部の圧力分布の可視化



図 1 靴型コントローラ



図 6 転倒時

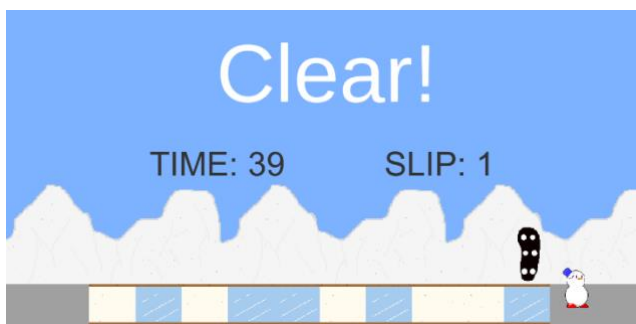


図 7 リザルト画面

## 4. システム構成

### 4.1 概要

SRIPY は、靴型コントローラとゲーム画面によって構成される。コントローラは圧力情報を記録して送信する。送信には無線 LAN および OpenSound Control (OSC) を用いる。コントローラを起動すると、まず無線 LAN で接続を確立する。接続後はコントローラの圧力情報をルーター内の指定のポートとアドレスに送信し続ける。ゲーム画面ではルーターからその情報を受信してゲームの操作に使用する (図 8)。



図 8 SRIPY のシステム構成

### 4.2 コントローラ

コントローラは M5Stack [18]、銅箔テープおよび感圧導電シート Velostat [19, 20] を使用して制作した。M5Stack は小型であり、かつディスプレイがあるため値の確認が容易であることから、靴への据付に適しているため採用した。M5Stack と Velostat の導線には銅箔テープを採用した。銅箔テープは薄いため、コントローラ足底部への設置



図 9 足底部に設置した圧力感知センサ

に適する。Velostat は、圧力を加えると電気抵抗が弱まり通電しやすくなるシート状のセンサである。Velostat は薄く、足底部に設置して圧力を感知する用途に適する。銅箔テープと Velostat を足底の形に合わせて加工し (図 9)、コントローラの足底部に設置した。

コントローラの実装は、まず M5Stack と銅箔テープを接続した。その銅箔テープで Velostat を挟み、入力される電気を M5Stack が観測する構造とした。電気を送信するテープは 3 本 (図 9 右)、受信するテープが 2 本で構成されている (図 9 左)。コントローラの圧力感知部分はテープが重なっている地点である。中足骨先端部分の 2 点 (以下、先方) と、足底弓蓋とその反対側で 2 点 (以下、中央)、踵部分の左右で 2 点 (以下、後方) の、合計 6 点で計測する。

送信するデータの観測方法として、まず M5Stack に繋がれた電気を送信するテープ 3 本の内 1 本へ電気を流す。今回の設計ではまず足の前方部分のテープに送信する。流された電気は受信テープ 2 本が受け取り、記録する。例として、テープが重なっている前方の左部分の値を記録した後、同じくテープが重なっている前方の右部分を記録して、保存する。これを残りの中央部分、後方部分と順に 2 テープ分送信し、保存することを 1 回の処理として扱い、合計 3 本、6 点分の値を記録しサーバーへ送信する。コントローラは、電源がついている間、この処理を繰り返し行い続ける。

### 4.3 ゲーム画面

トレーニングゲームのゲーム画面は、Unity を使用して実装した。前述の通り、ゲームはゴールに向かって一直線に進行する設計である。ゲームのコースは積雪した路面、氷が張られた路面の 2 種類 (図 4) で構成されており、靴型コントローラから送信された値で歩行の正否を決める。歩行の正否の判定は、接地判定と均等分布判定の 2 種類の条件に応じて決定される。接地判定は、足と地面が接着状態にあるか否かの判定である。均等分布判定は、足の先方、

表1 実験における被験者の感想

身体を動かしながら遊べるのが面白い
実際にどのような箇所に圧力がかかっているのか可視化されているので、視覚的にも面白いかなと感じました。
歩く時の圧力を用いるアイデアが面白い
すぐろくみたいに1マス1マスそれぞれ別の判定で動くような形式でしたが、歩く動作をすると滑らかに進んでいき、氷の上ではスリップの判定が強化され、タイムアタック的な要素を加えるとゲーム性が高まると思いました。
雪道などに慣れてない人に体験してもらおうと仮定して、もし子供とかに体験してもらおう機会があれば、靴のサイズやセンサの幅など変えた方がいいかもしれません
スリッパにゲームに関連した何か模様があったら良さそうだった
確かに土踏まずが地面に触れないため判定を取得するのは難しいと思いますが、かかととつま先で異様に判定がおかしく感じる場面が多々あったので、それらを修正するともっと良くなると思いました。

中央、後方部分に均等に圧力がかけられているか否かの判定である。接地判定は歩行開始のトリガーとなっており、STEP(図3)と表示されていても、圧力をコントローラに与えていなければ、ゲーム部分は3秒が経過しても自動的に転倒しない待機状態となる。接地判定は、足の前方、中央、後方のいずれかの圧力の値が閾値を超えた場合に正とする。均等分布判定は積雪路面と氷路面で判定条件が変わり、氷路面ではより厳しい条件で判定される。積雪路面では、歩行中圧力分布に黄色が表示されていても均等分布判定は正となる。氷路面では、圧力分布に表示される6つの円が白の状態で歩行を行うことで均等分布判定が正になる。歩行時にいずれかの位置の圧力値が大きすぎる場合に判定が否となり転倒となる。転倒した場合は強制的に次の路面へ進行させる。仮に転倒した場合に強制進行せずに同じ路面を再試行するような設計にすると、ゲームのテンポが悪くなりプレイヤーのフラストレーションが発生するため、このような設計とした。歩行判定は1秒間に約7回実施される。

## 5. 実験

### 5.1 概要

SRIPYの評価のため、被験者実験を行った。8名の被験者に対しSRIPYを体験させ、プレイ時の圧力データを収集し、感想を収集した。実験は、SRIPYの概要の説明を行った後、被験者はゲームのプレイを行う。ゲーム画面は、ラップトップPCに表示した。歩行時の圧力データを収集するために、圧力データをcsv形式で保存する仕組みをゲームに組み込んだ。取得するデータは1マスあたり最長3秒で、これを計10マス分取得する。

### 5.2 結果

取得した圧力データを図10に示す。8名の被験者のデータをグラフは、縦軸がコントローラから取得された値である。この値はM5Stackのアナログ入力値であり、0~5Vの入力電圧が0~4095の4096段階で示される。圧力に応じ

て感圧導電シート Velostat の抵抗値が変化し、入力電圧が変化する。電圧の規格化は行っていない。横軸は計測時刻であり、ラベルは時刻の分と秒を mmss 形式で表している。グラフは、Aは前方左、Bは前方右、Cは中央左、Dは中央右、Eは後方左、Fは後方右の足底圧力の数値を示す。

ゲーム終了後、自由記述形式にてSRIPYに対する感想を収集した。感想の収集にはScrapboxを用いた。被験者の感想を表1にまとめる。

### 5.3 考察

SRIPYは足踏みを行って操作するため、前方や後方に圧力が集中するとその地点の値が上昇する。個々人によって姿勢や重心が異なり、値にばらつきがでる。そして、足底に土踏まずがあるため、中央部分C、Dにはあまり圧力がかからず低い数値となる。圧力計測の結果、足の前方部分A、Bの圧力が高い傾向がみられた。これは、プレイヤーがプレイ中に机上のノートPCを見ながら足踏みを行ったため、姿勢が前に寄ってしまったものと考えられる。

実験を通じて、コントローラが想定通りに動作しないと思われる場面に遭遇した。被験者からは、判定がおかしく感じたという感想が挙げられた。被験者3や被験者5のグラフには不自然なピークがあり、取得した値がまれに大きな誤りを含んでいた。この原因として、感圧導電シートを覆う絶縁体の紙が湿気により導電してしまったことが考えられる。靴型コントローラは人体の足に着用するが、その際排出される汗が紙に染み込み、想定外の回路が通電してしまい、誤った値が記録されたと推測する。

靴型コントローラには、面ファスナーを開閉して着脱が可能なサンダル状の靴を用いた。面ファスナーの締め付けを調整することによりさまざまなサイズの足に対応可能であり、サンダルの仕様では足長23.0~27.0cmに対応する。ただし、この範囲外の足のサイズ、たとえば子供の足のサイズには対応していない。SRIPYを幅広い層に体験してもらうためには、複数のサイズのコントローラを用意するなどの対応が必要となる。



図 10 実験での足底圧力計測結果

本稿での SRIPY は、1 マスずつ進行して点数を競う仕様として設計と実装を行った。これ以外にも、常時歩行を判定しタイムを競う形式も考えうる。今後、氷雪歩行のトレーニングにより適したゲーム方式を考案することも検討したい。

## 6. おわりに

本稿では、氷雪上の道を歩行する技術の向上を目指すトレーニングゲームを設計・実装した。それをプレイヤーに体験させ、データを記録することで改善案や新たな課題が判明した。今後はコントローラの改善や、ゲームのギミックを追加し、新たに検証を行う事や評価を得る必要がある。加えて本稿で用いたコントローラは片足のみであり、可能であるならば両足を使用して歩行することも考慮すべきである。

## 参考文献

- [1] 福原輝幸, 渡邊洋, and 藤本明宏. “凍結路面の発生メカニズム.” *日本雪工学会誌* 21. 2 (2005): 110-115.
- [2] 転びにくい冬みちの歩き方, <http://tsurutsuru.jp/kotsu2.html>, (参照 2022-12-21)
- [3] 徳永ロベルト ほか「北海道の冬期における歩行者の転倒事故と歩行空間対策について」『北海道開発土木研究所月報』(597), 土木研究所寒地土木研究所. 国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/8688550> (参照 2022-12-21)
- [4] 二階堂ひさえ, et al. “つるつる予報情報提供の取り組み: 雪道の転倒事故防止に向けて.” *寒地技術論文・報告集 寒地技術シンポジウム/北海道開発技術センター 編* 33 (2017): 162-167.
- [5] 加藤諒, et al. “札幌市における雪道転倒による救急搬送者予測—ディープラーニングを活用した試み—.” *寒地技術論文・報告集 寒地技術シンポジウム* 33 (2017): 153-157.
- [6] 富田尚駿, 山田真, and 長宗高樹. “圧力センサを用いた足底圧計測装置の開発-性能評価に関して.” *日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集 第 34 回ファジィシステムシンポジウム*. 日本知能情報ファジィ学会, 2018.
- [7] 吉田道拓, et al. “身体負担計測を目的とする簡易インソール型足底反力センサの試作.” *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017*. 一般社団法人 日本機械学会, 2017.
- [8] 中井亮仁, et al. “2P1-G09 インソールに配置した MEMS3 軸力センサによる足裏応力分布計測 (感覚・運動・計測 (3)).” *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2013*. 一般社団法人 日本機械学会, 2013.
- [9] 仙波諒, and 松田浩一. “歩行開始時の足底圧を用いた歩き出し動作に関する一検討.” *第 76 回全国大会講演論文集* 2014. 1 (2014): 675-677.
- [10] 中村恒平. “232 足底圧力分布の解析と機械学習によるフリースロー動作の評価 (動作・設計).” *シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集 2012*. 一般社団法人 日本機械学会, 2012.
- [11] 田中理沙, et al. “足底圧力中心からみた空手道基本動作の特性.” *国士舘大学体育研究所報* 35 (2017): 29-34.
- [12] 深堀孔明, 坂本大介, and 五十嵐健夫. “靴下型圧力センサを用いた足裏ジェスチャ.” *コンピュータ ソフトウェア* 33. 2 (2016): 2\_116-2\_124.
- [13] 武田隆宏, et al. “左右の足底圧力分布の動的変化に基づく生体認証.” *日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集 第 27 回ファジィシステムシンポジウム*. 日本知能情報ファジィ学会, 2011.
- [14] 大西鮎美, 寺田努, and 塚本昌彦. “足圧分布センサを用いた姿勢認識手法.” *マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集 2017* (2017): 810-818.
- [15] 大橋勇介, 榎堀優, and 間瀬健二. “足圧布センサを用いた路面形状判別の検討.” *研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI)* 2013. 15 (2013): 1-6.
- [16] 若林勇汰, and 白石陽. “インソール型デバイスによる足圧を用いた路面状況推定手法の検討.” *研究報告モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム (MBL)* 2019. 12 (2019): 1-6.
- [17] 若林勇汰, and 白石陽. “インソール型デバイスによる足圧データを用いた路面状況推定手法の提案.” *第 82 回全国大会講演論文集* 2020. 1 (2020): 241-242.
- [18] M5Stack, <https://m5stack.com> (参照 2022-12-20).
- [19] adafruit. “Pressure-Sensitive Conductive Sheet (Velostat/Linqstat), <https://www.adafruit.com/product/1361> (参照 2022-12-20).
- [20] Dzedzickis, Andrius, et al. “Polyethylene-carbon composite (Velostat®) based tactile sensor.” *Polymers* 12. 12 (2020): 2905.