

砂浜歩行感覚再現のための足裏触覚提示デバイスの提案

魚田真之介^{†1} 北島千瑛^{†1} 佐々木涼太郎^{†1} 韓旭^{†2} 串山久美子^{†2}

概要: 本研究では、砂浜の上を歩いている感覚を擬似的に再現することを目的として、振動モータからの触覚情報に加えて、踏ませる素材を変えることで、体験者により仮想イメージを想起させるデバイスの提案を行う。江の島の浜での実地調査、分析結果と先行研究から、砂浜での歩行感覚の再現には沈む感覚が重要だと仮定した。評価実験ではスポンジのような柔らかい素材を用いた場合、被験者に土などの自然環境を想起させた。これにより、素足で砂浜歩行感覚を再現することが期待できる。

1. はじめに

近年インタラクシオン体験技術や仮想現実技術の発展に伴い、体験の没入感を高めるための研究が行われている。前例として、流動化させた砂を利用した VR カヌー体験の研究[1]や、発泡ビーズの振動伝搬を用いた触覚ディスプレイの研究[2]といった触覚再現に関する研究が挙げられる。

我々は、足裏に素材と振動の組み合わせによる異なる触覚情報によって砂浜を歩行する感覚を再現するデバイスを提案し、実装した。加えて、評価実験を通じて、砂浜での歩行感覚の再現度合いを評価し、素材の効果を検証する。

2. 関連研究

川歩きの感覚を提示する長靴型触覚デバイスの研究[3]では加速度センサやスピーカ、保冷材などを靴に内蔵し、川歩きをする感覚の再現を試みている。他にも、足底部の触覚刺激による地面テクスチャ再現の研究[4]では、VR 映像を見ながら足裏に与える振動のパターンを変化させ、複数の地面テクスチャを再現している。また、砂や発泡スチロールといった粒子状の素材を利用し沈む感覚を提示している研究[5][6]もあるが、空気や水の制御で足の沈む度合いを変更することは容易ではない。

本研究では、素材を差し替えることで、足の沈む度合いを変更可能な床型デバイスを提案し、実装する。また、粒子状以外の素材で砂浜での歩行感覚の提示が可能かについて検討する。

3. 実地調査

我々は正確に砂浜での歩行感覚を再現するため、2023年10月27日及び同年11月19日に1名ずつ砂浜へ赴き、砂浜を素足で歩いたとき、どのような感覚が与えられるか調査と分析を行った(図1)。現地調査の対象とした砂浜は江の島である。



図1. 砂浜（江の島）での実地調査の様子

実地調査の結果、今回の研究での再現に関わる要素として、次のような分析を行うことができた。

- ・足裏には粒子が動く感じが少しある。
- ・体重をかけた分だけ沈む。時間差で地面が崩れる感覚。

分析結果や砂地歩行の有用性に関する研究[7]から、砂浜での歩行感覚の再現には踏んだ際の沈む感覚の再現を行うための振動感覚が重要であると考えた。そして、特に柔らかく、沈む素材を利用すればよいのではないかという仮説を立てた。この仮説をもとに、適度に沈む素材と足裏への振動感覚で砂浜での歩行感覚を再現するデバイスを提案する。

4. 実装

板状の素材と振動モータ、圧力センサを用いて、デバイスを制作した。デバイスの制御は Arduino を用いた。圧力センサが取得する値の範囲を 0~255 とし、150 以上の値を取得すると振動モータが起動する。振動モータの振動は踵からつま先から1列ずつ、0.1秒ごとに切り替わり、圧力センサの値が150以上の間、繰り返される。振動の強さは圧力センサの値が反映される。

デバイスの設計について、先行研究[8][9][10]に則り、振動モータ FM34F を 2.6cm 間隔で直線状に 6 つ並べたものを 2 列配置して固定した。踵部分には圧力センサを使用し、振動モータを固定したものを任意の素材で挟み、このデバイスを 2 台用意した(図2)。

また、衛生上の観点から、素足とスポンジの間に使い捨てのスポンジシートを用意した(図3,4)。

^{†1} 東京都立大学システムデザイン学部

^{†2} 東京都立大学システムデザイン研究科

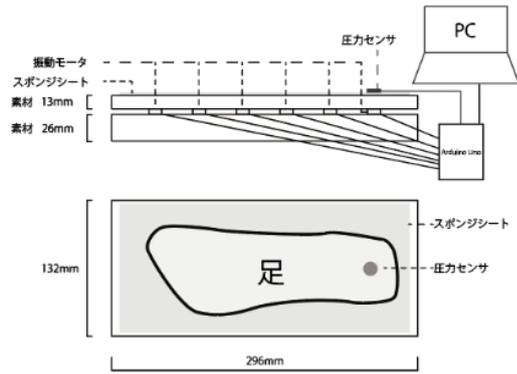


図 2. システム構成

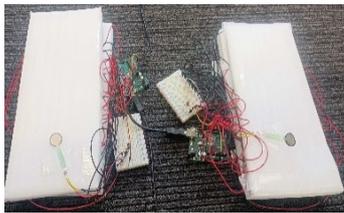


図 3. デバイス外観

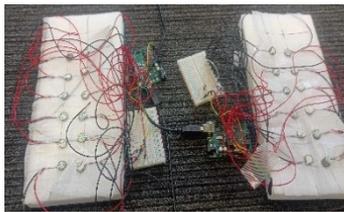


図 4. デバイス内部

今回の実験ではスポンジ、発砲スチロール、桐の板を選定した。選定の理由として、まず柔らかい砂浜の想起のために、柔らかい素材としてスポンジを選んだ。それに対して固く沈まない桐の板を、それら2つの中間の人工物でありある程度固く沈まない発砲スチロールを選択した。また、沈む感覚提示について、より細分化するために土台部をスポンジ、表面を発砲スチロールにするものも加えた。

5. 評価実験

被験者は20~22歳の男性2名、女性4名の大学生6名を対象とした。

柔らかく沈む素材が有効であるという仮説をもとに、それ以外の沈まない素材や、この2つの素材感の中間と考えられる素材の上を歩行させる。それによって、素材の沈み具合が砂浜の歩行感覚の再現に有用であることを検証する。使用した素材は板材、発砲スチロール、スポンジ、土台スポンジ+表面発砲スチロールの4つである。

実験手順は以下のように行った。

1. 被験者に実験の説明を行う。

2. 被験者に素足になってもらい、アイマスクを装着させる。
3. 素材のうち、1つを設置し、被験者を誘導し、デバイスに足を置かせる(図5)。
4. 合図とともに、足踏みを開始させ、30秒間足踏みをさせる。
5. 30秒計測した後、再度合図を出し、デバイスから足を離すように誘導する。
6. その後、足踏みしたデバイスの触覚からどのような場所を歩行していると感じたかを説明させ、その都度、その内容を記録する。
7. 素材を入れ替え、3~6を繰り返す。素材感提示の順番による結果の偏りを抑えるために素材提示の順番を被験者ごとに入れ替えた。



図 5. 実験開始前の様子

6. 結果と考察

各被験者から収集した各素材に関連する感想を表1にまとめている。

表 1. 実験結果

ID	A.スポンジ	B.発泡スチ	C.桐の板	D.土台スポンジ+ 表面発泡スチ	順番
1	地面つぼかない、 震えるおもちやの 上歩いている感じ	草原?を 歩いている感じ	木の板、 軋んだ体育館	アミューズメントパークの ゴムマットみたい、 振動しながら回る棒みたい	A→C→B→D
2	エアアスレチック	地面つぼくなくて 素材を踏んでる感じ	下駄でどこかを 歩いている感じ	テーマパークみたい、 自然ではなく人為的な場所	D→B→C→A
3	布団の上	子供部屋とかの ジョイントマット	紙が散らばった フローリングの上 固い砂	診療所の固めのベッド	C→A→D→B
4	ミミズが這う土	車の座席	フローリング	クッションのある畳	B→C→A→D
5	雪の上	コンクリートの道路	家のフローリング	自然の土	D→B→C→A
6	牛を踏んでいる	人工芝	軋んだ古い 民家の床	水の中の砂利	B→D→A→C

スポンジは「ミミズが這う土」や「雪の上」、発砲スチロールは「車の座席」や「人工芝」といった感想を得ることができた。また、桐の板は「フローリング」や「木の板、

転んだ体育館」, 土台スポンジ+表面発泡スチロールは「自然の土」, 「水の中の砂利」という感想を得ることができた.

結果から, 最も砂浜に近いとしたスポンジは自然の素材の上を歩いているような感覚を与えることはでき, 発砲スチロールと組み合わせた場合には再現したい砂浜に近い土を感じさせることがわかった. 一方で, 発砲スチロールや桐の板を用いた場合には, 柔らかい砂浜を想起させることはなかった.

スポンジから砂浜を感じさせることができなかったのは, 沈み具合が大きかったため, 実際の砂浜以上に沈み, 踏んでいるという感覚を強く感じたためだと考えられる. 一方で土台スポンジ+表面発泡スチロールは一定量沈んだのち, 少し固い感覚を感じられるため, 実際の砂浜歩行時の沈み方に近く, 地面を歩行している感覚を強く感じたためであると考えられる.

7. おわりに

今回砂浜の感覚再現を目的としてデバイスを実装し, 6名の被験者に体験してもらった. 結果として, 砂浜歩行の感覚を再現するには, 沈み具合だけでなく, 歩行時, 反発を感じさせる固さが必要なことがわかった.

砂浜歩行の感覚の再現のために, 土台を柔らかい素材, 表面を土台よりも固い素材にすることが有効であると考えられる. 表面の素材の厚みによっても, 振動や沈みこみの感覚を調整できる. 加えて, 土台の固さを感じさせるために, 表面を薄くすることで砂浜の感覚に近づけられると考える.

本研究で提案するデバイスは実装する際にスポンジから他の素材へ容易に取り換えることができるようにした. 今後もその他の組み合わせで研究・調査を行うことで, 砂浜での歩行感覚の再現だけでなく, あらゆる場所を自らの素足で歩く感覚を再現することも可能になると期待できる.

参考文献

- [1] 的場 やすし, 菅谷 諭:流動床インタフェース:液体のようにふるまう砂を用いたインタラクションシステム, インタラクション2017 論文集, pp476-479(2017)
- [2] 栗原 洋輔, 高下 昌裕, 岡崎 龍太, 梶本 裕之:発泡ビーズの振動伝搬を用いた広範囲触覚ディスプレイ, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2013 論文集, pp. 365(2013)
- [3] 野見山 雄太, 矢島 佳澄, 木村 孝基, 山岡 潤一, 鎌田 洋平, 大島 遼, 箕 康明:川歩きを提示する長靴型触覚デバイス RiverBoots の提案, 信学技報, Vol. 109, No. 466, MVE2009-149, pp133(2009)
- [4] 黄訓達: 仮想現実感に向けた足底部の触覚刺激による地面テクスチャ再現手法の提案. 2017 年度関西大学総合情報学部, 卒業論文(2018).
- [5] 松尾 翔太, 押見 洋土, 窪田 太一, 磯山 直也, 内山 英明, 清川清:なぎさんぽ, 第26回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(2021)
- [6] 増田宗一郎, 満田隆:粒子ジャミングを用いた靴型路面感覚提示装置の開発, 第25回日本バーチャルリアリティ学会大

- 会論文集(2020)
- [7] 岡村 和典, 森田 有紀, 金井 秀作:砂や礫による不整地歩行は下肢への衝撃を軽減する, Japanese Journal of Health Promotion and Physical Therapy Vol. 9, No. 3, pp. 113-117(2019)
 - [8] 鈴木 隆史, 曲谷 一成:リニア振動アクチュエータを用いた方向提示デバイスの開発, 東海大学紀要, 工学部, 56(2), pp. 49-54(2016)
 - [9] Gerstein, G. L., Gross, C.G. & Weinstein, M. (1968). Inferotemporal evoked potentials during visual discrimination performance by monkeys. Journal of Comparative and Physiological Psychology, 65(3, Pt. 1), 526-528(1968)
 - [10] 原田寛之:歩行感覚支援のための足底刺激アクチュエータの研究開発, 法政大学大学院デザイン工学研究科紀要, Vol. 4(2015)