

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12065

研究課題名(和文) 地面インタラクションセンシングによる都市体験の記録と再生

研究課題名(英文) Measuring ground interaction experience for capturing and visualizing city walk impressions

研究代表者

栗田 雄一 (Kurita, Yuichi)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：80403591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、歩行時の地面とそれに対する感性情報・振動情報を地面インタラクション情報として定義し、広島大学東広島キャンパス内と京都市内中心部で地面インタラクション情報の計測を行った。また加速度センサにより計測した振動データを用いて感性情報の予測を行い、振動情報から感性情報がある程度の精度で予測可能であることを確認した。さらに街中を歩いた時に生じる街歩き感を地図上に反映させることで可視化を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we defined sensibility information and vibration information in response to ground characteristics while walking as ground interaction information. We measured ground interaction information in Hiroshima University Higashi-Hiroshima campus and Kyoto city center, and predicted sensibility information using vibration information. In addition, we visualized the feelings felt by subjects while walking through city environments by reflecting it on a map.

研究分野：人間拡張

キーワード：ヒューマンインタラクション 触覚・力覚 センシングデバイス バーチャルリアリティ 都市様相

## 1. 研究開始当初の背景

センサの小型化・高性能化によって、人の様々な体験に伴う感性とその時生じる物理情報とを関連付けて人の感性を定量的に計測、可視化する研究が数多く行われている。例えば、建築学の分野では、街に対する人の感性を定量的に計測・可視化する取り組みがされている。街に対する感性とは「都会らしい」や「空気が良い」のような街の雰囲気のことを言い、人が感じるその街の特徴を表していることから、都市環境の改善や開発などのために主観による評価が数多く行われてきた。またセンサ情報による定量評価も行われており、Alettaらは環境音によって生まれる音風景(サウンドスケープ)という視点から、都市の環境音を音圧レベルと個人の評価によって可視化する研究[1]を、安藤らは街の景観に対する感性評価と眼球の動きとの関係性の研究を行っている[2]。さらに北らは、街中を歩くこと、即ち街歩きによって得られる主観的な体験には、道幅や材質といった地面の状態が関係することに言及している[3]。また佐藤らは、歩行時の足首部分の加速度と被験者の地面に対する歩き心地との関係性を調査している[4]。このことは、街歩き時の地面に対する足底の触感を計測できれば、従来とは違った視点で街歩き時の感覚(以下、街歩き感と呼ぶ)を可視化できる可能性を秘める。またセンサによって得られる物理情報から感性を予測するモデル式を作成すれば、歩行時の触感を定量化が行え、さらにセンシングのみで街中のあらゆる地面に対する触感の予測が可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、振動情報から感性を予測するモデル式を作成すれば、振動情報の計測のみであらゆる街中の地面に対する触感を予測し、可視化することへ繋がると考えた。そこで歩行時の地面とそれに対する感性情報・振動情報を地面インタラクション情報として定義する。そして広島大学東広島キャンパス内と京都市内中心部で地面インタラクション情報の計測を行い、振動情報を用いて感性情報の予測を行う。さらに街中を歩いた時に生じる街歩き感を地図上に反映させることで可視化を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

### 3.1 地面インタラクション情報計測・予測・可視化システム

地面インタラクション情報計測・予測・可視化システムについて説明する。本研究では地面インタラクション情報は上記の通り、地面に対する感性情報と振動情報とし、広島と京都でそれぞれ計測を行う。システムの流

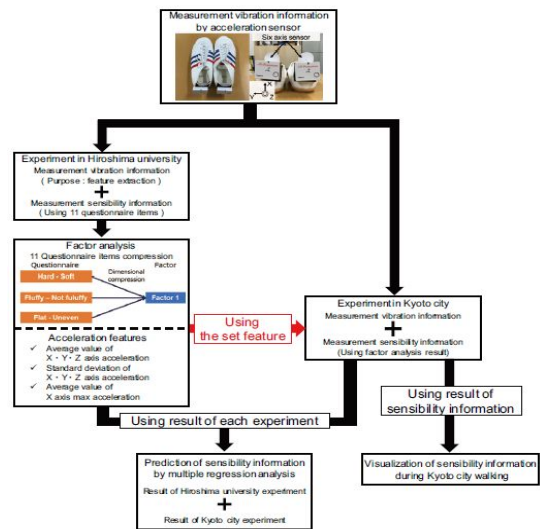


図1 計測情報の処理のながれ

れは図1に示す。計測手法については、感性情報は感性評価アンケートを作成し、そちらを用いて計測する。振動情報は図1に示すシューズ(ASAHI社製 クラシックシューズ)を使用し、計測を行う。このシューズは6軸センサ(ATR-Promotions社製 TSND121)を踵部分に取り付けてあり、これにより歩行時に足底が地面に着地した際の振動をX・Y・Z軸の加速度として計測することができる。取り付ける位置に関しては、歩行時に最も早く接地する部分は踵部分であることを考慮した。また6軸センサが計測する波形の内は、X軸の波形を上下加速度、Y軸の波形を左右加速度、Z軸の波形を前後加速度とする。また計測したデータから特徴量を抽出し、結果とする。特徴量の決定は広島大学内での結果を元としている。この理由はまず広島大学での実験を元に京都での実験を行ったためである。感性情報はアンケート結果に対して因子分析を行い、結果とする。この理由は、複数のアンケート項目から潜在的な触感を抽出するためである。振動情報は波形から地面ごとで特徴が出ているものを特徴量とする。次に地面インタラクション情報の予測について説明する。本研究では予測する手法には重回帰分析を用いる。広島での実験結果と京都での実験結果を1つのデータセットとしてまとめ、感性情報の結果を振動情報の結果を用いて解析し、予測する。重回帰分析に用いる振動情報は加速度波形から抽出できる特徴量とする。また重回帰分析は予測式を作成するため、その予測精度の検証も行う。最後に計測した地面インタラクション情報を地図上に反映させ、計測した場所と対応付けることで街歩き感の可視化を行う。可視化する対象は京都の感性情報とする、

### 3.2 地面インタラクション情報計測実験

#### 3.2.1 広島大学東広島キャンパスでの計測実験



図2 計測した地面

|                 | Very | slightly | Neutral | slightly | Very |                      |
|-----------------|------|----------|---------|----------|------|----------------------|
| Soft            | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Hard                 |
| Secure          | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Anxiety              |
| Tsurutsuru      | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Zarazara             |
| Pleasant        | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Unpleasant           |
| Smooth          | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Rough                |
| Like            | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Dislike              |
| Flat            | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Uneven               |
| Fluffy          | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Not fluffy           |
| Slide           | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Not slide            |
| Stumble         | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Not stumble          |
| Easy to walking | 1    | 2        | 3       | 4        | 5    | Difficult to walking |

図3 アンケート項目

まず広島大学東広島キャンパスでの実験について説明する。実験の被験者は5名であり、感性情報と振動情報の計測を行った。計測対象は図2に示す広島大学内の7つの地面とする。計測する地面の提示順番は被験者ごとでランダムとした。感性情報の計測には図3のアンケート表を用いた。項目設定に関しては従来研究を参考にした[5]。アンケートの評価手法はSD法による5段階評価を採用した。分析の条件について、解析には統計解析ソフトSPSS(IBM社製)を用いた。解析手法は最尤法、因子軸の回転はプロマックス回転、因子の抽出基準は情報量基準(BIC)を用いた。振動情報の計測についてセンサの設定はサンプリング周波数を200Hz、加速度レンジを150 m/s<sup>2</sup>とし、計測をおこなった。実験のタスクは1. 感性評価アンケート、2. 振動情報の計測の順番で実施した。1. 感性評価アンケートに関しては被験者にアイマスクを装着した状態で足踏み又は歩行動作を行わせた。この理由は視覚による影響を抑えるためである。2. 振動計測に関しては各地面に対して11歩分の歩行動作を一定の速さで行わせた。感性情報の結果、次の2つの因子が抽出された。因子1は歩行時の地面に対する不安感や歩きにくさといった項目が強く出たため、符号を反転させた上で地面の安定感と命名した。因子2は地面の硬さに関する項目が強く出ているため、地面の硬さ感と命名した。振動情報は上下・左右・前後加速度の平均値と標準偏差、上下加速度の着地時

の最大値の平均の7種類の項目を算出し、それを結果とした。この理由は地面ごとで特に違いが見られたためである。

### 3.2.2 京都市中心部での計測実験

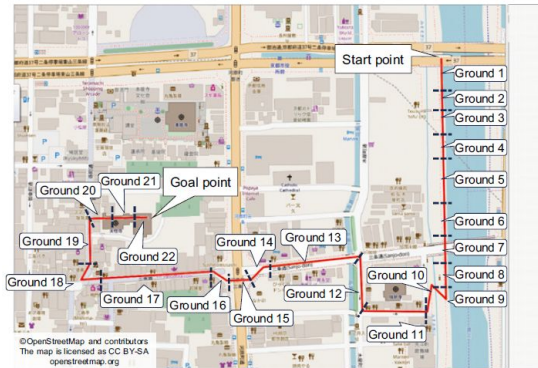


図4 京都での歩行実験のルート

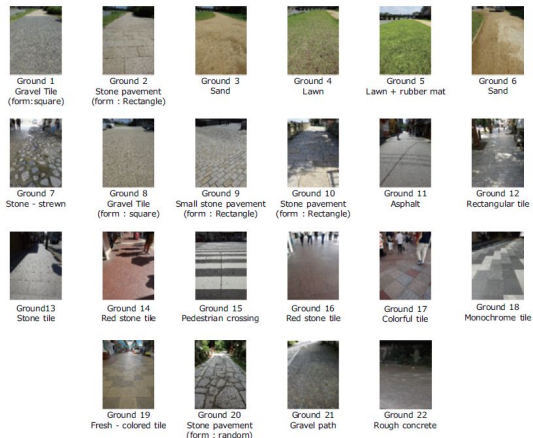


図5 計測した地面パターンの例

次に京都市中心部(京都市役所付近)での実験内容について説明する。被験者は健常成人10名(地面8のみ9名)とし、感性情報と振動情報の計測を行った。計測する地面の提示順番は図4のスタート地点からゴール地点までの地面1~22の順番で提示した。ルート上に現れた地面を図5に示す。感性情報の計測は前節で説明した広島での実験結果をふまえ、安定感と硬さ感の2項目のみを回答することで計測した。評価手法はSD法による7段階評価を採用している。振動計測に関しては6軸センサのサンプリング周波数を250 Hz、加速度レンジを150 m/s<sup>2</sup>として計測を行う。また3.1節の実験と同様の特徴量を抽出し、計測結果とした。実験タスクについては1. 振動情報の計測、2. 感性評価アンケートの順番で実施した。1. 振動情報の計測では被験者に普段行っている自然な歩行を行うように指示をした。また地面ごとで範囲が異なるため、それに合わせて歩数を地面ごとで変更している。2. 感性評価アンケート

に関しては、今回の実験では相対評価となるため後からアンケートの結果を変更してもいいことを事前に伝えて実験を行った。そして得られた感性情報と振動情報を用いて重回帰分析による解析を行う。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 重回帰分析による重回帰式の作成と感性情報の予測

まず広島での実験結果と京都での実験結果を用いて振動情報を用いた感性情報の予測を行う。感性情報は地面の硬さ感と安定感の2種類の情報を、振動情報は上下・左右・前後加速度の平均値・標準変差、上下加速度の最大値平均の7種類の情報を用いる。予測を行うために、今回は重回帰分析によるモデル式の作成と予測を行った。重回帰分析の条件としてステップワイズ法による振動情報の選択を行っている。また分析を行うデータは2つの実験結果を結合したものとする。その結果、モデル式は以下の式となった。

$$Y1 = 1.15 + 0.02X11 - 0.26X12 \quad (1)$$

$$Y2 = 2.40 - 0.53X21 - 0.38X22 + 0.13X23 \quad (2)$$

Y1 はの地面の硬さ感、X11 は前後加速度の標準変差、X12 は1歩当たりの上下加速度最大値の平均値である。Y2 は地面の安定感、X21 は前後加速度の平均値、X22 は左右加速度の標準変差、X23 は前後加速度の標準変差である。またこの式を用いた予測結果は図6のようになった。次に得られた重回帰式の予測精度を検証する。精度検証の手法は Leave one out 交差検証を採用し、地面の硬さ感と地面の安定感の予測精度の検証を行った。結果を図7に示す。最後に得られた街歩き感の可視化を行う。可視化にはヒートマップと呼ばれるデータの可視化手法を用いる。また可視化する街歩き感は京都で計測した感性情報とする。その結果、図8となった

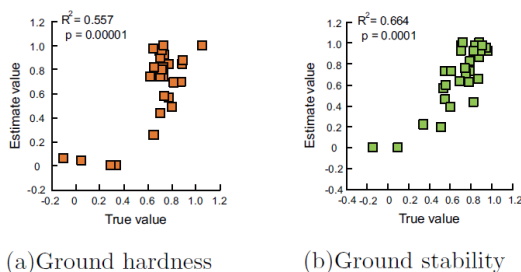
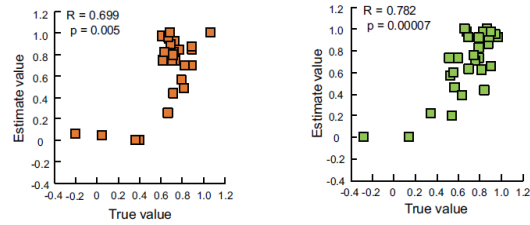


図6 重回帰分析による予測結果



(a)Ground hardness (b)Ground stability

図7 Leave-one-out 交差検証の結果

##### 4.2 考察

第4章の結果について考察する。まず重回帰分析結果である図6より地面の硬さ感と地面の安定感はどちらも決定係数 R2 は0.5以上となった。このことから一般的な決定係数の基準を満たしているため、振動情報から感性情報を予測できる可能性を示唆した。また精度検証結果である図7より相関係数が0.7~0.8に近い数字を示したことから、高い精度を持つ可能性も示唆した。しかし真値が重なっている部分が存在することが確認でき、これは被験者が類似していると感じた地面が多かったことを示している。そのため地面の感性情報に偏りが生じてしまい、精度検証に悪影響を及ぼしたことが推測される。そこで芝生などの地面を追加することで偏りを減らすことが出来ると考えられる。また今回の解析で用いた振動情報は上下・左右・前後方向の加速度波形の平均値と標準変差、上下方向の加速度の最大値を用いているが、角速度と周波数成分を用いてはいいない。そこで今後は角速度と周波数成分も用いて重回帰分析を行えば、更なる精度の向上に繋がると考えられる。

次にヒートマップによって可視化した街歩き感について考察する。図8から河川敷から市街地に近づくほど硬さ感と安定感が高くなり、特に歩道部分が顕著であることが分かる。これは歩道はアスファルトやタイルといった人工的な地面が多いため、人工的な地面は硬さや安定感を有しており、人が歩く上で優れている可能性も示唆している。また中心部でも柔らかい或いは不安定に感じる地面が存在するが、この地面は寺院の敷地にある砂利道や形が異なる石畳である。そのためアスファルトやタイル、整備された石畳と違い、柔らかさや不安定さが生じた可能性が示唆される。このような街中に寺院があり触感が変化するのは京都の街がもつ触感の特徴と言える。



(a) Ground hardness



(b) Ground stability

図8 地面インタラクション情報の可視化

<引用文献>

- [1] A. Francesco and J. Kang, Soundscape approach integrating noise mapping techniques: a case study in Brighton, UK, Noise Mapping, Vol. 2, pp. 1-12, 2015
- [2] 安藤昭, 赤谷隆一, 佐々木栄洋, 被験者の景観に対する感受性を考慮した街路景観の評価について, 土木学会論文集, Vol. 2003, No. 737, pp. 133-145, 2003
- [3] 北雄介, 門内輝行, 経路歩行実験による都市の様相の記述-都市の様相の解読とそのデザイン方法に関する研究(その1), 日本建築学会計画系論文集, Vol. 75, No.651, pp. 1159-1168, 2010
- [4] 佐藤研一, 三宅秀和, 川上貢, 佐藤雅治, 土系舗装体の耐久性と歩き心地に関する研究, 舗装工学論文集, Vol.7, P 11, pp. 1-11, 2011
- [5] 白土寛和, 前野隆司, 触感呈示・検出のための材質認識機構のモデル化, 日本バーチャルリアリティ学会論誌, Vol. 9, No. 3, pp. 235-240, 2004

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

飯倉隆寛, 北雄介, 中小路久美代, 辻敏夫, 栗田雄一, 街歩き体験を可視化するための地面インタラクションセンシング, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 講演論文集, 1P2-O05, 郡山, 2017.5

飯倉隆寛, 辻敏夫, 栗田雄一, 靴底に対する振動付与による路面歩行感の修飾提示, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集, 1P1-20a5(1)-(2), 2016.6

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

該当なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

栗田 雄一(KURITA, Yuichi)  
 広島大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号: 80403591

(2)研究分担者

北 雄介(KITA, Yusuke)  
 京都大学・デザイン学ユニット・特定講師  
 研究者番号: 40723482

(3)連携研究者

中小路 久美代(NAKAKOJI, Kumiyo)  
 京都大学・デザイン学ユニット・特定教授  
 研究者番号: 00345133