

スマートウォッチを用いたポイ捨てごみの種別・位置認識システムの提案

Proposal of Classification and Location Recognition System for Litter by Using Smartwatch

立花 巧樹[†] 中村 優吾[†] 松田 裕貴[†] 諏訪 博彦[‡] 安本 慶一[†]
 Koki Tachibana Yugo Nakamura Yuki Matsuda Hirohiko Suwa Keiichi Yasumoto

1. はじめに

ごみのポイ捨ては社会問題に発展している。市区町村におけるポイ捨てごみの対応事例の把握を目的とした、環境省環境再生・資源循環局廃棄物適正処理推進課の調査によると [1], ポイ捨てごみに対する条例等の施行による課題の内容として最も多かったのは、「ポイ捨ての根絶」であった (図 1)*。ここから各市区町村は、ポイ捨てごみの問題を解決したいという問題意識を持っていることがわかる。また、条例以外でポイ捨てを防止する方法として、都市デザイン的アプローチが考えられる。例えば、ポイ捨てされる場所に対して、ごみ箱やポイ捨て禁止の旨が書かれた看板を設置することで、ポイ捨てを防止することができると考えられる。ただし、ごみ箱やポイ捨て禁止の旨が書かれた看板を、ポイ捨てが起こりうる場所全てに網羅的に配置することは、管理コストが大きくなってしまいうため、効率的な配置が求められる。したがって、ポイ捨て防止の都市デザインアプローチを実現するためには、個々のごみの種別・位置について事前に把握することが必要である。その一例としては、タバコのごみが多く落ちている場所に対して灰皿を設置するなどのアプローチを取ることができる。しかし、市区町村の人が個々のごみの種別・位置を記録することは手間がかかってしまうという問題が存在する。上記の問題は、市区町村に住む習慣的にごみ拾いをしている人を利用して大規模で継続的なごみのデータを収集することで、解決できるかもしれない。例えば、習慣的にごみ拾いをしている人が拾ったごみを撮影し、ピリカ [2] のような SNS アプリケーションにアップロードすることで、個々のごみの種別・位置を記録することが期待される。

しかし、習慣的にごみ拾いをしている人が一つ一つのごみを撮影し、ピリカ [2] にアップロードすることは手間がかかってしまう。したがって、習慣的にごみを拾う人が、手間をかけずにごみを拾うだけで、個々のごみの種別・位置を記録できるようにすることを研究の目的とする。我々は、習慣的にごみを拾う人として、プロギン

グしている人に注目した。プロギングとは、スウェーデン発の新しいフィットネスであり、ジョギングしながらごみ拾いをするのである。我々は、プロギングをしている人が運動管理のために装着しているスマートウォッチを用いて、普段通りごみを拾うだけで個々のごみの種別・位置を記録することができれば、ユーザに手間をかけることなくごみのデータ収集をすることができるのではないかと考えた。

本研究では、ユーザが装着しているスマートウォッチから得られるセンサデータのみを用いて、ごみの種別および位置を推定するシステムを提案する。具体的には、はじめにデバイスに内蔵されている IMU を用いてユーザがごみを拾う動作を認識する。次に、マイクでユーザがごみを拾う際に生じる音を収集し、ごみの種別を推定する。最後に、GPS から得られる位置情報を取得することで、個々のごみの種別・位置を記録することができる。

本稿では、ごみの音の特徴量を抽出し、どの程度違いがあるのか、ごみの種別を推定できるのか明らかにすることを目的とする実験を行った。実験結果より、アルミ缶・瓶・ペットボトル・紙類・プラスチックのごみは、振幅の大きさ、音の伸びの特徴の組み合わせが異なることから、音の特徴を用いた 5 クラス分類モデルを作成可能であることが示唆された。

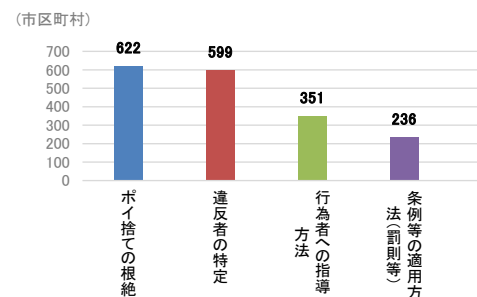


図 1: ポイ捨てごみの課題の実態 [1]

[†] 奈良先端科学技術大学院大学,
Nara Institute of Science and Technology

[‡] 理化学研究所 革新知能統合研究センター (AIP),
RIKEN, Center for Advanced Intelligence Project (AIP)

*アンケート結果のうち、上位 4 件を抜粋して表示している。

2. 関連研究

2.1 節では手動で個々のごみの種別・位置を記録する研究事例、2.2 節では落ちているごみを撮影することで個々のごみの種別・位置を記録する研究事例、2.3 節では拾ったごみを撮影することで個々のごみの種別・位置を記録する研究事例について紹介する。

2.1 手動で個々のごみの種別・位置を記録する研究事例

手動で個々のごみの種別・位置を記録する研究事例 [3, 4, 5] がある。井上ら [3] は、釜口水門から横川川合流点までの天竜川上流 11.5km の河岸において、漂着ごみの量、種類を手動で記録しながら調査し、漂着ごみの分布および岸形状との関係を考察した。高橋ら [4] は、計測者が手動でタバコの位置を地図上にプロットし、タバコの種別・位置の分析を行っている。その結果、タバコの多い場所に対して、灰皿を設置してポイ捨て削減を狙うなどのタバコのポイ捨ての防止対策に関する具体的な方策を提案している。早瀬ら [5] は、計測者が大学敷地内に散乱しているごみを手動で記録し、ごみの種別・位置の分析を行っている。また、ごみを捨てられた時間における滞留・通過人員も定点カメラで撮影することにより計測している。今後は、分析結果を利用して、法的規制、用具類の設置、啓発活動などを行うことを述べている。

2.2 落ちているごみを撮影することで個々のごみの種別・位置を記録する研究事例

落ちているごみを撮影することで個々のごみの種別・位置を記録する研究事例 [6, 7] がある。植田ら [6] は、ポイ捨てする人の属性や捨て方の特徴、ごみの種別・位置を記録するために、ビデオカメラによるポイ捨て行為の記録・観察調査を行っている。観察結果より、ごみのポイ捨て行為の実態を記録するとともに、ポイ捨ての防止対策に関する具体的な方策の提案している。タカノメ [7] は、スマホでごみを撮影することで、ごみの種別・位置を調査することができるシステムである。計測者がスマホで道にあるごみを撮影し、システムが画像解析を用いて、動画に写ったごみの種類や数量を読み取る。解析結果に対して、トレーニングを受けたスタッフが目視で確認と修正を行い、地図上にプロットすることで、ごみの種別・位置を記録することができる。

2.3 拾ったごみを撮影することで個々のごみの種別・位置を記録する研究事例

拾ったごみを撮影することで個々のごみの種別・位置を記録する研究事例としては、文献 [2] が挙げられる。ピリカ [2] は、世界 100ヶ国以上で利用されているごみ拾いボランティア SNS アプリケーションである。アプリケーションユーザは、拾ったごみを撮影し、位置情報と共にアップロードする。これにより、個々のごみの種別・

位置を記録することができる。

3. 提案システム

3.1 研究目的

本節では、2. 章で述べた既存研究に基づき提案システムの目的を設定する。ポイ捨て防止の都市デザインアプローチを実現するためには、個々のごみの種別・位置を事前に把握をすることが不可欠である。しかし、市区町村の人が個々のごみの種別・位置を記録することは、大きな手間がかかってしまうという問題が存在する。上記の問題は、市区町村に住む習慣的にごみ拾いをしている人を利用して大規模で継続的なごみのデータを収集することで、解決できるかもしれない。

例えば、2.1 節で示した研究事例 [3, 4, 5] を用いれば、習慣的にごみ拾いをしている人が手動でごみの情報を記録することで、個々のごみの分布・種別を記録することができるかもしれない。しかし、習慣的にごみ拾いをしている人が、一つ一つのごみに対して種別・位置を手動で地図上にプロットしながら記録することは、手間がかかってしまうという問題が存在する。

次に、2.2 節で示した研究事例 [6, 7] を用いれば、習慣的にごみを拾う人に対して負担をかけることなく個々のごみの種別・位置を記録することができるかもしれない。しかし、習慣的にごみを拾う人は、落ちているごみを撮影している間にごみを拾うことができないという問題が存在する。また、落ちているごみを撮影する作業は、習慣的にごみを拾う人にとって特別な動作のため、システムを導入することは困難であると考えられる。

以上の研究事例の問題は、2.3 節で示した研究事例 [2] を用いれば習慣的にごみを拾う人が拾ったごみを撮影するだけで、個々のごみの種別・位置を記録することで、解決することができるかもしれない。しかしこれは、2.1 節の研究事例と同様で、一つ一つのごみに対して撮影を行うことは、習慣的にごみを拾う人に対し手間がかかってしまうという問題が存在する。また 2.2 節で示した研究事例と同様、拾ったごみを撮影する作業は、習慣的にごみを拾う人にとって特別な動作のため、システムを導入することは困難であると考えられる。

以上より我々は、習慣的にごみ拾う人が、手間をかけずにごみを拾うだけで、個々のごみの種別・位置を記録できるようにすることを研究の目的とする。

3.2 提案システムの概要

我々は、習慣的にごみを拾う人として、プロギングをしている人に注目した。プロギングをしている人が運動管理のために装着しているスマートウォッチを用いて、普段通りごみを拾うだけで個々のごみの種別・位置を記録することができれば、ユーザに手間をかけることなく

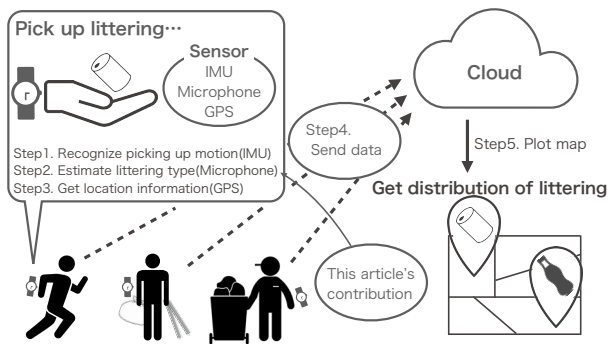


図 2: 提案システムの概念図

ごみのデータ収集をすることができるのではないかと考えた。

本研究では、ユーザが装着しているスマートウォッチから得られるセンサデータのみを用いて、ごみの種別および位置を推定するシステムを提案する。提案システムの概念図を図 2 に示す。具体的には、デバイスに内蔵されている IMU を用いて加速度データを収集することで、ユーザがごみを拾う動作を認識する (Step1)。次に、マイクでユーザがごみを拾う際に生じる音を収集し、データを解析することでごみの種別を推定する (Step2)。最後に、GPS から得られる位置情報を取得することで (Step3)、ごみの種別・位置を記録することができる。そして、ごみの種別と位置情報をクラウドに送信し (Step4)、位置情報をもとに地図上にごみの種別をプロットすることで (Step5)、ごみの分布を把握することが可能になると考える。本システムは、プロギングしている人を想定ユーザとしているが、ボランティアでゴミ拾いをしている人やごみ収集業者がシステムを利用することも可能である。将来的に、市区町村などの自治体は、プロギングをしている人をはじめとする、市区町村に住む習慣的にごみを拾う人がごみを拾うだけで、その地域におけるごみの分布を把握することが可能になると考えられる。

4. 評価実験

4.1 実験概要

3.2 節の Step2 で述べた、ユーザがごみ拾ったときのごみの音の特徴から、ごみの種別を推定することができるかは明らかになっていない。よって本実験では、ごみの音を収集して特徴量を抽出し、どの程度違いがあるのか、ごみの種別を推定することができるのか明らかにすることを研究の目的とする。

ごみの分類クラスを定めるために、文献 [8] に注目すると、散乱個数ランキングにおいて、タバコ・紙類・プラスチックが上位を占めていたことがわかる。この 3 種

類のごみの他に、一般的な飲料容器である缶・瓶・ペットボトルを加えて計 6 種類を分類クラスとして定める。音を収集するごみの種類の一覧とごみの個数を表 1 に示す。今後、ごみの種別をより細分化する必要があるかどうか調べるため、各クラスにおけるごみは、全て異なるごみとする。もし、同じクラスに属しているごみでも音の特徴が異なった場合、よりクラスを詳細に分類する必要がある。

音データの計測には、Apple Watch Series 5 に付属しているマイクを用いた。音でごみを種別するための初期検討として、計測者は、デバイスを左腕に装着した状態でごみを 3 回叩いた。その際計測者は、ごみを拾うときのシーンを想定した姿勢を再現する (図 3)。計測者は、3 秒ごとに計 10 回、上記の動作を行った。システムは、計測者が各ごみを叩く際に生じる音データを収集した。計測した音データは全て 2 秒分の固定長になるように分けた。以降、この 2 秒分のデータをサンプルと称する。したがって、缶・瓶・ペットボトル・紙類・タバコは計 40 サンプル、プラスチックは計 80 サンプルを収集した。各サンプルに対し、フーリエ変換を行い、特徴を抽出した。計測者は 20 代の大学生 1 名である。

表 1: ごみの種類と個数

ごみの種類	個数
缶	4
瓶	4
ペットボトル	4
紙類	4
タバコ	4
プラスチック	8



図 3: データ収集風景

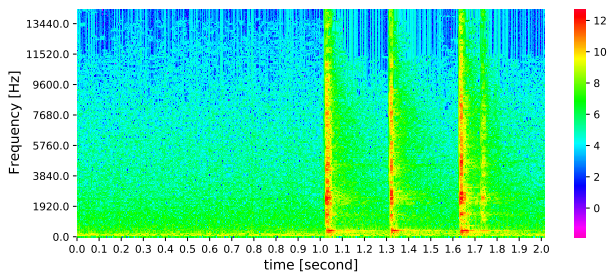


図 4: アルミ缶

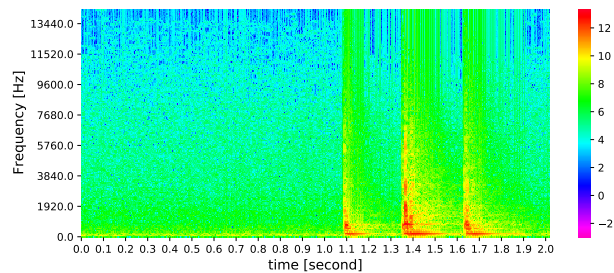


図 6: ペットボトル

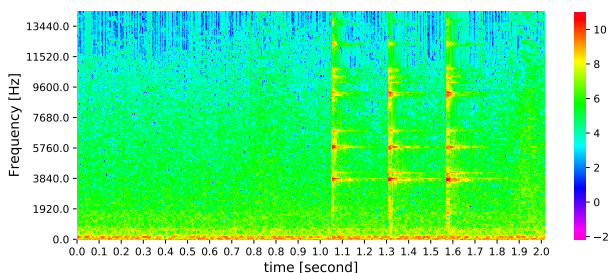


図 5: 瓶

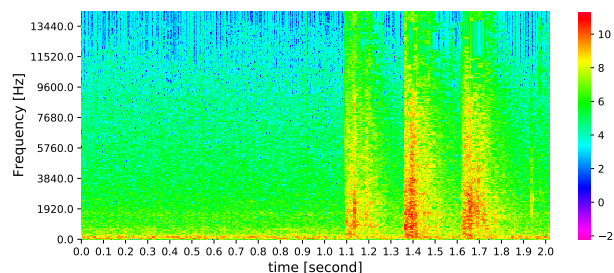


図 7: 紙類

4.2 実験結果・考察

各種ごみの1サンプルを抜粋した実験結果を図4から図9に示す。横軸は時間を表し、縦軸はヘルツを表す。色は周波数成分の振幅の大きさを表す。以降、0Hzから3840Hzの帯域幅を低周波、3840Hzから7680Hzの帯域幅を中周波、7680Hzより高い帯域幅を高周波として定義し、考察を行う。アルミ缶(図4)は、低周波から中周波の帯域幅において全体的に振幅は大きい、音の伸びがないという特徴が見られる。瓶(図5)は、どの帯域幅においても振幅は大きい、断続的である特徴が見られる。また、振幅が大きい箇所においては音が伸びるという特徴が見られる。ペットボトル(図6)は、低周波から中周波にかけて振幅は大きく、低周波においてのみ音の伸びがあるという特徴が見られる。紙類(図7)は、低周波から中周波の帯域幅において振幅は大きく、音の伸びがあるという特徴が見られる。タバコ(図8)は、どの帯域幅でも振幅が大きいという特徴が見られる。これはつまり、そもそも音のデータを収集することができていないことを表している。プラスチック(図9)は、全ての帯域幅において振幅は大きく、音が伸びるという特徴が見られる。以上より、各クラスのごみは、タバコ以外において、振幅の大きさ、音の伸びの特徴の組み合わせが異なることから、音の特徴を用いた5クラス分類モデルを作成可能であることが示唆された。

次にごみの種別をより細分化する必要があるのかを調

査するために、アルミ缶とスチール缶における音の特徴の違いについて考察を行う。スチール缶の実験結果を図10に示す。スチール感とは低周波から中周波にかけて振幅は大きく、特定の周波数に対して音が伸びるという特徴が見られる。アルミ缶と比較すると、スチール缶は、低周波から中周波にかけて振幅は大きいという特徴は一致しているが、特定の周波数に対して音が伸びるという特徴は一致していない。また、図からもわかるように瓶の特徴と類似している傾向がある。よって、アルミ缶とスチール缶を同じ缶というクラスを付与した場合、スチール缶は瓶と誤認識してしまう可能性が示唆された。本稿では、アルミ缶とスチール缶のみの比較を行ったが、他のクラスにおいても異なるごみにおいて、音の特徴の違いが見られた。今後は、ごみの分類クラスをより細分化したシステム設計を行っていく予定である。

最後に、ノイズ音を収集してしまったサンプルが複数存在したため、その中の1例を図11に示す。図11は、アルミ缶の音データ収集時に生じた、ノイズデータの結果である。図4と比較すると、計測者がごみを叩いているとき、振幅は大きいことがわかる。しかし、計測者がごみを叩いていないときにおいても振幅は大きいという特徴が見られる。これは、外的な実験データ収集時において、外的なノイズが入ってしまったためであると考えられる。今後は、システム実現のため、ノイズも考慮したシステム設計が求められると考えられる。

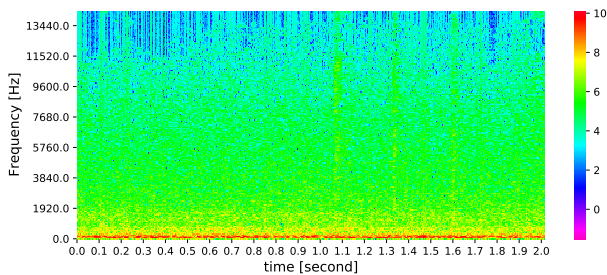


図 8: タバコ

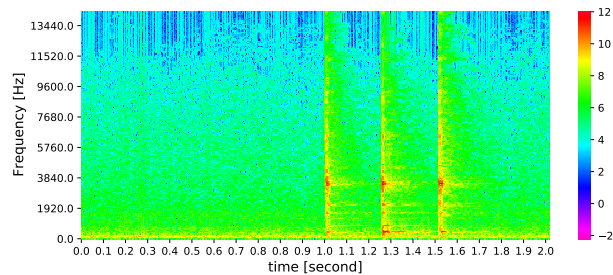


図 10: スチール缶

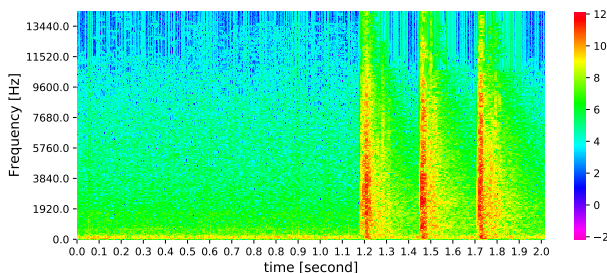


図 9: プラスチック

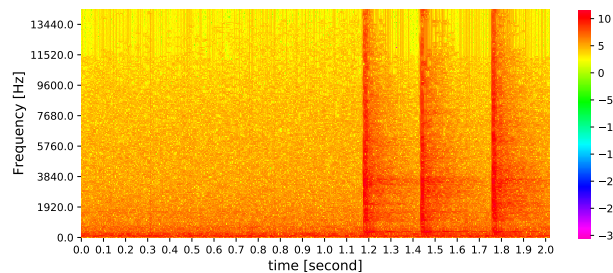


図 11: ノイズデータ

5. おわりに

本稿では、個々のごみの種別・位置を記録するために、習慣的にごみを拾う人がスマートウォッチを装着し、そこから得られるセンサデータのみを用いて、ごみの種別および位置を推定するシステムを提案した。また、ユーザがごみ拾ったときの音の特徴から、ごみの種別を推定することができるかどうかの明らかにするために実験を行い、各種類のごみは、タバコ以外において、振幅の大きさ、音の伸びの特徴が異なることから、音のデータから得られる特徴を用いて、ごみを分類可能であることが示唆された。今後は、ごみの分類クラスをより細分化したシステム設計を行っていく予定である。また、ノイズデータやタバコのような音を収集できないごみに対しても、種別が推定できるようなシステム設計が求められると考える。

参考文献

[1] 環境省環境再生・資源循環局廃棄物適正処理推進課. 令和元年度「ポイ捨て」に関する調査報告書. <http://www.env.go.jp/recycle/report/h31-10.pdf>, 2019. Accessed: 2020-07-16.

[2] 株式会社ピリカ. ごみ拾い sns ピリカ—いつでもどこでも気軽にボランティア. <https://sns.pirika.org/>. Accessed: 2020-07-27.

[3] 井上芳樹, 戸田任重. 諏訪湖・天竜川上流における漂着ゴミ. 環境科学会誌, Vol. 16, No. 3, pp. 167–178, 2003.

[4] 高橋祐平, 石坂公一, 小地沢将之. タバコのポイ捨てポテンシャルの分布構造—仙台市中心部のアーケード街を対象として—. 日本建築学会技術報告集, 第 15 巻, pp. 257–260, 2009.

[5] 早瀬光司, 錫木圭一郎. 公共空間における散乱ごみ防止のための、実験系の設定, 散乱ごみの分析, 人員の動態計測およびごみ発生原単位に関する基礎的研究. 廃棄物学会論文誌, Vol. 9, No. 6, pp. 274–280, 1998.

[6] 植田憲, 高野維斗, 神崎広史, 宮崎清. ごみの「ポイ捨て」の未然防止に関する調査・研究: 千葉市・駅周辺地域におけるごみ捨て行為の実態調査に基づいて. 日本デザイン学会研究発表大会概要集, 第 53 巻, p. 188, 2006.

[7] 株式会社ピリカ. ポイ捨てごみ調査サービス「タカノメ」—スマホで簡単、ポイ捨て分布調査. <https://research.pirika.org/>. Accessed: 2020-07-27.

[8] 食品容器環境美化協会. 散乱実態調査 (2016 年度) — 公益社団法人食品容器環境美化協会. <https://www.kankyobika.or.jp/recycle/research/3R-2016>, 2016. Accessed: 2020-07-27.