

# モバイル端末を用いたユーザ参加型環境センシングにおける 誤計測地点の検知・修正手法

重田 航平<sup>1</sup> 青木 俊介<sup>2</sup> 劉 広文<sup>2,3</sup> 岩井将行<sup>1,2</sup> 瀬崎薫<sup>3,2</sup>

**概要:**我々は広域の地域騒音計測を行うため, 世田谷区全域という範囲で, 実際にユーザ参加型騒音センシングの実装, 運用に当たり, 総計 2,700 箇所の目標地点を設けた. エリアを 60 のクラスタに分け, のべ 40 人の調査員に分担し 4 日間に渡る調査を行った. その際調査員には, 目標該当地点にてモバイル端末を使い主観的に周辺環境の調査を行った. 調査する内容は騒音とその発生源, 及び調査員の主観的判断に基づく 3 段階評価の臭気調査, さらに同時に自動で明るさや気圧, 平均騒音レベルなども計測した. 更にポイントごとの計測に加えて, その区間すべての GPS の記録および連続的な自動データの取得による記録も行った. しかしながら, 計測地点の間違いが発生しないため特別なソフトウェアを準備したにも関わらず, 今回のセンシングを行った結果, 調査前には想定できなかった問題が発生した. 見かけ, 想定以上に高頻度で目標地点の計測を欠損している場合や, 調査するポイントを冗長に計測してしまうなどの多く種類の人為的なミスが発生した. 本研究では人為的なミスを分類する. さらに実計測点と目標計測点との距離, 計測時間の時間的な間隔, 同一計測回数などを考慮した多次元の評価ベクトルを構築し, 各計測レコードの「疑わしさ」の資料を定義し誤計測のデータの地点を取り除く手法について説明と評価を述べる.

## A Detection/Correction Mechanism of Miss-Measuring Points for User Participatory Sensing on Mobile Phones

KOHEI SHIGETA<sup>1</sup> SHUNSUKE AOKI<sup>2</sup> GUANGWEN LIU<sup>2,3</sup> MASAYUKI IWAI<sup>1,2</sup> SEZAKI KAORU<sup>3,2</sup>

### 1. ユーザ参加型環境センシング

GPS 受信機, 加速度センサ, マイク, 照度センサなど様々なセンサを搭載したモバイル端末であるスマートフォンが世界的に普及を背景として, 一般ユーザの持つスマートフォンを用いて都市空間の環境情報を空間的・時間的に詳細に収集するユーザ参加型環境センシングの実現が期待されている [1]. スマートフォンによるユーザ参加型環境センシングと, 従来のセンサネットワークの大きな違いとして, センサ精度が劣るといふデメリットが挙げられる一

方, 広域に安価に長期間にわたり計測を可能とするという特長が挙げられる.

このユーザ参加型環境センシングの概念により構築した騒音モニタリングシステムを用いて, 特に都市地域における住宅環境の再評価 [2] を行うことや, 住民の精神的ストレスなどの健康被害を抑えること [3] が期待されている.

このスマートフォンによる参加型環境センシングに関しては, 様々な研究 [2], [3], [4], [5] がなされているが, 多くが小規模な実験を基にしたシミュレーションを用いた研究であり, 実際の都市地域で大規模な歩行センシングによって騒音情報を収集した研究例は少ない. 本研究では, このユーザ参加型環境センシングの社会的な意義を示すために, 総面積約 60[km<sup>2</sup>] の世田谷区内全域の騒音情報を 2700 箇所の目標地点をのべ 40 人のユーザによって歩行によって計測を行った.

<sup>1</sup> 東京電機大学未来科学部情報メディア学科  
Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life, Department of Information Systems and Multimedia Design

<sup>2</sup> 東京大学生産技術研究所  
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

<sup>3</sup> 東京大学空間情報科学研究センター  
Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo

## 1.1 関連研究

スマートフォンに搭載されたマイクからの音声情報を用いて、ユーザの周囲の状況を識別する研究が盛んに行われている。S. P. Tarzia らの研究 [8] では、背景音をスペクトル解析し、周波数と各成分の音圧の大きさを Wi-fi フィンガープリントの様に用いることによって屋内の位置情報を取得する手法を提案している。また、H. Lu らの研究 [7] では、計算資源の限られた携帯端末上で、音声情報を音楽、会話などにカテゴライズする手法を示している。

マイクによる音声情報から、非常に多くの情報を取得することが可能である一方、携帯端末上で処理するには多くの計算資源と電力消費を必要とするため、連続的に処理する手法は現実的ではない。一定間隔でマイク情報を取得し、カメラ情報や他のセンサ情報と複合的に用いることによって、ユーザの位置を推定する研究もなされている [9]。

一般ユーザのマイク情報から音量情報を取得し、都市環境に関する情報を取得する研究が盛んに行われている。R. K. Rana らの研究 [10] では、Nokia N95 と HP iPAQ を用いた騒音センシングシステムを実装し、取得したデータとシミュレーションを用いることによって詳細な騒音地図を構築するための補間技術の提案を行っている。本研究で紹介された補間技術を用いることによって、複数の地点の騒音情報から、未知の地域の騒音情報を推定することが可能となる。S. Santini らの研究 [3] では、騒音センシングのためにスマートフォンに搭載されたマイクと騒音計を比較し、校正の必要性があることを示している。また、周波数ごとにスマートフォンのマイクと騒音計を比較することによって、スマートフォンのマイク特性を考慮した端末間校正手法を示している。また、E. D'Hondt らの研究 [4], [5] では、Nokia 5230 を用いた騒音センシングシステム NoiseTube を構築し、1[km<sup>2</sup>] の地域の騒音情報を収集し、時系列データとしてのシミュレーションを行っている。

しかしながら、スマートフォンを用いた騒音センシングの研究は多くなされているが、一般ユーザの歩行の中でヒューマンエラーに着目してそのデータの校正や計測レコードの信憑性を詳しく評価・研究した事例はない。現実的に様々なユーザが各自の日常生活の合間に関係計測に参加することを考慮すると、理想的な環境やデータの完全性を想定しすぎている問題点がある。

実際には計測地点の間違いが発生しないため特別なソフトウェアを準備したにも関わらず、センシングを行った結果、調査前には想定できなかった問題が発生した。見かけ、想定以上に高頻度で目標地点の計測を欠損している場合や、調査するポイントを冗長に計測してしまうなどの多くの種類の人為的なミスが発生した。本研究では人為的なミスを分類し、さらに実計測点と目標計測点との距離、計測時間の時間的な間隔、同一計測回数などを考慮した多次

元の評価ベクトルを構築し、各計測レコードの「疑わしさ」の指標を定義し誤計測のデータの地点を取り除く手法について説明と評価結果を述べる。

## 1.2 論文構成

本論文の構成と各章の概要は以下の通りである。第2章では既存のユーザ参加型センシング実験の詳細について説明する。第3章では、取得したデータと参加者の誤計測に関するパターン分類を行う。第4章では、提案手法の詳細について述べ、誤操作の疑いのある計測点の抽出手法の詳細について説明し、評価実験と評価結果について述べる。第5章では、本論文をまとめ今後の展望を述べる。

## 2. ユーザ参加型センシングによる環境騒音調査

本章では、本研究で行ったスマートフォンによる大規模騒音センシング実験のためのセンシングシステムの概要と実装について述べ、次に総面積約 60[km<sup>2</sup>] の世田谷区内全域の騒音情報を収集したセンシング歩行実験について述べる。

### 2.1 騒音センシングシステムの実装と世田谷区域内センシング実験

スマートフォンによる参加型環境センシングでは、一般ユーザの携帯端末から情報取得することを想定しているため、ある地点における環境情報を複数のセンサ機器で取得することができる。本研究では、このユーザ参加型環境センシングの社会的な意義を示すために、総面積約 60[km<sup>2</sup>] の世田谷区内全域の騒音情報をのべ 40 人のユーザによってセンシングを行った。計測には計測用アプリケーションの入った Android 端末を貸出して使用し、計測員には事前説明として計測用アプリケーションの操作説明と計測中の注意を記述したマニュアルを配布した上で口頭説明した。また、計測用アプリケーションでポイント間などの歩行中のデータも計測を行った。

センシング歩行実験では、歩行時のセンシングの高さとスマートフォンの状況がほぼ一定となるよう、図 1 に示すようにアームバンドを用いてスマートフォンを固定した。

### 2.2 無意識的な騒音センシングシステム

スマートフォンを用いて騒音情報を取得するためのシステムを構築するために、Android を用いたアプリケーションを開発した。起動画面を図 2 (右) に示す。

音声情報をビット数 16[bits]、サンプリング周波数 44100[Hz] で取得する。また、音声情報の Wave データから等価騒音レベルの導出には、ISO[12] 標準に基づいた処理を行う NoiseTube の手法 [4] を用いた。騒音情報としては、0.5[sec] ごとに GPS 情報と音声情報を取得し、また



図 1 ユーザ参加型センシングの様子

連続的に音声データを取得する。一般ユーザが歩行中に連続的に取得した位置情報と騒音情報をサーバ側で集約することによって、大規模な環境騒音地図を作成することができる。

### 端末間校正

本アプリケーションでは、スマートフォンに搭載されたマイクから騒音情報を Wave ファイルとして取得し、等価騒音レベルを導出するが、スマートフォン製造工程の段階で、同一機種種の携帯端末に対しても、異なる種類のマイクが搭載されている可能性が考えられる。このため、機種間のみならず、端末ごとに校正を行う必要がある。適切な校正を行うために、4 $\pi$  無響室(有効容積 3.8m $\times$ 4.8m $\times$ 3.8m, 浮構造, 内壁 80cm 厚吸音楔)において、校正実験を行った。本校正実験では、音源からピンクノイズを発生し続け、音圧の大きさを変化させる。このピンクノイズの音を、JIS 規格を満たすリオン社製の騒音計 NL-32 と、Android 端末 (Galaxy S3, Galaxy Nexus, Nexus One) によって測定を行い、音源の音圧レベルと測定機器の示す等価騒音レベルの関係を導く。

歩行センシングで環境騒音を測定した後に、端末ごとに観測した等価騒音レベルの校正を行うことによって、より正確な騒音情報を短時間の処理で構築することが可能とな

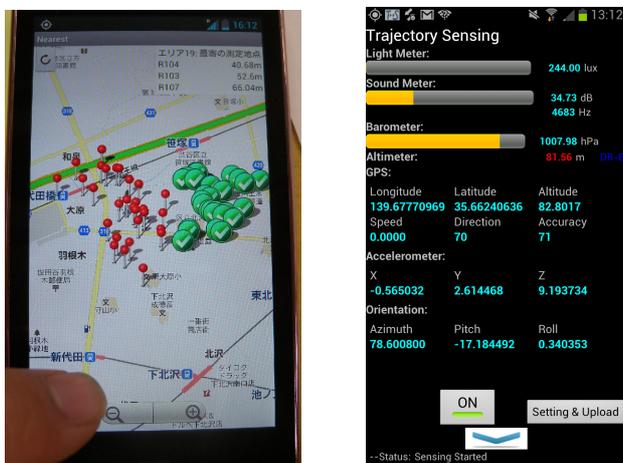


図 2 (左) 計測点チェック用アプリと (右) 騒音センシングアプリ

る。校正手法の詳細は [11] で述べる。

### 2.3 明示的な環境情報計測手順

計測中は計測用アプリケーションを起動した Android 端末を腕に装着し計測地点まで移動し、計測ポイントに可能な限りポイントに近づいたところで Save ボタンを押すことで計測を開始し、その場で 10 秒間計測するものとした。この 10 秒間の連続データを計測地点データとし、歩行中のデータを歩行データとして 500[ms] 間隔で連続的に収集した。図 4 に計測結果を示す。

計測者が意識しない連続計測データとして、計測日時、GPS 座標、騒音 (dB)、照度、加速度、気圧の 6 つのデータを収集した。また、明示的な目標地点を指定した計測作業として、図 3 に示すようなアプリケーションを開発した。工場の臭いの強さを 3 段階、騒音の要因を 3 段階で主観的に計測し保存出来るようになっている。

### 2.4 経験から抽出された問題点:データ欠損

計測点の記入漏れがないよう図 2(左) 計測点チェック用アプリを同時に作成し調査員が計測する目標地点を、継続



図 3 明示的な計測点指示による測定方法

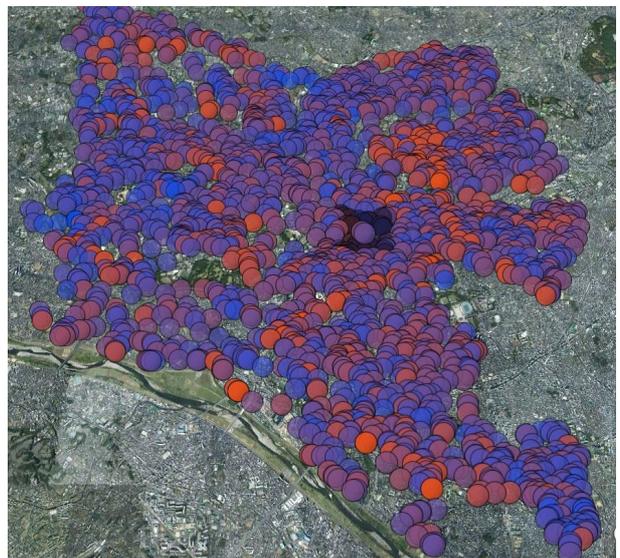


図 4 世田谷区内全域の騒音センシングのデータの様子

済みであれば緑、そうでなければ未チェックのマークと区別可能にするため特別なアプリを開発し、調査員全員が本アプリを活用しチェックを行った。本アプリは現在地点と目標地点を常に計測し距離を算出しているため目標点までの距離が近い順に把握できる仕組みとなっている。

しかしながら、実際にセンシングを行った結果調査前には想定できなかった問題が発生した。調査するポイントを通過しているのに該当計測点のデータが欠損している、なんども重複した計測が行われているということがあった。両者とも計測者のミスによる欠損と考えられる。今回のセンシングの結果、調査してもらう人に十分に説明した後にセンシングを行ってもらったが人為的なミスが一定の割合で起きることがわかった。

ミスが起きるケースとしては、ポイントが密集している場所での単純な計測ボタンの押し忘れや、該当ポイントを計測すべきことを気づかなかったこと、端末側での操作ミスなどが考えられる。このようなデータの欠損・重複・ポイントの付け替えが発生した場合、データ全体がスパースになり扱い難いデータとなってしまう。

本プロジェクトは将来的に一般のユーザが参加できるように考えているため、ユーザのスマートフォンの習熟度や地図の味方の習熟度など差異が更に問題となってくることが必然である。このような人為的なミスを未然に防ぐための工夫が必要である。また、ミスが起きてしまった場合に欠損している部分の発見と、欠損してしまった部分の再構築を考慮しなければならない。例えば欠損ポイントの前後のポイントで二度記録されているといった場合違う計測点名で欠損計測点が記録されていると予想できる。そういった場合もデータを用意に修正できるように改善する必要がある。

### 3. ユーザ参加型環境センシングにおける誤計測パターン

ヒューマンエラーによる前述の誤計測を議論するにあたり、正常の測定経路の場合は、図5に示す様にA-B-Cの経路を調査する予定で、予定通り順序よく調査が完了すればsaved(A-B-C)の順番に計測が記録される。図中のA,B,Cは目標計測点を表し、必ず目的計測点(英語大文字)と実計測点(英語小文字)との間は計測距離誤差dist(A,a),dist(B,b),dist(C,c)となる。測定距離誤差は住宅や道路事情により近づけない場合があるため必ず0とは成らないが小さい値の方が目標点に近いので好ましい計測点といえる。計測間時間はdur(a,b),dur(b,c)と記録され、その長さはポイント密度の分布と道路事情、調査員の歩行スピードに従う。

一方計測者自身も人間であるため長期間に渡る明示的な入力が必要とするユーザ参加型センシングでは問題も多く発生する。主には以下に示す4種類であることが保存され

た記録から分かった。

- $CASE_X$ : 目標計測点の忘却
- $CASE_Y$ : 同一計測点の多重計測 (やり直しを含む)
- $CASE_Z$ : 同一計測点の連続誤計測
- $CASE_W$ : 計測点名の調査員による誤認識

図6には目標計測地点忘却の例を示す。計測参加者はB地点の計測を失念し地点Cに向かってしまったため、B地点の正確なデータが存在しない。経路としてはsaved(A-C)となる。このため、後にB地点から距離が近い実計測地点aあるいは実計測地点cよりデータを活用するか、歩行中の連続計測データの目標計測地点Bからの最近傍付近を流用することになる。こちらに関しては別途研究を行なっているが本研究に対象外の事象とする。

図7では同一計測点の多重計測の例を示す。測定参加者がA-B地点を計測後に誤って目標計測点Aに戻り再度実計測点a'を計測してしまった場合の例である。経路はsaved(A-B-A-C)となりAが多重にデータ取得されているため一方の距離を計測して長いものを棄却するか両者の平均を取る必要がある。

図8に同一計測点の連続誤計測の例を示す。目標計測点A付近のaにて実計測後、押し間違いや勘違いなどにより

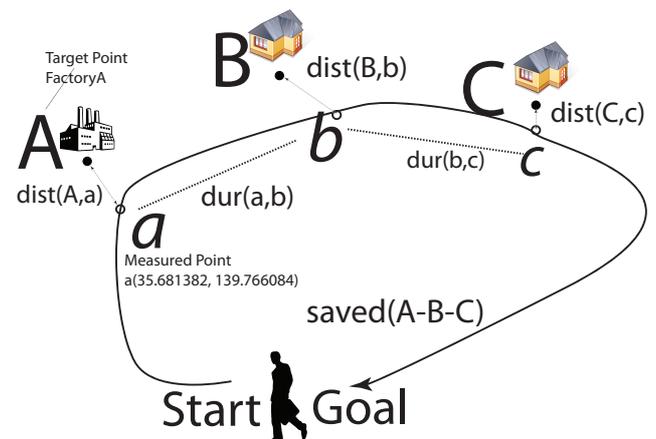


図5 正常時の経路とセーブされた計測点の例

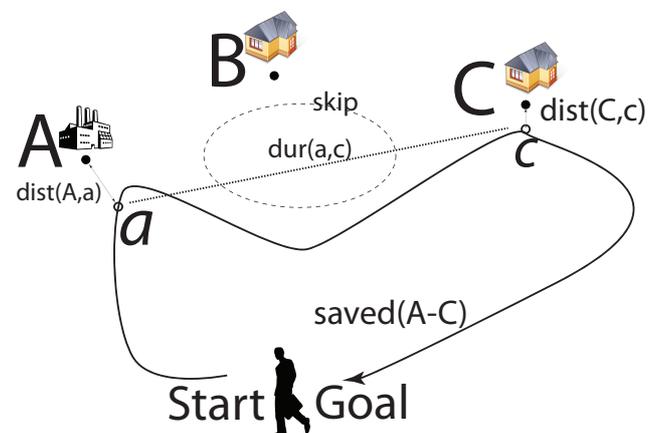


図6  $CASE_X$ : 目標計測地点忘却の例

$a'$  を再度計測して  $saved(A-A-B-C)$  としてしまう事象である。計測参加者が連続して対象点を調査してしまう問題であり前回計測点からの入力間隔時間 ( $dur(a, a')$ ) が極端に短くなる傾向にある。

図9は本来Bとして計測する地点をCとして誤って入力してしまった例でありCをBに変更するように修正を掛けなければ成らない。 $saved(A-C-C)$  となる例である。計測点と目標点との距離に特徴が現れる。 $CASE_Z$  の連続誤計測と同時に発生する場合が多い。

#### 4. 誤計測のデータの抽出手法

##### 4.1 誤計測の疑惑点の指標化

前章の4つの誤計測の分類それぞれに深く関わってくるのが目標計測点-実計測点間の距離と実計測点の計測時間の間隔であることが議論を通して分かった。そのため、本提案手法では、数ある疑惑計測点から正規計測点を求めるための手法として次のような手法を提案する。まず、疑惑計測点の計測データから計測対象点と計測実行点間の距離、計測点間の時間、計測回数 of 情報を取得する。次に、取得したデータに対しての疑惑の大きさを重み付けする。最後に3つの数値から総合的に判断してそれぞれのデータの疑

惑の大きさを数値化し、同一目標計測点のなかでこの「疑わしさ」の値の最も小さいものを正規の計測点とする。

##### 4.2 計測対象点と計測実行点間の距離 $dist(A, a)$

計測方法で述べたように計測対象点と計測実行点間の距離は短い方が理想である、道路事情から入れないなどの理由から25[m]以内で計測できなかったデータも存在する。また、計測実行点が計測対象点から遠いということは別の計測対象点と誤って保存されている可能性なども考えられるため不確定さは大きく、逆に計測実行点が計測対象点に近ければ近いほど不確定さは小さいと考えられる。今回計測した全ての目標計測点とそれに対する計測実行点の距離をヒストグラフ化したものを図10に示す。

図10の分布から計測実行点と計測対象点間の距離を基にしたデータの「疑わしさ」の大きさの重み付けとして、偏差値を算出し、100で割った値を誤計測の「疑わしさ」の大きさとした。値は[0-1]間で1に近いほど誤計測「疑わしさ」が大きく、0に近いほど誤計測の「疑わしさ」が小さいとみなす。目標計測点-実計測点間距離の指標は以下の式で数値化する。  $items$   $n$   $distance$   $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$

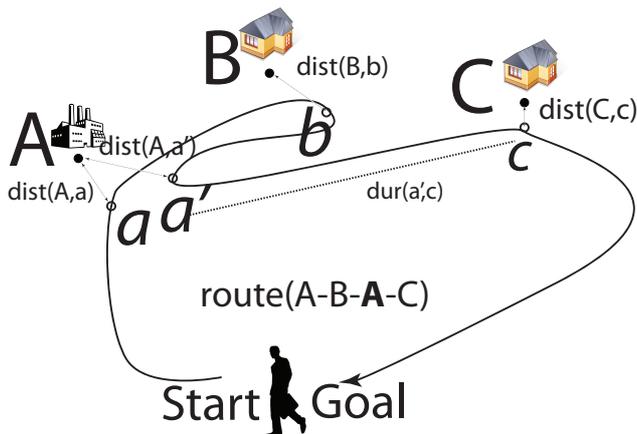


図7  $CASE_Y$ :同一計測点の多重計測の例

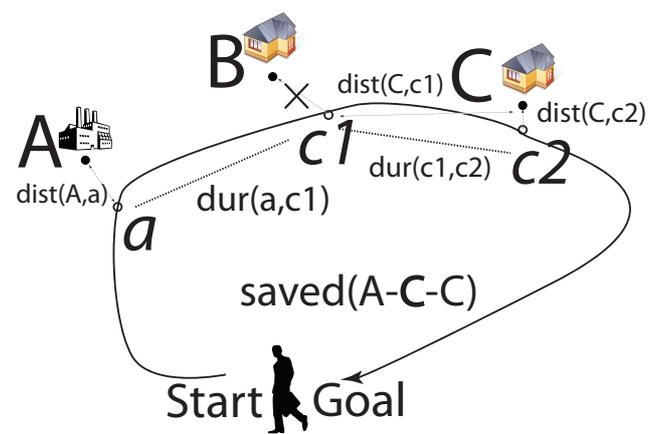


図9  $CASE_W$ :計測点名の調査員による誤認識の例

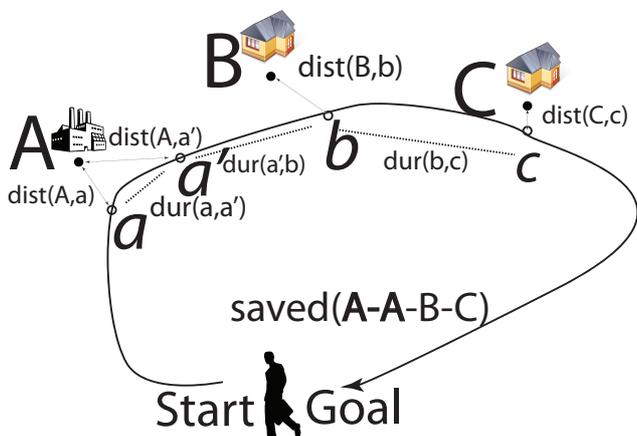


図8  $CASE_Z$ :同一計測点の連続誤計測の例

目標計測点-実計測点間距離の分布

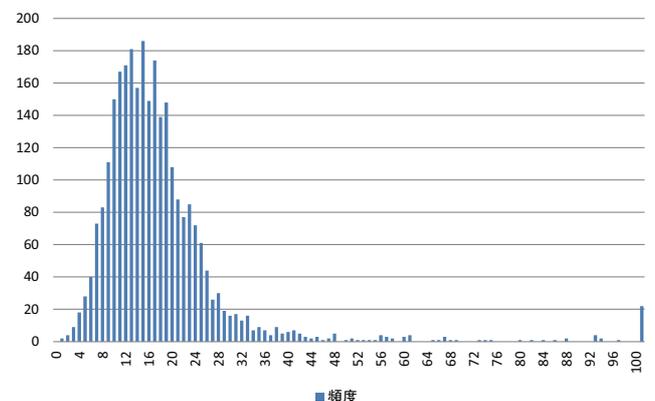


図10 目標計測点-実計測点間距離の分布  $dist$

distance average  $m_{dist}$

$$\sigma_{dist} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_{dist})^2}{n}}$$

$$T_{dist} = 50 + \frac{10 \times (x_i - m_{dist})}{\sigma_{dist}} (i : item)$$

### 4.3 計測時間間隔 $dur$

今回計測した全ての計測地点間の時間間隔をグラフ化したものが図 11 である。計測を開始してから 10 秒間のセンシングを行うこと目標としたことを考えると開始から 10 秒 + 次点への移動時間以上の間隔が必要であり。また、地点を計測した後、通常であれば次の地点の計測まで移動などを考えると時間間隔が分布にしたがって開くことが考えられる。時間間隔が極端に短い場合、セーブボタンの 2 度押し ( $CASE_Z$ ) や、目標点のチェックの付け間違い ( $CASE_W$ ) などの理由で複数回計測し重複データが発生している可能性が高いと考えられる。また次の地点へ移動している場合でも時間間隔が極端に短い場合には距離的にも次の地点と近いと考えられるため計測地点を誤っている可能性が他の地点に比べて高いと考えられる。そのため時間間隔が短いほど計測データの不確定さは大きいと考えられる。

計測時間間隔も、計測対象点と計測実行点間の距離と同様に偏差値を出し、1 から偏差値を引き 100 で割った値を疑惑の大きさとした。値は [0-1] 間で 1 に近いほど疑惑が大きく、0 に近いほど疑惑が小さいとみなす。

計測時間間隔の指標化を以下に示す。

items  $n$

duration  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$

duration average  $m_{dur}$

$$\sigma_{dur} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - m_{dur})^2}{n}}$$

$$T_{dur} = 50 + \frac{10 \times (y_i - m_{dur})}{\sigma_{dur}} (i : item)$$

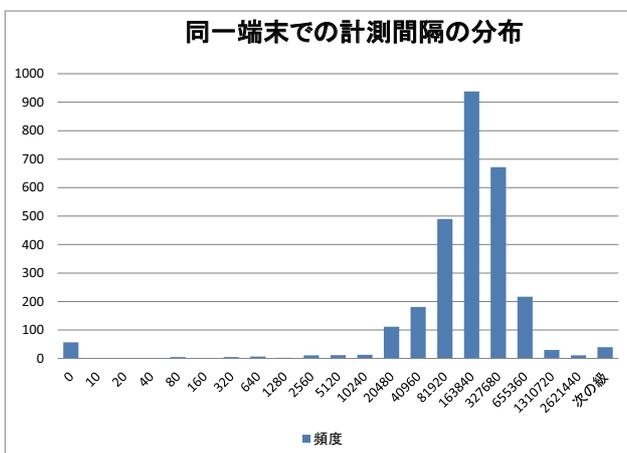


図 11 計測時間間隔  $dur(a, b)$  の分布

### 4.4 同一目標地点計測回数 $times$

計測回数は、2 回以上計測を行っているものは別の計測地点と間違っセーブした場合 ( $CASE_W$ ) や、多重入力 ( $CASE_Y$ )、連続誤入力 ( $CASE_Z$ ) などの理由でセンシングを複数回の訪問により、複数回行っている可能性がある。そのため計測回数が多いほどデータに対する疑惑は大きいと考えられる。計測回数に対する重み付けも計測対象点と計測実行点間の距離、計測時間間隔に対する重み付けに合わせて偏差値を出し、100 で割った値を疑惑の大きさとした。値は [0-1] 間で 1 に近いほど疑惑が大きく、0 に近いほど疑惑が小さいとみなす。図 12 に重複回数の分布を示す。

計測回数

items  $n$

visit  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$

visit average  $m_{visit}$

$$\sigma_{visit} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - m_{visit})^2}{n}}$$

$$T_{visit} = 50 + \frac{10 \times (z_i - m_{visit})}{\sigma_{visit}} (i : item)$$

### 4.5 誤計測の疑わしさ指標

以上の 3 つの指標である対象計測点と実計測点間の距離、計測時間間隔、計測回数の 3 点をベクトル成分としてみて 3 次元ベクトルの距離を求め、その値をデータに対する疑惑の大きさとする。上記の処理を行ったものを 3 次元空間にプロットした結果を示したものが図 13 となる。

疑わしさ計測点の 3 次元ベクトルのユークリッド距離順にソートし処理しする。測定データの「疑わしさ」 $missing_p$  の指標

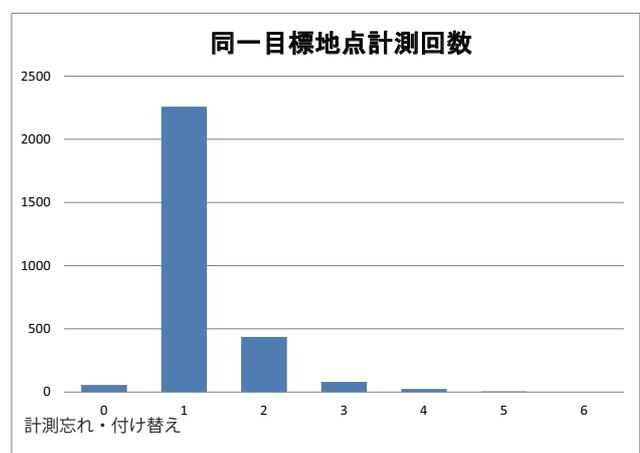


図 12 同一計測者による同一地点の訪問回数の分布

$$\left| \begin{pmatrix} T_{dist} \\ 1 - T_{dur} \\ T_{visit} \end{pmatrix} \right| = \frac{(T_{dist}^2 + (1 - T_{dur})^2 + T_{visit}^2)^{1/2}}{\sqrt{3} \times 100}$$

図 14 では、この結果から、より正確なデータのみ各重複データから選抜し、騒音データ分布と処理前の騒音データの音量の分布を比較し、分布において標準から外れる値を削除 3 つの指標のみから削除し平滑化できていることが分かる。

本結果から計測データの詳細を見る前にユーザの誤計測地点を選別し棄却することが可能になり、精度の高いデータが獲得出来る。

#### 4.6 目標計測点のデータ欠損に関する考察

以上述べたようにデータの重複は上記の手法を用いることによって「疑わしい順」にソートできるため同一点を計測している場合に最も正規点を選択することができた。しかし重複とは別にデータの欠損の問題が考えられる。データが欠損する理由についても 3 つの要因が考えられる。

- (1) 該当計測点に周ったがセーブデータの失念  $CASE_X$
- (2) 該当計測点でセーブをしたが別のポイントとして誤計測  $CASE_W$
- (3) 該当計測点を通過することすら忘却している  $CASE_X$

(1),(3) についてはデータを取っていないため、補完するためには歩行データや該当ポイント周辺のデータから補完することが考えられる。(2) についてはデータを取っているためデータ内を見直すことで補完が可能であると考えられる。(2) のパターンについて上記の疑惑の数值化と合

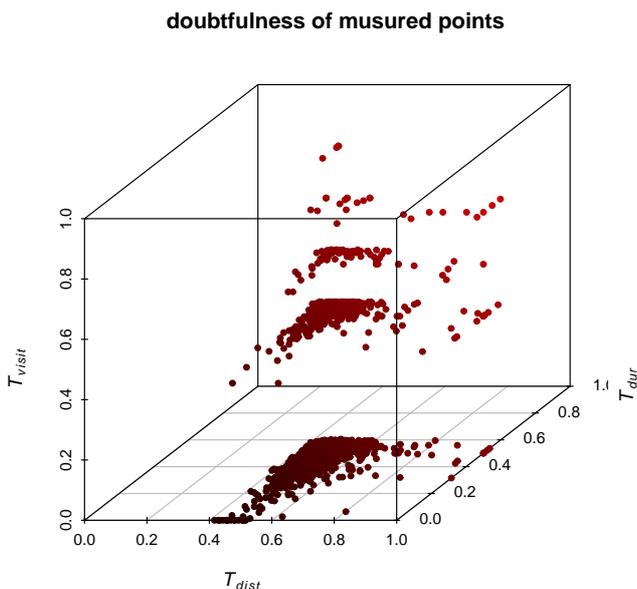


図 13 誤計測の疑わしさ指標の 3 次元分布

わせて以下のような手法によりデータの補完を試みた。まず、欠損してしまったポイントの座標でセーブはしてあるという前提のため座標データは本来取る座標として保存され、ポイント名だけ違うと想定される。そのため上記の疑惑の数值化の際に、計測実行点と計測対象点間の距離の重み付けでその地点に相応しくないデータとしてされ、正規計測点としては判断されづらいと考えられる。そのため、正規計測点と判断されたデータ以外の重複データの座標をチェックしていくことで (2) のパターンのデータについては発見されることが期待できる。実際にチェックを行った結果、欠損データ 54 件のうち 14 件については、ポイント名を誤って保存したと思われるデータを検出することができた。検出の例が図 15 である。

広範囲でのユーザ参加型センシングの実施が始めてだったため、予期せぬ問題が多々発生するケースが多いが、これらの問題のいくつかは今回の実験の経験を元に計測用アプリケーションの改善を行うことで解決することができると思われる。以下に改善案を示す。参加者が既に保存してあるポイント名で保存しようとした際に、前のデータと新たなデータを表示し上書きするか確認することでデータの重複をある程度防ぐ。さらに保存したデータに明らかな異常値が確認された場合、その場でユーザに再度のセンシングを要求する。参加者がまだ測定していないポイントの近くを歩いたにも関わらず、データ習得を失念して遠ざかっていく場合に音声、バイブレーションなどで知らせることで追調査を催促する。

#### 5. おわりに

我々は、モバイル端末 (スマートフォン) を用いた環境センシングを実装し、世田谷区内全域において歩行センシングを行うことによって騒音情報を大量に収集した。その知見からスマートフォンを用いたユーザ参加型研究で得たデータの重複や、欠損の修正方法を提案し、その評価を行った。今回の実験では世田谷区という範囲でセンシングを行ったが、データ数が膨大になるにつれ、計測参加者自身のヒューマンエラーによりミスが数多く発生することが判明した。計測データをマイニングする前段階で重複、欠



図 15  $CASE_W$  の誤計測点修正の例

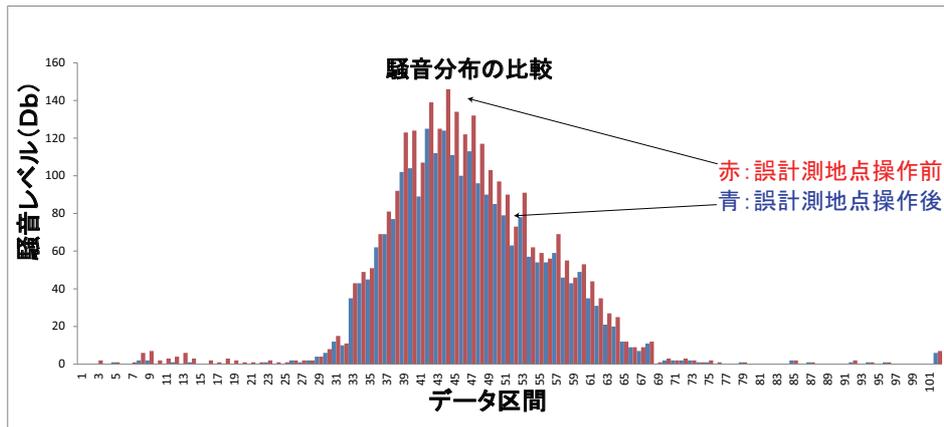


図 14 誤計測データ選抜後の騒音データ分布

損, 誤記を防ぐことが重要である. 本研究では人為的なミス を 4 つに分類し実計測点と目標計測点との距離, 計測時間の時間的な間隔, 同一計測回数などを考慮した多次元の評価ベクトルを構築し, 各計測レコードの「疑わしさ」を評価することで誤計測のないデータの抽出に成功した.

調査を行ったポイントについて更に詳しいデータが必要になったとき, 計測担当者の記憶を頼りに詳細を聞くのは困難が伴う. しかし中には該当ポイント周辺の地図など, 記憶を辿る頼りになるものがあれば思い出せるという計測参加者もあり, こういったケースに対応できるような「疑わしさ」でソートできる仕組みを整えることで, 誤計測地点を抽出し, その地点を集中して見直すことが可能になる.

今後, 該当計測点の計測忘れや, 該当ポイントを完全に欠損してしまった場合にデータを歩行中に連続的にセンシングしたデータから自動生成し, ノイズ等を取り除いたより正確な値で補完することでユーザ参加型センシングの欠点であるデータの不信頼性やヒューマンエラーの対応技術の研究を進める.

**謝辞** 本研究は平成 25 科研費若手研究 (A)(代表者岩井将行, 課題番号:25700007) の一部により行われている. 無響室の利用に関して東大生産研 坂本研究室の横山栄氏にご尽力いただきました. また, 4 日間に渡る歩行計測にご協力いただいた慶應大学徳田研, 青山大学戸辺研, 東京大学瀬崎研, 東京電機大学岩井研の学生・研究員の方々に感謝いたします. またグラフ処理を手伝って頂いた東京電機大学岩井研究室 田島誠也氏に深く感謝致します.

#### 参考文献

[1] N. D. Lane, E. Miluzzo, L. Hong, D. Peebles, T. Choudhury, and A. T. Campbell, “A Survey of Mobile Phone Sensing,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 9, pp. 140-150, 2010.

[2] T. Zimmerman and C. Robson, “Monitoring Residential Noise for Prospective Home Owners and renters,” *9th International Conference, Pervasive 2011*, pp. 34-49, 2011.

[3] S. Santini, B. Ostermaier, and R. Adelman, “On the

Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments,” *6th International Conference on Networked Sensing Systems 2009(INSS)*, pp.1-8, 2009.

[4] E. D’Hondt, M. Stevens, and A. Jacobs, “Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring,” *Pervasive and Mobile Computing(2012)*, doi: 10.1016/j.pmcj.2012.09.002.

[5] N. Maisonneuve, M. Stevens, and B. Ochab, “Participatory noise pollution monitoring using mobile phones,” *Information Polity*, Vol. 15, No. 1-2, pp. 51-71 (2010).

[6] 財団法人日本規格協会, “JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法,” 1999.

[7] H. Lu, W. Pan, N. D. Lane, T. Choudhury, and A. T. Campbell, “SoundSense: Scalable Sound Sensing for People-Centric Applications on Mobile Phones,” in *Proc. of the 7th ACM Int. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services(MobiSys ’09)*, pp. 165-178, 2009.

[8] S. P. Tarzia, P. A. Dinda, R. P. Dick, and G. Memik, “Indoor Localization without Infrastructure using the Acoustic Background Spectrum,” in *Proc. of the 9th ACM Int. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services(MobiSys ’11)*, pp.155-168, 2011.

[9] Y. Chon, D. Lane, F. Li, H. Cha, and F. Zhao, “Automatically Characterizing Places with Opportunistic CrowdSensing using Smartphones,” in *Proc. of the 2012 ACM Int. Conf. on Ubiquitous Computing(UbiComp ’12)*, pp. 481-490, 2012.

[10] Rana, R. K., Chou, C. T., Kanhere, S. S., Bulusu, N. and Hu, W.: Ear-Phone: An End-to-End Participatory Urban Noise Mapping System *Proc. The 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processings in Sensor Networks(IPSAN 2010)*, pp.105-116 (2010).

[11] 青木 俊介, 劉 広文, 岩井 将行, and 瀬崎 薫ユーザ固有の雑音を考慮する参加型環境センシングのデータ校正手法 第 38 回情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) 研究発表会 38-(18)

[12] ISO, “ISO 266:1997 acoustics - preferred frequencies,” 1997.

[13] Audacity, <http://audacity.sourceforge.net/>