

# スマートフォンを用いたイヤホン音漏れ測定手法

中 久治\*  
愛知工業大学情報科学部

土井 敦士†  
愛知工業大学情報科学部

根岸 佑也‡  
メタプロトコル株式会社

梶 克彦§  
愛知工業大学情報科学部

## 1. はじめに

近年、スマートフォンにより音楽を気軽に楽しめるようになったが、イヤホン等からの音漏れが電車内での迷惑行為の1つとして認知されている[1]。音漏れは音楽を聴いている本人が気付かずにいたため長年解決されないままとなっている。そのため音漏れをしていると知らせるため、音楽を再生しながら音漏れの有無を検出するアプリケーションを製作すると、より手軽に音漏れに気付かせられると考えられる。

音漏れを検出するためには、音漏れしやすい周波数特性に注目して検出するアプローチが考えられるが、電車走行音のような周囲の環境音によるマスキング効果や使用するイヤホンにより、注目すべき周波数帯域が変化する課題がある。そのため、正確な音漏れの検出のためには周囲の環境とイヤホンの特性を知る必要がある。そこで本研究では、音漏れ検出の前段階として、周囲の環境を観測できるスマートフォンのマイクを用いてイヤホンからの音漏れ特性を環境ごとにユーザ自身が手軽にモデル化できる手法を提案する。

## 2. 関連研究

これまでの音漏れ防止策として、信号の最大値を制御する手法 AVLS や音漏れをしやすい周波数帯域を低減する BEF を使用する手法 [2]、ヘッドセットのマイクを用いた音漏れの検出方法が提案されている [3]。しかし、AVLS と BEF は環境音に応じて即時に信号や周波数を制御するものではないため、これらが、音漏れしやすい音域への環境によって異なるマスキング効果を考慮して、音漏れの特性の変化の違いを追従できるようになると、さらなる音漏れの防止効果や検出効果の向上を期待できると考えられる。

## 3. 音漏れ特性のモデル化手法の検討

### 3.1 音漏れの定義

我々は次に示すように、電車内のような環境において周囲の人に不快感を与える音漏れが発生すると考える。図1に電車内で各周波数の sin 波をイヤホンを通じて再生し、スマートフォンで録音をした結果と電車内の環境音の周波数特性を示す。図1のように電車内の環境音は低音成分が強いためイヤホンで低音が聴き取りにくく、音楽を心地よく聴くために音量を上げると、イヤホンから漏れ出る音の高周波数が環境音より

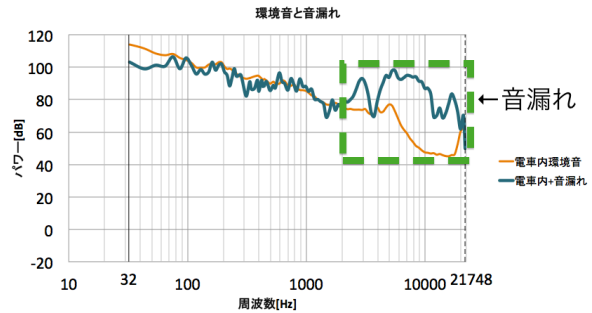


図1 電車における環境音とイヤホン音漏れの比較

大きくなり、不快なシャカシャカした音(図1中緑印)が目立つと考える。この不快な音を音漏れとして定義する。また、比較的静かな環境で音漏れしやすい周波数の一部は電車内ではより大きい音にマスキングされる場合もある。そのため環境によって音漏れの影響が変化すると考えられる。

### 3.2 音漏れ検出のための音漏れ特性のモデル化

前節の音漏れと環境音の議論をふまえ、電車内のような場で、ユーザが自身のスマートフォンを用いて、図2に示すように音漏れの有無を判別できるのではないかと考える。

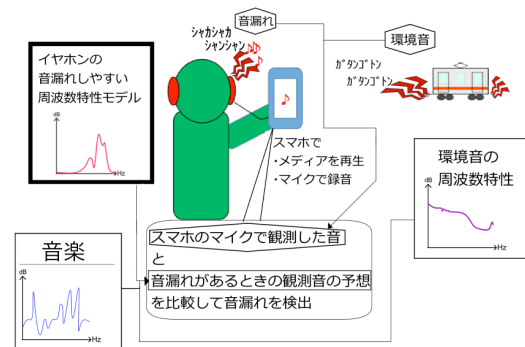


図2 音漏れ検出の模式図

図2では、ユーザ自身のイヤホンの音漏れしやすい周波数特性と音楽、環境音の周波数特性を用いて音漏れが発生している場合の音を予想する。予想した音とスマートフォンのマイクで観測した音が似ていれば音漏れをしていると判断し、スマートフォンに音漏れの有無を提示する。

このとき音漏れした音を予測するために必要な音漏れ特性は周囲の環境からのマスキングの影響、および、ユーザのイヤ

Earphone Sound Leakage Measurement Method using a Smartphon

\* Hisaharu Naka, Aichi Institute of Technology

† Atsushi Doi, Aichi Institute of Technology

‡ Yuya Negishi, Metaprotocol Corp.

§ Katsuhiko Kaji, Aichi Institute of Technology

ホンによって異なると考えられるため、正確な検出にはそれぞれ周波数特性が必要となる。また、常に環境を観測するために、音漏れ検出の処理の容易さが望まれる。ここで観測はスマートフォンのマイクを使用し簡易的に測定を行うため、測定誤差を適切に考慮するべきである。

### 3.3 環境及びイヤホン別の音漏れ特性のモデル化手法

前節の考察をふまえ、録音中の環境音の変化や、スマートフォンのマイクによる簡易的な測定による誤差を考慮し、GMM (混合ガウス分布) によって、音漏れしやすい周波数特性を近似する手法を次に示す。(1) 録音データについてFFT(高速フーリエ変換)より周波数スペクトルを求める。(2) 環境音を含む音漏れを録音した周波数スペクトル(例:図1青線)から、同様に環境音のみで求めた周波数スペクトル(例:図1茶線)を引く。この際、値が負となった場合はその音は微小であるとみなし値を0とする。(3) 録音したもから環境音を引いた結果、音漏れの音のみ残るので、この音漏れの音をEMアルゴリズムにかけてGMM化する。GMM化した結果、音漏れしやすい周波数特性の周波数がGMMの分布関数の変数に対応し、分布関数の値が各周波数にて音漏れしやすい度合いに対応する。

## 4. 実験

### 4.1 音漏れの測定及びモデル化

イヤホンの機種別の音漏れの周波数特性を環境別に測定し、3章にて述べたモデル化手法を適用し、本手法による音漏れモデルの近似性を確認した。使用した機器を表1に、GMM化した結果を図3, 4に示す。また、録音場所は電車内と話し声などの雑音が少ない部屋(以下静音環境と表記)で行った。このとき再生音の音量は耳に当たる箇所において4186Hzのsin波が78dBを示すように揃え、イヤホンから音漏れ測定位置までの距離は20cmで固定、再生する音は一秒ごとに27.5Hzから21096.2Hzまで半音ずつ高くなっていくsin波を使用した。

表1 録音時の使用機器

録音機器	AQUOS PHONE(SBM203SH)
イヤホン	EQ500(audio-technica)-耳掛け型
ヘッドホン	900ST(SONY)-オーバーヘッド型

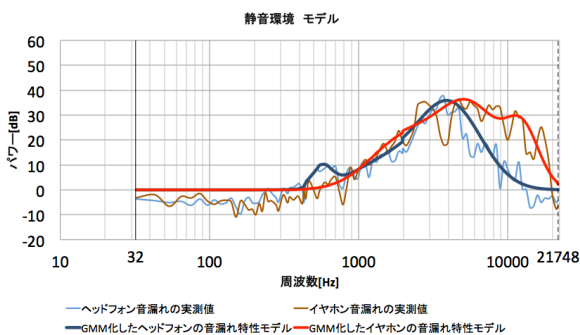


図3 静音環境の音漏れモデル

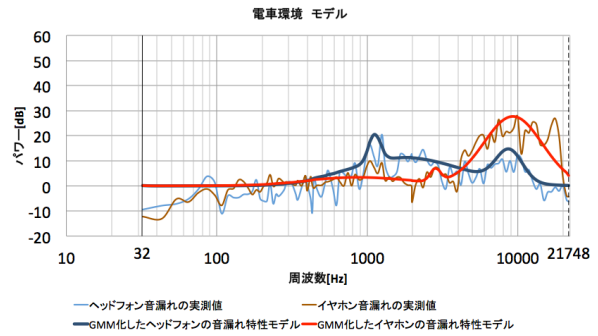


図4 電車環境の音漏れモデル

### 4.2 考察

結果より、GMM化前の周波数スペクトル中の細かな振動を除去できており、イヤホンと周囲の環境音に合わせた音漏れ特性を概ね正確に近似したモデルになっているといえる。低周波部分の音漏れが少ない電車環境と、低周波の音漏れが多い静音環境での音漏れの違いを表現でき、また、ヘッドホンとイヤホンの高周波部分における音漏れの大きさの違いも表現できている。このように環境及びイヤホンの種類ごとに違う形のモデルが生成できたため、より正確に音漏れの検出を期待できる。

静音環境のGMM化では、電車環境ではマスキングされていた周波数帯域も音漏れしやすくなるが、結果(図3, 4)に示すように1000Hzから5000Hzにかけての音漏れしやすさもモデルに反映できている。

GMMの混合数は、スマートフォンのマイクでの測定誤差をある程度吸収するために3程度がよいと考えた。また、初期値の値によって容易に結果が変動するため、本実験ではGMMの各正規分布の平均値の初期値は収束結果を元に手動で調整したが、自動的に決定する手法は今後の課題である。初期値の選び方として、音漏れの周波数特性のパワーの頂点と頂点との間に設定すると、ある程度適切に収束させられると考えている。

## 5. 今後の展望

本論文にて述べた音漏れしやすい周波数特性のGMM化手法を応用して、3章で示した音漏れの検出アプリケーションの実現方法を検討する。また、環境ごと・イヤホンごとの音漏れモデルを幅広く収集するため、本手法のクラウドソーシング化を検討している。

## 参考文献

- [1] 一般社団法人日本民営鉄道協会. 平成27(2015)年度 駅と電車内の迷惑行為ランキング. <https://www.mintetsu.or.jp/activity/enquete/2015.html>.
- [2] Suzuki, S., Miyabe, S., Kamado, N., et al.: Audio object individual operation and its application to earphone leakage noise reduction. in *Proceedings of ISCCSP2010*, pp. 266–270, 2010.
- [3] 中村 一文, 伊藤 克亘. ラベリアマイクを用いた音漏れ検出手法. 日本音響学会研究発表会講演論文集 2011,1-R-18, 2011.