

修士論文

ユーザ参加型環境センシング
における校正手法

11111011100

東京大学大学院
情報理工学系研究科
電子情報学専攻

澤上 佳希

指導教員 瀬崎 薫 教授

目次

第1章	序論	1
第2章	関連研究	3
2.1	従来の環境センシング手法	3
2.2	オポチュニスティックなセンシング	6
2.3	課題	8
第3章	モバイルデバイスによる環境騒音の測定上の課題	10
3.1	ISO 標準の環境騒音の表示・測定方法	10
3.2	マイクロホン校正の必要性	23
第4章	モバイルデバイスのマイクロホンの厳密な校正	24
4.1	概要	24
4.2	評価方法	24
4.3	評価結果	25
4.4	考察	26
第5章	モバイルデバイスのマイクロホン分散校正手法	35
5.1	概要	35
5.2	提案手法	35
5.3	評価方法	36
5.4	評価結果	39
5.5	考察	40
第6章	騒音センシングにおける省電力化手法	53
6.1	概要	53
6.2	評価手法	53
6.3	評価結果	53
6.4	考察	54
第7章	結論	55
7.1	まとめ	55
7.2	今後の展望	55
	謝辞	56
	付録A 解析用ソースコード	57

目次

2.1	Software Architecture[1]	3
2.2	The collective noise map for Paris, displayed using Google Earth.[2]	4
2.3	Ear-Phone Architecture[3]	5
2.4	SensLoc System Architecture[4]	6
2.5	The SoundSense Architecture[5]	7
2.6	Experimental setup: (a)the audio source;(b)the three mobile phones;(c)the phonometer[6]	9
3.1	純音における等ラウドネス曲線	11
4.1	4 π 無響室	25
4.2	スマートフォンのマイク特性調査実験の様子	26
4.3	実験でのマイクとカメラの配置図	27
4.4	1000Hzでの校正用マイクNL-32のキャリブレーション結果	28
4.5	スマートフォンの感度特性	34
5.1	端末間で校正可能な条件	35
5.2	マイクロホンの音圧校正の部分的伝搬	37
5.3	生産技術研究所前バス停付近の実験場所	38
5.4	下北沢駅前の実験場所	38
5.5	東北沢の踏切付近の実験場所	38
5.6	オクターブバンドフィルタ特性	39
5.7	生産技術研究所前バス停付近での校正結果	44
5.8	下北沢駅前での校正結果	48
5.9	東北沢駅の踏切での校正結果	52
6.1	スマートフォンの実験時のバッテリー消費量の推移	54

表目次

3.1	周波数重み付け特性 A	13
3.2	各種の騒音のレベル (dB) を表す記号	16
3.3	5dB ごとの騒音レベルゾーンの色またはハッチング	22
3.4	従来の測定方法と提案する測定方法の比較	23
4.1	1000Hz で騒音計 NL-32 をキャリブレーション	27
4.2	無響室で得られた各周波数における校正式	29
5.1	校正結果の単回帰分析修正済み決定係数の分類	39

第1章 序論

国土の利活用のために、適切な住環境評価を行うことが求められている。住環境評価において、騒音は重要な指標の一つである。現在の騒音評価は騒音計を用いて行われている。この手法では、コストが問題となり、長時間にわたって大規模な騒音評価を行えない。騒音には、従来の手法では見逃しやすい特定の日付や曜日に発生する騒音もあると考えられるため、より低コストで大規模な騒音評価の手法が求められる。また、精密な騒音評価を適切に行うための予備的な調査や広域のデータを用いて騒音と土地の価値といった都市空間における関係も明らかにできると期待される。

近年、モバイルデバイスを用いたセンシングに注目が集まっている [7] [8] [9] [10]。その中には騒音モニタリングを目的とした研究も行われている。たとえば、University of Cambridge の NoiseSPY [11] は携帯電話に搭載されたマイクを用いて環境音を測定し集約することで騒音問題を明らかにすることを目的にしている。モバイル環境下での騒音モニタリングも盛んに研究されている [12] [13]。

これらの手法はマイクを外付けにしたり、端末を事前に準備し限られた台数での研究であるためキャリブレーションも比較的容易と考えられる。未知の端末が多く存在し、現実的な環境のもと様々な端末の個体差を考慮する我々の手法とは異なる。

我々はより低コストに行うために、現在急速に普及し始めているスマートフォンに着目した。スマートフォンのマイクロホンは音声通話用に最適化されていることも多く、騒音計として用いるためには校正が必要である。より多くのスマートフォンのマイクロホンを校正するために、個々のスマートフォンを精度の高いマイクロホンで校正するのは現実的ではないため、校正されたスマートフォンのマイクロホンから別のスマートフォンのマイクロホンを校正させる必要がある。そこで、我々はユーザ参加型環境センシングにおける校正手法を提案する。

現在は土地を適切に利活用のために国勢調査という数年に一度というような非常に長い期間のスタティックな統計を用いている。そこにモバイルセンシング技術を適用することで、ダイナミックなデータを利用することができれば、より有効な利活用を行うことができる。

将来の国土の形成に向けて、土地価格形成に正確な枠組みを提案するのを大きな目的として、様々な要因との関連を調べることは非常に意義がある。そこで、第一歩として土地の価格情報に着目し、センシング可能な環境音（騒音）を用いてスタティックなデータに対するダイナミックなデータとの関連を研究を行っている。

都市環境評価には、騒音等の動的な環境モニタリングデータの利用が必須であるとされながら、従来は十分なデータを取得することがコスト面から困難であったため、人口統計等の静的な統計データのみを用いた類推が行われてきた。しかしながら、Participatory Sensing により安価かつ広範にこれらのデータを取得出来る可能性が開けて来ている。

そこで本研究では、都市環境の中でも最も定量的なデータである住宅地土地価格をターゲットにモバイルデバイスによるセンサネットワークの適用領域を拡大するために、将来の国土の形成に向けて、土地価格形成に正確な枠組みを提案することを大きな目標として

いる。

コミュニティレベルでのセンシングは、たくさんの人が参加することで有効なセンシングが可能となる。たとえば、野鳥の生態観察、道路の混雑状況、町のノイズマップなどがある。これらのアプリケーションは、大規模データセンシングや分析、コミュニティレベルでのデータ共有などが代表的な用途である。コミュニティレベルでのセンシングのために、我々は環境音（騒音）と土地の価格との関連を調べるためのアプリケーションとして、CommuSenseを開発した。その実験によって校正に課題があることが明らかとなり、本研究は校正に着目して研究を行った。

本稿の構成を述べる。第2章では、現在までに行われてきた関連研究とその課題を述べ、本研究の位置づけを明らかにする。第3章では、従来から行われてきた測定方法を説明し、新しい測定方法の提案とその測定方法における校正の必要性を述べる。第4章では、校正の必要性を示すために、基礎的な特性調査実験を行った。この実験では、音の反射しない無響室で複数のモバイルデバイスを理想的な環境で校正し、機種ごとの違いを明らかにしている。第5章では、屋外において、同一時空間で校正することを提案し、校正実験を行った。屋外での校正と無響室で校正した場合を比較した。第6章では、省電力化手法について述べる。第7章で研究をまとめ、今後の展望を示す。

第2章 関連研究

従来の研究では、携帯電話に外部センサを取り付けてビジュアライズや位置情報取得の省電力化を研究目標としてきた。それらの研究で明らかにされてきた研究成果を紹介し、本研究の位置づけを明確にする。

2.1 従来の環境センシング手法

2.1.1 Improving Energy Efficiency of Location Sensing on Smartphones

Improving Energy Efficiency of Location Sensing on Smartphonesの研究では Location-base Applications に関して GPS の消費電力を抑えるミドルウェアの研究を行っている。この研究では、4つの設計指針を掲げ、オープンソースである Android に実装している。4つの設計指針とは、Substitution, Suppression, Piggybacking, Adaptation である。Substitution は、GPS よりも電力消費の少ない別の位置センシングの手法を使うということである。Suppression は、GPS より電力消費の少ない加速度計などを用いて、ユーザのコンテキスト、たとえば、ユーザが同じ場所にいることを把握することで、センサの使用を抑えることである。Piggybacking は、複数の LBA が動いているときに、センシングのリクエストを同期させ、センサ使用を抑えることである。Adaptation はバッテリーの残量に応じて、センシングの精度を変化させ、省電力化を図ることである。

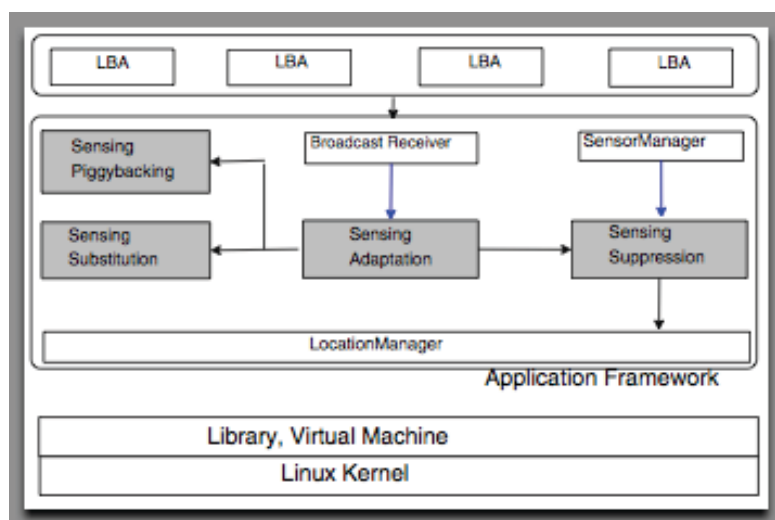


図 2.1: Software Architecture[1]

ら騒音マップを構築する。

携帯電話を持ったユーザは道に沿って歩き、そのときに MobSLM というアプリケーションを起動する。SLM は”sound level meter” の略である。

携帯電話が電話として使われていない場合にのみ MobSLM が起動するように出来ている。起動しているとき、信号処理のモジュールが音声の特徴を処理する。

処理された騒音レベルは、GPS から得られた経度緯度の座標データとシステム時間によりタグ付けされ、携帯電話のメモリに保存する。

保存されたタグ付けされたデータは携帯電話が WiFi のアクセスポイントを見つけたときに、中央サーバにアップロードされる。

中央サーバのコミュニケーションマネージャはユーザからの送信を待っていて、ユーザデータを受け取ったときに、GPS の座標を Military Grid Reference System に変換して保存する。

エンドユーザからのクエリは中央サーバのクエリマネージャによって処理される。

Ear-Phone はデータ種集からエンドユーザまで考えたアーキテクチャを採用している。

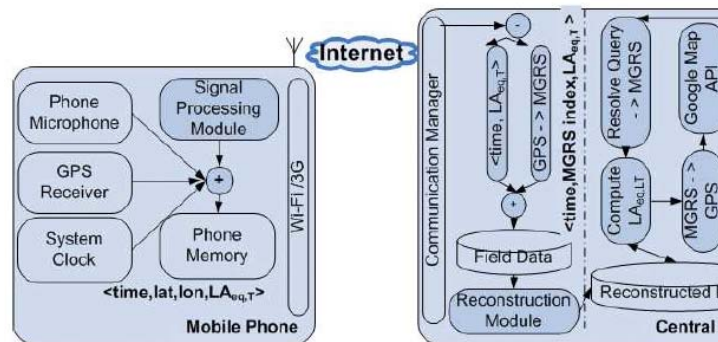


図 2.3: Ear-Phone Architecture[3]

量を減らすことでこの難しい問題に対処していた。SoundSenseはこのスケーラビリティの問題を根本的に解決することを目標にしている。

SoundSenseでは異なる音を扱うときには、異なる戦略を採用する。声や音楽のような音は人々の生活にとけ込んでおり、よく研究されておりモデル化が容易にできる。一方、それ以外の音は教師なし学習の手法を用いて新しいサウンドの種類を学習していかねばならない。

エンドユーザとの対話を通して、SoundSenseは新しいサウンドの特徴に意味のある振る舞いとしてラベルをつける。SoundSenseでは階層的分類の機構を採用している。最初の段階で、SoundSenseは、声、音楽、環境音の大きく3つの音に分類する。次の段階で、その分類に基づいた更なる分析を行う。声や音楽のケースでは優れた識別を行うことが出来る。また環境音の場合では教師なし学習を用いて学習も行う。

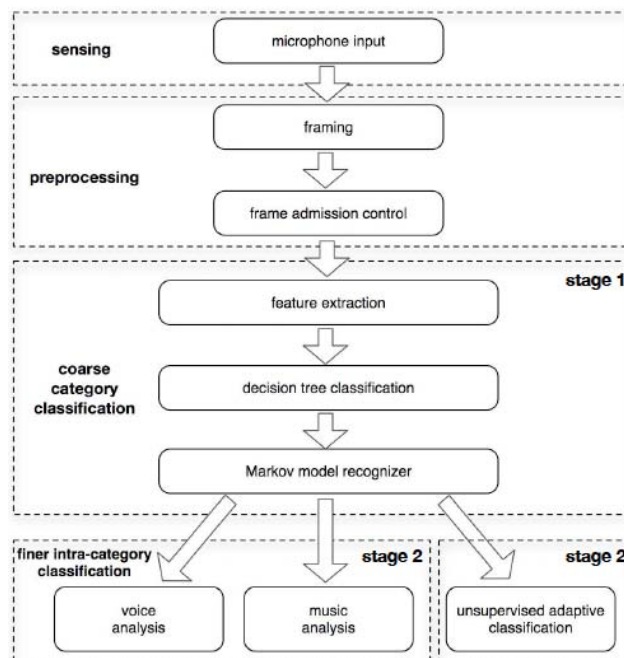


図 2.5: The SoundSense Architecture[5]

重要なことは SoundSense においてはすべての音に対して学習を試みるわけではないということである。むしろ、ユーザの生活においてその音が重要であることを認識する。

SoundSense が新しいサウンドを学習しようとするときに、ユーザのプライバシーに関わるようなサウンドや重要でないサウンドは学習しようとせず、コンテキストを提供するようなサウンドを学習しようとする。SoundSense は声や音楽にはモデルに基づいたより正確な分析を行い、環境音に対しては教師なし学習を行うことで無駄な学習を行わなくて済むことができる。

以上のことをまとめると図 2.5 のようになる。SoundSense はマイクの入力からデータを取得し、処理を行って特徴を検出してマルコフモデルなどを用いて分類を行う。分類方法としては 3 つあり声、音楽、あとは環境音である。その 3 つにわけた後に、声と分類された音には声分析、音楽と分類された音には音楽分析、環境音と分類された音には教師なし学習が適応される。

2.2.2 On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments

On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments では、従来のセンサノードとモバイルデバイスを用いて実験を行っている。

騒音汚染のセンサとして使われる携帯電話の可能性を探るために、いくつかの異なるテスト用の信号を用いて集めたデータを分析した。実験の目的は近くに配置された携帯電話の測定と音センサとの比較である。(図 2.6)

この実験から、携帯電話を用いた騒音汚染レベルの評価には未だにいくつかの問題が存在することが明らかになった。たとえば、携帯電話の信号処理モジュール（ノイズキャンセリングやローパスフィルタ）を回避することが最新の機器でも不可能であることが挙げられる。

またユーザは自身の携帯電話がバックグラウンドで取得した音に関心を持っているので、それを考慮に入れてシステムはデザインされるべきである。

2.3 課題

現在行われている騒音評価は、十分な精度を持つように設計されている。一方で、一点一点測定するため、頻度は高くなく、広域を測定するにはコストがかさんでしまう。

モバイルデバイスを用いて測定するというアプローチを取る研究もある。しかし、高精度センサと比較することにより校正するというにとどまっている。高精度センサとの比較だけでは校正する機会は限定されてしまう。そこで、よりスケーラブルな校正手法が求められている。

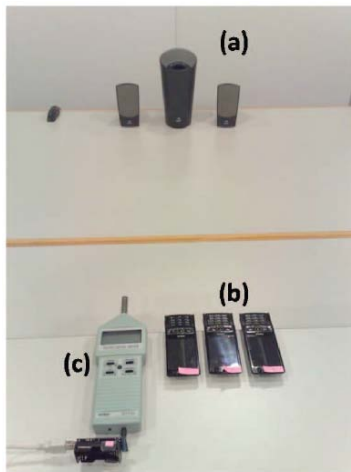


图 2.6: Experimental setup: (a)the audio source;(b)the three mobile phones;(c)the phonometer[6]

第3章 モバイルデバイスによる環境騒音の測定上の課題

3.1 ISO 標準の環境騒音の表示・測定方法

3.1.1 概要

適切な土地利用のための環境騒音を表示する際に用いる基本的な諸量を規定し、それらを求めるための方法を示す。その内容の多くは JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法 [14] により日本工業規格として規定されている。JIS Z 8731 では JIS C 1502 普通騒音計 [15]・JIS C 1505 精密騒音計 [16]・JIS C 1512 騒音レベル、振動レベル記録用サウンドレコーダ [17] の規定を前提としている。また、国際規格である ISO 1999 Acoustics - Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment [18] と関連した内容となっている。

環境騒音を記述するための騒音レベルの表示方法およびデータを収集する方法を示す。このようなデータに基づくことにより、環境騒音の観点から特定の地域の土地利用形態を適切に設定し、実在または計画中の騒音源の許容の程度を判断することができる。

連続積分または時間サンプリングによる方法、および特定の気象条件下における測定等、具体的な測定の方法を示す。

次の目的で騒音の表示量を得るためのデータの収集方法を規定する。

1. 統一的な方法による特定の地域における環境騒音の表示
2. 現在または将来予測される騒音を考慮した土地利用の適正さの評価

3.1.2 定義

環境騒音においてはさまざまな物理量が定義されている。最終的に用いられる物理量を導出するまでに必要な物理量を定義する。

周波数重み特性 A

サウンドレベルメータについて周波数の関数として規定する。表示装置上に指示するレベルとそれに対応する一定振幅の定常正弦波入力信号のレベルとの差。周波数重み特性 A は人間の耳が同じ音圧であっても周波数ごとに異なる大きさの音として認知される現象を補正する特性である。人間の耳の特性は ISO 226:2003 [19] によって等ラウドネス曲線 (図 3.1) として定められている。この曲線は横軸が周波数で縦軸が音圧のグラフであり、phon という単位で人間の感じる音の大きさをプロットしている。この純音における等ラウドネス曲線を元に周波数重み特性 A が決められて

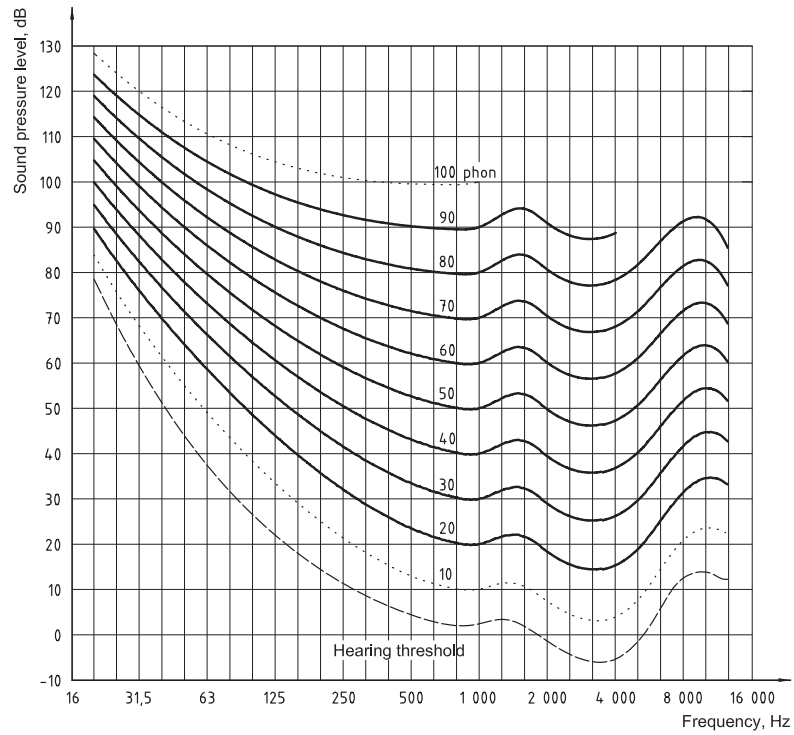


図 3.1: 純音における等ラウドネス曲線

いる。JIS C 1509-1[20] では周波数重み特性 A は次のように定義されている。

$$A(f) = 20 \log_{10} \left[\frac{f_4^2 f^4}{(f^2 + f_1^2)(f^2 + f_2^2)^{\frac{1}{2}}(f^2 + f_3^2)^{\frac{1}{2}}(f^2 + f_4^2)} \right] - A_{1000} \quad (3.1)$$

A_{1000} 1kHz における周波数重み付け特性を 0dB とするために必要な電気回路利得を表したデシベルを単位とする規準化定数。

$$f_1 = \left[\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4c}}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.2)$$

$$f_4 = \left[\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c}}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

$$b = \left(\frac{1}{1-D} \right) \left[f_r^2 + \frac{f_L^2 f_H^2}{f_r^2} - D(f_L^2 + f_H^2) \right] \quad (3.4)$$

$$c = f_L^2 f_H^2 \quad (3.5)$$

$$f_2 = \left(\frac{3 - \sqrt{5}}{2} \right) f_A \quad (3.6)$$

$$f_3 = \left(\frac{3 + \sqrt{5}}{2} \right) f_A \quad (3.7)$$

$$f_L = 10^{1.5}, f_H = 10^{3.9}$$

$$f_A = 10^{2.45}, D = \sqrt{\frac{1}{2}}, f_r = 10^3$$

参考までにこの式から導出した値を表 3.3 にまとめる。

A 特性音圧

周波数重み特性 A をかけて測定される音圧実効値、単位はパスカル (Pa)。

音圧レベル

音圧実効値の 2 乗を基準音圧の 2 乗で除した値の常用対数の 10 倍で、次の式で与えられる。単位はデシベル (dB)

$$L_{pA} = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \quad (3.8)$$

p 音圧実効値 (Pa)

p_0 基準音圧 ($20\mu Pa$)

騒音レベル

A 特性音圧の 2 乗を基準音圧の 2 乗で除した値の常用対数の 10 倍で、次の式で与えられる。単位はデシベル (dB)。A 特性音圧レベルともいう。

$$L_{pA} = 10 \log_{10} \frac{p_A^2}{p_0^2} \quad (3.9)$$

等価騒音レベル

ある時間範囲 T について、変動する騒音の騒音レベルをエネルギー的な平均値として表した量で、次の式で与えられる。単位はデシベル (dB)。

$$L_{A_{eq}, T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (3.10)$$

表 3.1: 周波数重み付け特性 A

公称周波数 Hz	周波数重み付け特性 dB
10	-70.4
12.5	-63.4
16	-56.7
20	-50.5
25	-44.7
31.5	-39.4
40	-34.6
50	-30.2
63	-26.2
80	-22.5
100	-19.1
125	-16.1
160	-13.4
200	-10.9
250	-8.6
315	-6.6
400	-4.8
500	-3.2
630	-1.9
800	-0.8
1000	0
1250	+0.6
1600	+1.0
2000	+1.2
2500	+1.3
3150	+1.2
4000	+1.0
5000	+0.5
6300	-0.1
8000	-1.1
10000	-2.5
12500	-4.3
16000	-6.6
20000	-9.3

$p_A(t)$ A特性で重み付けられた音圧

p_0 基準音圧 $20\mu Pa$

t_1 測定開始時間

t_2 測定終了時間

T 積分時間 ($t_2 - t_1$)

実測時間

実際に騒音を測定する時間

基準時間帯

一つの等価騒音レベルの値を代表値として適用し得る時間帯。基準時間帯は、対象とする地域の居住者の生活態様および騒音源の稼働状況を考慮して決める。

長期基準期間

騒音の測定結果を代表値として用いる特定の期間で、一連の基準時間帯から成る。

長期平均等価騒音レベル

長期基準期間に含まれる一連の基準時間帯ごとの等価騒音レベルを長期基準期間の全体にわたって平均した値。指定された基準時間帯について、次の式によって長期平均等価騒音レベルを計算する。

$$L_{Aeq,LT} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{(L_{Aeq,T})_i/10} \right] \quad (3.11)$$

N 基準時間帯のサンプル数

$(L_{Aeq,T})_i$ i 番目の基準時間帯の等価騒音レベル (dB)

評価騒音レベル

等価騒音レベルに、対象騒音に含まれる純音性および衝撃性に対する補正を加えた値。騒音源および対象とする地点の特性を考慮して、それぞれの基準時間帯について次の式によって評価騒音レベルを求める。

$$(L_{Ar,T})_i = (L_{Aeq,T})_i + K_{1i} + K_{2i} \quad (3.12)$$

$(L_{Aeq,T})_i$ i 番目の基準時間帯についての等価騒音レベル (dB)

K_{1i} i 番目の基準時間帯に対する純音補正の値 (dB)

K_{2i} i 番目の基準時間帯に対する衝撃音補正の値 (dB)

純音補正

ある特定の時間帯において、騒音に著しい純音性が認められる場合には、その時間帯について測定された等価騒音レベルに補正值 K_1 を加えてもよい。その場合には、補正值を明記する。

衝撃性補正

ある特定の時間帯において、騒音に著しい衝撃性が認められる場合には、その時間帯について測定された等価騒音レベルに補正值 K_2 を加えてもよい。その場合には、補正值を明記する。

長期平均評価騒音レベル

一連の基準時間帯について算出された評価騒音レベルを長期基準期間にわたって平均した値。指定された基準時間帯について、次の式によって長期平均評価騒音レベルを計算する。

$$L_{A_r,LT} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{(L_{A_r,T})_i/10} \right] \quad (3.13)$$

N 基準時間帯のサンプル数

$(L_{A_r,T})_i$ i 番目の基準時間帯の評価騒音レベル (dB)

土地利用 対象とする地域の現状または計画上の用途

騒音レベルゾーン

長期平均等価騒音レベルまたは長期平均評価騒音レベルがある特定の二つのレベルの間になっている領域。たとえば、65dB と 70dB の間の騒音レベルゾーンは 65 70dB と表示する。

ある場所で測定される環境騒音は、さまざまな騒音源からの音波が重ね合わせの原理で重なった音波となる。その観点から騒音の種類として定義する。

総合騒音 ある場所におけるある時刻の総合的な騒音。

特定騒音 総合騒音の中で音響的に明確に識別できる騒音。騒音源が特定できることが多い。

初期騒音 ある地域において、何らかの環境の変化が生じる以前の総合騒音。

測定された環境騒音には、さまざまな波形が見られる。その波形の特徴を表す用語を定義する。

定常騒音 レベル変化が小さく、ほぼ一定とみなされる騒音

変動騒音 レベルが不規則かつ連続的にかなりの範囲にわたって変化する騒音

間欠騒音 間欠的に発生し、一回の連続時間が数秒以上の騒音

衝撃騒音 継続時間が極めて短い騒音

分離衝撃騒音 個々に分離できる衝撃騒音

準定常衝撃騒音 レベルがほぼ一定で極めて短い間隔で連続的に発生する衝撃騒音

定義された物理量に使われる記号をまとめる。

表 3.2: 各種の騒音のレベル (dB) を表す記号

評価量	記号	備考
騒音レベル	L_{pA}	
等価騒音レベル	$L_{Aeq,T}$	時間を明示する。
長期平均等価騒音レベル	$L_{Aeq,LT}$	同上
評価騒音レベル	$L_{Ar,T}$	同上
長期平均評価騒音レベル	$L_{Ar,LT}$	同上

3.1.3 測定器

一般事項

測定器としては、直接または計算によって、すなわち定義通りまたは何らかの近似的な方法によって、等価騒音レベルを算出できるものを用いる。測定器は JIS C 1505 に適合するものを用いることが望ましい。少なくとも JIS C 1502 に適合するものを用いなければならない。これらの騒音計に代わる測定器を用いる場合にも、周波数重み特性、時間重み特性について同等の性能をもつものでなければならない。このような条件を満たす測定器としては、次の種類が挙げられる。

1. 等価騒音レベルを測定することができる騒音計
2. 単発騒音暴露レベルを測定することができる騒音計
3. 周波数重み特性 A および時間重み特性 S を備えた騒音計
4. 騒音レベルをサンプリングすることができる時間重み特性 F を備えたデータロガー
5. 4 と同様に、騒音レベルのサンプル値を統計処理することができる機器

校正

すべての測定器は校正を行う必要がある。その方法は、測定器の製造業者が指定した方法による。測定器の使用者は、少なくとも一連の測定の前後に現場で検査を行わなければならない。その場合、マイクロホンを含めた音響的な検査を行うことが望ましい。

3.1.4 データの収集

土地利用に関する基本データとして、次の事項が必要である。

1. 対象とする地域の地勢情報
2. その地域における騒音源の特性
3. その地域における居住状況および周辺の状況

3.1.5 測定

一般事項

この規格では、環境騒音の測定に関する一般的な方法を規定する。測定結果とともに、参考資料として、使用した測定器、測定方法および測定期間中の状態の詳細を記録し、保存しておくことが重要である。

測定点

測定点の設定は、特に指示がない限り、次による。

屋外における測定

反射の影響を無視できる程度に小さくすることが重要な場合には、可能な限り、地面以外の反射物から 3.5m 以上離れた位置で測定する。測定点の高度は、特に指定がない限り、地上 1.2 1.5m とする。それ以外の測定点の高度は、目的に応じて個々に定めるものとする。

建物の周囲における測定

建物に対する騒音の影響の程度を調べる場合には、特に指定がない限り、対象とする建物の騒音の影響を受けている外壁面から 1.2m 離れ、建物の床レベルから 1.2 1.5m の高度で測定する。

測定点の位置と数

一般事項

等価騒音レベルの測定は、対象とする環境騒音を記述する上で適当な屋外の位置で行う。測定位置は地上に明示する。測定点の位置と数は、対象とする環境に対して必要な空間分解能を考慮して決める。測定点の設定の仕方には、次のような方法がある。

1. 対象とする地域の全体にわたってほぼ等間隔に測定点を設定する（たとえば、地図上の格子線の交点）。それによって、各測定点における測定結果を内挿して騒音レベルコンター（等高線）を表示することができる。
2. 特定の地域の平均レベルを代表する点を選ぶ。
3. 対象とする地域に存在する騒音源が放射する騒音の特性を把握できる地点を選ぶ。これによって、対象とする地域内の他の位置における騒音を計算によって推定することができる。

マイクロホン位置

マイクロホンの高度は、実際の、または予想される居住の態様を考慮して設定する。高い建物が建てられることが予想される地域では、測定点の高度は 3 11m とする。その他、特に指定がない場合には、本体による。

反射の影響を無視できる程度に小さくすることが必要な場合には、可能な限り地面以外の反射物から 3.5m 以上離れた位置または解放された窓から 0.5m 離れた位置で測定を行う。

対象とする地域における測定点の位置

一つの地域内に設定する測定点の密度は、検討に必要とされる空間分解能および騒音のレベルの空間的な変化の程度によって決める。騒音のレベルの場所による変化は、騒音源の近傍や大きな障害物の近くで著しい。したがって、このような場所では、測定点の密度をさらに高くする必要がある。一般に、隣り合う測定点の間のレベル差が 5dB 以上にならないようにする。レベル差がそれ以上になった場合には、中間に測定点を追加する。

対象とする地域を代表する測定位置

騒音レベルの空間的な変化が小さい場合、または限られた範囲だけを対象とする場合には、測定結果が地域全体を代表するような地点に測定点を設定する。このような地点を設定するためには、予備調査を行うことが望ましい。

騒音源の特性を調べるための測定位置

騒音源の寄与を個々または種類別に調べる必要がある場合には、他の騒音源の影響を避けるために、対象とする騒音源の近傍に測定点を設定する。他の地点における騒音のレベルは、距離減衰、空気の音響吸収、地表面の影響および遮蔽効果などを考慮して、内挿または外挿によって推定することができる。

時間の設定

基準時間帯

基準時間帯および実測時間を適切に設定するためには、長時間にわたる予備測定を行って騒音の状態を調べることが必要な場合もある。基準時間帯は、居住者の典型的な生活態様および騒音源の種々の稼働条件（交通量や工業プラントなどの稼働時間）をカバーするように設定する。居住者の生活態様を考慮する場合には、昼間および夜間をそれぞれ基準時間帯に設定するのが適当である。週末や休日については、夕方についても基準時間帯を設定してもよい。一つの基準時間帯の間に居住者の生活態様に大きな変化がある場合には、その基準時間帯について評価騒音レベルを算出する際に、生活態様の変化に応じてレベルに補正を加えてもよい。そのような補正を行う場合には、報告書に補正值とそれを適用した時間帯を必ず明記する。

長期基準期間

長期基準期間の設定にあたっては、騒音制御の目的、対象とする地域の特性と居住者の生活態様、騒音源の稼働状況および騒音の伝搬条件の変化を考慮する必要がある。

実測時間

実測時間は、対象とする基準時間帯の等価騒音レベルが安定して得られるように、また長期平均等価騒音レベルおよび長期平均評価騒音レベルが必要とされる精度で推定できるように、騒音の発生および伝搬の変化に応じて設定する。

騒音に明らかな周期性が認められる場合には、少なくともその1周期を含むように実測時間を設定する。1周期にわたって連続的に測定を行うこと出来ない場合には、1周期のうちの部分ごとに実測時間を設定し、全体で1周期をカバーするようにする。騒音レベルが段階的に変化している場合には、騒音レベルがほぼ定常と見なされる時間のそれぞれを代表するように実測時間を設定する。

騒音が不規則に変動している場合には、長期平均等価騒音レベルの推定のために十分な数のサンプル値が得られるように実測時間を設定する。

上空または側方を通過するような騒音源（たとえば、航空機や鉄道などで、通過する間だけ騒音が存在し、基準時間帯のその他の時間には騒音が存在しないような騒音源）を対象とする場合には、通過するときの単発騒音暴露レベルが測定できるように実測時間を設定する。測定結果の比較を容易にするために、再現性があり安定した騒音の伝搬条件となる気象条件を選んで測定を行うことが望ましい。特に一つに卓越した騒音源がある場合には、騒音源から対象とする地域へ騒音が伝わりやすい気象条件を選び、以下に示す各条件を満たすように実測時間を設定するとよい。

1. 主要な騒音源の中心と対象とする地域の中心を結ぶ線に対して風向が $\pm 45^\circ$ 以内の範囲で順風となっている条件
2. 地上311mの高さにおける風速が15m/sの範囲になっている条件
3. 地表近くに強い気温の逆転が生じていない条件
4. 強い降雨でない条件

気象の影響

騒音の伝搬は気象条件によって変化し、その程度は伝搬距離が長いほど著しい。このような影響が問題となる場合には、以下に述べる二つの方法のうち、いずれかによって測定を行うことが望ましい。

種々の気象条件における測定結果を平均する方法

測定点において種々の気象条件にわたる長期平均等価騒音レベルが得られるように、実測時間を設定する。

特定の気象条件において測定する方法

特定の気象条件のときの騒音のレベルが把握できるように実測時間を設定する。このような気象条件は、一般に、騒音の伝搬が最も安定している場合、すなわち、風速ベクトルが騒音源から測定点の方向に正の成分をもっている条件（順風）である。

等価騒音レベルの算出方法

一般的な方法

一般的な等価騒音レベルの算出方法を示す。個別の規格等で特に規定がない場合には、これらのうち適当な方法を選んで用いる。

変動騒音

騒音の変動が大きい場合には、積分平均型騒音計を用いることが望ましい。その場合、設定した実測時間を必ず記録しておく。この方法の代わりに、以下に述べるサンプリングによる方法または騒音レベルの統計分布による方法を用いることも出来る。

サンプリングによる方法

時刻 t_1 から t_2 まで、一定時間間隔 Δt ごとに騒音レベルのサンプル値を求める。その結果から、次の式によって等価騒音レベルを算出する。

$$L_{A_{eq},T} = 10 \log 10 \left[\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N 10^{L_{pA,t}/10} \right] \quad (3.14)$$

N サンプル数 ($N = \frac{t_2 - t_1}{\Delta t}$)

$L_{pA,i}$ 騒音レベルのサンプル値

この方法による場合、サンプリング時間間隔が騒音レベルを測定する機器の時間重み特性の時定数に比べて長くなるほど測定結果の精度は低下する。一般に、サンプリング時間間隔を測定システム全体の時定数に比べて短くとれば、真の積分による結果と等しい結果が得られる。

騒音レベルの統計分布による方法

騒音レベルのサンプル値の統計分布から等価騒音レベルを求めることもできる。その場合、騒音レベルの分割幅は、騒音の特性に応じて決めるべきではあるが、一般に 5dB 間隔が適当である。この方法による場合、等価騒音レベルは次の式によって求められる。

$$L_{A_{eq},T} = 10 \log 10 \left[\frac{1}{100} \sum_{i=1}^n f_i 10^{L_{pA,i}/10} \right] \quad (3.15)$$

n レベルの分割数

$L_{pA,i}$ 騒音レベルが i 番目の分割クラスに入っている時間の割合 (%)

$L_{pA,i}$ i 番目の分割クラスの中点の騒音レベル (dB)

補正

この規格で規定する測定方法は、環境における騒音を物理的に正しく表示することを目的としている。したがって、騒音に対する人間の反応を評価する場合には、その目的に適した基本料とするために、測定値に何らかの補正を加えることが必要となることもある。等価騒音レベルの値に対してそのような補正を加えた量が評価騒音レベルである。

長期平均等価騒音レベルおよび長期平均評価騒音レベルの求め方

一般事項

これらの量は、一般に測定および計算またはそれらのいずれかによって求める。これらの結果は、特定の地点における騒音レベルの代表値である。測定による場合、騒音源と対象とする地点の特性および測定結果の重要性を考慮して測定方法を決める。

音響データの収集

一般事項

音響データは実測時間全体にわたる測定結果から算出する。その方法には、次に述べる二つの方法がある。

連続測定による方法

基準時間帯全体を実測時間とする。ただし、強風や豪雨のときや対象とする地域の代表的な騒音以外の騒音の影響が強い場合など、測定誤差を生じるおそれのある時間帯を除く。

時間サンプリングによる方法

基準時間帯の間に幾つかの離散的な実測時間を設定し、その間の測定結果から等価騒音レベルおよび評価騒音レベルを計算する。この方法による場合、実測時間の全体は基準時間帯の一部であり、基準時間帯には実測に測定を行わない時間が含まれる。

3.1.6 記録事項

次の事項を記録する。

測定方法

1. 測定器の種類、測定方法および計算による場合にはその方法
2. 測定時間に関する事項、すなわち基準時間帯、実測時間およびサンプリングによる方法を用いた場合にはその詳細（サンプリング時間間隔、回数など）
3. 測定点（位置および高さ）

測定時の条件

1. 雨、霧雨、乾燥している、湿気が多い、曇り、晴天などの定性的データ
2. 定量的データ
 - (a) 実測時間内の風向・風速（特に規定がない場合には、これらの測定は屋外の開けた場所で地上3.11mの高さで行う。）
 - (b) 必要な場合には、地上1.11mの高さで測定された気温のこう配
 - (c) 相対湿度
3. 騒音源と測定点の間の地表の種類および状態
4. 騒音源の騒音放射の変動性

定性的記述

1. 測定または予測計算の目的
2. 騒音源に関する記述
 - (a) 騒音源の方向の判断可能性

- (b) 騒音源の同定の可能性
- (c) 騒音源の性質
- 3. 対象とする地域に関する記述
- 4. 騒音の特徴
- 5. 騒音の意味性
- 6. 対象とする地域または範囲について
- 7. 対象とする地域または場所の地勢情報
- 8. 現状および計画されている土地利用の状況

定量的データ

- 1. 個々の基準時間帯における等価騒音レベル
- 2. 個々の基準時間帯における評価騒音レベル
- 3. 長期平均等価騒音レベル，可能な場合には変動性の評価（基準時間帯における測定結果の標準偏差，測定回数および計算に用いた式と諸量）
- 4. 長期平均評価騒音レベル，可能な場合には変動性の評価（基準時間帯における測定結果の標準偏差，測定回数および計算に用いた式と諸量）

3.1.7 騒音レベルゾーンおよび結果の表示

現状の環境騒音の測定結果および計画されている事業による騒音の予測結果の報告に、騒音レベルゾーンによる表示を加えると効果的である。その場合、5dB ごとのレベルゾーンの境界を表す等高線による表示が望ましい。各々のゾーンは、上限値および下限値 (dB) で表す。

対象とする地域の地図上で、異なる騒音レベルゾーンを色またはハッチングで区別する場合には、附属書 1 票 1 に示すクラスごとの色またはハッチングによって表示することが望ましい。

表 3.3: 5dB ごとの騒音レベルゾーンの色またはハッチング

騒音レベルゾーン (dB)	色	ハッチング
35 以下	明るい緑	小さな点, 低密度
35 40	緑	中程度の点, 中密度
40 45	暗い緑	大きな点, 高密度
45 50	黄	縦線, 低密度
50 55	黄土色	縦線, 中密度
55 60	橙	縦線, 高密度
60 65	朱	クロスハッチング, 低密度
65 70	カーミン	クロスハッチング, 中密度
70 75	明るい紫みの赤	クロスハッチング, 高密度
75 80	青	広い縦じま
80 85	暗い青	黒

3.2 マイクロホン校正の必要性

ISO 標準に基づいた環境騒音の測定方法では、騒音計を用いて騒音計測を行っている。この手法の利点は精度が十分にあることである。一方で、騒音計の購入費、騒音計のメンテナンス、測定の人件費にお金がかかるため、コストがかさむ。そのコストのため、毎日のような頻度で測定を行いたくない。ゆえに、時間を掛ければ測定範囲も広がるが、データの鮮度は落ちてしまう。

我々が提案する測定方法は、モバイルデバイスを用いたユーザ参加型の騒音計測方法である。モバイルデバイスはユーザが用いているものを利用し、ユーザの現在位置のデータを計測するため、モバイルデバイスの購入費やメンテナンスはユーザが行い、また、測定の人件費もかからない。ユーザへのインセンティブをどうするのかという問題はあるが、本論文においては取り扱いの対象外とする。コスト面では提案する測定方法が勝る。また、その低コストを生かし、測定頻度が上がるため、より広い測定範囲で鮮度の高いデータが収集できると考えられる。一方で精度面では騒音計を用いた場合に比べて劣る。

以上の議論をまとめると、表 3.4 となる。従来の測定方法では難しかったデータの鮮度を高く広域を測定することが行いやすい。提案する測定方法は従来の測定方法と対立するものではなく、お互いに補完することができる。たとえば、提案する測定方法で、騒音の大きい場所を定量的に予備調査し、問題箇所の把握を済ませた上で、精度で勝る従来の測定方法を用いるという事例が考えられる。

表 3.4: 従来の測定方法と提案する測定方法の比較

	精度	コスト	測定頻度	測定範囲
従来の測定方法	○	×	×	△
提案する測定方法	×	○	○	○

ユーザが所持するモバイルデバイスとして、携帯電話が最も一般的である。多数のユーザが参加するため、スケーラブルなアーキテクチャが求められる。モバイルデバイスに載ったセンサ精度の限界はあるが、できる限り正確な測定のために校正が必要となる。個々のデバイスを正確に校正することは非現実的であるため、個々のデバイスが分散的に校正する仕組みが求められている。

第4章 モバイルデバイスのマイクロホンの厳密な校正

4.1 概要

スマートフォンを用いた騒音評価に関して、校正がどの程度意味のあることなのかは明らかにされていない。そこで、スマートフォンに搭載されたマイクロホンの特性の違いが取得データに与える影響を定量的に評価する。

そこで、スマートフォンを複数用意し、厳密に校正することで、特性の違いを明らかにする。特性には主に3つの特性、すなわち、周波数特性、感度特性、指向性がある。本実験により周波数特性と感度特性を明らかにする。

4.2 評価方法

スマートフォンに搭載されたマイクロホンの特性を調査するために、AndroidのAPIで取得できる Wave データ（観測された音圧）と実際の音圧を対応させる。測定位置でのスピーカーで鳴らした音の音圧を精度の高くフラットな特性を持ったマイクで測定する。その後、測定位置にスマートフォンを設置し、その音圧と Wave データ（観測された音圧）を対応付ける。対応付けは、オクターブバンドフィルタを通し周波数ごとに分割し、周波数特性と感度特性を同時に調査する。

スマートフォンのマイクを騒音計と利用する際に、データの精度を考えると、マイクの問題になる。マイクの問題には周波数特性、指向性がある。そこで、我々はスマートフォンのマイクの調査を生産技術研究所の 4π 無響室（図 4.1）で行った。録音にはサンプリングビット数 16bits でサンプリング周波数は 48000Hz で行うアプリケーションを開発した。開発には Android 端末を用い、Android SDK の API(Level 7) を用いたアプリケーションを開発し録音を行った。

音響実験室（図 4.1）は無響室、残響室、模型実験室およびデータ処理室からなっている。無響室（有効容積 $3.8\text{m} \times 4.8\text{m} \times 3.8\text{m}$ 、浮構造、内壁 80cm 厚吸音楔）では各種音響計測器の校正、反射・回折測定、聴感実験などを行う。残響室（容積 200m^3 、不整形型）では、材料の吸音率、動力機器などの発生騒音パワーレベルの測定などを行う。また模型実験室は各種の音響模型実験を行うためのスペースで、建築音響、交通騒音などに関する実験を行っている。データ処理室には各種スペクトル分析器、音響インテンシティ計測システム、音響計測器校正システムなどが設置され、音響実験室のすべての実験装置、ならびに無音送風装置からのデータを処理できる。

実験器具の配置（図 4.2）は JIS C 5502[21] を参考にした。スピーカーからマイクを 2 m 離して行った（図 4.3）。

キャリブレーションには、騒音計のマイクはフラットな周波数特性を持つため、リオン社製の騒音計 NL-32 を用いた。 x, y は変数で x は wave データの値、 y はプレッシャとす



図 4.1: 4π 無響室

ると、その関係は $y = ax + b$ で表される。まずキャリブレーション用のマイクの特徴を定めるために a, b の値を求めたい。 $(x, y) = (x_1, y_1), (x_2, y_2)$ を使うと、 $a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ の関係がある。 $y_2 - y_1$ は $10dB$ ごとに測定しているところから求まる。さらに、電気的な内部校正により $(x, y) = (4844.458718, 84.0dB)$ という関係があるので b も求まる。

キャリブレーションされた NL-32 からマイク設置場所での音圧が求まる。その音圧を縦軸にし、その音圧でのスマートフォンの API で得られた wave データをオクターブバンドフィルタを通し各周波数に分解し絶対値を取りそのピーク値を横軸にする。このグラフにより、各スマートフォンの特性が明らかとなる。今回は指向性に関しては論文の範囲外として検討しない。算出されるグラフから、NL-32 と同様の校正式が出せる。

4.3 評価結果

結果から得られた校正用マイク NL-32 のキャリブレーション結果を図 4.4 に表す。この式は

$$y = (1.8828 \times 10^{-5})x + 4.9292 \times 10^{-15} \quad (4.1)$$

という式で表され、以降ではこの式を使い校正する。

図の構成でスマートフォンから得られた wave の値を $1/3$ オクターブバンドフィルタを通して周波数ごとに分解する。そこから得られたピークの wave の値を横軸、音圧はキャ

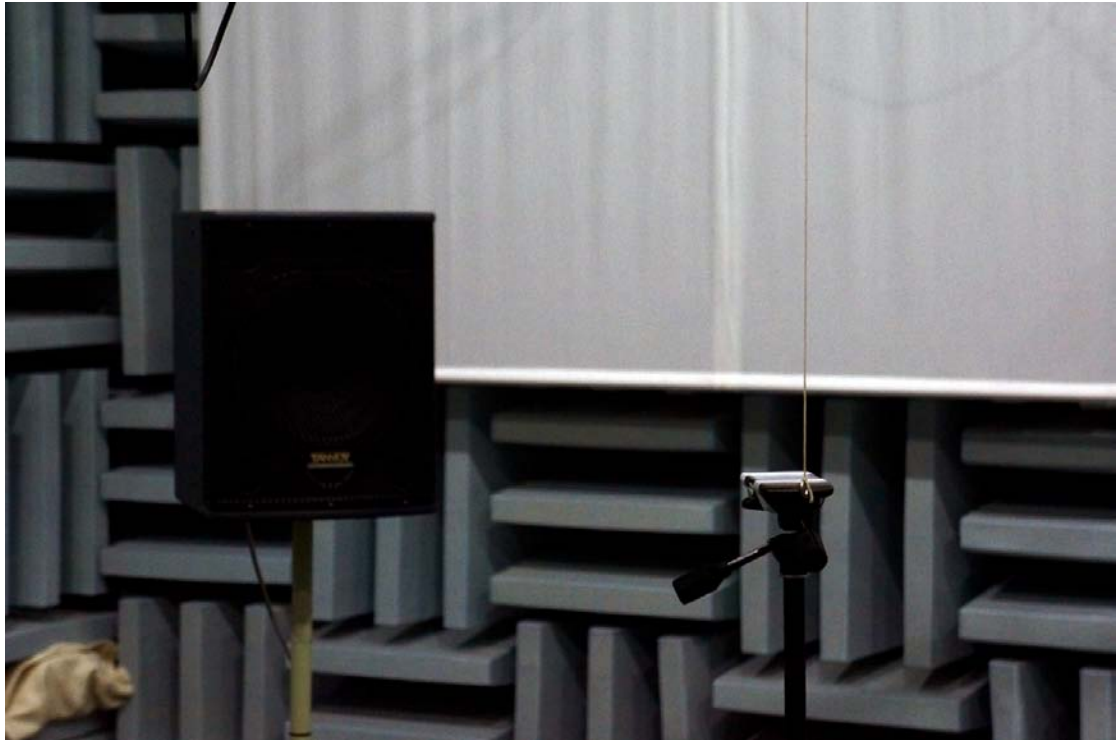


図 4.2: スマートフォンのマイク特性調査実験の様子

リブレーション用の NL-32 によって算出された値を縦軸に用いる。周波数 6300Hz について、プロットしたグラフが図となる。

スマートフォンのマイク感度によっては、同じ wave の値でも異なる音圧となる場合がある。これは感度が高すぎるため、16bit のビットレートではダイナミックレンジが足りず、波形が歪むためである。また、マイクノイズがあるため、測定できる音圧の下限もあると考えられる。それ以外の領域に対しては、 $y = ax + b$ の関係で近似できる。すなわち、 $y = ax + b, c < x < d$ という関数がある周波数における校正式と考えることにする。

図から算出した近似式はそれぞれ表 4.2 となった。

4.4 考察

この近似式から同一周波数での端末ごとの違いを算出してみると、6300Hz で各端末で 5000 の wave の値が得られたとすると、Nexus One が 54dB SPL, Galaxy S が 48dB SPL, Xperia Acro が 47dB SPL となり、感度の違いで最大 7dB も異なる結果が得られていることになる。本実験により、スマートフォンを用いた騒音センシングでは校正が必要になると言える。

本実験では同一機種による個体差については調査していないため、個体差による違いを明らかにすることはできないが、一般的に同一機種であっても同一の性能のマイクが採用されるとは限らないので、現時点では、同一機種であっても個体差があると想定する。

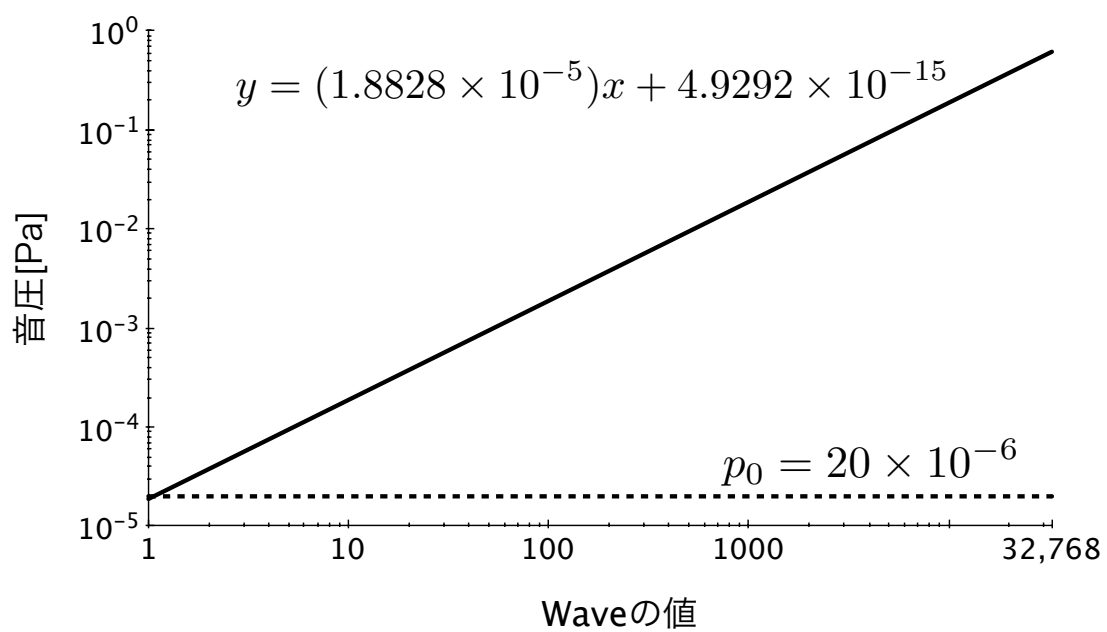
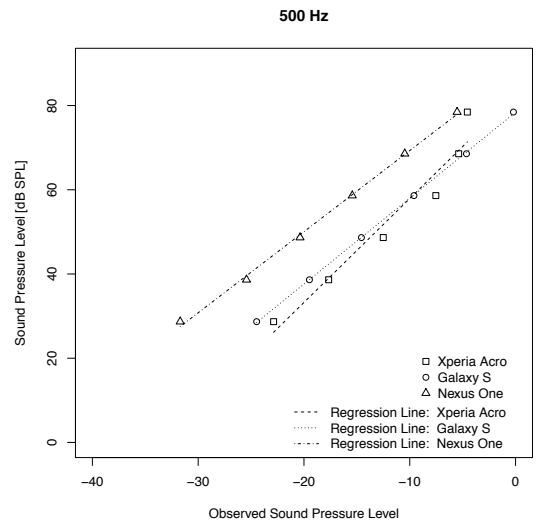
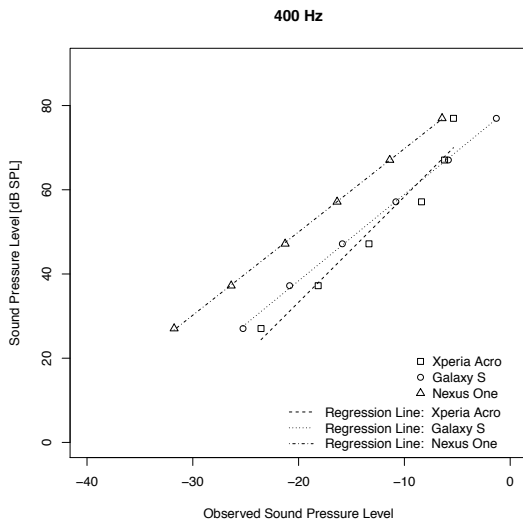
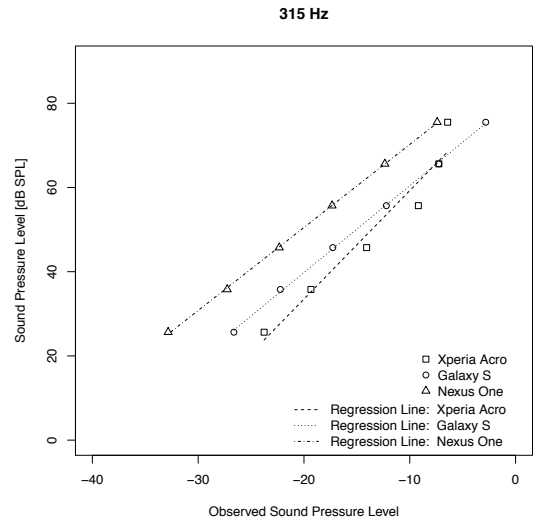
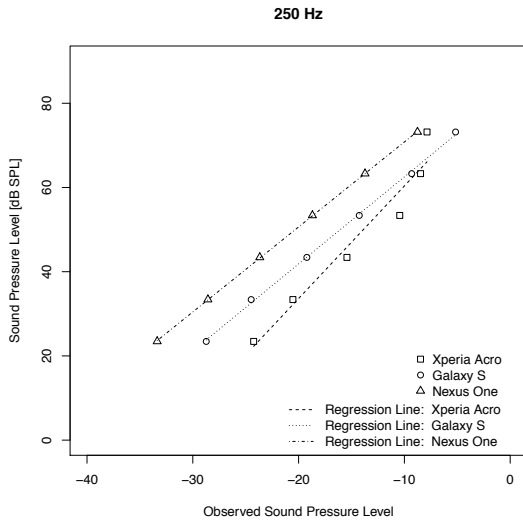
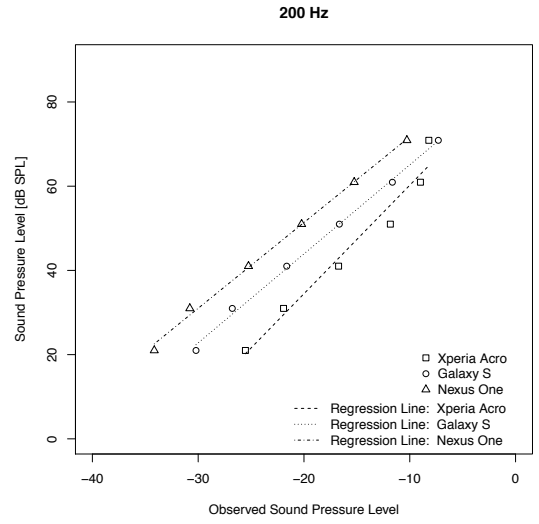
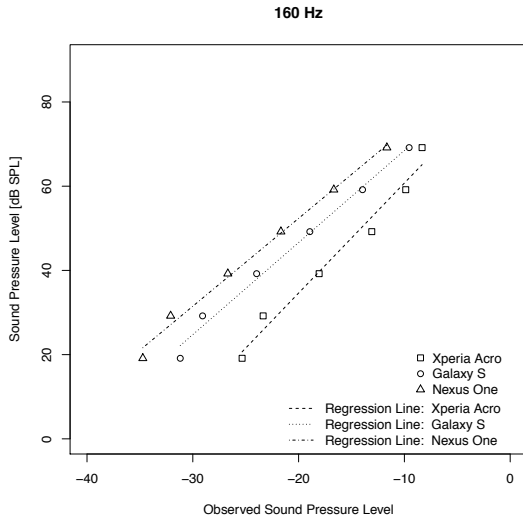


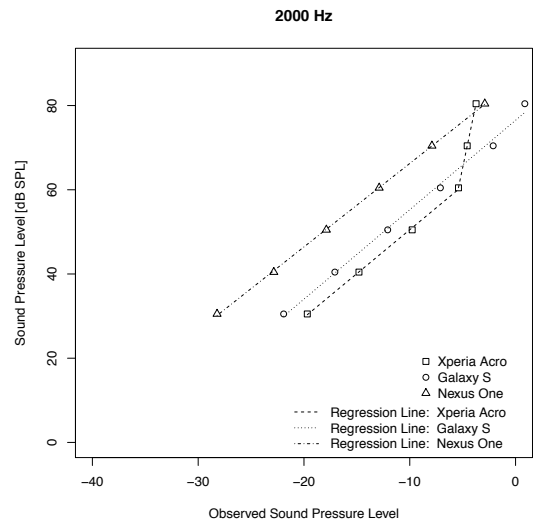
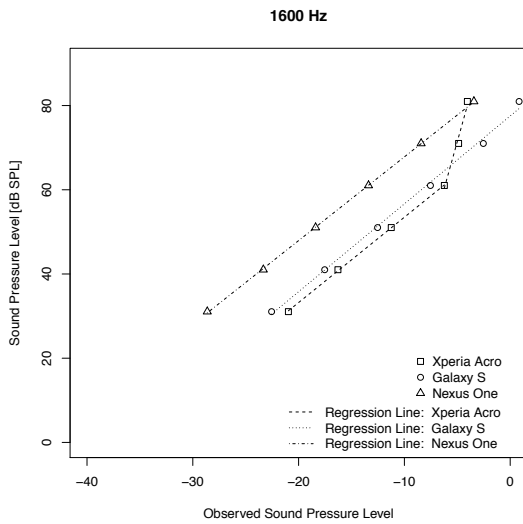
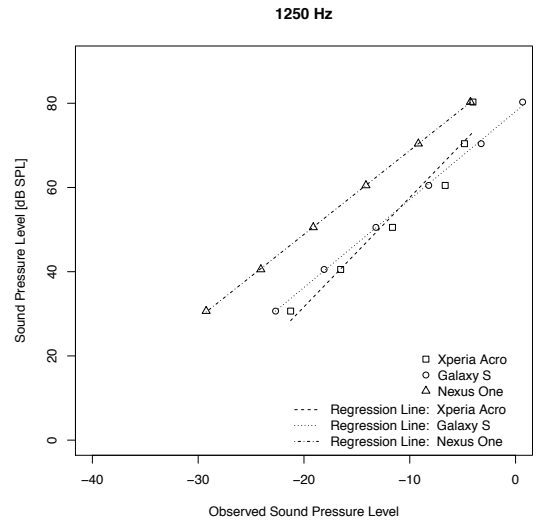
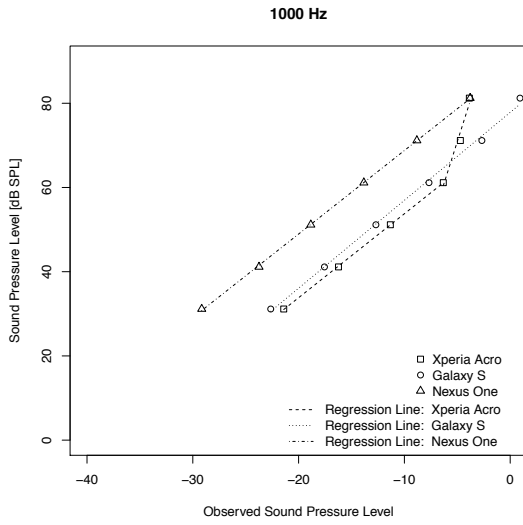
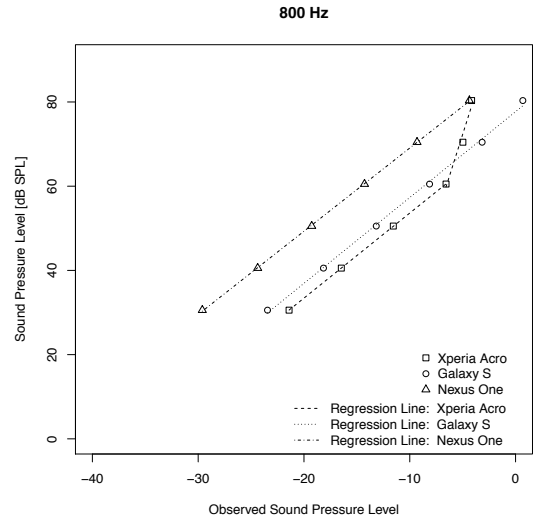
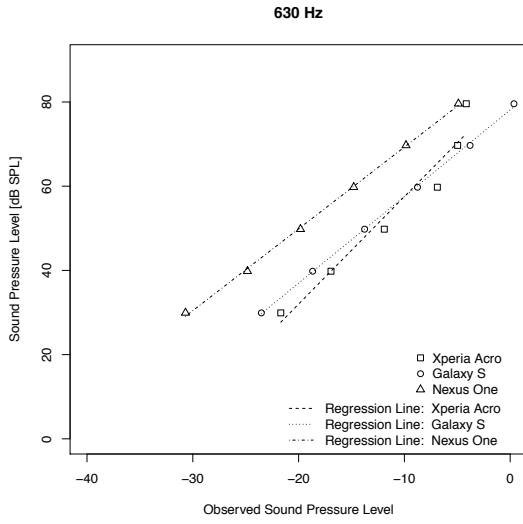
図 4.4: 1000Hz での校正用マイク NL-32 のキャリブレーション結果

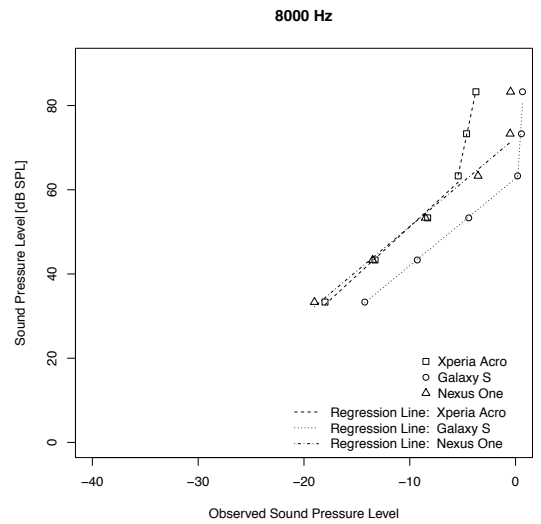
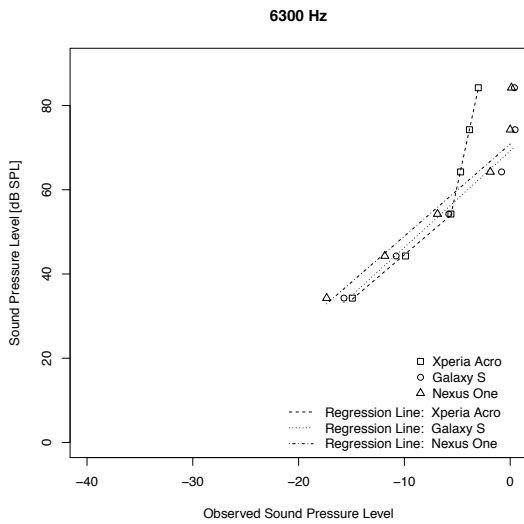
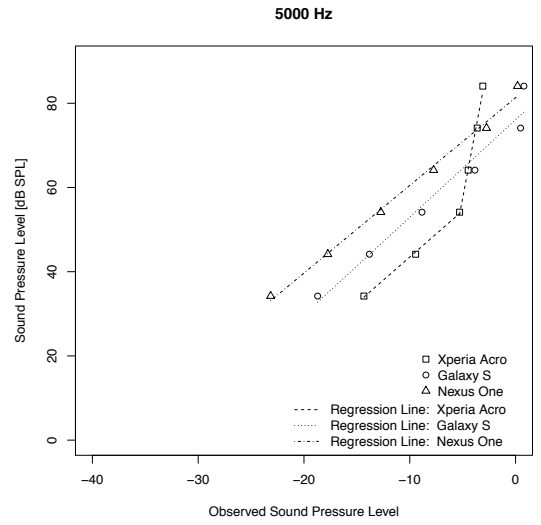
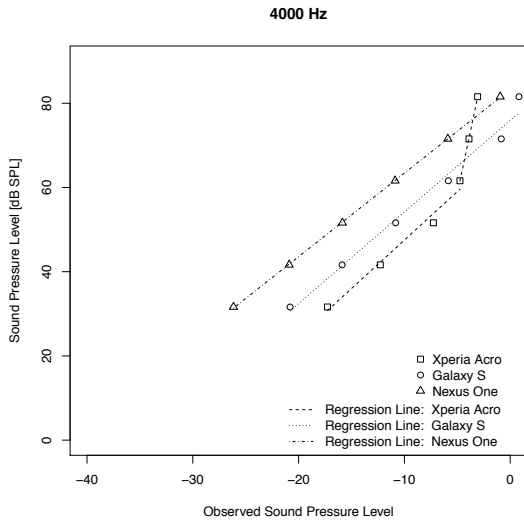
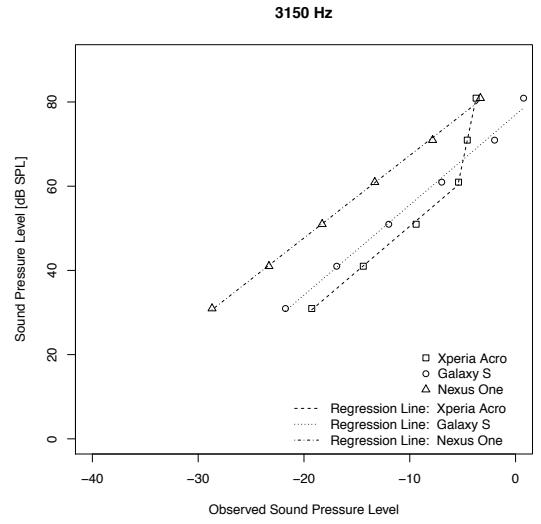
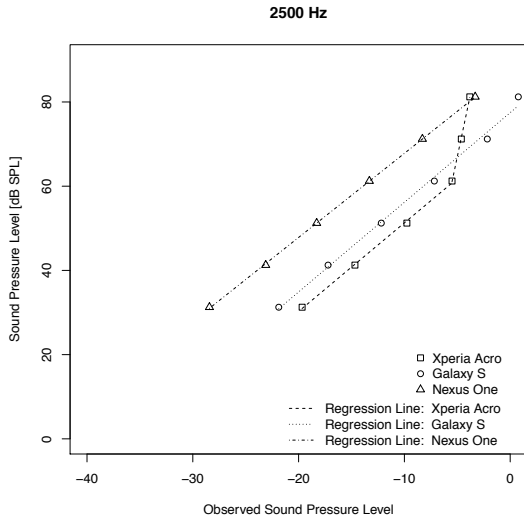
表 4.2: 無響室で得られた各周波数における校正式

Frequency	Phone	Regression Formula	Adjusted R ²
160Hz	Xperia Acro	$y = 86.867 + 2.612x, -25.34 \leq x \leq -8.328$	0.967
160Hz	Galaxy S	$y = 90.335 + 2.186x, -31.185 \leq x \leq -9.552$	0.988
160Hz	Nexus One	$y = 94.096 + 2.087x, -34.724 \leq x \leq -11.658$	0.992
200Hz	Xperia Acro	$y = 86.002 + 2.577x, -25.533 \leq x \leq -8.2$	0.952
200Hz	Galaxy S	$y = 86.202 + 2.114x, -30.205 \leq x \leq -7.301$	0.997
200Hz	Nexus One	$y = 92.113 + 2.037x, -34.152 \leq x \leq -10.271$	0.996
250Hz	Xperia Acro	$y = 87.113 + 2.674x, -24.248 \leq x \leq -7.862$	0.932
250Hz	Galaxy S	$y = 83.205 + 2.068x, -28.73 \leq x \leq -5.161$	0.999
250Hz	Nexus One	$y = 91.008 + 2.019x, -33.367 \leq x \leq -8.765$	1.0
315Hz	Xperia Acro	$y = 85.02 + 2.576x, -23.767 \leq x \leq -6.42$	0.932
315Hz	Galaxy S	$y = 81.055 + 2.063x, -26.624 \leq x \leq -2.819$	0.999
315Hz	Nexus One	$y = 89.93 + 1.971x, -32.839 \leq x \leq -7.408$	1.0
400Hz	Xperia Acro	$y = 83.429 + 2.507x, -23.552 \leq x \leq -5.361$	0.934
400Hz	Galaxy S	$y = 79.47 + 2.055x, -25.253 \leq x \leq -1.307$	0.999
400Hz	Nexus One	$y = 89.536 + 1.977x, -31.765 \leq x \leq -6.436$	1.0
500Hz	Xperia Acro	$y = 82.604 + 2.468x, -22.869 \leq x \leq -4.559$	0.931
500Hz	Galaxy S	$y = 78.407 + 2.04x, -24.474 \leq x \leq -0.201$	1.0
500Hz	Nexus One	$y = 88.566 + 1.926x, -31.7 \leq x \leq -5.525$	0.998
630Hz	Xperia Acro	$y = 83.062 + 2.553x, -21.683 \leq x \leq -4.152$	0.93
630Hz	Galaxy S	$y = 78.118 + 2.057x, -23.519 \leq x \leq 0.356$	0.999
630Hz	Nexus One	$y = 88.702 + 1.942x, -30.692 \leq x \leq -4.893$	0.999
800Hz	Xperia Acro	$y = 73.82 + 2.02x, -21.408 \leq x \leq -6.572$	1.0
800Hz	Xperia Acro	$y = 112.015 + 7.942x, -6.572 \leq x \leq -4.157$	0.935
800Hz	Galaxy S	$y = 77.696 + 2.038x, -23.446 \leq x \leq 0.688$	0.998
800Hz	Nexus One	$y = 88.819 + 1.976x, -29.61 \leq x \leq -4.368$	1.0
1000Hz	Xperia Acro	$y = 73.704 + 1.994x, -21.405 \leq x \leq -6.321$	1.0
1000Hz	Xperia Acro	$y = 110.412 + 7.904x, -6.321 \leq x \leq -3.861$	0.937
1000Hz	Galaxy S	$y = 77.836 + 2.088x, -22.635 \leq x \leq 0.929$	0.997
1000Hz	Nexus One	$y = 88.617 + 1.984x, -29.159 \leq x \leq -3.784$	1.0
1250Hz	Xperia Acro	$y = 83.583 + 2.596x, -21.261 \leq x \leq -4.028$	0.928
1250Hz	Galaxy S	$y = 78.036 + 2.089x, -22.683 \leq x \leq 0.669$	0.999
1250Hz	Nexus One	$y = 88.702 + 1.993x, -29.244 \leq x \leq -4.263$	1.0
1600Hz	Xperia Acro	$y = 73.755 + 2.027x, -20.964 \leq x \leq -6.223$	1.0
1600Hz	Xperia Acro	$y = 116.404 + 8.995x, -6.223 \leq x \leq -4.046$	0.963
1600Hz	Galaxy S	$y = 77.527 + 2.087x, -22.552 \leq x \leq 0.843$	0.996
1600Hz	Nexus One	$y = 87.692 + 1.988x, -28.632 \leq x \leq -3.429$	1.0
2000Hz	Xperia Acro	$y = 71.343 + 2.084x, -19.685 \leq x \leq -5.396$	0.999
2000Hz	Xperia Acro	$y = 125.312 + 12.013x, -5.396 \leq x \leq -3.733$	1.0
2000Hz	Galaxy S	$y = 76.501 + 2.124x, -21.92 \leq x \leq 0.875$	0.994
2000Hz	Nexus One	$y = 86.071 + 1.982x, -28.214 \leq x \leq -2.91$	1.0

Frequency	Phone	Regression Formula	Adjusted R ²
2500Hz	Xperia Acro	$y = 72.328 + 2.103x, -19.667 \leq x \leq -5.497$	0.998
2500Hz	Xperia Acro	$y = 126.458 + 11.894x, -5.497 \leq x \leq -3.818$	0.999
2500Hz	Galaxy S	$y = 77.469 + 2.129x, -21.875 \leq x \leq 0.769$	0.994
2500Hz	Nexus One	$y = 87.771 + 1.997x, -28.428 \leq x \leq -3.306$	1.0
3150Hz	Xperia Acro	$y = 71.89 + 2.14x, -19.265 \leq x \leq -5.391$	0.997
3150Hz	Xperia Acro	$y = 125.635 + 11.993x, -5.391 \leq x \leq -3.728$	1.0
3150Hz	Galaxy S	$y = 76.951 + 2.141x, -21.749 \leq x \leq 0.759$	0.993
3150Hz	Nexus One	$y = 86.919 + 1.961x, -28.689 \leq x \leq -3.326$	0.999
4000Hz	Xperia Acro	$y = 70.504 + 2.3x, -17.269 \leq x \leq -4.748$	0.97
4000Hz	Xperia Acro	$y = 118.274 + 11.953x, -4.748 \leq x \leq -3.079$	1.0
4000Hz	Galaxy S	$y = 75.945 + 2.176x, -20.801 \leq x \leq 0.831$	0.982
4000Hz	Nexus One	$y = 83.263 + 1.985x, -26.152 \leq x \leq -0.942$	1.0
5000Hz	Xperia Acro	$y = 65.46 + 2.198x, -14.335 \leq x \leq -5.292$	0.995
5000Hz	Xperia Acro	$y = 123.918 + 13.293x, -5.292 \leq x \leq -3.097$	0.986
5000Hz	Galaxy S	$y = 76.106 + 2.318x, -18.71 \leq x \leq 0.789$	0.956
5000Hz	Nexus One	$y = 81.317 + 2.082x, -23.15 \leq x \leq 0.189$	0.992
6300Hz	Xperia Acro	$y = 65.954 + 2.139x, -14.922 \leq x \leq -5.604$	0.996
6300Hz	Xperia Acro	$y = 119.021 + 11.606x, -5.604 \leq x \leq -3.013$	0.999
6300Hz	Galaxy S	$y = 69.225 + 2.292x, -15.714 \leq x \leq 0.466$	0.961
6300Hz	Nexus One	$y = 70.857 + 2.187x, -17.348 \leq x \leq -0.001$	0.97
8000Hz	Xperia Acro	$y = 74.306 + 2.309x, -18.011 \leq x \leq -5.419$	0.982
8000Hz	Xperia Acro	$y = 128.179 + 11.935x, -5.419 \leq x \leq -3.747$	0.998
8000Hz	Galaxy S	$y = 62.703 + 2.072x, -14.254 \leq x \leq 0.195$	1.0
8000Hz	Galaxy S	$y = 54.927 + 39.218x, 0.195 \leq x \leq 0.656$	0.812
8000Hz	Nexus One	$y = 72.331 + 2.108x, -19.011 \leq x \leq -0.513$	0.988
10000Hz	Xperia Acro	$y = 81.139 + 2.589x, -21.48 \leq x \leq -4.093$	0.957
10000Hz	Galaxy S	$y = 63.91 + 2.171x, -17.488 \leq x \leq 0.282$	0.99
10000Hz	Nexus One	$y = 83.537 + 1.655x, -33.219 \leq x \leq -3.812$	0.986
12500Hz	Xperia Acro	$y = 69.847 + 2.273x, -18.276 \leq x \leq -5.484$	0.986
12500Hz	Xperia Acro	$y = 124.862 + 12.061x, -5.484 \leq x \leq -3.827$	1.0
12500Hz	Galaxy S	$y = 72.197 + 2.253x, -19.632 \leq x \leq 0.597$	0.969
12500Hz	Nexus One	$y = 85.473 + 1.31x, -37.908 \leq x \leq -4.94$	0.903
16000Hz	Xperia Acro	$y = 63.512 + 2.316x, -17.642 \leq x \leq -5.166$	0.987
16000Hz	Xperia Acro	$y = 115.06 + 12.051x, -5.166 \leq x \leq -3.51$	1.0
16000Hz	Galaxy S	$y = 70.89 + 2.138x, -22.275 \leq x \leq 0.326$	0.998
16000Hz	Nexus One	$y = 77.261 + 1.124x, -38.275 \leq x \leq -4.525$	0.794







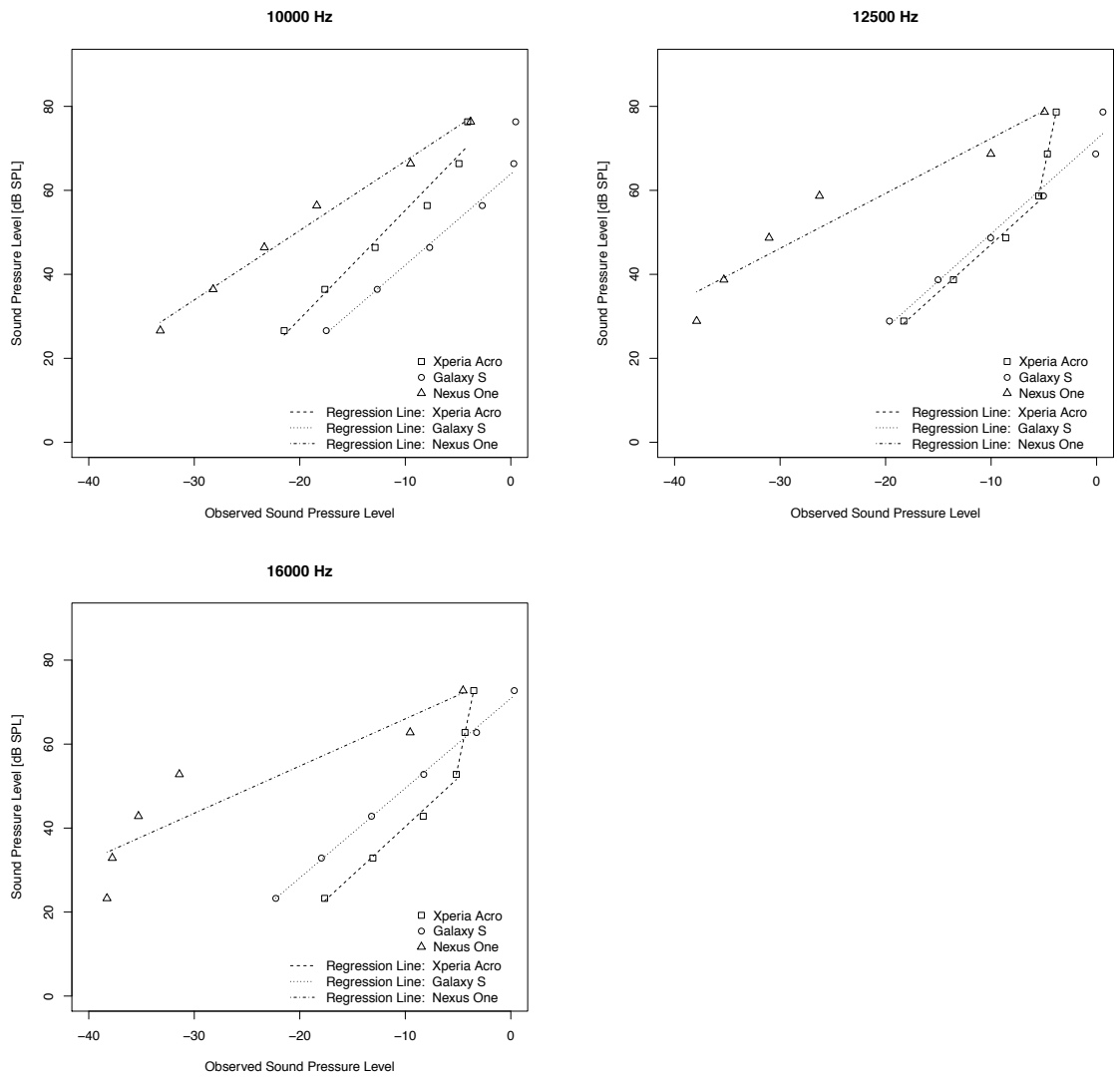


図 4.5: スマートフォンの感度特性

第5章 モバイルデバイスのマイクロホン分散 校正手法

5.1 概要

スマートフォン間での音圧校正における校正可能な状況は、同じ現象を捉えていると推定される同一時刻・同一場所である。しかしながら、この場合には同一時刻・同一場所でしか校正できないため、アプリケーションが十分に普及していない段階ではほとんど校正できないと考えられる。そこで我々は異なる時刻では時系列解析を用いて校正し、異なる場所では既知のデータからある地点における値を推定する空間補間手法であるクリギングによる補間を用いて校正することを目指している。

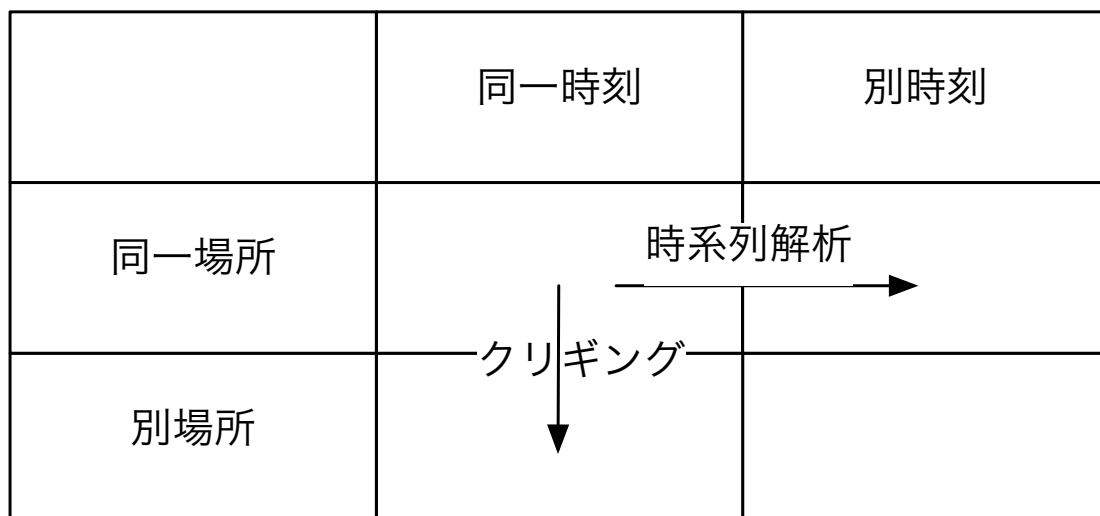


図 5.1: 端末間で校正可能な条件

5.2 提案手法

我々の目標は既存の手法を補間する騒音評価手法を確立することである。そのためのシステムは次の要求を満たさなければならない。

1. 広域を評価可能
2. リアルタイムな評価が可能
3. コストが安い

4. 精度は出来るだけ高く

広域をリアルタイムに評価するためには大量のセンサを使う必要がある。携帯電話には多数のセンサが搭載され、音声通話のためにマイクロホンも搭載されている。この携帯電話に搭載されたセンサを利用することで、専用端末の設置コストを負担する必要がある。また、携帯電話の所有者は定期的に携帯電話を新機種へと変更するため、センサの経年劣化や故障が起きたとしても、一定数の携帯電話のセンサは必ず機能し、メンテナンスにもコストを掛ける必要がある。

一方、負の側面としては、携帯電話にはさまざまな種類があり、携帯電話に使われる部品も必ずしも規格化されているわけではない。そのため、センシング専用端末に比べ精度を保証できないという問題がある。しかしながら、できる限りセンサを校正し、校正済みのセンサを使いセンサデータを蓄積することでカバーできると考えられる。

広域に大量のセンサを配置することを考えた場合、携帯電話を用いてシステムを構築する利点はコストが下がることであり、欠点は精度が保証されないことである。精度はできる限り正確に校正しセンサデータを蓄積することによりカバーできる面もあるため、仕様を満たすには携帯電話を用いたユーザ参加型センシングを行うシステムを構築するのが最善である。

システム構築に必要な仕組みは次の3つである。

1. データ収集
2. センサ校正
3. セキュリティ

第4章の実験によりスマートフォンに搭載されたマイクロホンの感度はばらついている。したがって、本稿ではセンサ校正の仕組みを中心に検討している。

ある時刻に同一現象を捉えていると考えられる端末Aから端末Bを校正する状況を考える。ある時刻では端末Aと端末Bは200Hz, 800Hz, 2000Hz, 2500Hz, 3150Hz, 4000Hzの周波数の音圧の異なる校正に十分な量の音を捕らえたとする。端末Aから端末Bへ音圧 [Pa] が伝えられ、端末Bはそのときスマートフォンのマイクロホンから得られた wave の値を端末Aから与えられた音圧 [Pa] と対応づける。このような流れで校正される。さらに、別の時刻に端末Bから端末Cを校正する状況が発生したときに、端末Bと端末Cは400Hz, 800Hz, 2000Hz, 3150Hz, 4000Hzの周波数の音圧の異なる校正に十分な量の音を捕らえたとする。このときには端末Bの校正済み周波数は200Hz, 800Hz, 2000Hz, 2500Hz, 3150Hz, 4000Hzであるため、校正できない400Hzの周波数は校正情報として伝わらない。また、端末Bで校正されている2500Hzの周波数も校正に十分な量の音が集まらなかったため、端末Cには伝わらない。このように部分的に校正を行い、最終的にはすべての周波数が校正されるような分散校正手法を我々は提案する。

5.3 評価方法

場所は東京大学生産技術研究所前のバス停付近、東北沢駅の踏切、下北沢の駅前で行った。特性調査実験で校正された2台の端末を一緒に持ち、一つを特性が既知のスマート

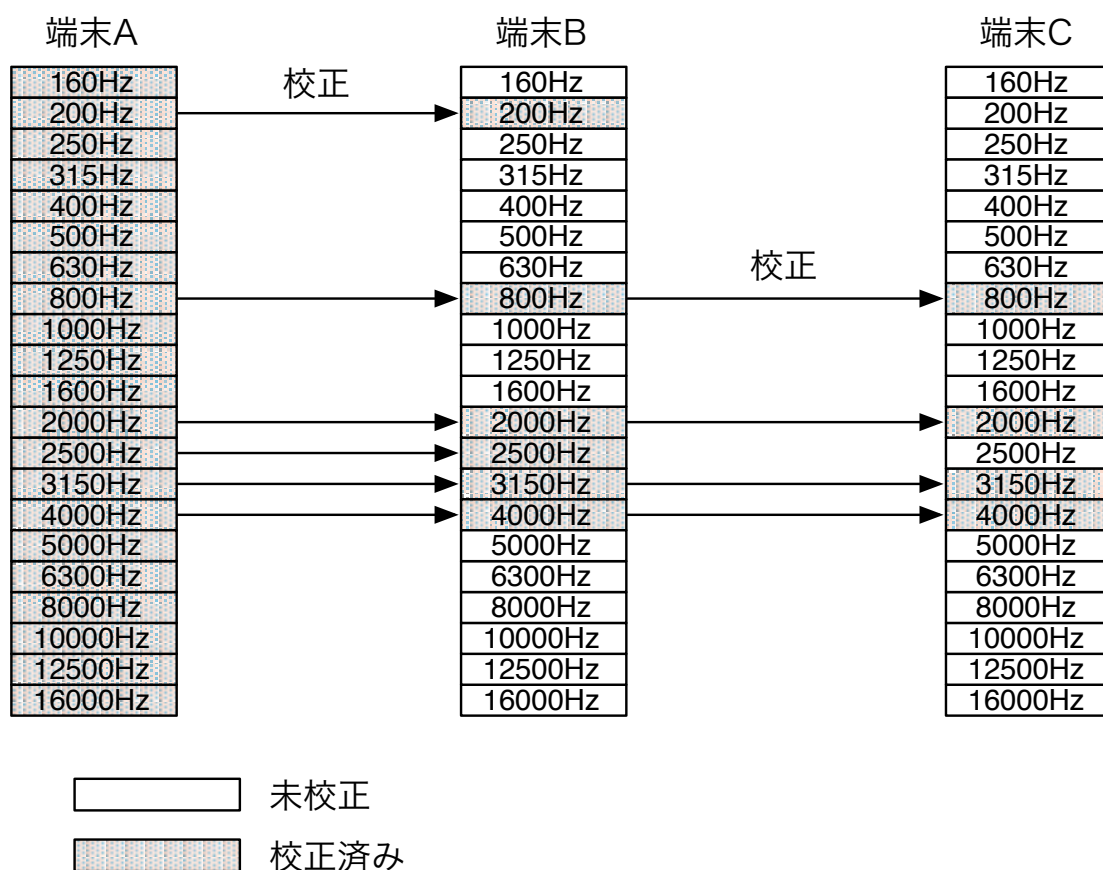


図 5.2: マイクホンの音圧校正の部分的伝搬

フォンとして、もう一つを特性が未知のスマートフォンとして仮定した。スマートフォンからスマートフォンへの校正を行い、スマートフォン間での音圧校正の精度を実験的に検証した。

解析は付録 A の解析コードを用いて行った。オクターブバンドフィルタを用いた。JIS で規定されているオクターブバンドフィルタを参考に Python の Scipy ライブラリを利用して、オクターブバンドフィルタを生成した。生成に用いたプログラムは

Listing 5.1: Octave Band Filter

```

for f_m in oneThirdOctavePreferredFrequency:
    filters[f_m] = iirdesign( [f_m/(G**(1.0/(2*3)))/(samplingRate/2), (
        G**(1.0/(2*3)))*f_m/(samplingRate/2)], [f_m/(G**(1/3.0))/(
            samplingRate/2), (G**(1/3.0))*f_m/(samplingRate/2)], 3.0, 18.0,
        0, butter, ba )

```

を用いた。このオクターブバンドフィルタの特性は図 5.6 となっている。厳密には JIS に規定されたオクターブバンドフィルタの特性を満たしていないが、本研究における段階では結果に大きな影響はでない十分な性能を備えていると考えられ、本研究の本題から外れるため、Scipy の iirdesign 関数を利用した。



図 5.3: 生産技術研究所前バス停付近の実験場所



図 5.4: 下北沢駅前の実験場所



図 5.5: 東北沢の踏切付近の実験場所

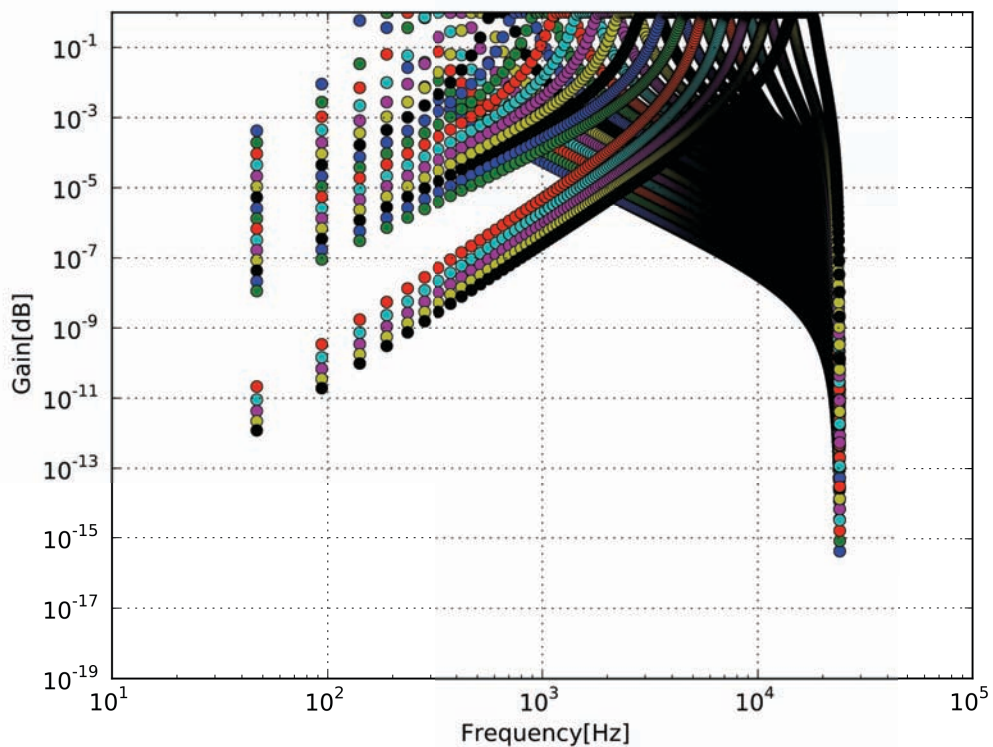


図 5.6: オクターブバンドフィルタ特性

5.4 評価結果

この手法によって 1000Hz における校正した場合のグラフを図 5.7 から図 5.9 に示す。単回帰分析の修正済み決定係数をまとめると次のようになる。0.5 以上を良い結果とする

表 5.1: 校正結果の単回帰分析修正済み決定係数の分類

決定係数	頻度
0.8 以上	3
0.5 以上 0.8 未満	15
0.25 以上 0.5 未満	12
0.25 未満	33

と、18 個の結果では良い回帰直線が得られている。一方で 45 個の結果は 0.5 未満であった。

場所による違いをみると、生産技術研究所前バス停付近では 0.5 以上 0.8 未満が 3、0.25 以上 0.5 未満が 10、0.25 未満が 8 という結果で、下北沢駅前では 0.25 以上 0.5 未満が 1、0.25 未満が 20 という結果で、東北沢駅の踏切周辺では 0.8 以上が 3、0.5 以上 0.8 未満が 12、0.25 以上 0.5 未満が 1、0.25 未満が 5 という結果であった。したがって、場所によっ

て校正の可能性が異なった。

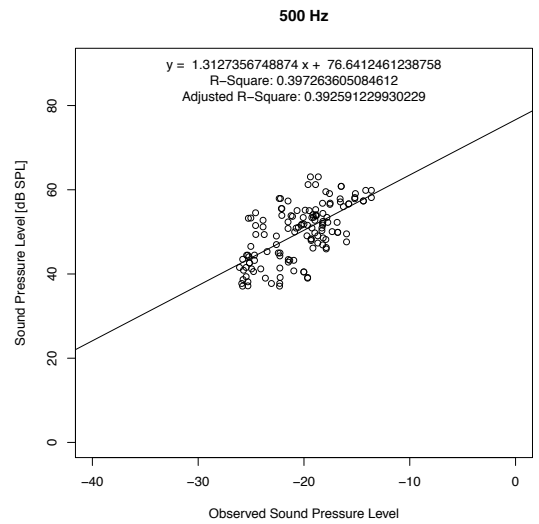
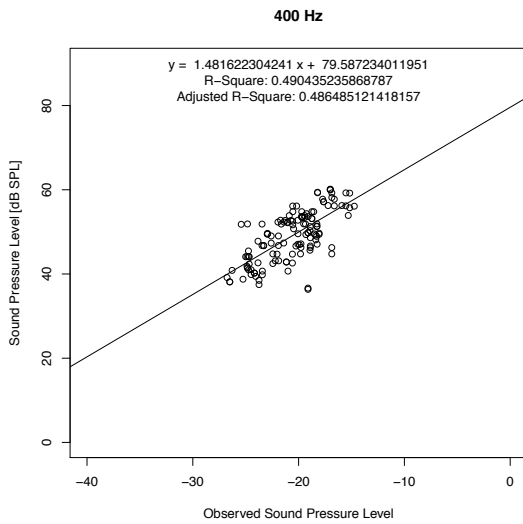
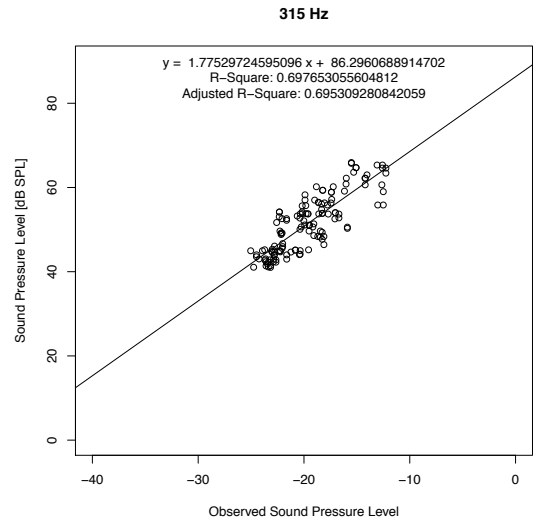
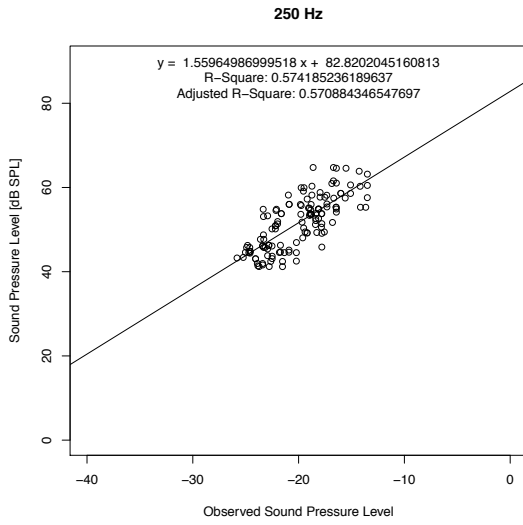
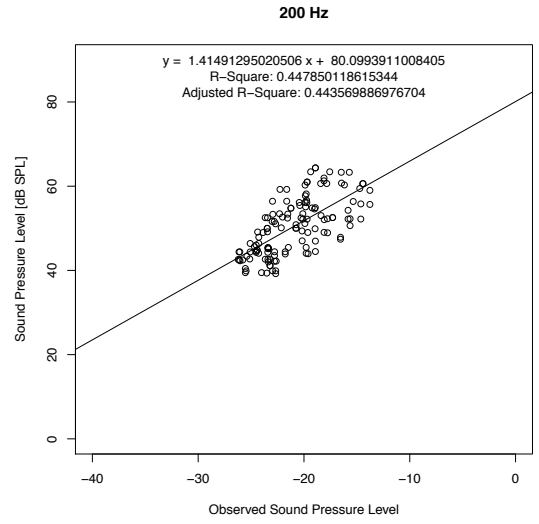
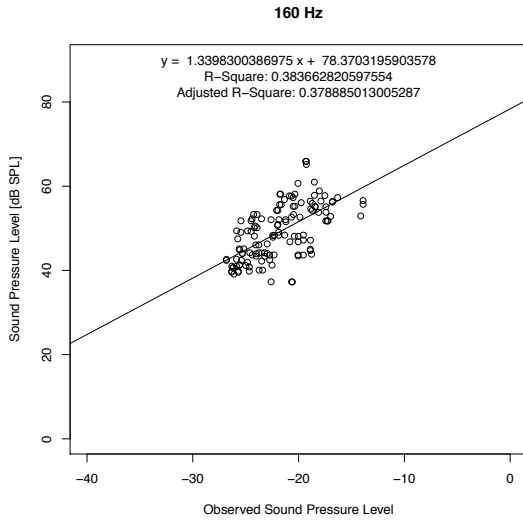
5.5 考察

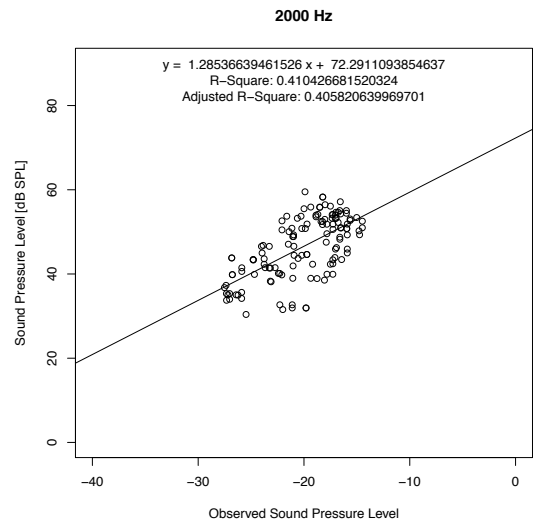
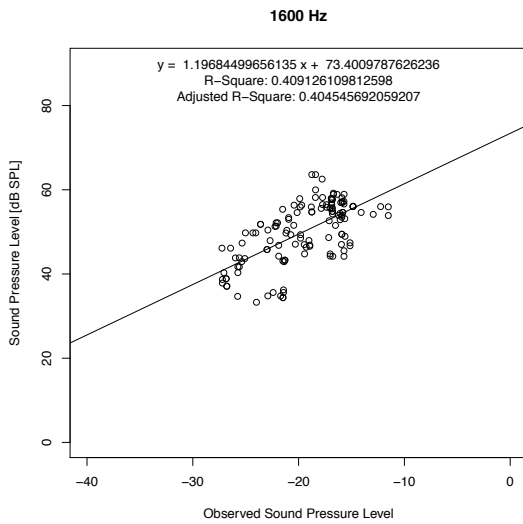
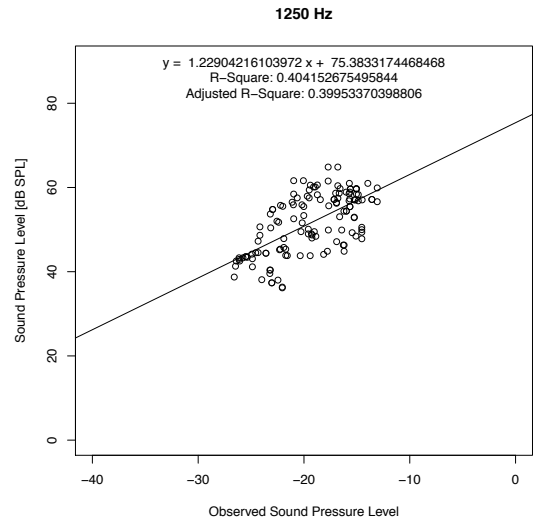
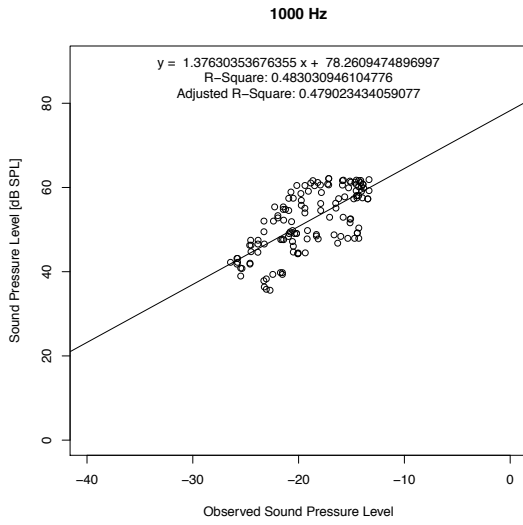
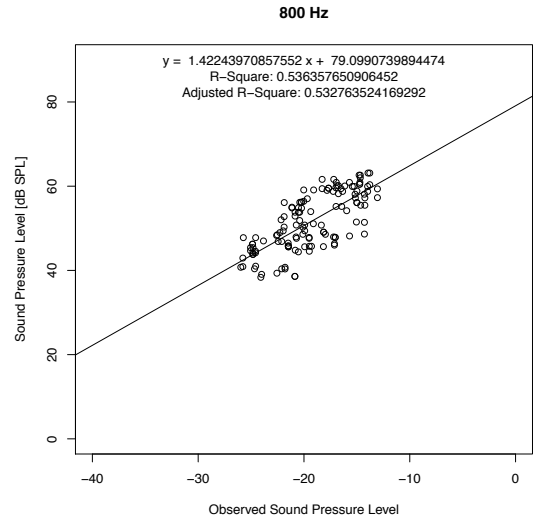
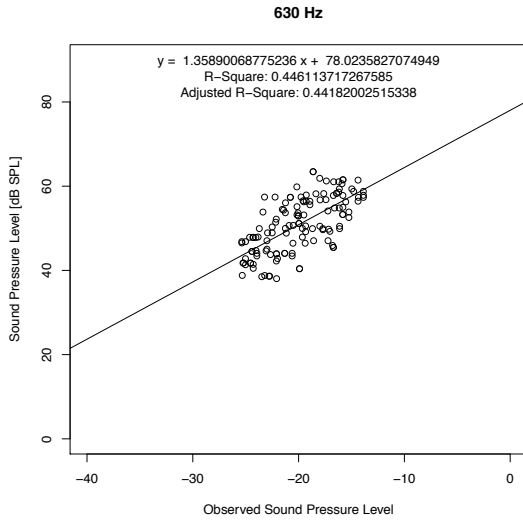
5.5.1 場所ごとの校正可能性の違い

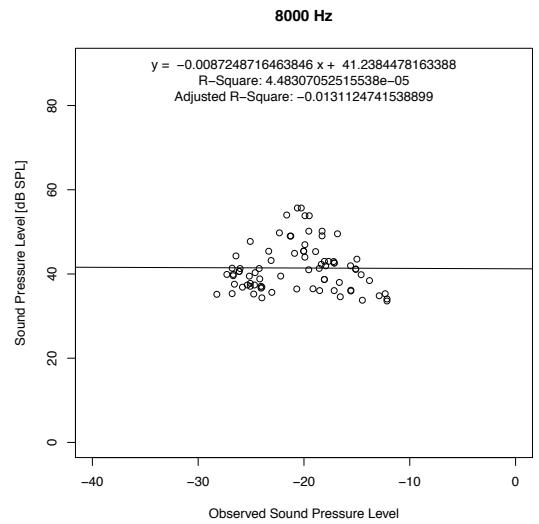
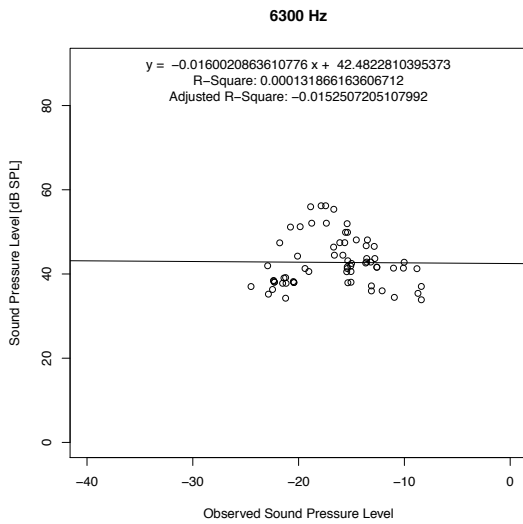
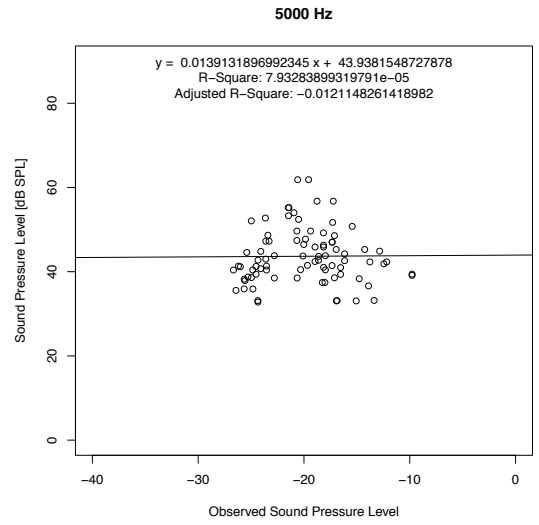
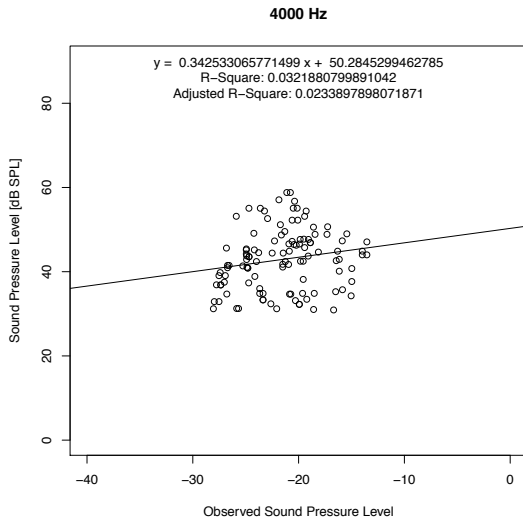
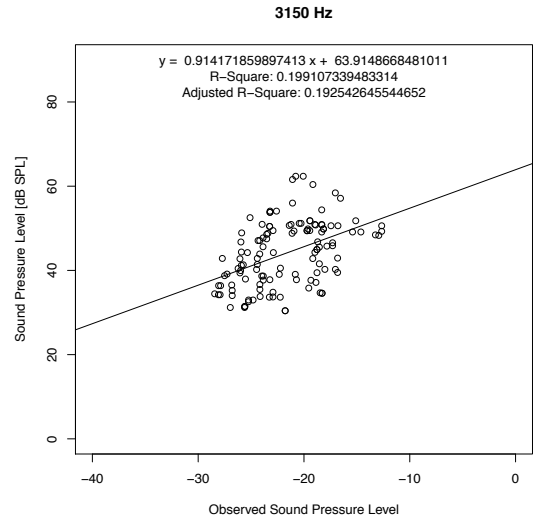
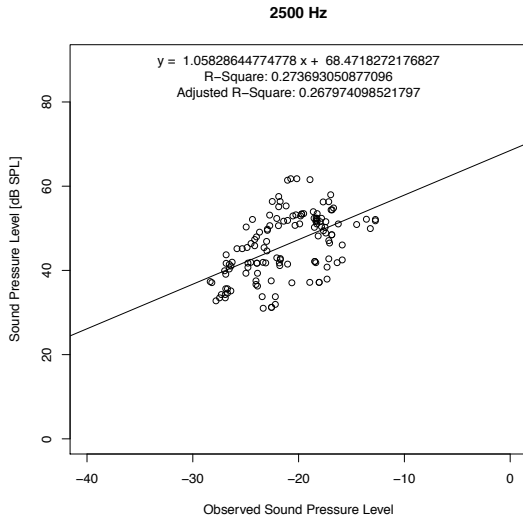
評価結果から、場所ごとに校正の可能性が異なることがわかった。その原因として、次の2点が考えられる。

1. 様々な音圧の存在
2. 様々な周波数の存在

様々な音圧が存在しない場合、傾きを推定するのが難しくなるため、決定係数がよくなると考えられる。これは下北沢の結果に多く見られる。下北沢の駅前には雑踏であり、車や電車の音はあまりなく、人の話し声が主な音であるため、音圧の変化が少なく他の場所に比べて、校正の回帰分析の決定係数が良くならなかったと考えている。







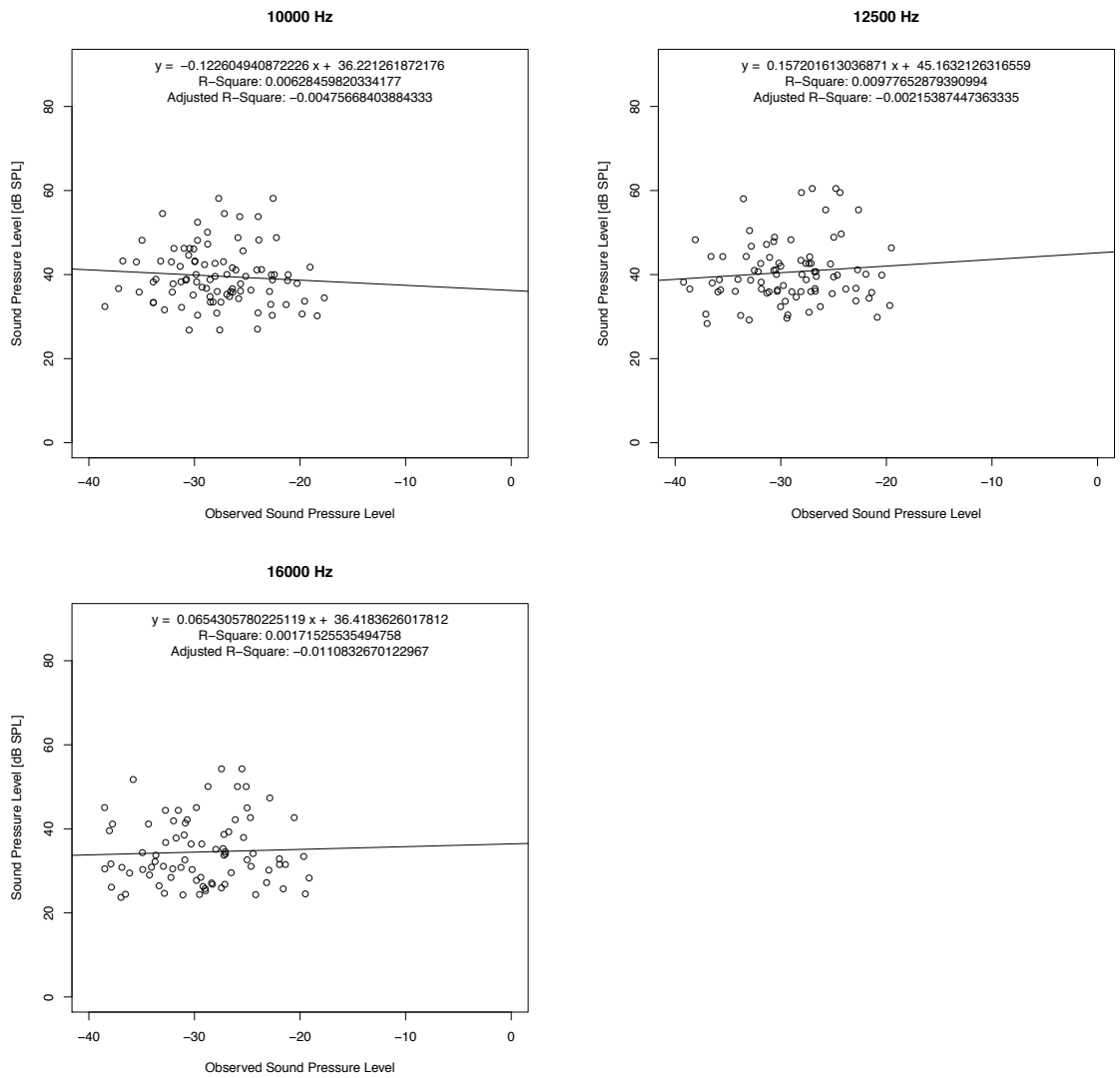
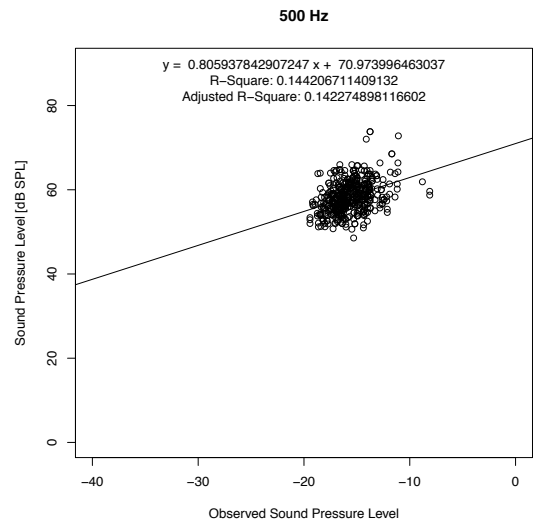
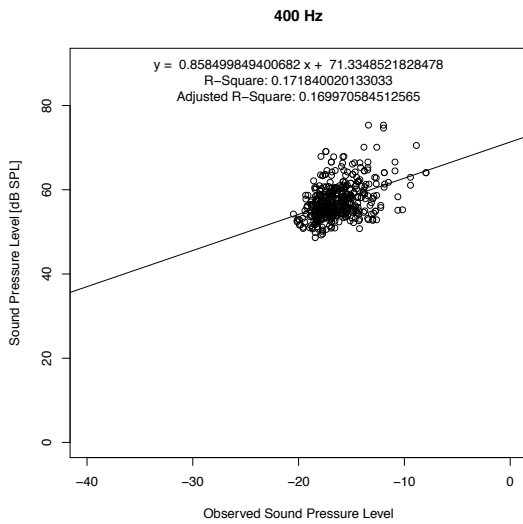
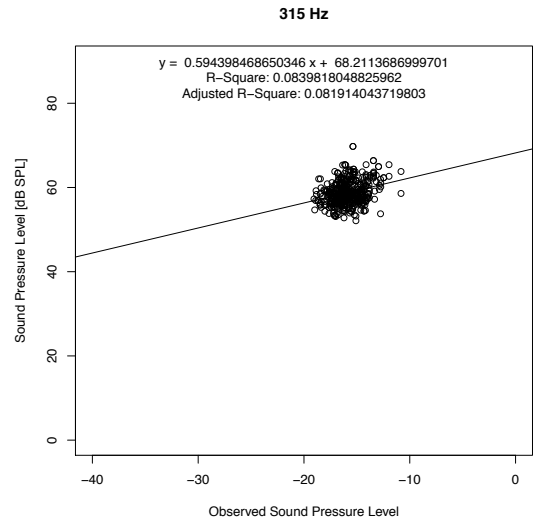
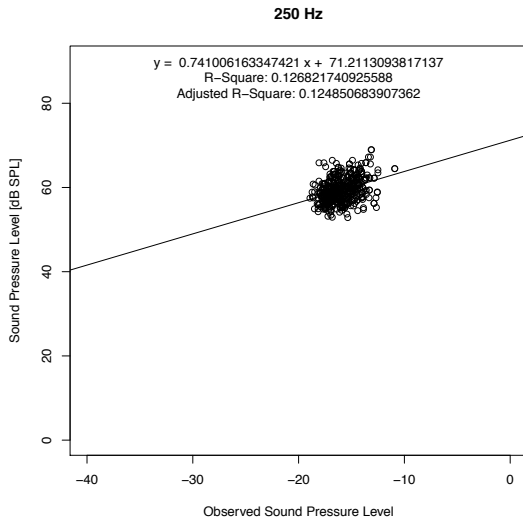
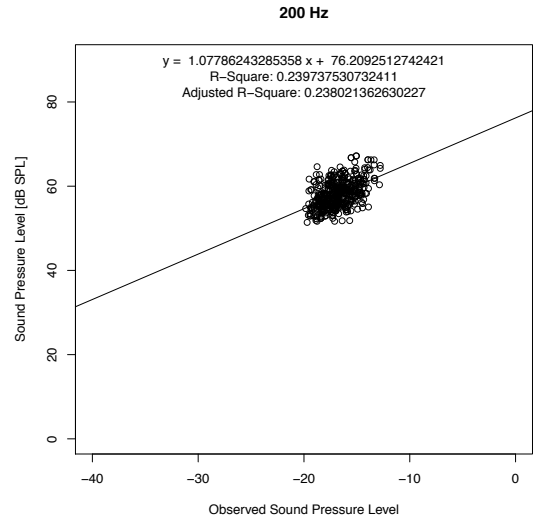
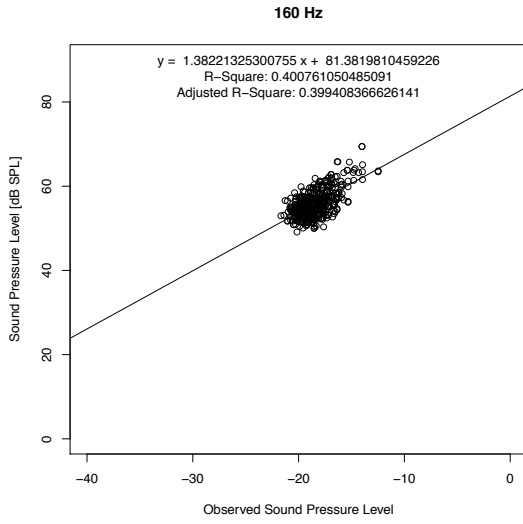
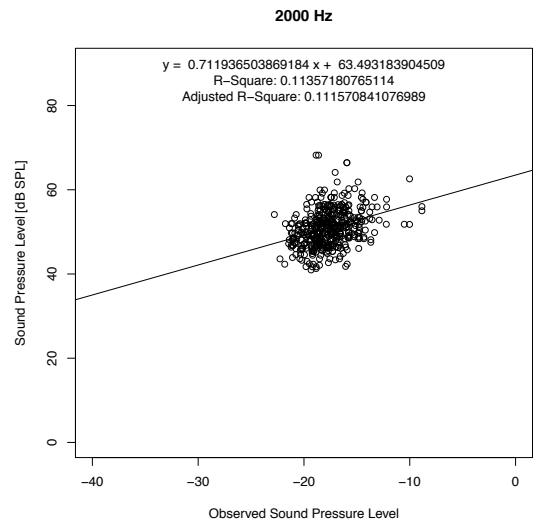
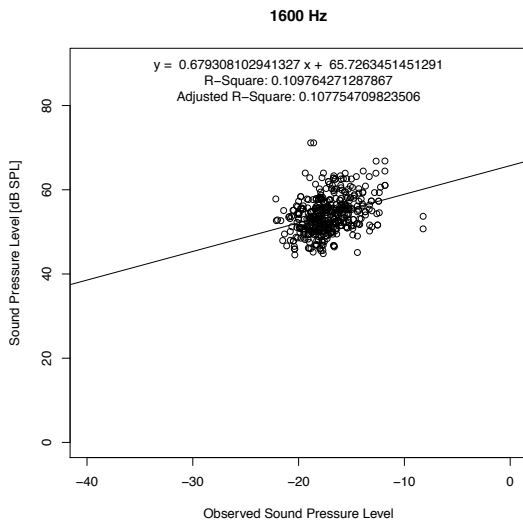
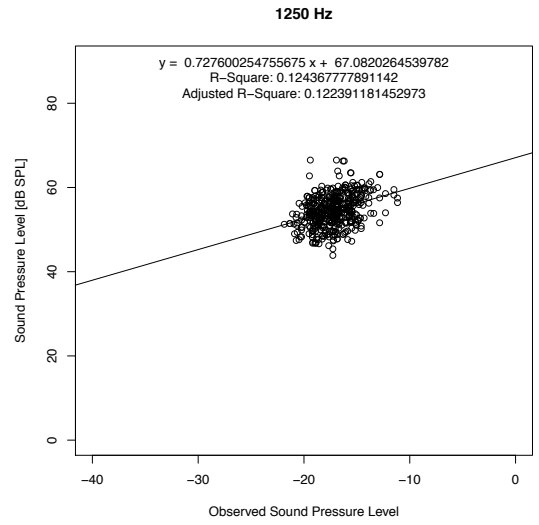
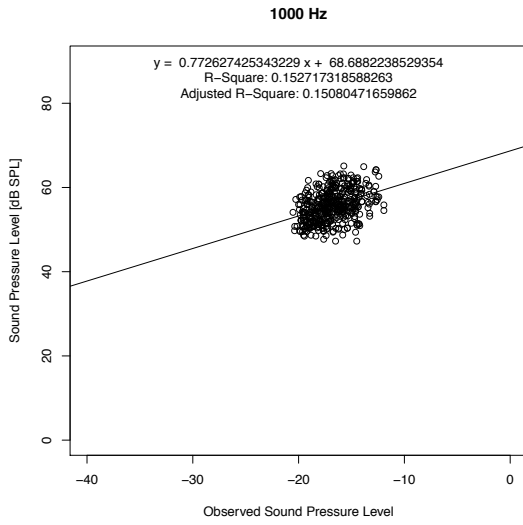
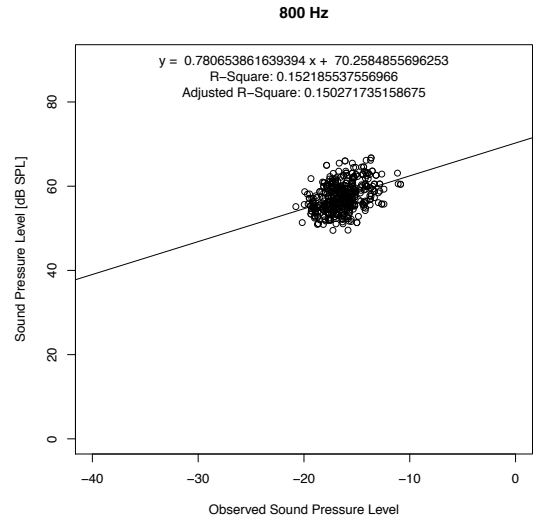
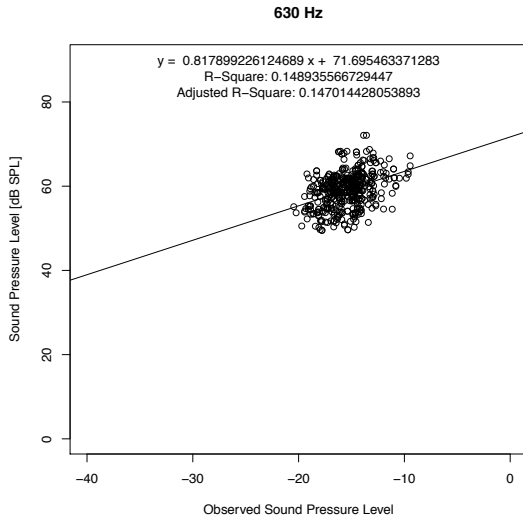
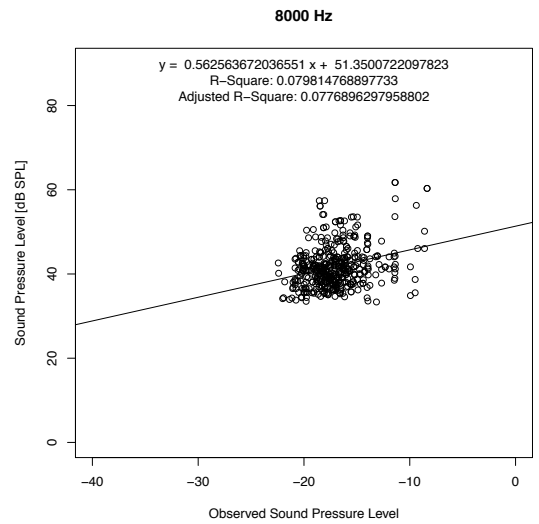
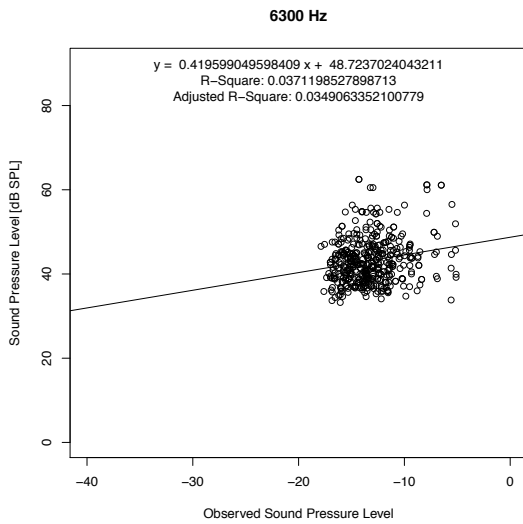
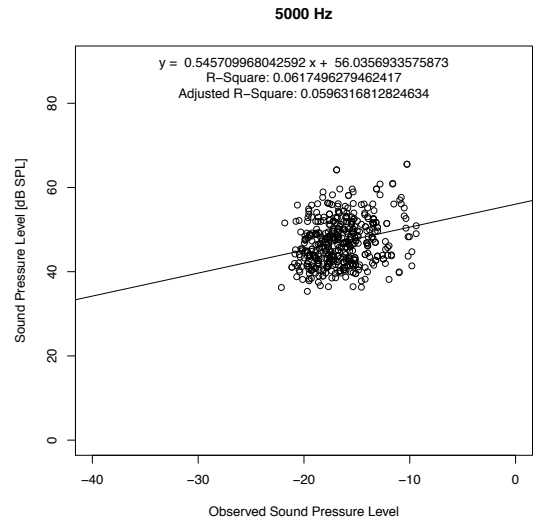
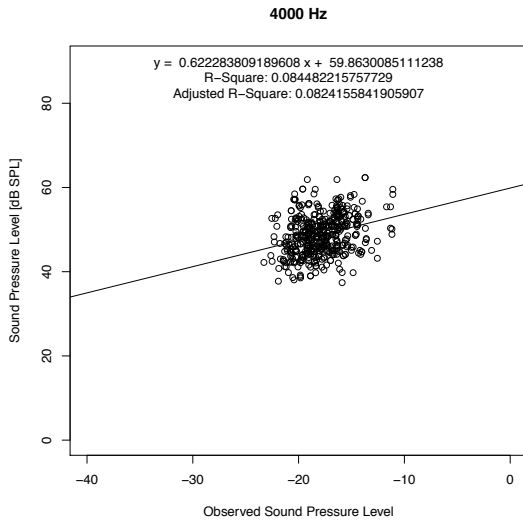
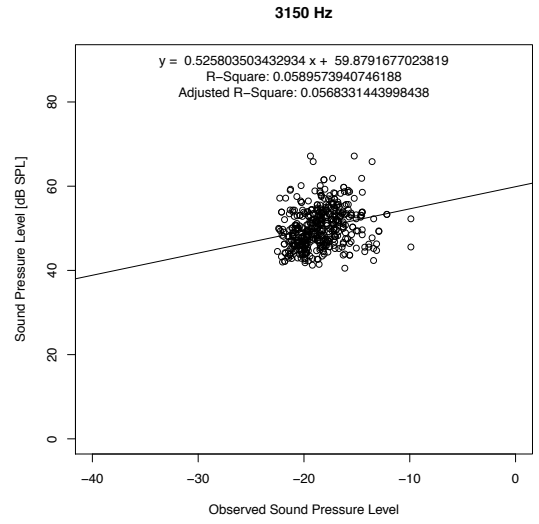
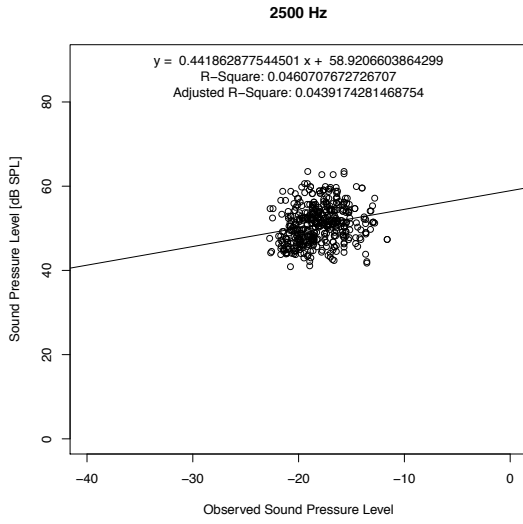


図 5.7: 生産技術研究所前バス停付近での校正結果







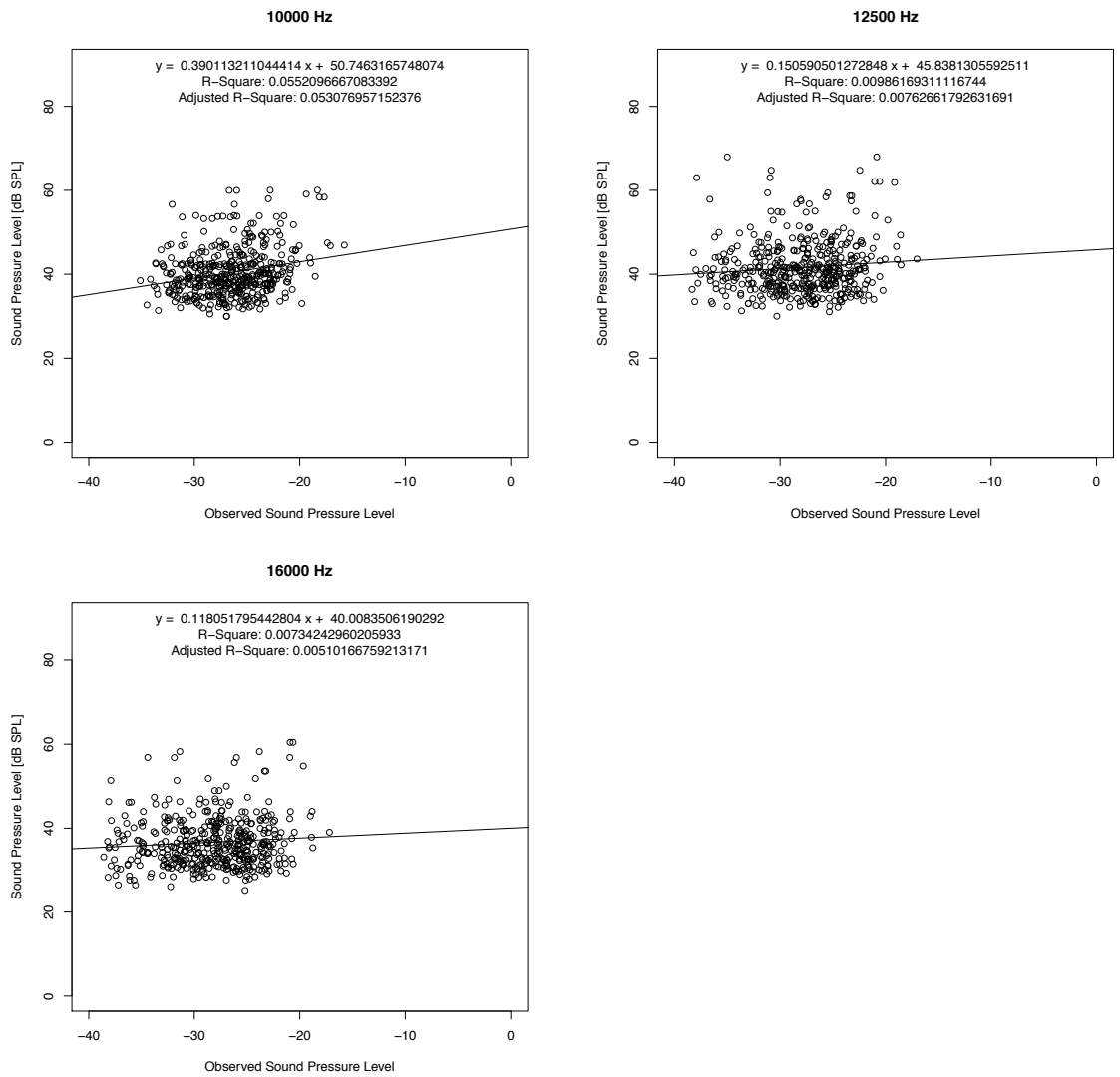
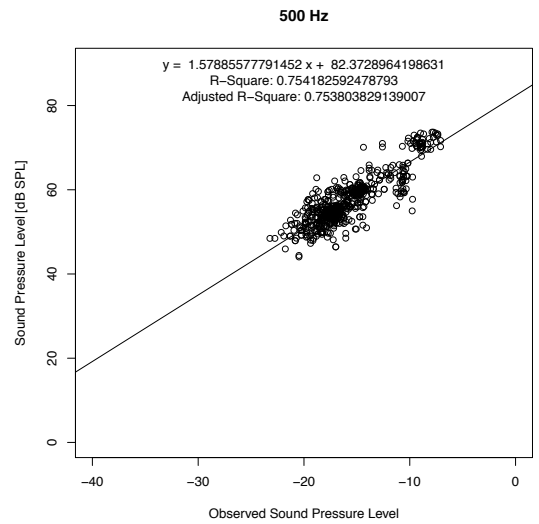
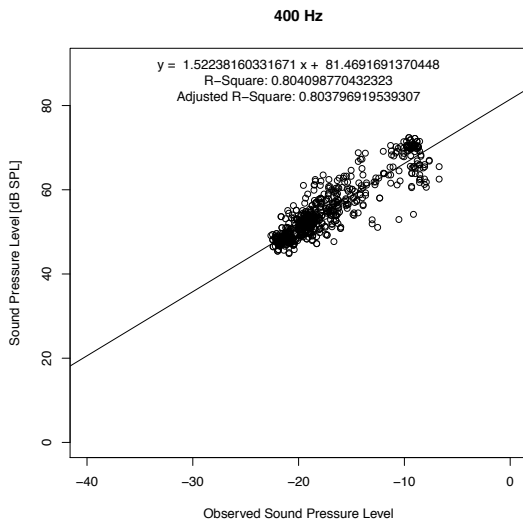
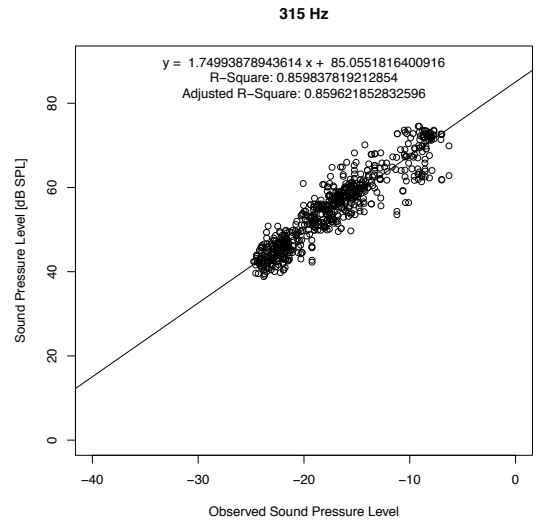
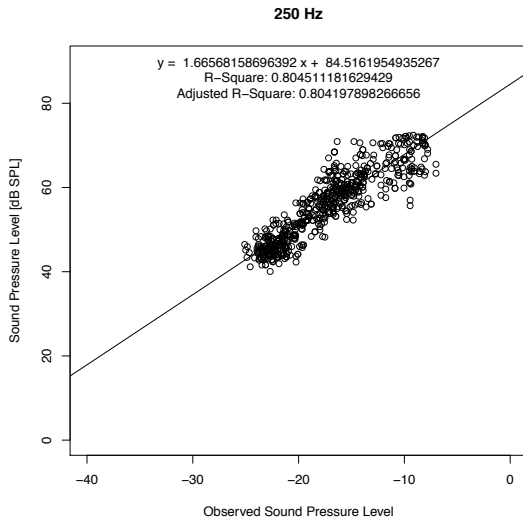
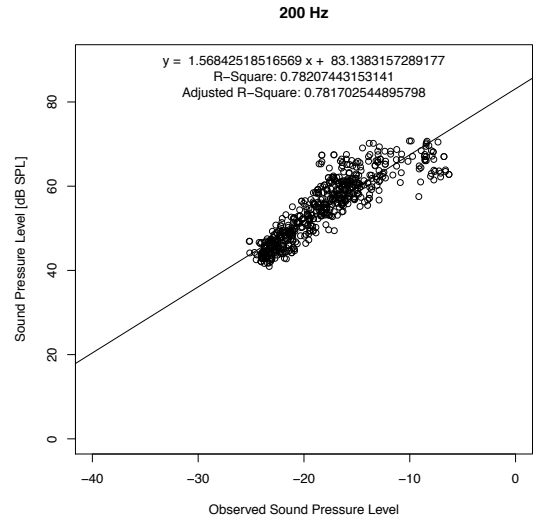
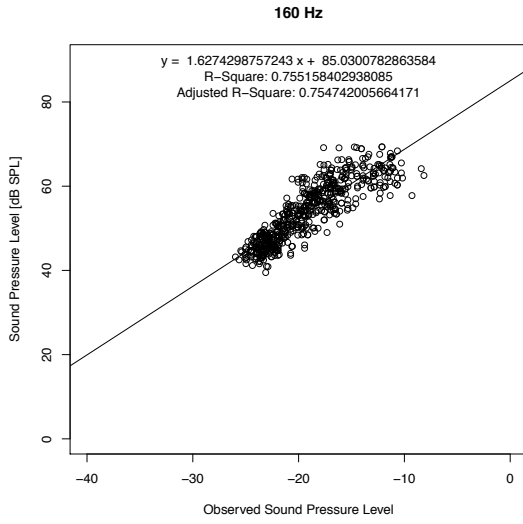
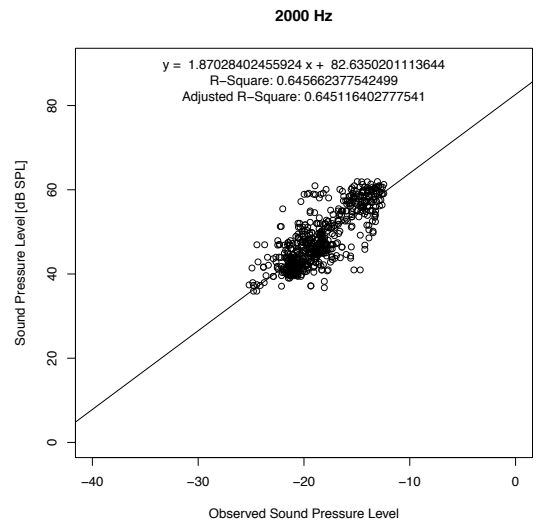
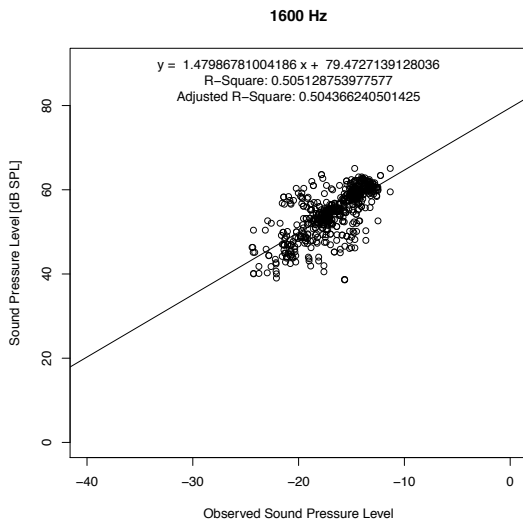
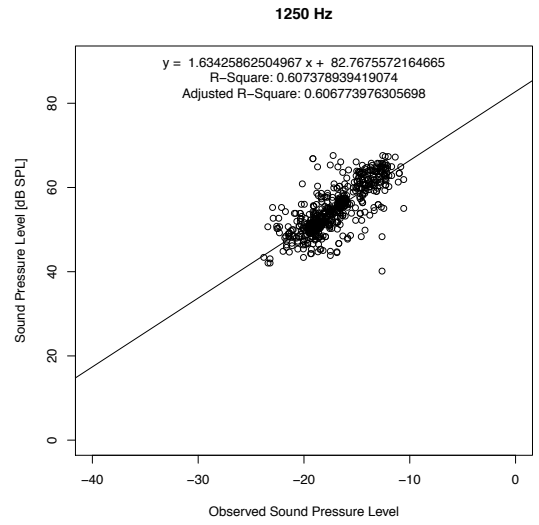
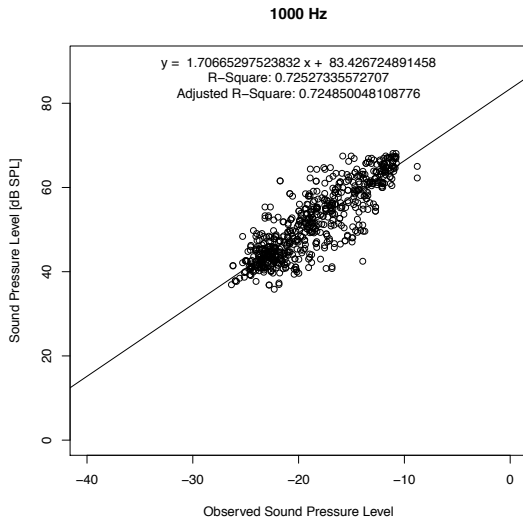
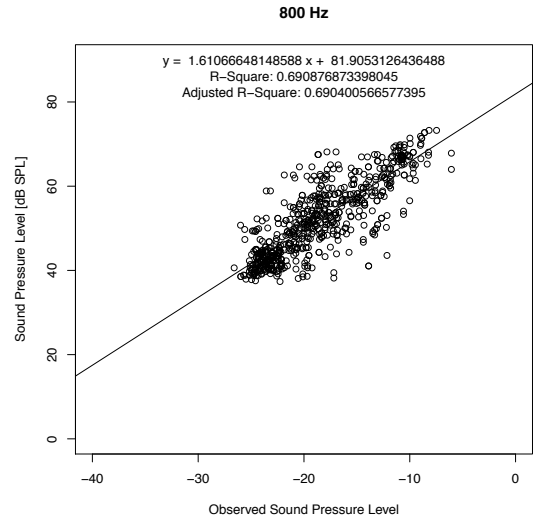
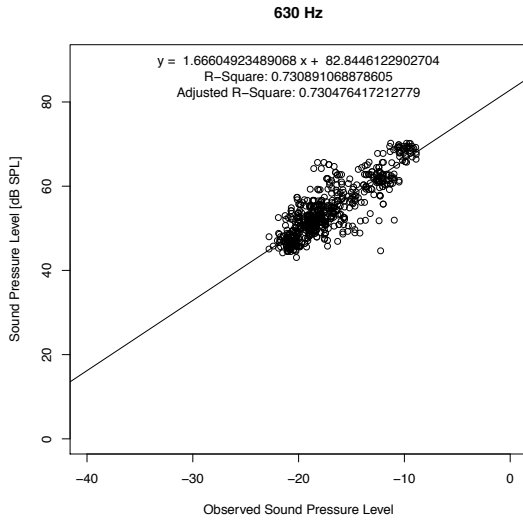
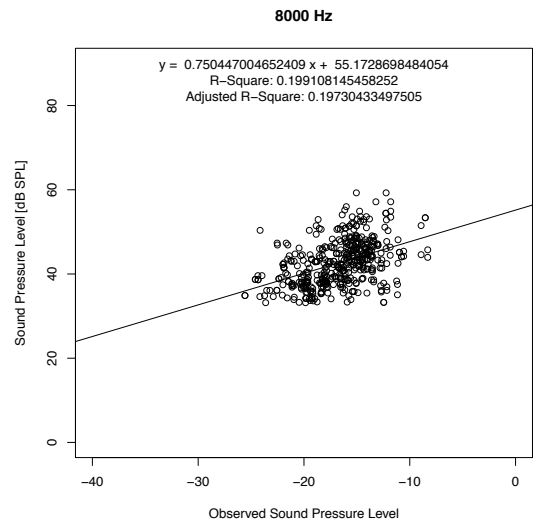
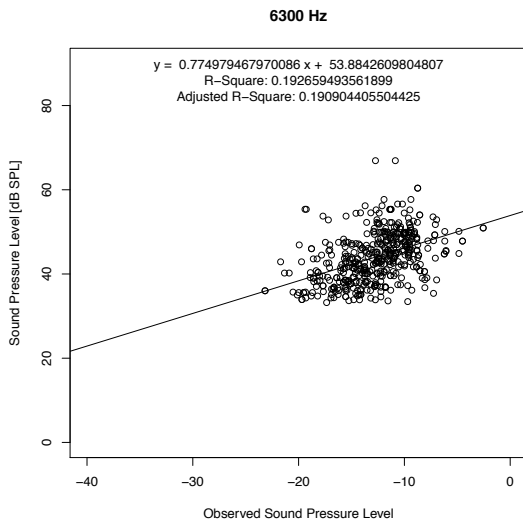
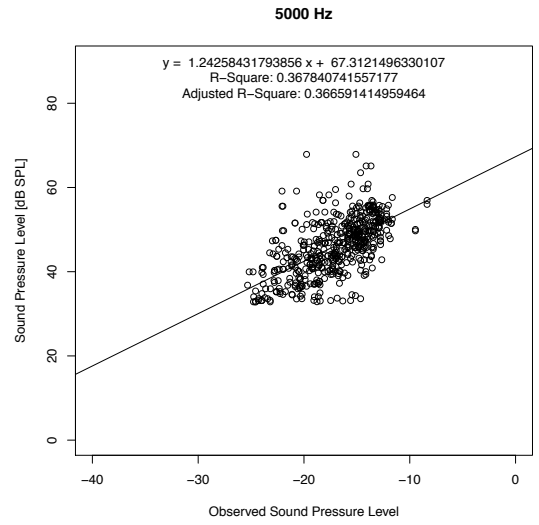
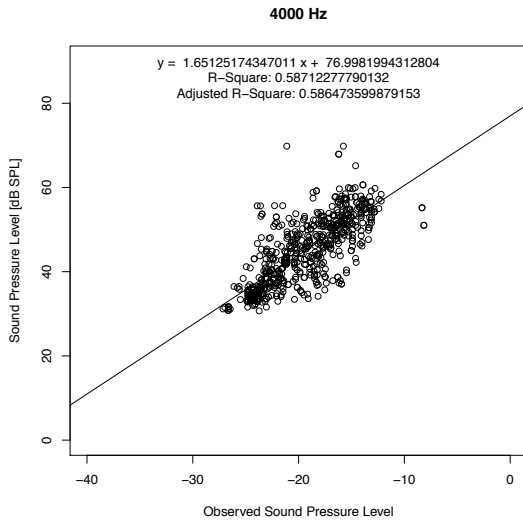
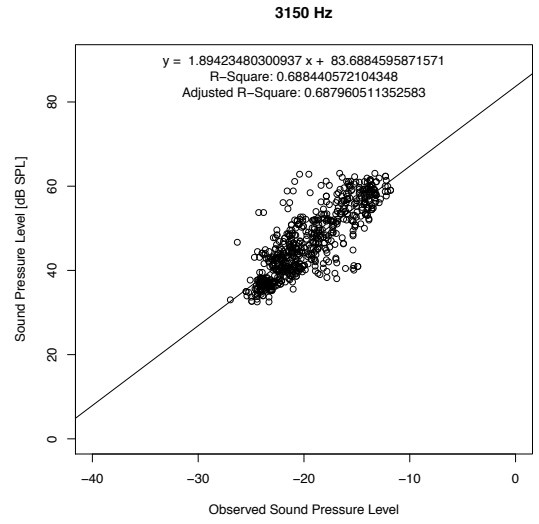
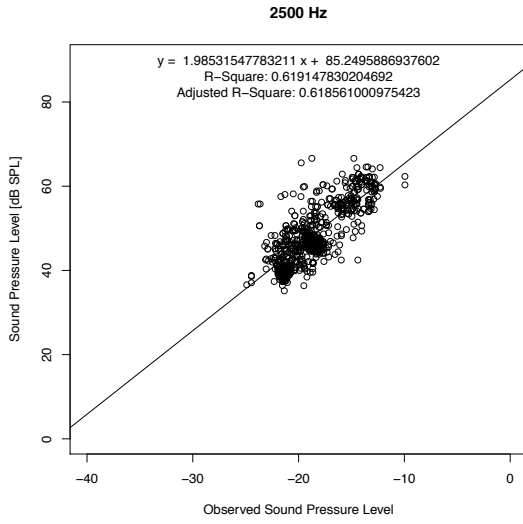


図 5.8: 下北沢駅前での校正結果







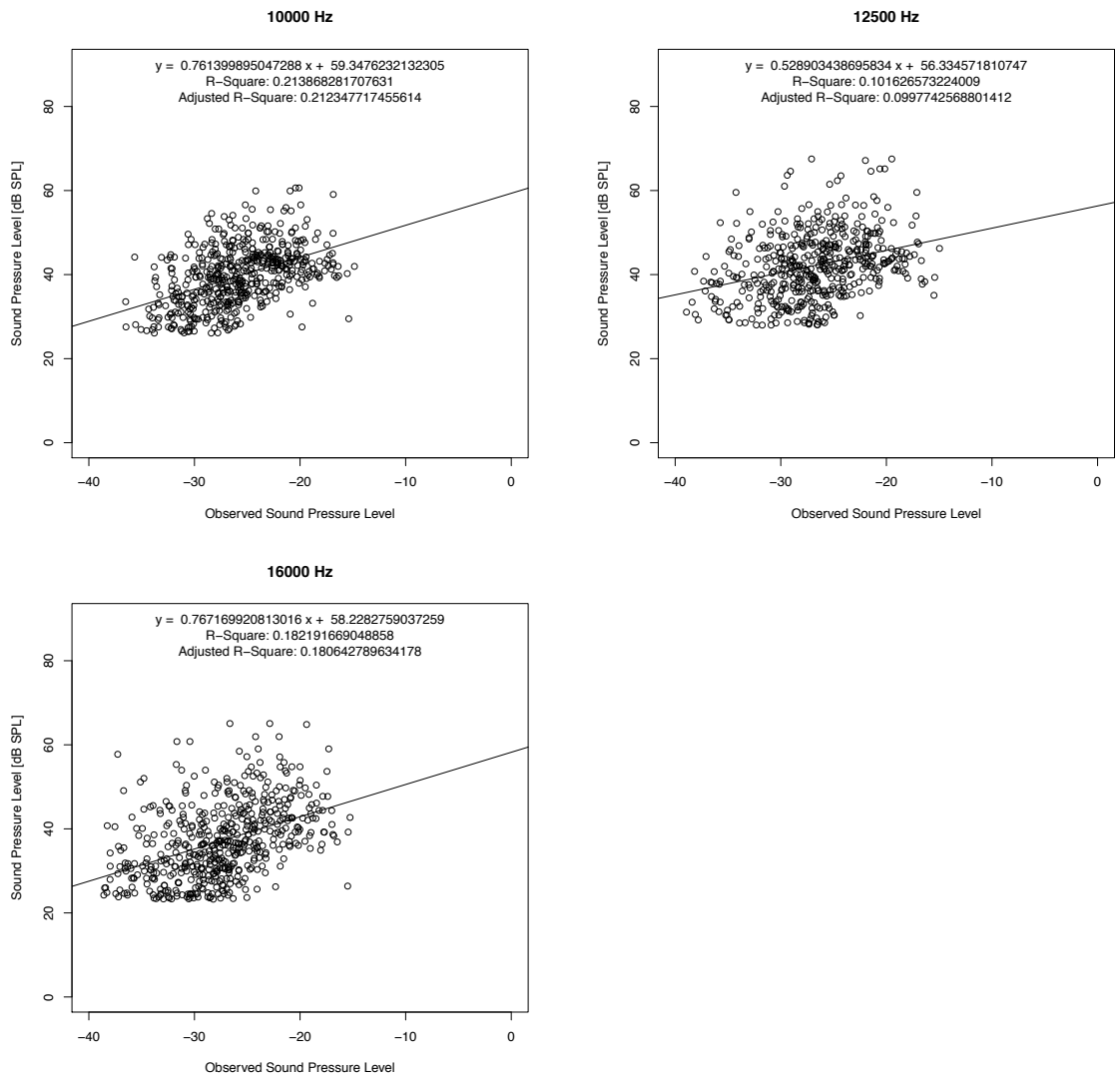


図 5.9: 東北沢駅の踏切での校正結果

第6章 騒音センシングにおける省電力化手法

6.1 概要

環境音センシングの研究において、広範囲で大量のデータを取得する手法として多人数ユーザ参加型のスマートフォンを用いたセンシングが期待されている [3]. 我々はその応用として国土評価は定量的な指標である地価と騒音の関係を明らかにする CommuSense プロジェクトを進めている. そのなかでも特に我々はバックグラウンドで意識せず日常利用することを考慮した環境音センシングの手法の確立を目指している. 本稿では、環境音センシングするアプリケーションを Android 上で構築し環境音センシング実験を行った. その実験報告とバッテリー消費に関する解析を行い、アプリ実行可能時間の考察を行う.

6.2 評価手法

開発したアプリは多人数による環境音センシングを実現できるように、データをサーバ上に送る設計とした. マイクから得た環境音を音圧に変換する処理を施し、測定 50 回につき 1 回の頻度でサーバに送信する. 地価情報を保有する世田谷区周辺において 6 人で 2011 年 6 月 23 日に環境音センシング実験を行った. 6 人には、環境音をセンシングするルートを指示し、本アプリ以外のアプリを起動することも許可し、日常生活におけるセンシング状態を再現した. 今回はバッテリー消費量に着目したため、取得したすべてのデータが保存されているスマートフォンの SD 領域に記録したデータを報告する.

6.3 評価結果

CommuSense は、音圧, dB, 音の RAW データ以外に Android API を用いて、バッテリー残量を記録した (図 6.1). 本データを用いてバッテリー消費に関して解析を行った.

バッテリー消費量 β_i は図 6.1 にプロットされたバッテリー消費量の傾きに等しく、実験開始時の時刻 T_i およびアプリ実行後のある時刻 t と実験開始時のバッテリー残量 B_{T_i} および開始から t 後のバッテリー残量から算出できる (式 6.1).

$$B_t - B_{T_i} = \beta_i(t - T_i) \quad (6.1)$$

端末 NO, NS, DH, GS でのバッテリー消費量を $\beta_{NO}, \beta_{NS}, \beta_{DH}, \beta_{GS}$ で表すと、式 6.1 より、本実験では $4.075 < \beta_{NO} < 6.576$, $2.990 < \beta_{NS} < 4.548$, $\beta_{DH} = 5.010$, $\beta_{GS} = 5.317$ となった (図 6.1). この結果から、通常の使用環境においては同一機種端末であってもバッテリーの消費量にばらつきがあることが確認できた.

端末 i 毎の待ち受け状態での単位時間あたりのバッテリー消費量 α_i は、個別の計測結果ではなく $\alpha_i = \frac{\text{バッテリー容量}}{\text{公称待受時間}}$ から算出している.

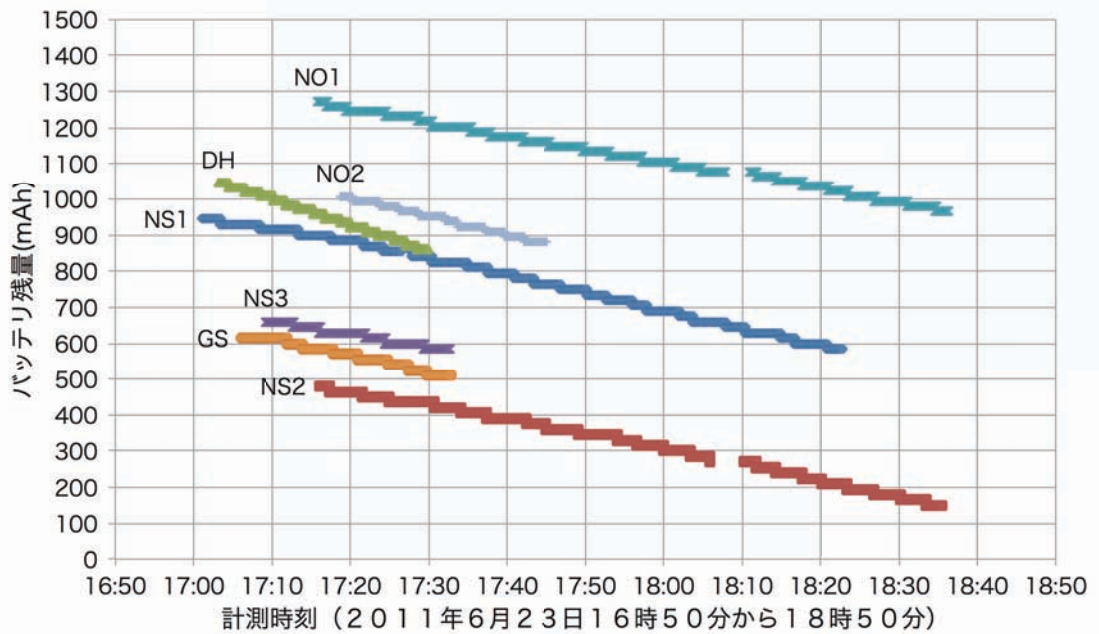


図 6.1: スマートフォンの実験時のバッテリー消費量の推移

6.4 考察

次の充電までの平均予測時間を TC とすると、 TC 時間待ち受けする電力 $\alpha_i TC$ を現在の端末のバッテリー残量 B_i から引き、端末ごとのバッテリー消費量 β_i を用いると、待ち受けを維持しながら次の充電時間までの環境計測アプリの実行可能時間 TX_i を推定できる (式 6.2)。

$$TX_i = \frac{B_i - \alpha_i TC}{\beta_i - \alpha_i} \quad (6.2)$$

この実行可能時間は TX_i は、個々の端末の状態を把握する指標となる。

たとえば 90% チャージしている NO1 で $TC = 12h$ とすると、301 分の実行可能時間であると算出される。

第7章 結論

7.1 まとめ

我々はスマートフォンを用いたセンシングにおいて騒音センシングでは校正が必要になることを実験的に証明した。我々はより低コストに広域の騒音センシングを行うためにスマートフォンに着目した。スマートフォンのマイクロホンは音声通話用に最適化してあることが実験に確認された。騒音計として用いるための校正、個々のスマートフォンを精度の高いマイクロホンで校正するのは現実的ではないため、校正されたスマートフォンのマイクロホンから別のスマートフォンのマイクロホンを校正する異種スマートフォン間での校正手法を提案した。

本稿は基礎的な実験の報告とスマートフォンにおける音圧校正手法を提案した。さらに無響室で3台のスマートフォンを理想的な環境で校正し、端末ごとの違いを明らかにした。また同一時空間で校正した場合と無響室で校正した場合を比較した。その結果、5dB程度の相違で校正しうることがわかった。機種ごとの相違は最大14dBであった。機種間の相違に比べて5dB程度というのは小さいため、少なくとも5dB程度の相違に押さえることができる本手法によりある程度の校正が可能であることが示せた。よって、複数機種を用いてユーザ参加型センシングが可能となることが示せた。

7.2 今後の展望

同一時空間校正では、良い精度での校正も可能であることを明らかにした。しかし、空間補間（クリギング）や時系列解析を用いた校正や精度の向上には研究の余地が残っている。加えて、消費電力を考慮した実装方法も検討されるべきだろう。応用的な事例として、照度センサもAndroidのAPIで得られる値の相違が大きいことから、本論文で提案した手法が応用可能であると考えられる。また、経年劣化や故障による個々の端末によって異なる性能の変化にも対応できる可能性を秘めている。

謝辞

本論文は筆者が東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻修士課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。東京大学空間情報科学研究センター 瀬崎薫 教授には指導教官として本研究の実施の機会を与えて戴き、その遂行にあたって終始、ご指導を戴いた。東京大学生産技術研究所 瀬崎研究室 岩井将行 助教には、本研究の遂行にあたって、瀬崎薫 教授と共に、ご指導を戴いた。ここに両氏に対して深謝の意を表す。東京大学生産技術研究所 坂本研究室 横山栄 助教には第 4 章の実験で 4π 無響室の使用に際し助力と有益なご助言を戴いた。ここに同氏に対して感謝の意を表す。また、瀬崎研究室の各位には研究遂行にあたり日頃より有益なご討論ご助言を戴いた。ここに感謝の意を表す。

また本論文の作成には MacBook Pro 13-inch, Mid 2009 を用いた。HDD を SSD に、DVD ドライブをその HDD に換装した。メモリも 8GB へと換装している。MacBook Pro とは二年間、公私ともにお互いに助け合った。ここに感謝の意を表す。

付録A 解析用ソースコード

```
#coding:utf-8
import wave
import numpy as np
from math import *
from scipy.signal import buttord, butter, lfilter, freqz, iirfilter,
    iirdesign
from pylab import *

samplingRate = 48000.0
names = {
    "NL32": "NL-32",
    "NexusOne": "Nexus_One",
    "GalaxyS": "Galaxy_S",
    "XperiaAcro": "Xperia_Acro"
}
experiments_32 = {
#    'NL32': ["7dB", "-3dB", "-13dB", "-23dB", "-33dB", "-43dB"]
    'NL32': ["-43dB", "-33dB", "-23dB", "-13dB", "-3dB", "7dB"]
}
experiments = {
#    'NexusOne': ["7dB", "-3dB", "-13dB", "-23dB", "-33dB", "-43dB"],
#    'GalaxyS': ["7dB", "-3dB", "-13dB", "-23dB", "-33dB", "-43dB"],
#    'XperiaAcro': ["7dB", "-3dB", "-13dB", "-23dB", "-33dB", "-43dB"]
    'NexusOne': ["-43dB", "-33dB", "-23dB", "-13dB", "-3dB", "7dB"],
    'GalaxyS': ["-43dB", "-33dB", "-23dB", "-13dB", "-3dB", "7dB"],
    'XperiaAcro': ["-43dB", "-33dB", "-23dB", "-13dB", "-3dB", "7dB"]
}
markers = {
    "NexusOne": "o",
    "GalaxyS": "v",
    "XperiaAcro": "s"
}
calibration = 'Data/NL32/calibration/01.wav'
times = ["01", "02", "03", "04", "05"]
path = ''
p_0 = 20.0 * 10**(-6)
oneThirdOctavePreferredFrequency =
    [160.0, 200.0, 250.0, 315.0, 400.0, 500.0, 630.0, 800.0, 1000.0, 1250.0, 1600.0, 2000.0, 2500.0]

#plotFrequency = [800.0, 4000.0]
plotFrequency = oneThirdOctavePreferredFrequency
G = 10.0**(3.0/10) # オクターブ比
f_r = 1000.0

# y=alpha x + beta
alpha = 1.8828 * 10**(-5)
beta = 4.9292 * 10**(-15)

def _plot(cal, data, freq):
    clf()
    for k,v in data.iteritems():
        wave = []
```

```

        pressure = []
        for dB,vv in v.iteritems():
            for f,w in vv.iteritems():
                if freq == f:
                    wave.append(w)
                    pressure.append(cal[dB][f])
        # 振幅スペクトルを描画
        plot(wave, pressure, label=names[k], marker=markers[k], linestyle='
            None')
        axis([1, 2**16, p_0, 1.2])
        xscale('log')
        yscale('log')
        grid()
        legend(loc="lower_center")
        xlabel("Wave_Data")
        ylabel("Pressure_[Pa]")
        title('Sensitivity(Frequency:' + str(freq)[-2] + '[Hz]')')
        savefig(path+"sensitivity_"+str(freq)[-2]+"_pdf")

def _mean(tmp):
    data = {}
    for t in tmp:
        for k,v in t.iteritems():
            if k not in data:
                data[k] = v
            else:
                data[k] = (data[k] + v)/2
    return data

def octave_32(filename, filters):
    wf = wave.open(filename, "r") #を開く wave
    s = wf.readframes(wf.getnframes()) #を全部読み込む wave
    x = np.frombuffer(s, dtype="int16")
    wf.close()

    data = {}
    for f_m in oneThirdOctavePreferredFrequency:
        [b, a] = filters[f_m]
        # [b, a] = iirdesign([f_m/(G**(1.0/(2*3)))/(samplingRate/2), (G
        *(1.0/(2*3)))*f_m/(samplingRate/2)], [f_m/(G**(1/3.0))/(samplingRate
        /2), (G**(1/3.0))*f_m/(samplingRate/2)], 3.0, 18.0, 0, 'butter', 'ba')
        y = lfilter(b,a,x)
        y = [abs(u) for u in y]
        data[f_m] = max(y)*alpha + beta
    return data

def octave(filename, filters):
    wf = wave.open(filename, "r") #を開く wave
    s = wf.readframes(wf.getnframes()) #を全部読み込む wave
    x = np.frombuffer(s, dtype="int16")
    wf.close()

    data = {}
    for f_m in oneThirdOctavePreferredFrequency:
        [b, a] = filters[f_m]
        y = lfilter(b,a,x)
        y = [abs(u) for u in y]
        data[f_m] = max(y)

```

```

    return data

def pressure2dbspl(p):
    return 20.0*math.log(p*1.0/p_0,10)

if __name__ == "__main__" :
    # filter
    filters = {}
    for f_m in oneThirdOctavePreferredFrequency:
        filters[f_m] = iirdesign( [f_m/(G**(1.0/(2*3)))/(samplingRate/2), (
            G**(1.0/(2*3)))*f_m/(samplingRate/2)], [f_m/(G**(1/3.0))/(
            samplingRate/2), (G**(1/3.0))*f_m/(samplingRate/2)], 3.0, 18.0,
            0, 'butter', 'ba')
        freq, response = freqz( filters[f_m][0], filters[f_m][1] )
        amp = abs( response )
        plot(freq/ ( 2 * np.pi ) * samplingRate, amp, label=str(f_m)[: -2],
            marker="o", linestyle='None')
    # axis([1, 2**16, p_0, 1.2])
    xscale('log')
    yscale('log')
    grid()
    # legend(loc="lower center")
    xlabel("Frequency [Hz]")
    ylabel("Gain [dB]")
    savefig(path+"filter.pdf")

# キャリブレーション
nl32_data = {}
for dB in experiments_32["NL32"]:
    tmp = []
    for num in times:
        tmp.append(octave_32(path+"Data/NL32/"+dB+"/"+num+".wav",
            filters))
    nl32_data[dB] = _mean(tmp)

# 音圧
octave_data = {}
for k,v in experiments.iteritems():
    octave_data[k] = {}
    for dB in v:
        tmp = []
        for num in times:
            tmp.append(octave(path+"Data/"+k+"/"+dB+"/"+num+".wav",
                filters))
        octave_data[k][dB] = _mean(tmp)

# print
for f_m in oneThirdOctavePreferredFrequency:
    # print str(f_m)[: -2] + "Hz"
    for k,v in experiments.iteritems():
        for f in oneThirdOctavePreferredFrequency:
            if f == f_m:
                # print names[k]
                for dB in v:
                    print str(f_m)[: -2] + "\t" + names[k] + "\t" + str(10 * math.
                        log(octave_data[k][dB][f_m]/32768.0, 10)) + "\t" +
                        str(pressure2dbspl(nl32_data[dB][f_m]))

```

```
#         print
#     for f in plotFrequency:
#         _plot(nl32_data, octave_data, f)
```


発表文献

- [1] 澤上佳希, 岩井将行, 瀬崎薫, ”異種スマートフォン間の音圧校正手法の提案”, 信学技報, vol. 111, no. 386, USN2011-76, pp. 111-116, 2012年01月
- [2] 澤上佳希, 岩井将行, 瀬崎薫, ”スマートフォンを利用した環境音センシング実験におけるバッテリー消費量の解析”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-19-39, 2011年09月
- [3] 澤上佳希, 岩井将行, 瀬崎薫, ”地図情報を利用した特定騒音の分類精度向上手法の提案”, 電子情報通信学会総合大会, B-20-36, 2011年3月
- [4] 岩井将行, 澤上佳希, 酒巻智宏, 瀬崎薫, ”コミュニティによるスマートフォンを利用した騒音センシングシステムの構築”, 第10回情報科学技術フォーラム, 2011年09月
- [5] (発表予定) 岩井将行, 柳原正, 清水和人, 澤上佳希, 劉広文, 瀬崎薫, ”運転者の移動履歴及び移動意図記録システムの提案と実装”, 第74回情報処理学会全国大会, 6D-6, 2012年03月

参考文献

- [1] Zhenyun Zhuang, Kyu-Han Kim, and Jatinder Pal Singh. Improving energy efficiency of location sensing on smartphones. In *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*, MobiSys '10, pp. 315–330, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [2] Nicolas Maisonneuve, Matthias Stevens, and Bartek Ochab. Participatory noise pollution monitoring using mobile phones. *Information Polity*, Vol. 15, pp. 51–71, April 2010.
- [3] Rajib Kumar Rana, Chun Tung Chou, Salil S. Kanhere, Nirupama Bulusu, and Wen Hu. Ear-phone: an end-to-end participatory urban noise mapping system. In *Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, IPSN '10, pp. 105–116, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [4] Donnie H. Kim, Younghun Kim, Deborah Estrin, and Mani B. Srivastava. Sensloc: sensing everyday places and paths using less energy. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, SenSys '10, pp. 43–56, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [5] Hong Lu, Wei Pan, Nicholas D. Lane, Tanzeem Choudhury, and Andrew T. Campbell. Soundsense: scalable sound sensing for people-centric applications on mobile phones. In *Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services*, MobiSys '09, pp. 165–178, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [6] Silvia Santini, Benedikt Ostermaier, and Robert Adelman. On the use of sensor nodes and mobile phones for the assessment of noise pollution levels in urban environments. In *Proceedings of the 6th international conference on Networked sensing systems*, INSS'09, pp. 31–38, Piscataway, NJ, USA, 2009. IEEE Press.
- [7] Andrew T. Campbell, Shane B. Eisenman, Nicholas D. Lane, Emiliano Miluzzo, and Ronald A. Peterson. People-centric urban sensing. In *Proceedings of the 2nd annual international workshop on Wireless internet*, WICON '06, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [8] Tarek Abdelzaher, Yaw Anokwa, Peter Boda, Jeff Burke, Deborah Estrin, Leonidas Guibas, Aman Kansal, Samuel Madden, and Jim Reich. Mobiscopes for human spaces. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 6, pp. 20–29, April 2007.

- [9] Andrew T. Campbell, Shane B. Eisenman, Nicholas D. Lane, Emiliano Miluzzo, Ronald A. Peterson, Hong Lu, Xiao Zheng, Mirco Musolesi, Kristóf Fodor, and Gahng-Seop Ahn. The rise of people-centric sensing. *IEEE Internet Computing*, Vol. 12, pp. 12–21, July 2008.
- [10] Emiliano Miluzzo, Nicholas D. Lane, Kristóf Fodor, Ronald Peterson, Hong Lu, Mirco Musolesi, Shane B. Eisenman, Xiao Zheng, and Andrew T. Campbell. Sensing meets mobile social networks: the design, implementation and evaluation of the cenceme application. In *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, SenSys '08, pp. 337–350, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [11] Eiman Kanjo. Noisespy: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping. *Mob. Netw. Appl.*, Vol. 15, pp. 562–574, August 2010.
- [12] Silvia Santini, Benedikt Ostermaier, and Andrea Vitaletti. First experiences using wireless sensor networks for noise pollution monitoring. In *Proceedings of the workshop on Real-world wireless sensor networks*, REALWSN '08, pp. 61–65, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [13] N. Maisonneuve, M. Stevens, M.E. Niessen, and L. Steels. Noisetube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. *Information Technologies in Environmental Engineering*, pp. 215–228, 2009.
- [14] 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.
- [15] 財団法人日本規格協会. JIS C 1502 普通騒音計, 1990.
- [16] 財団法人日本規格協会. JIS C 1505 精密騒音計, 1988.
- [17] 財団法人日本規格協会. JIS C 1512 騒音レベル、振動レベル記録用レベルレコーダ, 1996.
- [18] ISO. *ISO 1999:1990 Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*, 1990.
- [19] ISO. *ISO 226:2003 Acoustics – Normal equal-loudness-level contours*, 2003.
- [20] 財団法人日本規格協会. JIS C 1509-1 電気音響—サウンドレベルメータ（騒音計）—第1部：仕様, 2005.
- [21] 財団法人日本規格協会. JIS C 5515 標準コンデンサマイクロホン, 1981.