

# 都市域における騒音測定調査の 効率化に関する研究

平成 18 年 度

三重大学大学院工学研究科  
博士前期課程 物理工学専攻

深 川 雄 司

修士論文

# 都市域における騒音測定調査の 効率化に関する研究

平成 18 年度

三重大学大学院 工学研究科  
博士前期課程 物理工学専攻

深川 雄司



# 目 次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>4</b>
1.1	研究の背景	4
1.1.1	環境アセスメントの現状	4
1.1.2	騒音公害による苦情	5
1.2	研究の目的と内容	5
1.2.1	携帯型音楽プレーヤーによる測定補助	6
1.2.2	ニューラルネットワークを用いた長時間評価量の予測	6
1.3	本論文の概要	6
<b>第 2 章</b>	<b>騒音の測定法</b>	<b>7</b>
2.1	はじめに	7
2.2	騒音評価量	7
2.2.1	騒音レベル	7
2.2.2	騒音計	9
2.2.3	等価騒音レベル	9
2.3	環境基準と騒音規制法	10
2.4	都市環境騒音の調査例	11
2.5	まとめ	12
<b>第 3 章</b>	<b>携帯型音楽プレーヤーによる測定補助</b>	<b>13</b>
3.1	はじめに	13
3.2	携帯型音楽プレーヤー	14
3.3	騒音の録音と分析法	15
3.3.1	録音形式と MP3 ファイル	15
3.3.2	使用電池の選定	16
3.3.3	MP3 ファイルからの騒音値の算出	16
3.4	実測事例	18
3.4.1	道路近傍における予備測定	18
3.4.2	住居敷地内における長時間測定	19
3.4.3	プレーヤー単体での測定	21

	3
3.5 まとめ . . . . .	23
<b>第 4 章 短時間測定値による長時間評価量の予測</b>	<b>25</b>
4.1 はじめに . . . . .	25
4.2 ニューラルネットワーク . . . . .	26
4.3 データとネットワーク構成 . . . . .	27
4.3.1 予測ネットワーク検証用データ . . . . .	27
4.3.2 ネットワークの構成 . . . . .	28
4.3.3 ネットワークの学習・評価法 . . . . .	29
4.4 予測結果 . . . . .	30
4.4.1 昼間の騒音を予測 . . . . .	30
4.4.2 夜間の騒音を予測 . . . . .	32
4.4.3 他都市の騒音を予測 . . . . .	33
4.5 まとめ . . . . .	34
<b>第 5 章 総括</b>	<b>36</b>
<b>謝辞</b>	<b>38</b>
<b>参考文献・参考資料</b>	<b>39</b>

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究の背景

我が国では国民の健康で文化的な生活を確保することを目的として環境基本法 [1] が制定されている。この法律には国・地方公共団体・事業者・国民が負うべき環境保全のための責務について記述されており、その責務実現のため「人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準」として環境基準が設けられており、大気・土壌汚染や水質汚濁と共に騒音に関する基準も設定されている。こうした基準を守るため、大規模な新規事業や開発行為を行う際には、事業者に対して事前に周辺環境に与える影響を調査・予測させ、適切な環境保全対策を講じることを求めている。このような措置は環境影響評価制度（いわゆる環境アセスメント）として定着しており、環境悪化の防止に対して一定の成果を挙げている。また、環境基準に他にも、騒音規制法により工場等の事業所から発生する騒音を抑制するため敷地境界において守るべき規制基準が設定されており、環境アセスメントの対象とならない規模の事業所等の増設や新設にあたっては、関連法・条例・協定等により発生騒音による環境悪化を予測し、それらを低減または防止する措置が求められている [1]。

### 1.1.1 環境アセスメントの現状

環境アセスメントをはじめとする、騒音の住環境への影響評価にあたっては、予測の精度もさることながら、評価のベースとなる騒音の現況を正しく把握することが非常に重要である。しかし、時々刻々と変化していく騒音の状況を長時間広い範囲において把握しようとするとは機材や労力の面で制約が大きい。そのため、広い予測対象地域内の騒音値を代表する測定点（予測地点）をいくつか設定し、その地点において必要と判断される期間（時間）で測定を行うのが実情である。予測地点の選定や測定期間については、地域性等の現場の状況を考慮した上、過去の知見や経験に基づいて適切な設定がなされることになっている。

例えば、工場の新設の場合、「建設作業の計画や周辺住居の配置等に基づいて敷地周辺に影響が最も大きく現れると予想される地点を数点選定し、日常の状態を十分代表すると思われる日を1日選んで24時間の測定を1回行なう。」といった具合である。測定地点を4点にするのか6点にするのか、測定時間も1日行なうのか1時間とするのか、はたまた季

節別に複数回行なうのか、すべて状況に応じて適切に設定される。これらの計画や測定結果は専門家を含む審議会に諮られる他、一般にも公開されることで、その妥当性が担保されている。しかし、実測はより多地点でより長時間に亘って実施されることが良いことは自明であり、測定条件の設定に関して、多分に実現可能な範囲の（機材や労力に見合う）測定といった判断が働くことも否定はできない。もし、測定に伴う機材や労力を軽減できれば、このような懸念は払拭されることになる。

### 1.1.2 騒音公害による苦情

話を転じて、自治体に持ち込まれる公害苦情について眺めてみよう。公害には典型7公害といわれるものがあり、水質汚濁、大気汚染、土壌汚染、悪臭、騒音、振動、地盤沈下の7つを差す。その中でも騒音についての苦情件数は他の公害に比べて多いとされている。また、年を経るごとに大きな増加も減少もなく、以前からある公害が現在でもそれほど改善されていないということがわかる。

事業所などから発生する騒音以外に、最近では度々マスコミを賑わせる一般住宅地域内で発生する近隣騒音苦情というものもある。そのような苦情ではお互いの主観が介在するためその仲介者は慎重に成らざるを得ない。自治体の担当職員も滅多な数値は出せないのので、騒音計で慎重に測定を行なうことになる。測定が大掛かりなればなるほど、実際に測定にしてみると、当日は騒音が止まっていたということもありうる。話がさらにこじれて、両者が感情的となり、公害調停などを申し立てるところまでいくと、もはや通常の測定などというのは不可能であり、測定に行っても、「今日は音がしない」「いや、いつもと同じだ」と、両者が主張するだけで、現場の騒音の状況を正しく把握できないことになってしまう。また、調停の性格上、相手方の了解なしに黙って測定という訳にもいかない。

このような事態を避けるためには、最初に苦情があったときに、すばやく現場把握する体制が必要である。しかし、夜中の2～3時にときどき音がすると言うだけで、大掛かりな装置を置いて連続測定をするというのも大変な話である。精度が多少劣っても、簡単に長時間無人計測できる小型の装置があれば、そのような場面で即現状の把握に入ることができるため、とても有用である。

## 1.2 研究の目的と内容

そこで本研究では、環境騒音測定時の労力・機材の問題を解決するために2つの提案を通して、都市における環境騒音測定の省力化を目指した。

### 1.2.1 携帯型音楽プレーヤーによる測定補助

1 つ目は近年急速に普及している、携帯型音楽プレーヤーによる測定補助である。入手が簡単で長時間の録音が可能な音楽プレーヤーを用いて、長時間騒音測定時の実音記録、また記録した音を PC による処理で騒音レベルを読みとることによる騒音の簡易測定などへの応用について検討を行った。具体的には騒音の 24 時間測定をすると同時に音楽プレーヤーにより騒音を録音、PC で処理して騒音レベルを算出した。算出した結果を騒音計による測定結果と比較してどの程度の精度で簡易測定の可能性を検討した。なお、24 時間測定実験は津市・鈴鹿市の住居敷地内等において 20 回行なった。

### 1.2.2 ニューラルネットワークを用いた長時間評価量の予測

2 つ目はニューラルネットワークを用いた短時間測定値と測定時期や測定地点の地域性などの付加情報から長時間騒音評価量の予測である。環境基準に沿って、昼間と夜間の時間帯を予測対象の長時間騒音評価量とし、時刻や時間帯を変えた短時間測定値を元にして予測を行った。具体的には 1982～1994 年に名古屋市域の住居敷地内において収集・蓄積された騒音測定データを使用し、長時間騒音測定値として昼間 06:00～22:00 の  $L_{Aeq}$  と夜間 22:00～06:00 の  $L_{Aeq}$  を短時間測定値として  $L_{Aeq,T}$  ( $T = 1/3 \sim 5$ ) を算出、その  $L_{Aeq,T}$  に測定時期や測定地点の地域性などの付加情報を加えて入力データとし、出力データを長時間騒音値としてニューラルネットワークを構築し、予測を行った。予測値と実測値の誤差を評価することで、どの程度の精度で予測が可能かを調査した。

## 1.3 本論文の概要

本論文の概要について示す。第 2 章では騒音の測定法に関連する、騒音評価量・環境基準についてまとめ、都市環境騒音の調査例を示す。第 3 章では、携帯型音楽プレーヤーを用いた騒音測定の補助法について検討を行う。第 4 章では、ニューラルネットワークを用いた長時間騒音評価量の予測について検討を行う。第 5 章では以上をまとめる。

## 第2章 騒音の測定法

### 2.1 はじめに

騒音を含めた音全般について、その大きさを物理的に評価する尺度として騒音レベルがあり、それを計測する機器を騒音計（サウンドレベルメーター）という。騒音レベルは物理的に計測される音圧レベルとは異なり、ヒトの音の大きさ（ラウドネス）に関する感覚量に近づけるため、ヒトの聴覚系の周波数特性を模擬した周波数補正（重み）を付加して算出される音圧レベルである。

また、環境騒音は時々刻々不規則かつ大幅に変化するため、たとえ騒音計で騒音レベルが測定できたとしても、計測値である騒音レベルも常に変化することになる。このような変動騒音を評価するには観測される騒音レベルの時間変化を処理し、適切な代表値を求める必要がある。この代表値を騒音評価量といい、体表的なものとして環境基準で用いられている等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  がある。

本章では次章以降で用いるこれら騒音に関する計測値や評価量の定義、騒音計の構造とその内部処理、環境基本法によって制定されている環境基準について必要な範囲で概説する。また、第4章で予測評価に利用する名古屋市域における環境騒音の調査事例についても解説する。

### 2.2 騒音評価量

#### 2.2.1 騒音レベル

騒音とは、音の中で「好ましくない音」「ない方がよい音」と人が判断する音である。その判断は人の感覚によるところが大きいですが、一般的には大きすぎる音、注意を引く音が騒音として判断されやすい。このため、音の大きさのレベルを基に騒音の度合いを表すことが考えられた。

音の大きさは主に音の圧力振幅の大きさ（音圧）によるものである。しかし、人の可聴音圧の範囲は  $20\mu\text{Pa} \sim 200\text{Pa}$  にも及び非常に広いことから、対数表記の音圧レベルを導入する。音圧レベルは「音圧の実効値を  $p[\text{Pa}]$  の2乗を基準音圧の実効値  $p_0 = 20\mu\text{Pa}$  で除した値の常用対数の10倍」と定義されている。記号は  $L_p$  で

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \quad [\text{dB}] \quad (2.1)$$

と表すことができる。単位はデシベル [dB] である。

人間の音に対する感度は周波数によって異なることが知られている。同じ音圧の音でも周波数が違うことで人の感じる音の大きさは違ってくる。周波数と音の大きさの関係を図 2.1 に示す。1kHz の音圧レベルを基準にして、その音と同じ大きさに聞こえる音の音圧レベルを曲線で描いたものである。この曲線は聴感曲線（等ラウドネス曲線）と呼ばれており、人が聴く音の大きさを 1kHz の音のレベルに換算したものである。このように音圧レベルを人の聴感にあわせて補正した量をラウドネスレベル（音の大きさのレベル）といい、Phon で表す。

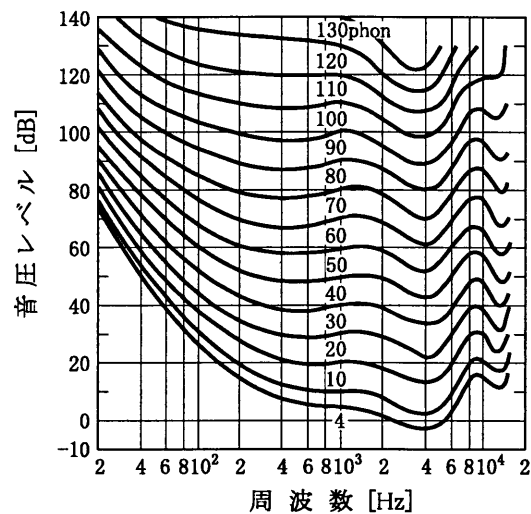


図 2.1: 周波数による聴感の違い

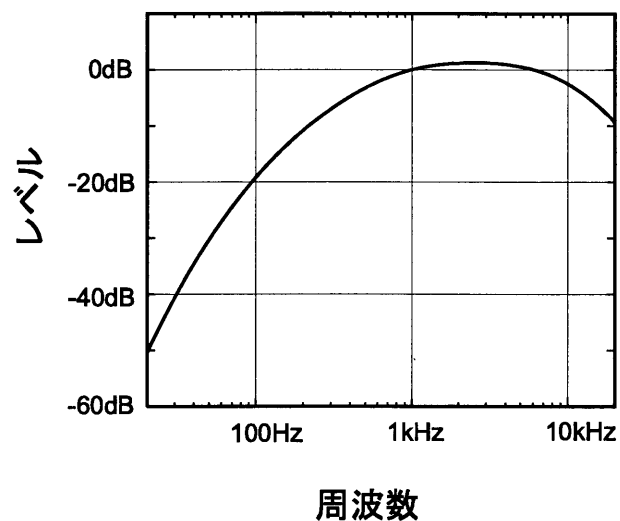


図 2.2: A 特性フィルタの周波数重み付け

音圧レベルにラウドネスレベルに従って聴感補正をかけたものが A 特性音圧レベル又は

騒音レベルと呼ばれるものである。A 特性補正フィルタの周波数重み付け特性を図 2.2 示す。A 特性音圧レベルは記号を  $L_{pA}$  で、単位を [dB] で表すが A 特性音圧  $p_A$  のレベル表示

$$L_{pA} = 10 \log_{10} \left( \frac{p_A}{p_0} \right)^2 \quad [\text{dB}] \quad (2.2)$$

である。騒音計で計測される騒音レベルはこの A 特性音圧レベルである。

### 2.2.2 騒音計

騒音計（サウンドレベルメーター）は騒音レベル  $L_{pA}$  を計測する機器である。特別に騒音のみを取り出して測定する機器ではなく、マイクロホンから入力された音の A 特性音圧レベルを測ることで騒音レベルとしている。JIS C 1509 にてサウンドレベルメーターとして規格化されている。

一般的な騒音計の内部処理を図 2.3 に示す。

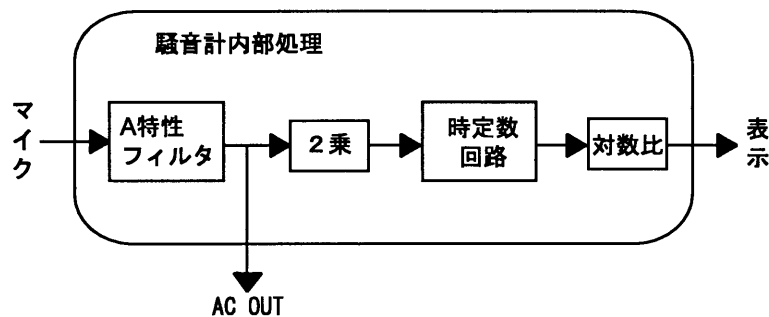


図 2.3: 騒音計の内部処理

マイクロホンにより測定された音圧  $p$  を、A 特性フィルタで補正して A 特性音圧  $p_A$  を得る。AC 出力ではこの部分からの信号が出力されるため、音圧に周波数重み付けがされた状態の信号を得ることができる。時定数回路ではメータの動特性を決める。FAST(125ms) と SLOW(1s) があり、通常の騒音測定では FAST を使用する。そうしてでてきた値を対数比をとることで、騒音レベル  $L_{pA}$  を得る。

最近ではアナログ型騒音計に替わり、デジタル型騒音計が主流になってきており、測定結果も電子データとして保存するのが一般的になってきている。

### 2.2.3 等価騒音レベル

騒音計で測る騒音レベルは騒音の時間変化にあわせて変わっていく量である。そのため、騒音レベルの値 1 つをみるだけではその一瞬の騒音の状況がわかるだけである。時間長を持つ期間の状況について知るためには瞬時騒音レベルの羅列を見るより時間的に平均した 1 つの値を見たほうがわかりやすい。そこで、一定時間内の騒音の総エネルギーの時間

平均値をレベル表示するものとして等価騒音レベルを定義する。これにより、常に変動する騒音を安定的に表現でき、人間がどの程度の騒音エネルギーを受けたかを表すことができる。

等価騒音レベルは瞬時騒音レベル  $L_{pA}(t)$  を用いて

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} 10^{L_{pA}(t)/10} dt \right\} \quad (2.3)$$

と書かれる。

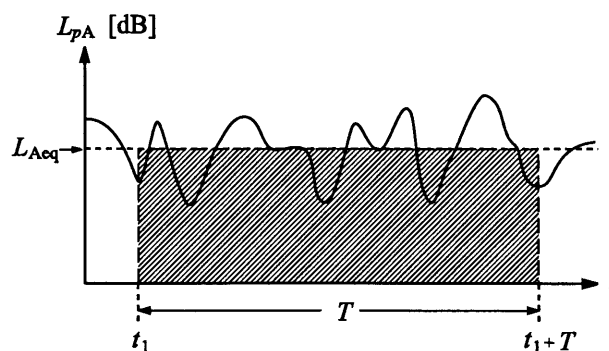


図 2.4: 変動騒音と等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  の関係

図 2.4 に  $L_{pA}(t)$  と  $L_{Aeq}$  の関係を示す。時間長  $T$  は定義上自由に設定してよいが、環境騒音などの変動の大きい騒音に対しては一般にかなり長い時間（数分以上）を考えるべきである。

## 2.3 環境基準と騒音規制法

環境基準とは生活環境を保全し、人の健康の保護に資する上で維持されることが望ましい基準である。他の公害に関する基準とともに、騒音についても環境基準が定められている。

表 2.1 に騒音に係る環境基準を示す。

- 騒音評価量として  $L_{Aeq}$  を使用する。
- 1 日を昼間 (06:00～22:00) と夜間 (22:00～06:00) の 2 つの時間区分にわけている。
- “幹線道路に近接する空間” を地域の区分として設けている。

等の特徴が挙げられる。住居周辺の音環境を保全する上で騒音に係る環境基準の果たす役割は大きく、新規開発のアセスメント等で保全目標とされることが多い。

その評価方法として「1 年を通じて平均的な状況を呈する日を選定し、測定を行う場合は JIS Z 8731 に定める騒音レベル測定法によるが、必要な実測時間が確保できない場合

等においては、推計方法によることができる」とされている。環境アセスメントなどで騒音の実態を知る測定現場ではいくつかの代表地点において限られた期間で調査が行なわれるに過ぎない。

環境基準を達成するために騒音規制法が制定されており、事業所や工場、建設工事からの騒音を規制することや、自動車騒音に係る要請限度等を定めている。そうすることで、国民の生活環境を保全し健康の保護に資することを目的としていて、地域住民からの苦情や相談等への対処にも活用されている。

## 2.4 都市環境騒音の調査例

1982 年以来、名古屋市域では一般の住居を対象に屋外騒音の 24 時間測定と、その家屋の住民に対する生活環境調査が実施され、多くのサンプルが収集・蓄積されている。測定は、住居敷地内において屋外の騒音環境を代表すると思われる場所（ベランダ、軒下、植え込み等）に自動記録騒音計を 1 日間設置するという方法で行われた。また測定は原則として土日祝祭日を除く平日に行い、雨天や強風の日も除外している。

騒音評価量  $L_{Aeq}$  の 10 分間値 ( $L_{Aeq,10min}$ ) を 24 時間連続測定した。騒音測定と平行

表 2.1: 騒音に係る環境基準 ( $L_{Aeq}$  に基づく)

### (a)一般地域

地域の類型	該当地域	時間の区分	
		昼間 (6:00~22:00)	夜間 (22:00~6:00)
AA	特に静穏を要する地域	50dB 以下	40dB 以下
A	住居専用地域	55dB 以下	45dB 以下
B	住居地域		
C	商業系地域及び工業系地域	60dB 以下	50dB 以下

### (b)道路に面する地域

地域の区分	時間の区分	
	昼間 (6:00~22:00)	夜間 (22:00~6:00)
A 地域のうち 2 車線以上の車線を有する道路に面する地域	60dB 以下	55dB 以下
B 地域のうち 2 車線以上の車線を有するか、C 地域のうち車線を有する道路に面する地域	65dB 以下	60dB 以下
特例 幹線道路に近接する空間	70dB 以下 [45dB 以下]	65dB 以下 [40dB 以下]

注：[ ] 内は屋内基準

して、測定地点の状況等についても調べられており、場所、日時、住居周辺の状況（道路からの距離・その道路の状況など）、住人の屋内外の騒音に対する意識などのデータが  $L_{Aeq,10min}$  と共に、1982～1994 年の間に 2051 地点にて収集・蓄積されている [4]。

## 2.5 まとめ

本章の第 2.2 節の騒音評価量については第 3 章、第 4 章に登場する。また、第 2.4 節、都市環境騒音の調査によるデータは第 4 章で使用する。

## 第3章 携帯型音楽プレーヤーによる測定補助

### 3.1 はじめに

ここ2、3年の間に、CD、MD、DATのような専用の記録媒体に保存された音楽を再生するタイプのプレーヤーに代わり、ハードディスクやフラッシュメモリといったこれまでコンピュータで使用されてきた記録媒体を内蔵し、長時間の音楽を圧縮して記録・再生するタイプの小型のデジタル音楽プレーヤーが急速に普及している。

この種のプレーヤーでは、MDのATRACと同様、音楽のデジタルデータをMP3やWMA等のフォーマットに従って、音質の劣化をできる限り避けながら圧縮記録（再生）する。そのため、長時間の音楽を記録（再生）できるにも関わらず、小型で可搬性に優れている。特に、フラッシュメモリを使用するプレーヤーは機械的な駆動機構も不要となるため、小型化、省電力化に適しており、今や携帯電話の一機能として組み込まれるほどである。

このように小型でありながらも携帯型音楽プレーヤーは機能の高いものが多く、単体でMP3やWMA等による圧縮記録のためのエンコーディング機能を持つものや、PCとの連携を考えUSBインターフェースを搭載した機種もある。また、内蔵マイクや外部入力端子を備えた機種もあり、プレーヤー単体で音声や音楽を長時間、圧縮録音することも可能となっている。

一方、環境騒音の長時間測定は無人で行われることも多いが、これまでのような単なる騒音レベルの記録だけでなく、測定後に騒音源を特定する目的で実音を録音（記録）する騒音計のオプションやPCを利用したシステム等も市販されている。しかし、これらの測定システムの価格は決して安価とはいえず、地方自治体の環境に関わる部局やコンサルタント会社でも測定システムを何台も所有しているところは少ないと思われる。また、無人測定が可能とはいえ、盗難や悪戯といったリスクを考えると測定にあたっては、それなりの準備が必要であり、苦情相談への対応など機動性が求められる測定への利用は難しいというのが現状であろう。

たとえば、住民から寄せられる騒音公害に係る苦情相談への対応にあたって、地方自治体によっては、担当部局が所有する騒音計の台数が足りないため、多地点での同時測定の必要が生じたときには他の部局や自治体から騒音計を借用したり、長時間測定にロールチャートを使用するといった例も現実にもみられる。また、準備を整えて、いざ測定に行っても、天候が悪かったり、騒音源が停止しているといった事例もままあるように聞く。こ

ういった場合、何にも増して苦情に対する迅速な対応（現場把握）が求められる。それには、精度が多少劣っても安価で使いやすい無人（自動）測定装置が必要である。現場把握さえできれば、その結果に基づいて必要ならば本格的な測定計画を立て、後日改めてきちんとした装置で測定をやり直せばよい。苦情相談に限らず、環境アセスメント等で実施される騒音測定においても、事前調査として周辺地域に無人（自動）測定装置を大量に配置して同時観測を行えば、本調査での測定点の選定や測定条件の設定に関する基礎資料を得ることが可能である。

さて、そのような安価で使いやすい無人（自動）測定装置の一つとして、前述の携帯型の音楽プレーヤーが利用できれば、非常に便利である。すぐに思いつく利点だけでも

- 大量に普及しているため価格が安く導入しやすい。
- 小型で目立たないため盗難や悪戯などの被害に遭いにくい。万一被害にあっても、金銭的な被害が少ない。（単体で使用情况）
- バッテリー駆動のため、商用電源の確保できない場所でも長時間の録音が可能である。
- 機械的な駆動系がないため、プレーヤー自身の駆動音を拾うことがない。
- 録音データを直接 PC に取り込める。

と列挙でき、このような用途に適した特徴を備えていることがわかる。しかし、騒音の記録装置として圧縮記録方式の民生機器を使う場合、騒音レベルの計測という立場から観てどの程度の精度が確保できるのかという点については明確な知見は得られていない。

そこで、本章では市場に数多く出回る携帯型の録音機能付き音楽プレーヤーが、騒音測定の現場で、まずはレベル記録のバックアップあるいは実音の記録装置としてどの程度利用できるかを、主に自宅周辺に到来する環境騒音の測定を例に調査・検討した。そして、音楽プレーヤーを単体で使用する可能性についても検討を加えた。

## 3.2 携帯型音楽プレーヤー

携帯型音楽プレーヤーは記録媒体としてハードディスクを使用するものとフラッシュメモリを使用するものに大別される。今回は騒音測定に利用する機材であることを考え

- 消費電力が少なく連続駆動時間が比較的長い
- 機械的な駆動部がなく動作音が発生しない

などの理由から、フラッシュメモリを使用したプレーヤーを選択、さらにその中から録音機能を有する機種例としてi-river製のiFP-800/700シリーズでメモリ容量1GBのものを選択した。このプレーヤーは



図 3.1: 携帯型音楽プレーヤー (iFP890) と単三型乾電池

- 単3型アルカリ乾電池1本で40時間連続再生が可能（カタログスペック）
- 1GBの大容量フラッシュメモリを内蔵
- MP3形式によるダイレクトエンコーディング機能を搭載
- 内蔵マイク・外部入力端子からの録音が可能
- MP3録音でビットレートとサンプリング周波数の変更が可能
- USB2.0インターフェースを搭載（録音したデータをPCへ転送可能）

などの特徴を持っている。

### 3.3 騒音の録音と分析法

#### 3.3.1 録音形式とMP3ファイル

今回、使用した録音の圧縮ファイル形式はMP3である。この圧縮形式を使用したのは選択した機種でダイレクト圧縮できる形式であったこと、また圧縮形式として最も普及している形式で扱いやすいことがあげられる。

MP3ファイルへの録音をする場合、ビットレートとサンプリング周波数を選ぶことができる。ビットレートとサンプリング周波数を上げていくと音質は高くなるが、ファイル容量が増えて、騒音の録音可能時間が減ることになる。今回はプレーヤーのメモリー容量が1GBであること24時間の長時間録音を目的としていることから、モノラル、44.1kHz、64kbpsの条件で録音を行った。この条件では24時間分の録音データは約700MBとなり、録音されたファイルはUSB 2.0接続でPCへ約10分で転送することができた。

### 3.3.2 使用電池の選定

商用電源が確保できない現場での長時間録音を想定し、使用する乾電池についての検討を行った。なお、カタログには「単3型アルカリ乾電池1本で40時間連続再生」としてあるが、録音時間については記述がない。

そこで、アルカリ乾電池、オキシライド乾電池、リチウム乾電池の3種類の単3型乾電池を使用した場合、1GBのフラッシュメモリを内蔵したiFP-799が室温（約15℃）でそれぞれ何時間の連続録音が可能であるかを調査した。図3.2は、録音中の乾電池の端子電圧の時間変化をグラフに表したものである。いずれの乾電池についても端子電圧が1.05Vを下回ったところで録音が自動停止した。

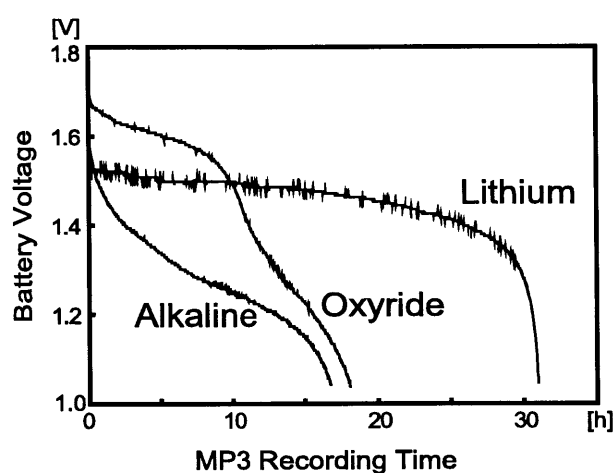


図 3.2: 録音中の乾電池の端子電圧の変化

図3.2からわかるように、アルカリ電池やオキシライド電池に比べ、リチウム電池は使用開始直後の電圧降下も少なく、約31時間の連続録音が可能であった。以上のことから、24時間に亘る長時間測定ではリチウム電池を使用することとした。

### 3.3.3 MP3 ファイルからの騒音値の算出

録音されたMP3ファイルから騒音レベルを直接算出するために、これと同等の処理をPC上で行なった。

騒音値を算出するために圧縮されたMP3ファイルからWAVEファイルに戻す作業（デコード）が必要となる。デコードにはフリーソフトであるSCMPXを使用した[7]。WAVEファイルから振幅の大きさを読みとり騒音計と同等の処理で騒音レベルを算出する自作のプログラムで処理した。

なお自作プログラム内では騒音計の処理と同等に音圧レベルにA特性をかけて騒音レ

ベルを算出している。A 特性については IEC60651 等の規格を参考に

$$A(f) = 20 \log_{10} \left[ \frac{f_4^2}{(f^2 + f_1^2)(f^2 + f_2^2)^{0.5}} \times \frac{f^4}{(f^2 + f_3^2)^{0.5}(f^2 + f_4^2)} \right] - A_{1000}$$

ただし、

$$f_1 = 20.6[\text{Hz}] \quad , \quad f_2 = 107.7[\text{Hz}]$$

$$f_3 = 737.9[\text{Hz}] \quad , \quad f_4 = 12194[\text{Hz}] \quad , \quad A_{1000} = -2.000[\text{dB}]$$

で定義されるものとして、この数式に対応するフィルタの伝達関数  $H(s)$  を求め、さらにこれを双一次変換することにより次式の 6 次の IIR 型のデジタルフィルタの伝達関数  $H(z)$  に変換した。

$$H(z) = K \frac{(z-1)^4(z+1)^2}{(z-z_1)^2(z-z_2)(z-z_3)(z-z_4)^2}$$

サンプリング周波数を 44.1kHz、1kHz でのゲインを 0dB した場合、極  $z_1 \sim z_4$  とゲイン  $K$  の値は

$$z_1 = 0.997069439 \quad , \quad z_2 = 0.984778531$$

$$z_3 = 0.900034906 \quad , \quad z_4 = -0.083485762$$

$$K = 0.3461391778$$

となる。この伝達関数  $H(z)$  を基に A 特性を有するデジタルフィルタを図 3.3 のように実現した。また、時定数回路は規定された時定数を有する 1 次の IIR 型 LPF で構成した。その他の部分も全てデジタル的に処理した。

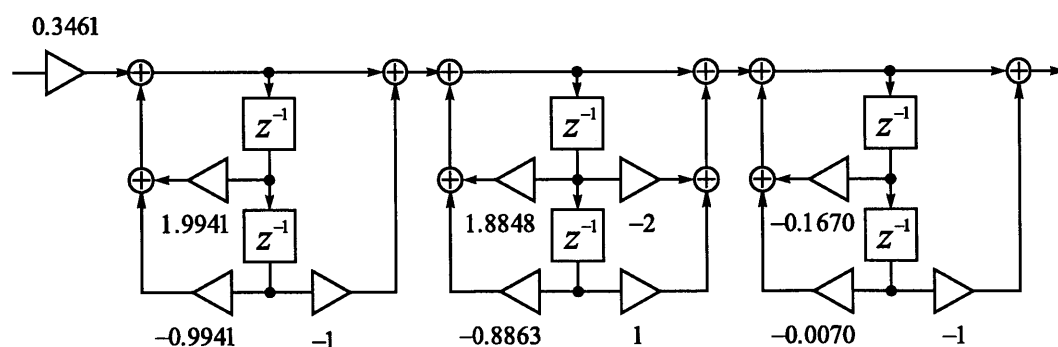


図 3.3: A 特性フィルタの構成例

騒音測定を行う上で重要となってくるものとしてレベルの校正があげられる。本研究においても、PC 上での騒音レベル算出値の校正を行なった。騒音計の AC-OUT 信号音を録音する場合には騒音計の校正信号 (1kHz) に対して騒音計の指示値と一致するように定めた。また、音楽プレーヤー単体での測定については防音室内における White Noise のスピーカー再生音に対して騒音計の指示値と一致するように定めた。

### 3.4 実測事例

#### 3.4.1 道路近傍における予備測定

音楽プレーヤーによる測定補助の可能性を検討するにあたって、まず、騒音レベルの測定という観点から、どの程度忠実に騒音を録音・再現できるのかを実測により確認した。

騒音測定を行った場所は、津市内の国道23号線の交差点（三重大学前交差点）をまたぐ歩道橋の上である。時刻は交通量の多い夕方、国道を絶え間なく自動車が走っており、主な騒音源は自動車走行音であった。

騒音計で騒音レベル  $L_{pA}$  を0.1秒刻みで10分間（6000個）測定し、RS-232C経由でPCに転送・記録した。同時にA特性フィルタを通過した信号を騒音計の出力端子（AC-OUT）から取り出してMP3プレーヤーの外部入力に入れて録音した。なお、MP3録音のビットレートは64kbps、サンプリングレートは44.1kHzとした。測定終了後、MP3形式で録音された音波形をPCに転送し、3.3.3節で述べた方法に従って騒音レベルを算出した。（この場合は3.3.3節で設計したA特性フィルタは使用していない。）

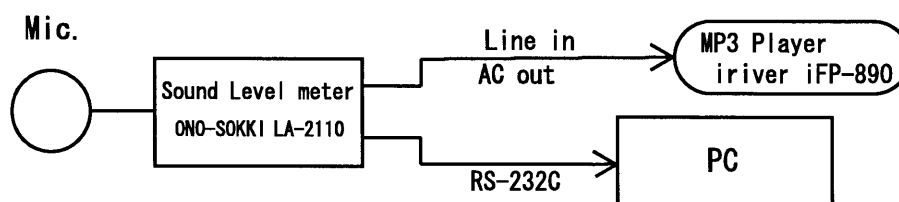


図 3.4: 騒音測定実験接続図

現地での騒音計による  $L_{pA}$  の実測値と MP3 録音された音からの算出値を比較する。図 3.5 の (a) は10分間の実測値と算出値（各6000個）の時間変化を見たものであり両者はよく一致している。この時間変化には周期性が見られるが、これは交差点の信号現示のパターンに起因するもので、レベルの高い部分は国道側の信号現示が青、低い部分は赤に対応している。図 3.5 の (b) は実測値と算出値との関係を散布図に表したものである。やはり両者の相関が極めて高いことがわかる。

表 3.1 は上記で測定した0.1秒間隔の騒音レベル  $L_{pA}$  [dB] から等価騒音レベル  $L_{Aeq,10min}$  [dB] を算出したものである。このデータを見る限り、10分間の等価騒音レベルの差は0.2dBとなり、ほぼ等しい値となった。

表 3.1:  $L_{Aeq,10min}$  での比較

MP3 録音からの算出値	69.4dB
騒音計測定値	69.6dB

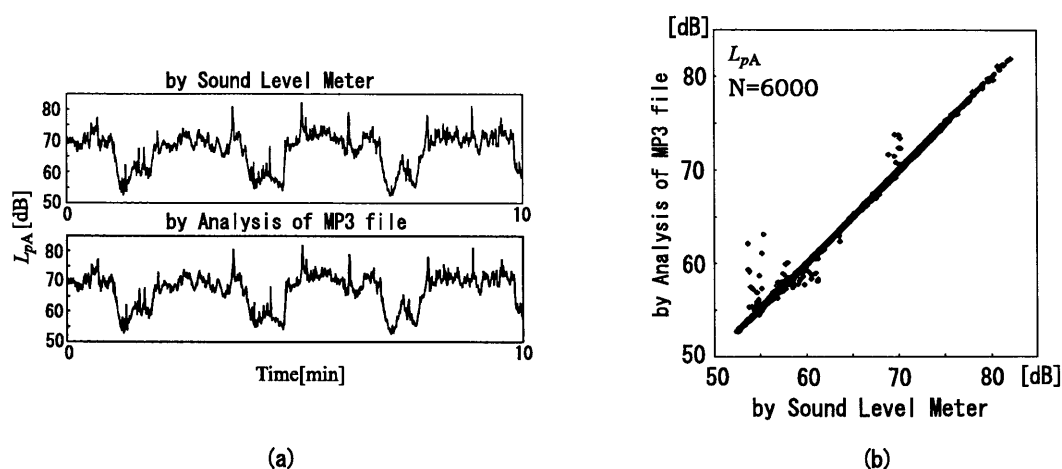


図 3.5: 録音騒音からの算出値を騒音計による計測値と比較

### 3.4.2 住居敷地内における長時間測定

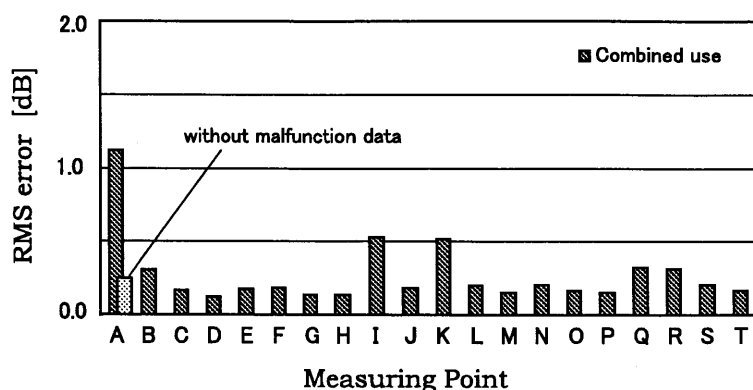
予備実験の結果を踏まえて、音楽プレーヤーを活用した環境騒音の長時間測定実験を行う。津市内・鈴鹿市内の住居等敷地内に騒音計を設置し、24 時間にわたって  $L_{Aeq,10min}$  (144 個) を連続測定した。予備実験と同様に測定と同時に騒音計の AC 出力を携帯型音楽プレーヤーで録音した。表 3.2 に 20 地点の測定日と測定地点の用途地域を示す。測定終了後、機材を持ち帰り、音楽プレーヤーに録音された MP3 ファイルを PC に転送し 3.3.3 節で述べた自作プログラムにより  $L_{Aeq,10min}$  (144 個) を算出した。

表 3.2: 測定地点

	日時	用途地域		日時	用途地域
A	2005/9/12	第一種低層住居専用地域	K	2006/3/27	第一種住居地域
B	2006/1/12	第一種住居地域	L	2006/4/03	第一種低層住居専用地域
C	2006/2/08	第一種低層住居専用地域	M	2006/4/12	第一種住居地域
D	2006/2/10	準工業地域	N	2006/4/16	第二種中高層住居専用地域
E	2006/2/13	第一種低層住居専用地域	O	2006/5/16	第一種住居地域
F	2006/2/14	第一種住居地域	P	2006/5/29	準工業地域
G	2006/2/16	工業地域	Q	2006/6/13	第二種中高層住居専用地域
H	2006/2/21	第一種住居地域	R	2006/6/19	第一種住居地域
I	2006/3/08	準工業地域	S	2006/6/20	第二種中高層住居専用地域
J	2006/3/15	第一種住居地域	T	2006/6/27	第一種住居地域

騒音計により測定された  $L_{Aeq,10min}$  と MP3 録音騒音から算出した  $L_{Aeq,10min}$  とを比較する。144 個の  $L_{Aeq,10min}$  の差を RMS 誤差で表した結果を図 3.6 に示す。

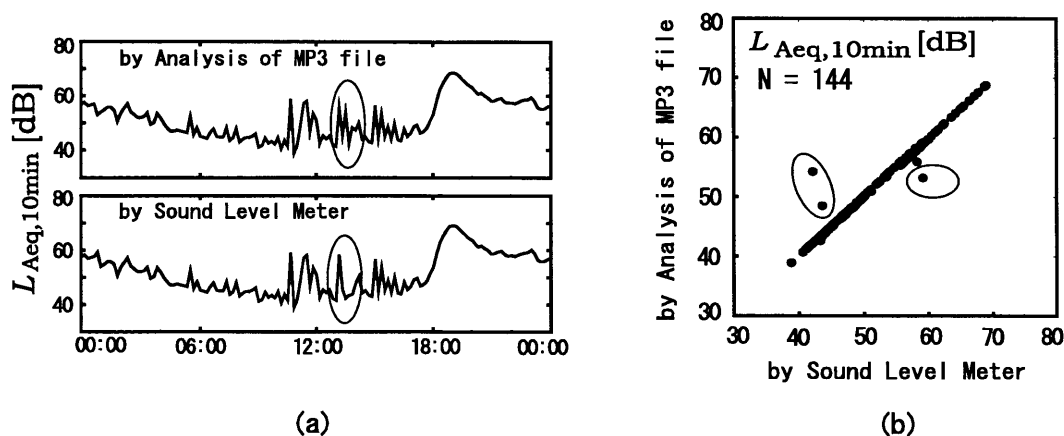
20 件の測定の結果を見ると RMS 誤差はほぼ 0.5dB 以下に収まっていることがわかる。

図 3.6: MP3 ファイルからの  $L_{Aeq,10min}$  算出値の RMS 誤差

ただし A 地点による測定では、1.12dB と他に比べて誤差が大きくなっている。

図 3.7 は A 地点での測定結果をグラフに表したものである。(a) は騒音計による測定された  $L_{Aeq,10min}$  (上段) と、MP3 録音による算出した  $L_{Aeq,10min}$  (下段) の時間変化を見たもので、(b) は騒音計による測定値と MP3 録音による算出値を散布図に表したものである。 $L_{Aeq,10min}$  時間変化パターン (図 3.7 (a)) で昼間 (8~16 時) のレベルが相対的に低くなっている。これは測定地点が閑静な住宅街であり、MP3 ファイルを再生して聞いてみると昼間はたまに車の走行音や飛行機の音がするのみとなっている。夕方に最高レベルを記録し早朝までなだらかにレベルが下がっている部分は秋の虫が奏でる音であることがわかった。夕方に一番にぎやかで、深夜早朝と虫の音はだんだん減ってきている。

図 3.7 (a) (b) の両方の図で○囲みをした部分は MP3 録音からの算出値と騒音計での実測値との差が大きくなっている部分である。(a) で時間を見ると 13:00~14:00 あたりで大きな違いが見られる。A 地点の測定の RMS 誤差が大きくなっていたのはこの部分のデータが原因と断定できる。その時間に録音されている音を再生してみたところ、掃除機の声と共に装置に触れたことによる接触不良ノイズが、また少し時間を置いて測定器至近で布

図 3.7: 地点 A における  $L_{Aeq,10min}$  測定結果

団をたたく音が入っていた。布団をたたく音の入った部分では、大きな音が入ったために録音ファイルの波形からオーバーレンジが確認された。晴れた日の午後、住人が家事にはげんでいたと思われる。

以上、接触不良ノイズとオーバーレンジが原因と思われる誤差が 2.0dB 以上となった 3 つの測定値を除き、A 地点における RMS 誤差を 121 個の  $L_{Aeq,10min}$  データで求めたところ 0.25dB となった。(a)・(b) を見ると○囲み以外の部分では MP3 で圧縮録音されたデータからでも、1 日の  $L_{Aeq,10min}$  の変化パターンをとらえることができていることがわかる。A 地点のデータを除いた 19 件全体での  $L_{Aeq,10min}$  の RMS 誤差は 0.26dB となった。

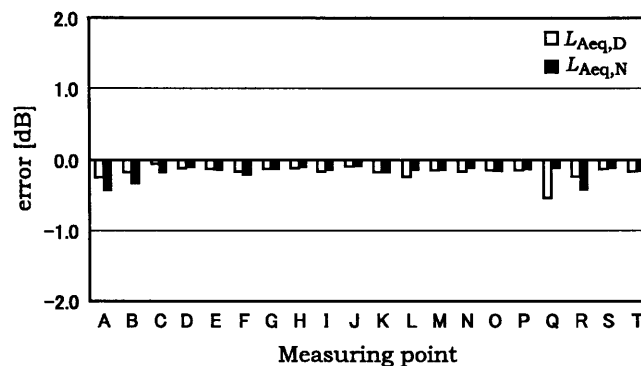


図 3.8:  $L_{Aeq,D}$ 、 $L_{Aeq,N}$  算出値の誤差

図 3.8 に、 $L_{Aeq,D}$ 、 $L_{Aeq,N}$  を測定した場合の騒音計測定との誤差を示す。1 日の変化パターンだけでなく長時間の騒音評価量もきちんととらえていることがわかる。なお、20 件全体での RMS 誤差は  $L_{Aeq,D}$  で 0.20dB、 $L_{Aeq,N}$  で 0.19dB となった。

### 3.4.3 プレーヤー単体での測定

MP3 圧縮で録音した音からある程度騒音レベルを読み出せることが確認できたので、今度は騒音計のマイクを使用せずに簡易的な測定だけでもできないのかと考え、プレーヤー単体での測定を試みた。

プレーヤー単体での測定を行うにあたって、マイクロホンの特性をみた。無響室内でピンクノイズを流して、プレーヤー内蔵マイクで MP3 録音された音を FFT 解析して周波数特性を得た。図 3.9 に 1/3 オクターブバンドレベルの形でプレーヤー内蔵マイクの周波数特性を示す。なお縦軸は同条件で測定した騒音計の分析結果を 0dB とする相対レベルである。

200Hz～10kHz の部分では騒音計の周波数特性にだいたいそっており、騒音として入力される音の周波数が極端に高い・低いことがなければ簡易測定に使うこともできると考えられる。

以上から、内蔵マイクを使用したプレーヤー単体での測定実験を試みた。具体的には表 3.2 に示した長時間測定の住居 B 以降の住居での測定時に平行させて、同型のプレーヤー

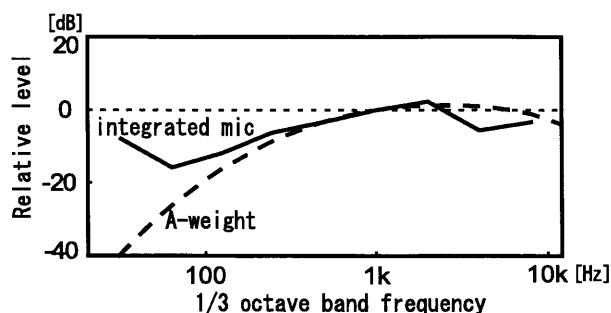


図 3.9: 内蔵マイク録音による周波数特性

をもう1台用意し、内蔵マイクを用いてプレーヤー単体での録音を実施した。今回の録音騒音にはAC出力の信号と違い、A特性フィルタを通っていない騒音を録音している。そのためMP3ファイルから騒音レベル算出の際に、PCプログラムによりA特性を掛けて等価騒音レベル  $L_{Aeq,10min}$  を算出した。

図 3.10 に地点 B での測定結果を示す。 $L_{Aeq,10min}$  時間変化パターン (a) で MP3 ファイルからの算出値で24時間の  $L_{Aeq,10min}$  の変化をある程度把握できていることがわかる。散布図 (b) を見ても騒音計による測定値とほぼ同じ値を得られていることがわかる。

住居 B の周辺はふだんは静かな地域であるが測定日には隣地でマンション建設工事が行われており、(a) を見ると工事をしている時間帯 (8~17時) でレベルが高くなっている。とりわけ朝の8~10時はミキサー車のエンジン音などが聞こえ、特にレベルが高くなっている。このように内蔵マイクによる録音ファイルからでも音を再生することができるため、測定後に騒音レベルと対比させて、音を確認することが可能となっている。

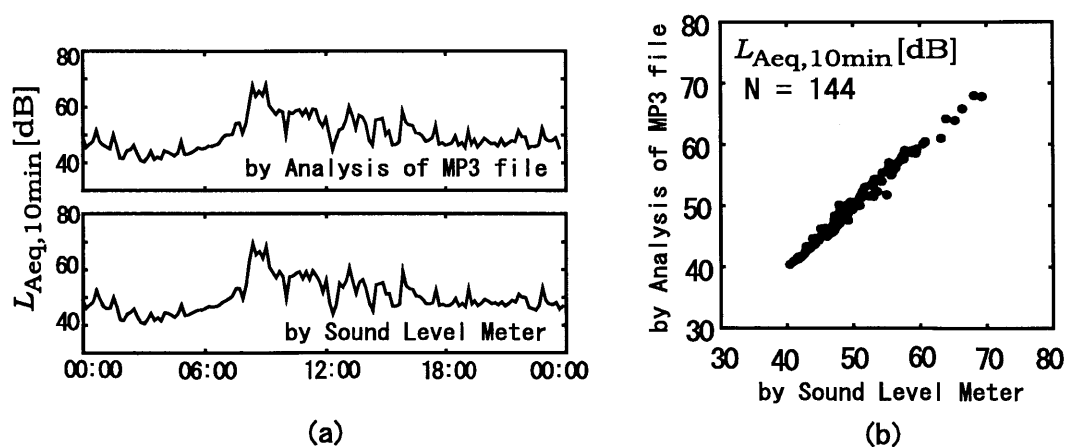
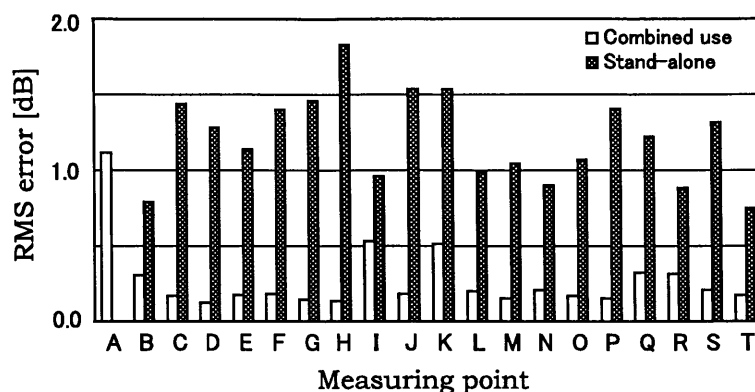


図 3.10: 内蔵マイク録音による測定結果 (地点 B)

図 3.11 に騒音計による  $L_{Aeq,10min}$  測定との RMS 誤差を表す。A 地点では単体での測定を行っていないため、19件の結果となっている。AC出力の信号を録音した結果 (図 3.6) に比べると誤差は大きくなっているが、それでも 2.0dB 以下におさまっていることがわか

図 3.11: プレーヤー単体での  $L_{Aeq,10min}$  測定における RMS 誤差

る。また、19 件全体での RMS 誤差は 1.24dB となった。

RMS 誤差はバラツキ誤差（誤差の標準偏差）とバイアス誤差（誤差の偏り）の 2 つの成分を含んでいる。19 件全体の  $L_{Aeq,10min}$  の誤差を、この 2 つの成分に分離した結果を表 3.3 に示す。表より、騒音計と併用した場合に比べ単体での録音時にはバラツキ誤差、バ

表 3.3:  $L_{Aeq,10min}$  におけるバラツキ誤差とバイアス誤差

19 件誤差 [dB]	RMS	バラツキ	バイアス
騒音計出力を録音	0.26	0.20	0.16
単体での録音	1.24	0.84	0.77

イアス誤差ともに約 4 倍となっていることがわかる。バラツキ誤差の原因として

- マイクロホンによる風切り音の影響
- 録音時のオーバーレンジ

バイアス誤差の原因として

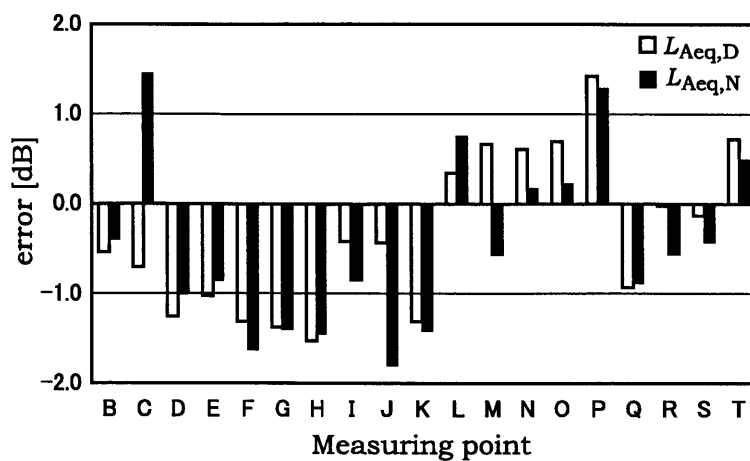
- レベルの校正方法の問題
- 周波数特性の補正の問題

等が考えられる。これらの詳細については今後検討する必要がある。

全 19 件で内蔵マイクによる録音したファイルから  $L_{Aeq,D}$ 、 $L_{Aeq,N}$  を算出した場合の騒音計との誤差を図 3.12 に示す。プレーヤー単体の測定でも長時間の騒音評価量を誤差 1.5dB 以下で算出できていることがわかる。また、19 件全体での RMS 誤差は  $L_{Aeq,D}$  では 0.90dB,  $L_{Aeq,N}$  では 1.04dB となった。

### 3.5 まとめ

市販の音楽プレーヤーを用いることで環境騒音を 24 時間録音（MP3 による圧縮録音）できること、また MP3 形式で圧縮録音されたデータから  $L_{Aeq,10min}$  の変化パターンをほ

図 3.12:  $L_{Aeq,D}$ ,  $L_{Aeq,N}$  算出値の誤差

ば正確に再現できることを確認した。 $L_{Aeq,10min}$  に関して言えば、マイクロホン部分を騒音計に頼る AC 出力の信号を圧縮録音した結果と騒音計による計測に対する誤差は 19 件全体での RMS 誤差で 0.26dB となった。プレーヤーの内蔵マイクを使用したプレーヤー単体での録音では同じく 19 件全体の RMS 誤差が 1.2dB となった。表 3.4 に  $L_{Aeq,D}$ 、 $L_{Aeq,N}$  についての誤差についてまとめる。

表 3.4: 19 件全体での RMS 誤差

19 件 RMS 誤差 [dB]	$L_{Aeq,10min}$	$L_{Aeq,D}$	$L_{Aeq,N}$
騒音計出力を録音	0.26	0.20	0.19
単体での録音	1.24	0.90	1.04

この種のプレーヤーは圧縮記録を行うことや、計測用に比べ精度の劣るマイクロホンを使用しているため、単体で計測器の代わりとして使用することはできない。しかし、

- 騒音計との併用してレベル変動記録のバックアップ
- 無人長時間測定時の実音の記録装置
- 広範囲測定時の測定地点を増やす簡易測定器
- 苦情対応時の迅速な長時間無人測定

などでの使用可能性は十分にあるものと思われる。

## 第4章 短時間測定値による長時間評価量の予測

### 4.1 はじめに

環境基準に定められている等価騒音レベルを、定義通りに測定しようとするれば、昼間で16時間、夜間で8時間の連続測定をしなければならない。従って、順調に測定ができたとしても1地点につき1日を要することになり、無人の自動測定を行っても、1地点につき測定システム1台を1日占有しなければならない。また、測定日として一般的な日を選定する必要があるが、週末や休日・祝祭日は人や社会の活動パターンが異なるため測定日には適さない。また、風雨が強いなど気象的な制約もあり、実際に測定ができる日も限られてくることになる。極端な例として、測定を始めても途中で雨が降り出したり、近くで道路工事が始まったとなると、測定を中断し、改めて別の日に実施しなくてはならない。このような測定を行政区域全体で実施しようとするれば、大量の機材を導入する必要があり、測定に要する労力も大変なものである。自治体や測定会社が所有する測定機材にも限りがあるため、現実には行政区域全体での実施は不可能である。そのため、必要な実測時間が確保できない場合には推計方法に頼ることも許されており、定義された時間帯の中で、全体を十分代表できる状況のみを実測できるならば、実測時間を短縮して代表値としてもよいとされている。例えば、昼間の等価騒音レベルを測定するとき、全体を代表し得る時間帯が14:00～15:00であると判断されれば、この1時間の等価騒音レベルで昼間全体の等価騒音レベルを代用できる。しかし、どの時間帯でどれだけの時間測定すればよいのかという明確な基準がある訳ではない。

そこで、長時間の評価量を短時間の実測値で代用するのではなく、長時間の評価量を経験的に予測することが考えられている。このような検討は、回帰分析を用いることで従前より検討されてきている[3]。本論文では回帰分析に替わり、ニューラルネットワークを用いることで短時間の $L_{Aeq}$ の実測値から長時間の $L_{Aeq}$ をどの程度予測できるかを都市域の一般住居に到来する騒音を対象に検討することにした。

このような予測にニューラルネットワークを用いるメリットとして、入出力間の非線形性を学習できることや数値以外のカテゴリーデータを数値化して容易に入力に加えられることが挙げられる。今回はカテゴリーデータとして、測定時期と地域性に関する付加情報を加えて予測を試みた。

## 4.2 ニューラルネットワーク

「ニューラルネットワーク」とは生物の脳や神経系にある神経回路網における情報処理を人工的にモデル化したものである。生物の神経回路網は、個々の神経細胞（ニューロン）が多数結合している。ニューロンが情報の入出力を制御する情報処理素子として働いており、細胞体、樹状突起、軸索の3つの部分で構成されている。軸索の末端のシナプスと呼ばれる部位から他の様々なニューロンの樹状突起に結合して情報を伝達する。本来ニューラルネットワークはこの生物のニューロン（神経回路網）のネットワークを指すが、ここでは、神経回路網を人工的にモデル化した情報処理モデルを「ニューラルネットワーク」と呼ぶ。

ニューラルネットにおける計算ユニットは、生体の神経回路網のニューロンに相当し、複数の入力信号から出力信号を求める。そのモデルは、図 4.1 に示す McCulloch-Pitts neuron model で表現される。このモデルの出力信号の計算は、

$$y = f \left( \sum_{j=1}^m w_j x_j + w_0 \right) \quad (4.1)$$

で与えられる。ここで、 $w_j$  は  $j$  番目の入力信号  $x_i$  に対する重みであり、 $w_0$  はバイアスである。また、代表的なニューラルネットのタイプである多層パーセプトロンでは、出力関数として、

$$f(u) = \frac{1}{1 + \exp(-u)} \quad (4.2)$$

なるシグモイド関数 (図 4.2) がよく利用される。

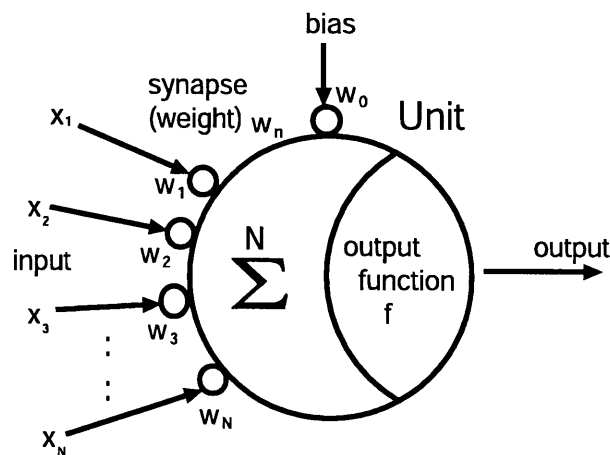


図 4.1: ニューロンモデル

この計算ユニットを層状に並べたものを階層型ニューラルネットワークという。本章ではこの階層型ニューラルネットワークを使用した。

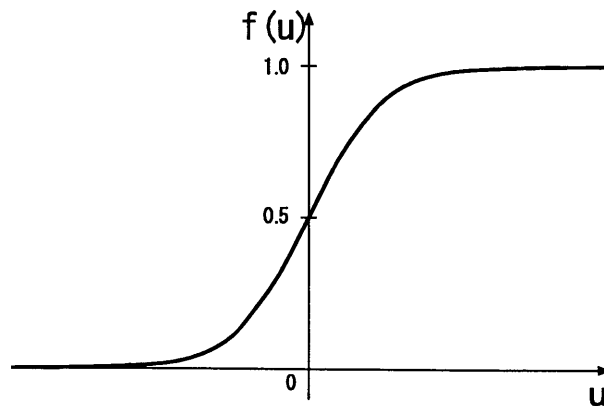


図 4.2: シグモイド関数

### 4.3 データとネットワーク構成

#### 4.3.1 予測ネットワーク検証用データ

予測用ネットワーク作成とその検証に使用した騒音測定データについて説明する。どちらも2.4節で説明した住環境騒音調査データ[4]から24時間分の $L_{Aeq,10min}$ （144個/日）を使用した。 $L_{Aeq,10min}$ のパワー平均を求めることで短時間測定値として様々な時刻で様々な時間長の等価騒音レベル（ $L_{Aeq,T}$ ）、長時間測定値として昼間（6:00～22:00）の等価騒音レベル（ $L_{Aeq,D}$ ）と夜間（22:00～6:00）の等価騒音レベル（ $L_{Aeq,N}$ ）を算出した。同時に調査収集されているデータから「道路の車線数」・「幹線道路からの距離」・「道路からの距離」・「用途地域」を取り出して、図4.3に示すように環境基準を参考にして分類し、「地域類型」として数値を割り当てた。「地域類型」は別に取り出した「測定日」のデータと共にカテゴリデータとして予測に使用した。地域類型の分類は以下の通りである。

1. 幹線道路に近接する空間
2. A地域に属し、2車線以上の道路に面する地域
3. A地域に属すそれ以外の地域
4. B地域に属し、2車線以上の道路に面する地域
5. B地域に属すそれ以外の地域
6. C地域に属し、車線を有する道路に面する地域
7. C地域に属すそれ以外の地域
8. 未分類

※ただし

- A地域：住居専用地域
- B地域：住居地域
- C地域：商業系地域及び工業系地域

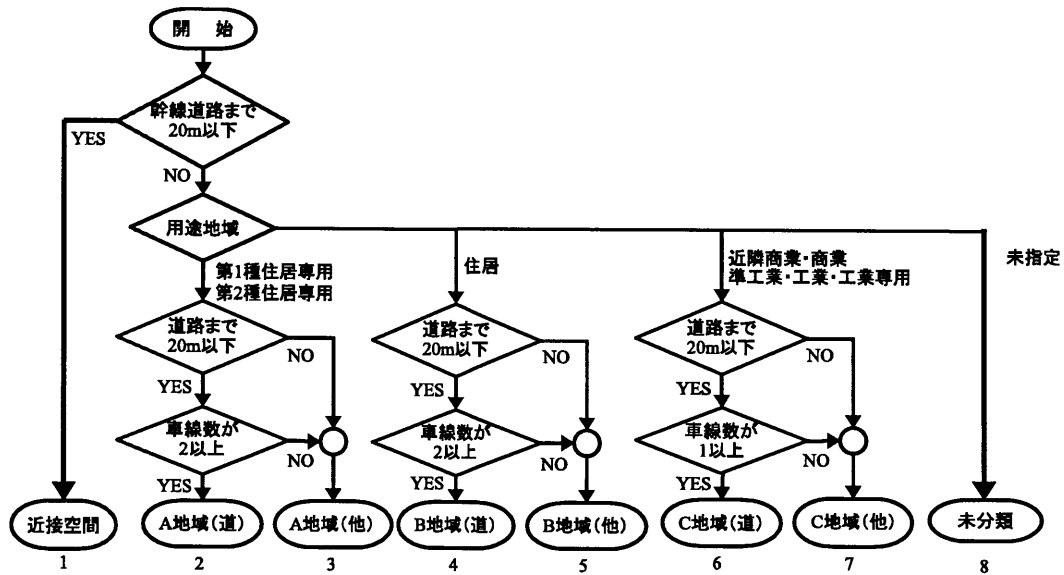


図 4.3: 地域類型の分類フロー図

である。

※またここでは「近接」あるいは「面する」の一つの判断基準として一律に“道路からの距離が 20m 以下”を採用した。

以上で、1 つの測定地点につき

- 短時間測定値 ( $L_{Aeq,T}$ )
- 長時間測定値 ( $L_{Aeq,D}$ 、 $L_{Aeq,N}$ )
- 地域類型 (1～8)
- 測定月 (1～12)

の 4 つのデータが用意できた。これをデータセットと呼ぶことにする。このデータセット 2051 地点分のうち約半分を使い、節 4.3.2 で後述する予測用ネットワークを作成した。(学習用データセット) 残りの半分のデータセットは作成した予測ネットワークの検証に用いた。(評価用データセット)

#### 4.3.2 ネットワークの構成

今回使用した予測用ニューラルネットワークを図 4.4 に示す。3 層の階層型ニューラルネットワークで入力層は 3 素子、中間層は 1 層 5 素子、出力層は 1 素子とした。 $L_{Aeq,T}$ 、測定月、地域類型を入力層に与え、出力層で  $L_{Aeq,D}$  又は  $L_{Aeq,N}$  の予測結果を得る構成となっている。このネットワークを使用することで、時間長や時刻を様々に変えた短時間測定値と地域類型・測定月から長時間測定値の予測を試みた。

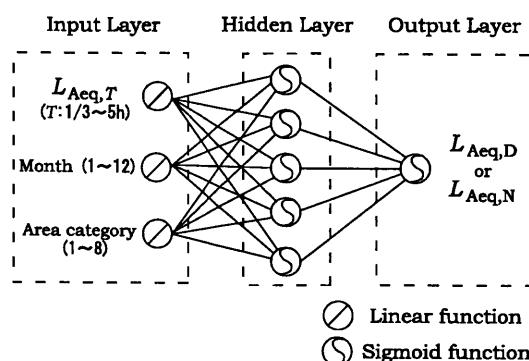


図 4.4: ネットワークの構成

### 4.3.3 ネットワークの学習・評価法

構成を決めたネットワークに、ネットワークの素子間の結合強度を学習させるためのデータを入力する。この操作を“ネットワークの学習”と呼ぶ。ネットワークの学習には逆誤差伝搬法 (BP 法) を元に改良された kick-Out 法 [6] を用いた。

学習に用いるデータセット (学習用データセット) として 2051 地点のデータセットから乱数で半分のデータセットを選ぶ。残りの半分のデータセットを評価用データセットとする。学習及び予測を効率よく進めるために、上記のデータセットのデータは  $-1 \sim 1$  の範囲に収まるような正規化を施した。

学習時には学習用データセットに合ったネットワークを作成するため、データセットを何度も読みかえす作業をする。このようにして学習用データセットによるネットワーク出力の誤差を徐々に小さくしていく。この学習用データセットに対する誤差を「学習誤差」と呼ぶ。学習誤差により学習の進捗が判断できる。学習用データセットによって学習が終了したネットワークに評価用データセットから入力層データのみを入力し、長時間騒音評価量の予測出力を得る。この予測出力と評価用データセット内の長時間測定値の誤差を「評価誤差」と呼ぶ。評価誤差により作成したニューラルネットワークの能力 (汎化性) が判断できる。どちらも RMS 誤差で評価をおこなった。

また、学習時のデータセットの読みかえす回数 (学習回数) は少ないと予測出力を得たときに評価誤差が大きくなってきてしまう。また、多すぎると学習用データセットに特化したネットワークになってしまい、評価誤差が大きくなってきてしまう。このように未知のデータに対応できない学習の状態を過学習と呼ぶ。学習回数について検討した結果を図 4.5 に示す。学習誤差と評価誤差が学習回数 1,000 回あたりから変化が少なくなっており、ほぼ平行になっている。10,000 回前後では評価誤差と学習誤差がほぼ等しい値である。100,000 回に近づくと学習誤差が少し下がってきており、過学習が始まっていると考えられる。以上から本章でのニューラルネットワーク学習回数は一律に 10,000 回とした。

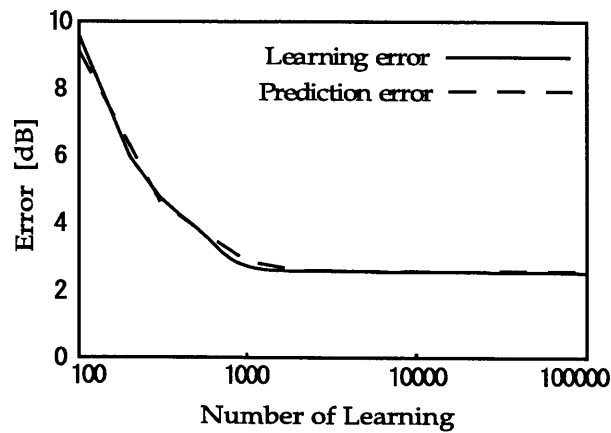


図 4.5: 学習回数と学習誤差・評価誤差の関係

## 4.4 予測結果

### 4.4.1 昼間の騒音を予測

短時間の実測値として 14:00～15:00 を選択した場合の結果の予測値と実測値の関係を散布図に描いたものを図 4.6 に示す。データ点が斜め 45 度の直線に沿っており、予測が正しくできていることがわかる。

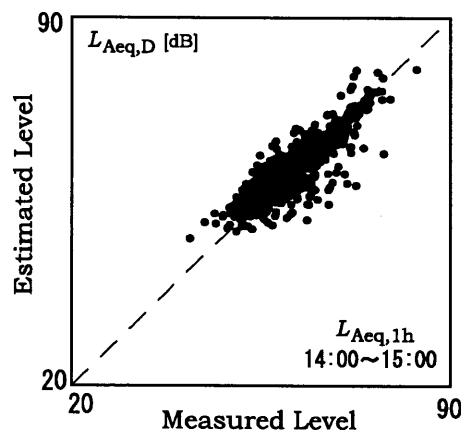
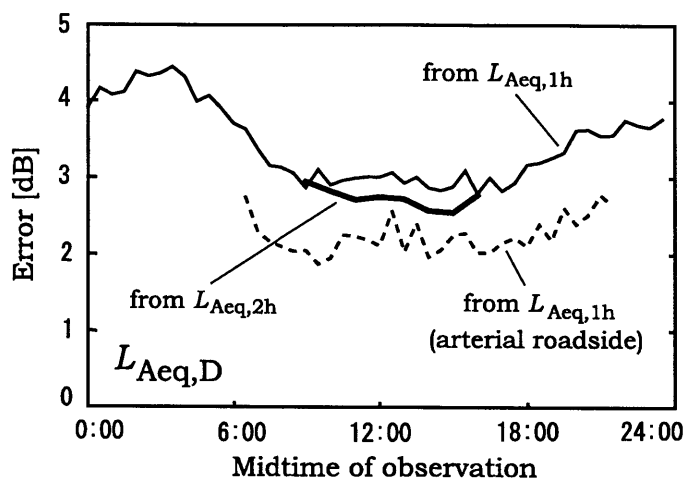
図 4.6:  $L_{Aeq,D}$  の予測結果

図 4.7 は昼間の長時間評価量を予測する際の実測値  $L_{Aeq,T}$  としてどの時間帯でとったらいいかを示した図である。横軸は実測時間の中心時刻となっている。短時間測定値として選ぶ時間帯によって誤差が変化しており、昼間（06:00～22:00）の長時間評価量を予測するため、その中でも比較的レベルの高い 09:00～17:00 の時間帯の実測値からの予測が比較的誤差が小さい。

このうち 1 時間の実測値  $L_{Aeq,1h}$  からの予測では誤差 3dB 程で予測ができていることがわかる。実測時間を 2 時間に延ばした  $L_{Aeq,2h}$  からの予測では 1 時間値に比べ誤差が 0.3dB

図 4.7:  $L_{Aeq,D}$  の評価誤差

程小さくなっている。また、図中の破線は  $L_{Aeq,1h}$  からの予測を“幹線道路から 20m 以内の地域”のみに限定したもので、全地域の誤差より 1dB 程度小さい値となっており時間帯によっては 2dB 以下での予測も可能である。

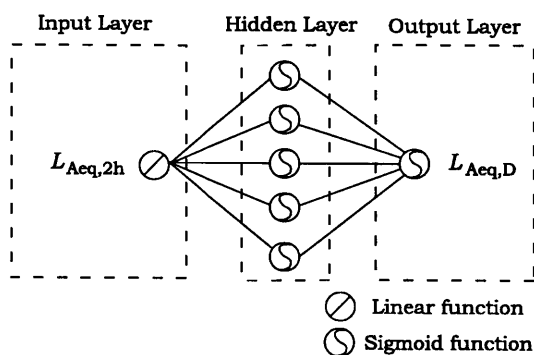


図 4.8: ネットワークの構成

また、線形回帰による検討結果[3]との比較のために予測ネットワークに入力するデータを  $L_{Aeq,2h}$  のみとして予測を行った。予測用ネットワークは新たに 1 入力 1 出力のもの(図 4.8)を作成し、予測を試みた。結果を表 4.1 に示す。ニューラルネットワークによる予測での評価誤差が 2dB 程小さくなっており、線形回帰による予測に比べて精度よく予測できることがわかった。

表 4.1: 線形回帰と評価誤差の比較

ニューラルネットワーク	2.63dB
線形回帰	2.84dB

### 4.4.2 夜間の騒音を予測

短時間の実測値として 22:00～23:00 を選択した場合の予測値と実測値の関係を散布図に描いたものを図 4.9 に示す。データ点が斜め 45 度の直線に沿って密集しており、昼間同様、予測が正しくできていることがわかる。図 4.10 は昼間と同じように短時間実測値

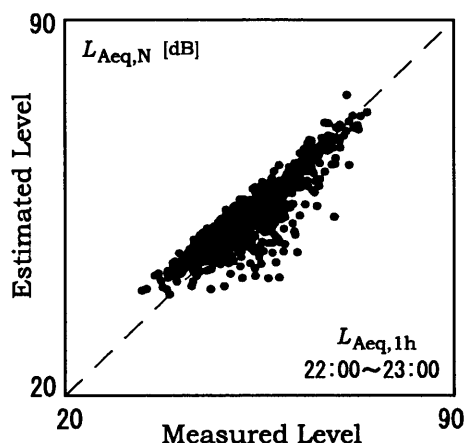


図 4.9:  $L_{Aeq,N}$  の予測結果

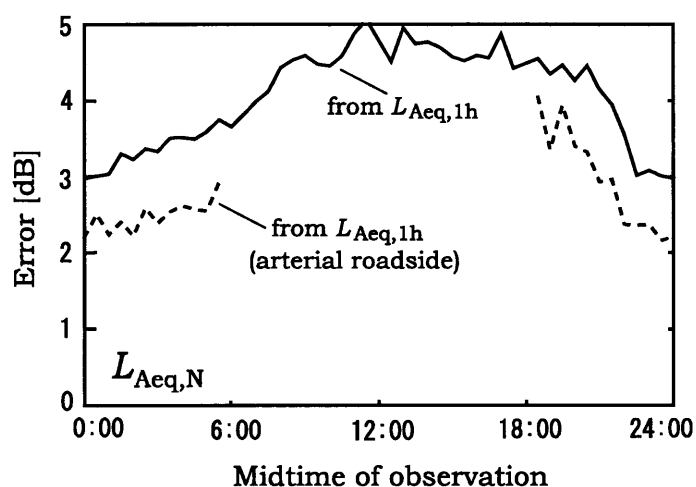


図 4.10:  $L_{Aeq,N}$  の評価誤差

$L_{Aeq,T}$  の時間帯（測定時刻）を変化させたときの  $L_{Aeq,N}$  の評価誤差の推移を見たもので、横軸は測定時間の中心時刻となっている。図より 22:00～02:00 の誤差が比較的小さくなっている。

$L_{Aeq,1h}$  からの予測では 22:00～02:00 の時間帯で誤差 3dB 程で予測ができていることがわかる。また、図中の破線は昼間の時と同じように  $L_{Aeq,1h}$  からの予測を“幹線道路から 20m 以内の地域”のみに限定して誤差をだしたもので、全地域での結果から誤差が 0.8dB 程下がっており、時間によっては 2.2dB での予測ができている。

4.4.3 他都市の騒音を予測

4.3 節で作成したネットワークの検証として名古屋市以外の都市の予測も試みた。第 3 章において測定した津市・鈴鹿市における騒音測定データを入力し予測を行った。14:30～15:30 の実測値から昼間の長時間評価量を予測した結果を図 4.11 に示す。(a) は比較のために名古屋市域のデータを予測させたもので、(b) に示す津市・鈴鹿市における結果と同様に 14:30～15:30 の実測値から昼間の長時間評価量を予測した結果である。(b) を見る

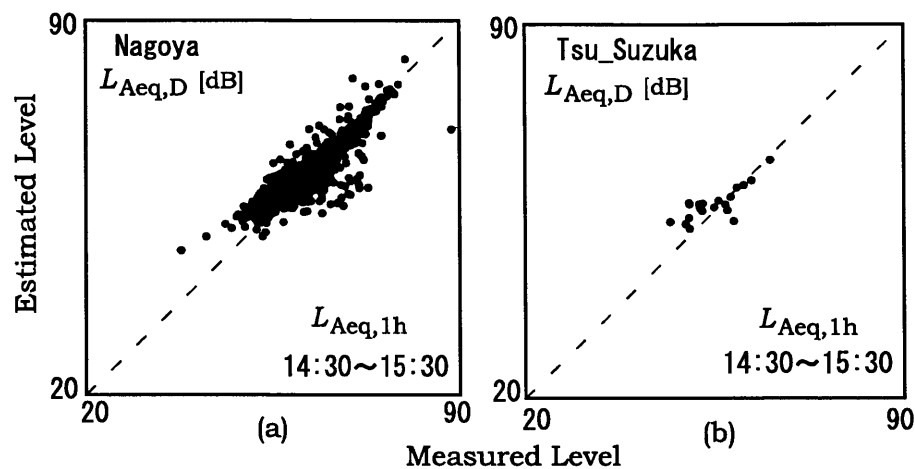


図 4.11: 同じネットワークを使った津・鈴鹿での予測結果

と、点線で示す斜め 45 度の線に沿ってデータが存在している。そのため名古屋市域のデータで学習させたネットワークを使って他都市の騒音を予測できていると考えられる。レベルの大きい測定地点はレベルの小さい測定地点に比べて良好な予測結果になっていることがわかる。また、名古屋市の結果と散布図で比較しても特に違いは見られない。ちなみに評価誤差は (a)2.85dB、(b)3.24dB であり、津市の評価誤差が 3dB を少し越えている。表

表 4.2: 全 20 測定地点の地域類型

	地域類型	名古屋データ	津・鈴鹿測定点
1	幹線道路に近接する空間	20%	P
2	A 地域に属し、2 車線以上の道路に面する地域	4%	C,E,L,Q
3	A 地域に属すそれ以外の地域	20%	A,N,S
4	B 地域に属し、2 車線以上の道路に面する地域	4%	O,T
5	B 地域に属すそれ以外の地域	23%	B,F,H,J,K,M,R
6	C 地域に属し、車線を有する道路に面する地域	25%	D,G,I
7	C 地域に属すそれ以外の地域	3%	(無し)

4.2 を見ると津・鈴鹿での測定データでは幹線道路に近接する地域が地点 P の 1 件のみと名古屋市域の測定データの割合に比べて少なくなっている。地点 P における予測誤差は

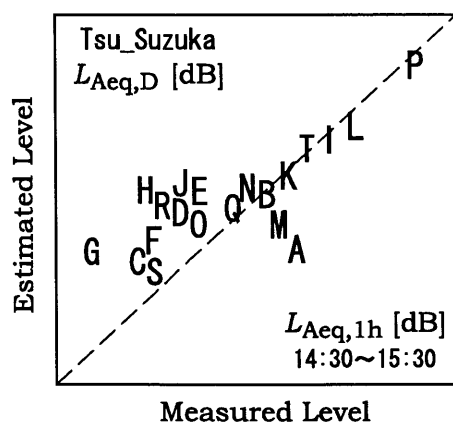


図 4.12: 津・鈴鹿での予測結果（拡大）

図 4.12 を見ると、比較的小さくなっている。またレベルが低い測定地点で比較的予測誤差が大きくなっている。津・鈴鹿での測定データでは、幹線道路近接空間での測定が少なかったため、全体での誤差が少し大きくなったと考えられる。以上から、名古屋市域の測定データで作られたニューラルネットワークから他都市の予測が可能であることがわかる。

## 4.5 まとめ

今回構成した NN により  $L_{Aeq}$  の短時間実測値と測定月や地域類型の情報から長時間の  $L_{Aeq}$  を予測する場合、 $L_{Aeq,D}$  については 9～17 時、 $L_{Aeq,N}$  については 22～1 時の内の 1 時間の実測値  $L_{Aeq,1h}$  を用いれば誤差は約 3dB となる。ただし、近接空間に限れば誤差は約 2dB となり、観測時間を 2 倍に拡大した場合（全地域における  $L_{Aeq,2h}$  からの  $L_{Aeq,D}$  の予測時）の誤差よりも小さいことが確認できた（図 4.13）。このことは道路交通騒音の影響の大きい地域では測定時間を短く設定しても他地域と同程度の精度を確保できることを示唆している。

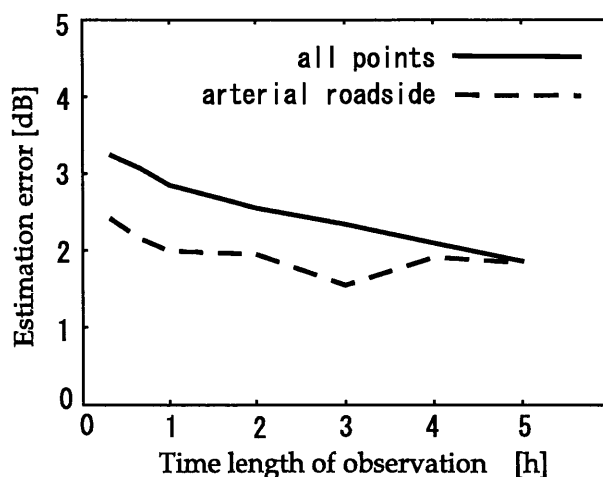


図 4.13: 幹線道路近接空間での実測時間長延長（15 時中心）

また、第3章にて測定を行った、津市や鈴鹿市におけるデータを入力することによって、今回作成したニューラルネットワークを名古屋市だけでなく他都市での予測にも利用できる可能性があることを示した。

## 第5章 総括

環境アセスメントをはじめとする騒音の住環境への影響評価にあたっては、予測の精度もさることながら、評価のベースとなる騒音の現況を正しく把握することも重要である。また、自治体に寄せられる騒音に関わる苦情相談への対応など、限られた機材や人員で対応せざるを得ない状況もあり、以前より騒音測定の実率化（省力化・自動化）が求められている。以上のような背景にたつて、本論文では騒音測定の実率化を目的に

- 携帯型音楽プレーヤーによる測定補助（第3章）
- ニューラルネットワークを用いた長時間評価量の予測（第4章）

という2つの異なるアプローチによる検討を行った。

第3章では計測面からの検討として、普及が目覚ましい携帯型音楽プレーヤーを補助測定装置として利用することを提案した。騒音は計量法の定めにより、JIS規格に従った計測器（騒音計）を用いて測定することになっているが、精度的な面を無視すれば録音機能を持つプレーヤーで録音した音からであっても、PCで騒音レベルを算出することが可能である。これらの機器は価格も安く、大量に同時使用することで測定の実率化に大いに貢献できるものと考えられる。本論文では、携帯型音楽プレーヤーの圧縮録音機能を使用した測定方法を示すとともに、実際に津市や鈴鹿市内20箇所の住居で24時間の連続測定を実施して精度的な検証を行なった。その結果、0.5dB程度の誤差で $L_{Aeq,10min}$ を読み出すことができ、騒音計のバックアップとして十分に使用可能であることを確認した。また内蔵マイクの使用により、プレーヤー単体でも1日24時間に亘る測定を実施でき、10分間毎の騒音評価量 $L_{Aeq,10min}$ を誤差2dB以下で算出できることを確認した。これは事前調査等に十分に利用できる精度である。

第4章では、予測面からの実率化の検討として、ニューラルネットワークを用いて短時間の実測値から長時間の騒音評価量を予測することを試みた。これは、実測時間の短縮により労力を削減しようという考え方である。現実の測定においても測定者が代表的と判断した時間帯の実測で代用する場合がある。本論文ではニューラルネットのメリットを生かすことで、測定地点の地域性や時期に関するデータを加えて予測を行なうことを提案し、実際に1時間の実測値 $L_{Aeq,1h}$ から昼間（6～22時）と夜間（22～6時）を代表する評価値 $L_{Aeq,D}$ と $L_{Aeq,N}$ を精度良く予測（RMS誤差:約3dB）できることを示した。幹線道路近傍に地域を限定すれば精度がより高く（同:約2dB）なることも確認できた。また今回作成したニューラルネットワークは他都市での利用の可能性もあることがわかった。

本論文で検討を行ったこれら2つの研究は、主に機材や労力等に制約がある場合の騒音測定効率化に大いに貢献できるものと期待している。なお今後の課題としては

- 携帯型音楽プレーヤーによる測定補助
  - － レベル校正の簡易化・高精度化
  - － 使用マイクロホンの周波数特性の補正法に関する検討
- ニューラルネットワークを用いた長時間評価量の
  - － カテゴリデータの追加等による全地域での予測精度の向上
  - － ネットワークの構造や学習法に関する検討
  - － 名古屋・津市以外のデータの追加並びに精度調査

などが挙げられる。

## 謝辞

本研究の遂行に当たり、多大なるご指導と助言を賜った、野呂雄一助教授、竹尾隆教授、塩見繁教授、愛知工業大学の久野和宏教授に心より感謝の意を表します。また、本研究のためにご協力下さった山本好弘技官、並びに院生学部生諸氏に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 日本騒音制御工学会, 騒音法令研究会, “騒音規制の手引き” (技報堂出版, 2002)
- [2] 三重大学工学部, “住居の騒音暴露量と住民の音環境意識” (1999)
- [3] 大石弥幸, 小倉敏満, 三品善昭, “環境騒音における長時間  $L_{Aeq}$  の短時間測定による推定”, 日本音響学会 2002 年春季研究発表会 講演論文集, pp.775-776 (2002.3)
- [4] 久野和宏, “騒音と日常生活 社会調査データの管理・解析・活用法” (技報堂出版, 2003)
- [5] 久野和宏, 野呂雄一, “騒音の計測と評価 dB と  $L_{Aeq}$ ” (技報堂出版, 2006)
- [6] Ochiai, Toda, Usui, “Kick-Out Learning Algorithm to Reduce the Oscillation of Weights”. Neural Networks, Vol.7, No.5, pp.797-807, (1994)
- [7] CH3's Homepage (<http://www.din.or.jp/ch3/index.html>) SCMPX
- [8] 深川 雄司, 野呂 雄一 “騒音測定におけるポータブル MP3 レコーダーの活用について” 平成 17 年度電気関係学会 東海支部連合大会 講演論文集, O-516, (2005)
- [9] 深川 雄司, 後藤 優一, 野呂 雄一, 竹尾 隆 “録音機能を有する携帯型音楽プレーヤーの騒音測定への応用” 日本音響学会 騒音・振動研究会, N-2006-12
- [10] 深川 雄司, 後藤 優一, 野呂 雄一, 竹尾 隆 “メモリーオーディオプレーヤーを活用した環境騒音の長時間測定・評価について” 日本音響学会 2006 年春季研究発表会 講演論文集, 3-9-6, (2006)
- [11] 後藤 優一, 深川 雄司, 野呂 雄一, 竹尾 隆 “環境騒音の長時間監視への携帯型音楽プレーヤーの利用” 平成 18 年度電気関係学会 東海支部連合大会 講演論文集, O-236, (2006)
- [12] 深川 雄司, 後藤 優一, 野呂 雄一, 竹尾 隆 “携帯型音楽プレーヤーを利用した環境騒音の長時間測定” 日本音響学会 2006 年秋季研究発表会 講演論文集, 2-3-16, (2006)
- [13] 野呂 雄一, 後藤 優一, 深川 雄司, 久野 和宏 “携帯型音楽プレーヤーを利用した環境騒音の長時間観測” 騒音制御工学会平成 18 年度秋季研究発表会講演論文集, 2-1-16, (2006)

- [14] 深川 雄司, 野呂 雄一, 竹尾 隆, 久野 和宏 “ニューラルネットワークを用いた環境騒音の短時間測定値からの長時間  $L_{Aeq}$  の予測” 平成 18 年度電気関係学会 東海支部 連合大会 講演論文集, O-233, (2006)
- [15] 野呂 雄一, 深川 雄司, 久野 和宏 “ニューラルネットワークを用いた短時間騒音測定値からの長時間  $L_{Aeq}$  の予測” 騒音制御工学会平成 18 年度秋季研究発表会講演論文集, 1-1-05, (2006)