



公共空間におけるアナウンスに関する研究

大西, 豊

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2011-03-07

(Date of Publication)

2011-05-23

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙3147

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2003147>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸大学博士論文

公共空間におけるアナウンスに関する研究

平成 23 年 1 月

大西 豊

目次

はじめに	1
第1部 公共空間におけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性	3
第1章 第1部序論	3
1.1 研究の背景	3
1.2 従来の研究	4
1.3 研究の目的	5
1.4 第1部の構成	5
第2章 地下鉄駅構内における暗騒音	7
2.1 測定	7
2.2 分析	9
2.3 分析結果	12
2.4 第2章のまとめ	19
第3章 空港旅客ターミナルにおける暗騒音	21
3.1 測定	21
3.2 分析	23
3.3 分析結果	26
3.4 第3章のまとめ	34
第4章 地下街における暗騒音	35
4.1 測定	35
4.2 分析	37
4.3 分析結果	39
4.4 第4章のまとめ	46
第5章 電車内における暗騒音	49
5.1 測定1: 運行区間全体の傾向	49
5.2 測定2: 実際のアナウンス放送中の傾向	56
5.3 考察	59
5.4 第5章のまとめ	59
第6章 アナウンスの現状	61
6.1 分析対象	61
6.2 地下鉄駅構内のアナウンス	61
6.3 地下鉄電車内のアナウンス	63
6.4 第6章のまとめ	65
第7章 第1部のまとめ	67
7.1 考察	67
7.2 まとめ	69

第2部 暗騒音レベルの変動を考慮した拡声レベルの調整法	71
第1章 第2部序論	71
1.1 研究の背景	71
1.2 従来の研究	71
1.3 研究の目的	73
1.4 第2部の構成	73
第2章 聴感実験1: 拡声レベルの増幅量及び立ち上がり時間と不快感の関係 ..	75
2.1 実験方法	75
2.2 実験結果と考察	83
2.3 第2章のまとめ	90
第3章 聴感実験2: 拡声レベル及び暗騒音レベルの絶対値と不快感の関係 ...	91
3.1 実験方法	91
3.2 実験結果と考察	95
3.3 第3章のまとめ	104
第4章 聴感実験3: 暗騒音の条件と拡声レベル調整の必要性の関係	105
4.1 実験方法	105
4.2 実験結果と考察	110
4.3 第4章のまとめ	114
第5章 第2部のまとめ	115
総括	117
文献	119
謝辞	121

はじめに

公共空間は、不特定多数の人々が集い活動する空間である。人々が安全で快適な時間を過ごすためには、正確な情報伝達が不可欠である。その一つとして、音による情報伝達は数多く行われている。

不特定多数の人々に情報伝達を行う手段の一つとして、アナウンスがある。アナウンスを用いることの利点は、多数の人に一齐に素早く情報を伝達できることが挙げられる。しかし、空間の音声伝達性能が低いと、情報が正確に伝達されない危険性がある。ここで、音声伝達性能とは空間で音声を聴取したときに聴き手が評価する音声伝達の良好さである。つまり、同じ空間であっても聴き手によって評価は異なる。特に聴覚が衰えた高齢者や聴覚障害者と若年者とは、音声伝達性能が異なることは十分考えられる。そのため、高齢者や障害者を含め多数の人々が利用する公共空間では、あらゆる人々にとって最適な音声伝達性能を確保しなければならない。

しかしながら、実際の公共空間では、アナウンスが聴き取りにくいと感じることがある。このような問題は、拡声設備の運用が、どのように放送すればより聴き取りやすくなるか分からないまま、経験的基準によって行われた場合に発生すると考えられる。

公共空間における音響的基準に言及している法律には、消防法やバリアフリー新法がある。消防法では、火災時に建物内全ての人が安全に避難を開始できるよう、非常放送設備に求められる最低限の音圧レベルを定めたものであり、これを日常のアナウンスに適用することはできない。一方バリアフリー新法のガイドライン[1]にも、アナウンスについての記述があるが、音圧レベル等、客観的基準にまでは言及していない。

本研究における最終的な目標は、公共空間におけるアナウンスについて、より多くの人々にとって、快適で聴き取りやすいアナウンスを設計することである。

アナウンスを設計するには、アナウンスそのもののみならず、音源から受聴者の耳に至るまでの様々な音響的な要素を考慮しなければならない。まず、音の伝わり方は空間内で均一ではないため、空間内の音圧レベル分布や、残響の特性を考慮しなければならない。これらの特性は、室内音響特性と呼ばれる。また、アナウンスは利用者に伝達される際、それ以外の音、すなわち暗騒音による妨害を受ける。これは聴覚現象の一つであるマスキング現象であり、現実の空間で音と接する限り避けることはできない。

本論文において研究対象とするのは、このアナウンスに対する暗騒音である。大きく分けて、2つの課題に取り組む。1つ目は、アナウンスによる情報伝達が必要とされる公共空間における、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにすることである。2つ目は、その暗騒音レベルが急激に変化する場合のアナウンスの拡声レベルの適切な調整方法を明らかにすることである。

本論文は2部構成とし、1つ目の課題である、公共空間におけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性を第1部にて、2つ目の課題である、暗騒音レベルが急激に変化する場合のアナウンスの拡声レベルの適切な調整方法を第2部にて取り扱うこととする。

第1部

公共空間におけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性

第1章 第1部序論

1.1 研究の背景

都市空間に点在する旅客施設や商業施設などは、公共空間と呼ばれ、都市生活を営む人々の生活の舞台となっている。ここでは、不特定多数の人々が活動するため、正確な情報伝達手段が重要である。空間全体の利用者に対して一斉に情報伝達が可能なアナウンスは、有用な手段であり、日常的に行われている。アナウンスは、できるだけ多くの人々に対して正確にかつ聴き取りやすく伝達されなければならない。

アナウンスの聴き取りは、暗騒音 (アナウンス以外の全ての音) によるマスキングの影響を受ける。したがって、最適なアナウンスを設計するためには、その場の暗騒音の音響特性を把握する必要がある。

一般に音響特性は、時間特性、周波数特性、空間特性の3つの特性で表され、それぞれがマスキングに影響する。例えば、時間特性によるマスキングは継時マスキングと呼ばれ、マスカが提示 (妨害する音) されている前後の音がマスクされる現象である。周波数特性によるマスキングは、周波数マスキングと呼ばれ、マスカとマスキ (妨害される音) の周波数が近いほどマスキング量は大きい。空間特性によるマスキングは、両耳マスキングと呼ばれ、両耳の入力信号が異なることにより生じるマスキング現象である。

当然のことながら、暗騒音の音響特性は、アナウンスを放送する空間それぞれについて、竣工後もしくは開業後に実測調査をすれば明らかにできる。しかし、設計の観点に立てば、建築前に開業後の特性を推定できることが望ましい。実際の暗騒音の音響特性は、空間の建築諸元の他に、音源の種類などによって時々刻々と変化すると考えられる。暗騒音の音源の種類は、空間の用途、利用人数、地域、設備仕様など、様々な要因で異なり、空間によって固有のものである。しかし、これらの要因から何らかのパラメータにより音響特性を推定できれば、適切なアナウンスを設計することが可能となる。また、推定された音響特性は既存の施設にも適用することができる。

不特定多数の人々が利用する公共空間では、利用者の足音や話し声などが音源となり得ることなどから、正確な推定は困難で、実際に利用されている状態での系統的な調査によるデータを蓄積することが必要である。

1.2 従来の研究

公共空間において騒音測定を行った研究例として、以下のものが挙げられる。

Mohanranら[2]は、カルカッタ（インド）の地下鉄駅 3 駅のプラットホームにおいて騒音測定を行った。騒音レベルや周波数特性の分析により、駅構内での騒音レベルに電車音の寄与が高いことや、電車音が無い場合には換気装置が支配的な音源であることを示している。また、アナウンスや大きな声の会話などで騒音レベルが上がることも指摘している。

横山ら[3]は鉄道駅や地下商店街、空港ロビーなど計 11 ヶ所を対象に、環境音の実測調査を行い、 L_{Aeq} と L_{eq} の周波数特性を求めた。その結果、これらの空間の L_{Aeq} は高い傾向が見られるが、吸音処理によって改善が見られることを示した。また、橋ら[4]は、鉄道駅 4 駅のコンコースにおける環境音の騒音レベルを比較調査し、吸音処理が施された駅で騒音レベルが低いことを示した。なおこれらの調査では、環境音にアナウンスが含まれていたかどうかは明らかではない。

濱口ら[5]は、鉄道駅 6 駅のプラットホームにおける時間率騒音レベルを調査し、 L_5 と L_{50} との関係から通過列車音が音情報（アナウンス及びチャイム）の聴取を妨げる要因であると指摘した。しかし、求められた時間率騒音レベルには、音情報の影響が含まれている。

Satoら[6]は、鉄道駅 3 駅のプラットホームと改札口における騒音レベルを調査した。音源の分析も行い、騒音レベルが大きく変動する要因として、電車音とアナウンスを挙げた。

藤井ら[7]は、駅コンコースや地下ホームなどの騒音測定を行い、アナウンスを含んだ騒音レベルの駅による違いと日変動を求めた。また、周波数特性の分析例を示し、電車音やアナウンスが騒音レベルや周波数特性を変動させる要因であることを示唆している。

竹内[8][9]は、東京都内及び札幌市内の地下街で環境音の実測調査を行い、東京都内では昼の時間帯における L_{Aeq} の 90%レンジの値が 62dB から 74dB、札幌市内では午前から昼にかけての時間帯における L_{Aeq} の 90%レンジの値が 57dB から 75dB であることを示した。ただし、環境音にアナウンスが含まれていたかどうかは明らかではない。

このように、様々な公共空間において、騒音測定により環境音の音響特性を記述した研究は数多く見られるが、環境音に含まれるアナウンスの影響について、明確に分離したものは見られず、アナウンスに対する暗騒音の音響特性については不明である。

上記の研究は、全て建築空間における公共空間であるが、公共交通機関の乗物もまた、不特定多数の人々が利用する公共空間であると言える。鉄道車両内についても、以下の研究例がある。

末岡ら[10]は東京都内において、地下鉄 14 路線及び在来線 35 路線の車内で環境音の実測調査を行い、地下鉄車内の騒音レベルの平均値が約 77dB、在来線車内の騒音レベルの平均値が約 73dB であることを示した。

木下ら[11]は地上及び地下区間の 4 路線 5 車種について、通常運転中の車内で環境音の実測調査を行った。その結果、速度が増すにつれて騒音レベルは上昇し、高速走行 (120km/h) と低速走行 (20km/h) では約 20dB の差があること、地上走行と地下走行では 10dB 程度の差があることを示した。また、騒音のスペクトルは広域になるにしたがって 5dB から 10dB/oct. で減少するが 500Hz から 1kHz の帯域ではやや平坦なスペクトルとなることも示している。

しかし、これらの研究についても、環境音にアナウンスが含まれていたかは明らかでは無い。

このように、電車内における環境音に関する研究についても、環境音に含まれるアナウンスの影響について、明確に分離したものは見られず、アナウンスに対する暗騒音の音響特性については不明である。

1.3 研究の目的

本研究では、アナウンスが必要とされる様々な公共空間において、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにする。具体的には、地下鉄駅構内、空港旅客ターミナル、地下街、電車内における、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにする。

1.4 第1部の構成

第1部は、全7章で構成されている。本章に続き、第2章では地下鉄駅構内、第3章では空港旅客ターミナル、第4章では地下街、第5章では電車内について、それぞれアナウンスに対する暗騒音の音響特性について述べる。第6章では、地下鉄駅構内と地下鉄電車内におけるアナウンスの現状について述べる。第7章ではこれらのまとめを述べる。

第 1 部

第2章 地下鉄駅構内における暗騒音

本章では、地下鉄駅構内を対象とし、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにする。

地下鉄は、都市部における移動手段として、老若男女を問わず多くの人々に利用されている。また、交通バリアフリー法やバリアフリー新法の制定を受け、駅施設や車両のバリアフリー化が進んでおり、高齢者や障害者にとってもより利用しやすくなることが求められている。音環境としては、電車の音や雑踏などで非常に喧騒的であると日常的に感じられる空間である。また一方で、電車の発着を告げるアナウンスや、音ガイドライン[1]に定められたサイン音など、数多くの音による情報伝達が行われている。

2.1 測定

全国の地下鉄駅構内を系統的に測定するために、暗騒音の特性に影響すると想定されるファクターを予め抽出して、測定条件を決定した。主なものを挙げると、利用者数、測定場所、電車音の有無などである。

2.1.1 測定対象駅と測定点

地下鉄駅には、ターミナル駅や郊外駅など様々ある。ターミナル駅のように、利用者数の多い駅ほど混雑しやすく、また喧騒的になりやすいと考えられるため、測定駅は1日の乗降客数を基に選定した。1日の乗降客数は年度や時期によって多少増減するが、各都市の交通局が定期的に公表している場合が多く、容易に入手できるため、汎用性の高い指標であると考えられる。

具体的には、国内5都市の20駅で測定を実施した。Table 1.2.1 に測定した駅と測定点数を示す。これらの駅は、各都市で1日の乗降客数の多い駅、少ない駅、及びその間の駅を含むように設定した。1日の乗降客数は都市交通年報平成16年度版[12]から求めた。これに記載のなかった駅については、各交通局から提供された資料から求めた。資料の集計年度と測定日の違いは、3年以内である。複数の路線がある乗換駅については路線ごとに乗降客数を求めた。

地下鉄駅は改札階とプラットホームの2フロアに分かれている場合が多く、それぞれのフロアで音響的特徴は大きく異なることから、測定は両方のフロアで行った。測定点数は各駅につき改札口1ヶ所から4ヶ所、プラットホーム2ヶ所から6ヶ所とした。測定点は、利用者の動線が集中する地点として、改札階では改札口付近、プラットホームでは階段やエスカレータ付近とした。これらは、前述のガイドライン[1]でも、音響情報が必要な場所とされている。駅によって、複数の改札口が設置されている場合は、利用者数等の条件が異なることから、利用者が多いものと少ないものについて測定した。また、プラットホームについても、階段、エスカレータ等は複数設

第1部

置されているため、これも利用者の多いものと少ないものについて測定した。

改札口の測定点は、自動改札機からの距離が約 5m 以内の位置とした。プラットホームの測定点は、階段やエスカレータ付近で、通行の妨げとならないように、柱や壁の前とした。なお、測定対象駅には、電車が長時間停留する終点駅や、改札口又はプラットホームが地上にある駅は含まれていない。

Table 1.2.1 List of measuring stations and points.

都市	駅	路線	乗降客数, 千人	測定点数	
				改札口	プラットホーム
I	1	a	128	2	6
	2	a	28	1	3
	3	b	11	1	3
	4	a	7	1	3
II	5	c	108	4	4
	6 a)	c	64	2	4
		d	45	-	2
	7	c	21	2	4
	8	d	21	1	3
9	c	4	1	3	
III	10 a)	f	270	2	2
		e	87	2	2
	11 a)	f	190	2	2
		g	121	2	2
	12 a)	g	57	2	3
		e	49	1	2
	13	g	56	2	4
14	g	9	1	5	
IV	15	h	70	2	4
	16	h	30	2	4
	17	h	9	1	3
V	18	i	105	2	4
	19 a)	j	78	1	2
		i	60	1	2
	20	j	13	1	2

a) 乗換駅

2.1.2 測定時間と時間長

1 日の中でも、時間帯によって利用者数が変化するため、全ての駅の全ての測定点で、朝のラッシュ時、昼前の閑散時、夕方のラッシュ時の3回ずつ測定した。ラッシュ時の測定時間帯は、駅員に最も混雑する時間を尋ね、決定した。駅により異なるが、おおよそ朝のラッシュは8時前後、夕方のラッシュは18時前後である。測定は全て平日に行った。

また、測定駅の電車の運行間隔は、最も長い場合で10分間であったため、1回の測定時間長は10分間とした。したがって、各測定には電車の発着が少なくとも1回含まれている。

2.1.3 測定方法

モノラル録音とバイノーラル録音の、2通りの録音を行った。モノラル録音は、騒音計 (RION, NL-32) を用いて WAVE レコーダ (ROLAND, R-1) に録音した。マイクの高さは約 1.2m で、柱や壁を背にした測定者が手に持ち録音した。バイノーラル録音は、直立した測定者の両耳にバイノーラルマイク (B&K, Type4101) を装着し、プリアンプ (B&K, NEXUS-Type2690) を通して DAT レコーダ (SONY, TCD-D100) に録音した。測定者の両耳には、外耳道の影響を防ぐため、耳栓を装着した [13]。

モノラル録音は、全ての測定、つまり全測定点、全時間帯で行った。バイノーラル録音は、各駅の改札口とプラットホームの1ヶ所ずつ、最も混雑すると考えられる測定点において、全時間帯で行った。

2.2 分析

2.2.1 音源の同定

測定したデータには暗騒音だけでなく、アナウンスも含まれているので、分析に先立ち、分析対象の暗騒音を分離すると同時に、暗騒音を構成している音源を把握するために、全ての測定において録音されている音源の種類を同定した。

まず、全ての10分間の測定データを10秒間ごとに60個のサンプルに分割した。次に、防音室内で、ヘッドホンを通してモノラル録音を聞き、10秒間のサンプルごとに聞こえた音源の種類を同定した。実験者は聞こえる音の全ての音源を同定できるまで録音を繰り返し聞いた。構内アナウンス、サイン音、電車音、設備音、足音、会話など、聞こえたあらゆる音源の種類を同定した。

2.2.2 分析対象

本研究の目的であるアナウンスに対する暗騒音を分析するには、暗騒音の明確な区別が必要である。本研究では、音源の同定結果をもとに、Fig. 1.2.1 に示す構内放送以外を暗騒音と定義した。

改札口の構内放送には、様々なお知らせや啓発等を不定期に放送する「各種アナウンス (録音)」や、混雑時等に必要に応じて駅員が生放送する「駅員アナウンス (生声)」がある。プラットホームでは、これらに加えて、電車の到着や発車を知らせる「電車運行アナウンス (録音)」や、その前後に流れる「電車到着チャイム」と「電車発車チャイム」がある。いずれも、天井に設置された多数のスピーカからコンコース又はプラットホームに一斉に流れるものである。

なお、誘導鈴やエスカレータの音声案内は暗騒音とした。これらは、構内放送と同様に人為的に流される音情報であるが、構内放送と違い、途切れることなく連続的に流れている。したがって、時折流れる構内放送に対しては暗騒音となる。また、各々のスピーカから局所的に流れており、情報の受信者が周囲に居る利用者に限られる。以上2つの理由から、本研究では誘導鈴やエスカレータの音声案内を暗騒音とした。

2.2.3 分析方法

騒音レベルと周波数特性は時間変動するため、物理量としてそれぞれ L_{Aeq} と、1/1 オクターブごとの L_{eq} を用いた。空間特性を表す物理量は、両耳間相関度[13]-[15]を用いた。両耳間相関度は聴感印象の一つである空間印象に対応する物理指標であり、またマスキングにも影響することが知られている[15]。

分析手順は、以下の通りである。まず全測定データ (改札口 39 カ所×3 回の 117 個、プラットホーム 78 カ所×3 回の 234 個) について、10 秒間のサンプルごとに各物理量を算出した。次に、分析対象である暗騒音のサンプル、つまり音源の同定結果より、暗騒音のみが聞こえるサンプルを抽出した。さらに、それらを電車音がある場合と無い場合に分けた。

次に、各測定データの物理量の代表値として、電車音がある場合と無い場合それぞれについて、抽出したサンプルの、 L_{Aeq} 及び 1/1 オクターブバンドごとの L_{eq} のエネルギー平均と、両耳間相関度の算術平均を求めた。

改札口とプラットホーム、電車音の有無を組み合わせた 4 条件について、分析に用いた測定データの数と、それぞれの時間長 (サンプル数×10 秒) の平均値及び標準偏差を Table 1.2.2 に示す。なお、測定データによって、各条件に対応するサンプルが得られないことがあるため、分析に用いた測定データの数はその総数より少なく、電車音がある場合と無い場合で異なる。さらに、電車音がある場合と無い場合の暗騒音として抽出したサンプルの数は、測定データ内及び測定データ間で一致しないため、上述した物理量の代表値は時間長にばらつきがある。

Table 1.2.2. List of number of measurements and length of time.

場所	電車音	サンプル数	1サンプルあたりの時間長	
			平均値, 秒	標準偏差, 秒
改札口	有	101	126	79
	無	108	429	106
プラットホーム	有	233	167	60
	無	227	223	99

2.3 分析結果

2.3.1 騒音レベル

改札口とプラットホームの、電車音がある場合と無い場合の L_{Aeq} の関係を Fig. 1.2.2 に示す。1つのプロットは、1回の測定結果を示す。図中の対角線は、電車音がある場合と無い場合の L_{Aeq} が等しいことを表す。改札口の場合 (○)、ほぼ対角線上にあり、両者に大差は無い。一方、プラットホームの場合 (●)、全て対角線より上にプロットされており、電車音がある場合の L_{Aeq} が大きいと言える。また、電車音が無い場合の L_{Aeq} と電車音がある場合の L_{Aeq} には相関関係が見られない。

以下で、時間帯、測定点、駅の違いが L_{Aeq} に及ぼす影響について分析する。

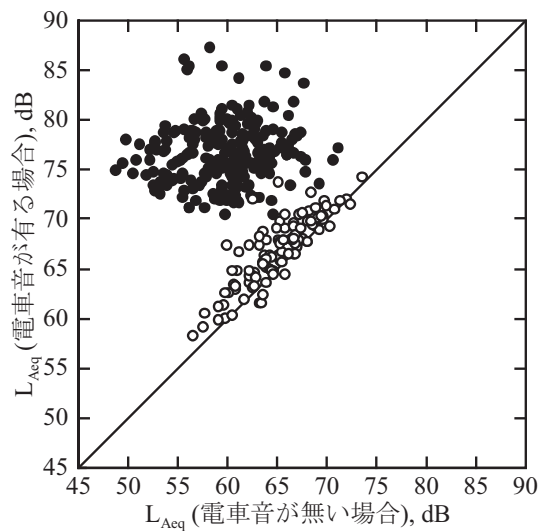


Fig. 1.2.2 Relation between L_{Aeq} in the presence and the absence of trains. Open circle: ticket gate; closed circle: platform.

まず、時間帯の違いが L_{Aeq} に及ぼす影響を検討した。全ての測定点について、朝ラッシュ時と閑散時の差と、夕ラッシュ時と閑散時の差を算出した。累積頻度曲線を Fig. 1.2.3 に示す。朝夕のラッシュ時と閑散時の差の 90%レンジは、いずれの場合も約 ± 5 dB 以内である。詳しく見ると、プラットホームの電車音がある場合 (Fig. 1.2.3 (c))、累積頻度曲線が L_{Aeq} の差が ± 0 dB の付近で急峻に上昇しており、ラッシュ時と閑散時の差が小さいことを示している。これは、電車音が支配的で、電車音のレベルは時間帯に関わらず変わらないためと考えられる。他の3つの場合は、朝夕のラッシュ時は閑散時に比べてレベルがやや高い傾向が見られる。これは、ラッシュ時は人通りが多く、会話や足音などが多いためと考えられる。また、いずれの場合も、朝ラッシュ時と夕ラッシュ時の差 (実線と点線の差) は、閑散時との差に比べて小さい。

次に、測定点の違いが L_{Aeq} に及ぼす影響を検討した。改札口は 20 駅中、測定点が複数ある 13 駅について分析した。プラットホームは、全ての駅について分析した。同一駅内の、測定点による L_{Aeq} の最大値と最小値の差を、時間帯ごとに算出した。累積頻度分布を Fig. 1.2.4 に示す。Fig. 1.2.4 (a) (b) (c) は 90%レンジが約 5dB 以内であるが、プラットホームの電車音が無い場合 (Fig. 1.2.4 (d)) で、他と比べて差が大きい。測定時の印象では、特に差が大きい駅は、測定点の人通りの数に差のある場合が多く、人通りの数が多い測定点では L_{Aeq} が高かった。なかでも、朝ラッシュ時 (太線) は、人通りが特定の場所に集中する傾向があり、 L_{Aeq} も差が大きくなった。人通りの数に差が出る要因としては、改札口との距離や乗り換えの動線、エスカレータの有無などが関係していると考えられる。

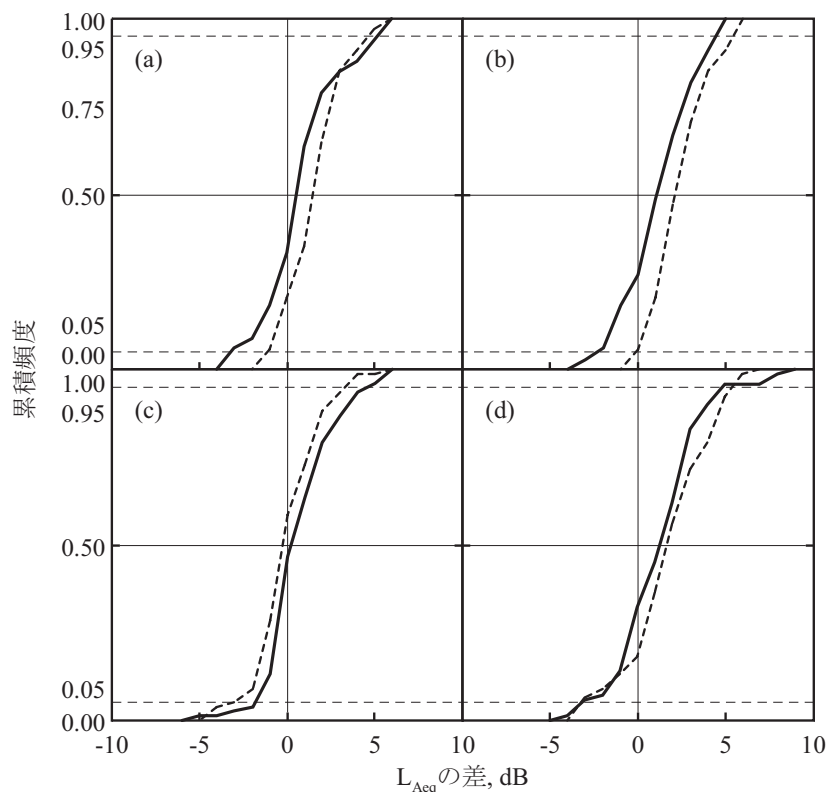


Fig. 1.2.3 Cumulative distribution of difference between L_{Aeq} in rush-hour and off-hour. Solid line: difference between morning rush-hour and off-hour; dotted line: difference between evening rush-hour and off-hour. (a): ticket gate in the presence of trains; (b): ticket gate in the absence of trains; (c): platform in the presence of trains; (d): platform in the absence of trains.

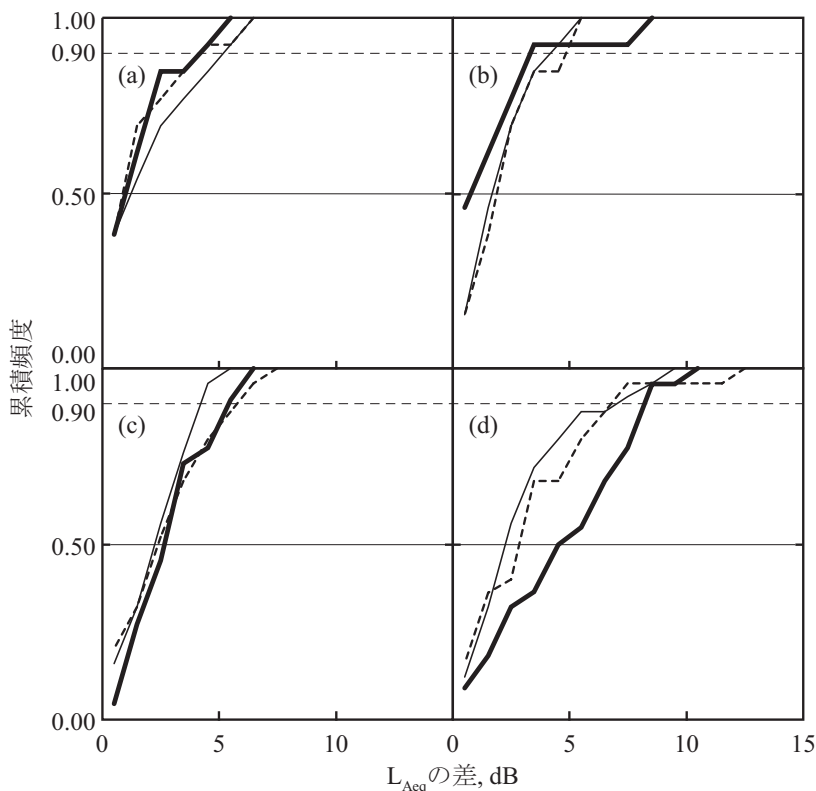


Fig. 1.2.4 Cumulative distribution of difference between L_{Aeq} in different measuring points. heavy line: morning rush-hour; dotted line: off-hour; narrow line: evening rush-hour. (a): ticket gate in the presence of trains; (b): ticket gate in the absence of trains; (c): platform in the presence of trains; (d): platform in the absence of trains.

次に、駅による違いを検討した。検討には、同一駅内における全ての測定について算術平均した値である、平均 L_{Aeq} を用いた。各駅の人通りの数の違いが L_{Aeq} に影響すると考えられるため、各駅の平均 L_{Aeq} と、駅の選定に用いた 1 日の乗降客数の関係を求めた。Fig. 1.2.5 (a) に改札口、Fig. 1.2.5 (b) にプラットホームにおける結果を示す。電車音が有る場合と無い場合をそれぞれプロットした。ただし、横軸は底が 2 の対数とした。図中の直線は、回帰直線を表しており、回帰式も求めた。

まず、改札口 (Fig. 1.2.5 (a)) では、電車音が無い場合 (●) の平均 L_{Aeq} は、1 日の乗降客数の増加とともに約 55dB から 70dB と上昇している。駅の違いによる影響は、前述の測定点や時間帯の違いによる影響よりも大きいことが分かる。しかし、図中破線で示した回帰直線は、相関係数が 0.79 と高く、また回帰式と測定値の値はほぼ ± 5 dB 以下と小さい。通過人数と L_{Aeq} との相関は容易に想定できることであるが、測定点における通過人数を厳密に計測しなくても、公表されている 1 日の乗降客数によってある程度推定できることを示している。回帰式の傾きが 1.6 であることから、1 日の乗降客数が 2 倍になると、平均 L_{Aeq} は約 1.6dB 上昇することがわかる。

電車音が有る場合 (○) についても、ほぼ同様の結果が得られた。一部の例外を除き、1 日の乗降客数の増加とともに約 55dB から 70dB と上昇している。駅 20 のみが例外で、他と比べて L_{Aeq} が高い。この原因は、測定点がプラットホームに非常に近かったことが考えられる。図中の点線は、電車音が有る場合の、駅 20 の結果を除いた回帰直線であるが、2 本の回帰式は非常に近い。これは、電車音が無い場合と同様に、公表されている 1 日の乗降客数によってある程度推定できることを示している。

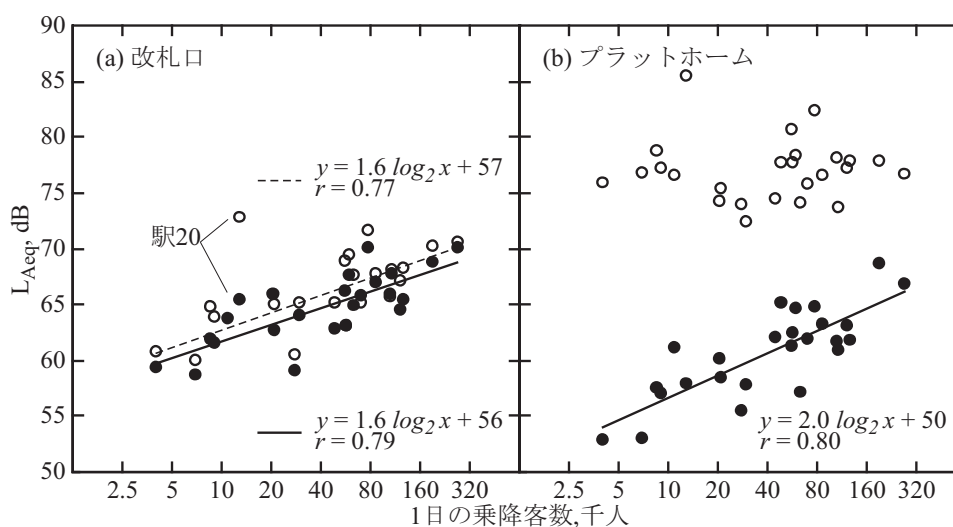


Fig. 1.2.5 Relation between L_{Aeq} and the number of passengers per day. Solid and dotted lines represent regression lines. Panels (a) and (b) indicate results in front of ticket gate and at platform, respectively. Open circle: in the presence of trains; closed circle: in the absence of trains.

次に、プラットフォーム (Fig. 1.2.5 (b)) では、電車が無い場合 (●) の平均 L_{Aeq} は、1日の乗降客数の増加とともに約 55dB から 70dB と上昇している。駅の違いによる影響は、先の測定点や時間帯の違いによる影響よりも大きく、その傾向は先の改札口の場合と同様である。また、回帰直線は、相関係数が 0.80 と高いことから、改札口の場合と同様に、公表されている 1 日の乗降客数によってある程度推定できることを示している。回帰式の傾きが 2.0 であることから、1 日の乗降客数が 2 倍になると、平均 L_{Aeq} は約 2.0dB 上昇することがわかる。

一方、電車が有る場合 (○) の平均 L_{Aeq} は、1 日の乗降客数に関わらず 75 ± 3 dB 以内である。なお、例外的に平均 L_{Aeq} が 80dB を超えるものは同一都市で測定されたものであり、車両形式、具体的には車輪の材質が一般の鉄輪とは異なり、ゴムタイヤであることが原因であると考えられる。

以上、地下鉄駅の暗騒音の L_{Aeq} について、時間帯、測定点、駅の違いによる影響を検討した。その結果、時間帯や測定点の違いによる影響は、ほとんどの場合 5dB 以内と小さかった。一方、駅の違いによる影響は 5dB よりも大きいのが、改札口の電車が有る場合と無い場合、及びプラットフォームの電車が無い場合の L_{Aeq} は、各駅の公表されている 1 日の乗降客数を用いて推定できることを示した。一方プラットフォームの電車が有る場合は約 75dB であることを示した。

2.3.2 周波数特性

125Hz から 8kHz まで、1/1 オクターブバンドの L_{eq} の結果を Fig. 1.2.6 に示す。1 本の折れ線は、1 回の測定データを示し、図中には全ての結果を表している。改札口の電車が無い場合 (Fig. 1.2.6 (b)) は、駅や測定点、時間帯の違いに関わらず 500Hz 又は 1kHz 付近に緩いピークを持つ特性である。プラットフォームの電車が無い場合 (Fig. 1.2.6 (d)) は、改札口の電車が無い場合 (Fig. 1.2.6 (b)) よりも顕著では無いが、500Hz 又は 1kHz 付近に緩いピークを持つ特性である。改札口の電車

第 1 部

音が有る場合 (Fig. 1.2.6 (a)) と、プラットホームの電車が有る場合 (Fig. 1.2.6 (c)) もほぼ同様に 500Hz 又は 1kHz 付近に緩いピークを持つ傾向であるものの、以下に述べるように電車の影響で、一部の路線において例外が見られた。

改札口の電車が有る場合 (Fig. 1.2.6 (a)) で例外的なのは、都市Vの路線iと路線jのものである。これら2つの路線の結果を Fig. 1.2.7 (a) に示す。これらは 500Hz から 2kHz 付近に緩いピークを持っており、相対的に 125Hz 付近が低い特性となっている。なお、これら2つの路線は、前述の電車の車輪がゴムタイヤの路線であり、それが例外的にピーク周波数が高い原因と考えられる。

次に、プラットホームの電車が有る場合 (Fig. 1.2.6 (c)) で例外的なのは、改札口にも影響が見られた都市Vの路線iと路線jのもの、さらに都市IIの路線cのものである。まず路線iと路線jの結果を Fig. 1.2.7 (b) 、 Fig. 1.2.7 (c) に示す。路線i (Fig. 1.2.7 (b)) は、1kHz 付近が特に強く、相対的に高音域が低い特性となっている。また路線j (Fig. 1.2.7 (c)) は、2kHz に顕著なピークを持っており、他とは大きく異なる。これら2つの路線は、前述の通り車輪が一般の鉄車輪と異なりゴムタイヤであることが原因で、1kHz 又は 2kHz に顕著なピークが現れたと考えられる。一方、路線cの結果を Fig. 1.2.7 (d) に示す。この路線は、1kHz から 8kHz にかけて、大きく減衰する特性を持っている。この路線のプラットホームには、ホームドアが設置されており、プラットホームと線路の間が全てガラスで仕切られている。これが原因で、高域が減衰する特性になると考えられる。なお、この路線cの測定駅は、改札口とプラットホームが遠く離れていたため、改札口では、この影響は見られなかった。

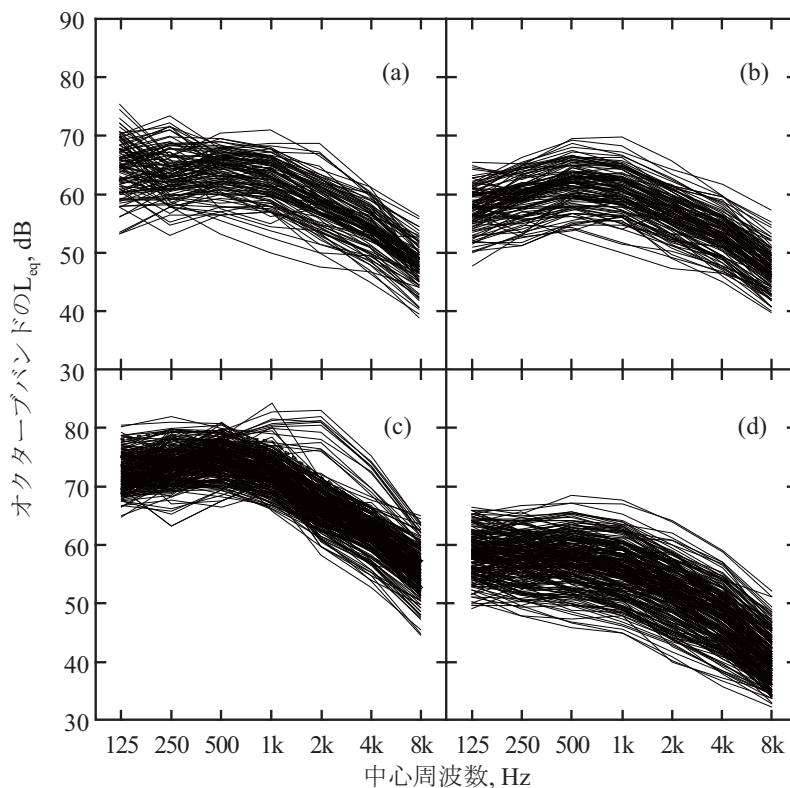


Fig. 1.2.6 Octave band spectrum of every measurement. (a): ticket gate in the presence of trains; (b): ticket gate in the absence of trains; (c): platform in the presence of trains; (d): platform in the absence of trains.

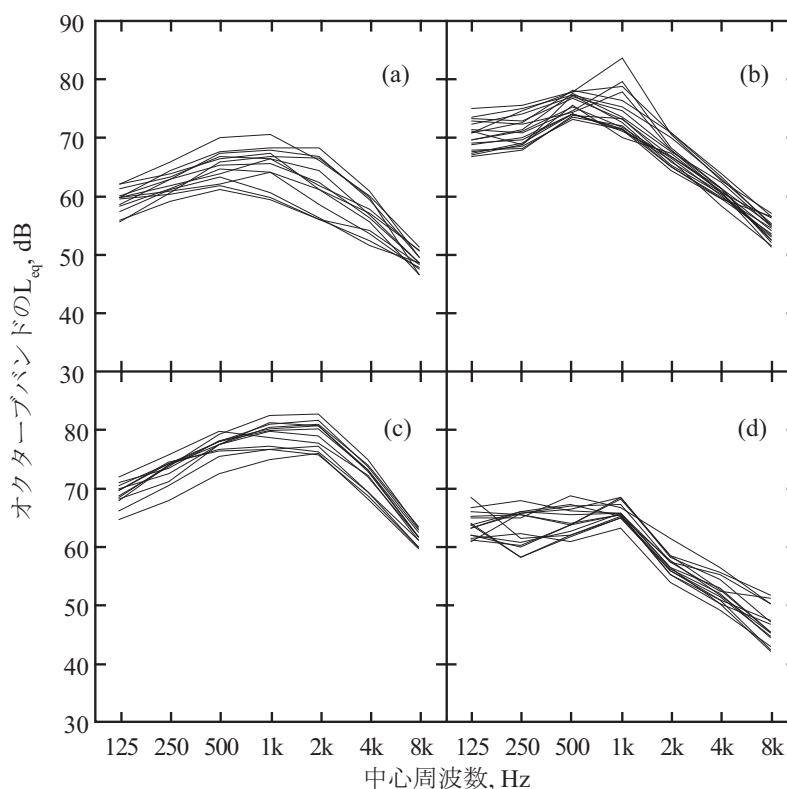


Fig. 1.2.7 Octave band spectra of exceptional cases. (a): ticket gate in the presence of trains at Line i and Line j; (b): platform in the presence of trains at Line i; (c): platform in the presence of trains at Line j; (d): platform in the presence of trains at Line d.

ここで、各条件の周波数特性を比較する。条件によって騒音レベルが異なるため、10分間の測定データごとに L_{Aeq} を基準とした 1/1 オクターブバンド相対レベルを算出した。代表値として、4つの条件それぞれにおいて、各オクターブバンドの中央値を求めた。各条件とも中央値から ± 5 dB の間には、70%以上のサンプルが含まれており、よく似た特性であることを確認できた。全ての結果を Fig. 1.2.8 に示す。いずれの条件も、500Hz 付近に緩いピークを持ち、約 5dB/oct. 減衰するよく似た特性であると言える。

この結果の妥当性について考察する。改札口、プラットホームとも電車が無い場合は、 L_{Aeq} が各駅の1日の乗降客数と相関が高かったことから、主な音源は人の話し声であると考えられる。Fig. 1.2.8 より、それぞれの周波数特性は話し声のスペクトル[16]に近く、この結果は妥当である。プラットホームに比べて改札口の方にピークが顕著に現れているのは、改札機の切符を処理する音の影響と考えられる。

改札口の電車が有る場合は、電車の低周波数成分のみが改札口まで到達した結果、電車が無い場合に比べ 125Hz や 250Hz が強い特性となったと考えられる。プラットホームの電車が有る場合は電車が支配的であるが、結果的に話しに近いスペクトルとなった。

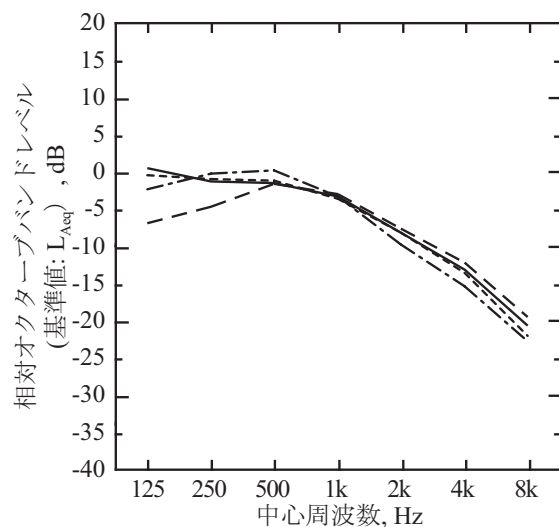


Fig. 1.2.8 Octave band spectra of median of octave band level relative to L_{Aeq} . Solid line: ticket gate in the presence of trains; broken line: ticket gate in the absence of trains; dashed-dotted line: platform in the presence of trains; dotted line: platform in the absence of trains.

2.3.3 両耳間相関度

1/3 オクターブバンド分析[14]と広帯域の分析を行った。広帯域の分析は、100Hzから10kHzに帯域制限し、A特性無し[13]で算出した。各条件とも、駅や時間帯の違いが見られなかったため、全測定の平均値と95%信頼区間を求めた。結果をFig. 1.2.9に示す。改札口、プラットホームともに、電車が有る場合(○)と無い場合(●)との差は小さく、電車の影響は小さかった。また、×は拡散音場における2点間相関の理論値[17]を絶対値で表したものである。2点間の距離 r は、耳の音響中心[18]の影響を考慮して0.30mとした。改札口、プラットホームとも、電車の有無に関らずその値に近いことがわかる。

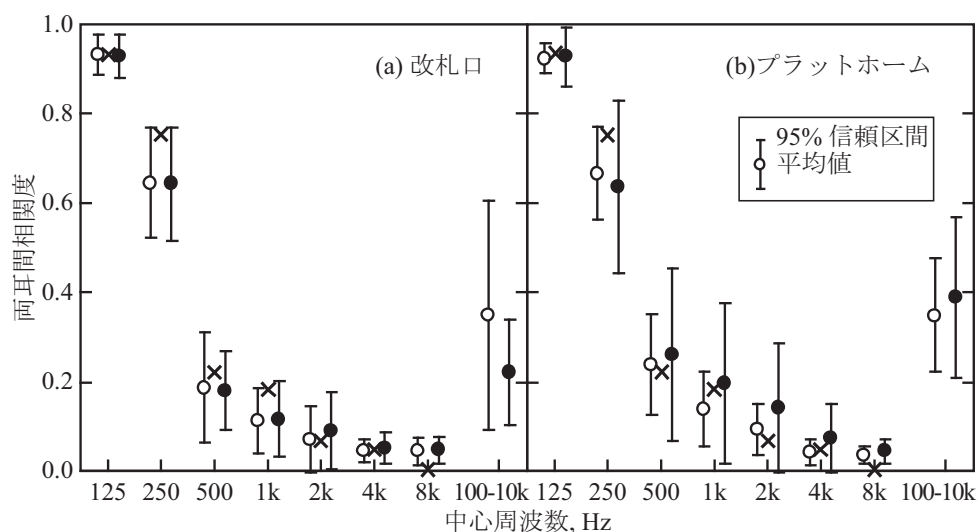


Fig. 1.2.9 Frequency characteristics of the degree of interaural cross-correlation. Panels (a) and (b) indicate results in front of ticket gate and at platform, respectively. Open circle: in the presence of trains; closed circle: in the absence of trains; x: theoretical values in a diffuse sound field, $r=0.30m$.

2.4 第2章のまとめ

地下鉄駅構内におけるアナウンスに対する暗騒音を改札口とプラットフォーム、それぞれの電車音の有無の計4つの条件について測定及び分析を行い、以下のことを明らかにした。

改札口

- ・騒音レベルは、電車音の有無に関わらず約55dBから70dBで、各駅の1日の乗降客数(都市交通年報[12]による)が2倍になると約1.6dB上昇する。ただし、プラットフォームとの距離が近い場合、電車音の影響で5dB以上高くなることもある。
- ・周波数特性は、電車音の有無に関わらず、500Hz又は1kHzに緩いピークを持ち、約5dB/oct減衰する特性となる。ただし、車輪がゴムタイヤの場合、500Hzから2kHz付近に緩いピークを持つ。
- ・両耳間相関度は、電車音の有無や1日の乗降客数に関わらず、拡散音場における2点間相関の理論値に近い値となる。

プラットフォーム

- ・騒音レベルは、電車音の有無によって大きく異なる。電車音が無い場合は、約50dBから70dBで、各駅の1日の乗降客数(都市交通年報[12]による)が2倍になると約2.0dB上昇する。電車音がある場合は約75dBである。ただし、車輪がゴムタイヤの場合、80dBよりも高くなる。
- ・周波数特性は、電車音の有無に関わらず、500Hz又は1kHzに緩いピークを持ち、約5dB/oct減衰する特性となる。ただし、車輪がゴムタイヤの場合、1kHz又は2kHzに顕著なピークが現れる。また、ホームドアが設置されている場合、1kHz以上で大きく減衰する。

第 1 部

- ・両耳間相関度は、電車音の有無や1日の乗降客数に関わらず、拡散音場における2点間相関の理論値に近い値となる。

以上を Table 1.2.3 にまとめた。地下鉄駅構内におけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性に支配的な音源は電車音又は利用者の会話であり、公表されている各駅の1日の乗降客数(都市交通年報[12]による)という、容易に入手できる指標をパラメータとして大まかに推定可能である。

Table 1.2.3 Summary of acoustic characteristics of background noise against the announcement at subway stations.

場所	電車音	L_{Aeq} a)	周波数特性	両耳間相関度
改札口	有	$1.6 \log_2 x + 56$ dB (55 dB - 70 dB)	500Hz又は1kHzに 緩いピークを持ち 約5dB/oct.減衰する	拡散音場における2点間 相関の理論値 ($r=0.30m$)
	無			
プラットホーム	有	75 ± 3 dB		
	無	$2.0 \log_2 x + 50$ dB (50 dB - 70 dB)		

a) x: 各駅の1日の乗降客数,千人

第3章 空港旅客ターミナルにおける暗騒音

本章では、前章と同じく公共交通機関でも、空間の大きさや利用形態が大きく異なる空港の旅客ターミナルを対象とし、その暗騒音の音響特性を明らかにする。空港の旅客ターミナルでは、飛行機の発着を告げるアナウンス等が頻繁に放送されている。また、その内容は便名、行き先、出発時間、搭乗手続きの案内等、非常に重要であり、聴き取りやすいアナウンスに対する要求は非常に高い。

3.1 測定

系統的な測定を行うため、暗騒音の特性に影響すると想定されるファクターを予め抽出して、測定条件を決定した。主なものを挙げると、利用者数、測定する場所、時期、時間帯などである。この中で利用者数は、前章で騒音レベルに対する影響が大きかったファクターであるため、特に考慮に入れて測定条件を設定した。

3.1.1 測定対象空港と測定点

現在国内には約100もの旅客空港がある(2011年1月現在)。本研究では、利用者が比較的多いと考えられる5つの第一種空港の中から、3空港を選び測定した。

空港の旅客ターミナルの特徴として、窓口や店舗などが多く利用者の移動が多いロビーと、搭乗前に多くの利用者がイスに座って待ち合わせする搭乗口とでは、利用形態が大きく異なることから、暗騒音の特性が異なる可能性があるため、それぞれ測定した。

Table 1.3.1 に測定した空港の測定点数と1日の推定利用者数を示す。1日の推定利用者数は、空港や航空会社が公表している測定月の総旅客数を日平均した。各空港とも、ロビーは出発ロビーと到着ロビーのフロアが分かれており、それぞれのフロアで3ヶ所から5ヶ所の測定点を設定した。また搭乗口は、各空港とも国内線と国際線のものがあるが、全て国内線の搭乗口である。出発便の搭乗口は当日確定するため、利用者が比較的多いと予想された便を2便から3便予め選んだ上で、その搭乗手続きが行われる搭乗口を測定点とした。測定点数は合わせて、ロビーが24ヶ所、搭乗口が7ヶ所である。

第 1 部

Table 1.3.1 Measuring points and number of passengers per day.

空港	測定点数		1日の推定利用者数, 千人
	ロビー	搭乗口	
A	7	2	73
B	9	2	44
C	8	3	32

ロビーの測定点は、出発口、到着口や案内所付近等の動線の要となる地点を選んだ。搭乗口の測定点は、改札機付近とした。いずれも、通行の妨げとならないように、柱や壁の前とした。

なお、全ての測定点は屋内であり、飛行機の離着陸の音はほとんど聞こえなかった。

3.1.2 測定時間と時間長

空港は、繁忙期と閑散期で利用者数の差が大きい。本測定では、利用者数が多いと考えられる日を対象とした。空港 A では夏休みの週末を、空港 B と空港 C では、ゴールデンウィーク中に実施した。空港 B では、出発ラッシュと到着ラッシュとなると予想された日のそれぞれの日に、同一の測定を実施した。他の 2 空港は 1 日ずつ測定した。

1 日の中でも、時間帯によって利用者数が増えるため、全ての測定点で、3 回ずつ測定した。ただし、ロビーと搭乗口では、測定時間帯の設定が異なる。

ロビーでは、発着便数の多少に伴い利用者数が増減すると仮定し、事前に公表されている時刻表をもとに、出発便が多い時間帯、到着便が多い時間帯、出発便も到着便も少ない時間帯を選定した。したがって、空港により測定時間帯は異なる。1 回の測定時間長は、10 分間とした。

搭乗口では、搭乗手続きに伴い短時間で利用者の動きが変化するため、搭乗前、搭乗中、搭乗後の 3 回とした。1 回目の搭乗前の測定は、対象便の出発時刻の 30 分から 40 分前に開始した。測定時の印象であるが、搭乗客が集まり始める時間帯にあたる。2 回目の搭乗中の測定は、ビジネスクラスの利用者等を先に案内する、優先搭乗案内の開始を合図に開始した。これは最も搭乗客の動きのある時間帯である。3 回目の搭乗後の測定は、搭乗客がいなくなって改札口が閉じられた後で開始した。1 回の測定時間長は、10 分間としたが、搭乗手続きの進捗等により、これより短い場合がある。

3.1.3 測定方法

モノラル録音とバイノーラル録音の 2 通りの録音を行った。モノラル録音は、騒音計 (RION, NL-32) を用いて WAVE レコーダ (ROLAND, R-1) に録音した。マイクは、柱や壁を背にした測定

者が利用者の妨げとならない範囲で体から離して手に持ち、高さは約 1.2m とした。バイノーラル録音は、直立した測定者の両耳にバイノーラルマイク (B&K, Type4101) を装着し、プリアンプ (B&K, NEXUS-Type2690) を通して DAT レコーダ (SONY, TCD-D100) に録音した。測定者の両耳には、外耳道共振の影響を防ぐため、耳栓を装着した[13]。

モノラル録音は、全ての測定、つまり全測定点、全時間帯で行った。バイノーラル録音は、ロビーの各フロアで最も混雑すると考えられる点、及び搭乗口の全ての測定点において、全時間帯で行った。

3.2 分析

3.2.1 音源の同定

測定したデータには、暗騒音だけでなくアナウンスも含まれているので、分析に先立ち、分析対象の暗騒音を分離すると同時に、暗騒音を構成している音源を把握するために、全ての測定において録音されている音源の種類を同定した。

同定方法は第2章の方法に倣った。まず全ての測定データを10秒間ごとに分割した。次に、防音室内で、ヘッドホンを通してモノラル録音を聞き、10秒間ごとに聞こえた音源の種類を同定した。実験者は聞こえる音の全ての音源を同定できるまで録音を繰り返し聞き、聞こえたあらゆる音源の種類を同定した。

ロビーの場合の同定結果の例を Fig. 1.3.1 (a)、搭乗口の場合の同定結果の例を Fig. 1.3.1 (b) に示す。各10秒間に聞こえた音源の種類を黒く塗りつぶした。暗騒音の分析を行うため、聞こえた音源の種類を、以下の4種類に分類した。構内放送、常時放送、突発的な音、その他の暗騒音である。

構内放送は、フライトの運行状況や搭乗時間の案内に加え、各種の啓発などが断続的に流れるものである。あらかじめ録音された音声放送される場合と、リアルタイムに生声で放送される場合がある。また、アナウンスの前に流れるピンポンパンポンという注意喚起のサイン音も、こちらに含めた。いずれも、天井等に設置された多数のスピーカから、広い空間に一斉に流れるものである。聞こえる頻度は、測定点や時間帯によって異なった。

常時放送は、構内放送とは異なり、場所によって局所的に放送されているもので、途切れることなく連続的に流れている。具体的には、誘導鈴、エスカレータの音声案内、店舗のBGM、待合所のテレビ等である。また、ロビーの場合のみ、保安検査場で放送される機内持ち込みの手荷物に対する制限等を案内する音声案内も聞こえた。

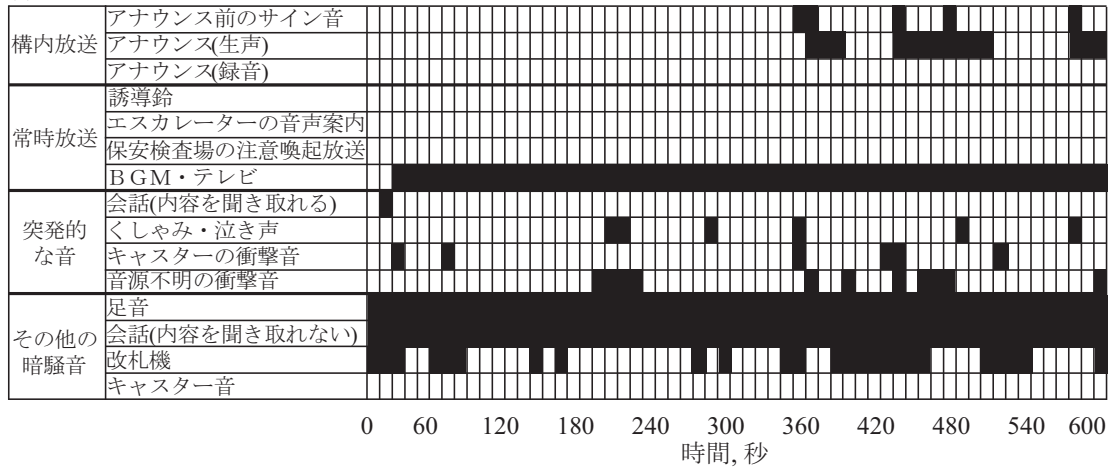
突発的な音は、偶発的な時間長が短い音で、騒音レベルを一時的に上昇させるものとした。具体的には、キャリーケースが点字ブロックなどの段差を乗り越える時に生ずる音や、物が衝突する時に生ずる衝撃音である。時折聞こえる、くしゃみや幼児の泣き声、また利用者の会話についても、会話の内容が聞き取れるほどのものは、便宜上こちらに含めた。いずれもロビーと搭乗口共に聞こえたが、キャリーケースの音は搭乗口ではほとんど聞こえなかった。これは、搭乗口はキャリーケ

第 1 部

ースを預けた後に利用する人が多いためである。

その他の暗騒音は、利用者の会話や足音などで、これらは場所や時間を問わず頻繁に聞こえた。さらに、ロビーではキャリーケースを転がす音が頻繁に聞こえた。これは、空港旅客ターミナルの大きな特徴であると考えられる。ただし、床がタイルカーペット仕上げとなっている場所では、この音はほとんど聞こえなかった。また、搭乗口では搭乗中に限り、改札機が搭乗券を処理する機械音が聞こえた。

(a) ロビー



(b) 搭乗口

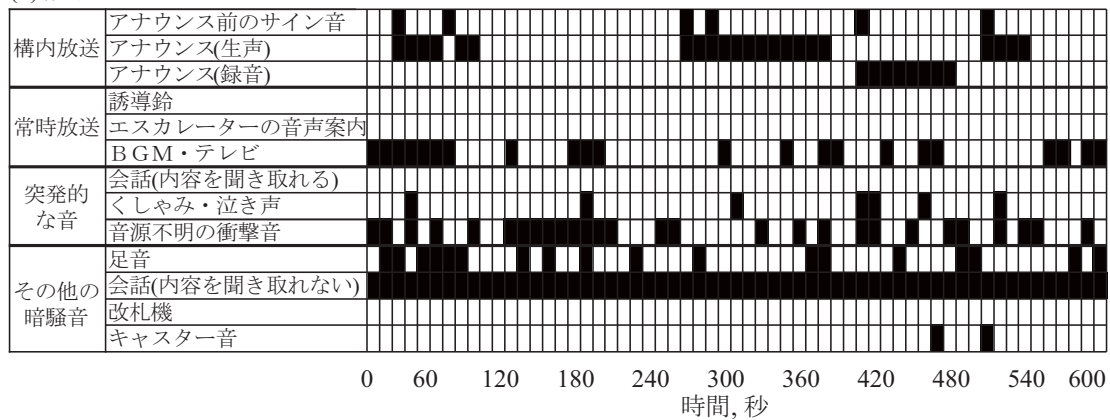


Fig. 1.3.1 Examples of time history of sound source at airports. Filled cells represent identified sound sources. Panels (a) and (b) indicate results at lobbies and at boarding gates, respectively.

3.2.2 分析対象

本研究の目的であるアナウンスに対する暗騒音を分析するには、暗騒音の明確な区別が必要である。本研究では、構内放送と突発的な音以外を暗騒音とした。したがって、先の音源の同定結果をもとに、これらが含まれていない区間を分析対象とした。測定データ中に含まれる構内放送や突発的な音の長さは、測定点や時間帯ごとにそれぞれ異なるため、暗騒音の分析対象の区間は異なる長さとなる。各空港の測定データにおける、分析対象の暗騒音の区間長さの平均値と標準偏差を Table 1.3.2 に示す。なお、搭乗口の測定は、空港 C において 1 回の欠測がある。

Table 1.3.2 Number of measurements and statistics of duration of background noise obtained from each measurement.

場所	測定数	1サンプルあたりの時間長	
		平均値, 秒	標準偏差, 秒
ロビー	99	180	90
搭乗口	26	142	120

3.2.3 分析方法

分析項目は、第1章に倣って設定した。騒音レベルと周波数特性は時間変動するため、物理量としてそれぞれ L_{Aeq} と、1/1 オクターブごとの L_{eq} を用いた。空間特性を表す物理量は、両耳間相関度 [13]-[15] を用いた。

分析手順は以下の通りである。まず、全測定データ (ロビー33ヶ所×3回の99個、搭乗口9ヶ所×3回の欠測1個を除く26個) について、10秒間のサンプルごとに各物理量を算出した。次に、音源の同定結果より、分析対象の暗騒音のみのサンプルを抽出した。これらから、各測定データの物理量の代表値として、 L_{Aeq} 及び L_{eq} のエネルギー平均と、両耳間相関度の算術平均を求めた。

3.3 分析結果

3.3.1 騒音レベル

a. ロビー

ロビーの測定における結果を Fig. 1.3.2 に示す。全体的に約 55dB から 70dB の間で分布している。この中で、測定点や時間帯の違いによる影響の有無を分析するため、空港ごとに、繰り返しのない 2 要因分散分析を行った。空港 B は、1 日目と 2 日目を別々に分析した。有意水準は 5% とした。結果を Table 1.3.3 に示す。分散分析の結果、空港 A と空港 B の 1 日目でのみ、測定点が L_{Aeq} に及ぼす影響が有意であるという結果が得られた。つまり、全ての空港において、時間帯の違いによる有意差は見られなかった。また、空港 C では測定点と時間帯共に有意差は見られなかった。

分散分析で有意差が見られた条件について、Tukey の HSD 検定を行った。結果を Table 1.3.4 に示す。

まず、空港 A の場合、測定点 2 及び測定点 4 に対して測定点 7 の 2 組でのみ有意差が見られた。当該測定の 3 回の測定の L_{Aeq} の平均値を比較すると、その差は約 5dB である。

次に、空港 B の 1 日目の場合、測定点 5 に対して測定点 6 及び測定点 9、測定点 1 に対して測定点 9 の 3 組で有意差が見られた。同じく当該測定の 3 回の測定の L_{Aeq} の平均値を比較すると、その差は最大でも約 5dB である。

以上より、有意差が見られた条件についても、その差は概ね 5dB 以下と小さいことから、同一の空港内のロビーの L_{Aeq} は、時間帯や測定点の違いによる影響は小さいといえる。

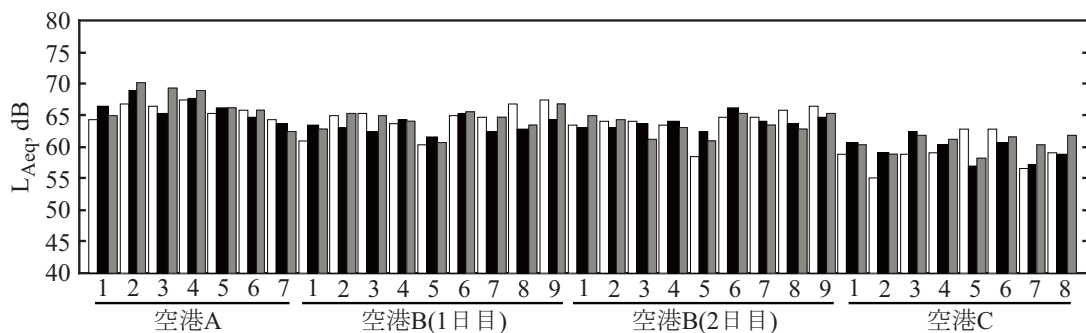


Fig. 1.3.2 L_{Aeq} of background noise for each measuring point at lobbies. Open, closed and shaded bars represent L_{Aeq} for the 1st, the 2nd and the 3rd measurements on the day, respectively.

Table 1.3.3 Results of analysis of variance of L_{Aeq} at lobbies.

(a) 空港A				
要因	平方和	自由度	平均平方	F 値
測定点	54.9	6	9.1	6.1*
時間帯	4.6	2	2.3	1.5
残差	17.9	12	1.5	
全体	77.4	20		
*p<.05				
(b) 空港B(1日目)				
要因	平方和	自由度	平均平方	F 値
測定点	59.6	8	7.4	4.5*
時間帯	5.9	2	2.9	1.8
残差	26.8	16	1.7	
全体	92.2	26		
*p<.05				
(c) 空港B(2日目)				
要因	平方和	自由度	平均平方	F 値
測定点	46.8	8	5.8	3.5
時間帯	1.2	2	0.6	0.4
残差	26.4	16	1.7	
全体	74.4	26		
*p<.05				
(d) 空港C				
要因	平方和	自由度	平均平方	F 値
測定点	38.8	7	5.5	1.4
時間帯	7.8	2	3.9	1.0
残差	53.9	14	3.8	
全体	100.5	23		
*p<.05				

さらに、空港の違いによる影響を検討するため、空港ごとに全ての測定について算術平均した値である平均 L_{Aeq} を用いて比較分析した。空港 B については、測定日の違いによる影響が最大でも 3dB 以内と小さかったため、両日の結果をまとめて算出した。

分析結果を Fig. 1.3.3 に示す。第2章より、1日あたりの利用者数の違いが影響すると考えられたため、平均 L_{Aeq} を左目盛の棒グラフで、各空港の1日の推定利用者数を右目盛の折れ線グラフで示した。結果として、1日の推定利用者数が多い空港ほど平均 L_{Aeq} が高い。この傾向は、利用者数が多いほど人通りが増え、会話や足音が多くなり、暗騒音レベルが高くなると説明が可能であり、また第2章の結果とも一致する。

Table 1.3.4 Results of multiple comparison of L_{Aeq} at lobbies.

(a) 空港A								HSD 3.5	
測定点	1	2	3	4	5	6	7		
1	-	3.4	1.7	2.8	0.7	0.2	1.7		
2		-	1.6	0.6	2.7	3.1	5.1*		
3			-	1.0	1.1	1.5	3.4		
4				-	2.1	2.5	4.5*		
5					-	0.4	0.4		
6						-	1.9		
7							-		

(b) 空港B(1日目)									HSD 3.8		
測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	-	2.1	1.9	1.6	1.6	2.9	1.5	1.9	3.8*		
2		-	0.2	0.5	3.7	0.8	0.6	0.1	1.7		
3			-	0.3	3.6	0.9	0.4	0.0	1.9		
4				-	3.3	1.2	0.1	0.3	2.1		
5					-	4.5*	3.1	3.6	5.4*		
6						-	1.4	0.9	0.9		
7							-	0.5	2.3		
8								-	1.8		
9									-		

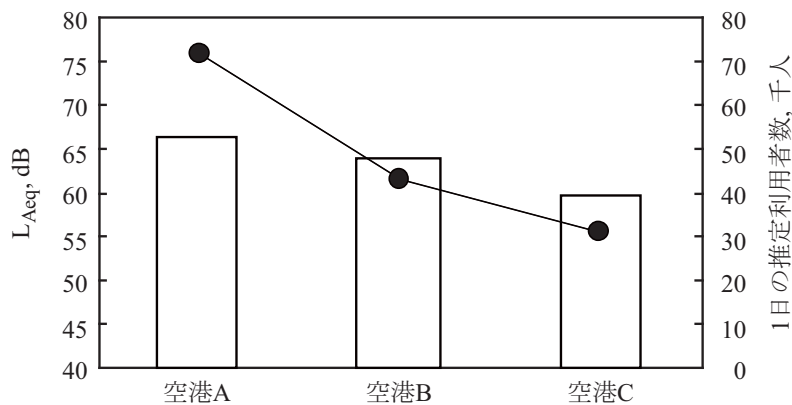


Fig. 1.3.3 Relation between L_{Aeq} at lobbies and the number of passengers per day. Open bar: averaged L_{Aeq} , left scale; closed circle: estimated number of passengers per day, right scale.

b. 搭乗口

搭乗口の測定における結果を Fig. 1.3.4 に示す。なお、空港 C の測定点 a の搭乗開始前は欠測値である。全体的に約 50dB から 65dB の間に分布している。

まず、時間帯の違いによる影響を検討する。搭乗開始前と搭乗中の差は 3dB 以内と小さい。両者の違いは、利用者の多くが座っているか、動きがあるかの違いであるが、その差は小さい。一方、搭乗後は全体的に L_{Aeq} が低い。これは、搭乗後は周囲に利用者が居なくなることで、その分会話や足音などが無くなるのが原因である。詳しくみると、搭乗後と搭乗開始前及び搭乗中の L_{Aeq} の差

は測定点により若干異なる。これは、保安検査場や、隣の搭乗口に近いか否かなど、他の便の利用者が周囲にいるかどうかに関係していると考えられる。中には、空港Cの便aのようにその差が約7dBのものもあり、無視できない。しかし、本研究の目的である、アナウンスに対する暗騒音という観点では、付近に利用者が存在する場合、かつ L_{Aeq} が高い場合 (安全側) であることを踏まえ、搭乗開始前や搭乗中の結果を用いて設計すれば差し支えないと言える。

次に、同一空港内での測定点の違いによる影響を検討する。先述の時間帯の分析より、搭乗開始前及び搭乗中と、搭乗後は分けて検討する。

搭乗開始前及び搭乗中は、最も差が大きい空港Bでもその差は5dB以内と小さいことから、全体的に差が小さい。これは、搭乗口の利用者数は当該便の定員と搭乗率で決定されるが、極端に定員が多い便が存在しないことが原因の1つと考えられる。一方、搭乗後も、最も差が大きい空港Cにおいてもその差は5dB以内と小さいことから、全体的に差が小さい。

さらに、空港の違いによる影響を検討するため、ロビーの分析と同様に、空港ごとに全ての測定について算術平均した値である平均 L_{Aeq} を用いて比較分析した。ただし、先述のように実際のアナウンスの設計を想定して、周囲に利用者が居なくなって L_{Aeq} が低くなる搭乗後の測定データは除き、搭乗開始前と搭乗中の測定データのみを用いた。空港Bについては、測定日の違いによる影響が最大でも3dB以内と小さかったため、両日の結果をまとめて算出した。

分析結果を Fig. 1.3.5 に示す。空港A及び空港Bは約62dB、空港Cは約57dBとなった。ここで、空港Cが他よりも低くなった原因を検討する。測定対象の便は全て搭乗者数の多い便を選定しており、測定時の目視による印象ではあるが、利用者数に大きな差は見られなかった。また、音源の同定分析より、会話の頻度は空港Cと他の空港で差が無く、絶えず聞こえていた。後述する周波数特性の違いを踏まえると、空港Cでは暗騒音に対する会話の寄与が小さいと考えられるが、利用者数や会話の頻度に差がないとすると、それぞれの会話の音圧レベルが空港Cで低かった可能性がある。ただし、今回の分析ではそれぞれの会話の音圧レベルを確認することはできなかった。

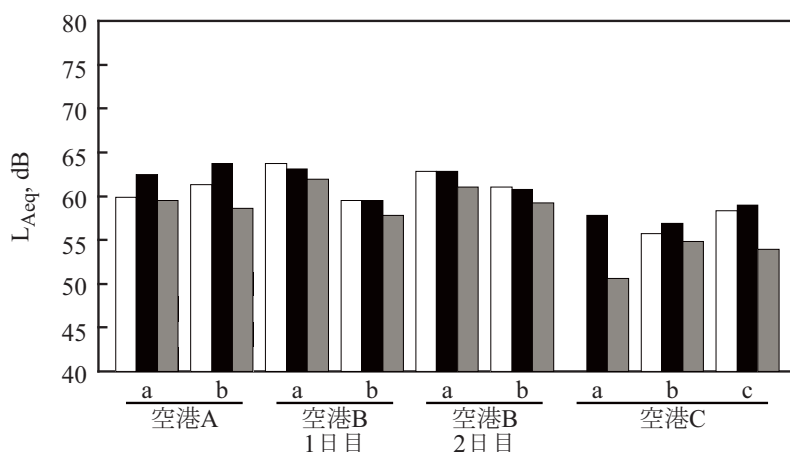


Fig. 1.3.4 L_{Aeq} of background noise for each measuring point at boarding gates. Open, closed and shaded bars represent L_{Aeq} for the measurements before, while and after boarding procedures, respectively.

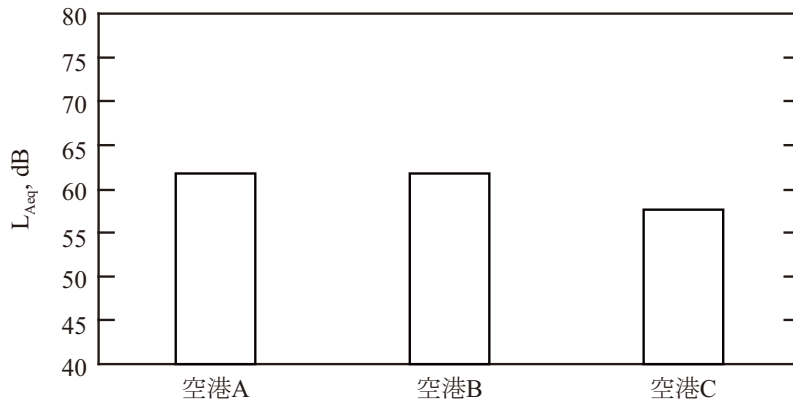


Fig. 1.3.5 Averaged L_{Aeq} at boarding gates. L_{Aeq} after boarding procedures is omitted.

c. 常時放送の影響

暗騒音の音源の種類の中で、常時放送の影響について分析した。分析方法は、以下の通りである。まず、先の音源の同定結果より常時放送と突発的な音が含まれる区間を再び防音室で聞き返し、0.2秒毎に常時放送や突発的な音が聞こえない区間を抽出した。これに、先の音源の同定結果より常時放送と突発的な音を含まない区間を加えて L_{Aeq} を算出し、比較した。

分析結果を Fig. 1.3.6 に示す。各々の測定における L_{Aeq} の差を 1dB ステップの度数分布で表している。ロビー、搭乗口共にその差は小さく、 ± 3 dB 以内に、ほぼ全てが含まれる。差が ± 3 dB を超えるものは、全て空港 B ロビーの保安検査場付近の測定点のもので、機内持ち込みの手荷物に対する制限等を案内するアナウンスが、近くで流されていたことが、この差が大きくなった原因である。したがって、一部の例外を除いて、常時放送が暗騒音 L_{Aeq} に与える影響は小さいと言える。

この結果から、暗騒音の L_{Aeq} に対して、常時放送よりも利用者の会話が支配的な音源であることが確かめられた。

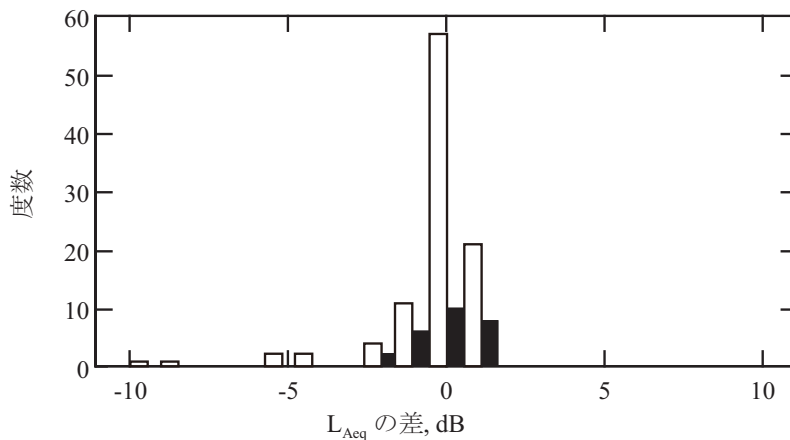


Fig. 1.3.6 Distribution of difference between L_{Aeq} of background noise against public address and against locally-restricted acoustic information. Open bar: lobbies; closed bar: boarding gates.

3.3.2 周波数特性

125Hzから8kHzまで、1/1オクターブバンドの L_{eq} を算出した。空港別に、ロビーの結果をFig. 1.3.7、搭乗口の結果をFig. 1.3.8に示す。1本の折れ線は、10分間の測定データを示し、全ての結果を表している。空港Bの場合、測定日の違いによる差は見られなかったため、ロビーと搭乗口共に2日間の測定結果の全てを示した。

ロビーの場合 (Fig. 1.3.7)、全ての空港で同一空港内の周波数特性はよく似ており、測定点や時間帯の違いによる影響は小さいといえる。3つの空港の特性を比較すると、いずれも500Hz付近にピークを持ち、1kHz以上で約5dB/oct.減衰する、よく似た特性であることが分かる。この周波数特性は話声のスペクトル[16]に近い。この結果は周波数特性に対して、利用者の会話が支配的な音源であることを示唆している。また、利用者数に伴い L_{Aeq} が変動することを裏付けている。

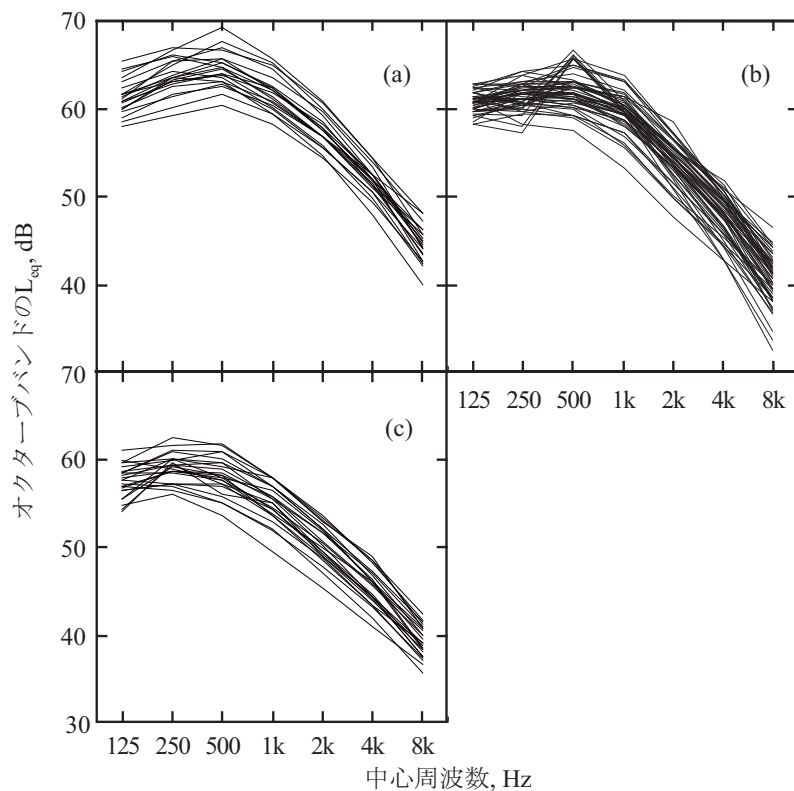


Fig. 1.3.7 Octave band spectrum for each measurement at lobbies. (a): airport A; (b): airport B; (c): airport C.

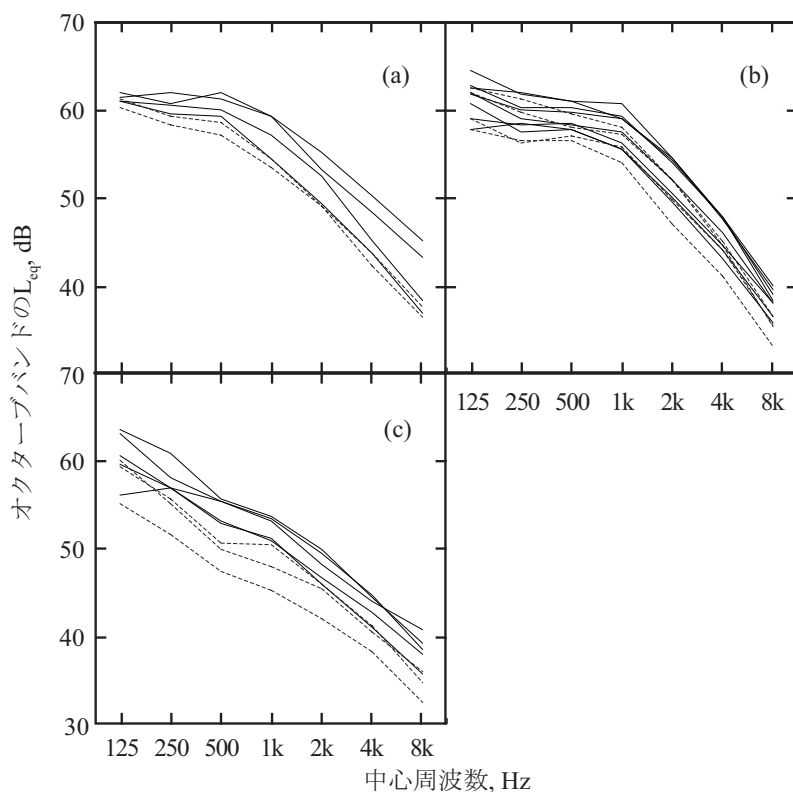


Fig. 1.3.8 Octave band spectrum for each measurement at boarding gates. (a): airport A; (b): airport B; (c): airport C.

搭乗口の場合 (Fig. 1.3.8)、搭乗後の測定データは L_{Aeq} が低くなる傾向が見られたため、全て点線で示した。搭乗開始前及び搭乗中の結果、即ち実線のみに着目すると、同一空港内の周波数特性はよく似ている。3つの空港の特性を比較すると、空港 A と空港 B はよく似ており、500Hz 付近に緩いピークを持ち、1kHz 以上で約 5dB/oct. 減衰する特性である。この結果もロビーと同様、話声のスペクトル[16]に近いといえる。一方、空港 C はピークを持たず、125Hz 以上で直線的に減衰する特性となっている。この空港 C は L_{Aeq} も他の空港に比べて低い値であったが、利用者の会話の音圧レベルが低かったと仮定すると、 L_{Aeq} が低いことと、500Hz 付近のレベルが低い特性であることの両方の説明が可能である。また、点線で示した搭乗後の結果は、 L_{Aeq} が低い値のものであるが、空港 A 及び B においてもピークが緩やかな場合が多く、同様に会話の音圧レベルが低かった結果であると考えられる。

全体的な傾向として、 L_{Aeq} が概ね 60dB 以下の場合に、ピークを持たずに単調減少する特性となる傾向が見られた。以上を踏まえ、利用者の会話は、 L_{Aeq} と周波数特性の 500Hz 付近のピークの有無に大きく影響していることが確かめられた。なお、第 2 章の地下鉄駅構内における測定においても同様の傾向が確認されている。

3.3.3 両耳間相関度

1/3 オクターブバンド分析[14]と広帯域の分析を行った。広帯域の分析は、100Hz から 10kHz に帯域制限し、A 特性無し[13]で算出した。

各条件とも、空港や時間帯の違いによる影響が見られなかったため、全測定の平均値と 95%信頼区間を求めた。結果を Fig. 1.3.9 に示す。ロビー、搭乗口共によく似た値となった。また、×は拡散音場における 2 点間相関の理論値[17]を絶対値で表したものである。2 点間の距離 r は、耳の音響中心[18]の影響を考慮して 0.30m とした。ロビー、搭乗口共に、その値に近いことがわかる。なお、第 2 章の地下鉄駅構内における測定においても同様の傾向が確認されている。

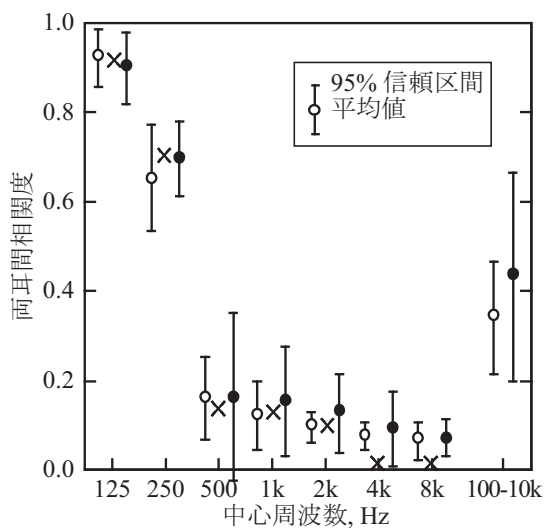


Fig. 1.3.9 Frequency characteristics of the degree of interaural cross-correlation. Open circle: at lobbies; closed circle: at boarding gates; x: theoretical values in a diffuse sound field, $r=0.30\text{m}$.

第1部

3.4 第3章のまとめ

第一種空港の空港旅客ターミナルにおけるアナウンスに対する暗騒音をロビーと搭乗口について測定及び分析を行い、以下のことを明らかにした。

ロビー

- ・騒音レベルは、利用者数の増減に伴い変動するが、同一空港内では測定点や時間帯の違いによる差は小さく、空港ごとの平均 L_{Aeq} は 60dB から 65dB 程度の範囲に収まる。
- ・周波数特性は、500Hz 付近に緩いピークを持ち、約 5dB/oct 減衰する特性となる。
- ・両耳間相関度は、拡散音場における 2 点間相関の理論値に近い値となる。

搭乗口

- ・騒音レベルは、搭乗前及び搭乗中の空港ごとの平均 L_{Aeq} は 55dB から 65dB 程度であり、ロビーと比較して全体的にやや低い。周囲に利用者が居なくなる搭乗後の L_{Aeq} は最大で約 7dB 低くなる。
- ・周波数特性は、500Hz 付近に緩いピークを持ち、約 5dB/oct 減衰する特性となる。ただし、 L_{Aeq} が 60dB 以下の場合、ピークを持たない。
- ・両耳間相関度は、拡散音場における 2 点間相関の理論値に近い値となる。

以上を Table 1.3.5 にまとめた。第一種空港の空港旅客ターミナルにおけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性に支配的な音源は利用者の会話であり、それぞれの音響特性の変動は小さいが、その変動は利用者数の多少によって説明が可能である。

Table 1.3.5 Summary of acoustic characteristics of background noise against the announcement at airports.

場所	L_{Aeq}	周波数特性	両耳間相関度
ロビー	60 dB - 65 dB	500Hz付近に 緩いピークを持ち 約5dB/oct.減衰する	拡散音場に おける2点間 相関の理論値 ($r=0.30m$)
搭乗口	55 dB - 65 dB (搭乗後は これより低い)	(搭乗口で L_{Aeq} が 60dB以下の場合 ピークを持たない)	

第4章 地下街における暗騒音

本章では、地下街を対象とし、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにする。地下街は多くの場合、大都市の中心地の鉄道駅に隣接しており、老若男女を問わず多数の人々が利用する。その役割は、単に商業施設に留まらず、鉄道駅と各種施設を結ぶ連絡通路といった側面もあり、公共性の高い空間であるといえる。バリアフリー新法を受け、旅客施設周辺経路として、鉄道駅からの経路を連続して誘導ブロックを敷設するなどのバリアフリー化が進んでいる。一方で経験上、自分の位置を認識しづらく、方向を見失いやすい空間でもある。

音環境としては、利用者の雑踏に加え、各店舗から流される BGM や宣伝もあり、喧騒的な場合が多い。また、地下街全体に音楽やラジオが放送されている場合もある。音による情報伝達としては、日常的には店舗案内や通行マナーやひったくり等の各種啓蒙の構内アナウンスが放送されている。またバリアフリー対策として、点字案内板や音声やサイン音による移動支援も行われている。

4.1 測定

測定条件を設定するにあたり、地下鉄や空港旅客ターミナルでの測定を参考に、暗騒音の音響特性に影響すると想定されるファクターを抽出した。主なものは、利用者数、測定する場所、曜日（営業日）、時間帯、建築的特徴（通路幅及び天井高）等である。特に利用者数については、前章までの測定で騒音レベルへの影響が大きいことが分かっているため、特に考慮して条件を設定した。

4.1.1 測定対象地下街と測定点

測定対象は、4つの地下街とした。Table 1.4.1 に測定概要を示す。地下街 D は、駅ビルの地下階商業施設であり、厳密に言えば地下街では無いが、本研究で対象とする地下街の特徴を有する空間であり、測定対象とした。Table 1.4.1 に示すように、地下街 A、B、C は2点、地下街 D のみ1点とした。測定点は利用者数と利用目的、及び建築的特性（通路幅及び天井高）の違いを考慮して決定した。地下街 A、B、C では測定点1が各地下街のメイン通路となっており、測定点2と比べて利用者数が多い。

第 1 部

Table 1.4.1 List of outline of measuring points at underground shopping areas.

地下街	利用客数/日	測定点	通路幅, m	天井高, m
A	約 20万人	P1	8	3.0
		P2	6	3.0
B	約 60万人	P1	14	2.9
		P2	6	2.9
C	約 40万人	P1	13	3.6
		P2	6	3.6
D	非公表	P1	8	2.8

4.1.2 測定時間と時間長

地下街 A、B、C は平日 (8時から22時) 及び休日 (9時から22時) に測定した。さらに地下街 B は平日休業日 (11時から20時) にも測定した。地下街 D は平日休業日 (8時から22時) のみ測定した。測定時間長は各測定につき 10 分間とし、ほぼ 1 時間あるいは 2 時間毎に行った。地下街 A、B、D では地下街全体で放送が行われる情報音 (アナウンス、BGM) を停止した状態で録音を行った。地下街 C では事前に情報音が流される時間を確認し、測定時に情報音が入らないよう配慮した。

4.1.3 測定方法

モノラル録音とバイノーラル録音の 2 通りの録音を行った。モノラル録音は、騒音計 (RION, NL-32) を用いて WAVE レコーダ (ROLAND, R-9) に録音した。バイノーラル録音は、直立した測定者の両耳にバイノーラルマイク (B&K, Type4101) を装着して、マイクアンプ (B&K, NEXUS-Type2690) を通してモノラル録音と同機種の WAVE レコーダに録音した。バイノーラル録音は各地下街の測定点 1 において各測定日 1 回ずつ (地下街 B の平日休業日を除く)、最も混雑すると思われる時間帯 (平日は 8 時台、休日は 15 時台) に通路の中心で行った。また、測定中の 10 分間に各測定点を通過した人数を、数取機を用いて計測した。通過人数は延べ人数とした。

4.2 分析

4.2.1 音源の同定

測定したデータには、暗騒音だけでなく、アナウンス等も含まれているため、分析に先立ち、分析対象の暗騒音を分離すると同時に、暗騒音を構成している音源を把握するために、全ての測定において録音されている音源の種類を同定した。

同定方法は、第2章及び第3章の方法に倣った。まず全ての測定データを10秒間ごとに分割した。次に、防音室内でヘッドホンを通してモノラル録音を聞き、10秒間ごとに聞こえた音を同定した。実験者は、聞こえる音の全ての音源を同定できるまで録音を繰り返し聞き、聞こえたあらゆる音源の種類を同定した。音源の種類は測定時に予め記録したリストを基本とし、音源の同定を進めながら適宜追加した。

音源の分析例を Fig. 1.4.1 に示す。横軸が時間で、10秒ごとに同定された音源を黒く塗っている。暗騒音の分析を行うにあたり、聞こえた音源の種類を、以下の3種類に分類した。構内放送、突発的な音、その他の暗騒音である。

構内放送は、空間全体に一斉に放送されるもので、その内容は、店舗の案内や通行マナーやひっきり等各種啓蒙が多い。地下鉄駅や空港旅客ターミナルのような旅客施設に比べると、放送される頻度は低い。予め構内放送が流れる時間を調べ、その時間を避けて測定したこともあり、10分間の測定中に一度も聞こえないことが多かった。

突発的な音は、偶発的な時間長が短い音で、騒音レベルを一時的に上昇させる音とした。具体的には、スーツケースや台車が段差を乗り越える際に発せられる音や、物が衝突する時に生ずる衝撃音である。時折聞こえる、くしゃみや幼児の泣き声、さらには利用者の会話についても、その内容が聞き取れるほどのものは、便宜上こちらに含めた。

その他の暗騒音としては、利用者の足音や会話が聞こえた。これらは、ほぼ全ての測定において、途絶えること無く常に聞こえた。

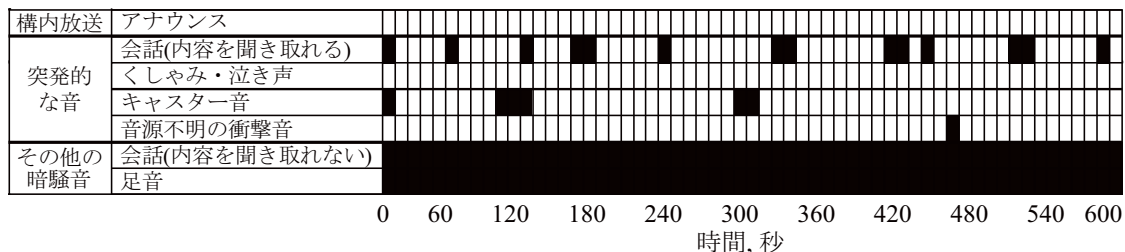


Fig. 1.4.1 Examples of time history of sound source at underground shopping areas. Filled cells represent identified sound sources.

第1部

4.2.2 分析対象

本研究の目的であるアナウンスに対する暗騒音を分析するには、暗騒音の明確な区別が必要である。本研究では、構内放送と突発的な音以外を暗騒音と定義した。したがって、先の音源の同定結果をもとに、これらが含まれていない区間を分析対象とした。測定データ中に含まれる構内放送や突発的な音の長さは、測定点や時間帯ごとにそれぞれ異なるため、暗騒音の分析対象の区間は異なる長さとなる。各々の測定データにおける、分析対象の暗騒音の区間長さを Table 1.4.2 に示す。

Table 1.4.2 List of length of time of background noise.

地下街	測定日	測定点	暗騒音の時間長, 秒									
			8時	9時	11時	13時	15時	17時	18時	20時	22時	
A	平日	P1	260	130	210	320	360	230	400	300	90	
		P2	370	210	240	390	320	230	340	150	250	
	休日	P1	-	220	200	190	320	190	200	330	400	
		P2	-	350	250	240	230	360	340	260	490	
B	平日	P1	500	290	430	430	390	400	390	430	420	
		P2	310	250	260	470	420	420	440	270	300	
	休日	P1	-	320	420	360	320	410	420	390	390	
		P2	-	170	290	430	370	350	430	340	360	
	平日休業日	P1	-	-	370	440	410	440	450	470	-	
		P2	-	-	460	340	300	420	470	450	-	
C	平日	P1	420	460	440	350	430	460	520	540	470	
		P2	530	330	420	490	490	450	490	510	550	
	休日	P1	-	530	550	470	440	420	480	520	460	
		P2	-	470	490	540	470	510	560	550	570	
D	平日休業日		550	350	380	570	530	550	580	490	410	

4.2.3 分析方法

分析項目は、第2章及び第3章に倣って設定した。騒音レベルと周波数特性は時間変動するため、物理量としてそれぞれ L_{Aeq} と、1/1オクターブごとの L_{eq} を用いた。空間特性を表す物理量は、両耳間相関度[13]-[15]を用いた。

分析手順は、以下の通りである。まず、全測定データについて、10秒間のサンプルごとに各物理量を算出した。次に、音源の同定結果より、分析対象の暗騒音のみのサンプルを抽出した。これらから、各測定データの物理量の代表値として、 L_{Aeq} 及び L_{eq} のエネルギー平均と、両耳間相関度の算術平均を求めた。

4.3 分析結果

4.3.1 騒音レベル

全ての測定の分析結果を、Fig. 1.4.2 に示す。1つのパネルに1つの測定点を示している。左目盛に L_{Aeq} を折れ線で、右目盛に棒グラフで通過人数を、横軸は測定時間帯を表している。 L_{Aeq} は、約 55dB から 70dB の間に分布している。また、同一の測定点内では、通過人数が多い時間帯ほど L_{Aeq} が高い傾向が見られる。そこで、 L_{Aeq} と通過人数の関係を求めた。Fig. 1.4.3 に結果を示す。 L_{Aeq} は、通過人数と高い相関 ($r=0.84$) である。この結果は、地下鉄駅や空港旅客ターミナルにおける分析結果と一致する。ただし、通過人数以外のファクターも、 L_{Aeq} に影響する可能性がある為、以下 a から d で、種々のパラメータと L_{Aeq} の関係を分析する。

a:測定日の影響

測定日の違いが L_{Aeq} に与える影響を検討した。本測定では、測定点によって平日営業日、平日休業日、休日営業日の3つの条件で測定している。Fig. 1.4.2 より、同一測定点の同一時間帯における L_{Aeq} を比較すると、その差は最大でも地下街Bの測定点1で見られる 3dB 程度であり、この影響は小さいといえる。

b:時間帯の影響

Fig. 1.4.2 より、平日のみ行った朝8時台の結果に着目する。この時間帯は、朝の通勤ラッシュにあたり、他の時間帯と比べて通過人数が多い。しかし一方で、 L_{Aeq} は高い値とはなっていない。これは、この時間帯の利用者は通勤客が中心で会話が少なく、一人あたりの音圧が小さいからであると考えられる。

c:測定点の影響

測定点が複数ある地下街 A、B、C について、Fig. 1.4.4 に L_{Aeq} と通過人数の関係を測定点別に示す。いずれも、2本の回帰直線は近い。最も影響が大きいのは地下街B (Fig. 1.4.4 (b)) で、通過人数 1000 人前後の場合に測定点の違いによる差が見られるが、その差はおおよそ 5dB 以内である。したがって、同一の地下街では、測定点の影響は小さいといえる。

d:通路幅及び天井高の影響

建築的な条件として、通路幅は 6m から 8m と 13m から 14m の2種類、天井高は 2.8m から 3.0m と 3.6m の2種類にそれぞれ分け、これらの影響を分析した。結果を Fig. 1.4.5 に示す。サンプル数が小さいこともあり、回帰直線の傾きには差があるものの、通過人数が同じ場合の L_{Aeq} の差は小さく、通路幅や天井高の影響は小さいといえる。

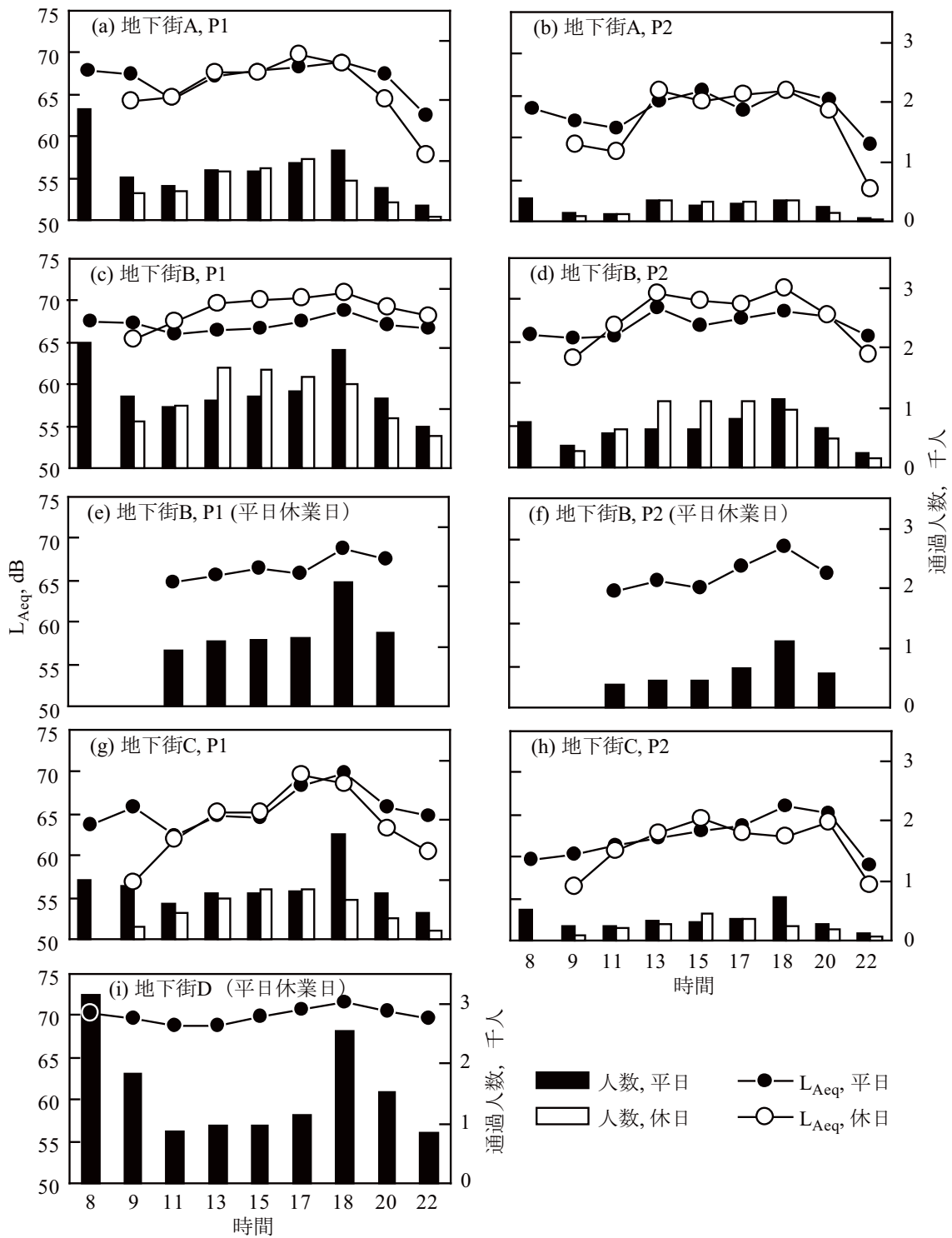


Fig. 1.4.2 L_{Aeq} and number of passengers of for each measuring point. Open and closed circles represent L_{Aeq} for the measurements at weekday and holiday, respectively. Open and closed bars represent the number of passengers per 10 minutes.

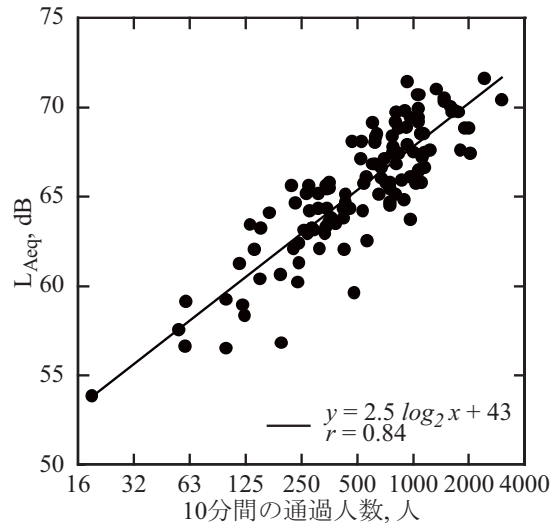


Fig. 1.4.3 Relation between L_{Aeq} and the number of passengers per 10 minutes. Solid line represents regression line.

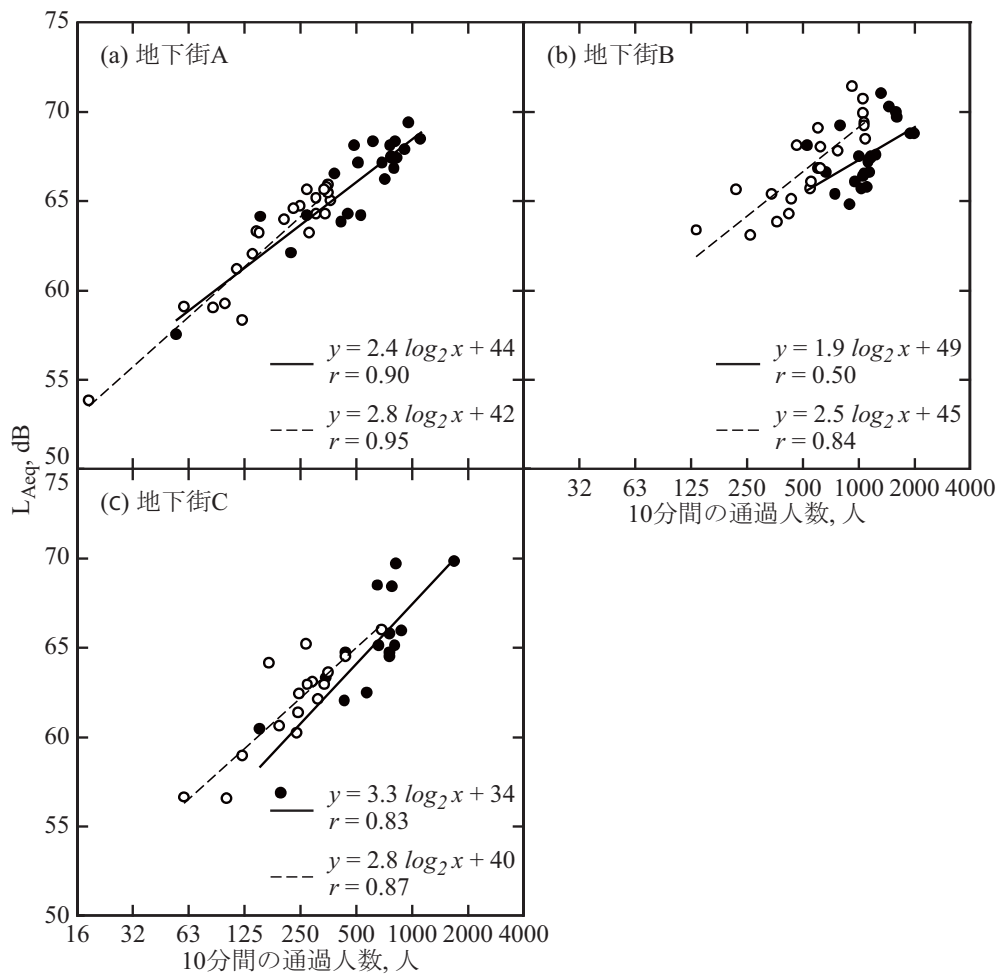


Fig. 1.4.4 Relation between L_{Aeq} and the number of passengers per 10 minutes. Solid and dotted lines represent regression lines. Panels (a), (b) and (c) indicate results at underground shopping area A, B, and C, respectively. Closed circle: measuring point 1; open circle: measuring point 2.

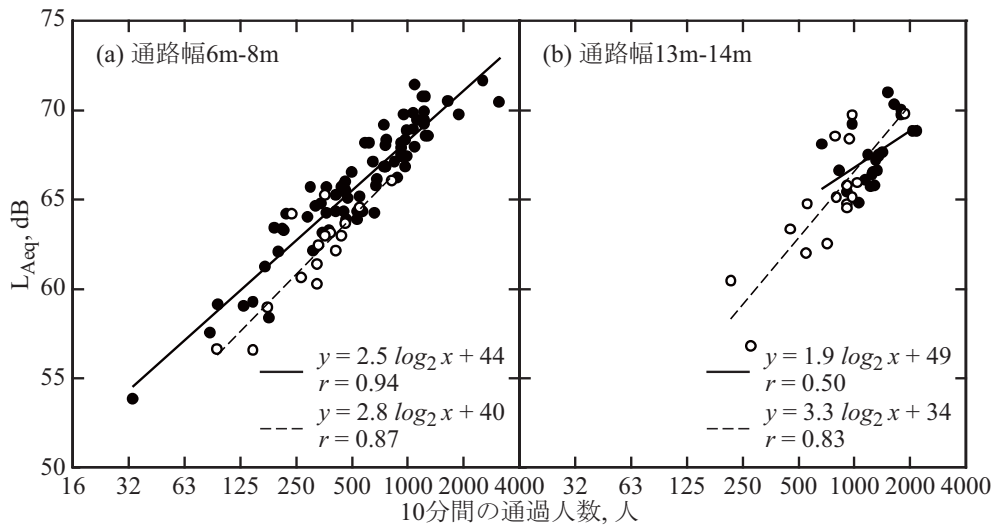


Fig. 1.4.5 Relation between L_{Aeq} and the number of passengers per 10 minutes. Solid and dotted lines represent regression lines. Panels (a) and (b) indicate results in passageway width of 6m-8m and 13m-14m, respectively. Closed circle: CH=2.8m-3.0m; open circle: CH=3.6m.

以上をまとめると、 L_{Aeq} は約55dBから75dBの範囲で大きく変動するが、通過人数の他に、時間帯が朝のラッシュ（朝8時台）か否かを条件に推定可能すれば良いと考えられる。これらの関係を、Fig. 1.4.6に示す。全ての地下街における測定について、朝のラッシュ時と9時から22時とに分けて L_{Aeq} と通過人数の関係を示した。図中の実線はそれぞれについての回帰直線を表し、点線は9時から22時の結果の95%信頼区間を示している。9時から22時の L_{Aeq} と通過人数の相関係数は0.88と高く、通過人数から推定することの妥当性を示している。回帰直線の95%信頼区間は、 \pm 約3.4dBである。また、回帰直線の傾きは2.4であることから、暗騒音の L_{Aeq} は通過人数が2倍になると約2.4dB上昇するといえる。

一方、朝のラッシュの時間帯（朝8時台）についても、図に示すように通過人数と相関が高い（ $r=0.87$ ）。朝のラッシュ以外の時間帯の回帰直線と、朝ラッシュの回帰直線を比較すると、同じ通過人数における L_{Aeq} は、朝ラッシュの場合が全体的に約3dB低くなる傾向が見られた。

L_{Aeq} を通過人数から推定可能であるというこれらの結果は、前章までの地下鉄駅や空港旅客ターミナルにおける測定結果と一致する。測定した地下街には、利用者数が日本最大のものを含んでおり、求めた回帰式は、日本全国の全ての地下街に適用できると考えられる。なお、10分あたりの通過人数は最大で約3000人であった。

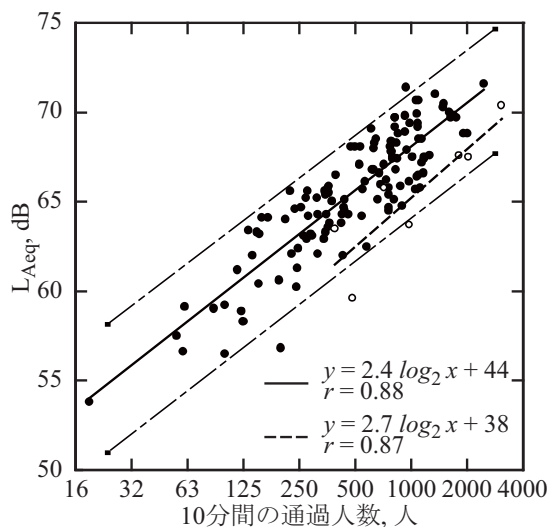


Fig. 1.4.6 Relation between L_{Acq} and the number of passengers per 10 minutes. Solid and dotted lines represent regression lines. Dashed-dotted lines represent 95% confidence interval of results from nine o'clock to twenty-two. Closed circle: results from nine o'clock to twenty-two; open circle: results at eight o'clock.

4.3.2 周波数特性

全ての測定における結果を Fig. 1.4.7 に示す。測定点ごとに、全ての結果をまとめて示した。周波数特性は全体的によく似た傾向が見られ、500Hz から 1kHz 付近に緩いピークを持ち、周波数が高くなるにつれ約 5dB/oct.減衰する特性となった。この周波数特性は、話声のスペクトル[16]に近く、地下街における主要な音源が話し声であることを示唆している。

結果を詳しくみると、各バンドのレベルが低いほど、ピークが緩やかな傾向が見られる。先の分析で、 L_{Acq} と通過人数には高い相関が見られた為、この傾向も通過人数から説明がつかないと仮定した。通過人数が少ない場合と多い場合の例として通過人数が約100人と約1000人の場合を比較検討した。通過人数が100人及び1000人に近い順に5サンプルずつ(102人、102人、89人、119人、125人)、(1002人、1003人、1008人、968人、964人)の L_{eq} をオクターブバンドごとに算術平均し、それぞれについて周波数特性を算出した。結果を Fig. 1.4.8 に示す。通過人数が少ない場合に比べ、通過人数が多い場合の方がピークが顕著である。これは、通過人数が多いほど利用者の会話の音圧レベルが高くなり、話声のスペクトルに近くなる結果であると考えられる。

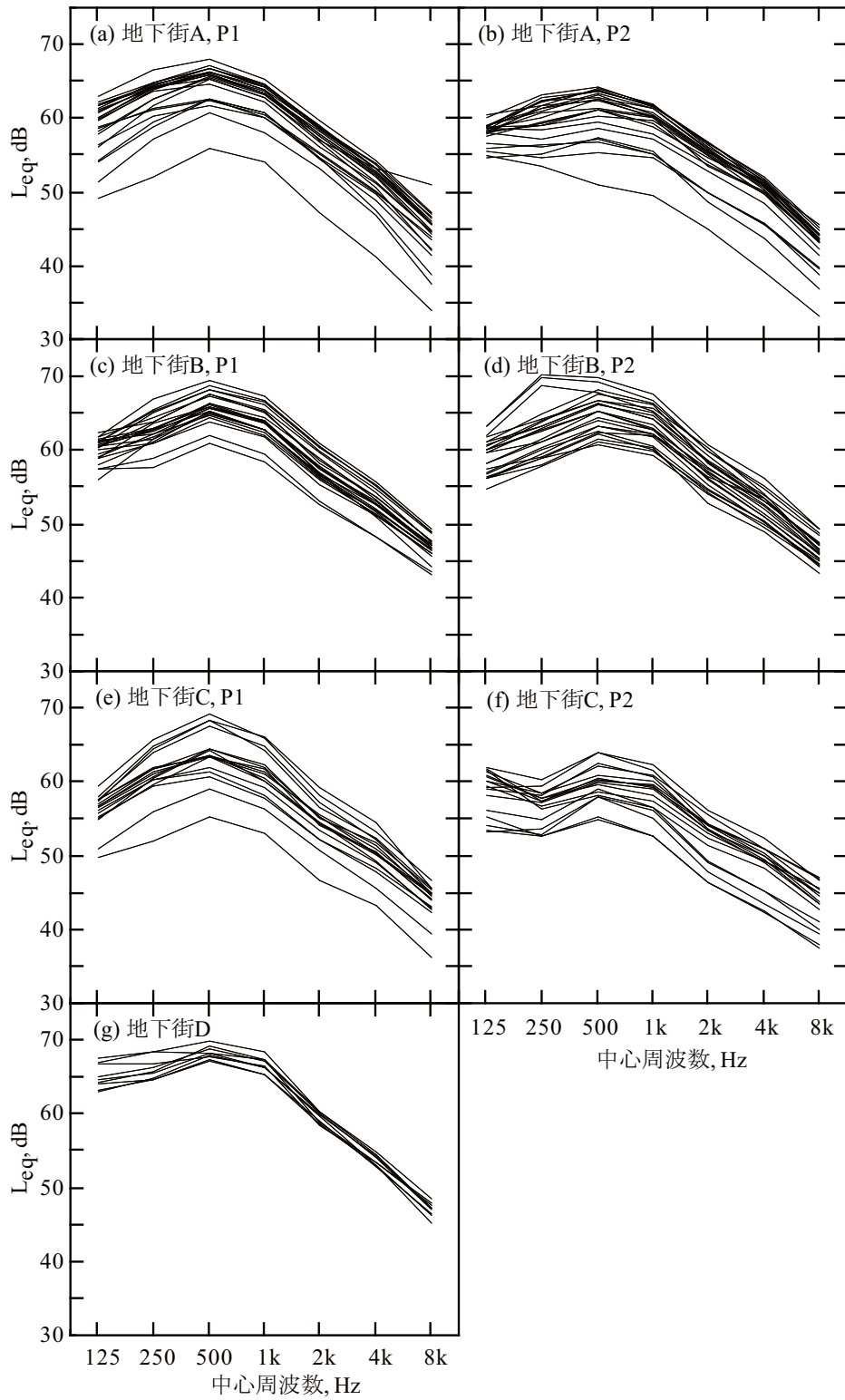


Fig. 1.4.7 Octave band spectrum for each measurement. Each panel indicates the results for each measuring point, respectively.

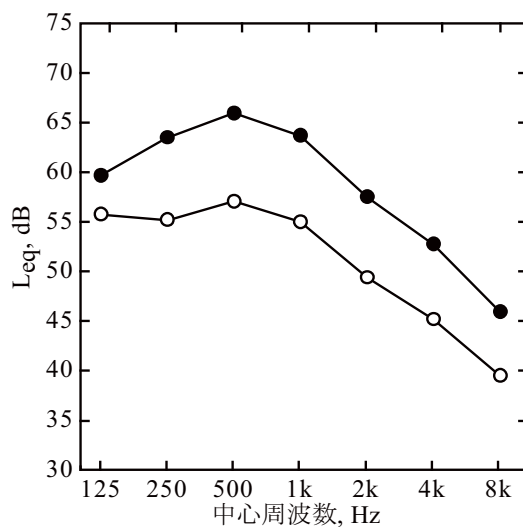


Fig. 1.4.8 Octave band spectrum for different number of passengers. Closed circle: results of around 1,000 people pass through; open circle: results of around 100 people pass through.

4.3.3 両耳間相関度

1/3 オクターブバンド分析[14]と広帯域の分析を行った。広帯域の分析は、100Hz から 10kHz に帯域制限し、A 特性無し[13]で行った。分析結果を Fig. 1.4.9 に示す。地下街 A、B、C では測定した 2 回の両耳間相関度の結果に差が小さかったため、それぞれの値を算術平均して各地下街における代表値とした。また、図中の×印はそれぞれの中心周波数の、拡散音場における 2 点間相関の理論値 [17]を示している。2 点間の距離 r は、耳の音響中心の影響を考慮して 0.30m とした[18]。全帯域でこの理論値に近い値であり、地下街の両耳間相関度は測定条件によらず、拡散音場における 2 点間相関の理論値に近いといえる。なおこの結果は、第 2 章及び第 3 章の地下鉄駅構内や空港旅客ターミナルにおける結果と一致する。

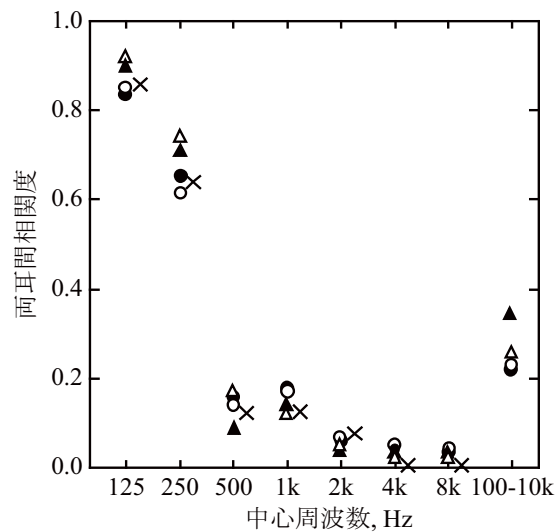


Fig. 1.4.9 Frequency characteristics of the degree of interaural cross-correlation. Open circle: at underground shopping area A, closed circle: at underground shopping area B; open triangle: at underground shopping area C; closed triangle: at underground shopping area D; x: theoretical values in a diffuse sound field, $r=0.30m$.

4.4 第 4 章のまとめ

地下街におけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性について測定分析を行い、以下のことを明らかにした。

- ・騒音レベルは、約 55dB から 75dB の範囲で大きく変動するが、通過人数から推定可能である。通過人数が 2 倍になると、約 2.4dB 上昇する。なお、一人当たりの会話のエネルギーが小さくなる朝のラッシュの時間帯は、同じ通過人数でも約 3dB 低くなる。
- ・周波数特性は、500Hz から 1kHz 付近に緩いピークを持ち、周波数が高くなるにつれ約 5dB/oct. 減衰する特性となる。なお、通過人数が多いほどピークは顕著に現れる。
- ・両耳間相関度は、拡散音場における 2 点間相関の理論値に近い値となる。

以上を Table 1.4.3 にまとめた。地下街におけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性に支配的な音源は利用者の会話であり、それぞれの音響特性は通過人数から推定可能である。また測定した地下街には、利用者数が日本最大のものを含んでおり、この結果は日本全国の全ての地下街に適用できると考えられる。なお、10 分間あたりの通過人数は最大で約 3000 人である。

Table 1.4.3 Summary of acoustic characteristics of background noise against the announcement at underground shopping areas.

場所	L_{Aeq} ^{b)}	周波数特性	両耳間相関度
地下街 通路	$2.4 \log_2 x + 44$ dB (55 dB - 75 dB)	500Hz付近に 緩いピークを持ち 約5dB/oct.減衰する (通過人数が多いほ どピークは顕著)	拡散音場 における2点間 相関の理論値 ($r=0.30m$)

b) x: 10分間の通過人数,人

第 1 部

第 5 章 電車内における暗騒音

本章では、電車内を対象とし、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにする。前章までの建築空間とは異なり、乗り物を対象とする。鉄道は、都市圏では利用者の多い重要な交通機関といえる。運行中の車内は、当然のことながら走行音によって喧騒的な空間となりがちであるが、その中で、駅名を告げるアナウンスは頻繁に行われている。

測定は 2 通り行った。1 つ目は、運行区間全体を通しての大まかな傾向を把握するための測定である。2 つ目は、実際にアナウンスが放送されている区間に着目した測定である。

5.1 測定 1: 運行区間全体の傾向

まず、運行区間全体を対象とした、1 つ目の測定について述べる。

5.1.1 測定対象

関西の鉄道 15 路線における電車内で測定を行った。Table 1.5.1 に測定対象の電車の概要を示す。アルファベットは路線を示し、後ろの 1 又は 2 は運行種別を示す。なお、1 は各駅停車、2 は特急などの快速運転である。各路線について地上と地下の違いを調べるため、地下の両方を走行する路線を選んだ。ただし、路線 C には、地下区間は存在しない。測定点は電動車 (駆動モーターの付いた車両) と付随車 (駆動モーターの付いていない車両) の 2 点とした。なお、路線 E1 は電動車のみの走行であった。測定は、電車が比較的混雑していない平日の昼間 (9 時から 15 時頃) に行った。

測定は、モノラル録音を行った。騒音計 (RION, NL-32) をマイクとして、WAVE レコーダ (ROLAND, R-1) に録音した。マイクは着席した測定者の膝の上に固定し、床面から約 0.7m の高さとした。

第 1 部

Table 1.5.1 List of measured railway, number of stations, and measuring length of time.

路線	停車駅数	測定時間, 分
A1	20	65
A2	8	45
B1	15	34
B2	8	36
C1	28	86
C2	6	53
D1	23	62
D2	15	49
E1	31	72
E2	7	31
H1	22	51
F1	29	83
F2	11	54
G1	33	77
G2	13	55
H1	22	51

5.1.2 暗騒音の分類

測定したデータには暗騒音だけでなく、アナウンス等も含まれているので、分析に先立ち、分析対象の暗騒音を分離するために、前章までの方法に倣い、全ての測定において録音されている音源の種類を同定した。同定方法は、防音室内でヘッドホンを通して録音を繰り返し聞き、聞こえた音源の種類を同定した。

前章までとは異なり、暗騒音を構成する主な音源は電車の走行音であることは明らかである。したがって、アナウンス等が聞こえる区間の他は、電車の走行状態を録音から判断して分類することとした。具体的には「停車」、「通常走行」、「通常と異なる走行」の3通りである。

「停車」に分類したのは、停車駅で扉が開いてから閉じるまでの区間とした。この間、暗騒音の音源は、電車内のみでなく、プラットホーム内の雑踏の音が含まれる場合がある。「通常と異なる走行」に分類したのは、電車の走行中で、鉄橋や踏切を通過する区間、カーブによるスキール音が生じる区間のような、特定の区間のみで生じる音が存在する区間とした。「通常走行」に分類したのは、走行中の区間のうち、先述の「通常と異なる走行」以外の区間とした。

その他に、「突発的な音」として、電車自体の走行状態に関係のない音が聞こえる区間は、分析対象から省くため、別のカテゴリーに分類した。具体的には、乗客の会話のうち、その会話の内容が聞き取れるほどのもの、携帯電話の着信音等の電子音、その他の車内で突発的に生じる音である。

また、電車同士のすれ違い時に生じる衝撃音や、扉の開閉音、並びに停車中にプラットフォーム内から聞こえるアナウンスも、便宜上こちらに含めた。また、「アナウンス等」として、車内のアナウンス、BGM、サイン音が聞こえる区間を分類した。車内のアナウンスは、予め録音された音声を再生したものと、車掌による生声のものがあった。

以上より、全ての測定区間について、「停車」、「通常走行」、「通常と異なる走行」、「突発的な音」、「アナウンス等」の5つのカテゴリーに分類した。なおこれらは、地上区間と地下区間のそれぞれについて分類した。分類の一例を Fig. 1.5.1 に示す。「通常走行」は録音全体の約半分の時間で確認され、「通常と異なる走行」及び「停車」は全体の約2割で確認された。

5.1.3 分析方法

騒音レベル及び周波数特性を分析する。これらは、時間変動するため、物理量として、 L_{Aeq} 及び $1/1$ オクターブバンドごとの L_{eq} を用いた。

分析手順は、以下の通りである。まず、全ての測定について 200ms 毎に L_{Aeq} 及び L_{eq} を算出した。次に、暗騒音の分析対象として、「停車」「通常走行」「通常と異なる走行」の区間をそれぞれ抽出し、分析対象とした。路線によって録音時間や、それぞれの音源が確認された時間長は異なるため、分析対象の時間長も路線や走行状況により異なり、14.4 秒から 2579.2 秒と広く分布している。

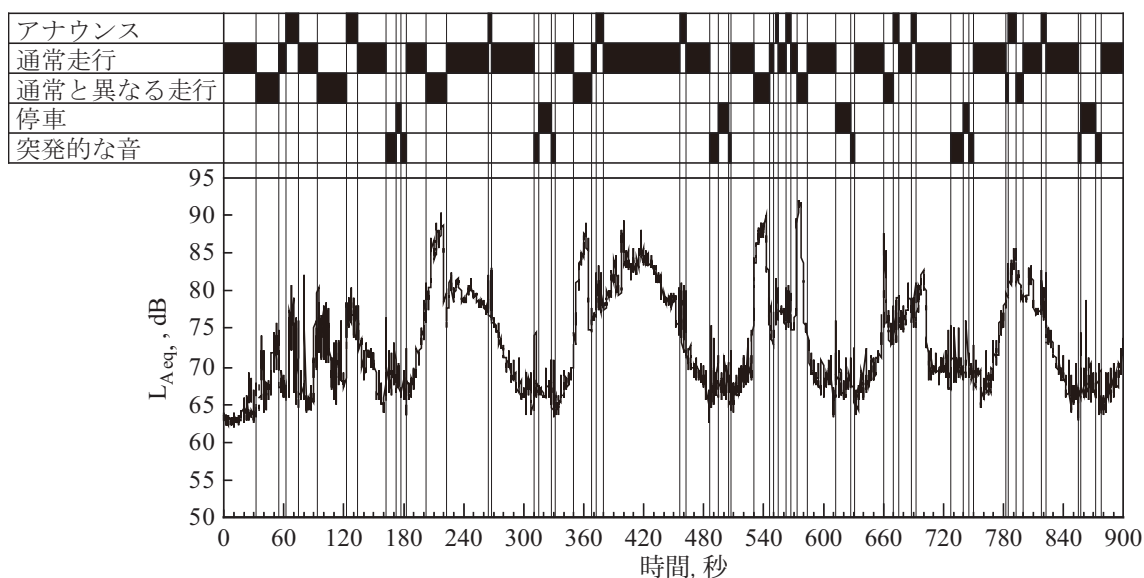


Fig. 1.5.1 Examples of time history of driving conditions of trains and L_{Aeq} in a train. Filled cells represent identified driving conditions.

5.1.4 分析結果

a. 騒音レベル

200ms 毎の L_{Aeq} の頻度分布の分析例を、Fig. 1.5.2 に示す。全体的に見ると、 L_{Aeq} は 55dB から 85dB 程度まで大きく変動することがわかる。まず、走行状況の違いによる影響を検討する。停車時の場合、他の走行時の条件と比べて変動が小さい。90%レンジはいずれも約 10dB 以内である。一方、通常走行時や通常と異なる走行は、いずれも 90%レンジはおおよそ 5dB から 20dB である。また、通常走行時よりも通常と異なる走行は頻度分布が全体的に高い方向にシフトする傾向が見られる。停車時における L_5 の最小値は 56dB、最大値は 69dB であり、 L_{95} の最小値は 62dB、最大値は 73dB であった。また、通常走行時における L_5 の最小値は 56dB、最大値は 68dB であり、 L_{95} の最小値は 66dB、最大値は 84dB であった。このように、走行状況が同じでも路線によって L_{Aeq} は大きく異なる。

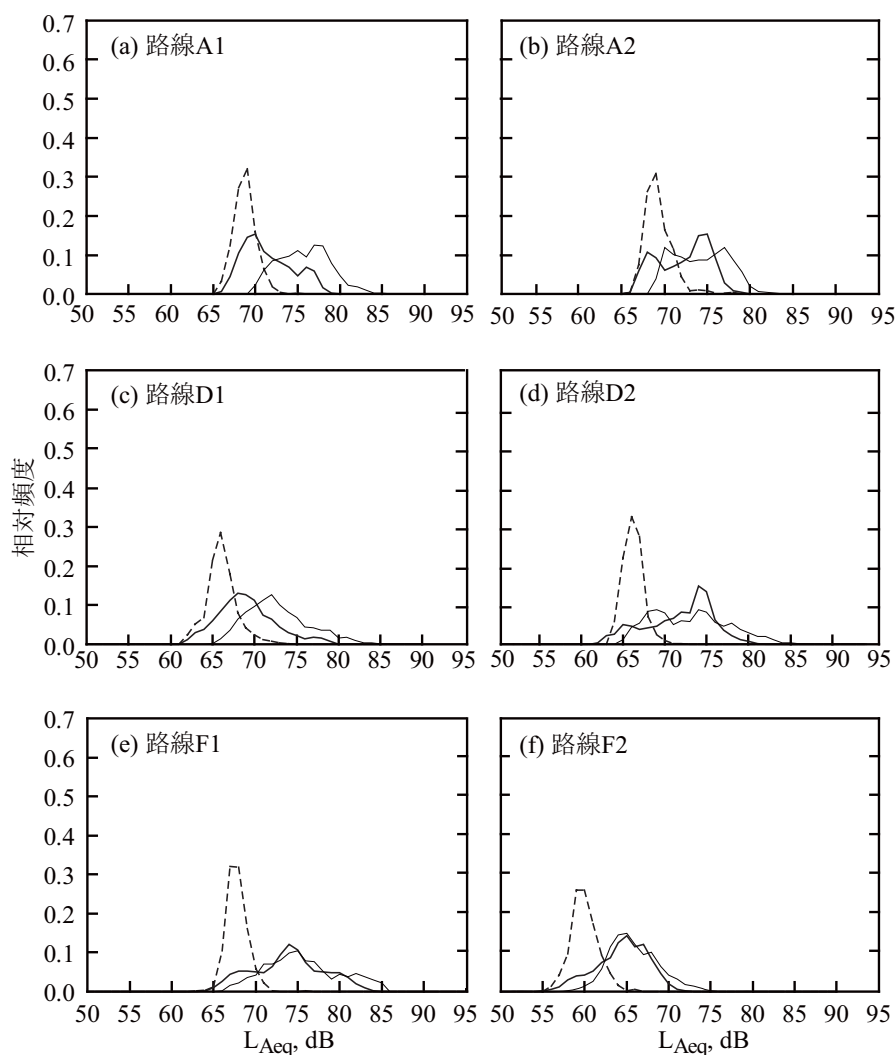


Fig. 1.5.2 Examples of relative frequency of L_{Aeq} . heavy line: normal driving; narrow line: non-normal driving; dotted line: stops at stations.

次に、同じ路線で停車駅の異なる車両について検討する。Fig. 1.5.2の左側のグラフは普通電車等の各駅停車の場合の結果であり、右側のグラフは同じ路線の快速電車等の結果である。両者を比較すると、多くの場合で、停車時においては差が見られないが、走行時においては快速電車の方がやや高いレベルにシフトする傾向が見られた。これは、快速電車は停車駅が少なく、走行速度が大きい時間が長くなることが影響していると考えられる。ただし、路線Fの結果は例外で、普通に比べて特急の方が全体的にレベルが低い。これは、特急車両は出入口がデッキ形式となっており、出入口と客席との間に扉が二重となっていることが原因と考えられる。

さらに、各測定の結果を比較検討するため、それぞれの頻度分布を基に L_{Aeq} の最頻値を算出した。各路線について地上と地下、電動車と付随車とをそれぞれ算出し、各走行状況につき4パターンの最頻値を求めた。結果をFig. 1.5.3に示す。全体的な傾向として、停車時の L_{Aeq} の最頻値は、おおよそ60dBから70dBの範囲に分布する。走行時は通常走行が60dBから80dB、通常と異なる走行では65dBから85dBに分布する。多くの路線で、停車時、通常走行、通常と異なる走行の順に最頻値が高くなる傾向が見られるが、一部の路線では停車時と通常走行時とで L_{Aeq} の最頻値がほぼ等しかったり、逆に走行時の方が低くなる場合が見られた。これは、走行時においてドアの開閉の前後は L_{Aeq} が低くなることが原因である。特に停車駅の多い普通路線や地下区間では停車回数が多いことから、この傾向が見られた。また、路線B2や路線E2では、通常走行時より通常と異なる走行時の L_{Aeq} の最頻値が低い。これらの路線は頻度分布において L_{Aeq} の変動が非常に大きく、顕著なピークが現れなかったことが原因と考えられる。このように頻度分布において明確なピークを持たない場合は、最頻値が各測定の代表値として適さないため、図中にカッコをつけた。

続いて、地上区間と地下区間の違いによる影響を検討した。Fig. 1.5.3より、●、○と▲、△の差を比較すると、各路線における停車時の最頻値は地上区間と地下区間の差は小さく、その差は最大でも約5dBである。通常走行時は、路線によって地上区間と地下区間とで最頻値の大小関係は異なる。傾向としては、停車駅の多い路線は地下区間の方が、停車駅の少ない路線は地上区間の方が最頻値は高い傾向が見られた。これは、停車駅の多い路線は全体的に地上区間の走行速度が小さいため地上の L_{Aeq} の最頻値が低く、停車駅の少ない路線は地上区間の走行速度が大きく地上の L_{Aeq} の最頻値が高いためと考えられる。なお、地下区間の走行速度は地上区間の速度とほぼ同じ、またはやや小さくなっており、地上区間と地下区間で速度がほぼ同じ場合は地下区間の方が約5dB高くなった。

最後に、車両種の違いによる影響を検討した。Fig. 1.5.3より、●、▲と○、△の差を比較すると、各路線における停車の最頻値は電動車と付随車の差は小さく、その差は最大でも約5dBである。走行時は、地上区間と地下区間共に電動車の方が付随車より最頻値が高い傾向が見られる。しかし、その差はほとんどの路線で約5dB以内である。詳しく見ると、地上区間の方が地下区間と比べて最頻値の差が大きい傾向が見られる。これは地上区間の方が地下区間より走行速度が大きく、電動車のモーター音が顕著に影響するためと考えられる。

第 1 部

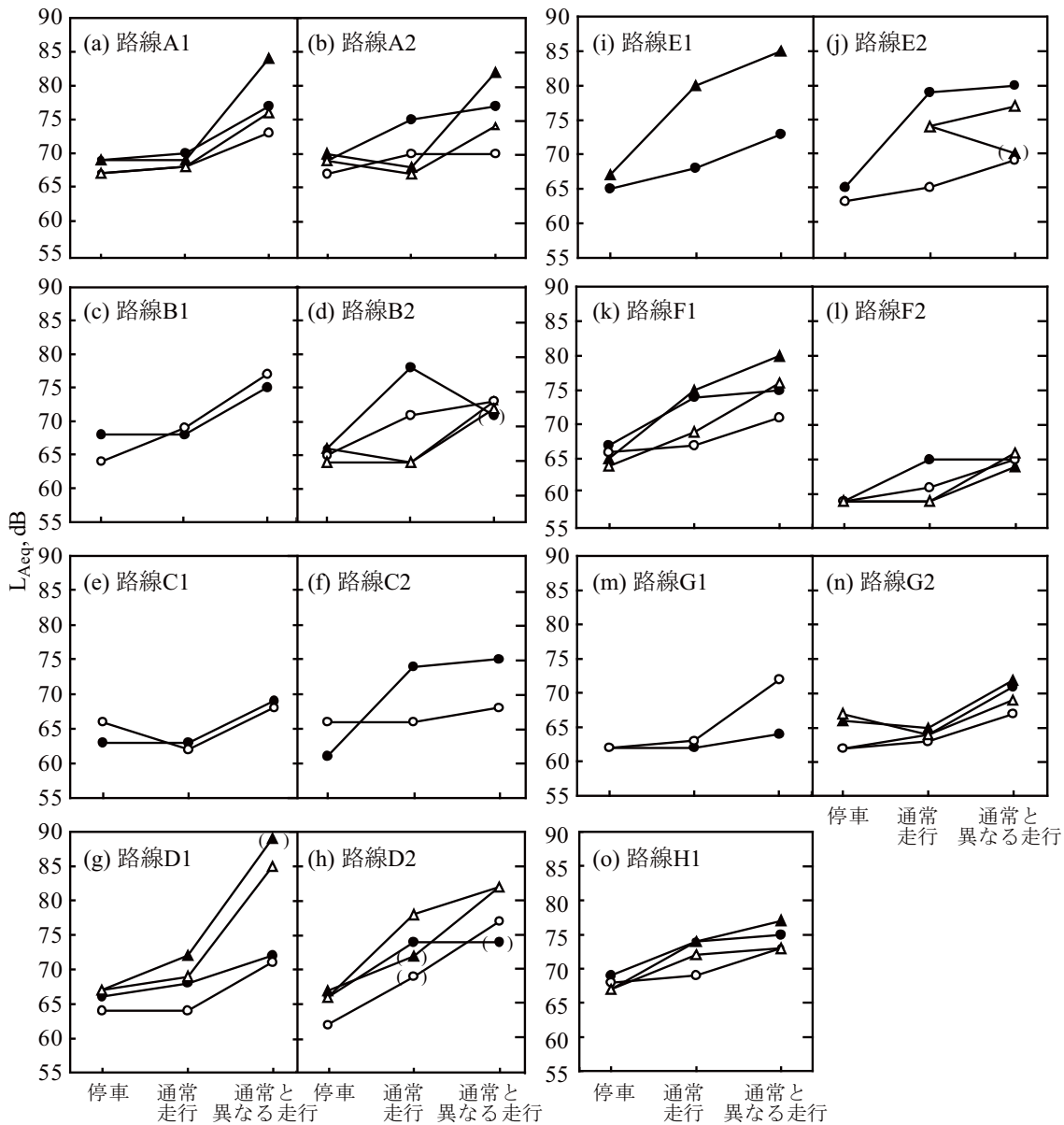


Fig. 1.5.3 Mode value of L_{Aeq} in the trains. Closed circles: motor vehicles on the ground; Open circles: no motor vehicles on the ground; Closed triangles; motor vehicles under the ground, Open triangles: no motor vehicles under the ground.

b. 周波数特性

200ms 毎に算出した 1/1 オクターブバンドの L_{eq} を、地上区間、地下区間それぞれについて「停車」「通常走行」「通常と異なる走行」の場合でエネルギー平均し、代表値とした。全ての分析結果を Fig. 1.5.4 に示す。周波数特性は全体的によく似た傾向であり、125Hz から 8kHz まで、約 5dB/oct. で直線的に減衰している。なかには、500Hz から 1kHz 付近がフラットな特性のものが見られるが、これは、人の会話による影響と考えられる。また、地下区間の通常と異なる走行時に限り、250Hz の L_{eq} が高いものが見られる。これは地下区間のカーブ等で発生するスキール音の影響と考えられる。

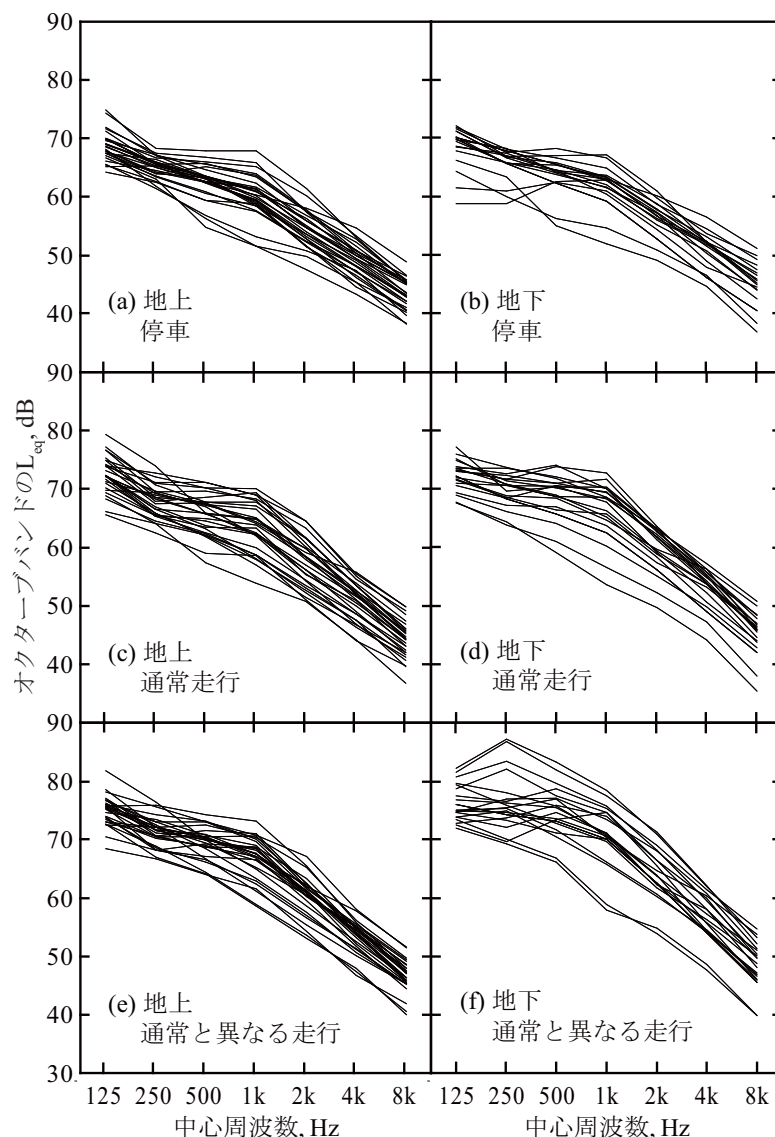


Fig. 1.5.4 Octave band spectrum of every measurement. Each panel indicates each running condition of train, respectively.

5.1.5 測定1のまとめ

電車内のアナウンスに対する暗騒音について、運行区間全体を通しての大きな傾向を把握するため、測定を行い、以下のことを明らかにした。

- 騒音レベルは 55dB から 85dB 程度まで大きく変動する。走行状況ごとの最頻値は、停車時は 60dB から 70dB、通常走行は 60dB から 80dB、鉄橋や踏切、カーブ等を通過する区間である、通常と異なる走行は 65dB から 85dB である。
- 周波数特性は、約 5dB/oct. で直線的に減衰する。ただし、乗客の会話の影響で 500Hz 付近が、

第 1 部

また地下区間のカーブ走行中にはスキール音の影響で250Hz付近がそれぞれ強い特性となることがある。

5.2 測定 2: 実際のアナウンス放送中の傾向

2つ目の測定として、実際にアナウンスが放送されている区間に着目した測定を行った。

5.2.1 測定対象

関西の市営地下鉄 2 路線を対象に測定を行った。これらは、測定 1 では測定していない。路線 a は、1980 年代に開業した路線であるのに比べ、路線 b は、2001 年に開業した比較的新しい路線である。路線 a では、車掌による肉声のアナウンスと、一部英語の自動放送が行われている。運行区間には、地上区間と地下区間が存在する。一方路線 b では、録音再生による自動放送のアナウンスが行われている。運行区間は、全て地下区間である。

路線 a は、2 日間に渡って合計 2 往復分測定したが、2 日目の片道分については、アナウンスが聞き取れなかったため、分析対象から除外した。路線 b は、1 往復分の測定について分析した。

5.2.2 分析方法

電車内での案内放送として、発車後に次の駅名を告げるアナウンスと、到着前の駅名と乗換え案内を告げるアナウンスについて分析した。分析項目は、騒音レベルと周波数特性とし、これらは時間変動をするため、前章までと同様に、物理量として L_{Aeq} とオクターブバンドの L_{eq} を算出した。

まず、暗騒音とアナウンスを含めて全ての測定について 200ms ごとに L_{Aeq} を算出した。Fig. 1.5.5 に分析例を示す。実際にアナウンスが流れている区間の暗騒音を分析するため、分析範囲はアナウンスが流れている区間のポーズの時間とした。防音室内で、アナウンスの区間をヘッドホンで繰り返し聴き、200ms ごとにポーズの部分を抽出した。アナウンスの長さやポーズの時間はそれぞれ異なるので、 L_{Aeq} とオクターブバンドの L_{eq} を求める時間長はアナウンスごとに異なる。

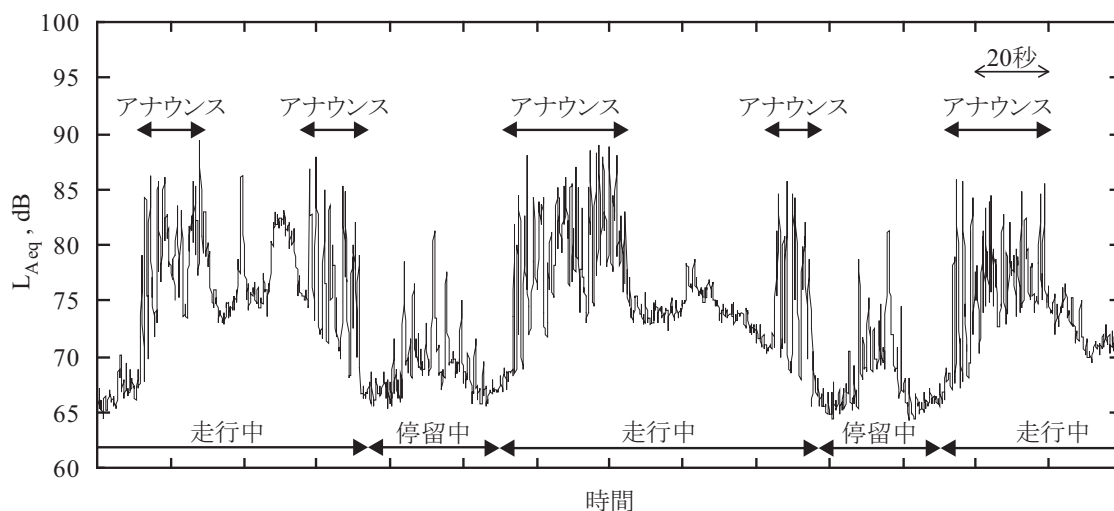


Fig. 1.5.5 Examples of time history L_{Aeq} in a train on Line b.

5.2.3 分析結果

a. 騒音レベル

Fig. 1.5.5 からわかるように、アナウンスは、発車直後の騒音レベルの上昇時と、停車前の騒音レベルの下降時に放送される場合が多かった。全てのアナウンスについて、 L_{Aeq} の頻度分布を求めた結果を Fig. 1.5.6 に示す。全体的に、65dB から 85dB 程度に広く分布している。ただし、地下の場合と地上の場合で傾向が異なる。

地下の場合、路線 a、路線 b とも 70dB から 80dB に広く分布している。路線によって車両の種類等が異なるが、その影響は見られなかった。 L_{Aeq} が変動した要因としては、場所によって駅間の距離などが異なり、電車の加速や減速の仕方が異なることが考えられる。また、カーブに差し掛かると L_{Aeq} が上昇する傾向が見られた。

地上の場合、 L_{Aeq} は約 70dB に強いピークがあり、変動幅が小さい。変動幅が小さい原因としては、駅間の距離がいずれも長く加速の程度が一定であったことと、カーブが少なかったことが考えられる。また、全体的に地下の場合よりも低い値となったのは、トンネルからの反射音の影響が無いためと考えられる。

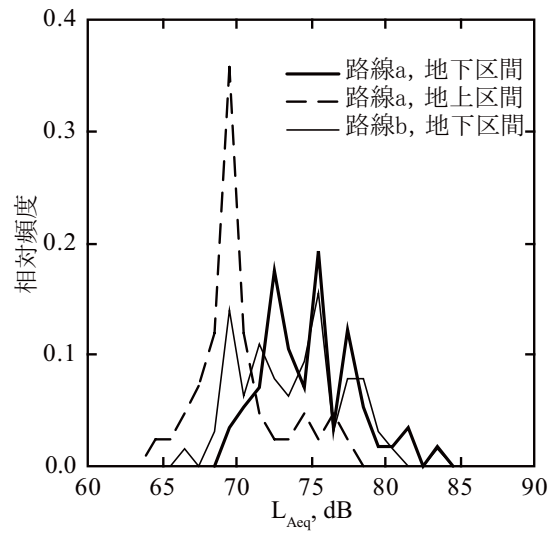


Fig. 1.5.6 Relative frequency of L_{Aeq} . Heavy line: Line a, under the ground; dotted line: Line a, on the ground; narrow line: Line b, under the ground.

b. 周波数特性

全てのアナウンスについて、暗騒音の周波数特性を求めた結果を Fig. 1.5.7 に結果を示す。(a) (b) (c) とも良く似た特性であり、約 5dB/oct. で直線的に減衰する特性であることがわかる。一部、250Hz 付近や、500Hz 付近にピークを持つものがあるが、これらは、地下区間のカーブを走行中のスキール音や、乗客の会話の影響であると考えられる。これらの傾向は、測定 1 の分析結果と一致する。

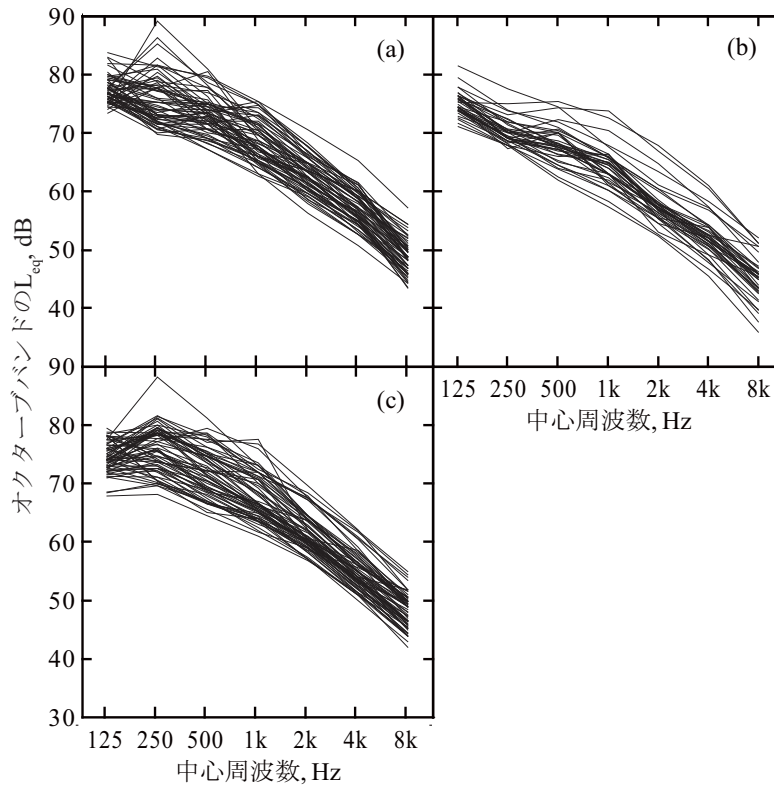


Fig. 1.5.7 Octave band spectrum of every measurement of survey 2. Panel (a): Line a, under the ground; Panel (b): Line a, on the ground; Panel (c): Line b, under the ground.

5.2.4 測定 2 のまとめ

電車内のアナウンスに対する暗騒音について、実際にアナウンスが放送されている区間について、その状況を把握するため、測定を行った。

- ・騒音レベルは、地下区間では約 70dB から 80dB 程度、地上区間では約 70dB 程度である。
- ・周波数特性は、約 5dB/oct. で直線的に減衰する特性である。ただし、乗客の会話の影響で 500Hz 付近が、また地下区間のカーブ走行中にはスキール音の影響で 250Hz 付近がそれぞれ強い特性となることがある。

また、実際のアナウンスは、騒音レベルの上昇時及び下降時に放送されることが多く、ピーク時に放送されることは少ない。

5.3 考察

測定 1 及び測定 2 の結果を受けて考察する。測定 1 より、電車運行中の車内の L_{Aeq} は、通常走行は 60dB から 80dB、通常と異なる走行は 65dB から 85dB に分布する。これらは、前章までで取り上げた地下鉄駅、空港旅客ターミナル、地下街といった建築空間では最大でも 75dB 程度であることに比べて、高いレベルといえる。測定 2 より、実際のアナウンスは、走行中の騒音レベルの上昇時及び下降時に放送されることが多く、ピーク時に放送されることは少ないものの、 L_{Aeq} としては 70dB 以上であり、非常に喧騒的であると言える。

アナウンスによる情報伝達には、適切な SN 比を確保する必要があるが、例えば暗騒音レベルが 70dB であっても、最適な SN 比[19]とされる+15dB を確保すると、拡声レベルは 85dB となり非常に高い。また、分析結果で直接言及していないが、電車内は騒音レベルの時間変動が非常に大きかった。単純に SN 比をもとに拡声レベルを決定すると、アナウンス自体がうるさいと感じてしまうなど、アナウンスの聴き取りとは別の問題が生じる恐れがあると考えられる。なお、暗騒音レベルが急激に変化する場合の拡声レベルの調整法に関する検討を、本論文の第 2 部にて行うこととする。

5.4 第 5 章のまとめ

運行中の電車の客車内のアナウンスに対する暗騒音について測定分析を行い、以下のことを明らかにした。

運行区間全体の暗騒音

- ・ L_{Aeq} は 55dB から 85dB 程度まで大きく変動する。
- ・ 停車時の L_{Aeq} の最頻値は路線により約 60dB から 70dB に分布し、また各路線における変動幅は

第 1 部

約 10dB 以内である。

- 通常走行時の L_{Aeq} の最頻値は路線により約 60dB から 80dB に分布し、また各路線における変動幅は約 5dB から 20dB 程度である。
- 鉄橋や踏切、カーブ等を通過する区間である、通常と異なる走行時の L_{Aeq} の最頻値は路線により約 65dB から 85dB に分布し、また各路線における変動幅は約 5dB から 20dB 程度である。
- 周波数特性は、走行状態によらず、全体的に約 5dB/oct. で直線的に減衰する。ただし、乗客の会話の影響で 500Hz 付近が、また地下区間のカーブ走行中にはスキール音の影響で 250Hz 付近がそれぞれ強い特性となることがある。

アナウンス放送時の暗騒音

- 実際のアナウンスは、騒音レベルの上昇時及び下降時に放送されることが多く、ピーク時に放送されることは少ない。
- 地下区間の L_{Aeq} は約 70dB から 80dB 程度である。
- 地上区間の L_{Aeq} は約 70dB 程度である。
- 周波数特性は、約 5dB/oct. で直線的に減衰する特性である。ただし、乗客の会話の影響で 500Hz 付近が、また地下区間のカーブ走行中にはスキール音の影響で 250Hz 付近がそれぞれ強い特性となることがある。

アナウンス放送時の暗騒音の音響特性を、Table 1.5.2 にまとめた。前章までで取り上げた地下鉄駅、空港旅客ターミナル、地下街といった建築空間では最大でも 75dB 程度であることに比べて、運行中の電車の客車内の L_{Aeq} は高いレベルといえる。また、実際のアナウンスは、走行中の騒音レベルの上昇時及び下降時に放送されることが多く、ピーク時に放送されることは少ないものの、 L_{Aeq} としては 70dB 以上であり、非常に喧騒的である。

Table 1.5.2 Summary of acoustic characteristics of background noise against the announcement in a subwaytrain.

場所	L_{Aeq}	周波数特性
地上区間	70 dB ±3 dB	約5dB/oct. で単調に減衰する
地下区間	70 dB - 80 dB	

第 6 章 アナウンスの現状

前章までは、公共空間におけるアナウンスに対する暗騒音に着目して測定分析を行ってきたが、本章では、アナウンスそのものに着目して現状を調査する。目的は、適切なアナウンスを設計するにあたり、実際に放送されているアナウンスの状況を把握するためである。

6.1 分析対象

地下鉄駅構内及び地下鉄電車内におけるアナウンスの騒音レベルを求めた。それぞれ、第 2 章及び第 5 章における暗騒音の測定と併せて行った。

地下鉄駅構内では、駅員による生声アナウンスと、あらかじめ録音された音声の自動再生による録音アナウンスとがある。電車内では、停車駅を告げる案内放送がある。路線 a では車掌による生声アナウンス、路線 b では女声の録音アナウンスである。

6.2 地下鉄駅構内のアナウンス

6.2.1 分析方法

まず、第 2 章の音源の同定結果より、アナウンスが含まれている区間を抽出した。音源の同定は、10 秒間の中にアナウンスが含まれていることを条件に分類したため、この区間にはアナウンスの無い時間も含まれている。本分析では、抽出した区間のうちアナウンスの流れている部分について、200ms ごとに L_{Aeq} を算出した。そのうち最も高い値のものを、該当する測定 (10 分間) の暗騒音の L_{Aeq} を用いて暗騒音補正し、代表値とした。

サンプルとして、4 都市 11 駅よりアナウンスの L_{Aeq} を求めた。また、該当する測定の暗騒音の L_{Aeq} との関係性を求めた。なお、アナウンスレベルに影響するパラメータとして、最寄りのスピーカからの距離があるが、これについては不明である。しかし、測定点は全て人通りのある場所であり、アナウンスが必要とされる場所である。

6.2.2 分析結果

Fig. 1.6.1 (a) に生声アナウンス、Fig. 1.6.1 (b) に録音アナウンスの分析結果を示す。凡例の違いは都市の違いを表している。生声アナウンスの場合 (Fig. 1.6.1 (a))、アナウンスの L_{Aeq} は 75dB から 95dB まで幅広く分布している。またそのレベルは暗騒音の L_{Aeq} との相関は見られない。S/N 比は約 +10dB から +30dB である。録音アナウンスの場合 (Fig. 1.6.1 (b))、ほとんどが 65dB から 80dB で、95dB 程度のもも見られる。S/N 比は約 +5dB から +30dB と幅広い。またその値は都市によって大きく異なることがわかる。

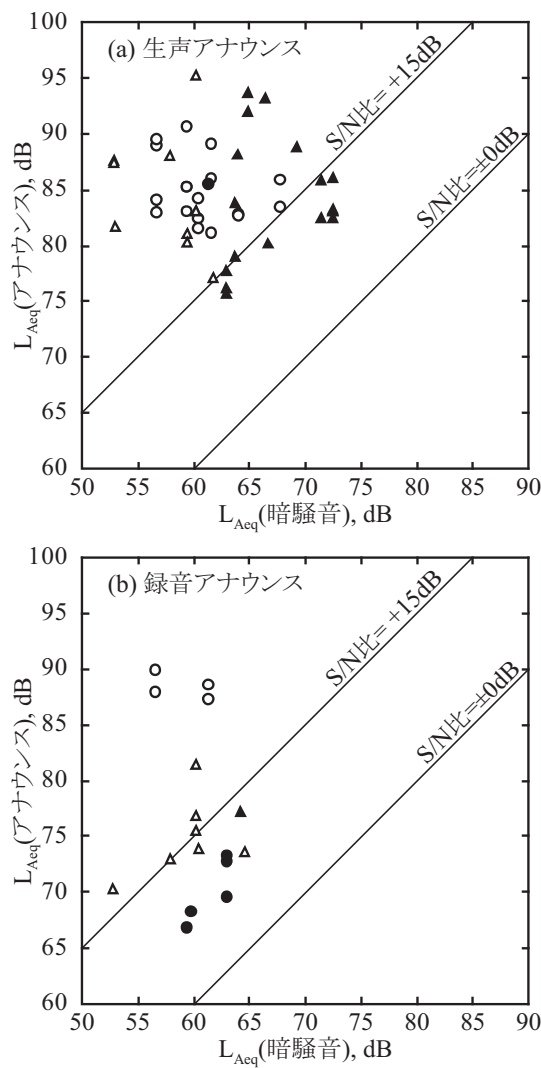


Fig. 1.6.1 Relation between L_{Aeq} of announcement and background noise at subway stations. Different symbols represent the difference of the station. Panels (a) and (b) indicate results of live voice announcement and record announcement, respectively.

6.2.3 考察

Morimoto ら[20]は、公共空間の音声伝達性能を評価する指標として聴き取りにくさを提案している。聴き取りにくさは、音声伝達性能が比較的高い音場でも、音声伝達性能を感度良く評価できる。この聴き取りにくさをを用いて、Kobayashi ら[21]は、公共空間において聴き取りにくさを最小化する最適音声レベルを求めた。これによると、暗騒音レベルがA特性で40dB以上の場合、聴き取りにくさが最小となる音声レベルはS/N比+15dB (slow, peak) 以上である。また、太田ら[22]によると、S/N比を十分に確保しても、音声レベルが85dB (slow, peak) を超えると、うるさ過ぎて、再び聴き取りにくさが増すことが示唆された。これらより、S/N比+15dBを最適値の目安として、アナウンスの聴き取りにくさについて考察する。

生声アナウンス (Fig. 1.6.1 (a)) の場合、ほとんどがS/N比+15dBを確保している。つまり、アナウンスレベルが低過ぎて聴き取りにくいということは少ないと考えられる。

しかし一方で、暗騒音の L_{Aeq} が70dBに満たなくてもアナウンスの L_{Aeq} が85dBを超えているものが多数見られる。なかには95dBのものもある。これらは、うるさ過ぎてアナウンスの内容を聴き取りにくくなる可能性がある。また、そのアナウンスを必要としない人にとっては、かなりの騒音となり得る。これら L_{Aeq} が高いアナウンスの内容を調べると、「扉が閉まります」、「駆け込み乗車はおやめください」など、朝夕のラッシュ時に安全円滑な運行を促すものが多い。こういったアナウンスは鉄道駅であれば全国共通で、非常に耳なじみのあるものであり、内容は十分に通じる。また、生声アナウンスとほぼ同時に、録音アナウンスで同様の内容が流される場合が多い。内容の伝達という観点に絞ると、そもそもアナウンスの必要が無い場合があるのではないかと考えられる。

録音アナウンス (Fig. 1.6.1 (b)) の場合、S/N比+15dBに満たないものが多い。また反対にS/N比が+30dB程度で、アナウンスの L_{Aeq} が85dBを超えるものもある。これらのレベルは都市によって傾向が異なっている。

S/N比が低い場合や極端に高い場合に関しては、音声伝達性能の改善の余地があると言える。

6.3 地下鉄電車内のアナウンス

6.3.1 分析方法

第5章の測定2の分析より、アナウンスが含まれている時間の200msごとの L_{Aeq} のうち、最も高い値のものを、該当する測定(1回のアナウンスごと)の暗騒音の L_{Aeq} を用いて暗騒音補正し、代表値とした。

6.3.2 分析結果

アナウンスと暗騒音の L_{Aeq} の関係を求めた。Fig. 1.6.2 (a) に路線 a の地下の場合、Fig. 1.6.2 (b) に路線 a の地上の場合、Fig. 1.6.2 (c) に路線 b の地下の場合の結果を示す。凡例の違いは測定の違いを表しており、車掌が異なる。なお、(a)と(b)で同じ凡例のものは、同じ電車での測定であるが、車掌が異なる。路線 b は全て録音アナウンスの自動放送であるため、区別していない。

路線 a の地下の場合 (Fig. 1.6.2 (a))、アナウンスの L_{Aeq} は約 75dB から 90dB まで幅広く分布している。また、車掌によって差が見られる。具体的には、○、×、●の順に L_{Aeq} が高い傾向がある。●は、暗騒音の L_{Aeq} とともに上昇している。相関係数が 0.79 と高い相関があり、車掌が暗騒音レベルに合わせてアナウンスのレベルを調整していると考えられる。この回帰式の S/N 比は約 7dB である。○と×は暗騒音の L_{Aeq} との高い相関は見られず、相関係数はそれぞれ 0.42、0.57 である。この場合の S/N 比は約 7dB から 15dB 程度に分布している。

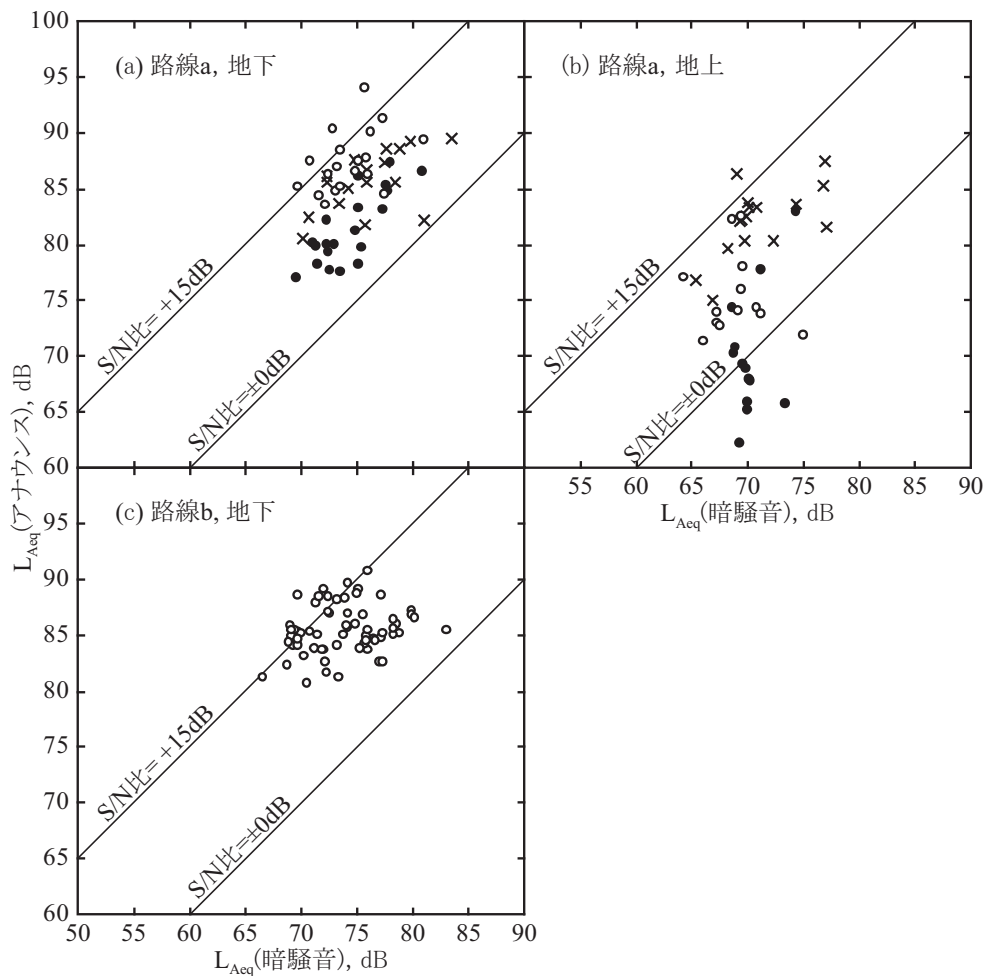


Fig. 1.6.2 Relation between L_{Aeq} of announcement and background noise in subway trains. Different symbols represent the difference of the train. Panels (a) and (b) indicate results of Line a of under the ground and on the ground, respectively. Panel (c) indicates results of Line b of under the ground.

路線 a の地上の場合 (Fig. 1.6.2 (b))、アナウンスの L_{Aeq} は約 65dB から 85dB まで幅広く分布している。地下の場合に比べて全体的に低い値である。また、車掌によって差が見られる。具体的には、×、○、●の順に L_{Aeq} が高い傾向がある。しかし、いずれも暗騒音の L_{Aeq} との高い相関は見られず、相関係数はそれぞれ 0.62、0.08、0.42 である。S/N 比は約-5dB から 15dB 程度に分布している。

路線 b の地下の場合 (Fig. 1.6.2 (c))、録音アナウンスの自動放送であるが、アナウンスの L_{Aeq} は約 80dB から 90dB と±5dB 程度の変動が見られる。また、暗騒音の L_{Aeq} との相関係数は 0.21 と低く、暗騒音レベルに関わらず一定のレベルで放送されていると考えられる。

6.3.3 考察

地下鉄駅構内のアナウンスに比べて、S/N 比が低い場合が多い。Morimoto ら[20]は、残響時間 0.5s で音声レベル 55dB (A 特性, slow, peak) のとき、暗騒音レベルが 40dB (A 特性, slow, peak)、つまり S/N 比+15dB の場合、聴き取りにくさは約 40%、単語了解度はほぼ 100%であるが、暗騒音レベルが 55dB (A 特性, slow, peak)、つまり S/N 比±0dB の場合、聴き取りにくさはほぼ 100%に達し、単語了解度は 80%程度に下がることを示している。さらに、暗騒音レベルが 60dB (A 特性, slow, peak)、つまり S/N 比-5dB の場合、単語了解度は 60%程度まで下がる。S/N 比が+15dB から±0dB の間、また±0dB から-5dB の間で音声伝達性能が大きく低下することがわかる。

路線 a の地下の場合 (Fig. 1.6.2 (a))、S/N 比は±0dB から+15dB 程度である。S/N 比が±0dB 程度のものは、聴き取りにくく、聴き間違いを起こす可能性がある。

路線 a の地上の場合 (Fig. 1.6.2 (b))、S/N 比は-5dB から+15dB 程度である。S/N 比が±0dB より低いものも多く見られ、これらは実際に非常に聴き取りにくいと感じた。

路線 b の地下の場合 (Fig. 1.6.2 (c))、S/N 比は+5dB から+15dB 程度である。路線 a の場合に比べて S/N 比は全体的に良好であり、比較的聴き取りやすいアナウンスであると考えられる。

S/N 比が低い場合に関しては、音声伝達性能の改善の余地があると言える。

6.4 第6章のまとめ

地下鉄駅構内及び地下鉄電車内におけるアナウンスについて、実際の騒音レベルと S/N 比を測定した。その結果、以下のことを明らかにした。

- 地下鉄駅構内におけるアナウンスには、S/N 比が低い場合や極端に高い場合が存在し、音声伝達性能の改善の余地があると言える。
- 地下鉄電車内におけるアナウンスには、S/N 比が低い場合が存在し、音声伝達性能の改善の余地があると言える。

第 1 部

本測定におけるサンプル数はごくわずかであり、世の中の公共空間におけるアナウンスを網羅しているとは決して言えない。しかしこれだけのサンプルであっても、音声伝達性能という観点に立てば、改善の余地があるものが見られた。

第7章 第1部のまとめ

第1部では、アナウンスが必要とされる様々な公共空間において、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにしてきた。具体的には、第1章で序論を述べ、第2章では地下鉄駅構内、第3章では空港旅客ターミナル、第4章では地下街、第5章では電車内を対象として、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を、実測調査により明らかにした。また第6章では、地下鉄駅構内と地下鉄電車内におけるアナウンスの現状調査を行った。

Table 1.7に、第2章から第5章までで得られた結果をまとめて再掲する。ここでは、これらの結果について考察する。

7.1 考察

L_{Aeq} に対して支配的な音源は利用者の会話と電車音に分けられ、利用者の会話である場合は、利用者数によって L_{Aeq} が変動する傾向がある。全体的な変動幅は、約 50dB から約 75dB である。

L_{Aeq} が約 50dB と低かったのは、地下鉄駅構内のプラットホームで、10分間に利用者が数人程度という状況であり、利用者の会話は小さいものであったと考えられる。本研究で想定するアナウンスを必要とするような空間では、仮に利用者の会話が全く無いとしても、換気や空調ための設備音等が常に存在するため、これを暗騒音の L_{Aeq} の下限値と見て差し支えないと考えられる。一方 L_{Aeq} が約 75dB と高かったのは、地下街において、10分間に約 3000人が通過するという非常に混雑した状況である。これは国内で最も利用者の多い地下街で観測され、また測定時の印象でも、身動きを取るのが難しい状況であった。したがって、これを利用者の会話による、暗騒音の L_{Aeq} の上限値と見て差し支えないと考えられる。

また、地下鉄駅構内や空港旅客ターミナルでは、各施設の1日当たりの利用者数という、大まかな指標から推定可能であることを明らかにした。これは、既存の多くの施設で公表されているものであり、汎用性の高い推定方法であることを示している。

周波数特性は、電車音が存在する場合を除く全ての空間において、周波数特性は 500Hz 付近に緩いピークを持ち約 5dB/oct.減衰する特性であることがわかる。この周波数特性は、話声のスペクトル[16]に近い。またこれらの空間では、利用者数の増減すなわち L_{Aeq} の高低に伴って 500Hz 付近のピークの現れ方が変動するという特徴も共通している。これらは、 L_{Aeq} や周波数特性に対して支配的な音源が利用者の会話であるということを裏付けている。

両耳間相関度は、測定を行った全ての空間において、拡散音場における2点間相関の理論値[17] ($r=0.30m$) に近い値となった。

第1部

Table 1.7 Summary of acoustic characteristics of background noise against the announcement at public spaces.

(a) 地下鉄駅構内

場所	電車音	L_{Aeq} a)	周波数特性	両耳間相関度
改札口	有	$1.6 \log_2 x + 56$ dB (55 dB - 70 dB)	500Hz又は1kHzに 緩いピークを持ち 約5dB/oct.減衰する	拡散音場における2点間 相関の理論値 ($r=0.30m$)
	無			
プラットホーム	有	75 ± 3 dB		
	無	$2.0 \log_2 x + 50$ dB (50 dB - 70 dB)		

a) x: 各駅の1日の乗降客数,千人

(b) 空港旅客ターミナル

場所	L_{Aeq}	周波数特性	両耳間相関度
ロビー	60 dB - 65 dB	500Hz付近に 緩いピークを持ち 約5dB/oct.減衰する	拡散音場における2点間 相関の理論値 ($r=0.30m$)
搭乗口	55 dB - 65 dB (搭乗後は これより低い)	(搭乗口で L_{Aeq} が 60dB以下の場合 ピークを持たない)	

(c) 地下街

場所	L_{Aeq} b)	周波数特性	両耳間相関度
地下街 通路	$2.4 \log_2 x + 44$ dB (55 dB - 75 dB)	500Hz付近に 緩いピークを持ち 約5dB/oct.減衰する (通過人数が多いほど ピークは顕著)	拡散音場における2点間 相関の理論値 ($r=0.30m$)

b) x: 10分間の通過人数,人

(d) 地下鉄電車内

場所	L_{Aeq}	周波数特性
地上 区間	70 dB \pm 3 dB	約5dB/oct.で単調 に減衰する
地下 区間	70 dB - 80 dB	

7.2 まとめ

アナウンスが必要とされる様々な公共空間において、アナウンスの設計には不可欠である暗騒音の音響特性を明らかにした。また現状のアナウンスは、S/N比が高い場合と低い場合がそれぞれ見られ、改善の余地があることを示した。

電車音のような音源が無い多くの空間においては、暗騒音の音響特性に支配的な音源は利用者の会話であった。そして、それぞれの暗騒音の音響特性は、利用者数という容易に入手できる指標から推定可能であることを示した。第1章で述べたように、公共空間とは多くの人々が集い活動する空間であるとする、ここで取り上げた用途の公共空間以外にも、利用者の会話が支配的な音源となる空間が多く存在すると考えられる。したがって本研究の成果は、アナウンスによる情報伝達を必要とする様々な公共空間にも適用できると考えられる。また、地下鉄駅構内や空港旅客ターミナルにおいては、各施設の1日当たりの利用者数という、既存の多くの施設で公表されている大まかな指標から暗騒音の音響特性を推定可能であることを明らかにし、汎用性の高い推定方法であることを示した。

第1部では、騒音レベルの時間変動は小さいものと想定して、ある程度の時間幅を持たせた L_{Aeq} を用いた。多くの場合この方法で差し支えないが、稀に騒音レベルが急激に変化する状況がある。本研究でも、電車内においてそのような状況が確認された。第2部では、騒音レベルが急激に変化する場合のアナウンスを研究対象とする。

第 2 部

暗騒音レベルの変動を考慮した拡声レベルの調整法

第 1 章 第 2 部序論

1.1 研究の背景

不特定多数の人々が集い活動する公共空間において、アナウンスによる情報伝達は重要であり、頻繁に行われている。第 1 部では各種公共空間の、アナウンスに対する暗騒音について、現状の実測調査を踏まえ、その音響特性を明らかにした。これにより、暗騒音の影響を考慮した、聴き取りやすいアナウンスを設計することができる。ただし、ここでいう暗騒音は、時間変動が小さい場合を想定している。第 2 部では、暗騒音レベルが変動する場合、それも急激にレベルが上昇する状況において、アナウンスをどのようにすべきかに着目する。

一般に、了解度が高くかつ聴き取りやすい、すなわち音声伝達性能の高い音場とするには、暗騒音レベルに応じて一定の SN 比を確保するようにアナウンスの音圧レベル (拡声レベル) を制御する方法が知られている。ただし、電車がトンネルに進入する瞬間の車両内のように、暗騒音レベルが急激に変動する音場でも同じことが言えるとは限らない。単に SN 比を確保するためには、暗騒音レベルの変動に追随して拡声レベルを調整することが考えられる。しかし、拡声レベルの急激な増幅は驚きや不快感をもたらす可能性がある。驚きや不快感をもたらすようなアナウンスは、適切とは言えないことから、アナウンスの設計には考慮しておく必要がある。このような場合、目指すべきアナウンスは、内容を正確に伝達し、かつ不快感が最小限のものである。

1.2 従来の研究

本研究において対象とする公共空間における音声伝達、つまり残響音や暗騒音が存在する音場における、最適な拡声レベルについては、いくつかの提案がなされている。まず、Morimoto ら[20]は、公共空間の音声伝達性能を評価する指標として聴き取りにくさを提案している。聴き取りにくさは、従来より用いられてきた単語了解度に比べて、音声伝達性能が比較的高い音場でも、音声伝達性能

第 2 部

を感度良く評価できることが特徴である。この聴き取りにくさを用いて、Kobayashi ら[21]は、残響時間を 0.5s に固定し、音声レベルと暗騒音レベルの 2 つをパラメータとし、聴き取りにくさを最小化する最適音声レベル (Optimum speech level) を求めた。これによると、暗騒音レベルが A 特性で 40dB 以上の場合、聴き取りにくさが最小となる音声レベルは S/N 比+15dB 以上である。また、太田ら[22]によると、S/N 比を十分に確保しても、音声レベルが 85dB (A 特性, slow, peak) を超えると、うるさ過ぎて、再び聴き取りにくさが増すことが示唆された。

また、佐藤[19]は、被験者に若年者と高齢者を用いて単語理解度及び聴き取りにくさの聴感実験を行い、単語理解度が最大かつ聴き取りにくさが最小となる音声レベルを最適音声レベル、単語理解度が最大かつ聴き取りにくさがその音場における最小値と有意な差がない音声レベルを、許容音声レベルと定義しそれぞれ検討した。その結果、最適音声レベルは、若年者の場合は下限値が A 特性で 65dB かつ SN 比+15dB という条件を満たすような音声レベルであり、高齢者の場合は下限値が 70dB から 75dB で暗騒音レベルが増加するにしたがって、SN 比+15dB 以上を保ちながら緩やかに増加するとした。また、若年者と高齢者の両者にとって許容できる音声レベルが存在し、暗騒音レベルが 40dB から 55dB の音場では 65dB から 80dB の区間で一定、暗騒音レベルが 55dB より高い音場では下限値が SN 比+10dB となる音声レベル、上限値は 85dB 程度であるとした。また、暗騒音レベルが 40dB 未満の音場では、暗騒音レベルが低下するにしたがって、下限値は 65dB から 60dB、上限値は 80dB から 70dB まで低下すると推測している。

上述の研究で用いられた暗騒音は全て定常騒音である。一方で、変動騒音が存在する場合、暗騒音レベルの時間変化に伴って SN 比が変化するため、SN 比に基づく上記の検討を直接応用することはできない。変動騒音が存在する音場における音声聴取に関する研究は、定常騒音下に比べると数は少ないが以下のように検討されている。

植松[23]は、レベルが正規分布に従ってある時間長ごとにランダムに変化する暗騒音を使用し、レベル変動の大きさ (レベル分布の標準偏差) と速さが、明瞭度及び理解度に及ぼす影響について検討した。その結果、レベル変動の大きさが大きいほど、明瞭度及び理解度は低下し、レベル変動の速さは、変動の大きさに比べてあまり影響しないことを示した。また曾根[24]はこの結果に基づいて、明瞭度の予測に有用な暗騒音の評価尺度を検討した。その結果、レベルが正規分布に従う変動騒音下の明瞭度は、暗騒音レベルの中央値 L_{50} とレベル分布の標準偏差から算出される等価レベル L_S を使って、定常騒音下での明瞭度と同様に予測できることを示した。これに対し、吉田[25]は、等価レベルを L_{eq} 、SN 比 (暗騒音レベルは L_{eq} 、音声レベルは実効値、A 特性を使用)、レベル分布の標準偏差から算出する方法を提案し、その代用として曾根らの L_S が使用可能であることを示した。

上記の研究において、変動騒音とは、道路交通騒音を想定しており、レベルが正規分布に従ってランダムに変化する暗騒音を用いて実験を行っている。したがって、暗騒音レベルが急激に変化するような、特殊な時間パターンを持つ変動騒音には適用できない。

暗騒音レベルが急激に変化する音場における音声伝達に関する研究としては、佐藤[26]の研究がある。佐藤は、実際に鉄道駅で録音した暗騒音 (列車無し、列車到着時、列車停留時) 及びアナウンスを用いて聴感実験を行い、変動騒音下における最適音声レベルを、理解度と聴き取りにくさに基づいて検討した。その結果、SN 比 (暗騒音レベルは実効値に A 特性をかけたもの、音声レベルは A 特性のピーク値を使用) を+15dB 確保することにより、聴き取りにくさを低減させられることを示した。しかし、音声レベルを最適にしたとしても、聴き取りにくさは高い値を示し、良好な音声伝達環境ではないため、暗騒音そのものの低減や暗騒音の変動に対応した適切な音量調整技術に

ついて検討する必要があるとしている。

これに対し野呂らは一連の研究[27]-[29]において、暗騒音レベルの変化に応じて拡声レベルを自動調整する PA システムの実現を目的に、暗騒音のスペクトルから最適聴取レベル (人が聴き取りやすいと感じる拡声レベルと定義) を予測するニューラルネットワークを検討した。酌井ら[27]はまず、聴感実験によって様々な定常騒音下における最適聴取レベルを求め、ニューラルネットワークに暗騒音のスペクトルを入力、最適聴取レベルを教師信号として学習させ、最適聴取レベルの予測を試みた。その結果、最適聴取レベルは暗騒音のスペクトルから予測可能であり、予測誤差は学習済みの暗騒音に対して 1dB 以下、未学習の暗騒音に対して 2dB 以下であることを示した。次に野呂ら[28]は、単純な変動パターンを持つホワイトノイズを用いた聴感実験により、変動騒音下と定常騒音下における最適聴取レベルの関連性を調査し、継時マスクングの影響を明らかにした。そこで、継時マスクングを説明する聴覚フィルタに類似したフィルタを使用することで、定常騒音下での実験結果を基に、変動騒音下での最適聴取レベルを予測できることを示した。これらの結果を踏まえ、植田ら[29]は、実際の変動騒音を用いた聴取実験によって、最適聴取レベルの予測モデルの有効性を検討した。その結果、約6割の被験者から音量が適当であるとの評価を得ている。

しかし、時々刻々と変化する暗騒音に対して、拡声レベルを常に追従して変化させる必要があるかどうかは検討の余地がある。つまり、いたずらに拡声レベルを変動させると、不快感を生じさせ、かえってアナウンスを聴き取りにくくする可能性は否定できない。また、ニューラルネットワークは学習能力と高い処理能力という利点を持つが、入出力関係がブラックボックスとなるため、解釈困難であり、その振る舞いや、なぜその結論に到達するかを説明できない[30]。したがって、現状の拡声レベル調整において、拡声レベルの急激な変化が不快感をもたらす可能性と考えられるが、どのような調整パラメータが、どの程度不快感に影響を及ぼすかは明らかでない。

1.3 研究の目的

本研究では、暗騒音レベルが急激に上昇する場合に、アナウンスの拡声レベルをいかにすべきかを明らかにする。まず、各パラメータがレベル調整に対する不快感に及ぼす影響を明らかにし、最適な拡声レベルの調整法を決定する。さらに、拡声レベルを調整した方が良い条件の範囲を明らかにする。

1.4 第2部の構成

第2部は、全5章で構成されている。本章に続き、第2章及び第3章では、拡声レベル調整時の各種パラメータと不快感の関係を述べ、調整パラメータの最適値を明らかにする。第4章では、第2章及び第3章で得られた調整パラメータの最適値を基に、拡声レベル調整の必要性の有無について検討する。第5章にまとめを述べる。

第 2 部

第2章 聴感実験 1: 拡声レベルの増幅量及び立ち上がり時間と不快感の関係

暗騒音レベルが急激に上昇する場面を想定すると、拡声レベルの調整にあたって事前に知ることができるのは、変化前後の暗騒音レベルである。一方、レベル調整をするのに用いるパラメータは、調整前の拡声レベル、増幅量、立ち上がり時間である。本実験ではまず、実空間での適用を想定して、暗騒音レベルの変化前の拡声レベルは、SN比が+15dBに最適化[19]されているものとし、拡声レベル調整時の増幅量及び立ち上がり時間と不快感の関係について、暗騒音がその関係に与える影響を含めて検討した。

2.1 実験方法

2.1.1 音声刺激及び暗騒音刺激

音声刺激として、無響室で録音された女声による「坊ちゃん (夏目漱石)」の冒頭部分の朗読を用い、「小学校にいる時分、学校の二階から飛び降りて一週間ほど腰を抜かしたことがある。」の部分を実験に用いた。暗騒音刺激としてピンクノイズを用いた。

音声刺激及び暗騒音刺激の継続時間は、それぞれ6.5秒、8.0秒である。

2.1.2 実験パラメータ

a パラメータの種類

拡声レベル調整の模式図を Fig. 2.2.1 に示す。暗騒音刺激のパラメータは、変化前の暗騒音レベル L_{N1} 、暗騒音レベルの変化量 ΔL_N である。変化後の暗騒音レベル L_{N2} は L_{N1} と ΔL_N から決まる。ここでは、暗騒音レベルが瞬時に立ち上がるものとする。音声刺激のパラメータは、調整前の拡声レベル L_{S1} 、増幅量 ΔL_S 、立ち上がり時間 Δt_S である。調整後の L_{S2} は L_{S1} と ΔL_S から決まる。ここで、拡声レベルとは音声刺激の提示レベルを指す。また、調整前の SN 比を SN_1 、調整完了後の SN 比を SN_2 とする。

音声刺激の提示は、暗騒音刺激の提示から1秒遅れて開始される。「にかい (二階)」の「に」と「か」の境目で、暗騒音レベルが L_{N1} から L_{N2} に上昇し、拡声レベルの調整も同時に開始される。

第 2 部

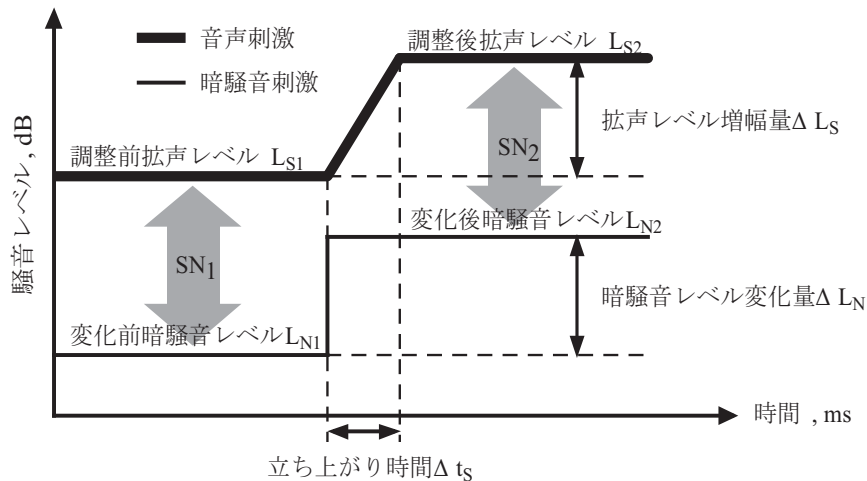


Fig. 2.2.1 Schematic diagram of test signals used in Exp. 1.

b 刺激の条件

実験 1 に用いた刺激の条件を Table 2.2.1 に示す。

暗騒音刺激の条件は、実際の公共空間における暗騒音、すなわち第 1 部の結果を参考に決定した。公共空間における暗騒音レベルは約 50dB から 80dB の間に分布する。ただし、 L_{N1} を 70dB 以上とした場合、 SN_1 を +15dB になるよう最適化すると L_{S1} が 85dB 以上となる。 ΔL_S を 5dB ステップで設定するので、このとき L_{S2} は 90dB 以上となり非常に高い。従来の研究より、音声レベルが 85dB よりも高い場合には聴き取りにくさが上昇することが分かっている[19]。拡声レベル調整の目的は、聴き取りにくさの上昇を低減させることであるから、 L_{S2} を 85dB よりも高く設定することは不適當であると言える。したがって、 L_{N1} が 70dB 以上の場合の拡声レベル調整は検討しない。

また、 L_{N1} が 65dB の場合、 SN_1 を +15dB とするので L_{S1} が 80dB となる。上述のように L_{S2} の上限値は 85dB とすると、 L_{S2} は 85dB の 1 種類のみとなる。刺激の提示にあたり、1 試行において L_{N1} 及び ΔL_N は一定として行うため (2.1.8 で詳述)、 L_{N1} が 65dB の場合には 1 試行内で Δt_s のみが異なる 4 種類の刺激を繰り返し聞くことになる。これでは実験条件が少ないため、結果に偏りが現れる可能性がある。以上の理由から、公共空間における暗騒音レベルは約 50dB から 80dB の間に分布するが、実験条件として L_{N1} は 50dB、60dB の 2 種類とした。

音声刺激の条件は、 L_{N1} が 50dB、60dB の場合で異なる。前述のように、 L_{S1} は SN_1 が +15dB となるよう最適化した値である。 ΔL_S は 5dB 刻みで 5dB から 20dB の 4 種類とした。 Δt_s は 100ms、200ms、400ms、800ms の 4 種類とした。

Table 2.2.1 The parameters of test sound fields used in Exp. 1.

L_{N1} , dB	L_{N2} , dB	ΔL_N , dB	L_{S1} , dB	L_{S2} , dB	ΔL_S , dB	Δt_S , ms	SN_1 , dB	SN_2 , dB
50	55	5	65	70	5	100, 200, 400, 800	+15	+15
				75	10	100, 200, 400, 800		+20
				80	15	100, 200, 400, 800		+25
				85	20	100, 200, 400, 800		+30
	60	10	65	70	5	100, 200, 400, 800	+15	+10
				75	10	100, 200, 400, 800		+15
				80	15	100, 200, 400, 800		+20
				85	20	100, 200, 400, 800		+25
	65	15	65	70	5	100, 200, 400, 800	+15	+5
				75	10	100, 200, 400, 800		+10
				80	15	100, 200, 400, 800		+15
				85	20	100, 200, 400, 800		+20
60	70	20	65	70	5	100, 200, 400, 800	+15	± 0
				75	10	100, 200, 400, 800		+5
				80	15	100, 200, 400, 800		+10
				85	20	100, 200, 400, 800		+15
	65	5	75	80	5	100, 200, 400, 800	+15	+15
				85	10	100, 200, 400, 800		+20
				80	5	100, 200, 400, 800		+10
				85	10	100, 200, 400, 800		+15
	75	15	75	80	5	100, 200, 400, 800	+15	+5
				85	10	100, 200, 400, 800		+10
				80	5	100, 200, 400, 800		± 0
				85	10	100, 200, 400, 800		+5

c 刺激の種類

$L_{N1}=50\text{dB}$ の場合、暗騒音刺激は ΔL_N の違いによる 4 条件、音声刺激は L_{S1} 1 種類、 ΔL_S 4 種類、 Δt_S 4 種類を組み合わせた 16 条件である。すなわち、暗騒音 4 条件、音声 16 条件を組み合わせた 64 刺激となる。

$L_{N1}=60\text{dB}$ の場合、暗騒音刺激は ΔL_N の違いによる 4 条件、音声刺激は L_{S1} 1 種類、 ΔL_S 2 種類、 Δt_S 4 種類を組み合わせた 8 条件である。すなわち、暗騒音 4 条件、音声 8 条件を組み合わせた 32 刺激となる。なお、 SN_1 は全ての刺激において +15dB、 SN_2 は $\pm 0\text{dB}$ から +30dB の範囲にあり、調整前と後のどちらにおいても、単語理解度は 100% である[19]ことから、音声情報を正しく伝えることは可能であると考えられる。各刺激は、被験者 1 人につき 10 回ずつ提示した。

d 提示レベルの測定方法

拡声レベル及び暗騒音レベルは、被験者の頭部中心に相当する位置における等価騒音レベル (以下 L_{Aeq} と表記) を、騒音計 (小野測器, LA-5110) を用いて測定した。 L_{S1} は、拡声レベル調整前の約 2.5 秒間、 L_{S2} は、調整後の約 4 秒間の L_{Aeq} を測定した。 L_{N1} は、暗騒音レベル変化前の約 3.5 秒間、 L_{N2} は、変化後の約 4.5 秒間の L_{Aeq} を測定した。レベルの調整は、計算機上で音声波形を縮小して行った。各音場において設定したレベルと測定したレベルの誤差は、 $\pm 0.3\text{dB}$ (動特性 slow) の範囲に収まっており、無視した。

第 2 部

2.1.3 刺激の作成

音声刺激の作成手順を示す。

- (1) 刺激全長 6.5 秒のうち、0 秒から 2.5 秒までの波形を縮小し、レベル差が 5dB、10dB、15dB、20dB となる 4 個の音声刺激を作成する。
- (2) (1)で作成した 4 個の音声刺激にそれぞれ 100ms、200ms、400ms、800ms の立ち上がりをつけ、計 16 刺激を作成する。
- (3) (2)で作成した 16 個の音声刺激を、調整前レベルを L_{Aeq} (実測時間 2.5 秒) で 65dB に統制する。レベルの調整は計算機上で波形を縮小して行う。
- (4) (2)で作成した 16 個のうち、レベル差が 5dB、10dB である 8 刺激を、調整前レベルを 75dB に統制する。(3)と同様に、レベルの調整は計算機上で波形を縮小して行う。

上記(1)から(4)の操作によって、 $L_{NI}=50\text{dB}$ の場合に用いる 16 条件の音声刺激と、 $L_{NI}=60\text{dB}$ の場合に用いる 8 条件の音声刺激が作成できた。

次に、暗騒音刺激の作成手順を示す。

- (1) 刺激全長 8.0 秒のうち、0 秒から 3.5 秒までの波形を縮小し、レベル差が 5dB、10dB、15dB、20dB となる 4 個の暗騒音刺激を作成する。
 - (2) (1)で作成した 4 個の暗騒音刺激を、変化前レベルを L_{Aeq} (実測時間 3.5 秒) で 50dB、60dB にそれぞれ統制する。レベルの調整は計算機上で波形を縮小して行う。
- 上記(1)及び(2)の操作によって、8 条件の暗騒音刺激が作成できた。

2.1.4 試験用音源の作成

試験用音源の作成手順を、 L_{NI} ごとに示す。

$L_{NI}=50\text{dB}$ の場合

- (1) $L_{NI}=50\text{dB}$ の暗騒音刺激 4 種類それぞれに対し、 $L_{SI}=65\text{dB}$ の音声刺激 16 種類を組み合わせた刺激を作成する。4 種類×16 種類で、64 個の刺激ができる。
- (2) (1)で作成した 64 個の刺激のうち、 $\Delta L_N=5\text{dB}$ の刺激が 16 個ある。これを全て取り出し 1 個の刺激群とする。
- (3) (2)で作成した $\Delta L_N=5\text{dB}$ の刺激群に対し、群内の刺激順序をランダムに並べ替えたものを 10 個作成する。すなわち、 $\Delta L_N=5\text{dB}$ で、刺激順序の異なる刺激群を 10 個作成する。
- (4) (3)で作成した 10 個の刺激群について、2 個を 1 組として試験用音源とし、 $\Delta L_N=5\text{dB}$ の試験用音源を 5 組作成する。
- (5) (1)から(4)の手順を、 $\Delta L_N=10\text{dB}$ 、15dB、20dB の刺激に対しても同様に行い、それぞれ ΔL_N が同じ試験用音源を 5 組ずつ作成する。すなわち、 ΔL_N 4 種類×5 組の合計 20 組の試験用音源を作成する。なお、1 組の試験用音源は音声刺激のみが異なる 16 刺激を 2 回ずつ含み、計 32 刺激で構成される。

$L_{N1}=60\text{dB}$ の場合

- (1) $L_{N1}=60\text{dB}$ の暗騒音刺激 4 種類それぞれに対し、 $L_{S1}=75\text{dB}$ の音声刺激 8 種類を組み合わせた刺激を作成する。4 種類×8 種類で、32 個の刺激ができる。
- (2) (1)で作成した 32 個の刺激のうち、 $\Delta L_N=5\text{dB}$ の刺激が 8 個ある。これを全て取り出し 1 個の刺激群とする。
- (3) (2)で作成した $\Delta L_N=5\text{dB}$ の刺激群に対し、群内の刺激順序をランダムに並べ替えたものを 10 個作成する。すなわち、 $\Delta L_N=5\text{dB}$ で、刺激順序の異なる刺激群を 10 個作成する。
- (4) (3)で作成した 10 個の刺激群について、5 個を 1 組として試験用音源とし、 $\Delta L_N=5\text{dB}$ の試験用音源を 2 組作成する。
- (5) (1)から(4)の手順を、 $\Delta L_N=10\text{dB}$ 、 15dB 、 20dB の刺激に対しても同様に行い、それぞれ ΔL_N が同じ試験用音源を 2 組ずつ作成する。すなわち、 ΔL_N 4 種類×2 組の合計 8 組の試験用音源を作成する。なお、1 組の試験用音源は音声刺激のみが異なる 8 刺激を 5 回ずつ含み、計 40 刺激で構成される。

被験者は、1 試行において 1 組の試験用音源を聴取する。つまり、1 試行内においては、 L_{N1} 、 ΔL_N は一定である。これは、試行内で L_{N1} や ΔL_N が異なる刺激を聴取すると、暗騒音の大きさに応じて不快感が評価される恐れがあることから、意図的に暗騒音条件を揃えたためである。

2.1.5 評価の枠組み構成用刺激

被験者に評価の枠組みを構成させるため、各試験用音源の初めに枠組み構成用の刺激群を追加した。これは、従来の研究で述べた「聴き取りにくさ」の評価法[20]における基準刺激の役割にあたるものである。いわゆる文脈効果の低減のためには、不快と感じる割合が 0%及び 100%にできるだけ近い刺激となることが望ましい。また本実験では、試行の中で刺激に対する慣れが生ずることを防ぐために、1 試行当たり 4 個又は 8 個の刺激を用いた。上述のように、1 試行内では暗騒音刺激の条件の L_{N1} 及び ΔL_N を固定するため、枠組み構成用刺激においても、各試行内の L_{N1} 及び ΔL_N と同一とした。音声刺激の条件は、 $L_{N1}=50\text{dB}$ の試験用音源と $L_{N1}=60\text{dB}$ の試験用音源で異なる。それぞれ Table 2.2.2 に網掛けで示す。これらの刺激の選定は、以下の基準に基づいて行った。

- (1) 実験条件内で不快感が最大になると予想される条件、すなわち ΔL_S が最大かつ Δt_S が最短の 1 刺激と、不快感が最小になると予想される条件、すなわち ΔL_S が最小かつ Δt_S が最長の 1 刺激を含むこと。
- (2) 実験条件として用いた Δt_S と ΔL_S が、偏りなく含まれること。

Table 2.2.2 Lists of stimulus for constituting a framework for evaluation.

$L_{N1} = 50\text{dB}$				$L_{N1} = 60\text{dB}$				
L_{S1} , dB	ΔL_S , dB	Δt_S , ms		L_{S1} , dB	ΔL_S , dB	Δt_S , ms		
65	5	100	200, 400, 800	75	5	100	200, 400, 800	
	10	100	200, 400, 800		10	100	200, 400, 800	
	15	100	200, 400, 800					
	20	100	200, 400, 800					

第 2 部

2.1.6 実験装置

実験は神戸大学工学部建築学科環境音響学研究室の無響室内において行った。実験のブロックダイアグラム及びスピーカ配置を Fig. 2.2.2 に示す。

刺激は正面の一つのスピーカから提示した。受聴点はスピーカ正面から 1.0m 離れた位置である。実験に用いたスピーカの受聴点における周波数特性を Fig. 2.2.3 に示す。100Hz から 10kHz において $\pm 5\text{dB}$ 以内で平坦である。

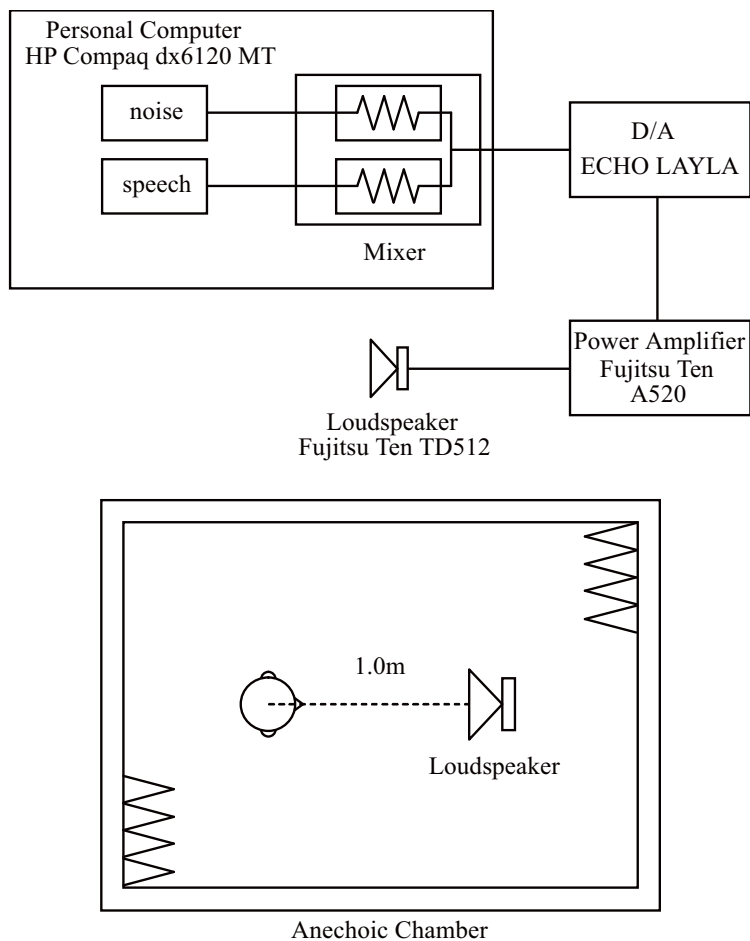


Fig. 2.2.2 Block diagram of the apparatus and loudspeaker placement used in Exp. 1.

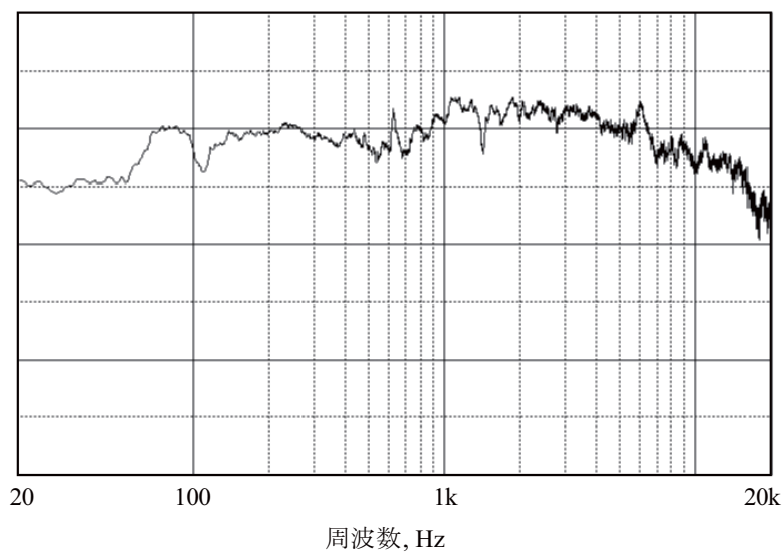


Fig. 2.2.3 Frequency characteristic of loudspeaker used in Exp. 1.

2.1.7 被験者

被験者には学生48名を用いた。全ての被験者に対し聴力検査を行った。聴力検査はオーディオメータ (RION、AA-73B) を用いて行い、125Hzから8kHzまでの1オクターブごとの純音について聴力レベルを5dB刻みで測定した。被験者の平均聴力レベルをFig. 2.2.4に示す。全ての被験者の聴力レベルはPTA (500Hz、1kHz、2kHzの聴力レベルの平均) は最大でも13.3dBであり、被験者はすべて正常聴力である。

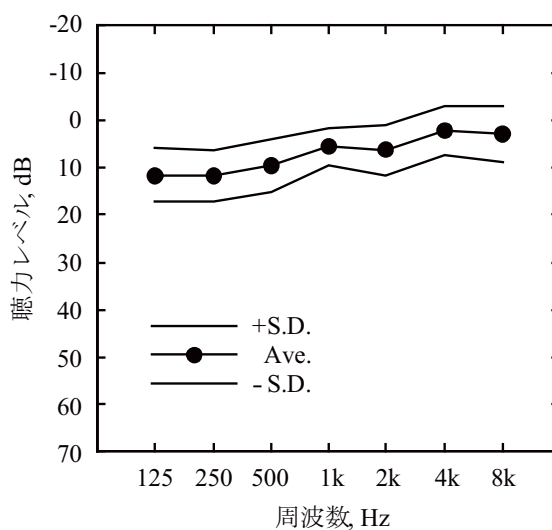


Fig. 2.2.4 Audiogram for listeners in Exp. 1.

第 2 部

2.1.8 刺激の提示方法及び回答方法

48 人の被験者を 24 人ずつ 2 グループに分け、一方には $L_{NI}=50\text{dB}$ の試験用音源 20 組を、他方には $L_{NI}=60\text{dB}$ の試験用音源 8 組をそれぞれ提示した。

L_{NI} が 50dB の場合、被験者は 1 試行で音声刺激のみが異なる 16 刺激を 2 回ずつ聴取し、20 試行を行った。64 種類の刺激に対して、24 人の被験者から 10 サンプルずつの計 240 サンプルを得た。

L_{NI} が 60dB の場合、被験者は 1 試行で音声刺激のみが異なる 8 刺激を 5 回ずつ聴取し、8 試行を行った。32 種類の刺激に対して、24 人の被験者から 10 サンプルずつの計 240 サンプルを得た。

刺激の提示間隔は約 5 秒とし、1 回の試行にかかる時間は約 9 分となる。刺激提示の模式図を Fig. 2.2.5 に示す。前述のように、各試行の初めには評価の枠組み構成用刺激を提示した。また、実験初回前に刺激 4 個を用いて練習を行った。

実験で用いた教示文を Fig. 2.2.6 に示す。被験者には、回答用紙の記入に必要な十分な明るさを与えた。また、暗騒音刺激の不快感は無視するよう口頭で教示し、音声刺激のレベル調整部分に対する「不快感」を Fig. 2.2.6 の教示文中に示した 4 段階で判断させ、数字で記入させた。

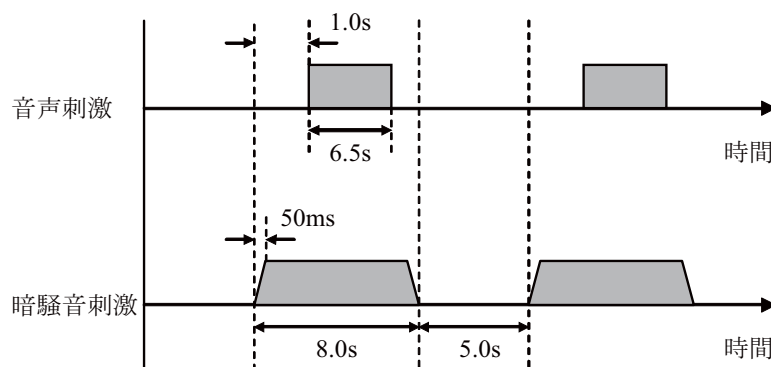


Fig. 2.2.5 Time sequence of test signals used in Exp. 1.

騒音と音声（文章の朗読で、「小学校にいる時分、学校の二階から飛び降りて一週間ほど腰を抜かしたことがある」）が流れます。

途中で音量が変化する箇所がありますので、音声の音量変化の仕方について不快に感じる度合い（びっくりする・うるさい等）を回答してください。

ただし、音声の内容が聴き取れないことは不快感に含めないで回答してください。回答方法は下記の表に従って、それぞれ 1 から 4 の数字を記入してください。

	不快感
1	不快ではない
2	やや 不快である
3	かなり 不快である
4	非常に 不快である

Fig. 2.2.6 Instructions to subjects used in Exp. 1.

2.2 実験結果と考察

全被験者の実験結果から Fig. 2.2.6 に示した「不快感」のスケールにおいて2、3、4 と回答した割合、すなわち少しでも不快であると判断した割合を「%-不快」と定義し、音場ごとに算出した。

2.2.1 増幅量及び立ち上がり時間と不快感の関係

立ち上がり時間と%-不快の関係を $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 60dB の場合で分け、それぞれ Fig. 2.2.7、Fig. 2.2.8 に示す。それぞれの4枚のパネルは、 ΔL_N ごとの結果である。印の違いは ΔL_S の違いを表す。%-不快は、0%付近から100%付近に広く分布しており、本実験の評価方法は妥当であったと言える。

L_{NI} が 50dB 、 60dB の場合に共通して、 ΔL_S が大きいほど、また Δt_S が短いほど%-不快が高い。ただし、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ の場合は Δt_S に関わらず%-不快は10%以下でほぼ一定である。また、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 $\Delta L_S=20\text{dB}$ の場合はほぼ100%で一定である。一方、 $L_{NI}=60\text{dB}$ の場合は、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ の場合でも%-不快は Δt_S によって大きく変化する。また、 $\Delta L_S=10\text{dB}$ における%-不快は、 $L_{NI}=50\text{dB}$ の場合に比べて50%から70%程度高い。これは L_{S2} が 80dB から 85dB と高く、 $L_{NI}=50\text{dB}$ の場合には見られなかった調整後の音声のラウドネスが大き過ぎることによる不快さが生じたことが原因と考えられる。

また、実験条件の範囲内で%-不快が最小となるのは、 $L_{NI}=50\text{dB}$ の場合、 ΔL_S が 5dB で、 Δt_S が 100ms から 800ms の範囲であり、 $L_{NI}=60\text{dB}$ の場合、 ΔL_S が 5dB で Δt_S が 800ms の場合である。

次に、 ΔL_S 及び Δt_S が%-不快に及ぼす影響の大小について考察する。Fig. 2.2.7、Fig. 2.2.8 において、 Δt_S が同じで ΔL_S が異なる条件同士を比較すると、%-不快は ΔL_S によって大きく変化する。その一方で、 ΔL_S が同じで Δt_S が異なる条件同士を比較すると、 Δt_S による%-不快の変化量は、 Δt_S を 100ms から 800ms に変化させても最大30%しか変化しない。このことから、 L_{NI} によらず、%-不快は Δt_S よりも ΔL_S の影響を大きく受けるといえる。

%-不快が ΔL_S と Δt_S の影響を受けることから、この2つを組み合わせた拡声レベルの時間変化率を $\Delta L_S/\Delta t_S$ と定義し、これが%-不快に及ぼす影響について検討した。結果を $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 60dB の場合に分けて Fig. 2.2.9 及び Fig. 2.2.10 に示す。 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 60dB の両方の場合において、拡声レベルの時間変化率が大きいほど%-不快が高い傾向が見られる。しかし、拡声レベルの時間変化率が等しく ΔL_S が異なる条件同士で比較すると、%-不快は ΔL_S によって大きく変化する。したがって、%-不快は拡声レベルの時間変化率だけで決まるとは言えない。

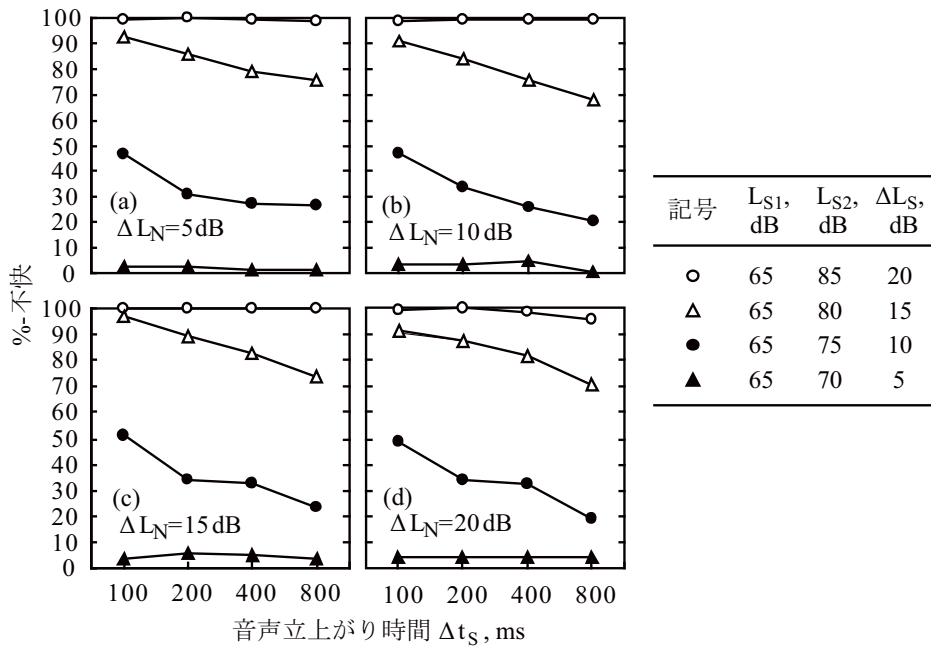


Fig. 2.2.7 Percentage of discomfort as a function of risetime of speech level in Exp. 1. L_{N1} : 50dB

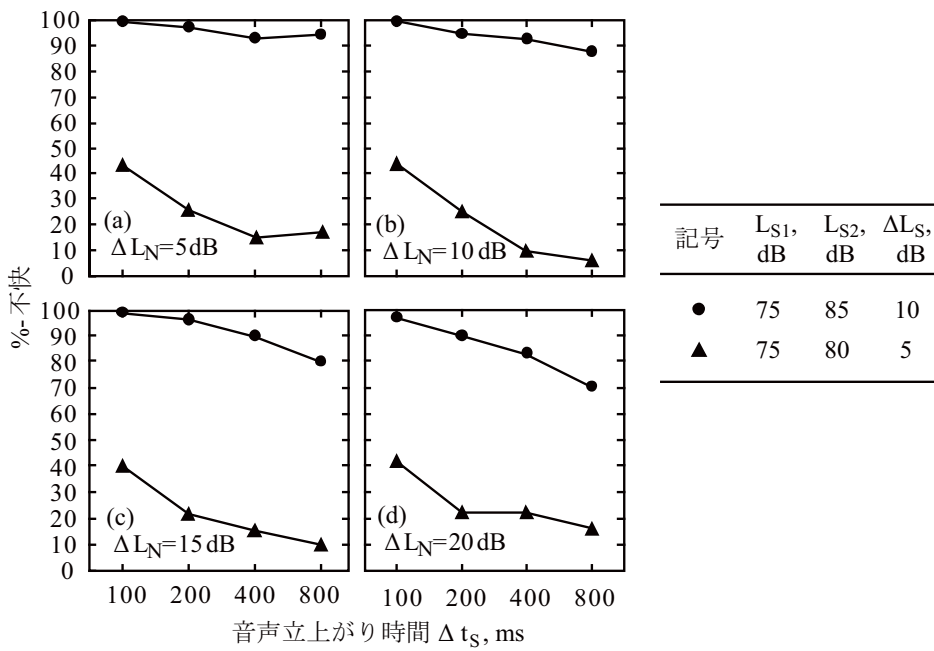


Fig. 2.2.8 Percentage of discomfort as a function of risetime of speech level in Exp. 1. L_{N1} : 60dB

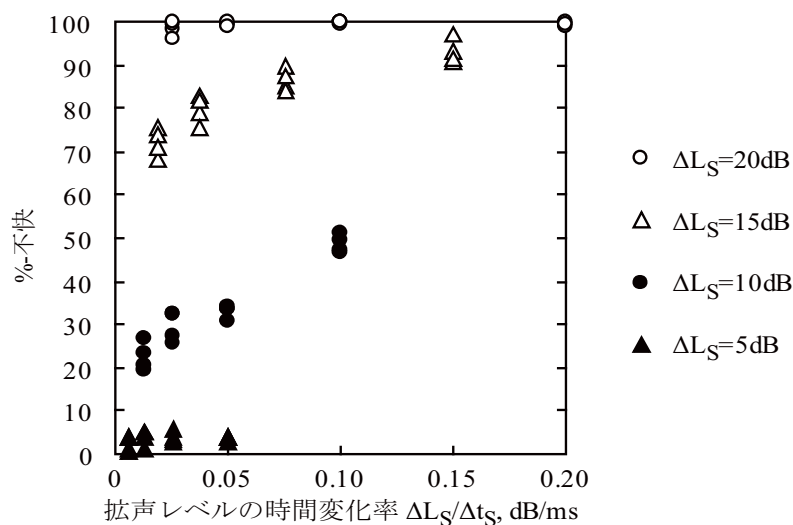


Fig. 2.2.9 Percentage of discomfort as a function of a ratio of risetime of speech level to variation of noise level in Exp. 1. L_{N1} : 50dB

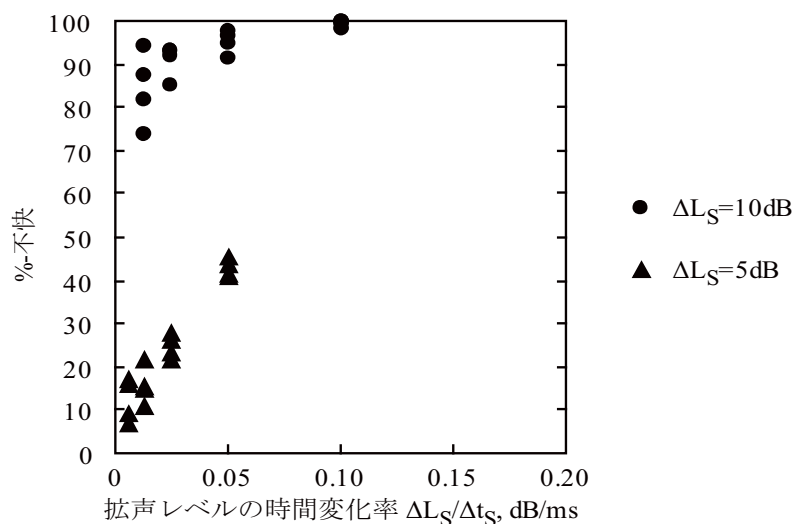


Fig. 2.2.10 Percentage of discomfort as a function of a ratio of risetime of speech level to variation of noise level in Exp. 1. L_{N1} : 60dB

2.2.2 暗騒音レベル変化量と不快感の関係

L_{N1} が50dB、60dBの場合の、 ΔL_N と%-不快の関係を、それぞれ Δt_S ごとにFig. 2.2.11、Fig. 2.2.13に示す。 $L_{N1}=50$ dBの場合 (Fig. 2.2.11)、 ΔL_N が5dBから20dBの範囲では、%-不快は ΔL_N によってほとんど変化しない。 $L_{N1}=60$ dBの場合 (Fig. 2.2.12)、 ΔL_N の影響は、 Δt_S が800msで、 ΔL_S が10dBの場合に見られ、 ΔL_N が大きくなるほど%-不快がやや低下する。 ΔL_N が%-不快に及ぼす影響について統計的に検討するため、 $L_{N1}=50$ dB、60dBのそれぞれの場合において、%-不快に対して ΔL_N を要因とする1要因分散分析を ΔL_S 及び Δt_S ごとに行った。結果をTable 2.2.3、Table 2.2.4に示す。表中

第 2 部

の*は、有意水準 5%で有意であることを示す。 $L_{N1}=50\text{dB}$ の場合、どの ΔL_S 及び Δt_S においても、有意水準 5%で ΔL_N の主効果は有意ではない。したがって、 $L_{N1}=50\text{dB}$ のとき、%-不快は ΔL_N の影響を受けないといえる。一方、 $L_{N1}=60\text{dB}$ の場合、 ΔL_N の主効果は、 $\Delta L_S=10\text{dB}$ 、 $\Delta t_S=200\text{ms}$ 、 800ms において有意水準 5%で有意である。これは、%-不快が調整後の音声のラウドネスに影響を受けるとすれば、 ΔL_N が大きいほど暗騒音による部分マスキングが大きくなり、調整後の音声のラウドネスが小さくなるため、%-不快が低下したと説明できる。

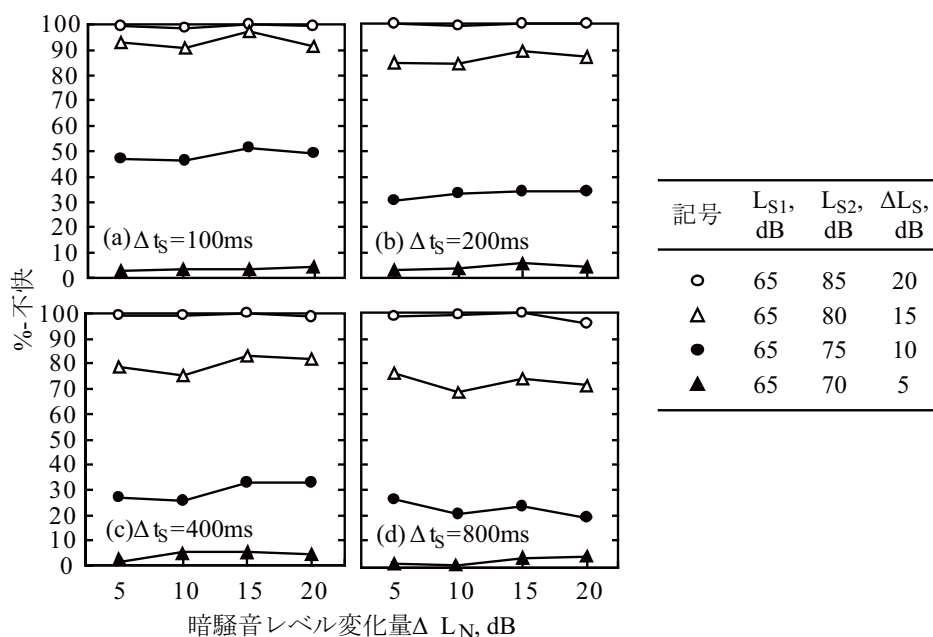


Fig. 2.2.11 Percentage of discomfort as a function of variation of noise level in Exp. 1. L_{N1} : 50dB

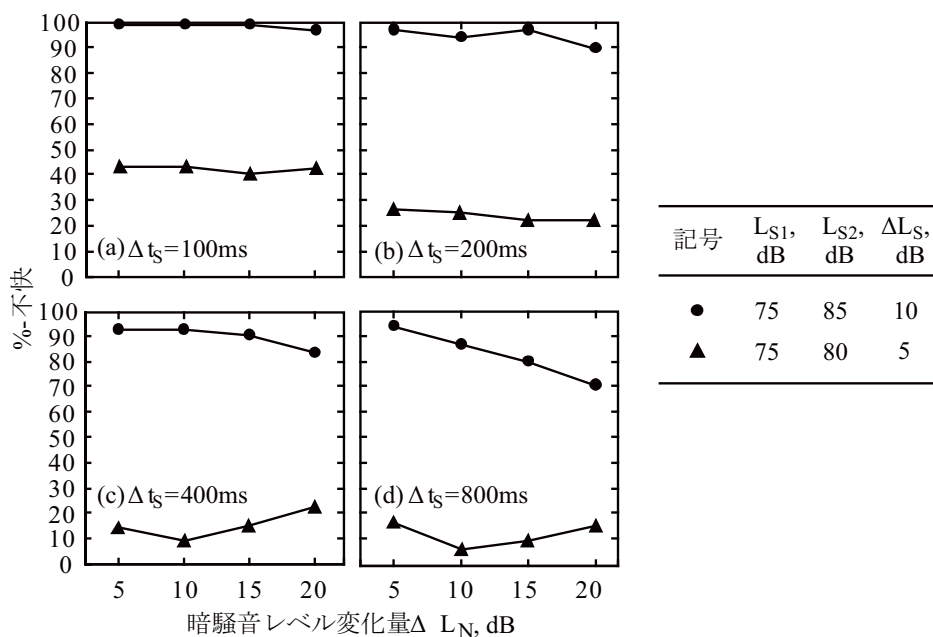


Fig. 2.2.12 Percentage of discomfort as a function of variation of noise level in Exp. 1. L_{N1} : 60dB

Table 2.2.3 The summary of one-way analysis of variance with the factor of variation of noise level for Percentage of discomfort in Exp. 1. L_{N1} : 50dB

ΔL_S , dB	Δt_S , ms	変動因	平方和	自由度	不偏分散	F値
5	100	ΔL_N	19.8	3	6.6	0.1
		被験者	4899.0	23	213.0	3.3 *
		誤差	4505.2	69	65.3	
	200	ΔL_N	87.5	3	29.2	0.4
		被験者	6095.8	23	265.0	3.9 *
		誤差	4712.5	69	68.3	
	400	ΔL_N	228.1	3	76.0	0.7
		被験者	4549.0	23	197.8	1.8 *
		誤差	7496.9	69	108.7	
	800	ΔL_N	208.3	3	69.4	1.4
		被験者	4000.0	23	173.9	3.5 *
		誤差	3391.7	69	49.2	
10	100	ΔL_N	320.8	3	106.9	0.3
		被験者	85595.8	23	3721.6	9.5 *
		誤差	27079.2	69	392.5	
	200	ΔL_N	161.5	3	53.8	0.1
		被験者	78249.0	23	3402.1	9.0 *
		誤差	26013.5	69	377.0	
	400	ΔL_N	894.8	3	298.3	0.7
		被験者	75249.0	23	3271.7	7.7 *
		誤差	29130.2	69	422.2	
	800	ΔL_N	741.7	3	247.2	0.6
		被験者	63050.0	23	2741.3	6.5 *
		誤差	29008.3	69	420.4	
15	100	ΔL_N	586.5	3	195.5	1.9
		被験者	10849.0	23	471.7	4.7 *
		誤差	6988.5	69	101.3	
	200	ΔL_N	408.3	3	136.1	0.7
		被験者	23583.3	23	1025.4	5.0 *
		誤差	14141.7	69	205.0	
	400	ΔL_N	828.1	3	276.0	0.7
		被験者	43824.0	23	1905.4	5.0 *
		誤差	26246.9	69	380.4	
	800	ΔL_N	786.5	3	262.2	0.7
		被験者	70149.0	23	3050.0	8.6 *
		誤差	24388.5	69	353.5	
20	100	ΔL_N	19.8	3	6.6	1.3
		被験者	299.0	23	13.0	2.5 *
		誤差	355.2	69	5.1	
	200	ΔL_N	12.5	3	4.2	2.1
		被験者	45.8	23	2.0	1.0
		誤差	137.5	69	2.0	
	400	ΔL_N	19.8	3	6.6	1.1
		被験者	249.0	23	10.8	1.8 *
		誤差	405.2	69	5.9	
	800	ΔL_N	233.3	3	77.8	2.0
		被験者	1633.3	23	71.0	1.8 *
		誤差	2666.7	69	38.6	

* $p < 0.05$

第 2 部

Table 2.2.4 The summary of one-way analysis of variance with the factor of variation of noise level for Percentage of discomfort in Exp. 1. L_{N1} : 60dB

ΔL_S , dB	Δt_S , ms	変動因	平方和	自由度	不偏分散	F 値
5	100	ΔL_N	269.8	3	89.9	0.2
		被験者	70824.0	23	3079.3	6.2 *
		誤差	34155.2	69	495.0	
	200	ΔL_N	636.5	3	212.2	0.6
		被験者	52265.6	23	2272.4	6.2 *
		誤差	25288.5	69	366.5	
	400	ΔL_N	1454.2	3	484.7	2.0
		被験者	37212.5	23	1617.9	6.8 *
		誤差	16495.8	69	239.1	
	800	ΔL_N	1844.8	3	614.9	2.6
		被験者	21115.6	23	918.1	3.8 *
		誤差	16480.2	69	238.8	
10	100	ΔL_N	58.3	3	19.4	1.0
		被験者	500.0	23	21.7	1.2
		誤差	1291.7	69	18.7	
	200	ΔL_N	553.1	3	184.4	3.0 *
		被験者	5265.6	23	228.9	3.8 *
		誤差	4171.9	69	60.5	
	400	ΔL_N	1086.5	3	362.2	1.8
		被験者	16865.6	23	733.3	3.7 *
		誤差	13738.5	69	199.1	
	800	ΔL_N	5419.8	3	1806.6	6.6 *
		被験者	32499.0	23	1413.0	5.2 *
		誤差	18755.2	69	271.8	

* $p < 0.05$

2.2.3 SN 比と不快感の関係

SN_2 と % 不快感の関係を ΔL_N ごとに Fig. 2.2.13、Fig. 2.2.14 に示す。印の違いは L_{S1} の違いを表す。 $L_{N1}=50\text{dB}$ の場合、全体としては右上がりであり、 SN_2 が大きいほど % 不快感は高い。ただし、 SN_2 が等しい条件で比較すると、% 不快感は ΔL_S によって大きく変化する。特に、 SN_2 が +15dB の条件では % 不快感は ΔL_S によって 0% から 100% まで変化する。SN 比が +15dB という条件は音声聴取に最適とされる条件であるが[19]、 ΔL_S が大きいほど % 不快感が上昇することから、拡声レベル調整を行う場合に調整後の SN 比を単に +15dB にするために ΔL_S を大きくすることは、不快感の観点からは必ずしも適切ではないといえる。 $L_{N1}=60\text{dB}$ の場合も、 SN_2 よりも ΔL_S が % 不快感に大きな影響を及ぼす。しかし、 $\Delta L_S=10\text{dB}$ の場合、他の条件と比べて右上がりの傾向が大きく見られる。これは、2.2.2 で考察した ΔL_N の影響と考えられる。すなわち、 $\Delta L_S=10\text{dB}$ で SN 比が低い場合は ΔL_N が大きく、2.2.2 で考察した理由から % 不快感が低下したと考えられる。

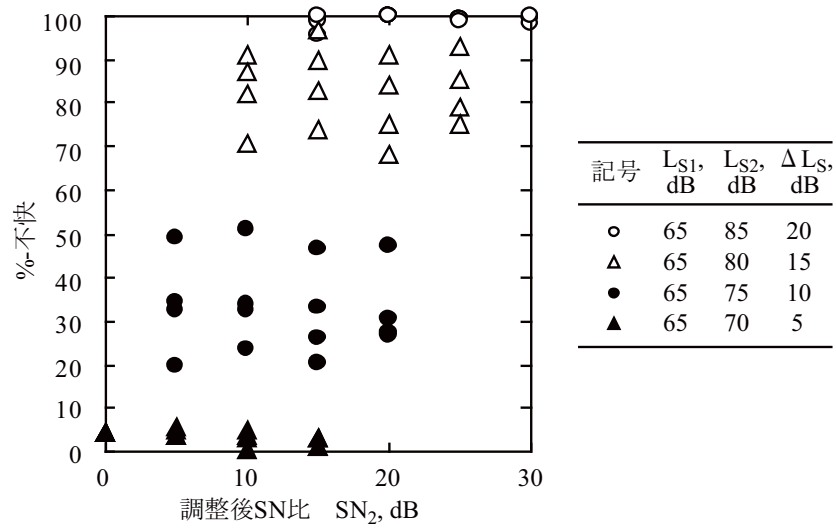


Fig. 2.2.13 Percentage of discomfort as a function of SNR in Exp. 1. L_{N1} : 50dB

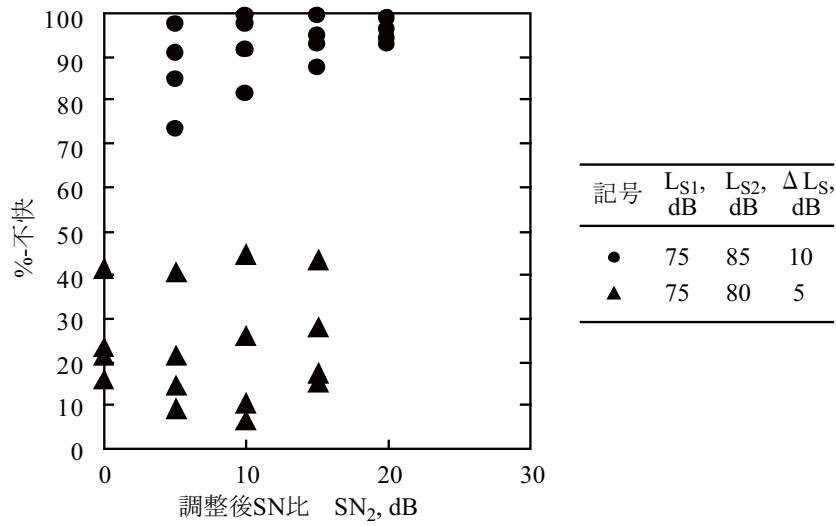


Fig. 2.2.14 Percentage of discomfort as a function of SNR in Exp. 1. L_{N1} : 60dB

2.3 第 2 章のまとめ

暗騒音レベルの変動を考慮した拡声レベルの調整法について、調整時各パラメータと不快感の関係に着目して検討し、以下のことを明らかにした。なお、暗騒音レベルの変化前の拡声レベルは SN 比が+15dB になるよう最適化されているものとして検討した。

- 変化前の暗騒音レベルに関わらず、増幅量大きいほど、また立ち上がり時間が短いほど、不快感は増大する。
- 変化前の暗騒音レベルが高い場合、 L_{S2} が高くなるのが原因となり、 ΔL_S が小さい場合でも不快感は大きくなることもある。
- 変化前の暗騒音レベルが 50dB の場合、暗騒音レベルの変化量は不快感に影響しない。
- 変化前の暗騒音レベルが 60dB の場合、立ち上がり時間が 800ms、増幅量が 10dB のとき、暗騒音レベルの変化量が不快感に影響を及ぼす。

第3章 聴感実験2: 拡声レベル及び暗騒音レベルの絶対値と不快感の関係

前章では、 ΔL_S 及び Δt_S が%不快に影響を及ぼすことが明らかになった。一方、前章の実験条件では SN_1 を+15dB に固定したため、 L_{N1} が同じで L_{S1} が異なる条件が存在しない。したがって、拡声レベル及び暗騒音レベルの絶対値が%不快に及ぼす影響を知ることはできない。この章では、 SN_1 を+15dB に固定せず、 ΔL_N 及び ΔL_S を固定し、 L_{N1} 及び L_{S1} を変化させて実験を行い、拡声レベル及び暗騒音レベルの絶対値が%不快に及ぼす影響について検討する。

3.1 実験方法

3.1.1 音声刺激及び暗騒音刺激

実験1に倣った。

3.1.2 実験パラメータ

a パラメータの種類

実験1に倣った。

b 刺激の種類

Table 2.3.1 に実験で用いた刺激の条件を示す。暗騒音刺激は、 L_{N1} が 10dB 刻みで 50dB から 70dB の 3 種類、 ΔL_N が 5dB で一定とした計 3 条件を用いた。音声刺激は、 L_{S1} が 5dB 刻みで 65dB から 75dB の 3 種類、 ΔL_S が 5dB の 1 種類、 Δt_S が 100ms、200ms、400ms、800ms の 4 種類であり、これらを組み合わせた 12 条件を用いた。ただし、 L_{N1} が 70dB の場合には $L_{S1}=65dB$ とすると SN_1 が負となり単語理解度が最大でなくなる[19]ため、音声情報を正しく伝えることができない。そこで、 L_{N1} が 70dB の場合の音声刺激は、 $L_{S1}=65dB$ である 4 条件を除く 8 条件を用いた。また、 SN_1 は+15dB に固定しないが、 $\pm 0dB$ から+25dB の範囲にあり単語理解度は 100%である[19]ことから、音声情報を正しく伝えることは可能である。なお、全条件において $\Delta L_S=\Delta L_N=5dB$ であるから、 SN_1 と SN_2 は一致する。

以上より、 $L_{N1}=50dB$ 、60dB の刺激がそれぞれ 12 条件、 $L_{N1}=70dB$ の刺激が 8 条件、合計 32 刺激を実験で用いた。各刺激は各被験者に 8 回ずつ提示した。

第 2 部

c 提示レベルの測定方法

実験 1 に倣った。

3.1.3 刺激の作成

音声刺激の作成手順を示す。

- (1) 刺激全長 6.5 秒のうち、0 秒から 2.5 秒までの波形を縮小し、レベル差が 5dB となる音声刺激を作成する。
- (2) (1)で作成した音声刺激にそれぞれ 100ms、200ms、400ms、800ms の立ち上がりをつけ、計 4 刺激を作成する。
- (3) (2)で作成した 4 個の音声刺激を、調整前レベルを L_{Aeq} (実測時間 2.5 秒) で 65dB、70dB、75dB の 3 通りにそれぞれ統制し、計 12 刺激を作成する。レベルの調整は計算機上で波形を縮小して行う。

上記(1)から(3)の操作によって、実験に用いる 12 条件の音声刺激を作成できた。

次に、暗騒音刺激の作成手順を示す。

- (1) 刺激全長 8.0 秒のうち、0 秒から 3.5 秒までの波形を縮小し、レベル差が 5dB となる暗騒音刺激を作成する。
- (2) (1)作成した暗騒音刺激を、変化前レベルを L_{Aeq} (実測時間 3.5 秒) で 50dB、60dB、70dB にそれぞれ統制する。レベルの調整は計算機上で波形を縮小して行う。

上記(1)及び(2)の操作によって、実験に用いる 3 条件の暗騒音刺激が作成できた。

Table 2.3.1 The parameters of test sound fields used in Exp. 2.

L_{N1} , dB	L_{N2} , dB	ΔL_N , dB	L_{S1} , dB	L_{S2} , dB	ΔL_S , dB	Δt_S , ms	SN_1 , dB	SN_2 , dB
50	55	5	65	70	5	100, 200, 400, 800	+15	+15
			70	75	5	100, 200, 400, 800	+20	+20
			75	80	5	100, 200, 400, 800	+25	+25
60	65	5	65	70	5	100, 200, 400, 800	+5	+5
			70	75	5	100, 200, 400, 800	+10	+10
			75	80	5	100, 200, 400, 800	+15	+15
70	75	5	70	75	5	100, 200, 400, 800	± 0	± 0
			75	80	5	100, 200, 400, 800	+5	+5

3.1.4 試験用音源の作成

試験用音源の作成手順を示す。

- (1) Table 2.3.1 に示した通りに暗騒音刺激と音声刺激を組み合わせ、32 個の刺激を作成する。
- (2) (1)で作成した 32 個の刺激のうち、 $L_{N1}=50$ dB の刺激が 12 個ある。これを全て取り出し 1 個の

刺激群とする。

- (3) (2)で作成した $L_{NI}=50\text{dB}$ の刺激群に対し、群内の刺激順序をランダムに並べ替えたものを 8 個作成する。すなわち、 $L_{NI}=50\text{dB}$ で、刺激順序の異なる刺激群を 8 個作成する。
- (4) (3)で作成した 8 個の刺激群について、2 個を 1 組として試験用音源とし、 $L_{NI}=50\text{dB}$ の試験用音源を 4 組作成する。
- (5) (2)から(4)の手順を、 $L_{NI}=60\text{dB}$ の刺激に対しても同様に行い、 $L_{NI}=60\text{dB}$ の試験用音源を 4 組作成する。
- (6) (1)で作成した 32 個の刺激のうち、 $L_{NI}=70\text{dB}$ の刺激が 8 個ある。これを全て取り出し 1 個の刺激群とする。
- (7) (6)で作成した $L_{NI}=70\text{dB}$ の刺激群に対し、群内の刺激順序をランダムに並べ変えたものを 4 個作成する。すなわち、 $L_{NI}=70\text{dB}$ で、刺激順序の異なる刺激群を 4 個作成する。
- (8) (7)で作成された 4 個の刺激群について、2 個を 1 組として試験用音源とし $L_{NI}=70\text{dB}$ の試験用音源を 2 組作成する。

上記 (1)から(8)の操作によって、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 60dB の試験用音源をそれぞれ 4 組、 $L_{NI}=70\text{dB}$ の試験用音源を 2 組、計 10 組の試験用音源を作成する。 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 60dB の試験用音源は、それぞれ 1 組の試験用音源に音声刺激のみが異なる 12 刺激を 2 回ずつ含み、計 24 刺激で構成される。 $L_{NI}=70\text{dB}$ の試験用音源は、1 組の試験用音源に音声刺激のみが異なる 8 刺激を 4 回ずつ含み、計 32 刺激で構成される。なお被験者は、1 試行において 1 組の試験用音源を聴取する。

上記のように、1 組の試験用音源において、 L_{NI} は一定である。これは、試行内で L_{NI} が異なる刺激を聴取すると、暗騒音の大きさに応じて不快感が評価される恐れがあることから、意図的に暗騒音条件を揃えたためである。

3.1.5 評価の枠組み構成用刺激

実験 1 と同様に、各試験用音源の始めに評価の枠組み構成用の刺激群を追加した。枠組み構成用刺激における暗騒音刺激の条件は、各試験用音源の L_{NI} 及び ΔL_N と同一であり、音声刺激の条件は Table 2.3.2 中に網掛けで示す。また、実験 2 の条件において ΔL_S の最大値は 5dB であるが、実験 1 の結果から $\Delta L_S=5\text{dB}$ の刺激は % 不快感が 100%にならない可能性がある。評価の枠組み構成のためには確実に % 不快感が 100%となる刺激を提示する必要があるため、実験条件には含まれない $\Delta L_S=10\text{dB}$ の刺激を枠組み構成用刺激として用いた。この刺激を表中に*印で示す。*で示した以外の刺激の選定基準は実験 1 と同じである。

第 2 部

Table 2.3.2 Lists of stimulus for constituting a framework for evaluation.

L_{S1} , dB	L_{S2} , dB	ΔL_S , dB	Δt_S , ms
65	70	5	100, 200, 400, 800
70	75	5	100, 200, 400, 800
75	80	5	100, 200, 400, 800
70	85	10	100*

*枠組み構成用刺激としてのみ使用

3.1.6 実験装置

実験1に倣った。

3.1.7 被験者

被験者には学生 30 名を用いた。全ての被験者に対し聴力検査を行った。聴力検査は実験1に倣った。被験者の平均聴力レベルを Fig. 2.3.1 に示す。全ての被験者の聴力レベルは PTA (500Hz、1kHz、2kHz の聴力レベルの平均) は最大でも 13.3dB であり、被験者はすべて正常聴力である。

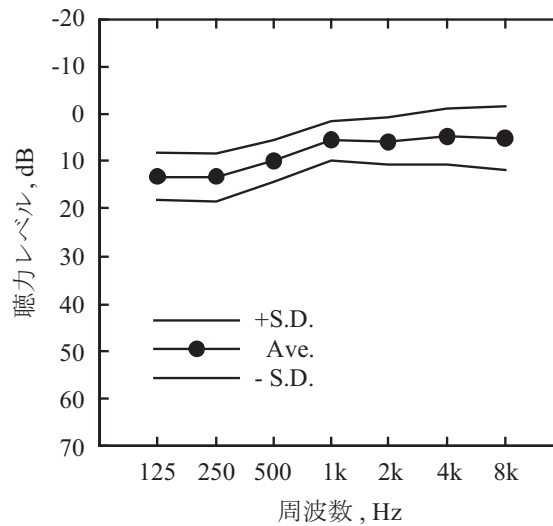


Fig. 2.3.1 Audiogram for listeners in Exp. 2.

3.1.8 刺激の提示方法及び回答方法

1 試行における各刺激の提示回数は、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 60dB の場合はそれぞれ 2 回、 $L_{NI}=70\text{dB}$ の場合は 4 回である。試行回数は、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 60dB の場合はそれぞれ 4 回、 $L_{NI}=70\text{dB}$ の場合は 2 回、合計 10 回行う。すなわち、各刺激は合計 8 回ずつ提示する。全 32 種類の刺激に対して、30 人の被験者から 8 サンプルずつの計 240 サンプルを得る。

本実験は実験 1 とは異なり、同一の被験者が異なる L_{NI} の刺激を聞くことになる。1 回の試行内、つまり 1 つの試験用音源では L_{NI} は一定であるが、試験用音源を提示する順序が結果に影響を及ぼす恐れがある。 L_{NI} は 3 種類で、提示順序は 6 通りであることから、30 人の被験者を 5 人ずつ 6 グループに分け、各グループにそれぞれ異なる刺激順序を割り当てる。分析は被験者全員の結果をまとめて行い、試験用音源の提示順序の影響を相殺する。

刺激の提示間隔は約 5 秒とした。1 回の試行にかかる時間は、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 60dB の場合は約 7 分、 $L_{NI}=70\text{dB}$ の場合は約 8 分である。各試行の初めには、評価の枠組み構成用刺激 6 個を提示した。また、被験者それぞれについて、最初の試行を行う前に刺激 4 個を用いて練習を行った。

回答方法は、教示文を含め実験 1 と同じである。

3.2 実験結果と考察

全被験者の実験結果から、実験 1 と同様に音場ごとの % 不快を算出した。

3.2.1 拡声レベルの絶対値と不快感の関係

Fig. 2.3.2 に拡声レベルの絶対値と % 不快の関係を L_{NI} ごとに示す。印の違いは Δt_s の違いを表す。なお、3.1.2 で述べたように、 $L_{NI}=70\text{dB}$ の場合において $L_{SI}=65\text{dB}$ の条件は SN_1 が負となるため実験条件としていない。Fig. 2.3.2 より、 L_{NI} に関わらず、拡声レベルの絶対値が大きいほど % 不快が高い。ただし、本実験の実験条件においては拡声レベルの絶対値と同時に SN_1 及び SN_2 が変化する。そこで、% 不快の上昇が拡声レベルの絶対値による影響か、SN 比による影響かを検討する。SN 比が共通となる組合せは 2 組あり、一つは $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 $L_{SI}=65\text{dB}$ の条件と、 $L_{NI}=60\text{dB}$ 、 $L_{SI}=75\text{dB}$ の条件で SN 比は $+15\text{dB}$ 、もう一つは、 $L_{NI}=60\text{dB}$ 、 $L_{SI}=65\text{dB}$ の条件と、 $L_{NI}=70\text{dB}$ 、 $L_{SI}=75\text{dB}$ の条件で SN 比は $+5\text{dB}$ である。いずれの組合せも、% 不快は大きく異なる。したがって、上述の % 不快の上昇は、SN 比によりもむしろ拡声レベルの絶対値が影響したと考えられる。

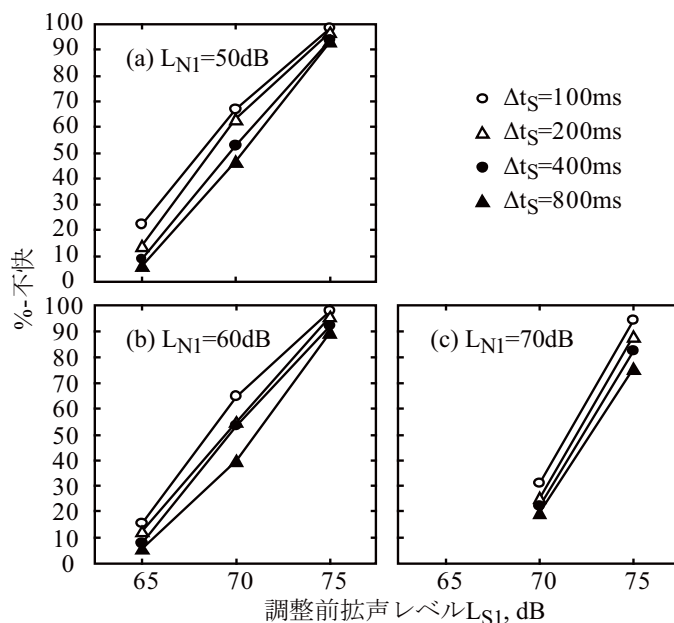


Fig. 2.3.2 Percentage of discomfort as a function of speech level in Exp. 2.

以上より、不快感には SN 比よりも拡声レベルの絶対値が大きく影響を及ぼす。また、 Δt_s が短いほど%-不快感は高い傾向が見られる。この傾向は、実験 1 の結果と一致する。また、 Δt_s による%-不快感の変化と、拡声レベルの絶対値による%-不快感の変化を比較すると、後者の方が大きい。したがって、 Δt_s よりも拡声レベルの絶対値が%-不快感に影響を及ぼすといえる。

3.2.2 暗騒音レベルの絶対値と不快感の関係

Fig. 2.3.3 に暗騒音レベルの絶対値と%-不快感の関係を L_{S1} ごとに示す。印の違いは Δt_s の違いを表す。 L_{N1} が高いほど%-不快感がやや低下する傾向が見られる。また、%-不快感の低下幅は暗騒音レベルの絶対値によって異なり、 $L_{N1} = 50\text{dB}$ と 60dB の差よりも、 $L_{N1} = 60\text{dB}$ と 70dB の差の方が大きい。さらに、 $L_{S1} = 75\text{dB}$ の場合は Δt_s が大きいほど、 L_{N1} の上昇による%-不快感の低下幅が大きい傾向が見られる。

上述の傾向を統計的に検討するため、 L_{N1} 及び Δt_s を要因とする 2 要因分散分析を行った。分散分析は、 L_{S1} ごとに個別に行った。結果を Table 2.3.3 に示す。表中の*印は、有意水準 5% で有意であることを表す。

$L_{S1} = 65\text{dB}$ の場合、 Δt_s の主効果のみが有意水準 5% で有意である。 $L_{S1} = 70\text{dB}$ の場合、 L_{N1} の主効果及び Δt_s の主効果が有意水準 5% で有意である。 $L_{S1} = 75\text{dB}$ の場合、 L_{N1} の主効果、 Δt_s の主効果、及びこれらの交互作用がいずれも有意水準 5% で有意である。このように、 Δt_s の主効果は、全ての条件で有意であるが、他の要因は L_{S1} によって異なる。以下で、より詳しく分析する。

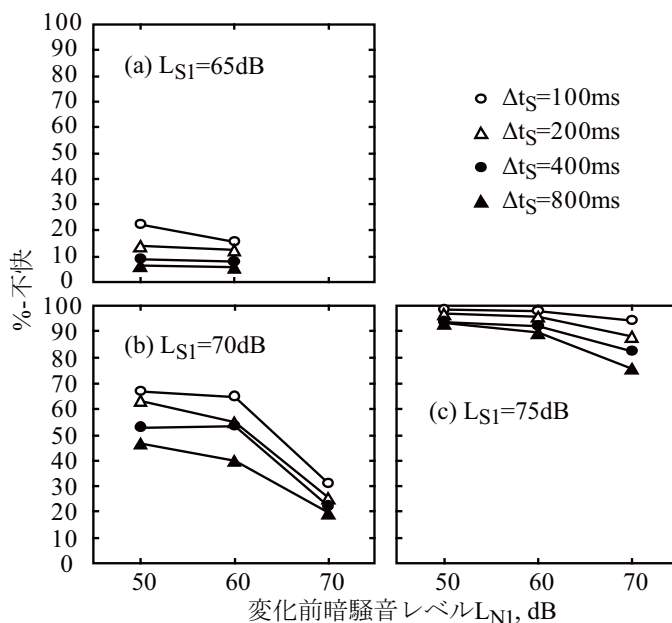


Fig. 2.3.3 Percentage of discomfort as a function of background noise level in Exp. 2.

Table 2.3.3 The summary of two-way analysis of variance with the factors of noise level and risetime of speech level for percentage of discomfort in Exp. 2.

L_{S1} , dB	変動因	平方和	自由度	不偏分散	F 値
65	被験者 : S	52177.1	29	1799.2	
	L_{N1} : A	375.0	1	375.0	1.5
	誤差 : A×S	7281.3	29	251.1	
	Δt_s : B	5921.9	3	1974.0	11.8 *
	誤差 : B×S	14546.9	87	167.2	
	交互作用 : A×B	432.3	3	144.1	1.3
	誤差 : A×B×S	9411.5	87	108.2	
70	被験者 : S	251332.0	29	8666.6	
	L_{N1} : A	76893.2	2	38446.6	27.3 *
	誤差 : A×S	81544.3	58	1405.9	
	Δt_s : B	17265.2	3	5755.1	23.5 *
	誤差 : B×S	21263.5	87	244.4	
	交互作用 : A×B	2165.8	6	361.0	2.0
	誤差 : A×B×S	31688.4	174	182.1	
75	被験者 : S	67649.3	29	2332.7	
	L_{N1} : A	7615.5	2	3807.7	9.3 *
	誤差 : A×S	23816.8	58	410.6	
	Δt_s : B	5795.1	3	1931.7	8.9 *
	誤差 : B×S	18840.3	87	216.6	
	交互作用 : A×B	1488.7	6	248.1	3.0 *
	誤差 : A×B×S	14266.5	174	82.0	

*p<0.05

第2部

$L_{S1}=70\text{dB}$ の場合に L_{N1} の主効果が有意であったので、Tukey の HSD 検定による%不快の多重比較を行った。Table 2.3.4 に結果を示す。 L_{N1} が 50dB と 60dB の差は有意水準 5% で有意でなく、50dB と 70dB の差及び 60dB と 70dB の差は有意である。

次に、 $L_{S1}=75\text{dB}$ の場合に L_{N1} の主効果と Δt_S の交互作用が有意であったので、 L_{N1} についての単純主効果の検定を行った。Table 2.3.5 に結果を示す。 Δt_S が 200ms 以上の場合は L_{N1} による主効果が有意水準 5% で有意であるが、 Δt_S が 100ms の場合には有意でない。これは、 Δt_S が短いと拡声レベルの急激な上昇による驚きが大きく、%不快が主にその驚きで決定されるためと考えられる。また、 Δt_S が 200ms から 800ms の場合に L_{N1} による主効果が有意だったため、 Δt_S が 200ms、400ms、800ms のそれぞれの場合について、Tukey の HSD 検定による%不快の多重比較を行った。Table 2.3.6 に結果を示す。 Δt_S が 200ms から 800ms のどの場合においても、 L_{N1} が 50dB と 60dB の差は有意水準 5% で有意でなく、50dB と 70dB の差及び 60dB と 70dB の差は有意である。この結果は、Table 2.3.4 に示した $L_{S1}=70\text{dB}$ の場合の結果と一致する。

Table 2.3.4 Results of percentage of discomfort multiple comparison of the L_{N1} , $L_{S1}:70\text{dB}$

L_{N1} , dB	50	60	70
50	-		*
60		-	*
70			-

* $p<0.05$

Table 2.3.5 Results of test of simple main effects for L_{N1} .

変動因	平方和	自由度	不偏分散	F 値
$\Delta t_S = 100\text{ms}$ における L_{N1} の効果	316.0	2	158.0	1.0
$\Delta t_S = 200\text{ms}$ における L_{N1} の効果	1482.6	2	741.3	4.5 *
$\Delta t_S = 400\text{ms}$ における L_{N1} の効果	2211.8	2	1105.9	6.7 *
$\Delta t_S = 800\text{ms}$ における L_{N1} の効果	5093.7	2	2546.9	15.5 *

* $p<0.05$

Table 2.3.6 Results of percentage of discomfort multiple comparison of the L_{N1} , $L_{S1}:75\text{dB}$

Δt_S , ms	L_{N1} , dB	50	60	70
200	50	-		*
	60		-	*
	70			-
400	50	-		*
	60		-	*
	70			-
800	50	-		*
	60		-	*
	70			-

* $p<0.05$

以上をまとめると、暗騒音レベルの絶対値は%-不快に影響を及ぼし、 L_{N1} が高い場合に%-不快が低下する。ただし、 L_{N1} が50dBから60dBの範囲では%-不快に影響はなく、70dBの場合にのみ L_{N1} による影響が現れる。%-不快が調整後の音声のラウドネスに影響を受けるとすれば、 L_{N1} が高い場合に%-不快が低下した原因は、 L_{N1} が高いほど騒音による部分マスキングが大きくなり、調整後の音声のラウドネスが小さくなるためであると説明できる。また、 L_{N1} が70dBの場合に限って L_{N1} が高いことによる%-不快の低下が見られたのは、 SN_2 が低いことが原因として考えられる。従来の研究より、騒音による部分マスキングで音声のラウドネス低下が始まるのは、SN比が+10dB近傍にある場合であり、SN比が ± 0 dB前後になると加速度的にラウドネスが低下する[31]。本実験において $L_{N1}=70$ dBの条件における SN_2 は、 ± 0 dB、+5dBであり、ラウドネス低下が顕著になるSN比に近い。したがって、 SN_2 が ± 0 dB近傍にある場合に、暗騒音レベルの絶対値が高くなり SN_2 が低下するほど、暗騒音による部分マスキングで音声のラウドネスが低下して、%-不快が低下すると考えられる。

なお、ここでいう暗騒音レベルの絶対値とは L_{N1} 及び L_{N2} を指すが、前述のように%-不快が調整後の音声のラウドネスに影響を受けるとすれば、 L_{N1} よりも L_{N2} の値が%-不快に寄与していると考えられる。しかし、 L_{N2} のみの影響を検証することは難しい。すなわち、本実験では L_{N1} と L_{N2} は同時に変化させたため、 L_{N2} のみの影響を検証することはできない。また、実験1のように L_{N1} を固定して L_{N2} を変化させても、今度は ΔL_N が L_{N2} と同時に変化するため、やはり L_{N2} のみの影響を検証することはできない。

3.2.3 実験1との比較

実験2の条件の一部は、実験1と共通である。そこで、この共通の条件における%-不快の値を、実験1と実験2で比較する。Fig. 2.3.4、Fig. 2.3.5は、実験1の $L_{N1}=50$ dB、60dBの結果に、実験2における共通の条件の結果(×印)をそれぞれ書き加えたものである。

まずFig. 2.3.4より、 $L_{N1}=50$ dBの場合の共通条件 $L_{S1}=65$ dB、 $\Delta L_S=5$ dBにおいて、実験1と実験2で傾向が異なる。実験1では Δt_S に関わらずほぼ0%で一定であったのに対し、実験2では Δt_S によって23%から6%まで変化し、実験1の結果よりも%-不快が高い。また、Fig. 2.3.5より、 $L_{N1}=60$ dBの場合の共通条件 $L_{S1}=75$ dB、 $\Delta L_S=5$ dBにおいて、実験1と実験2で傾向が異なる。実験1では Δt_S によって%-不快が変化し、43%から17%まで低下する。一方、実験2では Δt_S によってやや%-不快は低下するものの、98%から90%に分布し実験1の結果と比べて高い。このように、全く同じ刺激に対する%-不快の値が、実験1と実験2で異なる。またいずれも、実験2の方が%-不快が高い傾向がある。

第2部

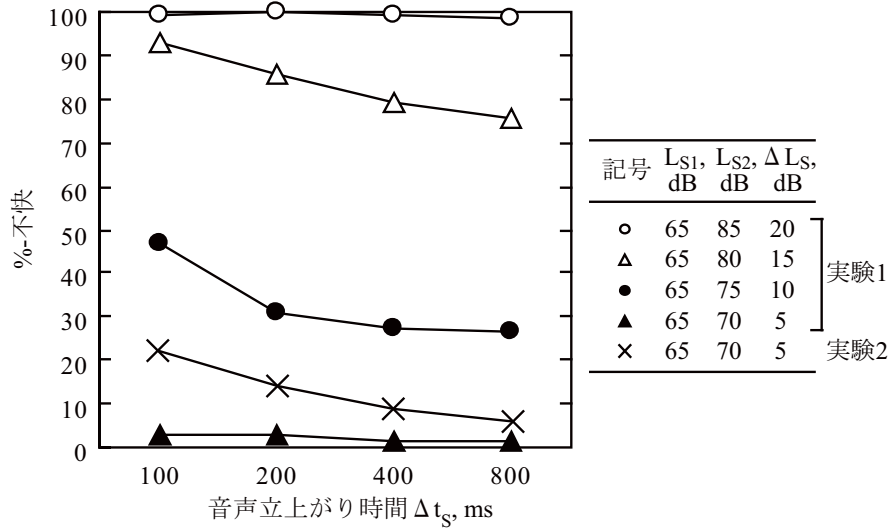


Fig. 2.3.4 Comparison of the results of percentage of discomfort in Exp. 1 and Exp. 2. L_{N1} : 50dB

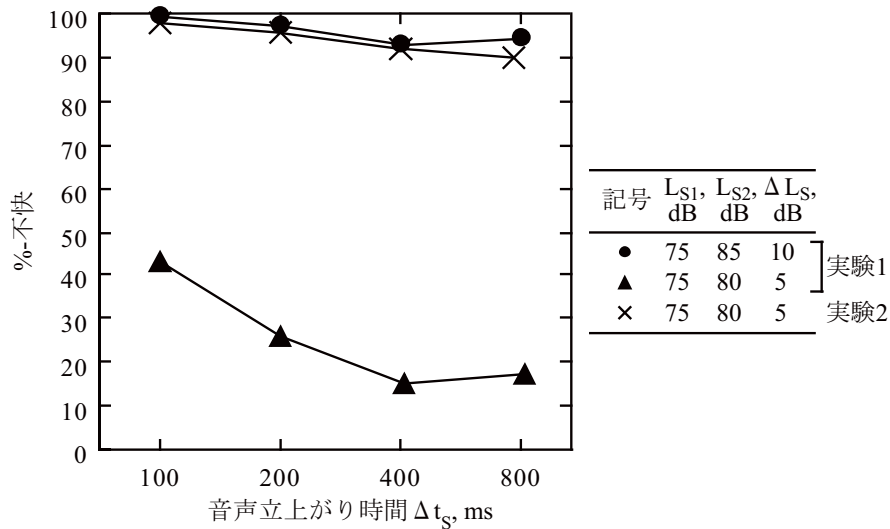


Fig. 2.3.5 Comparison of the results of percentage of discomfort in Exp. 1 and Exp. 2. L_{N1} : 60dB

このような差が見られた原因として、評価の枠組みの違いが考えられる。ここで、評価の枠組みは、枠組み構成用刺激の音声刺激の条件によって決まると仮定し、Table 2.3.7 に実験1、実験2でそれぞれ用いた評価の枠組み構成用刺激を示す。表中の網掛けの刺激が、枠組み構成用刺激である。実験1では、 L_{N1} =50dB、60dBの場合において枠組み構成用刺激が異なるため、それぞれ分けて示した。実験1及び実験2の結果より、 Δt_s よりも ΔL_S 及び拡声レベルの絶対値が%不快感に対して大きな影響を及ぼすことから、Table 2.3.7に示した枠組み構成用刺激のパラメータのうち、 ΔL_S と拡声レベルの絶対値に着目する。Fig. 2.3.6に評価の枠組み構成用刺激の ΔL_S 及び L_{S2} の条件を示す。印が重なる所は、複数の実験で枠組み構成用刺激の一部が共通していることを表す。また、実験1及び実験2の結果から、 ΔL_S が大きいほど、また拡声レベルの絶対値が高いほど%不快感は高いため、Fig. 2.3.6において印が上もしくは右にあるほど、その刺激の不快感は高いと考えられる。

Table 2.3.7 Lists of stimulus for constituting a framework for evaluation.

	L_{S1} , dB	L_{S2} , dB	ΔL_S , dB	Δt_S , ms
実験 1 ($L_{N1} = 50\text{dB}$)	65	70	5	100, 200, 400, 800
		75	10	100, 200, 400, 800
		80	15	100, 200, 400, 800
		85	20	100, 200, 400, 800
実験 1 ($L_{N1} = 60\text{dB}$)	75	80	5	100, 200, 400, 800
		85	10	100, 200, 400, 800
実験 2	65	70	5	100, 200, 400, 800
		75	5	100, 200, 400, 800
		80	5	100, 200, 400, 800
		85	10	100

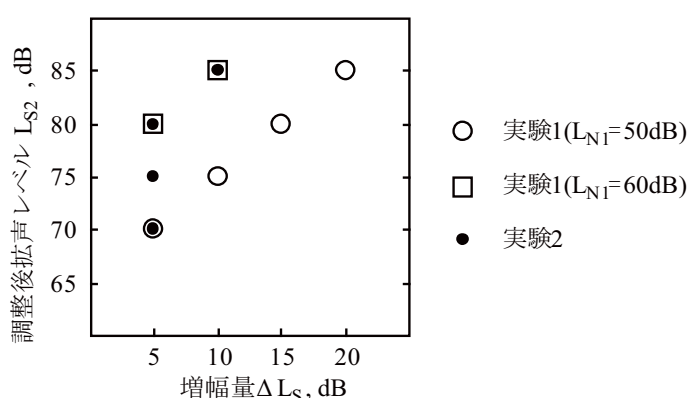


Fig. 2.3.6 Comparison of the stimulus for constituting a framework for evaluation in Exp. 1 and Exp. 2.

評価の枠組みについて、その上端及び下端は、枠組み構成用刺激における最も不快な刺激と、最も不快でない刺激によって決まるとする。まず、Fig. 2.3.6において、実験1の $L_{N1}=50\text{dB}$ の場合(○)と実験2(●)の枠組みを比較する。最も不快でない刺激は両者で共通し、 $L_{S2}=70\text{dB}$ 、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ である。つまり、両者において評価の枠組みの下端は一致する。一方、最も不快な刺激は、実験1の $L_{N1}=50\text{dB}$ の場合は $L_{S2}=85\text{dB}$ 、 $\Delta L_S=10\text{dB}$ であるのに対し、実験2では $L_{S2}=85\text{dB}$ 、 $\Delta L_S=20\text{dB}$ であり、実験2の方が ΔL_S が大きいため、より不快な刺激といえる。つまり、実験1の $L_{N1}=50\text{dB}$ の場合における評価の枠組みの上端は、実験2に比べて高いと考えられる。

以上を踏まえ、「不快さ」の心理的連続体における実験1の $L_{N1}=50\text{dB}$ の場合と実験2における評価の枠組みの模式図をFig. 2.3.7に示す。図に示すように、ある刺激の不快さが、実験1の $L_{N1}=50\text{dB}$ の実験における評価の枠組みのほぼ中心に位置すると仮定すると、その刺激の不快さは、実験2の枠組みにおいては、中心よりも不快側に位置する。各実験において、ある刺激の%不快が、それぞれの実験の評価の枠組みにおける相対的な位置で決まると考えると、実験1の $L_{N1}=50\text{dB}$ の場合と実験2で共通の条件において、実験2の方が%不快が高く評価されたことは、矛盾無く説明できる。

実験1の $L_{N1}=60\text{dB}$ の場合(□)と実験2(●)の枠組みについても、同様のことが言える。最も不快でない刺激は、実験1の $L_{N1}=60\text{dB}$ の場合は $L_{S2}=80\text{dB}$ 、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ であるのに対し、実験2では $L_{S2}=70\text{dB}$ 、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ である。両者において ΔL_S は等しいが、実験2の方が L_{S2} が低いいため、より不快でないといえる。つまり、実験2の方が評価の枠組みの下端が低い位置にあると考えられる。一

第 2 部

方、最も不快な条件は両者で共通し、 $L_{S2}=85\text{dB}$ 、 $\Delta L_S=10\text{dB}$ であることから、両者において評価の枠組みの上端は一致すると考えられる。以上を踏まえ、「不快さ」の心理的連続体における実験 1 の $L_{N1}=60\text{dB}$ の場合と実験 2 における評価の枠組みの模式図を Fig. 2.3.8 に示す。図に示すように、ある刺激の不快さが、実験 1 の $L_{N1}=60\text{dB}$ の実験における評価の枠組みのほぼ中心に位置すると仮定すると、その刺激の不快さは、実験 2 の枠組みにおいては、中心よりも不快側に位置する。各実験において、ある刺激の%不快が、それぞれの実験の評価の枠組みにおける相対的な位置で決まると考えると、実験 1 の $L_{N1}=60\text{dB}$ の場合と実験 2 で共通の条件において、実験 2 の方が%不快が高く評価されたことは、矛盾無く説明できる。

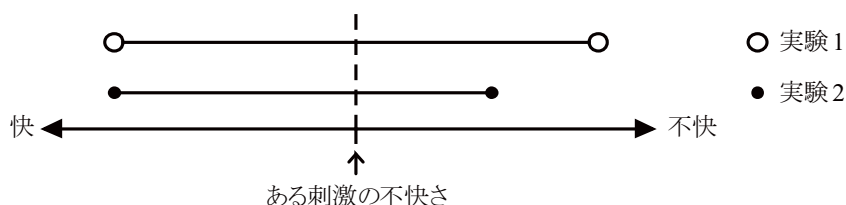


Fig. 2.3.7 Conceptual diagram for the difference of frameworks for evaluation in Exp. 1 and Exp. 2. L_{N1} : 50dB

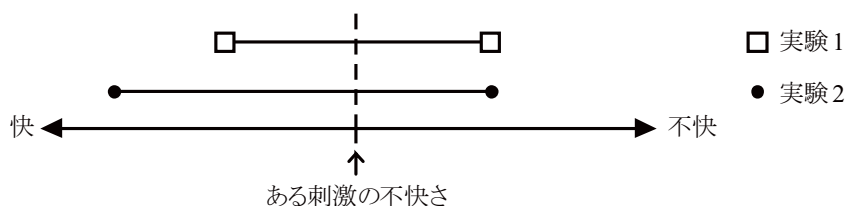


Fig. 2.3.8 Conceptual diagram for the difference of frameworks for evaluation in Exp. 1 and Exp. 2. L_{N1} : 60dB

3.2.4 拡声レベルの最適な調整法

実験 1、実験 2 の結果から、拡声レベルの最適な調整法について検討する。ここでは、調整前の SN 比は聴き取りにくさの観点から +15dB になるよう最適化[19]されている場合に、拡声レベル調整による不快感が最小となる調整パラメータを最適とする。

まず、 ΔL_S の下限値及び Δt_S の上限値について検討する。実験 1、実験 2 の結果より、 ΔL_S が小さいほど、また Δt_S が長いほど%不快は低下することから、可能な限り ΔL_S を小さく、また Δt_S を長くすれば%不快は最小となる。ただし、拡声レベル調整の目的は暗騒音レベルの上昇による聴き取りにくさの上昇を軽減させることであり、 ΔL_S を小さくするほど、この軽減効果が小さくなる。

従来の研究より、騒音付加音場において、音声レベルを 5dB ステップで変化させたとき、聴き取りにくさが変化するが[19]、この音声レベルの変化幅が 5dB 未満の場合に、聴き取りにくさがどの程度変化するかは明らかにされていない。したがって、ここでは ΔL_S の下限値は 5dB とする。

一方、 Δt_S を長くするほど%不快は低下するが、調整完了までに時間がかかる。暗騒音レベルの

上昇直後から拡声レベルの調整完了までに流されたアナウンスは、情報損失の恐れがあり、 Δt_s が長いほど情報損失量が多い。損失の恐れがある情報量は、 Δt_s とアナウンスの発話速度によって決まる。従来の研究より、公共空間におけるアナウンスの発話速度調査[32]が行われており、鉄道駅アナウンスの発話速度は4.3syl/sから9.5syl/sである。つまり、 Δt_s が800msの場合、調整完了までに情報損失の可能性のあるのは3.4音節から7.6音節で、日本語単語の多くが3音節から5音節程度から成る[33]ことを踏まえると、1単語から2単語程度の損失に相当する。これ以上の情報損失が生じれば、前後の文脈から内容を推測することで、その損失を補うことは難しいと思われる。したがって、ここでは Δt_s の上限値は800msとする。

$L_{NI}=50\text{dB}$ の場合において、拡声レベル調整の最適なパラメータを検討する。実験1の結果より、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 $L_{SI}=65\text{dB}$ の場合は、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ の条件において Δt_s に関わらず%不快感が最小であった。また、 ΔL_N による%不快感の変化は見られなかった。ただし、実験2では $L_{NI}=50\text{dB}$ 、 $L_{SI}=65\text{dB}$ の場合、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ の条件において Δt_s によって%不快感が変化し、800msで最小となった。ここで、実験1、実験2のどちらの結果を採用すべきかを検討する。Fig. 2.3.7より、実験2は実験1の $L_{NI}=50\text{dB}$ の場合に比べて評価の枠組みが小さい。%不快感の値は枠組み内の相対的位置で決まるとすれば、枠組みが小さければ、細かな差異が%不快感に現れると考えられる。このことから、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ における Δt_s による%不快感の変化は、実験1では枠組みが大きかったために見られなかったが、実験2の小さな枠組みで評価することで違いが%不快感に現れたとすれば、より細かな違いを評価できている実験2の結果を採用する方が安全側であるといえる。したがって、 $L_{NI}=50\text{dB}$ の場合、 ΔL_N が5dBから20dBの範囲において、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ 、 $\Delta t_s=800\text{ms}$ が最適なパラメータとなる。

$L_{NI}=60\text{dB}$ の場合において、拡声レベル調整の最適なパラメータを検討する。実験1の結果より、 $L_{NI}=60\text{dB}$ 、 $L_{SI}=75\text{dB}$ の場合は、 ΔL_N によって%不快感は影響を受けるが、%不快感が最小となるのは ΔL_N に関わらず $\Delta L_S=5\text{dB}$ 、 $\Delta t_s=800\text{ms}$ の場合である。一方、実験2においても、 $L_{NI}=60\text{dB}$ 、 $L_{SI}=75\text{dB}$ の場合は $\Delta L_S=5\text{dB}$ 、 $\Delta t_s=800\text{ms}$ で%不快感は最小となる。%不快感の値は実験1よりも高いが、この理由は前項で考察した通りである。以上から、 $L_{NI}=60\text{dB}$ の場合、 ΔL_N が5dBから20dBの範囲において、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ 、 $\Delta t_s=800\text{ms}$ が最適なパラメータとなる。

以上より、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、60dBの両方において、 ΔL_N が5dBから20dBの範囲で、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ 、 $\Delta t_s=800\text{ms}$ が最適なパラメータである。また、このパラメータは ΔL_S の下限値、 Δt_s の上限値と等しいため、これ以上 ΔL_S を大きく、また Δt_s を長くすることは不適當である。また、暗騒音レベルの絶対値が大きいほど%不快感が低下する傾向は見られるが、 L_{NI} が50dBと60dBの場合では%不快感が最小となる調整パラメータに変化はない。このことから、 L_{NI} が実験を行っていない範囲にある場合でも、50dBから60dBの間であれば、最適なパラメータは $\Delta L_S=5\text{dB}$ 、 $\Delta t_s=800\text{ms}$ で変化しないと考えられる。

3.3 第3章のまとめ

拡声レベルの変化量及び暗騒音レベルの変化量を固定して、拡声レベル及び暗騒音レベルの絶対値が不快感に及ぼす影響について検討し、以下のことを明らかにした。

- ・暗騒音レベルの絶対値に関わらず、拡声レベルの絶対値が大きいほど、また立ち上がり時間が短いほど不快感が増大する。
- ・拡声レベルの立ち上がり時間よりも、拡声レベルの絶対値の方が、不快感に大きな影響を及ぼす。
- ・暗騒音レベルの絶対値が大きいほど、不快感は減少する。また、暗騒音レベルの絶対値がより高い範囲で変化するほど、その減少は顕著である。

また、実験1及び実験2の結果から、拡声レベル調整における最適なパラメータを検討した。その結果、 L_{N1} が50dBから60dBの範囲において、 ΔL_N が5dBから20dBの場合、 $\Delta L_S=5\text{dB}$ 、 $\Delta t_S=800\text{ms}$ が最適なパラメータであることを示した。

第 4 章 聴感実験 3: 暗騒音の条件と拡声レベル調整の 必要性の関係

前章までは、%-不快が最小となる調整パラメータを最適として各調整パラメータと%-不快の関係を求めた。すなわち、拡声レベルの調整を行う場合の最適値を検討したが、暗騒音の条件によっては、そもそも拡声レベルの調整をしない方が良い場合も考えられる。本章では、暗騒音の条件ごとに、前章までの結果を基に拡声レベルを最適に調整した場合と、調整しない場合を比較する聴感実験を行い、調整そのものが必要かどうかについて検討する。

4.1 実験方法

一対比較法を用いた。暗騒音の各条件について、拡声レベルを調整した音声刺激と、調整していない音声刺激を対とし、レベル調整をした方が良い、しない方が良い、またはどちらでもよいかを被験者に比較判断させた。拡声レベル調整のパラメータは、前章で検討した最適値とした。

4.1.1 音声刺激及び暗騒音刺激

実験 1、実験 2 と同じである。

4.1.2 実験パラメータ

a パラメータの種類

実験 1、実験 2 と同じである。

b 刺激の種類

実験で用いた刺激の条件を Table 2.4.1 に示す。暗騒音刺激は、 L_{N1} が 5dB 刻みで 50dB から 65dB の 4 種類、 ΔL_N が 5dB 刻みで 5dB から 20dB の 4 種類である。ただし、実験機器の性能上、最大出力が 80dB であるため、 L_{N1} が 65dB の場合は $\Delta L_N=20$ dB の条件は実験に用いない。したがって、暗騒音刺激の条件は $4 \times 4 - 1$ で 15 条件である。この 15 条件それぞれに対して、拡声レベルを調整した音声刺激と、調整をしない ($\Delta L_S=0$ dB) 音声刺激を組み合わせ、合計 30 種類の刺激を作成した。30 種類の刺激を暗騒音刺激の条件が同じ刺激同士で組み合わせ 15 種類の刺激対とする。対の前後関係は一定で、レベル調整しない刺激を前、レベル調整した刺激を後とする。

第 2 部

Table 2.4.1 List of parameters of test sound fields used in Exp. 3.

L_{N1} , dB	L_{N2} , dB	ΔL_N , dB	L_{S1} , dB	L_{S2} , dB	ΔL_S , dB	Δt_S , ms	SN_1 , dB	SN_2 , dB	刺激対
50	55	5	65	65 70	0 5	- 800	+15 +15	+10 +15	1
	60	10	65	65 70	0 5	- 800	+15 +15	+5 +10	2
	65	15	65	65 70	0 5	- 800	+15 +15	± 0 +5	3
	70	20	65	65 70	0 5	- 800	+15 +15	-5 ± 0	4
55	60	5	70	70 75	0 5	- 800	+15 +15	+10 +15	5
	65	10	70	70 75	0 5	- 800	+15 +15	+5 +10	6
	70	15	70	70 75	0 5	- 800	+15 +15	± 0 +5	7
	75	20	70	70 75	0 5	- 800	+15 +15	-5 ± 0	8
60	65	5	75	75 80	0 5	- 800	+15 +15	+10 +15	9
	70	10	75	75 80	0 5	- 800	+15 +15	+5 +10	10
	75	15	75	75 80	0 5	- 800	+15 +15	± 0 +5	11
	80	20	75	75 80	0 5	- 800	+15 +15	-5 ± 0	12
65	70	5	80	80 85	0 5	- 800	+15 +15	+10 +15	13
	75	10	80	80 85	0 5	- 800	+15 +15	+5 +10	14
	80	15	80	80 85	0 5	- 800	+15 +15	± 0 +5	15

全ての刺激において SN_1 は+15dB に最適化[19]し、拡声レベルを調整した刺激のパラメータは、前章で検討した最適値である $\Delta L_S=5$ dB、 $\Delta t_S=800$ ms とした。1 個の刺激対において、暗騒音の条件は一定である。なお、 SN_2 は-5dB から+15dB の範囲にあるが、 SN_2 が-5dB になるのは、拡声レベルを調整しない条件のみである。 SN_2 が-5dB の条件では単語理解度が最大でなくなる[19]ため、音声情報を正しく伝えることができない。しかし、拡声レベル調整の必要性を検討する上で、調整を行わないと単語理解度が最大でなくなる場合には調整が必要となることを確認する意味で、実験条件として用いる。

c 提示レベルの測定方法

実験1、実験2と同じである。

4.1.3 刺激の作成

音声刺激対の作成手順を示す。

- (1) 刺激全長 6.5 秒のうち、0 秒から 2.5 秒までの L_{Aeq} が 80dB になるよう刺激全体のレベルを調整する。レベルの調整は計算機上で波形を縮小して行う。
- (2) (1)で作成した刺激とは別に、刺激全長 6.5 秒のうち、0 秒から 2.5 秒までの波形を縮小し、レベル差が 5dB となる音声刺激を作成する。
- (3) (2)でレベル差をつけた音声刺激に 800ms の立ち上がりをつける。
- (4) (3)作成した音声刺激を、調整前レベルが L_{Aeq} (実測時間 2.5 秒) で 80dB になるよう刺激全体のレベルを調整する。レベルの調整は計算機上で波形を縮小して行う。
- (5) (1)で作成した音声刺激を前に、(2)から(4)で作成した音声刺激を後に配置して、1 個の音声刺激対を作成する。このとき、1 つ目の刺激の前、2 つの刺激の間、2 つ目の刺激の後に、それぞれ 1.0 秒、2.5 秒、0.5 秒の空白を挿入する。これで、刺激全長 17.0 秒の音声刺激対が 1 個作成できる。
- (6) (1)から(5)の手順を繰り返し、それぞれ L_{SI} が 75dB、70dB、65dB となる刺激対を作成する。上記(1)から(6)の操作によって、実験に用いる 4 条件の音声刺激対を作成できた。

次に、暗騒音刺激対の作成手順を示す。

- (1) 刺激全長 8.0 秒のうち、0 秒から 3.5 秒までの波形を縮小し、レベル差が 5dB、10dB、15dB、20dB となる 4 個の暗騒音刺激対を作成する。
- (2) (1)で作成した 4 個の暗騒音刺激を、変化前レベルを L_{Aeq} (実測時間 3.5 秒) で 50dB にそれぞれ統制する。レベルの調整は計算機上で波形を縮小して行った。
- (3) (2)で作成した暗騒音刺激をそれぞれ複製する。
- (4) (2)と(3)で作成した刺激について、同じ刺激同士を 2 個 1 組としてそれぞれ結合し、4 個の暗騒音刺激対を作成する。このとき、それぞれ 2 つの刺激の間に 1.0 秒の空白を挿入する。これで、刺激全長 17.0 秒の暗騒音刺激対が 4 個作成できる。
- (5) (1)から(4)の手順を繰り返し、それぞれ L_{NI} が 65dB、60dB、55dB となる暗騒音刺激対を作成する。ただし、 L_{NI} が 65dB の刺激については、 ΔL_N が 20dB の刺激は作成しない。

上記(1)から(5)の操作によって、 L_{NI} が 60dB、55dB、50dB の暗騒音刺激対が、それぞれ ΔL_N が 5dB、10dB、15dB、20dB の 4 種類の計 12 対と、 L_{NI} が 65dB の暗騒音刺激対が、 ΔL_N が 5dB、10dB、15dB の 3 種類を合わせて、合計 15 種類の暗騒音刺激対が作成できた。

4.1.4 試験用音源の作成

試験用音源の作成手順を示す。

- (1) Table 2.4.1 に示した通りに暗騒音刺激対と音声刺激対を組み合わせ、15 個の刺激対を作成す

第 2 部

る。

(2) (1)で作成した 15 個の刺激対をランダムに並べ替え、1 組の試験用音源を作成する。

(3) (1)から(2)を繰り返し、合計 10 個の試験用音源を作成する。

上記(1)から(3)の操作によって、実験で用いる 10 組の試験用音源全てが作成できた。1 組の試験用音源中には、各条件の刺激対がそれぞれ 1 回ずつ含まれる。なお、被験者は、1 試行において 1 組の試験用音源を聴取する。

4.1.5 実験装置

実験 1、実験 2 と同じである。

4.1.6 被験者

被験者には学生 18 名を用いた。このうち 9 名は神戸大学の環境音響学研究室内部の学生であり、残り 9 名は研究室外部の学生である。以降、前者を内部被験者、後者を外部被験者と呼ぶ。内部被験者を用いた理由は、外部被験者だけではアナウンスに対する意識、価値観はばらつきが大きく、個人差が大きくなる可能性を考慮するためである。内部被験者であれば、日常的に音響に関わる研究に取り組んでいるため、アナウンスに対する意識、価値観のばらつきが比較的小さく、また、アナウンスを厳しく評価することが可能と考えた。ここで、厳しく評価するとは、外部被験者と比較して、アナウンスに要求する品質の基準が高いということを指す。外部被験者を用いた理由は、内部被験者がアナウンスを厳しく評価できているかを確認するため、また一般的な評価を得るためである。

全ての被験者に対して聴力検査を行った。聴力検査はオーディオメータ (RION、AA-73B) を用いて行い、125Hz から 8kHz までの 1 オクターブごとの純音について聴力レベルを 5dB 刻みで測定した。被験者の平均聴力レベルを Fig. 2.4.1 に示す。全ての被験者の聴力レベルは PTA (500Hz、1kHz、2kHz の聴力レベルの平均) は最大でも 13.3dB であり、被験者はすべて正常聴力である。

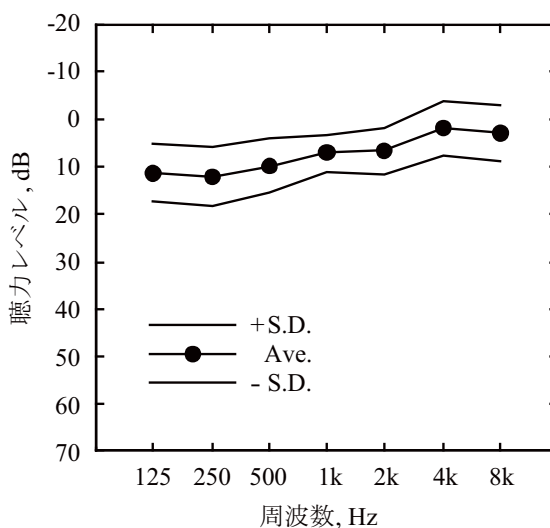


Fig. 2.4.1 Audiogram for listeners in Exp. 3.

4.1.7 刺激の提示方法及び回答方法

刺激対の提示間隔は約 5 秒とし、1 回の試行にかかる時間は約 6 分である。刺激提示の模式図を Fig. 2.4.2 に示す。被験者は 1 試行で 15 種類の刺激対を 1 回ずつ聴取し、10 試行を行った。15 種類の刺激対に対して、18 人の被験者から 10 サンプルずつの計 180 サンプルを得た。

実験で用いた教示文を Fig. 2.4.3 に示す。被験者には、刺激対の前後を比較して、拡声レベル調整の必要性について Fig. 2.4.3 中に示した 3 つの選択肢で回答させた。また、被験者には、回答用紙の記入に必要十分な明るさを与えた。また、実験初回前に刺激対 3 個を用いて練習を行った。

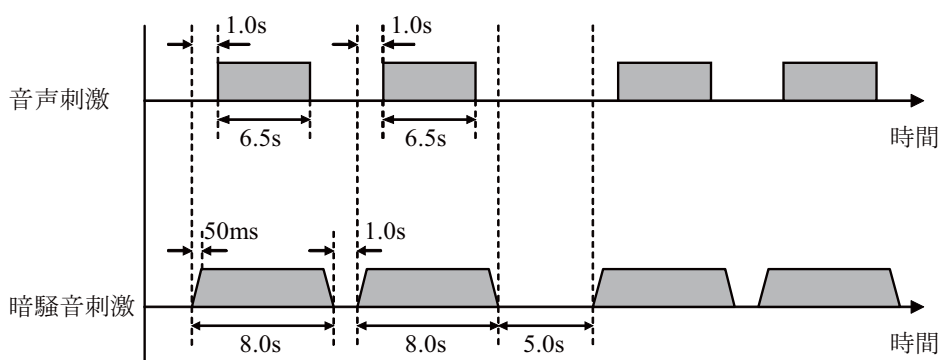


Fig. 2.4.2 Time sequence of test signals used in Exp. 3.

第2部

騒音の中でアナウンスを聴いていると想定して下さい。

1秒の間隔をおいて、アナウンス（継続時間約8秒）が対となって聞こえてきます。

アナウンスの途中で、騒音が大きくなります。

先に流れるアナウンスには特に何の調整もしていません。

後に流れるアナウンスは、騒音の増大に合わせて音量を調整したものです。

2つのアナウンスを比べ、下記の指示に従って回答用紙に数字を記入してください。

- 1 音量を調整した方がよい
- 2 どちらでもよい
- 3 音量を調整しない方がよい

次の対が聞こえてくるまでに5秒あります。

この間に回答して下さい。

実験は約6分で終わります。

Fig. 2.4.3 Instructions to subjects used in Exp. 3.

4.2 実験結果と考察

被験者が1、2、3と回答した比率をそれぞれ算出した。内部被験者と外部被験者で回答傾向が異なる可能性を考慮し、両者の回答を別々に分析した。

4.2.1 内部被験者の結果

内部被験者の結果を L_{N1} ごとにまとめ、Fig. 2.4.4 (左側) に示す。 L_{N1} が等しい条件間で、音声の条件は一定であり、図中の調整無 SN_2 とは、拡声レベル調整をしない場合の暗騒音レベル変化後の SN 比を指す。

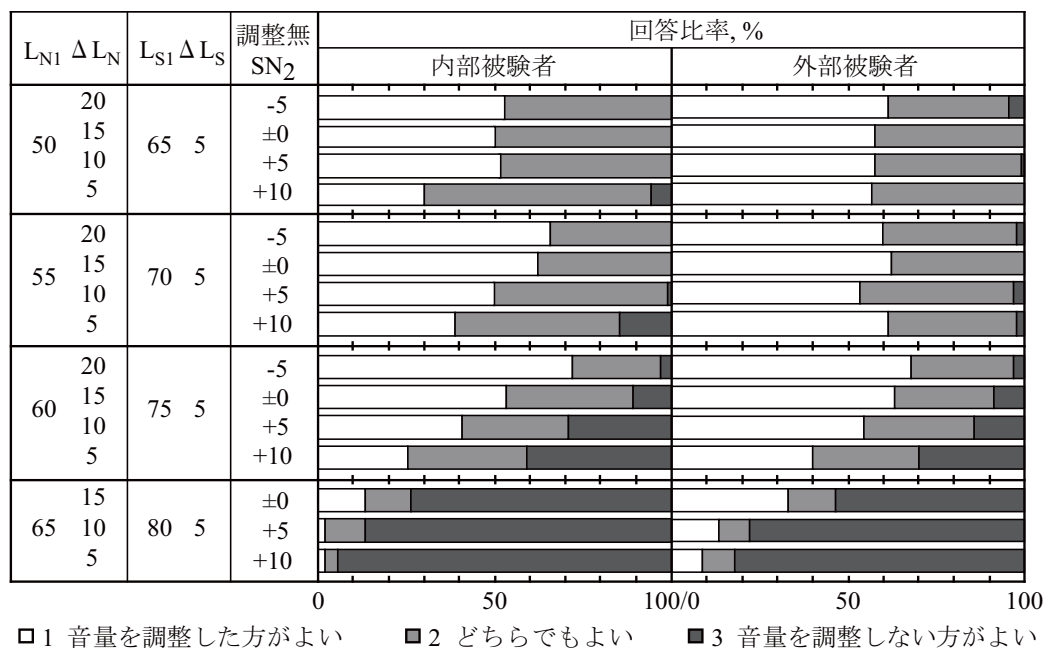


Fig. 2.4.4 Comparison of percentage of response between laboratory-members and non-laboratory-members in Exp. 3.

$L_{NI}=50\text{dB}$ の場合、 ΔL_N が 10dB から 20dB の場合と 5dB の場合で回答比率が異なる。 ΔL_N が 10dB から 20dB の場合は、1 と 2 の回答比率が約 50% ずつであり、3 の回答は見られない。一方、 ΔL_N が 5dB の場合、1 の回答比率は ΔL_N が 10dB から 20dB の場合に比べて低く、3 の回答も見られる。この原因は、拡声レベル調整後の音声のラウドネスが大き過ぎることであると考えられる。 ΔL_N が 10dB 以上の場合に 3 の回答が見られないのは、暗騒音による部分マスキングによって音声のラウドネスが低下したためと考えられる。

$L_{NI}=55\text{dB}$ の場合、 ΔL_N が大きいほど 1 の回答比率が上昇する。これは、 ΔL_N が大きいほど調整をしない場合の SN_2 が低く、聴き取りにくいいため、拡声レベル調整の必要性が高まったと考えられる。また、 ΔL_N が 5dB、10dB の場合は 3 の回答が見られる。これは、上述の場合と同様に、音声のラウドネスが大き過ぎることが原因と考えられる。

$L_{NI}=60\text{dB}$ の場合、 ΔL_N が大きいほど 1 の回答比率が高く、3 の回答比率が低い。1 の回答比率が上昇する傾向については、 $L_{NI}=55\text{dB}$ の場合と同様に考察できる。 ΔL_N が大きいほど 3 の回答比率が減少するのは、暗騒音による音声の部分マスキングの効果が増し、音声のラウドネスが低下するためと考えられる。また、3 の回答比率は、 $L_{NI}=50\text{dB}$ 、55dB の場合と比べて高い。これは、拡声レベルの絶対値が高いため、音声のラウドネスが大き過ぎると判断される割合が増加したためと考えられる。

$L_{NI}=65\text{dB}$ の場合、 ΔL_N と回答比率の関係を見ると、定性的な傾向としては $L_{NI}=60\text{dB}$ の場合と類似しているが、 L_{NI} が 50dB から 60dB の場合と比べて 3 の回答比率が非常に高く、 ΔL_N が 5dB から 15dB の範囲において 70% 以上を占める。これは、拡声レベルの絶対値が高く、音声のラウドネスが大き過ぎるためと考えられる。

4.2.2 外部被験者の結果

外部被験者の結果を L_{N1} ごとにまとめ、Fig. 2.4.4 (右側) に示す。

$L_{N1}=60\text{dB}$ 、 65dB の場合、 ΔL_N が大きいほど 1 の回答比率が低く、3 の回答比率が高い。この傾向は内部被験者の場合と同じである。

一方、 $L_{N1}=50\text{dB}$ 、 55dB における回答比率は類似しており、どちらも ΔL_N に関わらず 1 の回答比率が 50% 強で、3 の回答比率がわずかに見られる。この結果からは、 $L_{N1}=50\text{dB}$ 、 55dB の場合 ΔL_N が回答比率に影響を及ぼさないと考えられるが、被験者別に検討すると、 ΔL_N の大小に対する回答傾向が被験者によって異なり、大きく 2 種類見られた。被験者を回答傾向ごとに分け、それぞれグループ A、グループ B として、各グループで分析した結果をそれぞれ Fig. 2.4.5 に左右に分けて示す。

グループ A (5 名) の結果は、内部被験者の回答傾向と類似しており、前述の通り考察できる。一方、グループ B (4 名) の結果は、 $L_{N1}=65\text{dB}$ の場合は内部被験者及びグループ A と似た傾向を示すが、 L_{N1} が 50dB から 60dB の範囲においては傾向が異なり、 ΔL_N が大きいほど 1 の回答比率が低い。この結果は、 ΔL_N が大きいほど調整をしない場合の SN_2 が低く、聴き取りにくいいため、拡声レベル調整の必要性が高まるとした前述の考察と相反する。この理由として、内部及びグループ A の被験者と、グループ B の被験者とで拡声レベル調整の効果に対する評価において、着眼点が異なる可能性が考えられる。すなわち、内部及びグループ A では、拡声レベル調整によって聴き取りにくさが軽減されたかどうかに着目しているのに対し、グループ B では調整後の聴き取りにくさに着目している可能性がある。具体的には、 ΔL_N が大きい場合に、内部及びグループ A は、調整しない場合に聴き取りにくく、調整後に聴き取りにくかったとしても、調整によって聴き取りにくさが軽減されていれば 1 と回答したのに対し、グループ B は、調整しても、聴き取りにくければ 2 と回答したとすれば、両者で ΔL_N が大きい場合の回答傾向が異なることは矛盾無く説明できる。また、 $L_{N1}=50\text{dB}$ 、 55dB の場合において、両者で ΔL_N の大小に対する 1 の回答比率の変化は異なるものの、1 の回答比率は ΔL_N が 5dB から 20dB の全てで 30% から 80% 程度見られる。したがって、両者にとって拡声レベル調整を必要とするかどうかの着眼点は異なるが、両者とも拡声レベル調整はある程度必要としていると考えられる。

また、内部被験者と外部被験者全体の結果を比較すると、内部被験者の方が 1 の回答比率がやや低く、3 の回答比率がやや高い傾向が見られる。このことから、内部被験者の方が拡声レベル調整の必要性に関してやや厳しく評価しているといえる。

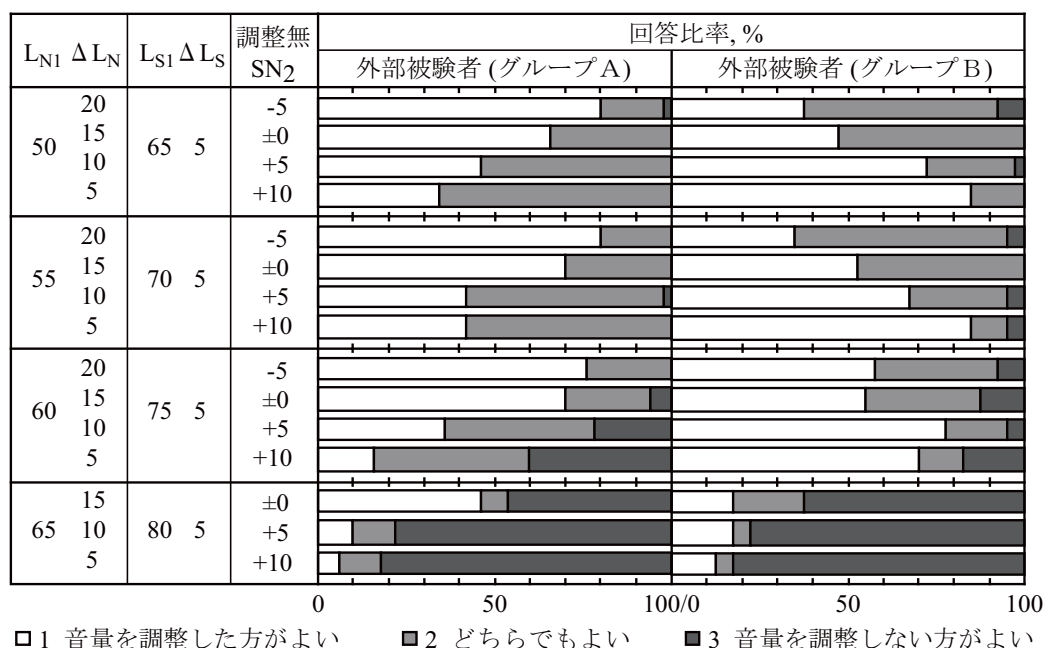


Fig. 2.4.5 Comparison of percentage of response between group A and group B of non-laboratory-members in Exp. 3.

4.2.3 レベル調整の必要性

拡声レベル調整の必要性に関して、外部被験者は着眼点に個人差はあるが、ここでは考え方の違いを踏まえた集団全体における必要性を議論するため、個人差を含めた外部被験者全体の結果を用いて検討する。また、上述のように内部被験者は外部被験者に比べて厳しく評価していると考えられるため、内部と外部で結果を平均することはしない。したがって、外部被験者全体及び内部被験者の実験結果をそれぞれ踏まえて、拡声レベル調整の必要性について考察する。

まず、拡声レベルの必要性を判断する基準について検討する。 SN_2 が ± 0 dB以上であれば、正確な音声情報伝達は、拡声レベルを調整しない場合でも実現できている[19]。このとき、拡声レベル調整を行うことで、聴き取りが容易になるという利益を得る人と、拡声レベルを調整したため不快に感じるという不利益を被る人の両方が存在する場合がある。この場合において、拡声レベル調整を行うかどうかは、設計者が、この利益と不利益のうち、どちらをどの程度優先するかをアナウンスの重要度に応じて選択することが想定される。すなわち、アナウンスの重要度が高い場合は、不快に感じる人の割合がある程度高くても、それを許容し拡声レベル調整を行うことが想定されるが、アナウンスの重要度が低下するほど、不快に感じる人の割合の許容値は低下すると考えられる。ここでは、不快感に関して安全側を考慮した拡声レベル調整を考える。具体的には、3の回答比率が内部被験者と外部被験者の少なくとも一方で5%以上であれば、不快に感じる人の存在が無視できないとみなし、拡声レベルを調整しない方が良いとして検討を行う。

調整しない場合の SN_2 に着目すると、 SN_2 が+10dBの場合は、外部被験者全体の結果では、 L_{N1} が60dB、65dBの場合のみ3の回答比率が5%以上であるが、内部被験者の結果では、 L_{N1} に関わら

第 2 部

ず、3 の回答比率が 5%以上であるため、調整しない方が良い。SN₂が+5dB、±0dB の場合は、L_{N1} が 50dB、55dB の範囲で、内部被験者及び外部被験者全体の両方において 1、2 の回答が多数を占め、3 の回答が 5%未満であるから、拡声レベルを調整した方が良い。ただし、L_{N1} が 60dB 以上の場合は 3 の回答が増加し、5%以上であるため調整しない方が良い。SN₂が-5dB の場合は、L_{N1} が 50dB から 60dB の範囲で、内部被験者及び外部被験者全体の両方において 1、2 の回答が多数を占め、3 の回答が 5%未満であるため、拡声レベルを調整した方が良い。

4.3 第 4 章のまとめ

拡声レベルの調整パラメータを、前章までの実験結果に基づき最適化した上で、拡声レベルを調整しない場合と比較し、調整が必要かどうかを暗騒音レベルの条件ごとに検討した。ここでは、調整しない方が良いとする評価が 5%以上である場合に、拡声レベルを調整しない方が良いとみなして検討し、以下の結論を得た。

- 暗騒音レベル変化後の SN 比が+10dB の場合は、変化前の暗騒音レベルに関わらず調整しない方が良い。
- 暗騒音レベル変化後の SN 比が+5dB、±0dB の場合は、変化前の暗騒音レベルが 55dB 以下の場合は調整した方が良いが、変化前の騒音レベルが 60dB 以上の場合は調整しない方が良い。
- 暗騒音レベル変化後の SN 比が-5dB の場合は、変化前の暗騒音レベルに関わらず調整した方が良い。

以上をまとめて Table 2.4.2 に示す。調整しない方が良い場合を×で示す。

Table 2.4.2 Summary of results of Exp. 3. X represents conditions should not adjust the speech level.

変化前の 暗騒音レベル, dB	暗騒音レベル変化後のSN比, dB			
	-5	±0	+5	+10
50				×
55				×
60		×	×	×
65	-	×	×	×

第 5 章 第 2 部のまとめ

第 2 部では、暗騒音レベルの急激な変動を想定し、変動に合わせて拡声レベルを調整する場合に、内容を正確に伝達し、かつ不快感が最小限である拡声レベルの調整法を検討した。

まず、拡声レベルを変化させる場合に、各調整パラメータが拡声レベル調整に対する不快感に及ぼす影響について、聴感実験を行い検討した。その結果、以下のことを明らかにした。

- 拡声レベルの絶対値及び増幅量が大きいくほど、また立ち上がり時間が短いほど、不快感は増大する。
- 立ち上がり時間よりも、拡声レベルの絶対値及び増幅量が不快感に大きな影響を及ぼす。
- 拡声レベルのパラメータが一定であれば、暗騒音レベルの絶対値が大きいくほど、不快感は減少する。また、暗騒音レベルの絶対値がより高い範囲で変化するほど、その減少は顕著である。

これらの結果から、調整前の SN 比が最適値である+15dB に設定されているものとして、調整パラメータの最適値を検討した。その結果、変化前の騒音レベルが 50dB から 60dB の範囲において、暗騒音レベルの変化量が 5dB から 20dB の場合、増幅量 5dB、立ち上がり時間 800ms が調整パラメータの最適値であることを示した。

さらに、拡声レベル調整の必要性について検討するために、上記の最適なパラメータを用いて拡声レベルを調整したアナウンスと、拡声レベルを調整しないアナウンスを比較する聴感実験を行った。実験結果より、調整しない方が良いとする評価が 5%以上である場合に、拡声レベルを調整しない方が良いとみなして検討し、以下の結論を得た。

- 暗騒音レベル変化後の SN 比が+10dB の場合は、変化前の暗騒音レベルに関わらず調整しない方が良い。
- 暗騒音レベル変化後の SN 比が+5dB、±0dB の場合は、変化前の暗騒音レベルが 55dB 以下の場合には調整した方が良いが、変化前の騒音レベルが 60dB 以上の場合には調整しない方が良い。
- 暗騒音レベル変化後の SN 比が-5dB の場合は、変化前の暗騒音レベルに関わらず調整した方が良い。

以上の結果をまとめて、Table 2.5 に示す。

第 2 部

Table 2.5 How to adjust the level of the announcement when the background noise level rises.

変化前の 暗騒音レベル, dB	暗騒音レベル変化後のSN比, dB			
	-5	±0	+5	+10
50	○	○	○	×
55	○	○	○	×
60	○	×	×	×
65	-	×	×	×

○: 調整有; 増幅量 5dB, 立上り時間 800ms
×: 調整無し

総括

本論文では、公共空間におけるアナウンスについて、より多くの人々にとって、快適で聴き取りやすいアナウンスを設計するため、2つの課題に取り組んだ。1つ目は、アナウンスによる情報伝達が必要とされる公共空間における、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにすること、2つ目は、その暗騒音レベルが急激に変化する場合のアナウンスの拡声レベルの適切な調整方法を明らかにすることである。

第1部では、代表的な公共空間において実測調査を行い、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにした。

第1章では、研究の背景として、公共空間におけるアナウンスの位置付けと、聴き取りやすいアナウンスを設計するためには、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を把握する必要があることを示した。また従来の研究例を概説し、公共空間の音環境を調査した事例は多いものの、本研究の目的であるアナウンスに対する暗騒音、すなわちアナウンスとそれ以外の音を分離して音響特性を明らかにしたものが見られないことを示した。

第2章では、地下鉄駅構内を対象とし、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにした。改札口とプラットホーム、それぞれの電車音の有無の計4つの条件について測定分析を行い、騒音レベル、周波数特性、両耳間相関度について明らかにした。その結果、公表されている各駅の1日の乗降客数という、容易に入手できる指標をパラメータとして大まかに推定可能であることを示した。具体的には、電車音が無い場合の暗騒音の支配的な音源は利用者の会話であり、騒音レベルは50dBから70dB程度に分布して各駅の1日の乗降客数と相関があること、周波数特性は500Hz付近に緩いピークを持ち、約5dB/oct.減衰する特性で、話声のスペクトルに近いこと、両耳間相関度は拡散音場における2点間相関の理論値に近いことを示した。

第3章では、空港旅客ターミナルを対象とし、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにした。ロビーと搭乗口それぞれについて測定分析を行い、騒音レベル、周波数特性、両耳間相関度について明らかにした。その結果、暗騒音の音響特性の変動は小さいく、またその変動は利用者数の多少によって説明が可能であることを示した。具体的には、騒音レベルは利用者の多少により増減するものの55dBから65dB程度に分布すること、周波数特性は500Hz付近に緩いピークを持ち、約5dB/oct.減衰する特性で、話声のスペクトルに近いこと、両耳間相関度は拡散音場における2点間相関の理論値に近いことを示した。

第4章では、地下街を対象とし、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにした。地下街通路にて測定分析を行い、騒音レベル、周波数特性、両耳間相関度について明らかにした。その結果、それぞれの音響特性は通過人数から推定可能であることを示した。具体的には、騒音レベルは55dBから75dB程度に分布し、通過人数と相関が高いこと、周波数特性は500Hz付近に緩いピークを持ち、約5dB/oct.減衰する特性で、話声のスペクトルに近いこと、両耳間相関度は拡散音場における2点間相関の理論値に近いことを示した。

第5章では、電車内を対象とし、アナウンスに対する暗騒音の音響特性を明らかにした。地上区

総括

間と地下区間それぞれにおいて測定分析を行い、騒音レベル、周波数特性について明らかにした。実際のアナウンスは、走行中の騒音レベルの上昇時及び下降時に放送されることが多く、ピーク時に放送されることは少ないものの、騒音レベルは地上区間では70dB程度、地下区間では70dBから80dB程度に分布し非常に喧騒的であること、周波数特性はいずれも約5dB/oct.で直線的に減衰する特性であるが、カーブ走行中などはスキール音の影響で250Hz付近が強い特性となることを示した。

第6章では、実際の公共空間において放送されているアナウンスについて現状調査を行った。結果として、SN比が高い場合と低い場合がそれぞれ見られ、改善の余地があることを示した。

第7章では、第1部のまとめを述べた。それぞれの公共空間における暗騒音の音響特性を比較した。地下鉄駅構内、空港旅客ターミナル、地下街といった多くの空間においては、暗騒音の音響特性に支配的な音源は利用者の会話であり、音響特性についても共通点が多く見られ、それぞれの音響特性は利用者数という、比較的容易に入手できる指標から大まかに推定可能で、汎用性の高い推定方法であることを示した。

第2部では、暗騒音レベルが急激に変動する場合のアナウンスの拡声レベルの適切な調整方法を明らかにした。

第1章では、研究の背景として、拡声レベルは一般に暗騒音レベルに応じて一定のSN比を確保するように決定されるが、暗騒音レベルが急激に変動する状況においても、これに追随して拡声レベルを調整すると、驚きや不快感を生じさせるのではないかという問題提起を行った。このような状況において目指すべきアナウンスは、内容を正確に伝達し、かつ不快感が最小限であるとして、最適な拡声レベルの調整法を明らかにすることを研究の目的とした。

第2章では、拡声レベルの増幅量、立ち上がり時間をパラメータとして、各パラメータと、調整に対する不快感の関係を明らかにした。その結果、増幅量が大きいほど、また立ち上がり時間が短いほど、不快感は増大することを示した。

第3章では、拡声レベル及び暗騒音レベルの絶対値と不快感の関係を明らかにした。その結果、暗騒音レベルの絶対値に関わらず、拡声レベルの絶対値が大きいほど不快感が増大することを示した。また、第2章の結果と併せて、拡声レベルの調整における最適なパラメータを明らかにした。

第4章では、上記で得られた最適なパラメータを用いて拡声レベルを調整したアナウンスと、拡声レベルを調整しないアナウンスを比較し、暗騒音レベルの条件ごとに、拡声レベルの調整の必要性を明らかにした。

第5章では、第2部のまとめを述べた。暗騒音レベルが急激に変動する場合に、拡声レベルを調整した方が良いか否か、また調整する場合の調整パラメータについて、暗騒音レベルの条件ごとに示した。

本論文で得られた成果は、公共空間における様々なアナウンスを設計するにあたり不可欠な内容であり、その意義は大きいと考える。しかし、広範囲に渡る建築音響の諸問題に対してはごく一部に過ぎない。これに関連する他の研究成果を組み合わせ、安全安心で快適な建築・音響空間の創造の一翼を担うべく、新たな課題に取り組むことをここに誓い、本論文の結びとする。

文献

- [1] 交通エコロジー・モビリティ財団, 公共交通機関旅客施設の移動円滑化整備ガイドライン追補版, (2002)
- [2] V. Mohanan, O. Sharma and S.P. Singal, “A noise and Vibration survey in a underground railway system,” *Applied Acoustics*, **28**, 263-275 (1989)
- [3] 横山栄, 向井ひかり, 橘秀樹, “公共空間の音環境に関する実測調査例,” *騒音制御*, **23**, 228-231 (1999)
- [4] 橘秀樹, 平野慈, “公共空間の音環境設計と騒音制御: 駅コンコース,” *騒音制御*, **23**, 238-242 (1999)
- [5] 濱口卓也, 佐藤公信, 清水忠男, “鉄道駅プラットフォームにおける音情報の複合的状況の現状および晴眼者と視覚障害者による印象評価,” *日本建築学会環境系論文集*, **582**, 23-30 (2004)
- [6] T. Sato, H. Sato, H. Sato and M. Morimoto, “Sound environment for speech communication at railway stations in Japan,” 18th International Congress on Acoustics (ICA2004), **II**, 1199-1200 (2004)
- [7] 藤井光治朗, 伊積康彦, “駅の音環境の実態,” *音響技術*, **133**, 7-13 (2006)
- [8] 竹内茂, “地域別騒音の場所別分布 第3報 東京都内地下街の騒音,” *北海道教育大学紀要 (第2部A)* **35**, 33-40 (1984)
- [9] 竹内茂, “地域別騒音の場所別分布 第5報 札幌市内地下街の騒音,” *北海道教育大学紀要 (第2部A)* **36**, 15-26 (1985)
- [10] 末岡伸一, “都市部における騒音の目安について,” *東京都環境科学研究所年報*, 209-214 (2005)
- [11] 木下敦子, 遠藤剛, 金田豊, 山本聡, “車室内騒音および放送の検討,” *日本音響学会講演論文集 (秋季)*, 759-760 (2004)
- [12] 運輸政策研究機構, *都市交通年報 平成16年度版* (運輸政策研究機構, 東京, 2005)
- [13] M. Morimoto and K. Iida, “A practical evaluation method of auditory source width in concert halls,” *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, **16**, 59-69 (1995)
- [14] M. Morimoto and K. Iida, “Appropriate frequency bandwidth in measuring interaural cross-correlation as a physical measure of auditory source width,” *Acoust. Sci. & Tech.*, **26**, 179-184 (2005)
- [15] J. Blauert, *Spatial Hearing* (MIT press, Cambridge, 1996)
- [16] 前川純一, 森本政之, 阪上公博, *建築・環境音響学* (共立出版, 東京, 2000)
- [17] H. Kuttruf, *Room Acoustics* (Elsevier, New York, 1991)
- [18] 森本政之, 安藤四一, 前川純一, “耳の音響中心について,” *日本音響学会講演論文集 (秋季)*, 365-366 (1972)
- [19] 佐藤逸人, “ユニバーサルデザインを考慮した音声伝達性能に関する研究,” *神戸大学博士論文*, (2009)
- [20] M. Morimoto, H. Sato and M. Kobayashi, “Listening difficulty as a subjective measure for evaluation of speech transmission performance in public spaces,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **116**, 1607-1613 (2004)
- [21] M. Kobayashi, M. Morimoto, H. Sato and H. Sato, “Optimum speech level to minimize listening

文献

- difficulty in public spaces,” J. Acoust. Soc. Am., **121**, 251-256 (2007)
- [22] 太田涼, 森本政之, 佐藤逸人, 佐藤洋, “騒音付加音場における拡声音の最適レベルについて,” 日本音響学会講演論文集 (秋季), 1065-1066 (2004)
- [23] 植松道治, 曾根敏夫, 二村忠元, “ランダム変動騒音下の音声明瞭度と了解度に関する基礎実験,” 日本音響学会誌, **34**, 516-521 (1978)
- [24] 曾根敏夫, 植松道治, 金指久則, 二村忠元, “ランダム変動騒音下の音声明瞭度の予測” 日本音響学会誌, **35**, 58-62 (1979)
- [25] 吉田拓正, “変動騒音下における連続音声の了解性の評定,” 日本音響学会誌, **41**, 450-458 (1985)
- [26] 佐藤隆, 佐藤逸人, 佐藤洋, 森本政之, “駅における音環境に関する調査研究 その2 駅構内変動騒音下における聴感実験,” 日本建築学会大会学術講演梗概集, 101-102 (2004)
- [27] 酌井宏, 野呂雄一, 久野和宏, “騒音下における最適な放送音量の予測と評価,” 電子情報通信学会技術研究報告 EA, **15**, 21-27 (1996)
- [28] 野呂雄一, 王願群, 久野和宏, “変動騒音下における最適な放送レベルの予測について,” 電子情報通信学会技術研究報告 EA, **13**, 9-18 (1998)
- [29] 植田弘典, 萩原克幸, 野呂雄一, 久野和宏, “ニューラルネットワークを用いた最適聴取レベルの予測について:学習データの選定による効果,” 電子情報通信学会技術研究報告 EA, **5**, 1-7 (2000)
- [30] J. P. Bigus, 社会調査研究所 (訳), 日本 IBM (訳), ニューラルネットワークによるデータマイニング (日経 BP, 東京, 1997)
- [31] I. Pollack, “The Effect of White Noise on the Loudness of Speech of Assigned Average Level,” J. Acoust. Soc. Am., **21**, 255-258 (1949)
- [32] 小林正明, 四釜奈緒, 森本政之, 佐藤逸人, 佐藤洋, “公共空間におけるアナウンスの最適発話速度と音声レベル,” 日本建築学会大会学術講演梗概集, 269-272 (2008)
- [33] 天野成昭, 近藤公久, “単語親密度によって分類した日本語単語及びモーラの統計的分布,” 電子情報通信学会技術研究報告 SP, **38**, 9-16 (1996)

謝辞

本論文は、多くの方々のご協力を得てまとめることができました。

神戸大学の森本政之教授には、建築音響の基礎や研究の進め方など、多岐に渡りご指導、ご鞭撻をいただきました。阪上公博准教授には、ゼミ活動を通じて、貴重なご助言をいただきました。また、佐藤逸人助教には、測定分析や実験など研究活動全般に渡って様々なご指導をいただきました。ここに記した先生方には、筆者が現役の学生であった頃のみならず、社会人として博士課程に進んでからも終始懇切なご指導をいただきました。心から感謝いたします。

株式会社ジーベックの前田耕造氏には、研究テーマの動機付けから測定の段取りに至るまで、多くのご支援をいただきました。ここに、厚くお礼申し上げます。

研究室の後輩にあたる高橋杏子氏、惣司真毅氏、山路貴司氏には、各々の修士論文等を通して測定分析や実験など多くのご協力をいただきました。共に研究を行った皆様と交わした有意義な議論の数々は、筆者の貴重な思い出です。ここに、深くお礼申し上げます。

測定分析や実験の実施にあたり、研究室の方々をはじめ多くの関係者の方々にご協力をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

また、社会人ドクターという非常に恵まれた研究の場を与えて下さった、大栗育夫代表取締役社長をはじめとする株式会社長谷工コーポレーションの皆様へ、心からお礼申し上げます。

最後に、折に触れて激励の言葉を掛けてくれた友人達と、休日の時間を割いてまでも研究活動を続けることに理解を示し協力してくれた家族に感謝いたします。

発表論文一覧

A. 学術論文

題目	掲載誌	共著者
地下鉄駅構内におけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性	神戸大学大学院工学研究科紀要, 1 , 29-35 (2009)	森本政之 佐藤逸人
空港旅客ターミナルにおけるアナウンスに対する暗騒音の音響特性	神戸大学大学院工学研究科・システム情報学研究科紀要, 2 (2010) 掲載決定	森本政之 佐藤逸人

B. 国際会議プロシーディングス

題目	掲載誌	共著者
Acoustic characteristics of background noise at subway stations	CD-ROM Proceedings of Western Pacific Acoustics Conference IX, Seoul, Korea (2006)	K. Maeda M. Morimoto H. Sato
Acoustic characteristics of environment sound in an underground shopping area	CD-ROM Proceedings of Western Pacific Acoustics Conference X, Beijing, China (2009)	M. Sotsuka M. Morimoto H. Sato

C. 学術講演

題目	研究発表会	共著者
公共空間の環境音の空間特性に関する基礎的研究 —両耳間相関度の分析—	日本建築学会近畿支部研究 発表会, 大阪工業技術専門 学校 (2005.6)	前田耕造 森本政之 佐藤逸人
地下鉄駅における環境音の両耳間相関度の分析	日本音響学会秋季研究発表 会, 東北大学 (2005.9)	前田耕造 森本政之 佐藤逸人
地下鉄駅における環境音の類型化の一試み	日本音響学会関西支部若手 研究者交流研究発表会, キャンパスプラザ京都 (2005.12)	前田耕造 森本政之 佐藤逸人
空港ロビーの音環境測定	日本音響学会秋季研究発表 会, 金沢大学 (2006.9)	高橋杏子 佐藤逸人 佐藤隆 森本政之
公共空間の音環境の類型化に関する研究 —地下鉄および空港の音環境—	日本音響学会騒音・振動研 究会, 沖縄産業支援セン ター (2007.1)	高橋杏子 佐藤逸人 森本政之
地下街における暗騒音の類型化に関する研究	日本建築学会近畿支部研究 発表会, 大阪工業技術専門学 校 (2008.6)	惣司真毅 森本政之 佐藤逸人
空港ロビーにおける環境音の物理特性について	日本音響学会秋季研究発表 会, 九州大学 (2008.9)	佐藤逸人 森本政之 高橋杏子
地下街の音環境について	日本音響学会秋季研究発表 会, 九州大学 (2008.9)	惣司真毅 森本政之 佐藤逸人
暗騒音レベルの変動を考慮した拡声レベルの調整法 *第1回学生優秀発表賞受賞	日本音響学会春季研究発表 会, 電気通信大学 (2010.3)	山路貴司 森本政之 佐藤逸人

