



Title	非定常騒音の不快感の評価に関する研究
Author(s)	矢野, 隆
Citation	大阪大学, 1988, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2036
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

非定常騒音の不快感の評価 に関する研究

昭和 62 年 11 月

矢 野 隆

目 次

序論	1
1 まえがき	1
2 本研究の目的	2
3 本論文の構成	3
参考文献	5
第1章 騒音評価の研究の流れ	6
1-1 騒音の定義と分類	6
1-2 騒音の属性論	7
1-2-1 S. S. Stevensの属性論	8
1-2-2 K. D. Kryterの属性論	8
1-2-3 B. Scharfの属性論	8
1-2-4 B. Berglund、U. Berglund、T. Lindvallの属性論	9
1-2-5 泉の属性論	9
1-2-6 D. N. Mayの属性論	9
1-2-7 J. A. Molinoの属性論	10
1-2-8 難波、桑野の属性論	10
1-3 騒音評価の研究の流れ	12
1-3-1 周波数特性に関する研究	12
1-3-2 時間特性に関する研究	13
(1) 継続時間の影響	13
(2) 立ち上がり時間の影響	14
(3) 繰り返し率の影響	15
1-3-3 個々の非定常騒音の評価に関する研究	16
(1) 変動騒音、間欠騒音の評価に関する研究	16
(2) 衝撃騒音の評価に関する研究	17
1-3-4 種々の騒音の評価の比較および複合騒音の評価に関する研究	18
(1) 社会調査	18
(2) 実験室実験	20

(3) 評価モデル	21
参考文献	24
第2章 規則的非定常騒音のやかましさ	32
2-1 目的と背景	32
2-2 実験	34
2-2-1 実験方法	34
2-2-2 実験音の設定条件	35
2-2-3 実験音の作製	37
2-2-4 被験者	37
2-2-5 実験手続	37
2-3 実験結果	40
2-4 考察	40
2-4-1 繰り返し率および変動幅とやかましさ	40
(1) 三角状、正弦状騒音	42
(2) 矩形状騒音	47
2-4-2 他の研究との比較	50
2-5 まとめ	54
参考文献	55
付録	57
第3章 規則的非定常騒音の不快感の評価における作業別の差違	59
3-1 目的と背景	59
3-2 実験	61
3-2-1 実験手法	61
3-2-2 被験者および実験中の作業	61
(1) 聴覚的作業	63
(2) 非聴覚的作業	64
3-2-3 騒音の設定条件	64
3-2-4 実験手続	64
3-3 結果	67
3-3-1 妨害感とやかましさの距離尺度	67

(1) 単音節明瞭度試験時の妨害感とやかましさの距離尺度	67
(2) 文章了解度試験時の妨害感とやかましさの距離尺度	67
(3) 計算時の妨害感とやかましさの距離尺度	72
(4) 読書時の妨害感とやかましさの距離尺度	72
3-3-2 作業能率	77
3-3-3 分散分析	78
(1) 妨害感とやかましさの尺度値の有意差検定	78
(2) 作業能率の有意差検定	80
3-4 考察	80
3-4-1 作業能率への騒音の影響	80
3-4-2 レベル変動特性の影響	82
3-5 まとめ	84
参考文献	85
第4章 種々の騒音による読書妨害	87
4-1 目的と背景	87
4-2 実験	87
4-2-1 実験音	87
4-2-2 被験者	91
4-2-3 受聴条件	91
4-2-4 実験計画と手続	92
4-3 結果	93
4-4 考察	96
4-4-1 種々の騒音による妨害感の比較とレベル変動特性の影響 ...	96
4-4-2 種々の騒音の評価モデル	100
4-5 まとめ	103
参考文献	104
付録 実験音のレベル記録	106
第5章 ピークの加重を考慮した各種の騒音の評価モデル	110
5-1 目的と背景	110
5-2 騒音の不快感に影響する騒音レベルの非定常性の要因	111

5-3	等エネルギー原理とピーク概念	112
5-4	係数 k を変化させることの意味	118
5-5	ピークの加重を考慮した騒音評価指標の測定システム	119
5-6	まとめ	121
	参考文献	122
第6章 各種騒音と複合騒音の暴露-反応の関係		
	—各種騒音の不快感の評価モデルの検証実験—	125
6-1	目的と背景	125
6-2	実験	126
6-2-1	実験音	126
6-2-2	被験者	130
6-2-3	実験方法	130
6-3	結果	131
6-4	考察	133
6-4-1	各種の騒音による妨害感の違い	133
6-4-2	複合騒音状態における暗騒音の影響	136
6-4-3	各種の騒音のレベル分布特性、およびIndexと k との関係	138
6-4-4	係数 k と L_{eq} との関係	142
(1)	妨害感と k の値との相関	143
(2)	係数 k と L_{eq} との関係	146
6-4-5	ピーク加重 L_{eq} と L_{NP} 、 L_{eq} との比較検討	149
6-5	まとめ	152
	参考文献	153
	付録 実験音のレベル記録	155
	総括	164
	本論文に関する発表論文	169
	謝辞	172

序論

1 まえがき

騒音問題はおそらく文明の発祥と共に生じてきたものと思われる。ローマ時代にも石畳を走る車の轍による騒音問題が発生していたようである¹⁾。しかし、今日のような広範囲にわたる騒音汚染が問題となってきたのは産業革命以後であり、はじめて系統的な騒音測定が行なわれたのは1929年のニューヨークにおいてであった²⁾。この頃、等ラウドネス曲線の研究が行なわれており、騒音評価研究の萌芽を見ることができる。そして、1933年にFletcherとMunson³⁾は実用的な等ラウドネス曲線を提案し、騒音評価研究の地歩を固めたと言えよう。

以後、産業や交通網の発達、都市の高密度化に伴って、人々への騒音暴露量は増加の一途をたどり、騒音を低減することが深刻な社会問題となっていく。このような社会状況を背景として、欧米を中心に騒音評価研究が盛んに行なわれるようになってきており、これまで膨大な知見が蓄積されてきた。我国では1960年代の高度経済成長期にはいって、道路交通網の整備、新幹線の建設、航空輸送の発達等によって騒音問題が広域化して、様々な社会問題が生じてきた。この頃から我国独自の騒音評価研究が活発に行なわれるようになり、ユニークで優れた研究も多数発表されている。

騒音評価の研究は極めて学際的な分野であり、様々な角度から研究されてきている。現代におけるこの研究の流れは、種々の異なる騒音に広く適用することが可能な評価法を開発するために、蓄積された知見を統合化していく過程であると見ることもできる。現在まで特定の騒音に適用し得る評価法は多数提案され、むしろ乱立気味であり、利用者にとっては極めて不便な状況にある。また、種々の騒音に広く適用することを目的とした評価法も多く提案されてきたが、いまだに合意された評価法が確立されたとは言い得ない。このような混沌とした状況の中から、幅広く適用することが可能な評価法の候補として浮かび上がってきたのは L_{eq} ⁴⁾ である。しかし、複雑な要因がからむ騒音の評価に単純な L_{eq} をその普遍的な評価法として採用することに疑問を呈する報告も多数ある。

以上のような混乱を生じている原因は騒音の評価にかかわる要因の多様さに

あると言える。従来の研究はその大部分が物理的要因に重点を置いて、反応と暴露量との関係を見てきた。しかし、騒音の不快感に影響するのは単に物理的刺激だけでなく、社会的、個人的要因もかなり影響しており、むしろ後者の要因の寄与が大きいとする報告も多数ある⁴⁾。しかし、騒音問題が生じる原因は騒音それ自体が存在することであり、この物理現象による影響を捕らえることが前提であることは論を待たない。

騒音の評価に限らず、音の知覚にかかわる研究の大部分はその周波数やレベルの時間的な変動性の影響を解明することであると言えよう。本研究の主眼もまさに騒音の時間的な変動性の影響を捕らえることにある。筆者はこの研究によって十分に満足できる指標が提案できるとは考えていない。なぜなら、騒音評価にかかわる要因には多種多様なものが考えられるが、ここでは物理的要因だけを問題にしているからである。物理的要因だけでなく、社会的、心理的要因などの多種多様な要因を考慮した簡便な評価法を考案することは極めて困難であり、むしろ不可能であると言うべきであろう。まずは物理量に対する心理量の対応関係に基づき、簡便で、幅広く騒音に適用可能な評価法を確立することが急務である。もし、このような評価法が得られれば、騒音の測定、評価の体系は極めて簡素化でき、環境基準の確立や環境の設計に大きく貢献できるものと確信している。この研究での知見がこれらの目的に少しでも役立ち、有効に利用されれば幸甚である。

2 本研究の目的

次章では騒音評価に関する研究の流れを簡単に概説する。そこでは種々の個々の騒音や複合騒音に普遍的に適用できる騒音評価法の開発を目指して研究が行われてきた状況を見ることができる。その騒音評価研究の流れの骨子を簡略に示せば、図-1のようになろう。本研究は図-1のような騒音評価研究の流れの中に位置付けて考えている。

騒音の評価に対して、周波数特性に着目した研究からA特性の有用性が示されてきており、時間特性に着目した研究からは等エネルギー原理^{※2)}の可能性が明らかにされてきた。非定常騒音^{※3)}のうち変動騒音^{※4)}や間欠騒音^{※5)}の評価方法はほぼ確定しており、 L_{eq} が優れていることが多くの研究で明確にされ

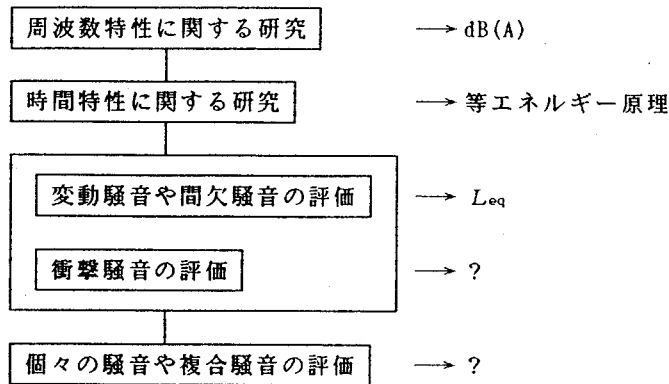


図-1 騒音評価研究の流れ

てきた。しかし、衝撃騒音^{注6)}の評価方法はいまだ確立されておらず、今後の課題である。また、各種の非定常騒音間の比較やそれらの騒音の複合状態での評価方法は多く提案されてきてはいるものの、いまだ混沌とした状態にある。

種々の騒音やそれらが複合された騒音の評価研究の大部分は道路交通、航空機、列車騒音等の交通騒音、すなわち変動騒音や間欠騒音の評価研究に集中している。衝撃騒音と道路交通騒音との比較研究も見られるが、報告されたものは多くはなく、さらにデータを蓄積していく必要がある。次章に示すように、全体としては非定常騒音全般に適用し得る評価方法を求める動きが明瞭に読み取れるが、これら非定常騒音の全般にわたる比較研究は極めて少ない。今後もこのような研究が多く行なわれ、知見が蓄積されていく中から、有力な評価方法が浮かび上がってくるものと考えられる。

本研究は、非定常騒音全般を対象とした一連の不快感の評価実験に基づいて行なったものであり、その目的は不快感と騒音の時間的な非定常性との関係（特に各種の騒音の比較）を明らかにし、非定常騒音全般に適用できる普遍的な騒音評価方法を確立するための一資料を提供することにある。

3 本論文の構成

本論文の概要は以下の通りである。

第1章では従来の騒音評価研究を簡単にレビューし、普遍的な評価方法の確立を目指して、様々な研究が行なわれ、これらの知見が統合されていく過程を

概観する。これらを通して、現在多くの評価モデルが提案されているものの、それらの統一には程遠く、未だ非定常騒音全般に適用し得る評価方法が確立されることなく、混沌としている状況を示す。

第2章では、まず研究の第一歩として、ピンクノイズで作製した規則的な非定常騒音を対象とした“やかましさ”の評価実験を行なう。非定常騒音のレベル変動特性を規定する要因として、レベル変動の範囲（変動幅）と繰り返し率を選び、現実騒音の実状にならって実験条件を設定して、これらの効果を検討する。

一般的に騒音を自ら聞く（能動）という状態は稀であり、騒音を聞かされる、あるいは騒音が聞こえてくる（受動）という状態で、“うるさい”とか“やかましい”といった反応が生じてくるものと考えられる。従来の研究は騒音を聞いて判断するという聴感実験が主である。第3章ではこのような観点から、より現実に近い状態での反応を得るために、被験者に各種の作業を課した状態で騒音を暴露し（受動）、騒音の評価実験を行なって、規則的な非定常騒音のレベル変動特性の影響を作業の種類と関係づけて考察する。

第4章ではこれまでの実験を発展させて、非定常騒音を代表する現実騒音およびこれらの現実騒音と等しいレベル変動をする人工音を対象とした読書妨害の評価実験について述べる。ここでは実験音のレベル変動を騒音レベルの度数分布に着目して検討すると共に、周波数特性や音の有する意味などの情緒的な要因についても若干の考察を加える。

第5章では以上の結果や他の研究の知見を考慮して、各種の騒音に適用可能であるように、ピークの加重を考慮した評価モデルを提案する。

第6章では今日的な研究テーマである各種の騒音や複合騒音の不快感への影響評価を、最もデータが蓄積されている道路交通騒音、航空機騒音、列車騒音を用いて、読書妨害の観点からの評価実験を行なう。これらの異なる音源による暴露－反応の関係の相違を騒音レベルの度数分布に着目して検討して、前章のモデルに具体的に適用して、その適用性を検討する。また、複合騒音の下での不快感の評価に際しての暗騒音の効果にも言及する。

総括は本論文のまとめであり、今後の研究の問題点を提起する。

※1) L_{eq} (Equivalent Sound Level) : 変動する音のレベルのエネルギー平均値であり、変動音と等しいエネルギーを持つ定常音のレベルを表わす。

※2) 等エネルギー原理 : 音に対する心理的反応はエネルギーによって決まり、エネルギーが等しい音は、ラウドネス、ノイジネス、アノイアンスなどの心理的反応も等しいとする。(等)エネルギー原理、(等)エネルギー仮定、(等)エネルギー仮説など様々な名称が使われているが、ここでは“等エネルギー原理”という言葉を使うことにする。

※3) 非定常騒音 : 第1章 1-1 参照

※4) 変動騒音 : 第1章 1-1 参照

※5) 間欠騒音 : 第1章 1-1 参照

※6) 衝撃騒音 : 第1章 1-1 参照

参考文献

1) 北村音一 : 衝撃性騒音の評価, 騒音の評価-10年間の歩み, 日本建築学会環境工学委員会音環境分科会第27回音シンポジウム, pp.21-26, 1986

2) Schultz, T. J. : Community Noise Rating Second Edition, Applied Science Publishers, pp.35, 1982

3) Fletcher, H. and Munson, W. A. : Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation, J. Acoust. Soc. Am., 5, pp.82-108, 1933

4) Borsky, P. N. : Review of Community Response to Noise, ASHA Reports No.10, pp.453-474, 1980

第1章 騒音評価の研究の流れ

1-1 騒音の定義と分類

騒音とは一般に“望ましくない音”として定義されている。Kryter¹⁾は騒音は人々に生理的、心理的に有害な影響を生じる可聴範囲の音響エネルギーとして定義されるとしている。

一般に有益な情報になると思われる音（例えば、音声や音楽など）であっても、その人の置かれた状況によっては、有害な騒音となることはよく経験することである。すなわち、音の物理的特性以外の要因によっても大きく影響されている。このような要因としては過去においてどのような騒音にどれだけ暴露されたかという騒音の暴露経験、嗜好、体調、情緒などの個人的な要因や、その人が置かれている状況や環境、その人と音源との関係などの社会的要因などが挙げられる。これらは騒音を評価する上で極めて重要な要因であるが、これらの要因に起因する騒音の不快感への影響の工学的な取り扱いが困難であり、ここでの研究の対象とはしていない。

本研究では、ある目的をもって作業等を行なっている状態で、おそらくその行為に妨害となるだろうと思われる音を取り扱う。具体的には、一般に環境騒音や室内騒音と言われているものの一部がこれに当たる。これらの騒音を分類するには種々の方法があると思われるが、ISO 2204²⁾では騒音の時間特性から図-1.1のように分類しており、本研究でもこの分類に従うものとする。JIS Z8731³⁾でも同様の分類を行ない、それぞれの騒音の具体例を示している。これらの定義と具体例は以下の通りである。

- 1) 定常騒音：観測期間中のレベル変動が無視できるくらい小さい騒音。例えば、空調騒音など。
- 2) 非定常騒音：観測期間中にレベルが有意に変化する騒音。
 - 2-1) 変動騒音：観測期間中にレベルが連続的にかなりの範囲に変化する騒音。例えば、ある程度の交通量を有する道路交通騒音。
 - 2-2) 間欠騒音：観測期間中にレベルが急激に暗騒音レベルまでしばしば減少する騒音で、そのレベルが暗騒音と異なる一定値にとどまる時間は1秒以上である。例えば、列車や航空機騒音など。

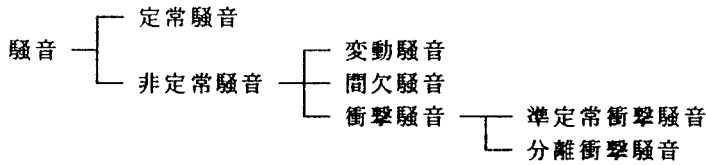


図-1.1 騒音の分類

2-3) 衝撃騒音：継続時間が1秒以下の1つまたは複数の音響エネルギーのバースト(burst)で構成される騒音。

2-3-1) 準定常衝撃騒音：各バースト間の間隔が0.2秒より短く、同様な振幅を有する一連の騒音バースト。例えば、ベルや削岩機など。

2-3-2) 分離衝撃騒音：バーストの包絡波形がほぼ一定であるか、または減衰する過渡部分を有する。例えば、杭打ち音など。

1-2 騒音の属性論

どのような属性の下に騒音の評価を行ない、その心理的属性の概念をどのように捕らえるかという問題、すなわち騒音の属性論は騒音の評価研究で基本的かつ重要なテーマである。

騒音の評価実験では様々な心理的属性が取り上げられて、それぞれに教示が行なわれている。例えば、loudness、noisiness、annoyance、acceptability、disturbance、unwantedness、unpleasantness、objectionableness等が研究者によって使い分けられている。最近では騒音の主要な心理的属性としてloudness、noisiness、annoyanceが代表的なものとされている。これらの日本語訳としては一般に“大きさ”、“やかましさ”、“うるささ”という言葉が当てられている。この節では心理的属性の表現には言葉の意味やニュアンスなど微妙な問題を内包しているので、英語のまま示してある。次節以降では引用文献等で著者が特定の言葉を使っている場合や止むを得ない場合を除いて、一般にラウドネス、ノイジネス、アノイアンスという言葉を使用することにする。なお、“不快感”という言葉はノイジネスやアノイアンスなどの音の有害な心理的側面を包括した総称として使用する。

以下に多くの研究者によって展開された属性論の概要の一部を年代順に整理

する。

1-2-1 S. S. Stevensの属性論

Stevensはloudnessの計算方法Mark VI⁴⁾を発表したときに、Kryterが提案したperceived noisinessおよびPNdBの概念に疑問を呈し、Mark VII⁵⁾を提案したときにはnoisinessの概念に対してさらに疑義を強めている。Mark VIIでは当時発表されていた25種類の等属性曲線を比較して、loudnessとnoisiness(またはannoyance)の等属性曲線に差がないことを指摘した。結局はloudnessとnoisinessは同じであるとし、これらに共通して適用できる単位として、perceived level (PLdB)を提案した。

1-2-2 K. D. Kryterの属性論

Stevensがloudnessとnoisinessは同じであるとしたのに対して、Kryter⁶⁾はこれらを明確に峻別し、noisinessを痛みや恐れを生じない聞きなれた音のunwantednessの主観的印象であると定義している。つまり、noisinessの概念にはその音の有する意味や情緒的な情報は含ませていないが、音それ自体の物理的特性による不快感を意味する概念であるとしている。また、Kryterは、瞬時の音の周波数特性(例えば、等loudness曲線や等noisiness曲線など)に関してはloudnessとnoisinessの違いは小さいが、音の継続時間が異なるときの影響や、広帯域騒音に含まれる純音成分などの複雑なスペクトルの影響に関しては、これらの属性の違いはかなり大きいことを指摘した。

1-2-3 B. Scharfの属性論

Scharf⁷⁾はStevens⁵⁾やKryter⁶⁾の研究を引用して、loudnessとnoisinessが同じであるのか、それとも異なるのかという議論を展開した。実験室で提示される短い継続時間の音に関しては、非聴覚要素(継続時間や仕事の妨害など)を除くと、loudnessとnoisinessはほぼ同じであるが、長い継続時間の音に関してはloudnessとnoisinessは同じではないことを示した。また、Scharfは刺激から反応へ至る過程を4段階にモデル化して、これらの属性による差が生じる機構を説明した。

1-2-4 B. Berglund、U. Berglund、T. Lindvallの属性論

Berglund他⁹⁾は航空機騒音のloudness、noisiness、annoyanceの尺度化を行なった研究でこれらの心理的属性を以下のように定義している。

- 1) loudnessはラジオのボリュームつまみを回すことによって変えられるような騒音の知覚的側面であり、騒音の他の知覚的、心理的側面は除外される。
- 2) noisinessは騒音の質である。例えば、削岩機の音とモーターバイクの音のloudnessが等しくても、削岩機の音はモーターバイクの音よりやかましい(noisy)かも知れない。同様に、音楽は大きい(loud)かも知れないが、やかましく(noisy)ないかも知れない。
- 3) annoyanceは次に述べる想像状態で経験される騒音の生活妨害(nuisance)の側面である。具体的には『きつい1日の仕事の後で、あなたは心地よく椅子に座り、新聞を読もうとしていた。』と教示され、それから被験者は騒音に暴露されると、どれ位うるさいと思うかを尋ねられる。

1-2-5 泉の属性論

これまで概説してきた諸家の属性論を参考とし、語義論も考慮して、泉¹⁰⁾はloudness(大きさ)、noisiness(やかましさ)、annoyance(うるささ)に関する属性論を提案した。その要旨は以下の如くである。

- 1) “大きさ”は騒音のエネルギーそのものの主観的評価である。
- 2) “やかましさ”は騒音の各種物理特性に基づく聴覚的不快感で、“大きさ”の要因であるエネルギー評価を含む。ただし、騒音の非聴覚的要因の影響は含まない。
- 3) “うるささ”は騒音に関する不快感の総称で、“やかましさ”による聴覚的不快感に非聴覚的不快感を加えたものである。

1-2-6 D. N. Mayの属性論

May¹¹⁾による騒音の心理的属性の定義の要旨は以下の通りである。

- 1) loudnessは音の主観的大きさであり、その音の“unwantedness”は含まれない。

2) noisinessは音それ自体によるunwantednessの程度として定義される。ここで、重要なのは他の要因を除外して、音のことだけを問題にしているということである。通常、実験室が騒音だけを考慮しようとするのに適した唯一の場所である。そのため、noisinessはloudnessと同様に心理音響実験だけでうまく測定されるものである。

3) annoyanceは普通の状態で聞こえてくる音の全体のunwantednessとして定義される。ある音のannoyance判断は、音それ自体のunwantedness(noisiness)に、音源や音の存在する環境に依存するその他多くの変数を加えたものの評価である。これらの変数としては時間の効果、情緒的要因、不法行為、視覚刺激の付加、珍奇さ、社会的影響などがある。

1-2-7 J. A. Molino¹²⁾の属性論

loudnessは音の主観的な強さであり、聴覚系の感覚的な反応であるとして、諸家と同様の定義を与えているが、perceived noisinessの概念にはかなり懐疑的である。一方、annoyanceをindividual annoyanceとcommunity annoyanceの2つに分類し、次のように定義している。

1) individual annoyanceは、同じような騒音の暴露条件で、種々の特性がほぼ等しい小数の人々（通常、10～30名）によって評価された平均annoyanceを表わす。これは騒音の物理特性に最も影響され、被験者の社会的要因には二次的に影響されるだけである。

2) community annoyanceは通常のあるグループの人々の平均 annoyanceである。これはindividual annoyanceに加えて、人々への社会的要因による影響を内包している。community annoyanceはある地域での大規模な社会調査と騒音評価アンケート（通常、標本数100～500）、およびある騒音状態に対する住民反応から推測される。

1-2-8 難波、桑野の属性論

難波¹³⁾はいわゆる音の強さに該当するのがloudnessであり、なんらかの意味で音の質に関係するのがnoisinessであり、annoyanceは音そのものの性質というよりも感情または情緒に関する側面ではないかと述べている。最もあいま

いな概念であるnoisinessについては『感情的色彩を帯びつつも物理的性質に大きく影響される点』があり、『物理量と関連づけてある程度は見ていくことができるのではないか』、また『時間条件についてはloudnessとnoisinessとは別の属性ではないか』と詳しく説明を加えている。

このような概念的な考察ではなく、実際に人々がこれらの言葉にどのような印象をいだきおり、国や民族によって差があるのかどうかを検討するために、難波と桑野^{14, 15)}はloudness、noisiness、annoyanceという言葉から受ける印象をセマンティックディファレンシャル法を使って、日本、西独、英国、アメリカ、中国で調べ、文化的側面からも検討している。

以上紹介してきた属性論のうち、Stevensはnoisinessの存在を認めていない。しかし、Kryter以後の研究者の属性論はnoisinessとannoyanceに関しては、必ずしも細部までは一致していないものの、その主旨ではほぼ一致していると思われる。1980年に日本の騒音評価の研究者が集まって、loudness、noisiness、annoyanceに関するパネルディスカッション¹³⁾が催された。これらの言葉の訳語については合意は得られなかったものの、その概念についてはほぼ意見の一致が得られているようである。

本研究では非定常騒音全般を対象とした実験を計画しており、各種の騒音の不快感の比較、評価にはnoisinessの概念の導入が必要であるという、泉¹⁰⁾の提案を考慮すれば、noisinessに基づいて実験を行なうのが妥当である。本研究での騒音の心理的属性の概念構成はKryter以後の研究者の属性論の大意に従っており、研究を実施していくに当たってはMay¹¹⁾の明確な定義を採用したい。これらの属性論および最近の騒音評価研究の展開を考慮して、特にnoisinessの定義に少し幅を持たせて、3つの属性を以下のように定義するのがよいと考える。

- 1) loudnessは音の強さの主観的印象である。
- 2) noisinessは基本的には騒音の物理特性に基づく聴覚的な不快感であり、実験室実験で得られる不快感がこれに相当する。しかし、特に現実騒音を使用する実験ではその音の有する意味や情緒的な要因を完全に排除することはできず、ある程度これらの影響が含まれることは避けられない。

3) annoyanceは現実生活での騒音の不快感であり、音の物理的特性のほかに情緒的要因や社会的要因などが作用する。一般的には社会調査によって調べることができる

1-3 騒音評価の研究の流れ

一般にどの研究分野でも様々な理論や知見が展開され、やがては普遍的な理論へと統合されていく傾向にある。ここでは、騒音評価法が統合されてきた過程、さらには統合されつつある状況に視点をあて、騒音評価研究の流れを簡単に概説して、本研究の位置付けおよび意義を明らかにする。

1-3-1 周波数特性に関する研究

1930年代にFletcherとMunson¹⁷⁾によって、信号伝達時のラウドネスロスや騒音測定を目的とした最初の実用的な等ラウドネス曲線が発表された。約20年後にRobinsonとDadson¹⁸⁾は実験範囲を拡大して、より改良された等ラウドネス曲線を提案した。また、Stevens⁴⁾は実用的なラウドネス計算式および等ラウドネス曲線を示した。一方、Kryter⁹⁾は騒音の評価はラウドネスではなく、ノイジネスによって行なうべきであるとして、等ノイジネス曲線を提案した。しかし、Stevens⁵⁾はKryterのperceived noisinessという概念に終始疑問を呈し、当時発表されていた25種類の等属性曲線（そのうち14種類の曲線はラウドネス、11種類はノイジネスやアノイアンスや受容性）を調べ、全体としてそれらに有意差がなく、結局ラウドネスもノイジネスも同じであるとして、両者を包括した概念としてperceived levelを導いた。これらの研究と共に、A、B、C、D、Eなどの聴感補正特性やラウドネスレベルやノイジネスレベルの計算法、さらにはNC曲線などの接線法が開発されてきた。

多くの評価法が開発されてきた結果、周波数特性を考慮して騒音を評価するのに、これらの評価法のどれが最も適切であるのかという問題が生じてきた。

KlumpとWebster¹⁹⁾は主に船舶で発生する騒音を対象として、等しい単語明瞭度(50%)を生じるときの各種評価法による評価値の標準偏差を比較した。最も標準偏差が小さかったものは600-4800HzのSIL (Speech Interference Level)を除くSILのファミリーであり、次いでA特性であった。SILの評価がよいのは

当然としても、簡便なA特性が比較的よい評価を得ているのは注目される。

また、YoungとPeterson²⁰⁾は航空機騒音のノイジネス評価に関して、過去10年間の研究結果を再計算して、等ノイジネスを生じるときのPNL(Perceived Noise Level)やラウドネスレベルやA、B、C、D特性による騒音レベルの予測精度を比較した。そして、A特性がラウドネスレベルやPNLとほぼ同等に航空機騒音のノイジネスを予測するのに適していることを示した。

Schultz²¹⁾はこれらの研究の総括として、非常に慎重な言い回しではあるが、dB(A)は主観反応でどの評価法ともよい相関があると述べており、A特性を騒音の規制、証明、監視に使用することを推薦している。

1-3-2 時間特性に関する研究

時間特性とは音のレベル変動にかかわる物理的要素であり、継続時間や立ち上がり時間、繰り返し率などがある。まず、継続時間の影響に関する研究を概観し、次いで他の要因の影響に言及する。

(1) 継続時間の影響

Scharf²²⁾は短音の継続時間がラウドネスに及ぼす影響に関する研究をまとめており、泉²³⁾は長時間の音によるラウドネスへの順応に関する研究を概説している。一方、継続時間のノイジネスへの影響に関しては泉²⁴⁾が解説したものがある。これらの研究にその後の研究²⁵⁾を考慮して、その知見を要約すると以下の通りである。

1) 短音の継続時間が長くなって、そのラウドネスが定常状態に達する時間を臨界継続時間(Critical Duration, CD)と呼んでいる。多くの実験ではラウドネスは継続時間と共に不連続に変化して、臨界継続時間の存在を示しているが、いくつかの実験では、そのような不連続性は認められず、ある継続時間の音の強さを時定数を用いて、指数関数で表現する方が適切である。

2) Scharfの要約によると、短音のラウドネスに関する時定数は約80msが最も妥当である。継続時間が80msまでの範囲では、ラウドネスはその音の全体のエネルギーに比例すると考えられる。ラウドネスは継続時間150~300msで定常に達するが、臨界継続時間の存在を示す証拠は十分ではない。

3) 長時間(10~20分程度)の音によるラウドネスへの順応はないと言われている。初期の研究で見られた現象は両耳間の独立性を確保しなかった実験方法に起因する見かけの現象である。

4) ノイジネスに関する継続時間の影響はラウドネスの場合とは異なり、数10s程度まで持続する。その効果は、継続時間が2倍になると何dB増加するのに相当するかという、エネルギーと継続時間の相補関係(trade-off)で表わされ、D.D.ペナルティ(Penalty for Doubling of Duration)と呼ばれている。

5) D.D.ペナルティの値は研究によって多少異なるが、継続時間が数10s程度まではほぼ3dB/D.D.が妥当であると思われる。

以上のことはラウドネスに関しては数10msまでしかエネルギー加算を行わないが、ノイジネスでは数十sまでエネルギー加算を行なうことを示している。このようにラウドネスとノイジネスで継続時間の影響が異なるということが、これらが異なる属性であるという主な根拠となった。

(2) 立ち上がり時間の影響

衝撃騒音や航空機、列車騒音等の立ち上がり時間が短くなれば、その心理的な大きさが増加することが予想され、これらの立ち上がり部分の影響を調べるために、種々の実験が行なわれてきた。

KryterとPearsons²¹⁾は比較的長い立ち上がり時間を取り扱い、立ち上がり時間が0.5~4sの範囲ではその影響を認めていないが、その後の研究では難波他の研究²²⁾を除いて立ち上がり時間によってラウドネスやノイジネスが有意に変化し、立ち上がり時間が短いほどラウドネスやノイジネスは大きくなることを示している。しかし、その量は研究によって異なり、Vigran他²³⁾は立ち上がり時間が0.025~1sの範囲では3dBに相当するラウドネスの減少を見いだしたが、GjaevenesとRimstad²⁴⁾は0.04~0.4sの立ち上がり時間で1dB程度のラウドネスの減少を認めたにすぎない。平松他²⁵⁾は立ち上がり時間ではなく、立ち上がり速度という変数を使い、25~1000dB/sで約2.6dBのアノイアンスの増加があるとした。この値はVigran他やGjaevenes他の値の中間に相当している。

Carter²⁶⁾は立ち上がり時間が連続的に減少すると、ラウドネスはステップ状に増すことを見いだした。また、Gustafsson²⁷⁾は0.3msと0.8msの短い立ち

上がり時間を除くと、ラウドネスの対数と立ち上がり時間の対数の間に線形関係が存在することを認めている。しかし、難波他²⁰⁾は音の大きさと立ち上がり時間の間には明瞭な関係は認められないことを示した。

各研究は実験条件がそれぞれ異なるので、直接比較することは困難である。立ち上がり時間の影響を示すものもあるが、その効果は立ち上がり時間が2倍につき1dB以下に過ぎず、大きいとは言えない。また、その効果を認めていないものもあり、これらの知見から総括的な結論を導くことはできない。

(3) 繰り返し率の影響

繰り返し衝撃音の評価を目的として、ノイズバーストや短音（継続時間の短い音）を用いて、繰り返し率の影響が調べられてきた。

Pollack³²⁾はホワイトノイズの断続バーストのラウドネスを、刺激の断続パターンが種々異なる状態で調べた。BTF（全サイクルに占める騒音バーストの時間割合、Burst Time Fraction）が0.1以下の場合、繰り返し率が10倍になると、等ラウドネスを維持するのに10dB減少させる必要があることを示した。また、BTFが0.1以上では連続音のレベルに接近することを示した。

Garrett³³⁾は矩形波状の繰り返し衝撃音では繰り返し率によるラウドネスの等価レベルの変化割合はバーストの継続時間が短いほど大きく、また衝撃波状の繰り返し衝撃音では減衰時定数が小さいほど、すなわち速く減衰するほど、繰り返し率によるラウドネスの等価レベルの変化割合は大きいという結果を得た。

Carter^{30, 34)}は単音パルスのラウドネスは繰り返し率が256pps (pulses per second) までラウドネスの増加があることを確認した。また、等しいラウドネスを維持するには、繰り返し率が2倍になると、繰り返しパルスのレベルを3dB減少させるのに相当することを示した。

その後、Fidell他³⁵⁾は衝撃音のノイジネス評価を目的として、繰り返し率の影響を検討し、等ノイジネスを維持するためには繰り返し率が2倍になる毎に、レベルがほぼ3dBずつ減少する関係が近似的に認められることを示した。泉³⁶⁾も繰り返し率の効果に関して他の研究結果と同様の傾向を得ている。

以上の研究では繰り返し率の効果は、等ラウドネスを維持するには繰り返し

率が2倍になると3dB減少することで表わされ、ラウドネスやノイジネスは繰り返しパルスやバーストの総エネルギーに従うことを示している。

1-3-3 個々の非定常騒音の評価に関する研究

1-3-2では騒音の種々の時間特性が騒音評価へ及ぼす効果について述べたが、現実の非定常騒音はこれらの時間特性が総合されて構成されていると考えることができる。非定常騒音の評価に関する研究は、航空機騒音、道路交通騒音、鉄道騒音、衝撃騒音などの社会調査や、これらの現実騒音およびこれらを模擬した人工音を用いた評価実験によって進められてきており、国内外を問わず膨大な知見の蓄積がある。我国では1970年代から非定常騒音の時間特性の影響を詳細に検討したユニークで優れた実験研究が展開されてきており、その成果にはその他の多くの騒音評価研究の成果が凝縮されて反映している。ここではこれらの研究を中心にその概要を述べる。

(1) 変動騒音、間欠騒音の評価に関する研究

難波他は変動騒音の大きさに関して、いち早く研究に取り組み、変動騒音の作製、制御装置を考案して、一連の実験研究^{37~43)}を報告している。その主張は一貫して L_{eq} が変動騒音の大きさの評価指標として優れているということである。

変動騒音のうるささに関しては平松他の一連の研究^{44~47)}がある。平松他は様々な変動騒音を作製して、そのうるささと種々の騒音評価指標との関係を検討し、 L_{eq} が近似的にはうるささとの対応がよく、その有用性は高いことを示した。また、心理量の加算に基づくユニークな評価方法、ESL（実効騒音レベル）を提案した。

香野他⁴⁸⁾はモデル列車騒音や新幹線騒音のうるささに関する評価実験を行った。列車騒音のタイムパターンによるうるささの変化は騒音の総エネルギーに依存することを示し、ピークレベルと継続時間を考慮した評価法を提案した。

以上の研究から程度の差はあるものの、非定常騒音のうち変動騒音や間欠騒音の評価指標として L_{eq} が優れていることが推察される。また、その他の多くの実験や社会調査からも L_{eq} が評価指標として優れていることが示されている。

例えば、泉⁴⁰⁾は多くの実験や調査をレビューして、 L_{eq} の有用性を検討している。泉は等エネルギー原理は多くの騒音について近似的に成立することは認められるが、変動音から間欠音、断続音そして衝撃音と騒音の非定常性が強まるにつれて、等エネルギー原理の適合性は低下していくとし、 L_{eq} の限界を指摘した。

(2) 衝撃騒音の評価に関する研究

変動騒音や間欠騒音に関しては L_{eq} が有力な評価指標として浮かび上がってきたが、非定常騒音の中でもとりわけ衝撃騒音に関しては、その評価法は言うに及ばず、測定方法さえも確立されていない。その原因は衝撃騒音の時間特性に関係があり、極めて短い過渡特性の測定および評価が困難であることにある。

泉³⁰⁾は規則的断続音のやかましさを、BTF、バーストの繰返し率、断続バーストの休止時間の関数として表わした。佐藤他^{50, 51)}は繰返し衝撃音のやかましさを、エネルギー効果と衝撃効果⁵¹⁾の和として表わすことを提案した。

桑野他⁵²⁾はピークレベル、ピーク継続時間がそれぞれ異なる単発の衝撃音を対象として、その大きさはエネルギー平均値(L_{eq})で近似できることを示した。さらに、様々な衝撃音について検討し、その大きさは時間特性に影響されるものの、その差はわずかであることを示した。衝撃音の大きさはピークレベルより L_{eq} との対応がよく、 L_{eq} が衝撃音の評価指標として有用であることを示した⁵³⁾。

Kumagai他は衝撃音のラウドネスに関して一連の研究^{54~58)}を報告している。まず、ピークレベルが衝撃音のラウドネス判断における主要変数であることを示し、その後の多くの心理実験を基に衝撃音と定常音の両方の測定に適した測定システムを提案した。

Tachibana他⁵⁹⁾は搬送波(キャリア)の周波数、立ち下がり時定数、音圧の包絡波形(エンベロープ)のそれぞれが種々に異なる衝撃音のラウドネスマッチングを行ない、分離衝撃音のラウドネスを評価するには、その衝撃音の瞬時の最大エネルギーよりも全エネルギーによる方がよいことを示した。

衝撃音の評価に関する研究では未だ結果の一致を見ておらず、今後解明されなければならない問題が多く残されている。この原因としては継続時間の取り

扱いや、立ち上がりレベルなどの刺激音の特性や、種々の条件が研究毎に異なることが考えられる。

このような状況を背景として、我国において衝撃音のラウドネス、ノイズネス、アノイアンスの評価方法の確立を目的として、ラウンドロビンテストが行なわれた。Sone他⁶⁰⁾は単発衝撃音のラウンドロビンテストの結果をまとめて、衝撃音のラウドネスはエネルギーレベルや125ms～1sの時定数を有するrms回路の出力がその評価に適していることを報告した。今後、連続衝撃音のラウンドロビンテストの結果やその後の成果が発表され、衝撃音の評価に貢献するものと思われる。

1-3-4 種々の騒音の評価の比較および複合騒音の評価に関する研究

単一の騒音源による暴露-反応の関係は L_{eq} を指標とすることによって、よく表わされるが、種々異なる騒音による暴露-反応の比較や複合騒音によるアノイアンスの評価などは L_{eq} によってはうまく説明できないことが指摘されるようになってきた。また、現在のように道路交通網が発達すると、道路交通騒音との複合を考慮せずに、他の騒音を評価することは一般性に欠けることになる。

このような状況を背景として、各種の騒音や複合騒音の評価研究が行なわれてきた。これらの研究は相互に異なる音源や複合音源から発せられる騒音に関して、 L_{eq} による暴露-反応の関係の説明に不一致や不備が生じる原因を解明し、普遍的な評価方法を確立することに主眼が置かれている。ここでは(1)社会調査に基づくもの、(2)実験室実験に基づくもの、(3)評価モデルの提案やそれら相互間の比較によるものの3つに分類して、それぞれのうちの主なものについて概要を述べる。

(1) 社会調査

Schultz⁶¹⁾は航空機、道路交通、高速道路、列車騒音に関する11の社会調査をレビューして、%highly annoyed (highly annoyedであると反応した人々の%)と L_{dn} ⁶²⁾ (Day-Night Sound Level) の関係がグラフの上で1本の曲線で表わされることを示した。この研究に対してはいくつかの批判⁶²⁾があるが、

混沌とした社会調査データを総括して実用的な暴露－反応の関係を明らかにした点で高く評価されている。

Schultz以後の社会調査の比較研究では、騒音暴露とアノイアンスとの関係は音源の種類によって異なることが多くの研究で指摘されてきた。

田村⁶³⁾は道路交通騒音と鉄道騒音の社会調査からうるささと L_a 、 $\bar{Q}_q$ ⁶³⁾との関係を検討し、等 L_{eq} では鉄道騒音より道路交通騒音の方がうるさいこと、およびこれらを区別せずに一緒に評価するには L_{10} と $\bar{Q}_0$ によるのが適切であることなどを示した。

Taylor 他⁶⁶⁾はトロント国際空港周辺での騒音とアンケートの調査のデータに基づいて、航空機騒音への暗騒音レベルの影響を種々の統計分析によって検定し、暗騒音レベルの影響がないことを示した。Hall 他⁶⁷⁾はトロント国際空港周辺での同じ調査結果を基に、道路交通騒音と航空機騒音に対する %highly annoyed を直接比較し、これらに対する住民反応には差があり、等 L_{dn} でも航空機騒音の方が道路交通騒音よりうるさいことを示した。

Fields 他⁶⁸⁾はイギリスで行なわれた1つの鉄道騒音調査、2つの道路交通騒音調査、3つの航空機騒音調査を比較し、音源によって反応が異なるかどうかを検討した。鉄道騒音は同じ騒音レベルでも他の騒音よりもうるさくなく、騒音レベルの変化に伴うアノイアンスの変化割合は緩やかであること、また、道路交通騒音は航空機騒音よりもうるさくないことを見いだした。

Knall と Schuemer⁶⁹⁾は西ドイツでの鉄道騒音と道路交通騒音の調査から、鉄道騒音は道路交通騒音よりもうるさくなく、鉄道騒音は道路交通騒音より4～5 dB(A) 高い L_{eq} で等アノイアンスとなることを導いた。

Hall⁷⁰⁾は以上の研究^{67)～69)}に他の研究も含めて、航空機騒音、道路交通騒音、鉄道騒音のアノイアンス評価の総括を行なった。その概要は次のようである。鉄道騒音は他の2つの騒音よりもうるさくなく、航空機騒音は道路交通騒音よりもうるさいと言えるが、結果の詳細は研究毎に異なっており、これらの差が偶然に生じたものであるという仮説を棄却するほど、その差は明瞭ではない。したがって、現状では平均的な暴露－反応の関係が最も有用であろうと結論づけている。

(2) 実験室実験

Powell^{71)~73)}は航空機騒音と道路交通騒音の複合音のアノイアンス評価に関する一連の実験を報告している。まず、航空機騒音のアノイアンスに及ぼす道路交通騒音の影響に関する実験^{71), 72)}を行ない、暗騒音レベルが高くなると航空機騒音のアノイアンスは減少することを見いだした。また、航空機騒音と道路交通騒音の単独暴露および複合暴露実験⁷³⁾を行なって、単独暴露では航空機騒音は道路交通騒音よりも有意にうるさく、複合暴露では航空機騒音と道路交通騒音のレベル間に有意な交互作用を見だし、 L_{eq} では複合騒音のアノイアンスを適切に評価し得ないことを示した。

Rice⁷⁴⁾は異なる交通騒音を評価するための指標、特に L_{eq} と L_{np} の妥当性を検討し、 L_{eq} の適用の限界を指摘して、今後の研究の問題点を明らかにした。また、航空機騒音と道路交通騒音を対象とした長期間の暴露実験⁷⁵⁾を行ない、 L_{eq} と L_{np} の概念を比較した。ここでは普遍的な指標としての L_{np} の妥当性は実証されず、航空機騒音と道路交通騒音のそれぞれには L_{eq} は最良の指標であるが、航空機騒音と道路交通騒音が等 L_{eq} であっても、道路交通騒音は航空機騒音よりうるさいとして、音源による反応の違いを指摘した。しかし、この研究での音源による反応の差は他の大部分の研究の傾向とは逆である。

Öhrström他⁷⁶⁾はローリー、航空機、モーター自動車、列車騒音のアノイアンス評価実験を行ない、騒音源の通過台数が一定のとき L_{eq} によってアノイアンスはよく予測されることや、ローリー騒音は等 L_{eq} では航空機騒音よりも妨害的でないことを示し、騒音の不規則な変動や個人的経験のような要因がアノイアンス反応に重要であることを指摘した。

Namba他⁷⁷⁾はカテゴリー連続判断法によって、航空騒音のノイジネス判断への暗騒音の影響を検討した。その結果、長時間の全体のノイジネスは時々刻々のノイジネス判断の卓越部分によって決まり、航空機騒音のノイジネスには暗騒音の影響が大きいことを示した。また、難波他⁴³⁾は種々の非定常音の大きさの比較判断によって、 L_{eq} の妥当性とその適用範囲を検討し、音源別には大きさと L_{eq} の間により対応関係が見られるが、音源の種類が異なると、等 L_{eq} であっても大きさは等しくならず、各種の音源の騒音の間に等エネルギーの原理は成立しないことを示した。しかし、実用的な観点から L_{eq} が騒音評価の基

礎尺度として優れていると述べている。

泉⁷⁰⁾は模擬居間実験によって航空機騒音と道路交通騒音の単独評価および複合評価を行ない、 L_{eq} は種々の騒音に広く適用され得る評価尺度とはならないとし、複合騒音の評価に卓越音源モデル²⁴⁾を適用すれば、全体の L_{eq} によって最大アノイアンスをある程度予測できることを示した。泉⁷⁰⁾は同様の手法によって鉄道騒音と道路交通騒音のアノイアンス評価実験を行ない、卓越音源モデルが優れていることを示している。

これまで概説してきた研究は主に異なる交通騒音の比較に重点を置いているが、Vos他⁸⁰⁾は衝撃音と道路交通騒音のアノイアンス比較実験によって、衝撃音の道路交通騒音に対するペナルティは、暗騒音が L_{eq} 35dB(A)のとき約10 dBで、暗騒音が L_{eq} 55dB(A)では約5dBであると結論づけた。各種の騒音の比較実験のうち、衝撃音に関する研究はまだ多くはなく、今後のデータの蓄積が望まれる。

(3) 評価モデル

以上のような種々の騒音や複合騒音の評価に関する社会調査の比較や、実験室実験によるデータの蓄積を基にして、アノイアンスに対する様々な騒音評価モデルが提案されてきている。複合騒音の評価モデルの構成の主眼は個々の騒音源による主観量（アノイアンス）の加算と物理量（ L_{eq} ）の加算との対応関係を求めることにあるということが出来る。

Robinson⁸¹⁾はいち早く多くの異なる騒音に対する普遍的な評価方法の必要性を説き、道路交通騒音と航空機騒音に共通に適用し得る指標として、noise pollution level (L_{np})を提案した。 L_{np} は多くの研究で引用され、その適用の妥当性が検討されてきたが、最近の実験研究では L_{np} の適用妥当性は実証されていないようである。^{44, 45, 75)}

Ollerhead⁸²⁾は異種の音源で構成される複合騒音の評価法として反応加算モデルを提案した。これは、個々の騒音毎に異なる定数と、その騒音のエネルギーが複合騒音の全体のエネルギーに占める割合とを乗じた値を、騒音毎に加算したもの（異なる音源の騒音によって引き起こされるアノイアンスを説明する修正項）と、複合騒音の全体の L_{eq} とによって、複合騒音に対する住民反応が

決定されるというものである。

Powell⁸³⁾は2つの異なる騒音が存在するとき、個々の騒音のアノイアンスは他の騒音によって抑制され、全体の騒音のアノイアンスは個々の騒音の抑制されたアノイアンスの和になるという加算と抑制のモデルを提案し、このモデルが他のモデルと比較して優れていることを示した。

Gjestland他⁸⁴⁾は、騒音レベルが他のうるさくない騒音の存在によってマスキング閾値以下か聴覚閾値以下となる場合には、アノイアンスに寄与しないことを考慮した指標を提案した。これは閾値以上の騒音レベルに基づく L_{eq} であり、閾値 L_{eq} (threshold L_{eq}) と呼ばれている。

Flindell⁸⁵⁾は道路交通騒音と鉄道騒音に対する住民反応の差を説明するために、音圧に関する平均レベルである、音圧 L_{eq} (pressure L_{eq}) を提唱した。なお、音圧 L_{eq} は田村⁸³⁾の研究における $\bar{Q}_0$ と本質的に同じものであり、両者の研究は調査地域の特性が種々異なっているにもかかわらず、結果が整合している点は興味深い。

これまでのモデルは物理量の処理に工夫をこらしたものであるが、Rice⁸⁶⁾はこれらとは異なりアノイアンス反応の採用方法に特色のあるモデルを提案している。Riceは L_{eq} のような単純なエネルギー加算モデルを複合騒音の評価に適用することに疑問を呈し、複合騒音のアノイアンスとして複合騒音全体のアノイアンスと複合騒音を構成する個々の特定音源の騒音のアノイアンスのうち、最大のものを採用する卓越音源モデル (dominant source model) を提案した。

以上の多くの騒音やそれらが複合された騒音の評価モデルの比較も行なわれている。

Berglund他⁸⁷⁾は道路交通、ジャックハンマー、パイルドライバーの3種類の騒音の単独および複合評価実験によって、ベクトル加算モデル、Powellの加算と抑制のモデル、最大成分モデル (loudest model) による予測精度を比較した。複合騒音のラウドネス (またはアノイアンス) は、ベクトル加算モデルやPowellの加算と抑制のモデルのような計算が複雑なモデルよりも、複合騒音を構成する個々の騒音のうち単独で暴露したとき最も大きい (loudest) 騒音のラウドネス (またはアノイアンス) によって決まるという、単純な最大成分モデルによって良く予測されることを示した。

Taylor⁸⁸⁾はいくつかの複合騒音の評価モデルをレビューし、これらを簡潔な数式で表現している。すなわち、複合騒音全体のアノイアンスを A 、その全体の L_{eq} を L_T 、個々の特定音源の L_{eq} を L_i ($i=1, 2, \dots, n$) とすると、

- a) エネルギー加算モデル : $A = f(L_T)$, $L_T = 10 \log \sum 10^{L_i/10}$
- b) 独立効果モデル : $A = f_1(L_1) + f_2(L_2) + \dots + f_n(L_n)$
- c) エネルギー差モデル : $A = f_1(L_T) - f_2(|L_1 - L_2|)$
- d) 反応加算モデル : $A = f(L_T + \sum D_i 10^{(L_i - L_T)/10})$

ここで D_i は音源 i の他の音源に対する相対的な有効レベル

- e) 加算と抑制のモデル : $A = f(L_T + E)$

ここで E は音源間の加算と抑制の効果に対する修正項である。

Taylorはトロント国際空港周辺での社会調査と騒音データを用いて、これらのモデルの優劣を検討し、エネルギー差モデルが複合騒音全体のアノイアンスの予測に最も優れ、エネルギー加算モデルが最も劣るとした。

難波他⁸⁹⁾はTaylor⁸⁸⁾の研究で回帰式の目的変数が反応の如何なる側面を示しているのかが明確でない点を批判して、自らの実験データに基づいて、複合騒音全体の評価にはエネルギー加算モデルが適しており、特定騒音の評価にはエネルギー差モデルが適しているとした。

以上見てきたように、各種の騒音の評価の比較、および複合騒音の評価に関する研究は今日的な課題であり、盛んに研究されているが、いまだ評価方法は確立されたとは言えず、様々な評価モデルが混在している状態である。これらの研究では複合騒音のどの側面の評価を採用するかという問題、すなわち、複合騒音全体のアノイアンスか特定音源のアノイアンスか卓越音源のアノイアンスかという点ではかなり混乱があるようである。

※1) 衝撃効果：衝撃音のノイジネスに影響する要因として、まずエネルギー量が挙げられるが、そのほか繰り返し率、立ち上がり、立ち下がり時間、立ち上がりレベル等の要因が考えられる。衝撃音のノイジネスはエネルギーのみでは説明がつかず、エネルギーだけでは説明のつかない、衝撃音特有の効果を衝撃効果と呼んでいる。

※2) L_{dn} ：昼夜等価騒音レベルと訳されており、長時間生活する居住地域の環

境騒音の影響を評価する方法として、EPAより1973年に提案された。 L_{dn} は夜間の騒音レベルに10dBのペナルティを課して、24時間の L_{eq} を求めたものであり、次式で表わされる。

$$L_{dn} = 10 \log_{10} 1/24 [15 \times 10^{L_d/10} + 9 \times 10^{(L_n+10)/10}]$$

ここで、 L_d ：昼間7:00～22:00の L_{eq} (dB(A))

L_n ：夜間22:00～7:00の L_{eq} (dB(A))

※3) $\bar{Q}_q$ ：Koppe他⁶⁴⁾が提案したもので、その基本式を以下に示す。 L_{eq} と基本的に同じ式であるが、下式の q の値(D.D.ペナルティ)をいくりにするかによって多少異なり、 q が3の場合に L_{eq} と等しくなる。通常は q を4としている。Schultz⁶⁵⁾はこの指標をDisturbance Indexと呼んでいるが、Mean Annoyance Level、Equivalent Sound Levelとも呼ばれている。本論文ではSchultzにならって、Disturbance Indexという用語を使うことにする。

$$\bar{Q} = \frac{q}{\log_{10} 2} \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{(\log_2 q) L(t)} dt \right]$$

ここで、 q は係数であり、継続時間が2倍あるいは1/2倍になることに対する補正(D.D. Penalty)を示している。 T は観測時間、 $L(t)$ は瞬時の騒音レベルである。なお、 q の値をいくりにするかで、例えば $\bar{Q}_3$ や $\bar{Q}_4$ のような表わし方をすることもある。

※4) 複合騒音のアノイアンスとして、複合騒音全体のアノイアンスと複合騒音を構成する個々の特定音源のアノイアンスのうち、最大のものを採用する評価モデル。

参考文献

- 1) Kryter, K. D.: The Effects of Noise on Man Second Edition, Academic Press, pp.1-2, 1985
- 2) ISO 2204 Acoustics—Guide to International Standards on the Measurement of Airborne Acoustical Noise and Evaluation of its Effects on Human Beings, pp.1-2, 1979
- 3) JIS Z8731 騒音測定法, 1983
- 4) Stevens, S. S.: Procedure for Calculating Loudness: Mark VI, J. Acoust.

Soc. Am., 33, pp.1577-1585, 1961

5) Stevens, S.S.: Perceived Level of Noise by Mark VII and Decibels (E), J. Acoust. Soc. Am., 51(2), pp.575-601, 1972

6) Kryter, K.D.: The Effects of Noise on Man Second Edition, Academic Press, pp.120-128, 1985

7) Scharf, B.: Loudness and Noisiness—Same or Different?, Inter-Noise 74, pp.559-564, 1974

8) Kryter, K.D. and Pearsons, K.S.: Some Effects of Spectral Contents and Duration on Perceived Noise Level, J. Acoust. Soc. Am., 35(6), pp.866-883, 1963

9) Berglund, B., Berglund, U. and Lindvall, T.: Scaling Loudness, Noisiness, and annoyance of Aircraft Noise, J. Acoust. Soc. Am., 57(4), pp.930-934, 1975

10) 泉 清人: 騒音の心理的不快感に関する属性についての考察—騒音のやかましさに関する研究(13), 日本建築学会北海道支部研究報告集, No46, pp.35-40, 1976

11) May, D.N.: Handbook of Noise Assessment, Van Nostrand Reinhold, pp.5-6, 1978

12) Molino, J.A.: Handbook of Noise Control (edited by C.M.Harris), McGraw-Hill, chapter 16, 1979

13) 日本音響学会関西支部編: パネルディスカッション Loudness, noisiness, annoyance を廻って, 日本音響学会聴覚研究会資料, 1980

14) Namba, S., Kuwano, S. and Schick, A.: A Cross-Cultural Study on Noise Problems, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 7(5), pp.279-289, 1986

15) 桑野園子, 難波精一郎: 記述選択法による大きさ, やかましさ, うるささの定義をめぐって, 日本音響学会聴覚研究会資料H-86-34, 1986

16) 泉 清人: 騒音の心理的不快感の評価について, 騒音評価—最近10年間の歩み, 日本建築学会環境工学委員会音環境分科会第27回音シンポジウム資料, pp.1-10, 1986

17) Fletcher, H. and Munson, W.A.: Loudness, Its Definition, Measurement

and Calculation, J. Acoust. Soc. Am., 5, pp.82-108, 1933

18) Robinson, D.W. and Dadson, R.S.: A Re-Determination of the Equal-Loudness Relations for Pure Tones, British Journal of Applied Physics, 7, pp.166-181, 1956

19) Klump, R.G. and Webster, J.C.: Physical Measurement of Equally Speech-Interfering Navy Noises, J. Acoust. Soc. Am., 35, pp.1328-1338, 1963

20) Young, R.W. and Peterson, A.: On Estimating Noisiness of Aircraft Sounds, J. Acoust. Soc. Am., 45, pp.834-838, 1969

21) Schultz, T.J.: Community Noise Ratings, Applied Acoustics, pp.66-84, 1972

22) Scharf, B.: "Loudness" in Handbook of Perception IV Hearing, Edited by Cartrette, E.C. and Friedman, M.P., Academic Press, N.Y., chapter 6, pp.187-242, 1978

23) 泉 清人: 大きさ, 聴覚ハンドブック 第3章, 難波精一郎編, ナカニシヤ出版, pp.90-138, 1984

24) 泉 清人: 騒音の心理的評価に関する文献紹介, 騒音の評価, 日本建築学会環境工学委員会建築音響分科会第8回シンポジウム資料, pp.1-36, 1975

25) 平松幸三, 高木興一, 山本剛夫, 池野 淳: 騒音のうるささに及ぼす継続時間の効果, 日本音響学会誌, 32(12), pp.739-750, 1976

26) 難波精一郎, 桑野園子, 加藤 徹: 音の立ち上がり時間と大きさについて - エネルギー値との関係 -, 日本音響学会誌, 30(3), pp.144-150, 1974

27) Vigran, E., Gjaevenes, K. and Arnesen, G.: Two Experiments concerning Rise Time and Loudness, J. Acoust. Soc. Am., 36(8), pp.1468-1470, 1964

28) Gjaevenes, K. and Rimstad, E.R.: The Influence of Rise Time on Loudness, J. Acoust. Soc. Am., 51(4), pp.1233-1239, 1972

29) 平松幸三, 高木興一, 山本剛夫, 池野 淳: 騒音のうるささに及ぼす立ち上がり速度の効果, 日本音響学会誌, 33(1), pp.23-28, 1977

30) Carter, N.L.: Effects of Rise Time and Repetition Rate on the Loudness of Acoustic Transients, J. Sound Vib., pp.227-239, 1972

- 31) Gustafsson, B.: The loudness of Transient Sounds as a Function of Some Physical Parameters, J. Sound Vib., 37(3), pp.389-398, 1974
- 32) Pollack, I.: Loudness of Periodically Interrupted White Noise, J. Acoust. Soc. Am., 30(3), pp.181-185, 1958
- 33) Garrett, R. M.: Determination of the Loudness of Repeated Pulses of Noise, J. Sound Vib., 2(1), pp.42-52, 1965
- 34) Carter, N. L.: Effect of Repetition Rate on the Loudness of Triangular Transients, J. Acoust. Soc. Am., 37(2), pp.308-312, 1965
- 35) Fidell, S., Pearsons, K. S., Grignetti, M. and Green, D. M.: The Noisiness of Impulse Sounds, J. Acoust. Soc. Am., 48(6), pp.1304-1310, 1970
- 36) 泉 清人: 規則的断続音のやかましさと驚がく効果 騒音の不快感に関する研究 I, 日本建築学会論文報告集, 第274号, pp.85-92, 1978
- 37) 難波精一郎, 中村敏枝, 安田園子: レベル変動音の大きさについて, 心理学研究, 42(2), pp.93-103, 1971
- 38) 難波精一郎, 中村敏枝, 安田園子: レベル変動音の大きさについて(続) - エネルギー平均値との関係 -, 心理学研究, 43(5), pp.251-260, 1972
- 39) 難波精一郎, 中村敏枝, 桑野園子, 加藤 徹: 自動車交通騒音の大きさについて, 日本音響学会誌, 32(3), pp.126-138, 1976
- 40) 難波精一郎, 桑野園子, 中村敏枝: カテゴリー連続判断法による自動車交通騒音の評価, 日本音響学会誌, 34(1), 1978
- 41) 中村敏枝, 難波精一郎, 桑野園子: カテゴリー連続判断法における判断の法則性について, 心理学研究, 49(3), pp.152-158, 1978
- 42) 難波精一郎, 桑野園子, 加藤 徹: L_{eq} , L_a と大きさの関係について, 日本音響学会誌, 34(5), pp.301-307, 1978
- 43) 難波精一郎, 桑野園子: 種々の変動音の評価法としての L_{eq} の妥当性並びにその適用範囲の検討, 日本音響学会誌, 38(12), pp.774-785, 1982
- 44) 平松幸三, 横江 斉, 高木興一, 山本剛夫: 騒音レベルの変動幅および変動速度とうるささとの関係 - 鋸歯状変動騒音による実験 -, 日本公衛誌, 25(5), pp.253-258, 1978

- 45) 平松幸三, 山中浩一, 高木興一, 山本剛夫: 変動騒音のうるささ(騒音レベルの標準偏差と変動周波数の影響), 日本音響学会誌, 34(7), pp.376-386, 1978
- 46) 平松幸三, 若狭 宏, 高木興一, 山本剛夫: 変動騒音のうるささ(L_{eq} の妥当性について), 日本音響学会誌, 34(11), pp.641-649, 1978
- 47) 平松幸三, 高木興一, 山本剛夫: 心理量の加算に基づく変動騒音の評価法, 日本音響学会誌, 34(11), pp.650-658, 1978
- 48) 香野俊一, 曾根敏夫, 二村忠元: 鉄道騒音のうるささに関する考察, 日本音響学会誌, 29(4), pp.225-234, 1973
- 49) 泉 清人: L_{eq} による騒音評価-その2-, 日本建築学会環境工学委員会建築音響・振動分科会第15回音シンポジウム資料, pp.9-22, 1980
- 50) 佐藤哲身, 泉 清人: 繰り返し衝撃音のノイジネス評価に関する実験, 日本音響学会誌, 38(10), pp.609-618, 1982
- 51) 佐藤哲身, 泉 清人: 繰り返し衝撃音のやかましさと衝撃効果, 日本建築学会論文報告集, 第352号, pp.1-9, 1985
- 52) 桑野園子, 難波精一郎, 加藤 徹: 衝撃音の大きさについて, 日本音響学会誌, 34(5), pp.316-317, 1978
- 53) 桑野園子, 難波精一郎: 衝撃音の時間構造と大きさの関係について, 日本音響学会騒音研究会資料80N-11-5, pp.25-30, 1980
- 54) Kumagai, M., Ebata, M. and Sone T.: Effect of Some Physical Parameters of Impact Sound on its Loudness (A Study on the Loudness of Impact Sound. I), J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 2(1), pp.15-26, 1981
- 55) Kumagai, M., Ebata, M. and Sone T.: Comparison of Loudness of Impact Sounds with and without Steady Duration (A Study on the Loudness of Impact Sound. II), J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 3(1), pp.33-40, 1982
- 56) Kumagai, M., Ebata, M. and Sone T.: Loudness of Impact Sound with Wide-Band Spectrum (A Study on the Loudness of Impact Sound. III), J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 3(2), pp.111-118, 1982
- 57) Kumagai, M., Suzuki, Y. and Sone, T.: The Loudness of Repeated Impact Sound (A Study on the Loudness of Impact Sound. IV), J. Acoust. Soc.

- Jpn. (E), 3(4), pp.231-237, 1982
- 58) Kumagai, M., Suzuki, Y. and Sone, T.: A Study on the Time Constant for an Impulse Sound Level Meter (A Study on the Loudness of Impact Sound. V), J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 5(1), pp.31-36, 1984
- 59) Tachibana, H. Ishizaki, S. and Yoshihisa, K.: A Method of Evaluating the Loudness of Isolated Impulsive Sounds with Narrow Frequency Components, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 8(1), pp.29-38, 1987
- 60) Sone, T., Suzuki, Y., Kumagai, M. and Takahashi, T.: Loudness of a Single Burst of Impact Sound: Results of Round Robin Tests in Japan (I), J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 7(3), pp.173-182, 1986
- 61) Schultz, T. J.: Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance, J. Acoust. Soc. Am., 64(2), pp.377-405, 1978
- 62) Kryter, K. D.: Community Annoyance from Aircraft and Ground Vehicle Noise, J. Acoust. Soc. Am., 72(4), pp.1222-1242, 1982
- 63) 田村明弘: 道路あるいは鉄道が主音源となっている地域における戸外騒音に対する住民の反応, 音響技術, 21(1), pp.47-52, 1978
- 64) Koppe, E. W., Matchat, K. R. and Müller, E.-A.: Abstract of a Procedure for the Description of Aircraft Noise in the Vicinity of an Airport, Acustica, 16, pp.251-253, 1965
- 65) Schultz, T. J.: Community Noise Rating Second Edition, Applied Science Publishers, pp.92-98, 1982
- 66) Taylor, S. M., Hall, F. L. and Birnie, S. E.: Effects of background levels on community responses to aircraft noise, J. Sound Vib., 71(2), pp. 261-270, 1980
- 67) Hall, F. L., Birnie, S. E., Taylor, S. M. and Palmer, J. E.: Direct Comparison of Community Response to Road Traffic Noise and Aircraft Noise, J. Acoust. Soc. Am., 70(6), pp.1690-1698, 1981
- 68) Fields, J. M. and Walker, J. G.: Comparing the Relationships between Noise Level and Annoyance in Different Surveys: A Railway Noise vs. Aircraft and Road Traffic Comparison, J. Sound Vib., 81(1), pp.51-80,

1982

- 69) Knall, V. and Schuemer, R.: The Differing Annoyance Levels of Railway and Traffic Noise, *J. Sound Vib.*, 87(2), pp.321-326, 1983
- 70) Hall, F.L.: Community Response to Noise: Is All Noise the Same?, *J. Acoust. Soc. Am.*, 76(4), 1161-1168, 1984
- 71) Powell, C.A. and Rice, C.G.: Judgment of Aircraft Noise in a Traffic Noise Background, *J. Sound Vib.*, 38(1), pp.39-50, 1975
- 72) Powell, C.A.: Effects of Road-Traffic Background Noise on Judgments of Individual Airplane Noises, NASA Technical Paper 1433, 1979
- 73) Powell, C.A.: Laboratory Study of Annoyance to Combined Airplane and Road-Traffic Noise, NASA Technical Paper 1478, 1979
- 74) Rice, C.G.: Subjective Assessment of Transportation Noise, *J. Sound Vib.*, 43(2), pp.407-417, 1975
- 75) Rice, C.G.: Development of Cumulative Noise Measure for the Prediction of General Annoyance in an Average Population, *J. Sound Vib.*, 52 (3), pp.345-364, 1977
- 76) Öhrström, E., Björkman, M. and Rylander, R.: Laboratory Annoyance and Different Traffic Noise Sources, *J. Sound Vib.*, 70(3), pp.333-341, 1980
- 77) Namba, S. and Kuwano, S.: The Relation between Overall Noisiness and Instantaneous Judgment of Noise and the Effect of Background Noise Level on Noisiness, *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 1(2), pp.99-106, 1980
- 78) 泉 清人: 複合騒音の不快感の評価に関する一連の実験, 日本建築学会環境工学委員会音環境分科会第26回音シンポジウム, pp.29-38, 1985
- 79) 泉 清人: 複合騒音のうるささの評価に関する模擬居間実験(3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.147-148, 1986
- 80) Vos, J. and Smoorenburg, G.F.: Penalty for Impulse Noise, Derived from Annoyance Ratings for Impulse and Road-Traffic Sounds, *J. Acoust. Soc. Am.*, 77(1), pp.193-201, 1985
- 81) Robinson, D.W.: Towards a unified system of noise assessment,

- J. Sound Vib., 14(3), pp.279-298, 1971
- 82) Ollerhead, J.B.:Predicting Public Reaction to Noise from Mixed Sources, Inter-Noise 78, pp.579-584, 1978
- 83) Powell, C.A.:A Summation and Inhibition Model of Annoyance Response to Multiple Community Noise Sources, NASA Technical Paper 1479, 1979
- 84) Gjestland, T. and Oftedal, G.:Assessment of Noise Annoyance: The Introduction of a Threshold Level in L_{eq} Calculations, J. Sound Vib., 69(4), pp.603-610, 1980
- 85) Flindell, I.H.:Pressure L_{eq} and Multiple Noise Sources: A Comparison of Exposure-Response Relationships for Railway Noise and Road Traffic Noise, J. Sound Vib., 87(2), pp.327-330, 1983
- 86) Rice, C.G. and Izumi, K.:Annoyance Due to Combination of Noises, Acoustics'84 Spring Conference, pp.287-294, 1984
- 87) Berglund, B., Berglund, U., Goldstein, M. and Lindvall, T.:Loudness (or Annoyance) Summation of Combined Community Noises, J. Acoust. Soc. Am., 70(6), pp.1628-1634, 1981
- 88) Taylor, S.M.:A Comparison of Models to Predict Annoyance Reaction to Noise from Mixed Sources, J. Sound Vib., 81(1), pp.123-138, 1982
- 89) 難波精一郎, 桑野園子:騒音の心理的影響-複合騒音の評価をめぐって-, 産業公害, 19(4), pp.282-287, 1983

第2章 規則的非定常騒音のやかましさ

2-1 目的と背景

我々は様々な騒音の中で生活しているが、それらは殆どがレベルが変化しない騒音（定常騒音）ではなく、レベルが時間的に変化する騒音（非定常騒音）である。これらの非定常騒音のうち、比較的レベル変化が緩やかな変動騒音（例えば、道路交通騒音や航空機騒音）の場合には、大きさ（ラウドネス）や、やかましさ（ノイジネス）に関する心理的反応と L_{eq} との対応がよいことが多数報告されている^{1, 5)}。しかし、急激に変化する間欠騒音や、非常に早くレベルが変化する衝撃騒音に対する心理的反応に関しては不明な点が多く、評価方法も未だ確立されていない。現在、多くの騒音評価指標が提案されているが、非定常騒音全般に適用できるものではなく、その確立は今後の課題である。

本研究の目的は、比較的緩やかに変動する騒音から、急激に変化する間欠騒音や非常に早く変動する連続的な衝撃騒音までを対象とし、それらに対するやかましさ反応を明らかにし、非定常騒音全般に適用可能な評価法確立のための資料を提供することである。

ここでいう“やかましさ”とは、音の単なる大小感覚ではなく、情緒的および社会的な要因を除外した騒音に対する不快感であるとする^{6, 7)}。すなわち、実験時に被験者に提示する教示文では、『やかましい音とは、室内でくつろいでいる状態を想定して、不快であるとか、耳障りであるとか、いやな音であるとか、耐え難い音であるとか、気分を害する音である』と定義した。

さて、以下に個々の非定常騒音の評価に関する多くの研究の中から、人工音を用いてその時間特性の影響を検討したいくつかの実験的研究を概観し、本研究の意義をより明確にしたい。

変動騒音の大きさに関しては、難波他^{1, 2)}の研究があり、多くの評価法を比較して L_{eq} が騒音の評価指標として優れていることを示している。変動騒音のうるささに関しては、平松他^{3, 4)}の研究が報告されており、うるささとレベル変動特性の関係を検討して、 L_{eq} が優れた評価指標であることを示している。また、平松他⁵⁾は L_{eq} を騒音の評価指標とすることの妥当性を検討し、 L_{eq} は近似的にはうるささとよい対応を示すが、レベル変動のパターンによっては等エ

エネルギー原理は成立しない場合もあることを報告している。これらの研究は主として種々の騒音評価指標と心理量との相関を扱っており、 L_{eq} などの騒音の評価指標の値は広範囲にわたっている。これに対して、賀戸⁸⁾はレベル変動特性の影響を検討するのに、実験に際して L_{eq} などの評価指標の値が大きく異なるような実験音を用いていることや実験の方法に疑問を呈し、自ら開発した方法によって、評価指標の値が等しくてもレベル変動特性の相違により変動音のラウドネスに差違が生じることを示している。

単発の衝撃音の大きさに関しては、桑野他⁹⁾や熊谷他¹⁰⁾の研究がある。桑野他は、衝撃音の L_{eq} が等しくてもピークの継続時間が長いほど大きさのPSEは増大する傾向があり、レベル変動パターンがその大きさに影響を及ぶことが認められるが、その差はわずかであり、単発の衝撃音の大きさは L_{eq} と良い対応を示すとしている。一方、熊谷他は定常部のない衝撃音のラウドネスはピークレベルに、定常部のある衝撃音のラウドネスはエネルギーに対応するとしており、桑野他の結果とは必ずしも一致していない。

間欠騒音、断続騒音の大きさに関して、Pollack¹¹⁾、Garrett¹²⁾他の研究があげられる。彼らはBTF(Burst Time Fraction)を主な要因として、間欠騒音、断続騒音のラウドネスの計算方法を提案している。また、それらのノイジネス(やかましさ)に関して、泉¹³⁾、佐藤他¹⁴⁾、Kuwano他¹⁵⁾の研究が報告されている。泉は断続音のやかましさに関して、BTF、断続バーストの繰り返し率、断続音のoff-timeを変数とするやかましさモデルを提案しており、エネルギー効果の他に驚がく効果があることを明らかにしている。佐藤他は繰り返し衝撃音のノイジネスをエネルギー効果と驚がく効果によって説明している。Kuwano他は断続音のノイジネスが平均エネルギーレベルと $10 \log_{10} N$ (N : 騒音バーストの数)の和と良く対応するとしている。

これらの研究によって、緩やかに変動する騒音の場合には L_{eq} で説明することができるが、間欠的、衝撃的な騒音の場合には L_{eq} で説明できない効果のあることも明らかになっている。しかし、これらの研究では結果は必ずしも一致しているわけではなく、実験方法や条件が異なるため、統合して普遍的な一貫性のある結論を導くことは困難である。

種々の心理的反応に影響を及ぼす非定常騒音の物理的要因は、エネルギー、

周波数特性、レベル変動特性の3つに大別される。これらが複雑に作用して心理的反応に影響するものと考えられる。このうち、エネルギーおよび周波数特性の影響に関する研究は、定常騒音の研究として、従来より多数報告されている。もう1つの要因であるレベル変動特性を取扱った研究では、エネルギー量も変数として、種々の騒音評価指標の比較を行った研究^{1, 2, 3, 4)}は見られるが、レベル変動特性だけに着目し、その影響を抽出しようとする研究はあまり見られない。エネルギー量も変数とした場合、賀戸⁸⁾も指摘しているように、主要因であるエネルギーの影響の中にレベル変動の効果が埋れてしまう可能性がある。したがって、非定常騒音の一般的な評価方法を確認するためには、エネルギーとは独立な条件の下に、広範なレベル変動特性の効果を明らかにする必要がある。本研究は以上のような観点から、 L_{eq} を一定とする広範囲の非定常騒音を実験対象として、それらに対するやかましさの反応をレベル変動特性との関係で明らかにするために行なったものである。

なお、本研究は過去3回にわたって行なった実験研究—実験Ⅰ、実験Ⅱ、実験Ⅲ—をまとめたものである。実験Ⅰは緩やかにレベル変化する騒音を対象とし、実験Ⅱは実験Ⅰよりも速くレベル変化する範囲で行い、実験Ⅲでは実験Ⅱの範囲を含みさらに速いレベル変動を追加した騒音を対象とした。これら3回の実験では実験方法は同じであるが、実験音の作製や実験手続には順次改良を加えており、細部にわたっては同一ではない。したがって、本論では煩雑さを避けるために、主として実験Ⅲ¹⁰⁾について述べ、実験Ⅰ、Ⅱはその結果を2-4の考察において、定性的傾向を検討するための資料として掲載するに留める。

2-2 実験

2-2-1 実験方法

心理音響実験には様々な方法が使われるが、被験者の判断方法から分けると、大きく2つに分類し得る。1つは、ME法（量推定法）のように刺激に任意の数値を割当てて方法や、評定尺度と対応させて評価させる方法など、絶対判断を行わせる方法であり、もう1つは調整法、恒常法、一対比較法などのように比較判断を行わせる方法である。

前者は実験手続が容易であり、実験時間は短くてすむが、被験者の判断に負担が大きいため反応のばらつきは大きくなる。したがって、対象とする要因によっては、ばらつきの中にその影響が埋れてしまう可能性が大きい。後者は前者のような欠点が少ない代わりに、多くの実験時間を必要とする場合が多い。

本研究では、非定常騒音のレベル変動特性（繰り返し率と変動幅）による反応傾向を明確にすることを目的としているから、比較的微妙な問題を対象としている。したがって、実験方法としては、実験精度の高い後者の方法が適している。その中でも、被験者の判断が容易であり、処理方法が体系化されている恒常法を用いる。

2-2-2 実験音の設定条件

レベル変動の要因として、1秒間のレベル変動の回数（繰り返し率，Hz）と、レベル変動の幅（変動幅，dB(A)）、およびレベル変動の形状（変動のタイムパタン）の3つを考え、これら3つの要因を自由に設定、操作できるようにするため、実験音としては現実音を極めて単純化したものを用いる。レベル変動の形状は図-2.1に示すような規則的な三角状、正弦状、矩形状の3種類とする。以下、ここではレベル変動パタンが三角状である騒音を三角状騒音、正弦状である騒音を正弦状騒音、矩形状である騒音を矩形状騒音と呼ぶ。

現場で録音した現実の環境騒音の中から、代表的なレベル変動を示す騒音を、繰り返し率と変動幅によってプロットしたものが図-2.2である。図-2.2の中の各点は現実の環境騒音の一部に過ぎないが、現実の騒音のレベル変動の様子を知ることができる。これらの騒音のレベル記録は、ドットプリンタ音については400dB/s（B&K2305）のペンスピードで、他はすべてfast（リオンLR-04）で書かせたものである。変動幅は道路交通騒音の場合には90%レンジとしたが、他は暗騒音からピークレベルまでの変動幅とした。なお、繰り返し率は測定した時間内の出現回数から算出したが、航空機騒音、列車騒音は、これらの騒音のレベルが暗騒音レベルを上回る継続時間が、それぞれ1回の騒音につてどれだけの長さであるかによって求めた。図-2.2に見られるように、現実の非定常騒音のレベル変動の範囲は、繰り返し率が0.1Hz（0.1回/秒）以下から10Hz（10回/秒）以上まで、変動幅は30dB(A)以上まで、かなり広く分布している

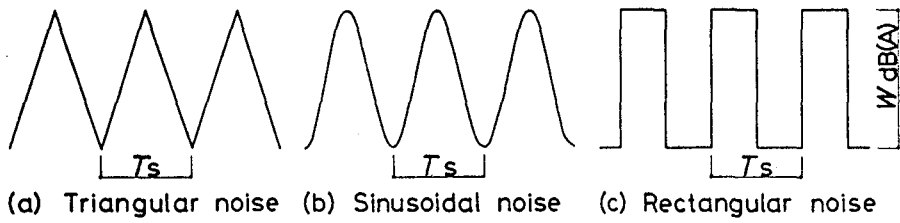


図-2.1 非定常騒音のレベル変動パターン
 W (dB(A)) : 変動幅, T (s) : 変動の周期,
 $1/T$ (Hz) : 繰り返し率

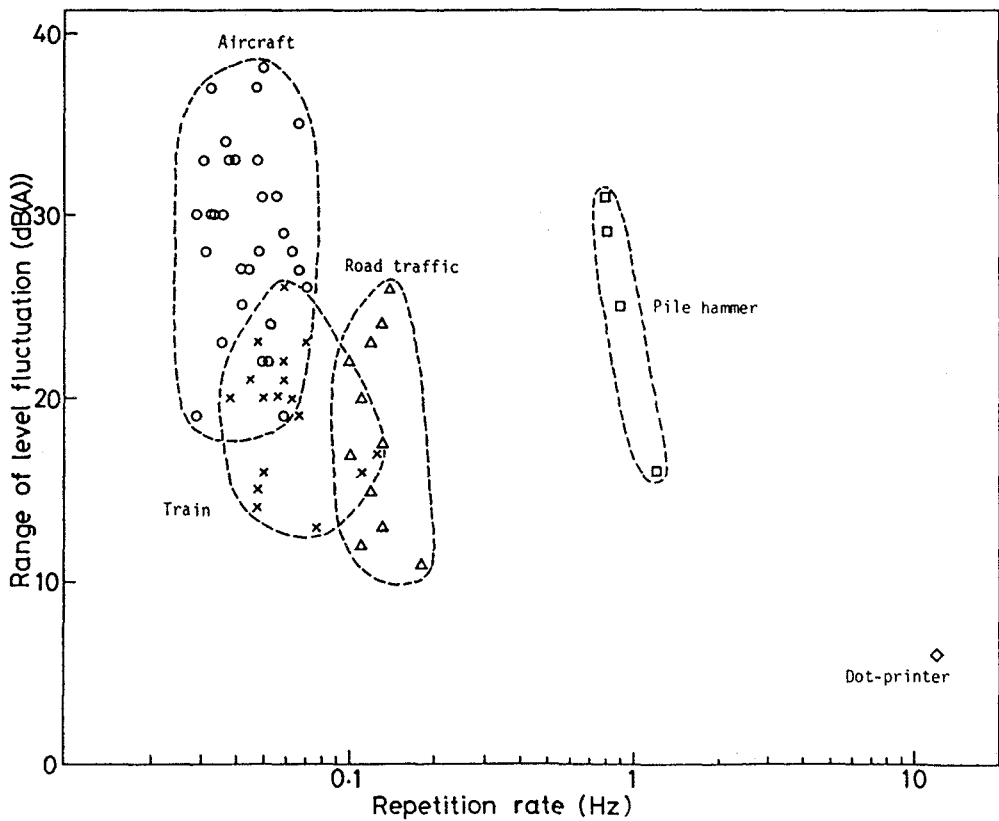


図-2.2 環境騒音の変動幅 (dB(A)) と繰り返し率 (Hz)

といえよう。

以上のことを考慮して、実験に用いる非定常騒音の条件を表-2.1のように設定した。なお、繰り返し率の小さい範囲は実験Ⅰで取り扱った。

矩形状騒音の立ち上がり、立ち下がり時間はデジタルメモリー（岩通 DM-7100）によって測定した。これらの測定値は無響室内でのスピーカ再生音で、変動幅が40dB(A)のときそれぞれ約0.6ms、60ms、変動幅が20dB(A)のときはそれぞれ約0.4ms、40msであった。

2-2-3 実験音の作製

実験音作製のための装置を図-2.3に示す。この原理は信号（ピンクノイズ）を電子アッテネータに入力し、制御信号として3種類の電圧波形を用い、指数的に振幅を変化させるものである。変動幅は繰り返し率の小さい矩形状騒音をレベルレコーダ（ペンスピード100dB/s）でモニターしながら設定する。その後、適当な波形と繰り返し率になるように調節する。したがって、繰り返し率の大きい三角状、正弦状騒音では個々の変動幅は必ずしも一定ではないが、平均的には所定の値が得られている。

被験者に聞かせる実験音の比較対は、上記の非定常騒音（表-2.1）と3dB(A)ステップで5段階に設定したピンクノイズの定常騒音により構成する。時間誤差を除くため、提示順序を入れ換えた2系列を準備し、それらの比較対を1本のテープに20組ずつ録音し、全部で45本の実験用テープを作った。1本のテープの再生所要時間は約12分間である。なお、定常騒音には、急激な立上がりによる定常音の過大評価を防ぐために、約2秒の立上がり時間を与えた。

2-2-4 被験者

聴覚に異常の認められない20歳代の男性13名である。この種の心理音響実験に精通しているとは言えない被験者が大部分である。

2-2-5 実験手続

被験者には予め教示を与え、普段、室内でくつろいでいる状態を想定させて、番号のアナウンスに続いて提示される一対の騒音のうち、どちらがよりやかま

表-2.1 実験Ⅲの非定常騒音の特性

レベル変動パターン	三角状, 正弦状, 矩形状
繰り返し率 (Hz)	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8
変動幅 (dB(A))	5, 10, 20, 30, 40
周波数特性	ピンクノイズ
継続時間 (s)	12
提示レベル (dB(A))	$L_{eq} = 70$

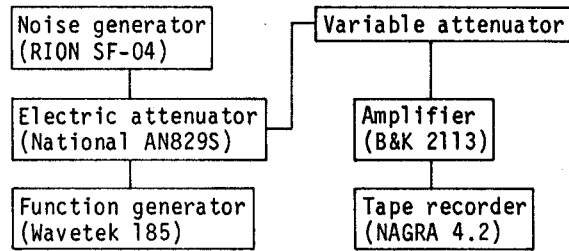


図-2.3 非定常騒音を作製するための装置の構成

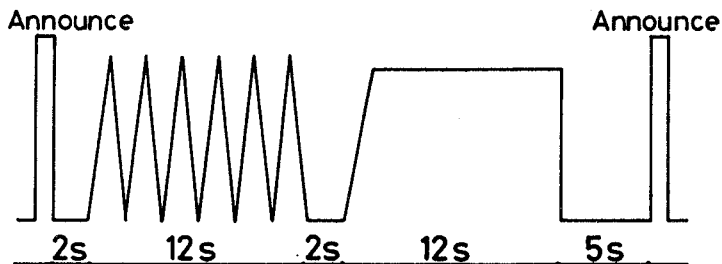


図-2.4 刺激対のタイムパタンの一例

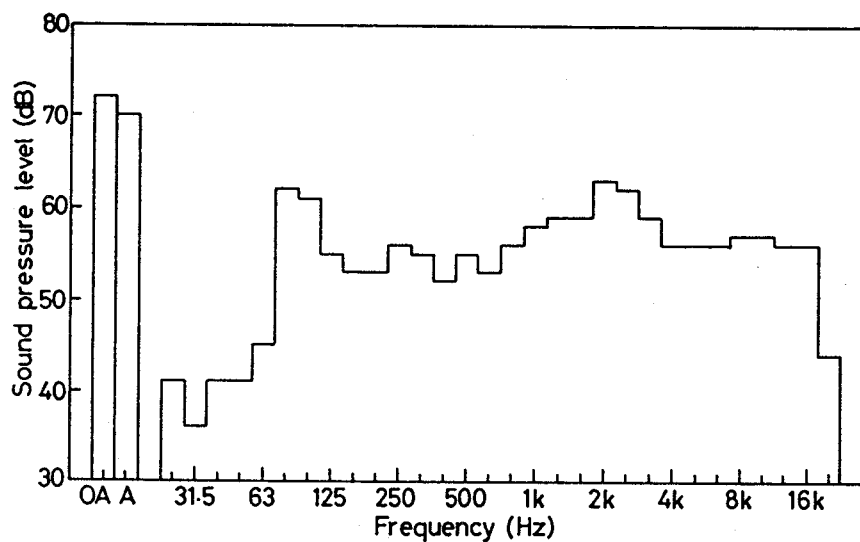


図-2.5 実験音の1/3オクターブバンド分析結果

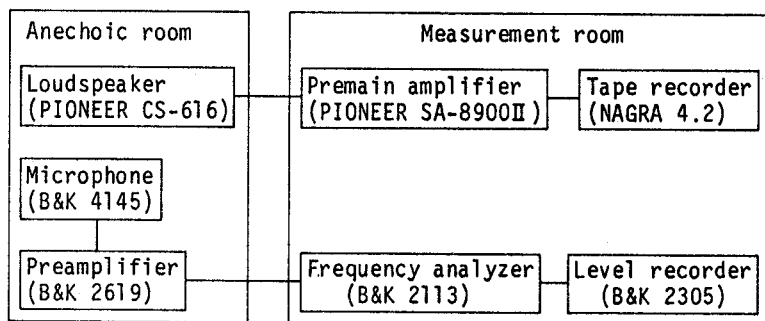


図-2.6 実験装置の構成

しいかを二件法により判断させた。実験音の変動パターンを図-2.4に、その周波数特性を図-2.5に示す。また、実験装置のブロックダイアグラムを図-2.6に示す。実験に用いる非定常騒音の特性を考慮して、実験は外部騒音や暗騒音および残響の影響が少ない無響室で行なった。実験は最大で被験者5人まで同時に行うことができ、被験者の各座席はA特性レベルが同じになるようにその位置を調節した。なお、各座席位置での実験音の周波数特性にはほとんど差が認められなかった。予備実験で被験者に実験の内容を十分に理解させたのち、本実験では各テープを3回ずつ聞かせた。実験は被験者の疲労を考慮して、適当に休憩させながら行った。

2-3 実験結果

1組の比較に対して、合計78回（13人×2系列×3回）の判断が得られ、その分布から最尤法によって、非定常騒音と等しいやかましさを定常騒音レベルの被験者平均値を求め、これをPSE(Point of Subjective Equality)とする。各非定常騒音に対する等しいやかましさを定常音レベルの平均値と標準偏差を表-2.2に示す。矩形状騒音に関しては、繰返し率によるPSEの増加傾向をさらに詳しく検討するために、繰返し率8~32Hzについて追加実験を行った。その結果を表-2.3に示す。被験者や実験手続きなどの条件は本実験と同じである。

標準偏差はほぼ3~5dB(A)で比較的大きいが、被験者が実験に精通していないことを考えれば、妥当な値であろう。追加実験の繰返し率8Hzの標準偏差は全体に小さくなっているが、平均値の差は最大でも1dB(A)であり、再現性は良好であるといえよう。

2-4 考察

2-4-1 繰返し率および変動幅とやかましさ

表-2.2に示すように、三角状、正弦状騒音はPSEがほぼ等しい値となったのに対して、矩形状騒音はこれらと異なった様相を呈して、全般にPSEは大きな値を示している。この原因は矩形状騒音の立ち上がりが極端に速いことが、心理的評価を大きくしていること（過大評価）によるものと考えられる。現実の

表-2.2 実験Ⅲの結果(dB(A))

RR: 繰り返し率, S.D.: 標準偏差

W (dB(A))	RR (Hz)	Tri.		Sin.		Rec.	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
5	0.25	72.4	3.96	71.7	3.35	75.6	3.41
	0.5	72.5	3.76	72.8	3.98	75.7	4.06
	1	72.5	4.49	74.2	4.18	76.3	2.82
	2	75.1	3.02	75.6	3.47	77.0	2.98
	4	75.7	3.64	75.4	3.07	77.0	3.16
	8	75.3	3.74	75.5	4.29	78.1	3.47
10	0.25	71.7	4.00	72.2	4.06	76.3	4.35
	0.5	74.7	4.07	74.1	4.37	76.9	3.76
	1	75.5	2.91	75.5	3.02	77.9	4.23
	2	76.4	3.04	76.0	4.09	77.9	2.67
	4	75.8	3.39	76.4	3.43	78.8	4.46
	8	76.8	3.26	76.4	4.45	78.9	4.37
20	0.25	73.7	3.80	72.3	4.03	76.7	6.30
	0.5	75.4	4.04	75.2	4.38	77.7	3.74
	1	76.5	3.66	76.0	3.59	78.7	4.14
	2	77.5	3.43	77.4	3.32	79.3	2.86
	4	77.2	3.91	77.8	3.40	79.5	3.51
	8	77.7	3.57	77.7	3.23	80.3	3.60
30	0.25	74.6	5.74	71.8	4.38	76.7	4.72
	0.5	76.3	3.78	75.5	4.78	77.1	3.75
	1	77.5	3.63	76.9	3.51	78.8	4.15
	2	78.4	3.34	77.4	3.74	79.1	3.59
	4	78.2	3.23	78.7	3.21	80.8	3.57
	8	77.9	4.09	78.2	3.17	82.5	3.37
40	0.25	73.3	4.70	72.7	4.53	77.1	5.95
	0.5	76.2	4.54	75.3	4.03	78.2	4.08
	1	77.7	3.66	77.9	4.00	80.7	4.69
	2	79.3	3.22	78.3	2.99	81.0	3.33
	4	78.8	3.32	79.0	3.70	82.3	4.28
	8	79.8	3.81	80.4	4.09	84.5	4.68

表-2.3 追加実験の結果

W (dB(A))	RR (Hz)	Rec.	
		Mean	S.D.
5	8	77.1	2.60
	16	76.4	2.98
	32	75.7	3.86
10	8	78.5	2.60
	16	78.3	2.62
	32	77.7	3.76
20	8	81.2	3.65
	16	80.8	3.25
	32	81.1	3.43
30	8	82.3	3.21
	16	83.1	3.59
	32	82.4	3.76
40	8	84.1	3.86
	16	84.2	4.45
	32	83.4	3.50

騒音には矩形状騒音のようなレベル変動特性を有するものはほとんど存在せず、非常に特殊な場合と考えられる。また、現実の騒音のレベル変動の形は、三角状、正弦状騒音により近いものが多い。今回の実験では、三角状、正弦状騒音のように連続的に変化するものから、矩形状騒音のように断続的に変化するものまでを含めて考察するだけの十分なデータが得られていないので、三角状、正弦状騒音と矩形状騒音を分けて考察を行う。

(1) 三角状、正弦状騒音

図-2.7に実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの結果の比較を示す。図-2.7には三角状、正弦状騒音による場合の結果をあわせてプロットし、変動幅毎に曲線を挿入した。表-2.4にはこれら3回の実験条件の主な相違点を示す。図-2.7(a)は L_{eq} を基準とした値($PSE - L_{eq}$)に換算してある。

図-2.7の3つの図の各線は互いに完全につながる位置にはないが、以下のよう

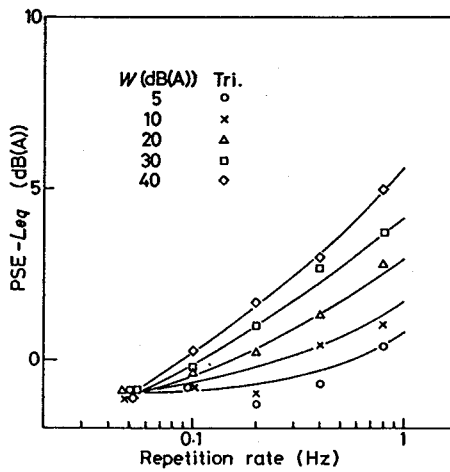
に定性的にはほぼ一貫性のある傾向が見られる。

- 1) 繰り返し率が小さくなると、各線は収束し、PSEは L_{eq} に近づく(図-2.7(a))。図-2.7(a)でPSEが-1dB(A)付近に収束しているのは定常音に立ち上がり部分を設定しなかったため、被験者が定常音を過大に評価したものと考えられる。
- 2) 繰り返し率が大きくなるに従い、PSEは増加する(図-2.7(b))。その増加割合は繰り返し率が2倍につき1~2dB(A)である。
- 3) しかし、繰り返し率が4Hz付近で極大に達し、以後、明確ではないがPSEは減少する傾向が見られる(図-2.7(c))。
- 4) PSEは変動幅が大きいほど大きい(図-2.7(a)、(b)、(c))。

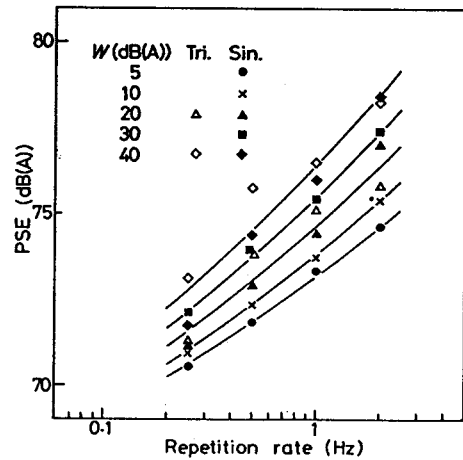
これらの結果から、PSEは繰り返し率と変動幅の関数として表わすことが可能であると考えられる。PSEの関数表現に際して、道路交通騒音の評価指標として L_{50} の代わりに L_{eq} が採用されようとしていることや、NPL、NNI等の従来の騒音評価指標の多くがエネルギー項と、レベルの標準偏差や航空機騒音の回数などのレベル変動特性の効果との和として構成されていることを考慮すれば、本研究のPSEも従来の騒音評価指標の構成にならい、エネルギーの効果(L_{eq})と非定常性の効果($f(RR, W)$)の和として表現するのが妥当であろう。

表-2.4 実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの条件の比較

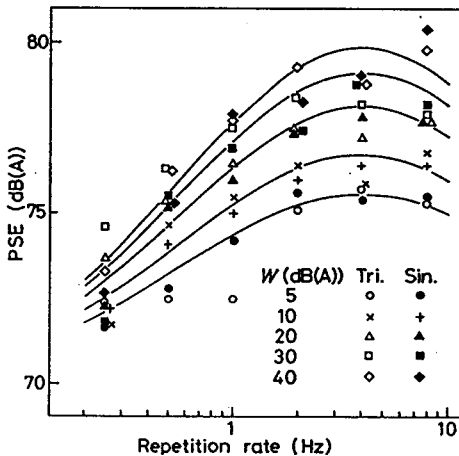
	実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ
実施年	1978	1979	1980
提示レベル (dB(A))	$L_{peak} = 70$	$L_{eq} = 70$	$L_{eq} = 70$
継続時間 (s)	20	16	12
レベル変動パターン	三角	三角, 正弦, 矩形	三角, 正弦, 矩形
繰り返し率 (Hz)	0.05~0.8	0.25~2	0.25~8
変動幅 (dB(A))	5~40	正弦 5~40 三角 20, 40 矩形 10~40	5~40
定常音の立ち上がり時間(s)	ほぼ 0	1~2	1~2
被験者数	13	9	13



(a) 実験Ⅰの結果 (三角状騒音)



(b) 実験Ⅱの結果 (三角・正弦状騒音)



(c) 実験Ⅲの結果 (三角・正弦状騒音)

図-2.7 実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの結果の比較

そこで、PSEを次式で表わすこととした。

$$PSE = L_{eq} + f(RR, W) \quad (2.1)$$

RR: 繰り返し率 (Hz), W: 変動幅 (dB(A))

繰り返し率が小さくなれば定常音に近付くから、レベル変動の効果を表わす $f(RR, W)$ は0に漸近しなければならない。このことは道路交通騒音などのように比較的緩やかに変動する騒音の場合には、 L_{eq} と心理的反応との対応が良いという多くの研究結果とも矛盾しない。一方、繰り返し率が大きくなると、非定常性の効果が強まり、PSEは増大すると考えられるが、繰り返し率が可聴周波数の下限値に近付くと定常音として知覚されるようになり、非定常性の効果は薄れ、PSEは減少するであろう。

Garrett⁽²⁾ も繰り返し衝撃音のラウドネスの研究において、一例としてBTF = 0.2の場合に繰り返し衝撃音と等価なラウドネスを有する定常音の相対レベルと繰り返し率との関係を検討し、相対レベルが繰り返し率30Hz付近まで増大し、以後急激に減少する傾向があることを示している。また、泉による規則的断続音のやかましさモデル⁽³⁾の研究でも相対レベルに対する繰り返し率の効果は4~6Hz付近まで増加するが、その後、減少する曲線として示されている。心理的效果が最大となる繰り返し率が各研究ごとに異なっているのは、騒音の立ち上がり、立ち下がり時間に起因し、立ち上がり、立ち下がり時間が短いほど大きい繰り返し率まで心理的效果が増大するからであると考えられる。立ち上がり、立ち下がり時間は、泉の研究ではそれぞれ10msと65msであるのに対して、Garrettの研究ではどちらも5μsと非常に短い。これらの研究結果は前述の推論を否定するものではない。繰り返し率は心理的反応を増大させる効果と減少させる効果を有していると考えられる。

繰り返し率が本研究の範囲よりもさらに大きくなる場合の心理的反応の変化傾向には未だ不明な点が多いが、本研究では前述の繰り返し率の効果を表示するために、 $f(RR, W)$ に(2.2)式のように、ある繰り返し率でピークが生じるような指数関数を実験式として当てることとする。

$$f(RR, W) = a \exp(bx + cx^2) \quad (2.2)$$

$$x = \log_{10} RR$$

ここで、a、b、cは変動幅Wによって決定される係数とする。

表-2.2の実験Ⅲで得られた三角状騒音と正弦状騒音のPSEの平均値に、最小二乗法を用いて変動幅毎に a 、 b 、 c を決定すると、表-2.5のようになる。この表の値のうち a は変動幅と共に増加しており、明らかに系統的な変化傾向が認められる。これに対して係数 b は変動幅の影響をほとんど受けず、ほぼ一定値を持つとみなすことができよう。また、係数 c は変動幅5dB(A)のときだけが小さいが、これも b と同様に全体的に変動幅による系統的な変化傾向を見ることはできない。したがって b 、 c の値として表-2.5の平均値をとれば、 $b=0.85$ 、 $c=-0.7$ となる。

次に、 b 、 c を上述のように定めた式から、表-2.2の三角状騒音と正弦状騒音の結果の平均値を用いて a を求め、これを繰返し率に対してプロットすると、図-2.8のように示され、各線は上から変動幅 W が大きい順に並ぶ。変動幅によって多少の違いはあるものの、繰返し率に対して a の値に一定の傾向は認められず、 a はほぼ一定値であるとみなすことができよう。すなわち、 a を変動幅 W の関数として表示することが可能であると思われる。

変動幅が0dBであれば、繰返し率に関係なく定常音になるから、PSEはその L_{eq} に一致しなければならない。すなわち、 $a=0$ でなければならない。一方、 L_{eq} 一定の条件では変動幅が大きくなれば、ピークレベルも増大する。三角状騒音の場合、ピークレベルが10dB(A)以上では、ピークレベルは変動幅の対数とほぼ線形関係にある（付録参照）。また、熊谷らの研究¹⁰⁾は単発衝撃音のラウドネスに関するものではあるが、定常部のない衝撃音のラウドネスはピークレベルと良い対応を示すという報告や、単発衝撃音よりも緩やかに変動する航空機騒音の継続時間の補正は、Peak-20dBとするよりも高いレベルに重点を置いたPeak-10dBとする方が良いと報告されていること²⁴⁾などを考慮すれば、 a はピークレベル等の高レベル部分の変化傾向を反映する形で表現するのが妥当であると考えられる。

a を対数関数と曲線傾向が類似している指数関数で表わせば、 $W=0$ のとき $a=0$ という条件を満たすことができるが、 W の対数関数ではこの条件を満たすことができない。 a を W の指数関数としてその係数を最小二乗法で推定すると、(2.3)式が得られる。 a と W の関係を図示したものが図-2.9である。

$$a = 2.7 W^{0.28} \quad (2.3)$$

表-2.5 係数 a, b, c

W (dB(A))	a	b	c
5	3.77	0.846	-0.435
10	5.27	0.951	-0.876
20	6.37	0.761	-0.659
30	7.14	0.776	-0.754
40	7.41	0.937	-0.748

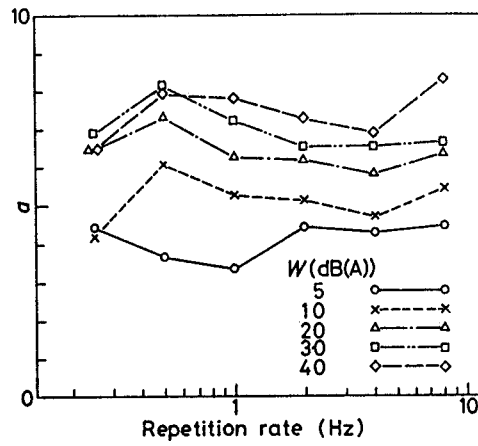


図-2.8 係数aと繰り返し率の関係

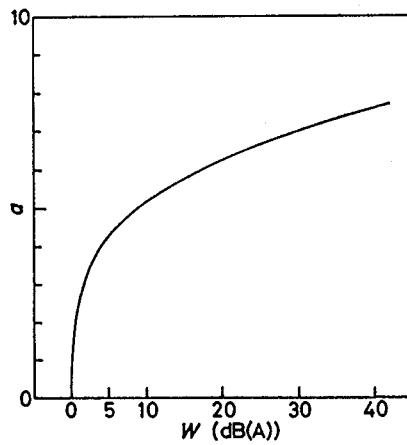


図-2.9 係数aと変動幅 (W) の関係

したがって、PSEの実験式として次式が得られた。

$$PSE = L_{eq} + 2.7 W^{0.28} \exp \{ 0.85 \log_{10} RR - 0.7 (\log_{10} RR)^2 \} \quad (2.4)$$

ただし、実験音の設定レベルは L_{eq} 70dB(A) の1条件であるから、(2.4)式の適用は L_{eq} が70dB(A)程度の中程度の騒音レベルに限定され则认为すべきであろう。一方、繰返し率については実験範囲は0.25~8Hzであるが、図-2.7の変化傾向を考慮すると、0.25Hz以下でも適用可能であると考えられる。繰返し率が8Hzを越え、可聴周波数の下限値に近付き、さらにこれを越える場合には変動する騒音として知覚されなくなり、本研究の意図するところではなくなる。変動幅は実験では40dB(A)までしか設定していないが、現実の騒音でも図-2.2に示すように、変動幅が40dB(A)を越えることはほとんどないから、通常の場合には(2.4)式で十分対応できると考えてよいであろう。

(2.4)式による計算値と実験値を比較すると、それらの差の平均値は -0.053 dB(A)、標準偏差は0.64dB(A)であり、かなりよく一致している。図-2.10に実験から得られたPSEと(2.4)式で得られたPSE(挿入曲線)を示した。図では、実験値の挿入曲線からのばらつき具合を見やすくするために、各曲線の基準レベルを変えて示してある。図-2.11ではそれらを同一レベルに揃えて、一括して示した。

図-2.7に見られるように、実験Ⅰ、Ⅱ結果の各線は実験Ⅲの結果に完全につながる位置にはない。これは被験者の相違など実験条件の影響を受けるためである。したがって、実験Ⅲを基にして求めた(2.4)式はPSEを予測するための普遍的な結論であるとは言い難い。しかし、3回の実験データの差は必ずしも大きくはないから、(2.4)式は定性的な傾向を示しているといえよう。

(2) 矩形状騒音

実験Ⅱの矩形状騒音の結果を折れ線で結んだものが図-2.12(a)であり、実験Ⅲの矩形状騒音の場合の結果に曲線を挿入したものが図-2.12(b)である。図-2.7(b)、(c)の三角状、正弦状騒音の場合と比べると、矩形状騒音のPSEの値は大きく、ピークに達する繰返し率も大きく、明らかに様相が異なる。図-2.12の(a)と(b)では実験範囲が異なるが、図-2.12(a)では変動幅によるPSEの差が明確でないのに対して、図-2.12(b)では変動幅によるPSEの差が見られ

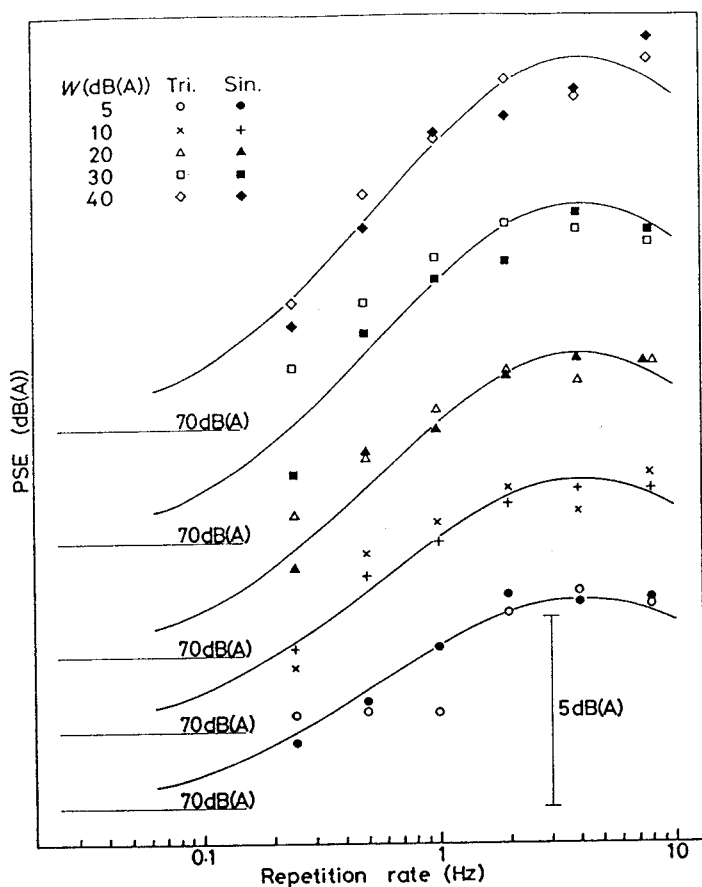


図-2.10 実験Ⅲのデータ（三角・正弦状騒音）への適合曲線の挿入

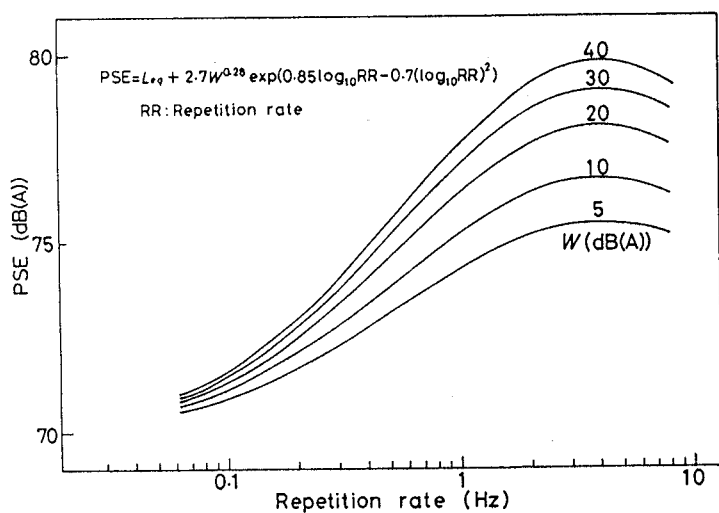
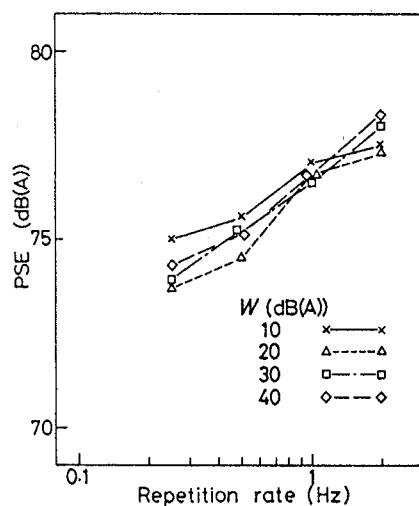
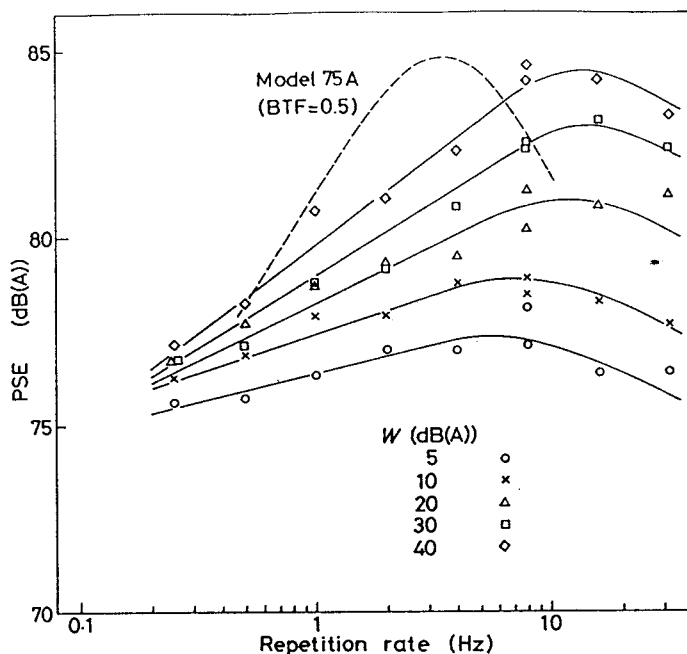


図-2.11 三角状・正弦状騒音のやかましさを(2.4)式による表現



(a) 実験Ⅱの結果（矩形状騒音）



(b) 実験Ⅲの結果（矩形状騒音）

実線は実験データへの挿入曲線、破線はモデル75-A⁽³⁾

図-2.12 矩形状騒音のPSEと繰り返し率の関係

る。しかし、図-2.12(a), (b)共に繰返し率に対するPSEの変化勾配は極めて良く似ている。

図-2.7(a)、(b)、(c)ではすべて変動幅が大きいほどPSEも大きいという一定の傾向を示しているが、図-2.12では変動幅による明瞭な差は見られるもの(図-2.12(b))と、そうでないもの(図-2.12(a))があり、図-2.12の(a)と(b)は図-2.7ほどには一貫性のある傾向を示していない。ここでは実験範囲の広い図-2.12(b)について定性的な傾向を述べるに留める。図-2.12(b)では、PSEは繰返し率と共に増加し、その状況は変動幅により異なるが、どの変動幅の場合にも4~16Hzで極大に達し、それ以後は減少しており、三角状、正弦状騒音の場合と同様の変化を示している。極大に達する繰返し率は変動幅が大きくなるほど高くなる傾向が見られる。矩形状騒音のPSEは常に三角状、正弦状騒音より大きく、その差は平均で2~3dB(A)である。また、図-2.12(b)ではレベル変動の効果は最大でほぼ15dB(A)に達しており、繰返し率が小さくなっても、今回の実験範囲では三角状、正弦状騒音のように L_{eq} に漸近する傾向を示していない。

2-4-2 他の研究との比較

表-2.6はこの研究の実験条件と、レベル変動特性が一部で同じである騒音を対象とした他の研究の条件とを比較したものである。研究対象や実験方法、条件が多少異なるので、定量的な比較を行うのは困難であるが、定性的な比較を行い、今回の実験の妥当性を検討することができる。

まず、別に行った一対比較法による尺度化の結果を図-2.13に示す²⁰⁾。これは36種類の非定常騒音と2種類の定常騒音を用いて、ThurstoneのCaseV²¹⁾の仮定に基づいて、やかましさの距離尺度を構成したものであり、三角状騒音と矩形状騒音について、繰返し率と距離尺度の関係を示してある。距離尺度の基準値として70dB(A)の定常音を0としてある。

図-2.13によると、繰返し率の増加に従い、やかましさの尺度値もほぼ直線的に増加している。図-2.7および図-2.12においても、図-2.13と同じ繰返し率の範囲ではPSEは繰返し率とともに増加している。また、図-2.13では1条件(三角状騒音、繰返し率0.2Hz、変動幅10dB(A))を除いて、やか

表-2.6 他の研究との実験条件の比較

研究者	矢野他	矢野他	泉	平松他	平松他	Fastl
発表年	1981	1980	1978	1978	1978	1982
属性	ノイジネス	ノイジネス	ノイジネス	アノイアンス	アノイアンス	変動強さ
実験方法	恒常法	一対比較法	一対比較法	ME法	ME法	ME法
刺激の周波数特性	ピンクノイズ	ピンクノイズ	ピンクノイズ	ホワイトノイズ	ホワイトノイズ	均一マスキングノイズ
レベル変動パターン	三角, 正弦, 矩形	三角, 正弦, 矩形	断続音	三角	正弦	正弦状に振幅変動
提示レベル (dB(A))	非定常騒音の $L_{eq} = 70$	非定常騒音の $L_{eq} = 70$	定常騒音の $L_{peak} = 70$	変動騒音の $L = 70$	変動騒音の $L = 70$, $L_{eq} = 87.3$	振幅変動音の $L_{peak} = 40, 50$, $60, 70, 80$
継続時間 (s)	12	20	12	12	50	4
繰り返し率 (Hz)	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 (, 16, 32)	0.2, 0.4, 0.8, 1.6	1, 2, 4	変動速度 (dB/s) 20, 40, 80, 200	0.1, 0.3, 1	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32
変動幅 (dB(A))	5, 10, 20, 30, 40	10, 20, 30, 40	-	6, 10, 20, 30, 40	10, 30, 50	1, 2, 4, 6, 8, 10, 16, 20, 40
刺激の提示方法	無響室 スピーカ再生	無響室 スピーカ再生	簡易無響室 スピーカ再生	ヘッドホン	ヘッドホン	ヘッドホン
被験者数	13	21	8	20	30	6

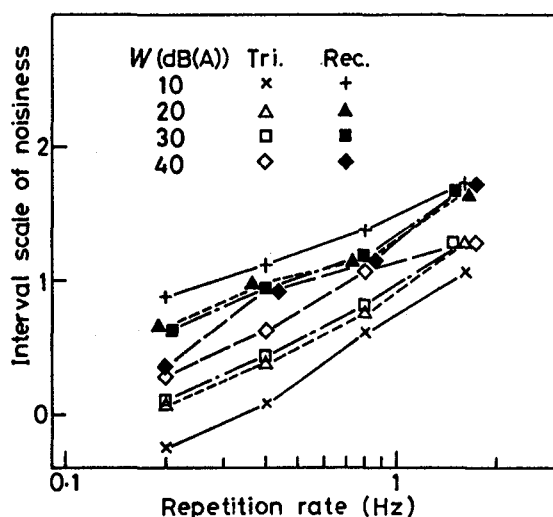


図-2.13 三角状・矩形状騒音のやかましさを距離尺度と繰り返し率の関係
(70dB(A)の定常音のやかましさを距離尺度の値を0としてある)

ましさをの尺度値は0以上であり、定常音より尺度値は大きくなっている。この実験では、定常音の提示に立ち上がり時間を設けていないために、被験者は定常音を過大評価していると考えべきであり、そのことを考慮すれば、図-2.7の結果と同様の傾向を示している。なお、矩形状騒音のやかましさを尺度値は常に三角状騒音を上回っており、恒常法実験で示された結果（実験Ⅱ、Ⅲ）とも傾向が似ている。このように、一対比較法による尺度化の結果は恒常法実験の結果を支持しているといえよう。

図-2.12(b)の破線は泉による「規則的断続音のやかましさをモデル75-A」¹³⁾を示している。このモデルはBTFを主要変数とし、さらに繰り返し率および断続バーストのoff-timeの関数として表わされ、変動幅を変数とはしていない。図中の破線は規則的断続音のBTF=0.5の場合であり、本研究の実験で用いた変動幅が大きい矩形状騒音の場合に相当している。

図に見られるようにモデル75-Aは変動幅が大きい矩形状騒音の場合と比べて、PSEの増加割合は大きく、PSEが極大に達する繰り返し率は小さい。しかし、両者ともPSEの極大値はほぼ等しく、非定常性の効果（ $PSE - L_{eq}$ ）は15dB(A)に達している。モデル75-Aの変化傾向はむしろ図-2.11に示されている変動幅が大きい三角状、正弦状騒音の傾向に似ている。

このようなモデル75-Aと本研究の矩形状騒音の結果との相違は、表-2.6に示すように実験条件が種々異なることに起因していると思われるが、特に実験音場の残響特性の違いによって、PSEが極大に達する繰り返し率が異なってくることが考えられる。すなわち、本研究では無響室を使用しているため、矩形状騒音の立ち上がり、立ち下がり時間が、変動幅20dB(A)の場合に0.4ms、40ms、変動幅40dB(A)の場合では0.6ms、60msと短いものに対して、モデル75-Aでは変動幅30dB(A)相当でそれぞれ10ms、65msである。このため本研究では断続の効果により大きな繰り返し率まで及んだものと考えられる。

平松他^{3, 4)}は三角状騒音や正弦状騒音やその他様々な変動パタンの騒音を対象として、変動騒音のうるさを尺度化し、同時に求めた定常音のうるささの尺度から、変動騒音をそれとうるさが等価な定常音レベル(Effective Sound Level, ESL)に換算して、ESLとレベル変動特性との関係を考察している。そこでは対象としている変数は本研究とは異なり、種々の評価量の優劣を検討する立場から、実験条件も実験音の L_{eq} は一定ではない。また、変動音のみを対象としているため、繰り返し率の範囲も本研究の実験範囲よりも狭い。平松は結論として、設定したレベル変動特性の範囲ではうるさは変化しないとしている。また、ESLは L_{eq} より大きな値を示しているが、その変動性の効果は僅かであり、 L_{eq} が評価量として優れていることを示している。

このことは本研究の結果とは大きく異なる。その原因として実験方法の違い(恒常法とME法)や実験条件の違いなどが考えられる。賀戸⁶⁾も指摘しているように、実験条件で L_{eq} 等を広範囲に設定して、ME法のような絶対判断を求める手法を用いると、推定値の分散が大きく、レベル変動の効果は埋もれてしまう可能性が大きいと思われる。本研究ではレベル変動特性によるやかましさの変化傾向を抽出するために、実験音の L_{eq} を一定にし、恒常法によって実験を行なった。本研究の結果と平松他の結果との相違は以上のような実験条件の違いに大きく依存していると考えられるが、さらに詳しいことは不明である。

Fastl^{1, 6)}は正弦状に振幅変調^{※1)}された均一マスキングノイズ^{※2)}の変動強さ^{※3)}(fluctuation strength)を変調周波数、変調幅、音圧レベルの関数として捉え、変動強さが変調周波数の関数として4Hz付近で最大値となるような変化傾向を有し、変調幅および音圧レベルと共に増大することを示した。また、

Fastlは継時マスキングパタン^{※1)}に基づいて、変動強さを記憶効果と耳の時間積分特性に関係する項で構成されるモデルを提案している。彼の研究は騒音評価を目的とするのではなく、音楽音響の好ましさに関連する要因として、変動強さを取り上げており、この研究とは対象とする心理的属性が異なるものの、極めてよく似た傾向を得ているのは興味深い。

2-5 まとめ

変動騒音から連続衝撃音、断続音までの、非定常騒音全般に適用できる評価法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、規則的に三角状、正弦状、矩形状にレベル変動する騒音を用いた実験を行い、PSEとレベル変動特性の関係を考察した。その結果は次のように要約できる。

- 1) 三角状、正弦状騒音はやかましさに対して類似の傾向を示し、そのPSEは繰返し率と変動幅の関数として表わすことができる。PSEは繰返し率の増加と共に緩やかに増大するが、繰返し率4Hz付近で最大となり、以後は緩やかに減少する傾向を呈し、変動幅が大きくなるほどやかましさも増大する。今回の実験範囲ではその効果は最大で約10dB(A)である。PSEは、 L_{eq} 70dB(A)付近、変動幅約40dB(A)以下、繰返し率約8Hz以下で、(2.4)式で良く表示することができる。
- 2) 矩形状騒音の場合には三角状、正弦状騒音の場合とはPSEの様相は異なる。PSEは三角状、正弦状騒音の場合よりも常に大きく、繰返し率8Hz付近で極大になる。また、今回の実験範囲では繰返し率が小さくなくても、PSEは L_{eq} の値に収束される傾向にない。これらは矩形状騒音の急激な立ち上がりの効果によるものと考えられる。

※1) 振幅変調(amplitude modulation)：搬送波（この場合は均一マスキングノイズ）の振幅を変調信号（この場合は正弦波）で変化させること。

※2) 均一マスキングノイズ(uniform masking noise)：ZwickerとFeldtkellerが開発した広帯域騒音であり、約700Hz以上の周波数で3dB/octの割合で減衰量が増加するフィルターを通したホワイトノイズを均一マスキングノイズと呼んでいる。

※3) 変動強さ(fluctuation strength)：約20回／秒以下の緩やかな振幅変動に関する聴覚的な属性を言い、レベル変動の感覚的な強弱を表わす。なお、より速い振幅変動に関する聴覚的な属性は粗さ(roughness)と呼ばれている。

※4) 継時マスキングパターン(temporal masking pattern)：マスキング騒音（この場合は振幅変調された広帯域騒音）の変動の周期を基準にしたテスト刺激の相対的な遅れ時間とテスト刺激の閾値レベルとの関係を示したもので、マスキング騒音が変動すると、テスト音の閾値レベルが相対的な遅れ時間によってどのように変化するかが分かる。すなわち、マスキング騒音のピーク部分とテスト刺激が重なれば、テスト刺激の閾値レベルは上がるが、マスキング騒音の谷の部分とテスト刺激が重なれば、テスト刺激の閾値レベルは下がる。

参考文献

- 1) 難波精一郎，中村敏枝，桑野園子，加藤 徹：自動車交通騒音の大きさについて，日本音響学会誌，32(3)，pp.126-138，1976
- 2) 難波精一郎，桑野園子，加藤 徹： L_{eq} ， L_a と大きさの関係について，日本音響学会誌，34(5)，pp.301-307，1978
- 3) 平松幸三，横江 斉，高木興一，山本剛夫：騒音レベルの変動幅および変動速度とうるささとの関係－鋸歯状変動騒音による実験－，日本公衛誌，25(5)，pp.253-258，1978
- 4) 平松幸三，山中浩一，高木興一，山本剛夫：変動騒音のうるささ（騒音レベルの標準偏差と変動周波数の影響），日本音響学会誌，34(7)，pp.376-386，1978
- 5) 平松幸三，若狭 宏，高木興一，山本剛夫：変動騒音のうるささ（ L_{eq} の妥当性について），日本音響学会誌，34(11)，pp.641-649，1978
- 6) 泉 清人：騒音の心理的不快感に関する属性についての考察（騒音のやかましさに関する研究(13)），日本建築学会北海道支部研究報告集，No.46，pp.35-40，1976
- 7) 日本音響学会関西支部編：パネルディスカッション Loudness, noisiness, annoyanceを廻って，日本音響学会騒音・聴覚合同研究会，1980
- 8) 賀戸 久：弁別実験による変動音のラウドネス測定，日本音響学会誌，

37(6), pp. 274-283, 1981

9) 桑野園子, 難波精一郎: 衝撃音の時間構造と大きさの関係について, 日本音響学会騒音研究会資料, 80N-11-5, pp. 25-30, 1980

10) 熊谷正純, 江端正直, 曾根敏夫: 衝撃音のラウドネスについて, 日本音響学会騒音研究会資料, 80N-11-7, pp. 39-44, 1980

11) Pollack, I.: Loudness of Periodically Interrupted White Noise, J. Acoust. Soc. Am., pp. 181-185, 1958

12) Garrett, R. M.: Determination of the Loudness of Repetited Pulses of Noise, J. Sound Vib., 2(1), pp. 42-52, 1965

13) 泉 清人: 規則的断続音のやかましさと驚がく効果 騒音の不快感に関する研究・I, 日本建築学会論文報告集, 第274号, pp. 85-92, 1978

14) 佐藤哲身, 泉 清人: 繰り返し衝撃音のノイジネス評価に関する一連の実験, 日本音響学会騒音研究会資料, 80N-11-6, pp. 31-38, 1980

15) Kuwano, S., Namba, S., and Nakajima, Y.: On the Noisiness of Steady State and Intermittent Noise, J. Sound Vib., 72(1), pp. 87-96, 1980

16) Fastl, H.: Fluctuation Strength and Temporal Masking Patterns of Amplitude-Modulated Broadband Noise, Hearing Research, 8, pp. 59-69, 1982

17) 矢野 隆, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究(レベル変動速度の影響について), 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 143-144, 1979

18) 矢野 隆, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究(レベル変動のやかましさに及ぼす影響), 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 45-46, 1980

19) 矢野 隆, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究(レベル変動のやかましさに及ぼす影響—その2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 81-82, 1981

20) 矢野 隆, 村木謙一, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究[5](変動騒音のやかましさの尺度化), 日本建築学会九州支部研究報告, pp. 5-8, 1980

21) J. P. ギルホード, 秋重義治監訳: 精神測定法, 培風館, 1959

22) 田中良久: BASIC入門 行動科学のためのコンピュータプログラミング入

門，東京大学出版会，1975

23) 増山元三郎：実験公式の求め方，竹内書店，1962

24) 日本建築学会編：騒音の評価法，彰国社，pp. 61，1981

付録

付図-2.1に示すような規則的な三角状騒音の場合、その L_{eq} は次式で表される。

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L(t)/10} dt$$

$$L_{eq} \doteq L_p - 10 \log_{10} \frac{W 10^{W/10}}{10^{W/10} - 1} + 6.4$$

$$L_p \doteq 10 \log_{10} \frac{W 10^{W/10}}{10^{W/10} - 1} + L_{eq} - 6.4$$

本研究では実験音の L_{eq} は一定であるから、 $L_{eq} - 6.4 = C$ (定数) とおくと、 L_p は次式で表わされる。

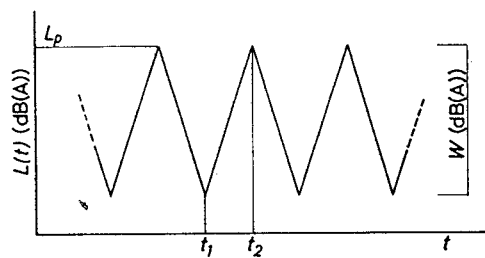
$$L_p \doteq 10 \log_{10} \frac{W 10^{W/10}}{10^{W/10} - 1} + C$$

W が 10dB(A) 以上では

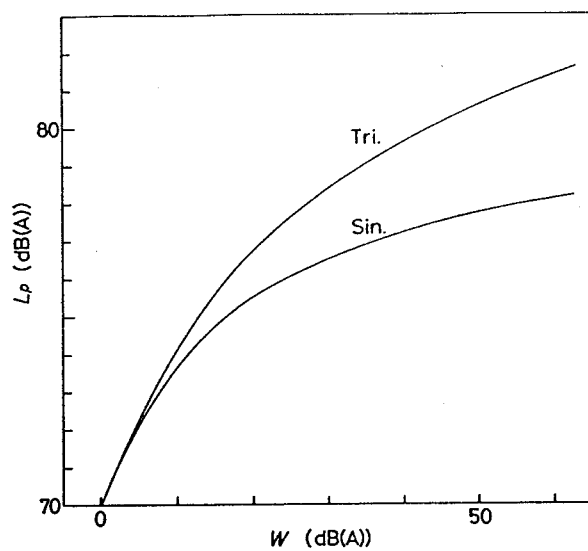
$$L_p \doteq 10 \log_{10} W + C$$

となる。

正弦状騒音のピークレベルは上式のような簡単な形では表現できないが、三角状騒音と同様の傾向を示す。付図-2.2に正弦状騒音を含めてピークレベルの変化傾向を計算して示した。



付図-2.1



付図-2.2

第3章 規則的非定常騒音の不快感の評価における作業別の差違

3-1 目的と背景

我々は日常生活で、聴覚による情報伝達や思考作業中に種々の騒音に暴露されているが、それらの騒音の種類—例えば、道路交通騒音、列車騒音、杭打ち音、プリンタ音等—によって、それぞれ異なった印象を抱くことを経験している。このことは騒音の物理的特性から見れば、騒音の周波数特性やレベル変動パターン等が異なるためである。本研究はこれらの種々の騒音をモデル化した規則的に変動する非定常騒音を用いて、騒音のレベル変動特性と作業が異なる場合の不快感を調べることを目的としている。

騒音のアノイアンスの評価に関する研究は、特に航空機騒音や道路交通騒音に関して多数報告され、 L_{eq} が評価指標として適当であることが示されてきたが、最近では通過台数等の影響も指摘されるようになってきている。

Langdon^{1, 2)}は大規模な社会調査によって、道路交通騒音による生活妨害感 (nuisance) を調べ、信号機や交差点がなく、車が自由に流れているような (自由流れ) 交通状態では生活妨害感 L_{10} や L_{eq} と高い相関を示すが、非自由流れの交通状態ではこれらによっては実用的に十分な精度の評価はできないことを示し、例えば重量車混入率のような交通成分 (traffic composition) を考慮した指標が適していることを示した。Riceは航空機の飛行回数のアノイアンスへの影響を他の研究と比較し、 L_{eq} やNEF (Noise Exposure Forecast) が優れた指標であることを示しているが、これらは回数依存性の本質を埋もれさせる可能性があることに注意を喚起している³⁾。また、航空機騒音と道路交通騒音に関して種々の騒音評価指標を比較し、 L_{eq} (dB(A)) はどちらか一方へは最良の評価を与えるが、等しい L_{eq} 値では道路交通騒音は航空機騒音よりうるさく感じられ、これらの複合騒音に適用できる指標は検討した中では見付からなかったと報告している⁴⁾。

Rylander他は交通騒音を対象として、等エネルギーでも通過台数 (通過車の頻度、繰返し率) によってアノイアンス反応が変化し⁵⁾、 L_{eq} は通過台数が一定であればアノイアンスと良い相関を示すが、騒音の速い変動もアノイアンスに影響することを示して⁶⁾、等エネルギー原理を再検討した。Rasmussen⁷⁾

は道路交通騒音とアノイアンスの関係を通過台数との関連で調べるために、人工音を用いて実験を行ない、 L_{eq} や L_{np} によってアノイアンスを合理的に予測できることを示した。しかし、通過台数の効果については、 L_{eq} が通過台数と共に変化するために明らかにされていない。 $L_{abiale}^{8)}$ は L_{eq} が一定 (50~60 dB(A)) の条件下でのアノイアンスとトラック通過台数との関係を検討し、トラック通過台数が増加すればアノイアンスも増加し、この傾向は変動幅が大きいほど顕著であることを示し、トラック通過台数による補正が必要であると報告している。

これらの研究に共通している点は、交通騒音のアノイアンス評価を実験室実験で行ない得ることを指摘している点と、 L_{eq} が優れた評価指標であることを認めてはいるが、万能ではなく、通過台数等の時間特性による補正が必要であることを示している点である。

交通騒音以外を対象としたものではEbata他⁹⁾の研究があり、放送聴取時の定常騒音、断続騒音、衝撃騒音の評価実験から L_{eq} によって放送聴取時のアノイアンスを推定できることを示した。

以上の研究のうち交通騒音を対象としているものでは繰返し率(通過台数)が1分間に2回以下の低い割合であり、衝撃音を対象としている研究でも1分間に30回程度の比較的繰返し率の少ない分離衝撃音を扱っている。また、実験の聴取条件としては読書やくつろぎ^{3), 5)~8)}が殆どで、カード遊び⁴⁾や放送音の聴取⁹⁾も使われているが、どの研究においても聴取条件は1種類にすぎない。

これに対して、道路交通騒音や航空機騒音以外の騒音の実状は、例えば杭打ち音の繰返し率は1回/秒程度であり、さらにプリンタ音などでは数回/秒程度にまで及んでいる。本研究でも、道路交通騒音のような繰返し率の比較的少ない変動音から、杭打ち音のような分離衝撃騒音や、プリンタ音のような準定常衝撃騒音までを対象とし、繰返し率も数秒に1回から数回/秒までを対象とする。また、聴取条件の違いによる差異も検討するために、実験では被験者に4種類の作業を行なわせる。実験結果から、4種の作業別に騒音の妨害感およびやかましさと、レベル変動特性との関係を検討し、さらに前章¹¹⁾の恒常法による実験の結果と比較する。

なお、高レベルの騒音を暴露して作業能率への影響を捉えたり、被験者のパ

パーソナリティと関連させて騒音の影響を調べようとする研究^{15~17)}などもあるが、本研究は作業能率やパーソナリティの影響を主眼にするのではなく、中程度の騒音暴露による妨害感や、やかましさのような不快な印象をグループ平均で考察するものである。

3-2 実験

3-2-1 実験手法

前述した他の研究^{3~9)}にならい、実験手法としてカテゴリー判断法を用いた。実験に使用したカテゴリー尺度を図-3.1に示す。カテゴリーの内容は「非常にじゃまになる（やかましい）」から「全くじゃまにならない（やかましくない）」までの6段階であるが、被験者の選択の精度を上げるために、各カテゴリーの中間の尺度値を設け、さらに「非常に」や「全く」のカテゴリーよりも極端な尺度値も設定して、全体で13段階とした。

3-2-2 被験者および実験中の作業

騒音の作業への妨害感とやかましさを判断する実験中に、被験者に行なわせる作業として聴覚的な作業を2種類（単音節明瞭度試験と文章了解度試験）、非聴覚的な作業を2種類（計算と読書）の4種類の作業を準備し、それぞれ作業中に提示する騒音のレベルを2段階（ L_{eq} 60dBと L_{eq} 70dB）とした。すなわち、全部で8種類の実験条件となる。これらの条件での騒音の提示時間、被験者数を表-3.1に示す。まず、実験中に聴覚的作業を行いながら妨害感とやかましさを判断させる実験を実施し、約半年後に非聴覚的作業を行ないながら判断させる実験を実施した。

被験者の延べ人数は326名であるが、このうち36名は2つの作業に重複して参加している。しかし、実験条件間の重複者は少なく、計算作業の L_{eq} 60dBの場合と読書作業の L_{eq} 70dBの場合の6名重複が最大で、他の場合は1~3名程度の重複にすぎないから、各実験条件の被験者は別個の標本集団に属するとみなして良いであろう。被験者は聴覚に異常がないと認められる10代および20代の男女学生で、心理音響実験のための特別な訓練は受けていない。

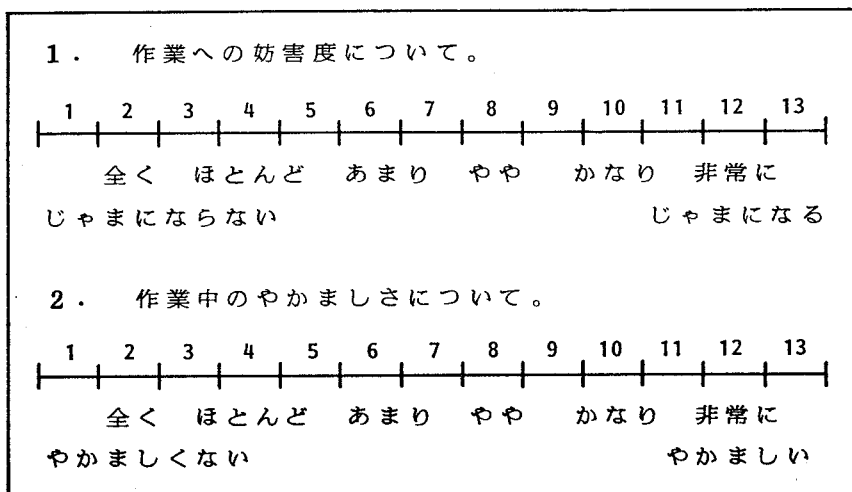


図-3.1 カテゴリー尺度

表-3.1 作業の種類と被験者数

作業の種類		提示レベル (L_{eq} (dB))	騒音の提示時間 (分)	被験者数
聴覚的作業	単音節明瞭度試験	60	6	30
		70	6	32
	文章了解度試験	60	8	30
		70	8	31
非聴覚的作業	計算	60	3	50
		70	3	50
	読書	60	2.5	53
		70	2.5	50

(1) 聴覚的作業

単音節明瞭度試験には、日本音響コンサルタント協会製作のテープを使用し、単音節の個数は1回に100個ずつ提示した。提示レベルは無響室内スピーカ再生で各単音節の平均ピークレベルを75dB(Flat) (リオンLR-04, fast) とした。このレベルは予備実験を行なって、最も聞き易いレベルとして採用したものである。文章了解度試験用のテープは自作し、その内容は聞き取れば、誰にでも答えられるような易しい内容の質問文である。質問文の一例を表-3.2に示す。25例の文章を1組とし、各騒音条件毎に異なる内容の文章の組を1組ずつ提示した。文章の再生レベルは文章の平均ピークレベルで70dB(Flat)とした。騒音レベルは予備実験の結果から、文章了解度の成績にほとんど影響しないレベルとして L_{eq} 60dBと、作業成績に有意に影響するレベルとして L_{eq} 70dB (共にFlat)

表-3.2 文章了解度試験用の文章リストの一例

-
- 1 カップルとは何人のことですか。
 - 2 サイレンを鳴らして走る車を1つ挙げよ。
 - 3 田原俊彦は物理学者ですか。
 - 4 万里の長城はどこに国にありますか。
 - 5 キログラムは何の単位ですか。
 - 6 長崎県の県庁所在地はどこですか。
 - 7 消防署の緊急電話番号は何番ですか。
 - 8 レコードは丸い形をしていますか。
 - 9 みかんとすいかはどちらが小さいですか。
 - 10 潜水艦は空を飛べますか。
 - 11 あなたはタクシーに乗ったことがありますか。
 - 12 十円硬貨は金貨ですか銅貨ですか。
 - 13 母校とは母親の出身校のことですか。
 - 14 4の平方根はいくらですか。
 - 15 1日は何時間ですか。
 - 16 中国はアジア大陸にありますか。
 - 17 夏が暑いなら冬はなに。
 - 18 魚は何屋で売っていますか。
 - 19 市電は乗り物ですか。
 - 20 名刺には何を印刷しますか。
 - 21 レコードに穴はいくつあいていますか。
 - 22 ヒットラーはどこに国の人でしょうか。
 - 23 井戸水は地表水ですか地下水ですか。
 - 24 座布団は夜具ですか。
 - 25 ジェット機とヘリコプターはどちらが速いか。
-

の2段階とした。聴覚的作業の作業能率として単音節明瞭度と文章了解度を当てる。

(2) 非聴覚的作業

実験中に被験者に行なわせる非聴覚的作業として計算と読書を採用した。計算は内田・クレッペリンテスト¹⁸⁾と同様の一桁数値の単純加算で、解答用紙には隣合わせの数値の合計の一桁目を記入させた。読書には内容に偏りのない一般的なものとして、新聞のコラムを収録した単行本¹⁹⁾から、時代性のない文章を96題取り出した。被験者には内容を把握しながら読ませるために、文章の終りにその内容にふさわしい標題を3つの選択枝の中から1つ選んで解答させた。計算の作業能率として計算個数を用いたが、正誤のチェックはしていない。なお、読書には作業能率に相当するものはない。

3-2-3 騒音の設定条件

実験中に被験者に聞かせる非定常騒音の物理特性を表-3.3に、その変動パタンの一例を図-3.2に、再生系も含めた騒音の周波数特性を図-3.3に示す。非定常騒音の設定レベルは変動幅や繰り返し率の効果を抽出するために、前述の他の研究^{4, 5, 8)}と同様に L_{eq} を一定とした。変動幅および繰り返し率は、前章¹¹⁾の結果から、明瞭なやかましき反応の変化が期待される範囲で設定した。レベル変動パターンは規則的であり、三角状騒音は立ち上がり、立ち下がり時間が等しく、矩形状騒音はBTF(Burst Time Fraction)が0.5である。三角状騒音は繰り返し率が小さいときには道路交通騒音に類似しており、矩形状騒音は立ち上がり、立ち下がりが急峻な断続音であり、共に繰り返し率が大きくなると準定常衝撃騒音となる。

3-2-4 実験手続

この実験では騒音環境を妨害感とやかましきの2面から評価させるが、評価に際して妨害感(disturbance)を「じゃまになると感じた程度」、やかましき(noisiness)を「騒音による不快感」と定義した。これらの概念には公式に合意された定義はまだないが、ここでは上のように定義して使うこととしたも

表-3.3 実験音の特性

周波数特性	ピンクノイズ
レベル変動パターン	三角・矩形・定常
変動幅, W (dB)	20, 40
繰り返し率, RR (Hz)	0.25, 1, 4
提示レベル (dB)	$L_{eq} = 60, 70$

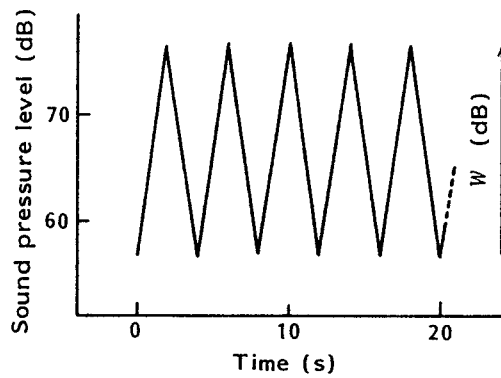


図-3.2 実験音のタイムパタンの一例

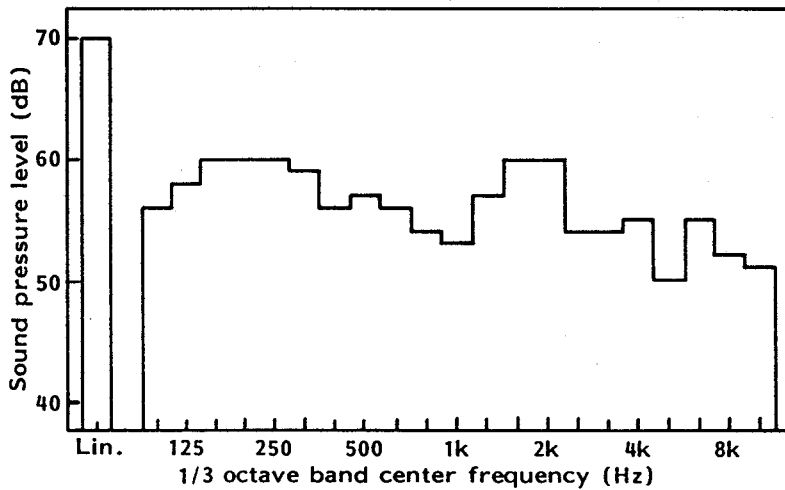


図-3.3 無響室で再生した実験音の1/3オクターブバンド分析結果

のである。また、これら2つの概念は前述の研究^{3)~8)}で用いられているアノイアンスの概念の一部と考えられる^{20~22)}。

各作業に共通の手続きは以下の通りである。

まず、被験者に教示を与え、作業には特別神経を集中することなく、普段の気軽な気持ちで行ない、作業終了後に、作業への妨害感および作業中に感じたやかましさを、図-3.1に示す13段階の尺度値で判断するように指示した。実験は3~5名ずつのグループ毎に行なった。騒音の提示順序はランダムとし、被験者グループ毎にそれぞれ異なる。本実験に先立って、被験者の判断基準の確立と実験要領の修得のために、3種類の典型的なレベル変動特性を有する騒音—①定常音、②変動幅20dB、繰り返し率0.25Hzの三角状騒音、③変動幅40dB、繰り返し率4Hzの矩形状騒音—を用いて予備実験を行なった。

単音節明瞭度試験と文章了解度試験では被験者の疲労を考慮して、それぞれ途中に休憩を入れて、2回に分けて実験を行なった。実験に要した時間は単音節明瞭度試験で約1時間半、文章了解度試験では約2時間である。なお、被験者に聞かせる単音節リストや文章リストの提示順序は被験者グループ毎にランダムである。

計算作業を課す実験では計算時間を3分間、続いて休憩5分を繰り返し、中間に20分の休憩を入れて全体で約2時間半、読書作業を課す実験では読書時間を2分半、休憩5分を繰り返し、中間に15分間の休憩を挟み、全体で約2時間である。

図-3.4に実験装置の構成を示す。聴覚的作業の場合には単音節明瞭度試験や文章了解度試験の音声信号と騒音とをオーディオミキサーで合成して、無指

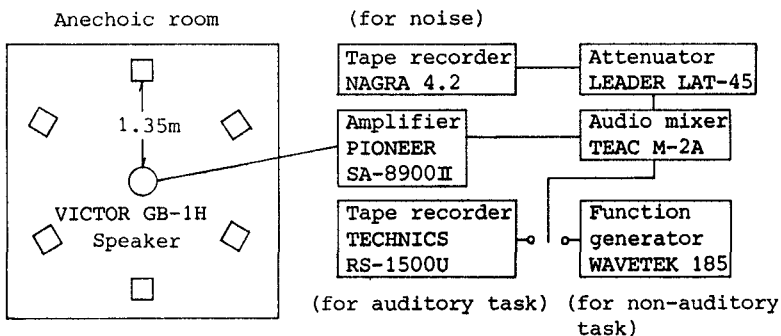


図-3.4 実験装置の構成

向性スピーカから再生した。非聴覚的作業の開始と終了の合図には1kHzのトーンバーストを用いた。

3-3 結果

3-3-1 妨害感とやかましさの距離尺度

カテゴリー尺度に等間隔性を付加して距離尺度（間隔尺度）とするために、各刺激に対するカテゴリーの判断分布が正規分布であると仮定して、カテゴリーの尺度化を行ない、これを基にカテゴリー7を0とする距離尺度を求めた²³⁾。図-3.5～図-3.20に距離尺度とレベル変動特性の対応を示す。各図の左側の縦軸は妨害感またはやかましさの距離尺度、右側の縦軸はカテゴリーの順位を示す数値尺度である。また、図中の太線は三角状騒音、細線は矩形状騒音の場合を示している。

各尺度値の標準偏差(S.D.)はどの条件でも大差なく、距離尺度でS.D. = 0.8～1.3の範囲にあり、ほぼ1である。これは数値尺度ではほぼS.D. = 2に相当している。

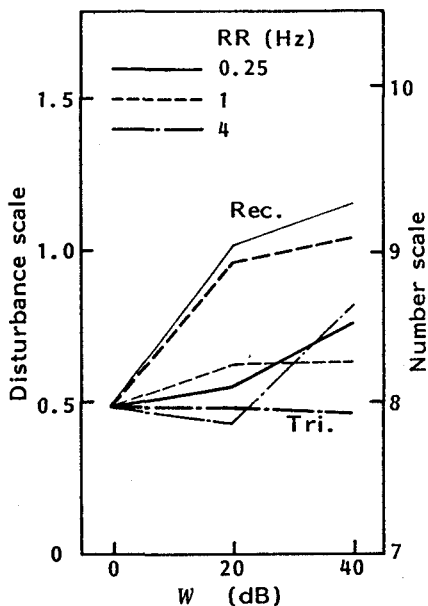
(1) 単音節明瞭度試験時の妨害感とやかましさの距離尺度

図-3.5(a)に見られるように、騒音レベルが L_{eq} 60dBのとき、妨害感の尺度値は変動幅と共に増大する傾向が見られるが、騒音レベルが L_{eq} 70dBでは逆に減少する傾向にある（図-3.6(a)）。やかましさの尺度値も妨害感の尺度値の場合と同様の傾向を示しているが、妨害感の尺度値ほどに顕著ではない（図-3.5(b)、3.6(b)）。

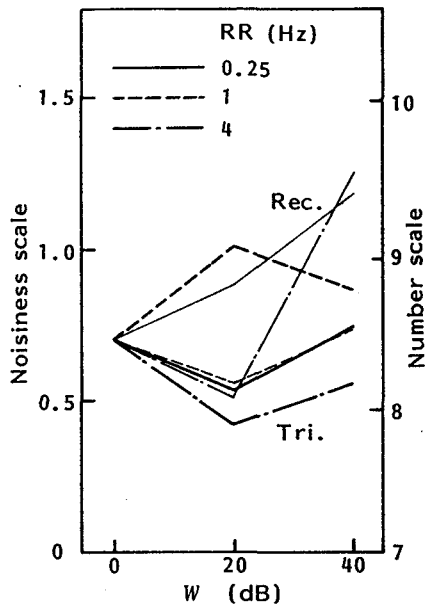
繰り返し率の影響に関しては、 L_{eq} 60dBのとき妨害感、やかましさの尺度値は共に三角状騒音の繰り返し率1Hzで大きくなっているが、矩形状騒音では1Hzで小さくなっているものと、繰り返し率の増加と共に減少しているものがある（図-3.7）。また、 L_{eq} 70dBのとき両尺度値は繰り返し率4Hzで上昇しているものもあるが、全体としては繰り返し率と共に減少する傾向にある（図-3.8）。

(2) 文章了解度試験時の妨害感とやかましさの距離尺度

妨害感の尺度値と騒音レベルの変動幅の関係は、騒音の L_{eq} が60dBのときに

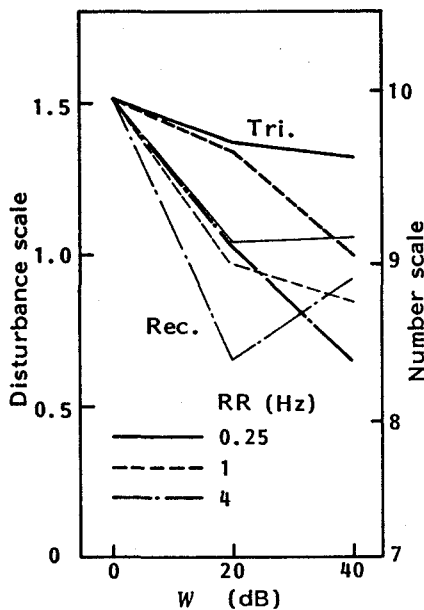


(a) 妨害感

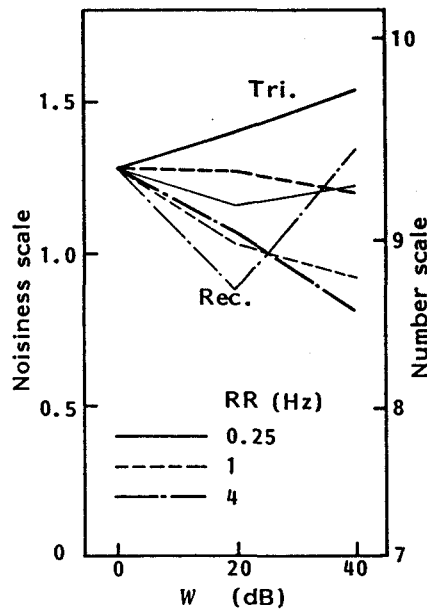


(b) やかましさ

図-3.5 尺度値と変動幅 W の関係 (単音節明瞭度試験, $L_{eq} = 60\text{dB}$)

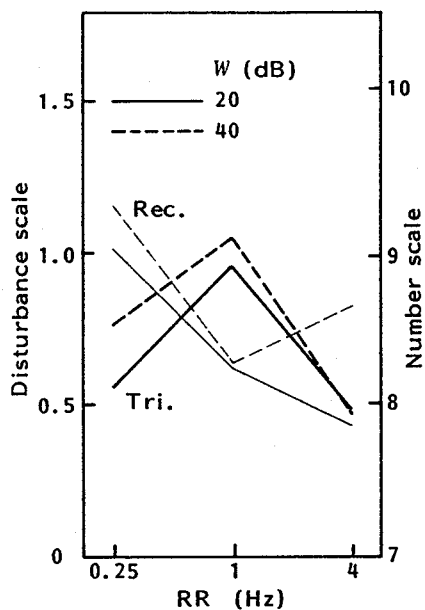


(a) 妨害感

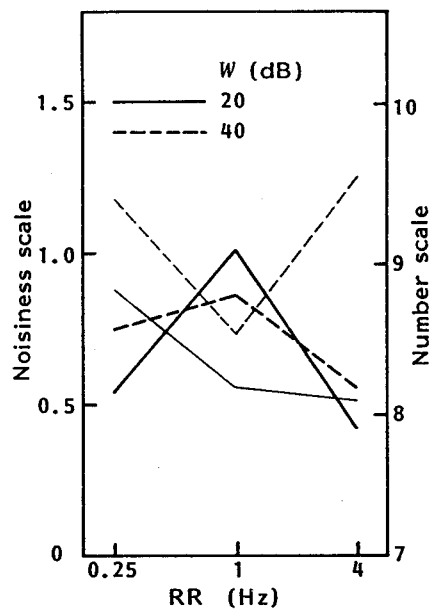


(b) やかましさ

図-3.6 尺度値と変動幅 W の関係 (単音節明瞭度試験, $L_{eq} = 70\text{dB}$)

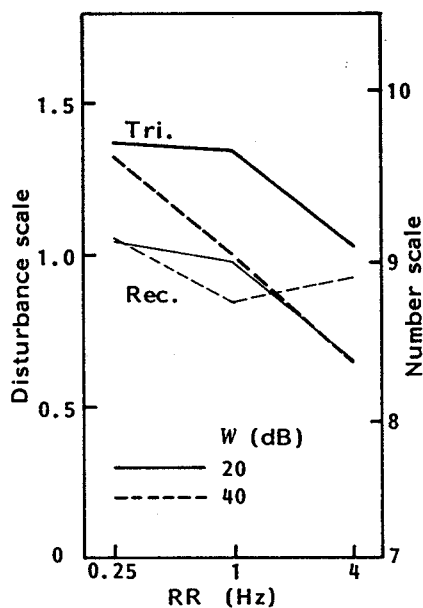


(a) 妨害感

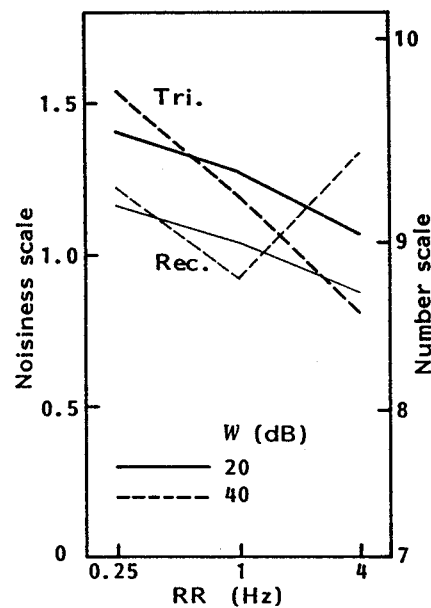


(b) やかましさ

図-3.7 尺度値と繰返し率RRの関係 (単音節明瞭度試験, $L_{eq} = 60\text{dB}$)

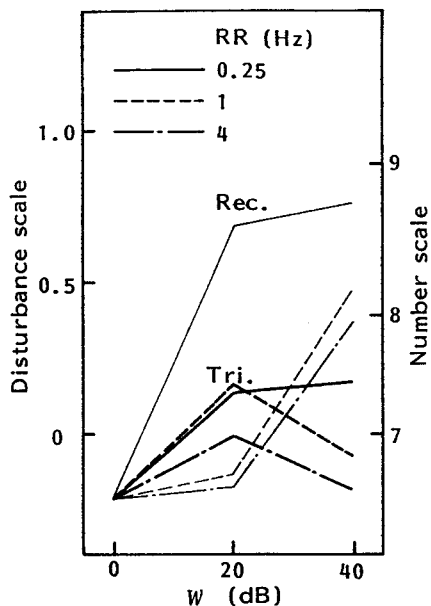


(a) 妨害感

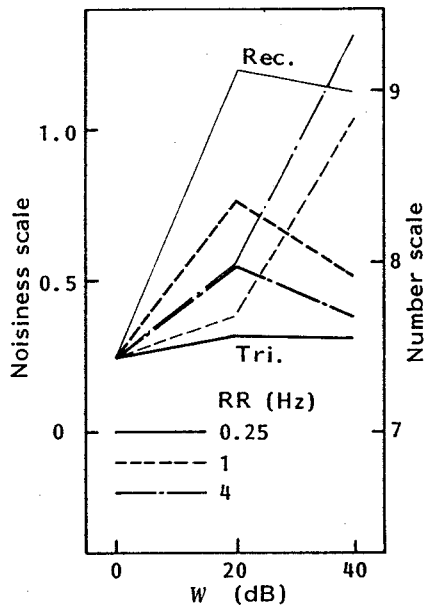


(b) やかましさ

図-3.8 尺度値と繰返し率RRの関係 (単音節明瞭度試験, $L_{eq} = 70\text{dB}$)

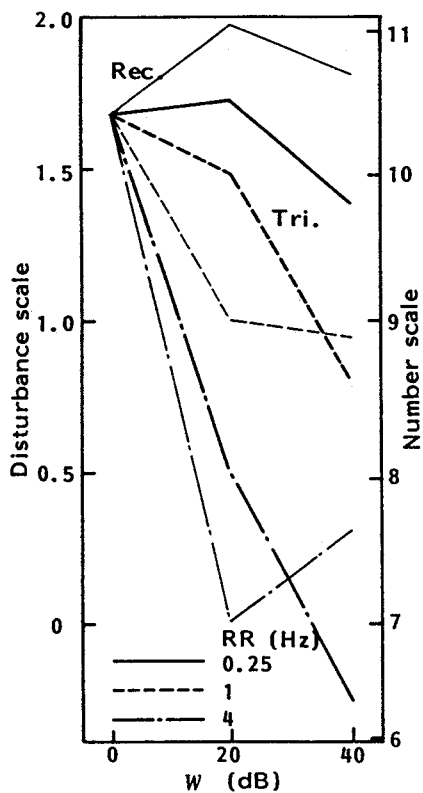


(a) 妨害感

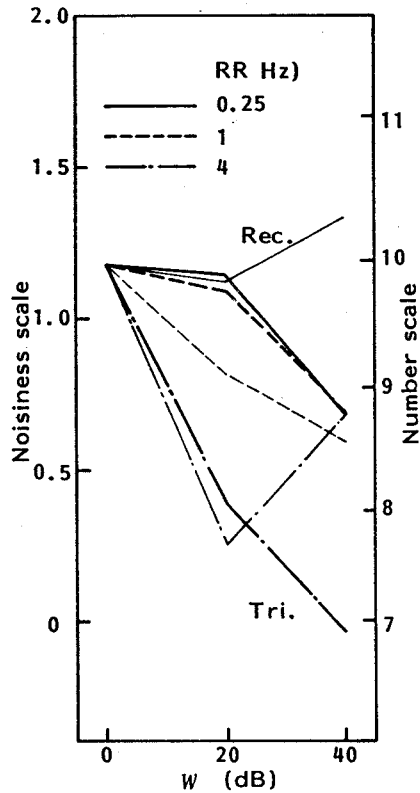


(b) やかましさ

図-3.9 尺度値と変動幅 W の関係 (文章了解度試験, $L_{eq} = 60\text{dB}$)

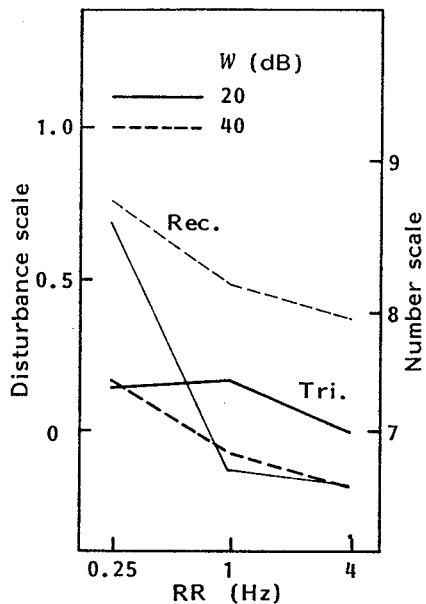


(a) 妨害感

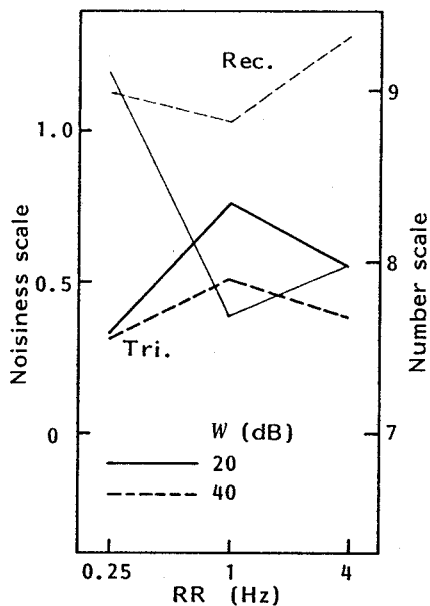


(b) やかましさ

図-3.10 尺度値と変動幅 W の関係 (文章了解度試験, $L_{eq} = 70\text{dB}$)

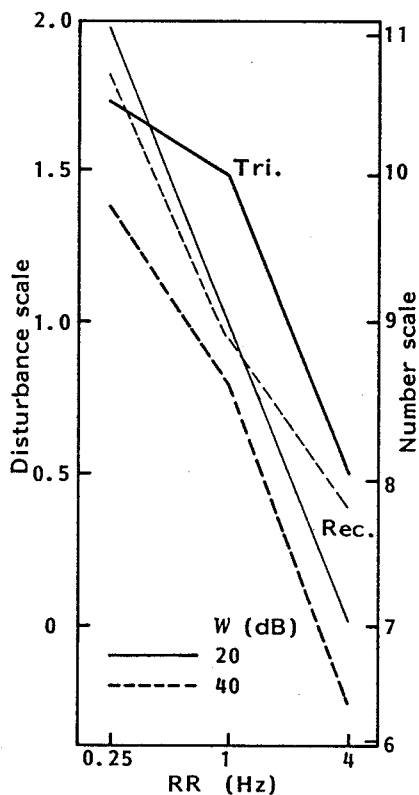


(a) 妨害感

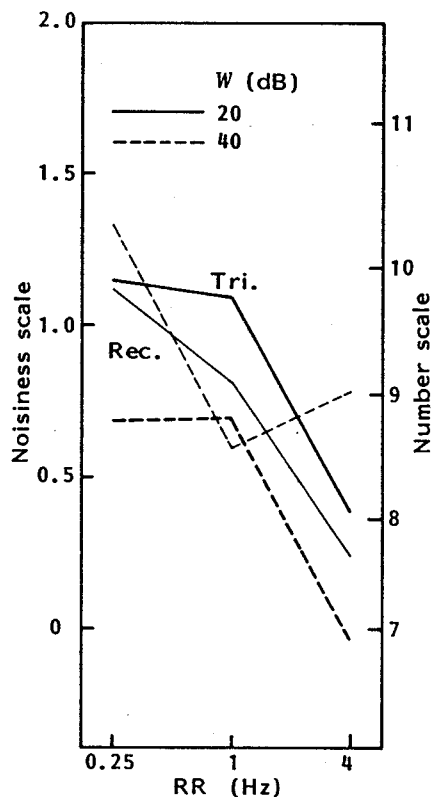


(b) やかましき

図-3.11 尺度値と繰り返し率RRの関係 (文章了解度試験, $L_{eq} = 60\text{dB}$)



(a) 妨害感



(b) やかましき

図-3.12 尺度値と繰り返し率RRの関係 (文章了解度試験, $L_{eq} = 70\text{dB}$)

矩形状騒音の場合には妨害感の尺度値の変動幅による増加傾向は顕著であるが、三角状騒音の場合には変化傾向は矩形状騒音ほど明瞭でなく、定常音よりも少し大きい程度である（図-3.9(a)）。 L_{eq} 70dBのときは繰返し率0.25Hzの場合には変動幅による顕著な傾向は見られないが、繰返し率1、4Hzでは変動幅の増加に従い、減少する傾向が見られる（図-3.10(a)）。やかましさの尺度値と変動幅の関係も妨害感の尺度値の場合と類似しているが、 L_{eq} 70dBの場合には変化割合は小さい（図-3.9(b)、10(b)）。これらの傾向は単音節明瞭度試験の場合よりも明瞭に現われている。

妨害感の尺度値と繰返し率の関係は、騒音レベルが L_{eq} 60dBのときには繰返し率が増すと妨害感は減少する傾向が見られ、 L_{eq} 70dBではこの傾向はさらに顕著になっている。やかましさも妨害感の場合と同様の傾向を示しているが、変化割合は小さい（図-3.11、3.12）。

(3) 計算時の妨害感とやかましさの距離尺度

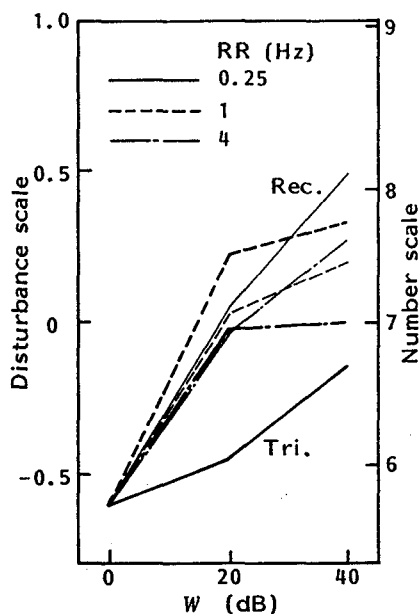
妨害感とやかましさの尺度値は、騒音レベルが L_{eq} 60dBのときも、 L_{eq} 70dBのときも、共に変動幅が大きくなると増大しており、聴覚的作業の場合と異なり、設定レベルによる変化傾向の違いは小さい。また、妨害感の尺度値よりもやかましさの尺度値の方が全体的に大きい。各尺度値の変動幅による変化割合の差は三角状騒音より矩形状騒音の場合に小さくなっている（図-3.13、3.14）。

各尺度値と繰返し率の関係は、三角状騒音では1Hzで尺度値が常に大きくなっているのに対して、矩形状騒音では変動幅40dB、繰返し率1Hzで逆に小さくなっており、変動幅20dBでは顕著な傾向が見られない（図-3.15、3.16）。

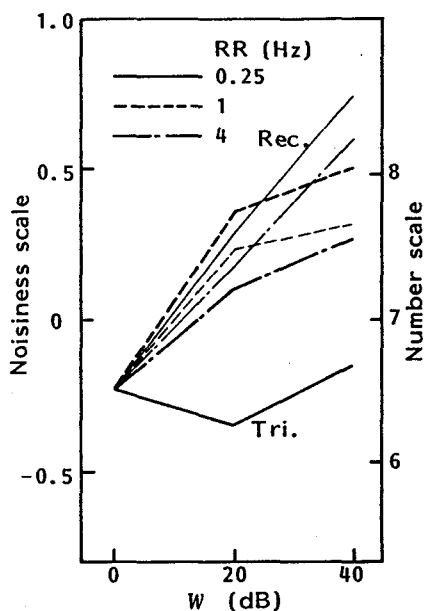
(4) 読書時の妨害感とやかましさの距離尺度

図-3.17から騒音レベルが L_{eq} 60dBの場合、両尺度値は変動幅が増すと大きくなり、その増加割合は矩形状騒音の場合に顕著である。また、計算時と同様に、やかましさの尺度値は妨害感の尺度値よりも全体的に高位置にある。 L_{eq} 70dBのときにも L_{eq} 60dBのときと類似の傾向が見られるが、増加割合は小さい（図-3.18）。

各尺度値と繰返し率の関係は、三角状騒音では図-3.20(a)の変動幅20dB

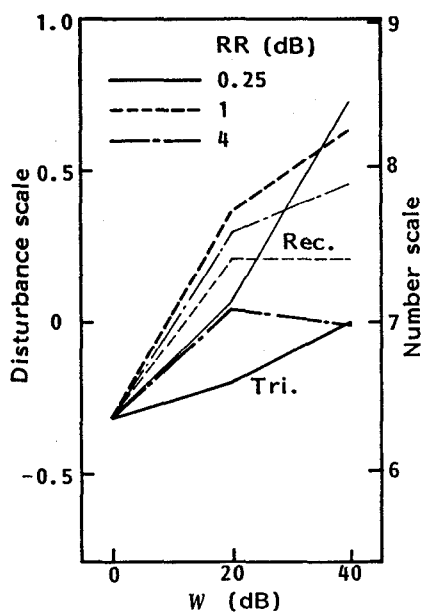


(a) 妨害感

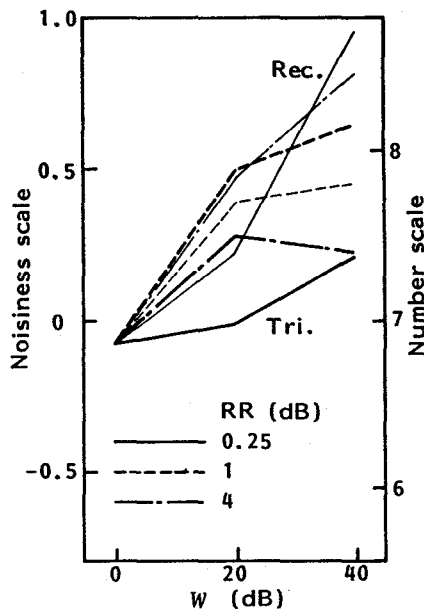


(b) やかましさ

図-3.13 尺度値と変動幅 W の関係 (計算, $L_{eq} = 60\text{dB}$)

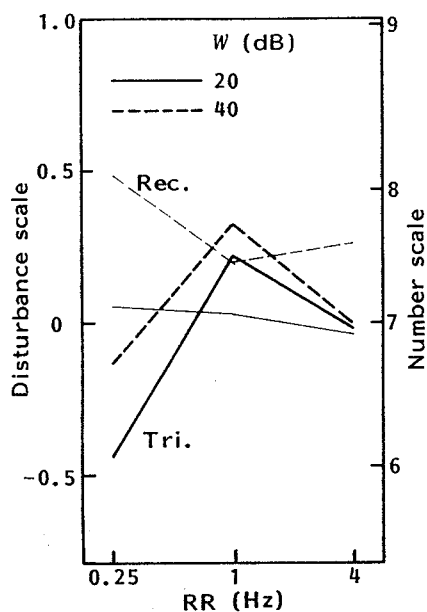


(a) 妨害感

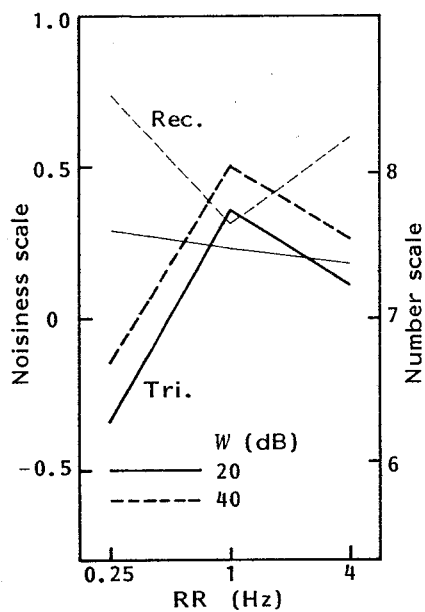


(b) やかましさ

図-3.14 尺度値と変動幅 W の関係 (計算, $L_{eq} = 70\text{dB}$)

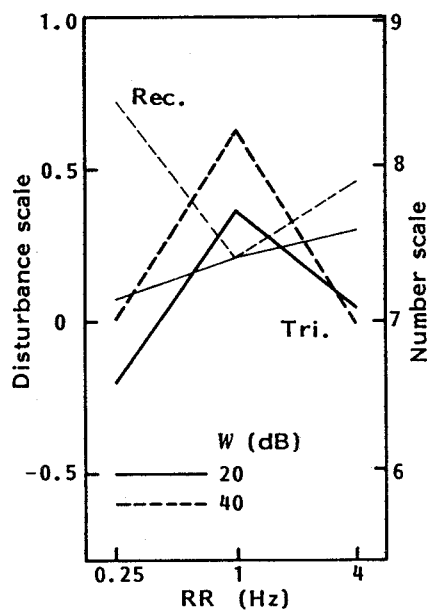


(a) 妨害感

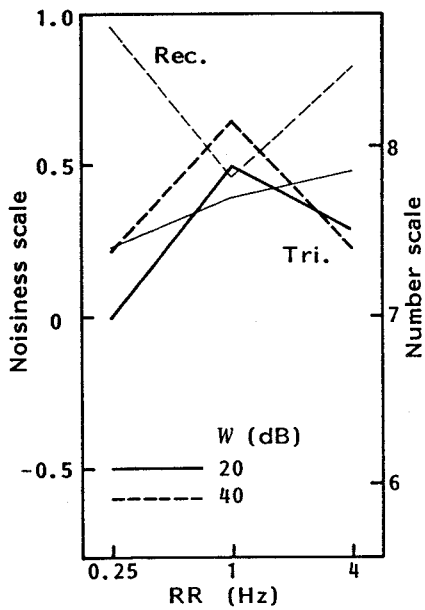


(b) やかましき

図-3.15 尺度値と繰り返し率RRの関係 (計算, $L_{eq} = 60\text{dB}$)

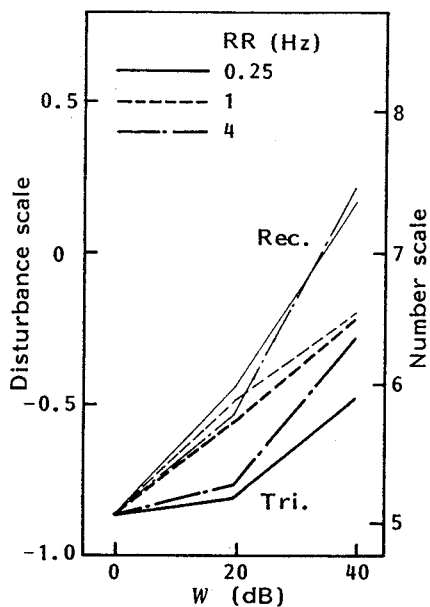


(a) 妨害感

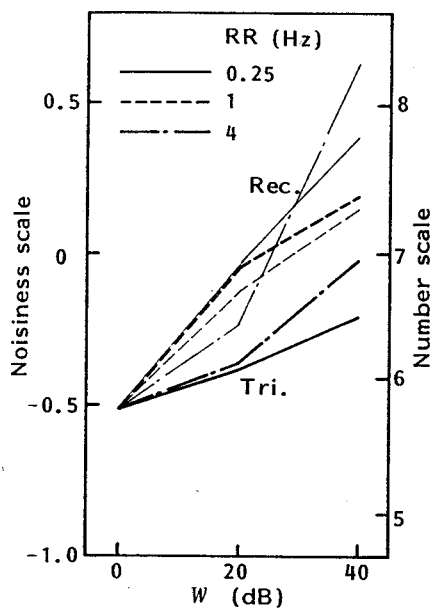


(b) やかましき

図-3.16 尺度値と繰り返し率RRの関係 (計算, $L_{eq} = 70\text{dB}$)

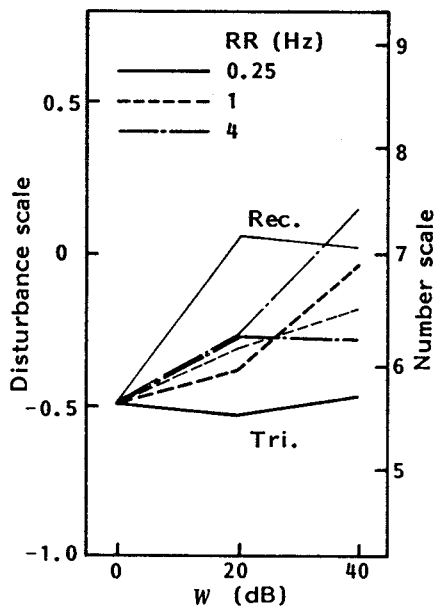


(a) 妨害感

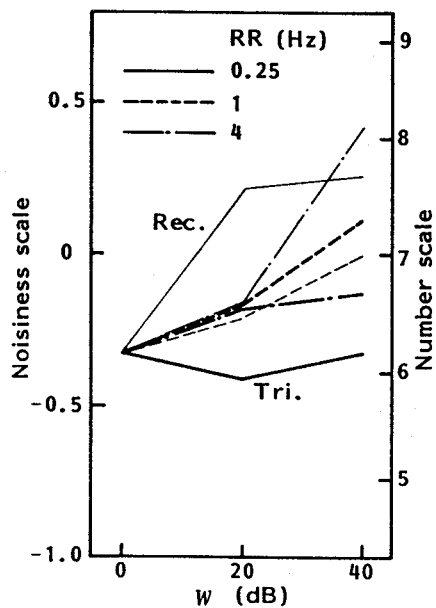


(b) やかましさ

図-3.17 尺度値と変動幅 W の関係 (読書, $L_{eq} = 60\text{dB}$)

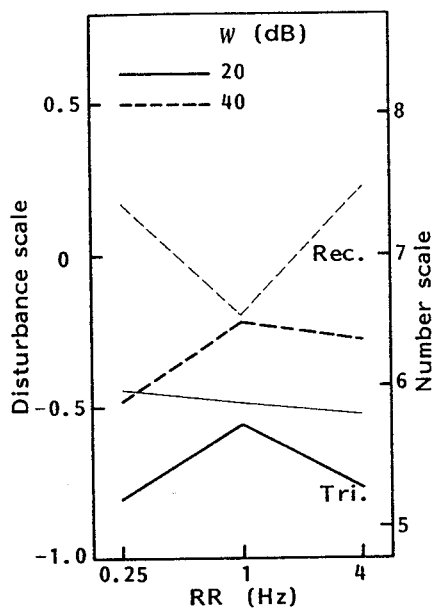


(a) 妨害感

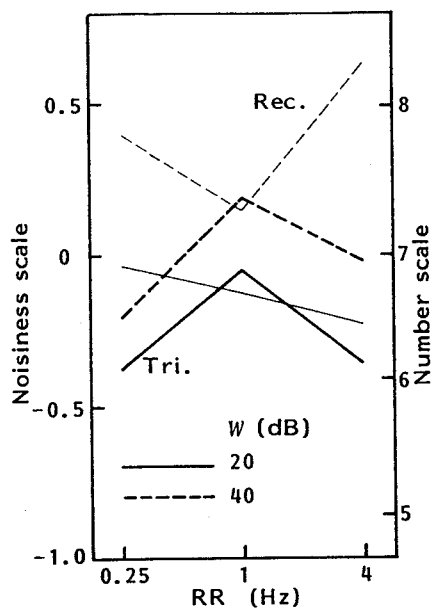


(b) やかましさ

図-3.18 尺度値と変動幅 W の関係 (読書, $L_{eq} = 70\text{dB}$)

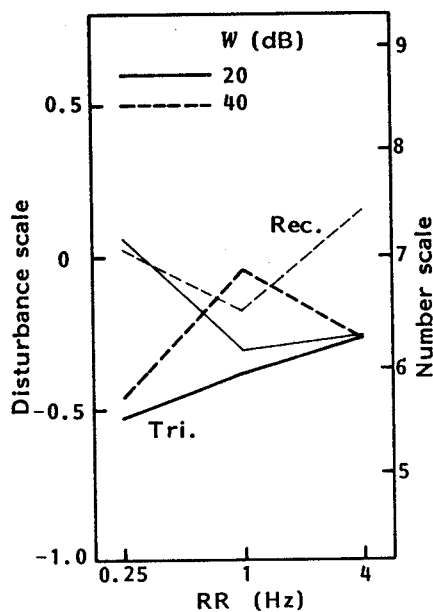


(a) 妨害感

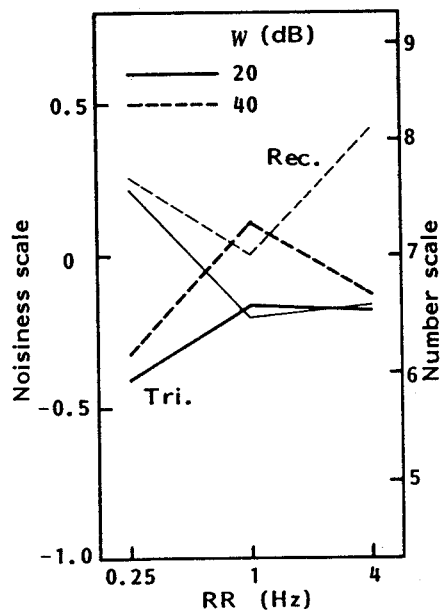


(b) やかましさ

図-3.19 尺度値と繰り返し率RRの関係 (読書, $L_{eq} = 60\text{dB}$)



(a) 妨害感



(b) やかましさ

図-3.20 尺度値と繰り返し率RRの関係 (読書, $L_{eq} = 70\text{dB}$)

の場合のように、繰り返し率の増加と共に妨害感の尺度値が増大傾向を示しているものもあるが、他の場合はすべて繰り返し率1Hzで大きくなり、矩形状騒音では繰り返し率1Hzで小さくなっているか、または繰り返し率の増加と共に減少している。

3-3-2 作業能率

作業能率としての単音節明瞭度(%)、文章了解度(%)、計算個数について、それぞれの平均値、標準偏差、変動係数を表-3.4に示す。

表-3.4 作業能率としての単音節明瞭度、文章了解度、計算個数

Noise			Articulation (%)			Intelligibility (%)			Calculation		
Leq	W	RR	Mean	S.D.	C.V.	Mean	S.D.	C.V.	Mean	S.D.	C.V.
60	20	0.25	78.2	4.02	0.0514	98.8	2.10	0.0213	190	34.9	0.184
		1	76.4	4.54	0.0594	98.1	2.87	0.0293	186	37.4	0.201
		4	79.2	5.52	0.0697	99.2	2.17	0.0219	192	37.7	0.196
	40	0.25	85.4	4.03	0.0472	98.4	2.22	0.0226	184	39.3	0.214
		1	81.1	2.93	0.0361	98.7	2.80	0.0284	192	40.0	0.208
		4	85.4	3.42	0.0400	98.7	2.15	0.0218	185	38.3	0.207
	60	0.25	82.0	2.73	0.0333	98.7	2.60	0.0263	185	36.4	0.197
		1	83.5	2.80	0.0335	98.9	1.77	0.0179	188	38.0	0.202
		4	80.9	5.76	0.0712	99.1	1.98	0.0200	187	34.6	0.185
	Rec.	0.25	81.9	3.60	0.0440	98.0	2.68	0.0273	190	40.2	0.212
		1	82.2	3.56	0.0433	98.5	2.83	0.0287	191	38.4	0.201
		4	83.5	3.96	0.0474	98.9	2.29	0.0232	190	39.9	0.21
	Steady		77.1	4.98	0.0646	99.1	1.98	0.0200	191	39.7	0.208
70	20	0.25	54.8	4.35	0.0794	68.6	12.32	0.180	180	43.1	0.239
		1	52.7	3.79	0.0719	83.4	9.91	0.119	180	39.7	0.221
		4	52.1	5.92	0.114	89.4	8.41	0.0941	175	46.2	0.264
	40	0.25	67.1	3.90	0.0581	82.3	8.61	0.105	179	41.0	0.229
		1	67.2	4.35	0.0647	89.4	6.95	0.0777	175	44.0	0.251
		4	69.9	4.55	0.0651	96.9	3.90	0.0402	175	40.8	0.233
	60	0.25	64.5	5.11	0.0792	71.2	10.72	0.151	175	43.8	0.250
		1	65.7	4.38	0.0667	85.4	9.51	0.111	182	46.4	0.255
		4	68.3	4.57	0.0669	95.1	3.90	0.0410	176	42.3	0.240
	Rec.	0.25	67.5	3.67	0.0544	76.1	13.23	0.174	176	46.6	0.265
		1	69.4	3.97	0.0572	87.4	8.51	0.0974	178	41.4	0.233
		4	76.2	3.58	0.0470	96.0	4.43	0.0461	177	42.1	0.238
	Steady		43.0	5.32	0.124	72.4	17.46	0.241	181	42.6	0.235

S.D.: Standard Deviation

C.V.: Coefficient of Variation

Tri.: Triangular Noise

Rec.: Rectangular Noise

単音節明瞭度の標準偏差は騒音レベル L_{eq} 60、70dBの両場合共に3～6%の範囲にあるが、変動係数は L_{eq} 60dBの場合に比べて L_{eq} 70dBの場合に大きく、その状況は単音節明瞭度が小さいほど著しい。

文章了解度の平均値は L_{eq} 60dBのときは騒音のレベルの変動特性による差は小さく、すべて98%以上と高く、ほとんど聞き取られている。標準偏差は2前後、変動係数も小さくほぼ0.02程度である。しかし、 L_{eq} 70dBの場合は平均値は68.6～96.9%と低下して、レベル変動特性による開きが大きく、標準偏差、変動係数共に文章了解度が低いほど大きくなる傾向が見られる。

計算個数は騒音レベルが L_{eq} 60dBの場合は190前後であるのに対して、 L_{eq} 70dBでは180前後に減少して約10個程度の開きがある。標準偏差は L_{eq} 60dBの場合は35～40、 L_{eq} 70dBの場合は40～47の範囲、変動係数で見れば L_{eq} 60dBで0.18～0.21、 L_{eq} 70dBで0.22～0.27の範囲にあり、 L_{eq} 70dBの場合のばらつきがやや大きい。

3-3-3 分散分析

各尺度値や作業能率の有意差検定をするために、変動幅 (W) × 変動形状 (F) × 繰返し率 (R) × 被験者 (S) の4元配置の分散分析を行なった^{24, 25)}。分析に使用したデータは、妨害感 (D) とやかましき (N) には距離尺度値を使用し、作業能率 (P) には表-3.4の単音節明瞭度、文章了解度および計算個数を用いている。なお、読書には作業能率に相当するものはない。定常音のデータには繰返し率の要因が含まれていないので、計算からは除いてある。結果を表-3.5に示す。

(1) 妨害感とやかましきの尺度値の有意差検定

単音節明瞭度試験や文章了解度試験の聴覚的作業では、各条件ごとに有意差が生じる要因に共通した特徴が見られない(表-3.5(a)、(b)、(c)、(d))。一方、計算や読書の非聴覚的作業の場合には変動幅 (W) と変動形状 (F) の主効果はほとんど $p < 0.01$ で有意であるが、繰返し率 (R) の主効果は L_{eq} 60dBの場合の計算作業の場合を除いて、有意とは言えない。また、計算や読書時には変動形状 (F) と繰返し率 (R) の交互作用は $p < 0.01$ で有意であり、

表-3.5 分散分析の結果

(a) 単音節明瞭度試験 ($L_{eq} = 60\text{dB}$)

	F-ratio		
	D	N	P
W	2.13	10.21**	94.23**
F	0.73	3.92	23.45**
R	5.06**	1.03	5.20**
WXF	0.31	5.72*	91.91**
WXR	0.34	3.62*	3.92*
FXR	7.98**	8.78**	13.92**
WFXRX	1.39	1.14	2.50

(b) 単音節明瞭度試験 ($L_{eq} = 70\text{dB}$)

	F-ratio		
	D	N	P
W	1.39	0.26	423.44**
F	8.50**	3.32	468.40**
R	10.22**	5.14**	25.10**
WXF	6.69*	2.08	188.56**
WXR	1.47	1.02	15.02**
FXR	1.65	4.28*	15.06**
WFXRX	2.17	3.55*	0.30

(c) 文章了解度試験 ($L_{eq} = 60\text{dB}$)

	F-ratio		
	D	N	P
W	6.25*	3.63	1.27
F	14.40**	22.93**	0.06
R	13.52**	0.14	1.50
WXF	15.22**	14.78**	0.45
WXR	0.45	3.01	0.65
FXR	3.93*	7.74**	0.51
WFXRX	3.20*	3.35*	0.59

(d) 文章了解度試験 ($L_{eq} = 70\text{dB}$)

	F-ratio		
	D	N	P
W	10.24**	6.23*	32.17**
F	1.65	3.67	0.07
R	64.39**	19.49**	156.59**
WXF	13.91**	10.98**	11.57**
WXR	0.38	1.10	4.15*
FXR	3.27*	3.79*	1.47
WFXRX	3.26*	1.59	0.94

(e) 計算 ($L_{eq} = 60\text{dB}$)

	F-ratio		
	D	N	P
W	9.36**	12.28**	0.18
F	8.64**	19.12**	0.22
R	3.62*	3.85*	0.93
WXF	1.38	1.12	11.09**
WXR	1.48	1.13	4.13*
FXR	15.13**	27.83**	0.03
WFXRX	0.30	0.92	5.31**

(f) 計算 ($L_{eq} = 70\text{dB}$)

	F-ratio		
	D	N	P
W	11.35**	10.80**	0.96
F	7.46**	12.03**	0.01
R	2.76	1.43	3.35*
WXF	1.27	4.84*	0.32
WXR	3.25*	3.33*	2.07
FXR	14.28**	13.23**	3.38*
WFXRX	2.69	1.95	0.10

(g) 読書 ($L_{eq} = 60\text{dB}$)

	F-ratio		
	D	N	P
W	65.72**	67.74**	-
F	32.35**	23.06**	-
R	0.25	0.74	-
WXF	2.79	4.65*	-
WXR	2.20	3.23*	-
FXR	8.37**	9.54**	-
WFXRX	1.07	2.09	-

(h) 読書 ($L_{eq} = 70\text{dB}$)

	F-ratio		
	D	N	P
W	9.66**	27.19**	-
F	23.98**	23.30**	-
R	0.91	0.55	-
WXF	0.30	2.77	-
WXR	3.62*	4.84*	-
FXR	16.21**	23.98**	-
WFXRX	5.18**	5.64**	-

* : $p < 0.05$

** : $p < 0.01$

D : Disturbance N : Noisiness P : Performance

繰り返し率による差が変動形状によって異なることを示しており、図-3.15、16、19、20の変化傾向と矛盾しない(表-3.5(e)、(f)、(g)、(h))。

(2) 作業能率の有意差検定

L_{eq} 60、70dBの騒音を暴露した単音節明瞭度試験と L_{eq} 70dBの騒音の場合の文章了解度試験ではレベル変動特性によって作業能率に有意差が見られるが、 L_{eq} 60dBでの文章了解度試験では有意差は見られない。 L_{eq} 60dBの騒音を暴露した計算作業ではレベル変動特性の交互作用に $p < 0.01$ で有意差が認められるものがあるが、 L_{eq} 70dBの下では $p < 0.01$ では有意差は認められない。これらのことから、 L_{eq} 60dBの騒音の下での文章了解度試験や L_{eq} 60、70dBの騒音の下での計算、読書は、統計的には変動幅や繰り返し率によって作業能率に高度に有意な変化を受けない作業であると考えることができ、その他の場合には作業能率に有意な影響を受ける作業であると考えることができる。

3-4 考察

3-4-1 作業能率への騒音の影響

L_{eq} 70dBの騒音を暴露した聴覚的作業の場合と非聴覚的作業の場合とでは、各尺度値とレベル変動特性との関係に明らかに相違が見られる。 L_{eq} 70dBの騒音の下での聴覚的作業の場合には各尺度値は変動幅の増加につれて、ほぼ小さくなるとみなすことができるが、 L_{eq} 60dBでの聴覚的作業と非聴覚的作業の場合にはむしろ大きくなる傾向を示している。また、各尺度値と繰り返し率の関係でも、 L_{eq} 70dBの騒音の下での聴覚的作業の場合は各尺度値は全体的に繰り返し率と共に小さくなる傾向にあるが、 L_{eq} 60dBでの非聴覚的作業の場合には明らかに様相が異なっている。

Ebata他⁹⁾は放送聴取時のアノイアンス評価実験を行ない、種々の騒音のアノイアンスは L_{eq} で十分評価できるが、詳細に見れば、等 L_{eq} であっても定常騒音が最もうるさく、次いで断続騒音がうるさく、衝撃騒音は最もうるさくないとした。また、Ebata他は断続騒音によるうるささへの継続時間の影響を検討し、継続時間が長い程うるさいことを示した。これらのことは本研究の聴覚的作業、特に文章了解度試験時の妨害感およびやかましさが、繰り返し率が増

すにつれて減少していることと一致している。本研究で用いた個々の矩形状騒音のon-timeの継続時間（矩形状騒音のピークレベルの継続時間）は3段階に設定したが、提示時間全体に占める矩形状騒音のon-timeの継続時間は一定である。したがって、矩形状騒音の継続時間のon-timeの合計および個々の矩形状騒音のon-timeの継続時間が大きいほど、情報伝達を損失させる量が増すために、アノイアンスが増大していると考えらるべきであろう。Åhrlin他¹⁰⁾はスカンジナビアでの社会調査に基づいて、列車騒音や航空機騒音は道路交通騒音より会話妨害の程度が大きいことを報告しており、現実環境でも上述のことが当てはまることを示している。

作業を課した状態での騒音によるアノイアンスは騒音による作業能率の低下と関連があると考えられるために、各尺度値と、作業能率としての単音節明瞭度、文章了解度、および計算個数との相関を求めたものが表-3.6である。相関係数はすべての条件で騒音レベルが L_{eq} 60dBの場合より L_{eq} 70dBの場合の方が高く、やかましさをの尺度値より妨害感の尺度値の方が高い。文章了解度は単音節明瞭度より相関が高く、 L_{eq} 70dBの場合の妨害感の尺度値では相関係数は-0.936となっている。

L_{eq} 70dBの騒音の下での聴覚的作業のように、作業能率が大きく影響を受ける騒音環境では、妨害感とやかましさの変化傾向は他の作業の場合と異なると考えることができる。

表-3.6 尺度値と作業能率の相関係数

作業の種類	L_{eq} (dB)	尺度	相関係数
単音節明瞭度試験	60	妨害感	0.0441
		やかましさ	0.062
	70	妨害感	-0.723
		やかましさ	-0.225
文章了解度試験	60	妨害感	-0.596
		やかましさ	-0.348
	70	妨害感	-0.936
		やかましさ	-0.852
計算	60	妨害感	0.0402
		やかましさ	0.110
	70	妨害感	-0.385
		やかましさ	-0.369

3-4-2 レベル変動特性の影響

L_{eq} 70dBの騒音を暴露した聴覚的作業の場合には、各尺度値は作業能率との間に高い相関を示すが、その他の場合には、各尺度値とレベル変動特性との間の関係に共通の傾向が見られる。

まず、変動幅の影響に関しては、変動幅が大きくなると、程度の差はあるが、その騒音の L_{eq} が一定であっても、各尺度値は増大するとみなすことができる。このことは、Labiale⁸⁾の道路交通騒音を対象とした研究で、変動幅が12dB(A)以下と16dB(A)以上では後者の方がアノイアンスへの影響が大きいという結果が得られていることから支持される。図-3.21は前章¹⁾の聴感実験の結果の概略である。PSE (Point of Subjective Equality) は変動幅が大きいほど大きく、上述した傾向と同じ傾向を示している。また、非聴覚的作業への騒音のレベル変動特性の影響は、騒音の L_{eq} が70dBよりも60dBで顕著であり、騒音のレベルによって同じレベル変動パターンであっても、レベル変動特性の影響の程度が異なることを示唆している。

各尺度値と繰り返し率の関係については、三角状騒音の場合には繰り返し率1Hzで各尺度値はほとんどの場合に大きくなっているが、矩形状騒音では逆に小さくなっている。このことは、非聴覚的作業の繰り返し率による主効果に有

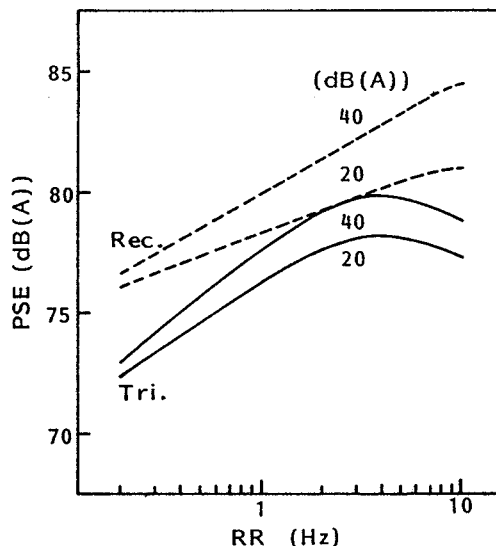


図-3.21 前章の恒常法実験でのPSEと繰り返し率の関係

意差が見られないから、確定した傾向であるということとはできない。しかし、繰り返し率と変動形状の交互作用には有意差が認められるから、繰り返し率による変化傾向が変動形状によって有意に異なることを示している。また、このような尺度値と繰り返し率の関係は、作業条件や被験者グループがそれぞれ異なっているにもかかわらず、共通の傾向を示しているから、普遍的な性質を有しているものと考えることができる。

前述した研究^{3~8)}では騒音の提示時間はかなり長く、繰り返し率の範囲は本研究より小さい。したがって、繰り返し率の影響を、前述した実験室実験の結果と直接比較することは困難である。ここでは他の研究の結果の概要を示して、繰り返し率の影響に関する現状を述べる。Labiale⁸⁾はトラック通過台数3~30台/30分の範囲で通過台数の増加と共にアノイアンスが増加することを報告しており、その傾向を外挿して考えれば、道路交通騒音に変動形状が似ている三角状騒音の場合には、この実験の繰り返し率の範囲に反応のピークが存在していることを示唆しているかもしれない。しかし、Rylander他⁵⁾は45分間に1~70台のトラック通過台数の効果について、Labialeとは異なった結果を報告している。すなわち、等 L_{eq} (60dB(A)) の状態で、45分間に1台から3~4台まで通過台数が増すと、アノイアンスは増大して、20台/45分ぐらいまで一定であるが、その後アノイアンスは減少することを示した。Rice⁹⁾は航空機騒音の飛行回数の効果について、航空機騒音の平均ピークレベルが85dB(A)では、飛行回数が4~64回/時間の範囲で飛行回数の増加と共にアノイアンスが増加することを示した。また、その他の研究でも繰り返し率の影響に関しては、結果の傾向は一致していない。

第1章 1-3-2や前章で示した短時間の聴感実験では、繰り返し率の影響は明瞭に現われ、実験毎の一貫性もかなり見られた。しかし、以上述べた研究や本研究のような比較的長時間の騒音暴露実験では、繰り返し率の影響が存在することを示しているが、結果は実験毎に異なっており、一定の傾向を読み取ることはできない。

騒音の継続時間は異なるが、同じ音を使った前章の実験結果(図-3.21)と今回の実験結果との繰り返し率の影響を比較すると、図-3.21からPSEは繰り返し率が0.25~4Hzの範囲では単調に増加しているが、今回の結果では特に矩

形状騒音の場合に図-3.21と一致した傾向にない。この原因として、今回の実験範囲では繰り返し率は騒音のテンポを形成する要因であり、そのテンポと騒音の立ち上がり特性が被験者の作業への集中度や作業リズムに不調和を起こす程度によって、被験者の評価が影響されるのであらうと考えている。しかし、繰り返し率の効果について現段階で結論を導くことはできない。

3-5 まとめ

4種類の作業のもとで、 L_{eq} が一定の規則的非定常騒音のレベル変動特性の妨害感とやかましさへの影響を検討した結果は次のように要約できる。

- 1) 作業を課して、騒音の妨害感や、やかましさの評価を求める実験では、作業の種類によって妨害感や、やかましさとレベル変動特性との関係は異なる。
- 2) 文章了解度試験を課して、 L_{eq} 70dB(A)の騒音を暴露した実験のように、その作業能率が騒音のレベル変動特性によって有意に影響された実験条件では、騒音の変動幅や繰り返し率が増すと、騒音による情報伝達の損失量が減少するために、妨害感や、やかましさは減少する傾向にある。このような条件では、これらの尺度値は作業能率との相関が高い。
- 3) 計算や読書を課して騒音を暴露した実験のように、その作業能率が騒音のレベル変動特性によって有意に影響されなかった実験条件では、騒音の L_{eq} が一定であっても、変動幅が大きくなると、妨害感とやかましさは増加する。この傾向は前章の聴感実験の結果とも一致している。また、繰り返し率の影響に関しては、三角状騒音では妨害感とやかましさは1Hzで大きくなり、矩形状騒音では1Hzで小さくなる傾向にある。
- 4) 前章の短時間の聴感実験では、やかましさはある繰り返し率で最大値に達するという、ほぼ一定の傾向が見られたが、作業を課してやかましさや妨害感の評価させる比較的長時間の騒音暴露実験では、前述のような一貫性のある傾向は見られない。この原因として、繰り返し率が騒音のテンポを形成する要因であり、これが被験者の作業への集中度や作業リズムと複雑に影響しあっているためと考えられる。

参考文献

- 1) Langdon, F. J. : Noise Nuisance Caused by Road Traffic in Residential Areas: Part I, J. Sound Vib., 47(2), pp. 243-263, 1976
- 2) Langdon, F. J. : Noise Nuisance Caused by Road Traffic in Residential Areas: Part II, J. Sound Vib., 47(2), pp. 265-282, 1976
- 3) Rice, C. G. : Investigation of the Trade-off Effects of Aircraft Noise and Number, J. Sound Vib., 52(3), pp. 325-344, 1977
- 4) Rice, C. G. : Development of Cumulative Noise Measure for the Prediction of General Annoyance in an Average Population, J. Sound Vib., 52(3), pp. 345-364, 1977
- 5) Rylander, R., Sjöstedt, E. and Björkman, M. : Laboratory Studies on Traffic Noise Annoyance, J. Sound Vib., 52(3), pp. 415-421, 1977
- 6) Öhrström, E., Björkman, M. and Rylander, R. : Laboratory Annoyance and Different Traffic Noise Sources, J. Sound Vib., 70(3), pp. 333-341, 1979
- 7) Rasmussen, K. B. : Annoyance from Simulated Road Traffic Noise, J. Sound Vib., 65(2), pp. 203-214, 1979
- 8) Labiale, G. : Laboratory Study of the Influence of Noise Level and Vehicle Number on Annoyance, J. Sound Vib., 90(3), pp. 361-371, 1983
- 9) Ebata, M., Tomihisa, A., Usagawa, T. and Okda, J. : Noise Evaluation in Broadcast Listening, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 7(2), pp. 83-87, 1986
- 10) Åhrlin, U. and Rylander, R. : Annoyance Caused by Different Environmental Noises, J. Sound Vib., 66(3), pp. 459-462, 1979
- 11) 矢野 隆, 小林朝人 : 規則的非定常騒音の反復回数および変動幅がやかましさに及ぼす影響 (非定常騒音の評価に関する研究 I), 日本建築学会論文報告, 第334号, pp. 70-79, 1983
- 12) 矢野 隆 : 音声聴取時における非定常騒音の評価, 第二回日韓音響学術発表会論文集, pp. 65-71, 1983
- 13) 矢野 隆, 小林朝人 : 作業環境下における非定常騒音のやかましさ評価 (単音節明瞭度試験の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集,

pp.197-198, 1982

- 14) 矢野 隆, 小林朝人: 計算および読書時の非定常騒音の評価に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.119-120, 1984
- 15) Broadbent, D.E.: Effect of Noise on an "Intellectual" Task, J. Acoust. Soc. Am., 30, pp.824-827, 1958
- 16) Hockey, G.R.: Effects of Noise on Human Efficiency and Some Individual Differences, J. Sound Vib., 20(3), pp.299-304, 1972
- 17) 吉田拓正: 暗騒音の異なる間欠騒音が選択反応時間に及ぼす影響(性格による影響の相違について), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.13-14, 1983
- 18) 伊藤隆二, 松原達哉: 心理テスト法入門, 日本文化科学社, pp.78-79, 1981
- 19) 深代惇郎: 続・天声人語, 朝日新聞社
- 20) 日本音響学会関西支部編: Loudness, noisiness, annoyanceを廻って, 日本音響学会騒音・聴覚合同研究会資料, (1980)
- 21) Berglund, B., Berglund, U. and Lindvall, T.: Scaling Loudness, Noisiness, and Annoyance of Aircraft Noise, J. Acoust. Soc. Am., 57(4), pp.930-934, 1975
- 22) Berglund, B., Berglund, U. and Lindvall, T.: Scaling Loudness, Noisiness, and Annoyance of Community Noises, J. Acoust. Soc. Am., 60(5), pp.1119-1125, 1976
- 23) J.P. ギルホード, 秋重義治監訳: 精神測定法, 培風館, pp.293-298, 1959
- 24) 岩原信九郎: 教育と心理のための推計学, 日本文化科学社, pp.288-312, 1979
- 25) Little, J.W. and Mabry, J.E.: Sound Duration and its Effect on Judged Annoyance, J. Sound Vib., 9(2), pp.247-262, 1969

第4章 種々の騒音による読書妨害

4-1 目的と背景

騒音評価に際して、 L_{eq} が優れた基本評価指標であることが認められ、ISO やJIS、その他多くの国々の騒音評価指標に採用されている。しかし、第1章 1-3-4で見たように、 L_{eq} は単一の音源による騒音の評価には適しているが、異なる音源による騒音の評価の比較や複合騒音の評価に対しては、その適用の妥当性が疑問視され、多数の調査や実験によって、このことが立証されてきた。

この研究の目的はISO 2204やJIS Z8731で分類されている代表的な騒音を用いて、前章と同様の手法によって、非定常騒音のレベル変動特性がアノイアンスに及ぼす影響を検討することである。そして実験で得られた結果を考慮して、Flindell¹⁾の音圧 L_{eq} の概念を拡張し、実験結果に当てはめてみて、その適切さを検討する。なお、実験騒音の一部に複合騒音が含まれているが、本研究は異なる音源による騒音のアノイアンスの比較を主眼としている。

この章の研究は2シリーズの実験で構成されている。1つは現場で録音した現実騒音による読書妨害の評価実験であり、もう1つは現実騒音とほぼ同じレベル変動特性を有するように、人工的に作製したピンクノイズの実験音を使った読書妨害の評価実験である。現実騒音は騒音源によって周波数特性や騒音の有する意味などがそれぞれ異なっているのに対して、ピンクノイズの実験音では周波数特性や騒音の有する意味は共にほぼ一定であると考えられる。現実騒音と現実騒音を模擬したピンクノイズによる読書時の妨害感を比較することによって、現実音とピンクノイズの実験音に共通の特性であるレベル変動特性の影響を考察すると共に、レベル変動特性以外の要因の影響についても若干の検討を加えることができる。

4-2 実験

4-2-1 実験音

実験音はレベル変動特性に特徴のある現実騒音14例と、これらの各騒音とほぼ等しいレベル変動をするピンクノイズの合計28例で、他に練習用として道路交通騒音1例と、同じくこれとほぼ等しいレベル変動をするピンクノイズを用

いた。現実騒音の一覧とそれらの時間率騒音レベルとレベル変動の標準偏差を表-4.1に示す。表-4.1の騒音は分離衝撃騒音2例(No1、2)、準定常衝撃騒音2例(No3、4)、変動騒音3例(No5~7)、間欠騒音3例(No8~10)、変動騒音と間欠騒音を合成したもの2例(No11、12)、定常騒音1例(No14)、その他1例(No13)に分類することができる。No5の道路交通騒音には騒音レベルが高いバイク通過音が2ヶ所含まれている。実験音の被験者への提示レベルは L_{eq} で70dB(A)、提示時間は6分間とした。実験音のレベル記録を付図-4.1~4.14に示す。

現実騒音の実験用テープは、現場で PCM (Pulse Code Modulation) 録音したものをマスターテープとし、これらの騒音の6分間の L_{eq} が等しくなるようにアッテネータでレベル調節して、カセットテープにダビングして作製した。表-4.1のNo1~7、No13~14は録音したものをそのまま用いたが、No8の列車騒音とNo9の新幹線騒音は線路沿いで録音したそれぞれ8個と11個の事象を継ぎ、No10の航空機騒音は空港周辺で録音した8個の事象を継いで作製した。No11の航空機騒音と道路交通騒音の複合騒音、およびNo12の列車騒音と道路交通騒音の複合騒音は、練習用に用いた道路交通騒音を単独の場合より5dB減少させて、航空機騒音や列車騒音と合成して作製した。

ピンクノイズの実験音は以下の手順で作製した。まず、現実騒音の信号をログアンプ(時定数0.1s、fast相当)に通し、デジタルメモリー(岩通 DM-7100)によって0.05秒間隔でAD変換してレベル値を求めた。次に、図-4.1に示すように構成した装置によって、前もって読み取ったレベル値を基に相対的な減衰量を求め、マイクロコンピュータの制御によって、適切な時間間隔でプログラマブルアッテネータ(多摩川電子 TPA-303)を作動させて、現実騒音と同じレベル変動を有するピンクノイズの実験音を作製した。

実験音を提示する際、現実騒音の場合には約35dB(A)の空調機騒音を暗騒音とし、ピンクノイズの場合には約35dB(A)のピンクノイズの定常音を暗騒音として常時流した。スピーカ再生音は図-4.2の機器の構成によっており、 L_{eq} 値はすべての騒音および被験者座席位置で 70 ± 1 dB(A) の範囲に入っており、ほぼ期待した値が得られた。

L_{eq} の測定には積分騒音計(リオンNL-10)を使用し、騒音計の動特性はfastとした。定常騒音や変動騒音、間欠騒音は一般にfastで測定することが多く、

表-4.1 現実騒音の時間率騒音レベルとレベル変動の標準偏差 (dB(A))

騒音源	L_{max}	L_5	L_{50}	L_{95}	σ
1 杭打ち	81.6	78.5	57.5	46.9	10.9
2 金鎚	80.9	76.9	64.8	49.9	8.9
3 ドットプリンタ	76.6	75.0	68.0	52.9	8.3
4 タイプライタ	74.7	72.7	70.5	60.5	3.7
5 道路交通 (モーターバイク)	84.5	75.1	68.8	60.2	4.5
6 道路交通 (幹線道路)	77.7	74.6	69.1	63.2	3.4
7 道路交通 (高速道路)	84.2	76.0	67.0	58.1	5.7
8 列車 (鹿児島本線)	83.0	77.7	60.7	40.7	12.5
9 山陽新幹線	77.9	76.9	53.0	39.8	15.1
10 航空機	83.8	79.1	53.4	40.5	12.4
11 航空機 + 道路交通	82.3	76.9	66.3	57.2	6.0
12 列車 + 道路交通	80.2	75.6	67.0	58.0	5.7
13 子供	79.8	74.5	69.2	65.5	2.9
14 掃除機	72.7	71.7	70.3	69.3	0.7

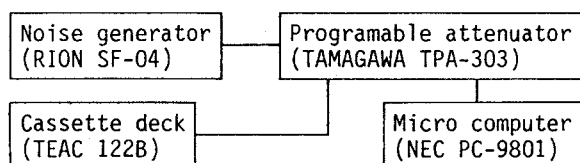


図-4.1 現実騒音と同様のレベル変動をする
ピンクノイズを作製するための装置の構成

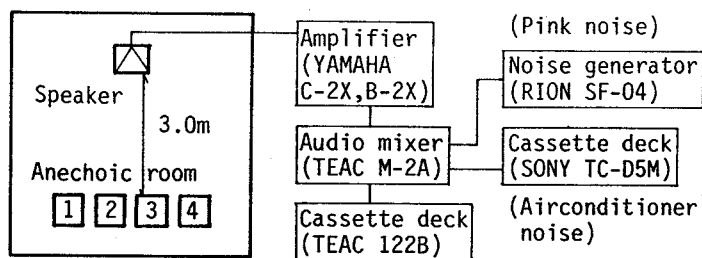


図-4.2 実験装置の構成

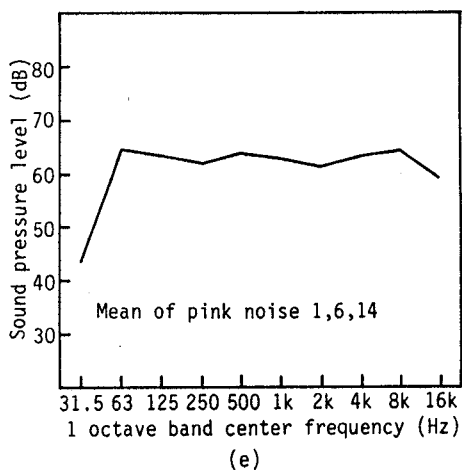
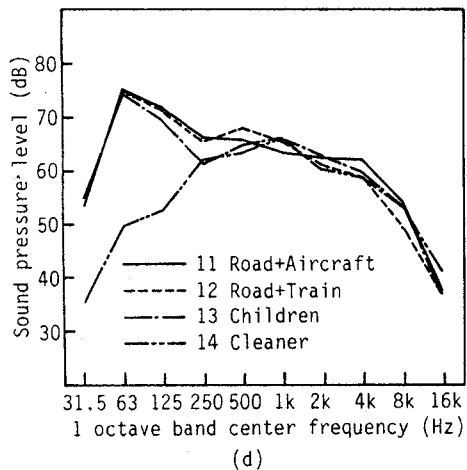
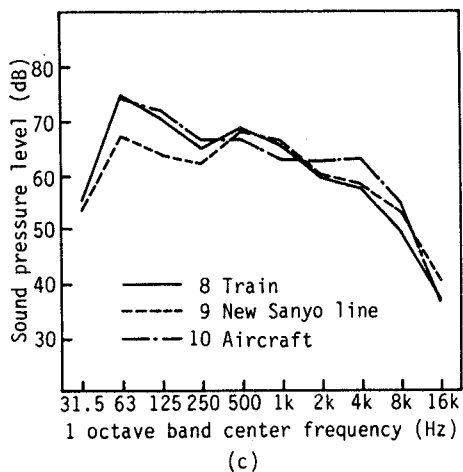
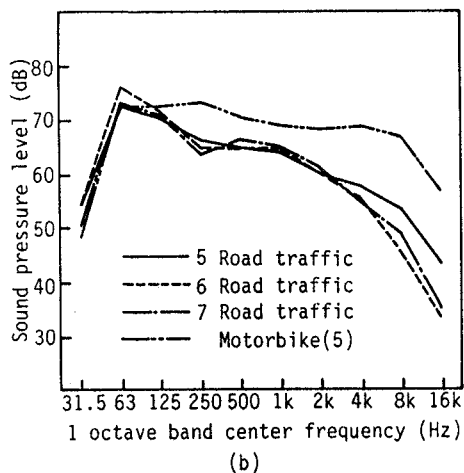
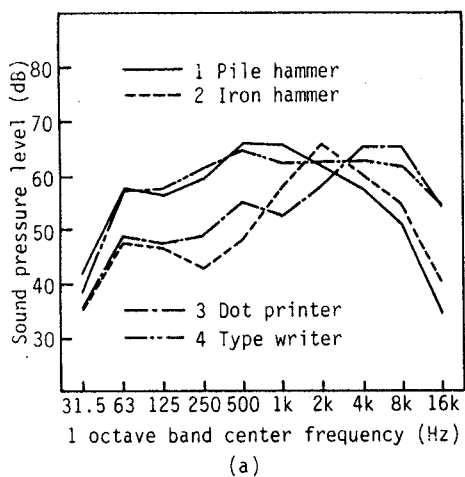


図-4.3
実験音の1オクターブバンド分析結果
(6分間のエネルギー平均レベル)

測定値と心理量との対応もよいことが多数の研究で報告されている。一方、衝撃騒音の場合にはJIS Z8731ではfastで測定することと規定されているが、評価方法だけでなく測定方法も国際的に広く認められたものは確立されていない。しかし、衝撃騒音にfastを適用することを支持する研究も報告されている。例えば、Kumagai他²⁾は5msと125msの時定数のときの音圧レベルの読みが持続時間の短い衝撃音のラウドネスをよく表わしていることを示しており、Sörensen他³⁾は射撃場の騒音に関してdB(A) fastによる測定値の場合にアノイアンスと暴露の相関が最もよいことを示している。

実験音のオクターブバンド分析結果を図-4.3に示す。実験音のうち現実騒音の周波数特性は大きく3つに分類し得る。1つは交通騒音全般を代表するもので、63Hz付近の低周波が優勢なものである。ただし、バイクの通過音だけの特性は高周波成分が多い(図-4.3(b))。2つ目は中周波成分が優勢な杭打ち、タイプライタ、掃除機騒音で、もう1つは2~4kHzの高周波帯域が卓越している金鋸騒音やプリンタ騒音である。

4-2-2 被験者

聴覚に異常がないと認められる18~26歳の男子学生18名と女子学生30名の合計48名である。被験者には心理音響実験のための特別な訓練や聴力検査は行わなかった。なお、被験者には拘束時間に応じた謝金を支払った。

4-2-3 受聴条件

前章では数種の作業を課した状態で騒音評価実験を行ない、聴覚的作業を課した実験ではアノイアンスと作業能率の低下(情報伝達が損失される量)との相関が高く、作業能率の低下が騒音評価に重要であることを示したが、一方、非聴覚的作業を課した実験では聴覚的作業を課した実験の結果とは、同じ騒音であってもアノイアンス反応の傾向が大きく異なることを示した。このことから騒音評価実験でどのような種類の作業が代表的で適切な作業であるかを定めることはできないが、非聴覚的作業として採用した計算と読書では、読書の方が被験者の疲労が小さいことが、実験後の被験者の申告によって示されており、また、一般にこの種の実験では模擬居間で読書をさせたり、くつろがせたりす

ることが多い。

以上のことを考慮して、本実験でも被験者には読書を課したが、多くの実験で使われているような自由読書は採用せず、こちらで選定した図書を、あらかじめ定められた順序で読書させた。これは、被験者の受聴状態をできるだけ均一にするため、および実験室が多くの研究で用いられている模擬居間ではなく無響室であるので、その特異な環境の影響をできるだけ除外するためである。実験に用いた図書は内容が専門的でなく、かつ難解でないと判断した一般的な読みものを30冊選んで用意した。

実験時間は6分間とした。これはできるだけ実験効率を上げるために行った読書時間に関する次のような予備実験に基づいている。すなわち、本実験とは別の13名の被験者に1～15分間の8段階の読書時間を与えて、① 短すぎて全く読んだ気がしない、② 短くて読み足りない、③ 少し読み足りないがまあ読んだ気がする、④ 読書時間として適当である、⑤ 読書時間としては長すぎて根気が続かない、という5段階の評価を行わせたところ、③～⑤の指摘率は読書時間の増大とともに増加し、6分ぐらいから50%を越え、12分ぐらいまではほぼ一定との結果が得られたからである。なお、この時間はこの種の実験で採用されている時間のうち、ほぼ最短時間に相当している⁴⁾⁷⁾。

騒音をどういう心理的屬性に基づいて評価させるかは重要な問題である。一般的にはアノイアンス、または、うるささという屬性が用いられている。この実験では被験者の判断をできるだけ容易にするために、うるささよりは意味が明確な妨害感を用いた。妨害感は一アノイアンスに含まれる主要な心理的屬性であり、この実験ではこれらはほぼ同義であると考えている。なお、Hall他⁸⁾はdisturbingをannoyedと同義で扱っており、長田⁹⁾はアノイアンスの訳に邪魔という言葉当てている。

4-2-4 実験計画と手続

実験音の提示は、被験者48名のうち半数の24名には現実騒音、ピンクノイズの順序で実験を行い、残りの24名には逆順序で実験を行った。実験は4名ずつのグループ毎に行い、現実騒音とピンクノイズの2シリーズの実験は被験者の都合に合わせて、当日続けて行ったグループ2組、翌日に分けて行ったグループ

が1組、1日置いて行ったグループが9組であった。現実騒音の実験では、最初に練習用の道路交通騒音を提示して実験の練習とし、その後ランダムな順序で14例の実験音を提示した。実験音を5回聞かせる毎に5分間の休憩を入れて、1シリーズの実験を終了するのに約2時間を要した。ピンクノイズの実験も同様の手順で行った。

妨害感の評価は図-4.4に示す7段階のカテゴリー尺度^{10, 11)}によるカテゴリー判断法によった。実験装置の構成を図-4.2に示す。被験者には実験前に教示を与えた。すなわち、実験室内の椅子に座り、前方のスピーカから音が流れてくると、あらかじめ与えられた図書を、リラックスして、普段のスピードで内容を理解しながら読むように指示した。つぎに、実験音が終了すると、図-4.4の尺度によって読書妨害の程度を評価するように指示した。

1	全くじゃまにならない
2	ほとんどじゃまにならない
3	少しじゃまになる
4	中程度にじゃまになる
5	かなりじゃまになる
6	非常にじゃまになる
7	とほうもなくじゃまになる

図-4.4 カテゴリー尺度

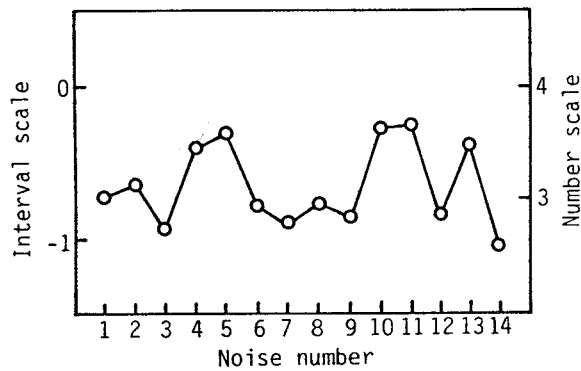
4-3 結果

カテゴリーの数値尺度をカテゴリー4を0とする距離尺度（間隔尺度）に変換した¹²⁾。表-4.2にその結果を示す。カテゴリーの距離尺度と数値尺度の相関係数は現実騒音を用いた実験では0.994、ピンクノイズを用いた実験では0.999であり、使用したカテゴリーの間隔はほぼ等間隔であることがわかる。カテゴリーの距離尺度と被験者の反応分布を基にして、各音に対する妨害感の距離尺度の平均値を求めた。その結果を図-4.5(a)、(b)に示す。カテゴリー5以上の指摘率なども求めたが、平均値と同様な傾向を示したため、以下の検討では平均値だけを用いる。

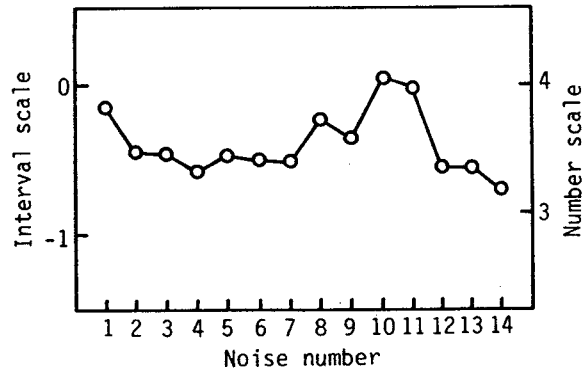
図-4.5に見られるように、現実騒音もピンクノイズも共に、各実験音の妨害感の距離尺度平均値の最大値と最小値の間にはほぼ1カテゴリーの差がある。

表-4.2 カテゴリーの距離尺度

カテゴリー尺度	距離尺度	
	現実騒音	ピンクノイズ
1	-2.82	-2.71
2	-1.70	-1.81
3	-0.73	-0.85
4	0	0
5	0.62	0.78
6	1.36	1.63
7	2.00	2.38



(a) 現実騒音



(b) ピンクノイズ

図-4.5 実験音の妨害感の距離尺度

1: 杭打ち, 2: 金鋸, 3: ドットプリンタ, 4: タイプライタ,
 5, 6, 7: 道路交通, 8: 列車, 9: 山陽新幹線, 10: 航空機,
 11: 航空機+道路交通, 12: 列車+道路交通, 13: 子供, 14: 掃除機

表-4.3 種々の騒音間の t 検定

1: 杭打ち, 2: 金鋸, 3: ドットプリンタ, 4: タイプライタ,
 5, 6, 7: 道路交通, 8: 列車, 9: 山陽新幹線, 10: 航空機,
 11: 航空機+道路交通, 12: 列車+道路交通, 13: 子供, 14: 掃除機

(a) 現実騒音

	Noise number													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Noise number					*						**			*
2											*			
3				** **						*	**		*	
4						*	*		*					**
5						*	**	*	*			**		**
6										*	**			
7										**	**		*	
8											**			*
9										*	**			
10												*		**
11												**		**
12														*
13														**
14														

(b) ピンクノイズ

	Noise number													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Noise number		*	*	**		*	*					**	*	**
2										*	*			
3										**	**			
4										**	**			
5										*	*			
6										**	**			
7										**	**			
8														
9										**	*			
10												**	*	**
11												**	**	**
12														
13														
14														

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

各実験音に対する被験者の反応の標準偏差は距離尺度で0.95程度である。現実騒音ではNo14の掃除機騒音の妨害感が小さく、No4のタイプライタ騒音、No5の道路交通騒音、No10とNo11の航空機騒音、No13の子供の声が妨害的であり、ピンクノイズではNo1、No10、No11の妨害感が大きく、No14は小さい。このことは定常騒音より非定常騒音の方がアノイアンスが大きいという従来の研究の一般的傾向と一致している。

騒音の種類を要因とした一元配置の分散分析の結果、現実騒音、ピンクノイズ共に距離尺度の平均値に1%水準で有意差が認められた。また、平均値間との検定の結果を表-4.3に示す。現実騒音ではNo4のタイプライタ騒音、No5の道路交通騒音、No10の航空機騒音、No11の航空機騒音と道路交通騒音の複合騒音、No13の子供の声と、これら以外の騒音との間に主に有意差が見られた。また、ピンクノイズでは騒音No1、No10、No11とこれら以外の騒音との間に有意差が見られた。

4-4 考察

4-4-1 種々の騒音による妨害感の比較と妨害感へのレベル変動特性の影響

図-4.6にピンクノイズと現実騒音の妨害感の距離尺度平均値の相関関係を示す。騒音の妨害感には様々な要因が影響するが、A特性で測定して等 L_{eq} である騒音による妨害感が、もしそのレベル変動によって決まるとするならば、レベル変動特性が等しい現実騒音とピンクノイズの妨害感の距離尺度は相互に単純な比例の関係にあり、図-4.6では各点が直線上に並ぶはずである。図-4.6では多くの実験音が直線関係を示すグループを構成しているのに対して、これから離れた位置に少数の実験音のサブグループ(No4、5、13)がある。

これら全体の相関係数は0.481であり、相関は高くはないが、サブグループを除くと、相関係数は0.875まで増加する。もし、刺激の物理量(例えば L_{eq} 等)が大きく隔たっている場合には、その刺激に対する妨害感も広範囲に及ぶから、当然現実騒音とピンクノイズによる妨害感の相関は高くなると予想される。しかし、ここで対象としている相関は L_{eq} が等しく物理量に大きな隔たりのない騒音による妨害感に関するものであり、このことを考慮すればこの程度の相関係数(0.875)でも相関はかなり高いと言える。

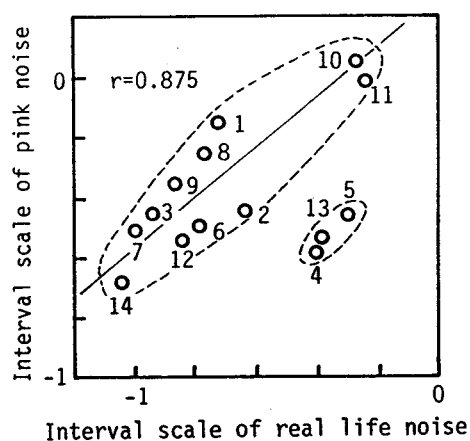


図-4.6 ピンクノイズの妨害感の距離尺度と現実騒音の妨害感の距離尺度との相関

1: 杭打ち, 2: 金鋸, 3: ドットプリンタ, 4: タイプライタ

5, 6, 7: 道路交通, 8: 列車, 9: 山陽新幹線, 10: 航空機

11: 航空機+道路交通, 12: 列車+道路交通, 13: 子供, 14: 掃除機

表-4.4 妨害感の距離尺度と各種の騒音評価指標との相関

騒音評価指標	14例の現実騒音	11例の現実騒音	14例のピンクノイズ
L_{max}	0.414	0.641	0.579
L_1	0.266	0.684	0.784
L_5	0.251	0.645	0.844
L_{10}	-0.103	0.213	0.525
L_{50}	-0.0279	-0.377	-0.702
L_{90}	0.0288	-0.324	-0.670
L_{95}	-0.0485	-0.355	-0.676
$L_5 - L_{95}$	0.0897	0.422	0.723
$L_{10} - L_{90}$	-0.0388	0.315	0.664
TNI	-0.416	0.312	0.661
L_{np}	-0.0266	0.299	0.646
L_{eq}'	-0.0254	0.00329	0.0720
$\bar{L} + \sigma$	-0.138	-0.456	-0.611

No4のタイプライタ騒音はプリンタ騒音とレベル変動特性は類似しているが、周波数特性は、No3のプリンタ騒音は高周波成分が多く、低周波成分が少ないのに対して、No4のタイプライタ騒音はプリンタ騒音より低周波成分が多く、より平坦な特性である。No5の道路交通騒音には騒音のレベルが高いバイク通過音が2回含まれ、それらのピークレベルは最大85dB(A)に達している。また、バイク通過音だけの周波数分析結果は図-4.3(b)に示すように、道路交通騒音全体の周波数特性よりも高周波成分が多く、全周波数にわたってより平坦な特性である。これらのことから、No4とNo5のタイプライタ騒音と道路交通騒音が図-4.6の直線関係からずれている主な原因は、周波数特性の違いや周波数特性の変化であると考えられる。また、No13の子供の声は周波数特性の影響よりもむしろその音が有する意味のような情緒的な要因が影響しているものと考えられる。

図-4.5(a)、(b)に見られるように、両図に共通して妨害感の尺度値が大きいのはNo10とNo11の航空機騒音と航空機騒音を含む複合騒音、およびこれらを模擬したピンクノイズである。Fields他¹³⁾やHall¹⁴⁾の調査研究では交通騒音のうち航空機騒音が最もうるさいことを指摘しており、泉⁵⁾の実験結果でも航空機騒音は道路交通騒音よりもうるさいことが報告されている。本研究の結果はこれらの研究結果とも一致している。また、Fields他¹³⁾やHall他⁸⁾は鉄道騒音は道路交通騒音よりうるさくないことを示しており、Knall他¹⁵⁾も同様の結論を得ている。また、Fields他は鉄道騒音のアノイアンスが小さいのは鉄道騒音の特性と鉄道騒音に対する住民の肯定的な態度に起因するかもしれないと述べている。しかし、今回の実験の結果では道路交通騒音と列車騒音の妨害感には顕著な差は見られなかった。その原因を明確にすることは困難であるが、社会調査においては種々の社会的要因が作用しているためと考えている。

Vos他⁹⁾は、アノイアンス評価において衝撃騒音は道路交通騒音に対してペナルティが必要であることを示している。Vos他の用いた衝撃騒音にほぼ相当するのはNo1の杭打ち騒音である。この杭打ち騒音と道路交通騒音の現実騒音相互間に妨害感の著しい差は見られないが、これらとレベル変動が等しいピンクノイズでは前者がより有意に妨害的である。図-4.5(b)を見る限りではNo3、No4の準定常衝撃騒音（プリンタ騒音、タイプライタ騒音と等しいレベル変動

をするピンクノイズ)の妨害感は変動騒音や定常騒音と変わらないようである。

Taylor他¹⁶⁾やHawkins他¹⁷⁾の社会調査に基づく研究では暗騒音のアノイアンスへの影響がないことが報告されているが、Rice¹⁸⁾やVos他⁹⁾の実験室実験では暗騒音レベルが増すと、アノイアンスが減少することが示されており、社会調査の結果とは同じ傾向を示していない。今回は暗騒音の条件を変えて実験を行っていないので、その影響について述べることはできないが、今後、検討すべき重要な問題である。また、本研究は複合騒音の評価を主眼にしていないので、複合騒音について系統的な実験条件を設定しなかった。航空機騒音および列車騒音と道路交通騒音を合成したものを1例ずつ用いただけである。これらの妨害感は航空機騒音や列車騒音単独のものと変わらず、優勢な騒音によって決まっているようであり、Berglund他¹⁹⁾の最大成分モデル(loudest model)が適用可能であると推察される。

図-4.5で特に注目されるのは、No.10の航空機騒音とNo.11の航空機騒音を含む複合騒音、およびこれらと等しいレベル変動をするピンクノイズは、周波数特性がおのおの異なる現実騒音だけでなく周波数特性が一定のピンクノイズでも、共に妨害感が大きいことである。これはレベル変動特性が妨害感に大きく影響しているためと考えられる。

レベル変動の影響をどのように考慮するのが適切であるかを検討するために、主な騒音評価指標と妨害感の相関関係を求め、表-4.4に示した。現実騒音では14例全部の騒音に対する相関係数は全般に低いが、No.4、No.5、No.13(プリンタ騒音、タイプライタ騒音、子供の声)を除いた11騒音では、パーセンタイル値が小さい時間率騒音レベルについては0.6以上の相関が得られている。一方、ピンクノイズでは現実騒音に比べて全般に相関が高く、特にレベル変動の処理方法が複雑な騒音評価指標よりもパーセンタイル値が小さい時間率騒音レベルや90%レンジとの相関が高い。

このことは騒音の妨害感に高騒音レベルの寄与が大きいことを示しており、非定常騒音全般のレベル変動の取扱いに関して、ピーク概念²⁰⁾の有用性を示唆している。前述の知見は以下の研究事例からも支持される。例えば、Hall他⁸⁾は航空機騒音のアノイアンスが道路交通騒音のアノイアンスより大きいのは、 L_{dn} が等しくても航空機騒音の最大レベルやレベル変動が道路交通騒音より大

きいことに起因しているかもしれないことを指摘した。また、Namba他²¹⁾は航空機騒音と暗騒音の複合騒音のノイジネスに関して、カテゴリー連続判断法を使って、長時間暴露の影響を調べ、長時間の全体のノイジネスは時々刻々のノイジネス判断の卓越部分の影響が大きいことを示している。また、本研究での複合騒音の妨害感²²⁾は複合騒音を構成する騒音のうち、卓越した騒音だけの妨害感と大きく変わらなかった。これらの事例は騒音全体の不快感にその卓越部分の影響が大きいことを示している。

等 L_{eq} の場合、レベル変動が大きい騒音ほど、すなわち、最大レベルが大きい騒音ほど妨害感も大きく、騒音評価指標にこれらの効果を考慮することが必要であると結論できる。

なお、以上は騒音の設定レベルが L_{eq} 70dB(A) の1条件についての今回の実験に基づく検討であるが、広範囲な L_{eq} での詳細な傾向を得るには広範囲の騒音レベルについての実験と検討が必要である。

4-4-2 種々の騒音の評価モデル

騒音評価指標が具備すべき条件として、以下のような項目を挙げることができる。

- 1) この研究で得られた結果から挙げることができる点として、騒音の最大レベルや変動幅の効果が考慮されていること。
- 2) 騒音評価に関する多くの研究の現状から指摘できることとして、 L_{eq} が基本評価量であること。
- 3) 実用上の観点からは、できるだけ単純な形で表わされること。

これらを考慮した指標は L_{eq} になんらかの補正を加えることによって、いくつも提案することが可能である。ここでは、Flindell¹⁾が提案した音圧 L_{eq} の概念を拡張して当てはめれば、種々の騒音による暴露 (L_{eq}) - 反応の關係の違いが説明でき、暗騒音の影響についても説明できる可能性があることを例示する。

Flindell¹⁾は、短時間のラウドネスや騒音性の聴力損失は音響エネルギーに比例するけれども、それと同じ關係が騒音による生活妨害 (community noise nuisance) に適用されるべきであるという理由はないとして、生活妨害を表わ

すためには次式で $k = 20$ とすることを提案した。

$$\text{Index} = k \log_{10} \left| \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} 10^{L(t)/k} dt \right| \quad (4.1)$$

ここで、 $L(t)$ はA特性の騒音レベルである。(4.1)式で $k = 10$ とすれば、この式は通常の L_{eq} を表わすが、 $k = 20$ とすれば、音圧に関する平均レベル、すなわち音圧 L_{eq} となる。Flindellのこの提案は前述したように鉄道騒音と道路交通騒音のアノイアンス差を説明するには都合がよいが、航空機騒音が道路交通騒音よりもうるさいという一般的な傾向を説明することはできない。今回の実験では現実騒音とこれと同じレベル変動をするピンクノイズの両方で航空機騒音は道路交通騒音よりも妨害的であったが、列車騒音と道路交通騒音には顕著な差は見られなかった。

(4.1)式で k の値を10以下にすれば、通常の L_{eq} に比べて、高騒音レベルの加重を大きくすることになり、 k の値が小さいほど高騒音レベル部分の加重は大きくなる。このことはRylander他²⁰⁾のピーク概念を一部包含することにもなる。このため k の値を10から3まで1ステップで変化させて、実験で得られた妨害感と(4.1)式の指標値との相関係数を求めると、ピンクノイズでは $k = 7$ で最大、14例の全部の現実騒音では $k = 3$ で最大、No.4のタイプライタ騒音、No.5の道路交通騒音、No.13の子供の声を除いた11個の現実騒音では $k = 4$ で最大となった。そのときの相関係数はそれぞれ0.882、0.510、0.739であった。相関係数は現実騒音ではあまり高くないが、ピンクノイズではかなり高く、この方法が各騒音の妨害感の相違をかなり説明しているものと考えられる。

k の値は実用的には固定的に考えた方が都合がよいが、 k が L_{eq} の値または暗騒音レベルが小さくなるにつれて、減少するようにすれば、アノイアンスが騒音レベルの増減によって、どのように変化するかを検討した他の研究の知見とも一致してくる。例えば、佐藤他²²⁾は繰り返し衝撃音のノイジネスをエネルギー効果に衝撃効果を加えたものとして表わしているが、衝撃効果は L_{eq} が大きくなるにしたがって減少して、最終的には0となり、エネルギー効果だけで表わせることを示している。泉⁵⁾は等 L_{eq} の航空機騒音と道路交通騒音のアノイアンス差が低騒音レベルで大きく、高騒音レベルになるにしたがって小さくなることを示した。

これらの研究では、騒音レベルが大きいほど、レベル変動特性のアノイアンスへの効果は小さくなり、異なる音源による騒音のアノイアンス差も小さくなる傾向を示しているが、逆の傾向を示す研究⁸⁾も報告されている。騒音のエネルギーが大きくなれば、レベル変動特性や音源の相違よりもエネルギーそのものによるアノイアンスの効果が大きくなると考えるのが妥当であるから、前者の傾向がより合理的であると思われる。また、Vos他⁹⁾は暗騒音レベルが大きい場合よりも小さい場合の方が道路交通騒音に対する衝撃騒音のペナルティが大きいことを報告している。

これらの研究結果は L_{eq} 値や暗騒音レベルが異なれば、(4.1)式の k に異なる値を与えることによって説明できる。また、マスキング閾値レベルによって k の値を変えれば、Gjestland他²³⁾の閾値 L_{eq} の概念を包含することもできる。しかし、どの要因によって k の値を求めるかを決定するには、さらに研究が必要である。

図-4.7は今回の実験結果から L_{eq} を基準とした(4.1)式のIndexの値が k と共にどのように変化するかを、最も妨害的なNo10の航空機騒音、最も妨害的で

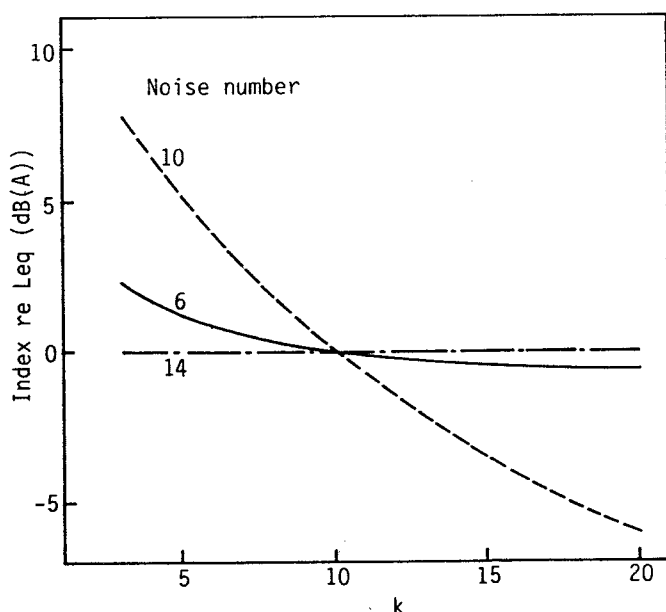


図-4.7 L_{eq} (dB(A))を基準とした、(4.1)式によるIndexの計算値と k との関係
10：航空機騒音，6：道路交通騒音，14：空調騒音

ないNo14の掃除機騒音、およびそれらの中間のNo6の道路交通騒音について示したものである。No14の掃除機騒音（定常騒音）の場合にはIndexの値はほとんど変わらないが、非定常騒音の場合には $k < 10$ では変動幅の大きい騒音が上位を占め、 k の値が小さいほど騒音間の差が大きいことを示している。

以上の検討は限られた騒音を対象とした実験データに基づいており、騒音レベルは $L_{eq} 70\text{dB(A)}$ に限定されている。図-4.7のレベル変動の評価量が妥当な値であるかどうかは今後の研究課題である。しかし、この指標は他の研究の傾向を合理的に説明しており、騒音のアノイアンスをよりよい精度で予測できる可能性を有している。

4-5 まとめ

本研究は L_{eq} が一定である各種の騒音の妨害感の比較を、現実騒音14例とこれと等しいレベル変動をするピンクノイズ14例を対象として、騒音のレベル変動特性に着目して行った。結果の要旨は次の通りである。

- 1) 現実の交通騒音の中で航空機騒音が最も妨害的であり、このことは他の研究結果と合致している。
- 2) 種々の騒音調査では列車騒音は道路交通騒音よりうるさくないことが報告されているが、今回の実験の結果ではこのような一定の傾向は見られなかった。
- 3) ピンクノイズの実験音の中では航空機騒音と同じレベル変動をするものが最も妨害的であり、次いで変動幅が大きい分離衝撃騒音が妨害的である。また、準定常衝撃騒音や変動騒音や定常騒音の妨害感尺度値には有意な差はなかった。
- 4) 複合騒音の妨害感複合騒音を構成している騒音のうち卓越した騒音を単独で暴露した場合の妨害感と大差なく、最大成分モデル(loudest model)が適用できることを示唆している。
- 5) 現実騒音、ピンクノイズともに妨害感尺度値と L_1 や L_5 などのパーセンタイル値が小さい時間率騒音レベルの間にかなり高い相関が見られた。このことは騒音全体の妨害感に高騒音レベル部分が寄与していることを示し、妨害感の評価にピークレベルの効果を考慮することの必要性を示している。
- 6) Flindellが提案した音圧 L_{eq} の概念を拡張して適用すると、本研究の結果や他の研究の知見を合理的に説明することができる。すなわち、騒音の L_{eq} が

等しくても高騒音レベルが多い騒音は少ない騒音よりも妨害的であること、騒音源が異なれば騒音レベルの増大に伴うアノイアンスの増加傾向が異なることがよく説明できる。また、暗騒音のアノイアンスへの影響についてもよく説明できる。

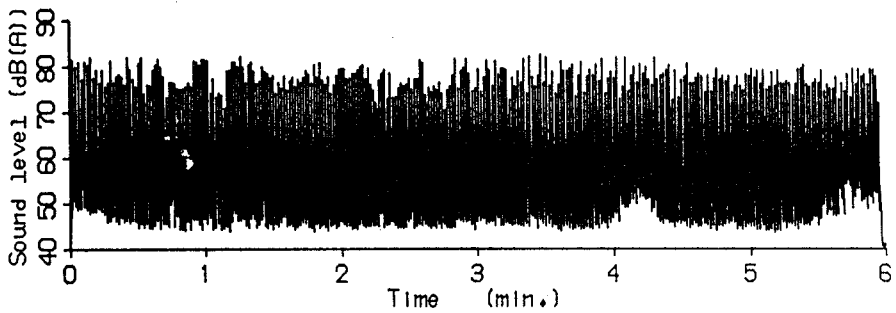
参考文献

- 1) Flindell, I. H.: Pressure L_{eq} and Multiple Noise Sources: A Comparison of Exposure-response Relationships for Railway Noise and Road Traffic Noise, J. Sound Vib., 87(2), pp.327-330, 1983
- 2) Kumagai, M., Ebata, M. and Sone T.: Comparison of Loudness of Impact Sounds with and without Steady Duration (A Study on the Loudness of Impact Sound. II), J. Acoust. Soc. Jpn (E), 3(1), pp.33-40, 1982
- 3) Sørensen, S. and Magnusson, J.: Annoyance Caused by Noise from Shooting Ranges, J. Sound Vib., 62(3), pp.437-442, 1979
- 4) Rice, C. G.: Development of Cumulative Noise Measure for the Prediction of General Annoyance in an Average Population, J. Sound Vib., 52(3), pp.345-364, 1977
- 5) 泉 清人: 複合騒音の不快感の評価に関する一連の実験, 日本建築学会環境工学委員会音環境分科会第26回音シンポジウム, pp.29-38, 1985
- 6) Vos, J. and Smoorenburg, G. F.: Penalty for Impulse Noise, Derived from Annoyance Ratings for Impulse and Road-traffic Sounds, J. Acoust. Soc. Am., 77(1), pp.193-201, 1985
- 7) Powell, C. A.: A Summation and Inhibition Model of Annoyance Response to Multiple Community Noise Sources, NASA Technical Paper 1479, 1979
- 8) Hall, F. L., Birnie, S. E., Taylor, S. M. and Palmer, J. E.: Direct Comparison of Community Response to Road Traffic Noise and to Aircraft Noise, J. Acoust. Soc. Am., 70(6), pp.1690-1698, 1981
- 9) Kryter, K. D., 長田泰公抄訳: 心理学的並びに生理学的音響学の展望, 日本音響学会誌, 42(1), pp.74-80, 1986
- 10) Levine, N.: The Development of an Annoyance Scale for Community

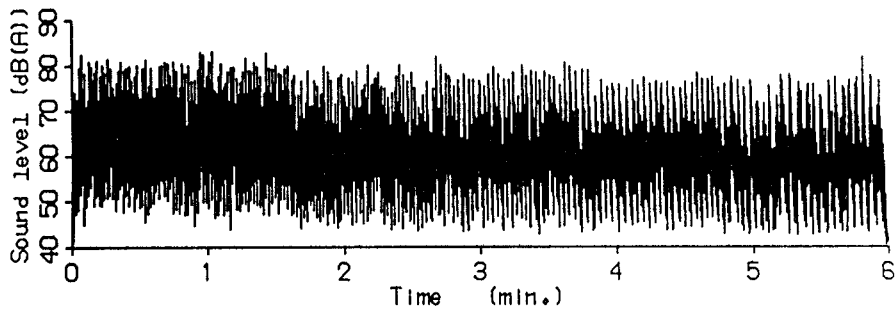
- Noise Assessment, J. Sound Vib., 74(2), pp.265-279, 1981
- 11) Brown, A.L., Hall, A. and Kyle-litte, J.: Response to a Reduction in Traffic Noise Exposure, J. Sound Vib., 98(2), pp.235-246, 1985
 - 12) ギルホード, J.P., 秋重義治監訳: 精神測定法, 培風館, 1959
 - 13) Fields, J.M. and Walker, J.G.: Comparing the Relationships between Noise Level and Annoyance in Different Surveys: A Railway Noise vs. Aircraft and Road Traffic Comparison, J. Sound Vib., 81(1), pp.51-80, 1982
 - 14) Hall, F.L.: Community Response to Noise: Is All Noise the Same?, J. Acoust. Soc. Am., 76(4), pp.1161-1168, 1984
 - 15) Knall, V. and Schuemer, R.: The Differing Annoyance Levels of Rail and Road Traffic Noise, J. Sound Vib. 87(2), pp.321-326, 1983
 - 16) Taylor, S.M. et al: Effect of Background Levels on Community Responses to Aircraft Noise, J. Sound Vib., 71(2), pp.261-270, 1980
 - 17) Hawkins, M.M. and Large, J.B.: Subjective Response to Noise in Rural Villages, Particularly from Road Traffic, J. Sound Vib., 88(3), pp.321-331, 1983
 - 18) Rice, C.G.: Subjective Assessment of Transportation Noise, J. Sound Vib., 43(2), pp.407-417, 1975
 - 19) Berglund, B., Berglund, U., Goldstein, M. and Lindvall, T.: Loudness (or Annoyance) Summation of Combined Community Noises, J. Acoust. Soc. Am., 70(6), pp.1628-1634, 1981
 - 20) Rylander, R., Sörensen, S. and Berglund, K.: Re-analysis of Aircraft Noise Annoyance Data against the dB(A) Peak Concept, J. Sound Vib., 36(3), pp.399-406, 1974
 - 21) Namba, S. and Kuwano, S.: The Relation between Overall Noisiness and Instantaneous Judgment of Noise and the Effect of Background Noise Level on Noisiness, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 1(2), pp.99-106, 1980
 - 22) 佐藤哲身, 泉 清人: 繰り返し衝撃音のノイジネス評価に関する実験, 日本音響学会誌, 38巻10号, pp.609-618, 1982

- 23) Gjestland, T. and Oftedal, G.: Assessment of Noise Annoyance:
The Introduction of a Threshold Level in L_{eq} Calculations, J. Sound
Vib., 69(4), pp.603-610, 1980
- 24) 矢野 隆, 小林朝人: 非定常騒音による読書妨害, 日本建築学会研究報告
九州支部, 第29号・2, pp21-24, 1986

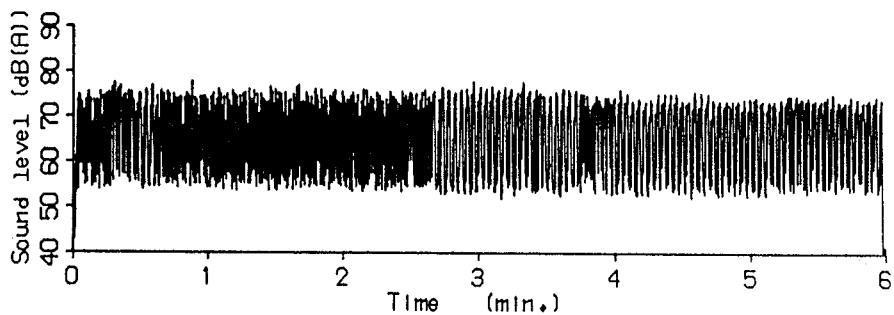
付録 実験音のレベル記録



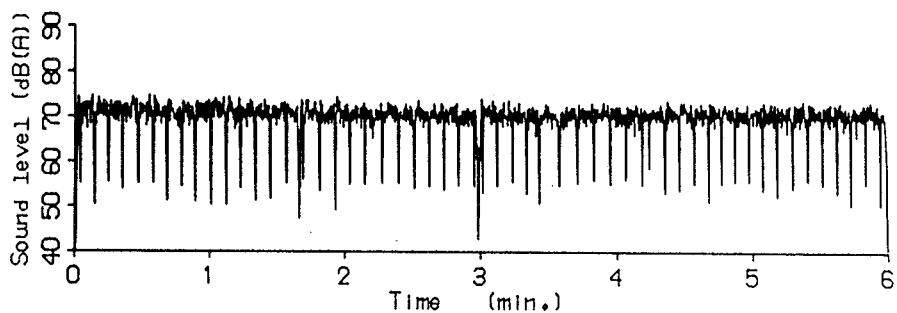
付図-4.1 杭打ち音



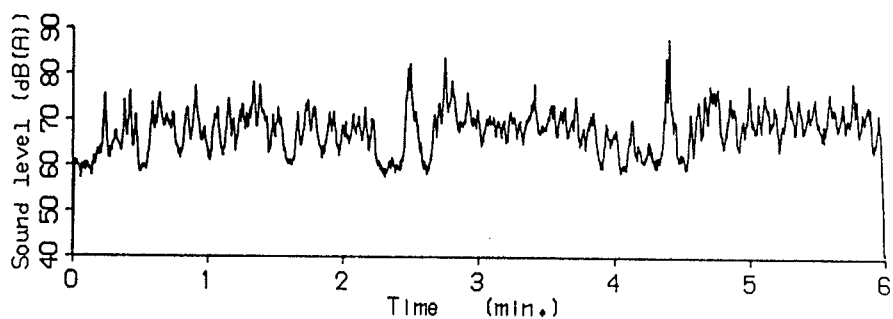
付図-4.2 金鏈音



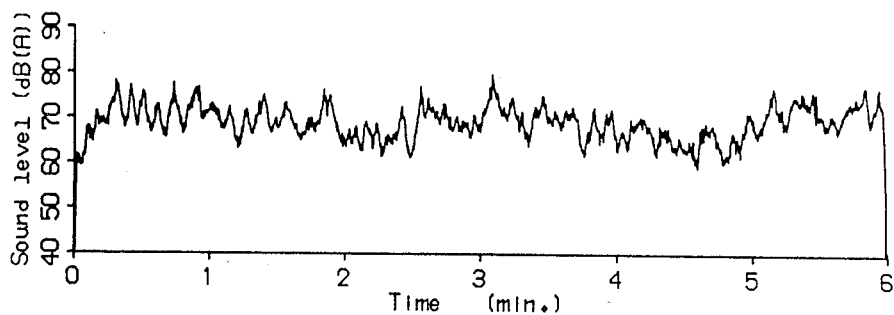
付図-4.3 プリンタ音



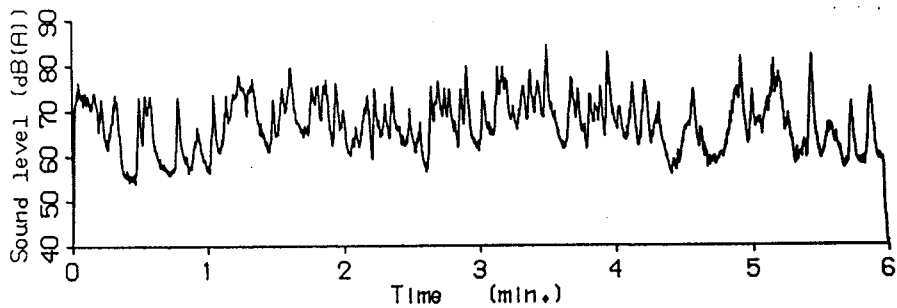
付図-4.4 タイプライタ音



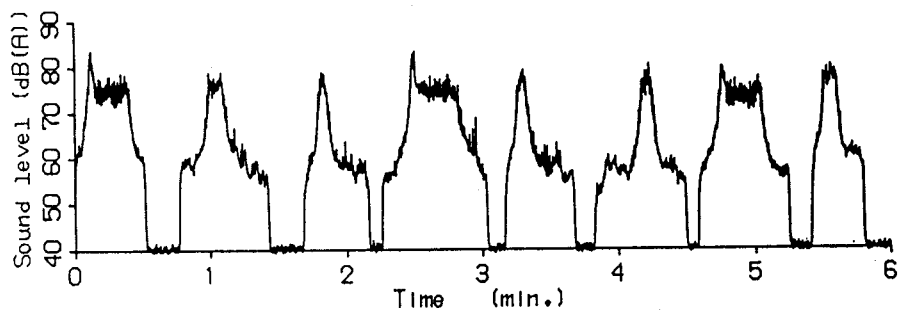
付図-4.5 道路交通騒音(バイク通過音を含む)



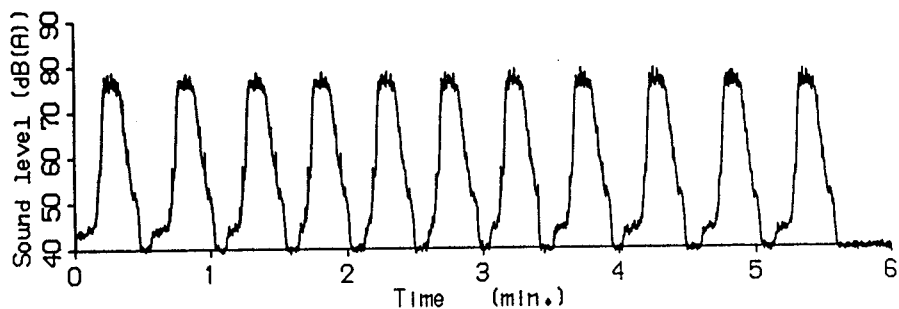
付図-4.6 道路交通騒音(幹線道路)



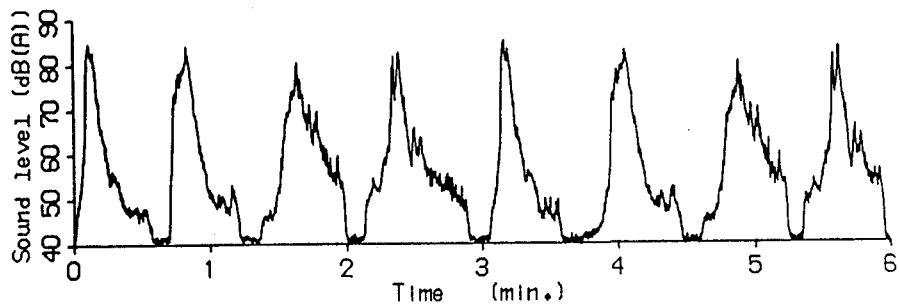
付図-4.7 道路交通騒音（高速道路）



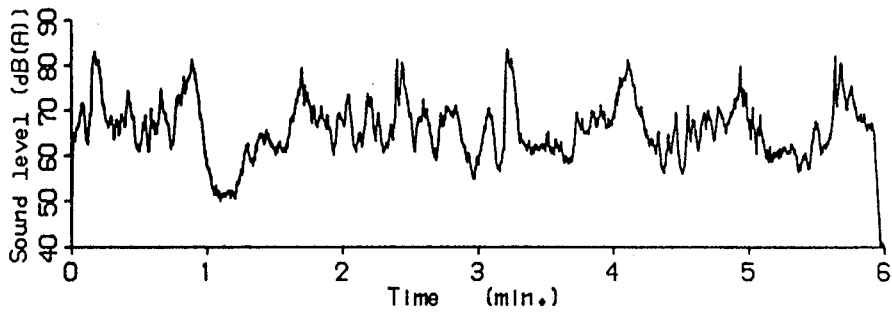
付図-4.8 列車騒音



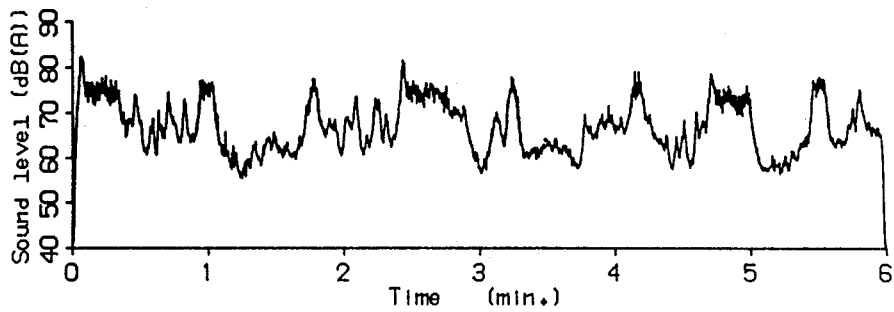
付図-4.9 新幹線騒音



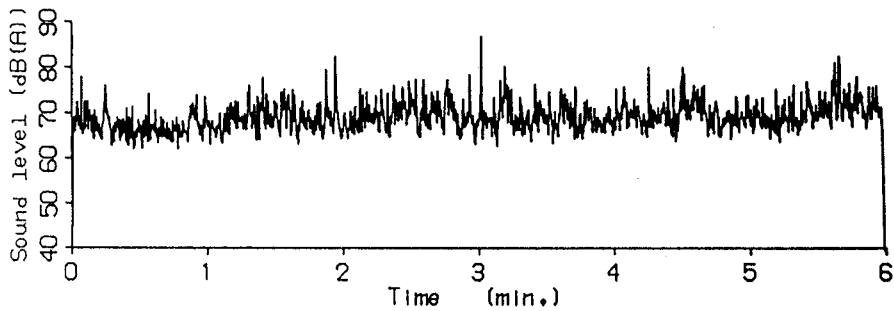
付図-4.10 航空機騒音



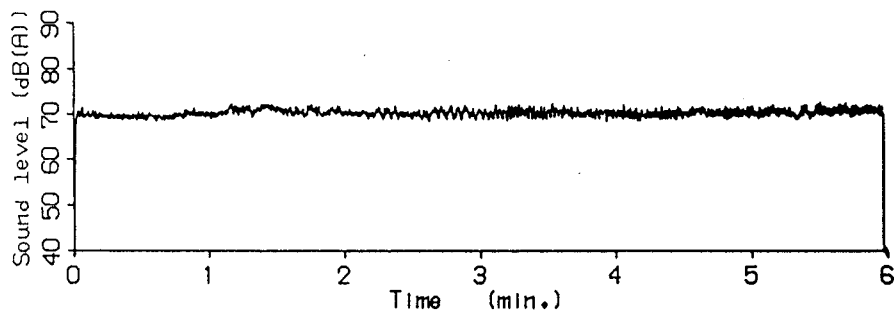
付図-4.11 航空機騒音+道路交通騒音



付図-4.12 列車騒音+道路交通騒音



付図-4.13 子供の声



付図-4.14 掃除機音

第5章 ピークの加重を考慮した各種騒音の評価モデル

5-1 目的と背景

現在まで騒音の不快感の評価に関しては非常に多くの研究が行なわれてきており、その中から L_{eq} が個々の騒音の不快感に優れた評価を与えることが示されてきた。しかし、 L_{eq} を各種の騒音や複合騒音の普遍的な評価指標とすることに疑問を投じている研究も多くある。本章では L_{eq} を支持する研究とそうでない研究による知見の差を埋めるために、1つの試案を提示する。

各種の騒音の普遍的な評価法に関する先駆的な研究として、Robinson¹⁾の研究を挙げることができる。Robinsonはその中でnoise pollution level(L_{np})の概念を提案した。 L_{np} はGriffithsとLangdon²⁾の道路交通騒音に関するアノイアンスのデータに基づいて導出したものであり、McKinnellの航空機騒音によるアノイアンスにデータにも適用可能であるとしている。すなわち、 L_{np} は道路交通騒音の評価指標であるTNI(Traffic Noise Index)と、航空機騒音の評価指標であるNNI(Noise and Number Index)の2つの指標の概念を包含したものであると言える。多くの研究で騒音のアノイアンス評価に対する L_{np} の適用の妥当性が検討されてきたが、今日なお必ずしもそれが確認されたとは言えず、実験的^{3~5)}および理論的⁶⁾考察からはむしろその適用性を疑問視する研究報告が多い。しかし、Robinsonが提唱した L_{np} の概念は普遍的な騒音評価指標を求めようとする画期的なものであり、その理念は高く評価されるべきである。

第1章 1-3-4で見たように、Robinson以後の各種騒音や複合騒音の評価に関する研究は実に多数にのぼり、その評価モデルも多数提案されてきた。これらの評価モデルは様々な非定常騒音を評価するために、開発されてきたものではあるが、非定常騒音に広く適用可能な評価法として一般に認められるものは、現在のところまだ確立されていない。この原因としては、評価モデルを構成する際の基になったデータの多くが、複雑で特定の要因が影響するある地域の社会調査に基づくものであるため、当然その適用範囲も限定されること、また、より広く適用可能であるようにと広範な実験条件を設定して行なわれた実験に基づく評価モデルの場合でも、そのほとんどが理論構成の面では優れているものの、評価値を求める手続きが複雑であること、などを挙げることができる。

これまでの研究を通して、あらゆる騒音に適用可能な騒音評価指標を提案できるところまでは到底至っていないが、前章では実験結果と、他のいくつかの研究の知見を考慮して、騒音の暴露量（ L_{eq} 等）の値が異なれば、(4.1)式の k に異なる値を与えることによって、種々の騒音による不快感と騒音の暴露量との関係の違いが説明できることを示した。(4.1)式の k に異なる値を与えることは騒音のピークの加重を変化させることである。本章ではピークの加重を考慮した各種騒音の評価モデルの試案を提示すると共に、その概念や意味について検討する。

5-2 騒音の不快感に影響する騒音レベルの非定常性の要因

ここで、もう一度これまでの結果を整理する。

まず、第2章で行なった規則的・非定常騒音を用いたやかましさの評価実験によって、やかましさは等 L_{eq} であっても変動幅や繰返し率によって影響されることを示した。すなわち、規則的に変動する非定常騒音の変動幅が大きいほどやかましさは増大し、繰返し率に関してはある繰返し率の時にやかましさはピークに達することが明らかとなった。

被験者に作業を課した状態での非定常騒音の暴露実験では、作業の種類によって騒音の非定常性の効果が異なっている。聴覚的作業中に騒音レベルが高い騒音を暴露した場合には、一般に騒音の変動幅や繰返し率が増加するほど、やかましさと妨害感とは減少する傾向にある。これは騒音レベルが高ければ、変動幅や繰返し率が大きいほど情報伝達が損失する量が減少するからであり、どれ位聞き取れたかという作業能率と騒音のやかましさや妨害感との相関は高い。しかし、非聴覚的な作業の場合は変動幅や繰返し率の影響は聴覚的作業の場合と異なり、変動幅が大きいほどやかましさや妨害感とは概して増大する傾向が見られたが、繰返し率の影響は複雑で、一定の傾向にはなく、定量的に捉えることは困難であった。従来の交通騒音のアノイアンスに関する研究で、第3章 3-1 で見たように、通過台数等の回数補正を行なう方が良いとする研究も報告されているが、一定の傾向を示しておらず、回数補正の効果を認めていない研究^{5,7)}もあり、繰返し率の効果については一致した知見が得られていない。

従来の多くの騒音評価研究で用いられた騒音暴露時の被験者の状態は、居間でくつろいだ状態を設定するために自由読書が多く採用されている。第3章では騒音暴露時に被験者に課す非聴覚的作業として読書と計算を用いたが、多くの被験者は読書の方が計算よりも疲労が少ないことを報告した。作業の種類を増して騒音評価実験を行なうと、多くの労力と時間を必要とし、現実には不可能であるので、上述のことを踏まえて、以後の実験では読書を代表的な設定条件として採用した。しかし、読書を課した状態が騒音評価実験で最適であるという保証はない。

第4章では L_{eq} が一定の現実の非定常騒音と、これらと等しいレベル変動をするピンクノイズの非定常騒音を用いた読書妨害の評価実験を行ない、航空機騒音や航空機騒音を模擬したピンクノイズが最も妨害的であることを示した。これらの騒音は他の騒音に比べてピークレベルが大きく、騒音全体の妨害感の評価に高騒音レベル部分の寄与が大きいことを示している。また、複合騒音2例の妨害感はどちらか1つの高レベルである方の騒音を単独で暴露した場合の妨害感と変わらず、最大成分モデルが騒音評価に有効な方法の1つであることを示している。

第2章～第4章の実験結果を簡潔に要約すると、以下のように言えよう。ピンクノイズの規則的な非定常騒音のやかましさに関する聴感実験から、変動幅が増すと騒音の不快感もほぼ増大するという傾向があることが明らかとなり、現実の不規則な非定常騒音の実験から、ピークレベル等の高騒音レベルが妨害感に大きく影響することを示した。このことは騒音レベルの度数分布の違いが不快感に普遍的に影響を及ぼすことを示唆しており、騒音の不快感の評価に際して物理量としては、エネルギーの次に騒音レベルの度数分布を考慮する必要があるということに帰結する。

5-3 等エネルギー原理とピーク概念

1960年代から1970年代にかけて、航空機騒音の評価に関して2つの考え方が出現してきた。1つは等エネルギー原理と呼ばれるもので、騒音のアノイアンスは騒音のエネルギーによって決まり、エネルギーが等しければそのアノイアンスも等しいとするものである。 L_{eq} はこのような考え方に基づく指標であり、

実際の大部分の非定常騒音のアノイアンスの評価に適用可能であることが示されてきた。特に、道路交通騒音などの変動騒音には、優れた評価を与えることが多数報告されている。この考え方は多くの研究者の支持を得てきた。

もう1つはRylander他^{8~10)}によるピーク概念である。Rylander他は航空機騒音によるアノイアンスの調査地域を飛行回数によって低暴露地域と高暴露地域に分類すると、低暴露地域では航空機騒音のピークレベルが90dB(A)程度まではアノイアンスは一定で小さいが、高暴露地域では航空機騒音のピークレベルの増加と共にアノイアンスは直線的に増加することを見いだした。すなわち、航空機騒音のアノイアンスは全暴露エネルギーの平均ではなく、最大の航空機のピークdB(A)によって決まるとするものである。このような傾向は航空機騒音に限らず、道路交通騒音に含まれる重量車騒音の社会調査¹¹⁾や、列車騒音の社会調査¹²⁾でも報告されている。この概念は飛行回数が比較的少ない(200回/日以下)空港周辺の社会調査に基づいており、飛行回数が多い代表的な国際空港周辺での社会調査を考慮していない。このことがピーク概念が批判される原因となっている。

等エネルギー原理とピーク概念は、航空機騒音などの間欠騒音以外の非定常騒音評価の研究においてもしばしば議論されている。例えば、桑野他¹³⁾は衝撃音のラウドネスはピークレベルによって規定されるのではなく、 L_{eq} との対応が良いとして、衝撃音のラウドネスの評価に等エネルギー原理が適用できることを示した。一方、熊谷他¹⁴⁾は衝撃音のラウドネス評価にはピークレベルの貢献が大きいとして、ピーク概念の適用可能性を示している。

これら2つの概念はどちらが正しいという二者択一的な問題ではなく、あるときには等エネルギー原理の適用によってより良く説明でき、また別の騒音にはピーク概念を適用する方が適切に説明される場合があるのである。したがって、これらの概念を柔軟に適用すれば、今まで意見の一致を見なかった現象がより良く説明できる可能性がある。

現在、騒音の評価にあたっては L_{eq} を基礎尺度とすることでほぼ合意が得られているものと考えてよいであろう。 L_{eq} は全暴露期間の物理量を考慮している点で L_{peak} や L_{10} のような時間率騒音レベルに比して優れている。しかし、様々な実験や社会調査の結果に等エネルギー原理で説明できない部分があるこ

とは、すでに見てきた通りである。これらの中には等エネルギー原理とピーク概念をうまく融合させることによって説明できる現象が少なくない。

ここでもう一度、Flindellの音圧 L_{eq} の式と Koppeのdisturbance index $\bar{Q}$ の式を示すと、それぞれ次のようである。

$$\text{Index} = k \log_{10} \left| \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} 10^{L(t)/k} dt \right| \quad (5.1)$$

上式で k は音圧のべき係数、 T_1 、 T_2 はそれぞれ測定期間の始めと終りの時刻、 $L(t)$ は瞬時の騒音レベルである。

$$\bar{Q} = \frac{q}{\log_{10} 2} \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{(\log_2 q) L(t)} dt \right] \quad (5.2)$$

ここで、 q は係数であり、継続時間が2倍あるいは1/2倍になることに対する補正 (D. D. Penalty) を示している。 T は観測時間、 $L(t)$ は瞬時の騒音レベルである。

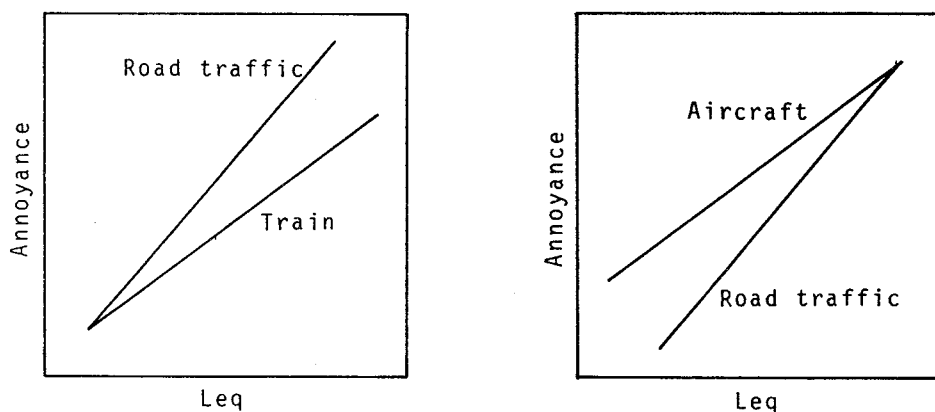
(5.1)、(5.2) 式の構成は本質的に同じである。(5.1) 式が音圧 L_{eq} を表わすためには、Flindellは k を20としており、(5.2) 式のdisturbance indexではKoppeは q を4としている。 L_{eq} は(5.1) 式で k が10の場合であり、(5.2) 式では q が3の場合に相当する。

これらの指標では通常は共に k や q を一定値として考えているが、(5.1) で k の値を変化させることによってピークレベルの重みづけを変えることができる。(5.1) 式は形の上ではエネルギー平均の概念をとっているが、 k の値が小さくなれば、指標値へのピークレベルの寄与が大きくなるから、ピーク概念が組み入れられていることが分かる。Schultz⁽¹⁵⁾ はdisturbance index $\bar{Q}$ の解説の中で q ((5.1) 式の k に相当) の値が減少すると、その平均レベル ((5.1) 式のIndexに相当) は益々騒音のピークレベルの加重が大きくなり、究極的に q が0に近づくと、騒音のピークレベルだけによって平均レベルが決まると述べている。(5.1) 式は k が10では通常の L_{eq} となり、 k が20では音圧 L_{eq} となり、 k が大きくなるにつれて、ピークレベルの加重は小さくなり、暗騒音レベル部分の寄与が大きくなる。すなわち、(5.1) 式の指標値は k が小さくなるとピークレベルに近付き、 k が大きくなると低レベルを表わすようになるから、特に変動幅が大きい騒音ほど k の値によって指標値は大きく影響され

る。しかし、定常騒音の場合には k の値をどのように変化させても、指標値は変化せず一定である。 k の値を定数と考えずに、変数と考えれば、同一の式で等エネルギー原理とピーク概念を表わすことができる。

図-5.1(a)はFlindell¹⁶⁾や田村¹⁷⁾の研究で、道路交通騒音と列車騒音のそれぞれのアノイアンスと L_{eq} との関係を模式的に示したものである。道路交通騒音は列車騒音よりうるさく、 L_{eq} が大きいほど両騒音によるアノイアンスの差は大きいことを示している。Flindellはこの図の横軸に音圧 L_{eq} をとれば、道路交通騒音と列車騒音のアノイアンスと音圧 L_{eq} との関係(図中の線)は一致してくるとしている。また、田村は図の横軸に $\bar{Q}$ 。(suffixの6は(5.2)式の q の値)をとることによって、同様の結論を得ている。

図-5.1(b)は泉¹⁸⁾の研究から、航空機騒音と道路交通騒音のアノイアンスとこれらの騒音の L_{eq} との関係を模式的に示したものである。航空機騒音は道路交通騒音よりもうるさく、これらの騒音によるアノイアンスの差は低レベルほど大きいことを示している。Powell¹⁹⁾も図-5.1(b)ほどに顕著ではないが、航空機騒音の方が道路交通騒音よりもうるさいことを示している。Hall他²⁰⁾はトロント国際空港周辺での社会調査に基づいて、道路交通騒音と航空機騒音のアノイアンスを直接比較し、 L_{dn} が等しくても、航空機騒音の方が道路交通騒音よりもうるさく、これらの騒音によるアノイアンスの差は L_{dn} が増すと、増大するとしている。しかし、Hallの研究でのデータのばらつきはかなり大き



(a) 道路交通騒音と列車騒音による典型的な暴露-反応の関係

(b) 航空機騒音と道路交通騒音による典型的な暴露-反応の関係

図-5.1 各種の騒音による暴露-反応の関係の模式図

く、アノイアンス尺度も他の研究^{16~19)}ではカテゴリー尺度の平均を用いているのに対して、Hallは%highlyannoyedを採用している。

以上の研究は、社会調査や実験による研究であり、研究手法が異なり、種々の条件なども異なるため、直接比較するには無理がある。しかし、Hall他²⁰⁾の研究を除く他の研究はすべてアノイアンスの尺度として、ほぼ同様のカテゴリー尺度の平均値を採用しているため、定性的な比較は可能であろう。

図-5.1の両図に共通している定性的な傾向は、航空機騒音や列車騒音などの間欠騒音の L_{eq} によるアノイアンスの増加割合が、連続的に変動する道路交通騒音よりも緩やかであるということである。図-5.1のようなアノイアンスと騒音の L_{eq} との関係の相違は、(5.1)式の k の値を変化させることによって、合理的に説明することができる。すなわち、暴露レベル²¹⁾(例えば L_{eq})の値が大きい場合には k の値を大きく、 L_{eq} の値が小さい場合には k の値を小さくしたときの指標値を採用すればよい。

以上のことを図-5.2を使って以下に具体的に示す。図-5.2は図-4.7を再掲したものである。図-5.2では道路交通騒音は k の値を変化させても、 L_{eq} を基準とした指標値はあまり変化しない。しかし、航空機騒音の L_{eq} を基準とした指標値は、 k が10以上の場合には道路交通騒音の指標値より小さいが、 k が10以下の場合には道路交通騒音の指標値より大きくなる。このような傾向は図-5.1の異なる騒音の L_{eq} によるアノイアンス反応の傾向の差をうまく説明できる。 k が10より大きい場合は図-5.1(a)の場合に相当し、 k が10より小さい場合は図-5.1(b)の場合に相当する。このような k の値を変化させる方法(後述のピーク加重 L_{eq} 、5-5参照)はFlindellの音圧 L_{eq} や田村の $\bar{Q}_0$ のような k に一定の値を与える方法の一般的な場合と考えられる。

k の値を暴露レベル(L_{eq})の値によって変化させるということは、騒音の非定常性がアノイアンスへ及ぼす効果が暴露レベルによって異なるということを示している。もし、2つの異なる騒音によるアノイアンスとそれらの騒音の L_{eq} との関係を表わす回帰直線の傾きが、それぞれほぼ同じであれば、騒音の非定常性の効果が騒音の暴露レベルによって変化しないことを意味しているから、以上に示した考え方は適用できず、より簡単なペナルティという考え方が効果的である。すなわち、うるさい方の騒音の指標値に2つの騒音のアノイ

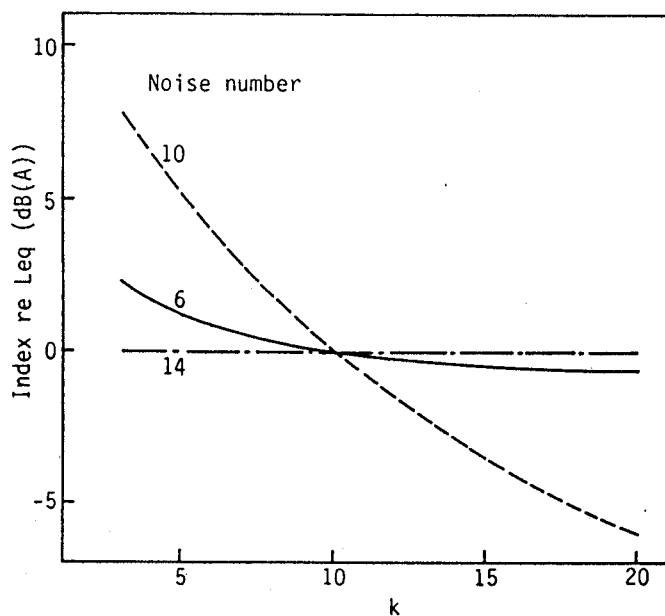


図-5.2 L_{eq} (dB(A))を基準とした、(4.1)式によるIndexの計算値と k との関係
 10 : 航空機騒音, 6 : 道路交通騒音, 14 : 空調騒音

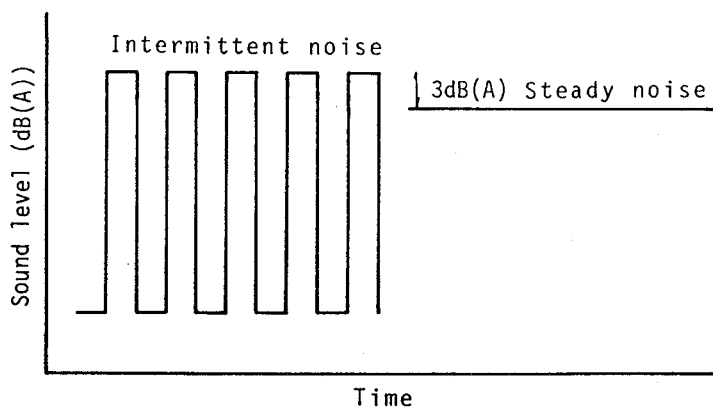


図-5.3 L_{eq} が等しい断続音と定常音のタイムパターン

アンスが等しいときの指標値の差（ペナルティ）を加えることにすれば、2つのそれぞれ別個の騒音によるアノイアンスと騒音の暴露レベルとの関係は1本の直線で表わすことができる。

なお、各種の騒音による暴露－反応の関係の違いを検討し、本章で提案するモデルを検証するための実験については、次章で述べる。

5-4 係数 k を変化させることの意味

k が何の関数で表わされ、どのような関数形を有するかを決定しなければならない。 k の値を変えろということとはレベル変動特性の不快感への影響、特にピークレベル付近の影響がその相対的なレベルによって変わるということである。すなわち、騒音のレベル変動特性が同じであっても、騒音の暴露レベルが異なれば、レベル変動特性の不快感への影響は異なってくるということである。その定量的な検討は次章に譲り、本節では k を変化させることの意味を述べる。

このことの心理的意味付けとして、騒音の暴露レベルが変化すると、騒音の非定常性に起因するアノイアンスに対する感度が増化すると考えている。この暴露レベルとしては種々の物理量を考えることができるが、エネルギー平均値 L_{eq} を採用するのが妥当であろう。Robinson¹⁾も L_{np} ($L_{np} = L_{eq} + 2.56\sigma$)の概念に前述したことと同様の考え方を導入している。すなわち、 L_{np} を構成する項のうち、エネルギー項 (L_{eq}) を騒音に暴露されている人々が慣れているレベルである順応レベル(adaptation level)を表わすと考えており、変動項 (2.56σ) をこの順応レベルから騒音のレベルが変動することによって生じるアノイアンスを表わすと考えている。この考えによれば、 L_{np} では騒音のレベル変動特性が同じであれば、順応レベル (L_{eq}) がいくらであっても、レベル変動の効果 (この場合は 2.56σ) は変わらないことになる。

本研究の結果や他の研究の知見を総合すると、全体の暴露レベルが低いほどレベル変動性の効果は大きく、全体の暴露レベルが高くなるほど、変動性の効果は薄れてくると考えるのが合理的である。極端な場合、閾値付近のような低レベルでは定常騒音と変動の大きい騒音のエネルギーが等しくても、定常な騒音より変動の大きい騒音がうるさく感じられることは容易に想像でき、このような場合には刺激から受ける感覚は殆どそのピークレベルだけで決まってしまう

うと考えられる。例えば、深夜のような静かなときの定常な空調騒音より水滴の落ちる音の方がより気になるのは、そのよい例であろう。

一方、暴露レベルが高くなり、耐えられないレベルに近付けば、たとえピークレベルが高くても低レベルを多く含む騒音の方が、全体にレベルが平均している騒音より許容されると考えるのが合理的である。簡単のために、図-5.3のようなBTFが0.5である断続音と定常音のアノイアンスを考えてみる。この断続音の L_{eq} は変動幅が10dB以上あれば、断続音のピークレベルより3dB低い定常音のレベルにほぼ等しい。このような騒音で断続の周期が比較的長ければ、ピークレベルが耐えられないようなレベルに近付いたとき、断続音のアノイアンスと定常音のアノイアンスを比較すれば、共にピークレベルには大差がないから、静止期間がある方が耐えられ易いと考えられる。また、変動幅が10dB以上あれば、暗騒音部分は L_{eq} 値には殆ど影響しないが、変動幅が大きいほど全体のアノイアンスを和らげて耐えられるようになり、アノイアンスは小さくなると考えられる。

なお、以上は極端な場合を想定したが、一般的な実験研究では中程度のレベルが設定されており、その範囲では近似的に通常の L_{eq} が適用できるという多くの研究報告とも矛盾しない。

以上の仮定を満足するには、(5.1)式の k の値が低暴露レベルで小さく、高暴露レベルで大きくなるように、 k を L_{eq} の関数として表現すればよい。

$$k = f(L_{eq}) \quad (5.3)$$

この式の具体的な構成は次章で述べる。

5-5 ピークの加重を考慮した騒音評価指標の測定システム²¹⁾

図-5.4は今回の研究を基に考案した騒音評価指標の計測システムの概念図である。このシステムで測定される指標を、Flindell¹⁵⁾の音圧 (pressure) L_{eq} やGjestland他²²⁾の閾値 (threshold) L_{eq} にならい、ピーク加重 (peak weighted) L_{eq} と呼ぶことにする。図の流れの前半部分は一般の騒音計と同じである。周波数加重特性はA特性が最も一般的に用いられているため、とりあえずA特性とする。検波回路の時定数は第4章で述べたようにfast(125ms)が適切と考えられる。

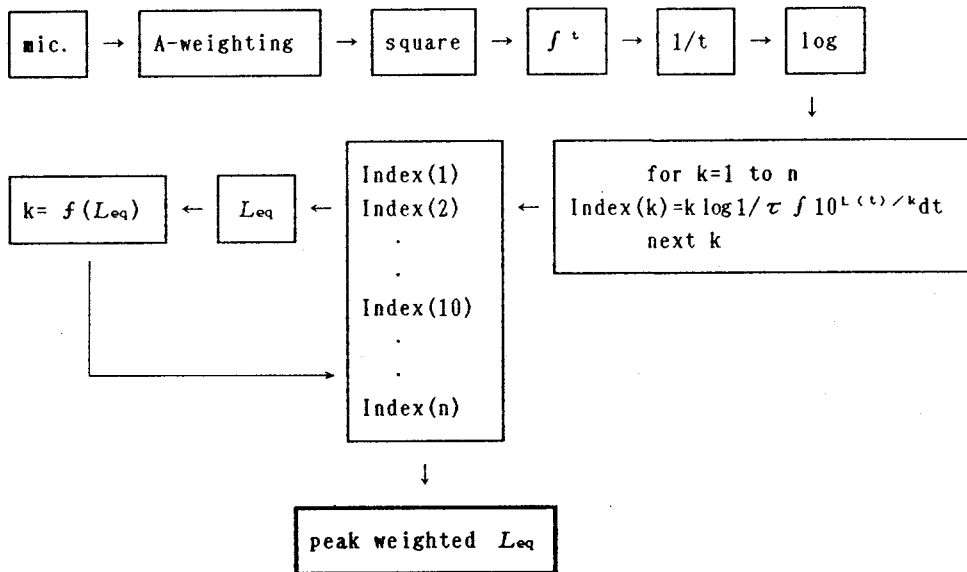


図-5.4 ピーク加重 L_{eq} の測定システム

図の流れの後半部分は騒音評価指標の計算概念を示している。対数変換された信号を(5.1)式に従って計算する。この構成は基本的には積分騒音計と同じであるが、多くの k の値について計算する必要があるため、少し複雑になっている。 k の値をどの範囲に設定し、ステップ数をどの程度にすればよいかはまだ決められない。図-5.4ではとりあえず1から1ステップずつとしている。 $k=10$ の場合は通常の L_{eq} に相当し、測定し終れば、この L_{eq} の値から k の値を決め、この値に近い k の設定値でのレベル値を読み取ればよい。ピーク加重 L_{eq} を計算するプログラムは簡単であり、これをIC化し、騒音計に組み込むことはさほど困難とは思われない。

西宮²³⁾は騒音の評価法として備えていなければならない条件として、次の6項目を挙げている。

- 1) 評価量は騒音に対する人間の反応、聴力損失、睡眠妨害、会話障害、うるささなどとよい相関をもつこと。
- 2) 評価量は騒音の瞬時現象のみならず、長時間にわたる蓄積効果(cumulative effect)も十分評価し得るものであること。
- 3) 評価量は複雑な計測システムがなくても、簡単な測定器で直接測定できる

ものであること。

- 4) 必要な測定器は、特性の標準化ができ、かつ商業生産が可能であること。
- 5) 評価量はある1つの騒音だけを評価するのではなく、他の種類の騒音も評価可能であるか、少なくとも他の評価量と換算が可能なものであること。
- 6) ある測定点における観測値は、例えば航空機騒音であれば、飛行回数、高度、運航速度、離着陸方法などの音源の動作に基づくデータによって十分の精度で予測可能であること。

平松²⁴⁾も非定常騒音の評価尺度として備わっていることが望ましい条件を5つ挙げている。

- 1) 人間の反応との関係が単純であること。
- 2) 定常音に対しても適用し得ること。
- 3) 評価量の算出において必要とするデータの測定と計算が容易であること（簡便性）。
- 4) 多種類の音に共通して用い得ること（汎用性）。
- 5) 対象とする騒音を時間的に区分した場合に、各部分の評価量からその騒音全体の評価量が導出できること（合成可能性）。

両者の条件で共通している項目は、人間の反応との対応がよいこと、簡便であること、汎用性があることの3項目で、これらは重要項目と考えられる。ここで示した指標はこれらすべてを考慮しており、従来の評価モデルの、予測精度はよいが複雑であるという欠点がある程度は改善していると思われる。ただし、平松が挙げている合成可能性は有していない。

本章ではピークの加重を考慮した騒音評価モデルについて考察したが、このようなモデルは他にもいくつも考えられる。例えば、ピークレベルに対する補正値を加算する方法なども考えられる。ここで示したものはいくつも考えられるモデルのうちの一例である。

5-6 まとめ

- 1) 前章までの実験研究をまとめて、各種騒音による不快感と騒音の暴露レベルとの関係の違いを説明するには、騒音レベルの度数分布を考慮した騒音の評価指標が必要であることを示した。

2) そのような騒音評価指標の一例として本章で提示したのは、ピークの加重を考慮した指標であり、その概念構成は等エネルギー原理とピーク概念を統合したものである。

3) 具体的には騒音の非定常性に対するアノイアンスの感度は騒音の暴露レベルによって変化すると考えられる。このことを数式で表現するには、暴露期間の L_{eq} 値によって、 k の値を変化させれば良い。

4) ピークの加重を考慮した騒音評価指標をピーク加重 (peak weighted) L_{eq} と呼び、その測定システムの概念図を示し、騒音評価指標が具備すべき条件を検討した。

※1) 暴露レベル：ここでいう暴露レベルとは瞬時の騒音レベルを指すのではなく、ある期間に暴露される騒音の全体を代表する騒音レベル（例えば、 L_{eq} や L_{dn} 等）の一般的な呼び方である。

参考文献

- 1) Robinson, D.W.: Towards a unified system of noise assessment, J. Sound Vib., 14(3), pp.279-298, 1971
- 2) Griffiths, I.D. and Langdon, F.J.: Subjective Response to Road Traffic Noise, J. Sound Vib., 8(1), pp.16-32, 1968
- 3) Rice, C.G.: Development of Cumulative Noise Measure for the Prediction of General Annoyance in an Average Population, J. Sound Vib., 52(3), pp.345-365, 1977
- 4) 平松幸三, 横江 斉, 高木興一, 山本剛夫: 騒音レベルの変動幅および変動速度とうるささとの関係—鋸歯状変動騒音による実験—, 日本公衛誌, 25(5), pp.253-258, 1978
- 5) 平松幸三, 山中浩一, 高木興一, 山本剛夫: 変動騒音のうるささ (騒音レベルの標準偏差と変動周波数の影響), 日本音響学会誌, 34(7), pp.376-386, 1978
- 6) Matschat, K., Müller, E.-A. and Zimmermann, G.: On the Formulatin of Noise Indices, Acustica, 37, pp.267-272, 1977

- 7) Molino, J. A.: Should Helicopter Noise Be Measured Differently From Other Aircraft Noise? - A Review of the Psychoacoustic Literature, NASA, Contractor Report 3609, 1982
- 8) Rylander, R., Sörensen, S. and Kajland, A.: Annoyance Reactions from Aircraft Noise Exposure, J. Sound Vib., 24(4), pp.419-444, 1972
- 9) Rylander, R., Sörensen, S., Alexandre, A. and Gilbert, Ph.: Determinants for Aircraft Noise Annoyance - A Comparison between French and Scandinavian data, J. Sound Vib., 28(1), pp.15-21, 1973
- 10) Rylander, R., Sörensen, S. and Berglund, K.: Re-analysis of Aircraft Noise Annoyance Data against the dB(A) Peak Concept, J. Sound Vib., 36(3), pp.399-406, 1974
- 11) Rylander, R., Sörensen, S. and Kajland, A.: Traffic Noise Exposure and Annoyance Reactions, J. Sound Vib., 47(2), pp.237-242, 1976
- 12) Sörensen, S. and Hammer, N.: Annoyance due to Railway Noise, J. Sound Vib., 87(2), pp.315-319, 1983
- 13) 桑野園子, 難波精一郎: 衝撃音の時間構造と大きさの関係について, 日本音響学会騒音研究会資料80N-11-5, pp.25-30, 1980
- 14) 熊谷正純, 江端正直, 曾根敏夫: 衝撃音のラウドネスについて, 日本音響学会騒音研究会資料, 80N-11-7, pp.39-44, 1980
- 15) Schultz, T. J.: Community Noise Rating Second Edition, Applied Science Publishers, pp.92-98, 1982
- 16) Flindell, I. H.: Pressure L_{eq} and Multiple Noise Sources: A Comparison of Exposure-Response Relationships for Railway Noise and Road Traffic Noise, J. Sound Vib., 87(2) pp.327-330, 1983
- 17) 田村明弘: 道路あるいは鉄道が主音源となっている地域における戸外騒音に対する住民の反応, 音響技術, 21(1), pp.47-52, 1978
- 18) 泉 清人: 複合騒音の不快感の評価に関する一連の実験, 日本建築学会環境工学委員会音環境分科会第26回音シンポジウム, pp.29-38, 1985
- 19) Powell, C. A.: Laboratory Study of Annoyance to Combined Airplane and Road-Traffic Noise, NASA Technical Paper 1478, 1979

- 20) Hall, F. L., Birnie, S. E., Taylor, S. M. and Palmer, J. E.: Direct Comparison of Community Response to Road Traffic Noise and Aircraft Noise, J. Acoust. Soc. Am., 70(6), pp.1690-1698, 1981
- 21) Robinson, D. W.: Rating the Total Noise Environment. Ideal or Pragmatic Approach?, International Congress on Noise as a Public Health Problem in Dubronic, PB241060, pp.777-784, 1973
- 22) Gjestland, T. and Oftedal, G.: Assessment of Noise Annoyance: The Introduction of a Threshold Level in L_{eq} Calculations, J. Sound Vib., 69(4), pp.603-610, 1980
- 23) 西宮 元: 騒音の影響とその評価, 騒音・振動(上)日本音響学会編(コロナ社), pp.17-61, 1978
- 24) 平松幸三: 非定常騒音の評価, 衛生工学ハンドブック(庄司 光, 山本剛夫, 畠山直隆 編集), 朝倉書店, pp.61-80, 1980

第6章 各種騒音と複合騒音の暴露－反応の関係

－各種騒音の不快感の評価モデルの検証実験－

6-1 目的と背景

最近の騒音の不快感に関する評価の研究は種々の単独の騒音の評価の比較や複合騒音の評価に重点が置かれており、これらの研究方法には第1章 表-1.5に見られるように、2つの流れがある。

1つは、膨大なデータが蓄積されている社会調査の結果を用いて、種々の騒音によるアノイアンス反応と騒音の暴露レベルとの関係を大局的に比較することを目的としており、Schultz¹⁾の先駆的な研究以後、多くの研究が発表されている。Schultz¹⁾は11の社会調査を比較検討し、これらの調査での %highly annoyedと騒音の L_{an} との関係が1本の総括曲線で表わされることを示した。しかし、その後の多くの研究ではアノイアンスと騒音の暴露レベルとの関係は音源によって異なることが示されてきた。

もう1つの方法は、より詳細にアノイアンスと騒音の暴露レベルとの関係を求めようとする立場から、Powell^{2)~5)}やその他の多くの研究者によって行われてきた実験による方法である。Powellは一連の実験結果に基づいて複合騒音の評価モデルを提案している。また、他の研究者によっても多くの種々の単独の騒音や複合騒音の評価方法が提案されてきた。

なお、我国では田村⁶⁾による社会調査や難波⁷⁾、泉^{8,9)}、佐々木¹⁰⁾他による実験研究などが報告されている。

以上の研究は主に道路交通騒音、航空機騒音、列車騒音などの交通騒音の評価に重点が置かれており、これらの騒音はISO 2204で分類されている騒音のうち変動騒音と間欠騒音に相当している。第4章では非定常騒音全般の不快感の比較を目的として、代表的な非定常騒音を対象とした評価実験を読書妨害の観点から行なった。第4章の実験では騒音の種類が多いため、設定レベルを1条件 ($L_{eq} 70dB(A)$) に留めたが、実験結果からは、他の研究結果と比較して、一般的な知見を得るには広範囲のレベルにわたって、騒音による不快感と騒音の暴露レベルとの関係を検討することが必要であることが判明した。第5章では第4章の知見をもとに、各種騒音の不快感の評価モデルを提案した。

本章では、各種の騒音による妨害感と騒音の L_{eq} との関係を求める実験を行ない、その結果を他の研究の結果と比較し、これによって前章で示した評価モデルを具体化して、その妥当性の検討を行なうことを目的とする。ここでの実験では、対象とする騒音を道路交通、航空機、列車騒音の3種類に限定し、設定レベルを L_{eq} 50～70dB(A)に拡張して、第4章と同様の手法を用いて、次の単一騒音実験と複合騒音実験の2つの実験を行なった。ここで単一騒音実験とは道路交通、航空機、列車騒音をそれぞれ単独に提示して、その妨害感を評価させる実験であり、複合騒音実験とは航空機騒音または列車騒音の間欠騒音を卓越騒音とし、道路交通騒音を暗騒音として、これらの2つの騒音を合成して提示し、その妨害感を評価させる実験のことを言うものとする。

これら両実験を通して、主にレベル変動特性から次の2点について検討する。

- 1) 単一騒音実験からは、騒音源が異なる場合に騒音による不快感とそれらの騒音の L_{eq} との関係には差があるか。もし、このような騒音の不快感と L_{eq} との関係に差があれば、その差は前章で示した評価モデルによって、うまく説明できるか。
- 2) 複合騒音実験からは、2つの騒音（卓越騒音と暗騒音）からなる複合騒音の全体の妨害感に暗騒音の影響はあるか。

本章の主眼とするところは上述の1)であり、2)は複合騒音の不快感の評価のための一資料を提供して、今後の研究の方向や手懸かりを得ることを目的としている。

6-2 実験

6-2-1 実験音

実験音として用いる道路交通騒音、列車騒音、航空機騒音はそれぞれ熊本市内の幹線道路沿い、鹿児島本線の沿線、福岡国際空港の周辺でPCM(Pulse Code Modulation)録音し、これらを収録したテープをマスターテープとした。その後、現場での録音レベルが実験条件として設定した実験室内の再生レベルにできるだけ等しくなるものを選んで、カセットテープにダビングして実験用テープとした。

騒音源が単一である騒音の概要を表-6.1に、その録音状況を表-6.3に示す。

表-6.1 単一騒音の条件

音源	道路交通, 航空機, 列車
設定レベル L_{eq} (dB(A))	50, 60, 70
出現回数	2, 4回/6分 (航空機, 列車のみ)

表-6.2 複合騒音の条件

卓越音源	航空機, 列車
出現回数	4回/6分
全体の L_{eq} (dB(A))	60, 70
卓越騒音の L_{eq} を基準とした 道路交通暗騒音レベル (dB(A))	0, -10, -20, -30

表-6.3 実験音の録音状況

騒音源	L_{eq}	録音状況
1 道路交通騒音	70	国道57号線道路端で録音
2 道路交通騒音	60	国道57号線道路端より約10mの地点で録音
3 道路交通騒音	50	国道57号線道路端より約100mの地点で録音
4 航空機騒音 2回/6分	70	福岡空港周辺, L1011 (着陸), A300 (離陸)
5 航空機騒音 2回/6分	60	A300 (着陸), A300 (離陸)
6 航空機騒音 2回/6分	50	A300 (着陸), B767 (離陸)
7 航空機騒音 4回/6分	70	A300 (着陸), B747 (離陸), L1011 (着陸), DC10 (離陸)
8 航空機騒音 4回/6分	60	A300 (着陸), L1011 (着陸), B747 (着陸), B767 (離陸)
9 航空機騒音 4回/6分	50	A300 (着陸), B767 (離陸), DC10 (着陸), A300 (離陸)
10 列車騒音	2回/6分	鹿児島本線線路端より約13m地点で測定 すべて電車
11 列車騒音	2回/6分	
12 列車騒音	2回/6分	
13 列車騒音	4回/6分	
14 列車騒音	4回/6分	
15 列車騒音	4回/6分	

また、単一騒音のレベル記録を付図-6.1～付図-6.15に示す。表-6.1の航空機騒音の出現回数4回/6分は福岡国際空港の最頻時の出現回数にほぼ相当している。実験用テープの左チャンネルにはこれらの15種類の騒音を収録した。また、単一騒音実験用の航空機騒音と列車騒音の実験テープの右チャンネルには、道路端より約200mの地点で録音した継続時間6分のほぼ定常な道路交通騒音を録音した。これは、実験音を再生するときに航空機騒音や列車騒音が録音されていない部分の不自然さを軽減するために、航空機騒音や列車騒音と合成して提示するためのものである。この道路交通騒音を単独で再生すると、その L_{eq} が40dB(A)となるように設定した。

複数の騒音源による複合騒音の概要を表-6.2に示す。そのレベル記録を付図-6.16～付図-6.31に示す。表-6.2のうち、卓越騒音である航空機騒音と列車騒音は表-6.3の中の4回/6分で60、70dB(A)のものと同じであり、全体の L_{eq} とは、複合騒音を構成する個々の騒音のエネルギーを加算して求めた複合された騒音全体の L_{eq} である。複合騒音による実験を行なうときに、暗騒音として提示する道路交通騒音のレベルの0、-10、-20、-30dB(A)は、卓越騒音（この場合は航空機騒音や列車騒音）の L_{eq} を基準とした相対的な道路交通騒音の L_{eq} であり、それぞれ道路端、道路端より約10m、約100m、約200mで録音したものである。複合騒音を構成する個々の騒音のうち、卓越騒音は実験用テープの左チャンネルに暗騒音は右チャンネルに録音した。

なお、実験中は実験音を提示するときだけでなく、休止時間も含めて、常に L_{eq} 30dB(A)の空調騒音（エンドレステープに録音）を流した。無響室内では休止時間に無音状態があれば、被験者は耳内雑音等を感じ、一般に奇異な印象を受ける。この空調騒音はこのような奇異な印象を軽減するためのものである。

実験音のレベル値は第4章と同様に時定数0.1s（fast相当）のログアンプを通した信号をデジタルメモリー（岩通 DM-7100）で0.05sごとにサンプリングして、マイクロコンピュータで読み取った。これを基にして実験音の時間率騒音レベルと騒音レベルの標準偏差を求め、表-6.4、表-6.5に示した。騒音レベルの累積度数分布を図-6.6、6.7に示す。また、実験音の1オクターブ分析結果を図-6.1示す。

表-6.4 単一騒音の時間率騒音レベルと標準偏差(dB(A))

騒音源	L_{eq}	L_{max}	L_1	L_5	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{95}	σ
1 道路交通騒音	70	82.6	79.5	75.9	74.0	67.9	58.9	57.7	5.8
2 道路交通騒音	60	69.9	68.3	65.6	64.0	58.5	52.0	50.6	4.4
3 道路交通騒音	50	55.3	54.9	53.4	52.8	49.8	47.9	47.1	1.9
4 航空機騒音 2回/6分	70	84.8	84.4	77.7	72.4	46.3	43.0	42.6	10.8
5 航空機騒音 2回/6分	60	75.5	75.3	68.3	61.8	43.3	39.6	38.6	8.5
6 航空機騒音 2回/6分	50	66.7	65.5	55.7	48.0	41.6	38.4	37.6	5.3
7 航空機騒音 4回/6分	70	85.9	84.5	78.2	73.7	47.6	42.7	42.3	12.0
8 航空機騒音 4回/6分	60	75.3	74.2	68.7	64.9	42.8	39.4	38.3	9.4
9 航空機騒音 4回/6分	50	62.3	61.7	58.0	55.6	41.5	38.6	37.6	6.4
10 列車騒音 2回/6分	70	84.3	83.9	79.6	65.7	44.5	42.0	41.4	10.9
11 列車騒音 2回/6分	60	77.9	77.9	63.4	56.5	43.8	40.9	40.1	7.4
12 列車騒音 2回/6分	50	65.4	64.1	55.2	51.1	41.9	38.8	38.0	5.5
13 列車騒音 4回/6分	70	85.7	84.1	79.6	68.4	43.9	41.6	41.2	11.9
14 列車騒音 4回/6分	60	77.5	74.5	67.7	61.0	45.3	40.6	39.6	8.6
15 列車騒音 4回/6分	50	67.0	66.8	55.8	50.5	41.7	38.8	37.8	5.5

表-6.5 複合騒音の時間率騒音レベルと標準偏差(dB(A))

卓越音源	L_{max}	L_1	L_5	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{95}	σ
1 航空機騒音 70, 0 ^{a)}	82.1	81.3	75.8	73.8	67.0	58.5	57.6	5.8
2 航空機騒音 70, -10	85.7	84.5	77.5	72.9	60.2	53.9	52.7	7.6
3 航空機騒音 70, -20	85.8	83.4	78.1	73.2	53.4	49.3	48.5	9.4
4 航空機騒音 70, -30	85.7	84.3	78.2	73.9	47.8	43.9	42.9	11.8
5 航空機騒音 60, 0	73.2	71.2	66.9	64.2	56.5	48.9	47.7	5.7
6 航空機騒音 60, -10	75.0	73.8	67.9	64.2	50.5	44.6	43.4	7.3
7 航空機騒音 60, -20	76.1	75.0	68.1	64.0	43.0	39.1	38.7	9.4
8 航空機騒音 60, -30	76.3	74.1	67.9	64.3	37.3	35.5	35.1	11.2
9 列車騒音 70, 0	82.2	81.0	77.1	73.8	66.9	58.1	56.5	5.9
10 列車騒音 70, -10	82.8	82.6	78.3	71.3	60.1	54.4	53.2	7.0
11 列車騒音 70, -20	85.4	83.3	79.7	68.6	52.9	49.7	49.4	8.8
12 列車騒音 70, -30	85.4	83.4	78.7	69.5	45.0	42.4	41.9	11.8
13 列車騒音 60, 0	76.2	70.7	66.6	63.4	57.0	49.3	47.5	5.5
14 列車騒音 60, -10	75.0	73.8	67.2	62.1	51.9	45.8	44.2	6.6
15 列車騒音 60, -20	77.1	75.5	67.5	61.6	45.7	41.2	40.4	8.5
16 列車騒音 60, -30	75.9	73.7	67.4	61.6	40.0	36.3	35.9	10.8

注 a) 全体の L_{eq} , 卓越騒音レベルを基準とした道路交通騒音の L_{eq} 値 (dB(A))

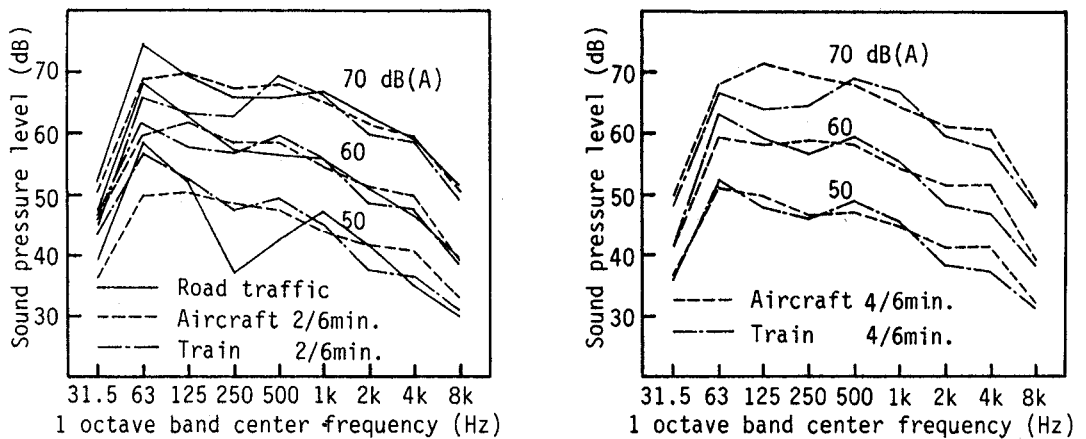


図-6.1 単独騒音の1オクターブバンド分析結果（6分間のエネルギー平均レベル）

6-2-2 被験者

被験者は18～26歳の男女学生で、単一騒音実験では男子学生24名、女子学生26名の合計50名で、複合騒音実験では男子学生25名、女子学生25名の合計50名であり、両実験で被験者の重複はない。実験前に全被験者にオーディオメータ（リオンAA-68N）によって純音による気導聴力検査を行なった。聴力レベルが35dBを越えるもの（難聴）はいなかった。なお、被験者には拘束時間に応じた謝金を支払った。

6-2-3 実験方法

実験装置の構成を図-6.2に示す。無響室内での再生レベルが所定の L_{eq} 値になるように、実験用テープの左右チャンネルの出力をアッテネータで調節して、別のカセットデッキの空調騒音の出力と共に、オーディオミキサーで合成した。その出力をローパスフィルター、アンプを通して、スピーカから再生した。ローパスフィルターはヒスノイズ²¹⁾の低減のために挿入したものである。

被験者には実験前に教示を与え、実験の主旨を十分理解させるように努めた。被験者には実験室内の椅子に座り、前方のランプが点燈すると、与えられた図書をリラックスして読書するように指示した。被験者の読書中に6分間だけ騒音を暴露した後、図-6.3のカテゴリーに従って、読書中に感じた妨害感を評定させた。

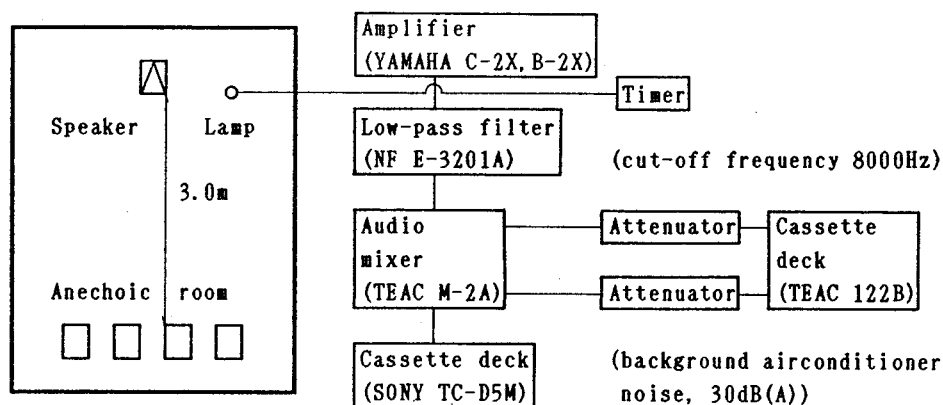


図-6.2 実験装置の構成

- | | |
|---|-----------------|
| 1 | 全くじゃまにならない |
| 2 | ほとんどじゃまにならない |
| 3 | すこしじゃまになる |
| 4 | 中くらいにじゃまになる |
| 5 | かなりじゃまになる |
| 6 | 非常にじゃまになる |
| 7 | 我慢できないくらいじゃまになる |

図-6.3 カテゴリー尺度

単一騒音および複合騒音による本実験に先立ち、実験音として用いる騒音とは異なる別の道路交通騒音 ($L_{eq} 60\text{dB(A)}$) を用いて、被験者に実験要領の修得と判断基準の確立のための練習を行なった。これに続けて本実験を行なったが、実験音を5~6回暴露するごとに約5~10分の休憩を入れ、実験を終了するのに約2時間半要した。被験者は最大4名まで同時に実験することができる。実験音の提示順序は同時に実験する被験者グループごとに異なり、読書順序は被験者ごとに異なって、すべてランダムである。なお、読書用の図書は内容が難解でない一般的な読み物である。

6-3 結果

全被験者のカテゴリー尺度の単純平均と標準偏差を表-6.6に示す。表-6.7は心理的連続体上における被験者の反応分布が正規分布であるとして、カテゴリー数値尺度を距離尺度に変換し、各騒音に対する妨害感の距離尺度を求めた

表-6.6 カテゴリー尺度の平均値
と標準偏差

No	単一騒音		複合騒音	
1	4.68	1.30	3.88	1.27
2	2.86	1.31	3.66	1.24
3	1.92	0.66	3.70	1.17
4	3.98	1.42	3.98	1.19
5	2.84	1.08	2.58	0.94
6	2.30	0.78	2.68	1.01
7	4.06	1.43	2.82	0.97
8	3.30	1.25	2.74	1.05
9	2.18	0.95	3.70	1.42
10	3.72	1.06	3.70	1.20
11	2.36	0.95	3.54	0.98
12	2.06	0.54	3.62	1.15
13	3.82	1.14	2.74	1.16
14	2.72	0.98	2.52	0.90
15	2.18	0.74	2.72	0.92
16	—	—	2.46	0.96

表-6.7 距離尺度の平均値と
標準偏差

No	単一騒音		複合騒音	
1	0.42	0.95	-0.11	1.07
2	-1.10	1.16	-0.29	1.07
3	-2.00	0.77	-0.26	1.00
4	-0.14	1.14	-0.02	1.00
5	-1.07	0.97	-1.21	0.82
6	-1.58	0.81	-1.13	0.89
7	-0.09	1.15	-1.00	0.85
8	-0.67	1.02	-1.07	0.93
9	-1.75	1.02	-0.27	1.21
10	-0.28	0.82	-0.25	1.01
11	-1.55	1.00	-0.38	0.82
12	-1.81	0.64	-0.32	0.96
13	-0.22	0.89	-1.09	1.05
14	-1.17	0.93	-1.26	0.82
15	-1.71	0.79	-1.08	0.81
16	—	—	-1.32	0.86

表-6.8 カテゴリーの距離尺度

カテゴリー	1	2	3	4	5	6	7
単一騒音	-3.16	-1.85	-0.79	0.00	0.66	1.33	2.06
複合騒音	-2.77	-1.70	-0.79	0.00	0.80	1.70	—

ものである。単一騒音実験、複合騒音実験のどちらの実験結果も騒音レベルが大きいほど標準偏差は大きい傾向にある。距離尺度の平均値を図示したものが図-6.4、6.5である。なお、表-6.8にはカテゴリーの距離尺度を示す。カテゴリーの番号を表わす数値と距離尺度の相関係数は単一騒音実験では0.991、複合騒音実験では0.999であり、非常に相関が高い。

要因の有意差を検定するために、単一騒音実験では音源× L_{eq} レベル×被験者の3元配置による分散分析を行ない、複合騒音実験では音源×全体の L_{eq} レベル×暗騒音レベル×被験者の4元配置による分散分析を行なった。単一騒音の場合には音源および設定レベルの主効果に有意水準1%で有意差が見られ、これらの交互作用にも1%で有意差が認められた。すなわち、騒音の妨害感と L_{eq} との関係の音源による差は偶然に生じたのではなく、有意な差であることを示している。一方、複合騒音の場合には卓越音源と全体の L_{eq} の主効

果にはそれぞれ有意水準5%と1%で有意差が見られたが、暗騒音レベルの主効果には5%で有意差が見られず、交互作用にはすべて5%で有意差は認められなかった。このことは特に暗騒音レベルによって妨害感が影響されるとは言えないことを示している。

また、妨害感の音源による有意差を検定するためにも検定を行なった。

単一騒音実験で L_{eq} が70dB(A) の場合には道路交通騒音の妨害感と他の4つの騒音による妨害感との間には1%で有意差があるが、航空機騒音の妨害感と列車騒音の妨害感との間にはお互いに有意差はない。すなわち、 L_{eq} 70dB(A) では道路交通騒音が有意に妨害的であることを示している。 L_{eq} 60dB(A) の場合には航空機騒音4回/6分と列車騒音2回/6分の妨害感、それぞれ、それ以外の他の4つ騒音の妨害感との間には有意差があるが、航空機騒音4回/6分と列車騒音2回/6分以外の他の3つの騒音の妨害感の間にはお互いに有意差はない。 L_{eq} が50dB(A) の場合には道路交通騒音と航空機騒音2回/6分、道路交通騒音と列車騒音4回/6分、および航空機騒音2回/6分と列車騒音2回/6分の妨害感の間に有意差が見られた(図-6.4(d))。 L_{eq} 50dB(A) の場合には道路交通騒音は航空機騒音や列車騒音より妨害的でないが、その差は L_{eq} 70dB(A) の場合ほど顕著ではないことを示している。

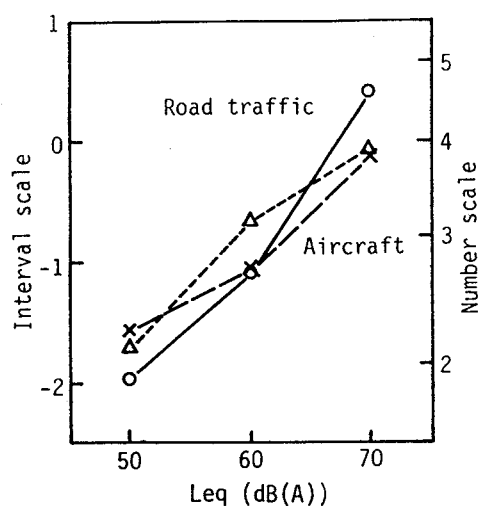
複合騒音ではわずかに全体の L_{eq} 70dB(A) で暗騒音レベル-30dB(A) の場合に有意水準5%で有意差が認められたにすぎない(図-6.5)。すなわち、航空機騒音や列車騒音に道路交通騒音を複合させると、暗騒音レベルが0~-20dB(A) では卓越音源による妨害感の差が表われていない。

6-4 考察

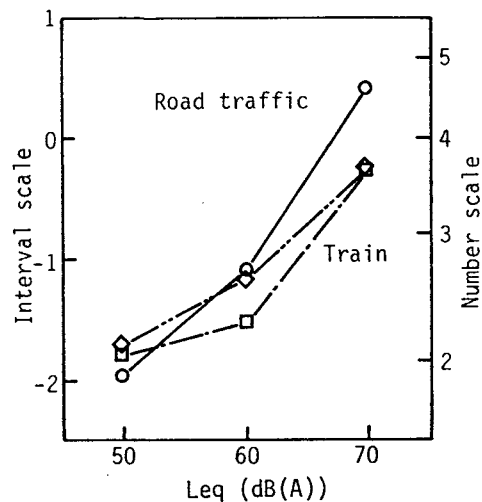
6-4-1 各種の騒音による妨害感の違い

図-6.4は3つの異なる音源からの騒音による妨害感とそれらの騒音の L_{eq} との関係と比較したものである。妨害感は L_{eq} の増加とともに増しており、エネルギーに大きく支配されている。しかし、各種の騒音の妨害感には前述のように有意な差がある。図-6.4から次のことがわかる。

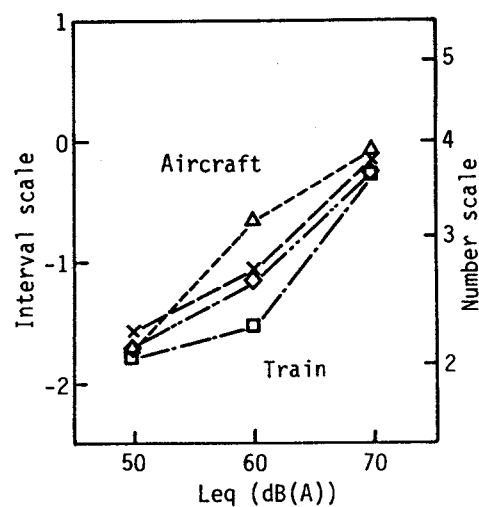
- 1) 航空機騒音の妨害感は道路交通騒音の妨害感より L_{eq} 50、60dB(A) では大きい、 L_{eq} 70dB(A) では小さい。



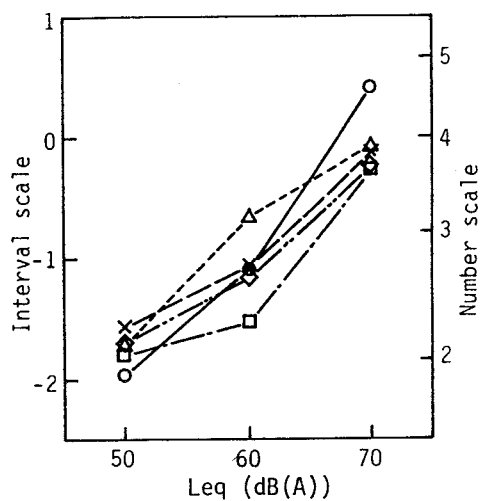
(a) 道路交通騒音と航空機騒音



(b) 道路交通騒音と列車騒音



(c) 航空機騒音と列車騒音



(d) 全データ

図-6.4 各種騒音による妨害感の比較

- 道路交通騒音
- △—△ 航空機騒音 4回/6分
- x---x 航空機騒音 2回/6分
- ◇—◇ 列車騒音 4回/6分
- 列車騒音 2回/6分

- 2) 列車騒音の妨害感は道路交通騒音の妨害感より L_{eq} 50dB(A)では大きい、 L_{eq} 60、70dB(A)では小さい。
- 3) 航空機騒音や列車騒音の間欠騒音では L_{eq} が等しくても、騒音の出現回数が大きい方が妨害的であり、騒音の出現回数の違いによる妨害感の差は L_{eq} 60 dB(A)で大きい、 L_{eq} 50、70dB(A)ではその差は小さい。
- 4) 航空機騒音はほぼ列車騒音より妨害的であるが、これらの音源による反応の変化傾向は類似している。
- 5) 道路交通騒音の妨害感と L_{eq} との関係は他の2つの騒音とは異なり、変化勾配は急である。 L_{eq} 50dB(A)では他の騒音より妨害的でないが、 L_{eq} 70dB(A)では他の騒音よりも妨害的である。

つぎにこれらの結果を他の研究の結果と比較してみる。

FieldsとWalker¹¹⁾はイギリスでの社会調査を比較して、道路交通騒音、航空機騒音、列車騒音のうち列車騒音が最もうるさくなく、航空機騒音は道路交通騒音よりうるさいことを示した。彼らの研究は社会調査に基づいており、これを今回の結果と直接比較するには無理があるが、音源によるアノイアンス反応の傾向は本研究の傾向と似ている。FieldsとWalkerはこの原因として、列車騒音には音源に対する肯定的な態度等の社会的要因が作用している可能性を指摘した。また、航空機騒音が道路交通騒音よりもうるさいのは、等 L_{eq} でも航空機騒音の方が高騒音レベルが多いことによるかも知れないことを示唆した。

Flindell¹²⁾は列車騒音と道路交通騒音によるアノイアンスと L_{eq} との関係の違いを説明するのに、それらのレベルの分布の違いに着目して、ピークレベルの重みづけを相対的に小さくする音圧 L_{eq} を適用することによって行なった。田村⁹⁾も社会調査の結果に $\bar{Q}$ を適用して同様の結論に達している。これらの研究は社会調査に基づいているが、ここでの単一の騒音を暴露した実験の結果がこれらと類似した傾向を得ているのは興味深い。

Powell¹⁴⁾は L_{eq} 30~60dB(A)の範囲で、航空機騒音と道路交通騒音とのアノイアンスの比較実験を行ない、単独にこれらの騒音を暴露した場合には航空機騒音は道路交通騒音より有意にうるさいことを見いだした。泉^{8・9)}は模擬居間実験によって道路交通騒音と航空機騒音、および道路交通騒音と列車騒音に関して、これらを単独に暴露した場合と、2つの異なる騒音を複合させて暴露し

た場合についてアノイアンスの評価実験を行なっている。道路交通騒音と列車騒音のアノイアンスとそれらの騒音の L_{eq} との関係には差は見られないが、道路交通騒音と航空機騒音のアノイアンスを比較すると、 L_{eq} 60～70dB(A)以下では航空機騒音が道路交通騒音よりうるさく評価されており、本研究の結果の傾向とよく一致している。

単一騒音による実験からの知見は、前章で評価モデルを作製する際に参考とした社会調査や実験の結果と傾向が似ており、前章で示したモデルが適用可能であることを示している。

6-4-2 複合騒音状態における暗騒音の影響

図-6.5は複合騒音状態における妨害感と暗騒音レベルの関係を示す。全体の L_{eq} が60、70dB(A)のどちらの場合でも、また航空機騒音、列車騒音のどちらが卓越音源である場合にも、暗騒音の影響は見られず、分散分析の結果とも一致している。しかし、詳細に見れば、暗騒音レベルが低い状態では航空機騒音の妨害感は列車騒音より大きく、単一騒音実験の結果と類似している。暗騒音レベルが0～-20dB(A)の範囲で航空機騒音と列車騒音の妨害感に差が見られないが、これは次の理由によるものと考えられる。すなわち、道路交通騒音（暗騒音）のレベルを増加させると、道路交通騒音が全体の妨害感に寄与する割合が大きくなること、および、騒音が長時間にわたって提示されるときに、

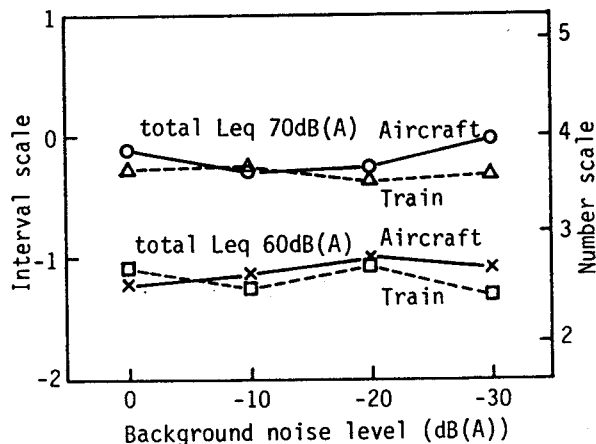


図-6.5 妨害感と暗騒音レベルとの関係
(暗騒音レベルの値は卓越騒音の L_{eq} を基準とした相対的なレベルである)

騒音全体の不快感に大きく影響するといわれる L_{10} などの高い騒音レベルの値が、各複合騒音の間ではほぼ等しくなっていること（図-6.7）等に起因していると考えられる。

PowellとRice²⁾は道路交通騒音が暗騒音である場合の航空機騒音のアノイアンスに関する研究で、ほぼ定常な暗騒音が連続してテスト期間中提示されると、暗騒音レベルが大きいほどアノイアンスは低下するが、暗騒音レベルが航空機騒音暴露の前後5秒を含む期間だけ提示されると、暗騒音レベルの影響は小さくなることを示した。航空機騒音暴露の前後5秒を含む期間だけ暗騒音を提示した場合に暗騒音の影響が小さいのは、航空機騒音と暗騒音を合成した全体のレベル変動そのものが間欠的となるため、暗騒音を連続して提示した場合に比べて、騒音の非定常性を弱めることにはならないためと考えられる。

また、Powell³⁾は個々の航空機騒音のアノイアンス判断において、暗騒音として提示した道路交通騒音の影響を調べ、道路交通騒音のレベルが大きいほど、航空機騒音のアノイアンスは低下することを示した。これらの研究では被験者は航空機騒音のアノイアンスを判断するように指示されているため、他の刺激によるマスキングの効果が現われ易いと考えられる。本研究では判断する音源を特定せずに全体の妨害感を判断させた。Powellと本章の結果の違いは被験者に与えた指示の差によるところが大きいと考えている。

さらに、Powell⁴⁾は航空機騒音と道路交通騒音の複合暴露状態でのアノイアンスの評価実験を通して、その全体のアノイアンスには航空機騒音と道路交通騒音のレベル間に有意な交互作用が見られ、このことは L_{eq} というエネルギー加算概念では適切に評価されないとした。

Taylor他¹³⁾はトロント国際空港周辺での社会調査の結果から、暗騒音が航空機騒音に対する社会反応に及ぼす影響を種々の統計分析によって検討し、暗騒音の影響は一般に有意でないことを示した。

難波他¹⁴⁾は複合騒音の評価に関する研究を比較検討し、特定騒音に着目すれば、暗騒音レベルが増すと、特定騒音のアノイアンスは減少するが、暗騒音と特定騒音の両者を含めた環境全体の評価には、両者の加算によるエネルギー増がアノイアンスの加算につながるとした。すなわち、複合騒音全体について評価させる場合にはエネルギー加算モデルが適しており、特定騒音について評

価させる場合にはエネルギー差モデルが適していることを見いだした。このことは今回の複合騒音実験で暗騒音レベルが提示時間全体の妨害感に及ぼす影響は有意でないという結果と良く符合している。

しかし、今回の結果だけでは複合騒音の評価モデルの比較や、新しい提案を行なうにはデータが不足している。複合騒音の評価には複合騒音のどういう側面（複合騒音全体のアノイアンス、特定音源のアノイアンス、卓越音源のアノイアンス）を評価させるかという問題や、複合騒音を構成する個々の騒音による心理的加算や抑制等の複雑な要因が絡むため、本論文では得られた知見を述べるに留め、より詳しい検討は今後の課題としたい。

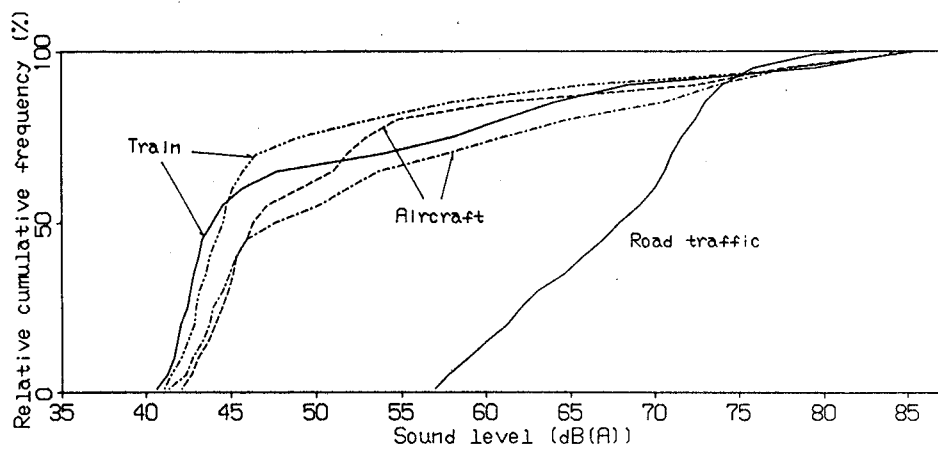
6-4-3 各種の騒音のレベル変動特性、およびIndexと k との関係

前章では非定常騒音の不快感に騒音のレベル変動特性が大きく影響することを示した。ここでは実験音の瞬時レベルの累積度数分布を示すと共に、前章の評価モデルの基になった(5.1)式のIndexの値と k との関係を瞬時レベルの累積度数分布との関係から考察する。

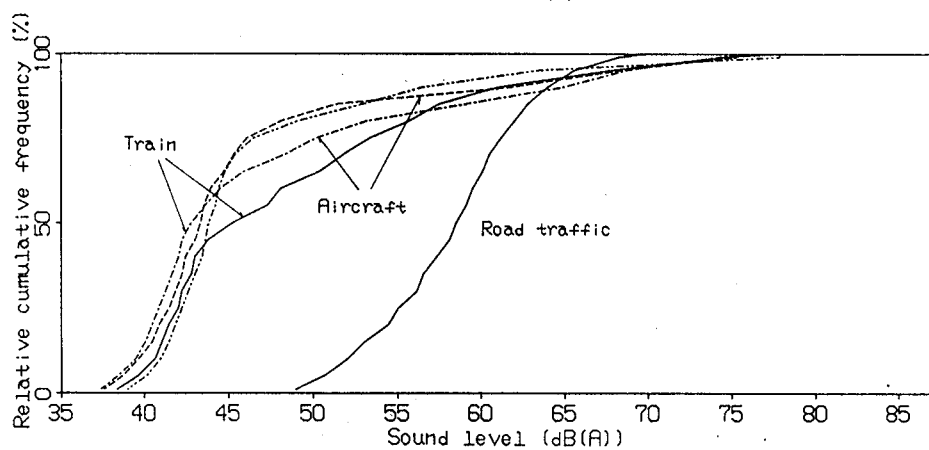
図-6.6、6.7は本章で用いた実験音の騒音レベルの累積度数分布を求めたものである。この図から道路交通騒音のレベル分布はほぼ正規分布していると思なすことができようが、航空機騒音と列車騒音のレベル分布は正規分布と思なすことはできない。しかし、航空機騒音と列車騒音はそのレベルの累積度数分布がよく似ており、レベル変動の範囲は広いが、相対累積度数が50%以下のレベルの範囲が狭く、偏った分布となっている。特に、航空機騒音と列車騒音は道路交通騒音より高騒音レベル部分が多く、ピークレベルが大きい。

図-6.8は k の値を3~40の範囲で変化させたときの(4.1)や(5.1)式のIndexの値の変化の様子を示したものである。道路交通騒音のように連続的に変動する騒音はIndexの変化は少ないが、航空機騒音と列車騒音のような間欠騒音の場合には、そのIndexの変化の範囲は大きい。定常騒音であれば、 k の値を変化させてもIndexの値は一定であり、常に L_{eq} と同じ値である。

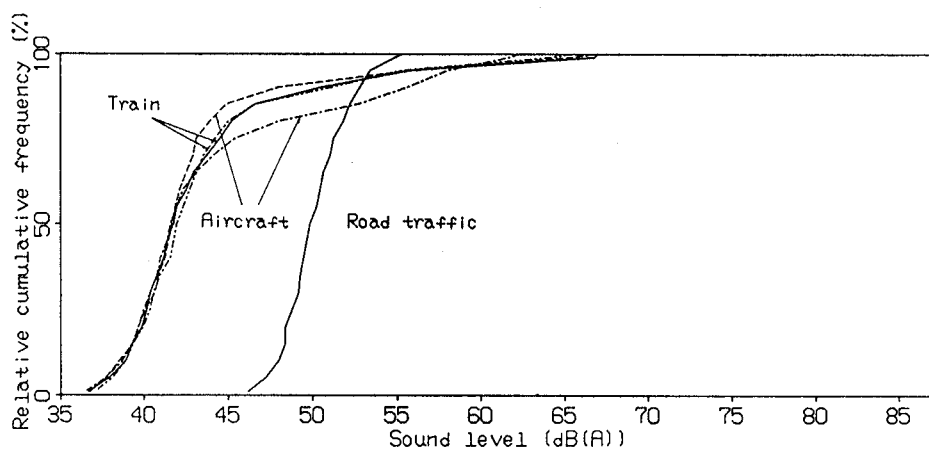
図-6.9は実験音のうち道路交通騒音と航空機騒音2回/6分の2つを例にとって、 k をパラメータとしてIndexの値と L_{eq} との関係を示したものである。道路交通騒音では k の値を変化させても、 L_{eq} の値に対するIndexの値はそれほ



(a) L_{eq} 70dB(A)

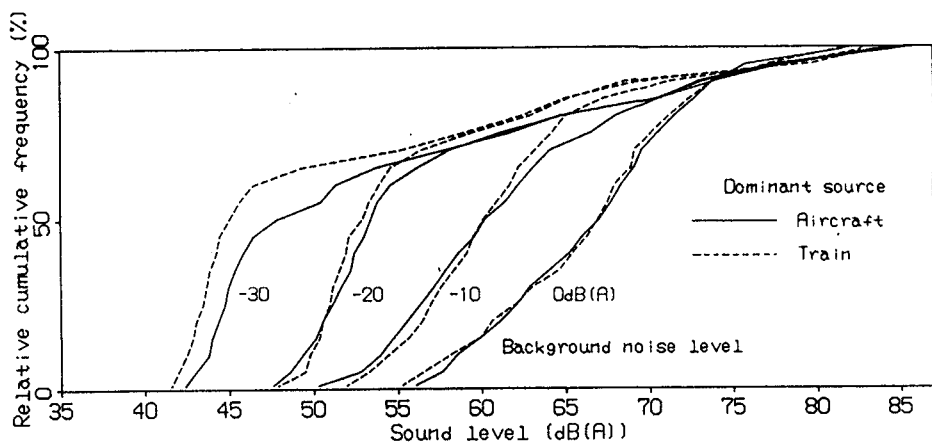


(b) L_{eq} 60dB(A)

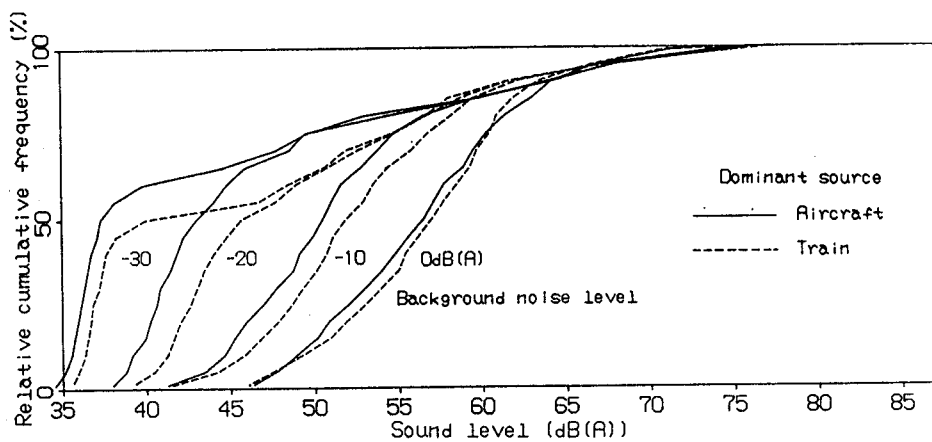


(c) L_{eq} 50dB(A)

図-6.6 単一騒音のレベルの累積度数

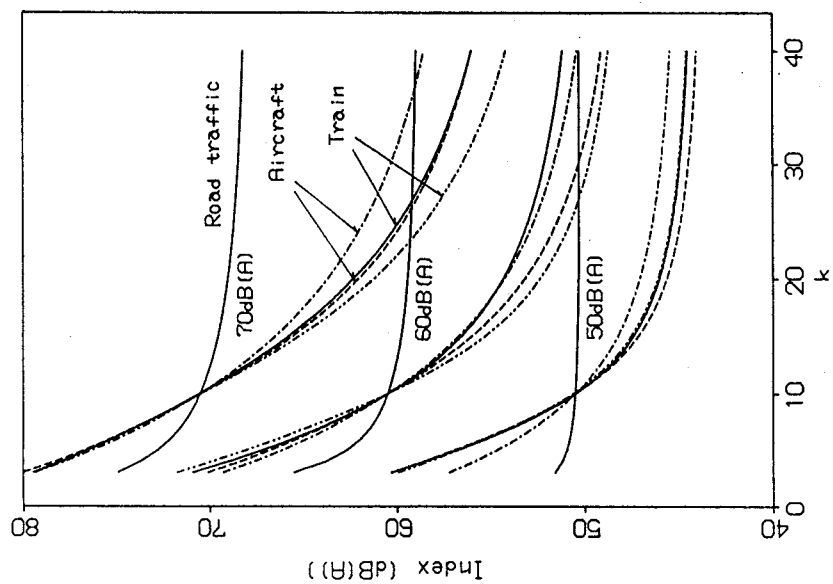


(a) 全体の L_{eq} 70dB(A)

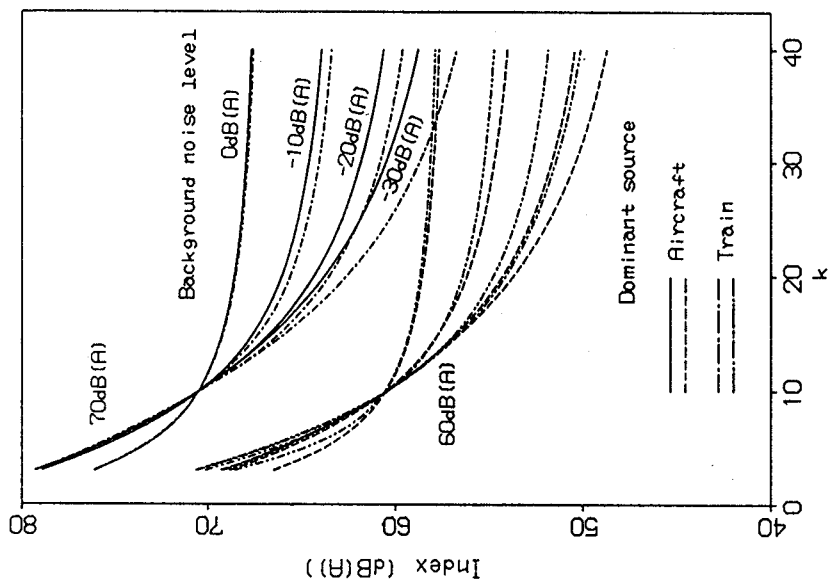


(b) 全体の L_{eq} 60dB(A)

図-6.7 複合騒音のレベルの累積度数



(a) 単一騒音



(b) 複合騒音

図-6.8 実験音の(5.1)式によるIndexの計算値とkとの関係

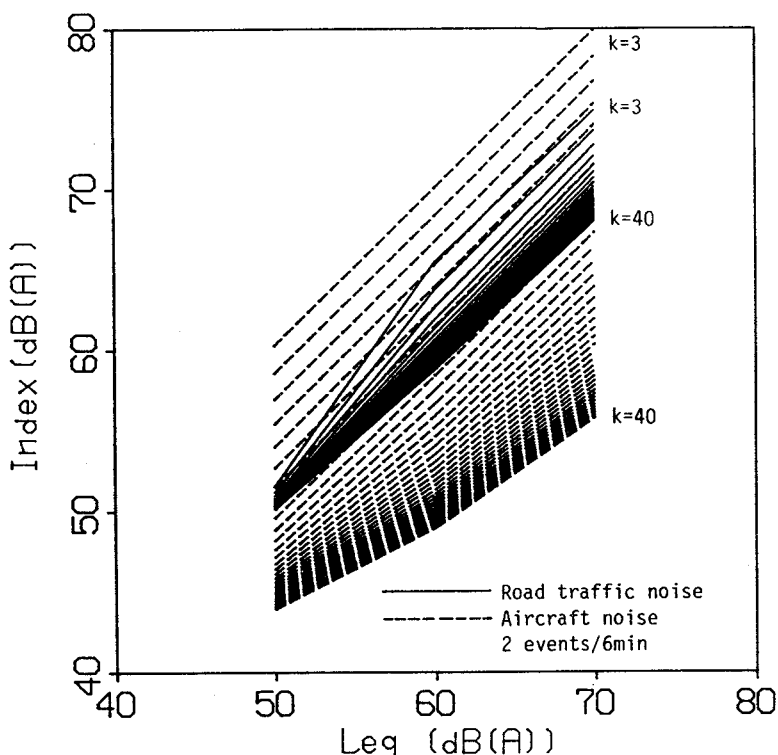


図-6.9 (5.1)式のIndexと L_{eq} との関係 (パラメータは係数 k)

ど大きくは変わらないが、航空機騒音では k が3と40とでは非常に大きく変わることが分かる。定常騒音であれば、 k を変化させても、図中の線 (Indexと L_{eq} との関係) はすべて重なってしまい、1本の直線で表わされる。前章で示したピークの加重を考慮した評価モデルでは、高暴露レベルで k を大きく、低暴露レベルで k を小さくするが、図-6.9で航空機騒音の場合に L_{eq} 70dB(A)で $k=40$ 、 L_{eq} 50dB(A)で $k=3$ というような極端な値を採用すれば、暴露量は増大しているのにIndexの値は減少するという矛盾が生じることに注意しなければならない。

6-4-4 係数 k と L_{eq} との関係

表-6.9に妨害感の距離尺度と多くの騒音評価指標との相関の比較を示した。単一の騒音による実験、複合騒音による実験の両場合とも全体としては妨害感と L_{eq} との相関が最も高く、比較した中では L_{eq} が最適の指標である。しかし、図-6.4に示したように、 L_{eq} が各種の騒音による妨害感とそれらの L_{eq} との

表-6.9 妨害感と各種の騒音評価指標との相関係数

騒音評価指標	単一騒音による実験	複合騒音による実験
L_{max}	0.880	0.935
L_1	0.858	0.942
L_5	0.941	0.954
L_{10}	0.941	0.965
L_{50}	0.479	0.501
L_{90}	0.445	0.601
L_{95}	0.468	0.629
$L_5 - L_{95}$	0.667	0.156
$L_{10} - L_{90}$	0.716	0.086
σ	0.680	0.108
TNI	0.817	0.367
L_{eq}	0.942	0.975
L_{eq}	0.933	0.954
L_{np}	0.872	0.706
$\bar{L} + \sigma$	0.907	0.835

関係の相違を十分に説明しているわけではなく、他の研究結果も考慮して、評価指標の検討を行なう必要があろう。

(1) 妨害感と k の値との相関

騒音の不快感の評価に際して、(5.1)式の k または(5.2)式の q の値をいくかにすべきかという問題に関して、多くの研究が行なわれてきた。Schultz¹⁵⁾ は継続時間のアノイアンス等への影響を調べたいくつかの研究を調査して、 q (D. D. ペナルティ) がいくかに相当しているかを解説している。Schultzの解説を引用すると、以下の通りである。

『KryterとPearsonsは継続時間が異なる航空機騒音を使って、等アノイアンスに関して実験室での主観判断テストを行なった。その結果からは $\bar{Q}$ とほぼ同様の指標である L_{EPN} ²²⁾ に対しては、騒音の継続時間が1秒から100秒まで増すことは、 q が6から2まで減少するのに相当することになる。上述したように、 $q = 4$ という平均値をKoppe他は使っている。Langは現場研究の結果から $q = 4$ が交通騒音のアノイアンスを表わすのに適していると結論付けている。BrauneとGruberは実験室実験から、人工的に変動する騒音に関しては $q = 2$ が適しているという結果を得ている。Stevens他が提案したCNR法²³⁾ の継続時間に対する補正値は $q = 2.5$ に相当している。聴力損失の危険に関するOSHA²⁴⁾ 規制では、

変動する騒音が低レベルになっている間に聴力が回復するためには、 $q=5$ とすることが必要であるとしている。耳の医学的な考慮に基づいて、Meisterは騒音のレベルと継続時間によって q を1～6の範囲の値とすることを推薦している。』

また、Finke他¹⁶⁾は航空機騒音に関して q の値を1～10の範囲で変化させても、アノイアンスと $\bar{Q}$ との相関係数は変わらず、相関係数の値に関しては q の影響は殆どないことを報告した。

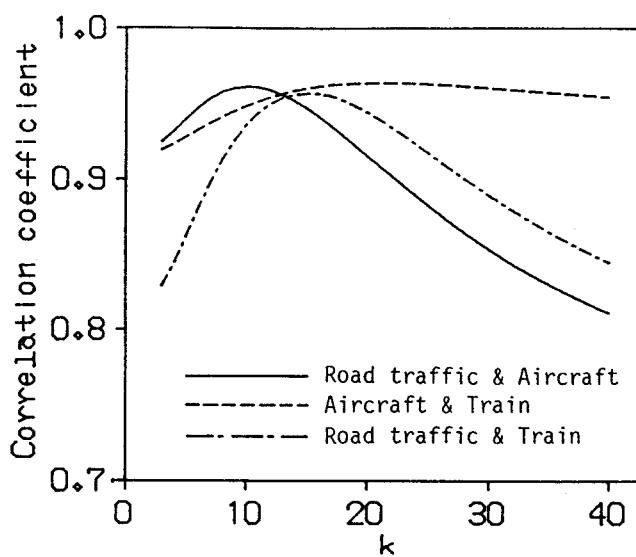
Schultzが解説したいくつかの研究やFinke他の研究は、 $\bar{Q}$ によって単一の騒音の不快感を評価するときどのような q の値が適切であるかを検討したものである。一方、田村やFlindellは道路交通騒音と列車騒音という異なる騒音のアノイアンスを共通に評価するのに、 q や k の適切な値を検討して、 q が6である $\bar{Q}_0$ や $k=20$ である音圧 L_{eq} が道路交通騒音と列車騒音のアノイアンスの評価に共通して適用できることを示した。

各種騒音による不快感とそれらの L_{eq} との関係の違いを説明するのに、どのような k の値が適切であるかを検討するために、また田村やFlindellの研究と本章の実験結果との比較を行なうために、図-6.10のような各種の騒音の組み合わせについて、妨害感と種々の k の値に対する指標値との相関を求めた。

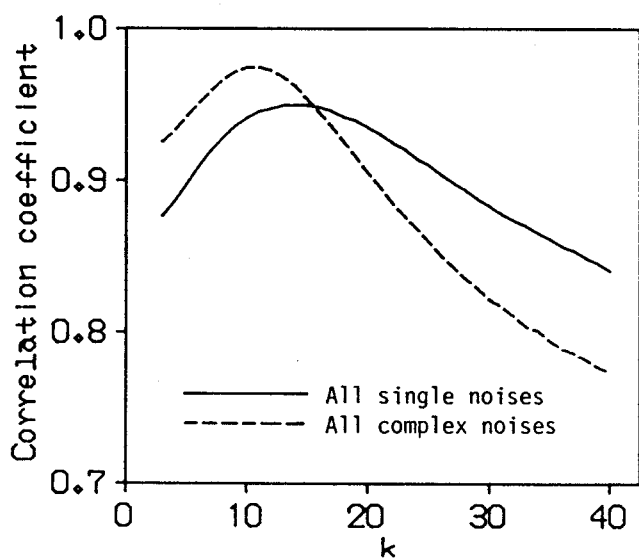
図-6.10は、①航空機騒音と道路交通騒音の組み合わせ、②航空機騒音と列車騒音の組み合わせ、③道路交通騒音と列車騒音の組み合わせ、④道路交通騒音と航空機騒音と列車騒音の組み合わせ、および⑤航空機騒音または列車騒音と道路交通騒音との複合騒音の、5つの組み合わせに対する妨害感と種々の k の値に対する(5.1)式の指標値との相関係数を示したものである。 k の値がそれぞれほぼ10、21、15、14、10のとき相関係数が最大となっている。

すなわち、航空機騒音と道路交通騒音の評価および複合騒音の評価には、 k が10で相関が最大になっているから、通常のエネルギ平均レベル L_{eq} を評価指標とするのが適当であろうが、航空機と列車騒音の評価には、 k がほぼ20で相関が最大になっているから、音圧に関する平均レベルを指標とするのが適切であろう。道路交通騒音と列車騒音、および道路交通騒音、航空機騒音、列車騒音の3種類の騒音の評価には上述の中間の指標が適していることを示している。

ただし、航空機騒音と列車騒音は共に、レベル変動パターンおよびそれらの妨



(a) 単一騒音相互の比較



(b) 単一騒音全体と複合騒音の比較

図-6.10 妨害感とIndexとの相関係数と、 k との関係

害感と L_{eq} との関係が似ているため、 k を変化させても相関係数の変化量は小さい。道路交通騒音と列車騒音との組み合わせに対する相関係数と k との関係は田村⁹⁾ や Flindell¹²⁾ の結果とほぼ一致している。なお、複合騒音では 図-6.7(a)、(b) に示すように、高レベル部分の累積度数分布特性がすべてよく似ているが、低レベル部分の累積度数分布特性は大きく異なっている。複合騒音による妨害感には 6-4-2 に示したように暗騒音の影響は殆どないが、 k の値を大きくすると、低レベル部分の違いが大きく寄与するため、図-6.10(b) に示すように相関係数は急激に減少している。

(2) 係数 k と L_{eq} との関係

以上の検討は暴露レベルの如何によらず係数 k の値が一定であると考えているが、 k の値が全体の L_{eq} の値によって変化すると考えれば、各種の騒音による妨害感と騒音の暴露レベルとの関係をもう少しうまく説明できる。第5章で提案したピーク加重 L_{eq} は、暴露レベルと共に k の値を変化させることによって、ピークレベルの相対的な重み付けを変化させている。ここでは 図-6.4 の3種類の騒音による妨害感とそれらの L_{eq} との関係を基に、(5.3) 式の関数を考察する。

図-6.4 に示したように、 L_{eq} 50dB(A) では航空機騒音と列車騒音は道路交通騒音よりも妨害的であるが、 L_{eq} 70dB(A) では逆に道路交通騒音の方が妨害的である。 L_{eq} 60dB(A) では騒音の種類によって妨害感の差は大きいものの、道路交通騒音と航空機、列車騒音の妨害感の差に L_{eq} 70、50dB(A) のような一定の傾向は見られない。したがって、 L_{eq} が 50dB(A) では相対的にピークレベルの重み付けを大きくして、航空機騒音や列車騒音の評価値を大きく見積もり、 L_{eq} が 70dB(A) ではピークレベルの重み付けを逆に小さくしてやれば、道路交通騒音と航空機、列車騒音による妨害感とそれらの騒音の暴露レベルとの関係の違いをより良く説明することができる。

実験した騒音のレベルは L_{eq} で 50、60、70dB(A) の3段階であるが、各騒音源毎に妨害感と L_{eq} との関係の回帰式を求めて、表-6.10 に相関係数と共に示した。航空機騒音と列車騒音の回帰式は極めて良く似ており、両者を一緒に扱っても不都合は生じないと思われる。図-6.11 に道路交通騒音の妨害感と L_{eq} と

表-6.10 各種の騒音による暴露反応の関係の回帰式
 D : 妨害感の距離尺度 L : L_{eq} (dB(A))

騒音源	回帰式	相関係数
道路交通騒音	$D = -8.21 + 0.121 L$	$r = 0.989$
航空機騒音	$D = -5.57 + 0.0776 L$	$r = 0.981$
列車騒音	$D = -5.71 + 0.0758 L$	$r = 0.950$
航空機・列車騒音	$D = -5.64 + 0.0766 L$	$r = 0.949$

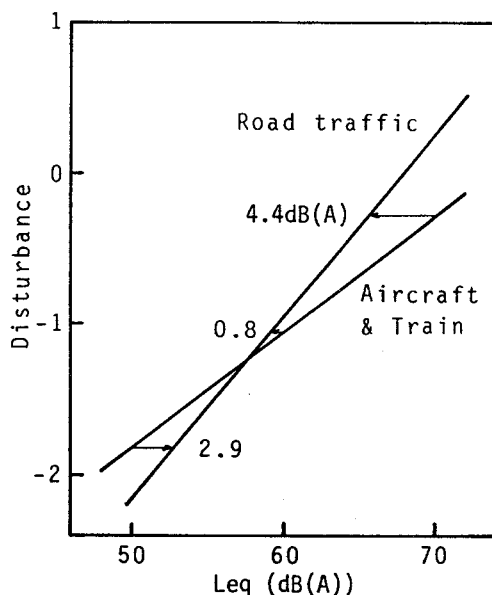


図-6.11 道路交通騒音と航空機・列車騒音の暴露-反応関係の回帰直線

の関係の回帰直線と航空機、列車騒音の回帰直線を示す。図-6.11から、等しい妨害感を生じるときの道路交通騒音の L_{eq} からの航空機、列車騒音の L_{eq} の差を L_{eq} 50、60、70dB(A) 付近について求めると、それぞれ、ほぼ2.9、-0.8、-4.4dBとなる。

ピーク加重 L_{eq} は k の値を変化させることによって、前述の L_{eq} の差を説明しようとするものであるから、図-6.8(a)のIndexと k との関係から道路交通騒音と航空機、列車騒音の間に前述の L_{eq} の差にほぼ相当するIndexの差を生じている k の値を求めると、 L_{eq} が50、60、70dB(A)のとき k はそれぞれほぼ7、11、16が得られる。全騒音に対して、 L_{eq} が50、60、70dB(A)のとき k が7、11、16のIndexの値を採用し、これらに基づいて妨害感とピーク加重 L_{eq} との相関係数を求めると0.966となる。表-6.9に示すように、 L_{eq} の場合の相関係数は

0.942であり、すでに高い値を得ているので、これ以上に相関係数を大きく向上させることは困難であり、この程度でもかなり改善されたと考えられる。

暴露レベルが大きくなると k は増大していくが、逆に閾値付近すなわち0dBに近付けば、その刺激に対する反応はピークレベルで決まるようになると考えられるから、 k も0に漸近するにちがいない。したがって、 k と L_{eq} の一般的な関係は図-6.12のようになるものと思われる。 L_{eq} が50、60、70dB(A)であるとき、それぞれ k が7、11、16程度となるように、また L_{eq} が0dB(A)のとき k が0になるように最小二乗法で関数を求めると、次の関係が得られた。

$$k = 0.000468 L_{eq}^{2.46} \quad (6.1)$$

(6.1)式を第5章の図-5.4に組み込めば、ピーク加重 L_{eq} を測定することができる。ただし、この式は3点のデータだけから暫定的に求めたものであり、より妥当な関数形を決定するには、不快感とさらに広範囲の L_{eq} との関係から求めたデータが必要である。

前述したように、ピークの加重を考慮した方法を用いても、今回の結果では相関係数は L_{eq} の場合の0.942から0.966まで僅かに向上しただけであり、妨害感の予測精度が L_{eq} と比べて大きく向上したとは言えない。しかし、他の研究

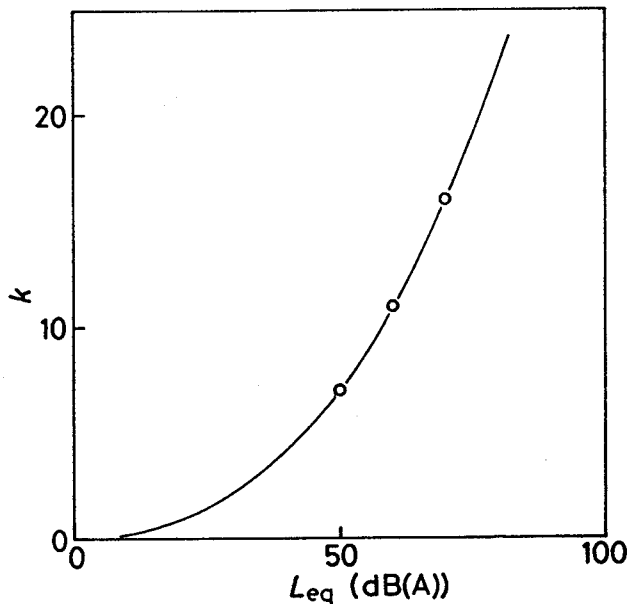


図-6.12 係数 k と L_{eq} との関係

の傾向や今後の研究の展開によっては、このような方法によって、騒音の妨害感が適切に評価できることが立証されるかもしれない。

例えば、Flindell¹²⁾は鉄道騒音と道路交通騒音に対して行なったアノイアンスの評価実験で、両騒音のアノイアンスと通常の L_{eq} との相関に比べて、アノイアンスと音圧 L_{eq} との相関は非常に高く、音圧 L_{eq} でアノイアンスを予測すれば、通常の L_{eq} での予測よりも飛躍的に予測精度が向上することを報告している。音圧 L_{eq} は、道路交通騒音などの変動騒音が列車騒音などの間欠騒音より常に妨害的である（うるさい）場合には、両者の不快感と L_{eq} との関係の違いをうまく説明することができる。しかし、音圧 L_{eq} は、本研究のように音源が異なる騒音の妨害感とそれらの騒音の L_{eq} との関係を表わす回帰直線が交差する場合や、航空機騒音が道路交通騒音より妨害的である（うるさい）という一般的な傾向を説明することはできない。一方、ピーク加重 L_{eq} は以上のような場合にでも適用できる可能性を有している。音圧 L_{eq} はピーク加重 L_{eq} の1つの場合と考えられる。

ピーク加重 L_{eq} では同様な騒音レベルの累積度数分布を有する各種の騒音の妨害感の違いを説明することはできない。すなわち、本研究での航空機騒音と列車騒音の L_{eq} 60dB(A)での妨害感の違いは説明できず、騒音レベルに対しての物理的な処理以外の別の考慮が必要である。 L_{eq} が60dB(A)のとき航空機騒音が列車騒音よりも妨害的であるという今回の現象は、実験が異なれば使用する刺激等の種々の条件も異なるため、結果も当然異なってくるであろう。例えば、Öhrström他¹⁰⁾は L_{eq} 64dB(A)での列車騒音と航空機騒音にアノイアンスの差が見られないことを報告している。したがって、この実験で L_{eq} 60dB(A)の場合に航空機騒音が列車騒音よりも妨害的であるという現象は、実験条件等で容易に変化するため、まずは各種騒音の全体的な反応の変化傾向をつかむことが重要であると思われる。

6-4-5 ピーク加重 L_{eq} と L_{np} 、 L_{eq} との比較検討

図-6.13はMatschat他⁹⁾が L_{np} の矛盾点を示すために用いた騒音のレベル変動パタンの例である。この時間変動パターンは全暴露時間 T のうち前半の $T/2$ は一定レベル A の定常音であり、後半の $T/2$ は変動幅が20dBで、変動の中間のレ

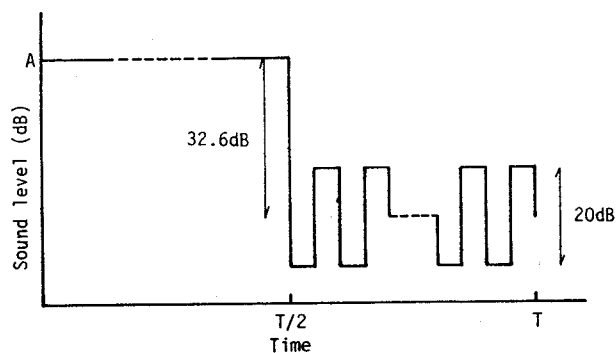


図-6.13 前半と後半の L_{np} が等しい騒音レベルのタイムパターン

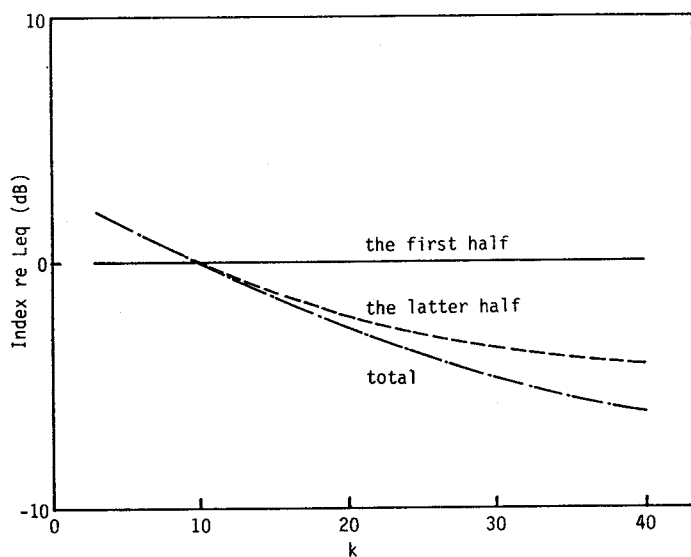


図-6.14 図-6.13のタイムパターンを有する騒音の L_{eq} を基準とした(5.1)式のIndexの値と k との関係

表-6.11 図-6.13のレベル変動騒音に対する
 L_{np} 、 L_{eq} 、ピーク加重 L_{eq} の計算値

騒音評価指標	前半	後半	全体
L_{np}	70	70	85
L_{eq}	70	44	67
peak weighted L_{eq}	70	46	66

ベルが前半の定常音より32.6dB小さい断続音である。この騒音を用いて、 L_{np} 、 L_{eq} 、ピーク加重 L_{eq} を計算し、これらの指標を比較検討する。

図-6.13の騒音の前半の定常音の L_{np} はAであり、後半の断続音の L_{np} もAである。ところが、全暴露時間Tについて L_{np} を計算すると $L_{np} = A + 15$ となり、明らかな矛盾が生じている。

L_{eq} では前半の音と後半の音の L_{eq} 値が等しければ、全体についても等しい L_{eq} となる。図-6.13の音の場合には、前半の L_{eq} はAであり、後半の L_{eq} は $A - 25.6$ となり、全体の L_{eq} は $A - 3$ となる。

ピーク加重 L_{eq} の場合には騒音レベルの値を明記しなければ、求められないため、例えば、 $A = 70\text{dB(A)}$ としよう。図-6.14は k の値を変化させるとき、図-6.13の騒音の(5.1)式のIndexの値と L_{eq} との差 ($\text{Index} - L_{eq}$) が変化する様子を示している。この騒音の時間履歴の前半、後半および全体の L_{eq} の値から、(6.1)式によって k の値を求めると、それぞれ16.2、5.2、14.5となる。これらの k の値に対する ($\text{Index} - L_{eq}$) を図-6.14から読み取り、 L_{eq} に加えて、ピーク加重 L_{eq} を求めると、70、46、66となる。

以上の L_{np} 、 L_{eq} 、ピーク加重 L_{eq} の値を $A = 70\text{dB(A)}$ として求めて、表-6.11に一覧にして示す。この程度のレベルではピーク加重 L_{eq} は L_{eq} とほぼ同じである。ピーク加重 L_{eq} では、 L_{np} のように暴露期間の前半と後半の値が等しくても、全暴露期間にわたって求めた値が前半と後半のそれぞれに対して求めた値と大きく異なるというような矛盾は生じていない。ピーク加重 L_{eq} では一般に前半と後半の値が等しくても、 L_{eq} のように全体の値が前半と後半のそれぞれの値に等しくなるとは限らない。このことは、で平松が非定常騒音の評価尺度の条件として挙げている『合成可能性』(5-5参照)がないことを意味しているが、ピーク加重 L_{eq} では全体の暴露レベルによってアノイアンスの感度が変わると考えているからであり、むしろこのように考える方が合理的であろう。

ピーク加重 L_{eq} は、環境基準以上の通常問題となるような50~70dB(A)程度の騒音レベルでは、 L_{eq} とほとんど変わらない値を有するが、騒音レベルがこの範囲を外れる場合には音源の相違による暴露-反応の関係を従来の評価法よりも良く説明することができる。

6-5 まとめ

道路交通騒音、航空機騒音、列車騒音をそれぞれ単独で暴露した場合、および道路交通騒音と航空機または列車騒音を複合させて暴露した場合の、妨害感（反応）の評価実験から得られた知見は以下の通りである。

- 1) 種々の騒音の妨害感とそれらの騒音の L_{eq} との関係の差には一定の傾向が見られる。
- 2) 航空機騒音はほぼ常に列車騒音より妨害的であり、両騒音とも出現回数が多いほど妨害的である。ただし、これらの騒音の妨害感の差は L_{eq} 60dB(A) では大きい、 L_{eq} 50、70dB(A) では小さい。
- 3) 間欠騒音である航空機騒音と列車騒音に対する反応の傾向は類似している。変動騒音である道路交通騒音の L_{eq} が増大するときの妨害感の増加割合は航空機騒音や列車騒音の場合よりも大きい。 L_{eq} 50dB(A) では航空機騒音と列車騒音は道路交通騒音よりも妨害的であるが、 L_{eq} 70dB(A) では逆に小さい。
- 4) 複合騒音による妨害感には暗騒音としての道路交通騒音の影響はない。この原因は、実験では複合騒音全体による妨害感の評価させたことと、複合騒音の高レベル部分の累積度数分布が似ていることによる。
- 5) 各種の騒音の妨害感の比較実験の結果はピーク加重 L_{eq} が適用可能であることを示しており、この結果を用いて、 k と L_{eq} との関係を表わす実験式を求めた。
- 6) L_{np} を適用すれば大きな矛盾が生じるような、前半と後半のレベル変動特性が大きく異なる騒音にピーク加重 L_{eq} を適用して、 L_{np} や L_{eq} と比較し、その適用性を検討した。

※1) ヒスノイズ：アナログ録音テープから発生する特有の高音域のノイズを総称している。

※2) L_{EPN} (Effective Perceived Noise Level)：航空機騒音のノイジネスの評価を目的として、純音補正した L_{PN} に継続時間の規準化を行なったものであり、Kryterによって提案された。ISO/R507にも採用され、次式で定義される。

$$L_{EPN} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_{PN}/10} dt \right]$$

ここで、 T_0 は規準化のための定数で10秒である。 $(t_1 - t_2)$ は L_{PN} の瞬時値がその最大値より一定の値下がったレベルを超える時間とする。なお、この一定値は10dB以上とすることを推奨している。

*3) CNR (Composite Noise Rating) : W. A. RosenblithとK. N. Stevensが1950年代初期に社会反応を予測するための騒音評価法として考案したものである。問題となる戸外騒音をオクターブ分析し、その騒音の大きさの程度 (level rank) を定め、純音成分、衝撃性、8時間中の音源移動時間率、移動時期、暴露経験等によって補正を加えて、CNRを求める。

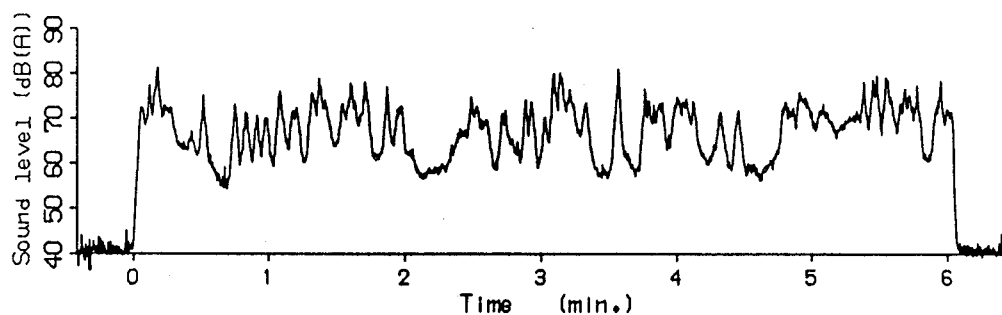
*4) OSHA : Occupational Safety and Health Administration (アメリカ合衆国の労働安全衛生局) の略称。

参考文献

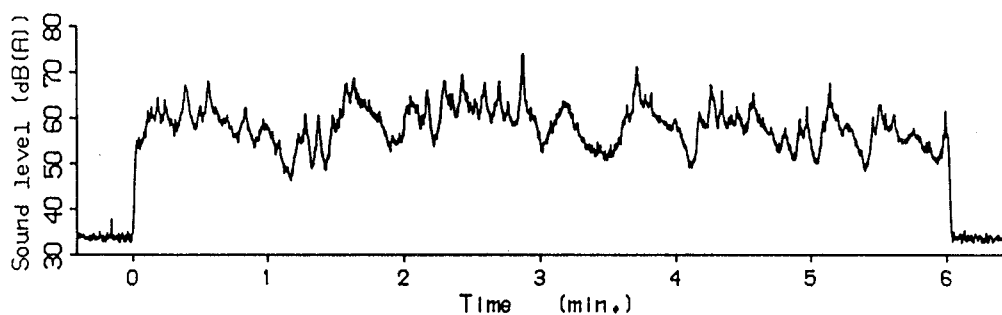
- 1) Schultz, T. J. : Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance, J. Acoust. Soc. Am., 64(2), pp.377-405, 1978
- 2) Powell, C. A. and Rice, C. G. : Judgment of Aircraft Noise in a Traffic Noise Background, J. Sound Vib., 38(1), pp.39-50, 1975
- 3) Powell, C. A. : Effects of Road-Traffic Background Noise on Judgments of Individual Airplane Noises, NASA Technical Paper 1433, 1979
- 4) Powell, C. A. : Laboratory Study of Annoyance to Combined Airplane and Road-Traffic Noise, NASA Technical Paper 1478, 1979
- 5) Powell, C. A. : A Summation and Inhibition Model of Annoyance Response to Multiple Community Noise Sources, NASA Technical Paper 1479, 1979
- 6) 田村明弘 : 道路あるいは鉄道が主音源となっている地域における戸外騒音に対する住民の反応, 音響技術, 21(1), pp.47-52, 1978
- 7) 難波精一郎, 桑野園子 : 種々の変動音の評価法としての L_{eq} の妥当性並びにその適用範囲の検討, 日本音響学会誌, 38(12), pp.774-785, 1982
- 8) 泉 清人 : 複合騒音の不快感の評価に関する一連の実験, 日本建築学会環境工学委員会音環境分科会第26回音シンポジウム, pp.29-38, 1985
- 9) 泉 清人 : 複合騒音のうるささの評価に関する模擬居間実験(3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.147-148, 1986

- 10) 佐々木 実：種々な環境騒音によるうるささの聴感実験に関する考察，日本音響学会騒音研究会資料，N84-06-6，pp.1-5，1984
- 11) Fields, J. M. and Walker, J. G.: Comparing the Relationships between Noise Level and Annoyance in Different Surveys: A Railway Noise vs. Aircraft and Road Traffic Comparison, J. Sound Vib., 81(1), pp.51-80, 1982
- 12) Flindell, I. H.: Pressure L_{eq} and Multiple Noise Sources: A Comparison of Exposure-Response Relationships for Railway Noise and Road Traffic Noise, J. Sound Vib., 87(2) pp.327-330, 1983
- 13) Taylor, S. M., Hall, F. L. and Birnie, S. E.: Effects of background levels on Community responses to aircraft noise, J. Sound Vib., 71(2), pp.261-270, 1980
- 14) 難波精一郎，桑野園子：騒音の心理的影響－複合騒音の評価をめぐって－，産業公害，19(4)，pp.282-287，1983
- 15) Schultz, T. J.: Community Noise Rating (Second Edition), Applied Science Publishers, pp.92-98, 1982
- 16) Finke, H.-O., Martin, R., Guski, R., Rohrmann, B., Schümer, R. and Schümer-Kohrs, A.: Effects of Aircraft Noise on Man, J. Sound Vib., 43(2), pp.335-349, 1975
- 17) Öhrström, E., Björkman, M. and Rylander, R.: Laboratory Annoyance and Different Traffic Noise Sources, J. Sound Vib., 70(3), pp.333-341, 1980

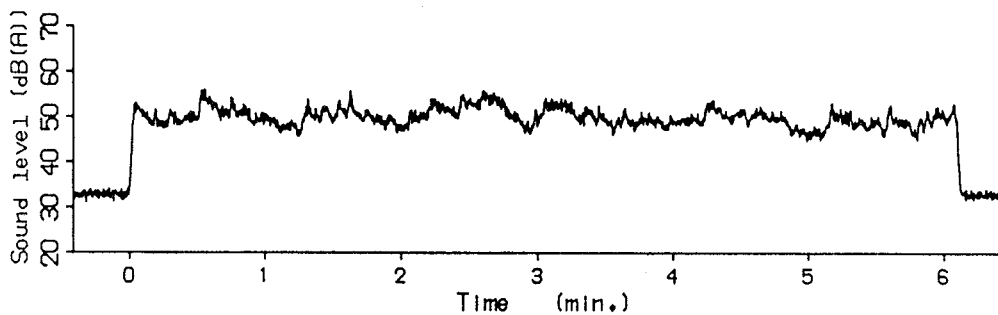
付録 実験音のレベル記録



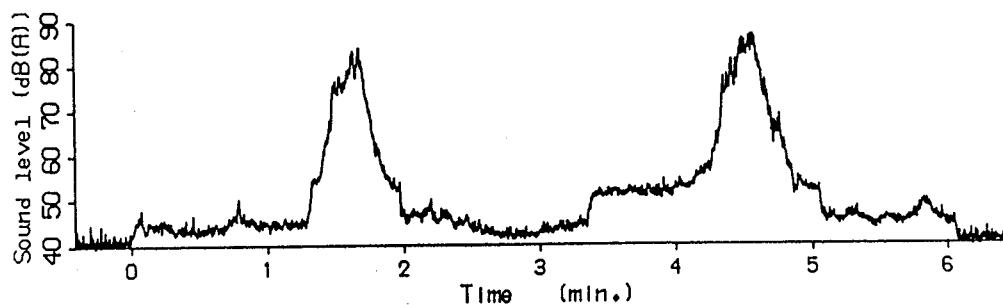
付図-6.1 道路交通騒音 $L_{eq} 70dB(A)$



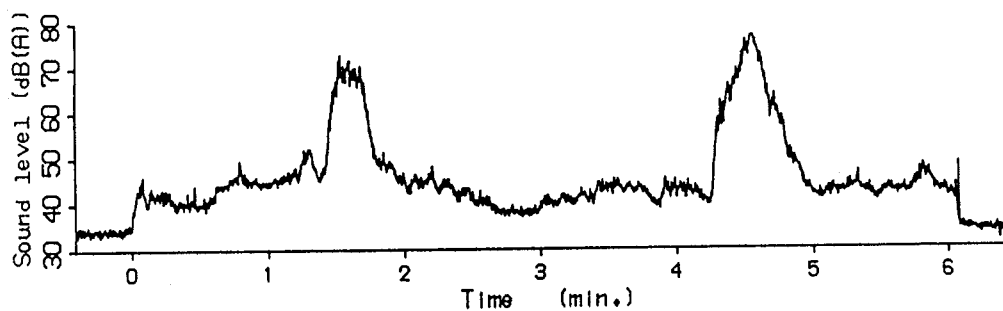
付図-6.2 道路交通騒音 $L_{eq} 60dB(A)$



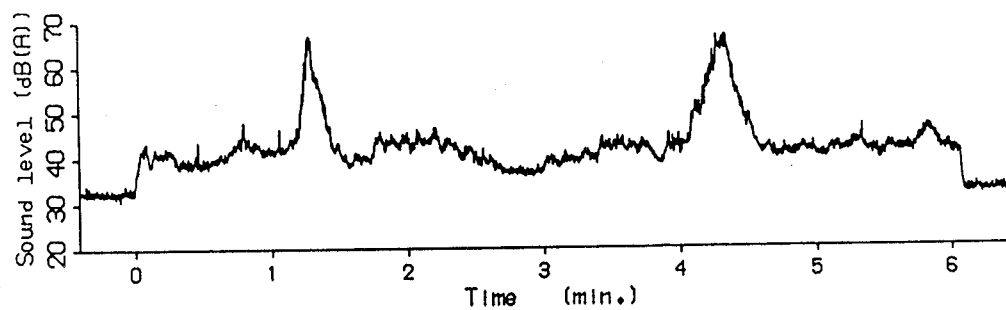
付図-6.3 道路交通騒音 $L_{eq} 50dB(A)$



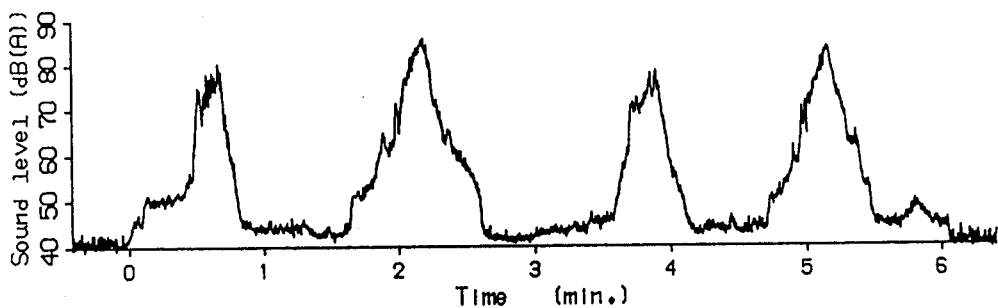
付図-6.4 航空機騒音 2回/6分 $L_{eq} 70\text{dB(A)}$



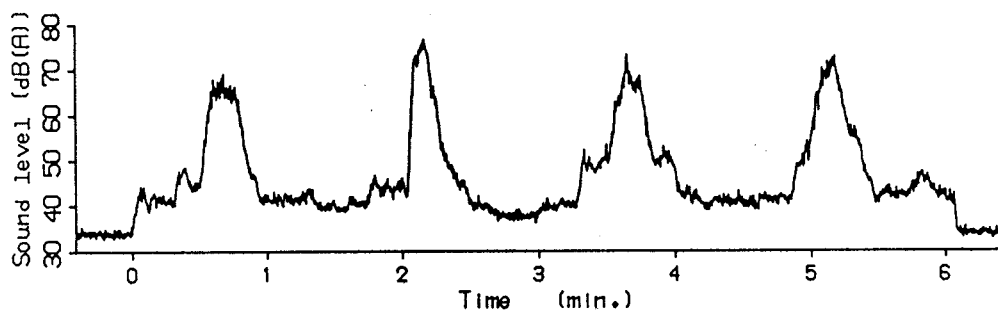
付図-6.5 航空機騒音 2回/6分 $L_{eq} 60\text{dB(A)}$



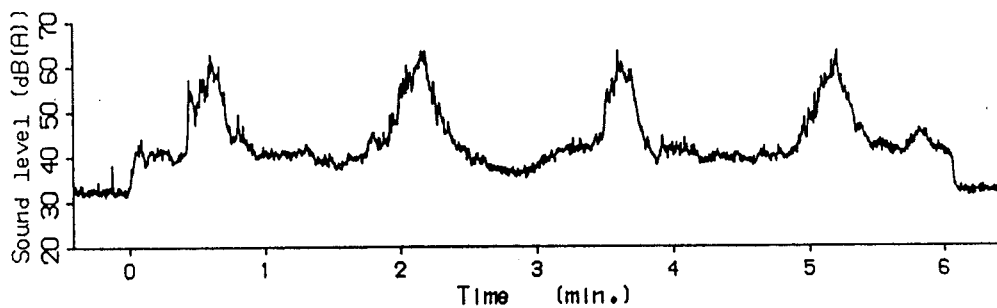
付図-6.6 航空機騒音 2回/6分 $L_{eq} 50\text{dB(A)}$



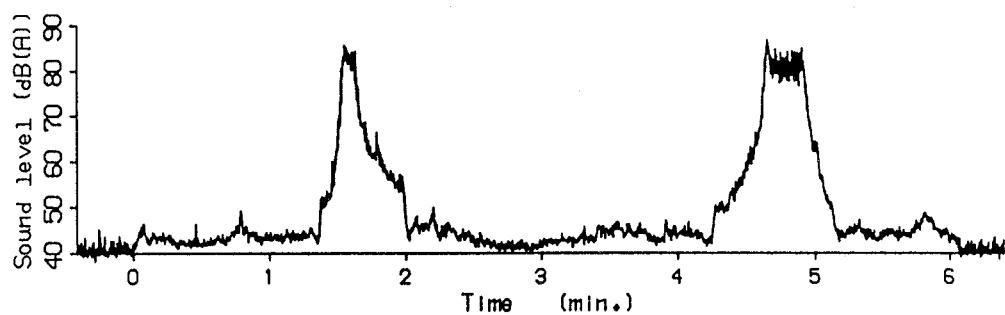
付図-6.7 航空機騒音 4回/6分 L_{eq} 70dB(A)



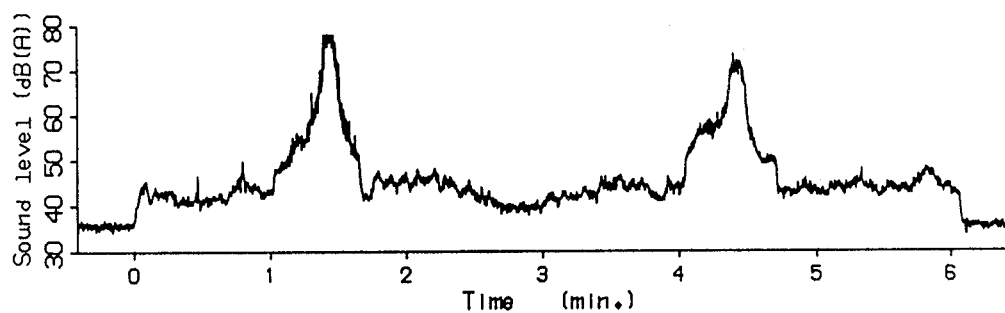
付図-6.8 航空機騒音 4回/6分 L_{eq} 60dB(A)



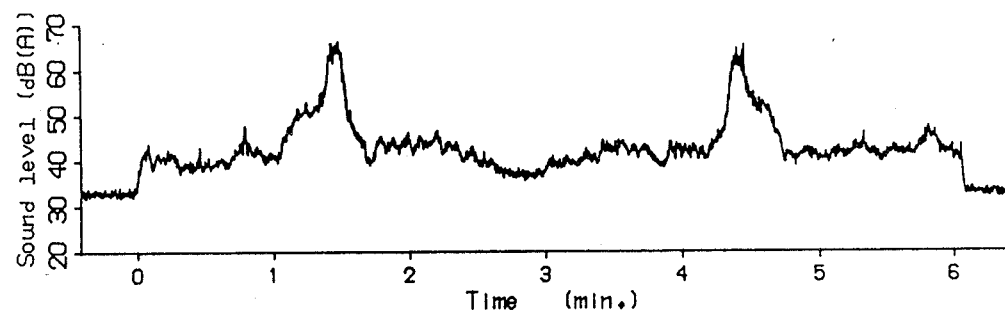
付図-6.9 航空機騒音 4回/6分 L_{eq} 50dB(A)



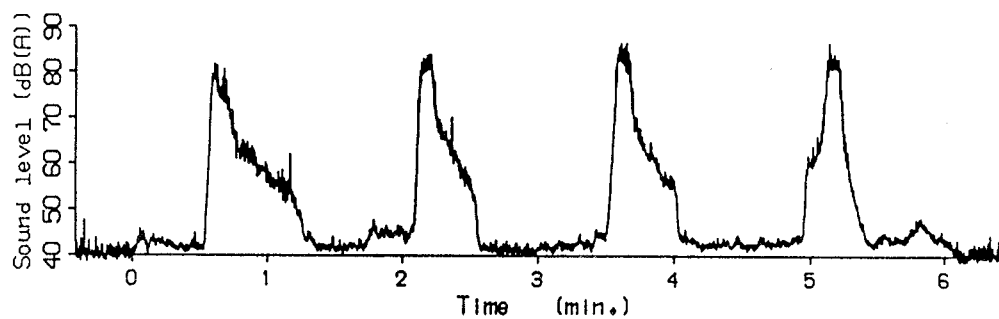
付図-6.10 列車騒音 2回/6分 L_{eq} 70dB(A)



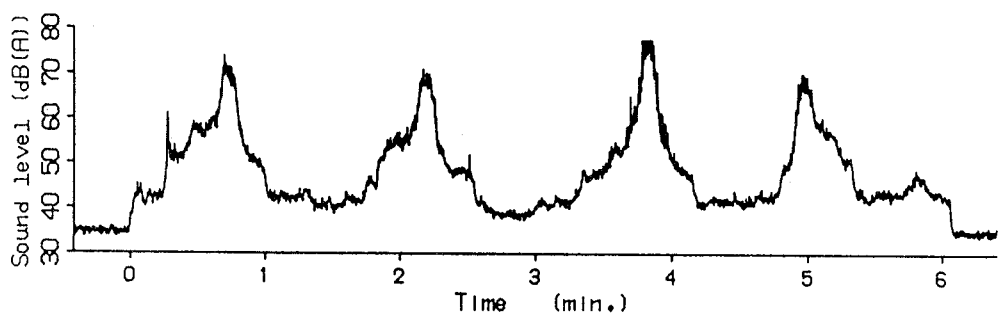
付図-6.11 列車騒音 2回/6分 L_{eq} 60dB(A)



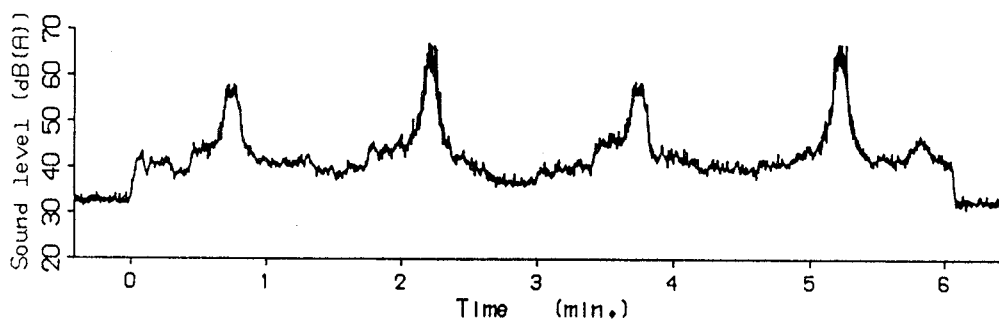
付図-6.12 列車騒音 2回/6分 L_{eq} 50dB(A)



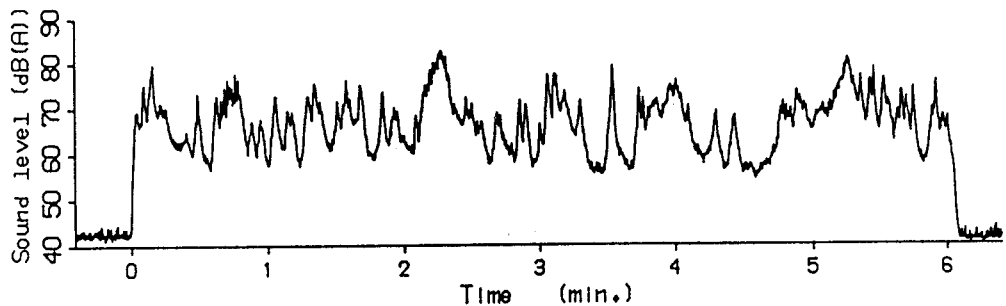
付図-6.13 列車騒音 4回/6分 L_{eq} 70dB(A)



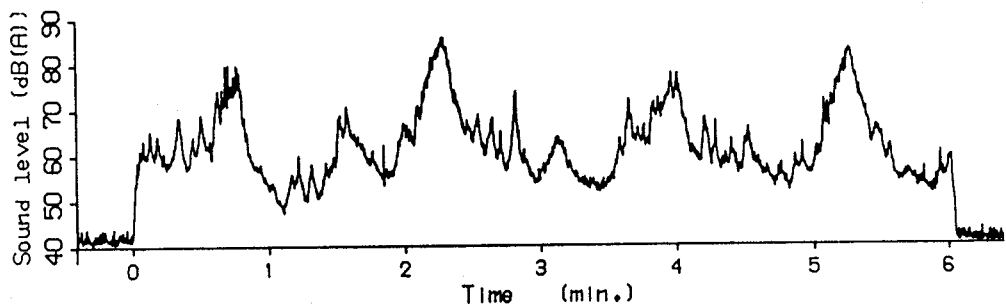
付図-6.14 列車騒音 4回/6分 L_{eq} 60dB(A)



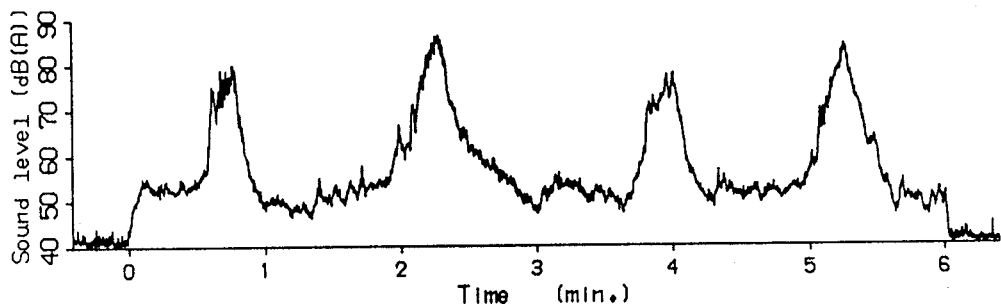
付図-6.15 列車騒音 4回/6分 L_{eq} 50dB(A)



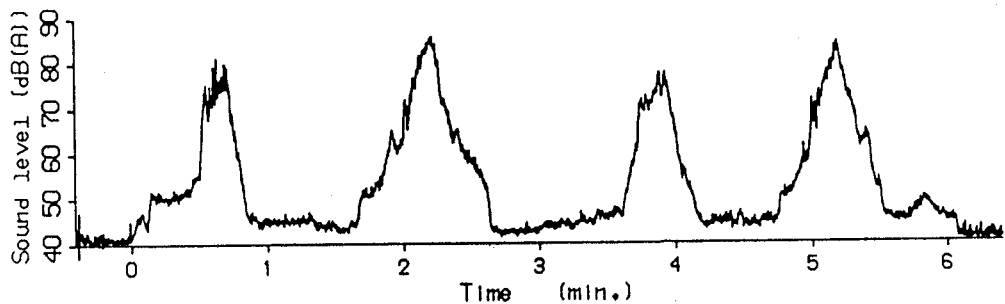
付図-6.16 航空機騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 70dB(A), 暗騒音レベル 0dB(A)



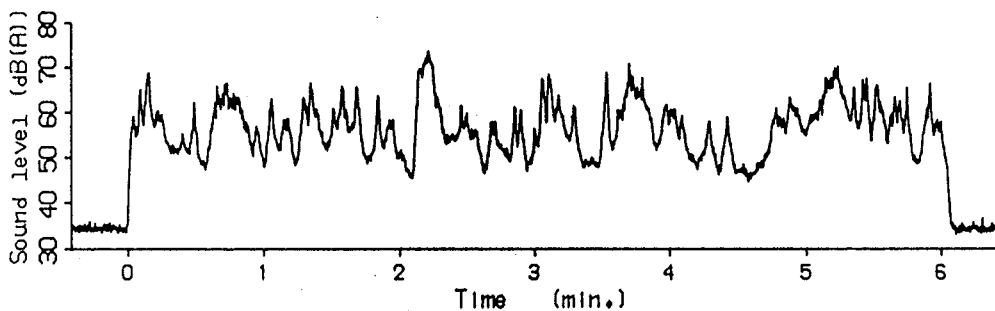
付図-6.17 航空機騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 70dB(A), 暗騒音レベル -10dB(A)



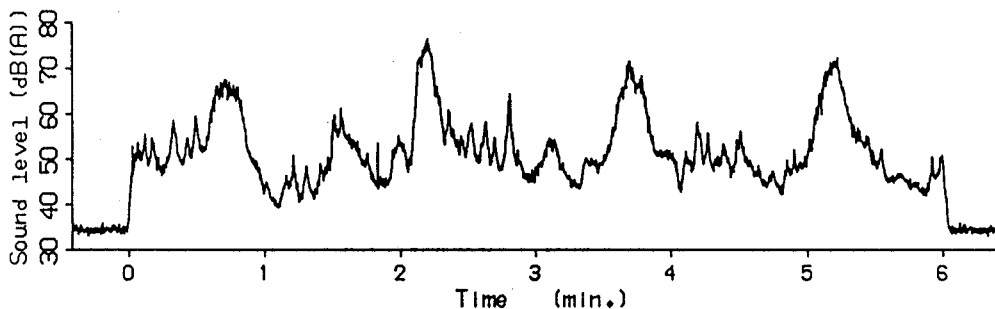
付図-6.18 航空機騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 70dB(A), 暗騒音レベル -20dB(A)



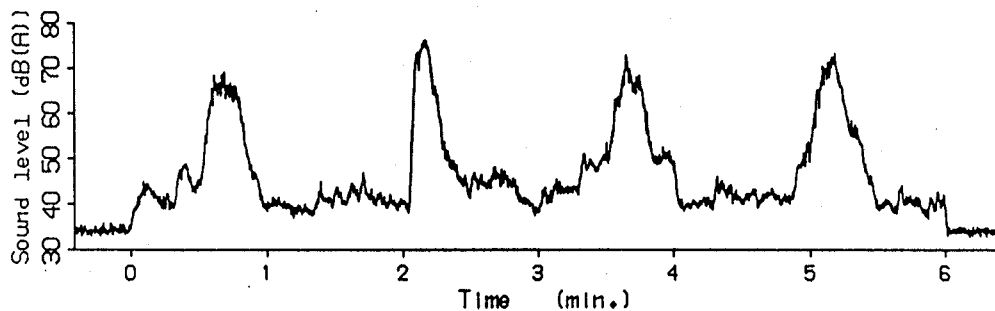
付図-6.19 航空機騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 70dB(A), 暗騒音レベル -30dB(A)



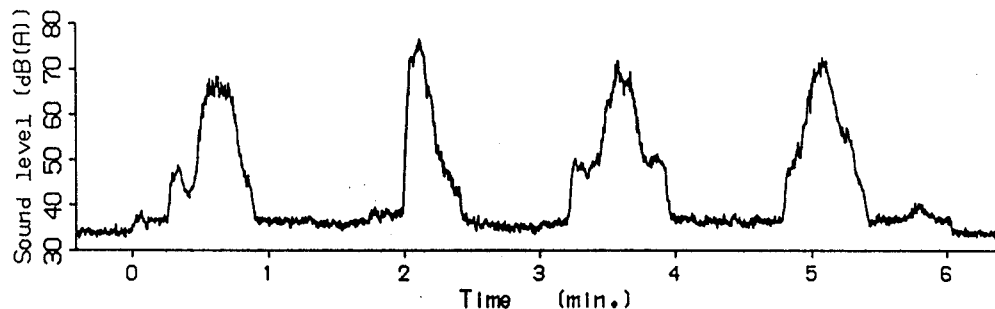
付図-6.20 航空機騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 60dB(A), 暗騒音レベル 0dB(A)



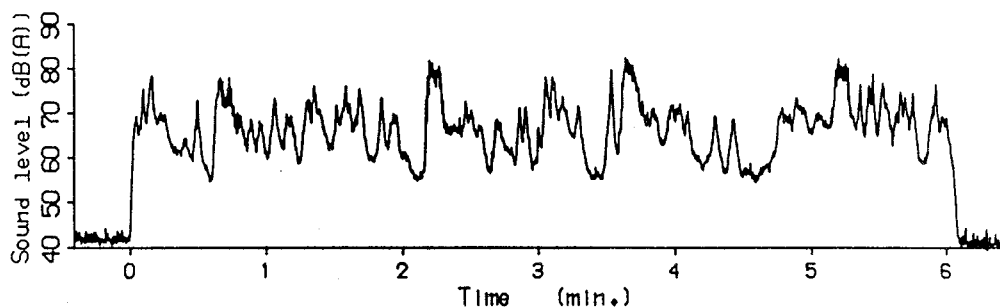
付図-6.21 航空機騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 60dB(A), 暗騒音レベル -10dB(A)



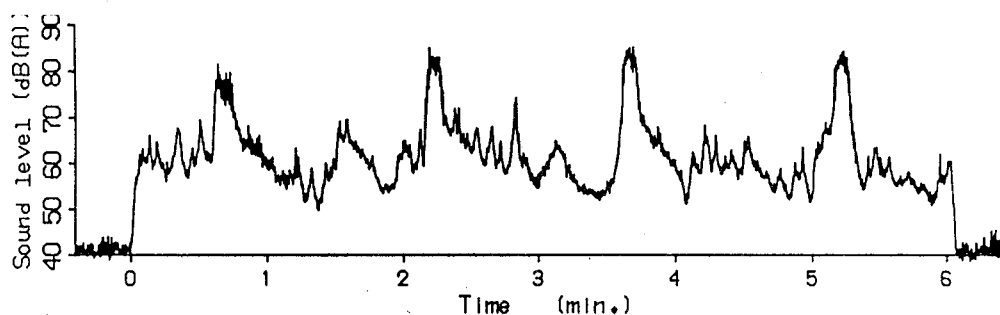
付図-6.22 航空機騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 60dB(A), 暗騒音レベル -20dB(A)



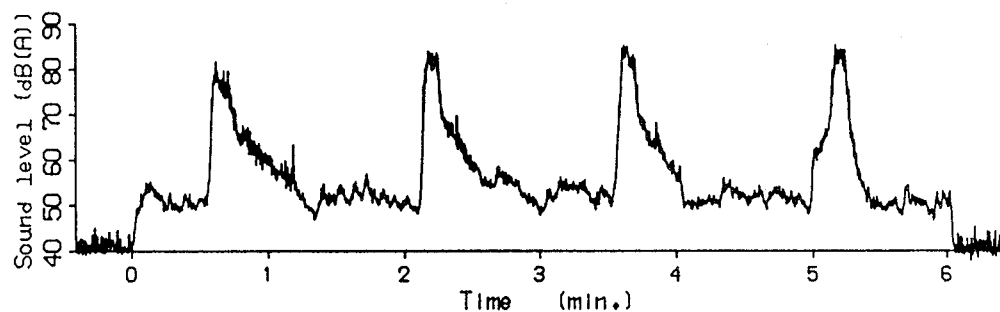
付図-6.23 航空機騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 60dB(A), 暗騒音レベル -30dB(A)



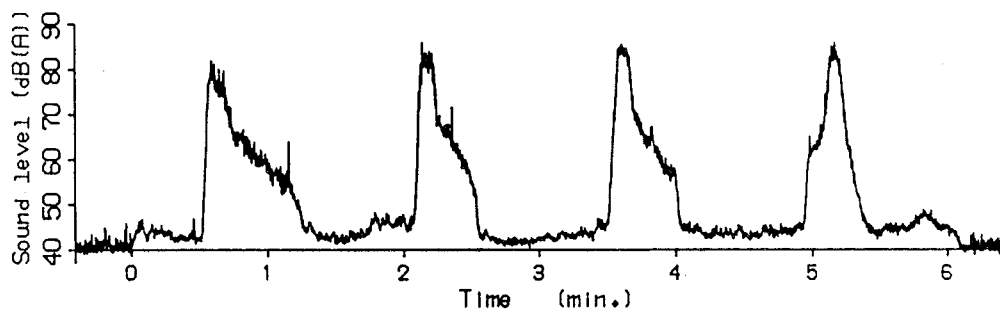
付図-6.24 列車騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 70dB(A), 暗騒音レベル 0dB(A)



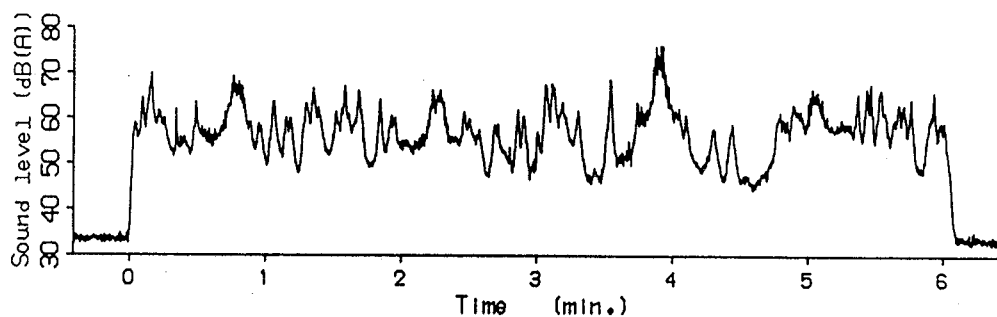
付図-6.25 列車騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 70dB(A), 暗騒音レベル -10dB(A)



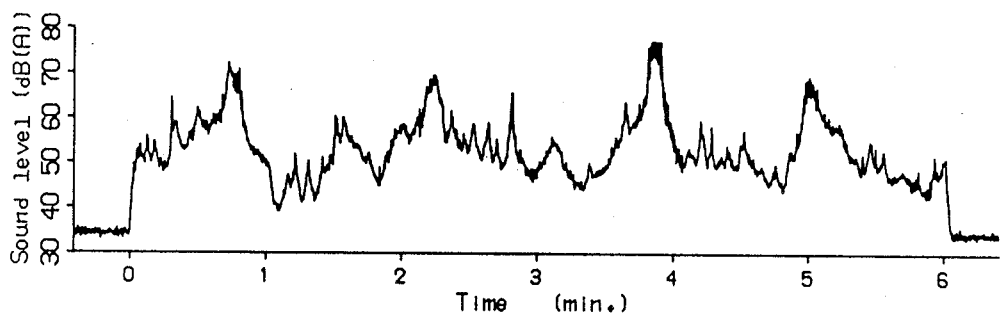
付図-6.26 列車騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 70dB(A), 暗騒音レベル -20dB(A)



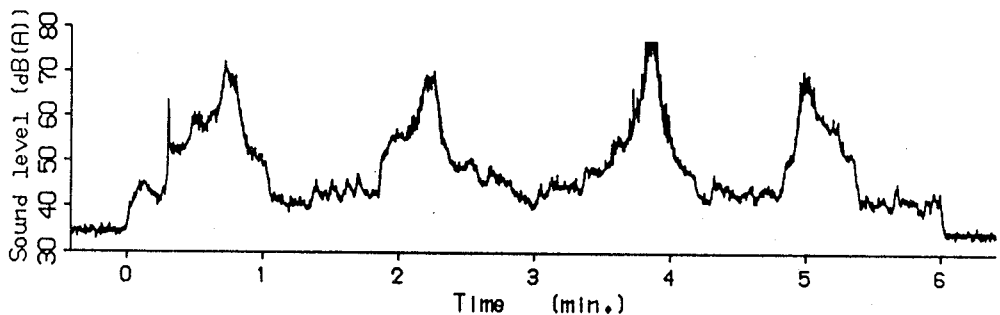
付図-6.27 列車騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 70dB(A), 暗騒音レベル -30dB(A)



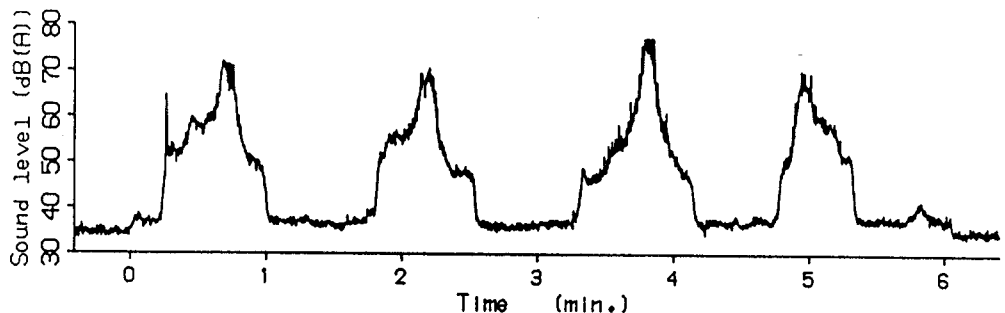
付図-6.28 列車騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 60dB(A), 暗騒音レベル 0dB(A)



付図-6.29 列車騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 60dB(A), 暗騒音レベル -10dB(A)



付図-6.30 列車騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 60dB(A), 暗騒音レベル -20dB(A)



付図-6.31 列車騒音+道路交通騒音, 全体の L_{eq} 60dB(A), 暗騒音レベル -30dB(A)

総括

本研究は、非定常騒音に広く適用可能な評価指標を確立するための資料を提供することを目的として、非定常騒音の不快感の評価に関する一連の実験と検討を行なったものである。この研究を通して以下のことが明らかとなった。

(1) 第1章ではこれまでの騒音の不快感の評価に関する主な研究をレビューして、騒音の評価研究の流れを簡単に概観した。従来の研究は非定常騒音全般に広く適用し得る評価法の開発を目指して行なわれてきており、多くの知見が蓄積されてきた。そのような中から、変動騒音や間欠騒音の各々の不快感の評価には L_{eq} が優れていることが示されてきた。しかし、 L_{eq} を種々の騒音や複合騒音の普遍的な評価指標とすることに疑問を呈する研究も多くある。現在のところ衝撃騒音の評価方法や種々の騒音に共通して適用できる不快感の評価方法および複合騒音の不快感の評価方法は確立されたとは言えず、様々な評価モデルが混在している状態にある。

これらの知見を整理、統合して、騒音の測定、評価の体系を簡便化するためには、広範囲の非定常騒音を対象とした不快感の評価実験が必要であることを述べた。

(2) 第2章では非定常騒音の評価研究の第一段階として、規則的に三角状、正弦状、矩形状にレベル変動するピンクノイズを対象としたやかましさの評価実験を行なった。規則的な非定常騒音のレベル変動を規定する要因（レベル変動特性）として、変動幅と繰り返し率を取り上げて、 L_{eq} が一定（70dB(A)）の条件でやかましさとこれらのレベル変動特性との関係を検討した。

各非定常騒音のやかましさは、たとえ騒音のエネルギーが等しくても変動幅が大きいほど増大すること、繰り返し率に関してはある繰り返し率でやかましさがピークに達する様相を呈することを示した。このような結果に基づいて、三角状、正弦状騒音に関してはレベル変動特性のやかましさへの影響を変動幅と繰り返し率の関数として表わす等式を求めた。また、レベル変動の立ち上がりが急激な矩形状騒音では三角状、正弦状騒音に比べて、全般にやかましさは大きく、立ち上がりの効果を考慮しなければならないことを示した。

(3) 従来の騒音評価の実験手法は騒音を聞いて（能動）判断するという聴感実

験が一般的であった。しかし、騒音は聞くものではなく、暴露されて聞かされるまたは聞こえてくる（受動）ものであるという立場から、第3章では作業を課した状態で L_{eq} が60、70dBである規則的非定常騒音（三角状、矩形状騒音）の不快感の評価実験を行なった。

種々の作業を課して評価実験を行なうと、作業の種類によって不快感は大きく変化する。聴覚的作業を課して高レベルの騒音を暴露した場合には、一般に変動幅や繰返し率が増加すると、不快感は減少する傾向が見られた。これは変動幅や繰返し率が増加すると、情報伝達の損失量が減少するからであり、騒音の不快感とどれだけ聞き取れたかという作業能率との間に高い相関が見られた。一方、非聴覚的作業を課した評価実験では、騒音のレベル変動の幅が大きいほど不快感も大きくなる傾向にあり、前章の聴感実験の結果と似た傾向が得られた。

しかし、繰返し率の効果には変動幅の場合のような一定の傾向は認められなかった。従来の研究でも繰返し率の不快感への影響に関しては一致した知見が得られておらず、現段階では繰返し率の影響についての結論を導くことはできない。

(4) 第2、3章では規則的に変動する騒音を扱ったが、現実の騒音は規則的に変動するものばかりではなく、不規則に変動するものも多い。現実の非定常騒音の不快感の評価に有用なデータを得るには、不規則に変動する騒音の不快感に関する評価実験が必要である。また、最近の騒音評価に関する研究は各種の騒音の不快感の比較や複合騒音の不快感の評価に重点を置いている。これらの個々の研究を概観すれば、全体としては非定常騒音全般を取り扱っているが、1つの研究で非定常騒音全般にわたる不快感を比較検討した研究は極めて少ない。

第4章では以上のことを背景として、ISO 2204で分類されている非定常騒音を代表する現実騒音と、これらの現実騒音と等しいレベル変動をするピンクノイズを対象とした妨害感の評価実験を行なった。周波数特性や音の有する意味などがそれぞれ異なる現実の非定常騒音と、周波数特性や音の有する意味は一定であり、現実音とほぼ等しいレベル変動をする非定常騒音との2種類の騒音に対する不快感を比較すると、レベル変動特性の影響が明らかとなり、周波数

特性や音の有する意味などの影響も検討することができる。

本章の目的であるレベル変動特性の妨害感への影響に関しては、騒音全体の妨害感はたとえ騒音の L_{eq} が等しくても、ピークレベルが高いほど大きく、高騒音レベル部分の寄与が大きいことを示した。

(5) 前章までに得られた結果を整理、要約して、騒音の不快感の評価に際して物理量としてはエネルギーの他に騒音レベルの度数分布を考慮しなければならないことを示した。第5章では以上の結果および他の研究の知見を総合して、種々の騒音に広く適用可能な評価指標（ピーク加重 L_{eq} ）を提案した。

現在まで、騒音の不快感の評価に関して非常に多くの研究が行なわれており、その中から L_{eq} が個々の騒音の不快感の評価に優れていることが示されてきている。しかし、 L_{eq} を各種の騒音や複合騒音による不快感の普遍的な評価指標とすることに疑問を投じている研究も多数ある。本章はこれら2系統の研究における知見の差を埋めるために、1つの試案を提示したものである。

ピーク加重 L_{eq} は概念的には等エネルギー原理とピーク概念を統合したものである。これは L_{eq} や disturbance index $\bar{Q}$ 、Flindellの音圧 L_{eq} と基本的には同じである。音圧 L_{eq} や $\bar{Q}$ では係数 k や q を常に一定としているが、ピーク加重 L_{eq} ではこれらの係数が全体の暴露レベルによって変化すると考えている。

すなわち、暴露レベルが低ければ係数は小さくなり、ピークレベルの加重は大きくなる。一方、暴露レベルが大きくなると係数は大きくなって、ピークレベルの寄与は小さくなり、むしろ暗騒音レベル部分の寄与が大きくなる。このことの心理的意味付けとして騒音の非定常性に対する不快感の感度が騒音の暴露レベルによって変化すると考えている。

このような考え方は、従来の研究で航空機騒音や列車騒音などの間欠騒音では連続的に変動する道路交通騒音よりも騒音の暴露量に対する反応の変化勾配が小さいという知見や、次のような経験的な事実とも一致している。極端な場合、閾値付近では騒音のエネルギーが等しくてもピークレベルが高い刺激の方が知覚され易く、その騒音の不快感はほとんどピークレベルで決まってしまうと考えられる。しかし、暴露レベルが大きくなり耐えられないようなレベルになると、常に一定に耐えられない刺激が続くよりも、たとえピークレベルは多少大きくても低い暗騒音レベルを含む騒音の方が耐えられ易いと考えられる。

すなわち、騒音のエネルギーが等しくても、その不快感には低暴露レベルではピークレベルが大きく貢献するが、高暴露レベルになると、その騒音が低レベルをどれだけ含んでいるかということが関係するようになると考えられる。

また、従来の積分騒音計に多少の改良を加えるだけで、この新しい指標を測定できることをその概念図と共に示し、騒音評価指標が具備すべき条件を検討した。

(6) 第4章の実験で得た知見は L_{eq} が70dB(A)の1条件についてのものであるため、結果の適用範囲は極めて狭い。他の研究と比較したり、第5章で提案した評価指標の適用性を検討するには、実験音の設定レベルの範囲を広げる必要がある。第6章では対象とする騒音を、この種の研究で最も多く使われている道路交通騒音、航空機騒音、列車騒音の3つに限定して、それぞれの騒音による妨害感とそれらの騒音の L_{eq} との関係の違いを L_{eq} が50～70dB(A)の範囲で検討した。また、航空機騒音または列車騒音と道路交通騒音との複合騒音を対象として、暗騒音としての道路交通騒音の妨害感への影響を全体の L_{eq} が60、70dB(A)の場合について考察した。さらに、道路交通騒音、航空機騒音、列車騒音の妨害感とそれらの L_{eq} との関係を基にして、(5.1)式の k と L_{eq} との関係を求め、第5章で提案したピーク加重 L_{eq} を簡単な事例に当てはめてみて、この指標の適用性を検討した。

その結果、各種の騒音による妨害感とそれらの L_{eq} との関係には音源によって有意な差があることを示した。特に、航空機騒音と列車騒音による妨害感とそれらの騒音の L_{eq} との関係は似ており、これらの騒音の暴露量に対する反応の変化勾配は道路交通騒音より緩やかであった。このことは第5章のピーク加重 L_{eq} を提案する際に設定した仮定と符合した。

複合騒音の場合の暗騒音の影響は見られなかったが、これは騒音全体の評価に大きく影響するといわれている高騒音レベル部分の度数分布が極めて類似していることと、複合騒音の不快感の評価にあたって、複合騒音を構成する個々の騒音に着目するのではなく、複合騒音全体を評価するように指示したためと考えられる。

以上が本研究のまとめである。騒音の不快感には物理的要因だけでなく、社

会的、個人的要因など様々な要因が影響する。この研究は騒音の物理特性のうち主にそのレベル変動特性に着目して行なったものであり、騒音の不快感に影響する広範な要因のうちの小数の要因しか取り扱っていないが、騒音評価のための1つの試案を提供できたと考えている。この試案の普遍性を検証するためには種々の音源による暴露-反応の関係の確立が必要である。そのためには第5章の実験で取り上げなかった衝撃音を含めた不快感の比較研究が必要であろう。また、本研究は種々の騒音の不快感の評価を主眼にしており、複合騒音の評価に関しては小数の事例の結果を述べるに留めた。広く適用可能な騒音評価指標を確立するためには複合騒音を含めた検討が必要である。

本研究の後半は読書を課した状態での実験によっており、このような条件下で得られた不快感が一般的なアノイアンスを代表しているかという問題がある。作業として読書を選んだ理由は、第3章での実験から読書は被験者の疲労が比較的小さいこと、および従来の実験研究ではその大部分が自由読書によっており、これらとの比較を行なうためである。第3章で示したように、作業の種類によって騒音の非定常性の影響は大きく異なるため、読書を課した条件で行なった本研究の結果は普遍性があるとは言えないかもしれない。自由読書状態での模擬居間実験の結果と社会調査の結果には整合性があるという報告¹⁾もある。また、航空機騒音の社会調査でアノイアンスは会話妨害との結び付きが大きいとする報告²⁾もあり、この種の問題は複雑な要因が関係するため意見の一致を見ていない。

1章でも述べたように騒音評価には単に物理的な要因だけでなく、様々な社会的・個人的要因が作用している。これらの要因の影響を定量的に捕らえることは極めて困難であるが、今後解決しなければならない重要な問題であろう。

参考文献

- 1) 泉 清人：実験室におけるうるささの評価について－模擬居間実験法に関する5つのケーススタディー，日本音響学会聴覚研究会資料H-86-35，1986
- 2) Taylor, S.M.: A Path Model of Aircraft Noise Annoyance, J. Sound Vib., 96(2), pp.243-260, 1984

本論文に關係する發表論文

【論文】

- 1) 矢野 隆, 小林朝人: 規則的非定常騒音の反復回数および変動幅がやかましさに及ぼす影響 非定常騒音の評価に関する研究Ⅰ, 日本建築学会論文報告集 第334号, pp.70-79, 1983.12
- 2) 矢野 隆, 小林朝人: 作業時に規則的非定常騒音の変動要因が妨害度とやかましさに及ぼす影響 非定常騒音の評価に関する研究Ⅱ, 日本建築学会論文報告集 第354号, pp.1-10, 1985.8
- 3) 矢野 隆, 小林朝人: 異種騒音による読書妨害 非定常騒音の評価に関する研究Ⅲ, 日本建築学会論文報告集 第368号, pp.1-9, 1986.10
- 4) Sone, T., Izumi, K., Kono, S., Suzuki, Y., Ogura, Y., Kumagai, M., Miura, H., Kado, H., Tachibana, H., Hiramatsu, K., Namba, S., Kuwano, S., Kitamura, O., Sasaki, M., Ebata, M., and Yano, T.: Loudness of a repeated impact sound: Results of round robin test in Japan (Ⅱ), J. Acoust. Soc. Jpn. (E), (1987.11 掲載予定)

【講演】

- 1) 伊藤克三, 佐藤隆二, 曾我部峰幸, 矢野 隆: 変動騒音の評価に関する基礎的研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.25-28, 1976.6
- 2) 伊藤克三, 佐藤隆二, 曾我部峰幸, 矢野 隆: 道路交通騒音の評価に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.59-60, 1976.10
- 3) 小林朝人, 矢野 隆: 熊本大学残響室の特性について, 日本建築学会九州支部研究報告, 第23号, pp.9-12, 1977.2
- 4) 矢野 隆, 小林朝人, 石原 修: 熊本大学音響実験室の特性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.107-108, 1977.10
- 5) 小林朝人, 矢野 隆, 矢田健志: 変動騒音の評価に関する基礎的研究〔2〕, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第4号, pp.25-28, 1978.2
- 6) 小林朝人, 矢野 隆, 矢田健志: 変動騒音の評価に関する基礎的研究〔3〕, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.95-96, 1978.9

- 7) 矢野 隆, 村木謙一, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究 [4]
(レベル変動の周期と変動幅の影響について), 日本建築学会九州支部研究報告, 第24号, pp. 1-4, 1979. 2
- 8) 矢野 隆, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究 (レベルの変動速度の影響について), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 143-144, 1979. 9
- 9) 矢野 隆, 村木謙一, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究 [5]
(変動音のやかましさの尺度化), 日本建築学会九州支部研究報告, 第25号, pp. 5-8, 1980. 2
- 10) 矢野 隆, 村木謙一, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究 [6]
(レベル変動波形の影響について), 日本建築学会九州支部研究報告, 第25号, pp. 9-12, 1980. 2
- 11) 矢野 隆, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究 (レベル変動のやかましさに及ぼす影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 45-4, 1980. 9
- 12) 矢野 隆, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究 [7] (レベル変動の反復回数および変動幅の影響について), 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第5号, pp. 101-104, 1981. 3
- 13) 矢野 隆, 小林朝人: 変動騒音の評価に関する基礎的研究 (レベル変動のやかましさに及ぼす影響-その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 81-82, 1981. 9
- 14) 矢野 隆, 小林朝人: 作業環境下における非定常騒音の評価に関する研究 (単音節明瞭度試験におけるやかましさ評価), 日本建築学会九州支部研究報告, 第26号, pp. 1-4, 1982. 3
- 15) 矢野 隆, 小林朝人: 作業環境下における非定常騒音のやかましさ評価 (単音節明瞭度試験の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 197-198, 1982. 10
- 16) 矢野 隆, 小林朝人: 作業環境下における非定常騒音の評価に関する研究 (2) (単音節明瞭度試験におけるやかましさと妨害度), 日本建築学会九州支部研究報告, 第27号, pp. 21-24, 1983. 3

- 17) 矢野 隆, 小林朝人: 音声聴取時における非定常騒音の評価に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1-2, 1983.9
- 18) 矢野 隆: 音声聴取時における非定常騒音の評価, 第2回日韓音響学術発表会論文集, pp.65-71, 1983.11
- 19) 矢野 隆, 小林朝人: 作業環境下における非定常騒音の評価に関する研究 - その2 - 非聴覚的作業時, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第6号, pp.5-8, 1984.3
- 20) 矢野 隆, 小林朝人: 定常騒音下の単音節明瞭度・文章了解度および聞きやすさの関係 聞きやすさに基づく室内音響評価に関する研究[1], 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第6号, pp.9-12, 1984.3
- 21) 矢野 隆, 小林朝人: 計算および読書時の非定常騒音の評価に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.119-120, 1984.10
- 22) 矢野 隆, 小林朝人: 読書時の音環境評価, 日本建築学会九州支部研究報告, 第28号, pp.9-12, 1985.3
- 23) 矢野 隆: 読書時における現実音の評価, 日本音響学会講演論文集, pp.389-390, 1985.3
- 24) 矢野 隆, 小林朝人: 現実音による読書妨害, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.113-114, 1985.10
- 25) 矢野 隆, 小林朝人: 騒音評価に関するレベル変動を考慮した周波数特性, 日本建築学会九州支部研究報告, 第29号, pp.17-20, 1986.3
- 26) 矢野 隆, 小林朝人: 非定常騒音による読書妨害, 日本建築学会九州支部研究報告, 第29号, pp.21-24, 1986.3
- 27) 矢野 隆, 小林朝人: 種々の非定常騒音による読書妨害, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.143-144, 1986.8
- 28) 矢野 隆, 小林朝人: 異種騒音および複合騒音の不快感の評価, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第7号, pp.25-28, 1987.3
- 29) 矢野 隆, 小林朝人: 異種騒音および複合騒音による妨害感, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.151-152, 1987.10

謝辞

この論文は過去10年以上にわたって、熊本大学で小林朝人教授の御指導のもとに行なった研究をまとめたものです。小林教授からは研究の構想や計画に関する基本的な提言や実験方法に関する具体的な助言さらに研究をまとめるに際しての細部にわたる指摘まで賜りました。衷心より感謝の意を表します。

筆者が大阪大学大学院在籍時に、伊藤克三 大阪大学教授（現大阪大学名誉教授）からこの研究の先鞭をつけて頂き、研究に対する姿勢や環境工学の研究の基礎を学びました。植崎正也教授からは環境工学における評価研究の重要性を教わりました。実験の計画・実施やその取りまとめなど直接指導に当たられたのは佐藤隆二講師、大野治代助手です。筆者が熊本大学へ赴任した後も大阪大学でお世話になったこれらの先生方にはこの研究に関してたびたび助言して頂きました。

また、泉 清人 室蘭工業大学教授には学会活動を通して、または個人的に貴重な資料を提供して頂き、この研究に対しても示唆に富む助言を賜りました。

このような研究ができたのも熊本大学環境調整研究室の石原 修助教授をはじめ技官の方々の援助、多くの卒論生の努力や多数の被験者の方々の協力によるところが大きいことは申すまでもありません。

これらの方々に対して、謹んで感謝の意を表します。