【研 究 論 文】
UDC：534.83：628.517

日本建築学会論文報告集
第334号・昭和58年12月

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

正会員 矢 野 隆*
正会員 小 林 朝 人**

1. はじめに

我々は様々な騒音の中で生活しているが，それらはほとんどがレベル一定の騒音（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。ISO 2204[1]ではレベルの時間的特性によって騒音を次のように分類している。

- Steady noise（定常騒音）注)
- Non-steady noise（非定常騒音）
  - Fluctuating noise（変動騒音）
  - Intermittent noise（間歇騒音）
  - Impulsive noise（衝撃騒音）
    - Quasi-steady impulsive noise（断続騒音）
    - An isolated burst of sound energy（単発衝撃騒音）

これらの非定常騒音のうち，比較的レベル変化がゆるやかな変動騒音—例えば，道路交通騒音や航空機騒音—の場合には，心理的反応と L_{eq} との対応が良いことが多数報告されている[6),12)]。しかし，急激に変化する間歇騒音や非常に速くレベル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しうるものはなく，その確立は今後の課題である。

本研究の目的は，比較的ゆるやかに変動する騒音から急激に変化する間歇騒音や非常に速く変動する連続的な衝撃騒音まで—単発衝撃騒音を除く非定常騒音—を対象とし，それらに対するやかましさ（noisiness）反応を明らかにし，非定常騒音全般に対する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[5),17)]。すなわち，被験者への教示文では，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，耳ざわりであるとか，いやな音であるとか，耐え難い音であるとか，気分を害するような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，難波らの研究[6),7)]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，平松らの研究[10),11)]が報告されており，うるささと変動要因の関係を検討して，L_{eq} が優れた評価尺度であることを示している。また，平松ら[12)]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良い対応を示すが，レベルの変動パタンによっては等エネルギー仮説は成立しない場合もあることを報告している。これらの研究では主に種々の騒音評価指標と心理量の相関を扱っており，これに対して，賀戸[14)]は実験方法や刺激間の評価量が十分隔った条件設定に疑問を呈し，自ら開発した方法によって，評価量が等しくても変動要因の相違により変動音のラウドネスが変化することを示している。

単発衝撃音の大きさに関しては，桑野ら[8)]や熊谷ら[13)]の研究がある。桑野らは衝撃音の時間構造がその大きさに系統的に影響を及ぼすものの，その差はわずかで，単発衝撃音の大きさはエネルギー平均値と良い対応を示すとしている。それに対して，熊谷ら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，桑野らの結果とは必らずしも一致していない。

間歇騒音・断続騒音の大きさに関して，I. Pollack[15)]，R. M. Garrett[16)]らの研究があげられる。彼らは burst-time-fraction（略して BTF：くり返し断続音の1周期にしめる on-time の割合）を主な要因として，間歇騒音・断続騒音のラウドネスレベルの計算方法を提案してい

本論の概要については，文献 18）19）20）に発表してある。
* 熊本大学 助手
** 熊本大学 教授・工博
（昭和57年6月23日原稿受理日，昭和58年8月10日改訂原稿受理日，討論期限昭和59年3月末日）

る。また，それらのノイジネスに関して，泉[3]，佐藤ら[4]，Kuwano ら[9]の研究が報告されている。泉は断続騒音のやかましさに関して，BTF・断続バーストの反復回数・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，エネルギー効果のほかに驚がく効果のあることを明らかにしている。佐藤らはく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 ら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，ゆるやかに変動する騒音の場合には騒音に対する心理的反応を L_{eq} で説明することができるが，間歇的・衝撃的な騒音の場合には L_{eq} で説明しえ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ら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，統合して一貫した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，定常音の研究として，従来より多数報告されている。レベル変動要因を取り扱った研究では，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[6),7),10),11)]は見られるが，レベル変動要因だけに着目し，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，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もれてしまう可能性がある。非定常騒音の一般的な評価方法を確立するためには，広範な変動要因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―単発衝撃騒音を除く―を実験対象とし，それらに対するやかましさ反応をレベル変動要因との関係で明らかにすることを目的とする。

なお，本研究は過去３回にわたって行われた実験結果―実験Ⅰ，実験Ⅱ，実験Ⅲ―をまとめたものである。実験Ⅰはゆるやかにレベル変化する騒音を対象とし，実験Ⅱは実験Ⅰより速くレベル変化する範囲で行い，実験Ⅲは実験Ⅱの範囲を含みさらに速くレベル変動する騒音を対象とした。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条件や実験手続きには順次改良を加えており，細部にわたっては一致していない。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Ⅲ[20)]について記し，実験Ⅰ，Ⅱはその結果を，4. 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とどめる。

注） これらの訳語は文献 2）によった。

2. 実験

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つに分類しうる。１つは，ME 法のように刺激に任意の数値を割り当てる方法や評定尺度との対応による方法など絶対判断を行わせる方法であり，もう一方は調整法・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。

前者は実験手続きが容易で実験時間を短縮できるが，被験者判断に負担が大きいため反応の分散が大きくなる。したがって，対象とする要因によっては，その影響が埋も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りに，多大の時間を必要とする場合が多い。

本研究では非定常騒音の変動要因(反復回数と変動幅)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，とりわけ，被験者の判断が容易であり，処理方法が洗練されている恒常法を用いる。

2.2 実験音の設定条件

レベル変動の要因として，レベル変動の回数（反復回数，Hz），レベル変動の幅（変動幅，dBA）およびレベル変動の形状を考え，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規則的かつ対称的な三角状・正弦状・矩形状の３種類とする。これらのレベル変動パタンを Fig. 1 に示す。

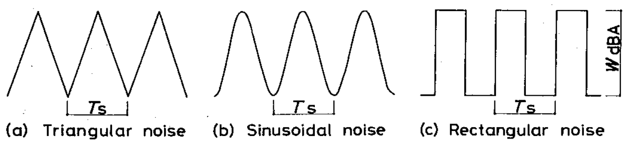

Fig. 1 Level fluctuations of non-steady noises. W (dBA) is the range of level fluctuation. T (s) is one period. Repetition rate (Hz) is represented by $1/T$.

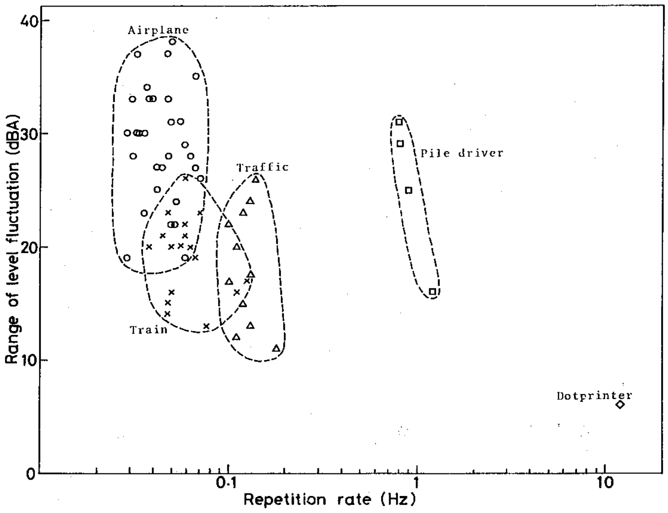

Fig. 2 Level fluctuations of community noises.

当研究室で測定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について，そのレベル変動特性を反復回数と変動幅によってプロットしたものが Fig. 2 である。Fig. 2 は現実の環境騒音の一部にすぎないが，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，ドットプリンター音については 400 dB/s（B & K 2305）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とした。なお，反復回数は測定時間内の出現回数から算出したが，航空機騒音・列車騒音は暗騒音以上の 1 回の持続時間から求めた。現実の非定常騒音のレベル変動の範囲は，反復回数が 0.1 Hz 以下から 10 Hz 以上まで，変動幅が 30 dBA 以上までかなり広く分布しているといえよう。

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 Table 1 のように設定した。なお，反復回数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・立ち下がり時間は無響室内スピーカ再生で，変動幅 40 dBA のときそれぞれ約 0.6 ms・60 ms で，変動幅 20 dBA ときはそれぞれ約 0.4 ms・40 ms であった。

2.3 実験音の作製

実験音作製のための装置を Fig. 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。変動幅は反復回数の小さい矩形状騒音をレベルレコーダ（ペンスピード 100 dB/s）でモニターしながら設定する。その後，適当な波形と反復回数になるように調節する。したがって，反復回数の大きい三角状・正弦状騒音では個々の変動幅は心ら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と 3 dBA 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される。時間誤差を除くため，提示順序を入れ換えた 2 系列を作製した。それらの比較対を 1 本のテープに 20 組ずつ全部で 45 本の実験用テープを作った。1 本のテープの所要時間は約 12 分間である。なお，定常音の提示には，急激な立ち上がりによる定常音の過大評価を防ぐために，約 2 秒の立ち上がり時間を設けた。

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。大部分の被験者はこの種の心理音響実験に精通しているとは言えない。

2.5 実験手続き

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，番号アナウンスに続く一対の騒音のうちどちらがよりやかましいかを二件法により判断させた。実験音のタイムパタン を Fig. 4 に，その周波数特性を Fig. 5 に示す。また，実験装置のブロックダイヤグラムを Fig. 6 に示す。実験に用いる非定常騒音の特性を考慮して，実験室には外部騒音や暗騒音および残響の影響が少ない無響室を用いた。実験は最大で 5 人まで行うことができ，各座席は A 特性レベルが同じにな

Table 1 Physical characteristics of non-steady noises in experiment Ⅲ.

Form of level fluctuation	Triangular, Sinusoidal, Rectangular
Repetition rate (Hz)	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8
W (dBA)	5, 10, 20, 30, 40
Frequency characteristic	Pink noise
Duration (s)	12
Presentation level (dBA)	Leq=70

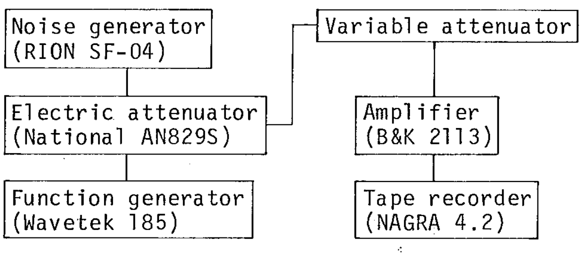

Fig. 3 Block diagram of equiments to produce non-steady noises.

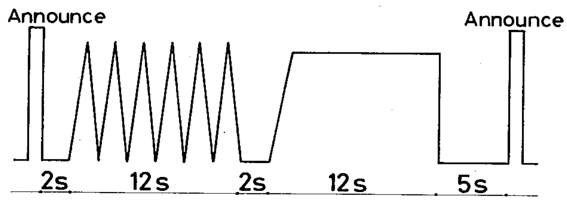

Fig. 4 An example of a time pattern of a pair of stimuli.

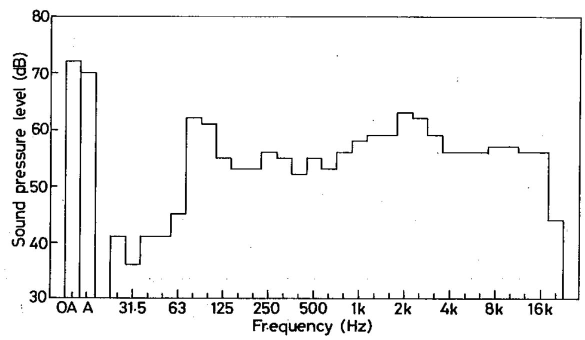

Fig. 5 1/3 octave band analysis of noises used in experiments.

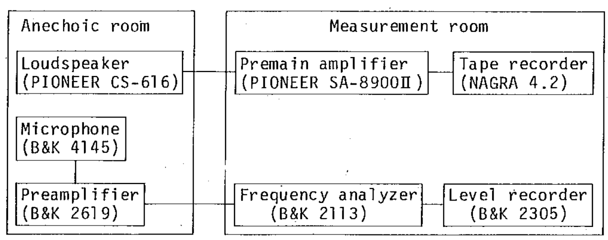

Fig. 6 Block diagram of experiments.

るようにその位置を調節した。なお，各座席で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。

3. 実験結果

1組の比較対に対して，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被験者平均値を求め，それをPSE（Point of Subjective Equality）とする。各非定常騒音に対する平均値と標準偏差をTable 2に示す。矩形状騒音に関しては，反復回数によるPSEの増加傾向をさらに詳しく検討するために，反復回数8～32 Hzについて追加実験を行った。その結果をTable 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3～5 dBA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。追加実験の反復回数8 Hz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1 dBAであり，再現性は良好であるといえよう。

Table 2 Results of experiment Ⅲ (dBA). RR : Repetition rate S. D. : Standard deviation

W (dBA)	RR (Hz)	Tri. Mean	Tri. S.D.	Sin. Mean	Sin. S.D.	Rec. Mean	Rec. 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

Table 3 Results of supplementary experiment.

W (dBA)	RR (Hz)	Rec. Mean	Rec. 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

4. 考察

4.1 反復回数および変動幅とやかましさ

Table 2に示すように，三角状・正弦状騒音はPSEがほぼ等しい値であるのに対して，矩形状騒音はこれらと異った様相を呈しており，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によって，心理的評価を大きくしていることによるものと考えられる。現実の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分布やレベル変動形状は三角状・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含めて，一括した考察を行う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。

4.1.1 三角状・正弦状騒音

Fig. 7に実験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの結果の比較を示す。Fig. 7には三角状・正弦状騒音をあわせてプロットし，変動幅ごとに曲線を挿入した。Table 4にはこれら3回の実験条件の主な相違点を示す。Fig. 7(a) はL_{eq}を基準とした値（PSE-L_{eq}）に換算してある。

Fig. 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，定性的には一貫した傾向が見られる。すなわち，(1) 反復回数が小さくなると，各線は収束し，PSEはL_{eq}に近ずく (Fig. 7(a))。Fig. 7(a) でPSE

Table 4 Comparison of conditions in experiment Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ.

	Experiment Ⅰ	Experiment Ⅱ	Experiment Ⅲ
Year	1978	1979	1980
Presentation level (dBA)	Peak level =70	Leq=70	Leq=70
Duration (s)	20	16	12
Form of level fluctuation	Triangular	Triangular Sinusoidal Rectangular	Triangular Sinusoidal Rectangular
Repetition rate (Hz)	0.05-0.8	0.25-2	0.25-8
W (dBA)	5-40	Sin. 5-40 Tri.20,40 Rec.10-40	5-40
Rise time of steady noise (s)	nearly 0	1-2	1-2
Number of subjects	13	9	13

が−1 dBA 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) 反復回数が大きくなるに従い，PSE は増加する (Fig. 7(b))。その増加割合は反復回数が 2 倍につき 1～2 dBA である。(３) しかし，反復回数が 4 Hz 付近で極大に達し，以後，明確ではないが減少傾向が見られる (Fig. 7(c))。(４) PSE は変動幅が大きいほど大きい (Fig. 7(a), (b), (c))。

これらの結果から，PSE は反復回数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 を関数表現する際には，道路交通騒音の評価指標として L_{50} の代りに 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変動要因の効果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。

そこで，PSE を次式で表すことができるものとした。

$$\mathrm{PSE}=L_{eq}+f(\mathrm{RR},\ W) \qquad (1)$$

RR：反復回数 (Hz)，W：変動幅 (dBA)

反復回数の影響はそれが小さくなれば定常音に近ずくから，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比較的ゆる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，反復回数が大きくなると，非定常性の効果が強まり，PSE は増大すると考えられるが，反復回数が可聴周波数の下限値に近づ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[16] もくり返しパルス騒音のラウドネスの研究において，一例として BTF＝0.2 の場合に反復回数とくり返しパルスに等価なラウドネスの定常音の相対レベルとの関係を検討し，相対レベルが反復回数約 30 Hz 付近まで増大し，以後急激に減少する曲線を示している。また，泉による規則的断続音のやかましさモデル[3]でも反復回数の効果は 4～6 Hz 付近まで増加し，それから減少する曲線として示されている。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。反復回数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。

心理的効果が最大となる反復回数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反復回数まで心理的効果が増大すると考えられる。立ち上がり・立ち下がり時間は Garrett の研究ではどちらも 5 μs であり，泉の研究ではそれぞれ 10 ms と 65 ms である。

反復回数が大きい場合の心理的反応の変化傾向にはいまだ不明な点が多いが，本研究では前述した反復回数の効果を表示するために f (RR, W) に (２) 式のよう

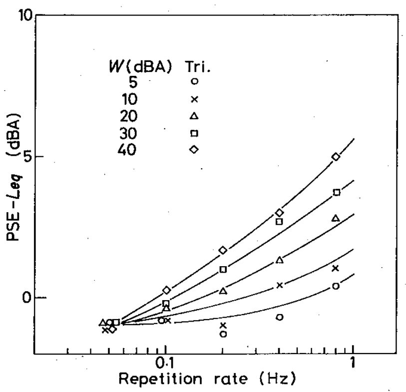

Fig. 7(a)

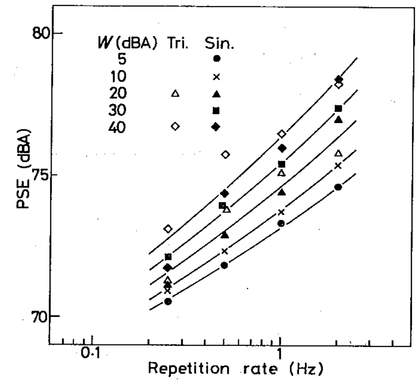

Fig. 7(b)

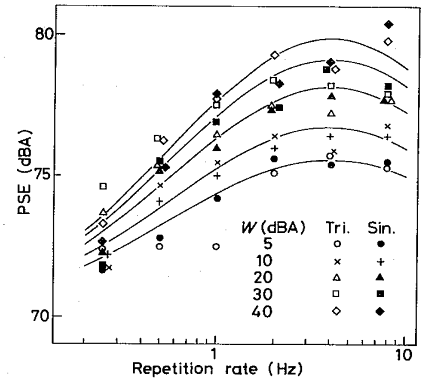

Fig. 7(c)

Fig. 7 Comparison of the results of experiment Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ. Each point is the mean of individual data. The results of triangular and sinusoidal noises have a similar tendency. Solid lines were inserted to fit these points. (a) Results of experiment Ⅰ (triangular noises). (b) Results of experiment Ⅱ (triangular and sinusoidal noises). (c) Results of experimnt Ⅲ (triangular and sinusoidal noises).

Table 5　Factor a, b, c.

W (dBA)	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

なピークを有する指数関数を実験式として採用することにした。

$$f(\mathrm{RR},\ W)=a\exp(bx+cx^2)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

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

ここで，a，b，c は W によって決定される係数とする。

Table 2 の三角状騒音と正弦状騒音の結果の平均値に最小二乗法を用いて変動幅ごとに a，b，c を決定すると，Table 5 のようになる。Table 5 の値から係数 b は変動幅の影響をほとんど受けず，ほぼ一定とみなすことができよう。係数 c は変動幅 5 dBA のときだけ小さいが，変動幅による系統的な変化傾向は見られない。これに対して a の値は変動幅とともに増加しており，明らかに系統的な変化傾向が認められる。したがって，b，c の値として Table 5 の平均値を採用し，$b=0.85$，$c=-0.7$ とした。

次に，b，c を上述のようにして定めた式から，Table 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，これを反復回数に対してプロットすると，Fig. 8 のように示され，各線は上から大きい順に並ぶ。多少の変動はあるものの反復回数に対して a 値に一定の傾向は認められず，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 W の関数として表示することが可能であると思われる。

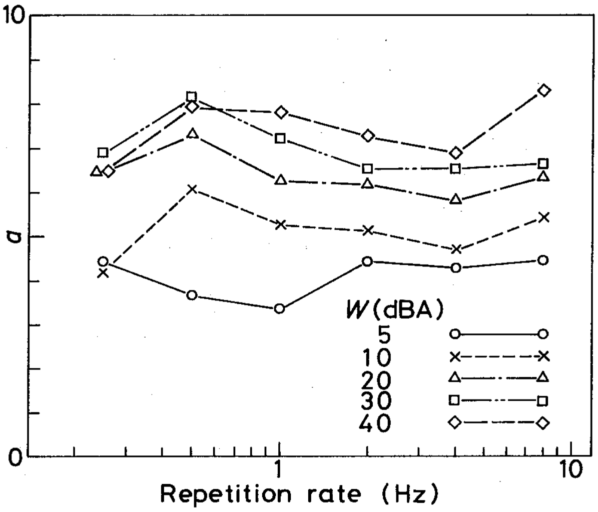

Fig. 8　Relation between factor a and RR. Factor a is almost constant and independent on RR. Therefore factor a is able to be represented as a function of W.

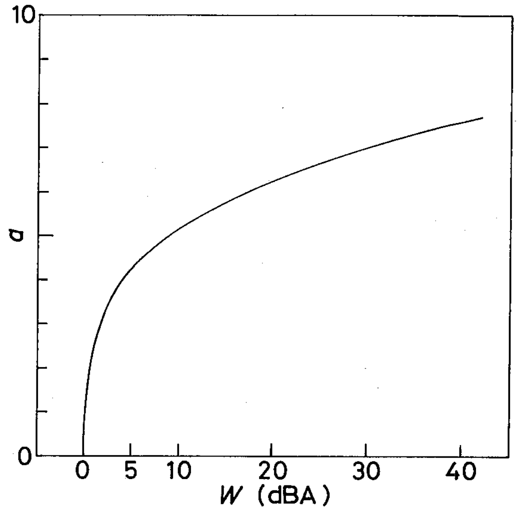

Fig. 9　Relation between factor a and W.

変動幅が 0 のときは反復回数に関係なく定常音となるから，その PSE は 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 10 dBA 以上では変動幅の対数とほぼ線形関係にある（Appendix 参照）。また，熊谷らの研究[13]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がピークレベルに対応するという報告や，レベル変動が単発衝撃音よりゆるやかな航空機騒音の継続時間補正は Peak−20 dBA より高レベルに重点を置いた Peak−10 dBA の方が良いということ[25]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 を対数関数と曲線形状が類似している指数関数で表せば，$W=0$ 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，(3) 式が得られる。a と W の関係を図示したものが Fig. 9 である。

$$a=2.7\ W^{0.28}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

したがって，PSE の実験式として次式が得られた。

$$\mathrm{PSE}=L_{eq}+2.7\ W^{0.28}\exp\{0.85\log_{10}\mathrm{RR}-0.7(\log_{10}\mathrm{RR})^2\}\cdots\cdots\cdots(4)$$

ただし，(4) 式の適用は L_{eq} が 70 dBA 程度の中程度の騒音レベルに限定される。反復回数は実験範囲が 0.25～8 Hz であるが 8 Hz 以下では適用可能であろう。反復回数が 8 Hz を越え，可聴周波数の下限値に近づき，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 40 dBA までしか設定していないが，現実の騒音でも Fig. 2 に示すように，変動幅が 40 dBA を越えることはほとんどないから，通常の場合には (4)

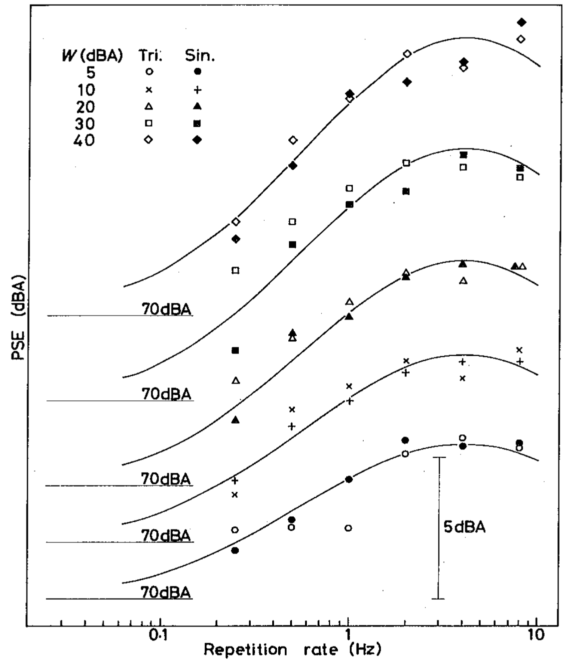

Fig. 10 Insertion of exponential curves into the data of experiment Ⅲ (triangular and sinusoidal noises). These curves were inserted in consideration of Fig. 7 and they fit the points fairly well.

式で十分対応できると考えてよいであろう。

（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 dBA，標準偏差は 0.64 dBA であり，かなりよく一致している。Fig. 10 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は異っているが，Fig. 11 ではそれらを同一レベルで一括して示した。

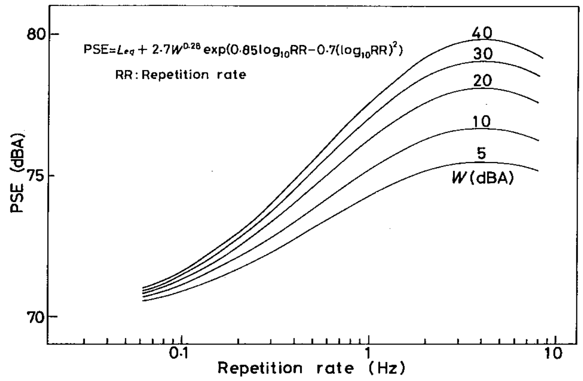

Fig. 11 Presentation by exponential curves for noisiness of triangular and sinusoidal noises. Ordinate represents PSE, abscissa repetition rate and parameter is W.

Fig. 7 に示されるように，各図は完全にはつながらず，被験者の相違など実験条件の影響を受けるため，実験Ⅲを基にして求めた（４）式は普遍的な結論であるとは言いがたい。しかし，３回の実験データの差は必らずしも大きくなく，（４）式は定性的な一貫性を備えているといえよう。

4.1.2　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 Fig. 12(a) であり，実験Ⅲの結果に曲線を挿入したものが Fig. 12(b) である。Fig. 7(b), (c) の三角状・正弦状騒音の場合とは明らかに様相が異なる。Fig. 12(a), (b) では実験範囲が異なるが，Fig. 12(a) では変動幅

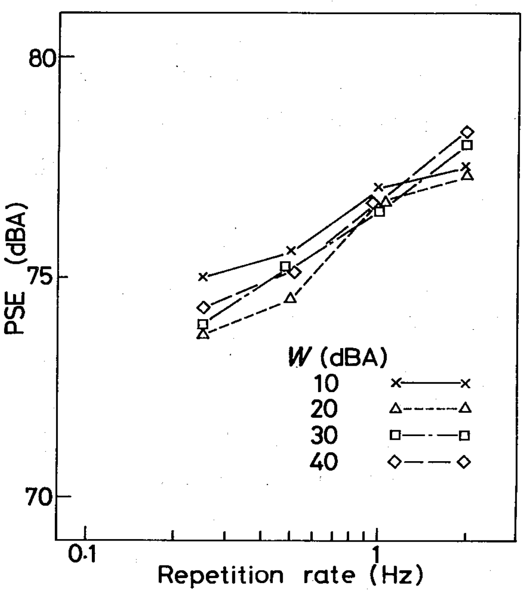

Fig. 12(a)

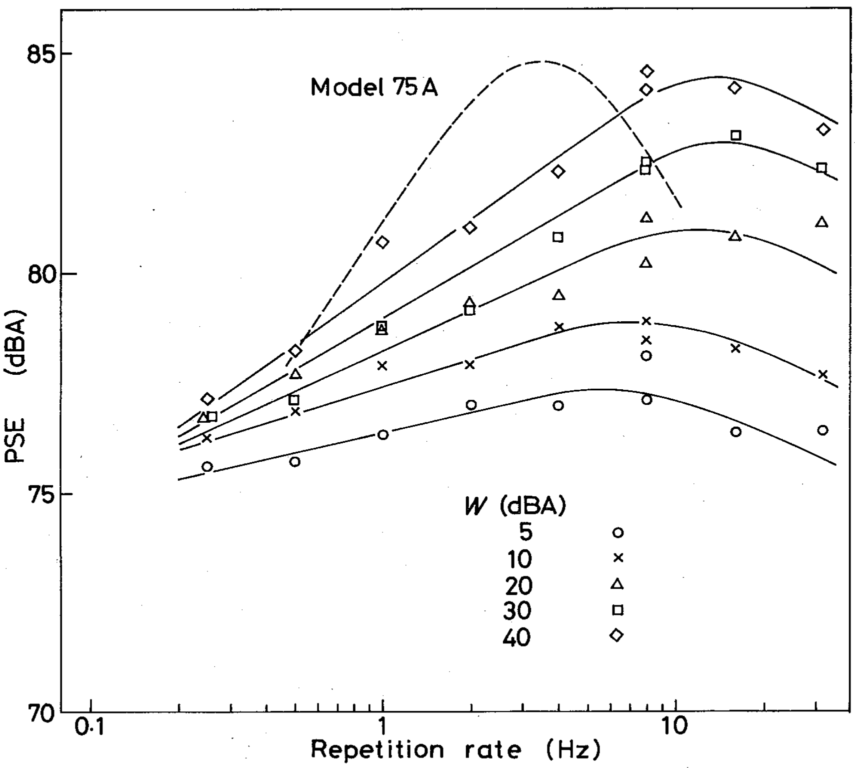

Fig. 12(b)

Fig. 12 Relation between PSE and repetition rate for rectangular noises. (a) Results of experiment Ⅱ (rectangular noises). (b) Results of experiment Ⅲ (rectangular noises). Solid lines were inserted to fit the points and a dashed line represents Model 75-A (Izumi[3]).

によるPSEの差が明確でないのに対して，Fig.12(b)では変動幅によるPSEの差が見られる。しかし，Fig.12(a)，(b)ともに反復回数に対する変化こう配は極めて良く似ている。

Fig.12(a)，(b)はFig.7(a)，(b)，(c)ほどには一貫した傾向を示していないので，実験範囲の広いFig.12(b)について定性的な傾向を述べるにとどめる。Fig.12(b)では，PSEは反復回数とともに増加し，変動幅により異なるが，4～16Hzで極大に達し，それ以後は減少しており，三角状・正弦状騒音と同様の変化を示している。極大に達する反復回数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2～3dBAである。また，Fig.12(b)ではレベル変動の効果は最大でほぼ15dBAに達しており，反復回数が小さくなっても，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。

4.2 他の研究との比較

Table 6は筆者らの実験とレベル変動特性が一部共通している騒音を対象とした他の研究者の実験の条件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ことは困難であるが，定性的な比較を行い，筆者らの今回の実験の妥当性を検討することができる。

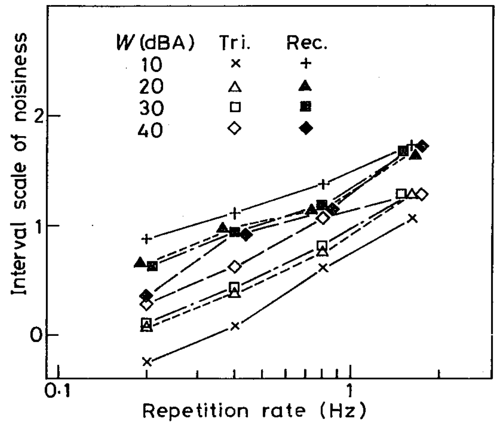

Fig. 13 Relation between interval scale of noisiness and repetition rate for triangular and rectangular noises.

まず，筆者らが行った一対比較法による尺度化の結果をFig.13に示す[21]。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Case V[22]の仮定に基づいて，やかましさの間隔尺度を構成したものである。そのうち，三角状騒音と矩形状騒音について反復回数と間隔尺度の関係を示してある。間隔尺度の基準値として70dBAの定常音を0としてある。

Fig.13によると，反復回数の増加に従い，やかまし

Table 6 Comparison of the details of experiment conditions.

	Author		Izumi	Hiramatsu	
Method of experiment	Constant method	Method of paired comparisons	Method of paired comparisons	Method of magnitude estimation	Method of magnitude estimation
Frequency characteristic of stimuli	Pink noise	Pink noise	Pink noise	White noise	White noise
Form of level fluctuation	Triangular Sinusoidal Rectangular	Triangular Sinusoidal Rectangular	Intermittent	Triangular	Sinusoidal
Presentation level (dBA)	Leq of non-steady noise : 70	Leq of non-steady noise : 70	Peak level of steady noise : 70	$\bar{L}$ of fluctuating noise : 70	$\bar{L}$,Leq of fluctuating noise:70,87.3
Duration (s)	12	20	12	12	50
Repetition rate (Hz)	0.25,0.5,1,2 4,8 (,16,32)	0.2,0.4, 0.8,1.6	1,2,4	Fluctuating speed(dB/s): 20,40,80,200	0.1,0.3,1
Range of level fluctuation (dBA)	5,10,20, 30,40	10,20,30,40	-	6,10,20, 30,40	10,30,50
Presentation method of stimuli	Loudspeaker in anechoic room	Loudspeaker in anechoic room	Loudspeaker in semi-anechoic room	Headphone	Headphone
Number of subjects	13	21	8	20	30
Attribute	Noisiness	Noisiness	Noisiness	Annoyance	Annoyance

さの尺度値もほぼ直線的に増加している。Fig. 7 および Fig. 12 においても，Fig. 13 と同じ反復回数の範囲では PSE は反復回数とともに増加している。また，Fig. 13 では 1 条件（三角状騒音，0.2 Hz，10 dBA）を除いて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，定常音を過大評価しており，そのことを考慮すれば，Fig. 7 の結果と十分適合しうる。なお，矩形状騒音の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）とも一致している。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言えよう。

Fig. 11 の破線は泉による「規則的断続音のやかましさモデル 75-A」[3]を示す。これは BTF を主要変数とし，さらに反復回数および断続バーストの off-time の関数として表され，変動幅を変数とはしていない。Fig. 12 に示したものは規則的断続音の BTF＝0.5 の場合であり，筆者らの矩形状騒音の変動幅が大きいものに相当している。

Fig. 12 ではモデル 75-A は矩形状騒音の変動幅が大きいものと比べて，PSE の増加割合は大きく，PSE が極大に達する反復回数は小さい。しかし，両者とも PSE の極大値はほぼ等しく，非定常性の効果は 15 dBA に達している。モデル 75-A の変化傾向はむしろ Fig. 11 に示されている三角状・正弦状騒音の変動幅が大きいものに似ている。

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 Table 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 が極大に達する反復回数が異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 20 dBA で 0.4 ms・40 ms，40 dBA で 0.6 ms・60 ms と短く，モデル 75-A では変動幅 30 dBA 相当でそれぞれ 10 ms・65 ms である。このため本研究では断続の効果がより大きな反復回数まで及んだものと考えられる。

平松ら[10),11)]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，変動騒音のうるささを尺度化し，同時に求めた定常音の尺度から，変動騒音をそれとうるささが等価な定常音レベル（ESL）に換算して，ESL と変動要因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筆者らとは異なり，種々の評価量の優劣を検討する立場から，実験条件も L_{eq} は一定ではなく，変動音のみを対象としているため，反復回数の範囲も筆者らの実験範囲より狭い。

そして，結論として変動要因による ESL の有意な変化傾向を認めていない。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わずかであり，L_{eq} が評価量として優れていることを示している。それに対して，筆者らは変動要因による傾向を抽出するため，L_{eq} を一定にし，反復回数もより大きい範囲まで対象としている。そのため，Fig. 11 に示すように，変動要因に対して PSE はより鮮明な傾向を示したものと考えられる。

5. まとめ

変動騒音から連続衝撃音・断続音まで，非定常騒音全般に適用しう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対象とする実験を行い，PSE とレベル変動要因の関係を考察した。その結果は次のように要約できる。

1.（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 は反復回数と変動幅の関数として示すことができる。PSE は，L_{eq} 70 dBA 付近，変動幅約 40 dBA 以下，反復回数約 8 Hz 以下で，（4）式で良く表示することができる。

（2） 反復回数が小さいいわゆる変動騒音の場合には，PSE は L_{eq} に漸近する。このことは従来の研究結果に符合する。しかし，反復回数が大きくなると，レベル変動の効果が顕著となり，PSE は 4 Hz 付近で極大に達する。今回の実験範囲ではその効果は最大で約 10 dBA である。

2. 矩形状騒音の場合には三角状・正弦状騒音とは PSE の様相は異なる。PSE は三角状・正弦状騒音より常に大きく，8 Hz 付近で極大に達する。また，今回の実験範囲では反復回数が小さくなっても，PSE は L_{eq} の値に収束する傾向にない。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。

謝辞

本研究を進めるにあたり，当研究室の卒論生各位には大へん御協力頂きました。また，本研究の一部は，昭和 52 年度，53 年度文部省科学研究費補助金奨励研究（A），および昭和 55 年度竹中育英会研究助成金の援助を受けました。ここに，記して感謝の意を表します。

参考文献

1） ISO 2204："Acoustics-Guide to International Standard on the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on human beings"（1979）
2） 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（1980）
3） 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，274，85（1978）
4） 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，80

N—11—6, 31 (1980)

5) 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, 35 (1976)

6) 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), 126(1976)

7) 難波精一郎，桑野園子，加藤　徹：“L_{eq}, L_{α} と大きさの関係について”，日本音響学会誌，34(5), 301 (1978)

8) 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，80 N—11—5, 25 (1980)

9) S. Kuwano, S. Namba, Y. Nakajima："On the Noisiness of Steady State and Intermittent Noises", J. Sound Vib., 72 (1), 87 (1980)

10) 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), 253 (1978)

11) 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), 376 (1978)

12) 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), 641 (1978)

13) 熊谷正純，江端正直，曽根敏夫：“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，80 N—11—7, 39(1980)

14) 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), 274 (1981)

15) I. Pollack："Loudness of Periodically Interrupted White Noise", J. Acoust. Soc. Am., 181 (1958)

16) R.M. Garrett："Determination of the Loudness of Repeated Pulses of Noise", J. Sound Vib., 2 (1), 42 (1965)

17) 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)

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

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)”，日本建築学会学術講演梗概集，45 (1980)

20) 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，81 (1981)

21) 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，5 (1980)

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

23) 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)

24) 増山元三郎：“実験公式の求め方”，竹内書店 (1962)

25) 日本建築学会編：“騒音の評価法”，彰国社，p. 61 (1981)

Appendix

Fig. A-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。

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

$$\fallingdotseq L_P-10\log_{10}\frac{W\,10^{W/10}}{10^{W/10}-1}+6.4$$

$$L_P\fallingdotseq 10\log_{10}\frac{W\,10^{W/10}}{10^{W/10}-1}+L_{eq}-6.4$$

本研究では L_{eq} 一定であるから，$L_{eq}-6.4=C$（定数）とおくと

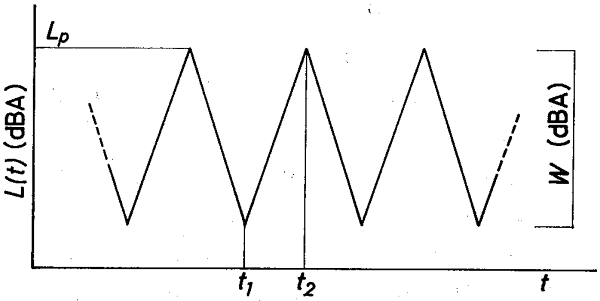

Fig. A-1

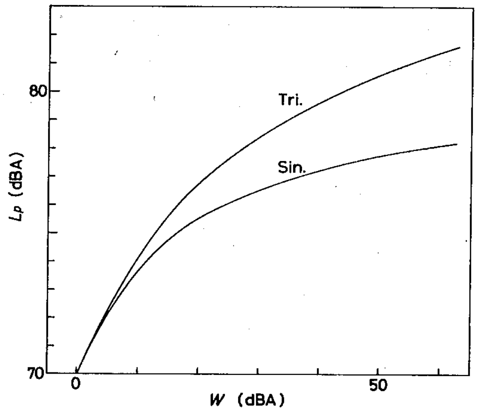

Fig. A-2

$$L_P\fallingdotseq 10\log_{10}\frac{W\,10^{W/10}}{10^{W/10}-1}+C$$

W が 10 dBA 以上では

$$L_P\fallingdotseq 10\log_{10}W+C$$

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変化傾向を示す。Fig. A-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。

SYNOPSIS

UDC : 534.83 : 628.517

THE EFFECT OF REPETITION RATE AND RANGE OF LEVEL FLUCTUATION OF PERIODICALLY NON-STEADY NOISES ON NOISINESS

A study on the evaluation of non-steady noises I

by **TAKASHI YANO** and Dr. **ASATO KOBAYASHI**,
Members of A. I. J.

It is clarified that L_{eq} is available for slowly fluctuating noise what is called fluctuating noise. But the evaluation method of rapidly fluctuating noise, for example, impulsive or intermittent noise, is not yet established.

In this experiment, three periodically non-steady noises—triangular, sinusoidal and rectangular noises—were used as test stimuli, the factors of level fluctuation—repetition rate (RR) and range of level fluctuation (W)—were set up widely from fluctuating noise to impulsive and intermittent noise, and PSE (point of subjective equality), which was steady noise level equivalent to non-steady noise on noisiness, was searched for by constant method.

The relation between PSE and fluctuation factors was investigated to obtain fundamental data to evaluate general non-steady noises on noisiness.

The results and discussions are summerized as follows.

1) The PSEs of periodically triangular, sinusoidal and rectangular noises are significantly affected by RR and W.
2) Triangular and sinusoidal noises indicate similar tendency on noisiness and their PSEs can be represented by L_{eq} and the effect of level fluctuation, which is indicated as a function of RR and W by equation (4).
3) The PSEs of rectangular noises are larger than those of triangular and sinusoidal noises.