

京都大学 工学部 正 高木 繁一

1) はしかり

工場、事業場、あるいは建設現場などから発生する強大な騒音に作業員が長年月暴露されると、永久的な聴力損失 (Permanent Threshold Shift: PTS) が生じることが知られている。この問題は労働衛生の観点からも重視されており、聴力を保護するため、適切な許容基準の設定が求められている。許容基準を設定するためには重要な知見のうち重要な問題は、騒音・諸要因(暴露音の強度、周波数構成、暴露様式、暴露時間など)とPTSとの量的な関係である。すなわち、どのような騒音にどれだけの期間暴露されれば、何れのPTSが生じるかということと明らかにする必要がある。PTSに関する研究は、従来から多くなされておられ、それらに基づく許容基準も提唱されている。しかし、PTSの研究には現場調査が必要で、その場合、騒音の諸要因に対する条件規制が十分でない得ないという欠点がある。特に、間欠暴露に対しては十分な精度・量質なデータを得ることは困難である。このような理由から、最近ではPTSのかわりに、一時的聴力損失 (Temporary Threshold Shift: TTS) を指標として各種騒音の影響を研究する方法が行われている。TTSは回復可能な聴力損失で、その大きさは、暴露後の閾値から暴露前の閾値を引いた値で示される。TTSは、PTSと密接な関係があるといわれており、Kryter et al.²⁾は、1日8時間、常習的長年月暴露の場合のPTSは、正常な聴力を有する青年が同一騒音に8時間暴露された後のTTS₂(暴露後2分たつた後のTTS)とほぼ等しいとしている。両者の関係については、なお未解決の問題が残されているが、暫定的な措置として、上述の関係が一般に認められている。したがって、種々、騒音ならびに暴露様式に対して、TTSを推定するところや重要な問題となる。著者は、任意の定常および非定常騒音に暴露された際のTTSを推定する方式を確立し、騒音の許容基準を設定する目的で本研究を行なった。

2) 定常騒音によるTTSの推定方法

定常騒音によるTTSを規定する主な要因は、暴露音の周波数特性、暴露時間および暴露音レベルである。このうち、TTSと暴露時間および暴露音レベルの関係については、オクターブバンド騒音、あるいは広帯域騒音を用いた研究があり、^{3), 4), 5)} TTSは暴露時間の対数および暴露音レベルの一次式であらわされることが知られている。しかし、任意の定常騒音について、各テスト周波数におけるTTSを推定するためには、周波数特性とTTSとの関係も明らかにする必要がある。この点について、従来行なわれてきたのは、各オクターブ帯域ごと、TTSと暴露時間、暴露音レベルの関係を求めようとする試みである。著者のも、同様の検討を行なったが、⁴⁾ この方法では、ある特定のテスト周波数に対して、どのようなオクターブ帯域も選択すべきが、帯域幅として1オクターブをとるとは適当があるかという点がいまいち、任意のスペクトルをもつ騒音に暴露された後のTTSを推定する方法としての理論的根拠は明かでない。これらの問題を解決するため、著者はマス킹(ある音が他の音の存在のためにマスクされて聞えなくなる現象)において提唱された臨界帯域の概念のTTSへの適用を検討した。この概念は、「ある周波数の音をマスクするのに効果があるのは、騒音のエネルギー

のうち、限られた帯域域に含まれるもののみである」ということである。同様の考え方が TTF においても成立するならば、任意のスペクトルをもつ騒音による TTF の推定は容易になる。白色騒音を用い、1/6 オクターブずつ順次帯域幅を増加させて high pass, low pass などの各種の暴露音を用いて行なった実験結果から、TTF にも臨界帯域の概念が適用しうると明確められた後、以下の方法によって、臨界帯域の中心周波数、帯域幅を求めた。

テスト周波数 F に対する臨界帯域の低域切断周波数を f_1 、高域切断周波数を f_2 ($f_1 < f_2$) とし、 F の TTF が次式で示されると仮定する。 $TTF_F = aX + b$ ----- (1)

a , b は暴露時間、テスト周波数、回復時間などによって定まる定数で、 X は臨界帯域域に含まれる騒音の音圧レベルである。臨界帯域の中心周波数 (f_c) における騒音のスペクトルレベルを β (f_c)、臨界帯域幅を AF ($= f_2 - f_1$) とすると、 $X = \beta(f_c) + 10 \log_{10} AF$ ----- (2) となる。暴露音のスペクトルが直線的傾斜をもつ場合には、 $S(f_c) = \alpha \log_{10} f_c + \beta$ ----- (3) と表される。ただし、 α は暴露音のスペクトルの傾斜 (db/oct.) で、 β は切片 (db) である。(1), (2), (3) から

$$TTF_F = a(\alpha \log_{10} f_c + \beta - L) \text{ ----- (4) したがって、 } L = -(10 \log_{10} AF + b/a)$$

α として、-6, -3, 0, 3, 6 db/oct. の5種を用い、20分間あるいは40分間の暴露を5人・被験者について行なった結果から、テスト周波数 0.5, 0.8, 1 (以上40分暴露), 1.5, 2, 3, 4, 6, 8 kc (以上20分暴露) について、 a , f_c , L を最小自乗法によって計算した。一例として、2kc の場合について、 $\beta(f_c)$ と TTF の関係を示したものが図1である。

次に、広帯域騒音 (noise I) の f_c におけるスペクトルレベルを β_1 、臨界帯域域に含まれる帯域幅 AF の狭帯域騒音 (noise II) のスペクトルレベルを β_2 とし、さらに noise I による TTF を Y 、noise II による TTF を y とすると

$$Y = a(\beta_1 + 10 \log_{10} AF) + b \text{ (5)}$$

$$y = a(\beta_2 + 10 \log_{10} AF) + b \text{ (6)}$$

と表すことが出来るから、(5), (6) より臨界帯域幅 ($10 \log_{10} AF$) は、

$$10 \log_{10} AF = 10 \log_{10} AF + \beta_2 - \beta_1 + (Y - y)/a \quad (7)$$

として求めることが出来る。広帯域騒音として、前述の

5種の直線的スペクトルをもつ騒音を、狭帯域騒音として1/6オクターブバンド騒音を用いて、臨界帯域幅 ($10 \log_{10} AF$) を計算した。これらのまとめを示したものが表1である。臨界帯域の中心周波数は0.5kcをのぞいて、テスト周波数より約1/2オクターブ低いところにあり、帯域幅は1/2~1/3オクターブで、

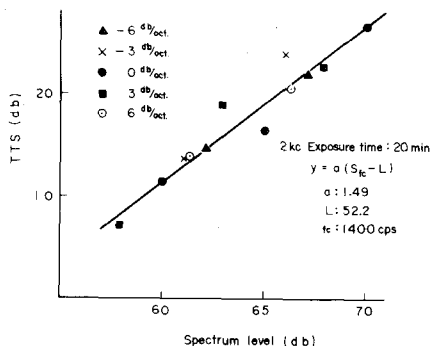


図1. 臨界帯域の中心周波数におけるスペクトルレベルと TTF の関係

Test	0.5kc	0.8kc	1kc	1.5kc	2kc	3kc	4kc	6kc	8kc
Center frequency(cps)	490	600	730	1010	1400	2620	3040	3840	4950
Bandwidth in db and its 95% confidence limit	21.3±1.5	23.8±1.3	23.8±1.6	24.0±1.3	26.0±0.8	29.7±0.9	30.5±0.8	29.9±1.0	33.3±0.8

表1. 臨界帯域の中心周波数および帯域幅

マスクングの場合よりも約6倍大きくなっている。臨界帯域内に含まれる騒音のレベルおよび暴露時間とTTDとの関係が求められ、任意の定常騒音について、TTDを推定することが可能となる。この目的のため、白色騒音が、90, 93, 96dBを用いて、8時間までの暴露および5名の被験者について行ない、2, 3, 4, 6, 8dBのTTDを測定した。これらのデータはオクターブバンド騒音を暴露して得たデータ⁵⁾をもとに検討した結果、TTDは暴露時間の対数と暴露音レベルに対してほぼ一次式の関係で増加することが判明した。すなわち、一般に $TTD_2 = a(\log T - \log T_0) + b\Delta L + c$ と示される。TTDは暴露後2分かつからのTTDの大きさ、 ΔL は臨界帯域の中心周波数における騒音のスペクトルレベル、 T は暴露時間(分)、 a , b , c はテスト周波数によって定まる定数である。これらの結果を示したものが表2である。

表2. TTDの実験式

Test frequency (cps)	Empirical equation
8000	$0.98(S-44.1)\log_e T - 0.11S + 8.4$
6000	$0.88(S-39.1)\log_e T - 0.33S - 17.6$
4000	$1.36(S-41.9)\log_e T - 0.45S + 18.7$
3000	$0.85(S-37.4)\log_e T - 0.27S + 6.4$
2000	$0.25(S-19.3)\log_e T + 0.77S - 51.0$

S: Spectrum level at center frequency of critical band.

T: Exposure time in minutes.

3) 非定常騒音によるTTDの推定

非定常騒音によるTTDを推定する方法の主要なものには、Ward et al が提導している、on fraction rule³⁾、平均のレベルを用いる方法²⁾、暴露等価原則(Exposure-equivalent rule)⁶⁾などがある。暴露音の変動のパターンに応じて、これらは使いわけられるが、その適用範囲が与えられているため、一般的に任意の変動様式をもつ騒音に対するTTDの推定には適用することができない。著者は非定常騒音によるTTDを推定する一つの統一的な方法を確立するために、騒音の変動様式をunit step function $U(t)$ [≡ $\begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$] で表わし、TTDの時間特性との関数と、定常騒音によるTTDを与える式とを用いて表わす方法の導入を試みた。すなわち、図2に示すような波形は、 $S_1[U(t) - U(t-T_1)] + S_2[U(t-T_1) - U(t-T_2)] + \dots + S_n[U(t-T_{n-1}) - U(t-T_n)] + \dots$ で示されるが、このような入力に対する出力としてのTTDは、 $f_{01}(t) - U(t-T_1)f_{01}(t-T_1) + U(t-T_1)f_{02}(t-T_1) - U(t-T_2)f_{02}(t-T_2) + \dots + U(t-T_{n-1})f_{0n}(t-T_{n-1}) - U(t-T_n)f_{0n}(t-T_n) + \dots$ で表わす。ここで $f_{0i}(t)$ はレベル S_i の定常騒音によるTTDを与える式である。この方法によるTTDの推定が可能であるかを検討するために、6種の変動のパターンをもつ白色騒音を用い5人の被験者について実験を行った。図3はテスト周波数6kHzの場合についての結果の一部を示したものである。暴露音のパターンは図の上

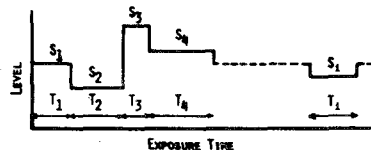


図2 非定常騒音のパターン

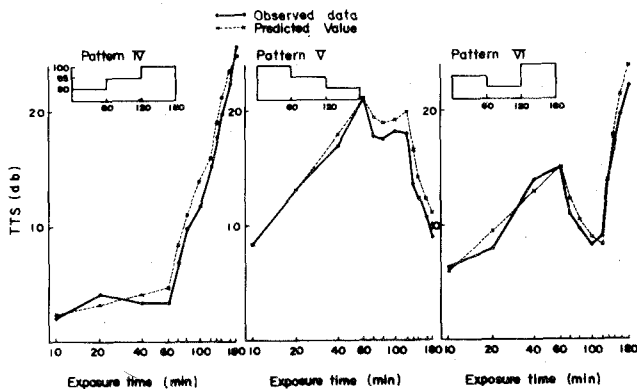


図3 変動騒音によるTTDの実測値と推定値

方にした。破線は推定値，実線が実測値である。他のパターン，およびテスト周波数についても，推定値と実測値の間には同程度の比較的良好一致が得られた。また Ward et al. が諸種の方法を導くに至ったデータについても，この方法で推定した値も実測値は良好一致を示した。on time のために短い衝撃的騒音の場合も，非定常騒音の変動のパターンを unit step function で表せば，TTJ の推定は可能である。

4) 騒音の許容基準

聴力保護を目的とした騒音の許容基準は，ほとんどすべて，日常会話の聴取り理解に支障をきたさない程度の聴力損失にとどめることを目標として設定されている。この目標として，Kryter⁷⁾ は 1000 cps あるいはそれ以下で 10db，2000 cps あるいはそれ以下で 15db，3000 cps あるいはそれ以上で 20db をあげており，ISO⁸⁾ では 2000 cps で 12db を採用している。連続的時間暴露に対し，Kryter の基準を採用して，表 2 の各式を用いた計算結果を示したものが

図 4 である。ISO の基準を採用した場合には，1400 cps を中心周波数とするオクターブバンドレベルで 82db となる。連続暴露に対しては，off time を含めた暴露時間の総計を時間とし，そのうち on time の合計が T 時間であるとすると，種々の連続暴露のうち，TTJ がもっとも大きくなるのは，最後に on time が連続して T 時間続いた場合である。(unit step function を用いる方法に基く場合) したがって，連続暴露のパターンに関係なく，total の on time のみに着目して計算しておけば安全側を与えろと英に取扱いも簡単になる。図 5 は，ISO の規準に基づき，上記の考え方に基いて計算した結果を示したものである。他のテスト周波数を考慮する場合にも同様な考え方を適用することができる。

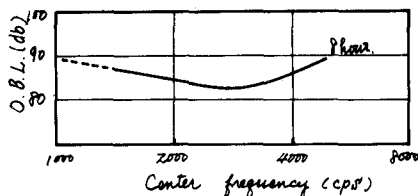


図 4. 連続暴露に対する許容オクターブバンドレベル

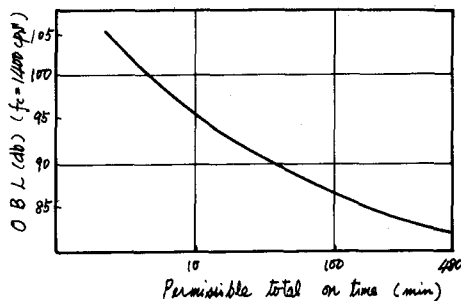


図 5. 連続暴露に対する許容基準

参考文献

- 1) 山本剛次 日産生 2, 68, 1956.
- 2) Kryter et al. J.A.S.A., 39, 1966
- 3) Ward et al. J.A.S.A., 30, 1958
- 4) Ward et al. J.A.S.A., 31, 1959
- 5) 庄司他 日本音響学会誌, 22, 1966
- 6) Ward et al. J.A.S.A., 31, 1959
- 7) Kryter J.A.S.A., 35, 1963
- 8) ISO / TC 43, 1961