間欠騒音の生体影響に関する研究

An Investigation of Biological Response induced by Intermittent
Noises (Trapezoidal noise)

札幌医科大学公衆衛生学教室

山村晃太郎・青島恵子[†]

Kōtarō Yamamura and Keiko Aoshima

Department of Public Health, Sapporo Medical College, Sapporo

Audiometrically normal, male students (ages 18 to 22, 6-12 persons) were exposed to intermittent and steady-state noise (480 minutes, pink noise), after which the Temporary Threshold Shift (TTS) and urinary 17 OHCS levels were measured.

The rise-decay time of an exposed noise (trapezoidal noise, cf, Fig. 1) was ca 500 ms and the duration was 6.5 seconds. Peak levels of the intermittent noises were 80 dB(A) and 90 dB(A).

Experimental Conditions

Exposure 1: Control

Exposure 2: Peak level 90 dB(A); duty cycle 2 minutes.

Exposure 3: Peak level 90 dB(A); duty cycle 1 minute.

Exposure 4: Peak level 90 dB(A); duty cycle 24 seconds.

Exposure 5: Peak level 90 dB(A); duty cycle 12 seconds.

Exposure 6: Peak level 80 dB(A); duty cycle 2 minutes.

Exposure 7: Peak level 80 dB(A); duty cycle 1 minute.

Exposure 8: Peak level 80 dB(A); duty cycle 24 seconds.

Exposure 9: Peak level 80 dB(A); duty cycle 12 seconds.

Exposure 10: Steady state noise; sound level 90 dB(A).

Exposure 11: Steady state noise; sound level 80 dB(A).

Results

(1) TTS growth

The coefficients of regression of TTS growth by exposures 1, 2, 3, 6, 7 and 8 were not significant. The coefficient of regression of TTS growth induced by exposures 4, 5, 9, 10 and 11 were significant.

The TTS_2 of noise exposure for 480 minutes, calculated according to regression equations, were determined by the on fraction rule. This gave a TTS for exposures 4 and 5 (on fraction 25%, 50%) that equaled 29% and 40% respectively of the TTS of exposure 10.

(2) Urinary 17 OHCS levels

There was a significant difference between the 8 hours-urinary 17 OHCS levels induced by exposures 6 and 7 and that induced by the control. No significant difference appeared between the urinary 17 OHCS levels induced by other noise exposures (exposures 8, 9 and 11) and that induced by the control.

The coefficient of regression between the 8-hour-urinary 17 OHCS levels to the logarithm of the on fraction was significant.

1. は じ め に

騒音の生体影響, 中でも聴力におよぼす影響を出来るだけ最少にするための, いわゆる許容基準が1974年に

E.P.A. 案として発表され¹⁾, 低レベルの定常騒音や飛行機, 新幹線, ジェル自動車などの騒音——つまり間欠的にピーク値は割合高いが, 等価騒音レベルとしてはあまり高くないレベルの騒音——の生体影響に関する研究

[†] *Department of Public Health, Faculty of Medicine, Toyama Medical and Pharmaceutical University, Toyama*

は関心をあつめつつある。

本邦でも児玉らの飛行場周辺の学童，市民を対照とする調査²⁾ 岡田らのやや全国的規模における住民の聴力調査等が実施された³⁾。また環境庁⁴⁾ による，東名および名神高速道路周辺住民の健康調査も行われた。これらの調査はいずれも交通騒音多発地域の住民には多少の聴力低下もありうる場合を示唆している。

一方この聴力低下を TTS によって追求した山本⁴⁾，兜⁶⁾，山村^{7,8)}の報告がある。これらは実際の交通騒音あるいは broad band noise をばく露せしめ TTS growth を追求したものであるが 4 kHz に 8 時間ばく露で数 dB の TTS₂ を認めている。

著者らは今回より交通騒音の実際にまともをしぼり，そのため発生時間の比較的短い間欠騒音（台形状騒音）をその発生頻度，レベル等^{13,14)}を組みかえて終日ばく露しその際の TTS と尿中 17OHCS とを追求したので，その成績について報告する。

2. 方 法

対象は聴力正常な男子大学生（18—22歳），6～12名である。実験は広さ約 7 米×6 米の広い部屋（室定数推定約 200）で行われた。暗騒音は 50dB(A) 以下で後述するスピーカーの前方（スピーカーは口径 30 cm で，室中央に据えた）1 米の位置におかれた椅子に被験者を横向座らせた（なお被験者数は 1 ばく露時 2 名以下である）。このようになるべく騒音が被験者の鼓膜面に垂直入射するようにした。

用いた騒音は以下のように発生させた。まず発振器（Rion 社 Random Noise Generator）によって pink noise を発生させ，これを電子スイッチ（Rion 社 SB-03）につないだ。一方電子スイッチには発振器（Kikusui 社，RC-Oscillator Model 417A）を併用して，その duty cycle を種々にかえ台形状騒音を発生せしめた。なお台形状騒音はその立上り時間が早いと，それだけでも生体の脈波その他に生理学的影響を与えるので⁹⁾，この影響が少ないようにその rise-decay time を 500 ms とし，またピークの継続時間 5.5 s とした。なおオクターブ分析値も共に Fig. 1 に示す。

この台形状騒音をアンプとスピーカー（Pioneer 社，Stereo Amplifier Model A 004 と Speaker CS-755）につないで被験者にばく露せしめたのである。なお騒音ばく露は以下の方法によった。

ばく露 1 コントロール，騒音ばく露なし，被験者数 12 名。

〔A〕 Time pattern of trapezoidal noise

〔B〕 Relative octave band level of exposure noise

Fig. 1 Exposure noise (trapezoidal noise)

- ばく露 2 ピーク値 90 dB (A) の上記台形状騒音を 2 分に 1 回 8 時間ばく露，被験者数 6 名。
- ばく露 3 ピーク値 90 dB (A) の上記台形状騒音を 1 分に 1 回 8 時間ばく露，被験者数 8 名。
- ばく露 4 ピーク値 90 dB (A) の台形状騒音を 24 秒に 1 回 8 時間ばく露，被験者数 9 名。
- ばく露 5 ピーク値 90 dB (A) の台形状騒音を 12 秒に 1 回 8 時間ばく露，被験者数 6 名。
- ばく露 6 ピーク値 80 dB (A) の台形状騒音を 2 分に 1 回，8 時間ばく露，被験者数 9 名。
- ばく露 7 ピーク値 80 dB (A) の台形状騒音を 1 分 1 回 8 時間ばく露，被験者数 9 名。
- ばく露 8 ピーク値 80 dB (A) の台形状騒音を 24 秒に 1 回 8 時間ばく露，被験者数 6 名。
- ばく露 9 ピーク値 80 dB (A) の台形状騒音を 12 秒に 1 回 8 時間ばく露，被験者数 6 名。
- ばく露 10 90 dB (A) の定常騒音 (pink noise) 8 時間ばく露，被験者数 8 名。
- ばく露 11 80 dB (A) の定常騒音 (pink noise) 8 時間ばく露，被験者数 6 名。

以上コントロールをいれ 11 種のばく露条件をランダムに被験者に隔日ごとにはく露せしめた。

(イ) 聴力測定条件

聴力は騒音ばく露室から1部屋おいた静かな部屋で(暗騒音 50 dB (A) 以下) 測定した(自記 Audiometer, Rion 社, AA-38, pen speed 2 dB/s で使用)。なおテスト周波数は 4 kHz で, ばく露終了後 2 分後の TTS, つまり TTS₂ を測定。聴力測定はばく露開始後 5 分目, 15 分目, 35 分目, 75 分目, 155 分目, 235 分目, 315 分目, 395 分目および 475 分目に実施し, それぞれの平均値を Fig. 2~5 に示した。

(ロ) 尿中 17 OHCS の測定

騒音負荷条件の変化が生体にいかなるストレス反応の変化を生ぜしめるかをみるために, ピーク値 80 dB (A) の台形状騒音負荷の場合に同時に尿も蓄尿し, その 8 時

間尿の 17 OHCS も測定した(ばく露条件 1, 6, 7, 8, 9 および 11)。

被験者数は, ばく露 1 では 9 名, ばく露 6 では 9 名, ばく露 7 は 9 名, ばく露 8 は 6 名, ばく露 9 は 6 名およびばく露 11 では 5 名であった。

尿量測定後, ホルモン測定用に尿の 1 部を保存し, 測定時まで -20℃ に凍結した。

尿中 17 OHCS は, Porter-Silber 法の変法¹⁵⁾ である西風らの方法⁶⁾ によって求めた。すなわち 5 ml の尿を β -グルクロニダーゼにて加水分解し, シクロルメタンで抽出後, 10% 硫酸ナトリウム溶液を加えた N/20 水酸化ナトリウム溶液で洗浄後, フェニルヒドラジンにて発色させ定量した。

Fig. 2 TTS growth induced by intermittent exposure to trapezoidal noise (Exposure conditions 1~3)

Fig. 3 TTS growth induced by intermittent exposure to trapezoidal noise (Exposures 4, 5 and 10)

3. 結 果

(4) 各種騒音ばく露に対する TTS_2 の結果。得られた TTS_2 の結果は Fig. 2～Fig. 5 に示す。

図は縦軸に TTS_2 (dB), 横軸はばく露時間の対数(分)である。図中に各種負荷条件での各ばく露時間に対する TTS_2 の平均値を結んで示し、一部には TTS_2 のばく露時間の対数に対する回帰直線も示してある。

Fig. 2 はばく露 1 コントロールと, ばく露 2 90dB(A) の台形状騒音 2 分に 1 回およびばく露 3 1 分に 1 回のおのおのばく露条件下の TTS growth を示す。なおこれから 3 条件ともその TTS growth の回帰は有意ではなかった。

Fig. 3 はばく露 4 90 dB (A) の台形状騒音を 24 秒に 1 回とばく露 5 台形状騒音 12 秒に 1 回及びばく露 10 90 dB (A) の定常騒音の 3 条件のばく露時のおのおの TTS growth を示す。おのおの TTS growth のばく露時間の対数に対する回帰は有意であった (ばく露 4 $F=11.52 > F_{10}^1(0.01) \div 6.96$, ばく露 5 $F=7.37 > F_{12}^1(0.01) \div 7.31$,

ばく露 10 $F=72.90 > F_{10}^1(0.01) \div 7.01$)。

この場合, 各ばく露条件下での回帰方程式から試算して, ばく露 480 分目の TTS_2 を求めるとばく露 4 では 5.2 dB, ばく露 5 では 7 dB, およびばく露 10 では 17.8 dB であった。これらの Data をばく露 10 の TTS_2 と比較するとばく露 4 では 29%, ばく露 5 では約 40% であった。

Fig. 4 はばく露 6 80dB(A) の台形状騒音 2 分に 1 回とばく露 7 台形状騒音 1 分に 1 回およびばく露 8 80 dB (A) の台形状騒音 24 秒に 1 回の 3 ばく露条件下の TTS growth と回帰直線とを示す。なおこの場合回帰はいずれも有意ではなかった。

Fig. 5 はばく露 9 80 dB (A) の台形状騒音 12 秒に 1 回とばく露 11 80 dB(A) の定常騒音 8 時間ばく露時の TTS_2 と回帰直線とを示す。回帰はそれぞれ有意であった (ばく露 9 $F=12.02 > F_{48}^1(0.01) \div 7.07$ およびばく露 11 $F=17.31 > F_{48}^1(0.01) \div 7.27$ 。

この場合おのおの回帰方程式よりばく露 480 分目の TTS_2 を試算するとばく露 9 では 4.2 dB, ばく露 11 では 5.3 dB であり, ばく露 9 のばく露 11 に対する比を求める

Fig. 4 TTS growth induced by intermittent exposure to trapezoidal noise (Exposure conditions 6~8)

Fig. 5 TTS growth induced by intermittent exposure to trapezoidal noise (Exposures 9 and 11)

Fig. 6 Relation between the urinary excretion of 17 OHCS and the on fraction of exposure noise

Fig. 7 Percentage change in the urinary excretion of 17 OHCS under various on fraction exposure noises

と約80%であった。

(iv) 尿中17OHCS量の測定結果

Fig. 6 にピーク値 80 dB(A) の台形状騒音ばく露8時間尿の17OHCS平均排泄量($M \pm SE$)を示す。縦軸は17OHCS量を、横軸はon fractionを対数で示した。またこのon fractionの対数に対する17OHCS排泄量の回帰直線も示してある。

各ばく露条件別の平均排泄量は、対照の1.86mg/8hrに比して増加しており、ばく露6 on fraction 5%ではもっとも排泄量が多く、平均3.00 mg/8 hrであり、ばく露7 on fraction 10%では平均2.69 mg/8 hrであった。この2条件の場合は対照に比して17OHCS排泄量は有意に大きかった($P < 0.05$)。これに対してばく露8, 9および11における17OHCS排泄量はばく露1のそれに比して有意差はなかった。図中ではon fractionが増大するばく露条件の場合ほど次第に17OHCS排泄量が減少してゆく傾向がみられたので、on fraction (%)の対数と17OHCS排泄量との回帰を求め、その回帰係数を検定すると $F = 4.14 \div F_{11} (0.05)$ であった。

Fig. 7 に、17 OHCS の平均排泄量の増加量の百分率〔(ばく露条件別の17 OHCS の平均排泄量-対照尿中の17 OHCS の平均排泄量) $\times 100$ / 対照尿中の17 OHCS 平均排泄量〕を、各ばく露条件別に示した。

4. 考 案

著者らは既に間欠騒音のTTSならびにsaliva cortisolにおよぼす影響を報告した⁸⁾。つまりピーク値100dB(A)とやや高いレベルの間欠騒音ばく露では、そのTTS growthは発生周期がかなり短くならないと等価騒音レベルの騒音ばく露によるTTSとは一致しないこと、また一方cortisol levelはこの音圧では間欠騒音の発生頻度の如何に関せず低下の傾向を示すことが知られたのである。

一方山本らは間欠騒音の発生間隔が短い場合(duty cycle 2分以下)では、その得られたTTS growthはほぼon fraction ruleによって得られたTTS growthに一致すること、さらにより一般的に変動騒音によるTTS growthは、unit step functionを応用することにより適切に評価出来ることを示唆している^{11,12)}。

ばく露時間について、あまり長時間ばく露ではTTSが飽和するという報告もあるので¹⁹⁾、本実験ではばく露時間をPTSと関連が深いと考えられる8時間ばく露とした²⁰⁾。

ところで本実験例のように台形状騒音一個の持続が短い〔これをパルス音とみなせばほぼ持続6 secに相当する〕場合を考慮して、今仮にon fraction ruleを適用すると次のごとくである。ばく露10 90 dB(A)の定常騒音を100%ばく露とみなすと、ばく露4では25%、ばく露5では50%のばく露とみなすことが出来るが、これに対してTTS growthはそれぞればく露10のTTSに比して29%および40%となり、on fraction ruleより著しく隔った成績とはいえない。しかしばく露2と3つまりon fraction 5%と10%の騒音ばく露時のTTSは有意な増大を示さないので比較を求めなかった。

またばく露11を80dB(A)の騒音100%ばく露とみなすとばく露9はほぼ50%ばく露とみなされるが、TTS growthはばく露11のそれに対比して80%とかなり大きい。ばく露6からばく露8までつまりon fraction 5%、10%、および25%の騒音ばく露時のTTS growthは有意な増大を示さなかったため、比較を求めなかった。

このように本実験例の場合はそのTTS growthをon fraction ruleにてらして比較検討すると間欠騒音のピーク値が高く、かつその発生頻度が高い場合、つまりon

fraction が高い場合にはほぼ妥当するものと考えられる。

またピーク値が高くともその発生頻度が低い場合には duty cycle が2分以内と短い場合でも TTS は有意な増大を示さない。

このことはピーク値 90 dB (A) の場合にかぎらず、80 dB (A) の場合でも on fraction が低下すれば、TTS の recovery が増大するので、結果として8時間ばく露後の TTS が有意な増大を示さなかったと考えられる。

さて騒音ばく露による副腎機能への影響をみた報告によると、田多井ら¹⁷⁾は騒音レベルが大きくなると副腎皮質ホルモンの分泌は逆に減少するとしている。その限度は負荷騒音の種類により多少異なるが、80~85 dB (A) 位としている。また間欠騒音の副腎皮質機能への影響について報告したもので、長田ら¹⁸⁾によると航空機騒音ばく露の場合、尿中 17 OHCS はピーク値 80 dB (A) の騒音において、その発生頻度が2分に1回より4分に1回の方が有意に増加したという。この実験では4種類の航空機騒音を用いており、騒音継続時間の平均は1回につき約18秒ということから on fraction は4分に1回では約7%以下、2分に1回の場合では約15%以下と考えられ、on fraction の少ない方が 17 OHCS 分泌の有意な増加を示すことは、著者らの実験成績ともほぼ一致する。

このことは間欠騒音のピーク値が 80 dB (A) という同一騒音レベルにおいても、その発生頻度を2分に1回から12秒に1回と4段階にわけて増加させると、その尿中 17 OHCS 分泌レベルは最初増大し、次第に減少することを物語るが、これは副腎機能が最初高まり、その後徐々に低下するものと考えられる。つまりピーク値が同一レベルの間欠騒音でもその発生頻度を変えると副腎機能に与える影響が異なることが示されたものといえよう。

5. 結 語

聴力正常な男子学生 (18~22歳) 6~12名を対象として、以下の騒音ばく露8時間を行い、その時の TTS growth と尿中 17 OHCS とを追求した。ただし尿中 17 OHCS は以下のばく露 1, 6, 7, 8, 9 および 11 の場合のみ求めた。なお台形状騒音はピーク値は 90 dB (A) と 80 dB (A) の2条件で、rise-decay time は約 500 ms、ピークの継続時間は約 5.5s の broad band noise であった。

ばく露 1 コントロール

ばく露 2 ピーク値 90 dB (A) で発生頻度 2 分に 1 回で 8 時間ばく露。

ばく露 3 ピーク値 90 dB (A) で発生頻度 1 分に 1 回で

8 時間ばく露。

ばく露 4 ピーク値 90 dB (A) で発生頻度 24 秒に 1 回で

8 時間ばく露。

ばく露 5 ピーク値 90 dB (A) で発生頻度 12 秒に 1 回。

ばく露 6 ピーク値 80 dB (A) で 2 分間に 1 回。

ばく露 7 ピーク値 80 dB (A) で 1 分間に 1 回。

ばく露 8 ピーク値 80 dB (A) で 24 秒間に 1 回。

ばく露 9 ピーク値 80 dB (A) で 12 秒間に 1 回。

ばく露 10 90 dB (A) の定常騒音。

ばく露 11 80 dB (A) の定常騒音。

これに対して、

① TTS₂の成績

TTS growth はばく露 1, 2, 3 およびばく露 6, 7, 8 の場合ではそのばく露時間(分)の対数に対する回帰は有意ではなかったが、ばく露 4, 5, 9, 10 および 11 の場合ではその回帰は有意であった。この場合おのおの回帰方程式から試算したばく露 480 分目の TTS₂ について on fraction rule により比較検討してみると、ばく露 4 では約 29%, ばく露 5 では 40% であったが、ばく露 9 では 80% となった。

② 尿中 17 OHCS 排泄量

ばく露条件 1, 6, 7, 8, 9 および 11 での 8 時間尿中の 17 OHCS 排泄量を求めたところ、ばく露 6 および 7 はばく露 1 のそれに比較して有意な増大を示したが他のばく露条件では有意差はなかった。また on fraction の対数に対する回帰は有意であった。

稿を終えるに際して種々の御援助を賜った北大歯学部生化学、西風 脩教授並びに古屋悦子氏に深謝する。

文 献

- 1) U. S., E. P. A.: Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an adequate Margin of Safety., March (1974)
- 2) 児玉 省: 航空機騒音の心身におよぼす影響, 公害と対策, 10(6), 27-45 (1974)
- 3) 岡田 諄, 野村恭也, 酒井国男, 関 和夫, 坂口幸作, 中村賢二: 環境騒音の純音聴力への影響調査について. Audiology, 20, 227-246 (1977).
- 4) 環境庁: 自動車道沿道住民健康影響調査 (1977).
- 5) 山本剛夫, 高木興一, 平松幸三, 山野 啓: 航空機騒音による TTS, 日本公衛誌, 22 (5), 289-296 (1975).
- 6) 兜 真徳: 航空機騒音, 道路騒音および電車騒音に

- よる TTS, 産業医学, 第51回 日本産業衛生学会講演集, 411-412 (1978).
- 7) 山村晃太郎, 高橋清久: 騒音連続ばく露時の一過性聴力損失 (TTS と内分泌機能の変動), 医学のあゆみ, **104**, 744-746 (1978).
- 8) 山村晃太郎, 高橋清久: 2分以下の発声周期の間欠騒音の生体におよぼす実験的研究, 日衛誌, **33**, 521-527 (1978).
- 9) 山村晃太郎, 中川正祥: 間欠騒音による生体反応の検討, (脈波による), 医学のあゆみ, **104**, 666-667 (1978).
- 10) 庄司 光, 山本剛夫, 高木興一, 徳田純夫: 断続騒音暴露による TTS の研究: 産業医学, **11**(5), 345-350 (1969).
- 11) Yamamoto, T., Shoji, H. and Takagi, K.: Prediction of temporary threshold shift following exposure to noise having arbitrary spectrum and temporal characteristics. 6th ICA, Tokyo, A-2-8-, A-9~A-12 (1968).
- 12) 山本剛夫: 騒音ばく露に起因する聴力の一時的域値移動 (TTS), 音響技術, **4**, 295-302 (1975).
- 13) 日本音響材料協会編: 騒音の実態, 騒音対策ハンドブック, p.117, 技報堂, 東京 (1974).
- 14) 小塩康次, 岡嶋伸親, 西村富三, 石井常夫, 高木興一, 山本剛夫: 私鉄ならびに国鉄在来線に関する騒音振動公害実態調査, 日本公衛誌, **25**(1), 47-54 (1978).
- 15) Porter, C. C. and Silber, R. H.: Quantitative color reaction for cortisone and related 17, 21-dihydroxy-20-ketosteroids, J. Bio. Chem., **185**, 201-208 (1950).
- 16) 西風 脩, 古屋悦子: 尿 17 OHCS (Porter-Silver chromogen) 測定法 その1 臨床病理, **17**, 634-638 (1969).
- 17) 田多井吉之介, 長田泰公, 網島清三, 吉田敬一, 小川庄吉, 浅野牧茂, 広川章子, 春田清子: 騒音の人体生理機能に及ぼす影響に関する実験的研究. 公衆衛生院研究報告, **14**, 200-212 (1965).
- 18) 長田泰公, 吉田敬一, 小川庄吉, 広川章子, 大久保千代次, 春田きよ子, 宮崎蔵敏: 航空機騒音, とくにそのレベルと頻度の生理的影響について. 公衆衛生院研究報告, **21**, 51-59 (1972).
- 19) Blakeslee, E. A., Hynson, K., Hamernik, P. and Henderson, D.: Asymptotic threshold shift in clinchillas exposed to impulse, J. Acoust. Soc. Am., **63**(3), 876-882 (1978).
- 20) 日本産業衛生協会: 許容濃度等委員会勧告の騒音の許容基準について. 産業医学, **11**(10), 533-538 (1969).

(受付 1978年11月27日)