騒音の生体に及ぼす影響 音の周波数特性による差異について

On the Effects of Noise to Living Beings.
—Its Differences by the Frequency of Sound.—

山川 和彦* 広瀬 秀正*
Kazuhiko YAMAKAWA Hidemasa HIROSE
大浦 次郎* 細見 韶子*
Ziro CURA Akiko HOSOMI

はじめに

騒音の有害作用については多くの業績がある。騒音が生体にどのような影響を与えるかを従来の文献から项目的にあげてみると次のごとくである。

Baetijer ¹⁾

1. The effects on the ear
2. The psychological effects
3. The effects on the body as a whole
4. The effects of ultrasonic sound

Barron, Poole ²⁾

1. The effects upon the ear and hearing
2. Changes in organs other than the ear.
3. Interference with speech communication

Lehmann ³⁾

1. Psychologische Moment
2. Vegetative Reaktion
3. Schädigung des Innenohres

坂本 ⁴⁾

1. 聴器に対しての影響
2. 自律神経系内分泌系を介しての影響
3. 心理的影響

これらを総括すると、局所的には聴器の障害、全身的には心理的・肉体的影響の2者に大別することができ、さらにこれらのことから産業衛生・労務管理面での作業能率の低下といったことが重要視されてくる。

騒音の害作用の程度には、その音の強さが大いに関与するのは言うまでもないことであるが、さらに音の高さ、云いかえればその音の周波数構成も忘れることのできない重要な要素である。従来騒音実験に際して、使用した刺激音の性質、ことにその周波数構成にまで言及し

ている実験は少なかつたように見受けられる。しかしながら近來この点が注目される傾向にあり、刺激音の周波数を変化させて、その生体に与える影響を比較検討した業績がみられるようになってきたが、その結果については区々である。

著者らも以前よりこの点に関心をもつて若干検討しつつあるので、自験例を混じえて、今までにみることの出来た文献について記載し、若干の考察を試みてみたい。

騒音が人に与えるうささ (annoyance) について

心理的・主観的な問題であるが、我々の日常生活に重要な事項である。

Laird, Coye ⁵⁾ は、音の強さと周波数構成とが、annoyance にいかなる関係があるかを心理学的に検討している。人を対象とし(約12人) 256cps の純音を基準として、それと同程度に annoyance を感ずる他の7種の純音の強さを audiometer で測定し、基準音を種々の強さに変えることによって検討しているが、高周波音域になるほど annoyance は高度となり、この傾向は、基準音の強さを増すにつれて著明になつてゆく結果を得た。

また Reese, Kryter は ⁶⁾、5人の被検者に種々の周波数帯 (band) の音を聞かせ、1900~2450cps の band を基準としそれと同程度の annoyance を感ずる他の band の音の強さをしらべた結果 (図1)、基準 band より高音域では基準音より弱い音で同程度の annoyance を感ずる傾向があり、基準より低音域ではそれと逆の関係がみとめられた。これを云いかえれば、音が高周波になるほど人により強い annoyance を与えることになり、この現象は、低周波音よりも高周波音が、聴器により強く障害的に作用するための結果であろうと推論している。

このような問題は実地の上でも検討されており、永田

* 順天堂大学医学部衛生学教室

1960年6月11日受付

1 図 Equal annoyance contours for band of noise; band No. 7 token as standards 5 subjects (Kryter)

ら⁷⁾は自動車警笛が不快感を起させる要因について調査を行い、不快感ともつとも大きい関連性を有するのは音量の大きさであり、比較的関連性の大きいのは音の高さであるとしている。

以上の諸実験は annoyance については高音域に意義ありとしている点で共通しているが、低音域を重視している業績もある。

永田⁸⁾は聴覚疲労現象を人について検討した際、高音よりも低音を聞かせた時に被検者が不快感、眩暈感を訴えることが多いのに気付く、これは 250cps 以下のような低音では、最小可聴値と不快感との間の巾が狭く、閾値上次第に音が強くなれば、高音域よりも速かに不快感へ近づくためであろうと考えている。

騒音が聴器に与える影響について

この業績は枚挙にいとまがないので 2, 3 をあげるにとどめる。

山本⁹⁾は各種工場の従業員 1,119 名 (2,045 耳) につい

て聴力検査を実施した。工場騒音を低、中、高周波音の 3 群にわけ、それぞれの職場従業員について 難聴の発現状態を比較している (図 2, 図 3, 原著の図を抜粋)。図で示すように、ほぼ同一レベルをもち、周波数特性の異なる騒音の聴力損失に及ぼす影響を比較すると、2048~8192cps の聴力損失は高周波騒音がもつとも高度で、中周波騒音がこれに次ぎ、低周波騒音がもつとも軽度である。64~1024cps の聴力損失は、高・中周波騒音では大差なく、低周波騒音はやや軽度である。この事実から、聴力に対する騒音の忍限度は周波数別に規定する必要がある、100~200cps では 95db 以下、200~3000cps 90 db 以下、3200~6400cps 85db 以下とすべきであると結論している¹⁰⁾。

2 図 Spectra of noises in noisy factories (山本)

3 図 The comparison between the effects of low-, middle-and high-frequency noise on hearing acuity (山本)

騒音の周波数忍限量については他にも業績があり¹¹⁾、いずれも高周波騒音の忍限量は低周波騒音のそれよりも小となっている。云いかえれば、高周波騒音が聴力に対してより影響が大であるということになる。

森岡らは¹²⁾、音響ばくろによる聴力の一過性の低下について、音の強さ、高さならびにばくろ時間を種々変化させることによって検討している。その1つとして、90db, 200~6000cps にわたる5種の音響ばくろを1時間、2名の被検者について行つたところ、聴力損失はばくろ音の周波数よりほぼ octave 高い所に現れるが、その損失の程度は、ばくろ音の周波数が高くなるほど高度となり、かつ恢復に時間を要することをみとめた (図4, 図5)。

図4 ばくろ音の周波数と平均聴力損失 (森岡他)

図5 純音ばくろ後の聴力消失の恢復 (森岡他)

Davis ら¹³⁾、永田⁸⁾、針谷¹⁴⁾、青木¹⁵⁾ もほぼ同様の結果をみとめており、2000~4000cps の音響ばくろがもつとも聴力低下を来す結果を得ている。以上は職業性難聴ならびに聴覚疲労に関する業績であるが、いずれも高周波音の有害性が低周波のそれよりも勝っていることを示している。しかしながらこれらの結果とむしろ逆と思われる報告も見受けられる。

Alexander ら¹⁶⁾ はモルモット8匹に300cps と5000 cps の二種の音を3~6分間ばくろし、その前後の Cochlea potential を測定している。それによると、300 cps の方が高周波域の聴力損失が大きく、また3週間後の恢復状態も低周波ばくろ音の方が不良である結果を得

図6 Composite audiograms determined immediately (left) and three weeks (right) after exposure to either a 300-cycle or a 5000-cycle tone (Alexander et al)

ており (図6)、低周波音の方が内耳に与える影響が強いことになる。

村瀬ら¹⁷⁾ は造船所従業員1526耳について聴力を検査し、騒音の周波数構成と職業性難聴との相関性について検討しているが、1600~3200cps の高音域を主要構成成分とする職場よりも、800~1600cps を主要成分とし、さらに100~400cps の低音域と、1600~3200cps の高音域との3者が混合した職場の方が大なる聴力損失をもたらす結果を得てをり、これを結論づけるためにはなお研究を要するとしている。

我々の少数例の経験であるが¹⁸⁾、伸銅工場従業員の聴力実態を180耳について職場騒音の周波数構成と対比してみると、1500~6000cps を主勢力とする高音域職場の聴力低下が50~1000cps を主勢力とする低音域職場のそれに比べて特に高度であるという結果は得られず、むしろ後者が多少高度であるという感すらうけている (詳細は他に発表予定)。

騒音が脳下垂体副腎系に与える影響について

騒音を stress としてのこの領域の研究も多く見うけられる。

若原は¹⁹⁾、10名を対象に100phon の騒音を4時間聴かせて尿中17-Ketosteroid の著明な減少をみとめ、さらに3000cps 以下(A)と4000cps 以上(B)の2種の騒音をばくろして比較してみたところ、A騒音の方が17KSの著明な減少をみた。そこで刺激音をさらに細分して2000cps(C)、400~800cps(G)、800~1000cps(F)の3種の騒音を用いて実験し、F騒音がもつとも17-KSの減少が大であることをみとめ、1000cps 前後にもつとも減少反応を大きくする要因があると考えている。

坂本²⁰⁾ は、3000~4000cps と800~1000cps に主勢力をもつた2種の騒音を用いて、生体の下垂体副腎系に

騒音がいかに影響するかを組織学的に検討している。それによると2騒音間には明らかな差異が認められ、低周波音では下垂体前葉のPAS反応、A-F染色性に著明な変化を示し、睾丸のketosteroid染色性が低下する。また副腎皮質にもZona fasciculataのステロイド分泌減少その他をみとめている。これらのことから著者は音響の1000cps附近にもつとも侵襲性があると結論しており、後述するHaleの実験結果との差異は、動物による感受性の差によるものならんと推定した。

Hale²¹⁾はラットに6000cpsから50cpsにわたる数種の純音を120, 140dbで30~60分間ばくろし、ばくろ後1時間の副腎アスコルビン酸量を測定した。120db, 400~500cpsの低音域では、3000cps以上の高音域にくらべて影響がよくなることをみとめている。

以上の諸実験では、結論において多少の相異はあるが、低周波音域がより侵襲性があるという点においてほぼ共通していると考えることができる。しかしながら内分泌系に対しても高周波音がより影響が大となす業績も見受けられる。

沼田²²⁾ならびに中辻²³⁾は、犬を用いて4000, 2000, 500cpsの各種騒音を125phonで15~60分ばくろして、血中ヘモコルチコイドならびにアドレナリン量の変動を観察した。ヘモコルチコイドでは4000cpsにおいて、2000, 500cpsに比べて著明な分泌増加をみとめ、アドレナリンでは4000cpsで分泌量をもつとも多く、2000cps, 500cpsの順であつたと述べており、これは犬にC⁶-dipがあることを内部環境の変化からみて証明され得たものであろうと結論している。

神経筋系 (neuromuscular system) に対する影響

音刺激が神経筋系にいかん作用するかについて、心理学の領域で古くから関心をもちており^{6) 24)}、さらにいわゆるpsychomotor response^{25) 26) 27) 28)}あるいは耳鼻科領域での音響性耳介反射²⁹⁾などについて検索がなされている。

山川は³⁰⁾、環境としての騒音が生体の神経筋系にいかん影響するかを、家兎を用いて筋電図学的に観察し、256, 1,024, 4,096の各cpsに主勢力を有する3種の騒音を110dbでばくろせしめた。音刺激により著明な筋放電があり、筋肉の緊張の亢進をみとめるのであるが、高周波音になるに従って潜伏時間の延長、反応持続時間の短縮、振巾の低下(図7)を来し、筋緊張の度合いが質的にも時間的にも弱くなる結果を得た。

また音響性耳介反射についても、刺激音の周波数が増

図7 db 別, cps 別平均振巾 (山川)

加するときには反射は漸次その振巾を減少してゆくという報告もある³¹⁾。

その他騒音が生体に与える影響について

喜多野らは³²⁾、家兎に1000, 6000, 12000cps, 110phonの純音を20分間聴取させて、血糖の変動を観察しているが、音響ばくろにより血糖は一過性に上昇するが、その増加程度は6000cpsが最大で次に1000cps, 12000cpsの順であり、6000cpsが家兎に対してもつとも強い生体反応を起させるとしている。

我々も騒音が家兎の血糖値に与える影響を観察しているが³³⁾、およそ300cpsと4000cpsに主勢力をもつ2種の騒音を120dbで60分間ばくろした結果によると、300cpsの方が明らかに血糖の上昇が著しく、4000cpsでは対照群と大差ない結果を得た(詳細は他に発表予定)。

また鈴木らは³⁴⁾、家兎に1000, 6000, 12000cps, 110dbの純音をばくろし、末梢血液の変化を観察しており、音刺激によつて赤血球にはあまり変化をみないが白血球は増加を来し、その増加度は6000cpsがもつとも高く12000cps, 1000cpsの順であると報告している。

星野³⁵⁾はシロネズミ諸臓器のビタミンB₂含有量が音刺激によつていかに変化するかを、250, 1000, 4000cps 90phon, 30分刺激で検討し、肝・筋のB₂含有量には著変がないが、脳のそれは減少を示し、4000cpsがもつとも減少著明で、次いで1000cps, 250cpsの順であることをみとめた。

考 察

音響刺激によつてひき起される生体反応には、数多くの要因が介在しているものと思われる。

それらには:

1. 音の強さ
2. 音の高さ
3. 音の刺激時間
4. 生体の感受性

などがあげられる。音の刺激時間は単に長いか短かいかに

の問題だけでなく、断続音か持続音³⁶⁾か、断続音であれば規則的か否か、或いは衝撃音であるかという点も重要であるとし、生体の感受性では、個体差、種属差以外に、心理的な面で被検体が音響刺激を前以て意識しているか、あるいは不意のものであるかという事もかなり影響する⁶⁾。個体差の中には先天的なものの外に慣れの影響³⁷⁾も忘れることができない。

我々は現在、周波数構成の差がいかに生体に影響を与えるかに関心をもっているのであるが、今までにのべた諸実験の結果についてみると、あるものは低音域に、あるものは高音域に影響が大であるという相反した結論となつてゐるが、被検体、刺激時間、音の強さにおいて区々であり、あるいはこれらの要素によつて異つた結果が導かれてゐるのかも知れない。しかしながら我々は、上記諸要因の外にも若干の要素が関与しているのではないかと疑問を以前より感じていたので、この点について多少考察を試みたい。

その一つは、音源、ばくろ実験に供した場所を含めた騒音環境の問題である。

音源には C-R 発振器、Audiometer あるいは録音テープなどが用いられ、これらを増巾回路を通してスピーカーで発生させることが多いのであるが、再生装置に歪があることは宿命的にまぬかれえない。また理想的な防音、無響室でない限り、実験場の構造・大きさによる音響の変化も否定することが出来ない。であるから、発振器そのものがたとえ正確に希望する周波数の音を出していたとしても、再生、発生場所によつてかなり音の質が異つてくることは当然予想されることである。したがつて被検体の耳に入る音響が実験者の期待しているものとかなり異つてゐる可能性が非常に多い。著者の経験からみても、これはかなり重大なことで、ことにこれは高音域を再生するときには予想外の結果になることを経験している。

したがつて音響実験の際には、被検体の耳部で発生音響をさらに周波数分析を行つて、所期の結果が得られているかどうかを検討してみることが不可欠だと考える。この点必ずしもすべての実験に実施されているとは限らないので、見逃すことの出来ない要素の一つであると思われる。

次に振動の問題がある。音がいわゆる air transmitted vibration³⁸⁾である以上音と振動とは不離の關係にあり、殊に低音域になるほど生体が振動として知覚する度合が多くなり、可聴域以下の低周波音ではもはや振動としてのみ感ずるわけである。また空気による振動の

ほかに、騒音職場や実験場における地面、床その他の共振による振動も加つてくるわけであり、我々の経験でも 500cps 以下の音を 増巾再生した場合にはかなりの振動を感ずる。

振動が生体に与える影響については多くの研究があり^{39) 40)}、聴器に対するそれはことに古くから検討されてゐるが⁴¹⁾、それを総括すると聴器に対しては音刺激のみの場合より、音と振動とを同時に与えたときにより強く障害が現れる結果を示しており、聴器以外に対しても同様のことが当然推定せられる。

音と振動をうける生体の側から考えると、鼓膜を通しての air conduction の外に、頭蓋骨の共振による bone conduction があり、また床その他の共振による体全体の振動といった多面的な刺激侵入系路があり、bone conduction には多くの個体差があるという報告もある⁴²⁾。

被検体の外聴道を閉塞した後騒音にばくろした業績をみても、閉塞群にもそれぞれ、神経筋系反応⁴³⁾、血糖上昇⁴⁴⁾ 或は血圧亢進反応⁴⁵⁾ が現われており、音刺激の侵入系路が気道による聴覚以外にも存在する可能性を否定することができない。

また音源の側からみると、同じ周波数の低音であつても、その発生のさせ方、スピーカーの位置、置き方、ばくろする部屋の大きさ、構造などによつて、生体に与える刺激の質が千差万別であらうことも容易にうなずけるものがある。騒音の生体に与える影響が、その主要構成周波数の差異によつていかに変化するかについて、我々がみることのできた諸業績の結果が区々であるのも、今までにのべた要素がかなり関与しているものと考えられる。

結 語

騒音刺激がその周波数構成の差によつて、生体に与える影響にいかに関与するかを、自験例を混じて文献的に考察した。各実験によつて結果は区々であり、その原因と思われる諸要因について、若干の見解をのべ、我々騒音実験に関係しているものにとつて重要な、かつ困難な問題について指摘した。

御校閲をいただいた菊池教授に衷心より謝意をささげる。

文 献

- 1) Baetjer: Rosenau Preventive Med. & Hyg. p. 1005, 1956.

- 2) Barron, Poole: Am. J. Publ. Hlth. 42(6), 705~710, 1952.
- 3) Lehmann: Dtsch. Med. Wscht. 82(14), 465~470, 1957.
- 4) 坂本: 日本公衆衛生学雑誌, 5(11)増刊号, 284(会)昭 33.
- 5) Laird, Coye: J. Acous Soc. Amer. 1(1), 158~163, 1929.
- 6) Kryter: J. Speech & Hear. Disorders Mono Suppl. 1950.
- 7) 永田他: 公衆衛生, 23(1), 110, 昭 34.
- 8) 永田: 日耳鼻会報, 61(1), 103~104, 昭 33.
- 9) 山本: 国民衛生, 25(2), 84~93, 昭 31.
- 10) 山本: 国民衛生, 25(2), 112~119, 昭 31.
- 11) 豊川他: 衛生公衆衛生学, p.39, 医学書院, 昭 33.
- 12) 森岡他: 労働科学, 30(9), 565~574, 昭 29.
- 13) Davis et al: Acta oto-laryng. Suppl. 88, 1950.
- 14) 針ヶ谷: 日耳鼻会報, 62(7), 1450~1463, 昭 34.
- 15) 青木: 日耳鼻会報, 62(6), 1225~1229, 昭 34.
- 16) Alexander et al: J. Exper. Psychol., 45(1), 49~56, 1953.
- 17) 村瀬他: 広島医学, 11(5), 312~313, 昭 33.
- 18) 山川他: 産業医学, 2(4), 320, 昭 35 (会).
- 19) 若原: 日本衛生学誌, 14(8), 1000~1004, 昭 34.
- 20) Sakamoto: Mie. Med. J. 9(1), 59~74, 1959.
- 21) Hale et al: Am. J. Physiol. 171(3), 732, 1952 (会).
- 22) 沼田: 日耳鼻会報, 61(8): 1199~1220, 昭 33.
- 23) 中辻: 日耳鼻会報, 61(8): 1221~1241, 昭 33.
- 24) Morgan: Am. J. Psychol. 28(2), 191~208, 1917
- 25) Davis: J. Exp. Psychol. 38(3), 257~275, 1948.
- 26) Davis: J. Exp. Psychol. 38(6), 744~756, 1948.
- 27) Davis: J. Exp. Psychol. 39(1), 114~117, 1949.
- 28) Ryan et al. Am. J. Psychol. 63(3), 317~34, 1950.
- 29) 戸塚: 日耳鼻会報, 55(3): 172~183, 昭 27.
- 30) 山川: 順天堂医学雑誌, 4(4): 80~89, 昭 33.
- 31) 吉田: 大日本耳鼻会報, 36(12): 1345~1397, 昭 6
- 32) 喜多野他: 耳鼻と臨床, 4(4): 261~270, 昭 33.
- 33) 山川他: 日本衛生学雑誌, 15(1): 39, 昭 35 (会).
- 34) 鈴木他: 耳鼻臨床, 52(1): 116~121, 昭 34.
- 35) 星野: 名古屋医学, 76(3): 504~520, 昭 33.
- 36) 山本: 国民衛生, 25(2): 102~111, 昭 31.
- 37) Berrien: Psychol. Bull. 43, 141~161, 1941.
- 38) Finkle et al.: J. Appl. Psychol. 1(3): 183~204, 1948.
- 39) 岡田: 北方産業衛生, 21号, 20~34, 昭 34.
- 40) 星: 四国医学雑誌, 14(4): 540~548, 昭 34.
- 41) 河田: 耳鼻咽喉科最近の進歩, p.249~267, 医歯薬出版, 昭 31.
- 42) 原口他: 日耳鼻会報, 60(8): 1015~1017, 昭 32.
- 43) 山川: 順天堂医学雑誌, 4(4): 88~90, 昭 33.
- 44) 斎藤: 日本生理誌, 19(11): 1080~1090, 昭 32.
- 45) 日野他: 日本循環器誌, 21(4): 195, 昭 32 (会).

Summary

A bibliographical study including our own experimental findings on the effects of noise to living beings related to the frequency of sound was made.

There are disagreements in these findings, which led us to the concept that there should be many factors in the noise experiment and it was suggested that the fidelity of sound and the vibration should be included in these factors, which were discussed.

Department. of Hygiene, Juntendo University, School of Medicine.