THE RELATION BETWEEN SLIGHT DIFFERENCE OF NOISE
INTENSITY AND AUDITORY FATIGUE

By

TOSHIHIKO YOKOYAMA, SHIGETO OSAKO, MASAO SUGIYAMA
and KENICHI HOSHINO*the Department of Oto-Rhino-Laryngology, Osaka City University,
Medical School (Director: Prof. Kaoru Yamamoto)*

This paper was attempted to study on the temporary threshold shift (TTS) at 4000 cps by a 20-min noise exposure through a earphone to each of a subdivided tone, approximately 2db step, within the range of 79 to 88 phon of white noise. The change of auditory sensitivity was observed by means of Békésy-type audiometer. Nine subjects tested were adult men with normal hearing who had well experienced the Békésy audiometry. These results were as follows:

1) Although the intensities of stimuli of tones were slightly different respectively, a noise intensity which produced a remarked rise of TTS and a prolonged recovery from it was found in all the subjects.

2) A noise intensity level producing of such an elevated threshold was significantly different

each other:

No. 1 and No. 7 were found at 81 db; No. 2 at 82 db; No. 3, No. 5, No. 6 and No. 9 at 84 db; No. 4 and No. 8 at 86 db.

3) Observing the recovery process over a duration of 20 min, the following was noted, that the elevated threshold after stimuli, being recovered to normal threshold, still showed the elevation in 7~9 min after stimuli were ceased. This was classified to class IV & V. These recovery types were more frequently found on 1 grade less intensity of tone than the fatiguing tone intensity producing the remarked threshold shift and prolonged recovery of it. And these recovery pattern disappeared on the interrupted threshold tone at a frequency of 4000 cps.

騒音刺激強度の微小差と NI-TTS
(Noise-Induced Temporary Threshold Shift)

大阪市立大学医学部耳鼻咽喉科学教室 (主任: 山本 馨教授)

横	山	俊	彦・大	迫	茂	人
よこ	やま	とし	ひこ	おお	さこ	しげ
と						
杉	山	正	夫・星	野	健	一
すぎ	やま	まさ	お	ほし	の	けん
						いち

緒 言

音刺激後に出現する一時的聴力損失に関する研究は、単に聴覚疲労現象という病態生理学上の問題としてばかりでなく、騒音性難聴の発生予防に関連した衛生管理上の問題として重要視されているので、この研究は従来より各方面で行われ、多数の報告がなされている。その一つとして、Los Angeles の騒音小委員会の Research Center での Ward や Glorig を中心に進められている一時的聴力損失 (TTS) の研究は、実験的に各種の

音響と各様の曝露条件での TTS の発生、回復、相加の法則を追求し、許容度の設定のみならず聴力障害の見方、管理の実際についても基盤となる幾つかの問題を提示しようとしている。

騒音による一時的聴力損失は音の強さ、周波数構成、曝露時間および曝露様式などの諸因子によつて影響されるが、その中音刺激の強度は最も大きな影響因子であるとされている。白色騒音の実験的発生にはサイラトロンあるいは最近では半導体が応用されているが、これらの

騒音がランダムノイズであるので、聴覚実験用の騒音発生装置の出力目盛は音出力の誤差範囲を考慮して最小 5dB step になっている。

私達は音刺激の強さを約 2dB という微細な増強または減衰せしめた時の閾値上昇を比較観察を試みたのであるが、この実験を行った動機は次の通りである。

音響外傷に対する振動の相加的影響を人体について実験し初めた頃、騒音曝露にスピーカーを用いていた。即ち、被検者を振動台上に直立姿勢で腰掛けさせ、耳孔から 1m 離れたスピーカーより白色騒音 85 ホン（耳孔部の位置）が 20 分間曝露した。その結果、騒音に振動（300cpm 6mm または 1000cpm 1.5mm の上下振動）を添加すると、被検者は著明な閾値上昇を示す者と逆に閾値に変化をほとんど示さない者に大別され、騒音単独負荷の時のような一定の傾向がみられなかつた。更に、同一条件で再測定を行ったところ、その値は、ほとんどの例が最初の測定値と著明な相違を示した。これは 20 分間の振動被曝中に被検者が無意識の中に、また振動からのがれようとして上体を側方あるいは前方に移動して、スピーカーと耳孔の距離が変わり、曝露音圧に変化を生じた結果であろうと推察した。

この点を明らかにするために、12 インチの標準型スピーカーの軸上 1m のところに日本測器製 SL-7B 型

指示騒音計のマイクロホンをスピーカーに対して直角におき、その地点（白色騒音 85 ホン）より前後方向および各周辺に向けてマイクロホンを 2～3cm 移動すると 2 ホン程度の出力の減弱が認められた。また別に、受話器を用いてスピーカーの時と同一刺激条件で同一被検者について長期間隔をおいて反復測定したところ、スピーカーを用いた時のような著明な変動を示した者は 8 名中 2 名を認めるに過ぎなかつた。

以上の各実験成績から、比較的長時間曝露であれば、白色騒音 85dB（ホン）附近の刺激強度を微小減衰あるいは増強せしめることによつて聴覚疲労の出現様相にかなりの変化が起り得るのではないかと推測される。ここに本実験を行い次のような知見を得たので報告する。

実験方法と装置

1. 音響曝露方法

受話器（リオン製マスキング用カプラ、約 700cc）によつて白色騒音を与えた。音刺激強度は受話器の音出力レベルで表わされた。即ち、音刺激の強さの決定は受話器の皮膚接触面の位置で R-4 号レシーバーの中心に対して直角にマイクロホンを置き指示騒音計（日本電子測器製 SL-7B）で行われた。

音刺激強度の微小差は下記のような方法で行われた。第 1 図に示す如き 3 つの受話器、即ち、A 受話器は吸

第 1 図 騒音受話器とその周波数特性

音装置のないもの、B 受話器は R-4 号 レジューバーの表面を薄い綿布で被覆したもの、C 受話器は受話器(カブラ)の内壁をフェルト布で覆つたものを用い、これらの受話器と騒音発生器の出力目盛との組合せによつて 82 ホンから 86 ホンの間をほぼ 2 phon step に細分した。A 受話器は 82 ホン音刺激に、B 受話器は 86 ホン音刺激に、C 受話器は 84 ホン音刺激に用いられた。なお、出力音圧は電源電圧の変動を受け易いので、実験時には山水製自動電圧安定装置によつてその出力の安定をはかつた。また、ノイズ受話器を被検耳に密着固定せしめるために、ヘッドバンドの他に補助バンドが用いて補強した。

本実験に使用した白色騒音発生器および A, B, C の各受話の周波数特性は、第 1 図に示す通りである。雑音空気伝導受話器とその試験用カブラの標準化されたものが未だないので、第 2 図の略図で示すようなカブラを

第 2 図 騒音受話器の周波数特性の測定方法

作成して各受話器の特性を求めた。12×18×4cm の檜の木中央に純音気導音圧校正用の標準圧力マイクロホンがピッタリはまるように穴をあけた。出力音圧の測定は上記のカブラの上に受話器をのせ、400g を加えたものと等しい結合力をもたせてカブラと受話器が気密になるように固定した。測定周波数を発振器より発振させ、発振器の出力を減衰器負荷状態において常に 1.5 Volt

に固定して発振器より出た各周波数の出力を音圧校正器にて直読した。

2. 測定装置と方法

音刺激前後の聴覚閾値の測定には、Békésy type Audiometer (リオン製 A-1014A 型) と岩崎製 DR-305 型気導受話器が用いられた。

被検者は聴力正常な男性 9 名で、本大学医学生および医師である。被検耳には右側耳のみが用いられた。被検者達は Békésy audiometry を今までに何回も受けて、検査の受け方および検査音をよく理解している者である。なお、連続音閾値描記で著明な順応現象を示す者が 1 名 (No. 5) 含まれている。

検査音には 4000 cps 純音の連続音が主として用いられた。もし検査音を耳鳴と混同する恐れのある時、また閾値音聴取が不安定であると思われる時、断続音を適時に聴取せしめた。断続装置にはリオン製 SB-O2 型が用いられ、断続音は 4 ips (interruption per second) ときには 10 ips、立上り立下り時間は 25msec とした。両検査音ともオージオメーターの出力減衰速度は 2dB/sec とした。

刺激音は白色騒音 82 ホン、84 ホン、86 ホンの 3 種類で、刺激時間は 20 分間とした。各刺激音による NI-TTS の測定は原則として 1 週間の間隔をおいて、本大学の特設防音室で行われた。測定時刻は pm 6.00~9.00 迄とし、1 日 2~3 人が測定された。

音刺激前後の聴覚閾値の変化の観察は、第 3 図に示す 1 例のようにして行われた。即ち、先ず、4000cps 連続音閾値は臨床用オージオメーターおよび自記式オージオメーターで求め、次に閾値音描記が 4 分間持続的に行われた。3~4 分の休憩の後、同周波数音で 2 種類の断続音 (4 ips と 10 ips) 描記が連続音の場合と同様な方法で施行された。音刺激による閾値変化は、20 分間観察された。刺激停止後 8~10 秒より閾値が 4 分間持続的に描記され、その後は閾値音聴取による聴覚順応や聴覚疲労の増強を防止するために、1 分間の休憩と閾値描記が交互に行われた。なお、最後の 1 分間描記 (負荷停止 20 分後) の前に 5 分間の休憩時間がおかれた。

NI-TTS およびその回復過程の観察項目と判定基準は下記の通りである。

観察項目は、音刺激停止直後の閾値上昇値 (NI-TTS) およびその後の各測定時点 (5 分, 7 分, 11 分, 13 分, 15 分, 20 分) における閾値上昇値 (NI-TTS₅, NI-TTS₇, ……NI-TTS₂₀)、NI-TTS の 20 分間の回復様相、その

第3図 実測値の1例

回復時間、振巾縮小の有無および耳鳴の音色と持続時間である。NI-TTS 値は連続疎波の中間点で描記開始から10秒間の平均値とし、振巾縮小の有無の判定は音刺激前後の閾値描記の振巾を主観的に比較して、その程度により(－),(±),(+)に分類した。閾値の回復時間は負荷前の閾値にほぼ回復した時間であるが、後に述べるように回復型のⅣ型およびⅤ型の如く負荷前の閾値に

ほぼ復しても、閾値が再び上昇する場合はその一過性の閾値回復時間を本論文では閾値回復時間と仮定した。

実験結果

1. 被検者別にみた測定成績

各被検者の観察項目別成績は第1表に示す通りである。第4図のAとBは被検者別に各測定時点におけるNI-TTS値を実線で結んで負荷停止直後のNI-TTS

第1表 被検者の測定成績

No.	Phon	NI-TTS	Recovery		振巾縮小 (D L)	耳 鳴		※
			Time	Pattern		音 色	Time	
1	82	14	4	Ⅳ	－	ピー	4	6 (7.9)
	84	18	20～	Ⅵ	±	ピー	11	8 (5)
	86	26	7	Ⅵ	+	キーン	12	6 (7.20)
2	82	10	4	Ⅱ	±	シー	3	6 (11)
	84	21	9	Ⅲ	±	キー	4	10 (5)
	86	18	9	Ⅵ	+	キーン	7	3 (11)
3	82	5	2	Ⅰ	－	ピー	13	0
	84	5	2	Ⅳ	±	－	－	6 (5.7)
	86	12	20～	Ⅵ	+	キーン	5	3 (5)

4	82	7	2	Ⅳ	—	ビ	—	9	7 (13)
	84	6	4	Ⅱ	±	—	—	—	0
	86	11	4	Ⅱ	±	—	—	—	6 (5)
5	82	5	9	Ⅲ	±	—	—	—	6 (7~)
	84	10	4	Ⅴ	±	—	—	—	7 (11)
	86	20	13	Ⅲ	+	—	—	—	6 (9)
6	82	4		Ⅰ	—	キ	—	5	4 (7,9)
	84	12	2	Ⅱ	—	ビ	—	7	6 (5)
	86	17	20~	Ⅵ	+	キーン	—	8	4 (11)
7	82	13	11	Ⅲ	±	キ	—	4	3 (5,7,9)
	84	16	20	Ⅲ	+	ビ	—	11	4 (5)
	86	19	20~	Ⅵ	+	キーン	—	12	5 (9)
8	82	4		Ⅰ	—	シ	—	6	6 (20)
	84	8	1	Ⅱ	—	ビ	—	5	2 (9,11)
	86	9	2	Ⅱ	±	ビ	—	7	4 (7)
9	82	8	4	Ⅱ	—	シ	—	4	5 (5,7,9)
	84	8	4	Ⅱ	—	ビ	—	5	6 (7,11,13)
	86	19	20	Ⅳ	±	キーン	—	5	4 (5)

※ 刺激後の各測定時間における1分間閾値描記による閾値上昇値の中の最大値
() 内はその測定時間を示す

第4図 A 各被検者の刺激音強度別 NI-TTS とその回復過程

の回復過程を表示し、その下方に音刺激で惹起した耳鳴の音色とその持続時間を列記した。更に、各測定時点での (NI-TTS₅……NI-TTS₂₀) 1 分間閾値描記による

閾値上昇 (NI-TTS₅……NI-TTS₂₀ と 区別するために TTS₅……TTS₂₀ とした) を第 4 図に示す如く直線で表した。

第4図 B 各被検者の刺激音強度別 NI-TTS とその回復過程

以上の NI-TTS の回復過程の様相は第5図に示す如く6型に分類された。Ⅰ型とⅡ型は音刺激中止後7分以内に速かに刺激前の閾値に回復するもので、特にⅡ型は最初の4分間の持続描記中に bounce や sensitization

等の現象がみられるもの、Ⅲ型は閾値回復に時間を要するもの、Ⅳ型とⅤ型は一旦刺激前の閾値にはほぼ回復して、再び閾値上昇するという2相性のパターンを示すものの、Ⅵ型は20分の観察時間では閾値の回復を示さないものである。

先ず、No. 1 の被検者は白色騒音 82 ホンの音刺激によつて、NI-TTS は 14dB となり、84 ホンで 18dB、86 ホンで 26dB であつた。82 ホンによる NI-TTS 値は第1表をみて理解される如く、他の多くの被検者のそれに比べて相当に大きいので、79 ホン (C 型ノイズ受話器使用) の音刺激を行つた。その結果、NI-TTS は著明に減少し 5dB を示した。NI-TTS の回復様相は、82 ホンでⅠ型、84 ホンと 86 ホンではⅥ型となつた。耳鳴は音刺激強度の増加に従つて音色はシー、ピー、キーンの順に低音調から高音調に移行し、その持続時間も次第に延長するのが認められた。

No. 2 の NI-TTS 値は 82 ホンの刺激強度で 10dB、84 ホンで前者の2倍となり 21dB を示し、86 ホンで 18dB となつた。閾値の回復型は 82 ホンでⅠ型を示し、84 ホンはⅢ型、86 ホンはⅥ型となり、音刺激強度の増

第5図 NI-TTS の回復型の分類

強に比例して閾値回復の延長が明らかにみられた。また耳鳴に関しても、音刺激の強さが増すにつれてその音色の金属音化と持続時間の延長が明らかに認められた。

No. 3 は 82 ホン、84 ホンの刺激強度では、NI-TTS

の程度は小さく、夫々 7dB, 6dB であり、回復型は前者は I 型、後者は IV 型であつた。86 ホンに強めると、NI-TTS は 12dB に上昇し、その閾値の回復性は 20 分間の観察時間では全くみられなかつた。しかし、耳鳴の発現状況と音刺激強度との間になんらの関係が認められなかつた。No. 4 は 82 ホン、84 ホン、86 ホンの音刺激強度で、は夫 7dB, 6 dB, 11 dB 々という小さな NI-TTS 値を示した。負荷前の閾値への回復を図をみて明らかな如く速かであつた。耳鳴は 82 ホンの刺激音で発現しているが、作の 84 ホン、86 ホンの場合には耳鳴は起らなかつた。No. 5 の NI-TTS 値は、音刺激の強さに等比級数的に増加するのが認められた。回復型は 82 ホン III 型、84 ホン V 型、86 ホン III 型を示した。耳鳴は全刺激音とも起らなかつた。No. 6 は 82 ホンの刺激音で 4dB という軽度の NI-TTS 値であつたが、84 ホンでは前者の 3 倍の 12dB の閾値上昇を示した。しかし、84 ホンと 86 ホンの刺激強度の間には NI-TTS 値は大差が認められなかつた。回復型は 82 ホンで I 型、84 ホンで II 型、86 ホンで VI 型を示した。耳鳴の発現状況は音刺激強度の増加に比例してその音色の低音調から高音調への移行と持続時間の延長が明らかに認められた。第 3 図にその実例を示す通りに、閾値描記の振巾は 86 ホンの強度で負荷前のそれに比べて著明に縮少するのがみられた。

No. 7 は前述の No. 1 の成績と同じ傾向を示した。即ち、82 ホンで 13dB の NI-TTS となり、84 ホンで 16dB, 86 ホンで 19dB となつた。閾値の回復様相は 82 ホン III 型、84 ホン IV 型、86 ホン VI 型を示した。耳鳴は音刺激の強さが増すに従つて、その音色は低音調から高音調に移行し、その持続時間は明らかに延長することが認められた。79 ホンの音刺激を試みた結果、図にみられる如く上記のような諸変化は特に認められなかつた。

No. 8 は、No. 1, No. 7 の場合と異なり、82 ホンから 86 ホンの間の音刺激強度では、NI-TTS 値は 10dB 迄であり、刺激前の閾値回復も極めて速かであつた。しかし、87 ホン (A 型ノイズ受話器使用) の音刺激を用いると、図に示す如く 20dB の閾値上昇と金属性の耳鳴が発現するのがみられた。

No. 9 は No. 6 とほぼ同様に 82 ホンと 84 ホンの刺激強度では、NI-TTS は小さく且つその回復も速いのであるが、86 ホンの音刺激では NI-TTS 値が 19dB となり、回復型は VI 型を示した。耳鳴音も金属性音に変つた。

2. 観察項目別にみた成績

以上の被検者別にみた NI-TTS, その回復過程, 耳鳴についての成績に加えて, 振巾縮小の有無, 閾値回復時間を項目別に分けて述べる。

a) NI-TTS: 音刺激強度別に各被検者をそのパラメーター (助変数) として夫々の NI-TTS を実線で結んで一つの図に表示した (第6図)。各音刺激による NI-TTS 値の算術平均値ならびにその標準偏差は, 82 ホンの音刺激で $7.55\text{dB} \pm 3.30\text{dB}$, 84 ホンで $11.88\text{dB} \pm 5.99\text{dB}$, 86 ホンで $17.22\text{dB} \pm 4.75\text{dB}$ となった。即ち, 同一刺激音であつても, 得られた測定値は被検者によつてかなりの差がみられるが, 音刺激強度が微小差であつても, 各平均値は刺激強度の増加に従つて正比例的に上昇することが明らかに認められた。

第6図 刺激音強度別の NI-TTS 値

第7図 刺激音強度別の閾値回復時間

全被検者は個人の音響受傷性によつて次のようなグループに分けられた。被検者 No. 3, No. 9 は, 82 ホン, 84 ホンでは NI-TTS 値は比較的小さく大差を認めないが, 86 ホンに強度を強めると前二者の約2倍という著明な閾値上昇となつた。No. 2, No. 5 は 84 ホンの強さで, NI-TTS は明らかな増大を示した。No. 1 と No. 7 は 82 ホンの強さでも NI-TTS 値が他の被検者に比べて非常に大きいので, 79 ホンの刺激音を曝露した。その結果, NI-TTS が急激な減少を示した。No. 4, No. 8 は, No. 1 と No. 7 の測定結果と相反して, 82 ホンから 86 ホンの間の音刺激では NI-TTS 値が小さく且つ大差が認められなかつた。No. 8 に 87 ホンの音刺激を加えると, 飛躍的な閾値上昇が認められた。

b) NI-TTS の回復時間: 第7図は上記の第6図と同様な表示の仕方でも閾値の回復時間を示したものである。統計学的にみると, 82 ホンの刺激強度で $6.00\text{min} \pm 3.72\text{min}$, 84 ホンで $10.44\text{min} \pm 4.96\text{min}$, 86 ホンで $16.87\text{min} \pm 2.89\text{min}$ であり, 上述の NI-TTS の成績と同様な傾向がみられた。一般に, NI-TTS の大なる者はその回復時間も長く, NI-TTS の小さい者は回復時間が短くなる傾向がみられた。

c) NI-TTS の回復様相: 各刺激音に対する NI-TTS の回復様相は第8図に掲示した。82 ホンの音刺激で I 型から IV 型, 84 ホンで II 型から VI 型と巾広くみられ, 86 ホンになるとその大部分は VI 型に集中するのが認められた。IV 型, V 型の diphasic pattern の回復型は, 82 ホンと 84 ホンの刺激によつてみられ, 86 ホンの刺激強度では現れなかつた。

d) 振巾縮小の有無: 音刺激による閾値描記の振巾縮小の出現 (DL と示す) は, 上述の回復型と音刺激強度の関係と類似した結果が得られた (第8図)。即ち, 音刺激強度の増強に従つて振巾縮小の傾向がみられ, 86 ホンの強さに高めると, 被検者の殆んどが明らかな振巾縮小を示した。特に, 音刺激中止後 4 分間で刺激前の閾値に回復しがたい場合は, たとへ 82 ホン, 84 ホンの刺激音であつても閾値描記の振巾縮小が明らかに認められる者が多いようであつた。

e) 耳鳴の状況: 耳鳴の出現は, 第9図を

第8図 刺激音強度別の閾値回復型と振巾縮小

第9図 刺激音強度別の耳鳴の音色とその持続時間

みて明らかな如く、刺激音の強さの増加に従って耳鳴の持続時間は延長し、その音色はピーまたはシーがキーンという金属性音になると答える者が多い傾向がみられた。

f) 各測定時点における1分間閾値描記による閾値上昇 (TTS₅, TTS₇……TTS₂₀): 音刺激後の各測定時点における1分間の閾値描記による閾値上昇(第3図のAとB)を、図に示していないが、非負荷時と比較検討した結果、閾値上昇度は音響負荷後の方が非負荷時の場合よりも大きくなる傾向が顕著にみられた。しかし、音刺激強度と閾値上昇値(TTS)の間には一定の関係は認められなかった。

総括および考察

音刺激後に出現する一時的聴力損失は一般に“聴覚

疲労”と総称されているが、各研究者によつてまちまちな名称がつけられ定義されている。例えば、residual masking (Munson and Gardner; 1950)¹⁹⁾, post-stimulatory fatigue (Hood; 1950)¹²⁾, reversal acoustic trauma (Jerger; 1956)¹³⁾ などがある。Van Dishoeck (1953)⁴⁾ は閾値の回復の長短によつて、疲労と聴覚順応に分け、両者は別の機転によつて起るとし、Rüedi (1954)²⁴⁾ は前者を病的疲労、後者を生理的疲労と呼んだ。Schaefer (1960)²⁶⁾ は以上の聴覚疲労現象を単に fatigue (Ermüdung) と呼んでいる。Weber (1949)³⁵⁾ は閾値の回復に数日を要する場合、stimulation deafness という術語を用いている。

しかし、これらの術語の間には、明らかにその術語の定義を区別する明確な定義は現在まだ確立されていないようである。Reger and Lierle (1954)²²⁾ は疲労とか順応とかいう術語を避けて、閾値変動 Temporary Threshold Shift (TTS) を用いた。最近、Glorig et al (1961)^{7) 20)} は閾値上一定の強さの音刺激停止後に出現する閾値上昇を特に Noise-Induced TTS (NI-TTS) と呼び、閾値レベルの持続音聴取で聴閾値が漸次上昇する状態 (TTS あるいは threshold adaptation) と区別した。私達は音刺激後の聴閾値上昇に対して NI-TTS を使用するのが現段階において最も合理的な用語と考え、本論文においてはこれに従った。

聴器の疲労に影響するものとして、Schaefer²⁶⁾ は負荷騒音の音圧、周波数構成、負荷時間、閾値測定の時期、検査音の周波数およびその提示時間の6つの因子があると述べているが、しかし、一般にはその中でも刺激音の強さが最も大きな影響因子であるといわれている。私達の聴覚疲労に関する研究は刺激強度に重点がおかれ、特に刺激強度別の差が僅小差で行われていることが従来の研究と異なる点である。すなわち、broad-band noise の82ホンから86ホンの間をほぼ2 phon step に細分して、それぞれの刺激音を受話器を介して20分間曝露した後の NI-TTS とその回復過程を観察したものである。

通常、騒音刺激の強度差は最小 5dB 間隔である。これは刺激騒音がランダムプロセス³⁹⁾ (出力電圧の波形が

不規則に変動する要素を含む波形で表わされる事象)であることから、音出力の誤差範囲は 10dB、最低 7dB 以内であるとされている⁸⁸⁾。しかし、たとえ音響工学的に誤差範囲と見做される微小な音圧増加であつても、刺激騒音の強さが 85dB (ホン) 附近においては、感覚的に音の大きさが明らかに増大するし、また実際に NI-TTS を測定すると、全被検者において急激な NI-TTS 値の増大のみならずその回復の延長、振巾縮小、耳鳴音の金属化などが明らかに認められたのである。本研究の実験方法およびこれらの結果について聴覚疲労現象に関する従来の文献を参照して以下考察を加えて見た。

1) 音刺激と NI-TTS: 騒音刺激強度を 2dB step に微小増減せしめるような音響装置としての fine-step attenuator は、上述の誤差範囲が主な理由で現在のところ製作されていない(純音に関する装置は、製作されている)。そこで、私達は同じ大きさ、同じ型をした受話器(カブラ約 700cc)に吸音装置の材質やとりつけ部位を変えた 3 種類の受話器を用いることによつて、音刺激強度をほぼ 2dB (phon) step に減衰せしめることができた。この方法はいつも同じ周波数構成で同じ音圧をもつて再生曝露せしめる点では好都合であるが、各受話器の周波数特性が第 1 図に示すように多小異なつていたので、それが聴覚疲労に影響することが問題となる。すなわち、各受話器の周波数特性曲線は、全体的には、ほぼ近似しているのである。しかし、吸音装置のない A 受話器の周波数特性は 2 峰性カーブを示し 1000 cps と 6000cps 附近にピークを持ち、レシーバ(R-4号)を薄い綿布で被覆した B 受話器は 1000cps のみに最大のピークがあり、それ以上の高音域のカーブは低下を示した。カブラ内壁をフェルトで覆った C 受話器は、約 8000cps まで 1 octave-band 3dB 位の上昇勾配を示す特性を示し、この受話器の特性が騒音発生器出力の電気的特性(白色騒音)に最も類似している(第 1 図)。従つて、3つの受話器の中 B 受話器が 3000~6000cps の高音域レベルが他の受話器のそれに比べてかなり低いことを除いては、3つの受話器はほぼ類似した周波数特性を示している。一般に、高音周波数成分は低音周波数成分より聴覚に対して影響(疲労)をきたし易いといわれている。例えば、Ward⁸⁴⁾は、少なくとも 6000cps までは、周波数が高まるにつれて TTS が増大するといひ、特に各 band noise の間では 2400~4800cps、1200~2400cps の音刺激で 4000cps の TTS が最大であつ

たと報告している。しかし、私達のこの研究では、高音周波数成分の比較的弱い B 受話器を 86 ホンおよび 81 ホンの音刺激用に、白色騒音の特性を示す C 受話器を 84 ホンと 78 ホンの音刺激に用いたが、B 受話器を用いた時は C 受話器の時よりも常に NI-TTS が大きく、結果的には両受話器の周波数特性の相違による影響はほとんど見られなかつた。これは恐らく両音の周波数構成の高音周波数成分の差が軽度であつたために殊に高音の影響を受けなかつたものと推察される。

85 ホン附近の強度を選択したのは次のような理由による。先づ第一に、Davis et al (1950²⁾) は純音 110~130dB、1~64 分、Rüedi and Furrer (1954²⁵⁾) は白色騒音 130dB、1~32 分といういずれも強大音響を人体に曝露しているが、これらの強度は、人体実験としては永久的難聴をきたすような危険性も考えられる。その上、Davis が閾値の回復に数週を要すると述べているように NI-TTS の回復性をみるのには余りに時間がかかり過ぎること、また音響刺激で強度の耳鳴が発生し、そのために検査音と混同をきたす恐れも多分にある等の点が問題となる。従つて、聴覚の動的な機能を把握しようとするれば、むしろ比較的弱いまたは中等度刺激音の方が適当であると考えられる。次に、第 2 の理由として、聴力保護の目的から騒音許容値の設定が古くから検討されているが、Kryter (1950)^{14) 15)}、Ward および Glorig (1958³¹⁾、1959³²⁾、1961⁷⁾、山本 (1956)³⁶⁾、中村 (1964³⁷⁾) などの報告によれば、白色騒音の 85dB (SPL または SL) の刺激強度が聴力の安全性からみた限界強度であるとされている。以上のような理由に基づいて本研究では特に耳孔の側で 85 ホン前後の刺激強度の騒音を用いた。

最近、騒音曝露と聴力損失との関係において騒音周波数構成と共に曝露時間が重要視されてきた。Ward et al は広帯騒音³¹⁾、狭帯騒音³²⁾共に一定の強さの音刺激後 2 分目の NI-TTS は曝露時間の対数に正比例すると報告し、また中村 (1964)³⁷⁾ は曝露音の強さが 60~85 dB SL があれば、NI-TTS は曝露時間の対数に対して直線的に増大し、もし曝露音圧が 90dB SL に達すると NI-TTS と曝露時間の関係はむしろ漸近線の様相を呈すると述べている。Schaefer (1960)²⁶⁾ は、負荷時間の影響は漸減的、負荷音圧は聴覚疲労に累進的であると記載している。短時間曝露を行つた Lüscher and Zwislocki (1949)¹⁸⁾ の報告によれば、NI-TTS は曝露時間に直線的な関係を示すといひ、Ewing and Litter

(1953)⁵⁾, Hood (1950)¹²⁾, Harris (1953)⁸⁾, Davis et al (1950)²⁾ らの短時間曝露 (1 分ないし 120 分以下) も両者の関係を認めている。私共は音刺激時間を 20 分間に固定したが、本研究は振動と騒音との関係における聴覚疲労実験の基礎的研究として行つたもので、人体の振動負荷耐容時間の都合で 20 分間曝露とした。

音刺激停止直後は閾値の変化が急激であるので、initial NI-TTS の測定開始時間を一定にする必要がある。本研究では装置の都合で刺激停止後閾値描記が開始されるまでには 7～10 秒を要している。刺激停止と同時に閾値描記を行うことが望ましいが、これを正確に記録することは Békésy 型オーディオメーターを用いてもなかなか困難であるといわれている。Ward (1957)³⁰⁾ は負荷停止後 2 分目の NI-TTS 値が曝露時間および回復率に閾数関係が成立するといひ、また、Ward (1962) および Bell and Fairbanks (1963) は、負荷停止後短時間の休息時間おいた方が停止直後から閾値描記を行うよりも反つて NI-TTS の回復率がよく、検査音に持続音を用いるとこの傾向が顕著に現われると報告している。また Selters (1963)²⁷⁾ は、1200cps～2400cps の狭帯騒音 82dB SPL の 50 秒刺激では、刺激停止後 6～30 秒 (R_{6-30}) 内での NI-TTS の大きさは 2 分目の NI-TTS と一致するといひ、82dB 以下では R_{6-30} の NI-TTS は常に 2.5dB となり、これは Hood (1950)¹²⁾ のいう per-stimulatory fatigue の影響が残存 (warm-up effect) するためであろうと推定している。上述のように Ward らは音刺激停止後数分経過した方が NI-TTS の growth や decay の関係がよくみられるといっているが、刺激停止 2 分後辺りでは後述のように bounce や耳鳴が最も現われ易い時であり閾値が非常に不安定であるので、中村などが述べているように刺激停止後の閾値測定開始はできるだけ早い方が回復様式を観察する上にも好都合である。

2) 79 ホンの音刺激強度と NI-TTS

本検査の No. 1, No. 7 の例が示す如く 79 ホンの刺激では、NI-TTS はいずれも非常に小さいかほとんど認められず、81 ホンの刺激に強めると急激に NI-TTS が大きくなるのが見られた (第 4 図 A と B)。79 ホン刺激で NI-TTS がほとんど認められなかつた事実は非常に注目すべきことである。Reger and Liele (1954)²²⁾ は 1000cps 20dB SL 1 分間刺激が 80dB SL の刺激よりも NI-TTS が明らかに大きくなつたと報告した。このような一見奇異と思われる現象について、

その後検討を加え、1000cps 20dB SL 刺激は感音性難聴耳においても正常耳と等しい NI-TTS 値を示したとのべ、かかる現象は、20dB SL 刺激では閾値下検査音の影響に關与し、80dB SL では中耳筋反射を起した NI-TTS が抑制せられたためであろうと推論している。中村 (1964)³⁷⁾ はこの現象は 1000cps のみならず 500 cps から 3000cps 附近の範囲まで適用されるが 4000cps では適用されない。また曝露時間が 1 分よりも延長するにつれてこの現象は消失すると追加し、この現象の成立には 80dB SL 附近に閾値をもつ中耳筋の反射性収縮が關与すると思われるとのべ Reger and Lierle の推論に支持を与えている。また Ward (1962)³⁴⁾ は純音と octave-band noise が同一音圧であつて両音が 2000 cps 以下であると、騒音刺激の方が聴器に対して危険性が少ないと述べ、その原因は騒音刺激による中耳筋の reflex arousal (反射亢進) で内耳伝導が抑制せられるためであると推定し、また以上の Reger 現象は断続音聴取でもみられ、持続音によつて一層よく観察されると報告している。中耳筋反射については、Simons (1960)²⁸⁾²⁹⁾ は耳内筋反射による上昇閾値の一時的改善は 80～90dB の大きい音で短時間曝露した後にみられるといっている。また、猫 8 匹を用いて 2000cps 135dB 2 時間連続曝露に対する中耳筋の音響外傷防禦機能を電気生理学的に研究したところ、蝸牛障害の程度は中耳筋切断群、中耳筋非活動群 (全麻)、中耳筋正常群の順であつたという。また、Reger (1960)²¹⁾ は大なる音圧の高周波数純音は低周波数音よりも中耳筋収縮の程度は弱く、騒音とパルス音は大なる音圧の増合のみ比較的大きい伝音障害をきたし両音同時に与えた方が最も効果的であるという。Ward (1962)³⁴⁾ も、低音性騒音は 2000cps 以上の高音性騒音よりも中耳筋作用が高まることから、この聴覚反射は低音性騒音による聴力損失抑制に重要な役割をなしている強調した。しかし、一方、Fletcher et al (1960)⁹⁾ は、1000cps 98dB 20msec で予はじめ中耳筋を収縮せしめ、次に機関銃 100 回約 7 分 (120dB～132dB) 連続射撃後の NI-TTS を調べた結果、24 名中 17 名に 1000cps 以上の高音域で平均 10dB、最大 50dB、の防禦効果がみられ、予想に反して低音域には中耳筋の防禦機能は認められなかつたとのべている。しかし、機関銃音は持続音よりむしろ断続音ないし衝撃音に近いので決定的な結論を下すことは難しいと思う。しかし、Dieroff (1962)⁸⁾ は衝撃音には中耳筋が關与しないと報告しているように、持続性刺激音の時のような中

耳筋反射が機関銃音の時でも起り得るかどうかについては更に検討を加える必要があると考える。

以上の諸家の報告から、中耳筋反射は純音よりも騒音に、その騒音の中でも低音性騒音でしかも比較的強い刺激で強く惹起されることが分る。私達は、音刺激中および刺激後の鼓膜インピーダンスの変化を測定していないので、これらの点を他覚的に実証し得なかつたが、実験の79ホン刺激では NI-TTS がほとんど認められなかつた事は、恐らく中耳筋反射が亢進して内耳伝導が抑制せられたためではないかと推定される。しかし、79ホンよりも僅か2ホンだけ音刺激を強めただけでも急激に NI-TTS が大きくなるので、もし79ホン音刺激後の NI-TTS 抑制現象に中耳筋反射説を適用すれば、この中耳筋反射はきわめて限られた強さの筋圏内でしか関与しないことが想像される。ところが、Trihipoe (1958)³⁴⁾、Miller (1958)³⁴⁾ および Ward (1962)¹⁾ は stapes の振動様式の変化および中耳筋収縮のため 130dB SPL は 125dB SPL よりも NI-TTS は小さいと報告している。また比較的弱刺激を用いた Bell and Fairbanks (1963)¹⁾ は同じ純音刺激でも 40dB SL と 60dB SL では、60dB SL 刺激の時の方が NI-TTS の回復が速いと述べている。

以上の諸家の報告に対して異なる意見をのべる研究者もいる。例えば、Hirsh and Bilger (1955)¹⁰⁾ は刺激音、検査音は同じ周波数で 10～80dB SL の間では NI-TTS の大きさは刺激音の強さには関係がなかつたといひ、Lawrence and Yantis (1957)¹⁶⁾ は、1000cps 60dB SL は 20dB SL よりも NI-TTS が大きく、60dB SL と 80dB SL の間にはほとんど差がなかつたと報告している。最近、Rodda (1962)²³⁾ は NI-TTS の回復時間を指標として刺激音圧との関係を観察し、1000～2000cps 純音1分刺激で 20～60dB までは刺激音圧の増加に従つて回復時間は延長し、60～80dB の間ではむしろ回復時間は短縮し、80～90dB では多分延長すると述べ、4000～8000cps 純音では刺激音圧の増加で回復時間は非加速度的延長を示し、とくに 4000cps を用いた時が最も回復時間が延長したと報告している。

私達の実験結果では、音刺激の強さの増加に従つて NI-TTS の回復時間（音刺激前の聴閾値にはほぼ復帰した時間）が延長するという正比例的關係は必ずしも得られなかつた（第4図 A と B）が、NI-TTS の大きさと回復時間とは関係があるようで、NI-TTS の大きい場合は矢張り回復率もよい結果を示した。

3) NI-TTS の回復過程：音刺激停止後連続して閾値描記をすれば、聴覚順応あるいは閾値描記による疲労も加わつて刺激前の閾値になかなか回復しにくく、また場合によつては回復の微候がまつたくみられないかあるいは更に閾値上昇をきたすことさえ起ることがある。そこで本実験では、刺激停止後4分間の連続閾値描記の後は、1分間休みと1分間閾値描記を交互に繰り返して閾値の回復過程を20分間観察した。その結果、本実験では、NI-TTS の回復パターンは第5図に示す如く6型に大別された。第2型は音刺激停止後4分間の連続閾値描記で、1952年 Hirsh and Ward¹¹⁾ によつて命名された聴覚疲労の回復過程の逆転現象、所謂“bounce および facilitation あるいは sensitization”と思われる2相性あるいは多相性の回復様相を示したものであつて、この型を示した者は全被検者中5名であつた。

この bounce 現象は Lightfoot (1955)¹⁷⁾、Jerger (1956)¹³⁾、Hinchcliffe (1957)⁹⁾ らによつて研究が重められ、Jerger は純音刺激の実験から、bounce の消失は聴覚疲労から可逆性音響外傷への移行と考え、bounce の消失する刺激音の強さを重要視している。また、Hinchcliffe は octave band noise を用いて、むしろ、bounce の現われる時の刺激音の強度を重要視している。中村 (1964)³⁷⁾ は bounce が白色騒音 85dB SL において出現をしばしばみるのみならず、これと同時に recruitment も現われはじめるといひ、85dB より弱い騒音による聴覚疲労は生理的疲労、これを超えて bounce の減少し始めてから消失する附近でおこる疲労は病的疲労と考えるべきでないかと考察している。Hirsh はその後 Bilger と共に (1955)¹⁰⁾ 聴覚疲労の回復プロセスを R_1 と R_2 の2つに分け、 R_1 プロセスは回復が急速で bounce が出現し、 R_2 は単調で且つ緩慢な回復過程を示し、前者の発米には、聴神経興奮が、後者には毛細胞の化学反応が関係するのであると推定している。また前述の 1000cps、20dB SL の NI-TTS の回復過程は R_2 に相応し、80dB SL のそれは、 R_1 と R_2 の結合プロセスであると述べている。Ward (1960)³³⁾ は R_1 、 R_2 に対して NI-TTS が 50dB になるとその回復過程が非常に緩慢で完全回復には長時間を要するといひ、NI-TTS 50dB をきたすような音刺激強度が限界強度であるとして上述の回復プロセスを R_3 と呼んでいる。本実験でみられた bounce 様現象は、顕著な NI-TTS を示す音刺激強度より1 step (2ホン) 弱い強さの時に出現し易いようである。従つて、この結

果は上述の Jerger および中村の bounce 現象出現についての見解に一致するものである。他方, Hood (1950)¹²⁾ は NI-TTS の回復過程は monotonic process であるといい, Harris (1956)⁸⁾ は bounce の出現は耳鳴音によると報告している。私達は本研究とは別に聴覚疲労の回復過程を検査音に 4000cps 連続音と断続音 (10ips と 4ips, ips=interruption per second) の3種類を用いて同一人になて比較検討したが, 断続音 4ips の検査音聴取によつて bounce 様現象が完全に消失し, Hood のいう monotonic pattern に示した。従つて, bounce 現象は, 断続音で完全消失することから, Harris のような耳鳴音の増強のためかまた聴覚順応現象であるのかあるいは一時的な hyperacusis であるのかその出現機構については未だ不明な点が多いように思われる。更に今後の検討を待ちたい。

次に, IV 型と V 型の回復様式は私達の知る限りにおいて未だ知られていない様式と思われる。即ち, 音刺激によつて生じた閾値の上昇が刺激前の閾値に一旦下降しながら再び上昇し, そのまま閾値回復を示さない型 (V 型) と閾値が回復傾向を示しながら再び上昇し, その後所定の観察時間内に完全回復する型 (IV 型) の両者がある。回復過程の途中で閾値が再び上昇するのは, 刺激停止後 7~9 分目に起り易いようである。これらの IV 型および V 型が現われる時の NI-TTS 値は I 型や II 型の時の NI-TTS 値よりも一般的に大きい。IV 型および V 型は NI-TTS の大きさやその回復性からみて回復に時間のかかる III 型の移行型に相当するものであろう。なお, 2 回目の閾値上昇時は 1 分間の閾値描記で最も閾値が上昇する傾向がある。興味のあることは, これらの 2 回目の閾値上昇や 1 分間の閾値描記による閾値上昇は断続音描記 (4ips) で容易に消失することがある。多分これらの閾値上昇は聴覚順応現象であるいは毛細胞や聴神経の 2 次的疲労によつて生じたものであろうと推察する。

本実験で音刺激による急激な NI-TTS やその回復の著明な延長は, 僅か 2 ホン程度の刺激強度差で起り, その刺激強度は各被検者によつて相違することを明らかに示した。

本項の初めにおいて述べたように本研究での実験装置およびその方法に多くの問題が残されているので, 得られた実験結果に明確な結論を下すことは難しい。従つて, 今後更に実験装置に改良を加える (音刺激強度の表示, 微調減衰器, 受話器とその周波数特性) と共に刺激音, 検査音, 曝露時間, 刺激強度および被検耳を色々と

変えて検討を重ねてゆきたい所存である。

結 論

85 ホン前後の刺激騒音のレベルをほぼ 2 phon step に細分して, 夫々の音刺激による 4000cps 純音聴閾値の変化 (NI-TTS) を Békésy 型オーディオメーターで比較観察した。本実験対象者は現在まで数回この種の検査を受けその検査を良く理解している正常聴力者 9 名であつて, いずれも右側耳について観察された。その結果, 次の結論を得た。

1) 音刺激強度の差が僅か 2 ホン程度の差にもかかわらず, NI-TTS の大きさに著明な変化を生ずるばかりでなく, 閾値の回復延長, 振巾縮小および耳鳴の持続時間の延長や金属音化などの出現が全被検者にみられた。これらの変化をきたす騒音の強さは被検者によつて相違した。

2) NI-TTS の回復過程を 20 分間観察したところ, 刺激停止後上昇した閾値が負荷前の閾値に一旦回復を示しながら刺激停止 7~9 分後で再び閾値上昇するという回復過程をとるのがみられた。このような回復様相は著明な NI-TTS をきたす 1 step 弱い音刺激で現われることが多いようであつた。なお, この回復型は断続音 (4ips) を聴取せしめることによつてほとんど消失するのが認められた。

参考文献

- 1) Bell, D.W. and Fairbanks, G.: TTS produced by low-level tones and the effects of testing on recovery, J. Acoust. Soc. Amer., 35; 1725, 1963.
- 2) Davis, H. et al.: Final report on temporary deafness following exposure to loud tones and noise, Acta Otolaryng., suppl. 88; 1950.
- 3) Dieroff, H.G.: Zur Problematik der Schlagimpulse im Industrielärm, Arch. f. Ohren usw., 179; 409, 1962.
- 4) van Dishoeck, H.A.E.: Masking fatigue, adaptation and recruitment as stimulation phenomena of the inner ear, Acta Otolaryng., 43; 167, 1953.
- 5) Ewing, A.W. and Littler, T.S.: Auditory fatigue and adaptation, Brit. J. of Psych., 25; 284, 1935.
- 6) Fletcher, J.L. et al.: Protective effect of the acoustic reflex for impulse noise, J. Acoust. Soc. Amer., 32; 401, 1960.
- 7) Glorig, A. et al.: Damage risk criteria and noise-induced hearing loss, Arch. of Otolaryng., 74; 413, 1961.
- 8) Harris, J.D.: Recovery curves and equinoxious

- exposures in reversible auditory fatigue following stimulation up to 140dB plus, Laryngoscope, 63; 660, 1953. 9) *Hinchcliffe, R.*: Threshold changes at 4 kcps produced by bands of noise, Acta Otolaryng. 47; 496, 1957. 10) *Hirsh, I.J. and Bilger, R.C.*: Auditory-threshold recovery after exposures to pure tones, J. Acoust. Soc. Amer. 27; 1186, 1955. 11) *Hirsh, J. and Ward, W.D.*: Recovery of the auditory threshold after strong acoustic stimulation, J. Acoust. Soc. Amer., 24; 131, 1952. 12) *Hood, J.D.*: Studies in auditory fatigue and adaptation, Acta Otolaryng. Suppl. 92, 1951. 13) *Jerger, J.F.*: Recovery pattern from auditory fatigue, J. Speech Dis., 21; 39, 1956. 14) *Kryter, K.D.*: The effect of noise on man, J. Speech and hearing dis. Monograph Suppl. 1, 1950. 15) *Kryter, K.D.*: Noise safety criteria, Arch. Ind. Hyg. & Occup. Med., 5; 117, 1952. 16) *Lawrence, M. and Yantis, P.A.*: Over-stimulation, fatigue, and onset of overload in the normal hearing ear, J. Acoust. Soc. Amer., 29; 265, 1957. 17) *Lightfoot, C.*: Contribution to the study of auditory fatigue, J. Acoust. Soc. Amer., 27; 356, 1955. 18) *Lüscher, E. and Zwislocki, J.*: Adaptation of the ear to sound stimuli, J. Acoust. Soc. Amer., 21; 135, 1949. 19) *Munson, W.A. and Gardner, M.B.*: Loudness patterns -a new approach, J. Acoust. Soc. Amer., 22; 177, 1950. 20) *Nixon, J.C. BA et al.*: Predicting hearing loss from noise-induced TTS, Arch. of Otolaryng., 81; 250, 1965. 21) *Reger, S.N.*: Effect of middle ear muscle action on certain psychophysical measurements, Ann. of otol., 69; 1179, 1960. 22) *Reger, S.N. and Lierle, D.M.*: Changes in auditory acuity produced by low and medium intensity level exposures, Trans. Amer. Acad. Ophthal. Otolaryng., 58; 433, 1954. 23) *Rodda M.*: Recovery from TTS, Acta Otolaryng., 55; 553, 1962. 24) *Rüedi, L.*: Different types of acoustic trauma by experimental exposure of the human and animal ear to pure tones and noise, Ann. of Otol., 63; 702, 1954. 25) *Rüedi, L. and Furrer, W.*: Different types and degrees of acoustic trauma by experimental exposure of the human and animal ear to pure and noise, Acta Otolaryng. 44; 502, 1954. 26) *Schäfer, E.*: Die Ermüdungsgrenze der Ohres, Zschr. f. Laryng., 39; 556, 1960. 27) *Selters, W.*: Threshold recovery during the first thirty seconds, J. Auditory Research, 3; 1, 1963. 28) *Simons, F.B.*: Post-tetanic potentiation in the middle-earmuscle acoustic reflex, J. Acoust. Soc. Amer., 32; 1589, 1960. 29) *Simons, F.B.*: Middle ear muscle protection from the acoustic trauma of loud continuous sound. An electrophysiological study in cats, Ann. of Otol., 69; 1063, 1960. 30) *Ward, W.D. et al.*: Relation between recovery from TTS and duration of exposure, J. Acoust. Soc. Amer., 31; 600, 1957. 31) *Ward, W.D. et al.*: Dependence of temporary threshold shift at 4kc on intensity and time, J. Acoust. Soc. Amer. 30; 944, 1958. 32) *Ward, W.D. et al.*: Temporary threshold shift from octave band noise: Applications to damage-risk criteria, J. Acoust. Soc. Amer., 31; 522, 1959. 33) *Ward, W.O.*: Recovery from high values of temporary threshold shift, J. Acoust. Soc. Amer., 32; 497, 1960. 34) *Ward, W.D.*: Auditory fatigue and masking; Modern Developments in Audiology, Academic Press, New York, 1963. 35) *Weber, E.G.*: Theory of hearing; Wiley, New York; 34) より引用. 36) 山本剛夫: 工場騒音の聴力に及ぼす影響並びにその周波数別限度, 国民衛生, 25; 68, 1956. 37) 中村四郎: 騒音外傷の基礎的問題. 日耳鼻, 第 65 回総会, 宿題報告, 1964: 片野善夫: 聴覚疲労と騒音曝露時間との関係. 日耳鼻, 69; 1952, 1966. 38) 日本オージオロジー学会マスキングに関する委員会における清水修平氏の談話(京都, 1965). 39) 宮脇一男: 雑音解析, 5 版, 朝倉書店, 1965.
- 稿を終るに当たり、御校閲をいただいた恩師山本馨教授に深甚なる感謝を表します。また騒音受話器の周波数特性の測定に協力を頂いた東神実業株式会社安彦博之氏に厚く御礼申し上げます。
- 本論文の要旨は、第 124 回大阪地方会(昭 39.7)、第 125 回大阪地方会(昭 39.9)、第 127 回大阪地方会(昭 40.2)および第 10 回日本オージオロジー学会総会(昭 40.10)において報告した。

(原稿到着＝昭和 42.3.15 日)