THE ACOUSTICAL EFFECT OF THE HEAD AND THE EXTERNAL AUDITORY CANAL ON HEARING ACUITY

By

H. IKEDA

From the Department of Oto-Rhino-Laryngology, Tokyo Medical and Dental University.

(Director: Prof. S. Horiguchi Prof. Y. Onchi)

The acoustical effect is measured by subjective as well as objective method. In the former, the minimal audible thresholds of the subjects are measured respectively by controlling the intensities of various pure tone sources, while they are turned around the subjects from front to side. In the latter, the variation of the sound pressure in the entrance of the external auditory canal are measured by a probe tube microphone for various frequencies. The both results coincide well each other. In addition, the frequency characteristic of the external auditory canal is analyzed by measuring the ratio of sound pressure on the tympanic membrane to the sound pressure at the entrance of the external auditory canal and the ratio of sound pressure in the entrance of the external auditory canal to the sound pressure in the free-field.

A new method of measurement of hearing acuity can be found from the results of the above mentioned experiments and it is also proved by additional several acoustical measurements to be more reasonable than any other method has been used.

頭部及び外耳道の聴力に及ぼす作用の研究

東京医科歯科大学耳鼻咽喉科教室（研究指導：堀口申作教授
恩地 豊教授）

池
イケ田
ダ宏
ヒロシ

目 次

- I 緒 言
- II 実験材料とその測定装置
 - i 実験材料
 - ii 測定装置
- III 頭部の聴力に及ぼす影響
- IV 外耳道入口部の音響特性
- V 外耳道入口部の音圧と聴力の関係
- VI 外耳道の音響特性
 - A 外耳道入口部音圧と鼓膜前面の音圧
 - B 鼓膜前面音圧と開放音場音圧
- VII 外耳道入口部と同じ音圧を受話器にて発生せしめた場合の聴力
- VIII 総 括
- IX 結 論

I. 緒 言

耳は外来の物理的変化（音波）に反応する感覚器官である以上、物理的法則に従うであろうと考えられる。故に聴覚現象を外部的な条件より研究をした。聴力検査では耳に受話器をあてゝ聴力を測定するが、これはこの条件下において得られる聴力の測定値である。同じ耳でも条件が違えば、この測定値は変化すると考えられる。聴力は日常開放された空間における音波を受ける条件における聴力であるが「オーディオメトリー」では受話器を耳にあてた不自然な条件における聴力であるから、両者の間における聴力に相異のあるのは当然である。この関係について正確詳細な研究は少い。空中の音波は直進するが、物体に当たった場合一部は反射され、他は物体の表面に沿つて廻折する性質があるから、音波が頭部に当たった場合にもこの現象は起る。波長が大なる場合には廻折が

著明となり、音波の波長が短くなり頭部の直径に近づくにつれて、頭部の前面には反射を生じ、その背後には幾何学的蔭を生ずる。その理論は、Rayleigh, Lamb, Morse 及び Muller 等によつて述べられている。Muller, Black 及び Dunn の球体による音波の廻折は第1図の如くであり

第1図 Muller 等の球体による音波の廻折に就ての実験値

Journal of acoustical Society of America,
July 1938.

音源が頭部前面にある場合、頭部前面は波長が短くなるにつれて、球の直径が波長の0.6以上になった時は、球の前面音圧は5db乃至6dbに達する。球の後面（音源に対して150°）の所は音圧が逆に5db程度低下するようになっている事が認められる。

Ballantine S. の球表面の音圧と直径の関係は第2図の如くで

第2図 Ballantine S. の球表面の音圧と直径の関係

Physical Review Dec 1928.

直径6吋の球体面上の音圧は、12吋の球体面上の音圧より高くなっている。かつ両者においても音波の周波数が増大するにつれて、球体面上の音圧（音源方向）は増加し、1000cpsでは6吋の球体は自由音場の音圧より約1.6倍即ち4dbになつており、4000cps亦是5000cps

になると、両球体共に2倍即ち6dbに達している。この現象を人体頭部について、物理的に測定した研究はWinner and D.A. Ross と山口のがある。

第3図 Winner and D.A. Ross による栓塞外耳道口と音場の音圧比

Journal of Acoustical Society of America
Oct 1946.

第3図は Winner and D.A. Ross の測定値で音場音圧と、外耳道を閉塞した場合の外耳道入口の音圧との比である。

これと同様な山口の測定は第4図である。両者共に頭部及び耳殻が外耳道に及ぼす音響特性に相当するが、両者の間には、かなりの著しい差がある。自由音場における頭部の音波の廻折及び反射現象によつて以上の如く頭

第4図 栓塞外耳道口と音場の音圧比(山口による)

日本音響学会誌 Janu 1956.

部の異なる部位の表面には、音圧の相異が生ずる故に音源の方向によつて、同一音圧でも聴力に相異をきたす。この関係を測定したものに Tröger, Sivian and White 及び Steinberg がある。

第5図は Tröger の測定で、音の大きさ 10phone の音源を一定の距離より種々なる方向から純音をあたえた場合の右耳の感度の変化が示めされている。その中央は

第5図 音源の方向と右耳聴力の変化
(Tröger による) 第6図 音源の方向と右耳聴力の変化
(Sivian and White による)

頭部である。同心円は音の大きさを表わしている。

第6図は Sivian and White の測定成績で円周上を移動する純音音源に対する右耳聴力の変化であり音源が前面正中にある場合の右耳の閾値に相当する音源の強さを 0db であらわし 300cps 1100cps 5000cps 及び 15000 cps について測定を行っている。Steinberg の測定は第7図で純音を発している音源が被検者の右から左に移動した場合の被検者の右耳における音の大きさの変化を Decibel で各周波数について図示している。

第7図

音源が右真横にある場合の音の大きさを 0db として、これを規準とし、音源を左側に移動させた場合の音の大きさを比較している。

(註 20phone と 10phone の差は 10db と記載すべきで 10phone ではない)

第5図及び第7図共に 500cps から頭部の耳に対する影響が現れている。この両図においては頭部の影響のほかに、耳殻及び外耳道の音響特性もふくまれて測定された結果である。

第6図も 300cps は殆んど音源の方向によつて右耳に聴取される音の大きさは変化はないが 500cps の測定はなく 1100cps では変化が現れている。周波数が増加するにつれてますます音源の方向による右耳に聴取される音の強さは変化している。15000cps では右 30° の方向で最も純音が強く聴取されている。これは恐らく高周波ほど作用が著明となる右耳殻の集音作用によると考えられる。

外耳道の音響特性は外耳道が音波にくらべて比較的短いからその固有振動は高く、Rinne は f4 すなわち (2733) を Helmholtz は C4 は (2048) を Hansen は d4 (2298) 及び a4 (3444) と考えられている。Bekesy は頭部と外耳道の差異によつて 227, 前面にあたえられる音圧の最大「ピーク」を 2400cps としている。

第8図は Winner and D.A. Ross の測定値である。

Winner and D.A. Ross の測定値は、もつとも正確と思われるが、各研究者によつて外耳道の共鳴は色々な想像されていたが、この両者によつて始めて正確になった。

著者は先ず頭部、外耳道が聴力に及ぼす影響を音響学的に測定し、受話器による聴力との関係を比較し、頭部、外耳道の音響特性を測定し得たので報告する。

第8図 外耳道周波数特性 (Winner and D.A Ross 被検耳12耳の平均値)

II. 実験材料とその測定装置

i) 実験材料

被検者は既往歴、鼓膜所見、純音聴力検、査耳栓骨導検査により判定された正常な東京医科歯科大学耳鼻咽喉科教室の医局員及び学生を用いた。

ii) 測定装置

測定装置は第9図に示めされたブロックダイアグラムで、第10図はその一部の写真で Probe tube 用音圧更正装置であり、発振器、減衰抵抗器、電圧計、Probe tube microphone, Speaker よりなり、発振器よりの

第9図 測定装置のブロックダイアグラム

第10図 probe tube 用音圧更正装置

出力は、減衰抵抗器を通り、切換え「スイッチ」SW1にて speaker より発音される。発振器の同出力は同減衰抵抗器を通り「スイッチ」SW2 によって、増幅器に接続され Probe tube microphone からの出力とが、電圧計によって比較更正した。Speaker の出力はこれによって絶体音圧にて測定された。

III. 頭部の聴力に及ぼす影響

i) 測定方法

第9図の純音発振器に接続した Speaker より 50cm の距離に Probe tube microphone の先端を置き、発振器の音圧が 60db になった事を Probe tube microphone にて測定した後に、Probe tube microphone を除き、その位置に被検者の片方の耳の外耳道入口を置き、他耳は耳栓をして、音源の強さを 60db より 1db 減衰抵抗器にて音圧を減少させ、最少可聴閾値に達せしめる。このようにして得られる 60db level より最少可聴閾値にいたるまでの減衰抵抗値を各周波数について、2つの条件において測定した。

この2条件は、音源の方向が、正面にある場合と、側面にある場合とであり、非検側の耳は耳栓した。

ii) 測定結果

被検者 10 名より得られた代表的な測定は第11図1, 2, 3, 4である。

60db level を 0 level として、それより音圧を低下させて閾値に達する迄の抵抗値を縦軸に取り、-db で現わし、横軸に周波数を取る事によって表示すれば第10図の特性曲線が得られる。

実線は音源が正面にある時の測定値で、割線は音源が側面にある場合の特性曲線である。0 level より上方にある曲線ほど感度が良好である。4例のそれぞれの測定曲線を通じて音源が側面にある場合は、前面にある場合

第11図 1 頭部の聴力に及ぼす影響

実線は音源正面 割線は音源側面の場合

第11図2 頭部の聴力に及ぼす影響

実線は音源正面 割線は音源側面の場合

第11図3 頭部の聴力に及ぼす影響

実線は音源正面 割線は音源側面の場合

第11図4 頭部の聴力に及ぼす影響

実線は音源正面 割線は音源側面の場合

第11図5 被検者10名の個人差

よりも聴力は良好である。しかし 300cps 以下は音源の方向によつて聴力は殆んど差はないが高音になるにつれて、音源側面の聴力が増加している。

頭部の影響は個人によつてその相異があり、300cps では0乃至2db, 500cps では2乃至3db, 1000cps では2乃至6db, 2000cps では1乃至3db, 3000cps では3乃至5db, 4000cps では4乃至6db, 5000cps では7乃至10db, 6000cps では10乃至14db であり、個人差は非常に少ない。

IV. 外耳道入口部の音響特性

i) 測定方法

前記第9図の装置を用いて音源より50cmの位置に頭部を置き、外耳道入口部の音圧を Probs tube microphone にて測定し、次いで probe tube microphone はその位置に固定したまゝ、被検者のみ去らして開放音場音圧を各周波数について測定する。この両者の音圧比を各周波数について求めた。なお測定には、音源の方向が正面にある場合と、側面にある場合の2条件について測定した。その結果が第12図である。

ii) 測定結果

被検者10名より得られた代表的な測定は、第12図 a, b である。実線は音源が正面にある時の測定値で、

第12図 a 外耳道入口部の音響特性

実線は音源正面 割線は音源側面の場合

第12図 b 外耳道入口部の音響特性

実線は音源正面 割線は音源側面の場合

第12図 c 外耳道入口部の音響特性
音源正面と側面の音圧差

割線は音源が側面にある場合の特性曲線である。

曲線の形状は大体類似して、側面の方が正面の場合より各周波数において音圧が良くなっている。この両者の音圧差を現わしたものが第12図 c である。

音源が正面及び側面の場合、低音域では両者共感度は悪く、3000cps 以下では側面が1乃至5db 感度が良くなっているが4000cps では3乃至5db, 5000cps では5乃至8db, 6000cps では7乃至13db と側面の音圧は正面の音圧より良くなっている。

両者の曲線は大体平行をなして、共に1000cps 以上から漸次2000cps 迄増大し、それから以上はかなり平行な形状を示めしているから、これ等の作用は耳殻の影響と考えられる。

V. 外耳道入口部の音圧と聴力の関係

i) 測定方法

音源より50cm の位置に頭部をおき、前記第9図の装置を用いて probe tube microphone の先端を外耳道入口部の中心に位置させて音圧を測定し、外耳道入口部の音圧が、各周波数について常に60db level (絶体音圧単位) になるように音源の強さを調節固定し、音源の減衰抵抗を増加して、最小可聴閾値を求め、60db level より最小可聴閾値までの減衰抵抗値を各周波数について求めた。

ii) 測定結果

頭部及び耳殻の音響作用を除外して、外耳道入口部に同一音圧があたえられた場合の聴力はいかなる音響特性があるかを測定した。この場合の聴力は、外耳道の音響特性と、鼓膜から内耳までの音響特性の総合された耳の感度特性である。この特性曲線は上にあがるほど感度が良い事を意味し、周波数間の感度差は曲線の高さの差によつて decibel により知る事ができる。

その代表的な4例を示したのが第13図1, 2, 3, 4である。この4例を比較すると、著しい相異があるが、一般に低音域の感度は悪く、第13図1の如く500cps 以上から5000cps まで耳の感度特性が平坦な場合と、第13図4の如く600cps から暫時高音になるにつれて、感度が悪くなっている例があり、第13図3の如く900cps から1000cps の間に急激に感度が良くなっている例があり、第13図2の如く500cps より高音になるにつれて、感度が良くなり、3000cps で明瞭な「ピーク」を作っているものもある。

第13図5はこれ等の曲線の周波数に対して最大なる

第13図1 外耳道入口部の音圧と聴力の関係

第13図2 外耳道入口部の音圧と聴力の関係

第13図3 外耳道入口部の音圧と聴力の関係

第13図4 外耳道入口部の音圧と聴力の関係

第13図5 外耳道入口部の音圧と聴力の関係
被検者10例の感度差

点をつらね、更に最小なる点をつらね、その個人による感度差を図示したものである。これによると 400cps は 5db, 500cps は 10db, 1000cps は 10db, 2000cps は 10db, 3000cps は 12db, 4000cps は 12db, 5000cps は 10db の差があつて、これは正常耳間の個人の感度差である。

VI. 外耳道の音響特性

耳の感度周波数特性と考える場合、先ず外耳道の共鳴効果を考えなければならない。外耳道はそれを通つて内方に音波の伝導が起るのであるが、一端を開口せる共鳴器と考える事ができる。この意味で外耳道の音響特性を知る事は非常に興味ある研究である。

著者は鼓膜前面音圧を測定し、これと開放音場音圧及び外耳道入口部音圧を比較し、外耳道の音響周波数特性を測定した。

(A) 外耳道入口部音圧と鼓膜前面の音圧

i) 測定方法

前記第9図の装置を使用して外耳道入口の音圧を Probe tube microphone にて測定し、次に鼓膜前面に外耳道を通して probe tube microphone の先端を挿入して音圧を測定する。この両者の音圧比を測定した結果は第14図である。

第14図 外耳道入口部音圧と鼓膜前面音圧比
代表例3例

ii) 測定結果

鼓膜前面の音圧は外耳道入口部音圧に比して 1000cps 以上より漸次増加し、2500cps より 3800cps の間に 15 db より 20db の「ピーク」が認められる。この「ピーク」は外耳道共鳴によるものである。

すでに 1947 年に Winner and D.A. Ross によつて測定され、その外耳道共鳴ピークは第8図の如く 12 耳の平均値において 4000cps に 13db の「ピーク」があり、個人差が殆んどないと述べているが、著者の測定では被検者によつては 2500cps から 3800cps の間に「ピーク」があり、かつその「ピーク」は 15db より 20db に亘つてかなりの個人差が認められる。

鼓膜前面音圧対外耳道入口部音圧比の周波数特性曲線は、頭部に対する音源の方向が、どのように変化しても変化しない。この性質より鼓膜前面对外耳道入口部音圧比の周波数特性曲線は、外耳道の共鳴による事を裏がきしている。

(B) 鼓膜前面音圧と開放音場音圧

i) 測定方法

測定回路は第9図に示す如く「スピーカー」を音源とし、鼓膜前面に A と同様に probe tube microphone の先端を挿入して音圧を測定し、次に開放音場音圧を測定するときは probe tube microphone の位置はそのまゝにし、被検者のみその位置より去らしめて測定する。

各周波数についてこの両測定値の差を求める。このようにした各周波数についての測定値が第14図の曲線である。音源は頭部正面の場合と側面の場合とについて測定した。

ii) 測定結果

鼓膜前面の音圧曲線は音源の方向によつて異なり第

第15図 鼓膜前面音圧と開放音場音圧比

実線は音源正面 割線は音源側面の場合

15図の実線は音源が頭部正面の場合の特性曲線で、割線は同一耳の音源方向が側面の場合の特性曲線である。実線と割線とは音源の方向によつて曲線の形状がかわつてゐる。即ち音源が正面と側面では特性曲線の最大「ピーク」の位置も少し変化を受けているばかりでなく、側面は3000cps以上の高音域の音圧が増加し10dbにも達している。これは明らかに頭部及び耳殻の音波に対する廻折・反射及び耳殻の集音作用の音波方向による変化と考えられる。

鼓膜前面の音圧を P_T 、開放音場音圧を P_O 、外耳道入口部音圧を P_E 、とすれば

$$\frac{P_T}{P_O} = \frac{P_T}{P_E} \times \frac{P_E}{P_O} \text{ と書き改められる。}$$

但し $\frac{P_T}{P_E}$ は鼓膜前面と外耳道入口部の音圧比でその特性曲線は、すでにⅥのAに述べた第13図である。故に $\frac{P_E}{P_O}$ を測定すれば、これに $\frac{P_T}{P_E}$ を掛けると $\frac{P_T}{P_O}$ が得られる事になる。

$\frac{P_E}{P_O}$ の測定が被検者10名について得られた代表例は第12図の如くで音源の方向によつて変化している。

鼓膜前面と音場音圧との比、即ち $\frac{P_T}{P_O}$ の曲線は音源の位置が前面と側面によつて相異しているのは第15図の如くであるが、この例の $\frac{P_T}{P_E}$ は前述の如く音源の方向によつてその曲線は変化しないから音源前面の $\frac{P_T}{P_E}$ の曲線に、音源前面の $\frac{P_E}{P_O}$ の曲線を足すと、音源前面の $\frac{P_T}{P_O}$ 、即ち鼓膜前面と開放音場音圧比の曲線が得られる。この関係を示めたものが第16図である。

第16図 音源正面の外耳道の音響特性

実線は $\frac{P_T}{P_O}$ 、鎖線は $\frac{P_E}{P_O}$ 、割線は $\frac{P_T}{P_E}$

第17図 音源正面の外耳道の音響特性

実線は $\frac{P_T}{P_O}$ 、鎖線は $\frac{P_E}{P_O}$ 、割線は $\frac{P_T}{P_E}$

前記の $\frac{P_T}{P_E}$ に音源側面の $\frac{P_E}{P_O}$ を加えれば音源側面の

$\frac{P_T}{P_O}$ が求められる。この曲線が第17図である。

第16図及び第17図の実線は第15図の例の実線と割線に相当する。故に鼓膜前面の音圧と外耳道入口部の音圧の比の周波数特性曲線 $\frac{P_T}{P_E}$ は被検者の耳に個有なもので音源の方向によつても変化せず、なお音場が完全な free field であろうが、なかろうが、これによつても変化を受けない特徴がある。

VII. 外耳道入口部と同じ音圧を受話器にて発生せしめた場合の聴力

1) 測定方法

第9図の装置中「スピーカー」を除き、受話器に代え、更に受話器に probe tube microphone を第18図の如く挿入し、受話器を耳にあてゝ生ずる外耳道内音圧を 60db level に調節固定し、受話器の音圧を減衰抵抗器によつて 60db level より最少可聴閾値迄低下せしめた

場合の減衰抵抗の値を各周波数について測定し、更に第19図の如く受話器に 6cc coupler を接続して標準コンデンサーマイクにて 60db の音圧を各周波数について発生せしめ、それぞれの 60db level より閾値に達する迄の減衰抵抗値を測定した。Vで測定した結果とこの二方法による測定値との同一被検者に対する比較は第20図である。

第18図 受話器に probe tube microphone を挿入した所

第19図 受話器を 6cc coupler に接続した所

第20図 a. 耳の感度周波数特性

実線は probe tube 法、鎖線はカプラー法、割線は外耳道入口部より見た感度

第20図 b. 耳の感度周波数特性

実線は probe tube 法、鎖線はカプラー法、割線は外耳道入口部より見た感度

第20図 c. 耳の感度周波数特性

実線は probe tube 法、鎖線はカプラー法、割線は外耳道入口部より見た感度

第20図 d. 耳の感度周波数特性

実線は probe tube 法、鎖線はカプラー法、割線は外耳道入口部より見た感度

ii) 測定結果

第20図の割線は開放音場における外耳道入口より見た耳の感度周波数特性の測定値であり、実線及び鎖線は受話器についての感度周波数特性の測定値である。但し実線は probe tube 法による感度周波数特性、鎖線はカプラー法によるものである。

被検者についてそれぞれの測定結果の内の代表例を選

んだのが第20図のa, b, c, dである。a, b, c 3曲線の形状は大体類似して、低音域の感度は300cpsに比して500cpsの聴力は第20図a及びcの如く25db位急増するものと第20図b及びdの如くわずかに3乃至6db位の増加にとどまるものがある。500cpsから5000cpsまでの感度曲線は水平に走り、4000cpsを越えると曲線は緩やかに下降し、感度がやや低下し始めるのが認められる。割線実線及び鎖線共に各例を通じて、大体平行しているが、実線及び鎖線の感度は1000cps以下では割線より劣るが、1000cps以上では実線及び鎖線の感度の方が良くなっている。第20図cの如く、割線及び実線共に900cpsより1000cpsにかけて感度曲線にやや急激な変化が認められる例がある。これは鼓膜あるいは耳小骨連鎖の共鳴が特に著しい例と考えられる。

開放音場で外耳道入口より測定した耳の感度と受話器によって測定された感度との間は1000cpsを中心として低音域では前者の感度が2乃至5db勝り、高音域では後者が6乃至14db勝っていることは同一被検者で測定器の音圧を補正し一致させても測定条件が違くと聴力は同じ値が得られない事を示している。

実線と鎖線は受話器による聴力測定であり probe tube microphone で外耳道内の音圧を60dbに調節固定して測定する方が実際に受話器が耳にあてる音圧が測定されているが、6cc coupler にて音圧を測定し、それを耳にあてた場合は coupler では受話器と coupler の間に空気のもれる事がないが、受話器を耳にあてた場合はすきまがあつて音圧がもれるから coupler で測つた音圧よりは異つた音圧を耳にあてる危険がある。それが実線と鎖線との decibel 差によって示めされている。本実験に使用した藤木製受話器はこの点良好であるために実線と鎖線の差は殆んど認められず、600cps以下の低音域においての差は、受話器と耳の間の leak によるものである。しかしこの受話器では coupler 更正でも実用価値があるが著者の経験ではこの間の差が多くて10dbに達する受話器もあつた。

VIII. 総 括

耳の機能を知るためにはその音響に対する感度特性を知らねばならない。解剖構造がどのようになつていても、たとえば兎と人間の耳が解剖的に異つていてもこの二つの耳についての感度特性が同一ならば、耳の機能は同一とみなせる。

この見地からすれば、耳の機能に関しては感度周波数特性を測定する事が重要である。この方面の研究は緒言

中の文献的考察に述べた如く、頭部、耳殻、外耳道の音響的機能に関しても研究は少なく、測定データも少く、これ等の機能について明白な成果が得られてない。なおどれが頭部の音響的機能か、どれが外耳道の機能か、両者の関連についても明確では無い。頭部及び外耳道の音響的機能が明確でないのに聴力検査は「オーディオメーター」の受話器によって測定されている。これによって得られる「データ」が、我々が自然の状態で得られている聴力といかなる関係があるか、明白にして置かねばならない。このような見地から probe tube microphone によつて種々なる測定条件下に頭部、耳殻及び外耳道の音響測定を行つた。

頭部自身が聴力に及ぼす影響については、Tröger, Sivian-white 及び Steinberg の測定があるが、前2者と後者の測定条件は異つていて正確に比較できないが Steinberg の測定値は音源が一側面から反対側に廻つた場合の一耳の聴力変化であるから音源が正面から左及び右にまわつた場合の影響の和と考えられる。この値を2で割れば音源が前面より一側面にまわつた場合の聴力の変化に相当するから、この値と Tröger の測定値とを比較するとかなりの相異がある。Steinberg の実験の測定条件が明確をかいているので、著者は開放音場において、音源の強さ絶体音圧60db level に固定した300cpsより6000cpsの純音で、音源を頭部前面と側面に廻して、頭部及び外耳道の差異を測定した。その結果は第11図で音源の方向による聴力の変化についての個人差は比較的少い。この点は頭部の直径と波長の比が、個人的にあまり差がない事より当然考えられる。音源が正面の場合は、外耳道に入る音波は頭部による廻折及び耳殻の集音作用によるものであるが、音源が側面にある場合は頭部の反射による音圧増加と耳殻の集音作用が加わつたものであるが、音源が前面と側面との聴力の相異は主として頭部の反射作用による音波のせき止め音圧増加が耳殻に集められて外耳道に入ると考えられる。

頭周に対して波長が長い場合は音波は主として廻折するが、頭周に較べて波長の短い高音は、頭部表面で反射され、その表面では音圧が増加する。

頭周と波長比に関する頭部の前面と側面と後面についての音圧比が表の如く計算されている。頭周に対して波長比0.5に相当する音波の振動数は256cpsで比1.0は512cps比2.0は1024cpsに相当し Rayleigh の音源前面及び側面の音圧を decible に換算すれば256cpsでは前面と側面の音圧比は0dbで512cpsでは6db,

表 頭周と波長比についての音圧比
(Rayleigh による)

頭周 波長比	2 0	1 0	0 5
前 面	0.69	0.50	0.29
後 面	0.32	0.28	0.26
側 面	0.36	0.24	0.23

1024cps では 6db で著者の測定値 300cps で 0 乃至 2 db, 500cps では 2 乃至 3db, 1000cps では 2 乃至 6db に較べるとかなり良く一致している。

前記の Trögel の測定値は第 5 図より計算すれば、前面と側面の音圧比は 200cps では 0db 500cps では側面が 1db 良く、2500cps では 1db, 5000cps では 0.5 db それぞれ側面が良くなっている。

Sivian and White では 1000cps が 6db, 5000cps は 5db 良好となっている。

これに反して Steinberg の測定値は音源が右側より左側に廻った場合の右耳の聴力変化であるから、音源が前面から右及び左側に廻った場合の聴力変化の和と考えられる。故に Steinberg の測定値を 2 で割れば、著者の測定値と比較できる。彼の測定値は 500cps で 3.5db, 1000cps で 4db, 2000cps で 4db, 3000cps で 5db, 4000cps で 8db, 5000cps で 12db で、第 11 図の著者の測定値と大体類似している。

以上の成績は頭部の音波に対する影響を、聴力を標準として測定した成績であるから、これは被検者の感覚による測定である。故に他覚的に測定するために、音源が頭部前面と側面にある場合の外耳道入口の音圧の相異を測定したのが第 12 図である。これにより自覚的と他覚的測定の間に比例的傾向が認められる。他覚的測定は正確であるが、聴力を規準として測定した場合は同一被検者によっても時間的閾値の変動が数 decibel あるから両者の測定は完全に一致する事はない。しかしこの点を考慮すれば、両者の測定はほぼ一致しているとみなされる。

頭部の影響は 4000cps から著明に現れて来るのが認められる。

更にもとに戻って第 12 図の音源正面と側面との音圧特性には 4000cps 以下は差が無いがこれ等の曲線そのものは 1000cps 以上から漸次 2000cps 迄増大し、それから以上はかなり平行な形状を示していて第 12 図 C の曲線よりはかなり高いからこれ等の作用は主として耳殻

の集音作用によるものであろう。

前述の如く頭部による聴力への影響が認められたから頭部の影響を除去した聴力を測定しなければならない。この測定値は第 13 図である。第 13 図の聴力感度特性は外耳道から中耳及び内耳の感度特性が総合されたものである。故にこれ等の振動系には個人差があると考えられるから第 13 図の 4 例の感度特性が種々なる変化を示めずのは当然であらう。ことに第 13 図 3 の如く 1000cps の「ピーク」は耳小骨連鎖、あるいは鼓膜の共鳴によるものが特に著明に現れたものと解釈すれば非常に興味がある。正常耳の間にある聴力の感度差が第 13 図 5 に示めされているが、これが外耳道及び中耳の音響増幅機能の個人差か、内耳の増幅機能による個人差か、今後の研究にまたねばならない。

第 13 図の感度特性に外耳道がどの程度影響するかを見るために外耳道の音響特性を測定した。外耳道の共鳴については Winner and Ross は第 8 図に示めた如く 12 名についての平均値であるが、個人差も殆んどないといっている。しかし著者の測定では第 14 図の如く「ピーク」のある位置にも個人差があり、4000cps に「ピーク」のある例は成人では認められない。高さも 15 から 20db にあり、Winner and Ross の 13db とはかなり相異している。

前記の第 13 図の感度特性から、第 14 図の外耳道の増幅特性を引くと、鼓膜から内耳迄の感度特性となる。外耳道の増幅特性は 1500cps 迄は殆んど平坦であるから、前記の第 13 図 3 の 1000cps の「ピーク」は内耳の感度特と考えるならば鼓膜、あるいは耳小骨連鎖の特に鋭い共鳴が加わった感度周波数特性と考えられる。

第 16 図及び第 17 図の成績より外耳道の音響特性は音源と耳の方向とが、どの位置にあつても変化されないが、外耳道入口部の音響特性は音源に対する耳の方向によつて変化される故に、外耳道入口部の音圧を一定の音圧 level に調節固定して聴力を測定すれば外耳道の音響特性は、被検者それぞれに固定されているし、それ以下の中耳及び内耳も個人によつてそれぞれ一定であるから被検者の耳の感度周波数特性に対しては、外耳道入口部の音圧 level より測定する「V」で述べた方法が、もつとも安定した条件における合理的な測定法である事がわかる。これと普通の聴力検査に用いられている受話器による耳の感度特性測定法を第 20 図の如く比較する事によつて、後者は真の耳の感度を得るものではなくて、ある人工的条件のもとにおける感度周波数特性であり、

1000cps 以上では約 6 乃至 14db の誤差を生じている。但し受話器で測定した正常耳の感度周波数特性を基準として病耳の感度特性を測り両者の間の差をもつて病耳の聴力損失とする従来の「オーディオメトリー」は不合理ではないが、しかし受話器によって耳の感度周波数特性を測定する事は真の意味の感度特性ではない事が、第 20 図の比較により証明する事ができる。

受話器と free field で得られる聴力間に差異のあることを測定している者に Sivian and White や Munson その他がある。彼等の測定結果は第 21 図である。

第 21 図 感度周波数特性 Sivian and White 及び Munson による

彼等の測定は無反響室で充分な free field の条件を満足させている音場で測定した成績であるとしても頭部及び耳殻の影響を受けた聴力曲線であり、著者の第 11 図の 1～5 の曲線に相当する。この場合は著者の曲線でも 2000cps 以上は曲線が上昇し Sivian and White 及び Munson の測定にかなりよく一致している。但し著者の使用した音場は無反響室でないから室内の反射もあつて彼等の成績とは詳しくは一致しないであろうが、Winner and Ross の無反響室内での鼓膜前面の音圧と音場音圧との比の曲線と著者の同曲線は形において、類似しているから著者の使用した音場も無反響室の条件と著しく異つていないとは考えられない。

受話器による聴力と音場による聴力を比較する場合、後者では Sivian and White の測定においても音源の方向によって聴力は変化するから、両者の聴力を厳密に比較することは不合理である。

これに反して外耳道入口の音圧より聴力を測定する場

その感度の図示形式は図の下部程耳の感度が良好であることを示し著者の形式と反対であるが、彼等の成績では free field の聴力と受話器法の聴力を比較すれば、即ち a 曲線 (free field) と b 曲線 (受話器) 間は 2000cps 以上で約 10db の開きがあり、前者が後者より良好となつてゐる。この関係は著者の測定法によるものでは第 20 図の如く同一耳について実線と鎖線に比して割線は 2000cps 以上で約 10db の開きがあり、開放音場の聴力が逆に低下している。これは測定法の相違に基因するものである。

合には音源の音波が周囲の壁からどのように反射され、どのような音場が形成されていてもなお音源の位置がどの方向であつても常に同じ成績が得られる。

この特徴よりして、本法によつて得られる聴力を基準として、他の条件における聴力を比較することが合理的である。

更に本法は単なる防音室で行うことができて無反響室を必要としない点にも実施容易な長所を有していると云える。

以上の如く頭部及び耳殻、外耳道が耳の感度特性に及ぼす作用を実測より解明し、耳の感度周波数特性のもつとも合理的な測定法は「V」の測定法である。但しこの感度周波数特性は、外耳道、中耳及び内耳の音響特性と聴神経の感度周波数特性より合成されている。

IX. 結 論

i) 開放音場の音圧を一定の「レベル」に固定して、音源と頭部の方向による聴力変化を測定する事によつ

て、頭部（耳殻を含む）の音響特性を自覚的方法で求めた。

ii) 音場音圧と外耳道入口部音圧との比が音源の方向によつて変化する状態を測定し (i) の自覚的方法によつて得られる成績と比較し、その間にかなり良い一致が認められた。

iii) 開放音場の音圧が鼓膜面上に及ぼす周波数特性の測定と、外耳道入口部と鼓膜面上の音圧比を測定し、両者を比較する事によつて外耳道の音響特性を得た。外耳道の音響特性は音源に対する耳の方向によつて変化しない事実を認めた。

iv) (iii) の事実より外耳道入口部の音圧レベルを各周波数について一定にし、これより耳の感度特性を得る方法を発見し、これがもつとも合理的な耳の感度周波数特性測定法である事を認めた。故にこれが耳の感度特性に対する標準となるべき方法と思われる。

v) 前項(iv)の方法と従来の受話器を用いて得られる耳の感度特性とを比較して、その両者の間に 1000cps 以上は 6 乃至 14db に及ぶ相異がある事を認めた。故にこの相異から受話器によつて得られる耳の感度特性は 1000cps 以上では補正されなければならない。

主 要 文 献

- 1) *Rayleigh*: Theory of Sound Vol 2, and Phil. mag, 13, 1907.
- 2) *Bachhaus*: Handbuch der Physik 1927.
- 3) *Ballantine S.*: Physical Review 32: 988, 1928.
- 4) *Tröger, J.*: Physikalisch Zeitschrift 26: 31, 1930.
- 5) *Langenbeck, B.*: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie 266: 11, 1931.
- 6) *Békésy G.V.*: Annalen der physik 14: 51, 1932.
- 7) *Fletcher, H. and Munson, W.A.*: J. Acoust. Soc. Amer. 4: 82~108, 1933.
- 8) *Sivian, L.J. and White S.D.*: J. acoust Soc. Amer. 4: 288~321, 1933.
- 9) *Steinberg, J.C. and Snow, W.B.*: Bell System Technical Journal 13: 245, 1934.
- 10) *Müller, J. Blach and Dunn.*: J. Acoust. Soc. America 10: 6, 1936.
- 11) *Barany, E.*: Acta Otolaryngologica vol. 26, 1938.
- 13) *Winner, F.M. and Ross, D.A.*: J. Acoust. Soc. Amer. 18 Na 2 401, 1946.
- 14) *Romanow, F.F.*: J. acoust Soc. Amer. 14: 294~304, 1942.
- 15) *Meyer, E.*: Handbuch der Physik Bd8. Akustik.
- 16) *Wever, E.G.*: Psychol. Bull., 36: 143~187, 1939. P.L. Harriman's Twentieth century psych. 371~386, 1946.
- 17) *Martin, D.W. and Anderson, L.J.*: J. acoust. Soc. Amer. 19: 63~70, 1947.
- 18) *Wener, E.G. and Lawrence, M.*: Ann. of Otol. Rhinol. Laryngol, 1950.
- 19) *De Vries, H.*: Acta. Oto-laryngol., 36, 230~235, 1948.
- 20) *Davis, H. and Stebens, S.S.*: Hearing 1948.
- 21) *Daniil W.M. and Martin, L.T.*: J. acoust. Soc. Amer. 22: 6, 1950.
- 22) *Fletcher, H.*: (1) Speech and Hearing incommunication 1953. (2) J. Acoust. Soc. Amer. 24: 129~131, 1952.
- 23) *Corliss, E.L.R. and Furkhard, M.D.*: J. Acoust. Soc. Ameri 25: 990~993, 1953.
- 24) *Albrite, J.P. and Shutts, R.E.*: Sixth International Congress of Otol. p.p. 126~128, 1957.
- 25) *Major James P.A., Edwin, S., Maurice B.W.*: Richard K.C, Edith L.C, and Mahlon D.B. Arch. of Otol. 1958.
- 26) 恩地豊: J. Acoust. Soc. Amer. 21. 404~410, 1949.
- 27) 藤田馨一: 日耳鼻, 第 47 回総会, 1948.
- 28) 山口善司, 壽司範二: 日本音響学会誌, 12 卷, 1956.

稿を終るに当り、御懇篤なる御指導御校閲を賜つた恩師堀口申作教授、恩地豊教授に深甚なる謝意を捧げると共に、併せて種々に御指導を戴いた森山学兄並びに教室員の諸兄に厚く感謝します。

本研究の要旨は昭和 33 年 4 月 日本耳鼻咽喉科学会第 59 回総会並びに昭和 32 年 11 月オージオロジー学会において発表した。

(原稿到着＝昭和 34. 5. 6 日一急載)