CORRELATION BETWEEN INTERAURAL TIME AND INTENSITY DIFFERENCE IN THE SOUND LATERALIZATION

By
YASUO TAKEO

*From the Department of Oto-rhino-laryngology Faculty of Medicine, University of Tokyo
(Director: Prof. I. Kirikae)*

It has been said that interaural time and intensity difference play a greatest role in the directional hearing.

An apparatus ideally suited in examining the correlation of these two factors which can produce any interaural time differences without changing interaural intensity difference was made.

In this report, the mechanism of the apparatus and the results obtained were explained.

In the complex sounds (music, speech and white noise), the just noticeable difference in time was smaller than in other sounds (continuous and interrupted pure tones), and it was too large to be estimated in 2,000 cps pure tone.

By the centering technique, we examined the interaction between interaural time and intensity difference and compared time vs. intensity ratios (At/Ai) of $\frac{1}{2}$ octaveband-noises.

It was found that the time vs. intensity ratio

was effected by both intensity and frequency of test tone, and that bilaterally lateralized two sound images were recognized as Banister and others reported when the test tone was too loud or interaural time difference was too large.

Time vs. intensity ratio was the smallest in the 600~850 cps band-noise (SL. 40 dB).

When test tone was interrupted, the results were different from that of continuous test tone, as follows;

- 1) A sound image located more clearly.
- 2) Even 2,000 cps pure tone yields a clear sound image.
- 3) Time vs. intensity ratios were smaller in general.
- 4) Two sound images which lateralized to each ear in continuous test tones disappeared and a single clear image was heard.

音の聴えの方向感に関する研究

その 1 方向感における時間差と強度差の関係

東京大学医学部耳鼻咽喉科学教室 (主任: 切替一郎教授)

大学院学生 竹 尾 康 男
たけ お やす ひと

目 次

- I 緒 言
- II 実験装置
- III 実験方法
- IV 実験成績

i. 音の種類と方向感

- ii. Time vs. Intensity
- iii. 検査音の切断が方向感に及ぼす効果
- V 総括並びに考按
 - i. 実験装置の特長
 - ii. 実験方法とその原理に関する考按
 - iii. 時間差および強度差の範囲と音像の性質

- iv. Time vs. Intensity と強さとの関係
- v. Time vs. Intensity と周波数との関係
- vi. 検査音切断による Time vs. Intensity への影響

VI 結 論

VII 参 考 文 献

I 緒 言

従来行なわれてきた単耳聴力検査では、聴覚域値の測定及び伝音性難聴を指摘することはできるが、感音性難聴については、いわゆる後迷路性難聴の鑑別、更にはその病巣部位の診断は不可能である。そのために簡明にして確実な病巣診断法の必要が痛感されてきた。

すでに Fowler による音の平衡検査法、Békésy 型自記オージオメトリー、語音明瞭度検査、騒音聴力検査法などの諸法が工夫され、かなり病巣診断の可能性が出てきたけれども、まだ十分とはいえない。

このように単耳聴力検査法のもつ多くの問題点が認識されるに至り、ここに新たに両耳聴力検査法の必要性が唱えられ、それに向つての期待は次第に高まりつつある。

両耳聴力検査法の一つである両耳融合検査は、すでに Jerger ¹⁾, Groen ²⁾, Matzker ³⁾, Bocca ⁴⁾ 等に見るようにならなりの研究が行なわれ、実地に供されているが、もう一つの方向感検査による方法は未だ疑問点が多く、実地に応用されるには更めて根本から検討しなおすことが必要と思われる。すなわち、今迄に発表された方向感の成立機序に関する諸学説には一長一短があつて、これですべての現象が解釈できるところまでに到っていない。また、今までに発表された中枢性難聴と思われる患者についての方向感検査の成績 (Matzker ⁵⁾, Jonkees ⁶⁾,

Sanchez-Longo et al ^{7) 8)} も夫々の実験条件が全く異なり、使用機械も複雑であるため、これを実地に応用することはおろか、その臨床成績を一率に評価し総合することは未だ困難な段階にある。

そこで我々は、方向感検査法を病巣診断に応用することを究極の目的として新たに検査機械を試作した。そして先ず本装置を用いて方向感成立機序に最も重要な役割を演ずる両耳間の音の強度差と、音源から両耳へ到達するに要する時間差を夫々単独に、またはそれらの相互関係について検査し、方向感成立における夫々の要素の重要性を検討せんとした。

II 実験装置

方向感成立機序を検討するには、両耳に入る音の時間差と強度差を夫々別個に操作できるような機械を必要とする。そのため我々は I. T. D. (interaural time difference) 調整装置を案出し、検査音の強度差を変えることなく、時間差のみを自由に変えることのできる機械を試作し、方向感における時間差と強度差の役割を夫々単独に検査できるようにした。

試作した検査機械の機構は block-diagram として示してある (第 1 図)。すなわち機械は前置増幅器、ITD 調整装置、mixer、主増幅器より成り、これに濾波器、騒音発生装置、electroswitch が附属する。

検査音としては純音、騒音、話声、楽音を使用し、これらをオージオメーター、テープレコーダー、レコードプレーヤー、ラジオ、騒音発生装置より導いたが、濾波器や electroswitch を介することによつて周波数または時間因子を歪めて使用できる。これらの音は ITD 調整装置を介するか、あるいは直接に主増幅器に導き、さらに mixer を介するか否かによつて 2 種の音を左右夫々

第 1 図 Block-diagram

の耳に別個に、または一側耳に重ねて入れることができる。また本装置によつて検査音の時間差を自由に變えて聞かせることができる。

実験装置の中核をなすものは ITD 調整装置であるが(第2図)、その原理は定常波ができないように工夫した音響箱内において、2個の移動マイクロホンと定位のスピーカーの距離を変えて、マイクロホンへの到達時間差をつくることにより、強さを変えることなく時間差のみを変化できるようにしてある。特性は第3図の如く 200

第2図 I.T.D. 調整装置

第3図 マイクロホン位置移動による感度偏差

cps から 500cps までの低音域では、マイク移動による音の大きさの変化は $\pm 2\text{dB}$ 以内であり、700cps から 2000cps までの高音域では $\pm 1\text{dB}$ である。従つて出力が常に一定であるように VU メーターで監視し、微調整して実験すれば、200cps～2000cps 間の検査音ではマイク移動による音圧の差を無視して検査を実施することができた。マイクの移動は 1mm 単位の日盛りで上下夫々に 20cm づつ、都合 0～40cm の時間差をつくることができる。

上記の試作機械は方向感、両耳融合効果、歪語音明瞭度検査を併せて試験することが可能で、更に自記オーディオメーターにも接続できる極めて応用範囲の広いものであるが、今回行なつた実験ではその一部を使用するに止めた(第4図)。

第4図 Block-diagram

III 実験方法

被験者は、この種の dichotic (すなわち、レシーバーによる方向覚認知)の実験に熟練した聴力正常者4名を選び、4名の平均値をもつて測定値としたが、個人によつて正中軸の偏倚があることを懸念してレシーバーを左右交換して再検するなど慎重を期した。

音の大きさの規定はすべて感覚レベルに統一した。検査音の周波数は機械の都合から 300cps から 2000cps までの音を使用した。

なお、この種の実験には疲労及び順応現象や心理作用が強く影響するので、疲労、順応及び暗示がないように極力注意を払つた。

1) 先ず音の種類による方向感の差を調べるため、オーディオメーターからの純音 (500cps, 1000cps, 2000cps 及びそれらの切断音)、ラジオからの楽音、語音明瞭度検査用レコードからの言語音、騒音発生装置からの白騒音を、初めは時間差及び強度差なしで聞かせて音像が正中にむすぶことを確めたのち、ITD 調整装置により 1.5 cm, 3cm, 5cm, 10cm, 20cm の時間差を与えて音像の

移動が認知されるかどうかを答えさせた。以上の5点で音像の移動が認められぬ場合は30cmまで連続的に時間差を与えて検査した。

2) 次にオーディオメーターからの純音(500cps, 1000cps)と濾波器によつて半オクターブ幅の周波数幅にしたband-noiseを直接に、またはelectroswitchによつて切断しながら、ITD調整装置に導き、予め時間差(5cm, 10cm, 15cm, 21cm)を与えることによつて偏倚させた音像を正中に戻すには、遅れて到達した方の音、すなわち音像と反対側に入る音の強さをいくらか増強してやればよいかを測定した。これがTime vs. Intensity(以後T vs Iと略す)と呼ばれるものである。

3) 次に検査音をelectroswitchで切断することによるT vs Iへの影響を調べた。

検査音切断のために用いたelectroswitchは2チャンネル両耳検査用で、両耳に交互に切断音が聞えるようになっていた。切断条件はduty cycleが50%で、repe-

tition periodは25, 50, 100, 250, 500, 1000m secの6段階に分け、rise and decay timeは1msecと25msecの2つとした。従つて切断音の波型は梯形をなしている。検査音の種類は純音とband-noiseの2種を使用した。周波数幅は持続音の時のT vs Iと比較する意味で同じく半オクターブ幅とした。純音及びband-noiseを上記条件で切断したが原音の感じは損ねていない。

被験者に時間差及び強度差のない音を聞かせて音像が正中にできることを確かめたのち、10cmの時間差をつづつて一側へ音像を偏倚させ、この音像を正中位に戻すに必要な後達音の増強分をdBで読んだ。持続音の代りに切断音を使用した以外は、持続音によるT vs I測定の時と全く同様の実験を行った。

IV 実験成績

i. 検査音の種類と方向感

音の種類によつて方向感の良いものと悪いものがある。それを比較したのが第5図である。すなわち、楽

第5図

音の種類		音像の移動	20cm	10cm	5cm	3cm	1.5cm
楽音		+	+	+	+	+	+
言語音		+	+	+	+	+	+
Band-Noise	435~850cps	+	+	+	+	+	+
	1200~2400cps	+	+	+	+	+	+
純音	500cps	+	+	+	+	±	-
	1000cps	+	+	+	+	±	-
	2000cps以上	-	-	-	-	-	-
切断純音	1000cps以下	+	+	+	+	+	-
	2000cps	+	+	+	+	+	-

音、言語音、band-noiseは僅か1.5cmの時間差で音像の移動が認知され、きわめて方向感が鋭敏であることが判る。band-noiseの高音域のものと低音域のものととの差はこの実験では認められなかつた。

次いで純音を適当に切断したものでは1.5cmの時間差では音像の移動が認められず、3cmの時間差で初めて音像移動が認知された。500cps, 1000cpsの純音では5cmの時間差を要し、2000cpsでは時間差を21cmを越えて30cmまで大きくしても音像移動を感じないばかりか音像を結ぶかどうかとも確かでなかつた。2000cpsの純音を除いて他の検査音では音像が明確に認められ、

しかも楽音、言語音、band-noiseでは音像が鮮明で時間差の変化につれて明確な軌跡を描いた。2000cpsの純音の場合には音が両側に聞こえ、音が頭の中一杯に拡がり、時間差の変化が判らないため、この周波数の純音は音像を結ばないと断定した。

要約すれば、時間差による方向感は、楽音、言語音、騒音の如き複雑音ほど明瞭であり、純音が最も不明瞭である。しかも2000cpsの純音では音像を結ばない。しかし、方向感が不明瞭な純音でもこれを切断すれば方向感が明瞭になることが知られた。

ii. Time vs Intensity

第 6 図

第 9 図

第 7 図

第 8 図

半オクターブ幅に濾波した band-noise で T vs. I を測定した。300~425cps, 600~850cps, 850~1200cps,

1200~1700cps の 4 つの band-noise についてその結果をグラフに示したのが第 6, 7, 8, 9 図である。予め与えておいた時間差を縦軸にとり、その時間差によって偏倚した音像を正中に戻すに必要とした後達音の増強分を dB で横軸に示してある。

グラフの勾配をみると、600~850cps が最も緩かで、検査音 40db, 時間差 15 cm の場合の後達音増強 dB は 20db 以上を要している。300~425cps, 850~1200cps, 1200~1700cps の band-noise の勾配がこれに次ぎ、検査音の強さ 40 db, 時間差 15cm で約 12dB の後達音増強を必要とする。

曲線の形は 850~1200cps, 1200~1700cps で極めて類似を示し、600~850cps のグラフと共に 15cm 以上の時間差では却つて時間差の占める役割が減じて曲線は凹みを生じているのが目立つ。300~425cps の低音においてこの凹みが見られないのと著しい対照を示している。

検査音の強さによる違いを各周波数幅について比較してみると、いずれの band-noise においても 60dB の曲線が著しく立っていて、時間差の占める役割が小である。大差はないが 40dB, 20dB の順に曲線の勾配が大きくなり、40dB において最も時間差の占める役割が大であった。すなわち、時間差による方向感は 600~850cps のあたりが最も良く、強さも 40dB が最も良い。方向感

成立には検査音の周波数と強さが大きく関係することが明確となった。

iii. 検査音の切断が方向感に及ぼす効果

electroswitch によつて検査音を適当に切断した実験では、一般に方向感が著明に良くなる現象がみられた。しかし、600～850cps の band-noise (40dB) におけるが如く非切断音でも方向感が良かったものでは、切断してもその効果が殆んど見られなかつた。すなわち。

T₁ vs I のグラフによつて大きさ 40dB の 1000cps 純音について切断効果をみると (第 10 図), 非切断音で

は後達音を 5～6dB だけ増強すればよいのに、毎秒 4 回切断すると 10～11dB の増強を必要とする。各検査音について時間差を 10cm に固定した場合の T vs I と切断との関係を示したのが第 11, 12, 13, 14 図である、

第 10 図

第 11 図

第 12 図

第 13 図

第 14 図

これらのグラフは rise and decay time が 1m sec の場合のものを示してあるが、25m sec の場合と有意の差は認められなかった。

1000cps 純音では非切断音の場合の後達音増強分が 4dB であるが、切断すると 10～12dB となつた。2000 cps 純音の場合も切断しない時には音像がはつきりせず、T vs I 測定が殆んど不可能であつたのに、切断すると 8～11dB の後達音増強を必要とした。純音のみならず 300～425cps (40dB, 60dB 共に) 及び 60dB にて測定した 600～850cps でも非切断音の場合より大きな後達音増強を必要とした。しかし、600～850cps (40dB) では切断による効果は殆んど見られなかった。

各検査音を通じて切断回数と T vs I との関係は判然としなかった。持続音による T vs I の実験で検査音の大きさが 60dB であるより 40dB である方が T vs I ratio が小であつたことは、切断音による実験でも同じであつた。

また、非切断音による実験中に、時間差があまり大きくなった場合や、検査音があまり大きくなった時に、一つの音像を結ばずに 2 つの音に分離して聞える現象があつたが、検査音を切断することによりその現象が消失し、更に切断音による音像は非切断音による音像に比べて非常に鮮明で、軌跡の認知も明確であつた。

V 総括並びに考按

i. 実験装置の特長

方向感成立機序に関する因子は、強度差、時間差、

位相差、音色、空間知覚など数多くあげられている⁹⁾が、音源から両耳へ到達するに要する時間差と両耳間の音の強度差が最も大きな役割を占めると考えられる。

この 2 因子についての検査法のうち、空間に設置した 2 つのスピーカーを利用する、いわゆる diotic な方法によつては、到達時間差を変えようとすれば強度差の変化や遮蔽現象や干渉作用などの諸因子が加わり、現象をみるには興味深い、強度差と時間差の役割を単独に検討することは不可能である。方向感成立機序を究める目的には時間差と強度差を切離してつくりだすことが必要である。

我々の試作した実験装置のうち I T D 調整装置は、吸音楔を利用して定常波ができるのを予防し、マイクロフォン移動により 2 つのマイクロフォンに達する音の時間差をつくつても両マイクロフォンにおける音の強さの差は極めて小さいように工夫され、300cps から 2000cps までの周波数帯では、それを僅か 1 乃至 2dB 以内に止めることができる。更に同じ I T D 調整装置を 2 つ設け、接続機械を 2 チャンネルにしてあるため、一側に 2 重の音を入れることができる。このことは強度差と時間差の関係を検討するうえに非常に便利で、ある角度に音像を偏倚させるに要する時間差と強度差を別個に測定することを可能にする。今回の T vs I の実験結果と比較検討することにより時間差と強度差の関係を異つた 2 つの観点から検討することができる。(後述)

ii. 実験方法とその原理に関する考按

両耳間の音の到達時間差と強度差の関係を調べる方法には 2 つの loudspeaker を利用する diotic な方法¹⁰⁾の他に、earphone を使用する dichotic な方法があることは先に述べたが、後者には更に 2 つの方法が考えられる。

第一^{11) 12)}の方法は時間差によつて偏倚させた音像を正中に戻すに要する後達音の増強を測定するもので (centering technique)、今回我々が用いた方法がそれである。第二の方法¹³⁾は、強度差によつて偏倚させた音像に時間差によつて偏倚させたもう一つの音像を重ね合わせる方法である (matching technique)。前者はある時間差を与えた条件の下で強度差を与えて音像を正中に戻す実験であり、音像の位置は強度差と時間差の函数である。これに反して後者は音像の位置を時間差のみ、または強度差のみによつて規定しようとするもので、この点において 2 方法は相異なるものである。

Matzker¹⁴⁾は方向感成立機序を、脳幹部において先

行音が後達音の一部を抑制し、それが loudness の差として大脳皮質へ投影されることによると考えているが、上記2つの方法による比較検討、更にそれに附随した一連の実験を連立方程式の如く組合せることによつて、脳幹部における抑制機構を究明することも期待できる。

例えば centering technique で、予め与える時間差を Δt とし、これによつてできた音像を正中位に戻すに要した強度差を Δi_1 とする。次いで matching technique によつて、 Δt によつて偏倚した音像の位置に他の音像を重ね合わせるに要した強度差 Δi_2 を測定する。 Δi_1 と Δi_2 の差は centering technique の後達音増強分に対する Δt による抑制と考えられる。

今回の実験は centering technique に限つたが、この種の実験にはかなりの知性と練習を必要とする。測定に当つては疲労現象や暗示による心理的影響を厳しく避けることが必要である。

また、被検者の“きき耳”による正中軸の偏倚があることにも留意して earphone を左右交換して再度測定することも必要である。正中位を明確にしておくには一つの音像を正中に結ばせてめじるしにするのも一法である。それには切断音を使用する場合には、rise and decay time を非常に短くして切断の瞬間に生ずる click が必ず正中位に、しかも明瞭に音像を結ぶことを利用するのが便利である。

初めて音像の移動が認められる時間差（時間差最小認知域値 just noticeable difference in time）は20～30才代で約1.5cmであり、年令と共に増大する傾向がある⁵⁾が、その差を時間差域値の差として表わすには差が僅少であるために困難が多い。ところが centering technique を使えば、小さな域値差が大きな強度差に置換えられて表現され、実験を非常に容易、かつ正確にする。すなわち、時間差による方向感の悪い被検者では centering technique で僅かな後達音の増強で音像を正中に戻すことができる。正常者に比べて明らかに差が認められ、これにより正常者と時間差方向感障害者とが区別できる。もし一般に言われる如く、時間差による方向感が中枢における相互作用（interaction）のみによるものであるならば、中枢障害者を選び出す大きな手段となることが期待される。

iii. 時間差及び強度差の範囲と音像の性質

diotic な実験では音像が頭の外にできる（localization）¹⁵⁾。これに反して dichotic な実験では音像は頭の中に生じて（lateralization）¹⁶⁾、その音像の軌跡は頭頂

部ないしは少し後頭部寄りに、頭の外周にそつて大略円形を描き、両耳側において僅かながら頭外に出る感がある。時間差または強度差を変化させると音像の軌跡は明確に認知されるが、音の強さがあまり大きくなると音像は拡がりを増して明確さが減少する。

さて、音像の偏倚を認めうる最小の時間差及び強度差と、音像が完全に外側に寄つてしまう時間差と強度差はどのような値であらうか。

A.W. Mill ¹⁷⁾ によると SL 50dB の切断純音を検査音に使用し、時間差がない場合に強度差の最小認知域値は1000cpsで最大を示し約2dBで、これより2オクターブ上及び下の周波数では1dBに下つた。180度の位相差を与えると1000cpsで最大とはならなかつた。また半オクターブ幅の騒音を使用すると、位相差が0及び180度のいずれの場合でも1000cpsで最大とならず、click を使用した実験では位相差を与えると、位相差を与えない場合の域値の2倍であつた。Small, Bacon & Fozard ¹⁸⁾ はオクターブ幅の band-noise を使用し、低、中、高周波数帯の強度差の最小認知域値を測定した。高周波数帯（4080～8160 cps）および中周波数帯（1040～2080 cps）の最小認知域値は低周波数帯（127～255 cps）の最小認知域値より小さく、広周波数帯の最小認知域値は更にそれより小さかつたと報告している。

すなわち、正中部に音像を結ばせた場合の方が強度差による音像の偏倚が容易に認知されて、最小認知域値は音の種類、周波数に関係する。我々の実験では時間差なしで600～850 cps の band-noise で約2dBで音像の移動を認めた。

さらに我々は強度差がない条件下で時間差を与えて時間差の最小認知域値を測定したが、楽音、言語音、半オクターブ幅の band-noise は1.5cmの位相差によつて音像の偏倚を認め、純音ではこれに劣ることを知つた。

文献的にこれをみると、Rüser ¹⁹⁾ は800Hzで最小の位相差域値を示し周波数が増加すると共に位相差域値も増加すると報告した。Matzker ⁵⁾ の実験によれば、時間差域値は0.018m secであり、その域値はpitchの弁別と同様に年令と共に増加する。また脳幹部障害者では著しい域値の上昇があり、大脳半球に病巣をもつ患者は病巣と反対側に域値が上昇すると域値測定の臨床的価値にまで言及している。

一方、音像を完全に外側へ偏倚させるに要する時間差及び強度差について、同じく Matzker ⁵⁾ は0.648msec, 25dBなる値を提示し、25dBの強度差は時間差によつ

ては到底補うことができないこと、および時間差で補うことのできる強度差は 15~20dB が限度であるという。また、0.648msec を越えても音像は真横にあつて、2msec を越えると音は両側に分離して聞える。これは Jungert が測定した中枢聴覚路の refraction time が 2msec であることと一致し、中枢における抑制神経の関与を暗示するものであると説明している。Blodgett et al²⁰⁾ は同様に最大 2msec までの時間差で音像の移動があり、高周波数域ではこの値は低下する。また数 msec までは音像が impact であるが、それ以上になると compactness を失つて拡りをもち偏倚感を失うといっている。

我々の実験においては、600~850cps の band-noise で 0.6msec~1msec の時間差、約 30dB の強度差で真横に近い音像の偏倚をみたが、時間差及び強度差がある程度以上になると音像は拡りをもち、その位置の認知には遠近感が増加することを知った。更に、低音域では 0.6 msec 以上になつても音像は 2つに分離せず真横へ移動することが認知されたのに反し、高音域では 0.6msec あたりで早くも偏在感を生じた。しかも、いかなる強度差、時間差によつても完全に真横の位置にまで音像を移動させることはできなかつた。これは大きな時間差及び強度差のために音像が幾らかの拡がりをもち、しかも検査音がある幅の周波数を含んでいるために、音像の位置を内側に感じるのかも知れない。Jonkees²¹⁾ もこれと同様のことを diotic な実験で認めており、一般に正面では音像の位置を実際より外側寄りに、外側においては内側寄りに感じる傾向があることを指摘している。

iv. Time vs Intensity と音の強さとの関係

上記の如く強大音側に、または早く到達した音の側にできた音像は、音像の反対側の音を早く聞かせたり、増強してやることによつて正中位に戻すことができる。このような時間差と強度差との関係、すなわち T vs I を dichotic に調べる方法に 2つあることは先に述べた。今回行つた centering technique によつて純音、騒音は各周波数共に曲線を示し、その勾配は検査音の強さ、周波数、時間差、強度差すべてに関係し、強度差、時間差が大きくなると偏在感が生じて測定が困難になることを知った。

初期の研究にこれをみるに、Röser¹⁹⁾ は時間差のいかに問わずこれによつて偏倚した音像を正中に戻すに必要な強度差は一定であると報告している。また、強度差 1dB に相当する時間差 T vs. I ratio を Klein は

0.13msec/dB (click 使用)、Banister は 0.25~0.09msec/dB (純音)、Schaxby & Gage は 0.13msec/dB、Christian & Victor は 100~150μsec/dB と報告し時間差と強度差の間には直線的関係があると言っている。¹¹⁾

一方、David, Goodman & Bergeijk¹²⁾ および Deatherage & Hirsh¹³⁾ は域値近くの音の大きさでは 100msec/dB を越えるが、強い音ではそれより小となり T_{click} vs I ratio は検査音の強さにより異なり、low level の click の T vs I ratio は high level の click のそれより小さく、SL 55dB では更に大きな T vs. I ratio を報告している。Mouschegian & Jeffress¹⁹⁾ もこれを支持する研究を発表した。更に、Whitworth & Jeffress²²⁾ は周波数の低い音を loud に聞かせると T vs. I ratio は最小となり、click を弱く聞かせると最大となることを示し、T vs. I ratio に最も大きく影響するのは検査音の性質と強さであると結論した。

我々の実験においては各周波数に共通して 40dB の T vs. I ratio は 20dB のそれより小さい値を示しているが、60dB という大きな検査音では却つて大きくなつた。この理由を推測してみると、60dB の場合は強大音を聞かせることになり疲労及び順応の要素が加わることと音像に拡りや偏在感が生じ測定に困難さが加わることなどが関係しているのではないかと考えられる。

T vs. I の実験を行つていくうちに、強さがあまり強くなつた時、および時間差があまり大きくなつた時に、時として明確な音像ができずに左右 2つに分れて聞える現象が認められた。

これに似た現象は Banister, Deatherage²³⁾ および Whitworth & Jeffress²²⁾ の論文にも見られる。Banister によれば正常者のみにこの現象が見られ、高音障害のある被検者には認められなかつた。分離して聞える 2つの音像のうち 1つの音像は両耳間の時間差によつて変化するから時間差によつて生ずるとして“time image”と呼び、他の 1つの音像は“intensity image”と呼び、時間差と強度差の両方によるものとした²²⁾。

この 2つの音像について我々は先ず交叉現象 (cross hearing) ではないかとの疑いをもつて次のような実験を行つた。すなわち、先ず正中位に 1つの音像を 45dB で結ばせて、これと同じ性質の音を時間差を与えて片耳に入れると、初めに音像をつくつた音の強さと後から聞かせた音の強さの差が 5dB 以内になつたとき初めて第一の音像の位置に変化が生じる。交叉現象では約 50dB

以上の減弱がおこることを考えあわせると、音像と反対側に 80dB の音を聞かせても初めにできた音像の位置を変えさせるには到らない筈である。この実験によつて検査音が大きい場合に音像が分離して両側に聞える現象は交叉現象によるものでないことが判つたが、その成因についての確かな理論は持つていない。しかし検査音が非常に大きい場合にのみ生ずること、検査音を切断音に変えることによつてこの現象がなくなることから考えて疲労現象に関係があると推定される。また弱い音や中等度の強さの音では外有毛細胞の働きが主体をなし、強大声の場合には内毛細胞の働きがこれに加わり、しかも内毛細胞は外有毛細胞に比べて方向感に関する因子は少なく、かつ外有毛細胞の方向感とは異種のものではないかと想像される。このように考えると、強大声の場合の T vs I ratio が大きくなることや、強さによる方向感と時間差による方向感が別ものではないかという疑問¹⁹⁾について考えるときに好都合である。

v. Time vs. Intensity と周波数の関係

T vs I と周波数との関係を調べた研究は、文献的には Mouschegian & Jeffress¹⁸⁾ にみるのみである。それも matching technique によるものであつて、centering technique によるものは見当らない。

我々は centering technique によつて 600～850cps の band-noise の T vs I ratio が最小で、時間差の占める役割が最も大きいことを知つた。Mouschegian & Jeffress¹⁸⁾ は matching technique により 500cps, 800cps, 1000cps の 3 つの純音を使つて実験し、T vs. I ratio は 500cps で 1.8 μ sec/dB, 800cps で 6 μ sec/dB, 1000cps で 4 μ sec/dB という値を報告している。

ここで文献的に位相差最小認知域値を調べた実験と比較検討してみよう。Kietz²⁴⁾ は localization の機能の正確さを時間差最小認知域値で標示せんとした。彼の実験によると最小認知域値は 800cps で最小で、これより 200cps まで徐々に増大している。彼の主張によれば、これは音波の slope によつて説明されている。800cps の音波の slope は 250cps のその 4 倍であり、もつと slope の急なものは更に localization が正確であろう。従つて abrupt complex noise が最良であろうと予想している。Zwislochi & Feldmann²⁵⁾ の報告によつても最小認知域値は 800cps あたりが最小であり、1300cps 以上ではあまり大きくて測定不能であつたとある。

以上の種々の実験報告と我々の得た実験結果から考え

て、方向感において最も時間差が大きな役割を果たしていると考えられる周波数は 800cps 附近である。

では、方向感の成立する周波数帯はどのような範囲にあるだろうか。Matzker¹⁴⁾ は 800Hz が最良であり、これ以上の周波数では次第に方向感は低下し 1200Hz でようやく保たれているという。Röser¹⁹⁾ は 1100Hz 以上の純音は方向感が成立しないとし、Zwislochi & Feldmann²⁵⁾ も時間差最小認知域値が 1300cps ではあまり大きくて測定不能であつたと方向感成立機能の消失を暗示している。また、Stevens & Newman²⁶⁾ は、純音の方向感は周波数によつて非常に差があり、1000cps 以下は良好であるが 2000～4000cps は殆んどなく、6000cps 以上になると再び方向感が現われるといつてゐる。

我々の行つた時間差により方向感と言語音、楽音、騒音がよく切断純音がこれに次ぎ、純音が最も悪い。しかも 2000cps では方向感が消失し両耳に偏在音として聞えることを知つた。言語音、楽音、騒音のような複雑音の方向感がよいことは、Whitworth & Jeffress²²⁾ 及び Firestone²⁷⁾ の言うように高音と低音を共に持つていて時間差による方向感要素と強度差による方向感要素を適当にそなえているからであると説明できる。1000cps 以上の純音の時間差による方向感が急に低下し、あるいは消失する原因としては、神経の不応期と関連して刺激音が完全な time information をなさないことが第一に考えられる。第二の考えは Kietz のいう半波長の長さである²⁴⁾。位相差が半波長以上になると方向感は位相の逆転を呈し、800cps の半波長は 21cm で人間の両耳間の距離 (Mayer による) と同じであるから 800cps 以上になると位相の逆転のために方向感の低下または消失をきたすと解釈したい。

vi. 検査音切断による Time vs. Intensity への影響

原音の性質に変化をきたさぬ程度に検査音を切断して T vs I の実験を行うと、次の 4 点において持続音の場合と異つた結果を得た。すなわち、(1) 音像がきわめて明瞭で、音像移動の軌跡も明らかである。(2) T vs. I ratio が 40dB, 600～850cps band-noise 以外で著明に小さくなる。(3) 大きな強度差、時間差で音像が両側に聞えた現象がなくなる。(4) 2000cps の純音も音像を結ぶようになる。

検査音を切断すると音像が明瞭であるために実験が非常に容易である。音像移動の軌跡も明瞭であつたが持続音の場合と同じ軌跡を描いた。音像が揺りをもたず

lateralization がはつきりするため実験誤差も少くなる。40dB, 600～850cps band-noise を検査音として時間差を 15cm とした場合の標準偏差が 2.2dB 以下で、持続音の場合が 3.3dB であったことと比較してみると、切断効果により音像が明瞭化し実験が確実さを増していることが容易に推測される。

音像の明瞭化と共に強度差、時間差が大きいときに音像が両側に分離して聞える現象もみられなくなった。T vs. I ratio も小さくなった。これらの検査音切断による効果の 1 つの因子として順応現象や疲労現象が少なくなることが先ず考えられ、第 2 の因子として、切断することによりその切断の瞬間に音刺激が整うことがあげられる。

一見、検査音を切断すると切断部位による時差が主体となつて、もともとの到達時間差と別の性質を帯びてくるように考えられるが、切断音の方向感とは原音の時差によるものであつて決して切断部位の時差によるものではない。たとえば、持続音を両耳に聞かせて音像を外側寄りに結ばせておき、この持続音を electroschwitch で切断しても音像の位置には全く移動がおこらない。さらに切断音の rise and decay time を短く 10msec 以下にすると切断の瞬間に click が生じるが、この click による音像は正中に結ばれて原音の音像は全く移動しない。この実験からみて切断音の方向感がよい事実、切断部位による効果ではなく、切断するためにできた何らかの効果によるものと考えられる。

切断音の場合は音の波形が問題となる。Kietz²⁴⁾ は lateralization に使われる神経刺激は音の始りの部分によるものか、それとも終りの部分によるものか不明であるといっているが、Godwin²⁵⁾ は 2 種の鋸歯状波および正弦波を使つて音像移動の最小認知域値を測定して立上りのゆるやかな鋸歯状波よりも立上りの急な鋸歯状波の方が域値が小であり、正弦波が最大の域値をとること、さらに、立上りの急な鋸歯状波で検査したあとで立上りのゆるやかな鋸歯状波で検査すると正確度が低下することを実験的に証明して神経刺激の“abrupt termination”よりも“insertion time”が重要であると主張している。

我々は切断音の rise and decay time を 1msec と 25msec の 2 つの場合に分けて比較したが、いずれの場合でも測定値に大差がなかった。また、切断回数を毎秒 0.2 回、1 回、2 回、4 回、10 回、20 回と変えて測定してみたが有意の差は見出せなかった。

VI 結 論

1. 音の聴えの方向感において、両耳に入る音の時間差と強度差の関係を測定研究するのに理想的な検査機械を試作し、その機構について解説した。

2. 両耳に入る音の時間差によつて生ずる方向感は楽音、言語音、騒音などの複雑音に対して鋭敏であるが、純音に対しては余り明瞭ではない。2000cps 以上の純音では音像を結ばない。

*3. 方向感は音の強さおよび周波数によつて大きく影響される。

音の強さは SL 40dB が最もよく、SL 20dB, SL 60 dB はこれより劣る。

音の周波数は 600～850cps あたりが最も鋭敏である。

4. 時間差および音の強さがあまり大きい場合は偏在感が生じる。

5. 切断音の場合には何らかの効果が生じて方向感は鋭敏となる。

VII 文 献

- 1) Jerger, J.: Observation on Auditory Behavior in Lesions of the Central [Auditory Pathways. A. M. A. Archiv. Otolaryng. 71: 797, 1960.
- 2) Groen, J. J. and Hellema, A. C. M.: Binaural Speech Audiometry. Acta Oto-laryng. 52: 397, 1960.
- 3) Matzker, J.: Ein Binauraler Hörsynthese-Test zum Nachweis Zerebraler Hörstörungen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1958.
- 4) Bocca, E.: Binaural Hearing; Another Approach. Laryngoscope 65: 1164, 1955.
- 5) Matzker, J. u. Welker, H.: Die Prüfung des Richtungshörens zum Nachweis und zur topischen Diagnostik von Hirnerkrankungen. Z. Laryng 33: 277, 1959.
- 6) Jonkees, L. B. W. and Veer, R. A. V. D.: Directional Hearing Capacity in Hearing Disorders. Acta Oto-laryng. 48: 465, 1957.
- 7) Sanchez-Longo, L. P., Forster, F. M. and Auth, T. L.: A Clinical Test for Sound Localization and its Applications. Neurology 7: 655, 1957.
- 8) Sanchez-Longo, L. P. and Forster, F. M.: Clinical Significance of Impairment of Sound Localization. Neurology 8: 119, 1958.
- 9) 橋田邦彦、颯田琴次：方向知覚に関する主要業績，昭 16.
- 10) Sandel, T. T., Teas, D. C., Feddersen, W. F. and Jeffress, J. A.: Localization of Sound from Single and Paired Sources. J. Acoust. Soc. Am. 27: 842, 1955.
- 11) Deatherage, B. H. and

Hirsh, I.J.: Auditory Localization of Clicks. *J. Acoust. Soc. Am.* 31: 486, 1959. 12) *David, E.E., Newman, J., Guttman and Bergeijk, W.A.*: Binaural Interaction of High-Frequency Complex Stimuli. *J. Acoust. Soc. Am.* 31: 774, 1959. 13) *Moushegian, G. and Jeffress, L.A.*: Role of Interaural Time and Intensity Difference in the Localization of Low Frequency Tones. *J. Acoust. Soc. Am.* 31: 1441, 1959. 14) *Matzker, J.*: Versuch einer Erklärung des Richtungshörens auf Grund feinsten Zeitunterschiedsregistrierungen. *Acta Otolaryng.* 49: 483, 1958. 15) *Kitagawa, S. & Shintaku Y.*: Direction Perception and Subjective Auditory Direction Line. *Acta Otolaryng.* 47: 431, 1957. 16) *Jeffress, L. A. and Taylor, R. W.*: Lateralization vs. Localization. *J. Acoust. Soc. Am.* 33: 482, 1961. 17) *Mills, A. W.*: Thresholds for Interaural Difference in Intensity. *J. Acoust. Soc. Am.* 31: 830, 1959. 18) *Small, M., Bacon, W.E. and Fozard, J. L.*: Intensive Differential Thresholds for Octave Band Noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 31: 128, 1959. 19) *Röser, D.*: Die zentralen Vorgänge beim Richtungshören. *Arch. Ohr.-Nas.- u. Kehlk.-Heilk.* 177: 57, 1960. 20) *Blodgett, H.C., Wilhanks, W. A. and Jeffress, L.*: Effect of Large Interaural Time Differences upon the Judgment of Sidedness. *J. Acoust. Soc. Am.* 28: 639, 1956. 21) *Jonkees, L. B. W. and Veer, R. A.*: Further Investigations into a Peculiarity of Normal Directional Hearing. *Acta Otolaryng.* 49: 47, 1958. 22) *Whitworth, R. H. and Jeffress, L. A.*: Time vs. Intensity in

the Localization of Tones. *J. Acoust. Soc. Am.* 33: 925, 1961. 23) *Deatherage, B. H.*: Binaural Interaction of Clicks of Different Frequency Content. *J. Acoust. Soc. Am.* 33: 139, 1961. 24) *Kietz, H.*: Neue Vorstellungen in der Theorie des Hörens. *Z. Laryng.* 36: 241, 1957. 25) *Zwislocki, J. and Feldman, R.S.*: Just Noticeable Differences in the Dichotic Phase. *J. Acoust. Soc. Am.* 28: 860, 1956. 26) *Stevens, S.S. and Newman, E.B.*: The Localization of Actual Sources of Sound. *Am. J. Psychol.* 48: 297, 1936. 27) *Firestone, C.*: Binaural Localization of Pure Tones. *J. Acoust. Soc. Am.* 2: 271, 1930. 28) *Godwinn, R.W.*: Clinical Testing for Sound Localization. *Ann. Otol.* 70: 976, 1961.

稿を終るに臨み御懇篤なる御指導と御校閲を賜った恩師切替一郎教授に深甚の謝意を捧げるとともに、終始御指導御協力を頂いた佐藤恒正講師、設楽哲也講師、寺尾彬学士に厚く御礼申し上げる。

また、実験装置の作製にあたられた小林理研小橋豊理學博士およびリオン製作所清水修平理學士他技術第一課の諸士に深く感謝の意を表す

本研究は昭和36年度及び37年度の文部省科学試験研究費の援助をうけた。記して深甚なる謝意を表す。

本論文の要旨は第7回日本オーディオロギア学会総会において発表した。

(原稿到着＝昭和33.7.15日)