音の高低の差とその空間的性質に関する

一実験的考察*

東京大学

富 田

悟**

I.

音の「高い・低い」という形容詞と空間的な「高い・低い」という形容詞との間には一見したところ関係がありそうに思われるが、Stumpf(1)はこのような音の性質を表わす語と空間的な性質を表わす語とが非常に多くの国語において同じに用いられていることを発見した。そこで、音の高低は空間的な高低に関係して云われているのではないかという疑問が起つて来た。Stumpf, Wundt(2)等はこれに対して否定的な立場をとり、これを連想、比喩などの連合機制 (association mechanism) によつて説明しようとし、Titchener(3)はその考えを採用はしなかつたが空間的なものの結びつきをも否定し、いわば保留の立場をとつた。これらに対して上の問題を積極的に肯定したのは Pratt(4)である。彼は「音には本来的に空間的な性質があり、高い音とは現象的に空間の中で高い所に位置づけされる音である。」と主張し、振動数の異つた数音を用いて上下方向の音源定位という方法によつてこれを実験的にも検証し得たとした。しかし、その後 Dimmick と Gaylord(5)はこれを追試して否定的な結果を得、また Trimble(6)は肯定的な結果を得ている。上原(7)もまたこの問題を扱つたが、Pratt に対して賛成し難いとしている。

この問題については他の諸現象と同じく、刺戟に対しては何等かの意味で生理学的な対応がある筈だと考える以上、生体の生理学的事実、特に聴覚器官に関する生理学的解明がなされ、その方面からの解決をはかることが窮極的には決定的な方法となるのであろうが、それらの手がかりの未だ得られない今日、現象の面からこれをとらえてゆく方法をとらざるを得ない。

本報告では音と空間的な高さとの結びつきの有無を現象的に観察する際、Pratt にならつて上下方向の音源定位の方法によつてこれを行つた場合、果して Pratt の云

ような現象がみられるかどうかということを種々の条件を検討しながら調べてみようとしたものである。そして、この場合、まず実験の便宜上、一応音の「高低」という言葉を「振動数の大小」という言葉におきかえて観察をすゝめることにする。*

II.

実験目的 上下方向の音源定位において振動数の大きい音は高く、小さい音は低く定位される傾向があるかどうかを調べる。

装 置

i) 半径 80cm の半球の音響籠及び被験者の耳軸の中点はその中心に来るように高さを変えうる椅子

ii) 音源は M-Ⅲ No.5111 の真空管発振器より導いた電話受話器

実験時日 昭和27年10月2日～12月10日

実験場所 東京大学文学部心理学研究室防響室

1. 実験の条件

まず、両耳聴音源定位の一般的な条件について検討し、ついで本実験に附属する特殊な条件についての吟味を行つたが、吟味の対象となつたのは次の諸点である。

1. 刺戟呈示法について
2. 頭部運動について
3. 眼球運動について
4. 定位法について
5. 使用刺戟について
6. 実験所要時間について
7. 被験者について

予備実験において以上の直接条件を吟味し、次のようにこれらを決定した。**

- 1) 刺戟呈示法……音源は棒の先にとりつけ、助手を

*音の「高さ」と「振動数」は必ずしもそのまゝの対応をしていないし、その関係も人によつて異っている。

**細かな資料については他の機会に触れることにする。

*An experimental study on the spatial character of high and low tones.

**Satoru Tomita (Tokyo University)

使つて移動する。呈示時間1回2秒, 3回まで繰返し聞くことを許す。刺戟は数音を数位置と組合せたものを1系列とし, これを数系列行う。各系列内での呈示順序は無作意とする。

2) 頭部運動……頭部は固定せずに最も聞き易い方法を被験者にとらせる。但し, 身体の運動は出来るだけしないようにする。

3) 眼球運動……眼かくしし, 更に軽く閉目する。特に刺戟呈示中及び反応中には眼球を動かさぬようにする。

4) 定位法……視覚の使用は避け, 場合に応じて夫々

Fig. 1 Position of sound sources.

The positions presented in degrees were used for Experiment I. and those in the brackets were used for Experiment II. x: the medial point of the aural axis of subject.

腕及び口答による定位をする。

5) 刺戟……純音を用い, 250c.p.s. から 4000c.p.s. 位までの6~7音を使用。その中にオクターブ間隔の音とそうでない音とを入れる。

6) 所要時間……系列毎に5分間ずつの休憩を入れて総所要時間1時間半以内。1実験を分けて行わない。

7) 被験者……実験目的及び実験事態についての知識の影響を避けるため, 知識に応じて被験者を数群に分けて同一の実験を行い結果を比較する。

以上のような手続を経て本実験に入る。

2. 第1実験

目的 正中面上下方向の音源定位において種々の振動数の音を用いた場合の定位傾向の観察

装置 予備実験に同じ

手続 上記の諸条件下で6(音)×7(位)=42(回)の判

断を1系列とし, これを5系列行う。使用音は 250~, 500~, 1125~, 1750~, 2000~, 4100~, の6音*。呈示位置は正中面上下方向に耳軸の高さを中心として0°, ±30°, ±45°, +60°, +90°の角度をなす7位置** (Fig. I)。定位法は腕で音方向を示す。測定法は客観的音源と反応位置との差を5°単位でよみとる。これを「定位のズレ」と名づけて, 上方へのズレを+, 下方へのズレを-で表わし, この際水平方向のズレは便宜上無視する。

被験者は次の4群に分かれる。

A群……実験目的を知り, かつ実験事態を見ているもの。5名。

B群……実験目的を知り, 実験事態を見ていないもの。5名。

C群……実験目的を知らず, 実験事態を見ているもの。5名。

D群……実験目的を知らず, 実験事態を見ていないもの。5名。

B及びD群の被験者は防響室の入口から目隠しで入り, 実験終了まで装置を見せないようにした。被験者は前後のとり違えがなくなり, 主な位置についてズレが5°内外になるまで定位練習を行う。練習に使用した音は600~の純音***

実験経過

練習中, 最初の間は前後のとり違えが可成り見られ, また, 部屋全体から音が聞えて来たり, 全くどこで鳴っているか判らなかつたり, 或は頭の中で鳴っているように感じたりする被験者が多かつたが, やがてこれらは消滅した。殆どの被験者が最初の系列に30分位かかり, 以下10~15分の時間の短縮をみているが, これには可成り個人差がある。

結果

各音各位置の組合せについてのズレの平均値は Table 1 に示される。即ち, 各群を通じて振動数が大になるにつれて, 上方へのズレの度合が大きくなり, 或は下方へのズレの度合が小さくなる。但し, 各平均値の分散は大きく, 決定的なことは云えない。

その他, この実験でみられることは,

1) 定位に中心化傾向がみられる。

2) 音源が耳軸の高さにある場合には概してやや上方

*音はそのエネルギー(真空管発振器の出力)を一定にした。

**音源の移動には鳥居修晃があたつた。

***練習音の振動数の影響については今は考えないことにする。

Table 1

Group A

f \ p	-45°	-30°	0°	+30°	+45°	+60°
250	21.2±12.7	11.2±12.7	5.2±20.5	-24.4±17.7	-30.0±15.2	-46.6±21.1
500	22.8±17.0	14.8±12.2	4.2±12.0	-18.8±14.8	-33.0±22.6	-38.4±14.3
1125	33.0±15.1	25.2±23.9	12.4±17.7	-10.6±13.7	-21.0±21.5	-27.0±19.4
1750	47.6±19.5	33.4±20.0	11.2±14.8	-11.0±12.1	-17.8±19.5	-24.4±20.4
2000	54.6±23.2	38.6±27.9	28.0±24.6	-6.4±15.4	-15.8±16.8	-25.4±25.5
4100	52.2±16.2	36.8±20.0	21.0±19.3	5.0±16.3	-11.4±17.7	-22.6±18.9

Group B

f \ p	-45°	-30°	0°	+30°	+45°	+60°
250	11.0± 7.5	3.2± 8.2	-13.0±15.0	-28.0±18.3	-36.0±21.9	-49.4±25.9
500	18.0±11.8	8.6±13.7	-10.0±13.3	-23.2±23.9	-33.8±17.5	-43.2±20.9
1125	23.4±16.3	25.4±13.9	8.2±15.2	-7.6±13.7	-26.4±21.6	-33.4±16.2
1750	40.8±16.8	32.6±15.2	15.2±10.1	-11.6± 9.8	-14.4±14.9	-28.2±21.0
2000	43.8±15.4	36.8±19.5	18.8± 2.1	6.0±21.3	-9.6±22.8	-17.8±16.7
4100	51.4±19.3	26.4±45.9	21.6±12.4	1.4± 8.3	-13.0±21.2	-16.6±23.2

Group C

f \ p	-45°	-30°	0°	+30°	+45°	+60°
250	24.6±29.4	10.6±24.7	-4.2±21.1	-21.6±20.0	-20.2±19.2	-30.0±22.8
500	21.0±24.1	16.8±24.7	1.0±20.0	-15.0±25.3	-22.4±19.7	-30.0±22.9
1125	38.6±32.4	22.6±21.1	11.0±22.4	-3.6±19.7	-6.2±16.2	-19.2±20.0
1750	37.8±25.6	29.8±28.0	16.0±11.6	-1.6±16.3	-9.0±19.7	-9.4±18.1
2000	53.6±27.4	34.0±30.2	23.0±15.5	-2.2±22.7	-12.6±18.8	-3.4±20.0
4100	57.6±24.3	43.8±27.5	19.2±16.6	-1.4±19.7	-1.8±15.1	-14.0±21.6

Group D

f \ p	-45°	-30°	0°	+30°	+45°	+60°
250	25.8±18.8	21.0±20.0	-0.8±16.6	-17.2±28.9	-23.8±23.1	-43.4±27.8
500	27.0±21.8	17.8±18.2	-0.2±24.0	-18.2±21.9	-20.4±27.1	-32.8±30.4
1125	38.6±20.2	26.0±19.9	7.6±11.4	-5.4±23.7	-21.8±25.0	-22.4±25.3
1750	51.6±37.5	26.2±19.0	22.8±25.7	-1.2±22.8	-12.6±22.1	-21.2±27.1
2000	53.0±26.9	33.4±26.1	22.8±22.1	0±23.4	-4.0±25.8	-21.8±27.1
4100	60.8±44.7	42.4±27.5	24.8±30.6	-1.6±31.4	-14.8±25.5	-25.0±25.7

p : positions of the sound sources (see, Fig. 1)

f : frequencies of the tones (c.p.s.)

Fig. 2 The distribution of localizations when the sound source was placed at 90°.

に定位される傾向がある。

3) +90° の位置に音源がある場合には定位は他の場合と異つた様相を呈すると思われるので、一応この場合を結果一般から除外した。今、定位の落ちた領域をみると Fig. 2 のようになる。この現象については上下方向の定位一般の理論と共に検討を要すると思われる。

4) 定位に際して、腕を宙に浮かせたり、刺戟音が鳴り終らぬ中に定位しかけるとその際の定位は正確になる。

5) ズレの散布度は A, B 両群に比して C, D 群の方が大きい。

6) また全体としては一定の傾向を認めることが出来ないが、これを個人別にみると振動数が大になるにつれて大きくなるものがあり、或は逆に小さくなっているものもある。その際、散布度の大小と定位の困難度とは必ずしも対応しない。

以上の結果から断定を下すには、ズレの散布度をもつと小さくし、或は得た数値の性質をもつと検討しやすい事態での測定が望ましいと思われる。

3. 第2実験

目的 第1実験に同じ。但し、定位を一定の枠内に入れて結果を数量的に検討する。

装置 前実験に同じ。

手続 音源を前実験の 0° の点を基準にして 0°, ±15°, ±30°, ±45° の7個所とし (Fig. 1), これに -45° の点から上方に向つて順次 1, 2, 3……7 の番号をつけ、定位は音源の番号を云うことによつて行う。その他の条件は前実験に同じ。

結果

今、隣接した2つの音源間の距離を上方に向つては +, 下方に向つては - という符号をつけて1で表わす方

法をとると各振動数毎のズレの平均値は Table 2 のようになる。次にズレに対して利いている因子を分散分析法によつて検出すると各群を通じて振動数、位置 (いずれも危険率 1% の水準で有意)。個人差、位置と個人の交互作用 (いずれも危険率 5% の水準で有意) が挙げられる。

これらから個人差の大きいことが測定値の精度を落すとは云え、各群を通じて振動数の大きい音は小さい音よりも空間的に上方にズレて定位

される傾向があると云える。

4. 考察

以上の実験では測定を Pratt 等が行つたような音源が正中面耳軸の高さの場合にのみ限らず行つたわけであ

Table 2
The average values of the displacements* of localizations. (Experiment II)

group	A	B	C	D
f				
250	-1.15	-1.00	-1.40	-1.05
500	-0.69	-0.55	-0.76	-0.74
1125	0.11	0.36	0.23	0.05
1750	0.59	0.95	0.77	0.61
2000	0.98	1.34	1.25	1.01
4100	1.45	1.80	1.72	1.55

○ : : statistically significant
(level of significance $\alpha < 5\%$)
± : no significant

る。次に問題的には Dimmick と Gaylord(5) の云うように「振動数が多くなるにつれて上方へのズレが大になるならば、1つの音源から色々な振動数の音を出した場合、それらは夫々の振動数に従つて空間的に分離される筈である」ということの実験的な証明が必要となつて来る。しかし、この場合は実は今までの実験中、正面耳軸の高さ、即ち第1実験の0°, 第2実験の4°の位置に音源がある場合と前記6音の組合せの場合である。そしてその場合のズレは両実験を通じて概して上方に向つてゐるが、これを細かにみると Table 3 のように振動数によつて正負の両域にズレがまたがり、定位が音源の上下に

Fig. 3 The displacements of localization of group D at various sound sources (Experiment II)

Table 3

The average values of the displacements of localization when the sound source was placed at ear level in Experiment II.

group	A	B	C	D
f				
250	-1.08	-1.24	-1.56	-0.88
500	-0.80	-0.92	-0.44	-0.92
1125	-0.16	0.24	0.44	-0.16
1750	0.60	0.88	1.16	0.60
2000	0.76	1.12	1.68	1.12
4100	1.32	1.88	1.84	1.64

*The figures indicate the differences between every two positions (sound source and localized position) in the special way (e. g. from position 1 to position 2 is +1, and from position 4 to position 2 is -2).

規則的に散ばつているように思われる。しかし、これを改めてこの組合せだけをとり出して確かめてみることは望ましいと思われる。又、第2実験においては7位置に関するズレの平均値を示すグラフはFig. 3*のように各群とも互いに交わることが殆んどない。このことは同じ振動数の音でもそれが示される位置によってズレの度合が違ふことを示し、聴空間独特の異方性を暗示すると考えるに有利である。

5. 第3実験

目的 同一音源から数音を出した場合、それらの音方

*便宜上、第2実験D群のもののみを掲げた。

向の定位は振動数によつて分離されるかどうかをみる。

装置 前実験に同じ。

手続 250~, 500~, 900~, 1125~, 1750~, 2000~, 4100~の7音を1音につき10回無作意に呈示する。定位は腕で行う。その他の直接条件は前実験に同じ。音源は次の2個所である。

1) 正中面耳軸の高さの点

2) 上の位置を右45°に水平移動した点

被験者はすべて防響室の入口から眼隠しする。

A群……Prattの命題を知るもの 5名

B群……知らないもの 5名

経 過

Dimmick等は被験者が音源の位置について知つてもその定位には影響をうけないことを仮定して実験を行つたが、本実験では被験者が実際に音源が動かないことを知つた場合には直ちに実験を中止した。各群5名ずつの

Table 4

The average displacements of localizations for each tone (degrees)

P	1		2	
	A	B	A	B
f.				
250	-9.9	-12.3	-5.5	-9.9
500	-1.7	-5.2	2.7	-4.5
900	4.8	-0.8	3.4	-4.1
1125	10.0	4.8	9.7	1.4
1750	13.8	10.5	16.1	8.9
2000	17.1	10.7	21.4	7.1
4100	20.6	19.4	25.6	11.0

被験者からデータを得るためにA群では9名、B群では8名について実験を行つた。

結 果

この場合は定位位置がそのままズレを表わしている。ズレは出来るだけそのままの角度を読みとつた。Table 4は各群のズレの平均値を示すものである。つまり、この条件で行うと、定位は大体振動数の小さい音から大きい音になるに従つて順に上方向に向つて並ぶと云える。この現象は正面のみならず右45°前方に音源がある場合にもみられ、この傾向に関して両群の間には特に違いはない。

考 察

結果は上記の通りであるが、途中で音源が動かないこ

とを知った被験者についてみると両群を通じて7名ある。これは実は、この実験で得られたような結果は一般的なものではなくて特殊の場合に過ぎないということを示すものであるのか、或は実験装置、特に音源に使用したレシーバーの不備の為不動であることを知る手がかりを被験者が得たことによるのかいづれかと考えられる。内観によると少くとも後者の存在することは認められるが、これだけからは何とも云えない。また、1)、2)の場合を通じてA群の方がより上方に大きくズレているが、これもこのことだけからはその意味を知ることは出来ない。

III.

以上の実験を通じて云えることは大略次のようなことである。

1. 振動数の大きい音はその方向定位に際して音源から上方へのズレが大になるか又は下方へのズレが小になる傾向がある。
2. 音源が耳軸より下方にある場合にはズレは概して上方に向い、音源が耳軸より上方にある場合にはズレは多く下方に向う傾向がある。
3. 従つて、このことは定位の中心化傾向を示すものである。
4. 以上のことは被験者の実験に関する知識如何に拘らずみられる。
5. 定位は音源が耳軸の高さにある時には音源のやゝ上方に集まる傾向がある。
6. 上下方向の音方向の知覚は極めて貧弱で、その個人差も個人内のバラツキも極めて大きい。
7. 特に頭部を固定した場合にはそれが甚だしく、また、前後のとり違えが特に低振動数の音に多く出て来る。
8. 頭の真上に音源がある場合の方向知覚は特別の場合として考える必要があるように思われる。
9. 各実験を通じて個人差が極めて大きい、これは各人によつて定位のおちる範囲が違つているのを機械的に平均する方法をとつていところからも来ているものと思われる。

実験の結果、振動数の大きい音は上方へのズレが大となり、または下方へのズレが小になることが確かめられた。色々な考え方もあろうが、こゝではこの「振動数の大小」を再び「音の高低」という言葉にもどすことにする。そしてまた、「上方へのズレが大、または下方へのズレが小」ということを「空間的により高い」ということにおきかえよう。そうすれば結局、この実験の結果をPrattの云う「高い音は現象的に空間の中で高い所に位置づけられる」ということに要約出来るのである。

IV.

1) しかし、上記のことは高い音を無制限な振動数の増加ということに結びつけることを意味しない。本実験でも4100振動の音はすでに一部では例外になりかけているのが見られる。これらについては更に詳細な検討が望ましい。

2) また、音の「高い・低い」をそのまま音高の弁別(pitch discrimination)と結びつけることも危険である。250振動の音は230振動の音よりも高く感ぜられるが、両者を用いて音方向の定位を行つた場合、果して250振動の音の方がより高くズレを示すかどうかは疑問である。

3) 更に考える必要があるのは、本実験では音のエネルギーを一定にしたということである。これに関しては今後少くとも聞えの強さを一定にした場合の吟味が必要と思われる。

4) 更に実験的な吟味としてはTrimbleが行つたような音の振動数の連続的变化を用いた運動感の方面からの検討、及び高低2音を同時に呈示する方法による検討がなされることが望ましく思われる。

5) しかし、いずれにしても実験に際して、先ず定位法及び反応測定法の検討が必要である。

本報告では主として正中面における上下方向の音方向定位の方法により、高い音が空間的に高く位置づけられるかどうかを観察し、現象的には肯定的な結果を得たのであるが、その際の実験手続きにはなお、音源定位一般に附随する問題があり、今後更に吟味すべき点が多くある。また、かりにこれらの危惧を一応一掃して考える場合にも、「高い」という言葉の解釈に多くの制限が加わり、同時にこの命題の適用範囲についての検討が必要であると思われる。

文 献

- 1) Stumpf, C. : Tonpsychologie, 1883, I, 192.
- 2) Wundt, W. : Grundzüge, der physiologischen Psychologie. 1910, II. 78.
- 3) Titchner, E. B. : A text-book of Psychology, 1910, 94.
- 4) Pratt, C.C. : The spatial character of high and low tones. *J. Exper. Psychol.*, 13, 1930, 278~285.
- 5) Dimmick, F. L. & Gaylord, E. : The dependence of auditory localization upon pitch. *J. Exper. Psychol.*, 17, 1934, 593~599.
- 6) Trimble, O. C. : Localization of sound in the anterior-posterior and vertical dimensions of "auditory" space. *Brit. J. Psychol.*, 24, 1934, 320~334.
- 7) 上原晴夫：音の高低の定位に及ぼす影響について、東京大学昭和22年度卒論、未発表。

—1955, 9, 1 受稿—