

実験項目	2 実験 C2 音響に関する実験
校名 科名	熊本高等専門学校 人間情報システム工学科
学年 番号	3 年 42 号
氏名	山口惺司
班名 回数	4 班 1 回目
実験年月日	2023 年 5 月 25 日 木曜 天候 曇り
建物 部屋名	3 号棟 2 階 HIPC 室
共同実験者名	山内玲奈、吉田旺雅、吉村優嘉

1. 実験目的

音の伝達遠く性及び音圧差による音像定位を測定し、音の伝搬及び聴覚現象について理解を深める

2. 実験原理(音響の基礎)

ここでは、本実験に関わる基本事項を概説する。

2.1 音の伝搬

気体および液体の中での音の速度(音速) c は、 $c = \sqrt{K/\rho}$ で与えられる。ここで、 K は媒質の体積弾性率、 ρ は密度である。これらの定数は温度の影響も受けるので標準状態の空気中では、温度 θ °C のとき、 $c = 331.5 + 0.61\theta$ [m/sec] と書ける。

特に温度を指定しないで常温付近のことを考える場合は $c = 340$ m/sec としてよい。

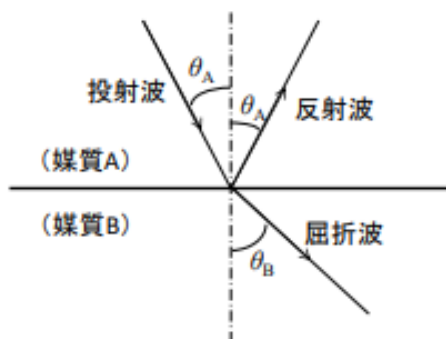
また、音 波は媒質の中の密度変化の波(疎密波)であり、媒質中の音波の進行方向に気圧の 高い部分と低い部分とが生じる。

この変化は周波数が一定の音波では周期的に現れ、1 周期の長さ(距離)を波長という。

したがって、音速 c [m/sec]、周波数 f [Hz]、波長 λ [m] との間には $c = f \cdot \lambda$ の関係があり、常温の空気中で 1kHz の音波の場合、波長は約 34cm となる。音波の伝搬には、光に類似した次のような性質がある。

- ・ **反射**: 媒質変化の境界面や、同一媒体でも密度変化や管(伝搬路)の断面積変化の境界面などで、音波は反射現象を起こす。
- ・ **屈折**: 媒質変化の境界面で、光と同様に屈折 現象を起こす。媒質 A(伝搬速度 C_A)と媒質 B(伝搬速度 C_B)の境界面において、投射波 の入射角 θ_A と屈折波の屈折角 θ_B との間には、 $\sin\theta_A/\sin\theta_B = C_A/C_B$ の関係がある。
- ・ **回折**: 遮へい物の幾何学的な影の中に波動の 影響が入っていく現象であり、その効果は一般に周波数が低い音ほど大きい。

図 1 音の反射及び屈折



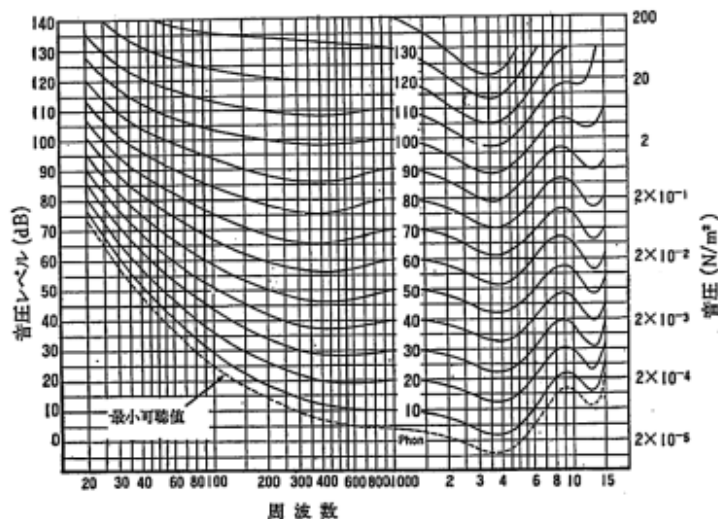
2.2 音圧レベルとラウドネスレベル

音の進行方向に直角な単位面積を単位時間に通過するエネルギーを音の強さという。音波は疎密波なので、圧力の高い部分と低い部分とがあり交流的な気圧変化が発生する。これが音圧であり、音の強さは音圧の 2 乗に比例する。音圧レベル (Sound Pressure Level) とは、ある音圧 p を基準音圧 $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ でデシベル表示 ($\text{SPL} = 20 \log(p/p_0)$ [dB]) したものであり、音の物理的強さを表す。

一方、ヒトが聴覚で感じる音の大きさ (ラウドネスレベル、騒音レベル) は音圧レベルだけではなく、周

波数によっても変化する．ある音の大きさは，等しい大きさ に聞こえる 1,000Hz の純音の音圧レベルで表され，単位にホン（phon）を用いる． 図 2 は等感曲線（等ラウドネス曲線）と呼ばれ，ラウドネスレベルの周波数変 化を等ホン線で表したものである．

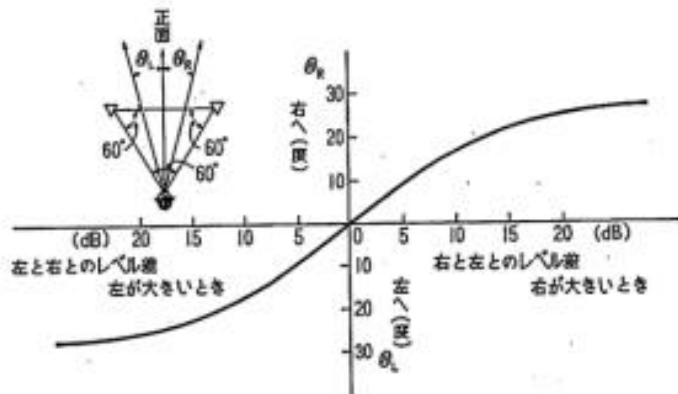
図 2 音の大きさの等感曲線(等ラウドネス曲線)(Hz, kHz)



2.3 ステレオシステムの音像定位

ヒトは音を聴いたとき音源の位置・大きさ・形などを感じ取ることができる．音像とは聴感上の音源のことであり，音像の一定の位置・姿勢を音像定位という．ヒトが音源の方向を識別できるのは，2つの耳が受ける音の微妙な時間差や強度差、響きの違い等を認識するためであり，低周波では主として時間差によって判定し，高周波では強度差によって判定する．ステレオシステムは左右 2 つのスピーカで音像 定位を再生するものである．一例として、ステレオシステムの左右スピーカおよび聴取者の位置関係が正三角形になるように配置し、左右スピーカの音圧レベルを変えて音を 出力した際に、音圧レベル差 が引き起こす音像定位の位置 変化を表したものを図 3 に 示す。図 3 では、左右の音圧レベルが等しいとき，音像は正面に定位し，音圧レベル 差が大きくなるにつれて音像定位は音の大きい方へ偏る．一般的にこの変化は周波 数が高いほど顕著になる．

図 3 音圧レベル差と音が聞こえる方向の関係



2.4 ヘッドホン・イヤホンの音像定位

ヘッドホンやイヤホンで受聴する場合，スピーカとは音像定位のふるまいがやや 異なってくる．例えば左右の音圧レベルの等しい音を聴くとき，スピーカでは正面 前方に定位しやすいが，ヘッドホンでは頭内や頭

上に定位しやすい。またスピーカであれば左チャンネルの音は右耳にも入るが、ヘッドホンでは左耳のみにしか入らないため、より音圧差が広がりやすいといえる。このことから左右方向の定位は分かりやすく、前後方向の定位はしづらくなると考えられる。

3. 実験(スピーカによる実験)

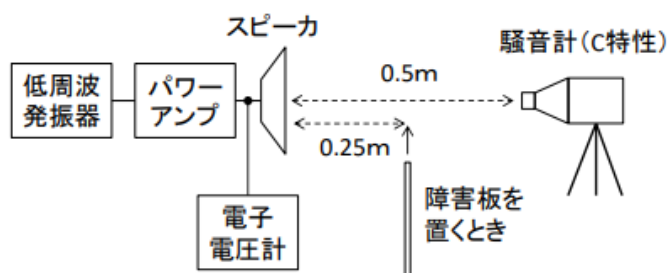
3.1 音の伝達特性

スピーカ正面の距離 0.5m のところに騒音計を置いて音圧レベルを測定する。測定では、スピーカと騒音計との間に障害板が「ないとき」と「あるとき」の2種類の環境下で、周波数特性を求める。

(1)方法

図 4 に実験装置の接続・配置図を示す。障害板を置く場合は、障害板の中央がスピーカと騒音計の中間地点（スピーカから約 25cm の距離）に位置するよう置く。

図 4 実験装置の接続・配置図



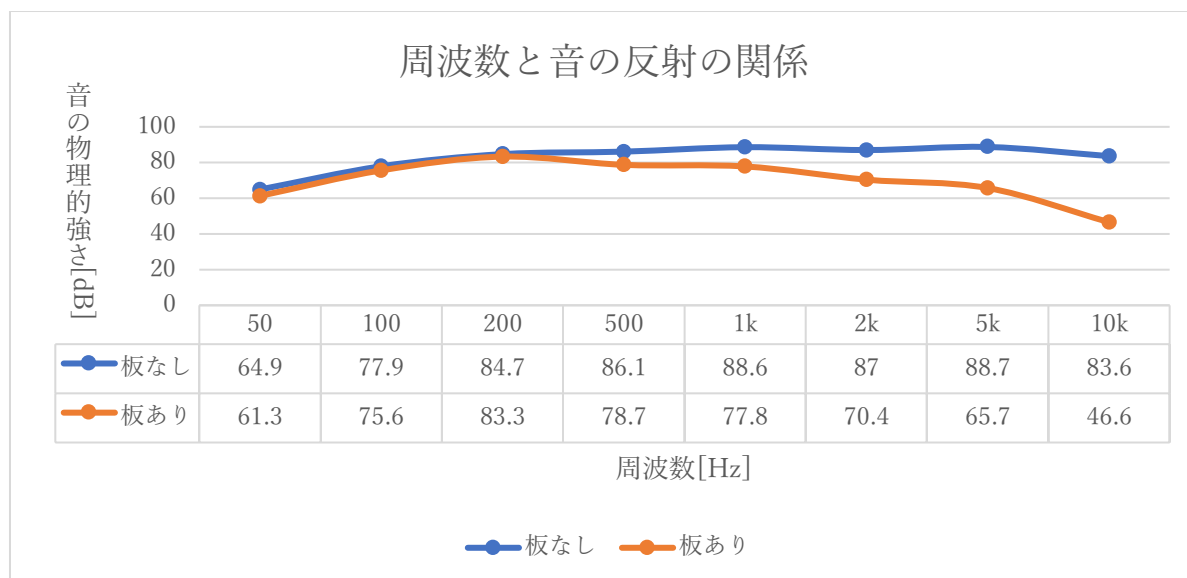
(2)測定手順

1. 低周波発振器の周波数を 50Hz、出力電圧を 0.5V～1V 程度にセットする。
2. パワーアンプのボリュームを回してスピーカの入力電力が 0.25W（スピーカが 8Ω の場合、端子電圧（電子電圧計）が 1V）になるように調整する。
3. 障害板を置かない時の音圧レベルを騒音計で読み取る。
4. 障害板をスピーカと騒音計の間に置き、音圧レベルを騒音計で読み取る。
5. 低周波発振器の周波数を 100Hz, 200Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 5kHz, 10kHz に変化させ、2～4 を繰り返す。

(3) 結果

測定結果から周波数（対数目盛）に対する音圧レベルの変化をグラフに描く。このとき、障害板が「ないとき」と「あるとき」とを比較しやすいように同一座標に描く。

図5 周波数と音の反射の関係



4. 実験(ヘッドホン・イヤホンによる実験)

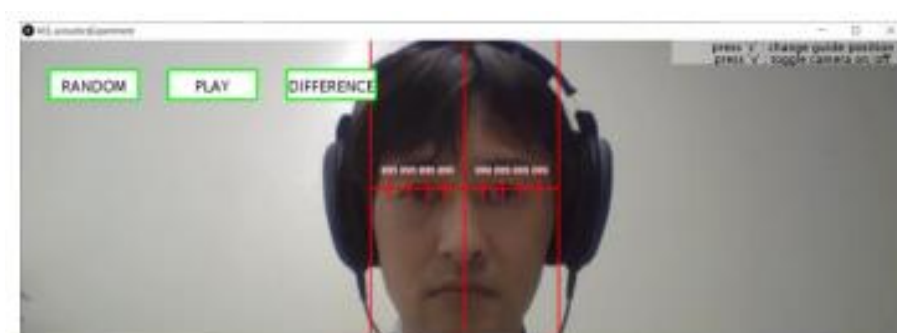
本実験はパソコン室で PC とイヤホンまたはヘッドホンを使って行う。スピーカによる実験同様に実験中はできるだけ静寂を保つことを心掛ける、

(1)方法

図6に示すような Processing で作られた測定用プログラムを用いて測定を行う。当該プログラムはランダムに音圧差を変えた sin 音を出力するものである。また USB カメラで聴取者の顔映像を撮影し、左右方向の音像定位を数値化したガイド線(赤色)を投影する。

被験者はランダムな音圧差の sin 音を聞いてその音像定位を主観評価値で回答する。そして主観評価値と音圧差の値の組を多数収集し、Excel で整理、解析する。

図6 実験装置の接続・配置図



(2)測定手順

1. USB カメラおよびヘッドホン/イヤホンを PC に接続する。
2. Processing で作られた実験用プログラムを WebClass からダウンロードする。
3. Processing プログラムを実行する。
4. 次のことを 30 回以上繰り返して測定を行う。

(ア)被験者の手前に USB カメラを固定し、被験者の顔がカメラの正面に映るように

する。

(イ)マウスを耳の辺りに合わせて c を押し、主観評価のガイド軸の幅を設定する。

(ウ) RANDOM ボタンを押すことで、定位をランダムに変える。

(エ) PLAY ボタンを押し、音を再生する。このとき、音が頭内のどこに定位したかを主観的に推測する。その場所は左耳を-1、中央を 0、右耳を 1 とした範囲の数値で考える。音の聴き直しは何度行っても構わないものとする。

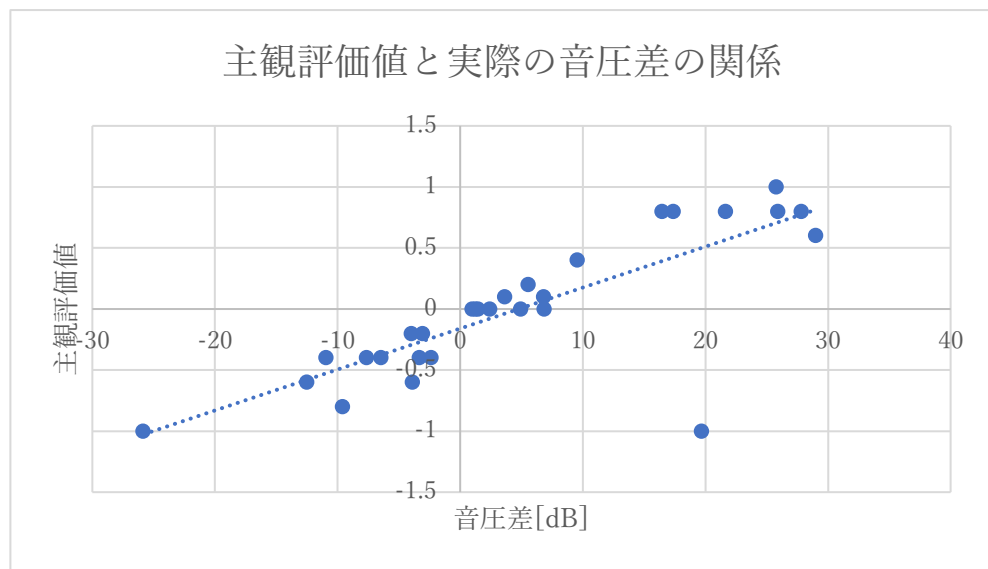
(オ) 手順(イ)で推測した定位の値を実験ノートに記録する。

(カ) DIFFERENCE ボタンを押し、"diff"の欄に表示された左右の音の音圧差を実験ノートに記録する。

(3)結果の整理および考察

1. 実験結果の整理として、収集した値を Excel で表にまとめ、横軸を左右の音の音圧差、縦軸を主観評価値とした散布図のグラフを描く。

図 7 主観的価値と実際の音圧差の関係



このグラフの近似曲線の傾きは 0.0355、切片は-0.1599

つまり、 $y = 0.0335x - 0.1599$ である。

また、回帰直線と主観評価値との間の二乗誤差の平均は約 0.11 となった。

5. 研究課題

「音場再生」「音場制御」について調査し、マルチチャンネル再生やバイノーラル再生のことに触れつつ説明せよ。

まず、音場というものは音が存在する場所のことを言い、音場再生とはある音場を別の場所で再現しようとする技術のことである。例えばコンサートホールの響きを別の場所で再現すること。

また、3つ以上の複数の音源を使用した音場再生のことをマルチチャンネル再生という。

バイノーラル再生は2チャンネルの音響信号を両耳で再生する方法である。録音には人間の耳での聴取を模擬した録音方法と、ダミーヘッドを用いた録音方法がある。

スピーカから左右の耳に至る音のレベル差、及び位相差によって音像の位置を操ることができ、これをうまく制御することでどの楽器をどこに配置して、この音はここで鳴らして、といった具合に製作者の意図した音場を作

り出すことを音場制御という。

6. 参考文献

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jasj/67/11/67_KJ00007629159/_pdf

<https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/research/information/artdesign/design/2019/design30/>