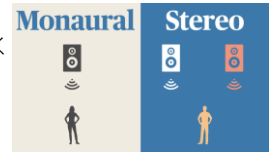


# 立体音響の開発に向けた基礎研究

5年 ●●  
指導教員 ●●●

## 研究概要

これまで対面で行われていた授業や会議が、コロナの影響によりzoom会議などオンラインで行われることが多くなる傾向がある。通常のテレビ会議システムではモノラル録音であるとする、話者の位置が特定できない。そこで、「立体音響」であれば臨場感の付け足されたよりよいオンライン空間を作り出せると予想した。今回バイノーラルマイクの作成を試み、左右の聞き分けができるところまで研究を行った。



## はじめに

### 研究動機

コロナによるオンライン授業の際、グループでの話し合いで複数人が同時に話し出した瞬間、誰が話そうとしたのか聞き分けが出来なかった。  
▶カメラonの状態でも話者の位置が分からなかった  
▶視覚的な問題ではなく、聴覚的な問題なのではないか

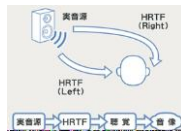


オンライン授業や会議でもリアリティのある空間を作りたい  
そのために立体音響を研究したい

### 先行調査

#### ①頭部伝達関数(HRTF :Head-Related Transfer Function)

耳殻、頭蓋骨および肩まで含めた周辺物によって生じる音の変化を伝達関数として表現したもの。人はこの伝達特性を経験的に利用し、音の空間的方向・距離を認知している。

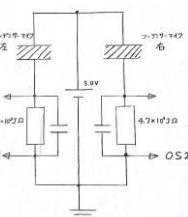


#### ②バイノーラルマイクの作成

サイトを参考にしてバイノーラルマイクを作成した。

#### 作成方法

100円のイヤホン(2個)からマイク部分を取り除く。  
コンデンサーマイクとステレオミニプラグを同軸ケーブルにはんだ付けする。  
電源(3V)と抵抗(4.7kΩ)を接続し、オシロスコープでパルス波の波形を観察



#### 問題点と解決

- マイクの拾う音量が小さい  
▶電圧(5V)と抵抗(4.7kΩ×2)と大きくすることで改善  
ホワイトノイズが入る
- ▶コンデンサーを入れ、低周波雑音をカットする
- ▶アルミホイルで回路を覆い外からの電磁波を除去  
完成した回路が【図1】である

バイノーラルマイクを使用して波形を観察すると 【図1】バイノーラルマイクの回路図  
立体音響特有の波形がみられると予想していたが、通常のマイクが拾う波形との差を読み取れそうになかった

## 実験1

**目的**  
音源の方向の違いが受信波形に及ぼす影響を調べる

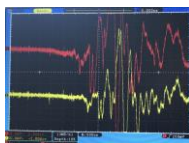
**仮説**  
右耳に届く音と左耳に届く到達時間の差により左右の聞き分けが可能になっているのではないかと。

**実験内容**  
回転盤の上に2つのマイクを15cm隔てて取り付ける。  
正面を0°とし、1m離れた所でパルス波(手を叩く音)を出し、マイクの波形をオシロスコープで観察する。  
実験装置を左右に45°, 90°, 135°と回転させ、パルス音を観察する。



#### 実験結果

- 例えば90°傾けたとき【図2】
- ①右耳(赤)と左耳(黄)で波形到達時間が440μsずれた。
- ②波形の最大変位は右耳(赤)の方が大きい。



#### 実験結果から分かることと予想

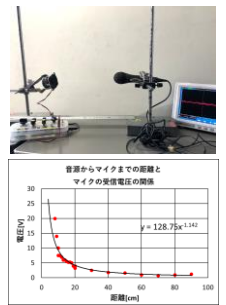
- ①音速から求めた時間のずれ(440μs)と一致する
- ②音源に近い方がマイクの拾う電圧は大きくなる  
よって、左右の聞き分けは波形の時間差と強度の違い【図2】赤:右耳,黄:左耳の二点が考えられる

## 実験2

**目的**  
音源の距離と受信する音波強度の関係を調べる

**仮説**  
マイクの電圧は距離の2乗に反比例する

**実験内容**  
図のようにマイクを固定し、スピーカーをマイクから遠ざけながら受信波形の変化をオシロスコープで記録する。マイクとスピーカーの距離を  
①0cm、10cm、20cm...と10cm刻み  
②1cm、2cm、3cm...と1cm刻みの2パターンの遠ざけ方で記録を行った



**結果**  
グラフの近似式より、マイクの電圧は距離の1.1乗に反比例する

## 実験3

**目的**  
実験1と実験2より得られた結果  
①真横の場合、音速から求めた左右の時間のずれ(440μs)と一致する  
②マイクの拾う電圧は音源からの距離の1.1乗に反比例する  
これらを基にシミュレーションソフトgrapesで立体音響を作成し確認する

・音源再生

PlayAfter(x,0.1, ( g(x), f(x) ))

作成 f<sub>2</sub> 関数定義

x=時間, v=音速, k=基本振動数(880Hz)

- ・右耳音源
- ・左耳音源
- ・画面上のx座標を変換
- ・画面上のy座標を変換
- ・右耳からの距離
- ・左耳からの距離

$$f(x) = \frac{s}{f_3(x)^{1.1}} \cdot \sum_{n=1}^8 \text{Cells}(n, 1) \sin(2\pi nk(x - \frac{f_3(x)}{v}))$$

$$g(x) = \frac{s}{f_4(x)^{1.1}} \cdot \sum_{n=1}^8 \text{Cells}(n, 1) \sin(2\pi nk(x - \frac{f_4(x)}{v}))$$

$$h(x) = \frac{Px - Cx}{2} \cdot \frac{Cx - Dx}{Dy - Cy} \cdot \frac{a}{2 \cdot Cx}$$

$$f_1(x) = \frac{(Py - Cy) \cdot b}{Dy - Cy}$$

$$f_3(x) = \sqrt{(h(x) - \frac{c}{2})^2 + (f_1(x) + d)^2}$$

$$f_4(x) = \sqrt{(h(x) + \frac{c}{2})^2 + (f_1(x) + d)^2}$$

【シミュレーション手順】

- ・話者の位置を指示
- ・Play Afterをクリック
- ・イヤホンで聞く  
(青波形: 右耳)  
(赤波形: 左耳)

## まとめ

**分かったこと**  
・音量を揃えて、時間差をつけても左右の聞き分けは判断できなかった  
・音量の大小によって左右の聞き分けは明確になった  
→人の位置を音に変換するシミュレーションに成功

**今後の課題**  
・左右の時間差による効果を今後詳しく調べたい  
▶正弦波形だけでなく、日常音を使用して時間差の効果を調べる  
・録音方法と、録音データをスピーカーから出すプログラムの開発  
・視覚的な効果について立体音響と絡めて研究したい  
・上下前後の立体音響の作成方法を研究したい

**発展**  
CD録音を立体音響に変換してlive映像などをより臨場感のあるものにする  
(例)ドビュッシーやチャイコフスキーが自ら録音したものなどの音にモノラル録音されたオーケストラのCDを立体音響に再現