

立体音響の開発に向けた基礎研究

6年A組 今井 桃

指導教員 米田 隆恒

1. 要約

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が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、音源の数が増えても左右の聞き分けができるところまで研究を行った。

2. 研究の背景と目的

オンライン授業でグループディスカッションを行う際、複数人が同時に話し始めてしまったとき、誰が話そうとしたのかという点まで特定できず、混乱を生んだ。カメラがオンであっても同じ状況になったため、この混乱の原因は音響環境にあるのではないかと考えた。もし、オンライン空間でも音像定位が可能になる立体音響であれば、よりリアリティもあり、会議環境等を改善できるのではないかと予想したのがテーマ設定の動機である。

3. 研究内容

3. 1 バイノーラルマイクの作成

使用した材料はコンデンサーマイク、イヤホン、平行シールドケーブル、3.5mm ミニプラグ、熱収縮チューブ、はんだごて、グルーガン、ペンチ



〈作成手順〉

- ① 市販のイヤホンを分解して外装のハウジングだけにする
- ② コンデンサーマイクに、ケーブルのプラスとグラウンドに分かれている二つの線を短時間ではんだ付けする
- ③ 3.5 mm ステレオミニプラグの同軸ケーブル、シールド線をはんだ付けする

電源 (3 V) と $4.7 \text{ k}\Omega$ の抵抗を接続し、オシロスコープでパルス波の波形を観察した。マイクの拾う音量が小さいという問題点を電圧 (5 V) 抵抗 ($4.7 \text{ k}\Omega$) に変更することで改善した。また、ホワイトノイズが入るという問題点に関してはコンデンサーを入れて低周波雑音をカットすることや、アルミホイルで回路を覆い外からの電磁波を除去することで改善した。

バイノーラルマイクを使用して波形を観察すると、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。

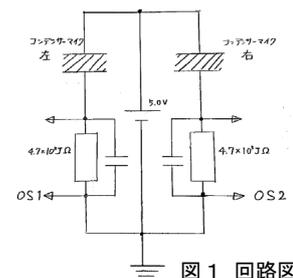


図 1 回路図

3. 2 音源の方向と受信波形の関連を調べる実験

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いう仮説を立て、音源の方向による受信波形への影響を調べる実験を行った。

〈実験内容〉

- ① 回転盤の上に2つのマイクを15 cm 隔てて取り付ける
- ② 正面を0°とし、1 m 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
- ③ 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



実験結果としては、90°傾けたときは図2のように、右耳(赤)と左耳(黄)で波形到達時間が440 μs ずれ、波形の最大変位は右耳(赤)の方が大きい。

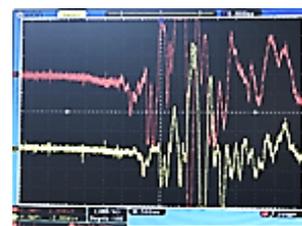


図2 上:右耳,下:左耳

〈実験結果から分かることと予想〉

音速から求めた時間のずれ(440 μs)と一致するという事実と、音源に近い方がマイクの拾う電圧は大きくなることがこの実験から示された。よって、左右の聞き分けは波形の時間差と強度の違いの二点が考えられる

3. 3 音源の距離と受信する音波強度の関係調べる実験

マイクの電圧は距離の2乗に反比例するという仮説を立て、音源の距離と受信する音波強度の関係を調べる実験を行った。

〈実験内容〉

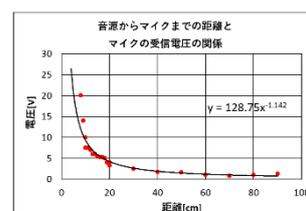
図のようにマイクを固定し、スピーカーをマイクから遠ざけながら受信波形の変化をオシロスコープで記録する。

マイクとスピーカーの距離を

- ① 0 cm、10 cm、20 cm...と10 cm 刻み
- ② 1 cm、2 cm、3 cm...と1 cm 刻み (近い所)

の2パターンの遠ざけ方で記録を行った

実験結果は、グラフの近似式よりマイクの電圧は距離の1.1乗に反比例することが分かった。



3. 4 今までの実験結果を基にシミュレーションを行う

〈3.2 と 3.3 の実験より得られた結果〉

- ① 真横の場合、音速から求めた左右の時間のずれ(440 μs)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を行い、実際に音像定位が作成されるかを確認する。

正弦波の合成波だけでなく人の肉声や日常音を音源から流すとより音像定位が明確にな

ると予想した。日常音を音源とするにはプログラミングをする必要があるため、Excel の VBA 言語を学んで適用しようと試みたが、短期間で完成するには難易度が高く、時間の関係上中止した。そこで、grapes のシミュレーションの音源を二つ作るという方針に変更した。

PlayAfter(x,0.3, (f2(x), f5(x)))

・音源再生

点を結ぶ 連結図形

作成 f_x 関数定義 x=時間,v=音速,
k=基本振動数(880Hz)

$f_3(x) = \frac{s}{f_3(x)^{1.1}} \cdot \sum_{n=1}^8 \text{Cells}(n, 1) \sin\left(2\pi nk\left(x - \frac{f_3(x)}{v}\right)\right)$ ・右耳音源

$f_4(x) = \frac{s}{f_4(x)^{1.1}} \cdot \sum_{n=1}^8 \text{Cells}(n, 1) \sin\left(2\pi nk\left(x - \frac{f_4(x)}{v}\right)\right)$ ・左耳音源

$h(x) = \frac{P \cdot x - C \cdot x}{2} - (P \cdot y - C \cdot y) \cdot \frac{C \cdot x - D \cdot x}{D \cdot y - C \cdot y} \cdot \frac{a}{2 \cdot C \cdot x}$ ・画面上のx座標を変換

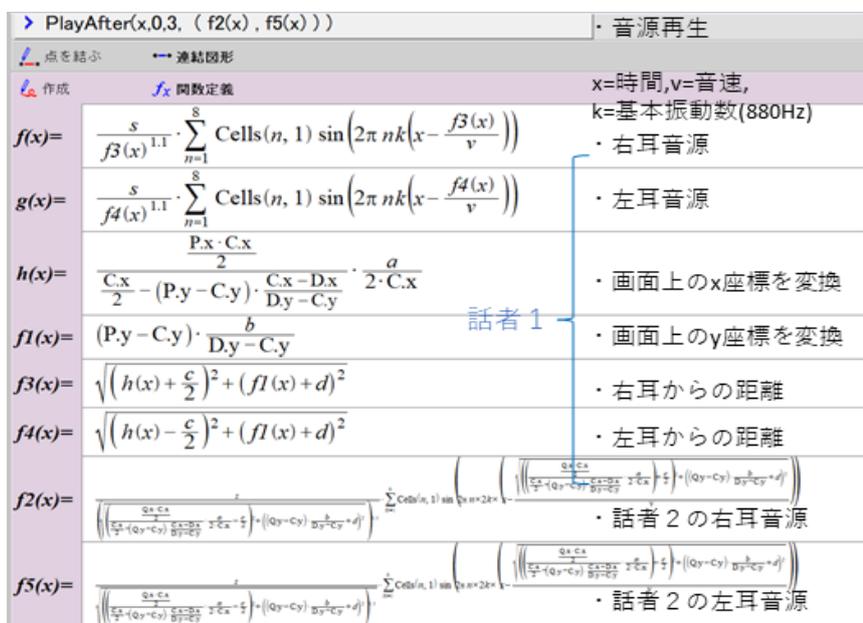
$f_1(x) = (P \cdot y - C \cdot y) \cdot \frac{b}{D \cdot y - C \cdot y}$ 話者1 ・画面上のy座標を変換

$f_3(x) = \sqrt{\left(h(x) + \frac{c}{2}\right)^2 + (f_1(x) + d)^2}$ ・右耳からの距離

$f_4(x) = \sqrt{\left(h(x) - \frac{c}{2}\right)^2 + (f_1(x) + d)^2}$ ・左耳からの距離

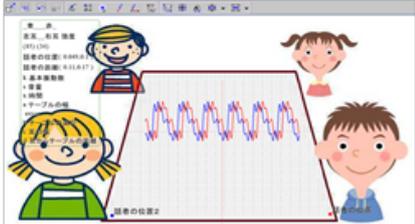
$f_2(x) = \sum_{n=1}^8 \text{Cells}(n, 1) \sin\left(2\pi n k \cdot \left(\frac{\frac{Q \cdot C \cdot x}{\sqrt{\frac{C^2}{2} \cdot (Q \cdot y - C \cdot y)^2 + \frac{C^2}{2} \cdot (D \cdot y - C \cdot y)^2}}}{\sqrt{\frac{C^2}{2} \cdot (Q \cdot y - C \cdot y)^2 + \frac{C^2}{2} \cdot (D \cdot y - C \cdot y)^2}} \cdot \frac{C \cdot x - D \cdot x}{D \cdot y - C \cdot y} \right) + (Q \cdot y - C \cdot y) \cdot \frac{b}{D \cdot y - C \cdot y} \right)$ ・話者2の右耳音源

$f_5(x) = \sum_{n=1}^8 \text{Cells}(n, 1) \sin\left(2\pi n k \cdot \left(\frac{\frac{Q \cdot C \cdot x}{\sqrt{\frac{C^2}{2} \cdot (Q \cdot y - C \cdot y)^2 + \frac{C^2}{2} \cdot (D \cdot y - C \cdot y)^2}}}{\sqrt{\frac{C^2}{2} \cdot (Q \cdot y - C \cdot y)^2 + \frac{C^2}{2} \cdot (D \cdot y - C \cdot y)^2}} \cdot \frac{C \cdot x - D \cdot x}{D \cdot y - C \cdot y} \right) - (Q \cdot y - C \cdot y) \cdot \frac{b}{D \cdot y - C \cdot y} \right)$ ・話者2の左耳音源



【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
(赤波形：右耳)
(青波形：左耳)



4. 今後の展望

今回使用した音源は正弦波の合成波だったので単調な音しか出なかった。今後は正弦波だけでなく、日常音の音源を使用したい。そのためには日常音の録音方法と、録音データをスピーカーから出すプログラムの開発が必要である。また、上下前後の立体音響の作成方法や視覚的な効果についても今後研究していきたい。

5. 参考文献

- [1]バイノーラルマイクの作り方 <https://asmrlabo.com/binauralmic-jisaku/>
 [2]友田勝久：「GRAPES パーフェクトガイド」, 文英堂, 2003.

6. 謝辞

今回の研究を行うにあたり、奈良女子大学生生活環境学部の鴨浩靖先生、顧問の米田隆恒先生には多大なご指導を賜りました。深くお礼申し上げます。