

平成 26 年度
プロジェクト研究報告書

左右の補聴器のマイクロホンアレー化による雑音除去

1150302 金元祐樹

指導教員 福本 昌弘

2015 年 3 月 1 日

高知工科大学 情報学群

要旨

左右の補聴器のマイクロホンアレー化による雑音除去

金元祐樹

近年、補聴器の性能向上のため非常に手頃で扱いやすくなっている。しかし、難聴者の方でも補聴器を使わない人が多くいる。その理由として、聞きたい音が聞き取れない、どこから音がしているか判断ができないというものがある。これを改善するためには、聞き取りたい音の方向の補聴器から出力される音だけを大きくする必要がある。そのためには音源方向の特定をする必要がある。一つの補聴器で聞き取りたい音の方向を推定するには推定範囲が限定されており、左右方向に対しての音の増幅が困難である。二つの補聴器を用いることで音源方向の推定できる範囲が広くなり、左右方向に対しての音の増幅も可能になる。しかし、左右の補聴器で到達時間差の推定を行う際には、マイク間に頭部が存在するため、到達時間差に影響を与えられられる。

本研究では、実際に両耳に補聴器を着用した状況を想定し、2本のマイクを用いて頭部の特性について検証をおこなっている。マイク間に遮蔽物を置かない場合、マイク間に頭部が存在する場合、ダミーヘッドを用いた場合の3つの方法で録音したデータを使用し、相互相関関数を用いて2本のマイクに入力される音声信号のから到達時間差を計測している。また、到達時間差から音源方向の位置推定を行い、実際の音源位置と比較を行っている。その結果、頭部を迂回して届く音が到達時間差に影響を与えることから音源方向の推定に、ずれが生じたことを確認している。

キーワード 相互相関関数 到達時間差 音源方向推定

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景と目的	1
1.2	本論文の構成	2
第 2 章	音源方向の推定方法	3
2.1	音源方向推定技術	3
第 3 章	相互相関関数を用いた音源方向の推定	5
3.1	到達時間差の推定	5
3.2	音源方向推定実験	7
3.2.1	処理の流れ	7
3.2.2	到達時間差の推定結果	9
3.2.3	考察	17
第 4 章	結論	22
4.1	まとめ	22
4.2	今後の課題	22
	謝辞	23
	参考文献	24

目次

2.1	音源方向の推定方法	3
3.1	二つのマイクロホンで観測される信号	6
3.2	相互相関係数の類似度評価	7
3.3	処理の流れ	8
3.4	サンプル数のずれ	9
3.5	録音点: $1.2 \times 1.3\text{m}^2$	10
3.6	録音点: $1.7 \times 1.7\text{m}^2$	10
3.7	2本のマイクでの音源推定: $1.2 \times 1.3\text{m}^2$	18
3.8	2本のマイクでの音源推定: $1.7 \times 1.7\text{m}^2$	19
3.9	マイク間に頭部が存在する場合の音源定位: $1.2 \times 1.3\text{m}^2$	19
3.10	マイク間に頭部が存在する場合の音源定位: $1.7 \times 1.7\text{m}^2$	20
3.11	ダミーヘッドの場合の音源定位: $1.2 \times 1.3\text{m}^2$	20
3.12	ダミーヘッドの場合の音源定位: $1.7 \times 1.7\text{m}^2$	21

表目次

3.1	遮蔽物がない時の到達時間差:1.2 × 1.3m ²	11
3.2	遮蔽物がない時の到達時間差:1.7 × 1.7m ²	12
3.3	マイク間に頭部が存在する時の到達時間差:1.2 × 1.3m ²	13
3.4	マイク間に頭部が存在する時の到達時間差:1.7 × 1.7m ²	14
3.5	ダミーヘッドを用いた時の到達時間差:1.2 × 1.3m ²	15
3.6	ダミーヘッドを用いた時の到達時間差:1.7 × 1.7m ²	16

第 1 章

序論

1.1 背景と目的

近年、補聴器の性能向上のため非常に手頃で扱いやすくなっている。しかし、難聴者の方でも補聴器を使わない人が多くいる。その理由として、聞きたい音が聞き取れない、どこから音がしているか判断ができないというものがある。これを改善するためには、聞き取りたい音の方向の補聴器から出力される音だけを大きくする必要がある。そのためには音源方向の特定をする必要がある。一つの補聴器で聞き取りたい音の方向を推定するには推定範囲が限定されており、左右方向に対しての音の増幅が困難である。二つの補聴器を用いることで音源方向の推定できる範囲が広くなり、左右方向に対しての音の増幅も可能になる。しかし、左右の補聴器で到達時間差の推定を行う際には、マイク間に頭部が存在するため、到達時間差に影響を与えたと考えられる。

本研究では、実際に両耳に補聴器を着用した状況を想定し、2本のマイクを用いて頭部の特性について検証をおこなう。マイク間に遮蔽物を置かない場合、マイク間に頭部が存在する場合、ダミーヘッドを用いた場合の3つの方法で録音したデータを使用し、相互相関関数を用いて2本のマイクに入力される音声信号のから到達時間差を求め、音源方向の推定を行う。それぞれのデータの結果を比較し、マイク間に頭部がある場合とない場合では音源方向推定にどのような影響が発生するのか確認を行う。

1.2 本論文の構成

1.2 本論文の構成

本論文の構成について述べる。第 2 章では音源方向の推定に用いる技術について述べる。第 3 章では相互相関関数の説明と実際に 2 本のマイクを用いての到達時間差を求め、推定した音源方向と実際の音源方向を比較し考察する。第 4 章で本論文のまとめと今後の課題を述べる。

第 2 章

音源方向の推定方法

2.1 音源方向推定技術

音源方向の推定に相互相関関数を用いた方法がある。この方法は複数のマイクに到達する音声信号の時間差から音源方向を推定する手法である。相互相関関数は、従来から聴覚の音源定位の基本的な計算モデルとして用いられ、多くの検討がなされており、補聴器への導入にも力が入れている。この技術を用いて、聞き取りたい音の方向の推定を行う必要がある。

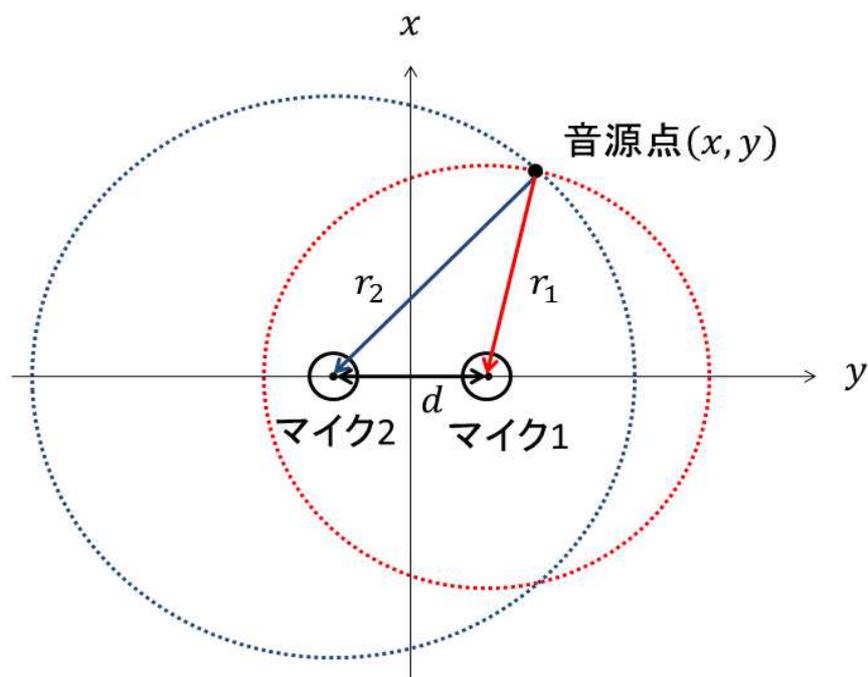


図 2.1 音源方向の推定方法

2.1 音源方向推定技術

2本のマイク、マイク1、マイク2を用いて到達時間差により音原点の推定を行う際は図2.1の用になる。2本のマイクの距離を d 、到達時間差を τ 、音速を c とする。マイク1、マイク2と音源点との距離を r_1 、 r_2 とし r_1 の値は定まっているものとする。この時 r_2 を求める式は(2.1)となる。また、求めたい音原点を (x,y) とする。音原点 (x,y) は、マイク1を中心とした半径 r_1 の円とマイク2を中心とした半径 r_2 の円の交点から求めることができる。マイク1を中心とした円の式を(2.2)、マイク2を中心とした円の式を(2.3)とする。この時、求めたい音原点 (x,y) を求める式は(2.4)、(2.5)となる。

$$r_2 = r_1 + c\tau \quad (2.1)$$

$$\left(x - \frac{1}{2}d\right)^2 + y^2 = r_1^2 \quad (2.2)$$

$$\left(x + \frac{1}{2}d\right)^2 + y^2 = r_2^2 \quad (2.3)$$

$$x = \frac{(r_2^2 - r_1^2)}{2d} \quad (2.4)$$

$$y = \sqrt{r_1^2 - \left(x - \frac{1}{2}d\right)^2} \quad (2.5)$$

二つの補聴器を用いての音源方向の推定について考える。二つの補聴器を用いることで音源方向の推定できる範囲が広くなり、左右方向に対しての音の増幅も可能になる。しかし、左右の補聴器で到達時間差の推定を行う際には、マイク間に頭部が存在するため、頭部を迂回してマイクに届く音や、頭部を伝ってマイクに届く音などの影響により、正確に到達時間差を測ることができないと考えられる。実際に両耳に補聴器を着用した状況を想定し、相互相関関数を用いて位置推定を行った際にどのような影響があるか検証を行う。2本のマイクで到達時間差を計測したデータ、2本のマイク間に頭部が存在する状態で到達時間差を計測したデータ、ダミーヘッドで到達時間差を計測したデータを用いて比較を行う。

第 3 章

相互相関関数を用いた音源方向の推定

本章ではまず相互相関関数について説明し、次に実際に今回行う時間差を求めるための処理の大まかな流れを述べる。その後、相互相関関数を用いて時間差を求める過程を説明し、各状況下で得られた結果を比較し、最後に考察をする。

3.1 到達時間差の推定

1つの目的音から2つの観測点に到達する音声信号の差から相互相関関数を用いて時間差を推定し、観測点からの音源の方向を推定することができる。相互相関関数は複数の観測点に到達する音声信号の時間差を求め音源方向を推定するために使われる手法である。目的音から観測点までの距離の差 $d[\text{m}]$ によって音の到達に時間差 $s[\text{sec}]$ が生じるため、観測される信号に位相差が発生する。一定の間隔で並べた2本のマイクロホンで受信した信号は、図 3.1 に示すように時間軸のずれを除けば類似した信号であるといえる。相互相関関数を用いて位相差の違いを利用することで到達時間差を推定することができる。

目的音から観測点までの到達時間差 s を推定するには、まず評価したい二つのデジタル信号の相互相関係数を求める必要がある。評価したい2つのデジタル信号を (3.1)、(3.2) とし、デジタル信号のサンプル数を N とする。

$$f = \left[f_0, f_1, \dots, f_{N-1} \right]^T \quad (3.1)$$

3.1 到達時間差の推定

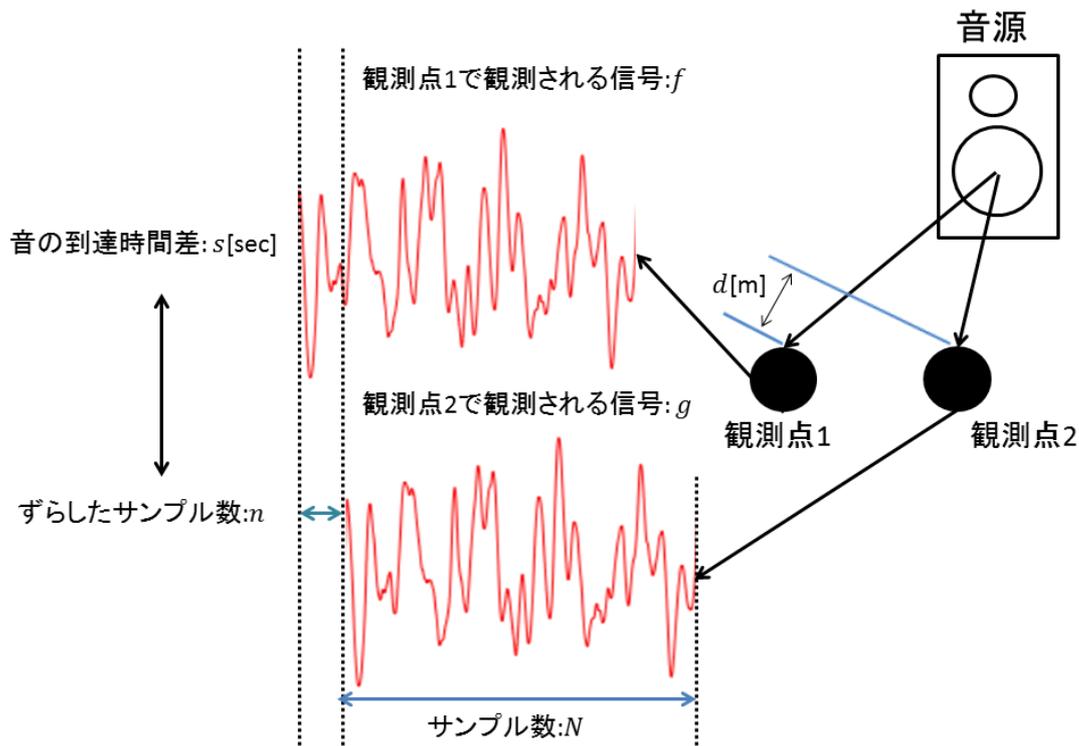


図 3.1 二つのマイクロホンで観測される信号

$$g = [g_0, g_1, \dots, g_{N-1}]^T \quad (3.2)$$

この時、相互相関係数 R は (3.3) と定義される。

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f_i g_{i+n}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f_i^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (g_{i+n})^2}} \quad (3.3)$$

この式は、信号 f の時間軸はそのまま固定して、信号 g を n サンプルだけ平行移動させて得ることのできる信号 (3.4) との内積を計算している。

$$g^{(n)} = [g_{0+n}, g_{1+n}, \dots, g_{N-1+n}]^T \quad (3.4)$$

この相互相関係数 R は、観測した信号同士の類似度を評価するものであり、この相関係

3.2 音源方向推定実験

数の絶対値が1に近いほど音声信号は類似していると言え、0に近いほど類似性が低い。この類似評価を、1つの信号の軸を固定した状態で、もう一方の信号のみをサンプルサイズ数ずらしながら行う。この類似評価の流れを図3.2に示す。相互相関係数が最も大きい場合のずらしたサンプル数 n が2つの信号の時間軸のずれである。この様に、相互相関関数を用いて、頭部や体の反射による影響下で音源方向の特定に必要な到達時間差の推定を行う。

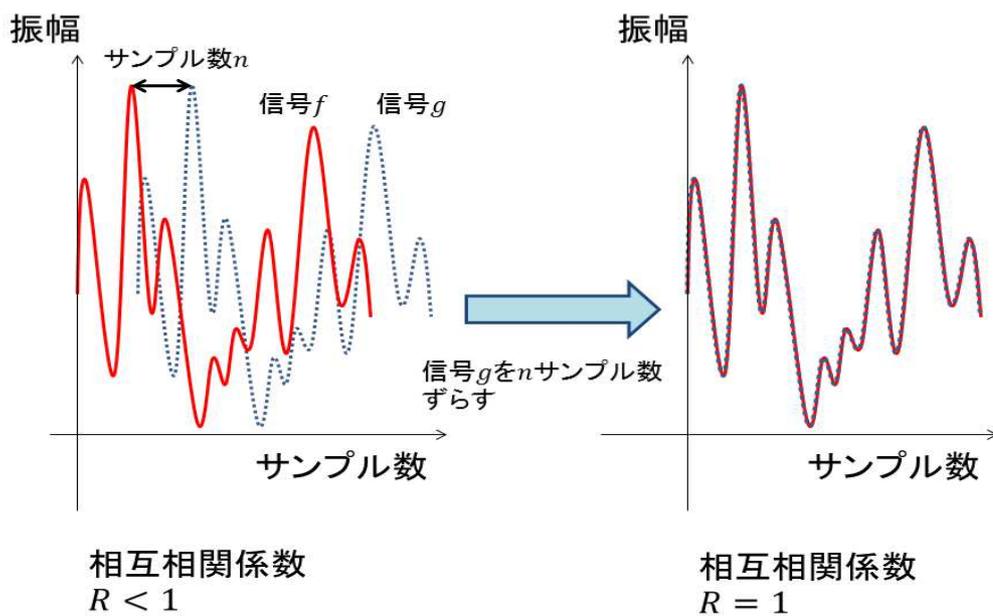


図 3.2 相互相関係数の類似度評価

3.2 音源方向推定実験

3.2.1 処理の流れ

時間差を推定する処理に用いる目的音として人の音声を使用し、2本のマイクロホンに録音した音声信号を利用する。この音声信号に対して相互相関関数を用い、2本のマイクロホンの到達時間差を推定する。その後、到達時間差から音源方向の推定を行う。大まかな流れを図3.3に示す。

3.2 音源方向推定実験

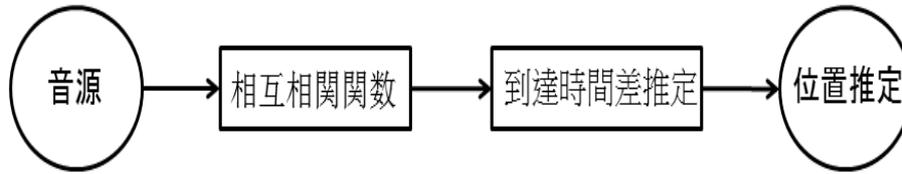


図 3.3 処理の流れ

頭部や体の反射による影響下での目的音の到達時間差推定実験の方法について説明する。サンプリング周波数を 44.1kHz、音速を 340m/s とする。また、 $1.2 \times 1.3\text{m}^2$ の場所と $1.7 \times 1.7\text{m}^2$ の場所で録音を行い、2 本のコンデンサマイクを 0.2m の間隔で配置し、目的音には人の声を用い、マイクロホンに入力された音声信号から到達時間差を推定する。各場所から発する音を、マイク間に遮蔽物を置かない場合、マイク間に頭部が存在する場合、ダミーヘッドを用いた場合の 3 つの方法で録音した。この録音した音声の到達時間差の推定を行った。

相互相関関数を用い、2 本のマイクに到達した信号の類似度を評価していき、相互相関係数が最も大きくなる場所まで片方の信号をずらした。図 3.4 の用にサンプル数 n のずれから到達時間差 s を求める。サンプリング周波数が 44.1kHz であるので、到達時間差 s を求める式は (3.5) となる。この到達時間差から 2 本のマイク音源までの距離差 d を求めることができる。今回は音速を 340m/s と定めて実験を行ったので、距離差 d を求める式は (3.6) となる。この距離差から音源方向の推定を行った。

$$s = \frac{n}{44100} \quad (3.5)$$

$$d = 340s \quad (3.6)$$

3.2 音源方向推定実験

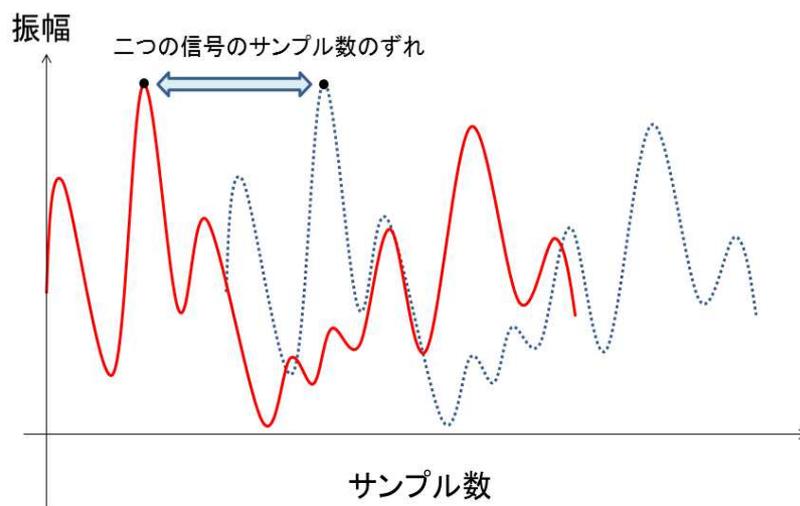


図 3.4 サンプル数のずれ

3.2.2 到達時間差の推定結果

到達時間差の推定実験を行った結果を示す。1.2 × 1.3m² の場所で音源の位置を変えて 7 回、1.7 × 1.7m² の場所で 24 回行った。実際のマイクロホンの位置と音源の位置は図 3.5 と図 3.6 に示す。また、2 本のマイクロホンの間に遮蔽物がない場合と、間に頭部が存在する場合、ダミーヘッドを用いた場合の到達時間差をそれぞれ表 3.1 と表 3.2、表 3.3 と表 3.4、表 3.5 と表 3.6 に示す。

3.2 音源方向推定実験

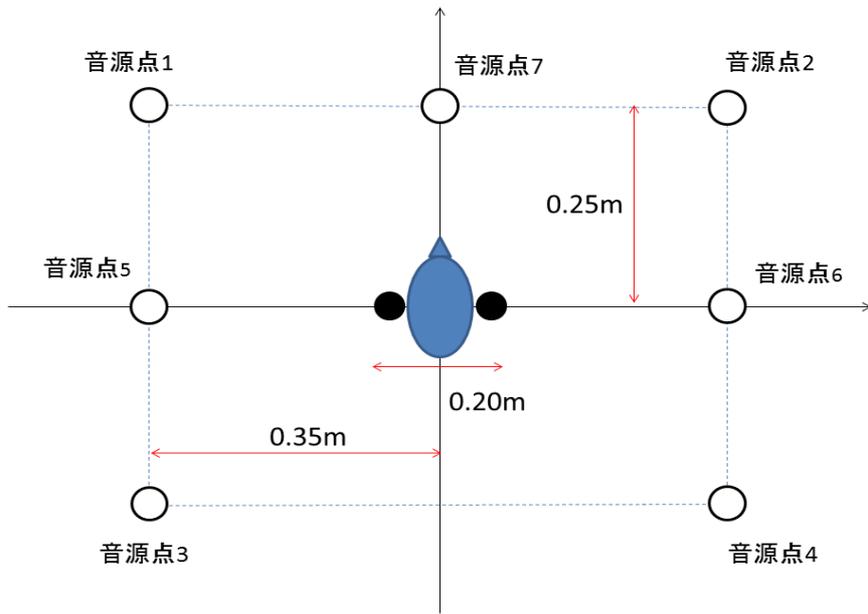


图 3.5 録音点: $1.2 \times 1.3 \text{m}^2$

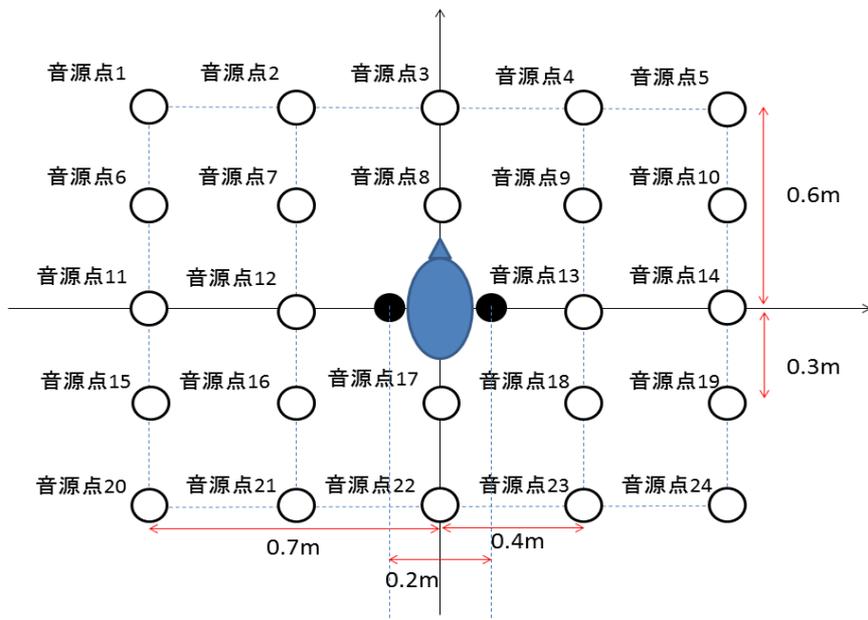


图 3.6 録音点: $1.7 \times 1.7 \text{m}^2$

3.2 音源方向推定実験

表 3.1 遮蔽物がない時の到達時間差:1.2 × 1.3m²

音源場所	サンプル数	到達時間差 (ms)
音源 1	24	0.521ms
音源 2	24	0.521ms
音源 3	25	0.544ms
音源 4	23	0.498ms
音源 5	30	0.657ms
音源 6	31	0.680ms
音源 7	1	0ms

3.2 音源方向推定実験

表 3.2 遮蔽物がない時の到達時間差:1.7 × 1.7m²

音源場所	サンプル数	到達時間差 (ms)
音源 1	21	0.453ms
音源 2	16	0.34ms
音源 3	1	0ms
音源 4	16	0.34ms
音源 5	20	0.43ms
音源 6	25	0.544ms
音源 7	22	476ms
音源 8	1	0ms
音源 9	23	0.498ms
音源 10	25	0.544ms
音源 11	30	0.65ms
音源 12	30	0.65ms
音源 13	29	0.634ms
音源 14	30	65ms
音源 15	25	0.544ms
音源 16	21	0.453ms
音源 17	1	0ms
音源 18	22	0.476ms
音源 19	25	0.544ms
音源 20	21	0.453ms
音源 21	17	0.362ms
音源 22	1	0ms
音源 23	16	0.34ms
音源 24	21	0.453ms

3.2 音源方向推定実験

表 3.3 マイク間に頭部が存在する時の到達時間差: $1.2 \times 1.3\text{m}^2$

音源場所	サンプル数	到達時間差 (ms)
音源 1	25	0.544ms
音源 2	25	0.455ms
音源 3	26	0.566ms
音源 4	21	0.453ms
音源 5	42	0.929ms
音源 6	36	0.793ms
音源 7	1	0ms

3.2 音源方向推定実験

表 3.4 マイク間に頭部が存在する時の到達時間差: $1.7 \times 1.7\text{m}^2$

音源場所	サンプル数	到達時間差 (ms)
音源 1	22	0.476ms
音源 2	20	0.43ms
音源 3	1	0ms
音源 4	18	0.358ms
音源 5	21	0.453ms
音源 6	21	0.566ms
音源 7	24	521ms
音源 8	1	0ms
音源 9	25	0.544ms
音源 10	26	0.566ms
音源 11	34	0.748ms
音源 12	37	0.816ms
音源 13	37	0.816ms
音源 14	32	68ms
音源 15	26	0.566ms
音源 16	26	0.566ms
音源 17	1	0ms
音源 18	25	0.544ms
音源 19	26	0.566ms
音源 20	23	0.498ms
音源 21	17	0.362ms
音源 22	1	0ms
音源 23	18	0.385ms
音源 24	26	0.566ms

3.2 音源方向推定実験

表 3.5 ダミーヘッドを用いた時の到達時間差:1.2 × 1.3m²

音源場所	サンプル数	到達時間差 (ms)
音源 1	20	0.430ms
音源 2	21	0.453ms
音源 3	17	0.385ms
音源 4	21	0.453ms
音源 5	36	0.793ms
音源 6	38	0.839ms
音源 7	1	0ms
平均値	21.8	0.495ms

3.2 音源方向推定実験

表 3.6 ダミーヘッドを用いた時の到達時間差:1.7 × 1.7m²

音源場所	サンプル数	到達時間差 (ms)
音源 1	20	0.43ms
音源 2	16	0.34ms
音源 3	1	0ms
音源 4	17	0.372ms
音源 5	21	0.453ms
音源 6	22	0.476ms
音源 7	20	43ms
音源 8	1	0ms
音源 9	21	0.453ms
音源 10	22	0.476ms
音源 11	37	0.816ms
音源 12	38	0.839ms
音源 13	38	0.839ms
音源 14	37	0.816ms
音源 15	22	0.476ms
音源 16	21	0.453ms
音源 17	1	0ms
音源 18	21	0.453ms
音源 19	22	0.476ms
音源 20	20	0.43ms
音源 21	17	0.362ms
音源 22	1	0ms
音源 23	16	0.34ms
音源 24	21	0.453ms

3.2 音源方向推定実験

3.2.3 考察

1.2 × 1.3m² の場所と 1.7 × 1.7m² の場所で音源の位置を変えて行った実験の結果から、2つのマイクロホンを頭部で遮られた状態では、相互相関関数を用いて左右のマイク間での正確な到達時間差を求めることができないと考えられる。2本のマイクロホンの間に遮蔽物がない場合とマイクロホンの間に頭部が存在する場合、ダミーヘッドを用いた場合の録音データで計測した到達時間差から音源の位置推定を行った。1.2 × 1.3m² の場所と 1.7 × 1.7m² の場所で録音したデータによる音源推定の結果を図 3.7 と図 3.8、図 3.9 と図 3.10、図 3.11 と図 3.12 に示す。2本のマイクロホンの間に遮蔽物がない場合のデータでは音源位置と推定位置のずれがほとんど見られなかった。マイクロホンの間に頭部が存在する場合のデータでは正面方向の位置推定は音源位置とのずれはなかったが、横方向や斜め方向の位置推定では音源位置と大きなずれが生じた。また、ダミーヘッドを用いた場合の録音データでも、マイクロホンの間に頭部が存在する場合のデータと同様に正面方向の位置推定は音源位置とのずれはなかったが、横方向や斜め方向の位置推定では音源位置と大きなずれが生じた。

この結果から、正面方向の到達時間差の推定では頭部の影響を受けないことを確認した。しかし、横方向の到達時間差の推定ではマイク間に頭部がある場合とない場合で大きなずれが生じており、これは音が頭部を旋回してマイクに到達したため起こったと考えられる。

3.2 音源方向推定実験

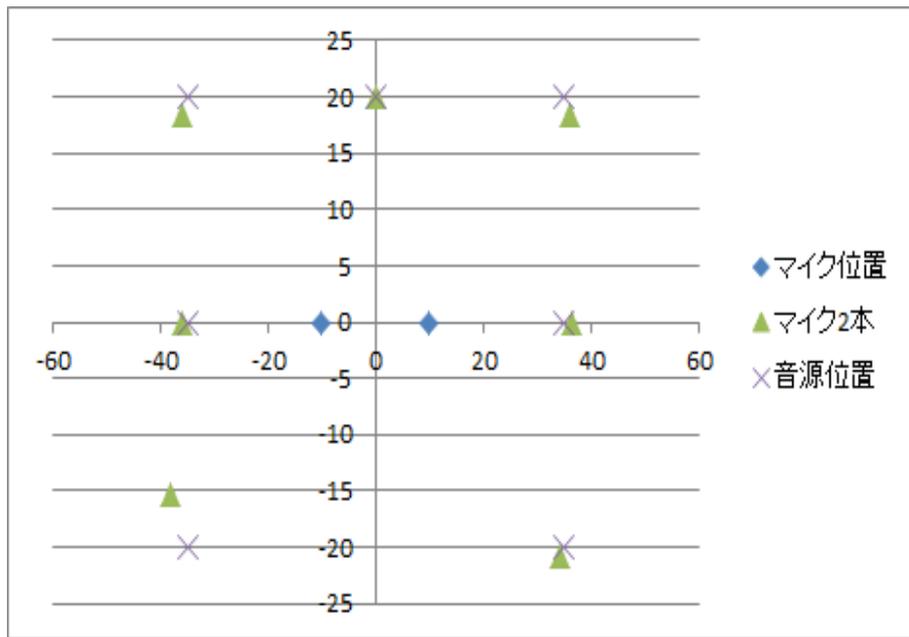


図 3.7 2本のマイクでの音源推定: $1.2 \times 1.3\text{m}^2$

3.2 音源方向推定実験

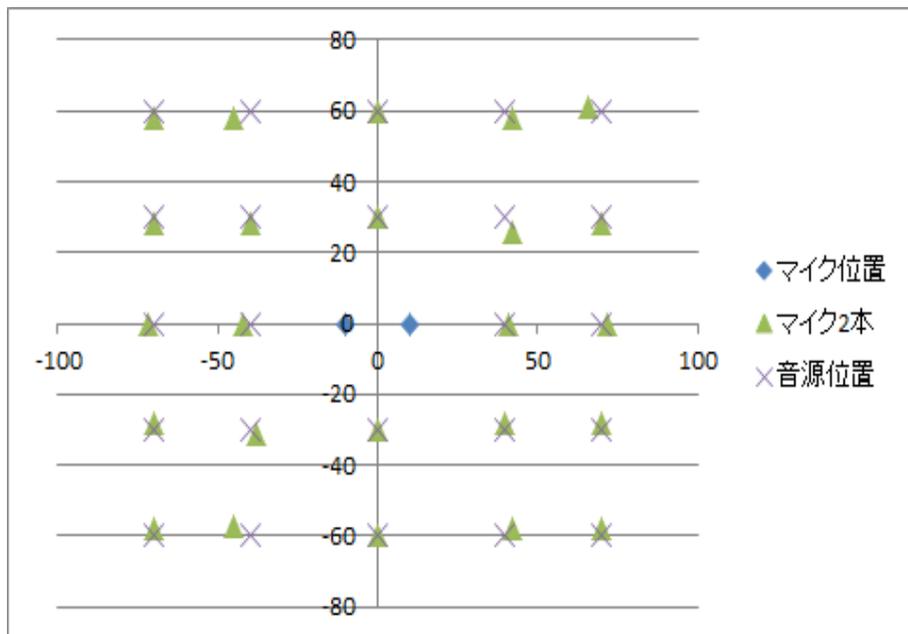


図 3.8 2本のマイクでの音源推定: $1.7 \times 1.7\text{m}^2$

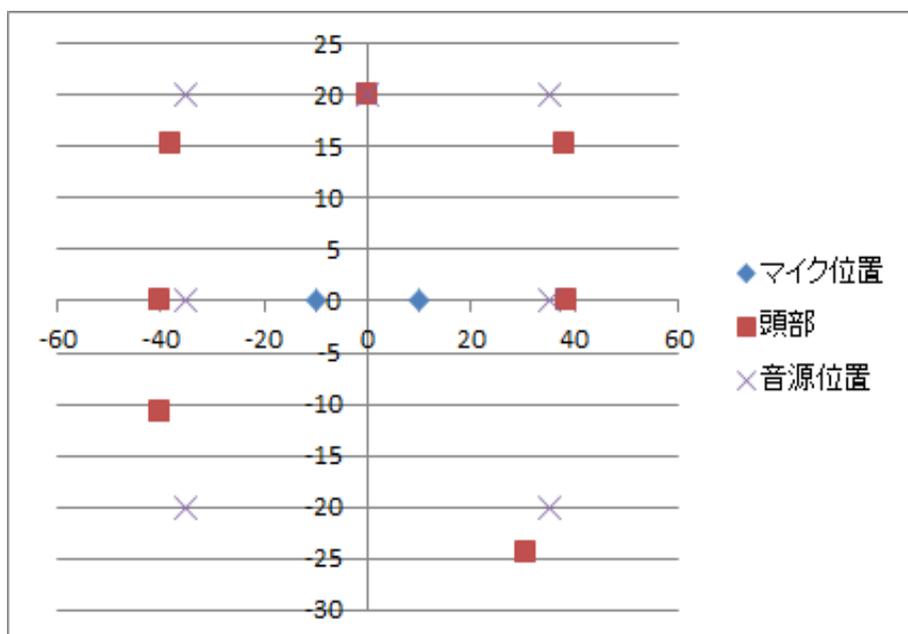


図 3.9 マイク間に頭部が存在する場合の音源定位: $1.2 \times 1.3\text{m}^2$

3.2 音源方向推定実験

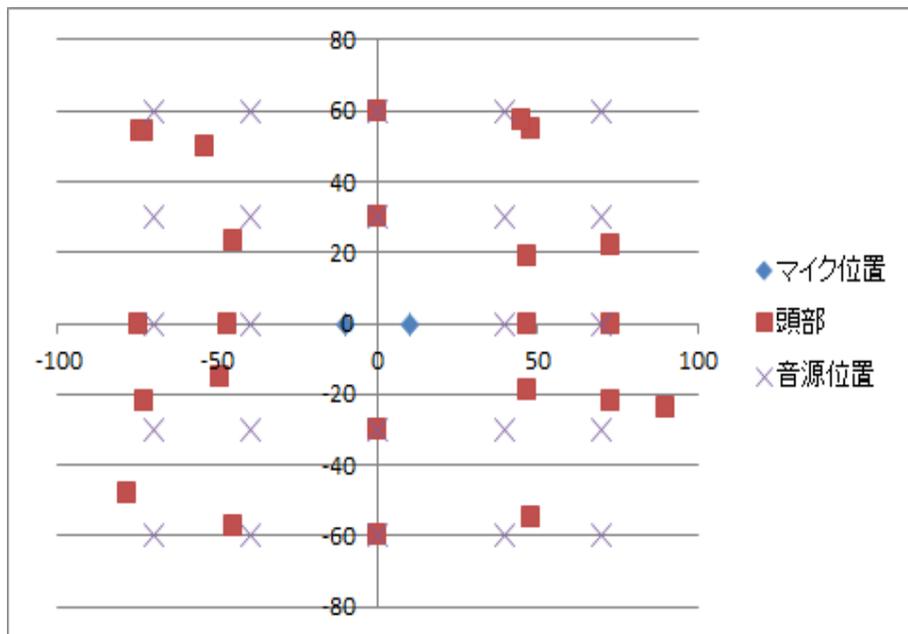


図 3.10 マイク間に頭部が存在する場合の音源定位: $1.7 \times 1.7\text{m}^2$

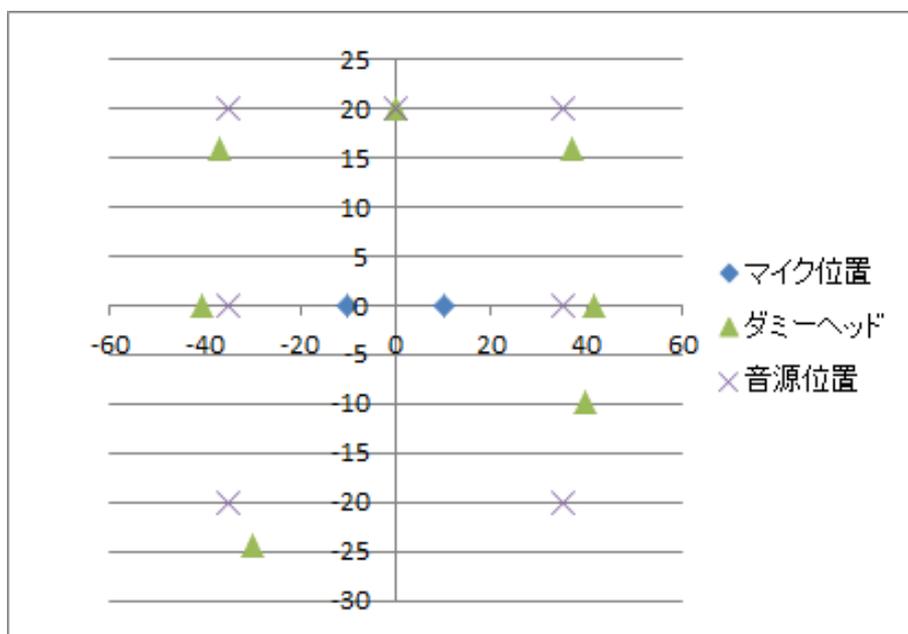


図 3.11 ダミーヘッドの場合の音源定位: $1.2 \times 1.3\text{m}^2$

3.2 音源方向推定実験

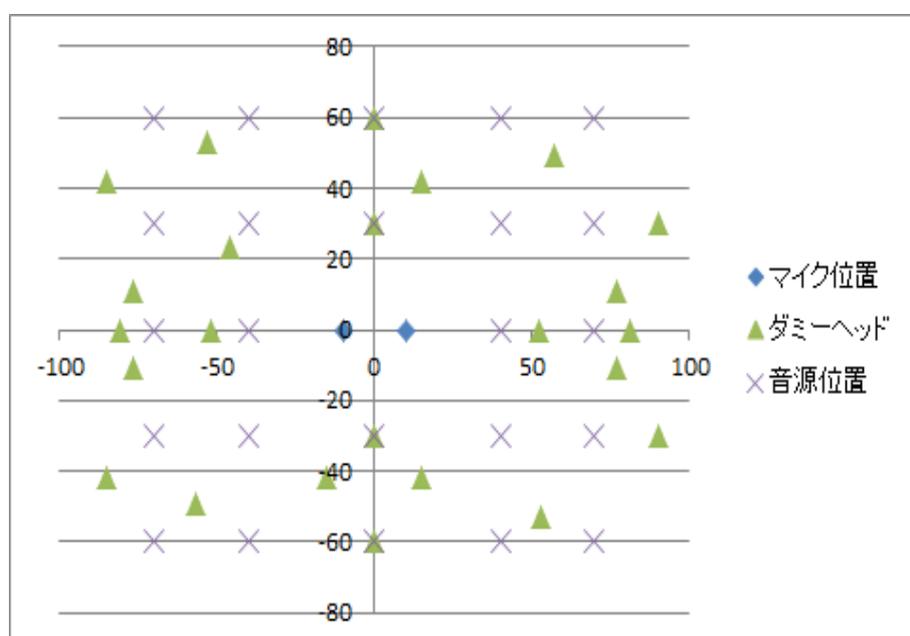


図 3.12 ダミーヘッドの場合の音源定位: $1.7 \times 1.7\text{m}^2$

第 4 章

結論

4.1 まとめ

本研究では、実際に両耳に補聴器を着用した状況を想定し、2本のマイクを用いて到達時間差を推定する際にどのような影響があるか検証を行った。実験結果から、実際に両耳に補聴器を着用した際には頭部を迂回して届く音が到達時間差に影響を与えることが分かった。また、実際のデータには個人差があるため、個々の頭部特性を測る必要がある。

4.2 今後の課題

今回は、実際に両耳に補聴器を着用した際には頭部を迂回して届く音が到達時間差に影響を与えることから音源方向の推定位置にずれが生じた。この実験結果を元に頭部の影響を考慮した音源方向の推定が行えるようにすることが今後の課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導して頂いた福本昌弘教授に深く感謝致します。また副査をして頂いた浜村昌則教授にも深く感謝致します。

福本昌弘教授には、私の研究の出来が悪くなかなか進まないような時にも、夜遅くまで研究室に残っていただき、いつもご迷惑をお掛けしたことを深くお詫びするとともに、最後まで見捨てずにご指導いただきとても感謝しております。最後になりますが、私の大学生活を支えてくださった先生方や研究室のメンバーに加えて、家族や友人など私と関わった多くの方々に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 永田仁史, “2チャンネル信号に基づく到来音方向推定の計算モデル,” 2011/04/27.
- [2] 澳本拓郎, “相互相関法による音源位置推定,” 2011/03/01.