

耳小骨の形状による音の増幅

2年3組 浦田 汐里 2年3組 大館 優空 2年3組 城戸ほのか
2年3組 白江 遥奈 2年3組 善福 彩奈
指導者 田中 善久

1 背景

耳小骨はツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨の3つの骨^[1]からなっている。(図1)「中耳は1 kHz 周辺で最も効率よく音波を伝える事ができ、2 kHz 以上では伝音効率が徐々に低下する。」^[1]つまりヒトの耳小骨を含む中耳によって1 kHz 近くだと聞こえやすくなり、日常生活ではかなりの高音である2 kHz 以上だと聞こえにくくなるという傾向があり、耳小骨は音の聞こえ方に深く関わっている。

2021年現在、高齢化が進み、高齢者が増加している。そのため補聴器の需要が高まっている。補聴器は、その構造上電池を含み、約2.0 g 程度の重さとなる。

そこで、耳小骨の構造を生かした電池を使用しない補聴器の開発を目指し、必要な音だけを増幅する構造を作成する基礎研究として本研究を行う。

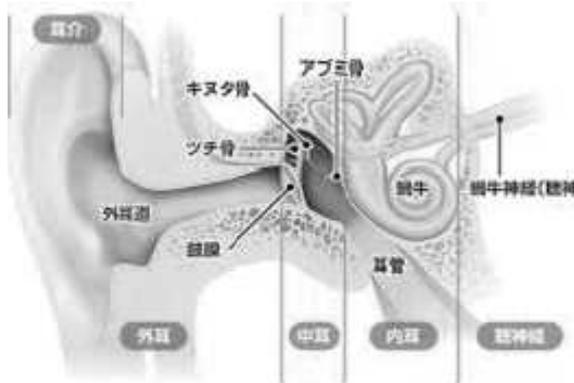


図1 耳の構造^[2]

2 仮説

「中耳は、鼓膜とその奥の鼓室にある3つの耳小骨（ツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨）から構成されています。(中略) 鼓膜と蝸牛の入り口（卵円窓）との面積比では17倍の比率となっており、これらの比率により音圧が増幅されます。」^[3]このことから本研究では、耳小骨がメガホンと逆の構造をとっているのではないかと考えた。

メガホンはホーン状の構造で音を集約する器具である。西村ら(1999)によると、「メガホンの角度が小さい方が音は集約するが、同時に内部での反射回数も増えてしまう」^[4]とある。「内部での反射回数が増えてしまう」という点について逆説的に考えると、メガホンの角度を調節することで不必要な波長の音は減衰することが可能である。また、「音を集約する」という点に注目すると、メガホン自体を逆にすれば消音効果に近い効果が期待できる。その構造は耳小骨の構造であるため、本研究において耳小骨は、不必要な音を消音あるいは減衰できる構造であると考えた。

そこで、その構造を解析する基礎研究として耳小骨をモデル化したホーン構造を作成し、その周波数特性の測定を行う。

3 方法

本研究では、鼓膜と耳小骨を一体化しホーン構造でモデル化をし、測定を行う。その際に音の振動は、スピーカー音源を使用し、モデル化したホーン構造を通し、モデル化した蝸牛上で測定した。(図2)



図2 実験装置

(1) 耳小骨と鼓膜のモデル化

上面と下面が異なる面積である円柱で、耳小骨と鼓膜のモデル化したものを、コンクリートで作成した。

ア 作成方法

- ① インスタントセメントと水を配合し、セメントの作成
- ② モデル化した上面と下面が異なる面積である円柱の型を紙コップで作成
- ③ ①で作成したセメントを②で作成した型に流し込む
- ④ 空気が入ると型が崩れてしまう恐れがあるため、紙コップ内のセメントの空気を抜く。
- ⑤ ④で成型したセメントを1週間乾燥
- ⑥ 紙コップから、セメントを取り出す。
- ⑦ 形成を行うため、やすりで形成
- ⑧ 表面の凹凸をなくすため、紙やすりで研磨

イ 材料

- ・水
- ・インスタントセメント(トーヨーマテラン株式会社)
- ・紙コップ

ウ 使用機材

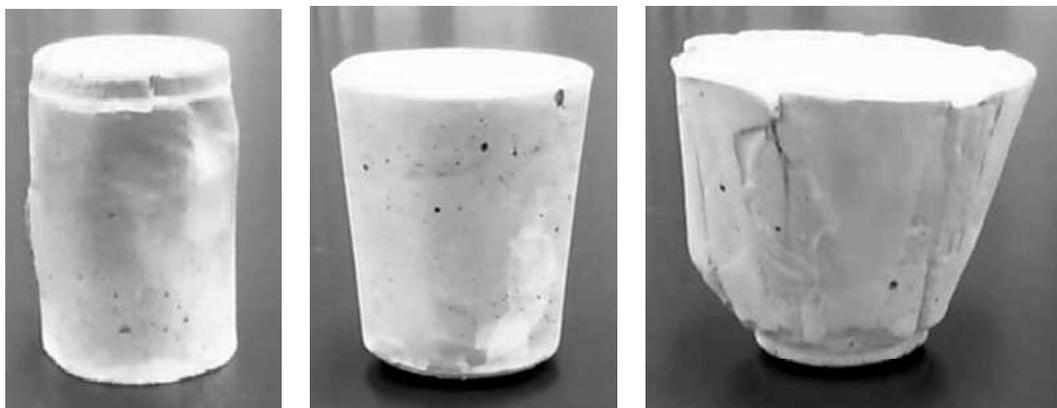
- ・やすり
- ・紙やすり

エ モデルの詳細

上部と下部の比を**表1**に示す。なお、縦の長さが7cmに統一した。(図3)

表1 モデルの詳細

	直径比	直径[cm]	半径[cm]
A	1:1	4.7:4.7	2.35
B	1:1.5	4.7:7.1	3.55
C	1:2	4.7:9.4	4.7



A 1:1

B 1:1.5

C 1:2

図3 モデル化した耳小骨と鼓膜

(2) リンパ管のモデル化

細長い風船に水を入れ、モデル化した蝸牛を作成する。その際に、振動の阻害となる風船の中の空気を除去して作成する。

ア 作成方法

細長い風船に水を入れて膨らませる。

イ 材料

- ・バルーンアート用の風船(成近屋)
- ・水

ウ 注意点

(3) 測定

リンパ管の代替の水風船の上のせた耳小骨の代替となるセメントから 15cm 離して設置し、セメントから水風船に伝わった波形を測定した。

ア 発音機材 (スピーカー)

外からの音の再現として使用

① 品番 ELECOM MS-88Multimedia Stereo Speaker

② 流した音の大きさ

1回目 1kHz 2回目 2kHz

③ 音を流すために使用したサイト

Youtube より以下の動画を使用した。

1000Hz <https://www.youtube.com/watch?v=TbPh0pmNjo8>

2000Hz <https://www.youtube.com/watch?v=0voTVFmpVjY>

イ 集音機材

水中マイクを使用した

品番 株式会社 ナリカ Cat. No G40-7401

ウ オシロスコープ (図4)

波形を取るために使用

品番 TEXIO CS-5400 SERIES

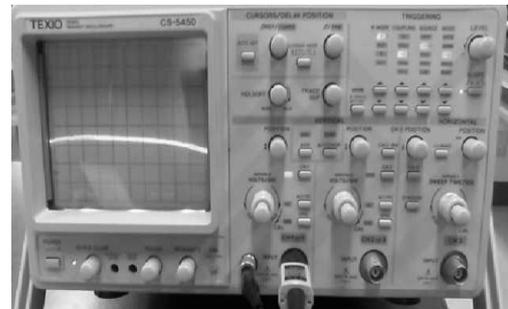


図4 オシロスコープ

(4) 解析方法

セメント1つ1つの振幅を1つずつ計り、1目盛りを2mmとして、10個の平均を求めた。1:1の時のセメントを1として、他のセメントとの振幅の違いの割合を求めた。

4 実験結果

表2に1kHzの結果を、表3に2kHzの結果を示す。

表2 1kHzの場合

直径比	1:1	1.5:1	2:1
1:1のときを基準とした振幅の割合	1.00	0.97	0.84

表 3 2 kHz の場合

直径比	1 : 1	1.5 : 1	2 : 1
1:1 のときを基準とした振幅の割合	1.00	0.82	1.25

5 考察

(1) 1 : 1 のときの周波数特性

1 : 1 は筒状のため、そのまま音を通すのでホーン構造の効果が見られない。そのため、ホーン構造の効果調べるための基準とした。

(2) 1.5:1 のときの周波数特性

1 kHz のとき減衰が小さく、2 kHz のとき減衰が大きいことから、必要でない音を取り除くことが示唆される。よって補聴器に適している可能性が考えられる。

(3) 2:1 のときの周波数特性

1 kHz のとき減衰が大きく、2 kHz のとき 1:1 に比べ集音していることから、必要な音が 1.5:1 より残らない。また補聴器としても 1 kHz は音が小さくなるので音が伝わらないため不快に感じると考えられる。

(4) 補聴器への適性

(1)~(3)より、1.5:1 は 2:1 に比べて、補聴器には向いていると考えられる。

6 まとめ

1 kHz では 1.5:1 のとき音の大きさが最も大きく、日常生活でかなりの高音である 2 kHz は減衰されていたため、1.5:1 のホーン構造は補聴器に向いている可能性が考えられる。

7 今後の課題

(1) ノイズについて

水中マイクがノイズを拾っているため、音を空気に触れさせないための工夫を考えたい。

(2) 周波数特性について

本研究で行った実験は高音域以外にも低音域で行い、周波数特性をより明らかにしたい。

(3) ホーン構造について

本研究ではホーン構造における上面と下面について 1:1、1.5:1、2:1 の 3 つの比率でしか行っていなかった。比率の種類を増やし、補聴器における最適なホーン構造を調べたい。

謝辞

本研究を行うに当たって、地域の看護師の方に耳小骨に対する専門的な知識等を助言いただきました。心より感謝を申し上げます。

参考文献

[1]小池卓二(2007)「ヒト聴覚器官における振動伝達の研究」比較生理生化学,24 巻,122-125

[2]ワイデックスがお届けする難聴と補聴器の総合サイト「みみから。」

<https://www.widexjp.co.jp/hearing/mechanism/ear-mwechanism.html>

[3]耳の構造と聞こえの仕組み

<https://www.hearing-store.com/column/2017/02/24/1176/>

[4]西村拓,櫻井孝典,藤岡和弘,大山健一,相良光利,松本渉(1999)「メガホンについての研究」物理教育学会年会物理教育研究大会予稿集,85