頭部模型で解き明かす

音の前後認識のクオリアの前提となる

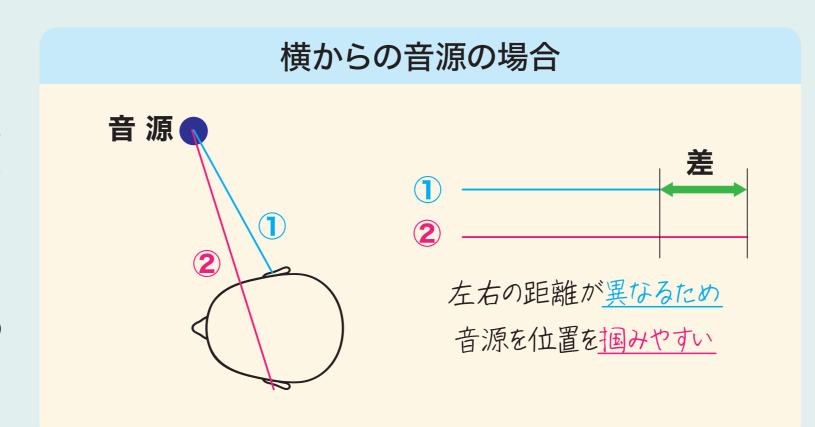
为理的振见の摆究。

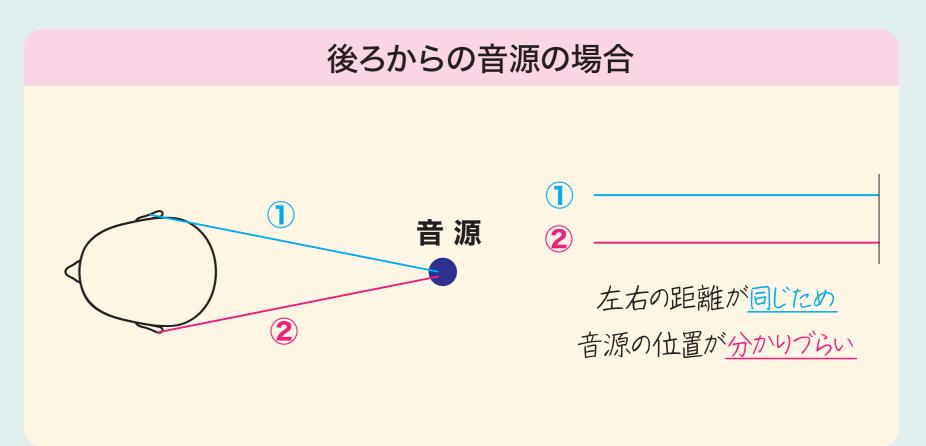
玉川学園高等部·中学部 高野澤 杏奈 答谷 弥那子



人はどうやって真正面と真後ろからの音を区別できるのか

人は、普段の生活の中で真後ろから出た音に対して瞬時に 反応して振り返ることができる。左右どちらかから出た音に 対しては、左右の耳までの時間差や音量の差があるので 音源を特定することができるのは不思議ではない。真正面 と真後ろから出た音について、どうやって前か後ろかを 突き止めているのか不思議に思った。先行研究のアンケー ト調査からは、純音で区別しづらく、前後のスペクトルの 変化で区別していることが示唆された。[1,2,3]





*クオリアとは、ここでは「真後ろで音がした」という音源の前後の感覚という意味で使う。

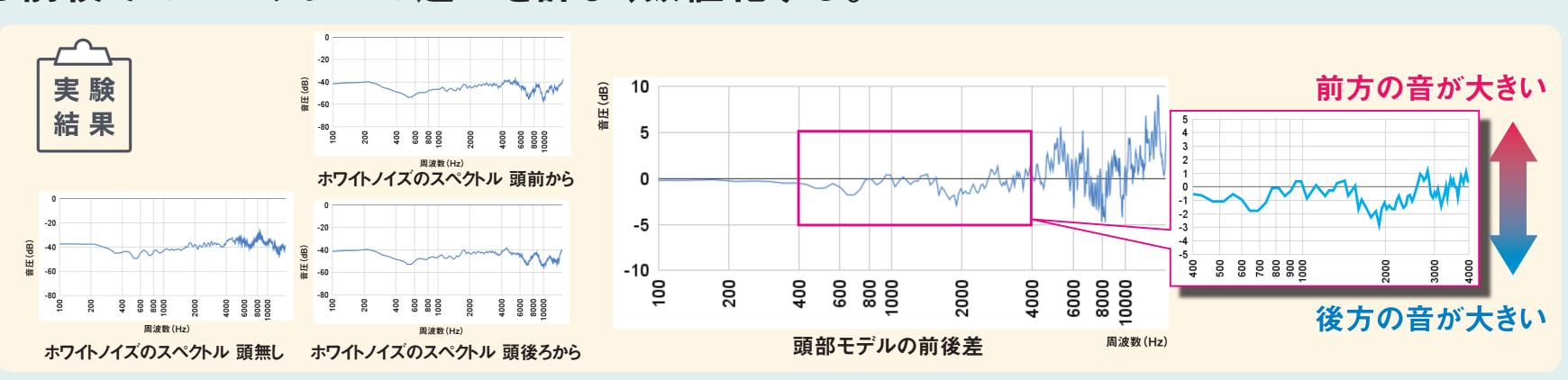
頭部モデルを用いた前後スペクトルの違いとは

頭部モデルの場合における前後でのスペクトルの違いを詳しく数値化する。





頭部モデルを作成し、耳にコンデン サーマイクを付け、スピーカーからホワ イトノイズを流し前後差を測定する。



頭で音の回折や反射が起きることが原因!?

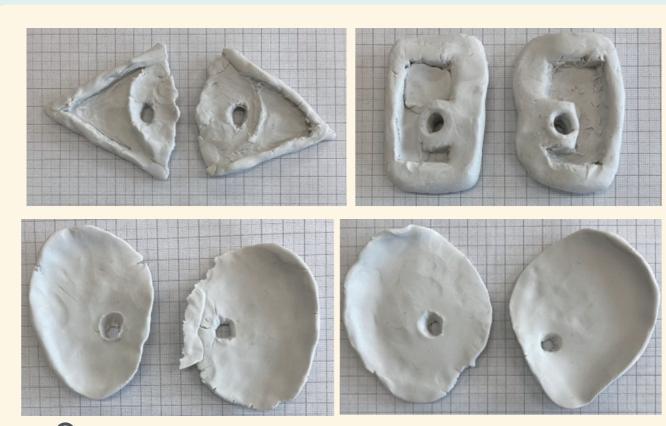
・後方の音量が大きい 1000Hz あたりから 2000Hz あたりの波長 は1波長や½波長が頭と同じくらいの大きさになっている。した がって、後方の音量が前方の音量より大きくなっている理由は、頭

で音の回折や反射が起きることが原因に なっている何かが起きているのではないか。

	1000Hz	1500Hz	2000Hz	人の頭の 前後の長さ
1波長	34.0 cm	22.7cm	17.0cm	18.5cm
1/2 波長	17.0cm	11.4cm	8.5cm	

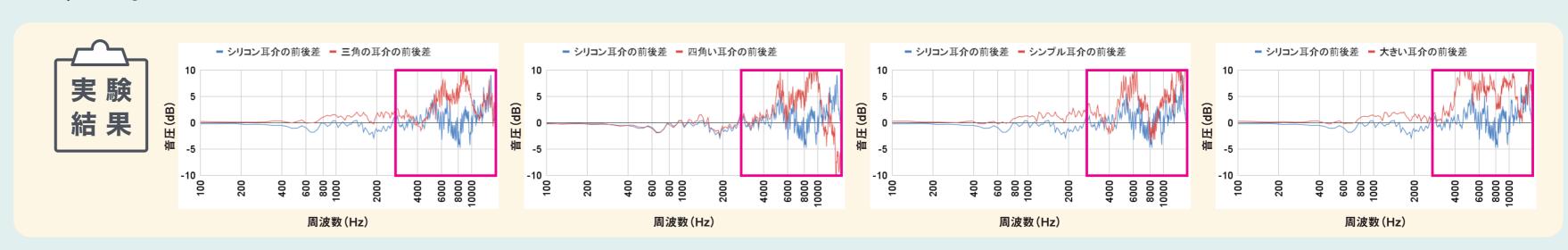
耳介の形による聞こえ方への影響とは

耳の形による変化を数値化する。





油粘土で色々な形の耳を作り、実験① と同様に前後差を測定する。





3000Hz以上では形状で前後差に変化が見られる。

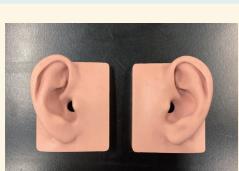
・3000Hz 以上では、波長が耳介の大きさより小さいため反射が起きて形状の影響が大きくなっている。 3000Hz 以下では、耳介の出っ張り具合が前方がやや大きくなる原因になっているが、後方が大きくなる要因にはなっていない ことがわかる。



IEC準拠の頭部モデルでの実験では?

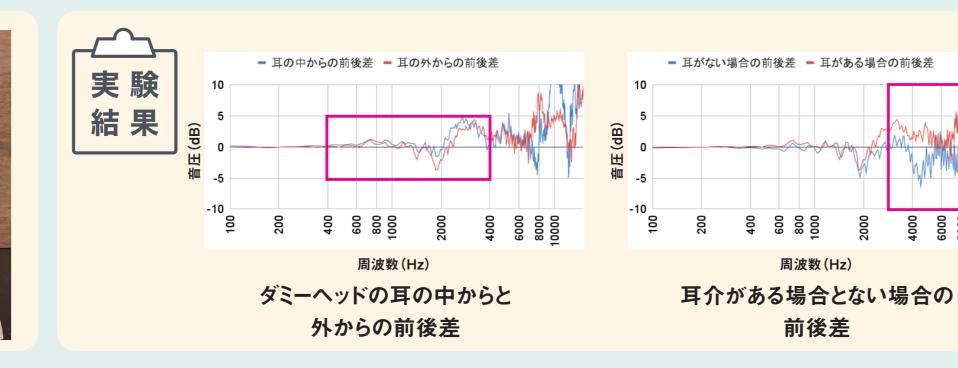
自作頭部モデルと国際標準規格モデル[4,5,6]とでは音の響きが異なるのか?





国際標準規格IEC60318-7準拠 のHATS(Head and Torso Simulators)にIEC60268-7準 拠の耳介をつけて実験した。







前後差

[EC準拠の頭部モデルでも 同じような現象がみられた。

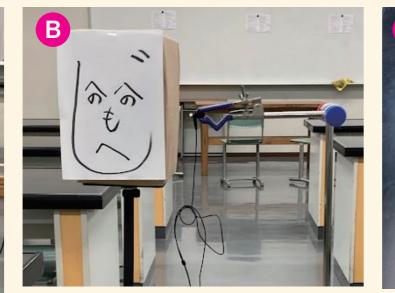
·1000Hz 付近での後方が大きくなる現象は、国際 標準規格の頭部と耳介でも、同じような現象が見ら れたので、自作の頭部モデルの検証ができた。



仮説:頭の側面に気柱ができているのか

3000Hz以下の後ろの方が大きい周波数ができる原因を探る







A&B:実験の様子、C:箱と同じ長さの気柱

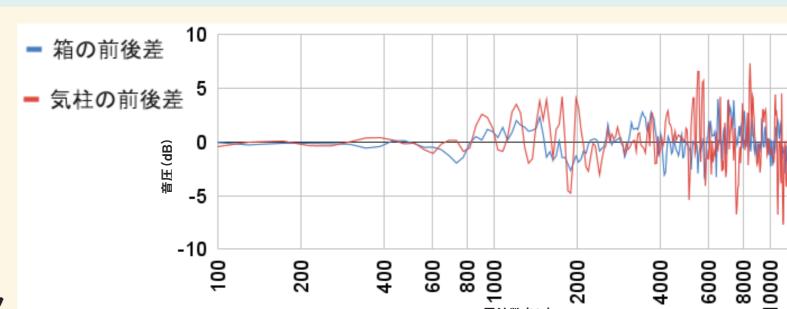


頭部を模したサイズの箱と同じ長さ の気柱を用意し、頭が前後どちら かを向いた時の耳の位置に相当す

る場所にマイクを設置し、前後差を測定する。



気柱のほうが動きが激しいが 同じような傾向になった。



箱の前後差と気柱の前後差のグラフ



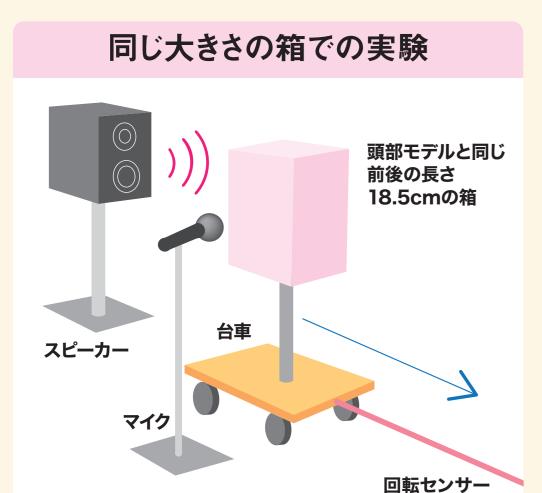
頭の側部に弱い気柱ができていると考えられる

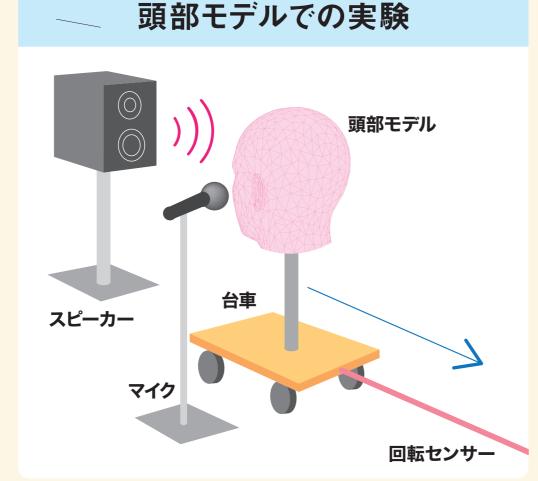
箱の場合の前後差と気柱の場合の前後差は音量に差があったものの同じ傾向になったことから、片面だけ が制限された頭部側面でも、全周制限されたパイプ内のように気柱が出来ていると考えられる。



頭の存在と耳の位置による聞こえ方の違いとは

頭の周りで音の波がどのように動くのか数値化する。

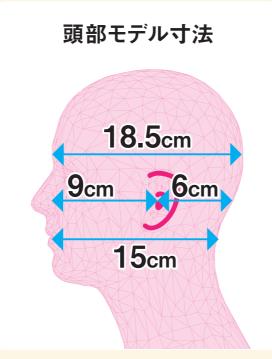






頭の側面に気柱が出来ていれば定常波のよ うな音圧分布が発生しているはずなので頭 の側面の位置による音圧の変化を測定する

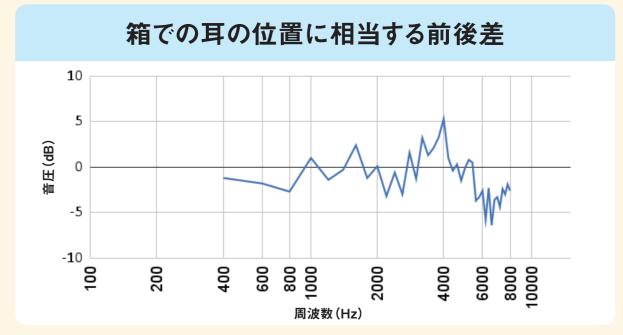
為に、頭と同じ大きさの箱と頭部モデルを使って装置 を作り、台車を引いて位置と音圧の関係を調べる。 400Hz~7000Hzの間で200Hzごとに測定する。耳 の位置が中央ではないので、前後差に相当する位置で の比較を行う。



箱の側面の位置と音圧の関係







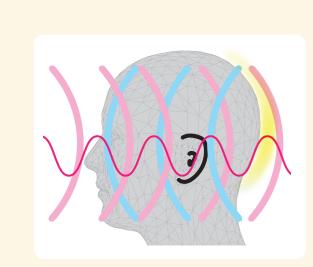


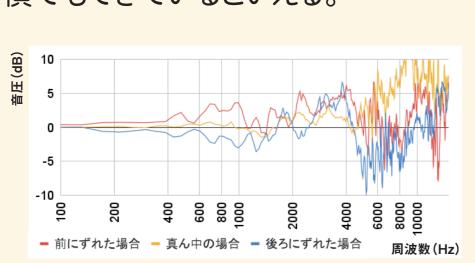
箱横の音圧分布が、音源から遠い角(右端)が定常波の節(振幅なら腹)のようになっ ている。頭部モデルで測定した場合にも定常波のような波ができた。前後差に相当する 位置での差は 2400Hz 以下は頭部モデルと同じような傾向になった。



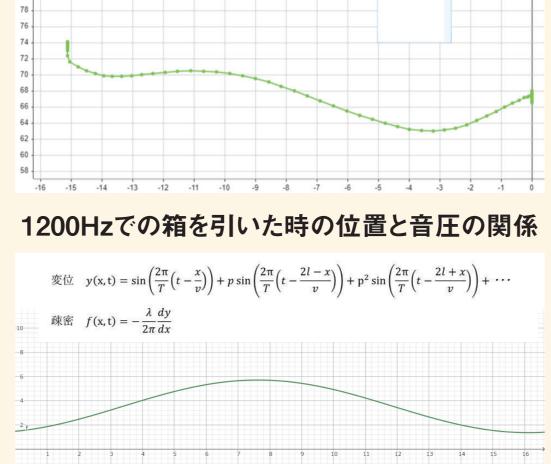
周波数によって前後の向きで音圧が異なり区別がついていると考えられる。

頭の側面の前後の角で回折を起こし円形に拡がり、一部は 頭の側面を戻る進行波となり、音源からの直接の進行波の一 部とこの戻る進行波の合成波が弱い定常波になっていると考え られる。頭部モデルでの実験でも定常波ができていたことから、 箱の横だけではなく頭の横でもできているといえる。





耳の位置による前後差の変化

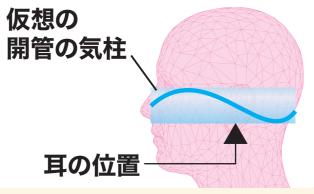


1200Hzの音が開管の気柱を流れた時のシミュレーション

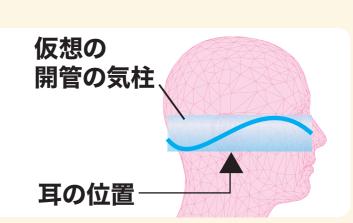
頭を開管と見做した音圧のシ ミュレーションと実験の音圧分 布の比較から、頭の横で開管 の気柱のような音圧分布がで きていると考えられる。

頭の側面でできた音圧分布 と前後を向いたときの耳の位 置との関係で、周波数によって 前後の向きで音圧が異なり、







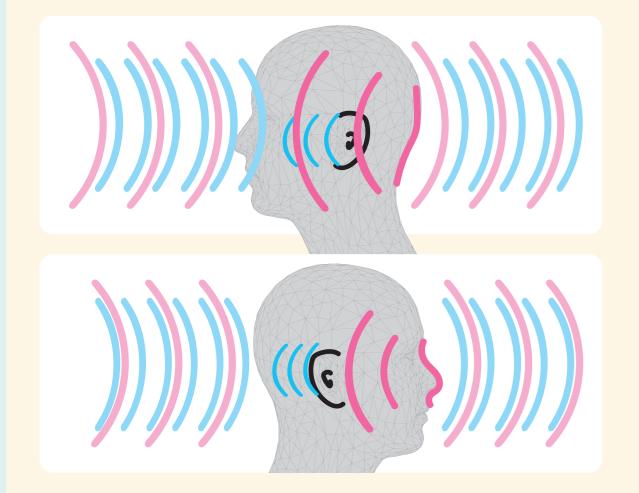


これがスペクトルの前後差となってあらわれ、前後の区別がついていると考 えられる。



謝辞

耳の位置が頭の真ん中にある訳ではなく、後方にずれているため、 前を向くか後ろを向くかで周波数によって音圧差が生じる



- ●音源の前後感覚のクオリア・音の前後認識の物理的根拠は、耳介による反射と頭部と耳の位置による音圧分布によって、 スペクトルが前からと後ろから音がくる場合とで差が生まれることにあることが分かった。
- ●3000Hz 以上の周波数は耳介で起こる反射によって前方の音が大きくなっている。
- ●以下は、3000Hz 以下の周波数で耳介に関係ない現象として
 - ●頭の側面に開管気柱と同様な音圧の分布ができることから、頭の側面の位置によって異なる音圧分布ができている。
 - ●耳の位置が頭の真ん中にある訳ではなく、後方にずれているため、前を向くか後ろを向くかで周波数によって音圧差が生じる。
 - ●差が生じやすい周波数は人の頭の大きさと耳の位置によって異なるので、個人ごとに聞き分ける要因となる特徴的なスペクトルの 前後差を生み出す周波数があると考えられる。
 - ●成長するにつれて頭は大きくなるため、日々の経験から前後の差の区別を学習しているのかもしれない。

[3]「音の前後感覚」内藤儁, 辰己敏文, 藤井興年AUDIOLOGY 1964 年 7 巻 3 号 p. 195-196