

## 骨導音の伝搬速度および脳脊髄液への入射の簡易頭部モデルを用いる計測

## Measurement of Bone Conduction Sound Speed and Incidence into Cerebrospinal Fluid Using Reduced Head Model

○ 小木曾里樹, 水谷孝一, 善甫啓一, 若槻尚斗 (筑波大)

Satoki OGISO, Koichi MIZUTANI, Keiichi ZEMPO and Naoto WAKATSUKI, University of Tsukuba

**Abstract:** The aim of this research is to develop the 3D-audio system on bone conduction headphones. Bone conduction 3D-audio enables to provide the information to the users without interrupting any of one's perceptions. In this paper, we discussed about the effect of sound radiation between bone and cerebrospinal fluid. We investigated the amplitude between the propagating sounds on the bone with/without the cerebrospinal fluid on reduced model. The reduced model consists of gel sheet, acrylic plate, water and super magnetostriction vibrator, which represents skin, bone, cerebrospinal fluid and bone conduction headphone, respectively. The experiment result suggests the some of sounds propagating in bone leaks into the cerebrospinal fluid. This result encourages to design 3D-audio system for bone conduction hearing.

**Key Words:** bone conduction, 3D-audio, elastic wave

## 1. はじめに

近年、「歩きスマホ」などに代表されるように、移動中の小型デバイス利用に誘発される事故が多く発生している。これは、ユーザが小型デバイスから情報提示を受けるため視覚や聴覚などの能力を要してしまい、本来の危機察知能力が妨げられてしまうことにより発生する。これらを妨げることなく情報を提示する手法として、骨導音による立体音響が注目されている<sup>(1)</sup>。

骨導音による立体音響を実現するには、骨導音の伝搬特性を知ることが重要である。骨導音にはいくつかの知覚メカニズムがあるとされているが、中でも脳脊髄液の振動が知覚に大きな影響を与えているとされている<sup>(2)</sup>。骨導音の脳脊髄液への放射が明らかになれば、より正確な骨導音の伝達特性を得ることができ、立体音響の実現において更に高精度な音像定位が可能となると考えられる。これまでに頭蓋骨の振動については、加速度センサやレーザードップラー振動計を用いて計測する研究は数多くなされている。しかしながらこれらの研究においては脳脊髄液の振動を考慮しておらず、骨導音の脳脊髄液への放射は明らかになっていない。Fig. 1に本研究で扱う骨導音の課題を示す。

本稿では、頭部の簡易モデルを用いて実験を行い、脳脊髄液の有無による骨の振動の変化を観察することにより脳脊髄液への振動の放射を調べた。

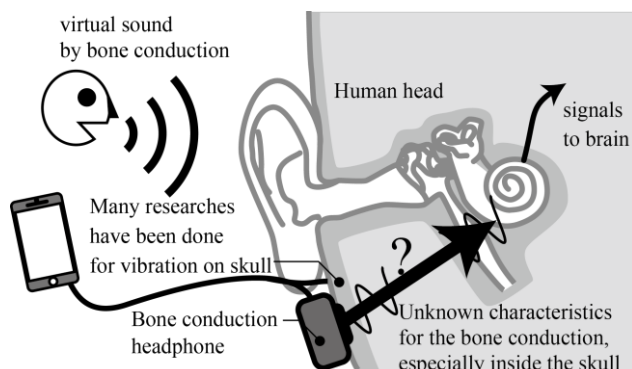


Fig. 1 Problems on the bone conduction hearing

## 2. 実験

## 2-1 条件

脳脊髄液に見立てた水の有無による骨導音の伝搬特性変化を計測するため、以下のような条件で実験を行った。

実験系の概要を Fig. 2 に示す。頭蓋骨に見立てたアクリル板と皮膚に見立てたゲルシート、脳脊髄液に見立てた水からなる頭部の簡易モデルに対し、トランスデューサを押し付けて振動させることで骨導音を発生させる。これらは音響インピーダンスがそれぞれ生体組織に近い素材である。骨を伝搬する波を計測するため、ゲルシートは透明のものを使用し、アクリル板の振動をレーザードップラー振動計によって計測した。骨導音を発生させるトランスデューサには超磁歪振動子を用い、5 kHz、5 ms 間のパルス波を発生し、レーザードップラー振動計の信号をサンプリング周波数 10 MHz で 10 ms 間取得・記録した。

脳脊髄液への音の伝搬を調べるため、実験では水がアクリル板までに接触する状態と接触しない状態での振動伝搬を計測した。また、振動の伝搬を調べるため、トランスデューサとレーザードップラー振動計との距離  $d$  を 20 mm から 150 mm まで 10 mm 毎に変化させ、各位置での振動の時間応答を計測した。これらはトランスデューサの出力に同期して記録し、アクリル板表面の振幅の分布を調べた。

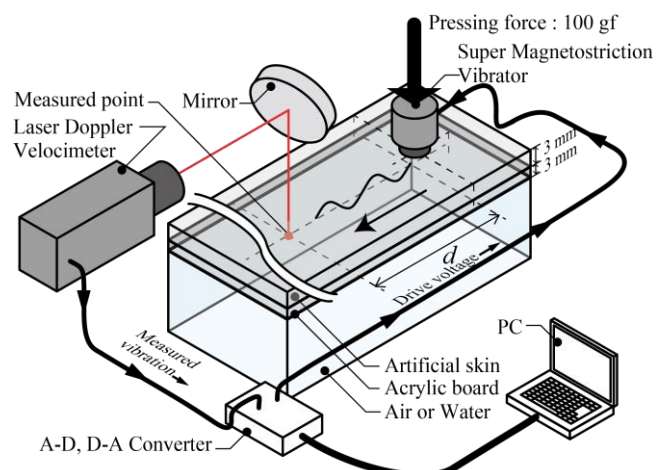


Fig. 2 Overview of the experiment conditions

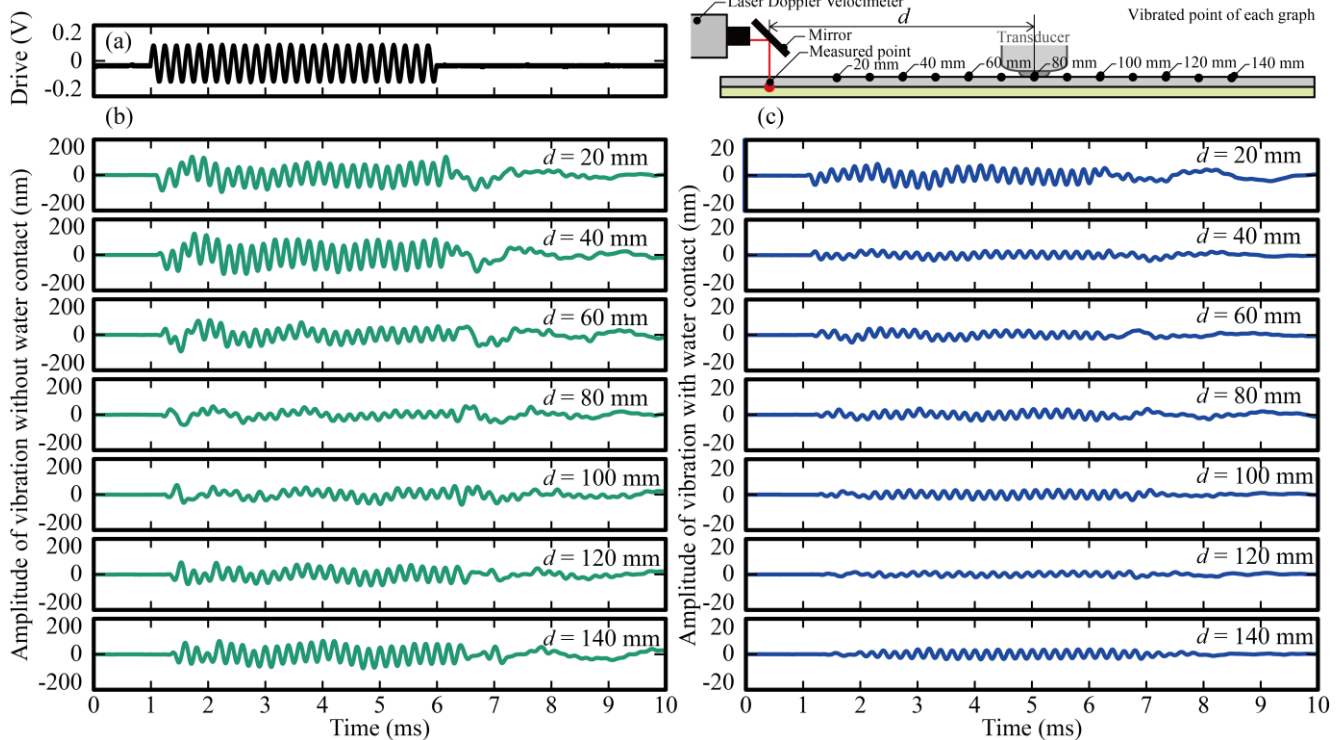


Fig. 3 Vibration of acrylic plate surface for each difference between measured point and transducer. (a) Drive voltage of vibrator, (b) amplitude of vibration without water contact, (c) amplitude of vibration with water contact

## 2-2 結果・考察

実験結果を Fig.3 に示す. Fig. 3(a)は超磁歪振動子に加えた電圧, Fig. 3(b), Fig. 3(c)はそれぞれ水との接触がない場合, ある場合の各位置での振動の時間応答を示す.

Fig. 3 より骨導音の伝搬速度を求める. Fig. 3(b)に示す各位置の応答から伝搬時間を計算することができ, これを求めると伝搬速度は約 400 m/s とわかる. この速度はこれまで人間で計測された骨導音の伝搬速度(≒270 m/s)とほぼ一致しており<sup>(3)</sup>, このモデルを用いて人間の骨導音を模擬できていることがわかる.

つぎに, Fig. 3(b)と Fig. 3(c)を比較すると, 後者の振幅が非常に小さいことがわかる. 振幅とトランスデューサ・レーザー・ドップラー振動計測点間の距離の関係を Fig. 4 に示す. Fig. 4(c)より, 水との接触がない場合でもアクリル板を伝搬するにつれ音は大きく減衰しているのがわかる. 水との接触がある場合には, どの距離においても水との接触がない場合に比べ振幅が非常に小さくなっており, その差が水へ入射しているものと考えられる.

Fig. 4(c)のうち, 例えば 40 mm 付近は振幅が単調減少していないが, これはアクリル板の共振周波数などが原因と考えられる.

## 3. まとめ

本稿では, 骨導音の頭蓋骨から脳脊髄液への放射による骨導音の伝搬への影響を調べるため, ゲルシート, アクリル, 水から成る簡易モデルを用いて実験を行った. その結果, 水とアクリルとの接触がある場合には, 接触がない場合に比べ振幅が小さくなっており, 水へエネルギーが入射していることを確認した. これは頭蓋骨のみならず脳脊髄液を考慮する骨導音伝搬過程の理解への一助となりうる. 今後は, より詳細な現象を観察するには頭蓋のような複雑な形状の装置を用いて実験を行いたい.

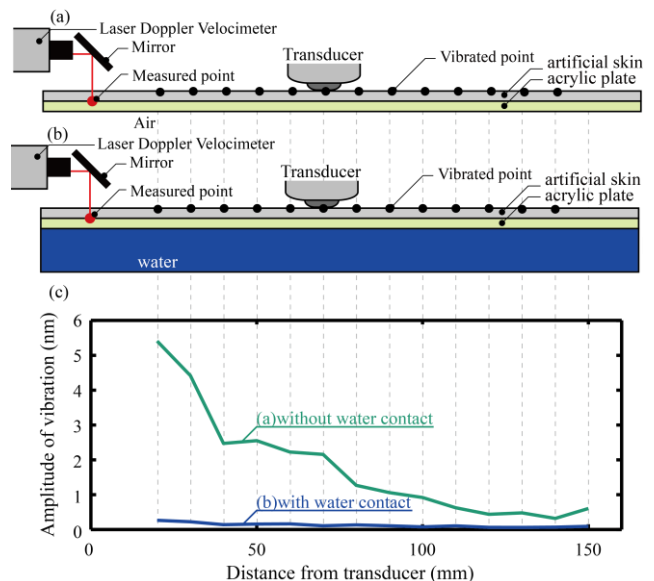


Fig. 4 Vibrated points and amplitude of vibration of acrylic plate surface. (a) Measurement without water contact, (b) measurement with water contact, (c) amplitudes for each point

## 参考文献

- (1) J. a MacDonald, P. P. Henry, and T. R. Letowski, "Spatial audio through a bone conduction interface.," *Int. J. Audiol.*, vol. 45, no. 10, pp. 595-9, 2006.
- (2) Sohmer, S. Freeman, "Further evidence for a fluid pathway during bone conduction auditory stimulation.," *Hear. Res.*, vol. 193, no. 1-2, pp. 105-10, 2004.
- (3) J. Zwislowski, "Acoustic attenuation between the ears.," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 70, No. 5, pp.1294-1297, 1981.