

気導音と骨導音の蝸牛における加算処理に関する検討

川戸 千明[†] 猿舘 朝[‡] 伊藤 久祥[‡] Prima Oky Dicky A[‡] 伊藤憲三[‡]

岩手県立大学ソフトウェア情報学部[†] 大学院ソフトウェア情報学研究科[‡]

1. まえがき

頭骨を介して音情報を受聴するシステム、いわゆる骨導受聴システムを利用した商品が提案されている。骨導のメリットは、耳を塞ぐ必要がないため、目的音と同時に自然な状態で環境音を聴取できる利点がある。さらに、聴覚に障害のある人々に有効であることなどから、その利用範囲は今後さらに広がるものと考えられる。一方、骨導音の聴こえは、頭骨を直接振動させ、その振動を主に蝸牛に伝えることにより達成されていると考えられている。しかし、音の伝達経路やその聴覚特性は十分に理解されていないのが現状である。

本稿では、骨導の伝達メカニズムの中で、気導と骨導の頭内における加算処理に着目し、その定量的観測と新しい受聴システムの可能性に関する検討をおこなった。

2. 加算処理の確認実験（実験 1）

音の知覚は、伝達経路の違いにより気導と骨導の 2 つに分類できる。この気導と骨導における音の伝達経路の概要を Fig.1 に示した。気導における経路は、外耳から中耳、内耳を経由して聴覚野に伝わる経路である。一方骨導では、音振動が頭骨を伝わって伝達されるため、気導のように 1 経路ではない。すなわち、外耳から鼓膜、中耳、耳小骨そして内耳の蝸牛に伝わる 3 つの伝達経路が考えられる。骨導の伝達経路については深澤^[5]により中耳成分と内耳成分、また中耳と内耳の相互作用について 3 次元マクロモデルを用いたシミュレーションで検討が行われているものの、伝達経路全体については十分に理解されていないのが現状である。しかし、いずれの経路においても、第一の主たる知覚点は蝸牛と考えられる。ここでは、気導と骨導から伝わってきた音は蝸牛で加算処理が行われ、聴覚野に伝達されるものと仮定し、以下の検討を行った。

2-1. 実験方法

Fig.1 に示した信号伝達経路のモデル図において、気導と骨導の間に位相差を生じさせ、その時の知覚特性を調べた。具体的には、気導と骨導の信号を同時に呈示したときの「頭内音像の消失感」に着目した主観評価実験である。信号音は 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000Hz の純音 10 種類とした。被験者は、健聴者 2 名（24 才男性と 22 才女性の 1 名）、骨導振動ユニットは、(株)アイソニック社の「003 型アクチュエータ」を用いた。受聴は右耳で行った。実験に先立ちそれぞれの信号音のラウドネスバランスを行い、両者の音量が同じに知覚されるように設定した。次に、気導で提示する信号音の位相を 45° 刻みで変化させ、知覚される音像の消失感に着目し、その変化を次の 5 段階で評価した。5. 非常に良くわかる、4. 良くわかる、3. まあわかる、2. わからない、1. 全くわからない。

2-2. 実験結果

実験 1 の結果を Fig2. に示す。縦軸は呈示音の「音像消失感」の平均評価値、横軸は気導音と骨導音の位相差（度）を示す。グラフの線 1 本は信号周波数を表している。同図から、低い周波数での加算効果が顕著であり、高い周波数になるに従って効果が低くなることがわかる。また、この効果は位相差が 180° 付近で最も大きいこともわかる。本実験から、気導音と骨導音は頭内で加算処理が行われていることが明らかになった。また、頭骨の音伝達特性（特に位相特性）は信号周波数に依存し、複雑であることも推察される。この実験結果は、従来言われている骨導音に関する知見（頭内における加算処理）が定量的に明らかにされたことになる。一方、この加算効果は、その伝達経路から主に蝸牛でおこなわれていることも推察されるが、本件についてはさらなる確認実験が必要である。

3. 加算処理の音質評価実験（実験 2）

実験 1 では、蝸牛の加算処理は低い周波数域で大きく、周波数が高くなるに従って頭骨の伝達特性の複雑性に起因して小さくなることがわかった。このことは、気導と骨導を逆相条件で呈示することで、低域の周波数ほど振幅抑制されることになる。逆に、両者を同相条件で呈示することで低域の振幅が強調されることになる。この効

A Study on signal additional model in the cochlea with air and bone conductions

[†]Chiaki KAWATO • Iwate Prefectural University, Faculty of Software and Information Science

[‡]Ashita SARUDATE • Iwate Prefectural University, Graduate School of Software and Information Science

[‡]Hisayoshi ITOH, [‡]Prima Oky Dicky A, [‡]Kenzo ITOH

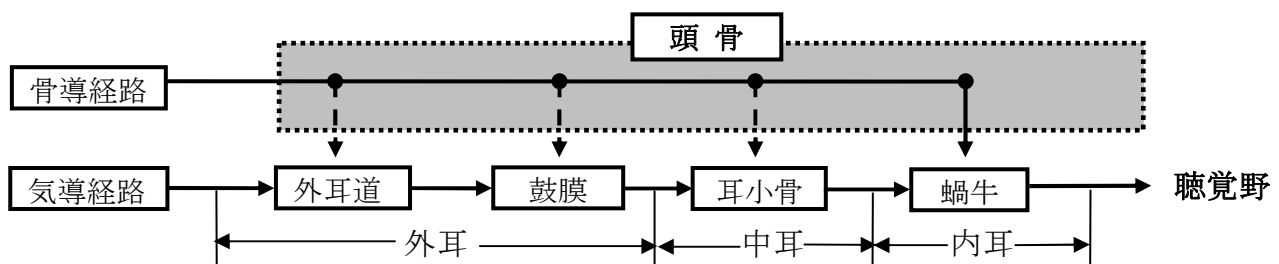


Fig.1 聴覚の構造と信号伝達モデル

果は、いわゆる低域強調と等価であり、気導音を単独で提示するよりも低域の豊かな受聴効果が期待される。このことを確認するために、実際の楽音を用いた主観評価実験をおこなって調べた。

3-1. 実験方法

気導音を単独で提示した音質と、気導音と骨導音を同時に提示した場合、どちらの受聴状態が良い音質と感じるかを調べた。すなわち、気導音のみの場合を「楽音 A」、気導音と骨導音を同時に提示した場合を「楽音 B」とし、両者を 1 回ずつ聴いてもらい、どちらの楽音の音質が良かったかを「対比較試験」で評価した。被験者は、成人の健聴者 15 名（男性 9 名、女性 6 名）である。気導音受聴用のヘッドフォンは HP-F120 (Victor)、骨導振動子は実験 1 と同型を用いて右耳でおこなった。なお、楽音を提示する前に、純音を用いて気導音と骨導音のラウドネスバランスを被験者自身におこなってもらった。楽音は、ヴォーカル曲、オーケストラ曲、ピアノ曲それぞれ 3 種類である。信号帯域は 100Hz～10KHz とした。

3-2. 実験結果

Fig. 3 に対比較試験の結果を示す。横軸に楽音の種類、縦軸に「音質が良い」と知覚された割合を選択率として (%) で示した。図から明らかなように、ヴォーカル、オーケストラ、ピアノともに、気導と骨導を同時に提示することで、選択率が大きく向上することがわかる。このときの被験者の内感では、「重低音がよく響く」「音に迫力がある」「気導音だけだと音が軽く感じる」「気導音よりも音像が近くにあるように聴こえる」「頭に直接音が響いている感じ」などがあげられた。この音質の変化は、実験 1 で示した蝸牛における信号加算処理と推察される、すなわち、同位相での加算処理による低域強調である。一方、骨導受聴では、信号提示側の耳（右）と対耳（左）への知覚による相乗効果も存在し、頭内伝播による両耳知覚の効果もある。

これらの実験から、気導音と骨導音を同時に提示することによって気導音を単独で提示するよりも「豊かで深みのある音質」になることがわかった。この音質向上効果は、頭内（特に蝸牛）における信号加算処理による低域強調効果であり、新しい受聴システムの可能性がある。NTT 研究所で開発された骨導受聴システム（ライブホン）を利用した被験者は、「非常に豊かな音質である」ことを述べている。このことは、本検討で得られた蝸牛における気導と骨導の加算処理によるものであることを裏付けているとも考えられよう。

4. あとがき

気導音と骨導音の頭内における加算処理について検討を加えた。まず、気導音と骨導音は主に蝸牛において加算されると仮定し、純音を用いた主観評価実験を行った。次に、この加算処理が、音質知覚に及ぼす影響について楽音を用いて調べた。その結果、従来、定性的に言われていたこの加算処理を定量的に示すことができた。一方、気導音と骨導音を同相で提示することによって、気導音を単独で提示するよりも「豊かで深みのある音質」になることがわかった。この音質向上効果は、頭内（特に蝸牛）における信号加算処理による低域強調効果であるこ

とを見出し、新しい受聴システムの可能性を示した。今後は、骨導音の頭内伝達特性などに関する検討を継続する。

参考文献

- [1] R.M.Waren 「Auditory Perception」, CAMBRIDGE UNIV. PRESS Publication, pp.1-28 (1999)
- [2] 水島昌英, 伊藤憲三, 「音楽聴取を目的とした集団補聴システムについて」, 聴覚障害研究工学, vo.19, NO.2, pp.10-14, (1995)
- [3] 水島昌英, 伊藤憲三, 鴨頭義正, 「音楽聴取を目的とした集団補聴システム『ライブホン, とときめき』について」, 日本音響学会聴覚研究会資料, H95-7, (1995)
- [4] 高橋 明, Prima Oky Dicky A, 伊藤久祥, 伊藤憲三, 「骨導受聴の基本特性とその応用に関する検討」, YS-4-38, pp.75-76, 東北若手研究発表会 (2006)
- [5] 深澤達也, 石田和男, 村井裕子, 「骨導聴力のメカニクス」, 日本音響学会聴覚研究会資料, Vol.31, No.3, H-2001-28, pp.203-210, (2001)
- [6] 川戸千明, 猿舘朝, 伊藤憲三, 「気導音と骨導音の蝸牛加算モデルに関する一検討」, Vo.36, No.7, H2006-110, pp617-620, 音学会聴研資料 (2006)
- [7] 株式会社 アイソニック
<http://www.bekkoame.ne.jp/ro/aisonic/index.html>

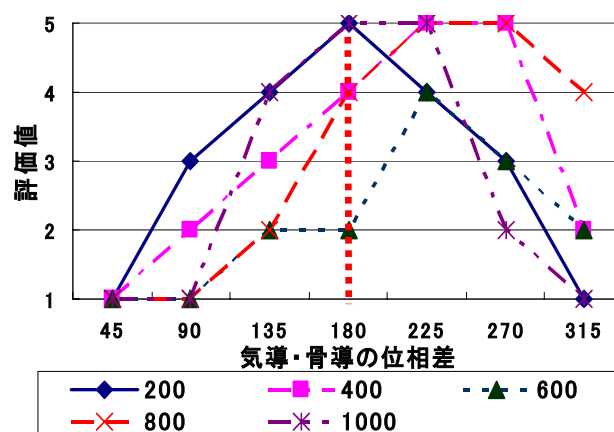


Fig. 2 気導・骨導における加算効果

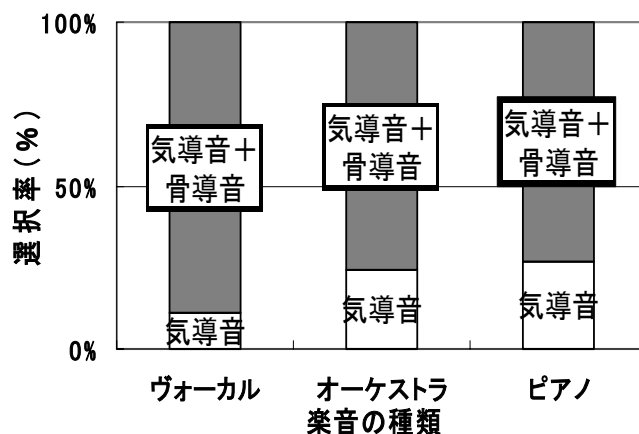


Fig. 3 音質評価実験結果