

Title	聴覚フィードバックにおける骨導音声の伝達過程に関する研究
Author(s)	鳥谷, 輝樹
Citation	
Issue Date	2021-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/17479">http://hdl.handle.net/10119/17479</a>
Rights	
Description	Supervisor: 鶴木 祐史, 先端科学技術研究科, 博士

氏名	鳥谷輝樹		
学位の種類	博士(情報科学)		
学位記番号	博情第452号		
学位授与年月日	令和3年3月24日		
論文題目	聴覚フィードバックにおける骨導音声の伝達過程に関する研究		
論文審査委員	主査 鶴木祐史	北陸先端科学技術大学院大学	教授
	赤木正人	同	教授
	党建武	同	教授
	中川誠司	千葉大学	教授
	岩城護	新潟大学	准教授

### 論文の内容の要旨

During speaking, humans perceive their own voices to control their speech production systems. This mechanism is referred to as auditory feedback. Previous psychological and neurological studies related to auditory feedback have suggested the importance of acoustical monitoring during speech production. Those studies have mainly focused only on air-conducted (AC) speech transmission of one's own voice. However, there is another type of speech transmission: bone-conducted (BC) speech. It is still unclear whether/how BC speech perception during speaking affects one's speech production as auditory feedback, as well as AC speech. Although some studies have used acoustical stimuli such as a pink noise for masking one's BC speech, it has not been clarified whether the noise stimuli successfully mask one's BC speech enough or not. For further exploring the auditory information during speaking, the following things need to be understood: (1) acoustical characteristics of BC speech, (2) transmission pathways and transmission characteristics, (3) perceptual contribution of each transmission pathway.

Physiological studies related to BC hearing have argued that the glottal vibration and the sound inside the vocal tract are transmitted to the auditory system (i.e., the outer, middle and inner ear) as BC speech through multiple pathways. Since BC speech transmission to the middle and the inner ear cannot be observed directly, previous studies have not obtained consistent findings regarding the contribution of the middle/inner ear pathways to BC speech perception.

This study aims to clarify the process of the BC speech transmission from the vocal organ to the auditory system from the above aspects ((1) to (3)), hypothesizing that the spectral characteristics of the BC speech component reaching the middle/inner ear correspond to those of the vibration of regio temporalis (RT).

Firstly, the fundamental frequency (F0) and the spectral characteristics of BC speech were analyzed focusing on the RE vibration and the sound radiation in the ear canal (EC) during speaking. It was found that the RT vibration included the same information of the fundamental frequency (F0) and the lower-order formants below 2 kHz as AC speech, while the EC sound radiation includes the same information of F0, the first formant (F1) and the second formant (F2)

as AC speech.

Secondly, transmission characteristics from the vocal organ to the RT and the EC were measured using transcutaneous excitation on the larynx and excitation from a sound source in the oral cavity. The measurement found that BC transmission from the vocal organ to the outer ear has an effect of band-pass filtering between 1 to 3 kHz, while BC transmission from the vocal organ to the middle/inner ear has an effect of low-pass filtering below 2 kHz.

Thirdly, voice timbre of one's own voice were subjectively evaluated using the transmission characteristics obtained above, to investigate perceptual contribution of AC and BC speech transmission. The evaluation found that the middle-/inner-ear part of transmission contributes BC speech perception almost as the same extent as the outer-ear part of transmission.

From the three findings above, this research indicated that not only the outer-ear but also the middle/innerear part of BC speech transmission may play a role mainly in monitoring the pitch information as auditory feedback. The transmission characteristics obtained in this study is helpful in designing the masking stimuli for the auditory feedback experiment. The role of BC speech perception in auditory feedback is expected to be revealed in future studies.

**Keywords:** Auditory feedback, bone-conducted speech, transmission characteristics, vocal organ, auditory system

## 論文審査の結果の要旨

聴覚フィードバックには、音声生成と音声知覚を密接に関係づける重要な役割があり、そのメカニズムの解明が急がれている。話者が知覚する音声には、口唇から放射された音声は空気を介して外耳に伝達される気導音声と、発話器官から軟組織や頭蓋骨を介して聴覚系に伝達される骨導音声がある。これまでの検討では、気導音声が主に聴覚にフィードバックされる前提として議論されているが、聴覚フィードバック時に気導音声だけでなく骨導音声も知覚されていることは明らかである。そのため、聴覚フィードバックを正しく理解するには、骨導経路と気導経路を切り分けて検討する必要がある。

本論文では、「骨導音声の伝達においては中耳や内耳に直接到達する伝達経路の影響を無視できない」という考えのもと、中耳以降に直接到達する骨導音声のスペクトル形状は、軟組織・頭蓋骨（側頭部）振動のスペクトル形状によって特徴づけられることを仮定し音声生成過程の観点から聴覚フィードバックにおける骨導音声伝達の様相を明らかにした。まず、骨導音声の伝達において観測可能な側頭部振動と外耳道内音声に着目し、母音ごとの短時間的な特徴および長時間的なスペクトル特徴を分析した。その結果、外耳経由および中耳以降で伝達される骨導音声には、音声知覚に重要な音響的特徴が見られることが明らかになった。次に、喉頭付近の振動と口腔内音圧を基準としたときの骨導経路の伝達特性の物理測定を行い、骨導音声が発話器官から聴覚末梢系へ伝達される際の経路とその伝達特性について検討した。その結果、喉頭付近の振動および

口腔内音圧のどちらを基準としても、軟組織・頭蓋骨への伝達で 2 kHz 以下の低域通過特性を有し、軟組織・頭蓋骨を介して外耳道内に至る伝達で 2 ~ 3 kHz 付近の帯域通過特性を有するという共通の性質を見出した。次に、自己聴取音声の骨導経路と気導経路の伝達比を検討した聴取実験を行った結果、発話中の骨導音声知覚において、中耳以降への直接伝達の寄与は外耳経由の伝達の寄与に対して少なくとも-3 dB 程度、あるいは両者の寄与が同程度であることが示唆された。最後に、聴覚フィードバックとして骨導音声がどのような情報伝達を担っている可能性があるかを内耳でのスペクトル表現から検討した。この結果、外耳経由・内耳以降での骨導の聴覚フィードバックは主に生成・知覚間の音高情報のモニタリングに対して同程度に寄与している可能性が示唆された。

以上、本論文は、音響計測と聴取実験を組み合わせることによって骨導経路の聴覚特性を調査し、骨導を通じて自己発話音声聴取する場合の外耳・中耳の伝搬とその貢献度合いを明らかにしたことから、学術的に貢献するところが大きい。よって博士（情報科学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。