

# 超音波聴覚ラボ

## ( Ultrasonic Hearing Lab. )

研究項目：高度難聴者のための超音波補聴器開発に関する研究

研究期間：平成10年度～14年度

### 1. 当該研究の背景

#### 1.1 本研究の目的と課題

高齢化社会に伴い通常の補聴器では聞えない高度難聴者の数が増えているが、これまで他に良い代替方法がなかった。しかし、我々の研究によって高度難聴者でも超音波が聴取できることが明らかとなり、超音波を用いた高度難聴者用補聴器の可能性が高まってきた。本研究では脳磁計(MEG)を用いて骨導超音波刺激による音声知覚応答を客観的に計測し、高度難聴者に使用可能な超音波補聴器を実際に開発・製作することを目標とする。このため、聴覚健全者及び高度難聴者の双方で、MEGを用いて計測した骨導超音波刺激による言語識別結果に基づいて、言語音の伝達特性の最適化をはかり、高度難聴者用超音波補聴器の開発、製作を行う。

#### 1.2 本研究の社会的背景、ニーズ

高齢化社会に伴い通常の補聴器で聞えない高度難聴者も増えてきている(平成3年度で身体障害者2級以上の高度難聴者は全国で約85,000人:平成8年度版「障害白書」による)が、現在、他に代替方法がないために困っているのが実情である。これに対して高度難聴者で超音波が聴取できたことから超音波を用いた高度難聴者用補聴器の必要性が高まっている。

本研究は脳磁計(MEG)を用いて超音波刺激による音声知覚機能を正常者と高度難聴者の双方で客観的に計測し、この結果を感覚心理実験と対応させ音声情報伝達の最適化を行い、高度難聴者が使用可能なMEGで聴取性能を最適化した超音波補聴器を開発・製作することが目標である。

超音波聴覚の研究は、これまでも国内外で行われてきたが、科学的に実験・計測し、超音波の周波数に対する感受性や変調超音波の識別に関する研究は他では行われていない。また、超音波骨導刺激器は外国製で

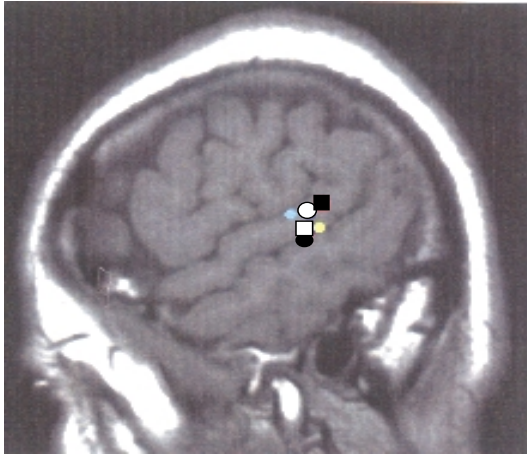
研究用として試作(Hearing innovation社)されてはいるが、言語音を伝える補聴器機能はない。また、MEGを用いた超音波研究は我々のグループ以外に国内外では実施されておらず、超音波補聴器が実用化されている例はない。

#### 1.3 当所における過去の先行研究、それらの研究成果との関係

我々はこれまで聴覚健全者や高度難聴者で超音波骨導刺激による言語刺激が聴覚野に脳活動を引き起こすことを発見したが、これらの結果に基づき、簡単な日常の言語音を最適に識別できる高度難聴者用の超音波補聴器を実際に開発、製作することを目指す研究をスタートさせた。

### 2. これまでの研究経過と現状

これまでも超音波知覚の研究は内外で行われていたが、科学的・客観的な研究は行われていなかった。我々は全頭型脳磁計を用いて聴覚正常者と高度難聴者の双方で骨導超音波刺激による音声言語の聴覚脳磁図(MEG)実験を行い、また超音波刺激に対する音声認識の心理実験も実施して、超音波刺激によって言語音が知覚識別されることを世界で初めて科学的、客観的に立証した。まず聴覚正常者群で可聴域周波数の気導音と骨導超音波刺激による聴覚機能とを調べた結果、脳内の活動部位が聴覚野内で明瞭に区別された。一方、超音波に母音を変調して加え高度難聴者で実験した結果、聴覚野の異なる場所(上側頭部)にその活動源が示され、骨動超音波刺激による言語音の知覚機能を世界で初めて科学的、客観的に立証した(図1)。平成10年度には、超音波を用いた変調言語音刺激によるMEG実験用の超音波刺激発生装置の製作、非磁性製の種々のセラミック型超音波振動子の開発を行い、それらの特性テストを実施した。



- /ア/ で変調された40 kHz 超音波の応答
  - /イ/ で変調された40 kHz 超音波の応答
  - /ア/ で変調された40 kHz 超音波の識別反応
  - /イ/ で変調された40 kHz 超音波の識別反応
- 24 kHz 超音波の応答  
40 kHz 超音波の応答

図1 高度難聴者に対する超音波刺激の応答ピーク，  
母音変調超音波の識別反応の信号源

平成10年度には、骨動超音波刺激において、変調された母音や言語音が脳内の如何なる部位で知覚、処理されているかを精密に調べることができ、且つ最適化された超音波補聴器の開発・製作を行うのに用いるため、低磁場強度(0.3T)ながら脳の精密な断層画像が撮影できる永久磁石型マグネットによるMRI脳断層画像撮影装置を導入・設置した。超音波聴覚に関するこれらの研究成果は国際会議での発表や、LANCET、NeuroReport誌などの国際医学関係雑誌などに論文発表を行った。

平成11年度は、骨動超音波を用いた種々の変調言語音刺激に対する聴覚実験で計測した大量のMEG計測データの詳細な解析を実施した。さらに、複数の超音波振動子を用いた音像定位の実験や、生体の聴覚系における超音波の神経伝導経路に関する基礎的検討なども実施した。これらの分析結果から、伝達特性の良い種々の非磁性製セラミックス型超音波振動子の試作を行い、最適な伝導効率の変調周波数の選択、最適な変調方式の検討、音の校正法の検討、実際の超音波刺激発生装置の回路設計、装置のコンパクト化、簡易型補聴器の試作等を試み、それらの種々の聴覚性パラメー

タに関する超音波補聴器の聴取テストを実施した。

また本年度は、これまでに得られた骨動超音波のMEG実験で最適化された超音波補聴器の第1号器の製作を行うと共に、その特許申請を行った。超音波聴覚の研究に関するこれらの成果は、関連する国際会議で積極的に発表を行うと共に、IEEE Transactions on Magnetics, NeuroReport(3件)、IEEE/EMBS, ARO, Biomagnetism, Journal of Applied Physics等の国際医工学会雑誌に多数の論文発表を行った。

### 2.1 当該研究から派生した他の研究テーマ

本研究の直接的な目標は、高度難聴者のための超音波補聴器の開発である。しかし、超音波の有効利用という面では、超音波補聴器に留まらず、一般に超音波の特性、性能を活かした産業応用が考えられる。既にこれは、本研究の発足時点から或る程度の予測が成されていたものであるが、主に、超音波を用いた音響機器、オーディオ家電産業への応用開発への波及である。既に、音響メーカーや、家電企業等から数件の問い合わせが来ており、今後これらの分野への波及効果も十分に考えられる。

### 2.2 産学等との連携研究

本研究は、奈良県立医科大学耳鼻咽喉科、東京大学大学院医学研究科認知・言語医学講座、同志社大学工学部超音波研究室、それに企業(例えば共和電子工業)と我々との共同による産学官の連携研究で実施している。

### 2.3 取得知的所有権

骨導超音波刺激によるこれまでのMEG実験の解析結果から、種々の聴覚性パラメータを最適化した超音波補聴器の第1号器を開発、試作し、その特許申請を行った(図2)。

## 3. 期待される波及効果

聴覚正常者と高度難聴者の双方で骨動超音波刺激による聴覚MEG実験、並びに超音波による音声認識の心理実験を実施し、世界で初めて超音波が聞こえることを立証した。

高齢化社会の急速な進展に伴って、人間・生活分野



図2 超音波補聴器の試作一号器  
(特許出願中)

における聴覚機能代行への応用が強く切望されてきている。超音波骨導刺激という新しい概念に基づく革新的福祉機器類が開発され、各種医療福祉機器に関連する新規産業創造に資する。また、超音波聴覚の特性が明らかになれば、一般の音楽聴取における新しい機器類の開発を促し、広く一般のオーディオ家電産業の活性化と新分野の創出に資する。現在人間は20kHzまでしか聞こえないということで、音楽などの録音再生はすべて超音波領域をカットしている。本研究で超音波聴覚の感受性、帯域が解明されると、より忠実な音の再現を求めて、今後の新たなテーマとして通常帯域から超音波領域までを記録、再生するオーディオ機器の新製品開発が盛んとなり、活性化、新産業の創製に繋がる。

#### 4. 今後の研究展開の方向

上記の研究の中で、さらに明確となった事実に、左右に2個の超音波振動子を装着して用いた超音波の音像定位の実験がある。この結果、骨導超音波による聴覚においても普通の可聴音の時と同じように、音像定位が可能であることが証明された。この成果は、超音波が上オリーブ核以前の末梢レベルで、既に聴覚神経系に結合する経路があることを強く示唆する結果で

あり、超音波聴覚機能の解明に一步を切り開くと共に、今後の超音波補聴器の製作において複数振動子を用いた多チャンネル超音波補聴器の開発に画期的な道を開くものである。今後の研究の進展では、研究期間終了までに、このような複数チャンネルの超音波補聴器の製作、それを用いた聴覚の機能マッピングの表示法・視覚化手法等が期待される。

高度難聴者が実際の言語識別機能として、どのような超音波刺激が聴覚の単語(言語)として最も識別し易いかを、種々の超音波刺激に対して言語識別のMEG実験を行う。また、聴覚健常者群と高度難聴者群の双方による超音波MEG実験を実施し、超音波補聴器の方式、及びその限界等を明らかにして実際の第2号器の補聴器に応用するための設計指針を得る。また、2号器の補聴器の聴取実験、性能テスト結果を踏まえ、更に改良を行い、日常生活に必須の簡単なことばを変調して与え、これらの超音波感受性の計測実験を行う。これらの成果を基に高度難聴者用骨導超音波補聴器の第3号器の試作を行う。

#### 参考文献

- 1) Seiji Nakagawa, Masahiko Yamaguchi, Takefumi Sakaguchi, Mitsuo Tonoike, Satoshi Imaizumi, Hiroshi Hosoi and Yoshiaki Watanabe : Characteristics of auditory perception of bone-conducted ultrasound., 電子情報通信学会技術研究報告, WIT99-15, pp. 89-94, 1999.
- 2) Seiji Nakagawa, Shoogo Ueno and Toshiaki Imada : Changes in parameters of auditory evoked magnetic fields with click train patterns., Journal of Applied Physics, 85(8), pp.5708-5710, 1999.
- 3) H.Hosoi, S.Imaizumi, T.Sakaguchi, M.Tonoike and K.Murata : Activation of The Auditory Cortex by Ultrasound., The Lancet, 351, No.9101, pp.496-497, 1998.
- 4) S.Imaizumi, K.Mori, S. Kiritani, H. Hosoi and M.Tonoike : Task-dependent laterality for cue decoding during spoken language processing., Neororeport, Vol.9, No.5, pp.899-903, 1998.

#### 当該研究担当者等

- 1) ラボ構成員(総数12名)
  - 職員(6名) 外池光雄\*, 中川誠司, 山口雅彦, 岩木直, 浜田隆史(大阪LERC), 葛西直子(基礎計測部)
  - 職員以外(6名) 細井裕司(奈良県立医科大学耳鼻咽喉

科),西村忠己(奈良県立医科大学耳鼻咽喉科),今泉敏(東京大学医学部),小川洋和(関西学院大学文学部心理学科),鈴木まや(関西学院大学文学部心理学科),仁頃太一(近畿大学理工学部)

2) その他の研究協力者

阪口剛史(同志社大学工学部),渡辺好章(同志社大学工学部),森 浩一(国立リハビリテーションセンター研究所),西池季隆(大阪大学医学部耳鼻咽喉科),定藤規弘(岡崎国立共同研究機構生理学研究所)

\*ラポリーダー