

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04260

研究課題名(和文) 泳者の水中聴覚に関する研究

研究課題名(英文) Research on the Swimmer's Auditory Characteristics

研究代表者

仰木 裕嗣 (OHGI, Yuji)

慶應義塾大学・政策・メディア研究科(藤沢)・教授

研究者番号：90317313

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はヒトが遊泳中に水中で放たれた音源をどのように聴いているのか？という水中聴覚のメカニズムを明らかにすることを目的としている。実験は振動・騒音を排除した静寂環境を作り出せる屋内プールを利用した。クロールによるテザード泳を行う泳者が一定の位置に留まる状況を作り出し、オクターブバンド解析で使用する周波数を側方においた水中スピーカーから送出し、これを泳動中に聞こえたか否かを応える反応実験を実施した。すなわち水中環境における聴覚検査を実施した。7名の被験者に対して行った実験結果から低い周波数領域では、泳ぎではなく音に対する集中を心がけるか否かで聴こえが変わることがヒアリングから明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水中で音を聴くという課題はこれまで潜水土、スクーバダイバー等の水中安全確保を研究対象にしており完全水没状態での検討がなされてきた。しかしながら一般の人にとっての水環境は泳ぎ、すなわち水面付近であることは言うまでもなく、この空気と水との境界面における聴覚の生理現象は全く未知の問題である。音によって壁への接近を視覚障がい水泳選手に知らせるという申請者がこれまでに取り組んできた用具開発によって浮かんできたこの疑問を明らかにすることは、水中運動における危険報知にくわえ、水中での音声伝送や水中音響アミューズメントといった方面への応用も期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aims to clarify the mechanism of underwater hearing: how do humans listen to sound sources emitted underwater while swimming? The experiment was conducted in an indoor swimming pool, which can create a quiet environment free from vibration and noise. A tethered crawling swimmer remained in a fixed position, and the frequencies used in octave band analysis were transmitted from an underwater loudspeaker placed at the side of the swimmer. A response test was conducted to determine whether or not the swimmer heard the frequencies during the swim. The results of the experiment on seven subjects showed that hearing was very poor in the low frequency range, and that their hearing changed depending on whether they concentrated on the sound rather than swimming.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：水中聴覚 水中音響 水泳 骨伝導 視覚障がい水泳

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表者の仰木は、2016年に開催されたリオデジャネイロパラリンピックまでに至る三カ年にわたって、スポーツ庁のもとで進められたハイパフォーマンスサポート事業において、パラ水泳のトレーニング用具開発の責任者として視覚障害水泳選手の支援を担当した。そこでは、トレーニング中の視覚障害水泳選手にコーチの声を無線で知らせる「無線骨伝導スピーカーゴーグル」と、視覚障害水泳選手がターンやゴール時に壁に接近したことを音で知らせる「接近検知装置」の二つの用具を開発した。前者の無線骨伝導スピーカーゴーグルは、ゴーグルレンズに埋め込まれた圧電素子が振動することで眼窩部から音が聞こえるトランシーバーである。後者の接近検知装置は水中カメラ映像からの映像をリアルタイムで画像処理し泳者が接近してくる場合にのみ反応しアラートを出す仕組みであった。これらは2016年のパラリンピック大会で銀メダルを獲得した選手のトレーニングで用いられた。

この用具開発の過程で、これら二つの開発した用具が発する音の特性と、その音が泳者にどのように聞こえるのかを確認するための評価実験を繰り返し実施した(仰木ら, 2016)。そこで明らかになったことは、後者の接近検知装置には水面上と水面下に二つのスピーカーを搭載し、十分な音量を発していると認識できるにも関わらず、泳者にはそれほど明瞭に接近を知らせるアラートが認識されないことがある、ということ。また前者の無線骨伝導スピーカーにおいては、同様に聞き取りにくい音域と音のパターンが存在する、ということであった。これらの知見は水中環境下であっても、泳者が水面付近を泳ぐことからくる水表面付近の音響環境の認知メカニズム、および泳者自身が引き起こしている音自体をヒトがマスキングしてしまう、という人間の生体物理特性の双方が関連していることが示唆された。

このヒトの水中聴覚に関する研究は国内外を問わず、これまでほとんど行われてきていないと言ってもよい。僅かに散見される研究の中では、老松、倉本ら(1994, 1996)による研究では水中においてヒトが認識しうる聴覚の弁別閾に関する基礎研究、外耳道に存在する空気が果たす役割と外耳道に水を注入して変わるヒトの水中聴覚などが実験データから検討されている。彼らによってこれまで行われてきた研究の多くは、スクーバダイバーもしくは潜水士を対象にした水中に水没したヒトの聴覚機能の生体物理特性を対象にしており、本研究の参考になるものの、水表面境界には音の反射が認められることから必ずしも水中で聞こえる音が泳者に聞こえているわけではないという大きな違いがある。また Akamatsu ら(2002)による研究ではこの水表面における音の反射について明らかにしており、さらにプールのように浅水環境ではカットオフ周波数が存在することも指摘していることから、泳者にとって聞き取りやすい音が存在するであろうことも考えられる。このように基礎的水中音響に関する生体物理特性や、プール環境での音の物理現象が研究されているものの、泳者が音をどのように聞き分けるのかについて過去に研究はなされてきていない。

## 2. 研究の目的

本研究は、「遊泳中のヒトが水中および水面付近(ここでは水面上と水面直下を意味する)においてどのようにして音を聴いているのか?」という生体物理現象を明らかにすることを第一の目的とし、さらに「遊泳中のヒトに対して音声や音響によって情報伝達を行う場合にはいかなる音源を選択すれば良いのか、その指標を提示する」ことを第二の目的とした。

### 3. 研究の方法

研究初年度には、水中および水表面の境界域において音を聴くという環境をいかにして再現して、音の放出と録音、同時に音を聞いて反応することをどのようにして計測するか？を確認する上で、ダイビングプールによってその基礎的実験環境を再現した。行ったことは水中スピーカーおよびハイドロフォンによる集音である。また泳者にみだた被験者が音を認識した時点で反応するか？を確認した。その知見をもとにして、2年目以降の研究実験に臨んだ。

本研究では、一般的な聴覚検査を水中にて、且つ泳者が泳いでいる状況を作り出して研究を進めることが求められる。ただし、実際に泳者がプールで泳ぐ場合には、音源と対象者との距離が時々刻々変わるために、泳者が聴く音圧を一定に保つことが出来ない。従って、最低可聴音を周波数ごとに確認して反応を示すような実験はこれでは期待できない。したがって、泳者をその場に留めるためのテザード泳を取り入れた。泳者は腰に装着したゴムロープによってプールサイドと繋がれることで、泳動作をしても一定の場所に留まることができる。音源が泳者の側方にくる設定を用意し、泳者はクロール泳を行った。側方約7m・水深1m付近に設置した水中スピーカーから、オクターブバンド解析に用いられる周波数を低周波から高周波、高周波から低周波の順に流し、各周波数において音圧レベルを上げていく、逆に下げていくという手順を繰り返し、聴こえた時点で泳者は防水圧力センサーを利用した指先スイッチを押下し反応する、という方法を採用した。泳者の耳元には小型ハイドロフォンを装着し、さらに泳者の周りにもハイドロフォンを配置することで、実際に泳者が聴いていると想定される水中での音圧を測定した。水中スピーカーから放出される音源の水中音圧レベルと、この泳者周りに設置用意したハイドロフォンでの音圧とを計測した。水泳経験者7名が被験者としてこの実験に参加し、オクターブバンド周波数による水中聴覚検査を実施した。

### 4. 研究成果

本研究では、被験者による水中聴覚計測実験に先立ち、プール内における水中音の周波数特性についても事前調査を行い、プール特有ともいえる特定地点・深さにおける音の消失現象も発見した。具体的にはプール内に複数の箇所の深度ごとの音圧を測定するために、ハイドロフォンを格子状に設置して集音計測点を設けたところ、数箇所において音圧を上げてても無音である箇所が発見され、これはAkamtsuら(2002)が述べているように、音の水面による鏡面反射を要因とするアクティブノイズキャンセリング効果であろうと予想された。したがって、泳者を使って実験する場合に、その泳者の配置には十分な検討が事前に必要であることがまず示唆された。

被験者によるテザード泳実験で得られたオクターブ試験の結果からは低周波音に対してはヒトの聴覚は極めて感度が低いことが裏付けられた。また、聴覚に集中しているか否かによって、その可聴レベルは大きく変わる可能性も示唆された。従って、ヒトの意志、集中力によって変わらうる水中聴覚特性は単純に生理・物理学的な意味での水中聴覚とは異なることも示唆された。このヒトの意志や集中力といった認知にかかわる事象を定量化することは容易ではないが、自身の生み出す音と、周囲から聴こえてくる音との弁別等については、今後の検討課題であり認識・認知をしやすい音源の探索が次の課題として得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	成田 健造  (NARITA Kenzo)  (70836999)	鹿屋体育大学・スポーツ・武道実践科学系・助教    (17702)	
研究分担者	谷川 哲朗  (TANIGAWA Tetsuro)  (90615452)	大阪国際大学・人間科学部・講師    (34429)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関