

6. 洋上風力発電からの水中音と魚類行動の関連性検証

～基本測定機器等で構成した水中音圧測定～

ものづくり技術支援グループ ○村田政隆
 (一財) 漁港漁場漁村総合研究所 伊藤靖、當舎親典、高原英生
 北海道大学大学院水産科学研究院 富安信
 北海道大学水産学部 藤田一世、松田大葵、銀杏優志、反保智之
 (一財) 函館国際水産・海洋都市推進機構
 函館頭足類科学研究所 桜井泰憲

1. はじめに

近年、地球温暖化の加速を懸念し、世界的に「低炭素社会」から「脱炭素社会」への転換を目指す中、日本では主力的な再生可能エネルギー源として、地理的利点から洋上風力発電（洋上風発）に大きな期待が寄せられている。しかし、操業中の洋上風発から長期間に渡り放射される水中音が魚類等に与える影響に関する研究等は、検証期間が十分とはいえず、多角的な推進や継続が必要である。

そこで、本研究では洋上風発から放射される低周波音を想定し、高価な水中音響機材等を新規に準備することなく、電子計測系の基本測定器等で水中音の放射と水中音測定を実施し、水中音と魚類等の行動について検証した。

2. 音の放射と測定

本実験では専用の水中音響機材の代わりに基本測定器等を用いた音の放射および測定に関するシステム構成を図1に、使用した主な構成機器および設定値を表1に示す。

放射については、信号発生器で正弦波を生成し、オーディオアンプを介して水中スピーカから純音として放射した。なお、信号発生器とオーディオアンプ間には、効率よく電力を伝送することを目的に、50Ω/75Ωのインピーダンス変換回路を設けている。測定系では安価な水中マイクを使用し、受信器のボリュームに影響されないLINE信号をオシロスコープに接続し、オシロスコープのFFT機能を用いて特定周波数の強度を記録した。

3. 測定値の音圧変換

本実験では下式により測定強度 W [dBm]の音圧単位変換を図った。

$$L_a = f_f(W)$$

$$L_a = 20 \log(p'/20 [\mu\text{Pa}]) [\text{dB re } 20\mu\text{Pa}]$$

$$L_w = 20 \log(p'/1 [\mu\text{Pa}]) [\text{dB re } 1\mu\text{Pa}]$$

$$\therefore L_w \doteq f_f(W) + 26.0$$

L_a : 空中音圧レベル
 $f_f(W)$: 近似直線式
 P' : 測定音圧実効値
 L_w : 水中音圧レベル
 添え字 f : 周波数

まず、空気中で汎用スピーカから周波数や音量を変化させた純音（正弦波音）を放射し、水中マイク等で測定した W と精密騒音計で測定した L_a から図2に示すような近似直線式を求めた。水中実験では、これらの式を用い、測定値 W から L_w を算出した。ただし、

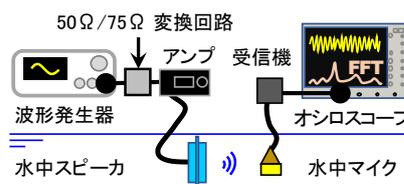


図1 実験システム構成

表1 構成機器および設定値

	機器 (型式)	メーカー/主設定
放音	信号発生器 (33622A)	Keysight Technologies ・周波数 (主に100Hz) ・振幅: 2Vp-p
	50Ω/75Ω 変換回路	自作
	アンプ (AL-602H)	Amulech ・表示値 60
	水中スピーカ (US300)	Fostex
測定	水中マイク (RH328)	UETAX
	オシロスコープ (DSOS204A)	Keysight Technologies ・input impedance: 1MΩ ・Speed: AMSa/s, 1Mpts ・TimeRange: ±500ms ・VoltageRange: ±8V <FFT> ・Start 0Hz - Stop 200Hz ・CF 100Hz, Span 200Hz ・RBW 1.5Hz

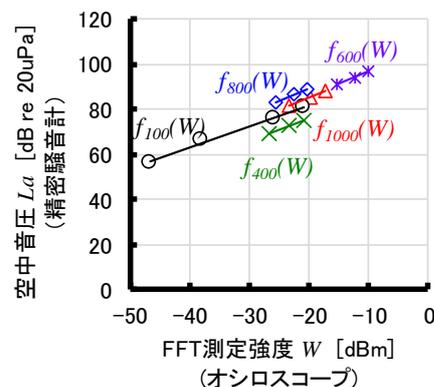


図2 測定強度 W の音圧変換

本変換はオシロスコープの FFT 機能を利用しているため、信号が周期的であると仮定していること、設定条件によって FFT の演算結果が変化すること、また、騒音計の測定値は単一周波数に特化していないこと等から、水中音圧レベルは推定値である。



図 3 浅虫水族館青特水槽外観

4. 水中音と魚類行動の関連性検証

青森県営浅虫水族館にご協力頂き、2019 年 11 月から図 3 に示す館内の大型水槽（呼称：青特水槽、長さ 13m、海水容量 30 トン、水温 18℃）で検証実験を行った。水槽内を 19 区画にして暗騒音と 100Hz の純音を放射した時の音圧の測定結果例を図 4 に示す。同年 12 月 13 日、大型水槽前の通路に図 5 に示すように動画撮影用カメラを配置し、大小様々な魚種 18 種、個体数 200 以上の魚に対して水中音と魚類行動の関連性を観察した。特に遊泳特性の観察対象としたマダイには圧力・温度・3 軸方向の加速度の情報を記録できる加速度ロガーを外部装着した（図 6）。

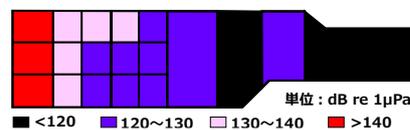


図 4 100Hz 純音放射時の概略分布

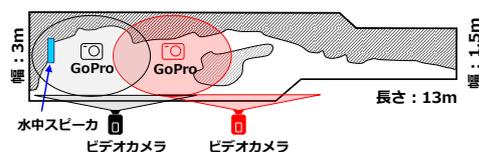


図 5 行動観察用機材

本実験では、環境音のみの状態で 15 分間の待機後、100Hz の純音を放射して、15 分後に放射を完了するまでの 30 分間を 1 サイクルとした。なお、サイクル間には 1 時間以上のインターバルを設け、事前の実験の影響が残りにくように配慮した。

実験結果の一例として、実験 1 回目のマダイの行動分析結果例を図 7 に示す。環境音のみ時には水中スピーカ近傍にも遊泳していたマダイが、純音放射時に水中スピーカに近づくことを避けるような行動が観察された。また、マダイの大型個体（体長 58.0cm）では、音の放射時に水槽中央の擬岩を挟んで反対側で遊泳する時間が長くなり、遊泳域が変化している傾向が見られた。さらに、データロガーの解析結果からは、音の放射時には尾びれの振動周期が遅くなり、遊泳水深が浅くなる傾向が見受けられた。



図 6 加速度ロガー装着の様子

一方、本実験ではマダイの小型個体（体長 28.5cm）には顕著な変化は見られず、大型個体でも実験 2 回目以降は水中音の有無で遊泳区域に有意な変化は認められなかった。

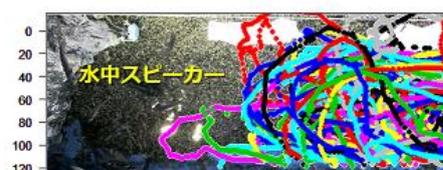
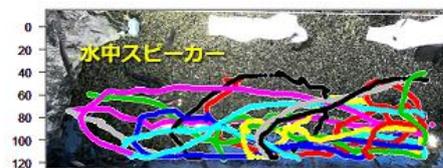


図 7 マダイの行動解析例

5. おわりに

100Hz の水中音が魚類に影響を与える可能性を実験的に検証した。その結果、1 回目の実験のみ大型のマダイの行動に差異が認められたことから、自然環境下と飼育環境下の違いも考慮しつつ、魚類の水中音順応性に関する検証も必要だと考える。

飼育環境中の水中音測定について考察すると、環境音に 100Hz 近傍のピークが含まれていることが多かった。商用電源が 50Hz の地域では、施設内の設備・機器等から 50Hz を基本波とする高調波成分が影響し、飼育魚類は自然に生息する魚類よりも 100Hz の振動現象に慣れを生じている可能性もあると考えられる。現在、洋上風発にかかわる様々な研究が進められていることから、今後はこれらの成果も踏まえながら、水中音と魚類の行動の関連性について、さらに検証を進めていく計画である。

<謝辞>

本研究の実施にあたり、青森県営浅虫水族館飼育展示部魚類グループの皆様にご多大なるご尽力をいただきました。この場を借りて改めて御礼申し上げます。