

平成 30 年 6 月 29 日現在

機関番号：82678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00575

研究課題名(和文) 低周波水中音 - 洋上風力発電施設から放音される低周波音は魚類に影響を及ぼすか -

研究課題名(英文) Effect of underwater noise from offshore wind farm on fish

研究代表者

島 隆夫 (Shima, Takao)

公益財団法人海洋生物環境研究所・海生研中央研究所・研究員

研究者番号：20541056

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は洋上風力発電施設から発生する低周波水中音の魚類への影響を解明し、洋上風力発電施設の稼働に伴い必要となる環境アセスメントに必要な知見を得る事を目的としている。本研究の結果、140 dB re 1  $\mu$ Pa/ Hzの100 Hz純音は遊泳行動や摂餌に一時的な影響を及ぼすが、マダイの摂餌リズム、摂餌量および成長、シロギスの性成熟、産卵行動、卵質、卵発生に顕著な影響は認められなかった。しかしながら、水中音に対する聴覚感度や反応は魚種によりさまざまであると考えられるため、洋上風力発電施設から放音される低周波水中音が海洋生物に及ぼす影響を把握するためにはさらなる知見の集積が必要である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate how low frequency underwater noise from offshore wind farm on fish, which is essential knowledge for environmental assesment of offshore wind farm. The results of this study showed that at the onset of exposure to 100 Hz pure tone at a 140 dB re 1  $\mu$ Pa/ Hz cause temporal changes in swimming and feeding behavior, however no significant effect on the feeding rhythm, feeding rate and growth of Pagrus major, and sexual maturity, spawning, egg development of Sillago japonica. However, hearing sensitivity and reaction will differ depending on the species, further studies are needed for understanding the effect of underwater noise from offshore wind farm on fish.

研究分野：魚類の行動・生理

キーワード：洋上風力発電 低周波水中音 魚類影響 マダイ シロギス 成長 成熟 卵発生

1. 研究開始当初の背景

風力発電は再生可能エネルギーの中でも発電ポテンシャル面から有力な電力供給源であり、陸域に加え洋上風力発電所の開発が進んでいる。洋上風力発電施設から発生する音は、低周波数成分の音が主力であり、この周波数帯は多くの魚類の可聴範囲に含まれる。また、この低周波水中音は洋上風力発電施設が稼働している間、絶えず発生することが想定されるため、洋上風力発電施設周辺に生息する魚類を含む海産生物は、長期に渡り低周波水中音に曝露され続けることになる。しかしながら、これまでの研究例では、構造物建設に伴う打設音による衝撃波など、一時的に発生する水中音が魚類の忌避等の行動や聴力に及ぼす影響に関して検討したものがほとんどで、洋上風力発電施設稼働時に周辺で発生が予想されるような、長期に渡り継続する低周波水中音にさらされた場合の生物影響に関する研究事例は現在のところ報告が無く、海産生物に対する低周波水中音の影響に関する環境アセスメントについても手つかずの状況である

2. 研究の目的

- (1) 長期間低周波水中音に継続曝露されたマダイ、ヒラメの遊泳・摂餌行動、成長および血中コルチゾール量を指標とした生理的ストレス応答への影響を明らかにする。
- (2) シロギスを対象に、低周波水中音が再生産（性成熟、繁殖行動、産卵数、孵化率、正常発生率）に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

試験には周波数が 100 Hz の純音を用い、パワースペクトルレベル (re 1  $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ) が 140dB, 120dB, 100dB の 3 段階、および環境音のみ (コントロール) の 4 試験区を設定した。このパワースペクトルレベルは風力発電施設が 140 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$  の点音源であり、水中音の拡散が球面拡散であると仮定した場合、それぞれ、風力発電施設の直近、10 m, 100 m の距離における音圧レベルに相当する。

- (1) マダイの摂餌行動、成長に及ぼす影響  
水中スピーカーを取り付けた 4 基の 600 L FRP 円形水槽内に設置した 4 基の 35 l 水槽にそれぞれマダイ 0 歳魚 (平均体重 2.5 g, 38 尾/水槽) を収容し 43 日間、自発摂餌システムにより給餌して飼育した。試験開始から 5 日目以降 3 段階の音圧レベルの低周波水中音に連続曝露し、遊泳行動、摂餌日周リズムおよび体重、日間摂餌量、飼料効率を比較した。
- (2) マダイ、ヒラメの血漿中のコルチゾール濃度に及ぼす影響

4 基の 600 L FRP 円形水槽内にマダイまたはヒラメを 7 個体ずつ収容し、7~11 日間の馴致期間の後 3 段階の音圧レベルの低周波水中音 (およびコントロール) に 10 分、1 時間、

24 時間または 96 時間曝露した後、採血し、ELISA 法により血漿中のコルチゾール濃度を測定した。

- (3) シロギスの卵発生に及ぼす影響  
4 基の 600 L FRP 円形水槽にポリエチレンバッグに収容した桑実胚期のシロギス受精卵を収容し、3 段階の音圧レベルの低周波水中音 (およびコントロール) に 37.5 時間連続曝露し、異常卵率、異常孵化率、正常孵化率を比較した。
- (4) シロギスの産卵行動への影響  
水中スピーカーを取り付けた 4 基の 3 t FRP 円形水槽にシロギス成魚 (メス 10 個体、オス 5 個体) を収容し 78 日間 (平成 28 年 8 月 16 日~11 月 1 日) 飼育した。各水槽で安定した産卵が確認された後、3 段階の音圧レベルの低周波水中音 (およびコントロール) に 22 日間 (9 月 26 日~10 月 17 日) 曝露し、総産卵数、浮上卵率、および浮上卵の正常孵化率、異常卵率、異常孵化率比較した。
- (5) シロギスの性成熟への影響  
水中スピーカーを取り付けた 4 基の 3 t FRP 円形水槽に未成熟のシロギス (メス 20 個体、オス 20 個体) を収容し、飼育し、3 段階の音圧レベルの低周波水中音 (およびコントロール) に 91 日間 (平成 29 年 5 月 8 日~8 月 7 日) 連続曝露し、生殖腺体指数 (GSI) の変化、および卵質等を比較した。

4. 研究成果

- (1) マダイの摂餌行動、成長に及ぼす影響  
低周波水中音曝露開始直後には、140 dB 区の魚は水槽底に向かって突進し、水槽底付近で停止と遊泳を繰り返すなどの驚愕反応が認められ、低周波水中音曝露開始から再び摂餌を開始するまでの時間は、他の試験区に比べ有意に延長した (図 1)。しかし、これらの影響は一時的であり、摂餌日周リズムや飼育成績に有意な差は認められなかった (表 1、一元配置分散分析、 $P > 0.05$ )。

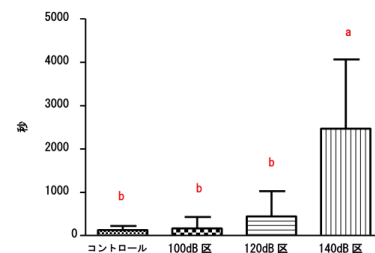


図 1 マダイ 0 歳魚が低周波水中音曝露後、再び摂餌を開始するまでに要した時間。異なるアルファベット間に有意差あり (一元配置分散分析、 $P > 0.05$ )。

表 1 マダイ 0 歳魚の飼育成績

	実験終了時体重	摂餌率	試料効率	日間成長率
	g $\pm$ sd	%BW/day	%	%BW/day
コントロール区	21.1 $\pm$ 0.7	3.07 $\pm$ 0.07	120.1 $\pm$ 2.7	5.02 $\pm$ 0.08
100 dB 区	20.7 $\pm$ 1.4	3.17 $\pm$ 0.14	115.2 $\pm$ 5.7	4.98 $\pm$ 0.16
120 dB 区	20.0 $\pm$ 0.8	3.14 $\pm$ 0.07	115.3 $\pm$ 3.3	4.91 $\pm$ 0.09
140 dB 区	21.5 $\pm$ 0.6	3.21 $\pm$ 0.29	115.6 $\pm$ 10.6	5.07 $\pm$ 0.07

(2) マダイ, ヒラメの血漿中のコルチゾール濃度に及ぼす影響

低周波音曝露後の血漿コルチゾール濃度はマダイ, ヒラメとも個体間のばらつきが大きく, いずれの曝露期間においても音圧レベル区間に有意差は認められなかった。この個体間のばらつきは, 馴致期間中に個体間の干渉(優位個体による劣位個体への攻撃)によるストレスが影響していると考えられた。今後, 低周波水中音に対するストレス応答の検出は試みる際には, 同一個体を経時的に観察できる方法がより適していると考えられた。

(3) シロギスの卵発生に及ぼす影響

各試験区におけるシロギス卵の異常卵率, 異常孵化率および正常孵化率に試験区間に有意な差は認められなかった(表 2, 一元配置分散分析,  $P > 0.05$ )。

表 2 低周波水中音に曝露したシロギス卵の異常卵率, 異常孵化率および正常孵化率

試験区	異常卵率 (%)	異常孵化率 (%)	正常孵化率 (%)
コントロール	2.5±2.8	0.6±1.1	96.9±3.8
100dB	1.7±0.2	0.6±1.1	97.7±1.2
120dB	1.2±1.0	-	98.8±1.0
140dB	1.8±1.8	-	98.2±1.8

(4) シロギスの産卵行動への影響

いずれの試験区においても試験期間を通じて産卵が認められた(図 2)。産卵数には一日おきに増減する周期性が認められた。また, 産卵前日の水温が前々日に比べ低下した場合産卵数が減少する傾向が認められた(直線回帰分析,  $P < 0.05$ )。これらの傾向はいずれの試験区においても同様であり, 産卵数にも低周波水中音の明確な影響は確認されなかった。また, 浮上卵率及び浮上卵の正常発生率に低周波水中音の影響は確認されなかった。

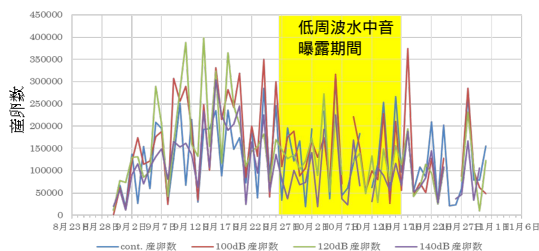


図 2 試験期間中のシロギス産卵数の推移

(5) シロギスの性成熟への影響

低周波水中音曝露開始時には 120 dB 区と 140 dB 区で驚愕反応と摂餌行動に一時的な影響が認められたが, 翌日以降各区に行動の差は認められなかった。試験期間中の GSI はいずれの試験区においてもメスでは試験期間中を通じ上昇し, オスでは 6 月中旬までの期間に急激な上昇が認められた(図 3)。雌雄とも, 同サンプリング日の GSI に有意な差

は認められず (ANOVA,  $P > 0.05$ ), また生殖腺に組織の異常は確認されなかった。産卵はいずれの試験区においても 5 月下旬から認められ, 以降 8 月上旬にかけて産卵数は増加した。産卵数, 浮上卵の正常発生率等に試験区間に明確な差は認められなかった。

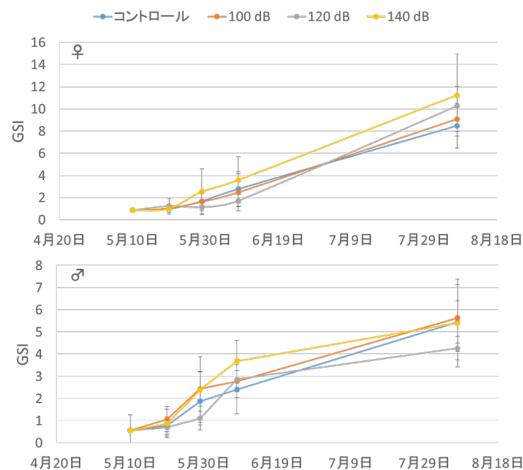


図 3 試験期間中のシロギス GSI の推移

平成 27~29 年度の結果, 本研究で検討した範囲の音圧レベルでは, 影響は一時的であり, マダイの摂餌リズム, 摂餌量および成長, シロギスの性成熟, 産卵行動, 卵質, 卵発生に顕著な影響は認められなかった。しかし, 水中音に対する聴覚感度や反応は魚種によりさまざまであると考えられる。また, 本研究で行った水中スピーカーを用いた水槽実験では, 水面や水槽壁からの反射の問題があり (Akamatsu et al., 2002), 水槽内の音圧レベル分布を実測した結果, 最大値は設定した音圧レベルよりも 10 dB 程度高く, 最小値は 15 dB 程度低くなっていた。実際の海域でこのようには狭い範囲で急激に音圧レベルが変化することは考えにくい。洋上風力発電施設から放音される低周波水中音が海洋生物に及ぼす影響を把握するためにはため, 試験手法の検討を含め, さらなる知見の集積が必要である。

#### 参考文献

Akamatsu et al (2002) Empirical refinements applicable to the recording of fish sounds in small tanks. J. Acoust. Soc. Am., 112: 3073-3082, 2002.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

島 隆夫, 長谷川一幸, 塩苺 恵, 今里元信 (2017) 低周波水中音がマダイ (*Pagrus major*) の摂餌行動および成長に及ぼす影響. 環境アセスメント学会誌, 15 (1): 77-83

〔学会発表〕(計1件)

島 隆夫, 長谷川一幸, 岸田智穂, 今里元信, 塩苅 恵, 井上俊司(2017) シロギス卵発生に及ぼす低周波水中音の影響. 平成 29 年度日本水産工学会学術講演会

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

洋上風力発電施設から放出される水中音が海生生物に及ぼす影響海生研創立 40 周年記念報告会～かけがえのない海を未来へ～ 予稿集

[http://www.kaiseiken.or.jp/study/40anniv\\_yokoshu.pdf](http://www.kaiseiken.or.jp/study/40anniv_yokoshu.pdf)

低周波水中音の連続曝露がマダいの摂餌行動, 成長に及ぼす影響, 海生研ニュース No.135.

<http://www.kaiseiken.or.jp/publish/news/lib/news135.pdf>

水中音と魚類の行動, 海生研シンポジウム 2017 海域環境保全に求められる新たな視点 予稿集

[http://www.kaiseiken.or.jp/symposium2017\\_text.pdf](http://www.kaiseiken.or.jp/symposium2017_text.pdf)

6. 研究組織

(1)研究代表者

島 隆夫 (SHIMA Takao)

公益財団法人海洋生物環境研究所・海生研中央研究所・研究員

研究者番号: 20541056

(2)研究分担者

長谷川一幸 (HASEGAWA Kazuyuki)

公益財団法人海洋生物環境研究所・海生研中央研究所・研究員

研究者番号: 10541089

今里元信 (IMASATO Motonobu)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・研究員

研究者番号: 80443240

井上俊司 (INOUE Shunji)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・研究員

研究者番号: 50575157

(3)連携研究者

( )

研究者番号:

(4)研究協力者

( )