

## 低周波水中音の連続暴露がマダイの摂餌行動、成長に及ぼす影響

### はじめに

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やコスト面からも有力な電力供給源であり、近年、陸域に加え洋上風力発電施設の開発が進んでいます。洋上風力発電施設からは、低周波数帯域に特徴的な周波数ピークを持つ水中音が発生することが報告されています(塩荊ら, 2015)。このような低周波水中音は洋上風力発電施設が稼働している間、周辺海域に絶えず発生し続けるため、周辺海域に生息する生物は、長期にわたり低周波水中音にさらされることとなります。しかし低周波水中音の長期的な影響については、国内外を含め、ほとんど検討されていないのが現状であり、「海域の生態系に関する調査・予測・評価の手法について引き続き知見を集積するとともに、海域生態系の環境影響評価に関する考え方をさらに検討していく必要がある。」と環境省の「洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会報告書」(環境省, 2017)の中で提言されています。

洋上風力発電施設から発生する低周波水中音が魚類に及ぼす影響を考える場合、①回遊魚など、洋上風力発電施設周辺に一時的に出現する魚種への影響と、②洋上風力発電施設周辺で一生活を過ごす沿岸性の強い魚種への影響を分けて考える必要があると考えられます。①の場合、洋上風力発電施設から発生する低周波水中音のある海域を忌避する場合、回遊ルートが変わることが懸念されます。②の場合、低周波水中音が定常的に発生している海域での生活史全般への影響が懸念されます。洋上風力発電施設は陸域からの距離と関連して環境影響の特性が異なることが考えられるため立地が沿岸に近い場合と陸域から十分離れた沖合な場合で区分して取り扱うことが考えられていますが(環境省, 2017)、沖合に立地する場合は主に①が、沿岸に立地する場合は①と②の両方が問題になると考えられます。海生研では国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所海上技術

安全研究所と共同で、②の場合を想定し、低周波水中音長期的暴露が魚類の摂餌行動、成長、生理的ストレス応答および再生産に与える影響を解明することを目的とした研究を行っています(科学研究費助成事業(JSPS)基盤研究(C)15K00575)。ここではマダイの摂餌行動と成長について検討した例(島ら, 2017)を紹介します。

### 試験方法

#### 低周波水中音

試験は600LのFRP円形水槽4基を用い、各水槽に水中スピーカーを取り付け、100Hz音のワースペクトルレベルが音源から1mの距離で140dB re 1 $\mu$ Pa, 120dB re 1 $\mu$ Paおよび100dB re 1 $\mu$ Paとなるようにした音データを連続再生しました。このワースペクトルレベルは風力発電施設が140 dB re 1 $\mu$ Pa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、10m, 100mの距離における音圧レベルに相当します。残りの1水槽は水中音を再生しないコントロールとしました。スピーカーから水槽内に放音した場合、一つ問題があります。それはスピーカーから発せられた水中音は水面や水槽壁に反射し、音圧の増幅や減衰が起こることです(Akamatsu et al., 2002)。本試験の場合、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8~9 dB re 1  $\mu$ Pa高く、最小値は15~17 dB re 1  $\mu$ Pa低くなっていました。実際の海域では、このように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ことに留意する必要があります。

上述した4基の試験水槽に、マダイ0歳魚(体重約6.9g)を50尾ずつ収容しました。試験開始から19日目までは各試験区とも低周波水中音が無い状態で飼育し、20日目から38日目まで低周波水中音に連続暴露し、その後再び低周波水中音が無い状態で17日間飼育しました。

## 試験結果および考察

### 遊泳行動への影響

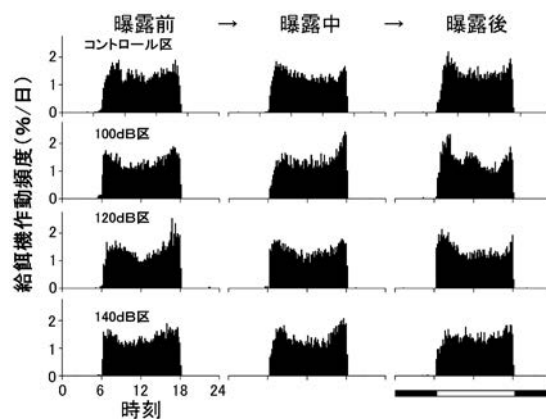
水中音を放音した直後では、140dB区のみで水槽底に横たわり(横臥行動),これに同期して体側に明瞭な横縞の発現が認められました。このような反応は音刺激に対する恐れあるいは警戒した結果と考えられます。他の試験区ではこのような反応は認められなかったことから、マダイの行動影響が認められる100 Hz水中音の音圧レベルの閾値は、反応が認められなかった120 dB区の最大値(128 dB re 1  $\mu$ Pa)より高く、この値と140 dB区の最大値(147 dB re 1  $\mu$ Pa)の間にあるものと考えられました。140 dB区のマダイは低周波水中音曝露期間中を通じて、水槽底付近を遊泳する傾向が強く、スピーカー近傍に滞泳しない等の行動を示しました。この行動は、140 dB区のマダイが、ある音圧レベルを超えるエリアを忌避していたとも考えられますが、上述した水槽試験で起こる特殊な音場分布が影響している可能性もあります。

### 摂餌行動への影響

試験中、マダイへの給餌は自発摂餌装置を用いて行いました。この装置は魚自身に自動給餌器のスイッチを操作させることにより、魚の食欲に応じた給餌ができます。魚が給餌器を作動させた時刻から摂餌日周リズムを調べることができます。マダイはほぼ明期のみ摂餌し、暗期にはほとんど摂餌しない、明確な明期型の摂餌パターンを示しました(第1図)。140 dB区では低周波水中音曝露開始から約1時間、摂餌行動が認められませんでした。低周波水中音曝露中の摂餌日周リズムに目立った変化は確認されませんでした。

### 成長への影響

試験終了時の体重に統計的に有意な差は認められませんでした。日間摂餌率、飼料効率および日間成長率は、各試験区に顕著な差は認められませんでした。



第1図 低周波水中音曝露前、曝露中および曝露後におけるマダイ0歳魚の摂餌日周リズム(右下の白黒バーは明暗周期を示す)。島ら(2017)より転載。

### おわりに

本試験で検討した範囲の音圧レベルではマダイ0歳魚への低周波音の影響は一時的であり、摂餌リズムや摂餌量、成長には顕著な影響はないものと考えられました。

本研究ではここでご紹介した以外にも、より長期間低周波水中音に曝露した場合の成長への影響、低周波水中音が性成熟や、初期発生に及ぼす影響などを明らかにするための研究を行っています。これらの知見の集積は、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際に有用になるものと考えられます。

### 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.
- 環境省(2017). 洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会報告書. <http://www.env.go.jp/press/files/jp/105434.pdf>
- 塩荊ら(2015). 洋上風力発電施設からの水中放射音に関する研究. 海上技術安全研究所報告, Vol.15, No.1, 101-121.
- 島ら(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.

(中央研究所 海洋生物グループ 島 隆夫)