

洋上風力の魚類等への影響について



2024年

公益財団法人 海洋生物環境研究所

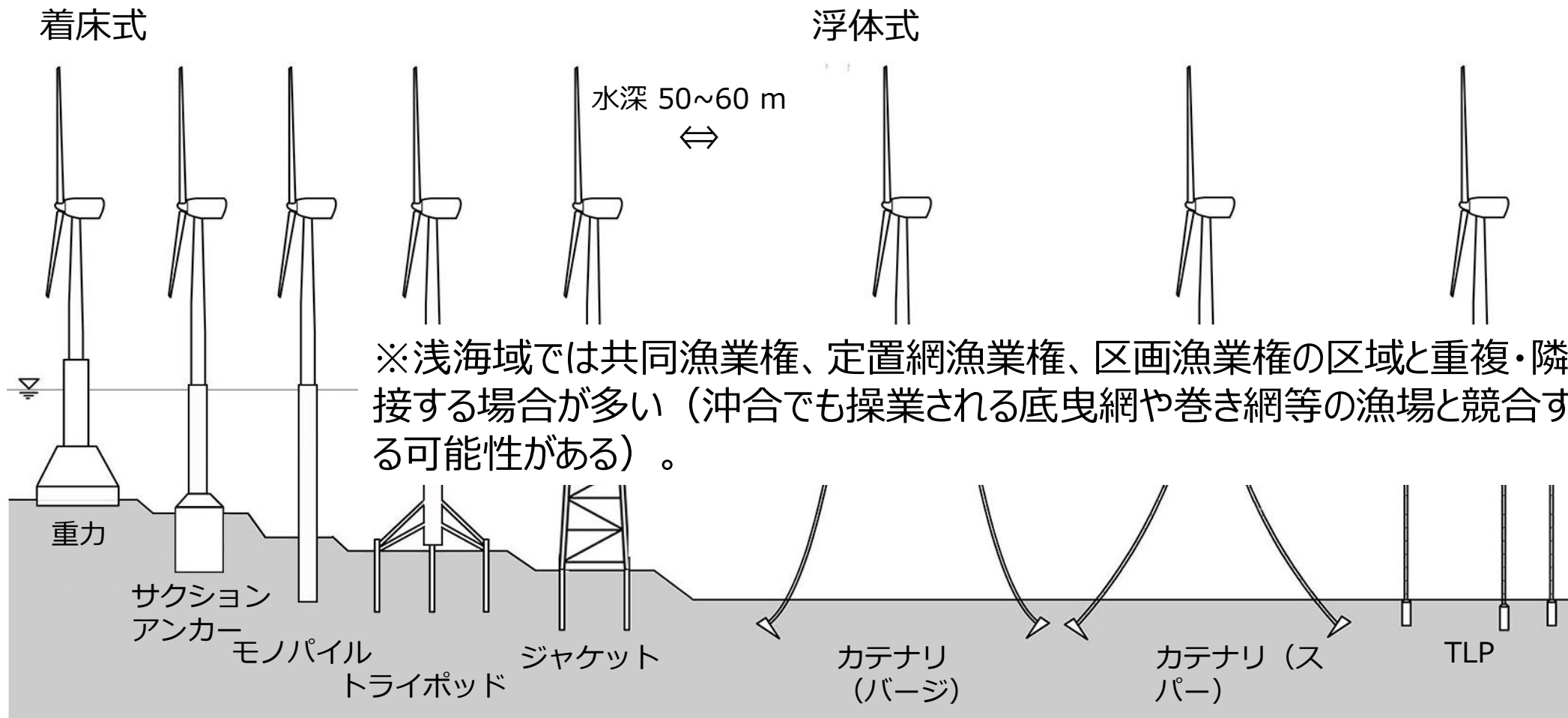
海洋生物グループ 島 隆夫

1. 洋上風力発電所建設により想定される生物影響

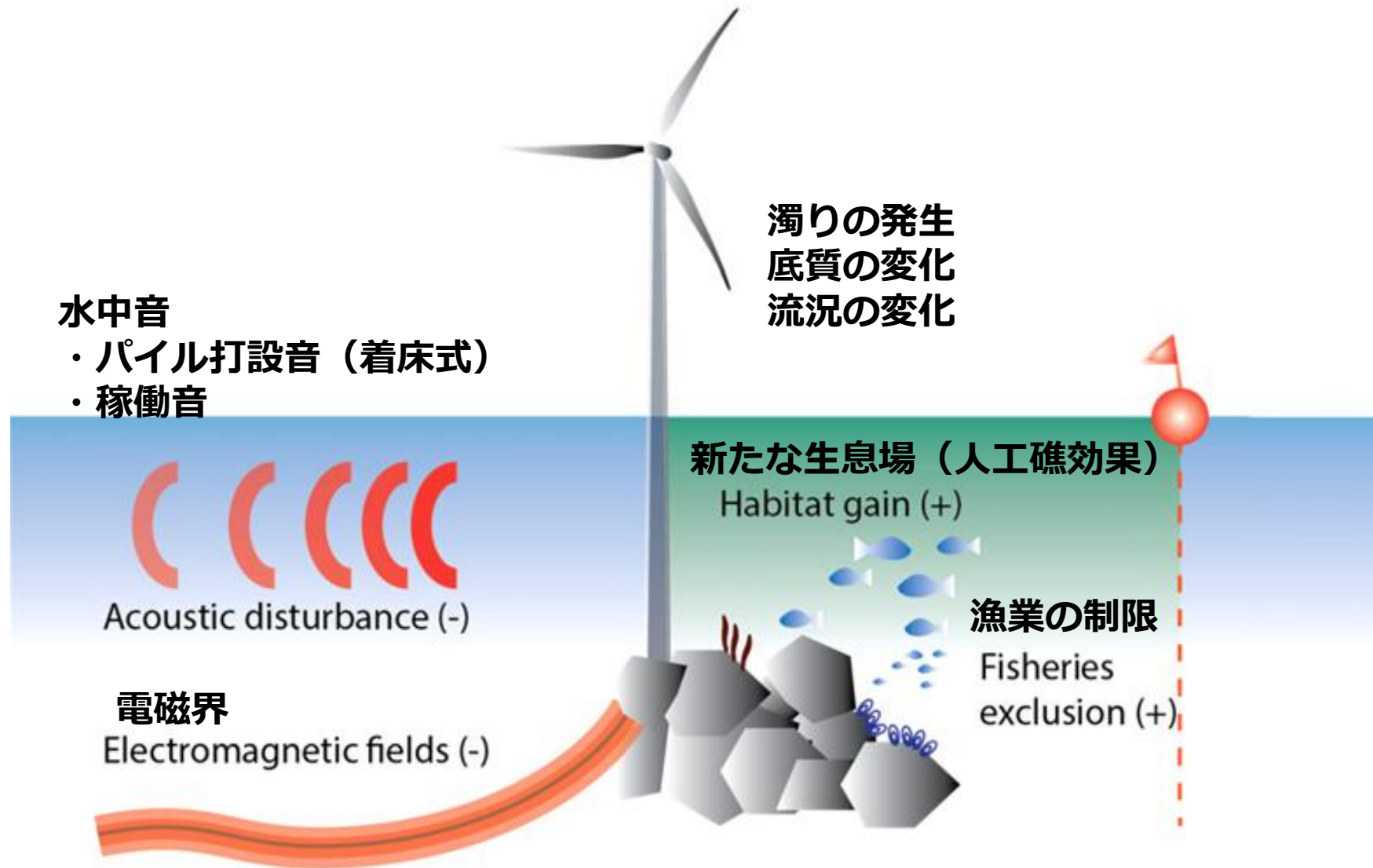
2. 洋上風力と漁業

洋上風力発電の事業特性

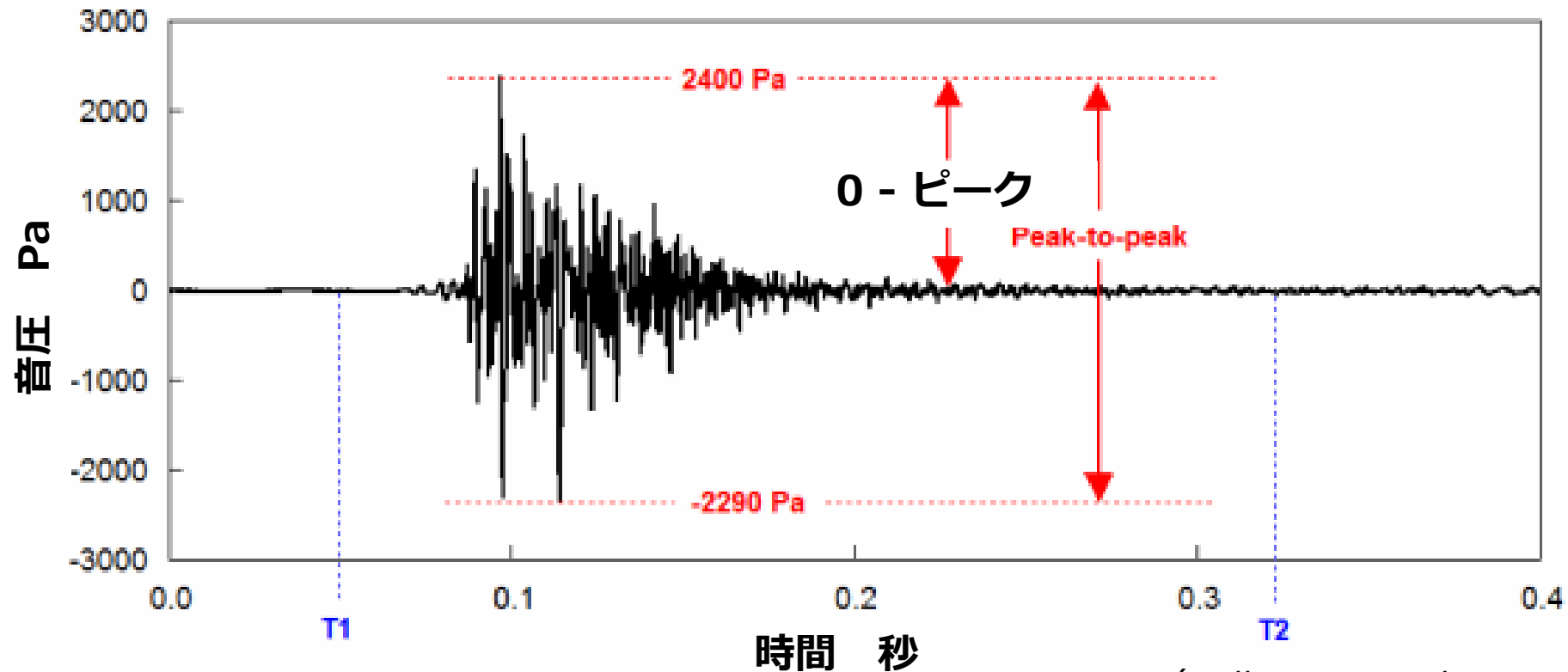
- 従来の海域開発事業に比べ、事業実施区域が広大だが、発電施設が占有する面積は狭い。
- 水深約50m以浅では着床式、以深では浮体式が適する。



洋上風力発電所建設で想定される影響要因



洋上風力から発生する水中音 パイル打設音

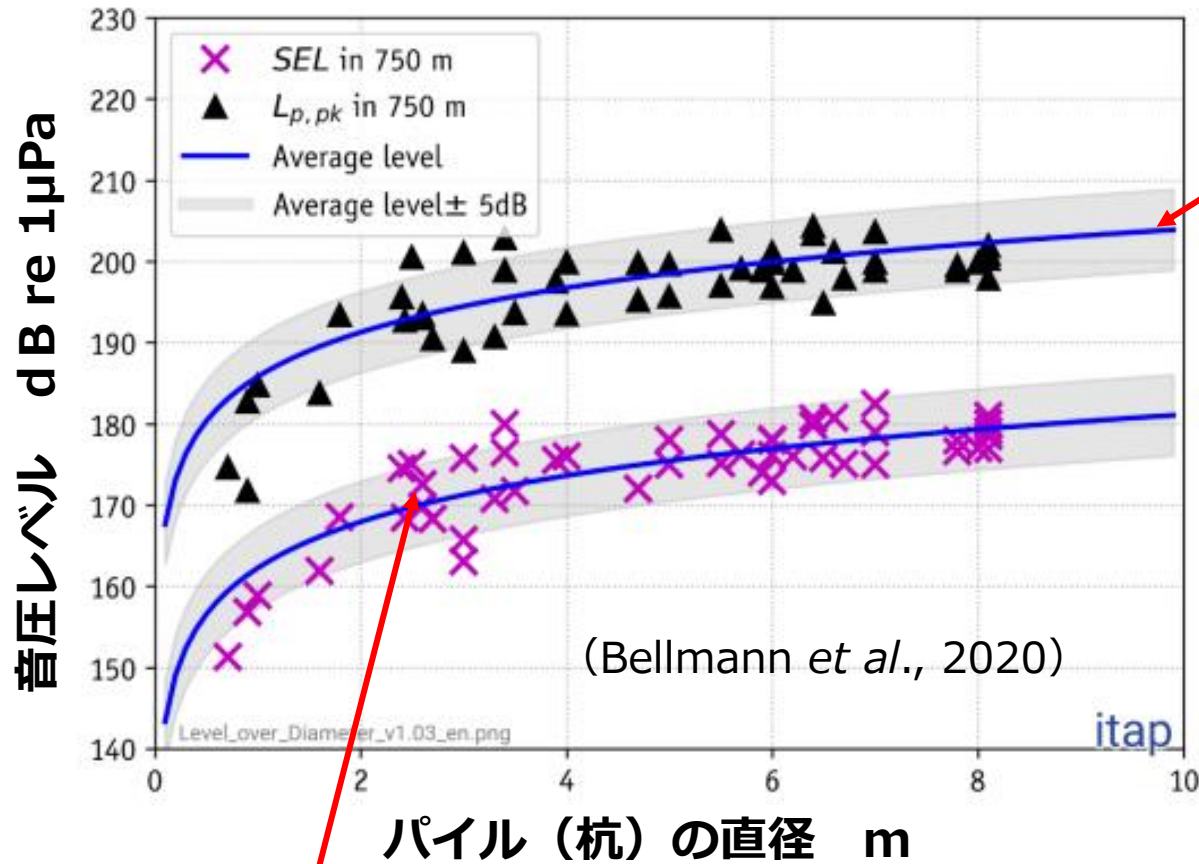


(Bellmann *et al.*, 2020)

- **着床式風車の建設時に発生**
- **音の出ている時間は短い (1/10秒以下)**
瞬時の最大音圧で表される (0-ピーク)

毎分15~60回打設

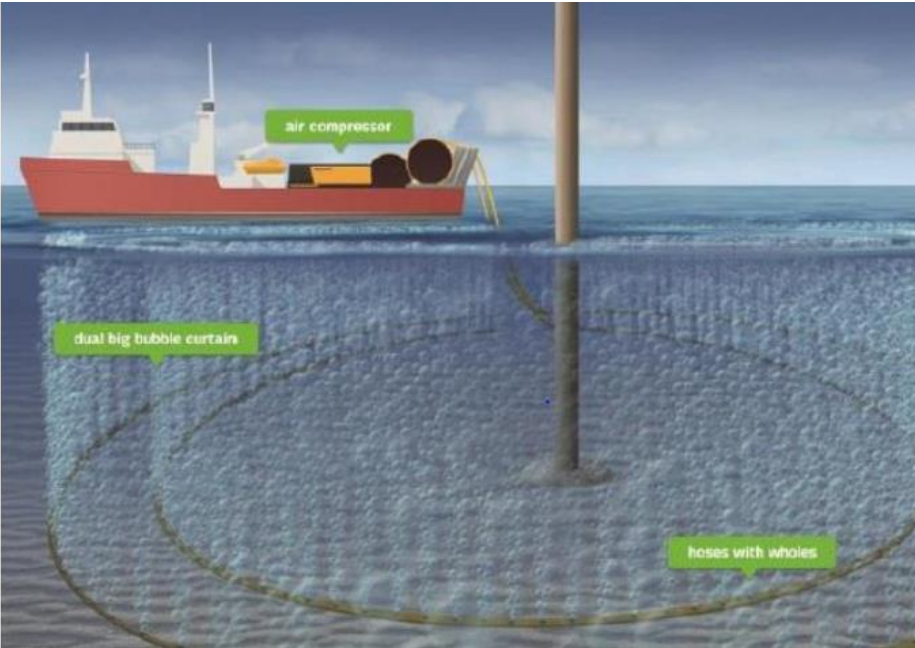
洋上風力から発生する水中音 パイル打設音



1m : 250 dB re 1 μ Pa₀-ピーク
 750 m : 200 dB re 1 μ Pa₀-ピーク

バブルカーテンなどの緩和措置により最大25 dB低減

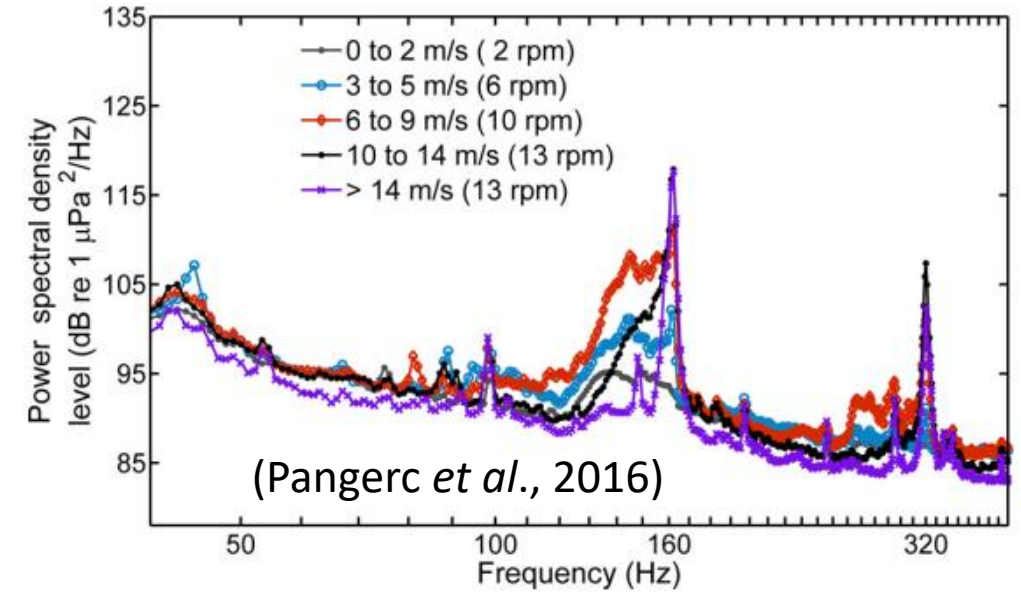
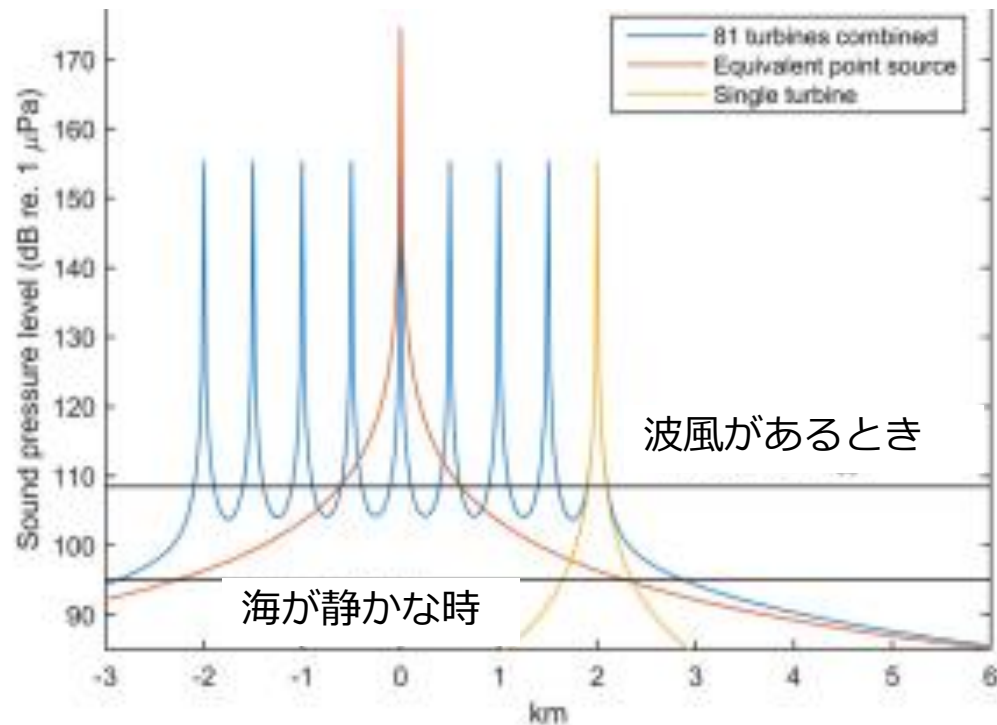
- 音響曝露レベル (SEL) : 一回の打設と等しいエネルギーを持つ1秒間のエネルギーレベル(dB re 1 μ Pa²s)



(RUMES *et al.* 2016)

洋上風力から発生する水中音 稼働音

- **着床式、浮体式の両方で発生**
- 500 Hz以下の**連続音**
時間平均した値で表される
- 音源音圧レベルは**~155 dB re 1 μ Pa @1m (RMS)**



風車が複数基ある場合、1基の場合と比較し、

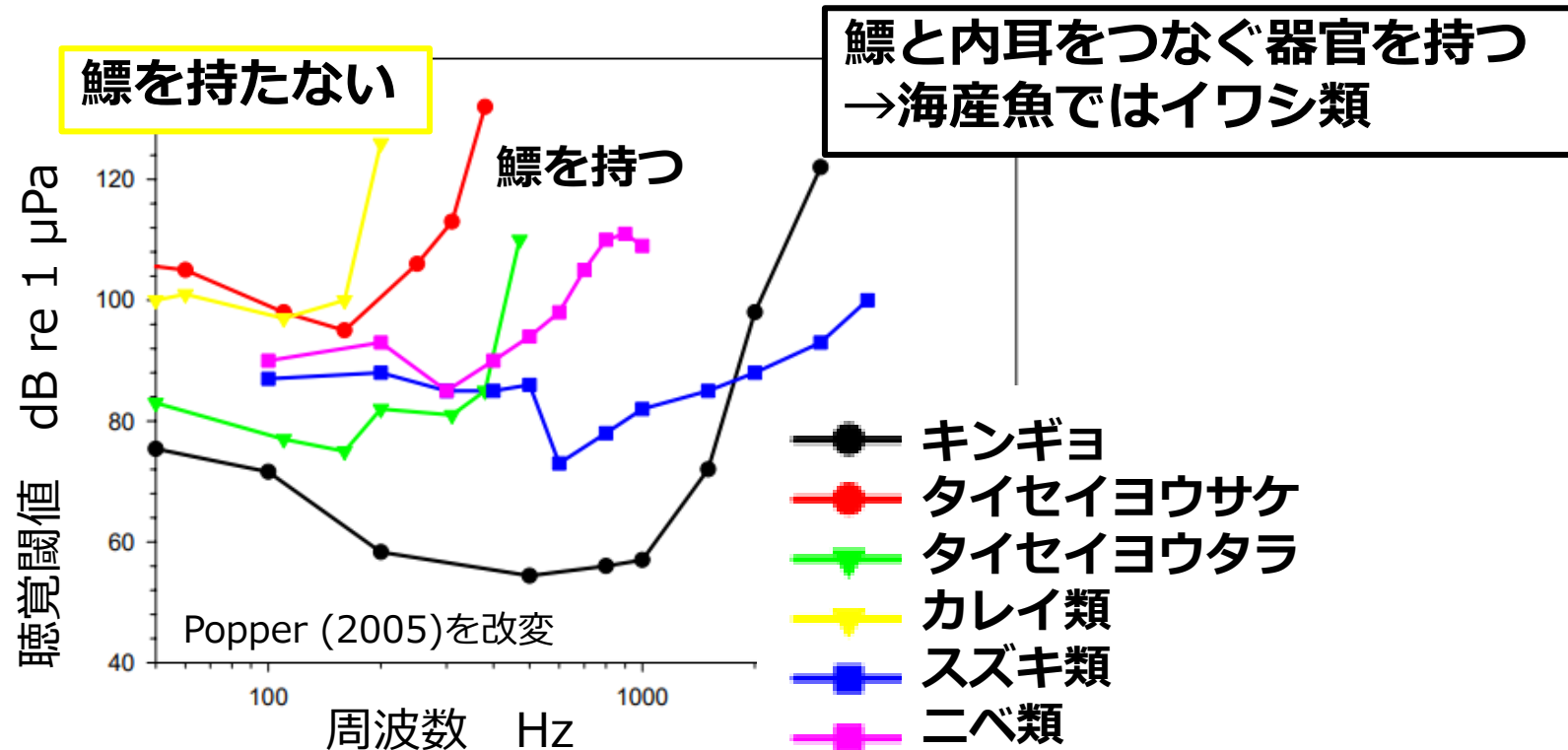
- 最大音圧レベルは変わらない
- 伝搬範囲はより広くなる

(Tougaard *et al.*, 2020)。

稼働音が聞こえる範囲は、
最大で風車から1 km程度

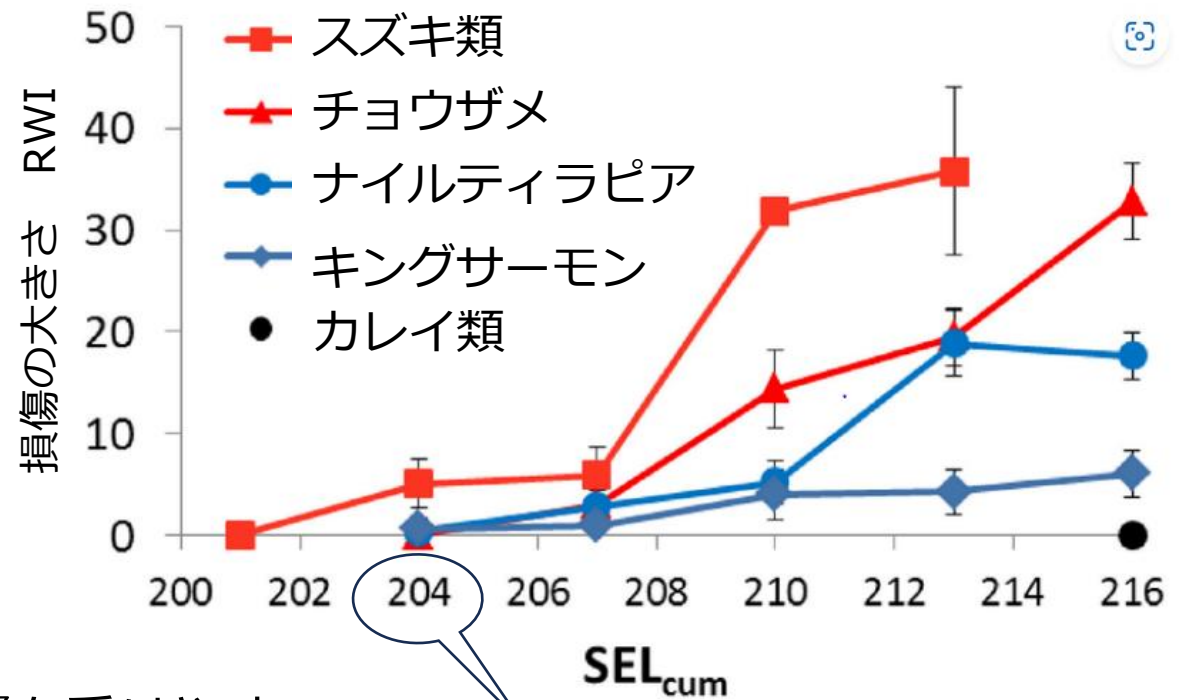
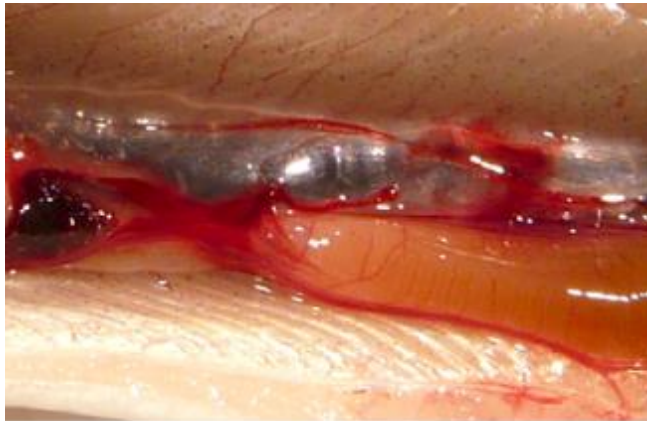
水中音の生物影響

聴覚閾値 (=耳の良さ) は、魚種により異なる。
→ 魚種により影響の程度も異なる。



* 水中音と空中音は、dBで表す場合の基準が異なるので単純な比較はできない
例えば…
90 dBの空中音：きわめてうるさい（大声、パチンコ屋の店内など）
90 dBの水中音：きわめて静穏な海況

着床式風車の建設時のパイル打設音により内臓に血腫、内出血等の障害



- うきぶくろを持つ魚種は影響を受けやすい
- 仔魚は物理的影響を受けにくい

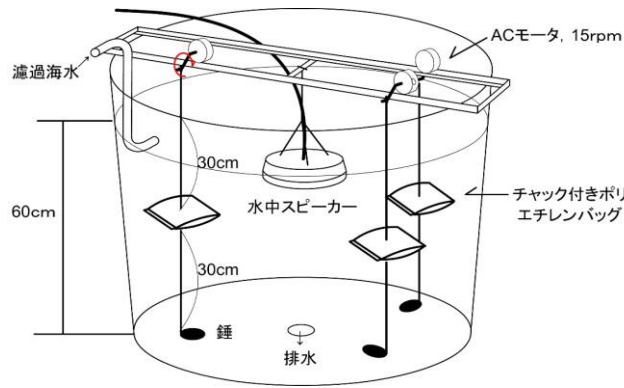
(Bolle et al., 2012, 2014)

$$\begin{aligned} &= 174 \text{ dB SEL} \times 960 \text{回} \\ &\doteq 200 \text{ dB 0-ピーク} \times 960 \text{回} \end{aligned}$$

Casper et al. (2013)

うきぶくろの共振周波数が関係

初期発生への影響



- **100 Hz, 140dBの連続音**

➡シロギス卵の発生に影響は認められない

(島ら、2017)

- **杭打ちから500mの範囲内に相当する音圧レベル**

➡コウイカ類の孵化率、稚イカの生残率が低下。

(Solé et al., 2022)

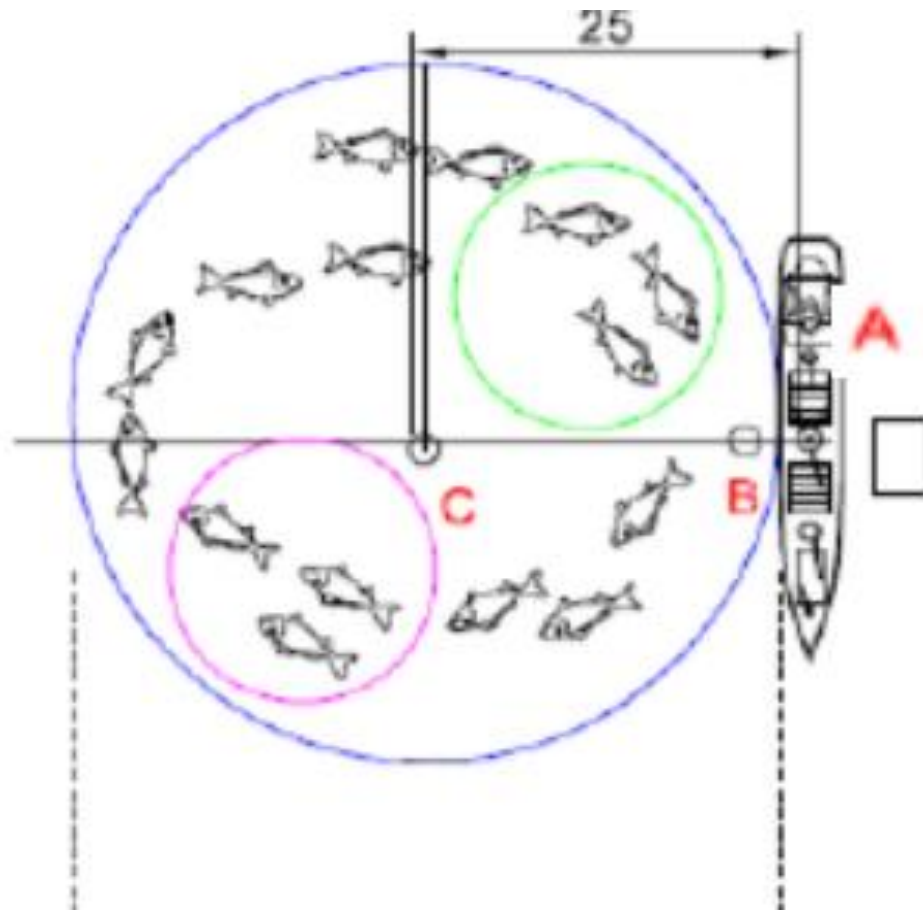
パイル打設地点近くでは影響あり

仔魚・幼生への影響

* **浮遊期の稚仔・幼生は、水中音を頼りに生息適地に着底する可能性がある**

- 145 dB re 1 μ Paの風車、波力タービンの稼働音を聞かせると静穏な泥底に棲むカニ幼生の着底が遅れる (Pine et al., 2015)
- イセエビ幼生は磯の音を聞かせると早く着底し、稚エビになる (Stanley et al., 2015)。
- タイセイヨウタラの仔魚は、**100Hzの連続音**に引き付けられる (Cresci et al., 2023)

水中音による仔魚・幼生の行動がかく乱される？



- クロマグロを風車稼働音（ ~ 165 dB re $1 \mu\text{Pa}$ ）に曝露
- ➔ 群れが密になり水面近くを遊泳するが、3回目の曝露で無反応

(Espinosa *et al.*, 2014)

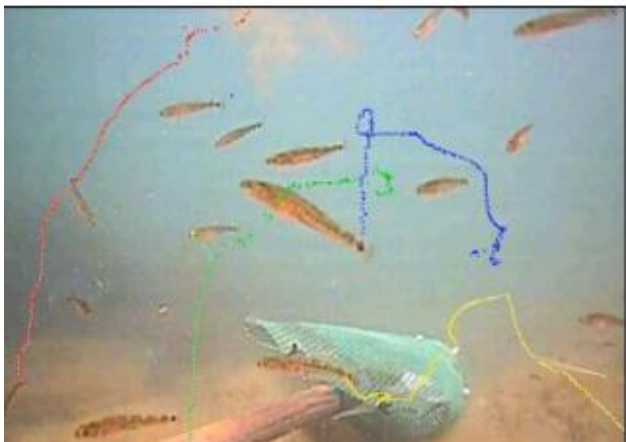
- アメリカケンサキイカをパイル打設音に曝露
- ➔ 体色変化、墨吐き、ダッシュ等の反応が見られるが、8発目以降は無反応 (Jones *et al.*, 2019)

音に対する慣れが生じる

- **洋上風力発電所（ドイツ）建設中**
➡ファーム内の浮魚類（アジ類、サバ類等）が半減 → 稼働中は回復

(BSH&BMU, 2014)

- **港湾工事の杭打ち**
➡タイの一種に生息域の変化は認められない (Iafrate *et al.*, 2016)

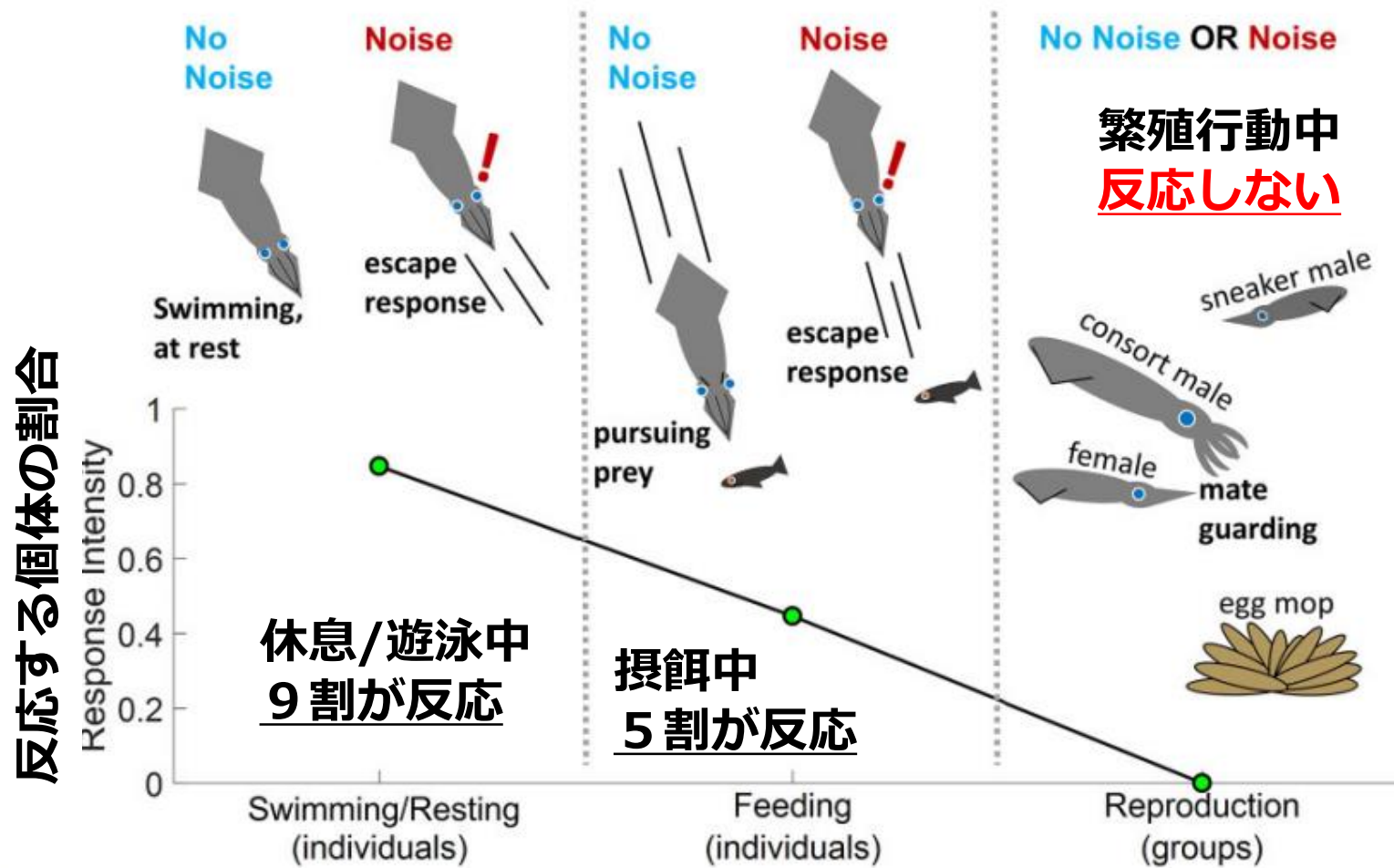


- **海域で餌で寄せた魚類を打設音に曝露（～165 dB 0 – ピーク）**
➡ハゼの一種 → 反応なし
ベラ的一种・シライトダラ → 一時的に餌から離れる個体がいる
一方、摂餌を続ける個体もいる (Roberts *et al.*, 2016)

- **風車のモノパイル打設中（199 dB re1 μ Pa 0-ピーク@400m）**
➡発信機を付けたタイセイヨウタラに逃避行動は認められない
(van der Knaap, *et al.*, 2022)

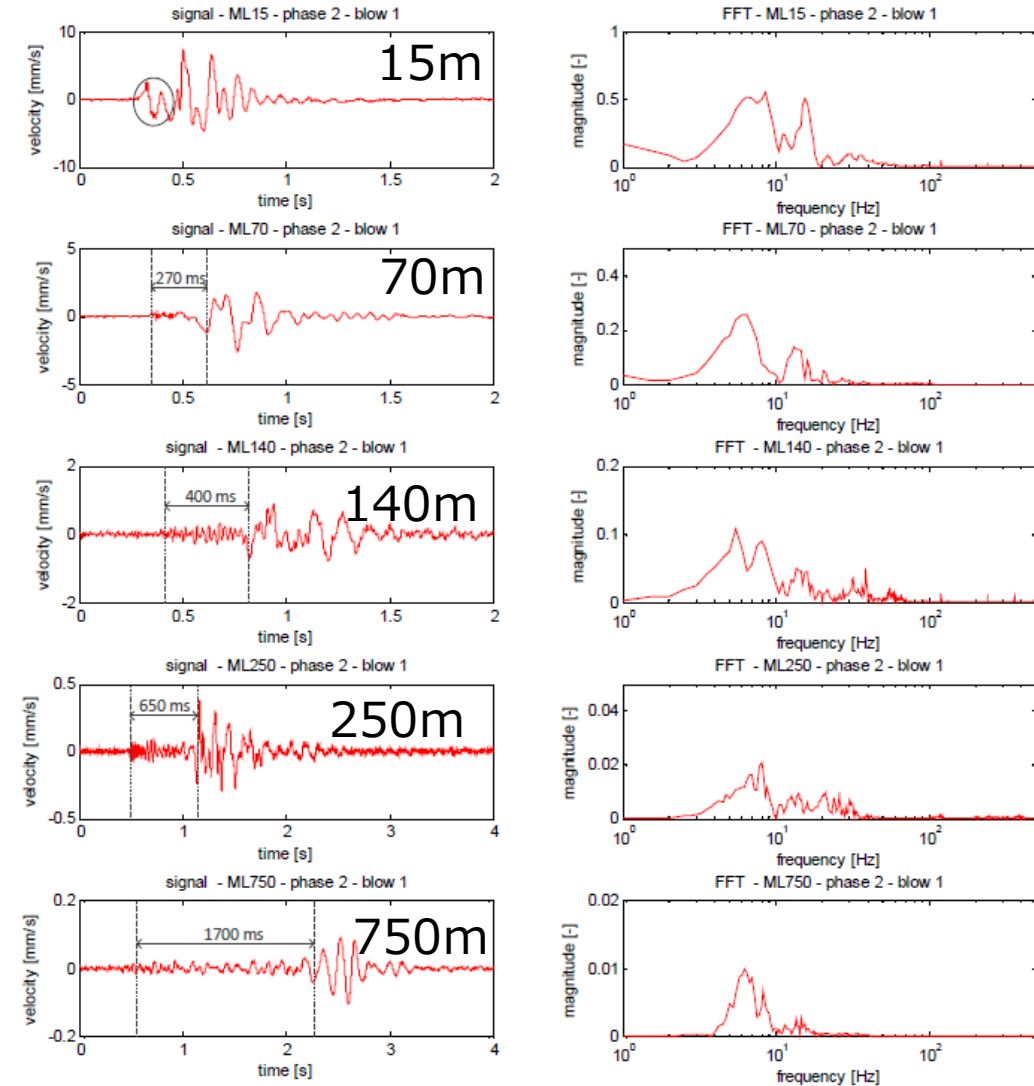
水中音の生物影響 驚愕/逃避反応

- ・アメリカケンサキイカの水中音（最大182 dB 0 – ピーク）に対する反応は行動状況により異なる。(Jones et al., 2023)



イカ以外の生物でも同様な？

海底の振動 杭打ち



- 杭打ち地点から15mの振動速度はおよそ7~8 mm/s (0-ピーク)
- 750 mでは、0.1mm/sまで減衰
- 振動の周波数は数Hz~数十Hz. 低い周波数が遠くまで伝わる

海底上や底質に埋在して生活する生物に対する影響が懸念される

杭打ち（モノパイル、直径6m）による鉛直方向の海底振動（速度）と周波数特性

(Bruns *et al.*, 2014)

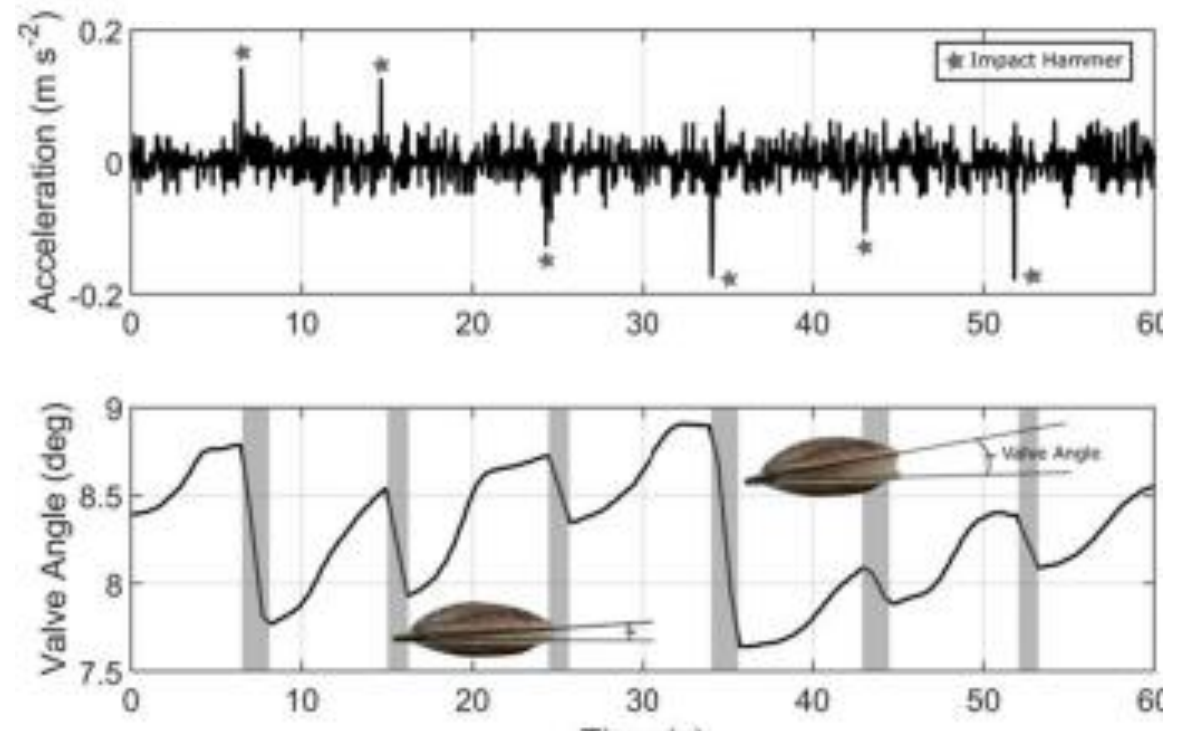
振動に対する反応閾値

- 甲殻類（エビジャコ類、ヤドカリ類）：70-170 Hz, **振動速度0.2-0.9 mm/s**
(Heinisch and Wiese, 1987; Berghahan *et al.*, 1995; Roberts *et al.*, 2016)。
- ヨーロッパイガイ：10Hz、**振動速度0.1 mm/s** (Roberts *et al.*, 2015)
*** 反応閾値を超えるのは打設地点から750m程度の範囲**

打設による海底振動の影響

- ヨーロッパミドリガニ：20 Hz、**1.08 mm/s (p-p)**
→活動量が増加するが、酸素消費量は変化しない
(Aimon *et al.*, 2021)
- ヤドカリ：**1.5~3.5 mm/s (0-peak)** の振動
→新しい貝殻をさがす行動が抑制される
(Roberts and Laidre, 2019)
- ホタテガイの一種：約**110 dB re 1 $\mu\text{m} / \text{s}^2$**
→打設に同期した閉殻反応. 反応は稚貝で顕著
87 dBでは反応しない (Jézéquel *et al.*, 2022)

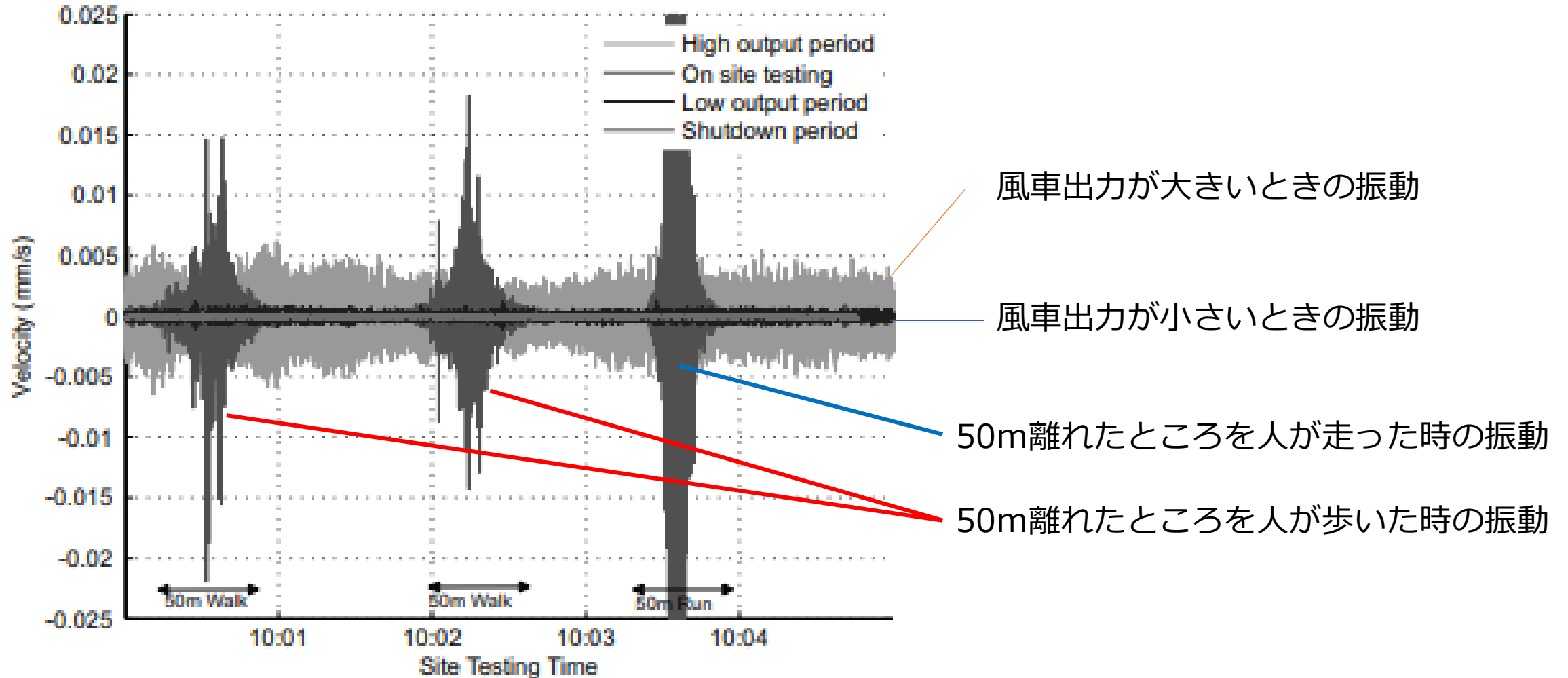
生物の振動に対する情報は極めて少ない。



海底の振動 稼働時

稼働時に発生する海底振動の測定例は... 見つかりません...

* **陸域の例**では、2.3M風車から90mの距離の振動は0.001~0.005mm/s (0-ピーク) (Botha 2013)



電磁界

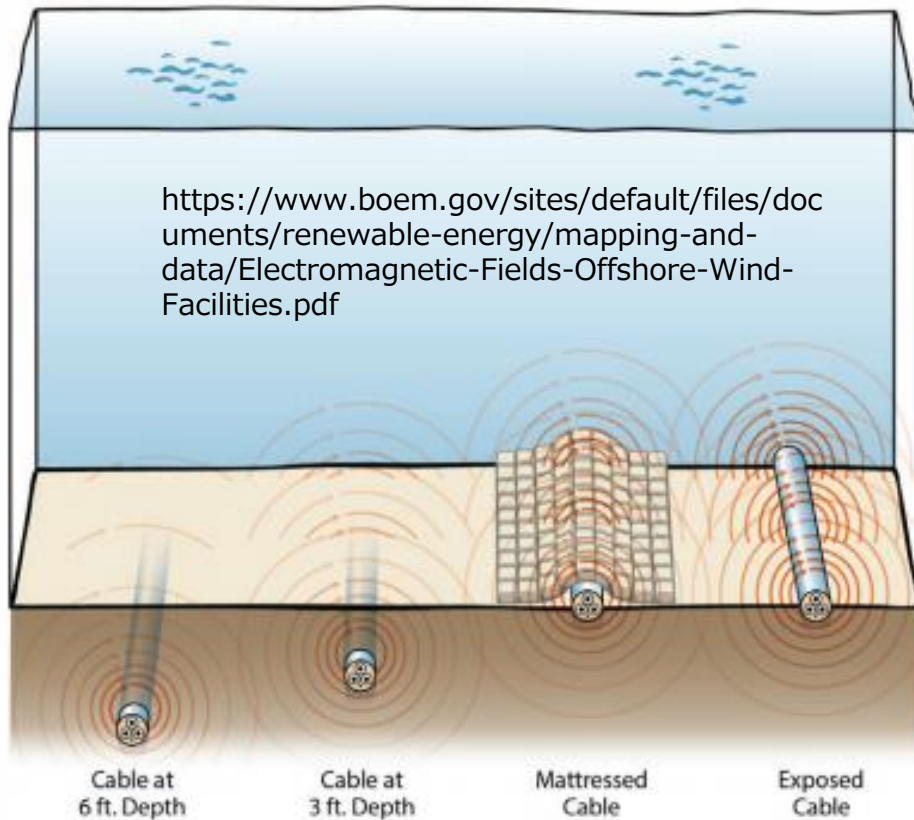
電磁界：電流が流れている電線などのまわりに発生する「電界」と「磁界」の総称

- ・電流が流れるケーブルの周囲には一定の大きさの磁界が存在する。
- ・磁界に誘導され弱い電界が発生する。
- ・電磁界の強さは、電流の量により増減する。

- ・1600 Aの電流が流れるケーブルの磁界の強度は、
表面：3.2 mT（ミリテスラ）
1 m：0.32 mT
4 m：0.11 mT

(Bochert and Zettler 2006)

- ・地球の磁界の強さは0.02～0.07 mT
- ・ピップエレキバン（最強）は200 mT



磁気コンパスへの影響

方角のずれはケーブルが南北に敷かれ、船舶がその直上をケーブルと平行に進むときに最大となる。

* フィリピンの海底ケーブル（直流1290A、水深100m）の例では、最大2°のずれ（JAICA 1982）。

* ジャイロ、GPSコンパスには影響なし。

電磁界の影響実験

- ヨーロッパエビジャコ、ミナトオオギガニ、ヨーロッパイガイ
➡ 3.7 mTで長期飼育しても生存、酸素消費量、成熟に影響なし (Bochert and Zettler, 2006)
- ヨーロッパイチョウガニ➡ 2.8 mTで**活動量の低下** (Scott et al. 2018、2021)。
- ヨーロピアンロブスター➡ 0.225 ± 5 mTの磁界は行動に影響なし (Taormina et al., 2020)
- イカナゴ仔魚➡ 0.050 ~ 0.150 mTで行動に影響なし (Cresci et al., 2022a、b)
- タラの一つの仔魚➡ 0.050 ~ 0.150 mTで**遊泳速度が低下する場合がある** (Cresci et al., 2022b)

実海域での行動調査

- 産卵回遊中のヨーロッパウナギは130KVのACケーブルを通過するときに**遊泳速度が低下**する。(Ohman et al. (2007)
- **ガンギエイ**の一種は磁界強度~0.12 mTのHVDC**ケーブル近くで多くの時間を過ごす** (Hutchison et al., 2018)
- **キングサーモン**の降下稚魚と**チョウザメ**の回遊にDCケーブル (245 nT) は、**影響しない** (Kavet et al., 2016)

● 流況の変化

- 風速低下による湧昇/下降流の発生
洋上風力施設による流れの影響は、自然変動と比較した場合区別できない。(van Berkel et al., 2020)
- 風力タービンのパイル下流に発生する乱流
乱流が起こる範囲は、最大でパイル直系の10倍の距離

* 生物への影響の実験調査事例はみあたらない。

● シャドーフリッカー

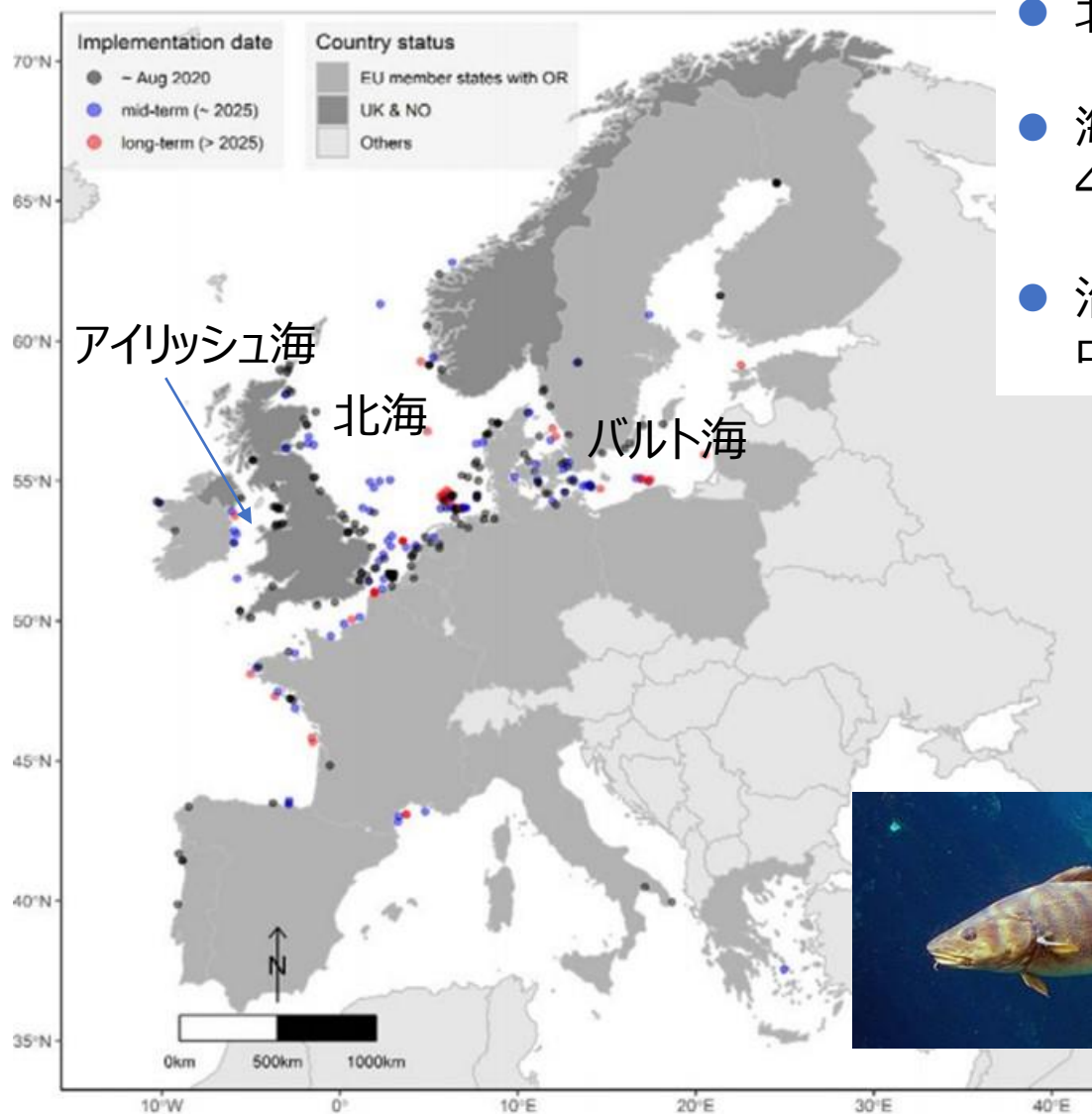
- 河川を遡上するタイセイヨウサケへの影響の可能性はほとんど無いと予想されている (Dodd and Briers, 2021)。

* 生物影響を検討した実験・調査事例は無い。

1. 洋上風力発電所建設により想定される生物影響

2. 洋上風力と漁業

ヨーロッパの洋上風力発電と漁業



- 北海沿岸、バルト海アイリッシュ海に集中
- 海岸から100kmにわたって水深20～40mの遠浅の地形が続く
- 沿岸域におけるトロール船による漁業が中心 タラ類、カレイ類、エビ類等



ヨーロッパの全314の洋上再生可能エネルギー施設の位置(2020年8月時点)



公益財団法人

海洋生物環境研究所

© 2024 Marine Ecology Research Institute.

Stelzenmüller et al. (2020)

No.21

漁業OK

イギリス ファーム内の航行、漁業は許可されている。風車から50mの距離は進入禁止。
デンマーク ファーム内では静的漁具（かご漁、釣り等）による漁業が許可。

漁業NG

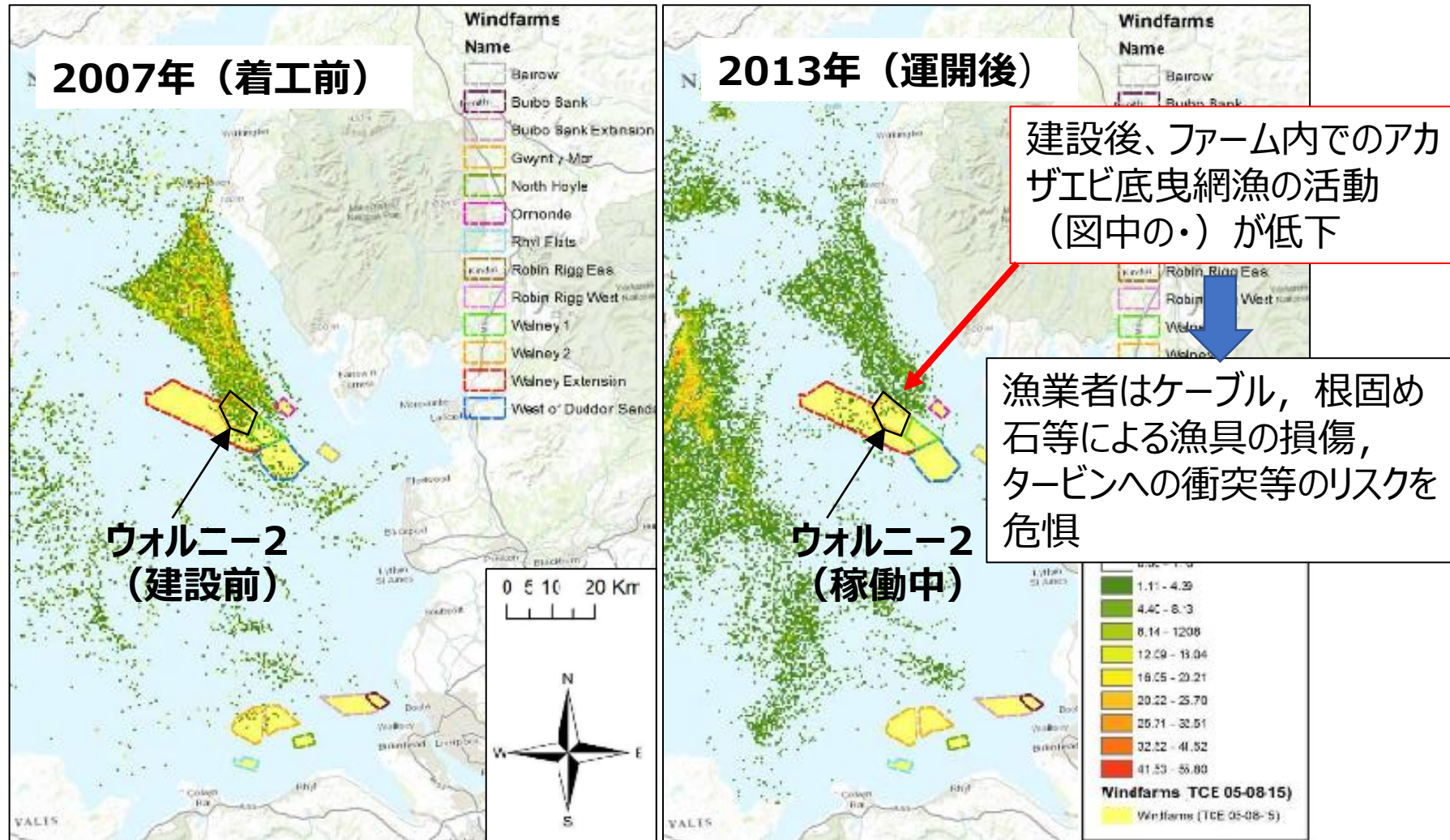
オランダ 2015年まで航行・漁業は禁止されていたが、以降は3つのウィンドファームで試験操業が行われている。2018年から他のファーム内の航行の許可と試験操業が行われている。
ドイツ・ベルギー ウィンドファームから500mの範囲の航行が禁止されていたが、ドイツでは2020年以降条件付きで航行が許可。ファーム内での漁業については協議中。

Stelzenmüller, V. et al., 2020, Research for PECH Committee – Impact of the use of offshore wind and other marine renewables on European fisheries. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels

* 日本では、法的規制はない。
事業者は風車ブレードの回転半径に入らないように要望

操業実態調査 イギリス 東アイリッシュ海

衛星による船舶監視システム(VMS) データから操業実態を解析 ウィンドファーム建設前後で比較



洋上風力建設前後における底曳網漁船の操業状況の変化

イギリス東部における調査

- ・英国の東部ヨークシャー州沖合約8kmに35機の6 MWタービン（基礎はモノパイル）
- ・ヨーロッパ最大のロブスターの漁場（かご漁）

* ウィンドファームのある海域は、小型漁船で漁をする漁業者にとって重要な漁場

ロブスター漁への影響調査

漁業関係団体（Holderness Fishing Industry Group）が実施主体
資金は事業者が出資する漁業振興基金から出捐。

影響海域：ウィンドファーム内とケーブル周辺

対照海域：ウィンドファーム・ケーブルから北に約1 km.

* 水深・底質は影響海域と同様、建設時に濁りの影響を受けない海域

調査時期

建設前調査：2013 建設後調査：2015、2017、2019

ロブスター漁盛期の6~9月に各年16~24回実施

調査方法

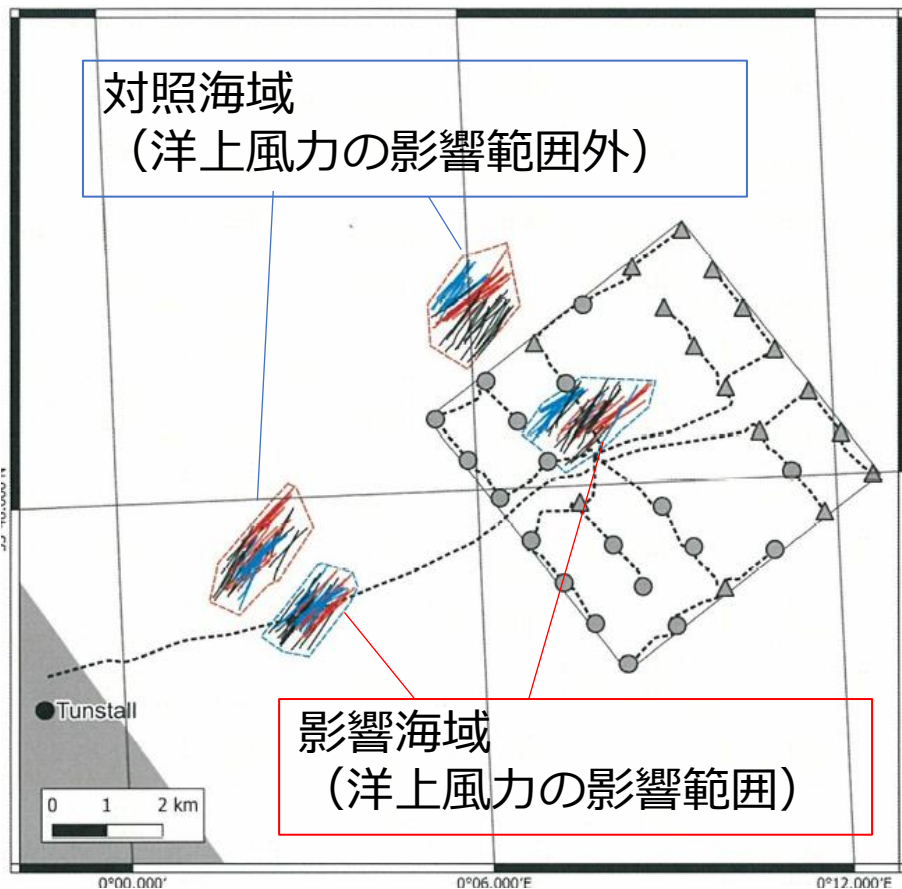
現地で用いられる漁具・漁法（かご）によりロブスターを捕獲し、

漁獲量/ 1操業

水揚げ量/ 1操業*

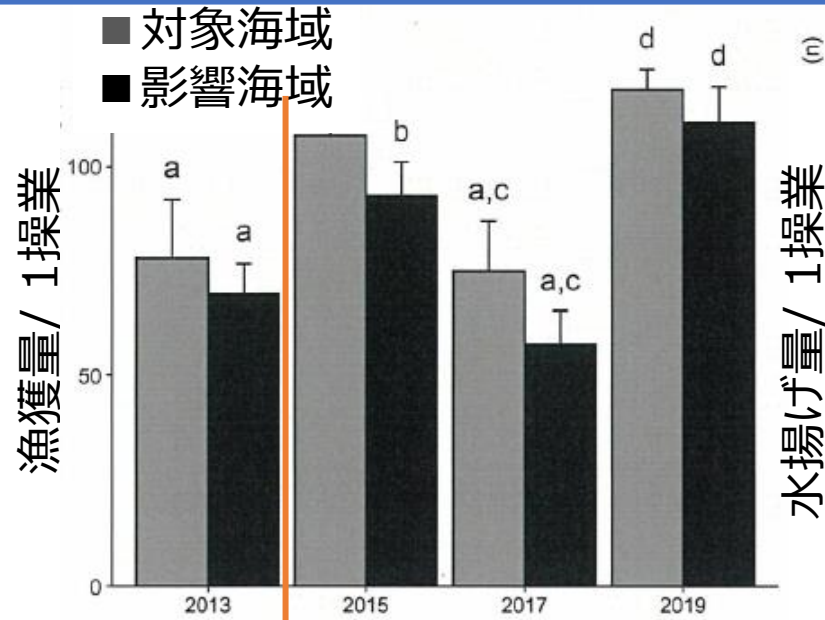
を比較

* 甲長 87 mm 以上でコンディションの良いロブスター



Roach et al. (2022)

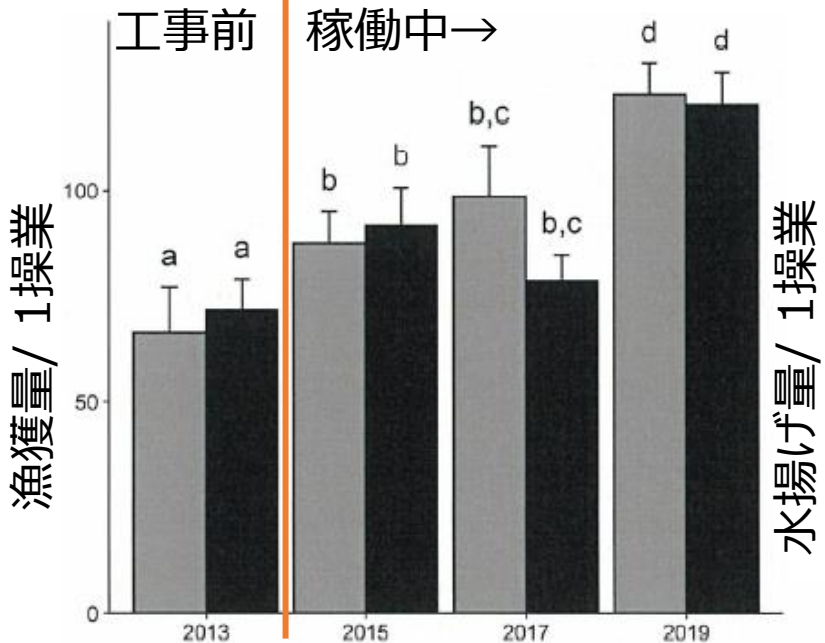
イギリス東部における調査



ウインドファーム

- 漁獲量に対照海域と影響海域の間で差は認められない。
- 水揚げ量は2015年（運開した年）のみ影響海域で高い値

工事中の漁獲圧が低かった影響



ケーブル

- 漁獲量に対照海域と影響海域の間で差は認められない。
- 水揚げ量は2015年（運開した年）のみ対照・影響海域とも、他の年度より低い値。

工事中の漁獲圧が高かった影響

Roach et al., 2022

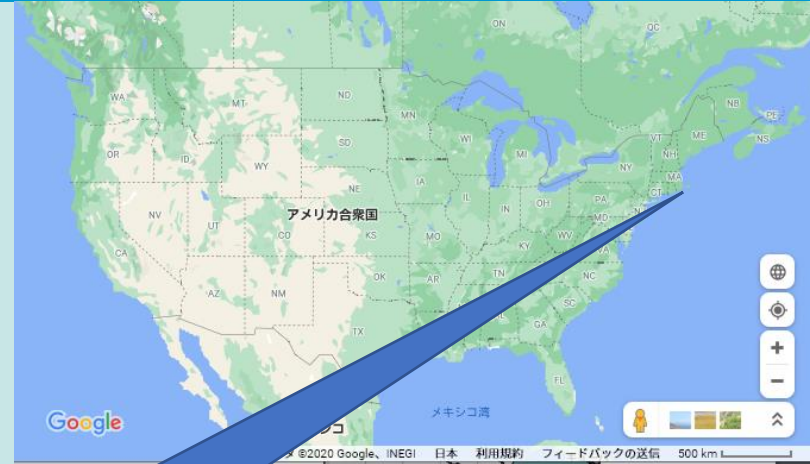
アメリカのウィンドファームと漁業

ブロックアイランドウィンドファーム

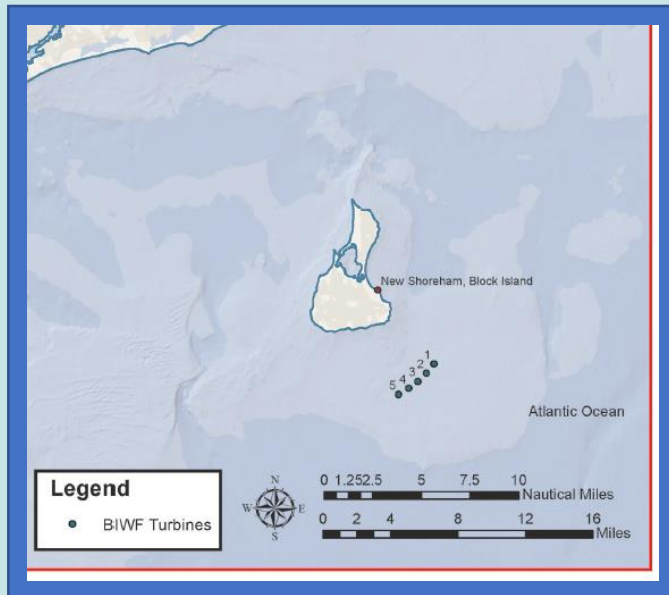
(2016年運開)

アメリカで稼働している唯一の洋上ウィンドファーム

- 海岸から6.1 kmの海域 (水深27 m)
- 6 MW風車が5基設置されている。
- 風車の基礎はジャケット式
- **ウィンドファーム内の航行・漁業・遊漁・ダイビングは禁止されていない**



底引き網によるヒラメ・カレイ類、刺し網漁、ホタテガイ底引き網、かご網によるアメリカンロブスター漁等が行われている
チャーターボート、乗合船による**遊漁が盛ん**



<https://en.wikipedia.org/>

漁業者・遊漁者共通の意識

- 風車支持構造が人工魚礁として機能し、さまざまな魚介類を引き付けている。
- ウィンドファーム設置後、遊漁者（釣り、水中銃）が増加している。



ウィンドファームの影響を、遊漁者は良いものと感じているが、漁業者は懸念を示している



- 遊漁者の増加により混雑し、漁場に入れない
- 漁具（刺し網）に遊漁者の仕掛けがからむ
- 風車への衝突
- ウィンドファームが大規模化した場合の影響

ten Brink and Dalton (2018)

洋上風力と漁業まとめ

- 海外（主にヨーロッパ北海沿岸）の先行事例では、生物に顕著な影響は認められていない。
- 操業への影響が確認された事例がある。

我が国は、欧州に比べ、海域特性、対象魚種、漁法が多様で、地域ごとに懸念事項が異なる。→ 地域の特性に配慮した事業計画

漁業影響調査



目的：洋上風力発電により漁業にどのような変化が生じるかを検証

- ・ 漁業活動、漁場環境、漁獲対象生物の変化
→ 漁獲量、水揚げ量等への影響の有無と程度を把握
 - ・ 対策の要否を判断するための情報になる
-
- ・ 正確に影響の有無・程度を把握するためには、関係する漁業者や漁業団体の協力が不可欠