

変更計画における影響予測（水中音：ジュゴン等への影響）

（目次）

| | |
|-----------------------------|----|
| 1. 予測の概要 | 1 |
| 2. 作業船の稼働による水中音 | 1 |
| (1) 予測方法 | 1 |
| (2) 予測結果 | 7 |
| 3. 環境保全図書（変更前）における予測結果との比較 | 13 |
| (1) 環境保全図書（変更前）における予測方法 | 13 |
| (2) 環境保全図書（変更前）における予測結果との比較 | 14 |
| 4. その他の環境要素に対する水中音の影響の予測 | 17 |
| (1) 予測概要 | 17 |
| (2) 予測結果 | 17 |

【参考資料】

1. 予測の概要

- ・ 工事に伴う作業船の稼働により発生する水中音がジュゴンに及ぼす影響について、評価基準を設定するとともに、水中音の予測計算を行い定量的に予測。
- ・ 工事計画の変更に伴い、水中音がピークとなる時期、施工内容からみて水中音の予測が必要と考えられる時期を考慮して、予測対象時期を変更。

表 1. 1 水中音の予測の概要

| 項目 | 内容 |
|--------|---|
| 予測項目 | 音圧レベル(ピーク値、RMS (実効値))、音響曝露レベル |
| 影響要因 | 護岸の工事、埋立ての工事 |
| 予測地域 | ジュゴンの特性を踏まえ、ジュゴンに係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域 |
| 予測対象時期 | 水中音の発生レベルが最大となり、ジュゴンに及ぼす影響を適切に予測できる時期 |
| 予測の手法 | 水中音の距離減衰及びリーフ等の地形による遮音効果等を考慮した予測 |

【凡例】 : 変更箇所を示す。

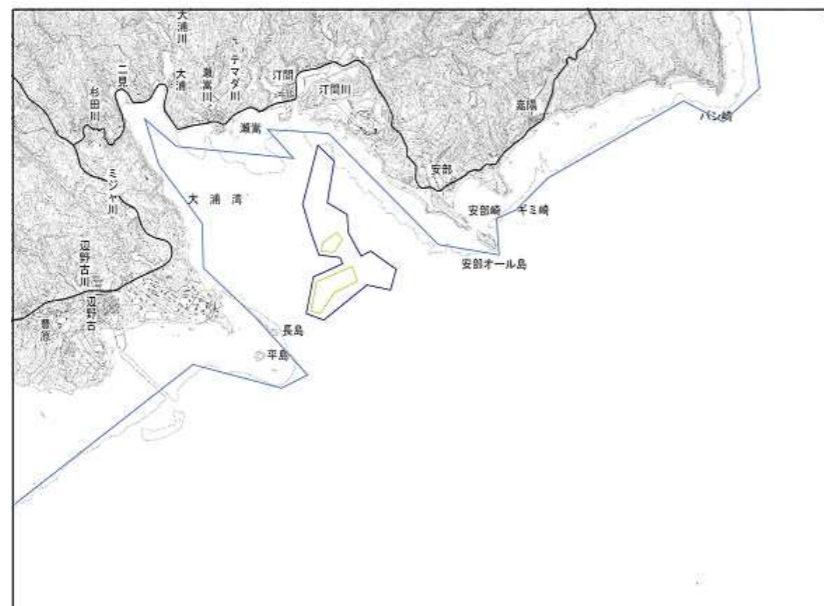


図 1. 1 予測地域

2. 作業船の稼働による水中音

(1) 予測方法

1) 予測項目

- ・ 水中音の予測は、下記の項目について実施。
- ・ 音圧レベル (ピーク値) : 瞬時の音による障害への影響を評価する項目
- ・ 音圧レベル (RMS (実効値)) : 瞬時の音による行動阻害への影響を評価する項目
- ・ 音響曝露レベル (SEL) : 累積した音による障害及び行動阻害を評価する項目

2) 評価基準

- ・ 海産哺乳類に対する水中音の評価基準の事例 (Southall ら 2007) 及び大浦湾内での水中音の測定結果を参考に、「障害 (聴覚障害など)」と「行動阻害」の2つの観点より、音圧レベルと音響曝露レベルに関する評価基準を設定 (表 2. 1)。

表 2. 1 ジュゴンの水中音の評価基準

| 項目 | パルス音 | | 非パルス音 | |
|---------------|--|--|--|----------------------|
| | 杭打ち (油圧ハンマー) | | 杭打ち (バイプロハンマー)・捨石・浚渫・地盤改良・船舶音 | |
| | 障害 | 行動阻害 | 障害 | 行動阻害 |
| 音圧レベル (SPL) | 230 dB re:1μPa (ピーク値) | 120 dB re:1μPa (RMS) | 230 dB re:1μPa (ピーク値) | 120 dB re:1μPa (RMS) |
| 音響曝露レベル (SEL) | 198 dB re:1μPa ² -s (M 特性周波数重み付け) | 183 dB re:1μPa ² -s (M 特性周波数重み付け) | 215 dB re:1μPa ² -s (M 特性周波数重み付け) | 適用外 |

- 注) 1. 音響曝露レベルの評価基準は、24 時間以内に曝露された水中音のエネルギー累積値をもとに設定。
 2. 瞬時の音による障害の影響は、個々の種が最もよく聴こえる周波数を厳密には反映しないため、音圧レベル (ピーク値) に関しては、聴覚特性に基づく重み付けは行わない。一方、海産哺乳類は周波数に依存した聴覚機能を有していることから、継続的な音の曝露を評価する音響曝露レベルは、周波数特性に応じた重み付けを行い算定。

【参考文献】 Southall et al. (2007) Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations, Aquatic Mammals, 33(4).

3) 予測の対象とした工種

- ・ 環境保全図書 (変更前) においては、海中土木工事及び作業船を予測対象工種とし、その工種を構成する船団の中で音圧レベルの大きい船舶を水中音の主要な発生源 (「主要発生源」と位置付けて予測を行っている。具体的には、杭打ち工事の杭打ち船、捨石投入工事のランプウェイ台船、浚渫工事のグラブ浚渫船及び埋立工事の土砂を運搬する作業船 (ガット船、土運船) から発生する水中音を対象。
- ・ 今回の計画変更 (変更後) に伴い、地盤改良工事の施工を行う サンドコンパクション船及びサンドドレーン船 を「主要発生源」として追加。また、変更前から計画していた杭打ち工事の一部において、環境影響を軽減する観点から、施工方法を油圧ハンマーからより音圧レベルが小さいバイプロハンマーに変更。
- ・ 今回の計画変更 (変更後) における予測については、安全側の予測を行う観点から、「主要発生源」とした船舶の周辺で同時に稼働する その他の船舶 (「その他の発生源」) も発生源に加えた予測を実施。

4) 発生源の音源の音圧レベルと周波数特性

- ・「主要発生源」の音源の音圧レベル（音源から1mにおける音圧レベル）と周波数特性は、水中音の測定事例を参考として設定（表2. 2、表2. 3参照）。
（音源の音圧レベル及び周波数特性の設定根拠は【参考資料1】参照）
- ・「その他の発生源」とした船舶については、水中音圧レベルに関する既往の知見は得られなかった。そこで、水中音圧レベルと陸上騒音パワーレベルの両方が既知であるガット船を指標として検討したところ、いずれの船舶の陸上騒音パワーレベルもガット船のそれ以下であったことから、これらの船舶の水中音圧レベルはガット船の水中音圧レベル以下であると考えられる。ただし、安全側の予測を行う観点から、これらの船舶の水中音圧レベルはガット船と同じ180dBを適用した（【参考資料2】参照）。

表2. 2 主要発生源の音源の音圧レベル

| 工種 | 施工方法 | 音圧レベル (dB) | |
|--------|--------------------------|------------|-----|
| | | ピーク値 | RMS |
| 杭打ち工事 | 油圧ハンマー | 224 | 204 |
| | バイプロハンマー | 180 | 180 |
| 捨石投入工事 | ランプウェイ台船 | 194 | 194 |
| 浚渫工事 | Grab浚渫船 | 160 | 160 |
| 地盤改良工事 | サンドコンパクション船 ／サンドドレーン船 | 185 | 185 |
| 作業船 | ガット船 | 180 | 180 |

- 注) 1. 音圧レベルの設定にあたっては、A.P.（オールパスレベル）を採用（表2. 3参照）。
2. A.P：オールパスレベルは、全周波数のレベルをデシベル合成した値。
3. 杭打ち工事において、環境影響を低減する観点から、施工方法を油圧ハンマーから一部をより音圧レベルが小さいバイプロハンマーに変更。

表2. 3 主要発生源の音源の周波数特性

| 1/1 オクターブバンド 中心周波数 (Hz) | 杭打ち工事 | | | 捨石投入 工事 | 浚渫工事 | 地盤改良 工事 | 作業船 (ガット船) |
|-------------------------------|--------|-------|--------------|------------|-------|------------|---------------|
| | 油圧ハンマー | | バイプロハ ンマー | | | | |
| | ピーク値 | RMS | | | | | |
| 31.5 | 194.5 | 174.5 | 158.0 | 143.2 | 137.6 | 172.9 | 178.8 |
| 63.0 | 201.9 | 181.9 | 155.0 | 158.7 | 144.6 | 167.1 | 172.7 |
| 125.0 | 211.1 | 191.1 | 156.8 | 181.1 | 139.2 | 167.0 | 166.7 |
| 250.0 | 213.2 | 193.2 | 163.6 | 190.7 | 143.4 | 177.5 | 160.6 |
| 500.0 | 219.7 | 199.7 | 173.4 | 188.5 | 146.8 | 178.3 | 154.5 |
| 1000.0 | 219.4 | 199.4 | 176.8 | 182.9 | 155.7 | 178.9 | 148.5 |
| 2000.0 | 212.7 | 192.7 | 172.7 | 181.5 | 154.2 | 177.5 | 142.4 |
| 4000.0 | 209.8 | 189.8 | 168.0 | 181.5 | 153.3 | 173.5 | 136.3 |
| 8000.0 | 208.4 | 188.4 | 162.4 | 173.0 | 145.7 | 167.5 | 130.2 |
| A.P | 224.0 | 204.0 | 180.0 | 194.0 | 160.0 | 185.0 | 180.0 |

注) バイプロハンマー、捨石投入工事、浚渫工事、地盤改良工事及び作業船（ガット船）による水中音は非パルス音であるため、音圧レベル（ピーク値）は音圧レベル（RMS）と同じレベルとした。

※参考資料

- 油圧ハンマー、捨石工事、地盤改良工事、作業船（ガット船）
（社）日本水産資源保護協会（1997）水中音の魚類に及ぼす影響. 水産研究叢書 47
Urick, R.J. (1976) 水中音響の原理（土屋明訳）, 共立出版
- バイプロハンマー（主要な資料を以下に示す。）
Caltran. (2015) Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydroacoustic Effects on Pile Driving on Fish: Appendix I- Compendium of Pile Driving Sound Data. California Department of Transportation
Backwall, S.B. (2005) Underwater measurements of pile-driving sounds during the Port MacKenzie dock modifications, 13-16 August 2004. Rep. from Greeneridge Sciences, Inc., Goleta, CA, and LGL Alaska Research Associates, Inc., Anchorage, AK, in association with HDR Alaska, Inc., Anchorage, AK, for Knik Arm Bridge and Toll Authority, Anchorage, AK, Department of Transportation and Public Facilities, Anchorage, AK, and Federal Highway Administration, Juneau, AK. 33 p.

5) 予測対象時期

・水中音の予測対象時期は、水中音を発生する各工種の音源からの音圧レベル及び音響曝露レベルがピークとなる時期、及び施工内容からみて水中音の予測が必要と考えられる時期を検討した結果、下記の3つの時期を選定。各予測対象時期における発生源の状況を表2.4、発生源の音源の音圧レベル及び音響曝露レベルの合成値の算定結果を図2.1に示す。

- 3年11ヶ月目：音響曝露レベルの合成値がピークとなる時期
- 7年11ヶ月目：埋立土砂の運搬に用いるガット船の稼働隻数が最大となる時期
- 9年6ヶ月目：音圧レベル（ピーク値、RMS）の合成値がピークとなる時期（9年次1～3ヶ月目及び6ヶ月目）の中から、ジュゴンの主生息域への影響を考慮して、代替施設の東端で杭打ち工事が行われている時期を選定

表2.4 予測対象時期と発生源の概要

| No. | 予測時期 | 工種 | 発 生 源 | |
|-----|--------------|------------------|------------------------------------|---|
| | | | 主要発生源 | その他の発生源 |
| 1 | 3年次 11ヶ月目 | 杭打ち工事 (二重締切) | 杭打ち船（バイプロハンマー）1箇所 | 揚錨船1隻 潜水士船2隻 引船2隻 |
| | | 捨石工事 (ケーソン護岸) | ランプウェイ台船 4箇所 | 潜水士船4隻 |
| | | 地盤改良工事 | サンドドレーン船 5箇所 | ガットバージ5隻、 揚錨船5隻、 砂貯蔵船5隻、引船5隻 |
| | | 作業船（ガット船） | ガット船 (日稼働隻数：18隻、 同時稼働隻数：9隻) | |
| | | 埋立岩ズリ揚土 | | 押船（土運搬）3隻 リクレーマ船2隻、 揚錨船2隻、 押船（土運搬）8隻 |
| | | 岩ズリ埋立 | | |
| 2 | 7年次 11ヶ月目 | 作業船（ガット船） | ガット船 (日稼働隻数：32隻、 同時稼働隻数：16隻) | |
| | | 岩ズリ埋立 | | リクレーマ船5隻、 揚錨船5隻、 押船（土運搬）20隻 |
| 3 | 9年次 6ヶ月目 | 杭打ち工事 (進入灯東側) | 杭打ち船（油圧ハンマー）1箇所 | 引船1隻、揚錨船1隻、 潜水士船1隻 |

注) 発生源については、水中音の発生状況について既往知見のある海中土木工事及び作業船を予測の対象工種とし、各工種の中で水中音の発生レベルが大きいと考えられる船舶を「主要発生源」（ブルーで表示）とした。また、船団を構成するその他の船舶を「その他の発生源」とした。

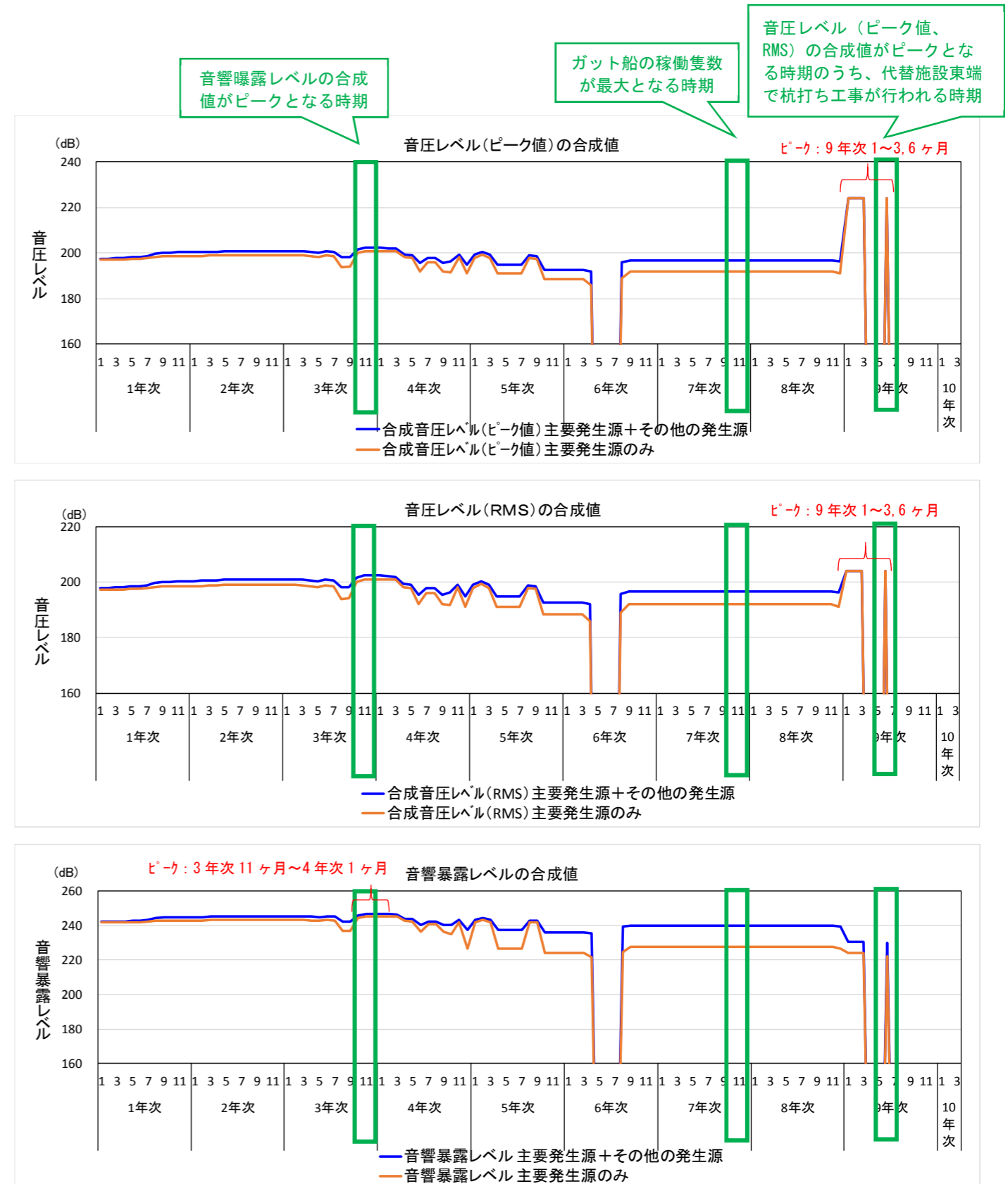


図2.1 発生源の音源の音圧レベル及び音響曝露レベルの合成値の算定結果

【凡例】 ：予測対象時期

注) 音圧レベル及び音響曝露レベルの合成値は、主要発生源のみの場合とその他の発生源を加えた場合を算定。

6) 水中音の予測式

- ・水中音の予測は、環境保全図書（変更前）と同様に、以下のとおり行った。
- ・水中音の予測式は、距離減衰予測を基本とし、発生源の音源から受音点の間にリーフ等の地形が存在する水深が浅い海域（-2.5m、-5.0m、-7.5m）には、その地形による回折減衰を考慮するため、仮想障壁を設定する（【参考資料3】参照）。
- ・また、浅海域の場合、水中音は海面や海底における吸収・反射の影響を強く受けると考えられているため、海況や底質に依存する近距離音場の不規則性による効果を考慮。
- ・回帰係数は、数種類の工種における実測データから算定された係数の平均値（-23.5）を適用（【参考資料3】参照）。
- ・海況や底質に依存する近距離音場の不規則性による効果に関する条件として、海況は「鏡のようになめらか～さざ波がある程度」、底質は「砂」を想定（【参考資料3】参照）。

＜水中音の予測式＞

$$SPL_R = SPL_1 + a \cdot \log_{10}(R) - \Delta L_d - \kappa_L$$

ここで、

SPL_R ：ある距離 R (m) における音圧レベル [dB]

SPL_1 ：音源から 1m の距離における音圧レベル [dB]

a ：係数（実測データから求めた回帰係数：-23.5）

R ：音源と受音点との距離 [m]

ΔL_d ：リーフ等の地形による回折減衰値 [dB]

κ_L ：海況や底質に依存する近距離音場の不規則性 [dB]

【参考文献】Robert J. Urick (2013) 改訂 水中音響学（三好章夫訳、新家富雄監修）、京都通信社。

- ・音響曝露レベル（SEL）は、累積的な音のエネルギーを計算するものであり、具体的には瞬時音圧の二乗の時間積分を 1 秒間に標準化し dB レベルで示したものである。非パルス音及びパルス音について以下のように計算。なお、音響曝露レベルの計算にあたっては、周波数特性に応じた重み付けを行った。

＜非パルス音＞

水中音の発生工種の音圧レベル（RMS）に 1 日の施工時間（8 時間）を乗じて算定。

$$SEL = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{n=1}^N \int_0^T p_n^2(t) dt}{(p_{ref})^2} \right\}$$

ここで、 p_n ：音圧レベル、 p_{ref} ：基準音圧、 T ：持続時間

＜パルス音＞

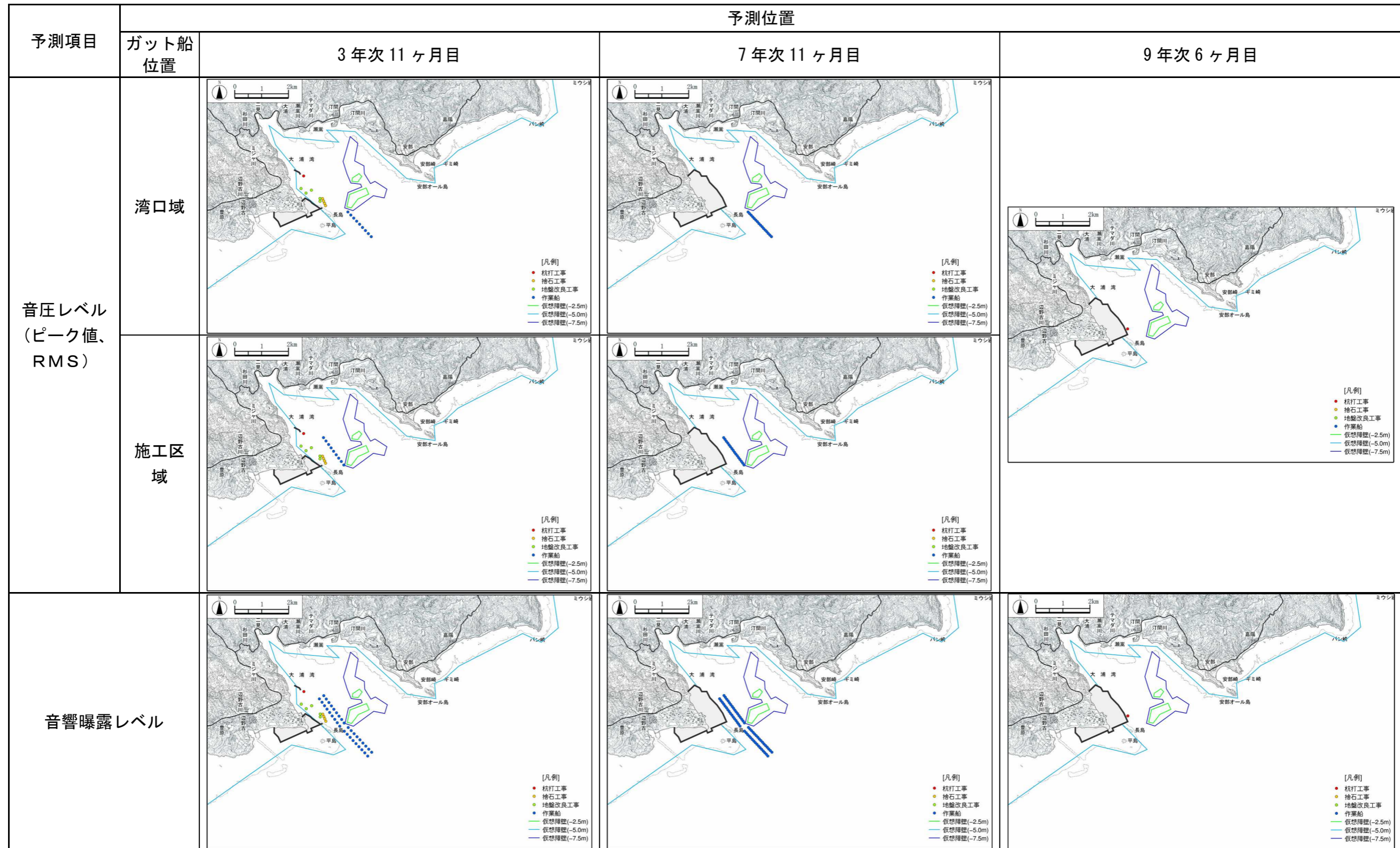
パルス音（杭打ち（油圧ハンマー））の場合は、1 回のパルス音の音圧レベル及び継続時間に 1 日の発生回数に乗じて算定。

- ・音響曝露レベル（SEL）の算定にあたっての周波数の重み付け

瞬時の音による障害の影響は、個々の種が最もよく聴こえる周波数を厳密には反映しないため、音圧レベル（ピーク値）に関しては、聴覚特性に基づく重み付けは行わないが、継続的な音の曝露を評価する場合には、海産哺乳類は周波数に依存した聴覚機能を有していることから、音響曝露レベルの計算にあたっては、周波数特性に応じた重み付けを行った（【参考資料4】参照）。

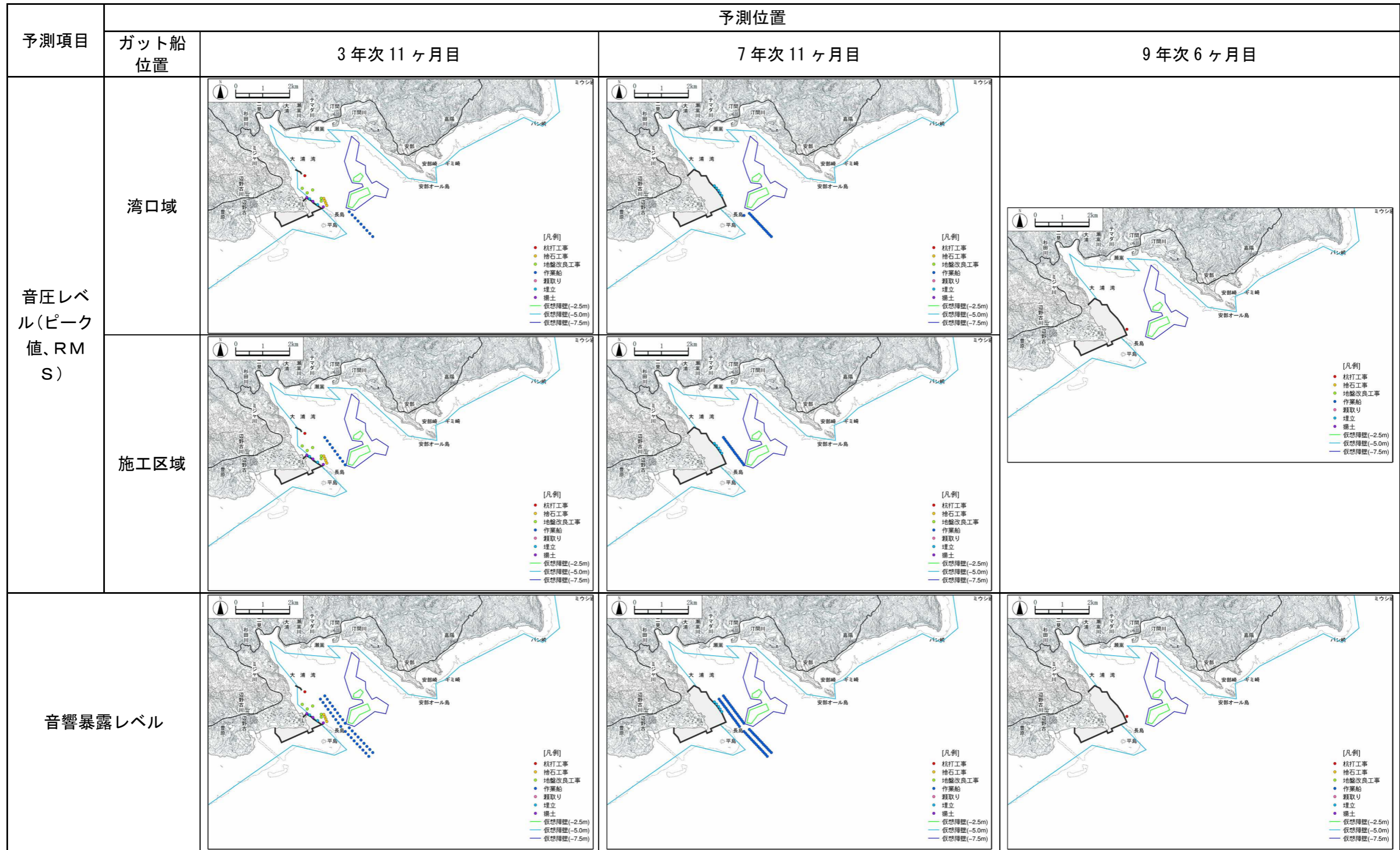
7) 予測位置

(a) 「主要発生源」による予測位置



- 注) 1. ガット船の航行を予測対象に含む3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目については、ガット船が湾口域に位置する場合と施工区域に位置する場合の2ケースを想定し、予測を実施。
2. 3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目における音響曝露レベルは、作業船(ガット船)が1日2往復することとし、「湾口域東側」、「施工区域東側」、「施工区域西側」、「湾口域西側」の各区域に30分間航行しているとして計算。

(b) 「主要発生源+その他の発生源」による予測位置

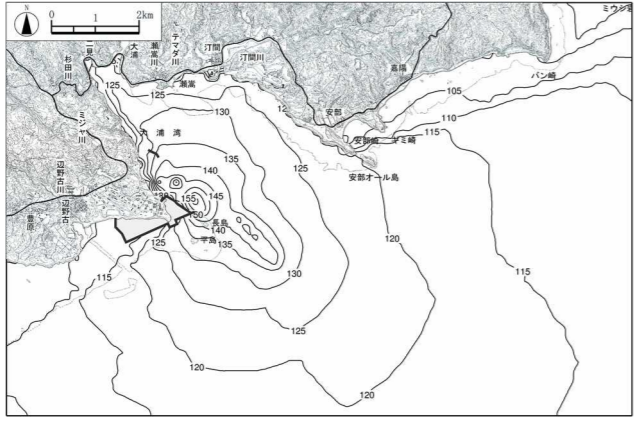
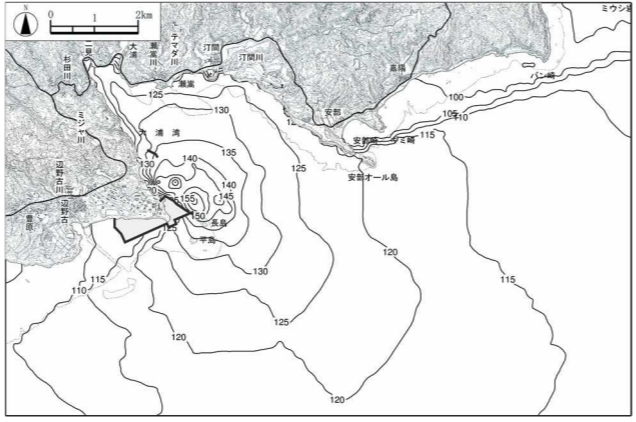
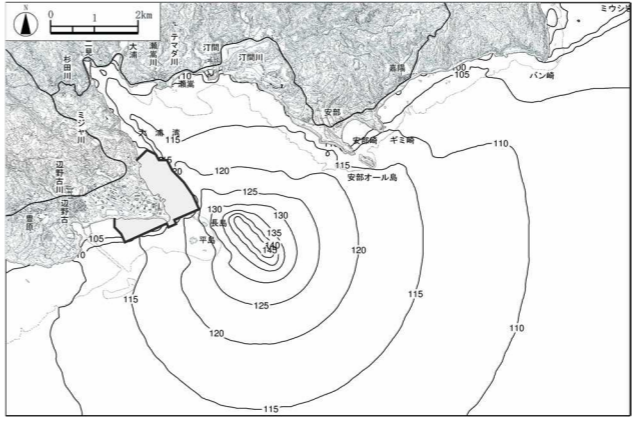
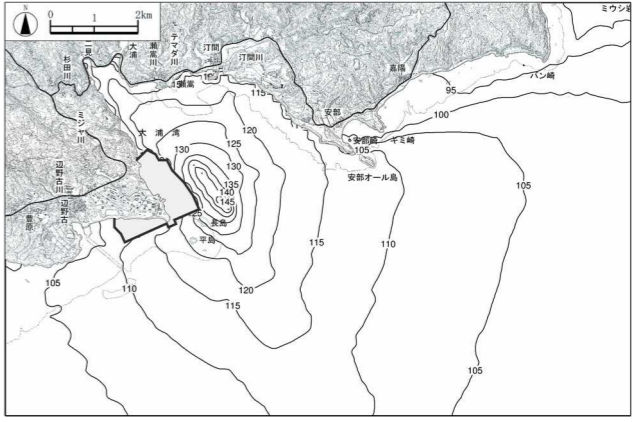
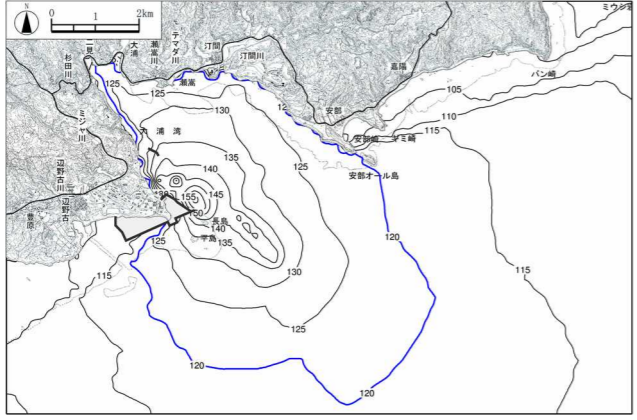
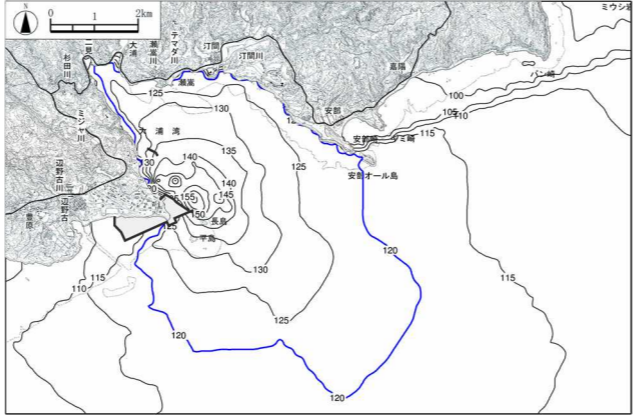
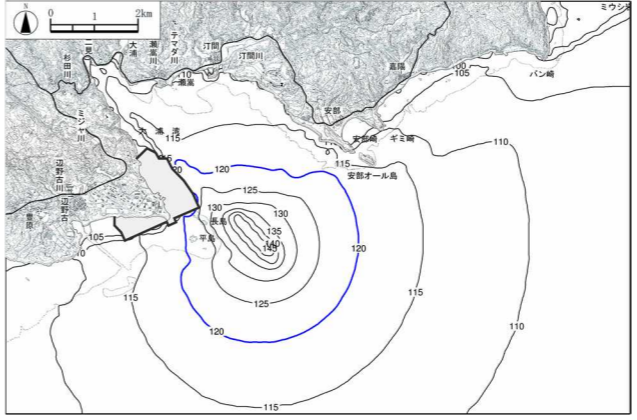
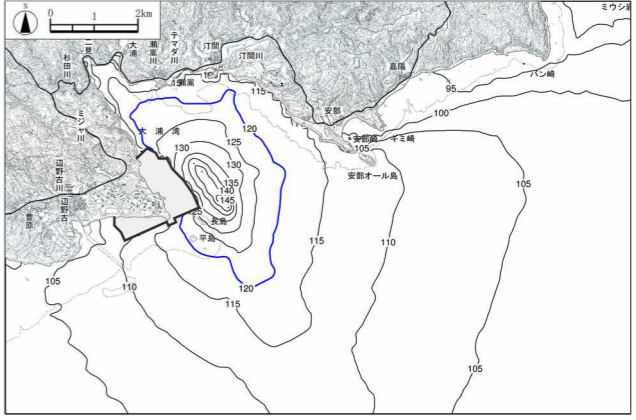


- 注) 1. ガット船の航行を予測対象に含む3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目については、ガット船が湾口域に位置する場合と施工区域に位置する場合の2ケースを想定し、予測を実施。
2. 3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目の音響暴露レベルは、作業船が1日2往復することとし、「湾口域東側」、「施工区域東側」、「施工区域西側」、「湾口域西側」の各区域に30分間航行しているとして計算。
3. 「その他の発生源」のうち、主要発生源の近傍で稼働する船舶(例えば、杭打ち工事における揚錨船、潜水士船、引船)は、主要発生源と同じ位置に配置。

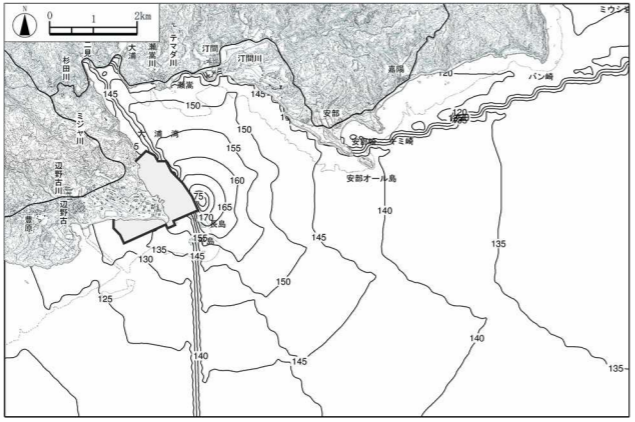
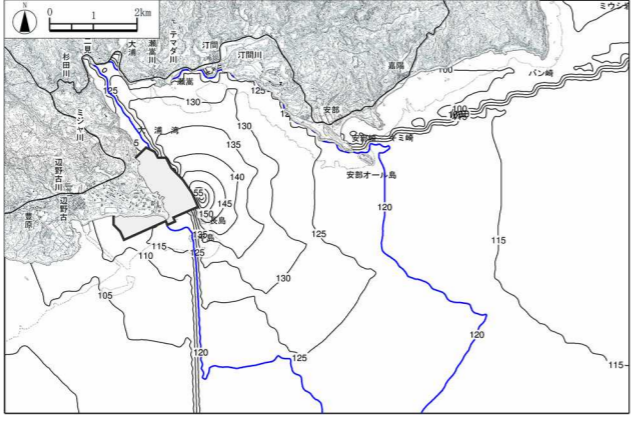
(2) 予測結果

1) 「主要発生源」による予測結果

(a) 音圧レベル

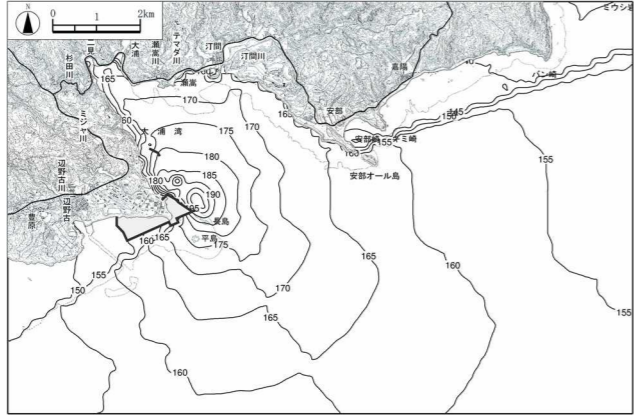
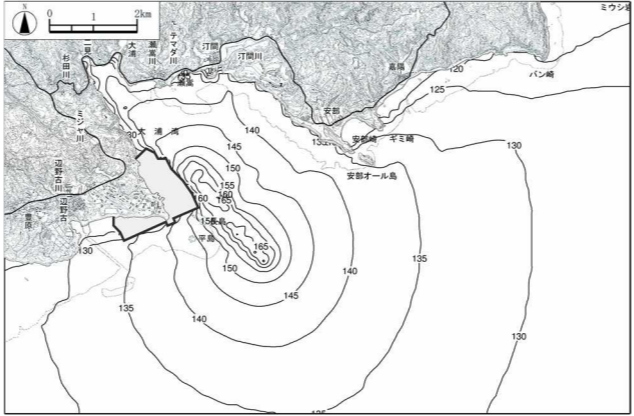
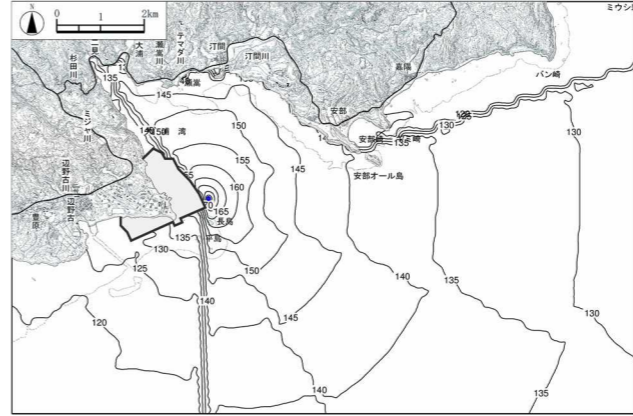
| 予測ケース (ガット船位置) | 3年次11ヶ月目 | | 7年次11ヶ月目 | |
|-------------------|--|--|--|---|
| | 湾口域 | 施工区域 | 湾口域 | 施工区域 |
| 音圧レベル (ピーク値) |  |  |  |  |
| | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、捨石投入工事の施工箇所近傍で 160dB 以上 165dB 未満、作業船の航行区域で 145dB 以上 150dB 未満となる。施工区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 120～125dB 程度、ギミ崎沖で 120dB 程度となる。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、115～120dB 程度の音圧レベルになっている。 障害の評価基準を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】障害 (非パルス音) : 230dB</p> | | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、作業船の航行区域で 145dB 以上 150dB 未満となる。作業船の航行区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 110～115dB 程度、ギミ崎沖で 110～115dB 程度となっている。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、100～110dB 程度の音圧レベルになっている。 障害の評価基準を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】障害 (非パルス音) : 230dB</p> | |
| 音圧レベル (RMS) |  |  |  |  |
| | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、捨石投入工事の施工箇所近傍で 155dB 以上 160dB 未満、作業船の航行区域で 145dB 以上 150dB 未満となる。施工区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 120～125dB 程度、ギミ崎沖で 120dB 程度となる。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、115～120dB 程度の音圧レベルになっており、行動障害の評価基準の 120dB を下回る。 <p style="text-align: center;">【評価基準】行動障害 (非パルス音) : 120dB</p> | | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、作業船の航行区域では 145dB 以上 150dB 未満となる。作業船の航行区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 100～115dB 程度、ギミ崎沖で 110～115dB 程度となっている。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、100～110dB 程度となっており、行動障害の評価基準の 120dB を下回る。 <p style="text-align: center;">【評価基準】行動障害 (非パルス音) : 120dB</p> | |

注) 評価基準の適用：施工内容にもとづき、3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目は「非パルス音」、9年次6ヶ月目は「パルス音」の評価基準を適用。

| 予測ケース (ガット船位置) | 9年次6ヶ月目 |
|-------------------|--|
| 音圧レベル (ピーク値) |  <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、進入灯東側の杭打ち工事の施工箇所近傍で最も高く 180dB 以上 185dB 未満となる。施工区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 145～150dB 程度、ギミ崎沖で 140dB 程度となっている。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、120～140dB 程度の音圧レベルになっている。 障害の評価基準を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】 障害 (パルス音) : 230dB</p> |
| 音圧レベル (RMS) |  <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、進入灯東側の杭打ち工事の施工箇所近傍で 165dB 以上 170dB 未満となる。施工区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 125～130dB 程度、ギミ崎沖で 120dB 程度となっている。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、100～120dB 程度となっており、行動阻害の評価基準の 120dB を下回る。 <p style="text-align: center;">【評価基準】 行動阻害 (パルス音) : 120dB</p> |

注) 評価基準の適用 : 施工内容にもとづき、3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目は「非パルス音」、9年次6ヶ月目は「パルス音」の評価基準を適用。

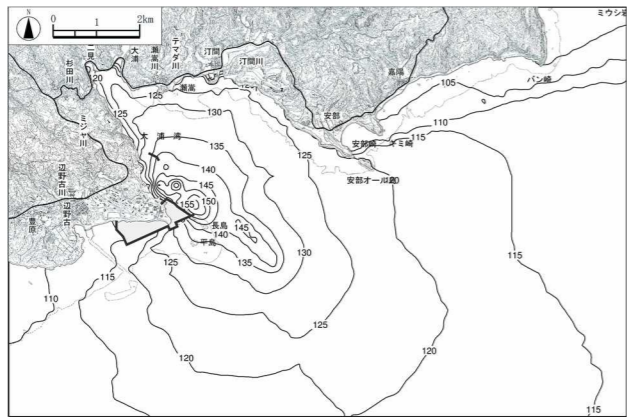
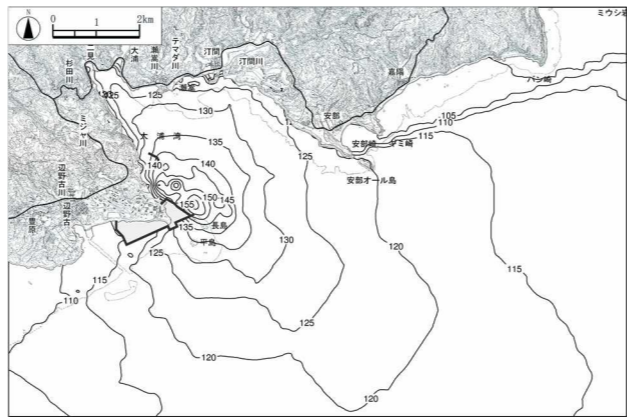
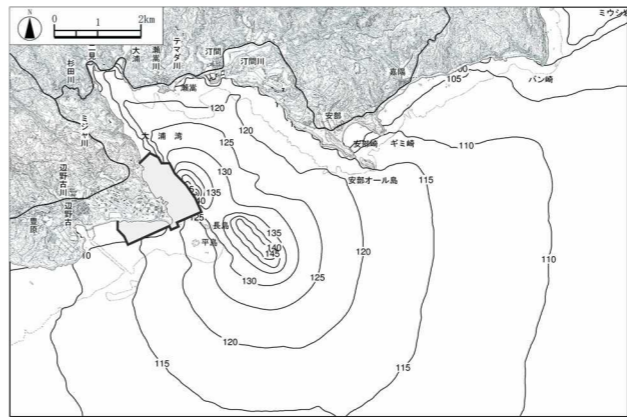
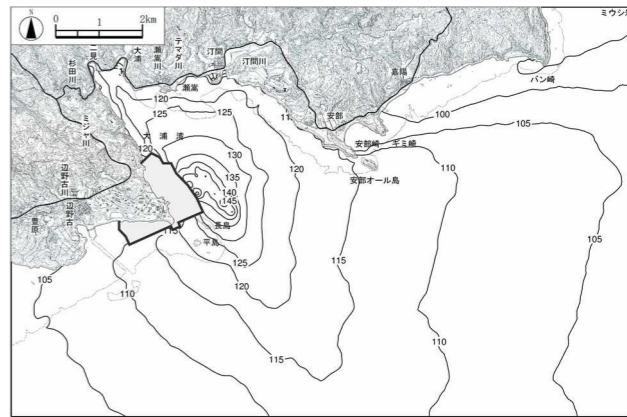
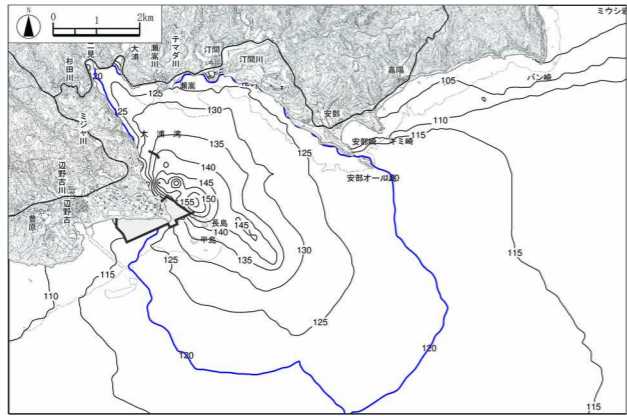
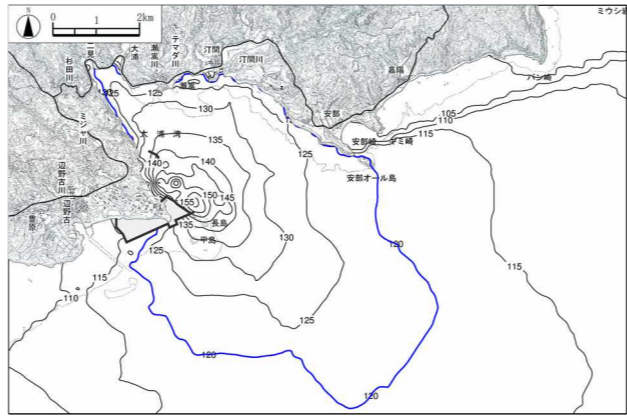
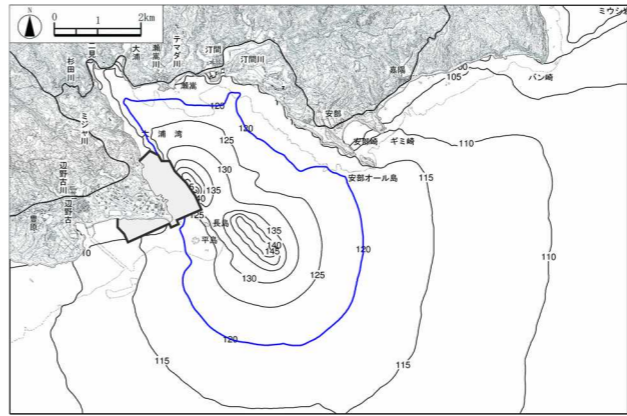
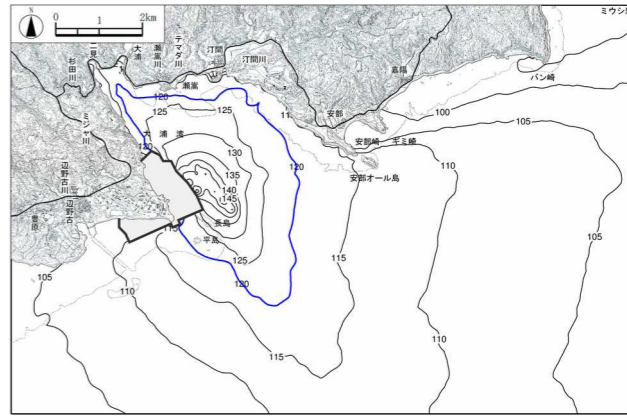
(b) 音響曝露レベル

| 予測ケース | 3年次11ヶ月目 | 7年次11ヶ月目 | 9年次6ヶ月目 |
|---------|--|--|--|
| 音響曝露レベル |  <ul style="list-style-type: none"> ・音響曝露レベルは、捨石投入工事の施工箇所近傍で200dB以上205dB未満となり、施工区域周辺では、大浦湾東側海域で165～170dB程度、ギミ崎沖で160～165dB程度となっている。 ・ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、140～160dB程度の音響曝露レベルになっている。 ・障害の評価基準（215dB）を上回る範囲はみられない。 <p style="color: red; margin-top: 10px;">【評価基準】障害（非パルス音）：215dB</p> <p style="color: blue;">【評価基準】行動阻害（非パルス音）：適用外</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ・音響曝露レベルは、作業船の航行区域で165dB以上170dB未満となり、施工区域周辺では、大浦湾東側海域で135～140dB程度、ギミ崎沖で135dB程度となっている。 ・ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、120～135dB程度となっている。 ・障害の評価基準（215dB）を上回る範囲はみられない。 <p style="color: red; margin-top: 10px;">【評価基準】障害（非パルス音）：215dB</p> <p style="color: blue;">【評価基準】行動阻害（非パルス音）：適用外</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ・音響曝露レベルは、進入灯東側の施工箇所では175dB以上185dB未満となり、施工区域周辺では、大浦湾東側海域で140～145dB程度、ギミ崎沖で140dB程度となっている。 ・ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、120～135dB程度となっている。 ・施工区域のごく近傍においてのみ、行動阻害の評価基準（183dB）を上回る範囲がみられるが、障害の評価基準（198dB）を上回る範囲はみられない。 <p style="color: red; margin-top: 10px;">【評価基準】障害（パルス音）：198dB</p> <p style="color: blue;">【評価基準】行動阻害（パルス音）：183dB</p> |

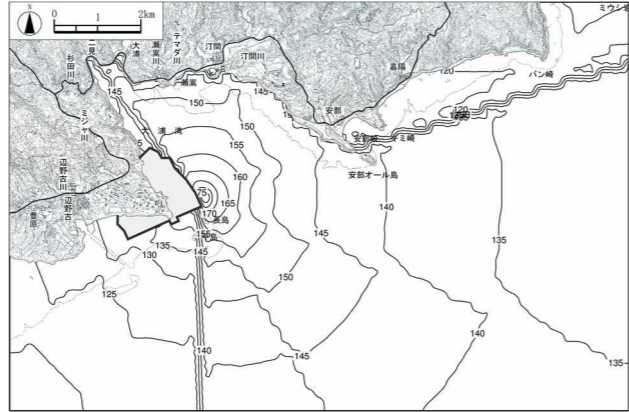
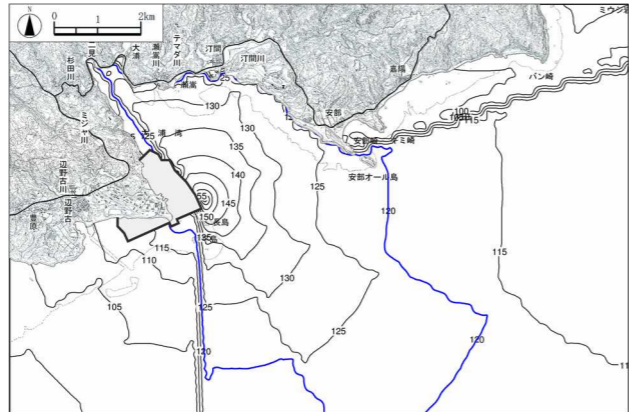
注) 評価基準の適用：施工内容にもとづき、3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目は「非パルス音」、9年次6ヶ月目は「パルス音」の評価基準を適用。

2) 「主要発生源+その他の発生源」による予測結果

(a) 音圧レベル

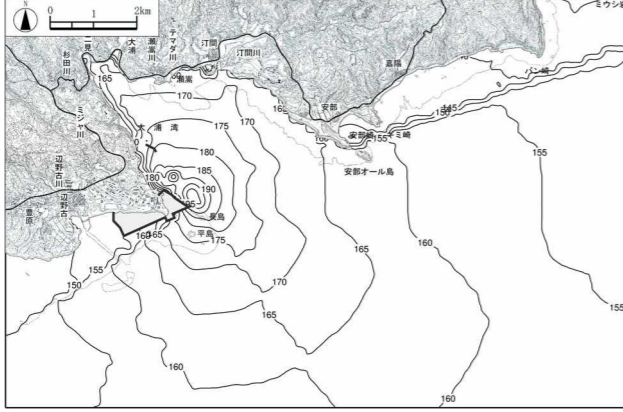
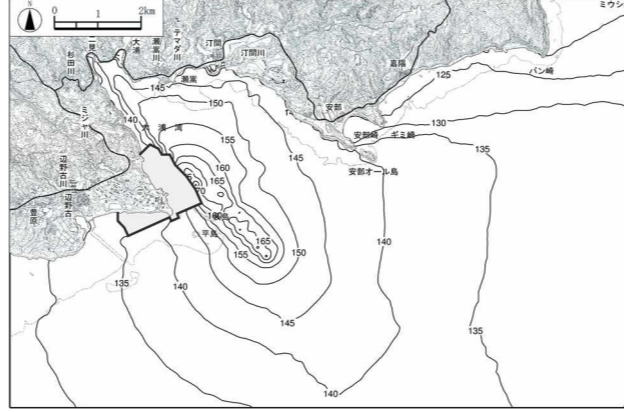
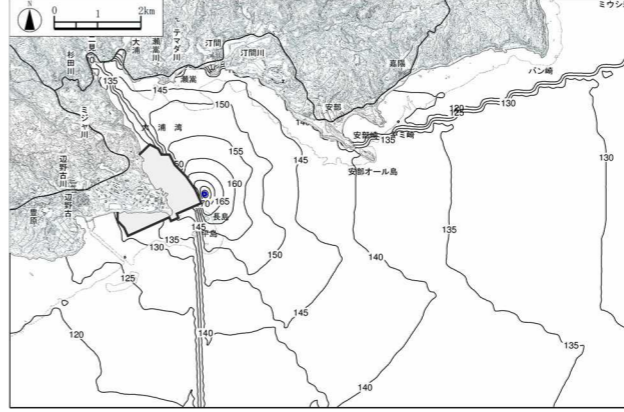
| 予測ケース (ガット船位置) | 3年次11ヶ月目 | | 7年次11ヶ月目 | |
|-------------------|---|--|---|---|
| | 湾口域 | 施工区域 | 湾口域 | 施工区域 |
| 音圧レベル (ピーク値) |  |  |  |  |
| | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、捨石投入工事の施工箇所近傍で 160dB 以上 165dB 未満、作業船の航行区域で 145dB 以上 150dB 未満となる。施工区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 120～130dB 程度、ギミ崎沖で 120dB 程度となる。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、115～120dB 程度の音圧レベルになっている。 障害の評価基準を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】障害（非パルス音）：230dB</p> | | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、作業船の航行区域で 145dB 以上 150dB 未満となり、作業船の航行区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 115～125dB 程度、ギミ崎沖で 110～115dB 程度となっている。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、105～115dB 程度の音圧レベルになっている。 障害の評価基準を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】障害（非パルス音）：230dB</p> | |
| 音圧レベル (RMS) |  |  |  |  |
| | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、捨石投入工事の施工箇所近傍で 160dB 以上 165dB 未満、作業船の航行区域で 145dB 以上 150dB 未満となる。施工区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 120～130dB 程度、ギミ崎沖で 120dB 程度となる。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、115～120dB 程度の音圧レベルになっており、行動阻害の評価基準の 120dB を下回る。 <p style="text-align: center;">【評価基準】行動阻害（非パルス音）：120dB</p> | | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、作業船の航行区域では 145dB 以上 150dB 未満となる。作業船の航行区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 115～125dB 程度、ギミ崎沖で 110～115dB 程度となっている。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、105～115dB 程度となっており、行動阻害の評価基準の 120dB を下回る。 <p style="text-align: center;">【評価基準】行動阻害（非パルス音）：120dB</p> | |

注) 評価基準の適用：施工内容にもとづき、3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目は「非パルス音」、9年次6ヶ月目は「パルス音」の評価基準を適用。

| 予測ケース (ガット船位置) | 9年次6ヶ月目 | |
|-------------------|---|---|
| 音圧レベル (ピーク値) |  | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、進入灯東側の杭打ち工事の施工箇所近傍で最も高く 180dB 以上 185dB 未満となる。施工区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 145～150dB 程度、ギミ崎沖で 140dB 程度となっている。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、120～140dB 程度の音圧レベルになっている。 障害の評価基準を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】障害 (パルス音) : 230dB</p> |
| 音圧レベル (RMS) |  | <ul style="list-style-type: none"> 音圧レベルは、進入灯東側の杭打ち工事の施工箇所で 165dB 以上 170dB 未満となる。施工区域から離れるとともに音圧レベルは低下し、大浦湾東側海域で 125～130dB 程度、ギミ崎沖で 120dB 程度となっている。 ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、100～120dB 程度となっており、行動阻害の評価基準の 120dB を下回る。 <p style="text-align: center;">【評価基準】行動阻害 (パルス音) : 120dB</p> |

注) 評価基準の適用 : 施工内容にもとづき、3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目は「非パルス音」、9年次6ヶ月目は「パルス音」の評価基準を適用。

(b) 音響曝露レベル

| 予測ケース | 3年次11ヶ月目 | 7年次11ヶ月目 | 9年次6ヶ月目 |
|---------|---|---|---|
| 音響曝露レベル |  <ul style="list-style-type: none"> ・音響曝露レベルは、捨石投入工事の施工箇所近傍で 200dB 以上 205dB 未満となり、施工区域周辺では、大浦湾東側海域で 165～170dB 程度、ギミ崎沖で 160～165dB 程度となっている。 ・ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、140～160dB 程度の音響曝露レベルになっている。 ・障害の評価基準 (215dB) を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】障害 (非パルス音) : 215dB 【評価基準】行動阻害 (非パルス音) : 適用外</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ・音響曝露レベルは、作業船の航行区域で 180dB 以上 185dB 未満となり、施工区域周辺では、大浦湾東側海域で 145～150dB 程度、ギミ崎沖で 135dB 程度となっている。 ・ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、125～140dB 程度となっている。 ・障害の評価基準 (215dB) を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】障害 (非パルス音) : 215dB 【評価基準】行動阻害 (非パルス音) : 適用外</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ・音響曝露レベルは、進入灯東側の施工箇所では 175dB 以上 185dB 未満となり、施工区域周辺では、大浦湾東側海域で 140～145dB 程度、ギミ崎沖で 140dB 程度となっている。 ・ジュゴンが高い頻度で確認されている安部崎から嘉陽地先西側の範囲においては、120～135dB 程度となっている。 ・施工箇所のごく近傍においてのみ、行動阻害の評価基準 (183dB) を上回る範囲がみられるが、障害の評価基準 (215dB) を上回る範囲はみられない。 <p style="text-align: center;">【評価基準】障害 (パルス音) : 198dB 【評価基準】行動阻害 (パルス音) : 183dB</p> |

注) 評価基準の適用 : 施工内容にもとづき、3年次11ヶ月目及び7年次11ヶ月目は「非パルス音」、9年次6ヶ月目は「パルス音」の評価基準を適用。

3. 環境保全図書（変更前）における予測結果との比較

(1) 環境保全図書（変更前）における予測方法

1) 予測項目、予測式

・予測項目及び予測式は、計画変更での予測と同じ。

2) 予測対象とした発生源

・環境保全図書（変更前）では、主要発生源のみを対象に予測。

3) 予測時期

・水中音の発生する海中土木工事の実施時期及びガット船と土運搬船の稼働状況を踏まえて、水中音の発生レベルの高い3ケースを予測時期として設定（表3. 1）。

・環境保全図書で予測対象とした音源の音圧レベル及び音響曝露レベルの合成値は、表3. 2、図3. 1に示すとおり。

表3. 1 環境保全図書（変更前）における水中音の予測時期

| No. | 予測時期 | 工種 | 発 生 源 | 選定理由 |
|-----|---------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 1年次 3~4ヶ月目 | 杭打ち工事（二重締切） | 杭打ち船（油圧ハンマー） 5箇所 | 音圧レベルの合成値及び音響曝露レベルの合成値がピークとなる時期 |
| | | 捨石投入工事（ケーソン護岸、海上ヤード） | ランブウェイ台船 3箇所 | |
| | | 浚渫工事（護岸区） | グラブ浚渫船 3隻 | |
| 2 | 2年次 10ヶ月目 | 捨石投入工事（ケーソン護岸） | ランブウェイ台船 1箇所 | ガット船の稼働隻数がピークとなり、音響曝露レベルが高くなる時期 |
| | | 作業船（ガット船） | ガット船（日稼働隻数：20隻、同時稼働隻数：10隻） | |
| 3 | 3年次 12ヶ月目 | 杭打ち工事（燃料棧橋） | 杭打ち船（油圧ハンマー） 1箇所 | 施工時期の後半において、音響曝露レベルが高くなる時期 |
| | | 捨石工事（ケーソン護岸） | ランブウェイ台船 1箇所 | |
| | | 作業船（ガット船） | ガット船・土運搬船 日稼働隻数：38隻、同時稼働隻数：13隻 | |

表3. 2 環境保全図書（変更前）における発生源の音源の音圧レベル及び音響曝露レベルの合成値

| 項目 | | 1年次3~4ヶ月 | 2年次10ヶ月 | 3年次12ヶ月 |
|-----------|------|-----------|---------|---------|
| 合成音圧レベル | ピーク値 | 231 (227) | 195 | 224 |
| | RMS | 211 (208) | 195 | 205 |
| 合成音響曝露レベル | | 244 (244) | 239 | 239 |

注) 1年次3~4ヶ月の()内の値は、杭打ち箇所を5箇所から2箇所に減らした場合の値

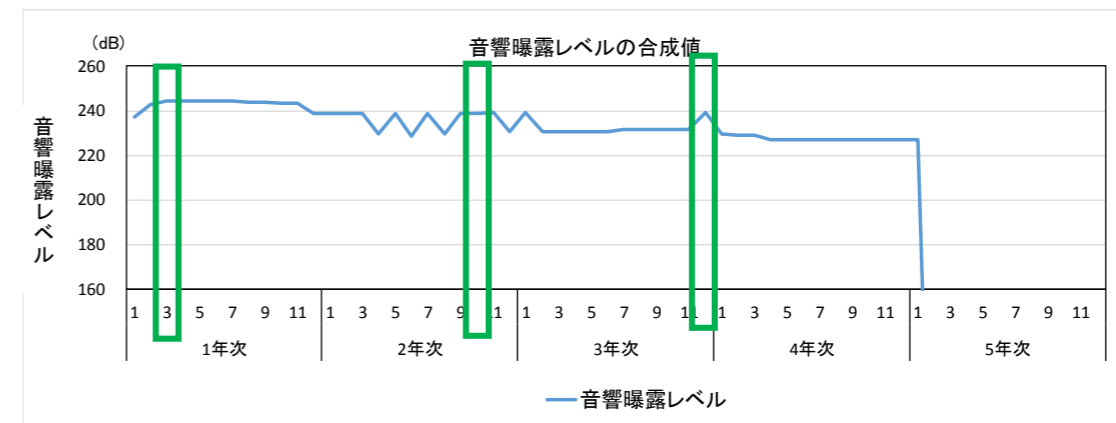
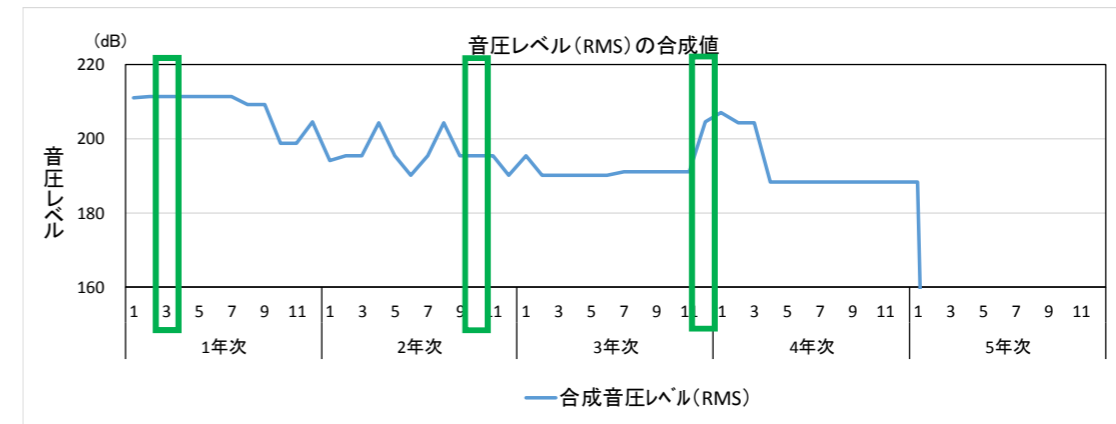
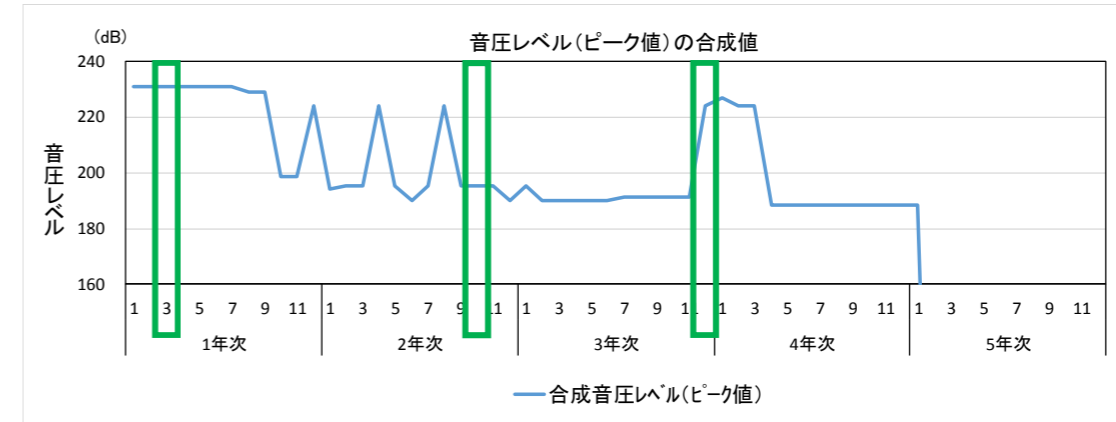


図3. 1 環境保全図書における発生源の音源の音圧レベル及び音響曝露レベルの合成値
 : 予測時期

(2) 環境保全図書（変更前）における予測結果との比較

1) 障害への影響

- ・環境保全図書（変更前）においては、施工箇所近傍で音響曝露レベルの評価基準を上回る範囲がみられたが、今回の計画変更（変更後）においては、音圧レベル（ピーク値）及び音響曝露レベルのいずれについても障害に関する評価基準を上回る範囲はみられない。

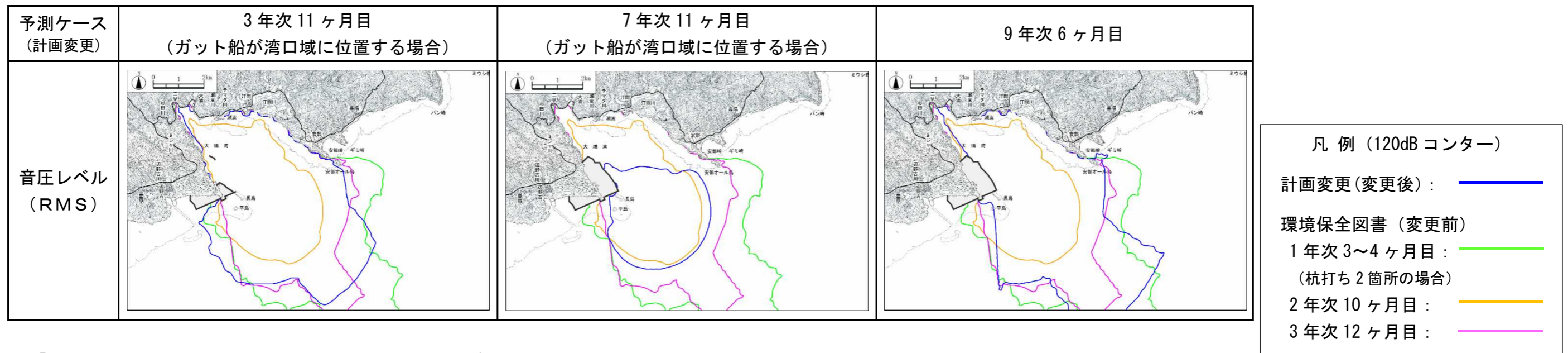
2) 行動阻害への影響

(a) 音圧レベル（RMS）

- ・今回の計画変更（変更後）と環境保全図書（変更前）の予測結果について、行動阻害の評価基準である音圧レベル（RMS）120dB のコンターの位置を図示し比較したところ、各予測対象時期における音源位置の違いによる差異は多少みられるものの、音圧レベル（RMS）による行動阻害の評価基準を上回る範囲は、環境保全図書（変更前）と概ね同様又は狭くなる範囲であった。

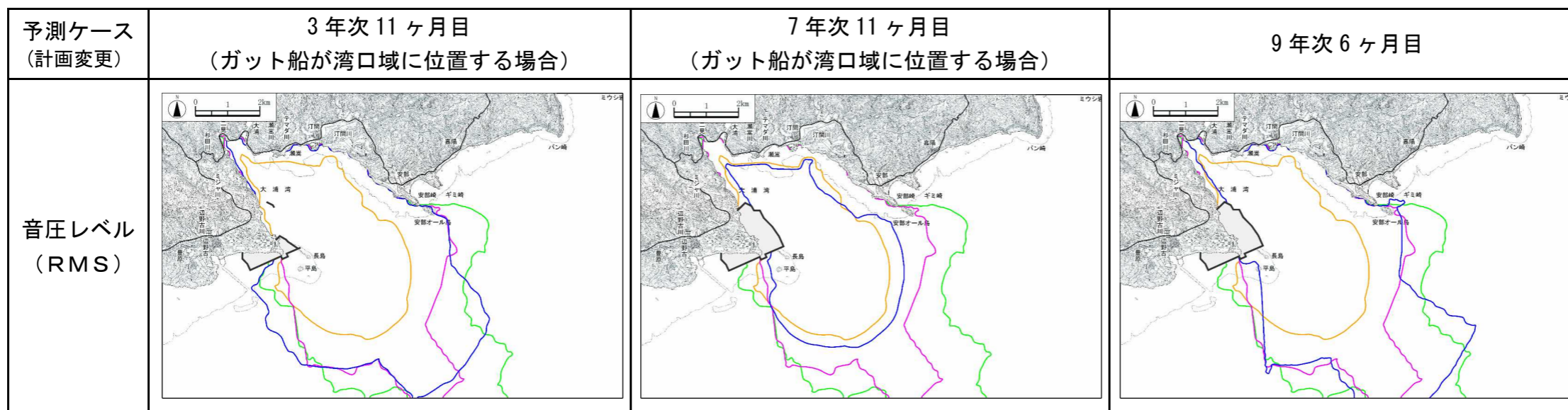
○「主要発生源」による予測結果での比較

※3年次11ヶ月目と7年次11ヶ月目については、ガット船が湾口域に位置する場合と施工区域に位置する場合の2ケースのうち、よりコンターが広がる湾口域に位置する場合の結果で比較。



○「主要発生源+その他の発生源」による予測結果での比較

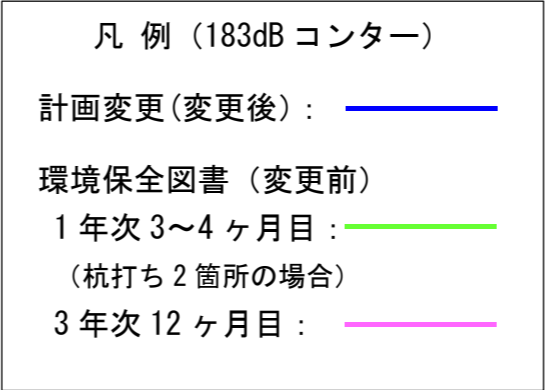
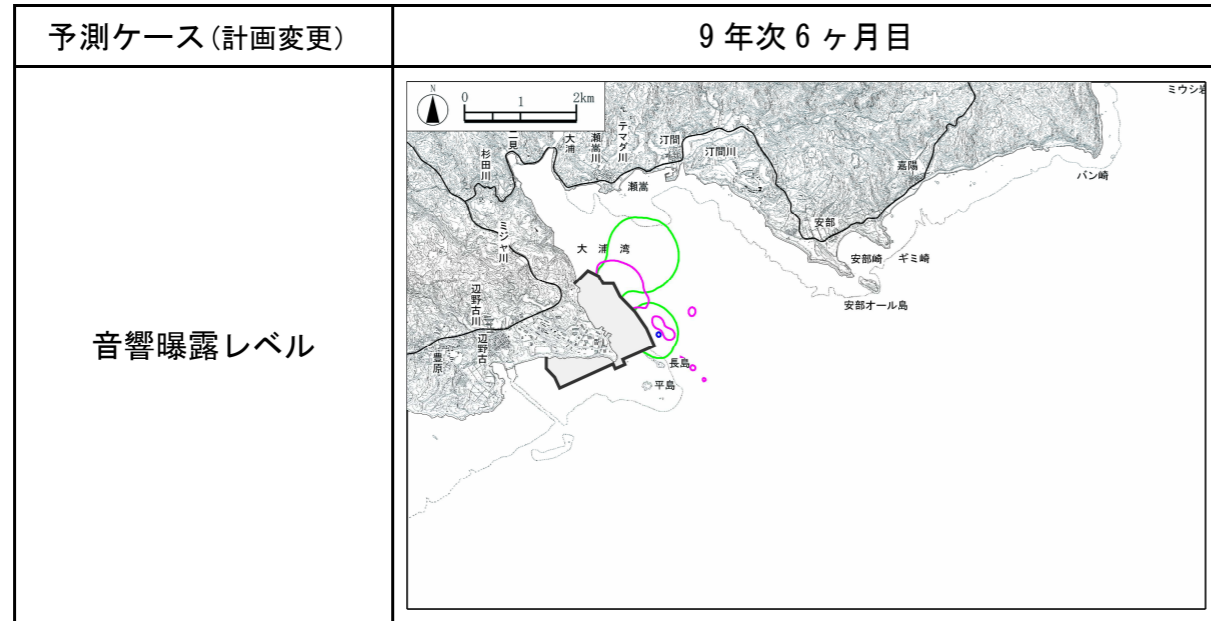
※3年次11ヶ月目と7年次11ヶ月目については、ガット船が湾口域に位置する場合と施工区域に位置する場合の2ケースのうち、よりコンターが広がる湾口域に位置する場合の結果で比較。



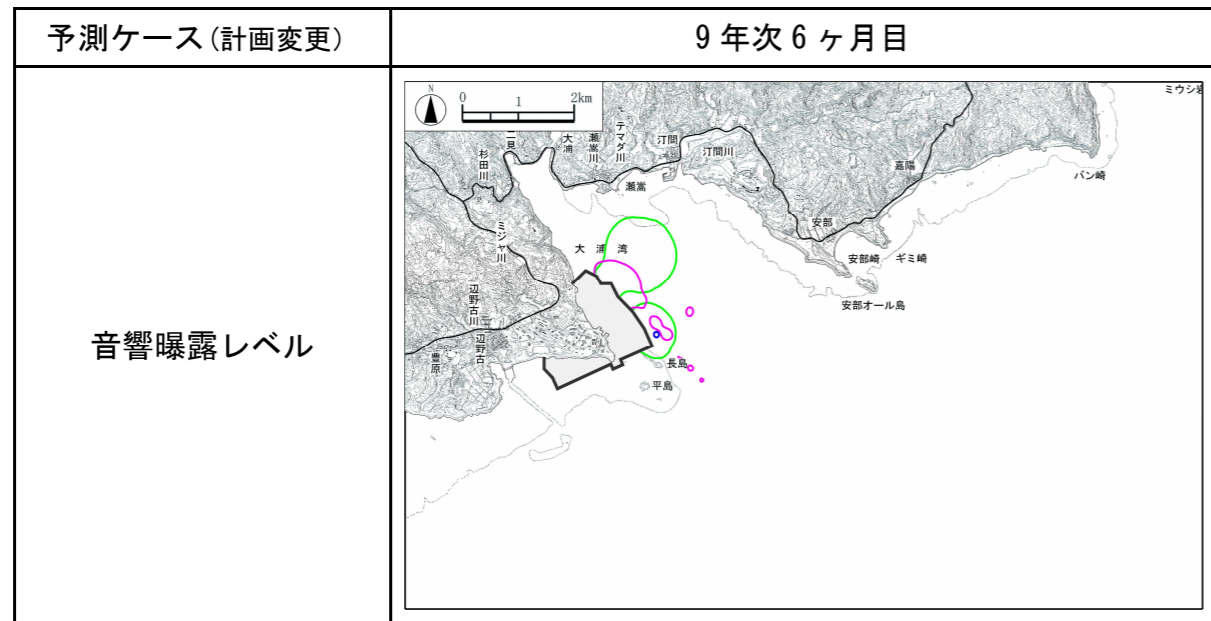
(b) 音響曝露レベル

- ・音響曝露レベルによる行動阻害の評価基準（パルス音の場合）を上回る範囲は、9年次6ヶ月目においてみられている。
- ・行動阻害の評価基準である音響曝露レベル（パルス音の場合）183dBのコンターの位置を環境保全図書（変更前）と比較すると、計画変更（変更後）において評価基準を上回る範囲は、施工箇所のごく近傍に限られ、環境保全図書（変更前）に比べて縮小している。

○「主要発生源」による予測結果での比較



○「主要発生源+その他の発生源」による予測結果での比較



3) まとめ

| 予測項目 | 環境保全図書（変更前） | 計画変更（変更後） |
|-----------------------|--|---|
| <p>水中音がジュゴンに及ぼす影響</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ 障害を与えるような水中音の影響について、障害を与える音圧レベル（ピーク値）の評価基準を上回る範囲はみられないが、1年次3～4ヶ月目においては施工区域近傍で音響曝露レベルの評価基準を上回る範囲がみられ、ジュゴンが施工区域近傍に来遊して長期間、水中音の曝露を受けると障害を受ける可能性がある。 ・ 行動障害を与えるような水中音の影響について、1年次3～4ヶ月目（杭打ち工事が5箇所で行われた場合）においてはジュゴンの生息範囲の一部が行動障害に影響を及ぼす音圧レベルの評価基準（RMS:120dB）を上回り、ジュゴンの行動に影響を与える可能性が考えられる。また、個体Cの移動が確認された大浦湾東側海域においても、予測したケースのいずれもジュゴンの行動に影響を与えるレベルになり、大浦湾内では工事の実施中、長期的にジュゴンの行動に影響を与える可能性がある。 ・ 工事中においてはジュゴンに対する水中音の低減を十分に図る保全対策が必要と考えられ、特に水中音の発生レベルに対して寄与が大きい杭打ち工事について、同時に打設する施工箇所を減じるなどの対策や施工区域へのジュゴンの接近が確認された場合は水中音を発する工事を一時的に休止するなどの対策を講じる。 ・ 杭打ち工事による急激な音の発生は、ジュゴンの行動に変化を及ぼすおそれがあるため、杭打ちの開始時は弱く打撃し、一定時間経過後に所定の打撃力で杭打ちを行うことにより、ジュゴンへの水中音の影響を低減する措置を講じます。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 障害を与えるような水中音の影響について、変更前の予測結果では、施工区域近傍で音響曝露レベルの評価基準（パルス音：198dB、非パルス音：215dB）を上回る範囲がみられていたが、変更後の予測結果では、障害を与える音圧レベル（ピーク値）の評価基準（230dB）及び音響曝露レベルの評価基準を上回る範囲はみられないことから、その影響は変更前よりも軽減される。 ・ 行動障害を与えるような水中音の影響について、音圧レベル（RMS）による行動障害の評価基準を上回る範囲は変更前（1年次3～4ヶ月目は杭打ち工事が2箇所で行われた場合）と概ね同様又は狭くなる範囲であった。また、音響曝露レベルの評価基準（パルス音：183dB）を上回る範囲は、施工区域のごく近傍に限られ、また、その範囲は変更前よりも縮小されることから、その影響は変更前よりも軽減される。 ・ 以上から、変更後の予測結果は、変更前の予測結果と比較して、概ね同程度もしくはそれ以下であるが、変更前と同様に下記の環境保全措置を講じることとする。 <ul style="list-style-type: none"> ○ 施工区域へのジュゴンの接近が確認された場合は工事関係者に連絡し、水中音の発する工事を一時的に休止するなどの対策を講じる。 ○ 杭打ち工事による急激な音の発生は、ジュゴンの行動に変化を及ぼすおそれがあるため、杭打ちの開始時は弱く打撃し、一定時間経過後に所定の打撃力で杭打ちを行うことにより、ジュゴンへの水中音の影響を低減する措置を講じる。 |

4. その他の環境要素に対する水中音の影響の予測

(1) 予測概要

- ・ 水中音の予測結果をもとに、魚類等に対する水中音の影響を検討。
- ・ 魚類等に対する水中音の影響の評価基準
 障害への影響：220dB（音圧レベル（ピーク値））、行動障害への影響：140dB（音圧レベル（RMS））

【参考文献】（社）日本水産資源保護協会（1997）水中音の魚類に及ぼす影響、水産研究叢書 47

(2) 予測結果

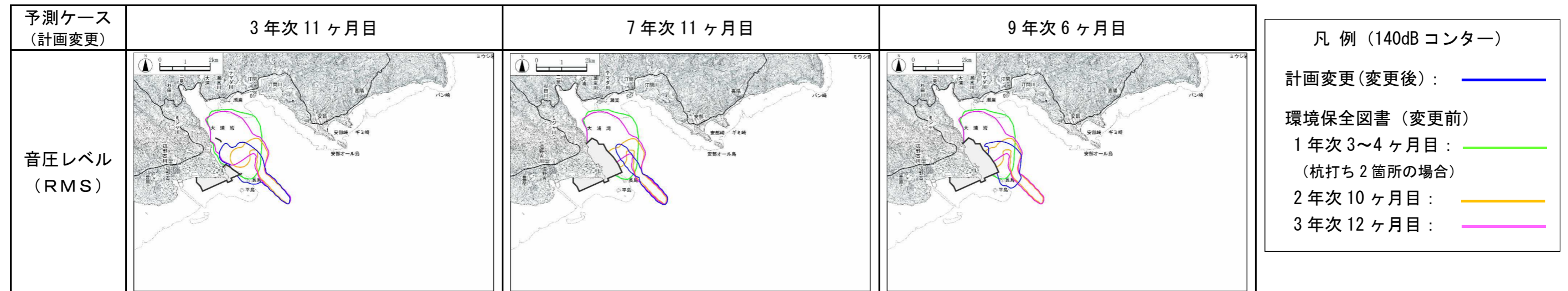
1) 障害への影響

- ・ 障害の評価基準を上回る範囲は、変更前と同様に、今回の計画変更においてもみられない。

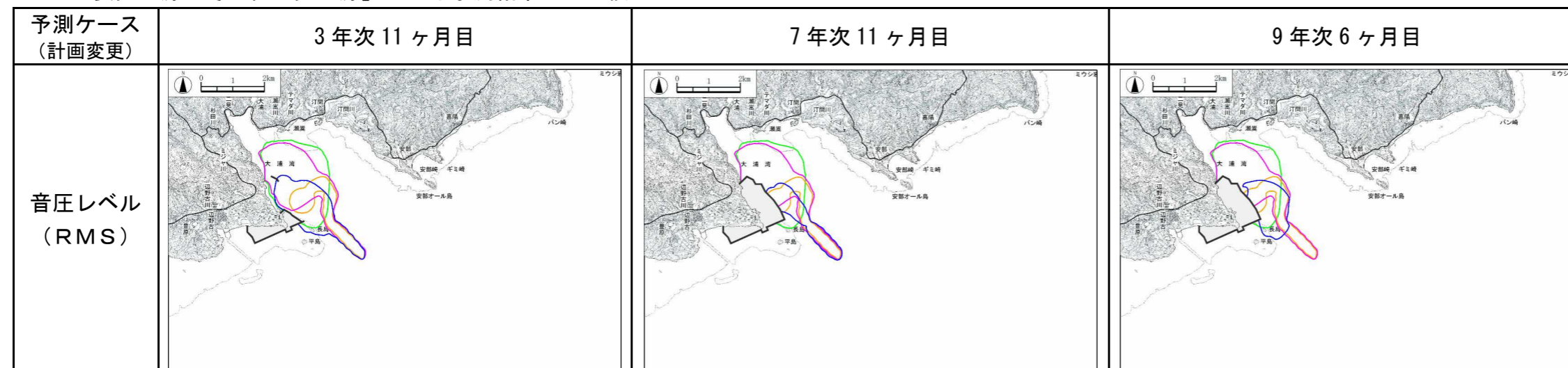
2) 行動障害への影響

- ・ 行動障害の評価基準である音圧レベル(RMS)140dB のコンターの位置を変更前と比較すると、音源位置の違いによりコンターの位置に違いがみられるが、変更後において評価基準を上回る範囲は、概ね変更前の予測結果の範囲内にあると考えられる。

○「主要発生源」による予測結果での比較



○「主要発生源+その他の発生源」による予測結果での比較



変更計画における環境負荷の算定と影響予測（水中音）

【参考資料】

（目次）

| | |
|--|-----|
| 参考資料 1 : 主要発生源の音源の音圧レベル及び周波数特性の設定根拠…………… | (1) |
| 参考資料 2 : その他の発生源の音源の音圧レベルの設定根拠…………… | (4) |
| 参考資料 3 : 水中音の予測式における係数等の設定根拠…………… | (5) |
| 参考資料 4 : 音響曝露レベルの計算における周波数の重み付け…………… | (6) |

【参考資料 1：主要発生源の音源の音圧レベル及び周波数特性の設定根拠】

1. 杭打ち工事

(1) 油圧ハンマー

○発生源の音圧レベル

油圧ハンマーに伴って発生する水中音の 1m における音圧レベル (RMS) は、測定事例における実測データより推定した音圧レベルの平均値 (204dB) とした。

また、ピーク時の音圧レベルは、杭打ち音の音圧レベルのピーク値と RMS を同時に測定した事例を参考として、音圧レベル (RMS) に 20dB を加えた値 (224dB) とした。

表-1 杭打ち工事 (油圧ハンマー) の音源の音圧レベル

| 工種 | 音圧レベル (dB) | 引用データ |
|----------------|------------|---------------|
| 杭打ち工事 (油圧ハンマー) | 220.21 | 東京湾中央防波堤杭打ち工事 |
| | 187.86 | 東京湾木更津沖杭打打工事 |
| 平均 | 204.04 | |

参考資料：(社)日本水産資源保護協会 (1997)：水中音の魚類に及ぼす影響。水産研究叢書 47
Washington state, Department of Transportation. Biological assessment preparation manual & templates, Chapter7 Construction Noise Impact Assessment.

○周波数特性

測定事例における実測データより相対周波数特性を整理し、それをもとに発生源における各周波数ごとの音圧レベルを算定した。また、音圧レベル (ピーク値) の周波数特性は、RMS での周波数特性と同等とみなした。

相対周波数特性を表-2、相対周波数特性を用いて算出した発生源の周波数特性を表-3 に示す。

表-2 発生源の相対周波数特性 (RMS)

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 31.5 | 63.0 | 125.0 | 250.0 | 500.0 | 1000.0 | 2000.0 | 4000.0 | 8000.0 | A. P |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| 相対レベル (dB) | -29.5 | -22.1 | -12.9 | -10.8 | -4.3 | -4.6 | -11.3 | -14.2 | -15.6 | 0.0 |

出典：(社)日本水産資源保護協会 (1997)：水中音の魚類に及ぼす影響。水産研究叢書 47 から作成

表-3 発生源 (油圧ハンマー) の周波数特性 (1m の距離)

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 音圧レベル (dB : re 1 μPa) | |
|------------------------|-----------------------|-------|
| | ピーク値 | RMS |
| 31.5 | 194.5 | 174.5 |
| 63.0 | 201.9 | 181.9 |
| 125.0 | 211.1 | 191.1 |
| 250.0 | 213.2 | 193.2 |
| 500.0 | 219.7 | 199.7 |
| 1000.0 | 219.4 | 199.4 |
| 2000.0 | 212.7 | 192.7 |
| 4000.0 | 209.8 | 189.8 |
| 8000.0 | 208.4 | 188.4 |
| A. P | 224.0 | 204.0 |

(2) バイブロハンマー

バイブロハンマーの発生源の音圧レベルと周波数特性については、海外での測定事例をもとに整理した。

○発生源の音圧レベル

バイブロハンマーに伴って発生する水中音の 1m における音圧レベル (RMS) は、測定事例における実測データより推定した音圧レベルの平均値 (180dB) とした。

なお、バイブロハンマーにおける音圧レベルは、ピーク値と RMS を同レベルと見なした。

表-4 杭打ち工事 (油圧ハンマー) の音源の音圧レベル

| 工種 | 音圧レベル (dB) | 引用データ |
|------------------|-------------|-------------------|
| 杭打ち工事 (バイブロハンマー) | 158.0~208.6 | 米国・マッケンジー港等 27 事例 |
| 平均 | 179.8 | |

参考資料：Blackwell, S.B. 2005. Underwater measurements of pile-driving sounds during the Port MacKenzie dock modifications, 13-16 August 2004. Rep. from Greeneridge Sciences, Inc., Goleta, CA, and LGL Alaska Research Associates, Inc., Anchorage, AK, in association with HDR Alaska, Inc., Anchorage, AK, for Knik Arm Bridge and Toll Authority, Anchorage, AK, Department of Transportation and Public Facilities, Anchorage, AK, and Federal Highway Administration, Juneau, AK. 33 p
Nedwell, J. and B. Edwards. 2002. Measurements of underwater noise in the Arun River during piling at County Wharf, Littlehampton. Subacoustech Rep. 513 R 0108. Report by Subacoustech Ltd., Soberton Heath, Hats, for David Wilson Homes Ltd, Horsham, West Sussex, Great Britain.
Laughlin, J. 2011. Port Townsend dolphin timber pile removal-vibratory pile monitoring technical memorandum. Washington State Department of Transportation
Scientific Fishery Systems, Inc. 2009. 2008 Underwater noise survey during construction pile driving, Port of Anchorage Marine Terminal Development Project. Report No.08-06 prepared by Scientific Fishery Systems, Inc., AK, for the US Department of Transportation Maritime Administration and Port of Anchorage
Caltran. 2015. Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydroacoustic Effects on Pile Driving on Fish: Appendix I- Compendium of Pile Driving Sound Data. California Department of Transportation
Burgess, W.C., S.B. Blackwell and R. Abbott. 2005. Underwater acoustic measurements of vibratory pile driving at the pipeline 5 crossing in the Snohomish River, Everett, Washington. Greeneridge Report 322-2, Prepared for: URS Corporation
Dahl, P.H., D.R. Dall'Osto and D.M. Farrell. 2015. The underwater sound field from vibratory pile driving. The Journal of the Acoustical Society of America, 137, 3544-3554

○周波数特性

バイブロハンマーの周波数特性は、一般に、400~2500Hz の間でエネルギーの大部分を占め、100Hz 以下の低周波数帯域でいくつかのピークを示す。測定事例の中から、典型的な傾向を示す図-1 の周波数特性を本事業におけるバイブロハンマーの周波数特性に適用した。これより、バイブロハンマーの発生源の音圧レベル及び周波数特性は表-5 のように設定した。

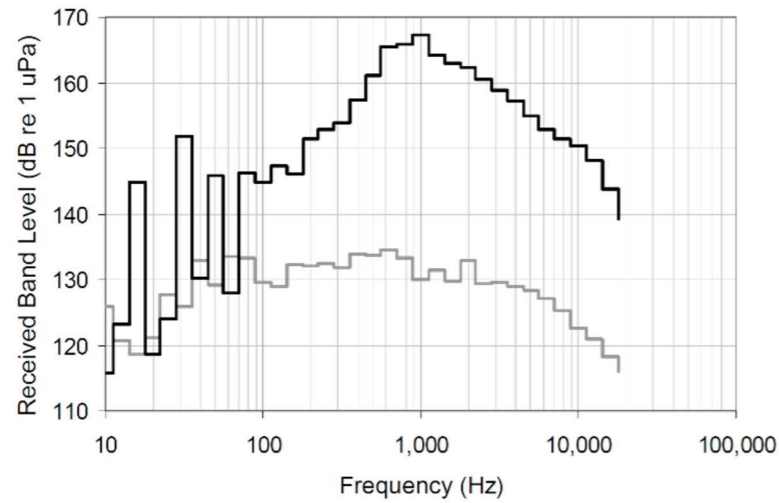


図-1 バイブロハンマーの周波数特性

注) 灰色の線は、背景雑音の周波数特性を示す。

出典: Backwall, S.B. 2005. Underwater measurements of pile-driving sounds during the Port MacKenzie dock modifications, 13-16 August 2004. Rep. from Greeneridge Sciences, Inc., Goleta, CA, and LGL Alaska Research Associates, Inc., Anchorage, AK, in association with HDR Alaska, Inc., Anchorage, AK, for Knik Arm Bridge and Toll Authority, Anchorage, AK, Department of Transportation and Public Facilities, Anchorage, AK, and Federal Highway Administration, Juneau, AK. 33 p.

表-5 発生源 (バイブロハンマー) の周波数特性 (1m の距離)

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 音圧レベル (dB : re 1 μPa) |
|------------------------|-----------------------|
| 31.5 | 158.0 |
| 63.0 | 155.0 |
| 125.0 | 156.8 |
| 250.0 | 163.6 |
| 500.0 | 173.4 |
| 1000.0 | 176.8 |
| 2000.0 | 172.7 |
| 4000.0 | 168.0 |
| 8000.0 | 162.4 |
| A.P | 180.0 |

2. 捨石投入工事

○発生源の音圧レベル

捨石投入工事に伴って発生する水中音の 1m における音圧レベル (RMS) は、測定事例における実測データより推定した音圧レベルの 194dB とした。

なお、捨石投入工事における音圧レベルは、ピーク値と RMS を同レベルと見なした。

表-6 捨石投入工事の音源の音圧レベル

| 工種 | 音圧レベル (dB) | 引用データ |
|--------|------------|----------------|
| 捨石投入工事 | 194.0 | 富山県伏木外港防波堤建設工事 |

参考資料: (社)日本水産資源保護協会 (1997): 水中音の魚類に及ぼす影響. 水産研究叢書 47

○周波数特性

測定事例における実測データより相対周波数特性を整理し、それをもとに発生源における各周波数ごとの音圧レベルを算定した。また、音圧レベル (ピーク値) の周波数特性は、RMS での周波数特性と同等とみなした。

相対周波数特性を表-7、相対周波数特性を用いて算出した発生源の周波数特性を表-8 に示す。

表-7 発生源の相対周波数特性 (RMS)

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 31.5 | 63.0 | 125.0 | 250.0 | 500.0 | 1000.0 | 2000.0 | 4000.0 | 8000.0 | A.P |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 相対レベル (dB) | -50.8 | -35.3 | -12.9 | -3.3 | -5.5 | -11.1 | -12.5 | -12.5 | -21.0 | 0.0 |

出典: (社)日本水産資源保護協会 (1997): 水中音の魚類に及ぼす影響. 水産研究叢書 47 から作成

表-8 発生源 (捨石投入工事) における周波数特性 (1m の距離)

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 音圧レベル (dB : re 1 μPa) |
|------------------------|-----------------------|
| 31.5 | 143.2 |
| 63.0 | 158.7 |
| 125.0 | 181.1 |
| 250.0 | 190.7 |
| 500.0 | 188.5 |
| 1000.0 | 182.9 |
| 2000.0 | 181.5 |
| 4000.0 | 181.5 |
| 8000.0 | 173.0 |
| A.P | 194.0 |

出典: 「水中音の魚類に及ぼす影響」(社)日本水産資源保護協会から作成

3. 浚渫工事

○発生源の音圧レベル

グラブ浚渫船に伴って発生する水中音の 1m における音圧レベル (RMS) は、測定事例における実測データより推定した音圧レベルの 160dB とした。

なお、浚渫工事における音圧レベルは、ピーク値と RMS を同レベルと見なした。

表-9 浚渫工事の音源の音圧レベル

| 工種 | 音圧レベル (dB) | 引用データ |
|---------------|------------|-------------------|
| 浚渫工事 (グラブ浚渫船) | 160.0 | 信濃川河口海底横断トンネル建設工事 |

参考資料: (社)日本水産資源保護協会 (1997): 水中音の魚類に及ぼす影響. 水産研究叢書 47

○周波数特性

浚渫工事により発生する水中音の周波数特性は、砕岩工事による水中音に類似しているとみなし、砕岩工事の測定事例における実測データより相対周波数特性を整理し、それをもとに発生源における各周波数ごとの音圧レベルを算定した。

相対周波数特性を表-10、相対周波数特性を用いて算出した発生源の周波数特性を表-11 に示す。

表-10 発生源の相対周波数特性 (RMS)

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 31.5 | 63.0 | 125.0 | 250.0 | 500.0 | 1000.0 | 2000.0 | 4000.0 | 8000.0 | A. P |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| 相対レベル (dB) | -22.4 | -15.4 | -20.8 | -16.6 | -13.2 | -4.3 | -5.8 | -6.7 | -14.3 | 0.0 |

出典：(社)日本水産資源保護協会 (1997)：水中音の魚類に及ぼす影響。水産研究叢書 47 から作成

表-11 発生源（浚渫工事）における周波数特性（1mの距離）

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 音圧レベル (dB : re 1μPa) |
|------------------------|----------------------|
| 31.5 | 137.6 |
| 63.0 | 144.6 |
| 125.0 | 139.2 |
| 250.0 | 143.4 |
| 500.0 | 146.8 |
| 1000.0 | 155.7 |
| 2000.0 | 154.2 |
| 4000.0 | 153.3 |
| 8000.0 | 145.7 |
| A. P | 160.0 |

4. 地盤改良工事

○発生源の音圧レベル

地盤改良工事に伴って発生する水中音の 1m における音圧レベル (RMS) は、測定事例における実測データより推定した音圧レベルの 185dB とした。

なお、地盤改良工事における音圧レベルは、ピーク値と RMS を同レベルと見なした。

表-12 地盤改良工事の音源の音圧レベル

| 工種 | 音圧レベル (dB) | 引用データ |
|---------------------|------------|--------------|
| 地盤改良工事 (サンドコンパクション) | 184.6 | 東京湾中央防波堤建設工事 |

参考資料：(社)日本水産資源保護協会 (1997)：水中音の魚類に及ぼす影響。水産研究叢書 47

○周波数特性

測定事例における実測データより相対周波数特性を整理し、それをもとに発生源における各周波数ごとの音圧レベルを算定した。

相対周波数特性を表-13、相対周波数特性を用いて算出した発生源の周波数特性を表-14 に示す。

表-13 発生源の相対周波数特性 (RMS)

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 31.5 | 63.0 | 125.0 | 250.0 | 500.0 | 1000.0 | 2000.0 | 4000.0 | 8000.0 | A. P |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| 相対レベル (dB) | -12.1 | -17.8 | -18.0 | -7.5 | -6.7 | -6.1 | -7.5 | -11.4 | -17.5 | 0.0 |

出典：(社)日本水産資源保護協会 (1997)：水中音の魚類に及ぼす影響。水産研究叢書 47 から作成

表-14 発生源（地盤改良工事）における周波数特性（1mの距離）

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 音圧レベル (dB : re 1μPa) |
|------------------------|----------------------|
| 31.5 | 172.9 |
| 63.0 | 167.1 |
| 125.0 | 167.0 |
| 250.0 | 177.5 |
| 500.0 | 178.3 |
| 1000.0 | 178.9 |
| 2000.0 | 177.5 |
| 4000.0 | 173.5 |
| 8000.0 | 167.5 |
| A. P | 185.0 |

5. 作業船（ガット船）

○発生源の音圧レベル

作業船の航行中における水中音圧レベルは、作業音がないため貨物船と同様と考えられることから、貨物船の測定事例による実測データより推定した音圧レベルの平均値 (180dB) とした。

なお、作業船における音圧レベルは、ピーク値と RMS を同レベルと見なした。

表-15 浚渫工事の音源の音圧レベル

| 工種 | 音圧レベル (dB) | 引用データ |
|-------|------------|---------------------|
| 貨物船 A | 177.8 | 瀬戸内海三原、尾道周辺海域での測定結果 |
| | 183.7 | |
| 貨物船 B | 176.0 | |
| | 181.2 | |
| 平均 | 179.7 | |

参考資料：(社)日本水産資源保護協会 (1997)：水中音の魚類に及ぼす影響。水産研究叢書 47

○周波数特性

測定事例における実測データより相対周波数特性を整理し、それをもとに発生源における各周波数ごとの音圧レベルを算定した。

相対周波数特性を表-16、相対周波数特性を用いて算出した発生源の周波数特性を表-17 に示す。

表-16 発生源の相対周波数特性 (RMS)

| 1/1 オクターブバンド中心周波数 (Hz) | 31.5 | 63.0 | 125.0 | 250.0 | 500.0 | 1000.0 | 2000.0 | 4000.0 | 8000.0 | A. P |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| 相対レベル (dB) | -1.2 | -7.3 | -13.3 | -19.4 | -25.5 | -31.5 | -37.6 | -43.7 | -49.8 | 0.0 |

出典：(社)日本水産資源保護協会 (1997)：水中音の魚類に及ぼす影響。水産研究叢書 47 から作成

表-17 発生源（作業船）における周波数特性（1mの距離）

| 1/1 オクターブバンド 中心周波数 (Hz) | 音圧レベル (dB : re 1 μPa) |
|----------------------------|--------------------------|
| 31.5 | 178.8 |
| 63.0 | 172.7 |
| 125.0 | 166.7 |
| 250.0 | 160.6 |
| 500.0 | 154.5 |
| 1000.0 | 148.5 |
| 2000.0 | 142.4 |
| 4000.0 | 136.3 |
| 8000.0 | 130.2 |
| A. P | 180.0 |

【参考資料2：その他の発生源の音圧レベルの設定根拠】

その他の発生源の船舶の水中音圧レベルについては、既往の知見が得られなかったため、陸上騒音パワーレベルに関する知見を参考とし検討した。

その他の発生源とした船舶の陸上騒音パワーレベルに関する知見（表-18）によると、いずれの船舶もガット船の騒音パワーレベル以下となっている。

このため、その他の発生源とした船舶の水中音の音圧レベルはガット船より低い音圧レベルである可能性が考えられるが、安全側の観点より、その他の発生源の音源の水中音圧レベルはすべてガット船と同等レベルの180dBと設定し予測を行うこととした。

表-18 陸上騒音パワーレベル

| 種類 | 普天間飛行場代替施設建設 事業に係る環境影響評価書 | | 東京国際空港再拡張に係る 環境影響評価書 | |
|----------|------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | 規格 | パワーレベル (dB) | 規格 | パワーレベル (dB) |
| ガット船 | 2,000m ³ 積 | 120 | 3.0m ³ | 120 |
| ガットバージ | 鋼D 1,000m ³ 積 | | 鋼D 1,000m ³ 積 | 120 |
| 砂貯蔵船 | | | | |
| 潜水土船 | D70PS3～5t吊 | 108 | D70PS | 108 |
| トレミー船 | 鋼DE 1,800PS型 | | | 102 |
| バックホウ浚渫船 | | | | |
| 引船 | 300～6,500PS型 | 111 | 鋼D450～1500PS | 111 |
| | | | 鋼D3000PS | 111 |
| 揚錨船 | 鋼D 15～20t吊 | 104 | 鋼5～25t吊 | 104 |
| ランプウェイ台船 | 650～1,100m ³ 積 | 110 | | |
| リクレーマ船 | 2,000m ³ /hr級 | 120 | | |

【参考資料3：水中音の予測式における係数等の設定根拠】

1. 回帰係数 a

- ・回帰係数は、数種類の工種における実測データから算定された係数の平均値 (-23.5) を用いた。実測データによる係数 a 及び引用データを表-19 に示す。
- ・係数 a が球面拡散を想定した場合の減衰係数 (-20) より大きな値となっているのは、実測データにおいては、海水中や底質の吸収による減衰が含まれているためと考えられる。

表-19 各工種の回帰係数 a

| 工種等 | 係数 a | 引用データ |
|------------|-------|---------------|
| 杭打ち工事 | -24.5 | 東京湾中央防波堤杭打ち工事 |
| 杭打ち工事 | -17.9 | 東京湾木更津沖杭打ち工事 |
| 捨て石工事 | -24.9 | 伏木外港防波堤建設工事 |
| 砕岩工事 | -28.5 | 長崎県玄海砕岩 |
| 新幹線鉄橋通過時 | -24.5 | 浜名湖弁天島 |
| サンドコンパクション | -20.7 | 東京湾中央防波堤 |
| 平均 | -23.5 | |

資料：(社)日本水産資源保護協会 (1997)：水中音の魚類に及ぼす影響。水産研究叢書 47

2. 海況や底質に依存する近距離音場の不規則性 κ_L

- ・海洋における音速の鉛直構成と音の伝搬特性に関する知見によると、浅海域においては、水中音は海面や海底における吸収・反射の影響を強く受けると考えられており、海況と底質の状況に基づき、表-20 に示すような減衰が加わるとされている。今回の予測においては、海況と底質については、下記の状態を想定。

○海況：鏡のようになめらか～さざ波がある程度

○底質：砂

表-20 海況や底質に依存する近距離音場の不規則性 (dB)

| 海況 | 0 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | |
|--------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 砂 | 泥 | 砂 | 泥 | 砂 | 泥 | 砂 | 泥 | 砂 | 泥 | 砂 | 泥 | |
| 周波数 (kHz) | 0.1 | 7.0 | 6.2 | 7.0 | 6.2 | 7.0 | 6.2 | 7.0 | 6.2 | 7.0 | 6.2 | 7.0 | 6.2 |
| | 0.2 | 6.2 | 6.1 | 6.2 | 6.1 | 6.2 | 6.1 | 6.2 | 6.1 | 6.2 | 6.0 | 6.2 | 6.0 |
| | 0.4 | 6.1 | 5.8 | 6.1 | 5.8 | 6.1 | 5.8 | 6.1 | 5.8 | 6.1 | 5.8 | 4.7 | 4.5 |
| | 0.8 | 6.0 | 5.7 | 6.0 | 5.6 | 5.9 | 5.6 | 5.3 | 5.0 | 4.3 | 3.9 | 3.9 | 3.6 |
| | 1.0 | 6.0 | 5.6 | 5.9 | 5.5 | 5.7 | 5.3 | 4.6 | 4.2 | 4.1 | 3.7 | 3.8 | 3.4 |
| | 2.0 | 5.8 | 5.4 | 5.3 | 4.9 | 4.2 | 3.8 | 3.8 | 3.4 | 3.5 | 3.1 | 3.1 | 2.8 |
| | 4.0 | 5.7 | 5.1 | 3.9 | 3.5 | 3.6 | 3.1 | 3.2 | 2.8 | 2.9 | 2.4 | 2.6 | 2.2 |
| | 8.0 | 4.3 | 3.8 | 3.3 | 2.8 | 2.9 | 2.5 | 2.6 | 2.2 | 2.3 | 1.9 | 2.1 | 1.7 |
| | 10.0 | 3.9 | 3.4 | 3.1 | 2.6 | 2.7 | 2.2 | 2.4 | 2.0 | 2.2 | 1.7 | 2.0 | 1.6 |
| | 100.0 | 3.9 | 3.4 | 3.1 | 2.6 | 2.7 | 2.2 | 2.4 | 2.0 | 2.2 | 1.7 | 2.0 | 1.6 |

表-21 海況の区分

| 海況 | 風浪階級 | 風浪階級の説明 |
|----|------|------------|
| 0 | 0 | 鏡のようになめらか |
| | 1 | さざ波がある |
| 1 | 2 | なめらか、小波がある |
| | 3 | やや波がある |
| 2 | 4 | かなり波がある |
| | 5 | 波がやや高い |
| 3 | 6 | 波がかなり高い |
| | 7 | 相当荒れている |
| 4 | 8 | 非常に荒れている |
| 5 | 9 | 異常な状態 |

出典：Urick, R. J. (1976)：水中音響の原理 (土屋明訳)，共立出版

3. リーフ等の地形による回折

- ・音源と受音点の間に遮音塀がある場合、受音点に到達する音は回折により遮音塀を回り込んで到達するため、音源から受音点に直接到達する場合に比べて音の行路長が長くなり、減衰効果が発生する。
- ・事業実施海域においては、海岸から 0.5~1.5km 付近にリーフや岩礁が存在するとともに、大浦湾湾口部には中干瀬と呼ばれるリーフが存在している。このため、水中音の予測においては、これらのリーフ等の地形による回折減衰の効果を考慮することとした。リーフ等の位置は、水深 5m と 10m の等深線を参考として、-2.5m、-5m、-7.5m で設定した。

【参考資料4：音響曝露レベルの計算における周波数の重み付け】

周波数特性に応じた重み付けは、Southallら(2007)がクジラ目を対象として整理した3つのグループ(低周波数帯域・中周波数帯域・高周波数帯域)(図-2参照)の中から、ジュゴンの可聴音に対する推定結果を参考として、中周波数帯域のクジラ目(mid-frequency cetacean)に対する重み付け関数を適用。

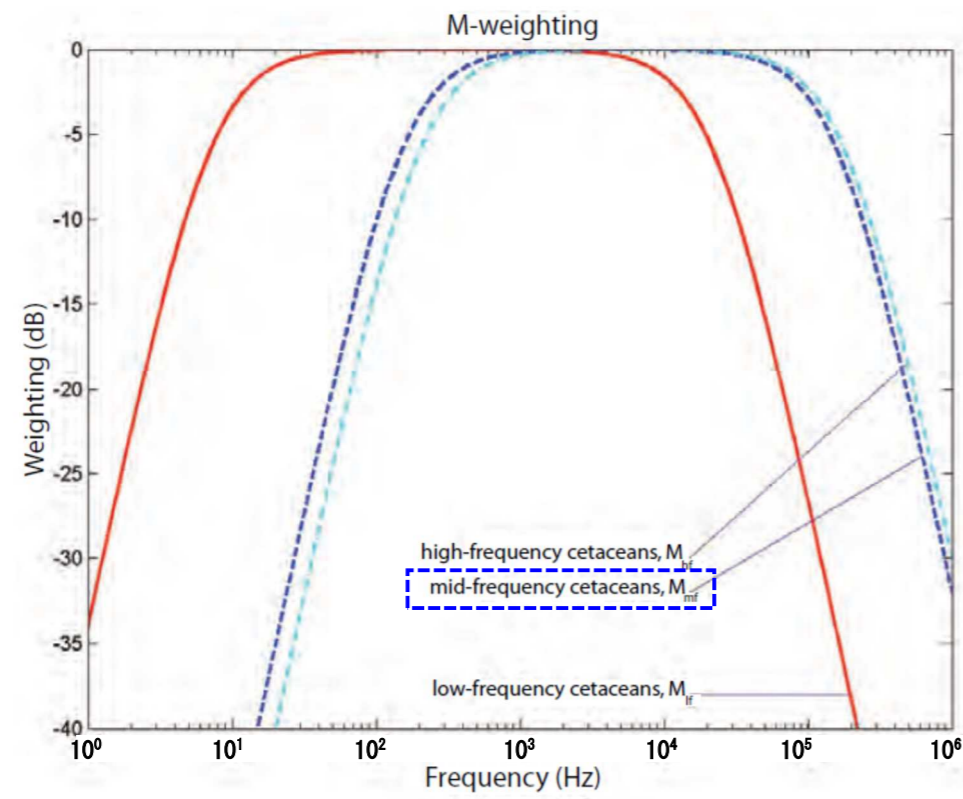


図-2 クジラ目の3つのグループに対する周波数重み付け関数

注) M_{mf} : 中周波数帯域のクジラ目に対する重み付け関数

【参考文献】 Southall et al. (2007) Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations, Aquatic Mammals, 33(4).