

図-6.16.2.1.11 音圧レベル (RMS) の予測結果  
(1年次3~4ヶ月目)

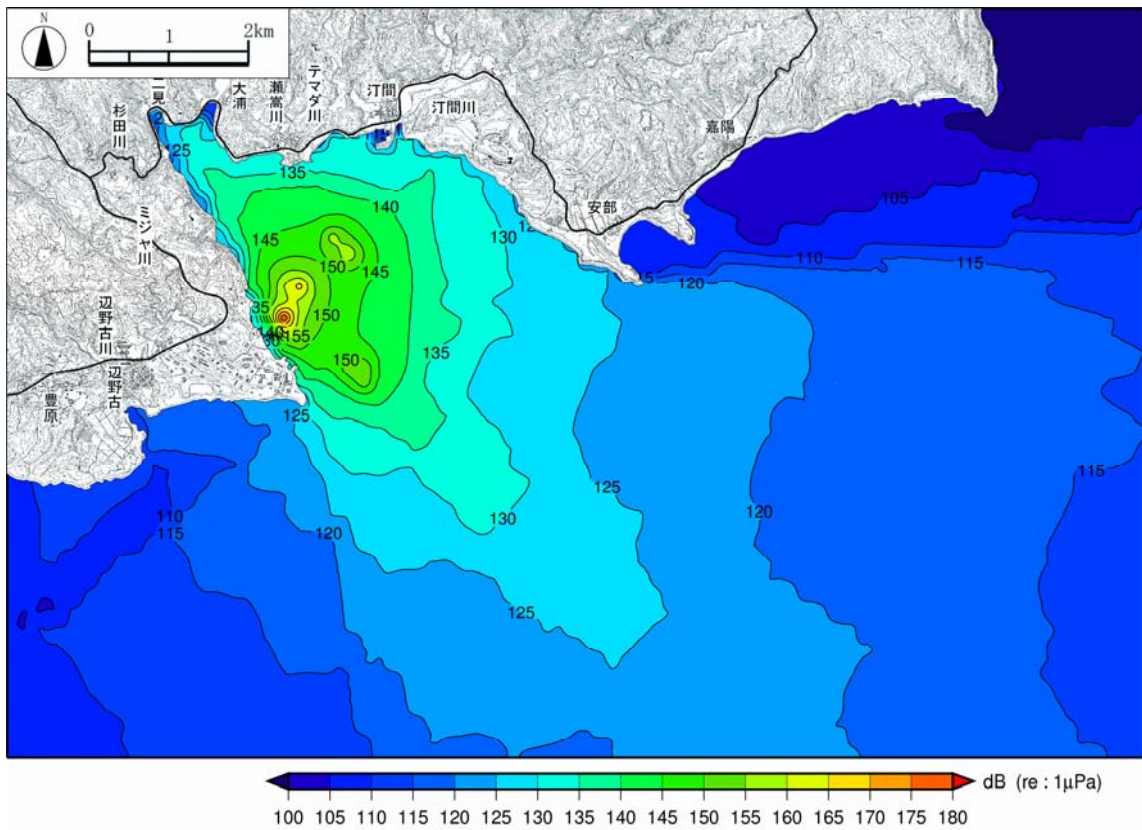


図-6.16.2.1.12 音圧レベル (RMS) の予測結果  
(1年次3~4ヶ月目、杭打ち箇所を2箇所にした場合)

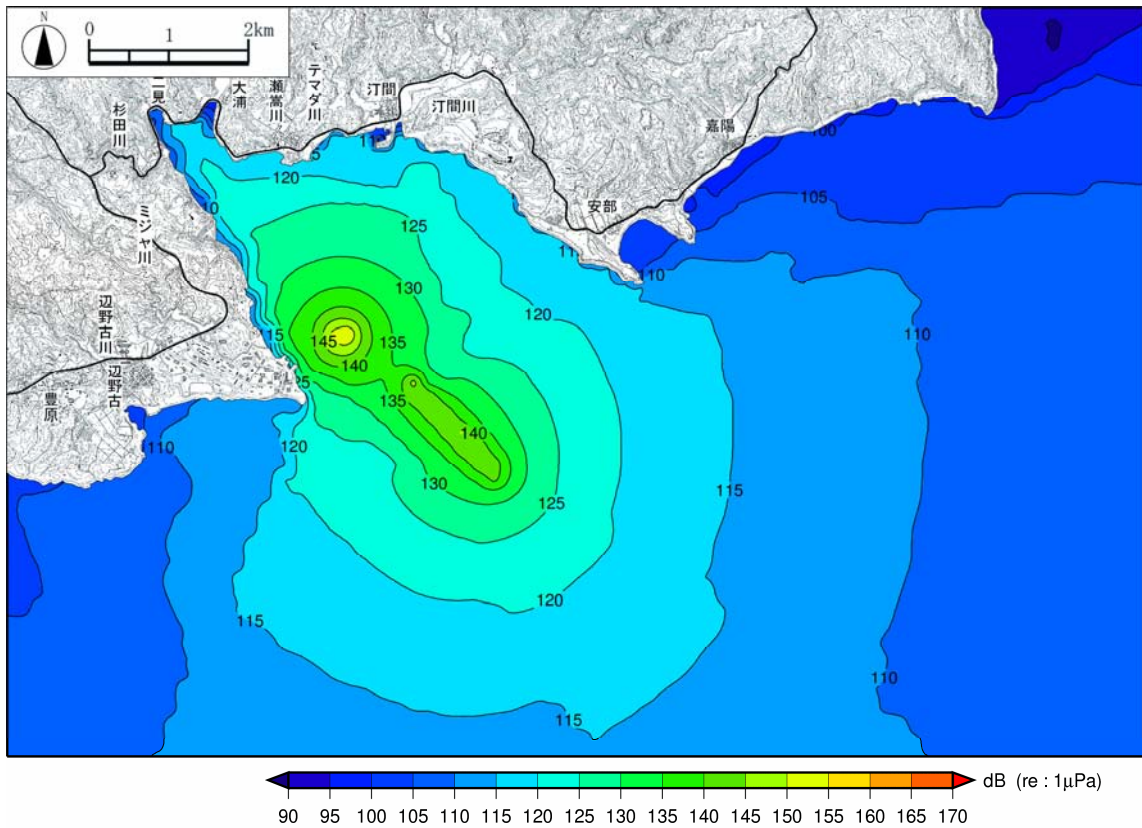


図-6.16.2.1.13 音圧レベル (RMS) の予測結果  
(2年次10ヶ月目、作業船が湾口域に位置する場合)

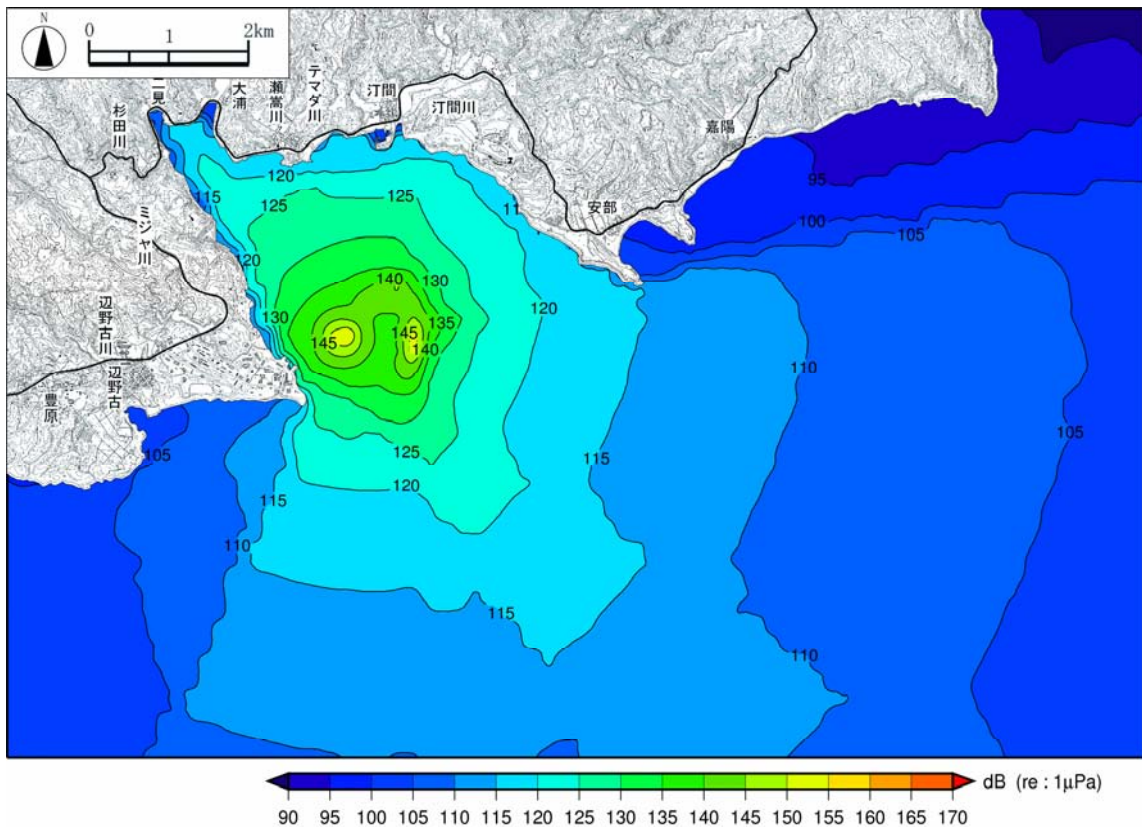


図-6.16.2.1.14 音圧レベル (RMS) の予測結果  
(2年次10ヶ月目、作業船が施工区域周辺に位置する場合)

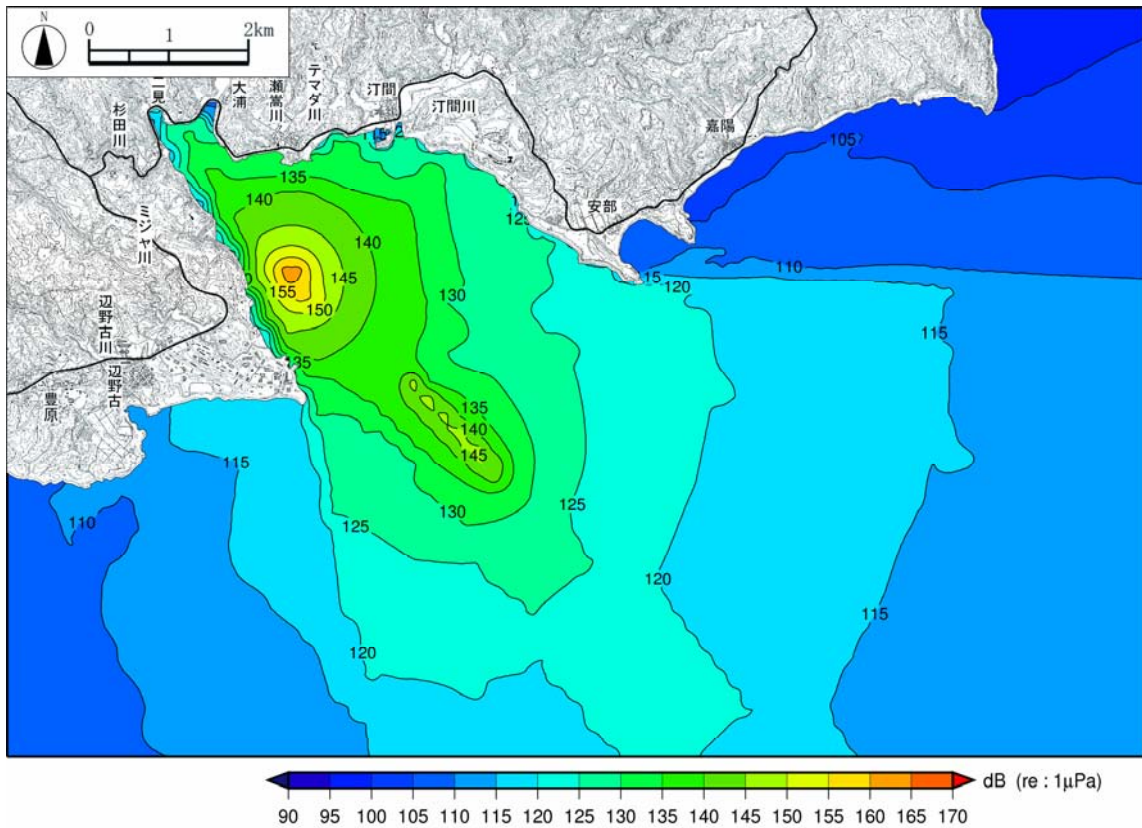


図-6.16.2.1.15 音圧レベル (RMS) の予測結果  
 (3年次12ヶ月目、作業船が湾口域に位置する場合)

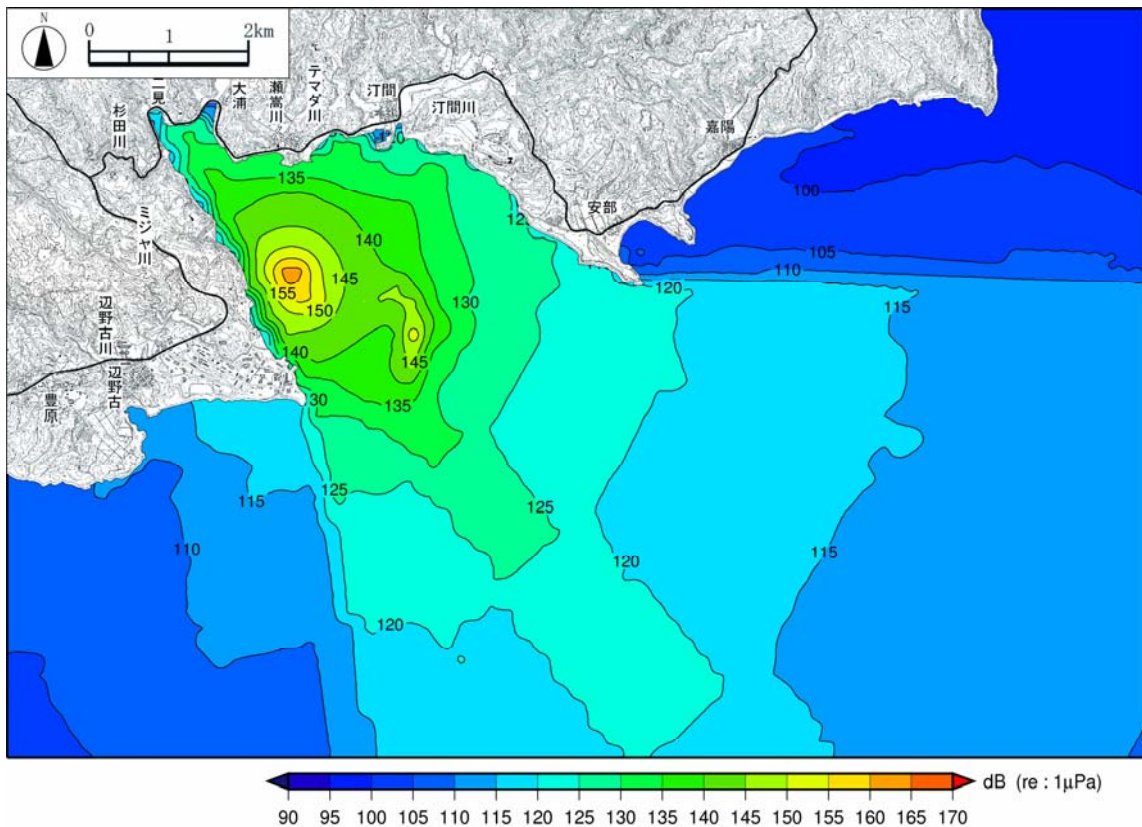


図-6.16.2.1.16 音圧レベル (RMS) の予測結果  
 (3年次12ヶ月目、作業船が施工区域周辺に位置する場合)

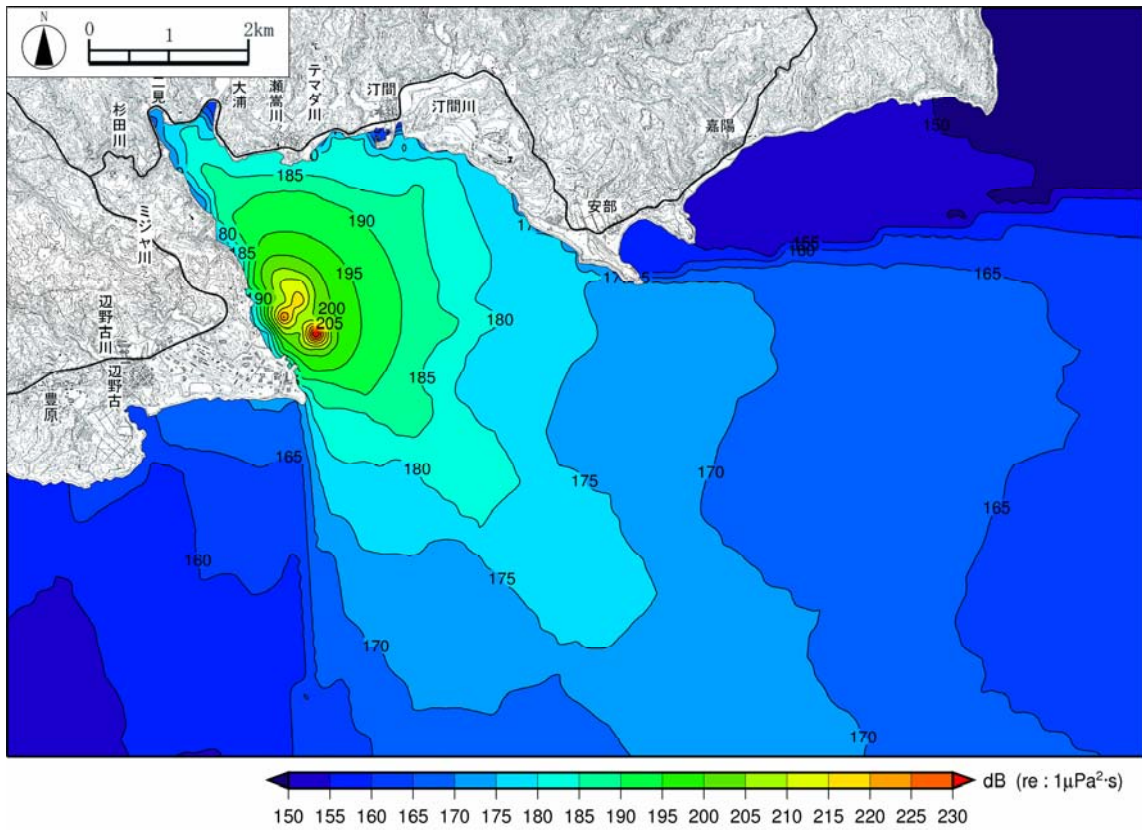


図-6.16.2.1.17 音響曝露レベル (SEL) の予測結果  
(1年次3~4ヶ月目)

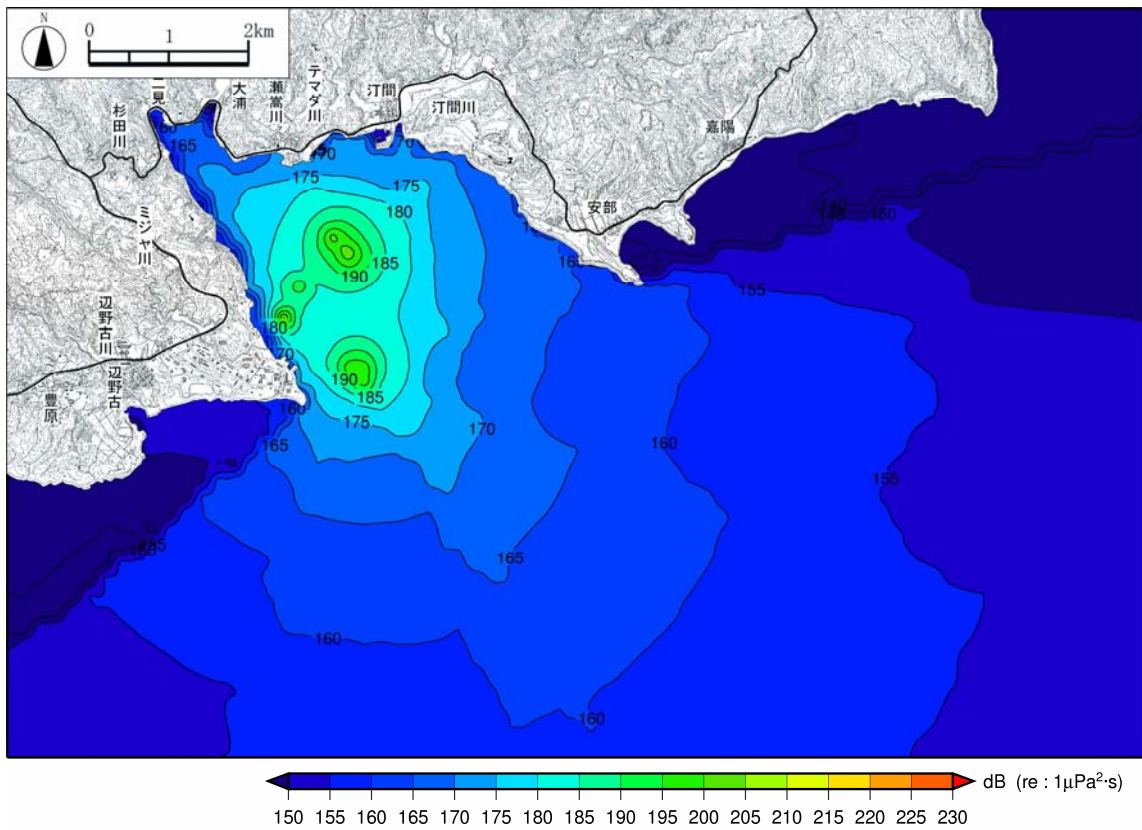


図-6.16.2.1.18 音響曝露レベル (SEL) の予測結果  
(1年次3~4ヶ月目、杭打ち箇所を2箇所にした場合)

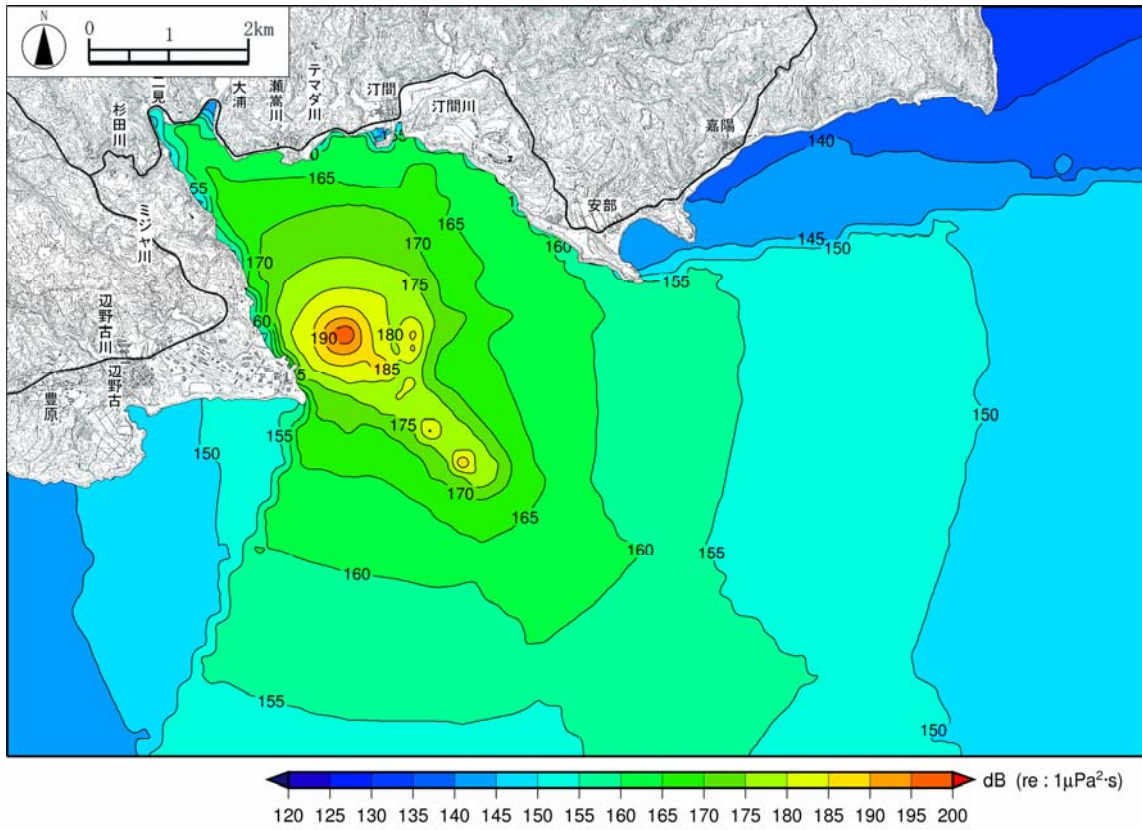


図-6.16.2.1.19 音響曝露レベル (SEL) の予測結果  
(2年次10ヶ月目)

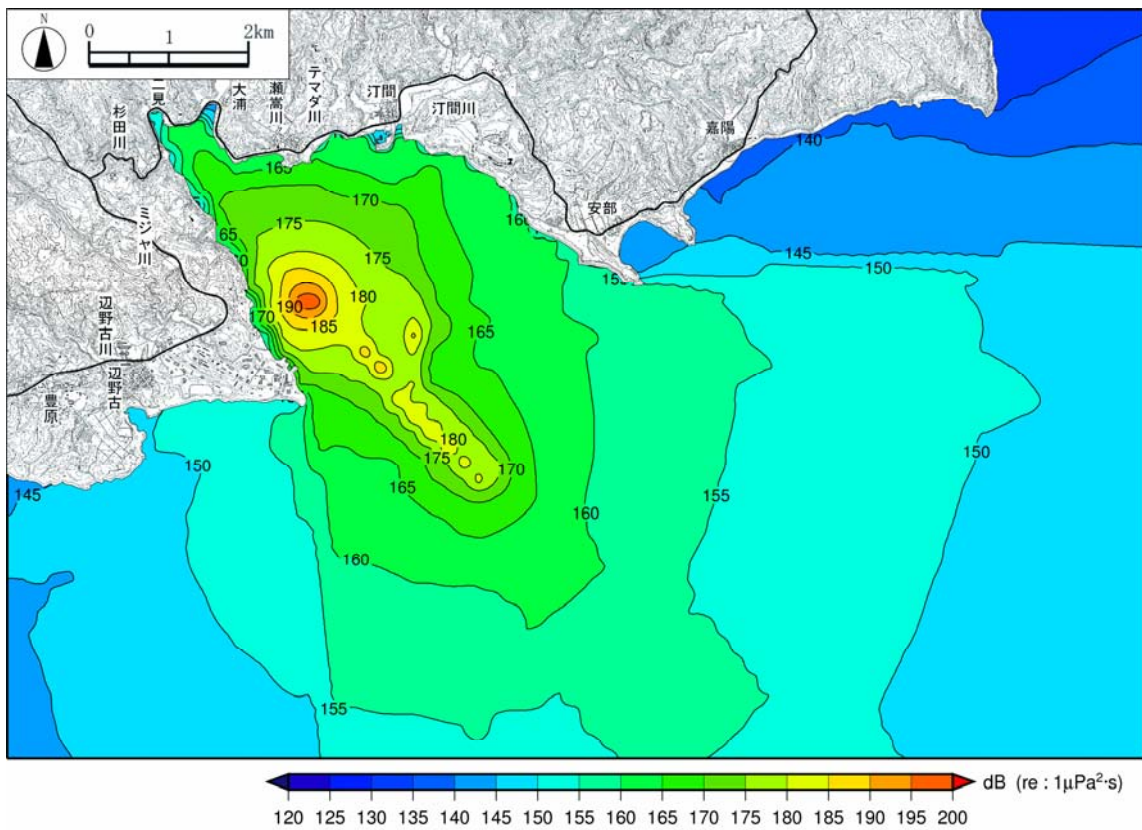


図-6.16.2.1.20 音響曝露レベル (SEL) の予測結果  
(3年次12ヶ月目)

(c) ジュゴンに対する水中音による影響

工事に伴い発生する水中音がジュゴンに及ぼす影響について、水中音圧レベル及び音響曝露レベルの予測結果をもとに、水中音の評価基準と対比させて予測・評価しました。

a) 障害に及ぼす影響

工事中の水中音圧レベル（ピーク値）及び音響曝露レベル（SEL）の予測結果をもとに、騒音がジュゴンの障害を引き起こす可能性を検討しました。

水中音圧レベル（ピーク値）は、予測を実施した3ケースについて、いずれの場合も評価基準として設定した230dBを上回る範囲はみられませんでした。

一方、音響曝露レベル（SEL）は、1年次3～4ヶ月目において施工区域近傍で200dB以上のレベルとなり、杭打ち音に関する音響曝露レベル（SEL）の評価基準の198dBを上回っていました。このため、工事中の水中音の瞬時の音がジュゴンに障害を与える可能性はないと考えられますが、ジュゴンが施工区域近傍に来遊して長時間、音の曝露を受けると障害を受けると考えられます。

b) 行動阻害に及ぼす影響

工事中の水中音圧レベル（RMS）及び音響曝露レベル（SEL）の予測結果をもとに、騒音がジュゴンの行動に及ぼす影響を検討しました。

水中音圧レベル（RMS）の予測結果によると、ジュゴンが高い頻度で確認される安部から嘉陽地先西側の海域では、2年次10ヶ月目と3年次12ヶ月目においては評価基準の120dBをおおむね下回ると予測されましたが、1年次3～4ヶ月目においては105～125dBとなり、生息範囲の一部で評価基準を上回ると予測されました。また、大浦湾内では、1年次3ヶ月目においては湾全域が120dBを上回り、2年次10ヶ月目と3年次12ヶ月目においても湾の西半分が120dBを上回る結果となっています。

また、音響曝露レベルは、ジュゴンが高い頻度で確認される安部から嘉陽地先西側の海域においては、最も曝露レベルの高くなる1年次3ヶ月目においても180dB以下であり、杭打ち音の行動阻害で設定した評価基準の183dBを下回っていました。一方、大浦湾内については、2年次10ヶ月目及び3年次12ヶ月目においては、音響曝露レベルが評価基準を上回る範囲は施工地点近傍の比較的限られた範囲でしたが、1年次3～4ヶ月目においては、湾の西半分が評価基準の183dBを上回っていました。

以上のことから、個体 A が高い頻度で確認される安部から嘉陽地先西側の範囲においては、障害を与えるような水中音の影響はなく、累積する音による行動阻害の影響も小さいと考えられます。しかし、1 年次 3~4 ヶ月目における瞬時の音圧レベルがジュゴンの行動に影響を与える可能性があると考えられます。また、個体 C の移動が確認される大浦湾東側海域においても、障害を与えるような水中音の影響はないと考えられますが、予測を実施した 3 ケースのいずれにおいても水中音はジュゴンの行動に影響を与えるようなレベルになり、大浦湾内は工事の実施中、長期的にジュゴンの行動に影響を与える可能性が考えられます。

以上のような水中音の予測結果を踏まえると、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ます。特に水中音の発生レベルの高い 1 年次 3~4 ヶ月目の発生源別の水中音の寄与をみると杭打ち工事の寄与が大きいため、杭打ち工事について、極力騒音発生が少ない工法を採用するなどの対策が必要と考えられます。本環境影響評価においては、最大時の影響を把握するために水中音の予測は杭打ち工事が同時に 5 箇所で行われると想定して予測しましたが、施工箇所を 2 箇所とした場合はジュゴンの生息する範囲での音圧レベルは 5dB 程度低減し、ジュゴンの生息範囲における水中音圧レベルは概ね評価基準を下回るレベルとなり、ジュゴンへの影響を低減することができると考えられます。このため、杭打ち工事においては、最初の杭打ち工事が行われる際には水中音の測定を行い予測した音圧レベルを検証するとともに、測定結果をもとに、杭打ち工事の同時施工箇所数を調整するなど、工事に伴う水中音がジュゴンの行動に及ぼす影響を低減する措置を講じることとします。さらに、工事中は、個体 A の生息範囲に変化がみられないかを監視し、変化がみられた場合は、工事との関連性を検討し、工事による影響と判断された場合は速やかに施工方法の見直しを行うなどの対策を実施します。

また、工事中は、大浦湾内の広い範囲が長期的に行動阻害の評価基準を上回る音圧レベルになると予測され、ジュゴンが大浦湾内に来遊してきた場合には、ジュゴンの行動に変化を与える可能性が考えられます。大浦湾内では、現在は刺網漁業の操業はほとんどないと言われていたますが、刺網が設置された場合にジュゴンが水中音から回避行動をとった場合には刺網にかかるおそれがあります。このため、工事中はジュゴンの生息位置を監視し、ジュゴンが施工区域内で確認された場合は、施工区域から離れたことを確認したのち、工事に着手します。また、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ます。さらに、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。

(資料)

Hodgson, A. J. (2004). Dugong behavior and responses to human influences. PhD thesis, School of Tropical Environment Studies and Geography. James Cook University, Townsville.

社団法人 日本水産資源保護協会(2003). 平成 14 年度ジュゴン保護対策事業報告書.

Anderson and Barclay (1995). Acoustic signals of solitary dugongs: physical characteristics and behavioural correlates. *Journal of Mammology* 76.

Southall et al (2007). Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations, *Aquatic Mammals*. 33(4).

社団法人 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.

R. J. URICK (土屋明訳、西村実監修) : 水中音響の原理、昭和 54 年 11 月、共立出版



### 3) 振動

工事中にジュゴンに対して影響を及ぼす可能性が考えられる海底振動の発生源としては、水中音と同様に、杭打ち工事と捨石投入工事の2つの工種があげられ、工事最盛期にはそれらの工事が同時に行われます。

これらの工事から発生する海底振動の大きさについて、海中土木工事の測定事例（(社)日本水産資源保護協会，1997）をみますと、海底振動の発生レベルは杭打ち工事が大きく、工事地点から22m地点で最大111dB、90m地点で最大80dB、260m地点で最大54dBとなっています。海底振動がジュゴンに影響を与える海底振動レベルに関する知見はみられませんが、海中土木工事の測定事例（(社)日本水産資源保護協会 1997）における振動の距離減衰によると、工事地点から500m程度離れると背景振動の30dB程度まで低下するものと考えられます。ジュゴンは採食活動を行う以外はほとんど海底に接することは少なく、さらに事業実施区域周辺に生息するジュゴンの採餌場所は工事地点より5km以上離れた嘉陽地先海域であるため、工事中の海底振動がジュゴンの行動に変化を与えることはほとんどないと考えられます。

(資料)

社団法人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.

### 4) 夜間照明

海上工事の作業時間は、基本的に日の出1時間程度後から日没1時間程度前の間であり、光を照射して夜間に作業を行うことはありません。

また、夜間には最大ピーク時で54隻の作業船（潜水土船39隻、コンクリートミキサ船3隻、起重機船（50～400t吊）8隻、起重機船（1600t吊）1隻、捨石均し機1隻、台船2隻）が停泊し、停泊中の船舶は法令で定められた灯火を点灯しますが、海面に向けて特に強い光を照射することはありません。

また、飛行場の舗装工事を行う3ヶ月間については、代替施設本体の給油エリアと駐機場の東側を主にした舗装工事を予定しています。1台の照明車の150ルクス照度範囲は、約30m×40m程度である（1,000W×6灯タイプ）ことより、施工エリアを考慮して照明車は2台一組で使用しますが、これらの夜間照明は工事用であり、海面や周辺の砂浜等の外部に向けて光を直接照射するものではありません。

このため、工事中の夜間照明がジュゴンの生息環境に変化を与えることはほとんどないと考えられます。

## 5) 作業船の航行

海上工事の実施中は、相当数の作業船が工事区域周辺を航行することになります。資材の運搬船は、北側航路と南側航路を経て施工区域まで航行してきますが、ジュゴンの生息が確認されている嘉陽沖においては、ジュゴンの生息域を避け、その沖合を航行する計画です。

さらに、施工区域周辺においては、大浦湾の西側海域を航行する計画であり、ジュゴンの来遊が確認されている大浦湾東側海域には作業船は航行しない計画です。

事業実施区域周辺で頻繁に確認されるジュゴン（個体 A）は、嘉陽地先の沖合 5km 程度までの範囲内で確認されていますが、古宇利島沖より来遊する個体 C の行動範囲は広く、平成 22 年 5 月 25 日には辺野古沖から宜野座沖を広く移動し、最も岸から離れたときの距離は約 10km ありました。また、オーストラリアでのジュゴンの行動追跡の結果によると、ジュゴンが沿岸から離れて移動することは稀で、沿岸から離れた場合の平均距離は  $12.8\text{km} \pm 1.3\text{km}$  という報告がみられています (Sheppard et al, 2006)。さらに、海産哺乳類は、船舶の急な進路変更や速度、騒音レベルの変化に対して強い忌避反応を示しやすいことが一般に認められています。以上のような知見を踏まえて、工船用船舶が沖合から施工区域へ航行する際のジュゴンへの影響を回避するために、沖縄島沿岸を航行する場合は、岸から 10km 以上離れて航行し、沖合から施工区域に接近する場合は、図-6.16.2.1.21 に示したように、大浦湾西側沖から施工区域に向かって直線的に進入する航路をとることとします。

なお、ジュゴンがこれまで確認されている生息範囲より移動してきた場合は船舶と遭遇する可能性あり、ジュゴンの行動に変化を与えるおそれと考えられます。また、大浦湾内での刺網の操業は、地元漁協によると現在はほとんど実施されていないと言われていたますが、刺網が設置された場合に、ジュゴンが大浦湾内に来遊し、作業船と遭遇して回避行動をとった場合に刺網にかかるおそれがあります。

このため、施工区域に航行してくる工船用船舶がジュゴンに及ぼす影響を回避するために、工事前にジュゴンの生息位置を監視し、施工区域周辺に接近していないことを確認したのち工事に着手するとともに、工船用船舶に対して、ジュゴンが衝突を回避するための見張りを励行するほか、ジュゴンとの衝突が避けられるような速度で航行するよう周知します。

(資料)

Sheppard, J. K., A. R. Preen, H. Marsh, H., Lawler, I. R., Whiting, S. D. and Jones, R. E. (2006) Movement heterogeneity of dugongs, *Dugong dugong* (Müller) over large spatial scales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 334, 64-83

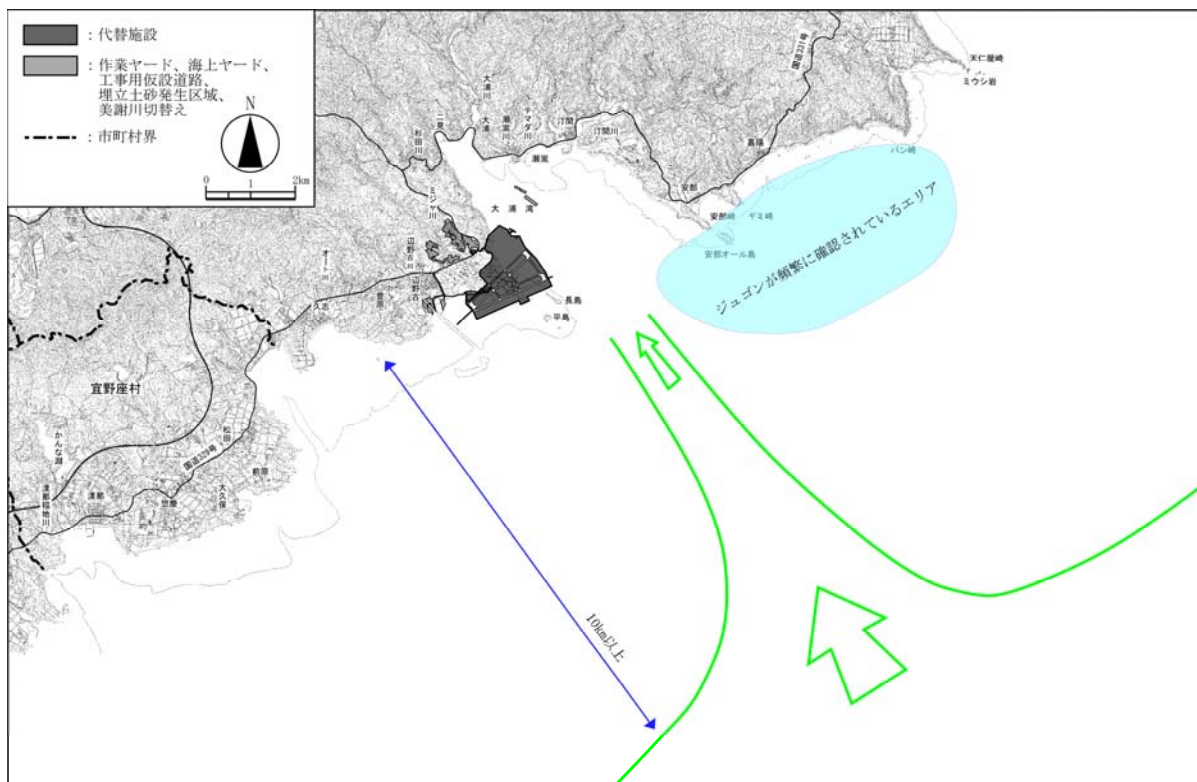


図-6. 16. 2. 1. 21 作業船の航行位置

## 6) ジュゴンの個体及び個体群維持に対する影響

現地調査により事業実施周辺海域において頻繁に確認されている個体 A は、嘉陽沖の海域を主な生息範囲として他海域に移動することはほとんどなく、餌場も嘉陽地先のリーフ内の海草藻場を利用し、嘉陽沖周辺に常在していると考えられました。

また、本調査により、沖縄島周辺では嘉陽沖を主な生息域とするジュゴンのほかに、古宇利島沖を主な生息域とする 2 頭が確認されましたが、このうち 1 頭 (個体 C) は平成 20 年度より嘉陽沖や大浦湾で確認されるようになりました。

オーストラリアでのジュゴンの行動生態調査によると、ジュゴンの行動範囲は個体によって違いがみられ、比較的狭い範囲内 (15km 未満) に定住する個体と長距離 (15km 以上) を移動する個体が見られています (Sheppard et al, 2006)。

狭い範囲内に定住する個体は、良質な海草藻場をコアとする生息地に対する場所への依存性が高く、狭い行動圏の中を集中的に利用するとされています。一方、ジュゴンが長距離移動をする原因としては、海草藻場の消失、餌料の質の低下、社会的な要因 (繁殖期の行動、競争)、水温低下による暖水域への移動等があげられています (Sheppard et al, 2006)。

嘉陽沖のジュゴン (個体 A) は、海草藻場での食跡の状況からみてギミ崎東側の海草藻場を主要な餌場として利用していると考えられます。また、追跡調査によると、日中は安部崎の南南西 1.5km からギミ崎の東 2km における沖合 3km 程度までの範囲内で確認されることが多く、大浦湾内や辺野古側で確認されたことはありません。平成 19 年度より実施してきた追跡調査の結果によると、個体 A の移動範囲は沿岸方向には約 8km、沖合方向には海岸から沖合約 4km までの範囲内でした。

個体 A のこのような行動生態の特徴は、嘉陽地先に良質な海草藻場が存在すること、及び安部崎からバン崎に至る範囲では港や集落、海に面する道路がなく、ジュゴンに対して船舶の航行や人の活動からの影響が少ない環境であることによるものと考えられ、個体 A はギミ崎東側の海草藻場をコアの生息地とし、その周辺を集中的に利用する行動圏を形成しているものと考えられます。

一方、個体 C は、平成 20 年 6 月より嘉陽沖で確認されるようになりましたが、その後、古宇利島沖でも確認されたり、大浦湾内や辺野古沖から宜野座沖にかけて大きく移動していることが観察されています。また、大浦湾内の海草藻場で確認された食跡は個体 C によるものと推察されます。

個体 C のこのような行動は、個体 C が若い個体であり、まだ定住する傾向がみられないか、あるいは、行動範囲が広い特性の個体である可能性が考えられます。

以上のことから、個体 A に対しては、嘉陽地先海域の生息環境の保全が重要であり、個体 C に対しては大浦湾内に来遊した場合の作業船との衝突や水中騒音の影響からの保全が重要な課題となると考えられます。

個体 A が生息する嘉陽地先海域の生息環境の保全対策として、作業船は、嘉陽地先の個体 A の生息域を回避して航行します。また、工事に伴う水中音の音圧レベルは、杭打ち工事等を実施する工事の前半期に高くなり、ジュゴンの行動に変化を与える可能性のある水中音が嘉陽地先海域の生息範囲の一部に及ぶと推察されています。このため、杭打ち工事については極力騒音発生が少ない工法を採用するとともに、最初の杭打ち工事が行われる際に水中音の測定を行い、予測した音圧レベルを検証し、測定結果をもとに杭打ち工事から発生する水中音に対する対策を検討します。さらに、工事の実施後は、個体 A の生息範囲に変化がみられないかを監視し、変化がみられた場合は工事との関連性を検討し、工事による影響と判断された場合は速やかに施工方法の見直し等を行うなどの対策を講じます。

一方、個体 C は、行動範囲が広く、これまでの移動状況を踏まえると施工区域周辺に接近してくる可能性が考えられます。工事中の大浦湾内の水中音圧レベルは広い範囲において、長期間にわたりジュゴンの行動に変化を与える可能性のあるレベルに達する可能性があります。このため、大浦湾に来遊してくる可能性のある個体 C に対する騒音による行動への影響や船舶との衝突の危険性を回避するため、工事中は個体 C の生息位置を監視し、施工区域周辺で確認された場合は、個体 C が施工区域周辺から離れるまで工事を中止するとともに、水中音の発生レベルの高い杭打ち工事を実施する際には、初めは弱く打撃し、一定時間経過後に所定の打撃力で行うことにより、個体 C への水中音の影響を低減する措置を講じます。

このように、工事の実施にあたっては、ジュゴンへの影響をできる限り低減化する施工方法を採用するとともに、ジュゴンの生息位置を監視し、施工区域周辺に接近していないことを確認しながら工事に着手するなどの対策を講じることで、ジュゴンの個体及び個体群の維持に努めます。

(資料)

Sheppard, J. K., A. R. Preen, H. Marsh, H., Lawler, I. R., Whiting, S. D. and Jones, R. E. (2006). Movement heterogeneity of dugongs, *Dugong dugong* (Müller) over large spatial scales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 334,

## 6.16.2.2 施設等の存在及び供用

### (1) 予測の概要

対象事業による施設等の存在及び供用がジュゴンに及ぼす影響の予測概要を表-6.16.2.2.1に示します。

埋立地等の存在及び飛行場施設の供用がジュゴンに及ぼす影響については、施設等の存在に伴う海面の消失、海洋構造物の出現、飛行場施設の供用に伴う航空機からの騒音・低周波音、飛行場施設からの排水、夜間照明及び船舶の航行によるジュゴンの生息環境及び行動に及ぼす影響を予測しました。

表-6.16.2.2.1 予測概要（施設等の存在及び供用）

項目	内容
予測項目	埋立地等の存在・飛行場施設の供用に伴うジュゴンの生息環境及び行動に及ぼす影響
影響要因	埋立地の存在 ・代替施設の使用 ・切替え後の美謝川の存在 ・辺野古地先水面作業ヤードの使用 飛行場及びその施設の使用 航空機の運航 飛行場の施設の供用
予測地域	ジュゴンの特性及び餌場となる海草藻場の特性を踏まえ、影響要因ごとに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としました。
予測対象時期	施設等の存在及び供用時の影響要因による環境変化が最大となり、ジュゴンに及ぼす影響が適切に予測できる時期としました。

### (2) 予測方法

ジュゴンへの影響予測は、調査結果に基づくジュゴンの生息状況と、施設等の存在及び供用に伴う生息環境の改変の程度を踏まえて、既往知見等を参考に行いました。

### (3) 予測結果

#### 1) 海面の消失

##### (a) ジュゴンの生息域の減少

現地調査の結果によると、事業実施区域周辺において生息する個体 A は嘉陽沖にほぼ常在しており、事業実施区域においては確認されていません。また、古宇利島沖で確認されていた 2 頭のジュゴンのうち 1 頭（個体 C）は平成 20 年度より嘉陽沖や大浦湾で確認されるようになりましたが、行動範囲は大浦湾東側海域までの範囲にあり、施設等の存在による海面消失に伴いジュゴンの生息域が減少することはほとんどないと考えられます。

##### (b) 餌場の減少

事業実施区域周辺において常在する個体 A の餌場は、主に嘉陽地先のギミ崎東側の海草藻場と考えられます。また、個体 C についても、食跡の確認状況から判断して、嘉陽沖で生息している際には嘉陽地先の海草藻場を主に利用していると考えられますが、個体 C の行動範囲が広く、大浦湾内の海草藻場で確認された食跡は個体 C によるものと推察されます。このため、施設等の存在に伴う海草藻場の減少はジュゴンの餌場の減少につながる可能性が考えられるため、その影響をできる限り低減するために、海草藻場の生育範囲を拡大する環境保全措置を講じます。

なお、過去には辺野古地先の海草藻場において食跡が確認されていますが、事業実施区域周辺で確認される現在のジュゴンの行動範囲や餌場の利用状況からみて、辺野古地先の海草藻場へ移動し採食する可能性は小さいと考えられます。

#### 2) 流れ、波浪、水質の変化

波浪、流れ、水質の変化の予測結果によりますと、施設等の存在に伴う波浪、流れ、水質の変化は、代替施設の周辺で見られますが、ジュゴンが餌場として利用している嘉陽地先の海草藻場の分布範囲においては変化が生じないものと予測されています。このため、施設等の存在による波浪、流れ、水質の変化がジュゴンの餌場となる海草藻場の生育環境に変化を与え、ジュゴンの生息環境に影響を及ぼすことはほとんどないと考えられます。

#### 3) 海洋構造物の出現

埋立地及び進入灯、燃料栈橋の設置予定場所では事業実施区域周辺に常在する個体 A の生息は確認されていません。

一方、個体 C は行動範囲が広く、事業実施区域周辺においては天仁屋崎周辺か

ら大浦湾東側海域に至る範囲で確認されています。また、大浦湾内の海草藻場で確認された食跡も個体Cによる可能性が考えられます。生息状況調査による個体Cの大浦湾内での確認位置を踏まえると、個体Cは大浦湾の東側海域を主に移動経路として利用している可能性が考えられますが、大浦湾西側海域の海草藻場で個体Cによるとみられる食跡が確認されていることから、埋立地及び進入灯、燃料栈橋の設置が個体Cの行動範囲に変化を与えないかについて事後調査を行い、調査結果をもとに必要な措置を講じます。

#### 4) 航空機騒音

飛行場の施設の供用により、航空機から発生する騒音が水中に透過し、ジュゴンに及ぼす影響について予測しました。

##### (a) 水中音の評価基準

航空機騒音の発生源レベルは障害を発生させるような大きなレベルではないこと、及び音源が固定しない場合の累積の影響については予測困難であることから、瞬時の音による行動阻害の影響を検討しました。

このため、航空機からの騒音による水中音の影響を評価するにあたっては、工事中の騒音の非パルス音の評価基準を適用し、下記のように設定しました。

##### ○航空機騒音による水中音の評価基準

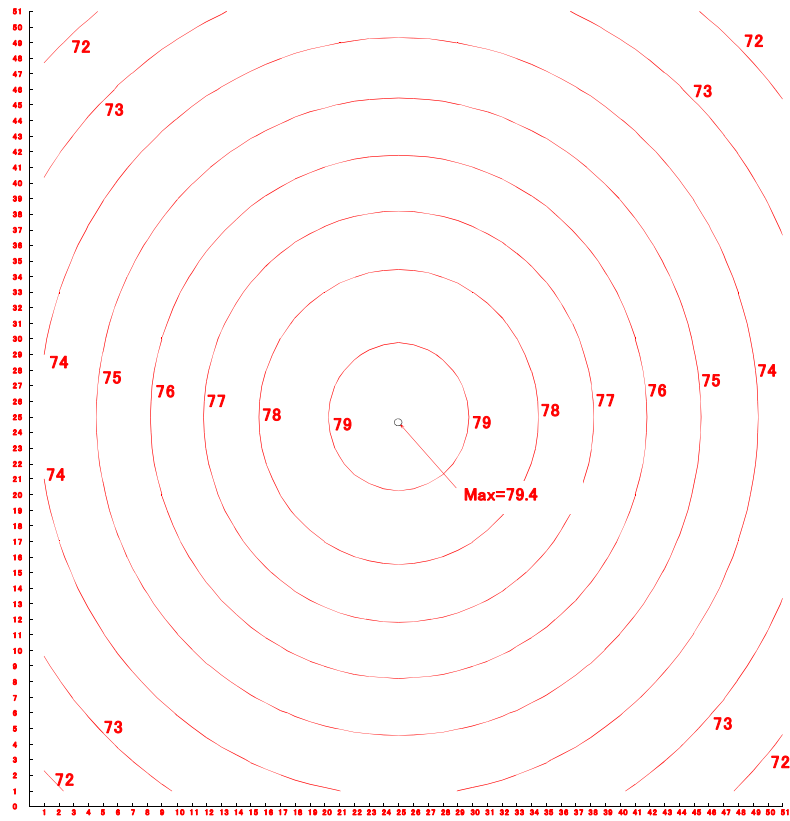
音圧レベル (RMS) : 120dB:rel  $\mu$  Pa

なお、ジュゴンの生息状況調査におけるヘリコプターによる追跡調査では、飛行高度を150mまで低下して行動の観察を行いました。ジュゴンの行動に変化を与えないことを確認しています。

追跡調査時のヘリコプターによる水面付近及び水中での音圧レベルについて、ヘリコプターによる追跡調査時に安部集落で測定した騒音データをもとに、ヘリコプターの周波数特性を考慮して発生源の音圧レベルを推定し、供用時の航空機騒音と同様の方法により推定しました。推定の結果は図-6.16.2.2.1に示したとおり、発生源近傍(1m)の音圧レベルは121.4dB、高度150m直下の水面上0mにおける音圧レベルは最大で79.4dB、水面下1mにおける音圧レベルは最大で111.4dBと推定され、ジュゴンに対する水中音の影響レベルとして想定した120dBを下回っていたものと考えられます。

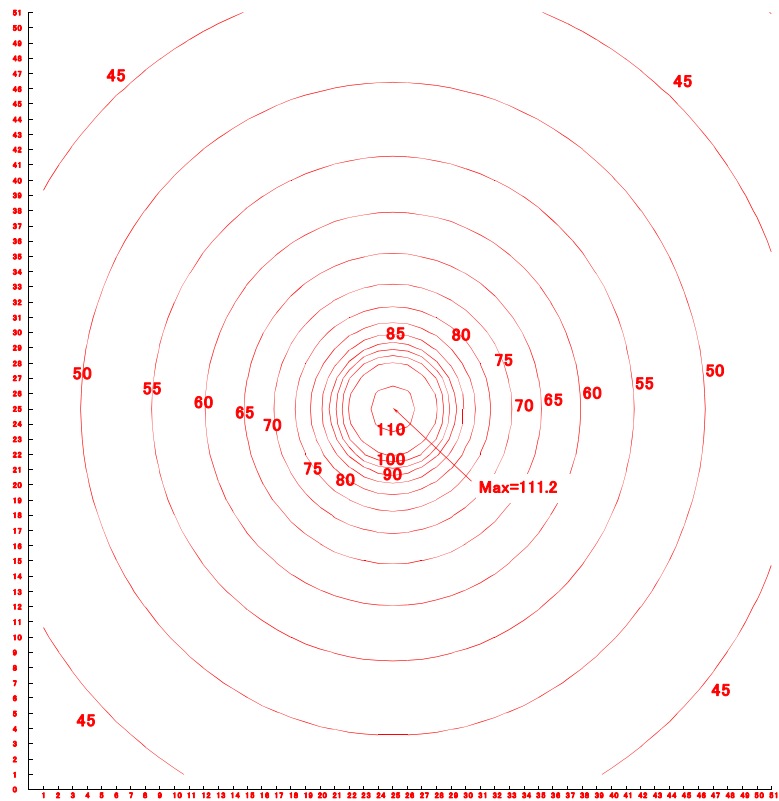


(空中 (水面上))



単位 : dB

(水面下 1m)



単位 : dB

図-6. 16. 2. 2. 1 ヘリコプターによる追跡調査時の推定音圧レベル

注) 1メッシュ=10m

(b) 航空機の運航に伴う水中音圧レベルの予測

飛行場の施設の供用により、航空機から発生する騒音が水中に透過し、ジュゴンに及ぼす影響について予測しました。

a) 騒音発生源

回転翼機の騒音基礎データによると、騒音の発生レベルは CH-53 と MV-22 が大きいものと考えられたため、航空機騒音がジュゴンに及ぼす影響については、CH-53 と MV-22 の 2 機を予測対象としました。回転翼機の周波数特性を考慮して音源の音圧レベルを推定すると、CH-53 が 152dB 程度、MV-22 が 146dB 程度となります。

b) 予測項目

航空機騒音による行動阻害を評価するために、音圧レベル（RMS：実効値）を予測項目としました。

c) 水中音の予測モデル

空中の点音源から水中への音波が透過する場合は球面波の透過となります。水中に透過してからの音波の距離減衰は、Medwin らの式を用いました。

予測モデルは、水面上  $h$  の高さにある音源 (S) から、音波が放射され受音点 (Q) で受音する時、受音点の深さを  $d$  とすると（図-6.16.2.2.2参照）、受音点の音圧  $P_2$  は次式で表されます。

$$P_2 = P_s - (L_1 + L_2 + L_3) + 26$$
$$L_1 = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left( \frac{h}{\cos \theta_1} \right)$$
$$L_2 = -20 \cdot \text{Log}_{10} \{D(\theta_1)\}$$
$$L_3 = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left( \frac{1 + \frac{d}{h} \cdot \frac{c_2 \cdot \cos \theta_1}{c_1 \cdot \cos \theta_2}}{2 \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2} \right)$$

ここに、

$P_2$ : 受音点の音圧レベル [dB]

$P_s$ : 発生源の音圧レベル [dB]

$L_1$ : 球面拡散損失 [dB]

$L_2$ : 指向性損失 [dB] (ここでは  $L_2 = 0$  とした)

$L_3$ : 水面透過損失 [dB]

26: 水中音と空中音の基準換算値 [dB]

$\theta_1$ : 入射角  
 $D(\theta_1)$  : 発生源の音の指向性  
 $h$  : 発生源の高さ [m]  
 $d$  : 受音点の水深 [m]

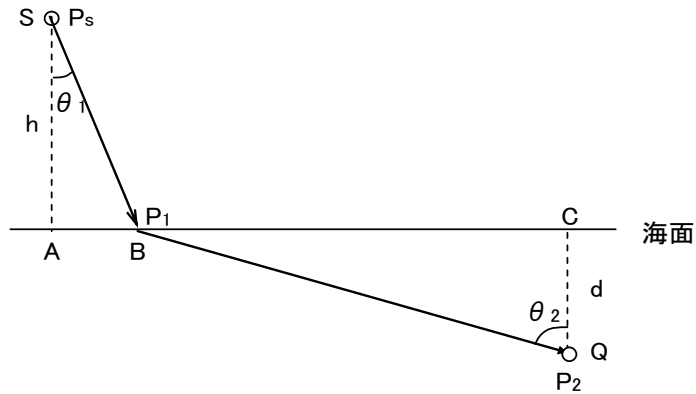


図-6.16.2.2.2 球面波の透過

d) 水中音圧レベルの予測結果

予測対象とした回転翼機が場周経路内における水平飛行高度の最低高度として設定されている 500feet (約 152m) にある場合を想定し、空中及び水中の音圧レベルを予測し、飛行経路直下の音圧レベルの断面図を図-6.16.2.2.3、図-6.16.2.2.4に示しました。

予測結果によると、飛行経路直下の水面上の空中音の音圧レベルは CH-53 の場合が最大で 97.0dB (re:20  $\mu$ Pa)、MV-22 の場合が最大で 95.5dB (re:20  $\mu$ Pa) となり、海面に透過した水中音の音圧レベルは、CH-53 の場合が最大で 129.0dB (re:1  $\mu$ Pa)、MV-22 の場合が最大で 127.3dB (re:1  $\mu$ Pa) となり、水面直下の水中音の音圧レベルは CH-53、MV-22 の場合のいずれについても、ジュゴンの水中音の行動阻害の評価基準として設定した 120dB (re:1  $\mu$ Pa) を上回ると予測されました。

(c) 航空機騒音がジュゴンに及ぼす影響

水中音圧レベルの予測結果によると、飛行経路の直下における水中音圧レベルは、ジュゴンの水中音の評価基準を最大で9dB程度上回ると予測されました。

空中から水中に音が入射する場合の臨界角度は約13°と狭いため、水中に透過する音の範囲は、飛行コース直下の限られた範囲にとどまると考えられますが、飛行機がジュゴンの生息位置の真上を通過する際には、ジュゴンの行動に影響を及ぼす可能性があると考えられます。このため、ジュゴンの生息範囲と飛行経路を重ね合わせてジュゴンへの影響を検討しました。ジュゴンの利用頻度を示した生息範囲と飛行経路を重ね合わせ、図-6.16.2.2.5に示します。

これによると、ジュゴンの生息範囲のうち、個体Aが頻繁に確認されている安部から嘉陽地先の生息範囲は飛行経路から外れており、日中に個体Aが行動する範囲に対しては航空機騒音による影響は小さく、ジュゴンの沿岸域との往来に及ぼす影響も小さいと考えられます。

しかし、飛行機がB滑走路を使用して離陸・着陸する際は、個体Aの餌場となる嘉陽地先の浅海域の海草藻場の上空を通過する経路となります。嘉陽地先の海草藻場の餌場は、これまでの調査結果から主に夜間に利用されていると考えられていますが、夜間の飛行回数は、普天間飛行場の運用実態の状況から見て比較的少ないと推定されます。また、回転翼機の着陸進入速度は80kt程度(約148km/h)と考えられるため、影響レベルを超える時間は数秒程度と考えられます。このため、航空機騒音の影響により嘉陽地先のジュゴンの餌場の利用活動が変化する可能性は小さいと考えられますが、飛行コースにはばらつきが予想されること、海面が波立った状態のときは水中に透過する音圧レベルが上昇する可能性が考えられることから、供用開始後は事後調査を行い、個体Aの生息状況及び藻場の利用状況の変化の有無等について確認し、その結果を踏まえて、必要な措置を講じることとします。

また、個体Cは大浦湾東側海域を移動する行動が何度も確認されており、嘉陽地先海域から大浦湾内にかけての海域を行動範囲としているものと推察されますが、有視界飛行の場周経路が大浦湾東側海域を通過することになり、個体Cが大浦湾の東側海域に移動している場合は航空機騒音による影響を受ける可能性があると考えられます。このため、供用開始後は事後調査を行い、古宇利島沖を含めた範囲における個体Cの生息状況の変化の有無等について確認し、その結果を踏まえて、必要な措置を検討し講じます。

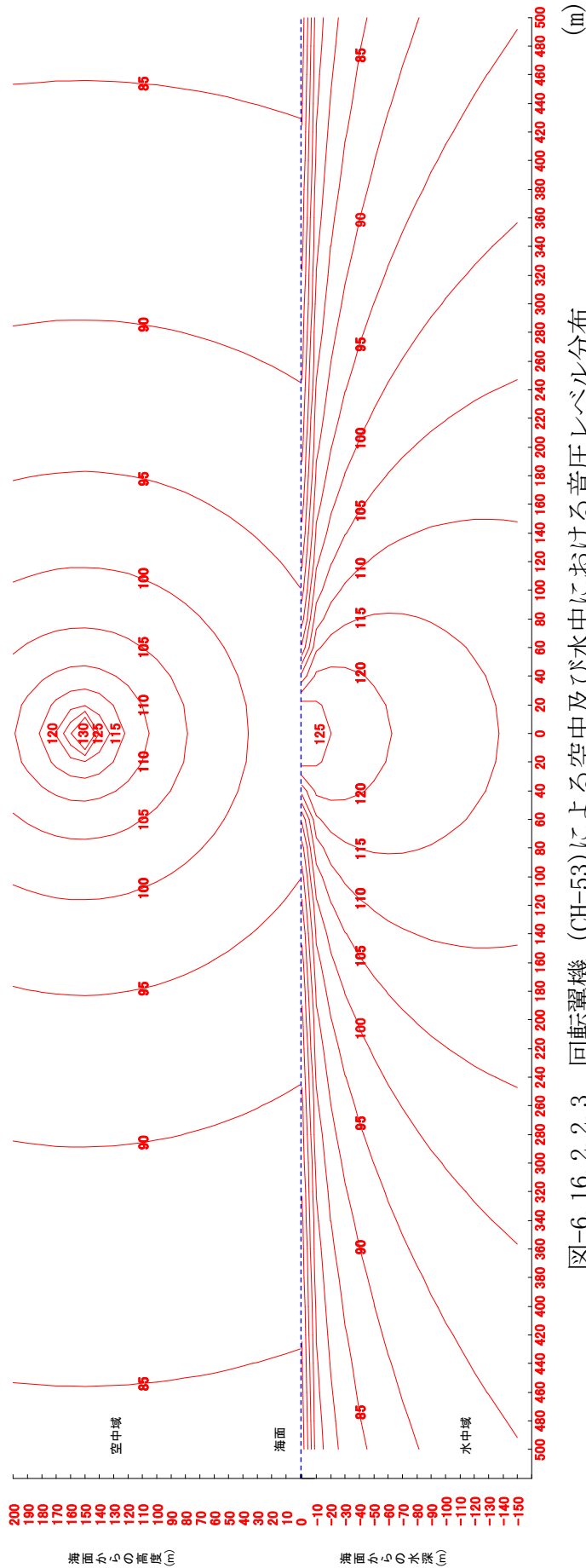


図-6.16.2.2.3 回転翼機 (CH-53)による空中及び水中における音圧レベル分布 (飛行高度: 500feet (約 152m))

単位: 【空中】 dB (re; 20  $\mu$  Pa)

【水中】 dB (re; 1  $\mu$  Pa)

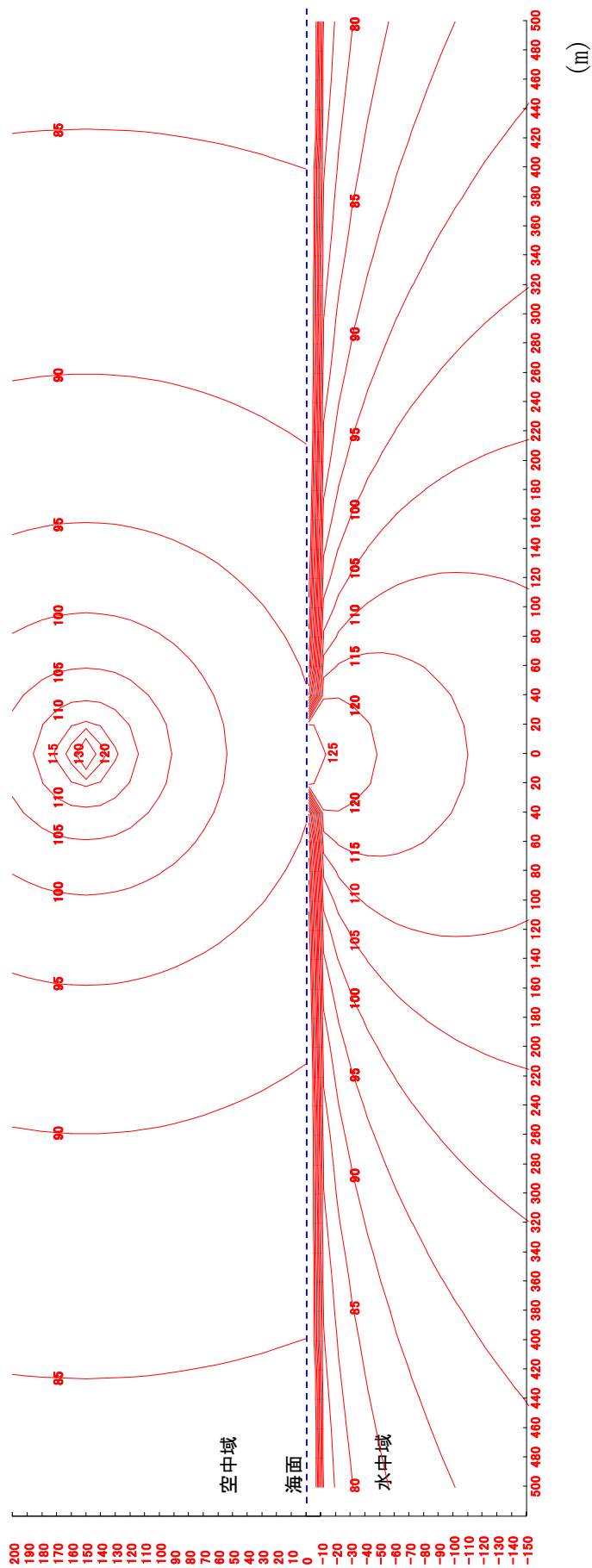


図-6.16.2.2.4 回転翼機 (MV-22) による空中及び水中における音圧レベル分布

(飛行高度 : 500feet (約 152m))

単位 : 【空中】 dB (re:20  $\mu$  Pa)

【水中】 dB (re:1  $\mu$  Pa)

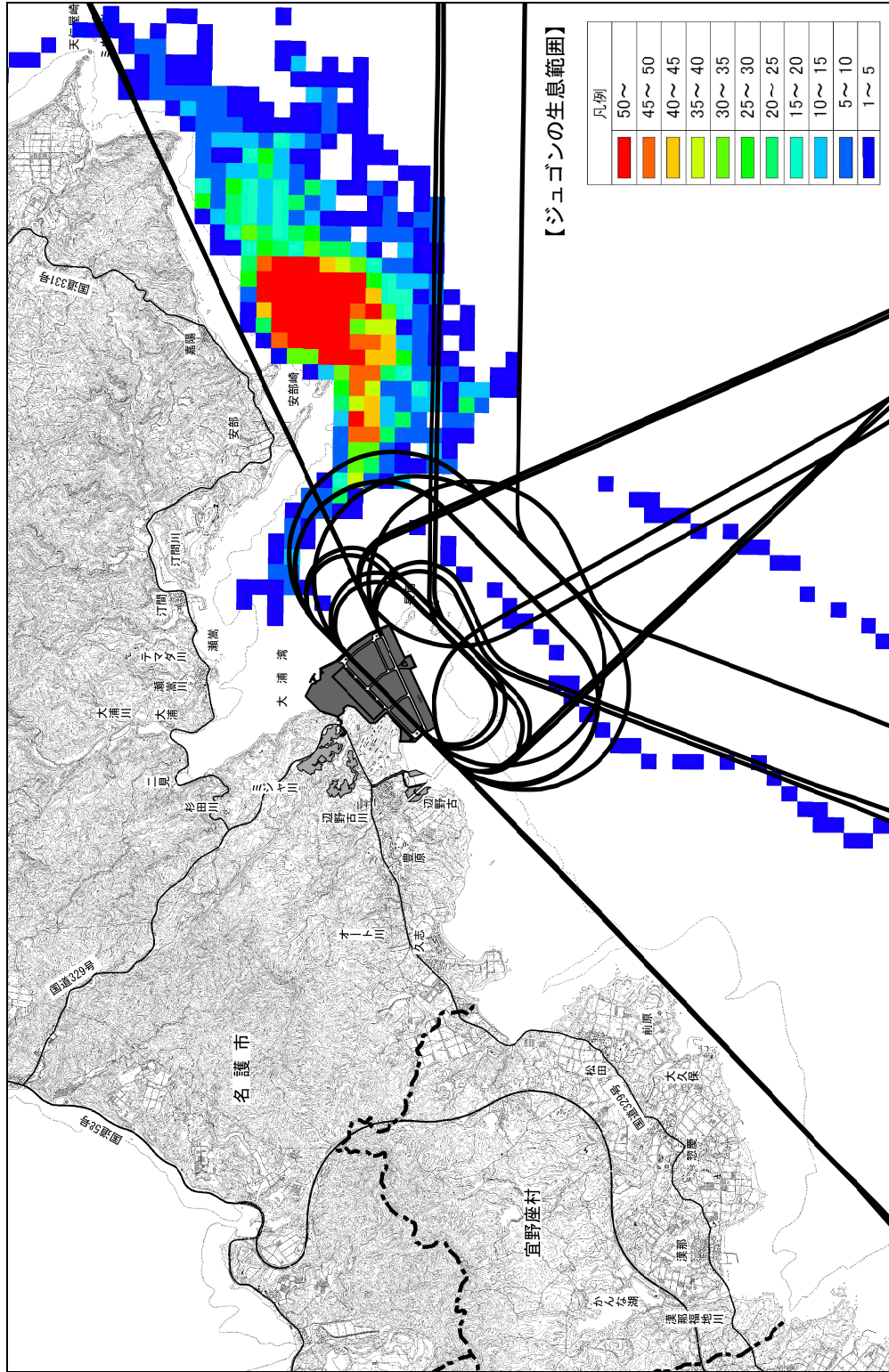


図-6.16.2.2.5 飛行経路とジュゴンの生息範囲との関係

注) ジュゴンの生息範囲は、平成19年8月から平成24年1月までの追跡調査で得られた5分毎の確認位置を1回の利用とみなして、ジュゴンの確認回数を格子毎（格子間隔：250m）に積算して示しました。

## 5) 低周波音

低周波音は、ジュゴンに対し内耳への影響と肺の共振を引き起こす可能性があると考えられています。航空機の運航に伴い発生する低周波音が水中に透過した場合の影響について、回転翼機 (MV-22) の低周波音の測定結果をもとに発生源の音圧レベルを推定し、航空機騒音と同様の方法により、水中での低周波音の音圧レベルを推定しました。

### (a) 低周波音の評価基準

低周波音がジュゴンに及ぼす影響に関する知見が得られないため、米軍のソナー使用による海域生物への影響に関する調査報告書 (Department of the Navy, 2001) 及び海産哺乳類の水中音に関する知見を参考にして、影響の評価基準を検討しました。

米軍のソナー使用に関する影響調査の結果によると、海域生物全般に対して低周波音の音圧レベルが 180dB 以上になると内耳の損傷や組織破壊といった症状が発生する可能性があるとしてされています。また、同報告書では 180dB 以下の影響について、これまでの行動変化に関するデータをもとに、音圧レベルとリスク確率との関係を示すリスク関数を作成しています。このリスク関数では、音圧レベルが 120dB より影響が生じる可能性があるとし、150dB でリスク確率 2.5%、165dB でリスク確率 50%、180dB でリスク確率 95%となっています。

また、本環境影響評価では航空機騒音による水中音がジュゴンに及ぼす影響を予測するにあたっては、海産哺乳類の水中音に関する知見をもとに、120dB をジュゴンの行動に与える音圧レベルと設定しています。

以上のような米軍のソナー使用に関する影響調査の結果、及び海産哺乳類の水中音に関する知見より、低周波音によるジュゴンへの影響の評価基準は、障害を与えるような音圧レベルを 180dB 以上、行動に変化を与える音圧レベルを 120dB 以上として予測しました。

### (b) 航空機による低周波音がジュゴンに及ぼす影響

低周波音が水中に透過した場合の影響について、MV-22 の飛行時の低周波音の測定結果をもとに発生源の音圧レベルを推定し、航空機騒音と同様の方法により、空中及び水中での低周波音の音圧レベルを推定しました。その結果、発生源近傍 (1m) の音圧レベルは 147.5dB と推定されました。場周経路内における水平飛行高度の最低高度として設定されている 500feet (約 152m) にある場合の空中及び水中の音圧レベルを推定すると、図-6.16.2.2.6に示したようになります。飛行経路直下の水面上の音圧レベルは最大で 103.9dB になり、水面下 1m における音圧レベルは最大で 135.9dB と推定されました。



以上のような低周波音の音圧レベルの予測結果によると、飛行経路の直下における水中音圧レベルは、障害を与えるような音圧レベルにはなりません、行動に変化を与えるような音圧レベルを上回ると予測されました。

低周波音は空中から水中に音が入射する場合の臨界角度は約  $13^{\circ}$  と狭いため、水中に透過する音の範囲は、飛行コース直下の限られた範囲にとどまると考えられます。また、嘉陽地先においてジュゴンが頻繁に確認される範囲は飛行経路から外れているため（図-6.16.2.2.5参照）、航空機による低周波音が日中のジュゴンの行動に対する影響は小さいと推察されます。しかし、ジュゴンが夜間に餌場として利用していると考えられる嘉陽地先の浅海域の海草藻場は、飛行機が B 滑走路を使用して離陸・着陸する際の経路にあたります。夜間の飛行回数は比較的少ないと推定されるとともに、航空機の数からみて影響レベルを超える時間は数秒程度と考えられるため、航空機による低周波音がジュゴンに影響を及ぼす可能性は小さいと推察されますが、低周波音がジュゴンに及ぼす影響については知見がないため、供用開始後は事後調査を行い、ジュゴンの生息状況及び藻場の利用状況の変化の有無等について確認し、その結果を踏まえて、必要な措置を検討し講じます。

(資料)

Department of the Navy(2001). Final overseas environmental impact statement and environmental impact statement for surveillance towed array sensor system low frequency active (SURTASS LFA) Sonar. (<http://www.surtass-lfa-eis.com>)

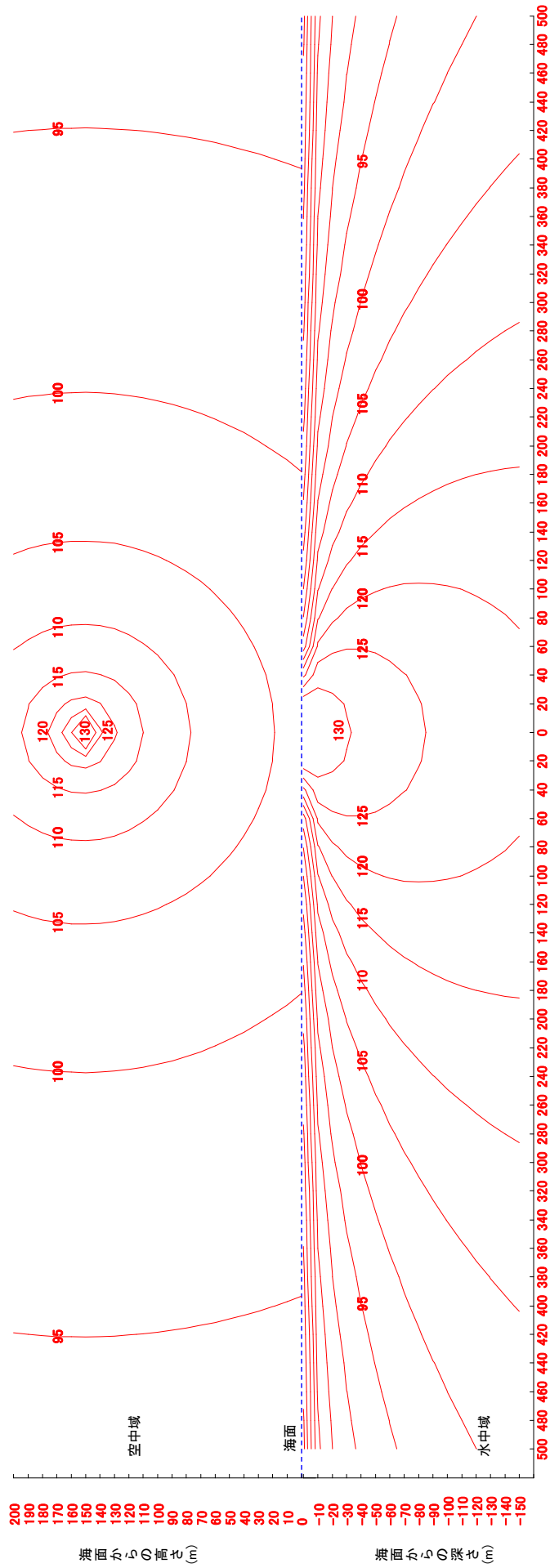


図-6.16.2.2.6 回転翼機 (MV-22) による空中及び水中における低周波音圧レベル分布

(飛行高度 : 500feet (約 152m))

単位 : 【空中音】 dB:re20  $\mu$  Pa

【水中音】 dB:re1  $\mu$  Pa

#### 6) 飛行場施設からの排水

供用時の飛行場施設からの排水に伴う水質の変化について水質シミュレーションの結果によりますと、排水に伴う水質の変化は排水口近傍に限られるものと予測されており、ジュゴンの餌場となる嘉陽地先の海草藻場における水質変化はほとんどないと考えられます。

また、過去には辺野古地先の海草藻場において食跡が確認されていますが、現在、事業実施区域周辺で確認されているジュゴンが辺野古地先の海草藻場で採食する可能性は小さいと考えられます。また、飛行場施設からの排水が辺野古地先の海草類の生育環境に及ぼす影響は小さいと予測されています。

このため、飛行場施設からの排水によりジュゴンの餌場となる海草藻場に及ぼす影響はほとんどないと考えられます。

#### 7) 夜間照明

事業実施区域周辺において常在する個体 A は夜間には嘉陽地先海域に生息している可能性が高いと考えられます。嘉陽地先海域に対する飛行場施設の夜間照明の光の影響は地形的条件からみて小さいと考えられるため、飛行場施設の夜間照明が事業実施区域周辺において常在する個体 A の生息環境に変化を与えることはほとんどないと考えられます。

一方、平成 20 年度より嘉陽沖や大浦湾でみられるようになった個体 C は行動範囲が比較的広く、追跡調査において夕刻に大浦湾東側海域を移動していたことが観察されているため、飛行場施設の夜間照明に誘引され、行動生態に変化が生じるおそれがあると考えられます。このため、供用開始後は事後調査を行い、ジュゴンの生息状況及び藻場の利用状況の変化の有無等について確認し、その結果を踏まえて、必要な措置を検討し講じます。

## 8) 船舶の航行

飛行場施設の供用時には、航空機用燃料を運搬するタンカーが月1回程度、ヘリコプター等が故障した場合の輸送船が年1回程度来航します。それらによる船舶航行数の増加は小さく、さらにタンカーや輸送船は大浦湾西側海域の航路を航行する計画であり、ジュゴンの生息が確認されている嘉陽沖や大浦湾東側海域は航行しないため、ジュゴンが供用時の船舶と遭遇する可能性は小さく、衝突等の影響はほとんどないと考えられます。

しかし、ジュゴンがこれまで確認されている行動範囲より移動した場合には、ジュゴンが船舶と遭遇し、行動に変化が生じる可能性が考えられます。大浦湾内では、現在は刺網漁業の操業はほとんどないと言われていますが、刺網が設置された場合に、ジュゴンがタンカー等の船舶と遭遇し、回避行動をとった場合には刺網にかかるおそれがあります。このため、航行する船舶に対して、ジュゴンとの衝突を回避するための見張りを励行するほか、ジュゴンとの衝突が避けられるような速度で運航するなどの環境保全措置を講じます。

また、供用時に運航する船舶からの水中音がジュゴンに及ぼす影響について、船舶による水中音圧レベルを推定し予測しました。船舶の航行による水中音圧レベルの予測概要を表-6.16.2.2.2に示します。予測に当たっては、ジュゴンの生息が確認されている範囲の中から5箇所の評価点を設置し、沖側から船舶が進行してくる場合の各評価点での水中音圧レベルの時系列的变化を予測しました。

予測結果は図-6.16.2.2.8に示すとおり、船舶が代替施設に接近するとともに水中音圧レベルは上昇しますが、水中音圧レベルは最大で103dBと推定されています。このため、供用時の船舶からの水中音がジュゴンに影響を及ぼす可能性は小さいと考えられます。

表-6.16.2.2.2 供用時の船舶による水中音圧レベルの予測概要

項目	内容
航行経路 (図-6.16.2.2.7参照)	大浦湾沖合から大浦湾西側海域を航行する航路を想定しました。
発生源の音圧レベル	180dB
発生源の周波数特性	作業船の水中音の予測で用いた周波数特性と同じとしました。
発生源の水深	-2.5m
障壁条件 (図-6.16.2.2.7参照)	リーフ等の地形を障壁として設定しました。障壁は水深5mと10mの等深線を参考に-2.5m、-5m、-7.5mで設定しました。
平均水深	-50m
水中音の減衰式	工事中の水中音の予測と同じとしました。

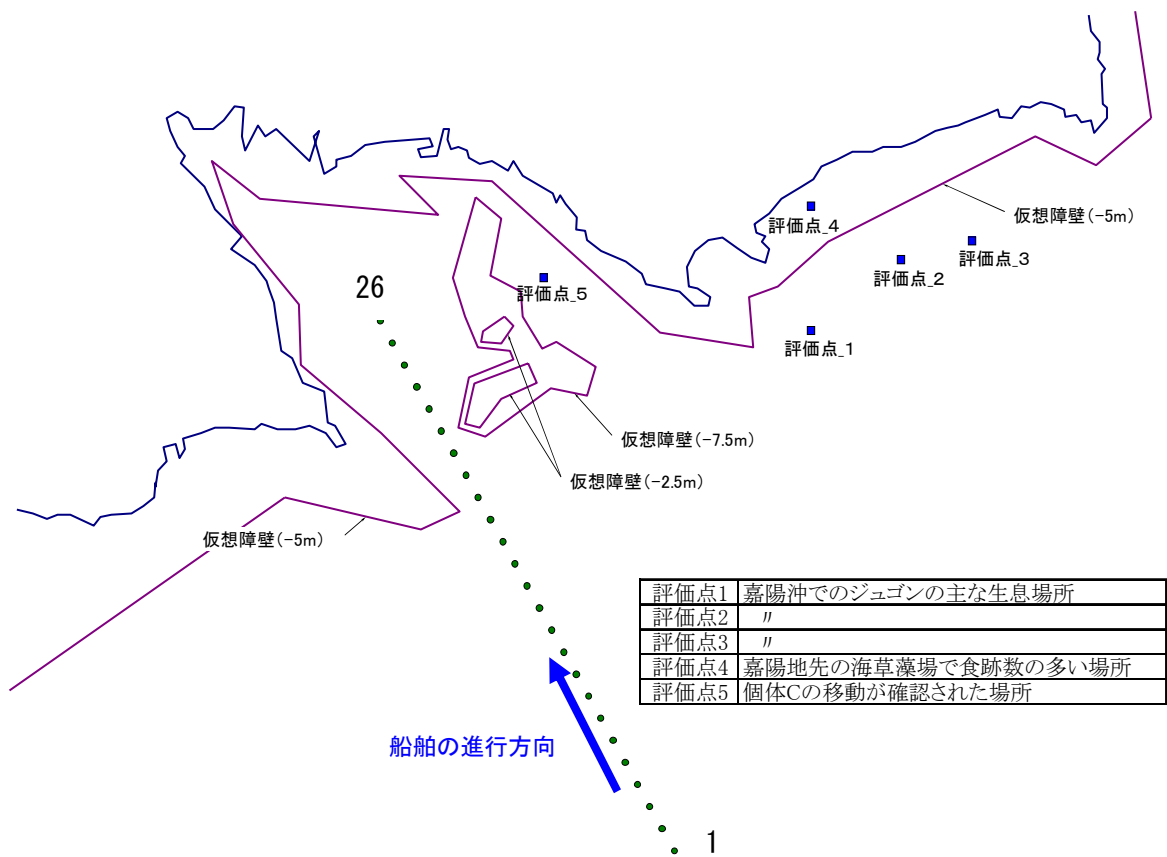


図-6. 16. 2. 2. 7 供用時の船舶の航行経路

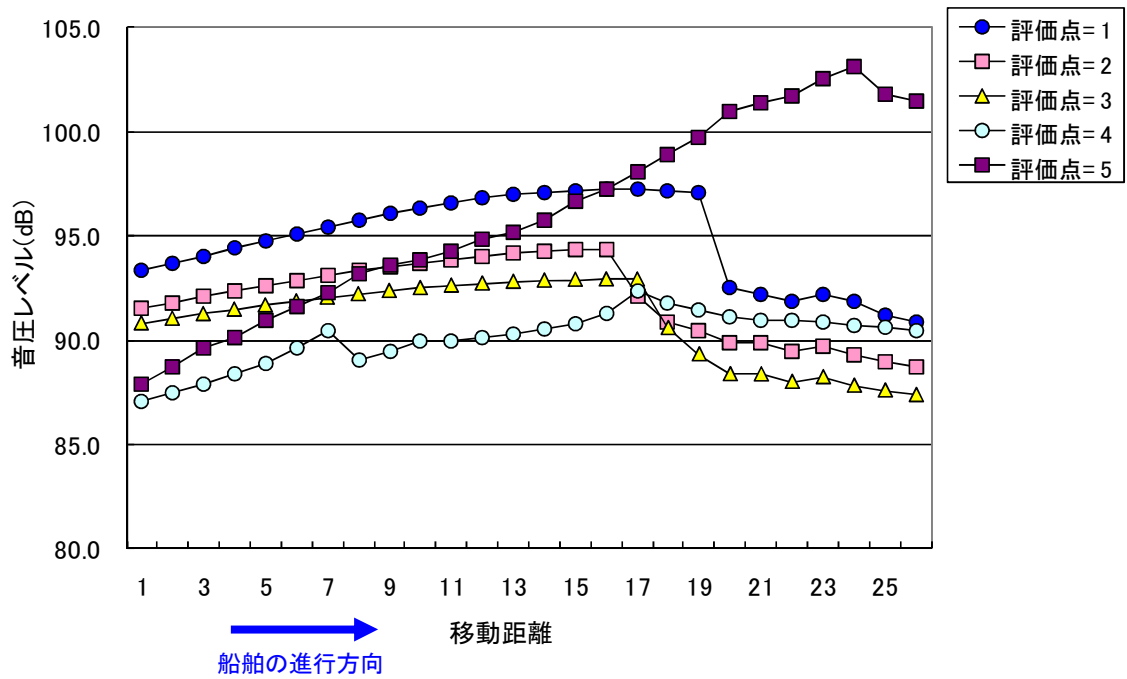


図-6. 16. 2. 2. 8 船舶の移動に伴う水中音圧レベルの時系列変化

## 9) ジュゴンの個体及び個体群維持に対する影響

沖縄島周辺におけるジュゴンの確認個体数は、平成17年度以降、最小発見個体数が3頭となり現在に至っています。個体数がここまで減少した原因としては、明治～大正期にかけての捕獲の影響が大きく、さらに、戦後の食糧難の捕獲やその後の刺網等への混獲などによりその数が減少したと考えられています。

このように生息個体数の減少したジュゴンを保全するにあたっては、餌場となる海草藻場を保全するとともに、生息環境の保全が重要と考えられます。

代替施設の設置により約78haの海草藻場が消失します。この海草藻場の減少がジュゴンの餌場を減少させ、環境収容力を低下させることによりジュゴンの個体群維持に影響を与えるかどうかについて、ジュゴンの個体群存続可能性分析(PVA)を行い検討しました。PVAによる分析結果の詳細を表-6.16.2.2.3に示します。ここでは、生息地を沖縄島周辺に限定した場合と先島諸島を含めた沖縄県全体とした場合について、雌の初期個体数や繁殖率を変えて数ケースを設定して計算しましたが、いずれのケースにおいても、代替施設の設置による海草藻場の消失に伴い環境収容力が低下した場合の絶滅リスクは、事業が実施されない場合の絶滅リスクと有意な差が認められない結果を示していました。

このため、代替施設の設置に伴う海草藻場の消失がジュゴンの個体群維持に及ぼす影響は小さいと考えられますが、大浦湾西側海域の消滅する海草藻場においてはジュゴンの食跡が発見されていることから、ジュゴンの保全には極力配慮することとし、改変区域周辺の海草藻場の被度が低い状態の箇所や代替施設の設置により形成される静穏域を主に対象として、海草類の移植(種苗など)や生育基盤の改善により海草藻場の拡大を図る保全措置を講じることとします。

また、飛行場施設の供用時における生息環境の変化について、航空機の運用による騒音・低周波音及び船舶の航行による影響を予測・評価した結果、船舶の航行による影響については、ジュゴンが頻繁に確認されている嘉陽地先海域を回避した航路を航行するとともに、事前にジュゴンの生息位置の確認情報を伝達し、ジュゴンとの衝突を回避するための見張りの励行及び回避可能な速度での航行をさせることにより、ジュゴンとの衝突の影響を回避します。一方、航空機の運航による騒音の影響については、嘉陽地先で餌場として利用する海草藻場の上空に飛行経路が設定されており、ジュゴンが餌場として利用する夜間での航空機の離発着数は少ないため、航空機騒音の影響により嘉陽地先のジュゴンの餌場の利用活動が変化する可能性は小さいと考えられますが、飛行コースにはばらつきが予想されること、海面が波立った状態のときは水中に透過する音の範囲が広がる可能性があることから、供用開始後は事後調査を行い、ジュゴンの生息状況及び藻場の利用状況の変化の有無を確認し、その結果を踏まえて、必要な措置を講じます。

表-6. 16. 2. 2. 3 ジュゴンに対する PVA（個体群存続可能性分析）の結果

PVA（個体群存続可能性分析）を用いた予測を行うことにより、現在生息しているジュゴンが 100 年後に絶滅する確率（以下、「絶滅リスク」と称します。）を定量的に求めました。なお、予測を行うためには、ジュゴンの生態に係る基礎情報が必要となりますが、情報は極めて限られているため、絶滅リスクを正確に予測することは難しいものの、以下に示すとおり条件を設定し、それぞれの計算ケースにおいて絶滅リスクを求めることとしました。

## 1. 予測条件

### (1) 繁殖率

既往知見<sup>1)</sup>によれば、ジュゴンの出産間隔は 3～7 年とされています。そこで、繁殖率は「3 年に 1 度」と「7 年に 1 度」の 2 ケースを設定しました。また、産まれてくる個体の性別は雌雄で 1/2 の確率とすることにより、雌個体の年繁殖率は 1/6 (0.17) と 1/14 (0.07) としました。

### (2) 成熟齢

既往知見<sup>1)</sup>によれば、ジュゴンの性成熟の年齢（子供をつくることのできる年齢）は、雌雄ともに 9～10 歳と推定されています。そこで、成熟齢は「9 歳」と設定しました。

### (3) 年生存率

既往の研究事例<sup>2)</sup>を参考に、1 年後までの年生存率を「80%」、1 歳以上の年生存率を「95%」と設定しました。

(1)～(3)により、個体数増加率は、繁殖率が「3 年に 1 度」のケースでは 1.0233、「7 年に 1 度」のケースでは 0.9905 となります。つまり、「7 年に 1 度」のケースでは、個体数は平均して減少傾向にあります。

### (4) 環境収容力

環境収容力とは、その生息地において個体群を安定して維持できる個体数を表します。ジュゴンの環境収容力は、餌となる海草藻場の面積や生育量に関連すると考えられます。また、ジュゴンの生息は、近年は沖縄島周辺でのみ確認されていますが、先島諸島においても生息の可能性も指摘されています。

そこで、環境収容力は、生息地を沖縄島周辺に限定した場合と先島諸島も含めた沖縄県全体を対象範囲とした場合の 2 ケースを想定し、海草藻場の面積や生育量から以下のとおり設定しました。

#### 1) 生息地を沖縄島周辺に限定した場合

現地調査により得られたデータをもとに以下のとおり検討した結果、海草の生長量からは環境収容力は 144.4 頭、ジュゴンが餌場として利用する藻場面積からは環境収容力は 91.6 頭と推定されました。

以上の推定結果から、生息地の範囲を沖縄島周辺に限定した場合の環境収容力は「100 頭」と設定しました。

##### ①海草の生長量により推定される環境収容力：144.4 頭

海草の日生長量がジュゴンの日採食量の何倍に相当するかを求めました。

沖縄島周辺の海草藻場面積：環境省による調査結果<sup>3)</sup>より 1,282ha としました。

海草藻場の生育密度：本調査の結果によると、事業実施区域周辺における海草藻場では、生育被度が 5～25%の範囲が最も多く占めていたことから、沖縄島全体も同様とみなし、本調査で求めた生育被度 5～25%の生育密度を採用す

ることとしました。

生育密度は、本調査で求めた生育被度と単位面積あたりの乾燥重量との関係式 ( $y=0.169x$ 、 $x$ ：生育被度(%)、 $y$ ：単位面積あたりの乾燥重量( $g/0.25m^2$ )、「6.15 海藻草類」の図-6.15.1.30 参照)を用いて、生育被度区分 5~25%の下限値である 5%の生育被度に相当する単位面積あたりの乾燥重量を求め、 $3.38dry-g/m^2$  ( $33.8dry-kg/ha$ )としました。

海草の日生長率：アマモ地上部の測定事例<sup>4)</sup>において、約 1~4%/day とされていることから、その下限値の 1%/day を用いました。

海草の日生長量 = (海草藻場の面積) × (海草藻場の生育密度) × (日生長率)  
=  $1,282ha \times 3.38 dry-g/m^2$  ( $33.8 dry-kg/ha$ ) × 1%/day  
=  $433.3 dry-kg/day$

ジュゴンの日採食量：成獣は 1 日 30kg(湿重)の海草を摂食するとされている<sup>1)</sup>ことから、乾燥重量で 3kg としました。

環境収容力： $433.3 dry-kg/day \div 3kg/day = 144.4$  頭

※ジュゴン以外に海草藻場を摂食する動物(ウミガメ類など)もいることを考慮すれば、100 頭程度とすることが妥当と考えられます。

## ②ジュゴンが餌場として利用する藻場面積により推定される環境収容力：91.6 頭

現地調査で確認されているジュゴンが餌場としている嘉陽地区の海草藻場の面積から、ジュゴン 1 頭の利用面積を求め、沖縄島全体の海草藻場の面積がジュゴン 1 頭の利用面積の何倍に相当するかを求めました。

ジュゴン 1 頭の利用面積：嘉陽地区で個体 C が確認される以前の平成 19 年度において、個体 A の 1 頭によると考えられる食跡が確認された海草藻場の観察区画数は 14 区画 (1 区画：1ha) であることから、ジュゴン 1 頭の餌場の利用面積を 14ha としました。

環境収容力： $1,282ha \div 14ha = 91.6$  頭

## 2) 生息地を先島諸島も含めた沖縄県全体とした場合

環境省による調査の結果<sup>3)</sup>によれば、先島諸島における海草藻場面積は、宮古列島で 1,529ha、八重山列島で 4,091ha とされており、これに沖縄島周辺 (1,282ha) を加えた沖縄県全体における海草藻場面積は 6,902ha となります。

よって、生息地を先島諸島も含めた沖縄県全体を対象範囲とした場合には、海草藻場の面積は沖縄島周辺に限定した場合の約 5.4 倍となることから、環境収容力は「500 頭」と設定しました。

## (5) 初期個体数

初期個体数についても、生息地を沖縄島周辺に限定した場合と先島諸島も含めた沖縄県全体を対象範囲とした場合の 2 ケースを想定し、それぞれ以下のとおり設定しました。なお、PVA による計算では、雌の個体数が計算条件となります。

### 1) 生息地を沖縄島周辺に限定した場合

これまでの現地調査により確認されたジュゴンは個体 A~C の 3 頭であり、このうち、個体 A は雄、個体 B は雌であると考えられますが、個体 C の性別は不明です。そこで、初期個体数 (雌の個体数) は、個体 C を雌と想定した場合の「2 頭」と、個体 C を雄と想定した場合の「1 頭」の 2 ケースを設定しました。

### 2) 生息地を先島諸島も含めた沖縄県全体とした場合

先島諸島におけるジュゴンの生息状況については調査がなされておらず、生息個体数は不明のため、生息個体数は沖縄島周辺で確認されている 3 頭も含めて 10 頭もしくは 6 頭と



想定し、初期個体数（雌の個体数）は、「5頭」と「3頭」の2ケースを設定しました。

#### (6) 事業実施後の環境収容力

##### 1) 生息地を沖縄島周辺に限定した場合

本事業により消失する海草藻場の面積は78haと予測されています。これは、沖縄島周辺の海草藻場（1,282ha）の約6%に相当することから、事業実施後の環境収容力は「94頭」と設定しました。

##### 2) 生息地を先島諸島も含めた沖縄県全体とした場合

本事業により消失する海草藻場の面積（78ha）は、先島諸島も含めた沖縄県全体の海草藻場（6,902ha）の約1%に相当することから、事業実施後の環境収容力は「495頭」と設定しました。

#### (7) 計算ケース数のまとめ

繁殖率、初期個体数及び環境収容力を各2ケース設定したため、計算ケースは合計で8ケースとなり、各ケースについて事業実施による環境収容力の低下に伴う絶滅リスクの変化の程度を予測することとしました。

#### (8) その他の計算条件

計算は、PVAで最もよく使われる個体群モデルの1つである行列モデルによって作られた汎用ソフトウェアであるRAMASを用いて行い、人口学的確率性（demographic stochasticity：生存率、繁殖率、子供の性比など個体ごとに独立して確率論的に発生する変動）を考慮して、100年後の絶滅リスクを試行回数10,000回の計算によって求めました。

成獣の雄が1頭でもいれば、雌は上記(1)に従い繁殖することとしました。また、個体数が環境収容力に達した時は新たな個体の加入はなく、それまでは密度効果はないものとしてしました。なお、生理寿命や閉経年齢は設定せず、無限大と仮定しました。これは絶滅リスクをわずかに過小評価することになります。

## 2. 予測結果

予測結果を表-1に示しました。

### (1) 生息地を沖縄島周辺に限定した場合（表-1(1)）

100年後の絶滅リスクは、雌の初期個体数を2頭、環境収容力を100頭（事業実施前）とした場合には、3年に1度の繁殖率では0.29、7年に1度の繁殖率では0.76と予測され、環境収容力が94頭（事業実施後）に低下した場合にはそれぞれ0.30、0.77と予測されました。

また、雌の初期個体数を1頭とした場合の絶滅リスクは、2頭とした場合に比べて大きくなりましたが、環境収容力に関わらず、絶滅リスクは3年に1度の繁殖率では0.53、7年に1度の繁殖率では0.88と予測されました。

今回設定した計算ケースでは、繁殖率の違いによる絶滅リスクの差が大きく、雌の初期個体数の違いによる差も比較的大きい結果となりましたが、これらに比べると、環境収容力の低下に伴う絶滅リスクの低下の程度は小さく、事業実施前後の絶滅リスクの差について割合の差の検定を行った結果、いずれの計算ケースにおいても有意水準5%で差は認められませんでした。

個体数増加率や環境変動の大きさにもよりますが、一般に、環境収容力が50以上の場合、人口学的確率性のみによる絶滅リスクは極めて少なくなります（Hakoyama & Iwasa, 2000）。今回の分析では環境変動を無視していますが、現在の知見ではそれが大きいという情報はありません（例えばクマの場合、繁殖率がブナなどの豊凶により変動するため環境変動は無視できませんが、ジュゴンにそのような知見はありません）。したがって、上記の解析では検出できないほど小さなものとなっています。

(2) 生息地を先島諸島も含めた沖縄県全体とした場合 (表-1(2))

100年後の絶滅リスクは、環境収容力に関わらず、雌の初期個体数を5頭とした場合には、3年に1度の繁殖率では0.04、7年に1度の繁殖率では0.51と予測され、3頭とした場合にはそれぞれ0.15、0.67と予測されました。

生息地を沖縄島周辺に限定した場合と同様に、繁殖率や雌の初期個体数による絶滅リスクの差は比較的大きい結果となりましたが、事業実施前後の絶滅リスクには差は認められませんでした。

表-1(1) PVAによるジュゴンの絶滅リスクについての計算結果  
(生息地を沖縄島周辺に限定した場合)

雌の初期 個体数	環境収容力	100年後の絶滅リスク	
		3年に1度繁殖 雌の繁殖率：1/6(0.17)	7年に1度繁殖 雌の繁殖率：1/14(0.07)
2頭	100頭(事業実施前)	0.29	0.76
	94頭(事業実施後)	0.30	0.77
	事業実施前後の 差の検定結果	有意差なし	有意差なし
1頭	100頭(事業実施前)	0.52	0.88
	94頭(事業実施後)	0.52	0.88
	事業実施前後の 差の検定結果	有意差なし	有意差なし

注) 事業実施前後の差の検定結果については、事業実施前と事業実施後の絶滅リスク(割合)の差の検定を行った結果を示しており、「有意差なし」とは有意水準5%で差が認められなかったことを示しています。

表-1(2) PVAによるジュゴンの絶滅リスクについての計算結果  
(生息地を先島諸島も含めた沖縄県全体とした場合)

雌の初期 個体数	環境収容力	100年後の絶滅リスク	
		3年に1度繁殖 雌の繁殖率：1/6(0.17)	7年に1度繁殖 雌の繁殖率：1/14(0.07)
5頭	500頭(事業実施前)	0.04	0.51
	495頭(事業実施後)	0.04	0.51
	事業実施前後の 差の検定結果	有意差なし	有意差なし
3頭	500頭(事業実施前)	0.15	0.67
	495頭(事業実施後)	0.15	0.67
	事業実施前後の 差の検定結果	有意差なし	有意差なし

注) 事業実施前後の差の検定結果については、事業実施前と事業実施後の絶滅リスク(割合)の差の検定を行った結果を示しており、「有意差なし」とは有意水準5%で差が認められなかったことを示しています。

- 資料：1) 沖縄県文化環境部自然保護課(2008). ジュゴンのはなし(第2版)
- 2) Heinsohn, R., Lacy, R. C., Lindenmayer, D. B., Marsh, H., Kwan, D & Lawler, I. R. (2004) Unsustainable harvest of dugongs in Torres Strait and Cape York (Australia) waters: two case studies using population viability analysis. Animal Conservation. 7:417-425.
- 3) 環境庁自然保護局・(財)海中公園センター(1994). 第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書(干潟、藻場、サンゴ礁調査)第2巻 藻場
- 4) 細川真也・三好英一・内村真之・中村由行(2006). メソコスム水槽におけるアマモ地上部の現存量と生長・脱落速度の季節変動. 港湾空港技術研究所報告第45巻第3号:25-45.

### 6.16.3 評価

#### 6.16.3.1 工事の実施

##### (1) 環境影響の回避・低減に係る評価

###### 1) 環境保全措置の検討

工事の実施に伴い発生する水中音や作業船の航行がジュゴンの生息環境及び行動に及ぼす影響を回避・低減するため、以下の環境保全措置を講じることとします。

- ・作業船の航行にあたっては、ジュゴンが頻繁に確認されている区域内を出来る限り回避し、沖縄島沿岸を航行する場合は、岸から10km以上離れて航行します。さらに、海産哺乳類は、船舶の急な進路変更や速度、騒音レベルの変化に対して忌避反応を示しやすいとされているため、大浦湾の湾口域から施工区域に接近する場合は、施工区域に向かって直線的に進入する航路をとり一定速度で航行することとします。
- ・航行する工事用船舶に対して、ジュゴンとの衝突を回避するための見張りを励行するほか、ジュゴンとの衝突を回避できるような速度で航行するよう周知します。
- ・工事中はジュゴンの生息位置を監視し、工事の着手時にジュゴンが施工区域内で確認された場合は、施工区域から離れたことを確認したのち、工事に着手します。また、工事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ます。

なお、ジュゴンの生息位置の確認にあたっては、陸域高台からの監視や監視船による目視観察では観察に限界があると考えられます。また、ジュゴンについては、鳴声の探知に関する研究が進められており、特に水産関係においては、ジュゴンの定置網への混獲防止に向けた警戒システムの構築に向けた技術が開発されています。これらの知見及び技術は、ジュゴンの生息位置の確認及びそれに基づく保全対策に応用することが可能と考えられることから、環境保全措置の一つとしてその実現性を検討し、航空機からの生息確認調査と連携したジュゴン監視・警戒システムの構築を検討します。

ジュゴン監視・警戒システムは、下記のような方針で構築することを予定しています。

## 【ジュゴン監視・警戒システムの構築方針】

ジュゴン監視・警戒システムは、下記の監視・警戒サブシステムとデータ解析センターで構成します。

### (1) 監視・警戒サブシステム

工事に伴う水中音の影響や作業船との衝突の影響を回避するために、工事海域へのジュゴンの来遊状況を確認するための「工事海域監視・警戒サブシステム」と、工事中及び供用開始後のジュゴンの生息・移動状況の変化の有無を確認するための「生息・移動監視・警戒サブシステム」を構築します。

サブシステムの概要を以下に示します。

#### ①工事海域監視・警戒サブシステム

##### ○ヘリコプターによる生息確認

工事中、定期的にヘリコプターにより工事開始前におけるジュゴンの生息位置の確認を行います。

##### ○ジュゴン監視用プラットフォームによる監視

船舶を利用したジュゴン監視用プラットフォームを大浦湾内に配置し、ジュゴンの工事海域への来遊状況を監視・警戒します。ジュゴン監視用プラットフォームには下記の装置を設置します（図-6.13.1.1参照）。

- ・曳航式ステレオハイドロホン：ジュゴンの鳴音による存在確認
- ・スキヤニングソナー：発射した超音波の反射波による存在確認
- ・見張り櫓：高台からの目視による存在確認

#### ②生息・移動監視・警戒サブシステム

##### ○ヘリコプターによる生息確認

工事中の工事海域におけるジュゴンの確認と合わせて、これまでジュゴンが確認されている海域でのジュゴンの生息状況を確認します。

##### ○水中録音装置による監視

ジュゴンがこれまで生息または移動が確認されてきた海域（嘉陽、古宇利島、安田、辺戸岬）に水中録音装置を設置して水中音響データを録音し、録音データよりジュゴンの鳴音を検出し、各海域での存在確認を行います。

水中録音装置の配置例を図-6.13.1.2に示します。

### (2) データ解析センター

監視・警戒サブシステムにより得られたデータを一元的に管理し、工事関係者に伝達するとともに、ジュゴンに対する保全の取り組み状況を一般市民に情報公開するための「データ解析センター」を設置します（図-6.13.1.3参照）。センターにはジュゴンの鳴音の専門家及びデータ解析者を配置し、ジュゴンの鳴音の有無の判断、その結果の公開作業を行います。



図-6.16.3.1.1 工事海域監視・警戒サブシステム



図-6.16.3.1.2 生息・移動監視・警戒サブシステム

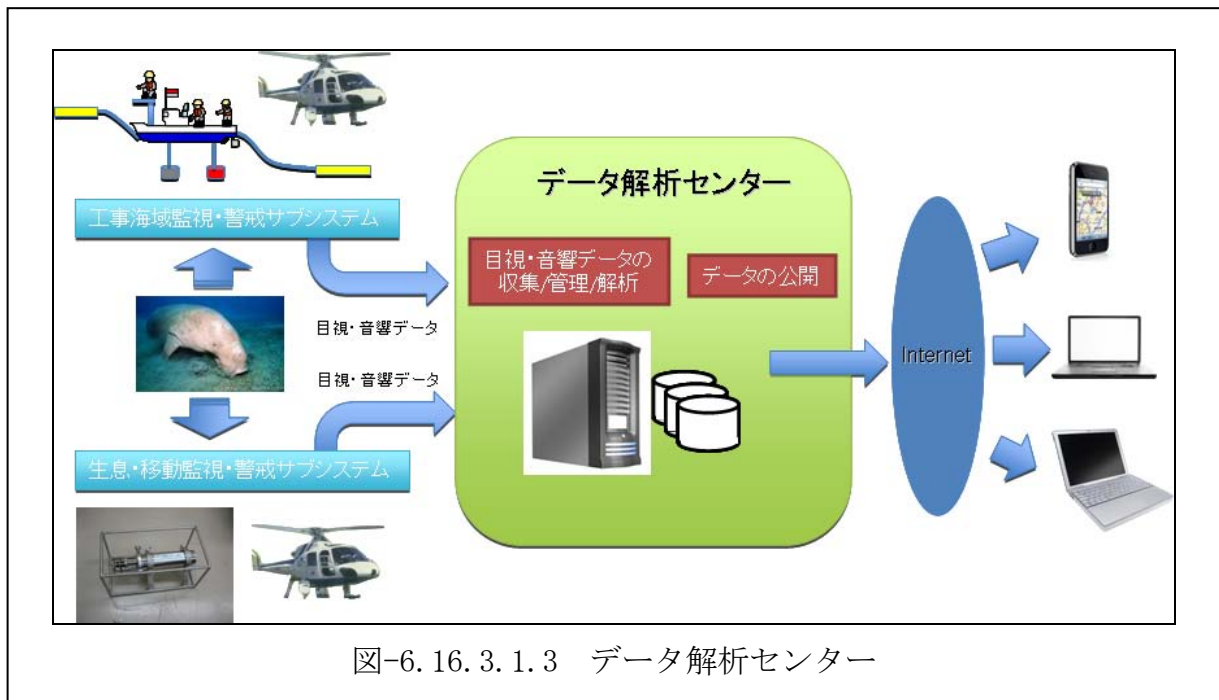


図-6.16.3.1.3 データ解析センター

- ・ 杭打ち工事においては、極力騒音発生が少ない工法を採用します。また、杭打ち工事や捨石投入工事等が同時に行われる工事の前半期においては、個体Aの生息範囲にジュゴンの行動に影響を与える音圧レベルの水中音が及ぶ可能性があるため、最初の杭打ち工事が行われる際に水中音の測定を行い、予測した音圧レベルを検証するとともに、測定結果をもとに、杭打ち工事から発生する水中音を低減する対策を検討します。また、個体Cは、これまでの行動範囲を踏まえると、工事に伴い水中音圧レベルの高くなる大浦湾内に来遊する可能性があります。工事中はジュゴンの生息位置を監視し、ジュゴンが施工区域内で確認された場合は、施工区域から離れたことを確認したのち、工事に着手します。また、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ます。さらに、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。
- ・ 海上工事は、日の出1時間程度後から日没1時間程度前の間に作業を行います。
- ・ 工事の実施後は、ジュゴンのその生息範囲に変化がみられないかを監視し、変化がみられた場合は工事との関連性を検討し、工事による影響と判断された場合は速やかに施工方法の見直し等を行うなどの対策を講じます。
- ・ 環境保全措置が速やかに講じられる監視体制を構築してジュゴン及び海藻草類の事後調査並びに海藻草類の環境監視調査を実施し、調査結果を踏まえて、必要に応じて専門家等の指導・助言を得て、必要な措置を講じます。

## 2) 環境影響の回避・低減の検討

調査及び予測の結果、並びに環境保全措置の検討結果を踏まえると、工事の実施によりジュゴンに及ぼす影響については、事業者の実行可能な範囲内で最大限の回避・低減が図られているものと評価しました。

## (2) 国又は地方公共団体による環境保全の基準又は目標との整合性に係る評価

### 1) 環境保全の基準又は目標

沖縄県環境基本計画の「事業別環境配慮指針」における「飛行場の設置又は変更の事業」での「貴重な動植物の生息・生育環境、優れた景勝地、人が自然と触れ合う重要な場等の貴重な自然や文化財等に影響を及ぼす立地は避けるよう努める。」と記載されていること、「自然性の高い地域にあっては、工事計画、飛行計画の工夫等により、騒音や光等による野生生物への影響の低減に努める。」と記載されていること、「埋立及び干拓の事業」での「水生生物や野鳥等貴重な動植物の生息・生育環境、自然海岸、自然との触れ合いの場、漁業資源等に影響を及ぼすような立地は、避けるように努め、やむを得ない場合は、影響をできるだけ最小化するよう努める。」と記載されていること、また、同基本計画の「圏域別配慮指針」における「沖縄島北部圏域」での「河川改修、堤防や護岸の設置、埋立て等においては、生態系の攪乱、親水性の低下や景観の悪化を生じさせないよう、事業実施の場所、規模、構造、施工方法等について細心の注意を払う。」と記載されていること、「開発等事業においては、生態系の攪乱、赤土等の流出、景観の悪化を起こさないよう、事業実施の場所、規模、工法等について細心の注意を払う。」と記載されています。これらを環境保全の基準又は目標とします。

### 2) 環境保全の基準又は目標との整合性

調査及び予測の結果、並びに環境保全措置の検討結果を踏まえると、工事の実施によりジュゴンに及ぼす影響は、最小限にとどめるよう十分に配慮されているものと考えられることから、環境保全の基準又は目標との整合は図られるものと評価しました。

### 6.16.3.2 施設等の存在及び供用

#### (1) 環境影響の回避・低減に係る評価

##### 1) 環境保全措置の検討

施設等の存在に伴う海草藻場の減少、及び供用時の航空機の運航、船舶の航行及び夜間照明がジュゴンの行動に及ぼす影響を回避・低減するため、以下のとおり環境保全措置を講じることとします。

- ・施設等の存在に伴う海草藻場の減少に対して、ジュゴンへの影響を最大限に低減するために、改変区域周辺の海草藻場の被度が低い状態の箇所や代替施設の設置により形成される静穏域を主に対象として、海草類の移植（種苗など）や生育基盤の改善により海草藻場の拡大を図る保全措置を講じます。
- ・航空機の運航に伴う騒音・低周波音がジュゴンに及ぼす影響を回避・低減するために、供用開始後は事後調査を行い、ジュゴンの生息状況及び藻場の利用状況の変化の有無を確認し、その結果を踏まえて、必要な措置を講じます。
- ・ジュゴンへの光による影響を回避するため、可能な限り海面に向けた照射を避けることを米軍に対してマニュアル等を作成して示すことにより周知します。
- ・付近を航行する船舶に対して、ジュゴンとの衝突を回避するための見張りを励行させるほか、ジュゴンとの衝突を回避できるような速度で航行するよう周知します。

なお、航行船舶がジュゴンとの衝突を回避できる速度については、オーストラリアのモートン湾海洋公園で導入されている船舶の制限速度（8m以上の船の速度を10ノット以下に制限）に関する事例（The State of Queensland, 2010）等を参考にして設定する方針です。また、速度制限の範囲については、現在のジュゴンの生息範囲から考えると代替施設の約5km程度以内とする必要があると考えられます。さらに、付近を航行する船舶に対しては、ジュゴンの生息位置の情報を伝達することにより、ジュゴンとの衝突回避の対策を徹底するとともに、タンカー等の航行においては、航行経路や航行速度の制限について十分に配慮するよう米軍に対してマニュアル等を作成して示すことにより周知します。

- ・施設等の供用後は、ジュゴンの生息範囲について事後調査を実施し、調査結果を踏まえて、必要に応じて専門家等の指導・助言を得て、必要な保全措置を講じます。

(資料)

The State of Queensland (2010). Moreton Bay Marine Park User Guide.



## 2) 環境影響の回避・低減の検討

調査及び予測の結果、並びに環境保全措置の検討結果を踏まえると、施設等の存在及び供用によりジュゴンに及ぼす影響については、事業者の実行可能な範囲内で最大限の回避・低減が図られるものと評価しました。

## (2) 国又は地方公共団体による環境保全の基準又は目標との整合性に係る評価

### 1) 環境保全の基準又は目標

沖縄県環境基本計画の「事業別環境配慮指針」における「飛行場の設置又は変更の事業」での「貴重な動植物の生息・生育環境、優れた景勝地、人が自然と触れ合う重要な場等の貴重な自然や文化財等に影響を及ぼす立地は避けるよう努める。」と記載されていること、「自然性の高い地域にあつては、工事計画、飛行計画の工夫等により、騒音や光等による野生生物への影響の低減に努める。」と記載されていること、「埋立及び干拓の事業」での「水生生物や野鳥等貴重な動植物の生息・生育環境、自然海岸、自然との触れ合いの場、漁業資源等に影響を及ぼすような立地は、避けるように努め、やむを得ない場合は、影響をできるだけ最小化するよう努める。」と記載されていること、また、同基本計画の「圏域別配慮指針」における「沖縄島北部圏域」での「河川改修、堤防や護岸の設置、埋立て等においては、生態系の攪乱、親水性の低下や景観の悪化を生じさせないよう、事業実施の場所、規模、構造、施工方法等について細心の注意を払う。」と記載されていること、「開発等事業においては、生態系の攪乱、赤土等の流出、景観の悪化を起こさないよう、事業実施の場所、規模、工法等について細心の注意を払う。」と記載されています。これらを環境保全の基準又は目標とします。

### 2) 環境保全の基準又は目標との整合性

調査及び予測の結果、並びに環境保全措置の検討結果を踏まえると、施設等の存在及び供用によりジュゴンに及ぼす影響は、最小限にとどめるよう十分に配慮されているものと考えられることから、環境保全の基準又は目標との整合は図られるものと評価しました。