

第4章 事後調査結果及びその検討結果

4.1 海棲哺乳類の生息状況

4.1.1 調査項目

調査項目は、打撃工法による打設工事時における海棲哺乳類の生息状況とした。

4.1.2 調査時期

観測は、以下の日程で実施した。なお、観測期間中の打設工事の日程は表 4-1 のとおりである。

観測機器設置：令和 6 年 4 月 17 日

観測機器回収：令和 6 年 5 月 29 日

表 4-1 観測期間中の打設工事の日程

打設工事の日程	風車番号	打設項目	
		油圧ハンマー	バイプロハンマー
4 月 17 日、20 日	A-6	○	
4 月 19 日	A-6		○
4 月 27 日、5 月 2 日、3 日	A-10		○
4 月 28 日、5 月 3 日、4 日	A-10	○	
5 月 10 日、13 日	A-11		○
5 月 11 日、14 日	A-11	○	

4.1.3 調査地点

調査地点は、打撃工法を実施する A エリアの 1 地点及び比較対照地点 1 地点とした。(図 4-1)

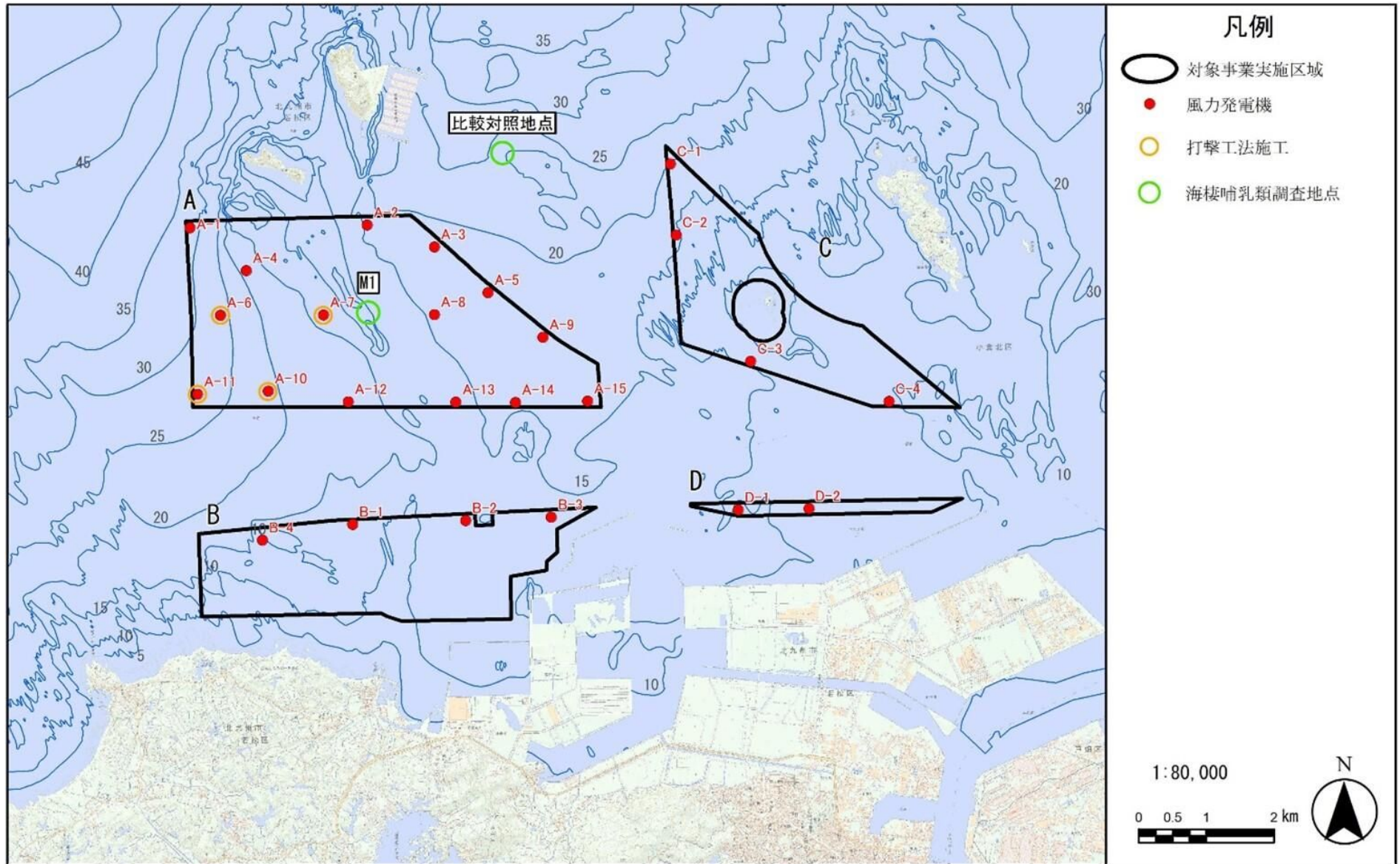


图 4-1 調査地点（海棲哺乳類調査）

4.1.4調査方法

音響観測システム装置（A-tag）を海中に設置し、海棲哺乳類（スナメリ等）が発する超音波音声を観測した。また、併せて水温計を設置した。観測層は水深の1/2以深とした。

音響観測システム装置は写真4-1、水温計は写真4-2のとおりである。また、設置作業状況及び設置状況は、図4-2及び図4-3のとおりである。



写真 4-1 音響観測システム装置（A-tag）



写真 4-2 水温計（Tidvid V2）

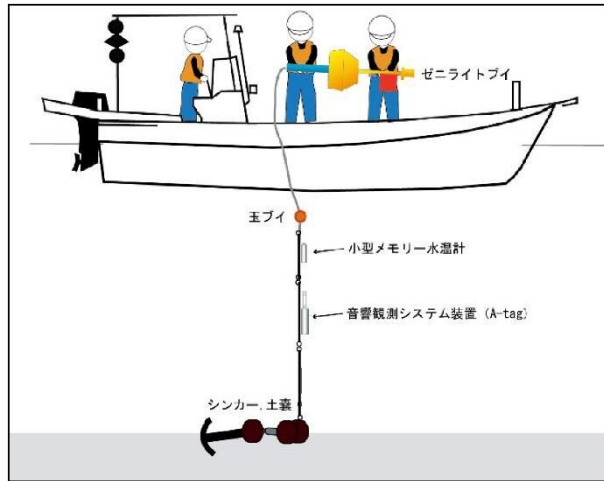


図 4-2 設置作業状況（音響観測システム装置）

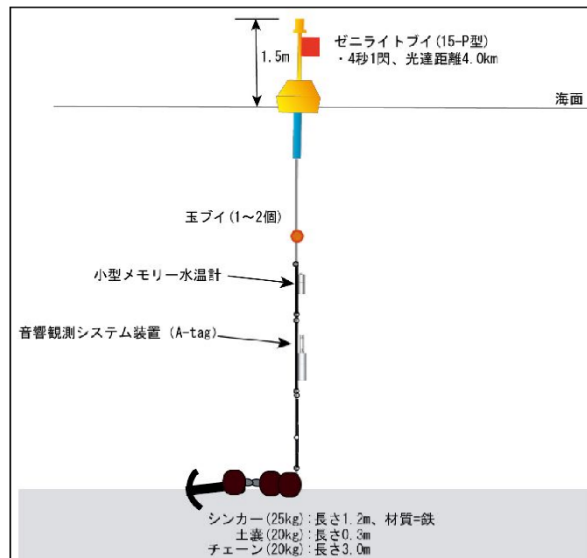


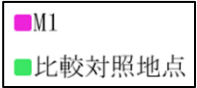
図 4-3 設置状況（音響観測システム装置）

4.1.5 調査結果

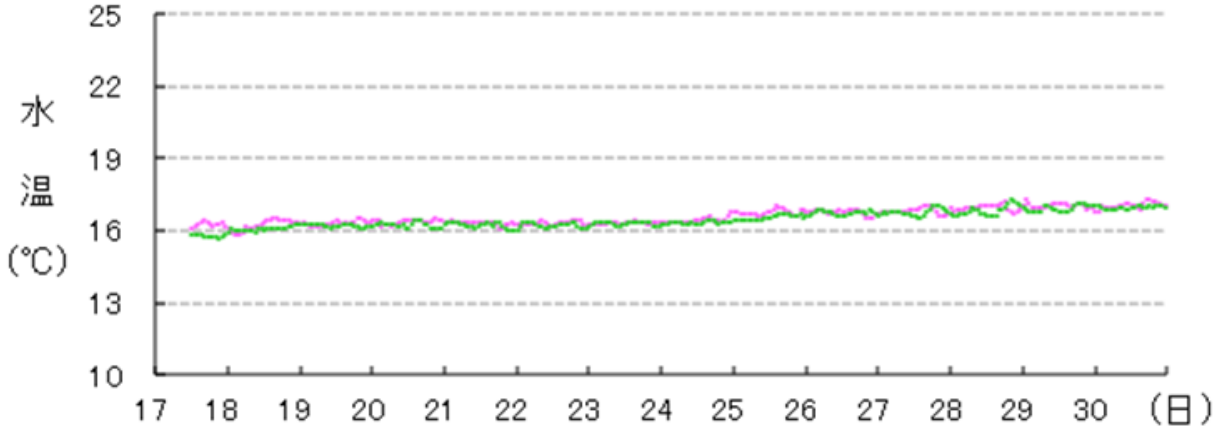
音響観測システム装置（A-tag）の観測時間は表 4-2、水温の経時変化は図 4-4 のとおりである。水温は観測期間を通して約 16～19℃であり、地点間の差は小さい結果であった。

表 4-2 音響観測システム装置（A-tag）観測時間

調査地点	M1	比較対照地点
観測開始	4月17日 12:00	4月17日 12:00
観測終了	5月18日 10:32	5月18日 5:59
総観測時間	743 時間	738 時間



4月



5月

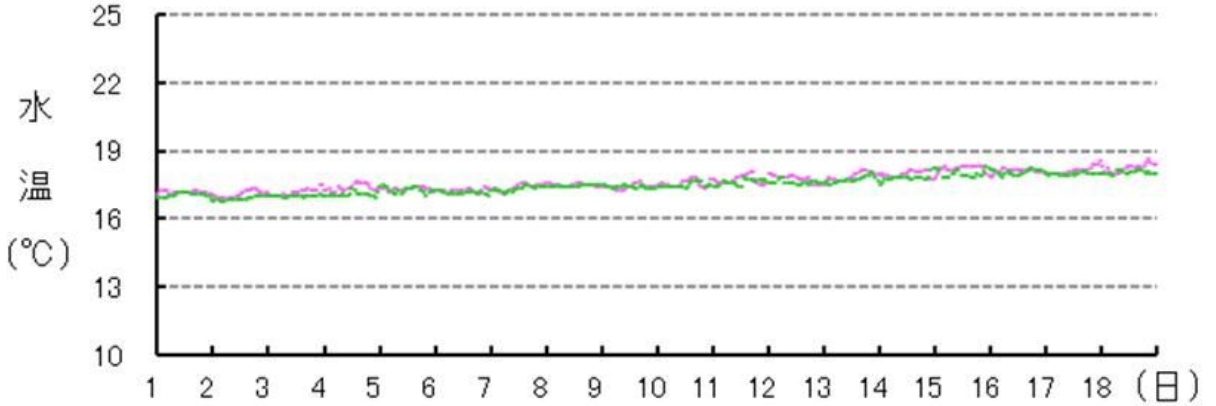


図4-4 水温の経時変化

4.1.6解析

1. 解析手法

A-tag はパルス情報の記録装置であり、到達する音圧と2つのマイクロホン間における音の到達時間差を計測して、これらの数値を記録する。当該装置は特性の異なる2つの水中マイクロホン(130kHz と 70kHz)を装備している。この受信強度比がほぼ 0.85 以上の場合、高周波側の 130kHz の成分が大きい。こうした特性のソナー音を発するのは日本周辺水域ではネズミイルカ科のみで、当該海域に出現する可能性があるのはスナメリだけと考えられる。マイルカ科のソナー音は、受信強度比がほぼ 0.85 以下となる。この特性を利用して、マイルカ科とネズミイルカ科を区別することができる。¹

当該装置の記録に混入した雑音は、専用ソフトウェアを用いて背景雑音を低減し、生物ソナー音を抽出した。第一段階では、検出音圧の閾値を設定し、水面反射と単発パルス、相対方位が計測されなかったパルスを削減した。生物ソナー音のパルス間隔、相対方位はゆるやかに変化するが、波や気泡による雑音及びエビ類の破裂音の間隔は不規則である。隣接したパルス間隔が 33~300%以内で変化したものを規則的と定義し、それ以外の大きな変化率を示したパルス間隔の音は削除した。

第二段階では、二つの基準を利用して生物ソナー音に類似した音を排除し、典型的な小型鯨類のソナー音を選別した。まず、あるパルスから 200 ミリ秒を超えた間隔をパルス列の切れ目と定義した (Akamatsu et al. 2007)。専用ソフトウェアを用いた二段階の自動選別を採用したが、最終選別検査として、経験を積んだ解析者が各パルス列を視覚的に確認し、背景雑音の可能性のあるものを排除した。

検出された具体的な例を図 4-5 に示す。図の上段は、相対音圧 (赤 Pa に比例)、音源方位を示す 2 つのマイクロホンへの音の到達時間差 (黒 単位 271ns)、パルス間隔 (青 ms) である。小型鯨類のソナー音の特徴である①音源方位 (中段黒) が短時間では一定の方向から到来すること、②パルス間隔 (下段青) が数十ミリ秒でなめらかに変化していることがわかる。図 4-5 に示した一部拡大図をみると、この特徴がより明瞭に認められる。

¹ 「洋上風力発電が海洋生態系に及ぼす影響の評価手法：小型鯨類の音響調査について」(Journal of Advanced Science and Technology Societ, Vol.21, No.2, pp.31-35, 2015、木村里子、赤松友成、村元宏行)

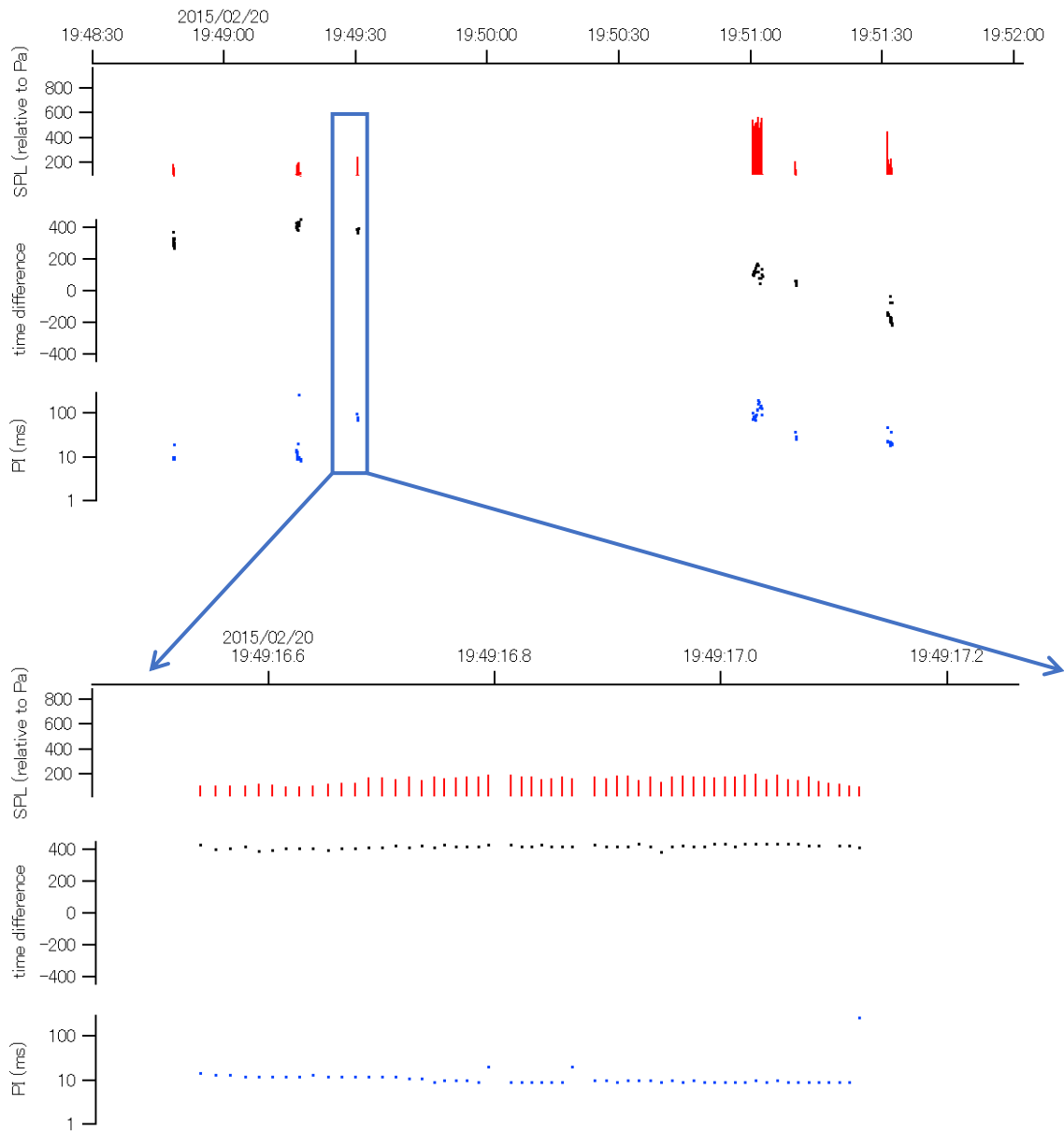
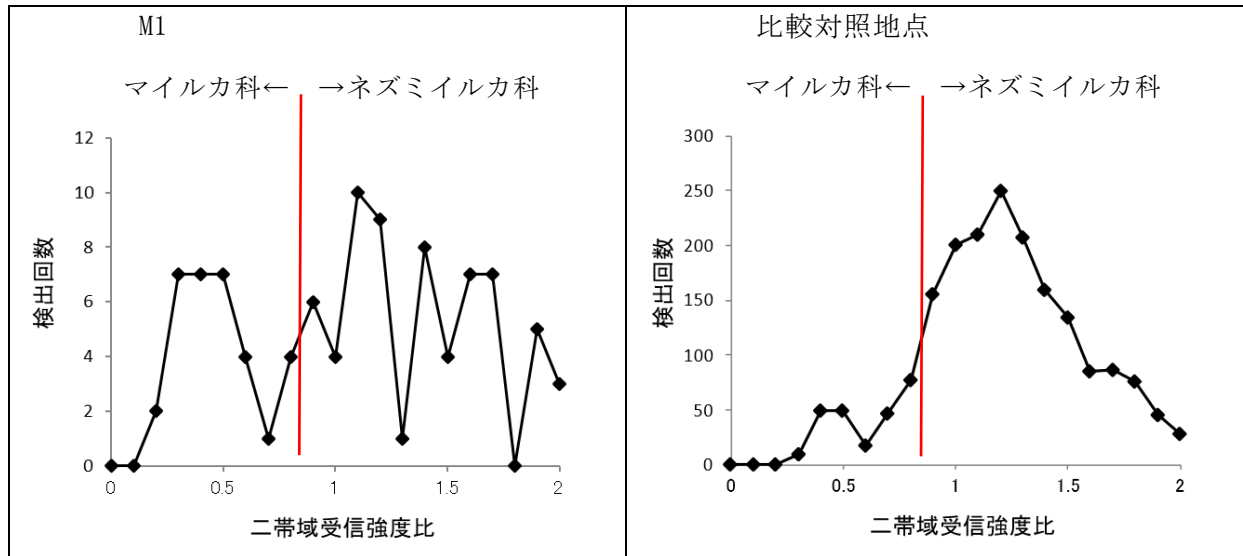


図 4-5 生物ソナー音検出例

2. 解析結果

(1) 種構成

2つの特性の異なる水中マイクロホン(130kHz と 70kHz)の受信強度比がほぼ 0.85 以上の場合はネズミイルカ科、ほぼ 0.85 以下の場合はマイルカ科と考えることができる。各地点の出現種は図 4-6 のとおりであり、定点 M1 及び比較対照地点ともネズミイルカ科の検出が多かったが、マイルカ科の検出も認められた。ネズミイルカ科の候補としては当該海域で生息が確認されているスナメリと考えられる。マイルカ科の候補としてはカマイルカやハンドウイルカが挙げられるが、ほかのマイルカ科の可能性も考えられる。



注：縦軸の目盛が一桁以上異なっていることに注意。

図 4-6 各地点の出現種

(2) 滞在期間

全観測期間を1時間ごとに区切り、一回以上鳴音（パルス列）が観察された時間を1、ひとつも鳴音（パルス列）が観察されなかった時間を0として表示した。各地点の滞在期間は図4-7のとおりであり、定点M1では4月中旬から5月上旬にかけて出現が多く、比較対照地点では観測期間を通じてほぼ毎日出現があった。

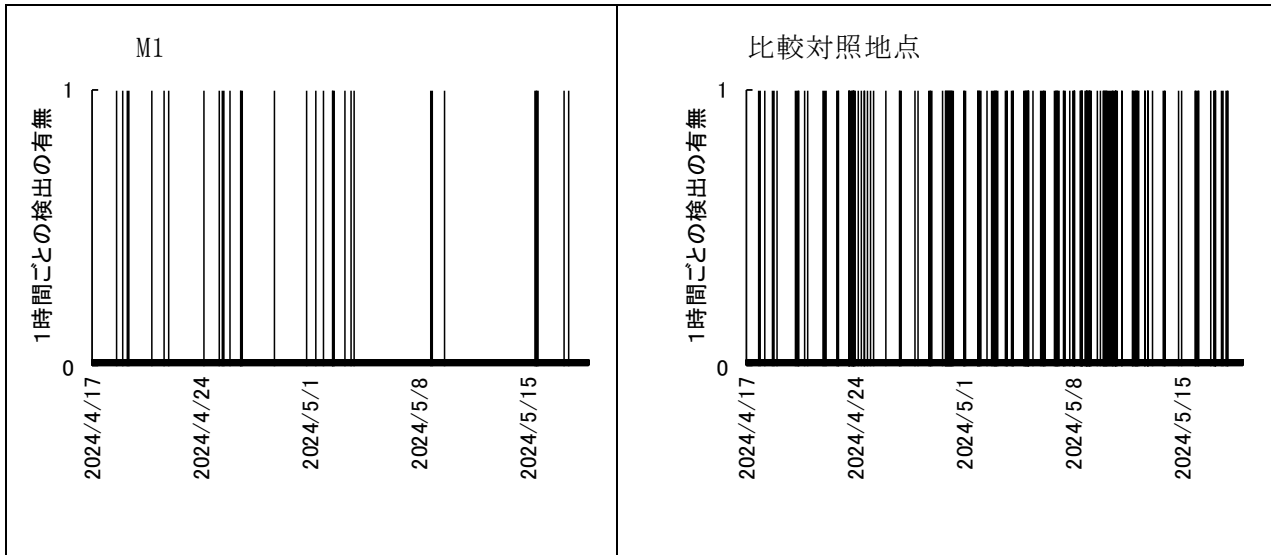


図 4-7 各地点の滞在期間

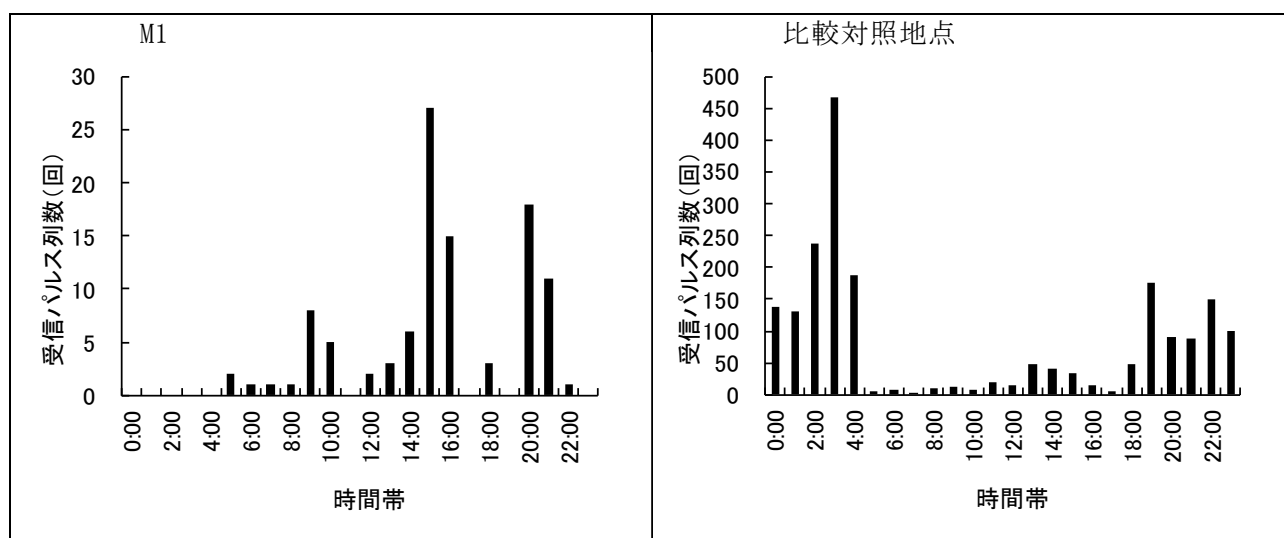
(3) 日周性

全観測時間での検出パルス列数を一日の時間ごとに積算し、イルカ類が音響探索に用いるひとつかたまりのパルス列を一回の鳴音として計数した。

各地点の出現時間帯は表4-3及び図4-8のとおりであり、定点M1において概ね各時間帯で数回から数十回の鳴音数（受信パルス列数）が検出された。また日中の検出が多く、夜半から早朝にかけての検出は少なかった。比較対照地点では極めて多くの鳴音数（受信パルス列数）が検出された。夜間の検出が多く、明瞭な日周変動が認められた。とくに夜半から早朝にかけての検出が多かった。定点M1と比較して、時間的に正反対の検出傾向であった。

表 4-3 各地点の出現時間帯における鳴音数（受信パルス列数）

時間帯	調査地点	
	M1	比較対照地点
0:00～1:00	0回	138回
1:00～2:00	0回	131回
2:00～3:00	0回	237回
3:00～4:00	0回	466回
4:00～5:00	0回	188回
5:00～6:00	2回	6回
6:00～7:00	1回	7回
7:00～8:00	1回	2回
8:00～9:00	1回	10回
9:00～10:00	8回	13回
10:00～11:00	5回	9回
11:00～12:00	0回	19回
12:00～13:00	2回	16回
13:00～14:00	3回	49回
14:00～15:00	6回	40回
15:00～16:00	27回	33回
16:00～17:00	15回	15回
17:00～18:00	0回	6回
18:00～19:00	3回	49回
19:00～20:00	0回	176回
20:00～21:00	18回	90回
21:00～22:00	11回	88回
22:00～23:00	1回	149回
23:00～0:00	0回	101回
合計	104回	2,038回



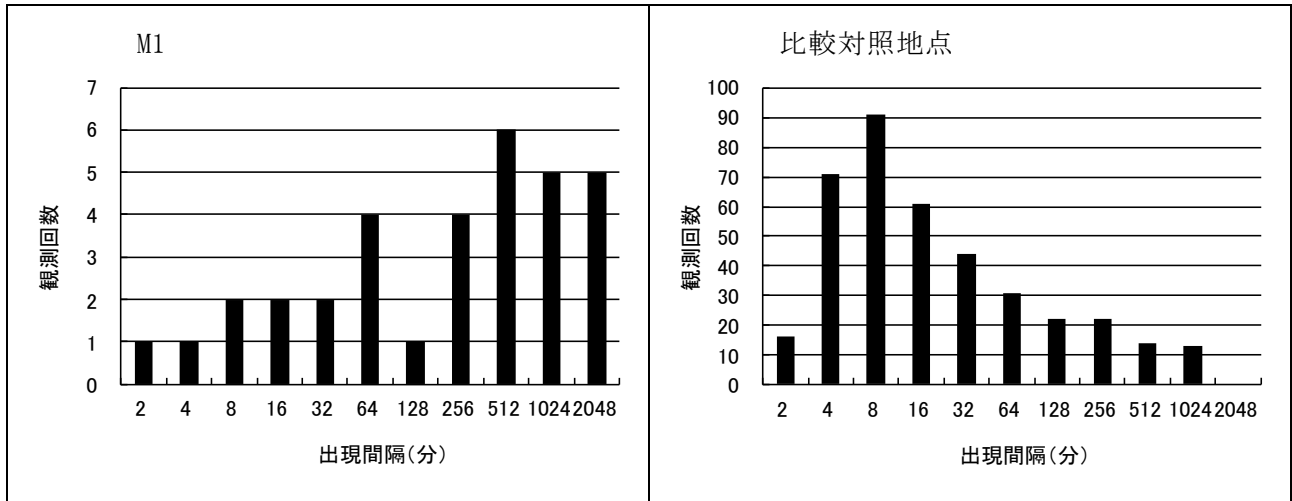
注：縦軸の目盛が一桁以上異なっていることに注意。

図 4-8 各地点の出現時間帯

(4) 出現間隔

鳴音（パルス列）の受信間隔は、小型鯨類の調査海域の利用頻度を示す指標になる。

各地点の出現間隔は図 4-9 のとおりであり、M1 と比較対照地点における出現間隔分布は逆の傾向を示した。M1 では長い出現間隔が多く、定点周辺への来遊は頻繁ではなかった。一方、比較対照地点においては数分程度の再来頻度が多く、頻繁に観測機器周辺を小型鯨類が遊弋していたと考えられる。



注：縦軸の目盛が一桁以上異なっていることに注意。

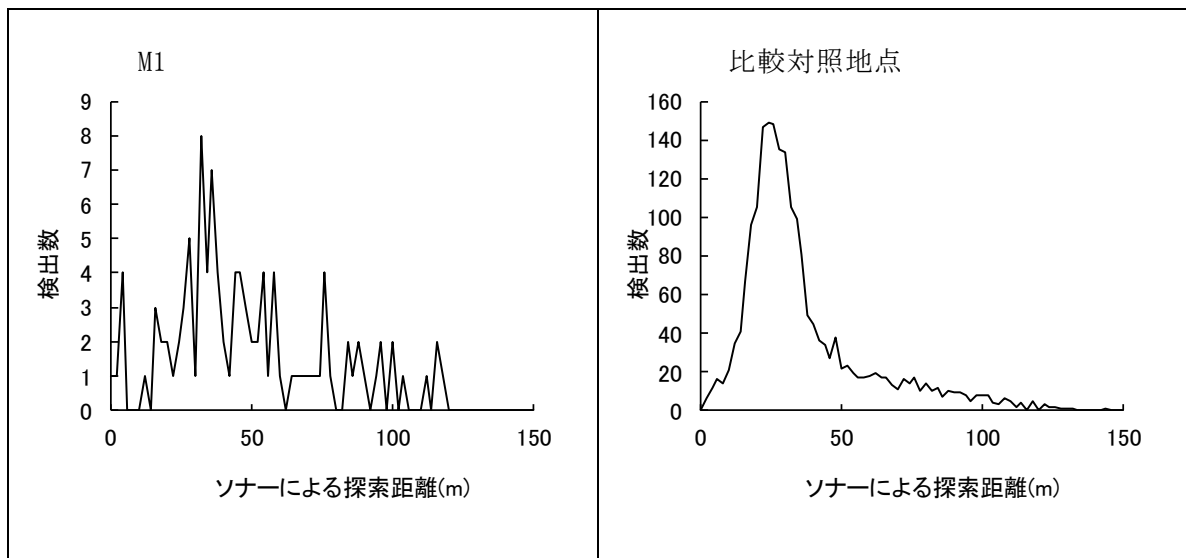
図 4-9 各地点の出現間隔

(5) 音響探索距離

小型鯨類の音響探索距離は、鳴音（パルス列）の発射間隔から推定される。小型鯨類の探索音は発射間隔が長いほど遠距離を探索していることが知られているが、ここで示した探索距離は、各探索行動において見積もられる平均距離であり、小型鯨類はこれより短い距離を探索していることもありうる。摂餌指標となる近距離ソナーは探索距離 7.5m 以下と考えられている。

各地点の音響探索距離は図 4-10 のとおりであり、小型鯨類のソナーによる音響探索距離（鳴音毎の平均値）は、定点 M1 では短距離から 50m を越える範囲まで広く分布していた。一方、比較対照地点はほとんどが 50m 以下の探索を行っていた。

比較対照地点での近距離ソナーが多い理由の一つとして摂餌が挙げられるが、摂餌指標となる探索距離 7.5m 以下の近距離ソナーは多くなかった。春季はスナメリの繁殖期であり、群れ行動を行っている場合も周辺の他個体の確認のため近距離ソナーを用いることがある。頻繁に多くの個体が来遊していたことを考えると、ここで示された近距離ソナーは摂餌以外の別の目的で使用されていた可能性がある。



注：縦軸の目盛が一桁以上異なっていることに注意。

図 4-10 各地点の音響探索距離

3. 連続観測結果

各調査地点の鳴音数（受信パルス列数）の変化は図 4-11、工事の打設実施状況は以下のとおりであり、風車 A-6、A-10 及び A-11 の打設実施時期を図 4-11 に重ね合わせた。

- ・風車 A-7
（油圧ハンマー）2024 年 4 月 2 日、5 日、6 日、8 日、10 日
（バイブロハンマー）2024 年 4 月 2 日、8 日
- ・風車 A-6
（油圧ハンマー）2024 年 4 月 17 日、20 日
（バイブロハンマー）2024 年 4 月 19 日
- ・風車 A-10
（油圧ハンマー）2024 年 4 月 28 日、5 月 3 日、4 日
（バイブロハンマー）2024 年 4 月 27 日、5 月 2 日、3 日
- ・風車 A-11
（油圧ハンマー）2024 年 5 月 11 日、14 日
（バイブロハンマー）2024 年 5 月 10 日、13 日

M1 は、期間を通して鳴音数（受信パルス列数）が少なく、10 回を超えたのは 4 月 25 日及び 5 月 15 日の 2 日間のみであった。比較対照地点は、4 月下旬から増減を繰り返しながらも鳴音数（受信パルス列数）が増加する傾向が見られた。5 月 11～16 日にかけて一時的に少なくなる傾向が見られたが、5 月 17 日には調査期間中で最多となる 230 回以上の鳴音数（受信パルス列数）が確認された。

昼間と夜間に分けて鳴音数（受信パルス列数）を集計した結果は図 4-12 のとおりである。M1 は昼間も夜間も鳴音の確認は少なかった。一方、比較対照地点は、昼間より夜間の方が多い傾向が見られた。

また、1 時間毎の鳴音数（受信パルス列数）の変化は図 4-13 のとおりである。M1 では打設時間中における鳴音は確認されていないが、比較対照地点においては、バイブロの打設時間中に鳴音の確認された。なお、打設終了から鳴音の確認されるまでの間隔は、1～13 時間程度と幅広い傾向であった。

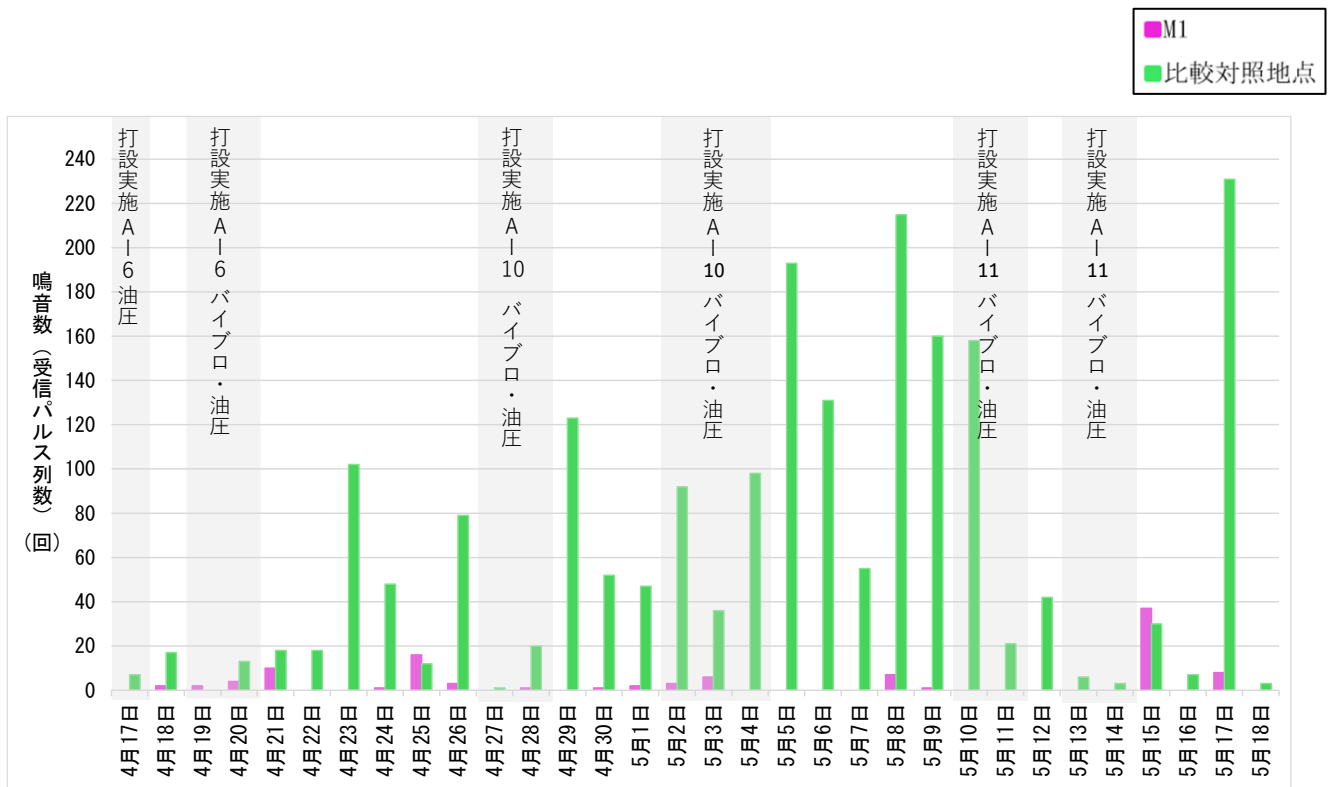


図 4-11 地点別の鳴音数（受信パルス列数）の変化

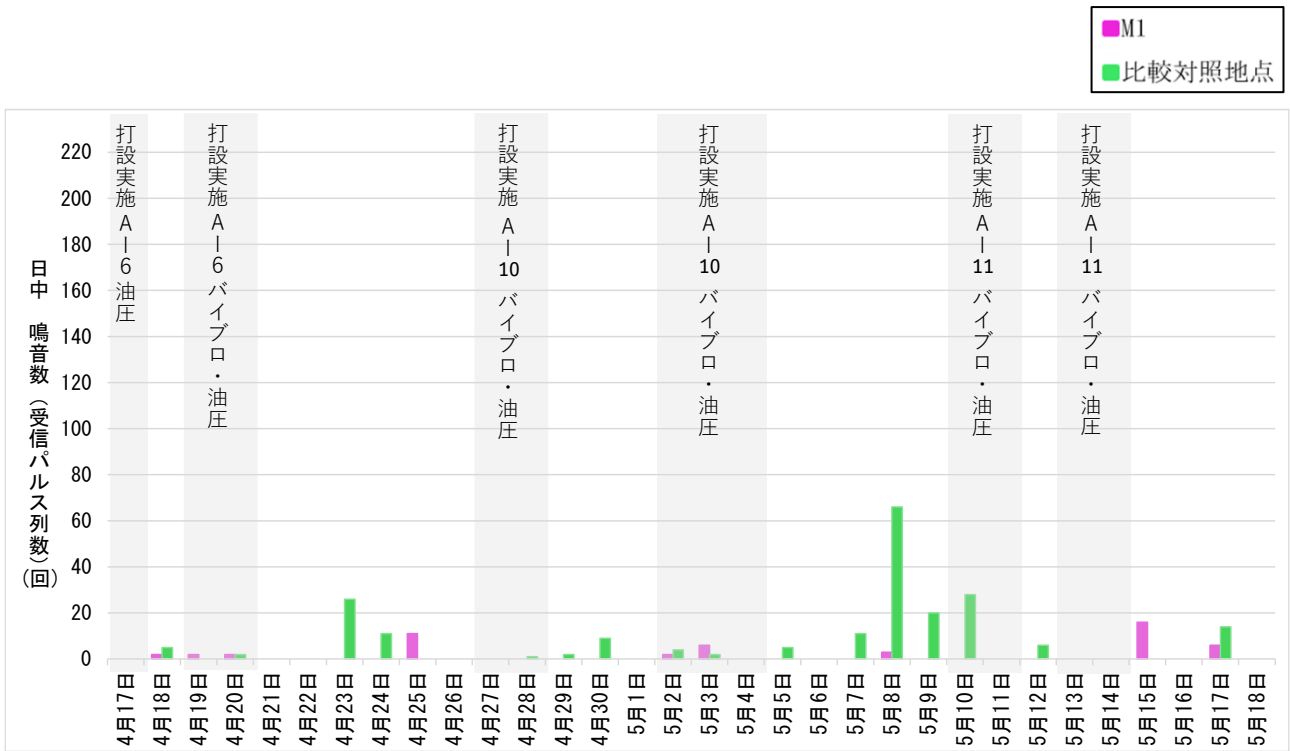


図 4-12(1) 地点別の鳴音数（受信パルス列数）の変化（昼間 7:00~18:00）

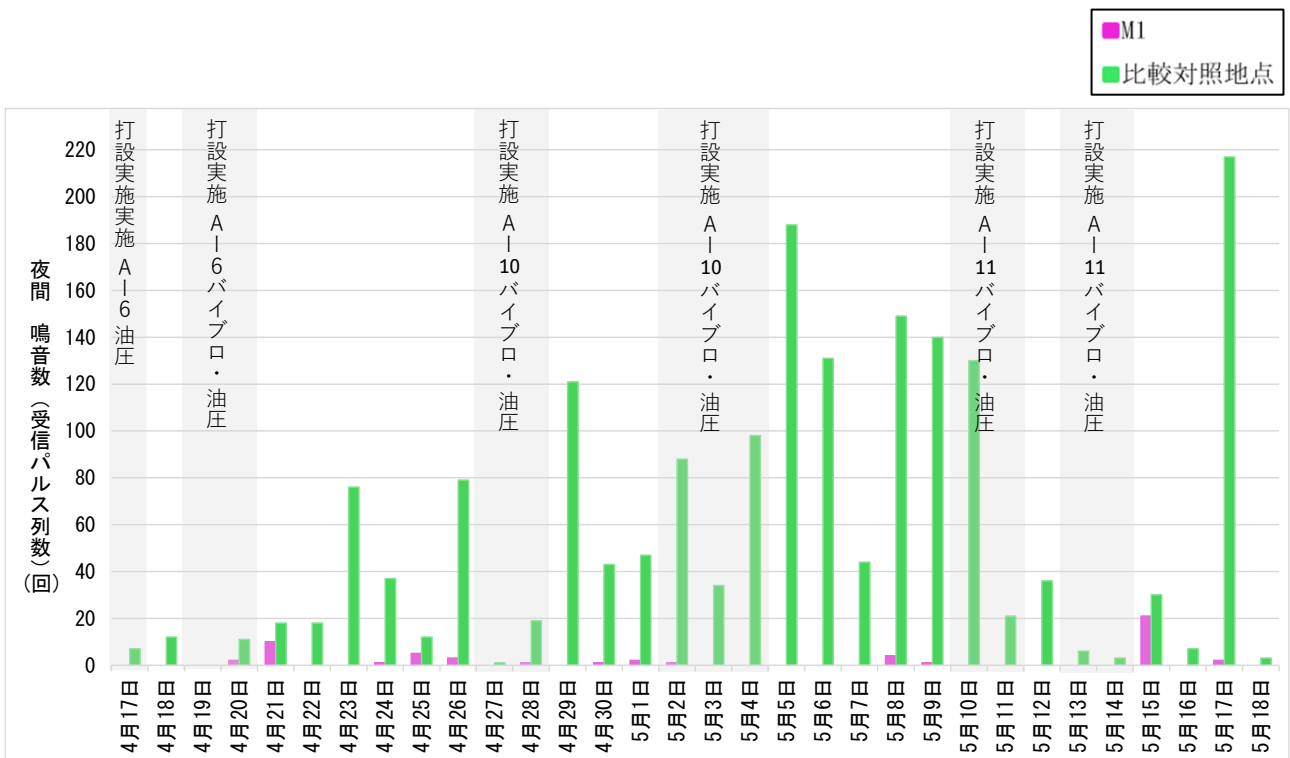


図 4-12(2) 地点別の鳴音数（受信パルス列数）の変化（夜間 18:00~7:00）

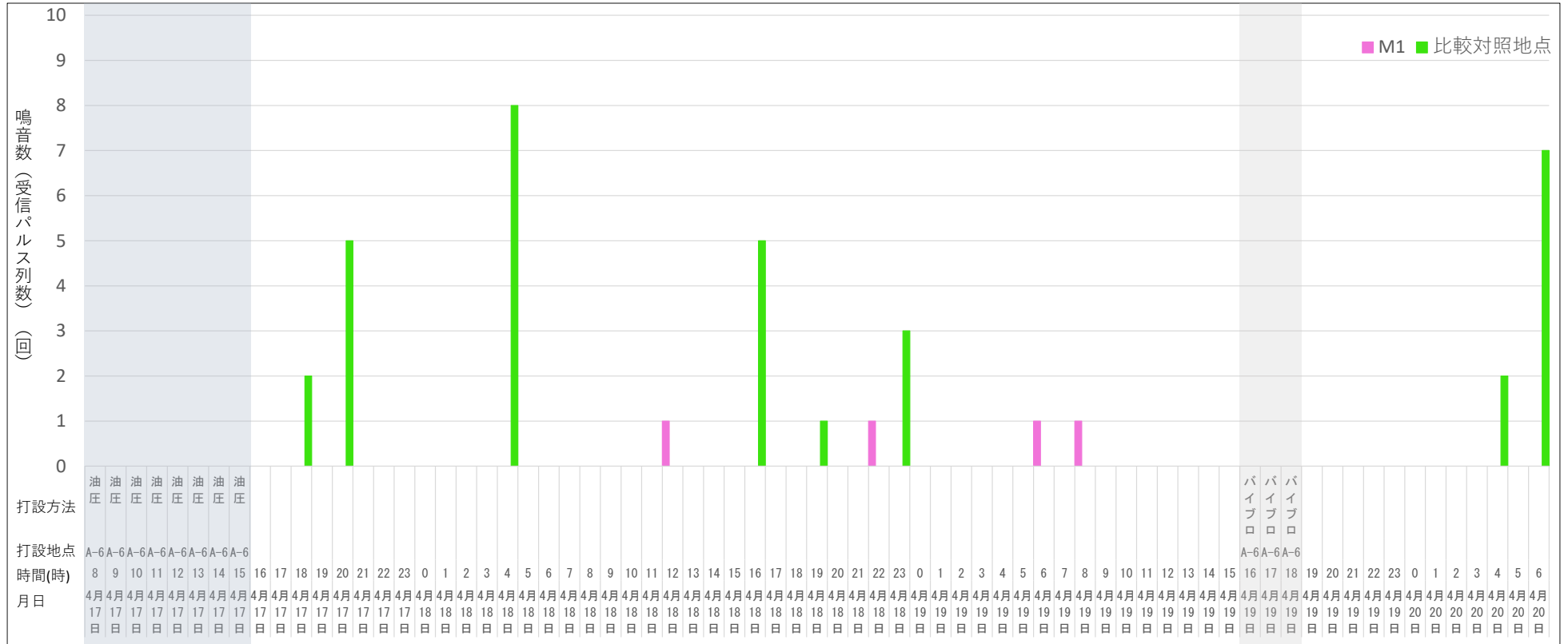


図 4-13(1) 1時間毎の鳴音数（受信パルス列数）の変化

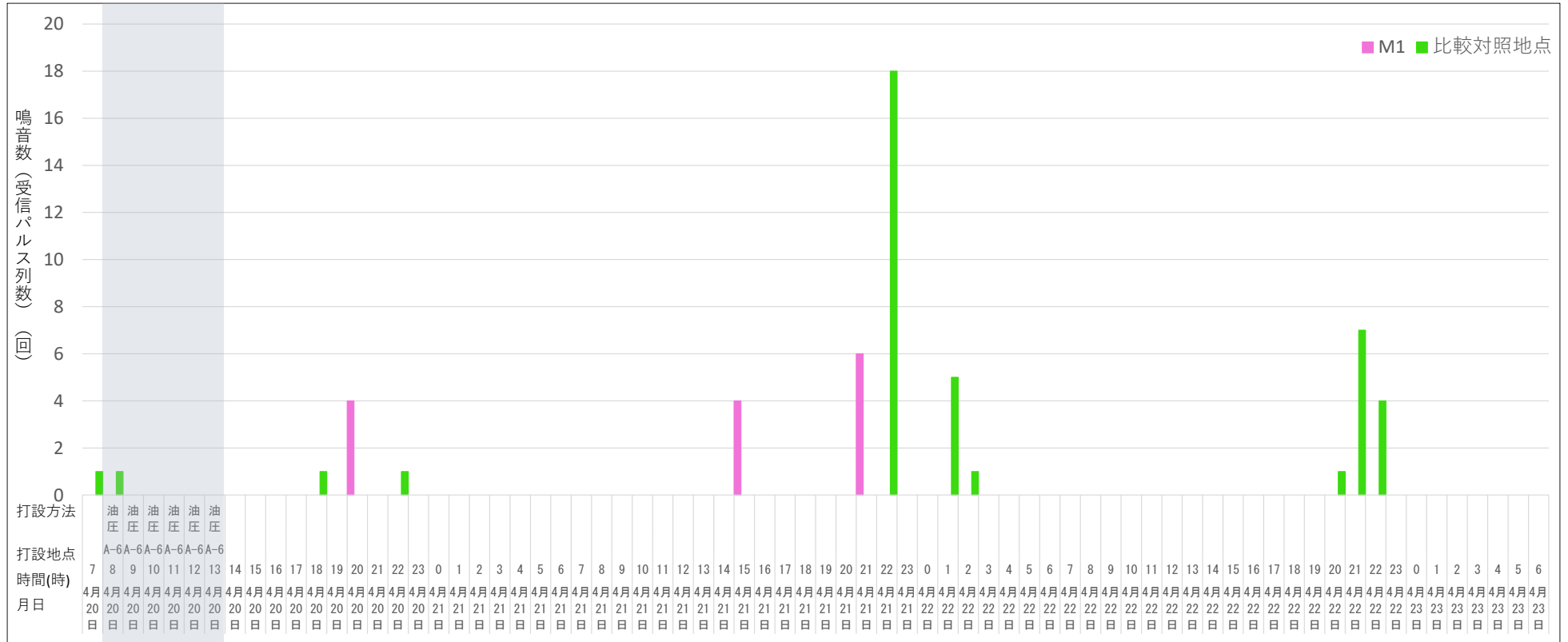


図 4-13(2) 1時間毎の鳴音数（受信パルス列数）の変化

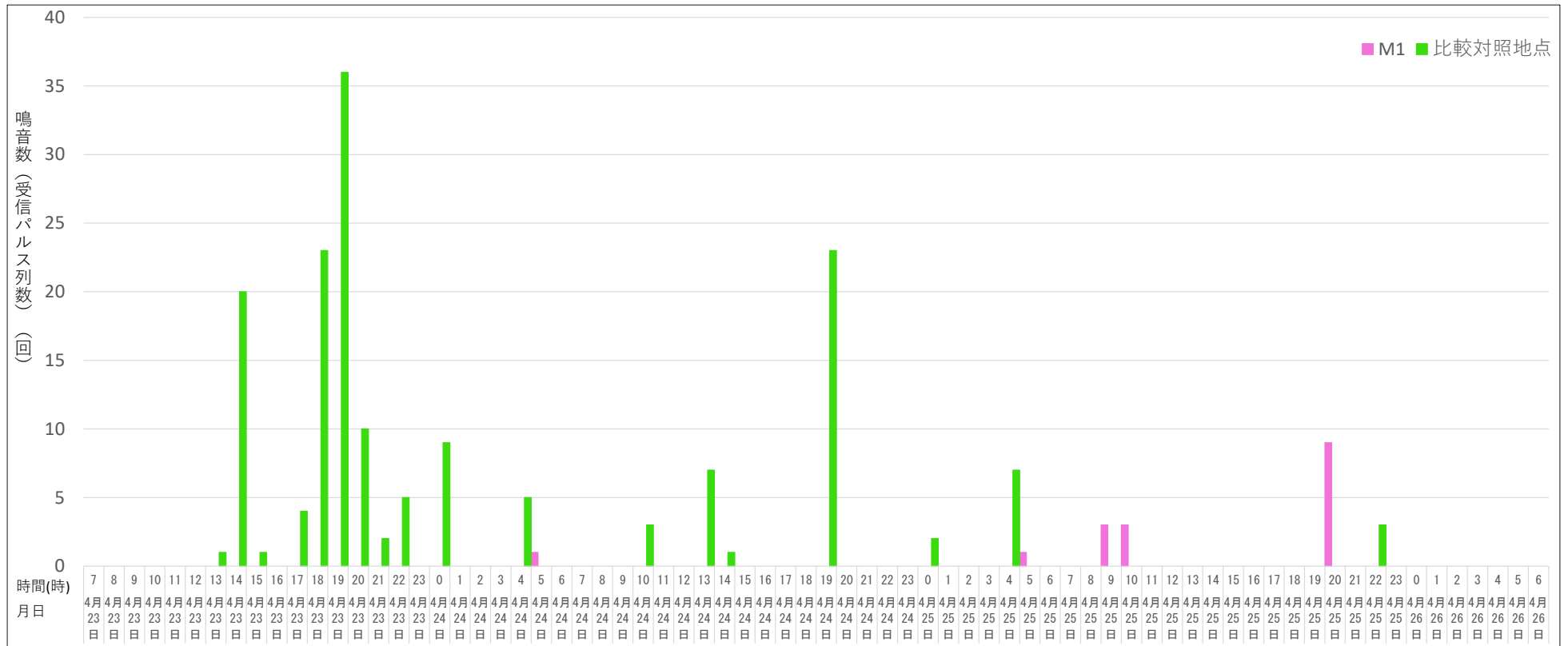


図 4-13(3) 1 時間毎の鳴音数 (受信パルス列数) の変化

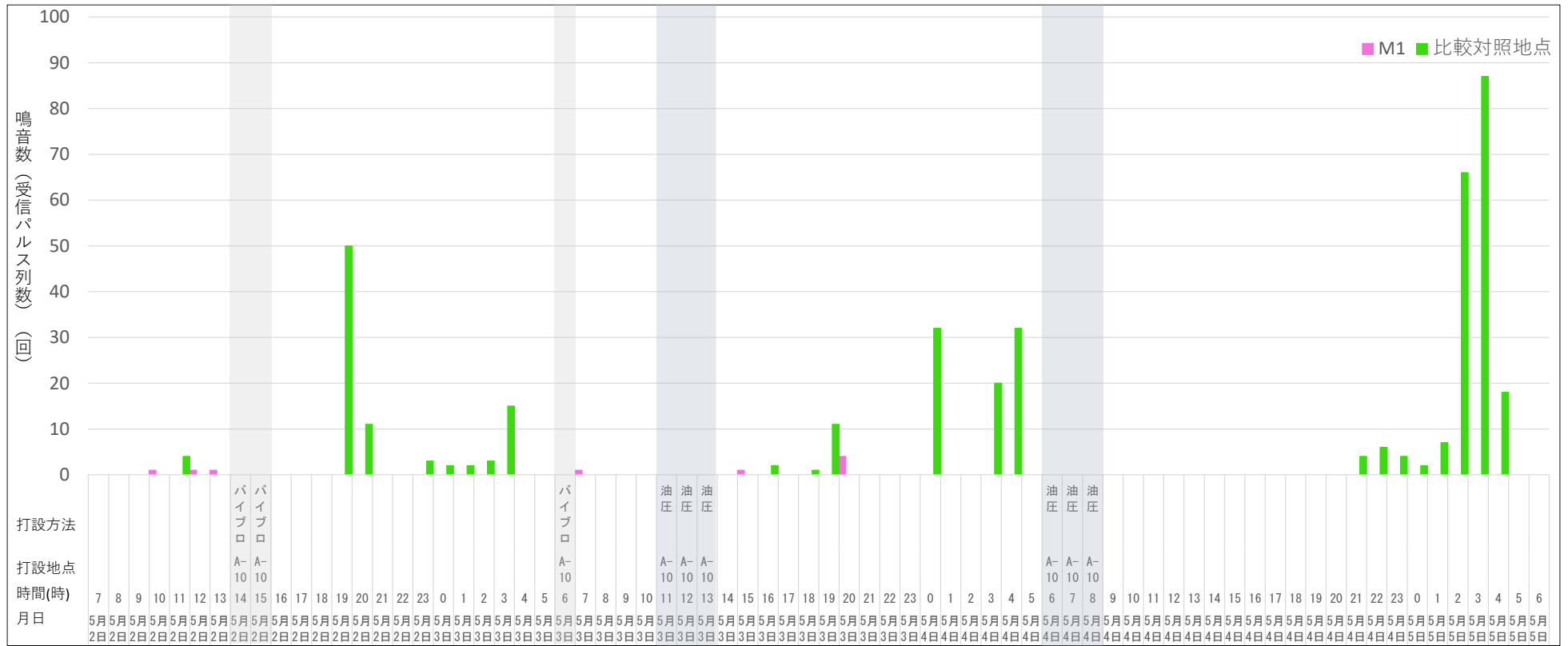


図 4-13(6) 1時間毎の鳴音数(受信パルス列数)の変化

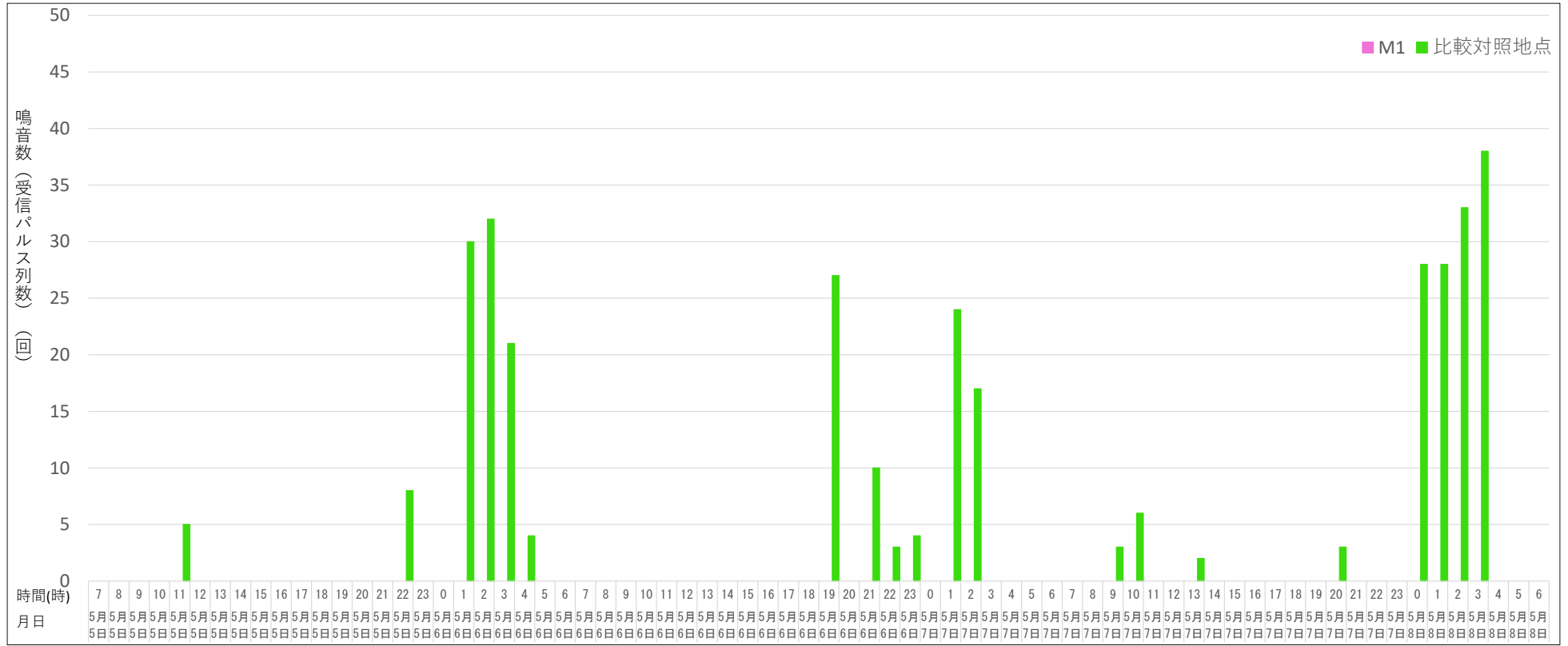


図 4-13(7) 1時間毎の鳴音数（受信パルス列数）の変化

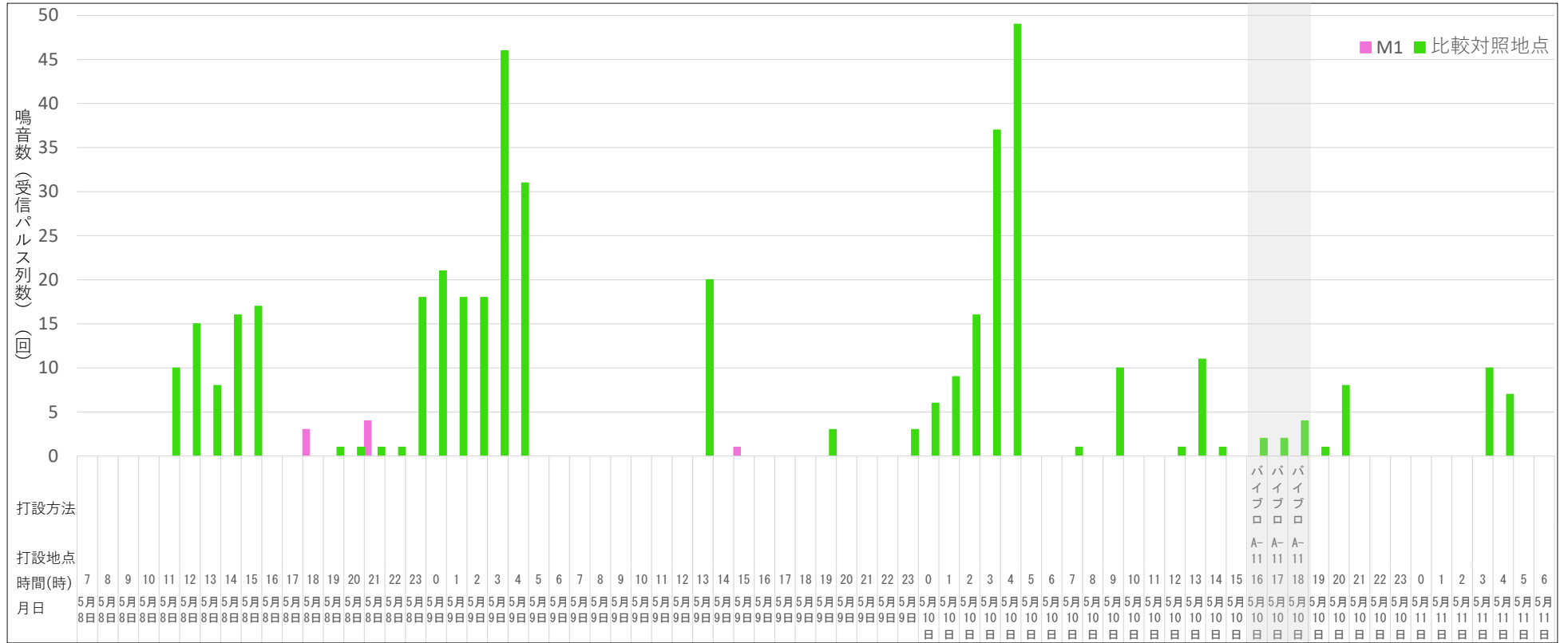


図 4-13(8) 1 時間毎の鳴音数 (受信パルス列数) の変化

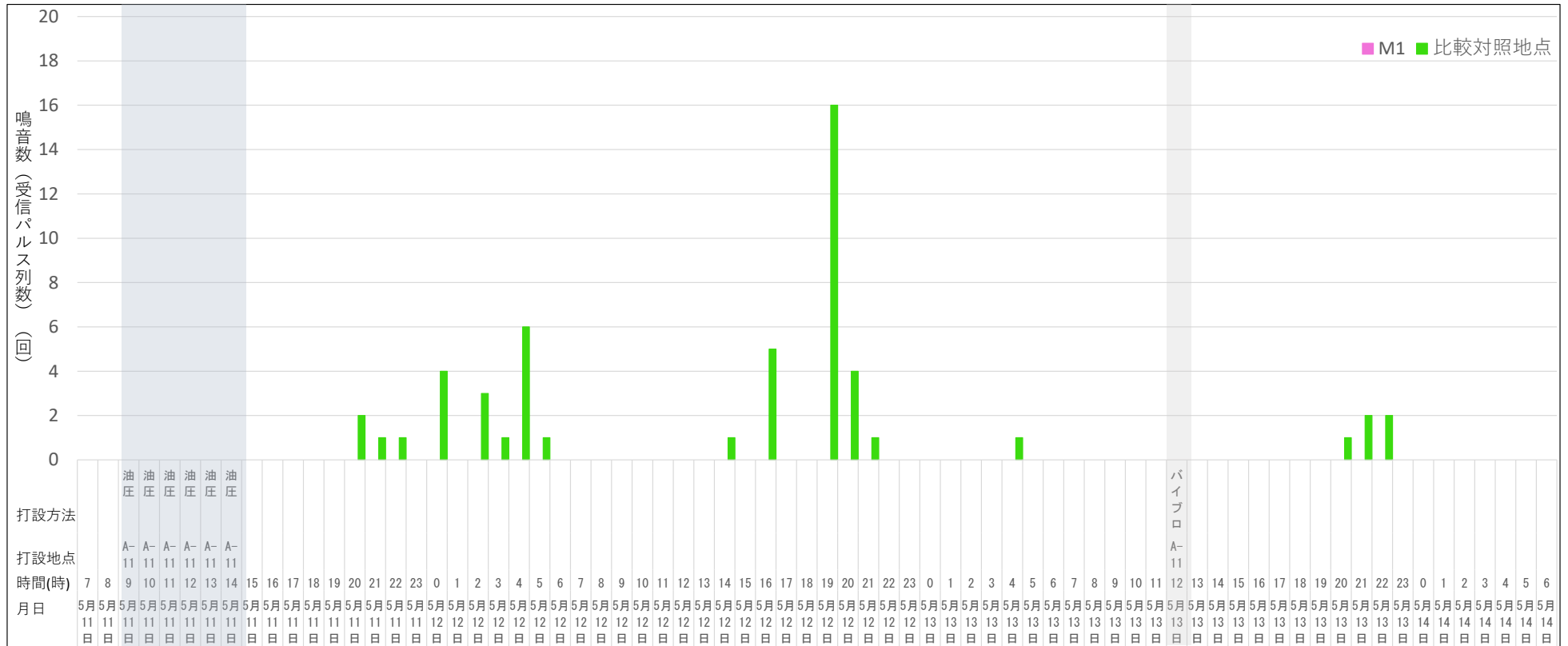


図 4-13(9) 1 時間毎の鳴音数(受信パルス列数)の変化

4.1.7 事後調査結果の検討

1. 検討方法

海棲哺乳類の鳴音（パルス列数）について、環境影響評価書に記載した現地調査結果等と事後調査結果を比較し、生息状況の変化について検証を行った。

また、工事の実施による影響を判別するため、比較対照地点で得られた結果も含めて検証した。なお、風力発電機の稼働後においても事後調査を実施する。

2. 検討結果

事前の環境影響評価時の春季 M1（平成 30（2018）年 4 月・5 月）調査結果（以降、事前 M1 で記載）と事後の工事中の M1 及び比較対照地点（令和 6（2024）年 4 月・5 月）（以降、事後 M1 及び事後比較対照地点で記載）の鳴音数（受信パルス列数）の比較は、表 4-4 及び図 4-14～図 4-16 のとおりである。

4 月 17 日～5 月 18 日までの鳴音数（受信パルス列数）は、事前 M1 では 4,112 回、事後 M1 では 104 回、事後比較対照地点では 2,038 回であった。事前 M1 では鳴音数（受信パルス列数）が多く確認された。事後 M1 では事前 M1 より大幅に減少した一方、比較対照地点では事前 M1 の約半数が確認された。事前 M1 と事後 M1 を昼夜別で比較すると、夜間は事前 M1 が 1,989 回、事後 M1 が 36 回と事後 M1 の方が少なく、昼間は事前 M1 が 2,123 回、事後 M1 が 68 回といずれも事後の方が回数が少なかった。一方、比較対照地点では、夜間は 1,826 回、昼間は 212 回であった。夜間の事前 M1（1,989 回）と事後の比較対照地点（1,826 回）の鳴音数が同程度であることから、工事を実施した昼間にはスナメリが M1 を避けて工事の影響を受けない比較対照地点に移動していることが示唆された。

次に、時間別のグラフは図 4-15～図 4-16 のとおりであり、事前 M1 は 4 月中旬から下旬にかけて昼間に確認が多く、事後 M1 は 5 月 15 日の 13 時台から 16 時台にかけて確認された 37 回を除くと、4 月下旬から 5 月上旬にかけて夜間に確認が多かった。比較対照地点は、4 月下旬から 5 月上旬にかけて夜間に確認が多かった。

事前事後の出現間隔は図 4-17 のとおりであり、事前 M1 は出現間隔が短く、確認も多かったが、事後 M1 は長い出現間隔が多く、比較対照地点においては数分程度の再来頻度が多かった。

事前事後の音響探索距離は図 4-18 のとおりであり、事前 M1 のソナーによる探索距離は短いものが多く確認も多かったが、事後 M1 は短距離から 50m を越える範囲まで広く分布している一方、事後比較対照地点はほとんどが 50m 以下の探索を行っていた。事後比較対照地点での近距離ソナーが多い理由のひとつとして摂餌が挙げられるが、摂餌指標となる探索距離 7.5m 以下の近距離ソナーは多くなく、繁殖期に該当する春季という時期を考慮すると、摂餌以外の目的で使用されていた可能性が考えられる。

表 4-4 事前事後の鳴音数（受信パルス列数）の比較（日別）

（単位：回）

調査日	事前 M1 (平成 30(2018)年 4 月・5 月)	事後 M1 (令和 6(2024)年 4 月・5 月)	比較対照地点 (令和 6(2024)年 4 月・5 月)
4 月 17 日	238		7
4 月 18 日	313	2	17
4 月 19 日	284	2	
4 月 20 日	18	4	13
4 月 21 日	210	10	18
4 月 22 日	142		18
4 月 23 日	192		102
4 月 24 日	136	1	48
4 月 25 日	255	16	12
4 月 26 日	56	3	79
4 月 27 日	9		1
4 月 28 日	181	1	20
4 月 29 日	164		123
4 月 30 日	116	1	52
5 月 1 日	94	2	47
5 月 2 日	204	3	92
5 月 3 日	35	6	36
5 月 4 日	23		98
5 月 5 日	153		193
5 月 6 日	67		131
5 月 7 日	97		55
5 月 8 日	61	7	215
5 月 9 日	50	1	160
5 月 10 日	263		158
5 月 11 日	295		21
5 月 12 日			42
5 月 13 日	19		6
5 月 14 日	253		3
5 月 15 日	48	37	30
5 月 16 日	42		7
5 月 17 日	63	8	231
5 月 18 日	60		3
合計	4, 112	104	2, 038
昼間	2, 123	68	212
夜間	1, 989	36	1, 826

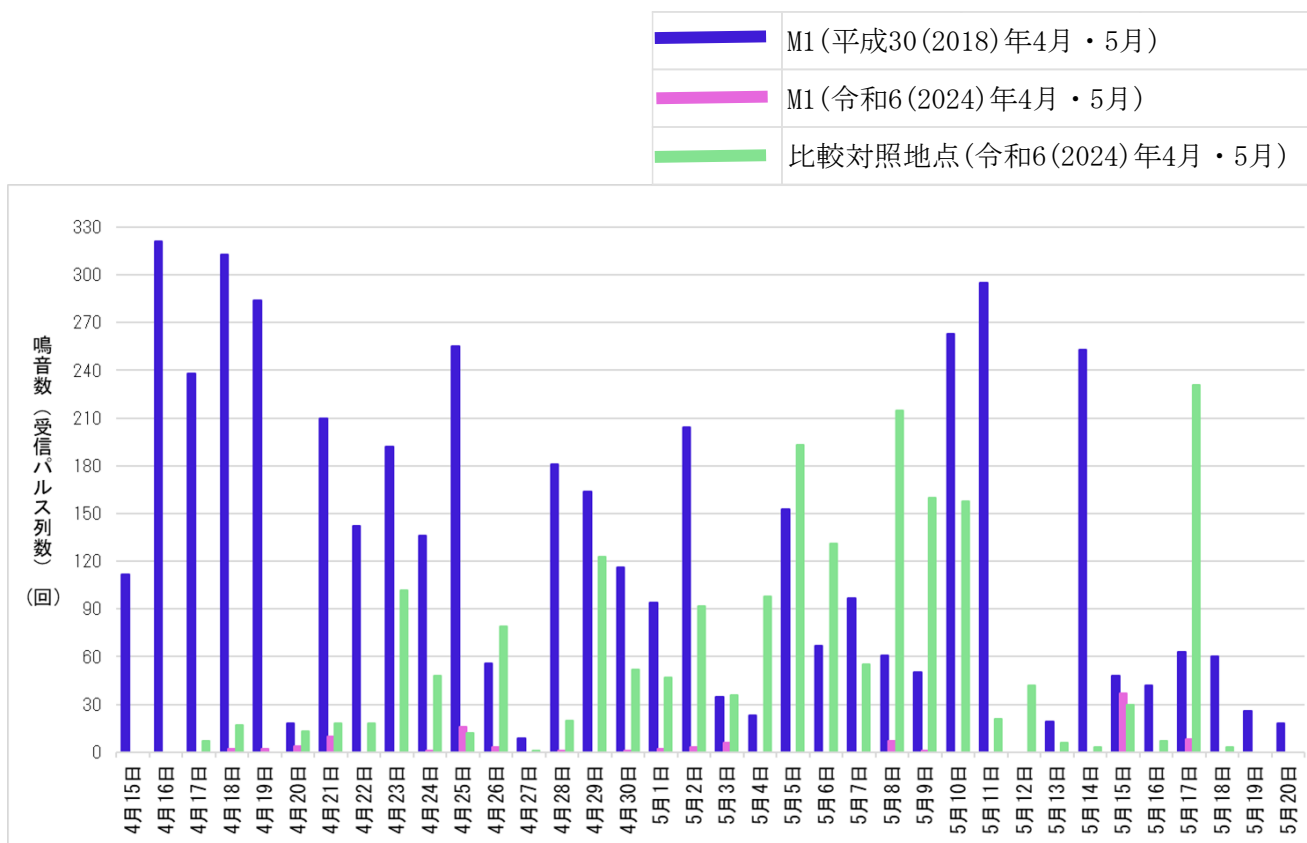


図 4-14 事前事後の鳴音数 (受信パルス列数) の比較 (日別)

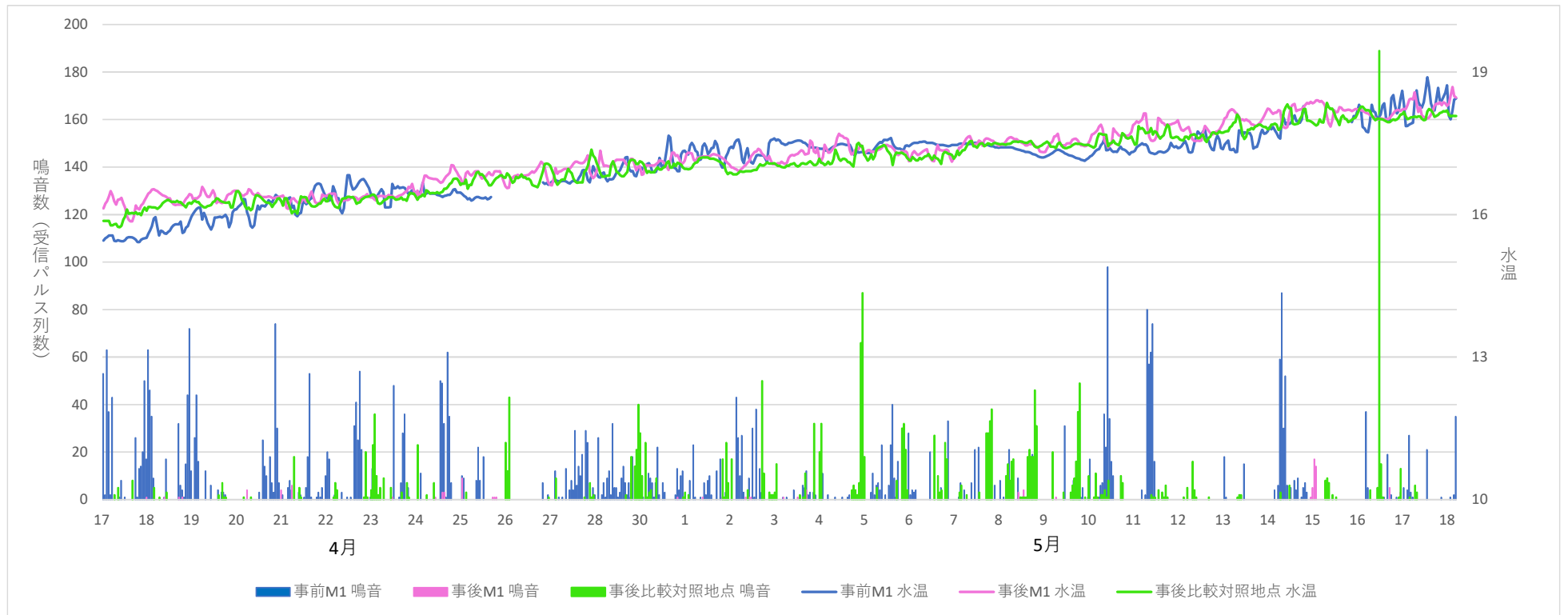


図 4-15 事前事後の鳴音数（受信パルス列数）の比較（時間別）

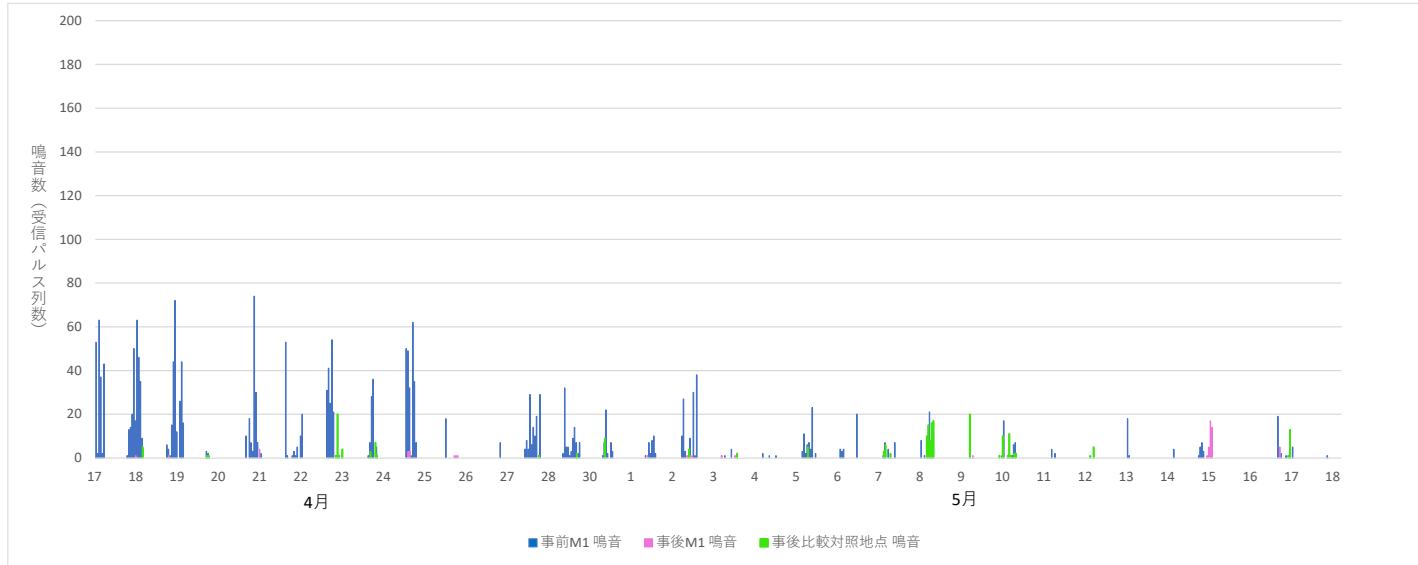


図 4-16(1) 事前事後の鳴音数（受信パルス列数）の比較（昼間：時間別）

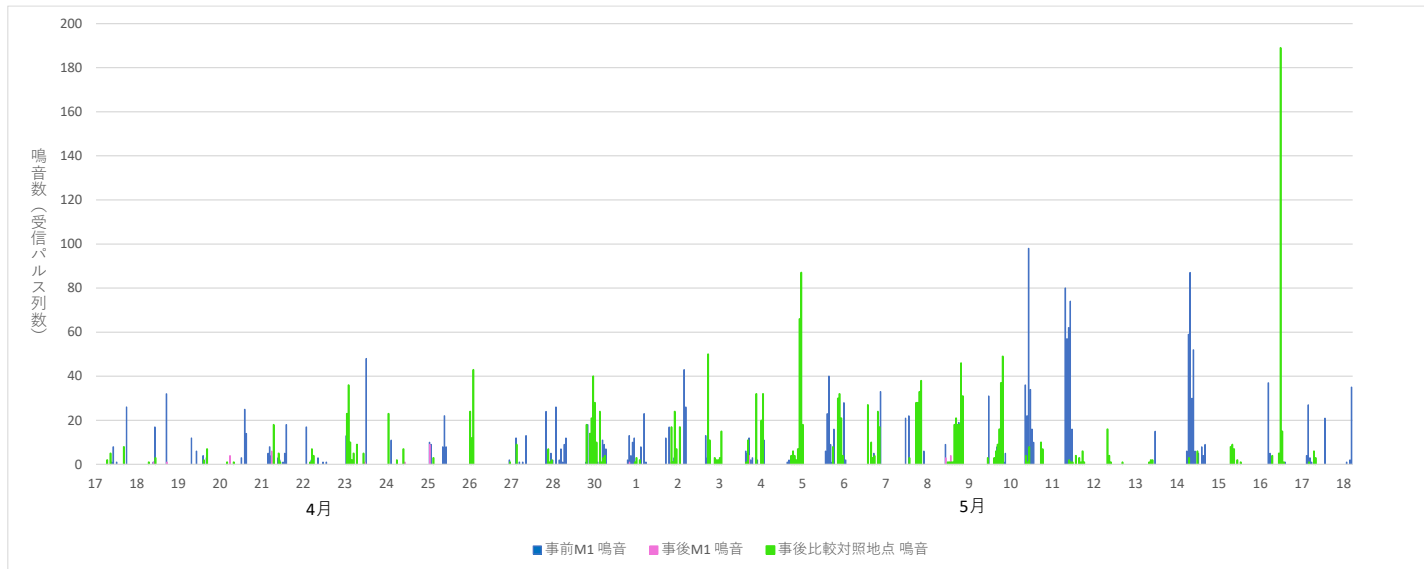
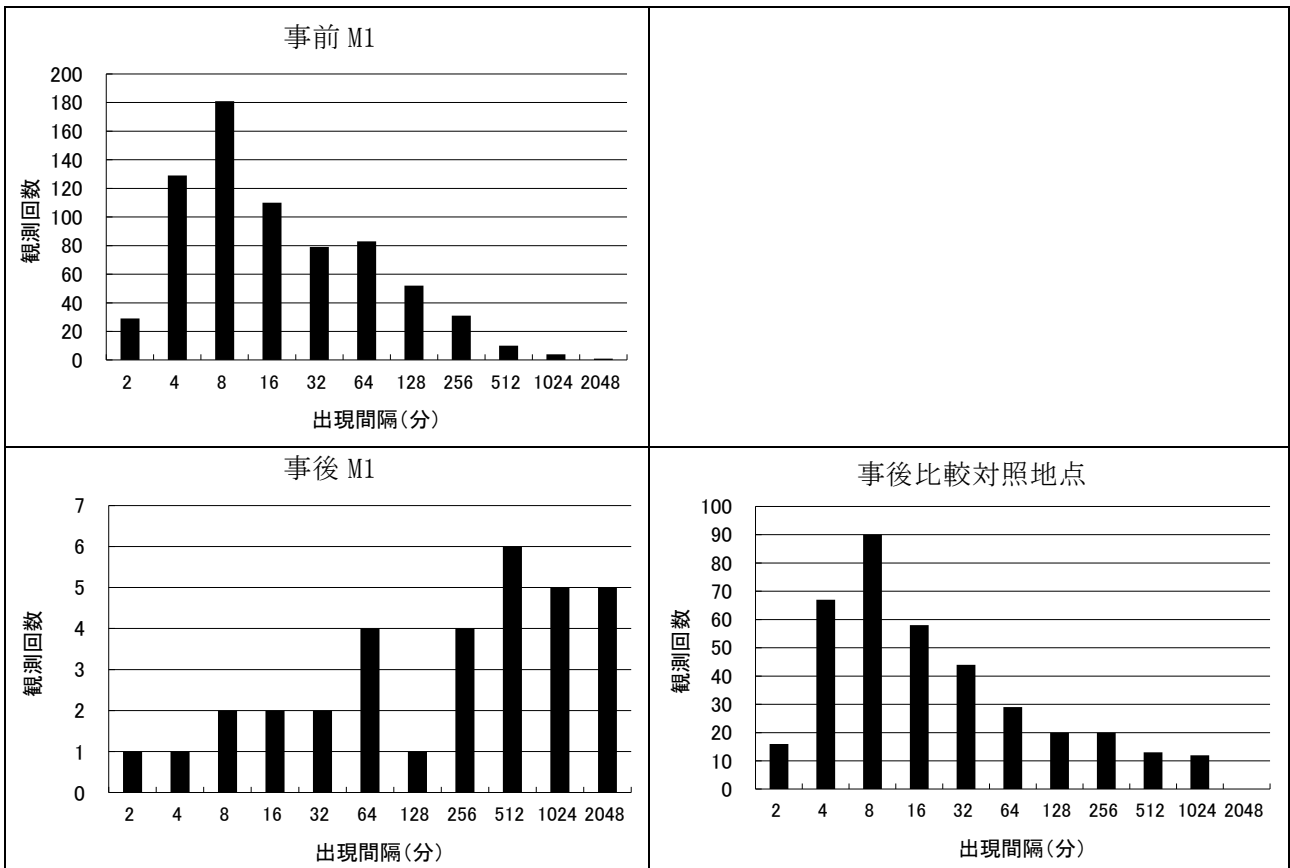
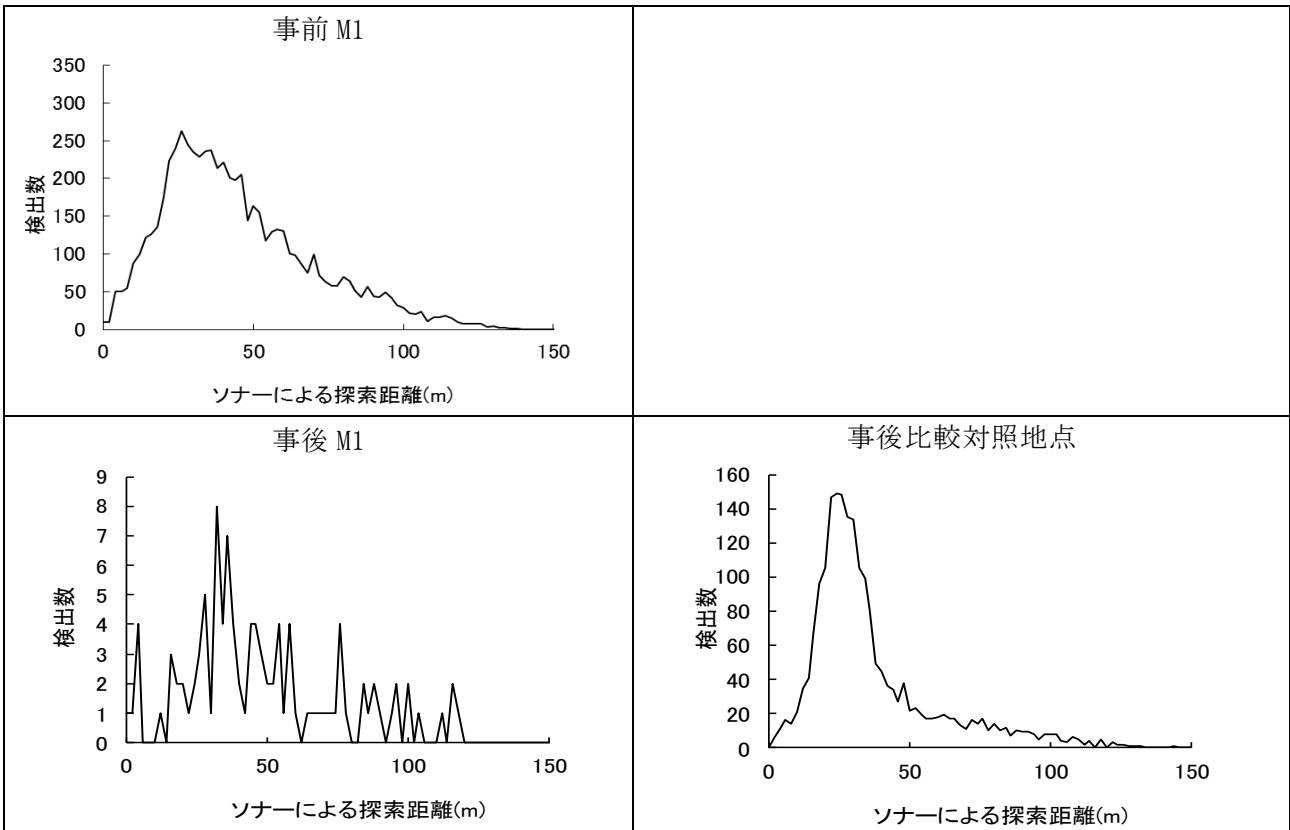


図 4-16(2) 事前事後の鳴音数（受信パルス列数）の比較（夜間：時間別）



注：縦軸の目盛が一桁以上異なっていることに注意。

図 4-17 事前事後の出現間隔



注：縦軸の目盛が一桁以上異なっていることに注意。

図 4-18 事前事後の音響探索距離

3. 専門家ヒアリング

海棲哺乳類の調査結果について、専門家等からの意見聴取を実施した。専門家等からの意見の概要は、表 4-5 のとおりである。

表 4-5 専門家の意見の概要

意見 聴取日	専門 分野	意見の概要
令和 6 年 8 月 27 日	海 棲 哺 乳 類	<p>【所属：大学研究員】</p> <p><海棲哺乳類調査結果について></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ M1 は工事中の影響を受けており、比較対照地点は影響を受けていないことが明確に示されている大変興味深い結果である。比較対照地点の等深線を見ると、杭打ちの箇所間に瀬があるので、杭打ちの音は地形で遮られているものと思われる。 ・ 比較対照地点の出現状況が本来のこの海域の出現状況と思われる。M1 は工事の打設の影響を受けている時にスナメリが M1 を避けているというデータになっている。 ・ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下 NEDO）で実施した銚子沖洋上風力発電所の実証研究の現地調査では、工事中は海棲哺乳類がいなくなり、1 年後には戻ってきたというきれいな結果が得られている。油圧ハンマー時には一時的になくなることは判明しているので、稼働後調査で 1 年以上実施して、いつ戻って来るのかモニタリングすることが大切である。 ・ 比較対照地点の選定場所が非常に良かった。以前に藍島付近でスナメリが多く確認したことがあるが、白島近くの比較対照地点は藍島からも近く、環境として類似した地点である。 ・ ネズミイルカ科のスナメリの個体群が生息している海域であるが、M1 はネズミイルカが少なく、マイルカ科が多い結果となっている。マイルカ科は壱岐や対馬海域から時々やってくる。工事に関係無く、大きな群れが一時的に通過したものと考えられる。 ・ 日別の出現状況と打設日を重ね合わせたグラフによると、M1 において打設前後に出現しているので、打設期間中は全く出現がなくなるということではない。打設後は何時間後に戻ってくるか、打設する前は何分前まで居るか、というもう少し細かいタイムスパンでデータを解析してみると良いだろう。今後工事を実施する際の指標にもなるかもしれない。 ・ M1 では午後から夜にかけて多く出現しているのが不思議である。もし打設が午前中に偏っているのであれば、打設が終わった後に出現していると考えられる。出現状況と打設のタイミングを確認してみると良いだろう。 ・ 比較対照地点の音響探索距離は比較的近い距離の 20～30m 辺りが突出している。個体間の距離を保ち、群れを維持しながら近場を回遊している状況と思われる。摂餌ソナーはない。M1 の音響探索距離はばらけて分布している。確認数が少ないので、断言はできないが、打設時の音で逃げる際に近距離や中距離、遠距離など色々な距離のソナーを使って移動していると推測される。 ・ NEDO 銚子沖では工事中にスナメリがいなくなったが、1 年後に事前調査と同じ出現数になった。NEDO 銚子沖の比較対照地点は風力発電機から 2km 程離れた場所だったが、今回の響灘洋上の比較対照地点も同様の離隔距離であり、工事中でも比較対照地点は出現数が多いので、打設音等の工事の影響は受けていないと言える。スナメリの出現状況と打設工事の時間を細かい時系列で並べてみると、どの程度時間が経過すればスナメリが戻って来るかということを示すことができるかもしれない。スナメリの移動能力は高いので、工事している箇所を避けて移動しているのだろう。 ・ 事前のアセス調査時の M1 と事後の比較対照地点の音響探索距離のグラフは傾向としては似ているが、やや異なっている。事前のアセス調査時の M1 は近距離や中距離、遠距離など色々なソナーを自由に使っているが、事後の比較対照地点は比較的近い距離の 20～30m 辺りが突出している。工事の有無により行動特性が異なるように思われる。 ・ 工事後スナメリが工事前と同じ生息状況になったという基準としては、以前と同じように回遊し繁殖を行うといった健全な生活サイクルになっているということである。が、数値としては具体的なものがないため、例えば、1 日当たりの出現数が事前と同じ程度になった、といった事前との比較を行うと良いだろう。

4. 検討のまとめ

- ・海棲哺乳類の調査結果は、事前 M1 では鳴音数（受信パルス列数）は 4,112 回であったが、事後 M1 では 104 回と少なかった。一方、比較対照地点では鳴音数は 2,038 回確認されており、事後 M1 より多かった。事後 M1 は事前 M1 より鳴音数が少ないこと、比較対照地点では鳴音数が多く確認されていることから、NEDO が実施している銚子沖洋上風力発電所の実証研究の事例と同様、M1 については海棲哺乳類への工事による影響が生じたものと考えられる。
- ・事前 M1 鳴音数の昼間 2,123 回、夜間 1,989 回に対して、事後 M1 鳴音数は昼間 68 回、夜間 36 回と、昼夜共に大幅な減少となったものの、比較対照地点においては、昼間の鳴音数 212 回に対し、夜間は 1,826 回と大幅な増加となった。
また、夜間においては、比較対照地点の鳴音数 1,826 回が、事前 M1 鳴音数 1,989 回とほぼ同レベルの結果となった。
一方で、「4.3 水中音の状況」に記載のとおり、打設音は約 6km 先まで到達することが確認できているものの、打設地点から 3km 以上離れている比較対照地点は、海棲哺乳類が PTS の影響を受けるとされる 2,508m よりも遠い地点となっている。
以上のことを踏まえると、PTS の影響がない比較対照地点においても、昼間の打設時には、海棲哺乳類は打設による影響が少ない地点に退避をして、打設していない夜間時に、比較対照地点へ戻ってきていることが推察される。
よって、稼働後の事後調査時においては、打設工事の影響はないことから、M1 地点から退避していた海棲哺乳類は戻ってくることを期待される。
- ・環境影響評価書に記載した環境保全措置である「杭打撃において、工事開始時は打撃力を弱く設定し、一定時間経過後に所定の打撃力で実施することにより、急激に大きな音が発生しないように努める」や「比較的大きい音が発生する杭打撃（バイブロハンマー、油圧ハンマーによる杭打撃）は夜間には実施しないことにより、夜間に活動する種について配慮する」を実施したことにより、環境影響評価時に「影響は低減」とした予測結果は妥当であったと考えられる。
- ・今後、稼働後の調査を実施すると、NEDO が実施している銚子沖洋上風力発電所の実証研究の事例と同様、M1 にも海棲哺乳類が確認されることが期待される。