

3-3 採取した地下海水の利用に関する検討

(1) 水質調査

1) 水質調査方法

① 水質分析

現地における採水は、年3回、夏季と秋季、冬季に実施した。採水方法は神恵内と同様である。

3-2(9)塩分・電気伝導率測定結果(改善後)により、GL-4.94～-13.44mの範囲において塩分が1.50～1.59とあまり変化せず、水温も16.30～16.80℃と0.50℃しか変化しなかった。そのため、採水深度はGL-4.94～-13.44mの範囲と考え、GL-11.0～12.65mで採水を実施した。

対象とした水質の分析項目を表3-13に示す。水質分析項目は神恵内と同様であるが、カドミウムの分析は実施していない。

表3-13 象潟における水質分析項目一覧

試験項目	分析方法	単位	定量下限値
水素イオン濃度(pH)	JIS K0102 12.1	ガラス電極法	—
化学的酸素要求量(COD _{OH})	昭和46年環告第59号 別表2.2 ア 備考2	アルカリ性法	mg/L
浮遊物質(SS)	昭和46年環告第59号 付表9	グラスファイバーフィルター法	mg/L
大腸菌群数	昭和46年環告第59号 別表2.1(1)ア 備考4	最確数(MPN)法	MPN/100mL
全窒素	JIS K0102 45.6	流れ分析法	mg/L
塩分(S)	海洋観測指針(1999)第1部 5.3.4.2	サリノメータ法	—
溶解性鉄(D-Fe)	JIS K0102 57.2	フレイム原子吸光法	mg/L
溶解性マンガン(D-Mn)	JIS K0102 56.2	フレイム原子吸光法	mg/L

※1:上記に加え、現地での水温と溶存酸素測定を実施した。

※2:秋季と冬季の調査においては、パケットにより硫化物イオン(S²⁻)の濃度を調べた。

② 水温・塩分連続測定

試掘井が完成した後、令和2年8月21日から令和3年2月10日まで水温・塩分計(HOBO U24 電気伝導率ロガー)と水温計(DEFI2-T)を試掘井内に吊り下げ、水温と塩分の季節変動を調べた。使用した機材や調査方法は神恵内と同様である。

観測深度は水温・塩分計をGL-8.5m、水温計をGL-8.0mとし、サンプリング間隔は毎正時1時間ごととした。機器の動作確認やデータの抜出を9月24-25日、11月10-11日、12月23日に行ったため、その日のデータは欠測となっている。

2) 水質調査結果

①調査時の気象・現地状況

調査実施時の現地における気象状況を表3-14に、調査時の写真を図3-26に示す。

8月20日に採水を実施したが、揚水量が少なく採水を実施できなかったため、9月28日に試掘井を改善した後に改めて採水を実施した。

現地調査を実施した際の天候は、夏季の8月21日は曇一時晴後一時雨、9月25日は雨一時曇、秋季は曇時々雨みぞれを伴う、冬季は曇時々みぞれ一時晴後雨であった。気温は、夏季の8月21日は26.0℃、9月25日は18.4℃、秋季は7.5℃、冬季は7.1℃であった。

調査時の採水深度は、夏季はGL-12.65m、秋季と冬季はGL-11.0mであった。

表3-14 象潟における現地調査時の概況

	夏季		秋季	冬季	機材回収
調査日	8月21日	9月25日	11月11日	12月23日	2月9日
天気	曇一時晴 後一時雨	雨一時曇	曇時々雨 みぞれを伴う	曇時々みぞれ 一時晴後雨	雪時々曇
気温(℃)	26.0	18.4	7.5	7.1	-0.5
採水深度(GL-m)	-	12.65	11.0	11.0	-

※気温：にかほ地域気象観測所(アメダス)より引用

※天気：秋田地方気象台より引用

※2020年8月20日の調査では採水ができなかったため、水温・塩分計の設置のみを実施した。

夏季調査(8月21日)	秋季調査(11月11日)	冬季調査(12月23日)
		
現地状況	現地状況	現地状況
		
試掘井	試掘井	試掘井
		
8月21日の水試料	揚水後の水試料	揚水後の水試料
		
9月25日の水試料	採水試料	採水試料

図3-26 象潟における現地調査状況一覧

②水質分析

夏季と秋季、冬季における水質分析の結果一覧を表3-15にまとめ、その結果を図3-27に図示した。なお、夏季調査のSSのみダブルケーシングの前後で測定を実施し、ダブルケーシングが濁りに与える影響について調べた。

- ・衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準5項目：

衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準5項目のうち、夏季は1項目(大腸菌群数)、秋季は1項目(大腸菌群数)、冬季は1項目(大腸菌群数)を満足した。

- ・pH：

値は夏季に6.4、秋季に6.3、冬季に6.3であった。年間を通じて6.3～6.4の範囲で変動しており、変動の幅は小さかった。全季において、衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準を満たさなかった。

- ・COD_{OH}：

値は、夏季に9.3mg/L、秋季に3.6mg/L、冬季に7.4mg/Lであった。夏季と冬季に比べ、秋季に値が減少した。全季において、衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準を満たさなかった。

- ・SS：

値は、夏季の試掘井改善前(ダブルケーシング前)に1,180mg/L、試掘井改善後(ダブルケーシング後)に775mg/L、秋季に130mg/Lであったが、冬季に28mg/Lであった。ダブルケーシングにより、SSの値は減少した。夏季に比べ、秋季と冬季に値が減少した。全季において、衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準を満たさなかった。

- ・大腸菌群数：

値は、夏季に790MPN/100mLであったが、秋季に79MPN/100mL、冬季に33MPN/100mLであった。夏季に比べ、秋季と冬季に値が減少した。全季において、衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準を満たした。

- ・T-N：

値は、夏季に1.68mg/L、秋季に1.27mg/L、冬季に1.68mg/Lであった。夏季と冬季に比べ、秋季に値が減少した。全季において、衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準を満たさなかった。

- ・塩分：

値は、夏季に15.19、秋季に13.10、冬季に11.38であった。年間を通じて11.38～15.19の幅で変動していた。一般的な沿岸域の海水(33～34前後)に比べ低かった。

- ・溶解性鉄：

値は、夏季に0.6mg/L、秋季に0.5mg/L、冬季に0.1mg/Lであった。夏季に比べ、秋季と冬季に値が減少した。溶解性鉄の水産用水基準は0.2mg/L以下となっており、夏季と秋季においては、基準を満たさなかった。

・溶解性マンガン：

値は、夏季に 10.0mg/L、秋季に 3.2mg/L、冬季に 2.4mg/L であった。夏季に比べ、秋季と冬季に値が減少した。溶解性マンガンの基準は 0.6mg/L 以下と設定しており、どの季においても基準を満たさなかった。

・溶存酸素：

値は、夏季に 6.2mg/L、秋季に 5.6mg/L、冬季に 8.3mg/L であった。年間を通じて 5.6～8.3mg/L の幅で変動していた。海域の溶存酸素の水産用水基準は 6.0mg/L 以上となっており、夏季と冬季において、基準を満たした。

・水温：

値は、夏季に 17.0℃、秋季に 12.8℃、冬季に 16.6℃であった。年間を通じて 12.8～17.0℃の幅で変動しており、最も水温の高かった夏季と秋季とで水温差は 4.2℃と、変動の幅は小さかった。

・硫化物：

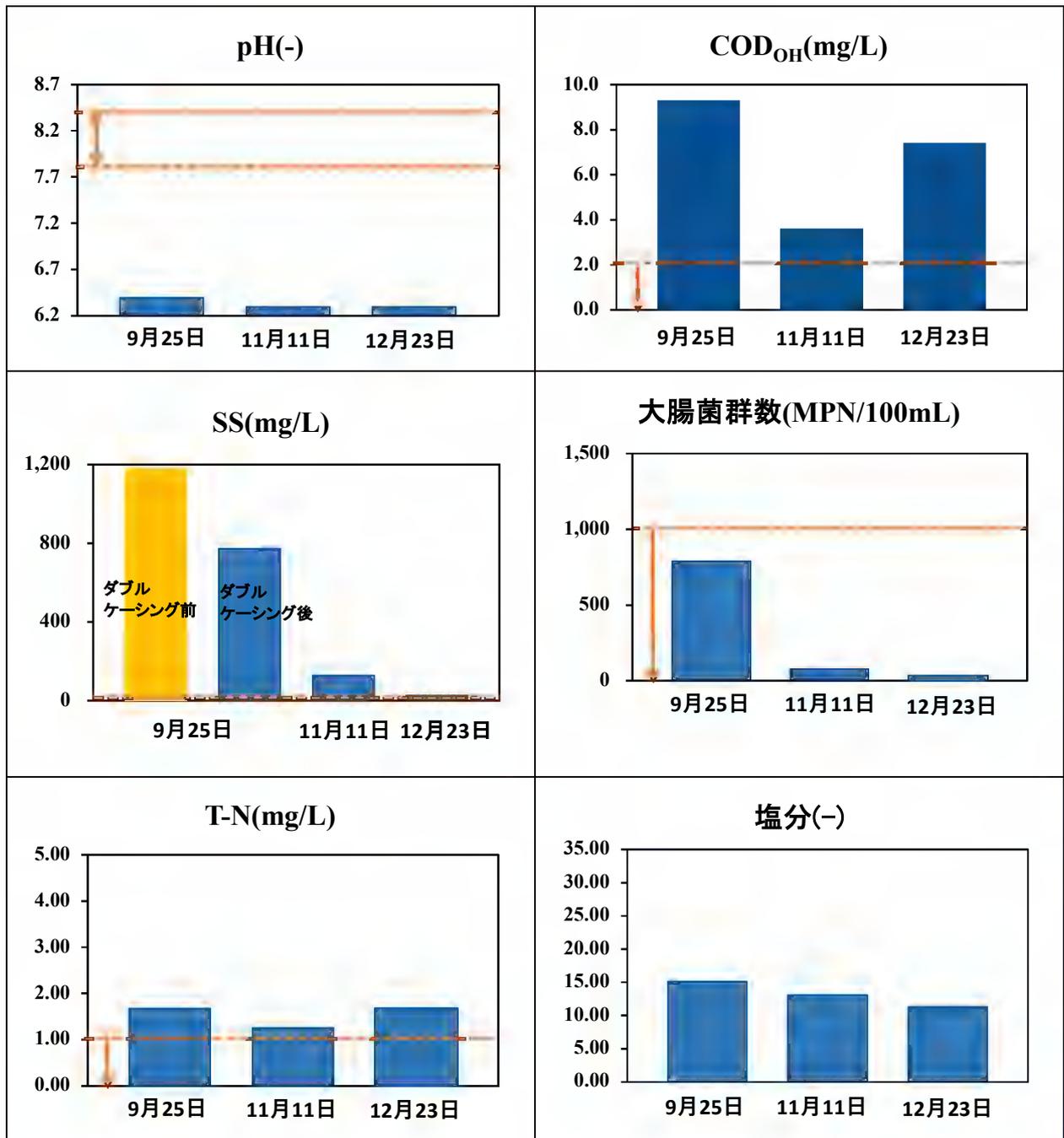
秋季と冬季において、パックテストにより硫化物イオンの濃度を測定した結果、値は、秋季・冬季ともに 2～5mg/L であった。

表 3-15 水質分析結果一覧

分析項目	基準値	分析・計測値			適合状況			適合率	
		夏	秋	冬	夏	秋	冬		
衛生管理型 漁港に 関する項目	pH	7.8-8.4	6.4	6.3	6.3	×	×	×	0/3
	COD _{OH} (mg/L)	2mg/L以下	9.3	3.6	7.4	×	×	×	0/3
	SS(mg/L)	2mg/L以下	775	130	28	×	×	×	0/3
	大腸菌群数(MPN/100mL)	1000/100mL以下	790	79	33	○	○	○	3/3
	T-N(mg/L)	1.0mg/L以下	1.68	1.27	1.68	×	×	×	0/3
水産用水基準適合率		-	-	-	1/5	1/5	1/5	3/15	
その他の 項目	塩分(-)	-	15.19	13.10	11.38	-	-	-	-
	溶解性鉄(mg/L)	0.2mg/L以下	0.6	0.5	0.1	×	×	○	1/3
	溶解性マンガン(mg/L)	0.6mg/L以下 ^{※1}	10.0	3.2	2.4	×	×	×	-
	溶存酸素(mg/L)	6mg/L以上	6.2	5.6	8.3	○	×	○	2/3
	水温	-	17.0	12.8	16.6	-	-	-	-

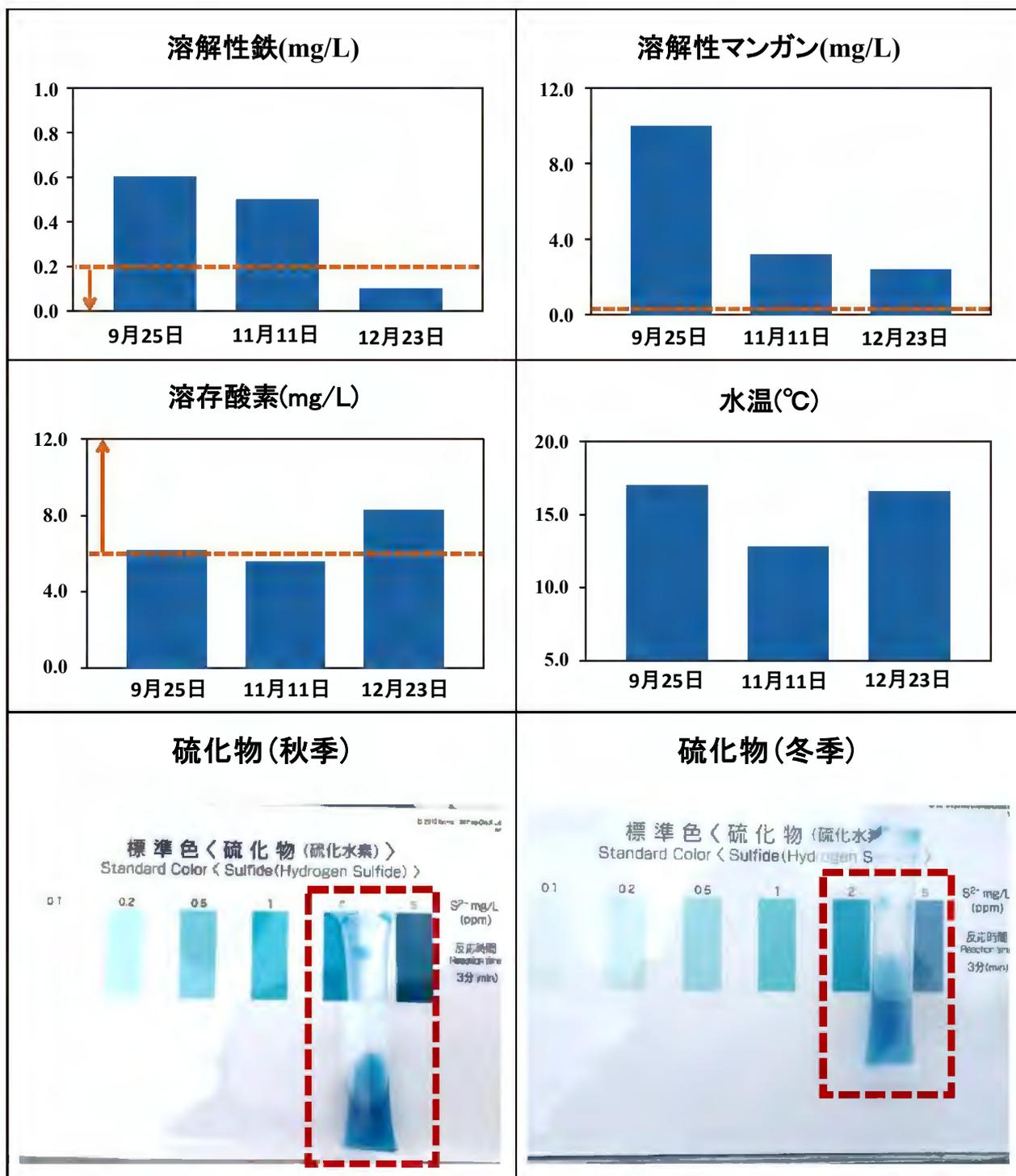
※1:水産用水基準の根拠の値を参考に溶解性マンガンの基準値を定め、適合状況を△と×で示す。

※2:衛生管理型漁港に関する項目を赤い四角で囲った。



※1：橙点線は水産用水基準を示す。

図3-27(1) 象潟における水質分析結果一覧



※1：橙点線は水産用水基準を示す。

※2：水産用水基準の全マンガンの根拠資料を元に設定した溶解性マンガンの基準値を示す。

図3-27(2) 象潟における水質分析結果一覧

③水温・塩分連続測定

試掘井が完成した後、令和2年8月21日から令和3年2月10日まで試掘井内の水温と塩分を1時間おきに測定した結果を図3-28に、まとめた結果を表3-16に示す。機器の動作確認やデータの抜出を9月24-25日、11月10-11日、12月23日に行ったため、その日のデータは欠測となっている。

・水温

水温は、平均値が16.3℃で、9月10日に最低水温15.7℃を記録し、1月12、13日、2月2、5日に最高水温16.8℃を記録した。最高水温と最低水温の差分は1.1℃で、値の変動は小さかった。線形近似すると、近似直線の傾きは0.0063となっており、ほぼ平坦であったが、10月頃から水温が少しずつ上昇する傾向が確認された。

・塩分

塩分は、平均値が14.94で、12月21日に最低値1.57を記録し、9月23日に最高値16.08を記録した。最高値と最低値の差分は14.5であった。値は概ね15前後であったが、11月3日、12月21、24日や2月6日など特定の日に大きな値の減少が確認された。線形近似すると、近似直線の傾きは-0.00084となっており、ほぼ平坦であった。

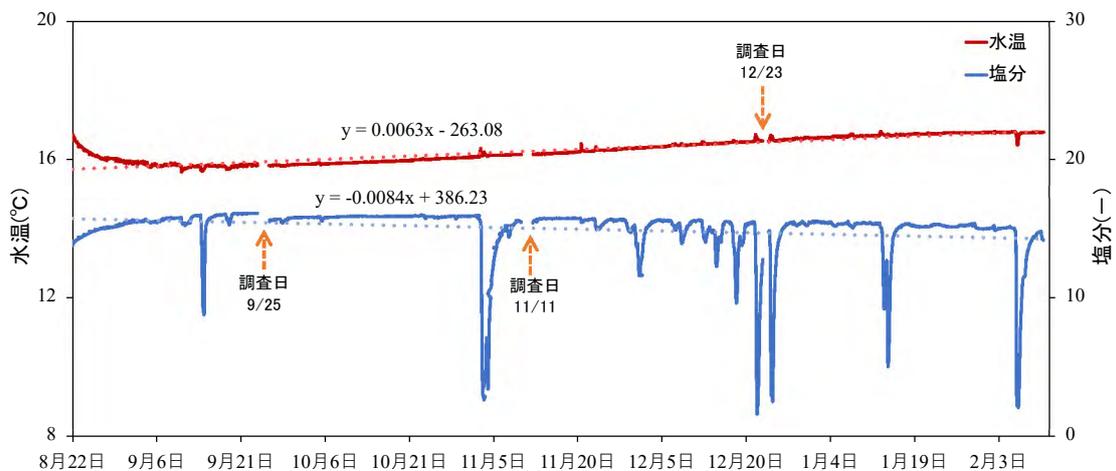


図3-28 象潟の試掘井内の水温と塩分経時変化

表3-16 象潟の試掘井内における水温と塩分

	試掘井内	
	水温(℃)	塩分(-)
最高	16.8	16.08
最低	15.7	1.57
平均	16.3	14.94
標準偏差	0.3	1.88
線形近似式	$y = 0.0063x - 263.08$	$y = -0.0084x + 386.23$

※1:線形近似式では、日付をシリアル値として扱っている。

3) 水質調査考察

①水質分析

象潟における水質分析の結果のうち、特筆すべき結果を下記にまとめる。

- ・衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準 5 項目：

衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準 5 項目のうち、夏季は 1 項目(大腸菌群数)、秋季は 1 項目(大腸菌群数)、冬季は 1 項目(大腸菌群数)を満足した。

- ・塩分について

塩分は、水質分析の結果によると、年間を通じて 11.38～15.19 の範囲であり、差分は 3.81 と変動の幅は小さかった。一般的な沿岸域の海水(33～34 前後)に比べ半分程度であり、淡水の影響が示唆された。

- ・溶解性鉄と溶解性マンガンについて

地下水中に鉄やマンガンが多量に存在すると、生物に悪影響を及ぼす。それに加え、給排水管やタンク内に付着し、水質の悪化を招くことが知られている。溶解性鉄は周年検出されており、0.10～0.60mg/L の範囲であった。溶解性マンガンも周年検出されており、2.40～10.00mg/L の範囲であった。冬季の溶解性鉄の結果を除き、設定した基準値を超過していたため、魚介類を飼育した際に悪影響を及ぼす可能性が考えられる。

実際に地下海水井戸を利用している網走の水産加工団地では、鉄やマンガンが検出されている海水井戸を用いており(この場合の鉄・マンガンが全鉄・全マンガン、もしくは溶解性鉄・溶解性マンガンかは不明)、その際の値は鉄が 0.08～0.40mg/L、マンガンが 0.01～0.15mg/L であった¹⁹。今回、象潟で確認されたマンガンの濃度は網走の値の 15 倍以上となっているため、施設維持の観点から考えても排水管などに影響を与える可能性が考えられる。

- ・SSについて

試掘井改善前(ダブルケーシング実施前)の SS の値は 1,180mg/L であったが、試掘井改善後(ダブルケーシング後)では 775mg/L と約 2/3 に減少した。すなわち、ダブルケーシングによる取水層の絞り込みにより、濁りの改善がみられたと考えられる。

- ・季節変動について

水質調査の結果、夏季に比べ、秋季・冬季においては SS の分析値が減少しており、水が透き通っていた。この理由としては、「1. 季節的な変化によるもの」もしくは「2. 試掘完了の翌日に採水した夏季に比べ、秋・冬季は試掘井完成後時間が経過した後の採水であり、試掘に起因する濁りが減少したため」などが考えられる。

¹⁹ 海水井戸と井戸障害対策, 丸山治ら, 東京図書出版, 2014,

②水温・塩分連続測定

試掘井内の水温・塩分の季節変動を理解するために利用した試掘井周辺の環境データを取得した。試掘井周辺の水温や気温を表3-17に、試掘井の水温(24時間移動平均)と秋田県沿岸における水温²⁰を図3-29に、試掘井の水温(24時間移動平均)とにかほにおける平均気温²¹を図3-30に、試掘井の塩分を図3-31に、にかほの降水量²¹を図3-32に、酒田における潮位²²を図3-33に示す。それぞれの環境データの引用元を下部に示す。

・試掘井内の水温について

秋田県沿岸の水温は、9月上旬は28℃程だったが、2月上旬には10℃程まで下降した。近似直線の傾きは-0.1188となり、右肩下がりの傾向を示した。にかほにおける気象についても同様の傾向となっており、9月上旬は30℃程であったが、2月上旬には0℃程まで下降した。近似直線の傾きは-0.1703となっており、右肩下がりの傾向を示した。すなわち、これらは季節変動を示していると考えられる。一方、試掘井内の水温の近似直線の傾きは-0.0063となっており、ほぼ平坦であった。すなわち、試掘井内の水温は、季節の影響を受けないと考えられる。

・試掘井内の塩分について

象潟において、30mm/日以上 of 降水が確認されたのは、9月4日、9月9～10日、9月13～14日、9月18日、11月2日、12月24日であった。また、30mm以上ではないものの、12月6日から1月20日までほぼ毎日降雨が確認され、平均6.2mm/日であった。同様に、2月1日から10日までの降雨は平均8.1mm/日であった。酒田において、潮位は毎日20cm～30cm程変動していた。調査期間のうち、潮位の変動の小さな小潮の期間は、8月25～27日、9月9～11日、23～25日、10月8～10日、23～25日、11月7～9日、21～23日、12月6～8日、21～23日、1月5～7日、19～21日、2月3～5日であった。試掘井内における塩分を確認すると、9月13日に43mmの降雨が確認されたあと、塩分が15.4から8.8まで減少していた。また、11月2日に32mmの降雨が確認されたあと塩分が15.6から2.7まで減少した。12月6日から1月20日までの連日の降雨と12月24日の66.5mmの降雨により、12月22日や24日に塩分は15.3から2.5まで減少し、1月14日には塩分が15.0から5.1まで減少した。2月1日から連日の降雨が確認された後、2月6日に塩分は14.8から2.2まで減少した。以上より、象潟の試掘井の塩分に与える降水量の影響は大きいと考えられる。

²⁰ 気象庁,海洋の健康診断表,海面水温に関する診断表、予報、データ

http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index_sst.html

²¹ 気象庁,各種データ資料,過去の気象データ検索

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

²² 気象庁,海洋の健康診断表,潮汐・海面水位に関する診断表、データ、潮位表

<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=B5>

表 3-17 試掘井周辺の平均水温・平均気温の概況

	秋田県沿岸 平均水温(°C)	にかほ 平均気温(°C)
最高	28.8	32.4
最低	7.9	-2.6
平均	18.2	11.6
標準偏差	6.0	9.1
線形近似式	$y = -0.1188x + 5262.1$	$y = -0.1703x + 7530.6$

※1:線形近似式では、日付をシリアル値として扱っている。

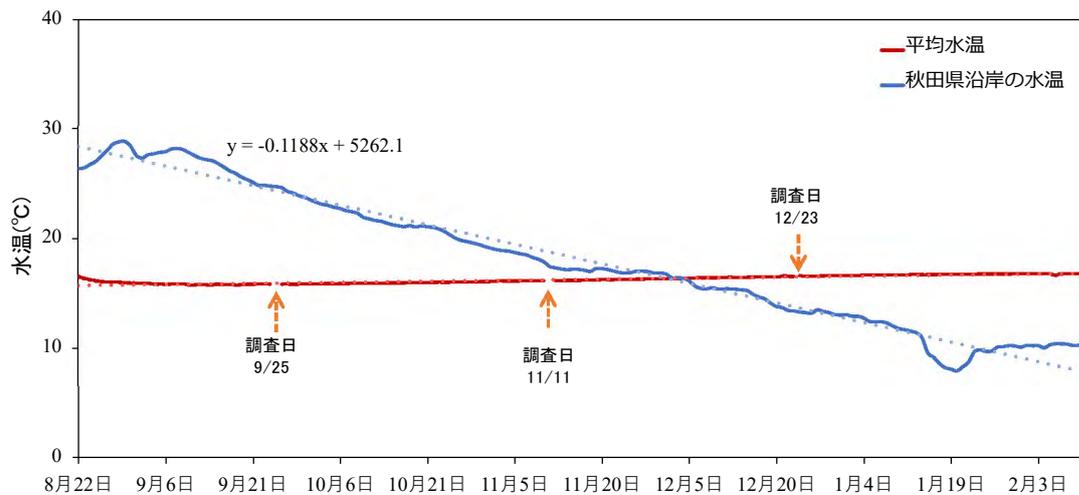


図 3-29 試掘井の水温(24時間移動平均)と秋田県沿岸における水温経時変化(気象庁データ)

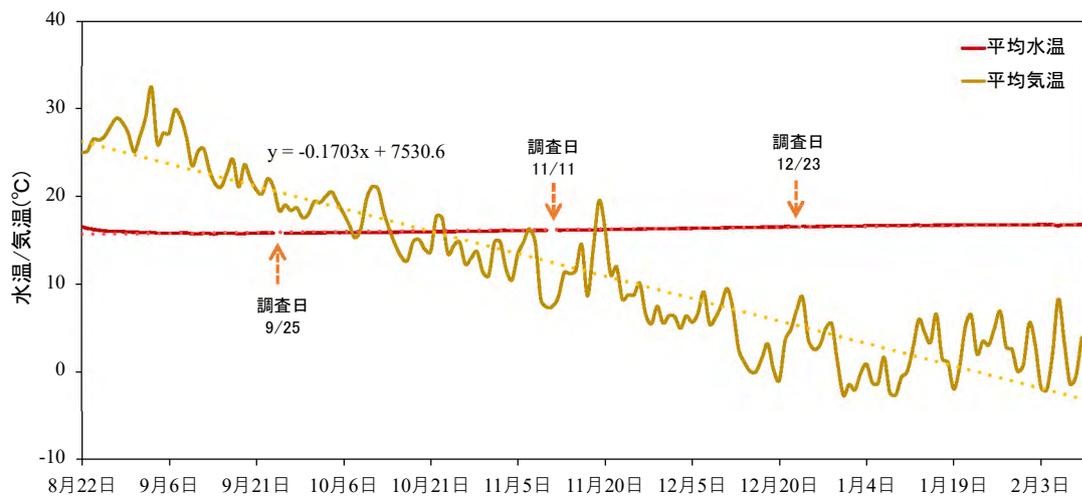


図 3-30 試掘井の水温(24時間移動平均)と象潟における平均気温経時変化(気象庁データ)

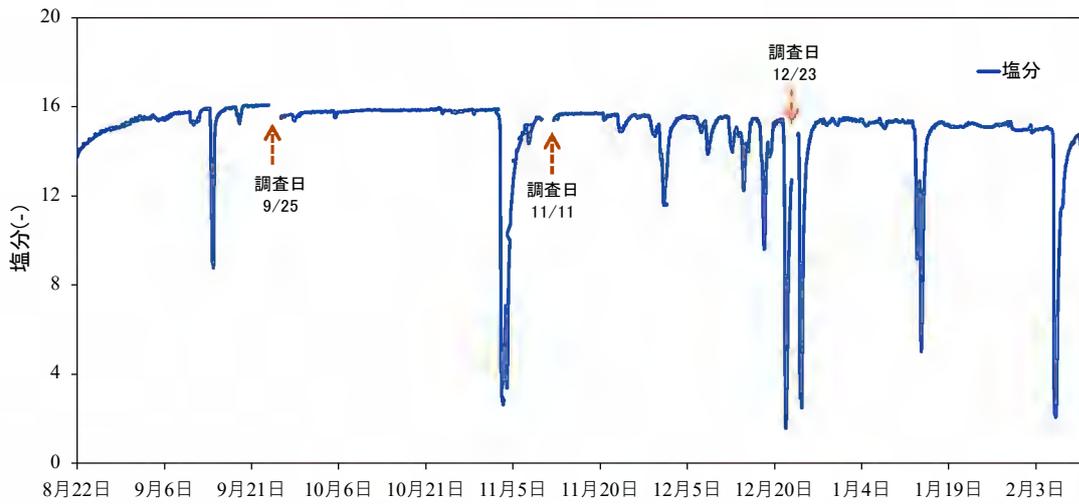


図 3-31 象潟における塩分経時変化

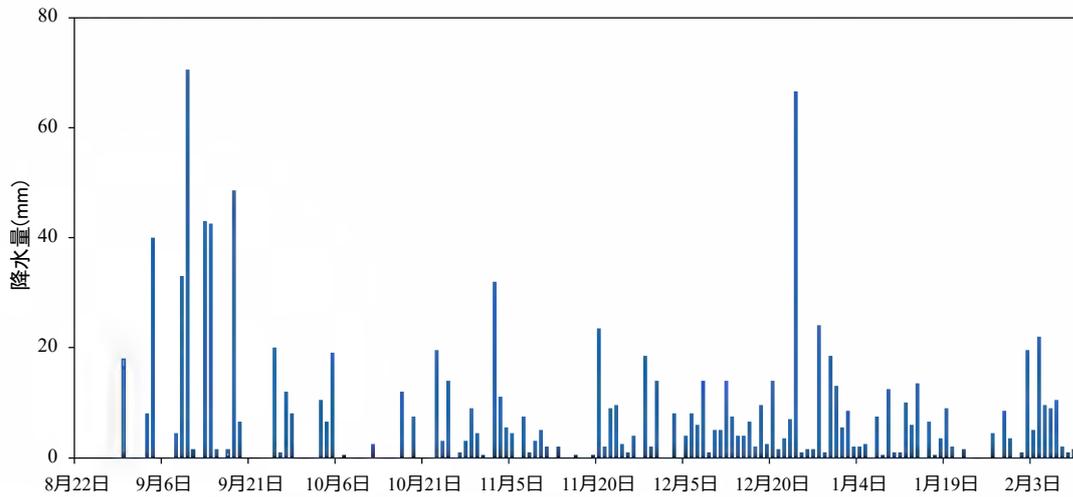


図 3-32 にかほにおける降水量経時変化(気象庁データ、日合計)

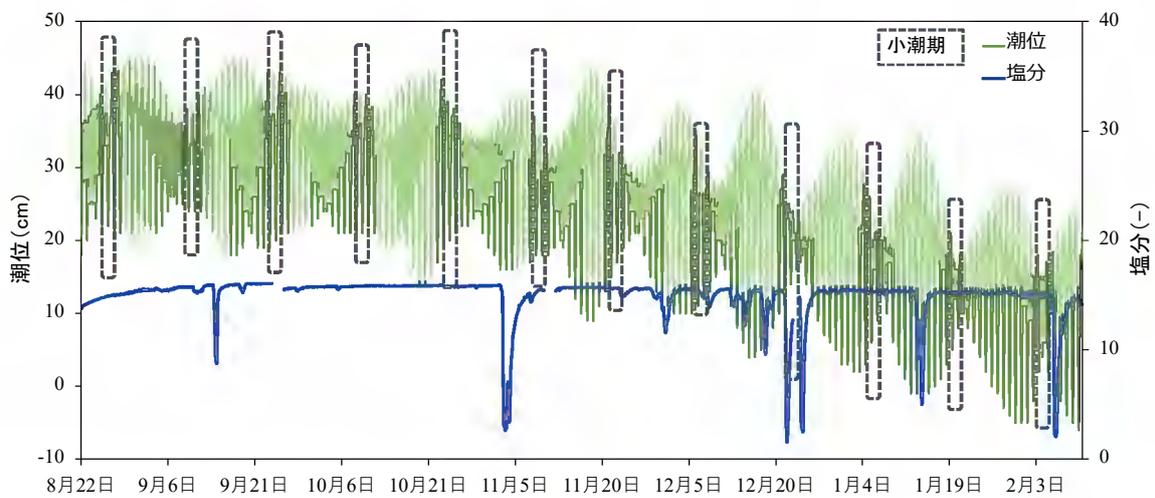


図 3-33 潮位(酒田)と塩分(試掘井内)の経時変化

4) 水質調査総括

象潟の試掘井における水質分析結果の概要を表3-18にまとめる。

- ・衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準5項目：
衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準5項目のうち、夏季は1項目(大腸菌群数)、秋季は1項目(大腸菌群数)、冬季は1項目(大腸菌群数)を満足した。達成率は20%(3/15)であった。
- ・塩分について
塩分については、水質分析の結果、11.38～15.19の範囲であり、データロガーでの測定の結果1.57から16.08の範囲であった。塩分は概ね15前後で維持されていたが、降雨の後に一時的な値の減少が確認された。
- ・水温について
水温は15.7℃から16.8℃までとなっており、年間を通じての変動幅は1.1℃と小さく、一定の値を維持していた。
- ・鉄・マンガン濃度について
溶解性鉄、溶解性マンガンは常に検出された。溶解性鉄は0.1～0.6mg/Lの範囲で検出され、溶解性マンガンは2.4～10.0mg/Lの範囲で検出された。
- ・総括
象潟における試掘井の水質は、大腸菌群数以外の項目では水産用水基準を満たすことができなかった。また、溶解性鉄・マンガンは常に検出されていたため、試掘井の水を利用した際に配管等に悪影響を及ぼす可能性が考えられる。しかし、水温は周年一定で、冬季でも15.7℃は維持されており、塩分も概ね15前後で維持されていた。以上より、象潟の試掘井の水質の水産用水基準の達成率は高くなく、溶解性鉄・マンガン濃度も高いものの、水温の変動幅は小さく、塩分も15前後で維持されていた。

表3-18 象潟における水質分析結果の概要

水質分析項目の評価基準	結果
1. 水産用水基準を満たす	×
2. 塩分が維持されている	△
3. 水温の変動幅が小さい	○
4. 鉄・マンガン濃度が低い	×

(2)採取した地下海水の利用に関する検討

1) 地域の状況

全国的に、漁業就業者の高齢化と減少が進んでいるが秋田県でもその傾向は強く、労働としては比較的体力的に楽になり、さらに収入の安定化による新規就業者の確保の観点からも、陸上養殖への模索に関心も高い。

そもそも、秋田県を含む東北地方の日本海側は、湾が少なく、冬期波浪が強いという地形の制約上、海面養殖が行われていないため、良質な海水井戸が取水できれば、陸上養殖への活用の期待は大きい。

実際に秋田県北部(八峰町)では、マス養殖の展開に向けた試験的な取組を実施予定である。

ちなみに、にかほ市象潟と県境を挟んで隣接する山形県遊佐町では、サクラマスの海水による陸上養殖が事業規模で行われている。

一方で、本事業の試掘ポイントは、象潟漁港施設用地内の秋田県栽培漁業協会アワビ種苗生産施設の敷地内であり、当事業で良質な地下海水が取水できれば、この施設でのアワビの種苗生産、中間育成、親貝養成等への利用が考えられていた。

地域の特徴としては、ここ象潟地方は、鳥海山の伏流水が豊富な地帯で、海底から伏流水が湧き出ているところもあり、伏流水の豊富なミネラル分によって、“鳥海山の伏流水が育むイワガキ”として有名である。

2) 利用策

本事業の地下海水は塩分がほぼ1/2海水程度であり、低塩分に弱いアワビの飼育水としては不向きであった。また、取水量も4リットル/分と少量であった。

今回の試験井の揚水については、塩分はともかく、周年16℃前後の水温を利用し、夏期のアワビ飼育水の冷却のための冷媒、冬季の加温のための一次熱源としての利用が考えられる。

また、海産魚の魚類養殖では、低塩分の海水での飼育で成長促進効果が報告されているので、魚類養殖への利用も考えられる。

秋田県内でも良質な地下海水が取水できれば、陸上養殖という新産業創出が期待できる。