

4-3 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。採水方法は神恵内や象潟と同様である。

4-2(4)塩分・電気伝導率測定結果により、GL-9.5～-10.5mの範囲において塩分が0.72～1.00、水温は13.40～13.70℃の範囲であった。そのため、採水深度はGL-9.50～-10.50mの範囲と考え、GL-9.5mで採水を実施した。

対象とした水質の分析項目を表4-7に示す。水質分析項目は象潟と同様であり、カドミウムの分析は実施していない。現地からの要望により、パックテストによる硫化物イオン濃度の測定を行った。

表4-7 大槌における分析項目一覧

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	— 小数点第1位
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 0.5
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 1
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 2
全窒素	JIS K0102 45.6	流れ分析法	mg/L 0.05
塩分(S)	海洋観測指針(1999)第1部 5.3.4.2	サリノメータ法	— 小数点第2位
溶解性鉄(D-Fe)	JIS K0102 57.2	フレイム原子吸光法	mg/L 0.1
溶解性マンガン(D-Mn)	JIS K0102 56.2	フレイム原子吸光法	mg/L 0.1

※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、パックテス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20日から令和3年2月4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や象潟と同様である。

大槌の試掘井では、有孔管がGL-9.0mまでであったため(図4-6)、水温・塩分の観測深度はそれよりも浅く設定した。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25日、11月12日、12月24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4-8に、調査時の写真を図4-19に示す。

現地調査を実施した際の天候は、夏季は曇一時雨、秋季は晴一時曇、冬季は雨であった。気温は、夏季は24.6℃、秋季は4.5℃、冬季は7.6℃であった。調査時の採水深度は、GL-9.5mとした。

表4-8 大槌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6日	11月12日	12月24日	2月5日
天気	曇一時雨	晴一時曇	雨	曇時々晴一時雪
気温(℃)	24.6	4.5	7.6	0.2
採水深度(GL-m)	9.5	9.5	9.5	-

※気温：山田地域気象観測所(アメダス)より引用

※天気：盛岡地方気象台より引用

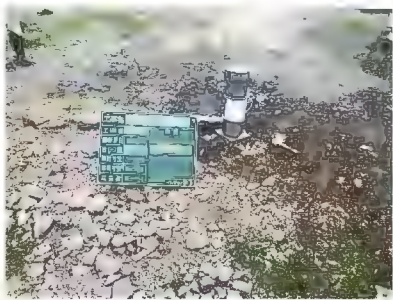
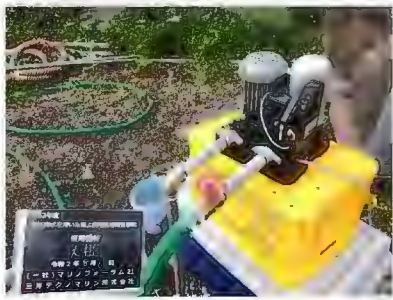
夏季調査(8月6日)	秋季調査(11月12日)	冬季調査(12月24日)
		
現地状況	現地状況	現地状況
		
試掘井周辺	試掘井周辺	試掘井周辺
		
調査状況(採水)	調査状況(採水)	調査状況(水質計測)
		
揚水状況	採水試料	採水試料

図4-19 大槌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を表4-9にまとめ、その結果を図4-20に図示した。

- ・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2項目(pH、大腸菌群数)、秋季は2項目(pH、大腸菌群数)、冬季は4項目(pH、COD_{OH}、SS、大腸菌群数)を満足した。

- ・pH：

値は夏季、秋季、冬季とすべて7.8を示し、年間を通じた変動はなかった。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した。

- ・COD_{OH}：

値は、夏季に8.2mg/L、秋季に3.9mg/Lであったが、冬季に1.0mg/Lであった。夏季に比べ、秋季と冬季に値が減少した。冬季において、衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準を満たした。

- ・SS：

値は、夏季に76mg/L、秋季に35mg/Lであったが、冬季に1mg/Lであった。夏季に比べ、秋季と冬季に値が減少した。冬季において、衛生管理型漁港で満たすべき水産用水基準を満たした。

- ・大腸菌群数：

値は、夏季に130MPN/100mLであったが、秋季に4MPN/100mL、冬季に23MPN/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15.20mg/L、秋季に7.77mg/L、冬季に1.34mg/L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さなかった。

- ・塩分：

値は、夏季に6.08、秋季に5.78、冬季に1.29であった。年間を通じて1.29～6.08の幅で変動しており、変動の幅は大きかった。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、全季において、報告下限値未満(0.1mg/L未満)であった。溶解性鉄の水産用水基準は0.2mg/L以下となっており、全季において、基準を満たした。

- ・溶解性マンガン：

値は、全季において、報告下限値未満(0.1mg/L未満)であった。溶解性マンガンの基準は0.6mg/L以下と設定しており、全季において基準を満たした。

・溶存酸素：

値は、夏季に 4.8mg/L、秋季に 6.0mg/L、冬季に 8.8mg/L であった。年間を通じて 4.8～8.8mg/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、秋季と冬季において、基準を満たした。

・水温：

値は、夏季に 18.8℃、秋季に 16.6℃、冬季に 10.3℃であった。年間を通じて 10.3～18.8℃の幅で変動しており、最も水温の高かった夏季と冬季とで水温差は 8.5℃と、変動の幅は大きかった。

・硫化物：

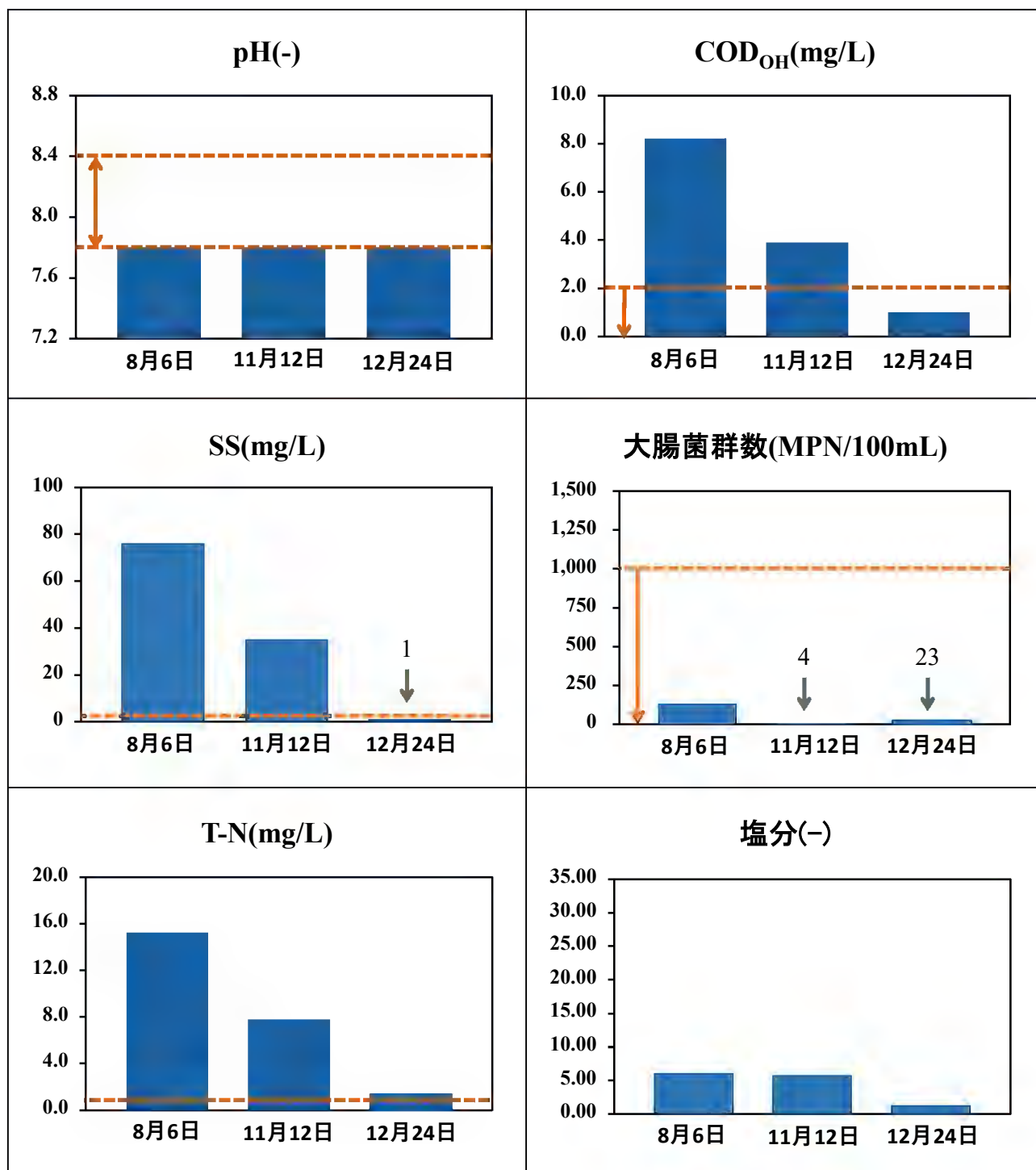
秋季と冬季において、パックテストにより硫化物イオンの濃度を測定した結果、値は、秋季に 2～5mg/L であり、冬季に 0.5～1mg/L であった。秋季と比べ、冬季に値の減少が確認された。

表 4－9 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	7.8	7.8	7.8	○	○	3/3
	COD _{OH} (mg/L)	2mg/L以下	8.2	3.9	1.0	×	○	1/3
	SS(mg/L)	2mg/L以下	76	35	1	×	○	1/3
	大腸菌群数(MPN/100mL)	1000/100mL以下	130	4	23	○	○	3/3
	T-N(mg/L)	1.0mg/L以下	15.20	7.77	1.34	×	×	0/3
水産用水基準適合率		-	-	-	2/5	2/5	4/5	8/15
その他の 項目	塩分(-)	-	6.08	5.78	1.29	-	-	-
	溶解性鉄(mg/L)	0.2mg/L以下	<0.1	<0.1	<0.1	○	○	3/3
	溶解性マンガン(mg/L)	0.6mg/L以下※1	<0.1	<0.1	<0.1	△	△	-
	溶存酸素(mg/L)	6mg/L以上	4.8	6.0	8.8	×	○	2/3
	水温	-	18.8	16.6	10.3	-	-	-

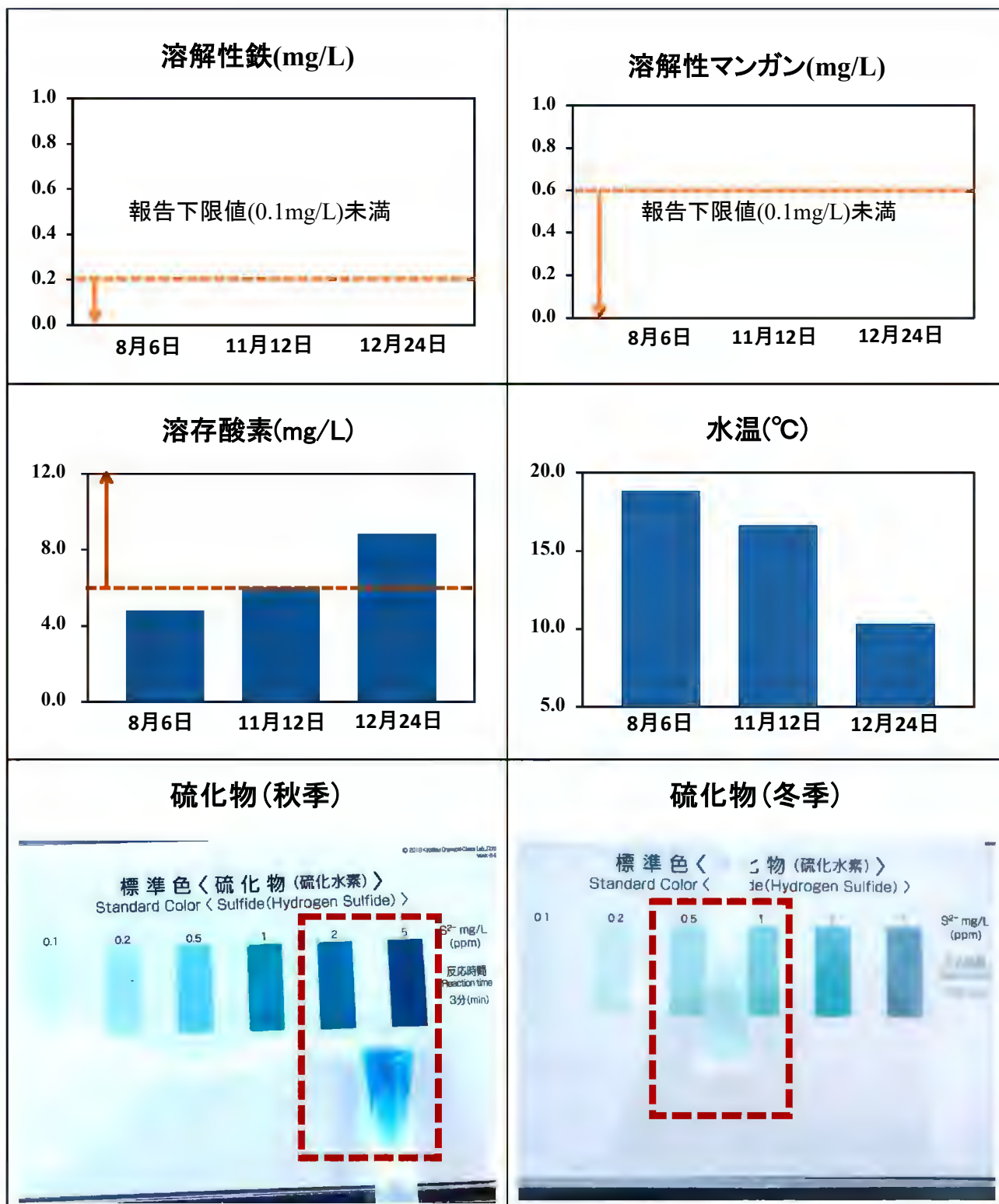
※1:水産用水基準の根拠の値を参考に溶解性マンガンの基準値を定め、適合状況を△と×で示す。

※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4-20 (1) 大槌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 4-20 (2) 大槌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7日から令和3年2月4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4-21に、まとめた結果を表4-10に示す。機器の動作確認やデータの抜出を9月24日、11月12日、12月24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13.1℃で、1月13日に最低値9.6℃を記録し、9月19日に最高値16.0℃を記録した。最高値と最低値の差分は6.4℃で、値の変動は小さかったが、11月までは塩分の減少に合わせた水温の上昇が確認され、12月以降は塩分と同様の減少が確認された。線形近似すると、近似式は $y=0.00001x+12.573$ となっており、ほぼ平坦であった。

・塩分

塩分は、平均値が8.88で、8月18日に最低値2.36を記録し、1月12日に最高値11.37を記録した。最高値と最低値の差分は9.01で、7～10日前後ごとに、特徴的な塩分の低下が確認された。線形近似すると、近似式は $y=-0.0043x+199.4$ となっており、ほぼ平坦であった。

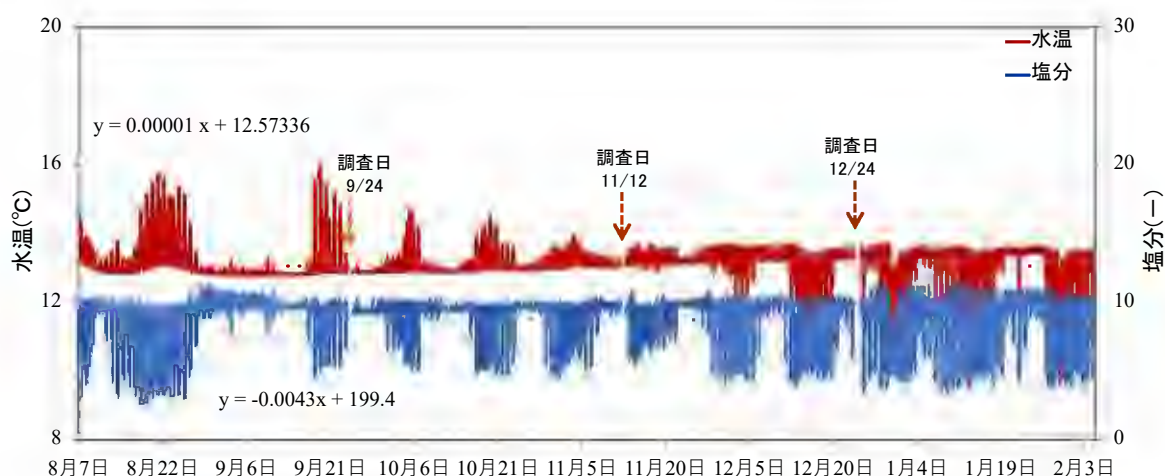


図4-21 大槌の試掘井内の水温と塩分経時変化

表4-10 大槌の試掘井内における水温と塩分

	試掘井内	
	水温(℃)	塩分(‰)
最高	16.0	11.37
最低	9.6	2.36
平均	13.1	8.88
標準偏差	0.5	1.76
線形近似式	$y=1.0 \times 10^{-5}x+12.573$	$y=-0.0043x+199.4$

※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

大槌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 2 項目 (pH、大腸菌群数)、秋季は 2 項目 (pH、大腸菌群数)、冬季は 4 項目 (pH、COD_{OH}、SS、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 1.29～6.08 の範囲であり、差分は 4.79 であった。一般的な沿岸域の海水 (33～34 前後) の 1/5 程度であり、淡水の影響が大きいことが示唆された。

- ・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・溶解性マンガンは周年を通じて報告下限値未満であり、検出されなかった。そのため、井戸として利用した際に、溶解性鉄と溶解性マンガンに由来する水質の悪化の可能性は低いと考えられる。

- ・硫化物イオンについて

試掘井から腐乱臭がしたため、現地からの要望により硫化物イオン濃度を調べた。パックテストの結果、秋季は 2～5mg/L の範囲であったが、冬季は 0.5～1mg/L の範囲となり、値が減少した。また、客観性には欠けるが、夏季や秋季に比べて、冬季において試掘井からの臭気は減少していた。この理由として、季節変動が考えられるが、その他に後述する長期的な水のくみ上げによる水質改善効果も考えられる。

- ・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。COD_{OH} や T-N も SS と同様の減少傾向を示しており、この理由は、水中の懸濁物には有機物も含まれているためであると考えられる。また、硫化水素の濃度も、秋季と比較して冬季において減少していた。

- ・SSやCOD_{OH}、T-Nの大幅な減少について

大槌における水質分析の結果、夏季より秋季、冬季にかけて SS、COD_{OH}、T-N の値の減少が確認された。夏季と冬季を比較すると SS の値は 98%減少し、COD_{OH} の値は 78%減少、T-N の値は 91%減少した。分析値の減少率は、他の地点と比べて最も大きかった。水中の懸濁物中に COD_{OH} や T-N が含まれていたため、SS の減少とともに COD_{OH} や T-N が減少したと考えられる。これほどまでに分析値が減少した理由の一つは、上述した通り季節変動が考えられるが、その他の可能性として、長期的に水をくみ上げていたことが考えられる。大槌においては、現地の土地利用者が 9 月以降水中ポンプにより、常に水をくみ上げていた。そのため、試掘井内やその水源からの懸濁物や有機物を含む水が排出され、SS 等の分析値が減少したと考えられる。この結果は、長期的な水のくみ上げによる水質改善の可能性を示唆している。

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、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4-11に、試掘井の水温(24時間移動平均)と岩手県南部沿岸における水温²⁷を図4-22に、試掘井の水温(24時間移動平均)と山田における平均気温²⁸を図4-23に、試掘井の塩分を図4-24に、山田の降水量²⁸を図4-25に、釜石における潮位²⁹を図4-26に示す。それぞれの環境データの引用元を下部に示す。

・試掘井内の水温と周辺の気象条件について

岩手県南部沿岸の水温は、9月上旬は25.4℃だったが、2月上旬には8.0℃まで減少した。近似直線の傾きは-0.0932となり、右肩下がりの傾向を示した。山田における気象についても同様の傾向となっており、8月上旬は30℃程であったが、2月上旬には-3℃程まで減少した。近似直線の傾きは-0.1711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0.00001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。

・試掘井内の塩分と周辺の気象条件について

大槌において、30mm/日以上 of 降水が確認されたのは、8月9日、9月3日、9月12～15日、9月23、25日、10月11～12日などであった。大槌において、潮位は毎日100cm以上変動していた。調査期間のうち、潮位の変動の小さな小潮の期間は、8月11～13日、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、概ね10前後は維持されていたが、小潮の期間以外に塩分は3前後まで減少する傾向がみられた。すなわち、大槌の試掘井の塩分は潮汐の影響を受けると考えられる。

²⁷ 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

²⁸ 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>

²⁹ 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 4-11 試掘井周辺の平均水温・平均気温の概況

	岩手県南部沿岸 平均水温(°C)	山田 平均気温(°C)
最高	25.4	29.40
最低	8.0	-5.00
平均	16.8	10.97
標準偏差	5.0	9.51
線形近似式	$y = -0.0932x + 4130.3$	$y = -0.1711x + 7562.5$

※1:線形近似式では、日付をシリアル値として扱っている。

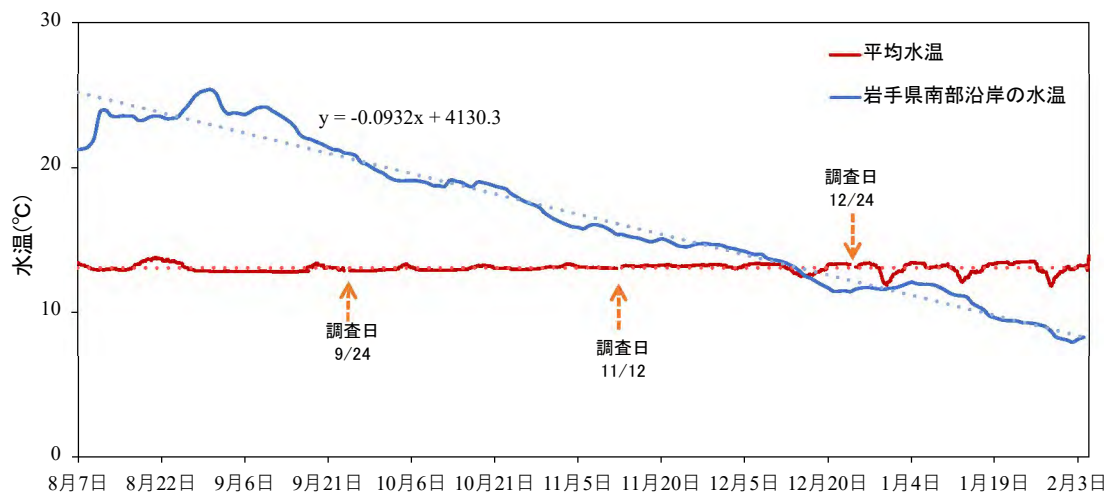


図 4-22 試掘井の水温(24 時間移動平均)と
岩手県南部沿岸における水温経時変化(気象庁データ)

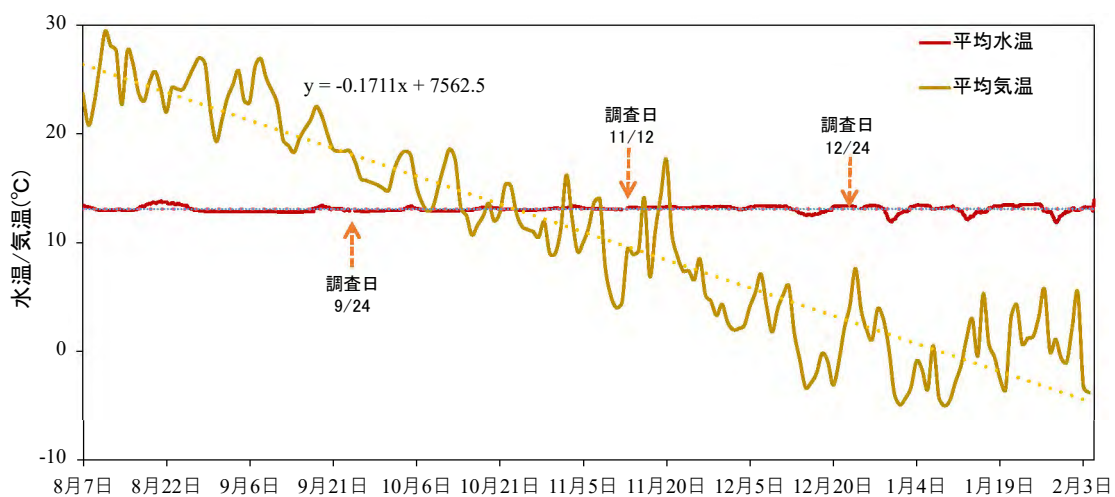


図 4-23 試掘井の水温(24 時間移動平均)と
山田における平均気温経時変化(気象庁データ)

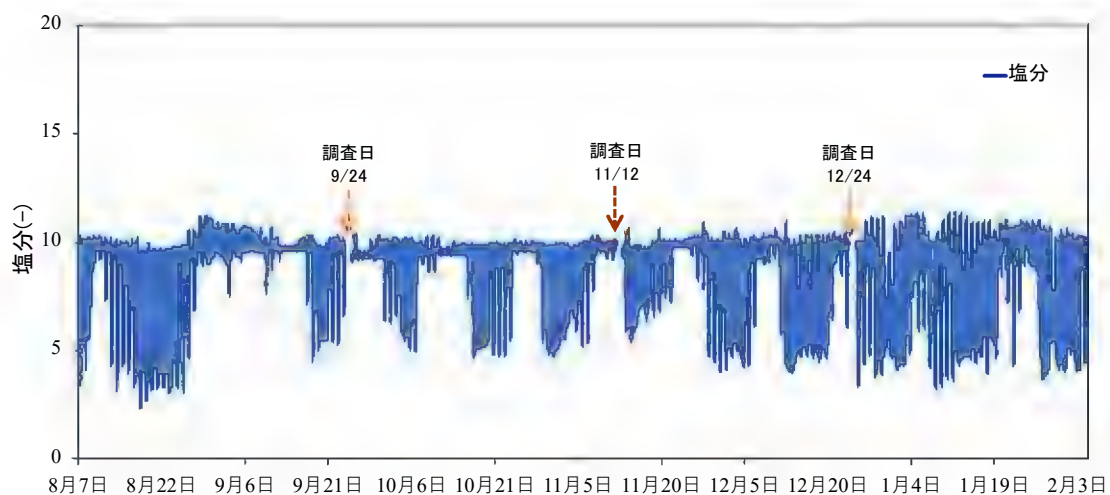


図 4-24 大槌における塩分経時変化

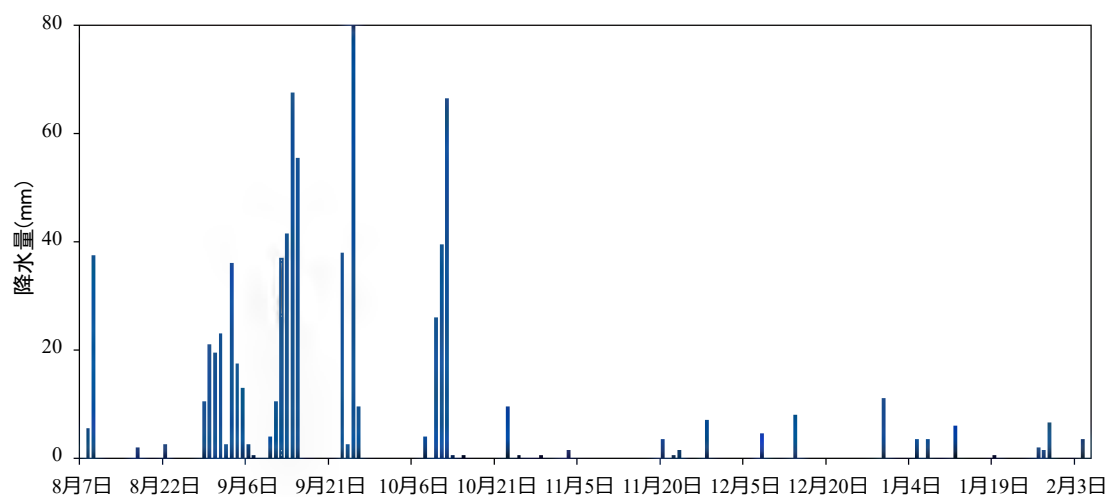


図 4-25 山田における降水量経時変化(気象庁データ、日合計)

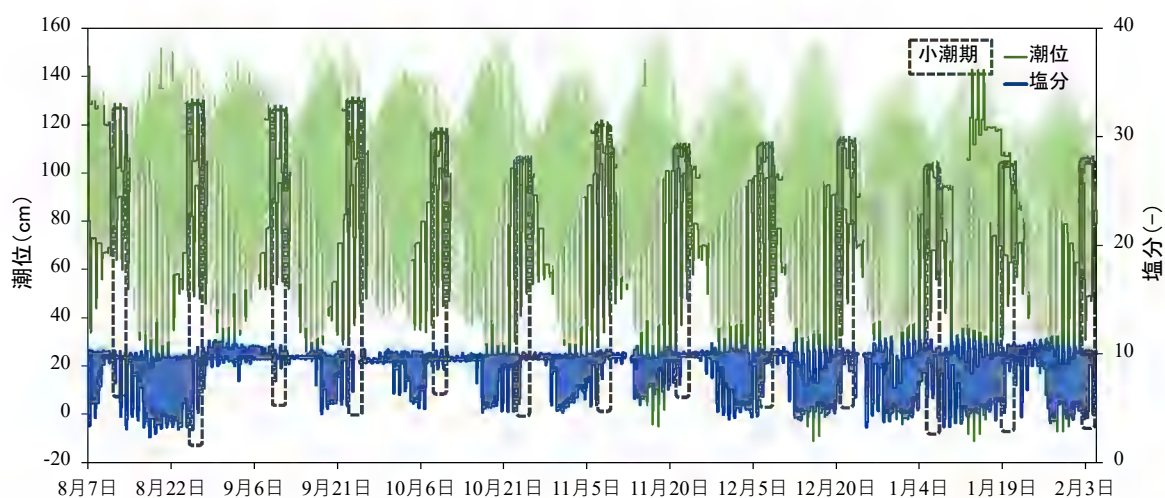


図 4-26 潮位(釜石)と塩分(試掘井内)の経時変化

4) 水質調査総括

大槌の試掘井における水質分析結果の概要を表4-12にまとめる。

- ・水産用水基準について

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2項目(pH、大腸菌群数)、秋季は2項目(pH、大腸菌群数)、冬季は4項目(pH、COD_{OH}、SS、大腸菌群数)を満足した。達成率は53%(8/15)であった。

- ・塩分について

塩分については、水質分析の結果1.29～6.08の範囲であり、データロガーでの測定の結果2.36～11.37の範囲であった。塩分は概ね10前後で維持されていたが、潮汐の影響により変動がみられた。

- ・水温について

水温は9.6～16.0℃の範囲となっており、年間を通じての変動幅は6.4℃程度と小さく、一定の値を示していた。

- ・鉄・マンガン濃度について

溶解性鉄・溶解性マンガンは、周年を通じて検出されなかった。

- ・総括

大槌における試掘井の水質の特徴としては、塩分が低く淡水性が強いことである。夏季や秋季に比べ、冬季では水質がかなり改善し、T-N以外の水産用水基準を満たした。水温は周年一定で、冬季でも13℃は維持されていた。それに加え、鉄・マンガン濃度が低いため、試掘井の水を利用した際も配管等への影響はあまり大きくないと考えられる。

以上より、大槌の試掘井の水質の塩分は10前後と低く、水産用水基準の達成率は60%であるものの、水温の変動幅も小さく、鉄・マンガンが検出されなかった。

表4-12 大槌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	○

コラム:大槌の試掘井の特徴について

大槌において、現地の土地使用者が9月頃から水中ポンプと塩ビ管により、長期間水をくみ上げ続けていた。その結果、塩ビ管の内側に白いブヨブヨとしたものが付着した(図4-27)。この物質を含む水試料を検鏡により調べたところ、*Crenothrix* 属(細菌)が確認された。

Crenothrix 属は鉄酸化細菌であり、水中に溶存する溶解性鉄(2価鉄)を酸化し、不溶解性の鉄化合物に変え、体に蓄積し沈殿する能力を持っている(小島ら 1995³⁰)。また、メタンを酸化する能力を有しており、これによりエネルギーを生産する(Oswald et al. 2017³¹)。今回確認した範囲では、ブヨブヨした物質がすべて *Crenothrix* 属かは特定できなかったが、大槌の試掘井にはバクテリアが生息していることは確認できた。



図4-27 大槌で確認されたブヨブヨした物質

³⁰ 小島貞夫, 須藤隆一, 千原光雄, 環境微生物図鑑, 1995, 講談社

³¹ Kirsten Oswald et al., *Crenothrix* are major methane consumers in stratified lakes, The ISME Journal, (2017), 2124-2140

(2) 短期飼育実験

水質分析と並行して、地元が自主的に、下記の簡易的な飼育実験を行った。

地下水が淡水であったことから、9月にヤマメ(陸封型)平均80g/尾を約50尾、約1か月間飼育観察を行った。搬入時の初期減耗はあったものの、その後の斃死は見られなかった。

また、11月にニジマス(海水適応型)平均800g/尾を約100尾、約1か月間飼育観察を行った。搬入時の初期減耗はあったものの、11月下旬より斃死が見られるようになり、飼育を中止した。

斃死魚の観察から考えられる斃死の原因は次の2つが考えられる。

1つ目は、体表に婚姻色が見られたことから、ニジマス自体の寿命、もしくは寿命に近いために体表に水性菌が付着し、斃死に至った、もしくはその両方の原因による。

2つ目は、揚水をしているものの外気温が低いことから水槽内の水温が低くなり、ニジマスの活力が低くなり、体表に水性菌が付着し、斃死した。

あるいは、それらの複合原因による可能性もある。

今回の飼育観察は、給餌量、成長量等、詳しい飼育データは取っていない。主な目的としては試験井より揚水した水で魚類を飼育できるかどうかを夏季、秋季の水質検査結果とは別に、実際に確かめることが目的であった。

上記のことから、本試験井から揚水した淡水で、魚類養殖は可能であると考えられる。

(3) 採取した地下海水の利用に関する検討

1) 地域の状況

大槌では、良質な地下海水が取水できれば、地元水産物の蓄養やサケマス類の陸上養殖の希望があった。

特にサケマス類は冷水性魚種のため、夏季の自然水温では斃死してしまうが、周年ほぼ一定水温が期待できる地下海水での越夏、長期飼育(周年飼育)が期待された。

一方、隣接の釜石市には、かつてチョウザメの種苗生産、養殖を行う企業があった。東日本大震災の甚大な被災により会社は解散してしまったが、この地域には、チョウザメ養殖の下地がある。

また、大槌町産業振興課では、以前から植物工場や養殖と植物栽培を組み合わせたアクアポニックスによる地域振興を模索している。土地の広さ、道路のアクセス、労働力、日照時間という必要条件を満たしており、植物栽培に適した水(淡水魚養殖排水)が加われば、さらに現実味を帯びる。

2) 利用策

本事業の試掘による地下海水は、残念ながらほぼ淡水であったが、周年水温13℃前後の清浄な水質なので、サケマス類等の飼育は期待できる。

淡水給餌養殖(例えばチョウザメ)の場合、飼育排水を利用したアクアポニックスが考えられる。

アクアポニックスの対象栽培種としては、トマト、イチゴ、ワサビ、クレソン等の報告がある。

水耕栽培のトマト工場は既に国内に複数あり、岩手県内にも数社ある。イチゴは、特に夏イチゴの流通はごくわずかであるので希少性から販売の引き合いが高く、価格が高い。

大槌町内では葉わさび、根わさび栽培が震災前は盛んであったとのことで、それらの栽培も考えられる。また、大槌町内には農業女子グループ「日本クレソン協会」があり、魚類養殖とクレソンの栽培との組み合わせで、クレソンの年中出荷体制がとれる可能性なども考えられる。

以上の方策で、キャビアだけでなく、特産農産物やチョウザメの肉の有効利用の六次産業化や新産業創出も考えられる。