沖縄水海研セ事報 72，78―81 （2011）

沖縄県水産海洋研究センター石垣支所敷地内で取水された地下浸透海水の性状 (種苗生産・養殖への地下浸透海水利用技術開発)

岸本和雄*，木村基文

Properties of Underground Infiltration Seawaters drawn up from the Wells that dug within the site of Ishigaki Branch, Okinawa Prefectural Fisheries and Ocean Research Center

Kazuo KISHIMOTO*, Motofumi KIMURA

水産海洋研究センター石垣支所敷地内の地下28mから取水された地下浸透海水の性状を調査した. 2ヶ所の取水井戸から得られた地下浸透海水を対象とし，いずれの水温も平均24℃台で年間変動幅が1.1℃と安定していた. pHも平均7.52, 7.62とほぼ中性であり, 溶存酸素量は平均3.47mg/L, 3.82 mg/Lと低かった. 塩分濃度が平均28.50, 31.48PSUと井戸間で若干異なっていたが，井戸の構造によるものと考えられた. 溶存物質に関しては，全窒素と全リンが濾過海水の2～3倍程度と富栄養であったが，大腸菌や腸炎ビブリオなど有害細菌類をほとんど含まず清浄であった. 銅やマンガン等の値も低く，分析項目のうち水産用水基準で定めのあるものは，全て基準を満たしていた.

沿岸域に帯水層が広がっている場合，その地層に浸透している海水（以下，「地下浸透海水」）を，陸上で井戸を掘ることにより取水することができる. この地下浸透海水は，一般的に水温やpH等が年間を通して自然海水より安定していることが知られており（江端ほか，2006；今田ほか2006），また，地下を浸透する際にいわゆる濾過作用が働き，有害細菌類や寄生虫等の非常に少ない清浄性が期待できる．海産生物を飼育する場合，恒温性は適水温種の安定的な成長につながり，清浄性は自然海水使用時に必要な濾過や殺菌に係るコスト削減に利用できる．亜熱帯総合研究所（2006）によると，沖縄県内のサンゴ礁海岸の地下には琉球石灰岩層や砂・砂礫層などの帯水層が広がるため，離島を含めた県内広範囲で地下浸透海水を取水できる可能性があり，水産業を含めた様々な分野での利用が検討され，海産生物飼育に関して，造礁サンゴ類の飼育水としての有効性が認められている．その他の県内での事例としては，アワビ類の養殖試験において成果が得られている（田中ほか，2002；今田ほか，2006）．琉球石灰岩は炭酸カルシウムでできた様々な底生生物の骨格粒子が主要な構成物で，硬い堆積岩ではあるが緻密な孔が多数存在することにより良好な透水性を示す．沖縄県では，特に琉球石灰岩層の分布する地域を中心に，良質で安定した地下浸透海水を水産分野において利用できる可能性が高い．

しかし，この様な海水を使用した陸上養殖産業に関しては，全国的にみてもごくわずかしか例がない．その理由として，取水はできるものの，降雨等により淡水が混入して塩分濃度等が変動する，生物飼育に適さない金属成分を含有するなど，安定した良質の飼育水として利用できる適地が少ないことがあげられる．地下浸透海水を利用する場合は，水質とその安定性など，性状を十分に調査することが不可欠である．

水産海洋研究センター石垣支所では，平成19年度（2008年1月）に敷地内を試掘し，地下約28mから地下浸透海水が取水できることを確認した．そこで今回は，今後の地下浸透海水を使用した種苗生産及び陸上養殖技術開発に資するため，石垣支所敷地内で取水される地下浸透海水の性状把握を目的として水質調査を行った．

材料及び方法

水産海洋研究センター石垣支所敷地内において平成19年度（2008年1月）に試掘された魚類種苗生産棟脇の第1取水井戸と，平成22年度（2011年1月）に整備された飼育実験棟脇の第2取水井戸から取水される地下浸透海水原水について調査を行った（図1）．これら2つの取水井戸の深度は28mで，地下浸透海水は陸上ポンプ（三相電機株式会社製；定格電圧200V，出力1500W，全揚程14m:揚水量287L/min）を用いて取水した（図2）．第1取水井戸原水については，2010年1月13日から2011年1月27日までの379日間，第2取水井戸原水については，2011年1月28日から同年5月25日までの117日間，水質測定を実施した．測定項目は，水温，pH，塩分濃度，溶存酸素濃度（以下，「DO」）とした．地下浸透海水と石垣支所取

* Email: kishimkz@pref.okinawa.lg.jp

水濾過海水（以下，「濾過海水」）の水温と pH を，毎日 1 回午前 9 時を目安に採水し，ポータブル pH 計（HM−30P；東亜 DKK）を用いて測定した．地下浸透海水の塩分濃度及び DO については，取水ポンプから水槽までの配管の途中に測定用の分岐を設け，その中に多項目水質計（MS5；HYDROLAB）を常設して 1 時間毎に測定した．なお，塩分濃度については計器の故障により，2010 年 9 月 1 日から 2011 年 2 月 1 日の間，測定できなかった．第 2 取水井戸原水について，溶存物質の分析を行った．分析は 2011 年 3 月に実施し，表 2 の 27 項目について，株式会社沖縄県環境分析センターに委託して行った．

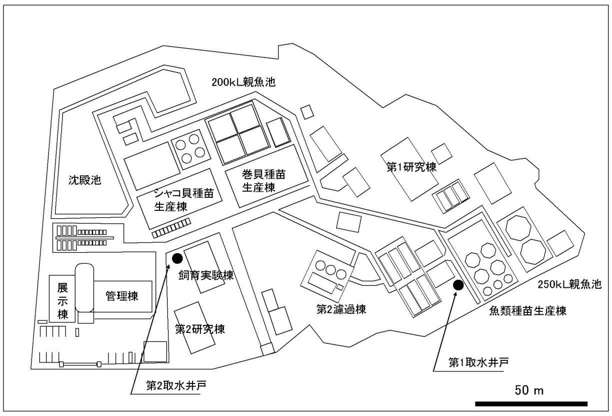

図 1．水産海洋研究センター石垣支所の施設配置及び取水井戸位置図

結果

地下浸透海水原水と濾過海水の水質データを表 1 と図 3 に示す．第 1 取水井戸原水の水温は平均 24.9℃で，調査期

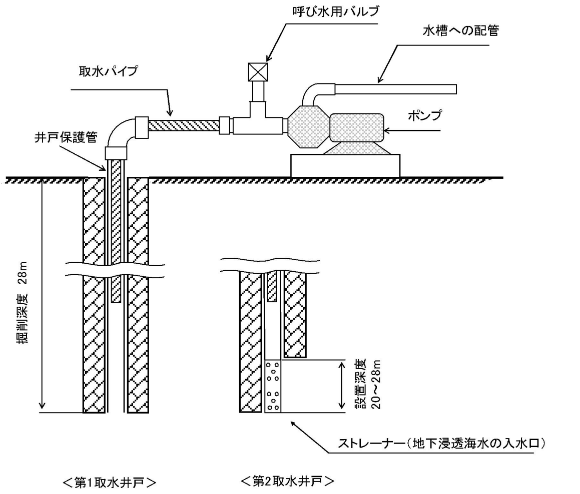

図 2．地下浸透海水取水施設模式図
第 1 取水井戸の保護管は鋼製（φ86mm）でストレーナーなし．第 2 取水井戸の保護管は塩ビ製（φ75mm）でストレーナー設置．

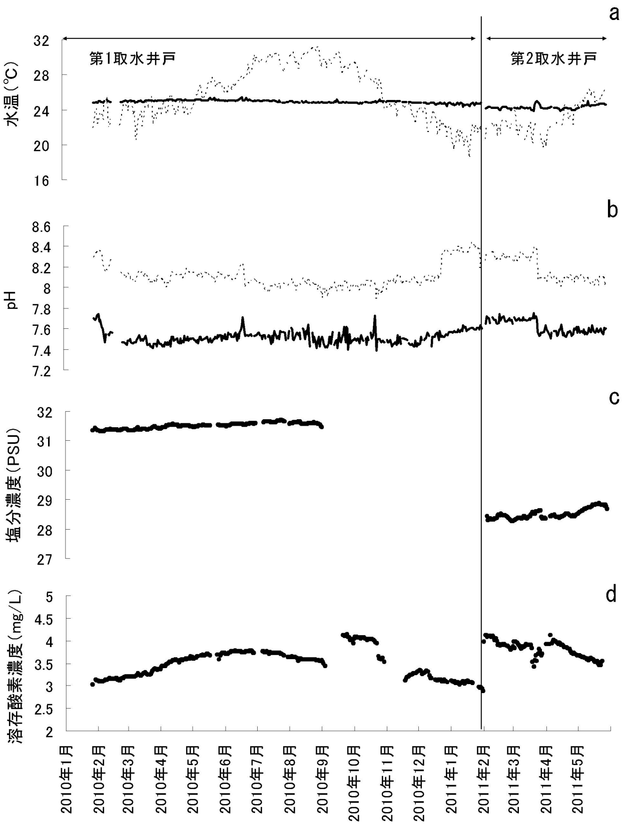

図 3．地下浸透海水原水の水質の変化
水温（a）と pH（b）は，実線が地下浸透海水，点線が濾過海水を示す．塩分濃度（c）と溶存酸素濃度（d）は，地下浸透海水の日間平均値を示す．

表1．地下浸透海水原水と濾過海水の水質
各期間における平均値と，カッコ内に最大値と最小値を示す．

	第1取水井戸原水	濾過海水	第2取水井戸原水	濾過海水
	2010/1/13 - 2011/1/27		2011/1/28 - 2011/5/25	
水温（℃）	24.9（25.4 - 24.3）	25.7（31.2 - 18.5）	24.3（25.0 - 23.9）	23.0（26.4 - 19.7）
pH	7.52（7.74 - 7.39）	8.11（8.44 - 7.89）	7.62（7.75 - 7.51）	8.17（8.40 - 8.01）
塩分濃度（PSU）	31.48（31.74 - 31.27）		28.50（29.01 - 27.59）	
溶存酸素濃度（mg/L）	3.47（4.16 - 2.86）		3.82（5.47 - 3.23）	

間中の変動幅は 1.1℃であった．第 2 取水井戸原水は平均 24.3℃で，変動幅は 1.1℃であった．両原水はほぼ同じ水温域であった．濾過海水の水温は第 1 取水井戸原水調査期間中，平均 25.7℃で変動幅は 12.7℃，第 2 取水井戸原水調査期間中は平均 23.0℃で変動幅は 6.7℃であった．地下浸透海水原水の水温は濾過海水に比べて変動幅が小さく，安定していた．pH は，第 1 取水井戸側で平均 7.52，第 2 取水井戸側で平均 7.62 とほとんど変わらなかった. 濾過海水が同時期でそれぞれ平均 8.11 と平均 8.17 であり，地下浸透海水はやや中性よりの値であった．塩分濃度は，第 1 取水井戸側で平均 31.48PSU，第 2 取水井戸側で 28.50PSU と第 2 取水井戸側が低濃度であった．DO は第 1 取水井戸側で平均 3.47mg/L, 第 2 取水井戸側で平均 3.82mg/L と大差なかった.

第 2 取水井戸原水の成分分析結果を表 2 に示す．大腸菌が 0MPN/100mL, 腸炎ビブリオも 2MPN/100mL 未満と，有害な細菌類はほとんど検出されなかった．全窒素（0.61 mg/L）と全リン（0.032 mg/L）との値がそれぞれ濾過海水の 3 倍，2 倍と高かった．ナトリウム，カリウム，カルシウム，マグネシウム，塩素イオン，硫酸イオンは濾過海水よりやや低い値であった．その他，ケイ酸態ケイ素（0.6 mg/L）と炭酸水素イオン（160 mg/L）以外は，特に濾過海水と変わりなかった．マンガン，鉛，スズ等の金属成分も検出値以下であった.

表2. 地下浸透海水原水の成分分析結果

試験項目	単位	取水濾過海水	地下浸透海水	試験方法
大腸菌群数	MPN/100mL	7.8	0	BGLB培地・最確数法
腸炎ビブリオ	MPN/100mL	2未満	2未満	TCBS寒天培地・最確数法
ノルマルヘキサン抽出物	mg/L	0.5未満	0.5未満	抽出-重量法
懸濁物質量	mg/L	0.5未満	0.5未満	GFPろ過-重量法
全窒素	mg/L	0.21	0.61	銅・カドミウムカラム還元・ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
アンモニア態窒素	mg/L	0.026	0.009	インドフェノール青吸光光度法
亜硝酸態窒素	mg/L	0.005	0.009	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
硝酸態窒素	mg/L	0.11	0.40	銅・カドミウムカラム還元・ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
全リン	mg/L	0.015	0.032	ペルオキソ二硫酸カリウム分解・モリブデン青吸光光度法
リン酸態リン	mg/L	0.002	0.023	モリブデン青吸光光度法
ナトリウム	mg/L	12,000	9,100	フレーム原子吸光光度法
カリウム	mg/L	430	330	フレーム原子吸光光度法
カルシウム	mg/L	420	380	フレーム原子吸光光度法
マグネシウム	mg/L	1,300	1,000	フレーム原子吸光光度法
塩素イオン	mg/L	19,000	15,000	イオンクロマトグラフ法
硫酸イオン	mg/L	2,600	2,100	イオンクロマトグラフ法
炭酸水素イオン	mg/L	110	160	分離滴定法
全亜鉛	mg/L	0.01未満	0.01未満	ICP質量分析法
ケイ酸態ケイ素	mg/L	0.1未満	0.6	モリブデン青吸光光度法
銅	mg/L	0.01未満	0.01未満	ICP質量分析法
鉄	mg/L	0.01未満	0.01未満	ICP質量分析法
マンガン	mg/L	0.01未満	0.01未満	ICP質量分析法
スズ	mg/L	0.01未満	0.01未満	ICP質量分析法
鉛	mg/L	0.005未満	0.005未満	ICP質量分析法
六価クロム	mg/L	0.005未満	0.005未満	ICP質量分析法
フッ素	mg/L	1.0	0.8	イオンクロマトグラフ法
ホウ素	mg/L	4.6	3.7	ICP質量分析法

考察

石垣支所で取水される地下浸透海水の水温は，他の報告同様，濾過海水（沿岸の海水）と比べ，年間を通して安定していた．pH も沿岸の海水よりやや低く中性の値という点で似通っていた（江端ほか，2006；今田ほか，2006）．今田ほか（2006）は，同じ八重山諸島の黒島（井戸深度 100m）で調査を行い，pH の低さには溶存炭酸の存在が影響していると考察している．今回の調査でも炭酸水素イオンは 160mg/L と，濾過海水（110 mg/L）より高かった．なお，同報告において，pH の低さは原水の強曝気で容易に改善できると報告されている．塩分濃度に関しては，取水井戸間で約 3PSU の差があった．井戸の深度は 28m と同じであるが，第 1 取水井戸は試掘井戸であったためストレーナー（スクリーン）を設置しておらず，最下層から湧き出したものが取水されている．第 2 取水井戸は試験用に整備したものであり，ストレーナーが開孔率 3%で深さ 20～28m の部分に設置されている（図 2）．ストレーナーは帯水層から水を取水するための有孔管で，その面積（管の長さ）や孔の口径により井戸の集水能力を調整するための部材である（全国さく井協会，2010）．第 2 取水井戸のストレーナーは上層から低塩分濃度水を引き込んでいると考えられ，これが第 1 取水井戸との塩分濃度の差につながっていると考えられた．地下浸透海水用の井戸を整備する際には，ストレーナーの設置位置の検討が重要である．DO について，今田ほか（2006）は平均 2.9 mg/L，江端ほか（2007）は平均 0.8 mg/L と報告しており，今回の結果はそれらより若干高い値であった．今田ほか（2006）は水中ポンプで取水しているが，石垣支所の施設では井戸にホースを挿入し，陸上ポンプで取水している（図 2）．この設備内でどこかに空気が混入する箇所があり，DO 上昇につながるものと考えられ，実際には他報と同様，さらに低い可能性がある．

溶存物質について，検査項目のうち，水産用水基準（日本水産資源保護協会，2005）において定めのある項目は，全て基準値内であった．大腸菌は検出されず，腸炎ビブリオも 2MPN/100mL 未満と，有害な細菌類はほとんど含まれなかった．また懸濁物質量やノルマルヘキサン抽出物（油分）も検出限界値以下であったことから，生物飼育にとっては清浄な飼育水と考えられた．全窒素と全リンの値は高く，濾過海水より富栄養であった．ナトリウム，カリウム，カルシウム，マグネシウム，塩素イオン，硫酸イオンの値が低いことは，塩分濃度の低さを反映してのものと考えられた．ケイ酸態ケイ素（0.6 mg/L）は濾過海水（0.1 mg/L 未満）と比較してかなり高かった．この値は，沖縄県久米島の水深 612m から取水される海洋深層水中における値（約 0.2mg/L）の約 3 倍であった（平良ほか，2003）．ケイ素は土中に多く含まれる成分で，岩石の化学風化により地下水中に供給される（日本地下水学会，2000）．石垣支所で取水される地下浸透海水は，塩分濃度の値から地下水との混合があると思われ，その地下水に含まれるケイ素が今回の結果に影響していると思われる．その他，銅，マンガン，鉛等の金属成分は検出値以下であったが，飼育対象となる生物によっては微量に含まれることが問題になる場合もあるため，注意が必要である．

以上から，石垣支所で取水される地下浸透海水は，年間水温が 24℃台で安定しており，塩分濃度は濾過海水よりやや低く中性域で，pH と DO は濾過海水より低いが曝気により改善可能であり，大腸菌や腸炎ビブリオをほとんど含まず，検査した溶存物質においては海産生物の飼育に特に問題を及ぼさない範囲という性状であることがわかった．

文献

亜熱帯総合研究所，2006：亜熱帯研究プロジェクトの可能性調査及び開発調査報告書．（財）亜熱帯総合研究所，沖縄，165pp.

江端弘樹，佐藤義夫，福江正治，嶌田　智，榎田和彦，2006：地下海水を陸上養殖に利用する可能性と問題点ならびに対応策．日本海水学会誌 60(2)，110－118.

江端弘樹，佐藤義夫，嶌田　智，四ツ倉典滋，平岡雅規，2007：地下海水を用いた緑藻スジアオノリ陸上養殖の可能性．水産増殖 55(1)，103－108.

今田　克，前田広人，田中淑人，2006：沖縄琉球石灰岩島の地下海水の取水・性状・養殖特性．日本海水学会誌 60(2)，119－124.

日本水産資源保護協会，2006：水産用水基準（2005 年度版），（社）日本水産資源保護協会，東京，95pp.

日本地下水学会（編），2000：地下水水質の基礎．理工図書，東京，190pp.

平良直秀，照屋正映，市場俊雄，2003：工業利用のための沖縄産海洋深層水の調査報告．沖縄県工業技術センター研究報告書 5，11－18.

田中淑人，今田　克，諸石　博，2002：沖縄における井戸海水を用いたクロアワビの養殖試験．水産増殖 50(1)，119－120.

全国さく井協会，2010：さく井・改修工事標準歩掛資料（平成 22 年度板），（社）全国さく井協会，東京，187pp.