

千葉県九十九里浜における 2009 年 4 月に認められた 潮溜まりの色調変化と地下水流動の関係

吉田 剛* 風岡 修* 楠田 隆*
古野 邦雄* 香川 淳*

Relationship between Water Color in Tidal Pools and Groundwater Flow on Foreshore, Kujukuri Beach, Chiba, Central Japan

Takeshi YOSHIDA*, Osamu KAZAOKA*, Takashi KUSUDA*,
Kunio FURUNO* and Atsushi KAGAWA*

[Received 5 October, 2021; Accepted 3 June, 2022]

Abstract

At Kujukuri Beach, Chiba, Japan, the Holocene series unconformably overlies the Pleistocene Kazusa Group, which was deposited mainly in the deep sea and contains natural gas (methane) dissolved in water. These conditions allow gas to emerge from the ground as it moves upward through faults and sandy layers. In 2007, some tidal pools at Kujukuri Beach became cloudy white, and water clouding still persists in areas where the tidal pools overlap with methane gas emissions on the beach at low tide. Water clouding occurs when yellow groundwater in a strongly reducing state is produced because underground methane gas is discharged through the beach surface into tidal pools, and comes into contact with the atmosphere or seawater. A survey conducted in April 2009 confirmed that tidal pools change from being transparent to yellowish white, then become white, yellowish white, yellow, and yellowish white, and again transparent. Accordingly, in this study, this phenomenon is analyzed and elucidated using groundwater level measurements. The rate of discharge of yellow groundwater declined as tide level decreased, and the water turned white at the lowest tide. As the tide level increased, the water again turned yellow as yellow groundwater emerged from the bottoms of the tidal pools. Seawater flowed into the tidal pools as the tide level further increased, causing seawater in the pools to become yellowish white and transparent.

Key words : methane gas, tidal pool, yellow groundwater, cloudy white water, groundwater level
キーワード : メタンガス, 潮溜まり, 黄色地下水, 白濁, 地下水位

I. はじめに

千葉県九十九里平野では、更新統上総層群に胚胎する天然ガス（メタンガス）が地表に湧出し、

水田・河川ではこれを目視できる。九十九里浜においても湧出する泡およびそのとき形成される砂火山によってガス湧出の存在を確認できる。この九十九里浜の南部・中央部では、大潮の

* 千葉県環境研究センター

* Chiba Prefectural Environmental Research Center, Chiba, 261-0005, Japan

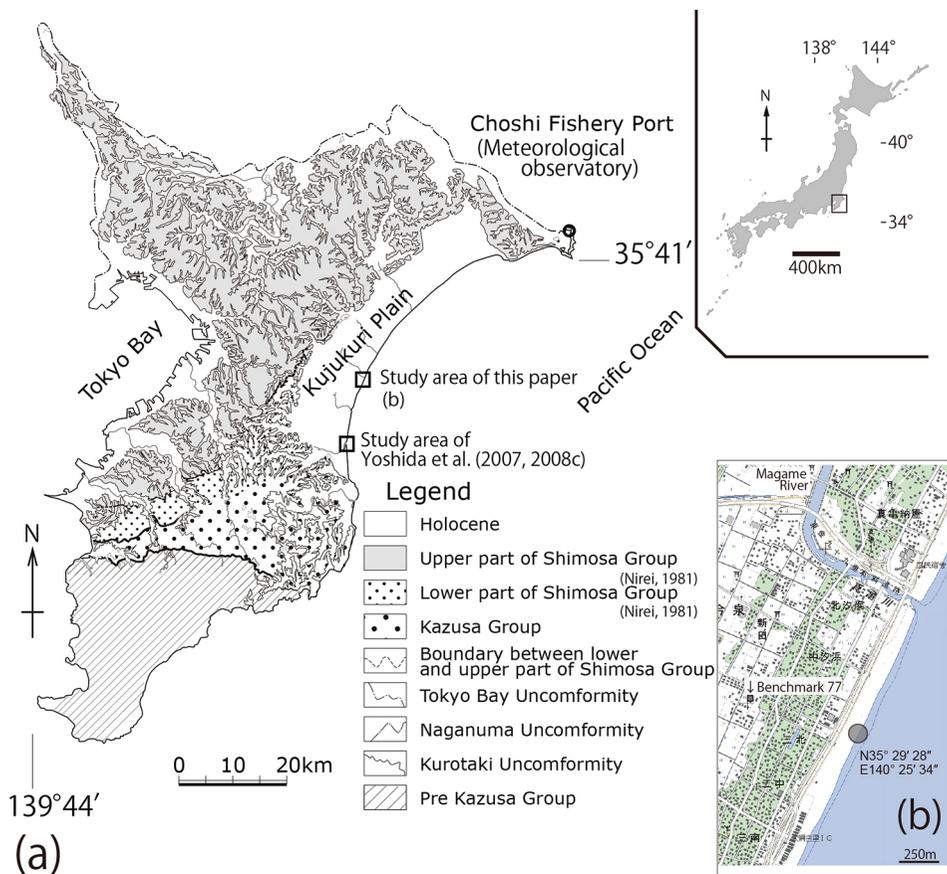


図 1 調査地の位置図 (吉田ほか, 2012 引用). (a) 千葉県の地質図と調査位置図 (Nirei *et al.*, 1987 を改変). (b) 大網白里市における調査位置の詳細図. 地形図は国土地理院発行 1:25,000 地形図「四天木」を使用.

Fig. 1 Index and locality maps of study area (from Yoshida *et al.*, 2012). (a) Geological map of study area, Chiba prefecture (modified from Nirei *et al.*, 1987). (b) Comprehensive map of study area in Oamishirasato City. Topographic maps are from the 1:25,000 Shitengi map published by the Geospatial Information Authority of Japan.

干潮時に潮溜まりの白濁現象 (吉田ほか, 2007, 2008a, b, c) や色調変化現象 (吉田ほか, 2009a, b) が認められている (図 1)。発見の経緯は, 2007 年, この白濁を火山活動などの異常現象が発生したのではないかと不安に思った住民からの通報であった。しかし, この現象は, 自然現象である上ガス (地表への天然ガス湧出現象) を起因とするものであることがわかった (吉田ほか, 2012)。

白濁する砂浜の状況について, 吉田ほか (2012) は, ガス湧出範囲 (南北約 85 m, 東西約 45 m)

の内側に還元色を示す濃青灰色砂が分布すること, さらに, この濃青灰色砂分布域の内側には強還元状態 (酸化還元電位: -377 mV) の黄色地下水が分布することを示した (図 2)。この黄色地下水が潮溜まりに湧出し, 大気や海水に触れることによって白濁することを確認した。そして, 白濁するメカニズムを, 地下からのガスの上昇によって海岸部の地下に形成された強還元状態 (硫酸還元状態) の黄色地下水が潮溜まりに湧出し, これが大気や海水中の酸素と反応し微細な硫黄のコロイドが生成され, その乱反射によって白濁が

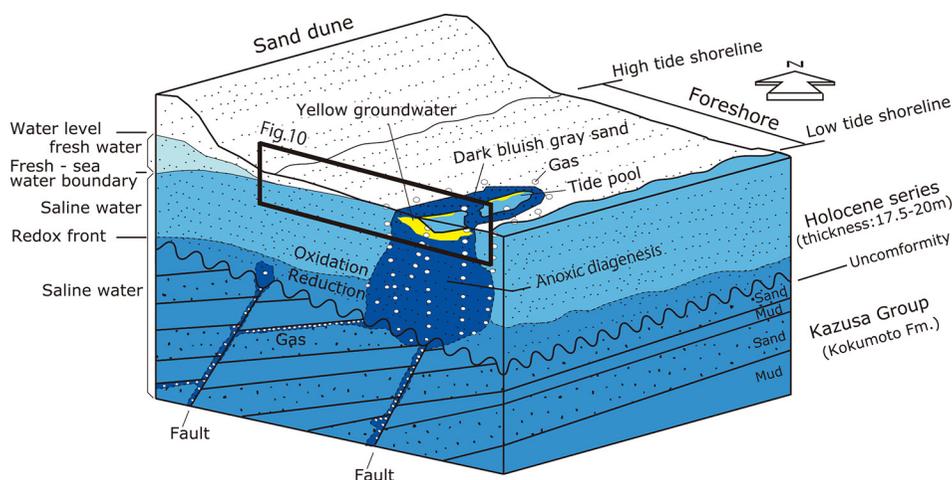


図 2 上総層群から湧出するメタンガスと潮溜まりとの関係図 (吉田ほか, 2012 一部改変). 黒太線枠は, 図 9 と図 10 のなかで潮溜まりの色調変化のメカニズムを考察した範囲を示す.

Fig. 2 Schematic model of relationship between tidal pool and methane gas emerging from Kazusa Group to ground surface (modified from Yoshida *et al.*, 2012). Black square represents area where color change mechanism occurred as discussed in Figs. 9 and 10.

起こったと考察した。

この調査地において, 2009 年 4 月 28 日の調査中に, 潮溜まりの色調が時間の経過と共に, 透明色 (海水と同色の意), 黄白色, 白色, 黄色, 黄白色, 透明色へ変化する様子を捉えた (吉田ほか, 2009a)。この変化について本論では, 砂浜表層の地下水流動と潮溜まりとの関係から色調変化のメカニズムを考察した。

II. 調査地の地質

調査地は, 千葉県九十九里平野から太平洋に注ぐ真亀川の河口から南に約 900 m の地点 (東経 140°25'34", 北緯 35°29'28") である (図 1a, b)。

調査地域の地質については, 吉田ほか (2012) を引用して述べる。南関東の地下数百~千数百 m には天然ガス (メタンガス) を含む地下水が存在する。この地下水を含有する地層は, 中期中新世-後期鮮新世の三浦層群と前期更新世-中期更新世のタービダイトを主体とする上総層群であり, これらの地層が分布する地域を南関東ガス田と呼んでいる。九十九里地域は, 南関東ガス田の東縁部に位置し, 天然ガスを含有する上総層群を

直接完新統が覆っている。このため, 多くの場所で天然ガスが地表に出やすい条件にある。地下水中の天然ガスは, 上総層群に発達する断層や砂層中を移動して地表に湧出していると考えられている (楡井ほか, 1976; 楡井・矢田, 1978)。

この調査地の地質層序は, 調査地より約 200 m 西に位置する地点の深度約 1500 m におよぶ地質柱状図 (旭硝子株式会社, 1980) によると, 上総層群は下位より浪花層, 大原層, 黄和田層, 大田代層, 梅ヶ瀬層, 国本層が重なり, 不整合面をもって完新統が重なる。この地域の上総層群の走向は北北東-南南西であり, 北西方向に 2°~4°の傾斜で傾く (旭硝子株式会社, 1980)。

この地域の完新統の厚さは, 17.5~20 m と考えられている (風岡ほか, 2006a, b)。完新統の表層部である砂丘は淘汰のよい細粒砂で構成され, 潮溜まりのできる前浜は淘汰のよい中粒砂から粗粒砂で構成されている。

III. 調査の方法

天候が安定した大潮の日を選び, 潮溜まりの発生した 2009 年 4 月 28 日, 2010 年 5 月 17 日,

2011年5月19日に調査を行った。2009年の調査ではガス湧出(泡・砂火山)・還元色を示す濃青灰色砂・強還元状態の黄色地下水が認められた。しかし、2010年5月17日および2011年5月19日の調査では濃青灰色砂と黄色地下水は認

められず、ガス湧出が確認できるのみであった。通常、砂浜断面で認められるガスの流路において還元色を示す濃青灰色砂が認められるが、砂浜表層が波で侵食され堆砂後間もない場合、ガス の作用によって生物的・化学的に還元状態に至るまでにある程度の時間を要すると考えられる。このため、2010年と2011年の調査は潮溜まりの色調変化を確認することはできず、砂浜の地下水位の観測を中心に行った。

調査では、地下水位の把握のために観測井を設置した。観測井は周辺の地下水位の変化を応答よく捉えられるように、塩ビパイプ(VU65)の底および下部にスクリーンを設け透水性のよい不織布を巻いて作製した。各観測井の位置およびスクリーンの設計は図3、表1に示す。各観測井の地下水位差を求めるために、砂丘の上に簡易的な基準杭(BM-1とBM-2)を設置し比高の測量を行った。また、この値を標高に換算するために千葉県の水準点O-77から測量を行った(図1b)。BM-1、BM-2の標高は、東京湾中等潮位T.P.+4.48 m、+4.54 mである。また、海水面の標高は、気象庁の公表する潮汐観測資料銚子漁港の観測潮位を使用した(以下;漁港観測潮位という)。

本論では、静穏な大潮の満潮時に波の遡上が到達しない標高T.P. 2 mよりも高い地形を砂丘と呼称することとした(図4)。

観測井の位置や標高は、測量機器であるトータルステーション、オートレベル、巻き尺によって測定した。

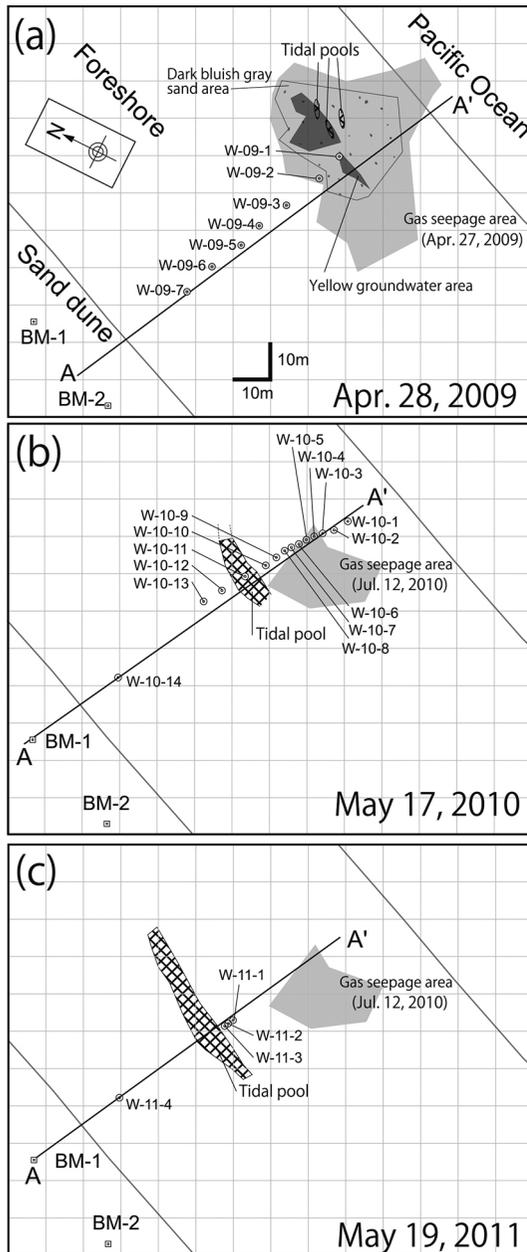


図3 観測井の位置を示した平面図。(a)には2009年4月27日に測定したガス湧出範囲・濃青灰色砂範囲・黄色地下水の範囲を示した。2010年5月(b)、2011年5月(c)の調査ではガス湧出範囲を測定していない。このため、直近の2010年7月12日に測定したガス湧出範囲を示した。また、濃青灰色砂および黄色地下水は認められなかった。

Fig. 3 Plan view of monitoring well locations in study area. (a) Area of gas seepage, dark bluish gray sand, and yellow groundwater on April 27, 2009. In (b) May 2010 and (c) 2011 surveys, areas of gas seepage were not measured and dark bluish gray sand or yellow groundwater was not observed.

表 1 各観測井の設計と標高.

Table 1 Structural setting and level of each monitoring well.

	W-09-1	W-09-2	W-09-3	W-09-4	W-09-5	W-09-6	W-09-7	(c) May 19, 2011	W-11-1	W-11-2	W-11-3	W-11-4
(a) April 28, 2009												
Distance from BM-1 (m)	90.5	82.8	71.4	62.1	55.3	45.5	36.2	Distance from BM-1 (m)	64.2	62.7	61.5	29.0
Elevation of ground surface (T.P. m)	-0.50	-0.38	-0.14	0.08	0.30	0.70	1.19	Elevation of ground surface (T.P. m)	-0.22	-0.22	-0.29	1.57
Elevation of top of well (T.P. m)	-0.37	-0.27	0.01	0.19	1.75	1.69	1.85	Elevation of top of well (T.P. m)	0.46	0.48	0.44	1.37
Elevation of top of screen (T.P. m)	-0.81	-0.78	-0.48	-0.33	0.23	0.49	0.82	Elevation of top of screen (T.P. m)	-0.56	-0.54	-0.58	1.04
Elevation of bottom of well (T.P. m)	-0.81	-0.78	-0.48	-0.33	-0.27	-0.01	0.32	Elevation of bottom of well (T.P. m)	-0.56	-0.54	-0.58	0.24
Relative elevation of top of well from BM-1 (m). Error: ± 0.006 m	-4.854	-4.749	-4.471	-4.290	-2.728	-2.794	-2.635	Relative elevation of top of well from BM-1 (m). Error: ± 0.004 m	-4.017	-4.003	-4.039	-3.113
(b) May 17, 2010												
Distance from BM-1 (m)	102.3	98.0	95.0	92.5	90.5	88.3	86.0	W-10-8	81.3	77.8	71.3	64.1
Elevation of ground surface (T.P. m)	-0.73	-0.65	-0.57	-0.49	-0.43	-0.41	-0.34	-0.33	-0.31	-0.27	-0.27	-0.05
Elevation of top of well (T.P. m)	0.03	-0.12	0.01	0.01	0.57	0.58	0.66	0.66	0.69	0.76	0.80	1.05
Elevation of top of screen (T.P. m)	-0.98	-1.19	-1.05	-1.05	-0.84	-0.93	-0.85	-0.85	-0.82	-0.75	-0.71	-0.46
Elevation of bottom of well (T.P. m)	-0.98	-1.19	-1.05	-1.05	-0.84	-0.93	-0.85	-0.85	-0.82	-0.75	-0.71	-0.46
Relative elevation of top of well from BM-1 (m). Error: ± 0.006 m	-4.453	-4.600	-4.472	-4.468	-3.912	-3.904	-3.823	-3.825	-3.795	-3.730	-3.686	-3.113

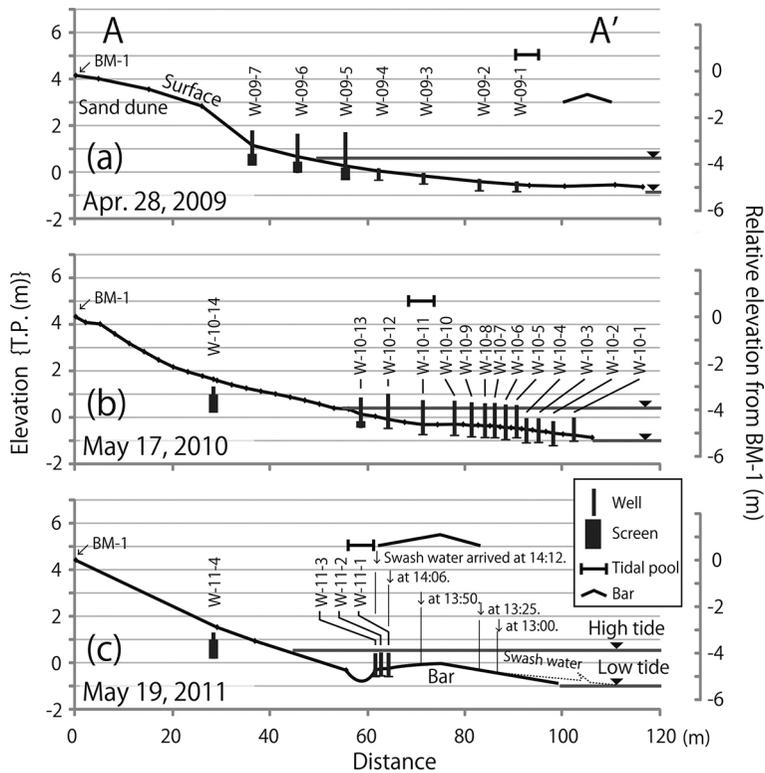


図 4 砂浜の地形断面と観測井の位置図。地形の断面線は図 3 に示し、各調査日の満潮位と干潮位は気象庁による銚子漁港の観測潮位を示した。

Fig. 4 Distributions of monitoring wells shown as cross-sections of the beach face. Locations of section lines are shown in Fig. 3. High and low tides were recorded at Choshi Fishery Port observatory by the Japan Meteorological Agency (see Fig. 1).

トータルステーションの測距精度および誤差は、基準とする BM-1 側（後視側）について ± 3 mm、各観測井の管頭側（前視側）について ± 3 mm であるため、BM-1 と観測井管頭の比高の誤差は ± 6 mm である。

オートレベルの測定誤差は、標尺をウェービングすることにより後視側 ± 1 mm、前視側 ± 1 mm であるため、誤差の合計は ± 2 mm である。さらに、オートレベルを一度据え変えすると、さらに後視と前視で誤差 ± 2 mm が加わる。今回、BM-1 と観測井の比高を求める測量ではオートレベルの据え変えを一度行ったため、BM-1 と観測井の管頭との比高の誤差は ± 4 mm である。

地下水位測定には、二極式ロープ水位計 (ALFA

WL30；以下、ロープ水位計という) のセンサーとロープにアクリル棒とファイバー折尺 (1 m 用) を抱き合わせ固定しロープのたわみによる誤差をなくしたものを使用した。そして、センサーからロープ 1 m までにおいて読み取りによる誤差が ± 1 mm であることを確認し、ロープの 1 ~ 2 m の範囲については、ロープの目盛り 1 cm の間隔のなかで可能な限り 1 mm 単位まで読み取ることとした。

圧力から水位を測定した観測井では、水中用の圧力式データロガー (HOBO[®] U20 Water Level) を管底に投入し、また、砂丘には大気圧用の圧力式データロガーを設置した。大気圧と水圧が加わる水中の圧力から、大気圧のみを測定したデータ

ロガーの値を差し引き、水位の値とした。このときの水位精度は ± 1.0 cmである。

1) 2009年4月28日の調査

調査内容は、地形測量、地下水位測定、潮溜まりの色調観察である。観測井の位置や管頭部の比高はトータルステーションにより測量し、水位測定はロープ水位計を使用した。

BM-1から海側への距離36.2～90.5 mの間に、観測井を7～11 mの間隔で7本配置し、海側から砂丘にかけてW-09-1～W-09-7と命名した(図3a, 4a)。色調変化する潮溜まりは、BM-1から海側への距離約90.5 mの付近に出現し、この潮溜まりの真横にW-09-1を配置した(図3a, 4a)。この日の潮溜まりの色調の時間変化は、調査時の写真の時刻から求めた。

2) 2010年5月17日の調査

調査内容は、地形測量、地下水位測定である。観測井の位置はBM-1, BM-2からの距離を巻き尺で測定し、BM-1と観測井の管頭の比高はオートレベルを用いて測量した。

BM-1から海側への距離29.0～102.3 mの間に、観測井を2～8 mの間隔で14本配置し、海側から砂丘にかけてW-10-1～W-10-14と命名した(図3b, 4b)。潮溜まりは、BM-1から海側への距離71～75 mの付近に出現し、この潮溜まりの中央にW-10-11を配置した(図3b, 4b)。

地下水位測定では、W-10-1～W-10-13にロープ水位計を用いた。また、W-10-14には、圧力式データロガー(水中用・大気圧用)を用い30分間隔の水位を測定した。

3) 2011年5月19日の調査

調査内容は、地形測量、地下水位測定、波の遡上地点の確認である。観測井の位置・地形測量・観測井の管頭の測量の方法は、2010年5月17日の調査と同様である。

この日は、BM-1から海側への距離55.5～61 mに潮溜まりが出現し、潮溜まりよりも海側に地形の高まり(バー)ができた。潮溜まりとバーの地下水流動の関係を求めることを目的とするため、バーの潮溜まり側の岸(海側への距離61.5～64.2 mの間)に寄せて観測井を3本設置し、海

側から砂丘にかけてW-11-1～W-11-3と命名した(図4c)。各井の設置間隔は、W-11-1とW-11-2の間は1.55 m, W-11-2とW-11-3の間は1.15 mとし、2009年・2010年の調査時の配置よりも近距離とした(表1)。また、BM-1から海側への距離29.0 mのところW-11-4を設置した(図3c, 4c)。

地下水位測定では、W-11-1～W-11-3にロープ水位計を用いた。また、W-11-4では2010年調査と同様に、圧力式データロガー(水中用・大気圧用)を用い30分間隔の水位を測定した。波の遡上地点確認では、W-11-1から遡上地点までの距離を各時間において記録した(図4c)。

IV. 確認できた現象および結果

1) 2009年4月28日

1-1) 地形測量

標高2 m以上の地形(砂丘)は、BM-1から海側へ距離約30 mまでの範囲であり、距離36 mの地点まで急勾配(8/100)をもつ。距離36～100 mの地形勾配は3/100であった。距離90.5 mのところ潮溜まりが形成されていた。BM-1から海側へ距離100 mから110 mにかけて地形の高まり(バー)が存在し、距離110 mの地点は、距離100 mの地点よりも約6 cm高い。この高まり(距離110 m地点)から砂丘側(距離100 m地点)へ下がる地形勾配は0.6/100であった(図4a)。

1-2) 地下水位

全観測井の地下水位の時系列変化および漁港観測潮位の変化を図5aに示した。この図5aは縦軸左にBM-1から各観測井の地下水位までの比高を示した。このときの誤差は、トータルステーションの前視後視の誤差 ± 0.006 mとロープ水位計の誤差 ± 0.001 mをあわせた ± 0.007 mである。また、縦軸右にこの値に対応する標高を示した。地下水位の実測値等は付録1に掲載した。

測定の結果、砂丘側の地下水位が、海側の地下水位よりもつねに高い結果が得られ、地下水は砂丘から海側へ流れることがわかった。最も海側にあるW-09-1が最低水位(BM-1から比高-5.002

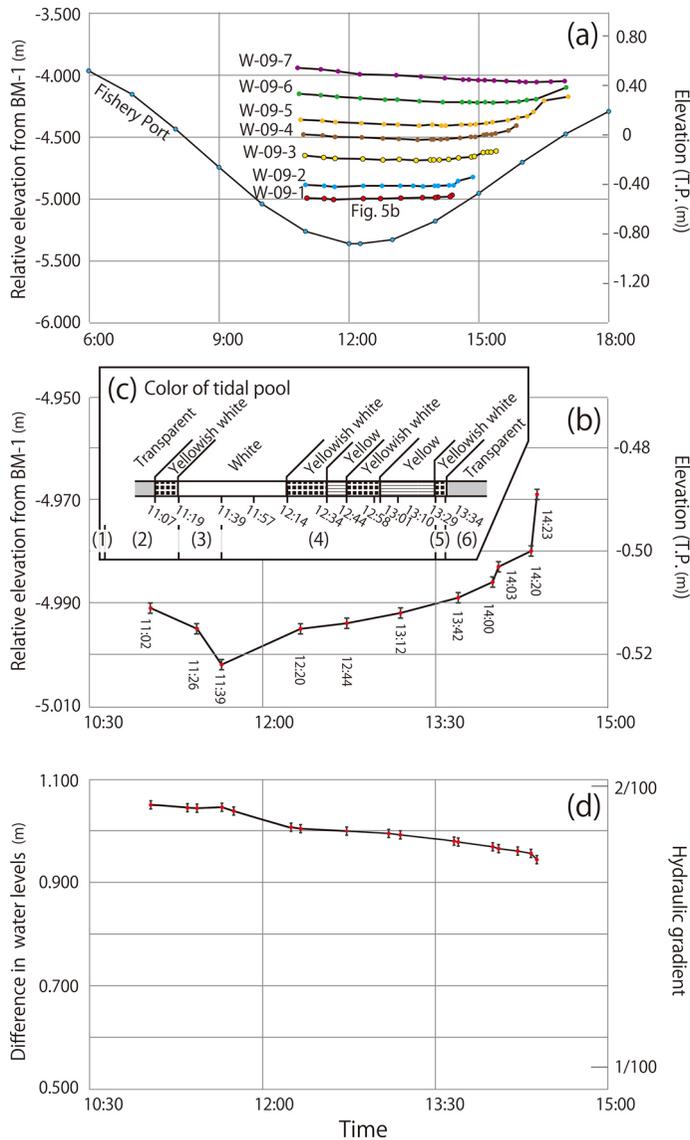


図 5 (a) 2009 年 4 月 28 日の地下水位の時系列変化。(b) 観測井 (W-09-1) の地下水位の時系列変化の拡大図。(c) 潮溜まりの色調の時系列変化。(d) 観測井 W-09-1 と W-09-7 から求めた地下水水位差と勾配の時系列変化。

Fig. 5 (a) Time series of groundwater level changes at each monitoring well for each tide level on April 28, 2009. (b) Enlarged view of time series of groundwater level change at monitoring well W-09-1. (c) Time series of color change of tidal pool. (d) Time series of hydraulic gradient and difference in water levels from W-09-1 to W-09-7.

m, T.P. -0.52 m) を示した時刻は 11:39 であった。最も砂丘側の W-09-7 が最低水位 (BM-1 から比高 -4.049 m, T.P. $+0.43$ m) を示した時刻は 16:05 であった。漁港観測潮位によると、当日

の最大干潮の時刻は 12:16 (潮位 T.P. -0.88 m, BM-1 から比高の換算は -5.36 m) であった。

色調変化する潮溜まりの真横に設置した W-09-1 の地下水水位変化について詳しく述べる (図 5b)。

図 5b では W-09-1 の管頭から水面までの距離 (誤差 ± 0.001 m) の値について、BM-1 から水位までの比高 (誤差 ± 0.007 m) で示した。11:02、管頭から水面までの距離は 0.137 m (BM-1 から比高 -4.991 m, T.P. -0.51 m) であった。水位の変化量 (誤差 ± 0.001 m) を述べると、11:02 から 11:26 までに水位が 4 mm 低下した。11:39 までに、さらに 7 mm 低下した。これがこの日の W-09-1 の最低水位 (BM-1 から比高 -5.002 m, T.P. -0.52 m) であった。12:20 までに、この最低水位から 7 mm 上昇した。12:44 までに、さらに 1 mm 上昇した。13:12 までに、さらに 2 mm 上昇した。13:42 までに、さらに 3 mm 上昇した。14:20 までに、さらに 9 mm 上昇した (図 5b)。

1-3) 観測井間の地下水位差 (地下水位勾配)

W-09-1 (砂浜の海側) と W-09-7 (砂浜の砂丘側) の各時間における地下水位差を求めた (図 5d)。W-09-1 もしくは W-09-7 の水位を実測したときの時間で地下水位差を求め、実測していないもう一方の観測井の水位についてはこの時間前後の実測水位から比例配分し求めた。縦軸左に地下水位差 (m)、縦軸右に勾配換算した値を示した。この換算に使用した観測井間の距離は 54.3 m である (表 1)。地下水位差の誤差は、トータルステーションの測距精度 (後視と前視 ± 0.006 m) とロープ水位計の誤差 (各井 ± 0.001 m) をあわせた ± 0.008 m である。

結果、W-09-1 と W-09-7 の地下水位差は、11:02 で 1.051 m、11:21 は 1.045 m、11:26 は 1.044 m、11:39 (W-09-1 最低水位時) は 1.046 m、11:45 は 1.039 m、12:20 は 1.005 m、12:44 は 1.000 m、13:12 は 0.993 m、13:42 は 0.979 m、14:20 は 0.957 m であった。干潮から満潮にかけて砂浜の海側の地下水位と砂丘側の地下水位差は小さくなった。

1-4) 色調観察

色調変化する潮溜まりの位置を平面図に示す (図 3a)。短い干潮時間では、ガス湧出・濃青灰色砂・黄色地下水の分布域の測量調査と地下水位調査を同時に行うことはできないため、これらの分布域は、前日 4 月 27 日に測量した範囲を示し

ている (吉田ほか, 2012)。この図 3a より潮溜まりは、黄色地下水の分布域のなかにあることがわかる。

潮溜まりの色調の観察結果は以下の通りである (図 5c, 6)。10:40 頃、潮位低下によって、BM-1 から海側へ距離 90.5 m のあたりに潮溜まりが現れた。形成された潮溜まりの大きさは図 6b に示すように、汀線に平行方向の長さが約 3 m、汀線と直角方向の幅が約 1 m、楕円形と長方形をあわせた形状であり、深さが約 0.2 m であった。この時 (10:40 頃) の潮溜まりの色調は、海水と同様の透明であった。11:07、潮溜まりの砂丘側壁面から黄色地下水の湧出を確認した。11:07 ~ 11:19、色調は淡い黄白色であった (図 6a)。11:19 ~ 12:14、色調は白色であった (図 6b)。12:14 ~ 13:34、色調は黄色から黄白色、黄白色から黄色を繰り返した (図 6c, d)。この時間内の 13:29、潮溜まりに波が流入した。13:34、色調は、海水と同様の透明色であった。13:41、潮溜まりは水没した。

2) 2010 年 5 月 17 日

2-1) 地形測量

標高 2 m 以上の地形 (砂丘) は、BM-1 から海側への距離約 23 m までの範囲であり、その地形の勾配は 10/100 であった。距離 23 ~ 71 m までの地形勾配は 5/100 であった。距離 71.0 ~ 79.5 m に標高 T.P. -0.27 m 程度の平坦面があり、潮溜まりはこの平坦面 (距離 71 ~ 75 m) に出現した。距離 79.5 ~ 106.0 m の地形勾配は 2/100 であった (図 4b)。この日のガス湧出位置が吉田ほか (2012) の示す分布域内であることを確認したが、分布範囲の測量を行わなかったため、直近の日に測量を行った 2010 年 7 月 12 日の分布範囲を図 3b に示した。

2-2) 地下水位

全観測井の地下水位の時系列変化および漁港観測潮位変化を図 7a に示した。この図 7a は縦軸左に BM-1 から各観測井の地下水位までの比高を示す。この比高の誤差は、オートレベルの測定誤差 ± 0.004 m とロープ水位計の測定誤差 ± 0.001 m をあわせた ± 0.005 m である。地下水位の実測

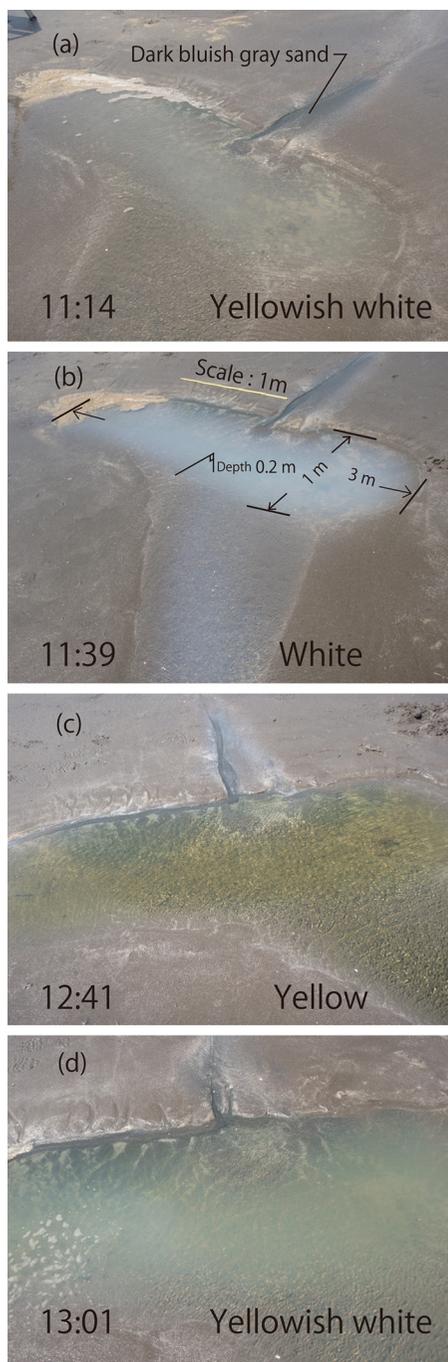


図6 大網白里市の海浜における2009年4月28日の干潮時に認められた色調変化する潮溜まりの写真。

Fig. 6 Time series photographs of color change in tidal pool on the foreshore at ebb tide in Oamishirasato City (April 28, 2009).

値等は付録2に掲載した。

測定の結果、砂丘側の地下水位が海側の地下水位よりも高く、地下水は砂丘から海側へ流れることがわかった。14:11の測定時のみ、海側の観測井W-10-5のほうが、W-10-6よりも地下水位の高いことが認められた。W-10-1の地下水位が最低水位(BM-1から比高 -5.268 m; T.P. -0.79 m)を示した時刻は12:33であった。潮溜まり水位(W-10-11の水位)が最低水位(BM-1から比高 -4.783 m; T.P. -0.30 m)を示した時刻は13:00であった。W-10-14の地下水位が最低水位(BM-1から比高 -4.12 m; T.P. $+0.36$ m)を示した時刻は17:00であった。漁港観測潮位によると、当日の最大干潮の時刻は12:14(潮位 T.P. -1.01 m; BM-1からの比高の換算は -5.49 m)であった。

2-3) 観測井間の地下水位差(地下水位勾配)

W-10-1(砂浜の海側)とW-10-13(砂浜の砂丘側)の各時間における地下水位差を求めた。また、勾配の換算に使用した観測井間の距離は43.8 mである(表1)。地下水位差の誤差は、W-10-1とW-10-13の測量時、オートレベルの据え置きは一度であったため、オートレベルの誤差(後視と前視 ± 0.002 m)とロープ水位計の誤差(各井 ± 0.001 m)をあわせた ± 0.004 mである。

結果、W-10-1とW-10-13の地下水位差は、12:01は0.722 m、12:10は0.740 m、12:33(W-10-1の最低水位時)は0.747 m、12:51は0.726 m、13:01は0.712 m、14:09は0.667 m、14:18は0.674 m、14:46は0.594 mであった。W-10-1の最低水位時以降、14:18にわずかに地下水位差が増したことを除いて、時間経過とともに地下水位差が小さくなった。

3) 2011年5月19日

3-1) 地形測量

標高2 m以上の地形(砂丘)は、BM-1から海側への距離約20 mまでの範囲であり、距離29.0 mの地点まで急勾配(10/100)をもつ。距離29.0~55.5 mまでの地形勾配は7/100であった。潮溜まりは距離55.5~61.0 mの付近に出現した。距離61.0~96.5 mにバーが形成されている。

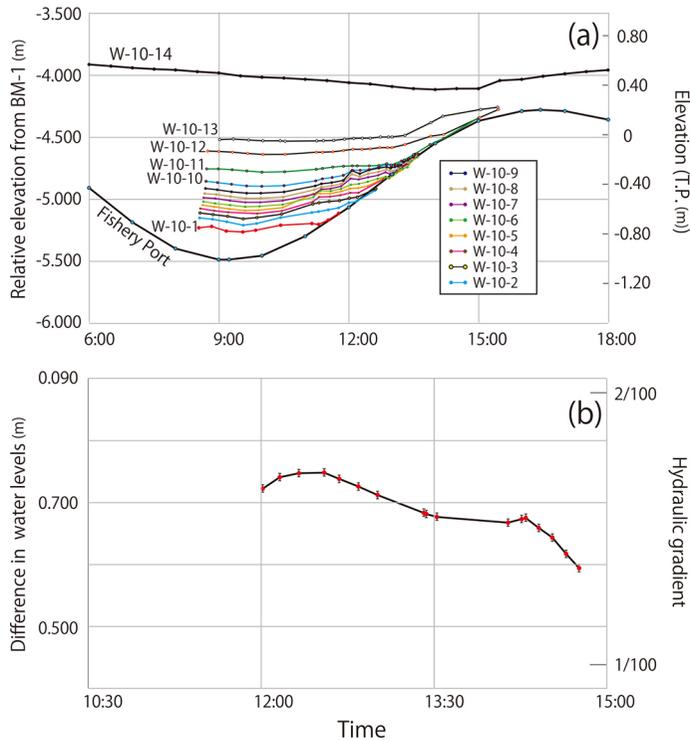


図 7 (a) 2010 年 5 月 17 日の地下水位の時系列変化。(b) 観測井 W-10-1 と W-10-13 から求めた地下水位差と勾配の時系列変化。

Fig. 7 (a) Time series of groundwater level change at each monitoring well and for each tide level on May 17, 2010. (b) Time series of hydraulic gradient and difference in water levels from W-10-1 to W-10-13.

た。バーの最高地点は距離 74.0 m の地点であり、距離 61.0 m の地点よりも約 30 cm 高い。バーの岸（距離 61.5 ~ 64.2 m）から潮溜まり側（砂丘側）へ下がる傾斜の地形勾配は 3/100 であった。

この日のガス湧出位置が吉田ほか（2012）の示す分布域内であることを確認したが分布範囲の測定を行わなかったため、直近の日に測定を行った 2010 年 7 月 12 日の分布範囲を図 3c に示した。

3-2) 地下水位

全観測井の地下水位の時系列変化および漁港観測潮位変化を図 8a に示した。さらに、W-11-1 ~ W-11-3 の結果を拡大し図 8b に示した。この図 8a, b は縦軸左に BM-1 から各観測井の地下水位までの比高を示す。この比高の誤差は、オートレベルの測定誤差 ± 0.004 m とロープ水位計の測定誤差 ± 0.001 m をあわせた ± 0.005 m である。地

下水位の実測値等は付録 3 に掲載した。

漁港観測潮位によると、当日の最大干潮の時刻は 11:12 (T.P. -1.07 m ; BM-1 からの比高の換算は -5.55 m) であった。11:51 ~ 12:40 における W-11-1 ~ W-11-3 の地下水位は、BM-1 からの比高で示すと -4.797 ~ -4.799 m (T.P. -0.32 m) であり、地下水位の差は小さかった。12:45 を過ぎる頃から徐々に W-11-1 ~ W-11-3 の地下水位が上昇しはじめる。12:45 以降は海側にある観測井 (W-11-1) の地下水位がつねに高いことから、バーの潮溜まり側にある地下水は海側から潮溜まりの方へ流れることがわかった。さらに、時間経過に伴う地下水位の上昇速度は海側の観測井のほうが速いことがわかった (図 8b)。

W-11-4 の地下水位は W-11-3 の地下水位よりもつねに高く、潮溜まりよりも砂丘側にある地下

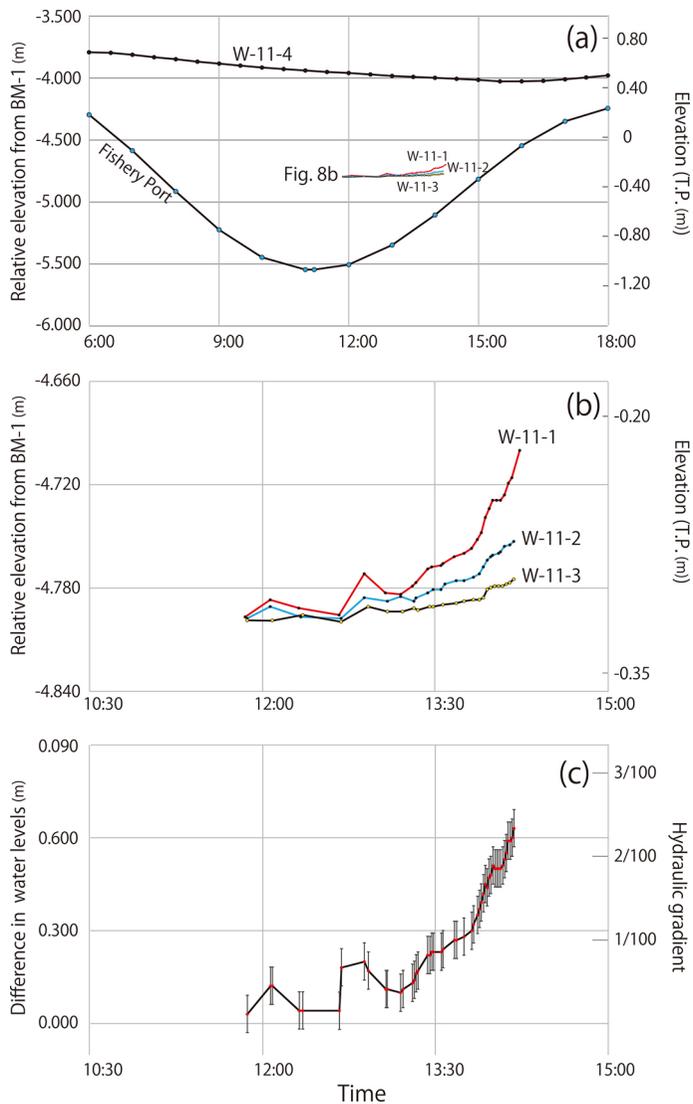


図 8 (a) 2011 年 5 月 19 日の地下水位の時系列変化. (b) 砂浜にできたバーの地下水位の時系列変化. (c) 観測井 W-11-1 と W-11-3 から求めた地下水位差と勾配の時系列変化.

Fig. 8 (a) Time series of groundwater level change at each monitoring well and for each tide level on May 19, 2011. (b) Enlarged view of time series of groundwater level change at monitoring wells set on bar. (c) Time series of hydraulic gradient and difference in water levels from W-11-1 to W-11-3.

水は、砂丘側から海側へ流れることがわかった。また、W-11-4 の地下水位は、観測開始 (6:00) の地下水位 (BM-1 からの比高 -3.79 m ; T.P. $+0.67$ m) から時間経過とともに低下し、16:00 に最低水位 (BM-1 からの比高 -4.03 m ; T.P.

$+0.45$ m) を示した。

3-3 観測井間の地下水位差 (地下水位勾配)

W-11-1 (砂浜の海側) と W-11-3 (砂浜の砂丘側) の各時間における地下水位差を求めた (図 8c)。また、勾配の換算に使用した観測井間の距

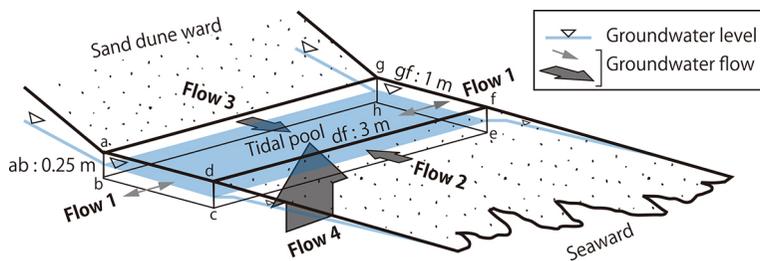


図9 砂浜にできた潮溜まり周辺の地下水の流動のモデル図。潮溜まりの長さ (ag, bh, df, ce) は 3 m, 幅 (ad, bc, gf, he) は 1 m, 深さ (ab, dc, fe, gh) は 0.25 m とした。

Fig. 9 Model of groundwater flow around tide pool on the sand beach. Lengths of ag, bh, df, and ce are 3 m. Lengths of ad, bc, gf, and he are 1 m. Lengths of ab, dc, fe, and gh are 0.25 m.

離は 2.7 m である (表 1)。地下水位差の誤差は、W-11-1 と W-11-3 の測量時、オートレベルの据え置きは一度であったため、オートレベルの誤差 (後視と前視 ± 0.002 m) とロープ水位計の誤差 (各井 ± 0.001 m) をあわせた ± 0.004 m である。

結果、W-11-1 と W-11-3 の地下水位差は、11:52 は 0.003 m, 13:04 は 0.011 m, 13:34 は 0.024 m, 13:50 は 0.032 m, 14:07 は 0.055 m であった。時間経過によって、この地下水位差は大きくなっていった。

3-4) 波の遡上到達地点

海からバーに打ち上げられる波の遡上到達点を図 4c に示す。波の遡上地点を W-11-1 から海側方向への距離で述べると、波は 13:00 に約 22 m の地点, 13:25 に約 18 m の地点, 13:50 に約 6.5 m の地点に到達した。その後, 14:06 に W-11-1 の地点, 14:12 に W-11-3 の地点に到達した。

V. 考 察

観測結果をもとに、2009 年 4 月 28 日に起きた潮溜まりの色調変化のメカニズムを考察した。図 9, 10 に示した範囲は、図 2 のなかから潮溜まり周辺を拡大して図示した。潮溜まりの周囲および下位には強還元状態の黄色地下水が分布している (図 3a)。

考察にあたり、潮溜まりの形状は楕円形から長方形であることから、流量の計算を単純化するために直方体 (abcdefgh) のプールで近似した。潮溜まりを実測した値から汀線に平行方向の長さ

(ag, bh, df, ce) を 3 m, 汀線と直角方向の幅 (ad, bc, gh, he) を 1 m, 深さの設定は、実測値かつ W-09-1 の水位変化の際に近似プールの長さや幅が変化しない範囲を考慮し、プールの深さ (ab, dc, fe, hg) を 0.25 m に設定した (図 6b, 9)。また、プール底面から水位までの高さについては、W-09-1 における水位測定開始時点 (11:02) の水位を基準とし、このときの高さを 0.2 m とした。

波の流入前におけるこのプール (潮溜まり) への地下水の供給経路 (Flow) は、4 通りが考えられる (図 9)。経路 1 (Flow 1) は、汀線に直角方向の潮溜まり側面 abcd と ghef からの地下水流入である。経路 2 (Flow 2) は、潮溜まりより海側にある地形の高まり (バー) 側面 dcef からの地下水流入である。経路 3 (Flow 3) は、砂丘から海へ流れる地下水の主要な流動であり、潮溜まりの砂丘側の側面 abhg を通過する流入である。経路 4 (Flow 4) は、潮溜まり底面 bceh からの流入である。これらの経路から色調変化のメカニズムを考察した結果を図 10a ~ f として示した。

1) 満潮時 (~10:40)

潮溜まり形成前の高水位時 (満潮時) では、潮溜まりは水没している。海水の色調は透明色である (図 5c-1, 10a)。

2) 潮位低下時 (10:40 ~ 11:19)

最大干潮に向けて、潮位や砂浜の地下水位は低下し、砂浜に潮溜まりが形成される。さらに潮溜まりの水位も低下する。潮溜まりよりも砂丘側に

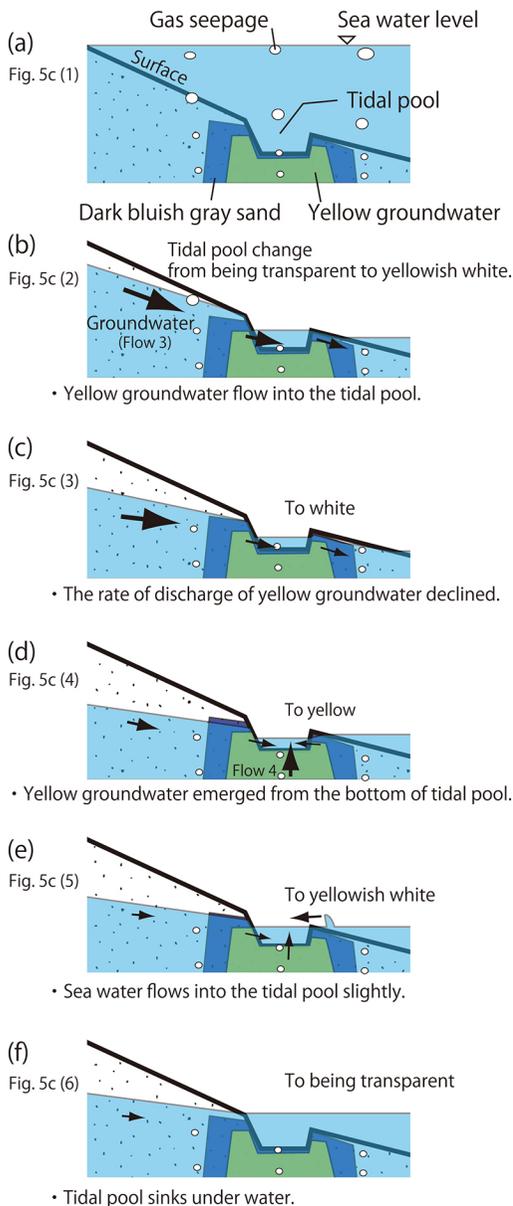


図 10 潮溜まりの色調変化のメカニズム図。(a) 満潮位時。(b) 満潮位から干潮位への水位の低下時。(c) 最大干潮時。(d) 最大干潮位からの水位上昇時。(e) (d)からのさらなる水位の上昇時。(f) 潮溜まりの海水への水没時。

Fig. 10 Schematic model showing mechanism of color change of tidal pool. (a) high tide, (b) as tide level decreases from high to low, (c) at maximum low tide, (d) as tide begins to increase from maximum low tide, (e) as tide level increases, and (f) when tidal pool is under water.

分布する表層付近の黄色地下水が、潮溜まりに流入する(図9のFlow 3)。この湧出した黄色地下水と潮位低下時に潮溜まりに残っていた海水とが反応し、黄白色の色調となったと考えられる(図5c-2, 10b)。

3) 潮溜まりの水位最低下時(11:19 ~ 11:39)

経路3(Flow 3)から流入する黄色地下水の量は、2と比較すると減少する。これは2009年の調査結果をみると(図5d), 2の時間内である11:02時点のW-09-1とW-09-7の地下水位差(1.051 m)よりも、3の時間内である11:26の地下水位差(1.044 m)のほうが小さく、これは地下水位の勾配が小さくなったことを意味し、経路3(Flow 3)の黄色地下水流量が減少したことを示す。そして、この水位最低下時の色調は、潮溜まりへ流入する黄色地下水流量が減少したことにより、潮溜まりに溜まった黄白色の水と大気がさらに反応し白色を呈したと考えられる(図5c-3, 10c)。

4) 潮溜まりの水位最低下時直後(最大干潮の直後)から波の流入直前まで(11:39 ~ 13:29)

3)直後から、潮溜まりの水位が上昇しはじめる。この時、まだ潮溜まりへ波による海水の流入はない。このため、潮溜まりの水位が上昇するためには、潮溜まりに周囲からの地下水の供給が必要となる。

ここでは、潮溜まりが白色を呈した3)直後(11:39)から水位上昇し黄白色となるまで(12:20)の水量変化を求める(図9)。透水係数の値には、九十九里平野の海成砂質沖積地において観測井を設け揚水試験から求めた値 1.2×10^{-4} m/sec。(金子ほか, 1994)と、本論の調査地と同様の砂浜であり、かつ太平洋に面した茨城県波崎海岸において、現地砂から求めた値 1.331×10^{-4} m/sec。(内山ほか, 1999)の両方を使用する。

経路1(Flow 1)は、砂丘から海側へ流れる主要な流動方向(Flow 3)と直向する流れ(等水位線上)であるため、流動がほとんどないか、もしくは、潮溜まりへの流入量と流出量はほぼ等しいと考えられる。よって、この面からの流出量・流

入量を $\pm 0 \text{ m}^3$ とする。

経路 2 (Flow 2) については、経路 2 としての地下水流入も極端に少量 ($\pm 0 \text{ m}^3$) であると考えられるが、プールのモデルの検討として可能な範囲で最大の流量値を与えた場合でも議論が成り立つことを述べるため、11:39～12:20 までの経路 2 の流量については、後述する経路 3 と同程度 (3.1～3.7 L) として考えることとする。

経路 3 (Flow 3) の流量は、次のダルシーの法則で計算することができる。

$$Q = k \cdot A \cdot I \quad (1)$$

ここで、 Q : 流量, k : 透水係数, A : 断面積, I : 動水勾配である。4) 開始 11:39 のプール底面から水面までの高さは、11:02 (水面の高さ 0.2 m) から 11:39 までの水位変化量 (0.011 m) を減じた 0.189 m とする。水位変化量の誤差は、11:02 測定時の誤差 $\pm 0.001 \text{ m}$ と 11:39 測定時の誤差 $\pm 0.001 \text{ m}$ をあわせた $\pm 0.002 \text{ m}$ である。また、動水勾配は W-09-1 と W-09-7 の地下水位差を観測井間の距離 (54.3 m) で除し求めた。

経路 3 では、側面 abhg において水位変化による断面積の変化を考慮するために、この時間内の最小の断面積および最小の動水勾配が継続したときの流入量、そして、最大の断面積および最大の動水勾配が継続したときの流入量を求めた。最小の断面積は最低水位時 11:39 の 0.567 m^2 (高さ 0.189 m \times 長さ 3 m)、最小の動水勾配は 12:20 の $1.005 \text{ m}/54.3 \text{ m}$ である。最大の断面積は水位が 11:39 から 7 mm 上昇した 12:20 時点であり、その断面積は 0.588 m^2 (高さ 0.196 m \times 長さ 3 m)、最大の動水勾配は 11:39 の $1.046 \text{ m}/54.3 \text{ m}$ である。さらに、上記の最小値に透水係数の小さい方である金子ほか (1994) の値と 11:39～12:20 の 41 分間を乗じ流量とした。最大値には透水係数の大きい方の内山ほか (1999) の値と 41 分間を乗じ流量とした。

計算の結果、色調が白色から黄白色へと変化する 11:39～12:20 までの経路 3 におけるプール内への 41 分間の流入量は、最小値で $3.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (3.1 L)、最大値で $3.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (3.7 L) と

なる。

経路 4 (Flow 4) の流量は、潮溜まり底面からの流量である。W-09-1 の地下水位変化をみると、11:39 から 12:20 までに潮溜まりの水位は 7 mm 上昇している。潮溜まりの容積から考えると、水位が 7 mm 上昇するには、長さ (3 m) \times 幅 (1 m) \times 水位上昇分 (0.007 m) = $21 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (21 L) の流入量が必要となる。よって、この流入量 21 L から、経路 1, 2, 3 の合計流量 (6.2～7.4 L) を差し引いた量 (13.6～14.8 L) が経路 4 の流量となる。このため、潮溜まり周辺やその下位に分布する黄色地下水が 3) 直後から潮溜まり底面から潮溜まりのなかへ流入し水位が上昇し、結果として、潮溜まり内の黄色地下水の量が増えたことによって、その色調は白色から再び黄白色や黄色へ変化したと考えられる (図 5c-4, 10d)。

5) 潮溜まりへの波の流入開始時 (13:29～13:34)

さらなる潮位上昇によって、潮溜まりに海水が流入するようになる。これにより、潮溜まりのなかの黄色地下水と海水が反応し再度黄白色を示したと考えられる (図 5c-5, 10e)。

6) 潮溜まり水没時 (13:34～)

さらに潮位が上昇し、潮溜まりは海水中に水没する。このとき、潮溜まりの色調は海水と同様の透明色となり、その後、満潮を迎える (図 5c-6, 10f)。

VI. ま と め

この潮溜まりの色調変化現象は、白濁の原因となる強還元状態の黄色地下水流入量の増減が原因であったと結論づけられる。

水位最低下時および最大干潮時には、潮溜まりへの黄色地下水流入量が減少し、潮溜まり中に残っていた黄色地下水と大気とが反応し色調が白濁化した。干潮時から潮位上昇するときには、潮溜まり底面から流入する黄色地下水の量が増加し、色調が黄色化した。その後、さらなる潮位上昇によって潮溜まりに海水が流入し、海水が黄色地下水を反応させ黄白色化した。さらに満潮に向かって大量の海水流入が起こり、水没した潮溜ま

りの色調は透明となった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、現地調査中には近隣の住民の方々から貴重な情報を提供していただいた。また、環境地質コンサルタントの藤崎克博博士には、執筆にあたり地下水収支について助言をいただいた。

また、査読では、匿名の査読者の方々から大変丁寧な助言および適切なご指摘をいただき本稿を改善することができた。以上の方々には心からお礼申し上げます。

文 献

旭硝子株式会社 (1980): 東金ガス田。水溶性天然ガス総覧, 228-235. [Asahi Glass Co., Ltd. (1980): Togane gas field. *Japan Natural Gas Association (Suiyosei Tennen Gasu Soran)*, 228-235. (in Japanese)*]

金子文宜・今泉眞之・浜田浩正・小前隆美 (1994): 九十九里海成砂質沖積地における帯水層係数と地下水流動の実態。日本土壤肥料学雑誌, **65**, 297-303. [Kaneko, F., Imaizumi, M., Hamada, H. and Komae, T. (1994): The aquifer coefficient and condition of groundwater flow of marine sandy alluvial plain in Chiba prefecture. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **65**, 297-303. (in Japanese with English abstract)]

風岡 修・風戸孝之・笠原 豊・楠田 隆 (2006a): 九十九里地域における上ガスの分布形態—九十九里・東金市・大網白里町における最近の調査から—。環境地質学シンポジウム論文集, **16**, 169-174. [Kazaoka, O., Kazato, T., Kasahara, Y. and Kusuda, T. (2006a): Distribution form of “Uwagasu”, spouting natural gas, in Kuju-kuri plain, Boso peninsula, central Japan—Geo-environmental survey for uwagasu—. *Proceedings of Symposium on Geo-environments and Geo-technics*, **16**, 169-174. (in Japanese with English abstract)]

風岡 修・風戸孝之・笠原 豊・楠田 隆 (2006b): 九十九里地域中部における上ガスの発生状況—上ガスに関する地質環境調査結果。地質汚染-医療地質-社会地質学会誌, **2**, 82-91. [Kazaoka, O., Kazato, T., Kasahara, Y. and Kusuda, T. (2006b): Distribution of “Uwagasu”, spouting natural gas, in Kuju-kuri Plain, Boso Peninsula, central Japan—Geo-environmental survey for uwagasu—. *Geo-pollution Science, Medical Geology and Urban Geology*, **2**, 82-91. (in Japanese with English abstract)]

楡井 久 (1981): 堆積盆中の地下水流動史と地殻変動 (南部関東構造盆地を例として)。杉山隆二・池辺穰・星野通平・柴崎達雄編: 堆積盆中の流体移動, 東海大学出版会, 151-174. [Nirei, H. (1981): Geohistory of groundwater flow and crustal movement in the sedimentary basin. in *Fluid Dynamics in a*

Deep Sedimentary Basin edited by Sugiyama, R., Ikebe, Y., Hoshino, M and Shibasaki, T., Tokai University Press, 151-174. (in Japanese with English abstract)]

楡井 久・矢田恒晴 (1978): 天然ガス生産に伴う天然ガス (上ガス) 噴出被害と天然ガス噴出現象のメカニズムについて (その2)。全国公害研究所会誌, **2**, 53-55. [Nirei, H. and Yada, T. (1978): On the damage by the natural-gas spout from subsurface with the natural-gas production and the mechanism of the natural-gas spouting phenomena (part 2). *Journal of Environmental Laboratories Association*, **2**, 53-55. (in Japanese)]

楡井 久・樋口茂生・矢田恒晴・石井 皓・古野邦雄 (1976): 天然ガス生産にともなう上ガス被害と上ガス発生メカニズムについて。千葉県公害研究所研究報告, **6**, 1-26. [Nirei, H., Higuchi, S., Yada, T., Ishii, A. and Furuno, K. (1976): On the damage by the natural-gas spout from subsurface with the natural-gas production and the mechanism of the natural-gas spouting phenomena. *Bulletin of Chiba Prefectural Research Institute for Environmental Pollution*, **6**, 1-26. (in Japanese with English abstract)]

Nirei, H., Kusuda, T., Mitsunashi, T. and Kikuchi T. (1987): Stratigraphic studies of the Pleistocene in the Boso Peninsula facing the Pacific, Central Japan. *Proceeding of the 1st International Colloquium on Quaternary Stratigraphy of Asia and Pacific Area, Osaka, 1986*, 32-42.

内山雄介・Rolke, P.・足立久美子・灘岡和夫・八木宏 (1999): 海岸地下浸透流およびそれに伴う沿岸域への栄養塩輸送過程。土木学会論文集, **635**, 127-139. [Uchiyama, Y., Rolke, P., Adachi, K., Nadaoka, K. and Yagi, H. (1999): Submarine groundwater discharge into the sea and associated nutrient transport in a study beach. *Proceedings of Japan Society of Civil Engineers*, **635**, 127-139. (in Japanese with English abstract)]

吉田 剛・風岡 修・古野邦雄・楠田 隆・酒井 豊 (2007): 千葉県長生村一松海岸で起きた潮溜まりの白濁現象。千葉県環境研究センター年報, **7**, 154-155. [Yoshida, T., Kazaoka, O., Furuno, K., Kusuda, T. and Sakai, Y. (2007): White water of tide pool on beach in Chosei village, Chiba, Japan. *Annual Report of Chiba Prefectural Environmental Research Center*, **7**, 154-155. (in Japanese)*]

吉田 剛・風岡 修・古野邦雄・楠田 隆・香川 淳・酒井 豊 (2008a): 千葉県大網白里町の海岸における潮溜まりの白濁について。千葉県環境研究センター年報, **8**, 148-149. [Yoshida, T., Kazaoka, O., Furuno, K., Kusuda, T., Kagawa, A. and Sakai, Y. (2008a): White water of tide pool on beach in Oamishirasato town, Chiba, Japan. *Annual Report of Chiba Prefectural Environmental Research Center*, **8**, 148-149. (in Japanese)*]

吉田 剛・風岡 修・古野邦雄・楠田 隆・酒井 豊・

- 香川 淳・加藤晶子・山本真理 (2008b): 千葉県で起きた潮溜まりの白濁現象の機構解明その1—地下水流動について—. 環境地質学シンポジウム論文集, **18**, 89-94. [Yoshida, T., Kazaoka, O., Furuno, K., Kusuda, T., Sakai, Y., Kagawa, A., Kato, A. and Yamamoto, M. (2008b): Investigation of groundwater flow under foreshore—For study a mechanism of white water in tide pool—Chiba, Japan. *Proceedings of Symposium on Geo-environments and Geo-technics*, **18**, 89-94. (in Japanese with English abstract)]
- 吉田 剛・風岡 修・酒井 豊・古野邦雄・楠田 隆・山本真理・加藤晶子・笠原 豊・飯村 晃・西川 順二 (2008c): 千葉県長生村一松海岸で起きた潮溜まりの白濁現象. 環境地質学シンポジウム論文集, **17**, 41-46. [Yoshida, T., Kazaoka, O., Sakai, Y., Furuno, K., Kusuda, T., Yamamoto, M., Kato, A., Kasahara, Y., Iimura, A. and Nishikawa, J. (2008c): White water of tide pool, in Hitotsumatsu beach, Chosei, Chiba, Japan. *Proceedings of Symposium on Geo-environments and Geo-technics*, **17**, 41-46. (in Japanese with English abstract)]
- 吉田 剛・風岡 修・古野邦雄・香川 淳・楠田 隆・酒井 豊 (2009a): 天然ガスの湧出する潮溜まりの白濁と色調変化. 環境地質学シンポジウム論文集, **19**, 191-196. [Yoshida, T., Kazaoka, O., Furuno, K., Kagawa, A., Kusuda, T. and Sakai, Y. (2009a): Mechanism of color change of tide pool in beach spouting natural gas, Chiba, central Japan. *Proceedings of Symposium on Geo-environments and Geo-technics*, **19**, 191-196. (in Japanese with English abstract)]
- 吉田 剛・風岡 修・古野邦雄・楠田 隆・香川 淳・酒井 豊 (2009b): 天然ガス(上ガス)の噴出する海浜の潮溜まりの白濁現象の機構解明. 日本地質学会学術大会講演要旨, **116**, P-176. [Yoshida, T., Kazaoka, O., Furuno, K., Kusuda, T., Kagawa, A. and Sakai, Y. (2009b): The mechanism of the nebula phenomenon of the tidal pool which a natural gas spouts, Chiba, Japan. *Annual Meeting of the Geological Society of Japan*, **116**, P-176. (in Japanese)]
- 吉田 剛・風岡 修・竹内美緒・楠田 隆・古野邦雄・香川 淳・酒井 豊 (2012): 千葉県九十九里浜の天然ガス(上ガス)の湧出する潮溜まりの白濁現象. 地質学雑誌, **118**, 172-183. [Yoshida, T., Kazaoka, O., Takeuchi, M., Kusuda, T., Furuno, K., Kagawa, A. and Sakai, Y. (2012): Formation mechanism of cloudy water in a tidal pool on the foreshore, Kujukuri-hama, Chiba, central Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **118**, 172-183. (in Japanese with English abstract)]

* Title etc. translated by F.S.

付録 1 各観測井の地下水位 (2009年4月28日).

Appendix 1 Groundwater level data of each monitoring well on April 28, 2009.

Time (JST)	Elevation of W.L. {T.P. (m)}	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.007 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m	Time (JST)	Elevation of W.L. {T.P. (m)}	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.007 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m
W-09-1				W-09-4			
11:02	-0.51	-4.991	0.137	10:57	0.01	-4.475	0.185
11:26	-0.52	-4.995	0.141	11:24	-0.01	-4.485	0.195
11:39	-0.52	-5.002	0.148	11:41	-0.01	-4.494	0.204
12:20	-0.52	-4.995	0.141	12:18	-0.02	-4.500	0.210
12:44	-0.51	-4.994	0.140	12:47	-0.03	-4.509	0.219
13:12	-0.51	-4.992	0.138	13:09	-0.03	-4.511	0.221
13:42	-0.51	-4.989	0.135	13:35	-0.04	-4.518	0.228
14:00	-0.51	-4.986	0.132	13:54	-0.04	-4.515	0.225
14:03	-0.50	-4.983	0.129	13:57	-0.03	-4.514	0.224
14:20	-0.50	-4.980	0.126	14:07	-0.04	-4.516	0.226
14:23	-0.49	-4.969	0.115	14:16	-0.03	-4.512	0.222
W-09-2				14:34	-0.03	-4.505	0.215
11:00	-0.41	-4.886	0.137	14:49	-0.02	-4.497	0.207
11:26	-0.41	-4.891	0.142	14:55	-0.02	-4.495	0.205
11:40	-0.42	-4.901	0.152	15:07	0.00	-4.480	0.190
12:20	-0.41	-4.893	0.144	15:11	0.01	-4.475	0.185
12:46	-0.41	-4.894	0.145	15:18	0.01	-4.474	0.184
13:11	-0.41	-4.893	0.144	15:23	0.01	-4.468	0.178
13:29	-0.41	-4.893	0.144	15:41	0.04	-4.442	0.152
13:43	-0.42	-4.897	0.148	15:52	0.08	-4.403	0.113
13:59	-0.41	-4.893	0.144	W-09-5			
14:04	-0.41	-4.891	0.142	10:53	0.13	-4.355	1.627
14:19	-0.41	-4.888	0.139	11:23	0.12	-4.363	1.635
14:25	-0.41	-4.887	0.138	11:42	0.11	-4.375	1.647
14:31	-0.37	-4.854	0.105	12:17	0.10	-4.383	1.655
14:52	-0.34	-4.820	0.071	12:49	0.09	-4.393	1.665
W-09-3				13:08	0.08	-4.398	1.670
10:59	-0.17	-4.648	0.177	13:37	0.08	-4.403	1.675
11:25	-0.18	-4.661	0.190	13:56	0.08	-4.398	1.670
11:41	-0.19	-4.671	0.200	14:08	0.07	-4.406	1.678
12:19	-0.19	-4.674	0.203	14:14	0.08	-4.405	1.677
12:47	-0.20	-4.681	0.210	14:36	0.08	-4.396	1.668
13:10	-0.20	-4.680	0.209	14:48	0.08	-4.396	1.668
13:33	-0.21	-4.685	0.214	14:56	0.09	-4.393	1.665
13:53	-0.20	-4.684	0.213	15:10	0.10	-4.383	1.655
13:58	-0.20	-4.682	0.211	15:19	0.10	-4.378	1.650
14:05	-0.20	-4.681	0.210	15:40	0.12	-4.360	1.632
14:18	-0.20	-4.679	0.208	15:54	0.14	-4.340	1.612
14:32	-0.19	-4.666	0.195	16:07	0.15	-4.328	1.600
14:50	-0.18	-4.657	0.186	16:16	0.19	-4.293	1.565
14:54	-0.17	-4.654	0.183	16:30	0.28	-4.200	1.472
15:06	-0.14	-4.621	0.150	17:04	0.31	-4.168	1.440
15:12	-0.14	-4.620	0.149				
15:17	-0.14	-4.620	0.149				
15:24	-0.13	-4.609	0.138				

付録 1 (つづき).

Appendix 1 (continued).

Time (JST)	Elevation of W.L. {T.P. (m)}	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.007 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m	Time (JST)	Elevation of W.L. {T.P. (m)}	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.007 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m
W-09-6				W-09-7			
10:51	0.33	-4.147	1.353	10:49	0.55	-3.934	1.299
11:21	0.32	-4.159	1.365	11:21	0.53	-3.949	1.314
11:44	0.31	-4.170	1.376	11:45	0.52	-3.962	1.327
12:16	0.30	-4.180	1.386	12:15	0.49	-3.989	1.354
12:50	0.29	-4.192	1.398	13:06	0.48	-3.997	1.362
13:07	0.29	-4.194	1.400	13:40	0.47	-4.009	1.374
13:38	0.28	-4.204	1.410	14:13	0.46	-4.020	1.385
14:10	0.27	-4.212	1.418	14:38	0.45	-4.029	1.394
14:37	0.27	-4.214	1.420	14:46	0.45	-4.031	1.396
14:47	0.27	-4.214	1.420	14:59	0.45	-4.034	1.399
14:58	0.26	-4.216	1.422	15:08	0.44	-4.036	1.401
15:09	0.27	-4.214	1.420	15:21	0.44	-4.039	1.404
15:20	0.26	-4.216	1.422	15:38	0.44	-4.044	1.409
15:39	0.27	-4.213	1.419	15:56	0.43	-4.048	1.413
15:55	0.27	-4.208	1.414	16:05	0.43	-4.049	1.414
16:06	0.28	-4.199	1.405	16:20	0.43	-4.049	1.414
16:19	0.29	-4.189	1.395	16:40	0.43	-4.046	1.411
17:01	0.38	-4.096	1.302	16:59	0.44	-4.041	1.406

W.L.: water level.

付録 2 各観測井の地下水位 (2010年5月17日).

Appendix 2 Groundwater level data of each monitoring well on May 17, 2010.

Time (JST)	Elevation of W.L. (T.P. (m))	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.005 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m	Time (JST)	Elevation of W.L. (T.P. (m))	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.005 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m
W-10-1				W-10-5			
11:32	-0.75	-5.233	0.780	11:37	-0.57	-5.048	1.136
11:50	-0.74	-5.224	0.771	11:53	-0.58	-5.062	1.150
12:10	-0.78	-5.259	0.806	12:14	-0.60	-5.078	1.166
12:33	-0.79	-5.268	0.815	12:36	-0.61	-5.092	1.180
12:51	-0.77	-5.252	0.799	12:55	-0.61	-5.090	1.178
13:26	-0.73	-5.213	0.760	13:28	-0.59	-5.068	1.156
14:09	-0.72	-5.199	0.746	14:11	-0.48	-4.956	1.044
14:18	-0.73	-5.205	0.752	14:21	-0.47	-4.954	1.042
14:32	-0.69	-5.172	0.719	14:34	-0.48	-4.956	1.044
14:46	-0.64	-5.117	0.664	14:49	-0.46	-4.937	1.025
W-10-2				15:02	-0.43	-4.914	1.002
11:33	-0.68	-5.155	0.555	15:13	-0.43	-4.912	1.000
11:51	-0.69	-5.166	0.566	15:26	-0.41	-4.892	0.980
12:11	-0.71	-5.185	0.585	15:40	-0.38	-4.855	0.943
12:34	-0.73	-5.213	0.613	15:50	-0.34	-4.822	0.910
12:52	-0.72	-5.200	0.600	15:56	-0.35	-4.832	0.920
13:26	-0.67	-5.150	0.550	16:01	-0.33	-4.812	0.900
14:09	-0.63	-5.109	0.509	16:06	-0.31	-4.792	0.880
14:18	-0.62	-5.102	0.502	16:10	-0.29	-4.772	0.860
14:32	-0.61	-5.090	0.490	16:14	-0.29	-4.765	0.853
14:46	-0.59	-5.071	0.471	16:20	-0.25	-4.732	0.820
15:00	-0.55	-5.032	0.432	16:26	-0.22	-4.699	0.787
15:11	-0.54	-5.022	0.422	16:35	-0.19	-4.665	0.753
15:37	-0.45	-4.931	0.331	W-10-6			
W-10-3				11:38	-0.54	-5.019	1.115
11:34	-0.63	-5.113	0.641	11:54	-0.55	-5.033	1.129
11:52	-0.65	-5.127	0.655	12:15	-0.57	-5.048	1.144
12:12	-0.66	-5.141	0.669	12:36	-0.58	-5.062	1.158
12:34	-0.68	-5.162	0.690	12:56	-0.58	-5.059	1.155
12:53	-0.67	-5.152	0.680	13:28	-0.56	-5.043	1.139
13:27	-0.64	-5.124	0.652	14:11	-0.50	-4.984	1.080
14:10	-0.56	-5.042	0.570	14:21	-0.45	-4.932	1.028
14:19	-0.55	-5.031	0.559	14:35	-0.46	-4.936	1.032
14:33	-0.54	-5.019	0.547	14:49	-0.44	-4.916	1.012
14:47	-0.53	-5.013	0.541	15:03	-0.40	-4.884	0.980
15:01	-0.51	-4.992	0.520	15:14	-0.40	-4.875	0.971
15:12	-0.51	-4.987	0.515	15:26	-0.38	-4.858	0.954
15:38	-0.44	-4.917	0.445	15:40	-0.36	-4.836	0.932
W-10-4				15:51	-0.34	-4.817	0.913
11:34	-0.60	-5.075	0.607	15:56	-0.35	-4.829	0.925
11:53	-0.61	-5.092	0.624	16:02	-0.32	-4.804	0.900
12:13	-0.63	-5.105	0.637	16:07	-0.30	-4.782	0.878
12:53	-0.64	-5.118	0.650	16:11	-0.28	-4.756	0.852
13:27	-0.62	-5.095	0.627	16:15	-0.27	-4.752	0.848
14:10	-0.54	-5.022	0.554	16:21	-0.26	-4.742	0.838
14:19	-0.50	-4.983	0.515	16:27	-0.21	-4.693	0.789
14:34	-0.50	-4.979	0.511	16:35	-0.18	-4.661	0.757
14:48	-0.49	-4.968	0.500				
15:02	-0.47	-4.949	0.481				
15:13	-0.47	-4.948	0.480				
15:48	-0.36	-4.840	0.372				

付録 2 (つづき).

Appendix 2 (continued).

Time (JST)	Elevation of W.L. (T.P. (m))	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.005 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m	Time (JST)	Elevation of W.L. (T.P. (m))	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.005 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m
W-10-7				W-10-9			
11:39	-0.51	-4.988	1.165	11:41	-0.44	-4.915	1.120
11:55	-0.52	-4.998	1.175	11:57	-0.44	-4.924	1.129
12:15	-0.53	-5.014	1.191	12:17	-0.46	-4.940	1.145
12:37	-0.55	-5.027	1.204	12:38	-0.47	-4.952	1.157
12:57	-0.55	-5.028	1.205	12:58	-0.47	-4.952	1.157
13:29	-0.53	-5.012	1.189	13:30	-0.46	-4.943	1.148
14:12	-0.48	-4.961	1.138	14:13	-0.42	-4.895	1.100
14:22	-0.44	-4.922	1.099	14:22	-0.40	-4.875	1.080
14:35	-0.44	-4.918	1.095	14:36	-0.39	-4.867	1.072
14:50	-0.42	-4.898	1.075	14:52	-0.37	-4.848	1.053
15:03	-0.36	-4.835	1.012	15:04	-0.29	-4.770	0.975
15:14	-0.36	-4.841	1.018	15:15	-0.31	-4.793	0.998
15:27	-0.35	-4.826	1.003	15:28	-0.29	-4.765	0.970
15:41	-0.33	-4.809	0.986	15:42	-0.27	-4.751	0.956
15:51	-0.30	-4.783	0.960	15:52	-0.26	-4.740	0.945
15:57	-0.32	-4.798	0.975	15:58	-0.27	-4.751	0.956
16:02	-0.30	-4.783	0.960	16:04	-0.26	-4.738	0.943
16:07	-0.29	-4.769	0.946	16:08	-0.25	-4.733	0.938
16:11	-0.27	-4.753	0.930	16:12	-0.25	-4.727	0.932
16:15	-0.25	-4.732	0.909	16:16	-0.22	-4.703	0.908
16:22	-0.24	-4.715	0.892	16:22	-0.20	-4.684	0.889
16:28	-0.20	-4.678	0.855	16:29	-0.18	-4.660	0.865
16:36	-0.17	-4.653	0.830	16:32	-0.16	-4.637	0.842
W-10-8				W-10-10			
11:40	-0.48	-4.955	1.130	11:42	-0.38	-4.857	1.127
11:56	-0.48	-4.963	1.138	11:58	-0.39	-4.866	1.136
12:16	-0.50	-4.980	1.155	12:17	-0.40	-4.879	1.149
12:37	-0.51	-4.992	1.167	12:38	-0.41	-4.892	1.162
12:57	-0.51	-4.994	1.169	12:59	-0.42	-4.896	1.166
13:29	-0.50	-4.982	1.157	13:30	-0.41	-4.889	1.159
14:12	-0.45	-4.925	1.100	14:14	-0.37	-4.851	1.121
14:22	-0.42	-4.903	1.078	14:23	-0.36	-4.835	1.105
14:36	-0.41	-4.893	1.068	14:37	-0.35	-4.825	1.095
14:50	-0.40	-4.875	1.050	14:52	-0.33	-4.809	1.079
15:04	-0.32	-4.798	0.973	15:05	-0.29	-4.768	1.038
15:15	-0.34	-4.817	0.992	15:16	-0.29	-4.768	1.038
15:27	-0.32	-4.795	0.970	15:28	-0.28	-4.759	1.029
15:41	-0.30	-4.779	0.954	15:42	-0.26	-4.740	1.010
15:52	-0.28	-4.761	0.936	15:52	-0.24	-4.720	0.990
15:57	-0.30	-4.775	0.950	15:59	-0.25	-4.732	1.002
16:03	-0.29	-4.769	0.944	16:04	-0.24	-4.721	0.991
16:08	-0.27	-4.752	0.927	16:08	-0.24	-4.721	0.991
16:12	-0.26	-4.737	0.912	16:13	-0.21	-4.692	0.962
16:15	-0.23	-4.708	0.883	16:16	-0.21	-4.693	0.963
16:22	-0.22	-4.702	0.877	16:23	-0.20	-4.675	0.945
16:28	-0.20	-4.681	0.856	16:30	-0.18	-4.655	0.925
16:36	-0.16	-4.635	0.810	16:37	-0.16	-4.637	0.907

付録 2 (つづき).

Appendix 2 (continued).

Time (JST)	Elevation of W.L. {T.P. (m)}	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.005 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m	Time (JST)	Elevation of W.L. {T.P. (m)}	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.005 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m
W-10-11				13:25	-0.05	-4.531	0.943
11:43	-0.28	-4.758	1.072	13:32	-0.06	-4.535	0.947
11:59	-0.28	-4.758	1.072	14:16	-0.05	-4.531	0.943
12:18	-0.29	-4.765	1.079	14:25	-0.05	-4.530	0.942
12:39	-0.30	-4.775	1.089	14:39	-0.05	-4.528	0.940
13:00	-0.30	-4.783	1.097	14:54	-0.04	-4.517	0.929
13:31	-0.30	-4.782	1.096	15:07	-0.03	-4.511	0.923
14:15	-0.28	-4.761	1.075	15:19	-0.03	-4.511	0.923
14:24	-0.27	-4.752	1.066	15:30	-0.03	-4.509	0.921
14:38	-0.26	-4.743	1.057	15:44	-0.02	-4.498	0.910
14:53	-0.26	-4.735	1.049	15:55	-0.02	-4.500	0.912
15:05	-0.25	-4.733	1.047	16:00	-0.02	-4.498	0.910
15:12	-0.25	-4.732	1.046	16:18	-0.01	-4.487	0.899
15:29	-0.25	-4.732	1.046	16:54	0.10	-4.383	0.795
15:42	-0.25	-4.728	1.042	17:11	0.15	-4.333	0.745
15:53	-0.24	-4.717	1.031	18:03	0.20	-4.278	0.690
15:59	-0.24	-4.724	1.038	18:27	0.22	-4.260	0.672
16:17	-0.21	-4.685	0.999				
16:30	-0.16	-4.642	0.956				
16:53	-0.08	-4.560	0.874				
17:12	-0.03	-4.511	0.825				
18:01	0.13	-4.346	0.660				
W-10-12							
11:44	-0.13	-4.611	1.180	W-10-14			
12:00	-0.14	-4.616	1.185	9:00	0.57	-3.91	0.80
12:19	-0.14	-4.623	1.192	9:30	0.55	-3.93	0.81
12:40	-0.15	-4.634	1.203	10:00	0.54	-3.94	0.83
13:01	-0.16	-4.640	1.209	10:30	0.53	-3.95	0.84
13:32	-0.16	-4.641	1.210	11:00	0.52	-3.96	0.85
14:15	-0.14	-4.622	1.191	11:30	0.51	-3.97	0.86
14:24	-0.14	-4.622	1.191	12:00	0.50	-3.98	0.87
14:38	-0.14	-4.619	1.188	12:30	0.48	-4.01	0.89
14:53	-0.13	-4.609	1.178	13:00	0.46	-4.02	0.90
15:06	-0.12	-4.599	1.168	13:30	0.46	-4.02	0.91
15:18	-0.12	-4.598	1.167	14:00	0.45	-4.03	0.92
15:30	-0.12	-4.596	1.165	14:30	0.44	-4.05	0.93
15:43	-0.11	-4.586	1.155	15:00	0.42	-4.06	0.95
15:54	-0.10	-4.584	1.153	15:30	0.41	-4.07	0.96
16:00	-0.11	-4.586	1.155	16:00	0.39	-4.09	0.98
16:18	-0.08	-4.561	1.130	16:30	0.37	-4.11	0.99
16:54	-0.01	-4.491	1.060	17:00	0.36	-4.12	1.00
17:12	0.00	-4.480	1.049	17:30	0.37	-4.11	1.00
18:02	0.14	-4.341	0.910	18:00	0.37	-4.11	1.00
18:28	0.20	-4.276	0.845	18:30	0.44	-4.05	0.93
W-10-13				19:00	0.45	-4.03	0.92
12:01	-0.04	-4.521	0.933	19:30	0.47	-4.01	0.90
12:20	-0.04	-4.516	0.928	20:00	0.49	-3.99	0.88
12:41	-0.04	-4.523	0.935	20:30	0.51	-3.97	0.86
13:01	-0.05	-4.529	0.941	21:00	0.52	-3.96	0.85

W.L.: water level.

付録 3 各観測井の地下水位 (2011年5月19日).

Appendix 3 Groundwater level data of each monitoring well on May 19, 2011.

Time (JST)	Elevation of W.L. (T.P. (m))	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.005 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m	Time (JST)	Elevation of W.L. (T.P. (m))	Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.005 m	Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.001 m
W-11-1				W-11-3			
11:51	-0.32	-4.797	0.780	11:52	-0.32	-4.799	0.760
12:04	-0.31	-4.787	0.770	12:05	-0.32	-4.799	0.760
12:19	-0.31	-4.792	0.775	12:21	-0.32	-4.796	0.757
12:40	-0.32	-4.796	0.779	12:41	-0.32	-4.800	0.761
12:53	-0.29	-4.772	0.755	12:55	-0.31	-4.791	0.752
13:04	-0.30	-4.783	0.766	13:05	-0.31	-4.794	0.755
13:12	-0.30	-4.784	0.767	13:13	-0.31	-4.794	0.755
13:18	-0.30	-4.779	0.762	13:19	-0.31	-4.792	0.753
13:20	-0.30	-4.777	0.760	13:21	-0.31	-4.793	0.754
13:26	-0.29	-4.769	0.752	13:27	-0.31	-4.791	0.752
13:28	-0.29	-4.768	0.751	13:29	-0.31	-4.791	0.752
13:33	-0.29	-4.767	0.750	13:34	-0.31	-4.790	0.751
13:34	-0.29	-4.766	0.749	13:41	-0.31	-4.789	0.750
13:40	-0.28	-4.762	0.745	13:45	-0.31	-4.788	0.749
13:45	-0.28	-4.760	0.743	13:50	-0.31	-4.787	0.748
13:49	-0.28	-4.757	0.740	13:53	-0.31	-4.787	0.748
13:52	-0.27	-4.752	0.735	13:55	-0.31	-4.786	0.747
13:54	-0.27	-4.748	0.731	13:57	-0.30	-4.781	0.742
13:56	-0.26	-4.739	0.722	13:59	-0.30	-4.780	0.741
13:58	-0.25	-4.734	0.717	14:01	-0.30	-4.779	0.740
14:00	-0.25	-4.729	0.712	14:03	-0.30	-4.779	0.740
14:02	-0.25	-4.729	0.712	14:05	-0.30	-4.779	0.740
14:04	-0.25	-4.729	0.712	14:07	-0.30	-4.778	0.739
14:06	-0.25	-4.726	0.709	14:09	-0.30	-4.777	0.738
14:08	-0.24	-4.719	0.702	14:11	-0.30	-4.775	0.736
14:10	-0.24	-4.716	0.699				
14:14	-0.22	-4.700	0.683				
W-11-2				Time (JST) Elevation of W.L. (T.P. (m)) Relative elevation of W.L. from BM-1 (m). Error: ± 0.013 m Depth of W.L. from top of well (m). Error: ± 0.011 m			
11:52	-0.32	-4.798	0.795	W-11-4			
12:04	-0.31	-4.791	0.788	6:00	0.69	-3.79	0.68
12:20	-0.32	-4.797	0.794	6:30	0.68	-3.80	0.69
12:41	-0.32	-4.798	0.795	7:00	0.67	-3.81	0.70
12:53	-0.31	-4.786	0.783	7:30	0.65	-3.83	0.72
13:05	-0.31	-4.788	0.785	8:00	0.63	-3.85	0.74
13:12	-0.31	-4.785	0.782	8:30	0.61	-3.87	0.76
13:19	-0.31	-4.788	0.785	9:00	0.59	-3.89	0.78
13:20	-0.31	-4.786	0.783	9:30	0.58	-3.90	0.79
13:26	-0.30	-4.783	0.780	10:00	0.56	-3.92	0.81
13:29	-0.30	-4.781	0.778	10:30	0.55	-3.93	0.82
13:33	-0.30	-4.781	0.778	11:00	0.54	-3.94	0.83
13:35	-0.30	-4.778	0.775	11:30	0.53	-3.95	0.84
13:41	-0.30	-4.776	0.773	12:00	0.52	-3.96	0.85
13:45	-0.30	-4.776	0.773	12:30	0.51	-3.97	0.86
13:50	-0.29	-4.774	0.771	13:00	0.49	-3.99	0.88
13:53	-0.29	-4.772	0.769	13:30	0.49	-4.00	0.88
13:55	-0.29	-4.768	0.765	14:00	0.48	-4.00	0.89
13:57	-0.28	-4.764	0.761	14:30	0.47	-4.01	0.90
13:59	-0.28	-4.762	0.759	15:00	0.46	-4.02	0.91
14:00	-0.28	-4.761	0.758	15:30	0.45	-4.03	0.92
14:03	-0.28	-4.760	0.757	16:00	0.45	-4.03	0.92
14:04	-0.28	-4.759	0.756	16:30	0.45	-4.03	0.91
14:06	-0.28	-4.756	0.753	17:00	0.46	-4.02	0.90
14:09	-0.28	-4.755	0.752	17:30	0.48	-4.00	0.89
14:11	-0.27	-4.753	0.750	18:00	0.50	-3.98	0.87

W.L.: water level.