

# 九十九里浜の天然ガスの湧出する潮溜まりの白濁現象

吉田 剛・風岡 修・竹内美緒\*・楠田 隆・古野邦雄・香川 淳・酒井 豊  
\*産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

## 1 はじめに

2007 年 5 月に千葉県九十九里浜南部の長生村の一松海岸南方で、さらに同年 8 月、大網白里町の海岸においても大潮の干潮時にできる潮溜まりが白濁する現象が確認された（図 1, 2）。現象確認後直ちに行った現地調査の中で、白濁現象の起こった海浜にガスの湧出があることがわかった。

千葉県東部の九十九里平野には、三浦層群や上総層群に含有するかん水から遊離した天然ガス（メタンガス）が地表まで上昇している。このため、この地域の水田や河川ではガスの発生しているところを泡によって確認できる。この地域の人々は地表に湧出するガスを「上ガス」と呼んでおり、家庭で燃料として使用しているところもある。一方、水田にこの天然ガスが湧き出すところでは、稲の穂が成長しない現象や、枯れてしまう現象が起こり、経済的な被害が出ており、土壌層が青灰色を呈していることも確認されている（楡井ほか、1976）。上ガスの発生するところに気密性のよい建造物がある場合、空気よりも軽いメタンガスが建物内に充満し、引火による爆発事故も報告されている。

このように、潮溜まりの白濁現象は、海岸における上ガスの影響の可能性があるため、その現象の把握とメカニズムの解明を目的に調査研究を行った。

本論文の内容は、日本地質学会発行の地質学雑誌、118 巻 3 号に掲載発表した。

## 2. 調査地と調査時期

調査地は、千葉県大網白里町の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 900m の地点（東経 140° 25′ 34″, 北緯 35° 29′ 28″）である（図 3）。

調査は、2008 年 5 月 22 日、6 月 19, 20 日、7 月 2, 3, 4 日、12 月 12 日、2009 年 1 月 11 日、2 月 9 日、3 月 30 日、4 月 27, 28 日、5 月 26 日、

7 月 22 日、2010 年 1 月 29 日に行った。大潮の一日に二度ある干潮時の中でもっとも潮が引く、3, 4, 5, 6, 7 月は新月の日に近い日中、12, 1, 2 月は満月の日に近い深夜に行った。ただし、2008 年 9 月と 11 月は調査地の見学調査のみを行い、2010 年 1 月は微生物の定性分析用試料の採取を行った。



図 1 白濁した潮だまり



図 2 白濁する潮溜まりの地下から湧出する黄色地下水

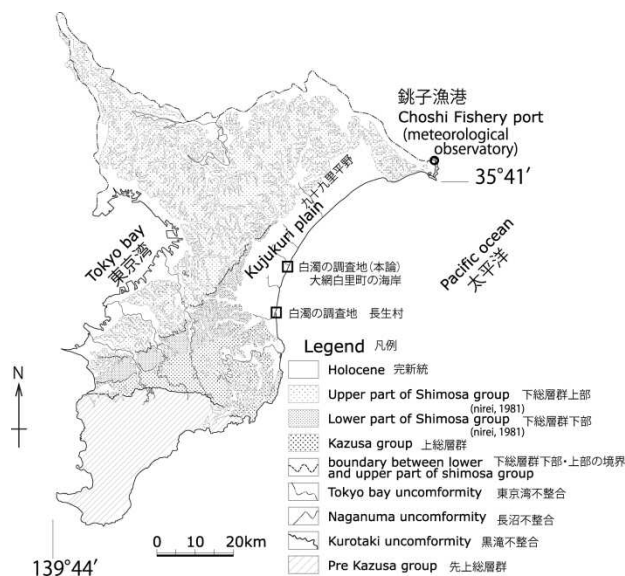


図3 潮溜まりの白濁の調査地点  
(吉田ほか, 2012 (C), 日本地質学会)

### 3 確認できた現象および結果

#### 3・1 構成地層と潮溜まりの観察

通常、海浜の砂は淡い褐灰色であるが、ガス湧出分布域では、濃青灰色を呈する砂が表層または表層近く（深度<50cm）より下位に認められる。

ガスの湧出している点では、直径 5cm ほどの砂を盛り上げた火山のような形態を作り、濃青灰色砂がガスによるエアリフト効果によって地表に噴き上げられている箇所も認められる。この砂火山の断面をみるとガス流路の周囲が濃青灰色となっている。

潮溜まりの観察によって、濃青灰色砂から湧出する黄色地下水が白濁することがわかった。黄色地下水をビーカーで採取ししばらく放置しておくで白濁したことから、黄色地下水が大気に触れた場合に白濁することがわかった。また、黄色の潮溜まりに波によって海水が流入したきに白濁する現象も認められたことから、海水との混合によっても白濁が起きることがわかった。

#### 3・2 ガス湧出地点・濃青灰色砂・黄色地下水の分布・地形測量調査

2008年5, 6, 7, 9, 11, 12月, 2009年1, 2, 3, 4, 5月すべてにガスの湧出が認められた。濃青灰色砂は2009年1月以外で認められた。黄色地下水は2009年1, 3, 5月以外で認められた。これらの分布域の関係は、ガス湧出の分布範囲の内側に濃青灰色砂が分布し、黄色地下水の分布は濃青灰色砂の分布範囲の内側に収まり局所的な分布を示す場合が多い（図4）。

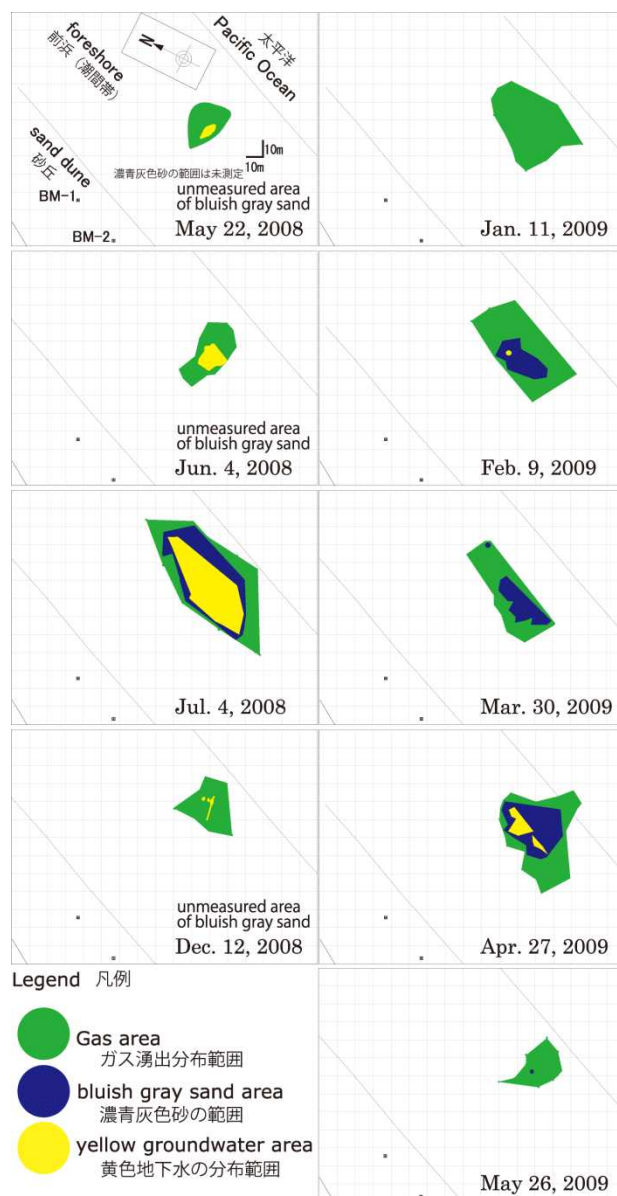


図4 調査地におけるガス湧出・濃青灰色砂・黄色地下水の平面分布（吉田ほか, 2012 (C), 日本地質学会）

#### 3・3 メタンガスの定性・定量・湧出量の測定

測定の結果、湧出しているガスは可燃性ガスであり、濃度は90 volume %以上の値を示した。

ガスは湧出量の多い孔一つで毎分約 270ml 湧出していた。ガス湧出孔が多く分布するところでは、2m 四方の範囲に6個のガス湧出孔が存在した。

#### 3・4 水質調査および白濁物質の分析

黄色地下水や白濁した水は非常に強い還元状態（溶存酸素：0mg/L, 酸化還元電位：-300mV以下）であった。

陽イオン・陰イオンの分析結果では、黄色地下



水と海水の水質において、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 濃度に大きな差は認められなかった。一方、黄色地下水の  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度は海水の約 70%であり、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は約 30%であった。また、海水からは検出されなかった  $\text{PO}_4^{3-}$ が黄色地下水からは検出された。

黄色地下水の総アルカリ度は、400mg as  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ であり、海水は 130mg as  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ であった。

白濁物質を構成する元素は、XRF-EDS 分析の結果、硫黄 (S) が 54.4 wt %, 塩素 (Cl) が 43.0 wt %, カリウム (K) が 1.1 wt %, カルシウム (Ca) が 0.9 wt %であった。

### 3・5 黄色地下水のメタン酸化微生物の定性分析

黄色地下水から嫌氣的メタン酸化古細菌の ANME-1 が検出された。ANME-1 プライマーで増幅した産物については、クローン解析を行い、ANME-1 の 16S rRNA 遺伝子であることを確認した。

### 3・6 白濁する潮溜まりについての聞き取り調査

聞き取り調査の結果、少なくとも 2007 年より前に本調査地において潮溜まりの白濁現象の目撃者はいなかった。数名の方からは、約六十年前から比較すると砂浜の面積が減少しているとの報告も受けた。

## 4 考察

黄色地下水は硫酸還元状態にあることから、ガスの湧出する前浜の地下水中には、硫酸還元によって、硫化水素、硫化物イオン、多硫化物イオン ( $\text{S}_x^{2-}$ ) が生成し、この多硫化物イオンによって地下水が黄色化したと考えられる。この硫化水素や多硫化物イオンを多量に含む黄色地下水は潮溜まりに湧出し、大気や海水中の酸素と反応し、微細な硫黄のコロイドとなり乱反射によって白濁したように見えると考えられる。

この硫酸還元後の白濁のメカニズムは東京湾等で発生する青潮と同様である。青潮の場合は、浚渫窪地のような海水の循環が悪い場所に有機物の非常に多いヘドロなどが溜まり、貧酸素状態となった海水が硫酸還元状態となり、それが湧昇することによって起こる。しかし、九十九里浜の潮溜まりの白濁の場合、ヘドロのような泥とは無縁の淘汰のよい砂層にできる潮溜まりで白濁が起こっているため珍しい現象であるといえる。

硫酸還元にいたるまでの過程の考察としては、今後、同位体などの生物地球化学的データに基づく証拠が必要となるが、一つの仮説として以下のように考えられる。それは潮溜まりの黄色地下水から嫌氣的メタン酸化古細菌の ANME-1 が見つかった結果から、高濃度のメタンガスの供給により、嫌氣的メタン酸化古細菌と硫酸還元菌との共役による嫌氣的メタン酸化反応が起こっている可能性が考えられる (Barnes and Goldberg, 1976)。



また、千葉県茂原市の天然ガス取水井戸 (深度 347-759m) からガスと地下水 (かん水) とが伴にくみ上がるガス包含層の堆積物から嫌氣的メタン酸化古細菌の ANME-1 と ANME-2 が検出されたことが報告されており (Miyashita et al., 2009), 上ガスの発生がこれらのガス包含層から砂泥互層中の砂層や断層を通りながら地表まで上昇してくる機構 (楡井・矢田, 1978) と合わせると、嫌氣的メタン酸化が地下から地表まで起こっている可能性も考えられる。

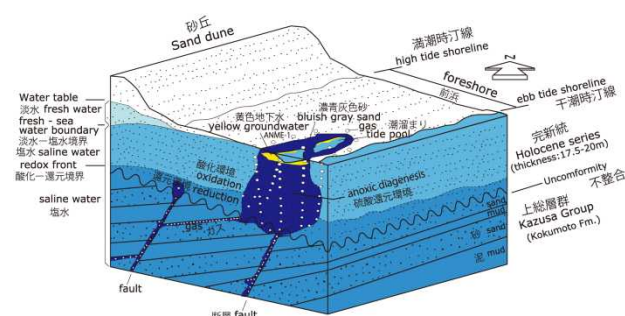


図5 調査地におけるメタンガスの上昇と潮溜まりの白濁現象に関するメカニズム仮説の図 (吉田ほか, 2012 (C), 日本地質学会)

調査中に行った漁師等への聞き取り調査により、近年になって潮溜まりの白濁現象が発生しはじめた可能性があることがわかった。近年の九十九里浜は砂の浸食による海浜の面積の減少が問題となっている。白濁現象が見つかった大網白里町の海岸や一松海岸南方においても砂浜浸食による汀線の内陸側への移動 (砂浜面積の減少) が報告されている (星上ほか, 2005)。

この砂浜浸食の発生を考えると、近年になって白濁現象が発見された原因は、この数年の間に海浜の上ガスの発生している地域と潮溜まりの発

生個所が重なり、白濁現象を引き起こす条件が揃ったことが考えられる。この砂浜浸食の原因には地盤沈下や砂浜に砂の供給を断つヘッドランド工法の影響が挙げられている(星上ほか, 2005)。

そして、白濁現象が近年発生したもうひとつの理由の可能性としては、ガスの湧出そのものが近年海浜に発生し始めたとも考えられる。どちらの場合も今後の九十九里浜の状況の変化に注視する必要がある。

## 引用文献

- Barnes, R.O. and Goldberg, E.D., 1976, Methane production and consumption in anoxic marine sediments. *Geol.*, **4**, 297-300.
- 星上幸良・小林昭男・宇多高明・熊田貴之, 2005, 近世における九十九里浜の形成と変形. 沿岸域学会誌, **17**, 47-56.
- 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—. 第 16 回環境地質学シンポジウム論文集, **16**, 169-174.
- 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.
- Miyashita, A., Mochimaru, H., Kazama, H., Ohashi, A., Yamaguchi, T., Nunoura, T., Horikoshi, K., Takai, K. and Imachi, H. 2009, Development of 16S rRNA gene-targeted primers for detection of archaeal anaerobic methanotrophs (ANMEs). *FEMS Microbiol Lett.*, **297**, 31-37.
- 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). 堆積盆中の流体移動, 151-174. 東海大学出版会
- 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., Kusuda, T., Mitsunashi, T. and Kikuchi T., 1987, Stratigraphic studies of the Pleistocene in the Boso Peninsula Facing the Pacific, Central Japan. *Proceed. the 1st International Colloquium on Quaternary Stratigraphy of Asia and Pacific Area, Osaka, 1986*, 32-42.
- 楡井 久・矢田恒晴, 1978, 天然ガス生産に伴う天然ガス(上ガス)湧出被害と天然ガス湧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.
- 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. 第 19 回環境地質学シンポジウム論文集, **19**, 191-196.
- 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.
- 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. 日本地質学会第 116 年学術大会講演要旨, **275**.
- 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.
- 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—. 第 18 回環境地質学シンポジウム論文集, **18**, 89-94.
- 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. 第 17 回環境地質学シンポジウム論文集, **17**, 41-46.
- 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.

### 【要旨】

2007年5月、8月に千葉県九十九里浜において干潮時にできる潮溜まりが白濁する現象が起こった。この白濁する潮溜まりの周囲には、九十九里平野の地下に広がる上総層群中のかん水から上昇するメタンガスが湧出していた。ガスの湧出範囲の内側の砂浜の砂は還元色である濃青灰色砂に変色していた。さらに、濃青灰色を呈する砂層中の地下水には黄色地下水が存在し、この黄色地下水が海水や大気に触れると白濁することがわかった。

化学分析の結果、白濁物質の主成分は硫黄と判明し、白濁のメカニズムは青潮と同様に多硫化物イオンや硫黄のコロイドによる乱反射が示唆された。

この白濁現象は、千葉県に特有の九十九里平野に上昇するメタンガス（この地域では「上（うわ）ガス」と呼ぶ）が砂浜地下環境におよぼす自然現象であることがわかった。

キーワード： 潮溜まり 白濁 メタンガス 黄色地下水

Formation mechanism of cloudy water in a tidal pool, Kujukuri-hama, Chiba