

# 神奈川県における温泉付随ガスの実態調査結果（第3報）

代田 寧\*・小田原 啓\*

Incidental gas from hot spring waters in Kanagawa Prefecture (Part )

by

Yasushi DAITA \* and Kei ODAWARA \*

## 1. はじめに

2007（平成19）年6月19日に発生した東京都渋谷区の温泉施設における爆発事故を契機として、温泉の汲み上げに伴うメタンガス（以下、 $\text{CH}_4$ とする）等の可燃性天然ガスが大きな社会問題となった。 $\text{CH}_4$ は、空気中に体積パーセントで5～15%（以下、%は全て体積パーセント）含まれると、静電気などの弱着火源でも爆発する非常に危険なガスである。環境省では2007（平成19）年11月に温泉法を改正し、一定基準以上の可燃性天然ガスを含む温泉について、災害を防止するための措置を義務づけた。

事故を起こした源泉は、 $\text{CH}_4$ を主成分とした天然ガ

スを産出する南関東ガス田（水溶性天然ガス鉱床）といわれる日本有数のガス田地域に位置している（図1）。南関東ガス田の主たるガス貯留層は、主にシルト～砂礫岩から構成される海成堆積岩の鮮新統～更新統上総層群である。地層堆積時に取り込まれた海水（学術的には化石水と呼ぶが、明らかに海水の寄与が大きいと考えられるため、ここでは化石海水と呼ぶ）中に有機物の分解により生成した $\text{CH}_4$ が溶け込み、地表に汲み上げられたときに圧力低下によって $\text{CH}_4$ が分離、湧出すると考えられている（営繕工事における天然ガス対応のための関係官公庁連絡会議編、2007）。地下において高圧である井戸深度1000m以上のいわゆる大深度温泉では、Henry

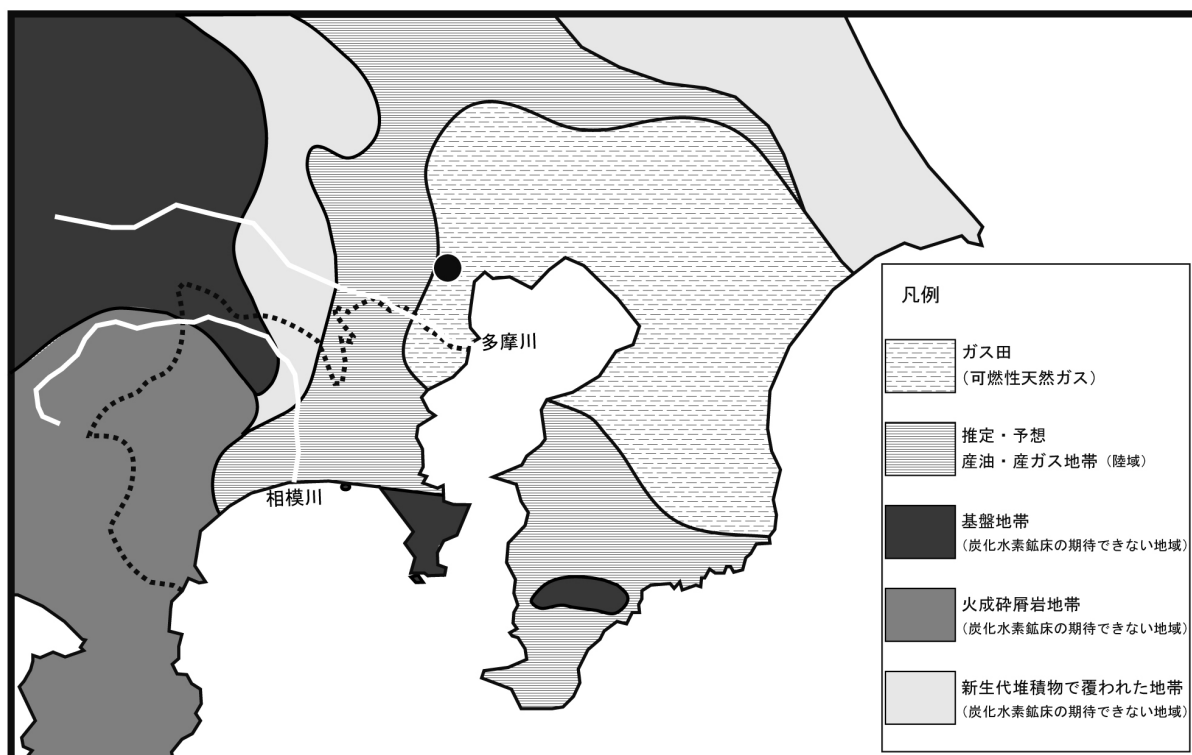


図1 南関東地域におけるガス田分布図。 ●は、渋谷区爆発事故源泉の位置を示す。地質調査所（1976）をもとに作成。

\* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

資料，神奈川県温泉地学研究所報告，第42巻，67-72，2010

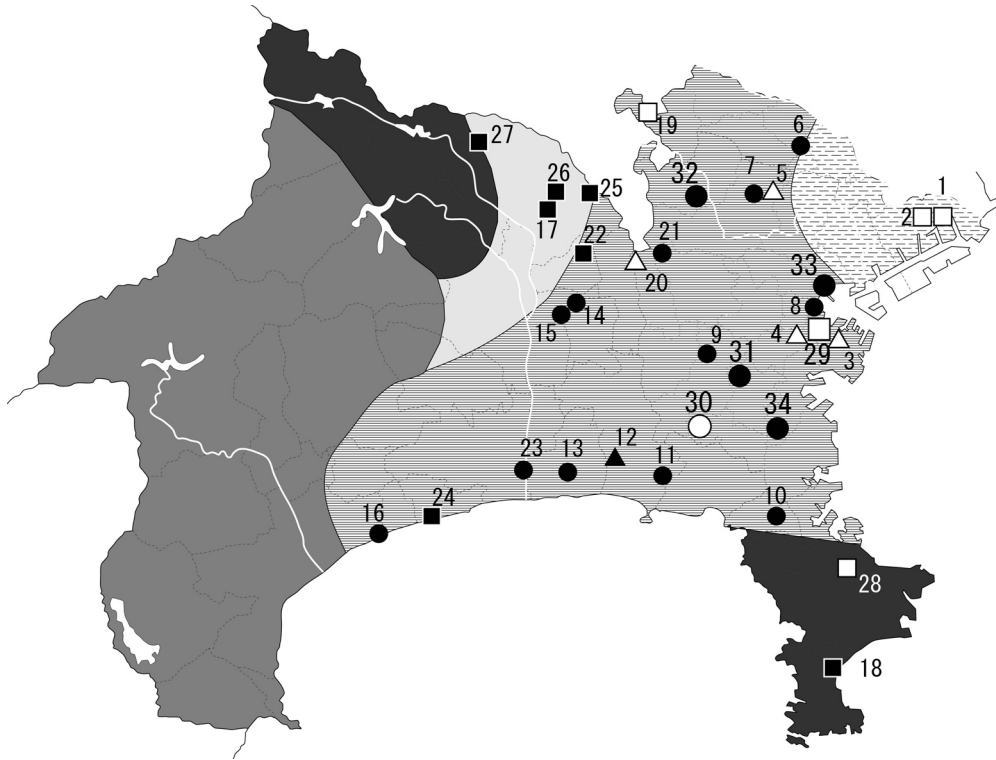


図2 調査源泉の位置。図中の数字は表1のNo. に対応し、●はCH<sub>4</sub>が主体のタイプ、■はN<sub>2</sub>が主体のタイプ、▲は中間のタイプ、塗りつぶしは井戸深度が1000 m以上の大深度温泉をそれぞれ示す。これまでの結果（代田・小田原、2008；代田・小田原、2009）もあわせて記載した。地質区分の凡例は図1と同じ。地質調査所（1976）をもとに作成。

の法則により溶け込むCH<sub>4</sub>の量が多くなるため、温泉を汲み上げた際のCH<sub>4</sub>の湧出量も多くなると考えられ、災害防止の観点からとくに注意が必要である。

これまで当所では、神奈川県内の大深度温泉を中心としたいくつかの源泉について付随ガス採取、分析するなど、CH<sub>4</sub>等の湧出実態を把握するための調査を実施してきた（代田ほか、2007；代田・小田原、2008；代田・小田原2009）。ここでは、代田・小田原（2009）以降の2009（平成21）年12月から2010（平成22）年4月にかけて追加調査した6源泉の結果について報告するとともに、それと合わせてこれまで当所で実施してきた調査結果をまとめ、県内の温泉付随ガスの概況を総括する。

## 2. 温泉付随ガスの採取・分析方法

### 2.1. 採取源泉

追加調査を実施した6源泉（No.29～34）の概要を表1に、源泉の位置を図2にそれぞれ示した。6源泉ともに地質調査所（1976）の区分による推定・予想（産油・産ガス）地域に位置しており、そのうち4ヶ所が井戸深度1000m以上のいわゆる大深度温泉である。図2には、当所がこれまでに調査を実施した源泉（No.1～28）も

あわせて記載した。

### 2.2. 採取・分析方法

温泉付随ガスの採取ならびに分析方法は、代田・小田原（2008）と同様である。すなわち、水上置換法で採取した温泉付随ガスを石油資源開発株式会社に委託してガスクロマトグラフで定量した。分析したガスは、酸素（O<sub>2</sub>）、窒素（N<sub>2</sub>）、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、CH<sub>4</sub>、エタン（C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>）、プロパン（C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>）、ノルマルブタン（n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>）、イソブタン（iso-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>）、ノルマルペンタン（n-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>）、イソペンタン（iso-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>）、ノルマルヘキサン（n-C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>）の11成分である。また、ガス採取時に、温泉の温度、pH、電気伝導率の測定もあわせて実施した。

## 3. 結果

表1に示したように、これまでの調査と同様、全ての温泉付随ガスからCH<sub>4</sub>が検出されたが、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>～n-C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>はほとんど含まれておらず、温泉に付随する可燃性天然ガスは予想されたとおりほぼCH<sub>4</sub>のみであった。温泉付随ガスのタイプ分けとしては、代田・小田原（2008）と同様、CH<sub>4</sub>が主体でおおむね80%以上を占めるもの

表1 温泉付随ガス測定結果

No.	深度 (m)	泉温 (°C)	pH	電気伝導率 (S/m)	泉質	付随ガスのタイプ	温泉付随ガスの組成 (vol%)					
							O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ~C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
29	72	18	7.9	0.15	Na-HCO <sub>3</sub> ・Cl	C (中間)	0.8	25.2	0.9	73.1 (75.9)	0.002	0.00
30	300	19.5	8.2	0.16	Na-HCO <sub>3</sub>	A (CH <sub>4</sub> 主体)	0.5	15.5	0.5	83.5 (85.6)	0.01	0.00
31	1486	41	8.3	0.44	Na-HCO <sub>3</sub> ・Cl	A (CH <sub>4</sub> 主体)	1.1	20.8	0.9	77.2 (81.3)	0.03	0.00
32	1500	27.2	7.9	1.07	Na-Cl・HCO <sub>3</sub>	A (CH <sub>4</sub> 主体)	0.2	3.4	0.8	95.6 (96.4)	0.04	0.00
33	1500	32.7	7.6	3.10	強Na-Cl	A (CH <sub>4</sub> 主体)	0.6	4.1	1.1	94.2 (96.7)	0.05	0.01
34	1507	39.5	8.0	0.92	Na-Cl・HCO <sub>3</sub>	A (CH <sub>4</sub> 主体)	0.9	14.8	1.3	83.0 (86.5)	0.04	0.00

CH<sub>4</sub>の( )内の数値は、O<sub>2</sub>の全てが空気の混入によるものと仮定したときの補正值。泉質のNa-HCO<sub>3</sub>・Clはナトリウム - 炭酸水素塩・塩化物泉、Na-HCO<sub>3</sub>はナトリウム - 炭酸水素塩泉、Na-Cl・HCO<sub>3</sub>はナトリウム - 塩化物・炭酸水素塩泉、強Na-Clはナトリウム - 塩化物強塩泉を示す。付随ガスのタイプは、AがCH<sub>4</sub>80%以上、BがN<sub>2</sub>80%以上、Cがそれらの中間を示す。

をタイプA、N<sub>2</sub>が主体でおおむね80%以上を占めるものをタイプB、それらの中間のものをタイプCとした。以下に、源泉ごとの結果をまとめ、これまでに当所で実施してきた調査結果と比較する。なお、以後、CH<sub>4</sub>濃度はO<sub>2</sub>の全てが空気の混入によるものと仮定したときの補正值として示す。

### 3.1. No.29

井戸深度が72mと浅い源泉であるが、CH<sub>4</sub>を70%以上含むタイプCであった。近くに位置するNo.3とNo.4は同様に井戸深度が浅い源泉であるが(それぞれ60mと120m)、N<sub>2</sub>が主体のタイプBであり、CH<sub>4</sub>濃度は高くない。これらの違いは温泉の成因(泉質)に関係していると考えられる。すなわち、No.3とNo.4がナトリウム - 炭酸水素塩泉(以下、Na-HCO<sub>3</sub>泉とする)であるのに対して、No.29はナトリウム - 炭酸水素塩・塩化物泉(以下、Na-HCO<sub>3</sub>・Cl泉とする)であり、化石海水が含まれていることが推定される。この化石海水中に溶け込んだCH<sub>4</sub>により、No.29のCH<sub>4</sub>濃度がNo.3とNo.4に比べて高くなっていると考えられる。また、温泉水中の塩化物イオン(以下、Cl<sup>-</sup>とする)濃度を測定したところ、No.3は8mg/L、No.4は50mg/L、No.29は170mg/Lであった。CH<sub>4</sub>濃度はそれぞれ3.2%、17.6%、75.9%であるので、Cl<sup>-</sup>濃度がCH<sub>4</sub>濃度を推定する際の目安になるかもしれない。なお、この地域では表層が上部更新統の相模層群や完新統の沖積層に被われているところが多いため、数10m~100m程度の温泉井であれば、ガス貯留層とされる上総層群に到達せずに相模層群や沖積層中の温泉水を揚湯している場合もある。相模層群や沖積層中には植

物遺骸が多く含まれており、これらが分解して生成したCH<sub>4</sub>も含まれていると考えられる。また、No.3とNo.29は標高がどちらも数mであり変わらず、井戸深度も60mと72mでそれほど変わらないにもかかわらず、泉質が異なり、CH<sub>4</sub>濃度にもかなり差がある。これは、化石海水の3次元的な分布に局地的な偏りがあることを示唆している。

### 3.2. No.30

井戸深度300mのNa-HCO<sub>3</sub>泉であるが、85.6%のCH<sub>4</sub>を含んでいた(タイプA)。1000m未満の源泉でCH<sub>4</sub>濃度が80%以上のものはこれまでの調査で初めてである。CH<sub>4</sub>濃度が高い理由は今後検討していく必要があるが、Cl<sup>-</sup>濃度を測定したところ70mg/Lであり、泉質はNa-HCO<sub>3</sub>泉であるものの化石海水を含む可能性があること、井戸深度が300mと中程度の深さのためやや高圧となり、Henryの法則により溶け込むCH<sub>4</sub>の量が多くなること、または地域的な特性、などが考えられる。一方、同じく推定・予想(産油・産ガス)地域に位置する井戸深度300mのNo.5はCH<sub>4</sub>濃度が14.3%と低かった(タイプB)。Cl<sup>-</sup>濃度を測定したところ4mg/Lとかなり低く、ほとんど化石海水を含んでいないと見られる点がNo.30と異なる。

次に、No.30よりもやや深いものの井戸深度が1000m未満のNa-HCO<sub>3</sub>泉であるNo.19およびNo.20と比較する。井戸深度が800mのNo.20は、No.5と同様にCH<sub>4</sub>濃度が14.3%と低い。Cl<sup>-</sup>濃度を測定したところ6mg/Lとやはり低く、ほとんど化石海水を含んでいないと考えられる。井戸深度が850mのNo.19は、CH<sub>4</sub>濃度がやや

高く 47.9%であった(タイプC)。Cl<sup>-</sup>濃度は 11mg/L と低く、化石海水の寄与は少ないと考えられる。No.19 の CH<sub>4</sub> 濃度が高い理由は明確ではないが、含まれる有機物の絶対量や分解の程度の相違など地域的な特性かもしれない。

### 3.3. No.31 ~ 34

これらの 4 源泉は井戸深度が 1500m 前後の大深度温泉であり、全てが CH<sub>4</sub> 濃度 80%以上のタイプAであった。しかし、個々の源泉を細かく見ると異なる特徴が見えてくる。

No.33 は CH<sub>4</sub> 濃度が 96.7%と非常に高い。この源泉は電気伝導率が高く(3.10 S/m)、非常に高濃度の塩化ナトリウム(以下、NaCl とする)を含むナトリウム - 塩化物強塩泉(以下、強 Na-Cl 泉という)であり、典型的な化石海水起源の温泉と考えられる。これまでの結果でも、このような電気伝導率の高い Na-Cl 泉では同様に 90%以上の非常に高濃度の CH<sub>4</sub> を含むガスを湧出していた。

No.32 も同様に CH<sub>4</sub> 濃度が 96.4%と高いが、泉質は NaCl を主成分とするもののナトリウム - 塩化物・炭酸水素塩泉(以下、Na-Cl・HCO<sub>3</sub> 泉とする)であり、電気伝導率もそれほど高くない(1.07 S/m)。これまでの結果から、Na-Cl・HCO<sub>3</sub> 泉は No.6、22、25、26、27 で、電気伝導率(S/m)はそれぞれ 0.60、0.45、0.29、0.38、0.18 である。これらのうちタイプAなのは No.6 だけで、その CH<sub>4</sub> 濃度は No.32 よりも少し低く 91.1%であった。No.6 と 32 の CH<sub>4</sub> 濃度が高い理由としては、No.6 については南関東ガス田付近に位置することが挙げられる。No.32 については化石海水の寄与が少ない割に CH<sub>4</sub> 濃度が高い No.19 と位置的に近いことなどから、地域的な特性の可能性はある。No.6 と 32 の CH<sub>4</sub> 濃度の違いは、成分濃度の差、つまり化石海水の寄与率の違いによるものかもしれない。

No.34 は、No.6 や 32 と同様に Na-Cl・HCO<sub>3</sub> 泉であり、電気伝導率(0.92 S/m)は No.32 に近いものの、CH<sub>4</sub> 濃度は 86.5%とやや低かった。しかし、同じく Na-Cl・HCO<sub>3</sub> 泉である No.22、25、26、27 と比べると CH<sub>4</sub> 濃度は高く、地域的な特徴を示している可能性がある。No.31 は、No.34 の比較的近くに位置するが、CH<sub>4</sub> 濃度はやや低く 81.3%であった。No.31 は Na-HCO<sub>3</sub>・Cl 泉であり、電気伝導率(0.44 S/m)も No.34 より低いことから、化石海水の寄与が少ないと考えられる。以上の結果から、地質に連続性のある一定の範囲においては、化石海水の寄与(Cl<sup>-</sup>濃度)と CH<sub>4</sub> 濃度が関係している可能

性が考えられる。そうした傾向を明らかにすることにより、付随ガスの組成から地質境界の推定ができるかもしれない。

## 4. 県内の温泉付随ガスの概況

これまで当所で実施した調査結果を総括し、県内の温泉付随ガスの概況について以下にまとめる。

### 4.1. 県内全体の概要

地質調査所(1976)の区分による南関東ガス田地域、推定・予想(産油・産ガス)地域、新生代堆積物で覆われた地帯、基盤地帯において神奈川県内の温泉付随ガスを採取・分析した結果、全ての温泉付随ガスから CH<sub>4</sub> が検出された。それらは、CH<sub>4</sub> が主体でおおむね 80%以上を占めるタイプ(タイプA)、N<sub>2</sub> が主体でおおむねそれが 80%以上を占めるタイプ(タイプB)、それらの中間のタイプ(タイプC)の 3 つのタイプに分類できる(図 2)。なお、CH<sub>4</sub> 以外の可燃性天然ガス(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ~ n-C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>)はほとんど含まれていなかった。大深度温泉では、地質調査所(1976)の区分による南関東ガス田地域に限らず、県央部から県西部までの広範囲に渡って、高濃度の CH<sub>4</sub> を含むガスを湧出することが明らかとなった。そのなかには、付随ガス中の CH<sub>4</sub> 濃度が 90%以上のものもあった。

### 4.2. 南関東ガス田地域

地質調査所(1976)によると、県内において南関東ガス田として認定されている地域は、県北東部の川崎市および横浜市の一部の地域である。この地域は、CH<sub>4</sub> を主成分とする天然ガスを産出する地域(水溶性天然ガス鉱床)であり、高濃度の CH<sub>4</sub> を湧出する可能性が高く、とくに大深度温泉では万全な安全対策が必要である。この地域の主たるガス貯留層は鮮新統~更新統上総層群であり、地層の堆積時に海水も取り込まれているため、汲み上げた温泉には高濃度の NaCl を含む特徴がある。したがって、温泉水の泉質は Na-Cl 泉や強 Na-Cl 泉が多い。

また、井戸深度が 200 m 以下の浅い源泉でも 50%以上の CH<sub>4</sub> を含むガスが湧出しており(タイプC)、この地域では井戸深度に限らず高濃度の CH<sub>4</sub> を含む可能性がある。なお、過去に調査した 2 源泉ともに泉質は Na-Cl 泉であり、化石海水が寄与していると考えられる。

### 4.3. 推定・予想(産油・産ガス)地域

この地域は、ほぼ上総層群の分布と一致し、ガス田ほどではないが産油・産ガスが予想される地域である。

これまでの調査結果から、この地域に位置する大深度温泉の多くは、 $\text{CH}_4$  が主体のタイプ A (図 2 の ) であった。小沢・江藤 (2005) によると、この地域の大深度温泉は、県東部は主に上総層群に胚胎される温泉を採取し、県中部は上総層群ないしは三浦層群に胚胎される温泉を採取している。三浦層群は主に海成の堆積岩類から構成されており、 $\text{CH}_4$  が溶け込んだ化石海水を含んでいる。したがって、これらの源泉では、上総層群または三浦層群が胚胎している  $\text{CH}_4$  の溶け込んだ化石海水を汲み上げることになり、高濃度の  $\text{CH}_4$  を含むガスが湧出すると考えられる。また、化石海水を汲み上げているため、泉質は強 Na-Cl 泉または Na-Cl 泉が多い。2007 (平成 19) 年の東京都渋谷区での爆発事故当初に問題となった上総層群だけではなく、三浦層群を主な温泉採取層としている源泉においても高濃度の  $\text{CH}_4$  を湧出することに注意が必要である。また、この地域の北西部、新生代堆積物で覆われた地帯との境界付近では  $\text{CH}_4$  濃度はやや低くなった (タイプ C)。これは、上総層群の基底深度が浅くなっている (小沢・江藤、2005; 小沢ほか、1999) ことと関係しているかもしれない。なお、No.12 だけは  $\text{CH}_4$  濃度が 1.2% と非常に低く ( $\text{N}_2$  が主体のタイプ B)、ガス湧出もごく僅かであった。泉質は強 Na-Cl 泉であり、化石海水起源と考えられ、近くに位置する No.11 と 13 からは高濃度の  $\text{CH}_4$  が湧出しているのにも関わらず、No.12 では何故ガス湧出が少ないのかは今のところ不明であり、今後明らかにしていく必要がある。

一方、井戸深度の浅い源泉では、おおむね大深度温泉よりも  $\text{CH}_4$  濃度が低く、 $\text{N}_2$  主体のガスであるタイプ B (図 2 の )、および中間のタイプ C (図 2 の ) が多かった。ただし、No.30 のように 80% 以上の  $\text{CH}_4$  を含む源泉もあり、同じ推定・予想 (産油・産ガス) 地域内であっても、特徴が異なるさらに狭い区域に分類できると考えられる。一般に、 $\text{CH}_4$  濃度が低い源泉は化石海水をほとんど含まない Na- $\text{HCO}_3$  泉が多い。この地域では表層が上部更新統の相模層群や完新統の沖積層に被われているところが多いため、数 10m ~ 100m 程度の温泉井では、ガス貯留層とされる上総層群に到達せずに相模層群や沖積層中の温泉水を揚湯している場合がある。相模層群や沖積層中には植物遺骸が多く含まれており、これらの分解により  $\text{CH}_4$  が生成されていると考えられる。また、このような 100m 程度のごく浅い温泉井であっても化石海水が含まれている場合があり、そういうところでは  $\text{Cl}^-$  濃度 (化石海水の寄与) と  $\text{CH}_4$  濃度が相関している可能性がある。ただ、化石海水が存在するのは特定の区域に限られると見られる。

#### 4.4. 新生代堆積物で覆われた地帯

小沢・江藤 (2005) や小沢ほか (1999) によると、神奈川県内におけるこの地帯の地質は深度 40 m 程度までは新期段丘堆積層および相模層群で、その下部は上総層群となっており、上総層群の基底深度は推定・予想 (産油・産ガス) 地域から遠ざかる西側に向かって浅くなっているものの、場所によっては数百 m 以上の厚みがある。また、上総層群の下部には主に海成の堆積岩類から構成される三浦層群が続き、さらに基盤とされている相模湖層群または小仏層群が続く。したがって、掘削する場所と深度により、上総層群または三浦層群に胚胎される化石海水を汲み上げる可能性があり、相当量の  $\text{CH}_4$  が湧出する可能性がある。

調査した全ての源泉において中間のタイプ C (図 2 の ) であったが、推定・予想 (産油・産ガス) 地域に近い東側の源泉では 70% 以上の  $\text{CH}_4$  を含むガスが湧出しており、この地域においても高濃度の  $\text{CH}_4$  を含む付随ガスを湧出する場合があることが示された。また、推定・予想 (産油・産ガス) 地域から遠ざかる西側に位置する源泉ほど  $\text{CH}_4$  濃度が低くなる傾向が認められた。このことは、この地域における上総層群の基底深度が西側に向かって浅くなっていることと関係している可能性が考えられる。

#### 4.5. 基盤地帯

本県における基盤地帯は、新第三紀以前の地層の分布域を指し、三浦半島地域および県北・県央地域がそれにあたる。これまで三浦半島地域の 2 源泉で測定を実施したところ、24% および 74% の  $\text{CH}_4$  を含んでおり (タイプ C)、地質調査所 (1976) による基盤地帯においても  $\text{CH}_4$  を含むガスを湧出する源泉があることが明らかとなった。

地質調査所 (1976) では、三浦半島全域を基盤地帯としているが、実際の基盤構造はそれほど単純ではない。三浦半島地域では、中部中新統葉山層群および中部中新統 ~ 鮮新統三浦層群が分布し (江藤ほか、1998)、これらの地層は固結や変成の度合いは著しく異なるものの、主に海成の堆積岩類から構成される。2 源泉ともに NaCl が含まれており、上総層群は分布していないものの、葉山層群ないしは三浦層群に閉じ込められた化石海水起源の可能性もある。ただし、同様に基盤とされている四万十帯から湧出する可燃性天然ガスは、南関東ガス田地域で見られる水溶性のガスとは異なり、構造的ガスであるという報告があり (矢崎ほか、1981)、断層破砕

帯に貯留されたガスが混合している可能性もある。

#### 4.6. 火成碎屑岩地帯

火成碎屑岩地帯とは、火山の噴火により放出された火山噴出物からなる地帯で、本県では箱根、湯河原、丹沢がそれにあたる。過去に実施した温泉分析や温泉の調査においてこの地域の源泉からは目視ではガス湧出がほとんど確認されていない。そのため、今回の温泉付随ガス調査は実施していないが、県に提出された温泉法に基づく検査結果からは1源泉を除いて基準値を超える源泉はなく、CH<sub>4</sub>湧出の可能性が低い地域といえる。この地域において唯一基準値を超えた源泉は、掘削時に測定した結果で10%程度のCH<sub>4</sub>が含まれていたため採取許可申請の対象となったものであるが、その源泉もガス水比は約0.02と低く、ガスの湧出量およびCH<sub>4</sub>濃度ともに南関東ガス田地域や推定・予想(産油・産ガス)地域に見られるCH<sub>4</sub>を湧出する源泉と比較してそれほど高い値ではない。この源泉においてCH<sub>4</sub>を含むガスが湧出する原因については、温泉帯水層の地質や温泉水成分などの解析をおこなうことにより、今後明らかにしていく必要があるだろう。

#### 謝辞

本調査を実施するにあたり、源泉所有者の方々には温泉付随ガスの採取を快く許可していただきました。また、県生活衛生課(現、環境衛生課)ならびに関係する保健所の温泉担当者の方々には、ガス採取に関してご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 地質調査所(1976)日本油田・ガス田分布図(第2版), 矢崎清貴(編), 1:2,000,000地質編集図No.9.
- 代田 寧・菊川城司・小田原 啓・板寺一洋・萬年一剛・原田麻子(2007)神奈川県における温泉付随ガス中のメタンガス対策について, 温地研報告, 39, 89-98.
- 代田 寧・小田原 啓(2008)神奈川県における温泉付随ガスの実態調査結果(第1報), 温地研報告, 40, 79-84.
- 代田 寧・小田原 啓(2009)神奈川県における温泉付随ガスの実態調査結果(第2報), 温地研報告, 41, 73-76.
- 営繕工事における天然ガス対応のための関係官公庁連絡会議編(2007)施設整備・管理のための天然ガス対策ガイドブック, 99p.
- 江藤哲人・矢崎清貴・ト部厚志・磯部一洋(1998)横須賀地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 128p.
- 小沢 清・江藤哲人(2005)神奈川県中・東部地域の大深度温泉井の地質および地下地質構造, 温地研報告, 37, 15-38.
- 小沢 清・江藤哲人・大山正雄・長瀬和雄・松沢親悟(1999)温泉掘削井による神奈川県中央部の地下地質, 温地研報告, 30, 41-52.
- 矢崎清貴・影山邦夫・狛 武(1981)山梨県早川町における四万十帯の天然ガス徴候地について, 地質調査所月報, 32, 259-274.