

# 神奈川県における温泉付随ガスの実態調査結果（第1報）

代田 寧\*・小田原 啓\*

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

by

Yasushi DAITA\* and Kei ODAWARA\*

## 1. はじめに

2007（平成19）年6月19日、東京都渋谷区の温泉施設において、3名が死亡するという爆発事故が発生した。この爆発事故は、温泉の汲み上げに伴うメタンガス（以下、CH<sub>4</sub>とする）が原因であった。CH<sub>4</sub>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にもかかわらず、これまで温泉に付随するCH<sub>4</sub>に関しては十分な法整備がなされていなかった。環境省では、この事故を契機として温泉法の改正をおこない、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、CH<sub>4</sub>を主成分とした天然ガスを産出する南関東ガス田といわれる日本有数のガス田地域に位置している。南関東ガス田は、千葉県を中心に東京、埼玉、茨城に広がり、神奈川県の一部も含まれているため、神奈川県内の源泉においてもCH<sub>4</sub>を湧出する可能性があり、その実態を明らかにする必要がある。図1

に、地質調査所（1976）による南関東地域におけるガス田分布図および爆発事故源泉の位置を示した。

代田ほか（2007）では、神奈川県内の源泉において、南関東ガス田地域はもとより、それ以外の地域においてもCH<sub>4</sub>が湧出する可能性を指摘した。本資料では、神奈川県内のいくつかの源泉について、付随ガスを採取・分析した結果について報告する。

## 2. 温泉付随ガスの採取・分析方法

### 2.1. 採取源泉

神奈川県内の18源泉において、No.11以外は2007（平成19）年11月から2008（平成20）年3月にかけて、No.11のみ2008（平成20）年9月に温泉付随ガスの採取・分析をおこなった（図2、表1）。大部分の源泉は、地質調査所（1976）による推定・予想（産油・産ガス）地域に位置しているが（No.3～16）、南関東ガス田（可燃性天然ガス）地域（No.1、2）、新生代堆積物で覆われた地帯（炭化水素鉱床の期待できない地域）（No.17）、基盤地帯（炭化水素鉱床の期待できない地域）（No.18）に

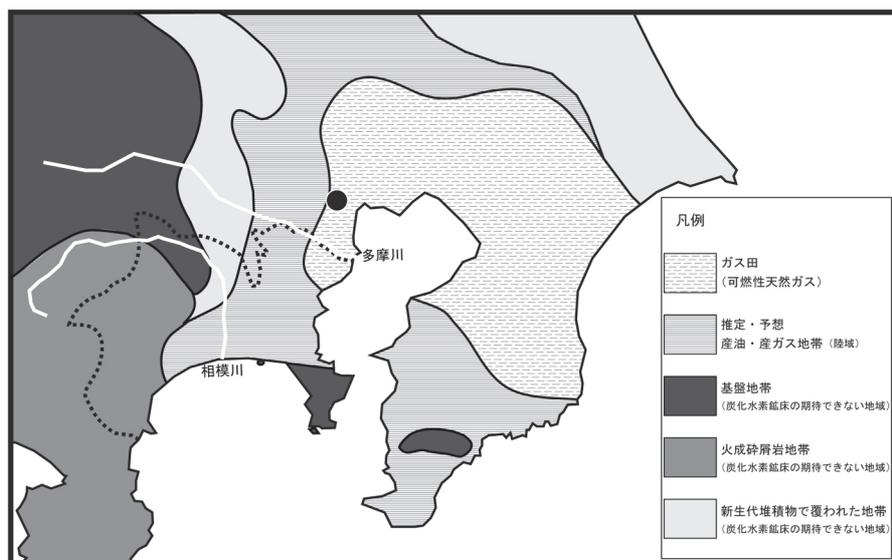


図1 南関東地域におけるガス田分布図。

●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40巻、79-84、2008。

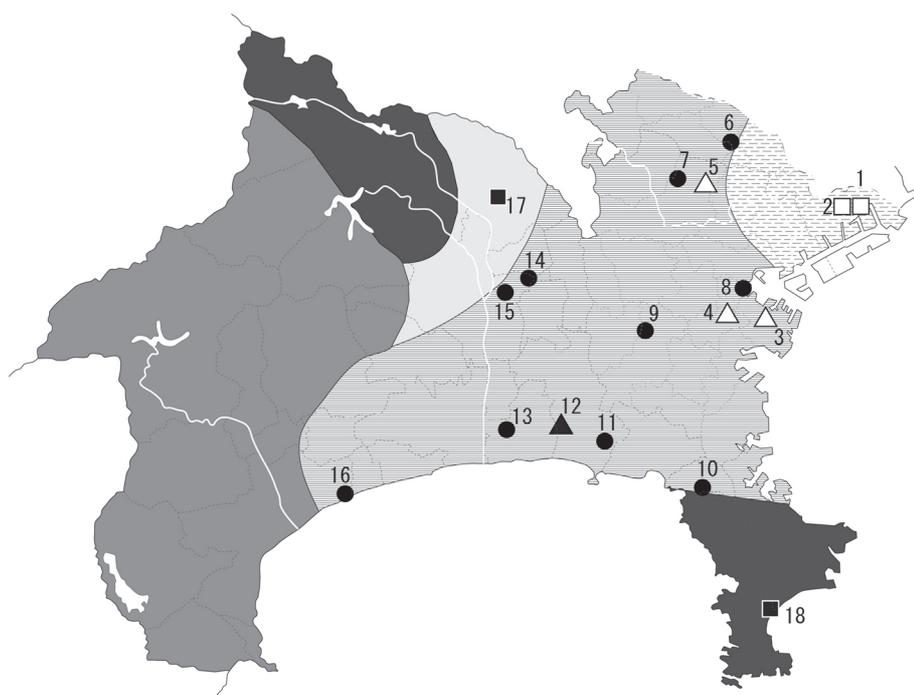


図2 調査源泉の位置。

図中の1～18は表1に対応し、記号の丸はCH<sub>4</sub>が主体のタイプ、三角はN<sub>2</sub>が主体のタイプ、四角は中間のタイプを示し、塗りつぶしは井戸深度が1000 m以上の大深度温泉を示す。凡例は図1と同じ。地質調査所(1976)をもとに作成。

位置する源泉においても調査を実施した。各源泉の井戸深度は表1に示したが、今回は可燃性天然ガスが湧出する可能性が高いと考えられる井戸深度1000 m以上のいわゆる大深度温泉を主な調査対象とした。

## 2.2. 採取方法

温泉付随ガスの採取は、水中VOC成分のヘッドスペース測定法などに用いられるアルミシールバイアルを使用した水上置換法でおこなった。

具体的な採取方法は、まずバイアルを温泉水で満たした後、できるだけ空気を抜くためにしばらく放置する。その後、ホース等を用いて温泉水を導入したバケツ等の容器にバイアルを静かに沈めて逆さにし、温泉付随ガスをバイアル内に集める。バイアルの半分程度まで温泉付随ガスを採取できたら、容器内で密封する。そのまま逆さにして輸送・保存することにより、採取ガスの逸散や外部からの空気の混入を避けることができる。採取の様子を写真1に示した。また、ガス採取にあわせて、温泉の温度、pH、電気伝導率の測定もおこなった。

## 2.3. 分析方法

バイアルに採取した温泉付随ガスの分析は、石油資源開発株式会社に委託して実施した。分析方法はJIS K2301「燃料ガス及び天然ガス—分析・試験方法」に基づき、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成分についてガスクロマトグラフを用いて定量した。

## 3. 結果

表1に示したように、全ての温泉付随ガスからCH<sub>4</sub>が検出された。しかし、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ほぼCH<sub>4</sub>のみといえる。No.4と18にはO<sub>2</sub>が20%前後含まれるが、これはエアリフトポンプのためである。O<sub>2</sub>を全て空気によるものと仮定して補正をすると、CH<sub>4</sub>の濃度はそれぞれ17.6%と23.7%になる。また、No.1は設備の構造上、温泉付随ガスを直接採取することができず、空気が混入したためにO<sub>2</sub>濃度が高くなっている。そのほか、O<sub>2</sub>濃度が1%以上のものについては、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を括弧内に併記した。

今回測定した温泉付随ガスは、CH<sub>4</sub>が主体でおおむね80%以上を占めるタイプ(No.6～11、13～16、タイプAとする)、N<sub>2</sub>が主体でおおむね80%以上を占めるタイプ(No.3～5、12、タイプBとする)、それらの中間のタイプ(No.1、2、17、18、タイプCとする)の3つのタイプに分類することができる。

次節以降では、地質調査所(1976)の区分ごとに、CH<sub>4</sub>濃度と地質、井戸深度、泉質との関係について整理する。詳細な議論をするには、源泉ごとに温泉の採取深度(ストレーナーの位置)、水止め位置、温泉採取の地

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> |
| 1   | 120    | 17.3    | 7.6 | 1.39        | Na-Cl                   | C (中間)                 | 13.6              | 59.6           | 1.6             | 25.1 (70.2)     | 0.00                          | 0.00  |
| 2   | 200    | 17.0    | 7.7 | 1.44        | Na-Cl                   | C (中間)                 | 1.5               | 44.8           | 0.7             | 53.0 (57.1)     | 0.002                         | 0.00  |
| 3   | 60     | 17.2    | 8.6 | 0.11        | Na-HCO <sub>3</sub>     | B (N <sub>2</sub> 主体)  | 1.7               | 95.2           | 0.1             | 2.9 ( 3.2)      | 0.00                          | 0.00  |
| 4   | 120    | 17.0    | 8.4 | 0.19        | Na-HCO <sub>3</sub>     | B (N <sub>2</sub> 主体)  | 20.5              | 78.4           | 0.5             | 0.6 (17.6)      | 0.00                          | 0.00  |
| 5   | 300    | 21.0    | 8.3 | 0.14        | Na-HCO <sub>3</sub>     | B (N <sub>2</sub> 主体)  | 2.7               | 84.5           | 0.4             | 12.5 (14.3)     | 0.00                          | 0.00  |
| 6   | 1800   | 41.5    | 8.1 | 0.60        | Na-Cl・HCO <sub>3</sub>  | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.7               | 9.9            | 1.3             | 88.1            | 0.03                          | 0.00  |
| 7   | 1500   | 39.7    | 7.8 | 1.72        | Na-Cl                   | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 3.4               | 26.7           | 2.2             | 67.8 (80.6)     | 0.04                          | 0.00  |
| 8   | 1500   | 42.7    | 7.8 | 2.43        | Na-Cl                   | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.4               | 3.9            | 1.7             | 94.0            | 0.06                          | 0.01  |
| 9   | 1500   | 41.0    | 8.1 | 0.79        | Na-Cl                   | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.7               | 10.4           | 0.4             | 88.5            | 0.04                          | 0.00  |
| 10  | 1600   | 31.3    | 7.4 | 2.27        | Na-Cl                   | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.4               | 3.0            | 0.4             | 96.2            | 0.02                          | 0.00  |
| 11  | 1200   | 30.4    | 7.3 | 3.17        | 強Na-Cl                  | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.4               | 6.5            | 0.7             | 92.4            | 0.01                          | 0.00  |
| 12  | 1500   | 40.5    | 7.2 | 3.66        | 強Na-Cl                  | B (N <sub>2</sub> 主体)  | 2.3               | 95.8           | 0.8             | 1.1 ( 1.2)      | 0.00                          | 0.00  |
| 13  | 1500   | 29.8    | 7.6 | 4.76        | 強Na-Cl                  | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.3               | 6.2            | 0.1             | 93.4            | 0.01                          | 0.00  |
| 14  | 1300   | 36.0    | 7.9 | 1.65        | Na-Cl                   | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.6               | 5.1            | 0.6             | 93.7            | 0.01                          | 0.00  |
| 15  | 1500   | 25.8    | 7.9 | 1.85        | Na-Cl                   | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.3               | 3.4            | 0.4             | 95.9            | 0.02                          | 0.00  |
| 16  | 1000   | 23.6    | 8.0 | 3.43        | Na・Ca-Cl                | A (CH <sub>4</sub> 主体) | 0.2               | 1.3            | 0.0             | 98.5            | 0.01                          | 0.00  |
| 17  | 1500   | 26.4    | 8.4 | 0.34        | Na-HCO <sub>3</sub> ・Cl | C (中間)                 | 0.6               | 22.0           | 0.6             | 76.8            | 0.05                          | 0.00  |
| 18  | 1500   | 27.0    | 7.9 | 4.63        | 強Na-Cl                  | C (中間)                 | 20.0              | 78.4           | 0.2             | 1.4 (23.7)      | 0.00                          | 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-Clはナトリウム-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、Na・Ca-Clはナトリウム・カルシウム-塩化物泉、Na-HCO<sub>3</sub>・Clはナトリウム-炭酸水素塩・塩化物泉を示す。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。

層、温泉水の化学成分等のデータを解析する必要があるが、ここでは表1に示したデータをもとに整理し、詳細な議論については稿を改めて報告する。

### 3.1. 南関東ガス田地域 (No.1、2)

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、主たるガス貯留層は、主に鮮新統~更新統上総層群である。上総層群は主にシルト~砂礫岩からなる海成の堆積岩から構成され、地層堆積時に取り込まれた有機物が分解してCH<sub>4</sub>が生成したと考えられている。また、地層の堆積時に海水も取り込まれ、CH<sub>4</sub>はこのいわゆる化石海水中に溶け込んでおり、汲み上げた温泉はかなり高濃度の食塩を含んでいる(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)。CH<sub>4</sub>は常圧では水に難溶であるが、地下深部の高圧下においては溶解度が高くなる。CH<sub>4</sub>を高濃度で含有する水(温泉)が汲み上げられて深部から地表に達すると、圧力の低下によりガスが分離、湧出する。したがって、地下において高圧である大深度温泉では、特にCH<sub>4</sub>の湧出量が多いと考えられる。

今回の調査では、井戸深度が120m (No.1) と200m

(No.2) という比較的浅い源泉しか測定できなかったが、空気補正後のCH<sub>4</sub>濃度はそれぞれ70.2%と57.1%であり(タイプC)、井戸深度が浅くても南関東ガス田地域では高濃度のCH<sub>4</sub>を含むガスを湧出することが明らかとなった。

この2つの源泉の泉質はナトリウム-塩化物泉(以下、Na-Cl泉とする)である。これらの源泉近くに位置する温泉井の地質試料から、この付近は深度50m程度までは沖積層で、その下部は1100m程度まで上総層群となっており(小沢・江藤、2005; 篠原ほか、2005)、No.1、2の源泉の主要な帯水層は上総層群と考えられ、そこに胚胎しているCH<sub>4</sub>が溶け込んだ化石海水を主に汲み上げているのであろう。

### 3.2. 推定・予想(産油・産ガス)地域 (No.3~16)

地質調査所(1976)の区分は、当時の情報をもとにガス田として操業できる可能性を探るために作成されたものであり、メタンガスが湧出しない範囲を示すものではない。この推定・予想(産油・産ガス)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を示しており、CH<sub>4</sub>が湧出する可



写真1 温泉付随ガス採取（水上置換法）の様子。

①ガラス製バイアル、ブチルゴムセプタム、アルミ製キャップを使用する。②ガラス製バイアルに温泉水を満たし、できるだけ空気を抜くためにしばらく放置する。③温泉付随ガスをガラス製バイアルに半分程度まで集める。④ブチルゴムセプタムとアルミキャップをかぶせ、ハンドクリンパー（アルミシール締め付け器具）で締め付けて密封する。

能性が高いと思われる。

No.3～5は、県東部に位置する井戸深度の浅い源泉であり、 $N_2$ が主体のタイプBであるものの、 $CH_4$ も含まれていた。これらは全て腐植質を含むナトリウム炭酸水素塩泉（以下、 $Na-HCO_3$ 泉とする）であり、地層中に含まれる植物遺骸等の有機物が分解し、 $CH_4$ が生成していると考えられる。井戸深度が60 mとかなり浅いNo.3は $CH_4$ 濃度も3.2%と低かったが、No.4、5では15%程度の $CH_4$ を含んでいることから、井戸深度や地域によっては $Na-HCO_3$ 泉でもガス対策が必要になるかもしれない。

No.6～11および13～16は、井戸深度が1000 m以上の大深度温泉であり、高濃度の $CH_4$ を湧出するタイプAであった。No.6～11および13～16は食塩( $NaCl$ )が主成分であり、 $CH_4$ が溶け込んだ化石海水を主に採取していると考えられる。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、 $CH_4$ が溶け込んだ化石海水を含んでいる。したがって、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 $CH_4$ が湧出することになる。No.7は $CH_4$ 濃度が80.6%とやや低いですが、ここは源泉でガス採取ができず、源泉とガスセパレーター間の送湯管において採取したため、温泉付随ガスの組成を正確に示していないものと考えられる。源泉所有者が源泉において実施した結果では $CH_4$ 濃度は93.5%であり、やはり高濃度の $CH_4$ を含むガスが湧出している。

No.12に関しては、 $CH_4$ 濃度が1.2%と非常に低く、ガスの湧出もごく僅かであった。この源泉の近くに位置し、井戸深度もそれほど変わらないNo.11と13から

は高濃度の CH<sub>4</sub> が湧出している。No.12 もこれらの源泉と同様に電気伝導率は高く (3.66 S/m)、泉質は強 Na-Cl 泉であり、化石海水起源であろうと考えられるが、ガス湧出が少ない理由はいまのところ不明である。この源泉は新規に掘削された源泉であり、今後地質試料等の解析をおこない、その原因について明らかにしていく必要がある。

### 3.3. 新生代堆積物で覆われた地帯 (No.17)

地質調査所 (1976) では、データが不足していたために「新生代堆積物で覆われた地帯」という表現になっており、上総層群に対応する推定・予想 (産油・産ガス) 地域と区別したと思われる。温泉掘削井から採取されたコア試料等の解析により、この付近の地質は深度 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 (小沢・江藤、2005 ; 小沢ほか、1999)。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 CH<sub>4</sub> が湧出する可能性がある。

この地域では No.17 の 1 源泉しか測定できなかったが、76.8% の CH<sub>4</sub> を含むガスが湧出しており (タイプ C)、この地域においても高濃度の CH<sub>4</sub> を含む付随ガスを湧出することが明らかとなった。

### 3.4. 基盤地帯 (No.18)

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。今回は三浦半島の南部に位置する 1 源泉 (No.18) しか測定できなかったが、空気補正後の値で 23.7% の CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> 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、実際に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。本源泉は、電気伝導率 4.63 S/m の強 Na-Cl 泉であり、上総層群は分布していないも

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、構造性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ことなども考えられる。

## 4. まとめ

神奈川県内の大深度温泉を中心とした 18 源泉において温泉付随ガスを採取・分析した結果、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 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ことがわかった。

神奈川県内の大深度温泉では、地質調査所 (1976) の区分による南関東ガス田地域に限らず、県中部から県西部までの広範囲に渡り、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。また、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。

南関東ガス田地域においては、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。

推定・予想 (産油・産ガス) 地域に位置する大深度温泉の多くは、上総層群または三浦層群を主な温泉採取層としているため、そこに胚胎している CH<sub>4</sub> が溶け込んだ化石海水を汲み上げることになり、高濃度の CH<sub>4</sub> を含むガスが湧出すると考えられる (タイプ A)。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。県東部に位置する井戸深度の浅い Na-HCO<sub>3</sub> 泉は、N<sub>2</sub> 主体のガスであるが (タイプ B)、15% 程度の CH<sub>4</sub> を含む源泉もあることから、井戸深度や地域によってはガス対策が必要となる可能性がある。

炭化水素鉱床の期待できない地域とされる新生代堆積物で覆われた地帯や基盤地帯においても、CH<sub>4</sub> を含むガスを湧出する源泉があることがわかった (タイプ C)。とくに、新生代堆積物で覆われた地帯には、上総層群および三浦層群を含む地域があり、今回の調査結果においても 70% 以上の CH<sub>4</sub> を含むガスが湧出していることから、ガス対策の必要性が高いと考えられる。

## 5. おわりに

今回の調査から、神奈川県内の大深度温泉では、広範囲に渡り高濃度の CH<sub>4</sub> が湧出していることなど、その

概況が明らかとなった。温泉付随ガスの調査は平成 20 年度も継続して実施しており、その結果もあわせ、さらに、CH<sub>4</sub> 濃度と地質（地域）、井戸深度、温泉水の成分などとの関係について詳細な考察をし、今後報告する予定である。また、CH<sub>4</sub> の起源を探るうえでは同位体比の測定が有用である。例えば、金子ほか（2002）では、南関東ガス田や新潟ガス田などから天然ガスを採取し、CH<sub>4</sub> の炭素同位体比と水素同位体比を測定した結果、南関東ガス田の CH<sub>4</sub> の主要な起源はアーケア（古細菌）による CO<sub>2</sub> 還元反応（CO<sub>2</sub> の酸素を利用した嫌氣的呼吸）であることを報告している。今後、神奈川県内の温泉井においても CH<sub>4</sub> の同位体比測定をおこない、その起源について詳しく検討していく必要があるものと考えている。

#### 謝辞

本資料では、環境省の「温泉付随ガス中のメタンガス濃度現地測定手法」開発業務において調査した結果も使用させていただき、調査の際には財団法人中央温泉研究所にご協力いただきました。また、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。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），  
矢崎清貫（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.

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・矢崎清貫・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.

金子信行・前川竜男・猪狩俊一郎（2002）アーケアによるメタンの生成と間隙水への濃集機構，石技誌，67, 97-110.

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.

篠原謙太郎・小沢清・江藤哲人・田中裕一郎・川島眞一（2005）深層ボーリングによる下末吉大地および多摩丘陵上総層群の石灰質ナンノ化石年代層序および地下地質，温地研報告，37, 1-14.

矢崎清貫・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.