



原 著

北海道の“従来温泉地”と“新規温泉地”

松 波 武 雄¹⁾

(平成 24 年 2 月 10 日受付, 平成 24 年 5 月 3 日受理)

The “Original Spa” and “Recent Spa” of Hokkaido

Takeo MATSUNAMI¹⁾

Abstract

At the present, the spas are distributed all over Hokkaido. The authors emphasized that spas are classified into “original spa” and “recent spa”. The “original spa” is the place where natural springs flow out or had been discharged in the past, while the “recent spa” is the place where artificial springs are newly exploited by drilling in non-thermal area. In this paper, the “original spa” and “recent spa” in Hokkaido are summarized on the viewpoint of geology and geochemistry.

The “original spa” is accompanied with the up-flow of fluids in hydrothermal convection system or regional flow system. Although the heat source of “original spa” is assumed to be mainly originated from volcanic activity in the Quaternary, the up-flow paths of thermal waters are controlled by the geological structure of basement rocks in the Neogene and Pre-Neogene.

The “recent spa” is that the deep fluids of regional flow system are artificially drawn out, and the grater part of “recent spa” is pumped by submersible pump. The dominated pumping capacity of “recent spa” has a tendency to control by geological structures of the region.

The dominated chemical composition of thermal fluids in the both spa are different. The exploitation of “recent spa” is instituted newly themes, such as the measures of flammable natural gas, precipitation of scale and exhaust of high concentrated water.

Key words : Original spa, Recent spa, Heat discharge, Hokkaido

要 旨

現在, 北海道一円に温泉地が分布する。筆者らは自然湧泉から出発した温泉地を“従来温泉地”, 掘削により新しく開発された温泉地を“新規温泉地”と呼称し, 区別して論じる必要性

¹⁾ 株式会社ドリリング計測 〒062-0931 札幌市豊平区平岸1条8丁目2-30. ¹⁾ Drilling Keisoku Co., Ltd., Hiragishi 1-Jou, 8-2-30, Toyohira-Ku, Sapporo 062-0931, Japan. E-mail : bwa24500@nifty.com, TEL 011-842-8661, FAX 011-842-8581.

を指摘してきた。本論では、北海道の“従来温泉地”・“新規温泉地”について地質・地球化学の視点から検討し総括した。熱水対流系や地下水流動系の上昇流を伴う“従来温泉地”の熱源は、第四紀火山活動の寄与が大きいと推定されるが、熱水の上昇通路は火山の基盤を構成する新第三系および先新第三系の地質構造に支配される要素が大きいと考えられる。広域的に流動する流体を途中から人工的に抜き取ることによって開発される“新規温泉地”の多くは揚湯利用される。“新規温泉地”では温泉井の揚湯特性の評価が重要で、地域的な地質構成に伴い温泉井には卓越する揚湯特性が存在する傾向がみられる。“従来温泉地”と“新規温泉地”の流体組成の構成割合は異なる。“新規温泉地”の開発は可燃性天然ガス対策・スケール対策・高濃度塩水の排湯対策など新たな課題を提起させてきた。

キーワード：“従来温泉地”，“新規温泉地”，放熱量，北海道

1. はじめに

北海道の温泉地（泉温 25℃以上を対象）は、先住のアイヌ民族によって利用されていたであろうが、いわゆる湯治場として開かれ始めたのは江戸時代である。当時の湯治場は渡島半島を主とする北海道西部に限られるが、明治期になり開拓が進められるにつれ、より内陸部の温泉地が開かれ、大正期末には自然湧泉をもつ温泉地のほとんどが形を整えている。昭和 23 年（1948）の温泉法制定時の温泉地は自然湧泉利用の温泉地あるいは自然湧泉利用とともに近傍における浅い掘削井利用（多くは深度 100 m 以下）の温泉地である。

ところが、1960 年代に地表部に温泉徴候の見られない地域において掘削による温泉開発が始まった。先駆けは登別から白老にかけての太平洋岸でなされた温泉開発である。掘削による温泉開発は 1970 年代以降全道に広がり、1980 年代以降は深度 1,000 m 以上の掘削が主体となっている。同時に水中モーターポンプの普及に伴い動力利用が急激に増加した（松波ら、2000）。

自然湧泉および掘削井の泉温・湧出（揚湯）量（北海道立地下資源調査所、1976、1977、1979、1980、1991a、1996a）から基準温度 10℃で算定した 1999 年時の道内温泉水による放熱量は約 1,100 MW である。そのうち自然湧泉からの放熱量は 192 MW であり全体の 17.5% にすぎない（松波ら、1999）。しかし、放熱量の 82.5% を占める掘削井の大部分は動力利用であることに留意する必要がある。

このように現在の温泉地を考慮する際には、地表部に温泉徴候の見られない地域に新しく開発された温泉地を無視することはできない。しかし、温泉地の本来の姿は自然湧泉をもつ温泉地にあるであろう。この二つのタイプの温泉地を同一のカテゴリーで論じることは適切でないと思われる。松波ら（2000）および松波・藤本（2006）は自然湧泉から出発した温泉地を“従来温泉地”、掘削により新しく開発された温泉地を“新規温泉地”と呼称し、区別して論じる必要性を指摘した。本論では、北海道の“従来温泉地”・“新規温泉地”について地質・地球化学の視点から検討した。

2. “従来温泉地”と“新規温泉地”

Table 1 に“従来温泉地 (Original Spa)”と“新規温泉地 (Recent Spa)”を総括して示した（松波・藤本、2006）。自然湧泉をもつかまたは過去にもっていた“従来温泉地”は、熱水対流系あるいは地下水流動系の上昇流（側方流）が地表部に現れた温泉地である。このため、温泉の開発対象は比較的浅部の特定の場所に存在する流体となる。一方、“新規温泉地”は広域的に流動する流体を途中から人工的に抜き取ることによって開発された温泉地である。温泉の開発対象は通常の地下水採取深度の下位に普遍的に存在する流体となる。

以上のように、“従来温泉地”が特定の場所にのみ分布するのに対して、“新規温泉地”はいたる

Table 1 Summary of “original spa” and “recent spa” (Matsunami and Fujimoto, 2006).

表 1 “従来温泉地”と“新規温泉地”の概要(松波・藤本, 2006).

	“従来温泉地”	“新規温泉地”
定 義	自然湧泉から出発した温泉地 自然湧泉利用・近傍での掘削井利用	掘削井により新しく開発された温泉地 掘削井利用・多くは動力井利用
歴 史	江戸時代より利用・明治期に発展	多くは 1970 年代以降に開発
開発対象	“比較的浅部の特定の場所に存在する水”	“通常の地下水採取深度より下位に普遍的に存在する水”
開発(掘削)深度	大部分 500 m 以下	500 m 以上・大部分 1,000 m 以上
形 態	温泉街・単独施設	単独施設・温泉街は稀
掘削井数	多くは複数	大部分単独
課題・問題点	<input type="checkbox"/> 温泉井の過密化・揚湯量増大と開発限界(阿寒湖畔・湯の川など) <input type="checkbox"/> 源泉集中化システム(洞爺湖・十勝川など) <input type="checkbox"/> 高成分の排湯対策 <input type="checkbox"/> 経年変化の把握	<input type="checkbox"/> 単独井のトラブル危機 <input type="checkbox"/> 平野域の温泉井の過密化と圧力低下(虎杖浜〜白老・帯広・標茶など) <input type="checkbox"/> 高開発リスク地域の高揚程揚湯(300 m 以上)(日高・根室・宗谷東部など) <input type="checkbox"/> 高濃度塩水・高成分の排湯対策 <input type="checkbox"/> 可燃性ガス対策 <input type="checkbox"/> 経年変化の把握

ところで開発される可能性があると言える。この点の本質的な相違と思われる。“従来温泉地”と“新規温泉地”を同一のカテゴリーで論じることが、今日の温泉に係る不明瞭さの一因と思われる。筆者らはこの区別を意識することが重要と考える。

3. 北海道の“従来温泉地”

北海道の“従来温泉地”の沿革および利用状況・地質および湧出状況・化学的特性については北海道立地下資源調査所(1976, 1977, 1979, 1980)により整理され総括されている(北海道立地下資源調査所, 1983)。

温度ポテンシャルと地形ポテンシャルは、地下の流体に上昇流を生じさせる原動力となる。そのような上昇流や一部側方流が地表に現れた特定の場所が“従来温泉地”である。しかし、現在かなりの温泉地が動力利用となっている。Figure 1 に“従来温泉地”の分布を示した。

“従来温泉地”の分布は後期鮮新世以降の火山活動域に集中するが、北海道西部および中央部では火山活動域を離れた部分にも少なからず分布する。しかし、その分布は火山フロントの背弧側幅 100~150 km の範囲にほぼ限定されている。火山フロントの海溝側に分布するのは北海道中央部の十勝川温泉、北海道東部の留真温泉の 2 温泉にすぎない。十勝川温泉は十勝平野の広域地下水流動系の流出域と考えられている(池田ら, 2000)。この点が第一義的な分布の特徴である。第二義的な分布の特徴は火山フロントに斜交する帯状地帯に細分されているように見えることである。それらは北海道西部では北西—南東方向であり、北海道中央部および北海道東部では北東—南西方向として示される(松波, 2010)。北海道西部では南から 1) (恐山)—松前半島—奥尻島, 2) 亀田半島—遊楽部岳, 3) 長万部—狩場山, 4) クッタラ火山—ニセコ火山, および 5) 支笏カルデラ—積丹半島であり、北海道中央部および東部では西から 1) 十勝岳—大雪山, 2) 然別火山—北見, 3) 阿

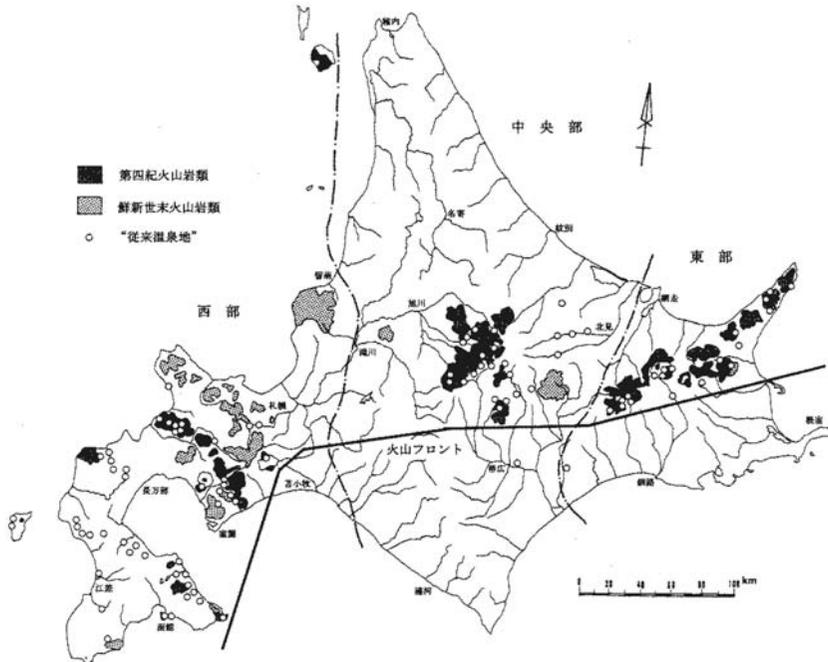


Fig. 1 Distribution of “original spa” in Hokkaido (modified from Matsunami, 2010).

図 1 北海道の“従来温泉地”の分布 (松波, 2010 を加筆修正).

寒カルデラ—屈斜路カルデラ, および 4) 弟子屈—知床半島である。

以上の分布の特徴から, “従来温泉地”の熱源はかなりの部分が第四紀火山活動に関係していることが示唆される。しかし, 火山フロントに斜交する帯状地帯には第四紀火山活動域を超えた範囲に“従来温泉地”が分布することから, 熱水の上昇通路はむしろ第四紀火山の基盤を構成する新第三系あるいは先新第三系の地質構造により支配されているように思われる。現に第四紀火山活動域においても温泉地のかなりの部分が第四紀火山噴出物からではなく, 火山の基盤岩類から湧出する。

第四紀火山活動の関連を直接示唆する酸性泉は, 恵山・クッタラ火山群・ニセコ火山群・十勝岳火山群・大雪火山・阿寒火山・アトサヌプリ火山および知床硫黄山に分布するが, “従来温泉地”の泉質としてはわずかである。“従来温泉地”の泉質の主体は食塩泉と単純温泉である。この点については後述する。

4. 北海道の“新規温泉地”

北海道の“新規温泉地”については, 北海道立地下資源調査所 (1991a, b, 1996a, b) および北海道立地質研究所 (2001a, b, 2008) で整理されている。北海道の地温勾配は, 襟裳岬から宗谷岬にかけての中軸域および釧路から根室にかけての太平洋岸を除けば $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上を示す (若浜ら, 1995)。このため, 道内の大部分の地域は深度 500m で 25°C 以上の地温を示す (地表温度を 10°C と仮定)。“新規温泉地”はほぼ深度 500m 以深に存在する流体を対象に開発される。Figure 2 に北海道の等地温勾配線と“新規温泉地”の分布を示した。“新規温泉地”は山岳地帯を除けば道内一円に分布すると言っても過言ではない。しかし, これらの温泉地の大部分は動力利用であることに留

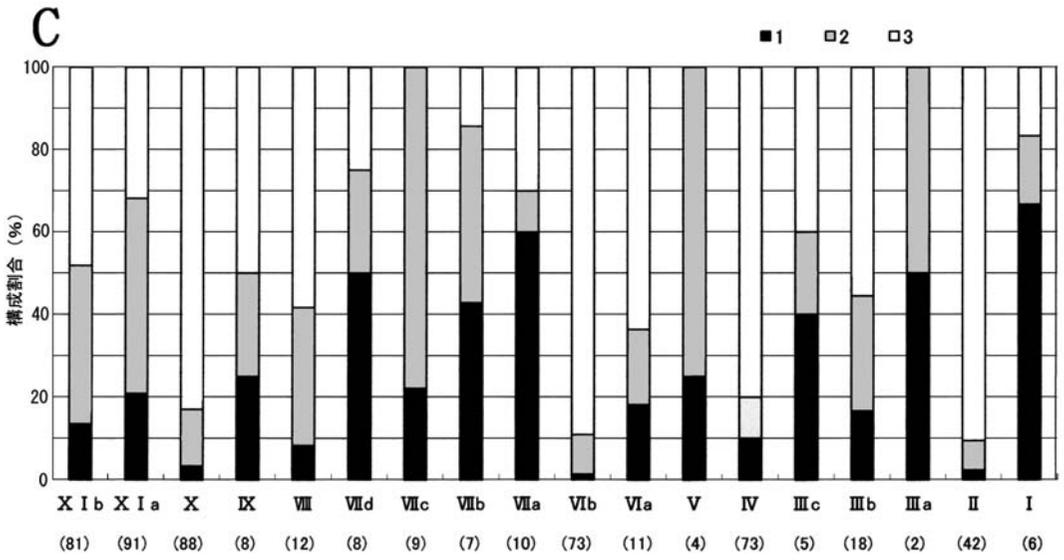
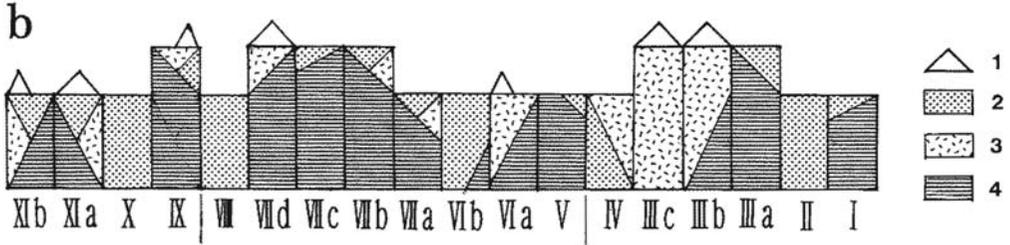
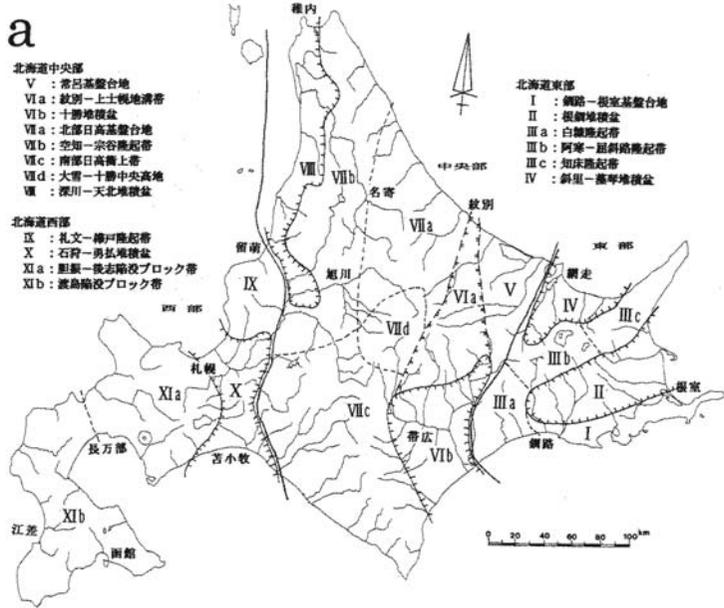


Fig. 3a Regional division of Hokkaido on the viewpoint of geological target for hot spring exploitation (Matsunami *et al.*, 1999).

Fig. 3b Design of typical geologic composition in each region of Fig. 3a (Matsunami *et al.*, 1999).

1 : Volcanic rocks in the Quaternary. 2 : Sedimentary rocks dominated in the Neogene. 3 : Volcanic rocks dominated in the Neogene. 4 : Basement rocks in the Pre-Neogene. The explanation of the design shows in the text.

Fig. 3c Percentage of “specific capacity class of hot spring well” of each region in Fig. 3a (draw up from Matsunami *et al.*, 1999).

1 : “Specific capacity class of hot spring well 00~0”. 2 : “Specific capacity class of hot spring well I-II”. 3 : “Specific capacity class of hot spring well III-IV”.

Arabic figures in the parentheses of the lower part are statistical sample numbers.

図 3a 温泉開発の地質ターゲットから見た北海道の地域区分 (松波ら, 1999).

図 3b 図 3a の各地区における模式的な地質構成図 (松波ら, 1999).

1 : 第四紀火山岩類. 2 : 堆積岩卓越新第三系. 3 : 火山岩卓越新第三系. 4 : 先新第三系基盤岩類. 図の表示は本文参照.

図 3c 図 3a の各地区における“温泉井の比湧出量階級”の構成割合 (松波ら, 1999 から作図).

1 : “温泉井の比湧出量階級 00~0”. 2 : “温泉井の比湧出量階級 I~II”. 3 : “温泉井の比湧出量階級 III~IV”. 下部の数字は用いた試料数.

級”を Table 2 に示した. “温泉井の比湧出量階級 00~0”の掘削井は“非実用的温泉井”, “温泉井の比湧出量階級 I~IV”の掘削井は“実用的温泉井”と言える (松波ら, 1999). 比湧出量と得られる揚湯熱量には正の相関関係がある (松波・藤本, 2006).

松波ら (1999) は“新規温泉地”の開発対象とされる深度 1,500 m 程度までに分布する地質構成から道内を 18 地区に区分した (Fig. 3a). Figure 3b に各地区の温泉開発で遭遇するであろう第四紀火山岩類→新第三系→先新第三系の重なりを模式的に図案化して示した. 第四紀火山岩類は形態から△表示とし, 新第三系は地区内における分布の偏りを斜線表示でしめした. また, 各地区間における先新第三系の隆起・沈降域を相対的な高さで視覚的に表示してある (松波ら, 1999). Figure 3c に区分された 18 地区における“温泉井の比湧出量階級”の構成割合を示した (松波ら, 1999).

“比湧出量階級 III~IV”の高い比湧出量が卓越する地区は, II 根釧堆積盆・IV 斜里—藻琴堆積盆・VIa 紋別—上土幌地溝帯・VIb 十勝堆積盆・VIII 深川—天北堆積盆および X 石狩—勇払堆積盆である. これらの地区は新第三系~第四系堆積物が厚く堆積している地区であり, 堆積岩類の多孔質メディアが高い比湧出量を与えていると推定される. また, III b 阿寒—屈斜路隆起帯も“比湧出量階級 III~IV”が卓越する. この地区には阿寒カルデラおよび屈斜路カルデラが分布する. カルデラ堆積物が高い比湧出量を与えていると思われる.

一方, “比湧出量階級 00~0”の低い比湧出量が卓越する地区は, I 釧路—根室基盤台地および VIIa 北部日高基盤台地である. また, “比湧出量階級 III~IV”の高い比湧出量が全く見られない地区は, III a 白糠隆起帯・V 常呂基盤台地および VIIc 南部日高衝上帯である. これらの地区では先新第三系基盤岩類が温泉開発の主たるターゲットとなる. これらの地区の基盤岩類では良好な比湧出量が得られることは稀であることが伺われる. このことを反映し, これらの地区では温泉開発はあまり進展していない. 上に述べた以外の地区では多様な“比湧出量階級”が存在する. これらの地区では地質構成からより細分した検討が必要なが示唆される (松波ら, 1999).

近年, 各種の公開電子地理・地球科学情報を基に地質構造と化学組成の関連を三次元的にとらえる新しい試みがなされてきている (茂野, 2011a, 2011b). それらは“新規温泉地”の理解を深める一助になるとと思われる. また, “新規温泉地”における温泉資源の枯渇危惧に関して, 温泉井の分布密度を基に市町村毎の地域評価が試みられている (松波・鈴木, 2011).

5. “従来温泉地”と“新規温泉地”の流体組成

北海道の温泉水に関する同位体化学的研究は松葉谷ら（1978）に始まり，その後地熱・温泉調査等で多くのデータが集積されてきた（松波・鈴木，1997など）．温泉の起源流体として天水・海水（化石海水）およびマグマ水が想定され，地域によりそれらが種々混合したものと考えられている．活発な火山活動域の“従来温泉地”ではマグマ水，新第三系堆積盆の“新規温泉地”では海水の関連が強く示唆される．このことを反映して温泉水の化学組成は多様である．

松波ら（2000）および松波（2010）は，“従来温泉地”と“新規温泉地”における温泉水の主要陰イオン組成・pH（液性）および温泉付随ガス組成の構成割合について検討した（Fig. 4）．両温泉地における構成割合の相違は温泉開発が火山地帯から平野域を主とする全道一円へと広がったことを反映している．

主要陰イオン組成では，溶存物質 1 g/kg 未満を単純温泉，1 g/kg 以上では Cl イオン・SO₄ イオンおよび HCO₃ イオンのミリバル % が 50% を超えるものを主要イオンタイプとし，いずれも超えないものを中間タイプとしている．両温泉地とも泉質タイプの主体は Cl タイプであり，ついで単純温泉（松波ら，2007）となっている．両温泉地における泉質タイプの構成割合を比べると“新規温泉地”で Cl タイプと HCO₃ タイプの割合が増加し，単純温泉と中間タイプの割合が減少する．さらに重要な点は“新規温泉地”の Cl タイプの増加に伴って溶存物質 15 g/kg 以上の高濃度塩水が大幅に増加することである（松波，1992，1993，1994，1995）．これは新第三系堆積盆における温泉開発（化石海水タイプ）が進展したことを反映していると思われる．ちなみに，“従来温泉地”の最高濃度（蒸発残留物）は北海道東部・標津町の湯の沢（ルベス温泉）の 14.55 g/kg（北海道立地下資源調査所，1980）と思われるが，“新規温泉地”では北海道中央部・浦臼町の 63.28 g/kg に

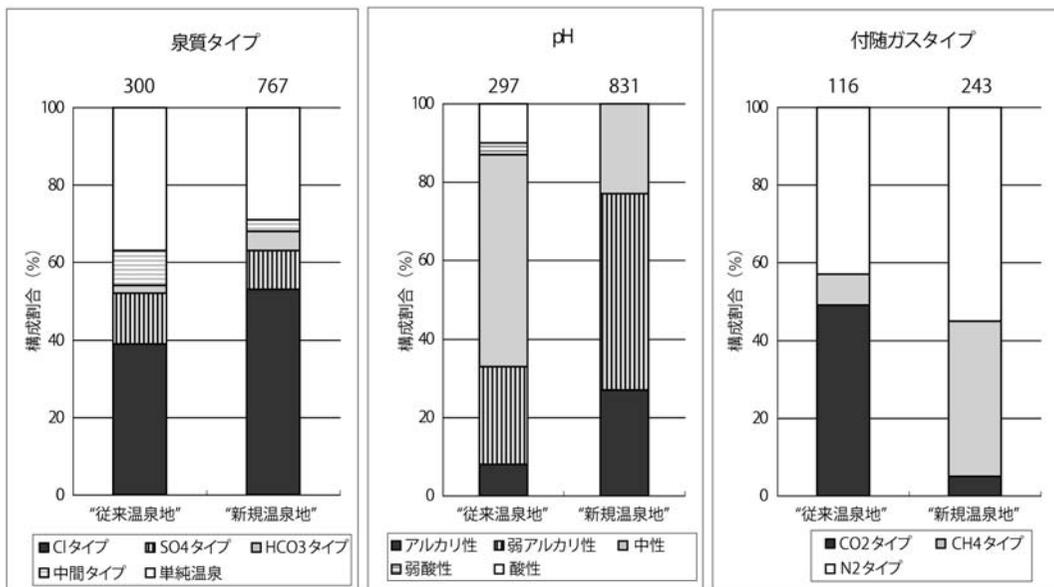


Fig. 4 Percentage of thermal fluid in “original spa” and “recent spa” of Hokkaido (Matsunami, 2010). Arabic figures in the parentheses of the upper part are statistical sample numbers.

図 4 北海道の“従来温泉地”と“新規温泉地”の流体組成の構成割合（松波，2010）．
上部の数字は用いた試料数．

達する(松波, 1992)。海水濃度を超える塩水の成因については不明であるが, White (1965) が指摘している海成堆積物の続成作用の過程(細粒堆積物の半透膜効果など)によるのではないかと想定している(松波, 1993, 1994)。なお, “従来温泉地”の SO_4 タイプのほとんどは火山活動を反映し弱酸性～酸性であるのに対して, “新規温泉地”の SO_4 タイプは中性～アルカリ性であり著しく異なる(松波, 1998)。

両温泉地における pH (液性) の構成割合も著しく異なる。“従来温泉地”では中～弱アルカリ性泉が主体であり, 弱酸性～酸性を伴うのに対して, “新規温泉地”では弱アルカリ性～アルカリ性泉が主体となり, 弱酸性～酸性泉は見られない。流体採取深度の地下環境の相違が反映していると思われる。

温泉付随ガス組成(横山・松波, 1998)では, CO_2 ガス・ CH_4 ガスおよび N_2 ガスの容量 % で主体となるものを主要ガスタイプとしている。両温泉地における付随ガスタイプの構成割合も著しく異なる。“従来温泉地”では CO_2 ガスタイプと N_2 ガスタイプが主体であるのに対して, “新規温泉地”では N_2 ガスタイプと CH_4 ガスタイプが主体となる。“新規温泉地”では CO_2 ガスタイプの割合が大幅に低下し, 代わりに CH_4 ガスタイプの割合が大幅に増加することが特徴となる。これは火山地帯から平野域の温泉開発に移行してきたことに起因すると思われる。

“新規温泉地”の開発は“従来温泉地”でさほど問題にされなかった新たな課題を提起させることとなった。すなわち, 可燃性天然ガス対策・スケール対策・高濃度塩水の排湯対策などである。

6. ま と め

北海道の温泉地について, “従来温泉地”・“新規温泉地”の視点から概観した。要点は以下のとおりである。

- 1) 熱水対流系や地下水流動系の上昇流を伴う“従来温泉地”の熱源は第四紀火山活動の寄与が大きいと推定される。一方, 熱水の上昇通路は火山の基盤を構成する新第三系および先新第三系の地質構造に支配される要素が大きいと考えられる。
- 2) 広域的に流動する流体を途中から人工的に抜き取ることによって開発される“新規温泉地”の多くは揚湯利用される。“新規温泉地”では温泉井の揚湯特性の評価が重要である。地域的な地質構成に伴い温泉井には卓越する揚湯特性が存在する傾向がみられる。
- 3) “従来温泉地”と“新規温泉地”の流体組成の構成割合は異なる。“新規温泉地”の開発は可燃性天然ガス対策・スケール対策・高濃度塩水の排湯対策など新たな課題を提起させてきた。

“従来温泉地”と“新規温泉地”の区分の要点は, 熱水の上昇通路が天然に存在するか否かにある。両温泉地を別のカテゴリーで扱う方がそれぞれの温泉地がかかえる課題を明確にすると思われる。しかし, 両温泉地を大きな循環系の中で統一的にとらえる試みも必要と思われる。昨年, 日本温泉科学会において「温泉地周辺の環境変化と温泉」のテーマで討論会が行われた。“従来温泉地”と“新規温泉地”が近接する地域における両温泉地の相互関係の追求はこれらのテーマに結びつくものと思われる。

謝 辞

本論は筆者が北海道立地質研究所(旧北海道立地下資源調査所・現北海道立総合研究機構地質研究所)在職時に試みた課題を中心に取りまとめたものである。北海道立総合研究機構地質研究所の藤本和徳氏・秋田藤夫氏・高橋徹哉氏・鈴木隆広氏には当時から種々議論いただいていた。また, 本論の取りまとめにあたって貴重なコメントを頂いた。2名の査読者の方々及び井上源喜編集委員

長には引用文献を主とする原稿の説明不足など適切かつ有益なご指摘を頂いた。これらの指摘は原稿の強化に極めて有効であった。以上の方々に記して深く感謝いたします。

引用文献

- 北海道立地下資源調査所 (1976)：北海道の地熱・温泉 (A) 西南北海道中南部. p. 158.
北海道立地下資源調査所 (1977)：北海道の地熱・温泉 (B) 西南北海道北部. p. 198.
北海道立地下資源調査所 (1979)：北海道の地熱・温泉 (C) 北海道中央部. p. 192.
北海道立地下資源調査所 (1980)：北海道の地熱・温泉 (D) 北海道東部. p. 155.
北海道立地下資源調査所 (1983)：北海道の地質と資源Ⅱ北海道の地熱温泉資源. p. 54.
北海道立地下資源調査所 (1991a)：北海道地熱・温泉ボーリング井データ集 1990. p. 205.
北海道立地下資源調査所 (1991b)：北海道地熱・温泉ボーリング井索引図 1990. p. 144.
北海道立地下資源調査所 (1996a)：北海道地熱・温泉ボーリング井データ集 1991～1995. p. 82.
北海道立地下資源調査所 (1996b)：北海道地熱・温泉ボーリング井索引図 1991～1995. p. 118.
北海道立地質研究所 (2001a)：北海道地熱・温泉ボーリング井データ集 1996～2000. p. 52.
北海道立地質研究所 (2001b)：北海道地熱・温泉ボーリング井索引図 1996～2000. p. 82.
北海道立地質研究所 (2008)：北海道地熱・温泉ボーリング井データ集および索引図 (統合版), CD-ROM 版.
池田光良, 繰上広志, 三浦均也 (2000)：地下水温と安定同位体比から推定した十勝平野の地下水流動系. 地下水学会誌, **42**, 3-26.
松葉谷治, 酒井 均, 上田 晃, 堤 真, 日下部実, 佐々木昭 (1978)：北海道の温泉ならびに火山についての同位体化学的調査報告. 岡山大学温泉研究所報告, **47**, 55-67.
松波武雄 (1992)：北海道の高濃度塩化物泉について. 地下資源調査所報告, **64**, 17-30.
松波武雄 (1993)：北海道中央部新第三系堆積盆の塩水について. 地下資源調査所報告, **65**, 55-72.
松波武雄 (1994)：北海道中央部および東部炭田地帯の塩水について. 地下資源調査所報告, **66**, 27-39.
松波武雄 (1995)：北海道の海岸地域に分布する高濃度塩水について. 地下資源調査所報告, **67**, 41-58.
松波武雄 (1998)：北海道の中性～アルカリ性硫酸塩泉について. 地下資源調査所報告, **69**, 1-13.
松波武雄 (2010)：温泉・地熱資源. 日本地質学会編「日本地方地質誌1北海道地方」, 435-441. 朝倉書店, 東京.
松波武雄, 藤本和徳 (2006)：北海道内“新規温泉地”の比湧出量と揚湯熱量について. 北海道立地質研究所報告, **77**, 1-10.
松波武雄, 藤本和徳, 鈴木隆広 (2000)：北海道の温泉井と“新規温泉地”について. 北海道立地質研究所報告, **71**, 13-25.
松波武雄, 藤本和徳, 鈴木豊重 (1997)：揚湯利用から見た温泉井評価—“温泉井の揚湯指標階級”の提案—. 地下資源調査所報告, **68**, 17-23.
松波武雄, 鈴木隆広 (1997)：道内温泉水等の水素・酸素同位体比. 地下資源調査所報告, **68**, 149-152.
松波武雄, 鈴木隆広 (2011)：北海道における温泉資源の枯渇危惧に関する地域評価. 温泉工学会誌, **32**, 1-9.
松波武雄, 鈴木隆広, 藤本和徳 (2007)：北海道の単純温泉について. 北海道立地質研究所報告, **78**, 149-155.

- 松波武雄, 鈴木豊重, 藤本和徳, 川森博史 (1999) : 北海道の温泉開発リスクの地域性について. 地下資源調査所報告, **70**, 1-26.
- 茂野 博 (2011a) : 石狩低地帯とその周辺域の「大深度 (掘削) 温泉」の化学組成と地下地質の 3 次元分布—公開電子地球科学情報の簡易統合処理による表示・解析の試み—. 地質ニュース, **678**, 21-35.
- 茂野 博 (2011b) : 北海道胆振地方, 白老地域と周辺 3 広域地域の「温泉水」の地球化学・同位体化学的な特徴と起源—「深層熱水型資源」・「大深度 (掘削) 温泉」の事例研究—. 地質調査研究報告, **62**, 143-176.
- 若浜 洋, 秋田藤夫, 松波武雄 (1995) : 60 万分の 1 北海道地温勾配図および同説明書. 北海道立地下資源調査所, p. 44.
- White, D.E. (1965) : Saline waters of sedimentary rocks. Amer. Ass. Petrol Geologists, **49**, 342-366.
- 横山英二, 松波武雄 (1998) : 北海道の温泉付随ガス. 地下資源調査所報告, **69**, 75-91.