
調査報告

北海道登別温泉地域の熱水環境の調査井上源喜^{1)*}, 内野栄治²⁾, 杉森賢司³⁾, 長島秀行⁴⁾

(平成 24 年 1 月 21 日受付, 平成 24 年 2 月 4 日受理)

**Survey on the Hydrothermal Environment of
the Noboribetsu Hot Spring Area in Hokkaido**Genki I. MATSUMOTO^{1)*}, Eiji UCHINO²⁾, Kenji SUGIMORI³⁾
and Hideyuki NAGASHIMA⁴⁾**Abstract**

Here we report environmental geochemical sampling of sediments and microorganisms in hydrothermal environments (Okunoyu, Oyunuma and Taisho Jigoku Ponds and Jigokudani fumarolic area) of the Noboribetsu Hot Spring area in Hokkaido on 26th September 2012. Water temperature, pH and electric conductivity ranged from 44.2–95.0°C with an average of 68.7 ± 16.2°C (standard deviation), 1.68–4.28 with an average of 2.36 ± 0.92 and 0.787–25.96 mS/cm with an average of 5.73 ± 6.14, respectively, in those areas excluding Okunoyu-2 and -3. Sampling points are characterized by high water temperature with the highest of Jigokudani-2 (95.0°C), low pH with the lowest of Jigokudani-5 (1.68) and large variation of electric conductivity with the highest of Taisho Jigoku-1 (25.96 mS/cm) implying the occurrence of high concentration of ionic components.

Key words : Noboribetsu Hot Spring Jigokudani, Hydrothermal area, Oyunuma Pond, Water temperature, pH, Electric conductivity

要 旨

2012 年 9 月 26 日, 北海道登別温泉の熱水地帯 (奥の湯, 大湯沼, 大正地獄, 地獄谷) で水温,

¹⁾大妻女子大学社会情報学部 〒206-8540 東京都多摩市唐木田 2-7-1. ¹⁾School of Social Information Studies, Otsuma Women's University, Karakida 2-7-1, Tama-shi, Tokyo 206-8540, Japan. *Corresponding author : E-mail genki@otsuma.ac.jp, TEL +81-42-339-0088, FAX +81-42-339-0044.

²⁾北海道立衛生研究所 〒060-0819 札幌市北区北 19 条西 12 丁目. ²⁾Hokkaido Institute of Public Health, North 19, West 12, Kita-Ku, Sapporo, Hokkaido 060-0819, Japan.

³⁾東邦大学医学部生物学研究室 〒143-8540 東京都大田区大森西 5-21-16. ³⁾Department of Biology, Toho University Faculty of Medicine, 5-21-16, Omori-nishi, Oota-ku, Tokyo 143-8540, Japan.

⁴⁾東京理科大学理学部 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3, 連絡先 : 〒349-0144 埼玉県蓮田市椿山 2-2-10. ⁴⁾Tokyo University of Science, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601, Japan. Contact address : 2-2-10, Tsubakiyama, Hasuda-shi, Saitama 349-0144, Japan.

pH, 電気伝導度を測定後, 環境地球化学的研究を行うために堆積物および微生物試料の採取を行った。水温は奥の湯-2 および奥の湯-3 を除き 44.2~95.0℃ で平均 68.7 ± 16.2 ℃ (標準偏差), pH は 1.68~4.28 で平均 2.36 ± 0.92 , 電気伝導度は 0.787~25.96 mS/cm で平均 5.73 ± 6.14 mS/cm であった。試料採取地点はかなり水温が高く強い酸性で電気伝導度は大きく変動した。特に地獄谷-2 では水温が最も高く (95.0℃), 地獄谷-5 では pH が最も低く (1.68), 大正地獄では電気伝導度 (25.96 mS/cm) が著しく高く, 溶存イオン成分が多く含まれているためと考えられる。

キーワード: 登別温泉地獄谷, 熱水地域, 大湯沼, 水温, pH, 電気伝導度

1. はじめに

日本列島はプレート境界に位置するため地殻変動が活発で, 火山や温泉などの熱水環境が多数存在する。熱水環境中には好熱性のシアノバクテリア, 微細藻類や細菌が分布し, バイオマーカーなどの有機成分の環境地球化学的特徴は通常の陸水環境とは大きく異なると考えられる。熱水環境は高温ばかりでなく, 強酸性からアルカリ性の特殊な環境を形成していることが多い。このような環境下では生育可能な生物は限られており, 競合する生物が少ない。特に好熱菌などの生息する熱水環境は, 太古の地球環境に類似していると考えられ, 生命の起源や進化と関連して興味を持たれる。

井上(松本)と共同研究者は, 秋田県の焼山や富山県の立山の熱水環境における堆積物中の炭化水素や脂肪酸を分析し, これらが好熱性細菌や周辺の維管束植物などに由来することを明らかにしている (Matsumoto and Watanuki, 1990)。また, 強酸性環境である群馬県の草津白根山の湯釜における堆積物や土壌の地球化学的研究を行い, 有機成分は硫黄バクテリアなどに由来すると報告している (Matsumoto and Watanuki, 1992)。井上ら (2009) は群馬県の草津温泉源泉の白旗の湯, 湯畑や西の河原の表層堆積物等, および島根県の温泉津 (ゆのつ) 温泉の元湯源泉沈殿物における有機成分の環境地球化学的特徴を明らかにしている。さらに, 神奈川県内の代表的な熱水環境である箱根火山の噴気地帯における早雲山および大涌谷で堆積物を採取し, それらに含まれる有機成分の特徴を明らかにし, 環境条件と関連しこれらの起源について考察を行っている (井上ら, 2012)。

登別温泉は北海道では川湯温泉 (硫黄山を含む) と共に熱エネルギー最大級の温泉で, この地域の調査研究は多数なされている (福富, 1965; 広瀬, 1965; 石川, 1965; 西村, 1965; 齋藤, 1965, およびこれらの引用文献)。登別温泉の熱水地帯には, 広大な噴気地帯の地獄谷 (11 ha), 日和山 (ひよりやま) の噴火で生じた周囲 1 km で表面温度が 50℃ 以上の大湯沼, 同じく日和山の噴火で生じた硫化水素を含む奥の湯, 湯量が大きく変動する大正地獄がある (日本温泉地域学会, 2008, など)。今回は 2012 年 9 月 26 日北海道登別温泉の熱水地帯 (奥の湯, 大湯沼, 大正地獄, 地獄谷) で水温, pH, 電気伝導度を測定後, 環境地球化学的研究を行うために, 堆積物および微生物試料の採取を行ったので報告する。

2. 調査地域

登別温泉地域は地熱活動が活発で, 日和山や地獄谷では噴気が, 奥の湯・大湯沼・大正地獄では熱水が常時噴出している (鈴木ら, 2008)。登別温泉地域は倶多楽湖を中心として広く第四紀洪積世 (1~100 万年前) に活動した倶多楽火山の噴出物に被われ, またその西麓登別温泉付近においては, さらに日和山の溶岩, 大湯沼および地獄谷の爆発抛出物などの洪積世 (1 万年以内) の火山噴出物も分布している (Fig. 1, 石川, 1965)。

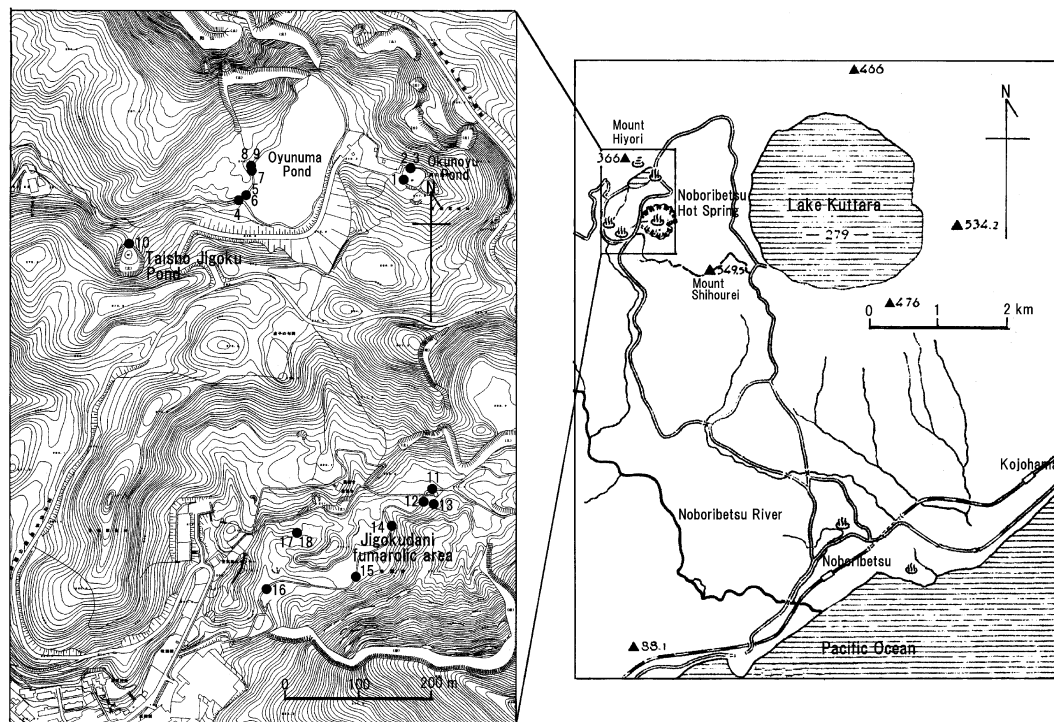


Fig. 1 Sampling sites of Okunoyu, Oyunuma and Taisho Jigoku Ponds, and Jigokudani fumarolic area in the Noboribetsu Hot Spring area.

1, Okunoyu-1 ; 2, Okunoyu-2 ; 3, Okunoyu-3 ; 4, Oyunuma-1 ; 5, Oyunuma-2 ; 6, Oyunuma-3 ; 7, Oyunuma-4 ; 8, Oyunuma-5 ; 9, Oyunuma-6 ; 10, Taisho Jigoku-1 ; 11, Jigokudani-1 ; 12, Jigokudani-2 ; 13, Jigokudani-3 ; 14, Jigokudani-4 ; 15, Jigokudani-5 ; 16, Jigokudani-6 ; 17, Jigokudani-7 ; 18, Jigokudani-8.

図 1 登別温泉地域の試料採取地点.

1 : 奥の湯-1, 2 : 奥の湯-2, 3 : 奥の湯-3, 4 : 大湯沼-1, 5 : 大湯沼-2, 6 : 大湯沼-3, 7 : 大湯沼-4, 8 : 大湯沼-5, 9 : 大湯沼-6, 10 : 大正地獄-1, 11 : 地獄谷-1, 12 : 地獄谷-2, 13 : 地獄谷-3, 14 : 地獄谷-4, 15 : 地獄谷-5, 16 : 地獄谷-6, 17 : 地獄谷-7, 18 : 地獄谷-8

3. 調査方法

2012年9月26日に登別温泉株式会社の三木陸人氏の案内で、登別温泉の熱水地帯の奥の湯(3地点)、大湯沼(6地点)、大正地獄(1地点)および地獄谷(8地点)で、調査地点の選定と写真撮影を行った(Fig. 1, Photo 1~Photo 7)。また、調査地点では水温、電気伝導度およびpHを、それぞれSato SK-1250 MCIIIa, Tokyo Chemical Laboratories TCX-90iおよびHoriba pH/Cond Meter D-54の機器を用いて測定後、堆積物や微生物の採取を行った。

4. 調査結果および考察

調査開始時の気温は18.9℃で、天候は調査時間中曇りであった。奥の湯(Photo 1)南西岸の水温(奥の湯-1)は64.2℃、pHが4.28、電気伝導度が2.67 mS/cmであった。一方、北西岸(奥の湯-2, 奥の湯-3)の水温は9.4℃、pHは5.30と弱酸性、電気伝導度は0.091 mS/cmと著しく低かった(Table 1)。



Photo 1 Okunoyu Pond.

写真 1 奥の湯.



Photo 2 Sulfur-turf bacterial mat growing at the northwest side of Okunoyu Pond.

写真 2 奥の湯北西岸に見られるバクテリアマットの硫黄芝.



Photo 3 Oyunuma Pond with Mount Hiyori (377 m above sea level).

写真 3 大湯沼と日和山 (標高 377 m).



Photo 4 Sampling of sediment at the west side of Oyunuma Pond.
写真 4 大湯沼西岸における堆積物の採取.



Photo 5 Sampling of sediment at Taisho Jigoku Pond.
写真 5 大正地獄における堆積物の採取.



Photo 6 Sampling at Jgokudani fumarolic area of Noboribetsu Hot Spring.
写真 6 登別温泉地獄谷における試料採取.



Photo 7 Acidic thermophilic algae distributed on the rock surface of the Jigokudani fumarolic area of Noboribetsu Hot Spring (pH 2.58).

写真 7 登別温泉地獄谷の岩石表面に生息するに好酸性藻類 (pH 2.58)。

Table 1 Water temperature, pH and electric conductivity in hydrothermal environments of the Noboribetsu Hot Spring area (Sept. 29, 2012).

表 1 登別温泉地域の熱水環境の水温, pH および電気伝導度 (2012 年 9 月 29 日)。

No.	Sampling site	Water temp. (°C)	pH	Electric cond. (mS/cm)	Remarks	Sampling time
1	Okunoyu-1	64.2	4.28	2.67	Sediment, southwest side of the pond	9 : 22
2	Okunoyu-2	9.4	5.30	0.091	Sulfur-turf bacterial mat, northwest side of the pond	9 : 37
3	Okunoyu-3	9.4	5.30	0.091	Epibenthic algae near the above	9 : 46
4	Oyunuma-1	49.8	2.26	4.10	Sediment, outflow stream	10 : 02
5	Oyunuma-2	49.9	2.32	4.10	Sediment, near outflow point	10 : 10
6	Oyunuma-3	—	—	—	Foam, near the above	10 : 16
7	Oyunuma-4	84.5	1.75	7.33	Sediment, west side of the pond	10 : 30
8	Oyunuma-5	82.2	2.07	4.05	Sediment, small mud pool	10 : 39
9	Oyunuma-6	—	—	—	Attached algae, near above mud pool	10 : 46
10	Taisho Jigoku-1	58.3	2.97	25.96	Sediment, north side of the pond	11 : 10
11	Jigokudani-1	81.0	2.73	2.03	Sediment, upper stream of the main pool	13 : 40
12	Jigokudani-2	95.0	2.58	0.787	Attached algae, east side of the main pool	13 : 43
13	Jigokudani-3	92.8	2.20	3.76	Sediment, east side of the main pool	14 : 02
14	Jigokudani-4	66.4	2.25	2.31	Sediment, lower stream-1	14 : 08
15	Jigokudani-5	60.1	1.71	6.37	Sediment, lower stream-2	14 : 17
16	Jigokudani-6	44.2	1.68	6.62	Sediment, lower stream-3	14 : 31
17	Jigokudani-7	63.8	1.90	6.62	Sediment, small white mudpool	14 : 47
18	Jigokudani-8	70.2	2.08	3.53	Sediment, small black mudpool	14 : 50
Average ± S.D.*		68.7 ± 16.2	2.36 ± 0.92	5.73 ± 6.14		

*Standard deviation except for No. 2, 3, 6 and 9 samples.

これは 9 月 25 日 21 時に約 40 mm/h の豪雨 (Fig. 2) があり, その影響で湧水が北西岸から流入していたことによると考えられる. ここにはバクテリアのマットである硫黄芝 (Photo 2) が見られたが, 本来, 硫黄芝は水温が 30~80.5°C, 強酸性から中性付近 (pH 1~8 で, 硫化水素が含まれる場所に分布する通性嫌気性バクテリアを主とした微生物集団である (牧, 1988, 1995; Maki, 1991; 杉森, 2010).

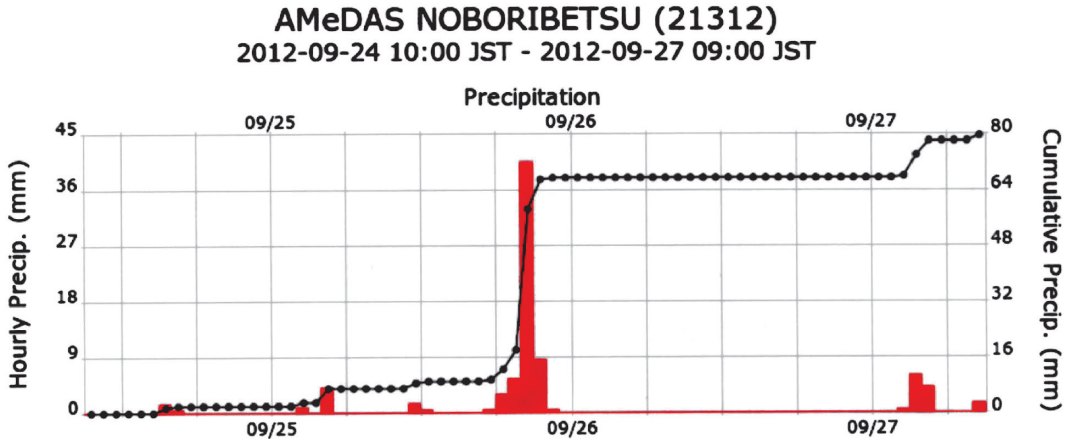


Fig. 2 AMeDAS data of hourly and cumulative precipitations of Noboribetsu in 25-27 September, 2012 (AMeDAS, 2012).

図 2 登別の降水量の AMeDAS データ (2012 年 9 月 25 日～27 日, アメダス観測所情報, 2012)。

大湯沼 (Photo 3) では西岸で 6 試料 (大湯沼-1～6) を採取した。大湯沼の流出水 (大湯沼-1) の水温は 49.8℃, pH は 2.26 で電気伝導度は 4.10 mS/cm であった (Table 1)。流出口付近 (大湯沼-2) の水温, pH および電気伝導度は流出水と同様であった。なお, 流出口付近には黒褐色の泡がかなり多くみられ, この泡には界面活性を有する脂質成分が含まれているものと思われるので採取 (大湯沼-3) した。西岸では堆積物を採取 (大湯沼-4) したが, その水温は 84.5℃とかなり高く, pH は 1.75 と低く, 電気伝導度は 7.33 mS/cm であった (Photo 4)。付近一帯は噴気地帯となっており, マッドプールがあったので採泥 (大湯沼-5) をした。その水温は 82.2℃と高く, pH は 2.07 と低く, 電気伝導度は 4.05 mS/cm であった。マッドプールの付近の岩には青緑色の単細胞紅藻類イデユコゴメと推定される藻類がみられたので採取 (大湯沼-6) した (広瀬, 1965; 長島, 2009, 2010)。

大正地獄は従来活動が弱く, 室蘭地方気象台が 1989 年に観測を開始して以来噴出現象は観測されていなかったが, 2007 年 5 月 3 日から泥混じりの熱水噴出が間欠的に起こり, 10 月 11 日夕方から 12 日朝方にかけて一連の活動の中で最大規模と推定される噴出が起こっている (鈴木ら, 2008)。大正地獄の水深は浅く緑黄色の底泥を採取 (大正地獄-1) したが, 水温は 58.3℃とかなり高く, 水蒸気が立ちこめており視界はかなり悪かった (Photo 5, Table 1)。pH は 2.97 とかなり低く, 電気伝導度は 25.96 mS/cm と極めて高く, 溶存イオン成分が大量に含まれているためと考えられる。2007 年 5 月から 7 月の熱水噴出時期における塩化物イオンおよび硫酸イオン濃度は, それぞれ 1,804～11,447 mg/kg および 125～413 mg/kg と高く大きく変動している (鈴木ら, 2008, 2009)。大正地獄からの流出水は, 大湯沼からの流出水と合流して大湯沼川となり, 河床には一面に青緑色の藻類の付着がみられた。

地獄谷では 8 カ所で試料採取 (地獄谷-1～8) をした。上部のメインプール (地獄谷-1, 地獄谷-3) では水温が 81℃以上と高く, pH は 2.73 以下とかなり低く, 電気伝導度は 3.76 mS/cm 以下であった (Photo 6, Table 1)。メインプールの東側の 95.0℃の噴気がわき出している付近で, 水温が低下した地点には青緑色の藻類 (地獄谷-2) がみられ, pH が 2.58 と低いことから, 単細胞の紅藻類のイデユコゴメと考えられる (Photo 7, 広瀬, 1965; 長島, 2009, 2010)。下部のメインストリーム (地獄谷-4～6) では水温は 44.2～66.4℃と上部より低くなるが, pH は 1.68～2.25 と低く, 電気伝導度は 2.31～6.62 mS/cm となっている。電気伝導度は上部のメインプールより下部のメインストリー

ムではかなり高い傾向がみられ、pH が低いことと合わせて考えると、低温・酸性で塩分濃度の高い湧水が追加供給されているためと考えられる。地獄谷の西側の噴気地帯では 2 カ所のマッドプールで試料採取を行った。白色のマッドプール（地獄谷-7）の水温は 63.8℃、pH は 1.90、電気伝導度は 6.62 mS/cm であった。黒色のマッドプール（地獄谷-8）の水温は 70.2℃、pH は 2.08、電気伝導度は 3.53 mS/cm であった。

登別温泉全体では約毎分 10,000 L が自然湧出していると言われており、泉質は酸性泉、食塩泉、硫黄泉、明礬泉、鉄泉、石膏泉、芒硝泉、緑礬泉、重曹泉の 9 種類あるとされている（日本地域学会、2008 など）。しかしながら、今回の調査ではすべての試料採取地点で酸性であった。堆積物および生物試料は -30℃ で凍結保存されており、今後の環境地球化学的および環境生物学的研究に供する予定である。

謝 辞

本調査の実施に当たり、登別温泉株式会社の常務取締役の竹内芳郎氏、営繕センター長の大宮一哉氏および三木睦人氏のお世話になったので御礼申し上げます。また、貴重なコメントを頂いた査読者に感謝する。

引用文献

- アメダス観測所情報 (2012) : 登別 (21312) 基本情報. http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/heavy_rain/21312/
- 福富孝治 (1965) : 登別温泉の地球物理学的研究の概要. 温泉科学, 16 (2), 51-59.
- 広瀬弘幸 (1965) : 登別温泉の温泉生物, 特に植物について. 温泉科学, 16 (2), 65-70.
- 石川俊夫 (1965) : 登別温泉の地質学的特徴. 温泉科学, 16 (2), 29-50.
- 井上源喜, 佐藤隆行, 長島秀行, 杉森賢司, 竹村哲雄 (2009) : 熱水環境中の堆積物における有機成分の環境地球化学的研究 1. 草津温泉源泉堆積物および温泉津温泉源泉沈殿物. 温泉科学, 58, 217-240.
- 井上源喜, 佐藤隆行, 大山正雄, 竹村哲雄 (2012) : 熱水環境中の有機成分の環境地球化学的特徴と起源に関する研究 2. 箱根火山の早雲山および大涌谷の堆積物. 温泉科学, 62, 23-39.
- 牧陽之助 (1988) : 硫黄芝とは何か? 遺伝, 42, 40-43.
- Maki, Y. (1991) : Study of the "sulfur-turf" : a community of colorless sulfur bacteria growing in hot spring effluent. Bull. Jap. Soc. Microbial. Ecol., 6, 33-43.
- 牧陽之助 (1995) : 細胞長分布と生育環境からみた A 型硫黄芝自然個体群における大鎌型細菌の型別について. 温泉科学, 45, 268-276.
- Matsumoto, G. I. and Watanuki, K. (1990) : Geochemical features of hydrocarbons and fatty acids in sediments of the inland hydrothermal environments of Japan. Org. Geochem., 15, 199-208.
- Matsumoto, G. I. and Watanuki, K. (1992) : Organic geochemical features of an extremely acid crater lake (Yugama) of Kusatsu-Shirane Volcano in Japan. Geochem. J., 26, 117-136.
- 長島秀行 (2009) : 温泉微生物. 温泉図鑑—自然編一, 34-37, 日本温泉協会, 東京.
- 長島秀行 (2010) : 温泉微生物と社会. 温泉科学, 60, 278-286.
- 日本温泉地域学会 (2008) : 登別温泉の地獄谷. 日本温泉地域資産, p. 8, 日本温泉地域学会, 鴨川 (千葉).
- 西村雅吉 (1965) : 登別温泉の地球化学的研究. 温泉科学, 16 (2), 60-64.
- 齋藤省三 (1965) : 登別温泉の医学的研究. 温泉科学, 16 (2), 71-74.

杉森賢司 (2010) : 温泉・熱水・噴気と生命. 温泉科学, **60**, 177-194.

鈴木隆広, 岡崎紀俊, 柴田智郎, 村山泰司, 石丸 聡, 札幌管区気象台・登別市役所 (2008) : 2007年5月3日に登別温泉大正地獄で発生した「泥混じり熱水噴出」. 北海道立地質研究所報告, **79**, 71-76.

鈴木隆広, 岡崎紀俊, 柴田智郎, 村山泰司, 石丸 聡 (2009) : 2007年5月3日に登別温泉大正地獄で噴出した「泥混じり熱水」の水素・酸素同位対比. 北海道立地質調査所報告, **80**, 191-192.