



山形県の地質環境と温泉

田 宮 良 一¹⁾

(平成 27 年 12 月 14 日受付, 平成 27 年 12 月 25 日受理)

Geological Environment and the Hot Springs in Yamagata Prefecture

Ryoichi TAMIIYA¹⁾

1. はじめに

温泉は、土地の地質環境に規制されて生成した天与の資源である。地質環境には、過去の出来事、自然史が記録されている。泉質、泉温など温泉の性状、温泉源の賦存形態・規模は、それぞれ千差万別である。金銀銅などは根こそぎ採取が経済原理に適合しているが、温泉は未来に引き継がなければならない資源である。したがって、温泉源の保全を図りながら温泉を有効に利用するには、その土地の自然史と地質環境を知る必要があると思う。今回、日本温泉科学会第 68 回大会が天童温泉で開催されるにあたり、山形県の温泉と地質環境の関わりを紹介してみたい。最後に、天童温泉が所在する山形盆地の温泉の特徴にも触れたい。

2. 山形県のマクロ的地質環境

東北本州弧の地質構造は、火山フロントである奥羽山脈東縁を走る青麻—恐火山列を境界とし、東側の外帯（前弧）と西側を内帯（背弧）に大分される。日本列島は、およそ 2300 万年前に始まった新第三紀の島弧変動によって誕生したが、主要イベントはすべて内帯で演じられてきた。当然、地質現象のひとつである高温泉（泉温 42℃以上を指す）の湧出は内帯に限られ、外帯では福島県の常磐炭田に所在するいわき湯本温泉が唯一の例外であった。現在でも、外帯に誕生した新たな高温泉は宮城県の松島温泉のみである。

山形県は、奥羽山脈の西翼、日本海側に位置し県土全域が内帯に含まれている。したがって、海盆の発展と海底噴火活動による新第三系の堆積、地層の変形、活火山の活動にいたるまでさまざま

¹⁾元山形県工業技術センター 〒990-2402 山形市小立三丁目 2-14. ¹⁾Orijinal Yamagata Reserch Institute of Technology, 2-14 Odachi 3tyoume Yamagata-shi, 990-2402, Japan.

な地質現象が展開されてきた。その結果、複雑な県土の地質環境が形成され、小規模ながら多様な成因の温泉が県内一円に賦存する要因となった。

東北本州弧は、北上・阿武隈山地、北上・阿武隈河谷帯、奥羽山脈、内陸盆地列、臨海平野と帯状構造を示し、山形県は特に顕著である。内陸盆地列は、東西性の隆起帯で多数の盆地に区別される。出羽山地西側には庄内平野が開けている。その庄内平野を中心とした出羽山地以西の地域は庄内地域、新庄盆地一円は最上地域、尾花沢盆地、山形盆地および上山盆地は村山地域、長井盆地と米沢盆地は置賜地域と呼ばれ、地域性が明瞭なのが山形県の特徴である。

3. 山形県の自然史と温泉地質

先第三紀（～23百万年、以下 Ma と略記） 新第三紀以前に生成した岩石は、各種の花崗岩質深成岩（ここでは花崗岩類として一括する）を主としている。上山（塩化物泉）、飯豊（塩化物泉、自湧出）、白布（硫酸塩泉、自然湧出）、大野目（硫酸塩泉）、山形うわの（硫酸塩泉）、湯の瀬（単純温泉）、湯野浜温泉の一部（塩化物泉）など多数の高温泉が花崗岩類の亀裂に賦存している。

花崗岩はマグマが固結して生成されたが、その時期は白亜紀末期から古第三紀（60～50 Ma）に遡りもはや熱源にはなり得ない。北上・阿武隈山地の花崗岩帯には高温泉は所在しない。それが山形県の花崗岩に高温泉が賦存するのは、あたらしい時代に変動が大きい内帯に位置しているのが要因であろう。

前期中新世（23～16 Ma） 日本海の拡大期に相当する。山形県では陸域での安山岩質噴火活動が活発化すると共に、鶴岡市温海地区の日本海側では西田川炭田が形成された。下部中新統には温海温泉（塩化物泉）および広河原温泉（塩化物泉）が賦存しているが、第四紀に形成された亀裂を温泉賦存帯としており、安山岩の活動そのものは温泉の生成に関与していない。

中期中新世（16～11.6 Ma） もっとも広範に海に覆われた時代である。出羽山地から庄内平野にかけての地域には泥岩が厚く堆積した一方、奥羽山脈寄りの地域では海底火山活動が活発化し溶岩や火砕岩、いわゆるグリーンタフが発達した。この対比が山形県、特に、最後に述べる山形盆地に賦存する温泉の泉質に大きな影響を与えている。

泥岩は石油根源岩であり多量の化石海水が残留しており、温泉成分では塩素イオンや炭酸水素イオン、硫黄種の供給源となっている。一方、海底火山噴出物は硫酸ナトリウム（芒硝）や硫酸カルシウム（石膏）に富んでいる。

後期中新世（11.6～5.3 Ma） 海盆が縮小され、新庄盆地南西部から庄内平野にかけての地域には深海が残存して泥岩が堆積したが、しだいに砂岩やシルト岩に移行した。粗粒の碎屑岩は石油・可燃性天然ガスの貯留層準であるが、化石海水由来の塩化物泉が賦存している場合が多い。出羽山地南部は浅海化すると同時に火砕流の流入が顕著になり、米沢盆地西部には亜炭田が発達した。山形盆地西部に分布している砂岩や火砕岩からなる上部中新統には、高濃度の塩化物泉が賦存しているのが特徴である。

奥羽山脈一帯は、隆起を開始し各所に巨大カルデラが形成され大量の火砕流が噴出した。厚い塊状の火砕岩は、山形市山寺で代表される雲形地形を呈する特有の岩石景観を形成した。しかし、亀裂がきわめて少ない岩質から山寺地区や高畠地区など、厚層の塊状火砕岩の分布地には温泉はほとんど賦存していない。

鮮新世（5.3～2.6 Ma） 海域は日本海側に向かってさらに縮小した。南部から順に現在の最上川沿いに陸化し河成堆積物によって埋没、山形盆地西部、山形盆地北西部～新庄盆地南西部には亜炭田が形成された。層相は固結度が低く空隙に富む砂岩・凝灰岩が卓越し低温の単純温泉の賦存層となった。

第四紀更新世 (2.6~0.01 Ma)~**完新世** (0.01 Ma~) 奥羽山脈と出羽山地, 庄内平野と内陸盆地群が仕上がり, 県土の地形・地質体制が完成した. 奥羽山脈には脊梁火山列に属する向町・赤倉火山, 船形火山, 面白火山・山形神室火山・雁戸火山などの北蔵王火山群, 蔵王火山, 上山葉山火山, 吾妻火山が, 出羽山地には森吉火山列の肘折火山, 白鷹火山, 鳥海火山列の鳥海火山, 月山火山が活動を開始した. 向町・赤倉火山と肘折火山はカルデラを形成し, 他は成層火山を構成している. また, 蔵王火山, 吾妻火山および鳥海火山は, 1 万年前, カルデラを形成して軽石流を放出した肘折火山と共に完新世にも活動を継続しており活火山とされている.

山地の隆起, 盆地の沈降によって, 盆地列の縁には断裂が深部まで通じた. それを伝わって深部に循環した天水は, マグマから発散した高温の塩素イオン, 硫化水素, 二酸化硫黄, 二酸化炭素など発散物と遭遇し熱水系を形成した. そのため, 山地の縁, 特に奥羽山脈の縁辺は, 宮城県側を含め高温の塩化物泉を主体とした温泉の湧出に恵まれていると考えられる.

化石海水起源など非火山性の温泉の泉温が通常の温度勾配を超えているのも, 地下にマグマが潜在し温度勾配が高いからと推察される. 表 1 に, 温泉の生成に関連させた県土の自然史を示した.

4. 主な泉質と地質環境との関連

山形県で公共の浴用に利用されている温泉地は, 2014 年 3 月現在で 138 を数え, 泉質別内訳は, 単純温泉 34, 炭酸水素塩泉 6, 塩化物泉 55, 硫酸塩泉 29, 酸性泉 3, 硫黄泉 10, 含鉄泉 1 となっている (山形県環境エネルギー部みどり自然課, 2015). ここでは, 成因的に地質環境と密接な塩化物泉, 硫酸塩泉, 酸性泉および硫黄泉について述べたい.

塩化物泉 山形県に分布している塩化物泉を塩素イオンの起源から 4 種に区分した.

- ①タイプ 1: 奥羽山脈西翼に沿う瀬見・銀山・東根・上山・赤湯・小野川温泉が該当する. 熱源, 成分は, 脊梁火山列のマグマ発散物に由来する. 硫化水素を伴う. 泉温, 湧出量に恵まれ温泉集落を形成してきた.
- ②タイプ 2: 出羽山地中の肘折・飯豊・広河原温泉, 湯殿山神社の御神体が相当する. 多量の遊離二酸化炭素を付随し, 石灰華を生じる.
- ③タイプ 3: 温泉成分は化石海水に由来する. 長沼・羽根沢・戸沢・新庄温泉などで, 石油や天然ガス井の掘削に伴って湧出したが, 層状泉で掘削成功率が高いところから庄内平野や山形盆地西部に急増した. 成分が濃厚なことから, 過剰揚湯により温泉要素が変動しやすい課題がある.
- ④タイプ 4: 湯野浜・温海温泉が相当する. 現世の海水が稀釈, 岩石との反応によって生成されたと推察したが, 成分的にはタイプ 1 の塩化物泉と共通していることからマグマ発散物に由来するのかも知れない.

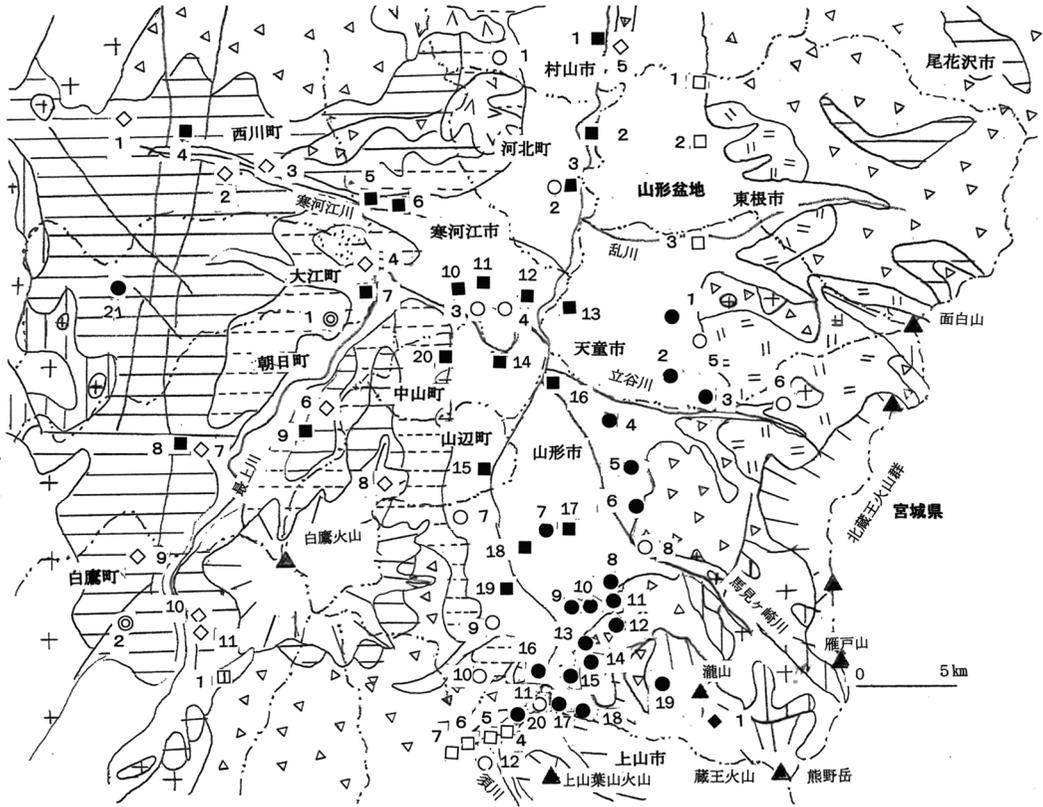
硫酸塩泉 陰イオンとして硫酸イオン, 陽イオンとしてナトリウムイオンおよびカルシウムイオンを主成分としている. これら成分の由来は, 中部中新統の海底火山噴出物と推定した. 硫酸塩泉は, 自然湧出泉時代は, 庄内平野南部に湯田川温泉, 赤倉カルデラに赤倉温泉, 吾妻火山周辺に白布・大平・滑川などの温泉が所在していたが, 村山地域では 1912 年に開湯した天童温泉が最初である. 下って, 1950 年, 山形市成沢 (当時, 堀田村) に硫酸塩泉の成沢温泉 (現, 山形温泉) が湧出した. 以降, 温泉需要の多い山形市内に温泉開発が相次ぎ, 現在は, 公共の入浴可能な温泉は 19 を数え, 12 が硫酸塩泉となっている.

酸性泉 奥羽山脈に形成された活火山は, カルデラを形成した恐火山および十和田火山を除きすべて強酸性泉を伴っている. 蔵王火山には pH 1.5 を示す蔵王温泉, 吾妻火山に pH 2.4 の姥湯温泉が湧出している.

表 1 山形県の自然史と温泉

地質時代		年代	主要地質現象	温泉関連事項
第四紀	完新世	百万年 0.01	生活面（沖積面）の仕上げ 活火山：鳥海・肘折・蔵王・吾妻 活断層形成	泥炭⇒フミン酸等有機物 マグマ⇒H ₂ S, SO ₂ , CO ₂ , Cl ⇒タイプ1・2・4の塩化物泉
	更新世		山脈の隆起と平地の沈降 最上川の横谷完成 繰り返す氷河期・間氷期 低地は碎屑物で埋積 火山形成：鳥海, 月山, 向町・赤倉蔵王, 吾妻など	熱源・温泉湧出亀裂形成 古赤色土⇒含鉄泉 低温泉賦存層 向町・赤倉カルデラなど
新第三紀	鮮新世	2.6	最上・左沢亜炭田形成 網状河川の発達 海は庄内平野に退く 村山葉山火山岩類の形成 酸性火山活動 珪砂鉱床の生成	低固結層 低温泉賦存層 最上亜炭田、山形盆地西 残留化石海水残留 ⇒タイプ3の塩化物泉 (庄内平野・出羽山地)
		5, 3	海退時代：海域は西に後退 浅海に砂岩・火砕岩堆積 尾花沢付近の海は太平洋側から 奥羽山脈側：カルデラ多発 膨大な火砕流噴出 軽石含有厚い火砕岩生成 山寺、高島など雲形地形 大谷石様の石材供給	温泉賦存層形成 石油天然ガス貯留 化石海水残留 ⇒タイプ3の塩化物泉 硫酸塩鉱物生成
	中期	11.6	あたたかい海の浸入 ・主に奥羽山脈・東西隆起帯 海底噴火活動 黒鉱鉱床など金属鉱床胚胎 ・主に奥羽山脈以西：深海化 厚い泥岩堆積 石油母岩 火山活動の影響で凝灰岩挟在地すべりの素因 深海で玄武岩活動（出羽山地）	・海底火山噴出物 硫酸塩鉱物生成 ⇒硫酸塩泉 天童温泉など ・泥岩 化石海水残留 ⇒タイプ3塩化物泉 ⇒炭酸水素塩泉 ⇒硫黄泉(冷鉱泉) (HBO ₂ 供給源)
前期	16	日本列島創生 日本海側、断層形成と火山活動 西田川炭田形成 奥羽山脈・出羽山地側 陸上の安山岩火山活動 酸性火山活動、溶結凝灰岩 新第三系最下部岩石	前期中新統の亀裂 ⇒温泉賦存帯形成 広河原温泉など 温泉の熱源・成分に不関与	
先新第三紀		23	花崗岩質深成岩 60～50Ma 変成岩 150Ma前後	花崗岩類の亀裂 ⇒温泉賦存帯 上山温泉など 熱源には不関与

注 同一地質時代の枠内では特に新旧の関係はない。



凡例

地質図	
	第四系: 礫・砂・粘土
	第四系: 火山噴出物
	上部鮮新統: 葉山火山岩類
	鮮新統: 挟亜炭層(砂岩・泥岩・凝灰岩)
	上部中新統: 海成凝灰岩・砂岩・シルト岩
	上部中新統: カルデラ噴出物(陸成火砕岩)
	中部中新統: 泥岩主体
	中部中新統: 海底火山噴出物主体
	下部中新統上部: 陸成火山噴出物
	先新第三系: 花崗岩類

温泉 ※印は非公共温泉, 斜体は廃止または未利用温泉を示す。
 ○単純温: 1 湯ノ沢, 2 河北田, 3 新寒河江, 4 高嶋, 5 鼻毛, 6 山寺, 7 大曾根, 8 馬見ヶ崎, 9 湯田, 10 西山形, 11 竜王, 12 忍川 ◎炭酸水素塩泉: 1 坂粧, 2 高嶋 □タイプ1 塩化物: 1 東根, 2 石川※, 3 ラ・フォー
 ル恵みの湯, 4 上山湯町, 5 同新湯, 6 同河崎, 7 同高松・葉山 □タイプ2 塩化物泉: 鷹野湯 ■タイプ
 3 塩化物: 1 基点, 2 海老鶴, 3 河北, 4 水沢, 5 上野, 6 白岩, 7 舟唄, 8 石須部, 9 りんご, 10 花咲か, 11 寒
 河江, 12 高田, 13 天童最上川, 14 ひまわり, 15 山辺, 16 成安, 17 かすみか, 18 沼木, 19 百目鬼, 20 塩原試
 掘地 ●硫酸塩: 1 天童, 2 荒谷, 3 新山寺※, 4 漆山, 5 大野目, 6 鈴川, 7 徳之湯, 8 千歳山※, 9 臥龍,
 10 八百坊, 11 芸工大※, 12 中桜田, 13 飯田, 14 山形, 15 高田, 16 黒沢, 17 山交, 18 西藏王元湯, 19 山形う
 わの, 20 みゆき※, 21 柳川 ◆酸性泉: 1 蔵王 ◇硫黄: 1 本道寺, 2 間沢, 3 海味, 4 左沢, 5 河島, 6
 古横, 7 五百川, 8 玉虫, 9 栃窪, 10 白鷹, 11 下山

図 1 山形盆地を中心とした地質概念図・泉質別温泉分布図

硫黄泉 すべて泥岩から湧出する冷鉱泉である。嫌気性の環境に海底に堆積した泥岩の空隙を満たす硫化水素を主成分としている。主に高温泉空白地で浴用に用いられた。

5. 山形盆地の温泉の特徴、あとがきにかえて

地質環境と温泉の泉質の関連について、山形盆地をモデルとして図1に示してみた。

現在、山形市を中心に山形盆地は温泉の過密地帯であり、盆地内には宿泊施設や公衆浴場を有する温泉地は49か所を数え、山形県総数138の35.5%を占めている（山形県環境エネルギー部みどり自然課, 2015）。それを泉質別分布を図1で見ると、盆地東部には硫酸塩泉が集中し、盆地西部～山地部地域にはタイプ3の塩化物泉が多く所在している。この理由は、奥羽山脈一帯には硫酸塩鉱物に富む中部中新統のグリーンタフが分布し、出羽山地には化石海水を残存させる中新統中部～上部の泥岩・凝灰岩が発達している地質環境を反映している。硫酸塩泉と塩化物泉が混在している盆地中央付近が、グリーンタフ相と堆積岩相の境界付近に当たると推察される。

このように、山形盆地東部の温泉は硫酸塩泉が主体であるが、前節の硫酸塩泉の項で触れたように、実は1912年、天童温泉が開湯するまで硫酸塩泉は村山地域に皆無であった。今回、日本温泉科学会の会場となった天童温泉は、村山地域の硫酸塩泉第一号温泉であるばかりでなく、山形県では一般に小規模温泉地が多い硫酸塩泉の温泉のなかで最大規模の温泉に発展した。それは、熱水循環が活発な奥羽山脈の縁に湧出し、県都、山形市を控えたことによると思われる。近年、多くの都市型温泉は伸び悩んでいるが、天童温泉は恵まれた観光資源を生かしながら一層の発展を願ってやまない。

引用文献

- 環境省自然保護局（2014）：鉱泉分析法指針（平成26年改定）。163頁。
- 内務省衛生局（1886）：日本鉱泉誌（上）。482頁、竜溪書舎（復刻版）。
- 田宮良一・神保 恵（1973）：20万分の1山形県表層地質図。経済企画庁。
- 田宮良一（1997）：東北地方に分布するナトリウム—塩化物泉の成因的考察。山形応用地質, 17, 1-8。
- 田宮良一（2015）：山形県の地質環境と温泉。温泉科学, 65, 26-39。
- Tamiya, R., Abiko, H. and Kumaki, K. (1997) : The influence of geological structure on the formation of Na-Cl type hot springs in Tohoku district, Japan. Proceedings of The 33 rd Conference SITH Hakone, Kanagawa, Japan, 83-86.
- 東海林辰雄・田宮良一・久間木国男・斎藤貞夫（1979）：山形県温泉賦存図説明書（20万分の1賦存図）。49頁、山形県環境保健部自然保護課。
- 山形県（1986）：やまがたの温泉。177頁。
- 山形県温泉協会（1973）：山形県温泉誌。541頁。
- 山形県環境エネルギー部みどり自然課（2015）：やまがたの温泉2014。10頁。
- 山形県環境保健部自然保護課（1989）：山形県温泉台帳（源泉台帳）要覧。80頁。
- 山形県環境保健部自然保護課（1989）：山形県温泉泉質（源泉毎）台帳。73頁。
- 吉田武義（1989）：火山。日本の地質2東北地方, 182-194, 共立出版。
- 神保 恵（1971）：山形県20万分の1地質図。山形県鉱業課。