

香川の温泉（第2報） 阿讃山地から湧出する温泉について

毛利 孝明・黒田 弘之

I はじめに

香川県は、西南日本内帯の領家帯と呼ばれる地質構造区に属しており、中生代白亜紀の領家帯花崗岩が基盤をなし、阿讃山地では、この上を和泉層群が不整合に覆い、讃岐平野には第三紀の火山岩が点在している。県内には36の源泉があるが、そのうち阿讃山地から14の単純硫黄泉及び鉱泉が湧出しており、香川県の代表的な温泉群を形成している。

前報¹⁾で、香川県全体の温泉の特徴について報告し、この温泉群と道後温泉群との比較を行った。今回、阿讃山地から湧出する温泉群について詳細な検討を行ったので報告する。

II 調査方法

昭和37年から昭和60年まで、当所において「鉱泉分析法指針²⁾」に基づいて分析した総計36源泉のうち、和泉層群付近より湧出する単純硫黄泉及び鉱泉14源泉を試料とした。

III 調査結果

1. 温泉の分布

図1に源泉の位置を示した。行基によって開かれたと伝えられる塩江温泉を中心に塩江町に6源泉、美霞洞温泉を中心に琴南町に5源泉、白鳥町に2源泉、徳島県側に1源泉（利用者は津田町）合計14の源泉が阿讃山地に



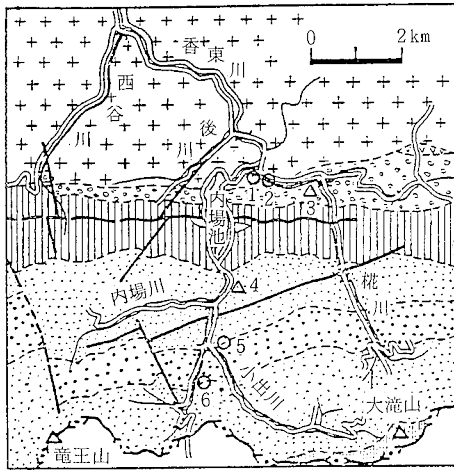
図1 阿讃山地から湧出する温泉の分布

点在している。付近の地質は、礫岩、砂岩、頁岩の互層で構成される和泉層群からなっており、和泉層群には大小の断層が数多く存在し、温泉はこの断層にそって湧出していると思われる。大部分の温泉是和泉層群の中から湧出しているが、塩江温泉、塩江新温泉は和泉層群と花崗岩の境界付近の花崗岩中から湧出している。また、樺川温泉は、和泉層群の北端部（砂岩層）から湧出しており、塩江温泉、塩江新温泉と共に他の温泉とは少し異った特徴を持つ温泉群を形成している。この点については

後述する。塩江付近の地質略図を図2に示した。また、断面図を模式的に示したものが図3である。和泉層群は下位から花崗質砂岩層、基底礫岩層、緑灰色砂岩層、泥質頁岩層、砂岩頁岩互層から構成されている³⁾。前記の3温泉はいずれも泥質頁岩よりも下位（北側）の層から湧出している。

2. 温泉の構成成分について

図4に、県内の温泉の主要イオン（陽イオンは Li^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、陰イオンは Cl^- 、 F^- 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} + その他のイオン）の構成状態をミリバル値を用いて、三角図表に示した。また、陽イオンと陰イオンの関係は鍵座図に示した。左下の三角図表は、陽イオンの割合を示したもので、和泉層群から湧出する大部分の温泉で、Naが90%以上をしめている。これは、温泉水が地下深部に帯留中、イオン交換作用を受けたためと推定される。右下の三角図表は、陰イオンの割合を示したもので、和泉層群から湧出する温泉は、 HCO_3^- + CO_3^{2-} を主とするもの（以下I群とする）と Cl^- + F^- を主とするもの（以下II群とする）に大別される。I群に属する11温泉は、すべて泥質頁岩層より上位（南側）の層から湧出しており、II群に属する塩江温泉、塩江新温泉及び樺川温泉の3温泉は、泥質頁岩よりも下位（北側）の層から湧出している。泥質頁岩は、一般に透水性が小さく、これが、泥質頁岩層の上下（南北）で、陰イオンの構成が大きく異なる原因と思われる。真中の図は、陽イオンと陰イオンの関係を鍵座図に示したもので、I群はほとんどがIIの領域に入っている。この領域は被圧性深層地下水と考えられている。II群はIVの領域にあり、海水の侵入した地下水もしくは化石塩水に分類されている。



- 1 塩江新温泉 3 樺川温泉 5 東山温泉
2 塩江温泉 4 中の湯温泉 6 奥の湯温泉

火山岩類 堆積岩類（和泉層群）

 花崗岩類 花崗岩質砂岩 砂岩頁岩互層 黒色頁岩
 石英粗面岩 (泥質)頁岩 頁岩優勢部

図2 塩江の地質略図（内場地下工業発行（香川県地質図より））

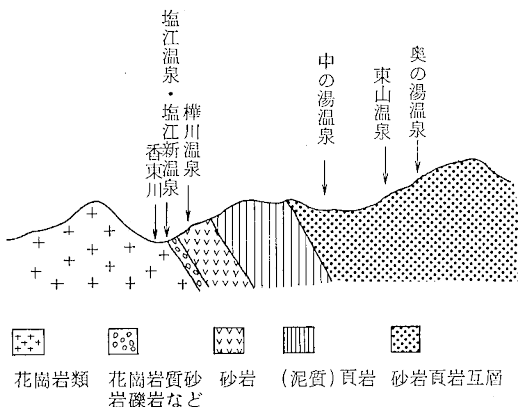


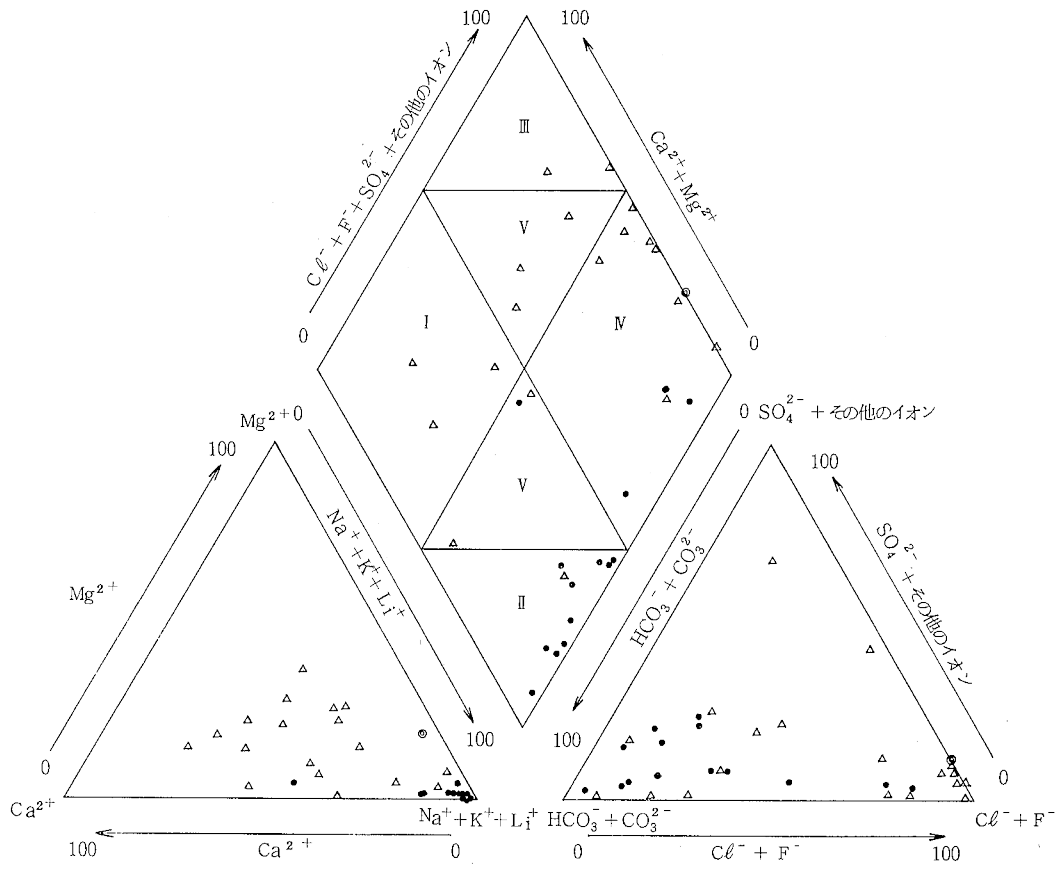
図3 塩江付近の地質断面図

3. 溶存物質と $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ との関係

図5に、溶存物質と $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ のミリバル%との関係を示した。I群については、両者に強い正の相関が見られた($r=0.878$, $y=48.7x+51.0$)が、II群にはこの関係はあてはまらなかった。和泉層群には、炭質物を含む層がたくさんあり、この有機物がバクテリアによって酸化されて CO_2 となり、 HCO_3^- 及び CO_3^{2-} が生じたものと思われる。

4. 溶存物質と $Cl^- + F^-$ との関係

図6に、溶存物質と $Cl^- + F^-$ のミリバル%との関係を示した。I群については、弱い負の相関が見られたが、($r=-0.654$, $y=-27.6x+28.7$)、II群は、この関係から大きくはずれていた。



- 阿讃山地から湧出する温泉
- △ その他の温泉
- ◎ 海水

図4 香川県の温泉の陽イオン，陰イオンの三角図及び鍵座図

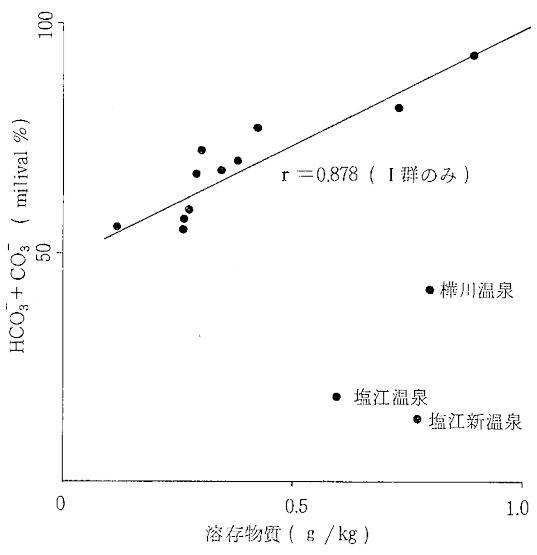


図5 溶存物質と $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ の関係

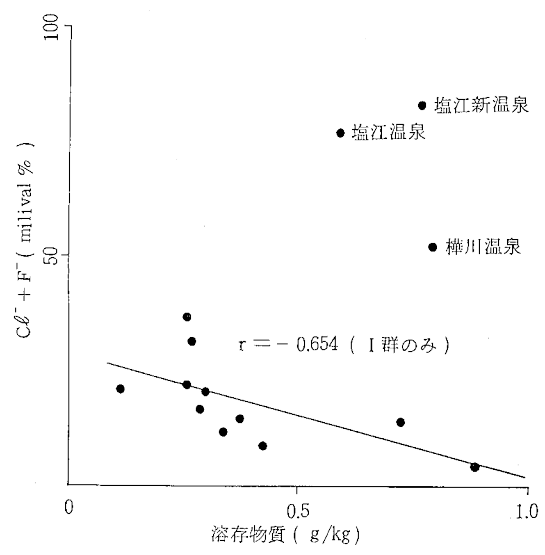


図6 溶存物質と $Cl^- + F^-$ の関係

5. 溶存物質とF⁻との関係

図7に、溶存物質とF⁻のミリバル%との関係を示した。I群、II群とも両者の間に弱い負の相関が見られた。($r = -0.607$, $y = -21.4x + 19.1$)

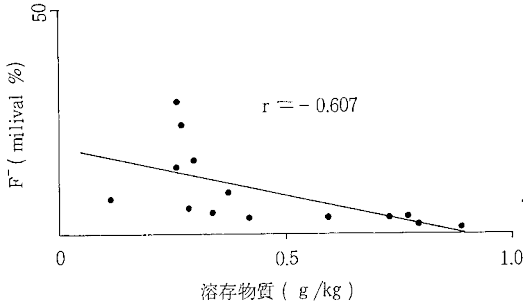


図7 溶存物質とF⁻との関係

6. 溶存物質とCl⁻との関係

図8に、溶存物質とCl⁻のミリバル%との関係を示した。I群については、両者の間に相関は見られなかった。($r = -0.439$) II群は、I群に比べてCl⁻の占める割合が高く、このことは、Cl⁻を含む水が泥質頁岩より上位(北側)の層(花崗岩層、花崗質砂岩層、基底礫岩層、緑灰色砂岩層)から、湧出していると考えられるが、どの層から湧出しているかは不明である。

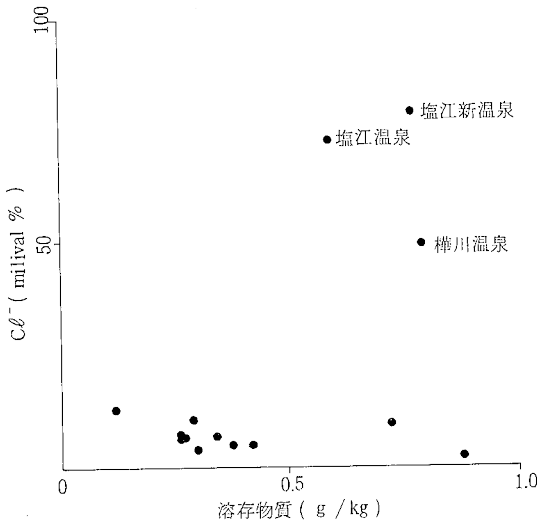


図8 溶存物質とCl⁻の関係

7. 溶存物質とSO₄²⁻+その他のイオン(OH⁻+SH⁻+S₂O₃²⁻)との関係

図9に、溶存物質とSO₄²⁻+その他のイオン(OH⁻+SH⁻+S₂O₃²⁻)のミリバル%との関係を示した。I群、

II群とも両者の間に負の相関が見られた。($r = -0.736$, $y = -20.9x + 20.1$)

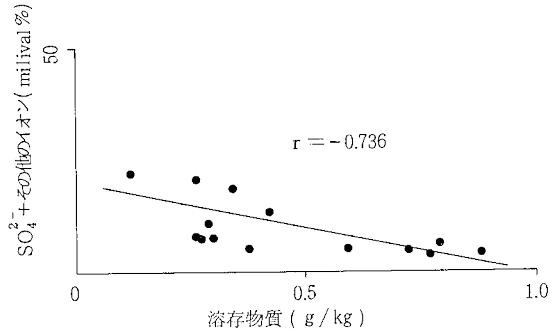


図9 溶存物質とSO₄²⁻+その他のイオンの関係(OH⁻+SH⁻+S₂O₃²⁻)

8. Na⁺とLi⁺との関係

図10にNa⁺とLi⁺との関係を示した。I群では、強い正の相関が見られた。($r = 0.968$, $y = 4.50 \times 10^{-3}x - 0.063$) $\frac{Li^+}{Na^+}$ の比は火山性温泉で $3 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-3}$ 、油田塩水で $3 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$ 、海水で 1×10^{-5} とされており⁴⁾、I群の $\frac{Li^+}{Na^+} = 4.5 \times 10^{-3}$ から見るとI群は火山性起源の温泉ということになるが、地質からは、そのようなことは考え難い。花崗岩層から湧出しているII群の塩江新温泉、塩江温泉では $\frac{Li^+}{Na^+} = 1.33 \times 10^{-3}$ とI群の1/3であり、また阿讃山地以外の花崗岩中から湧出する温泉の $\frac{Li^+}{Na^+}$ の値もはるかに低い値である。このことから、Li⁺の起源を領家花崗岩に求めることは困難である。Li⁺は海成の頁岩に濃縮されるという報告⁴⁾もあるので、Li⁺は和泉層群から溶出している可能性も考えられる。

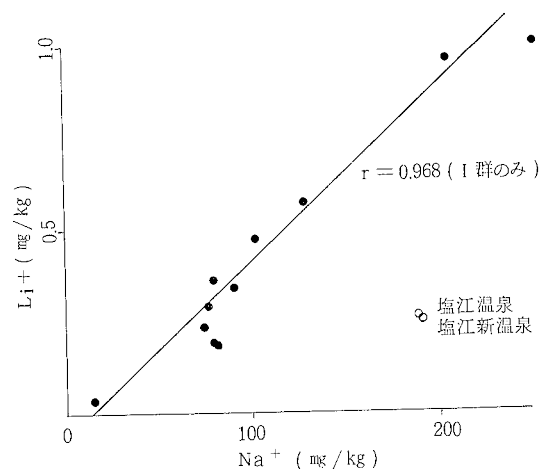


図10 Na⁺とLi⁺の関係

9. F⁻ と HBO₂ との関係

図11にF⁻とHBO₂との関係を示した。I群で正の相関が認められた。(r = 0.767, y = 1.38x + 5.96), II群についても、この関係は認められるが、I群よりもHBO₂/F⁻の比が、かなり高い。F⁻, Bは、火山ガスに多量に含まれるので、火山性起源と一般に考えられている。また、Bはある種の海洋堆積物中に濃縮されていることが知られており、海成層起源であるという説も有力である。温泉水中のF⁻とHBO₂の相関については、ほとんど報告例がなく、興味深い。F⁻とHBO₂に相関が認められるということは、両者が同一起源であることを示していると思われるが、これだけからは、火山性か非火山性かの結論を出すことは困難である。Li⁺とHBO₂, Li⁺とF⁻の間には相関は見られなかった。

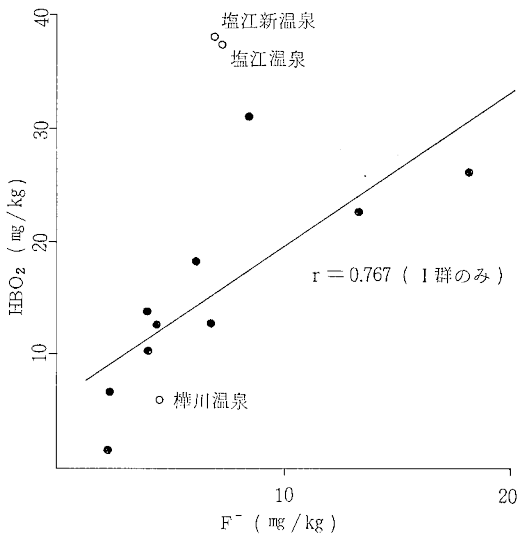


図11 F⁻ と HBO₂ の関係

10. 道後温泉群との比較

前報で、和泉層群から湧出する温泉と道後温泉群の泉質が類似していることを指摘し、また、泉温、H₂S、HBO₂などの相違点についても述べた。表1に示すように、成分、pHについては全体として似ているといえるが、詳細にみるとかなり相違点もあることが明らかになった。IIIの3, 4, 5, 7で述べたように、香川県のI群では、溶存物質とHCO₃⁻+CO₃²⁻の間に正の相関が、溶存物質とCl⁻+F⁻、溶存物質とF⁻及び溶存物質とSO₄²⁻+その他のイオンの間に負の相関が認められた。ところが道後温泉群では、溶存物質とCl⁻+F⁻の間に正の相関が、溶存物質とCO₃²⁻、溶存物質とSO₄²⁻の間に負の相関が認められており、香川県のI群とはほぼ逆の結果となっている。

各成分の相関からみると、道後温泉群は香川県のII群と似ているようである。

H₂Sは、香川の方がかなり高い値であるが、火山性ではなく、硫酸塩還元菌によってSO₄²⁻が還元されてできたものと考えられる。HBO₂についても香川県が高いが、この起源については明らかでない。泉温については道後温泉群が34.9℃と高く、香川県では、温度の高い温泉は存在しない。領家花崗岩は非常に古いものであり、それが熱源になるとは考えにくいから、道後温泉群は新期の火山活動の影響を受けている可能性もある。

表1 道後温泉群*と阿讃山地から湧出する温泉の泉質の比較

項目	(単位: mg/kg)			
	道後温泉群	香川(平均)	香川(I群)	香川(II群)
温度	34.9℃	16.5℃	16.3℃	17.4℃
pH	8.9	8.9	9.1	8.3
蒸発残留物	286.2	400.9	338.2	630.9
Li ⁺	0.2	0.4	0.4	0.3
Na ⁺	95.1	130.5	107.1	216.1
K ⁺	1.1	1.4	1.4	1.3
Mg ²⁺	0.5	1.1	0.3	4.0
Ca ²⁺	5.5	6.0	4.2	12.5
F ⁻	10.2	8.3	8.4	8.0
Cl ⁻	66.3	64.1	11.8	256.0
SO ₄ ²⁻	14.0	22.8	22.6	23.0
CO ₃ ²⁻	51.6	111.3	118.9	83.4
H ₂ S ^{**}	(0.03)	2.1	1.9	3.1
HBO ₂	(4.1)	17.2	14.5	27.1

* 道後温泉群: 道後温泉, 奥道後温泉, 東道後温泉

** 香川のH₂Sは総硫黄(S)の値である。

()内は道後温泉のみ

IV 結 論

本県の阿讃山地から湧出する単純硫黄泉, 鈹泉14源泉について調査分析したところ次のようなことが明らかになった。

1. 陽イオン, 陰イオンの構成及び相互の関係について、三角図, 鍵座図を用いて解析した結果、陰イオンの構成において、HCO₃⁻+CO₃²⁻を主成分とするもの(I群, 11源泉)とCl⁻+F⁻を主成分とするもの(II群, 3源泉)に分類され、これは、地質と密接な関連のあることがわかった。
2. 溶存物質と各イオンの関係について、相関の有無を調べた結果、I群において溶存物質とHCO₃⁻+CO₃²⁻の間に正の相関が、溶存物質とCl⁻+F⁻の間に正の相関が認められた。II群については、源泉数が少ないため明らかではないが、I群と逆の傾向が見られた。溶存物質と

F⁻及び溶存物質とSO₄²⁻+その他のイオンの間には, I, II群とも負の相関が見られた。

3. 各イオン間の相関を調べた結果, Na⁺+Li⁺の間に強い正の相関が, F⁻とHBO₂の間に正の相関が見られた。

4. 道後温泉群と阿讃山地から湧出する温泉は, 高濃度のF⁻を含むアルカリ性の温泉であり, 成分的にも多くの共通点がある。溶存物質と陰イオンの相関からみると, 道後温泉はI群とは逆の相関を示しており, II群との類似性がみられた。泉温は道後が高く, H₂S, HBO₂は香川が高い結果が得られた。

文 献

- 1) 毛利孝明, 黒田弘之, 森敏子, 阿宅佛二, 細川仁: 香川の温泉(第2報)温泉の化学的成分について, 香川県衛生研究所報, 10, 132~134, (1981)。
- 2) 環境庁自然保護局: 鉱泉分析法指針(1978)。
- 3) 森合重二: 香川県地学のガイド, コロナ社, (1979)。
- 4) White, D. E.: 非火山性起源の温泉, 化学の領域, 14, 3, 174~188, (1959)。
- 5) 真木強他: 道後温泉群の地球化学的考察, 温泉工学会誌, 13, 55~67, (1976)。