

島根県下のヘリウム資源について

比留川 貴*

Exploration for Helium Resources in Shimane Prefecture

By

Takashi HIRUKAWA

Abstract

Geochemical exploration for helium resources from hot spring gases has been carried out in Shimane prefecture.

The chemical compositions of hot spring gases can be divided into two types, such as carbon dioxide (CO₂) type and nitrogen (N₂) type.

The concentration of helium in the CO₂ type gas ranges from 0.000 to 0.012%, and in the N₂ type gas ranges from 0.040 to 0.054% in volume.

From the data of nearly constant value of N₂/He ratio in two type gases, I could surely suppose that the most part of helium might be derived from the basement rocks composed of the San'in granite in this region.

In the surveyed area, hot spring waters accompanying with the N₂ type gas generally show high values of Ca²⁺/Mg²⁺ ratio, and consequently, the N₂ type gas has much quantity of helium compared with the CO₂ type gas. However, production quantity of the N₂ type gas is smaller than that of the CO₂ type gas.

Judging from the data on gas quality, volume of gas production and present status of gas production, the author can hardly expect the existence of helium gas deposits having economic value in this region.

要 旨

ヘリウム資源調査研究の一環として、島根県下の主要温泉のうちで温泉津以東の温泉について調査研究を行った。

地域内の温泉には大部分の泉源に遊離ガスが認められ、それらのガスはその組成によってCO₂系ガスとN₂系ガスに分けられる。

CO₂系ガスは0.000~0.012%のHeを含み、調査した9例のうちの5例ではHeが検出されない(検出限度0.001%)。N₂系ガスは0.040~0.054%のHeを含み、その含有量はほぼ一定である。

Heを検出限度以上含むCO₂系ガスとN₂系ガスのN₂/Heはほぼ一定であり、さらに、同一基盤岩類の分布する他の地域の温泉ガスの値に類似している。このことは、これらのガスに含まれている大部分のHeがいわゆる山陰型花崗岩類から逸出して来たことを推定させる。

今回の調査結果では、CO₂系ガスは産量は多いがHeの含有量が少なく、N₂系ガスは産量は少ないがHeの含有量が多い傾向がみられる。ガス質、ガス量およびガスの産状などを総合してみると、当地域内には、経済的にみた場合のヘリウムガス鉱床は、おそらく存在しないものと推定される。

1. 緒 言

島根県下の温泉ガスに含まれているHeについては、大正15年(1926)に山口文之助・嘉納吉彦による報告がなされている。その報告によれば、CO₂系ガスでは温泉津温泉のガスに0.007%のHeが含まれ、福光、小屋原および池田の3温泉のガスにはHeが検出されていない。さらに、玉造温泉のN₂系ガスは0.088%のHeを含んでいる。

HeはU, Thの放射崩壊によって生成されるとされているが、その放壊速度から考えると、第三紀層中のU, Thから生成されるHeの量はきわめて微量であり、当

* 技術部

地域のような地質条件を持つ所では、第三系よりも古い地層、すなわち、いわゆる基盤岩類に He の源を求めなければならない。この考え方から、いわゆる山陰型花崗岩類の分布する他地域の温泉ガスに含まれる He の量をふたたび山口・嘉納の報告から引用すると、鳥取県三朝および吉方温泉の N₂ 系ガスは、それぞれ 0.076% と 0.214% の He を含み、兵庫県湯村温泉の N₂ 系ガスは 0.045% の He を含んでいる。

以上の資料と地質条件などから、島根県下のヘリウム資源の調査研究を行なった。この調査研究は昭和38年10月に野外研究を実施したもので、現地での各種資料の収集およびガス試料、温泉水試料の採取については、島根県水産商工部工業開発課、島根県衛生研究所、大田市商工水産課、^{とま}遼摩郡^{ゆのつ}温泉津町役場および現地の関係者多数から多大の協力と便宜を受けた。ここに記して深く感謝いたします。なお、ガス分析は地質調査所技術部米谷宏技官が担当した。

2. 地質概況と温泉

(三浦清, 1963, 中村久由, 1962, 島根県, 1963, 杉山隆二, 1965)

2.1 地質層序

調査地域の最西端には三群^{さんぐん}変成岩類の露出がみられるが、当地域の南部中国山系には古第三紀～白堊紀後期の貫入岩類が広く分布し、その上位に中新世^{いんわみ}の石見層群および出雲層群(一部は鮮新世の松江累層)が発達し、その上位に更新世の都野津累層^{つのつ}と和久羅山安山岩および大^{だい}山火山系安山岩などがあり、ついで現世の沖積層および砂丘堆積層などが分布している(第1表参照)。

第1表 島根県下地質層序

年代区分	岩層区分
最新世	沖積層・砂丘堆積層
	第四紀火山岩類
	都野津累層
鮮新世	松江累層
	出雲層群 布志名累層
中新世	大森累層
	石見層群 久利累層
	川合累層
	波多亜層群
古第三紀 ～白堊紀	侵入岩類
	後期白堊紀火山岩類

島根県地質図(昭和38年)抄

2.2 基盤岩類と温泉

基盤をなす花崗岩類は、黒雲母花崗岩および花崗閃緑岩などの複合岩体で、いわゆる山陰型花崗岩と呼ばれるものである。

基盤岩類の分布、構造などと温泉との関係については杉山隆二(杉山隆二, 1965)の詳細な報告があり、それによれば(杉山の論文は、基盤花崗岩類と湯抱火成岩類とを区別している)、いわゆる山陰型花崗岩類の分布する北縁を結ぶ線上に玉造、立久恵、鳴滝、湯迫、馬路および温泉津などの温泉が分布し、さらに、上述の線に平行してその北側に北松江、湯ノ川、小田および野梅などの温泉が分布していることを指摘している。すなわち、基盤花崗岩類の分布する北縁に構造上の弱線あるいは断層を想定している。つぎに^{たらく}鷲の湯^{なるたき}と^{ゆづこ}海潮^{まじし}の両温泉は、基盤岩類の盛り上り構造の縁辺部に位置し、その構造の影響を受けているだろうと述べている。

2.3 新第三紀層

新第三系は、中新統と鮮新統とに分かれるが、中新統は下位から波多亜層群と川合、久利、大森および布志名の各累層に細分され、鮮新統は松江累層のみからなっている。

波多亜層群は、基盤岩類で形成された盆状構造の凹所を埋めるように堆積したもので、その分布は基盤岩類を取り囲むような形であり、火山性の堆積物に富み、その上位の層準にはしばしば湖成堆積物がみられ、台島型植物化石層を含む所もある。

川合、久利、大森および布志名の各累層は、おおむね波多亜層群よりさらに基盤岩類の外周部の海岸寄りに順次分布し、各累層の間は不整合関係の所が多い。上述の4累層は海成堆積物からなり、久利および大森両累層には火山性の堆積物がみられ、特に大森累層ではその傾向が著しい。

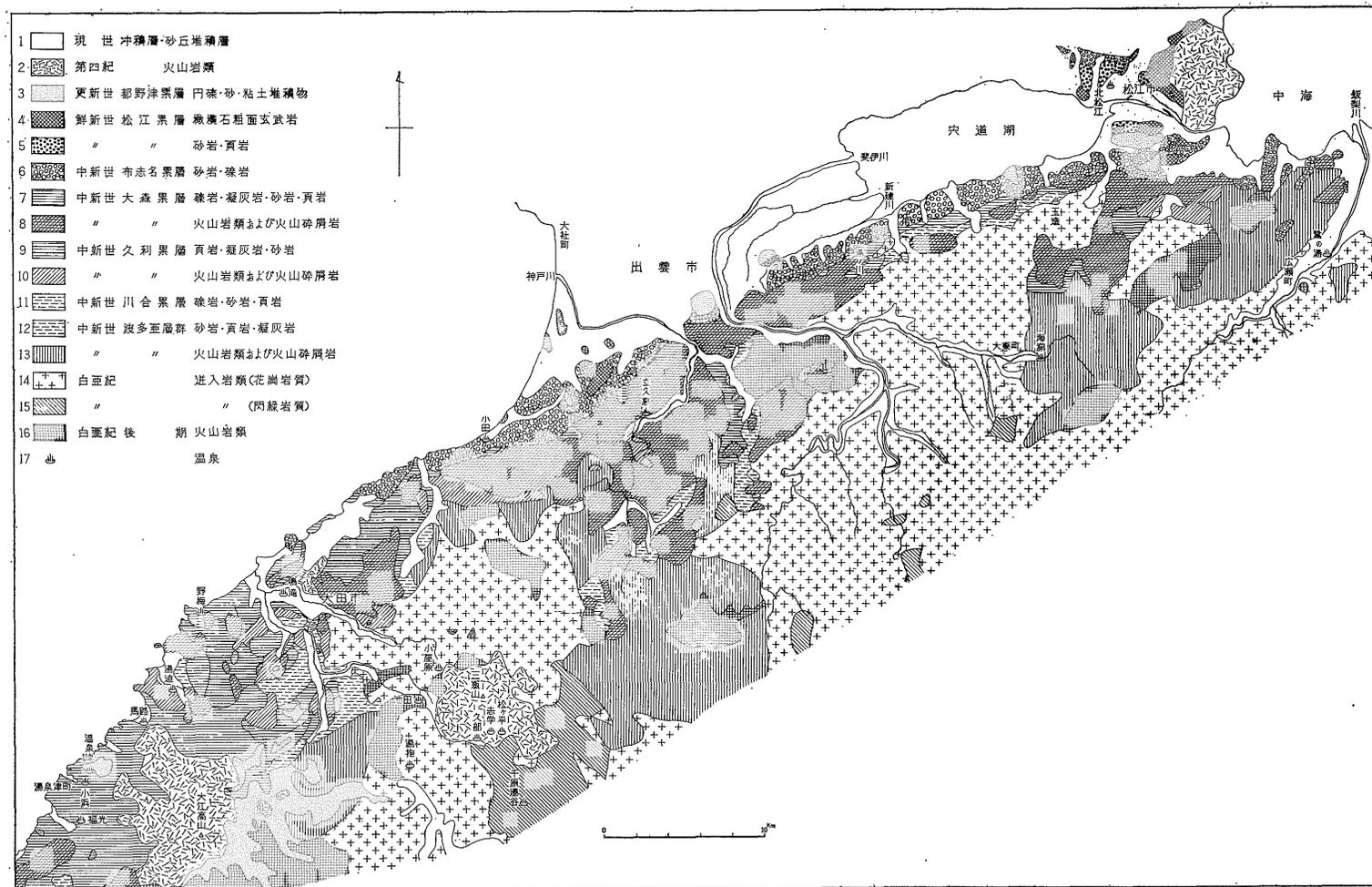
松江累層は松江およびその周辺に分布し、橄欖石粗面玄武岩をともなう海成堆積層である。

2.4 第四紀層

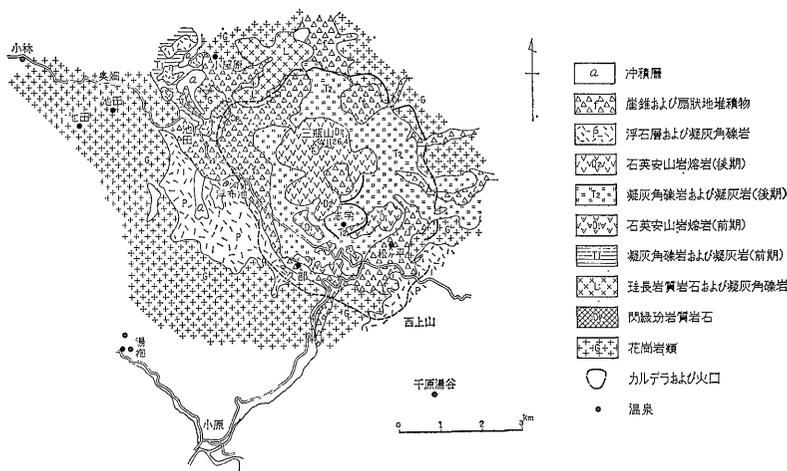
第四系は洪積統と現世統とに分かれる。

洪積統の都野津累層は、海岸域および簸川平野周辺などの限られた地域に分布し、陸成的要素の強い礫層、砂層および粘土層などから成っている。さらに、洪積統には、大山火山系安山岩および和久羅山安山岩などの第四紀火山岩類があり、前者は三瓶山および大江高山周辺に、後者は松江東部におおの分布する。

現世統は砂丘堆積層および沖積層で、海岸域の一部および大河川の流域などに分布する(以上第1図・第1表参照)。



第1図 島根県東北部地質図 (島根県地質図1/20万昭和38年より引用)



第2図 三瓶山周辺地質図(大和栄次郎原図)

2.5 三瓶火山と温泉

三瓶山およびその山麓地帯の温泉群については大和・中村(中村久由, 1962)の報告があり, それによれば, 温泉の由来する地層が2種類に分けられている。すなわち, 三瓶火山抛却物に由来する志学, 久部および松ヶ平の3温泉と基盤花崗岩類に由来する湯抱, 小屋原, 千原湯谷, 池田および小林の5温泉とである(第2図参照)。

3. 温泉概況

(岡林・佐藤・木村・菊地, 1962)

3.1 鷺の湯温泉

安来市市街地の南西約7km, 飯梨川河床にきわめて接近した沖積地に位置し, 7坑井があり, 常時は4坑井位が運転されている。坑井深度は約10mで, それ以深では水温が低下する傾向があると云われている。きわめて少量の遊離ガスをともない, 平常時の水量は約200kl/dayと推定される。

3.2 玉造温泉

玉造温泉駅の南約2kmに位置し, 坑井総数は約20で, 自噴およびポンプ揚水を行なっている。温泉の湧出する地層は, 基盤花崗閃緑岩と川合累層との接触部と云われ, その深度はおおむね100mである。利用されている温泉の水温は40~70°Cで, ほとんどの坑井に遊離ガスが認められるが, その量はまちまちである。総水量はきわめておおまかに1,000kl/dayと推定される。

3.3 海潮温泉^{注1)}

木次線出雲大東駅の東約4km, 赤川の河床に近く位置し, 深度約80mの2坑井と露頭との3カ所があり, 自

注1) 牛尾温泉と書いた文献もある。

噴およびポンプ揚水を行なっている。調査した2源泉とも遊離ガスが認められ, 総水量は約300kl/dayと推定される。

3.4 三瓶山およびその山麓地帯の温泉

三瓶山は石見大田駅の南東約13kmに位置し, そのカルデラ内と山麓地帯とに多数の温泉が湧出している。

3.4.1 三瓶火山抛却物に由来する温泉

この分類に入るのは, 三瓶山のカルデラ内に分布する志学, 久部および松ヶ平の3温泉で, すべての泉源が天然に近い状態のもので, 志学温泉には数カ所の同種露頭がある。遊離ガスの認められるのは久部温泉のみである。

3.4.2 基盤花崗岩類に由来する温泉

この分類に入るのは, 三瓶山山麓地帯に分布する湯抱, 千原湯谷, 小屋原, 池田および小林^{注2)}の5温泉で, 小屋原温泉以外は天然に近い状態である。湯抱および池田の両温泉では, おのおの数カ所ずつの泉源を持っているが, そのほかでは1カ所のみである。池田温泉では3号のみに遊離ガスが認められ, それ以外ではほとんどの泉源に遊離ガスが認められる。

3.5 温泉津温泉群

この分類に入るのは, いわゆる温泉津, 小浜および福光の3温泉である。

温泉津温泉は温泉津駅の北約1kmに位置し, 元湯および震湯の2泉源がある。両泉源ともに露頭を改修したもので, 自噴し, 相当量の遊離ガスをともなっている。

小浜温泉は温泉津駅のごく近くに位置し, 深度約60mと約12mの2本の坑井から自噴し, 同一湯槽の底から集められ, 水温はそれぞれ31.0°Cおよび30.4°Cである。

注2) 小林温泉は調査しなかった。

深度60mの坑井では約23mの所で岩盤に達したと云われているので、温泉の湧出する地層が深度12mの坑井とちがう可能性がある。両井とも遊離ガスの量がきわめて少ないので、単独試料の採取はできなかった。

福光温泉は温泉津駅の南約2kmに位置し、大森累層の凝灰質部から湧出する露頭で、遊離ガスの量は調査例中の最高である。

3.6 湯迫温泉

湯迫温泉は仁万駅の南約1kmに位置し、山脚部に湧出する同種露頭3カ所の内で遊離ガスをともなう唯一のものである。

4. 温泉ガスと温泉水

温泉ガスと温泉水の分析結果は、現地での各種測定結果などととも第2表に示す(試料の採取地点は第1図および第2図参照)。

4.1 温泉ガス

温泉ガスはその化学組成からCO₂系ガスとN₂系ガスに分けられる。

4.1.1 CO₂系ガス

この分類に入る温泉ガスは、比較的低温で塩分濃度の高い温泉水と共存する。地質の面からみれば、第四紀火成活動の行なわれた近くに分布する。すなわち、三瓶山およびその山麓地帯にある久部、千原湯谷、湯抱、池田および小屋原の5温泉と、大江高山周辺にある温泉津、小浜および福光の3温泉である。

産ガス量は0.01~43m³/day、ガス水比は0.002~0.72で、おおむねN₂系ガスに較べて大きな値である。

今回の調査研究の主目的であるHeの含有量は0.000~0.012%で、調査した9例中の4例にHeが検出された。

天然ガスを構成する主要成分は、もちろんCO₂であるが、それ以外の成分も含めて含有量の範囲を示すと、下記のようになる。

成分名	含有範囲 (vol. %)
CO ₂	74.14 ~ 99.35
N ₂	0.50 ~ 25.14
O ₂	0.14 ~ 2.04 ^{注3)}
Ar	0.056 ~ 0.335

4.1.2 N₂系ガス

この分類に入る温泉は、比較的高温で塩分濃度の低い温泉水と共存する。地質の面からみれば、おもに中新世

注3) 小屋原温泉のガスはO₂=2.04%, N₂=1.15%, N₂/O₂=0.5となり、きわめて理解しにくい値である。

~白堊紀火山岩類の分布地帯にある驚の湯、玉造、海潮および湯迫の4温泉である。

産ガス量は0.0n~3m³/day、ガス水比は0.0007~0.035で、おおむねCO₂系ガスに較べて小さな値である。

ガス中のHe含有量は0.040~0.054%で、ほぼ一定である。

天然ガスを構成する主要成分はN₂であるが、それ以外の成分も含めて含有量の範囲を示すと、下記のようになる。

成分名	含有範囲 (vol. %)
CO ₂	0.02 ~ 2.04
N ₂	95.91 ~ 99.59
O ₂ 注4)	0.00 ~ 0.25
Ar	0.95 ~ 1.62

4.2 温泉水

温泉水の主要成分組成は第2表に示したが、ガスの項と同様にCO₂系ガスおよびN₂系ガスを伴うものに分けて記載する。

4.2.1 CO₂系ガスを伴う温泉水

この分類に入る温泉水の水温は18.5~49.4°Cで、温泉津温泉を除けば、一般にN₂系ガスを伴う温泉水より低温である。

pHは5.7~6.5で、5.7に近い数値のpHを示す温泉水には遊離ガスが存在しない。

この系の温泉水は、N₂系ガスを伴う温泉水に較べて溶存成分に富み、特にAlkalinity, Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺およびHBO₂などにその傾向がいちぢるしい。三瓶山周辺の温泉水は、湧出地層の差により塩分含有量に大きな差がみられる。すなわち、三瓶山カルデラ内に湧出する温泉水は、基盤岩類から湧出する温泉水に較べてほとんどの含有成分が稀薄である。大江高山周辺の温泉水では、福光温泉にやや含有塩分の減少がみられる。

全体を通じてCO₂系ガスを伴う温泉の泉質は、含炭酸弱食塩(CO₂+NaCl)泉型である。

4.2.2 N₂系ガスを伴う温泉水

この分類に入る温泉水の水温は23.4~69.5°Cで、湯迫温泉を除けば、おおむねCO₂系ガスを伴う温泉水より高温である。

pHは6.8~8.3で、深層で仕上げたものがアルカリ性になる傾向である。

この系の温泉水は、CO₂系ガスを伴う温泉水に較べて、ほとんどすべての溶存成分が稀薄である。すなわ

注4) 分析結果にO₂含有量の高いものは、空気の混入によるものとして、各成分の含有量を補正した。

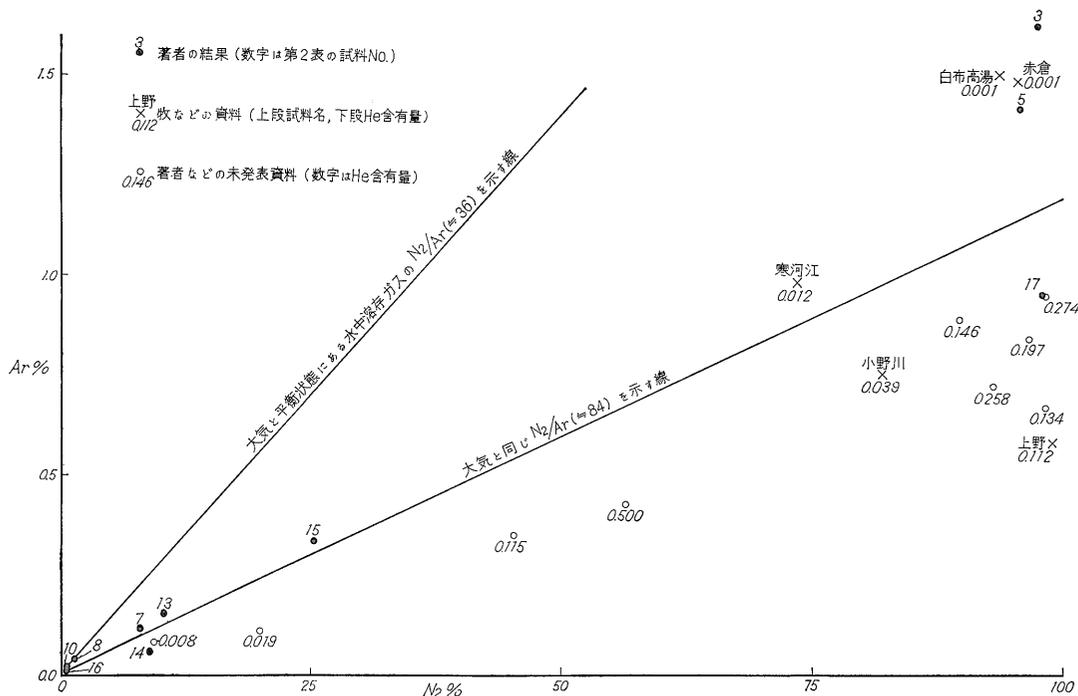
第2表 島根県下ヘリウム資源調査結果

試料 No.	試料名	試料の地質環境	試料採取の状況	水量 (kl/day)	ガス量 (m ³ /day)	水温 (°C)	坑口遊離ガス				
							He	H ₂	Ar	O ₂	N ₂
1	鷲の湯温泉 No. 4+No. 6井	飯梨川河床に近い沖積地, 坑井深度約10m	2井直結ポンプ揚水 約200m送水したもの	(100)	0.07	49.8	0.019 (0.042)	0.000	n. d.	11.49 (0.00)	87.94 (98.74)
2	玉造温泉 千代の湯	基盤岩類と川合累層との接触部, 坑井深度約100m	ポンプ揚水口より	260	2.96	64.4	0.018 (0.041)	0.000	n. d.	11.97 (0.00)	87.86 (99.59)
3	" 新宮正孝	" "	自噴口より	43	0.37	69.5	0.054	tr	1.62	0.25	97.60
4	海潮温泉 大東町々有井	基盤岩類と波多亜層群との接触部, 坑井深度約85m	ポンプ揚水 約100m送水したもの	216	(2~3)	44.7	0.030 (0.040)	0.000	n. d.	5.40 (0.00)	94.07 (99.29)
5	" 海潮荘	" 露 頭	自然湧出口より	12.5	0.44	40.6	0.049	0.000	1.41	0.25	95.91
6	志学温泉 元 湯	三瓶火山抛物物分布地帯, 付近に同種露頭多し	"	n×10 ³	0.000	41.6					
7	久部温泉	" "	"	(20)	(0.5~1)	30.2	0.005	0.001	0.115	0.22	8.05
8	千原湯谷温泉	三瓶火山基盤岩類分布地帯, 露 頭	"	(50)	(5~7)	34.4	0.000	tr	0.038	0.45	1.48
9	湯抱温泉	" "	温泉水, ポンプ揚水, ガス, 沢の中の露頭	(30~50)	(5)	27.5	0.000	tr	n. d.	0.39	0.67
10	池田温泉 3 号	" "	自然湧出口より	2.5	0.014	18.5	0.000	tr	0.017	0.14	0.64
11	" 8 号	" "	横穴のたより水	(10)	0.000						
12	小屋原温泉	" 沖積地を約12m ボーリング	自噴口より	67.2	23.3	38.0	tr	0.001	n. d.	2.04	1.15
13	温泉津温泉 元 湯	中新生堆積岩類分布地帯, 露 頭	自然湧出口より	47.6	8.6	49.4	0.004	0.020	0.148	0.27	10.37
14	" 震 湯	" "	"	(160)	(15~20)	45.7	0.002	0.020	0.056	0.66	8.72
15	小浜温泉	" 坑井約12m 深度約61m	自噴口より	(30)	0.07	30.6	0.012	0.002	0.335	0.34	25.14
16	福光温泉	" 露 頭	自然湧出口より	(50~70)	43.2	38.9	0.000	tr	0.012	0.14	0.50
17	湯迫温泉	中新世流紋岩類と沖積層との接触部, 露 頭	"	(5)	0.0n	23.4	0.040	0.000	0.95	0.13	98.08

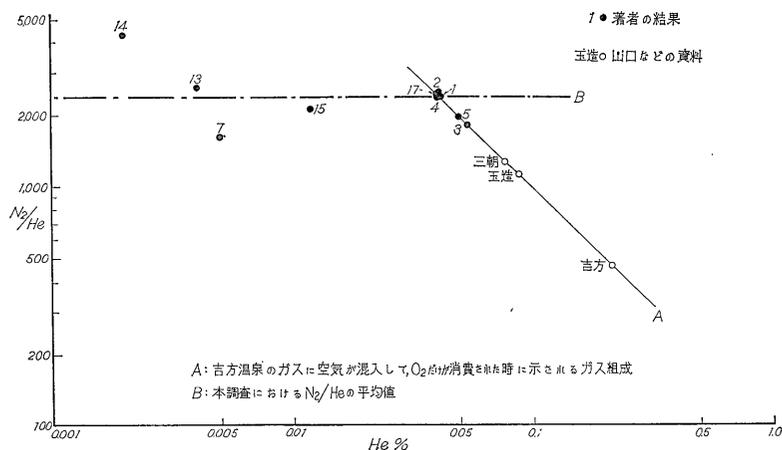
組成 (vol. %)				温泉水組成 (pH 以外 mg/l)											摘要
CH ₄	CO ₂	N ₂ /He	N ₂ /Ar	pH	M. アルカリ 度 HCO ₃ ⁻ として	P. アルカリ 度 CO ₃ ²⁻ として	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HBO ₂	Ca ²⁺ / Mg ²⁺	
0.55 (1.20)	0.01 (0.02)	2,350		6.8	57.7	0.0	493	468	8.92	334	186	3.28	<3	56.7	ガス組成 () 空気補正 " " "
0.13 (0.30)	0.03 (0.07)	2,430		8.2	54.4	2.4	215	856	12.0	392	138	2.29	5.2	60.2	
0.24	0.24	1,810	60	8.3	50.2	4.8	226	889	12.3	415	142	1.69	4.5	84.0	
0.11 (0.15)	0.39 (0.52)	2,480		7.8	123	0.0	120	506	4.50	290	49.7	1.66	<3	29.9	ガス組成 () 空気補正 温泉水採取せず
0.35	2.04	1,960	68												
				5.8	398	0.0	1,020	16.2	49.8	531	128	75.7	14.6	1.7	
tr	91.61	1,610	70	5.9	704	0.0	1,690	42.5	61.1	1,040	115	79.3	17.6	1.4	
tr	98.04		39	6.6	2,262	0.0	3,710	391	141	3,050	235	48.0	36.4	4.9	
tr	98.94			6.4	1,683	0.0	2,960	265	139	2,210	231	69.0	49.5	3.3	
tr	99.21		38	6.0	1,595	0.0	3,640	436	216	2,340	353	14.5	77.6	2.4	
				5.7	1,022	0.0	2,240	311	144	1,470	226	95.9	41.2	2.4	
tr	96.81			6.1	1,053	0.0	2,460	237	148	1,500	291	86.7	39.4	3.4	
0.20	88.99	2,590	70	6.3	998	0.0	2,730	1,015	69.3	1,910	467	85.7	40.1	5.4	
0.02	90.53	4,360	156	6.2	1,000	0.0	2,730	1,018	70.0	1,920	464	88.4	39.4	5.3	
0.04	74.14	2,100	75	6.2	1,004	0.0	2,650	807	66.7	1,780	455	84.8	36.4	5.4	
tr	99.35		42	6.5	1,991	0.0	1,610	308	88.1	1,450	371	9.92	43.9	37.4	
0.04	0.76	2,450	103	7.2	287	0.0	428	159	5.27	381	45.5	9.89	6.4	4.6	

ガス量と水量の項 () は目測値またはポンプ能力

ガス分析 米谷 宏



第4図 N_2 含有量と Ar 含有量との関係



第5図 He 含有量と N_2/He との関係

び Ar の供給源についての考察が一助となるかも知れない (第4図参照)。

N_2 系ガスの調査例で求めた N_2/He が、同一基盤岩類の分布する兵庫県下の N_2 系ガスの N_2/He および CO_2 系ガスの調査例で求めた値にも類似し、さらに、第5図の He と N_2/He の関係などから考えると、これらのガスに含まれている He は同じ時代の基盤岩がその供給源であることを推定させる。

CO_2 系ガスの N_2/He が N_2 系ガスのそれとほぼ同じ値であり、さらに、産ガス量およびガス水比などが N_2 系ガスのそれらに較べて大きいことは、基盤岩から供給される He を含んだ少量の N_2 系ガスに、新期火成活動による多量の CO_2 系ガスが付加され、その結果としてガス中の He 濃度が減少したものと考えられる。

5.1.3 アルゴン含有量および窒素アルゴン比(N_2/Ar)

Ar は He などとともに“不活性ガス”と呼ばれてい

る。天然ガス中の Ar は K^{40} の放射壊変によるものと、大気成分によるものが大部分であると云われている。

CO_2 系ガスの調査例は 0.056~0.335% の Ar を含み、その量はほぼ N_2 の含有量にしたがって変化する。 N_2/Ar を求めるとその値は 38~156 になり、温泉津温泉震湯の 156 を除けば N_2/Ar は 75 以下である。さらにこまかく見れば、 CO_2 を 98% 以上含むガスでは N_2/Ar が 42 以下になり、大気と平衡状態にある水中溶存ガスの組成 ($N_2/Ar \approx 36$) にきわめて近い値であり、このガスの中には He が検出されない。 CO_2 を 92% 以下含む CO_2 系ガスでは N_2/Ar が 70~75 になり、ほぼ大気の組成 ($N_2/Ar \approx 84$) に近い値であり、このガスの中には He が検出される。

N_2 系ガスの調査例は 0.95~1.62% の Ar を含み、その量はほぼ N_2 の含有量にしたがって変化する。 N_2/Ar を求めるとその値は 60~103 になり、湯迫温泉の 103 を除けば N_2/Ar は 68 以下である。この N_2/Ar 、すなわち 60 および 68 は、大気と平衡状態にある水中溶存ガスにおける N_2/Ar と大気における値とのほぼ中間の値である。

調査例全体を通じて、地域内のほとんどの温泉ガスは、Ar の供給源の大部分を大気および大気と平衡状態にある水中溶存ガスに求めることが可能である。

温泉津温泉震湯および湯迫温泉では N_2/Ar がそれぞれ 156 および 103 になり、他の例とは明らかにちがった値である。本島 (本島公司・柴田賢・米谷宏・中井信之、1966) などは、古期岩層中のガスには He の濃度が高く、 N_2/Ar が大きいことを指摘しているが、その論旨からすれば、前述の温泉津温泉震湯および湯迫温泉については、調査地域の西端にその地表分布がみられる三群変成岩類の影響を考慮する必要があるかも知れない。今回の調査例について言えることは、ガス中に He が検出される試料についても N_2/Ar が小さい値であり、このことはわが国の他の地域の例と較べて特徴のある傾向である (第4図参照)。すなわち、本地域のガスは大気の影響が大きいものと思われる。

さきに、今回の調査と同じ基盤岩類の分布する鳥取県三朝温泉および吉方温泉などを含めて考えると、ガス中の He 含有量の増加と N_2/He の減少とが並行していることを指摘した (第5図参照)。 N_2/Ar から考えられる Ar の供給源の大部分は、大気および大気と平衡状態にある水中溶存ガスに求められるが、その考え方からすれば、Ar の供給にともなってそれに対応した N_2 も供給されることが予想される。この機構によって大気から供給される N_2 と、基盤岩類から供給される N_2 との合量が、現在の温泉ガスとして採取され分析されるものであ

る。すなわち、基盤岩類から逸出するガスの量に対して、二次的に付加される大気源の Ar および N_2 の量によって、ガス中の He 含有量および N_2/He が変動することになる。この考え方からすれば、第5図に示されるように鳥取県吉方温泉のガス組成が、基盤岩類から逸出する N_2 系ガスの本来の値に最も近いものであり、兵庫県下や今回の調査の例などの N_2 系ガスは、二次的な大気源の Ar および N_2 などが付加されたものと考えられる。

5.2 ガス質と温泉水の水質

5.2.1 CO_2 系ガスと温泉水

CO_2 系ガスを伴う温泉水の水質でガス質との対応が密接なものは、第6図に示す陰イオン組成図である。この図は温泉水の陰イオン組成を Cl^- 、 SO_4^{2-} および Alkalinity (M. アルカリ度+P. アルカリ度) の主要3成分を当量百分率で三角座標にプロットしたものである。

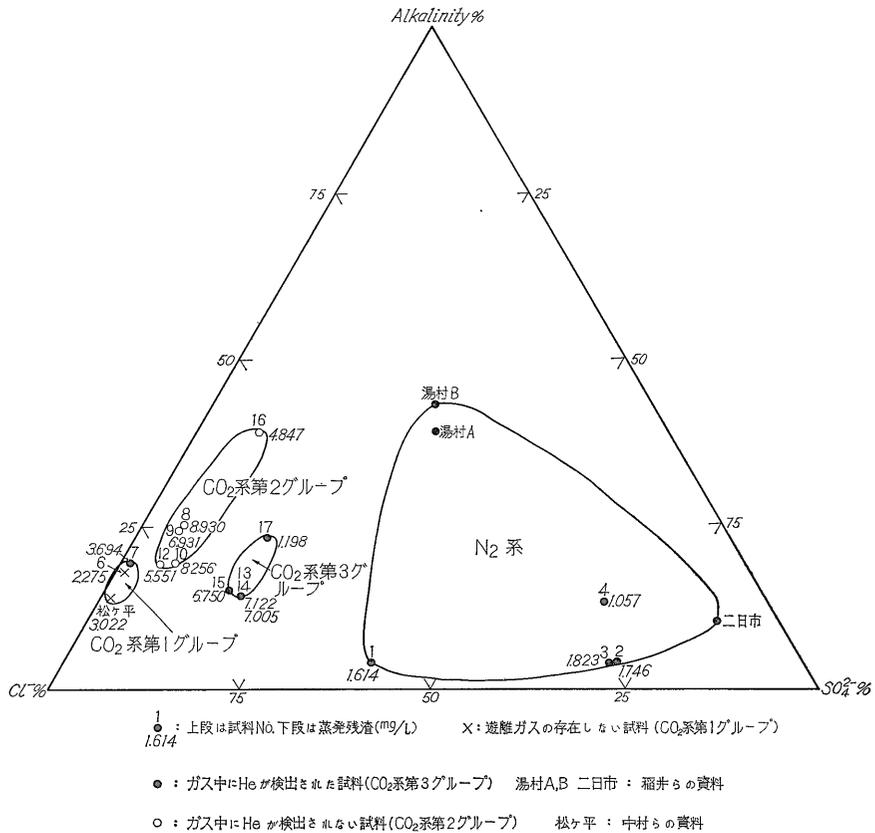
この図の上で CO_2 系ガスを伴う温泉水の占める位置は、全体として SO_4^{2-} の占める割合がきわめて低い組成であるが、それらの温泉水はさらに3種類のグループにわけられる。第1のグループは SO_4^{2-} の占める割合の最も低い温泉水で、その例には志学、久部および松ヶ平の3温泉が含まれ、温泉には遊離ガスが存在しない例が多い。第2のグループは第1グループについて SO_4^{2-} の占める割合の低い温泉水で、その例には千原湯谷、湯抱、池田、小屋原および福光の5温泉が含まれ、温泉には遊離ガスは存在するが、そのガスに含まれる He は検出限度以下である。第3のグループは CO_2 系ガスを伴う温泉水では SO_4^{2-} の占める割合の最も高い組成の温泉水で、その例には温泉津および小浜の温泉が含まれ、温泉には遊離ガスが存在し、そのガスには He が検出される。

さらに、第6図に示される温泉水の蒸発残渣含有量および Alkalinity 含有率などから、多量の地表水と CO_2 系ガスの供給が、温泉水および遊離ガスの組成に大きな影響を与えていることを示している。

5.2.2 N_2 系ガスと温泉水

N_2 系ガスに伴う温泉水の水質で特徴のある成分は、陽イオン中に占める Ca^{2+} の含有量がきわめて高く、 Mg^{2+} の含有量がきわめて低いことである。その結果、例外的な数値を除いた CO_2 系ガスに伴う温泉水の Ca^{2+}/Mg^{2+} の平均値が 3.6 になるのに対して、 N_2 系ガスに伴う温泉水の Ca^{2+}/Mg^{2+} の平均値は 58 になる。

地層中に長くたくわえられた地下水の一般的な傾向は、各種の溶存イオンの中に含有量の変化がおこるとされているが、地下水中の Ca^{2+} の増加や Mg^{2+} の減少な



第6図 温泉水陰イオン組成図

どもその例である。さらに地下水が遊離ガスと共存する場合には、そのガス組成から求めた N_2/Ar が大きな値になったり、ガス中に He が検出されたりするなどの傾向が知られている。これらの傾向を今回の調査例に適用すれば、ガス組成の N_2/Ar 以外では良く一致している。

陰イオン組成図中に占める N_2 系ガスを伴う温泉水の位置は、 CO_2 系ガスのそれに較べて SO_4^{2-} に富む組成である。さらに、湯村温泉などの結果も含めて考えれば、Alkalinity の組成が占める割合の高い温泉水に伴うガスは、そのガス中の CO_2 含有率が高い傾向である(第6図参照)。

6. 結 言

調査地域内の温泉は2~3の例をのぞいて遊離ガスが存在し、そのガスは0.000~0.054%のHeを含み、調査した15試料中の5試料にはHeが検出されない。さらに、 CO_2 系ガスは0.000~0.012%のHeを含み、三瓶火山に直接関連する温泉のガスにはHeが検出限度以下

のものが多い。 N_2 系ガスは0.040~0.054%のHeを含むが、産ガス量は最高で3m³/dayに過ぎない。

Heを検出限度以上含む遊離ガスの N_2/He は1,610~4,360で、例外的な値をのぞけば、 CO_2 系ガスと N_2 系ガスとの間に大きな差は認められない。さらに、兵庫県湯村温泉および鳥取県三朝温泉などのガスも含めて、その大部分のHeは山陰型花崗岩類に由来するものと考えられる。

遊離ガスの N_2/Ar は38~156で、156および103の値を示す温泉津温泉震湯と湯迫温泉の2例を除けば、その値は75以下である。さらに、 N_2/Ar が42以下のガスにはHeが検出されない。

N_2 系ガスを伴う温泉水は Ca^{2+}/Mg^{2+} がきわめて大きく、 CO_2 系に較べて地表水の影響が小さい。したがって、それらのガスにはHeの含有量が高い傾向である。しかし、 N_2 系ガスの産量は CO_2 系ガスよりも小さいので、ガス質、ガス量およびガスの産状などを総合してみると、当地域内には、経済的にみた場合のヘリウムガス

鉱床はおそらく存在しないものと推定される。

(昭和43年4月稿)

文 献

- 稲井信雄・宮村学・牧真一 (1967) : 兵庫県北部のヘリウム資源について, 地質調査所月報, vol. 18, no. 4, p. 49~56
- 牧真一・矢崎清貴・比留川貴・米谷宏 (1966) : 山形県下のヘリウム資源について, 地質調査所月報, vol. 17, no. 11, p. 23~43
- 三浦清 (1963) : 山陰中部における後期白堊紀~古第三紀の火成岩類に関する地質学的岩石学的研究 (I) 火成活動史, 岩石鉱物鉱床学会誌, vol. 50, no. 2, p. 66~76
- 本島公司・柴田賢・米谷宏・中井信之 (1966) : 古期岩層中のメタンガスについて, 地質調査所月報, vol. 13, no. 9, p. 1~9
- 永田松三・伊藤司郎 (1967) : 松代地震地域における地化学探査, 防災科学技術総合研究速報, no. 5, p. 29~35
- 中村久由 (1962) : 本邦諸温泉の地質学的研究, 地質調査所報告, no. 192, p. 80~82
- 岡林弘之・佐藤一夫・木村俊博・菊地幸子 (1962) : 島根県に湧出する温泉の化学的研究, 島根県衛生研究所業績報告, no. 1
- 島根県 (1963) : 20万分の1 島根県地質図同説明書
- 杉山隆二 (1965) : 山陰の温泉の地質構造規制について, 岡山大学温泉研究所報告, no. 35, p. 1~6
- 高橋清・伊藤司郎・前田憲二郎 (1966) : 箱根大涌谷の噴気ガスの特性, 防災科学技術総合研究報告, no. 8, p. 13~19
- 山口文之助・嘉納吉彦 (1926) : 本邦産天然瓦斯中のヘリウムおよびその他の成分の含量について (第四報), 日本化学会誌, vol. 47, p. 452~454