

## 山形県下のヘリウム資源について

牧 真一\* 矢崎 清貫\*\* 比留川 貴\* 米谷 宏\*

## Exploration for Helium Resources in Yamagata Prefecture, Japan

By

Shin'ichi MAKI, Kiyotsura YAZAKI, Takashi HIRUKAWA  
& Hiroshi YONETANI

## Abstract

Geochemical exploration for helium resources has been carried out in Yamagata prefecture. The surveyed basins are Shinjō, Yamagata and Okitama, and are located from north to south.

Ground water and natural gases were collected and chemically analysed 60 points of seepages and wells.

According to the chemical compositions, natural gases can be divided into the following five types, and the average concentrations of helium listed below.

type of gases	number of samples	average contents of helium(%)
N <sub>2</sub> type	15	0.050
N <sub>2</sub> -CH <sub>4</sub> type	16	0.012
CH <sub>4</sub> type	14	0.006
CO <sub>2</sub> -CH <sub>4</sub> type	1	0.003
CO <sub>2</sub> type	6	0.000—0.001

Close correlations were noticed between helium concentration, and distribution and type of basement rocks, geologic structure of the basins as well as volcanic activities.

It is conjectured that the higher concentration of helium (more than 0.01) is derived from the contamination of the nitrogen-type natural gas containing 0.02—0.57% helium which was originated from basement rocks.

## 要 旨

日本の天然ガス中のヘリウムについては、大正10年(1921)山田延男・山口文之助・嘉納吉彦・上床国夫によつて研究調査が行なわれた。山田延男(1923)は、山形県の西村山郡寒河江村の廃井からのガス中にヘリウム0.202%、同郡平塩村の自噴井からのガス中にヘリウム0.037%が含有されていることを報告している。

本調査は、山形県下の内陸盆地である置賜・山形・新庄の各堆積盆地ならびにその周辺に産出する天然ガス(可燃性天然ガスおよび不燃性天然ガスの温泉ガス・鉱

泉ガス)中のヘリウム資源について、行なわれた。

この地域の天然ガスは、組成図(第1図)によつて次の5種類に大別できる。(1)CH<sub>4</sub>系ガス、(2)N<sub>2</sub>系ガス、(3)CO<sub>2</sub>系ガス、(4)N<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>系ガス、(5)CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>系ガス。

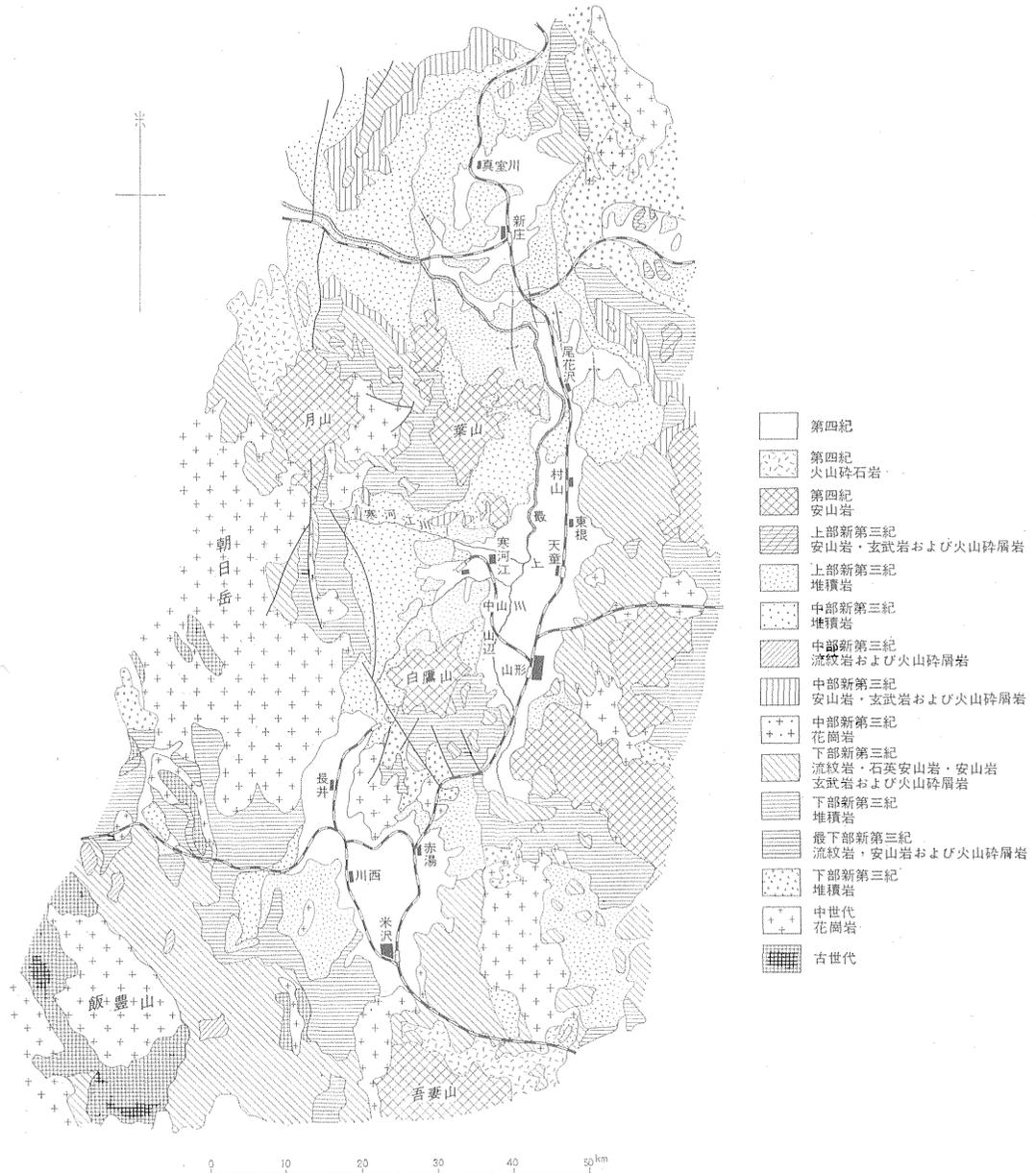
調査地域内の温泉・鉱泉の各ガスの大部分は、N<sub>2</sub>系およびCO<sub>2</sub>系のガスであるが、一部CH<sub>4</sub>ガスを混入したN<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>系およびCO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>系のガスがある。

各ガス系の中で、ヘリウムをもつとも多く含有するガス系はN<sub>2</sub>系ガスで、その含有量は0.127~0.001%である。次はN<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>系ガスで0.042~0.001%である。CH<sub>4</sub>系ガスは0.024~0.000%で、CO<sub>2</sub>系ガスは0.001

\* 技術部

\*\* 燃料部





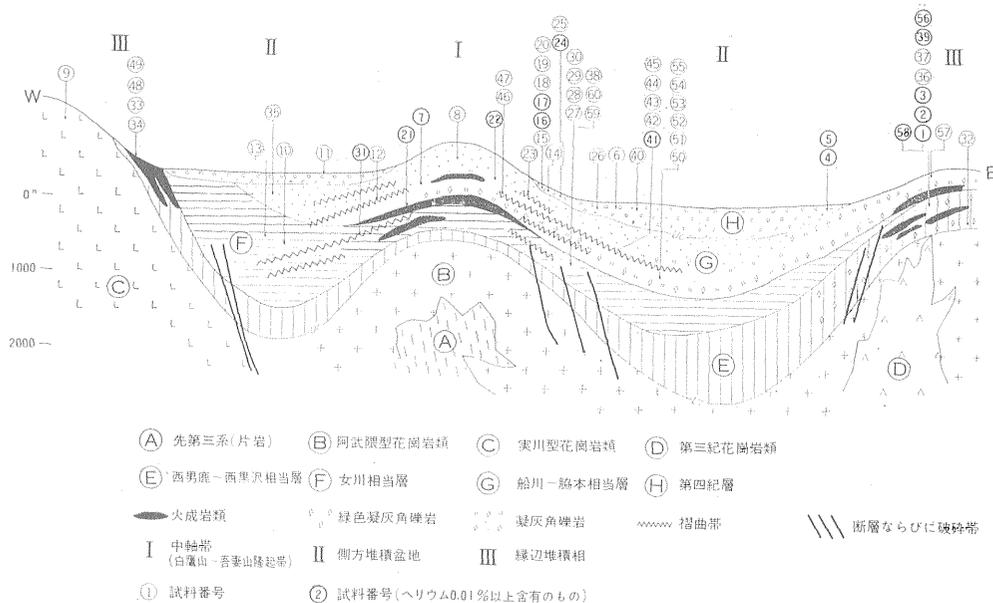
第2図 新庄・山形・置賜各盆地周辺地質図

この結果から、 $N_2$ 系ガス→ $N_2-CH_4$ 系ガス→ $CH_4$ 系ガス→ $CO_2-CH_4$ 系ガス→ $CO_2$ 系ガスの順にヘリウム含有量は少なくなり、 $CO_2$ 系ガスでは0.001%以下でほとんど認められない。(第1図の系別区画の右廻りの順)

地球上のヘリウムは、ウラン、トリウムの崩壊によって生成されると考えられているので、新しい時代(第三紀以降)の $CH_4$ 系天然ガスとはその生成の場を異にし

ている。すなわち第三紀層中のウラン、トリウムから崩壊によって生成されるヘリウム量は、杉崎隆一ら(1963)によるときわめて微量であつて問題になる量ではない。ヘリウムの存在が認められる場合には、ウラン、トリウムの含有量の比較的多い、しかも地質時代の古い花崗岩および古期岩層にその生成の場を求めなければならない。

調査地域のうちで、比較的ヘリウムの含有量の多いガ



第3図 模式地質断面図と坑井分布の関係

スが分布する地域は、白鷹山-吾妻山隆起帯と奥羽背梁山地西縁部である。

このことは、第2図および第3図でみるように基盤岩に阿武隈型花崗岩が分布し、しかも基盤岩が浅所に存在するところに多い。これらの地域は、また断層、火山砕石岩の発達する所であつて、これらの地質条件はヘリウムを含むガスが基盤岩から上位のガス貯留層あるいは地表に逸出しやすいことが考えられる。

基盤岩から逸出するヘリウムを含むガスは、主としてヘリウム、アルゴンを含有する  $N_2$  系ガスと考えられる。したがつて窒素ヘリウム比 ( $N_2/He$ ) から、基盤岩からどのような濃度のヘリウム含有量をもつたガスが逸出してきたかを巨視的に知ることができる。(実際には大気の混入および有機物の分解による窒素があり、とくに  $CH_4$  系ガスではこの割合が大きいと考えられる。)

各天然ガスの  $N_2/He$  比は、曲川の露頭ガス(第1表測点番号41)が177、中山町の天然ガス(第1表測点番号24)が393、楯岡の天然ガス(第1表測点番号4)が490であつて、これらのガスはすべて  $CH_4$  系ガスで、ヘリウムの含有量の多い  $N_2$  系ガスの  $N_2/He$  比は761以上の値である。このことは  $N_2$  系よりも  $CH_4$  系ガスの方が基盤岩から高濃度のヘリウムを含むガスが逸出したことになる。この問題は後述の結果の考察の項で検討を行なう。またこの問題は、ヘリウムの調査研究のうえに重要なことであると同時に、この解明にはヘリウムの立体的分布を調べる必要がある。

本調査に協力された山形県商工労働部鉱業課および衛生部薬務課の関係者、とくに調査に参加協力された玉ノ井正俊技師・佐藤康次郎技師、温泉調査に資料ならびに便宜をはかつていただいた東海林辰雄技師および分析室を借用させていただいた山形県鉱業研究所の方々に厚く感謝する。

## 2. 地質

山形県下の置賜・山形・新庄の各堆積盆地は、いわゆる内陸盆地と呼ばれ、日本海に面した庄内盆地とは、多少異なつた地形、地質学的な要因がうかがわれる。すなわち、内陸堆積盆地の凹地帯的構造配列、火砕岩類の複雑さ、あるいは、西男鹿層群相当層~台島・西黒沢相当層の厚いこと、(部分的には2,000m内外)各堆積盆がほぼ現地形の底地を最大層厚部とし東西・南北に基盤面が上つていることなどである。すなわち、置賜・山形・新庄の各堆積盆はおのおの一つの単元の堆積盆地を形成している。これらの堆積盆地の単元は、E-W 15~20 km, N-S 20~30km 内外を示している。

### 2.1 先第三紀層(基盤岩類)

先第三紀層は、小区域に分散し朝日岳・飯豊山・吾妻山・蔵王山らの本県の代表的山地に多くの分布がみられる。箱ノ口層および相当層は調査地域南部の米沢市、小国町に小分布がみられる。岩相は、粘板岩・硬砂岩・黒雲母片岩・角閃岩等の累層で、一部では、石灰岩を介在している。本層および相当層の時代は未詳であるが古

第1表 山形県下ヘリウム資源調査地化学調査分析表

測点番号	名称	所在地	測点	坑井深度 (m)	水温 (°C)	ガス量 (m³/day)	水量 (kl/day)	pH	地下水 (mg/l)								天然ガス (vol. %)						摘要		
									Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	He	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>		CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> /He
1	天童温泉	東村山郡津山町	協同組合 No. 1	144	66.7	3.5~5	247B	8.2	138	11.7	7.2	921	0.44	—	—	192	1.68	0.036	0.011	4.22	95.42	0.33	0.09	2650	
2	天童温泉	〃	〃 No. 2	120	67.8	〃	〃	8.2	152	11.7	7.2	991	0.40	—	—	220	1.75	0.023	tr	0.83	98.11	0.84	0.20	4250	
3	東根温泉	北村山郡東根町	協同組合井	120	65.0	58	260B	7.1	398	363	0.0	165	17.50	—	—	40.3	2.25	0.037	—	0.18	27.60	67.35	5.04	747	
4	楯岡天然ガス	北村山郡楯岡町	斉藤肉店	110	21.0	2~3	50自	6.5	431	587	0.0	0.0	22.1	—	—	51.7	26.4	0.024	0.007	0.20	11.78	80.16	7.83	490	
5	村山の天然ガス	村山市河島	工藤一郎	90	22.6	2~3	80自	6.7	365	392	0.0	0.0	16.5	—	—	39.7	16.5	0.016	0.000	0.04	36.40	57.59	5.95	2270	
6	河北の温泉	西村山郡河北町	谷地	219	33.0	0	338B	7.0	34	343	0.0	78	3.1	—	—	41.7	14.4							( ) 空気補正值	
7	左沢温泉	西村山郡左沢町	左沢温泉源泉	180	28.0	0N~N	104B	7.0	138	97.8	0.0	15.0	0.0	—	—	3.0	3.6	(0.070)	0.000	(0.00)	(61.76)	(38.10)	(0.07)		
8	岡部落露頭ガス	西村山郡中村町	岡部落沢の中	—	15.3	0.0N~0.N	—	8.2	1420	407	0.0	1.8	—	—	12.3	3.02	0.001	0.001	0.04	8.02	91.48	0.46	8020		水質は2つの露頭 のものを併記
9	朝日鉱泉	西村山郡西五百川村	朝日鉱泉源泉	露頭	20.0	N	—	5.4	1280	2263	0.0	121	—	—	588	73.2	0.000	tr	0.07	0.57	99.09	—			
10	石須部背斜ガス	西村山郡石須部	川端	〃	13.9	0.N~N	—	5.2	69.0	217	0.0	12.0	0.28	105	855	47.7	6.12	0.003	0.068	0.04	4.42	0.27	99.09		—
11	朝日町溜池	西村山郡朝日町	西部出張所	〃	—	0.0N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.000	0.000	0.97	8.56	90.15	5.38		1470
12	粧坂露頭ガス	西村山郡大谷粧坂	橋の下の	〃	—	0.0N~0.N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.001	0.000	0.67	24.42	86.19	4.28		—
13	石倉背斜ガス	西村山郡石倉	川の	〃	—	〃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.000	0.000	0.90	15.22	74.66	0.25		24470
14	寒河江の天然ガス	寒河江市	末広旅館	65	31.0	2~3	268B	6.6	16	392	0.0	0.0	17.3	—	—	27.8	19.5	0.001	0.000	0.14	62.39	51.50	2.82		—
15	寒河江温泉	〃	組合共同井	152	42.2	2.9	1820B	7.2	47.2	268	0.0	1.5	0.17	7.32	98.8	12.1	6.86								62390
16	〃	〃	菊の屋	55	32.8	0.N~N	356B	6.7	309	196	0.0	1.4	8.15	17.4	168	35.0	23.8	0.012	0.000	0.28	73.58	34.22	4.97	6035	
17	〃	〃	佐藤織維K	180	43.3	0.N~N	1586B	7.4	437	332	0.0	7.6	0.17	10.2	352	29.8	9.29	(0.001)	(0.001)	(19.42)	(77.80)	25.00	1.13	6130	
18	〃	〃	佐内旅館	180	40.5	0.N	325B	7.4	684	245	0.0	15.3	5.23	8.23	450	53.6	15.0	0.001	0.001	0.87	66.19	(0.68)	(2.10)	—	
19	〃	〃	八幡酒店	—	—	0.N~N	—	6.7	88.9	201	0.0	1.6	8.80	9.50	89.6	11.9	8.57							66190	
20	〃	〃	沢の湯	掘止メ404 ストレーナ 337~355 380~395	38.2	〃	221B	7.1	41.0	228	0.0	0.86	7.19	5.59	77.5	7.35	8.00	0.001	0.000	4.39	62.58	28.81	4.22	62580	
21	上野温泉	寒河江市白石町	上野温泉源泉	400	37.6	1.3	41.5自 水位下げ ると自噴 0	7.5	3230	127	0.0	686	1.63	49.1	1780	557	7.04	0.112	0.000	0.04	98.94	0.49	0.42	883	
22	熊野鉱泉	寒河江市平塩	熊野鉱泉源泉	—	—	0.0N	air lift	6.7	12450	68.5	0.0	154	15.4	—	—	1540	850	0.127	0.000	0.36	96.69	2.28	0.54	761	
23	山辺町の天然ガス	東村山郡山辺町	オリエントカーペット	—	16.6	N	—	6.6	16	—	0.0	0.0	18.7	—	—	49.7	21.2	0.000	0.000	28.90	64.38	6.60	0.62	—	
24	中山町の天然ガス	東村山郡中山町	柏倉惣衛門	126	—	〃	—	—	(12800)	(231)	—	—	(34.)	—	—	(2435)	(216)	0.039	—	0.42	15.24	84.03	0.37	393	
25	寒河江の天然ガス	寒河江市本橋	寒河江天然S-1号	—	—	—	—	6.6	20.5	259	0.0	0.6	7.8	—	—	19.9	14.3	0.000	0.001	0.10	22.23	70.06	7.61	—	
26	本橋の天然ガス	〃	高田栄夫	—	—	—	—	6.5	14.4	486	0.0	0.5	55.5	—	—	39.7	29.3	0.000	0.000	0.10	9.96	83.62	6.32	—	
27	成沢温泉	山形市	飯田温泉源泉	250	44.0	1~2	260自	7.4	12.0	225	0.0	1840	0.0	—	—	75.4	6.64	0.071	—	0.34	98.37	0.76	0.46	1380	
28	上ノ山温泉	南村山郡上ノ山町	協同井	30	59.8	0.0N	390B	7.0	69.1	21.6	0.0	603	0.0	—	—	298	0.21	0.073	tr	(0.00)	3.78	95.62	(0.42)	(0.22)	
29	葉山温泉	南村山郡西郷村	源泉	—	62.0	0.N	286B	8.2	639	19.6	5.4	648	tr	—	—	253	0.21	0.090	0.000	0.40	99.11	0.40	0.10	1110	
30	赤湯温泉	東置賜郡赤湯町	組合井	385	59.5	0.N~N	520B	7.5	1380	78.3	0.0	214	0.70	16.5	740	238	0.52	0.043	0.460	0.30	97.12	1.63	0.48	2260	
31	小野川温泉	南置賜郡三沢村	小野川ホテル	1~2	62.0	0.0N~0.N	地表亀裂 自噴	6.8	2990	117	0.0	69.8	1.95	112	1410	454	5.33	0.039	0.000	0.15	81.37	13.01	5.42	2080	
32	白布高湯温泉	南置賜郡南原村	3号井	—	59.8	0.N	1010自	6.9	12.3	106	0.0	737	0.10	5.85	64.2	279	2.23	0.001	0.002	0.11	93.91	0.80	5.18	93900	
33	湯ノ沢の露頭ガス	〃 広河原	沢の中	露頭	26.0	N	—	6.0	402	978	0.0	14.4	0.03	29.5	334	174	38.2	0.000	0.000	0.65	2.65	0.21	96.49	—	
34	新飯豊温泉	西置賜郡南小国村	泡の湯	30	37.6	26	—	6.4	3860	1584	0.0	1769	0.12	253	2770	735	94.4	0.001	0.000	0.10	0.86	0.08	98.96	860	
35	大川の天然ガス	置賜郡川西町	ガス井廃坑	650	22.9	26	1.4自	7.0	54.7	298	0.0	1.5	—	—	—	18.1	10.8	0.000	0.000	0.15	34.19	63.39	2.27	—	
36	五十沢露頭ガス	村山市 五十沢	田の中	露頭	11.5	0.0N	—	8.3	13.7	118	21.2	7.0	—	—	—	0.99	0.33	0.000	0.000	0.17	53.53	45.80	0.50	—	
37	湯舟沢温泉	村山市 上生田	源泉	露頭	20.0	0.0N~0.N	—	8.4	49.5	47.7	55.7	6.8	0.18	0.43	77.4	1.43	0.05	tr	0.016	0.06	19.20	80.65	0.08	—	
38	山ノ内露頭ガス	村山市 山ノ内	下小屋	露頭	14.7	0.0N	—	9.2	299	66.5	62.5	—	—	—	—	1.59	0.70	0.001	0.001	0.50	27.16	72.22	0.12	27160	
39	寺内の露頭ガス	尾花沢市 寺内	溜り水	〃	—	0.0N~0.N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.016	0.000	0.02	49.94	49.96	0.07	3130	
40	観音寺の露頭ガス	最上郡 鮭川村	沢の中	〃	—	〃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.000	0.000	32.29	65.08	0.55	2.08	—	
41	曲川の露頭ガス	〃	田の中	〃	—	0.N~N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.013	0.060	0.38	2.30	84.74	12.51	177	
42	羽根沢温泉	〃	源泉	572	47.0	500~1000	376	8.3	885	1605	92.6	6.6	5.75	4.44	1240	3.97	2.26	0.001	0.008	0.11	1.91	96.35	1.63	1910	
43	羽根沢温泉露頭ガス	〃	温泉裏の露頭	露頭	—	0.N~N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.001	0.001	0.31	2.90	95.82	0.97	2900	
44	田ノ沢露頭ガス	〃	田の中	〃	—	〃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.001	tr	1.21	5.14	92.33	1.32	5140	
45	新庄温泉露頭ガス	最上郡 大蔵村	田の中、沢の中	〃	—	N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.001	tr	0.36	1.99	96.60	1.05	1990	
46	南山の天然ガス	最上郡 南山村	塩山腹	〃	—	〃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.003	0.002	2.24	9.55	54.39	33.82	3190	
47	南山の塩鉱泉	最上郡 〃	山の下沼	〃	—	〃	溜り水	6.7	4030	5694	0.0	11.8	0.17	25.9	4620	63.6	26.6	0.000	0.000	0.06	0.56	1.77	97.61	—	
48	肘折温泉(1)	最上郡 大蔵村	六助源泉	20.0	57.6	0.N~N	54.4自	—	947	722	—	200	—	—	—	—	—	tr	0.13	5.40	0.51	93.96	—	—	
49	〃(2)	最上郡 〃	大友源泉	22.3	70.6	〃	36.4自	6.5	1160	1080	0.0	235	0.60	74.5	1040	100	31.1	0.000	0.001	0.20	1.00	0.05	98.75	—	
50	野口の天然ガス	最上郡 戸沢村	野口石油廃坑	1101.6	41.8	〃	油	7.8	2020	2524	0.0	1.2	(9.0)	—	—	10.7	2.40	0.001	tr	0.10	0.86	96.03	3.01	860	

生層～ジュラ系に相当するものと考えられる。また本層および相当層は、後述する時代の異なつた花崗岩類の貫入あるいは侵入をうけている。一部ではホルンフェルスがみられる。

### 2.1.1 阿武隈型花崗岩類

主として本調査地域東方山地すなわち背梁山<sup>せりやま</sup>地ならびに吉野鉾山<sup>よしのぼり</sup>付近に露出するものを従来から阿武隈とほぼ同時代の花崗岩類とし、後述する実川型のものとは区別して扱われている。

岩相は、中粒～粗粒であつて実川型花崗岩類に比較してかなり風化が進んでいる。また本岩は優白岩類の小岩脈の貫入がまんべんなくみられる。また一部では、シストシティーが発達しており、その方向は、ほぼ東西を示し、南へ60～80°の傾斜がみられる。

### 2.1.2 実川型花崗岩類

本調査地域西方山地すなわち朝日岳<sup>あさひだけ</sup>・飯豊山塊<sup>いひほやま</sup>を中心として比較的広く分布している。岩相は、中粒～細粒を示す花崗閃緑岩が大部分でゼノリスが多くみられる。また一部では、石英粗面岩・石英斑岩の貫入をうけ、これらの岩体の一部では花崗岩状を呈する所もある。したがつて場所によつては、新第三紀層中に侵入する花崗岩類岩体の小分布が予想される。

## 2.2 新第三紀層

新第三紀層は、前述した基盤岩類を不整合関係に覆い、調査地域に広く分布している。これらの新第三紀層には、各堆積盆地ごとに種々の地層名がつけられ様相も異なつている。しかし今回のような広域調査では各堆積盆地ごとに各地層の詳細な説明を必要としないので、普通一般に油田地向斜内の地層名の男鹿半島標準層序名を踏襲し、その相当層として扱うことにする。

### 2.2.1 西男鹿層群相当層

本調査地域ではもつとも下位の堆積層で、及位層<sup>のぞき</sup>・北小国層・八谷層・竜ヶ岳層・不動沢層・虻池流紋岩などがこれに相当する。

これらの各地層は、各堆積盆地周辺部に分布するが、とくに北部の及位地域ならびに北小国～南小国の南部地域に多くみられる。岩相は、各分布地域ごとに異なるが共通のものとしては、変朽安山岩・同質凝灰角礫岩が発達し、多くの場合火砕岩層を主とする。しかし本相当層の厚く発達する地域では、砂岩・礫岩・泥岩などの互層がよく発達しており、もつとも厚い所では1,000m内外を示している。また一部では前述した変朽安山岩・同質凝灰角礫岩～流紋岩のみによつて代表される地域もある。

### 2.2.2 台島～西黒沢相当層

本調査地域では、台島相当層と西黒沢相当層との境が

明確でないので一括した。

金山層・青沢層・銀山層・大井沢層・小国層・明沢橋層・眼鏡橋層などがこれに相当する。

岩相は、安山岩質緑色凝灰岩・同質角礫凝灰岩・流紋岩・安山岩・玄武岩・砂岩・泥岩から構成されている。これらの岩相は、分布地域によつてかなり異なるが、一般的にみて、本調査地域東方すなわち背梁山<sup>せりやま</sup>地において火砕岩相が優勢で、西部～南部では、それに比較して火砕岩相が少なく、むしろ浅海性堆積相を示している。本相当層は、多くの場合植物化石・動物化石を産する。また本相当層と下位層との関係は、不整合関係を示す場合が多い。

### 2.2.3 女川相当層

草薙層・水沢層・間瀬層・沼沢層の一部などが大きな単位で女川相当層である。

岩相は、いわゆる硬質頁岩で代表され、薄層理面が顕著に発達している。全般として石灰団塊・集塊岩・斜長流紋岩・同質凝灰岩・安山岩などの薄層を介在する。本相当層は、各堆積盆地を通じて岩相は一様で、前述の台島～西黒沢相当層と異なり、各堆積盆地および地域的な岩相の差異は著しくない。しかし調査地域西方で泥岩が厚く発達するのに比較して東方では火砕岩類が厚く発達している。本相は、油田地向斜内堆積相のなかではもつとも深い様相を示していることは、従来から常に認められているが本調査地各盆地を通じてもほぼ同一の結果が得られている。

### 2.2.4 船川相当層

古口層・間沢層・湯小屋層などが本層に相当する地層である。

岩相は、各堆積盆地によつて異なり、新庄堆積盆地では黒色泥岩と呼ばれる無層理塊状の暗灰色～灰色の泥岩を主体とする。山形堆積盆地東部では、凝灰質砂岩～凝灰質泥岩を主体とし、西部では、凝灰質泥岩を主体とし一部に暗灰色のいわゆる黒色泥岩の薄層を介在している。また置賜盆地西部では、下位の女川相当層とほぼ同様な、いわゆる硬質頁岩状を呈し、東方背梁山<sup>せりやま</sup>地では、本層に相当するものが淡緑色凝灰角礫岩となつている。また一方本層相当層と下位の女川相当層との境には、輝石安山岩・同質集塊岩～同質凝灰角礫岩が発達し、秋田標準層序の下部七座凝灰岩に相当するものと考えられる。この輝石安山岩および同質集塊岩の輝石は、あまり変質を受けておらず、下位の安山岩とはかなり明白に区別される。上述のように本層相当層は、小単位で岩相変化が著しく、かつ層厚の変化も著しいことは女川末期にみられる造構造運動の一端を示しているものであり、か

つ下部七座凝灰岩に相当する時階の火山運動とも結びつくものと考えられる。

### 2.2.5 北浦相当層

野口層・中渡層・橋上層・万沢層・大谷層・宇津峠層・高峯層などが本層相当層である。

岩相は、各堆積盆地とも大きな単元で2つに分けられる。下半部は泥岩と凝灰質砂岩の互層を呈し、上半部は、灰色シルト岩～砂質泥岩からなっている。本相当層上部には、白色凝灰岩の薄層を挟むことが特色で各堆積盆地単位で良い鍵層となつている。また本層の上部には場所により亜炭層を介在する。全層を通じ下部に多数の貝化石を産し、浅近海性～陸成の堆積相を示す。本相当層は全般的にみて前述した船川相当層に比較して岩相は均一性を示し、かつ火砕岩の発達も少ない。

### 2.2.6 脇本相当層

銚川層・八向層・本合海層・柴倉山層・稲沢山層・左沢層・中山層・平の子層・中ノ原層などが本相当層である。

岩相は、油田地向斜の末期的な堆積相を示し、各堆積盆地によりかなり岩相が異なり、一部では不整合関係を示す。主として礫岩・粗粒砂岩を示し亜炭層を介在する。大局的にみて新庄堆積盆地・置賜堆積盆地に厚く、しかも部分的に泥岩を挟む。比較的薄い山形堆積盆地では、礫岩～砂岩を示す。また本相当層は同一堆積盆地内の岩相の変化が著しく、一部では海性の化石を産し、同一の層準と考えられる別な場所では植物化石を多く産する。

### 2.3 第四紀層

本調査地域の比較的低位には、厚層20～500m内外の河成～湖沼性堆積層が発達している。岩相は、礫・砂・粘土から構成され一部では草炭を介在する。

## 3. 調査結果

### 3.1 調査法

ヘリウムは概論で述べたように基盤岩から逸出したガスであると考えられるので、調査の対象は、基盤岩と直接・間接に関係のある温泉ガス・鉱泉ガスと、基盤岩から逸出したガスが混合賦存されていると考えられる第三紀のCH<sub>4</sub>系天然ガスに重点を置いた。

調査法は、上記のガスの産出する地域に対する鉱床調査と地化学調査の併用である。すなわち鉱床調査では、調査地点の地質、産出ガスと基盤岩との関係、産出ガスとガス鉱床との関係、ガス鉱床の規模について調査を行なった。地化学調査では、測点におけるガスと地下水の産状・産量および組成を調べ、ヘリウムの分布とヘリウ

ムの産出機構を地球化学的に調べた。

本調査はとくに現地実験室にガスクロマトグラフ2台を設置し、採取したガスのヘリウム・水素・酸素・窒素・メタン・炭酸ガスを現地分析し、調査地域の選定および異常値の確認などに役立てた。地下水については、ガス鉱床の生成条件を考える場合に重要な資料となるので、実験室において主要成分を分析した。(第1表)また異常値の解明のため一部のガスについて窒素アルゴン比(N<sub>2</sub>/Ar)を質量分析計によつて分析を行なった。(第2表)

第2表 山形県下の天然ガス(主としてN<sub>2</sub>系ガス)中の窒素アルゴン比(N<sub>2</sub>/Ar)および窒素酸素比(N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>)

番号	採取場所	N <sub>2</sub> /Ar	N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	He (vol.%)
17	寒河江温泉(佐藤)	74.8	432	0.012
21	上野温泉	170.	208	0.112
30	赤湯温泉	87.2	22.4	0.043
31	小野川温泉	108.	757	0.039
32	白布高湯温泉3号井	62.8	154	0.001
57	赤倉温泉	64.4	316	0.001

\* 分析時に空気混入の恐れあり(参考値)分析:柴田賢・後藤吉之

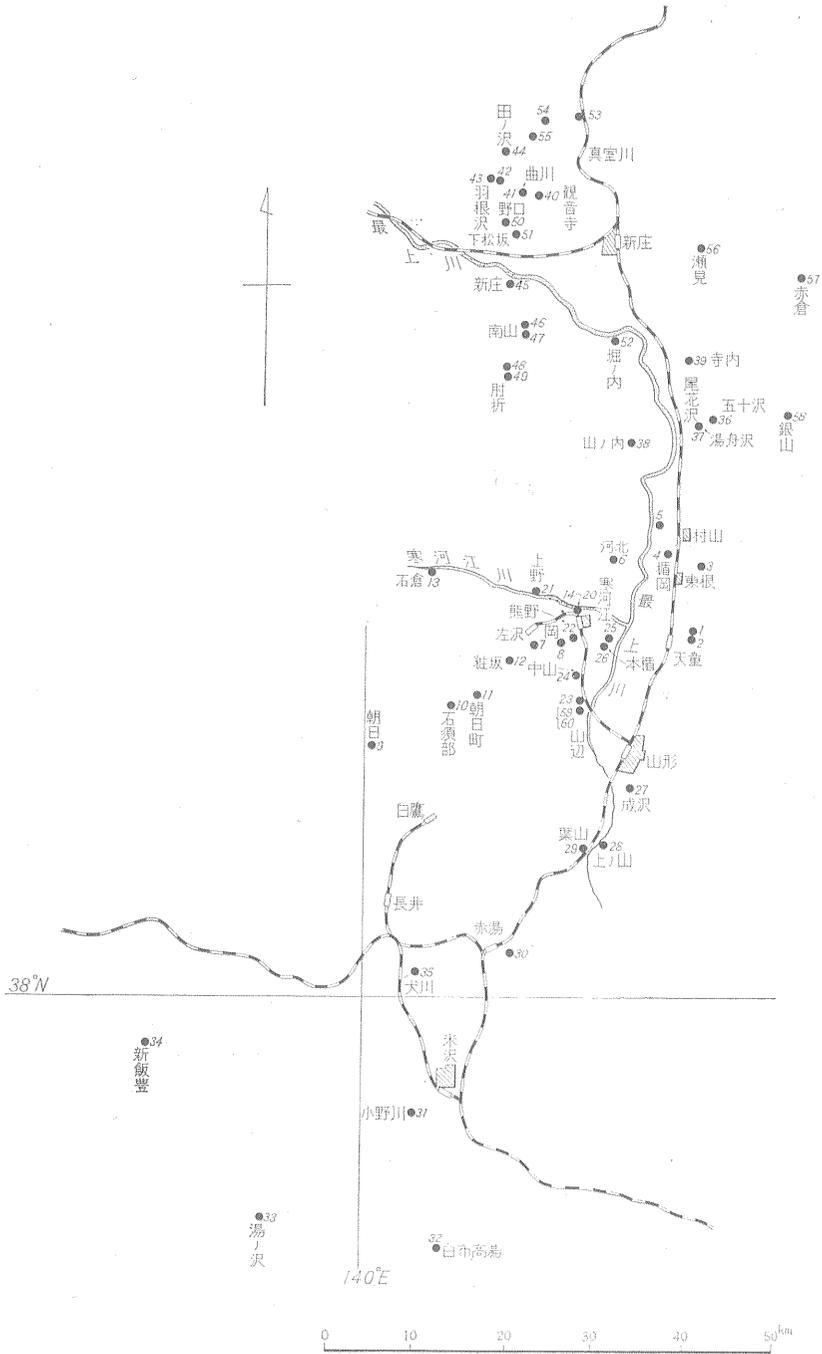
調査試料のうち、山形盆地縁辺の試料の大部分は昭和38年3月牧真一が予察調査を行なった際採取したもので、その他は昭和38年11月の本調査で採取したものである。(分析表測点番号59, 60の試料は帝国石油株式会社採取試料)

調査の分担は下記のとおりである。

報告書作製と総括	牧 真一
地質調査	矢崎 清貫
鉱床調査	矢崎 清貫
地化学調査	牧 真一
〃	比留川 貴
〃	米谷 宏
ガス分析	米谷 宏
地下水分析	比留川 貴
〃	牧 真一
質量分析	柴田 賢
〃	後藤 吉之

### 3.2 試料採取測点の地質と分布

各試料採取測点の位置を第4図に示した。測点分布は山形県内陸盆地のほぼ全地域にわたっている。測点数は60で、これらの測点の各盆地別分布は、新庄盆地西方の油田地帯のもの23測点、山形盆地の白鷹山一吾妻山隆起



第4図 測点位置図 (数字は測点番号第1表に対応)

帯に属するもの31測点, 置賜盆地縁辺部の下位層のもの6測点である。

これらの測点の地質は, 現地調査と半沢正四郎ら (19

58) の調査報告を参考資料とした。測点ごとの地質の概要を第3表に示した。

また各試料採取測点の層位別測点数を示すとつぎのと

第3表 測点の地質概要

番号	名称	地質概要
1, 2	天童温泉	台島～西黒沢～女川相当層, 流紋岩～新期安山岩類が緑色凝灰角礫岩へ貫入する。温泉はこれらの活動によるものと考えられている。
3	東根温泉	台島～西黒沢～女川相当層, 天童温泉と同じ, 温泉はガスを多く伴って湧出し, 温泉ガス田中間地帯。
4	楯岡天然ガス	第四紀～第三紀上部。
5	村山の天然ガス	第四紀近くに第三紀の露頭がありガスは第三紀のものと考えられている。
6	河北の温泉	第四紀～第三紀上部。
7	左沢温泉	北浦相当層上部, 温泉は下部の火山活動に原因していると予想される。
8	岡部落露頭ガス	北浦～船川相当層, 背斜構造と断層による。
9	朝日鉱泉	実川型花崗岩類の中の割目から湧出す。
10	石須部背斜のガス	女川相当層, 石須部背斜構造地帯。
11	朝日町溜池	不明, 周辺部北浦相当層, ガスは沼気ガスのおそれあり。
12	粧坂露頭ガス	北浦～船川相当層。
13	石倉背斜ガス	女川相当層の石倉背斜軸部, 寒河江川の川底からのガス。
14	寒河江の天然ガス	第四紀のガス。
15~20	寒河江温泉	組合の温泉第四紀～脇本相当層, 菊の屋第四紀, 佐藤繊維KK, 脇本相当層, 伝内温泉第四紀～脇本相当層, 八幡酒店第四紀層, 沢の湯脇本層, これらの温泉は下部に安山岩の貫入ならびに断層破砕帯が予想され, これらの活動による。
21	上野温泉	船川～女川相当層, 温泉は寒河江温泉と同様に下部の火山活動が原因と思われる。
22	熊野鉱泉	船川～女川相当層, 下部に断層破砕帯が予想される。
23	山辺町の天然ガス	第四紀～第三紀上部。
24	中山町の天然ガス	第四紀～船川相当層。
25, 26	本楯の天然ガス	第四紀層。
27	成沢温泉	女川～台島～西黒沢相当層, 緑色凝灰角礫岩の中に貫入する安山岩。
28	上ノ山温泉	女川相当層, 泥岩, 凝灰岩の中に石英粗面岩が貫入する。
29	葉山温泉	上ノ山温泉と同じ。
30	赤湯温泉	女川～船川相当層, 凝灰岩および石英粗面岩, 近年地下水導入による湯量の増加を行なっている。
31	小野川温泉	女川相当層, 泥岩中に安山岩が貫入。
32	白布高湯温泉	西男鹿相当層と阿武隈型花崗岩類の断層に伴う吾妻火山岩類, 温泉は第四紀の火山活動によるとされている。
33	湯ノ沢露頭ガス	西男鹿相当層, ガスは CO <sub>2</sub> 系ガス。
34	新飯豊温泉	西男鹿相当層, 泉源は石英粗面岩から湧出, ガスは CO <sub>2</sub> 系ガス。
35	犬川の天然ガス	脇本相当層, 深度 600m の試掘井跡, ガス, 地下水とも途中から流出しているおそれあり。
36	五十沢露頭ガス	女川～台島～西黒沢相当層, 五十沢背斜構造地帯。
37	湯舟沢温泉	女川相当層, 桃色の湯花(マンガン化合物)あり, 泉温 20°C で実際は鉱泉。

番 号	名 称	地 質 概 要
38	山ノ内露頭ガス	女川～船川相当層, 富並背斜構造地帯の背部。
39	寺内の露頭ガス	女川相当層。
40	観音寺の露頭ガス	第四紀～脇本相当層, 曲川背斜構造地帯。
41	曲川の露頭ガス	北浦相当層, 曲川背斜構造地帯, 断層あり。
42	羽根沢温泉	北浦相当層, 下部に羽根沢背斜あり, 石油試掘井で深度 648m, CH <sub>4</sub> 系ガス間欠的に噴出す。ガス量は 500~1000m <sup>3</sup> /day。
43	羽根沢温泉裏露頭ガス	羽根沢温泉に同じ。
44	田の沢露頭ガス	船川～北浦相当層, 背斜構造地帯, ガスは CH <sub>4</sub> 系ガス。
45	新庄温泉露頭ガス	船川相当層, 蔵岡背斜構造地帯ガスは CH <sub>4</sub> 系ガス。
46	南山の天然ガス	船川～北浦相当層, 石英安山岩・火砕岩類。ガスは CO <sub>2</sub> -CH <sub>4</sub> 系ガスで山腹の亜炭層からでている。
47	南山の塩鉄泉	地質は 46, 南山の天然ガスと同じ, 山麓の溜水から気泡としてでる。ガスは CO <sub>2</sub> 系ガス。
48, 49	肘折温泉	女川～西黒沢相当層, 石英安山岩質火砕岩類, ガスは CO <sub>2</sub> 系ガス。
50	野口の天然ガス	船川～女川相当層, 野口背斜構造地帯で石油廃坑, 深度 1101.6m。
51	下松坂天然ガス	船川相当層, 野口背斜構造地帯, 野口～上松坂～下松坂一連のガス徴。
52	堀ノ内油田	船川相当層, 富並背斜構造地帯, 内陸油田, ガス試料は集合ガス。
53	真室川の天然ガス(荒所)	北浦相当層, 深度 150m の坑井から採取。
54	〃 (広蔵)	北浦相当層。
55	〃 (矢地)	北浦相当層, 深度 310m 大沢背斜の軸付近現在, ガスと地下水は 1日おきに自噴。
56	瀬見温泉	台島～西黒沢～西男鹿相当層, 変朽安山岩・石英粗面岩。
57	赤倉温泉	台島～西黒沢～西男鹿相当層, 上部は緑色凝灰岩と黒色硬質頁岩, 下部は斜長石石英粗面岩。
58	銀山温泉	台島～西黒沢相当層, 緑色凝灰角礫岩と石英粗面岩。
59, 60	山辺帝石試掘井	女川相当層。

おりとなる。

第四紀層	6 測点
第四紀～脇本相当層	8 測点
脇本相当層	3 測点
脇本～北浦相当層	2 測点
北浦相当層	6 測点
北浦～船川相当層	4 測点
船川相当層	4 測点
船川～女川相当層	5 測点
女川相当層	9 測点
女川～西黒沢～台島相当層	7 測点
西黒沢～台島相当層	1 測点
西黒沢～台島～西男鹿相当層	2 測点

西男鹿相当層 2 測点

先第三系(花崗岩) 1 測点

### 3.3 採取地下水およびガス

山形県の温泉は, 山形県厚生部(1956)の「山形県の温泉」によると, 奥羽山脈に属するもの, 出羽丘陵に属するものおよび越後山脈に属するものなどに分けられている。今回の調査地域内の高温度の温泉は, 主として奥羽山脈に属するものが多い。これらの温泉は, 新第三系の下部累層に火砕岩の発達する所および同岩類の貫入あるいは侵入した所に多い。このほか潜在火成作用による高温地帯で大部分が化石海水で一部循環水が混入し湧出すると考える温泉がある。(羽根沢温泉・寒河江温泉の一部) 高温度の温泉は, 岩漿水に化石水・循環水の混入し

第4表 調査坑井と層位との関係

層位 (層名は相当層)  (先第三系 花崗岩)	第四紀	⑪ ⑭ ⑯ ⑰ ⑳ ㉔ ㉕
	脇本	④—⑤—⑥—⑬—⑱—㉓—㉔—
	北浦	⑰ ⑳ ㉕
	船川	⑤⑤—⑤⑦—
	女川	⑦ ④① ④② ④③ ⑤③
	西黒沢	⑫—④④—④⑥—④⑦—
	台島	⑧ ④⑤ ⑤① ⑤②
	西男鹿	②①—②②—③①—③③—⑤①—
	西鹿	⑩① ⑩③ ⑩⑧ ⑩⑨ ⑩⑩ ⑩⑪ ⑩⑫ ⑩⑬ ⑩⑭ ⑩⑮ ⑩⑯ ⑩⑰ ⑩⑱ ⑩⑲ ⑩⑳
	先第三系	①—②—③—②⑦—③⑥—④⑧—④⑨—
花崗岩	①—②—③—②⑦—③⑥—④⑧—④⑨—	
	⑤⑧	
	③③—⑤⑥—	
	③④	
	③②	
	⑨	

○の中は第1表の測点番号

たもの、鉱泉は化石水と循環水が大部分であると報告されている。

CH<sub>4</sub>系の天然ガスを伴う化石水は特種のものを除きガス付随水であると著者らは考える。

調査したガス試料のうち、温泉ガス・鉱泉ガスは、前述の温泉・鉱泉とともに湧出するガスで、温泉・鉱泉と同様に後火山作用によつて生成された N<sub>2</sub> 系および CO<sub>2</sub> 系ガスである。またこの温泉・鉱泉の各ガスに CH<sub>4</sub> 系ガスの混入湧出するガスがある。(東根・左沢・寒河江・小野川の各温泉ガスおよび南山の塩鉱泉ガス) また羽根沢温泉のように泉温 47°C で、CH<sub>4</sub> 系ガス (CH<sub>4</sub> 96.35%) を間欠的に 1日 500~1,000 m<sup>3</sup> と大量に噴出している温泉がある。この温泉水は前述の高温地帯の化石水で、ガス付随水的水質を示す。

調査したガス徴ガスの大部分は、CH<sub>4</sub>系ガスと N<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> 系ガスで、新庄盆地および山形盆地西部の背斜構造地帯に分布し、そのガスを胚胎する地層は中新世の女川相当層から脇本相当層におよんでいる。これらの CH<sub>4</sub> 系ガスは、地層中の有機物の分解によつて生成されたもので、前述の温泉・鉱泉各ガスの N<sub>2</sub> 系および CO<sub>2</sub> 系ガスとその成因を異にしている。

### 3.3.1 地下水

調査した地下水の分析値を第1表に示した。これらの地下水は次のように大別される。

1) 温泉水, 2) 鉱泉水, 3) ガス付随水, 4) 温泉水プラスガス付随水

#### 1) 温泉水

この水の pH は 6.0~8.2 とやや酸性からややアルカリ性にまたがっている。Cl<sup>-</sup> は 12~3860 mg/l と大きく差異があるが、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (メチルオレンジ・アルカリ度) は CO<sub>2</sub> 系の温泉水・鉱泉水を除けば比較的少ない。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> は 214~1840 mg/l と多く、また Ca<sup>2+</sup> は多く、Mg<sup>2+</sup> は少ない。したがつて Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> 比は 8.5~1420 と大きな値となっている。

温泉水・鉱泉水および狭義の地下水の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> と Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> 比の関係を第5図に一括図示する。図で明らかのように温泉水は SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> が多く、Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> 比が大で、鉱泉水は温泉水に比較して SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 少なく Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> 比も小さい。ガス付随水の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> はほとんどなく、Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> 比も小さい。またこの図によると、小野川—赤湯—葉山—上ノ山の一連の温泉水は、他の温泉水・鉱泉水とは別の傾向が認められ、水質からこれらの温泉はある関連があるものと考えられる。

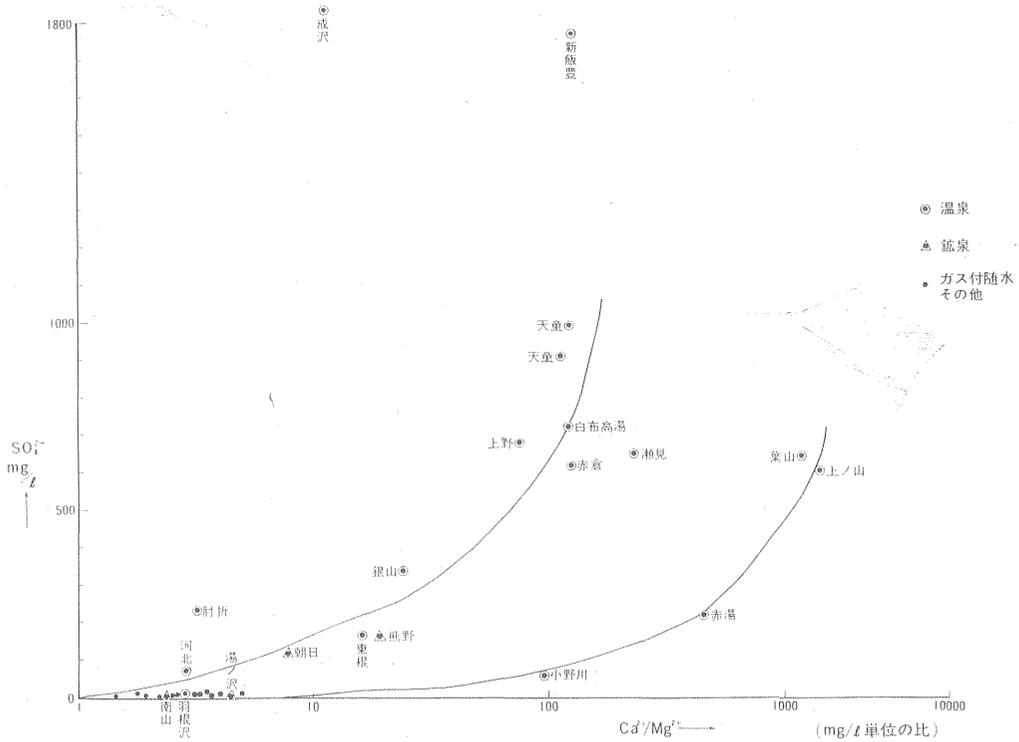
#### 2) 鉱泉水

調査地域内で扱つた、先第三紀花崗岩の亀裂から湧出する。唯一の鉱泉水は、朝日鉱泉 (測点番号9) のものであるが、これは水質的に2つに大別できる。1つは温泉的な水質を示し、他は pH 以外の性質が地表水に近い水質のものである。

湯の沢・南山の塩の各鉱泉水は前述の朝日鉱泉の温泉的性質に近い水質を示す。一方熊野鉱泉水は Cl<sup>-</sup> 12,450 mg/l, Ca<sup>2+</sup> 1,540 mg/l, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 15.4 mg/l, Mg<sup>2+</sup> 850 mg/l, Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> 比 1.8 で化石海水的水質である。ただしこのうちの NH<sub>4</sub><sup>+</sup> は 2 次的汚染 (溜り水) に原因する。また SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> は 154 mg/l で全般的にこの水は還元性不十分で、ガス付随水とは考えられない。これらのことからこの鉱泉水はやや還元環境にあつた化石海水と考える。

#### 3) ガス付随水

第四紀層から産するガス付随水は、Cl<sup>-</sup> 少なく、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>・NH<sub>4</sub><sup>+</sup> は多いが、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> はない。第三紀層からのガス付随水は、Cl<sup>-</sup>・HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>・NH<sub>4</sub><sup>+</sup> が多く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> は少なく、本邦各地域の一般のガス付随水の水質とほぼ同様である。ガス質から第三紀層ガスと考えられるガスの付随水で Cl<sup>-</sup> が少ないものは、ガスと地下水とが成因的に別々のものか、あるいは地表水がガス鉱床に浸入し破壊した場所にあつた地下水と考えられる。



第 5 図 地下水中の  $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  の関係

4) 温泉水プラスガス付随水

この項の地下水は、温泉水とガス付随水とが混合したと考えられるもので、例えば東根温泉・寒河江温泉の一部などである。水質は  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  が比較的多く、 $\text{SO}_4^{2-}$  は比較的小さく、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  比も小さい。(第 5 図参照)

以上の各種地下水を要約すると下記ようになる。

地下水の種類	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比
温泉水	少	多	少	大
鉱泉水	少	中	少	中
ガス付随水	多	極少~零	多	小
温泉水プラス ガス付随水	中	小	中	中

3.3.2 ガス

採取したガスの分析結果を第 1 表に示す。ガスの組成第 1 図から次の 5 種類に大別できる。

- 1)  $\text{N}_2$  系ガス, 2)  $\text{CO}_2$  系ガス, 3)  $\text{CH}_4$  系ガス, 4)  $\text{N}_2-\text{CH}_4$  系ガス, 5)  $\text{CO}_2-\text{CH}_4$  系ガスである。注1)

- 1)  $\text{N}_2$  系ガス

注1) 25%で切った例(本島, 1950)もあるが、今回は便宜的に30%で区切った。

この系に属するガスは、天童・上野・成沢・上ノ山・葉山・赤湯・白布高湯・瀬見・赤倉および銀山の各温泉ガスと熊野鉱泉ガスである。

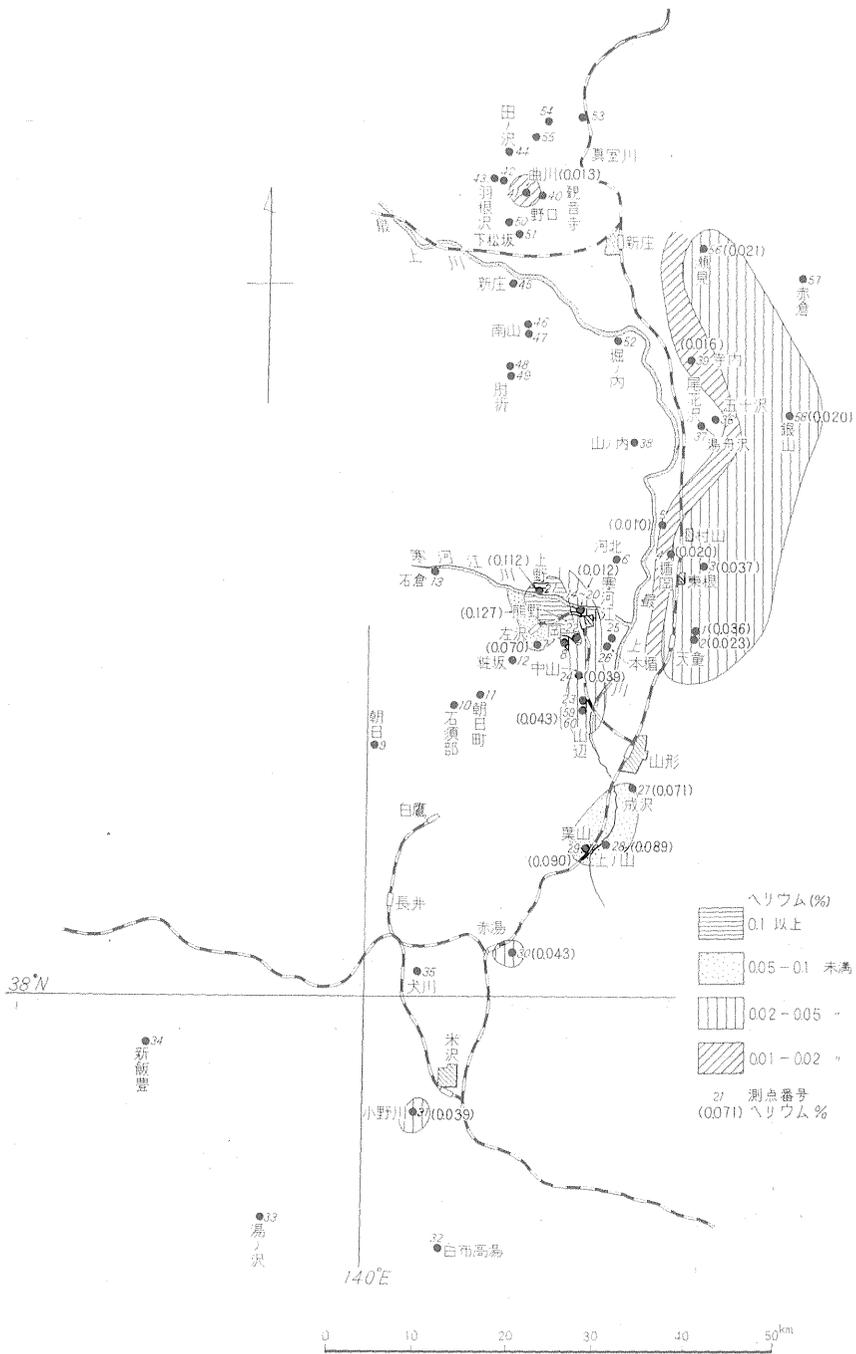
温泉ガスの大部分はこの系のガスに属する。この系のガスとともに湧出する温泉水は、一般に泉温が高く(熊野鉱泉を除く)  $\text{SO}_4^{2-}$  が多く、他のガスと比較してヘリウム含有量が多い。しかし白布高湯と赤倉の各温泉ガス中にはきわめて僅かのヘリウム(0.001%)が含有されているにすぎない。この理由は後述の考察の項で検討するが、ガスは大部分が大気由来のものと考えられる。

2)  $\text{CO}_2$  系ガス

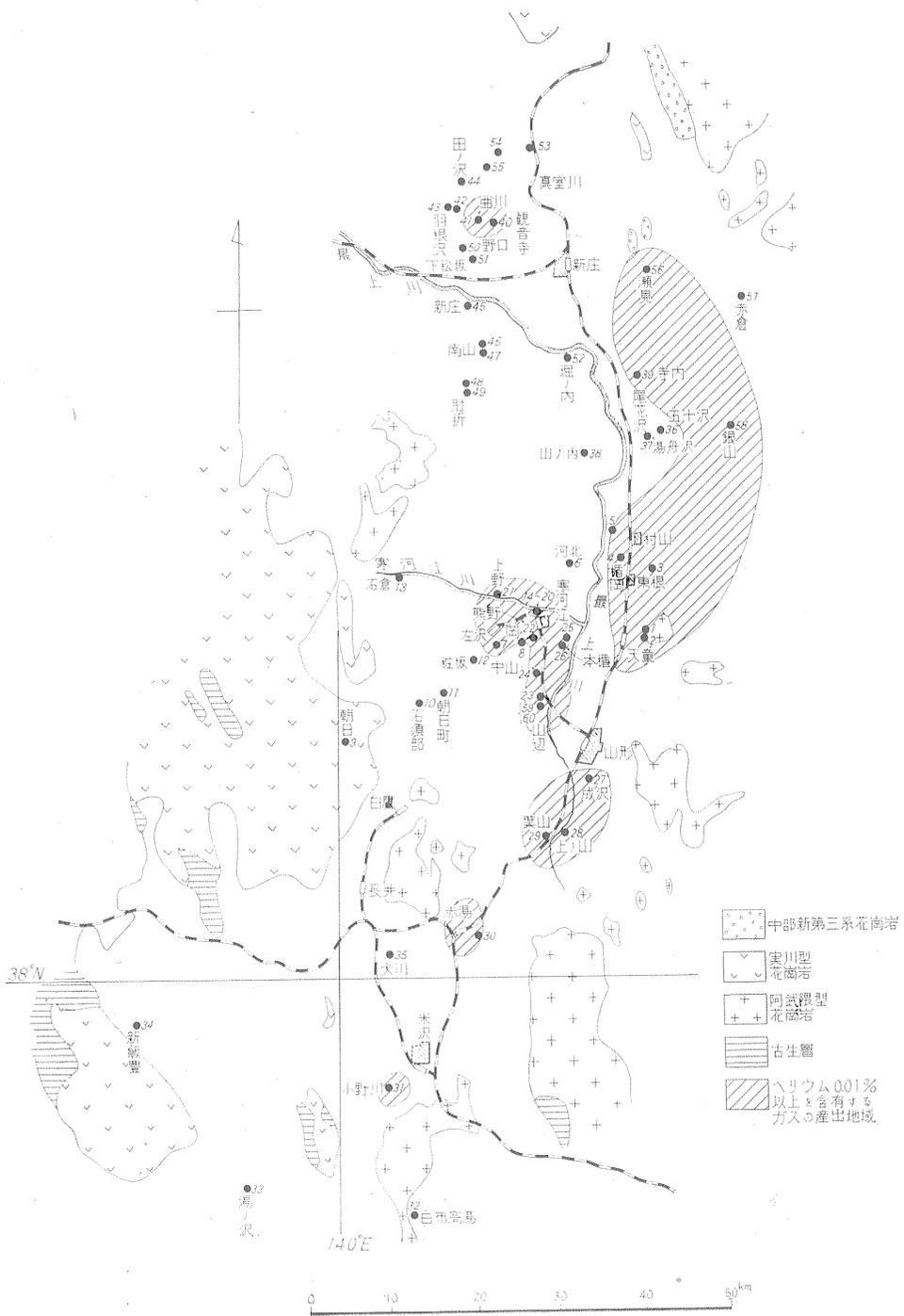
この系に属するガスは、後火山作用によつて生成されたガスで新飯豊・肘折の各温泉ガスおよび朝日・湯の沢・南山の塩の各鉱泉ガスである。この系のガスはヘリウムを0.000~0.001%と零ないし微量に含有しているにすぎない。

3)  $\text{CH}_4$  系ガス

このガス系に属するものは、楯岡・村山・岡部落・石須部・粧坂・朝日町・寒河江・本楯・山辺・中山・観音寺・曲川・田ノ沢・新庄(新庄温泉)・堀ノ内・真室川の各天然ガスおよび羽根沢温泉ガスである。



第 6 図 天然ガス中のヘリウム含有量分布図 (0.01 vol.% 以上)



第 7 図 高濃度のヘリウムを含む天然ガスと基盤岩の分布図

ガスは第四系～第三系中新統にわたって胚胎し、ガスの分布する地域は、山形盆地の北部と西部および新庄盆地と各盆地の周辺である。大部分のガス徴ガスは背斜構造地帯に存在する。

ヘリウム含有量は0.000～0.039%であつて、第三紀層のガスはすべて0.001%以上を含有している。

#### 4) $N_2-CH_4$ 系ガス

このガス系に属するものは、東根・左沢・寒河江の各温泉ガスと山辺帝石・犬川・五十沢・寺内の天然ガスである。この系のガスは、産状から2種類に分けられる。その1つは温泉ガスの  $N_2$  系ガスに  $CH_4$  系ガスの  $CH_4$  が混合湧出するもので、このガス中には  $N_2$  系ガスに次いでヘリウム含有量が多い。他の1つは、 $CH_4$  系天然ガス鉱床のガス賦存状態の悪い、いわゆる low gas potential 地帯のガスである。このガス中にはヘリウムは0.000%と認められない。

#### 5) $CO_2-CH_4$ 系ガス

この系に属するガスは、南山のガス(測点番号46)だけである。このガスは南山の塩鉱泉(測点番号47)の位置から約100m登つた山腹の亜炭層からでるガスで、調査地域の中で唯一の  $CO_2-CH_4$  系ガスである。ヘリウムは0.003%を含有する。南山の塩鉱泉ガスの  $CO_2$  系ガスにはヘリウムは含有されていないことから、この  $CO_2-CH_4$  系ガスのヘリウムは、ヘリウムを含有する  $N_2$  系ガスが亜炭層のガスに混入したと考える。またこの  $CO_2$  ガスは、南山の塩鉱泉の  $CO_2$  とは異なり亜炭の酸化過程で生成された可能性が充分考えられる。

### 4. 結果の考察

#### 4.1 ヘリウムの分布と地質との関係

##### 4.1.1 ヘリウムの分布と基盤岩

ヘリウム含有ガス産出地域の分布と基盤岩との関係はヘリウムの成因上重要と考えられる。第6図にヘリウムの分布と、第7図に露出基盤岩とヘリウムの分布を示した。第7図からヘリウムの分布する地域は露出基盤岩に囲まれた地域であつて、もつとも特徴的なことは、基盤岩が阿武隈型花崗岩類の分布する地域であることである。同じ花崗岩であるが時代的にこれよりも新しいとされている朝日岳・飯豊山周辺の実川型花崗岩を基盤岩とする地域にはヘリウムは賦存しない。また後述するようにこの実川型花崗岩の亀裂から湧出する朝日鉱泉ガスは  $CO_2$  系ガスでヘリウムを含有していない。

##### 4.1.2 ヘリウムの分布と火山岩類

ヘリウムの供給の問題を考える場合、火山ガスは重要な供給源の一つと考えられる。ヘリウムの分布と火山岩

類の分布を第8図に示した。ヘリウムの分布と火山岩類との間には第8図でわかるように密接な関係をもっているように考えられる。すなわち左沢～寒河江～上ノ山付近は、葉山・白鷹山らの新期火山が発達し、かつ第三紀層中にも多くの火砕岩類の発達が見られ、また瀬見～東根～天童付近の盆地東縁部にも同様に多くの火砕岩類が発達している。これらの地域から産出する天然ガスはおおむね0.01%以上のヘリウムを含有する。

しかし真室川～南山～肘折付近の火砕岩類の発達する地域は  $CO_2$  系ガスが多い。一般に本邦の  $CO_2$  系ガスにはヘリウムの含有量が少ないことはわれわれの調査ならびに野口喜三雄(1941)によつて明らかであるので、この地域のヘリウムの含有量の少ない原因は、この  $CO_2$  系のためと思われる。

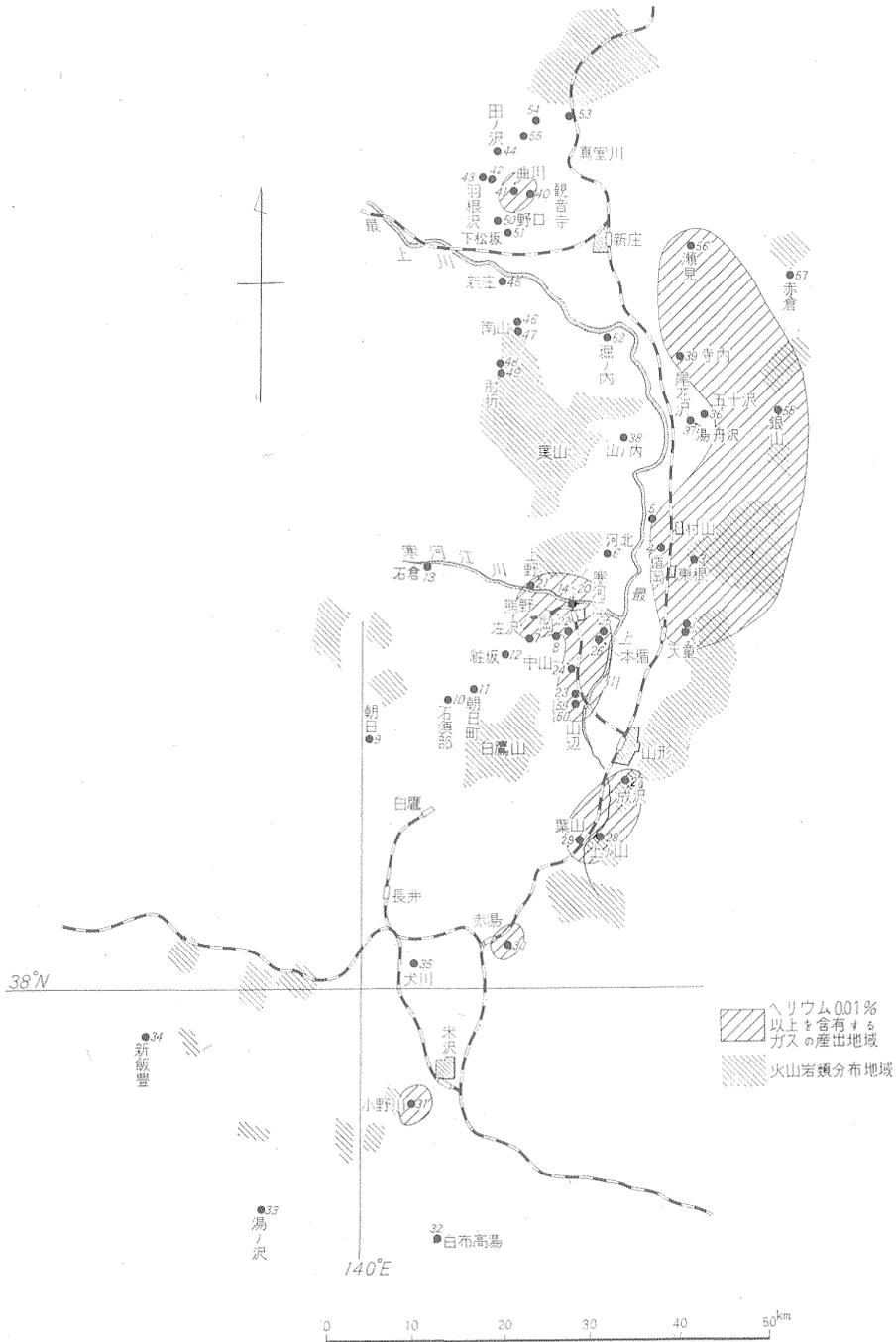
しかるにこの付近の北浦相当層から産出し  $CH_4$  系ガスで構成される曲川露頭のガスは、ヘリウム0.013%を含有し、その  $N_2/He$  比は、177で今回の調査試料中最小の値である。

以上の結果から、ヘリウムの分布と火山活動は関係があることが考えられ、火山ガスは1つの天然ガス中のヘリウムの供給の役をしていると考えられる。〔立山火山ガス分析結果によるとヘリウム0.0013%が存在する。(安藤直行・永田松三・大塚英雄, 地質調査所未発表資料)〕

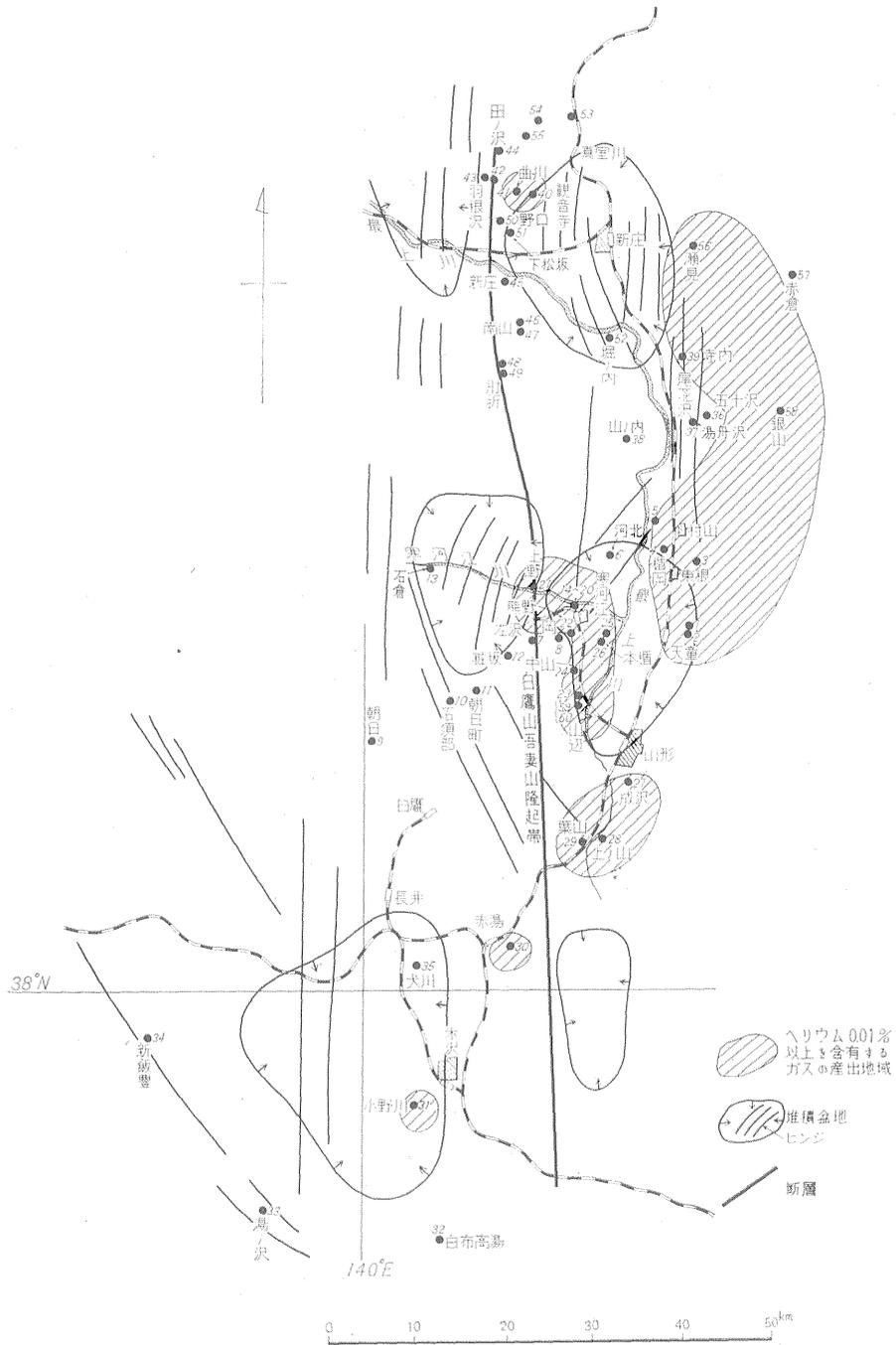
#### 4.1.3 ヘリウムの分布と地質構造

ヘリウムの分布と地質構造との関係を第9図に、また模式地質断面図と坑井分布の関係を第3図に示す。第9図、第3図で明らかなように、各堆積盆地の中心部にはヘリウムを含有するガスはなく、堆積盆地の周辺部あるいは隆起帯(白鷹山～吾妻山隆起帯)にそつてヘリウムが多い傾向がみられる。すなわち基盤岩の比較的浅い所および縁辺堆積相を示す地域はヘリウムが多い。また各堆積盆地のヒンジ帯には比較的ヘリウムは少なく、曲川付近におけるヘリウムを多く含有する天然ガスの産状はヒンジ帯と多少関係がみられる程度である。

第9図によるとヘリウムの分布と断層・構造帯の間には必ずしも関係があるとはいえないが、寒河江付近では矢崎清貫・井波和夫(1965)の山形盆地の屈折法地震探査の結果によると、ほぼ南北性で落差が1,000m内外の断層が確認されている。寒河江～中山町～山辺町の比較的ヘリウム高濃度のガスを産出する地域はこの断層と関係あることが考えられる。またこの断層の西側と東側では、基盤岩の弾性波速度がそれぞれ6.25 km/secおよび5.20 km/secと異なり、東西両基盤の岩質の相違が考えられている。内陸地帯の断層は、大半が女川末期の活動



第 8 図 高濃度のヘリウムを含有する天然ガスと火山岩類の分布図



第9図 高濃度のヘリウムを含有する天然ガスの分布と地質構造

によるもので、断層はそれより上位の地層を切っていないので、ガスの地表への逸散はできないと考える。以上のことから、この地域では、深部における断層・構造帯はヘリウム分布と大いに関係しているものと考えられる。

4.2 ヘリウムと窒素および窒素ヘリウム比 ( $N_2/He$ )

ヘリウムはその産状から窒素と重要な関係がある。米国におけるヘリウムを含有する天然ガス中の窒素量 (vol %) とヘリウム量 (vol %) は 30 : 1 の割合のものもつとも多いとされている。しかし窒素の成因が明確にされていないため、その原因は解明されていない。

ガス中の窒素とヘリウムの関係からヘリウムが基盤岩からどのようなガス組成で逸出してきたかをごく概念的に知ることができる。

ヘリウムを含有する  $N_2$  系ガスは、基盤岩の亀裂および変成作用を受けた所から逸出したものと思われる。ZARTMAN, R. E., WASSERBERG, G. J., and REYNOLDS, T. H. (1961) は、岩石中のアルゴン、ヘリウムの保有率について調べ、岩石からガスが逸失する場合には、変成作用がもつとも大きな原因となることを報告している。

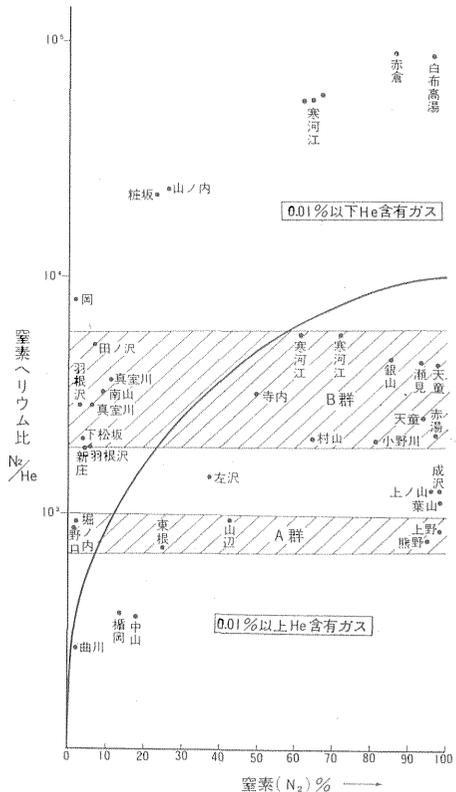
$N_2$  系ガスは、その産出地域の基盤岩からのガス組成に近似した組成と考えられる。したがってそのような産状を示す地域内に現在のヘリウム含有量以上の高濃度のヘリウムを含む天然ガスの存在を期待することはできない。しかしガス中にヘリウムが存在することは、この地域の基盤岩からヘリウムを含むガスが逸出していることを示すが、 $N_2/He$  比の均一である地域は比較的狭いことが観測されているので、より高濃度のヘリウム含有ガスを調査する場合の重要な手がかりとなる。

今回調査した  $N_2$  系ガスは、白布高湯および赤倉の両温泉ガスにヘリウムが 0.001% と少ないほかはヘリウム 0.02~0.127% を含み、他の系のガスに比較してもつとも高濃度である。ヘリウム 0.1% 以上を含有するものは、上野温泉と熊野鉱泉の各ガスで、いずれも寒河江市西南部および南部に位置している。このうち、熊野鉱泉水はその水質結果から化石海水の水質を示し、ガスと鉱泉水とは成因的に別々のものであると考えられる。

この2つの高濃度のヘリウム産出地域の間に位置する寒河江温泉のガスは  $N_2-CH_4$  系ガスで、 $N_2/He$  比から2種類の組成のガスが基盤岩から逸出してきたと思われる。すなわち、それは  $N_2/He$  比 6035~6180 のガスと、62390~66190 のガスで、両者の比には10倍の開きがあり、異種のガス組成であることが考えられる。しかし  $N_2/He$  比 6035 の菊の屋 (測点番号16) のガスは深度

55mから湧出しており、 $N_2/He$  比 62390 の組合井 (測点番号15) のガスは深度 152m から湧出していて前者より深く、このことは菊の屋の坑井と組合の坑井との間に断層が存在するか、組合のガスの窒素は大部分大気あるいは有機物の分解に由来するものと解釈しなければ理解できない。

$N_2$  系ガスであるにもかかわらずヘリウム 0.001% と少ない白布高湯・赤倉の各温泉ガスでは、 $N_2/Ar$  比の分析結果は第2表に示すようにそれぞれ 62.8, 64.4 と他のガスに比較して小さな値を得た。第2表中の寒河江温泉ガスの 74.8 は  $N_2-CH_4$  系ガスで大気の溶存ガスの影響があり、赤湯温泉の 87.2 は  $N_2/O_2$  比から2次的な空気の混入と思われる。この  $N_2/Ar$  比の値は、大気の 84と、大気が水に溶存した場合の値である34の中間である。この数値は本邦の水溶性天然ガス鉱床において得た値と同程度であることから、白布高湯・赤倉の各温泉ガスは、大部分が大気の窒素ガスに由来するものと考えられる。したがって  $N_2$  系ガスでありながらヘリウムをほとんど含有しない。加えて赤倉温泉では、山形県衛生部の温泉調査報告 (1963) によると、泉源の湧出量が河川



第10図 山形県下天然ガス中の窒素ヘリウム比 ( $N_2/He$ ) と窒素 ( $N_2$ ) %との関係

水の増減に影響されると報告されていることも、含まれるガスがほとんど大気由来のガスであることを支持する資料になると考えられる。

調査したガスの窒素と  $N_2/He$  比の関係を第10図に示した。図によると  $N_2/He$  比 1000 以下を示すガスは、 $N_2$  系ガス、 $N_2-CH_4$  系ガスおよび  $CH_4$  系ガスの一部である。とくに  $CH_4$  系ガスに小さな値を示すものがある。このことはヘリウムの調査のうえで重要なことであるのでここで検討をする。

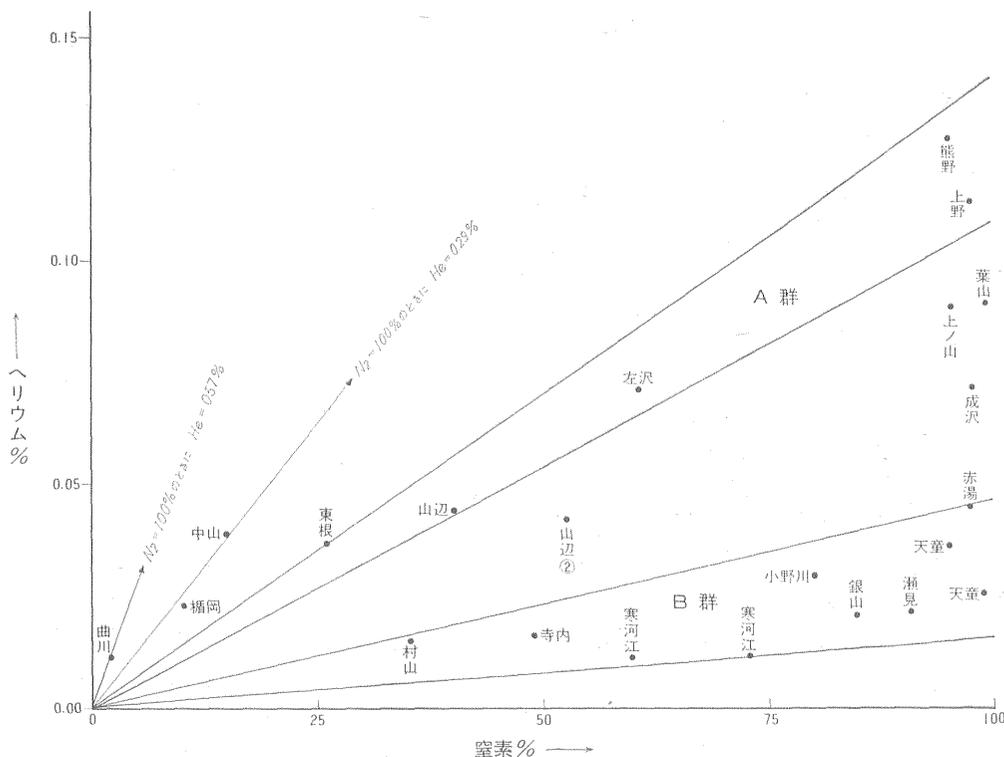
$CH_4$  系ガスの窒素は、その一部あるいは大部分が大気の混入あるいは有機物の分解によつて生成されたガスと考えられる。〔牧 真一・比留川 貴 (1962) は諏訪湖天然ガス中の窒素の 20~40% が、また杉崎隆一 (1964) は水溶性天然ガスの窒素の約30%が有機物からきたと報告している。〕したがつて、基盤岩から逸出した窒素量は、実際に分析された窒素量よりも少ないはずで、基盤岩からのガスの  $N_2/He$  比はさらに小さな値となる。

$CH_4$  系ガスの  $N_2/He$  比がとくに小さな値を取る理由として考えられることは、ヘリウムが窒素に比較して、拡散しやすく、窒素より優先的にメタン鉱床に混入したこと、また  $CH_4$  系ガスの窒素量は少ないため、窒素の微量の差が大きく  $N_2/He$  比に影響するおそれがあるこ

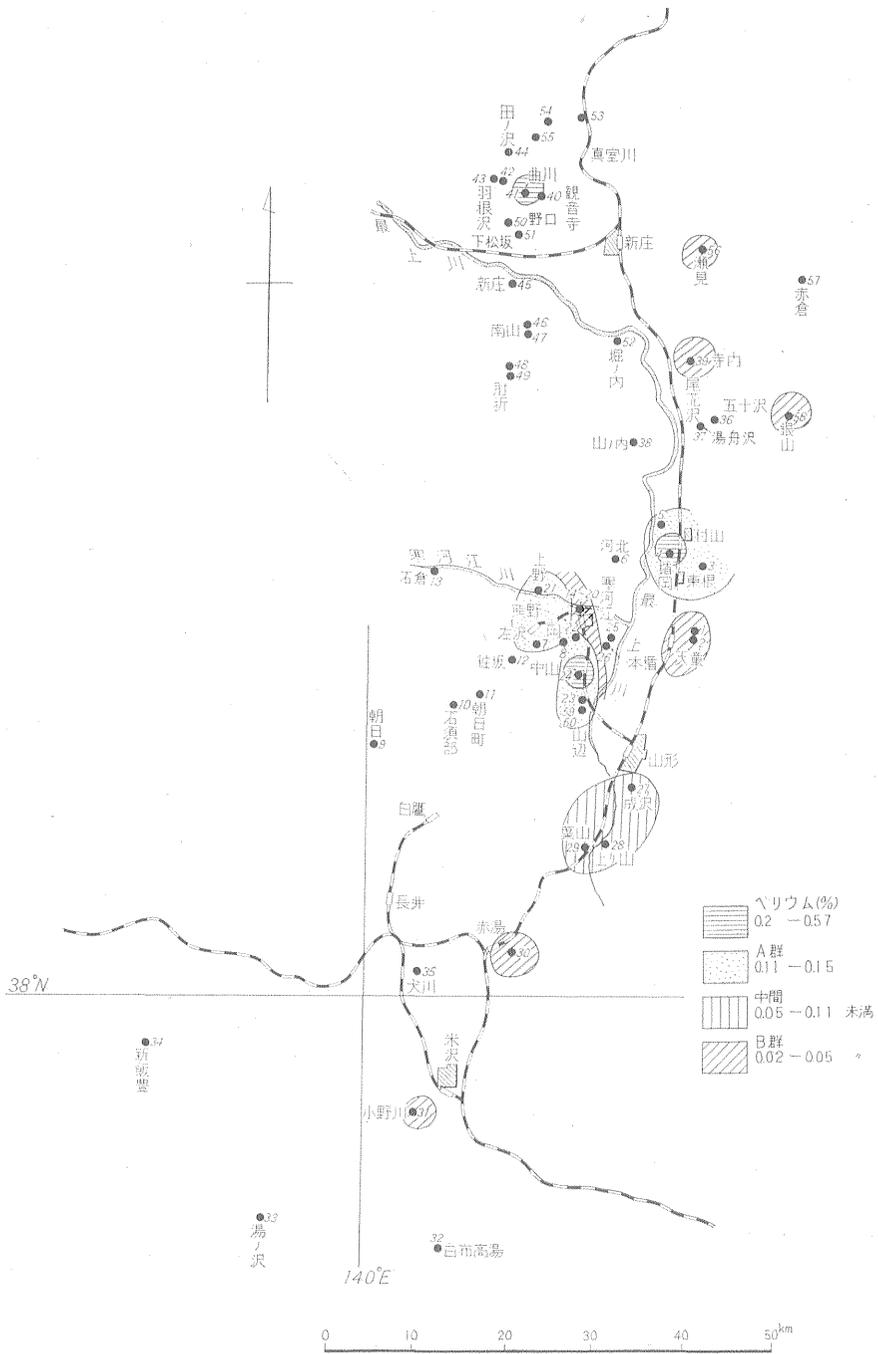
となどが考えられる。これらの疑問に対しては、ヘリウムの立体的な分布を調べなければ解明することは困難である。 $CH_4$  系ガスの  $N_2/He$  比を考える場合には上記のことを考慮する必要がある。

基盤岩から逸出したガスが窒素以外のガス (メタン・炭酸ガスその他) によつて希釈されたとすると、窒素量 (vol. %) とヘリウム含有量 (vol. %) を算出することができる。(第11図)

第11図から、 $CH_4$  系ガスの曲川、楯岡および中山の各ガスは、それぞれ基盤岩からヘリウム 0.57%, 0.21%, 0.29% のガスが逸出してきたことになる。(前述のヘリウムの優先混入の疑問がある。) その他の今回分析した天然ガス試料中ヘリウム 0.01% 以上を含有するガスについては、大別して  $N_2$  に対してヘリウムの多い A 群と少ない B 群の 2 つの群に分れ、 $N_2$  100% とした場合のヘリウム含有量は、A 群では 0.11~0.14%, B 群では 0.02~0.05% となる。なお  $N_2$  系ガスではこれらの中間の値を示すものがある。したがつて、本調査地域の天然ガスは、ヘリウム 0.02~0.57%, 大部分のガスは 0.02~0.14% を含有する  $N_2$  系ガスが基盤岩から逸出したことになる。これらのヘリウムの濃度別分布を第12図に示した。



第11図 山形県下の天然ガス中のヘリウム%と窒素%との関係



第 12 図 窒素 100% とした場合のヘリウム % 別分布図 (ヘリウム 0.01% 以上を含有する天然ガスについて)

図で明らかのように、ヘリウムの多いA群に属する地域は、新庄盆地の曲川、山形盆地北東部の東根・楯岡および盆地西部の寒河江の上野・熊野・中山・山辺の地域で、ヘリウム含有量0.05%以上のガスが供給される地域は、曲川を除けば山形盆地縁辺部および中軸帯に位置している。

#### 4.3 ガス量とヘリウム含有量

本県下の  $N_2$  系ガスは、温泉・鉱泉とともに湧出し、そのガス量は一般に少ない。調査した寒河江市の上野温泉、天童市の天童温泉の各温泉ガスのヘリウム含有量は、それぞれ0.112%、0.023~0.036%、測定した坑井のガス量はそれぞれ1~2  $m^3/day$ 、3~5  $m^3/day$  である。またガス水比(G. W. R.)は、上野温泉が1:40 (湧出深度400m)、天童温泉が1:90 (湧出深度144m) であつて、いずれも湧出深度における理論ガス水比の1/30~1/40 である。このことからこれらの温泉ではガス鉱床を期待することは困難である。

$N_2-CH_4$  系ガスは、浅層のガスを除けば  $N_2$  系ガスに比較してヘリウム含有量はやや少ないが、ガス量は一般に多い。東根温泉のガスは、ヘリウム0.037%、ガス量58  $m^3/day$ 、そのガス水圧は1:4.5 (ガス湧出深度100~120m、水温65°C) で、このガス水比の値は湧出深度・水温から計算した理論ガス水比に等しい。したがつてガスは地下においてほぼ温泉水に飽和の状態が存在していることとなり、ガス鉱床としても調査の対象となると考へる。

楯岡の天然ガスは、東根温泉の北部約4 kmに位置し、現在開発途上にあつて、調査時には2坑井から400  $m^3/day$  のガスを産出して民家に供給していた。分析表中の楯岡天然ガスの分析値は、民家で自家用に掘削したガス井から得たものであるが、楯岡地域に相当広範囲にわたつて分布する天然ガスの組成をほぼ代表するものと考えられる。このガスは  $CH_4$  系ガスで、ヘリウム0.024%を含有している。

東根温泉ガス中の  $CH_4$  と楯岡天然ガス中のヘリウムとは、相互に移動した可能性がある。しかし東根温泉ガスの  $N_2/He$  比747に対し楯岡天然ガスの  $N_2/He$  比は490と水溶性  $CH_4$  の濃度が高いにもかかわらずヘリウムの比率が大きい。このことはヘリウムを供給したガス組成がもともと異なつていて両者のガスの間には関連がないと考へるか、前述したように、ヘリウムの拡散による結果、 $N_2/He$  比が異なつたと考へるか、は現在の資料では不明である。この解明には、やはりヘリウムの立体的分布を調査する必要がある。

$CH_4$  系ガスは、他のガス系に比較して産ガス量は多

いが、ヘリウム含有量は少ない。ガス量の多い羽根沢温泉ガス (500~1,000  $m^3/day$ ) では、ヘリウムは0.001%と きわめて少ない。

$CH_4$  系ガスのうち、露頭ガスは、大部分が背斜構造地帯に位置し、付近の地下にガス鉱床の存在が予想されるが、曲川のヘリウム0.013%を除けば、すべて0.01%以下で、 $N_2/He$  比もきわめて大きく、ヘリウム鉱床として期待できない。

以上の結果から、調査地域のガスは、ガス量・ヘリウム含有量ともに比較的多い  $N_2-CH_4$  系ガスがヘリウム資源調査の対象となる。

調査結果によると、調査地域では基盤岩からのヘリウムの供給は、広範囲にわたつており、そのうちで、東根~楯岡地域、寒河江~山辺地域には  $N_2/He$  比の小さなガスが比較的多く存在していると考えられ、これらの地域はさらに詳しい調査が必要である。

## 5. 結 論

ヘリウム資源調査は、天然ガス中に占めるヘリウムの割合と、天然ガスの量の両面で調べる必要がある。現在企業化されている米国・カナダにおいては0.4%以上の  $CH_4$  系 (石油系ガスを含む)・ $N_2$  系ガスからヘリウムの回収を行なつている。しかし将来の需要と回収の技術の発展を見越して、0.1%以上のヘリウムを含有する天然ガスを注目して調査が行なわれている。したがつて質の面では0.1%以上のヘリウム含有量が目標となる。量の面では、質と量が相互に関連するので一概に決められないが少なくとも一地域数万  $m^3/day$  以上が必要と考えられる。

山形県下の  $N_2$  系ガスは主として温泉ガス・鉱泉ガスとして産出し、量的に多量の産出を期待することはできない。したがつて  $N_2-CH_4$  系ガスがヘリウム資源の面から調査の対象と考えられるが、この系のガスに対する開発調査は充分にまだ行なわれていない。

今回の調査の結果をまとめると下記ようになる。

- 1) ヘリウムの分布する地域は、基盤岩が比較的浅所に存在するところで、基盤岩の大部分は阿武隈型花崗岩・箱ノ口相当層および片岩である。
- 2) 中軸帯 (白鷹山一吾妻山隆起帯) ならびに盆地縁辺部は、多くの断層が発展し、なかでも寒河江から山辺町にわたるほぼ南北性の断層は落差1,000m内外に達する断層とされている。この地域のガス中のヘリウム含有量が他地域のものに比較して多い傾向がみられることは、断層の影響によるものと思われる。
- 3) 中軸帯および盆地縁辺部には、上部七座層時代に

対応される時期に顕著な火山活動があり、この時期の火山ガスによるヘリウムの供給も充分に考えられる。

4) 天然ガス中における窒素とヘリウムの含有量の関係から、ヘリウム0.01%以上を含有する天然ガスが分布する地域のヘリウムは、ヘリウム含有量0.02~0.57%、大部分0.02~0.14%のN<sub>2</sub>系ガスによつて基盤から供給されたものとする。とくに高濃度(およそ0.2~0.6%)のヘリウムを含むN<sub>2</sub>系ガスが供給された結果できたと推定される曲川・楯岡および中山のCH<sub>4</sub>系ガスは、ヘリウムの拡散などによる混入の疑問が残されている。この解明はヘリウム資源調査のうえにきわめて重要であり、試錐によるヘリウムの立体的分布の調査が必要である。

#### 文 献

- 1) 半沢正四郎他4名(1958): 新庄市周辺の天然ガス調査報告, 山形県「天然ガス調査報告書」, p. 172~191
- 2) 野口喜三雄(1941): 本邦産天然ガス中に含有されるヘリウムに就て, 日本化学雑誌, vol. 62, no. 4, p. 298~299
- 3) 牧 真一・比留川貴(1962): 諏訪湖天然ガス田ガス付随水中の有機物について, 地質調査所月報, vol. 13, no. 4, p. 301~310
- 4) 本島公司(1950): 可燃性天然ガスを主とした本邦産天然ガスの三角座標法による標示について, 石油技術協会誌, vol. 15, no. 1, p. 56~58
- 5) 杉崎隆一他2名(1963): 本邦天然ガス田, 油田における堆積岩の放射性元素含有量と天然ガス中の希ガスの起源, 日本化学雑誌, vol. 84, no. 3, p. 236~241
- 6) SUGIZAKI, R. (1964): Genetic Relation of Various Type of Natural Gas Deposits in Japan. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists*, vol. 48, no. 1, p. 85~101.
- 7) 山田延男(1923): 本邦産天然ガス中のヘリウムおよびその他の含有量, (第2報), 日本化学雑誌, vol. 44, p. 1018
- 8) 山形県厚生部(1956): 山形県の温泉, 「総論篇」
- 9) 山形県衛生部(1963): 山形県の温泉「各論篇」最上地区温泉, p. 1~21
- 10) 矢崎清貫・井波和夫(1965): 山形盆地の屈折法地震探鉱, 地質ニュース, no. 133, p. 13~14
- 11) ZARTMAN, R. E., WASSERBERG, G. J. & REYNOLDS, T. H. (1961): Helium, Argon and Carbon in Some Natural Gases. *J. Geophy. Research*, vol. 66, no. 1, p. 277~310