

能登半島のヘリウム資源調査研究

—とくに七尾市和倉町における試錐井による調査—

牧 真一\* 本島 公 司\* 比留川 貴\* 米谷 宏\*  
今井 功\*\* 盛谷 智之\*\* 大塚 寅雄\*\*\* 高田 康秀\*\*\*\*

**Helium Resources in the Noto Peninsula with Special Reference to  
the Detailed Surveys for the Test Well GSH-No. 2 at  
Wakura-machi, Ishikawa Prefecture, Central Japan**

Shin'ichi MAKI, Koji MOTOJIMA, Takashi HIRUKAWA, Hiroshi YONETANI,  
Isao IMAI, Tomoyuki MORITANI, Torao OTSUKA and Yasuhide TAKADA

Abstract

The Hokuriku region including the Noto peninsula extends in the Japan Sea side of the Central Japan. In the Hokuriku region, there are distributed Pre-Neogene basement rocks, such as Hida metamorphic rocks and Funatsu granite, presumably favorable for helium source rocks, and Neogene sedimentary and volcanic formations resting upon the formers and correlative to those of the so-called green tuff region.

Generally, in Japan, the natural gases with relatively high concentration of helium have been found in the regions of geologically older granite and green tuff. Therefore, this region seems to be one of the most important areas for helium surveying in Japan.

In the region, both hot springs and inflammable natural gas accumulations are noticed.

Geological Survey of Japan began the first helium survey in this region in 1962, and as a result, the natural gases with 0.005–0.493 v/v % of helium were found at the wells in Tertiary gas fields and hot spring areas. Especially, the gases from Wakura hot spring wells at Nanao city were revealed to contain about 0.50 v/v % helium, the second highest value ever found in Japan.

In 1965, the geochemical and geological surveys for helium were carried out concentrically on the springs and water wells in the Noto peninsula, with special aim to select the drilling site for test well which was designed to get the informations on the vertical distribution of helium in the Hokuriku region.

Based on the results of the geochemical and geological surveys, the drilling site of test well was decided at the eastern part of the Wakura hot spring district. The penetration depth reached 600 m and the detail survey at the well was conducted from October 1966 to January 1967.

In this paper, the authors report mainly on the results obtained by the geochemical and geological studies for the Noto peninsula and for the test well GSH-No. 2. The results obtained are as follows:

1. The production test was conducted at the depth intervals of 250–300 m and 550–600 m. At 250–300 m deep.

Temperature of groundwater at casing head	34.8°C
Gas production rate by mechanical lifting	2.7 m <sup>3</sup> /day

\*技術部 \*\*地質部 \*\*\*元所員 \*\*\*\*名古屋出張所

Water production rate by mechanical lifting	26.8 kl/day
Gas water ratio	1: 10
Productivity index	20 kl day <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> cm <sup>3</sup>
Helium content of natural gas	0.332 v/v %
At 550-600 m deep.	
Gas and water production	0
Helium content of natural gas separated from groundwater lifted by bailer from 550 m deep	0.059 v/v %
Helium content of natural gas separated from groundwater lifted by bailer from 600 m deep	0.039 v/v %

2. The concentration of helium in gas from 250-300 m deep is higher than that from 550-600 m deep. It is likely that helium in 250-300 m deep was not dispersed and supplied directly from the basement rocks but was transferred laterally from the hot spring waters in the Wakura district.

3. Chemical composition of groundwater from 250-300 m deep at GSH-No. 2 well has a strong resemblance to that of the hot spring water from Wakura No. 3 well. Above-stated facts indicate that the hot spring waters are considerably widely distributed in the neighbourhood of the Wakura district.

4. The contents of uranium and thorium in the core samples from the depth of 250 m, 300 m, 550 m, 575 m and 600 m range from 0.5 to 0.9 ppm and from 2 to 4 ppm respectively. The amount of helium at 550 m and 600 m deep is nearly equal to that of calculated value by the decay production rate from uranium and thorium, on the contrary, the amount of helium at 250-300 m deep is higher by 7 to 8 times than the calculated value.

Judging from the relationship of N<sub>2</sub>/He ratio and N<sub>2</sub> % in the free gases from the hot spring wells and natural gas wells in the Hokuriku region (Fig. 10), it is calculated that in the Hokuriku region, the original natural gas that has been supplied from the basement rocks may be N<sub>2</sub> type with the helium content of 1.25-3.2 v/v %.

The authors conclude that in the Hokuriku region the industrial reservoirs of natural gas with helium concentration over 0.1 v/v % is hardly expected because of the very small gas production rate from the wells.

## 要 旨

昭和37年(1962年)に、北陸地域の温泉ガスおよび可燃性天然ガスを対象にしたヘリウム(Helium, He)の調査・研究を行った結果、それら天然ガス中に0.005~0.493 v/v %の He が含まれることがわかった。

こえて昭和40年(1965年)には、上記の作業に引続いて、七尾市を中心とする能登半島地域の He に関する調査・研究を行った。

以上の作業結果にもとづいて、北陸地域の He に関する地域的、垂直的分布状況を調べる目的で、試錐 GSH-No. 2号井が、昭和42年10月から翌年1月にわたって総深度600mまで掘削された。試錐地点は、この地域内で最も He 濃度の高い天然ガスを産出する和倉温泉に近い、

和倉町又部に選定された。

これらの調査・研究によって、主として次のことが明らかになった。

1. 和倉町又部の GSH-No. 2によるガスと地下水の産出試験は、穴水累層中で2つの部分に分けて行われた。1つは、深度250~300mの部分であり、他は深度550~600mの部分である。次の結果を得た。

深度250~300mの上位層準に対する産出試験では、0.322 v/v %の He を含む N<sub>2</sub>系の天然ガスが、機械的リフトによって2.7 m<sup>3</sup>/dayの割合で産出した。これに対して、深部の550~600m間からは、機械的リフトによって、天然ガスも地下水もともに地上まで産出するに至らなかった。そのため、地下水をペーラーで坑口まで揚水し、そこで減圧によって分離した天然ガスを採取して試

料とした。その組成を見ると、地下 550mの地下水から分離したガスは 0.059 v/v % の He を含有する  $N_2$  系であり、地下600mからの試料は 0.039 v/v % の He を含有する同じく  $N_2$  系のガスであった。

2. GSH-No. 2の深度250~300mから産出した地下水は、その水質が和倉温泉3号井から産出した温泉水によく類似する。これらのことから、GSH-No. 2の地下水は、多分和倉の温泉水と同系統と思われ、地下水とともに産出する He を含む  $N_2$  系天然ガスも、地下水に溶解されて和倉地区から移動したものであろう。

3. 能登半島地域の温泉水・鉱泉水の水質と He の含有量との関係を調べると、 $Cl^-$ の多い水に He が溶解されている傾向にある。

また、崎山半島の下湯川鉱泉水の水は  $Cl^-$ を2,750 mg/l 含有し、この水とともに産出する可燃性天然ガスは、遊離ガスの場合で 0.025 v/v % の He を含有する。

4. 和倉の試錐井および能登半島地域に対する調査・研究結果にもとづいて、次のようなことが列挙される。すなわち、新第三系の穴水累層中における He の立体的分布状況は変化に富むこと、和倉町周辺の地下水に含まれる He は多分和倉の温泉水に由来すること、その和倉温泉中の He は基盤岩から温泉水に伴い断層などを通して逸出・移動した、などである。

穴水累層が発達している能登半島地域における He の産出機構は、和倉周辺におけるそれとほぼ同じであると思われる。また、北陸地域全体に対する温泉ガスと可燃性天然ガスの、 $N_2$ % と  $N_2/He$  比の値の関係によって推定される基盤岩から供給されるオリジナルガスの質は、He を 1.25~3.2 v/v % 含有する  $N_2$  系である。

## 1. 緒 論

地球にあるヘリウム (He) の成因については2説があって、1つは地球ができた頃の原始大気が化石化したと考える原始起源説、他はウラン ( $^{235}U$ )、トリウム ( $^{232}Th$ ) およびサマリウム ( $^{147}Sm$ ) のような  $\alpha$  粒子を放出する重い元素による放射性崩壊説であるが、最近では後の説が支配的である。

He の調査・研究に際しては、放射性崩壊説にもとづいて計画がたてられるのが普通である。 $Sm$ からの He の生成量は U, Th からの量にくらべてきわめて少ないので、He の根源物質としては岩石中に含まれる U と Th を考慮するだけで、ほぼ満たされる。U と Th から多量の He が生成されるためには、U と Th の存在量の多いこと、崩壊時間が長いこと、の2つの条件を必要とする。さらに、生成されたヘリウムが、地下に保存されるため

には、構造性天然ガスの貯留層のような地質条件が存在することが望ましい。

酸性の火成岩は一般に U と Th の含有率が高い。したがって、酸性の古い岩石を基盤にもち、その上に少なくとも中新統の地層以上に圧密・岩石化が進んだ地質系によって覆われるような地質条件を満たす地域は、ヘリウム資源の調査・研究に際してまず注目されるところとなる。

以上の一般論にもとづいて、北陸地域の地質条件をながめると、この地域には地質年代の古い飛騨変成岩およびこれに伴う花崗岩類、中生代の来馬層群、手取層群、濃飛流紋岩類、新期の花崗岩類などが基盤として発達する。これら基盤岩類の上には、新第三系の堆積岩類および火山岩類が広く分布する。火山岩類は安山岩、流紋岩およびそれらの火砕岩などからなり、新第三系の下部に顕著に発達し、その産状はいわゆるグリンタフ地域に共通する特長をもっている。

北陸地域の温泉は、これら火山岩類の分布する地域におもに湧出し、また  $CH_4$  を主成分とする可燃性天然ガスは新第三系の堆積岩からおもに産出する。

このような地質条件にあるので、北陸地域は、わが国におけるヘリウムの調査・研究では最も重要な対象地域の一つである。

わが国における天然ガス中の He に関する最初の全国的調査・研究は、大正10年(1921年)に東京大学航空研究所によって行なわれた。その後長い間全国規模の調査は行なわれていなかったが、昭和37年(1962年)に至って、地質調査所が第2次ともいべき全国調査を5カ年計画によって開始した。

北陸地域に対する地質調査所の He の調査・研究は、はじめ昭和37年(1962年)に比留川らによって開始され、この作業によって、温泉ガスおよび第三系の可燃性天然ガスの中に0.005~0.493 v/v % の He が含まれることが明らかにされた。このため、He の立体的分布状況と産出機構を明らかにする目的で試錐による調査・研究が計画された。そして、試錐を行なう地点を決定するための調査・研究が実施され、それは比留川らによる能登半島地域の地化学調査となった。

試錐の位置は、調査・研究した地域内で最も He 含有率の高い遊離ガスが得られた和倉温泉に近い、和倉町又部に選定された。

坑井の掘削は、昭和42年(1967年)10月から翌43年1月にわたって行なわれ、掘止深度 600mのこの井戸によって、He に関する各種の調査・研究が実施された。

調査・研究の分担は次のようである。

試錐による調査・研究計画：牧 真一・本島公司・大塚 寅雄

地質の調査・研究：今井 功・盛谷智之

試錐による産出試験：本島公司・牧 真一

試錐による地化学調査・研究：牧 真一・比留川貴・米谷 宏・高田康秀

能登半島地域の地化学調査・研究：比留川貴・米谷 宏  
この調査・研究に便宜ならびに協力をいただいた石川県企画開発局および七尾市商工開発課のかたがたに厚く感謝する。また、本文の作成にあたっては、坂本 亨、永田松三、影山邦夫の各技官から未公表資料の提供をうけ、望月常一、大場きみじ両技官からはコア試料についてのウラン、トリウムの分析結果の提供をうけた。記して感謝の意を表する。

## 2. 北陸地域の地化学調査の概要

北陸地域の He を対象とした地化学調査のうち、本論文に關係する部分について、その概要を述べる。

調査した各温泉ガスと可燃性天然ガスのうち、He を含有するものについて He % と  $N_2/He$  比の値を第 1 表に示した。全体としてみると、He は 0.005~0.493 v/v%， $N_2/He$  比は 200~6,434 であるが、空気混入の山中温泉ガスを除く  $N_2$  系ガスでは、He は 0.086~0.493v/v%， $N_2/He$  比は 200~1,140 となる。このうち、和倉温泉ガス中には 0.493 v/v% の He が含まれており、この値は茨城県高萩市高戸の探炭井からのガス中の He 0.59 v/v% に次いで、本邦第 2 位の高含有量である。しかし、ガス量は神代温泉の  $CH_4$  系ガスを除くとすべて数  $m^3/d$  以下できわめて少ない。

先に牧ら (1969, 1970, 1972) は、常磐炭田地域の炭田ガス中の He について、ガス量の多い北部地域では He の含有量 0.02~0.04v/v%， $N_2/He$  比は大部分 150~250、ガス量の少ない南部の高萩市高戸の探炭井では He 0.59 v/v%， $N_2/He$  比は 96、その近くの He 試錐井 (GS H-No. 1) では He 0.224 v/v%， $N_2/He$  比 121 となることから、ガス量の多いものに He 含有量が少ない關係を明らかにし、常磐炭田地域の He は、基盤岩から逸出・移動し、上位の石城層および浅貝層に貯留された炭田ガスに混入したものであると推定した。

北陸地域の場合、 $N_2$  系温泉ガスに He の含有量が多いのは、これが温泉水とともに湧出するガスであるため、 $CH_4$  ガスによって希釈されることがないからと思われる。また、 $N_2/He$  比が常磐炭田ガスの場合よりも大きいことについては、He を含まない  $N_2$  ガス (例えば堆積岩の堆積時の空気など) の混入があったためではないかと

第 1 表 北陸地域の He 含有温泉ガスおよび可燃性天然ガスの He % と  $N_2/He$  比

Content of helium, value of  $N_2/He$  ratio and type of gas for inflammable and hot spring natural gases from Hokuriku region.

試料名	He vol. %	$N_2/He$ 比	ガス質
神代温泉	0.019	1,042	$CH_4$ 系
須川温泉	0.005	2,340	$CH_4$ 系
山田村ガス井	0.115	392	$CH_4-N_2$ 系
山田温泉	0.274	359	$N_2$ 系
湯ノ谷温泉	0.197	490	$N_2$ 系
湯涌温泉	0.134	733	$N_2$ 系
山代温泉	0.086	1,140	$N_2$ 系
*山中温泉	0.014	6,434	$N_2$ 系
片山津温泉	0.258	360	$N_2$ 系
芦原温泉ベニヤ	0.146	615	$N_2$ 系
* " 芦泉荘	0.136	679	$N_2$ 系
高岡温泉	0.008	1,150	$CO_2$ 系
和倉温泉 3 号井	0.493	200	$N_2$ 系

\* 空気が混入したガスサンプル

地質調査所未発表資料

現地調査：比留川 貴・米谷 宏・永田松三・影山邦夫  
分析：米谷 宏

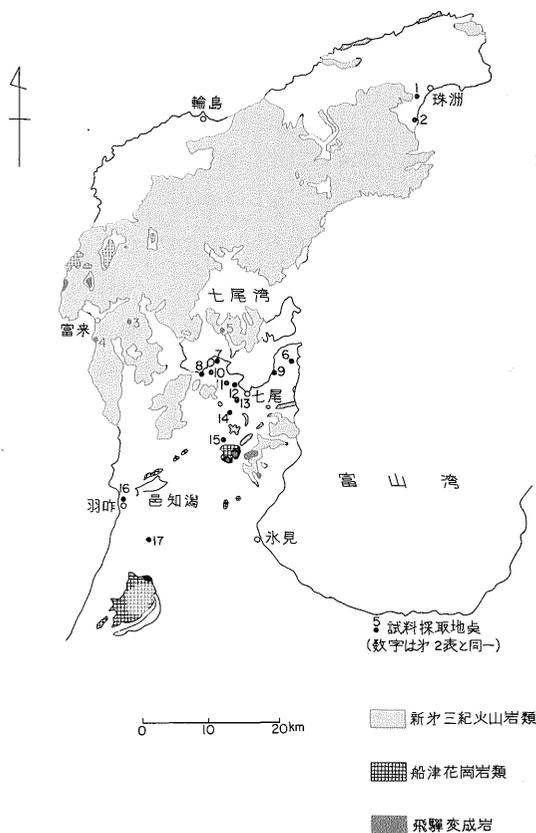
思われる。この点については、5.3 の項目で再度検討を加える。

## 3. 能登半島調査

### 3.1 能登半島の地質概要

能登半島地域には、新第三系の基盤岩類として、飛驒變成岩およびこれに伴う船津花崗岩類が転々と分布する (第 1 図)。飛驒變成岩は黒雲母片麻岩・透輝石片麻岩・石英長石質片麻岩などからなり、石動山の岩体では石灰岩を伴う。原岩の時代・變成作用の時代に関しては、まだ十分な資料が得られていない。船津花崗岩類は、花崗閃緑岩・石英閃緑岩・閃緑岩・アプライト・ペグマタイトなどからなり、深成作用の時代は、飛驒山地の例から、中生代初期と考えられている。なお、邑知瀨西方海岸の長手島は、放射性鉍物長手石を産することで知られている。これは船津花崗岩類に属するペグマタイトの巨礫中にみられるものである。

能登半島には手取層群・来馬層群などの中生界堆積岩類は存在せず、新第三系が直接上記基盤岩類を被覆する。新第三系は、下位から中新統の楡原・穴水・八尾・音川の各累層および鮮新統の氷見累層に区分される。楡原累層は新第三紀海進の前駆をなす非海性の局地的堆積物で、宝達山の南麓部や富来北方の基盤岩類の周辺に分布する。火山岩類を主体とする穴水累層は、石動山付近



第1図 能登半島の地質略図および地化学調査の試料採取位置図

Map showing the geology of Noto peninsula and the sampling stations for geochemical survey.

から北の広大な地域と、宝達山の南麓部に分布し、氷見一羽咋間の地域には露出しない。とくに邑知瀨の北や石動山の南では、八尾累層が直接基盤岩類を覆っており、穴水累層は存在しない。一方、七尾湾南湾では海底音波探査の結果から、各地で穴水累層の存在が知られている。穴水累層を構成するものは、主体をなす安山岩の溶岩および火砕岩と、比較的上部の層準に伴う石英安山岩質火砕岩や玄武岩、これらに由来する砕屑岩である。これらの累重関係は場所によって異なり、岩相変化が著しい。穴水累層は、巨視的にはNE-SW方向の軸をもつゆるやかな波曲構造を呈し、富来付近にはNE-SW方向の破碎帯を伴う断層がある。堆積環境は汽水～淡水域、一部は陸域と考えられる。

八尾・音川・氷見の各累層は、いずれも主として海成堆積物からなり、細粒堆積物に富む音川・氷見両累層の

岩相が比較的一様なものに比べ、粗粒堆積物に富む八尾累層は岩相変化がきわめて著しい。八尾累層は基盤岩類や穴水累層を、音川累層は穴水累層や八尾累層をそれぞれ被覆しており、これらの被覆関係からみると、各累層堆積時の古地形がかなり複雑であったことが予想される。とくに穴水累層に対しては、各累層ともアバット状に被覆する場合が多い。能登半島北端部を除けば、八尾累層上部および音川・氷見両累層の分布の北縁は、ほぼ能登島一富来を結ぶ線上付近にあり、これより北は穴水累層を主体とする台地となる。

穴水累層に接する八尾累層には珪質岩を伴うマンガン鉱層や燐鉱層などの層状鉱床が各地で認められており、また音川累層の基底部には、能登島・和倉付近で海緑石砂岩層が発達する。

### 3.2 能登半島の地化学調査

試料採取地点は第1図に示すように配置され、そこで得られた地下水の分析結果は第2表のようである。

#### 3.2.1 遊離ガス

この調査地域内で遊離ガスが採取できたのはただ1カ所だけで、崎山半島の下湯川鉱泉(測点番号6)の鉱泉水に伴うメタン系の天然ガスが得られた。このガスは、第3表に示されるように、Heを0.025 v/v%含有し、また $N_2/He$ 比の値は452である。この値を、第1表に示されている、北陸各地から産出する温泉ガスのそれと比較してみると、和倉温泉3号井の200、片山津温泉の360、芦原温泉の615と679、湯涌温泉の733、山田温泉の359のように、ほぼそのなかばに位置する。

#### 3.2.2 水中溶存ガス

第2表に示されるように、当地域内の水中溶存ガスは前記の下湯川鉱泉の $CH_4$ 系の1例を除いて、そのガス質はすべて $N_2$ 系または $N_2-CH_4$ 系である。溶存ガスの分析には $CO_2$ を除外してあるが、水の炭酸含量およびpH値から判断して、ガスが $CO_2$ 系である可能性はない。溶存Heが痕跡あるいは微量の水では、溶存 $O_2$ が多い傾向にある。

これらの試料は、たまり水またはエアリフトの揚水水であって、水中溶存ガスの大部分が、空気に由来している。溶存 $O_2$ の少ないその他の試料は、いずれもHeを含有しているので、調査地内の地下水はすべてHeを含むといえよう。

そのなかでも、比較的多量にHeを含む例としては、飯田温泉の0.144 v/v%( $CO_2, H_2S$ を除いた全溶存ガスに対する容量百分率)、和倉温泉のテストボーリング井の0.128 v/v%などがあるが、後者の場合は試料に多少空気が混じっているためその補正を施すと、ほぼ前者の数値

第2表 能登半島の

Chemical composition of

No.	試料名	坑井状況	水量 kl/day	ガス量 m <sup>3</sup> /day	水温 (°C)	pH	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
1	飯田温泉	深度205m, 自噴	3~5	0.00 n	23.4	7.4	9,770	197	0.0
2	鶺鴒温泉4号井	深度500m ストレーナー 270~490m	1	0.000	24.6	7.8	552	231	0.0
3	日用鉱泉	深度約4m, 掘井戸		0.000		6.7	18.6	127	0.0
4	生神温泉	深度380m, air lift	25.9	不明		8.4	760	454	13.4
5	半の浦温泉	深度400m, 仕上げ中に事故をおこして休止中		0.000		6.6	164	88.8	0.0
6	下湯川鉱泉	深度300m? 自噴	1.67	0.417	17.7	7.2	2,750	1,753	0.0
7	和倉温泉テストボーリング	S.37年掘さく, 深度200m たまり水		0.000		7.5	5,460	97.8	0.0
8	*川尻簡易水道水源井	深度82m 自噴	約10	0.000	26.4	8.6	49.6	86.0	5.4
9	赤崎温泉	深度約80m 自噴	138	0.000	27.6	8.3	603	948	37.9
10	*和倉簡易水道 No.1	ストレーナー 55~103m 水中ポンプ		0.000	21.1	8.4	12.2	76.8	2.1
11	赤浦温泉	深度不明, 沖積層, 自噴	173	0.000	28.9	8.2	107	133	7.7
12	*住友セメントK.K. No.1井	ストレーナー 104~136m		0.000	17.9	8.7	293	73.2	2.1
13	*七尾市上水道水源 No.2井	ストレーナー 72~136m		0.000	21.0	7.9	16.3	105	0.0
14	*徳田朝日中学	深度40m		0.000	13.8	6.3	12.0	26.8	0.0
15	東山鉱泉	掘井戸, たまり水		0.000	14.0				
16	羽咋ヘルスセンター	ストレーナー 177~298m, 自噴	10~20	0.000	25.6	7.4	12.3	185	0.0
17	新宮温泉	深度574m, air lift	115	不明	20	7.4	1,470	102	0.0

試料名の項 \*印: 溶存ガス以外の測定値は野間泰二・後藤肇次(1970)の資料による。

N<sub>2</sub>の項\*\*印: total-(He+H<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>)=N<sub>2</sub>により求めたので, 正確にはN<sub>2</sub>+Arとなる。

第3表 遊離ガス

Free gases.

採取場所	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	備考
GSH-2号井 深度280m	0.322	3.865	0.56	94.60	tr	0.65	294	ベレーで採取
〃 550m	0.059	3.251	0.74	95.80	0.14	0.01	1,620	同上
〃 600m	0.039	2.141	0.89	96.71	0.21	0.01	2,480	同上
下湯川鉱泉	0.025	0.000	0.45	11.29	85.15	3.09	452	
*和倉温泉3号井	0.493	0.035	0.20	98.43	0.68	0.16	200	
**和倉温泉2号井	0.500	0.398	0.10	56.30	41.00	0.14	113	Ar 0.43%, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 0.14%, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> 0.92%

\*昭和37年 地質調査所 調査資料

\*\*地質調査所 未発表資料

備考 和倉温泉2号井以外の分析は, すべてArを除外して100%としている。この場合は, ガスクロマト分析に際し, Ar以外のキャリアーを用いて, 特にArを定量しなかったため, Ar含有量に相当する数値はすべて表中の各成分の中に, その含有量に比例して配分されている。N<sub>2</sub>系の遊離ガスのAr量は, 対応するN<sub>2</sub>系の溶存ガスの分析結果から判断すると, およそ1%と推定されるので, 細かい論議にはこの点に留意して分析値を扱うことが必要である。

地下水水質  
groundwater from Noto peninsula.

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	溶 存 ガ ス						
						He(ml/l)	He(%)	O <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	**N <sub>2</sub> (%)	***total (ml/l)	N <sub>2</sub> /He
437	16.6	108	5,730	597	42.7	0.0297	0.1437	0.48	5.29	94.09	20.72	655
58.1	3.21	18.7	407	19.9	16.2	0.0017	0.0094	2.46	0.76	96.76	18.33	10,300
7.2	1.91			21.6	3.91	tr	tr	2.73	10.80	86.46	17.20	
363	0.94	8.73	793	24.8	11.2	tr	tr	33.63	0.55	65.81	22.30	
15.5	1.96	4.57	127	5.48	2.27	tr	tr	6.21	0.72	93.01	18.37	
2.3	62.5	109	2,190	30.2	35.5	0.0104	0.0335	1.09	86.86	12.01	31.07	359
151	1.04	52.0	2,060	1,289	37.4	0.0224	0.1276	4.33	6.63	88.91	17.54	697
14.0		3.2	70.2	0.5	0.4	0.0003	0.0018	3.80	3.32	92.84	17.65	51,600
29.8	17.6	22.7	662	5.55	5.43	0.0069	0.0354	1.99	3.07	94.90	19.60	2,680
7.5		3.3	37.0	2.4	0.3	tr	tr	16.41	0.85	82.71	18.10	
24.4	6.19	5.34	120	1.03	1.60	0.0010	0.0055	2.79	0.44	96.75	17.58	17,600
52.6		9.7	155	20.1	18.1	0.0002	0.0008	29.05	0.77	70.17	22.03	87,700
8.9		5.0	25.3	21.7	3.0	0.0006	0.0031	1.68	1.50	96.80	19.09	31,200
2.2		1.6	9.1	3.7	0.7	tr	tr	29.16	0.41	70.37	21.23	
						tr	tr	21.04	1.23	77.72	20.15	
4.6	3.37	15.0	17.5	22.0	11.9	0.0003	0.0014	0.79	22.65	76.55	21.53	54,700
1,048	0.69	10.4	1,340	115	6.09	0.0014	0.0079	32.05	0.56	67.26	18.16	8,510

\*\*\*: total = He + H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub> + Ar など. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S などを除く.

に近いものとなる。また、N<sub>2</sub>/He 比の値を求めると、飯田温泉が655、和倉温泉テストボーリング井が697で、ほぼ等しい。この値は、芦原温泉産の遊離ガスについて求めた値615および679とも、ほぼ等しい(第1表参照)。

溶存ガスの N<sub>2</sub>/He 比が最も低い値になっているのは、地域内唯一の遊離ガスの産地である下湯川鉱泉の水の溶存ガスの359であるが、この値は同じ鉱泉水に伴う遊離ガスにおける N<sub>2</sub>/He 比の値452よりも幾分低い。これらの値は、第1表の山田村ガス井の392、山田温泉の359および片山津温泉の360に近い。

### 3.2.3 地下水

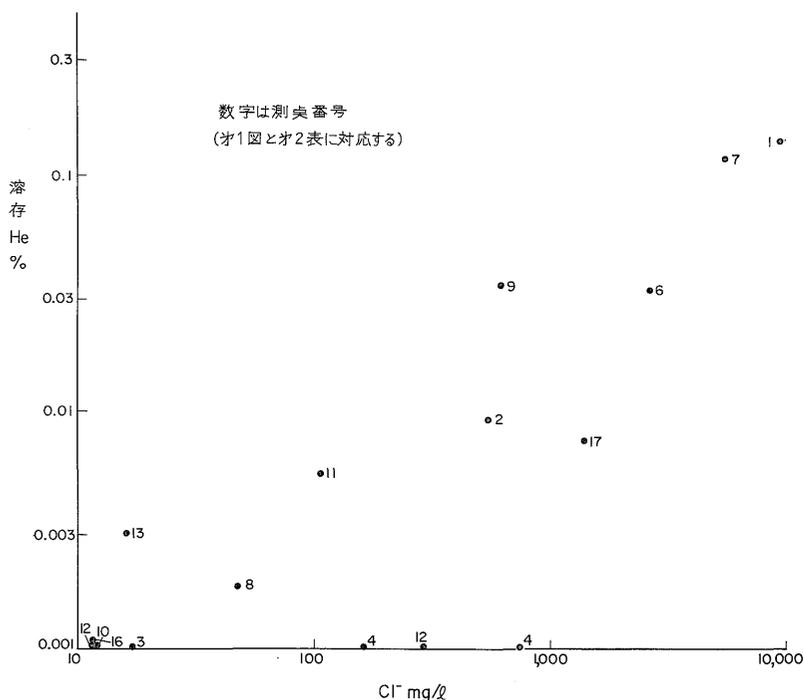
地下水中の Cl<sup>-</sup> 含有量が 1,000 mg/l を超えている飯田温泉、和倉温泉テストボーリング井および下湯川鉱泉の水は、いずれも溶存ガス中に占める He の割合が大きい(第2表参照)。ただし、試料番号17の新宮温泉の水は Cl<sup>-</sup> が1,470 mg/l あるが、溶存ガス組成がほとんど空気であるので、例外とした。

溶存ガス中に占める He の%と、地下水中の Cl<sup>-</sup> 量との関係を第2図に示したが、概して Cl<sup>-</sup> 量の多い地下水と温泉水に溶存 He の多いことが理解される。

地下水などの Cl<sup>-</sup> 以外の成分の分布特長をみると、まず Ca<sup>2+</sup> が目につく。飯田温泉、和倉温泉テストボーリング井および新宮温泉の温泉水は、いずれも Ca<sup>2+</sup> 量が多く、しかも Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> 比の値が高い。水質型から検討すれば、飯田温泉と和倉温泉テストボーリング井の水は、Na-Ca-Cl 型になる。下湯川鉱泉の地下水は、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、アルカリ度(第2表では HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> として示される)が多く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> が少なく、第三系に普通に見られる可燃性天然ガスの付随水の水質と同じである。赤崎温泉の水は、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> が多いが、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> も比較的多い点で可燃性天然ガスの付随水の性質とやや異なっている。

## 4. 試錐調査

### 4.1 試錐の位置と交通



第2図 能登半島地域の地下水中の  $Cl^-$  と溶存 He % の関係  
 $Cl^-$  versus He % of dissolved gas in groundwater from Noto peninsula.

試験井 GSH-No.2 の位置を第3図に示す。

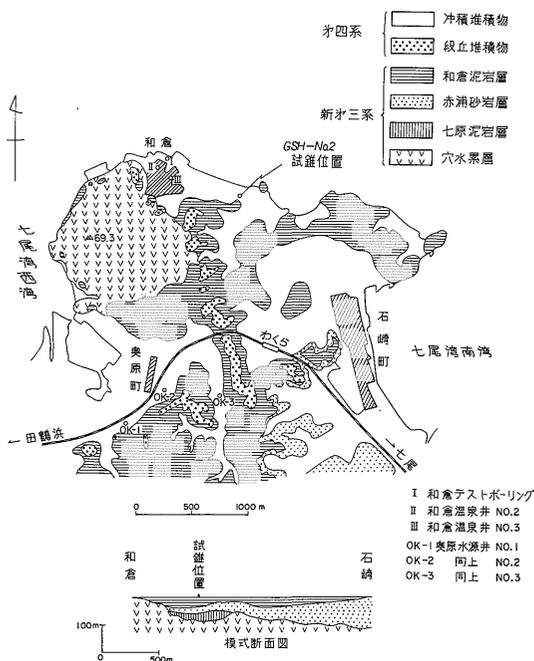
その地点は、和倉町又部にあつて、和倉温泉の源泉のある所から東へおよそ800m、国鉄七尾線の和倉駅から北へおよそ1,300m、七尾湾岸壁から南へ50mの所であつて、和倉通信保養所の正面に位置する。

試験地点へ達するには、和倉駅と和倉温泉とを結ぶバス路線の温泉入口バス停で下車し、そこから石崎方面へおよそ200m歩くのが便利である。

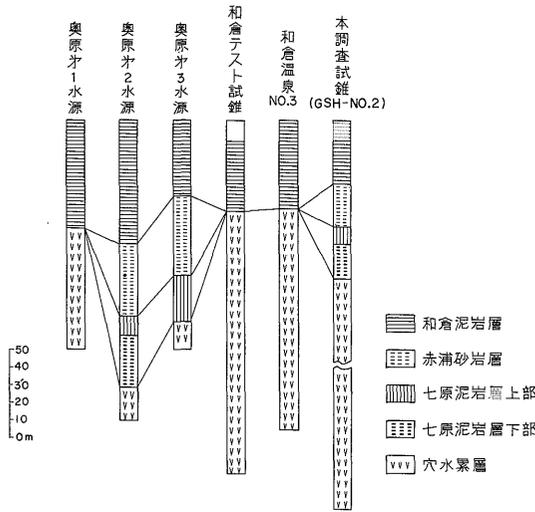
#### 4.2 和倉町周辺地域の地質

この地域には、新第三系中新統の穴水累層・赤浦砂岩層・和倉泥岩層、第四系の段丘堆積物および沖積堆積物が露出する(第3図)。一般に地層の傾斜は $10^\circ$ 以下で、水平に近い構造をなすが、穴水累層にアバット状に接するところでは、部分的に急傾斜を示すことがある。新第三系の基盤をなす古期岩層は、周辺地域の地質構造、層序関係から、海水準下約800m以深に伏在するものと推定される。また、和倉温泉付近では穴水累層に不整合で和倉泥岩層が接するが、既存の奥原水源試験資料およびGSH-No.2 試験によれば、穴水累層と赤浦砂岩層との間に、七原泥岩層が伏在している(第4図)。

穴水累層 本地域では和倉温泉と奥原間に露出するが、地域の南西方、田鶴浜付近には広く分布しており、



第3図 和倉町周辺地質図および試験井位置図  
 Geological map of Wakura-machi district and drilling site of exploratory well GSH-No. 2.



第4図 和倉町周辺の坑井の柱状図 (位置は第3図に示されている)

Geological well logs of Wakura-machi district.

奥原付近の試錐資料や GSH-No.2 試錐でもその存在が認められるので、本地域一帯に広く発達しているものと考えられる。層厚は、GSH-No.2 試錐によれば、認められる範囲で515m。しかしなお基盤に達していないので、地表露出部分の厚さを考慮すると、全体では600m以上に及ぶものと推定される。本地域および周辺地域における露出部分では、主として安山岩溶岩・安山岩凝灰角礫岩および凝灰岩からなり、凝灰質砂岩・泥岩を挟在するが、その大部分は溶岩である。GSH-No.2 試錐層序(第5図)では、本累層の上部約130mは石英安山岩質凝灰岩や軽石・炭質物に富む砂岩・泥岩など碎屑物からなる。これは、一般に穴水累層の上部に場所によって発達する亜炭層を伴う碎屑岩層に岩相上類似する。この部分と和倉温泉付近に露出する安山岩溶岩を主体とする部分との層序的關係については、現在のところ明らかでない。

七原泥岩層 本地域には露出しないが、前述のように試錐資料から地域内に伏在していることがわかる。本層の模式地は、地域の西、田鶴浜町の南々西約5kmの七原付近で、ここでは本層の上部は主として暗褐色～暗灰色の砂質泥岩からなり、軽石粒や雲母片、炭質物などを含み、ときに細礫をまじえる。Makiyamaを産する。下部注1)は凝灰質砂岩を主とし、軽石質凝灰岩や泥岩の薄層、炭質頁岩をはさみ、炭化木片を含む。奥原付近の試錐資料および GSH-No.2 試錐によれば、本層の厚さは

注1) 厳密には独立した部層と考えられるが、全域的に観察していないので、本文では便宜的に七原泥岩層の下部とした。

柱状	層厚(m)	累計深度(m)	岩質	地層区分
	1.0	1.0	砂・粘土	沖積層
	35.0	36.0	塊状灰色珪藻土質泥岩 ↓	和倉泥岩層
	13.0	49.0	淡緑灰色含海緑石砂岩(1m厚)	
	9.0	58.0	暗青色アルコーズ粗粒砂岩	赤浦砂岩層
	11.0	69.0	含貝化石灰質砂岩 アルコーズ砂岩・細礫岩	
	7.7	76.7	褐色泥岩(含炭質物)	七原泥岩層
	4.3	81.0	炭質頁岩・泥岩・シルト岩	
	4.5	85.5	礫岩(安山岩の巨礫を含む)	
			安山岩溶岩	
			炭質泥岩を挟む 青灰色石英安山岩質軽石 スコリア凝灰岩	
	47.4	137.4	黒色炭質泥岩・石英安山岩質凝灰岩 安山岩質砂岩互層	
	11.4	148.8	灰色石英安山岩質軽石凝灰岩 (軽石はハッチ状に含まれ炭質部は泥質)	
	21.8	170.6	黒色炭質泥岩・粗粒砂岩互層	
	7.9	178.5	泥岩・砂岩・火山礫凝灰岩互層	穴水累層
	43.5	222.0	暗緑色安山岩質火山円礫岩 火山礫凝灰岩(軽石・炭質物を含む)	水累層
	53.0	275.0	亀裂断層角礫を伴う 白色化炭質	
	5.5	280.5	紫褐色安山岩凝灰角礫岩	
	14.5	295.0	暗紫色角閃石輝石安山岩	層
	4.5	301.0	紫色輝石安山岩凝灰角礫岩	
			石英安山岩質軽石凝灰岩	
			雑色安山岩凝灰角礫岩	
			泥岩・シルト岩を挟む部分	
			青灰色安山岩凝灰角礫岩	
			緻密黒色安山岩溶岩	
			暗紫色～暗緑色 輝石安山岩凝灰角礫岩	
	120.5	600.5		

第5図 GSH-2号井試錐柱状図  
Geological columner section of GSH-No.2 well.

25~40mで、地域により厚さの変化があり、和倉温泉付近では本層を欠き和倉泥岩層が穴水累層を直接被覆している関係を考えあわせると、本層は起伏の多い穴水累層の古地形の凹所を埋積したものと思われる。

**赤浦砂岩層** 石崎町付近から南に広く露出する。層厚は石崎の南で150m以上とみつめられるが、奥原付近の試錐資料では約40m、GSH-No.2 試錐では約25mで、西方に向って消失する。一般に粗粒のアルコーズ砂岩からなり、軟弱である。上部には顕著な斜層理が発達することが多い。また、局部的に二枚貝・腕足貝・ウニなどの遺骸の密集した石灰質砂岩が発達する。これは基質はアルコーズ砂岩で、周囲の赤浦砂岩層とは同時異相関係であるが、より粗粒で地層の傾斜が急である。本層は、ときに5~10cmの白色凝灰岩層をはさむ。本地域南東の七尾市周辺では、本層中の石灰質砂岩部にときに含ウラン燐鉱を伴うことが知られている(盛谷, 1969)。

**和倉泥岩層** 田鶴浜—石崎間に露出する。赤浦砂岩層を非整合に被覆するが、和倉温泉付近では穴水累層をアバット状に覆っている。層厚は露出範囲で150m内外とみつめられる。本層の基底面はゆるやかに起伏しており、和倉温泉の海岸では-50m以上、奥原付近では-70mの舟盆状を呈し、和倉駅の北では-20m台で平坦状をなしている。本層は層理に乏しい均質塊状な珪藻質泥岩を主とする。基底部には厚さ1~数mの海緑石砂岩層が発達する。和倉駅南東国道沿いの露頭では、海緑石砂岩層の下位に厚さ約50cmの淘汰の悪いシルト質砂岩があり、赤浦砂岩層と不規則な境界で接している。このシルト質砂岩には海綿 *Aphrocallistes* や海緑石粒、軽石粒などが含まれる。和倉泥岩層の上部はシルト質となり、層理がやや明瞭となり、数枚の薄い軽石層をはさむ。海綿骨針にとむ。

**段丘堆積物** 和倉温泉付近から奥原付近にかけて、丘陵の標高20mの平坦部に転々と分布する。厚さ10m以下で、主として砂層からなり、一部で貝化石シルト層をとまう。貝化石は強内湾性のものが多い。更新世後期の海成層で、和倉駅貝層として知られている。

**沖積堆積物** 主として砂・粘土の互層からなり、やや粘土に富む。ときに細礫をまじえる。層厚は厚いところで約20mである。

### 4.3 試錐

#### 4.3.1 試錐工法

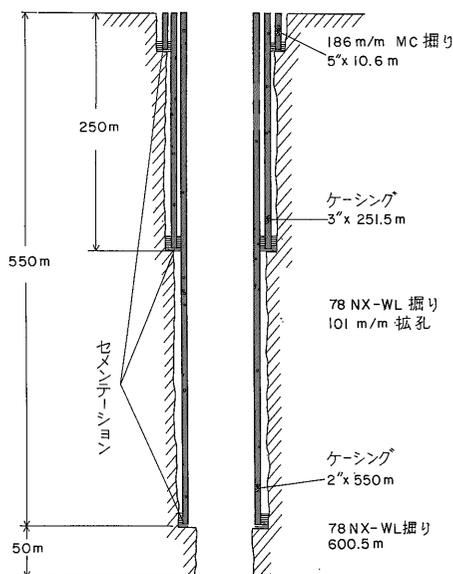
この試錐によって是非明らかにしたい事項は、地質状況、深度別の地下水と天然ガスの質およびある機械的条件のもとにおけるそれら流体の産出量に関する点などである。

ある。

これらの目的を達するためには、コアおよびカッティング採取、層別による水質・ガス質および水量・ガス量等の測定が必要である。

このために、この試錐工事では、工程を2つに区切って作業が進められた。それは、第6図に示すように、まず第1段階として地表下250mまでロータリーさく井機によって掘進した後、その坑底までメクラの3インチガス管をケーシングとして降下する。ついで坑底でセメンテーションを行ない、セメントが固化したあとで300mまで掘削を進める。このボアーホウルを充分にせい水で洗ってきれいにし、250~300mのボアーホウルを対象にした地下水とガスの産出試験と試料採取を行う。

これらの第1段階の作業が終了した時点で、第2段階の作業に入る。すなわち、300~550m間を掘削し、第1段階と同様に、そのボアーホウルへ2インチのガス管をケーシングとして550mまで降下ののち、セメンテーションを行う。その後550~600m間の50mを追掘して、そのボアーホウルに対して前述の試験と試料採取を行う。



第6図 試錐工法  
Casing program of GSH-No. 1.

#### 4.3.2 試錐による地質層序と岩質

この試錐 GSH-No.2 の坑井地質柱状図を第5図に示す。その層序と岩質は次のようである。

地表から1mまでは沖積層で、軟弱な砂と粘土からなる。

1 m以下36mまで和倉泥岩層で、塊状均質な灰色珪藻土質泥岩からなり、基底に厚さ1 mの海緑石砂岩が存在する。

36m以下58mまでは赤浦砂岩層で、主として軟弱な粗粒のアルコーズ砂岩からなる。部分的にはこれが細粒礫岩となり、また貝・腕足貝・ウニなどの遺骸が密集した石灰質砂岩を挟在している。

58m以下81mまでは七原泥岩層で、上部は褐色泥岩、下部は炭質頁岩、泥岩、シルト岩の互層、基底部は安山岩の巨礫を含む礫岩からなり、炭質泥岩には植物化石が含まれる。

81m以下600mまでは穴水累層で、280mまでの上部と280m以下の下部とに分けられる。上部は、安山岩質火山円礫岩ないし火山礫凝灰岩、石英安山岩質軽石凝灰岩の火山砕屑岩とともに、凝灰質砂岩、泥岩、炭質頁岩などの砕屑岩からなり、これらが互層している。また、最上部の81~85.5mには、安山岩溶岩と同質の凝灰角礫岩の部分が存在する。これは上位の七原泥岩層基底の安山岩の巨礫の可能性もあるが、この部分には礫間をうめる泥岩が認められなかったことから、穴水累層の一部に含めた。

下部は主として安山岩溶岩および同質の凝灰角礫岩からなり、一部に泥岩、シルト岩を挟む。上部に較べ岩質は一般に堅硬である。

この試錐の穴水累層の部分では、ところによって亀裂や温泉変質部が認められた。その顕著なもの、深度275~282mの部分であり、ここでは岩石が角礫化したり、小亀裂をもつとともに、白色化し、黄鉄鉱や方解石の細脈を生じている。

#### 4.3.3 物理検層

物理検層として温度検層、電気検層および放射能検層を行った注2)。

##### 1. 温度検層

温度検層は0~300mと0~600mの2回行った。その結果を第7図の右側に示す。

温泉勾配は、全体の平均をとれば10°C/100mであるが、部分的変化が見られる。その第1回測定と第2回測定結果による値を次に示す。

##### 第1回測定

5~225m	10°C/100m
225~280m	20°C/100m
280~300m	4°C/100m
最終孔底温度(300m)	52.5°C

##### 第2回測定

0~225m	10°C/100m
225~350m	8°C/100m
330~350m	温度降下気味、354mで約3°Cの変化をみた。
359~439m	9°C/100m
439~463m	19°C/100m
463~600m	9°C/100m
最終孔底温度(600m)	76°C

## 2. 電気検層 (第7図参照)

### (1)自然電位

深度41~46mと48~58mに電位降下帯が認められた。深度80~213mは安定し、213~260mで徐々に電位上昇の傾向を示し、深度275~293mで急激な変化を示した。深度350m以深では電位の急激な上昇を示し、375~418mはほとんど変化なく、432~448mで電位の上昇が認められる。448m以深では、587mで電位の降下があるほかは、安定な電位を示している。

### (2) 比抵抗

二極法は一般に short normal (S.N.) の方が long normal (L.N.) よりも抵抗値が小さいが、高抵抗域では逆の傾向が認められた。

S.N. (電極間隔 a=25 cm)

L.N. ( " a=100 cm)

深度38~46m、277~295m、301~317mに150~200Ω-mの顕著な高抵抗地域が認められた。全体的傾向をみると深度10~60mでは高抵抗を示すが、60~223mの間はほとんど変化がなく、334~500mでは全般に低抵抗である。深度500~600mでは徐々に抵抗が高くなる傾向にあり、520~525m および 569~571m に高抵抗が認められる。

### (3)三極法 (Lateral 法 電極間隔 a=450 cm)

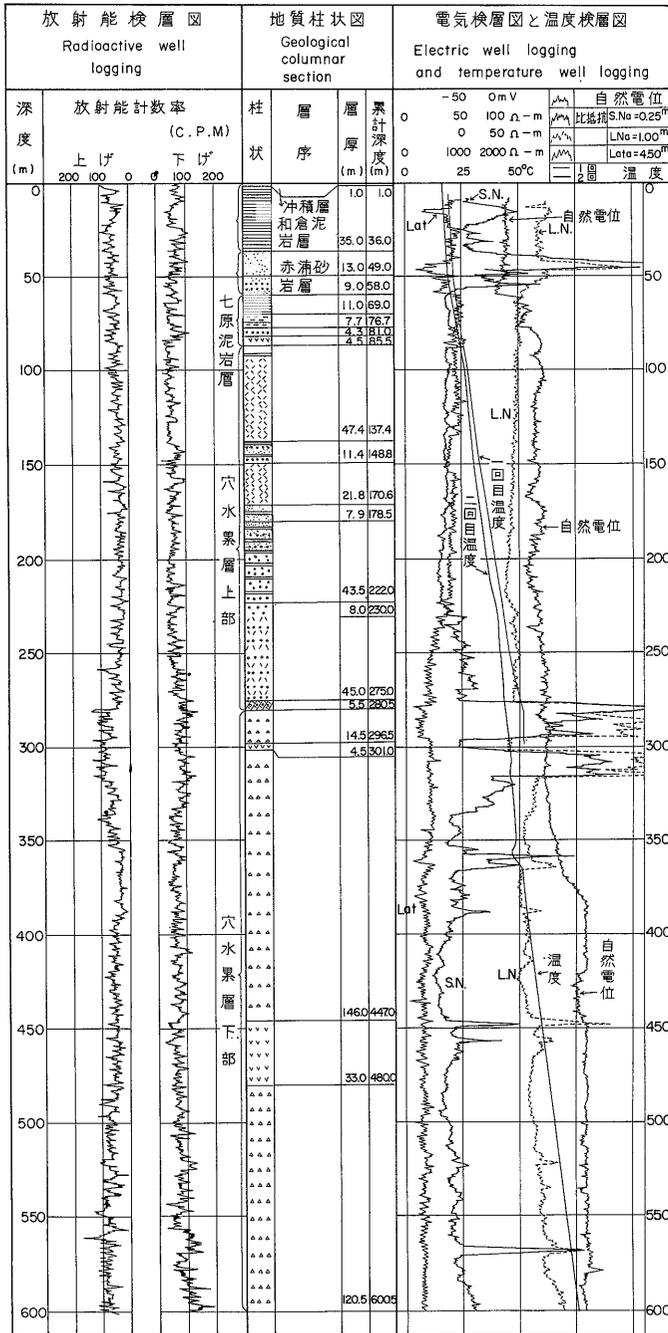
二極法による高抵抗域は三極法では必ずしも高抵抗を示さず、むしろ低抵抗を示すことが多い。また全般に深度を増すにつれて抵抗値は減少する傾向がある。特徴ある所は二極法と一致する。

## 3. 放射能検層 (第7図参照)

全深度にわたり20~150 cpmの範囲で変化するが、顕著な変化を示した深度をあげると次のようである。

深度	0~ 9m	70 cpm
	9~ 81mのうち	
	38~60m	60 cpm
	78~81m	60 cpm
	これ以外では	50 cpm
	81~275m	20~30 cpm

注2) 物理検層は宇部興産株式会社資源調査部が担当した。  
担当者 片寄邦之



第 7 図 試錐井 (GSH-No. 2) の地質柱状図, 放射能検層図, 温度検層図および電気検層図  
Geological columnar section, radioactive well logging, temperature well logging and electric well logging of the test well GSH-No. 2.

275~318m	70~100 cpm
318~358m	50 cpm
353~390m	20 cpm
390~490m	50 cpm
540~600m	80 cpm

このうちで560~572m 100 cpm

以上の値のなかで深度81~275mと353~390mのものは20cpmと特に低計数率であり、深度275~318mと560~572mのものは100cpmと高計数率である。

温度、電気および放射能の各検層結果から深度38~58m, 275~295m, 295~301m, 301~319m, 355~365mに顕著な変化が認められた。そのうち、深度38~58mは和倉泥岩層下の滞水層に相当する。深度275~295mは火山屑砕岩や砂岩・泥岩・礫岩互層からなる穴水果層上部と、溶岩を主とする穴水果層下部との境界部にほぼ相当し、後述で明らかなように和倉温泉水系の地下水が湧出する場所に相当する。なお深度355mの温度変化は湧水または逸水現象による結果であろう。

#### 4.3.4 産出試験

##### 1. 深度250~300mの場合

試錐工法の項で述べたように、3インチケーシングは250mでセメンテーションされていて、その下300mまではボアーホウルである。そこを洗浄した後、2インチのウオターパイプと、1/2インチのインジェクションパイプを降下して産出試験を行い、次の結果を得た。

ガス量	2.7 m <sup>3</sup> /day
水量	26.8 kl/day
水温	34.8°C
PI (産出指数)	20 kl/day/kg/cm <sup>2</sup>
SPI (比産出指数)	0.4 kl/day/kg/cm <sup>2</sup> /m
水位 (地表面を基準として)	-6.8m
GWR (ガス水比)	1:10

ガス量はエアリフトにおけるガス中のHeと遊離ガス中のHeから算出した。水温および水量は初期の試験の場合それぞれ41.3°C, 50.5kl/dayが測定され、3時間にわたるリフト試験でも変化が認められなかったが、1日後に再度実施した試験では上記の34.8°Cへと低下した。

##### 2. 深度550~600mの場合

深度250~300mの場合と同様な工法で、550mで2インチのケーシングでセメンテーションを行った後、600mまで掘進し、坑内を洗浄した後、1/2インチのインジェクションパイプを204.5mまで挿入し、エアリフトで行った。しかし、エアリフトがかからず、水位はエアリフトパイプを挿入した200mより上位までには回復しなかったため産出試験は出来なかった。このため、地化学試験用の地下水試料をベラーで採取した。また地下水が坑口に達した時に生ずる泡状の遊離ガスを採取した。

深度550mの地下水を揚水した際に、坑口のベラーから分離したガスのHe含有量は0.059v/v%であり、600mの地下水から分離したガスのHe含有量は0.039v/v%で、わずかに550mからのものよりもHe含有量の減少を示した。

#### 4.3.5 試錐地化学調査

##### 1. 遊離ガス

深度280m, 550mおよび600mのそれぞれからベラーで試験用地下水を採取した際に得られた遊離ガスの分析結果を第3表上段に示した。各深度から採取した地下水から分離した遊離ガス中のHe%を比較すると、280mの場合がもっとも高く、550mと600mの数値にくらべておよそ1桁高い。また600mの場合よりも550mの方がわずかながら高い。

##### 2. 溶存ガス

深度280mと550mから採取した地下水の溶存ガスの量、ガス組成およびN<sub>2</sub>/He比を第4表に示した。これらの溶存ガスの組成は、遊離ガスに比較してHeおよびH<sub>2</sub>の含有量が低い。この現象は、深部にあった地下水の圧力が、孔口で常圧に減じた際、H<sub>2</sub>に次いでHeが地下水から分離しやすい(溶解度が小さい)ためと理解される。

##### 3. 地下水

深度250~300m, 550mおよび600mで採取した地下水の分析結果を第5表上段に示した。表中の下段には、比留川らの調査・研究による和倉温泉3号井からの温泉水、和倉温泉2号井からの温泉水および和倉温泉テストボーリング井からの地下水(第2表の試料番号No.7)の分析値を表示した。和倉温泉の各源泉の位置関係を第8

第4表 溶 存 ガ ス

Dissolved gases.

GSH-No.2 採取深度	He%	H <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %	Ar%	CH <sub>4</sub> %	N <sub>2</sub> /Ar	N <sub>2</sub> /H <sub>2</sub>	total gas (ml/l)
280m	0.254	0.756	2.40	95.22	0.89	tr	97	374	17.95
550m	0.0292	0.697	0.61	97.24	1.05	0.374	93	333	16.26

第5表 和倉試錐井 (GSH- No. 2) および和倉温泉の温泉水の分析

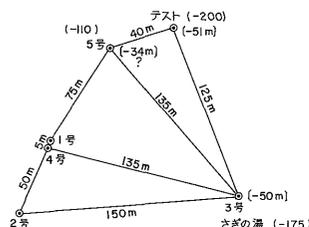
Chemical compositions of hot spring waters from the Wakura test well and hot spring wells.

試料	T <sub>w</sub> (°C)	pH	Cl <sup>-</sup>	Mアルカリ度 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Pアルカリ度 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Pアルカリ度 OH <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)
GSH No. 2 深度250—300m	34.8	7.8	9,190	60.7	0	0	30.6	0.96	108	3,440	2,260	3.09
"    550m		9.6	3,710	0	60.9	174	12.9	12.2	91.0	1,650	901	2.90
"    600m		9.7	729	0	54.6	24.2	72.0	7.08	13.9	482	56.8	1.34
*和倉温泉 3号井	54.1	7.3	8,620	61.2	0	0	15.8		78.3	3,230	2,088	12.0
**    "    2号井	94.0		12,676	18.3	0	0	180.4	0.49	86.0	3,252	2,124	11.1
**    "    4号井	95.0	7.2	12,482	19.9	0	0	162.1	0.5	14.0	4,300	3,449	14.3
***和倉温泉テストボーリング井		7.5	5,460	97.8	0	0	151	1.04	52.0	2,060	1,289	37.4

\* 昭和37年, 調査資料 (地質調査所)

\*\* 石川県資料より

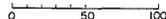
\*\*\* 第2表試料番号7より



1号, 4号, 2号, はいずれも 深さ 100m ±  
直接穴水標高から据っている。

( ) : 試錐深度

( ) : 和倉泥岩の基底深度



第8図 和倉温泉の源泉の相互関係位置図

Distribution of hot spring wells in Wakuramachi district.

図に示す。

試錐井の深度250~300mから採取した試料は, エアリフトによって揚水された地下水であり, 試錐工法(4.3.1工法参照)から考えてもほぼ完全に地下250~300mにある地下水を代表しているが, 深度550mと600mの地下水は, 坑内を洗浄した後にペーラーで採取したものである。完全にその深度の地下水を代表しているとはいえない。しかし, 550mと600mの地下水の間には, Cl<sup>-</sup>含有量でも550mの3,710 mg/lに対して600mの729mg/lのように, 水質上の相違が認められる。これは, 電気検層の比抵抗曲線が深度569~571mで高抵抗値を示すことからみて, この深度に流出する地下水があることに, あるいは起因しているかもしれない。一般に停滞状態にある地層水では, 塩分濃度の高い方が下位に存在するのであるが, しかしこの場合には, 逆の分布状態を示している。流出水の影響によってそれぞれの深度にみられ

る水質の相違を現わしているものと思われる。

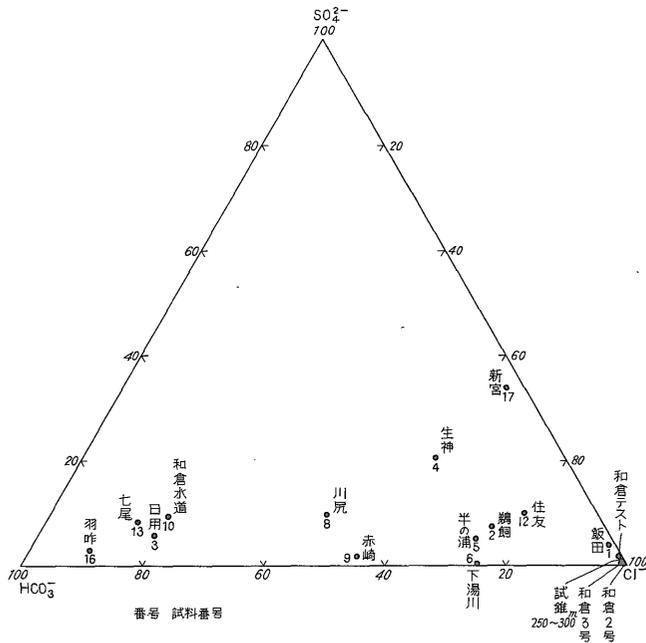
深度250~300mで湧出する地下水の水質は, 第5表から明らかなように, 和倉温泉3号井の温泉水の水質とよく類似しており, 両者は同じ水系の地下水と推測される。また, 和倉温泉の源泉近くにある和倉温泉テストボーリング井からの地下水は, 他の和倉温泉の水に比べてHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>とCa<sup>2+</sup>が多い特徴が認められるが, この水質の相違は試験水としてたまり水を採取した結果によるのかもしれない。

## 5. 考察

### 5.1 能登半島地域地化学調査

北陸地域の温泉を研究した佐藤(1971)は, 地域内の40の温泉を地質学的条件と泉質によっていくつかのグループに分けたが, 和倉温泉については第三紀の安山岩に関連があるとしている。また同氏の温泉水の陰イオン三角ダイアグラム(Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>のミリバル%)によると, 和倉温泉は片山津, 芦原の両温泉と同じくCl<sup>-</sup>95%, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>0%, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>5%の高Cl<sup>-</sup>含有率の区域に分布する。今回の能登半島地域の地化学調査による地下水の化学組成を同じ三角ダイアグラム(第9図)に示すと, 飯田温泉と和倉温泉テストボーリング井からの温泉水はほぼ同じ高Cl<sup>-</sup>含有率のグループに属するが, 他の温泉水, 地下水は新宮温泉を除いては高Cl<sup>-</sup>含有率から高HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含有率の間に広く分布し, そのうち温泉水と鉱泉水は主として高Cl<sup>-</sup>含有率の側に, 一方一般地下水は高HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含有率の側に分布している。このことから, 能登半島地域に分布する温泉水, 鉱泉水は高Cl<sup>-</sup>含有率の温泉水に地下水が作用した結果とも考えられる。

採取した温泉, 鉱泉水および地下水のCl<sup>-</sup>量と, その溶存ガス中のHe%との関係はすでに第2図に示した。



第9図 陰イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) の三角座標 (ミリバル%)  
Triangular diagram for groundwater waters from Noto peninsula.

この図から  $\text{Cl}^-$  量の多い地下水に溶存 He の多い傾向が認められる。また第2表に示すように、 $\text{Cl}^-$  量が少なくても溶存  $\text{O}_2$  が少ないもの、すなわち直接大気あるいは天水の影響がない地下水には、溶存 He が認められるが、 $\text{Cl}^-$  量が多くても溶存  $\text{O}_2$  量の多いものには溶存 He は痕跡しか認められない。以上のことから、この地域では大気の影響が少ない深層地下水にはすべて He が溶存すると考えられる。

A. N. VORONOVら (1969) は、新第三紀堆積岩中の地下水の平均 He 含有量を 0.04 ml/l と実測している。この値と当地域における調査結果とを比較してみると、He 溶存量の多い飯田温泉と和倉温泉テストボーリング井の場合でもそれぞれ 0.0297 ml/l, 0.0223 ml/l であり、彼らの平均値 0.04 ml/l よりも 30~50% 少ない。しかし下湯川鉱泉の場合は遊離ガス中にも He を含有するので、この量を地下水にもどして計算すると 0.073 ml/l となって、VORONOV らの値の約 2 倍になる。このように下湯川鉱泉の場合は、He 溶存量が前述の新第三紀層中の平均値 0.04 ml/l よりも高く、統計的に見ると新第三紀層中に含まれる U, Th から in situ に生成した He だけにその源を求めるのは困難であり、第三系よりも古い岩層に由来する He も多いと思われる。下湯川鉱泉以外の例では、地下水が貯留されている地層中の U, Th から He が生成されたとしても、必ずしも不都合な量ではない。し

かし、調査地域内の天然ガスに対する封塞状態は必ずしも良好ではなく、その状態が良好な地質条件のもとで求めた VORONOV らの値と、そのまま比較検討するには幾分無理がある。一般論としては、飯田温泉と和倉温泉テストボーリング井の He も、地質時代の古い岩石に由来する部分が相当に含まれると解釈するのが自然であろう。

### 5.2 試錐調査

深度 250~300m に対する産出試験によって揚水された地下水の湧出深度をよりこまかく検討してみる。電気検層では、275~296m 間で自然電位の急激な変化と、高い比抵抗値とが認められる。また地質の項で述べたように、275~282m 間に、断層、亀裂および温泉変質がある。以上の資料によって、真の地下水の湧出深度は 280m 前後にあると判断される。

GSH-No. 2 の 280m 前後から産出するこの地下水の水質は、第5表に示すように、和倉温泉3号井からの温泉水の水質と類似しているため、両者は同じ温泉水系のものであり、一方第5表の下段の和倉温泉2号井の温泉水が和倉温泉地域の温泉水体の水質をほぼ代表するものと思われる注3)。

第3図に和倉温泉井、試錐井および奥原町水源井の位置関係を、第4図に各温泉井と水源井の柱状図を示した。今回の試錐の深度 280m から産出する地下水と類似

注3) この代表的温泉水の水塊に対して、仮に温泉水体とよぶ。

第6表 コアの空間におけるヘリウム比生産量  
Specific gain of helium in the pore space of the cores.

試料採取深度 (m)	飽和容量含水率 vol (%)	見掛比重	U (ppm)	Th (ppm)	*比生産量 $\text{cm}^3/\text{l/y} \cdot 10^{-9}$	**地下水の計算 He 含有量 (ml/l)
251	13.02	2.29	0.6	2	1.62	0.0324
275	12.04	2.19	0.6	2	1.69	0.0338
300	11.46	2.47	0.9	4	3.48	0.0696
550	11.44	2.48	0.6	2	2.04	0.0408
575	9.07	2.51	0.5	2	2.42	0.0484
600	12.40	2.51	0.5	2	1.70	0.0340

\*比生産量 A. N. Voronov et al. (1969) による計算式から算出

\*\*穴水累層の地質年代を大まかに  $20 \times 10^6$  年と見積って算出した

第7表 堆積岩中の空間におけるヘリウム比生産量  
Specific gain of helium by pore space of sedimentary rocks.

地質時代	分析数	地下水の平均 He 含有量 (ml/l)	空間の He 比生産量 $10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$
Devonian	258	1.12	2.9
Carboniferous	217	0.70	2.2
Permian	82	0.24	0.9
Triassic	17	0.20	0.9
Jurassic	370	0.70	4.2
Cretaceous	824	0.25	2.4
Paleogene	62	0.13	2.8
Neogene	3	0.04	3.1
平均			2.4

A. N. Voronov et al. (1969) *Geochemistry International* vol. 6, no. 2, p. 389, *Trans. from Geochimiyu*, no. 4, p. 505-570 (1969).

の水質の地下水を産する和倉温泉3号井は、和倉温泉2号井の南東ほぼ135~150mに位置しており、本試錐井は和倉温泉3号井からさらに東600~700mの距離に位置する。和倉温泉の各井の深度が100m前後であるのにくらべて、和倉温泉3号井は175mでやや深く、本試錐の湧出深度は280mとさらに深さを増し、東方に向かって温泉水の湧出深度が増大している。一方水温は西から東へ95℃、54.1℃、34.8℃(第1日目の産出試験では41.3℃)と東方に次第に下がっている。これらの結果から、本試錐井の深度280m付近から産出するガスと地下水の産出機構は次のように考察される。和倉温泉の各源泉相互の関係位置図を第8図に示す。和倉温泉1号井、2号井、4号井および5号井はほぼ北北東-南南西方向に並んでいる。この方向性は穴水累層中のNE-SW性の断層または割れ目によるものと思われる。温泉源である温泉水体もほぼこの位置にある。この温泉水体のところにある和倉温泉2号井と、そこからわずかに離れた3号井の水温とCl<sup>-</sup>量を比較すると、95℃と54.1℃、12,483 mg/lと

8,620mg/lとなり、3号井において地下水の影響をより大きく受けているように思われる。さらに3号井から東方に約600~700m離れた本試錐の地下水の水質が3号井の水質とほぼ類似していることは、3号井の地下水の水系が、地表水の影響をほとんど受けることなく、穴水累層中の比較的孔隙率の大きな部分に沿って東方に広く分布していると考えられる。また、第3表に示すように、遊離ガス中のN<sub>2</sub>/He比は和倉温泉2号井の場合の113に対して、3号井では200と高く、このHeの減少の割合は、両者間のCl<sup>-</sup>の減少の割合とほぼ等しく、前述の和倉温泉水体に地下水が影響しHeを減少したことを示している注4)。今回の試錐井の場合にはN<sub>2</sub>/He比が294とさらに高くなっている。このようにN<sub>2</sub>/He比の値に変化がでる原因としては、拡散によるHeの逸散、堆積岩の堆積時における大気N<sub>2</sub>による希釈、浸透した地下水によるN<sub>2</sub>の供給、岩石からのN<sub>2</sub>の供給、火山活動によ

注4) 和倉温泉2号井の温泉ガスは休止中のガスを採取したもので、ガス中のCH<sub>4</sub>は2次的に生成あるいは混入したものであろう。

る  $N_2$  の供給などが考えられる。

He は U, Th の崩壊によって生成されるので、地層中の He の分布状態を把握するには、それが地層中の U, Th から生成されたものかあるいは他の場所から移動・集積したものかを調べる必要がある。U, Th 量と地層の年令から、その地層中で生成された He 量をほぼ算出することができる。第 6 表に産出試験を行った深度 250~300 m, 550~600m のコアの U, Th の分析値およびそれから算出した He の比生産量 (Specific gain) と地下水中の計算 He 含有量の値を示した。また、比較のために Voronov ら (1969) が各地質時代の堆積岩について行った比生産量と地下水中の He 含有量の値を第 7 表に表示した。Voronov らの堆積岩中の He の計算比生産量は  $3.0 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$ <sup>5)</sup> であり、実測値の平均は  $2.4 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$  である。この値と今回の試錐コアの U と Th 量から算出した比生産量を比較すると、深度 300m のコアの He 比生産量が彼らの平均値よりも 1.5 倍大きく、575m のコアの値が彼らの平均値にほぼ等しい。その他の深度のコアの He 比生産量はすべて彼らの平均値よりも約 3 割小さい。次に He の比生産量に岩石の絶対年代を乗ずるとその岩石の間隙水中の He 含有量が算出される。穴水累層の年代を大まかに  $20 \times 10^6$  年と見積ると、第 6 表中の右端の値が間隙水中の計算 He 含有量となる。産出試験によって得られた遊離ガスと溶存ガス中の He の含有量からその深度における He の比生産量を、地層の年令を  $20 \times 10^6$  年として算出すると次のようになる。

深度 280m	$18.38 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$
深度 550m	$2.63 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$

(ただし、ガス水比を 1:10 とする)

また、飯田温泉、和倉温泉テストボーリング井および下湯川鉱泉 (穴水累層よりも若い地層の可能性ある) の各温泉水、鉱泉水の溶存 He 量から比生産量を算出すると次のようになる。

飯田温泉	$1.48 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$
和倉温泉テストボーリング井	$1.11 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$
下湯川鉱泉	$3.63 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$

これらの値を、Voronov らの堆積岩中の実測平均値  $2.4 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{l/y}$  と比較すると、明らかにこれらよりも大きな値が、今回の試錐の深度 280m と下湯川鉱泉で得られ、深度 550m でほぼ等しい。飯田温泉と和倉温泉テストボーリング井の値は彼らの平均値よりも小さい。したがって、今回試錐の深度 500~600m の He の起源については、水が含まれている地層の岩石中の U, Th の含有量から計算された比生産量と、He の存在量 (実測値) から

注5) 第 7 表では省略。

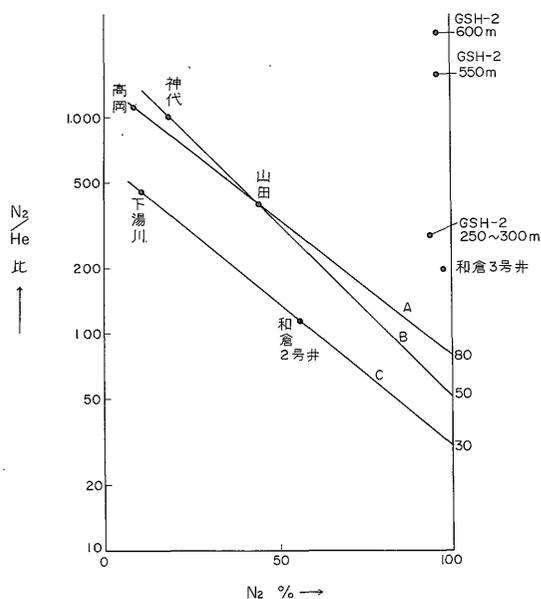
算出された比生産量の値の双方が、Voronov らが与えた平均値にほぼ等しいことから、He は穴水累層中の U, Th から in situ に生成されたとしても不都合はない。しかし、深度 250~300m の He の起源については、He 存在量から算定された比生産量が、地層中の U, Th 量から算出される He 生成量の 7~8 倍も多く、He が明らかに他の場所からそこへ移動・集積したことを示している。しかも、300m 以深になると逆に He 量が減少しているのので、250~300m の He はより深部から直接的にもたらされたものではなく、側方から地下水に溶解して移動してきたものと推定される。このような He を含む地下水の供給源として、もっとも考え易いのは、前述したように、この試錐の地下水とほぼ同じ水質の水を産出し、かつ 0.49 v/v% と高い He 濃度の温泉ガスを伴う和倉温泉 3 号井の温泉系統である。その水系の地下水が He を溶存し移動したと考えることが最も妥当であろう。その際 He の濃度が和倉温泉 3 号井における 0.49 v/v% から、今回の試錐における 0.322 v/v% に減少したのは、前に地下水のところでも述べたように、移動中の拡散による逸散、堆積時の大気窒素による希釈その他が原因であろう。

### 5.3 基盤岩からのガス組成

牧ら (1972) は、先に茨城県高萩市高戸における He の試錐 (GSH-1 号) による調査・研究の際に、 $CH_4$  系と  $CH_4-N_2$  系の炭田ガス中の  $N_2/He$  比と  $N_2\%$  の関係から常磐炭田地域の基盤岩から逸出・移動したであろう原ガスを He 約 2.5 v/v% の  $N_2$  系ガスと推定した。

今回の調査・研究地域内から出る天然ガスの組成系統は、和倉温泉 2 号井が  $CH_4-N_2$  系、下湯川鉱泉が  $CH_4$  系であるほかは、すべて  $N_2$  系であるので、基盤岩から移動してくるであろう原ガスの組成を、 $N_2/He$  比と  $N_2\%$  の関係から求めようとする、使える資料は前記の 2 例だけに限定され、それだけから地域全体の傾向を論ずるには、いささか不安が多い。このため、比留川らの調査した北陸地域の天然ガス分析資料 (第 1 表) にもとづいて、高岡温泉の  $CO_2$  系ガス、神代温泉の  $CH_4$  系ガスおよび山田村ガス井の  $CH_4-N_2$  系ガスの各組成からもとめた  $N_2/He$  比と  $N_2\%$  の関係を比較検討のために第 10 図に併示した。

高岡温泉ガスの値と山田村ガスの値を結び  $N_2 100\%$  まで延長すると、その  $N_2/He$  比は約 80 となる (A 線)。また神代温泉ガスの値と山田村ガスの値を結び  $N_2 100\%$  まで延長すると、その  $N_2/He$  比は約 50 となる (B 線)。次に、今回調査した能登半島地域では、下湯川鉱泉ガスの値と和倉温泉 2 号井のガスの値を結び、 $N_2 100\%$  まで延長すると、その  $N_2/He$  比は約 30 となる (C 線)。以



第10図 北陸地域の天然ガス中の N<sub>2</sub>% と N<sub>2</sub>/He 比の関係

Relationship of N<sub>2</sub>% and N<sub>2</sub>/He ratio in the natural gases of Hokuriku region.

上のことから、能登半島地域では N<sub>2</sub> 100% 付近では N<sub>2</sub>/He 比は30, すなわち He 約 3.2 v/v % の N<sub>2</sub> 系ガス、能登半島地域を除く北陸地域では N<sub>2</sub>/He 比が50~80, すなわち He 約 1.25~2 v/v % の N<sub>2</sub> 系ガスとなる。これらを総合すると、全北陸地域の基盤岩から逸出・移動する原ガスは、He を 1.25~3.2 v/v % 含有する N<sub>2</sub> 系天然ガスと推定される。その算術的平均値は約 2.2 v/v % となり、たまたま前に調査した常磐炭田地域の場合に推定した原ガスの He 含有量約 2.5 v/v % とほぼ一致する(牧ら, 1972)。

### 6. 結論

1. 今回の試錐の深度250~300mから産出する地下水は、その水質が和倉温泉3号井の温泉水とほぼ合致することから、両者は同じ水系の地下水と思われる。また和倉温泉3号井の温泉水は和倉温泉2号井の温泉水(和倉温泉水体)に由来すると考えられる。したがって、この試錐の深度250~300mから産出する地下水は和倉温泉水体に由来すると思われる。また He は温泉水に溶存し、地下水と同様に和倉温泉水体から運ばれたものと推定される。

2. 北陸地域の温泉ガス・鉱泉ガスは比較的高い濃度

で He を含有しており、一般の地下水に溶存する He も、それらのガスと密接な関係をもっている。He の立体的分布とその産出機構に関しては、第三紀層と基盤との関連、それらと断層、亀裂などの渗透性部分との関連などが関与する。He は基盤岩類から主として N<sub>2</sub> 系天然ガスに混入して上位の第三系中へ移動し、ここでは主として温泉水体中あるいはガス貯留層に貯留され、これらに関連する地下水系に従って分布が影響されるように思われる。

この基盤岩から逸出・移動し、He を含有する原ガスの推定組成は、温泉ガス、可燃性天然ガス中の N<sub>2</sub>% と N<sub>2</sub>/He 比の関係から、1.25~3.2 v/v % の He を含有する N<sub>2</sub> 系ガスである。

3. 北陸地域には温泉地帯とガス地帯が共存し、産出する温泉ガスおよび第三系のガス田のガスのいずれにも He を伴っている。温泉ガスは高い濃度で He を含有するが産ガス量が少なく、一方ガス田のガスは比較的産ガス量が多いが He の含有量が少ない。このため資源的にみて、いずれの場合も企業的規模での He 資源開発はきわめて困難である。

### 文献

- 今井 功・坂本 亨・野沢 保 (1966) : 呂知瀧・虻ガ島地域の地質. 67p., 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所.
- 牧 真一・他6名 (1972) : 茨城県高萩市 GSH-1号試錐によるヘリウム資源調査研究. 地質調月, vol. 23, p. 349-363.
- 盛谷智之 (1969) : 石川県七尾地域の含ウラン燐鉱床. 地質調報, no. 232, p. 349-363.
- 盛谷智之・坂本 亨・今井 功 : 七尾地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所. (未発表)
- 野間泰二・後藤準次 (1970) : 石川県呂知瀧平野の地下水. 地質調月, vol. 21, p. 513-522.
- 坂本 亨・他4名 (1967) : 20万分の1地質図「七尾・富山」. 地質調査所.
- 佐藤幸二 (1971) : 北陸地方の温泉. 地熱, no. 27, p. 40-44.
- VORONOV, A. N., ТИХОМИРОВ, V. V. and ТИХОМИРОВ, V. G. (1969) : Specific gain of helium by the pore space of sedimentary rocks. *Geochim. Internat.*, vol. 6, p. 388-390.