

## 群馬県磯部町付近のHe資源について

米谷 宏\* 宮下 美智夫\*\*

Exploration for Helium Resources  
in the Vicinity of Isobe-machi, Gumma Prefecture

By

Hiroshi YONETANI &amp; Michio MIYASHITA

## Abstract

About ten gas samples from drilled wells and seepages in the vicinity of Isobe-machi, Gumma prefecture, were collected and analysed chemically. The geochemical considerations on chemical components in these gases are briefly described in the followings.

1. The amounts of helium in gas samples are from trace to 0.011% in volume, and positive relation has been observed between the amounts of helium and nitrogen, while negative relation between helium and carbondioxide.
2. The values of  $N_2/Ar$  ratio of free gases in this region are from 100 to 700. Generally, these values are extremely higher than those of gases issued from Tertiary sediments in the other parts of Japan, and positive relation has been observed between the amount of helium and the value of  $N_2/Ar$  ratio in free gases.
3. It is likely that the greater part of helium in natural gas which exists in marine Tertiary sediments in this field is not carried and reserved with carbondioxide-type natural gas, but it may be carried and reserved with nitrogen-type gas which was migrated from the basement rocks of the Tertiary formations.
4. According to the present data on the productivity of gases and the concentrations of helium, the authors can hardly expect the existence of helium gas deposit of economic scale in this region.

## 要 旨

群馬県磯部町付近で産出する天然ガス10試料を採取、分析し、さらに天然ガスの地質的産状を考察して、つぎのような結果を得た。

1) 測定した天然ガス中のHe含量は、tr.~0.011vol.%の値をしめし、Heは量的にCO<sub>2</sub>と負相関、N<sub>2</sub>と正相関の傾向を示す。

2) 遊離ガス中の $N_2/Ar$ 値は、おおよそ100~700である。この値は、わが国の第三紀堆積層から産出する遊離ガス中の $N_2/Ar$ と比較して、いちじるしく高い値である。またHeと $N_2/Ar$ 値は、正相関関係にある。

3) 本地域の第三紀堆積層中に胚胎する天然ガス中の大部分のHeは、直接CO<sub>2</sub>系天然ガスによって運ばれ貯留されたものでなく、おそらくHeを含んだ $N_2/Ar$ 比の高いN<sub>2</sub>系天然ガスとして、第三紀堆積層下部の古期岩類から由来したと考えられる。

4) 本地域におけるHe資源の開発は、天然ガスの産

\* 技術部

\*\* 燃料部

出量および He 含量の両観点から、困難であると予想される。

1. 緒言

群馬県磯部町付近は、地質学的に関東と信越地方を結ぶ海成第三紀層の分布地域にあたっており、関東地方における数少ない油徴地の一つである。同地域に分布する鉱泉水は、多量の CO<sub>2</sub> 系天然ガスを伴って産出しており、現在原市、磯部町では、これらの天然ガスを工業的に利用している。

磯部町付近の CO<sub>2</sub> 系天然ガス中の He 含量については、すでに山口 (1924) らによって、0.000vol.% であると報告されている。また野口 (1941) は、本邦産天然ガス中に含まれている He について、これを統計学的に考察し、N<sub>2</sub> 系天然ガスに比較して、とくに CO<sub>2</sub> 系天然ガスに含まれている He が少ないことを明らかにした。

昭和39年3月10日から3月16日の7日間にわたる、群馬県磯部町付近における天然ガス中の He 資源概査は、わが国における He 資源調査研究の一環として行なったものである。

2. 地形および地質概況

第1図は、磯部町付近およびその周辺部の地質略図である。

本調査地域は、北、西、南の三方が山地によって囲まれている。すなわち北には榛名火山があって、裾野を長くのぼし、さらにその西隣には従来角落火山あるいは霧積火山と呼ばれた火山がある。西にはかつて、荒船火山の一部と考えられた妙義山およびその東南に大桁山がある。また南は三波川系、御荷銚系および秩父古生層からなる関東山地になっている。

本地域の第三紀層に接する関東山地北辺部には、主として三波川系または御荷銚系に属すると思われる岩石が露出している。

本地域の天然ガスは、第三紀中新世の礁氷層群から産出している。礁氷層群はこれを巨視的にみると、北ないし北東に緩斜する単斜構造をなし、断層がかなり多く(第2図参照)、あるものは褶曲や地層の擾乱をともなっている。これらの断層は、地層の一般方向に一致するものと、直交するものにと2大別される。後者に属するおもなものとしては、原市、磯部、正善および琵琶窪の諸断層があり、CO<sub>2</sub> 系天然ガスの産出は断層と関係が深い。また礁氷層群は、磯部町北西で断層と背斜をともなっており、やや鼻状構造をつくっている。総じて、礁氷層群は凝灰質の部分が多い。

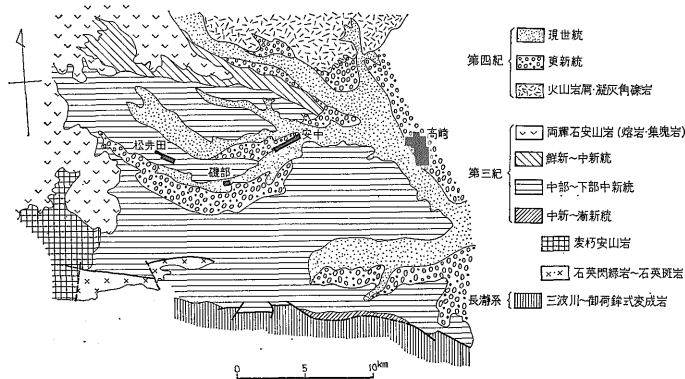
第3図は、磯部町付近の地質柱状図である。

原市泥岩および塚原泥岩と呼ばれる不透性塊状泥岩の間に挟まれた聖明寺および磯部互層の砂岩は、層厚 100 m をこえている。この両層は、ガス貯溜層として好都合であろう。

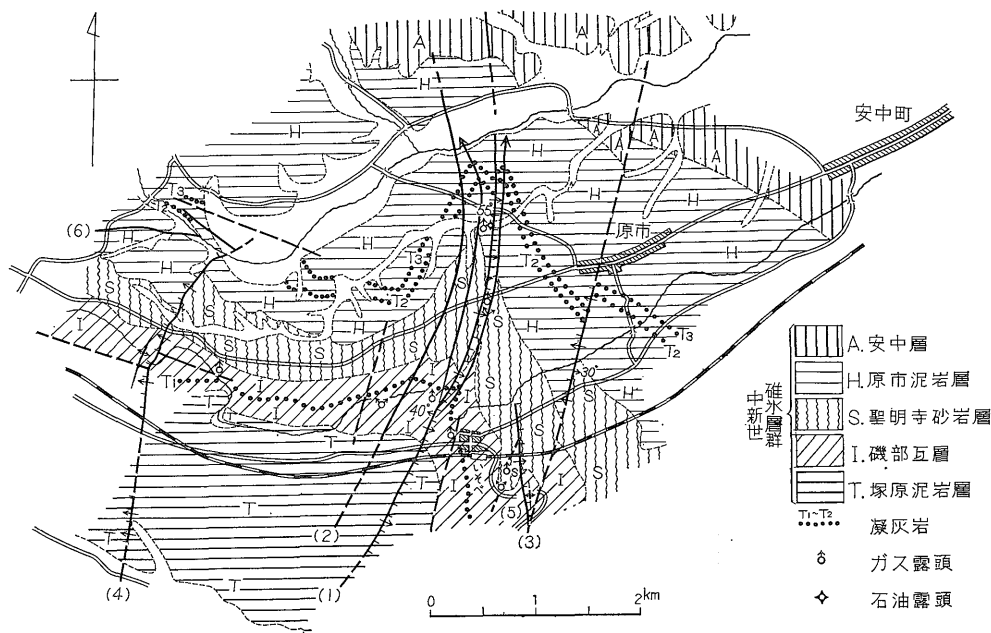
油田における Cap rock に対応するものは、この地域では原市泥岩であり、塚原泥岩は bottom rock の役割をしていると考えられる。原市泥岩から塚原泥岩までの各層は、いずれも純海成堆積物である。安中層の下部は、純海成であるが上部は、亜炭を含む陸成の部分からなっている。しかし本層は石油、天然ガスには一応関係のない地層である。

3. 調査地域と調査法

磯部町付近の天然ガスは、磯部町、原市町、松井田町にわたって分布している。今回の調査では、第3図に示した地域を調査対象にした。



第1図 磯部町付近およびその周辺部の地質略図



1 磯部断層 2 正善断層 3 原市断層 4 琵琶窪断層 5 聖明寺断層 6 名山断層

第 2 図 磯部付近地質略図 (石和田靖章原図)

第 1 表 磯部町付近地質層序

洪積世		層厚	岩 層
□	沖積層 砂礫層	3~4m 2~4m	
中新世	安中層	150m±	砂岩泥岩互層, 含礫砂岩, 礫岩, 泥岩等の互層, 下部純海成
	原市泥岩層	510m±	泥岩, 砂質泥岩, 凝灰岩を挟在, 純海成, 油徴あり
	聖明寺砂岩層	130m±	上半, 無層理塊状淡青色細粒砂岩 下半, 凝灰質 1~2m, 礫層あり, 海成
	磯部互層	100m±	泥質砂岩, 砂質泥岩互層 全般に凝灰質 海成
	塚原泥岩層	300m±	灰黒色無層理塊状泥岩を主とする 海成

本地域における天然ガス鉱床の地球化学的調査研究については、本島 (1957) によって詳細に報告されている。今回の天然ガス試料採取にあたっては、こうした既存資料をもとに、坑口遊離ガスおよび自然露头ガス10試料、ガス付随水6試料を選び現地採取を実施した。

採取した試料の化学分析は、調査期間の制約もあって現地で行わず、約半月経過後実験室で行なった。天然ガスの分析については、主成分のほか、これまで資料の欠けていた He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>/Ar および C<sub>2</sub> 以上の低級脂肪族炭化水素の微量成分を追加した。

報告書作成にあたっての分担は、総括ならびにガス分析は米谷技官、地質調査は宮下技官がそれぞれ担当した。なおガス付随水の分析は地球化学課比留川技官によって行なわれた。

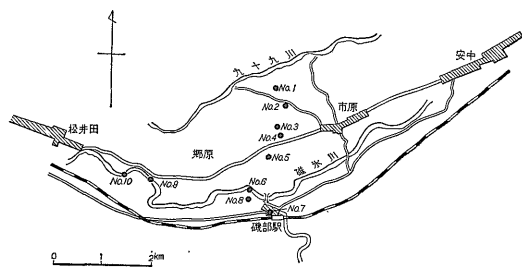
#### 4. 調査結果

第2表に天然ガスおよび付随水の化学分析結果を示した。

##### 4.1 ガス付随水の水質概要

###### 4.1.1 水温

水温は、もっとも浅層地下水の影響が少ないと考えられる CO<sub>2</sub> 系天然ガス坑井のものでは、20.9~31.5℃である。これに対し、浅層地下水が混入していると推定さ



第 3 図 磯部町付近天然ガス調査測点位置図

第 2 表 磯部町付近

試料名	坑井深 (m)	採層 取名	ガス量 (m <sup>3</sup> /d)	水温 °C	天然ガスの (vol.%)				
					He	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
上 no. 1 毛 R-3	454	原市岩泥	1,230	31.5	0.001	0.001	0.14	1.80	96.00
上 no. 2 毛 R-1	—	"	1,070	30.1	tr.	tr.	0.04	0.18	99.65
上 no. 3 毛 R-2	748	聖明寺砂岩	721	27.4	0.001	0.001	0.18	3.16	93.08
上 no. 4 毛 TB-1	285	"	3,000	—	0.001	0.001	0.12	2.85	93.31
上 no. 5 毛 R-4	456	"	—	20.9	0.001	tr.	0.05	4.30	89.10
林屋旅館 碓氷川ガス徴	—	磯部層	約 10	6.7	0.003	tr.	0.47	11.10	77.54
磯部県有井	103	"	1,000	—	0.001	tr.	0.20	6.95	82.80
宝田石油廃井	—	"	—	8.5	0.004	tr.	0.29	11.45	43.23
郷碓氷川ガス徴	—	"	—	12.6	0.007	0.000	0.36	20.00	56.82
琵琶窪露頭	—	"	—	7.6	0.011	0.000	0.45	38.10	3.81

れる、試料番号 no. 6~no. 10 の水温はかなり低く、13℃以下の値を示す。本地域に分布するこれら地層水の水温は、普通地下増温率から算定した値に近い。

#### 4.1.2 pH

pH の測定は、現地採取してから約15日間経過後に行なった。したがって CO<sub>2</sub> 系天然ガス付随水としては、予想される pH 値よりやや高い 6.9~7.0 の値が得られた。この値は、pH 値よりむしろ R pH 値の方にいく分変化した値であると考えられる。

#### 4.1.3 Cl<sup>-</sup>

一般に 200~700m のガス採取深度を有する坑井から産出する付随水の Cl<sup>-</sup> は、おおよそ 13,000~14,000mg/l である。

試料番号 no. 9 の Cl<sup>-</sup> 含量は、1,600mg/l と前例に比較していちじるしく低い。これは、もともと Cl<sup>-</sup> 含量の高い地層水が、浅層地下水の混入により希釈された結果によるものであると解釈される。

今回の調査および本島 (1957) の調査結果から、本地域に分布する地層水中の Cl<sup>-</sup> は、おおよそ数千 mg/l 以上であろうと推定される。また地層水の Cl<sup>-</sup> 濃度の上限

は、碓氷層群堆積時にあたる海水中の Cl<sup>-</sup> の濃度以下であると推定され、当時の海水中のそれは現世海水の Cl<sup>-</sup> にはほぼ等しい値であろう。すなわち、本地域における地層水の Cl<sup>-</sup> 濃度範囲は、一般にわが国における新第三紀海成堆積層中に、可燃性天然ガスと共存する地層水が示す、数千~19,000mg/l の値をとっていると考えられる。

#### 4.1.4 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

本地域における地層水は、わが国で最も多量の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> を含むものとして著名である。今回の調査でも、試料番号 no. 9 のものを除くと、一般にガス付随水中に 7,000~9,000mg/l の含量がみられる。この値は、わが国における油田、ガス田および炭田に分布する地層水中の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量に比較していちじるしく多い。本地域におけるこのような、地層水中の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量がいちじるしく高い原因は、地層水中に、二次的に CO<sub>2</sub> 系天然ガスが供給された結果であると推定される。

#### 4.1.5 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

一般に還元環境にある海成堆積層中に胚胎する地層水には、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> がきわめて少ないのが特徴の一つである。

本地域でも、ガス付随水中の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量は、5 mg/l

## 地 化 学 調 査 表

分 析 値				ガ ス 付 随 水 の 分 析 値 (mg/l)								
CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> ~C <sub>5</sub> 炭化水素	N <sub>2</sub> /Ar	N <sub>2</sub> /He	pH	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</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>
2.04	0.021	234	1,800	7.0	13,470	8,290	4.3	7.5	235	10,970	233	63.1
0.13	0.000	—	—	7.0	13,600	7,722	4.1	14.2	225	10,540	268	61.7
3.55	0.032	252	3,160	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.70	0.022	102	2,850	7.0	13,060	7,806	3.9	21.8	201	10,810	300	58.2
6.50	0.053	232	4,300	6.9	13,310	8,420	5.0	7.7	207	10,690	276	60.8
10.60	0.295	357	3,700	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.02	0.032	—	6,950	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45.00	0.033	283	2,862	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22.72	0.103	332	2,857	6.4	1,600	2,714	15.4	3.1	17.5	1,870	129	8.5
57.60	0.030	685	3,463	—	—	—	—	—	—	—	—	—

以下の値である。この値は、わが国におけるガス田および油田の地層水の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量にはほぼ等しい。

4.1.6 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

今回測定した試料については、いずれも 22mg/l 以下の含量である。しかしすでに本地域について行なわれた本島 (1957) の調査結果を考慮すると、一般に 30mg/l 以下の値をもつ地層水が分布するようである。

本地域における地層水中の NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 含量は、わが国で見られる油田、ガス田および炭田の地層水にふくまれる N H<sub>4</sub><sup>+</sup> 濃度分布範囲にある。

4.1.7 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> および Ca/Mg

浅層地下水が混入したと考えられる試料を除くと、付随水中の Ca<sup>2+</sup> 含量は 233~300mg/l である。いっぽう Mg<sup>2+</sup> の含量は 58.2~63.1mg/l で、さきの Ca<sup>2+</sup> 含量の変値幅にくらべ小さい。

付随水中の Ca/Mg 値は、いずれも 1 以上である。この値は、わが国の油田および炭田に胚胎する地層水が一般的に示す値である。

4.1.8 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>

ガス付随水中の Na<sup>+</sup> はおおよそ 10,000~12,000mg/l,

K<sup>+</sup> はおおよそ 200~240mg/l の含量である。

ここでとくに注目されることは、Na<sup>+</sup> の含量は、現世海水の値にはほぼ等しいが、Cl/Na 値は、現世海水のものに比較してかなり低い値である。この Na<sup>+</sup> の増加は、地層から地下水に溶出した Na<sup>+</sup> の付加によるものと推定される。

## 4.2 天然ガスの組成

本地域から産出する天然ガスには、産ガス量の最も多い CO<sub>2</sub> 系と、これより産ガス量の少ない CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> 系、CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub> 系および CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> 系がある。

産ガス量の多い CO<sub>2</sub> 系天然ガスはおもに、原市町から、産ガス量の少ない CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> 系、CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub> 系および CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> 系天然ガスは、磯部西部あるいは磯部町碓氷川付近から産出している。

## 4.2.1 He

天然ガス中の He は、全試料に検出され、その値は tr. ~0.011vol.% である。主成分と He の間では、その含有量においてかなり明瞭な関係がみられる。すなわち、He 含量は一般に CO<sub>2</sub> 系天然ガスに少ない。しかしガス中の CH<sub>4</sub> や N<sub>2</sub> が相対的に増加すると He 含量も増

加する傾向がある。また産ガス量と He 含量の間には、巨視的にみて負の相関がある。

4.2.2 H<sub>2</sub>

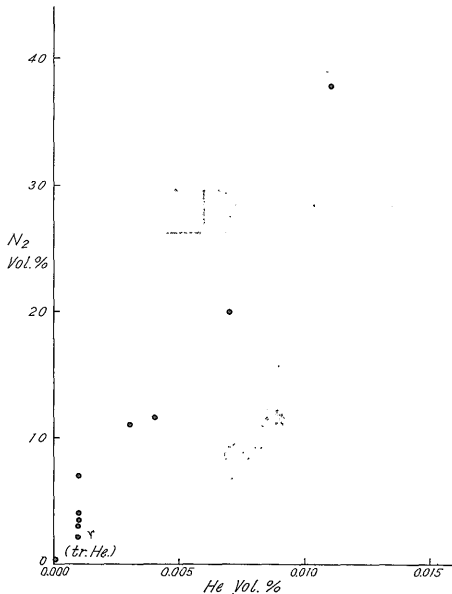
ガス中の H<sub>2</sub> 含量は 0.000~0.001vol.% の値である。この値は、わが国におけるガス田および油田の坑口遊離ガスが示す H<sub>2</sub> 含量値の分布範囲にある。また、とくに H<sub>2</sub> と他のガス成分との間には、明瞭な関係はみとめられない。

4.2.3 N<sub>2</sub>

ガス中の N<sub>2</sub> 含量値は 0.18~38.10vol.% である。N<sub>2</sub> の濃度分布を地域的にみると、原市町で低く、磯部町西部および磯部町碓氷川付近で高くなる傾向にある。

ガス中の N<sub>2</sub> と He の関係を第 4 図に示した。

図に示されたように、両成分の間には、かなり明瞭な正相関がみとめられる。



第 4 図 遊離ガス中の N<sub>2</sub> と He の関係

4.2.4 N<sub>2</sub>/Ar

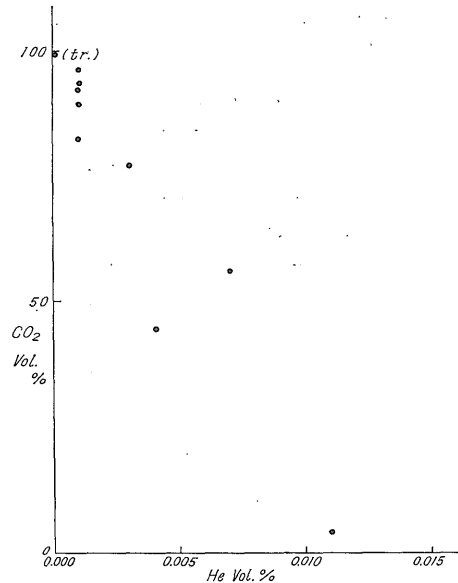
遊離ガス中の N<sub>2</sub>/Ar 値は、102~685 である。この値は、わが国におけるガス田および油田の遊離ガス中の N<sub>2</sub>/Ar 値に比較していちじるしく高い。

4.2.5 CO<sub>2</sub>

本地域における天然ガス中の CO<sub>2</sub> 濃度は、断層と密接に関係しており、3.81~99.65vol.% の値が得られた。CO<sub>2</sub> を 90vol.% 以上含有する天然ガスは、おもに原市方面で産出している。

第 5 図は、CO<sub>2</sub> と He の関係を示したものであり、両成分間に負の相関がみとめられる。

本地域でみられる産ガス量の多い CO<sub>2</sub> 系天然ガスは、第三紀堆積層中に胚胎する天然ガスの諸成分濃度を支配する、一種の希釈剂的役割をもっている。



第 5 図 遊離ガス中の CO<sub>2</sub> と He の関係

4.2.6 CH<sub>4</sub> および C<sub>1</sub>~C<sub>5</sub> 脂肪族炭化水素含量 (炭化水素ガス含量)

ガス中の CH<sub>4</sub> 含量は 0.13~57.60vol.% の値であり、CO<sub>2</sub> 系天然ガスに少ない。

炭化水素ガス含量は 60vol.% 以下の値で、現在わが国で稼行されているガス田、油田および炭田のガスと比較して低い値をとっている。現象的にみると、このような炭化水素ガス含量の濃度が低いのは、ガス中に CO<sub>2</sub> あるいは N<sub>2</sub> が相対的に増加することによって生じたと考えられる。

本島 (1957) は、本地域における天然ガス中の CH<sub>4</sub> と付随水中の Cl<sup>-</sup> が正相関にあることから、もともと CH<sub>4</sub> 系天然ガスが、Cl<sup>-</sup> 濃度の高い地層水中に溶存していたものであろうと推定している。この考察は、今回の調査で得られた天然ガス中の  $\frac{CH_4}{C_2 \sim C_5 \text{ 炭化水素含量}}$  値が 96~1897 の値で、この値が、一般にわが国の第三紀水溶性天然ガスおよび石油系天然ガスが示す値の範囲内にあることから支持される。

5. 結果に対する若干の考察

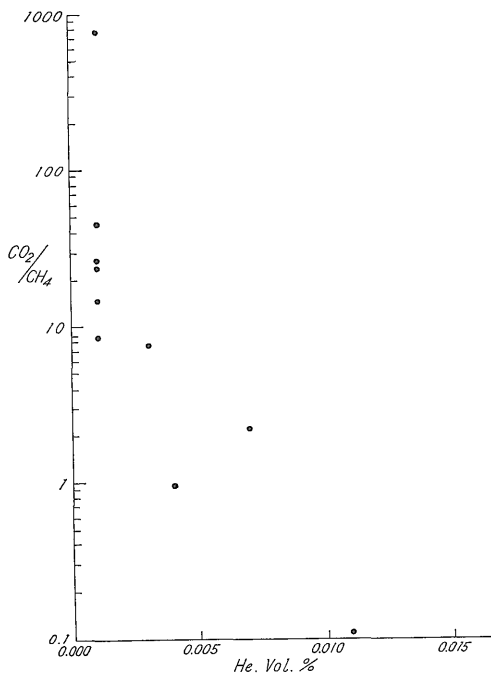
これまで、わが国における天然ガス中の He 分布に関する諸資料から、つぎのような He の一般的分布傾向があるようである。すなわち一般に、古期岩から由来する

産ガス量の少ない、 $N_2$  系天然ガスに He 含量の高いものがみられる。わが国の第三紀可燃性天然ガス鉱床では、鉱床の周辺部から産出する天然ガス中に、He の検出される例が多い。このようなガス鉱床への He の供給は、おそらく周囲にある古期岩から He を含んだ  $N_2$  系天然ガスとして拡散、混入した結果によると推定される。

5.1 磯部町付近における天然ガス中の He の供給源について

天然ガス組成のところで述べたように、本地域における天然ガス中の He 含量は、 $CO_2$  系天然ガスに少なく、 $N_2-CH_4$  系天然ガスにいちじるしく多い結果が得られた。この両系天然ガスの間では、He 含量においておおよそ 10 倍近くのちがいがあ。このちがいは、天然ガスで、普通主成分となる  $CO_2$ 、 $N_2$ 、炭化水素ガスが、He に対する一種の希釈剤的役割をもっていると考えられる。したがって、一般に天然ガス中の He 濃度は、これら主成分の単一あるいは混合系ガスの産出量に大きく支配される。

第 6 図は、 $CO_2/CH_4$  と He の関係を示したものである。この図から推察されることは、巨視的にみて、もともと礁水層全体にわたって、He がほぼ均一な濃度で分布しているところに、深部から断層に沿って多量の  $CO_2$  系天然ガスが供給され、この供給量が He 濃度を支配する大きな要因になっていると考えられることである。



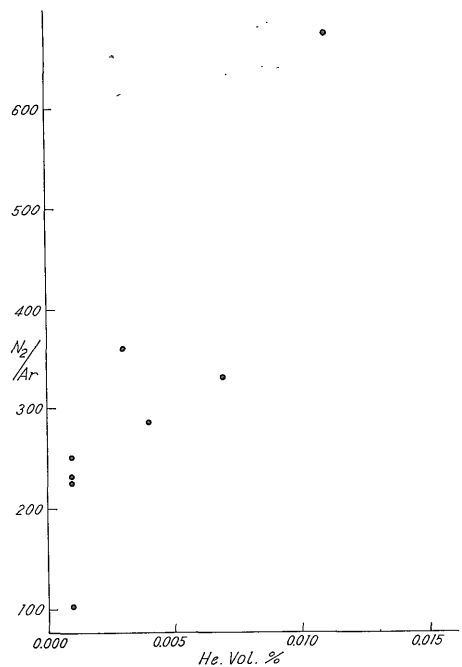
第 6 図 遊離ガス中の  $CO_2/CH_4$  と He の関係

第 7 図は  $N_2/Ar$  と He の関係を示したもので、両者の間に正相関が成りたっている。

$N_2/Ar$  値でとくに注目されることは、この値が、わが国のすくなくとも第三紀中新世以降の堆積層から産出する天然ガスに例をみない、いちじるしく高いものであると云うことである。こうした、 $N_2/Ar$  値のいちじるしく高くなる原因は、礁水層群内でもともと独自に生じたものでなく、周囲から  $N_2/Ar$  値のいちじるしく高い天然ガスが二次的に混入した結果であると推定される。

礁水層群から産出する天然ガス中の  $N_2/Ar$  値をさらに層別にみると、上位層の原市および聖明寺層では、おおよそ 100~250、また下位層の磯部層では、おおよそ 250~700 となっている。すなわち、原市および聖明寺層から産出する  $CO_2$  系天然ガスの  $N_2/Ar$  値は、これより下位にある磯部層から産出する  $CO_2-CH_4$  系、 $CH_4-N_2$  系および  $CO_2-N_2-CH_4$  系のものに比較して低い値である。 $CO_2$  系天然ガスの  $N_2/Ar$  は、おそらく礁水層群中で変化したとは考えられず、より深部で示す固有の値に近いものであろうと推察される。

以上、若干の考察について、これを総合すると、本地域から産出する天然ガスに含まれる大部分の He は、第三紀堆積層基盤から、He を含んだ  $N_2/Ar$  値のいちじるしく高い  $N_2$  系天然ガスとして供給されたものであると推定される。したがって、He は深部から大量に供給さ



第 7 図 遊離ガス中の  $N_2/Ar$  と He の関係

れる CO<sub>2</sub> 系天然ガスによって直接運ばれたとは考えられない。

### 5.2 磯部町付近のガス鉱床について

石和田 (1948) および本島 (1957) によると、磯部町付近に産出する天然ガス鉱床の成因をつぎのように考えている。すなわち、本地域におけるガス鉱床は、第三紀中新世の海成層に由来する CH<sub>4</sub> 系天然ガスおよび同時生成的地層水に、地下深部から CO<sub>2</sub> 系天然ガスが加わって成立したものである。

今回の調査でも同様の結果が得られたが、断層による CO<sub>2</sub> 系天然ガスの供給以外に、He を含む N<sub>2</sub>/Ar 値の高い N<sub>2</sub> 系天然ガスが、すくなくとも磯部町付近の礁水層群全般に供給されていると推定される。すなわち、本地域のガス鉱床は、CH<sub>4</sub> 系、CO<sub>2</sub> 系および N<sub>2</sub> 系天然ガスの混合によって成立している。しかし、これら3者のなかで、CO<sub>2</sub> 系天然ガスの供給がいちじるしく多く、これが事実上鉱床を成立させているおもな要素になっている。

### 5.3 He 資源開発に関する結論

磯部町付近で、比較的濃度の高い He を含んだ天然ガスを開発するためには、N<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> 系、CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> 系および CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 系かあるいは N<sub>2</sub> 系天然ガスが対象に

なる。しかしこれらの組成を示す天然ガスは、その産出ガス量がいちじるしく少なく、稼行し得るようなガス鉱床の開発は望めない。いっぽう産出ガス量のいちじるしく多い CO<sub>2</sub> 系天然ガスについては、その中に含まれる He 量が少なく、現段階ではこの種の天然ガスを、He 資源として稼行されるだけの技術的問題は解決されていない。

今回の調査結果から、磯部町付近における He 資源開発は困難であると結論づけられる。

### 文 献

- 石和田靖章 (1948) : 群馬県磯部付近の瓦斯鉱床, 石油  
技会誌, vol. 13, no. 4, p. 225~234
- 本島公司 (1957) : 群馬県磯部町付近地化学調査報告,  
地質調月, vol. 8, no. 1, p. 23~40
- 野口喜三雄 (1941) : 本邦産天然ガス中に含有されるヘ  
リウムについて, 日化, vol. 62, no. 4, p. 298  
~299
- 山口文之助・嘉納吉彦 (1926) : 本邦産天然瓦斯中のヘ  
リウム及び其他の成分含量について (第三報),  
日化, 第47帙, p. 13~19