

# もう一つのヘリウムとメタン(その2)

福田 理 (海外地質調査協力室)  
Osamu FUKUTA

## 11 ヘリウム-3と日本列島

脇田らの研究は松代というポイントから日本列島という面へと発展する。その第1報は SANO et al. (1982) の名で公表された“日本のメタンに富む天然ガスの<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He”と題した論文である。本論文では表3および図17に示した12のガスが扱われ <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比に基づいて次の2つのタイプに分類されている。

(1) タイプ1 (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He ≥ 1.43 × 10<sup>-6</sup>) : このタイプのガスの <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比は明らかに空気のものより大きい。メタンの含有量は最大76% (No.3) から最小24% (No.1) までである。ヘリウムの含有量は No.2を除くと著しく大きい。

(2) タイプ2 (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He < 1.43 × 10<sup>-6</sup>) : このタイプのガスの <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比は空気のものより小さい。Nos. 6-10は南関東産ガス地帯のガスでメタンの含有量は90%を超すがヘリウムのそれは空気の10分の1以下である。Nos. 11および12のガスは地震予知研究の目的で掘さくされた深度それぞれ200m および100mの坑井からガス泡として出てきたものである。ガスの産出レートは

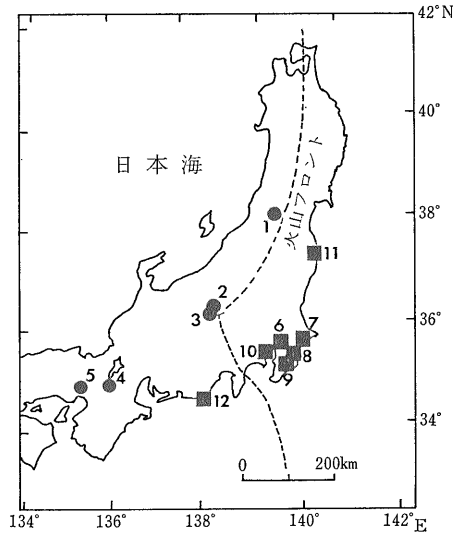


図17 メタン系天然ガスの採取地点  
ガスは<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He比によってタイプ1 (黒丸) タイプ2 (黒四角)に分けられる (SANO et al., 1982)

表3 日本における12のメタンに富む天然ガスの<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>Heおよび<sup>20</sup>Ne/<sup>4</sup>He (SANO et al., 1982)

番号	コード	所在地	深度 (m)	水温 (°C)	化学組成				同位体比		計算比			熱流量 (HFU)
					CH <sub>4</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	He (ppm)	<sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He (×10 <sup>-7</sup> )	<sup>20</sup> Ne/ <sup>4</sup> He (×10 <sup>-3</sup> )	マントル (%)	地殻 (%)	空気 (%)	
タイプ1														
1	SGE	寒河江、山形	—	46	24	63	2.0	100	72.6 ± 0.4	50	54.9	42.8	1.6	1.79
2	KZW	鹿沢、群馬	5	36	52	13	37	0.9	43.6 ± 0.7	530	31.1	51.5	16.8	10.8
3	NNB	布引、長野	580	36	76	19	<0.1	25	49.7 ± 2.2	82	37.2	59.6	2.6	1.20
4	BWK	琵琶湖、滋賀	934	35	72	22	3.0	150	18.2 ± 1.0	22	13.2	85.4	0.7	—
5	SKN	鹿野、兵庫	5	11	31	63	<0.1	1200	16.6 ± 0.3	9.4	11.7	86.9	0.3	—
タイプ2														
6	NRS	習志野、千葉	1700	—	99	0.14	1.5	<0.5	2.13 ± 0.06	20	0.8	98.4	0.6	—
7	YKS	横芝、千葉	1224	—	90	0.66	3.2	1.1	3.49 ± 0.11	71	1.6	95.4	2.3	—
8	SKR	白子、千葉	493	—	99	0.32	0.72	0.68	3.10 ± 0.05	210	0.9	91.7	6.7	—
9	CNN	長南、千葉	自噴	<20	98	2.2	0.26	<0.5	2.21 ± 0.10	240	0.2	91.5	7.6	0.54
10	HIW	平和島、東京	900	36	96	1.1	1.2	<0.5	1.37 ± 0.10	10	2.5	98.7	0.3	0.74
11	NRH	檜葉、福島	200	17	61	34	0.14	140	3.80 ± 0.10	30	2.1	96.2	1.0	0.46
12	OMZ	御前崎、静岡	100	19	94	11	0.82	6.9	1.02 ± 0.04	150	0.0	95.0	4.8	1.15

極めて小さく 1分間に 1cc 以下である。 No. 11 は常磐炭田中に掘さくされた坑井に由来するもので 本ガス田の多くのガスと同様に 空気よりはるかに多くのヘリウムを含む。

以上に述べたことを総合して SANO et al. (1982) は次のように結論づけている。

日本のメタンに富む天然ガスの  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比は  $7.26 \times 10^{-6}$  から  $1.02 \times 10^{-7}$  にまたがり大きいものは小さいものの70倍以上ある。これらのガスにはその  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比によって2つのタイプが認められる。タイプ1のガスは上部マントル起原のヘリウムに富む。また 彼等はソ連邦の陸域産のガスの  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比に認められる地域的変化が地殻熱流量のそれと一致しているという POLYAK et al. (1979) の研究に注目し 日本のメタンに富むガスの場合も同じような傾向がみられることを述べている。これは図17と有名な HORAI (1964) による図18 とを比べてみれば明らかであろう。

以上の研究をさらに発展させた研究の成果が 1982年度日本地球化学会年会において4編も講演された。そのうち1つは標題の“もう一つのメタン”とのかかわりが強いので後にまわし ここでは上の論文の直接的な発展ともいうべき2編を紹介しよう。他の1編はヘリウムの同位体比の測定方法そのものに関するものである。

## 12 ヘリウム同位体比の分布と島弧のテクトニクス

その1つ佐野ほか2名(1982)の講演によると 彼等は日本列島のテクトニクスとヘリウム同位体比との関係を明らかにする目的で 約70個所から各種の天然ガスを採取し(図19)  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比を精密に測定したところ得られた結果は 試料の種類や化学組成によらず 太平洋プレートの沈みこみを反映した島弧のテクトニクスを反映している。とくに興味深いのは、東北地方について、

1984年2月号

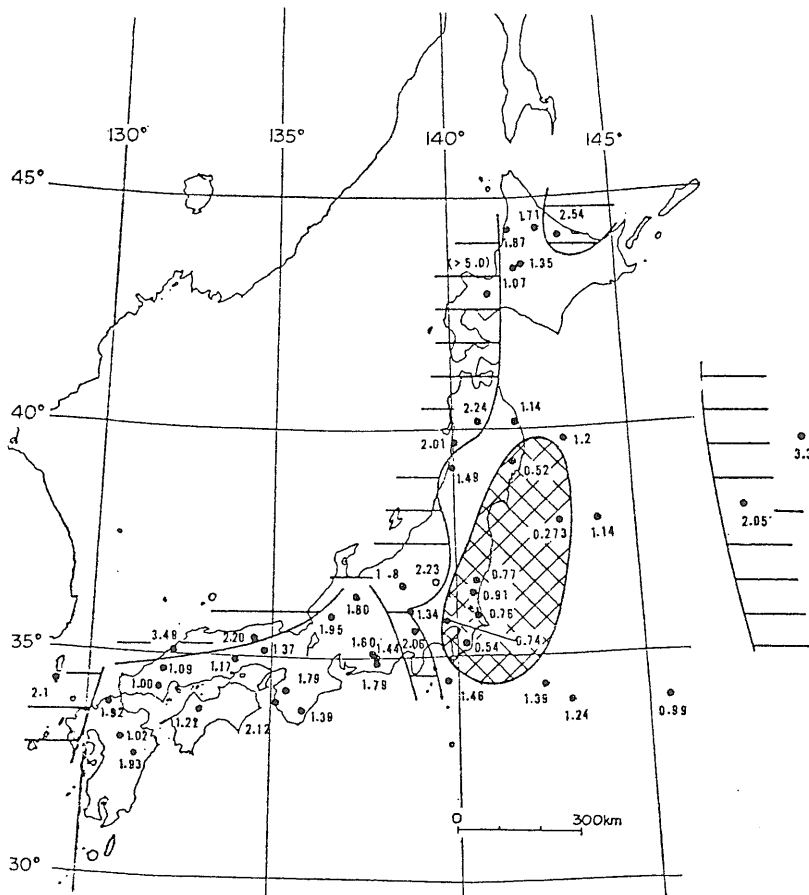


図18 日本における地殻熱流量の分布 (単位:  $10^{-6}\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ ) (HORAI 1964)



図19 ヘリウム同位体比調査用の試料採取地点 (佐野ほか2名 1982)

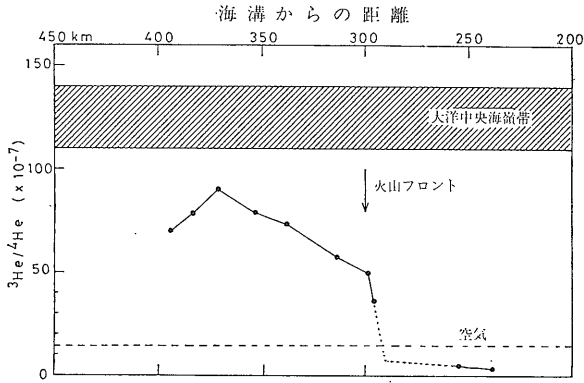


図20 東北地方における海溝からの距離と  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比との関係 (佐野ほか2名 1982)

て 試料の  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比と日本海溝から試料採取地点までの距離との間には 図20に示すような顕著な関係のあることが明らかにされたことである。すなわち 火山フロントから約50km 東側の地点の試料の  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比は空気の値より著しく低く  $(3\sim 5)\times 10^{-7}$  ほどしかないのにこの比は火山フロントに近づくにつれて急激に高くなり火山フロント直上では  $5.0\times 10^{-6}$  ほどになっている。それから日本海側へ向ってこの比はさらに上昇し 海溝からおおよそ370km のところで最大値  $9.0\times 10^{-6}$  を示した。そして その傾向は地殻熱流量の分布などの地球物理学的なデータとも一致するという。

### 13 天然ガスの化学組成の地域的特徴

もう1つの卜部ほか3名(1982)の講演によれば 彼等の研究は天然ガスの化学組成の基礎的データを蓄積し 地質構造や地殻構造との関連ならびに各気体成分の起原について考察することを目的としたものである。天然ガスは主成分によって① $\text{N}_2$ 系 ② $\text{CH}_4$ 系 ③ $\text{CO}_2$ 系 ④ $\text{N}_2\text{-CH}_4$ 系 ⑤ $\text{N}_2\text{-CO}_2$ 系 および ⑥ $\text{N}_2\text{-CH}_4\text{-CO}_2$ 系の6群に分けられる。図21はその分布を示したものである。彼等によれば  $\text{CH}_4$ を主成分とするものは新生界の分布地域に また  $\text{CO}_2$ を主成分とするものは火山フロント付近 その大陸側 および活火山の周辺に分布している。そして 始原ヘリウムの放出が知られているのは 火山活動が活発な地域である。このマントル起原と思われるヘリウムに富むガスについてみると ヘリウムの濃度と  $\text{N}_2$  Ar および Ne の3成分の濃度との間には正相関の そして  $\text{CH}_4$  および  $\text{CO}_2$  濃度との間には逆相関の関係が認められるという。

### 14 ヘリウム同位体比の安定性

これまでの推論はヘリウム同位体比が安定していてこそ初めて成立する。実はこのことをほぼ確実なものとした研究が地震学会昭和58年度春季大会で発表された(佐野ほか2名 1983)。この研究は福島県下の鹿島および楡葉の地震予知観測井と 長野県海の口温泉の源泉から遊離ガスを定期的に採取・分析したもので すでに過去3年間の資料が集積されている。これを図示したのが図22で  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比は測定誤差の範囲内で一定であることが知られる。

### 15 もう一つのメタン

一般に地下資源としてのメタンは 化石燃料の1つとして扱われていることから明らかなように 生物起原の有機物由来のものであるとされている。しかし 1980年 地球の深部(マントル)に膨大な量の無機的メタンがあるとする GOLD & SOTERの論文が発表され これまでの常識を根本的に検討し直さなければならなくなった。わが国にもこのようなメタンの存在を想定した方が考え易い事例がいくつもあり かつこの考えに立つ学術講演もすでに行われている(脇田・佐野 1982)が わ

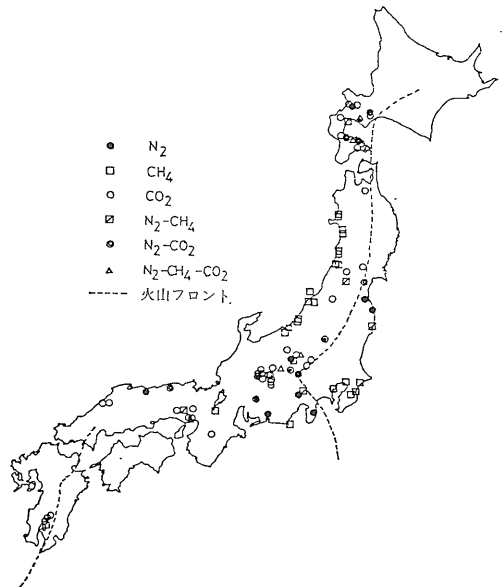


図21 日本におけるおもな天然ガス型の分布 (卜部ほか3名 1982)

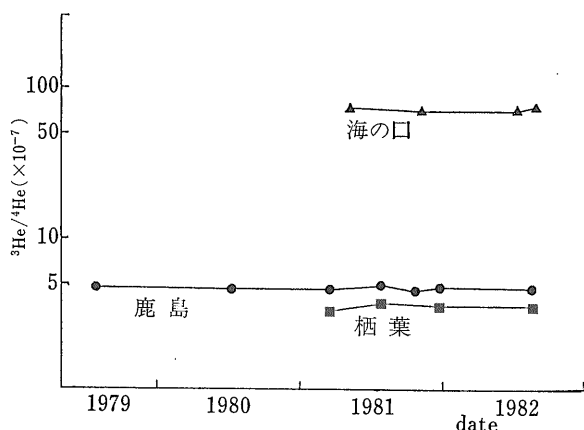


図22  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比の安定性 (佐野ほか 2名 1983)

が国の石油・天然ガス鉱業界では在来の生物起原説が支配的であり探鉱もほとんどこれだけを指導原理として進められている。このあたりで GOLD & SOTER 説およびそれに連なる脇田・佐野 (1982) および脇田・佐野・ト部 (1983) の考え方について虚心に検討してみることも決して意味のないことではないばかりでなく、今後の探鉱に新しい活路を見出すことになるかも知れないのである。

## 16 地球外のメタン

メタンはこの宇宙において決して珍らしい化合物ではない。すなわち太陽系外の大宇宙にもメタンは知られているがここでは地球と縁の深い太陽系内のメタンから調べてみることにしよう。

惑星の大気にもメタンがあることが知られているのは土星よりさらに外側の惑星である天王星および海王星である。また土星の衛星タイタンの大気は大部分窒素からなるが1%ほどのメタンを含んでいる (松井 1981)。タイタンの直径はおよそ 5,800km もあり水星よりもひとまわり大きいが平均比重は1.34しかない。そのほか彗星の核は氷と塵のかたまりではないかと考えられているが氷といっても水の氷とは限らずメタンやアンモニアの氷も含む (松井 1981) という。

## 17 地球深部メタン説の根拠

ここで GOLD & SOTER (1980) 自身がマントルにメタンがあるとした理由を列挙・再検討してみよう。まず彼等は石油・ガス田の多くは地殻変動帯の上ののっていることに注目しこの関係は非生物起原の炭化水素が地殻の割れ目を通して地球深部から上昇してきたものであるという見解と両立するとしている。しかし彼

等も生物起原の炭化水素の存在を否定しているのではなくこの非生物起原の炭化水素は生物起原の炭化水素を増加させることにも貢献していると思われ少数の油田だけが巨大化している事実もこれで説明できるとしている。

この理由はまことに漠然としているが彼等はずっと明瞭かつ直接的な根拠も挙げている。その1つは膨大な量の溶解メタンの集中がプレートの境界や地溝帯を被っている水中で測定されていることである。たとえば紅海の深部塩水は普通の海水の約1,000倍ものメタンを含有している。東太平洋海膨の海底噴気孔から噴出した塩水生成物はメタンの高い濃縮物を含んでいる。また東アフリカ地溝のキヴー (Kivu) 湖は5,000トンほどの溶解メタンを含有しているがそこにはそれらの生成にふさわしい微生物源は見当たらないという。

もっとも壮観な天然ガスの出口は「泥火山」として知られているものである。これはときどき爆発的な激しい噴出を伴うガスの間欠的な噴出による噴出物で構成されている山または丘でそこから時には二酸化炭素がさらにそれよりしばしばほぼ純粋のメタンが噴出している。泥火山は身近かなところでは台湾省のものが古くから知られている (大村 1934)。

地震学者は長い間深発地震を説明するのに困りはてていた。それは5kmより深いところではその上にある岩石の圧力すなわち盤圧が大きいので割れ目はそれ自体では開くことはできない。このような圧力の下では岩石は突然の脆性破壊で割れ目をつくるよりむしろ過剰の剪断力が働いて変形する。さらに深いところでは温度が高くなり割れ目をさらにつくり難くしている。そして連続的な可塑性流動は応力を解放するから割れ目はますますでき難くなるだろう。それにもかかわらず700kmという深部に震源をもつ地震が記録されておりしかも地震計の記録には浅いところの地震と同じように突発的な破壊やすべりが読みとれる。

GOLD & SOTER (1980) によれば地球深部のガスの存在がこの矛盾を解明してくれるという。すなわち深部の岩石が周囲からの圧力下でガスによって開かれた互いに連絡のある微小なすき間をもっているとすればガス圧によってすき間はひろがって割れ目となりその両側に滑りを起すこともできるようになるだろう。このガスが盤圧を効果的にとり去り封圧が小さくなれば不連続な滑りが再び可能になる。このようにして割れ目がひろがるとき応力のエネルギーが発散されて地震が起るといふ。

地震が強大で地表まで続く割れ目ができるとこれが

ガスの逃げ道になる。その結果 大地震に伴なう特別な現象が生じる。それには地震光や水中の激しい泡立ち 硫黄臭い噴気 爆発音のほか 沖積土上をゆっくり進む波などが含まれる。

中でも発光現象は地震の際にメタンあるいは水素のような可燃性ガスが出てくるためであろう。地震に伴なう大きな発光現象の跡には しばしば燃焼の証跡が残されている。この燃焼は ガスの流れで運ばれた微粒子の静電荷によってスパークを生じ ガスが自然発火したものであろう。このようなガスの燃焼は夜間の地震の際にしばしば報告される地震光の説明にもなり得るだろう。これに似た閃光や火の玉 空一面が明るくなるような現象も 空気中に突然噴出した大量のガスの自然着火に帰することができそうである。

大きな地震の際には 海水や湖水に激しい泡立ちが見られることがある。たとえば 日本にも津波をもたらしたチリ大地震の時には 450km 以上にわたる海岸で海が沸騰しているようだったと報告されている。こうした光景は地震に際して大量のガスが解散されたとすれば理解し易い。

沖積土の上をゆっくりした表面波が伝播してゆくことが 多くの地震の際に報告されている。どの報告でも波高は数 10cm で 波長の何倍もの距離までころがるように伝わって行くと記している。このような大きな振幅のゆっくりした波は 沖積層が毛布のような形で下からもち上げられた場合に起るものと考えられる。つまり この現象は地震の際に生じた基盤中の割れ目を通して 大気の何百倍 何千倍もの圧力をもつガスが噴き上げてきたことによるものであろう。このようなガスは普通の岩石より割れ目の少ない沖積土を容易にもち上げるであろうし またすぐには割れ目の口を開くこともなさそうである。こうして沖積土がひとたび持ち上げられると あとはゆっくりした重力波として伝播して行くことができる。

GOLD & SOTER (1980) によると 津波もまた沖積土上の表面波と類似の現象であるという。一般に 津波は海底の広範な部分が津波波高に匹敵するくらい垂直方向に突然変位することによって生ずる と考えられている。そこで 時にはさしわたしが 100km 以上もある岩板が 1m くらい隆起したり沈降したりすると考えなければならなくなる。さらに このような岩板は震源の深さまで延びていることになりそうである。そうすると この際に重力のなす仕事は 津波そのもののエネルギーの何万倍もが必要になるだろう ということである。

しかし 地震によって放出されるエネルギーは 僅か

に津波そのもののエネルギーの10倍から 100 倍の間である という。しかるに 岩石が蓄え得る最大の弾性歪みエネルギー以上のものを考えないと 地震が上記のような大きなエネルギーをもつと考えることはできない。したがって 大きな津波を説明するには もっとちがった説明が必要になる。そこで 海洋底でガス噴出が起り その海面への上昇によって津波が生ずることが考えられる。これならずとも少ないエネルギーでこと足りるという。こう考えると 地震のエネルギーは津波のエネルギーの10倍程度ですむということである。

## 18 地震の前兆現象と深部ガス仮説

前節に述べたことのなかには 地震時の深部ガス噴出の直接的証拠とは必ずしも断言できないものもある。しかし GOLD & SOTER (1980) のいうように 少なくとも発光と水の泡だち現象は 他の方法では説明できそうもない。さらに 彼等によれば ガスは地震の際にもっと積極的な役割りを演じており 地震の前兆現象とされている多くのものは 地震に先んじて起る深部ガス圧の増加によって十分説明できるという。

地震の前兆と実際に地震が起る時との時間のずれは数分から数年の幅がある。これ等の前兆現象は 普通岩石のダイラタンシー (dilatancy; expanding の意) という言葉のもとに議論されている。すなわち これは 剪断応力が破壊の臨界値に近づくと 岩石中に微小な割れ目が生ずる現象である。彼等も岩石中の間隙の増大に伴なう体積の膨張が多くの前兆につながるという点には同感であるとしているが 多くの地震が発生する地下数 10km の深さでは 岩石は盤圧に抗して割れ目をつくるだけの力を それ自身ではもっていないのではないか という疑問を投げかけ ダイラタンシーは 割れ目を開くだけの十分な圧力をもつ流体が存在しなければ 起り始まり得ないだろう としているのである。

彼等はここで地球深部のガスがまさにその役目を果たしていると提案している。彼等によれば 深い地震について 周囲からの高圧力下での脆性破壊に関する彼等のモデルには 次の 2つの条件が必要となるという。その 1つは 同じ岩石が浅いところにあっても脆性破壊を生ずるだけの十分な剪断応力があること もう 1つは 高圧ガスが上方からの膨大な岩石の摩擦に抗して最初の割れ目を開くことができることである。岩石を延性物質から脆性物質に変えるのは 下方からのガスの岩石への侵入であり それは同時に岩石の膨張とそれに伴なう現象とをひき起しているという。

このようにして 地球深部からのガスが地震を起し得るところまで上昇侵入した時 その一部は地下水を動揺

させ 地中の電気伝導度を変化させ また土壌中のガスの成分を変化させる。とくにラドンによる前兆現象では 地中を通して地表へ向って流れていくガスの存在が必要である。何となれば ラドンの半減期はわずか3.8日しかなく その上それ自身では崩壊するまでに土壌中の間隙を通して僅か数mしか拡散によって移動できないからである。しかし 地震が起る前に 震央から100kmも離れたところで 地表面でのラドン放射のはっきりした増加が検知されている地震もある。

彼等も明言しているように これについてもっとも簡単な説明は ラドンがより豊富に存在する他のガスに単なるトレーサーとして乗って運ばれてきたと または深いところのラドン源から十分に検知されてはいないガスの流れによって僅か数日の間に地表に運ばれたと考えることであろう。

以上に述べたような地震の前兆現象は すべて測定器具によって見出されるものであるが GOLD & SOTER (1980) によれば それ以外の前兆現象とされてきたものの中にも 地球深部ガスを考えることによって容易に説明できるものがある。たとえば 地震前の動物の奇妙な行動も このようなガスによるものと解説することができる。多くの動物は匂いに対して非常に鋭い感覚をもっているので おそらくガスが土の中を押しよってくるのを感知することができるのであろう。また 動物の中にはガスによる低周波のノイズを聞き分けるものもあり また地中に住んでいる動物は 異常な空気の侵入のために窒息するような目にあっているかも知れない。このような前兆現象はかなり広範囲にわたって同時に見られる。このようなことを考え合せると 問題は深いところのガスの源ということになる。結局 彼等はこれを地球深部のガスに帰しているのである。

### 19 地球深部のメタンとヘリウム-3

以上に紹介したように GOLD & SOTER (1980) の論文はヘリウム-3にはまったく触れていない。一方 天然ガス中の  $^3\text{He}/^4\text{He}$  の比を扱った論文は CLARKE et al. (1969) 以来かなりの数にのぼっているが これと GOLD & SOTER (1980) の地球深部の非生物起原のメタンとを結びつけ グリーンタフ中の天然ガス鉱床の形成を説明したのは 1982年の日本地球化学会年会における脇田・佐藤の講演が最初のものである。

それによれば 南関東ガス田や常磐炭田から得られた天然ガスの  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比は 大気の数より1桁低い値を示し 放射性起原の  $^4\text{He}$  の寄与が大きいことは明らかである。これに対して日本海側の天然ガスの  $^3\text{He}/^4\text{He}$  1984年2月号

比は 採取地点や地層のちがいに非常に大きく変動する。もっとも高い  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比は島弧の火山にも匹敵する値で マントルから直接的な供給のあったことが示唆される。こうした高い  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比をもつ天然ガスは 日本海岸の新第三系の最下部を占めるグリーンタフ層内から得られる。これに対して  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比の低い天然ガスは 砂・泥からなる比較的浅層の堆積層に存在するという。

ここで 現在グリーンタフ層に存在する  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比の高いメタンが 碎屑性堆積層から移入した生物起原のメタンであるという説明は 同層に含まれるメタン中のヘリウム濃度と  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比を考えると成立しない。したがってグリーンタフ層中のメタンは マグマ活動により  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比の高いヘリウムからもたらされた成分である可能性が大きい というのが 脇田・佐野 (1982) の結論である。

図23にみられるように グリーンタフ層は東北日本の西半分の地域を覆い 糸魚川-静岡線に沿って南下し 伊豆半島に達している。さらに この活動は北海道の北部と東部 能登半島 山陰 および九州の一部にも及んで 総量は20万  $\text{km}^3$  以上と推定されている。このグリーンタフ層は2000万年から1000万年ほど前にかけて活動した海底火山の噴出物が海水による変質を受けて生成したと考えられている。そして 1500万年ほど前のグリーンタフ層には黒鉱と呼ばれる硫化物鉱床が存在する。このようなことからグリーンタフ層形成当時のことを復元してみると 実際に観察された東太平洋海膨や紅海底との類似が誰でも思い浮んでくるであろう。このようなところの海底に接する海水中には  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比の高いヘリウムおよびメタンが溶存していることはすでに知られているのだから 脇田・佐野 (1982) のような考えが出てくるのは自然である。このようなことから 彼等は緑色凝灰岩の活動を第四紀以後にみられる火山活動とはまったく異なり “ferfile mantle” (直訳すれば肥沃なマントル) からのプリュームによる短期間のマグマ活動を考え 天然ガス鉱床の形成はマグマから放出されたメタンを含む揮発性成分に帰せられると推論したのである。さらに彼等はこのようなプリュームの発生は日本海形成の契機となった可能性があるとしている。

新潟県下の緑色凝灰岩層に胚胎される石油・天然ガス鉱床としては 紫雲寺ガス田 (最下部層のみ) 見附油田 片貝ガス田 (下部) 吉井ガス田 東柏崎ガス田 および南長岡ガス田がある。このうち 南長岡ガス田は1970年に発見されたものであるが 昭和58年 (1983) 6月の石油技術協会における帝国石油(株)の関口嘉一の講演によ

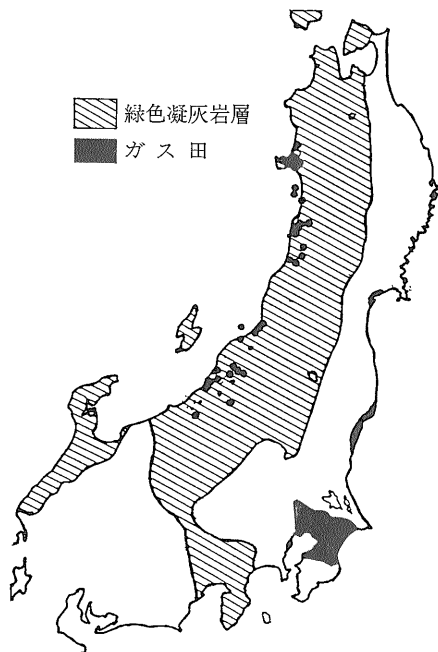


図23 中部・東北日本における緑色凝灰岩層とおもなガス田の分布(脇田・佐野1982)

れば 生物起原のガスの移動によって成立したということでも説明し得る構造になっている。しかし それだけでマントル起原のメタンの混入がないとは断言できない。一方 相場(1977)によれば 西山層堆積直後の西山・吉井両ガス田を通る地質断面は図24のようになっており 七谷層の上部以上の地層中の生物起原のガスだけで吉井ガス田の成立を考えると 必ずしも容易なことではない。この際 マントル起原のメタンの下方からの供給を考えると 残る鉱床成立条件はトラップの

存在だけとなる。

緑色凝灰岩層の生成と日本海という縁海 (marginal sea) ひいては日本列島という弧状列島 (arc islands) の形成とが密接な因果関係にあるということは この弧状列島に生をうけた地質学徒にとってはすでに常識の1つになっているが その過程の細部については諸説がある。しかし その大綱が KARIG (1971) が述べたようなものであることについては すでに大きな異論はないであろう。それによれば 図25に示すように 沈みこんだ大洋プレートの上面あたりから その上側のマントルすなわち上部マントル・ウェッジ (upper mantle wedge) の中に マントル物質 (橄欖岩) の上昇流が起り そのためその上のリソスフェアの拡大や火山活動が起り縁海底を生ずる。この橄欖岩の上昇は高温での塑性変形によって一種のダイアピール (diapir) として起る。その最終的な産物が緑色凝灰岩であり それに関連した火山岩であるとすれば ここにメタンや <sup>3</sup>He に富むヘリウムが上昇してきたとしても 不思議ではないであろう。また 緑色凝灰岩分布地域やそれに隣る縁辺海 すなわち日本海底の地殻熱流量が高いのも 図25によれば当然のことといわざるを得ないだろう。

### 20 キヴー湖の新型ガス鉱床

緑色凝灰岩層中のガス鉱床はもちろん遊離型である。これよりもっと簡単にできるのが水溶型ガス鉱床である。これはガスの供給のあるところに水さえあればよいからである。ここに地下水としなかったのは 湖水の底に近いところにマントル起原のガスによるガス鉱床ができている例がすでに報告されているからである。

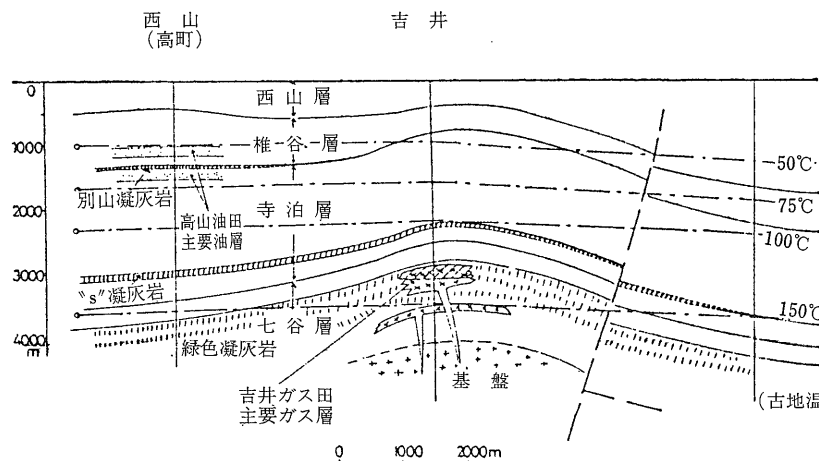


図24 西山層堆積直後の吉井ガス田を通る復元断面図(古地温は当時の推定値)西山油田の主要集油・ガス構造はまだ形成されていなかった。(相場 1977)

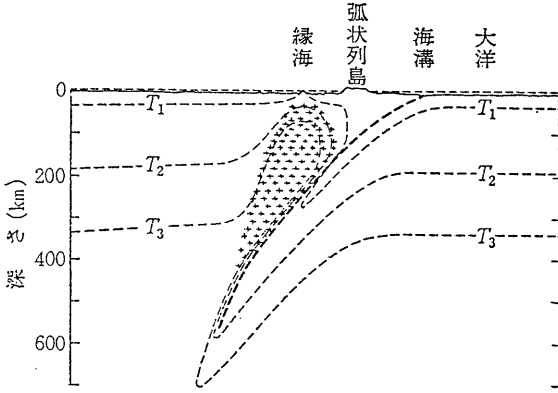


図25 弧状列島の背後に新しい縁辺海をつくるマンテルのダイアピール上昇(十字紋をつけた部分)  
 T<sub>1</sub> T<sub>2</sub> および T<sub>3</sub> は等温度線である。  
 (KARIG 1971; 都城 1979より)

地質学的にみると アラビアは現在なおアフリカの一端であらう。このアフリカは北西および南の端にだけ褶曲山脈帯をもった広い大陸楯状地で 大規模な高まり (swell) によって隔てられた幅広い盆地 (basin) のような構造的な模様を示している。このような高まりが東へ向って集まり 一連の高原をつくった。この高原を縦断しているのが有名な大地溝帯である (図26)。この地溝帯は紅海地溝に直接つながっている東部地溝と コンゴ剛塊の東部を切る西部地溝とに分けられ 前者は新しい火山岩類の発達で特徴づけられている (図27)。西部地溝にも新しい火山類がないわけではないが その量は僅かである。

HOLMES (1965) によると 厳密な意味でのアフリカ

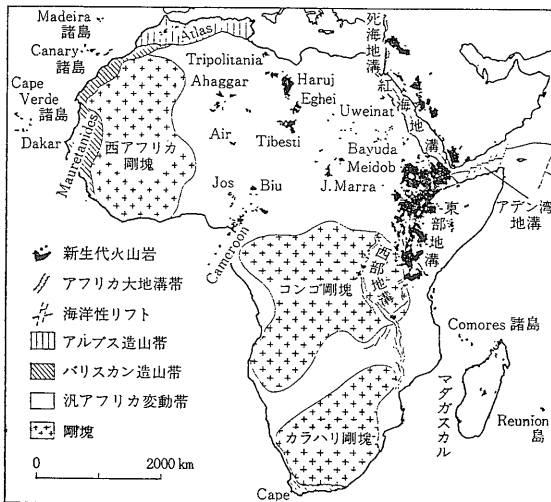


図27 アフリカにおける新生代の火山岩分布とアフリカ大地溝帯 (諏訪・矢入 1979)

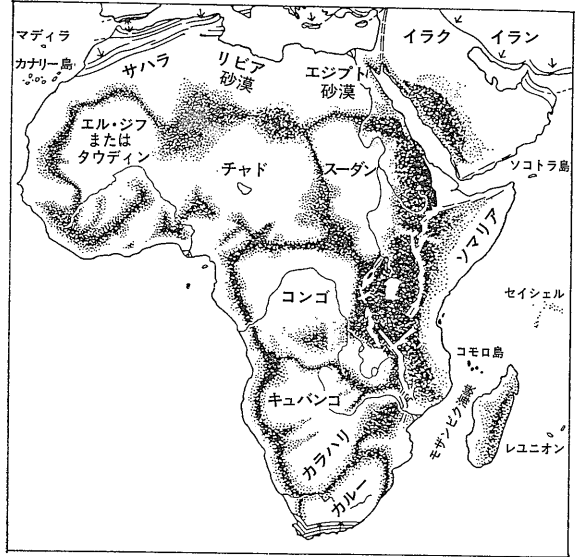


図26 アフリカの地形の概要  
 高まりと盆地 (swell & basin) と表現されている特徴がよくわかる。(HOLMES 1965; 竹内訳 1969)

の裂谷 (rift valley) は次のように4つのグループに分けられる (図28)。

- i) ニアサの部分およびそれが枝分れして中央高原の南の端へ達する部分 (ルクワとルアハ)
- ii) タンガニーカ湖からキヴー湖を経て エドワード湖およびアルバート湖へ至る西の部分
- iii) ヴィクトリア湖の東のリフト  
 これはこの地の地溝 (裂谷) を正断層で限られた細長い陥没地帯であることを初めて明らかにした GREGORY (1896) の名をとり GREGORY リフトとも呼ばれている。
- iv) ルドルフ湖およびエチオピアの部分

以上の裂谷の幅はあまり変わらない。しかも 他の大地上における裂谷も 次に示すように同じような幅をもっている。

アルバート湖	45 km
タンガニーカ湖(北)	50 "
タンガニーカ湖(南)	40 "
ルクワ	40 "
ルドルフ湖	55 "
ネイトロン湖	30-50 "
ルアハ(北)	40 "
マラウイ(ニアサ)湖	40-60 "
パイカル湖(北)	70 "





表4 東アフリカ裂谷3湖の溶存ガスの比較 (vol.%)

	キ ヴ ー	タンガニカ	マ ラ ウ イ
採取深度	400	約400 3試料の平均	約400 6試料の平均
ml. gas/L	5	1	2.000
CH <sub>4</sub>	21.7	0.2	0.2
N <sub>2</sub>	n.d.	89	94
O <sub>2</sub>	n.d.	痕跡	痕跡
Ar	n.d.	1.0	1.0
CO <sub>2</sub>	77.3	10	5
H <sub>2</sub>	不検出	痕跡	痕跡
残り	1	—	—

BURKE (1963)

いてはおよそ見当がつく。それからみると0.114というメタン水比はおよそ深度30~40mにおける飽和メタン水比である。

しかしメタンが湖底に下方から供給される場合湖水中のメタンの分布状況はそれほど単純ではない。このような場合にはある深さまでの湖水がメタンで飽和されるまではメタンは遊離ガス泡として上方へは移動できない。もちろん拡散による移動分が少しはあるがメタンの水中における拡散係数(15°Cで $2.2 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{sec}$  また40°Cで $4.1 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{sec}$ ; 河井(1968)による)が小さいことからみてこれはあまり考えなくてもよい。したがってこのような場合メタンはもっぱら湖底に近いところの水に溶解していることになる。

すでに述べたようにキヴー湖の深度はおよそ400mであるから一応深さ350mのところにおける飽和メタン水比を0.95としこれを平均メタン水比とする水が5,000万トンすなわち700億Nm<sup>3</sup>のメタンを保有するのに必要な容積を算出してみるとおよそ737億klとなる。この水は1辺が4.2km弱の立方体の中に入

ってしまう。またこれを深さが100mの直方体とすると必要な底面積は $737 \times 10^6 \text{m}^2 (=737 \text{km}^2)$ となる。これはキヴー湖の表面積のおよそ31.9%である。このような試算からキヴー湖の深いところの水だけがメタンで飽和されていることはまず間違いなくそれだけで5,000万トンといわれているガス量を説明するには十分である。

ところでキヴー湖の天然ガスについて最初に触れたのはGOLD & SOTER (1980)ではない。それより17年も前にBURKE (1963)は“Dissolved Gases in East African Lakes”と題する短論文を“Nature”誌に寄せた。彼が調査したのはタンガニカおよびニアサ(マラウイ)の両湖であるが本論文の付表にはSCHMITZ & KUFFERATH (1955)によって調査されたキヴー湖を加えた3湖の溶存ガスの分析値が載せられている(表4)。それによればタンガニカおよびマラウイ(ニアサ)の両湖の溶存ガスがほとんど酸欠空気にほかならない組成を示しているのに対してキヴー湖のそれはおもに二酸化炭素(77.3 vol.%)およびメタン(21.7 vol.%)からなっている。SCHMITZ等はこのうち二酸化炭素は火山起原であるがメタンは浮遊生物の遺体の嫌気性発酵によってできたとしている。しかしBURKE (1963)はキヴー湖の溶存ガスをすべて火山起原であるとしている。ちなみに以上の3湖の中でキヴー湖だけが活火山地域にある。また本湖の深度400mの水1lには2l以上のガスが溶存しているということである。表4のガスの組成がこの深度の水にも適用できるとすると水1lに含まれているメタンは0.434l以上ということになる。これは予測されるメタン水比の半分弱であるが石狩泥炭地の例(本島 1959)で知られているように一般に溶存ガス中の二酸化炭素は坑口遊離ガス中のそれよりはるかに多いから先に述べたキヴー湖底近くに想

表5 重要な有機質鉱産物のH/C O/HおよびO/H:H/C

有機質鉱産物	H/C	O/H	O/H:H/C	起 原
石油	1.4-2.0	0.005-0.007	0.0-0.08	生物起原?
天然ガス	3.6-4.0	0.01-0.4	0.0-0.1	生物起原?
化石樹脂	1.2-1.7	0.01-0.2	0.0-0.15	生物起原
アスファルト	1.2-1.8	0.01-0.2	0.0-0.16	生物起原?
アスファルト鉱	0.9-1.4	0.005-0.2	0.0-0.2	生物起原?
無煙炭	0.2-0.6	0.05-0.15	0.1-0.3	生物起原
石炭	0.6-1.7	0.08-0.5	0.1-0.4	生物起原
テュコライトおよび関連物質	0.1-0.8	0.2-2.0	0.6-5.0	初 生 的
キヴー湖産のガス	1.10	1.42	1.29	?
噴気孔ガス中の含炭素分子	0.0-0.1?	>10?	>100	変成的または初生的

(MUELLER 1963)

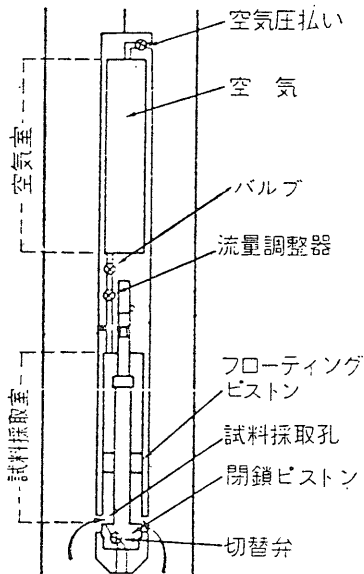


図30 坑底試料採取器 (島村 1983)

定される水溶型ガス鉱床のでき方・あり方を否定することにはなるまい。

キヴー湖の二酸化炭素もメタンも火山起源であるとする BURKE (1963) の考え方に対して意見を求められた MUELLER (1963) も 別の観点から賛意を表している。すなわち 彼によれば 表5から読みとれるように キヴー湖に由来する混合ガスの元素組成は テュコライトの範囲内に入る O/H および O/H : H/C の値を示し H/C もまたそれからあまり遠くない。これは問題の混合ガスがテュコライト型の初生マグマ相の蒸留生成物

である可能性があることを意味する という。ここで残念なのは著者なりに八方手を尽したにも拘らず テュコライト (tuchollite) の正体を文献について確認できなかったことである。お心あたりがあればお教えいただきたい。

## 21 他の裂谷湖におけるキヴー湖型ガス鉱床

### 成立の可能性

表4にはタンガニカおよびマラウイ両湖の溶存ガスの分析値が含まれている。そのうち 前者については最大深度が 1,435 m もあり かつ 1,000 m 以深のところが広大な面積を占めているところから 湖底近くにキヴー湖型ガス鉱床が形成されている可能性がないとは即断できない。しかし キヴー湖のガスが新しい火山との関係において論じられているところからみると むしろこの可能性は低いと考えざるを得ない。また マラウイ湖のガスは湖底近いところから採取されているから本湖については この種のガス鉱床が成立している可能性はまったくない。しかし もよりのところに新しい火山がある裂谷湖は むしろ東部地溝に多い。この東部地溝の湖水については キヴー湖の場合のような調査はまったく行われていない。キヴー湖型ガス鉱床の成立条件から考えると 東部地溝においても 深いものの方が有利である。先般あるテレビでエチオピアの湖水の映像が放映されたが その中には著しいガス徴がみられるものがいくつかあった。しかも その泡の形はメタンが主成分であることを思わせるものであった。エチオピアの東部地溝は アファ三角地域を経て 紅海に連なっているのだから その湖沼群にマントル起原のメタンによる水溶型ガス鉱床が成立している可能性は かなり高いと思われる。

## 22 キヴー湖型ガス鉱床の探鉱法

この種のガス鉱床の探鉱法はいたって簡単である。器具らしいものとしては 坑底試料採取器 (bottom-hole-sampler) さえあればよい。これはもともと坑井内の任意の深さにおける流体をそのままの状態で採取するための道具であって 図30はわが国でもよく使われているものの1例で ケーブルで必要な深度まで降下させる。坑井内流体は電気信号によって作動する上・下2つのバルブ (上側がピストンになっているものもある) の間の試料採取室に閉じ込められて 地上に取出される。試料採取室の容量は大体 650 cc 程度であるので 通常の分析には十分であるが 必要があれば何回でも繰り返してや

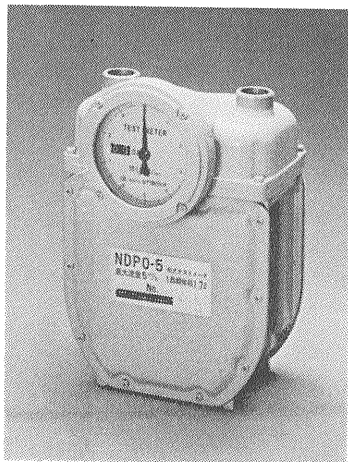


図31 膜式試験用ガスメーターの1例  
図は NDPO-5型であるが 同型で小型の NDPO-3型あたりが適当であろう。(提供 金門製作所(株))

ればよい。

地上ではまず分離してくるガスの計量を行うが、それには小型の膜式ガスメーター(図31)を使うのが便利である。これは家庭用の都市ガスや集中配管方式で供給されているLPGの計量に使われている積算ガスメーターと同じものである。ただし膜式ガスメーターの内部で空気や前に計ったガスと混ってしまうからこのガスは分析には使えない。したがって分析用のガス試料は別途採取する必要があるから坑底試料採取器による計量・サンプリングを完結させるためには、同1地点・深度について少なくとも2回の作業が必要である。

ガスは実験室にもち帰ってから分析すればよいが、硫化水素などを含んでいることもあるので、硫黄化合物を吸収するおそれのあるゴム製品(ゴム栓、ゴム管など)はすべてにわたって使わないことにしておいた方が不難である。これは水についても同様である。水についてはpH、炭酸水素イオン( $\text{HCO}_3^-$ )、炭酸イオン( $\text{CO}_3^{2-}$ ; アルカリ性の場合)、溶存二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )、アンモニウムイオン( $\text{NH}_4^+$ )、硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )や過マンガン酸カリ消費量( $\text{KMnO}_4$  cons.)などの変化し易い成分や塩素度(海洋学で使われているものを準用し、分析表には一般に $\text{Cl}^-$ と書かれているが、厳密に言えば $\text{Cl}^-$ そのものではない)

のような大勢を考える上に重要な成分については、現場またはもよりの実験室において急いで分析することが望ましい。

坑底試料採取器によるサンプリングは対象湖水内における天然ガスの質および濃度の分布を知るために行われるのであるから、それは組織的な計画の上に行われる必要がある。計画の策定に当っては湖底の深度分布図があれば便利であるが、それが無い場合にはごく概略なものにせよ、その作成を兼ねて調査を進める必要がある。湖上における位置の決定には光波測距儀を使うのが便利であるが、予備として六分儀も携行するのが望ましい。また坑底試料の採取に当っては採取条件を明確にするため、採取深度における圧力および温度を測定しておく必要があるが、湖水の場合には圧力は深度から算出されるものでよい。温度についてはワイヤライン方式の場合には坑底温度測定器と一緒に降下させればよい。坑底試料採取器の試料採取室のバルブ作動方式にはもう1つケーブル方式があり、作業の信頼性はこの方が高い。しかしこの場合には別途温度測定を行う必要がある。

## 地学と切手



### ニュージーランド

#### ホワイトアイランド火山の切手

#### P. Q.

ホワイトアイランド火山はニュージーランド北島を北東—南西に走るタウポ火山帯の北の端の海中にそびえる火山である。300~400mの海底からそびえ、最高点が321mであるので、丁度半分の高さが海面に出ていることとなる。島は東西約2.4km、南北約2km、面積320haで周囲は波蝕によって崖となっており、南東に向けて海岸にまで達している火口がみら

れる。島はほとんどが裸地で植生は海岸にわずかにみられるにすぎない。火口は長さ1.2km、幅400mで火口底の高度は海拔30m以下である。歴史時代の噴火は全て火口の西端で起っている。

島は新旧2つの火山の複合体である。古い山体は島の西半分を形成し、それが東の新しい山体によって覆われている。両者とも成層火山である。新しい山体には2つの環状断層があり、内側に落ち込んでいる。火口内の湖成堆積物の観察から、火口が形成して海水が浸入してから山体は70から80m上昇したであろうと推定されている。

ホワイトアイランドは1826年に最初のヨーロッパ人が上陸して以来絶え間のない硫黄活動と噴気活動を続けて来た。その噴火活動は2回にわたる短期間の硫黄採取時にくわしく、その外は時たまの訪問者か本土からの観察によっていた。1914年9月には水蒸気爆発が起り、火口底で硫黄を採取していた11人が死亡した。硫黄の採取は1934年に終了し、その後の活動の情報はない。噴煙はその後ほとんど絶え間なくつづいている。

岩石は $\text{SiO}_2$  57-63%の輝石安山岩から輝石デイサイトである。

切手は1974年12月発行の島切手4種のうち、