

水溶性ガスから共水性ガスへ

福田 理 (燃料部)
Osamu FUKUTA

1. ま え が き

水溶性ガスというと 昭和30年代の初め頃までに大体のことはわかってしまったという錯覚が一般に持たれているようである。そのため 研究費はつき難いし 探鉱補助金の枠からもはずされがちである。地下水に溶解しているガスを意味する水溶性ガスという用語自体が 一般にこの名で呼ばれているガスの実態がすでによくわかっているという錯覚をよく表わしている。メタンを主成分とする可燃性天然ガスが地下水に溶解することによって成立する鉱床が 日本ばかりでなく 世界にひろく分布していることは確かである。しかし この名で呼ばれているガスは こんな単純なものばかりではない。水溶性ガスの前に共水性ガスの名がすでにあつた(地質調査所 1954)のだから 後年ひろく使われるようになった水溶性ガスが その文字通りに単純なものでないことは 戦後から昭和29年(1954)頃までの地質調査所の天然ガス関係者には かなり深く理解されていたのかも知れない。

共水性ガスの大半は文字通りの水溶性ガスであるから水溶性ガスの名がひろく行われるようになったことにも一理はある。しかし この名のあるが故に 水溶性ガス鉱床として簡単に片づけられてしまった天然ガス鉱床も 少なくなかったはずである。水溶性ガスの名がひろく行われるようになるまでの歴史については 単行本(金原均二ほか2名 1958)や多くの論文・報文により 水溶性ガス鉱床の概念 すなわち 地下水にメタンを主成分とする天然ガスが溶解することによってできる鉱床がある という考えの起原を除いて かなりよく知られている。そこで 本稿においてはまずこの考えの起原を明らかにし よく知られた戦中・戦後から昭和30年代のことについては省略して その後の経過について少しくわしく述べることにしよう。

2. 水溶性ガス鉱床の概念の起原

今日一般に水溶性ガス鉱床と呼ばれているもののうち文字どおりの水溶性ガス鉱床の概念が文献に登場したの



図1 三川逸郎氏

石油技術協会名誉会員 氏が世界に魁けて今日の水溶性ガス鉱床の存在をくわしく論じておられたことは 故意か偶然か長い間見すごされていた。このようなことはほかにもわれわれの身近かなところにある。

は 案外古い昭和8年(1933)で この種の鉱床の実質的な生みの親は三川逸郎(図1)であった。彼の論文(三川 1933)には昭和20年代の論文を思わせるような次のような一節が含まれている。

「一般に天然瓦斯は水に溶解するが その溶解量はヘンリーの定律に従ひ 圧力に正比例し 温度に反比例す。故に高圧力を受くる水例えば深井の底部に在る水の如きは 上部に於ける水よりも 多量の瓦斯を吸収含有する理なり。(中略) 今圧力と瓦斯の水に対する溶解力を考察するに 総て高圧の下にて飽和せる気体溶液に於ては 其の圧力減ずるも 其の減じられたる圧力に相当するよりも超過せる気体は 直ちに悉く液体より出さず 此れ気体の溶液は過飽和溶液を生じ易きものなるが故なり。而して気体及び固体が液体に溶解する場合に於いて屢々過飽和の現象を生ずるを見る。以上の理由に依り高圧の下に置かれた地下水は 過飽和の状態に於て 天然瓦斯を溶解するものなり。而して一旦溶解されて過飽和の状態になりたる瓦斯は 溶液中に於ては 其の圧力を減ぜられたる後も 容易にその圧力に相当するより以上の超過瓦斯を放出せず 其のまま過飽和の溶解状態を持続するものと想はる。(中略) 天然互

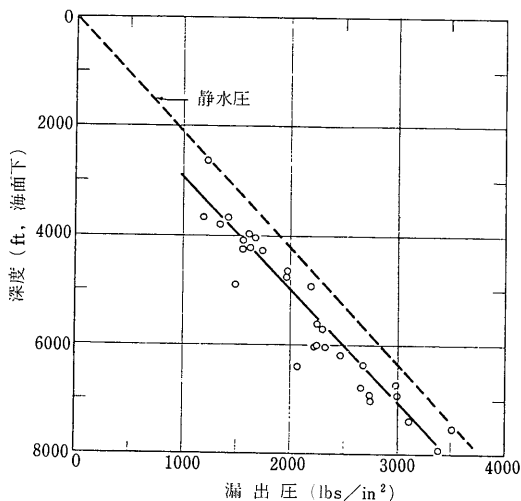


図2 アッパー・テキサス沿岸地区の Frio water の漏出圧 (BUCKLEY et al., 1958)

斯を採取するには 普通井戸を穿ち 湧出水に伴ふ瓦斯を分離槽により集むるものなり。」(以上原文のまま)

その後相次いで明かにされた共水性ガス鉱床の実態からみると 上の三川論文は化学でいう過飽和現象を強調し過ぎていくらいはあるが 地下水に溶解しているガスが分離する圧力は 一般に地下水そのものの本来の圧力(一般に静水圧)よりも低いということを指摘した BUCKLEY et al. (1958) の論文の出版年を考えると 三川の先駆的見解には敬伏せざるを得ない。BUCKLEY 等は地下水に溶解している天然ガスが分離してくる圧力を漏出圧 (escaping pressure) と呼んだ(福田 1980)。この漏出圧と深度対応の静水圧との関係の 1 例を示したのが図 2 である。

3. 水溶性ガス鉱床あれこれ

3.1 初生的なものと後生的なもの

これまで一般に水溶性ガス鉱床の性質とされているものは 実は初生的なものに関するものである。その中の代表的なもの 1 つは 塩素度相関型の鉱床とされているものである。金原ほか 2 名 (1958) の教科書にはこの型の天然ガス鉱床について 次のように解説されている。

「化石やその他の指示物によって 地層の初期の堆積環境が海底であったと決められた時に そのような地層中に成立する第 1 級の水溶性ガス鉱床は 本邦においては塩素度相関型の鉱床形式である。Cl⁻ はガスの発生

と直接的な関係はないが 地下水中の Cl⁻ は 地表からする天水の浸入 いい換えれば ガスが地下水中に保存された程度を示す指示物になっている と考えられる。したがって このような鉱床の調査には 塩分の追跡を行うことがきわめて大切になる。」

上に引用したことは 海成層中に賦存する初生的な水溶性ガス鉱床について 定性的には正しい。しかし 塩素度相関型ガス鉱床について定量的な考察ができるようになったのは 上記の教科書が出版されてから数年後のことである。そのための武器を与えてくれたのが 河井 (1963) の論文である。この論文では 水中における CH₄ および NaCl の拡散の問題の解き方が 実例に近い形で与えられている。そのくわしいことについては原論文 およびそれを敷衍した拙稿 (福田 1966; 1967; 1972) を参照していただくことにして ここでは水中における NaCl の拡散係数が CH₄ のそれのおよそ半分強であり ともにきわめて小さいことを指摘するに止める。

河井 (1963) の指摘は 南関東産ガス地域の概念図 (図 3) と 同地域における上総層群中の地層水の Cl⁻ 等濃度線図 (図 4) とを比べてみると よくわかる。すなわち 塩素度が急減するところで鉱床も終っている。いかえると 河井 (1963) の論文は 水溶性ガス鉱床の真の破壊は拡散によるものしかないが この破壊の速度はきわめて小さく 一般に破壊と呼ばれているものの実態は ガスを含む水塊のガスを含まない水塊による置換にほかならない ことを教えているのである。

塩素度相関型のガス鉱床という考え方は 南関東産ガス地域の上総層群のような新しい海成層に胚胎するガス鉱床の周縁部については よくあてはまる。しかし一方では ガス付随水の Cl⁻ が海水の 5 分の 1 程度しかないにも拘らず CH₄ が飽和状態に達している例もある。そのもっともよい例は 宮崎ガス田の住友 2 号井でキャッチされた宮崎層群の基底粗粒層中のガス鉱床であろう。このガス層は地下 714—829m のところにあり 産出メタン水比は 1.44 で 飽和メタン水比 1.56 にかなり近いのに ガス付随水の Cl⁻ は 3876mg/l しかない。このような事実を説明するには 現在あるガスの大部分が後年補給されたと考えるほかない。ちなみに上総層群の主要ガス層が 100 万年ほど前のものであるのに対して 宮崎層群の基底粗粒層 (田野部層) は 500 万年ほど前のものである。このようにガスの大半が後年補給された水溶性ガスは 一般の初生的なものに対して後生的の名を冠して呼ばれて然るべきであろう (福田 1967)。

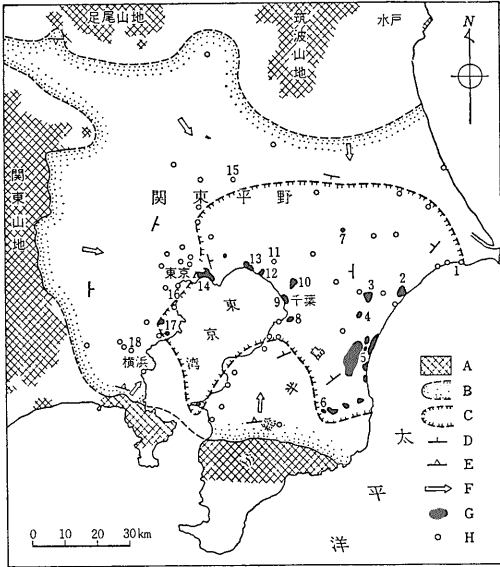


図3 南関東産ガス地域のご概念図 (河井・福田 1973)

- A : 先上総層群の露出地域 (中新統および先中新統)¹⁾
- B : 上総層群の分布地域
- C : ガス鉱床が分布すると推定される地域
- D : 上総層群の走向および傾斜 : 傾斜 = 2 ~ 6°
- E : : 傾斜 = 6 ~ 15°
- F : 天水侵入の方向
- G : ガス田 沃素田
- H : 試掘井

¹⁾ の中に含まれる上総層群相当地層の分布は省略してある

- | | | |
|----------|------------|-------------|
| 1 飯岡 R 1 | 7 成田ガス田 | 13 船橋ガス田 |
| 2 横芝ガス田 | 8 八幡ガス田 | 14 江東ガス田 |
| 3 成東ガス田 | 9 千葉ガス田 | 15 野田 R 1 |
| 4 東金ガス田 | 10 四街道ガス田 | 16 芝浦 R 1 |
| 5 茂原ガス田 | 11 八千代 R 1 | 17 川崎ガス田 |
| 6 大多喜ガス田 | 12 習志野ガス田 | 18 保土が谷 R 1 |

また 塩素度相関型に対していうならば 非塩素度相関型の名がふさわしいであろう (福田 1967 ; 1972). 宮崎ガス田の南に接する日南ガス田は まさにこのような後生的でありかつ非塩素度相関型のガス鉱床からなる.

3. 2 新しいものと古いもの

昭和30年代まで 水溶性ガスといえば新しい地層にしかないものとされていた. 当時の地質年代観によれば鮮新世までとなっているが 今日流にえばこれは後期鮮新世までということになる. これは その頃までは一般に上総層群がこの国の鮮新統の代表者の1つとされていたからである. しかし その後の年代層位学の進歩により 今日では上総層群の年代はおよそ B.P.240

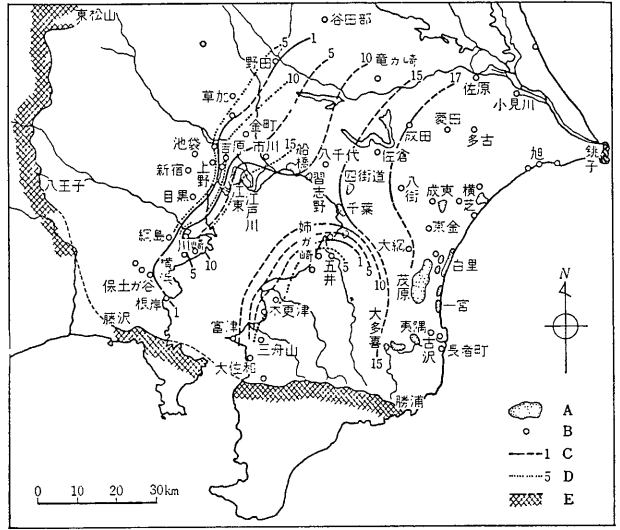


図4 上総層群中の地層水の Cl⁻ 等濃度線図 厳密に言えばこの Cl⁻ は塩素度である. (河井・福田 1973)

- A : ガス田 (沃素田を含む)
- B : 試掘井 (“天然温泉井”) を含む
- C : 深度 (海水準下) 600m における地層水の Cl⁻ 等濃度線 (単位 g/l)
- D : 深度 (海水準下) 900m における地層水の Cl⁻ 等濃度線 (単位 g/l)
- E : 上総層群の地表における分布限界線 ならびに上総層群より古い地質系統の露出地域

~30万年とされている (福田 1976 ; 1982). そして 鮮新・更新両世の境界は B.P.190万年であり 新潟ガス田のおもな水溶性ガス層を含む西山層および灰爪~魚沼層は それぞれ鮮新世後半~更新世前半および更新世後半のものである (土編 1981) から 昭和30年代までの一般的な考え方は 水溶性ガスは主として更新統のものである ということになる.

水に溶解しているガスを採取する以上 貯留層には大きな浸透性が要求される. そのため 古い地層は敬遠されがちであるが どころい古い地層に胚胎する水溶性ガス鉱床もある. そのもっとも顕著なものは メキシコ湾の沿岸平野から陸棚部にまたがる古第三系中の大鉱床で 埋蔵量はおよそ $2.7 \times 10^{15} \text{Nm}^3$ もある (BROWN 1976) とされている. これは石油換算では $2.34 \times 10^{12} \text{t}$ となる. ところで 世界の石油の究極資源量は $304 \times 10^9 \text{t}$ (HALBOUTY & MOODY 1979) とされている. これは究極回収率を40%として算出されているから 原始埋蔵量は $760 \times 10^9 \text{t}$ となる. 上に述べた湾岸地域の水溶性ガスの石油換算量は この3倍強という大きな値で

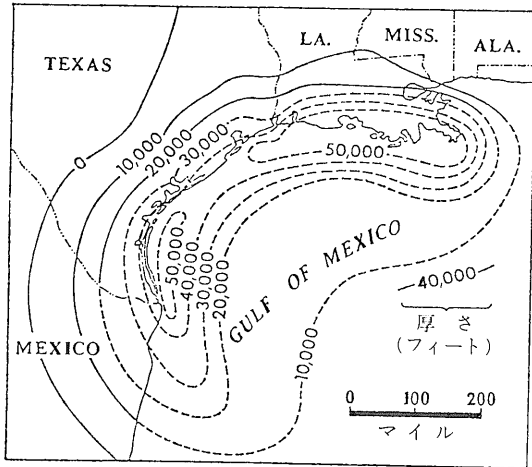


図5 湾岸地向斜における新生代沈積物の厚さの分布 (JONES 1975)

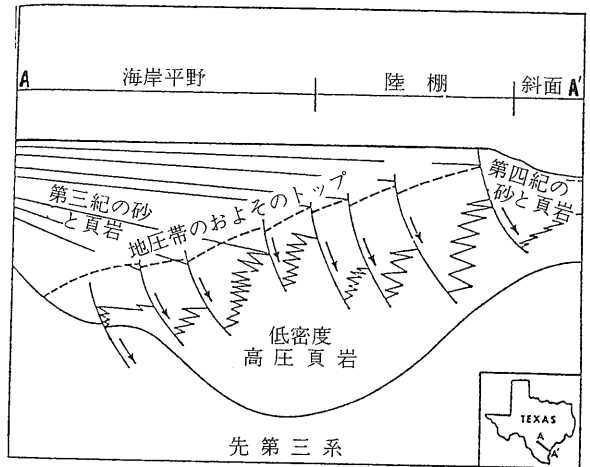


図6 南テキサス海岸を横切る傾斜方向の地質断面 生長断層系と地圧帯のトップとの関係を示す (JONES 1975)

ある。

この湾岸地域の水溶性ガス鉱床には 日本のこの種の鉱床にはみられない特徴がある。それはこの鉱床が地下深部の地圧帯に胚胎されていることである。図5に示すように 湾岸地域には最大50,000ft (15,240m)もの厚さの新生界が広く分布しており その下り傾斜側には間隙水圧が静水圧よりはるかに大きな地圧に近い地圧帯がよく発達していて ガスはこの圧力で間隙水に溶けこんでいる。地表に出た場合に この間隙水はガス付随水と呼ばれることになる。

このような地圧帯のでき方を示したのが図6である。本図に示されているように 湾岸地域の新生界が厚く発

達しているところにおいては その下部は厚い泥質層からなっている。このような泥質層は不等収縮を起し易く 収縮差の顕著なところには生長断層 (growth fault) ができる。堆積盆の下盤が不透水層の場合には 収縮によって絞り出された水は 順次上方へ移動する。そして さらに上方に浸透性の小さい地層がある場合には 水の圧力はその上方の全盤圧に近くなる。地下水を含む孔隙が何等かの形で地表まで続いている場合には その圧力は静水圧にほとんど等しい。これがむしろ一般的なところから 地下水が静水圧より高い圧力を示す場

第1表 早川産ガス地(山梨県南巨摩郡早川町)の瀬戸川層群産の共水性ガスと付随水

| 番号 | 所在地 | ガ | | | | | | | | | |
|------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | | H ₂ | H _e | O ₂ | N ₂ | A | CO ₂ | CH ₄ | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | i-C ₄ H ₁₀ |
| H-2a | 草塩字根方464 | 0.001 | 0.0004 | 0.93 | 18.54 | 0.43 | 0.37 | 79.73 | 0.00000 | tr | 0.00018 |
| H-2b | 〃 | 0.002 | tr | 0.21 | 41.52 | 0.56 | 0.21 | 57.50 | tr | 0.00075 | 0.00021 |
| H-5 | 雨畑字上大島河川敷 | 0.001 | 0.0001 | 0.46 | 17.28 | 0.28 | 0.09 | 81.88 | tr | 0.00427 | 0.01145 |
| H-6 | 葉袋字中の島河川敷 | 0.001 | 0.0001 | 0.61 | 11.20 | 0.21 | 0.17 | 87.81 | tr | 0.00146 | 0.00043 |
| H-7 | 京が島字松原 | 0.003 | 0.0003 | 0.53 | 64.55 | 0.72 | 0.32 | 33.88 | 0.00000 | 0.00190 | 0.00053 |
| H-8 | 雨畑字馬場雨畑ダム | 0.0001 | 0.0002 | 4.20 | 42.00 | 0.98 | 0.32 | 52.50 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| H-9 | 雨畑字上大島雨畑橋下 | 0.0003 | 0.0001 | 0.48 | 12.51 | 0.33 | 0.10 | 86.58 | tr | 0.00509 | 0.00106 |
| H-10 | 葉袋字古屋河川敷 | 0.001 | 0.0003 | 0.30 | 8.84 | 0.25 | 0.20 | 90.41 | tr | 0.00108 | 0.00030 |
| H-11 | 奈良田奈良湖ダム | 0.000 | 0.0001 | 6.76 | 13.53 | 0.30 | 0.19 | 79.22 | tr | 0.00135 | 0.00048 |
| H-16 | 京が島字松原 | 0tr | 0.0002 | 1.36 | 60.99 | 0.84 | 0.21 | 36.60 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| H-17 | 早川町温泉井(草塩) | 0.004 | 0.0006 | 0.05 | 10.86 | 0.10 | 0.16 | 88.83 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| H-18 | 同上近くの民家の井戸 | 0.005 | 0.0002 | 0.15 | 15.92 | 0.11 | 0.22 | 83.60 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |

*備考欄にみられるように厳密に言えばガス付随水と呼べないものが多い。

合 これを異常高圧といい このような高い圧力をもつ地下水を含む地層を異常高圧層という。これは地下水ばかりでなく 石油・天然ガスを含む地下のあらゆる流体についても当てはまる。

異常高圧層の内部においては 静水圧より高い圧力が上方を含むあらゆる方向に働いているから 通常の静水圧層に比べて 圧密は進まない。したがって 異常高圧層は一般に低密度層でもある。このような異常高圧層内において ガスの発生が旺盛な場合や 他から十分なガスの供給があれば 異常圧力に応じて ガスが間隙水に溶解することになる。湾岸地域の地下深所の高圧帯の地下水に大量のガスが溶解・保存された理由はここにある。

地下深所にあるところから この高圧帯は高温帯でもある。したがって ガス付随水の温度もきわめて高い。ただしこの付随水は多量の塩分をも溶解している。米国では湾岸地域に伏在するガスと付随水のもつ熱の両方を利用する研究 (HOUSE et al., 1975) も進められているが付随水の高塩分からくる問題の処理は 容易でなさそうである。

古い地層中の水溶性ガス鉱床の例は ほかにも多い。中でも われわれ日本人の関心をひくのは 米国のヨウ素原料がほとんど油田鹹水および天然鹹水である (ABSALOM 1980) とされていることである。ABSALOM (1980) は天然鹹水を油田鹹水から区別しているが これは後者を限定して使用しているからであり 後者の大部分も広

義の天然鹹水には入る。そして これ等の鹹水はもちろん一般に天然ガスで飽和されているから それだけをとり上げれば水溶性ガス鉱床である。米国のこの種の水溶性ヨウ素・ガス鉱床は 何と上部古生界に多い。中でもわれわれに縁が深いのは 近く日本の合同資源産業 (株) の100%出資会社 Godoe [U.S.A] Inc. が中心となってヨウ素の回収を行うことになっているオクラホマ州 Kingfisher 地区の油性鹹水である。この鹹水は150~1200ppm (平均 300ppm) ものヨウ素を含み 原油およびガスを回収した鹹水からヨウ素を回収し ガスはこのヨウ素工業のエネルギー源として使い ヨウ素回収後の鹹水は地下還元される ということである。

日本の水溶性ガス鉱床で胚胎層がもっとも古いものは今のところ沖縄島南部ガス田であり 同様のガス田であることがほとんど間違いないのが宮古島である。ガス層はともに上部中新統中にある。沖縄における天然ガス資源調査は 昭和35年 (1960) から同44年 (1969) にかけて行われたが 当時は新しい地層信仰が強く この調査は国内外の関係学者・技術者の冷やかな目が注がれる中で行われた。

4. 共水性ガス

ここに共水性ガスとしたのは 地下水と共産するガスのすべてを指すものであり もちろん水溶性ガスもその中に含まれる。このような共水性ガスには 付随水と直接的な関係がうすいものと 一般の水溶性ガスと同様

| ス (容量 %) | | | ガス量 (Nm ³ /d) | 水量 (k/d) | ガス水比 | 水温 (°C) | 付随水* (mg/l) | | | | | 備考 |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------|------|---------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------|
| n-C ₄ H ₁₀ | i-C ₅ H ₁₂ | n-C ₅ H ₁₂ | | | | | HCO ₃ ⁻ | CO ₂ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | H ₂ S | |
| 0.00018 | 0.00018 | 0.00009 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | たまり水 |
| 0.00032 | 0.00021 | 0.00021 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.00164 | 0.00100 | 0.00036 | 00.03 | — | — | 13.0 | 95 | 5 | 23 | 39 | — | 河川中 |
| 0.00052 | 0.00034 | 0.00026 | 00.02 | — | — | 9.5 | 131 | 9 | 18 | 34 | — | 河川中 |
| 0.00053 | 0.00042 | tr | 00.04 | — | — | 10.2 | 137 | 15 | 126 | 81 | 2 | 河川中 |
| 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 00.30 | — | — | — | — | — | — | — | — | 人工湖水 |
| 0.00135 | 0.00057 | tr | 00.01 | — | — | 9.4 | 79 | 6 | 7 | 40 | — | 河川中 |
| 0.00039 | 0.00000 | 0.00000 | 00.04 | — | — | 8.6 | 98 | 7 | 30 | 56 | — | 河川中 |
| 0.00058 | 0.00029 | tr | 00.25 | — | — | 4.5 | 58 | 7 | 13 | 23 | 1 | 人工湖水 |
| 0.00000 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 河川中 |
| 0.00000 | — | — | 70 | 100 | 0.7 | — | 903 | 2.2 | 1.122 | 0.1< | — | リフト |
| 0.00000 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |

第2表 宮崎県日南ガス田周辺の日南層群産の天然ガスと付随水

| 源泉名 | 源泉所在地 | ガス (容量%) | | | | | | | | 水温 (°C) | pH | 付随水 (mg/l) | |
|-------|-----------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|-----|-------------------------------|-----------------|
| | | H ₂ | He | O ₂ | N ₂ | CO ₂ | CH ₄ | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | | | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ |
| 石波鉱泉 | 串間市市木自然湧出 | — | 0.003 | 0.31 | 1.54 | 75.93 | 22.21 | 0.010 | 0.000 | 21.6 | 7.6 | 3,910 | 6,110 |
| 平佐冷泉* | 北郷町平佐自然湧出 | 0.000 | 0.00 _n | 0.18 | 3.87 | 20.59 | 69.36 | 0.000 | 0.000 | 18.0 | 7.1 | 3,640 | 3,210 |

* 水温・水質は石和田・牧野(1961)による。

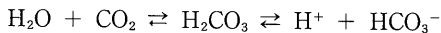
(分析 永田松三; 福田 理 1979)

に深い関係をもつものがある。

4. 1 付随水との関係がうすいもの

一般に四万十累帯から産する共水性ガスがこれである。そのよい例が山梨県南巨摩郡早川町が掘削した温泉井から産出するガスで同町内の他の瀬戸川層群から産するガスと同様に CH₄ または N₂ を主成分とする(第1表)が CO₂ は少ないにも拘らず 共産する水には 903mg/l もの HCO₃⁻ が含まれている。ガス中に含まれる CO₂ が 0.16vol.% という小さい値であることからみると これはいかにも不自然である。すなわち このガスは瀬戸川層群で生成されたものであるが 共産する水はたまたまガスの通路にあったものであろう。

四万十累帯を構成する堆積岩は 水に対してはほとんど浸透性をもたないから 同累帯から産する水は本来裂隙から入った天水であろう。しかし 四万十累帯から発生したガスや 下方から供給されたガスは 水が通らないような小さな隙間でも通過し得る。表2に示したのはこのようなものの好例で 宮崎県の日南ガス田周辺の日南層群(四万十累層群の上部層群)産の天然ガスと付随水である。本表のガスに含まれている CO₂ は 日南ガス田のガスに含まれる CO₂ と同様に 何等かの火成活動に由来するものであろう(福田 1979)。2つのガスの付随水は著量の HCO₃⁻ を含むが これは次の反応によってできたものである。



このような他源的な CO₂ の混入のおそれがほとんどないガスの例としては 沖縄島北部の国頭層群(賀田 1885; 福田 1977)から産するものがある。その1つは名護市東江のオリオンビール(株)7号井のガスで 昭和35年(1960)当時 本井からはガスを伴う水が自噴していたという。当時の状況 水質 およびガスの組成は次のようであった(本島による; 福田ほか12名 1969)。

坑井深度 6.0m
水 位 ±0.1m

| | |
|-------|---------------------------------------|
| 水 温 | 23.7°C |
| ガ ス 量 | 0.19m ³ /日 |
| 水 量 | 4.5kl/日 |
| ガス水比 | 0.42 |
| 水 質 | pH 7.9 |
| | HCO ₃ ⁻ 237mg/l |
| | Cl ⁻ 36.5 // |
| ガ ス 質 | He 0.004vol.% |
| | H ₂ 0.000 // |
| | O ₂ 0.10 // |
| | N ₂ + Ar 11.60 // |
| | CO ₂ 0.27 // |
| | CH ₄ 88.03 // |
| | C ₂ H ₆ 0.03 // |
| | C ₃ H ₈ 0.00 // |

国頭層群は本土の四万十累層群のどこかに対比されるものであり 上のガスの組成とほとんど変らないものが山梨県の早川産ガス地のガスにもみられる。

4. 2 付随水との関係が密なもの

図2からも読みとれるように 過飽和の場合 通常の溶解度の3倍くらいまでのガスを溶解するから 産出メタン水比が飽和メタン水比(福田 1982)の何倍くらいあれば 確実に遊離ガスが地下にあるといえるかどうかはまことに難しい問題である。これは 産出メタン水比が飽和メタン水比の2~3倍の場合 水溶性ガスといえるかどうかの問題でもある。そこで 地下水を伴って産出する天然ガスを共水性ガスと呼んでおき 地下で地下水に溶解していることが確認される場合に 改めて水溶性ガスと呼ぶ必要が出てくる。

このもっともよい例は 宮崎県佐土原ガス田の伊勢化学工業(株)佐土原SR-4号井であろう。本坑井は次のような産出経過を辿って今日に至っている。

| | 吹込深度 | 運転圧 | |
|---------|--------|--------|------------------------|
| 昭和48年5月 | 自 | 噴 | 25800m ³ /日 |
| 51年8月 | 自 | 噴 | 2300 // |
| 52年2月 | 180m | 7.5ksc | 3960 // |
| 54年1月 | 230 // | 7.7 // | 4070 // |
| 54年3月 | // | 8.2 // | 4100 // |
| 54年5月 | // | 9.0 // | 2680 // |
| 54年9月 | // | 8.9 // | 3640 // |
| 54年12月 | 240m | 9.8 // | 3400 // |
| 55年9月 | 267 // | 9.7 // | 4060 // |

以上の生産経過を要約すると SR-4 はリフト用のガスの吹き込み深度を増すことによって およそ4000 m³/日の生産量が維持されている。これから明らかなように 本井においては 文字どおりの水溶性ガスに加えて 孔明管埋設深度区間のどこかに連絡している遊離型ガス鉱床があるはずである。佐土原ガス田の宮崎層群には 小断層が多数認められるので この遊離型ガス鉱床はおそらく断層トラップによるものであろう。

遊離ガスが貯えられるのは 必ずしもトラップによるものばかりではあるまい。石油については少し前からいわれている (BERG 1975) ことであるが 貯留層中の油泡やガス泡のもつ浮力よりも それ等が砂粒のすき間をくぐり抜けようとする際に受ける毛管圧の方が大きい場合には 油泡やガス泡の上方への移動が妨げられるからである。沖縄島南部ガス田の沖縄余暇開発(株)の具志頭 R 1 号井では 飽和メタン水比が1.57しかないのに 産出メタン水比は3.68もあり もし両メタン水比の差2.11が過飽和現象 またはトラップによるものでなければ これは毛管圧のために上方へ逃げ出せない小ガス泡によるものと考えざるを得ない (福田・永田 1977; 福田 1977 1980) のである。

この問題を考えるに当ってヒントになるのは 沖縄島南部ガス田においては 仕上げ深度が1,000m以浅の場合 産出メタン水比が飽和メタン水比を大きく上まわる例は知られていないし 問題のガス層を構成している砂の粒径が およそ0.1mm前後と小さいことである。単純化して半径を等しくする球の最密充填の場合を考えてみると明らかなように 球と球との間の隙間は小さい球ほど小さく また毛管圧は隙間が小さいほど大ききいてくるから 原油の場合と同様に 天然ガスについても 遊離ガスがガス泡の形で地層中に貯えられるケースはあり得るのである。開発・生産の進展とともに 産出メタン水比が著しく大きくなる茂原型ガス鉱床においても ガス層を構成する砂の粒径は 沖縄の例と同じ程度であるから このタイプの鉱床の成立条件の1つとして ガス層を構成する砂の粒径について考え直す必要が

ありそうである。

ここでとり上げた共水性ガスは いずれも保有されている地層から発生したとしか考えざるを得ないものばかりであり その組成は地層の年代をよく反映している。すなわち 主成分の CH₄ は年代がさかのぼるとともに純度を増し 副成分の1つ CO₂ はこれとは反対の傾向を示す。当然のことながら このガスは付随水とも密接な関係にあり 後者中の HCO₃⁻ は年代がさかのぼるにしたがって減少する。ただし ガスに後から供給された CO₂ がある場合には 地層の年代にかかわらず 付随水は多量の HCO₃⁻ を含む。

5. む す び

以上に述べたことから 水を伴って産出するガスはまづ共水性ガスと呼んでおき 地下で地下水に溶解していたことが明らかな場合に限って 水溶性ガスと呼ぶべきことは明らかであろう。水溶性かどうか判然としない場合や水溶性と遊離型とが共存している場合には もちろん共水性のままにしておくのが当然であろう。「水溶性ガスから共水性ガスへ」という表題に象徴される最近の進歩は 沖縄における天然ガス資源調査に負うところがきわめて大きい。沖縄における調査の成果の中には 本稿で触れられなかったものが2つある。その1はガス付随水中のヨウ素に関するものであるが これについては稿を改めてくわしく紹介することにしてしよう。もう1つはコアの化学試験に関するものである (本島・永田 1973)。コアの化学試験の中心になるのは 間隙水の分析であるが それにはまずコア中にどの程度の水分が含まれているかを知らなければならぬ。この際一般に110°Cでの乾燥による減量が使われていたが 本島・永田 (1973) はそれでは多くの粘土鉱物中の水分まで出てしまうことを指摘し これに代るものとして 湿度40% 60°Cでの48時間乾燥という実用的な方法を提案した。これは恒温恒湿槽を使えば簡単である。またこれは土質試験にも応用できるので 私どもはできるだけそのようにしている。

このように 最近の進歩は沖縄における天然ガス資源調査に負うところがきわめて大きい。この調査の成果は単なる新資源の発見ではなかったのである。先にも述べたように この調査は四面楚歌という雰囲気の中で行われた。当然 その成果を故意に過少評価しようという動きのあることは 今日でも否定できない。しかし 大きな味方もあった。その点で忘れることのでき

ないのは 故斎藤憲三代議士 拓植大学総長高瀬待郎氏 (当時の大使) 大阪府知事 岸 昌氏 (当時の日本政府沖縄事務所長) および参議院議員稲嶺一郎の各氏である。また 当所の調査関係者の代表者は 去る昭和47年 (1972) 5月17日の本土復帰式典に 当時の佐藤栄作総理から招待された (図7)。しかし 沖縄における成果が もっぱら他地域における探鉱・開発にのみ活用されている現状は われわれには納得できない。沖縄は古くから守礼之邦をもって任じてきた。私ども沖縄における天然ガス資源にたずさわった45名にとつての守礼之邦とは 沖縄の地下に眠る天然ガスおよび付随資源を開発してくれる沖縄以外の何ものでもない。

引用文献

ABSALOM, S.T., 1980 Iodine: Mineral Facts and Problems, 1980 Edition, United States Department of Interior, 10p.
 BERG, R.R., 1975, Capillary Pressures in Stratigraphic Traps: A.A.P.G., vol.,59, no.6., pp.939-956.
 BROWN, W.M., 1976, A Huge New Reserves of Natural Gas Comes within Reach: Fortune, October, pp.219-220.
 BUCKLEY, S.E., et al., 1958, Distribution of Dissolved Hydrocarbons in Subsurface Waters: Habitat of Oil, pp. 850-882.
 地質調査所 1954 日本の天然ガス: 地質ニュース 特集No.4, 1~12頁
 福田 理 1965 後生的水溶型ガス鉱床とその1例: 石油技術

協会誌 30巻 4号 208~209頁。
 福田 理 1966 超深層地下水 (I): 地下水と井戸とポンプ 昭和41年12月号 2-10頁
 福田 理 1967 水溶型ガス鉱床の地質学的意義に関する一考察: 堆積学に関する諸問題 日本地質学会 284~288頁。
 福田 理 1972 物理学的に見た水溶型ガス鉱床: 岩井淳一教授記念論文集 525~536頁。
 福田 理 1976 水溶性ヨウ素—ガス鉱床について: 天然ガス 19巻 9号 (通巻212号) 14~27頁。
 福田 理 1977 沖縄の天然ガスおよび付随・関連資源: 琉球列島の地質学的研究 2巻 121~132頁。
 福田 理 1979 共水性ガスとその鉱床 (その1): 地質ニュース 294号 1~15頁。
 福田 理 1980 日本および世界における水溶性ガスの分布と鉱床の概要: 水溶性天然ガス総覧 1~28頁。
 福田 理 1982 共水性ガスとその鉱床 (その8): 地質ニュース 329号 13~24
 福田 理・永田松三 1977 具志頭R1号井自噴す~新しいタイプのガス鉱床か~: 地質ニュース 276号 1~17頁。
 福田 理・永田松三 1978 宮崎県南珂郡北郷町R1号井自噴す: 地質ニュース 290号 1~22頁。
 HALBOUTY, M.T. & MOODY, J.D., 1979, World Ultimate Reserves of Crude Oil: PD 12 (4), 10th World Petroleum Congr., 11p.
 HOUSE, P.A., et al., 1975, Potential Power Generation and Gas Production from Gulf Coast Geopressure Reservoirs: UCRL 51813, Lawrence Livermore Laboratory, 40pp.
 JONES, P.H., 1975, Geothermal and Hydrocarbon Regimes, Northern Gulf of Mexico Basin: Proc. 1st Symp. Geopressured Geothermal Resources, Gulf Basin, pp.1-116.
 金原均二ほか2名 1958 天然ガス—調査と資源—: 朝倉書店 全361頁。
 河井興三 1963 上総層群中の水溶型ガス鉱床の成因に関連した2・3の問題: 石油技術協会誌 28巻 1号 6~15頁。
 河井興三・福田 理 1963 関東平野およびその周辺丘陵地域: 日本鉱床誌関東地方 18~75頁。可燃性天然ガス: 同上 352~416頁。
 三川逸郎 1933 千葉県大多喜町附近の天然瓦斯及び之に伴ふ地下水の地化学的研究: 日本鉱業会誌 49巻 576号 197~209頁。
 本島公司・永田松三 1973 海成泥質岩の含水率とその炭化水素鉱床の地球化学との関連: 石油技術協会誌 38巻 5号 268~281頁。
 土 隆一編 1981 日本の新第三系の生層序及び生代層序に関する基本資料「続編」: IGCP-114 National Working Group of Japan, 126頁。
 矢崎清貫・大場信雄 1978 四万十帯に発見された天然ガス徴地: 地質ニュース 284号 25~29頁。
 矢崎清貫・影山邦夫・粕 武 1981 山梨県早川町における四万十帯の天然ガス徴候地について: 地質調査所月報 32巻 5号 259~274頁。



図7 内閣発行の沖縄復帰記念文鎮 (著者蔵)