

共水性ガスとその鉱床 (その1)

福田 ^{おさむ} 理 (燃料部)

I 緒 論

昭和50年12月22日 石油および可燃性天然ガス資源開発審議会(略称PEAC)は“今後の水溶性天然ガス開発のあり方に関する意見”と題する建議書を 通商産業大臣に提出した。この建議書のおもな見出しは次のとおりである。

1. はじめに
2. 国内天然ガスの生産と需給の現状
3. 水溶性天然ガスの埋蔵量
4. 水溶性天然ガスの採取と地盤沈下問題
5. 水溶性天然ガス適正採取調査の推進について
6. 水溶性天然ガス開発計画の策定の必要性和その進め方
7. 水溶性天然ガスの開発について国が講ずべき措置

以上の見出しからもうかがえるように この建議書はオイルショック以来のエネルギー事情から 埋蔵量の大きい水溶性天然ガスを開発すべきことを説き かつその開発を円滑に進める上に政府が講ずべき措置に論じたものである。埋蔵量の大きな水溶性天然ガスの無公害開発の必要性は 私どものかねてからの主張であったので いささかおそきに失したうらみはあるが 最近この建議書の線に沿った水溶性天然ガス開発の動きが各地で出てきたことは喜ばしい。しかし それに関する新聞

をはじめとするマスコミの報導の内容には 水溶性天然ガスに関する最近の知識の上に立脚していないものが少なくない。“水溶性天然ガス”という用語もその1例である。そこで マスコミ関係者ばかりでなく ひろく日本国民に 重要なエネルギー資源の1つであるいわゆる水溶性天然ガスおよび付随資源について 正しい知識をもっていただきたく 既開発地域における無公害増産と 新地域における無公害開発を祈念しつつ 本稿の筆をとった次第である。

さて 本邦の可燃性天然ガス鉱床のなかに メタンを主成分とするガスが地下水に溶解して成立したのがあることは 新しくみても 昭和23(1948)年にはすでに知られていた。このことは 同年石油技術協会から同協会誌の第13巻第4号として出版された「天然ガス特集号」のなかに このことに言及した論文が多数含まれていることから明らかである。しかし この種のガス鉱床の存在に誰が最初に気づいたかは 必ずしも明らかではない。これまでに読んだ多くの文献から受けた感じでは 昭和初年から戦時中にかけての諸調査・研究を通じて 昭和20(1945)年頃までには 今日われわれが水溶性ガス鉱床としているものの概念が 多くの研究者および現場の技術者によって持たれていたようである。

この種の天然ガスの開発の歴史はさらに古い。すな



① 幌向泥炭地(札幌市郊外)

(本島 1959)



② 泥炭地の人工ガス徴 泥炭地に4角形の穴を掘って地下水を溜め そのなかへスパイラルで孔を掘ると遊離ガスが自噴してくることがある

(本島 1959)

わち 諏訪湖ガス田では 明治 33 (1900) 年に 小口 奎太郎・源吉の兄弟が 上諏訪市衣が浦の沖合 100 間の湖中から湧出するガスの採取に成功している。また 鹿児島県分市敷根の敷根産ガス地の開発が始まったのは明治 41 (1908) 年である。しかし 本格的な開発としては 昭和 5 (1930) 年の千葉県大多喜ガス田の開発がもつとも古いようである。新潟ガス田の本格的な関係が始まったのは昭和 15 (1940) 年である。

鉱床の形式を表わすものとして 水溶性 水溶型 あるいは共水性という語を冠した文献が出たのは 開発や概念の確立に比べると はるかにおくれている。次にこれ等の語の使用の歴史をふりかえてみよう。

溶解性炭化水素 (天然ガス) 鉱床: 本島公司 (1953)

水溶性ガス鉱床: 兼子 勝 (1956)

共水性ガス: 金原均二ほか 7 名 (1957)

水溶性ガス: 金原均二ほか 2 名 (1958)

水溶型可燃性天然ガス鉱床: 井島信五郎 (1959)

以上の用例から明らかなように 水溶性または水溶型という語が一般化したのは 昭和 31 (1956) 年からである。

これまでの多くの文献から読みとれるように 水溶性ガスという概念は おそらく多くの実例から帰納的に導かれたものであろう。この方面の代表的な論文は 上に紹介した井島 (1959) のものである。しかし これまで理論的な考察がまったく行われていなかったわけではなく 古くは CH_4 の水への溶解を扱った帝国石油(株)

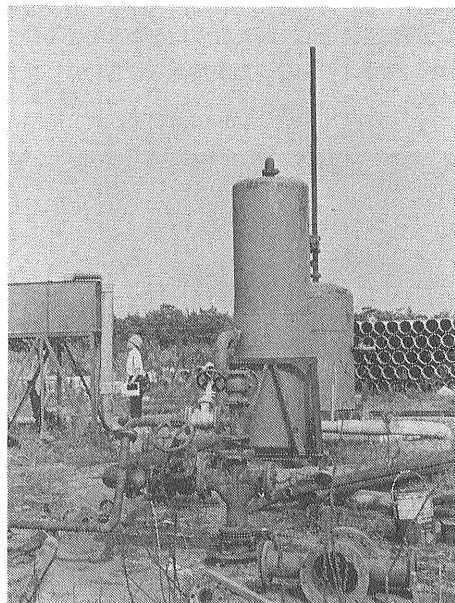
開発部 (1948) 松浦政男 (1948) および篠山昌市 (1948) の 3 論文があり 新しいものでは CH_4 の水のなかにおける拡散の問題を扱った河井興三 (1963) の論文がある。また 開発に伴う産出ガス水比の上昇現象については 上に引用した金原ほか 2 名 (1958) の著書のなかで概論的に扱われているほか この現象を利用した開発に先鞭をつけた関東天然ガス開発(株)の関係者の論文 (上野道文ほか 3 名 1952; 上野ほか 4 名 1964; 樋口 雄ほか 1 名 1965) がある。

II 共水性ガス鉱床

1 共水性ガス鉱床概説

1.1 共水性ガス

水を伴って産出する天然ガスを総称して共水性ガスという。したがって 温泉ガスはすべて共水性ガスでもある。共水性ガスを大別すると 共水性可燃性ガスと共水性不燃性ガスとなる。前者の主成分となり得るのは CH_4 だけであるが 後者の主成分となり得るのは CO_2 および N_2 の 2 つである。資源として重要なのはもちろん CH_4 を主成分とする共水性可燃性ガスであり 以下とくにことわらない限り 共水性ガスといえばこの共水性可燃性ガスを指すものとする。この共水性ガスはこれまで一般に水溶性ガスと呼ばれていたものにほかならない。この改名をあえて提案するのは いわゆる水溶性ガスの鉱床のなかに 水溶性 すなわち地下水に溶解しているガス以外のガスの方がむしろ多いものがあることが わかってきたからである。その実例が本誌 276 号 (昭和 52 年 8 月) に紹介した (株) 沖繩余暇開発の具志頭 R 1 号井から産出したガスである (福田・永田 1977;



③ 産出試験中の伊勢化学工業(株) SR-6号井 (宮崎ガス田佐土原地区) 手前に坑井の頭部 そのうしろにテスト用セパレーター その左に水量測定用の三角ノッチを備えた水槽



④-A 新潟ガス田黒崎地区の採取井

福田 1977 a, b). くわしいことは上記2論文にゆずるとして 具志頭R 1号井からは 容積比で水1に対して3.76のガスが産出したが そのうち地下水に溶解していたと考えられるのは1.57だけであった。水溶性ガスの同義語として共水性ガスが使われた例もあるが それは深い理由があつてのことではなからう。水溶性という地下におけるガスの存在様式を示す言葉は 思考を誤まつた方向に導き易く 決して好ましいものではない。

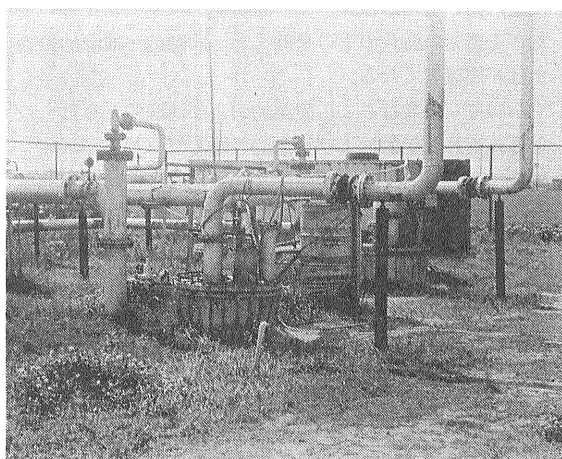
1.2 共水性ガス鉱床

堆積物が堆積盆の底に定着する際 構成粒子の媒質であつた海水等を間隙水としてとり込む。砂質堆積物の場合にはそれが地層として埋没される際に 上・下の泥質層の圧密によってしぼり出された水がこれに加わる。このように 堆積前の粒子の媒質であつた水に由来する地層の間隙水を同源水 (connate water) という。よく知られている水溶性ガス鉱床は 地下のある深度のところの帯水層中に存在する同源水を主体とする水に その圧力 温度 および塩分濃度等に応じた溶解度をもって CH_4 を主成分とする天然ガスが溶解しているもので この水を坑井を通じて地表にもたらす時 減圧のためガスを分離・採取できるものをいう。溶解度の大半を左右する圧力は 深度対応の静水圧であるが 最近明らかにされた米国メキシコ湾岸地域の地下深所の水溶性ガス鉱床の例のように 水のもつ圧力が静水圧をはるかに上まわり その圧力に応じた溶解度をもって ガスが水に溶解しているものもある。もちろん ガスの供給量が溶解度を満たすに至らない場合には 不飽和の水溶性ガス鉱床ができる道理であり また一般の飽和型水溶性ガス鉱床の上り傾斜側の天水との接触部においても 水の中における CH_4 の拡散現象のため ある幅をもって不飽

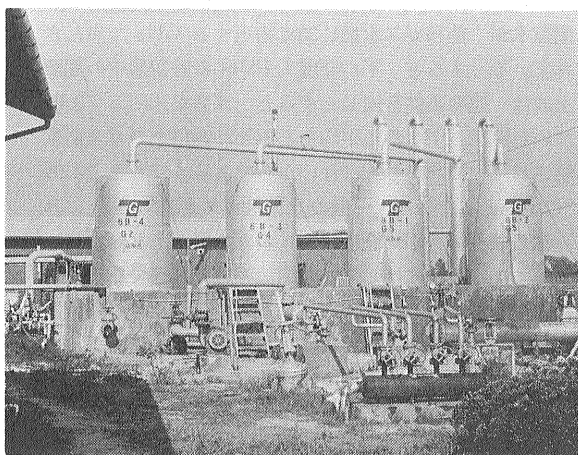
和帯ができるわけであるが これらは通常稼行の対象とはなり難い。このほか 遊離(構造性)ガス鉱床や石油鉱床の端水も 一般に CH_4 を主成分とする天然ガスで飽和しているので これも水溶性ガス鉱床にほかならないが まだ開発された例がない。

以上の最後の例は遊離ガスが多孔質媒質の中で連続相をなしている教科書的なものであるが 共水性ガスという用語を採用する直接的な動機となつた具志頭R 1号井にみられる遊離ガスのあり方は これとはまったく異なる。坑口における単位時間の産出ガスの標準状態における体積 (一般に Nm^3/day) と産出水の容積 (一般に k/day) との数値比を産出ガス水比というが 具志頭R 1号井のその平均値は3.76である (福田 1977a b; 福田・永田 1977)。これに対して 本坑井の産出部分の有効層厚分布の平均深度1,094mにおける温度49°Cおよび塩素度20,020 mg/l という条件での飽和ガス水比は1.57である。したがつて 3.76という産出ガス水比は過飽和として片づけられるものではなく 飽和ガス水比との差2.19の大部分は 地下の遊離ガスに滞せられなければならない。この場合 すぐ考えつくのは 泥質層で隔てられた砂質層の最上部に 何かかの形でトラップされた遊離ガスの連続相がないか ということであるが それならガスだけの自噴がありそうなものだし また条件を変えて行つた産出試験の際の産出ガス水比に もう少し開き (3.02~4.13) があつてもよさそうなものである。

この問題に対する著者の考え方は 貯留層中の水飽和率が100%でなく 遊離ガスの気泡が砂粒に妨げられて動けない状態で含まれている ということに落ちついて いる (福田 1977 a, b; 福田・永田 1977)。ところで



④—B 新潟ガス田黒崎地区の圧入井 本地区では ガスを分離し ヨウ素を回収した後 ガス付随水の全量が地下に圧入されている



④—C 新潟ガス田黒崎地区C地域第8基地の集団セパレーター 共水性ガス分離用のセパレーターは 管理の都合上何本分かをまとめて設置されている例が多い

本坑井の産出部分の有効層厚分布の平均深度は1,095m この深度における地温は49℃ また本坑井の自然水位は-41.32mであるから ポイル・シャルの法則を使って この気泡の体積が空隙の全容積に占める割合は近似的にわずか2.4%であると算出される。この場合の水飽和率はもちろん97.6%である。

このようなことが実際に成立するかどうかについては現在理論的に研究中であるが 次に著者の考え方(福田1977)の概要を述べておく。このヒントになったのは石油の場合の層位トラップにおける油泡の毛管圧と浮力との問題を論じた BERG, R.R. (1975) の論文である。

具志頭R1号井における最上位の貯留層は地表でも見られ 小礫砂層として知られている。本砂層の粒度は小さく 細砂と微細砂の中間程度とみられ 粒度分析によれば 粒径の中央値は0.125mm 前後である。したがってこれを直径とする球の最密充填状態を考えると 直径0.02mmと計算されるこの球の最小のすき間を気泡がくぐり抜ける問題として 近似的に扱える。このくらのすき間となると 単なる幾何学的なすき間ではなく 塩水と天然ガスの気泡との間の界面張力がきいてくるはずである。

このように 遊離ガス泡が貯留層中にたまる条件はどのついても 肝腎のガスがなくてはガス泡ができるはずはない。しかし ガス泡を作るだけのガスの供給には 特別な条件は必要でない。何となれば 地層中の有機物から CH_4 を主成分とする過程もある種の化学変化であり ARRHENIUS の法則によれば あらゆる化学反応の速度は 温度が10℃上昇するごとに 2ないし4倍になるからである。これを沖縄島南部ガス田の場合について具体的に述べると そこでの地温勾配はおおよそ3℃/100mであるから 平均深度800mの貯留層中の間隙水が 飽和ガス水比1.33に相当する CH_4 で満たされているとすると 平均深度1,133mの貯留層中の間隙水には 他の条件を同じとすると ガス水比にして2.66ないし5.32 すなわち平均をとると3.99以上のガスが供給されていておかしくはないからである。ここで3.99“以上”としたのは 一般の水溶性ガス鉱床の場合にみられるように 平均深度800mのガス層が上り傾斜側で大気または海水に接している開放系のガス層である場合には 飽和ガス水比以上のガスがいくら供給されても 上り傾斜側から逃げてしまうからである。後でくわしく述べるように 開発後産出ガス水比が著しく上昇する 茂原型ガス鉱床の初産ガス水比の大半も 上に述べたようなガス泡に帰せられるべきものであろう。

1.3 ガス

共水性ガスとして産出する炭化水素の主成分はもちろん CH_4 である。副成分として少量の C_2H_6 や微量の C_3H_8 が含まれていることもあるが 石油鉱床の端水においても C_4H_{10} 以上の重炭化水素はごく微量が含まれているにすぎない。また 共水性ガスの不純物として普通なもの 水蒸気 CO_2 および N_2 であって 時に少量の H_2S が含まれていることもある。しかし 水蒸気は通常のガス分析表には記載されていない。地表にとり出した共水性ガスの比重は 空気を1として普通0.56ないし1.04であって とくに比重が大きいのは 副成分としての CO_2 が相当な割合を占めるものである。0.56というの は もちろん CH_4 のおおよその比重である。1.04というの は この CH_4 と比重おおよそ1.52の CO_2 とが 1:1 で混合したガスの比重である。ほとんど気体の炭化水素からなるガスの比重は 大体0.56ないし0.72の間に入り より高級な炭化水素に富むものほど比重が大きい。

天然ガスには 貯留層およびそれと整合関係にあるそのまわりの地層で生成された同源のなものと 貯留層と直接的な関係のない地層で生成されて 貯留層に移動・集積されたものがある。これは共水性および遊離ガスの両鉱床についていえることである。もっともわかり易い同源のな共水性ガスは 新しい海成層中であって 海水並みの塩分をもつ付随水を伴っているものである。この場合の付随水はいわゆる同源水である。しかし 海成層に胚胎される共水性ガスの付随水の塩分が海水のそれにくらべて低い場合には ガスは同源のなものと他源的なものがあり その判定には高度の知識および細心の注意が要求される。また 非海成層に胚胎される共水性ガスについては 付随水の塩分のような目安として使い易いものがないので 完新世・後期更新世といったごく新しい時代のものを除くと 同源の・他源的の判定は一層難しくなる。

かつて 著者はここに同源のおよび他源的としたものをそれぞれ初生的および後生的と呼んだ(福田 1965 1967 1972 1976) が 後生的な共水性ガスには同源のなものと他源的なものがあるが混同を招くおそれがあるので これ等を同義語として使用することは 以後止めることにする。

1.3.1 同源のなガス

1) 完新世および後期更新世のガス

もっとも新しい初生的な共水性ガスの例としては 北

海道石狩平野江別市東方の泥炭地のもの（本島 1959）のものがよく知られている。ついでにここで溶存ガスと坑口遊離ガスとのちがいについて簡単に触れておこう。表1および図1の白丸は幌向泥炭地における浅部（0.25m~6.3m）溶存ガスの組成を示したものである。一般に共水性ガスの組成をわかり易く図示するにはCH₄その他の炭化水素 CO₂ および N₂ その他のガスを端成分とする三角座標が使われる。表1および図1から明らかなように浅部溶存ガスの主成分はCO₂ でおもな副成分はN₂ およびCH₄ である。幌向泥炭地の浅部地質は図2に示すとおりで試料はおもに最上部の泥炭の部分から採取されている。表1をよくみるとガス質がもっとも急激に変るのは深度0.25mと0.5mの間でこの間でN₂とO₂との容積比で示される空気の混入はほとんどなくなっている。次いでガス質が大きく変るのは深度1.8mと2.8mの間でこの間でCH₄の濃度が1.69容量%から4.48容量%に急増している。

ところで深度1.60m~2.60mの間から採取された幌向泥炭地の遊離ガスの組成が表2および図1の黒丸によって示されている。このあたりの溶存ガスがCO₂を主成分としているのに対して遊離ガスの方はCH₄を主成分とし副成分としてかなりのCO₂ およびN₂を含んでいる。このような差ができるのは溶存ガスの組成には成分ガスの水に対する溶解度の影響が強くなるからである。

表1 幌向泥炭地の浅部溶存ガスの組成（質量分析法による）

深度 (m)	上段: cm ³ /l; 下段: 容量%					
	O ₂	N ₂	A	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂
0.25	2.74 (5.87)	12.18 (26.11)	0.32 (0.68)	0.41 (0.88)	0.00 (0.00)	31 (66.46)
0.5	0.07 (0.09)	13.47 (16.32)	0.32 (0.39)	1.94 (2.32)	0.00 (0.00)	66 (80.88)
1.0	0.13 (0.15)	13.59 (14.35)	0.30 (0.32)	1.61 (1.70)	0.00 (0.00)	76 (83.48)
1.8	0.00 (0.00)	15.68 (15.42)	0.27 (0.27)	1.72 (1.69)	<0.03 (0.03)	84 (82.59)
2.8	0.00 (0.00)	16.99 (14.58)	0.27 (0.23)	5.22 (4.48)	<0.02 (0.02)	94 (80.69)
3.6	0.14 (0.08)	6.78 (3.66)	0.16 (0.09)	20.45 (11.02)	0.00 (0.00)	158 (85.15)
4.1	0.10 (0.07)	20.81 (14.88)	0.42 (0.30)	11.56 (8.26)	0.00 (0.00)	107 (76.56)
6.3	0.33 (0.14)	24.73 (10.30)	0.37 (0.15)	10.81 (4.49)	0.00 (0.00)	204 (84.92)

(本島 1959)

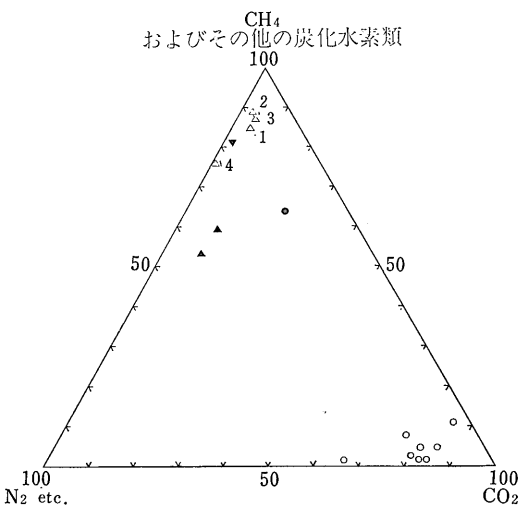


図1 後期更新世以後の同源共水性ガスの組成
 ○ 幌向泥炭地の浅部溶存ガス
 ● 幌向泥炭地の浅部遊離ガス
 ▲ 幌向泥炭地の浅井戸の坑口遊離ガス
 △ 米里泥炭地の深井戸の坑口遊離ガス（番号は上位からの深度順を示す）
 ▼ 東京都葛飾区青戸の深度90mの深井戸の坑口遊離ガス（後出）

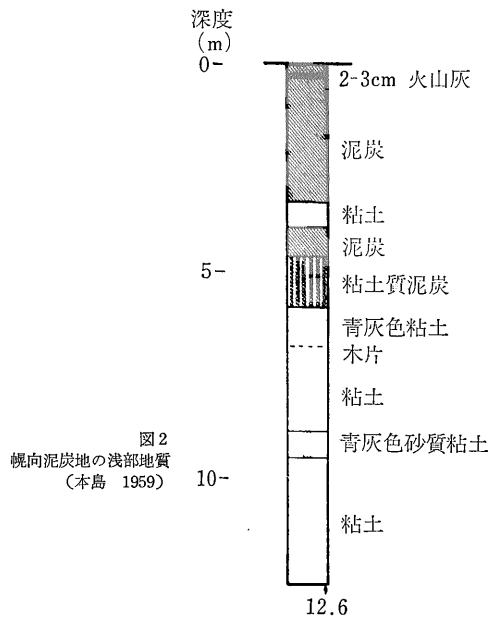


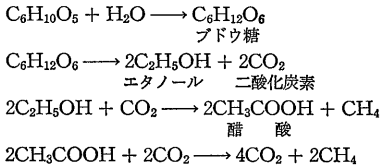
図2 幌向泥炭地の浅部地質（本島 1959）

表 2 幌向泥炭地の浅部遊離ガスの組成 (質量分析法による)

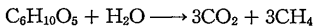
深 度 (m)	上段：容量%；下段：補正值*				
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	A
1.60~2.60	6.85 (0.00)	35.40 (14.71)	43.02 (63.90)	14.34 (22.20)	0.43 (0.19)

* 32.69%の空気混入としての補正值 (本島 1959)

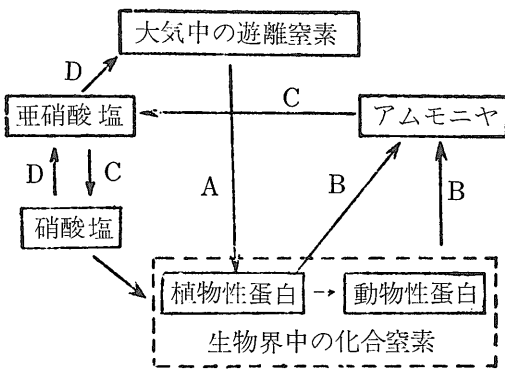
以上の幌向泥炭地浅層の CH₄ は 疑いもなくいわゆるメタン発酵によって生成されたものである。メタン発酵を受ける天然の有機物のなかで もっとも多量に存在するのはセルローズであるから 次にこのメタン発酵について調べてみよう。セルローズの分子式は (C₆H₁₀O₅)_n であるから これを C₆H₁₀O₅ として メタン発酵の過程をたどると 次のようになる。



上の諸式の左辺および右辺をそれぞれに加えて整理すると 次の式が得られる。



つまり 水のあるところでセルローズが嫌気性バクテリアによって分解されると 等容量の CO₂ と CH₄ とが

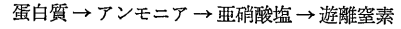


A 単体窒素の固定 B アムモニヤ化
C 硝化 D 硝酸塩の還元及び分解

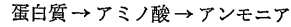
図 3 N₂ の地球化学的輪廻の概念図 (千谷 1949)

生ずるのである。

一方 N₂ の地球化学的輪廻概念図 (図 3) に示されているように N₂ は



という過程によって 生化学的に生成される。このうち アンモニアの生成は



という順序で行われる。この前段の変化は 一般に各種の蛋白質を分解すると 約 20 種類の異なったアミノ酸 (表 3) が生成することを示している。また 後段の

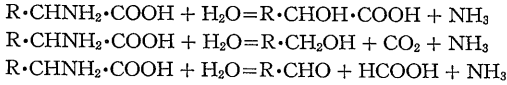
表 3 蛋白質から得られる普通のアミノ酸

名称	記号	構造
中性アミノ酸		
アラニン	Ala	CH ₃ CH(NH ₂)CO ₂ H
システイン	CySH	HSCH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H
シスチン	CyS-SCy	SCH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H SCH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H
グリシン	Gly	CH ₂ (NH ₂)CO ₂ H
オキシプロリン	Hypro	
イソロイシン	Ileu	CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)CH(NH ₂)CO ₂ H
ロイシン	Leu	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H
メチオン	Met	CH ₃ SCH ₂ CH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H
フェニルアラニン	Phe	C ₆ H ₅ CH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H
プロリン	Pro	
セリン	Ser	HOCH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H
トレオニン	Thr	HOCH(CH ₃)CH(NH ₂)CO ₂ H
トリプトファン	Try	
チロジン	Tyr	
バリン	Val	(CH ₃) ₂ CHCH(NH ₂)CO ₂ H
酸性アミノ酸		
アスパラギン酸	Asp	HO ₂ CCH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H
グルタミン酸	Glu	HO ₂ CCH ₂ CH ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H
塩基性アミノ酸		
アルギニン	Arg	
ヒスチジン	His	
リジン	Lys	H ₂ N(CH ₂) ₄ CH(NH ₂)CO ₂ H

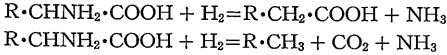
(湯川 花房 1977)

アミノ酸からアンモニアが生成される過程については次のような反応が挙げられている(千谷利三 1949)。

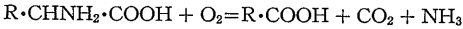
i) 加水分解



ii) 水素添加分解



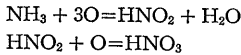
iii) 酸化分解



上の化学方程式中の R は アミノ基 (-CHNH₂·COOH) と結合する約20種類の原子団を示したのもっとも簡単なものは アラニン (CH₃CHNH₂·COOH) の場合の CH₃- である(表3)。また 2) の水素添加分解については 原著ではもう1つの式が示されているが その左右両辺の原子の数が合わないの でここでは上の2つの式だけを引用しておいた。

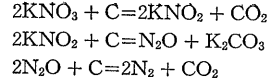
アンモニア化の能力のあるバクテリアは多数ある。菌類のなかにもアンモニア化の能力のあるものが多くそれはとくにエネルギー源として蛋白質しか与えられていない場合に顕著である。また 菌状バクテリア科 (Mycobacteriaceae) に属する *Actinomyces* は 窒素を含んだ栄養源をとくにつよく要求し 蛋白質のほか炭水化物が同時に存在しても 蛋白質を選択的に分解してアンモニアを生成させる。

アンモニアの硝化もまたバクテリアによって行われる。そして アンモニアの硝化が化学的には次の2段階を経て行われていることに対応して

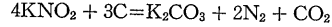


硝化バクテリアにも 亜硝酸化バクテリアと硝酸化バクテリアの2種類がある。そして 前者には2種が知られているが 既知の後者は1種だけである。

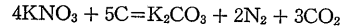
硝酸塩・亜硝酸塩が分解されて窒素が遊離される反応もまた微生物の作用によるものである。この際の化学反応については諸説があるが 還元剤としていろいろな炭素源を想定して 次のような反応を考えることが一般に行われている。



上の諸式の第2式の両辺を2倍して 第3式に加えて整理すると 次の式が得られる。



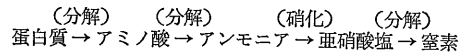
つまり 亜硝酸塩(ここでは KNO₂) が分解されると2容の N₂ と1容の CO₂ とが生成される。またこれに第1式の両辺を2倍したものを加えて整理すると次の式が得られる。



このように 硝酸塩(ここでは KNO₃) が分解されると2容の N₂ と3容の CO₂ とが生成される。つまりメタン発酵の場合以上に CO₂ が生成されるのである。

いずれにしても 硝酸塩・亜硝酸塩の分解は先に述べた硝化とまったく反対の変化であり 後者が好氣的条件の下で効果的に行われるのに対して 前者は嫌氣的条件の下で速かに進行する。これを地質学的に述べると硝化はアンモニアの生成に続いて地表に近い好気性環境のところで行われ 生成された亜硝酸塩・硝酸塩を含む堆積物がある程度埋没されて 嫌気性環境におかれたところでこれらの塩類が分解されて N₂ が生成されるということになる。

以上に述べたことから 幌向泥炭地の地下浅部の溶存ガスや遊離ガスの組成が おもにセルローズのメタン発酵という生化学的変化 および蛋白質の



という一連の生化学変化によって よく説明されることから明らかであろう。表4および図1の黒三角で示した幌向泥炭地の深度10.6mの観測井の坑口遊離ガスはこれまでに例示したものよりもやや深いところに由来するガスと思われるが CH₄ を主成分とし N₂ および CO₂ を副成分とするその組成も 同様に生化学的に説明できると思われる。

しかし 札幌市東北部の米里泥炭地の深井戸の約30m以深から採取された遊離ガスの組成(表5; 図1の白三角)となると いささか趣きがちがってくる。東米里小学

表 4 幌向泥炭地の浅井戸の坑口遊離ガスの組成 (質量分析法による)

測 点	坑井深度 (m)	遊離ガス組成 (容量%)*			
		CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂
2J-1	10.6	37.0	5.7	7.9	49.4
		(59.5)	(9.2)	(0.0)	(31.3)
4L-1	10.6	14.4	2.3	15.2	68.1
		(52.8)	(8.4)	(0.0)	(38.8)

* () 内は O₂=0.0 の時の空気補正值 (本島 1959)

表 5 米里泥炭地の深井戸の坑口遊離ガスの組成 (質量分析法による)

測 点	深 度 (m)	遊離ガス組成 (容量%)				
		CH ₄	N ₂	O ₂	A	CO ₂
東米里小学校	30±	84.94	0.21	0.07	0.22	4.56
1	60±	88.42	8.41	0.02	0.19	2.97
2	100±	87.42	8.27	0.01	0.20	4.08
3	150±	76.10	22.87	0.083	0.43	0.51

(本島 1959)

校校庭には 天然ガス調査のために掘削された深井戸がある。北海道立地下資源調査所の資料(小山内 照ほか 2名 1956)によれば その坑井地質は図4のとおりであり 泥炭は250m 弱の深度まで存在する。図4において 沖積層の基底は深さ30~40m 付近にある礫層の基底とされている。この礫層の上に重なる粘土層は 有孔虫化石によって 内湾性のものであることが知られている。

この沖積層の基底以深の地層が野幌層(佐々保雄ほか 1名 1951)で 深度100m 付近から 海棲の貝化石が知ら

れている。図4の電気検層図において 150m 以浅の高比抵抗を示す砂礫層は いずれもガス層となっているが 150m 付近の砂礫層では ガス量が著しく少なくなっている。米里泥炭地においては 深井戸によって 深度30m 前後 60m 前後 100m 前後 および150m 前後にあるガス層について 観測が行われている。本島(1959)によれば これ等のガス層における産出ガス水比を深度対応の飽和ガス水比と比較すると 次のようになる。

深 度 (m)	産出ガス水比	飽和ガス水比
30 ±	1/ 8.3	1/12
60 ±	1/ 6.9	1/ 6.5
100 ±	1/ 7.1	1/ 4
150 ±	1/16.6	1/ 3.5

すなわち 30m層は過飽和気味のガスをもち 60m層は飽和 そして100m 以深のガス層は不飽和である。ここでとくに重要なのは 深度100m 以浅においては 産出ガス水比に変化がほとんど認められないのに 深度100m 以深と150m 以浅の間でガス水比が半分以下になっていることである。このように 生化学的な CH₄ の生成が地下の浅所に限られていることは すでに Tissot ほか 3名 (1971) や平塚隆治 (1976) によって明らかにされている。

次に ガス質の面から検討してみよう。図1の白三角に付した番号は深度順を示したものであるが 番号1から3まで すなわち100m 以浅の3点が CH₄ が84%あたりのところに密集しているのに対して 番号4の深度150m 以深のガスだけが離れたところにある。この密集部分のガスに深度的に近いのは黒三角で示された深度10.6mの観測井のガスであるが 後者の方が N₂ の

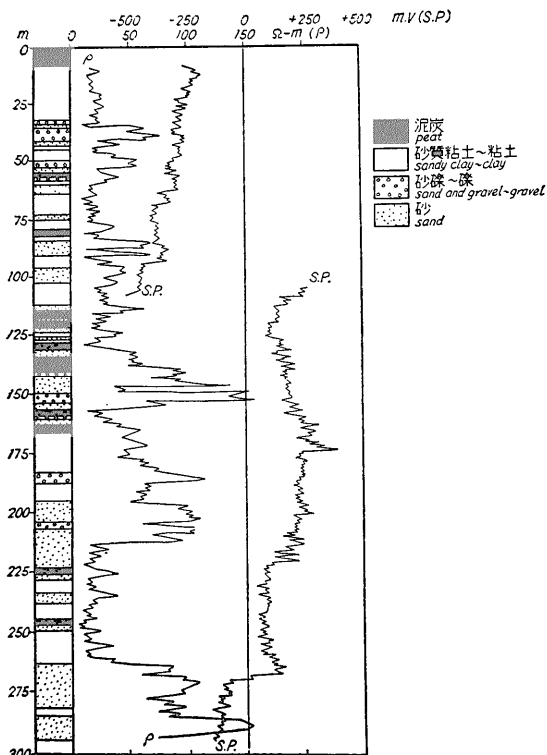


図4 石狩平野東米里試錐の坑井地質と電気検層図 (小山内ほか 2名 1956; 本島 1959より)

表6 南関東における上総層群以外の地層から産する共水性ガスの組成(質量分析法による)

場 所	産出現場の状況	産出地層	ガス組成(体積%)					ガス量 (m ³ /日)	水量 (m ³ /日)	ガス水比	水のCl ⁻ 濃度 (g/l)	備 考		
			CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	A							
千葉県安房郡江見町市井原 " 尊厨 " 君津郡天羽町金谷	深度 84m の掘抜井戸	江見層中部(中新統)	71.8	0.06	0.01	27.7 ₂	0.46	1 以下	少 量	(1.62)	17.14	0.26 0.42 0.34	荒木峻、戸谷嗣 津夫および河井 による。	
	" 数 m の鉱泉井戸	おそらく市井原層(中新統)	85.2	0.18	0.05	14.2 ₇	0.2 ₂	0.07 以下	少 量					
	露頭	船子沢層(中新統)	70.8	0.02	0.45	28.1 ₈	0.4 ₅	1.1	少 量					
横浜市保土ヶ谷区星川	試掘井: 保土ヶ谷(帝石)R1 深度 1,258~1,340m	冠子層(中新統)	88.8	0.01	0.8	10.3	0.1							
東京都葛飾区青戸	深度 90m の坑井	後上総第四系	81.4	2.28	1.19	14.9	0.27	約 200	約 4	約 50	0.008		柴田賢(1961) による。	

(河井・福田 1973)

表7 上総層群から産出する天然ガスの化学分析例(質量分析法による)

地 区	坑 井 名	採取深度 (m)	採取層位	ガ ス 組 成(体積%)							ガス量 (m ³ /日)	水 量 (m ³ /日)	ガ ス 水 比	水のCl ⁻ 濃 度 (g/l)		
				CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	O ₂	N ₂	A						
古 沢	古沢 R1	(130~ 680~750)	(黄和田~)大原上部	96.0			2.5 ₈	0.0 ₃	1.4 ₂	0.0 ₃			520			16.58
茂 原	B 14	295~510	梅ガ瀬	99.0 ₄	0.02	0.00	0.26	0.09	0.58	0.01	4,940	46	107	14.27		
	B 18	286~475	梅ガ瀬中部・下部	98.5			0.5 ₉	0.0 ₈	0.9 ₂	0.0 ₂	3,960	94	42			
	D 12	252~462	梅ガ瀬中部・下部	99.0 ₅	0.01	0.00	0.22	0.14	0.56	0.02	3,340	141	24	13.61		
	D 24	242~450	梅ガ瀬下部・大田 代上部	99.2 ₆	0.01	0.00	0.37	0.05	0.28	0.01	3,370	328	10	16.33		
	STR 5	238~460	梅ガ瀬中部・下部	99.1			0.4 ₁	0.0 ₇	0.4 ₆	0.0 ₁	1,900	135	14	18.50		
	日天 R 49	266~435	梅ガ瀬	98.3			0.2 ₁	0.2 ₉	1.1 ₇	0.0 ₂	1,500	75	20	(18.99)		
横 芝	横芝(富士)R1	624~850	黄 和 田	94.4			2.8 ₉	0.3 ₉	2.2 ₆	0.0 ₄	1,700	960	1.77	19.00		
野 田	野田 R1	900~1,035	上総層群基底部	92.0			1.07	0.04	6.83	0.04	780	1,400	0.56	7.43		
市 川	市川(江東)R1	(657~ 961~1,054)	主として江東砂層	97.9 ₉	0.04	0.00	1.57	tr	0.39	0.01	1,320	680~700	1.94 ~1.89	(14.74)		
江 戸 川	ER 1	679~847	江 東 砂 層	98.1			0.9 ₉	0.0 ₆	0.8 ₅	0.0 ₃	(2,060+)	(1,400)	(1.50+)	15.58		
	ER 2 _n	946~1,565	江東砂層より下位	98.0 ₉	0.04		1.45	tr	0.40	0.01	1,040+	400+	2.4~3.4	17.82		
	ER 3	623~711	江 東 砂 層	98.2 ₄	0.02	0.00	1.21	0.06	0.45	0.02	(1,490)	(955)	(1.56)	(15.06)		
	ER 5	605~705	"	98.6			0.8 ₉	0.0 ₇	0.5 ₆	0.0 ₂	(1,590)	(1,050)	(1.51)	14.65		
	ER 6	651~737	"	98.5			0.9 ₃	0.1 ₀	0.4 ₃	0.0 ₂	(1,110)	(660)	(1.68)	15.03		
江 東	KR 6	447~574	"	97.8			1.0 ₉	0.1 ₀	0.9 ₅	0.0 ₃	(1,370)	(930)	(1.47)	7.49		
	KR11	480~573	"	98.1			1.1 ₁	0.1 ₀	0.6 ₇	0.0 ₃	(1,140)	(730)	(1.56)	8.78		
東 京 江 東 江 戸 川 以 外	上野 R1	1,021~1,203	江東砂層より下位	95.3			0.5	0.4	3.7	0.1	350±	170±	2±	8.95		
	大森 R1	(784~)890 ~900(~955)	"	97.5			1.0 ₈	0.1 ₆	1.1 ₈	0.0 ₄	1,050	580	1.81	12.60		
横 浜	綱島 R1	602~702	"	89.9			1.7 ₇	0.3 ₄	7.8 ₅	0.1 ₆	49	161	0.30 ~0.31	0.71		
	保土ヶ谷 (相生) R1	359~600	" (大船)	64.9			2.4 ₅	0.0 ₃	32.0 ₈	0.5 ₀	(80)	(234)	(0.34)	0.82		

(注1) 野田 R1 のガス分析値は柴田賢(1961)による その他のガス分析値は荒木峻 戸谷嗣津夫および河井による 小数字は参考値
 (注2) 茂原 B14, D12, D24, 市川(江東)R1 江戸川 ER2_n, ER3 の分析値は精度が高い
 (注3) ガス量 水量 ガス水比 水の Cl⁻ 濃度の値のうち () 内のは ガス分析試料採取時でない時の値を示す
 (注4) 坑井名の () 内は会社名

(河井・福田 1973)

濃度においてはるかにまざっている。これは蛋白質から N₂ が生成される一連の生化学反応の旺盛な深度を暗示しているのではないだろうか。また 産出ガス水比の絶対値においても また飽和ガス水比との比較においても これら上位の3測点のガスにはるかに劣る深度 150m±のガスが おもに 76.10% の CH₄ と 22.87% の N₂ とからなっていることは これら両種のガスはかつてより浅いところにあった時の生化学的反応による生成ガスの遺物であって CO₂ は遊離ガスとして残るのがほとんどなくなってしまった ことを示しているものと思われる。

中期更新世以前の同源的な共水性ガスのうち 資源的に大きなものが海成層起原であり それに関する資料も豊富で 公表されているものも少なくないのであるが 後期更新世以後の海成層起原の同源的な共水性ガスについて 公表された資料はほとんどない。そこで 止むなくまとまった資料が公表されている石狩平野の泥炭地のものを紹介したのである。しかし 明らかに後期更新世の海成層に由来する東京都葛飾区青戸の深度90mの深井戸の坑口遊離ガスの組成(表6)を図1にプロットしてみると(黒の逆三角形) 上に石狩平野の泥炭地について述べたことは ほとんどそのまま海成層についても適

表 8 新潟ガス田の天然ガスおよび付随水

その1 新潟市内天然ガス坑井のガスおよび付随水の成分

坑井名*	採取層	坑底深度 m	坑径 インチ	ガス量 m ³ /日	ガス水比	水						質					坑口ガス成分 vol. %						
						水温 °C	pH	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	I ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Fe ⁺⁺ mg/l	total Fe mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	KMnO ₄ 消費量 mg/l	CO ₂	O ₂	CH ₄	Heavy H. C.	残 (N ₂)
稲金 14	G ₂	232.5	8	2,280	0.63	18.5	6.8	550	1,320	—	40.0	—	—	—	—	—	—	7.1	0.3	90.4	0.0	2.1	
開発 2	G ₃	306.0	8	1,450	0.58	20.0	7.1	986	1,104	—	25.0	—	—	—	—	—	—	4.4	0.2	91.8	0.0	3.6	
新交 7	G ₁	440.9	8 1/2	2,850	1.04	25.5	7.1	834	2,380	8.8	38.8	16.4	18.6	164.0	124.0	1,350	87	61.3	6.9	0.1	91.5	—	1.5
帝・関 20	S _{4,6}	656.9	8 1/2	4,340	1.80	29.6	7.5	1,169	6,870	20.0	75.0	12.6	13.4	358.0	482.0	3,580	120	134.0	4.5	0.2	94.5	—	0.8
帝・関 16	G ₃	773.2	6 3/8	4,610	1.81	31.1	7.4	1,137	12,190	36.0	83.5	15.9	17.2	448.0	558.0	6,050	206	162.0	3.8	0.1	95.4	—	0.7

* 軽油：日本軽油協 K. K. 調査：新潟天然ガス開発 K. K. 新交：新潟交通 K. K. 帝・関：帝國石油 K. K. 関田地区

その2 試掘井一覽表

位置番号	坑井名	深度 m	採ガス層	ガス量 m ³ /日	ガス水比	水温 °C	PH	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	ガス成分 vol. %			
											CO ₂	O ₂	CH ₄	残 (N ₂)
1	大同 堀 R. 1	483	G ₃	140	0.21	21.4	7.1	440	51.5	10.0	—	—	—	—
2	大同 松長	600	G ₃	150	0.1	—	—	378	53.2	12.0	2.7	0.2	77.2	19.9
3	北勢 巻 C. 1	250	—	565	0.32	18.1	6.9	620	78.0	20.0	5.1	0.2	85.5	9.2
4	東邦 曾根 R. 1	516	S _{4,6}	582	0.73	24.7	7.4	1,134	192.0	60.0	6.1	0.2	89.5	4.2
5	帝石 内野 R. 1	1,000	G ₃	4,662	2.04	32.9	7.3	1,031	13,790	93.5	4.8	0.1	95.0	0.1
6	帝石 新潟 R. 61	1,000	G ₃ より深い	640	2.27	41.0	7.9	1,535	17,300	95.0	9.7	0.2	88.5	1.7
7	ガス化学 加治 R. 1	700	{ G ₃ G ₂	{ 1,850 3,300	{ 0.93 1.32	{ 27.3 30.8	{ 7.4 —	{ 713 1,420	{ 7,970 15,150	{ 36.0 —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —
8	葛塚 利根式 1号井	500	192 m 以下	455 m 間	5 層のガス賦存を確認									
9	新築田 利根式 1号井	300	135~170 m	195~210 m	のガス層確認									
10	三条 R 式 1号井	451	367 397 430 439 m	にガス層確認										
11	白根 1号井	500?	資料なし											

(地質調査所 1957)

用できそうなことが知られる。

2) 中・前期更新世のガス

中・前期更新世の同源のな共水性ガスとしては 南関東・新潟両ガス田のものがよく知られている。表7および図5の白丸は 南関東ガス田の黄和田層以上の諸層から産するガスの組成を示したものであり また表8および図5の黒丸は 新潟ガス田の中・下部更新統から産

するガスの組成を示したものである。図5の南関東ガス田のガスが大部分下部更新統のものであるのに対して新潟ガス田のガスには中部更新統のものが多いというちがいはあるが これだけでは 図5において黒丸が白丸の CO₂ 側に分布していること すなわち CH₄ と N₂ とが同じように含まれているガス同志を比べてみると新潟ガス田のものの方が南関東ガス田のものより CO₂ が多いことを説明できない。両ガス田の一番大きな地学上の相違点は 新潟ガス田の地殻熱流量が南関東ガス田のその2倍以上もある(図6; 上田誠也 1964) ことである。これを反映して 新潟ガス田の平均的な地温勾配も南関東ガス田のその2倍以上ある。しかし 地下の地温の相違が坑口遊離ガスの CO₂ の含有量の相違の直接的な原因であるとは考え難い。何となれば 先に紹介したような CO₂ を生成する生化学反応の速度が地温の増加によって促進されるとしても ここで問題にしているようなおよそ 200 m 以深という深度においては有機物を分解するようなバクテリアも また O₂ も存在しないからである。したがって 南関東ガス田の僅かな CO₂ は 地下浅所における生化学反応の名残りであるのに対して 新潟ガス田の CO₂ は これに地球内部からもたらされたいわば火山性の CO₂ が加わったものと考えられる。そして この CO₂ は前期中新世の緑色凝灰岩類で代表される火成活動の名残りの産物であろう。

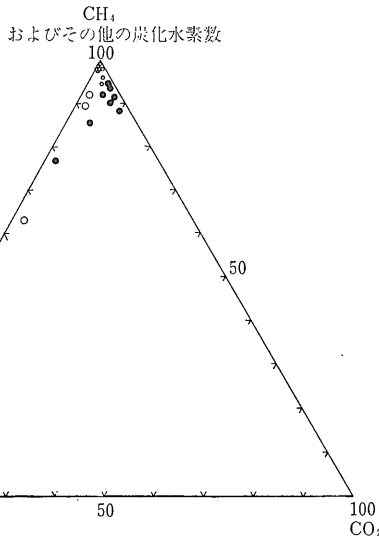


図5 中・前期更新世の同源の共水性ガスの組成
○ 南関東ガス田(上総層群)
● 新潟ガス田

表 9

宮崎ガス田佐土原地区の天然ガスと付随水

坑井名	坑井深度 (m)	孔明管 (m)	採取層	採取 方法	ガス (容量%)				ガス量 (Nm ³ /d)	水量 (kl/d)	ガス 水比	水温 (°C)	付随水 (ppm)			
					CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂					Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
SR-1	1,260	565 ~ 757 841 ~ 1,251	(佐土原) 都於郡	自噴	95.1	0.10	0.80	4.00	8,650	865	10.0	44.0	19,010	196.5	610	350
SR-2b	750	340 ~ 775	都於郡	—	90.4	0.85	1.65	7.10	—	—	—	—	14,700	242.8	262	140
SR-3	1,343	750 ~ 1,300	都於郡	自噴	96.2	0.20	0.70	2.90	1,050	538	1.95	40.5	22,700	202.5	564	258
SR-4	1,352	299 ~ 551 702 ~ 1,154	佐土原 (都於郡)	自噴	98.6	0.07	0.30	1.09	25,800	1,050	25.2	35.2	18,950	255.0	484	265

表 10

沖縄島南部ガス田の天然ガスと付随水

坑井名	採取深度 (m)	採取層	採取 方法	ガス (容量%)									ガス量 (Nm ³ /d)	水量 (kl/d)	ガス 水比	水温 (°C)	付随水 (mg/l)				
				H ₂	He	O ₂	N ₂	CO ₂	Ar	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈					Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
沖縄県 1号試験井	405~435	T ₅	ペー ラ	0.019	0.000	0.18	3.79	0.09	—	—	95.90	0.025	0.000	68.9	72.5	0.95	30.0	8,050	245	147	59.0
沖縄県 3号試験井	473~709	T ₃ T ₅	リフト	0.031	0.000	0.37	2.95	—	—	96.35	0.085	0.004	698	503	1.39	37.1	15,800	146	497	206	
具志頭 R 1号井	1,003~ 1,241	T ₁ T ₃	自噴	0.000	0.027	0.34	2.06	0.36	0.30	96.86	0.051	0.018	2,090	550	3.80	49.0	20,020	194	577	221	

(福田 1977)

3) 鮮新世および後期中新世のガス

鮮新世および後期中新世の初生的な共水性ガスとしてはそれぞれ宮崎ガス田佐土原地区および沖縄島南部ガス田のものがよく知られている。それぞれのガスの組成が表9および表10に示されているが、両者の組成はよく似ているので、同じ三角座標にプロットした(図7)。図7の白丸が宮崎ガス田佐土原地区、また黒丸が沖縄島南部ガス田のガスである。本図の三角座標はこれまでに使った三角座標の最上部の100分の1を面積で100倍したものであることに注意されたい。本図の左下のとび離れた白丸は他の3点よりはるかに上り傾斜側の宮崎層群都於郡部層を仕上げた坑井の坑口遊離ガスの組成を代表するものであり、他の3点とは母集団を異にしていると思われるのでこれを除くと、白丸も黒丸も同じような組成を示している。すなわち、いずれも95%以上がCH₄によって占められており、また残りの大半はN₂からなっている。とくに宮崎ガス田佐土原地区のガスについてみると、N₂がO₂の4倍前後の値を示しているから、これを空気の混入によるものとする、と本来ほとんどCH₄のみからなるガスであると考えられないこともない。

実なものはまだ知られていない。しかし最近山梨県南巨摩郡早川町において温泉開発の目的で掘削された坑井から大量の天然ガスが付随水とともに噴出したことを契機として、同町内の各地から古第三系の瀬戸川層群に由来する初生的な共水性ガスに関するまとまった知識が急速に集積された(矢崎清貴・影山邦夫・狛武

4) 中期中新世以前のガス

中・前期中新世の初生的な共水性ガスの例として 確

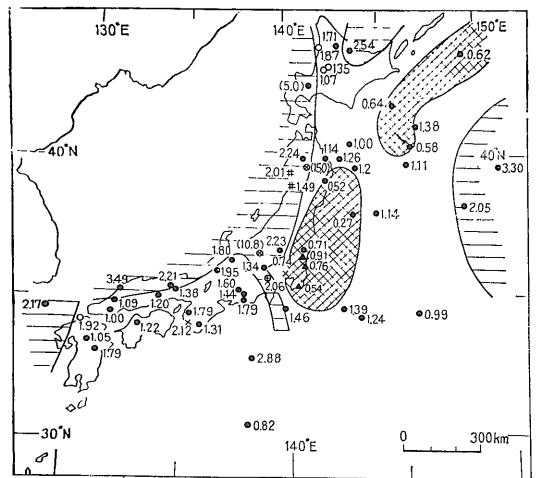


図6 日本およびその周辺の地熱熱流量分布 (単位: 10⁻⁶cal/cm² sec) (上田 1964)

表 11 早川産ガス地（山梨県南巨摩郡早川町）の

番 号	所 在 地	ガ ス (容量%)									
		H ₂	He	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	tr	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

1978). このようにして得られた瀬戸川層群のガスの組成をまとめて示したのが表11であり またこれ等を三角座標にプロットしたのが図8である. この表および図にみられるように CO₂ がきわめて少ないことの反映として 図8の三角座標においては 瀬戸川層群に由来するガスの組成を示す点は CH₄ と N₂ とを結ぶ線上にのっている.

これに対して 一見 CO₂ の多い古第三紀の初生的な共水性ガスと思われるものもある. 宮崎県日南ガス田

の基盤をなしている日南層群産の共水性ガスがそれで その組成は表12および図8の黒丸によって示されている. ここで注意しなければならないのは この地方の地温勾配が大きいことである. 最近掘削された北郷町R1号井を例にとると 地下の温度 $T(^{\circ}\text{C})$ と深度 $D(\text{m})$ との関係は 次の式によって示される(福田・永田 1978).

$$T = 17.8 + 0.04666 (D - 11.1)$$

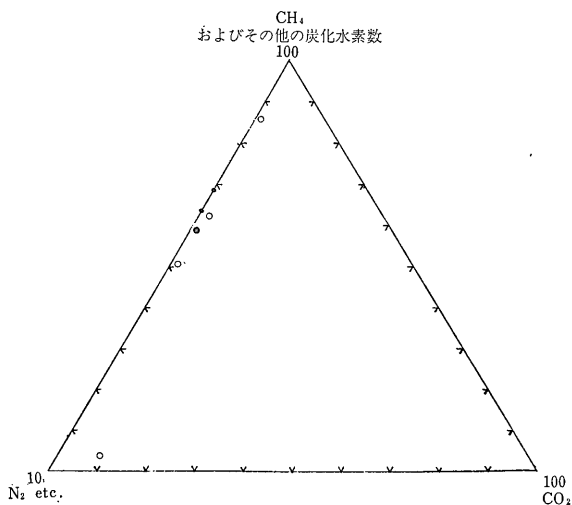


図7 鮮新世および後期中新世の同源的共水性ガスの組成
○ 宮崎ガス田佐土原地区の宮崎層群上部（佐土原部層）
● 沖縄島南部ガス田の島尻層群下部（豊見城累層 ただし基底粗粒層である T₁₈ 部層を除く）

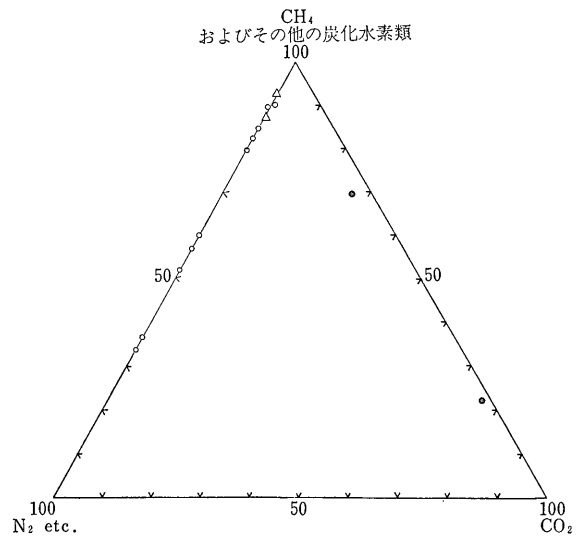


図8 古第三紀の同源的共水性ガスの組成
○ 早川産ガス地（山梨県南巨摩郡早川町）の瀬戸川層群
● 日南ガス田周辺（宮崎県南部）の日南層群
△ 沖縄島北部の国頭層群

瀬戸川層群産の共水性ガスと付随水

			ガス量	水量	ガス	水温	付随水* (mg/l)					備考	
n-C ₄ H ₁₄	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂	(Nm ³ /d)	(kl/d)	水比	(°C)	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	0.03	—	—	13.0	95	5	23	39	—	—	河川中
0.00052	0.00034	0.00026	0.02	—	—	9.5	131	9	18	34	—	—	河川中
0.00053	0.00042	tr	0.04	—	—	10.2	137	15	126	81	2	—	河川中
0.00000	0.00000	0.00000	0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	人工湖水
0.00135	0.00057	tr	0.01	—	—	9.4	79	6	7	40	—	—	河川中
0.00039	0.00000	0.00000	0.04	—	—	8.6	98	7	30	56	—	—	河川中
0.00058	0.00029	tr	0.25	—	—	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	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(矢崎清貫・影山邦夫・狛 武 1978)

表 12 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	0.00n	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)

この式の右辺の 0.04666 は本坑井付近の地温勾配が 100m 当り 4.666°C であることを示している。これは新潟ガス田の地温勾配に匹敵する値である。表12の平佐鉱泉および石波鉱泉がいずれも自然湧出であるにも拘わらず それぞれ 21.6°C および 18.0°C という水温を示していることもこの地方の地温勾配が大きいことと矛盾しない。何となればもよりの宮崎市の年平均気温は 16.8°C であるからである。このようにみえると石波・平佐の両鉱泉から産出する天然ガスに含まれている CO₂ も 何等かの火成活動に由来するものらしい。これら両鉱泉に近い活火山としては霧島山がありその周囲には 宮崎県下のえびの市吉田温泉群および高原町の血捨の木温泉 また鹿児島牧園町の新川温泉群等の CO₂ を主成分とする多量の温泉ガスを伴う温泉が知られている。石波・平佐の両鉱泉は霧島山を囲むこれらの温泉群のさらに外側に位置しているが CO₂ の起原を霧島山に求めてもそれを否定するに足る資料はない、しかしその起原を大隅半島の東南部に分布する

花崗岩類によって代表される中新世の火成活動の名残りに求めることも可能である。

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 1977b) から産するものがある。その一つは 恩納村山田温泉前の地表水流を通して湧出しているもので 組成は次に示すとおりである (福田ほか12名 1969)。

CH ₄	91.40 vol. %
CO ₂	0.25 "
N ₂	8.20 "
He	0.004 "
O ₂	0.15 "
H ₂	0.000 "

(分析 永田 松三)

もう一つは名護市東江のオリオンビール (株) 7号井のガスである。昭和35年当時 本井からはガスを伴って

水が自噴していた。 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より）。

坑井深度	6.0m
水位	±0.1m
水温	23.7°C
ガス量	0.19m ³ /day
水量	4.5 kl/day
ガス水比	0.042
水質	
pH	7.9
HCO ₃ ⁻	237 mg/l
Cl ⁻	36.5 "
ガス質	
He	0.004 vol. %
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 "

以上2つのガスの組成も図8の中に示されており 早川産ガス地の CH₄ の多いガスとよく似た組成を示している。

以上に述べたことから明らかなように 古第三系に由来する同源のな共水性ガスは CH₄ を主成分とし 副成分として大量の N₂ を伴うことがある という特徴をもっている。

年代未詳であるが 中生代または古生代の地層に由来

すると思われる大体同源のな共水性ガスには 竹富島東北沖の海底から35°C程度の温泉を伴って湧出するものがある（温泉の項は安里弘康氏による）。 次に示すようにこのガスは試料によって少しちがった組成を示す。 これは地質調査所のガスクロマトグラフによるものである。

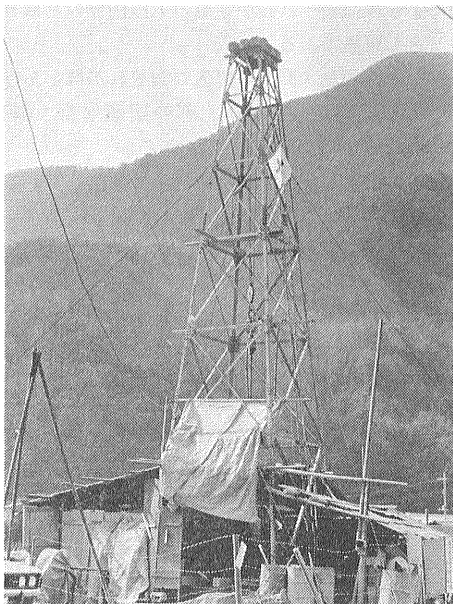
	A	B
CH ₄	74.60 vol. %	74.07 vol. %
C ₂ H ₆ , etc.	n. d.	n. d.
CO ₂	0.24 "	1.09 "
N ₂	24.91 "	24.40 "
O ₂	0.22 "	0.40 "
H ₂	0.000 "	n. d. "
He	0.033 "	0.04 "
He/N ₂	1.4×10 ⁻³	1.7×10 ⁻³

（福田ほか12名 1969）

B試料に 1.09 vol. % もの CO₂ が含まれていることについては 分析値そのものに疑問をもつ向きもあるが 温泉ガスが混じているとすれば 試料によって CO₂ の濃度が異なるのは むしろ当然かも知れない。 これを裏づけるかのように 1965（昭和40）年に採取された試料について 東京大学が質量分析計によって行った次の分析結果によれば CO₂ が 1.3 vol. % も含まれている。

CH ₄	70.9 vol. %
C ₂ H ₆ , etc.	0.06 "
CO ₂	1.3 "
N ₂	25.8 "
Ar	0.18 "
O ₂	0.3 "
H ₂	1.4 "

この分析値の CO₂ および H₂ についても疑問視する



⑤ 古第三紀あるいは白亜紀のガスをとらえた早川町（山梨県南巨摩郡）R1号井 深度180m（掘止めは300m）までの間に掘削中にも何回かガスが出てきた（撮影 早川町）



⑥-A 神としてまつられた引佐鉾（宮崎県南那珂郡北郷町）の源泉

表 13 温 泉 ガ ス の 組 成

温 泉 名	源 泉 名	泉温 °C	CO ₂ %	H ₂ S %	O ₂ %	H ₂ %	CH ₄ %	N ₂ %	Ar %	He %
La Bourboule			94.5	—	—	0.05		5.34	0.10	0.01
新 飯 豊 温 泉	泡 の 湯	37.6	98.96	—	0.10	0.000	0.08	0.86	—	0.001
肘 折 温 泉	大 友 温 泉	70.6	98.75	—	0.20	0.001	0.05	1.00	—	0.000
Lassen Peak	Devils Kitchen		90.10	0.45	0.10	0.80	0.20	8.14	0.13	—
天 童 温 泉	協 同 組 合	66.7	0.09	—	4.22	0.011	0.33	95.42	—	0.036
赤 湯 温 泉	組 合 井	59.5	0.48	—	0.30	0.460	1.63	97.12	—	0.043
Yellowstone	Artemisia		0.90	0.00	3.40	0.00	10.60	85.10	—	—
羽 根 沢 温 泉	源 泉	47.0	1.63	—	0.11	0.008	96.35	1.91	—	0.001
岡 部 落 露 頭 ガ ス	沢 の 中	15.3	0.46	—	0.04	0.001	91.48	8.02	—	0.001
真 室 川 天 然 ガ ス	荒 所	23.9	0.44	—	0.13	0.000	88.20	11.23	—	0.003

(湯原・野瀬 1969)

向きもあるが 著者は CO₂ を温泉ガスの混入によるものと考えたい。この CO₂ を除くと 竹富沖のガスはもよりの石垣島の南々西部にみられる富崎累層(含礫岩千枚岩)のような地層に由来するものであろう。

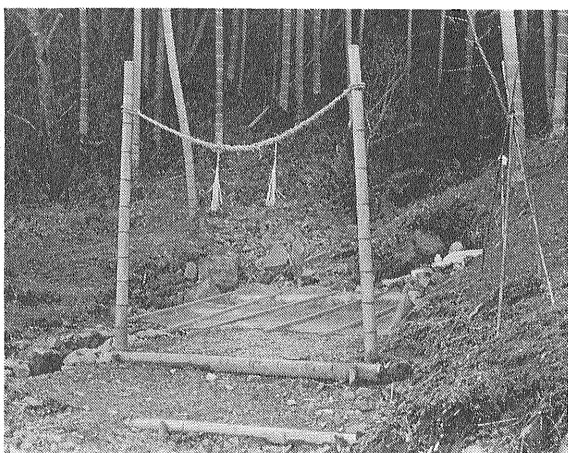
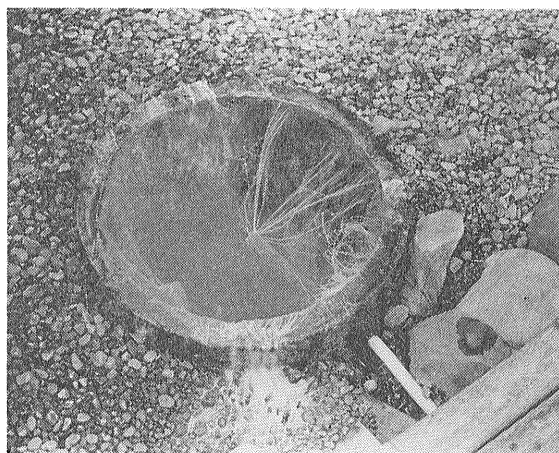
5) ま と め

わが国において いわゆる水溶性ガスというものの概念が確立され 水溶性ガスを主対象とする教科書が出版された昭和 33 (1958) 年頃には 一般に水溶性ガスは還元的な環境において生成された CH₄ を主成分とするガスを主体とする と考えられていた。しかし 以上に述べてきたように 生化学的に生成されたガスが 地下水に溶解しているガスの主体をなしているのは 地表に近いところだけで このようなガスが共水性ガス鉱床といえるほどのものを形成することはまれである。これは天然ガス中の CO₂ の濃度によってよく示されている。すなわち 先に述べたように 生化学反応によって CH₄ や N₂ が生成される際には 多量の CO₂ が発生するため 完新世や後期更新世の共水性ガスには CH₄ および

N₂ に伴って かなりの濃度の CO₂ が含まれているし また水に対する CO₂ の溶解度が高いので 付随水中の溶存ガスでは CO₂ が主成分の地位を占めている。ところが 中・前期更新世の同源的な共水性ガスの中で占める CO₂ の濃度は 2.89% 以下となり さらに鮮新世のものにおけるその濃度は 1.00% 以下(多くは 0.20% 以下)となり また後期中新世のものについても同様である。このように 同源的な共水性ガスに含まれる CO₂ が 含ガス層の年代が古くなるの

にしたがって減少する傾向は 少なくとも古第三紀に至るまで続く。もっと厳密に言えば 鮮新世～後期中新世の同源的な共水性ガスが少量の CO₂ を含むにすぎないという状況が 古第三紀～白亜紀のもの——おそらくもっと古いもの——についても保たれていそうである。

一方 N₂ については 生化学反応の結果がそのまま現われている若い地層の同源的な共水性ガスにやや多くそれから鮮新世～後期中新世までは年代をさかのぼるにつれて漸減していることは CO₂ の場合と同じであるが 古第三紀のものになると 再び N₂ が著しく増すがその濃度は変化に富む。N₂ は温泉ガスの主成分となっている例(表13)もあり また低温の火山ガスにかなり含まれている例も少なくないので この観点から検討することも必要である。しかし 古い地層や化石のなかに窒素を含む有機物であるアミノ酸が残っていることも次第に明らかにされつつあるので 古第三紀以前の地層に由来する共水性ガス中に種々の濃度でかなり含まれている N₂ の問題は単純ではない。



⑥-B 引佐鉱泉源泉(接近して撮影) まん中の細い管からわずかなガスを伴って鉱泉が湧出している。白い糸状のものは 鉱泉(ガス付随水)から析出した硫黄である

⑦ 引佐鉱泉飲料水源 鉱泉の源泉のすぐ上にあるが これは真水である やはり神としてまつられている