

世界の宝 沖縄本島南部ガス田

沖縄天然ガス研究グループ

1. ま え が き

私どもが 日本政府の琉球政府に対する技術援助という形で 琉球政府の関係機関（おもに通産局琉球工業研究指導所）と協力して実施してきた沖縄における6次にわたる天然ガス資源調査の成果のうち トピックともいえるものについては そのつど本誌で紹介してきたが

関係者の多忙のため もっとも大きな成果である沖縄本島南部ガス田の詳細については 紹介がのびのびになつたまま現在に至っている。 全国民待望の本土復帰の日も目前に迫っている折から おくればせながら紹介の筆をとった次第である。

2. 地質のあらまし

天然ガス鉱床を胚胎する海成の上部新第三系 すなわち島尻層群が 勝連半島のつけ根の北側の天願川の河口付近からほぼ南西に向かって走る天願断層以南に広く分布していることは 古くから知られていたが その全層序が判明したのは ようやく昭和43年度の私どもの第5次調査が終わってからであり この点において 私どもの調査の成果は学術的にも大きな評価を受けるものとなった。 この層序解明に至る過程には 読者の興味をそそり かつご参考になることも少なくないと思うので 以下しばらく それに誌面をさくことを許されたい。

沖縄本島の最初の本格的な地質調査は 昭和21~23 (1946~1948) 年の間 米国陸軍の要請により 主として米国地質調査所の職員によって行なわれた。 この調査の結果は5巻に及ぶ報告書 “Military Geology of Okinawa-jima, Ryūkyū-rettō” として 1957~1959年の間に公刊されており 地形学的ならびに応用地質学的な面では 相当な成果を上げたものと評価されるが 天願断層以南の島尻層群分布地域の地質を正しく把握するまでには至らなかった。 地表で見られる島尻層群の最下位の地層は 那覇市小祿から豊見城村にかけて分布している砂層 すなわち小祿砂層であるが この報告書では 島尻層群の基底は 小祿砂層の下底よりほど遠くないところにあるとされている (図1)。

一方 米国海軍も 腕をこまねいて 陸軍の仕事を見てばかりいたわけではなく 水資源調査という名目で 与那原町および勝連村で それぞれ深度 4,036ft (1,220 m) および 1,900ft (579m) の深井戸を掘っている。 一般的に使える地下水の深度は せいぜい300~400m止りであるから このような深井戸が水資源調査用であるはずはなく 実は石油・天然ガス資源調査用の含みもある多目的井として掘さくされたことは明らかである。

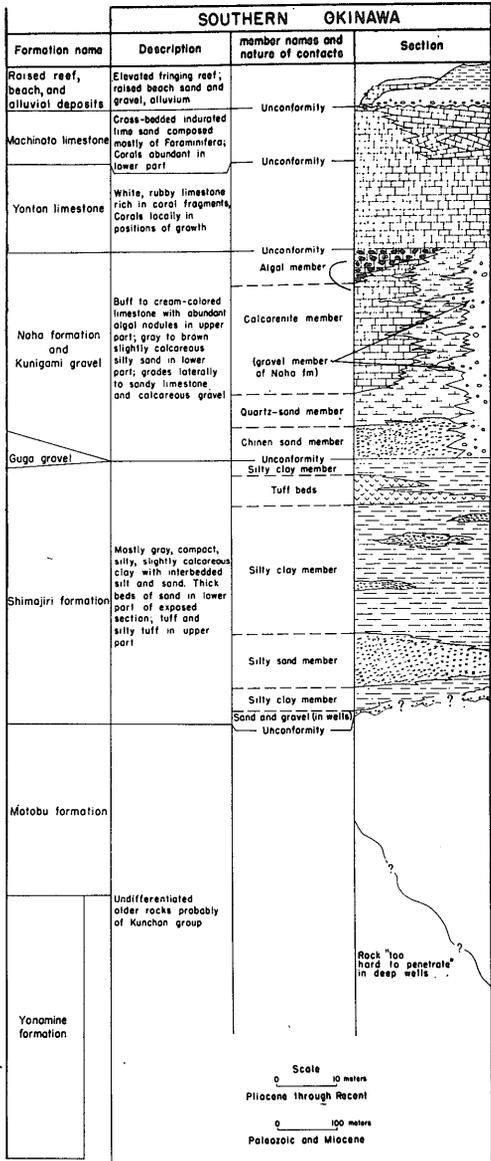


図1 米国陸軍の調査による沖縄本島南部の地質柱状図 (Intelligence Division, Office of the Engineer, Hq. U. S. Army Pacific, 1959)

私どもの第1次調査が行なわれた昭和35(1960)年には 沖縄の上部新第三系および第四系産の巻貝類を扱った MacNEIL の論文が 米国地質調査所から出版されている。彼が扱った試料は先に述べた米国陸軍の調査の際に採集されたものである。ここで面白いのは MacNEIL が米国海軍の与那原の坑井にも論及しており 小祿砂層に相当する塊状砂層より下に 2,500ft もの地層が続いているという 今日から見ても正しい結論に達していることである(図2)。化石の知識のないものをリーダーとする層位学的調査が いかにかつ大きく誤りを犯しやすいかを教えるこの事実は わが国の石油・天然ガス鉱床の探鉱を目的とする地質調査のあり方に対する警鐘でもある。

小祿砂層の下に少なくとも 2,500ft もの若い地層があることをさらに明らかにしたのは LeROY (1964) である。彼は 米国海軍が掘さくした2本の坑井の掘り屑を試料として 有孔虫化石を調べ 地表地質と与那原1号井(米国海軍命名)の坑井地質との関係について さらに明確な論拠のもとに MacNEIL と同様の結論に達したばかりでなく 本井と勝連1号井(同上)の坑井地質の対比についても 地質柱状図を添えて くわしく述べている(図3)。

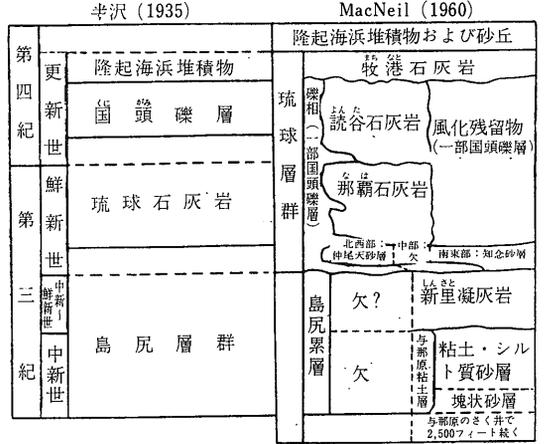


図2 半沢正一郎および MacNEIL による沖縄本島の新生界の区分 (MacNEIL, 1960)

以上に紹介したような先人の業績をふまえて 私どものこの地方の島尻層群を主対象とした地表地質調査は昭和40(1965)年度の第2次調査から開始され 同43(1968)年度の第5次調査をもって 一通りの概査を完了した。これまでに述べたことから明らかなように 地表に出ている島尻層群は その全層序を代表していないので 地表地質調査だけで島尻層群の層序を確立するこ

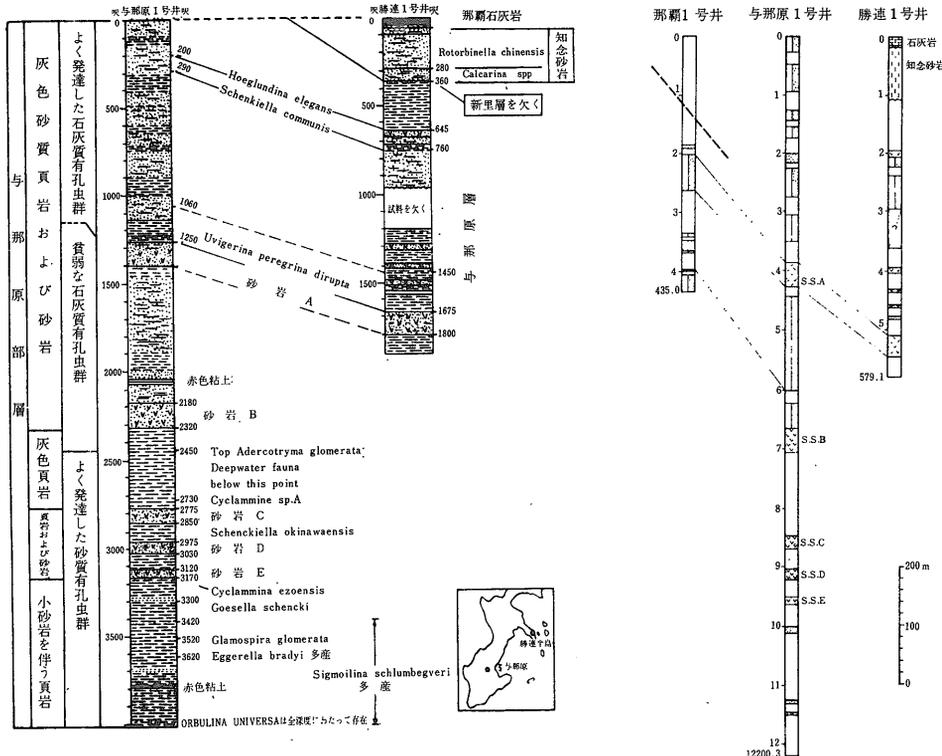


図3 与那原1号井および勝連1号井の坑井地質の対比 (LeROY, 1964)

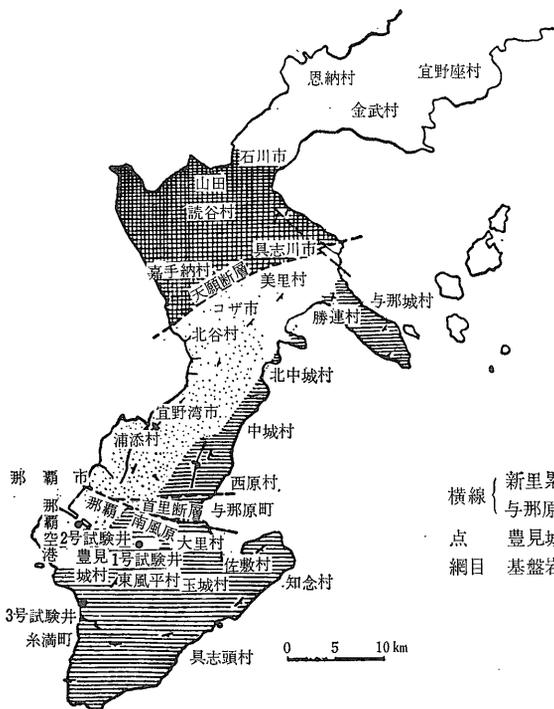


図4 沖縄本島中・南部の地質略図 (福田ほか17名 1971)

とはできないが、それが天然ガス鉱床探鉱のための基礎調査として重要なことには変わりがない。また、坑井地質との対比に必要な資料を得るため、有孔虫、重鉱物および粘土鉱物などの調査が併用された。図4はこうして得られた地質図をごく簡単に示したものである。

天願断層以南に分布する島尻層群は、上位より次のように区分される。

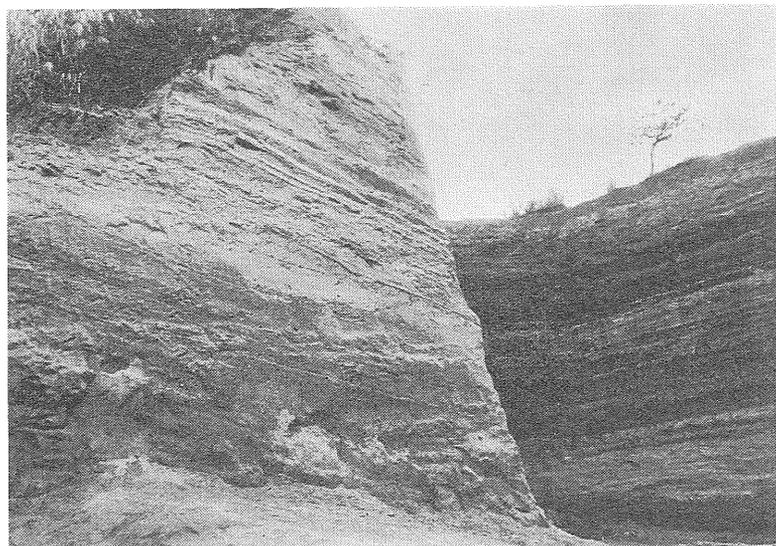


写真1. 浦添村城門のT₁部層(小礫砂層)もっとも有力なガス層“T₆部層”もこのような砂・泥互層である (影山邦夫技官撮影)

島尻層群	新里累層	上部層	およそ	250m	
		中部層	”	350m	
		下部層	”	550m	
	与那原累層	T ₁ 部層	}	およそ	900m
		T ₂ 部層			
		T ₁₃ 部層			

上記の諸層のなかで地表で見られるのは、豊見城累層の最上位のT₁部層までである。また、豊見城累層は最近まで那覇層と呼ばれていたものであるが、地名の那覇が那覇石灰岩 (MacNEIL, 1960) に先取されているので、地表にT₁部層が広く露出している豊見城村の名をとって改名されたものである(福田ほか17名 1971)。

横線 { 新里累層
与那原累層 } [新里累層]
点 { 豊見城累層 }
網目 { 基盤岩類 }

層厚およそ250mの本累層の主体をなしているのは粘土を主とし、砂を従とする互層であるが、基底より上位約20mの間は砂勝ちの砂と粘土の互層からなり、基底部には磨砂火山灰を2~3枚挟むほか、浮石の円礫を含む細~中粒砂があり、これには顕著な偽層が見られる。この砂の上に接する互層部には、貝化石および珊瑚化石を多産するほか、炭化木片が含まれている。

[与那原累層]

本累層は地表で見られる島尻層群の主体をなすもので、主としてシルト質粘土からなり、散在する浮石片に富んでいる。本累層は上・中・下の3部層に分けられる。層厚およそ350mの上部層はおもにシルト質粘土からなり、ときに砂および火山灰を挟有する。本部層の上部と下部には、それぞれ厚さ20~30cmの磨砂火山灰および安山岩質結晶火山灰があり、とくに上位のものは厚さが数mに達する場合もある。厚さおよそ500mの中部層は散在する浮石片に富むシルト質粘土からなるが、上部層に比べて一般に粘土分の占める割合が少ない。

本部層は全層にわたって火山灰の薄層を挟有し、上半部のものは安山岩質、また下半部のものは石英安山岩質である。厚さおよそ50~80mの下部層の最上部を占めるのは、厚さ約5~30mの含貝化石細粒砂で、全層の厚さの変化も大部分この砂の厚さの変化による。本部層の主体をなすものはこの砂

表1 琉球政府天然ガス1～3号試験井における豊見城累層 (T₁-13)の各部層の深度分布 (福田ほか17名 1971)

地層	坑井			備考
	1号井	2号井	3号井	
与那原層	185 m	172 m	260 m	
T ₁	263 "	104 "	383 "	砂質層
T ₂	336 "	158 "	473 "	泥質層
T ₃	369 "	174 "	521 "	砂質層
T ₄	397 "	217 "	556 "	泥質層
T ₅	435 ¹⁾ "	363 "	709 "	砂質層
T ₆		405 "	740 "	泥質層
T ₇		426 "	758 "	砂質層
T ₈		525 "	826 "	泥質層
T ₉		577 "	850 "	砂質層
T ₁₀		704 "	942 ³⁾ "	泥質層
T ₁₁		720 "	942 ³⁾ "	砂質層
T ₁₂		832 "	1010 ⁴⁾ "	泥質層
T ₁₃		943 "		砂質層
基盤				

の下にある粘土で 中部に細～中粒砂の薄層数枚と石質火山灰を挟有する。

〔豊見城累層〕

本累層の大部分は地下にだけ発達し ほとんど全層が見られる琉球政府天然ガス2号試験井(図4参照 以下琉政2号井と呼ぶ。他の試験井も同じ)によって確認された部分を含めると 層厚はおよそ900mであるが 地表では最上位の T₁ 部層(小緑砂層)しか見られない。以上に述べた地表の島尻層群を総括的に示したのが図5である。

さて 全体的に見ると 本累層は泥質層と砂質層の大きな単位の互層からなり 上位より T₁-13 の13部層に区分され 奇数番号の部層が砂質層 また偶数番号のそれが泥質層である。琉政1～3号井の各坑井における与那原累層および豊見城累層の各部層の基底の深度分布を表1に示す。また 図6は琉政1～3号井の坑井地質の相互関係を示したものである。本図に見られるように 本累層の砂質層は こまかく見ると 砂勝ちの細粒ないし微細粒砂とシルト質粘土との互層からなっている部分が多い。ただし 基底礫岩に当る T₁₃ 部層は細粒砂を主とし 石灰質粗粒砂岩および礫岩を挟有する。泥質層は一般にシルト質粘土からなるが T₁₂ 部層の中・下部は頁岩からなっている。また T₈ 部層は琉政2号井においては 全層ほとんどシルト質粘土からなっているが 同3号井においては 中部が砂・粘土の互層になっている。MacNEIL (1960) および LeROY (1965) によってすでに指摘されているように T₁ 部層は与那原1号井および勝連1号井の“砂岩A”にほかならない(図3参照)。

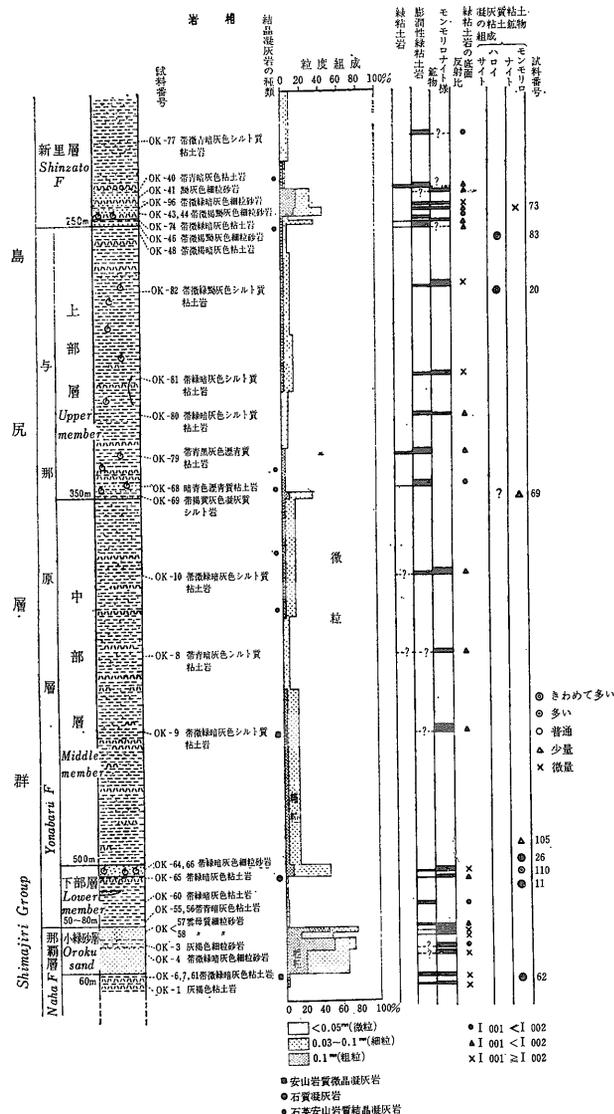


図5 地表の島尻層群の総合地質柱状図および粘土鉱物調査結果の総括図 (福田ほか24名 1970)

注: 本文中述べたように 最下部の那覇層はその後豊見城累層と改称されている

結果が先になってしまったが 掘さく予定深度の小さい琉政1号井は別として 同2, 3号井の位置選定には第4, 5次調査で行なった重力探査概査および同精査の成果が 大いに役立った(図7, 8, 9, および10)。概査の結果をまとめた図7について見ると 低重力域は勝連半島沖および本島南端付近に分かたれており 中城湾においては 等重力線が南東方向に張り出していることが注目される。精査地域については 1mgal 間隔の等重力線図(図8)の作成 3本の断面に沿った基盤深度の計算(図9はその1例) および余剰重力図(図10)

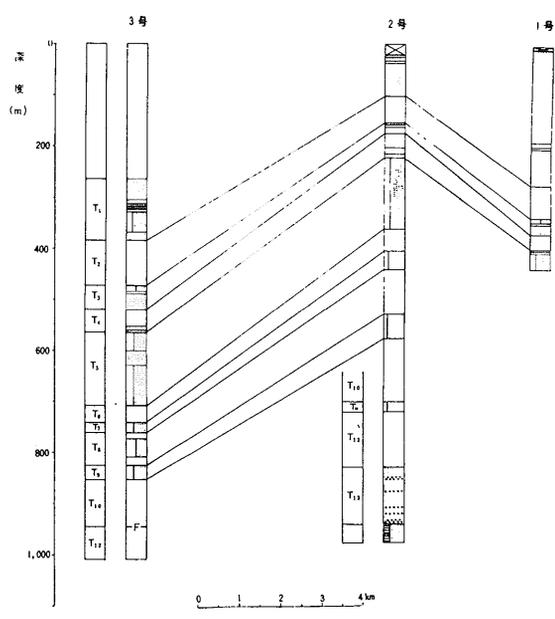


図6 琉球政府天然ガス1～3号井の坑井地質対比図 (福田ほか17名 1971)

の作成が行われた。 基盤岩と新生界との密度差(Δa)を0.5として 2次元的に計算された基盤深度は 琉政2, 3号井の実績から見ると 実際の深度にきわめて近い値を示しているようである。 また 余剰重力図(図10)について見ると 琉球弧の走向にほぼ直交する正・負の異常帯が認められ この方向に走る基盤の地質構造およびそれを反映した基盤の表面の埋没地形の存在を暗

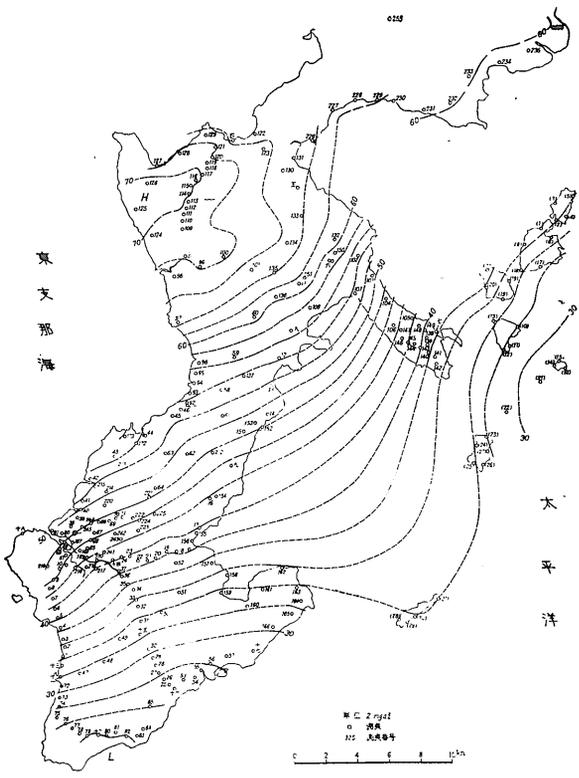


図7 沖縄本島中・南部地区等重力線図(概査) (福田ほか12名 1969)

示している。 島尻層群には暖流系の浮遊性有孔虫が豊富に含まれているので 本誌208号の22頁に示した最近の新生界の浮遊性有孔虫帯に照らして その層位をかなりくわしく知ることができる。 それによれば 沖縄本島中・南部の島尻層群はN16からN21にわたり 絶対年代でいえば およそ1,100万年～200万年前に形成された地層ということになる。 また くわしく見ると多少のずれはあるが 豊見城累層はN16～18 与那原累層の下

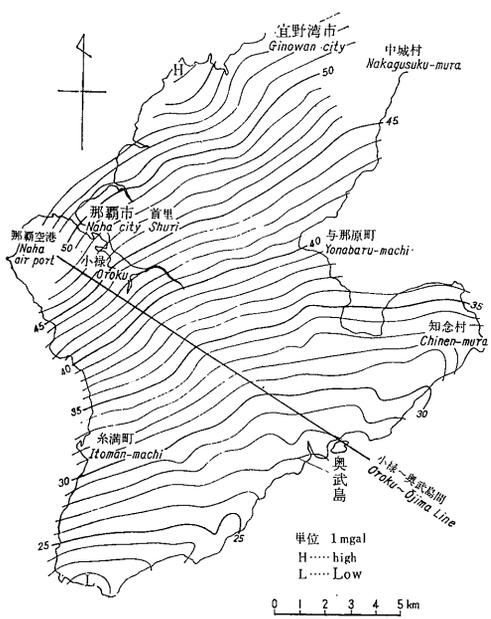


図8 沖縄本島南部地区等重力線図(精査) (福田ほか24名 1970)

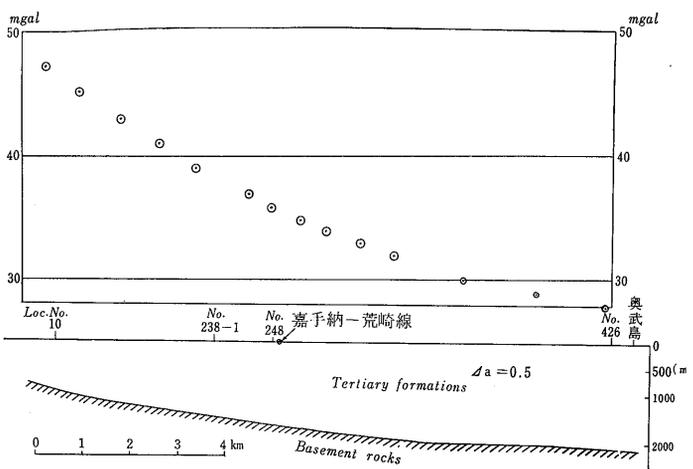


図9 小禄-奥武島間重力解析図 (福田ほか24名 1970)

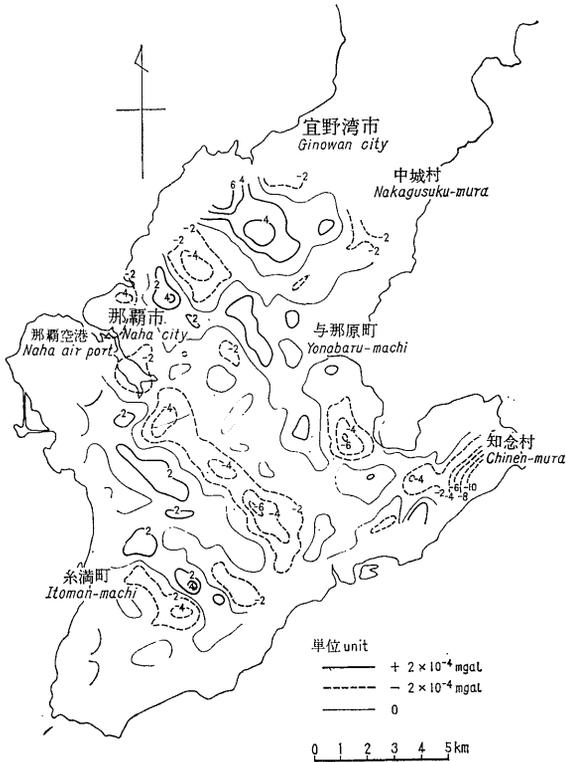


図10 沖縄本島南部地区余剰重力図 (福田ほか24名 1970)

部がN19 同累層の中部がN20 また同累層の上部および新里累層がN21に当るものとして 大きな誤りはないであろう。すなわち 大まかにいえば 豊見城累層が上部中新統 また与那原累層と新里累層とを合わせたものが鮮新統ということになる。

堆積環境をよく反映するといわれる底棲有孔虫について見ると 豊見城累層のほとんど全層をカバーしている琉政2号井において 主要な種が連続的に産出し始める下限深度は 次のとおりである。

<i>Spirobolivina</i> sp. (おそらく新種)	60m
<i>Cassidulina margareta</i>	460m
<i>Bulimina inflata</i>	540m
<i>Cibicides pseudoungerianus</i>	640m
<i>Tosaia hanzawai</i>	660m
<i>Bulimina gutta</i>	660m

以上のうち *Spirobolivina* sp., *Cassidulina margareta*, および *Cibicides pseudoungerianus* の3種は 地表の与那原累層にも引き続いて産出するもので とくに後2者の産出は普遍的である。次に 応用鉱物学的な調査結果の概要を紹介しておこう。

豊見城累層の最上位の T₁ 部層の重鉱物組成について見ると 多量の青緑色角閃石および緑簾石 10~20%の普通角閃石を含むほか 少量のザクロ石 ジルコン 電気石 十字石 および藍晶石を含んでいる。後2者は中温度の広域変成岩に特徴的なものとされており 日本本土の新第三系にはきわめて稀である。与那原累層の下部層の最上位の含貝化石砂のそれは 多量の普通角閃石 10~20%の普通輝石を含み 電気石を欠くほかは T₁部層のものと大差ない。本累層に含まれている火山灰については 上部層の上位のものがハロイサイト化しているほかは いずれもモンモリロナイト化していることが注目される。また 新里累層の重鉱物組成について見ると 50%近くの紫蘇輝石 20~30%の普通輝石 および普通角閃石のみからなっており 火成活動の影響が明らかに認められるのが著しい特徴となっている。

概査による等重力線図(図7)からも推測されるように この地域の島尻層群は 大局的に見ると 南東方向へ緩斜する単斜構造をなしている。この基本構造を修飾するもっとも重要な断層が 本層群と基盤岩類とを境する天願断層(図4参照)である。また これに次ぐ大きな断層が 那覇市泊港から与那原町与那原に至る首里断層であり これにはそのほぼ中心近くから南東~東南東へ向かう副断層が付属している。首里断層は垂直方向のずれよりも水平方向のずれが目立つ断層で これを境として北側が南側に対して大きく東へずれている。余剰重力図(図10)を見ると このような北西-南東ないし西北西-東南東方向の基盤におよぶ断層が このほかに数本あるようであるが そのすべてを地表で確認するに至っていない。この種の断層は琉球層群(少なくとも下位の那覇市灰岩)を切っている。首里断層の南側の地質構造は 単斜構造を基調とする単調なもので

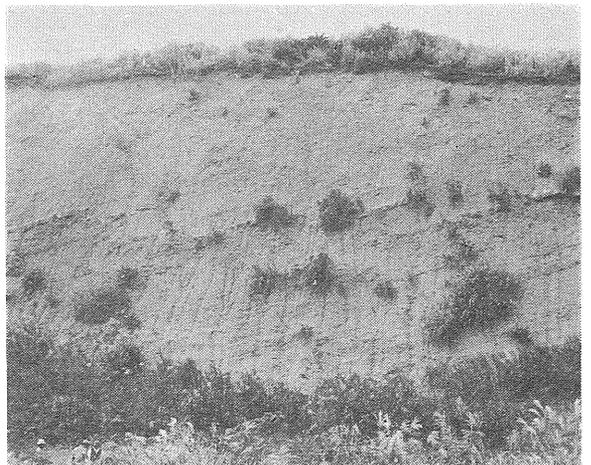


写真2. 与那原累層中の階段断層 このような断層が多いため 島尻層群の平均傾斜は露頭で測定されるものよりはるかにゆるくなっている(影山邦夫技官撮影)

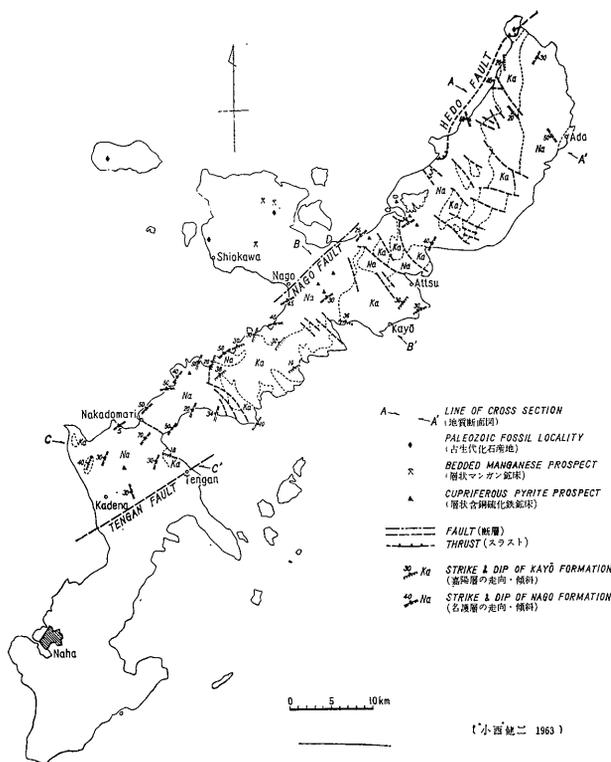


図11 沖縄本島の基盤岩類分布地域の地質略図 (小西健二 1963)

あるが 階断断層群を構成する小断層の発達が顕著なところも少ない。とくに 各都道府県の慰霊塔が密集している南東側の海岸に近い高地・丘陵地の琉球層群分布地域では そのずれから断層を把握することは比較的容易であり 米国陸軍作成の地質図にも この地域については多くの断層が記入されている。これに対して首里断層の北側の地質構造はある程度複雑で 単斜構造を基調としていることは南側の地域と同じであるが 首里ドームとして知られた半ドーム構造があるほか 中城湾では 等重力線が南東方向へ著しく張り出しておりこの方向に基盤の高まりがあることを示している。

これまで いわゆる基盤岩類は一般に天然ガス鉱床との縁が薄いとされてきたが 最近では 有機物を含む泥質堆積物の続成作用の後～末期にも CH₄ が発生するという考え方が一般化してきた(たとえば KARTSEV, A. A., et. al., 1959). この意味から 島尻層群の下にも伏在してその基盤をなしていると推定される国頭累帯(小西健二 1965; 本誌 157号に紹介されている)を構成する岩層についても 若干触れておかなければならない。

小西(1963)によれば 名護^と辺土断層(図11参照)

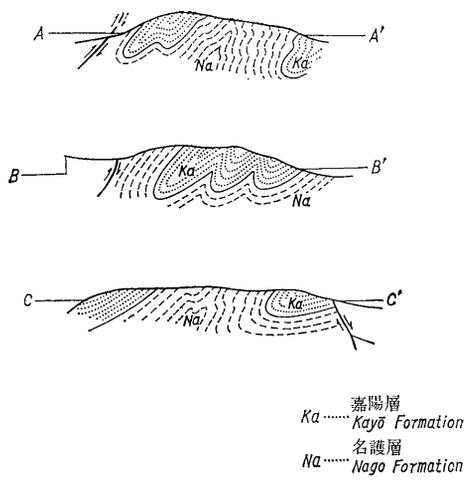


図12 国頭累帯の地質断面概念図 (福田ほか24名 1970)

の南東側の国頭累帯を構成する岩層は 名護層と嘉陽層とに分けられる。 両層は漸移関係にあるが 變成度などから考えて嘉陽層が下層とされている(図12)。

名護層は広域変成作用の結果生じた千枚岩から片岩までの各種の岩層からなっている。 それらのうち ガス母層として重要なのは 細粒の泥質岩源の變成岩である黒色の千枚岩ないし片岩 次いで泥質岩および砂岩の互層を原岩とする互層片岩である。 そのほかの片岩類には砂岩および礫岩を原岩とするものなどがある。 一方 嘉陽層は名護層にひき続いて堆積したと見なされる砂岩の優勢な地層である。 小西(1963, 1965)によれば 以上の両層によって構成される国頭累帯は 西南日本の四万十累帯北帯に当るものであるが 嘉陽層から Nummulites が発見されたという情報もある。 また 本部半島から上部三畳系が発見された(石橋 毅 1969, 1970)ことから 名護層が三畳系にまたがる可能性は ほとんどなくなった。

恩納村山田温泉付近の名護層にはガスの徴候があることから 本層が島尻層群の下にも伏在していれば 島尻層群 とくにその基底礫岩に当るものへのガスの供給層としても意味があるものと考えられる。 このことは琉政2号井によって実証された。 また この点でとくに注目されるのは 天願断層に近いところに黒色の千枚岩あるいは片岩が広く分布していることである。

3. 天然ガス鉱床とその価値

琉球列島の地質に関する純学術的な調査・研究は すでに明治20年代から行なわれており 昭和10(1935)年

には 半沢正四郎による総合的な研究報告が出版されている。しかし 沖縄の天然ガスが世に知られるに至ったのは 昭和34 (1959) 年 現地の兼島 清による第1報が「天然ガス」誌上に掲載されてからである。兼島にこの地の天然ガスおよび付随水に関する研究材料を提供したのは 昭和29 (1954) 年頃 噴出したガスに引火して大騒ぎとなった与那城村屋慶名部落の風呂屋の水井戸をはじめとする各地の水井戸であった。兼島(1960)の研究の結果の要点をまとめると 次のようになる。

- 1) 沖縄本島の島尻層群の分布地域には 飽和ないし過飽和の水溶性ガスを賦存しているところがある
- 2) ガス付随水には 海水に近い濃度の Cl^- を含むものがある
- 3) ガス付随水中の I^- と Cl^- との比は 海水に比べて非常に大きく 後者のおよそ1,800倍もある

実は 私どもの地質調査所でも 昭和30 (1955) 年すでに那覇市内に水溶性ガスが賦存していることを知っていた。すなわち 同年5月 現地から那覇市内の深井戸の天然ガスを伴って産出する水の試料が持ち込まれ本島公司・石和田靖章の両技官が分析し その結果と現地からの情報による坑井状況 坑井地質 およびガスと付随水の産出状況などから総合的に判断して このガスが水溶性ガスであり 持ち込まれた水がその付随水であるという結論を得ていたのである。

現地における兼島の研究と啓蒙活動 および地質調査所の研究と情報分析の成果が 現地および本土の先覚者の認めるところとなり 琉球政府からの要請を本土政府が受けて立ったという形で 昭和35 (1960) 年 第1次調査が実施された。第1次調査と昭和40 (1965) 年の第2次調査の間には 4年の準備期間を挟むことを余儀なくされたが 第2次調査以後は 昭和44 (1969) 年度の第6次調査まで 毎年度ひき続いて調査を実施することができた。ただし この一連の調査は決して順調に行なわれたわけではなく 第5次調査の計画に際して 米国民政府およびその意を受けたであろう当時の琉球政府の企画局を中心とする琉政上層部の猛反対が起こったが 故斎藤憲三代議員 琉球石油(株)社長 稲嶺一郎(現参議院議員) および当時の総理府特別地域連絡局援助業務課長岸良明の諸氏の献身的なご尽力によって ようやく中断の危機を免かれたのである。

この事件に先立って 昭和43年

1月20日 琉球政府はガルフ社など4社に外資導入免許を交付してしまった。その結果 わが国にとってかけがえのない金武湾の入口が ガルフ社の貯油・精油施設によって扼され その機能の大半が失なわれることになった。50万トンタンカーが入港し得るところは わが国に8カ所しかなく しかも 消費地からの距離から見て 金武湾は世界でもまれな好条件をそなえている。本土復帰以前に この金武湾をいわば国際石油資本に売り渡してしまった当時の琉球政府の意図は どこにあったのであろうか。また その背後にあったものは何か。天然ガスが出るようになれば 始末に困る精油所の副産物であるオフガスの都市ガス原料としての用途がまったくなくなってしまうことが この疑問に対する解答を考える上に 大きなヒントになるであろう。

天然ガス鉱床調査の本命ともいべき試験井による調査は 昭和41 (1966) 年度の第3次調査ではじめて実施された。この時那覇市国場の国場橋のもより地点(図4参照)で掘さくされた琉政1号井は掘止め深度 435m、73mm 仕上げという小規模なものであったが 405m 以下掘止めまで (T_6 部層の上部) を仕上げで行なった深部産出試験によって 付随水の Cl^- が 8,050mg/l と海水のそれに比べて半分以下であるにもかかわらず 産出ガス水比は計算ガス水比 (0.94) にほぼ等しいという画期的な結果が得られた。それまで 若い海成層中に胚胎する水溶性ガス鉱床においては産出ガス水比が計算ガス水比に達する すなわち地層水がガスで飽和されるに至るのは 産出した場合ガス付随水となるその Cl^- が海水並みすなわちおよそ 19,000mg/l に達する場合であると一般に考えられていたのだから これはまさに画期的な成果である。もっとも 宮崎・日南ガス田においても同様なことがあることは 昭和36年 (1961) 頃までに

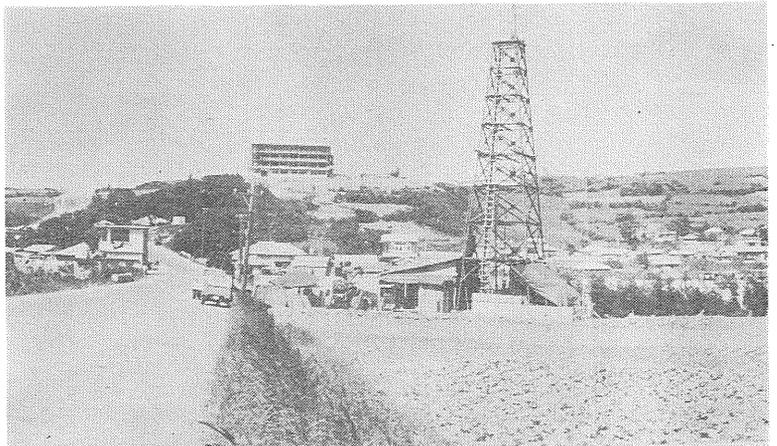


写真3. 掘さく中の琉政1号井 本井は経済的な開発に耐えるガス層 (T_6 部層) の存在を初めて確認した記念すべき試験井となった(影山邦夫技官撮影)

表2 琉球政府天然ガス2号試験井の深部産出試験時のガス付随水の水質 (福田ほか24名 1970)

試料採取 月 日	水温 (°C)	pH	アルカリ 度 (HCO_3^- として) (mg/l)	Cl^- (mg/l)	I^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	Na^+ (mg/l)	Ca^{2+} : Mg^{2+} (mg/l) (mg/l)	Total Fe (mg/l)	KMn O_4 cons. (mg/l)
5 月 10 日	41.0	7.35	132	10,910	27.9	1.7	7.39	65.5	6,800	469 55.2	11.2	30.8
5 月 11 日	42.5	7.37	113	11,530	30.2	1.0	7.52	62.0	6,950	496 58.6	8.4	36.7
5 月 14 日	43.6	7.47	111	11,950	31.0	0.9	9.19	69.0	7,160	509 61.7	6.1	32.8
5 月 20 日	44.0	7.43	107	12,090	n.d.	n.d.	n.d.	68.0	7,450	509 64.8	n.d.	40.5
5 月 26 日	44.0	7.5	117	11,920	30.2	0.3	10.4	70.0	7,200	513 63.5	n.d.	42.4

知られていたが その重要性に気づいた人はほとんどなかった。少し考えればわかることだが このような事実は 地層水中のガスが拡散によって逃げてしまった分以上の補給が行なわれていること すなわち この場合には仕上げ層の周囲に有力なガス母層があることを示すものである(福田 1965, 1966, 1967, 1972)。水中における CH_4 と NaCl の拡散係数には大きな差はない(河井興三 1963) ので 大部分 Na^+ とともに行動する Cl^- が 海水のそれより減っていれば もともとあった CH_4 も およそそれに応じて減っているはずである。

そのほかの重要な成果としては 上記のようなガスの付随水の Cl^- と I^- および Cl^- と Br^- との間には正相関係があり Br^-/Cl^- がほぼ海水並みであるのに対して I^-/Cl^- が海水に比べてきわめて大きく 後者のおよそ 1,600 倍もあったことが挙げられる。このように 第3次調査によって 先に述べた兼島の先駆的な研究の成果がすべて裏づけられたばかりでなく 琉政1号井の坑井地質と 地表地質 および米国海軍の与那原1号井と

勝連1号井の坑井地質の相互関係をからみ合わせて見た結果 島尻層群中に経済的開発に耐える規模のガス・ヨウ素鉱床が賦存することは ほとんど確定的になった。しかし 琉球政府の関係者に対する説明が理解されるに至らず かつ 本土の一部の専門家が米国陸軍並みの地質学的認識の上に立って 非観的な情報を流したことなどがあって 第4次調査では 試験井による調査を断念せざるを得ないことになったので 基盤深度の推定に役立つ重力探査などを実施して 来るべき大深度の試験井による調査にそなえた。その結果 やりさえすれば大きな成果が得られるという見通しは いよいよ確固たるものとなったところに起こったのが 先に述べた現地における反対運動であった。その上 それまでの私どもの成果が 当時の一般水準を超えていたためか 後援者も少なく 局面の打開のための工作までが すべて私どもの上に重くのしかかってきた。

このような苦難の末 那覇市奥武山の明治橋のたもと(図4参照)をトして掘さくできた掘止め深度 978m, 4インチ仕上げの琉政2号井による調査の成果は 天祐神助もあってか まことに目ざましいものであった。すなわち 深度 314~364mの間 (T_3 部層の下部)を仕上げて実施した浅部産出試験で 琉政1号井の場合とほぼ同様の結果が得られたばかりでなく 結果的に深度 832~943mの間の T_{18} 部層に対する試験となった深部産出試験では ガスと付随水とが勢よく自噴するという付録まで得られた。自噴によるガス量および水量は それぞれおよそ $900\text{m}^3/\text{日}$ および $600\text{kl}/\text{日}$ であって これまた計算値にほぼ等しいガス水比を示した。ところで Cl^- が約 $12,000\text{mg/l}$ の付随水の水質(表2)は 上部中新統の海成層のガス付随水としてはかなり特異な点があり 重量比による $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ はほぼ8で 北海道の石狩炭田の白亜系の水の値に近い。また ガス質(表3)にも特徴があり 中でも He は0.028%もあって 基盤からのガスの混入を示している。このように ガスにも付随水にも基盤の影響が認められることは およそ

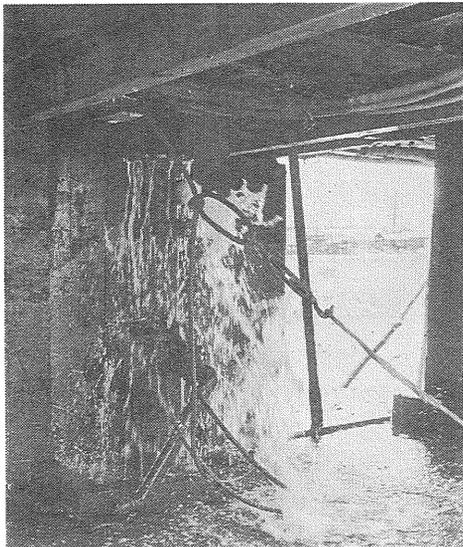


写真4. 自噴を開始した琉政2号井 (沖縄タイムス社提供)

表3 琉球政府天然ガス2号試験井の深部産出試験時の天然ガスの化学組成 (福田ほか24名 1970)

	試料 A Sample A	試料 B Sample B
CH ₄ (vol. %)	89.52	87.13
CO ₂ (")	0.24	0.23
He (")	大略 0.028	大略 0.026
H ₂ (")	大略 0.019	大略 0.018
N ₂ (")	9.72	11.73
O ₂ (")	0.48	0.87
He/N ₂ 比	大略 2.9×10 ⁻³	大略 2.2×10 ⁻³
試料A……1969. 5.10	10時採取 (自噴)	
試料B……1969. 5.11	10時採取 (自噴)	

同じ層位の宮崎県下の宮崎層群の基底砂・礫岩のものに似ている。付随水の水温は 44°C もあって 温泉の分類(厚生省：衛生検査指針 VI, 共同医書出版社 1957)でいえば高温含土類強食塩泉で 医療効果はきわめて高い。たとえば 水虫は1週間程度で直ってしまい 水虫を職業病とするさく井関係者に大いに喜ばれた。

このように 琉政2号井では 経済的にも重要な大きな成果が得られたが 残念なことに もっとも有力なガス層と考えられるT₃部層の深度が浅く 地層水のCl⁻が海水のそれに近いところでの具体的な各種の数値を得ることができなかった。掘さく深度1,000m以内で島尻層群の基底をキャッチするという 予算内で動員できそうな機材からの制約があったので これは琉政2号井でははじめからできない相談であったのである。そこで昭和44(1969)年度の第6次調査の中核をなす琉政3号井では T₃部層の頭が深度500m前後になるように(予定深度1,000m(掘止め深度1,010m)で T₃部層を中心に各種の試験を実施することにした。そのため掘さく地点は糸満町北部の潮平の海岸よりの地点(図4参照)に選定されたが 深度473mでT₃部層の頭に着いたのだから 琉政2号井における基盤の深度が943mであったことと相まって 私どもの予想地質の適格さを再び証明できたといえよう。琉政3号井について実施した産出試験の生の結果は 次のとおりである。

試験年月日	昭和45年4月29日～6月13日
ケーシング	4½"CP
ストレーナー	470.00～851.29m
有効層厚	198.6m
ガス量	およそ 700m ³ /日
水量	" 500kl/日
ガス水比	約 1.40

産出指数	119kl/日/kg/cm ²	
浸透率	ビルドアップによる	39md
	水位回復による	36md
ガス質	CH ₄	96.35 vol. %
	C ₂ H ₆	0.085 "
	C ₃ H ₈	0.004 "
	C ₄ H ₁₀	0.000 "
	O ₂	0.37 "
	N ₂	2.95 "
	CO ₂	0.22 "
	H ₂	0.031 "
	He	0.00 "
水温		37.1°C
水質	pH	7.02
	HCO ₃ ⁺	146 mg/l
	Cl ⁻	15,800 "
	Br ⁻	83 "
	I ⁻	72 "
	NH ₄ ⁺	42.8 "
	K ⁺	29 "
	Na ⁺	10,250 "
	Ca ²⁺	497 "
	Mg ²⁺	206 "

琉政3号井のストレーナ深度区間に含まれる主要なガス層は 上位より T₃, T₅, T₇, T₉, およびT₁₁の5部層であるが 各種の試験結果から 上記の産出試験の結果を与えたガスおよび付随水は T₃およびT₅の両部層だけと判断されるので 両部層の有効層厚149.7mを採用すると 上記のビルドアップによる浸透率は52mdとなる。また この産出試験に際して 坑底試料採取器により 運転時および静止時における深度別のガスおよび付随水の採取も行なわれた。そのうち 静止時に採取された試料は ストレーナーが埋設されている部分については その深度のガス層中の流体をほぼ地下にある

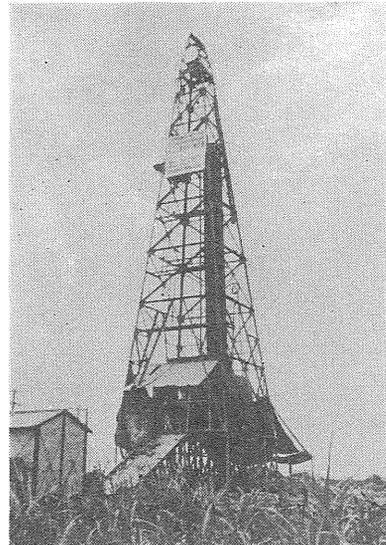


写真5.
琉政3号井の掘さく機

がままの状態で採取したものと見てよい。こうして得られた付随水のうちCl⁻がもっとも多かった深度770mの試料の水質は 次のとおりである。

pH	7.02
HCO ₃ ⁻	144 mg/l
Cl ⁻	19,500 "
Br ⁻	94 "
I ⁻	91 "
NH ₄ ⁺	58.0 "
K ⁺	48.0 "
Na ⁺	12,250 "
Ca ²⁺	693 "
Mg ²⁺	235 "

この試料採取深度は T₈ 部層（泥質層）に当たっておりストレーナーは埋設されていないので 上記の水質は下位の T₉ 部層の地層水のそれをほぼ示しているとしてよからう。この水は先に述べた産出試験によって産出したガス付随水にはほとんど含まれていない。また 琉政3号井において T₉ 部層だけを対象にしてストレーナーを埋設したとすれば ガス付随水のCl⁻およびI⁻はそれぞれ18,300mg/l および 85mg/l でなったであろうと計算される。天然ガスに重点をおいて見ると 産出試験および坑底試料採取器によって測定されたガス水比はいずれも対応する計算ガス水比を若干上まわるというよい結果が得られた。これは ガス層の大部分が砂・泥のこまかい互層からなっていることとあいまって 開発の仕方によっては 茂原ガス田の浅層のように ガス水比上昇型の ガス本位に見た場合 きわめて有利な開発が可能なことを示すものである。

さらに 第6次調査では 1カ年以上静止の状態で放

置した琉政2号井について 坑井内の温度分布の測定が細部にわたって行なわれ この地方の地下の温度の推定に必要な基礎資料が得られた。すなわち 深度385mにおける温度は32.3°Cで 以下温度の上昇が直線的な深度805mまでの温度勾配は3.09°C/100mである。これから推定される地殻熱流量は0.93~1.24HUF（熱流量単位：10⁻⁶cal/cm²・sec）で 琉球列島を島弧として見た場合に期待される値を示している。地下の温度は深度に次いで計算ガス水比を大きく左右するものであるがその分布がこのようにくわしく知られた例はほとんどない。図13はそれに基づく計算例である。

以上に述べたことを総合すると 次のような結論が得られる。

- (1) 沖縄本島南部の島尻層群には 性格を異にする2種の水溶型ガス鉱床がある。
- (2) そのうち 下層（T₁₃部層）に胚胎するものは 医療効果の大きい高温含土類強食塩泉として使える付随水を伴い 塩素度が海水に比べてかなり低いにも拘わらず計算値にほぼ等しいガス水比を示し かつガス質および水質のこまかい点を除けば 海成層中の普通の水溶型ガス鉱床である。
- (3) また上層群（T₁ T₃ T₅ T₇ T₈ および T₁₁の各部層）に胚胎するものは 多量のヨウ素を含む付随水を伴い かつ T₁部層については確認されていないが ある程度過飽和気味で 急速に水位を低下させれば ガス水比の上昇が期待される。
- (4) 地層水中のガスが飽和に達する深度は ガス層によっても異なるが およそ500mである。

以上は 島尻層群分布地域のほぼ中央部を 一般走向にほぼ直交して横断し かつ基盤にも及んでいると思われる首里断層（図4参照）以南の地域についてのまとめであるが 地表地質 勝連1号井の坑井地質 および重力分布などから T₁部層以下の砂質層の発達状況は首里断層以北の地域においても大差なさそうである。とくに 天然ガスのあり方については 首里断層を挟んだ両地域間で大きな差はないであろう。最下位のT₁₈部層の地層水の水質についても 同じようなことがいえるのである。しかし 上層群の水質については 等重力線（図7参照）の南東方向への張り出しから基盤の高まりが推定される地域では その両側の地域とはかなり異質なものを予測させる資料もある（本島公司 1971, 1972）。そこで 天然ガスについては 首里断層以南の全域を またヨウ素については 首里断層以南の地域だけを対象として計算すると 天然ガスおよびヨウ素の原初埋蔵量は少な目な見積りでそれぞれ400億m³ およびおよそ50万トンとなる。昭和46年におけるわが国の天然ガスの総生産量がおよそ20億 m³ また世界の輸出ヨウ素の6割に

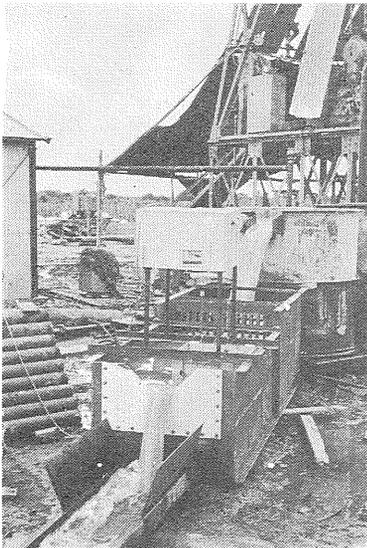


写真6.
琉政3号井の水量測定装置 水量およそ500kl/dayのこの付随水には 72mg/lのヨウ素が含まれている

上を占めるヨウ素の輸出量がおよそ5,000トンであることとの比較において 上記の資源量がいかに大きいものかわかるであろう。 沖縄の全面積が238,822ヘクタール また1970年次における人口が945,000人であるすなわち面積・人口ともおよそ佐賀県並みであるということ考えると これだけでも沖縄がいかに天然資源に恵まれているかがわかるというものである。 その上下層には開発の場所を選ぶことによって水温を自由に選択できる温泉資源が 実際問題として無尽蔵に含まれているのだから また何をかいわんやである。

しかし 水溶型ガス鉱床の天然ガスの埋蔵量が大きいのは 1本の坑井からのガス量には制約があるが 長期間にわたるコンスタントな生産が可能であることとともに この種の鉱床のもっとも大きな特徴の1つであって上に述べた原初埋蔵量の数字そのものは 驚くべきものでも また手放して喜べるものでもない。 要は 公害を起こすことなくどれだけ採取できるかにある。 この採取できそうな量 すなわち可採埋蔵量は 水溶型ガス鉱床の場合 原初埋蔵量の50%まで考えてよいことになっているが 地表の開発が進めば それだけ開発できる範囲が縮小されてしまうことは 自明の理である。 都市ガス原料としての天然ガスは1m³当りおよそ10円 ヨウ素は1トン当りおよそ3,600ドル また温泉は1kl当りおよそ30円近くもしているが この富を沖縄県民のものとし かつ天然ガスおよび温泉の利用による直接的な福祉を受けるも受けないも 最終的には沖縄県民の判断にかかっているのである。 量の下に敷いたお札がどれほどあっても 暮し向きは決して豊かにならないことをこの際沖縄県民は真剣に考えて欲しい。

本稿の表題に “世界の宝” という語を冠し得たのは 上層群の地層水に I⁻/Cl⁻ の比で 海水の1,600~1,800倍ものヨウ素が含まれているからである。 本誌199号にくわしく述べておいた(福田 1971)ように 海国日本においては ヨウ素はそれほど重要な元素ではないが ヨウ素を適量摂取しているのは 世界人口の半分にも満たない現状であり その不足からくる病気に苦しんでいる人は 驚くべき数に上っている。 その上 現在までに確認されたヨウ素資源の偏在も驚異的で 輸出能力をもっているのは 日本とチリだけという現状である。 不幸にして 世界的に有名な千葉県の九十九里ガス田地域における天然ガス・ヨウ素産業は 需要に追いつくことに重点がおかれ 全体としては無計画に拡大されたため 僅かながら地盤沈下などの公害を起こしてしまった。 幸い 沖縄本島南部ガス田は大きな先行荷重に恵まれ 地質・鉱床条件に則して合理的に開発すれば 地盤沈下

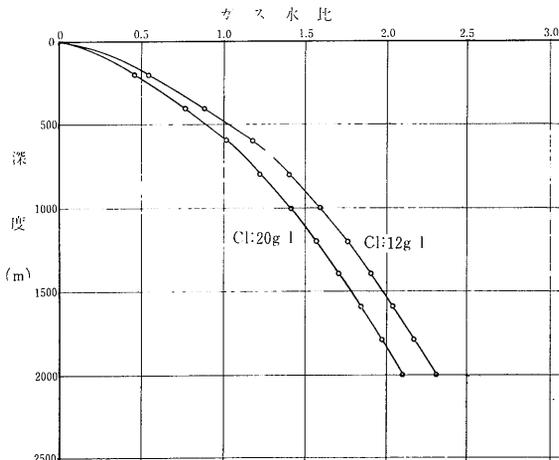


図13 沖縄本島南部ガス田における深度対応の計算ガス水比
注：DODSON & STANDING (1944) のメタンの純水に対する実測による溶解度の図に基づいて計算した。 この計算は一般に HENRY の法則と BUNSEN の吸収係数に基づいて行なわれているが それでは 500m 以深では使用に耐えない。

を未然に防止できる条件を備えている。 あえて “世界の宝” という語を冠したゆえんである。

4. 試掘・開発への指針

本項については すでに石油技術協会誌(36巻 3号)に寄稿した記事(福田ほか44名 1971)の中で述べておいたが 学会誌ということもあって 読者が制約されているので ここにその要点を再録しておく。

- (1) 下層と上層群の開発は 技術的にも また付随水の利用面からも 別個に考えるべきである。
- (2) 下層はガスおよび付随水の温泉としての利用を また上層群はガスおよび付随水のヨウ素原料としての利用を考えて開発すべきである。 法定鉱物である天然ガスは都市ガス原料として沖縄県民の福祉向上に役立つ貴重な資源ではあるが 経済価値はヨウ素原料および温泉としての付随水よりかなり低く その採取だけで企業を成立させようとするれば いきおい九十九里ガス田地域の一部で見られるような無理な開発となり 地盤沈下などの公害を招きかねない。
- (3) 下層については 首里断層以南の国場川沿いの地域においては 試掘段階を一応終わったものとして 直ちに開発を考えてよい。
- (4) 上記の地域以外では 下層の開発には試掘を先行させなければならぬが 経済的に開発が可能と考えられるのは 基盤深度が800~1,300mと推定される範囲である。
- (5) 上層群の開発については 琉政3号井の周辺では直ちに試開発から開発に移行してよいが その他においては 首里断層以南においても 開発に先立って 試掘・試開発が必要である。
- (6) 上層群の開発は 当面 T₃および T₆の両部層 とくに後者に重点をおいて考えるべきである。
- (7) T₃および T₆の両部層を対象とする試掘・試開発は できるだけ浅い深度区間で 両部層の地層水の塩素度が海水並

みとなる場所を選んで 計画・実施されるべきである。

- (8) 上り傾斜側で地表に一部露出している T₁ 部層の地層水の塩素度が海水並みとなる深度を 試掘によって早急に把握すべきである。T₁ 部層の地層水の塩素度が海水並みのところで T₂ 部層までの開発を行えば 有効層厚が飛躍的に増大し 長期間にわたって 大量のガスおよび付随水をコンスタントに採取できることになる。したがって これこそ第 1 に実施すべき試掘であろう
- (9) 断層の確認・追跡に重点をおいた地表地質準精査を早急に実施すべきである。その意義については 地質構造の説明に際して述べたとおりである。

5. む す び

前節までを読まれた読者は これほどの資源がなぜいまだに開発の計画さえ立てられないで放置されているのか という疑問を持たれたことと思う。そのもっとも大きな理由は 昭和46年3月 那覇市で開かれた第6回 沖縄経済振興懇談会における株式会社守谷商会社長守谷一郎氏の言葉を借りれば 「沖縄における天然ガスおよび付随資源の開発は 天然ガスによる良質・低廉な都市ガスの普及を通じて 開発途上国並みの家庭燃料事情の改善を可能にする福祉政策の1つである」という開発理念が 当事者の間に定着するに至らず かつ一般県民の天然ガスおよびそれによる都市ガスに対する理解がほとんどないことにあるといつてよからう。このような蒙を啓くべき立場にある報道機関 とくに新聞の問題に関する後進性は驚くべきもので 私どもの現地滞在中に見た新聞に LP ガス事故と都市ガス事故の別を明記した記事は皆無であった。それ故 薪炭・ケロシン(灯油)の生活から LP ガスに切替えた大部分の県民が「LPガスこそもっとも便利な家庭燃料である」といまだに思いこんでいることも あながち責められない。

沖縄の家庭燃料事情については かつて3回にわたって本誌(164, 176 および185号)上に紹介したことがあるが 現在でもその事情はほとんど変わっていない。すなわち 琉球政府発行の「1970年度 沖縄経済の現状」によれば 1970年3月末における都市ガスの普及率が3.8%(8,636戸)であるのに対して LPガスのそれは82.7%(185,000戸)である。このうち ナフサを原料とする都市ガスがあるのは那覇市だけで 那覇市内のみの普及率をとっても 13.7%に過ぎない。この都市ガスも本土の製造ガスによるものに比べて CO がおよそ2~3倍もあるという厄介なものである。それでも 家庭燃料としては LP ガスよりはるかにましである。都市ガスのないところは仕方がないとして 那覇市内の不特定多数の人が出入りするホテル 旅館 飲食店 浴場 劇場 遊戯場 および各種の風俗営業施設でも LP ガス

を使っているものが多いのだから このまま多くの外国人観光客および VIP の来沖が予想される海洋博を迎えたなら 果たしてどういうことになるだろうか。都市域における天然ガスによる都市ガスの使用が常識となっている先進国の人々は この沖縄の実情を知っただけで来沖をためらうであろうし さらに 来沖して天然ガス資源をもちながら使おうとしない沖縄の現実に接したなら 帰国後どんな見聞談を流すであろうか。

琉球政府の当事者および鉱業権者はあるいはいかにも知れない。企業として成立たないような開発方針を示唆した本土政府の鉱山石炭局が悪いのであると。良質・低廉な都市ガス原料としての天然ガスを供給し かつ公害を起こさないという基本姿勢に立つ限り 企業としての沖縄の天然ガス鉱床の開発は 付随水をヨウ素原料あるいは温泉として利用するというを考えなければ 成立しないという試算になるのだから 鉱山石炭局は責められても仕方がない。しかし 現行の官僚体制下にあつては 鉱山石炭局が扱えるのは法定鉱物である天然ガスだけであり 左遷を覚悟で正論を吐けということは 直接の担当者に対して無理な注文かも知れない。そこで 使用量に限りのある温泉は別として 多量のヨウ素を含むガス付随水を石油および可燃性天然ガスの同種鉱物とするという鉱業法の改正が考えられるが それは5月15日に迫った本土復帰までにはとても無理である。幸い それまでは本土政府の琉球政府に対する強制力はない。この際よい意味での奮勇を奮って 沖縄県民の福祉の向上と経済の発展を指向する開発体制を確立した上で 本土復帰の日を迎えられることを 琉球政府の当事者および鉱業権者各位に期待して結びの言葉とする次第である。

(文責 福田理^{***})

「付 記」

日本商工会議所・琉球商工会議所の共催による第7回沖縄経済振興懇談会が 昭和47年3月23・24の両日 東京商工会議所において開催された。円切上げのショックのせいから 沖縄側の代表団から 本稿で述べた貴重な資源の沖縄県民の福祉向上と経済発展のための開発・利用に関する提案がなされなかったことは 淋しいことであるが 本土側の代表団から 詳細な資料を添えて この問題に関する提案がなされ 沖縄側の代表団の賛同を得て共同声明(3月25日付日刊工業新聞参照)の中に 「天然ガスおよび付随資源の開発・利用のための税制・金融上の特別措置をはかること」と明記されたことは喜ばしい。多年この問題にとり組んでこられた本土側委員守谷一郎氏に心から感謝の意を表するとともに 私どもの現地における調査の道を開いて下さったばかりでなく 終始あたたかいご援援を頂いた故齋藤憲三氏(昭和45年11月逝去)に深く哀悼の意を表したい。

地学と切手



アイスランド「ラキの溶岩」
——ヨーロッパ自然保護
切手——

P. Q.

自然保護の概念はわが国においてここ数年のうちに急激に起こったものである。それは数100年にわたって自然に親しみ、自然と調和して発展して来た日本が、ここ20年の無計画な開発ブームの結果として、公害に対置するため叫ばれはじめたものである。それに反してヨーロッパとくにドイツでは19世紀の末頃から郷土愛護・自然保護が識者によって指摘されて来た。初期の単に失なわれて行く自然や景観、植物や鳥獣を愛して保護しようとする心情一わが国での天然記念物や国立公園一から最近の機械による自然の大規模な変革、殺虫剤・化学肥料・化学製品などによる自然の汚染など、自然の保護は人類の生存のためという認識に達して来た。

このような背景の下に1970年をヨーロッパ自然保護年として1年間を通じて人間の生活環境の確保と公害問題も含めた総合的自然保護運動が各国同時に展開されることになり、24カ国が2月にストラスブールに集まって開会式が行なわれた。これにちなんでヨーロッパ各国から各種の記念切手が発行された。たいていが動物・植物・景観であるが、地学に関係するものとしてはアイスランドから8月25日発行された2種のひとつとして「ラキの溶岩」がある。

ラキの溶岩が噴出したのは1783年、わが国の天明3年で、浅間山大噴火とちょうど同じ年である。この噴火の様式は広域割れ目噴火といわれ、時には35kmにも達する長い割れ目から多量の流動性に富んだ玄武岩の溶岩が流れ出る噴火であり、噴火のもっとも基本的なもので、この島の名をとってアイスランド式噴火とも呼ばれる。インドや北アメリカで広大な溶岩台地を作

った活動もこのようなものと推定されている。この型の噴火が現世にアイスランドに多くみられるのは、アイスランドが地球をとりまく地殻の割れ目の一部である、大西洋中央海嶺が海面上に姿をみせた部分であろうとされる。

ラキの噴火はヘクラから約150km東で3日間にわたる激しい地震の後に6月8日に起こった。この噴火は長さ約25kmの割れ目の上の約100の火口から8カ月にわたり12.3km³の溶岩が流れ出し、565km²の地域をおおった。実際にラキ(Laki)というのは25kmの割れ目のちょうど真中にあるパラゴナイト凝灰岩と角礫岩からなる比高約200mの山の名前であり、割れ目の名前はラカジガール(Lakagigar)と呼ばれる。それで1783年の噴火をラキの噴火と一般に呼んでいるが、それは誤解を招くいい方であり、ラカジガールの噴火と呼ぶのがむしろ適当である。溶岩はSiO₂約50%のソレイアイト質であり、それから5kmしか離れていない平行なEldgja-Katla-Surtseyの線がアルカリ橄欖石玄武岩を噴出しているのは対照的である。溶岩はSkafta川の深さ100~200mの谷を埋めて約100km流れ下り、海岸低地に達した。海岸低地に達してデルタ状に広がった溶岩原は、現在では厚くコケによっておおわれている。

この噴火による火山灰はスコットランドやノルウェーにまで達して牧場に被害を与えたが、アイスランドではとくに著しく、溶岩は2つの教会、14の農場、30の農家を破壊したが、直接の人命被害はなかった。しかしより恐ろしかったのはblue hazeと呼ばれる微細な火山灰がモヤ状になって島中をおおい、牧草の成長不足、飢餓と病気のために牛の50%、羊の79%、馬の76%が失われ、人口も1783年の48,884人から1786年には38,363人となった。中央大西洋海嶺の発見により、このような噴火が再びアイスランドやそれにつづく海底に起こる可能性が強いといえる。

④

おもに S. THORARINSSON; 1970. The Lakagigar Eruption of 1783. Bull. Volc. tome 33-3. p.910-929. による。