

# 宮崎県南那珂郡北郷町 R 1 号井自噴す よみがえった日南ガス田

福田 <sup>おさむ</sup> 理 (燃料部)・永田 松三 (技術部)

## 1. ま え が き

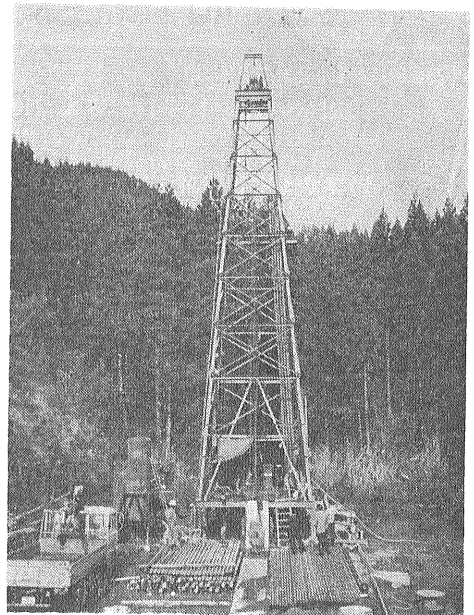
宮崎県日南ガス田における最初の本格的な天然ガス試験井“北郷町R1号井”は、昭和53年4月21日18時50分自噴を開始した。産出量は1日当り標準状態(0°C 1気圧)換算でガスが約2,400m<sup>3</sup>、付随水(約49°Cの温泉)が約1,100klであった。分析したところ、ガスのうち約63容量%がメタンであるから、メタンだけについてみると、1日当りの産出量は標準状態換算でおよそ1,500m<sup>3</sup>となる。以上のような自噴量は、試験前から予測されていたものに近いが、難掘して掘進が思うに任せなかった後の自噴だけに、ガスの白い泡を伴って勢よく噴出するガス付随水(温泉)を目のあたりにし、排水溝でその温度と肌ざわりのよさを確認された高橋良則北郷町長はじめ地元の方々、ならびに工事関係者の喜びはまた格別であろう。

貝島炭硯(株)が日南ガス田において試験掘を開始したのは、昭和30年12月であるから、今回の成功までに、実に22年以上の年月が経過したことになる。この間、貝島炭硯(株)は昭和36年までに9本の試験掘を行い、うち7本でガスおよび付随水(温泉)の産出をみたが、時期尚早だったためか、企業化にはいたらず、またこれらの試験掘が石炭1本でやってきた会社にとって不慣れな仕事であったためか、坑井仕上げおよび資・試料の取得という点で不十分な点があったことは否定できない。これらの試験掘に平行して、昭和33年、宮崎県は九州大学の首藤次男助教授(現同大学教授)に依頼して、宮崎県南東部のガス田調査の一環として本ガス田の調査を行い、さらに昭和35年には、経済企画庁が天然ガス鉱業会に委託して九州地方の天然ガス開発利用調査を実施した。とくに、昭和36(1961)年に出版された上記調査の報告書において、日南ガス田について、当時地質調査所に在籍していた石和田靖章(現石油開発公団)・牧野登喜男(現三井物産株式会社)の両氏が、本ガス田の宮崎層群の最下位層である双石砂岩礫岩部層中の地層水に溶存しているガスは、下位の日南層群で生成されたものが上方に移動してきて、双石部層中の地層水に溶けこんだものである、と述べていることは、卓見として注目される。この考え方は、今回の北郷町R1号井の結果に照らしてみ

ても、基本的には変わらない。

その後、昭和43・44両年度には、著者の1人福田が、昭和38年度から地質調査所の経常研究として行っている宮崎層群中の天然ガス鉱床の見直しの一環として、日南ガス田をとり上げ、石和田・牧野(1961)とほぼ同じ結論に到達したが、副成分のCO<sub>2</sub>の起原については、火山性ではないかという疑いをもった。一方、宮崎県は地質調査所の受託調査として、昭和49年度から4カ年計画で同県下の天然ガス資源の見直しを実施してきたが、昭和51年度には日南ガス田がとり上げられた。これを受けて、昭和52年度には北郷町が同町内の天然ガス資源調査を、地質調査所の受託調査としてとり上げ、かつ(株)富士ボーリングに依頼して試験掘を実施した。それが北郷町R1号井にほかならない。本坑井に関する調査の一部も上記受託調査(昭和53年2月28日～同3月8日)のなかで行った。

北郷町R1号井の坑井地質および産出試験の結果は、日南ガス田において今後天然ガスおよび付随水資源の開発を計画される場合の参考になるところが多いので、受託



① 北郷町R1号井の構

調査を申請された北郷町のお許しを得て ここにその概要を紹介する次第である。

## 2. 地表地質のあらまし

日南市 南那珂郡下の北郷・南郷の両町 および串木市を含む宮崎県日南地方の地質一般については 九州大学の首藤次男(1952 1958 1963など)および地質調査所の木野義人(1958 1959a 1959bなど)の多年にわたる研究によって かなりよく知られている。それらにみられるように この地方の第三系は高千穂変動(首藤 1963)を代表する顕著な傾斜不整合をもって 上位の宮崎層群と下位の日南層群とに大別される。

この地方の宮崎層群はその全分布の南部を代表するものであり 首藤(1952 1958)はこれを次のように区分している。

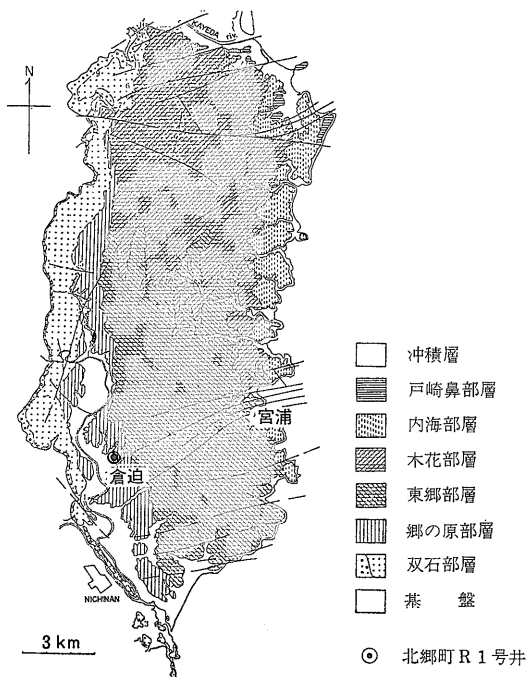
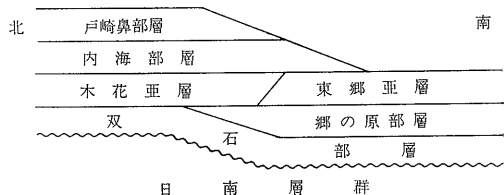


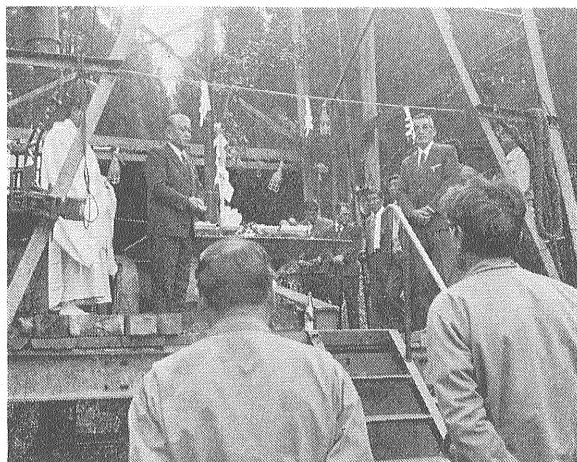
図1 宮崎県日南地方の地質図(首藤次男 1952)

大塚弥之助(1930)以来 宮崎層群の大半は一般に上部中新統と考えられており 村田茂雄(1951) 首藤(前出のほか論文多数) 木野(前出)なども 大綱において大塚(1930)の考え方を踏襲していた。浮遊性有孔虫の研究によるところが大きい最近の層位学の進歩に照らしてみると 宮崎層群は上部中新統から下部更新統にまたがるおよそ1,000万年間を代表する一連の堆積物である(福田 1976; 名取 1976)が 日南地区ではその最上部(下部更新統)が欠けている と考えられる。

次に 首藤(前出)や木野(前出)の論文(5万分の1地質図幅および説明書を含む)を参照しつつ 日南地方の宮崎層群を構成する地層の概要を紹介しておこう(図1)。

〔双石部層〕 基盤の日南層群に著しい傾斜不整合をもって重なる基底粗粒層で 模式地の双石山周辺では円礫礫岩がよく発達し 基底礫岩 礫岩・砂岩互層 および含礫塊状砂岩からなる下部と 互層部をはさむ厚い塊状砂岩からなる上部とに分れ 厚さは550m内外で 局部的に石炭の薄層を挾有する。下部からは *Operculina* などの有孔虫類 そして上部からは *Paphia* などの貝類の化石を多産する。北郷町から日南市にかけては 礫岩の発達がわるくなり 礫岩・砂岩互層部は上方へ向って細粒微層理の砂岩に移化し 厚さは300m以下である。

〔郷の原部層〕 双石部層の中・南部の上方に続く淡灰色の泥岩で 固結が進んでおり 北郷町郷の原付近でもっとも厚く 600~700mの値を示すが 北と南に次第に薄くなる。



② 開坑式で挨拶する高橋北郷町長

〔木花互層と東郷互層〕 両者とも砂岩と泥岩の互層であるが 本地区の北部のすこぶる砂岩がちの部分か木花互層 また南部のやや泥岩がちの部分か東郷互層である。 両互層は本地区の中央部でたがいに移化するわけであるが そこでは 南からのびてきた比較的泥岩がちの互層部が 北よりのびたより砂岩がちの互層部と大きく掌状交差している。 このように 両互層の境界はまったく人為的である。 そして 両互層を一括して首藤 (1958) は東郷互層と呼び 木野 (1958) はこれを鶴土互層と呼んでいる。 一方 首藤 (1952) は双石部層・郷の原部層・東郷互層を一括して鶴土層と呼んでいるので 混乱がおき易い。 東郷互層 (首藤 1958) すなわち木野 (1958) の鶴土互層の厚さは 著者らの推定によれば 最大およそ 3,000m である。

〔内海部層と戸崎鼻部層〕 内海部層は木花・東郷両互層の上に連続的に重なり おもに層理に富む泥岩からなり 砂岩の薄層を挟んで 細かく互層している。 本部層の上部は次第に砂岩の挟みを増し 戸崎鼻部層に移化する。 すなわち 本部層の下部は砂岩と泥岩の等量互層であるが 中部は砂岩がちの互層で また上部は泥岩がちの互層になっている。 この戸崎鼻互層に相当するものを 木野 (1958) が青島互層と呼んでいるのに対して 首藤 (1952) は内海・戸崎鼻両互層を一括したものを青島層としているので 注意する必要がある。 首藤 (1952) の青島層の厚さはおよそ 1,000m である。

大局的にみると 以上の日南地方の宮崎層群は東微南ないし東微北方向に傾く単斜構造をなしている。 傾斜は基底に近いところほど急で 30°ないし50°の値を示すが 傾斜方向に向って次第にゆるくなり 上部における

傾斜は 10° ないし 20° となっている。

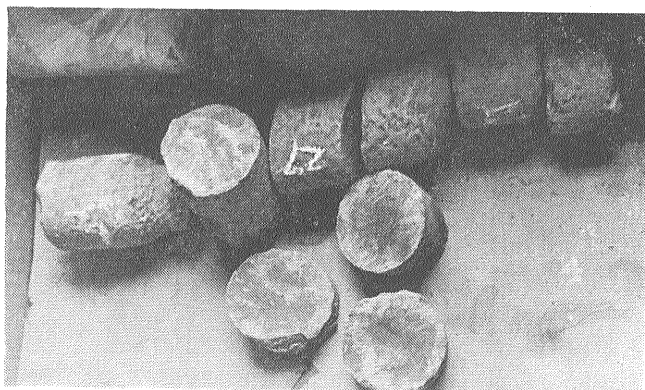
日南地方において 宮崎層群の基盤をなしている地層群は 黒田秀隆・松本達郎 (1942) によって日南層群と命名された著しい褶曲構造を示す第三系中部層である。 その後首藤 (1958) はその上部を男鈴山亜層群として分離・独立させ さらに後年これを酒谷亜層群と改称し 残った下部を日南亜層群とした (首藤 1963; 図2)。

〔日南亜層群〕 頁岩が卓越する日南亜層群は 下位より 市木・南郷・滝が平山の3層に分けられる。 下限が地表に露出していない市木層は おもに頁岩からなり 厚さはおよそ 200m である。 南郷層は流紋岩質凝灰岩を挟む砂岩に始まり 頁岩に終る1堆積輪廻を代表しており 厚さはおよそ 500m である。 また 滝が平山層も砂岩に始まり 頁岩に終る堆積輪廻を代表しており 厚さはおよそ 500m で 上限近くに石灰岩の小さいレンズを挟有することがある。 日南亜層群中の頁岩に含まれる浮遊性有孔虫化石によれば 漸新・中新両統の境界は 市木層の上部ないし南郷層の下部に求められる (高柳洋吉・千地万造 1973)。 これは両統の境界が南郷層の中部にくる可能性が強いとされた首藤 (1963) の見解とおよそ一致する。 また 南郷・滝が平山両層に含まれる貝化石に北九州の芦屋層群との共通種が多いことも この考え方を支持している。

〔酒谷亜層群〕 日南亜層群の上に整合関係で重なり砂岩が卓越する酒谷亜層群は 構造が複雑な上に 岩相が上下を通じてかなり似ているため 正確な厚さをとらえ難いが 1,400m 程度はあるようである。 本亜層群は下位の赤根層と上位の大矢取層とに分けられる。 赤根層は 下位から 厚さ約 140m の中粒砂岩 厚さ約 70m の男鈴山粗粒玄武岩 厚さ約 120m の粗粒砂岩 厚さ



③ 掘削中の掘層調査



④ 深度 300m 付近のコア

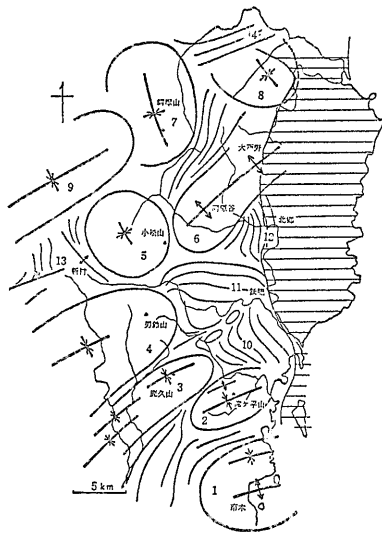


図2 日南層群の地質構造单元 (首藤次男 1963)

- 1 市木ドーム。 2 滝ヶ平山盆状構造。
- 3 鹿久山盆状構造—石木田復向斜。
- 4 男鈴山半盆状構造—大矢取復向斜。
- 5 小松山—山獄盆状構造。 6 河原谷ドーム—大戸野背斜。 7 罌塚山盆状構造。
- 8 丸目盆状構造。 9 牛ヶ峠—柳獄向斜。
- 10 飯肥—油津流動復向斜。 11 瀬田尾—倉掛流動褶曲区。 12 宿野流動褶曲区。
- 13 白木俣流動復背斜。 14 荒平山ブロック(宮崎層群に蔽われて 構造の全貌は不明)短軸向斜が背斜よりはるかに優勢であることと 向・背斜の单元の間に流動小褶曲の区域がはさまりこまれていることは この地区の構造の大きな特徴である。 横線部は宮崎層群分布区域

約240mの頁岩葉層を挟んで細互層する砂岩 および厚さ約35mの凝灰質シルト岩からなり 全層厚は600mを超える。 また 大矢取層は 下位から 厚さ210m前後の礫岩砂岩互層 厚さ約260mの中粒砂岩 厚さ約170mのシルト岩葉層と細互層する中粒砂岩 および厚さ約80mの粗粒砂岩からなり 全層厚はおよそ720mと算出される。 本層からは *Anadara? daitokudoensis*, *Trachycardium shiobaraense*, および *Telescopium* sp. などの貝化石を産し 西北九州の佐世保層群に対比されるらしい。 このような事実 および下位の日南亜層群との関係から 本亜層群は下部および中部中新統の境界付近に位置づけられると考えられる。

以上の2亜層群からなる日南層群の褶曲軸の方向は 東北東ないし北北西が主で 概して 厚い砂岩地域は褶曲がおだやかで 厚い頁岩地域は過褶曲している傾向がみられる。 そして おだやかな褶曲地域と 低角衝上を含む過褶曲地域とが雁行状に配列し それらが断層によって乱されて モザイク状に再配列しているのがこ

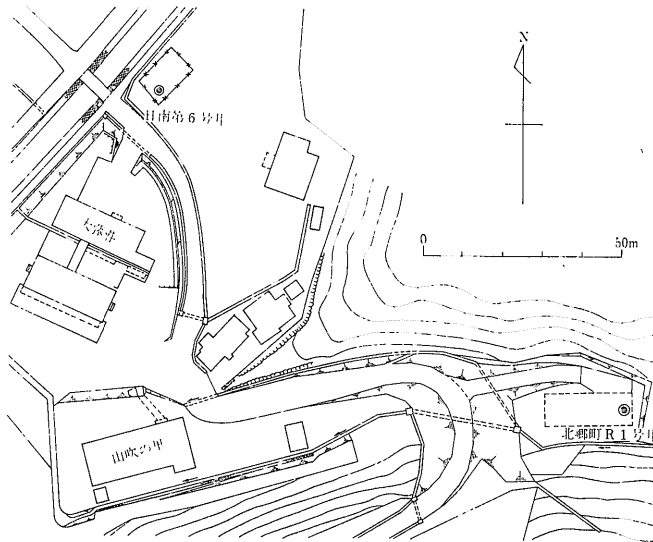


図3 北郷町号R1井とその周辺

の地方の日南層群の構造上の特徴である(図2)。

### 3. 温泉井か 天然ガス井か

「出た! 豊富な温泉」(西日本新聞宮崎県版 4月23日) 「二つ目の温泉掘削」(朝日新聞宮崎県版 同上) 「温泉たっぷり噴出」(宮崎日日新聞 同上)。 以上は北郷町R1号井の成功を報じたおもな新聞の見出しである。 このように 北郷町R1号井は一般に温泉を目的として掘削されたと理解されているし 事実 本井の施業案は宮崎県の温泉審議会に提出され 県知事の認可を受けて掘削されたのであるから 現在のところ 法律上も温泉である。 しかし 日南ガス田においてはガス付随水が温泉にほかならないのだから 当事者としては温泉(ガス付随水)もガスも有効に使いたいと考えるのは当然である。 このことを反映して 著者らの指導・助言を得て北郷町が作成した同町R1号井の仕様書の目的の項は次のようになっている。

「本工事および付帯測定・試験の当面の目的は ガス付随水(温泉)の採取・利用を可能にし かつ無公害開発に必要な基礎資料を得ることにあるが 近い将来天然ガスの採取・利用も行われることが想定されるので その際対応できるだけの資料を取得することも その目的に含まれる。」

このような含みのある仕様書を作成せざるを得なかったのは 現鉱業権者から北郷町への鉱業権の委譲がすんでいなかったからにほかならない。 北郷町R1号井の

ような場合 鉱業権の委譲がすんだ時点で 改めて天然ガス井としての施業案を関係通産局へ提出して認可を受ければ ガスも使えることになっている。そしてこれは逆もまた真であり その実例も少なくない。つまり 温泉兼ガス井またはガス兼温泉井の両者があり得るのである。

#### 4. 北郷町R1号井 坑井諸元

所在地	北郷町大字大藤字小藤3636-2 (図3)		
標高	34.0m		
開坑年月日	開坑式	昭和53年2月7日	
	掘進開始	昭和53年2月8日	
掘止年月日	昭和53年4月11日		
予定深度	800.00m		
掘止深度	810.49m		
掘削坑径	100.40mまで	9 $\frac{5}{8}$ " (24.45cm)	
	810.49mまで	7 $\frac{5}{8}$ " (19.37cm)	
仕上げ	97.42mまで	7"CP	
	799.54mまで	5 $\frac{5}{8}$ "CP	
施工	(株)富士ボーリング		

#### 5. 位置選定理由

北郷町R1号井は 誘致が決定している国の厚生年金有料老人ホームや既存の町営北郷温泉「大藤荘」などの施設に ガスおよび付随水(温泉)を供給することを目的として計画されたものである。現在「大藤荘」では貝島炭硯(株)の日南第6号井(図1 3参照)から産出するガス付随水(約150kL/日 水温45.8°C)を使っ

ている。このような状況から 北郷町R1号井の位置選定には 利用予定の諸施設へ供給しやすいところという制約と 高水温・低塩分という利用面からの希望条件があり 結局 深度およそ760mで宮崎層群の基底を貫いて 基盤の日南層群に入ると予想される町有地内の先に述べた地点が選定された。

#### 6. 坑井地質(岩相層序)

北郷町R1号井の掘削に先立って (株)富士ボーリングでは 作井部次長伊藤幹人を現地に派遣して 坑井地質を予測するための調査を行わしめた。その結果と実際の坑井地質とを対応させて示すと 次のようになる。

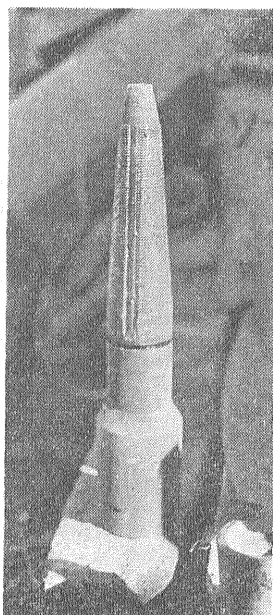
	予測	実際	ずれ
郷の原部層の基底まで	580m	588.8m	8.8m
双石部層の基底まで	760m	780.8m	20.8m

すなわち 伊藤の坑井地質予測誤差は最大2.66%しかなかったのである。それはこの地方の地質が安定していることによるところがもっとも大きい。もよりの貝島炭硯(株)日南第6号井の記録が残されていたこと 既発表の首藤(1952)や木野(1958 1959a)の地質図に盛られた資料が正確であったこと それに伊藤個人の技術と努力によるところも少なくない。

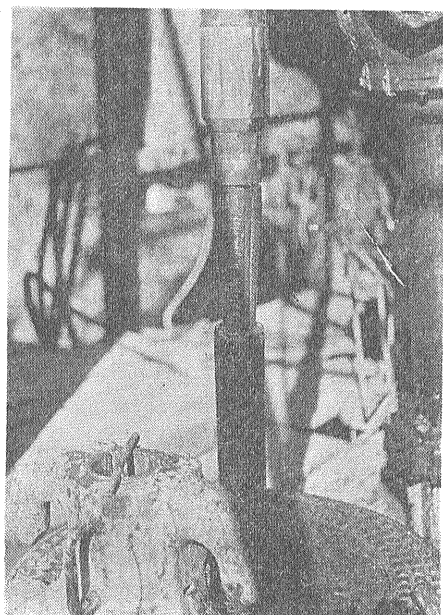
電気検層とその他の検層(マイクロ 坑径 および温度) 掘り屑 および作業日報から総合的に判断すると



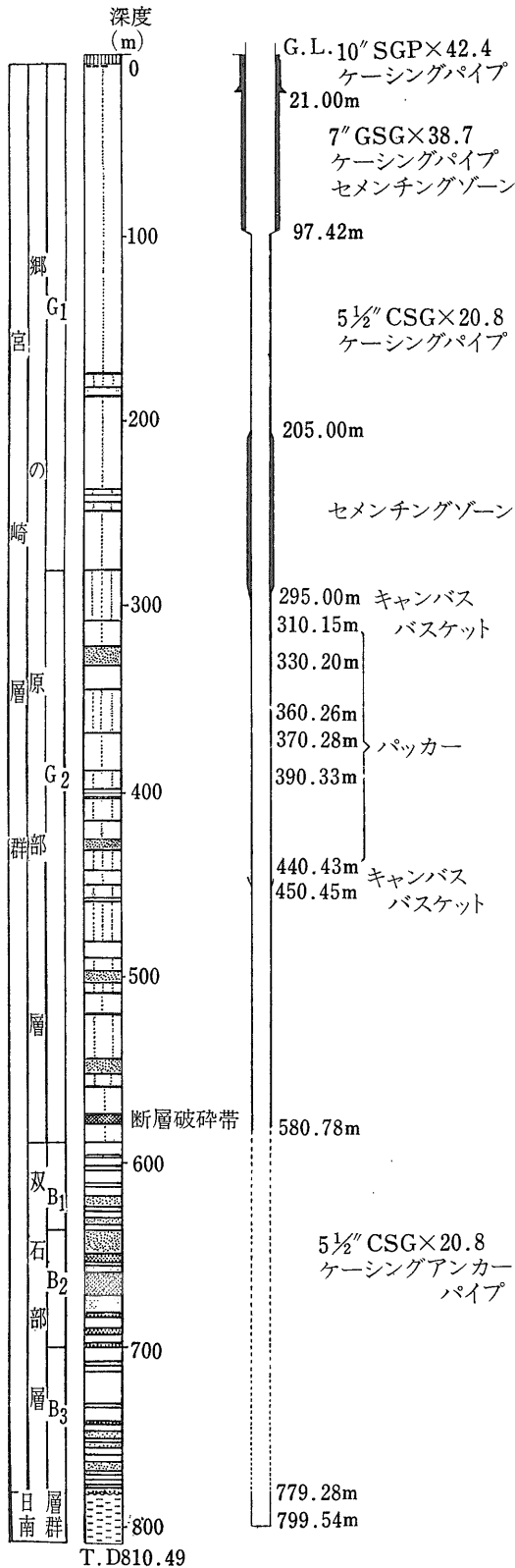
⑤ 掘削中の泥水温度の測定



⑥ インサイドタップ(掘削中に折れて坑井内に残留した掘管をとり上げるための道具で ビットの代りにこれを装着し 残留掘



⑦ インサイドタップでキャッチされた掘管



厚さ約5mの表土を除くと 北郷町R1号井の坑井地質は 上位より 次のように区分される (図4参照)。 以下の括弧内の数字は見かけの層厚である。

郷の原部層	5.0~588.8m (583.8m)
G <sub>1</sub>	5.0~281.4m (276.4m)
G <sub>2</sub>	281.4~588.8m (307.4m)
双石部層	588.8~780.8m (192.0m)
B <sub>1</sub>	588.8~636.7m (47.9m)
B <sub>2</sub>	636.7~700.0m (63.3m)
B <sub>3</sub>	700.0~780.8m (80.8m)
~~~~ 傾斜不整合 ~~~~	
日南層群	780.8~810.5m (29.7m)

〔郷の原部層〕 泥質岩を主とする地層であるが 主としてシルト岩からなる上位の G<sub>1</sub> と 主として砂質シルト岩からなる下位の G<sub>2</sub> とに分けられる。

こまかくみると G<sub>1</sub>の構成は 上位より 次のようになっている。 以下において 括弧内の後の数字は見かけの厚さを示すものとする。

- 灰色シルト岩 (174.7mまで 169.7m) : おもに灰色のシルト岩からなり 最上部に泥灰岩レンズを挟有する。ただし 検層の記録があるのは50m以深であり また 170m 以浅については 検層の記録が必ずしも明確ではないので この部分の詳細についてはよくわからないが 全層を通じてところどころに方解石脈があるようである。
- 灰色砂質シルト岩 (182.3mまで 7.6m)
- 細粒砂岩 (187.4mまで 5.1m)
- 灰色シルト岩 (237.4mまで 50.0m) : 全層を通じてところどころに方解石脈があるようである。
- 灰色砂質シルト岩 (240.9mまで 3.5m)
- 灰色シルト岩 (243.8mまで 2.9m)
- 灰色砂質シルト岩 (249.0mまで 5.2m)
- 灰色シルト岩 (281.4mまで 32.4m)



㊦ 検層用のゾンデの降下

図4 北郷町R1号井の坑井地質と坑井構造

こまかくみると G<sub>2</sub>構成は 上位より 次のようになっている。

灰色砂質シルト岩 (308.1mまで 26.7m) : 本砂質シルト岩以下 338.1m までの間には 全層を通じてところどころに方解石脈があるようである。

- 灰色シルト岩 (322.0mまで 13.9m)
- 細粒砂岩 (332.5mまで 10.5m)
- 灰色シルト岩 (345.1mまで 12.6m)
- 灰色砂質シルト岩 (367.7mまで 22.6m)
- 灰色シルト岩 (388.1mまで 20.4m)
- 灰色砂質シルト岩 (397.9mまで 9.8m)
- 細粒砂岩 (399.3mまで 1.4m)
- 灰色砂質シルト岩 (401.8mまで 2.5m)
- 石灰質細粒砂岩 (403.0mまで 1.2m)
- 灰色砂質シルト岩 (414.8mまで 11.8m)
- 灰色シルト岩 (424.9mまで 10.1m)
- 細粒砂岩 (431.2mまで 6.3m)
- 灰色砂質シルト岩 (442.0m 10.8m)
- 灰色シルト岩 (450.0mまで 8.0m)
- 灰色砂質シルト岩 (456.6mまで 6.6m)
- 灰色シルト岩 (459.0mまで 2.4m)
- 灰色砂質シルト岩 (481.1mまで 22.1m)
- 灰色シルト岩 (489.0mまで 7.9m)
- 灰色砂質シルト岩 (497.0mまで 8.0m)
- 細粒砂岩 (502.6mまで 5.6m)
- 灰色砂質シルト岩 (508.7mまで 6.1m)
- 灰色シルト岩 (520.4mまで 11.7m)
- 灰色砂質シルト岩 (543.6mまで 23.2m)
- 細粒砂岩 (552.4mまで 8.8m)
- 灰色砂質シルト岩 (559.4mまで 7.0m)

灰色シルト岩 (588.8mまで 29.4m) : 深度574.3~578.7mの間を破碎帯とする断層 (おそらく正) が想定されるので それによる欠除がどれほどかよくわからない。大き目にとると この破碎帯は深度571.1~589.5mの間となる。

〔双石部層〕 未固結の砂質層を主とする地層である

が 上位より 主として細~中粒砂からなるB<sub>1</sub> 主として粗粒砂および礫からなるB<sub>2</sub> および主として細~中粒砂からなる B<sub>3</sub> の3部に分けられる。

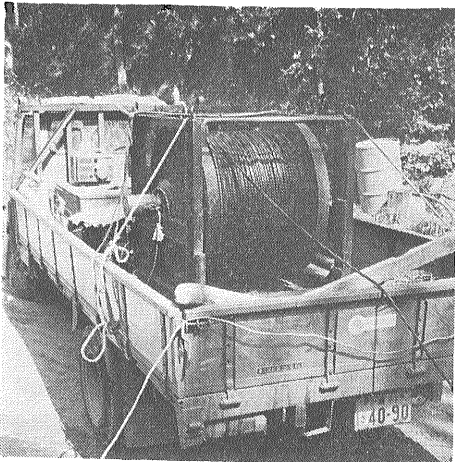
こまかくみると B<sub>1</sub>の構成は 上位より 次のようになっている。

- 細粒砂 (596.0mまで 7.2m)
- 灰色シルト (597.2mまで 1.2m)
- 細粒砂 (601.8mまで 4.6m)
- 灰色シルト (603.8mまで 2.0m)
- 細粒砂 (611.1mまで 7.3m)
- 灰色シルト (613.0mまで 1.9m)
- 細粒砂 (618.3mまで 5.3m)
- 中粒砂 (624.4mまで 6.1m)
- 灰色シルト (626.5mまで 2.1m)
- 細粒砂 (630.0mまで 3.5m)
- 中粒砂 (634.1mまで 4.1m)
- 灰色シルト (636.6mまで 2.5m)

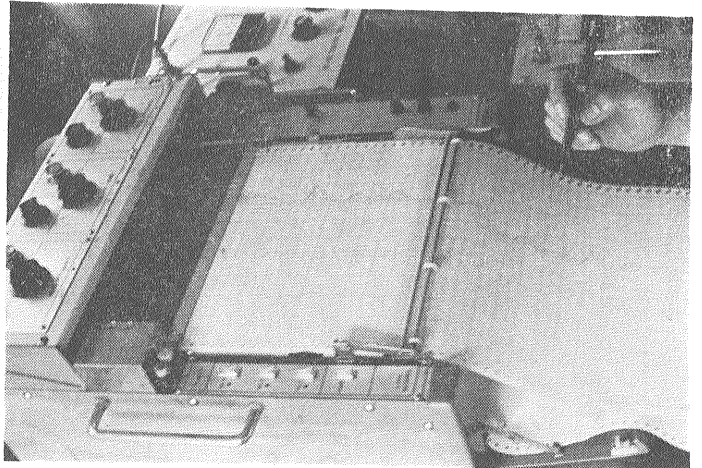
B<sub>2</sub>の細部にわたる構成は 上位より 次のようになっている。

- 粗粒砂 (650.0mまで 13.4m)
- 礫 (653.7mまで 3.7m)
- 灰色シルト (655.5mまで 1.8m)
- 粗粒砂 (660.5mまで 5.0m)
- 礫 (671.8mまで 11.3m)
- 粗粒砂 (682.8mまで 11.0m)
- 石灰質礫岩 (684.8mまで 2.0m)
- 粗粒砂 (690.0mまで 5.2m)
- 石灰質礫岩 (692.2mまで 2.2m)
- 粗粒砂 (698.6mまで 6.4m)
- 石灰質礫岩 (700.0mまで 1.4m)

また こまかくみると B<sub>3</sub>の構成は 上位より 次の



⑨ 検層ケーブル用のウインチ



⑩ 検層用レコーダー

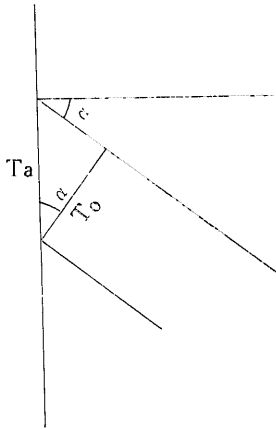


図5  
坑井内の見掛けの厚さから  
真の厚さを求める

ようになっている。

細粒砂 (708.1mまで 8.1m) : 以下B<sub>3</sub>を構成する砂はB<sub>1</sub>およびB<sub>2</sub>のものにくらべて淘汰がわるく シルト分を含んでいるようである。すなわち B<sub>1</sub>およびB<sub>2</sub>の砂をクリーン・サンド (clean sand) とすれば B<sub>3</sub>のものは幾分ダークティ (dirty) である。

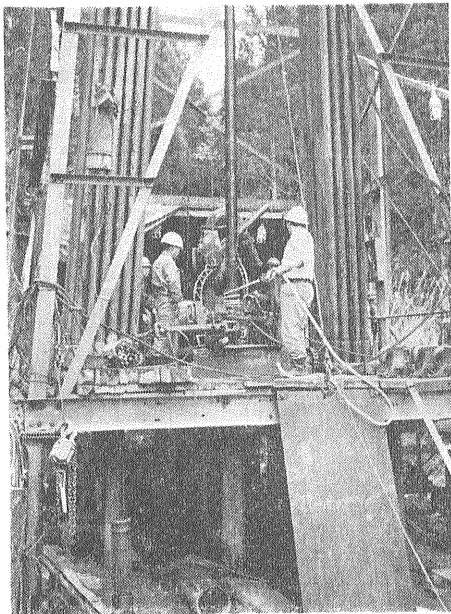
- 石灰質粗粒砂岩 (709.3mまで 1.2m)
- 中粒砂 (713.2mまで 3.9m)
- 細粒砂 (731.2mまで 18.0m)
- 中粒砂 (732.9mまで 1.7m)
- 細粒砂 (741.4mまで 8.5m)
- 石灰質中粒砂岩 (742.2mまで 0.8m)
- 細粒砂 (746.4mまで 4.2m)
- 中粒砂 (750.6mまで 4.2m)
- 細粒砂 (752.8mまで 2.2m)
- 石灰質粗粒砂岩 (755.5mまで 2.7m)

- 中粒砂 (759.2mまで 3.7m)
- 細粒砂 (762.9mまで 3.7m)
- 中粒砂 (767.7mまで 4.8m)
- 粗粒砂 (770.0mまで 2.3m)
- 中粒砂 (772.6mまで 2.6m)
- 石灰質中粒砂岩 (773.4mまで 0.8m)
- 細粒砂 (775.7mまで 2.3m)
- 中粒砂 (777.7mまで 2.0m)
- 粗粒砂 (780.8mまで 3.1m)

以上に述べた見掛けの厚さ 192.0m (780.8m—588.8m) の双石部層が 北郷町R 1号井における貯留層であり その孔明管理設深度区間は580.78mないし779.28mであるから その間の見掛けの有効層厚は[192.0m—不透水層の厚さの合計—(780.8m—779.3m)] という式で計算できる。孔明管理設深度区間内の不透水層は 石灰質砂岩 石灰質礫岩 およびシルトであり それらの厚さの合計は22.5mであるから 本坑井の見掛けの有効層厚は 168.0m である。

### 7. 見かけの層厚と真の層厚

この垂直の坑井内の見掛けの有効層厚から 真の有効層厚を求めることは 同様の坑井内で見掛けの厚さ Ta を有する地層の真の厚さ To を求めることと 本質的には変わらない。図5から明らかなように それには見掛けの厚さ Ta にその地層の傾斜角  $\alpha$  の余弦 ( $\cos \alpha$ ) を乗ずればよい。北郷町R 1号井の場合には もよりのところに日南第6号井があり その北から時計まわりで  $123^{\circ}30'$  の方向の水平距離 134m のところに本坑井があって 両坑井の標高差は 6.1m (北郷町R 1号井の方が高い) 両坑井における双石部層の表面の深度 (588.8m および 483.0m) 同じく基底面の深度 (780.8m および 665.0m) およびこの付近の宮崎層群の一般走向(N14°



① ケーシングパイプの降下作業



② セメント放出孔



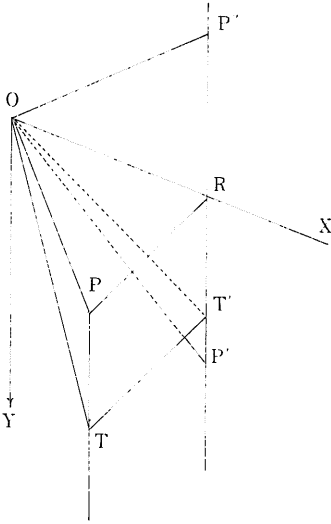


図6  
2坑井と交わる1平面の深度と一般走向から 真の傾斜角の余弦を求める (その1 解説図)

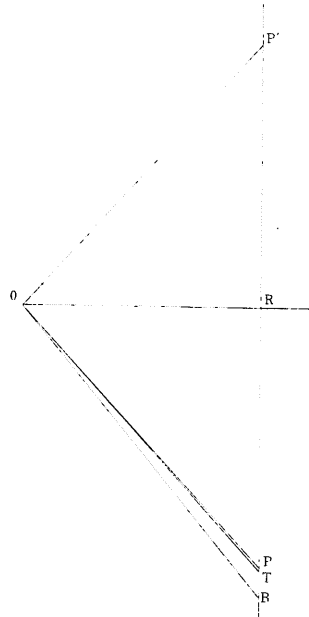


図7  
2坑井と交わる1平面の深度と一般走向から 真の傾斜角の余弦を求める (その2 実際)

30'W)が知られている。これから 本層群の一般傾斜の方向を求めると 北から時計まわりで

$$90^\circ - 14^\circ 30' = 75^\circ 30'$$

となる。したがって 両坑井を結ぶ線はこの方向と時計まわりで

$$123^\circ 30' - 75^\circ 30' = 48^\circ$$

の角を挟んでいることになる。

次に これから真の傾斜角の余弦を求めることを考えてみよう。図6において OおよびPはそれぞれ日南第6号井および北郷町R1号井の位置であり OXはこの付近の宮崎層群の一般傾斜の方向と水平面との交線である。PからOXにおろした垂線の足をRとする。ここでOを日南第6号井における双石部層の表面と垂直線(坑井)との交点をあわせて表現するものとし この面とPを通る垂直線との交点をT またTからRを通る垂直線におろした垂線の足を T' とすると 最終的に必要な  $\cos \angle T'OR$  は  $OR/OT'$  である。

図6から明らかなように 以上の操作はOXを通る鉛直面(YOX)内で処理できる。すなわち 任意の方向に両坑井間の水平距離134mに相当するOPをとり Oから逆時計まわりに48°の方向の直線を引き Pからこの直線におろした垂線の足をRとし 直線RP上に両坑井における双石部層の表面の高低差

$$588.8\text{m} - 6.1\text{m} - 483.0\text{m} = 99.7\text{m} \quad (1)$$

に当るTをとると 求める余弦は

$$\cos \angle TOR = OR/OT \quad (2)$$

である(図7)。(1)で求めた99.7mが図7のRTであり また図6のRT' およびRTである。そして

$$\begin{aligned} OR &= 134.0\text{m} \times \cos 48^\circ \\ &= 134.0\text{m} \times 0.669 = 89.65\text{m} \end{aligned}$$

であるから

$$OT = \sqrt{(89.65\text{m})^2 + (99.7\text{m})^2} = 134.08\text{m}$$

となり 結局求める真の傾斜に対する余弦は (2)から

$$89.65\text{m} \div 134.08\text{m} = 0.6686$$

となる。参考までにこの余弦に対する真の傾斜を求めると 三角関数表から  $48^\circ 2'$  となる。これでは実際問題として図7においてPとTとが重なってしまうから このような場合には まず任意の方向に直線を引き その上に両坑井間の水平距離OPに当る点OおよびP'をとり Oを通して時計まわりの方向に  $48^\circ$  をなす直線を引き P'からこの直線におろした垂線の足をRとして P'Rの延長方向に  $RT = 99.7\text{m}$  に相当する点Tをとればよい(図6および図7)。

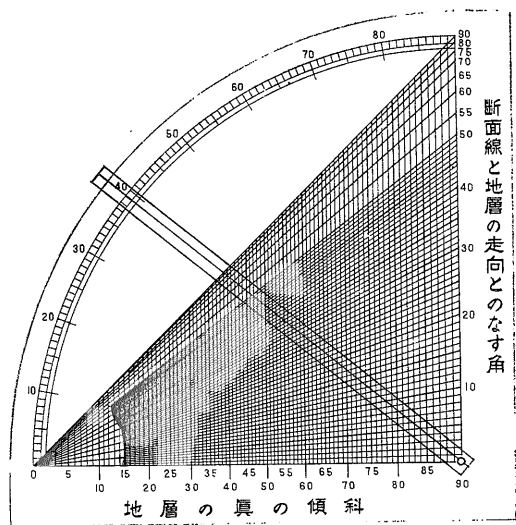


図8 真の傾斜と見かけの傾斜の変換器

同様にして 双石部層の基底面の真の傾斜の余弦を求めるには 次のようにすればよい(図7). まず 直線 RP 上に両坑井における双石部層の基底面の高低差

$$780.8\text{m} - 6.1\text{m} - 665.0\text{m} = 109.7\text{m} \quad (3)$$

に相当する B をとると 求める余弦は

$$\cos \angle BOR = OR/OB \quad (4)$$

である(図7). その他の必要な数字は双石部層の表面

の場合について求めてある. そこで

$$OB = \sqrt{(89.65\text{m})^2 + (109.7\text{m})^2} = 141.67\text{m}$$

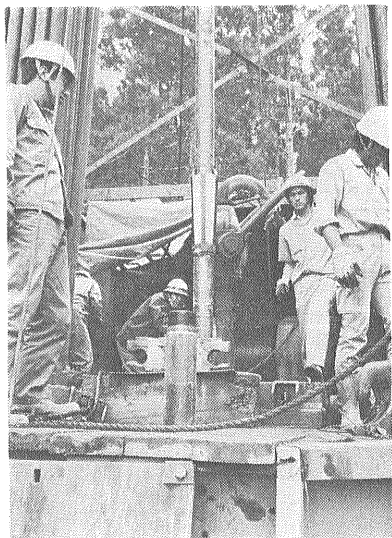
となり 結局求める真の傾斜に対する余弦は (4)から

$$89.65\text{m} \div 141.67\text{m} = 0.6328$$

となる. 参考までに この余弦に対する真の傾斜を求めると 三角関数表から  $50^{\circ}45'$  となる.

以上に述べたことは 真の傾斜が知られている場合に 地層の走向とある角度をなす断面における傾斜を求める問題の裏がえしである. この問題については 地質工学の中で勉強された方も多いと思う. また この目的のための便利なスケールが市販されているので 持っておられる方も少なくないであろう. 図8はそれによって双石部層の基底面の真の傾斜を求めた例で 回転板の中央線を見かけの傾斜  $39^{\circ}$  に合わせ この中心線と地層の走向とのなす角  $42^{\circ}$  ( $90^{\circ} - 48^{\circ}$ ) の交点から垂線を下したところの目盛を読みばよい.

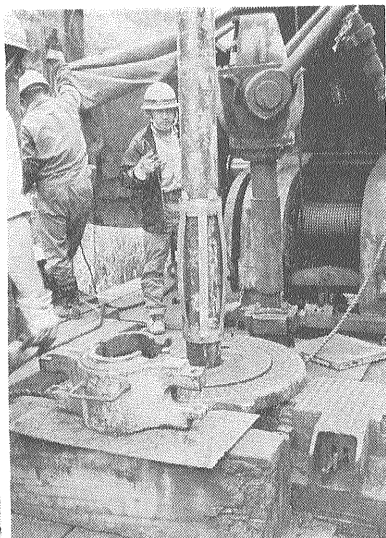
日南第6号井については 電気検層が行われていないので 信頼できるのは双石部層の下限の深度の方かもしれない. これを使って求めた双石部層の基底面の真の傾斜の余弦は0.6328であるから これを北郷町R1号井の双石部層全体について適用できるとすると 双石部層の真の厚さは



⑬ 中間遮水に使われたキャンパスバスケット



⑭ 中間遮水に使われたシュロパッカーのまきつけ



⑮ セントライザー (これでケーシングパイプを坑井の中央に保つ)

$$192.0\text{m} \times 0.6328 = 121.5\text{m} \quad (5)$$

となる。また 双石部層の表面について求めた真の傾斜の余弦の値0.6686が 同様に北郷町R1号井の双石部層全体について適用できるとすると 双石部層の真の厚さは

$$192.0\text{m} \times 0.6686 = 128.4\text{m} \quad (6)$$

となり (5)との差は6.9mもあって 無視できるちがいはいい難い。したがって とくに積極的な理由があるわけではないが 上の2つの余弦の値の平均値0.6507を 北郷町R1号井の双石部層全体について適用できるとして求めた

$$192.0\text{m} \times 0.6507 = 124.9\text{m} \quad (7)$$

を 本坑井における双石部層の真の厚さとして採用しておくのが無難であろう。そうすると 孔明管理設深度区間内の有効層厚は

$$168.0\text{m} \times 0.6507 = 109.3\text{m} \quad (8)$$

となる。ここに 168.0m は前節で求めた孔明管理設深度区間内の見掛けの有効層厚である。

### 8. 断層について

坑井地質のところで述べたように 北郷町R1号井には 深度574.3~578.7mの間を破砕帯とする断層の存在が推定されている。この破砕帯の存在は 孔径検層の記録にも 崩壊による孔径の著しい拡大となっははっきり記録されており 相当な規模の断層の存在を暗示している。このことを念頭において 首藤(1952)の地質図(図1)および宮崎層群の岩相図の原図を詳細に検討してみると 太平洋側の日南市大字宮浦字宮浦付近から北郷町大字大藤字倉迫に向かって走る3本の断層のうち 北側のものが どうもそれらしいのである。首藤(1952)の宮崎層群の岩相図の原図について 北郷町R1号井と この断層の延長との距離を求めると およそ250mという数字が得られる。したがって 急傾斜の北落ち・左ずれの断層として図示されたこの断層の傾斜をおよそ70°とすると 北郷町R1号井がぶつかった断層はまさにこの断層である とする想定が成立する。ちなみに 首藤(1952)によって図示されたこの断層の規模は垂直落差およそ50~60m また水平ずれおよそ150~200mである。

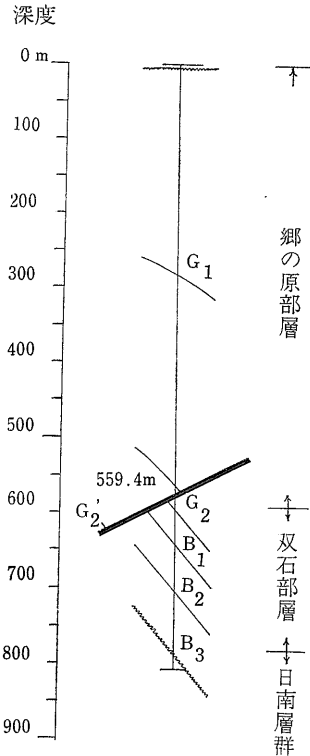


図9  
北郷町R1号井を通る傾斜方向の推定断面図 (559.4m は本坑井内における郷の原部層最下部灰色シルト岩の上限深度 またG<sub>2</sub>は断層上盤における郷の原部層の基底面を示す)

この断層の存在を考慮に入れて 北郷町R1号井を通る傾斜方向の断面図を作成してみたのが 図9である。本図において断層の見掛けの傾斜がおよそ27°となっているのは 断面線とこの断層の走向とのなす角が 反時計まわりでおよそ11°であるからである。また 本図にみられるように 坑井地質のところで述べた深度559.4~588.8m間の砂質シルト岩は 実際には真の厚さがおよそ100mもある地層であり かつ本坑井内で断層によって欠けている部分の岩相が何であるかは 保障の限りでない。

### 9. 地温の深度分布

地温をもっともよく反映した坑井内の温度は坑底温度である。北郷町R1号井については 表1に示したように 掘削の途中に4深度点において坑底温度の測定が行われている。これらの値を使って 最小二乗法によって深度D(m)と地温T(°C)との関係を求めると 次の式のようになる(図10)。

$$T = 17.47 + 0.04248D \quad (9)$$

この式において Dの係数がいわゆる温度勾配を示す

表1 北郷町R1号井の坑底温度の深度分布

深 度 (m)	温 度 (°C)
100	22.0
300	30.0
400	38.0
533	40.5

もので この場合には 100m当り 4.248°Cである。木内四郎兵衛 (1950) によれば 宮崎市における恒温層の上限の深度は11.1mであり またこの深度における地温は 17.8°Cである。(9)の式を使って深度11.1mのところの地温を求めると 17.52°Cとなるから 北郷町R1号井付近の地温の深度分布を表わす式として(9)を採用できそうである。しかし 問題はそれほど単純ではない。何となれば この式では本坑井から産出するガス付随水の水温 49.2°Cを説明できないからである。孔明管理設深度区間内に含まれる双石部層の中心深度は 684.05mであり かつ透水性の大きい地層もこの深度の前後によく発達しているから この深度における地温は 49.2°C または若干これを上まわると考えられるのに対して 式(9)から計算されるこの深度における地温は 46.9°C にしかならない。このような差が生じたのは式(9)を導くのに使った坑底温度の測定が 掘削泥水によって冷却された坑底の温度が十分回復しないうちに行われたためであろう。そこで 本坑井付近の地温の深度分布を表わすものとして 次の式を提案する。

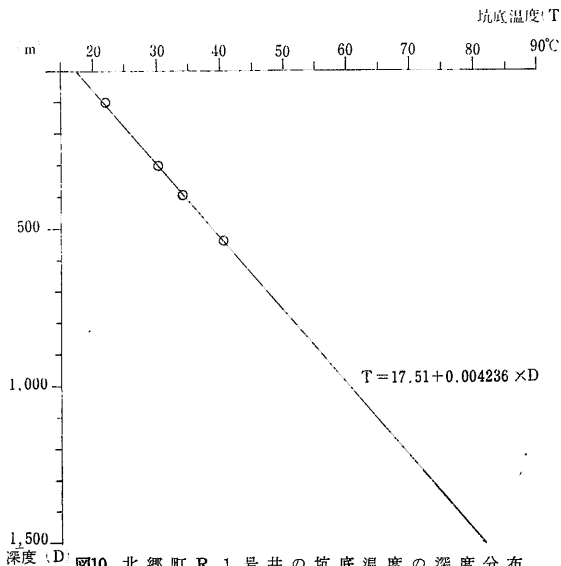


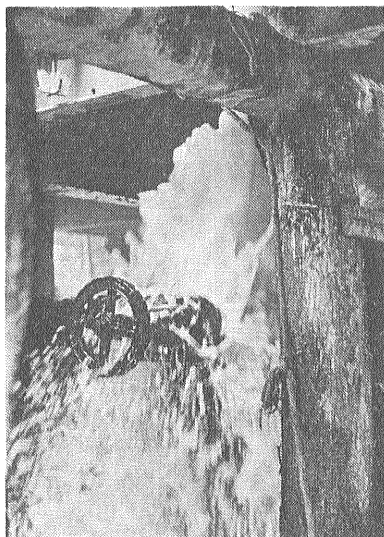
図10 北郷町R1号井の坑底温度の深度分布

$$T = 17.8 + 0.04666(D - 11.1) \quad (10)$$

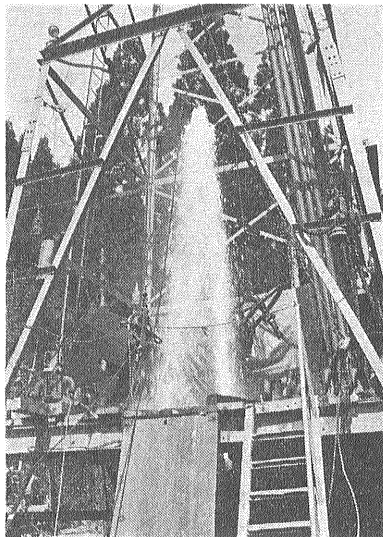
この式における 17.8(°C) および 11.1mについては改めて説明するまでもないが 0.04666(°C)はこの1対の数字と 深度684.05mにおける推定地温 49.2°Cから求めた地温勾配に関する数字であり 深度100m当りの地勾配が4.666°Cであることを示している。図11は式(10)のグラフである。

### 10. 飽和ガス水比の深度分布

飽和ガス水比の意味および求め方については 沖縄の



⑩ 自噴し始めた北郷町R1号井



⑪ バルブを絞るとガスを伴った水柱が高く吹き上る



⑫ 49.2°Cのガス付随水(温泉)ともなれば朝夕は一面の陽気が立ちこめる

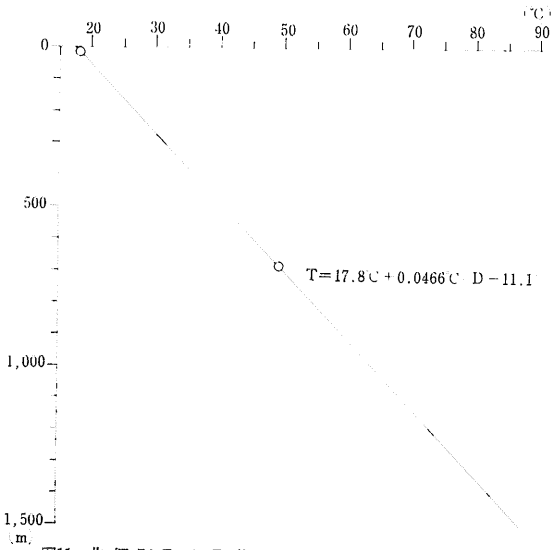


図11 北郷町R1号井の地温の推定深度分布

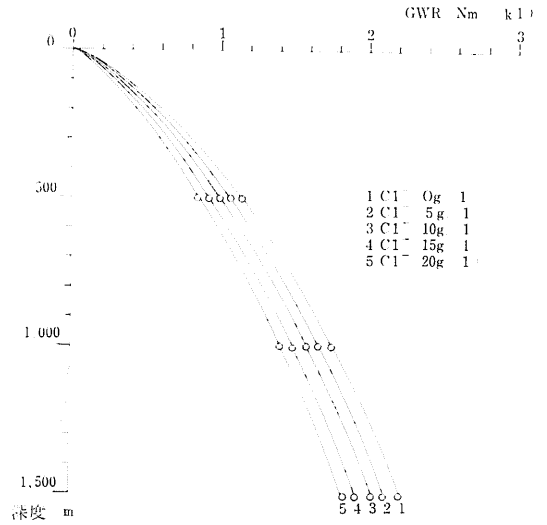


図12 北郷町R1号井の飽和ガス水比の深度分布

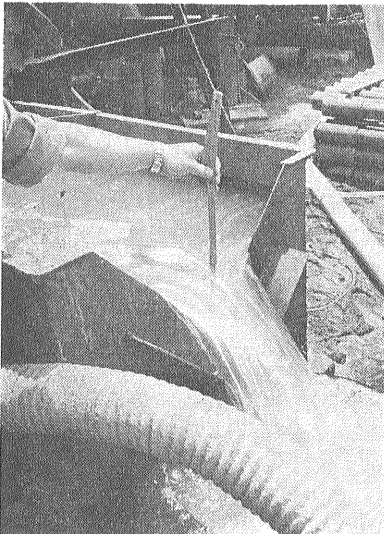
具志頭R1号井の場合について すでにくわしく説明してある(福田・永田 1977)のでここでは北郷町R1号井付近について算出した結果を紹介するのに止める。図12がそれであって 塩素度が0(淡水) 5g/l 10g/l 15g/l および 20g/l の場合について 深度1,500mまでの計算の結果が示されている。DOOSON and STANDING (1944)の図(福田・永田 1977, 12頁 図15)から飽和ガス水比を読みとるのに必要な地温の深度分布を算出するには 前節で求めた式(10)を使った。

北郷町R1号井の坑井構造は 図3に示されているとおりである。次にその概要を列挙しておく。

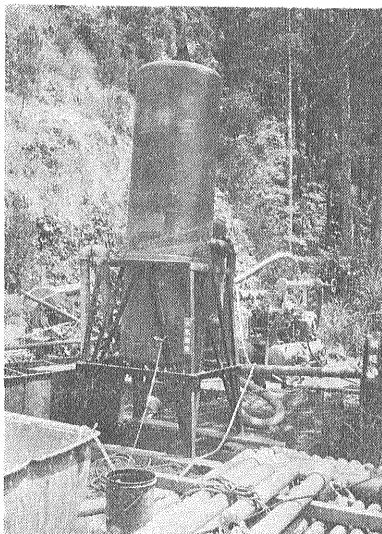
- 21.00mまで 10"SGP×42.4  
フルホールセメンチング
- 97.20mまで 7"CSG×38.7  
フルホールセメンチング
- 799.54mまで 5½"CSG×20.8  
セメンチング 295.00~205.00m  
孔明管 779.28~580.78m

### 11. 坑井構造

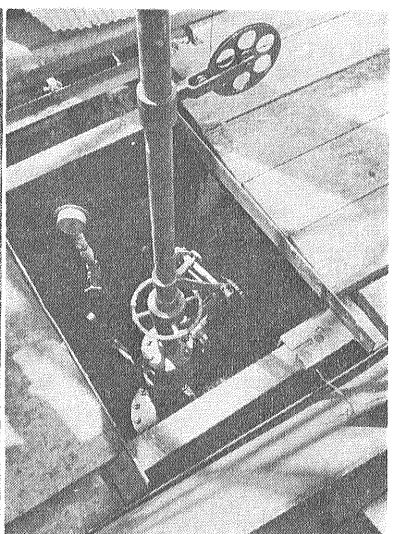
上の中の SGP および CSG は日本工業規格で定めら



⑬ 三角堰による水量の測定。  
水量は約 1,000kℓ/day



⑭ 産出試験用の密閉型セパレーター(手前)とコンプレッサー



⑮ 坑口に装着されたリューブリケーター(産出中の坑井内に各種の計器を降下させるための装置)

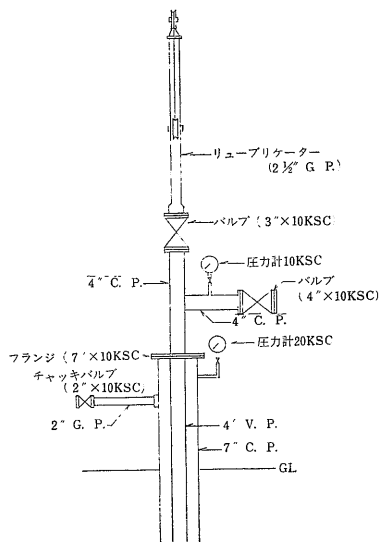


図13 北郷町R 1号井の産出試験時の坑口装置略図

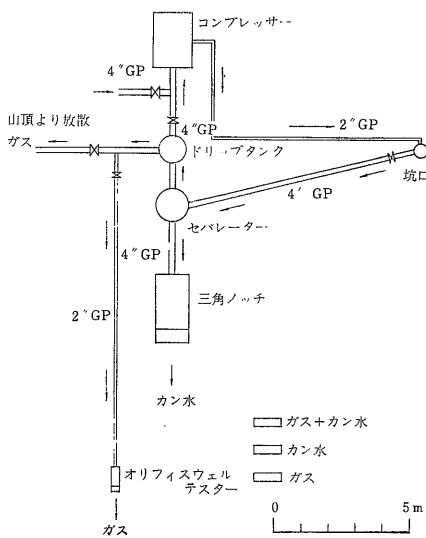


図14 産出試験時の器機の配置

度450.45mのところにもキャンパスバスケットを設置したほか 2つのバスケットの間の6個所に シュロパッカー (乾燥したシュロの皮を巻きつけて パッカー代りにしたもの) をとりつけた。キャンパスバスケットやシュロパッカーのとりつけ深度は 孔径検層の記録から崩壊のないところに注意深く選定された。

## 12. 産出試験

### 1) 概要と初日産

産出試験は4月24日から5月22日に至る29日間わたって実施された。これ

れた記号で それぞれ配管用炭素鋼管およびケーシングであることを示している。また その前の10"などは 管の外径をインチ (2.54cm) で示したものであり後の×42.4などは管長1m当りの目方を kg 単位で示したものである。したがって 同じ外径に対して 後の数値が大きいかほど肉が厚く 内径は小さくなる。フルホールセメンチングというのは 管の外側と裸孔の間すなわちアニュラス全体をセメントで固めることである。

深度295.000mのところセメント受けのキャンパスバスケットを設置して実施したのが 通常のセメンチングすなわち中間遮水である。これは通常孔明管の直上にバスケットを設置して行われるのであるが 北郷町R 1号井の場合には 659m 以深の掘削に際して ほぼ全層にわたって逸泥し 666m 以深では清水掘りが行われたため 通常のセメンチングを行うと セメントスラリーの液柱圧によるガス層 (双石部層) への浸入のおそれがあるので 295.00m以浅についてセメンチングを行った。また 万が1のセメント脱落を避けるため 深

に先立って |4月21日8時30分からベラー汲み(福田・永田 1977, 7頁参照)を開始 汲み上げ回数138回 総汲上水量8,496lとなった同日18時50分 自噴し始めた。この時の塩素度は2,580mg/lであった。4月23日9時35分 産出試験準備(坑口装置やリフトパイプのとりつけなど)のため 自噴を止めたが この時の水温は48.5°Cまた塩素度は4,170mg/lであった。

産出試験の際の坑口装置および器機の配置は それぞれ図13および図14に示すとおりであった。図15にも示されているように 坑井内にはチュービングとして4"塩化ビニール管(以下VPとする)が深度77.47mにセットされており 始動のためのエアリフトはチュービングを通して行われた。すなわち ケーシングフロー方式が採用された。エアリフトは4月24日14時55分に開始され 腰切り圧は6.5kscであった。このことは当時の水位がおよそ-12mであったことを意味する。エアリフト開始後3分30秒で自噴し始めたが コンプレッサーの運転は約15分間行われた。計測はコンプレッサーの停止後直ちに開始されたが 同日19時以後の数回の計測値が落ちついた値を示したので 次の19時計測値をもって初日産関係の資料とする。

### 自噴 (4月24日19時)

ガス量	2,245Nm <sup>3</sup> /日 (31.5°C)
水量	1,045kl /日 (48.2°C)
ガス水比	2.15
塩素度	4,460mg/l

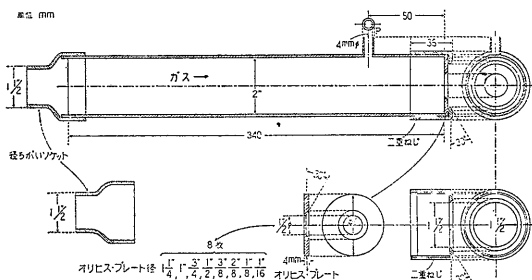


図15 オリフイス・ウェルテスターの例 (金原ほか 1958)

差 圧

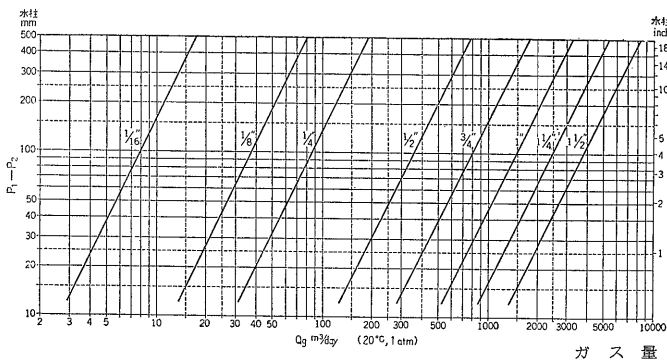


図16 オリフィス・ウェルテスターにおけるガス量算出図表（導管の内径2' ガス比重0.667の場合）（金原ほか2名 1958）

ので 実際にはある条件を仮定して求めた図16のようなガス量算出図表が使われている。本図はガスの温度が20°Cの場合について作成されているが 温度によって乗ずべき係数は1.036~0.968 (0~40°C) であって 現場における測定誤差を考えればそこまで神経質になる必要もないくらいである。しかし ガスの比重の差による補正だけは必要で 後で述べるようなガスの組成から 北郷町R1号井の場合についてのガス量を得るには 図16を使って求めたガス量に 0.8636を乗ずればよい。

2) ガス量の測定

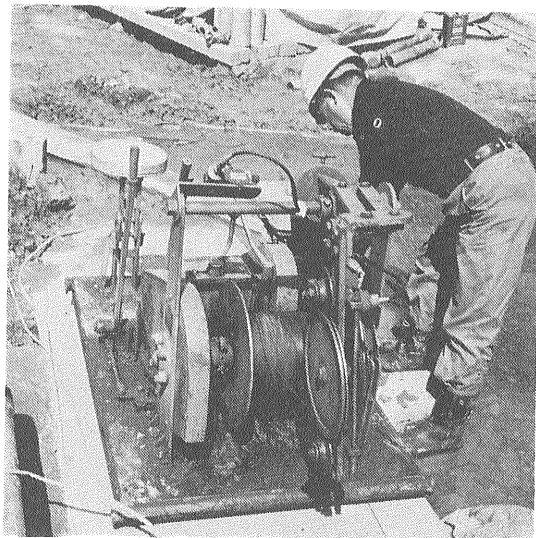
ここで問題なのはガス量である。これほど大量のガスが自噴するとは予測できなかったので JIS で規定されたオリフィス流量計の用意がなく いわば簡便法であるオリフィス・ウェルテスターによって ガス量の測定が行われたために この問題が起ったのであるが もちろん 概数としてこの測定によって得られた数字をとらせることはさし支えない。

オリフィス・ウェルテスター（開放型オリフィス流量計ともいう。以下ウェルテスターと呼ぶ）は差圧式流量計の1種で ガスを一定直径のパイプからオリフィスプレート（絞り板）によって絞り 生ずる大気との圧力差から流量を算出する装置（図15）で 差圧はU字管に水または水銀を入れて測定する。この差圧から単位時間当りのガス量を算出する準拠式を理論的に導く過程はかなり難解であり またこの式による計算も複雑である

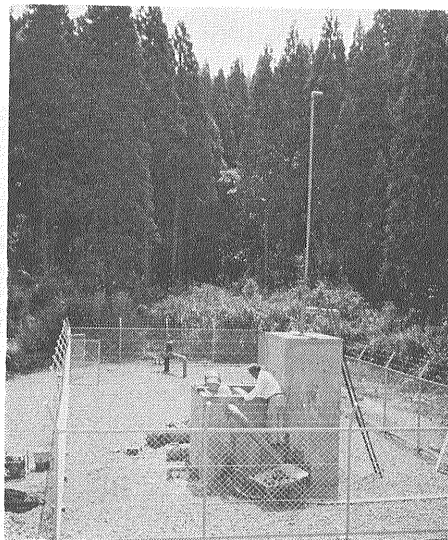
次に この数字を算出した根拠について簡単に説明しておこう。北郷町R1号井の天然ガスの組成は次のとおりである。

He	0.004vol.%
H <sub>2</sub>	0.014 "
O <sub>2</sub>	0.19 "
N <sub>2</sub>	1.21 "
CO <sub>2</sub>	35.18 "
CH <sub>4</sub>	63.14 "
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.22 "
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.00n "
H <sub>2</sub> S	22.9 ppm

ここで C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> および H<sub>2</sub>S はこのガスの比重の算出に当って無視できるので このガスの同じ条件下の空気を1とした場合の比重は 次のようにして算出される。



㊸ 坑井内の各種の測定に使われたウィンチ



㊹ 生産用のコンクリート製開放型セパレーター（内部塗装中）

成分	分子量
He	$4.002 \times 0.00004 = 0.00016$
H <sub>2</sub>	$2.016 \times 0.00014 = 0.00028$
O <sub>2</sub>	$32.00 \times 0.0019 = 0.0608$
N <sub>2</sub>	$14.008 \times 0.0121 = 0.16950$
CO <sub>2</sub>	$44.02 \times 0.3518 = 15.48624$
CH <sub>4</sub>	$16.04 \times 0.6314 = 10.12777$
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$30.07 \times 0.0022 = 0.06615$
平均分子量	25.9109
空気の平均分子量	28.97

したがって 求めるガスの比重は

$$25.9109 \div 28.97 = 0.8944$$

となる。

ところで 図16の作成に使われた準拠式には ガスの比重 $\gamma$ に関する $\sqrt{\frac{1}{\gamma}}$ という項が含まれている。 図16は $\gamma = 0.667$  のガスについて作成されているから

$$\sqrt{\frac{1}{\gamma}} = \sqrt{\frac{1}{0.667}} = 1.2244$$

である。 また 北郷町R 1号井のガスについてこの値を求めると

$$\sqrt{\frac{1}{\gamma}} = \sqrt{\frac{1}{0.8944}} = 1.0574$$

となる。 したがって 図16を北郷町R 1号井の場合について使うには 本図によって得られたガス量に

$$1.0574 \div 1.2244 = 0.8636$$

を乗ずればよい。



㉔ でき上がった北郷町R 1号井

㉕ セパレーターの側壁にかりとりつけられたオリフィス流量計

たとえば 導管の内径が2" (50.8mm) のウェルテスターに 孔径 1/4" (31.75mm) の絞り板を装着して 北郷町R 1号井のガスの流量を測定しようとした場合 差圧が水柱で 140mm であったとしよう。 図16によってこの時のガス量を読むと 2,900m<sup>3</sup>/day となり これ以上に求めた0.8636を乗ずると2,504m<sup>3</sup>となる。 この場合のガス温は 31.5°C であったが それによって乗すべき補正係数は 0.983 で これは測定誤差を考えれば問題にならない。 しかし 飽和ガス水比などが標準状態の場合について算出されているため 一応上に求めたガス量を標準状態の場合に換算しておく必要がある。 この換算は簡単で 次のようにすればよい。

$$2,504\text{m}^3 \times \frac{273.15}{273.15 + 31.5} = 2,245\text{Nm}^3$$

上の式のなかの273.15は いうまでもなく 0°Cを絶対温度 °K で表わした数値である。

### 3) 産出経過

4月24日から5月22日にかけて行われた産出試験の結果のうち ガスおよび付随水の日産量 ガス水比 水温 塩素度 CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>S の変化をとりまとめて示したのが表2 またそれから日産量 ガス水比 および塩素度の変化をとり出して図示したのが図17である。 表2の水温をみると 4月28日が 48.9°C であるのに 4月29日～5月1日が 49.9°C となっている。 これは4月

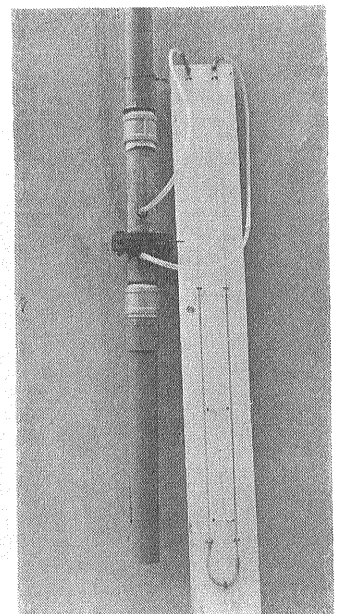




表2 北郷町R1号井の産出経過(4月24日～5月22日)

月 日 (昭和53年)	日 産 量		ガス水比	水温(°C)	塩素度(mg/l)	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S(ppm)
	ガス(Nm <sup>3</sup> )	水(kL)					
4月24日	2,277	1,045	2.18	48.1	4,460	38	
25	2,277	1,045	2.18	48.6	4,360		
26	2,046	1,045	1.96	48.8	4,500		
27	2,246	1,151	1.95	48.0	4,520		
28	2,246	1,151	1.95	48.9	4,560		
29	2,164	1,079	2.01	49.9	4,570	35	
30	2,113	1,079	1.96	49.9		33	22
5月1日	2,147	1,096	1.96	49.9	4,570	35	
2	2,155	1,062	2.03	50.0	4,600	30	
3	2,154	1,045	2.06	50.0	4,650	39	24
4	2,147	1,035	2.07	50.0	4,570		
5	2,147	1,045	2.05	50.0	4,570	37	20
6							
7	2,164	1,130	1.92	50.0	4,600	36	
8	2,130	1,060	2.01	49.9	4,670		
9	2,164	1,045	2.07	50.1	4,640		
10	2,147	1,000	2.15	50.2	4,650		
11	2,164	1,000	2.16	50.1	4,630	36	20
12	2,164	960	2.25	50.5	4,680	33	27
13	1,990	944	2.11	50.2	4,640	33	24
14	1,990	928	2.14	50.2	4,650	37	22
15	1,990	928	2.14	50.2	4,650	36	27
16	1,973	920	2.14	50.2	4,600	34	22
17	1,935	896	2.16	50.2	4,750	35	21
18	1,898	880	2.16	50.2	4,650	34	23
19	1,898	872	2.18	50.2	4,570	32	24
20	1,860	849	2.19	50.2	4,720	35	23
21	1,860	849	2.19	50.2	4,600		
22	1,800	804	2.24	50.2		38	
合 計	58,246	27,943					
平 均	2,080	998	2.08			35	23

28日までの測定がサーミスター温度計で行われたのに対して 4月29日以後の測定が水銀温度計で行われたためである。もちろん 原理的に狂いようがないサーミスター温度計によるものを信用すべきで ここで使った水銀温度計は実際より1°C高い温度を示している と解釈するのが自然であろう。したがって 上り切った水温としては 49.2°Cを採用すべきであろう。

図17で注目されるのは ガス水比と塩素度とが関係ありそうなことである。そこで ガス水比と塩素度との関係を図示してみたのが図18で 両者の間には明らかに正相関関係が認められる。ただし 本図には明らかに一般傾向とちがった値を示す4月24日 4月25日 5月

7日 5月8日 および5月12日の5点が消されている。残った19点について 最小二乗法によってガス水比(GWR)と塩素度との関係を求めると 次の式が得られる。

$$GWR = 1.0798 \times 10^{-3} C_l - 2.9066 \quad (11)$$

ところで 表2および図17についてみると 塩素度が大体落ちついた値を示すようになったのは 5月8日以後である。5月8日から5月21日までの塩素度の平均値は4,650mg/lであるから これを (11)式に代入して得られる2.11をもって 北郷町R1号井のガス水比の落ちついた値とすべきであろう。ここで 先に述べたガ

ス分析における CH<sub>4</sub> は 63.14vol% であるから CH<sub>4</sub> だけについてみると ガス水比は 1.335 となる。また 図12について 塩素度 4,650mg/l および深度 684.05 m の場合の飽和ガス水比を求めると 1.32 となって 上に求めた値とよい一致を示している。後で述べるように 北郷町 R 1 号井のガス付随水の成分のうち NaCl に多いのは HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> で 2,876mg/kg もある。これは HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> の濃度が CH<sub>4</sub> の水に対する溶解度に影響を与えていないことを示す重要な事実である。

4) 水質

4月28日に採取したガス付随水(温泉)について 宮崎県衛生研究所が行った分析の結果は 次に示すとおりである。

陽イオン

H <sup>+</sup>	0.000mg/kg
K <sup>+</sup>	84.61 "
Na <sup>+</sup>	3,813 "
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	16.75 "
Ca <sup>2+</sup>	84.21 "
Mg <sup>2+</sup>	23.64 "
Fe <sup>2+</sup>	3.188 "
Zn <sup>2+</sup>	0.041 "

A<sup>3+</sup>

0.210 "

陰イオン

OH <sup>-</sup>	0.002mg/kg
Cl <sup>-</sup>	4,354 "
Br <sup>-</sup>	11.68 "
I <sup>-</sup>	20.00 "
F <sup>-</sup>	0.841 "
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,876 "
HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.170 "
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.029 "
BO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	6.851 "
HS <sup>-</sup>	0.116 "
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.207 "
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.067 "
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	1.062 "

非解離成分

H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	68.77 mg/kg
HBO <sub>2</sub>	952.4 "
HAsO <sub>2</sub>	0.014 "
CO <sub>2</sub>	352.3 "
H <sub>2</sub> S	0.102 "

その他

pH	7.1(44°C)
比重	1.007(20°C/4°C)
溶存物質総量	12,320 mg/kg

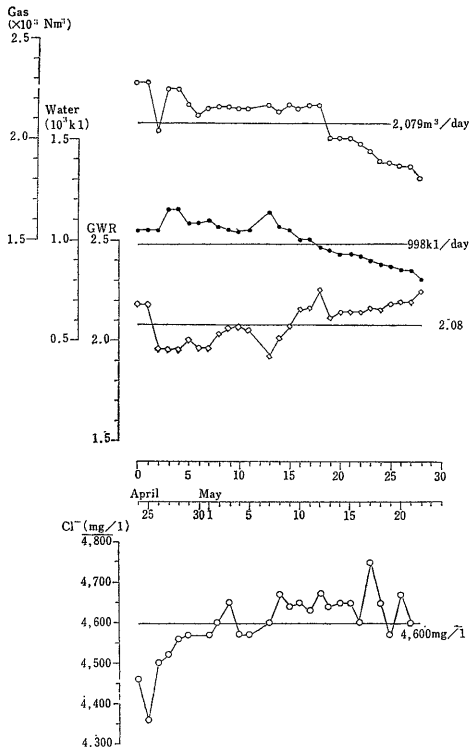


図17 北郷町 R 1 号井の産出経過 (4月24日~5月22日)

以上の分析結果に基づいてきめられた泉質は 含重曹ホウ酸ヨウ素一食塩泉(緩和高張性高温泉)である。この温泉名にも現われているように 上の分析結果から重要な成分をとり出して示すと 次のようになる。

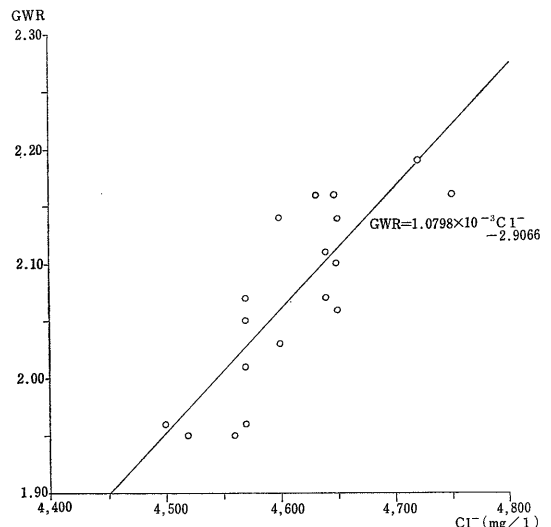


図18 北郷町 R 1 号井のガス水比と塩素度との関係

Na <sup>+</sup>	3,813	mg/kg
Ca <sup>2+</sup>	84.21	"
Mg <sup>2+</sup>	23.64	"
Cl <sup>-</sup>	4,354	"
I <sup>-</sup>	20.00	"
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,876	"
HBO <sub>2</sub>	952.4	"

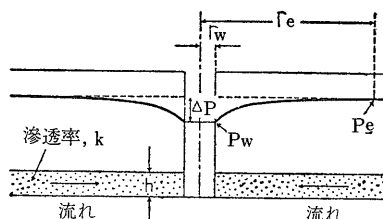


図19 放射状流における Darcy の公式の説明概念図 (金原ほか2名 1958)

以上に述べたことから 北郷町R1号井のガス付随水の  
水質の特徴は 次のように要約される。

- 1) 水温および pH はそれぞれ 49.2°C および 7.1 である。
- 2) Cl は 4,354mg/kg で海水のおよそ 22.5% である。
- 3) ヨウ素—塩素比 (I<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> × 10<sup>3</sup>) は 4.59 で 沖縄島南部ガス田の T<sub>13</sub> 部層を除く諸ガス層のそれとまったく同じである。これは双石部層のような浅海成層にはあり得ないことでガス付随水中の I<sup>-</sup> や Cl<sup>-</sup> の起原の大半が 上位の郷の原部層にあることを示している。
- 4) Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> は 3.56 で 沖縄島南部ガス田の T<sub>13</sub> 部層 (島尻層群の基底砂礫層) を除く諸ガス層のものよりは少し大きく ガス付随水の Ca<sup>2+</sup> や Mg<sup>2+</sup> の起原の一部が 下位の日南層群にあることを示している。
- 5) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> は 2,876mg/kg もある。これに CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> の 1.062 mg/kg のを加えると 2,877.062mg/kg となり 温泉では北海道の二股温泉に次ぐ高い値を示す。
- 6) HBO<sub>2</sub> は 952.4mg/kg もあり これは北海道の瑠辺斯温泉に次ぐ高い値を示す。

- 1) 主成分は CH<sub>4</sub> (63.14%) および CO<sub>2</sub> (35.18%) である。
- 2) He が 0.004% 含まれている。
- 3) O<sub>2</sub> を基準として空気混入に対する補正をしてから計算した He/N<sub>2</sub> は 8.9 × 10<sup>-3</sup> もある。これは沖縄島南部ガス田の T<sub>13</sub> 部層のもの 2.48 倍もあって ガスの起原が大部分下位の日南層群以下の諸岩層にあることを示している。
- 4) このガスには 22.9ppm の H<sub>2</sub>S が含まれているが このガスが CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub>S からなっているとすると H<sub>2</sub>S の濃度は 65.1ppm となる。これは CO<sub>2</sub> を主成分とする函館市湯の川温泉の白湯の温泉ガスの H<sub>2</sub>S 濃度 (福田・永田 1974) の 1.4 倍で CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub>S が火山性のものであることを暗示している。

以上の水質・ガス質に関する解釈についてわかりにくい点があれば 著者等の既刊の論文 (福田ほか44名 1971; 福田 1971; 福田 1976; 福田・永田 1977; 福田 1977) を参照されたい。

### 6) 産出指数と浸透率

共水性ガスおよび付随水に関する産出試験の中でとくに重要なのは その坑井に関する産出指数を求めることおよび圧力回復試験によってガス層の浸透率を求めることである。

4月28日に静止状態で深度700mのところの坑底圧を測定したところ 69.66ksc であり また自噴による揚水量 1,045kl/day の時の同深度の坑底圧は 65.98ksc であった。それ故 自噴の際の産出指数 (PI) は次のように算出される。

$$PI = \frac{1,045}{69.66 - 65.98} = 284.0 \text{kl/day/ksc}$$

上の計算式からもわかるように 産出指数は単位圧力降下 (kg/cm<sup>2</sup>=ksc) に対する単位時間の産出水量 (kl/day) である。ところで よく知られているように 外半径 r<sub>e</sub> (影響圏の半径) 内半径 r<sub>w</sub> (坑井の内径) の 2 つの同じ円筒面の間で流れが生ずるものとし 外半径 r<sub>e</sub> のところの圧力は P<sub>e</sub> で一定 また内半径 r<sub>w</sub> のところ

注意深い読者はすでにお気づきのことと思うが 4月28日の現場の分析では Cl<sup>-</sup> が 4,560mg/l となっているのに対して 宮崎県衛生研究所の分析ではそれが 4,354 mg/kg となっている。現場の分析は AgNO<sub>3</sub> 溶液による滴定であるから それによって得られるものは 厳密に言えば 海洋学でいう塩素度 (chlorosity) で 試料 1 l 中の全ハロゲンイオンに当量な Cl<sup>-</sup> の質量であるから Cl<sup>-</sup> 以外のハロゲンイオンの分だけ大きくなるはずである。それに 宮崎県衛生研究所の試験成績書によれば このガス付随水の比重 (20°C/4°C) は 1.007 であるから この点からも現場分析の方が少し大きな数値を与える。しかし この 2 つの理由だけで 2 つの分析値のちがいを説明するのは困難であり 現場分析の試薬の調査に問題があったのかも知れない。それはそれとして 産出試験の間同じ調査による試薬が使われたのだから 4月28日のガス付随水に掘削・仕上げの際に地中に入った地表水の影響が残っていたことは確かである。

### 5) ガス質

先にはガス量の算出に必要なガス比重の算出にガスの組成を使ったが 北郷町R1号井のガス質の特徴は 次のように要約される。

では  $P_w$  という一定の圧力が保たれている (図19) とすると Darcy の法則は次の式で現わされる。

$$Q_o = \frac{2\pi kh(P_e - P_w)}{\mu \log \frac{r_e}{r_w}} \quad (12)$$

ここで  $k$ : 浸透率 ダルシー [darcys]  
 $h$ : 有効層厚 [cm]  
 $P_e, P_w$ : 静止状態および産出状態における一定深度の坑底圧 気圧 [atm]  
 $\mu$ : ガス層の条件下における水の粘性係数 センチポアズ [cp]  
 $Q_o$ : 産出水量 [cc/sec]

それ故 坑井の内径がちがっている2つの坑井について一方の坑井の  $kh$  が知られている場合 他方の  $kh$  を近似的に計算することができる。沖繩島南部ガス田の沖繩県3号試験井と北郷町R1号井の場合についてこれを実際にやってみよう。

	沖繩県3号試験井	北郷町R1号井
$kh$ (md·m)	10,545.7	$x$
$PI$ (kl/day/ksc)	135	284.0
$\mu$ (cp)	約 0.75	約 0.60
$r_e$ (m)	500	500
$r_w$ (m)	0.1015	0.1273
$r_e/r_w$	4,926.1	3,927.7

結局  $x$  は次のようにして求められる。

$$x = 10,545.7 \times \frac{0.75}{0.60} \times \frac{\log 4,926.1}{\log 3,927.7} \times \frac{284.0}{135}$$

$$= 10,545.7 \times 1.25 \times \frac{3.6925}{3.5941} \times 2.104 = 28,494.5$$

したがって 北郷町R1号井の有効層厚がわかればガス層の平均浸透率を算出できることになる。この有効層厚として先に求めた 109.3 m を採用すると 平均浸透率は

$$28,494.5 \div 109.3 = 260.7(\text{md})$$

となる。

次に圧力回復試験の結果を紹介しておこう。これは一般の地下水の場合の水位回復試験に当るもので 共水性ガス井においては ガス泡のため水位を正確に測定することができないので 坑井内の一定深度における圧力の変化を連続的に記録し それから浸透率を算出するのであるが 原理は水位回復試験と同じである。よく知られているように 一般にこの計算は次の式によって行なわれている。

$$k = \frac{21.9 \times q \times \mu}{m \times h} \quad (13)$$

ここで  $k$ : 浸透率 ミリダルシー [md]  
 $q$ : 水量 [kl/day]  
 $\mu$ : 水の粘性係数 センチポアズ [cp]  
 $m$ : 勾配 [ksc/cycle]

$h$ : 有効層厚 [m]

4月30日から5月1日にかけて行われた測定ではこれらの実際の数値は次のとおりであった。

$q$ : 1,045 kl/day  
 $\mu$ : 0.6 cp  
 $m$ : 0.61/cycle  
 $h$ : 109.3 m

したがって これらを式 (13) に代入して 浸透率  $k$  が求められる。

$$k = \frac{21.91 \times 1,045 \times 0.6}{0.61 \times 109.3} = 206.0$$

すなわち 求める浸透率は 206.0 md であって 沖繩県3号試験井との産出指数の比較から求めたものより少し小さ目に出ている。これは同じ坑井との比較および圧力回復試験によって求めた沖繩島南部ガス田具志頭R1号井の場合と同じである。

ここでいささか説明を要するのは 勾配(m)であろう。圧力回復試験の記録の解析に当っては 片対数方眼紙を使用し 対数目盛を横軸として これに  $\frac{\Delta t}{t + \Delta t}$  をとり これに対して坑底圧測定器に記録された圧力がプロットされる。ここで  $t$  は運転停止までの運転時間の合計(分)であり また  $\Delta t$  は運転停止後の経過時間(分)である。そして横軸の  $10^{-3}$ ,  $\sim 10^{-2}$ ,  $10^{-2}$ ,  $\sim 10^{-1}$  等々がサイクル (cycle) と呼ばれ その間の平均圧力回復 (ksc) が勾配である。北郷町R1号井の場合には 測定は深度700 mのところ坑底圧測定器をセットして行われ また運転停止までの運転時間は 2,940 分であった。4月30日から5月1日にかけて行われた圧力回復試験の結果から勾配を求めるのに使ったグラフが図20である。このようなグラフは一般に圧力回復曲線と呼ばれている。

### 13. 今後の技術的課題

浸透率の算出に当って 前節ではとくにことわらないで 真の有効層厚 109.3 m を使った。この有効層厚を算出するのに使った余弦の値 0.6507 に対応する 双石部層の平均傾斜は  $49^\circ 24.5'$  である。このような急傾斜層を水平層と同様に扱ったのだから 前節で求めた浸透率は大体のオーダーを示すものとして考えなければならぬ。しかし この場合坑井より上り傾斜側の水は出やすく 下り傾斜側の水は出難いのだから 求めた浸透率は当らずとも遠からずといった面もあるはずである。これが水平層に近ければ EVERDINGEN-HURST(1949)の方法によって 開発・生産の進行に伴う坑底圧(ガスのない場合は水位と考えてもよい)の変化を予測できるのであるが 北郷町R1号井の場合のような急傾斜層については その適格な方法は知られていない。したがって 本坑井の上り傾斜側の適当なところに観測井を設け

水位の変化だけでも連続的に観測する必要がある。この観測井は双石部層全体をカバーするものでなければ意味はないから 地層の傾斜が平均 30° のところに観測井を設けるとすると 観測井内の双石部層の見掛けの厚さがおよそ 130 m となるから 被りを 100 m また捨孔を 20 m とると必要な深度はおよそ 250 m となる。

北郷町 R 1 号井の産出試験について残念だったことは産出経過を足かけ 29 日間しか見届けることができなかったことである。ここで「29 日間しか」といったが 実はこれでも長い方なのであるが 本坑井が自噴井でありかつ開発対象とした貯留層（双石部層）が 50° 近い急傾を示すというこれまでに経験したことのない稀有な例なので 産出経過がもう少し落ち着くまで——欲をいえば 図 17 に示した諸量が変化をほとんど示さないようになるまで——産出経過を見届けたかった。それだけに 本坑井の生産開始後の毎日毎日の管理観測を怠ってはならない。この管理観測によって どの程度に生産量を押えてやれば 自噴による生産期間を最長にできるか 場合によっては自噴を永久に続けさせることができるかを知る so できるのである。上に述べた観測井による観測も この管理観測の一環として考えるべき面をもっている。

#### 14. 開発上の注意

先に述べたように 水質分析のため宮崎県衛生研究所が試料採取を実施したのは 4 月 28 日であり その後も継続して行われた現場の分析によれば この時点で塩素度は上り切っていなかった。したがって 全開状態の自噴を少なくとも 1 昼夜続けた後 そのままの状態でもガスおよび付随水を採取して 改めて分析しておく必要がある。産出経過のなかで性質の変化が予測される北郷町 R 1 号井のような場合には 産出挙動を考える上で 初期条件を正確におさえておくことが何より大切なのである。よいことづくめの北郷町 R 1 号井のガスおよび付随水にも 泣きどころがある。それはガスのなかに H<sub>2</sub>S が 22.9 ppm 含まれていることである。一般の浴客のなかには H<sub>2</sub>S 臭を温泉のおいと感じがいて 浴泉らしくてよいという方も少なくないが 実はこれは呼吸器をおかす毒ガスなのである。そればかりでなく H<sub>2</sub>S を含んだガスを燃料用に使うと 器具を急激に痛める。H<sub>2</sub>S を含むガスは本来脱硫してから使い また放出しなければならぬものであるが それをやっているのは 湯の川温泉の大半に給湯している函館市水道局温泉事業課くらいのものであろう。この脱硫は単で KMnO<sub>2</sub>（過マンガン酸カリウム）の飽和水溶液のなか

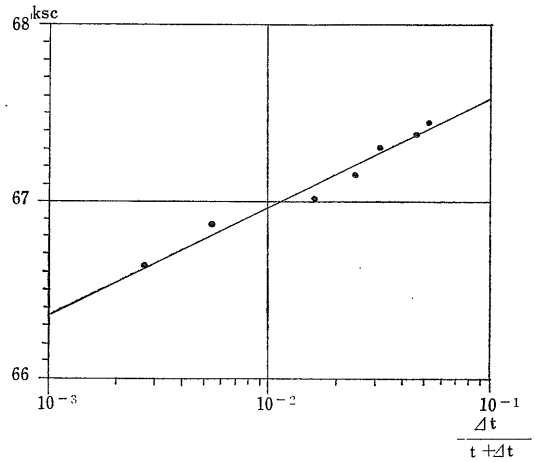


図 20 北郷町 1 号井の圧力回復曲線（4 月 30 日～5 月 7 日）

を通してやるだけでよいのだから 北郷町でもぜひ実施して欲しいものである。

6 月 8 日以後 北郷町 R 1 号井は水量およそ 320 kL/day のかなり絞った形で使われている。面白いことにこの状態における H<sub>2</sub>S は 10 ppm 前後である。この間バルブを全開にした 6 月 26 日 18 時から 6 月 29 日 12 時までの間の H<sub>2</sub>S も これと同じ濃度を示した。こうなると H<sub>2</sub>S の変動の原因がますますわからなくなるが いずれは本坑井は全開に近い状態で使われるようになるのだから 脱硫装置の設計は余裕を十分とった形でなされるべきであろう。

#### 15. あとがき

まえがきで述べたように 日南ガス田では 昭和 30 年 12 月から昭和 36 年 6 月にかけて 貝島炭鉱が 9 本の試掘を行い そのうち 7 本でガスおよび付随水の産出をみたが なぜか企業化に至らなかった。しかし 本ガス田にとっての決定的なダメージは 昭和 43 年 日南温泉の源泉として使用し始めた同社の日南第 5 号井が 半年足らずで スケール付着のため 使用不能になってしまったことであろう。水質からみて この原因はエアリフトによる揚水にあるのだが 日南温泉の関係者および地元住民は この地方のガス付随水そのものに原因があると思ひこみ その開発を誰もかえりみなくなってしまうのである。

著者の 1 人福田が日南ガス田の調査に入ったのは この年であった。また 昭和 51 年度には 宮崎県の申請を受けて 著者等が 本ガス田の総合的な見直しを行った。日南温泉の失敗の原因が自然の側にあるのではな

くやり方がわかったのだという私どもの意見に全面的な信頼をおかれた北郷町では 地下の天然ガスおよび付随水を地域開発に生かすことを考え その第一歩として北郷町R 1号井の掘削に踏み切ったのである。これからガスを除き 風力を加えれば 小さなエネルギー資源を有効に使って「地域エネルギー圏」をつくろうという科学技術庁資源調査会コミュニティ・エネルギー小委員会の考え方のミニ版といえる。もっとも 非火山性地熱水の大半がガス付随水でもあることは 同小委員会でも先刻ご承知で ガスの利用はすでに知られているので 調査の対象を風と地熱とに絞るというのが実情だから 北郷町の考え方がいかに前向きのもかがわかる。今後とも科学・技術の基盤に根を下した同町の事業が発展し 科学・技術的地域開発のよいモデルケースとなることを期待するゆえんである。

北郷町R 1号井はみごとに成功した。しかし その成功が鮮やかだっただけに心配な一面がある。それは一般に理解され易い温泉井としての側面だけが注目されて 利用に際して主役の天然ガスが忘れられがちなことである。それはまだよい。唯一の無公害燃料である天然ガスを家庭用や工業用燃料として利用し 公共の福祉に役立てようとする どこからか妨害の手がのびてくることがしばしばあるのが 先進国と自他ともに任じているわが国の現状である。北郷町へ進出を考えている公共福祉施設・病院や企業もあると聞かすが 公害のない北郷町において 天然ガスを捨てて重油を燃すようなことは決してしないで欲しい。

天然ガスのもっとも効果的な利用法は 何といっても産出現場またはその付近で燃してしまうことである。この面での最近のヒットは 長野県小諸市の千曲興業(株)小諸鉱山における電子部品の製造に対する天然ガスの利用である。同社では小型の電気抵抗部品の製造をしており その製造工程のある部分に一般に使われている電熱のかわりに 社庭の浅井戸から自噴する天然ガスを燃しているのだから その分だけコストを下げることができるのは自明の理である。北郷町の場合 付随水(温泉)の生産量がふえれば 天然ガスの生産量もふえて家庭燃料的な使い方では使いきれなくなるのだから 小諸鉱山にみられるような前向きの利用法についても 今から研究しておいて欲しいものである。

拙筆に当り 北郷町1号井によって得られた資料および同町の申請によって地質調査所が行った昭和52年度の受託調査(担当著者等)の成果の公表を許可された北郷町 ならびにとりまじめにご協力をいただいた(株)富士ボアリングに 心から感謝

の意を表する。

## 参 考 文 献

- DODSON, C. R. and STANDING, M. B., 1944, Drilling and Production Practice: API. EVERDINGN, A. F. van and HURST, W., 1949, The Application of the Laplace Transformation to Flow Problems in Reservoirs: Jour. Petrol. Tech., vol. 1, no. 12, pp. 305-326.
- 福田 理 1971 わが国のヨード資源:地質ニュース 199号 pp. 1-23
- 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 pp. 527-536.
- 福田 理 1976 水溶型ヨウ素-ガス鉱床について:天然ガス 19巻 9号 pp. 14-27.
- 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 pp. 121-132.
- 福田 理・永田松三 1974 橋いを転じて福となす〜湯の川温泉の炭酸ガス資源とその開発状況〜:地質ニュース 242号 pp. 1-13.
- 福田 理・永田松三 1977 具志頭R 1号井自噴す。地質ニュース 276号 pp. 1-17.
- 石和田靖章・牧野登喜男 1961 宮崎県日南地区調査報告 II 地化学調査:九州地方天然ガス開発利用調査報告 pp. 201-212.
- 金原均二ほか2名 1958 天然ガス-調査と資源-:361 pp., 朝倉書店
- 木野義人 1958 5万分の1地質図幅「日向青島」および同説明書:63 pp.
- 木野義人 1959 a 5万分の1地質図幅「飢肥」および同説明書:28 pp.
- 木野義人 1959 b 5万分の1地質図幅「都井岬」および同説明書:18 pp.
- 木内四郎兵衛 1950 恒温層の深度と温度に関する考察:地学雑誌 59巻 677号 pp. 88-92.
- 黒田秀隆・松本達郎 1942 日向南部の地質学的研究(予報)一特に油津町を中心として(演旨):地質学雑誌 49巻 585号 pp. 255-256.
- MURATA, S., 1951, On the Paleo-ecological Investigation of the Fossil Foraminiferal Fauna in the Miyazaki Group with Description of New Species: Bull. Kyusyu Inst. Technology: no. 1, pp. 91-104.
- 沖縄天然ガス研究グループ(福田 理ほか44名) 1971 沖縄における天然ガス資源調査の経緯と成果:石油技術協会誌 36巻 3号 pp. 153-169.
- 大塚弥之助 1930 宮崎県高鍋町付近の地質学的問題:地理学評論 6巻 7号 pp. 1048-1074.
- 首藤次男 1952 宮崎層群の地史学的研究:九州大学理学部研究報告地質学之部 4巻 1号 pp. 1-40.
- 首藤次男 1958 宮崎県南東部のガス田:17 pp., 宮崎県
- 首藤次男 1963 日南層群の地史学的研究:九州大学理学部研究報告地質学之部 6巻 2号 pp. 135-166.
- 高柳洋吉・千地万造 1973 日本新第三系の浮遊性有孔虫層序とくに基準となる datum planes について:地質学論集 8号 pp. 11-22.