

沖繩の水資源

～ 2. 沖繩本島南部の水理地質～

小西泰次郎・木野義人・野間泰二・井上正文

まえがき

第1次の沖繩水資源調査に関する技術指導を通じて得られた 沖繩全般の水資源現況については 本誌 182号 (1969～10) に紹介されたところであるが そのうち沖繩本島南部については 現地踏査によってやや詳しい水理地質的情報が得られたので 主としてこれについて紹介し 合わせて探査 開発の指針に触れてみたいと思う。

1. 地下水のあり方

地下水を含む地層

沖繩の一般地質状況については 天然ガスなどに関連してしばしば述べられている通りであるが そのうち本島南部の地下水に関与する地層は 島尻層群と琉球石灰岩とである。 島尻層群は南部地域一帯にわたって地下深くまで分布する。 これに対し琉球石灰岩は島尻層群を不整合におおって 糸満町・具志頭村・玉城村・知念村など南縁端部に広く厚く分布するが 那覇市・与那原

町・豊見城村・南風原村・佐敷村・大里村・東風平村では 丘陵の稜線部や山頂部に断片的に分布するに過ぎない。 島尻層群は地表で見られるものは大部分泥岩質のものであり 全体として南東～南々東に向かってゆるやかに傾斜している。 北西側すなわち相対的に下部に当る那覇市付近では 小祿砂岩など比較的厚い細砂岩層が挟まれており それらは被圧帯水層となっている。 しかし上部に当る南東側では泥質のものが多く 帯水層として利用の対象となるものはまれである。 これに対して琉球石灰岩はほとんど例外なく その基底部すなわち島尻層群との不整合面に沿って自由地下水を保有している。 島尻層群は新第三紀中新統～鮮新統 琉球石灰岩は鮮新統～更新統にそれぞれ属するものとされている。

島尻層群の地下水

天然ガスを対象とした那覇1号井・同2号井および那覇市周辺の水井戸資料などによって 那覇市においては

深度 900m 以上におよぶ島尻層群中に少なくとも 8層の砂岩層が挟まれていること および飲用・冷却用・洗滌用などとして利用可能な水質は一番上の小祿砂岩とその下位 100m 位までの砂層中に求めることができる といったことが判明している。 那覇市付近の工場・事業場・学校等 公共施設・旅館・ビル・商店 および一般家庭などでは 深度 50～200m の深井戸によって これらの地下水を利用している例が多く見られる。

しかしこれら砂岩層はその傾斜方向すなわち南東～南々東に向かって漸次深くなり それに伴って天水滲透の影響が稀薄となり ガス水性を帯びてくる。 小祿砂岩層について その地下水としての利用限界深度はほぼ 200m 程度



第1図 沖繩本島南部案内図 (琉球石灰岩のおもな地下水露頭を示す)

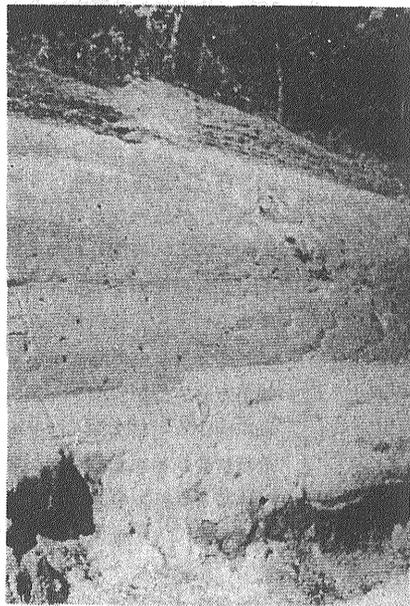
第1表 島尻層群の地下水の水質例

所在地	名称	種類	水温 (°C)	水比抵抗 (Ω-cm)	硬度 (ppm)	塩素 (ppm)
那覇市安謝	製油工場水源井	深井戸	23.3	290	1,052	1,031
" 石嶺	酒造工場 "	"	24.2	1,670	160	65
" 首里	味噌醬油工場 "	"	25.3	1,700	254	70
" 繁田川	乳業工場 "	"	26.7	1,850	50	52
" 古波蔵	煙草工場 "	"	24.1	1,430	228	54
" "	製糖工場 "	"	22.4	290	27	413
豊見城村豊見城	豊見城簡易水道	"	21.6	1,600	81	104
" 瀬長	瀬長簡易水道 "	"	22.4	1,600	321	93
" 金良	" "	"	18.0	400	32	1,130
" 上田	上田簡易水道 "	"	23.2	410	45	953
南風原村喜屋武	畑灌用 "	"	22.6	400	21	1,131
" "	浴場用 "	"	22.6	500	21	609
" 照屋	染色工場 "	"	22.8	1,000	302	135
" 与那覇	" "	"	23.4	380	52	1,640
" "	" "	"	22.5	390	66	1,310
豊見城村豊見城	豊見城城址	*湧水	20.2	3,600	139	25
" 高嶺	藤ガ一	* "	21.1	1,800	286	46

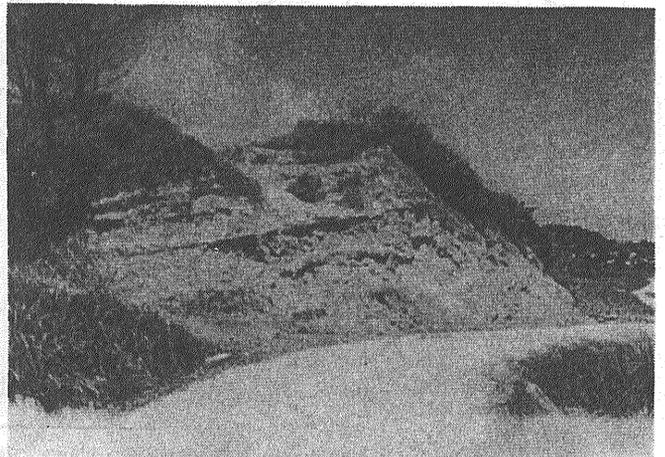
* 比較のため 石灰岩からの湧水 2例を併記

(硬度と塩素は琉球工業研究指導所の分析 小数点以下は四捨五入)

までで 地理的には豊見城村中部——南風原村中部——与那原町北部の線以北が限界区域となっているようである。一方これら砂岩層は海岸近くでは上方から海水の浸入を受けて塩水化していることがある。第1表は島尻層群中地下水の水質の一部を示したものである。硬度に対して塩素量が異常に大きいものは化石塩水に属し



① 島尻層群那覇層 小粒砂岩の露頭(那覇市小嶺にて)南東方向に傾斜し 地下にはいつてこの付近の主要な帯水層となる



② 島尻層群与那原層の露頭 泥岩を主とし細砂岩薄層を挟む(東風平村にて)この付近では利用可能な地下水を含む帯水層はない

いずれもやや淡褐色を帯び ガスの気泡を伴っている。

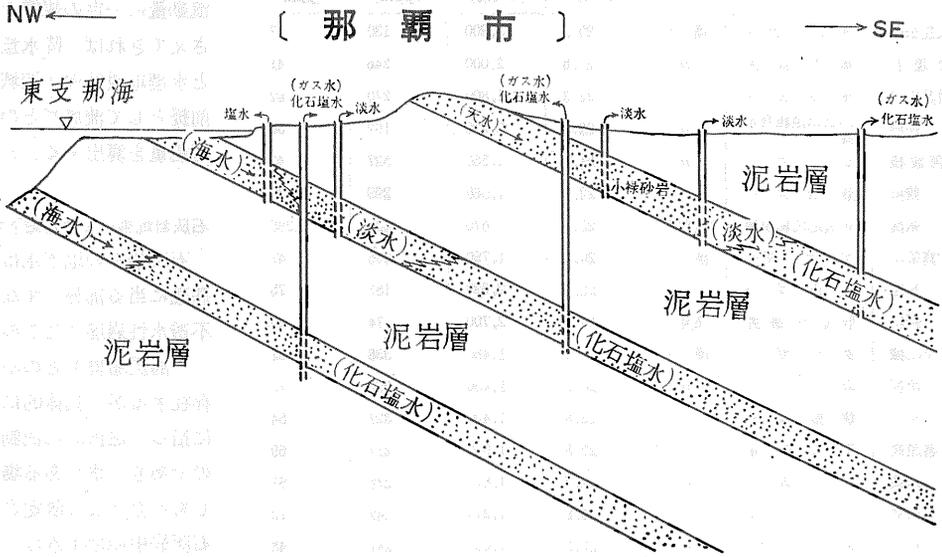
琉球石灰岩の地下水

琉球石灰岩が広く分布する糸満町・具志頭村・玉城村および知念村では 水源の大部分をその石灰岩中の地下水に依存している。これら石灰岩地帯の地下水のあり方は第3図に示すように2つのタイプに分けて考えることができる。タイプ(A)は第3図—(A)のように石灰岩と島尻層群との不整合面が海面上にあるものを指す。この場合石灰岩台地上に降った雨は一たん石灰岩の基底まで滲透するが その後は不整合面の凹凸や勾配にしたがって周縁部に向かって流動し 石灰岩急崖下から地表に排出される。したがって石灰岩基底における地下水流動量のほと

んど全量が 総湧出量として地表で捕捉されることになる。このタイプの代表的な例は佐敷村と知念・玉城両村との間の石灰岩台地に典型的に見られるが 那覇市・豊見城村・大里村などで稜線部や山頂部に断片的に石灰岩が載っているものも全部このタイプに属する。

次にタイプ(B)は第3図—(B)のように石灰岩と島尻層群との不整合面が海面下に没しているものである。また不整合面が海面上にあっても それが地表面下に隠れているものもタイプ(B)に属する。この場合は石灰岩基底の地下水は 一般に地表に現われることなく 直

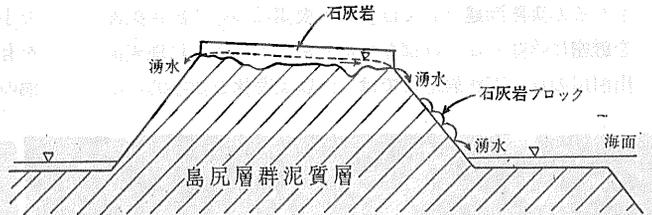
第2図 那覇市付近における島尻層群の水理地質構造概念図



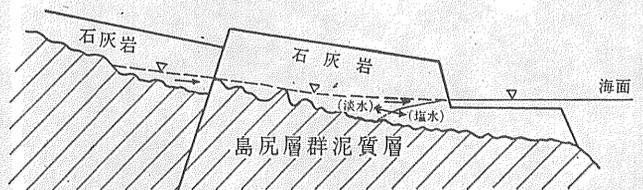
接海面上あるいは海中に排出される。したがって地下水流動量の大部分は地表から捕捉されにくい。このタイプの代表的なものは糸満町最南端の喜屋武地区および摩文仁地区に広く分布し、ここでは未だ地下水をほとんど捕捉することができない。これら2つのタイプのうち(A)においては、特殊な条件による以外に総湧出量以上の地下水を新たに加算し、あるいは求めることはできないが、(B)においては、その地下水流動量の大部分若しくは一部は知られていないわけであるから、地下水探査にとって重要な対象となり得る。なお石灰岩中の地下水の水質を第2表に示す。

れているアーマージャー（泉の固有名——“ガー”は泉などの水露頭を意味する）は踏査実測当時（1969年4月上旬）その湧出量が74ℓ/sec.すなわち日量約6,000m³であった。またこの湧水の集水面積は、水理地質構造的に約1.5km²と考えられる。年間降水量を2,000mmとすれば、この集水面積に対する降水量は日量平均8,000

(a) 石灰岩の基底が海面上にある場合



(b) 石灰岩の基底が海面下にある場合



第3図 琉球石灰岩地帯の水理地質構造概念図

石灰岩地帯における水文的予察

沖縄本島南部の琉球石灰岩地帯には地表河川はまれである。それは上流流域に比較的広い島尻層群露出地帯を有するものに限られ、不断河川としては、糸満町糸満地区北部に流出する報得川と、具志頭村と玉城村との境界に沿って流出するユヒ川との2つがあげられる程度である。とくに糸満町糸満と同町大里を結ぶ線以南の糸満町の2/3の面積を占める部分には全く地表河川がない。この地域で湧水の水量によって予察的に推算した水文的水収支について2つの例を紹介する。

糸満町真栄里地区簡易水道水源として利用さ

第2表 琉球石灰岩の地下水の水質例

所在地	名称	種類	水温 (°C)	水比抵抗 (Ω-cm)	硬度 (ppm)	塩素 (ppm)
大里村大里公園	チチンガー	湧水	20.3	3,200	130	37
玉城村垣花	垣花湧水	〃	22.8	2,000	246	41
具志頭村具志頭	ヤフガー	〃	22.3	1,800	270	62
〃 仲座	南部水道組合水源	〃	22.9	2,230	192	50
糸満町阿波根	シラガー	〃	21.1	1,560	327	42
〃 兼城	兼城ガー	〃	22.5	1,560	299	37
〃 糸満	糸満地区給水源	*浅井戸	22.5	670	431	285
〃 真栄里	アーマーガー	湧水	20.9	1,790	256	47
〃 与座	与座ガー	〃	22.2	2,320	187	75
〃 新垣	牧場水源井	深井戸	20.7	2,700	174	30
〃 宇江城	クラガー	湧水	16.4	1,430	338	51
〃 伊敷	カータガー	〃	20.5	1,430	395	72
〃 〃	伊敷ガー	〃	18.6	1,490	327	54
〃 喜屋武	喜びの泉	〃	22.8	1,670	217	69
〃 山城	アシガー	〃	22.7	1,670	278	61
〃 米須	ユタカ泉	〃	20.8	1,370	342	73
〃 〃	スーガー(東)	〃	22.2	1,850	247	48
〃 大度	サッチンガー	〃	22.8	500	310	180

* 帯水層は主として石灰岩層からなる海浜堆積物

(硬度と塩素は琉球工業研究指導所の分析 小数以下四捨五入)

m³余となる。したがって降水量の約2/3が湧出している勘定になる。次に米須および大度の海岸から湧出する水量は当時約30,000m³と算定された。これらの集水面積については未確定であるが、最大見積って約9km²であり、その集水可能量は約50,000m³となる。すなわちこの場合も降水量の約2/3が湧出していることになる。これらの例からそのまま計算すれば、集水面積1km²当りの地下水流動量は、3,000~4,000m³/dayとなる。もちろん実際問題としては多くの要素について設定条件を厳密に吟味しなければならないが、このように地表流出河川のない石灰岩地帯では、水収支関係を数字的には

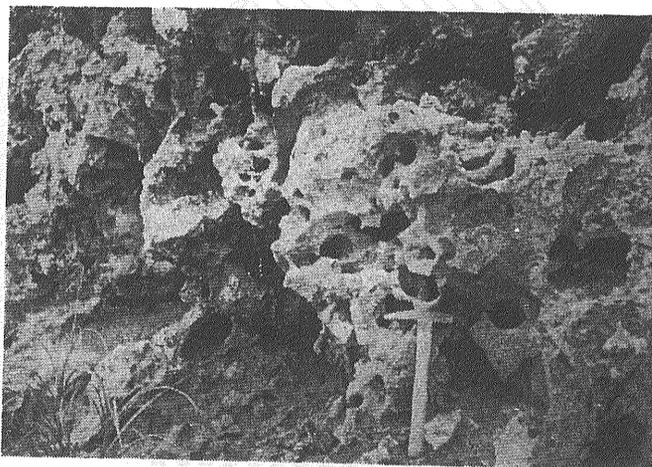
かなり単純な形でとらえ得る可能性があり、単位面積当りの地下水流動量に一定の規準を与えることさえできれば、降水量の経時観測と水理地質の地下流域の決定とを前提として流域ごとの地下水開発可能量を算出することができよう。

石灰岩地帯における地下水の賦存状態
石灰岩中の地下水は多くはその基底に当る部分、すなわち下位の不透水性岩層（この場合は主として島尻層群）との不整合面上に存在するが、具体的にはある部分に沿って選択的に流動しているものであり、またある場合には必ずしも不整合面に限定されていない。石灰岩中の地下水は、次のような部分に選択的に存在する。

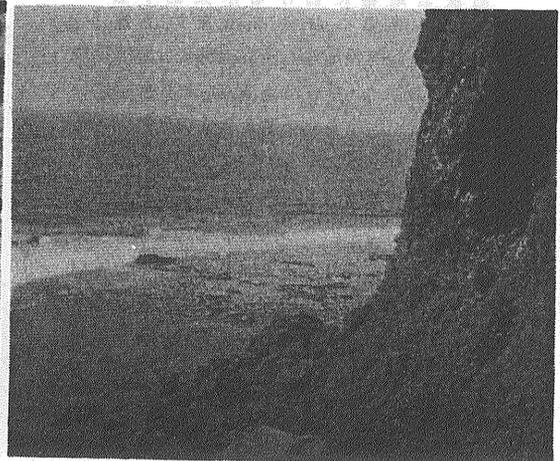
(a) 不整合面の谷部

(b) 石灰洞または割れ目

(a)は石灰岩が多孔質であるとか、細かい割れ目が網状に発達しているとか、あるいは基底に砂礫層を伴うなど、小部分をとってみても透水性の地層とみなすことができる場合で、このときは碎屑性堆積物の場合と同様に地下水面以下であれば、どの地点でも普遍的に地下水を得ることができる(第4図-a)。(b)は石灰岩が緻密で、小部分のサンプルだけでは、透水性地層としての性質を有していない場合で、地下水は散在する割れ目や石灰洞の中のみ存在する(第4図-b)。



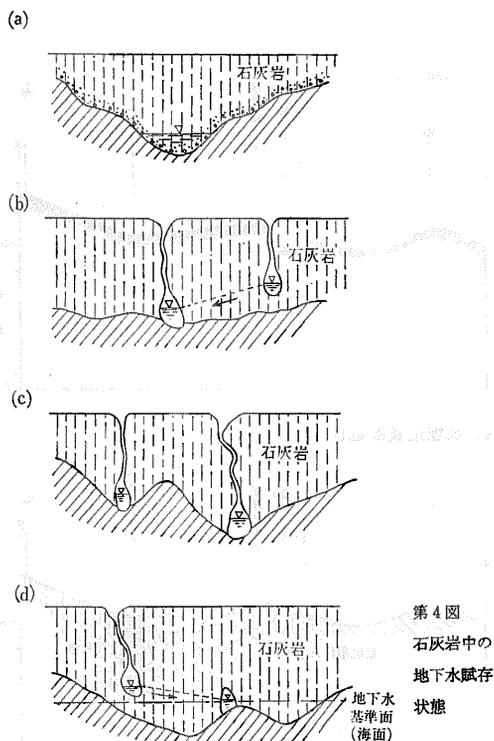
③ 琉球石灰岩の露頭 多孔質な部分(糸満町南部にて)



④ 沖縄本島南端の摩文仁海岸における琉球石灰岩の断崖 断崖の下には島尻層群や石灰質砂岩が露出していることがあり、不整合面付近に湧水が点在する

本地域石灰岩地帯の地下水は(a)と(b)が複合した形で第4図-cの状態にあることが多いようである。石灰岩と下位の不透水性地層との不整合面が地下水基準面以下にある場合は第4図-dのような状態も考えられ不整合面の形状とは必ずしも関係がない場合もあろう。

次に石灰岩地帯における地下水の流動方向や集水区域(地下流域)境界を求めるには地下地質構造の知識が必要である。その具体例を第5図によって示す。第5図-aは糸満町宇江城付近の東西方向地形断面と洞窟における水露頭の相対関係を海拔標高によって示したものである。地形的にはB地点は周囲をB地点以上の高度によって囲まれておりそのうち最も低い地点がA地点となっている。したがって一般通念からすればB地点の地下水が若し流動するとすればその方向はA方向しか無いように考えられ勝ちである。ところが地表地質調査の結果によればA地点付近には島尻層群が露出し一方D方向には厚い石灰岩が広く分布していることが分かった。またB地点の地下水観測結果によればその水比抵抗値はこのあたりの地下水としては相対的に大きな値を示し停滞性のものではないことおよび現にA方向からD方向に向かって流れているらしいことなどが分かった。またその後行なわれたC地点でのボーリング結果によればC地点における島尻層群表面高度はA地点のそれよりも低くかつ地下水位高度もB地点の



第4図
石灰岩中の
地下水賦存
状態

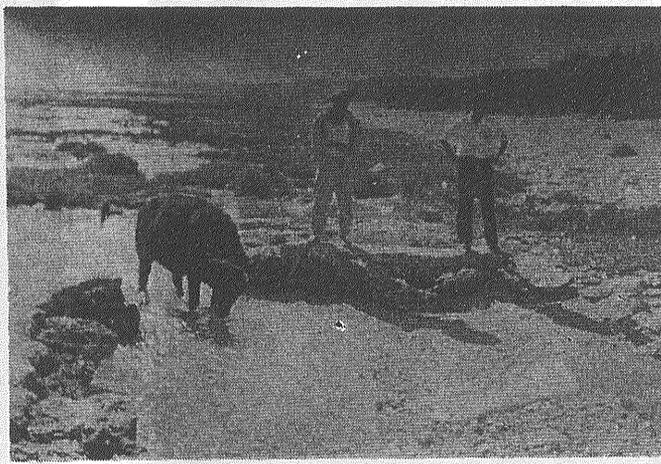
それより低いことが判明した。以上の結果を総合した水理地質断面が第5図-bである。これによってB地点の地下水がD方向に流れていることおよびB・C両地点で認められた地下水の集水区域(地下流域)の境界はこの断面についてはA地点であることなどが明らかとなったわけである。

2. 地下水の探査について

本地域地下水の探査・開発に関連して島尻層群に対

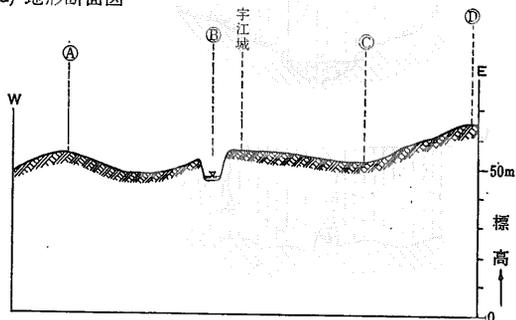


⑤ 石灰洞の底にしばしば見られる湧水(糸満町にて)

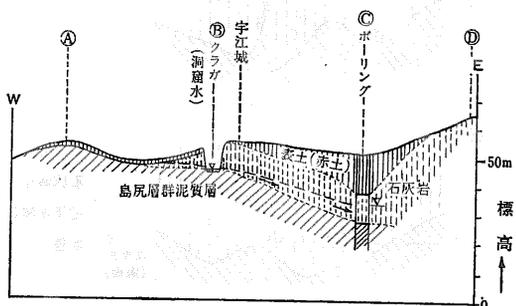


⑥ 海岸における石灰岩の割れ目からの湧水(糸満町米須スーガーにて)

(a) 地形断面図



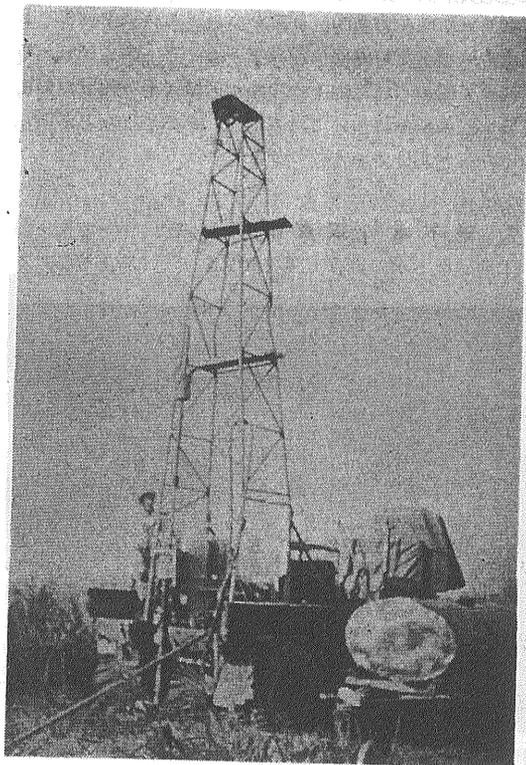
(b) 水理地質断面図



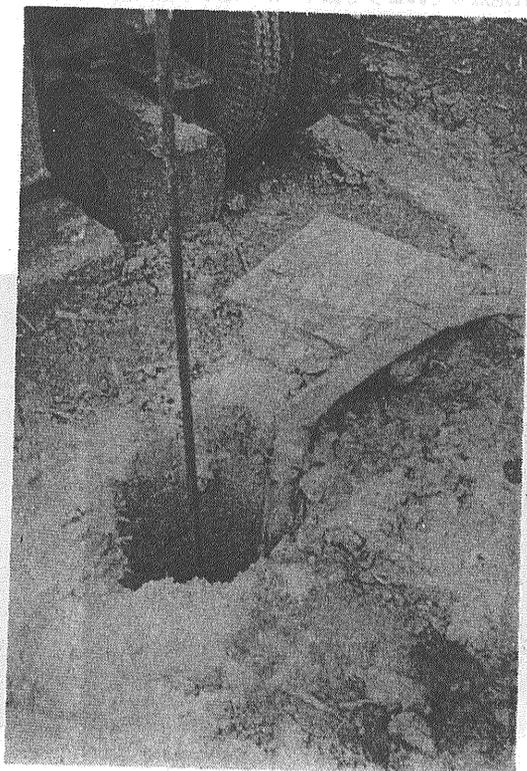
第5図 糸満町宇江城付近における地下水賦存状態の考察

する考え方はおおむね一般の地層水に準ずるものとしてさしつかえない。ただその帯水層としての対象が中新統～鮮新統の細粒砂岩層なので本邦にとっては類例の少ないケースとなる。とくにその透水性がかなり小さく那覇2号井における産出試験結果(本誌181号)から類推すれば小椽砂岩層などの透水系数は 10^{-3} cm/sec. のオーダー以下と考えられる。なお東京付近成田層群(更新統)の砂層は一般に 10^{-2} cm/sec. のオーダーであるからかなり小さいことになる。また地層の傾斜方向に向かって比較的浅い深度(200m前後と考えられる)でガス水性を帯びてくることに注意を要する。さらに島尻層群は過去において地殻変動の影響を受けたりしく地層の傾斜は $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ を示しかつ多数の断層によってブロック化しているので個々の帯水層を具体的に対比するに当ってはかなり厄介なものとなる。なおこのような島尻層群の岩相的・構造的・水理地質的性質は南九州の宮崎層群や御前崎付近の相良層群に酷似していることを付記する。

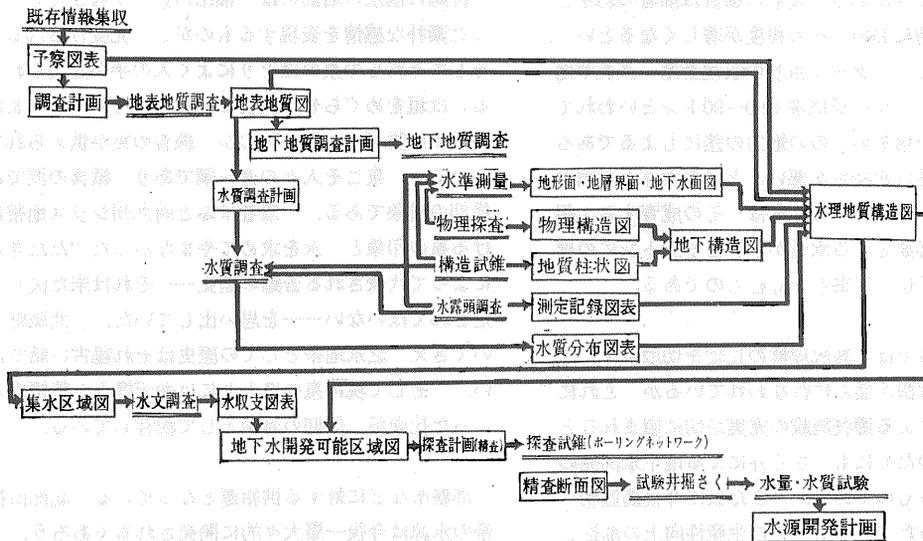
次に石灰岩地帯についてはそのやや具体的なあり方(第4図)が示すように地下水はいわゆる地下川の形態となって流動していることにおいて本邦としてはかなり特異な存在でありこれに対する注意と工夫が必要



① 石灰岩台地におけるロータリー試験 掘さく用水を現場に求めることができないので給水車は欠かせない



② 石灰岩地帯における網掘式試験 給水車から清水を注入しながら掘る いわゆる清水掘りである



第6図

石灰岩地域における
地下水調査計画例

であろう。地下川の幅は石灰洞の大きさからいってせいぜい2~3m程度と考えられる。したがって地表から井戸を掘ってこの地下川に逢着させることはかなり困難なことであり、文字通り水脈を探すことになる。

従来これら石灰岩地帯の地下水探査は、主としてぶっつけ本番式のさく井によって行なわれており、かつその貴重な掘さく資料についての系統的な解析が十分行なわれないまま、水が出れば成功、出なければ失敗といった結果論的な判断のみがなされてきた傾向が強い。本島南部地域の将来の水需給長期計画を考えた場合、やはり石灰岩地帯については相当程度の自給態勢を整備する必要があり、したがって地下水の探査方針については原則的・組織的な形から再出発すべきものと考えられる。

今後の地下水探査・開発は、原則的な手段と順序としてたとえば第6図に示すようなシステムによることが期待される。

なお現地の一部をやや詳しく踏査した結果、地質構造的谷部の位置やその延長方向については、地表地質調査によってあるていど見当がつくことがある。また地下川の流路についても、地形的・水理地質的な観察と考察によってあるていど追跡し、その範囲を50~100mの幅まで縮めることができる場合もある。また一方地表踏査のみでは谷構造や地下川の概略位置さえも全く手懸りが得られないことも少なくない。この場合はたとえば第6図に掲げたようなシステムに従って、緻密に捜査網を縮めて行く以外には理にかなった方法はない。いず

れの場合にも、最後の決め手になるのはボーリングとその解析によるものであることはいうまでもない。

3. 地下水の利用について

沖縄本島南部地域のうち、那覇市・与那原町・豊見城村・南風原村・東風平村・大里村・佐敷村など石灰岩に伴う湧水が相対的に少なく、かつ人口密度の大きい区域では、今日では最早、飲料水の確保さえ自給することは困難である。現在これらの地区に対しては水道公社によって本島北部山岳地帯の水源(那覇からの距離100~150km)および南部水道組合によって具志頭村仲座の海崖にある湧水からそれぞれ給水されているが、本島全体の需要が飛躍的に増大することが予想される今日、南部地域南半部に広く分布する石灰岩の地下水の開発・利用に対する依存度は、今後益々増大することこそあれ減少することは考えられない。

今後急速に需要増が予想されるものとしては、生活用水のほかに工業用水と農業用水が考えられる。まず工業用水については、いわゆる淡水用水型工場の立地は表流水の高度利用にまつほかはないとしても、用水量日量数100m³程度の加工工場の幾つかの立地できる位の新規水量は、水価格を最小限度に止めるためにも、地下水に依存せざるを得ないであろう。

次に本地域の主要農産物は、現在おもに甘蔗(さとうきび)であるが、今日なお灌漑施設は普及しておらず、天水依存によって栽培されている。これは島尻層群泥

質層(クチャ)地帯と石灰岩土壌(マージ)地帯とでは収穫量に大きな開きがあり 後者の場合は前者の約半分で とくに早魃時においてその程度が著しくなるといふ。ちなみに甘蔗の1ヘクタール当りの収穫量はクチャ地帯で150~180トン マージ地帯で60~90トンといわれている。これは土壌そのものの地力の差にもよるであろうが 石灰岩地帯は水持ちが悪いことにも大きな原因があると思われる。ちなみに甘蔗は その育成する1年~1年半の間に必要とする水量がトン当り80トンにのぼるといわれている位 元来水を好むものである。

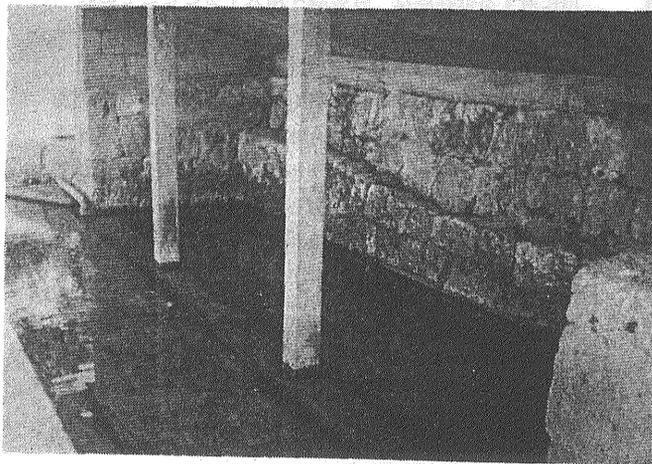
最近マージ地帯では 鳥尻層群の丘陵を切取って これを客土とする方法が盛んに行なわれているが これに加えて公共投資による灌漑施設の充実に切に望まれるところであり このためにも さく井による地下水開発の効果が注目されるものである。また仮に今後農産物の種類に変化があったとしても その生産性向上の前提として地下水の重要性は再認識されることになるう。

次に 本地域全般に通ずることであるが 聚落や山野や道路沿いの緑化に努めることは 単に観光的な側面ではなく 住民自身の精神生活に潤いと安らぎをもたらすための 本質的に重要な施策であろうかと思われる。沖繩戦最後の激戦地となったこの地の緑は かつて完全に消滅した。今日なお樹林に乏しく 道路といわず山野といわず どちらかといえばドライな 見渡す限り強烈な太陽をさえぎるものもない荒蕪たる光景が眼前に展開している。緑化の前提としてはやはり地下水開発が必要であり また緑化によって地下水の量的保全と調節の機能が生じ得るのである。

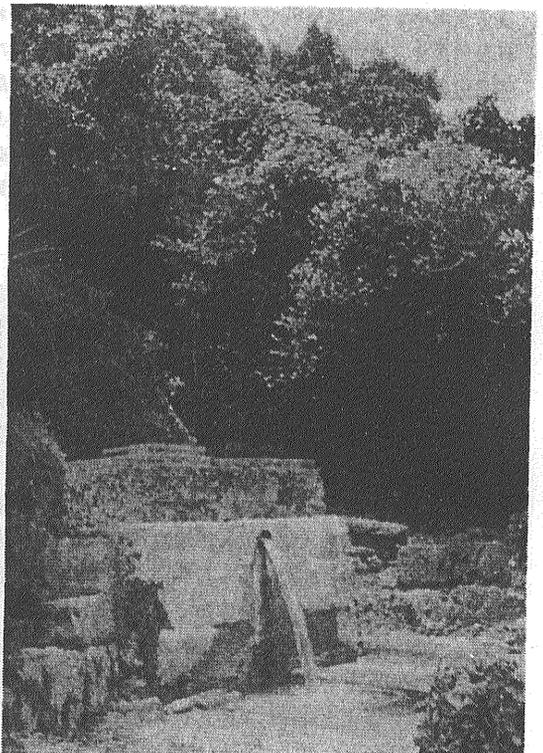
あとがき

沖繩の湧水の名前には 福出の泉とか喜びの泉とかいった素朴な感情を表現するものがよく見受けられる。そしてそれらの泉のほとりによく人の手に加えられ あるいは垣をめぐらせて大切に保護されている。また泉の前には誰がいつ置いたのか 線香の束が供えられてさえる。泉こそ人々の命の綱であり 歓喜の涙であり 信仰の対象である。筆者はふと南九州シラス地帯における泉の印象と 水を求めてやまなかつた“たたき水”によって代表される苦難の歴史——それは未だ決して充足されてはいない——を思い出していた。武蔵野においてさえ 乏水地帯としての歴史はそれ程古い話ではない。そして現に泉のほとりにには弁天様とか善福寺とかいった社寺が 信仰の対象として現存している。

那覇市などに対する供給源となっている 北部山岳地帯の水源は今後一層大々的に開発されるであろう。しかしそれは1m³当り50円という水道料金によってはじめて可能であることを忘れてはならない。100kmも150kmも彼方から導水管を敷設するという スケールの大きい また長期的計画に基づくその実行力は 一方において水道事業の黒字経営と 他方において水は貴重なものであるという根本的な思想を原動力としている。な



④ 聚落の中にある湧水 人がこの地に住みついて以来 命の綱として大切に保護されてきた



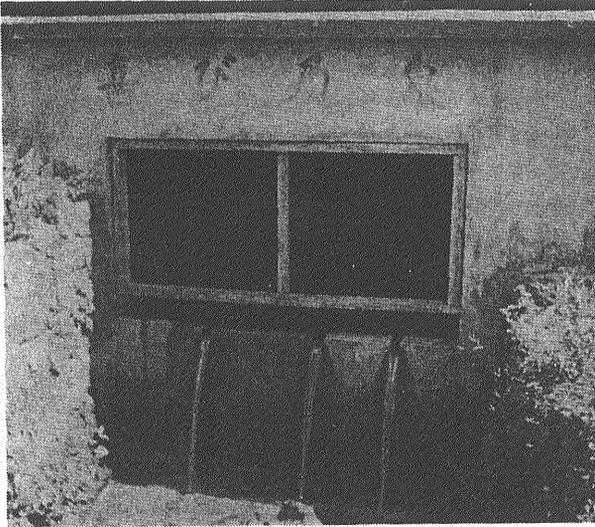
⑤ 石灰岩台地の急斜面からの湧水 この部分から上は琉球石灰岩 下は鳥尻層群である

ればこそ 那覇市周辺では1日当り100m³ あるいは30m³といたった水量を確保するために 100m も 200m も井戸を掘って中新統の地下水を利用している。仮にそれが飲用に適しなくても 洗滌・雑用水として 上水道とは別に使用している。200m もの深さに井戸を掘る以上は3,000m³ の揚水をしなければ気が済まなかったり水洗や洗車用にまで飲用水質基準に適して余りあるほどの上等の水を使ったり 水の評価を不当に値切ることが手柄であったりする感覚とは いずれが正常な状態なのであろうか。

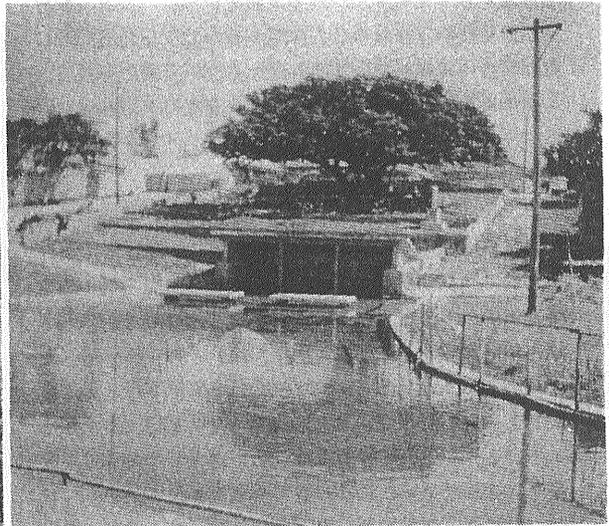
元来水は貴重なものである。われわれの祖先は決してやすやすと水を得ていたのではない。血と汗によって求め かつ護り抜いてきた水源を 子孫がたまたまやすやすと使っていたのに過ぎなかったのではなからうか。

ぜいたくとは何かということをおれわれは忘れていたのではないだろうか。祖国復帰行進団を沿道に迎えて小学生達が手に手に振りかざす日の丸の小旗を見るときそれは何か忘れていたものを熱く蘇らさずにはおかない。誰かが「祖国の中の異国」ではなく「異国の中の祖国」であるといった。それは本土こそ異国と化してしまっただけであり 沖縄にこそ“祖国”は生きているという意味なのであろうか。かつて祖先が水を求めて歩んできた苦難の道 そして水が金銭を超越した 精神と肉体の生命の源であるという心——それは哲人ターレスの言葉を借りるまでもなく 民衆の実感としての心なのだが——は 今沖縄においてこそ再発見するのである。真の水の開発と合理的利用は沖縄においてこそ実現し得るのかも知れない。

(文責 応用地質部 木野義人)



① 喜び乃泉(糸満町喜屋武にて)



② カタシガー(糸満町大里) むかし早魁にうえている時犬が発見したと伝えられ犬が語ったので“語りガー”とも嘉例志(多幸の意)ガーともいっている。近くに本島三大城址の1つ 南山城址がある

新刊紹介

地下の科学シリーズ 17

ダイヤモンド —— そのおいたちと性質

理学博士 砂川 一郎著

ダイヤモンドは地中深くからの手紙であり これを解説する鍵はダイヤモンドの性質自身のなかにある。というまえがきに始まり ダイヤモンドの性質について いままで知られていた事実を固体物理学の手法でまとめあげ、地質学的研究ではまったく考えられないような結果を導くことができた。ダイヤモンドの成因論が生まれる過程で いままであまり縁のなか

った固体物理学と地球科学との橋わたしがみごとになされた好著。地学・鉱物関係者はもちろん 物理・鉱物愛好家にとつて必読の書。

<主要内容>

地中からの手紙/さまざまな成因論/合成実験からの推論/結晶の外形と表面構造/彎曲結晶溶解作用の証拠/トライゴン—成長説と溶解説の対立/累帯構造—おいたちの解析/内部構造と物理/ダイヤモンドの劈開/包有物—おいたちを示す異種鉱物/不純物元素/フランクの成因論/隕石中のダイヤモンド/ダイヤモンドの評価/フランクの成因論での計算の基礎

新書版 370頁 ¥600

(株)ラテイス刊 丸善発売

東京都新宿区弘方町15 Tel. (03) 267-2561 (代)