

沖繩の水資源

～ 3. 沖繩本島北部地区の地下水～

小西泰次郎*・木野義人*・野間泰二*
岸和男*・茅山芳夫**・池田喜代治**

はじめに

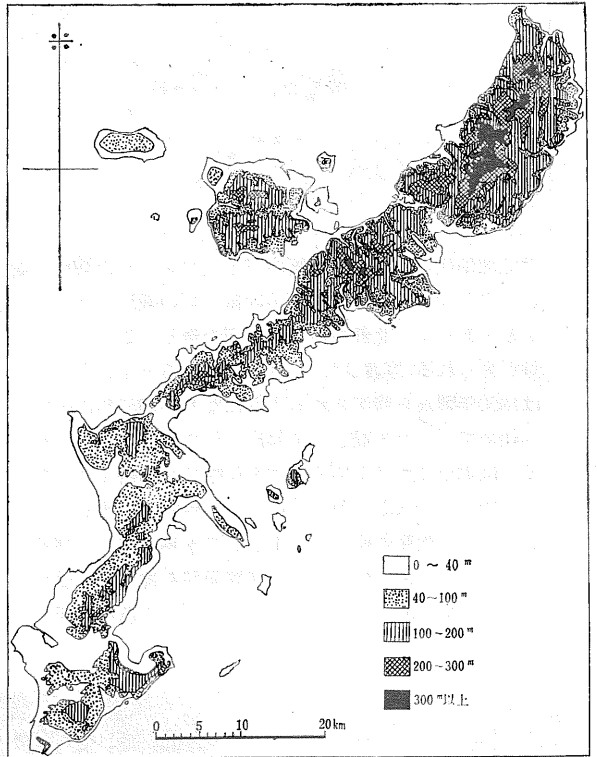
沖繩水資源開発調査は 昭和43年度(1969琉球政府年度)に沖繩本島南部地区の調査を手がけてから早くも3年を経過し 45年度には本島北部地区の調査を行なうことになった。北部地区は本島中・南部地区のような大規模な米軍基地はないが それでも返還に伴って問題になっている VOA の施設があったり ベトナム戦で有名になったグリーンベレー部隊の訓練場があったりするが 全体的に山ばかりのこの北部地区は 米軍に基地として使われている面積は非常に少ない。北部地区はその面積からいうと 中・南部両地区を加えた面積よりも広いが 第1図にかかげた地高図でもわかるように 大部分が山嶽または丘陵地帯で 山脚は急峻な地形を以て海に迫り 海岸沿いにも平野らしいものはなく わずかに名護市街地を中心とした付近のごくせまい範囲に平地があるにすぎない。沖繩本島における最高峰の与那覇岳はこの地にあり 北部地区を南北に連なる山々は北から 西銘岳(421m) 与那覇岳(498m) 伊湯岳(454m) 宇橋山(299m) 多野岳(390m) 久志岳(332m) 名護岳(338m) 恩納岳(366m) 石川岳(324m) などでまた本部半島には八重岳(457m) 嘉津宇岳(460m) 乙羽岳(280m)などがある。

このような山ばかりの北部地区に 新しく名護市が誕生したのは昨年8月1日のことである。この新生の市は5町村を合併したもので 人口は約4万4千人で那覇市 コザ市に次いで第三位であるが 面積は市として沖繩最大で本島を横断して東シナ海と太平洋に面し 本島と本部半島を結ぶかなめの位置を占めている。北部地区案内図として市町村区分と名勝および湧水などの一覽図を第2図にかかげた。

名護市の中心はもちろん旧名護町で 北部地区で唯一の市街地を形成し また沖繩唯一のビールであるオリオ

ンビール名護工場は市街地の外れにあり 旧屋部村に立地していた琉球セメントKKも名護市域に入っている。

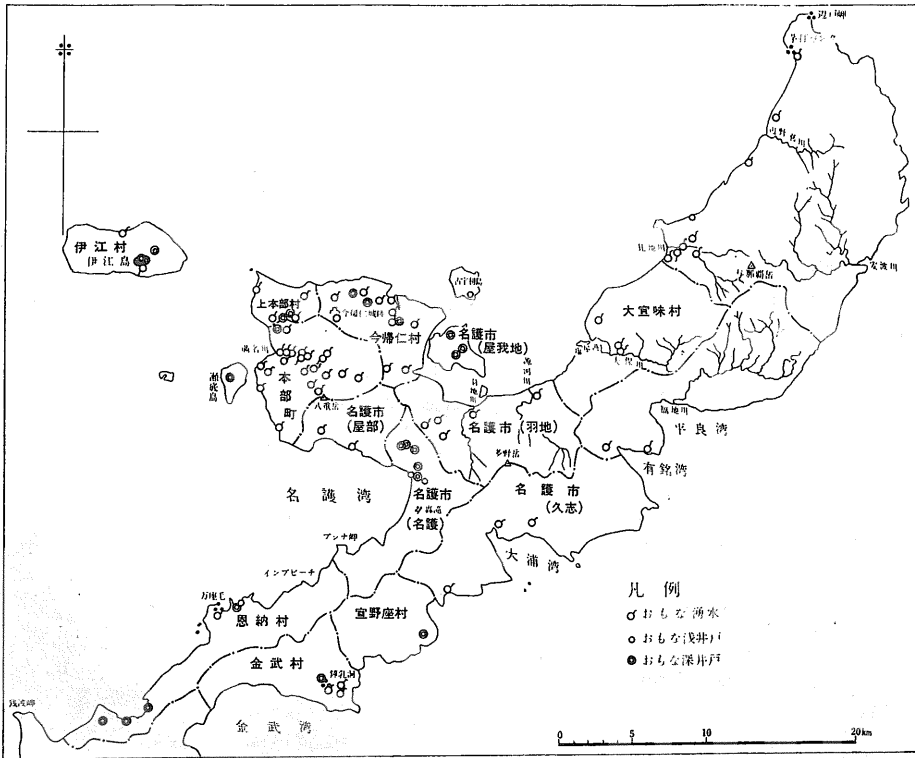
沖繩の産業は砂糖キビとパインアップルの二大産業とそれに本部のセメント工業である。製糖工場は全島にわたり地域ごとに分散配置されているが そのなかでも北部製糖KK羽地工場は沖繩で最も新しい処理機を導入した工場として名高く またパイン工場も沖繩本島においては北部地区にのみ見られるもので その理由として



第1図 沖繩本島地高図



写真① 名護城趾公園青年の家から望む名護市街地 右手に本部半島の石灰岩砕石場 および左手には沖繩海岸政府立公園の名勝ブシナ岬 万座毛 残波岬が見える

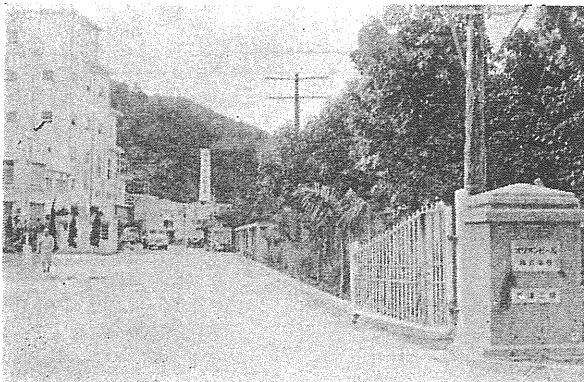


第2図 沖縄本島北部地区案内図

は北部地区に分布する地層がパインアップルの栽培に適し また北部の急峻な地形が砂糖キビの栽培に適さないこともあって 北部の山々の斜面の至るところにパイン畑が見られる(写真3)。 沖縄におけるパインアップルは1950年頃から栽培されるようになり 1953年には本土へ始めてパイン缶詰として輸出されている。 その後パインは本土における需要増加を反映して順調な伸びを示し 1968年にはその栽培面積は 6,000ha に達している。このような生産の伸びは 主として本島北部および石垣島において 山地を開発して栽培面積を伸ばして進められたもので 北部地区においては かなり急な斜面にも

パインの耕作が続けられ そのために一部では河水の汚濁 さらに地下水の汚染をもたらしているところなども出はじめているので 山地開発には今後さらに慎重に取り組まねばならない。

パイン缶詰工場は集荷と人手の関係で多くの小工場に分散しているが パイン畑と共に北部観光コースの一つにも組入れられている。 観光コースとしての北部地区は 南部沖縄では見られない巖々とした山々と その影をうつす紺碧に輝く珊瑚礁の海がその特徴となっていて 西海岸一帯は沖縄海岸政府立公園になっている。 万座毛 ムーンビーチ インプビーチなどそれぞれ特色ある



写真② 沖縄でただ一つのビール工場 オリオンビール(株)の名護工場



写真③ 北部地区では平地は砂糖キビ 傾斜地にはパインを栽培している

海岸線を見せているが このなかでも名護市の 南約10 km 東シナ海に突出したブシナ岬一帯は琉球政府沖繩観光開発事業団の手になる海中公園が着々整備され ここに昨年夏に世界で3番目といわれる海中展望塔が完成した(写真4)。この塔は海岸から栈橋で渡り 入口からスパイラルの階段を下りて水面下5mが展望室で 周囲に開いた24個の丸窓から海中を展望するようになっていて そこには南海の珊瑚礁を背景に デパートの水槽でみられる色あざやかな熱帯魚が回遊するのを見ることができる。

ブシナ岬を北に進めば 本島唯一の滝の名勝轟の滝があるが これも山と水の組み合わせによる北部の特色の一つのあらわれと見ることができる。さらに進んで本島最北端の辺戸岬付近は古期石灰岩の分布地帯で 名所茅打パンタとともに石灰岩特有のカーレンフェルドが見られる絶景が展開し 北の海を望めば やがて取払われることになっている27度線の向こうには 本土の与論島

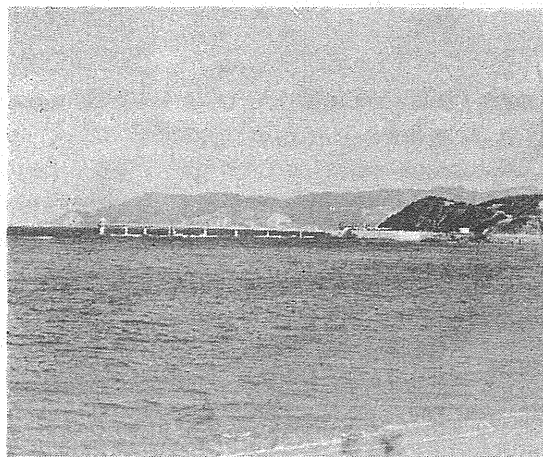
がかすんで見える。

工業の振興は沖繩開発の重要な柱の一つであるが そのための水資源開発の一つとして 東村の福地川に福地ダムの建設が進められており また塩屋湾の淡水化計画もすでにそのマスタープランはでき上っている。この他にも北部地区には 未開発および有効に利用されていない古期石灰岩のなかの地下水および安波川をはじめとして大小河川の表流水は そのままむだに海へ流れ去っている。

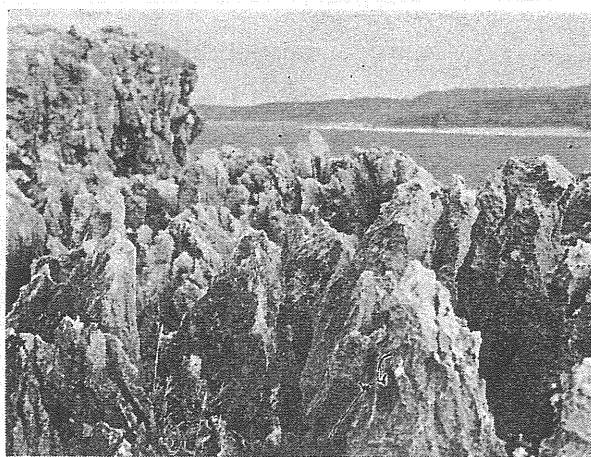
新しい名護市を中心にして これから活躍を始めようとしている北部地区は 水資源開発を中心にいまや大きく変わろうとしている。

本部半島の地形

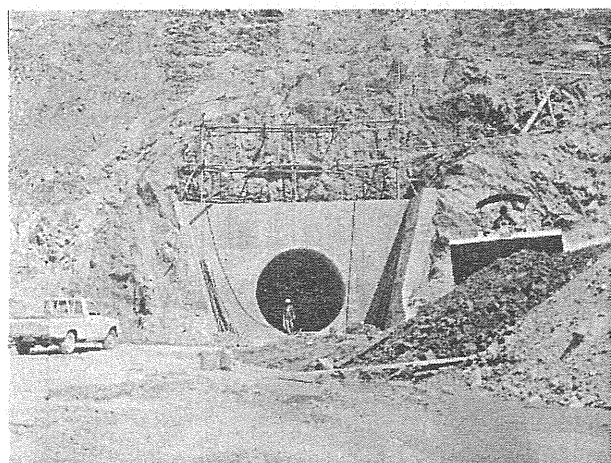
北部地区の地形は 第1図の地高図でもわかるように 中・南部地区に比べて山また山の連続である。このう



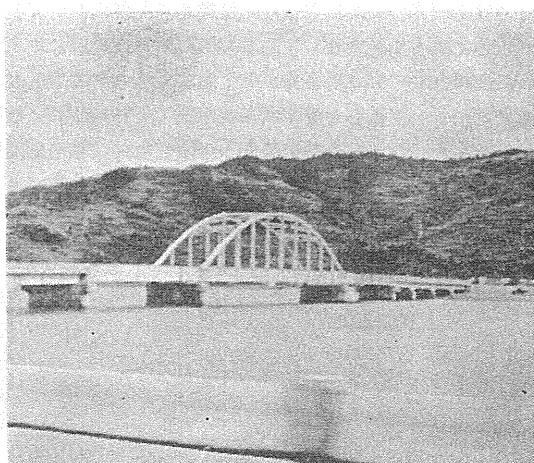
写真④ ブシナ岬の海中公園に昨年夏完成した海中展望塔。バックには本部半島の緑の山と セメントと碎石採掘で削られた石灰岩の山が荒い岩肌を見せている



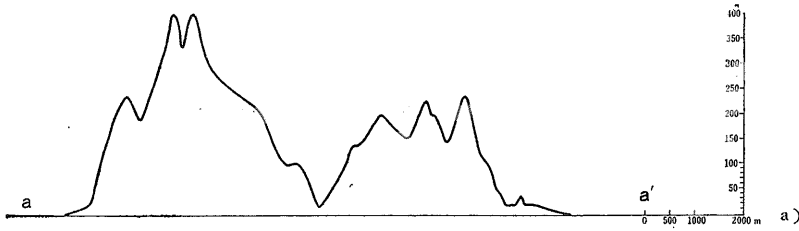
写真⑤ 沖繩本島最北端の辺戸岬における古期石灰岩のカーレンフェルド



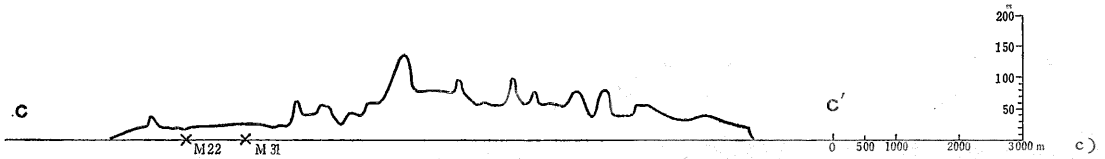
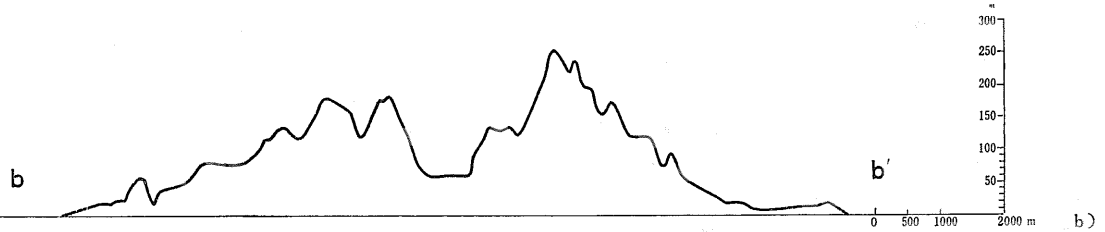
写真⑥ 福地ダムの第一期工事としてまず完成した分水トンネル ダム建設



写真⑦ 塩屋湾にかかる塩屋大橋 ここを締切っての淡水湖計画のマス



第3図
本部半島の地形断面図



ち地質に関してやや詳しく調査した本部半島の地形断面図を第3図 a, b, c に示した。このうちか aa' bb' は南北方向 cc' は満名川の谷に沿った東西方向の断面であるが この谷はおそらく断層による谷であると思われる。それらの地形がよくあらわれている。本部半島を南側のブンナ岬付近からみたのが写真8で 名護市街地付近の低地帯と左方の八重岳および嘉津宇岳の古期石灰岩の岬々とした山が対照的である。

石灰岩地帯における水理地質

沖縄には本土と違って砂や礫や粘土層からなる厚い堆積盆地はない。ここでは有用資源としての地下水の主力は石灰岩のなかにある。沖縄本島北部においても量的に大きな産水層は主として石灰岩分布地域に求めざるを得ない。この意味から 北部地区の中で地下水水資源にとって重要な場所は本部半島で 1970年秋にはその西半部すなわち名護市屋部と今帰仁村仲宗根を結ぶ線から西側の部分の地質調査を行なった。この地域は大

部分が先第三系の堆積岩および一部火成岩類からなる山地で 海岸線に沿って石灰岩台地が広がっていて その海岸線の美しさはたとえようもない。サファイヤ色に輝く珊瑚礁の海の彼方には白波躍るコーラルリーフが白一線を画して横たわり 陸中海岸国立公園にも 日南海岸国立公園においてすら見ることのできない 超俗的な清浄さがそこには発見される。

ところで本部半島西半部における岩層分布の概略は第4図に水理地質図として示す通りである。先第三系堆積岩は粘板岩・砂岩および石灰岩を主とし チャートや火成岩類をはさんでいる。これらのうち地下水の産出層 受水層および透過層となっているものは石灰岩である。先第三系石灰岩は大部分が古生代後期のもので 一部中生代三畳紀のものと考えられているが 地下水に対する役割を論ずる場合 時代的な区別は特に必要とはしない。これら古期石灰岩の産水層としての存在は湧水となって端的に現われている。本部半島の山岳地帯から湧き出る湧水地点は 湧出量 100ℓ/sec. に達する泉口湧水(本部町並里水源)をはじめとして 約30カ所を

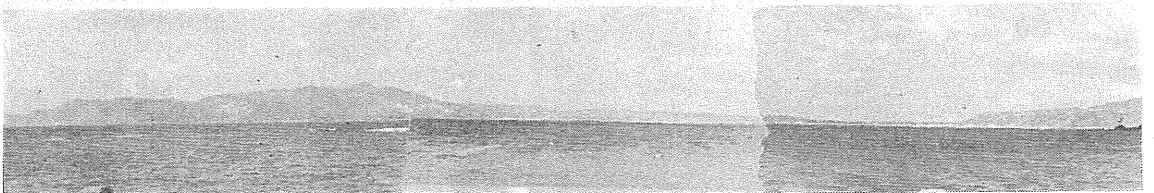
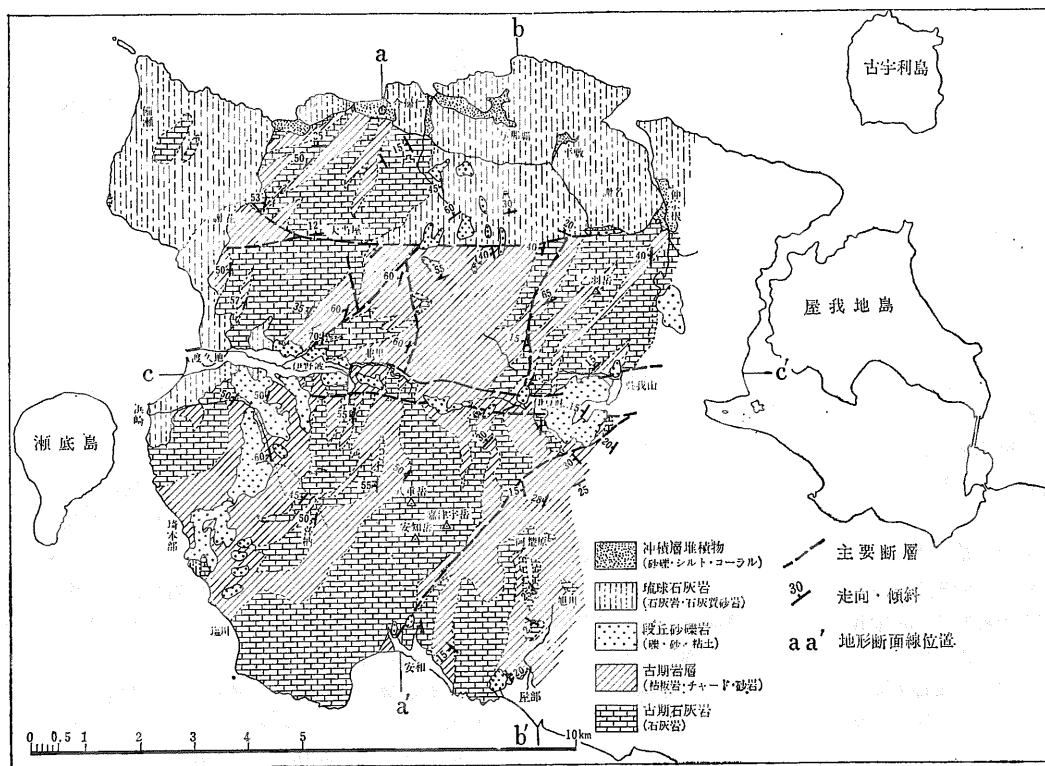
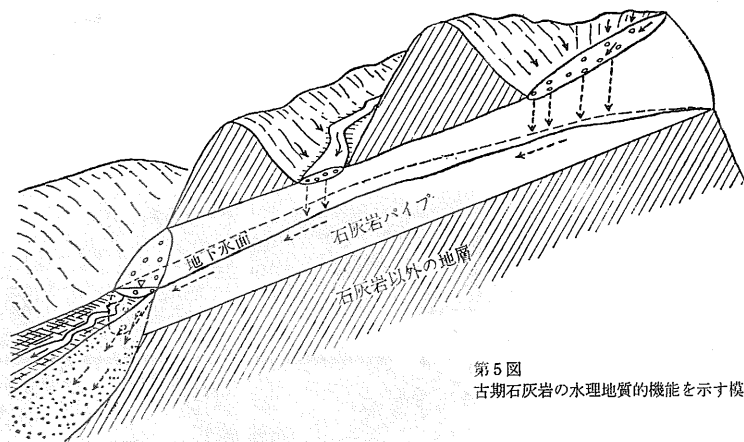


写真8 ブンナ岬付近から名護市街地(右手の平なところ)と本部半島(左の山地)を望む



第4図
本部半島水理地質概略図

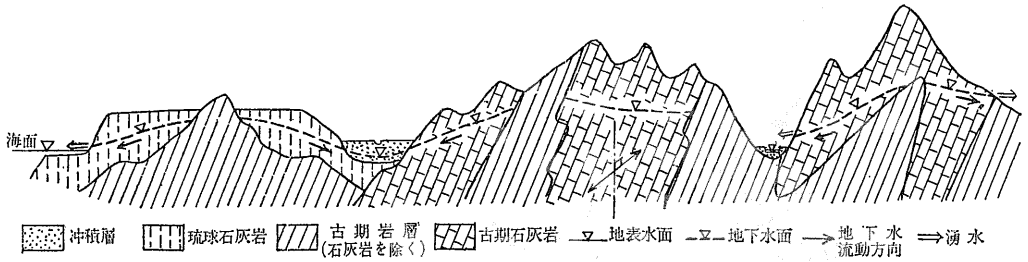


第5図
古期石灰岩の水理地質的機能を示す模式図

数えるが それらはすべて古期石灰岩の先端部に当るところから湧出している。

受水層としての役割は 石灰岩が露出する谷底において観察される。粘板岩や砂岩やチャートなどからなる溪谷においては 余程の湧水でない限りたいてい幾ばくかの表流水が見られるのであるが 石灰岩が地下水面以上にある谷底を横断している場合には それから下流側では流れが全く見られないか ごくわずかとなっている。

これは表流水の全量または大部分が石灰岩中に吸い込まれていることを示すものである。第5図に石灰岩の水理地質的構造と機能をモデル化した図を示したので よくご覧願いたい。これらの事実はまた 石灰岩には無数の割目が網状に発達していて 水理的条件が満足されれば至るところで水を吸い込み あるいは吐き出す性質を持っていることを示すものであり 吸入口群と吐出口群とを結ぶパイプの役目も果たしていることになる。



第6図 古期石灰岩および琉球石灰岩分布地域における水理地質模式断面図

これはちょうど第四紀火山における熔岩流の水理的性質に似ており その岩体が分布する集水区域の水をパイプとしての同岩体中に集中させて 圧力的な低ポテンシャル地点において集中的に湧出させる構造と機能を持っている。第5図のようなモデルは 本部半島の八重岳および嘉津宇岳を中心とする標高300~400mの山塊 乙羽岳を中心とする標高200~300mの山塊 および北山城址南西方の標高200m 前後の山塊中の各石灰岩列に適用され これら山岳地帯の地表または地下流域から受水された地下水は 古期石灰岩のパイプ列に沿って透過し 満名川・大井川などの本流沿いの圧力的低ポテンシャル地点や本部半島の西部海岸沿いにおいてそれぞれ湧出するのが見られる。

次に海岸線に沿って発達する台地は 主として鮮新世~更新世に形成されたといわれる琉球石灰岩からなっているが この琉球石灰岩も古期石灰岩と並んで重要な産水層で その水理地質的機能は古期石灰岩のパイプの形を卓状におきかえたものに相当し 圧力的高ポテンシャル部が受水層としての役目を果たし 低ポテンシャル部が湧水によって代表される産水層となっている。本部

半島のように古期石灰岩と琉球石灰岩とが複合する地域の水理地質状況を第6図の模式断面図に示す。

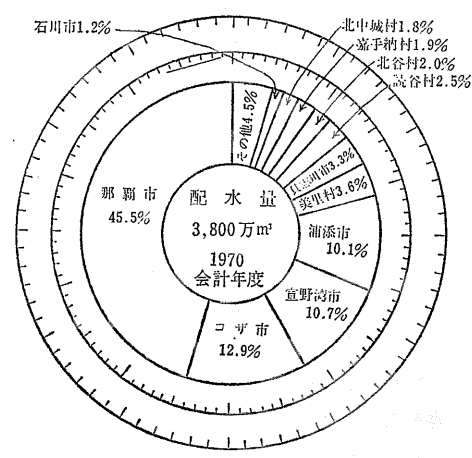
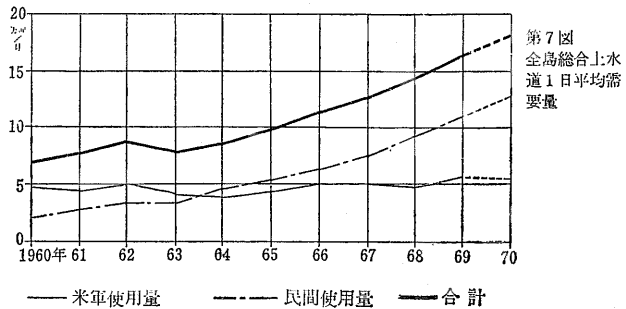
第4図の地質図や第6図の断面図に見られるように 本部半島では古期石灰岩と琉球石灰岩とが相接して分布することが多い。そしてその接点において古期石灰岩中から直接湧出する水量や 琉球石灰岩から湧出する水量は 陸上で見る限りでは それらの推定される集水面積に比してそれ程大きくはない。一方 琉球石灰岩からなる海岸線に沿って海中湧水が多数存在していることが知られている。これらの事実は 陸上に現われないで古期石灰岩から直接 または琉球石灰岩を経由して海中に自然流出している地下水量がかなりあるという期待がもたれる。そこで 将来の地下水開発に当たっては 古期石灰岩と琉球石灰岩との接点および古期石灰岩と海岸線との接点はそれを重視して精査する価値がある。



写真⑨ 琉球水道公社 R. D. W. C. (Ryukyu Domestic Water Corpora-



写真⑩ 琉球水道公社で出している出版物



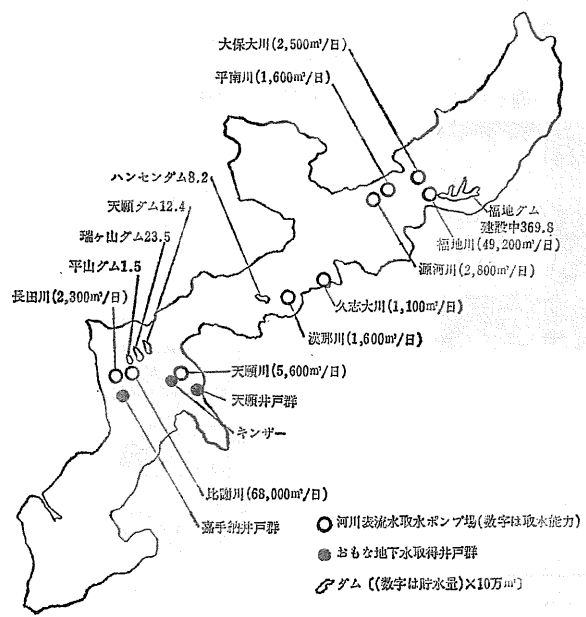
第8図 琉球水道公社の各市町村への配水量の割合

琉球水道公社

基地の街コザ市の中心部から少し外れたところに プラザ・ハウスというアメリカンスタイルの外国品専門のデパートがあって 観光客が必ず立寄る沖縄の名所の一つとなっているが その道をへだてた向かい側に 昨年7月に琉球水道公社の三階建白色のしょうしゃな新社屋が完成した(写真9)。 水道公社は復帰に伴う資産評価でも問題になっているように 琉球開発金融公社 琉球電力公社とともに沖縄を支えている三公社の一つとして 沖縄本島の水資源調達を一手に引受けているもので 将来水需要の増大を予想される工業開発に当ても ますますその重要性をまして行くものと思われる。

沖縄の水 特に本島の水資源の分布は非常に片寄っていて 前にも述べてきたように 地区により水事情は異なり 北部地区では河川表流水 中部地区では海水準下にある琉球石灰岩の地下水と表流水 南部地区では主として海水準以上にある石灰岩下底の地下水がそれぞれおもな水資源である。 一方北部 中部および南部の面積は 人口および商工業の発達度には全く比例せず面積からいえば北部地区は中 南部地区のおよそ1.3倍位あり また人口は 北部地区は少なく 南部地区に那覇市を中心として本島人口の85%が集中しているので 水需要は中 南部地区が圧倒的多い。 このような事情から全島の水を統一して水源開発から送配水まで一手に受持つ機関が必要となってくるわけで 全島統合上水道施設はそのために生まれたもので 琉球水道公社はその運営と維持管理を行なっている。 なお琉球水道公社の組織 運営などの詳しいことは地質ニュース No.182 を参照していただきたい。

全島統合上水道の一日平均の水需要は 1963～4年頃から急激に増加しはじめ 1970年会計年度では軍民合計で1日約180万m³に達している(第7図)。 そのうち民間の使用量は約130万m³/日 その残りが米軍の使用量で 1964年を



第9図 全島統合上水道の水源および取水地点

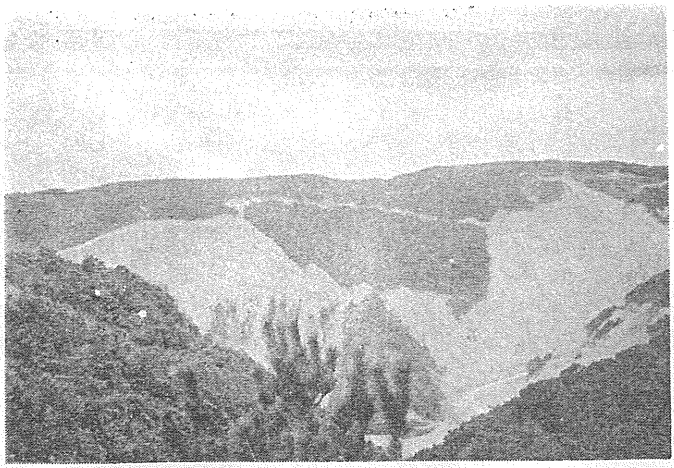
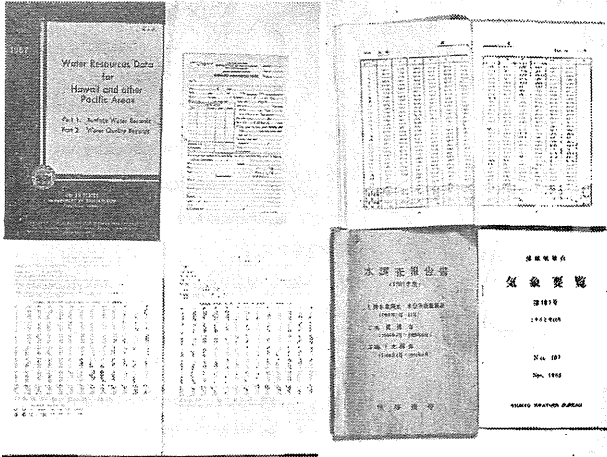


写真9 福地ダムのダムサイトの遠望 1972年にはここに高さ80mのロックフィルダムが完成する

境にして 民間の使用量は毎年伸びている。民間各市町村への配水量は那覇市が最も多く全量の約45%を占め残りが中南部の各市町村への配水である(第8図)。配水は浄水と原水の二種類で このうち浄水が89%をしめている。水源は北部地区から中部地区にかけての約10河川の表流水と数ヶ所の地下水によっている(第9図)。表流水の取得能力は1970年度で約285万 m^3 /日で そのうち北部地区の6河川の取水能力は約145万 m^3 /日となっている。このように多量の水を北部地区の河川から取得しているが 今後の水需要の増加に対処するため 公社では現在北部地区の最も大きな河川である福地川に 本島最大の福地ダムを建設中である(写真11)。この福地ダムは「ロックフィルダム」で貯水量は 約3,800万 m^3 堰体の高さは約80m 基底部の厚さ約305m 堤頂部の厚さ約12.2m また満水時の貯水面積は約1.7 km^2 で 1日平均12.5万 m^3 の取水が可能と予定されている。沖縄本島の既設ダムは 福地ダムのほかハンセンダム

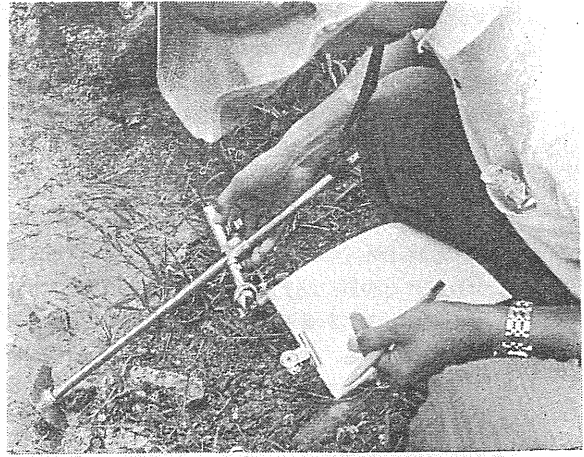
天願ダム 瑞慶山ダム 平山ダムの4つがあつて その合計貯水能力は約387万 m^3 で 福地ダムの貯水能力の1/10にすぎない。このように北部地区の河川は 沖縄本島にとって水源としての依存度が今後増々大きくなるものと予想される。北部地区の河川は 中南部地区の諸河川にくらべて流域面積の大きいものが多く また年間降水量も北部地区は多いので流量が比較的豊富である。また本島の最北部は山岳地帯のため過疎地域でもあり フクウ川・安波川流域でみられるように上流地域にはほとんど民家のない河川もある。したがって本部半島地区の河川を除いては ほとんど未利用の河川であり今後の開発が期待される。

琉球水道公社では長期的な水源開発をはかるうえの基礎資料とするため 北部地区河川を主とした流量観測をアメリカ合衆国地質調査所(USGS)に依頼して行なっている。



写真⑫ USGS の出版物の「ハワイおよび他の太平洋地域の水資源資料」と右上は USGS で使っている流量測定用紙

写真⑬ 琉球政府の出版物【企画局の水調査報告書および気象要覧】



写真⑭ USGS で使っている流速計 プライス型で流量の少ないときに使用する小型のものである。水深が10分の1フィートきざみで計れるようになっている



写真⑮ USGS と地質調査所と水道公社で協同して行なった流量測定 左から川に下って測量士と測量の助手、気象庁の流量観測(北部)を受持っている名護



写真⑯ USGS 設置の羽地川にある河川水位観測所

河川の流量観測

沖縄における流量観測は 琉球水道公社と琉球気象庁とがそれぞれ行っており 水道公社は本島のみで18河川約22カ所の通年観測を行なっていて そのほか年1～数回の低水量の測定を約13河川について行なっている。また気象庁は本島で5河川 西表島で2河川 石垣島で1河川の通年観測を行なっている。

琉球水道公社の観測は その依頼によりハワイにある USGS から Mr. MATSUOKA (二世の松岡氏) がチーフとなって沖縄の助手数人とともにもっぱら観測に当たっているもので その成果は USGS の出版物「ハワイおよび他の太平洋地域における水資源資料」という年報として出版されたもののなかに 沖縄のものも掲載されている(写真12)。これら観測点は 最も早いものは1963年6月から3カ所が開始され 次いで11月から2カ所 12月から4カ所というように観測が行なわれている。また琉球政府通産局気象庁の観測は 名護測候所において気象観測のかたわら行なっているので 遠隔の地にある各観測地点を巡回して資料を集める苦労は並たいてではない。この成果は琉球政府企画部で取りまとめている水調査報告書のうち「降水量調査・水位及流量調査」として各年度毎に出版されている(写真13)。

USGSの流量測定方法は日本のものとそう変わりはないが 流速計などの機器に対する考えなどは若干異なっている。測定のとときの長さの単位はフィートであるが 水深や器深は何フィート・何インチとは計らないで 1フィートを10等分した特別の物指を作り 1.7フィートというように使用している。これはインチを使うと12進法のため計算がむずかしくなるためで それならばいっそのこと C. G. S. 単位にすれば良さそうなものであるが USGSの松岡氏の言によれば 習慣上そうもいえないということである。流量あるいは水文に関する単位は国が違うと使う単位も違ってくるので とかくややこしくなるもので USGS式では たとえば河川流量は cub. ft/sec で表わしているが水道水源として河川水取得量の表現には U. S. ガロン(1U. S. gal \approx 0.134cub. ft \approx 0.003785 m^3)である。また流域面積は平方マイルであるが 比流量を水深で表わすときはエーカー/インチを使用しているようである。このように USGS 資料に載っている各種の水文データの単位は複雑であるので 松岡氏および琉球水道公社とわれわれの三者共同で河川調査に当たったときも C. G. S. 単位になれたわれわれには 数値をいわれてもすぐにはピンとこず いつも計算尺を片手にCGS単位に換算しながら話を聞く有様であった。

USGSの河川水位の観測はステープンス製の6ヵ月巻

という大きな機器を使用し 水位観測と同時に降水量も記録するように作られている。水位と流量の関係も数多くチェックされており観測体制はかなり充実している。また流域面積が6 km^2 程度の小河川でも長期的観測を行なっており 沖縄の水事情が本土のそれとはかなり異なることをうかがわせた。

沖縄北部地区の水文

河川の流量は 流域面積の大小および降水量の多少によって異なるのは当然であるが 流域の地形 植生 地質の相異によっても差が出てくる。降水量は各流域によって多少異なるが 無降水の日が10日以上も続いた後の流量は 地下水の湧出による基底流量を示し 降水量の多少による影響はほとんど考えに入れなくてもよい。いま流量をその河川の流域面積で割ると(これを比流量という) 流域の大小による相異はほとんど消えて 河川それぞれのもつ流量を比較することができる。すなわち無降水の日が長く続いた後の比流量の相異は 各流域の地形 植生 地質による特性をあらわしている。これら3者のうち地形および植生の違いは 沖縄北部のように面積があまり大きくない地域では そう大きな差は出ない。したがって低～湯水期における比流量の差は おもに流域の地質の相異によって生ずることが多い。北部地区において流量測定を実施した河川の河川名 番号 流域面積を第10図に またその比流量を第11図に示したが これは40～80mmの降水があったあと15日間ほど無降水の日が続いたときの比流量である。これによると本部半島の河川を除いた北部の各河川の比流量は 0.008～0.02 $\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ であり いずれも大きな差はなく 一般の基盤岩類地域に普遍的にみられる値を示している。またこれらの各河川の流況曲線もおおむね同じ

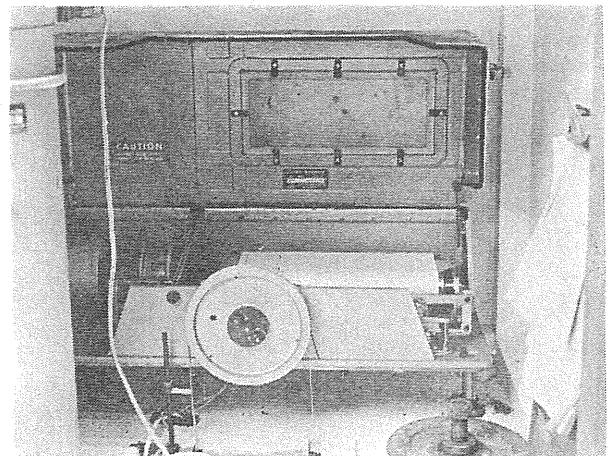
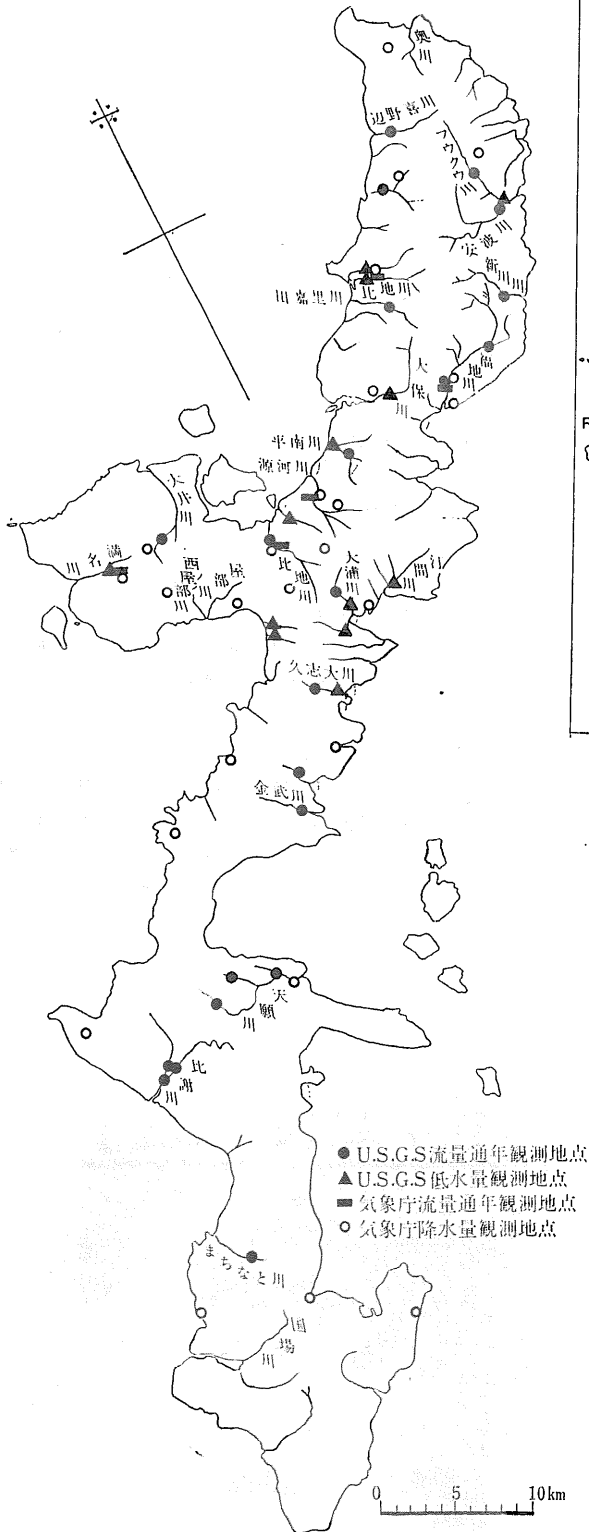
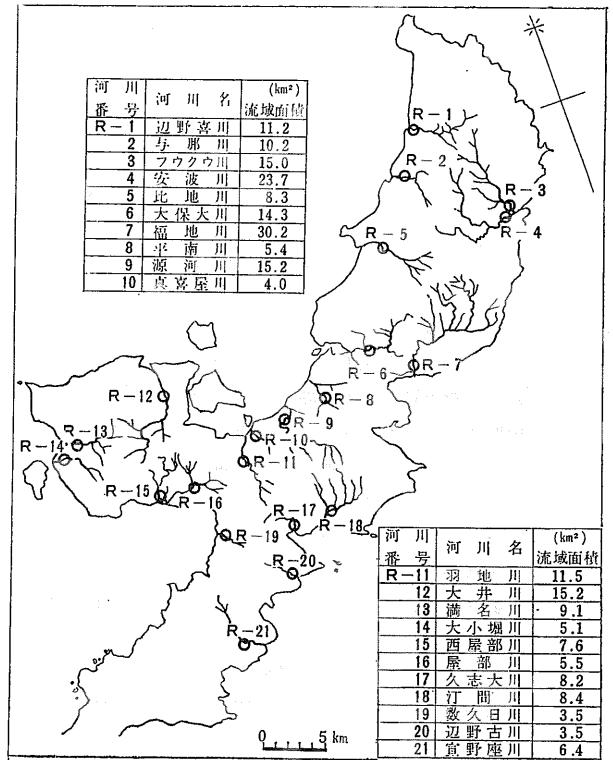


写真12 USGS で使用しているステープンス水位計 左はしは雨量計



第10図 沖縄本島における気象庁および USGS の流量



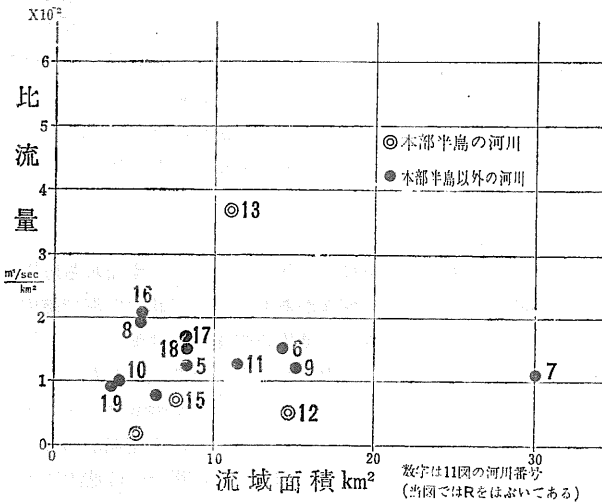
第11図 沖縄本島北部地区流量測定 河川名 番号 流域面積

ような形である。 それに対し本部半島の各河川は比流量がきわめて大きく変化している。 たとえば本部半島先端の満名川の流域は $0.036\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ という高い比流量を示すが その分水嶺をこえた反対側の大井川流域は $0.005\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ という低い値となっている。

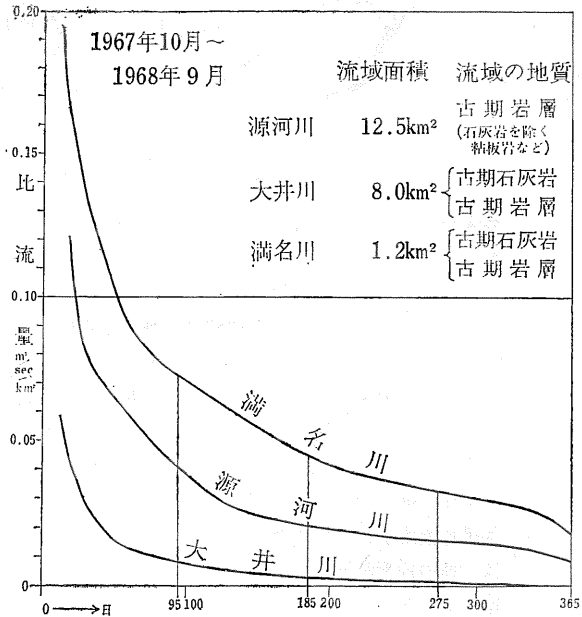
第1表および第12図に 1969水文年における中南部地区の2河川を含めた7河川の流況を示してある。 流況は上述のものと同じような傾向を示し 古期岩層分布地域と石灰岩分布地域とは大きく異なり 石灰岩分布地域の比流量はきわめて大きいかあるいは非常に小さいかどちらかの値を示している。 石灰岩分布地域がこのような現象を示すのは 中〜古生層とみなされている砂岩 頁岩および変成岩などの地層が分布する地域にくらべて 石灰岩分布地域においては 裂かおよび空洞に富んでいるため地下水の保留能力が著しく大きいこととまた裂か 空洞などを通して地下水が他の地形流域から流動してくることで そのために一部河川においては比流量が大きくなるという現象が見られる。 とくに本部半島の河川流域についてはこのような現象が複雑に現われているように思われる。 第13図は本部半島における流域面積を地形流域とした比湧出量を示した。

第1表 おもな河川の流況

	豊水		平水		低水		涸水		流域のおもな地質
	流量	比流量	流量	比流量	流量	比流量	流量	比流量	
羽地川	0.39	0.034	0.21	0.018	0.13	0.012	0.04	0.003	古期岩層(石灰岩以外の粘板岩など)
源河川	0.61	0.040	0.31	0.020	0.24	0.016	0.11	0.007	同上
大井川	0.065	0.007	0.025	0.003	0.009	0.001	0	0	古期岩層 古期石灰岩
満名川	0.085	0.075	0.055	0.045	0.035	0.030	0.025	0.021	同上
漢那川	0.040	0.017	0.027	0.012	0.020	0.009	0.013	0.006	古期岩層
長田川	0.142	0.014	0.091	0.009	0.071	0.007	0.037	0.003	古期岩層風化層砂礫層一部琉球石灰岩
マチナト川	0.057	0.009	0.018	0.003	0.004	0.001	0	0	琉球石灰岩高瓦層

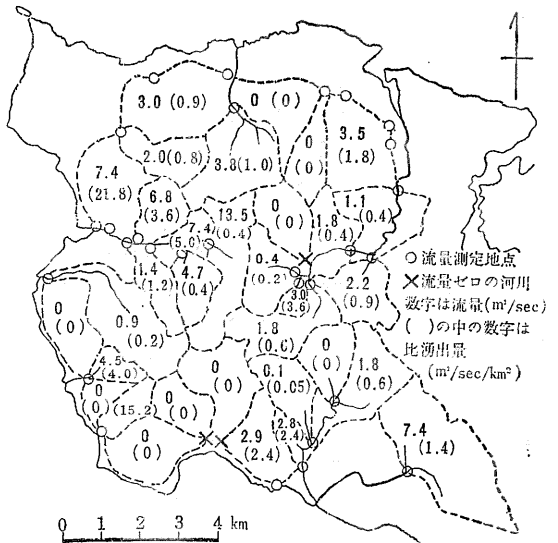


第12図 沖縄本島北部地区 河川比流量



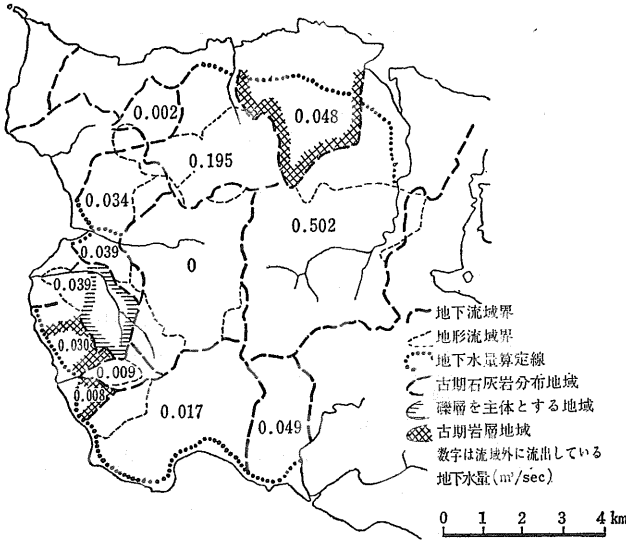
第13図 沖縄本島北部地区・源河川・大井川・満名川の流況

比湧出量は大きみにみると満名川水系と塩川・水口川の流域が大きな値を示し 大井川水系と安和岳の流域が小さな値を示している。このうち塩川流域の比湧出量は特に大きく水深換算で13mm/dayを示し 低~涸水量だけで年間の総降水量を上まわってしまう。また満名川水系にあっても水深として約3.5mm/dayを示し無降水の日が10日以上も続いた後の比湧出量としてはやはり大きいといえる。それに対し これら比湧出量の大きい流域に隣接する大井川水系の比湧出量および安和岳地区 大小堀川流域など比湧出量は0あるいはそれに近い値である。また大井川水系の一部地区は比湧出量が負の値を示しているが比湧出量が負の値となるのはこの両地区では地下水の湧出がなく河川表流水が伏没して地下水になることを示している。このような地域の水文計算を行なう場合には地形流域のほか地質的な地下流域を明らかにする必要がある。



第14図 本部半島における流域面積を地形流域とした比湧出量

第14図に地質調査結果からみちびき出した地下流域を



第15図 本部半島における地下流域界など

各水系別に示してある。この図で明らかなように満名川水系・嘉津宇水系・水口川水系が大きな比湧出量を示し、大井川水系・今帰仁水系などが小さな値を示している。ここで石灰岩分布地域の基準となる比湧出量が明らかであれば、各流域から他の流域（海中も含む）への地下水流出量が求まる。すなわち基準になる比湧出量よりも実測した場合の比湧出量をはるかに小さい流域は表流としての流出よりも地下水として流域外に直接・間接に流出している量が多いことを示し、これに反し基準比湧出量よりも実測比湧出量をはるかに大きい流域は他の地形流域から地下水の補給を受けていることを示している。しかし現在のところ本部半島の石灰岩分布地域の基準比湧出量を求めるのはなかなか困難である。そこで本部半島で最も大きい比湧出量を示す満名川13-1の地点の値を基準比湧出量と仮定して地下水流出量を求めてみた。他流域あるいは海中への地下水としての流出量は、大井川水系が最も多く約0.5m³/secと計算され、次いで今帰仁水系・安和岳水系が多い。また本部半島全体としての他流域あるいは海中への合計地下水流出量は約1.1m³/secと計算された。しかしこの数値は本部半島における最大の比湧出量を基準として算出したものであり、上述の値はかなり過大な値を示しているものと思われる。なお沖縄南部の新しい石灰岩分布地域の平均的な比湧出量を基準値と仮定すれば、上記の各数値はそれぞれ約1/2となる。

塩川の湧出機構

流量を測定した河川のうち本部半島に塩川という名の通り塩水（汽水）の川がある。

この川は実際には湧泉であり地形流域をほとんど持っていない。塩川は常時塩水（海水が約1/4混じったもの）が流れているために本部半島の七不思議の一つといわれているが水文的にも若干変わった泉といえる。満名川系あるいはその他ほとんどの湧水は数10mmの降雨があると湧出量がかなり多くなり、その後数日間は急減し以後漸減状態を示して、降雨後10日目ごろは降雨直後の1/2以下あるいは1/3以下の湧出量となるのが普通である。それに対し塩川はその変化がきわめて少なく、降雨後10日目ごろの湧出量は降雨後の湧出量の85~90%に減少するだけである。また無降雨がさらに長く続くとその傾向は一そういちぢるようになるのである。このような水文現象を示すことと塩水が湧出することから、塩川の湧出機構は他の湧泉と異なっていると考えられ、その機構について

次のように推定してみた。

第15図に湧出機構の一例を示した。すなわち塩川の湧出点の地下に空洞(a)があり、パイプ状の空洞で海中に通じている。さらに湧出点の後方には湧出点dの標高より高い地下水位を保持するような空洞bがあり、パイプ状空洞(c)で(a)とつながっている。空洞(b)はかなり多量の地下水を貯わえており、別のレッカや空洞から地下水の補給を受けている。補給の多い場合には他の空洞などにオーバーフローしてしまい、ほぼ一定の水面高を保つような構造になっている。なお空洞a・b・cなどは単数でなく、いくつか集合している形でもよい。仮にこのような機構があるとすれば、塩水を湧出することと湧出量がほとんど変わらないことが説明できる。いま塩川の湧水点の高さ(d)と最大干潮時の海面の高さ(e)との差が約2mあるとする。海水の比重を1.03とし、地下水の比重を1.0とすれば、空洞(a)が海面下約70mの所であれば、理論的には海水と淡水が空洞aの中で釣合状態となる。図においてe-fを70mとすると、空洞(a)の中の海水側圧力P₁は7.21kg/cm²となり、同じくd点側地下水の圧力P₂は7.2kg/cm²となる。そしてe-dが2m以内になったとき、あるいはe-fが70m以上のときには、空洞(a)の水は(d)から湧出する。しかし空洞(a)の中の水は、空洞(a)の中に膜があるわけではないので、海水と地下水が混じった汽水となっており、それがd点で湧出している状態では、d点側圧力P₂は若干高くなる。したがって、空洞(a)の深さe-fは70mよりさらに深い所にあるものと推定される。またパイプ(c)は一定であるので、空洞bの地下水面がほぼ同じ高さを保つものとす

れば 降雨後の湧出量と無降雨が10日も続いた後の湧出量がそれほど変わらないことになる。

地下水の分布

地下水は 帯水層の地質状態および地質構造に支配される面が大きく その分布状態もそれぞれの地質の違いによって異なり また水量 水質の面においてもそれらの特徴がよくあらわれている。すなわち 金武村 恩納村から北の沖繩本島北部地区においては 新しい琉球石灰岩で広く覆われた地帯 古期石灰岩および古期岩層が広く分布する地帯 第三紀層およびそれより新しい砂礫層が厚く堆積している地帯など 水理地質的な環境の違いから 地下水の分布および賦存の状態はそれぞれ異なっている。したがって この地区の地下水のあり方を 便宜的に4つのブロックに分けて考えてみた。

- a—琉球石灰岩地帯
- b—古期石灰岩地帯
- c—古期岩層地帯
- d—砂礫層地帯

aブロック～琉球石灰岩地帯の地下水

aブロックは 本部半島の北部から北西部にかけての臨海部の地帯で 今帰仁村の北部 上本部村の西部および本部町の北西部などでおおむね琉球石灰岩が広く分布しており 中・南部地区でみられるような緩やかな平地ないしは台地状の地形を示している。また 瀬底島 古宇利島 伊江島などの島嶼も琉球石灰岩で覆われており 地下水の分布状態からみて このブロックに含めるのが妥当であろう。

琉球石灰岩地帯の地下水は この地帯に降った雨水が石灰岩の割目や空洞を伝って次第に石灰岩の深部に滲み込み 下部の不透水性の基盤ないしは透水性の小さい地層との境界面近くを その地形の勾配に従って下流側に流動する。そして これらの地下水が再び地表に現われたのが湧水であって もしこの境界面が海水面下に没していると 湧水は直接海中に排出されて 地表ではみることができない。湧水は 帯水層の地質および地形とくに基盤との境界面の地形によって 湧水の形態が異なり いくつかのタイプに分けることができる。琉球石灰岩地帯においては 石灰岩の急な崖下付近の割目などから湧く湧水 および山麓の緩斜面などの緩やかな地形の窪地に湧く湧水が多くみられる。

前者の湧水は 不透水性の基盤あるいは透水性の小さい地層が 比較的地表下の浅いところに分布しており 石灰岩中の地下水面と地形面とが交差するところに湧出しているものが多い。これらの湧水は ほかのタイプ

の湧水に比べて 一般に湧出量が多く 今帰仁村および本部町の湧水のように 湧出量 20ℓ/sec 程度あるいはそれ以上の大きなものみられる。また一部では 今帰仁村の炬港に湧出する越地川湧水などのように、干潮時には海水面上に現われるリーフ中に湧出するものもある。

後者の湧水は 不透水性の基盤などに支えられた地下水が 比較的緩やかな地下水面を形成しており なかには窪地に池状を呈するものもみられる。この種の湧水には 今帰仁村の平敷大川などがあり 湧出量は一般にあまり多くない。本部半島の近くにある小離島ではとくに基盤などの形状と海水面との位置関係によって 地下水の分布および流動の状態がかなり異なっている。すなわち 島の中央部付近の高いところに古期石灰岩が露出している瀬底島では 地下水は古期石灰岩の上面を流動しているので ある程度の取水が可能である。現に同島で簡易水道水源としている深井戸では 水位がほぼ海水面の位置付近であるため 若干の塩水の浸入は免れず Cl^- で 300ppm 程度が検出された。これに対して 古宇利島などのように 受盤となる地層が見当たらないか あるいは海水面下に没している場合には 地下水は塩水化され 淡水を期待することはかなりむづかしい。また タッチュー（とんがり山）で名高い伊江島は およそ東西 8km 南北 3km のほぼ繭形をした島で チャートで形成された城山が聳えるなど 地下水の受盤となる古期岩層や古期石灰岩が分布しているため 北部海岸に伊江村の水道水源となって湧水水源の湧水がみられるなど前述の2島に比べて面積の広い島であるだけに ある程度の地下水が期待できる。

bブロック～古期石灰岩地帯の地下水

bブロックは 本部半島の北部から北西部の臨海部をのぞいた同半島の主部地帯で 千枚岩 粘板岩などからなる古期岩層の間に古期石灰岩が広く分布しており 起伏の多い山地を形成している。

古期石灰岩地帯の地下水は 石灰岩の割目や空洞のあり方によって雨水の滲透 流動 貯溜の状態が異なり またその量も大きくかわってくる。この地帯には 古期石灰岩の急な崖下付近に湧く湧水が多く分布しており 一般に湧出規模が大きい。これは この石灰岩の割目や空洞がある程度集中し 地下水がまとまって流れているものとみられる。たとえば 塩分濃度の高い湧水 (Cl^- 4,200~5,000ppm)で本部の七不思議の一つになっている塩川湧水 同町の上水道水源となっている泉口湧水などは いずれも湧出量 100ℓ/sec を超す第1級の湧水で そのほか湧出量 40~50ℓ/sec 程度の大きな湧水が

第2表 沖縄本島北部地区の主要工場における工業用水利用現況

番号	名称	所在地	水源別使用量 m ³ /d							おもな用途	備考	
			地下水	湧水	表流水	伏流水	溜池水	水道水	回収水			海水
G-1	琉球農業協同組合連合会 農産バイン分工場	宜野座村宜野座			1,000			10			冷・洗・ボ	表流水は宜野座川 水道水は公社
Ng-1	オリオンビールKK	名護市(旧名護町)名護	1,700		500	500	600				冷・洗・原	表流・伏流水は幸地川 水道水は公社
Ng-2	沖繩シヤスターコーラ名護工場	" "	200								洗・原・冷	
Ng-3	北部農産工業KK 本社工場	" "	100		300						洗・冷・ボ・原	表流水は幸地川支流
Ng-4	名護製氷KK	" "	1,000				30				冷・原	水道水は名護市上水道
Ha-1	北部製糖KK 羽地工場	名護市(旧羽地村) 歸嶽				1,500		2,500	60,500		冷・処・洗・ボ	伏流水は源河川
Ha-2	琉球農業協同組合連合会 農産バイン工場	" 伊佐川			2,000						冷・洗・ボ	表流水は羽地川および金川
Yb-1	琉球セメントKK 扇部工場	名護市(旧扇部村) 安和	600	2,200							冷・処	湧水は潮平川
M-1	琉球果樹園KK	本部町東					500				冷・洗・ボ	水道水は本部町上水道
M-2	沖繩農産工業KK	" 伊豆味		500							洗・冷・ボ	湧水は村川
Na-1	北部製糖KK 今帰仁事業所	今帰仁村仲宗根	800	3,400				1,500	34,600		洗・冷・洗・ボ	湧水は玉城ソーリ川
Na-2	北部農産工業KK 扇仁工場	" "	150					150			洗・冷・ボ・原	水道水の水源はマーハー川
Na-3	今帰仁農産工業KK	" 長我山	200								洗・冷・ボ	湧水は中山川
Og-1	大東バイン産業KK	大宜味村田港	400								洗・冷・ボ	湧水はモチ川
Ku-1	沖繩缶詰工業KK	國頭村辺土名	100		200						洗・冷・ボ・原	表流水は又伊名川
I-1	伊江村農業協同組合製糖工場	伊江村					100	50	500	11,000	冷・処・洗・ボ	

注1) 番号は第A図に工場所在地を示す。

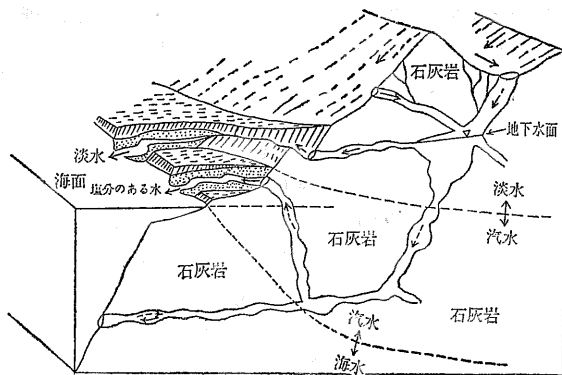
注2) おもな用途

ボ: ボイラー用 原: 原料用 処: 製品処理用 注: 洗滌用 冷: 冷却用

数多くみられる。

cブロック～古期岩層地帯の地下水

cブロックは 本部半島をのぞく本島北部地区で おおむね千枚岩 結晶片岩 粘板岩などの古期岩層が広く



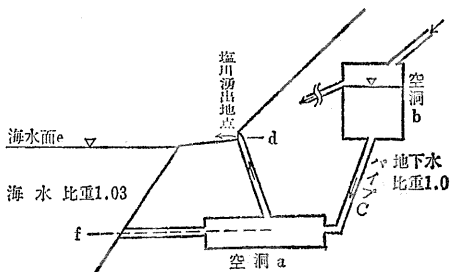
分布しており 中・南部地区とは対象的な急峻な山地地形を呈し いわゆる北部山岳地帯を形成している。

これらの古期岩層は その割目や風化帯には若干の地下水の滲透 流動もみられるが 一般には不透水層と考えられ 水理地質的な基盤とみなされる。したがってこの地帯の降雨は 石灰岩地帯のように地下に滲透することなく 谷間を表流水となって流下し 一般に流量の多い河川を形成し 久志大川 羽地川 源河川 福地川 大保川 比地川 辺野喜川 安波川など北部地区には比較的規模の大きい河川が多くみられる。

古期岩層地帯には これらを母岩とする崖錐などの角礫層と古期岩相との不整合面近くから湧く湧水が多くみられるが いずれも湧出規模が小さい。また 金武村および恩納村の北部海岸の一部には 部分的に琉球石灰岩が分布し 金武村にある有名な金武大川(長命の泉)など 古期岩層を受盤とした湧水がみられる。

dブロック～砂礫層地帯の地下水

dブロックは 名護市旧名護町西部から同市旧羽地村西部にかけての本部半島の基部地帯で 未固結の砂礫層が広く分布しており 低地ないし丘陵地形を呈している。砂礫層が地表において崖をなしているところなどでは この砂礫層中の地下水が古期岩層などの不透水層に支えられてその不整合面近くから湧水となって流れ出るが これらの湧水は いずれも砂礫層中を流れ しみ出てるもので 湧出規模は小さい。



第16図 塩川の塩水湧水を説明する一つの例

また 砂礫層が地表下に厚く堆積している地帯では 本土の平野部で一般によくみられるように 砂礫層中の地下水が深井戸によって揚水 利用されていて これらは名護市のオリオンビール工場の深井戸水源井群および同市上水道の水源井群などにみられる。

地下水の利用

北部地区には 古期岩層が広範囲に分布しており これらの風化した酸性土壌がパインアップルの栽培に適しているの で 琉球政府の農業政策とも相まって 急な山腹斜面にまでパイン栽培が進んでいる。これらのパインは 一部生果の冷凍パインとして出荷されるほかは ほとんどが缶詰として加工されている。中部地区では わずかに1工場だったパイン工場も この地区では12工場を数え 調査の対象となった工場の過半数を占めている。

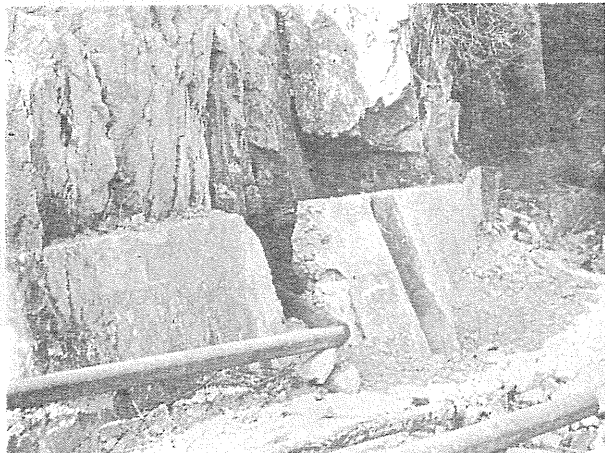
パイン工場の操業は 一年中行なわれているわけではなく パインの収穫時期に合わせて実施されており パインの生産地ならびに工場における生果の処理量によっても若干異なるので 当初これらの実態を把握するのにかなりの時間を費した。昨今では 工場における生産を円滑にするために 薬によってパインの成熟を抑制するなど 収穫時期を若干ずらす操作などを行なっているが パインの収穫にはⅠ期(夏)ものおよびⅡ期(冬)もののピークがあって なかでもⅠ期ものにピークが集中している。すなわち Ⅰ期もののピークは 8～9月の収穫時期のうち15～20日程度で Ⅱ期もののピークは 10～12月のうち30～45日程度である。そして これらのピークは Ⅰ期ものが全体の65%程度を占め かつⅠ期 Ⅱ期を合わせると 何と全体の80%程度が出てしまうことになる。

パイン工場における工業用水の使用状況は これらの

ピークに準じて季節的な変動が大きく その使用量も工場における淡水の取得の難易によってもかなり左右され 生果の処理量に対しても一定ではない。これらの用途のうち 缶詰製品の滅菌後の冷却は 冷却用水を多く用いれば常温まで早く冷えるだけで かならずしも一定の水量を必要としない。パイン工場12工場の工業用水の使用量は 全体として 5,700m³/d 余であり このうち表流水がもっとも多くて 3,500m³/d 湧水および地下水が 1,500m³/d 水道水も 700m³/d 程度使われている。

中・南部地区のいたるところでみられた砂糖キビの栽培は この地区においても平野部や山麓 谷間などで多くみられる。かつては各所に分散して操業していた製糖工場も 現在ではこの地区では3工場(伊江島を含めて)に集中され 工場らしい規模をもっている。

製糖工場の操業も パイン工場と同様に キビの収穫時期に関係し キビの処理量にもよるが 製糖期は1～4月のうち80～100日程度であとは機械の補修その他で生産は行なわれない。製糖期における工業用水の使用状況は 全使用量 116,000m³/d のうち 工程の大半(約90%)を占める 106,000m³/d の冷却用水は 到底淡水では賄いきれないので 他の地区同様すべて海水に依存し またこれらの冷却排水 4,500m³/d をドレンから回収して再使用している。このほか淡水としては 湧水 地下水を 4,200m³/d 伏流水を 1,500m³/d 程度取水 使用している。このほか この地区での主要な工場としては 名護市安和(旧屋部村)にセメント工場があり 工場の裏山の古期石灰岩を原料として 年間約40万tのセメントを焼いている。この工場は 機械および製品の冷却用その他に 2,800m³/d 程度の淡水を使用しており この80%は工場から約 2km 離れた海岸の湧水 潮平川によって賄われている。近年 製造過程に



写真⑧ 潮平川湧水 セメント工場の用水と現在部落の簡易水道の水源工事中 湧水は海面スレスレに湧出している



写真⑨ オリオンビール(株)と名護市上水道の幸地川水源の送水管 上流の取水口まで両者縦って延々とパイプを川床にのぼしている ふだんは川水

第3表 沖縄本島北部地区(本部半島を除く)河川表流水の水質

	pH	RpH	Mアルカリ度 CaCO ₃ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	全鉄 (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	全硬度 CaCO ₃ (ppm)	SiO ₂ (ppm)	COD (ppm)
沖縄北部地区 表流水の水質 範囲	7.1~7.37	7.5~8.4	13.7~60.9	19.4~ 33.7	0.00~ 0.84	3.7~ 10.7	13.5~ 25.0	0.4~1.3	0.02~ 1.00	3.4~ 19.6	0.9~5.1	16.2~63.9	13.0~ 23.0	0.14~2.94
沖縄北部地区 表流水の平均 水質(11河川 水)	7.21	7.82	27.5	25.4	0.12	7.7	17.8	0.85	0.180	7.17	3.13	30.8	16.0	0.67
本土河川の平均 水質(小林 純)			25.5	5.8	1.15	10.6	6.7	1.19	0.24	8.8	1.9	29.8	19.0	

おいて生ずる塵埃を回収する電気集塵機が完成し 大いに公害対策を行なっているが この装置のスプレーにもかなりの水が使用されている。また 名護市には沖縄唯一のビール工場があり 年間1,700万ℓのビールを製造し 本土産のビールに対抗している。この工場はかつて幸地川の表流水および伏流水のほか 工場内の深井戸群によって 2,000m³/dの冷却用 洗滌用などの工業用水を賅っていたが 近年50%に及ぶ生産量の増加に伴って 用水も 3,000m³/d 余が必要となり 自己水源だけでは賅いきれないので 水道公社の原水 600m³/d を購入している現状である。

この地区の上水道および簡易水道は 深井戸地下水 湧水 表流水などに水源を求めている。深井戸地下水としては 名護市上水道の第1~4水源(写真20)。旧屋我地村の第1~5水源をはじめ 金武村 恩納村 本部町 上本部村 今帰仁村 伊江村などの簡易水道水源などがあり 砂礫層あるいは琉球石灰岩を掘さくした深井戸によって揚水 利用されている。また 湧水とし

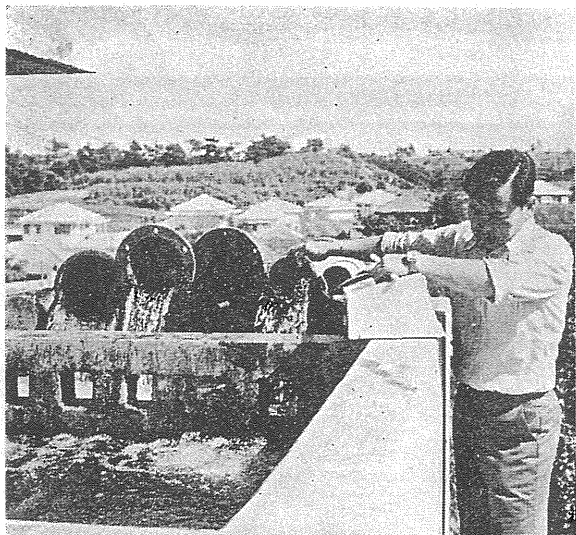
ては 本部町上水道水源の泉口をはじめ 金武村 今帰仁村 大宜味村 伊江村などの簡易水道水源があり 古期石灰岩あるいは琉球石灰岩からの湧水が利用されている。

沖縄本島北部地区における地下水と表流水の水質

水は天然においてさまざまな形態をとり 水の置かれている環境によって水質はさまざまに変化するものである。水質を調べることは 水の置かれている地理的・地質的・化学的な環境の反映を調べることで 同時に水質を明らかにすることによって 水の利用面からの要求を満たすことにもなる。

調査方法および分析項目

水に溶けている化学成分を明らかにするために できるだけ多くの分析項目を設定した。すなわち 気温・水温・電導度・pH・RpH・酸度・Mアルカリ度・塩素



写真⑩ 名護市上水道の着水槽 バックマン溶存酸素計で溶存酸素の測定



写真⑪ 名護市浄水所で水質の現地分析をする池田技者と 向こう側 琉球工業研究所 山城亮真技師

第4表 沖縄本島北部地区石灰岩地帯の湧水・地下水の水質

	pH	RpH	Mアルカリ度 CaCO ₃ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	全鉄 (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	全硬度 CaCO ₃ (ppm)	SiO ₂ (ppm)	COD (ppm)
古期石灰岩の水 (4試料平均)	7.25	8.46	159.4	26.2	6.93	8.2	17.1	0.9	0.015	55.7	5.1	160.2	13.4	0.05
琉球石灰岩の水 (5試料平均)	7.22	8.40	229.3	60.2	17.7	27.5	44.3	2.1	0.020	80.7	10.2	243.7	8.7	0.20

イオン(Cl⁻)・硫酸イオン(SO₄²⁻)・亜硝酸イオン(NO₂⁻)・硝酸イオン(NO₃⁻)・アンモニウムイオン(NH₄⁺)・ナトリウムイオン(Na⁺)・カリウムイオン(K⁺)・カルシウムイオン(Ca²⁺)・マグネシウムイオン(Mg²⁺)・全硬度・溶存性シリカ(SiO₂)・リン(P)・化学的酸素要求量(COD)・二価の鉄イオン(Fe²⁺)・三価の鉄イオン(Fe³⁺)・懸濁鉄・全鉄および全マンガンの諸項目である。

このうち 気温・水温・pH・RpH・酸度および溶存酸素は試料の採水現場で分析し(写真21) 鉄イオンの二価および三価は現地で発色させ 比色は中間実験室に持ち帰ってから光電比色計で測光する方法をとった。

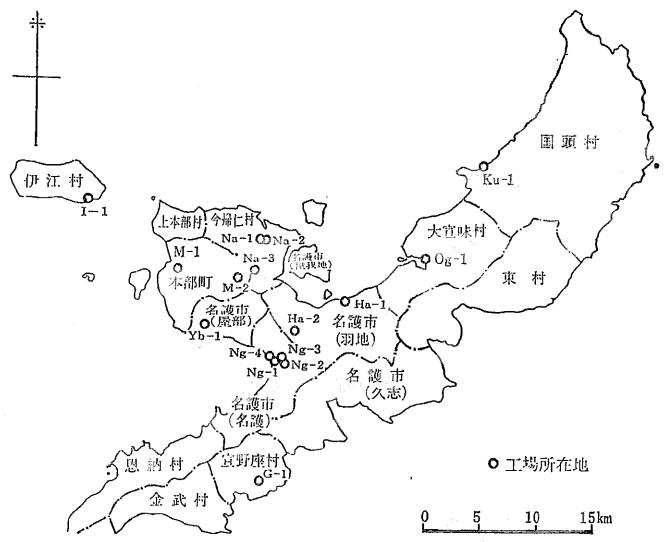
亜硝酸イオン(NO₂⁻)・アンモニウムイオン(NH₄⁺)・化学的酸素要求量(COD)は試料をとった日のうちに分析した。Mアルカリ度もその日のうちに分析した方がよい。このような方法をとることによって変化しやうい測定項目の正確な分析を行ない 天然に存在している状態の水中溶存成分の形態をそのまま把握しようとした。その日の分析は名護農事試験場で 残りは那覇の琉球工業研究指導所の実験室で分析した。

琉球工業研究指導所では 入ったばかりのJaco AA-72型の原子吸光分析装置を使って 全鉄・全マンガンの分析を また他の項目は ほとんど JIS kolol-1966 の日本工業規格 工業用水試験方法にもとづいて分析を行った。

水質調査は琉球工業研究指導所の山城充真技官が現地調査に同行し 実験室での化学分析には 同技官と宮城周子技官が従事した。

沖縄本島北部地区の表流水の水質

沖縄本島北部地区の表流水は 本部半島地域を除いてその流域は砂岩 粘板岩などを主とした古期岩層地域を流れているものが多く 採水した11河川水の水質の各要



第17図 沖縄本島北部地区主要工場位置図

素の範囲および本土の河川水の水質は第3表である。沖縄本島北部地区の表流水は 本土の河川表流水よりも塩素イオン(Cl⁻) ナトリウムイオン(Na⁺) マグネシウムイオン(Mg²⁺)が多く含まれ 他方硝酸イオン(NO₃⁻) 硫酸イオン(SO₄²⁻) カリウムイオン(K⁺) カ

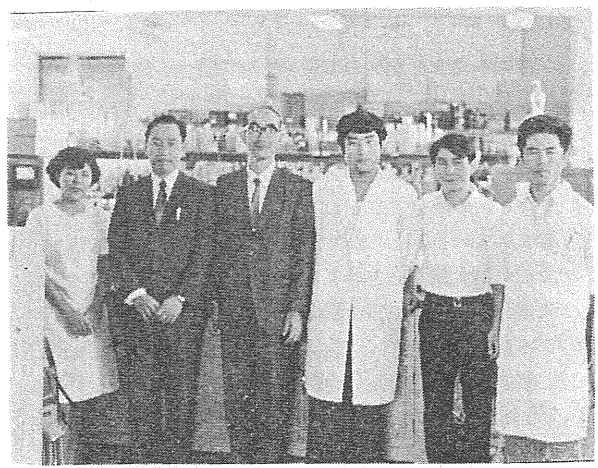
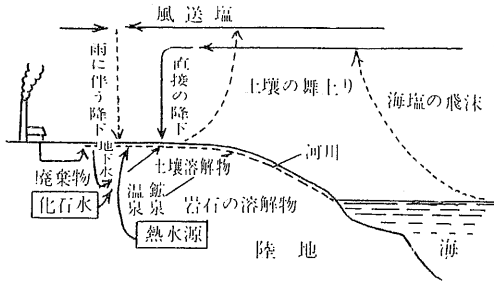


写真20 琉球工業研究指導所の分析室 向かって左から宮城周子さん 池田技官 小西技官 一人おいて山城充真氏



第18図 河川水成分の循環(菅原 米谷 1964)

ルシウムイオン (Ca^{2+}) およびシリカ (SiO_2) が少ないという特長をもっている。 Cl^- Na^+ Mg^{2+} などの海塩の主成分をなす成分が多いということは 直接または間接的に海の影響を受けているからで これは沖縄本島が周囲を海に囲まれた細長い島であるという地理的な位置・環境に大きく起因しているものと考えられる。 一般に河川の溶存成分の起源については 河川水の成分の循環を模式的に示した第18図によって考えることができる。

沖縄本島では 海から舞上がった海塩の飛沫が陸地に直接降下するものと 風送塩が降雨に溶けて地表に降下するものによって河川水に加えられる影響が比較的大きいということが知られる。 本土の河川は 行程が比較的長いので 河川流域の岩石 土壌 温泉 火山などの地質学的因子が河川水の成分により多く反映しているのに対し 沖縄本島では 河川の行程が短かく 短時間で流れてしまうために 石灰岩地帯を流れてくる河川を除いては 地質学的因子よりも 海から運ばれた海塩の影響を より大きく受けているといえる SO_4^{2-} および SiO_2 が少ないことも 同じ理由によるものである。

水に溶けている化学成分の量は 本土の河川水の平均値よりも 本島北部地区の表流水の方が40~50%多くなっている。

沖縄本島北部地区の石灰岩地帯の湧水・地下水の水質 本島北部地区の 古期石灰岩および琉球石灰岩のなかに分布する水の化学成分は 第4表ようになる。

新・旧石灰岩の水は 硬度成分 ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) とMアルカリ度の成分 (主として HCO_3^-) とが ほぼ同じ量含まれている。 しかもこれらの成分が 水に溶けている成分の大部分を占めている。 すなわち 溶存成分の大部分が石灰岩からの溶出による重炭酸カルシウム・マグネシウムである。 とくに琉球石灰岩のMアルカリ度と硬度は 著しく高く 硬度 (CaCO_3 ppm として)200以上もあり なかには水道水の水質規準では飲料不適となる300の線に辛うじて合格する290の硬度をもつものも

ある。 これらの水の pH は7.2~7.3を示しているから理論上これらの pH 領域で存在できる炭酸カルシウムの飽和状態に近いMアルカリ度と硬度である。 こういう水をコップの中に入れ 氷片を入れて冷すと過飽和となり 白い細かい炭酸カルシウム (CaCO_3) の沈殿が生じてくるのがみられる。

古期石灰岩の水は琉球石灰岩よりも水に溶けているMアルカリ度 硬度は少ないが これは 琉球石灰岩は時代が新しく 多孔質なので比較的溶けやすいが 古い石灰岩はち密で溶けがたいためであろう。

北部地区の地下水・湧水は 透水性の良い石灰岩地帯の地層に分布し 酸化的な環境下にある。 水が大気と接触し 空気の飽和している状態の溶存酸素を100%とすると 50%以上の飽和率を示すものが多い。 すなわち 地理的・地形的な環境によって 水蒸気→雲→雨→表流水・地下水→海へ流出 という水の循環が比較的速いことが予想される。 こういう酸化的環境下では 還元状態で安定な二価の鉄イオンは ほとんど存在することができないから 鉄分は全般に非常に少なく 同じような理由でマンガンもほとんど検出されない。

水中に含まれている無機の窒素化合物は NO_3^- NO_2^- NH_4^+ などの形態をとりうるが 上に述べたような環境なので 北部地区の大部分の水は NH_4^+ をほとんど検出しないし 検出されても微量である。 NO_2^- も非常に微量であって 窒素化合物の大部分は 酸化数が多い NO_3^- の形で検出されている。 地質的に地下水を分類してみると 琉球石灰岩の水に NO_3^- が比較的多く 平均値で 18ppm である。 琉球石灰岩が多孔質であるため 降雨が地表から直接浸透しやすく その結果地表から溶かしこんでくるのか 琉球石灰岩のなかに含まれているものが 溶けてくるのか いずれかの原因によるものであろう。

塩川湧水の水質

この湧水はかなりの塩分を含んでいて その機構については水文の項で述べてあるが 塩分の組成は海水が淡水によって 約4.5倍にうすめられたものであることが明らかとなった。 Cl^- に対する Na^+ K^+ Mg^{2+} SO_4^{2-} などの比率は以下のとおりで 海水の値とほぼ同じである。

	Cl^- (ppm)	Na/Cl	K/Cl	Mg/Cl	SO_4/Cl	Ca/Cl
塩川	4,247	0.56	0.021	0.064	0.137	0.033
標準海水	18,980	0.55	0.020	0.068	0.139	0.021

Ca/Cl 比だけが海水よりも高いのは カルシウムに富んだ石灰岩からの淡水で希釈されているからである。海水準よりも高いところに多量の海水が混合してくる現象はまことに興味深い事実である。

沖縄本島北部地区の水質組成を示すキダイヤグラム 一般に水質分析の結果は 重量表示がよく用いられた例えば 水 1ℓ 当りのミリグラム数 mg/ℓ あるいは ppm が用いられる 水質組成を扱うためには ミリ当量 /ℓ(epm) によって表わした方が便利である。重量表示を当量表示に換算し アニオンの HCO_3^- Cl^- SO_4^{2-} の各成分の合計値に対する各成分のパーセンテージを計算する。 同様にカチオンの Na^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} の当量値の合計に対する各成分のパーセンテージを計算する。 こうして HCO_3^- $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ の 4 成分系についてのキダイヤグラムを作成した。 この第19図は 水に溶解している化学成分の組成が一見してわかるように表示したものである。

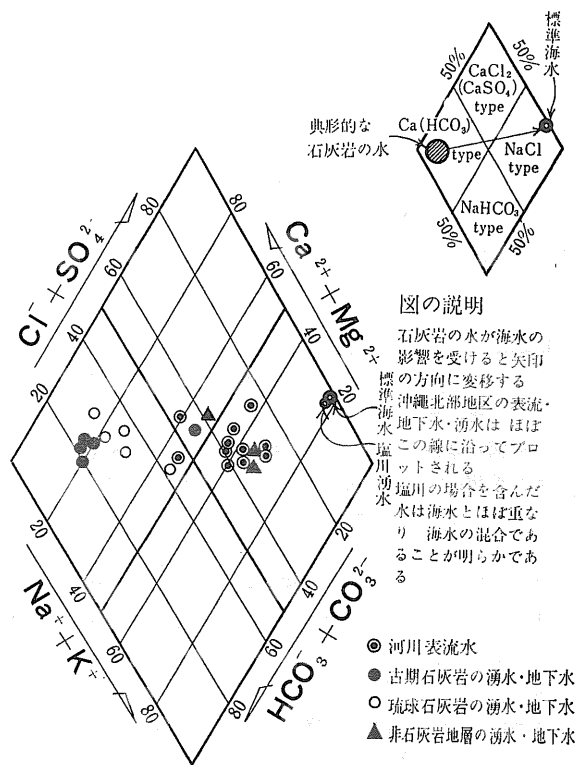
この図によると 表流水の大部分は 塩化ナトリウム型 (NaCl type) を示している。 本島北部地区の表流水は 先に述べた地質学的要因よりも塩水の影響をより多く受けていることを示すものである。 石灰岩の水は古期石灰岩・琉球石灰岩のいずれも石灰岩から溶けたものが主成分となり 重炭酸カルシウム型 [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ type] の水質組成であることが明らかである。 塩川湧水は 図では海水の組成とほぼ重なり 海水の混合による化学的組成を示している。

おわりに

この地質ニュースに沖縄本島をとりあげて 南から順次北上して北部地区に至ったが この地は中・南部地区とは全く様相が異なり人家は少ないが 山と森林と そして水資源がある。 沖縄の開発には 特にその工業化がさげばれている今日 水の供給は将来の沖縄の発展の基礎をつくるといっても過言ではない。

沖縄の水資源のうち地下水の占める位置は必ずしも高くない。 しかし石灰岩のなかに賦存する水という本土ではほとんど見られない形態の地下水が主流をなしているこの地にあっては 少ないながらも利用価値の高い水である。

この水資源の開発に際しては その保護が表裏一体をなすものであることは言うまでもない。 一般に水資源の保護にとって障害となるものは乱開発 地形や土壌の変形 破壊 植生の破壊 人為的汚染などである。 もし既存の流域が裸地である場合には 植生を繁茂させることによって地表水および地下水の質的 量的強化をは



第19図 沖縄本島北部地区の表流・湧水・地下水の化学的性質 (キダイヤグラム)

かることも出来よう。 本島北部地区の古期石灰岩分布地域の場合 精細な地質図の作成によって その地下流域をも決定することができるので 自然条件の変化および人為的破壊や汚染に対応する地下水の質的 量的変化を小区域においてモデル的に測定することが可能である。 森林地の減少 石灰岩の採掘および人工施設の増加などに伴って 今後地下水がどのように変化するかを観測は水資源保護および開発対策の予測資料として早急に着手しておきたいものである。

本島北部地区 特に本部半島一帯は海と山と河川を通じて沖縄本島最大の自然美の宝庫と言える。 将来国立公園として 八重山群島と並んでその景観と自然系を保護すべき地域であろう。 大規模なドリーネやカーレンフェルドなどの存在も 自然観察の場として また市民の憩いの場として 生物生態系とともにその価値は高く評価されなければならない。 その際にも最もポイントとなるのは清冽な湧水であり 珊瑚礁の海の色である。 この地において俗悪な観光地の轍は踏むことなく それらを保存し 保護していくことを強く望みたいと思う。

(筆者らは *印応用地質部 **印技術部)