

第 8 編 水質管理

第1章 水質管理所の沿革

第1節 米軍政下時代

1. 水質管理の曙

戦後の水道は米軍の水道を出発点とする見方があるが、現在につなぐ水道事業や水道技術の発展を見るとき、米軍の水道を論じる必要がある。一方県民の水利用状況は終戦直後の混乱期と言えども水無しの生活は有り得ない事から、個人や共同の井戸利用、雨水貯め、樋川等湧水、河川水の直接利用等の利用形態があった。このような延長線で鉄管の調達ができるような時期になると簡易水道の発達につなぐようになった。このような事から、現在の企業局につなぐ大規模水道は米軍の水道技術を語ることなしには通れない事になる。米軍の水道は、終戦直後、車搭載型の可搬式野戦用浄水装置を持ち込み、河川の周辺で「カンバン」と言う炊事用キャンプを張り占領体制の水利用を図った。このようなキャンプは中部一体では、比謝川、長田川、天願川、白比川、普天間川、牧港川等周辺で発達した。米軍キャンプの水道水は民間の井戸や簡易水道水と比較すると独特なカルキ臭さがあり清潔な水のイメージがあり軍の水として位置付けられていた。その後、米軍はキャンプの統合が図られる中で水道施設の整備が図られ、いわゆる軍水道の発展へと歩むようになった。軍水道の主体となるTYBASE WATER TREATMENT PLANT（現在のコザ浄水場）は、その建設計画にあたり1947年（昭和22年）1月付けで比謝川の水質検査がPHILLIPIN Lab で実施されており、比謝川の水質試験結果としては最古の水質データとして残されている。1949年（昭和24年）に建設された当初は、TY-Base Filter Plant と呼ばれ、Head Quater, Ryukyus Command, AP0331に属し1949年11月19日付けの最古の運転日誌が残っている。pH値、残留塩素、大腸菌群、一般細菌、塩素要求量、アルカリ度、遊離炭酸等の管理記録が残されており、現在の水処理管理と同等な管理体制があったことを示しており技術の高さが認められる。水質管理の体制はTYBASEの運転開始に合わせてオペレーションとウォーターラボに区分けされて組織化されていたようである。タイベースラボはIsland Water System Devision Water Quality Control Branch Tybase water Labratolyと名称されるようになり、1951年（昭和46年）には西平ユキ氏をオキナワンの第1号とし翌年、山内徳栄氏がテクニシャンとして採用されている。職能主義による職階制度を基本とし業務はスタッフシステムをとった。構

成はチーフケミストをスーパーバイザーとしケミスト、テクニッシェン、ラボエイドがあり初期のチーフケミストは不明だが、2世の中原氏、山近氏、PHILLPINのMr Calipと続き復帰に至った。1959年に採用された金城義信氏は大学卒として初めての参加となり、日本の学会的要素を導入し経験至上主義のなかに科学性を取り込み、技術研修会等を実施する中で水道技術の現代化を図った。その結果、軍作業的概念を排除して「水道一家」を築き上げ新時代の職場環境体制を作った。軍水道局は米陸軍ポストエンジニアに属し、極東・沖縄地域の水質試験組織ともされていた。軍の機能上、ハワイの大平洋司令部の中のLabをTop Labとして、沖縄のTybase Lab 神奈川県のカンプザマ等が有機的な関係を取っていたように見える。そのため、台湾やベトナム等の水質的課題については分析や技術の供給をしていた。一方マリン（海兵隊）に属していたカンプハンセン浄水場（金武浄水場）の試験室は独自の試験体制を持っており、Mr Walter 局長の元で水質管理組織がなされていた。1963年には安里修一氏も所属しており、水道公社への移管段階で大城勝正氏はマリンへ残った。

2. 水質基準の課題

水質の基準は水道法に基づく安全の保証を意味するが、軍水道の水質の安全保証はアメリカ陸軍で標準化されているTM 5-660 (Technical Manual) で取り扱われ、原則としてWHO及び、APHA基準を採用し特別な事項については、陸軍病院にあるPreventive Medicine (予防衛生管理部) が基準値を指示していた。TM (技術指針) は施設設計や維持管理編等があり、日本における水道施設設計指針や水道維持管理指針に相当する。

フッ素添加は1957年12月12日 (昭和32年) に開始したが当初夏場には0.6~0.8ppmとし冬場は0.7~0.9ppmとした。1969年に至り一律0.8ppmと変更された。復帰に伴い1973年 (昭和48年) にフッ素注入を停止するまでの15年間事業は継続した。

メタりん酸添加や赤水防止対策としてのランゲリア指数に基づくpH管理もTMの指示する水道水質の管理法である。1954年12月から注入管理した記録があり、復帰後フッ素とともに注入停止した。復帰以前における水質基準の持つ課題は、琉球政府では日本法を基にした水道法が制定されており、一方米軍政府の陸軍水道局や水道公社の属する米民政府ではTM等に基づく規程運用があり、生産者と需要者間に適応基準の差異が生じた。M B A Sの事例で0.5ppm以上は水質基準に抵触するので水道水としないとする立場と限量として考慮はしても極限数値が

ないので生産停止の根拠とは成り得ないため、水道として供給できるとする対立する立場があった。このような場合の対策としては、米軍統治の優位性から「軍水道局の生産した水は水道水である。」とし、給水協約等の覚え書きの中で処理されたことがあった記憶がある。このような事は特に渇水期の中で起きた法律論として現代にも引き継がれる水道水質の安全性の課題があった。

3. 試験法の返遷

水質試験はStandard Methodに準拠して行われた。タイベースの設立時期には、1946年（9th）版、水道公社設立時期には1955年（10th）版、石川浄水場の運転開始時期には1965年（12th）版が使用された。Standard Methodの書籍は時代の最先端を行く最新の分析技法を搭載したものであり、特に第9版は終戦直後における最新の情報書とされる貴重な物である。改定版が出る度に分析法の追加改善が図られて来たが、分析機器の発達によるところが大きい。濁度測定の初期は、キャンドル法があり、90cmのガラス管に検水を出し入れし底に飾した蠟燭の炎を見え隠れする水の深さで濁度を表した。1955年版では、Hellge社製の比濁計が開発され、ガラス管の破損もなく取り扱いが簡単になったため、測定頻度が増やせる用になった。1969年にはHach社製の濁度計が開発され0.01ppmレベルの濁度測定が可能となり、ろ過池管理や凝集剤の適正管理に画期的な展望が開けるようになった。又、濁度測定が高精度になったため硫酸イオンの測定を簡素化にしかも測定精度を上げるようになった。フルオレッセンによる流路調査では、視覚判定による100倍程度の感度で追跡されるため詳細な調査が組めるようになった。総硬度の測定では当初修酸法で試験したが、電気炉による焼結が必要なため夜勤体制による労力のかかる分析法であった。石けん法による測定は簡素化はされるが測定精度が悪く試験体制としては苦慮する事態であった。しかし1960年に至るとEDTA法が開発され、その結果は試験体制に画期的な改善をもたらした。

フッ素管理のための試験は、当初、ジルコニウム-アリザリンレッドS法を採用したが1965年（昭和30年）イオン交換樹脂の入手に伴い、妨害イオンの除去を図りスパンズ法による高精度な測定が実施された。また1968年（昭和43年）にはオリオン社製のイオンメーターが開発されると同時に入手し、フッ素濃度管理を高精度で簡素化し安定的なフッ素化事業の推進につながった。

その他、比謝川の汚染化が始まると1954年（昭和29年）には汚染調査として、BODとMBASの測定が開始された。

4. 水質管理体制

水質管理は水道水の安全性の確保として病原性細菌からの開放、濁りや色合い等の外観等を管理上の主体としフッ素添加による積極的な公衆衛生上の措置、メタリン酸添加による硬水障害の対策、pH調整による赤水防止対策等が業務の主要要件とされた。そのため水源、水処理工程の日常的試験の他に給水区域を分割し、毎日全地区から採水しpH、残留塩素、バクテリア、フッ素、りん酸を試験し管理した。分割した区域はカデナ、キャンプクイ、ズケラン、フテンマ、マーシー、マチナト、トオリー、ホワイトビーチ及びその他があった。浄水施設の管理はTy base, Tengan, Isikawa, Camp Kue, Yuza, Mabuni, ChinenCSG, Isikawa Beach, Yaka Beach, Okuma, Tokasiki, Camp Harddy, ナイキキチ1A, 2A等があった。試験項目は水処理管理上、オペレーション（浄水管理部門）が毎時測定として実施するものに、pH、残留塩素、濁度、塩素要求量があり水質変動時には、ジャーテストを実施した。毎日試験としてはpH、濁度、色度、臭気、アルカリ度、総硬度、Ca-硬度、電気伝導度（18℃）、塩素イオン、塩素要求量、フッ素、りん酸、一般細菌、大腸菌群の試験が行われた。鉄やマンガンは週試験とされた。その他全項目試験は年間試験とし1回～2回実施された。勤務の体制は前夜勤を置き、日常使用薬品の受け渡し、試薬調整、緊急を要する試験、特殊水処理体制の待機の役割があった。

水質管理及び水処理工学に属する情報の体制は、AWWAの会員としての立場を持ち、アメリカ国内同様の早さで（AWWA Jurnal）情報の入手があった。

5. 水処理法の特徴

フッ素添加、メタリン酸添加、赤水防止対策のためのpH調整は特徴的水処理法として位置付けられる。

6. 調査体制の特徴

1958年から水使用が増大し又、道路側溝等の環境整備が図られた事等の結果、比謝川に係る汚染負荷が増大しダクジャク取水点で汚染の影響が現れ始めた。比謝川汚染の調査と対策のために、ABS、BOD、等調査体制が1954年には確立されており、状況掌握が的確になされていた。汚染状況の掌握は水処理と直接関係にある塩素要求量が主体をなし現在に至る手法となっている。

7. 水道水の安全性とは（塩素処理の神話、CCE）

1958年（昭和33年）から水処理上困難をきたし出したジャク浄水場では前塩素処理法の強化対策によってクロルアミン系の微臭は感知されても水質検査に基づく安全性は保証された。また長田川水源に対して原水供給の場合、渇水影響で汚染影響が高濃度した時期に原水塩素処理をポンプ井で実施したところ、送水工程のパイプ中で除マンガンを、外観の透明化改善、無臭化等水源性の著しい改善が図られ、「塩素処理によって水処理すれば完全に飲料水化が図られ、処理できない原水はない」といわれる塩素処理神話がつくられ普及した。しかし分析されない未知物質に対してCCE（活性炭吸着物質でクロロホルムに溶出する物質）やCAE（アルコール溶出成分）の検討と分析機器の発達の中から学会評価では塩素処理の副次生成物は安全性の高いものではないと1980年段階で結論されるようになりトリハロメタン問題として高度浄水処理法の展開となっている。

また、水道水の安全性の確保は、水処理施設の持つ機能によって図られるとする原点は今も昔も変わることはない。このことは水処理管理のもつ重要さは不変であると歴史は教えてくれる。

8. 渇水対策の課題（人工降雨作戦、下水の再利用計画、海水利用による節水対策）

1969年の渇水は3日に1日給水の体制が予測され、水資源開発の手段として、人工降雨作戦と下水の水資源化作戦を設定し、また、節水対策としての海水利用作戦が検討された。Tybase Lab では下水の再利用計画として水処理方法の検討があり、設備設置の前夜に至ったが豪雨の恵みに会い計画倒れに至った。

9. 水処理施設の特徴（ろ過池博物館）

米軍の建設した水道施設は当時のアメリカにおいて最新情報とされる技術に基づき計画されている。ろ過池の構造に顕著な例がみられる。緩速ろ過から出発したろ過法は急速化するために、吸着論をとり1940年代に60m/日のろ過速度でアンスラサイトろ材を使い層厚さを3フィートとする方法があり、金武浄水場に適用されていた。しかし1940年の中頃に至ると複層ろ過の方式が主流を占めるようになりコザ浄水場、天願浄水場及び石川浄水場で採用された。ろ過速度は3 G P M / f²で約157m/日になり、アンスラサイト層を2フィートとし砂層を6インチとした。

10. 人事記録及び職員構成

1949～50年（昭和24～25年）

Chemist : Mr. NAKAHARA, Mr. Sumithその他不明

1951～58年（昭和26～33年）

Chemist : Mr. NAKAHARA, Mr. Calip, Mr. YAMACHIKA

Technican : 西平ユキ、山内徳栄、山城 寛

1959～65年（昭和34～40年）

Chemist : Mr. NAKAHARA, Mr. Calip, 金城義信、金城仁太郎、花城康健

Technician : 西平ユキ、山内徳栄、山城 寛

Lab aid : 山城ヨシ

1966年（昭和41年）

Chemist : Mr. NAKAHARA, Mr. Calip, 金城義信、金城仁太郎、川満尚
（水道公社出向）安里修一、遠山英一

Technician : 西平ユキ、山内徳栄

Lab aid : 山城ヨシ

1967～71年（昭和42～46年）

Chemist : Mr. NAKAHARA, Mr. Calip, 金城義信、金城仁太郎、川満尚
（水道公社出向）安里修一、遠山英一、伊是名貞雄、幸喜稔、
屋我洋子

Technician : 西平ユキ、山内徳栄

Lab aid : 山城ヨシ

1972年（昭和47年）

Chemist : Mr. NAKAHARA, Mr. Calip
（水道公社出向）安里修一、遠山英一、伊是名貞雄、幸喜稔、
屋我洋子、金城義信、金城仁太郎、川満尚、山入端常光

Technician : （水道公社出向）西平ユキ、山内徳栄、山城 寛

Lab aid : 山城ヨシ

第2節 水道公社時代

水道公社の事業拡大に伴い生産体制の充実を図る必要があり、水質管理、浄水

管理、維持管理の陣容を強化するため、水道公社で職員を採用し軍水道局に出向した。1967年（昭和42年）の石川浄水場の運転開始を目処とした。

また、昭和47年の日本復帰の体制としてIWSD（全島統合水道局）の移管対象に対して、マリン（キャンプハンセン海兵隊）、知念CSG関連の施設関連管理と陣容の身分移管等水道公社へ整理統合された。

水質の管理体制は水道公社職員の軍水道局への出向とされたため、管理体制、管理基準等は軍水道局の指揮する形態の中にあり、従来の軍水道局時代と変化はなかった。

第3節 復帰後

1. 水道法への対応措置

復帰によって日本の水道法が適用された場合、水質基準に抵触する要素があるものに、コザ浄水場のA B S管理が課題とされた。又、汚染を受けた比謝川水源は浄水処理をすると水道法上安全な水として保証しえるかとの問題提起もされた。水質調整としてのフッ素添加とりん酸添加、赤水対策としてのpH調整等は県営水道事業のなかでなじむことか検討課題とされた。A B Sや比謝川水源の課題については、汚染源の把握、流況に伴う水質変動、最大汚染状況の把握、水処理機能の対応が明白になれば対応できるものとし、当面A B S管理のための取水制御方式を模索した。フッ素添加の課題については、（1）用水供給事業のなかで、フッ素化事業を継続する場合需要者の合意形成、予算措置、等対応すべき課題があるが、「虫菌予防としての水道水のフッ素効果」について立証する立場にないため事業の推進が図れない。（2）水道水のフッ素化は、予防医学のための事業でありフッ素化事業を推進する事業者にはなじまない。（3）フッ素化事業は関係機関で起業した場合、受託事業として成り立つが、当時としてはその状況にはない。（4）フッ素化した水道水の有効利用率は、概ね1%程度しかなく、他の99%の利用目的に対して薬剤添加の批判に答えられる状況にないため、フッ素化を継続する理由が見つからない。（5）他府県の実施状況としては、京都山科地区における実施例があるが、一般的な普及状況とすることはできない。このような判断のなかでフッ素添加は廃止した。メタりん酸の添加廃止についても効果の有効性や薬剤添加の批判等添加継続する有効な利用が見つからないとして廃止した。

2. 水道水質の展望

沖縄は水資源が貧弱なため限りある水源を有効に利用しなければならない宿命にある。水源の汚染防止対策を講じると共に節水型社会の育成を図り、水源の保全を図れば水を取り巻く諸課題が解消される方向にあると考えられる。復帰直後に提起された課題は、自然浄化システムの追求が生物処理、総合的な有機物対策がオゾン、活性炭処理へと引き継がれ、硬水の軟水化、ダムの循環浄化等設備処理による対策法へと進化してきた。

3. 分析機器の今昔

水質試験の状況を把握するには分析機器を見ることによって試験方法、試験制度、試験手順等が見える。分析機器の状況を見るために製作所と購入時期を比較するが復帰時期の機器目録と現在の固定資産の分析機器目録は表1、表2のとおりである。水道公社が石川浄水場の運転開始に向けて、分析機器を整備した購入時期の記録があるが、それ以前の分析機器についての記録は定かではない。復帰までの分析機器は全て「Made in U.S.A」であった。その中で、理美容器メーカー製の紫外線殺菌機が1968年（昭和43年）に購入された唯一の日本製である。復帰前と現在使用している分析機器で同じものが二つある。

ハック社製の濁度計と残留塩素電流滴定器である。浄水処理工程で最も基本的で重要な濁度と残留塩素の測定機器である。なお、この塩素電流滴定器は復帰前の同じ機器が現在も正確に作動していて重宝がられている。精度と再現性が良く、米国は相当に進歩した分析機器を使用していた。復帰前の分析機器が、現在使用している機器と同程度の性能を発揮している機器にジャーテスターとpHメーターがある。pHメーターと連動したアルカリ度自動滴定器は現在より進歩した測定を行っていた。大腸菌の試験は現在の方法と同じメンブレンフィルター法で、ミリポー社製の濾過器と真空ポンプを使用していた。1970年（昭和45年）に購入し、コザ浄水場で使用していた高圧滅菌器は、現在使用している高圧滅菌器と同程度大型横入れで作業性がよかった。米国製の機器は故障が少なく丈夫に作られていた。復帰までの分析機器はコールマン社の分光・炎光光度計が主力であった。

復帰によって用水供給事業が始まることになり、日本製の原子吸光光度計や分光光度計等の分析機器の整備が図られた。1980年代になるとパソコン内蔵のデータ処理装置付きの原子吸光光度計や分光光度計及びガスクロマトグラフ等の導入があり日本製の分析機器が主力になった。さらに分析機器の整備はトリハロメタ

ン（昭和56年）、トリクロロエチレン等（昭和59年）、ゴルフ場農薬（平成2・3年）等の通知により指導基準項目が追加され、それらに対応するためECD付きガスクロ、TOC自動分析計、高速液クロ及びガスクロー質量分析計等の導入が計られ現在に至っている。

参考

- 資料1 STANDARD METHODS 1946年版（昭和21年）表紙と目次
- 資料2 TM（技術指針）1952年版（昭和27年）表紙と目次
- 資料3 水質試験結果（試験開始の記録）1951年4月24日（昭和26年）
嘉手納浄水場（現コザ浄水場）原水及び浄水
- 資料4 水質試験結果（7-10様式使用開始）1961年9月25日（昭和36年）
ジャク浄水場原水及び浄水
- 資料5 浄水場運転月報（5-58）1949年12月（昭和24年）
嘉手納浄水場（現コザ浄水場）運転開始の記録
- 資料6 浄水場運転月報（5-59）1949年12月（昭和24年）
嘉手納浄水場（現コザ浄水場）運転開始の記録
- 資料7 浄水場運転月報（5-58）1967年7月（昭和42年）
石川浄水場運転開始の記録
- 資料8 浄水場運転月報（5-59）1967年7月（昭和42年）
石川浄水場運転開始の記録
- 資料9、10 試験計画表（1972年頃-昭和47年）

表1 復帰前の分析機器一覧表

機器名	製作所等	購入	機器名	製作所等	購入
(コザ)					
高压滅菌器	VemitronMedicalProduct	1970	恒温乾燥機	FISHR ISOTEMP	※1967
高温滅菌器	Acme Labo Equipment	※1967	Specific Ion Meter	ORION RESEARCH INC	※1970
蒸溜器	Azma Scientific Company	1967	冷蔵庫	GENRPAI MOTORS	※1967
恒温浴槽	LAB-LINE Insyrument Inc	※1956	残留塩素測定器	CAPITAL CONTROLS Co IN	※1965
電器炉	JELRUS Co IN	1959	濁度計	HACH CHEMICAL Co	※1970
分光光度計	Coleman Instrument Co	1967	真空ポンプ	MILLPORE FILTER C	※1967
炎光光度計	Coleman Instrument Co	1967	紫外線滅菌器	MILLPORE FILTER C	※1967
ク用吸引ポンプ	Coleman Instrument Co	1967	上皿天秤(粗)	OHAUS	※1967
P H 計	Coleman Instrument Co	※1967	Incubator	GENERAL Electric	※1970
ク電動滴定器	Coleman Instrument Co	※1967	フラン器	Scientific Equip.MFG Gorp	※1965
クMAG. MIX	Coleman Instrument Co	※1967			
溶存酸素計	Becman	1968	ジャーテスター JT-4	IWAKI Co LTD	1972
MAG. MIX	La Pine Scientific Comp	※1968	P H 計 M-7	堀場製作所	1972
SOLU BRIDGE RD-251	Industrial InstrumentInc	※1960	P H 計 D-5	堀場製作所	1972
SOLU BRIDGE RD-194	Industrial InstrumentInc	※1960	電導度計 CM-3M	東亜電波工業	1972
直示天秤	WM.AINSWORTH & Sons INC	※1967	電気加熱板 TP-4S	東洋製作所	1972
遠心分離器	CLAY ADAMS INS	※1965			
(石川)					
分光光度計	COLEMAN	※1967	電気炉	HOSKINS MGF Co	※1967
化学天秤	CHRISTNA BECKNNER	1967	高压滅菌器		※1967
真空ポンプ	CENEPAL Electric	※1967			
紫外線滅菌器	大坂理美容板金工業	1968	原子吸光光度計 208	日立製作所	1972
フラン器	PRECISION SCIENTIFIC Co	1955	ガスクロマトグラフ G80TFP	柳本製作所	1972
乾熱滅菌器	FISHER ISOTEMP	1967	分光光度計 101	日立製作所	1972
遠心分離器	CLAY-ADAMS INC	1967	直示天秤 C-200D	稲葉製作所	1972
AMPEPOMETRIC TITRATO	WALLAC & TIERNAN	1967	高压滅菌器 ACS-37	桜製器	1972
ジャーテスター	PHIPPS & BIRD INC	1965	恒温器 M-230	東洋科学産業	1972
ヒーター PC35	CORNING	※1965	電気自動蒸溜器	いすず製作所	1972
冷蔵庫	HOTPOINT	1967	ジャーテスター JT-4	IWAKI Co LTD JAPAN	1972
SULU BRIDGE	PERMUTIT Co	1967	P H 計 M-7	堀場製作所	1972
濁度計 2100	HACH CHEMICAL Co	1969	P H 計 D-5	堀場製作所	1972
蒸溜器	BARNSTEAD STERILIZER Co	1967	高温電熱器 TP-4	東洋製作所	1972
ヒーター	FISHER SCIENTIFC Co	1967	電導度計 CM-3M	東亜電波工業	1972
上皿天秤	UNION NEW JERSEY USA	1967			
(天願)					
濁度計	HACK QUALITY CONTORO	※1969	真空ポンプ	MILLPORE FILTER C	※1967
Specific Ion Meter	ORION RESERCH INC	※1969	冷蔵庫	HOTPOINT	※1967
フラン器	VALAD Ele.Heat.Co	※1965	乾熱滅菌器	FISHER ISOTEMP.	※1967
遠心分離器	CLAY ADAMS Co.INC	※1965			
AMPEPOMETRIC TITRATO	WALLACE & TIERNAN	※1969	P H 計 M-7	堀場製作所	1972
マグネティック スターラー	PRECISION SCIENTIFIC Co	※1967	直示上皿天秤 I型	石田衡機製作所	1972
ジャーテスター	PHIPPS & BIRD INS	※1967	電導度計 CM-3M	東亜電波工業株式会社	1972
ヒーター	Kessel EQUIPMENT CONP	※1967			
(知念)					
P H 計	HACH CHEMICAL Co	※1965	冷蔵庫	GIBSON	
濁度計	HELIGE TUBIDTY	※1965	ヒーター	(RCA) WHIRLPOOL	
(金武)					
濁度計	HELIGE TURBIDIMETER	1967	ジャーテスター	PHIPPS & BIRD INC	※1965
Specific Ion Meter	ORION RESERCH INC	※1970	TAYLAR WATREANALYZER		

※ : 推定年度

表 2 復帰後の分析機器一覧表

機器名	製造所等	購入	機器名	製作所等	購入
(中央試験室)					
ガスクロマトグラフECD GC-9A	島津製作所	1986	電気マッフル炉KM600	アドバンテック東洋株式会社	1990
ガスクロマトグラフECD GC-7AG	島津製作所	1982	恒温水槽ET-35D	アドバンテック東洋株式会社	1987
ガスクロマトグラフTD FIDGC9A	島津製作所	1984	高圧蒸溜滅菌器S-4A	三浦工業株式会社	1986
ガスクロマトグラフECD FIDGC14	島津製作所	1989	逆浸透水装置装置MILIP060	日本ミリポ-工業株式会社	1986
TOC自動分析計	東レエンジニアリング株式会社	1987	上皿電子天秤AE-200	METTLER INSTRUMENTE AG	1987
フラクションコレクター SF-200	アドバンテック東洋株式会社	1987	ジャーテスターJMD-6	宮本理研	1987
原子吸光光度計Z-6000	日立製作所	1985	ジャーテスターA-6	入江商会	1981
自記分光光度計U-3200	日立製作所	1985	熱風乾燥機KCM-22	アドバンテック東洋株式会社	1986
水銀分析装置 208	日立製作所	1976	位相差顕微鏡BH-PC	オリンパス東洋株式会社	1978
水素化物発生装置FS-2	日立製作所	1987	実体顕微鏡JM	オリンパス東洋株式会社	1980
濁度計 2100A	HACK CHEMICAL COMPANY	1985	クーリングキャビネットCT-3	ナガノ光学工業株式会社	1986
イオンメーターN-8F	堀場製作所	1991	クーリングキャビネットCT-5	ナガノ光学工業株式会社	1986
電導率計 DS-8F	堀場製作所	1982	クロマトパックC-R3	島津製作所	1986
pHメーターFSDP	堀場製作所	1987	蒸溜器 WDA-210S	いすず製作所	1985
遠心分離器H-103NR	国産遠心器株式会社	1986	高速液クロLC-9A	島津製作所	1991
排水処理装置LIP-20A	同和鉱業株式会社	1979	GC-MS QP-2000A	島津製作所	1991
フラン器 IL-91	ヤマト科学株式会社	1986	残留塩素電流滴定器	WALLACE & TIERNAN	1969
フラン器 IS-41	ヤマト科学株式会社	1986	(ANPEROMETRIC TITRATO)		
(石川分室)					
自記分光光度計UV265A	島津製作所	1986	pHメーターF-77SS II	堀場製作所	1981
原子吸光光度計AA-670	島津製作所	1986	高圧蒸気滅菌器KX-23D	アルプ株式会社	1984
濁度計 2100A	HACK CHEMICAL COMPANY	1984	高圧滅菌器ASDA-40DP	アルプ株式会社	1988
電導率計 AO-6	電気化学計器株式会社	1984	遠心分離器H-170B	国産遠心器株式会社	1979
フラン器 I-60D	清水理化学機器株式会社	1976	インキュベーターMIR-251	三洋電気特機株式会社	1987
逆親等水装置 S-50	カリガン	1980	電気定温乾燥機	清水理化学器機株式会社	1976
ジャーテスターJT-4	岩本鉱業	1972	電気マッフル炉OPM-40	東洋製作所	1977
採泥器 A型	宮本理研工業株式会社	1987	直示天秤		
(西原分室)					
分光光度計 100-10	日立製作所	1977	フラン器I-40S	SUNAKA	1977
高圧蒸気滅菌器HA-300	平山工業	1977	ジャーテスターK-6	入江商会	1981
濁度計 2100A	HACK CHEMICAL COMPANY	1988	逆浸透水装置MILL-RO8	日本ミリポ-工業株式会社	1988
電導率計 CM-5B	東亜電波工業	1977	超純水装置MIL-Q-LABO	日本ミリポ-工業株式会社	1988
pH・イオンメーターN-8F	堀場製作所	1984	直示天秤C-200S	稲葉製作所	1977
積分球式濁度計T-2400	TOKYO DENSHOKU Co LTD	1977	定温乾燥器RK-1601	池本理科工業	1977
(久志分室)					
自記分光光度計UV2000	島津製作所	1989	ジャーテスターK-6	入江商会	1979
高圧蒸気滅菌器SM-302	平山製作所	1975	逆浸透水装置MILL-RO8	日本ミリポ-工業株式会社	1988
濁度計 2100A	HACK CHEMICAL COMPANY	1988	超純水装置MIL-Q-LABO	日本ミリポ-工業株式会社	1988
導電率計 CM-5B	東亜電波工業		高圧滅菌器S-760	高杉製作所	1975
pHメーターN-8F	堀場製作所	1987	蒸溜器WDA-15S	いすず製作所	1976
電子天秤 ER-182A	研精工業株式会社	1988	直示天秤S-200S	稲葉製作所	1975
塩分・電導度計YSI-33	YELLOW SPRINGS INSTRUMET	1981			

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND SEWAGE

Prepared, Approved, and Published Jointly by
the American Public Health Association and
the American Water Works Association

NINTH EDITION—THIRD PRINTING (1949)

Publication Office

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION
1790 Broadway, New York 19, N. Y.

1946

	PAGE
10. HARDNESS.....	23
A. Total Hardness by Calculation.....	23
B. Hardness by Palmate—Total, Magnesium, and Calcium.....	23
C. Hardness by Soap—Total, Calcium, Magnesium, and Low Hardness (Zeolite Effluent).....	25
D. Hardness by Soda Reagent.....	27
11. pH VALUE.....	28
A. Electrometric—Glass Electrode.....	28
B. Colorimetric.....	30
12. ACIDITY.....	31
A. Volumetric.....	31
13. ALKALINITY.....	31
A. Volumetric.....	31
14. CARBON DIOXIDE.....	32
A. Total Carbon Dioxide by Evolution Method.....	32
B. Free or Uncombined Carbon Dioxide by Calculation.....	34
C. Free or Uncombined Carbon Dioxide by Titration.....	34
15. BICARBONATE ION.....	37
A. Bicarbonate from Total Carbon Dioxide by Calculation.....	37
B. Bicarbonate from Alkalinity by Calculation.....	37
16. CARBONATE ION.....	38
A. Carbonate from Total Carbon Dioxide by Calculation.....	38
B. Barium Chloride Method.....	39
C. Carbonate from Alkalinity by Calculation.....	39
17. HYDROXIDE.....	40
A. Strontium Chloride Method.....	40
B. Barium Chloride Method.....	41
C. Hydroxide from Alkalinity by Calculation.....	42
18. OIL.....	42
A. Evaporation and Extraction.....	42
B. Wet Extraction Method.....	43
19. SILICA.....	43
A. Gravimetric.....	43
B. Colorimetric Method—Molybdate.....	44
C. Modification—For Testing Condensate, Molybdate and Reduction with Amino Naphthal Sulfonic Acid.....	45
D. Colorimetric Method—Molybdate and Reduction with Eosin Sulfite.....	46
20. ARSENIC.....	47
21. COPPER.....	47
A. Colorimetric—Carbamate.....	47
22. LEAD.....	49
23. ALUMINUM.....	50
A. Gravimetric.....	50
B. Colorimetric.....	50
24. IRON.....	51
A. Gravimetric.....	51



TM 5-660

DEPARTMENT OF THE ARMY TECHNICAL MANUAL

LAB

OPERATION OF WATER SUPPLY AND TREATMENT FACILITIES AT FIXED ARMY INSTALLATIONS

HQ USARYS/FT BUCKNER
FACILITIES ENGINEER
INSUR. WATER QUALITY CONTROL

CONTENTS

	Paragraph	Page
CHAPTER 1. ARMY WATERWORKS.....		
Section I. General.....	1, 2	1
II. Water supply requirements.....	2-4	1
III. Water conservation.....	7, 8	6
IV. Elements of waterworks.....	9-13	8
V. Personnel.....	14-17	12
VI. Reports and records.....	18-23	14
VII. Protective measures and safety precautions.....	24, 25	22
CHAPTER 2. SUPPLY AND PUMPING.....		
Section I. Ground-water supplies.....	26-29	26
II. Surface supplies.....	33-40	28
III. Pumping.....	41-57	45
IV. Metering.....	58-64	72
CHAPTER 3. WATER TREATMENT.....		
Section I. Prevention of pollution.....	65-68	85
II. Chlorination.....	69-76	91
III. Filtration.....	77-83	115
IV. Softening.....	84-91	122
V. Taste and odor control.....	92-95	123
VI. Iron and manganese removal.....	96, 97	124
VII. Scale and corrosion control.....	98-102	129
VIII. Sampling and laboratory methods.....	103-116	135
CHAPTER 4. DISTRIBUTION AND STORAGE.....		
Section I. Distribution system.....	117-131	164
II. Storage.....	132-134	164
CHAPTER 5. SWIMMING POOLS.....		
Section I. Types of pools.....	135-139	168
II. Operating records.....	140, 141	168
APPENDIX I. SCALE AND CORROSION CONTROL.....		
I. Hydrolytic decay and scale.....	165	168
II. Chemical scale.....	203	207
IV. Corrosion tests.....	205	207
V. Alkalinity.....	204	207
VI. References.....	207	207
GLOSSARY.....		209
INDEX.....		217

FD-300 (Rev. 1-1-54)
 (When used in accordance with instructions on back of form, this form may be used for the purpose of the test.)

CHEMICAL ANALYSIS OF WATER

FROM LABORATORY *FYORSE WARRANT* DATE *24 APRIL 1951*

TO *KADENA W.PLT.*

SAMPLE FROM *KADENA W.PLT.*

COLLECTION DATE *24 APRIL 1951* HOUR *A.M.* P.M.

SOURCE (WELLS OR SURFACE WATER; RAW OR TREATED) *RAW + TAP*

REASON FOR EXAMINATION (REQUIRED) *ROUTINE*

PARTS PER MILLION

ODOR R-20 T-0	COLOR R-10+ T-10-	TURBIDITY R-225 T-3.8	TOTAL SOLIDS R-304 T-314	ALKALINITY (PHOSPHATE-TITRATED AS CaCO ₃) R-0 T-0	ALKALINITY (METHYL ORANGE AS CaCO ₃) R-264 T-152	TOTAL HARDNESS (AS CaCO ₃) R-278 T-220	CALCIUM (Ca) R-64 T-79
MAGNESIUM (Mg) R-3.0 T-2.1	IRON (Fe) R-0 T-0.1	MANGANESE (Mn) R-X T-X	SODIUM (Na) R-1 T-1	SULFATE (SO ₄) R-5.8 T-34.56	CHLORIDE (Cl) R-32 T-35	CARBON DIOXIDE (FREE CO ₂) R-44 T-15.8	PH R-7.6 T-7.3

OTHER TESTS *AL R-0 CO₂ DEMAND 2.0
T-0.0 (1.5% 2.5% 3.5%)*

REMARKS *R- RAW
T- TAP*

DATE OF EXAMINATION *24-26 APRIL 1951* SIGNATURE *Naka-hara*

154-700 Printing Plant-7/54-1114

PHYSICAL AND CHEMICAL ANALYSIS OF WATER

FROM: (Station or well) *Water Plant* SAMPLE NO. *106*

TO: (Name of person or organization) *Water Plant* DATE *10/26*

SAMPLE FROM (Type of water) *Water Plant*

COLLECTED BY *Yamamoto* DATE *10/26*

REASON FOR EXAMINATION *Water Plant*

ANALYST *Seki-ama*

NOTE: All results reported in parts per million unless otherwise noted except for pH, temperature, and specific conductance. One liter of portable water is assumed to weigh one kilogram.

FIELD ANALYSIS

TEMPERATURE °C *11.5*

PH *7.10*

1. COLOR *15*

2. DISSOLVED OXYGEN (DO) *10.5*

3. HYDROGEN SULFIDE (H₂S) *0.8*

4. CHLORINE DEMAND (CD) *0.8*

5. ALKALINITY (CaCO₃)

6. TOTAL HARDNESS (CaCO₃) *200*

7. NON-CARBONATE HARDNESS (CaCO₃) *148*

8. CARBONATE HARDNESS (CaCO₃) *52*

9. TOTAL DISSOLVED SOLIDS

10. SPECIFIC CONDUCTANCE (Microhm-cm)

11. SPECIAL LABORATORY ANALYSES

Check (X) indicators, items to be included in the Special Analysis column only if these substances are present in significant amounts.

1. As	PPM	R-0.000
2. B	PPM	R-0.006
3. Pb	PPM	R-0.017-0.0
4. Cu	PPM	R-0.017-0.0
5. Zn	PPM	R-0.017-0.0
6. Fe	PPM	R-0.017-0.0
7. Cr (hexavalent)	PPM	R-0.017-0.0
8. PO ₄	PPM	R-0.017-0.0
9. NH ₄	PPM	R-0.017-0.0
10. CN	PPM	R-0.017-0.0
11. Phenolic Compounds (FPB)	PPM	R-0.017-0.0
12. Others (Specify)	PPM	R-0.017-0.0

REMARKS (Check as unusual appearance, taste, odor, etc.)

1. No solids take treatment.

2. Precipitation, suspended since 15 Sept due to lack of chemical in Japan.

LABORATORY ANALYSIS BY *Y. Yamamoto* DATE OF ANALYSIS *10/28*

FOR *Water Plant*

OD 1 APR 51 710 REPLACES 40 AND FORM 1-15, 1-4, 4-4, WHICH IS OBSOLETE

U. S. Army Engineer Group

資料 9

試驗項目

試驗項目	日常試驗項目			完全試驗	
	原水	沉澱水	淨過水	原水	淨水
PH 水素片濃度	✓		✓	✓	✓
色度	✓		✓	✓	✓
CO ₂ 遊離碳酸	✓		✓	✓	✓
Ca hardness 全硬度	✓		✓	✓	✓
Magn. hardness 鈣鎂硬度			✓	✓	✓
temp 溫度			✓	✓	✓
Specific Conductance 電導度			✓	✓	✓
solids 溶解固形物			✓	✓	✓
ts 濁度指數			✓	✓	✓
t. index 能知指數			✓	✓	✓
hardness 鹽素份	✓		✓	✓	✓
oil 油				✓	✓
ammonia 氨				✓	✓
nitrophosphoric 磷酸			✓	✓	✓
nitrophosphoric 磷酸			✓	✓	✓
iron 鐵			✓	✓	✓
Perm. 殘留鹽素	✓		✓	✓	✓
alkalinity 鹼素要求			✓	✓	✓
alkalinity 溶解度			✓	✓	✓
% Sat. (鹼素) 酸%			✓	✓	✓
ABS 洗劑	✓		✓	✓	✓
color 色度	✓		✓	✓	✓
Total Solids 全硬度	✓		✓	✓	✓
Hardness 硬度	✓		✓	✓	✓
Fluoride 氟素			✓	✓	✓
arsenic 砒素				✓	✓

資料 10

試驗項目

試驗項目	日常試驗項目			完全試驗	
	原水	沉澱水	淨過水	原水	淨水
Lead, Pb 鉛				✓	✓
Copper, Cu 銅				✓	✓
Hexachloro-chromic acid 六價鉻				✓	✓
ZINC, Zn 鋅				✓	✓
Cadmium Cd 鎘				✓	✓
Ammony, sb 亞砒				✓	✓
Ammonia 亞砒				✓	✓
Nitrate NO ₃ 硝酸				✓	✓
Nitrite NO ₂ 亞硝酸				✓	✓
COD, 生物的酸素消費量				✓	✓
BOD, 生物的酸素消費量	✓		✓	✓	✓
MPN, 大腸菌數(原水)		✓	✓	✓	✓
Herbicide For Herbio. 大腸菌數 (原水)				✓	✓
Sulfate, SO ₄ 硫酸				✓	✓
Sulfite, SO ₃ 硫酸鈣				✓	✓
Manganese Mn, 錳				✓	✓
Silica, SiO ₂ 矽酸				✓	✓
[原水及淨過水, DAmc, 淨過水及淨水]					

第2章 水質の変遷

第1節 はじめに

企業局の水源および開発予定水源の水質調査地点は、平成3年度現在、図-1の通りである。水源水域の畜産・人口等の状況は、平成2年度末調査「水道水源保全対策調査書」によると表-1⁽¹⁾のようになっている。

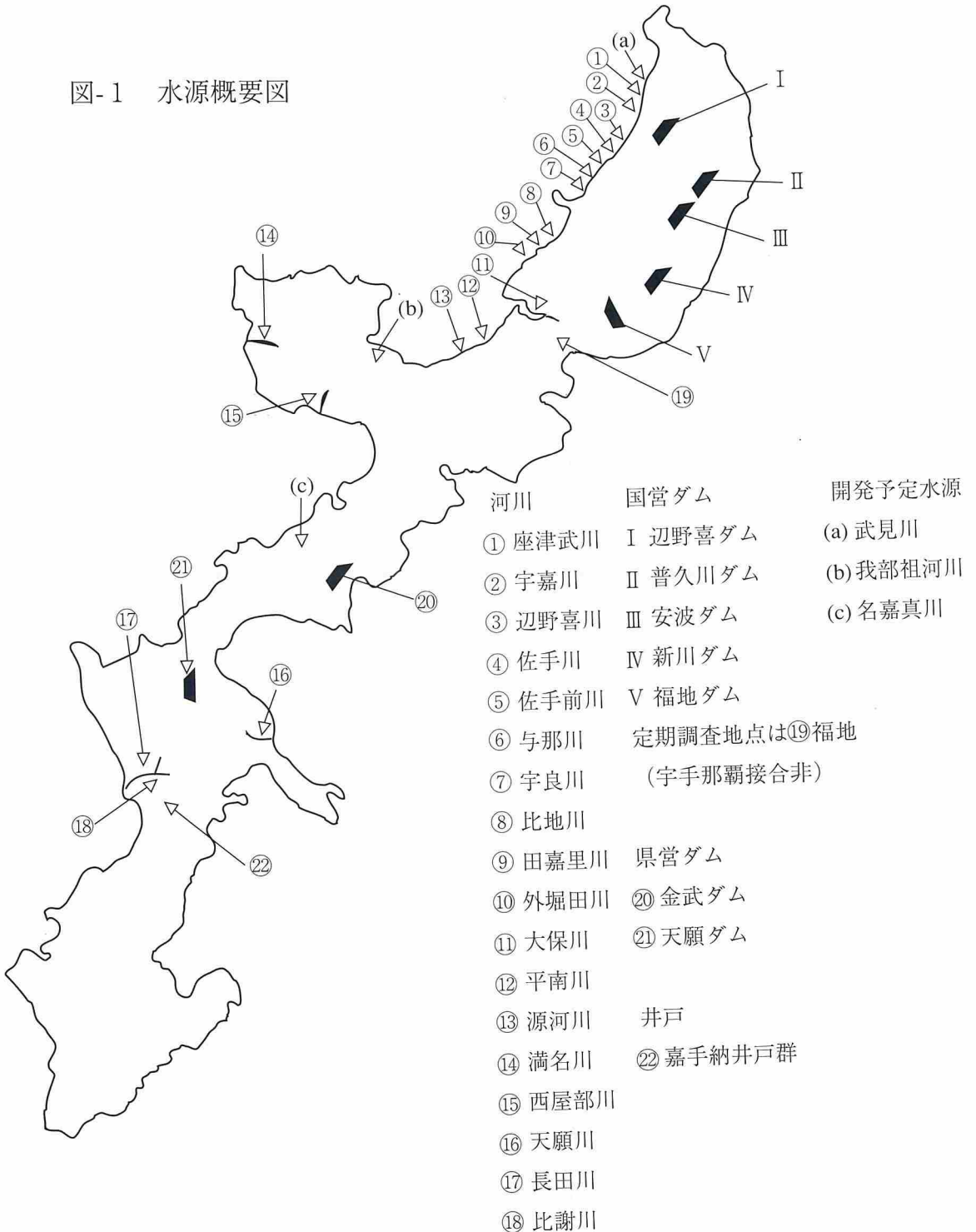
水源のうち汚染を強く受けて水質悪化しているのは、北部河川の大保川、我部祖河川であり、中部地域の天願川、比謝川、長田川および金武ダムである。特に、天願川、比謝川は流域の都市化に伴い、水質汚濁が著しく進行し、その水処理時において何らかの対策を必要とした。金武ダムは上流域における畜舎排水や生活排水の影響で富栄養化しており、昭和56年6月、厚生省によって実施された全国水道事業体を対象にしたトリハロメタン（THM）実態調査により、そのワースト5に金武ダムが含まれることがわかり緊急なる対応を必要としたのである。

一方、人為的汚染ではないが対策を必要とした水質問題は、中部水源を原水とする浄水場の高硬度問題、大保川における海水混入の問題がある。問題点を要約すると以下の通りである。

- 1) 比謝川汚染は、上流域の沖縄市の生活排水による汚染が主であり恒常的である。水処理に与える障害としては、アンモニア性窒素、陰イオン界面活性剤を主とし、通常処理では水質基準に抵触する要因があり対策を必要とした。
- 2) 天願川は畜舎排水による汚染を主とし、ピーク汚染の特徴をもつ。通常処理においてはアンモニア性窒素と臭気が障害となり、取水制限で対応された。
- 3) 大保川は感潮河川のため、従来、塩素イオンを監視項目として来たが、近年、上流域に豚舎排水が流入するようになり急激に水質悪化してきた。その対応も必要になった。
- 4) 金武ダムは、その上流域における畜舎排水と生活排水の影響で富栄養化している。そのため、水処理時において色度、臭気が障害となり、また、トリハロメタン生成能が著しく高く、単独水源にはなりえない状況である。
- 5) 浄水硬度においてコザ浄水場、天願浄水場は200mg/l以上で、石川浄水場、西原浄水場は50mg/l前後と格差があり、コザ・天願両浄水場の供給対象地域である中部市町村会から硬度平準化についての要請があり対策を必要とした。

以上の問題は対策途中のものや、根本的解決策が見いだせてないものもあるが、ここではそれぞれの問題点の特徴や対策の経緯について、その概略を述べたいと考える。

図-1 水源概要図



表－1 水源水域の汚濁発生源数

水 域 名	畜 産				事業所	人 口 (人)
	牛	豚	鶏	山羊		
座津武川	0	0	0	0	0	0
宇嘉川	0	0	0	0	0	0
辺野喜川	0	0	0	0	0	0
佐手川	0	0	0	0	0	0
佐手前川	0	0	0	0	0	0
与那川	0	330 (1)	0	0	0	0
宇良川	0	0	0	0	0	0
比地川	4 (1)	190 (1)	0	0	0	161
田嘉里川	63 (1)	0	0	0	1	140
外掘田川	0	0	0	0	0	221
我部祖河川	25 (2)	650 (2)	4,500 (1)	0	12	2,600
満名川	0	0	0	0	0	315
西屋部川	0	350 (1)	400 (1)	0	0	600
名嘉真川	0	0	50 (1)	0	0	30
大保川	59 (1)	13,450 (9)	16,500 (1)	0	0	0
平南川	410 (3)	0	50,000 (1)	0	0	0
源河川	0	0	0	10 (1)	0	0
天願川	486 (39)	13,740 (36)	3,750 (1)	30 (5)	20	15,280
比謝川	1,085 (29)	9,929	138,528 (3)	0	8	2,200
長田川※1	0	0	0	0	0	1,900
長田川※2	15 (3)	348 (9)	100 (1)	31 (5)	21	8,900
金武ダム	0	2,950 (4)	140,000 (1)	0	0	750
天願ダム	7 (1)	0	0	0	0	0
ズケ山ダム	15 (3)	320 (1)	0	0	0	0

注、1：人口、事業所数は下水道処理区域内を除く。2：※1は長田川の平常時、※2は渇水時。

3：（ ）内は施設数。

まず、水源水質の概要を述べていくが、データは毎月試験および水源試験の結果を使用することにしたが、年度によって、あるいは項目により、日常試験や定時測定の結果も用いた。

第2節 水源水質の概要

表-2～7に水質の概況を示す。これは、昭和54～平成3年度の13年間に亘って行なわれた試験結果である。表-2に河川水の平均水質、表-3に降雨時における北部河川の水質状況を示す。表-4に4ダム水の代表水質（最高、最低、平均値）、表-5に天願ダムの表、底層水質を示す。表-6、表-7はそれぞれ嘉手納井戸群、混合井戸水（コザ浄水場）の水質状況である。

1. 河川水（既設水源のみ）

18河川のうち大保川、平南川、源河川、天願川、長田川、比謝川は復帰前に開発された水源であり、その他、北部12河川は、復帰後、西系列水源開発事業および座津武川水源開発事業により開発された。表-2はpH値、他8項目の平均値、表-3は降雨時（昭和62年3月23日）の水質例である。尚、座津武川は、昭和62～平成3年度の結果である。

図-2、3、4に大保川、源河川、天願川、比謝川の4河川の過マンガン酸カリウム消費量（ KMnO_4 消費量）、アンモニア性窒素（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）、BODの経年変化を示した。以下では、上記3項目を汚染指標として水質概況を述べる。

[座津武川、宇嘉川、辺野喜川、佐手川、佐手前川、与那川、宇良川]

上記7河川の流域は、汚染源は少なく、与那川流域に豚舎が一施設あるが、その影響はみられない。 KMnO_4 消費量は $3.9\sim 6.2\text{mg}/1$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ は $0.04\sim 0.08\text{mg}/1$ の範囲にあり、BODは、いずれも $1\text{mg}/1$ 以下で汚染は認められない。総硬度は $22\sim 45\text{mg}/1$ の範囲にある（表-2）。

[比地川]

水域に集落があり、 KMnO_4 消費量 $4.5\text{mg}/1$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ $0.04\text{mg}/1$ 、BOD $1.2\text{mg}/1$ で、やや汚染されている。総硬度は $44\text{mg}/1$ である（表-2）。

[田嘉里川]

水域に畜舎や集落があり、 KMnO_4 消費量 $5.4\text{mg}/1$ 、 NH_3-N $0.09\text{mg}/1$ 、 BOD $1.4\text{mg}/1$ でやや汚染されている。総硬度は $51\text{mg}/1$ である（表-2）。

[外掘田川]

水域に集落があり、 KMnO_4 消費量 $7.1\text{mg}/1$ 、 NH_3-N $0.11\text{mg}/1$ 、 BOD $2.1\text{mg}/1$ で、やや汚染されている。pH値が8.9と全河川中、最も高い。これは、河川形状がコンクリート三面張りで、川床に藻類発生がみられ、その影響と考えられる。総硬度は $86\text{mg}/1$ である（表-2）。

[大保川]

上流域に畜舎排水の流入がある。又、大潮時に海水が混入する場合がある。表-2より KMnO_4 消費量 $9.1\text{mg}/1$ 、 NH_3-N $0.64\text{mg}/1$ と高く、 BOD は $2.0\text{mg}/1$ で、かなり汚染されており図-2、3、4から明らかのように、昭和58年度頃から汚濁の兆しがみられる。

KMnO_4 消費量、 NH_3-N 、 BOD は、いずれも増加傾向にあり、特に、 NH_3-N は、昭和62年度から急激に上昇している。総硬度は $68\text{mg}/1$ である。塩素イオンは、 $43.6\text{mg}/1$ と北部河川中、最も高く、平成3年度には最高 $610\text{mg}/1$ を記録している（表-2、表-11）。海水混入の問題については、後で述べる。

[平南川]

上流域は山地開発が進んでおり、降雨時に濁水流入がある。 KMnO_4 消費量 $4.9\text{mg}/1$ 、 NH_3-N $0.07\text{mg}/1$ 、 BOD $1\text{mg}/1$ 以下で大した汚染は認められない。総硬度は $60\text{mg}/1$ である（表-2）。

[源河川]

水域には汚染源はなく、 KMnO_4 消費量 $3.9\text{mg}/\ell$ 、 KH_3-N $0.05\text{mg}/\ell$ 、 BOD $1\text{mg}/\ell$ 以下で汚染は認められない。図-2、3、4から明らかのように、水質は良好に推移している。総硬度は $44\text{mg}/\ell$ である（表-2）。北部河川の中でも清争な河川の一つである。

[満名川]

上流域に集落があり、 KMnO_4 消費量 $5.6\text{mg}/1$ 、 NH_3-N $0.05\text{mg}/1$ 、 BOD $1.8\text{mg}/1$ でやや汚染されている。総硬度は $158\text{mg}/1$ で高めである（表-2）。

[西屋部川]

上流域に集落があり、 KMnO_4 消費量 $8.0\text{mg}/1$ 、 NH_3-N $0.05\text{mg}/1$ 、 BOD $1.3\text{mg}/1$ でやや汚染されている。総硬度は $187\text{mg}/1$ で北部河川の中で最も高い。

(表-2)。

[天願川]

表-1にみられるように、流域には畜舎や人口が多く、特に、川崎取水場から4 km以内に豚舎群があり、それらの排水が最大の汚染源である。

表-2より KMnO_4 消費量は $13.2\text{mg}/1$ と高く、図-2にみるように概ね、 $10\text{mg}/1$ で推移している。BODは $4.5\text{mg}/1$ 、 NH_3-N が $1.69\text{mg}/1$ と高く、18河川中、最も汚染されている。総硬度は $265\text{mg}/1$ と、河川の中では最も高い。

汚染の特徴については後で述べる。

[長田川]

取水地点から上流域には、大した汚染源はない。当河川は比謝川の支流に当たり、比謝川下流堰のため、水位低下時に比謝川からの廻りこみがあり、その影響を受ける場合がある。 KMnO_4 消費量は $10.5\text{mg}/1$ 、 NH_3-N $0.54\text{mg}/1$ 、BOD $2.9\text{mg}/1$ とかなり汚染されている。総硬度は $222\text{mg}/1$ と高い(表-2)。

[比謝川]

上流は沖縄市の市街地を流れるため、生活排水が流入する。表-2より KMnO_4 消費量は $11.3\text{mg}/1$ と高く図-2にみるように概ね、 $10\text{mg}/1$ 以上で推移している。 NH_3-N は $0.57\text{mg}/1$ 、BODが $3.0\text{mg}/1$ と、かなり汚染されている。図-4のBOD経年変化からすると水質は改善方向にあることがわかる。総硬度は $243\text{mg}/1$ と高い。

汚染の特徴については後で述べる。

[まとめ]

① 北部河川においては、大保川は汚染を強く受け汚濁が著しいが、他は、大した汚染は認められなく、今までのところ水処理上問題となる項目は見当たらない。 KMnO_4 消費量が高めなのは、降雨時等の高濁水の影響によるもので、人為的な有機物汚染を示すものではない。これは、表-3の結果から判断される。

表-3は降雨時の調査結果であるが、 KMnO_4 消費量が高い値を示している。特に西屋部川、満名川は、それぞれ $178\text{mg}/1$ 、 $84.4\text{mg}/1$ 極めて高い。降雨のため、濁度が高くなったことが原因している。

② 大保川は、昭和58年頃より、水質汚染が認められ、河川汚濁の代表的指標であるBODは、昭和63年度から急増した。 NH_3-N は平成3年度は平均値 $2.96\text{mg}/1$ と、18河川の中で最も高くなっており、上昇していく傾向にある。

③ 中部3河川は、相当強く汚染を受け水質悪化している。

図-2、3、4において天願川は、83～84年度（昭和58～59）から KMnO_4 消費量、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD の上昇がみられ、86～87年度（昭和60～61）は、一段と水質悪化し、 BOD は6.6～6.5 $\text{mg}/1$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ は2.53～2.83 $\text{mg}/1$ となった。経年変化の中でも水質浄化の傾向はなく、高汚濁の状態推移している。

比謝川は、 KMnO_4 消費量、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD 、3項目とも低下傾向にあり水質は、改善の方向にある。下水道の普及が原因と思われる。比謝川において、従来問題とされた陰イオン界面活性剤は、中部河川において0.20 $\text{mg}/1$ 前後と差はない。

④ 地質影響を受ける総硬度は、北部河川では満名川、西屋部川が、それぞれ158 $\text{mg}/1$ 、187 $\text{mg}/1$ と高めであるが、他は100 $\text{mg}/1$ 以下である。これに対し、中部河川は、いずれも200 $\text{mg}/1$ 以上で高い。

⑤ トリハトメタン生成能は、昭和62～平成3年度の結果では、人為的汚染を受けてない河川、もしくは、影響が少ない北部河川では、0.023～0.047 $\text{mg}/1$ である。汚濁が著しい河川は0.071～0.079 $\text{mg}/1$ となっている。

表-2 河川水の平均水質（昭和54年～平成3年度）

項目 河川	PH 値	塩 素 要 求 量	総 硬 度	KMnO_4 消 費 量	塩 素 イ オ ン	B O D	NH_4 N	界 面 活 性 剤	陰 イ オ ン	タ ン 生 成 能	ト リ ハ ロ メ
座津武川	7.5	0.6	22	4.4	24.2	0.8	0.06				0.036
宇嘉川	7.6	0.8	36	6.2	28.2	1.0	0.07				0.046
辺野喜川	7.6	0.6	35	5.4	22.6	0.8	0.06				0.042
佐手川	8.0	0.5	38	4.5	23.0	0.9	0.05				0.028
佐手前川	7.5	0.8	42	5.0	33.2	0.9	0.08				0.040
与那川	7.8	0.5	45	3.9	21.7	0.8	0.04				0.028
宇良川	7.8	0.6	35	4.4	23.9	0.9	0.06				0.035
比地川	7.8	0.6	44	4.5	21.5	1.2	0.06				0.032
田嘉里川	7.4	1.1	51	5.4	23.7	1.4	0.09				0.032
外掘田川	8.9	1.2	86	7.1	31.5	2.1	0.11				0.047
大保川	7.4	6.9	68	9.1	43.6	2.0	0.64				0.075
平南川	7.7	0.8	60	4.9	28.6	0.8	0.07				0.035
源河川	7.7	0.6	44	3.9	25.0	0.8	0.05				0.028
満名川	7.7	1.2	158	5.6	24.8	1.8	0.05				0.023
西屋部川	7.6	0.9	187	8.4	27.9	1.3	0.05				0.025
天願川	7.5	19.0	265	13.2	44.6	4.5	1.69	0.20			0.079
長田川	7.5	5.9	222	10.5	40.0	2.9	0.54	0.21			0.071
比謝川	7.8	7.3	243	11.0	47.4	3.0	0.57	0.19			0.073

※トリハトメタン生成能測定：昭和62年度より

※単位：PH値以外 $\text{mg}/1$

表-3 降雨時の水質 (昭和62年3月23日)
(北部河川)

項目 河川	PH 値	塩素 要求量	総 硬度	KMnO4 消費量	塩素イオン	B O D	NH4 N	濁 度
座津武川								
宇嘉川	6.9	3.0	14	45.0	17.0	1.5	0.40	430
辺野喜川	7.1	2.4	24	31.3	16.5	1.9	0.12	186
佐手川	7.3	2.2	30	37.5	16.5	1.6	0.08	120
佐手前川	7.1	2.7	20	42.6	20.0	1.8	0.22	470
与那川	7.3	1.8	26	22.5	16.5	0.8	0.10	162
宇良川	7.1	2.1	22	22.5	19.0	1.0	0.18	60
比地川	7.5	2.3	40	26.9	15.5	0.9	0.10	162
田嘉里川	7.2	2.0	28	21.9	18.0	0.7	0.16	36
外掘田川	7.3	1.8	54	16.9	25.5	0.6	0.16	110
大保川	7.5	9.0	60	52.6	18.0	8.0	0.58	580
平南川	7.3	2.6	34	21.9	16.5	1.4	0.18	930
源河川	7.3	1.9	34	26.3	18.0	0.9	0.12	150
満名川	7.9	13.0	80	84.4	14.5		0.26	4600
西屋部川	8.0	9.0	78	178	12.0	4.7	0.42	1920

※ 単位：pH値、濁度、以外はmg/l

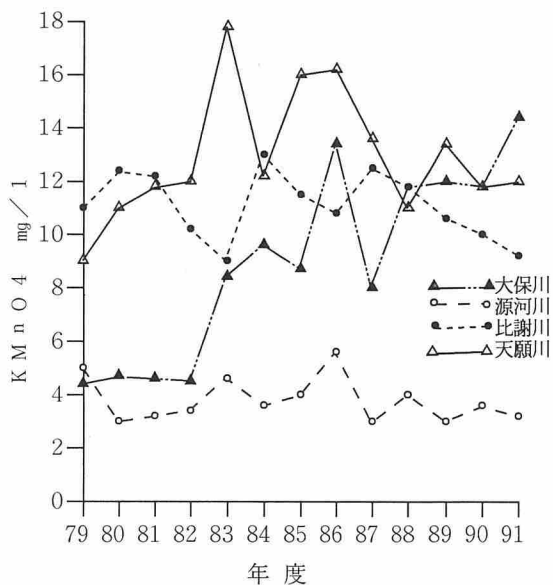


図-2 代表4河川、KMnO4消費量の経年変化

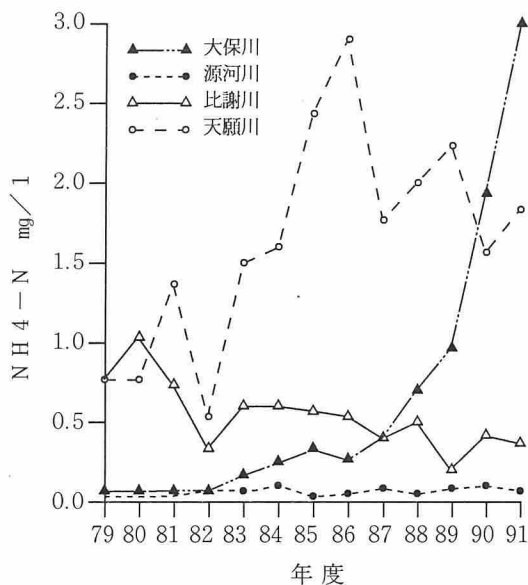


図-3 代表4河川、アンモニア性窒素の経年変化

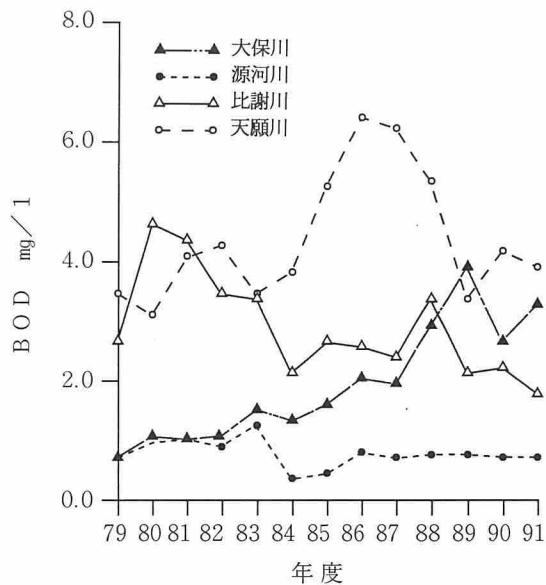


図-4 代表4河川、BODの経年変化

2. ダム湖水

北部ダム群は、復帰後完成した国営5ダムから成る。北側4ダム（辺野喜、普久川、安波、新川）の水が福地ダムに一旦貯留され、福地ダムより、約28kmの導水トンネルで久志浄水場に導水される。

県営ダムは、復帰前に開発されたもので、本島中部に位置するが、取水量と需要量の時期的ずれを調整する原水貯留池的役割をもたせている。ズケ山ダムは、昭和62年より再開発工事中である。

昭和54～平成3年度の調査結果は表-4の通りである。（ズケ山ダムは昭和54～61年度の結果）。図-5に4ダムの KMnO_4 消費量の経年変化を示した。図-6に金武ダム表層水における KMnO_4 消費量の移動平均、図-7に天願ダムにおける水温垂直分布を示した。

金武ダム、天願ダムには、水質改善の目的で間欠式空気揚水筒が設置されている。

[福地ダム：宇出那覇接合井]

KMnO_4 消費量は0.9～10.2mg/lと変動し、平均値は5.2mg/lである。経年変化をみても変動幅は小さい（図-5）。総鉄は0.03～2.37mg/lと変動し、平均値は0.33mg/lである。総マンガンは平均値が0.085mg/lで、最高値は昭和60年に、0.503mg/lを記録している。

[金武ダム：表層水]

集水域に集落や畜舎等があり、その影響を受ける。降雨時には赤土の流入がある。

KMnO_4 消費量は9.7～37.8mg/lと変動し、平均値は19.8mg/lで水源中、最も高い。図-5の経年変化、図-6の移動平均でみると、増加傾向にあることが分かる。

富栄養化の目安となる、総窒素、総リンは、それぞれ平均値で1.36mg/l、0.09mg/lであり、N/P比は15.1である。クロロフィル-aは0.009～0.378mg/lと変動し、平均値は0.056mg/lである。OECD（経済協力開発機構）が示した栄養度の区別⁽²⁾からすると、当ダムは過栄養湖と判定される。

トリハロメタン生成能は昭和59～平成3年度の調査結果では、0.077～0.189mg/lと変動し、平均値が0.130mg/lと著しく高く、局水源の中で最も高い。

[天願ダム：表層水]

集水域は山地や農地が主でゴルフ場が1箇所ある。

KMnO₄消費量は3.6～14.5mg/1と変動し、平均値は8.1mg/1である。図-5に見るように変動幅は小さい。

総窒素、総リンは平均値が、それぞれ0.74mg/1、0.02mg/1で、N/P比は37である。

クロロフィルaは平均で0.007mg/1である。トリハロメタン生成能0.030～0.182mg/1と変動し、平均は0.058mg/1である。

[ズケ山ダム：表層水]

前記したように、当ダムは昭和57年より再開発工事中である。

昭和54～61年度の調査結果では、KMnO₄消費量、総窒素、総リンの平均値は、それぞれ10.1mg/1、0.31mg/1、0.02mg/1であった。

[まとめ]

- ① ダム湖の中では、金武ダムが最も水質悪化が著しく富栄養化している。図-5、6のKMnO₄消費量の動向から、他のダムに比べて有機物濃度が高く、高レベルで推移していることがわかる。また、水源全体の中でも、最も有機物濃度が高い。
- ② 県営三ダムを水源としていた石川浄水場、金武浄水場において、昭和55～57年にかけて臭気および色度の苦情があった。その対策として、ダム湖の水質を改善するために、間欠式空気揚水筒を、金武ダムには昭和56年に1台、昭和62年に2台設置し、天願ダムには、昭和58年に2台設置された。
ダム湖は夏期に停滞層を形成し、底層水が無酸素状態になるため水質悪化するが、間欠式空気揚水筒は、ダム湖水を強制循環させることによって、無酸素状態をなくして水質改善を図る仕組みである。
- ③ 揚水筒設置の結果、天願ダムにおいては停滞層の破壊がなされ、ダム水の浄化が認められる。しかしながら、金武ダムにおいては、水処理時の凝集性が良くなる等、ある程度効果はみられるが、十分ではない。総負荷量が大きく、ダム水深が浅いためと考えられる。

[揚水筒設置効果：天願ダムの例]

上記したように、天願ダムには昭和58年11月に間欠式空気揚水筒が2台設置された。

その後の水質状況は以下のようなものである。

- ① 水温の垂直分布より、揚水筒設置前は2月、3月の完全循環期を経て、4月～8月の夏季停滞期、9月、10月の秋季部分循環期を形成していたのが、揚水筒設置後は、表層～底層が季節をとわず、ほぼ均一の水温となり完全に循環している（図－7）。
- ② 水温成層の破壊は、化学成層の破壊となり、7月～10月に起こる底層での無酸素状態は解消され、底層まで溶存酸素が行き渡るところとなり、マンガン、 NH_3 、 N の減少がみられた（表－5）。

表－4 ダム水の代表水質（昭和54～平成3年度）

ダム水		PH	KMnO ₄ 消費量	総 鉄	総 マン ガン	溶 存 酸 素	T N	T P	Chl.a	タ リ ハ ロ メ タ ン 生 成 能
		値								
福地ダム (宇出那覇 接合井)	最高	7.9	10.2	2.37	0.503	10.3				0.050
	最低	6.3	0.9	0.03	0.00	1.7				0.022
	平均	6.9	5.2	0.33	0.085	7.1				0.036
金武ダム	最高	9.7	37.8	4.24	0.289	15.0	2.69	0.30	0.378	0.189
	最低	7.0	9.7	0.13	0.010	1.3	0.45	0.02	0.009	0.077
	平均	7.9	19.8	1.06	0.054	7.9	1.36	0.09	0.056	0.130
天願ダム	最高	9.2	14.5	10.60	0.450	12.2	1.72	0.07	0.030	0.182
	最低	7.0	3.6	0.06	0.005	3.0	0.33	0.00	0.001	0.030
	平均	7.6	8.1	0.84	0.033	8.2	0.74	0.02	0.007	0.058
瑞慶山ダム (S54～S62)	最高	9.1	18.7	2.66	0.140	10.6	0.55	0.05	0.023	0.089
	最低	7.0	4.9	0.02	0.006	5.9	0.05	0.00	0.001	0.045
	平均	7.6	10.1	0.46	0.026	8.4	0.31	0.02	0.013	0.063

※単位：PH以外 mg/l。

※TN、TP、Chl. a（クロロフィル a）および

トリハロメタン生成能は昭和59、60～平成3年度の結果。

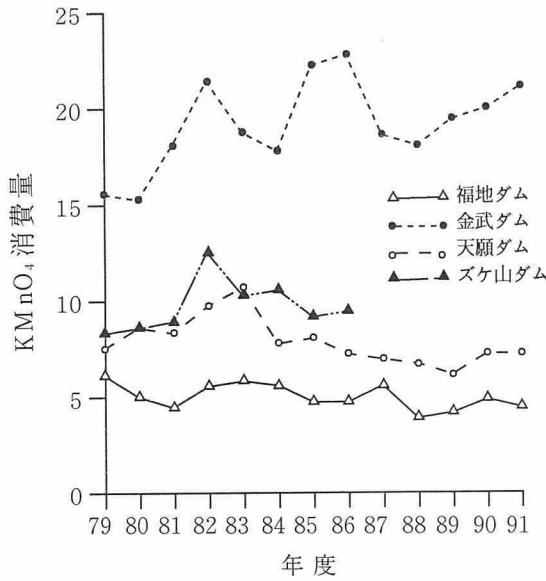


図-5 4ダムのKMnO4消費量の経年変化

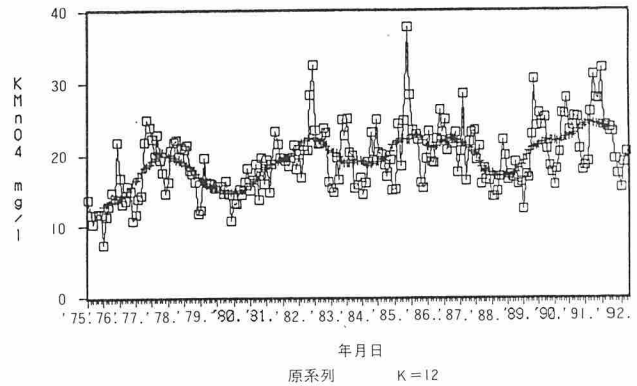


図-6 金武ダム表層水におけるKMnO4消費量

図-13の移動平均

表-5 天願ダムの表・底層水の水质

項目 年月日	溶存酸素		NH3-N		総マンガン		備考
	表層	底層	表層	底層	表層	底層	
昭和58. 7 /27	8.0	0	0.04	0.46	0.015	0.374	間欠式空気揚水筒設置前
. 8 /18	7.9	0	0.07	0.57	0.022	0.412	
. 9 /28	7.0	0	0.13	0.87	0.053	0.553	
. 10 /25	5.3	0	0.11	0.90	0.022	0.410	
昭和59. 7 /29	6.9	4.6	0.03	0.05	—	—	間欠式空気揚水筒設置後
. 8 /30	6.4	5.8	0.03	0.03	0.018	0.035	
. 9 /20	7.4	5.5	0.03	0.04	0.010	0.022	
. 10 /22	8.0	7.6	0.05	0.05	0.014	0.016	

単位：mg/l

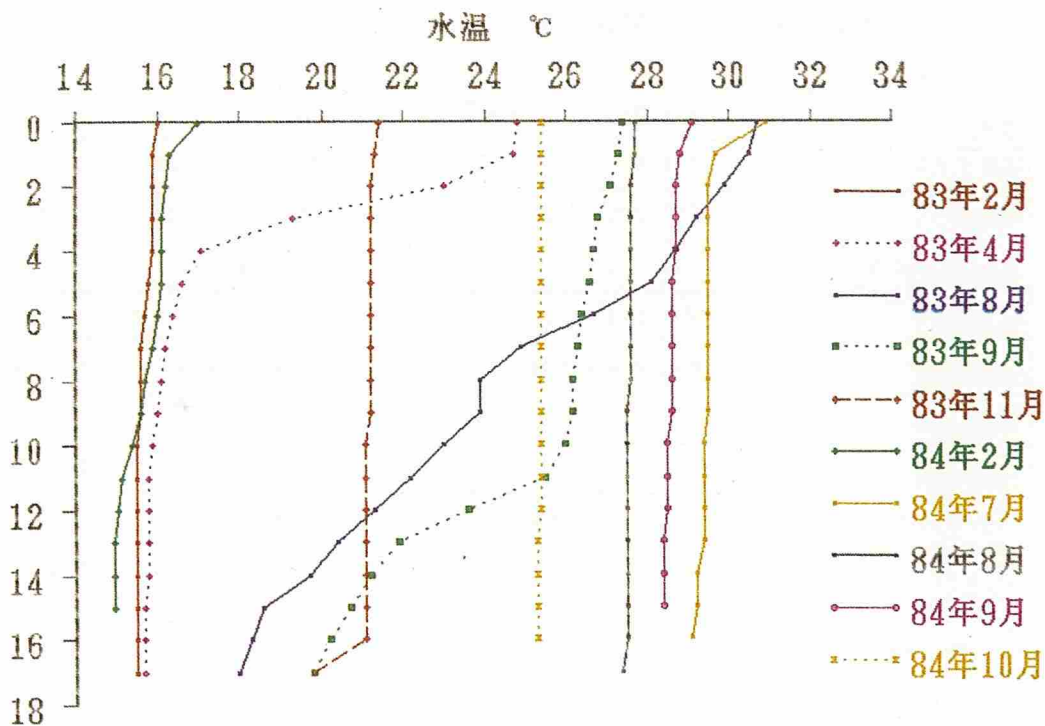


図 - 7 天願ダムにおける水温垂直分布

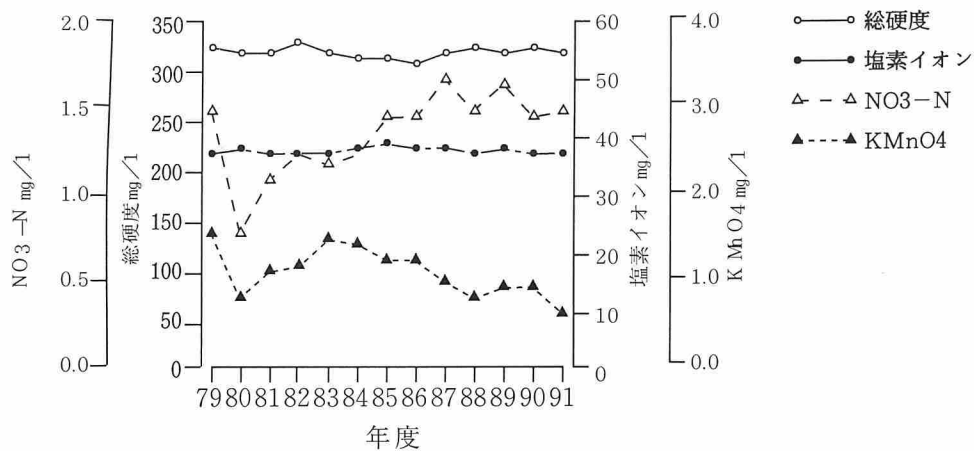
表 - 6 嘉手納井戸群の水質 (昭和55~平成3年度)

総硬度	190~384mg/1の範囲。ほとんどの井戸が300mg/1以上
KMnO ₄ 消費量	0.5~3.1mg/1の範囲。1mg/1前後の井戸が多い。
トリクロロエチレン	半数以上の井戸から、0.001~0.017mg/1の範囲で検出。K13が他井戸に比べて高く、0.011~0.017mg/1で推移している。
テトラクロロエチレン	0.001~0.002mg/1で1~3本の井戸より検出。
1, 1, 1トリクロロエタン	0.001mg/1以下。
四塩化炭素	0.001mg/1以下。
クロロホルム	8割近い井戸から、0.001~0.037mg/1の範囲で検出。K12が最も高く0.017~0.037mg/1と推移している。

表－7 コザ混合井戸水の水質経年変化

項目	年月日											平成			平均
	昭和54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	1	2	3		
塩素イオン	36.5	38.0	37.0	37.5	37.5	38.8	38.5	38.5	38.0	37.6	38.3	37.6	37.5	37.8	
総硬度	321	318	319	328	319	313	314	306	319	323	320	321	320	319	
KMnO4消費量	1.5	0.8	1.1	1.2	1.5	1.4	1.2	1.2	1.0	0.8	0.9	0.9	0.6	1.1	
総鉄	0.07	0.05	0.07	0.04	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	
総マンガン	0.00	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.002	0.001	0.003	0.001	0.009	0.001	0.004	
硝酸性窒素	1.49	0.80	1.09	1.23	1.19	1.26	1.46	1.46	1.67	1.50	1.62	1.47	1.47	1.36	
トリクロロエチレン					0.003	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	
テトラクロロエチレン					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
トリハロメタン						0.008	0.008	0.008	0.007	0.005	0.006	0.004	0.005	0.006	

※ 単位：mg／l



図－8 コザ混合井戸、代表項目の経年変化

3. 地下水

嘉手納井戸群は、本島中南部西岸の石灰岩地帯に東北から南西にかけて点在している（平成3年度現在22井）。

昭和55～平成3年度の試験結果は、表-6の通りである。総硬度は、概ね300mg/1以上で極めて高い。K MnO₄消費量は0.5～3.1mg/1の範囲にあり、概ね1mg/1前後で、いわゆる、K MnO₄消費量で表される有機物汚染はみられない。

低沸点有機ハロゲン化合物については、トリクロロエチレンは半数以上の井戸において0.011～0.017mg/1の範囲で検出される。テトラクロロエチレンは、1～3本の井戸から、0.001～0.002mg/1の範囲で検出される。クロロホルムは、8割近い井戸より0.001～0.037mg/1の範囲で検出される。1, 1, 1-トリクロロエタン、四塩化炭素は0.001mg/1以下である。

嘉手納井戸群は、昭和61年までは全て、コザ浄水場の水源として、ほとんどの井戸が浄水池に導水されており、その混合水で日常の水質監視は行われた。表-7は、その試験結果である。図-8に混合井戸水の総硬度、塩素イオン、硝酸性窒素、K MnO₄消費量の経年変化を示した。

表-7において、平均では、総硬度319mg/1、K MnO₄消費量1.1mg/1、硝酸性窒素1.36mg/1、塩素イオン37.8mg/1となっている。また、水質変動が小さく安定している（図-8）。総鉄、総マンガンは平均で、それぞれ0.003mg/1、0.004mg/1であり高くない。

トリクロロエチレンは、0.002～0.004mg/1、トリハロメタンは0.005～0.008mg/1という状況である。

[まとめ]

コザ混合井戸水でみると総硬度は、300mg/1以上と水源の中では最も高い。K MnO₄消費量で表される有機物汚染は、河川水やダム水に比べて極めて低く、水質的に良好で安定した水源である。

しかしながら、トリクロロエチレン等の低沸点有機ハロゲン化合物の汚染が、微量ながら多数の井戸で認められており、昭和58年の調査開始以来、監視強化されてきている。

その結果は前述した通りであるが、今までのところ問題となる濃度ではない。井戸水はコザ浄水場の高硬度水の主要因であったが、トリハロメタンについては希釈水源の役割をはたした。

第3節 水源水質問題の特徴と対策

1. 比謝川における陰イオン界面活性剤汚染対策

比謝川本島中部に位置し、中部地域における貴重な水源であり、コザ浄水場の主要な水源であったが、平成2年3月末コザ浄水場の処理停止に伴い、北谷浄水場の水源となった。

上流は沖縄市の市街地を流れるため、生活排水が流入し強く汚染されている。中流以降は大した汚染源はなく、流下するにつれて水質は良くなる。汚濁の著しい市街地地域から比謝川取水場までの水質状況を、汚濁指標であるBODと陰イオン界面活性剤の動向を例に、1981、1989、1991年度について示すと、図-9、図-10のようになる。

図-9、10から上流域の汚濁水が、流下する中で浄化され水質が良くなっていく様子がわかる。しかし、一旦降雨があると、流域からの汚物流入や川床に沈着した汚濁物が流出するため、取水場付近も水質悪化する。

昭和48年に水質環境基準の該当類型をB、C、Dの三類型に指定され、取水場地点はB類型（BOD 3mg/l以下）設定されている。前出の図-4のBOD経年変化からすると、昭和59年度以降は、概ね基準以下に納まっている。図-9からすると、上流においても、BODの低下がみられ水質浄化の傾向がみられる。

汚濁源が家庭排水を主体とするため、合成洗剤汚染が問題となった。コザ浄水場では、水処理において合成洗剤の指標である陰イオン界面活性剤を常時監視する必要があった。

陰イオン界面活性剤は通常処理では、除去できないので取水制限か、粉末活性炭処理で対応してきている。

比謝川においては、陰イオン界面活性剤は塩素要求量に相関があることがわかり^③塩素要求量を測定することによって、間接的に陰イオン界面活性剤を監視してきている。以下に比謝川における陰イオン界面活性剤汚染と、その対策について経緯を述べる。

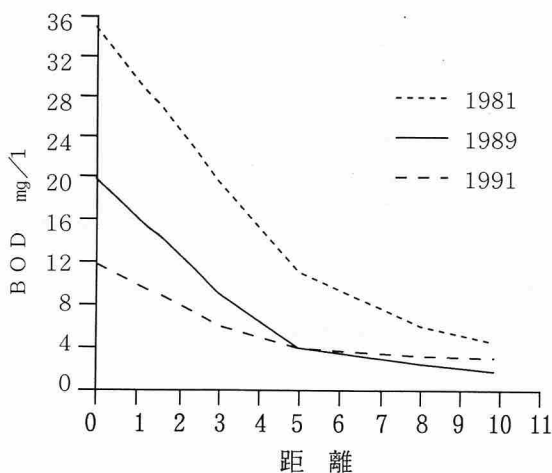


図-9 比謝川における年度別BODの流下曲線

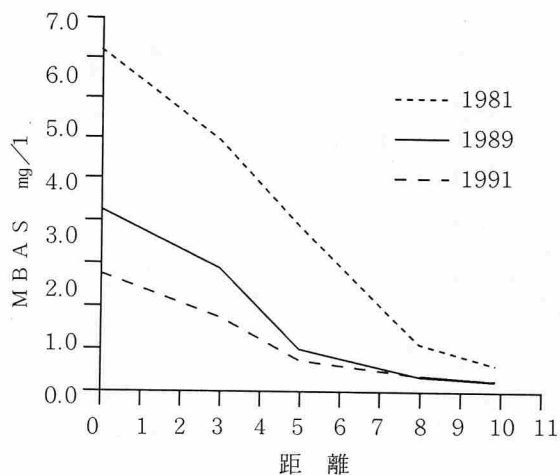


図-10 比謝川におけるMBASの流下曲

[合成洗剤について]

合成洗剤の動向を、文献⁽⁴⁾⁽⁵⁾から引用して記すと、陰イオン界面活性剤は、過去において合成洗剤の主成分である側鎖型アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(ABS)に代表されるものである。この側鎖型(ハード型ABS)は、難分解性で環境中保存される中、発泡現象がみられる等、問題視されるようになり昭和45年以降、生分解度85%以上とする、ソフト化の行政指導が行われた。

その結果、ABSは直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)に替わり、LASより更に分解されやすい、AUS、AS、AES等の生産量も増加し、環境庁が昭和53年に実施した全国河川のモニタリング調査では、ハード型ABSは検出されず、ソフト化が100%達成されたものと考えられている。

合成洗剤が日本に輸入されたのは昭和25年で、翌年には国内でも製品化され昭和31年頃より除々に広まっていった。

昭和41年厚生省では、合成洗剤の普及に伴い問題化した陰イオン界面活性剤の水道水水質基準を0.5mg/l以下と定めている。この基準は発泡現象の限界から定められたものであった。

[比謝川における陰イオン界面活性剤の動向]

図-11に比謝川取水場、コザ浄水場浄水の陰イオン界面活性剤の経年変化をしめす。比謝川においては1963年頃から、すでに陰イオン界面活性剤濃度は高いレベルにあり67年度より著しい上昇がみられる。74年度から低下している。73年度までの動向はハード型ABSで、74年度以降はソフト型の動向である⁽³⁾

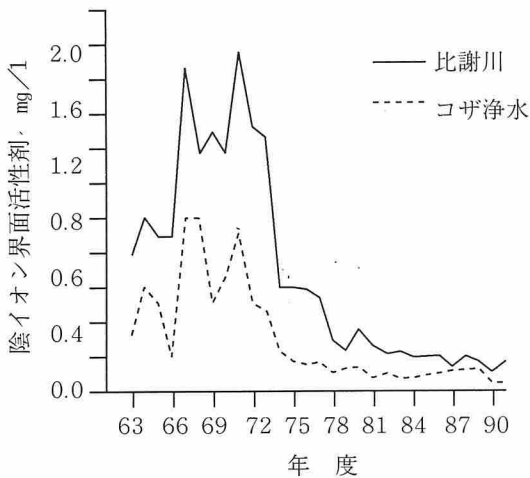


図-11 比謝川、コザ浄水場浄水のMBASの経年変化

上を飛んでいくのが見られたものである。

取水場での水質悪化は、10mm程度の降雨の場合は長く続き、取水制限等も長時間を要したのである。

85年度以降は最高でも0.5mg/lを越えることはなくなり、87年度からは0.2mg/l以下で推移し、対策を必要とする機会は、めっきり減った。

[コザ浄水場浄水の陰イオン界面活性剤の経年変化]

図-11に示すように復帰前は、ほとんど基準値(0.5mg/l)を越えていたことがわかる。米軍統治下の沖縄では、図-8のように、陰イオン界面活性剤(表ではABS)の基準は0.5mg/l以下となっているが、その管理は重要視されなかったようである。

復帰後、基準内に納める必要があり、陰イオン界面活性剤の調査を開始している。その結果、前述したように陰イオン界面活性剤が塩素要求量と相関があることが分かり、塩素要求量を測定することにより陰イオン界面活性剤を監視し、取水管理が行なわれた。これにより、基準値以下に管理できるようになった。

図-10で浄水の経年変化をみると、比謝川で急上昇がみられた67年度から浄水においても、1.0mg/lと高くなり、72年度までには0.5~1.0mg/lと推移している。

対策を始めた73年度以降は基準以下に納まっている。そして81年度以降は0.1mg/l以下となり、90年度からは比謝川、長田川がコザ浄水場の水源から外れたため、0.01mg/lとなっている。

表－8 全島統合上水道水質基準

区 分	限度数値	極限数値	備 考
物理的区分			1. 本水質基準は米国公衆衛生飲用水質基準（1961年制定）に準拠している。
色度	15ユニット		
味	異常でないこと		
臭度	3		
濁度	5ユニット		2. 限度数値とは考慮されるべき限量を意味する。また、極限数値は生産停止の根拠となる基準を示す。
科学的区分			
中性洗剤（ABS）	0.5 mg/l		
砒素	0.01	0.05 mg/l	
バリウム		1.0	
カドミウム		0.01	
塩素イオン	250		
クロム（Cr）		0.05	
銅	1.0		
CCE	0.2		
シアン化物	0.01	0.2	
弗素	0.7～1.2	1.4～2.4	
鉄	0.3		
鉛		0.05	
マンガン	0.05		
硝酸性窒素（NO3）	45		
フェノール類	0.001		
セレンウム		0.01	
銀		0.05	
硫酸イオン	250		
亜鉛	5.0		

[陰イオン界面活性剤の対策]

- ① 他水源や補給水の運用で配水量がまかなえる場合は、取水制限で対応された。
企業局水質管理指針（昭和55年3月）によると、取水条件は表－9のようである。

表－9 比謝川取水場の取水条件

塩素要求量 (mg/l)	0～12以下	13～20	21～25	26～30	30以上
取水量 (m ³ /H)	2000	1800	1400	300	全面停止

- ② 渇水時等、他水源で配水量がまかなえない場合は、粉末活性炭処理で対応された。昭和62年までは、処理障害が起こった時点で、水質状況に応じて対処され、活性炭を注入する基準は塩素要求量20mg/l以上とされた。
- ③ 昭和62年3月、渇水時における取水方法は、次のようになった。
- ア) 平常時の活性炭注入率：塩素要求量×0.4
 - イ) 降雨時の活性炭注入率：塩素要求量×0.8
 - ウ) 塩素要求量50mg/l以上は取水停止。
 - エ) 計算上、活性炭注入率が5mg/l以下の場合は、注入しない。
 - オ) 活性炭注入は比謝川取水場で行なう。

[結び]

近年、比謝川における陰イオン界面活性剤濃度は0.2mg/l以下で推移しており、水質悪化時でも0.5mg/lを越えることは、めったに無くなった。

コザ浄水場においては、比謝川、長田川が水源から外れたため問題は解消された。一方上記2河川を水源に加えた北谷浄水場においては、陰イオン界面活性剤濃度は、着水井で最高0.23mg/l検出されている。ところで、北谷浄水場においては、従来の処理法に生物処理（平成2年6月供用開始）、オゾン処理、活性炭処理を付加した高度処理が導入されるので、それが稼働する段階では、処理過程の中で陰イオン界面活性剤の低減化が期待できる。従って、最近の比謝川における陰イオン界面活性剤の状況、浄水場での除去能力の向上を考えると、陰イオン界面活性剤問題は、解消間近いと思われる。

2. 天願川汚染と取水対策

天願川は、その支流を含めると具志川市、沖縄市、石川市の3市にまたがり、流域には前出の表-1に見るように、具志川市街地を含む大小の集落や養豚場等が散在する。

支流の一つである川崎川は、集落からの生活排水や川沿いに集中する畜舎排水が流入するため、強く汚染されている。

昭和50年に川崎取水場から上流は、環境基準B類型（BOD 3mg/l以下）に設定されているが、前出の図-4 BODの経年変化から明らかなように、昭和54～平成3年度では平均4.5mg/lで、毎年基準を越えている。昭和61、62年度はそれぞれ6.6mg/l、6.5mg/lと、基準の2倍以上を示し水質悪化が一段と著しかったことがわかる。

沖縄県水質審議会の答申（昭和50年8月14日）によると、「天願川の水質は、水質環境基準の類型C、Dの基準にほぼ相当しているが、この河川は、上水道の水源として利用されているので、県民の健康で文化的な生活を確保する立場から、強力な施策を講ずること」とし、取水場地点はB類型に設定されたようである。更に、昭和51年8月には、上乘せ排水基準を定める等、一定の行政的措置はなされているが水質改善は見られない。

[天願川汚染の特徴]

天願川の水質汚濁の原因は畜舎排水による汚染が主体で、特に、豚舎洗浄時の汚水の流入によるピーク汚染の形態を持つのが特徴である。すなわち、川崎取水

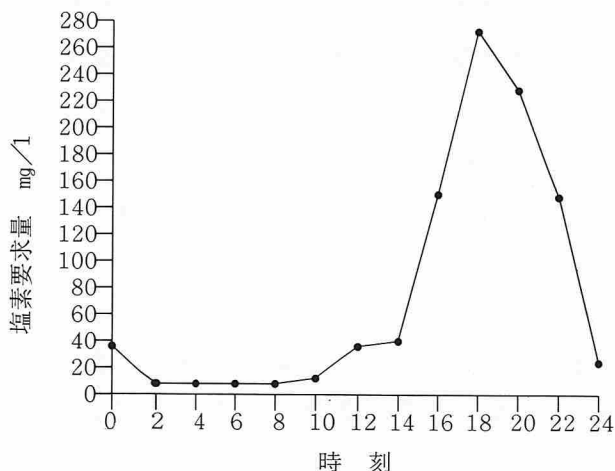


図-12 川崎取水場における塩素要求量の経年変化

場から約4 km以内の上流域に豚舎が郡立するため、汚染時には生活污水の状態でも取水場まで流達する。そのような時は、豚舎臭が強い、ドス黒い水となって流れてくるのである。その時の水質は、塩素要求量でみると、今までのところ最高270mg/lを記録している。塩素要求量270mg/lは、概ね、アンモニア性窒素27mg/lに相当し水質悪化の程度が伺われる。もちろん、

そのような汚染時には取水停止の措置が取られる。

このピーク汚染は1日1回以上あり、且つ、時間帯が不定期に起こるため、常に監視強化する必要がある。

従来、塩素要求量を指標として水質監視を行って来ている。測定は川崎取水場で2時間に1回行われている。

ピーク汚染の例として、先にあげた塩素要求量 $270\text{mg}/1$ を記録した平成2年12月31日0時～平成3年1月1日0時（24時間）の塩素要求量の変動を図-11に示した。

この日の最高、最低の変動幅は50倍以上にも達している。この例は最悪の事例としても、日間変動が著しいことは間違いない。

ピーク汚染の発生は、午前中は少なく夜間に多い。また、季節的には、夏場は少なく冬場は多くなる傾向がある。

[川崎取水場における塩素要求量の変動]

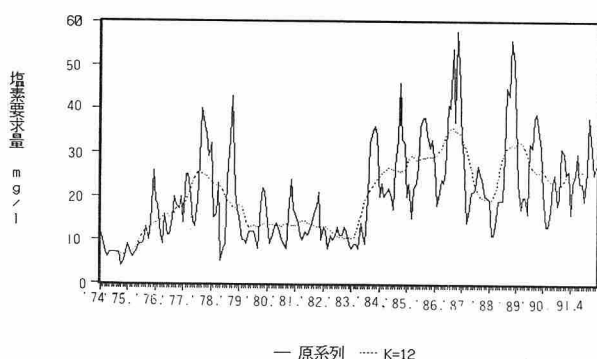


図-13 川崎取水場における塩素要求量の月変化と移動平均

川崎取水場における塩素要求量は昭和49～平成3年度の測定結果（取水場における測定結果）では、平均 $20.3\text{mg}/1$ である。図-13に月変化と移動平均を示す。

川崎取水場においては、昭和51年頃から塩素要求量 $30\text{mg}/1$ 以上が頻繁に出現するようになり、図-13にみるように77～78年度（昭和52～53）にピークがあり、一時水質汚染が激しくなったことがわかる。

77年度の塩素要求量は平均で $25\text{mg}/1$ を示した。その頃の天願川汚染については、当時の新聞紙上にもとりあげられ社会問題化した。

その後、79～82年度（昭和54～57）は年度平均で $11\sim 14\text{mg}/1$ 推移し良くなるかに見えたが、83年度より増加傾向に移り、86年度をピークに、高いレベルで推移している。

86年度（昭和61年度）は、塩素要求量は平均で $35\text{mg}/1$ と高く、汚染の激しさが伺われる。同年度は、BODも $6.6\text{mg}/1$ と高く、環境基準の2倍以上であったことは前に述べた通りである。

87年度以降は、塩素要求量は平均で $22\sim 28\text{mg}/1$ と高いレベルで推移している。

移動平均（点線）からすると、長期的な変動傾向はない。これは天願川汚染が恒常的なものではなく、ピーク汚染の形態を持つためと思われる。

[取水対策]

水質悪化が著しく、日間変動も激しい天願川を水源としていた天願浄水場における水処理は、激しいものがあっただろうと推察される。処理時においては臭気が問題となり、昭和52年より久志処理水を水源に加え、常時5000m³/日以上取水することによって希釈が図られた。

天願浄水場の水源であったころの川崎取水場での取水条件は、前出の水質管理指針によると、表-10のようであった。昭和62年4月より天願浄水場の処理停止に伴い、塩素処理（残留塩素：0.5mg/l）のみを行い、工水ライン（1350mm）に導入され、西原浄水場の原水基準は塩素要求量の上限を60mg/lとしていた。しかし渇水ともなると水量確保のため、上限は80mg/lに変更された（渇水時の暫定措置）。

表-10 川崎取水場における取水条件

塩素要求量 (mg/l)	20mg/l以下	21~25	26~30	30以上
取水量 (m ³ /H)	1080	720	360	全面停止

[結び]

天願川は水質汚濁が著しく、水道水源として極めて厳しい状況にある。汚濁の主要因が豚舎排水と特定されるので、その対策が十分に実施されれば河川浄化は可能と思われる。

企業局としても、何回となく養豚場をまわり、垂れ流さないようお願いしてきたが、効果はなかった。行政処置の強化が望まれる。

3. 大保川汚染と取水対策

大保川は本島北部の大宜味村に所在する2級河川で、潮位の変動、特に、大潮時には大保取水場の周囲まで海水遡上がある。流域には、平成2年度現在、表-

1のように養豚場が9施設あり、13000頭以上も飼育されている。

1968年（昭和43年）より取水開始され、石川浄水場に導水された。その後、名護浄水場や久志浄水場（共に昭和50年完成）にも導水されるようになった。

取水開始当時から、海水混入の問題があり取水制限や取水口の変更等で対応されて来た経緯がある。一方、有機物汚染は、当初、認められなかったようであるが、近年、上流域に豚舎群が立地するようになり、それらの排水が流入し水質汚濁が進行している。最近では有機物汚染についても、監視強化が必要になった。

当河川は、前述したように、昭和58年頃より有機物汚染の兆しがみられ、62年度から急激に水質悪化してきている。図-3のアンモニア性窒素の動向をみると、汚濁進行の急激さが、分かるであろう。

平成元年4月、大保川の全流域が環境基準B類型に指定されたが、図-2、図-3、図-4の KMnO_4 消費量、アンモニア性窒素、BODの動向からすると、水質改善の方向はみられず、むしろ悪化の方向にある。

平成元年より塩素要求量を汚染指標にして水質監視強化が図られたが、当河川を水源とする名護浄水場においては、水処理上、厳しいものがあり、平成2年からは処理水量が多い久志浄水場にのみ、導水されるに至った。

[海水混入の影響]

塩素イオン濃度が上昇し、浄水場に最も大きく影響したのは、1968年（昭和43年）の事例がある。この件について、「石川浄水場および原水ポンプ場運転調査報告書（1969年7月15日）」に沿って記しておこう。

当時、大保川からの取水方法は、有孔管9本を川床下約1mに埋設し、表流水をろ過集水して取水し、石川浄水場に導水していた。1968年10月20～21日にかけて、高濃度の塩素イオンを含む原水（塩素イオン12400～7000mg/l）を取水したため、途中において他の数箇所の原水で希釈されたものの、石川浄水場において、最高1900mg/lという高い値が検出された。そのため、10月21～23日の3日間で約2百万ガロンの原水を浄水場より放出する措置がとられた。その間、10数時間も浄水場の運転が停止されたようである。

[海水混入時の水質例]

海水混入による水質影響としては、塩素イオンをはじめとする塩分濃度の著しい上昇、塩素処理された浄水においては、トリハロメタンの増加がある。

表-11 海水混入時の水質

項目	水質
PH値	7.4
濁度	20NTU
BOD	3.5
NH ₃ -N	6.54
TOC	1.58
総硬度	294
カルシウム硬度	108
マグネシウム硬度	186
塩素イオン	610
ナトリウム	378
トリハトメタン生成能	0.213
クロロホルム	0.021
ブロムジクロロメタン	0.051
ジブロムクロロメタン	0.085
ブロムホルム	0.056

単位：pH値、濁度の他はmg/lである。

海水混入時の水質例として、平成3年7月15日の試験結果を表-11に示した。

表-11において、塩素イオンは610mg/lと異常に高く、これは大保川の塩素イオンの平均値43.6mg/l（表-2）の10倍以上である。

他項目では、ナトリウムが378mg/l、マグネシウム硬度が186mg/lと高く、いずれも海水混入を示すものである。

トリハロメタン生成能は、TOC（有機体炭素）と相関が高く、一般にTOC濃度が高い水は、トリハロメタン生成能は高くなる傾向がある。

表-11においては、TOCは1.58mg/lと低い割に生成能が0.213mg/lと高く、特にブロム化合物が高いことから海水混入の影響と判断された。

[海水混入防止策の実施例]

先の、「石川浄水場および原水ポンプ場運転調査報告書（1969年7月15日）」によると下記の2法が試みられている。以下、報告書に沿って記す。

A法：満潮時の前後に取水停止する。

現場調査の結果、満潮時の前後2時間取水停止することにより、混入をほとんど防止できたようである。しかし、この方法によると、一日約8時間も取水停止になるので、機能は低下することになった。

B法：堰を作ることによって海水流入を防ぐ。

取水場の下流約60mの所に、砂または砂利を入れたビニール袋を高さ約1m積んで、堰を作り海水遡上を防止する。その結果、表層からの海水流入は殆どなくなり、塩素イオンも正常にもどったが、河川表流水の水量が減ってくると、またしても塩素イオンの上昇が表れてきた。このことは、河川水量が少ない場合は比重の大きい海水混合水が、川床から浸透流入してくるものと推察された。

この方法でも河川水量と取水量の調整がうまく出来なければ、海水混入の影響はさけられなかった。

B法は、堰が降雨のため流されたこともあって、A法で対策することになり、この場合塩素イオン濃度の上限は500mg/1とされた。

その後、導電率の測定により塩素イオンの上昇を監視して、取水制限する方法がとられた（開始時期は不明）。企業局水質管理指針（昭和55年3月）によると、取水条件は、表-12のようである。

表-12 大保川取水場における取水条件

導電率 (μS/cm)	700	700~1400	1400~2400	2400以上
塩素イオン (mg/1)	200以下	200~400	400~700	700以上
取水量 (m ³ /H)	1000	600	300	取水停止

(注) 1. 久志浄水場に導水される場合

工業用水（基準値80mg/1）との関係があるため、浄水場沈でん池で上限値が60~80mg/1となる安全度で運転する。

2. 名護浄水場に導水される場合

上限500mg/1でも可能であるが、安全のため300mg/1で取水停止する。

昭和60年に取水口を上流側に変更しているが、依然として海水が混入する場合がある。

[結び]

大保川取水場における海水混入の問題は、開発当初からの課題である。上記のように種々対策を実施してきているが、根本的な解決には至っていない。現在は、導電率を測定して、塩素イオンの上昇を監視する方法で取水対策は行われているが、監視を怠ると基準を超える要素がある。

また、有機物汚染は昭和62年頃から激しさが増し、その監視も必要になった。最近の水質状況をみると、中部河川と同程度か、それ以上に悪化しており、更に進行する傾向にある。一方、平成3年1月より、上流域にゴルフ場の建設が行われており、将来、農薬汚染についても懸念されるところである。

4. 金武ダムの富栄養化に伴う水処理障害

金武ダムは本島中南部の金武町に所在し、1961年（昭和63年）に構築された、集水面積14.6km²、有効容量660千m³、平均水深約3mの小規模ダムである。集水域内の畜産・人口等の状況は表-1のようになっている。

当ダムは、水源水質の概要のところでも述べたように、富栄養化が著しく進行しており、昭和61年5月には、初めてアオコ（*Microcystis*）による「水の華」の発生がみられた。

水質汚濁の原因は集落からの生活排水や畜舎排水、事業所排水および、降雨時における畑地や湿地帯からの流入があげられる。中でも豚舎排水で汚染された喜瀬武原方面からの流入が主要因である。ただ、この流入水は、常に金武ダムに入っているのではなく、平生は、ダム上流にある農業用灌漑ダムで堰止められ利用されており、降雨で水位が上がった時に越流する状況にある。

平成2年度末の調査「水道水源保全対策調査書」からすると、富栄養化の原因と言われる窒素、リンの負荷量は、養豚場が50%以上占めている。

平成元年7月25日付け環境庁告示第38号で窒素規制湖沼に指定されたが、汚濁源が規制対象外（排水量50m³/日以下）のため、有効な対策が打てないのが現状である。

一方、昭和63年度の「沖縄における総合的な水道水質改善対策指針調査報告書」によると、金武ダムにおいては、自然負荷の占める割合も大きく、人為負荷の対策だけでは、ダム水質の良好な維持は困難であるとしている。

ダム水質を改善するために間欠式空気揚水筒を設置したが、総負荷量が大きいため浄化の方向性は見いだせても、回復までは至っていない。

当ダムは金武浄水場の水源と、石川浄水場の補給水源とされていたが、単独使用の場合トリハロメタン生成能が極めて高いため、トリハロメタンの制御目標値（0.1mg/l以下）を達成するには、高度の特殊処理を必要とする等問題が多く、補完的水源として運用されている。石川浄水場での利用法も、ダム水質の状況によって、他水源による希釈率を考慮した、制限付き水源となっている。

[金武浄水場における水質障害と対策]

金武浄水場（昭和62年7月廃止）は、昭和58年4月までは金武ダムを単独水源としていたが、昭和55年6月に色度障害が発生した。また、昭和56年より測定が義務づけられたトリハロメタンは制御目標値を超える状況にあり、対策を講ずる

必要があった。

以下、金武浄水場における色度障害および、トリハロメタン対策について、その概略を述べる。

① 色度障害と対策

昭和55年6月21日頃より、浄水色度が高くなる傾向がみられ、同年6月30日の週試験結果では、色度が15度と水質基準の3倍にも達した。その時の原水、浄水の水質は表-13の通りである。また、その時期の薬品注入状況は、硫酸バンド25~60mg/1、前塩素10mg/1で、沈でん池のpHは6.7~6.9であった。

水源である金武ダムは、ダム特性として夏場の停滞期にあり、底層において鉄、マンガンの溶出があり高濃度の状況にあった。ダム底層からの取水のため夏期停滞期の影響は避けられなかった。

一方、浄水場は、ろ過池構造がアンスライト単層のため、除濁、除鉄・マンガンの機能を保持してなかった。

表-13原水、浄水水質

	原水	浄水
pH 値	7.2	7.8
濁 度	20	0.3
色 度	48	15
総 鉄	2.74	0.28
総マンガン	0.336	0.036
塩素要求量	3.0	—
残留塩素	—	1.6

そのような中で、従来の処理では、対応できない状況が発生し調査することになった。

調査した結果、前塩素注入量が不足のため鉄、マンガンが十分に酸化されず、ろ過池でも除去されず、浄水に着色水となって出現したものと判断された。

鉄、マンガンが有機物と結合した形をとっていると考えられたため、前塩素注入量を10mg/1から25mg/1に増量

して、塩素による酸化が図られた。

しかし、この対策は根本的な解決策にはなりえず、ろ過池機能の整備や水源対策は、後に述べるトリハロメタン対策の一環の中で行われた。すなわち、昭和56年6月にダム自体の水質浄化を目的とした揚水筒の設置、同年8月にろ過池に砂層を導入する中で対策された。

② トリハロメタン対策

トリハロメタン測定については厚生省通達（昭和56年3月25日）により、モニタリング測定することになった。第1回調査は企業局配水系全域にわたり、

採水点を設定し、昭和56年7月9日、14日に行われた。当時、水質管理所にはトリハロメタン測定するガスクロマトグラフが無かったため、公衆衛生協会による委託測定であった。

その結果、金武ダムを水源としていた金武浄水場系は、給水末端において基準を超えていることがわかった。また、原水のトリハロメタン生成能も0.124mg/1と高いことがわかり、水源地対策に加え、施設の改善、中間塩素処理、粉末活性炭処理等、トリハロメタン低減化の対策が図られた。

以下、金武浄水場におけるトリハロメタン対策の経過を述べる。

1)、原水浄化対策：昭和56年6月24日金武ダムに小型バク気装置を設置しダム水質の改善を試みる。

凝集処理困難の解消、塩素注入量の削減等一定の効果が認められた。しかし、トリハロメタンは、上記したように制御目標値を超える状況にあった。

2)、ろ過池機能の整備：昭和56年8月29日砂層（15cm）導入し、マンガン除去機能の改善、濁質の流出防止、ろ過工程における塩素消費量の削減を図る。

3)、配水の残留塩素を低く設定：昭和56年11月26日（ 2.0 ± 0.2 から 1.2 ± 0.2 ）
昭和57年5月26日（ 1.2 ± 0.2 から 1.0 ± 0.2 ）

4)、粉末活性炭注素処理：昭和57年6月5日ドラム缶容器に粉末活性炭を溶解し入及び中間塩素処理して着水井に注入（注入率20mg/1）。トリハロメタンは、6月7日の測定結果では0.077~0.086mg/1となった。しかし、7月には制御目標値を超える結果となり、活性炭注入率を30mg/1に上げたが、効果は小さかった。

5)、活性炭注入点の変更：昭和57年9月7日活性炭注入点を着水井から金武ダム取水ポンプ場に変更し活性炭接触時間を長くした（13分から60分以上）活性炭注入率は50mg/1。
その結果、トリハロメタン濃度は制御目標値以下にはなかったが、0.091~0.097mg/1（9月13日）と高い値を示した。

6)、良質水源による混合希釈：昭和58年4月14日久志処理水の導水管より分岐管を取り出し、取水ポンプ場まで延長し混合希釈を図った。これにより、活性炭注入が不要になった。

トリハロメタン濃度、4月、7月、10月の測定結果では最高0.050mg/1、最低0.028mg/1となった。

[結び]

金武ダムを水源とした金武浄水場のトリハロメタンの低減化は、対策が実施された当時において実施可能な処理方法（中間塩素処理＋粉末活性炭処理）を試みているが、十分ではなかった。活性炭注入率50mg/1でも制御目標値に近い値を示したのである。最終的には、良質水源を導水することによって、大幅に低減化されたのである。

第4節 硬度問題

硬度問題が、より具体的な形となって出て来たのは、中部市町村会から出された、昭和59年9月12日付け陳情書「中部地区の水質改善措置に関する要請書」が発端である。要請書は「中部市町村民の大部分が、コザ浄水場、天願浄水場の硬度の高い、いわゆる〈おいしくない水〉を利用しているため、住民からの苦情が多い。よって各浄水場の水質を早急に平準化していただきたい」という主旨の内容であった。

硬度の成因は、地質からくるものが主であるが、海水や工場排水等の混入、水道においてはモルタルライニング管、施設のコンクリート構造物、あるいは消石灰処理によって増加する。

企業局水源の硬度は、水源水質の概要でみたように石灰岩の多い中部地域の水源地は、河川は222～265mg/1、嘉手納井戸群は300mg/1以上と高い。北部地域においては、石灰岩が比較的広く分布する本部地域の河川は158～187mg/1と高めであるが、他河川は22～36mg/1と低い。

従って、浄水硬度の値は、水源により左右され、中部水源を原水とする浄水場（コザ、天願など）は200mg/1以上と高く、北部水源を主に原水とする浄水場（石川、西原など）は50mg/1程度と低く、大きな差がある。

硬度苦情は、この硬度の高い浄水場からの供給地域において、お茶がまずい、やかん等にスケールがこびりつき気持ち悪い等、日常生活で利用する中で経験する不快感からくるものであった。軍水道時代および復帰後のしばらくは、缶石防

止、赤水防止のためメタリン酸ナトリウムが注入されていた。

復帰後、水需要の増大に対応するため、水源開発は北部地域に求められたため硬度の低い供給地域が拡大していった。

昭和59年3月厚生大臣の諮問機関である生活環境審議会の「高普及時代を迎えた水道行政の今後の方策について」に、安心して飲める水の供給、おいしい水の供給が答申されおいしい水の水質要件として硬度は10～100mg/1とされた。

そのような情勢の流れの中で、水質（硬度）の不公平に対する不平、不満が高くなり、硬度平準化の要請がでたものと思われる。よって硬度苦情は水質の安全性に対する不安から派生したものではなく、硬度に差異があることへの不公平さが、主となっていると考えられた。

企業局においては、この問題を水道事業の重要課題と位置づけ、昭和60年2月、局内に「水質検討委員会」を設置し、その中で硬度平準化策が検討された。そして、昭和60年9月に「硬度平準化策の基本方針」が出された。

具体的対策は、その方針に基づいて当面実施できる対策（硬度の低い浄水による混合希釈）を図りながら、硬度除去施設の諸元等を把握すべく、硬度除去実験を年次的に実施して一定の技術的知見を得ている。硬度平準化策の基本方針は以下の通りとなっている。

硬度平準化策の基本方針

硬度に対する苦情を解消し「おいしい水」を供給するため、硬度の平準化を図り用水供給事業の健全化に努める。

1. コザ浄水場の廃止に至る間の当面对策は施設の運用によって行い、現在の平均硬度214mg/1を180～200mg/1の範囲になるよう努める。
2. 北谷浄水場の浄水計画目標はその建設に併せて150mg/1程度とするがさらに硬度低減化に向けて技術的努力を続ける。
3. 硬度対策の将来目標は「おいしい水」の水質要件を満たすよう低減化策を講ずる。

平準化対策

北部と中部の水源の水質は、地域の地質特性によって差異がある。硬度においては北部が軟水で中部が硬水地域となっている。ところが中部水源は企業局全体の原水依存度率で25%をしめるため上水道の重要な水源となっている。硬度平準化には処理施設、導配水施設等の新たな建設等で巨額の

資金を必要とするため、段階的な平準化施策を進める計画である。

1. 目標設定要件

水道における硬度の目標値は、その使用目的によって次の通り違いがある。

- 1) 人の健康に必要な飲料水は中程度の硬度（100～200mg/1）が望ましいとされている。
- 2) 赤水障害等の防止、施設管理には80mg/1以上が必要である。
- 3) 従って、上記2要件を考慮し、硬度も目標値は150mg/1に設定する。

2. 具体的対策

- 1) 当面对策としては、コザ浄水場において石川系からの補給水を含む施設の効果的運用により硬度を180～200mg/1とする。
- 2) 現在進めている北谷浄水場の浄水計画は、北部水源を最大限に運用し目標硬度150mg/1程度とする。
- 3) さらに「おいしい水」の供給に向けて、地下水（嘉手納井戸群）の硬度除去等の低減化策を講ずる。

沖縄県企業局水質検討委員会資料より

このように硬度問題は、水源の地域特性や水源開発等の事業が進展する中で、全需給水量の約25%を占める中部市町村の供給地域から、硬度の高い水に対する水質苦情が高まり、対策を図らねばならない課題であったのである。以下、浄水硬度の年次的推移、高硬度対策の概略をのべる。

[浄水硬度の概況]

我が国の水道水質基準は硬度300mg/1以下となっているが、沖縄県においては、復帰前は硬度に関する基準は無かった。昭和47年5月復帰に際し、「沖縄の復帰に伴う厚生省関係の特例に関する省令」第7条で、沖縄の地域特性を考慮して暫定的に、350mg/1以下と定められた。この基準は平成3年現在、存続している。

表-14に浄水場別硬度の代表値を示した。また図-15に浄水場別硬度の経年変化をしめした。

1) 名護浄水場

水源は大保川、平南川、源河川で満名川、西屋部川は補完的な性格を持つ。

硬度（昭和50～平成3年度）は、最高164mg/1、最低20mg/1、平均53mg/1となっている（表-14）。図-15の経年変化をみると、77年度（昭和52年度）が最も高く、77mg/1を示した。最高値164mg/1も昭和52年度に記録しているが、これは、大保川における海水混入が原因であった。その他は概ね50mg/1前後で推移したが、88年度より上昇する傾向がみられる。これは満名川、西屋部川が当浄水場の水源になったため、両河川からの取水影響である。

2) 石川浄水場

水源は当初、大保川、平南川、源河川、福地川、漢那川、ハンセンダム（金武ダム）であった。その後、天願ダム、ズケ山ダム、久志処理水が水源になった。さらに満名川、西屋部川が加わった。

硬度（昭和42～平成3年度の結果）は、最高272mg/1、最低30mg/1、平均54mg/1となっている（表-14）。1971年度（昭和46年度）に最高値272mg/1を記録しているが、これは大保川における海水混入が原因であった。

図-15において、67～74年度は、61～85mg/1と推移しているが、75年度以降は40～52mg/1と変動し、硬度低下がみられる。これには、2つの要因があり、第1は、昭和50年2月まで、消石灰処理が行われており、その処理過程の中で約20mg/1の硬度増加があったこと。第2は昭和50年に処理能力が従来の2倍（150千m³/日）に拡張され、その分の水源は、久志処理水が導水されたことである。

3) 西原浄水場

水源は久志系と天願川であり、久志系を主体にしていたが、平成3年より久志系単独になった。

硬度（昭和52～平成3年度の結果）は最高88mg/1、最低30mg/1、平均50mg/1である（表-14）。平成3年度は原水が久志系単独になったため、36mg/1と浄水場の中で、最も低くなっている（図-15）。

4) 北谷浄水場

水源は石川浄水場系、井戸水、天願ダム、比謝川、長田川、天願川である。比謝川、長田川は平成2年から、天願川は平成3年から導水された。

硬度（昭和62～平成3年度の結果）は、最高226mg/1、最低39mg/1、平均141mg/1である（表-14）。図-15にみるように、毎年上昇してきている。当浄水場は、北部河川を主とする石川浄水場系と井戸水を水源として処理開始しているが、中部水源が順次導水される中で年々上昇してきたのである。

5) コザ浄水場

当浄水場（1949年建設）は当初、比謝川、天願川を水源として運転開始され、その後ズケ山ダム、井戸水、長田川が水源に加わった。昭和47年時点でみると、天願川は水源から外れ、嘉手納井戸群は20井あり、15井は浄水池に、5井は比謝川系統へ導水されていた。

一方、他浄水場からの補給水（天願系、石川系）が浄水池に導水されており、処理能力は57.0千m³/日であるが、送水量は100千m³/日を超えることもあった。従って浄水水質は、それらの水量配分により変動した。

送水系は2系統（山里系、嘉手納系）あり、両者間に水質の差異がみられた。これは処理水および井戸水、補給水が完全に混合されないことが原因であった。よって、ここでは、送水量の多い、山里系を当浄水場の浄水水質として取り扱った。

硬度（昭和42～平成3年度の結果）は、最高324mg/1、最低108mg/1、平均220mg/1と高い（表-14）。昭和49年度までは300mg/1を超える日が時々あった。

図-14をみると、67～74年度は236～263mg/1と高レベルで推移している。75～85年度は225mg/1前後で推移した。76～78年度は200mg/1以下に低下しているが、浄水池における混合状態によるもので浄水総体としては220mg/1前後であった（従来、山里系が高い状況にあったが、この間は逆に嘉手納系が高くなった。）

86年度以降は200mg/1以下になっている。これは、前述した平準化対策（石川補給水を含む施設の効果的運用）の結果である。

6) 金武浄水場

水源は、昭和58年4月中旬までは金武ダムのみであったが、同年4月14日より久志処理が導水された。これはトリハロメタン対策のためであった。

硬度（昭和47～昭和62年度の結果）は、最高143mg/1、最低24mg/1、平均72mg/1である（表-14）。

図-14において、72～82年度は63～116mg/1変動し、平均は90mg/1あるが、

83～87年度は平均が34mg/1と低下した。これは久志処理水が導水されたためである。

7) 天願浄水場

水源は天願川、天願ダム、天願井戸群、久志処理水であった。久志処理水は昭和52年に導水され並列処理されていた。

硬度（昭和42～昭和62年度の結果）は、最高372mg/1、最低36mg/1、平均205mg/1である（表-14）。昭和53年度までは、300mg/1を超える日が時々あった。

図-14から、80年度より大幅に濃度低下していったことがわかる。67～79年度は222～290mg/1と変動し、その間の平均は260mg/1である。これに対し、80年度以降は平均が116mg/1と、半分以下に低下している。これは昭和55年2月末より、天願井戸群が取水停止されたことが大きく影響したのである。

8) 登川浄水場、知念浄水場、与座浄水場、辺野古浄水場

登川浄水場は、水源は井戸水で、硬度は、表-14でみるように平均301mg/1と、浄水場の中で最も高い。図-14において71年度はデータが見つからず途切れている。

知念浄水場は水源が湧水で、硬度の最高、最低、平均は、288mg/1、76mg/1、228mg/1である（表-14）。図-14の経年変化をみると、変動は小さい。

与座浄水場は水源が湧水で、硬度の最高、最低、平均は、264mg/1、184mg/1、223mg/1である（表-14）。図-14において71年度はデータが見つからず途切れている。

辺野古浄水場の水源は辺野古ダムであった。硬度は平均61mg/1を示し、原水硬度（平均39mg/1）と比較して高くなった。これは消石灰処理による増加である。

以上のように硬度は、北部水源を主体とする浄水場（名護、石川、西原等）は低く、中南部の水源を主体とする浄水場（コザ、天願、知念、登川、与座）は高いことがわかる。

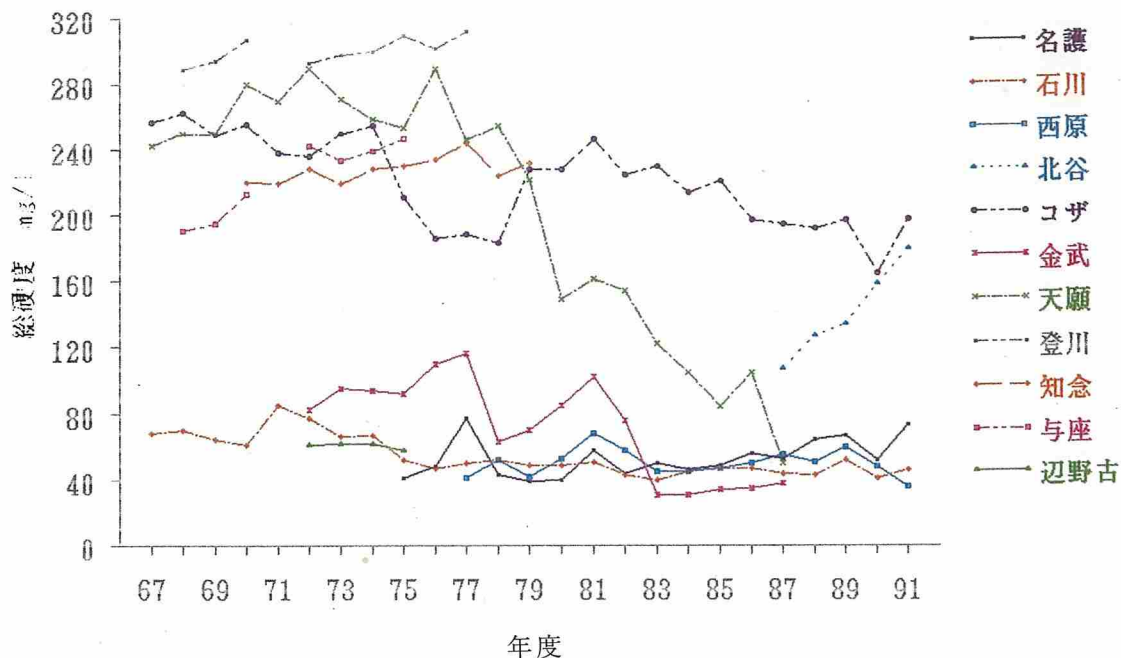


図-14 浄水場別、浄水硬度の経年変化

表-14 浄水場別の浄水硬度

浄水場	浄水硬度			備考
	最高	最低	平均	
名護	164	20	53	昭和50～平成3年度の結果
石川	272	30	54	昭和42～平成3年度の結果
西原	88	30	50	昭和52～平成3年度の結果
北谷	226	39	141	昭和62～平成3年度の結果
コザ	324	108	220	昭和42～平成3年度の結果
金武	143	24	72	昭和47～昭和62年度の結果
天願	372	36	205	昭和42～昭和62年度の結果
登川	336	264	301	昭和43～昭和52年度の結果
知念	288	76	228	昭和45～昭和54年度の結果
与座	264	184	223	昭和43～昭和50年度の結果
辺野古	98	42	61	昭和47～昭和50年度の結果

単位：mg/l

[コザ浄水場における硬度低減対策]

硬度平準化の要請があった、昭和59年当時の硬度状況は、図-14に見られるようにコザ浄水場が唯一200mg/1以上にある。要請の中に上げられた、一方の天願浄水場は105mg/1と水運用の中で低下してきていた。他は100mg/1以下の状況にあったことが分かる。

従って、対策を必要としたのはコザ浄水場であったのである。

昭和59年度の当浄水場における配水量、水源配分および硬度の状況は、表-15のようであった。

表-15 コザ浄水場の水源配分および硬度（昭和59年度）

水源内訳	水量配分 (千m ³ /日)	配分比率 (%)	水源硬度 (mg/l)	浄水硬度 (mg/l)	給水対象市町村
比謝川	31.9	29.5	256	214	※沖縄市 宜野湾市
長田川	11.3	10.4	232		読谷村 ※中城村
嘉手納井戸水	26.6	24.6	313		嘉手納町 ※西原町
ズケ山ダム	7.3	6.7	48		※北中城村
石川補給水	27.3	25.2	45		北谷町
天願補給水	3.9	3.2	105		※浦添市

※印は市町村の一部地域を示す

表-15の水源配分からコザ浄水場の硬度が、200mg/1を超えることは理解できよう。

水源の中で嘉手納井戸群の硬度が最も高く、浄水硬度を底上げする主要因となっている。一方、石川補給水は硬度を低める働きをしている。そのような結果として、浄水硬度は214mg/1となっている。

コザ浄水場における硬度平準化策は、石川補給水を効果的に運用して低減化を図るものであった。この石川補給水による希釈法は、補給水量を増量すればするほど硬度は低下する。しかし、浄水場の送水能力が最大110千m³/日であり、嘉手納井戸群、比謝川、長田川の利用率は下げられない状況において、補給水量を増量するにも限界があった。

図-14に見るように浄水硬度は、86年度以降目標値（180～200mg/1）の範囲にあるが、他浄水場に比べると、依然として硬度の差は大きい。

[高硬度対策]

ここでは、高硬度原水の対策（硬度除去実験）について述べるが、「沖縄における総合的な水道水質改善対策指針策定調査報告書（平成元年3月）」に整理されているので、それを参考にした。

コザ浄水場廃止後は、高硬度原水である中部水源（嘉手納井戸群、比謝川、長田川、天願川）は、北谷浄水場に導水される。従って、北谷浄水場は硬度が高く

なり、石川、西原浄水系統と著しい差が生じることになる。この硬度の不均衡を緩和するために、硬度低減を図る方策として、硬度除去を行う方法と硬度の低い水道原水とを混合して平準化を図る方策が考えられる。

硬度平準化対策の基本方針においては、「北部水源を最大限に運用し目標硬度150mg/l程度とする」、「おいしい水の供給にむけて地下水の硬度除去等の低減化策を講ずる」となっている。この方針に基づいて、昭和61～63年度に嘉手納混合井戸水を対象とした硬度除去実験（委託）を開始している。実験の結果、次のような知見を得ている。

除去実験は薬品法、イオン交換法、逆浸透法、ペレット法について行なわれ、その結果コストからみればイオン交換法の海水再生法およびペレット法が有利とされた。

① 薬品法

横流式沈でん、高速凝集式沈澱による硬度除去は米国で一般に用いられている方法であるが、実験でも除去率が小さく、固液分離性もよくない。除去率を大きくしなくてもよい場合、表流水の濁質処理と兼用する場合は適当である。

② イオン交換法（海水再生法）

小規模で原水が比較的潤沢で、維持管理の容易さを求める場合に適当である。ナトリウムは増加するがカルシウムはほぼ完全に除去されるので、処理は（部分処理＋混合）が推奨される。

③ ペレット法

大中規模で排水放出問題を避け、水の回収率を大きくしたい場合に適当である。カルシウムの有効利用を図りたい場合も推奨される方法である。

④ 逆浸透法

一般には海水の淡水化に用いられる方法であり、硬度除去の方法としては、その特徴を十分に発揮し得ないと考える。

以上のように、硬度除去施設のための技術的な面は確認されている。従って、北谷浄水場の硬度問題は、北部水源の増量、海水淡水化の導入等、総合的な水運用の中で目標値は達成されると思われる。

参考文献

- (1) 水道水源保全対策調査業務委託調査書（平成3年3月）P. 47

- (2) 日本水質汚濁研究協会編. 湖沼環境調査指針1982
- (3) 幸喜稔、赤嶺永正：比謝川汚染と陰イオン海面活性剤の動向
第31回全国水道研究発表会講演要旨集 日本水道協会 (1980)
- (4) 上水試験法 (1980年版) の解説：日本水道協会

その他

沖縄における総合的な水道水質改善対策指針策定調査報告書 (平成元年 3 月)

：日本水道協会

沖縄県企業局水質管理指針 (昭和55年 3 月)

沖縄県企業局経営概要 (昭和48～平成 3 年度)

第3章 水質汚染事故

水質事故は、沖縄本島の中部を流れる主要河川である比謝川と天願川で多く発生している。当河川は沖縄市と具志川市の市街地を貫流していて、その周辺には多くの事業所等があり又多くの米軍基地と接しているために米軍基地を発生源とする水質事故が多発している。水資源の乏しい本県では重要な水源である両河川の水質保全には、環境行政機関との連携を密にして最善を尽くすべきである。水質汚染は不注意や施設の不備に起因する事が多い。地域住民の水質汚染に対する関心を深め、川を汚さない啓蒙運動も努力すべきである。復帰前後からの水質事故のうち主なもののいくつかについて、汚染事故事例の概要を述べる。

1 し尿投棄による汚染事故

比謝川の支流与那原川上流にし尿の不法投棄があり、1970年（昭和45年）12月24日、25日に、キビ畑の地主が、数台のバキュームカーで投棄にきた人に頼んで棄てさせた為に、し尿が畑の溝に沿って与那原川に流入したためである。コザ浄水場の処理能力以上に、比謝川取水場での塩素要求量が上昇したため、取水制限を行って対応した。コザ浄水場の職員が地主に対し強く注意し、地主は今後畑にし尿を投棄させない事を約束した。米陸軍全島統合水道部は、し尿投棄の禁止を民政府に要請した。

し尿処理問題は、1970年（昭和45年）6月末頃から中部6市村（浦添、宜野湾、コザ、北谷、美里、嘉手納）の投棄場所になっていた北谷村のハンビー飛行場北側の軍施設が、北谷魚協の反対によって使用出来なくなっておきたもの。このため民政府では、宜野湾市伊佐にある軍用マンホールを指定したが、市や伊佐区民が養殖計画地域であること、人家に近接しすぎるため強く反対、マンホール入口に金網を張って、し尿を捨てさせないようにした。中部市町村では山地等にこえつぼを作って処理しているが満ぱい状況で、キビ畑等への不法投棄が行なわれた。

（1970. 8. 6 新聞報道）

キビ畑等への不法投棄やこえつぼが比謝川、天願川の上流に作られているため降雨時に溢流して河川に流入して浄水場の処理能力以上に汚染が進んで大きな社会問題となった。

コザ浄水場では、処理能力以上の汚染に対応するため、比謝川にズケ山ダムからの放流水で浄水場の処理能力まで希釈するために放水を長期にわたり実施した。

ダム貯水量の低下により、1971年（昭和46年）夏期の早魃で断水等が長時間続いた一因にもなった。このし尿投棄による汚染事故を境にして比謝川の汚染は急速に進行した。

2 マブニ浄水場でのPCP汚染事故

1971年（昭和46年）5月22日、マブニ浄水場より、原水に薬品臭がするとの報告があり、現場調査の結果フェノール類の汚染と判明、ただちに給水停止、水洗便所用水以外の使用を全面的に禁止した。新聞報道によると、汚染原因は、沖プライ商事（米軍物資払下業者）が5月14日から1週間に具志頭村仲座の採石場跡のバカス捨場にPCP（4.8%）2万5千ガロンを投棄したことによる。そのため、南部四ヶ町村約2万人に給水している南部地区東部上水道組合はほとんどの水源が汚染され大きな社会問題となった。タンクローリー車での給水、水道公社ラインへの直結、PCP汚染バカスの廃棄、琉球政府、民政府の対応等、毎日紙面をにぎわしていた。当局では、PCPが粒状活性炭による吸着処理実験で除去可能と判断されたため、吸着装置を製作して6月5日処理開始、6月6日のPCP試験結果は、原水0.140ppm、浄水0.008ppmとなり、6月7日に飲用可能になった。

3 米軍によるテトラエチル鉛汚染

昭和47年7月3日の新聞に、具志川市昆布の米軍施設内に埋却されたテトラエチル鉛（危険テトラエチル鉛の処理場所掘り出すべからずの立て札）の報道があり、埋却場所に最寄りの天願井戸26号から昭和47年7月5日の調査で、鉛が0.014mg/1（基準値：0.1mg/1）検出された。テトラエチル鉛（燃料タンク残滓）埋却の影響が考えられたので、昭和47年7月7日取水停止した。昭和47年7月4日に公害衛生研究所に依頼した、天願浄水場原水、浄水、井戸26号のテトラエチル鉛は不検出で、又土壌中のテトラエチル鉛はほとんど分解して鉛になっているとの試験結果であった。埋却土の処分について、昭和47年8月2日と12月1日の二度にわたり、厚生部長より総務部長あて撤去について米軍と折衝するよう依頼されたが、撤去されたかどうかは資料がなく不明である。

水事情の悪化に伴い、昭和49年1月14日の調査の結果、天願井戸26号の鉛の濃度は0.08mg/1と取水停止時と同程度あるが、もはや「テトラエチル鉛としては存在しない」と判断されたため、昭和49年1月16日に取水を開始した。

4 危険物貯蔵所からの重油流出事故

昭和50年12月21日午前11時頃、比謝川取水場からコザ浄水場に油臭がするとの連絡があり、活性炭の注入（取水ポンプ場で10ppm、浄水場で5ppm）を開始した。午後6時頃、コザ浄水場に沖縄市の水道部から、「一市民から水道水に油臭の苦情があった」と連絡があり、直ちに比謝川からの取水を全面停止した。

12月22日午前、臭気異常についての苦情があったので、関係市町村に対し、配水管内の異臭ある水を泥吐管等より排出するよう連絡した。浄水場の浄水に異臭はなく、水質試験の結果、水質基準上の有害物質は含まれていなかった。

事故の原因は、嘉手納石油商会（嘉手納町字屋良1063）の危険物屋外貯蔵所のドラム缶3本（A重油：600リットル）が全部流出、防油堤に穴があいていて、施設内には油水分離槽がなく、畑の畔道を600m程通って比謝川に流入した為である。12月24日、嘉手納町消防本部を訪ね消防長に対し、消防法に基づく行政指導と取締りを要請し、施設調査を実施した。嘉手納石油商会は汚染原因者であることを認め、全責任をもって流出油の回収に当たることと、消防本部は施設改善指導及び管理強化を図る事を確認した。

12月25日より取水制限（ポンプ台数で）、4分1量程度から取水開始した。取水場と浄水場で活性炭の注入（注入率30ppm、3ppm）を指示、12月30日以降は（20～10ppm、1.5～1ppm）注入した。油流入が続くので汚染調査を1月11、12日に再度実施した。油の回収が不十分で、汚染源の畔道の付近に油溜や付着油があり、比謝川に少量の流入が続いていた。油溜と付着油を除去しなければ影響は暫らく続くと見られた。1月12日に活性炭の注入（注入率5ppm、1ppm）を指示した。2月7日油流入の影響が無くなったので、活性炭注入を停止し、取水制限を解除した。

その間不足水量は石川浄水場より浄水の補給水を増量して対応した。

企業局の要求により嘉手納石油商会は、活性炭注入経費、油汚染に対応した超勤の人件費等の損害賠償を行った。

5 アスファルト工場からの重油流出

昭和51年9月10日午前6時半頃、川崎取水場で油臭がするとの連絡があった。台風による停電（9月9日午前8時～10日午後2時）のため取水停止中であった。汚染源は日本舗道（株）沖縄出張所（アスファルト工場）の危険物屋外貯蔵タンク（重油：20m³）のバルブと、防油堤の水抜き弁が開いていたため、7.2m³の重油

が流出したためである。調査時、現場ではすでに流出油除去作業中であったが、局の申し入れによりさらに人員を増やし早急に対策がはかられた。

回収作業で流出油の約 4 割が回収された。その他の大部分は流れ去ったと思われる。又残油の除去のため周辺の草刈りと吸着剤の敷きつめ作業をおこなった。さらに取水場でオイルフェンスとオイルキャッチャを布設投入した。活性炭注入のジャーテストの結果、油臭が除去可能である事が判明、活性炭を注入し午後 3 時半に取水開始した。油の影響が終息した16日まで毎日、活性炭注入の除去テストを実施して活性炭処理をおこなった。

6 米軍施設から廃油流出

昭和51年 9 月 22 日午後 3 時 20 分川崎取水場で油が浮いているのを発見、コザ浄水場に連絡、取水停止した。汚染源は、川崎部隊（キャンプマクトリス）のモータープールの油水分離槽の機能が不十分で、降雨により油が溢流し、排水溝を通過して天願川に流入したためである。

米軍海兵隊本部を訪ね、責任者に再び油を流出させないように要請、「今日中に適切な処置をする」と約束した。活性炭注入による脱臭試験と水質試験の結果異常なし、午後 7 時から取水開始した。

7 米軍基地の洗機場からの排水汚染

昭和59年 1 月 12 日午後 4 時 50 分に比謝川取水場の下流に流入する側溝排水に「刺激性油臭と異常な泡立ちがある」と報告があり、流入は午後 4 時から 6 時半頃までで、5 時頃臭気は最も強かった。汚染源は嘉手納基地の洗機場排水であった。

同様の現象は 1 月 13 日、14 日、15 日、17 日、22 日にも起こった。

下流にある長田川取水場への影響が考えられたので、長田川の自流量以下の取水を行い、比謝川からの逆流がないような取水方式を取った。長田川取水場では取水量に対し活性炭 5ppm 注入、コザ浄水場でも未知成分対策として活性炭 5ppm 注入、17 日に安全性を確認して注入を停止した。

昭和59年 1 月 23 日の新聞報道で事故を知った、那覇防衛施設局、米軍（海軍、空軍、海兵隊）の公害関係担当者と局の担当者は、同日午後 3 時頃から事故の状況説明と対策についての意見交換を行なった。

当洗機場排水口に流出する米空軍、海軍の施設があり、どこからの排水か確認

されておらず、責任問題について言明出来ない状況であった。

米軍からは事故の場合の連絡体制を取り対応したい、局からは早急に対策を取り即時に解決するよう要請した。

8 米軍基地から油流出事故

昭和63年4月19日午後5時半頃、コザ浄水場の職員が定期点検で河川を見廻っていたところ、比謝川の支流である与那原川に油が浮いているのを発見した。調査の結果、汚染源は、比謝川合流点から与那原川上流約800m地点に、キャンプシールズ（米海軍基地）の排水溝から油が流出している事を確認した。

午後9時頃、比謝川取水場で油膜と微油臭が検知されたので、取水制限（平常時の半分量）して、活性炭注入（注入率：10ppm）を開始した。

一方、事態を重視した県公害対策課、公害衛究、企業局は基地涉外課を通し、空軍環境衛生課、海軍の環境保全担当官、合同で4月20日午前10時半頃から基地内の汚染源調査を実施した。汚染原因は、アスファルト填圧機のコールタール等をディーゼル油（約40リットル）で洗浄し、廃油を流した為であった。軍当局は油の回収を実施し、軍人に対し環境保全に対する教育を義務づけることと、キャンプシールズ基地内の当該施設にオイルセパレータ（油水分離槽）を設置する事を約束した。

油の回収が速やかに実施されたことと、比謝川の水量が多かったので、回復も早く、油汚染の影響はその後なくなった。4月20日の水質試験結果、比謝川取水場原水に油臭は無く、その他の項目に異常は認められなかったため、午後1時に活性炭注入を停止し、取水制限を解除した。