

マダガスカル民主共和国  
南西部地下水開発計画調査  
要 約

平成 3 年 7 月

国際協力事業団

社 調 二
C R (3)
91-064



JICA LIBRARY



1097660(5)

22680



マダガスカル民主共和国  
南西部地下水開発計画調査

要 約

平成 3 年 7 月

国際協力事業団

国際協力事業団

22680

## 序 文

日本国政府は、マダガスカル民主共和国政府の要請に基づき、同国の南西部地下水開発計画にかかる開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施致しました。当事業団は、平成元年9月より平成3年3月までの間、4回にわたり、国際航業株式会社の中山政一氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、マダガスカル国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、本調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成3年7月

国際協力事業団

総裁 柳谷 謙介





## マダガスカル国南西部地下水開発計画調査団

### 伝 達 状

平成3年7月

国際協力事業団

総裁 柳谷 謙介 殿

マダガスカル国南西部地下水開発計画調査の最終報告書を提出致します。本報告書は、平成元年9月13日、平成2年5月28日、及び平成3年6月3日の3回にわたる国際協力事業団と国際航業株式会社の間で締結された契約に基づいて作成されました。

調査団は、合計4回の水文地質調査・ボーリング調査を含む現地調査を実施しました。本報告書には現地調査の結果を整理解析して策定したマダガスカル国南西部の地下水による村落給水計画の検討結果が述べられています。

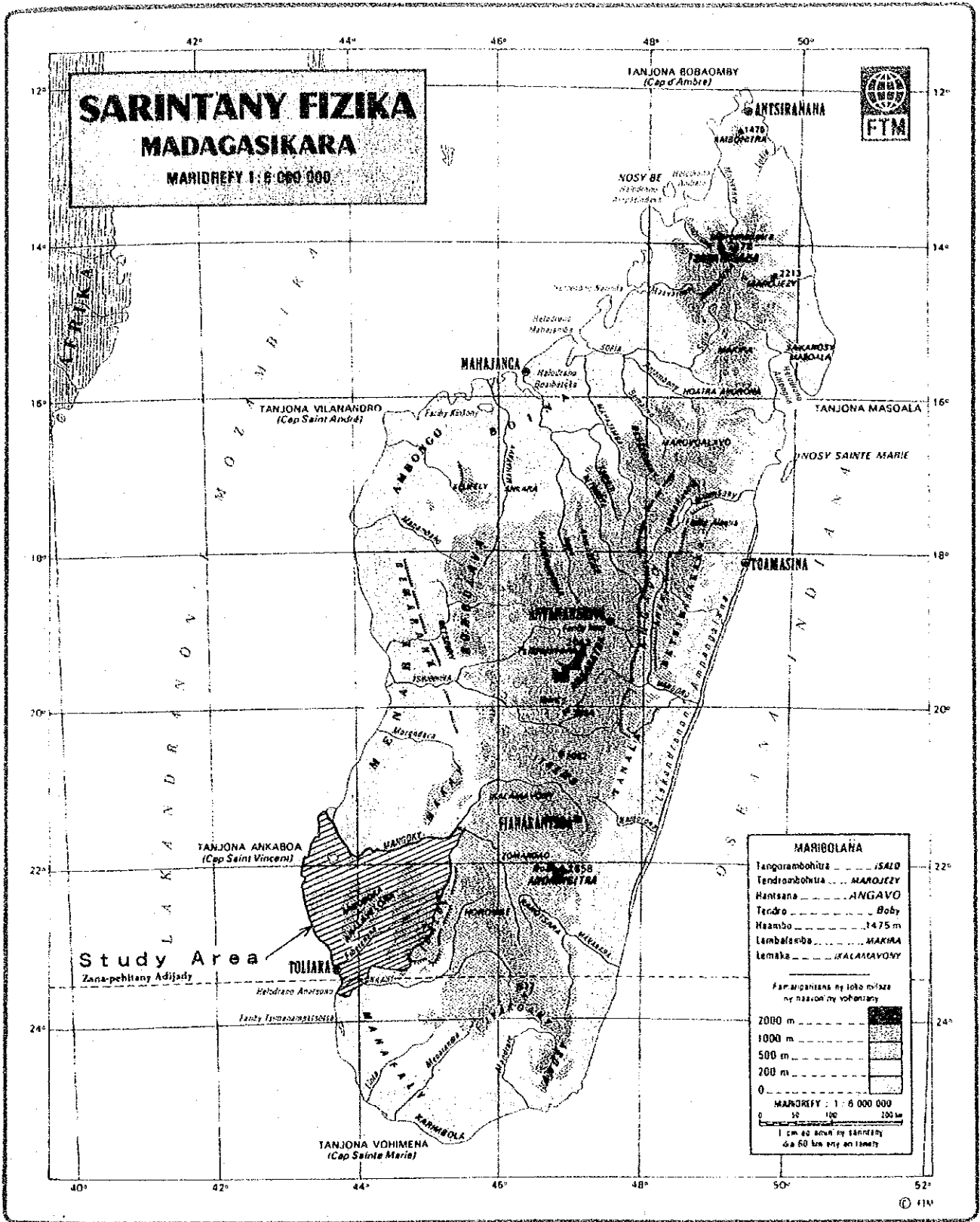
報告書は、概要報告書、主報告書、付属報告書1および2、資料集の5分冊で構成されています。概要報告書は、調査全体を簡潔にまとめ、主報告書には調査の背景、水文地質、地下水資源評価、開発計画、給水事業計画ならびに提言を記述しております。付属報告書には、計画策定に用いた水文地質調査結果の詳細やデータベースマニュアルが、また資料集には電気探査及び揚水試験などの試験記録が収録されています。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間に渡り多大なご支援を賜った貴事業団、外務省、在マダガスカル日本大使館の諸賢ならびにマダガスカル政府諸機関の関係各位に対し、心からの感謝の意を表すると共に、本調査の成果がマダガスカル民主共和国の社会開発および経済発展に寄与することを希望する次第であります。

調査団長 中山 政一

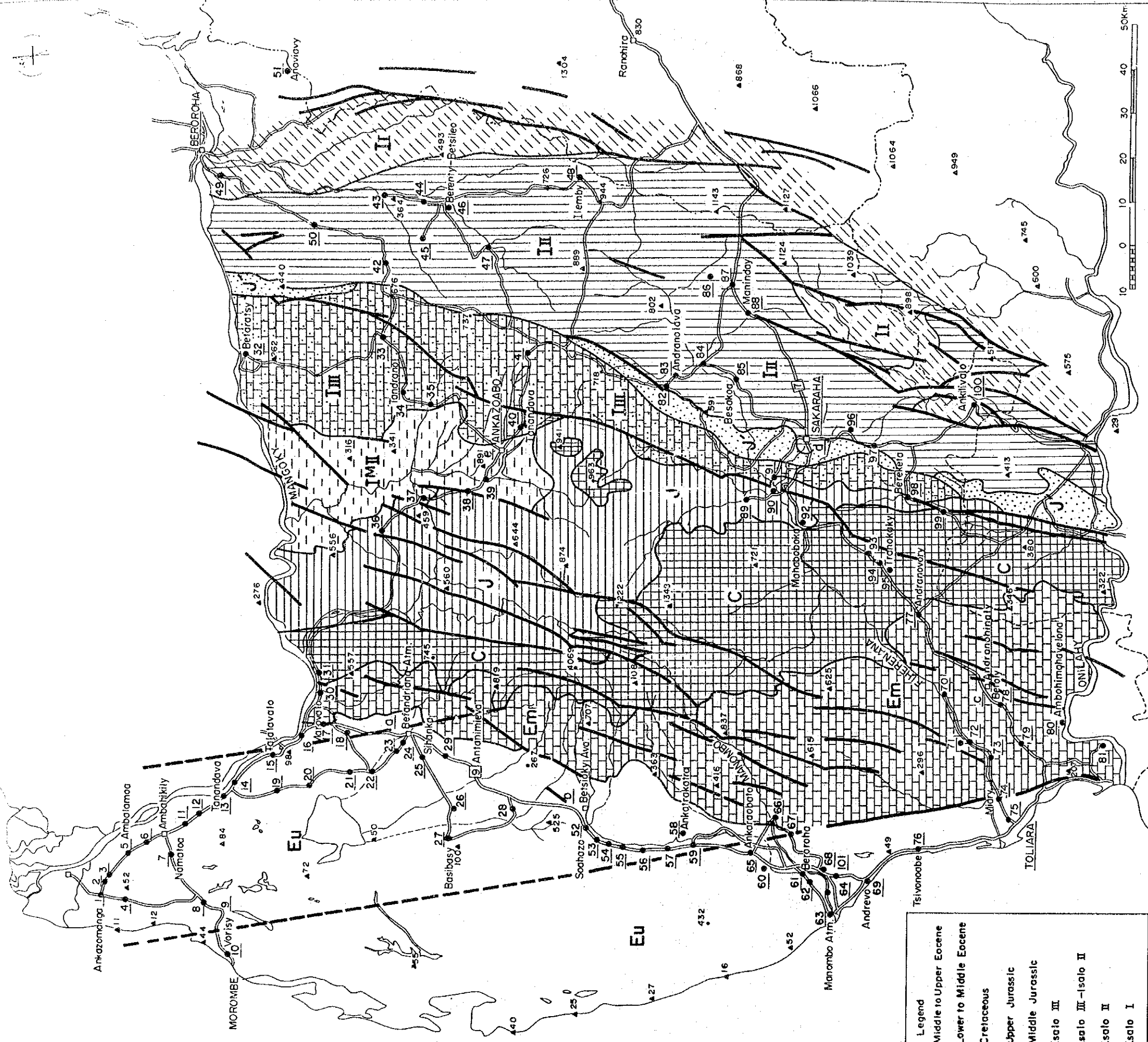


調査位置図





マダガスカル国南西部地質概略図



**Legend**

Eu	Middle to Upper Eocene
Em	Lower to Middle Eocene
C	Cretaceous
J	Upper Jurassic
J'	Middle Jurassic
III	Isalo III
III	Isalo III - Isalo II
II	Isalo II
I	Isalo I

No Villages

I. Fiv. MOROMBE

- 1 Ankazomanga
- 2 Beadabo
- 3 Befasy
- 4 Ankilifolo(1)
- 5 Ambalanca
- 6 Tsianihy
- 7 Namatoa
- 8 Mangolovolo
- 9 Ankida
- 10 Vorisy
- 11 Andranomanintsy
- 12 Berantala
- 13 Tanandava
- 14 Antsakoabe

II. Fiv. ANKAZOABO ATM

- 15 Talatavato
- 16 Ambiky
- 17 Marovato
- 18 Andranoboka
- 19 Sitrabondro
- 20 Mahavozokely
- 21 Antranosatra
- 22 Manoy
- 23 Ampoza
- 24 Ankilifolo(2)
- 25 Sihanaka
- 26 Bemoka
- 27 Basibasy
- 28 Analatelo
- 29 Mangotroka
- 30 Nosy-Ambositra
- 31 Tsiarimpioke

III. Fiv. BEROROHIA

- 32 Betaratsy
- 33 Andranomanintsy
- 34 Tandrano
- 35 Ampandramitsetaky
- 36 Andranomafana
- 37 Mamakiala
- 38 Berenty-Ankilimasy
- 39 Betsinefo
- 40 Tanandava
- 41 Ampoza
- 42 Ipetisa Atm
- 43 Mandabe Atm
- 44 Soatanimbary
- 45 Sahanory Atn
- 46 Berenty-Betsileo
- 47 Ankilivalokely

IV. Fiv. TOLLARA I/II

- 52 Soahazo
- 53 Analamisampy
- 54 Belitsaka
- 55 Ampasikibo
- 56 Namaboha
- 57 Antseva
- 58 Ankilimavotoka
- 59 Ampihamy

V. Fiv. SAKARAHIA

- 60 Ambondro
- 61 Beroroha
- 62 Anisomarify
- 63 Manombo-Atm
- 64 Antandroka
- 65 Ankaraoabato
- 66 Andoharano
- 67 Tsefanoka
- 68 Benetsy
- 69 Andrevy
- 70 Anjamala
- 71 Ampihalia
- 72 Behompy
- 73 Ambolonkira
- 74 miary
- 75 Betanamy
- 76 Tsvonoabe
- 77 Andranovory

VI. Fiv. ANKANALIMANINA

- 78 Befoly
- 79 Ankororoka
- 80 Ambohimahavelona
- 81 Manoroka
- 82 laborana
- 83 Andranolava
- 84 Lambomakandro
- 85 Besakoa(1)
- 86 Besakoa(2)
- 87 Ampandra
- 88 Maninday
- 89 Bevoalavo
- 90 Tanambao
- 91 Ambahimalitsy

VII. Fiv. ANKASINANY-VINETA

- 92 Mahaboboka
- 93 Mahasoa
- 94 Andanasiny-Vineta
- 95 Tranokaky
- 96 Analamary
- 97 Antaninora
- 98 Bereteta
- 99 Ankilimitraoka
- 100 Ankiilivalo

VIII. Fiv. ANKAZOABO ATM

- 92 Mahaboboka
- 93 Mahasoa
- 94 Andanasiny-Vineta
- 95 Tranokaky
- 96 Analamary
- 97 Antaninora
- 98 Bereteta
- 99 Ankilimitraoka
- 100 Ankiilivalo

a Befandriana  
b Betsioiky Nord  
c Andranohinaly  
d Sakaraha  
e Ankaraoabo



## 目 次

### 序 文 伝 達 状

1. 序 論 .....	1
2. 社会・経済 .....	6
3. 水文地質調査 .....	10
4. データベース .....	37
5. リハビリテーション調査 .....	38
6. モデル施工とモニタリング .....	40
7. 地下水資源の評価 .....	41
8. 候補村落 .....	49
9. 開発計画 .....	67
10. 結論と提言 .....	91





## 1. 序 論

### 1. 1 調査の背景と目的

#### 〈調査の背景〉

マダガスカル政府は、第三次国家開発5ヶ年計画（1986～1990）において、①食糧の自給、②輸出の振興、③農業生産の拡大による国民生活水準の改善を、主要目標としてかかげている。

マダガスカル国は人口の8割が農耕及び畜産に従事している農業立国であり、したがって、国家開発計画の実行計画は農村地域の開発に主力を注ぐことに重点を置いている。

この国家開発計画の最優先努力目標の一つとして、2000年までに、全住民に対して安定かつ衛生的な生活用水を供給することが提起されている。この目標達成のために、マダガスカル政府は、それまで同国における給水施設の開発・実行・管理を担当していた機関を母体とする「マダガスカル電気・水供給公社」（J I R A M A - Jiro and Rano Malagasy-）を設立した。

これによって、給水事業はかなり進歩をとげたが、それは未だ途についたばかりの状況にある。

現在、マダガスカル国の上水道普及率は全人口のわずか18%にとどまっており、しかも、そのうちの91%が都市部に集中している。このために、農村地域の大多数では、胃腸病や住血吸虫病を主とする飲料水関連の病弊が地域住民とくに若年層の間に慢性的に発生していて、若年層の死亡率が高く、農業の生産性向上や地域開発の進展を大きく阻害している。

このような状況を打開するために、マダガスカル政府は、二国間及び多国間援助による村落給水施設の建設事業を推進してきたが、それは極く一部の地域にとどまっており、未だ大多数の農村地域住民の飲料水の供給状態は質・量共に劣悪な状況下にある。

この中でもとくに、オニラヒ川からモロンダバ市に至る間の村落給水事業の推進は緊急を要する最優先課題となっている。

このような背景のもとに、マダガスカル政府は、同国の南西部地域、とくに、オニラヒ川からモロンダバ市に至る地域の地下水資源の評価と開発を実施すべく、1988年8月にそのための協力を日本政府に要請してきた。

これを受けて、日本国政府は本件地下水開発計画調査の実施を決定し、1989年5月国際協力事業団はそのための事前調査団をマダガスカル国に派遣して、本件調査の実施に係るS/Wを締結した。

## 〈調査の目的〉

本件調査の目的は下記の3点に要約される。

- 1) 調査対象地域の地下水資源開発可能量を評価する。
- 2) 開発優先地域（村落を重点）の地下水による給水計画を策定する。
- 3) 調査の実施を通して「マ」国側カウンターパート技術要員に対し、地下水開発調査技術の移転を行う。

## 1. 2 調査対象地域

本件調査の対象地域は、マダガスカル島南西部に位置するトリアラ州のうち、オニラヒ川からマンゴキ川にかけての西部海岸に面した地域（約31,250km<sup>2</sup>）である。この地域は給水政策上マンゴキ南部地域と呼ばれており、モロンベ・アンカゾアボ・サカラハ・トリアラ（Ⅰ）およびトリアラ（Ⅱ）の5県と、ペロロハ県の一部から構成され、地質的にはモロンダバ堆積盆の南部に位置している。

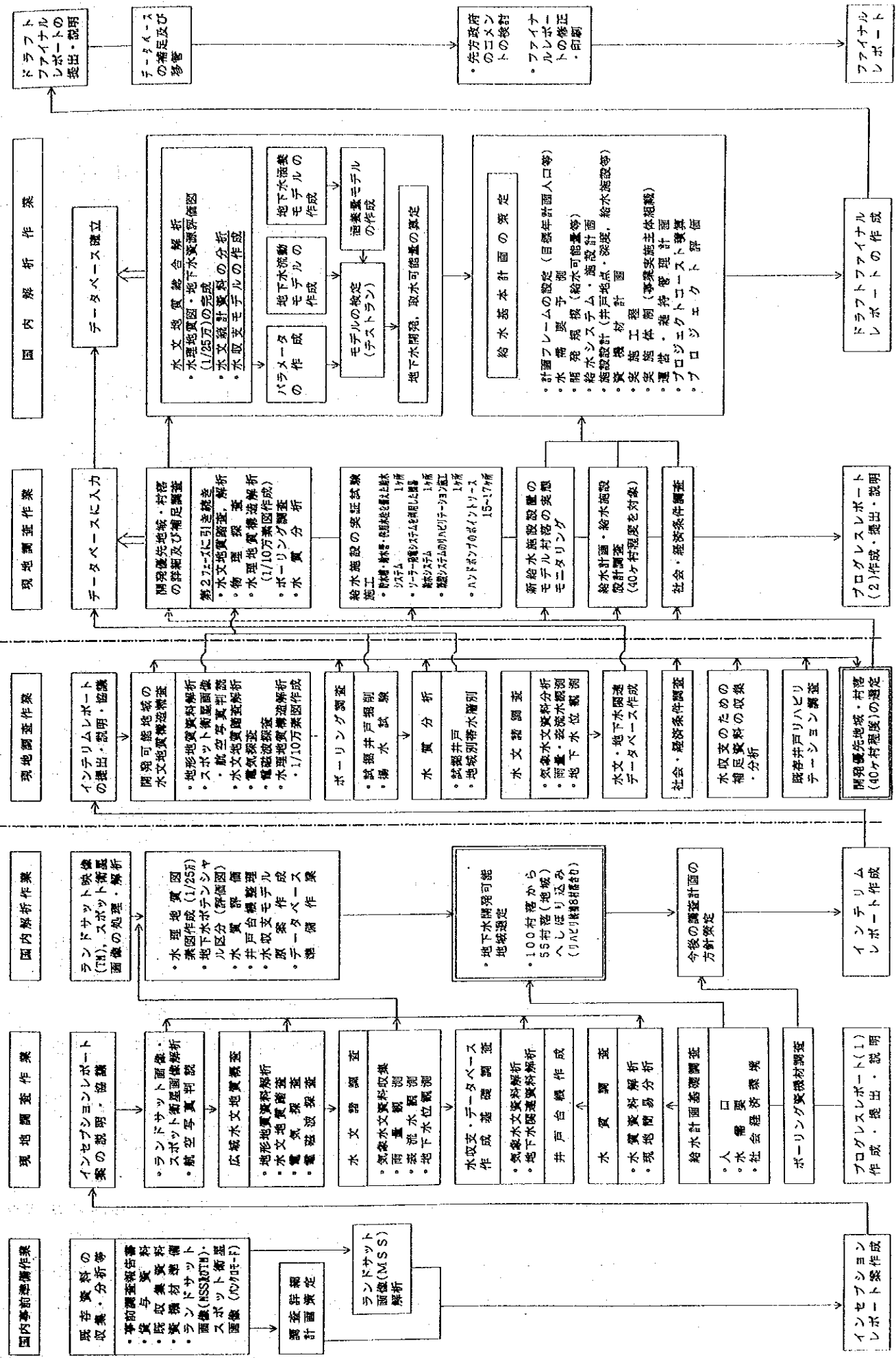
## 1. 3 調査の概要と実施方針

本件調査は、S/Wの合意にもとづき、下記3段階の調査の枠組と方針のもとに実施された。

- ① 第Ⅰ段階：予備解析及び現地概要調査  
既存の調査及び関連資料を検討・解析した。ランドサット画像及び航空写真解析をもとに、地下水開発可能地域の検討に必要な現地概要調査を対象地域の全般にわたって実施した。調査解析結果を水文地質図類にとりまとめ、地下水開発可能地域を評価・選定した。
- ② 第Ⅱ段階：地下水資源の解析及び評価  
ここでは、地質調査・地下水位測定・水質分析・物理探査・試掘井掘削・揚水試験等からなる現地詳細調査を実施した。この調査結果をもとに、地下水資源の開発可能量を評価し、村落給水計画策定のための開発優先地域を選定した。
- ③ 第Ⅲ段階：村落給水計画の策定  
この段階では、社会・経済条件調査、給水に係る施設の試験施工を含む技術的及び制度上等の調査を実施し、これらをもとに地下水開発優先地域における村落給水計画を策定した。

上記にもとづく調査全体の詳細内容と作業工程を図-1に示す。

第1段階調査：開発可能地域の選定(1989年9月～1990年5月) 第2段階調査：開発可能地域の選定(1990年6月～1990年12月) 第3段階調査：給水施設計画の策定(1990年9月～1991年6月)



#### 1. 4 調査の実施体制

マダガスカル国政府側の調査実施機関は、工業・エネルギー・鉱山省の水利・エネルギー局が担当し、日本国政府の技術協力の機関として、国際協力事業団がその任にあたった。

調査は1989年9月から1991年3月までの期間に行われた。調査団及びマダガスカル国政府関係者は以下の通りである。

##### (1) 調査団

1. 中山 政一 : 総括
2. 神田 淳男 : 副総括／水文地質 A
3. 杉山 明 : 水文地質 B
4. 大森 正一 : 地形・地質
5. 瀬戸島政博 : ランドサット画像 (TM) 解析
6. 山口 雅弘 : 水文水収支 A / データベース
7. R.R.メディナ : 水文水収支 B / 水文観測
8. 広津 隆義 : 水質分析
9. 田中 正利 : 物理探査 A
10. 梶原 進 : 物理探査 B
11. 田辺 良隆 : ボーリング A
12. 野村 真二 : ボーリング B
13. 藤原 邦夫 : リハビリテーション / 試験施工
14. 成田 博厚 : 給水計画 / 試験施工
15. 荒川 修二 : 施設設計 / 積算
16. 小原 克 : 経済・財務分析
17. 青木 広親 : 通訳

##### (2) マダガスカル国政府カウンターパート

1. ランドリアナリソー・ネルソン : 総括
2. ランドリアナリソン・ジャスティン : 副総括
3. メリー・クリスティーヌ : 副総括
4. ラジョエリサニーナ・アルフレッド : 物理探査
5. ラベマナンツァー・ボニフェス : 水質分析
6. ラゴトナリヴォ・ソロニリーナ : 地形・地質
7. トニハニツツォ・ハンギー : 給水計画 / 社会経済
8. ラザフィンドラベツツィアパローナ・ドリアーナ : 水文水収支
9. ラベナンドラサーナ・エマニュエル : 水文水収支 / データベース
10. ラライアライボニー・ソロフォー・ジョエル : 水質分析

11. ラコトマーヴォ・マーセル	:	ボーリング
12. ランドリアナントアンドロハリソーナリヴォ	:	水質分析
13. ラソロマモンジソー・ナザニール	:	機械工学
14. ラコトヴァ・ベルナルド	:	ボーリング
15. ランドリアナリソー・ソロ・クリストファー	:	水文水収支／ボーリング
16. ランドリアマナリーナ・ジャッキーズ	:	ボーリング
17. ラコトフィリంగా・ジャスティン	:	電気
18. ラナイヴォサン・アルベルト	:	物理探査
19. ラマナトアニーナ・ギルバート	:	給水計画
20. ラザフィンドレーベ・ピエール	:	リハビリテーション
21. ラコトマララ	:	リハビリテーション
22. ラミリジャオーナ・アルベルト	:	リハビリテーション
23. ボト・フランソワ	:	物理探査
24. ラコトンドラマンガ・ジーン・ホノーア	:	機械工学
25. ランドリアナリソー・パトラッシュ	:	物理探査
26. ラコト・アンドリアナリー・ジュール	:	給水計画

## 1. 5 報告書の作成

報告書は概要報告書、主報告書、付属報告書1, 2および資料集の5分冊より構成されている。

概要報告書には調査結果全体の概要が述べられている。主報告書には調査対象地域の社会・経済的背景、河川水文と水文地質、給水計画候補村落の詳細調査結果、地下水開発資源評価、地下水開発計画が述べられており、最後に候補村落の給水基本計画とその事業計画および提言がまとめられている。

付属報告書1には1/10万水文地質図、水文地質断面図（電気探査解析図）および試掘井柱状図が含まれている。また付属報告書2にはデータベースマニュアルと地下水シミュレーションが解説されている。資料集には、水文地質調査に関する物理探査結果の解析資料、揚水試験記録が含まれている。

## 2. 社会経済と関連セクター

### 2.1 マダガスカル及びトリアラ州

#### 2.1.1 一般

総面積592,000㎢の島国マダガスカルは行政的には、ファリタン(州)、フィボンドロナーポコタン(県)、フィレサナ(郡)、フクタン(村)の4階層に区分される。

全国は6州に区分され、以下111県、1,252郡そして13,476の村をもつ。

トリアラ州は面積161,405㎢で、全土のおよそ27%を占め、半赤道気候に属する。21県で構成され、210の郡と2,027の村がある。

国勢調査は1975年に実施されて以後行われておらず、この時の全国民の人口は7,603,000人である。この年の人口を基に2.76%の増加率により推定された人口が一般に用いられており、1985年で9,985,000、1990年に11,443,000と見積もられている。

平均寿命は男性49.5年、女性が51.1年である。

トリアラ州の1985年人口は1,440,000と推定されており、この数字は全国の14%を占める。現地調査によると、このうちの大部分が農業関係の仕事に従事しているものと考えられる。その他には、町民・村民向けの一般商店や運送業等の小規模産業を有するのみである。

#### 2.1.2 経済

1980年代初頭における経済の低迷により、政策を政府中央よりの計画経済から市場経済へ漸次転換しようとしている。

「マ」国政府によって実施されたこの一連の政策により、経済が活性をとりもどしつつあることは最近の経済の状況を見ると明らかである。実際、1988年から1990年の国民総生産(GDP)は、3.82%の成長を示している。この成長は主に第1次産業部門の7%、特に米の生産量が1988年の2,149,000トンから1989年の2,380,000トンへと増加したことに起因する。

1989年のGDPでは、第1次産業が約44%、第2次産業が16%、第3次産業が40%を占めている。世銀の報告によると、1人当りの年間生産は1988年で約US\$180である。国全体での状況と同様、トリアラ州においても、第1次産業の占める比率は大きい。しかし、この第1次産業、農業も、5月から10月まで続く長い乾期の為に滞りがちであり、さらに行路にあたっているモンスーン等による被害といった自然条件による問題と、他にこれといった産業が育っていないことから、州全体の経済状況は、「マ」国の中でも最も遅れたところとなっている。

### 2.1.3 水供給セクター

全人口のうち、飲料水の供給が行なわれていると推定されるのは18%であるが、そのうちの96.5%が都市部に住んでいる。この為、全人口の80%以上を占めると考えられる地方レベルでの水供給は、非常にたち遅れていると言わざるをえない。

厚生省統計によると、胃腸関係の病気は入院患者中の疾病率、死亡率において各々3位を占める。また、現在206,000人がこの分野での医療を必要としており、1987年には690人が死亡している。また、トリアラにおける入院患者中住血吸虫は2.8%であり、全国平均値の0.9%に比べて高い数字を示している。

都市部の水供給は、JIRAMAの管理下にあり、一部では地方の行政が代行している。地方の水供給については、MIEMもしくは地方政府が管理責任をもつ事となっている。

飲料水の供給は重要視され、特に緊急度の高いものについては外国政府、非政府組織等が、援助の手をさしむけている。しかし、資源そのものが限られている為、実施計画は施設の修理、リハビリテーションに偏りがちである。

1986年から1990年にかけての国家計画では、食物の自給、輸出の増加、生活レベルの向上がかかげられていた。これらの目標を達成する為たてられた戦略6項目のうちの1つが、社会生活の改善である。

この観点から優先順位をつけられた分野として、健康、教育、飲料水と公衆衛生があげられている。

水部門では、政策として1992年までに都市部に対し飲料水を供給する事、2000年までに地方においても、各戸から約15分程度の距離内で飲料水を供給することが、目標となっている。更に、この目標達成の為、受益地区からの参加、つまり工事への材料や人夫といった役務提供と、維持管理の為の水料金の徴収が、確認されている。現在、目標達成の為、水供給政策を再検討している段階であり、この為世銀からのミッションが、1990年10月にマダガスカルを訪れている。この結果は、具体的な組織・体制を含めて1991年中にまとめられるものと考えられる。

## 2.2 調査対象地域

### 2.2.1 社会経済の一般情況

#### (1) 地方行政、人口、インフラストラクチャー及び公衆衛生

候補村落として指定されている村落の大部分はフクタン(村)であり、残りはそれより下段の集落単位、コミティ(部落)である。フクタンは地方行政組織の末端に位

置する自治体で公選された村長が管轄しているが、その組織機構及び財政能力は低水準に止まっている。

調査対象地域の大部分の住民は、地域に散在する大小の集落に密集して定住している。集落は自給的な性格が強く、集落内に小学校、教会、何らかの水源地を持つ場合が多い。隣接集落とは、十数キロメートル以上離れているのが普通である。村落の人口は、現地調査によると500～3,000人、平均的な家族構成は6～10人である。一般に村落人口の社会増（減）は、自然増（減）に比して小さい。

地域内に存在する道路網は量的・質的に貧弱であり、地域の社会的・経済的活動を支えるに十分とは言えない。幹線道路であるトリアラーサカラハイホシ（国道7号）及びトリアラーモロンベ（国道9号）ですら部分舗装で、舗装面は損傷はなほだしい。支道の多くは、河やかんがい水路を橋なしで横断しているため雨期には通行不可能となる。

地域内の電化は現在ほとんど進んでおらず、近い将来に進捗する計画は見あたらない。トリアラ市やサカラハ市ではエンジン発電機を利用した部分的な給電サービスを行なっている。

トリアラ市と首都アンタナナリボ市とはマイクロウェーブで結ばれ、この間電話による通話は可能であるが、トリアラ市と州内の各市町村との間には電話回線はない。

調査対象地域では、安全な生活用水の供給が乏しいため、水に媒介されたり、水に関係する伝染病の発生が多く見聞される。しかしながらまだ信頼すべき統計はない。数ヶ村にまたがって存在する診療所が医療活動を行っているが、設備・医療従事者数共に貧弱で、地方住民がそのサービスを受ける機会に限られる。

## （2） 地方経済、農業及び家畜

調査対象地域の大部分の住民は、農業に従事している。綿と米が主要な換金作物であり、地域経済の基本的な収入源をなしている。家畜では牛の飼育が最も一般的で、山羊、羊、豚の飼育は少ない。牛は実益と伝統的な威信表示の手段として住民に好まれている。比較的大規模のかんがい農業（米作）が州の西部と南部の一部に見られるが、一般には天水農法に依存する小規模農業が多い。全般に地域の食糧生産は増加しつつあるが、米を含めてまだ自給レベルに達していない。

牛の飼育は特にアンカゾアボ県、モロンベ県、トリアラ（Ⅱ）県で盛んである。州の東部を主に、牛強盗団が出没して、牛と家財をねらい、人身にも被害を与える保安上無視できない存在となっている。

地方住民の収入レベルについては信頼すべきデータはない。



## 2.2.2 給水セクター

調査対象地域で給水システムの責を負う公共セクターとして、MIEMとJIRAMAの二機関が挙げられる。MIEMは政府機関であり地方の村落給水システムを担当している。他方、JIRAMAは、MIEMの管轄下にある公社で、市域の水道施設を担当している。民間セクターとしては、国道7号線に沿った水源不足地域で盛んに活動している売水業者が挙げられる。

調査対象地域では、水源として地表水・地下水が共に利用されており、主なものとしては河川とその伏流水、かんがい用水、浅層地下水（深度1m前後）があげられる。近年になって地下10m前後の地下水利用が行なわれ始めたが、まだ本格的な開発に至っていない。

調査対象地域に於いて現在稼働している水道は、トリアラ市とモロムベ市の水道施設のみである。トリアラ市の場合、市近辺及び市内のポンプ場で石灰岩層の地下水を汲み上げて利用している。

ポンプ、貯水槽、送水パイプ等の施設の容量が現在の水需要に対して過小であり、老朽化もはなはだしいため、更新の必要に迫られている。給水方式としては各戸給水と共同水栓給水を並用している。JIRAMAが運営に当たっており、料金制度、維持管理体制も確立されている。

大部分の村落住民は、生活用水を旧来の水源である、河川、かんがい水路、素掘り井戸等から得ている。一般にこれ等の水源は集落の中か、その周辺2~300m以内の範囲にあるが、それら水源の多くは病原性細菌類による汚染が主たる原因となって、また水量の面からも、安全な生活用水に供し得る状態のものではない。

1960年代、これらの伝統的水源に加えて、人工的な給水施設としてハンドポンプ付浅井戸、管井戸の建設が、外国援助機関の援助により行なわれた。しかし現在稼働している施設は少く、村落給水の主流となっていない。

MIEM（トリアラ支所）は、村落給水施設の建設、維持管理に対する技術的支援を行っている。しかし、予算、設備、技術要員、予備品等は不足しており、その活動は極めて制限されたものである。

村落住民の水源に対する選好は、水の安全性よりも水の味に重きを置く傾向があり、このために比較的良質な井戸水がわずかの塩気のために敬遠され、外見上にごっており細菌学的にも汚染されている可能性の大きい河川水、かんがい用水がより好まれている実例が見られる。

### 3. 水文地質調査

#### 3. 1 地形と植生

本調査地域の地形はNNE-SW方向に伸びる数列の山地によりその骨格が形成されている(図-2)。

最も東側に位置するイサロ山地(延長約60km)とタンゴロンボヒトラ山地(延長約110km)はイマロト川の支流であるイラカタ川の幅広い谷により隔てられているが、元来は一続きの山地として形成されたものである。両山地の東縁は連続的な急崖をなし、内部にも複雑なパターンの深い谷が発達している。また、タンゴロンボヒトラ山地の中央部には頂部が平坦な卓状の山がいくつか孤立して分布している。

イサロ山地はごく一部が調査地域に含まれるだけであるが、分水界(標高1,200~1,300m)が東に偏って位置しているために、イサハナ川及びマリオ川の主要な涵養域になっている。

これに対して、タンゴロンボヒトラ山地は分水界(標高1,000~1,100m)が西に偏っているためにその一部だけがタハザ川及びフィヘレナナ川の涵養域になっている。

ランボシナ山地は延長約100kmの起伏の緩やかな山地である。分水界(標高700~800m)のすぐ東側が急崖で、その西側の斜面が長く緩やかなため、この山地はサカナバカ川右岸支流の主要な涵養域となっている。また、サコンドリー川の東西両側に伸びる山地は元来ラムボシナ山地と一続きの山地として形成されたものが、その後フィヘレナナ川とサコンドリー川により侵食・分断されたものと考えられる。

アナラペロナ山地は幅約35km、延長約100kmで、分水界(標高1,000~1,300m)が西に偏っているために東側の斜面が長く、そこがフィヘレナナ川右岸支流の主要な涵養域となっている。また、ヘレアの高原を含む山地の北部はサカナバカ川の主要な涵養域となっている。

ミコボカ山地は中心部の幅が約25kmあるが、北部でシキリイ川の谷を挟む東西2本の支脈に分れ、マンゴキイ川の北にまで伸びている。この山地の分水界(標高1,000~1,100m)は東に偏っているために西側斜面が長く、海岸方向に流下する多数の河川の主要な涵養域となっている。この山地と前述のアナラペロナ山地の間には幅の広い低地はなく、マノムボ川上流からシキリイ川上流に続く直線的な深い谷が両者を隔てているに過ぎない。

ミコボカ山地の西側からアナラペロナ山地の南側にかけては標高が200~400mで全体が西及び南に緩く傾斜した台地(以後、ペロモトラーピネタ台地と呼ぶ)が広がっている。アナラペロナ山地の南側では台地の幅は60kmにも達し、オニラヒ川を越えてさらに南へ伸びている。この台地は全体としては平坦であるが、複雑なパターンの深い谷によって刻まれている。



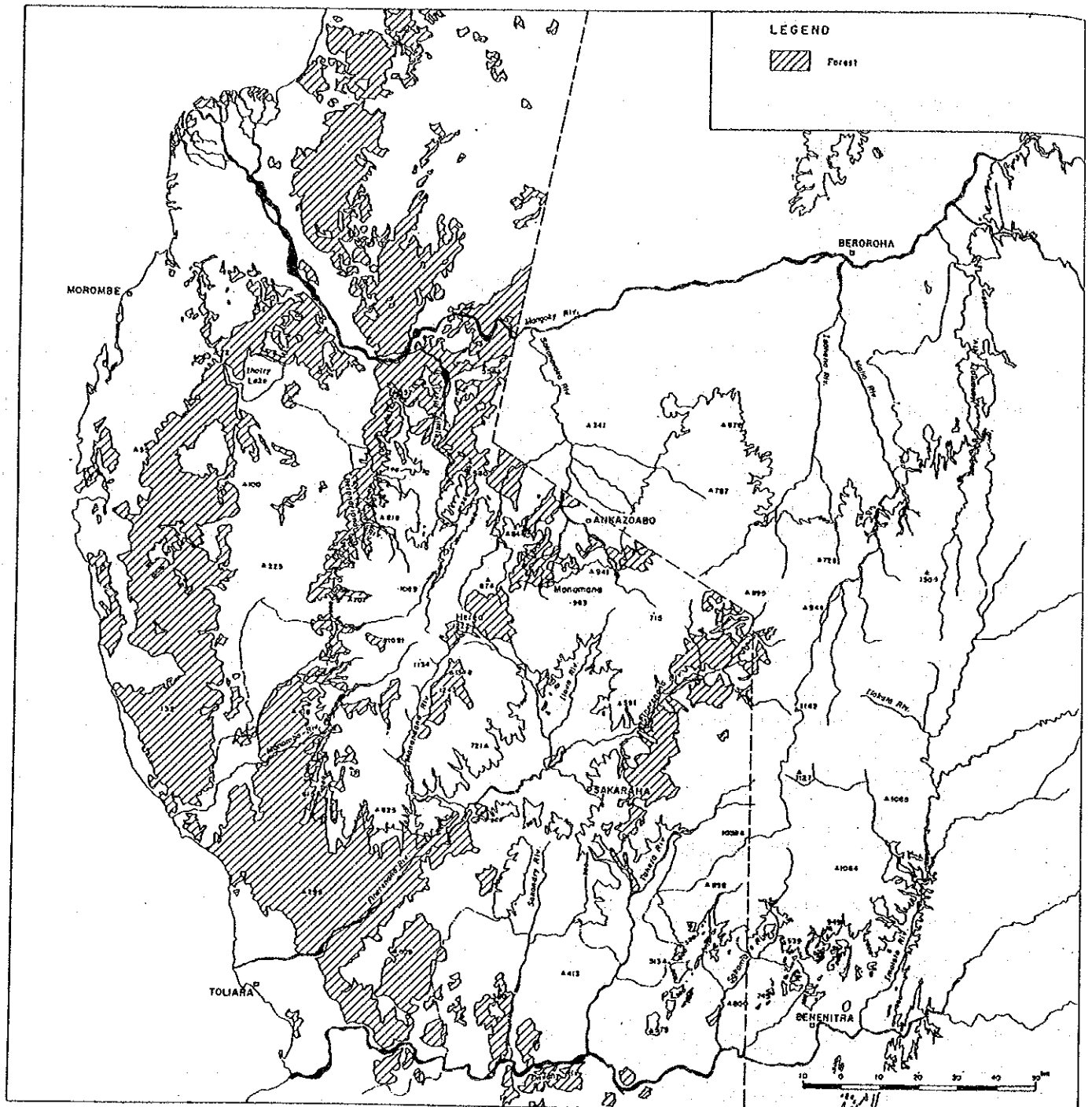


図-3 LANDSAT TMデータ（1985年1月17日及び2月27日撮影）より作成したマダガスカル国南西部の森林分布図

上述の台地の西側は海岸線まで標高が200m以下の平野（以後、Coastal Plainと呼ぶ）で、北縁にはマンゴキ川の大規模なデルタが、南端にはフィヘレナナ川の小規模なデルタが展開している。この平野の幅は北部で広く最大70kmあるが、南に向かって狭くなり、オニラヒ川の河口ではペロモトラーピネタ台地が直接海に臨んでいる。また、イホトリ湖西縁とマノムボ川の河口を結ぶ線より東側にはミコボカ山地西縁を扇頂とする6つの扇状地が北から南に連なっている。この扇状地が連続するゾーンに発達する水系は大別すると、イホトリ湖に流入するものとマノンボ川に流入するものに二分されるので、前者の支配する区域をイホトリ湖ベーズン、後者の支配する区域をマノンボベーズンと呼ぶことにする。

調査地域内には、この他にいくつかの低地がある。このうちイサヘナ川、サカナバカ川、フィヘレナナ川のそれぞれ中流（いずれも標高300~500m）に形成されている低地（以後、それぞれイサヘナベーズン、サカナバカベーズン、フィヘレナナベーズンと呼ぶ）は多くの支流により侵食された多角形の山間盆地で、周辺の山地との境界はかならずしも明確ではない。いっぽう、タヘザ川とサCONDリ川に沿ってその下流部に形成されている低地（以後、それぞれタヘザベーズン、サCONDリベーズンと呼ぶ）は幅が狭く直線的で、谷床平野といった方がよいものである。

涵養域における植生の状態は地下水の涵養量を左右する要素として重要である。調査地域では牛や羊の放牧が広く行われていて、年々増加する家畜の放牧場を確保するために最近数十年間で急速に森林が伐採された。一旦作られた放牧場では牧草を更新するために毎年火入れが行われ、再び森林に戻ることはない。マンゴキ川では1970年の1~2月に、フィヘレナナ川では1966年12月にサイクロンに伴う大雨により灌漑施設がかってない被害を蒙ったが、このことは森林の伐採が河川の流況に大きな変化を及ぼしていることを示唆している。

図-3にLANDSAT TM データから作成した土地被覆分類図中の森林の分布を示した。現在森林がまともに残っているのはCoastal Plainの西半部、ペロモトラーピネタ台地、アナラペロナ山地の東斜面からヘレア高原にかけての区域、フィヘレナナ川上流からタヘザ川上流にかけての区域などであるが、前二者の森林を構成しているのは乾燥地域特有の灌木が主体で、保水能力は低い。

### 3.2 地質

#### (1) 層序・層相

調査地域に分布する地層の区分の仕方や各層の時代は資料により多少異なる。表-1に、本報告書で採用した地質層序を示した。

##### 1) 先カンブリア系

先カンブリア系は硬い変成岩及び深成岩から成り、調査地域の東縁部にわずか

表-1 地質層序表

地質時代		地層名	
新	第四紀	第四系	河床堆積物
			砂丘砂層
			扇状地堆積物
生	新第三紀	新第三系	
代	古第三紀 (始新世)	始新統	中・上部
			下部
中	白亜紀	白亜系	上部
			下部
生	ジュラ紀	イサロ層群	海成ジュラ系
			上部
			中部
代	三疊紀	サカメナ層群	下部
古	二疊紀	サコア層群	
	石炭紀	サコア層群	
先	カンブリア紀	先カンブリア系	

に露出するのみである。石炭系のサコア層群及び二疊系のサカメナ層群はこの先カンブリア系に不整合または断層で接している。このうちサコア層群は基底に漂礫岩を持ち陸成層を主体としているが、サカメナ層群は陸成層のほかに潟成層や海成層を伴い、同層群の堆積期間中、環境がさまざまに変化したことを示している。

## 2) ジュラ系

ジュラ系のうち陸成層を主体とした部分は一括してイサロ層群と呼ばれており、下位のサカメナ層群からの移行は漸移的である。下部及び中部イサロ層群は固結度が低く斜層理の発達するアルゴズ質の砂岩および礫岩を主体としているが、上部イサロ層群は海成層を伴い混成相となっている。海成ジュラ系は上部イサロ層群の同時異層で石灰岩や石灰質砂岩を主体としているが、陸成砂岩もかなりの割合で含んでいる。

## 3) 白亜系

白亜系は下部と上部に分けられ、ジュラ系との間に大きな時間的間隙はないようである。下部白亜系は石灰岩で始まるが全体の層厚は薄い。白亜系の主体は上部で、厚い陸成砂岩の上に石灰岩が載っている。この上部白亜系の間には数枚の玄武岩層が挟まれている。最も厚い玄武岩層は100 m以上あり、分布域も南北100 km、東西も100 km以上に及んでいる。また、これは上位層にも熱変成を与えているので岩床として貫入したものと考えられる。

## 4) 始新統

始新統は下部が調査地域全体にわたって主として石灰岩から成るが、中・上部は泥灰質石灰岩、泥灰岩、泥灰質砂岩、砂岩等から成り、調査地域の南部では海成層が、北部では陸成層が卓越している。また、Coastal Plainでは始新統に貫入している玄武岩の岩類が随所に見られる。

## 5) 新第三系

新第三系は分布が限られていて正確な時代も不明であるが、始新統に不整合で重なる海成層とイサロ層群に不整合で重なる陸成層がある。

## 6) 第四系

第四系には扇状地堆積物、新旧の砂丘を形成する砂層、河床堆積物等がある。このうち扇状地堆積物は地形図及び衛星画像の上で識別された6つの扇状地に分布することが期待されたが、本調査の結果では典型的なものは一部を除いて見出されなかった。

## (2) 地質構造

調査地域とその周辺では過去に石油探査を目的として深度1,000~4,000mのボーリングが10本実施されているほか、重力探査や空中磁気探査も全域にわたって行われている。これらの資料に、今回実施した地形地質調査結果を加味し、調査地域の地質構造を概観する。

イサロ山地の東側に広く露出している先カンブリア系基盤岩の上面は西に向って急激に深くなり、その上に古生界以上の地層が厚さ5,000~8,000mで重なっている。これらの地層は大局的には緩く西側に傾斜しているので、地表では西側ほど新しい時代の地層が帯状に分布する。しかし、この帯状構造はいくつかの系統の断層により乱されている。

第一の系統の断層は先カンブリア系基盤岩の西縁に雁行状に発達する南北方向の断層群である。石炭系のサコア層群・二疊~三疊系のサカメナ層群はこの断層群の西側にのみ分布するので、この断層群は古生代の初期に主要な活動をしたものと考えられる。

第二の系統の断層はNNE-SSW方向で調査地域中央部を縦断するイロボ断層である。この断層は陸成層を主体とする古生界及び下部ジュラ系の西縁に限るとともに海成の中・上部ジュラ系を変位させていることから、古生代に発生してジュラ系以後まで活動を続けたと考えられる。

第三の系統の断層はアナラベロナ・ミコボカ両山地に分布するNNE-SSW方向の断層群で西落ちと東落ちの断層が交互に配列して地壘と地溝を形成している。この断層群は始新統を変位させるとともに玄武岩の岩類の配列を規制していることから、始新世以後に主要な活動をし、火山活動を伴ったと考えられる。

第四の系統の断層はタンゴロンボヒトラ山地に分布するNNE-SSW方向の断層群である。この断層群も第三の系統の断層群と同様に地壘と地溝を形成しているが、地壘の頂部には陸成新第三系が載っているため、新第三紀以後に主要な活動を行ったと考えられる。

第五の系統の断層はペロモトラーピネタ台地の西縁に限る断層群（トリアラ断層）で、従来はマノンボ川以北の位置が推定の域をでなかったが、今回の衛星画像判読によりイホトリ湖の西縁に伸びていることが分かった。この断層群はN-SもしくはNNW-SSE方向に平行に発達し、第三の系統の断層群を切っているため最も新しい時期に活動したと考えられる。



### 3. 3 気象

#### (1) 季節・気温

マダガスカルは季節は大きく11～3月の雨期と4～11月の乾期に区別される。

年間平均気温は海岸地域でおよそ24℃、中山間地では22℃程度である。最低及び最高気温は、海岸部のトリアラが11月に14.5℃、12月に31.4℃であり、中山間部のラノヒラでは7月に10.6℃、11月に30.5℃である。

#### (2) 降雨

降雨量の少ない海岸地域では雨期は12月～2月の3か月間で、月雨量も100mmを超えない。いっぽう、降雨量の多い山間地域では雨期は11月～3月の5ヶ月間で、多い月には平均200mmを超える降雨がある。

年間降雨量は海岸地域部（トリアラ付近）で最も少なく、平均380mm程度であり、イサロ山地東側のラノヒラやマンゴキ川の北のマンジャでは900～1,000mmである。

各観測所の1950～1988年における年間降雨量平均値に基づいて等雨量線を作成した。図-4に示すとおり、調査地域の降雨量は全体として南西部から東部及び北部に向かって増大している。ミコボカ山地を中心に800～900mm以上の降雨量が考えられる。

乾期にはほとんど雨は降らず、晴天日が連続する。乾期から雨期への移行期には午後または夜間に雷鳴と稲妻を伴う雨がしばしば降るが、雨域は狭く、雨雲は早い速度で移動するので降雨量の地域差が大きい。雨期には広い範囲で雨雲が広がり、しばしば数日間にわたって雨が降る。マダガスカル島の北東部で発生したサイクロンがこの地域に襲撃するものもこの時期で、その場合には多量の降雨がもたらされる。

#### (3) 蒸発、蒸発散

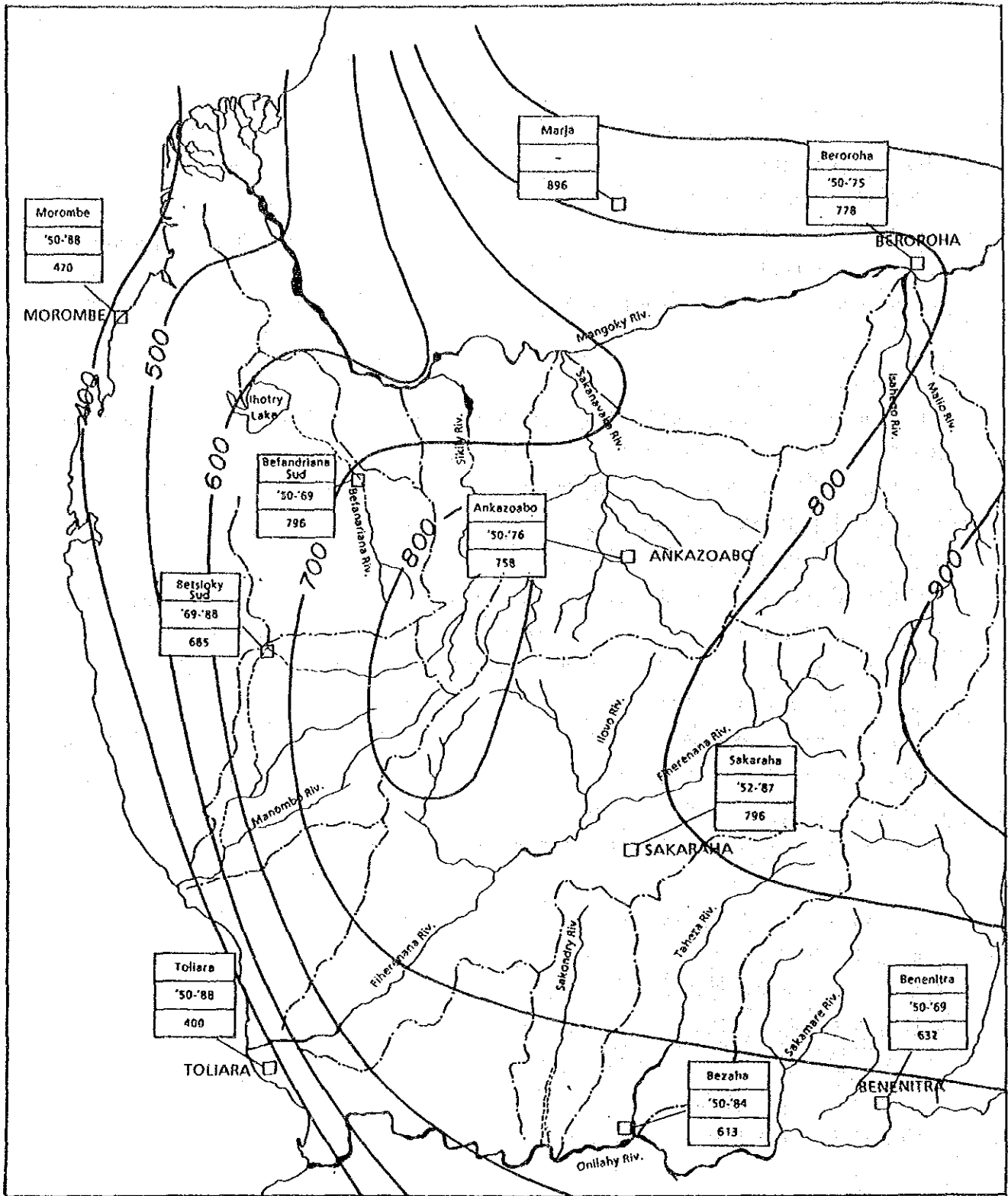
蒸発はトリアラ、モロンバ、ラノヒラの3地点で観測されているが、いずれも百葉箱中のピッチ蒸発計のみであり、特にこのような乾燥地であることを考慮すると、蒸発散推定の根拠とはならない。

この3観測所の気象資料を用いて年間蒸発散を計算すると修正ペンマン法では、ラノヒラで1,664mmとなる。

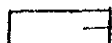


いずれも年間降雨量よりもはるかに高い値である。




#### (4) 気候区分

上述のような降雨量と気温の関係から調査地域の大部分はコッペンが定義した乾燥気候帯外縁のステップ気候帯に属するといえる。全体的に降雨量が少ないのはこの地域が雨期に東から吹込む貿易風に対して風下側に当たっているためである。アナラベロナ、ミコボカ両山地の北部からマンゴキ川周辺にかけて雨量が多いのは雨期に北から襲撃するサイクロンがこれら山地にぶつかって降らせる雨によるところが大きいものと考えられる。



**LEGEND**

-  Station
-  Collected record
-  Average of annual rainfall

-  - Rainfall contour line (mm/year)
-  - Catchment area
-  - River

0 10 20 30 40 50km

図-4 観測所位置及び等雨量線図

### 3. 4 表流水

#### (1) 河川及び流量資料

マダガスカル南部の水系を図-4に示す。

調査対象地域は北端をマンガキ川、南端をオニラヒ川にはさまれており、各河川はマダガスカル島の東部山地により端を發し各々西流するものである。

地域内河川の概要は次頁に示すとおりである。

マンガキ川は流域面積が約54,000km<sup>2</sup>（ベボイ観測所）と大きく、これはマダガスカル島全面積の1/5に相当する。オニラヒ川はこれに続いて大きくおよそ29,000km<sup>2</sup>（トンゴボリ観測所）である。

マノンボ川はミゴボカ山脈より西流する河川で流域面積はおよそ500km<sup>2</sup>（アンドラ地点）、フェヘレナナ川は、対象地域の中央部分を西流する河川であり、流域面積はおよそ6,700km<sup>2</sup>（ベホンピー観測所）である。マンガキ、オニラヒ川の本流では乾期においても一定の流量があるが、それ以外の中小河川は洪水のある一時期を除くと特に中・下流部では流水が見られなくなる季節河川である。流量観測は、1960年代まではベボイ、イホシ等の観測所で行なわれていたが、その後中断した後、いくつかの観測所で部分的に再開されたのみである。結果として、対象地域内については時系列として評価できる資料は少ない。

#### (2) 流量観測

流量観測時の踏査結果によると、河川流域の概況は以下のとおりである。上流域では牛・羊の放牧が広く行なわれている。さらに地域内の道路（周辺）において農業用の焼畑及び最近人口増加の激しいトリアラ・サカラハ等の市・街部への燃料補給の為の森林伐採が急速に進んでいる。

もともと乾燥地域で表層土壌・降雨強度等で侵食の起きる条件が高い為、結果として、2次、3次河川も含めて多くの河川において河床上昇が進んでいる。

一斉流量観測の実施時期は1990年の6～7月及び9～10月の2回である。主な観測は、各主要道路と各河川本川・支流の交差点で行なった。結果及び比較の為の比流量(e/sec/km<sup>2</sup>)概要は以下のとおりである。

河川名	観測地点	流域面積(km <sup>2</sup> )	比流量 (ℓ/sec/km <sup>2</sup> )	
			6-7月	9-10月
サカナバカ川	アンカゾアボ	332	—	6.02
マリオ川	} 合流点直上流	2,046	5.99	6.23
イサヘナ川		1,870	2.54	1.28
サカンドリ川		国道10号線との合流点	727	—
タハザ川	タハザダム直上流	1,600	9.34	9.63
フィヘレナナ川	アンタララバ	2,157	4.34	3.16
	ベホンピー	6,755	1.39	0.47
マノンボ川	アンドアラノ	508	4.14	2.52

乾燥期の河川の特徴として乾期においては逆に河川から地下水への涵養が起こっている。そのため、計測する地点によっては、河川から地下水への涵養値（基底流量として）よりも低い数値を示すものと推定される。

この点も考慮しながら、この比流量によって涵養量の傾向を比較する事はできる。

- イサヘナ川の値はマリオ川の値より相当低い。これは、マリオ川ではイサロ山地をも流域に含み、全体として降雨量が多い為であろう。
- サカナバカ川の比流量はマリオ川とほぼ同値であるが、計測地点が、アンカソアボと上流域に属し、最末端で計測してマリオ川に比べた場合、実際の流域平均としては低い値となる。
- サカンドリ川はタヘザ川に比較して、極端に少ない値を示す。これは、サカンド川の観測地点がタヘザ川のそれに比べて下流側である事とともに、流域上流部でタヘザ川側の降雨量のほうが豊富である事、地質的にサカンドリ川流域は、涵養されにくい泥灰岩等が多くを占める事があげられる。
- フェヘレナナ川はアンタララバ、ベホンピーの地点で観測したが、ベホンピーの場合、堆砂の直下が石灰岩であり付近の、踏査結果によると河川から地下水側へ涵養を起こしやすい状況にある。

### (3) 流量資料のまとめ

図-5に、主な河川の月別平均流量を示す。流出は主に降雨の時期に支配され、11月頃から増加し始めて、1月頃にピークを迎える。その後、徐々に減じて、5月-10月の間は一定値となる。この時期の流量は主に地下水からの涵養によって形成される基底流量と判断される。

ベトロカ(1967/68)、ベホンピー(1982/83)の日流量をグラフ化したのが図-6である。この場合は流量が、11月中旬から増加しだし、2月の中旬でピークを迎えるのがわかる。この流量は4月から減じ始め8~10月において値がほぼ基底値として、地下水からの涵養に相当することが推定される。

つまり降雨の増減が直接もしくはある期間のずれを伴ってピークを形成させ、乾期には一定の基底値を維持するのが明瞭である。

ベトロカとベホンピーでの資料を基に流出率を検討した。面積降雨量は同等のトリアラ、サカラハ、ラノヒラ、ベトロカの年間降雨量に重みをつけて推定を行なった。

その結果、ベホンピーで20%、ベトロカで18%であった。

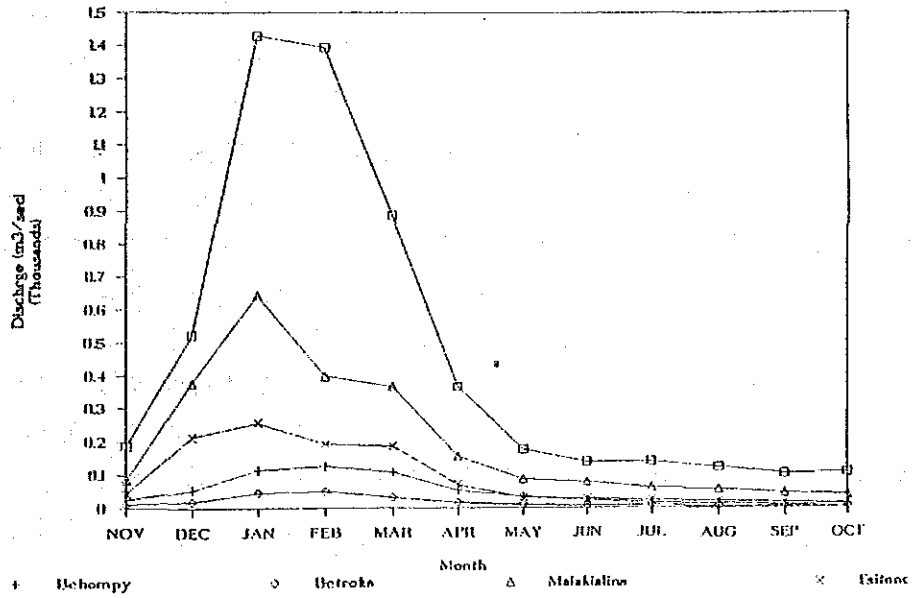


图-5 月別流量图

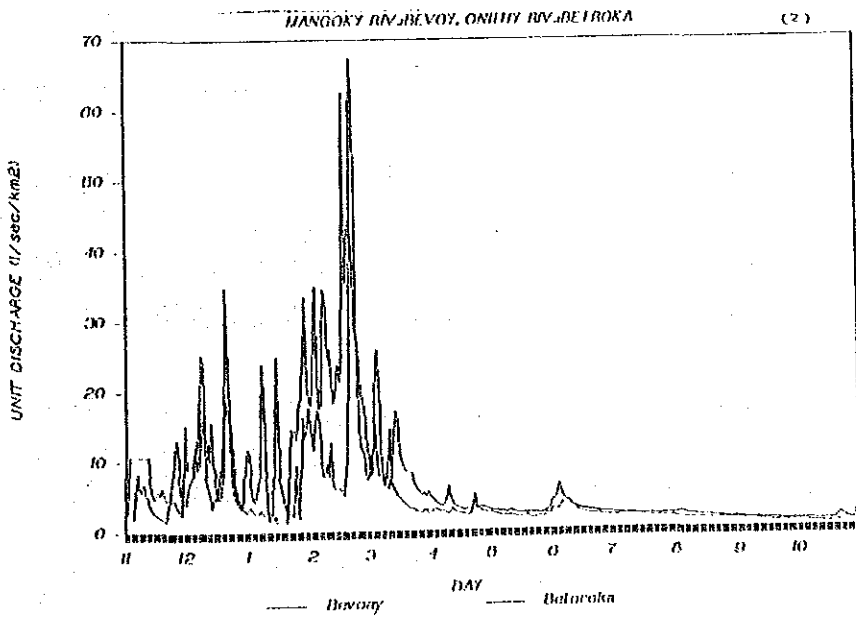


图-6 日別流量图

### 3. 5 既存井と水位観測

#### (1) 既存井と資料

対象地域内には、US A I DやNGOを含む援助団体、M I E Mによるケーシング井戸、コンクリートライニング井戸、手掘り井戸がある。M I E M水文地質部では1989年より全国の井戸についてインベントリーとして位置・深さ等を整理している。

浅井戸・深井戸を問わずケーシング井戸は1970年前後にUS A I Dによって削井されたものである。これ等の井戸についてのボーリング・地質・水理定数等の資料は散逸して残っていない。

ほとんどのケーシング井戸は1965~1970年に掘井されたものであり、地域内での調査数56のうち10ヶ所が現在でも使用されている。21ヶ所は完全に使用不能（砂づまり）の状態であり、25ヶ所はハンドポンプもしくはジェネレーターが故障していた。この25ヶ所について、ハンドポンプのひきあげは行なわなかったが、かなりの数が、砂づまりの為使用不能と考えられる。

村民からの聞き取り調査によると、設置後10年程度で、故障が発生し、その後放置されてしまったとの事であった。

表に示すインベントリーではほとんどのケーシング井が、15~30m程度であり、静水位は5~25mである。コンクリートライニング井戸・手掘り井戸は深くてもせいぜい10m程度である。もっとも深い井戸は、国道9号線沿いにトリアラからおおよそ20km東に位置するアンドラノヒナリーの219mであり、静水位は207mである。

#### (2) 地下水位観測

地下水位の一斉観測は1989年の11~12月、1990年2~3月、6~7月の3度にわたり実施した。ケーシング井、コンクリートライニング井ともに乾期から雨期にかけて多くの井戸で1~2mの水位が上昇している。これ等の井戸では、帯水層が、自由水の影響を大きく受けていると考えられる。

一部、サカラハ（記録計設置井）やミアリー（J I R A M A生産井）等に乾期・雨期でも一定水位、つまり被圧水の傾向が強い帯水層が確認された。

自記水位計は、以下の5ヶ所に設置を行なった。このうち3ヶ所は本調査によるテストボーリング地点に設置したものである。

対象名	深さ(m)	水位(m)	備考
1. ソアハソ	34.0	4.90	テストボーリング
2. アンカラオバト	75.5	3.40	テストボーリング
3. アンバトリリー	17.5	2.7~ 3.9	既存井
4. マニンダイ	73.5	16.29	テストボーリング
5. サカラハ	32.0	10.30~10.40	既存井

※ 1、2、4について、水位は掘削時のもの

水位記録を見ると、ソアハゾ、アンカラオバト、アンバトリリー及びマニンダイでは、降雨の影響をよく反映することがわかる。サラカハについては、1989年12月より、雨期・乾期にかかわらずほぼ10.30程度で一定値を示しており、被圧帯水層であると考えられる。

### 3. 6 物理探査

調査地域の主要部の地下地質構造を把握するため、比抵抗法垂直電気探査（VES）および電磁探査（VLFMT-WADI型）を実施した。

これらの探査箇所はランドサットおよびスポット衛星画像の解析、航空写真判読、地質概査および既存水文地質諸資料の検討・解析によって得られた水文地質条件をもとにして選定された。

#### (1) 比抵抗法垂直電気探査（VES）

この電気探査は、主として、地域別および地質単元別の水文地質構造、帯水層の特性、地下水開発の可能性等を評価するために実施した。電気探査の解析結果をもとに各調査地域の水文地質断面図を作成するとともに、試掘井の掘削候補地点および掘削深度を決定した。

電気探査結果と試掘井掘削および揚水試験結果を比較検討したところ、電気探査は本調査地域の地質条件下においても地下水開発調査の手法として非常に有効であることが判明した。結論として、本調査地域では帯水層の岩相と比抵抗値の間に次のような関連性があることが明らかとなった。

この電気探査の解析結果は、試掘井掘削及び揚水試験結果とともに、「水文地質図（1/25,000）」に明示されている地下水資源評価のための重要な基礎資料になっている。

帯水層の岩相	比抵抗値	帯水層の評価
粘土質泥灰岩	3 - 6	一般的に難透水層であるが、一部帯水層として評価し得る場合がある
泥灰岩	5 - 25	
砂質泥灰岩	4 - 35	
泥岩	10 - 30	部分的な帯水層である場合がある
シルト岩或は砂質泥岩	8 - 30	
泥灰岩質砂岩	20 - 82	一般的に良好な帯水層である場合が多い。
砂岩、泥灰岩或は泥岩の互層	17 - 384	
泥灰岩質石灰岩	30 - 99	
砂岩・含礫砂岩	80 - 2,200	1000 Ω-m 以下の場合は良好な帯水層である
石灰岩	95 - 6,030	
玄武岩質岩類	28 - 1,120	

## (2) V L F 電磁探査 (W A D I 型)

この電磁探査は断層や亀裂帯によって規制される地下水の開発調査を主目的に実施された。

本調査地域においては、断層・亀裂帯の分布状態とそれへのアクセス条件、直射日光に弱い器機の性能条件等の制約から、探査実施箇所は限られたものとなったが、W A D I 型電磁探査手法は断層や亀裂帯の追跡調査にかなり有効であることが判明した。

図-7は、電磁探査結果の一例として、電気探査および電磁探査の解析結果をもとにして作成されたトリアラ平野の水文地質断面を示したものである。この図から、電磁探査の断層調査に対する有効性が良くよみとれる。なお、図右側のミアリー(74)における電磁探査の異状部はトリアラ断層およびその亀裂帯が存在する付近に当ており、トリアラ市の上水道はこの断層・亀裂帯に関連して賦存する地下水を主要水源にしている。

## 3.7 試掘井掘削及び揚水試験

### (1) 試掘井掘削

試掘井の掘削候補地点は、下記3項目の調査目的をふまえて、必要な事前調査を実施したのち図-8に示すように選定された。

- 1) 地下水位および帯水層の水理特性を調査し、調査地域全体の地下水資源の開発可能性を評価する。
- 2) 地下水の飲料水としての適性を調査するとともに、帯水層別および地域別の水質組成の比較から地下水の流動機構を明らかにする。
- 3) 地下水開発優先地域を選定し、その開発計画を策定する。

この試掘井掘削調査は、揚水試験とともに、1990年6月19日に開始され、同年11月1日に全作業を終了した。試掘井の掘削本数は26井で、その掘削総延長は2,096mであった。

試掘井掘削結果の概要は表-2に示す通りであり、上記3項目の調査目的に関する考察および評価を行うための基礎資料が得られた。

地下水位および帯水層の水理特性、地下水の飲料水としての適性、帯水層別および地域別の水質組成の特性に関する考察結果は次節にとりまとめた。地下水の流動機構の考察と地下水資源の開発可能性の評価結果は第4章に、また、地下水開発計画の策定については第9章にとりまとめた。

国道7号沿線の石灰岩台地上における地下水開発については、深度250m以上の井戸掘削を計画する必要のあることが判明した。



VLF 電磁探査  
 によって認められる  
 断層帯 (トリアラ断層)  
 と考えられる異常部

No. 74 Miary  
 No. 75 Befanamy  
 No. A nearby the Isonoabory

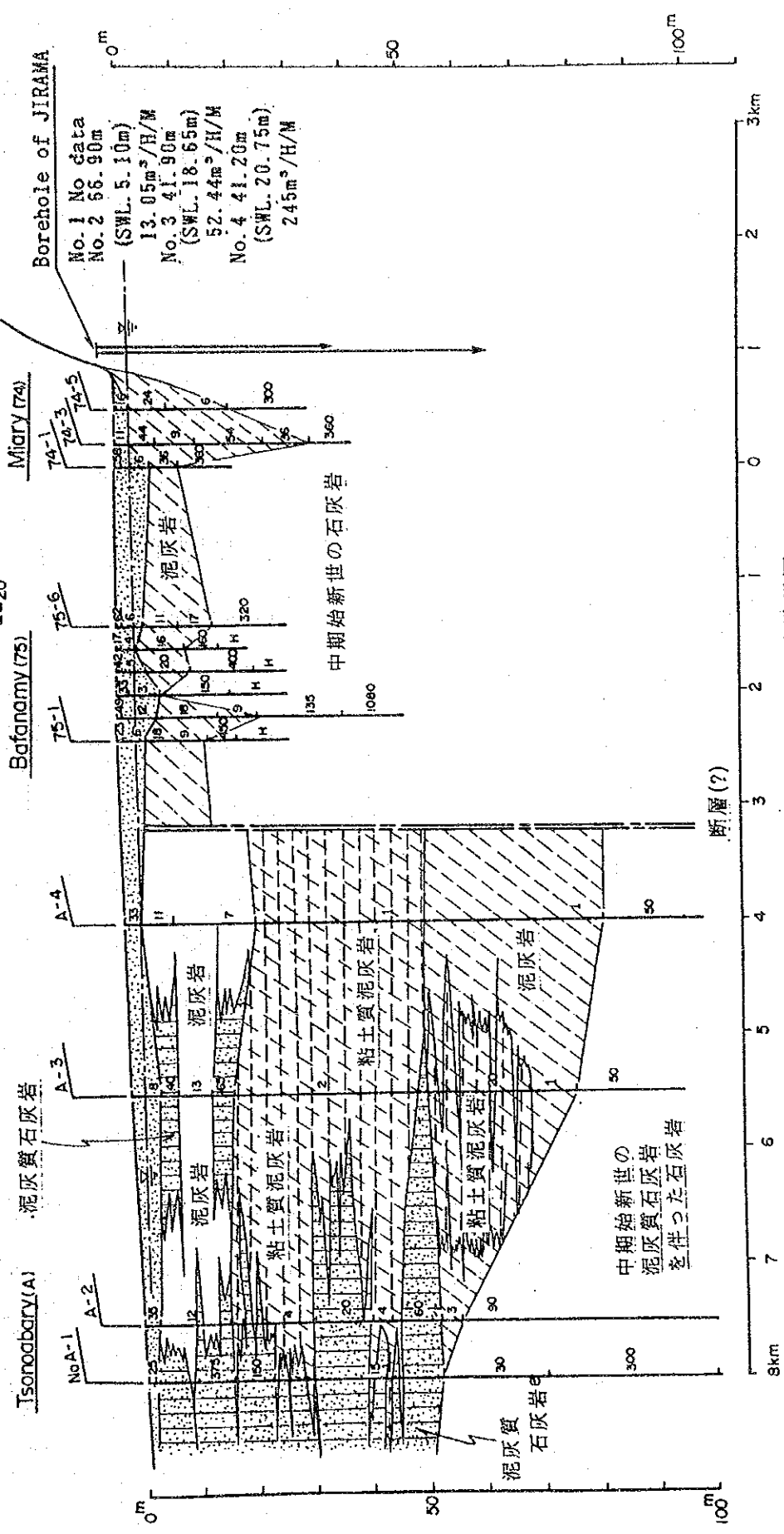


図-7 トリアラ平野の水理地質断面図



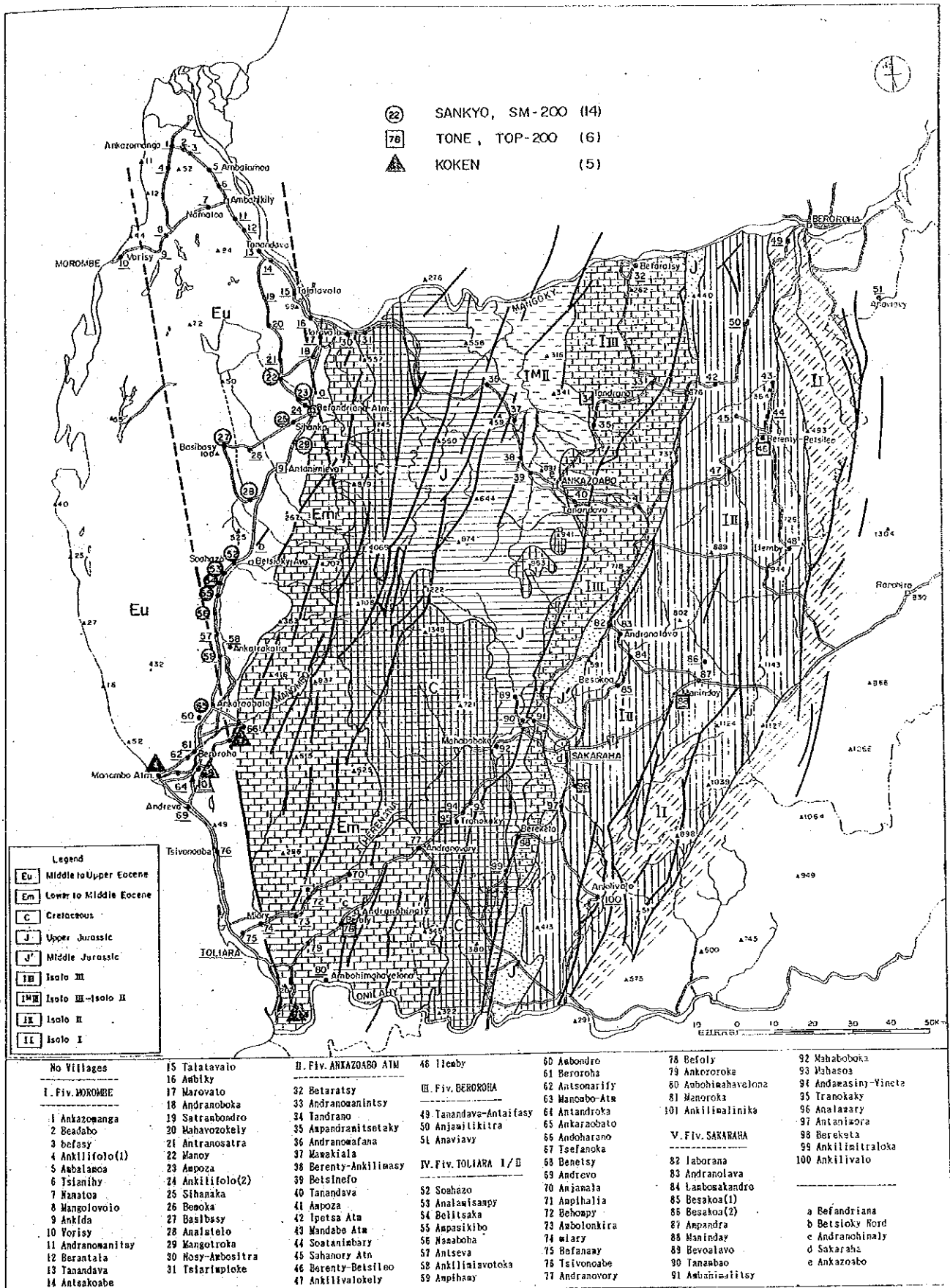


図 - 8 試掘井及び揚水試験位置図



表一 2 ( 1 ) 試験掘及び揚水試験結果

井戸及び村名	ドリル リグ	掘削開始 時刻	掘削終了 時刻	試験 深度 (m)	静水位 (GL-#)	スケリ ン位置 (GL-#)	帯水層 の岩相	揚水量 (Q) 水 位降下 (S) m	比湧出量 Q/mg./#	試験		揚水		電圧 V	電流 A	揚水 深度 m	Cl mg/l	pH
										タイ ス法	ヤコ ブ法	タイ ス法	ヤコ ブ法					
22 マノイ	SANKYO SH-200	25.08.90 31.08.90	25.08.90 31.08.90	42.0	8.37	① 18.4~38.4(4")	① 中~粗粒砂岩及び含礫砂岩	280(-308)	12.16	23.03	4.46×10 <sup>-4</sup>	4.46×10 <sup>-4</sup>	4.46×10 <sup>-4</sup>	1.520	286	7.1		
23 アンボサ	SANKYO SH-200	18.08.90 24.08.90	18.08.90 24.08.90	50.0	5.28	① 15.5~23.5(4") ② 31.5~47.5(4")	① 中粒砂岩 ② 中~粗粒砂岩	283(-310)	9.92	28.53	4.89×10 <sup>-4</sup>	4.71×10 <sup>-4</sup>	8.38×10 <sup>-4</sup>	368	12	7.3		
25 シハナカ	SANKYO SH-200	01.09.90 06.09.90	01.09.90 06.09.90	41.0	5.74	① 19.5~39.5(4")	① 中~粗粒砂岩	300(-307)	1.86	181.29	3.82×10 <sup>-4</sup>	4.32×10 <sup>-4</sup>	3.33×10 <sup>-4</sup>	310	11	7.5		
27 パシバシ	SANKYO SH-200	29.09.90 06.10.90	29.09.90 06.10.90	63.0	14.49	① 31.5~79.5(4")	① 砂質泥灰岩~石灰岩	201(-222)	29.78	6.75	8.89×10 <sup>-4</sup>	9.76×10 <sup>-4</sup>	1.47×10 <sup>-4</sup>	2,740	720	6.8		
28 アナラテロ	SANKYO SH-200	14.09.90 01.10.90	14.09.90 01.10.90	35.0	3.18	① 11.5~31.5(4")	① 砂質泥灰岩・砂質石灰岩・石灰岩の互層	301(-321)	0.06	5,016.67	—	—	—	362	12	7.4		
29 マンゴトロカ	SANKYO SH-200	07.09.90 13.09.90	07.09.90 13.09.90	41.0	3.57	① 14.5~38.5(4")	① 中~粗粒砂岩	336	1.72	186.35	—	1.14×10 <sup>-4</sup>	1.31×10 <sup>-4</sup>	141	12	7.0		
52 ソアハン	SANKYO SH-200	03.07.90 12.07.90	03.07.90 12.07.90	76.0	36.17	① 47.1~63.1(4")	① 砂質泥灰岩	130(-293)	1.08	120.37	—	1.13×10 <sup>-4</sup>	8.20×10 <sup>-4</sup>	1,080	70	7.3		
52-1 ソアハン	SANKYO SH-200	13.07.90 17.07.90	13.07.90 17.07.90	34.0	4.90	① 7.1~15.1(4") ② 23.1~27.1(4")	① 中~粗粒砂岩 ② 砂質泥灰岩	167	5.72	28.20	4.12×10 <sup>-4</sup>	4.69×10 <sup>-4</sup>	7.25×10 <sup>-4</sup>	3,630	252	7.4		
52-2 ソアハン	SANKYO SH-200	18.07.90 25.07.90	18.07.90 25.07.90	71.0	13.11	① 7.5~11.5(4") ② 31.5~35.5(4") ③ 43.5~47.5(4") ④ 砂岩 ⑤ 51.5~55.5(4") ⑥ 59.5~67.5(4")	① 中粒砂岩及び砂質泥灰岩 ② 砂質泥灰岩 ③ 中粒砂岩及び砂質泥灰岩 ④ 砂岩 ⑤ 砂質泥灰岩 ⑥ 砂質泥灰岩	30(-112)	8.09	3.71	3.18×10 <sup>-4</sup>	3.20×10 <sup>-4</sup>	6.84×10 <sup>-4</sup>	1,350	206	7.2		
54 ベリツアカ	SANKYO SH-200	26.07.90 31.07.90	26.07.90 31.07.90	66.0	12.78	① 31.5~47.5(4") ② 55.5~59.5(4")	① 中粒砂岩及び砂質泥灰岩 ② 粗粒砂岩	200(-270)	14.70	13.61	1.08×10 <sup>-4</sup>	1.08×10 <sup>-4</sup>	8.65×10 <sup>-4</sup>	2,080	444	7.0		
55 アムハンキボ	SANKYO SH-200	01.08.90 06.08.90	01.08.90 06.08.90	50.0	9.16	① 23.5~43.5(4")	① 砂質泥灰岩	280(-287)	6.96	40.23	1.30×10 <sup>-4</sup>	8.71×10 <sup>-4</sup>	1.22×10 <sup>-4</sup>	817	22	7.2		
56 ナマボハ	SANKYO SH-200	07.08.90 15.08.90	07.08.90 15.08.90	83.0	16.56	① 39.5~47.5(4") ② 63.5~73.5(4")	① 中~粗粒砂岩 ② 砂質泥灰岩及び砂質石灰岩	247(-268)	16.67	14.82	3.17×10 <sup>-4</sup>	3.10×10 <sup>-4</sup>	6.43×10 <sup>-4</sup>	975	95	7.3		
59 アムビハミ	SANKYO SH-200	07.10.90 14.10.90	07.10.90 14.10.90	53.0	8.30	① 23.5~51.5(4")	① 中~粗粒砂岩	296(-315)	7.03	42.11	—	3.45×10 <sup>-4</sup>	5.64×10 <sup>-4</sup>	996	86	7.2		
65 アンカラオハト	SANKYO SH-200	24.06.90 02.07.90	24.06.90 02.07.90	75.5	3.40	① 15.2~19.2(4") ② 47.2~51.2(4") ③ 55.2~75.2(4")	① 粗粒砂岩 ② 砂質泥灰岩 ③ 中~粗粒砂岩及び石灰岩	339(-351)	2.93	115.70	1.49×10 <sup>-4</sup>	1.57×10 <sup>-4</sup>	1.46×10 <sup>-4</sup>	849	62	7.2		
— ベファンドリアナ	SANKYO SH-200	19.09.90 22.09.90	19.09.90 22.09.90	53.0	12.30	① 18.0~26.0(4") ② 33.0~38.0(4")	① 中~粗粒砂岩	300	0.985	304.57	6.28×10 <sup>-4</sup>	6.54×10 <sup>-4</sup>	5.38×10 <sup>-4</sup>	565	16	7.1		
63 マノンボ-アトム	KOKEN	26.09.90 30.09.90	26.09.90 30.09.90	27.0	4.53	① 11.5~23.5(4")	① 11.5~19.0 中~粗粒砂岩 19.0~21.0 含礫砂岩 23.0~23.5 亀裂の発達した石灰岩	165(-263)	0.39	423.08	—	—	2.36×10 <sup>-4</sup>	1,000	62	7.2		
67 ツイアノカ	KOKEN	08.10.90 12.10.90	08.10.90 12.10.90	45.0	24.30	① 22.0~42.0(4")	① 23~28 泥灰質石灰岩 28~36 粗粒砂岩 36~42 石灰質砂岩	142(-144)	3.05	46.56	1.23×10 <sup>-4</sup>	1.18×10 <sup>-4</sup>	2.17×10 <sup>-4</sup>	602	10	7.4		
68 ベネツイ	KOKEN	01.10.90 06.10.90	01.10.90 06.10.90	72.0	13.51	① 39.5~43.5(4") ② 47.5~51.5(4") ③ 59.5~67.5(4")	①、②、③ 泥灰質砂岩の薄層を挟在する赤色を呈する粗粒砂岩	158(-161)	2.015	78.41	—	2.33×10 <sup>-4</sup>	1.65×10 <sup>-4</sup>	977	58	7.4		
101 アンキマリニカ	KOKEN	22.10.90 28.10.90	22.10.90 28.10.90	66.0	14.35	① 42.0~62.0(4")	① 42~47 砂質泥灰岩 47~52 粗粒砂岩 58~60 泥灰岩の薄層を挟在する粗粒砂岩	152(-155)	1.67	91.02	—	3.02×10 <sup>-4</sup>	2.38×10 <sup>-4</sup>	2,458	134	7.5		
81 マノロカ	KOKEN	15.10.90 20.10.90	15.10.90 20.10.90	58.0	5.23	① 30.0~50.0(4")	① 30~37 粗粒砂岩 37~40 多孔隙石灰岩 40~43 粗粒砂岩 43~50 亀裂が発達した石灰岩	158	0.000	—	—	—	—	1,210	95	7.4		

表一 2 (1) 試掘及び揚水試験結果

井戸及び井名	ドリル リグ	掘削開始 掘削終了	掘削深度 (m)	静水位 (GL-m)	スケリー ン位置 (GL-m)	岩層の 相	揚水		試		水		CI mg/l	pH
							揚水量 (エアリフ ト)	水位降下 (S) m	揚水量 g/min.	揚水量 g/min.	透 水 係 数	電気伝導度 μs/cm		
78	ベアオリ TOP-200	19.06.90 15.09.90	226.5	178.56	①183.5~185.5(6°) ②224.5~226.5 open hole(5°/°)	多孔隙石灰岩及び亀裂の発達した 石灰岩 ①10g/min. ②100g/min.	—	—	—	—	403	14	7.8	
95	トラノオキ TOP-200	14.07.90 23.07.90	181.1	16.57	①35.5~55.5(6°) ②59.5~63.5(6°) ③75.5~83.5(6°) ④99.5~103.5(6°) ⑤115.5~135.5(6°)	①亀裂の発達した玄武岩(C-3) ⑤亀裂の発達した玄武岩及び細粒 砂岩	38.7(-110)	3.32	8.88×10 <sup>-3</sup>	5.05×10 <sup>-3</sup>	884	62	7.5	
34	タンドラノ TOP-200	16.08.90 28.08.90	150.1	32.72	①35.5~55.5(6°) ②99.5~103.5(6°) ③107.5~119.5(6°) ④135.5~139.5(6°)	①細~中粒砂岩 (IⅢ) ②、③細粒砂岩 ④細粒砂岩及びシルト質砂岩	300(-550)	7.20	8.46×10 <sup>-3</sup>	8.45×10 <sup>-3</sup>	410	16	7.4	
46	ペレンテイ ーベツイ レオ TOP-200	29.08.90 07.09.90	140.0	15.54	①39.5~43.5(6°) ②59.5~63.5(6°) ③71.5~75.5(6°) ④79.5~91.5(6°) ⑤107.5~111.5(6°) ⑥127.5~131.5(6°)	①泥灰岩及び泥灰質砂岩 ②、③細粒砂岩(中粒砂岩を伴う) ④シルト質砂岩及び砂質泥灰岩 ⑤シルト質砂岩 (IⅡ) ⑥泥灰質砂岩	60(-90)	44.45	2.76×10 <sup>-3</sup>	3.55×10 <sup>-3</sup>	2,190	248	8.4	
88	マニンダイ TOP-200	25.07.90 31.07.90	73.5	16.29	①15.5~31.5(6°) ②36.5~43.5(6°) ③51.5~55.5(6°)	①風化粗粒砂岩及び含礫砂岩 (IⅡ) ②、③風化粗粒砂岩	360(-480)	8.27	5.97×10 <sup>-3</sup>	8.23×10 <sup>-3</sup>	106	10	6.9	
96	アチラマリイ TOP-200	01.08.90 10.08.90	204.0	35.00	①15.5~31.5(6°) ②51.5~55.5(6°) ③59.5~75.5(6°) ④135.5~139.5(6°) ⑤163.5~167.5(6°)	①風化粗粒砂岩 ②、③粗粒砂岩 ④粗粒砂岩層を挟む Isalo Ⅱ層 粗粒砂岩	360(-500)	8.62	5.16×10 <sup>-3</sup>	5.06×10 <sup>-3</sup>	142	3	6.4	

表-3 主要帯水層の水理的特性

帯水層	比湧出量 ( $l/min./m$ )	透水性			水量係数			備考
		タ イ ス 法	ヤ コ プ 法 ( $m^2/min.$ )	回 復 法	回 復 法	回 復 法		
中～後期始新世 の浅海成堆積物	6.75-304.57 (119.92)	$8.89 \times 10^{-3} - 6.28 \times 10^{-1}$	$9.76 \times 10^{-3} - 6.54 \times 10^{-1}$	$1.47 \times 10^{-2} - 5.38 \times 10^{-1}$	アナラテロ(28)を除く			
		( $2.18 \times 10^{-1}$ )	( $3.88 \times 10^{-1}$ )	( $3.95 \times 10^{-2}$ )				
		$1.08 \times 10^{-2} - 1.30 \times 10^{-2}$	$1.08 \times 10^{-2} - 1.13 \times 10^{-2}$	$8.65 \times 10^{-3} - 8.20 \times 10^{-3}$	アナラミサムピー(53)を 除く			
ベネトシ 地域	46.56-115.70 ( 82.92)	$1.23 \times 10^{-1} - 1.49 \times 10^{-1}$	$1.18 \times 10^{-1} - 3.02 \times 10^{-1}$	$1.46 \times 10^{-1} - 2.38 \times 10^{-1}$				
		( $1.36 \times 10^{-1}$ )	( $2.05 \times 10^{-1}$ )	( $1.92 \times 10^{-1}$ )				
後～中期始新世の石灰岩	217.50-5016.67 (2122.92)	—	—	$2.36 \times 10^0 -$	※1 T(av.): $2.59 \times 10^0 m^2/min.$			
後期白亜紀の玄武岩質岩類	11.65	$8.88 \times 10^{-3}$	$5.05 \times 10^{-2}$	$8.04 \times 10^{-1}$				
中期ジュラ紀の陸成堆積物	41.67	$8.46 \times 10^{-2}$	$8.45 \times 10^{-2}$	$6.86 \times 10^{-2}$	Isalo <sup>2</sup> III層			
前期ジュラ紀の陸成堆積物	41.76- 43.53 ( 42.65)	$5.06 \times 10^{-2} - 5.97 \times 10^{-2}$	$5.16 \times 10^{-2} - 8.23 \times 10^{-2}$	$3.92 \times 10^{-2} - 5.26 \times 10^{-2}$	Isalo II層 ベレンティー(46)を除く			
		( $5.57 \times 10^{-2}$ )	( $6.65 \times 10^{-2}$ )	( $4.59 \times 10^{-2}$ )				

( ) : 平均値

※1 : アナラテロ(28)、マノンボ(63)、ミアリー No.2及びNo.4における

JIRAMAのボアホール記録からの推定値

## (2) 揚水試験

25本の試掘井において段階、一定および回復試験を行った。試験結果をタイス、ヤコブおよび回復法によって解析し、帯水層係数を求めた。

揚水試験結果の概要は表-2に示す通りであり、また、帯水層の水理特性については、地域別および帯水層別に表-3にとりまとめた。

## (3) 帯水層の水理的特性

試掘ボーリング及び揚水試験の結果は表-2に要約されている通りである。これをもとに、本調査地域における主要帯水層の地域別及び帯水層別の水理的特性は次の表-3に示すようにとりまとめられる。

## 3.8 水質分析

### 3.8.1 地下水の化学的水質

図-9に示されるように、調査地域内の地表下30m以浅の浅層地下水の一部には、「塩味」を有して飲料水として不適な水質の地下水が賦存している。その主な分布地域は、イホトリ湖周辺からマノイ(22)・バシバシ(27)・ソアハソ(52)・ベリツァカ(54)にかけての地域、ベネツィ(68)・アンキリマリニカ(101)・アンドレボ(69)の周辺地域、トリアラ市の海岸域、マハブブカ(92)の周辺域及びベレンティーベツイレオ(46)周辺域の5地域である。

これらの分布域における浅層地下水の水質組成は、ナトリウム・塩素( $\text{NaCl}$ : IV)型、ナトリウム・硫酸( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ : III)型及びカルシウム・塩素( $\text{CaCl}_2$ : III)型を示しており、海水もしくは化石塩水及びそれに類似の水質組成になっている。

試掘ボーリングの調査結果によれば、国道9号沿いの西部地域では、いわゆる「塩味」を有する地下水の水文地質的な特性として、一般に、下記のような傾向が認められることが明らかになった。

- 1) 泥灰岩(マール)及び苦灰岩(ドロマイト)質泥灰岩層に挟在される砂岩の薄層が帯水層である場合に多い。
- 2) 地表下30m以浅の地下水は「塩味」が強く、それより深部の地下水は海水・化石塩水型から淡水性の被圧地下水型( $\text{NaHCO}_3$ : II型)に移行する(図-10)。
- 3) 海岸部の地下水は図-11に示されるような産状を呈しており、海水侵入の影響を受けて「塩味」が強い。

試掘ボーリングから採水された地下水の分析結果では、バシバシ(27)の水質が総硬度・カルシウムイオン・塩素イオンの含有量が高く飲料水として不適であった



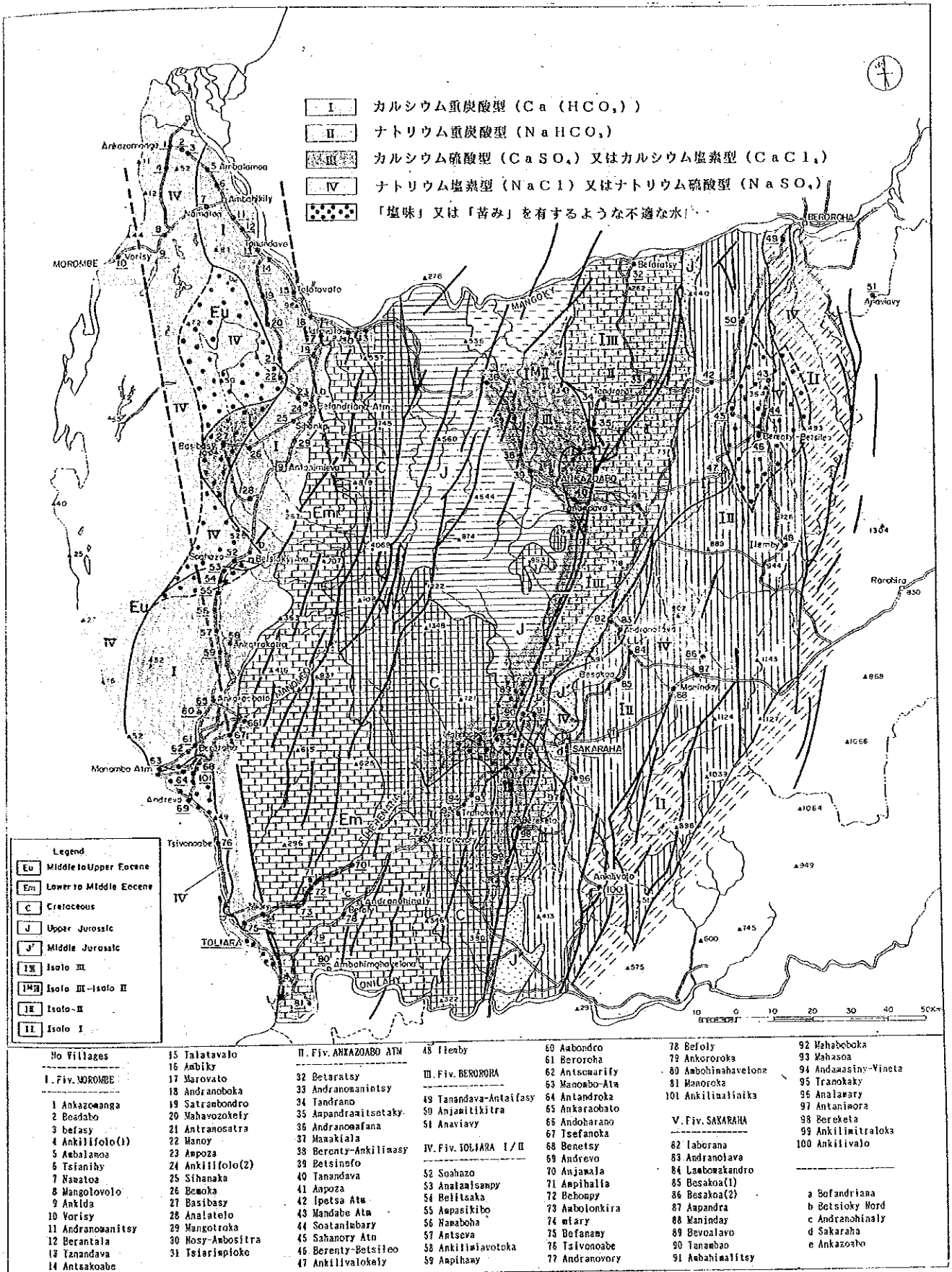


図-9 生活用水の化学的水質



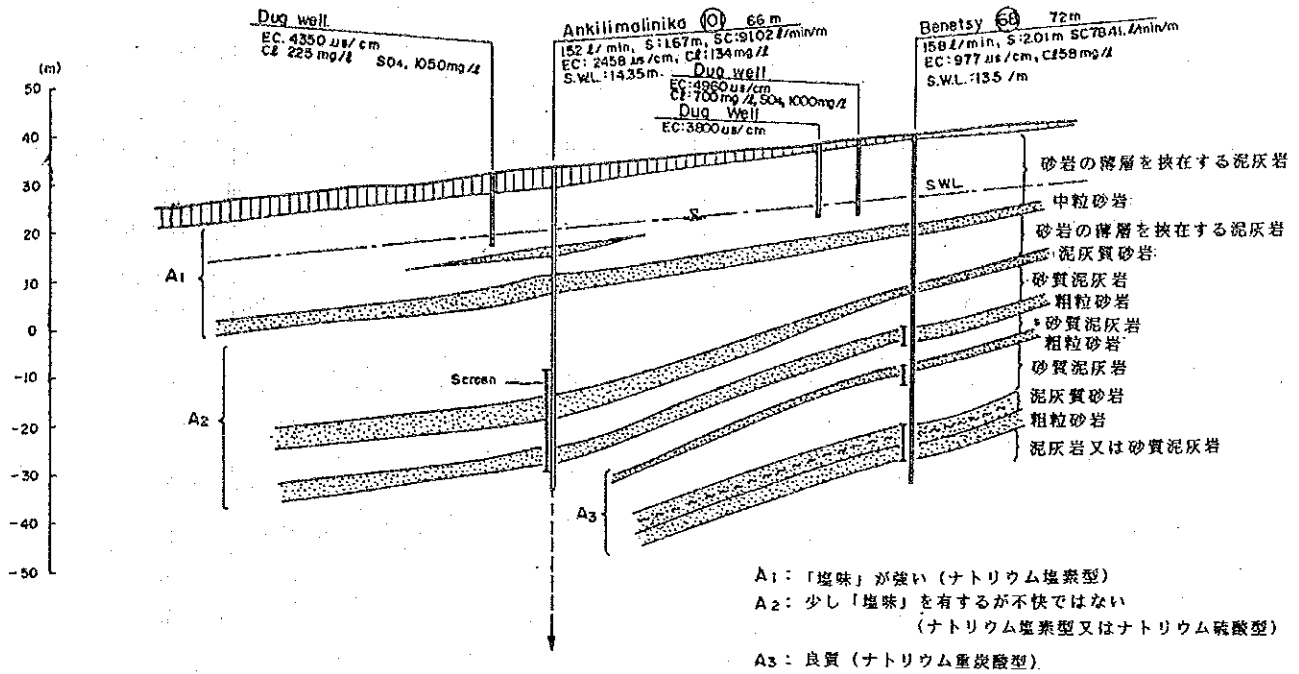


図-10 アンキリマリニカとベネツィ間の水理地質断面図

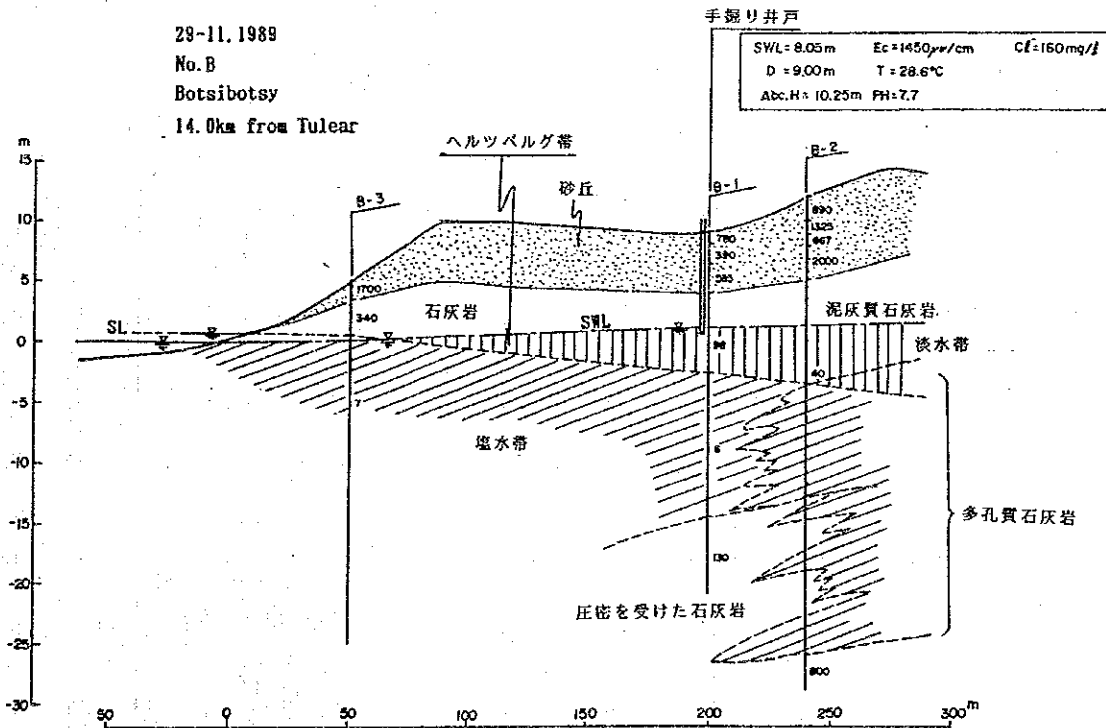


図-11 海岸部付近の水理地質断面図

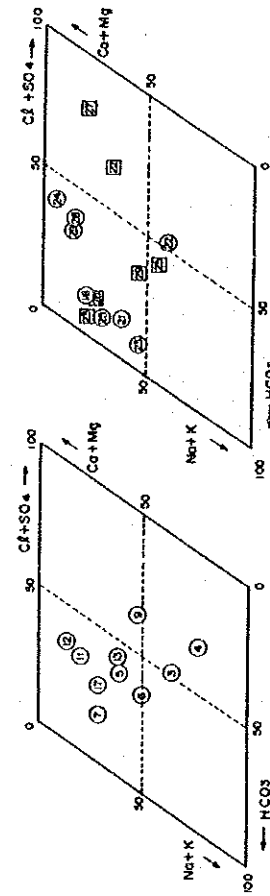
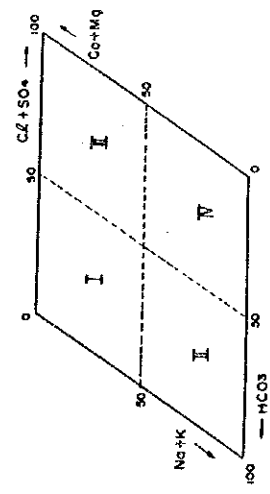
Groundwater origin suggested by the domain of the trilinear diagram

I : Unconfined groundwater or river water origin

II : Confined or dead groundwater origin

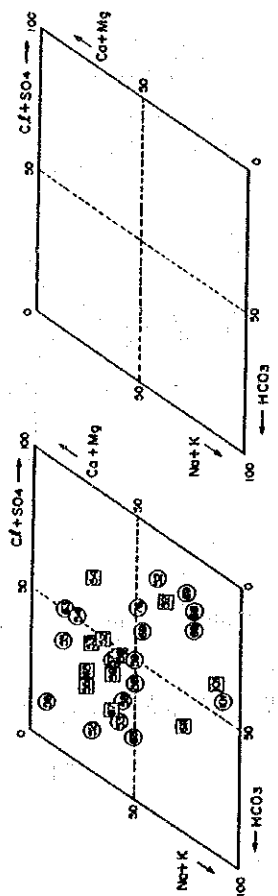
III : Intermediate quality

IV : Hot spring water origin or the water contaminated by sea water



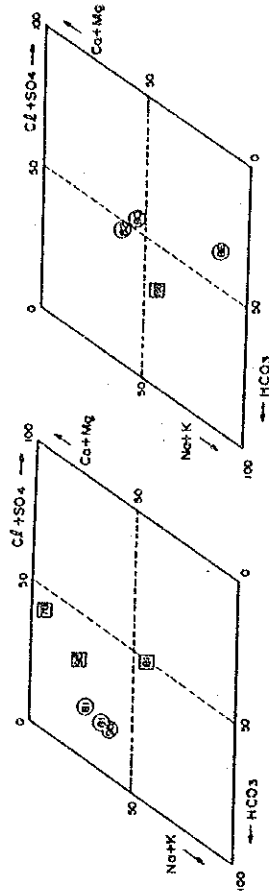
A. Mangoky Delta

B. Lake Ihotry Basin



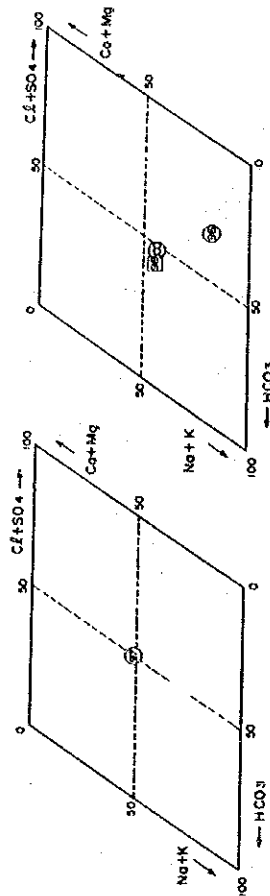
C. Manombo Basin

D. Fiherenana Delta



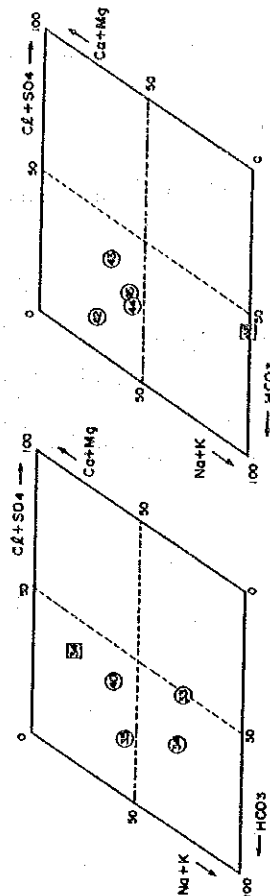
E. Belomotra-Vineta Plateau

F. Fiherenana Basin



G. Sakondry Basin

H. Taheza Basin



I. Sakanavaka Basin

J. Isahena Basin

图-12 水质组成

他は、一部に水質基準値をやや越えるものが認められるものの、総じて水質は良好であった。なお、ベレンティ・ベツィレオ(46)の地下水は化学成分の面では水質基準を満足しているが、「塩味」の面で飲料水としての適正にやや難点がある。

一方、水質組成の面では、既述の如くいわゆる「塩味」を有する地下水の実態が明らかとなった他、地域別及び帯水層別に下記のような傾向が認められ、地下水流動機構を考察するための有意な資料が得られた。

- 4) 中期もしくは後期始新世の浅海性堆積物によって構成されている国道9号沿いの西部地域の地下水は、既述の海水・化石塩水型地下水の分布域をのぞくと、淡水性の不圧地下水型 ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ : I) の水質組成を示す。
- 5) 前期始新世の石灰岩及び後期白亜紀の玄武岩類中の地下水は淡水性の不圧地下水型 ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ : I) の水質組成を示し、総溶解濃度も202mg/ℓ(石灰岩)及び447mg/ℓ(玄武岩)と低く、水質良好である。  
また、中期ジュラ系の陸成層(イサロ累層Ⅲ)の地下水も同様の水質組成を示す。
- 6) 前期ジュラ系の陸成層(イサロ累層Ⅱ)中の地下水は、地表下30m以浅の浅層地下水が海水・化石塩水型の水質組成を示す傾向があるのに対して、淡水性の被圧地下水型 ( $\text{NaHCO}_3$ : II) の水質組成を有し、水質良好である。  
但し既述のように、ベレンティ・ベツィレオ(46)周辺地域では総溶解濃度が1,100mg/ℓとやや高く「塩味」のある地下水を産する。

### 3.8.2 トリチュウム濃度

地下水の生成年代を推定し、地下水流動機構考察の資料を得るために、試掘井掘削の代表的5地点から地下水資料を採取し、日本でトリチュウム濃度の分析を行なった。

この分析結果は表-4と図-13に示すようにとりまとめられる。

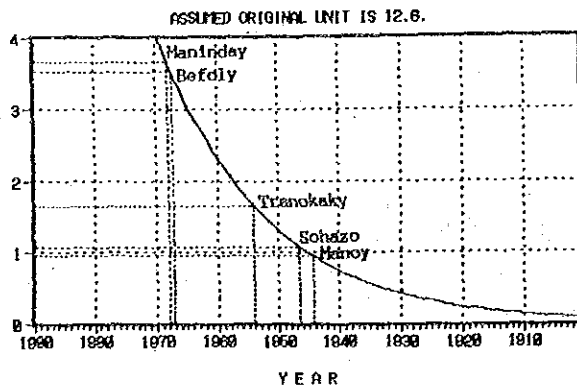
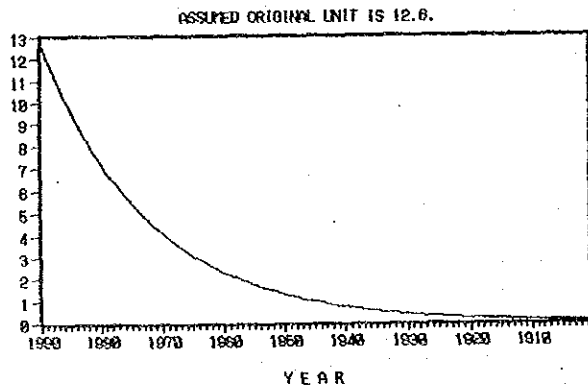
これらの図・表で明らかのように、本調査地域の地下水中のトリチュウム濃度は0.96TR-3.66TRと全般に低い値を示しており、分析結果から下記事項が考察される。

- 1) マノイ(22)およびソアハソ(52)地域の地下水は不圧性の浅層地下水の部類に属するが、水質組成はナトリウム・塩素( $\text{NaCl}$ : IV)型或いはナトリウム・硫酸( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ : IV)型を示しており、トリチュウム濃度が0.96TR-1.05TRと低い値となっている。

このような水質組成とトリチュウム濃度および周囲の水文地質環境から考察すると、当該地域の地下水は降水及び表流水からの涵養量は一般に少なく、多くが、長年月で循環する側方及び下方からの地下水の涵養を受けており、かつ、

表-4 トリチウム濃度

サンプル地点 (ボアホールNo.)	帯水層		Tr値
	帯水層の特徴	スクリーン位置 (GL-m)	
マノイ (No.22)	・中～後期始新世の中～粗粒砂岩 ・不圧帯水層	①18.4-38.4	0.95 (±0.07)
ソアハソ (No.52-1)	・中～後期始新世の中～粗粒砂岩を伴う砂質泥灰岩 ・弱く加圧された被圧帯水層	①47.1-63.1	1.05 (±0.07)
ベフォリー (No.78)	・前期始新世の少し割れ目の発達した、又は多孔質な石灰岩 ・不圧帯水層	①183.5-195.5 ②224.5-226.5 (オープンホール)	3.54 (±0.11)
トラノカキ (No.95)	・後期白亜紀の亀裂の発達した玄武岩と細粒砂岩 ・弱く加圧された被圧帯水層	①35.5-55.5 ④ 90.5-103.5 ②59.5-63.5 ⑤115.5-135.5 ③76.5-83.5	1.65 (±0.07)
マニンダイ (No.88)	・前期ジュラ紀の風化した粗粒砂岩 ・主に不圧帯水層	①15.5-31.5 ②35.5-43.5 ③51.5-55.5	3.66 (±0.12)



出典：南アフリカ共和国  
プレトリアにおける  
雨水のトリチウム  
濃度の変化

図-13 トリチウム分析結果

その涵養地下水には化石塩水がとりこまれている可能性が強い。

- 2) トラノカギ地域の地下水中のトリチウム濃度は1.65 TRと低い値を示すが、水質組成が淡水性の不圧地下水型 ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ; I) で、かつ、玄武岩を主帯水層とする裂カ水であることなどを考慮すると、当該地域の地下水の主体は南部山地の裾部付近からの側方涵養をうけており、その循環速度は35年程度と推定される。
- 3) ベフォリー(78)は下部始新統の石灰岩層中の不圧型深層地下水であり、マニンダイ(88)は下部ジュラ系の陸成砂岩層(イサロ層群)を帯水層とする不圧もしくは被圧型の地下水である。水質組成は前者が $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (I)型で後者は $\text{NaHCO}_3$ (II)型である。

これら両地域の地下水は、その水文地質環境を含めて考察すると、主として側方からの地下水の涵養を受けており、その循環速度は20-25年程度と推定される。この両地域に分布する下部始新統の石灰岩層と下部ジュラ系イサロ層群の砂岩層は、本調査地域の代表的帯水層として、広域を占めて分布している。したがって、両地域で得られたトリチウム濃度3.54 TR - 3.66 TRは本調査地域における一般的値としてとらえることができる。

#### 4. データ・ベースの構築

マダガスカル国南西部地域の水文資料、水文地質資料を保存・管理し、地下水開発計画にあたって資料を効果的に利用することが可能になるように、データベースを作成した。

データベースにおいて扱うデータは、水文気象資料、水文資料、水文地質資料の3種である。

データベースの基本機能は、データ入力、ファイル管理、データ修正、データ出力の4機能である。

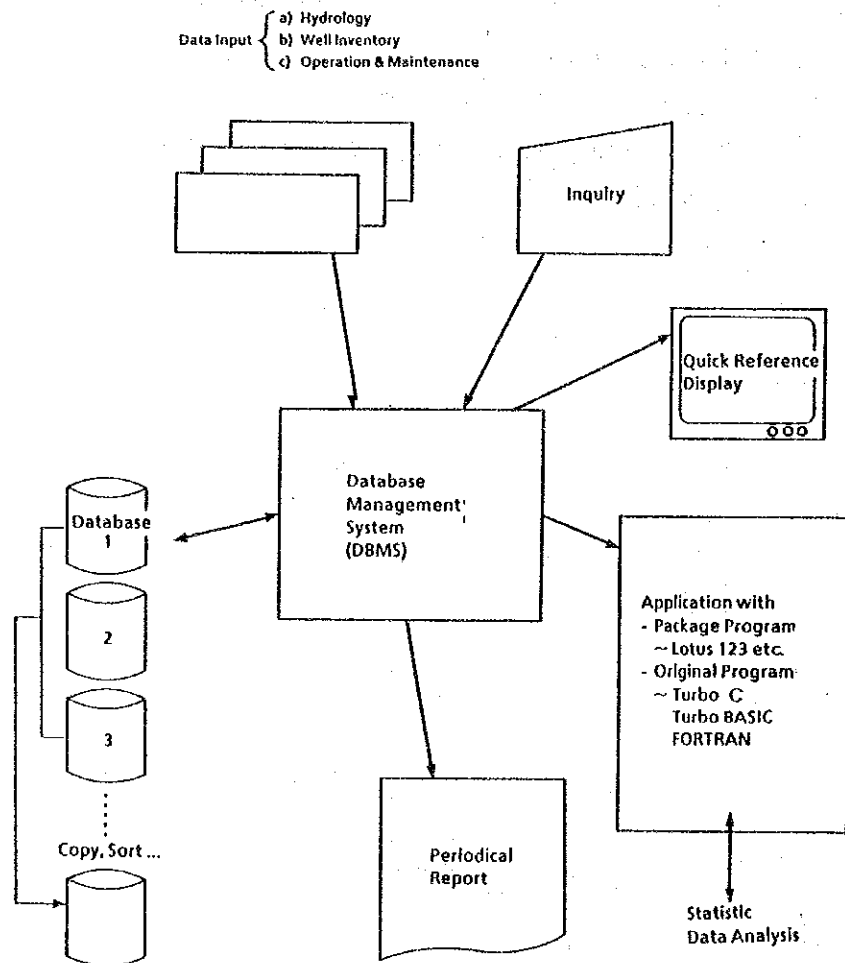


図-14 データベース概念図



## 5. リハビリテーション調査

既存給水施設のリハビリテーション調査は、予定していた9ヶ村のうち、タナンダバ（現在、利用されており問題なし）とベロロハ（渡河が小型フェリーに限られ調査用機材搬入できず）の2村を除き、ベロロハのかわりにマハブブカを加え、下表に示す8ヶ村で実施した。

調査結果は、下表に個別に示した通りであるが、概括的にみると、次のようなことが判明した。

- ①ボアホール井：既存の井戸は、掘削方法、井戸仕上げの方法に問題があって、いったん機能低下すると修理が困難である（ケーストホール掘削、テレスコピック構造、スクリーン周囲に砂利充填がほどこされていないなど）。8ヶ村のうち、リハビリテーション後使用可能な井戸はサカラハの1井のみである。これも揚水量100ℓ/㎡から144ℓ/㎡まで回復したが、建設当初の400ℓ/㎡には遠く及ばず、近い将来に新設が必要である。
- ②ポンプ・発電機等の揚水施設：揚水施設を持つ7村落のうち、稼働可能なものは1ヶ村もなく、すべて新設を必要とする。ポンプの一部又は動力源の一部にトラブルがあってもこの修理に迅速に対応せず、施設を永年放置したためにすべてが朽ち果ててしまったというケースが多いようである。建設当初の維持管理計画・体制に問題があったように思われる。
- ③貯水槽・配水施設：貯水槽は8村落のうち円筒形スチール製のものが6村落に7基（サカラハ2基）、コンクリート製1基建設されているが、大部分はつぎ目から漏水がいく分見られる程度であり、内側からのパテ・シーリングで充分修復可能である。サカラハの1基のみとりかえる必要がある。
- ④配水施設：数百メートル以上の配水管と複数の共同水栓を有するのは、8村落のうち半数の4村、給水タンクの近傍に共同水栓を設けたもの3村落があるが、いずれも大々的な修理又は新設の必要がある。

表 5 村落別リハビリテーション結果一覽表

対象村落名	既設施設の種別・規模等	現況及び修復の可能性	備考			
ベファンドリアナ	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸：深さ64m、ケーシング径6"、4"、3"のテレスコピック構造。水位12.6m BCS</li> <li>貯水槽：容量21m<sup>3</sup>、円筒形スチール製、コンクリート基礎。地上高3m</li> <li>共用水栓：貯水槽から10mの距離に水栓1コの共用水栓台1基</li> <li>水汲み用電機：1.2a 440v Lx0.7a Hのレンガ製タンク</li> <li>ポンプ：発電機小室：ブリキ囲いの高脚小室、シリンドアポンプ・ディーズル発電機</li> <li>井戸：深さ90m、ケーシング径6"、3"のテレスコピック構造。水位59.4m BCS</li> <li>貯水槽：水位低下：144ℓ/m-10m</li> <li>貯水槽：容量16m<sup>3</sup>、円筒形スチール製、コンクリート基礎。地上高2.2m</li> <li>配水管：延長百数十mの塩ビ管敷設</li> <li>共用水栓台：3コの水栓を備えた共用水栓台1基</li> <li>井戸：深さ220m、水位207m BCS、6"ケーシング</li> <li>シリンドアポンプ、ディーズル発電機</li> <li>貯水槽：容量11m<sup>3</sup>、円筒形スチール製</li> <li>共用水栓：水栓を3コ付き水栓台1基</li> <li>井戸：深さ135m、水位116m、ケーシング径6"、3"のテレスコピック構造。</li> <li>貯水槽：容量15m<sup>3</sup>、円筒形スチール製</li> <li>共用水栓台：水栓3コ付水栓台1基</li> <li>シリンドアポンプ、ディーズル発電機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアリアディング・サージングの破り直し及びブラッシングを実施したが、揚水量はmax30ℓ/mにとどまり、建設時の23ℓ/mに遠く及ばず。本井修復は不可能と判断された。</li> <li>種々目から少量の漏水、パチンピングにより修復可能。インレット、アウトレット、ドレーンのバルブ付替の要</li> <li>修復可能なも新設の方が安価</li> <li>表面モルタル剥離、ドレーン無し修復可能</li> <li>ポンプ使用不能。発電機はオーバーホール必要。小室は新設の要あり。</li> <li>水量少なく、水質もよくない。(BC 2800)。</li> <li>3"径スクリューは泥つまりで、井戸機能修復は不可能。</li> <li>種々目から少量の漏水があるがパチンピングで修復可能</li> <li>多数箇所破損し修復不可能。すべて新設の要あり。</li> <li>破損激しく、新設の方が安価につき、井戸容量不明</li> <li>発電機、ポンプ共にスクラップ化し修復不可能</li> <li>良好な状態</li> <li>外見はつかえそうな状況</li> <li>エアリアディング・サージングにより揚水量は0=40ℓ/mとなったが、揚水量にとりつけられていたスクリューが井戸内に落下したため、これ以上の機能回復は不可能</li> <li>タンクの破損は良好。基礎コンクリートに大きなクラックあり。基礎に不安がある。見かけ上は良好。タック取替の必要あり。</li> <li>スクラップ化して修復不可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデルリハビリ工事実施</li> <li>井戸新設</li> <li>水中モーターポンプ、ディーズルエンジン発電機新設</li> <li>発電機小室新設</li> <li>共用水栓1基新設</li> <li>貯水槽修理</li> <li>バルブ取替</li> <li>地表修復</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸：深さ31m、水位10.7m BCS</li> <li>ケーシング径6"。揚水可能量100ℓ/m(建設当初は400ℓ/m)</li> <li>シリンドアポンプ、ディーズル発電機</li> <li>高梁貯水槽2基</li> <li>タンク① 容量24.5m<sup>3</sup>、円筒形スチール製、鉄骨やぐら地上高6m</li> <li>タンク② 容量10m<sup>3</sup>、円筒形スチール製、鉄骨やぐら地上高4m</li> <li>②は井戸から約2km離れ、①のタンクより1.3m高い</li> <li>配水管、共用水栓：総延長2km以上の配水管と14ヶ所の共用水栓</li> <li>井戸：深さ27.3m、ケーシング径6"、4"、3"のテレスコピック構造。水位12.4m BCS</li> <li>貯水槽：容量40m<sup>3</sup>、円筒形スチール製、コンクリート基礎、地上高3m</li> <li>配水管：総延長約1.500m</li> <li>共用水栓台：7台</li> <li>新水施設</li> <li>井戸：2ヶ所のダグウェル</li> <li>①井戸径0.8m、深さ8.3m、水深1m、40ℓ/m以内の揚水</li> <li>②井戸径1.0m、深さ7.9m、水深0.5m、30ℓ/m以内の揚水</li> <li>貯水槽：コンクリート製</li> <li>配水管：総延長約100mの配水管</li> <li>共用水栓台：2基の水栓台に12コの共用水栓</li> <li>貯水施設：井戸地表面に取付けたセントリフュガルポンプ</li> <li>井戸：2ヶ所のチニューウェル</li> <li>①ハンドポンプ</li> <li>水質悪く飲料に適さず</li> <li>②揚水施設無し</li> </ul>	サカラハ	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアリアディング・サージングにより揚水量が100から144ℓ/mに増加した。</li> <li>貯水槽20.8m BCS</li> <li>タンク①は漏水激しく修理困難。容量が必要。</li> <li>共用水栓台は、全数破損修復不可能。配水管もいたるところ破損又は消滅で修復不可能。</li> <li>エアリアディングにより最大揚水量80ℓ/mで建設当初の120ℓ/mに及ばない。50ℓ/mの揚水で動水位は13.3m。揚水管引換時に3"スクリュー破損落下したため、これ以上の機能回復は望めない。</li> <li>継ぎ目から水がにじみ出る程度で修復は容易。</li> <li>全破損。</li> <li>スクラップ化して修理不可能。</li> <li>破期には水量不足となる。</li> <li>①45ℓ/m揚水2時間で溢れる。</li> <li>②70ℓ/m揚水5分で溢れる。</li> <li>見かけ上は良好状態</li> <li>破損箇所多く、修復困難。</li> <li>水栓は殆ど破損しており、取替の要あり。</li> <li>若くは新しい。</li> <li>②のチニューウェルについてリハビリを試みたが水位なく、修復不可能。</li> </ul>
ベチオキ	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸：深さ90m、ケーシング径6"、3"のテレスコピック構造。</li> <li>貯水槽：水位低下：144ℓ/m-10m</li> <li>貯水槽：容量16m<sup>3</sup>、円筒形スチール製、コンクリート基礎</li> <li>地上高2.2m</li> <li>配水管：延長百数十mの塩ビ管敷設</li> <li>共用水栓台：3コの水栓を備えた共用水栓台1基</li> <li>井戸：深さ220m、水位207m BCS、6"ケーシング</li> <li>シリンドアポンプ、ディーズル発電機</li> <li>貯水槽：容量11m<sup>3</sup>、円筒形スチール製</li> <li>共用水栓：水栓を3コ付き水栓台1基</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水量少なく、水質もよくない。(BC 2800)。</li> <li>3"径スクリューは泥つまりで、井戸機能修復は不可能。</li> <li>種々目から少量の漏水があるがパチンピングで修復可能</li> <li>多数箇所破損し修復不可能。すべて新設の要あり。</li> <li>破損激しく、新設の方が安価につき、井戸容量不明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸新設の場合は、150mの深さまで掘削する事が望ましい。</li> <li>電気調査結果で120m以深に良好な帯水層が期待される。</li> </ul>	アンカゾア		
アンドラノヒナリ	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸：深さ220m、水位207m BCS、6"ケーシング</li> <li>シリンドアポンプ、ディーズル発電機</li> <li>貯水槽：容量11m<sup>3</sup>、円筒形スチール製</li> <li>共用水栓：水栓を3コ付き水栓台1基</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水量少なく、水質もよくない。(BC 2800)。</li> <li>3"径スクリューは泥つまりで、井戸機能修復は不可能。</li> <li>種々目から少量の漏水があるがパチンピングで修復可能</li> <li>多数箇所破損し修復不可能。すべて新設の要あり。</li> <li>破損激しく、新設の方が安価につき、井戸容量不明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スクラップ化して修理不可能。</li> <li>破期には水量不足となる。</li> <li>①45ℓ/m揚水2時間で溢れる。</li> <li>②70ℓ/m揚水5分で溢れる。</li> <li>見かけ上は良好状態</li> <li>破損箇所多く、修復困難。</li> <li>水栓は殆ど破損しており、取替の要あり。</li> <li>若くは新しい。</li> <li>②のチニューウェルについてリハビリを試みたが水位なく、修復不可能。</li> </ul>	ベレケタ		
アンドラノポリ	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸：深さ135m、水位116m、ケーシング径6"、3"のテレスコピック構造。</li> <li>貯水槽：容量15m<sup>3</sup>、円筒形スチール製</li> <li>共用水栓台：水栓3コ付水栓台1基</li> <li>シリンドアポンプ、ディーズル発電機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水量少なく、水質もよくない。(BC 2800)。</li> <li>3"径スクリューは泥つまりで、井戸機能修復は不可能。</li> <li>種々目から少量の漏水があるがパチンピングで修復可能</li> <li>多数箇所破損し修復不可能。すべて新設の要あり。</li> <li>破損激しく、新設の方が安価につき、井戸容量不明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スクラップ化して修復不可能</li> <li>破期には水量不足となる。</li> <li>①45ℓ/m揚水2時間で溢れる。</li> <li>②70ℓ/m揚水5分で溢れる。</li> <li>見かけ上は良好状態</li> <li>破損箇所多く、修復困難。</li> <li>水栓は殆ど破損しており、取替の要あり。</li> <li>若くは新しい。</li> <li>②のチニューウェルについてリハビリを試みたが水位なく、修復不可能。</li> </ul>	マハブカ		

## 6. モデル施設とモニタリング

対象地域における最適な給水計画を策定するにあたって、特に現地での施工材料及び施工業者の能力を、そして現地受入れ側の能力・体制を検討するため、モデル施工を実施した。

施工内容の概要は以下に記す通りである。

表-6 モデル施設の施工内容

施 工 項 目	内 容	施 工 村 落 名	
A :	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高架水槽</li> <li>・配水管</li> <li>・給水栓</li> <li>・水中モータポンプ</li>   <li>・ジェネレータ及びジェネレータハウス</li> </ul>	容量16 $\text{m}^3$ 、地上高2.6m 全長360m、 $\phi$ 48mm 3ヶ所、蛇口12 ポンプ位置106m (B.G.S.)  11KVA ハウス18 $\text{m}^2$	トラノカキ 人口約1,000人の村落。 国道7号線沿いでトリアラからおよそ90kmに位置する。
B :	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高架水槽</li> <li>・配水管</li> <li>・給水栓</li> <li>・水中モータポンプ</li>   <li>・ソーラシステム及びハウス</li> </ul>	容量16 $\text{m}^3$ 、地上高1.2m 全長25m、 $\phi$ 48mm 1ヶ所、蛇口4 ポンプ位置36m (B.G.S.)  0.55KW モジュール18組 (Max.864Wp)	ソアハソ 人口約5000人の村落。 国道9号線沿いでトリアラからおよそ130kmに位置する。
C :	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハンドポンプ</li> </ul>	(日本製) 対象水位30-50m (B.G.S.) (ローカル製) 対象水位30-50m (B.G.S.)	ナマハ、アンバシキボ、ベレツァカ、アナラミサンピー、アナラテロ マノイ、アンボザ、シナハカ、バシバシ、マングトロカ、アンビハミー、マノンボ、ベネツイ、アンギリマリニカ、マノロカ、アナラマリ
D :	<ul style="list-style-type: none"> <li>・井戸リハビリテーション</li> <li>・高架水槽修繕</li> <li>・配水管交換</li> <li>・給水栓</li> <li>・水中モータポンプ</li>   <li>・ジェネレータ及びジェネレータハウス</li> </ul>	全長7.4m、 $\phi$ 48mm 1ヶ所 ポンプ位置24m (B.G.S.)  3.7KW 12.5KVA ハウス 12 $\text{m}^2$	ベファンドリアナ 人口約3,000人の村落。 国道9号線沿いでトリアラからおよそ200km北に位置する。対象となった既存施設は1960年頃US AIDにより設置されたもの。

維持管理も含めた受入れ体制については8章候補村落で検討する。ソーラポンプについては、全日晴天の状態では1日9~10 $\text{m}^3$ 程度の揚水量を得られる事が実証された。ただし、モジュール容量が最低規模の設計である為、薄曇り状態で完全にポンプが停止する。実際の導入については、最低数年の計測結果を検討する事と、また、雨期についての対処方法を組み合わせる必要がある。

## 7. 地下水資源の評価

### 7.1 水収支

アンバトリリーに設置した水位記録とアンカラオバトの日降雨量をもとに不圧地下水を対象とした水収支計算を行なった。水収支は以下に示すとおりである。

$$S \frac{dh}{dt} = (Q_1 - Q_2) / F + W$$

ここに、 $S \frac{dh}{dt}$  : 地下水貯留量の変化、 $S$  : 貯留係数、 $dh/dt$  : 地下水位変化量、 $(Q_1 - Q_2) / F$  : 地下水流出量、 $Q_1$  : 流入、 $Q_2$  : 流出、 $F$  : 水収支区の面積、 $W$  : 地下水涵養量である。また、

$$W = P(1 - C) - E \pm Md$$

であり、 $P$  : 降雨量、 $E$  : 蒸発散量、 $Md$  : 土湿、 $C$  : 地表流出係数である。

計算の対象となったのは、1989年12月より1990年9月の10ヶ月間である。結果としてこの間においては、降雨量525mmに対して、地表流出量：105mm、蒸発散及び土湿：325mmで、地下水への涵養量は95mm、つまり全降雨量に対して約18%が涵養されるという結果となった。

各流域単位に、乾期の一斉観測結果から求めた涵養量 $Q(2)$ と、面積降雨量と上記の18%より求めた涵養量 $Q(1)$ を示す。

流 域	面積(W)	P(mm)	W(mm)	Q(1)	Q(2)
マノンボ	508	760	137	217	151
フィヘレナナ	6,755	780	140	223	281
サカナバカ	332	750	135	214	361
イサヘナ	1,870	810	146	231	77
マリオ	2,040	870	157	248	374
サカンドリー	730	750	135	214	66
タハザ	1,600	770	139	220	578

$P$  : 面積降雨量 (mm)

$W$  : 涵養量 (mm)

$Q(1)$  :  $W$ の単位を変換したもの ( $\ell/\text{min}/\text{km}^2$ )

$Q(2)$  : 一斉観測による推定涵養量 ( $\ell/\text{min}/\text{km}^2$ )

涵養率そのものは流域の植生・表層の地質条件等により大きく変わるものであり、 $Q(2)$ が比較的实际に近いと考えられるが、表流水の節で検討した通り、流量観測の時期及び場所による影響も多い。よって流域により、また、地区により $100 \ell/\text{min}/\text{km}^2 \sim 300 \ell/\text{min}/\text{km}^2$ と考えるのが妥当なようである。

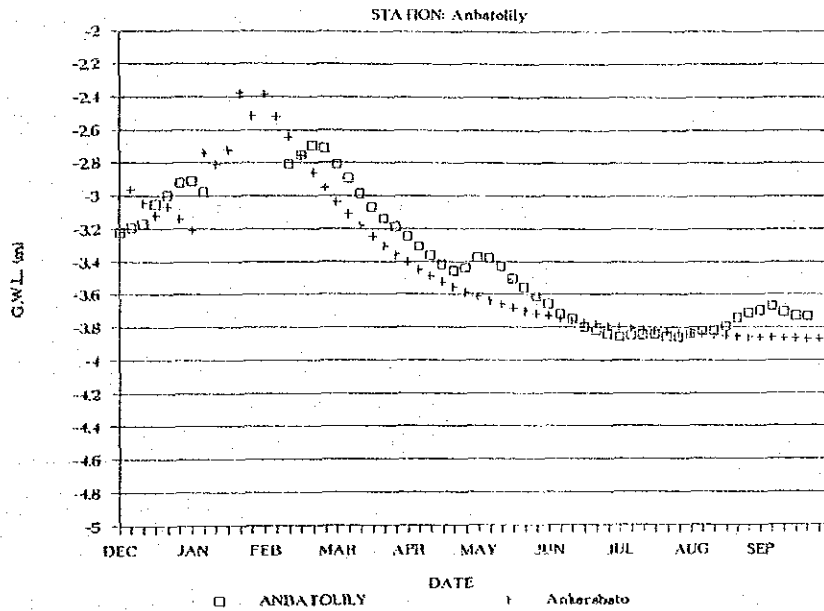


図-15 水収支結果

## 7.2 シミュレーション

地下水の流動状況を把握する為には海岸地域の断面を用いて2次元流動シミュレーションを実施した。海岸地域は対象地域の中でも特に降雨量が低い場所である。

シミュレーション断面は水文地質調査やボーリング結果をもとに、帯水層、断層を概定した。透水係数は主に揚水試験結果を参考にして、決定した。

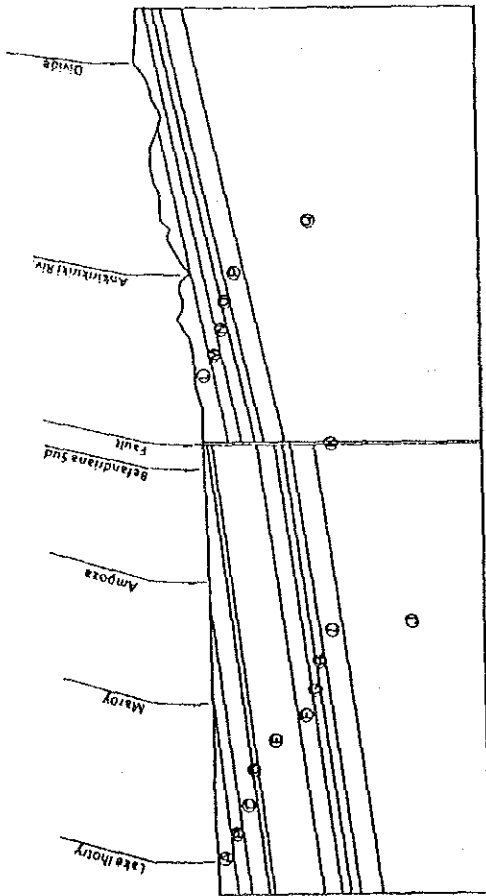
図-16にシミュレーション結果を示す。

この結果、両断面とも、ミコボカ山地の上流域からの地域流動及び中間流動が、国道9号線を中心とした対象地域の帯水層に影響を与えていると考えられる。

地下水の流動に対して、N-S方向の断層（トリアラ断層等）の果たす役割は大きい。基本的には上流側の流れが、この断層により堰き止められる為、断層上流側に流線の集中がおこる。よって、断層の上流側は高いポテンシャルをもつものと考えられる。

国道9号線沿い、トリアラから約80kmに位置するアンボボカの湧水については、周辺の流域面積（涵養面積）のみでは、毎秒3.0m<sup>3</sup>という流量を説明する事はできず、断層によって堰上げられた地下水が湧水地点に集中したものと考えられる。

さらに、トリアラから約150km北側に位置するアンタニミエバの自噴地下水についても、この地点の西側をNE-SW方向に走る断層により、上流側の被圧水が、堰き止められたところを掘りあてたものと考えられる。



Hydraulic Conductivity(m/day)		Hydraulic Conductivity(m/day)	
Case 1		Case 2	
A	Sandstone 0.864	J	Basalt 0.864
B	Sandstone 0.864	K	Fault 0.864
C	Sandstone 0.864	L	Limestone 0.864
D	Marl 0.864	M	Marl 0.864
E	Limestone 0.864	N	Marl 0.864
F	Marl 0.864	O	Sandstone 0.864
G	Marl 0.864	P	Mudstone 0.864
H	Sandstone 0.864	Q	Basalt 0.864
I	Mudstone 0.864		

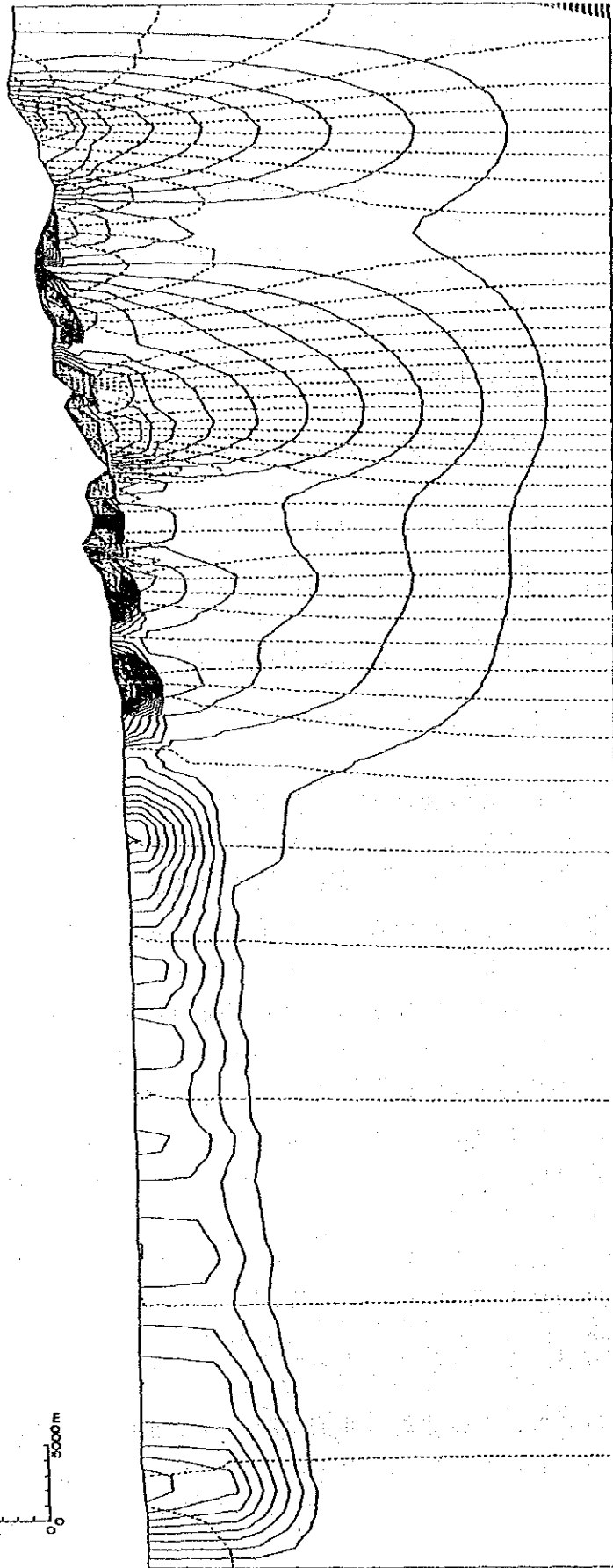
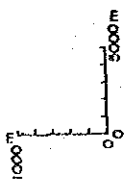


図-16 シミュレーション結果

### 7.3 地下水開発ポテンシャル

調査地域全体の地下水資源のポテンシャルを評価するために、水文地質に関する総合解析作業の最終成果として、地下水資源開発可能性の評価結果を明示した「水文地質図(1/250,000)」及び水文地質断面図類を作成した。

この水文地質総合解析は、衛星画像及び航空写真の解析、現地水文地質調査、物理探査、試掘井掘削、揚水試験及び水質分析の結果を総合的に検討・考察し、調査地域全体の地下水資源の開発可能量を具体的に評価したものである。

前節で述べた水収支及び地下水流動機構に関する水文解析は、この水文地質図及び水文地質断面図類をもとにしてなされたものであり、水文地質図に示された地下水開発可能性の評価は水文解析の立場からも検証されたものとなっている。

水文地質図に示されるように、調査地域の地下水は、先カンブリア紀の基盤岩類を不整合に覆って西側に緩く傾斜する古生代・中生代・新生代の陸成及び海成堆積岩類の分布地域(モロンダバ堆積盆、全層厚5,000~8,000m)に賦存している。このうち、当該地下水開発調査の対象深度は、技術的及び経済性等の側面から地表下約300mまでの範囲とした。主な地下水の帯水層は、下位から、中生代ジュラ紀のイサロ層群(陸成砂岩層が主体)、白亜紀の陸成-海成砂岩層・石灰岩層・玄武岩類(岩床)、新生代古第三紀(始新世)の石灰岩層・泥灰質石灰岩層・砂岩層・砂質泥灰岩層などである。これらの帯水層はNS系、NNE-SW系等を主とする新旧の断層群によって分断されており、広域地下水の流動機構は複雑である。なお、第四系の帯水層としてデルタ堆積物層・扇状地堆積物層、砂丘砂層、河床堆積層等が局所的に分布する。水収支解析によると年間降雨量400-800mmに対し、地下水かん養量は100ℓ/min/㎡~300ℓ/min/㎡の結果が得られた。また、地下水の水質組成、トリチュウム濃度及び地下水流動シミュレーションの解析結果から、調査地域の地下水は降水による直接かん養のほか、多くの場合、水文地質構造に起因して20~45年の長年月で循環する側方及び下方からの地下水のかん養を受けていることが明らかになった。これらは実際に、海岸域における地下水の大量湧水や試掘井掘削・揚水試験の結果とも良く整合しており、本調査地域の地下水資源は、水文地質条件及び水質面に起因する一部の地域をのぞいて、一般に高い開発可能性を有するものとして評価された。その開発可能量は、現状の生活用水不足を解消するに充分であるのみならず、一部の地域では、農業或は工業生産活動の面にも利用し得る高い可能性を有している。

調査地域内の地表下30m以浅の浅層地下水の一部には、「塩味」を有して飲料水として不適な水質の地下水が賦存しており、その実態把握が調査課題の一つになっていたが、調査の結果、その主要因は泥灰岩層中に閉じ込められている化石塩水にあることが判明した。また、このような水質不良地域でも、深部の被圧地下水を開発することによって水質良好な地下水が得られることが、試掘井の調査によって判明した。

本調査の試掘井掘削結果によって確認された主な地下水開発有望地域は次のようである。

地 域 名	比湧出量 (m <sup>3</sup> /day/m)
ベファンドリアナ	438.58
シハナカ	232.26
アナラテロ	7,224.00
マンゴトロカ	281.35
ソアハソ	173.33
マノンボ	609.00
トリアラ*	3,057.00

※トリアラ市東部の石灰岩帯水層分布地域 (ミアリー及びマノロカ等)

主要地区別に「地下水開発ポテンシャル」の概要を以下の表にとりまとめた。



表一七(1) 主要地区別「地下水ポテンシャル」

地区名	地質 (帯水層)	地下水		ポテンシャル		備考
		水質	湧出量 (ℓ/min)	比湧出量 (ℓ/min/m)	水質	
マンガキ デルタ	沖積層中の砂層	現在、広く利用されている	水位 (G.L.-m) 1.5~3.0	湧出量 (ℓ/min) 200 タナダバ(D=29m) 26.46	問題なし。 海岸近くでは塩菜イ オン濃度が高い場合 もある。	10m以上の井戸は、乾燥の水位低下 が著しい。
イホトリ ベース	中・上部始新統 後期白亜紀の石灰岩 層 沖積層中の砂層	有力な被圧帯水層が存在 する可能性は低い。 被圧地下水を得ることが 可能。 現在、灌漑に利用されて いる。	1.5~3.0		"salty"	主として、泥灰岩、泥灰質粘土から 成る。 マンガキ川がマンガカ山地を横断す るノシイームボシトラ付近。 イホトリ湖周辺。
マノンボ ベース	中・後期始新世の砂 岩層 前期始新世の石灰岩	利用価値が高い。	3.57~14.49 試掘孔7本 200~340	23~304	良好。	帯水層はGL-15~20mに分布。 上下に泥岩層を伴う場合には、比湧 出量が小さく、水質も"salty"。 ペリアンドリアナとマンデビイを結 ぶNE-SW方向の幅約3mのゾー ンに自噴地下水が存在。 水圧は北西方向に低下。
フィハレ デルタ	砂丘砂層 中・後期始新世の砂 岩又は石灰岩 前期始新世の石灰岩 沖積層中の砂層 中期・後期始新世の 石灰岩	レンス上の地下水である ため、量的に限られ、安 定利用も難しい。 全般的に有力な帯水層で ある。	3.40~36.17 試掘孔12本 130~360	14~423	比較的良好。	一般的傾向として、泥灰岩層中に挟 在する厚さ3m以下の砂岩層が帯水 層である場合は"salty"で水質 不良。地表30m以内は水質不良の場 合が多い。 トリアラ新層西側においては分布深 度が深くなり、利用は難しい。
		生産性は極めて高い。	777試掘孔 3,100ℓ/sec 777試掘孔 32.4~139.2		問題はない。	
		有力な帯水層である。 極めて生産性の高い帯水 層である。	5.10~20.75	777-(D=41~ 42m)試掘孔 217.5 874.0 4,083	良好。 但し、海岸部では "salty"	トリアラ市の主要な上水道水源にな っている。
		有力な帯水層を見いだす ことは難しい。				

表一七(2) 主要地区別「地下水ポテンシャル」

地区名	地質 (帯水層)	地下水	ポテンシャル		備考
			水位 (GL-m)	湧出量 ( $Q/min$ ) 比湧出量 ( $Q/min/m$ )	
ベロモトラ ーベネタ台地	玄武岩 (GL-15m以下、層厚 115m)	深度・湧出量から見て利 用価値の高い帯水層であ る。	16.57	本調査における試験結果 110 11.65	玄武岩中の裂隙水であるため、割れ 目の発達状況によって、地下水ポテ ンシャルの地域差が大きい。 ピネタ台地周辺部。 ベロモトラ台地。 地下水はGL-200m以深ではないと得 られないため、高揚程の水中ポンプ が必要である。 ベロモトラ台地西縁付近。
	後期白亜紀の砂岩層	帯水層となりうるが分布 域は限定される。	116.0	77ドブ/ホリ 150	
	後期始新世の石灰岩 層	有力な帯水層であるが、 被圧されていない。	178.56 207.0	試験(877リ) 110 77ドブ/ホリ 166	
ファイヘレナ ベース	中期始新世の石灰岩 層(砂岩層を伴う)	有力な帯水層である。	5.23	マノロカ 158	イロボ断層東側。 イロボ断層西側、アナトラベロナ山地 東側斜面。 中部ジュエラ系は泥灰岩層を伴う。
	中部イサロ層群中の 陸性粗粒砂岩	極めて生産性の高い帯水 層である。	16.29 11.0	試験孔(マニシナイ) 360~480   43.95 サカラ(D=32m) 400   150	
サコンドリ ベース	後期白亜紀の陸性砂 岩層	有力な帯水層に成ってい る可能性もあるが、分布 斜面下部でこれを覆う海 成ジュエラ系が利用を阻む。			サコンドリ川西側平野西縁。 湧出域が狭い。 サコンドリ川東側山地。 山腹下部では、堅いジュエラ系海成層 に覆われるため、帯水層に達するた めにはこれを貫く必要がある。
	中期ジュエラ紀の海成 層	不圧水が期待できるが量 的には限られている。 帯水層に成りうる。			

表一七 (3) 主要地区別「地下水ポテンシャル」

地区名	地質 (帯水層)	地下水	ポテンシャル			備考
			水位 (GL-m)	湧出量 ( $Q/min$ )	比湧出量 ( $Q/min/m$ )	
タハザバースン	陸性砂岩層を主体とした中部イサロ層群	帯水層は高いが、涵養域が狭いため有力な帯水層は期待できない。 有力な帯水層である。	35.00	試掘孔 (アナラマリ)	良好。 41.76	タハザバ川西側。 本地区は地質構造が複雑なため、地下水開発にあたっては十分な地質構造調査が必要である。
	中部イサロ層群中の砂岩層			360~100		
	粗粒~礫質砂岩から成る下部イサロ層群	砂粒間が珪質物質により充填されているため透水性は必ずしも高くない。利用価値の高い帯水層である。				
サカナババースン	上部イサロ層群中の陸成砂岩層 (GL-50m以深)		32.72	試掘孔 (ダンドラノ)	41.76	上部イサロ層群の上位に海成層が早越する場合、帯水層が低下するとタハザバ川西側では強い部分に帯水層が存在する可能性は低い。
イサハナバースン	中部イサロ層群	いろいろな層群に挟在される砂岩層が帯水層になりうるが、量的・質的にも地下水開発ポテンシャルは低い。	15.54	試掘孔 (ハツチイ-ツリイ)	"salty"	イサハナ川東側、イサロ山地で涵養される地下水を賦するが、海成層の透水性が低く、泥灰岩等の不透水層を伴う。
				50~80		