マダガスカル南部半乾燥地域の水資源について

森 和雄*

Water Resources of the Southern Semiarid Area of Madagascar

Kazuo MORI*

Abstract

This paper outlines the water resources of the southern area of Madagascar, which is based on the field investigation and several reports concerning with the potable water development plan requested from the government of Madagascar.

The area, under the tropical semiarid climate, is classified geographically into the Mahahaly Plateau, the Karimbola Plateau and the Ambovombe Basin, from the west to the east. The average annual precipitation over the area is about 350~600 mm and it decreases westward. The Karimbola Plateau and the Ambovombe Basin, where the population density is about 15 per one square kilometer, are underlain by continental sediments ranging in age from Tertiary to Quaternary. The Mahahaly Plateau is occupied by Tertiary limestone which yields little groundwater, so that the plateau is not inhabitable.

European Communities have been giving assistance to construction of a pipeline from the Menarandra River to the Karimbola Plateau for supplying potable water. On the other hand, Japan will support to develop water resources in the Ambovombe Basin. About 87,000 people living in a hill, coastal side of the basin, are in great trouble from lack of water. Apart from the hill, they manage to gain perched groundwater as well as surface water. It is very difficult to get water in the hill because the groundwater level is deep, more than 100 meters from the surface, and an *inplubia* easily dries up at summer season.

It is recommended to install more *inplubias*, to inquire deep groundwater as well as perched groundwater and to increase water wagons for the improvement of water supply.

* 地質調査所, Geological Survey of Japan.

I ま え が き

筆者は国際協力事業団の委託で、1979年3月から4月の間に、マダガスカル南部半乾燥地域の水資源の開発を目的とした事前調査に、調査団の一員として参加した。調査団は、曾我部正敏（団長；地質調査所）・寺蘭勝二（建設省河川局）・三村清志（建設省河川局）・美和島克彦（国際協力事業団）・加藤和憲（通訳）と筆者の計6名で構成された。調査の結果については、国際協力事業団(1979)に公表されている。またそれに基づき基本設計調査が、日本技術開発株式会社によって1980年に行われており、その成果として国際協力事業団(1981)がある。この場合筆者は現地調査には参加していないが、作業管理委員の一員として報告書作成に関与した。

これらの資料を基にして、発展途上国に入るであろうマダガスカル国の中でも、とくに水不足のため、後進地域となっている南部地域の水資源について、手短に纏めてみたものである。

南部地域は、西海岸に面するマハハリ高原・その東側に位置するカリンボラ高原・さらに東側のアンボボンベ盆地の3つに区分される。そのうちのマハハリ高原については、人口密度が極度に小さく、また不毛の石灰岩台地が大部分を占めており、当初から調査対象外であった。

マダガスカル国政府は、1979年の事前調査前、数年来わが国に対し、カリンボラ高原とアンボボンベ盆地についての、無償援助による水資源の開発を要請してきていたのである。したがって事前調査団も、この2つの高原・盆地を調査すべく、マダガスカルに向ったのである。しかし首都タナナリブでのマダガスカル国政府の現地説明の中で、その1つの対象地カリンボラ高原については、EC（ヨーロッパ共同体）によるFED資金で、同高原を横断するパイプライン計画が具体化していることを知らされた。このパイプライン計画の水源は、カリンボラ高

原の西端を流れるメナランドラ川の伏流水を対象とした深度20mの本井・予備井の2井であり、水源井は既に完成しているということであった。この事業が実施されれば、カリンボラ高原の水不足の問題は、大かた解決されるものである。したがってわれわれの当地域の調査対象範囲は、カリンボラ高原の東部を含むが、主力をアンボボンベ盆地とすることに変更した。

II マダガスカル島の概要

マダガスカルは、南半球のほぼ熱帯圏に位置し、アフリカ大陸の東側インド洋上に孤立する島国である。比較的小さな島といった感じを受けるが、わが国の1.6倍の面積がある。

1 地形と地質

同島の地形は、東部海岸平野地帯・中部高原地帯・西部海岸地帯の3つに大別することができる。以下に3地帯の地形・地質の特徴を述べる。

1) 東部海岸平野地帯

インド洋と中央高原地帯に挟まれ、平均50kmの幅をもつ狭い平坦地で、多くの丘や沼地、溶岩台地などが散在し、中央高原との境界は、700mもの断崖になっているところもある。一方構成地質は、海岸線に平行して細長く分布する白亜紀の堆積岩および同時代の火山岩が主体となっている。

2) 中央高原地帯

マダガスカル島の過半を占め、広い面積を有する。この中には本島最高峰のツアラタナナ山(2,880m)があり、首都タナナリブ(1,400m)もこの地帯に含まれている。

この地帯を構成する岩石の殆んどは、先カンブリア系の岩石と、それを貫く花崗岩、チャーノカイトなどである。

3 西部海岸地帯

中央高原地帯の起伏のある地形に対し、その西側は、海岸までの間では、起伏が緩くかつ、西方に向

って序々に高度を減じている。当地帯を構成する地層は、先カンブリア系の岩石を覆って分布する二疊紀以降の地層群であり、西方に向って古い地層から新しい地層が分布する。

下部はカルー層群と呼ばれ、主として陸成層からなり、上部に向うにしたがって海成層となる。カルー層群は二疊紀からジュラ紀にまたがるものである。この上には、ジュラ紀・白亜紀・古第三紀・新第三紀・第四紀と海成あるいは陸成の地層が分布している。ジュラ紀および古第三紀層中には、顕著な石灰岩が挟在するが、西側海岸の主要都市マジュンガにはそれを原料とする、この国唯一のセメント工場がある。南部地域のマハハリ高原・カリンボラ高原・

アンボボンベ盆地は、分類上西部海岸地帯に入る。

2 雨 量

雨量については総体的にみると、わが国のそれに匹敵する程で、対象の南部地域を除けば、水に恵まれた国といってよい。とくに東海岸一帯では、東あるいは北東から吹く、貿易風、モンスーンによってもたらされる雨が中央高原にさえぎられるため、3,000～3,500 mm/年といった多雨地帯となってい

図一1 マダガスカルの地質概略図

(H. Besalrie, 1960 から編集)

Fig. 1 Geology of Madagascar (modified from Besalrie, 1960).

図一2 マダガスカルの等量雨線 (mm/年)

Fig. 2 Annual rainfall in Madagascar (mm/yebr).

る。また中央高原地帯および西部海岸地帯の北半部では、1,000～2,000 mm/年であり、ここでも決して少ない雨量ではない。このように全般的には水に恵まれた国でもあり、人種的にも、東南アジア人の血を多く引きつぐといったことから、往時から水を必要とする稲作が盛んに行われている。

III 南部地域の概要

1 地形および地質

南部地域は地形的に、2つに区分すると ①古第三系・新第三紀・第四紀の堆積物で構成される高原

および盆地と呼ばれる堆積層地帯、②前者と同じ水系に属する背後の基盤岩地帯（主として先カンブリア系の岩石分布地域）となる。

堆積層地帯に属するマハハリ高原の大部分は、古第三系の石灰岩で構成され、一方カリンボラ高原、アンボボンベ盆地は、新第三紀および第四紀の堆積層からなり、その下位は白亜紀の玄武岩が存在するところもあるが、大部分は、直接先カンブリア系岩石に接している。

カリンボラ高原・アンボボンベ盆地はともに海岸砂浜から急に高い砂丘が発達するが、前者は内陸側へ向って緩く高度を増して高原の形をなす。一方後者は海岸に近い砂丘が、約10 km 幅で標高150 m～300 m 級までの高まりを示し、それが内陸側へ高度を減じて盆地状を呈している。

2 気 象

当地域の気候は、熱帯性半乾燥気候に属する。乾季と雨季は明確に分れ、4月から10月迄続く乾季には、雨量も少なく気温も比較的低い。一方11月から3月までの雨季には気温も高く降雨が集中し、雨季・乾季が明瞭に分れている。

図一2の等雨量線に示されるように、東海岸の当地域所管の県都フォト・ドーファン（図一1参照）

付近では、2,000～3,000 mm/年の多雨地帯であるのに対し、一山越えた西側のアンボボンベ盆地の郡都アンボボンベでは600 mm/年、マハハリ高原の西部では350 mm/年と西南西に向って、雨量は極端に少なくなっている。

3 河川の流況

マダガスカルの国土は、厚いラテライトで覆われる関係上、殆んどの河川水には、そのラテライトが混入しており、一般に赤褐色の濁水となっている。南部地域の河川もその例にもれない。

本地域には州都ツレアール市の南部を流れる、①オニヒラ川、以下南から東へ向って、②リント川、③メナランドラ川、④マナンボボ川、⑤マンダラー川の5河川がある。そのうち年間を通じて、表流水のあるものは①、③、⑤の3河川である。④のマナンボボ川は1年のうち2ヶ月（6月・7月）が流量が零となる。一方②のリント川は、1年のうち流量のある月はわずかに4ヶ月だけである。（表一1参照）

4 人口分布と家畜・産業

本地域の総面積は、60,400 km² あり、それに対して、人口は約50万人といわれ、人口密度は、平均8.3人/km²であるが、図一3に示すように、マハハ

表一1 主要河川の流況
Table 1 Flow regime of major rivers.

	河川 長 (km)	勾配 (%)	流域 (km ²)			平均 降雨 量 (mm/年)	年 流 量 (100万/m ³)	単位の 時間 当り量 (m ³ /s)	流 出 量 (%)	比 流 量 (l/s/km ²)	表 め 流 ら る み 期 と 間 (月)	渇 水 流 量 (m ³ /s)
			基盤 上 流域 (km ²)	堆積 物 流域 (km ²)	合 計							
① オニヒラ川	400	1.2	9,050	2,950	12,000	500～800	2,000	65.0	10	2～3	12	21.0
② リンタ川	170	3	4,220	1,480	5,700	500	?	?	9	1.5	4	0
③ メナランドラ川	235	2.5	7,600	650	8,250	500～600	420	14.0	13	2.5	12	0.15
④ マナンボボ川	165	3	4,100	350	4,450	550	140	4.7	9	1.65	8～10	0
⑤ マンダラレー川	270	1.6	12,600	270	12,600	650	575	19.0	11	1.45	12	0.3～2.2

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT (1971) から引用

図-3 南部地域の区分と人口分布

Fig. 3 Physical regions and population in the South.

リ高原の大部分は土壌もやせ、水も得にくいことから、大部分は無人地帯となっている。カリンボラ高原とアンボボンベ盆地に限ると、その人口密度は約 15 人/km² となる。またアンボボンベ盆地の北部東半分一帯も、森林地帯であり無人地帯となっている。

表-2 面積と人口
Table 2 Area and population.

		面積 (km ²)	人口
南部地域	基盤岩地帯	36,700	280,000
	堆積層地帯	23,700	220,000
堆積層地帯	マハハリ高原	13,600	75,000
	カリンボラ高原とアンボボンベ盆地	9,230	135,000

る。一方アンボボンベ盆地の海岸側の標高 150～300m 級の砂丘高台一帯は、50～100人/km²と、当地域としてはもっとも人口密度が高くなっている。この一帯を今後「海岸寄り高台」と呼ぶ。

なお南部地域を基盤岩地帯とその下流の堆積層地帯（盆地・高原）に分けた場合の、それぞれの総面積と人口を表-2 上部に示したが、両者の人口密度については大差がない。

基盤岩地帯では、住居が沢周辺となっており、表流水が容易に得られることから、生活用水にはそれ程苦労していないのに対し、その下流側の堆積層地

帯の住民の大部分が慢性的な水不足に悩んでいる。

一方当地域では、古来より牧畜が盛んであり、牛は 120 万頭（マダガスカル全体の 80% を占める）、他に羊・山羊合わせて 130 万頭が飼われている。しかしアフリカ民族共通の風習である「牛をより多く持つことが富の象徴」がここでも根強く存在している。したがって牛が食肉商品等として買売されることが割合に少なく、もっぱら牛の数を増やすことに専念するといった習慣が今なお持続しているといわれ、当地域の牧畜は一見盛んなように見える割には、それによる収入は以外と少ない。またこのことは、適正な放牧密度を超えて、放牧されることにつながり、草原の植生の質の低下もさることながら、当地域の水不足に拍車をかける結果となっている。

農業については、草原の一部に、自家用程度のマニオク、サツマ芋、とおもろこしなどが作られている。一方マンダラレー川流域の両岸（長さ約 45 km、幅約 5～6 km）の広大な沖積低地の大部分には、フランス植民地時代にサイザル麻のプランテーションが設けられており、その後マダガスカル独立により、同国に引きつがれている。このサイザル麻は南部地域のもっとも重要な輸出品となっている。

IV アンボボンベ盆地の水資源

1 アンボボンベ盆地一帯の水不足

マナンボボ川やマンダラレー川から距離があり、地下水の得にくい海岸寄り高台の人口密集地帯では、乾季になると深刻な水不足に悩まされる。すべての集落に設置されているものではないが、公共の天水溜が枯渇する。地方行政機関所属の給水車（現在は 4 台稼動、1 台 4～5 m³ 積み）が巡回するが、その燃料費が不足し、思うようには走れず、また道路[路事情により、全く給水の行われなところもあるという。一方では水売り商売が盛んに行われ、河川水あるいは井戸水をドラム缶 2～3 本にいれ、牛車に積んで売り歩く。住民自身も何 10 km も離れた水

のある場所に、水を求めて歩きまわることになる。水の得にくい土地の住民は、乾季になると、収入の大部分を水の購入に費やさなければならない。一方後述の宙水地帯の浅井戸水源の殆んどは、私有物であり、自家用以外の余剰な水は、水不足の地区住民に売買されており、その水源は貴重な私有財産となっている。

当地域の慢性的水不足に追いつきをかけるのが、約10年周期に襲う旱魃であり、その結果住民の5倍も居る家畜（牛・羊・山羊）に大きな犠牲が出るといふことである。

2 河川水およびその伏流水

ツホンベ町の水源は、マナンボボ川左岸の伏流水を取水するものであり、水源井の深度は7mである。ポンプの動力には、経費がかからない太陽熱とフロンガスの組合わせた装置が用いられており、10m³/時の揚水が可能ということであった。但し調査当時は、動力系が故障し、予備のディーゼルエンジンが使用されており、燃料費の捻出が困難であるということであった。いずれにせよ小規模ではあるが、この地方唯一の公共水道施設である。ここではかつてはマナンボボ川の表流水を生活用水として利用していたが、乾季には表流水がなくなるため、伏流水を取水する水道方式が設置されたものである。しかし調査当時のマナンボボ川の塩分濃度が700mg/lに対し、水道水源井の塩分濃度は2,500mg/lという大きな差を示していた。このことは、乾季においてマナンボボ川表流水が、蒸発散によって干上

るため、その一帯に塩類を残存させる結果となり、伏流水の塩分濃度を高めているものであろう。

一方マンダラレー川流域のサイザルのプランテーションでは、同河川水を集水井に導入して取水し、サイザルの繊維を取るための洗滌用水に使用されている。年間を通じて流量のあるマンダラレー川の塩分濃度は130mg/l（アンボサリ町附近で測定）で、マナンボボ川に比べ良質である。

両河川ともに、流域には伏流水が広範囲に分布すると考えられるが、付近の住民は、直接河川水を汲み生活用水としている。また公共の給水車の水は、マンダラレー川の表流水とツホンベの水道水が利用されている。

3 天 水 溜

地下水および表流水の取得の困難な海岸寄り高台一帯には、当盆地人口の約70%に相当する87,300人が住んでおり、その中に30数箇の天水溜が設置されている。天水溜は、図-4のような構造であり、集

図-4 天 水 溜

Fig. 4 *Inplubia* (Cistern system).

表-3 河川の月平均流量 (m³/秒)
Table 3 Mean monthly discharge (m³/sec).

河 川 名 (観 測 地)	11月 12月 1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月												期間
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	
マナンボボ川 (ツホンベ)	1.5	12.7	17.6	11	2.8	1.2	0.4	0	0	0.2	0.3	0.3	1961 ~1965
マンダラレー川 (アンボサリ)	22	230	200	140	150	50	22	1.6	9.8	14	13	12	1951 ~1966

水庭と貯水槽からなり、コンクリートモルタル製である。また集水庭の面積は700 m²～1,500 m²間のものが多い。一般に周囲は家畜の侵入を防止するため、木の柵でかこわれている。これらの天水溜は、古いものもあるが、1975～1977年の間に、FED資金により施行されたものが過半数を占めている。

天水溜の使用可能な期間は、その年の雨量・使用人数・配分量に左右されるが、現状では年間のうち5～6ヶ月程度であり、殆どどの天水溜は乾季まで水を保持することはないようである。

天水溜に貯水される水量は、小量の雨量の場合は集水庭で蒸発散され、雨量計で計られた雨量よりは、大部少な目となるものと考えられる。仮に有効雨量を400 mm/年、集水庭面積900 m²とすると、貯水槽に流入する年間水量は360 m³となり、1人当り仮に5 l/日（生活するための最低限に近い水量）の使用量とすると約200名弱が一つの天水溜に依存できる計算となる。87,000名の海岸寄り高台の人口を天水溜でまかなうには、莫大な数が必要となる。

4 水 溜 り

政府発行の10万分の1の地形図には、すり鉢状の直径100～500 mの窪地が図示されている。この窪地はとくに盆地の海岸寄り高台に密集し、そこでは平均すると1 km²に1ヶ程度の割で分布している。

このような窪地のうちの一部は、雨季には水溜りとなり、住民の生活用水または家畜用として、広く利用されている。それらのうちの透水性の悪い窪地では、雨季あけでも水を保持している。

5 地 下 水

南部地域の地下水については、深刻な水問題をかかえている関係から、フランス植民地時代から現在まで間に、数多くの調査・研究が行なわれ、水文地質学的な資料が比較的充実している。その間に試錐・深井戸のさく井など、地下水開発が数多く行われているのであるが、未だに効果が上ったとはいえない難い状態であり、その難しさがうかがえる。

アンボボンベ盆地の地下水は、前述の2河川の流域沖積低地の伏流水を別にして、次の2つに大別される。1) 盆地内の広範囲にほぼ一様に分布する深部地下水と、2) 極部的に限られ、大小2地区に分布する宙水である。

1) 深部地下水

(1) 基盤岩と堆積層

堆積層は、基盤岩を不整合に覆い、盆地北側では薄く、南の海岸寄り高台では厚く分布している。この堆積層は新第三紀層と第四紀層からなるが、その境界などは、研究者によって異なった解釈が行なわれている。そのうちで最も新しいRAKOTOND-RAINIBE Jean Herivelo (1976)によれば、図一5のA-B断面に示すような分類が行なわれている。また同論文によれば、新第三紀層は陸成堆積物で、粘土岩・粘土質砂岩・砂岩・礫岩からなり、粘土質砂岩と粘土岩が卓越する。一方第四紀層は新第三系を不整合に覆い、主として砂からなり、一部に石灰岩質砂岩を含んでいる。

また当地域の基盤岩は比較的浅部に存在する関係上、基盤岩に到達している井戸が多くあり、それらを基として図一5が作成されてる。この図によると基盤岩は6/1,000程度の非常に緩い勾配で、南東方向に傾斜している。

(2) 帯水層と地下水位

深部地下水の帯水層は、北半部では新第三紀層、南半部では第四紀層となっている。地下水位は基盤岩にほぼ平行した形で、上記層の下部付近に保たれており、被圧度の小さな地下水と推定される。図一6はアンボボンベ盆地とカリンボラ高原の東部で、かつて掘さくされた深井戸の記録を示したものであり、例えば海岸寄り高台に位置するD9、D8、D10の井戸では、地上からの水位が120 mから170 mなど極端に深くなっている。一方北部の基盤岩の露出する付近では、地表のごく近くに地下水が分布し、数mから10数mに到達する。したがってコンク

図-5 基盤岩の等深度線と断面図

(RAKOTONDRAINIBE, 1976 による)

Fig. 5 Bedrock topography contour and cross-section.

(after RAKOTONDRAINIBIE Jean Herivelo, 1976)

リート枠の浅井戸で容易に取水することができる。

また海岸線に接する標高3～10mの一带の、水位が標高0m付近にある地下水もこれと一連の地下水と考えらる。この一带には10数井のボボ（すぼりV字形の原始的な井戸）、コンクリート枠井戸が分布し、海岸寄りの高台の住民および家畜の貴重な水源となっているが、海岸に近いこともあり、塩分濃度が非常に高い。

一方アンボボンベ盆地および他の2高原一带は、現在全く送電が行なわれていないため、水中モーターポンプの使用が困難である。したがって水位が100mを越す場合は、揚水が不可能に近くなる。も

っとも大口径の深井戸による手汲みの井戸とすることも1つの方法であるが、それには掘さく費用が大幅にかさむことになる。

このようなことから、当地域の深井戸の開発を一応の目安として、水位は100m以浅であることが必要条件となろう。図-7は水位が地表から100m以上と推定される地帯が示されている。

(3) 揚水量と水質

深井戸の揚水量については、記録のないものが過半数を占めている。記録の残っているものについては、1井当りの揚水量が1m³/時以下のものもあるが、およそ1.5m³/時～2m³/時程度となってい

る。

水位降下の比較的大きな井戸の例としては、図一6に示したD11井が水位降下 21.7 m で、揚水量が $1.5 \text{ m}^3/\text{時}$ 、またD12井が水位降下 10.8 m で、揚水量が $1.7 \text{ m}^3/\text{時}$ となっている。

一方水位降下の少ないものはD19井で、1 m の水位降下で $2 \text{ m}^3/\text{時}$ となっている。

また水位降下の記録はないが、北部の基盤岩に近いD 4井は水位も高いが、揚水量が $4 \text{ m}^3/\text{時}$ 、と $4.8 \text{ m}^3/\text{時}$ と記録されており、当地域としては大きな揚水量となっている。いずれにしろ当地域の比湧出量は、例えばわが国内のそれに比較した場合、極度に小さな値を示している。

図一6 深井戸の深度と水位および塩分濃度
Fig. 6 Well depth, water level, and salinity concentration in deep wells.

図一7 アンボボンベ盆地の地下水分布図
Fig. 7 Groundwater distribution in Ambovombe Basin

深井戸の水質についても、すべて掘さく時の記録である。北部の基盤岩に近いD 1井の塩分濃度 180 mg/l、D 2井の塩分濃度 440 mg/l、D 3井の塩分濃度 1,500 mg/l と良質なのに対し、中間部のD 8井の塩分濃度 1,900 mg/l、D14の塩分濃度 1,800 mg/l、またマナンボボ川の右岸の比較的内陸側のD 16井でも 1,800 mg/l となっている。一方海岸際、D 10、D19井の塩分濃度は 4,000 mg/l 台、D17井では 10,000 mg/l などの記録があり、海岸方向に向って塩分濃度が激増している。

海岸線に接する浅井戸群の塩分濃度は 5,000～6,000 mg/l のものが大部分を占めている。

(4) 深井戸の現状

北部基盤岩に近い一帯と海岸線一帯では、一連の深部地下水は、水位が浅いため、手掘りによる浅井戸で取水されている。しかし、管井の深井戸となると、記録に残っているものだけでも、図6、図7に示される通り10数井以上があるが、このすべてが現在使用されていない。なお深井戸の掘さく時期は1950年代から1960年代のものが多く1970年代のものは非常に稀となっている。

次にこのように休止あるいは廃止されている水源の一例を次に記す。

調査した深井戸の1つに、カリンボラ高原のベヌヌカ部落のものがある(D19井)。この井戸は口径8時、深度166m(基盤に到達している)、水位が92m、揚水量が2m³/時と記録されており、エンジンとピストンポンプが設置されていた。ここでは1973年に故障したのを最後に、修理されることなく現在に到っているということである。稼動当時は鉄製の高架水槽も設けられており、この地方としては特に立派な施設であった筈である。現在では倒れた高架水槽は腐蝕するにまかせ、再び使用することができない状態である。この井戸の竣工は1961年であるから、約12年間は稼動したことになる。この施設は当地域として長期間に渉って利用された例である。

当地域の深井戸の場合、水位の非常に低いものが多く、揚水に無理をきたし、動力(エンジンあるいは風車)・ポンプが故障しやすいことも事実である。また半乾燥地域といった苛酷な自然条件(強風・台風・砂アラシ)も故障の一因ともなっている。

また深井戸施設は、政府あるいは国外機関の援助などによる他力によるものが殆んどである。したがって一旦故障すると、地方機関あるいは住民には修理する費用も技術も持ち合せがないことから放棄されるケースが多いものと考えられる。

2) 宙 水

(1) アンボンドロ宙水帯

アンボンベ盆地の宙水帯の1つ、アンボンドロ宙水帯は、図一7のA印であり、2百数十km²の広い範囲を占める。第四紀層と考えられる白色砂層で覆われた地帯であり、この白色砂の下位にはFekonyと呼ばれる新第三紀の褐色の砂岩・砂礫岩からなる地層が分布し、そのFekonyが、宙水の不透水層となっている。白色砂とFekonyとは不整合であり、Fekonyが直接地表に露出するところもある。地下水は宙水地帯に一連に分布するものではない。また年間を通じて帯水するものと、乾季には干上るものがある。

アンボンドロ町のすぐ南側には、同町住民の利用する井戸と、家畜用のボボが一群となって分布している。

これらは当地方に数多く分布する窪地の1つの中にある。この窪地は直径約700m、高低差約10m程度の規模をもつ。この中には生活用に作られたコンクリート井戸4井(径1.2m、深さ5m)と家畜用のボボが数ヶ設けられている。調査当時コンクリート井戸は2井が使用され、残りは空井戸となっていた。

これらの水源は、窪地の中心部一帯には全く設けられておらず、その周縁部の一番外側に生活用井

図- 8 アンボンドロ町南部窪地の宙水列

Fig. 8 Perched water in shallow basin in the south of Ambondro.

A : 白色砂の粗粒部、 C : 褐色砂岩と砂礫岩、
B : 白色砂の細粒部、 D : 宙水の水位

戸、その内側に家畜用ボボが配置されていた。このことについて、マダガスカル政府技術者の説明によれば、図- 8 に示したように、帯水層となっている白色砂が、窪地の中心に向かって、粗粒から細粒堆積物に移化するため、中心部一帯では不透水層に近い性質となっており、地下水は殆んど得られないという

ことであった。この中の生活用井戸 2 井はそれぞれ 1, 200 mg/l, 4, 000 mg/l の塩分濃度を示し、近接した井戸 (約 10m) でありながら、大きな差が認められる。巨視的には、水質も中心に向うにしたがって塩分濃度を増やすことになり、家畜用のボボが、生活用井戸の内側に設けられる形となっている。

国際協力事業団 (1981) によると、井戸およびボボは、この宙水帯に約 500 箇が散在し、乾季でも 100 ケ程度が使用されており、その汲み上げ量は 150 m³/日と推定されている。また宙水帯の住民が使用する外に、海岸寄り高台の住民のうちの 15, 000 ~ 20, 000 人に対し、この水が売買されているという。

(2) アンボボンベの宙水帯

もう 1 つの宙水帯は、図- 7 の中の B 印である。アンボボンベ市を中心としそれを取りまく、40 km² の範囲にあり、アンボンドロの宙水帯に比べて小規

表- 4 水 質 表
Table 4 Chemical quality of water.

名 称	アンボンドロ 宙 水 帯		アンボボンベ 宙 水 帯		天 水 溜	
	(I)	病院内 (V)	(S ₁ -1)	K ₂	Ambanisarika	Mokofo
採 水 層			I 層	II 層		
pH			6.8	7.0		
HCO ₃ (ppm)	991.6	82.4	390.5	250.2	82.3	103.7
Cl ⁻ (ppm)	811.3	545.3	931.0	345.8	12.0	17.3
NO ₂ (ppm)	1.5	0.1	0.05	0.1		
NO ₃ (ppm)	55.2	64.4	92	6.9		
NH ₄ (ppm)	0.5	≤0.5	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5
SO ₄ ²⁻ (ppm)	192.6	73.6	183.5	34.2		0
全硬度 CaCO ₃ (ppm)	210	470	516	158		
Ca ²⁺ (ppm)	38.4	63.2	115.2	44.8		
Mg ²⁺ (ppm)	27.7	75.8	55.4	11.2		
Mn ²⁺ (ppm)	≤0.05	<0.3	≤0.05	<0.05	<0.05	≤0.05
Fe ⁺ (ppm)	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	<0.1	≤0.1
電気伝導度 (μS/cm)	4, 500	2, 800	4, 690	1, 470	570	550
蒸発残留物 (ppm)	2, 748	1, 773	3, 148	679	151	142
強熱残留物 (ppm)	2, 325	1, 181	2, 185	559	66	70

(国際協力事業団, 1981から引用, 分析はマダガスカル地質調査所)

模である。

ここの宙水帯は、アンボンドロの宙水帯とは異なった形態を示す。すなわち図-7に示したように、この宙水帯は、北西方向約 50 km の基盤岩地帯のアンタニモラからはほぼ直線状に発達する沖積低地（雨季のみ表流水が流れる）の末端部に当っており、標高は 120 m 台である。一方その南では急に高度を 150~200 m に増して、海岸寄り高台に接している。

宙水の帯水層は、沖積堆物と考えられる褐色砂である。

国際協力事業団（1981）によれば、この宙水は深度 15 m 附近と 25 m 附近の上下 2 層の帯水層がある。浅い第 1 帯水層については、すでに開発されつくした感があるのに対し、第 2 帯水層は、同市の南部一帯のみに発達し、その利用度は比較的少ないことから、今後の開発に期待できるとしている。現在これらの宙水を対象とした井戸・ボボ合わせて約 100 ケが分布しているが、ここではそれらがすべて個人の所有物となっているという。限られた数の井戸主は、アンボボンベ市民約 3 万人に水を売って、収入を得ていることになる。

宙水地帯の井戸およびボボの所有者にとっては、そこで得られる地下水が重要な財産となっている。このように古くからの習慣として、水の売手・買手に 2 分された社会の中に、新たに公的な水の開発が行なわれた場合、売手側にとっては恒久的な財産と考えていた水源の価値は、一度に下落してしまうことになる。当地域の水の開発が必要であることは、論を待つまでもないが、ここにはそのことにより直接不利益をこうむる多数の水の売手住民が存在するということをも認識しておく必要がある。

V あ と が き

マダガスカル南部地域は、半乾燥地域に属し、雨量が少なく、水問題の全面的な解決は難しい。しか

し、アンボボンベ盆地の東側には、乾季のもっとも流量の少ない月でも、約 10m³ 程度が流れているマンドラレー川がある。

同河川は、水不足の地域の一つの重要水源であり、公共の給水車あるいは、私的な牛車によって運搬・給水されている。

すでにカリンボラ高原では、同高原を横断するパイプラインが、F E D 資金によって、具体化しつつある。

アンボボンベ盆地においても、海岸寄り高台を横断する、パイプラインの実現が可能であれば、同地方の水問題は、おおかた解決されるであろう。しかし、現時点では、それに見合う経済効果にも期待できないことや、揚程が 300 m にもおよぶ送水ポンプの運転およびパイプラインなどの長期に渉る維持管理の可能性についても不安がある。一方わが国としても 1 発展途上国への無償援助としては、本計画は膨大に過ぎる感がある。

このようなことから当面の生活用水の確保には、海岸寄り高台での天水溜の増設および改修、単独貯水槽の建設、2 つの宙水帯において公共の水源数井を新設すること、また給水車の供与などが挙げられる。

先ず天水溜の増強により、天水の取得が増加する。一方給水車によって、表流水および宙水帯の水源から、天水溜の貯水槽および、単独貯水槽に運搬され、住民に配分するといった方法が取られることになる。

深井戸の開発については、次のようなことになる。海岸寄り高台のうち、図-7に示すように、その大部分は、地下水位が地表から 100 m 以深と推定され、ここでの深井戸開発は、現段階では困難である。しかしその西側のマナンボボ川兩岸一帯、海岸際の高度の若干低い一帯（標高 100 m 以下の地帯）などは、一応開発可能地帯とみなし得る。また北部の D 2 井などは、水位 50 m 以内の記録があり、水質

も良質であり、この一帯も開発可能であろう。

深井戸は、宙水帯の浅層地下水に比べ、水位の変動がそれ程なく、年間を通じてコンスタントに取水が可能であるし、人畜による汚染を防ぐうえでも利点がある。一方マダガスカル政府では、水理地質の専門家による南部地域の地下水の研究が、長年に渉り実施されており、さく井技術者も養成され、国内全域で活躍している。政府所有のさく井機は耐用年数を越す老朽機が多い。したがってさく井機およびその附帯機材が供与されれば、マダガスカル政府機関で充分深部地下水の開発ができるものと判断され、将来それらの一式が供与される予定となっている。

最後に過去に開発された深井戸施設が、現在すべて使用されていないといった問題にふれる。

このような折角巨額を投じて作られた深井戸施設が、故障以後放置されているといった現象は、単にマダガスカルのみの問題ではなく、乾燥地域・半乾燥地域の後進地域といったところに、共通する事からであり、援助する側も充分考慮されなければならない。

こういった地域の深井戸および施設は、単純・堅牢でありかつ維持費がなるべくかからないといったことが重要な条件となろう。

例えば上半部が大口径とし、下部は小口径の接合井戸とする。この場合住民はバケツによって汲み上げることができる。

また接合井でない場合でも、水位の浅い場合は手押しポンプ、足ぶみポンプとし、故障の多い風車井戸は、水位の深い井戸のみに使用することなども必

要であろう。燃料費のかかるエンジン・発電機などの使用については、自力で長期の運転が可能であるかどうか、事前に充分検討されるべきである。

井戸施設あるいは、さく井機などの、スペア・パーツなどを、当初から余分に準備することも、こういう地域には重要なことである。一方深井戸施設一さいの修理および管理のできる技術者を養成し、配置することとも必要である。

文 献

- 国際協力事業団 (1979): 『マダガスカル民主共和国南部地域生活用水開発計画事前調査報告書』 101p.
- 国際協力事業団 (1981): 『マダガスカル民主共和国南部地域生活用水開発計画基本設計調査報告書』 35p. 全資料編, 210p.
- 日商岩井株式会社 (1973): 『マダガスカル南部地域の水資源調査ならびに地下水利用に関する勧告』 49p.
- 森 和雄 (1980): マダガスカルとその南部地域の水事情, 地質ニュース, 306号, 44~56。
- 森 和雄・曾我部正敏・寺園勝二・三村清志・美谷島克美 (1980): マダガスカル南部半乾燥地域の水について, 日本地下水学会 昭和55年度春季講演会講演要旨, 日本地下水学会誌, 22, 133。
- PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT (1971): *STRATEGIE DU DEVELOPPEMENT REGIONAL DE LEAU DANS LE SUD MADAGASCAR*. 39p.
- RAKOTONDRAINIBE Jean Herivelo (1976): *HYDROGEOLOGIE DE L'EXTREMESUD (ZONE COMPRISE ENTRE LE MANDRARE ET LE MANARANDRA)*. p 45.
- Service Geologique de Madagascar (1957): *CARTE HYDROGEOLOGIQUE du Sud de Madagascar*. (受付: 1981年12月15日, 受理: 1982年1月30日)