マダガスカル南部地域における飲料水供給計画策定における 塩水浸入解析モデルを用いた地下水開発ポテンシャルの検討

EVALUATION OF GROUNDWATER DEVELOPMENT POTENTIAL WITH NUMERICAL ANALYSIS IN A FEASIBILITY STUDY FOR A RURAL WATER SUPPLY PLAN IN SOUTHERN MADAGASCAR

吉澤拓也 *・香川重善 **・永沼俊道 ** Takuya YOSHIZAWA, Shigeyoshi KAGAWA and Toshimichi NAGANUMA

Southern Madagascar has a low precipitation of 500 mm/year, and much of the region is regarded as dry zone. Therefore, securing the supply of safe water is extremely difficult. A development study for the region had been undertaken by JICA from 2005 to 2006 to evaluate the feasibility of a drinking water supply project. However, due to the low potential for safe water distribution, the development plan had to be carefully examined to ensure that safe drinking water could be supplied sustainably.

Therefore, a groundwater modeling technique including a routine for saline water intrusion was introduced to evaluate groundwater development potential. This paper briefly shows the results of the evaluation of groundwater development together with field investigations that were conducted for this project.

Keywords : Groundwater development, groundwater modeling, water balance, saline water intrusion problem, Madagascar, JICA

1. はじめに

マダガスカル共和国は国土面積 587 千 km²(日本の 1.6 倍)に約 1,700 万人の人口(2003 年)を有するインド洋に浮 かぶ島国である。一方、同国南部地域(チュレアール州南 東部)は年間降水量 500mm 程度の乾燥地帯が広がり、安 全な水へのアクセスが極めて困難な地域となっている(図 -1)。



図-1 調査対象地域位置

同地域では2005年から2006年にかけて国際協力機構 により地下水開発を主とした飲料水供給にかかる開発調査 が実施された。同地域では飲料可能な地下水を得られるエ リアは限られており、質・量ともに持続的に利用可能な給 水計画の立案が求められた。とくに、水源として想定され る地下水賦存量が限られており、過剰な開発を行った場合 には海水の浸入による水質の悪化といった懸念があった。

そのため、この調査の給水計画立案にあたっては、地下 水開発量を評価する際に塩水浸入解析モデルを用いた地 下水流動解析を実施し、開発ポテンシャルの定量的な評価 を行うというプロセスを踏んだ。本稿では本開発調査プロ ジェクトにおける地下水調査結果の概要を紹介するととも に、地下水流動解析モデルを用いた検討結果を紹介する。

調査対象地域概要¹⁾

(1) 調査対象範囲

調査対象範囲はマダガスカル国のチュレアール州南東部 に位置するアンボボンベ県の中心都市であるアンボボンベ 市周辺の地域である。

^{*} 中央研究所 総合技術開発部

^{**} 日本テクノ㈱



図-2 調査対象範囲

アンボボンベ市はアンボボンベ盆地と呼ばれる 2,000km²弱の流域面積を有する盆地の流末に位置してお り、同県の行政・経済の中心都市として機能している。

図-2には調査対象範囲を示した。

図-2に示す通り、調査対象範囲はアンボボンベ盆地周辺に位置する15のコミューン(総人口205,077人)である。

図-3には調査対象範囲内の人口分布図を示した。人口 は沿岸域に集中して分布しており、1,000人未満の集落が 広範囲に存在していることがわかる。



図-3 人口分布図

(2) 気象

マダガスカル南部の調査対象地域は北部の熱帯性低気圧 の影響をあまり受けず、また山脈が対象地域よりもはるか 東部で海に達しているため貿易風による影響を受けにくい 位置にあり、このためマダガスカル国では降雨量の少ない 地域となっている。気候帯としては、熱帯性半乾燥気候(サ バンナ気候)に属する。

図-4には調査対象範囲の等雨量線図(1999年~2005 年の年間平均値)を示した。



図-4 等雨量線図

図-4に示す通り、調査対象地域の降水量は北部で多く (900mm 程度)、南部沿岸域に向かうにつれて少なくなっ ている(400mm 程度)。

図-5には調査対象地域の主要都市(アンボボンベ、ア ンタリタリカおよびアンタニムラ市;図-2)の月別降水 量を示す。



図-5の通り、おおむね4月~9月にかけて渇水期とな り(月降水量 20~50mm 程度)、10月から3月にかけて 豊水期となる(月降水量 50~100mm 程度)。

(3) 水文

図-6には、調査対象範囲に隣接して流れる2つの河川 流域を示した。調査対象地域の東側を流れるマンドラレ川 は流域面積 13,000km²、河川延長は 270km となっている。

一方のマナンブブ川は流域面積 4,450km²、河川延長は 165km となっている。



図-6 周辺河川流域

図-7には両河川の月平均流量の変動図を示した。



図-7 河川流量変動図

図-7に示すように、両河川ともに降雨の年間変動に応 じた流量を示している。またマンドラレ川は乾季でも流量 が確認されるのに対して、マナンブブ川は乾季には流量が ゼロとなっていることが分かる。一方、アンボボンベ盆地 内にはベマンバ川とよばれる河川が存在するが、渇水期を 含め多くの期間で地表面下に伏没してしまい、流量は確認 できない。

(4) 地形・地質

表-1には調査対象地域の地質層序を、図-8には地質 平面図を示した。調査対象地域の地質は先カンブリア時代 の基盤岩類と第三紀~第四紀の堆積層の2つに大きく分 けられる。

表一〕 地質層序				
*E9	教室単作		* *	
	#8£	克製食 (現金)	府機制(後、シルト、施士)	
			白色砂	
			水陽色の	
			開始の砂丘堆積物	
		更新化	中間の砂丘堆積物	
			古際の後点補償物	
			職成の際(調練した石炭質新祭あり)	
新聞王紀			論成層(絵土質砂、絵土、粘土質砂谷、粘土母)	
	古美三紀	局新世	石灰岩	
大山谷間	0.8.6		玄武帝、満秋帝(アンドロイ大山帝間)	
	先カンプリア時代		レプチナイト* (グラツァイト美)	
高盤の様			花焼台質レプチナイト(アンドロイ系)	
			片麻色、レブチナイト、輝谷、現谷(アンドロイ茶)	



図-8 地質平面図

先カンブリア時代の基盤岩類は、主にレプチナイトと呼ばれる石英長石質の片麻岩類で、黒雲母とざくろ石を含む。 これらの片麻岩類は高変成度の広域変成岩で、再結晶の進み具合で対象地域内においても、原岩(おそらく砂岩・泥岩) の組成・構造の残った砂質片岩、頁岩、珪岩などが見られる。

堆積層は、下位から新第三紀陸成層、第四紀陸成層およ び現世の表層堆積物からなる。新第三紀陸成層は、未固結 の粘土質砂~粘土、固結した粘土質砂岩~粘土岩よりなる。

(5) 水理地質

水理地質構造的に、先カンブリア時代の片麻岩~結晶片 岩からなる基盤岩類とそれを覆う新第三紀以降の堆積物に 大きく分けられる。

基盤岩類は大深度の新鮮で緻密な部分では基本的に不透 水層であるが、風化帯や破砕帯においては非常に透水性の 良い良好な帯水層を形成しており、地下水開発の可能性が 高い。基盤岩は対象地域北部において露出しているが、南 に向かい海に近づくほど地下深部にもぐっている。

この基盤岩を覆って新第三紀の粘土〜粘土質砂、粘土岩 〜粘土質砂岩、第四紀更新世の中期〜古期砂丘堆積物、お よび表層堆積物である現世(完新世)の砂丘堆積物、赤褐色 砂、白色砂、沖積層が分布する。これらの堆積物中では、 基盤岩や粘土質層を不透水層〜難透水層として砂質層中に 地下水が分布し、伝統的浅井戸による開発が行われている。

3. 現地調査結果

(1) 既存井戸インベントリー調査

調査対象範囲内にある既存井戸の分布を確認し、井戸深 度、地下水位、簡易水質(EC、pH、水温)、地下水利用状 況といった項目について現位置にて調査を行った。

調査の結果、およそ 250 箇所の既存井戸の分布を把握 することができた。**写真-1、2**に既存井戸を 2 例示す。



写真-1 Vovoと呼ばれる伝統的浅井戸



写真-2 足踏みポンプ付き井戸

調査結果の概要はつぎの通りである。

- ・ 井戸深度は 30m 以浅のもの(浅井戸)がほとんどで ある
- ・ 深度 50m 以深の深井戸は数カ所に止まる
- ・ 地下水位は 30m 以浅のものがほとんどである
- 電気伝導度(EC)は100~200(mS/m)のものが最も 多い
- 一方マダガスカル国飲料水基準の 300(mS/m)より 大きな値のものも多く確認できる

(2) 地下水位一斉測水

1) 目的

調査対象箇所の地下水位の平面分布を把握することを目 的として既存井戸の地下水位の一斉測水を行った。

2) 調査内容

観測箇所はインベントリー調査で確認された既存井戸から選定した(合計 70 箇所を選定)。

調査は合計3回実施された。第一回は2005年4月に、 第二回は同年7月に、そして第三回は同年10月に行った。 3)調査結果

図-9には2005年4月に行った一斉測水結果から作成 した地下水位等高線図を示す。図-9中、赤線で示した箇 所には井戸が分布していないため、推定値を示している。



図-9 地下水等高線(2005年4月)

地下水位等高線から、調査対象地域では上流から下流に 向かって地下水が流動していることがわかる。また地下水 位は基本的に地形に沿った分布をしていることがわかる。

(3) 地下水位定期観測

1) 目的

調査対象箇所の地下水位の時期的な変動傾向を把握する ことを目的として既存井戸の定期観測(月別観測)を行っ た。

2) 調査内容

ー斉測水箇所として選定した井戸のなかから16箇所を 月別観測箇所として選定した。これら箇所はアンボボンベ 盆地内の上流から下流まで均等に分布するよう選定した。 図-10には地下水位観測箇所位置図を示した(図-10中 には一斉測水箇所も併せて示した)。



図-10 地下水位観測地点

3) 調査結果

図-11 には北部地域に分布する既存井戸の地下水位定 期観測結果を示す。図-11 に示す通り、地下水位は年間 を通じてほぼ一定の値をとり、降雨に応じた大きな変動は 確認されなかった。



(4) 物理探查

1) 目的

物理探査は調査対象地域の地質構造を把握することを目 的として実施された。

2) 調査内容

本調査では垂直電気探査、TEM 法電磁探査および IP 探 査の3種類の調査手法を適用した。図-12には調査地点 位置を示した。

垂直探査および TEM 法探査は対象地域の地質構造の把 握を主な目的とし、また IP 探査は岩盤亀裂系の分布把握 を目的とした。



図-12 物理探査調査地点位置図

3) 調査結果

図-13には図-12に示した測線における探査結果から 得られた推定地質区分図を示した。



図-14 試掘調査地点位置図





(5) 試掘調査

1) 目的

調査対象地域の地質構造把握および地下水開発ポテン シャルの把握を目的として試掘調査を行った。

2) 調査内容

試掘調査では機械ボーリングによる深井戸掘削(50~200m、15箇所)と、手堀による浅井戸掘削(25m深度、5箇所)の2種類の調査を行った。

図-14には試掘調査地点位置図を示した。

3) 調査結果

調査の結果、北部基盤岩分布域において掘削した試掘井 戸からは生産可能な水量を得られることが明らかになっ た。一方で沿岸の堆積層分布域においては多くの試掘井戸 で地下水位が確認できず、確認できた場合でも塩分濃度が 高い(電気伝導度で 500mS/m 以上)地下水が得られるとい う結果になった。

ただし、沿岸域の F015 井戸では 300mS/m 程度の比較 的電気伝導度の低い地下水が得られることが確認された。

また、当初アンボボンベ盆地は沿岸部に分布する砂丘地 帯の下部に基盤岩の高まりがあり、同盆地は閉鎖している 可能性もあったが、試掘調査の結果そのような地質構造は



図-15 電気伝導度分布図(2005年9月)

確認できず、上流から流下した地下水はそのまま海へ流去 していると考えられた。

(6) 水質調査

1) 目的

調査対象地域の地下水および表流水の水質分布を把握す ることを目的として水質調査を行った。

2) 調査内容

調査箇所は既存井戸インベントリー調査結果より把握さ れた井戸より選定した。

調査項目は主要溶存成分および電気伝導度などである。

調査結果

図-15には調査結果より得られた電気伝導度の分布図 を示した。図-15に示す通り、電気伝導度は北部基盤岩 分布域で 300mS/m より小さく、また盆地内部~沿岸域に かけての堆積層分布域で 300mS/m より大きな値を示すと いう結果になった。ただし、沿岸域のアンボボンベ市内の 浅井戸のなかには 300mS/m より小さな値を示す箇所も確 認された。



4. 水収支解析

(1) 地下水流動機構

これまで示した各種の地下水調査結果に基づき、調査対 象地域の地下水流動機構を推定した。

図-16には推定されたアンボボンベ盆地における地下 水流動機構を示した。図-16に示すとおり、調査対象地 域のアンボボンベ盆地は北部の基盤岩分布域を涵養域と し、アンボボンベ盆地下流の沿岸域を流出域とした地下水 流動機構を構成していると考えられる。

上流部では岩盤の亀裂中や、風化帯を主な帯水層として 地下水は流動し、その後これら地下水は盆地内の堆積層(第 三紀、第四紀)中を帯水層として流動する。そして、最終 的には海岸砂丘部の下部を通過して海に流出する。調査実 施以前は、当該盆地は閉鎖水系であるとの説も存在したが、 この調査の試掘調査の結果、砂丘地帯の深部には不透水層 は存在せず、砂層を帯水層としてそのまま海へ流去してい ることが確認された。

一方で、アンボボンベ市内周辺に偏在する浅層地下水で あるが、通年に渡って地下水が枯渇せず存在することから、 上流からの継続的な涵養源が存在することが推察された。 涵養源としては、市内周辺の砂丘地帯からの降雨直接涵養 が想定される。さらにはアンボボンベ市内北方にあるサリ モント湿地からの地下水涵養も想定される。同湿地はアン ボボンベ盆地上流から流れるベマンバ川の最末端にあり、 同河川が洪水になった場合の貯水池のような働きをしてい る。また、同湿地周辺を乾季に訪問したところ、付近の住 民が地面を掘削して地下水を得ているのを確認した。この ことから、このサリモント湿地からも地下への浸透のある ことが推察される。

(2) 水収支構成項目

図-16に示した地下水流動機構においては、水収支は 以下の式で表現される。

P = E + R	(1)

R = Q + GWout	(2)

ここに

P:降水量

- E:蒸発散量
- R:涵養量
- Q:揚水量

GWout:地下水流去量

(3) 水収支の算定

1) 降水量

降水量は調査対象域における降水量観測所に対して ティーセン分割を行い、その分割面積比率に応じた面積降 水量を算定することとした。その結果、流域年間降水量と して 543mm/年の値が得られた。

2) 地下水流去量

地下水流出量はアンボボンベ盆地から海岸砂丘を経て海 に流出する地下水の量をダルシーの法則に従って算定し た。

図-17(a)、(b)には地下水流去量算定模式図を示した。



図-17(a) 地下水流去量算定結果



図-17(b) 地下水流去量算定結果

試掘井戸 F015 および F030 の地下水位標高から地下水 の動水勾配を算定した。さらに、F015 井戸における揚水 試験の回復試験結果から透水係数として 9.2×10^2 cm/s および 6.8×10^2 cm/s の値が得られている。ここでは両 者の平均値をとって 8.0×10^2 cm/s を採用する。さらに 帯水層の幅は 30km、帯水層の厚さは 90m とした。

こうして得られた値から下式によって地下水流出量を算 定した。

 $Q = K \times i \times L \times h = 0.08 \times 10^{-2} \times 0.0007 \times 30,000 \times 90$

 $= 1.512(m^{3}/s) = 47,682,432(m^{3}/ \oplus)$

ここに

Q:地下水流去量(m³/s)

- K: 透水係数(cm/s)
- i:動水勾配
- L:帯水層幅(m)
- h:帯水層厚(m)

地下水流出量は 47,682,432 m³/ 年となり、この値を流 域面積(1,923km²)で除すると 24.8mm/ 年となる。

3) 地下水揚水量

調査対象地域の地下水利用量の詳細な情報を得ることは 困難であるが、ここではこの調査を通じて行ったインベ ントリー調査の結果に基づいて地下水利用量の概算を試み た。

算定の結果、80,265m³/年の値を得た。ただし、この値 を流域面積(1,923km²)で除すると 0.042mm/年と降水量 に比べ微小な値となる。

4) 地下水涵養量

得られた値を(2)式に代入することで、地下水涵養量が 得られる。

 $R = Q + GWout = 80,265 + 47,682,432 = 47,762,697 \text{m}^3/ \oplus$

この値を流域面積(1,923km²)で除すると 24.8mm/ 年と

なり、流域降水量 543mm に対しては 4.6% に相当する。

5) 蒸発散量

蒸発散量は(1)式より算定することができる。

E=P-R=1,044,189,000-47,762,697=996,426,303m³/年 この値を流域面積(1,923km²)で除すると518.2mm/年 となる。

6) 水収支

表-2に得られた水収支を示す。

表-2 水収支算定結果

降水量	地下水 流出量	地下水 揚水量	蒸発散量
543mm 24.8mm		0.042mm	518.2mm

5. 地下水流動解析

(1) 地下水シミュレーションモデルの構築

1) モデル化範囲

検討対象範囲は給水計画における地下水水源開発箇所 (F006 および F015 井戸)が含まれるアンボボンベ盆地と する。図-18 にモデル化範囲を示した。



図-18 モデル化範囲

2) 使用モデル

シミュレーションには塩水浸入解析機能(密度流解析 機能)を有する米国地質調査所(USGS)による SEAWAT (SEAWAT: A Computer Program for Simulation of Three-Dimensional Variable-Density Ground Water Flow)を使 用した。

このモデルは世界的にもポピュラーな三次元差分地下水 流動解析モデルである MODFLOW(USGS)と、地下水汚 染物質の移流・分散・化学反応を解くモデルである MT3D (同)をカップリングさせたもので、地下水流動(密度流 解析機能も含む)と物質移動を同時に計算できるものであ る。

3) 带水層分布範囲

検討対象地域には盆地中心部をのぞいてほぼまんべんな く井戸が分布し、地下水も盆地内に広く分布していると 考えられる。また、試掘調査の結果でも盆地縁辺部である F009、F014 地点および F018 地点でも地下水が確認され た。したがってこの検討において帯水層分布域はアンボボ ンベ盆地全域とした。

4) 地表面標高

地表面標高はランドサット画像データから得た地形図 (25m間隔)を使用した。

5) 基盤標高

基盤深度は既往のボーリングデータおよび電気探査結果 などから JICA 調査団により作成された基盤標高コンター 図を使用した。

ただし、北部岩盤分布域については試掘調査で深層地下 水の確認されたなかで最も深い深度である 80m を帯水層 厚と考え、地表面標高から 80m を差し引いた値を基盤標 高としている。

6) 解析メッシュ

解析範囲(94.5km×40.0km)を 500m×500m の正方形 の格子に分割した。図-19 に解析メッシュを示した。ま た、塩水浸入状況をより詳細に把握するために垂直方向に 6 層に区分している。



図-19 解析メッシュ

7) 水理地質区分

水理地質区分は既往の表層地質分布図を参考とした(図-8)。

モデル化に際しては、先カンブリア紀の基盤岩、褐色砂・ 白色砂(第三紀堆積物)、砂丘堆積物(第四紀堆積物)および 沖積層の4種類に区分して取り扱った。

(2) モデルの検証

1) 検証方法

モデルの検証は入力パラメータ(水理パラメータ)を変 化させて地下水位の平面分布が現地調査結果から得られ たものと同等になるように行った。計算は初期水位と最 終水位とが同一になるまで(定常状態になるまで)繰り返 し行った。

2) 境界条件と入力条件

a) 固定水頭境界

固定水頭境界としては、海岸線部に標高 0m を、また アンボボンベ盆地最上流部に標高 380m をそれぞれ設定 した。アンボボンベ盆地最上流部に固定水頭境界を設定 したのは、現地踏査の際最上流部に湧水(乾期でも枯渇 せず)が確認されたという事実に基づいている。

ただし、同湧水は流量としては非常に小さいもので あったため、先に検討した水収支解析では流域外からア ンボボンベ盆地への流入はないものとして、この湧水量 はカウントしていない。

b) 固定濃度境界

固定濃度境界としては、海岸線部に海水の塩分濃度 35,000mg/litを設定した。

c) 初期塩分濃度分布

現地調査結果からアンボボンベ盆地内の塩分濃度分布 は電気伝導度が200mS/m以下程度の上流部岩盤分布域 と同400~700mS/m程度の堆積層分布域に大きく分け られる。こうした状況から、このモデルでは塩分濃度の 分布を次のように簡略化して取り扱った。

図-20に示す電気伝導度平面分布を参照し、図-20中に赤点線で示した境界線より上流部を電気伝導度 =200mS/m(塩分濃度=1,000mg/lit)の区間、下流部を 電気伝導度500mS/m(塩分濃度=2,500mg/lit)の区間に 区分した。モデルへの入力は電気伝導度の値を塩分濃度 に変換した値を適用している(図-21)。



図-20 電気伝導度測定結果(2005年11月)



図-21 モデルに入力された初期塩分濃度分布

d) 地下水涵養量

地下水涵養量は既述の水収支検討結果から得られた値 に基づき25mm/年を使用した。また、同地域では降雨 浸透後に地層中の塩分濃度が地下水中に溶出していると 考えられることから、涵養量にも初期塩分濃度条件と同 様の塩分濃度値を与えている。

e) 分散定数

分散定数は縦方向 1m、横方向 0.1m とした。

f) 飽和透水係数

飽和透水係数は、試掘調査結果を参考として**表-3**の 通り設定した。

表-3使用した飽和透水係数

地層区分	採用値	備考
基盤岩	$7.0 imes10^{-5}\mathrm{cm/sec}$	試掘井戸の飽和透水係数
第三紀堆積層	$3.0 imes10^{-4}~{ m cm/sec}$	試掘井戸の飽和透水係数
砂丘堆積層 A	$7.0 imes10^{-2}\mathrm{cm/sec}$	試掘井戸の飽和透水係数
砂丘堆積層 B	$7.0 imes10^{-1}\mathrm{cm/sec}$	キャリブレーション値
沖積層	$1.0 imes10^{-4}~{ m cm/sec}$	試掘井戸の飽和透水係数

g) 有効空隙率

有効空隙率は0.15を使用した。

3) 検証結果

図-22には地下水位平面分布の再現結果を示す。



図-22 検証結果

- (3) 将来予測計算
- 1) 地下水開発計画
- 図-23には地下水開発候補地点を示す。



図-23 地下水開発候補地点

現在地下水開発計画としては**表-4**に示す4ケースが想 定されている。

ケース	開発井戸	開発量
Case-1	F015	230m³/ 日 (83,950m³/ 年)
Case-2	F006	275m ³ / 日 (100,375m ³ / 年)
Case-3	F015	1,790m³/ 日 (653,350m³/ 年)
Case-4	F006	2,065m ³ / 日 (753,725m ³ /年)

表一4 水収支算定結果

2) 検討方法

予測計算では、設定した地下水開発計画の導入により地 下水位の低下とそれに伴う海水(塩水)浸入域の急激な拡大 といった影響が生じるかどうかを確認する。

ここでは以下の通りケーススタディを実施して検証を行 うこととした。

- ① 前項で示した現況再現モデルを使用とする
- ② F015 井戸の揚水量を0~5,000(m³/日)まで変化させて地下水位の低下量を確認する
- ③ F006 井戸の揚水量を 0 ~ 5,000(m³/日)まで変化させて地下水位の低下量を確認する
- ④ 上記地下水位低下量の確認と併せて塩水浸入範囲の変 化も確認する
- ⑤ 計算期間は10年間とした
- 3) モニタリング箇所の設定

地下水位および塩水浸入範囲の確認は F015 井戸から海 岸線までの区間におよそ 1km 間隔で観測箇所を設定して これらの水位および水質の変化を求めることで行った。図 - 24 には水位・水質モニタリング箇所の設定状況を示す。



図-24 モニタリング井戸設置箇所

4) 計算結果

図-25 には予測計算から得られた F015 井戸の揚水量 変化(Q=0、1,000、2,000、3,000、4,000、5,000m³/日)に 伴う観測井戸(含む揚水井戸)の水位低下量と塩分濃度の変 化量の関係を示す。

図-25 に示す通り、F015 井戸の揚水量の増加とともに 地下水の下流側(海側)に設置したモニタリング井戸群の水 位低下量は増加しているが、塩分濃度の変化(塩水浸入の 程度)は No.6 井戸まで確認されているものの、それより も内陸側では濃度に変化は生じていない。

さらに、この結果は F006 井戸の揚水条件(0~5,000m³/ 日)を(F015の揚水条件と同時に)与えた場合も同じものと なった。したがって給水計画で予定されている地下水開発 を行った場合でも、地下水位の大幅な低下による塩水浸入 は生じることはないという結果が得られた。



図-25 検討結果

6. おわりに

これまでに今回実施したような数値解析を用いた地下水 開発可能量の評価は、これまでは大規模な地下水開発プロ ジェクトにおいて実施される場合がほとんどであった。

ところが、飲料水開発プロジェクトは多くの途上国で 人間の安全保障という考えに基づく BHN(Basic Human Needs)の向上を目指すうえで欠くことの出来ない援助分 野である。

とくに、近年は地下水府存量が(質・量の面で)限定され た地域においても、持続的に開発可能な給水計画を立案す るといった技術的にも困難なプロジェクトへの要求が高ま りつつある。そういった場合にはこれまで以上に精度の高 い地下水開発ポテンシャルの評価が求められる。

したがって、今回用いたような塩水浸入解析モデルを用 いた検討も今後ますます必要性が高まることが予想され る。

このような数値解析技術は、ともすると万能なツールの ような誤った理解をされるおそれもあり、そこから導き出 される答えに対しては慎重な取り扱いが必要である。

いずれにしろ、こうした数値解析は、事前に行う様々 な地下水調査の実施と、その結果を用いた地下水流動系 の把握が必要不可欠な検討事項となる。このような数値 解析技術の導入を検討する場合には、その数値解析を強 力にサポートするような適切な現地調査の計画・実施が 求められる。

謝辞:本調査を行うにあたり、国際協力機構、地球環境部 およびマダガスカル事務所より多岐にわたるご協力をいた だいた。ここに深く感謝の意を表する次第である。

また、現地カウンターパート機関であるマダガスカル国鉱 山エネルギー省のスタッフのこの調査に対する強力なサ ポートにも感謝する次第である。

地下水塩水浸入解析について日本工営中央研究所総合技 術開発部高橋昌弘課長より有益な助言を頂いたことにも深 く感謝する次第である。

参考文献

- 国際協力機構:マダガスカル国南部地域における自立的・持続的飲料水供給計画調査事前調査報告書、2004.
- 国際協力機構:マダガスカル国南部地域における自立的・持続的飲料水供給計画調査 最終報告書、2007.