

# 岩盤地下水の開発事例

中国四国農政局 永田 聰  
○伊藤 吾一

## 1. はじめに

農林水産省は、農業用地下水調査の一貫として農業用水に乏しい中山間地域における新規の農業用水源として地下水を開発する調査を全国で実施している。中国四国農政局においても、1992年度から3ヶ年にわたって山口県北部のむつみ村と阿武町にまたがる面積80km<sup>2</sup>の地域を調査地区とした地下水調査を実施した。

本地区は中生代関門層群や阿武層群、広島型花崗岩を基盤岩として、更新世の玄武岩類が火山丘や溶岩台地を形成しており、近年この溶岩台地上の平坦面で大規模な農地開発が行われて畑作や施設園芸が営まれている。しかし、透水性の高い玄武岩溶岩の上では水利に恵まれず、農業用水の確保が急務となっている。これまでも、台地上や周辺の沖積層分布域などで幾度か地下水開発が試みられてきたがいずれも成功していないことから、今回は岩盤中のれっか水を対象として調査を実施した。

本調査では、各種の物理探査の結果から推定された断層を狙って試掘調査を行い、この断層破碎帯を帯水層とする地下水を日量200t以上開発することに成功した。れっか帯の存在を物理探査の手法で明らかにし、地下水の開発に成功して当初の目的を達したことから、今回その経緯を報告する次第である。

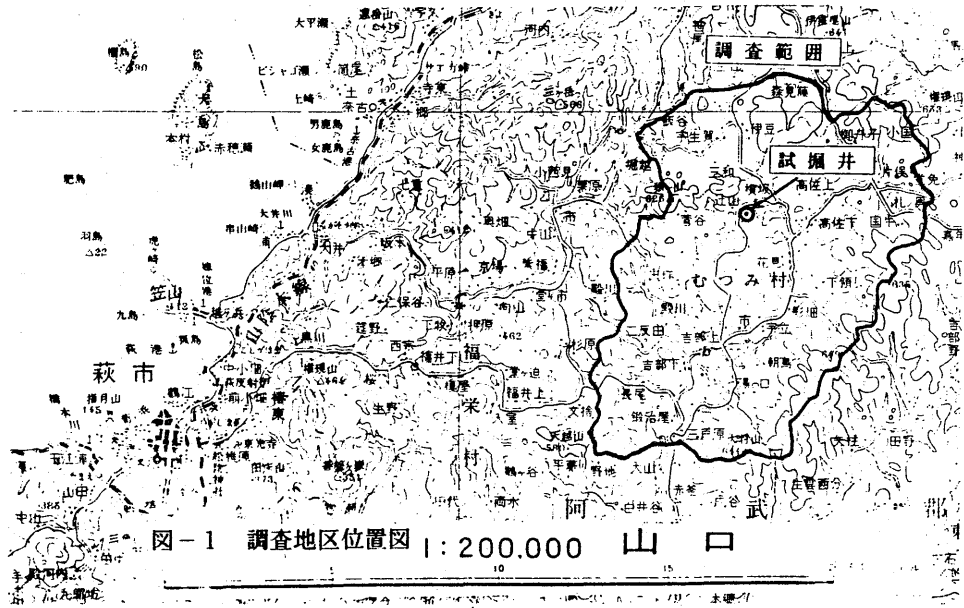


図-1 調査地区位置図 1:200,000 山口

## 2. 地質概要

本地域では地区の東部に白亜紀の安山岩や堆積岩からなる関門層群が、また地区の北部～東部に流紋岩類からなる阿武層群が、さらに中央部より南には広島型花崗岩が基盤岩として分布している。これらの基盤岩で形成される山地の標高は300m～700mで、関門層群や阿武層群の分布域で高く、花崗岩類からなる山地は比較的低い。

また、本地域には更新世の玄武岩類で形成される火山丘や溶岩台地が多数分布している。火山丘は地区中央部や北部の伏馬山や権現山などで、粘性の低いアルカリ玄武岩からなる。一方、溶岩台地としては地区北西部の西台、東台、千石台などが認められ、やや粘性の高いカルクアルカリ玄武岩によって頂上の平坦な溶岩台地が形成された。

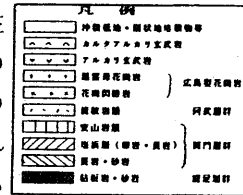
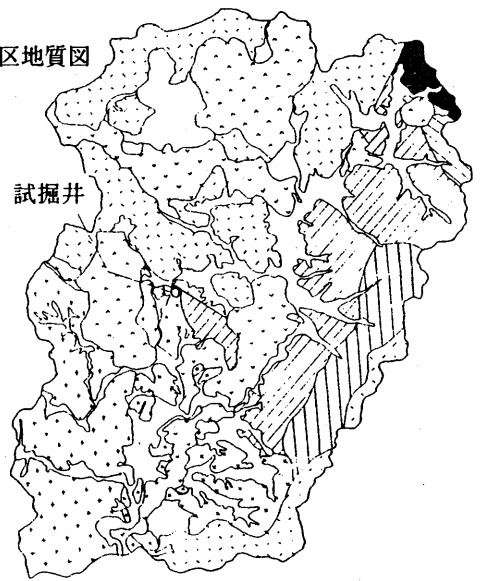
このほか、更新世、完新世の堆積物が谷間平野を中心に分布している。各層の分布や岩相などについては

表1の地質区分表に記載した。

図-2 調査地区地質図

表1 地質区分表

時代	地層名	岩 相	分 布	特 徴
第 四 紀	全新統	堆積・堆積土		
		沖積低地堆積物	碓目川等の流域に分布	
		新期扇状地堆積物	碓目川左岸にわずかに分布	
第 四 紀	埋没堆積物	碓目川下流にわずかに分布		大部分は岩石段丘となっていて、最上部に砂礫層が分布する。
		古期扇状地堆積物	群生川に分布	礫・砂・シルト層などで構成される。礫はくさり礫となっている。
	更新統	湖成層	阿武町字生賀周辺に分布	泥層・砂層・シルト層などの互層よりなる。
		カルクアルカリ玄武岩	地区北西部で下石台、西台、東台などの熔岩台地を形成	やや粘性の高い熔岩を流出して熔岩台地を形成した。台地下部では湧水が多数認められる。
白 堊 紀	阿武層群	アルカリ玄武岩	地区北部や中部で伏馬山などの火山丘を形成	流動性に富んだ熔岩を流出して火山丘を形成した。節理が発達しており、風化はほとんど受けていない。
		石英斑岩	地区全域	数十mの岩体として基盤岩類に貫入している。風化はそれほど進んでいない。
	花崗岩	広島型	地区西部に広く分布	阿武層群や花崗閃緑岩を貫入している。マサ化しているが花崗閃緑岩ほどではない。
		花崗閃緑岩	地区西部に広く分布	関門層群や阿武層群に貫入している。大部分は風化してマサ化や赤色化が進んでいる。
	流紋岩類	地区東部から北部に広く分布	流紋岩を主として石英斑岩などを含み、一般にかなり風化している。	
関門層群	安山岩類	地区東部に分布	比較的新鮮な地層で、黄緑色の石英と斜長石や石英の斑晶を含む。	
	塩基岩類(礫岩・頁岩)	地区東部から北部に広く分布	礫岩を主として層間に風化した頁岩、砂岩をはさむ。層理面は概ね北北西～北東方向で東傾斜を示す。	
二重紀～石炭紀	礫岩・砂岩	東北部にわずかに分布		



本地域には多数の断層が分布していると見込まれている。活断層の存在は確認されていないが、地質分布を変えるような断層としては、北東部のN40°E方向の断層(関門層群と阿武層群の境界部)や西部のN50°W、65°Sの断層(阿武層群と広島型花崗岩又は関門層群の境界部)の存在が推定されている。いずれも断層露頭はないが、後者については物理探査によってもその存在が裏付けられている。一方、地質踏査によって確認された断層には、N30°～40°W、80°Sのものが多。その破碎帯は幅数十cm～1m程度で、粘土化している。リニアメントの方向も断層の走向と同様に北西方向(N40°W)が卓越している。

### 3. 水文地質

本地域で開発可能な地下水は基盤岩中の裂か水、第四紀玄武岩熔岩下の地下水および第四紀堆積岩中の層状水である。このうち、基盤岩中の裂か水が最も開発に有望であると見込まれる。

本地域の基盤岩類は、古生代～中生代の堆積岩類、火山岩類と中生代の花崗岩類である。これらの基盤岩類は各所に破碎帯等が形成されていると見込まれており、破碎帯に賦存する裂か水は開発可能性の高い有望な地下水である。また、多くの基盤岩類は風化が激しく、花崗岩類はマサ化、流紋岩類は粘土化しており、風化部の自由水も開発可能である。さらに、地区全域で基盤岩に貫入している石英斑岩は比較的風化の程度が弱く、その境界部またはそれ自体の地下水が開発可能である。

本地区に分布する第四紀の玄武岩類は火山丘や熔岩台地を形成しており、このうち熔岩台地の末端部には湧水を伴うことから熔岩の下に地下水が賦存していると考えられる。しかし、カルクアルカリ玄武岩の台地は100m以上の厚さがあり、台地上からの開発は困難である。一方、アルカリ玄武岩の熔岩流は厚さ30m程度で開発は可能だが、現河床が玄武岩の底面よりも低いため地下水の量は期待できない。

本地域には第四紀堆積岩類が分布しており、礫層、砂層等の粗粒部から地下水が開発可能である。

### 4. 放射能探査調査結果

本地域の基盤岩類分布地域において車載型測定器による自然放射能探査を実施した。本調査における測線数は19ルート、総測定距離は65kmである。その結果、千石台周辺や高佐下地区などを中心にBi/Tl比の変動率が15%を越えた点(徴候点)32ヶ所を見いだした。

## 5. 電磁探査測定結果

放射能探査において徴候点が多く認められ、地元からの地下水開発の要望が多い千石台周辺で合わせて50測線、測線延長9,850mについてVLF法による電磁探査（使用波長17.4kHz、18.2kHz）を実施した。使用機種はスウェーデンABEM社製WADI測定器である。

この結果、毛木山地区では北部で低地と山地の境界に認められるリニアメントの上にはほぼ直線状に並ぶ徴候点が見いだされ、その延長上にある後井地区でも徴候点が認められた。このリニアメントを境として阿武層群の流紋岩が花崗岩や関門層群の礫岩と接していることから、毛木山地区から後井地区に伸びる有望な破碎帯をもつ断層の存在が推定された。また、毛木山地区南部には低地の中央に徴候点が集積し、また放射能探査による有望な徴候点も認められた。この地域は花崗閃緑岩と黒雲母花崗岩の分布域の境界で、特にリニアメント等は認められないが破碎帯がある可能性が高い。



このほか、毛木地区の花崗閃緑岩分布域や天坪地区の黒雲母花崗岩分布域でもリニアメント上に徴候点が認められたことから、いずれも破碎帯を伴うものと考えられる。

## 6. 電気探査

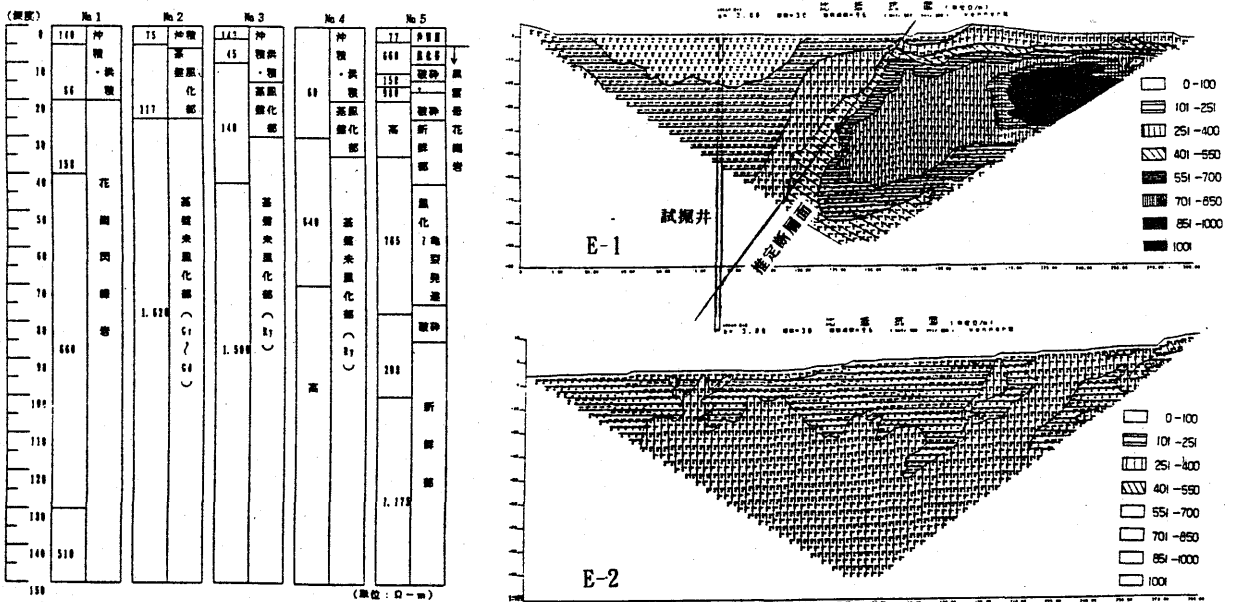
電気探査は垂直電気探査5地点と水平電気探査2測線を実施した。測定位置は図のとおりである。

垂直電気探査はウェンナーの四極法で実施した。その結果は、毛木山南(No. 2)、菅谷(No. 3, 4)で高比抵抗部が認められた。また、破碎帯と平行に行った毛木山北(No. 1)と天坪(No. 5)では比抵抗値が比較的良かった。

水平電気探査は電磁探査等の調査結果から本地区の地下水開発上有望な地点であり、地元からの地下水開発の要望が強い毛木山地区において実施した。測定方法はウェンナーの四極法とし、電極間隔3m、測線長285mのものを2測線行った。

地質踏査の結果から本断層によって阿武層群の流紋岩と、広島型花崗岩の黒雲母花崗岩が接していることがわかってきた。本地域では、流紋岩に比べ花崗岩が風化を強く受けているので、比抵抗値は流紋岩が大きく、花崗岩が小さいと推定される。測定の結果、測線E-2には明瞭な境界は認められなかったものの、測線E-1においては花崗岩側で低比抵抗帯が、流紋岩側で高比抵抗帯が認められた。本断層は、本来下位にある黒雲母花崗岩が流紋岩に乗り上げていることから逆断層又は横ずれ断層と考えられ、その傾斜は南落ち65°であると推定された。

図-4 電気探査測定結果



## 7. 試掘調査

これまでの地質踏査、放射能探査、電磁探査、電気探査の調査結果に基づき、最も地下水開発が有望と見込まれる毛木山地区において試掘調査を実施した。掘削方法は、軟質な地層においては孔壁崩壊防止可能な泥水工法を、また、硬質な地層では掘削速度が大きく他の方法に比べ揚水量が大きくなるエア-

表2 ボーリング掘削時の地質概況

深度	地質	地質状況(概略)	掘削工法
0.0~12.2m	粘土質砂層	スライムは淡灰~褐色 少量の粘土分を含む細~中粒砂からなる	泥水工法
12.2~42.4m	花崗岩強風化層 (マサ)	マサ化の進んだ風化花崗岩 深度23.0~31.0m間は細粒質	泥水工法
42.4~57.5m	花崗岩風化層	スライムは淡褐色 風化により軟質となり崩壊の著しい地層	泥水工法
57.5~100.0m	花崗岩	中硬質~硬質な岩盤 深度65.3~72.1m、 85.0~86.0m、91.0~95.0mで電磁が発達	エア-ハンマー 工法
100.0~112.0m	破碎帯	崩壊著しい 暗褐色を呈する角礫~粗粒状のシルト	泥水工法
112.0~120.0m	流紋岩質 結晶凝灰岩	暗青灰色の亀裂の少ない中硬質岩盤	泥水工法

ンマー工法をそれぞれ用いた。井戸の諸元は掘削孔径150mm以上、仕上り孔径100mm、深度120mである。本調査における地質概況を表2に、ボーリング柱状図を図5に示す。

さく井終了後、電気検層を実施した。その結果はボーリング柱状図に併記した。なお、深度57.5mまでは孔壁崩壊を防ぐためケーシングを挿入したので電気検層を実施していない。これによると、深度58.0~71.0mおよび88.0~104.0mに比抵抗値の低いゾーンが存在した。これは掘削時における湧水区間の深度と良く対応している。

図5 ボーリング柱状図

電気検層終了後、ケーシングとしてガス管を挿入した。このうちの28.5m区間については開孔率4%となるようスリット加工し、15m区間には開孔率37.5%のスクリーンを用いてストレーナーとした。

ケーシング挿入後井戸内を洗浄し、段階揚水試験および連続揚水試験を実施した。段階揚水試験は、連続揚水試験の適性揚水量を決定することを目的として、1段階3時間、4段階往復7段階21時間で実施した。この結果から想定された適性揚水量 ( $Q = 0.15 \text{ m}^3/\text{分}$ ) で、揚水24時間、回復24時間の連続揚水試験を実施し、水理定数(透水係数  $T$ 、透水量係数  $k$ 、貯留係数  $S$ ) を計算した。試験の結果、揚水開始12時間後には水位降下量24.7mで水位が安定し、揚水停止後は順調に水位が回復した。このため、この試掘井では揚水量  $0.15 \text{ m}^3/\text{分}$  ( $216 \text{ m}^3/\text{日}$ ) の揚水を行うことが可能であると判断した。

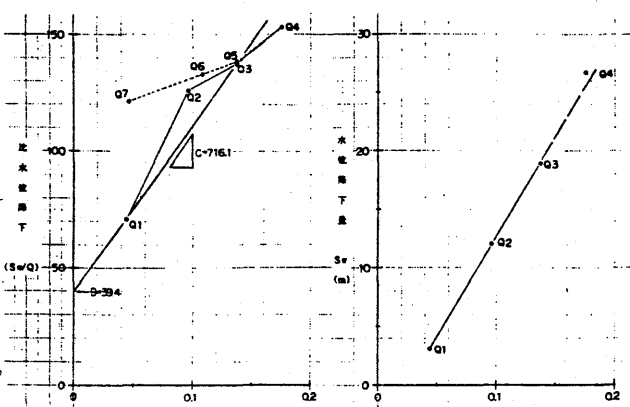
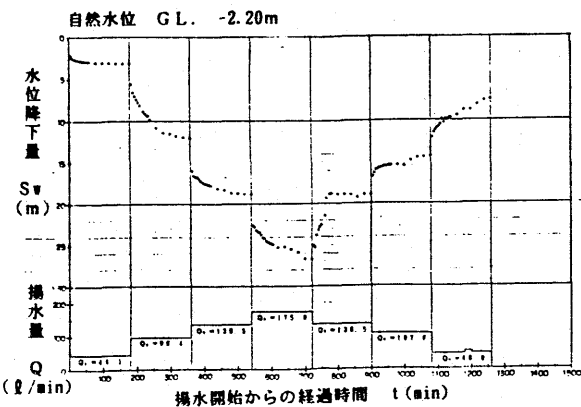
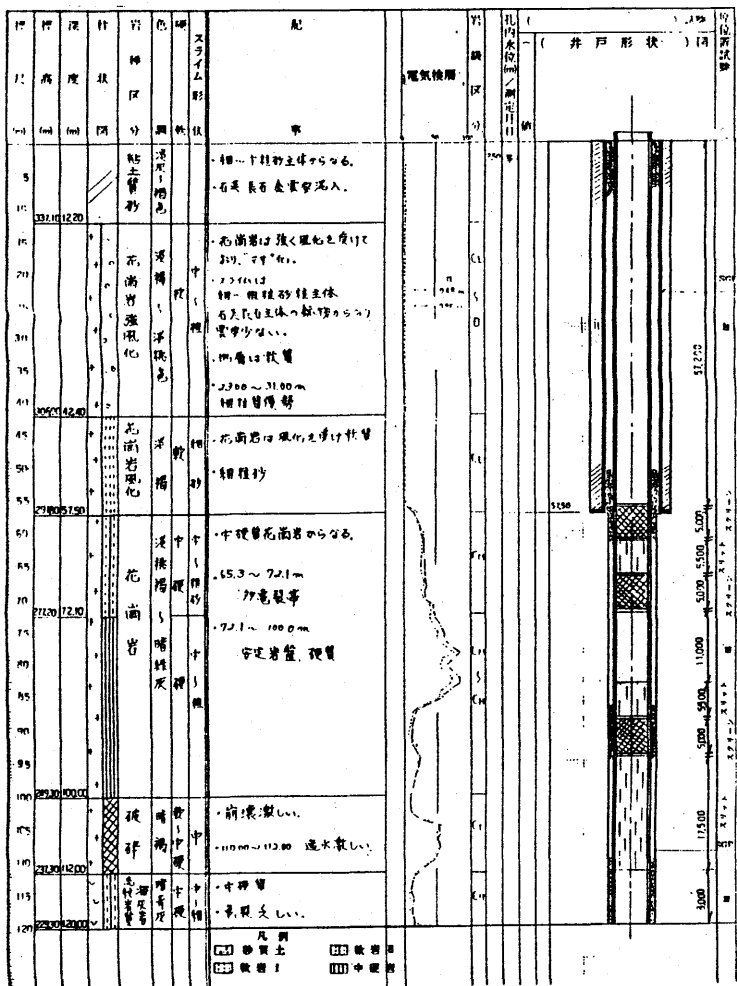
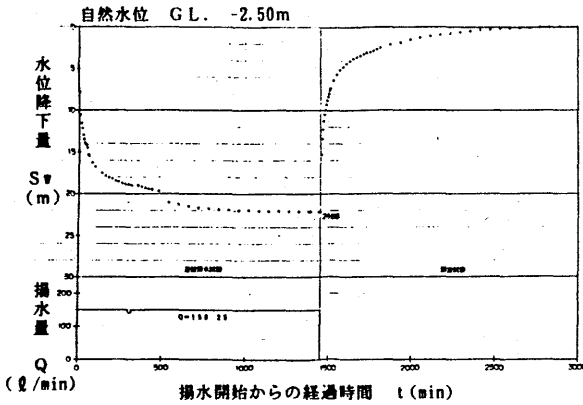


図6 段階揚水試験結果図

$Sw/Q$  と  $Q$  の関係図

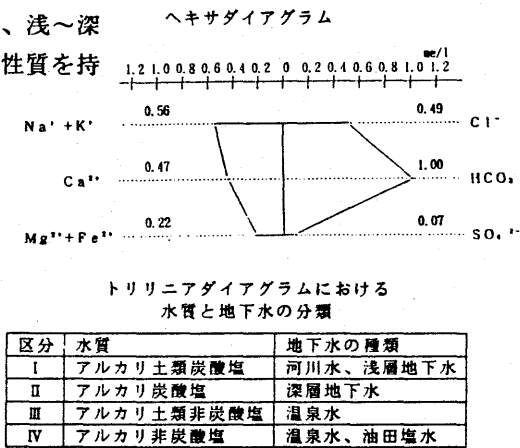
$Sw$  と  $Q$  の関係図

図7 連続揚水試験結果図



水質分析は、連続揚水試験中に採水した地下水について実施した。本地下水はアルカリ炭酸塩に近いアルカリ土類炭酸塩の組成を示し、浅～深層地下水の中間的な性質を持つ。

図-8 水質分析結果



8. まとめ

本調査の結果、本地区では岩盤中や断層破碎帯中に賦存する日量200t以上のれっか水を新規の水源として開発することが可能であるとの結論を得た。また、これらのれっか水の開発に物理探査の手法が有効であることも確認された。このことは、地表水を十分に確保できない地域で地下水を新規の水源として考える際に参考になるものと考えられる。

なお、本調査に関する実際の業務は、西嶋輝之（中央開発インターナショナル）東一樹（農林水産省構造改善局）浅野将人（農用地開発公団九州支社）の各氏によって実施された。

表3 揚水試験結果一覧

揚水試験 自然水位GL.-2.50m 安定水位GL.-24.66m 揚水量Q=150.25 /min			
水理定数	タイスの式	ヤコブの式	回復式
T: 透水係数 cm <sup>2</sup> /sec	7.65 × 10 <sup>-1</sup>	7.50 × 10 <sup>-1</sup>	6.35 × 10 <sup>-1</sup>
k: 透水係数 cm/sec	5.28 × 10 <sup>-6</sup>	5.16 × 10 <sup>-6</sup>	4.38 × 10 <sup>-6</sup>
S: 貯留係数	7.06 × 10 <sup>-1</sup>	7.70 × 10 <sup>-1</sup>	—

表4 水質分析結果一覧

検査項目	分析結果 (mg/l)	(%)	水質基準(飲料水)	
Na <sup>+</sup>	12 mg/l	0.52 me/l	44.8	
K <sup>+</sup>	1.5 mg/l	0.04 me/l		
Ca <sup>++</sup>	9.4 mg/l	0.47 me/l	54.4	
Mg <sup>++</sup>	2.6 mg/l	0.21 me/l		
Fe <sup>++</sup>	0.39mg/l	0.01 me/l	0.8	0.3 mg/l 以下
Cl <sup>-</sup>	16 mg/l	0.49 me/l	31.4	200 mg/l 以下
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	61 mg/l	1.00 me/l	64.1	
SO <sub>4</sub> <sup>++</sup>	3.5mg/l	0.07 me/l	4.4	
F <sup>-</sup>	0.2mg/l			0.8 mg/l 以下
pH値	7.2			5.8以上 8.6以下

