

0006

JNC TJ7440 2005-040
~~JNC TJ7440 00-001~~

[機密資料]

西南・中部日本外帯古第三紀堆積岩の 深部地質環境データ（地下水）

（動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書）

1998年3月

三井金属鉱業株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

©核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2005

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついでには、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容遺漏がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料につきでの問合せは下記に願います。
一平107-0052 東京都港区赤坂1-9-13
-動力炉-核燃料開発事業団-
-技術協力部-技術管理室-

JNC TJ7440 2005-040

~~JNC Z-J1174-98-001~~

=
=限定期料=
=

西南・中部日本外帶古第三紀堆積岩の 深部地質環境データ（地下水）

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1998年3月

三井金属鉱業株式会社

JNC TJ7440 2005-040

~~機密資料~~

~~JNC TJ7440 2005-040~~

1998年3月

西南・中部日本外帯古第三紀堆積岩の深部地質環境データ(地下水)

[REDACTED] * [REDACTED] *** [REDACTED] *** [REDACTED] ***

要　　旨

本報告書は、地層処分システムの性能評価と概念設計に資する地質環境モデルデータセットの整備を目的として、西南・中部日本外帯古第三紀堆積岩の地下水データを取りまとめたものである。調査は、鹿児島県熊毛郡南種子町中之上有尾地内における深度506.00mの試錐孔(種子島地区No. 1孔)を用いて実施した。地下水は、パッカ式地下水サンプラー(PGS-500)を用いて、GL-250.0～250.5mにて約87ℓ採取した。得られた試料に対して実施した調査項目は以下の通りである。

- ①モニター物理化学パラメータ計測(4項目)
- ②モニター化学分析(8項目)
- ③主要元素等の分析(41項目)
- ④バクテリアの分析等(10項目)

調査の結果、採取した地下水には掘削の影響等はみられず、地下水の年代は45年以上と推定された。また、水質は $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型であった。

バクテリアの分析では、地下水には硫酸塩還元細菌が優占的に存在することが確認された。硫酸塩還元細菌の優占種は、*Desulfovibrio*等と推定された。

本報告書は、三井金属鉱業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号………092A1089

事業団担当部課室：環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ(山崎眞一)

*三井金属鉱業株式会社

***三井金属資源開発株式会社

~~COMMERCIAL PROPRIETARY~~
JNC TJ7440 2005-040
~~PNCZ3317498-001~~

March, 1998

Data on the Deep Paleogene Sedimentary Rock in the Outer Belt
of Southwest and Central Japan (ground water)

Abstract

This report describes the deep underground environment as a part of a series of research with the object of obtaining a complete set of data on the geological environment. The report presents the ground water data of the Paleogene sedimentary rock in the outer belt of southwest and central Japan, obtained from 506.00 meter deep hole (Tanegashima No.1 hole) located at Nakatane-cho, Kumage-gun, Kagoshima Prefecture. Using the sealed type double packer, ground water sample (total volume 87 lit.) was collected from the borehole depth 250.0 – 252.5 meter from ground surface. This report presents the results that include the following investigations.

- 1) Physical chemistry measurement for monitor (4 items)
- 2) Chemical analysis for monitor (8 items)
- 3) Chemical analysis (41 items)
- 4) Microbiological examination (10 items)

The test results show that the ground water was probably derived from rainwater estimated to be more than 45 years old. The ground water is $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ type. According to microbiological examinations, the dominant species were anaerobic sulfate-reducing bacteria in the ground water. The dominant species of the sulfate-reducing bacteria was *Desulfovibrio* etc.

Work performed by Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison ... Geosciences Research Program, Radioactive Waste Management Project
Shinichi Yamazaki

*Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd.

**Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd.

目 次

| | |
|------------------------------|----|
| 1. 調査概要 | 1 |
| 1.1 調査件名 | 1 |
| 1.2 調査目的 | 1 |
| 1.3 対象地下水 | 1 |
| 1.4 調査位置 | 1 |
| 1.5 調査期間 | 1 |
| 1.6 調査内容 | 1 |
| 1.7 調査担当者 | 2 |
| 2. 地形・地質 | 5 |
| 2.1 地形概要 | 5 |
| 2.2 地質概要 | 5 |
| 3. 既往調査の結果概要 | 12 |
| 3.1 岩芯調査結果 | 12 |
| 3.2 物理検層結果 | 12 |
| 3.3 ボアホールスキャナー観察結果 | 15 |
| 3.4 透水試験結果 | 18 |
| 3.5 地下水・地表水の分析結果 | 19 |
| 4. 地下水の採水 | 23 |
| 4.1 採水装置 | 23 |
| 4.2 採水手順 | 26 |
| 4.3 採水作業結果 | 27 |
| 5. モニター物理化学パラメータ計測 | 36 |
| 5.1 モニター物理化学パラメータの計測方法 | 36 |
| 5.2 モニター物理化学パラメータの計測結果 | 37 |
| 6. モニター化学分析 | 47 |
| 6.1 モニター化学分析の方法 | 47 |
| 6.2 モニター化学分析の結果 | 47 |

| | | |
|-----|---|----|
| 7. | 主要元素等の分析 | 52 |
| 7.1 | 試料保存方法 | 52 |
| 7.2 | 物理化学パラメータの計測方法 | 53 |
| 7.3 | 溶存ガスの分析方法 | 53 |
| 7.4 | 陽イオンの分析方法 | 54 |
| 7.5 | 陰イオンの分析方法 | 54 |
| 7.6 | その他の成分の分析方法 | 56 |
| 7.7 | 主要元素等の分析結果 | 59 |
| 8. | バクテリアの分析等 | 61 |
| 8.1 | 試料保存方法 | 62 |
| 8.2 | 全菌数計数の方法 | 62 |
| 8.3 | 特定バクテリアの存在調査方法 | 62 |
| 8.4 | 硫酸塩還元細菌の同定方法 | 66 |
| 8.5 | バクテリアの分析等の結果 | 66 |
| 9. | 分析結果の考察 | 69 |
| 9.1 | トリチウム濃度による地下水の年代推定 | 69 |
| 9.2 | $\delta D \cdot \delta^{18}O$ による水起源の推定 | 70 |
| 9.3 | 分析結果から評価した地下水の水質 | 71 |
| 9.4 | pHと酸化還元電位からみた微生物の存在可能性 | 73 |

表 目 次

| | |
|---|-------|
| 表2.1 種子島地区の地質総括表 | 9 |
| 表3.1 岩芯調査による割れ目状況(深度250.0~252.5m) | 12 |
| 表3.2 物理検層結果(深度250.0~253m) | 13 |
| 表3.3 岩層別自然電位・見掛け比抵抗 | 13 |
| 表3.4 岩層別P波速度 | 14 |
| 表3.5 岩層別地層孔隙率 | 14 |
| 表3.6 岩層別γ線強度 | 15 |
| 表3.7 ボアホールスキャナ一観察で観測された不連続面(深度250.0~252.5m) | 18 |
| 表3.8 累積開口量曲線の勾配による区分 | 18 |
| 表3.9 間隙水圧・透水係数の測定結果 | 19 |
| 表3.10 物理化学パラメータ測定結果 | 19 |
| 表3.11 溶存ガスの分析結果 | 20 |
| 表3.12 陽イオンの分析結果 | 20 |
| 表3.13 陰イオンの分析結果 | 21 |
| 表3.14 その他成分の分析結果 | 22 |
| 表3.15 バクテリアの分析結果 | 22 |
| 表4.1 パッカ式地下水サンプラー(PGS-500)の仕様 | 26 |
| 表4.2 パッカ拡張直後から本採水終了までのセル圧 | 28 |
| 表4.3 予備採水の作業記録 | 30~32 |
| 表4.4 本採水の作業記録 | 34 |
| 表5.1 モニター物理化学パラメータ計測に使用した計測器と仕様 | 36 |
| 表5.2 モニター物理化学パラメータ計測結果 | 38~40 |
| 表5.3 モニター物理化学パラメータ計測値の統計的処理結果 | 44 |
| 表6.1 モニター化学分析の方法 | 47 |
| 表6.2 モニター化学分析結果 | 48 |
| 表7.1 主要元素等の分析項目 | 52 |
| 表7.2 試料の保存方法 | 52 |
| 表7.3 物理化学パラメータ計測で使用した計測器 | 53 |

| | |
|--|----|
| 表7.4 溶存ガス分析における使用機器ならびに測定条件 | 53 |
| 表7.5 誘導結合プラズマ発光分光分析の測定波長 | 54 |
| 表7.6 $\text{Cl}^- \cdot \text{F}^- \cdot \text{Br}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^- \cdot \text{NO}_2^-$ の分析における 使用機器ならびに測定条件 | 55 |
| 表7.7 I^- の分析における使用機器ならびに測定条件 | 55 |
| 表7.8 主要元素等の分析結果 | 60 |
| | |
| 表8.1 鉄酸化細菌の培地(2%硫酸第1鉄を含むSilverman9K培地)組成 | 62 |
| 表8.2 グルコースースパラギン培地組成 | 62 |
| 表8.3 硫酸塩還元細菌用培地組成 | 63 |
| 表8.4 メタン生成細菌用培地組成 | 64 |
| 表8.5 アンモニア酸化細菌 | 64 |
| 表8.6 亜硝酸酸化細菌用培地組成 | 65 |
| 表8.7 硝酸還元細菌用培地組成 | 65 |
| 表8.8 Giltay培地組成 | 66 |
| 表8.9 特定バクテリアの存在調査における試験本数と陽性本数 | 67 |
| 表8.10 特定バクテリアの菌数計数結果 | 67 |
| | |
| 表9.3 水質化学相の分類 | 73 |

図 目 次

| | |
|---|-------|
| 図1.1 調査位置図 | 3～4 |
| 図2.1 概略地質図および断面図 | 7～8 |
| 図3.1 孔内展開図 | 16～17 |
| 図4.1 パッカ式地下水サンプラー(PGS-500)概略図 | 24 |
| 図4.2 パッカ式地下水サンプラー(PGS-500)採水機構部分概略図 | 25 |
| 図4.3 パッカ拡張直後から本採水終了までのセル圧 | 28 |
| 図5.1 水温計測結果 | 41 |
| 図5.2 pH計測結果 | 41 |
| 図5.3 電気伝導度(25°C換算)計測結果 | 42 |
| 図5.4 酸化還元電位(10°C・水素電極基準)計測結果 | 42 |
| 図5.5 水温計測値の統計的処理結果 | 45 |
| 図5.6 pH計測値の統計的処理結果 | 45 |
| 図5.7 電気伝導度(25°C換算)計測値の統計的処理結果 | 46 |
| 図5.8 酸化還元電位(10°C・水素電極基準)計測値の統計的処理結果 | 46 |
| 図6.1 モニター化学分析結果 | 48 |
| 図6.2 モニター化学分析結果(SiO ₂) | 49 |
| 図6.3 モニター化学分析結果(Na ⁺) | 49 |
| 図6.4 モニター化学分析結果(Ca ²⁺) | 50 |
| 図6.5 モニター化学分析結果(Mg ²⁺) | 50 |
| 図6.6 モニター化学分析結果(HCO ₃ ⁻) | 51 |
| 図6.7 モニター化学分析結果(Cl ⁻) | 51 |
| 図9.1 酸素安定同位体比と水素安定同位体比の関係 | 71 |
| 図9.2 トリリニヤーダイヤグラム | 72 |
| 図9.3 Zajicによる微生物生育のためのpHとEhの範囲 | 74 |

1. 調査概要

1.1 調査件名

西南・中部日本外帯古第三紀堆積岩の深部地質環境データ(地下水)

1.2 調査目的

地質環境調査では、我が国の地質環境を、岩石の種類、年代、地質構造の特徴などから区分し、地質環境単元データの集積が行なわれている。本調査では、その一環として、西南・中部日本外帯古第三紀堆積岩の深部地下水の調査を実施した。

1.3 対象地下水

西南・中部日本外帯古第三紀堆積岩の深部地下水

1.4 調査位置

鹿児島県熊毛郡南種子町中之上有尾地内 種子島地区No. 1孔(図1.1参照)

1.5 調査期間

平成9年12月～平成10年3月

1.6 調査内容

平成7年度に掘削された種子島地区No. 1孔(鉛直孔・孔長506.0m)の深度250.0～252.5mから湧出する深部地下水を採取し、深部地下水データを獲得するために、以下の業務を実施した。

①予備採水(採水量: 70.7l)

パッカー式地下水サンプラー(PGS-500NQNU, HQ型)を用いて、パッカーで閉鎖した採水区間(深度250.0～252.5m)の「真の地下水」を採取するため、残留している掘削水等を取り除くことを目的として実施した。

②モニター物理化学パラメータ計測(4項目×116試料)

予備採水中、採水区間の水が「真の地下水」と置換されたかを確認するために、採水容器が回収される毎に、現地にて水温・pH・電気伝導度・酸化還元電位を測定した。

③モニター化学分析(8項目×9試料)

モニター物理化学パラメータ計測と同様の目的で、予備採水の開始時および予備採水量が採水区間容量に達する毎に、分析所にてウラニンおよび特定元素(SiO_2 ・ Na^+ ・ Ca^{2+} ・ Mg^{2+} ・ HCO_3^- ・ Cl^- ・ F^-)の化学分析を実施した。

④本採水(採水量: 約16.2ℓ)

予備採水終了後、パッカ式地下水サンプラー(PGS-500NQNU; HQ型)を用いて、主要元素等の分析・バクテリアの分析等のため、パッカで閉鎖した採水区間(深度250.0~252.5m)の「真の地下水」を採取した。

⑤主要元素等の分析(41項目×1試料)

本採水で得た試料を用いて、分析所にて物理化学パラメータ4項目・溶存ガス7項目・陽イオン11項目・陰イオン11項目・その他8項目の分析を実施した。

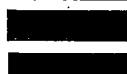
⑥バクテリアの分析等(10項目×1試料)

本採水で得た試料を用いて、分析所にて全菌数計数・特定バクテリアの存在調査8項目、硫酸塩還元細菌の同定を実施した。

1.7 調査担当者

技術責任者 [REDACTED]

主任技術者 [REDACTED]



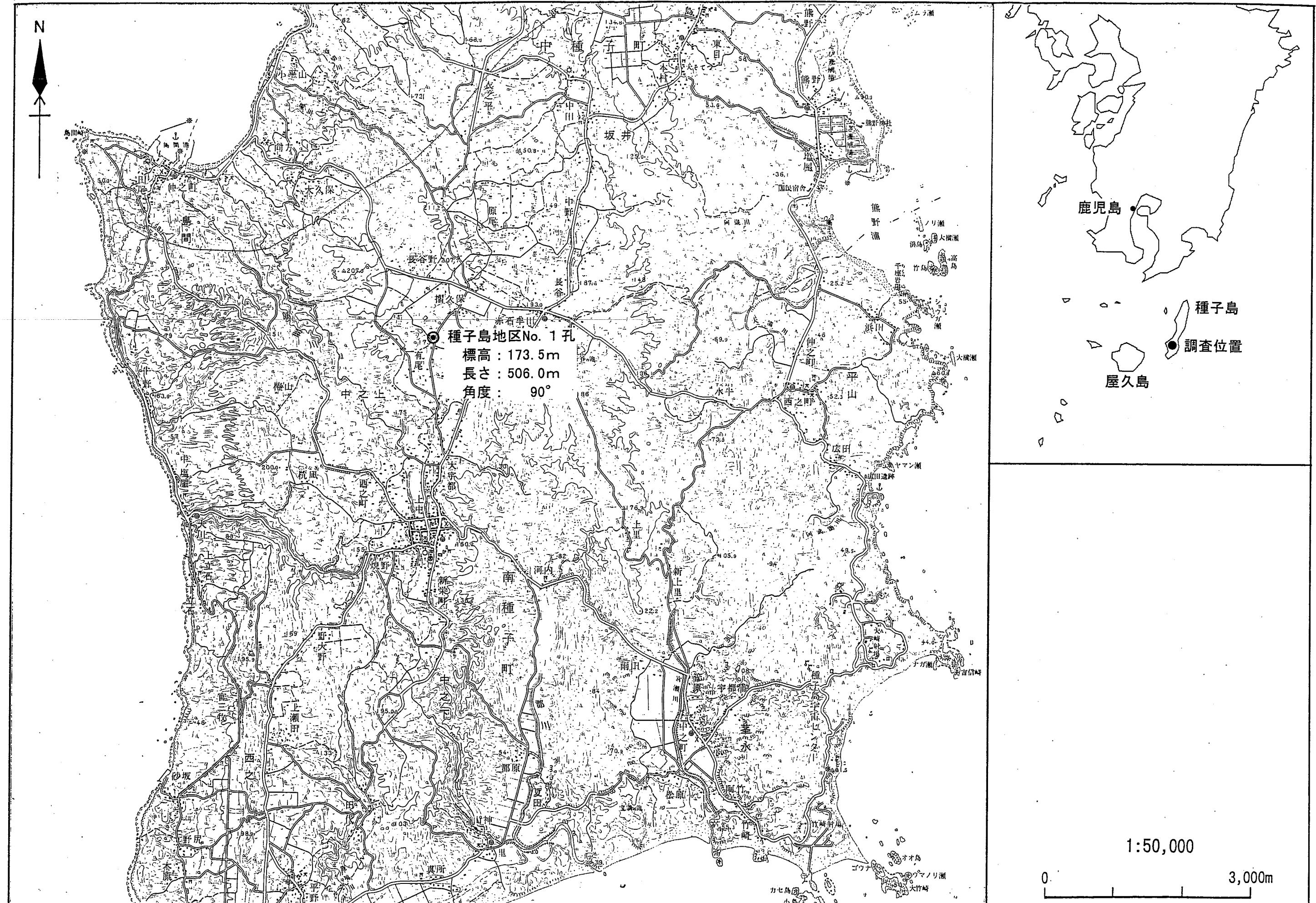


図1.1 調査位置図

2. 地形・地質

2.1 地形概要

種子島は、鹿児島県本土の約33km南東に位置する面積447km²の比較的低平な島で、全体の形状は、NNE-SSW方向に細長く伸びた中くびれの紡錘形を呈する。

本調査で深部地下水を採取した種子島No. 1孔は、種子島南部に位置し、その周辺地区の海岸からは、多数の河川が伸びている。それら河川のうち比較的規模の大きな河川としては、以下の6つが挙げられる。

- ①郡川：調査地区南方の南海岸から河内を通り第一長谷付近に至る
- ②宮瀬川：調査地区南方の南海岸から新上里に至る
- ③阿嶽川：調査地区北東の熊野浦から中野付近に至る
- ④大浦川：調査地区北東の熊野浦付近から水牛付近に至る
- ⑤苦浜川：調査地区北方の長浜から中田、中野を経て赤石牟田付近に至る
- ⑥島間川：調査地区北西の島間から大宇都北方を経て第一長谷付近に至る

調査地区は、周囲から伸びる河川の侵食作用により、起伏に富む丘陵地が形成されている。この丘陵地は、調査地区中央やや西よりの坂井一長谷一上中付近にほぼ島軸方向に沿って広がる台地(最高標高：211m)を境にして、その西方の島間丘陵とその東方の南種子丘陵とに分けられる(鹿児島県、1980)。

島間丘陵は、島軸部に近い部分よりも海岸部で起伏量が大きく、元来、中位および下位海岸段丘面を形成していた平坦面を丘陵の頂部に残している。

南種子丘陵は、海岸部よりも島軸で起伏量が大きく、また尾根部が鋭く尖り、標高は低いながら、険しい山容を呈している。この丘陵地は、第四紀の一時期は沈水し、リアス式海岸であったと考えられ、その時期に堆積した三角州堆積物による大きな低地が丘陵地の奥深くまで分布している。

2.2 地質概要

種子島の地質は、橋本(1962)、岡田(1977)、Okada and Whitaker(1979)、Hayasaka et al. (1980)、坂井(1980)、鹿児島県(1980)、岡田ほか(1982)、鹿児島県地質図編集委員会(1990)、木村(1992)等により報告されている。これらにしたがい、調査地区的地質概要を述べる。

調査地区的概略地質図及び断面図を、図2.1に示す。本地区の地質は、表2.1の地質総括表に示すように下位より次の6つの層からなる。

This is a blank page.

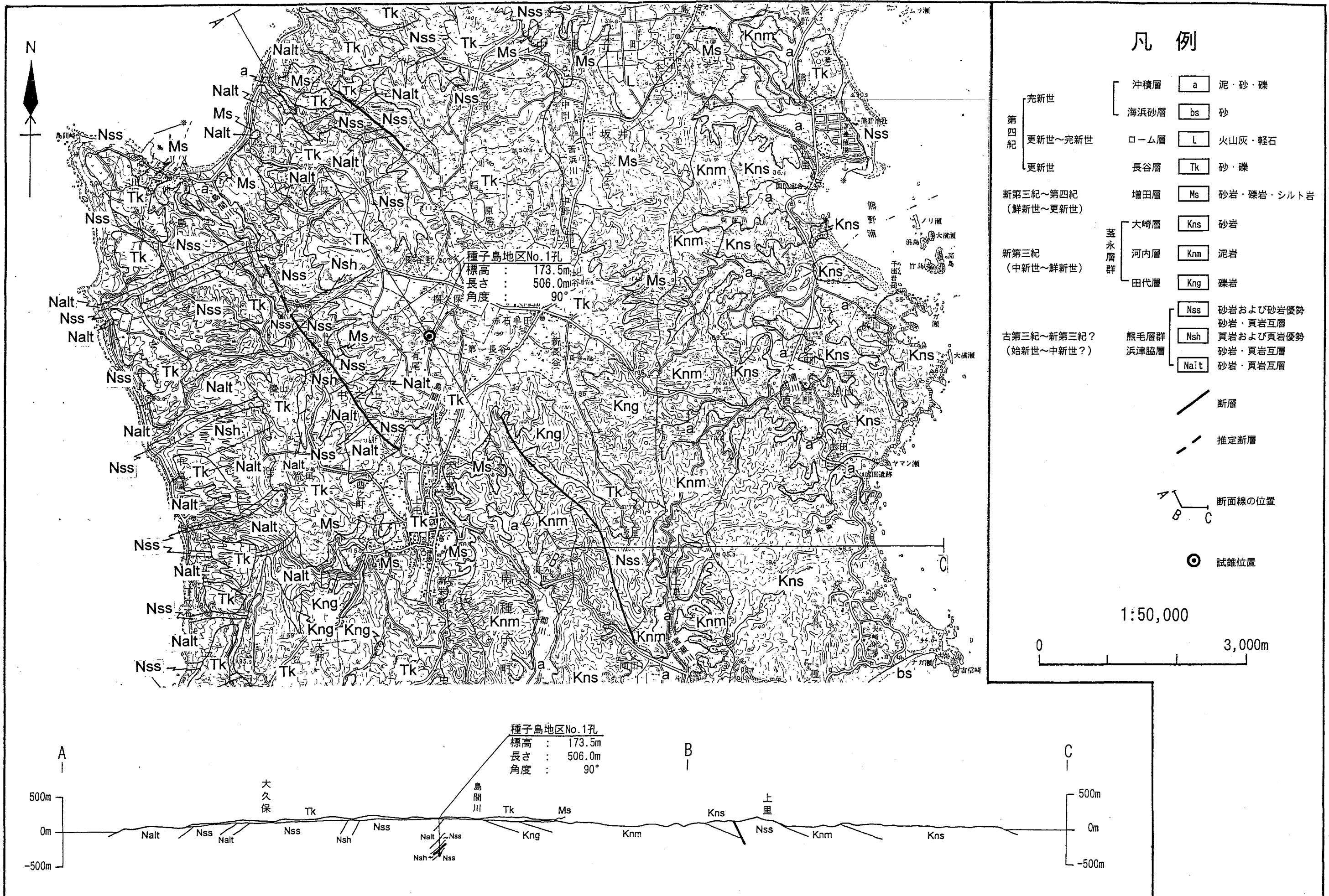


図2.1 概略地質図および断面図

表2.1 種子島地区の地質総括表

| 地質年代 [*] (Ma) | | 堆積岩類 | | 火山活動 |
|---------------------------|-----|------|---|----------------------|
| 第四紀 | 完新世 | 0.01 | 沖積層 (泥, 砂, 磯) ローム層 (火山灰, 軽石) 長谷層 (砂, 磯) | 海浜砂層 (砂) |
| | 更新世 | 1.64 | | 阿多, 始良, 薩摩硫黃島などの火山活動 |
| | 鮮新世 | 5.2 | | |
| | 中新世 | 23.3 | 増田層 (砂岩, 磯岩, シルト岩) 茎永層群 | |
| | 漸新世 | 35.4 | 大崎層 (砂岩) 河内層 (泥岩) 田代層 (砾岩) | |
| | 始新世 | 56.5 | 住吉層** (砂岩, 砂岩・頁岩互層) 深川層 (砂岩, 砂岩・頁岩互層) 浜津脇層 (砂岩, 頁岩, 砂岩・頁岩互層) | 海底火山活動 |
| 古第三紀 | 暁新世 | 65.0 | 二十番層 (砂岩) | |

* 絶対年代はHarland et al.(1987)による

** 種子島北部に分布

- ①熊毛層群：古第三紀始新世～新第三紀中新世(?)
- ②茎永層群：新第三紀中新世～鮮新世
- ③増田層：新第三紀鮮新世～第四紀更新世
- ④長谷層：第四紀更新世
- ⑤ローム層：第四紀更新世～完新世
- ⑥沖積層および海浜砂層：第四紀完新世

熊毛層群は、四万十累帶南帶に位置する種子島の基盤岩をなす地層であり、古第三紀以降の海洋地殻の沈み込みによって付加された海底堆積物(フリッッシュ相およびオリストストローム起源の乱雑堆積相)を主とし、かなり浅化した前弧海盆の堆積物(厚層斜交成層砂岩相)を伴う。このうち、フリッッシュ相および乱雑堆積相には赤色～雜色頁岩が認められ、この頁岩中から始新世中～後期の放散虫化石を産している。また、厚層斜交成層砂岩相からは、漸新世後期～中新世初期に対比される可能性がある軟体動物化石を産している。種子島地域の熊毛層群の層序は、下位より二十番層、浜津脇層、深川層、住吉層の4層に分けられる。このうち、調査地区には浜津脇層のみが広く露出する。浜津脇層は、下位よりH₁、H₂、H₃の3つの部層からなる。H₁部層は、スランプ褶曲の発達した頁岩優勢の砂岩・頁岩互層、厚い砂岩優勢の砂岩・頁岩互層、大小雑多な砂岩角礫を泥質基質中に含むオリストストロームからなる。H₂部層はフリッッシュ相で、薄～厚層の砂岩層からなり、黒色頁岩、頁岩優勢砂岩・頁岩互層を伴っている。H₃部層は斜層理や底痕の発達も認められる厚層(20～50m)の砂岩からなり、薄い砂岩・頁岩互層を伴っている。浜津脇層の構造は、調査地区内ではNE-SW方向の軸を持つ背斜構造に規制されている。背斜軸の通る立石付近で地層は、ほぼ直立し、立石以北では30～50°程度の北傾斜を示す。

茎永層群は、熊毛層群を傾斜不整合に覆う海成層である。調査地区内では、N-Sに近い走向で東に20°程度傾斜している。本層群は、下位より次の3相に分けられる。

- ①田代層(礫岩相)
- ②河内層(泥岩相)
- ③大崎層(砂岩相)

田代層は、主としてよく円磨された細礫～大礫からなり、基底近くでは巨礫を多く含む。全体として淘汰は悪く、固結度は一般に高い。礫種は、熊毛層群に由来する砂岩を主とし、石英斑岩がまれに認められる。本層は、しばしば泥岩や砂岩の単層を、また基底近くにはまれに亜炭層を挟在する。河内層は、青灰色～灰色の塊状泥岩を主とし、岩相変化に富み、しばしば砂岩・礫岩・亜炭層の薄層を挟む。本層からは、中新世中期に特有な貝類を含む浅海(内湾～沿岸)性動物化石を産する。大崎層は、層理の発達した黄褐色(一部、青灰色～灰色)の中粒～粗粒砂岩からなり、一部に礫岩の薄

層や泥岩を挟在する。粗粒砂岩部は、しばしば礫質となり、斜交層理の発達を示す。本層中からは、外洋性海棲種の貝類化石を豊富に産する。

増田層は、熊毛層群や茎永層群の不規則な起伏を覆ってほぼ水平に堆積した海成層である。軟弱で、淘汰不良の褐色中粒～細粒砂岩からなり、部分的に斜交層理の発達した砂礫層や泥岩層を伴う。化石は、泥岩層および粗粒～細粒砂岩から産し、化石中には鮮新世後期～更新世前期に特徴的な貝も認められる。

長谷層は、厚さ約5mの海成段丘堆積物であり、熊毛層群、茎永層群および増田層を不整合に覆って海拔100～170mの台地表面に分布する。本層は、熊毛層群の砂岩・頁岩に由来する細礫～巨礫の大亜角礫が雑多に混在したもので、淘汰は極めて悪い。

ローム層は、沖積層を除く全岩石を広く覆って分布する。層厚は4～5m以下で、変化に富む。全体に黄褐色を呈し、下部に1枚、上部に2枚の軽石層を含むほか、上部にしばしば黒色火山灰層を伴う。

沖積層は、郡川沿い、宮瀬川沿い、広田付近および熊野浦沿岸付近に小規模な分布が認められる。粘土・砂・礫からなり、礫は熊毛層群起源のものである。

海浜砂層は、淘汰の良い中砂および細砂からなる。調査地区内では、南東端のナガ瀬付近に分布が認められる。

3. 既往調査の結果概要

本調査では、種子島No. 1孔の深度250.0～252.5mで採水を実施した。ここでは、本孔を用いて平成7～8年度に実施した既往調査のうち、採水区間付近を中心に、その結果の概要を述べる。

3.1 岩芯調査結果

岩芯調査結果によれば、本孔の深度2.13m以深の地質は、熊毛層群浜津脇層からなり、採水区間上部の深度250.00～251.80mは灰色細粒砂岩と黒色頁岩の互層、下部の251.80～252.50mは黒色頁岩である。また採水区間の前後5mでは、断層ガウジは認められない。採水区間である深度250.0～252.5mの割れ目状況を表3.1に示す。

表3.1 岩芯調査による割れ目状況(深度250.0～252.5m)

| 深度 (m) | タイプ | 連続性 | パターン | 表面構造 | スリッケンサンド | 充填鉱物 | 幅(mm) | | 角度 | |
|-----------|-----|-----|----------------|------|----------|------|-------|----|----|----|
| | | | | | | | A | B | A | B |
| 250.20 | 0F | D | S ₂ | C | O | CA | 0.5 | 20 | 3 | — |
| 250.48 | CF | D | P ₀ | E | O | CY | 0.1 | 1 | 70 | — |
| 250.58 | CF | D | P ₃ | A | 1 | CY | 0.5 | 5 | 75 | 80 |
| 251.25 | 0F | D | I ₀ | D | O | CA | 0.5 | 2 | 5 | — |
| 251.45 | 0F | D | I ₃ | D | O | CA | 1 | 15 | 5 | — |
| 252.48 | CF | D | I ₄ | D | O | — | — | 8 | 60 | — |

採水区間の亀裂頻度は、2.4本/mで、本孔全体の4.0本/mと比較すると、割れ目の発達は弱いといえる。なお、採水区間のRQDは20～60、電中研式岩盤分類によれば、C_H～C_Lに分類される。

本孔の割れ目充填鉱物は、方解石・緑泥石・粘土・マンガン酸化物・黄鉄鉱・石英・石膏・褐鉄鉱の8種類で、これらのうち採水区間で認められたものは、方解石と粘土の2種類のみであった。

3.2 物理検層結果

本孔では、温度・電気・キャリパー・音波・中性子・自然放射能・孔曲りの各検層が実施されている。孔曲り検層結果を除く深度250～253mにおける各検層結果を表3.2に示す。

表3.2 物理検層結果(深度250~253m)

| 深度 (m) | 温度 (°C) | 電気 | | | キャリバー | | 音波 (km/s) | 中性子 (%) | 自然 放射能 (API) |
|-----------|------------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------|------------|--------------------|
| | | S P (mV) | R _{SN} (Ω m) | R _{LN} (Ω m) | D _x (mm) | D _y (mm) | | | |
| 250 | 19.9 | 106 | 169 | 234 | 100.6 | 101.5 | 3.78 | 21.1 | 114 |
| 251 | 19.9 | 107 | 208 | 255 | 101.0 | 98.6 | 3.83 | 16.6 | 103 |
| 252 | 20.0 | 112 | 225 | 249 | 100.9 | 98.5 | 4.01 | 24.0 | 131 |
| 253 | 20.0 | 104 | 204 | 242 | 100.9 | 98.5 | 4.00 | 25.4 | 121 |

本孔の温度勾配は、深度によらずほぼ一定で平均0.12°C/10mであった。これは日本の一般的な地温勾配(約0.3°C/10m)と比較すると半分以下の低値である。

電気検層結果は、岩層の違いから4つの岩層に分類されている。自然電位・見掛け抵抗の岩層別平均値を、深度250~253mの測定値とともに表3.3に示す。

表3.3 岩層別自然電位・見掛け比抵抗

| 岩層 | S P (mV) | R _{SN} (Ω m) | R _{LN} (Ω m) |
|------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 砂岩 | 124 | 295 | 403 |
| 砂岩・頁岩互層 | 118 | 171 | 183 |
| 黒色頁岩 | 127 | 180 | 194 |
| 断層ガウジ | 112 | 81 | 113 |
| 深度250~253m | 104~112 (平均107) | 169~225 (平均202) | 234~255 (平均245) |

採水区間は、先に述べたように上部が砂岩・頁岩互層、下部が黒色頁岩に分類されるが、自然電位(S P)は、砂岩・頁岩互層、黒色頁岩の岩層としては低い。また、見掛け比抵抗は、ショートノルマル(R_{SN})が砂岩・頁岩互層、黒色頁岩の岩層の平均値前後であるのに対し、ロングノルマル(R_{LN})は高比抵抗であった。

キャリバー検層では、採水区間は掘削孔径98.4mmに対して最大でも孔径101.5mmと、拡大量が2.1mmで比較的小さいことが確認された。

音波検層から得られた各岩層毎のP波速度を、深度250~253mの測定値とともに表3.4に示す。

表3.4 岩層別 P 波速度

| 岩 層 | P 波速度 (km/s) | | |
|------------|--------------|-----|-----|
| | 最 小 | 最 大 | 平 均 |
| 砂 岩 | 3.2 | 5.2 | 4.0 |
| 砂岩・頁岩互層 | 2.8 | 4.2 | 3.8 |
| 黒色頁岩 | 3.6 | 4.2 | 3.9 |
| 断層ガウジ | 2.9 | 3.5 | 3.1 |
| 深度250～253m | 3.8 | 4.0 | 3.9 |

孔全体では3.5～4.5km/sを示す場合が多く、採水区間の値も3.8～4.0km/sでその範囲内に含まれ、本孔の砂岩・頁岩互層、黒色頁岩の岩層としては一般的な値となっている。なお音波検層時に得られたインテンシティログでは、採水区間での顕著なストライプの乱れや減衰は認められない。

中性子検層結果から算出した地層孔隙率の岩層別平均値を、深度250～253mの値とともに表3.5に示す。

表3.5 岩層別地層孔隙率

| 岩 層 | 地層孔隙率(%) |
|------------|-----------------|
| 砂 岩 | 14 |
| 砂岩・頁岩互層 | 26 |
| 黒色頁岩 | 28 |
| 断層ガウジ | 30 |
| 深度250～253m | 17～25 (平均22) |

採水区間の地層孔隙率は、本孔の砂岩・頁岩互層、黒色頁岩の岩層としては小さく、比較的、緻密であると判断される。

自然放射能検層より得られたγ線強度の岩層別平均値を、深度250～253mの値とともに表3.6に示す。

表3.6 岩層別 γ 線強度

| 岩層 | γ 線強度(API%) |
|------------|--------------------|
| 砂岩 | 81 |
| 砂岩・頁岩互層 | 109 |
| 黒色頁岩 | 122 |
| 断層ガウジ | 106 |
| 深度250~253m | 103~131 (平均117) |

採水区間の γ 線強度は、本孔の砂岩・頁岩互層、黒色頁岩の岩層としては、ごく一般的な値で、泥質分の少ない砂岩よりも高い値である。

3.3 ボアホールスキャナー観察結果

採水区間を含む深度249~253mのボアホールスキャナー観察による孔内展開図を図3.1に示す。



図3.1(1) 孔内展開図(深度249~251m)

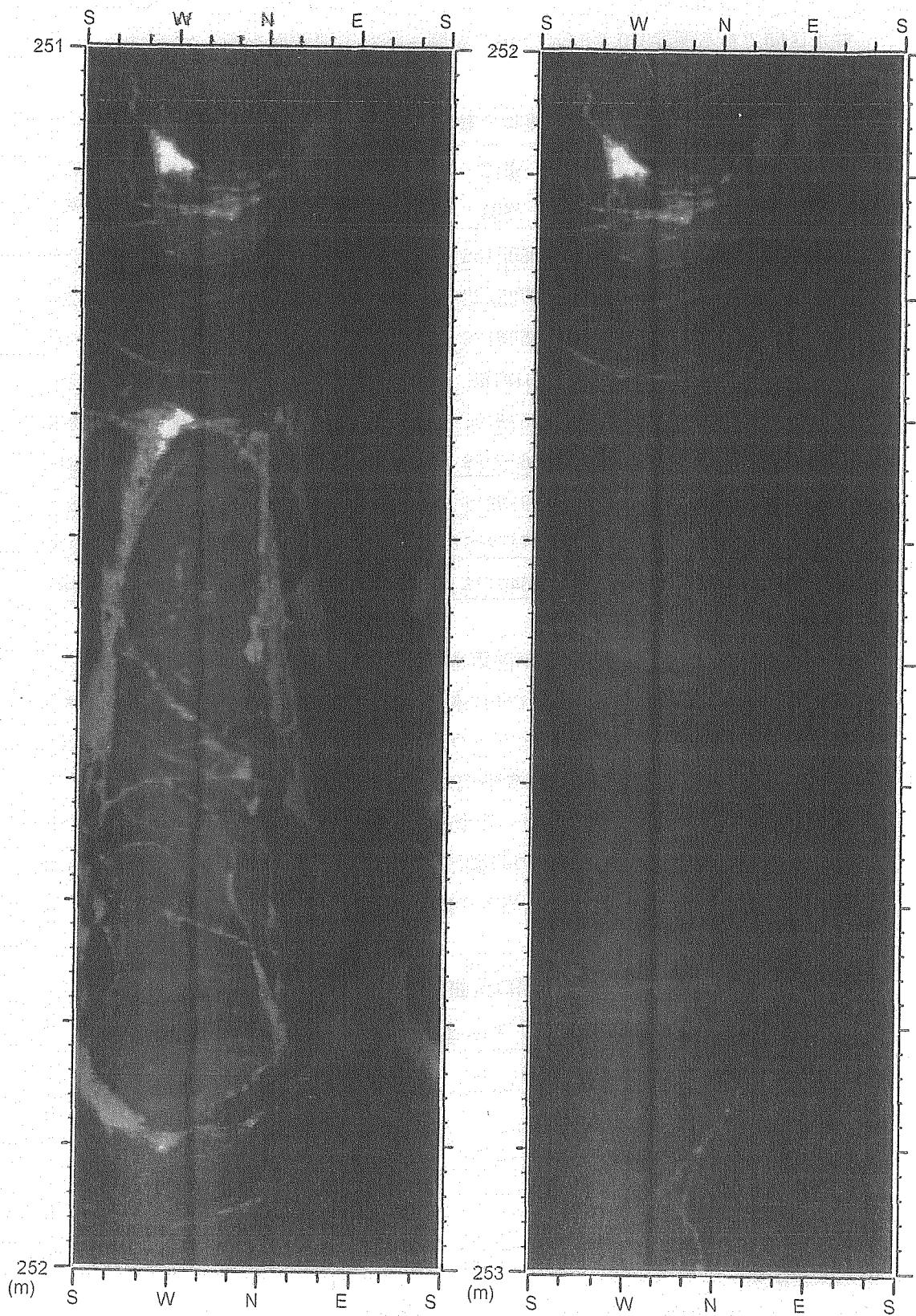


図3.1(2) 孔内展開図(深度251～253m)

採水区間である深度250.0～252.5mで観測された不連続面を表3.7に示す。

表3.7 ボアホールスキャナー観察で観測された不連続面(深度250.0～252.5m)

| 深度(m) | | タイプ | 幅 (mm) | 走向 傾斜 | 深度(m) | | タイプ | 幅 (mm) | 走向 傾斜 |
|--------|--------|-----|-----------|----------|--------|--------|-----|-----------|----------|
| 上端 | 下端 | | | | 上端 | 下端 | | | |
| 250.03 | 250.06 | W2f | 1.0 | N89E16S | 250.90 | 250.95 | J2m | 0.9 | N25E27W |
| 250.07 | 250.12 | W2f | 0.6 | N72E23S | 251.10 | 251.15 | W2f | 0.8 | N33W25W |
| 250.21 | 250.23 | W2f | 0.8 | N56W12S | 251.20 | 251.27 | J2m | 0.8 | N24E37W |
| 250.29 | 250.32 | L1 | 0.0 | 61W16S | 251.31 | 251.65 | J2m | 1.3 | N73E74S |
| 250.40 | 250.44 | J2m | 1.1 | N57W19S | 251.59 | 251.67 | W2f | 0.8 | N44W39W |
| 250.52 | 250.56 | J2m | 0.8 | N67W22S | 251.65 | 251.83 | J2m | 1.1 | N64W61N |
| 250.65 | 250.69 | J2m | 0.9 | N81W21S | 251.78 | 251.90 | J2m | 1.8 | N10E51W |
| 250.72 | 250.75 | J2m | 1.1 | N74E20S | 251.92 | 251.97 | W2f | 1.2 | N5W27W |
| 250.79 | 250.82 | J2m | 1.3 | N54W17S | 252.00 | 252.03 | W2f | 0.8 | N22W18W |

採水区間では、18本の不連続面が確認され、そのうち1本が地質境界、それ以外の17本はすべて割れ目であった。割れ目17本のうちでは、充填物を伴う割れ目10本はすべて、セメンチングの影響を受けたグラウトミルクが充填物の割れ目で、それ以外の充填物を伴わない7本は剥離を伴う割れ目であった。

採水区間の亀裂頻度は6.8本/mで、孔全体の平均3.7本/mと比較して大きい。また、累積開口量曲線の勾配から、本孔の岩盤は表3.8のように4つに区分されるが、採水区間を含む深度233～290mは、1m当たりの開口量がもっとも大きい区間である。

表3.8 累積開口量曲線の勾配による区分

| 深度区分 | 1m当たりの開口量(mm/m) |
|----------|-----------------|
| 0～205m | 1.7 |
| 233～290m | 5.6 |
| 290～411m | 2.4 |
| 434～506m | 2.4 |

3.4 透水試験結果

種子島No.1孔の間隙水圧・透水係数の測定結果を表3.9に示す。

表3.9 間隙水圧・透水係数の測定結果

| 測定深度 (m) | 間隙水圧 | | 透水係数(cm/sec) | | |
|-------------|-------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | (GLm) | (kgf/cm ²) | パルス注入法 | パルス回復法 | 回復法 |
| 250.0～252.5 | 0.81 | 25.08 | 1.98×10^{-5} | 2.44×10^{-5} | 2.52×10^{-5} |
| 267.8～270.3 | 0.96 | 26.88 | 8.25×10^{-7} | 9.06×10^{-7} | — |
| 296.5～299.0 | 0.69 | 29.72 | 4.22×10^{-7} | 5.15×10^{-7} | — |
| 333.1～335.6 | 0.65 | 33.38 | 1.73×10^{-5} | — | 1.75×10^{-4} |
| 370.3～372.8 | 0.29 | 37.06 | 3.19×10^{-5} | — | 2.06×10^{-5} |

本孔の間隙水圧は、ほぼ静水圧分布であると判断できる。また、測定を行なった5区間は、透水係数が小さい 10^{-7} cm/secオーダーの区間と大きい $10^{-5} \sim 10^{-4}$ cm/secオーダーの区間に大別されるが、採水区間は 10^{-5} cm/secオーダーの透水係数の大きい区間に分類される。

3.5 地下水・地表水の分析結果

本孔では、1996年4月にベーラー式採水器を用いて5深度の地下水を採取し、掘削用水として用いた地表水と共に各種の水質分析が実施されている。分析結果を表3.10～表3.15に示す。

表3.10 物理化学パラメータ測定結果

| 測定項目 (測定方法) | 単位 | 地表水 | 地下水 | | | | |
|--------------------|-------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 249.5～ 252.5m | 267.3～ 270.3m | 296.0～ 299.0m | 332.6～ 335.6m | 369.8～ 372.8m |
| 温度 (サーミスタ) | °C | 19.5 | 18.6 | 19.1 | 17.5 | 18.8 | 19.1 |
| pH (ガラス複合電極) | — | 7.22 | 9.58 | 9.81 | 9.61 | 10.22 | 9.94 |
| 電気伝導度 (四電極) | μS/cm | 124 | 930 | 628 | 573 | 685 | 762 |
| 酸化還元電位 (白金複合電極) | mV | 108 | -169 | -152 | -131 | -148 | -152 |

表3.11 溶存ガスの分析結果

| 分析項目 (分析方法) | 単位 | 地表水 | 地下水 | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 249.5~ 252.5m | 267.3~ 270.3m | 296.0~ 299.0m | 332.6~ 335.6m | 369.8~ 372.8m |
| O ₂ (改良ウインクレー) | mg/l | 13.2 | 2.23 | 1.15 | 0.90 | 1.42 | 0.86 |
| N ₂ (ガスクロマトグラフ-TCD) | mg/l | 33.7 | 24.1 | 25.1 | 17.9 | 19.0 | 18.3 |

表3.12 陽イオンの分析結果

| 分析項目 (分析方法) | 単位 | 地表水 | 地下水 | | | | |
|-------------------------------------|------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 249.5~ 252.5m | 267.3~ 270.3m | 296.0~ 299.0m | 332.6~ 335.6m | 369.8~ 372.8m |
| Total-SiO ₂ (ICP発光分析) | mg/l | 11.9 | 16.4 | 16.5 | 12.0 | 27.1 | 14.4 |
| Na ⁺ (原子吸光) | mg/l | 12.4 | 71.7 | 73.1 | 71.7 | 82.8 | 93.8 |
| K ⁺ (原子吸光) | mg/l | 0.72 | 14.6 | 15.3 | 15.3 | 17.5 | 20.7 |
| Ca ²⁺ (ICP発光分析) | mg/l | 4.9 | 28.3 | 34.0 | 31.1 | 27.7 | 36.9 |
| Mg ²⁺ (ICP発光分析) | mg/l | 3.2 | 7.0 | 8.2 | 6.8 | 6.0 | 7.1 |
| Al ³⁺ (ICP発光分析) | mg/l | < 0.08 | 1.30 | 1.85 | 0.95 | 4.63 | 4.69 |
| Mn ²⁺ (ICP発光分析) | mg/l | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| Total-Fe (ICP発光分析) | mg/l | 0.16 | 1.57 | 2.14 | 3.18 | 2.65 | 2.88 |
| Fe ²⁺ (吸光光度) | mg/l | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |

表3.13 陰イオンの分析結果

| 分析項目 (分析方法) | 単位 | 地表水 | 地下水 | | | | |
|---|-------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 249.5~ 252.5m | 267.3~ 270.3m | 296.0~ 299.0m | 332.6~ 335.6m | 369.8~ 372.8m |
| HCO ₃ ⁻ (平衡計算) | mgC/l | 23.7 | 89.4 | 104 | 110 | 72.2 | 80.8 |
| CO ₃ ²⁻ (平衡計算) | mgC/l | < 0.1 | 26.0 | 30.4 | 25.5 | 26.5 | 23.5 |
| Cl ⁻ (イオンクロマトグラフ) | mg/l | 19.5 | 103 | 106 | 100 | 138 | 178 |
| F ⁻ (イオンクロマトグラフ) | mg/l | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |
| PO ₄ ³⁻ (吸光光度) | mg/l | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| SO ₄ ²⁻ (イオンクロマトグラフ) | mg/l | 4.5 | 12.1 | 11.5 | 12.6 | 14.4 | 11.8 |
| NO ₃ -N (吸光光度) | mg/l | 4.2 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |
| NO ₂ -N (吸光光度) | mg/l | 0.4 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |
| NH ₄ -N (吸光光度) | mg/l | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |

表3.14 その他成分の分析結果

| 分析項目 (分析方法) | 単位 | 地表水 | 地下水 | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 249.5~ 252.5m | 267.3~ 270.3m | 296.0~ 299.0m | 332.6~ 335.6m | 369.8~ 372.8m |
| ΣCO_2 (非分散赤外分光) | mgC/l | 17.6 | 84.3 | 98.2 | 99.3 | 72.4 | 76.4 |
| 4.3Bx (滴定) | meq/l | 0.45 | 2.32 | 2.46 | 2.27 | 1.79 | 1.90 |
| Total-P (吸光光度) | mg/l | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| Total-N (吸光光度) | mg/l | 5.4 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| TOC (非分散赤外分光) | mg/l | 1.00 | 67 | 78 | 63 | 53 | 57 |
| δD (質量分析) | % | -32.4 | -34.6 | -37.3 | -32.6 | -37.8 | -37.8 |
| $\delta^{18}\text{O}$ (質量分析) | % | -5.3 | -5.9 | -5.9 | -6.0 | -6.0 | -5.9 |

表3.15 バクテリアの分析結果

| 項目 (単位) (分析方法) | 地表水 | 地下水 | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 249.5~ 252.5m | 267.3~ 270.3m | 296.0~ 299.0m | 332.6~ 335.6m | 369.8~ 372.8m |
| 全菌数 (CELLS/mℓ) (アクリジンオレンジ 染色) | 5.6×10^6 | 8.2×10^7 | 5.2×10^3 | 8.9×10^6 | 4.2×10^7 | 1.2×10^7 |
| 鉄酸化細菌 (MPN/mℓ) (最確数) | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| 硫酸塩還元細菌 (MPN/mℓ) (最確数) | 2.4×10^2 | 2.2×10^5 | N.D. | 1.1×10^5 | 3.3×10^5 | 7.0×10^4 |
| 一般従属栄養細菌 (個/mℓ) (希釈寒天平板) | 1.8×10^2 | 2.0×10^5 | N.D. | 7.8×10^5 | 1.4×10^5 | 2.9×10^4 |

4. 地下水の採水

本調査では、採水区間の「真の地下水」を採取するために、「真の地下水」以外の水を取り除くための予備採水を実施し、その後、本採水を実施して分析用試料を得た。ここでは、採水装置・採水手順・採水作業結果について述べる。なお、予備採水と本採水で使用した採水装置ならびに採水手順は同一である。

4.1 採水装置

試錐孔からの採水方法には大きく分けて、採水ポンプ方式と採水サンプラー方式の2つの方法がある。前者は、所定深度の地下水をポンプユニットで連続的に汲み上げるもので、後者は、所定深度まで採水容器を挿入して不連続的に汲み上げるものである。本調査では、採水サンプラー方式の1つであるBATシステムとよばれる両端注射針を用いたシステムのパッカ式地下水サンプラー(PGS-500NQNU, HQ型)を使用した。その装置全体の概略図を図4.1、採水機構部分の概略図を図4.2に、またその仕様の概略を表4.1に示す。

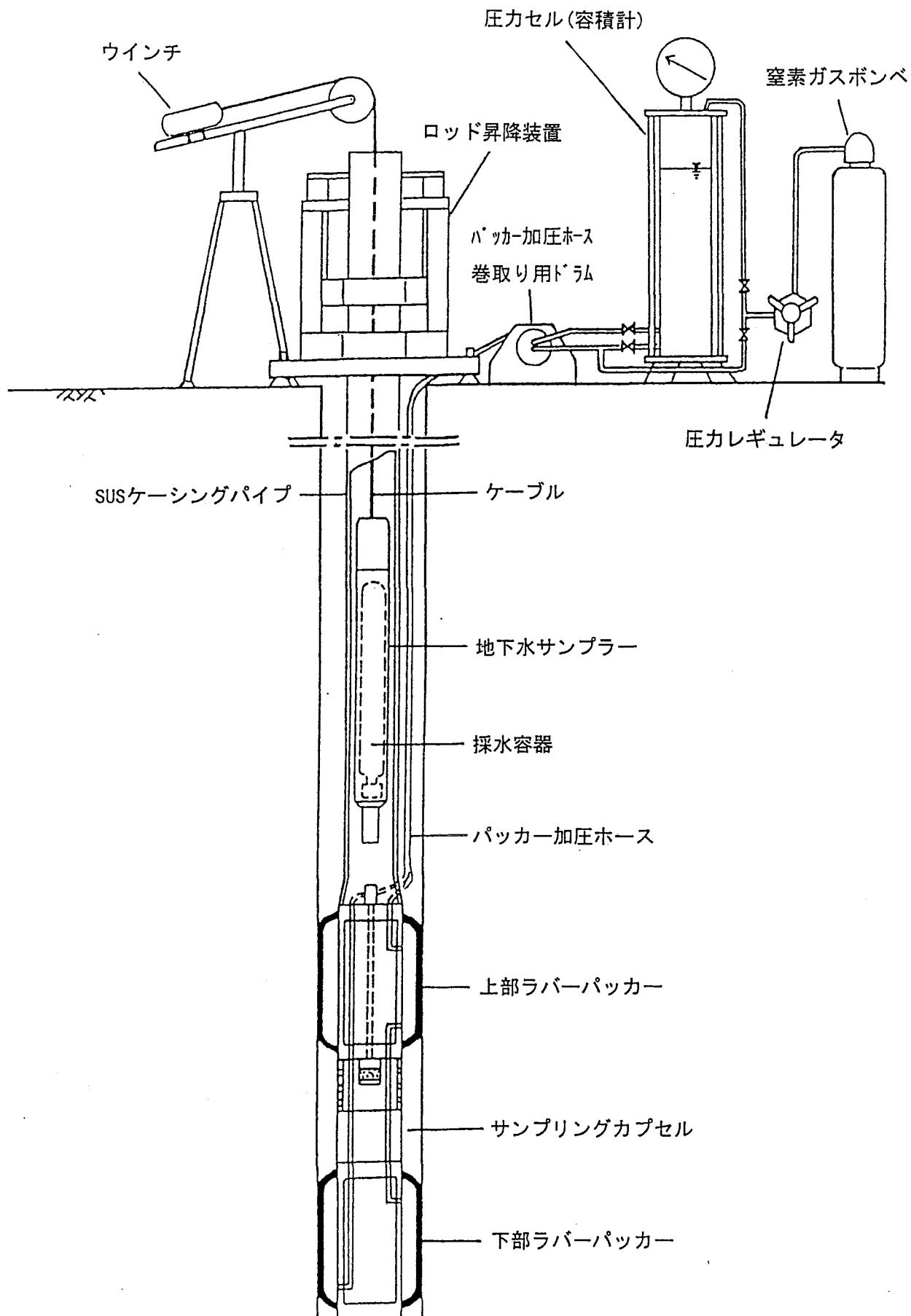


図4.1 パッカー式地下水サンプラー(PGS-500)概略図

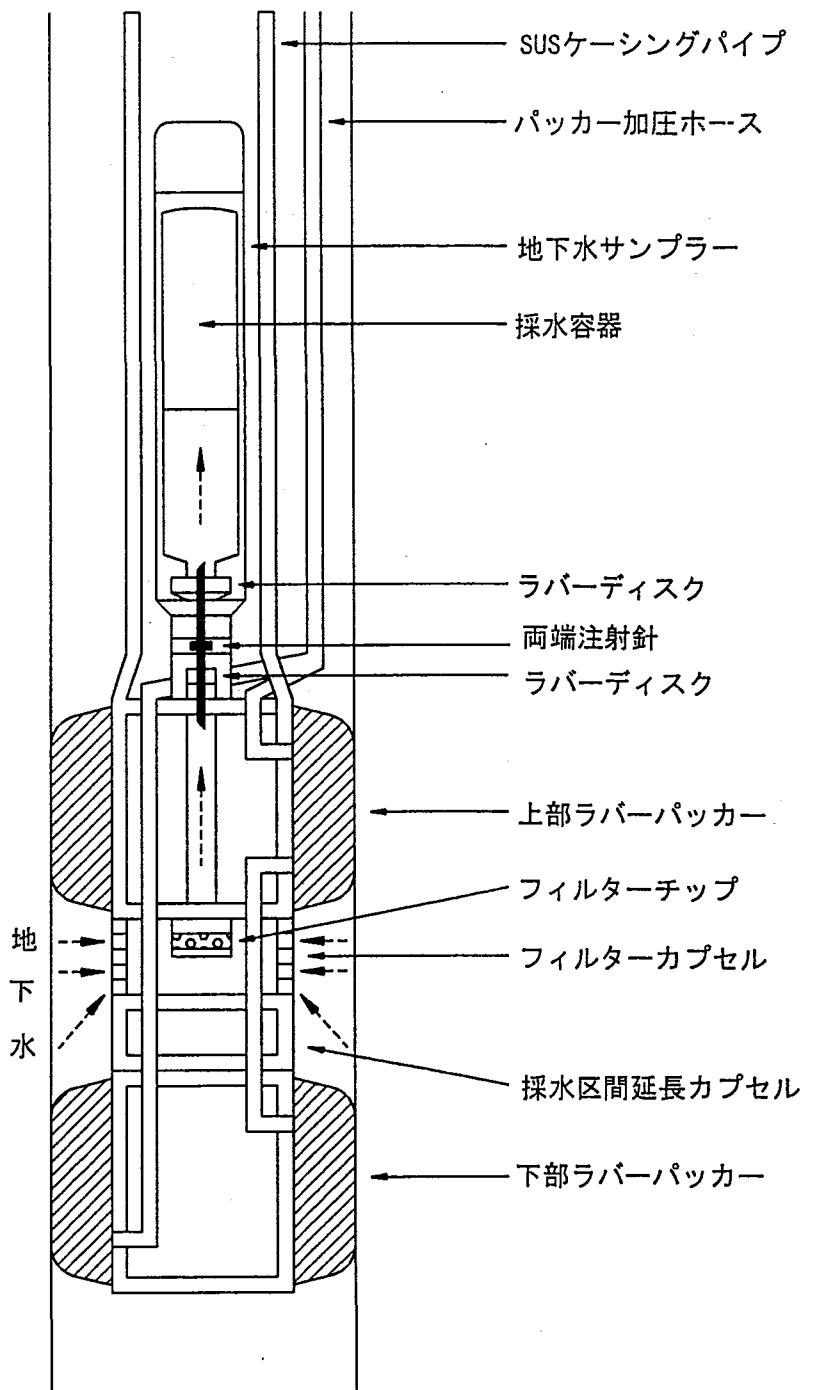


図4.2 パッカー式地下水サンプラー(PGS-500)採水機構部分概略図

表4.1 パッカ式地下水サンプラー(PGS-500)の仕様

| 項目 | 内容 |
|------------|--|
| 適用試錐孔径 | Φ75~120mm |
| 採水深度 | 最大500m |
| 採水区間有効長 | 500~3,000mm (500mm毎に設定可能) |
| 孔内装置寸法 | NQNU用：最大外径70mm パッカー有効長1,000mm HQ用：最大外径89mm パッカー有効長1,000mm |
| 地下水サンプラー寸法 | 最大外径48mm・全長750mm |
| 採水容器容量 | 500ml |
| パッカー加圧方式 | 水圧・ガス(窒素ガス)圧 |
| 孔内装置全重量 | 約4,000kg (SUSケーシングパイプ500m分を含む) |

本装置は、試錐孔内の採水区間をダブルパッカで閉鎖し、外部と遮断した後、孔壁より湧出する地下水を採水するものである。孔内を昇降する地下水サンプラー内には採水容器が格納されており、採水容器下端と採水区間上端にはラバーディスクが装備されている。採水時にはSUSケーシングパイプ内を地下水サンプラーが下降し、地下水サンプラーアンダ端に取り付けられている両端注射針がこれら2枚のラバーディスクを同時に貫通し、採水回路を形成する。このとき、採水区間の地下水が減圧状態にある採水容器に流入する。採水終了後は地下水サンプラーを引き上げると同時に両端注射針が抜け、再び採水区間は遮断される。

以上により、採水時の被圧・不活性状態を保持したまま地下水を回収することが可能となる。

4.2 採水手順

採水装置の操作は、その手順書「パッカ式地下水サンプラー(PGS-500NQNU, HQ型)の製作(PNC SJ4411 89-001)」に基づき実施した。その概要を以下に述べる。

まず、ラバーパッカ、サンプリングカプセルをSUSケーシングパイプに接続し、規定の採水区間に設置されるようにロッド昇降装置を用いて降下させる。次に窒素ガス加圧の蒸留水もしくは窒素ガスのみでラバーパッカを加圧膨張させて採水区間外からの地下水の流入を遮断する。

以上で、採水区間の設定を終了し、ラバーパッカからの圧力漏れのないことを確

認後、予備採水・本採水に移行する。

採水の際には、あらかじめ減圧した採水容器を地下水サンプラー内にセットし、地下水サンプラーをワインチによりサンプリングカプセルまで降下させる。地下水サンプラーがサンプリングカプセルに着底した後は、一定時間放置後、地上に引き上げ、地下水サンプラーから採水容器を回収する。以上の作業を規定の採水量に達するまで繰り返し実施する。

4.3 採水作業結果

採水区間は、既往の透水試験により得た透水係数と岩芯調査・ボアホールスキャナ一観察による孔内の不連続面の状況を勘案して深度250.0～252.5m(採水区間長2.5m)に決定した。

採水装置を設置する前に、まず湧水状況を確認した。その結果、湧水は5ℓ/min程度で自噴状態であった。種子島No.1孔の掘削孔径は98.4mmで、既往のキャリパー検層結果では、採水区間付近には特に大きな孔径拡大箇所(孔壁崩壊箇所)は認められなかつたが、掘削から1年以上経過しているため、Φ98mmのゲージを用いて孔口から採水区間付近(深度255m)までに孔壁崩壊による閉塞等のないことを確認した。

パッカー式地下水サンプラーPGS-500のラバーパッカーは、NQ・NU用とHQ用の2種類があるが、今回の採水では掘削孔径に合わせ、HQ用を使用した。またラバーパッカーは、窒素ガス加圧の蒸留水により加圧膨張させ、パッカー圧は29kgf/cm²程度とした。既往の透水試験結果では、採水区間の初期隙水圧はGL+0.81m(25.08kgf/cm²)なので、パッカー有効圧力は4kgf/cm²程度となる。パッカー拡張後は、坑口からの湧水量が大幅に減少し、完全ではないが、パッカーの遮蔽効果が確認された。また、パッカーは拡張後、一昼夜放置して圧力漏洩のないことを確認し、予備採水・本採水を開始した。パッカーと接続された圧力セルのセル圧(ほぼパッカー有効圧力に等しい)を表4.2、図4.3に示す。

表4.2 パッカ一拡張直後から本採水終了までのセル圧

| 日付 | 時刻 | セル圧力 (kgf/cm ²) | セル水位 (cm) | 地下水位 | 備 考 |
|-------|-------|--------------------------------|--------------|------|---------------|
| 12/10 | 9:45 | 4.00 | 20.0 | 自噴 | パッカ一拡張直後 |
| 12/10 | 13:00 | 3.90 | 20.5 | 自噴 | |
| 12/11 | 8:30 | 3.80 | 21.0 | 自噴 | 予備採水開始(9:25) |
| 12/11 | 12:00 | 3.95 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/11 | 16:45 | 3.85 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/12 | 8:30 | 3.80 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/12 | 13:25 | 3.80 | 21.5 | 自噴 | |
| 12/12 | 17:00 | 3.80 | 21.5 | 自噴 | |
| 12/13 | 8:18 | 3.80 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/13 | 13:00 | 3.80 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/13 | 17:00 | 3.80 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/14 | 8:15 | 3.80 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/14 | 12:29 | 3.90 | 22.0 | 自噴 | |
| 12/14 | 17:00 | 3.75 | 21.5 | 自噴 | |
| 12/15 | 8:15 | 3.80 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/15 | 13:00 | 3.80 | 21.5 | 自噴 | |
| 12/15 | 17:00 | 3.80 | 22.0 | 自噴 | |
| 12/16 | 8:15 | 3.75 | 21.0 | 自噴 | |
| 12/16 | 12:50 | 3.85 | 22.0 | 自噴 | |
| 12/16 | 17:00 | 3.80 | 22.0 | 自噴 | 予備採水終了(17:09) |
| 12/17 | 8:15 | 3.80 | 21.5 | 自噴 | 本採水開始(8:21) |
| 12/17 | 13:00 | 3.85 | 22.0 | 自噴 | |
| 12/17 | 17:00 | 3.75 | 22.0 | 自噴 | |
| 12/18 | 8:20 | 3.75 | 21.5 | 自噴 | |
| 12/18 | 11:30 | 3.80 | 22.0 | 自噴 | 本採水終了(11:21) |

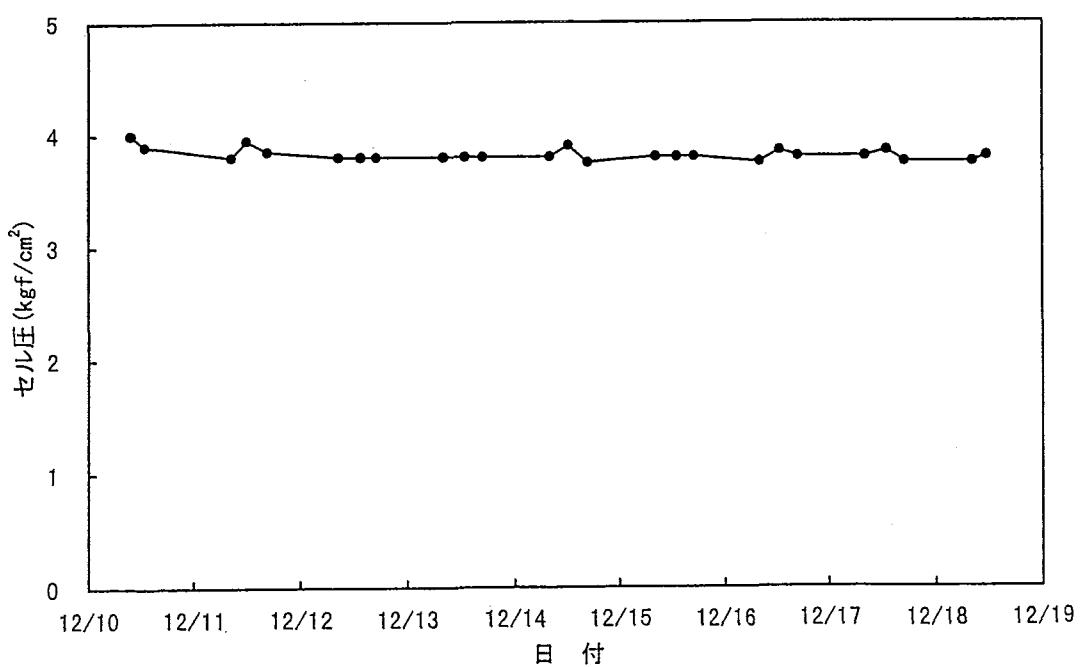


図4.3 パッカ一拡張直後から本採水終了までのセル圧

パッカー拡張直後のセル圧力は $4.00\text{kgf}/\text{cm}^2$ で、その後、ラバーパッカーのクリープが原因と考えられる圧力低下が認められた。採水中は、 $0.2\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度の変動があつたものの、最低でも $3.75\text{kgf}/\text{cm}^2$ のセル圧が確保されており、パッカーの圧力漏洩はなく、採水区間の遮蔽も十分に行われたと考えられる。

パッカーの拡張後、圧力漏洩のないことを確認し、予備採水を開始した。予備採水に用いる採水容器は、その内部を不活性雰囲気に保つため、超高純度アルゴンガス(純度99.9995%)を用いてアルゴンバージを3回繰り返し、最後に内圧が $0.1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以下になるまで減圧した。

予備採水の作業記録を表4.3に示す。表中の挿入時刻・到着時刻・引上時刻・完了時刻は、それぞれ、地下水サンプラーの降下を開始した時刻、地下水サンプラーが採水区間に達して降下を停止した時刻、地下水サンプラーの引上げを開始した時刻、地下水サンプラーが地表に到達した時刻である。また、採水時間は地下水サンプラーが採水区間で停止していた時間を表す。なお採水量は、回収した採水容器の内圧が常圧以上であった場合は満水状態とみなし 0.5l 、それ以外の場合は重量測定により求めた。

表4.3(1) 予備採水の作業記録

| 採水回数 | 日付 | 挿入時刻 | 到着時刻 | 引上時刻 | 完了時刻 | 採水時間(min) | 採水量(l) | 総採水量(l) | 備考 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|---------|----------|
| 1 | 12/11 | 9:25 | 9:33 | 9:43 | 10:03 | 10 | 0.50 | 0.50 | DVO分析用試料 |
| 2 | 12/11 | 10:10 | 10:26 | 10:33 | 10:46 | 7 | 0.50 | 1.00 | DVO分析用試料 |
| 3 | 12/11 | 10:47 | 10:58 | 11:03 | 11:14 | 5 | 0.50 | 1.50 | |
| 4 | 12/11 | 11:15 | 11:24 | 11:29 | 11:41 | 5 | 0.50 | 2.00 | |
| 5 | 12/11 | 11:42 | 11:51 | 11:56 | 12:09 | 5 | 0.50 | 2.50 | |
| 6 | 12/11 | 12:10 | 12:23 | 12:28 | 12:42 | 5 | 0.50 | 3.00 | |
| 7 | 12/11 | 12:43 | 12:56 | 13:01 | 13:15 | 5 | 0.50 | 3.50 | |
| 8 | 12/11 | 13:16 | 13:28 | 13:33 | 13:45 | 5 | 0.50 | 4.00 | |
| 9 | 12/11 | 13:46 | 13:56 | 14:01 | 14:11 | 5 | 0.50 | 4.50 | |
| 10 | 12/11 | 14:12 | 14:20 | 14:25 | 14:37 | 5 | 0.50 | 5.00 | |
| 11 | 12/11 | 14:38 | 14:45 | 14:50 | 15:01 | 5 | 0.50 | 5.50 | |
| 12 | 12/11 | 15:02 | 15:10 | 15:15 | 15:26 | 5 | 0.50 | 6.00 | DV1分析用試料 |
| 13 | 12/11 | 15:26 | 15:33 | 15:38 | 15:53 | 5 | 0.50 | 6.50 | DV1分析用試料 |
| 14 | 12/11 | 15:54 | 16:06 | 16:11 | 16:26 | 5 | 0.50 | 7.00 | |
| 15 | 12/11 | 16:28 | 16:37 | 16:42 | 16:50 | 5 | 0.50 | 7.50 | |
| 16 | 12/12 | 8:30 | 8:37 | 8:42 | 8:50 | 5 | 0.50 | 8.00 | |
| 17 | 12/12 | 8:51 | 9:03 | 9:08 | 9:20 | 5 | 0.50 | 8.50 | |
| 18 | 12/12 | 9:21 | 9:28 | 9:33 | 9:40 | 5 | 0.50 | 9.00 | |
| 19 | 12/12 | 9:41 | 9:50 | 9:55 | 10:05 | 5 | 0.50 | 9.50 | |
| 20 | 12/12 | 10:06 | 10:16 | 10:21 | 10:33 | 5 | 0.50 | 10.00 | |
| 21 | 12/12 | 10:34 | 10:42 | 10:47 | 10:59 | 5 | 0.50 | 10.50 | |
| 22 | 12/12 | 11:00 | 11:09 | 11:14 | 11:25 | 5 | 0.50 | 11.00 | |
| 23 | 12/12 | 11:26 | 11:33 | 11:38 | 11:49 | 5 | 0.50 | 11.50 | DV2分析用試料 |
| 24 | 12/12 | 11:50 | 11:58 | 12:03 | 12:15 | 5 | 0.50 | 12.00 | DV2分析用試料 |
| 25 | 12/12 | 12:16 | 12:24 | 12:29 | 12:39 | 5 | 0.50 | 12.50 | |
| 26 | 12/12 | 12:40 | 12:51 | 12:56 | 13:05 | 5 | 0.50 | 13.00 | |
| 27 | 12/12 | 13:06 | 13:22 | 13:27 | 13:37 | 5 | 0.50 | 13.50 | |
| 28 | 12/12 | 13:38 | 13:54 | 13:59 | 14:11 | 5 | 0.50 | 14.00 | |
| 29 | 12/12 | 14:12 | 14:23 | 14:28 | 14:36 | 5 | 0.50 | 14.50 | |
| 30 | 12/12 | 14:37 | 14:45 | 14:50 | 15:00 | 5 | 0.50 | 15.00 | |
| 31 | 12/12 | 15:01 | 15:09 | 15:14 | 15:24 | 5 | 0.50 | 15.50 | |
| 32 | 12/12 | 15:25 | 15:34 | 15:39 | 15:47 | 5 | 0.50 | 16.00 | |
| 33 | 12/12 | 15:48 | 15:56 | 16:01 | 16:09 | 5 | 0.50 | 16.50 | |
| 34 | 12/12 | 16:10 | 16:18 | 16:23 | 16:32 | 5 | 0.50 | 17.00 | DV3分析用試料 |
| 35 | 12/12 | 16:33 | 16:40 | 16:45 | 16:54 | 5 | 0.50 | 17.50 | DV3分析用試料 |
| 36 | 12/13 | 8:18 | 8:25 | 8:30 | 8:42 | 5 | 0.50 | 18.00 | |
| 37 | 12/13 | 8:43 | 8:52 | 8:57 | 9:09 | 5 | 0.50 | 18.50 | |
| 38 | 12/13 | 9:10 | 9:17 | 9:22 | 9:34 | 5 | 0.50 | 19.00 | |
| 39 | 12/13 | 9:35 | 9:42 | 9:47 | 9:55 | 5 | 0.50 | 19.50 | |
| 40 | 12/13 | 9:56 | 10:03 | 10:08 | 10:17 | 5 | 0.50 | 20.00 | |
| 41 | 12/13 | 10:19 | 10:27 | 10:32 | 10:42 | 5 | 0.50 | 20.50 | |
| 42 | 12/13 | 10:43 | 10:50 | 10:55 | 11:05 | 5 | 0.50 | 21.00 | |
| 43 | 12/13 | 11:06 | 11:14 | 11:19 | 11:26 | 5 | 0.50 | 21.50 | |
| 44 | 12/13 | 11:27 | 11:36 | 11:41 | 11:49 | 5 | 0.50 | 22.00 | |
| 45 | 12/13 | 11:50 | 11:57 | 12:02 | 12:11 | 5 | 0.50 | 22.50 | DV4分析用試料 |
| 46 | 12/13 | 12:12 | 12:22 | 12:26 | 12:33 | 4 | 0.50 | 23.00 | DV4分析用試料 |
| 47 | 12/13 | 12:34 | 12:42 | 12:45 | 12:54 | 3 | 0.50 | 23.50 | |
| 48 | 12/13 | 12:55 | 13:03 | 13:05 | 13:12 | 2 | 0.50 | 24.00 | |
| 49 | 12/13 | 13:13 | 13:22 | 13:24 | 13:32 | 2 | 0.50 | 24.50 | |
| 50 | 12/13 | 13:33 | 13:44 | 13:46 | 13:53 | 2 | 0.50 | 25.00 | |

表4.3(2) 予備採水の作業記録

| 採水回数 | 日付 | 挿入時刻 | 到着時刻 | 引上時刻 | 完了時刻 | 採水時間(min) | 採水量(l) | 総採水量(l) | 備考 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|---------|----------|
| 51 | 12/13 | 13:54 | 14:02 | 14:04 | 14:13 | 2 | 0.50 | 25.50 | |
| 52 | 12/13 | 14:14 | 14:21 | 14:23 | 14:32 | 2 | 0.50 | 26.00 | |
| 53 | 12/13 | 14:33 | 14:43 | 14:45 | 14:55 | 2 | 0.50 | 26.50 | |
| 54 | 12/13 | 14:56 | 15:04 | 15:06 | 15:12 | 2 | 0.50 | 27.00 | |
| 55 | 12/13 | 15:13 | 15:22 | 15:24 | 15:30 | 2 | 0.50 | 27.50 | |
| 56 | 12/13 | 15:31 | 15:38 | 15:40 | 15:48 | 2 | 0.50 | 28.00 | DV5分析用試料 |
| 57 | 12/13 | 15:49 | 15:57 | 15:59 | 16:09 | 2 | 0.50 | 28.50 | DV5分析用試料 |
| 58 | 12/13 | 16:10 | 16:21 | 16:23 | 16:34 | 2 | 0.50 | 29.00 | |
| 59 | 12/13 | 16:36 | 16:45 | 16:47 | 17:00 | 2 | 0.50 | 29.50 | |
| 60 | 12/13 | 17:01 | 17:10 | 17:12 | 17:20 | 2 | 0.50 | 30.00 | |
| 61 | 12/14 | 8:16 | 8:23 | 8:25 | 8:35 | 2 | 0.50 | 30.50 | |
| 62 | 12/14 | 8:36 | 8:44 | 8:46 | 8:54 | 2 | 0.50 | 31.00 | |
| 63 | 12/14 | 8:55 | 9:03 | 9:05 | 9:14 | 2 | 0.50 | 31.50 | |
| 64 | 12/14 | 9:15 | 9:22 | 9:24 | 9:34 | 2 | 0.50 | 32.00 | |
| 65 | 12/14 | 9:35 | 9:44 | 9:46 | 9:57 | 2 | 0.50 | 32.50 | |
| 66 | 12/14 | 9:58 | 10:05 | 10:07 | 10:15 | 2 | 0.50 | 33.00 | |
| 67 | 12/14 | 10:16 | 10:25 | 10:27 | 10:34 | 2 | 0.50 | 33.50 | DV6分析用試料 |
| 68 | 12/14 | 10:35 | 10:44 | 10:46 | 10:54 | 2 | 0.50 | 34.00 | DV6分析用試料 |
| 69 | 12/14 | 10:55 | 11:03 | 11:05 | 11:15 | 2 | 0.50 | 34.50 | |
| 70 | 12/14 | 11:19 | 11:27 | 11:29 | 11:40 | 2 | 0.50 | 35.00 | |
| 71 | 12/14 | 11:41 | 11:49 | 11:51 | 12:01 | 2 | 0.50 | 35.50 | |
| 72 | 12/14 | 12:02 | 12:12 | 12:14 | 12:21 | 2 | 0.50 | 36.00 | |
| 73 | 12/14 | 12:22 | 12:30 | 12:32 | 12:41 | 2 | 0.50 | 36.50 | |
| 74 | 12/14 | 12:42 | 12:50 | 12:52 | 13:01 | 2 | 0.50 | 37.00 | |
| 75 | 12/14 | 13:02 | 13:10 | 13:12 | 13:22 | 2 | 0.50 | 37.50 | |
| 76 | 12/14 | 13:23 | 13:31 | 13:33 | 13:45 | 2 | 0.50 | 38.00 | |
| 77 | 12/14 | 13:46 | 13:54 | 13:56 | 14:06 | 2 | 0.50 | 38.50 | |
| 78 | 12/14 | 14:07 | 14:15 | 14:17 | 14:28 | 2 | 0.50 | 39.00 | DV7分析用試料 |
| 79 | 12/14 | 14:31 | 14:42 | 14:44 | 14:53 | 2 | 0.50 | 39.50 | DV7分析用試料 |
| 80 | 12/14 | 14:54 | 15:03 | 15:05 | 15:15 | 2 | 0.50 | 40.00 | |
| 81 | 12/14 | 15:18 | 15:26 | 15:28 | 15:36 | 2 | 0.50 | 40.50 | |
| 82 | 12/14 | 15:37 | 15:45 | 15:47 | 15:55 | 2 | 0.50 | 41.00 | |
| 83 | 12/14 | 15:59 | 16:07 | 16:09 | 16:17 | 2 | 0.50 | 41.50 | |
| 84 | 12/14 | 16:18 | 16:24 | 16:26 | 16:34 | 2 | 0.50 | 42.00 | |
| 85 | 12/14 | 16:35 | 16:42 | 16:44 | 16:52 | 2 | 0.50 | 42.50 | |
| 86 | 12/14 | 16:53 | 17:00 | 17:02 | 17:08 | 2 | 0.50 | 43.00 | |
| 87 | 12/15 | 8:17 | 8:26 | 8:28 | 8:34 | 2 | 0.50 | 43.50 | |
| 88 | 12/15 | 8:35 | 8:43 | 8:45 | 8:52 | 2 | 0.50 | 44.00 | |
| 89 | 12/15 | 8:53 | 9:00 | 9:02 | 9:10 | 2 | 0.50 | 44.50 | DV8分析用試料 |
| 90 | 12/15 | 9:11 | 9:18 | 9:20 | 9:29 | 2 | 0.50 | 45.00 | DV8分析用試料 |
| 91 | 12/15 | 9:30 | 9:37 | 9:39 | 9:46 | 2 | 0.50 | 45.50 | |
| 92 | 12/15 | 9:47 | 9:55 | 9:57 | 10:03 | 2 | 0.50 | 46.00 | |
| 93 | 12/15 | 10:04 | 10:12 | 10:14 | 10:20 | 2 | 0.50 | 46.50 | |
| 94 | 12/15 | 10:21 | 10:28 | 10:30 | 10:38 | 2 | 0.50 | 47.00 | |
| 95 | 12/15 | 10:40 | 10:47 | 10:49 | 10:55 | 2 | 0.50 | 47.50 | |
| 96 | 12/15 | 10:56 | 11:04 | 11:06 | 11:12 | 2 | 0.50 | 48.00 | |
| 97 | 12/15 | 11:13 | 11:20 | 11:22 | 11:29 | 2 | 0.50 | 48.50 | |
| 98 | 12/15 | 11:30 | 11:37 | 11:39 | 11:45 | 2 | 0.50 | 49.00 | |
| 99 | 12/15 | 11:46 | 11:53 | 11:55 | 12:03 | 2 | 0.50 | 49.50 | |
| 100 | 12/15 | 12:04 | 12:12 | 12:14 | 12:20 | 2 | 0.50 | 50.00 | DV9分析用試料 |

表4.3(3) 予備採水の作業記録

予備採水はバッチ式採水を144回実施し、このうち採水量が不充分であったものが2回(110回目と114回目で原因は不明)、地下水サンプラーの降下不足により全く採水できなかつたものが2回(123回目と124回目)あつた。総採水量としては70.7lであつた。また採水中は、採水量が一定量に達する毎、モニター化学分析用試料として分析所に送付したが、その目安とした採水区間体積(DV)は次式で算出し、5.5lとした。

$$\begin{aligned} DV &= \pi r_1^2 l_1 - \pi r_2^2 l_2 \\ &= \pi \times 4.9^2 \times 250 - \pi \times 4.4^2 \times 220 \\ &\approx 5500 (\text{cm}^3) \end{aligned}$$

ここで、
 r_1 は試錐孔の半径(4.9cm)、
 l_1 は採水区間長(250cm)、
 r_2 は採水区間延長カプセルの半径(4.4cm)、
 l_2 は採水区間延長カプセルの長さ(220cm)である。

予備採水終了後、引き続いて、分析用試料として「真の地下水」を採取するために本採水を実施した。本採水で用いる採水容器も予備採水のものと同様、アルゴンページを3回実施後、内圧を0.1kgf/cm²以下とした。ただし、採水容器をそのまま保存容器として使用する場合には、内圧を0.01kgf/cm²とした。また、滅菌した採水容器のアルゴンページ・減圧を行う場合には、作業による雑菌の混入を防ぐため、使用器具のアルコール消毒を実施した。

本採水ではバッチ式採水を33回実施し、16.215lの地下水試料を得た。本採水の作業記録は表4.4に示す。表中の挿入時刻・到着時刻・引上時刻・完了時刻・採水時間の定義は、表4.3の予備採水の作業記録と同様である。なお採水量は、回収した採水容器の重量と空の採水容器重量の差から算出した。

表4.4 本採水の作業記録

| 採水回数 | 日付 | 挿入時刻 | 到着時刻 | 引上時刻 | 完了時刻 | 採水時間(min) | 採水量(l) | 総採水量(l) | 備考 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|---------|------------------------|
| 1 | 12/17 | 8:21 | 8:28 | 8:33 | 8:41 | 5 | 0.490 | 0.490 | 現場計測用 |
| 2 | 12/17 | 8:42 | 8:50 | 8:55 | 9:03 | 5 | 0.495 | 0.985 | ポリ瓶(無処理) |
| 3 | 12/17 | 9:04 | 9:11 | 9:16 | 9:26 | 5 | 0.495 | 1.480 | ポリ瓶(無処理) |
| 4 | 12/17 | 9:27 | 9:33 | 9:38 | 9:45 | 5 | 0.485 | 1.965 | ポリ瓶(無処理) |
| 5 | 12/17 | 9:46 | 9:54 | 9:59 | 10:08 | 5 | 0.495 | 2.460 | ポリ瓶(無処理) |
| 6 | 12/17 | 10:09 | 10:17 | 10:22 | 10:30 | 5 | 0.490 | 2.950 | ポリ瓶(無処理) |
| 7 | 12/17 | 10:31 | 10:38 | 10:43 | 10:49 | 5 | 0.495 | 3.445 | ポリ瓶(無処理) |
| 8 | 12/17 | 10:50 | 10:58 | 11:03 | 11:10 | 5 | 0.495 | 3.940 | ポリ瓶(無処理) |
| 9 | 12/17 | 11:11 | 11:19 | 11:24 | 11:31 | 5 | 0.495 | 4.435 | ポリ瓶(無処理)・ポリ瓶(硝酸酸性)に分注 |
| 10 | 12/17 | 11:32 | 11:40 | 11:45 | 11:53 | 5 | 0.485 | 4.920 | ポリ瓶(硝酸酸性) |
| 11 | 12/17 | 11:54 | 12:03 | 12:08 | 12:18 | 5 | 0.470 | 5.390 | ポリ瓶(硝酸酸性)・ガラス瓶(無処理)に分注 |
| 12 | 12/17 | 12:19 | 12:26 | 12:31 | 12:38 | 5 | 0.490 | 5.880 | 現場計測用 |
| 13 | 12/17 | 12:39 | 12:46 | 12:51 | 12:58 | 5 | 0.495 | 6.375 | 採水容器保存 |
| 14 | 12/17 | 12:59 | 13:06 | 13:11 | 13:18 | 5 | 0.495 | 6.870 | 採水容器保存 |
| 15 | 12/17 | 13:19 | 13:25 | 13:30 | 13:38 | 5 | 0.495 | 7.365 | 採水容器保存 |
| 16 | 12/17 | 13:39 | 13:46 | 13:51 | 13:58 | 5 | 0.495 | 7.860 | 採水容器保存 |
| 17 | 12/17 | 13:59 | 14:06 | 14:11 | 14:17 | 5 | 0.495 | 8.355 | 採水容器保存 |
| 18 | 12/17 | 14:18 | 14:25 | 14:30 | 14:37 | 5 | 0.495 | 8.850 | 採水容器保存 |
| 19 | 12/17 | 14:38 | 14:44 | 14:49 | 14:55 | 5 | 0.485 | 9.335 | ガラス瓶(無処理) |
| 20 | 12/17 | 14:56 | 15:04 | 15:09 | 15:14 | 5 | 0.485 | 9.820 | ガラス瓶(無処理) |
| 21 | 12/17 | 15:15 | 15:23 | 15:28 | 15:34 | 5 | 0.490 | 10.310 | ガラス瓶(無処理)・ポリ瓶(無処理)に分注 |
| 22 | 12/17 | 15:35 | 15:43 | 15:48 | 15:54 | 5 | 0.500 | 10.810 | ポリ瓶(無処理) |
| 23 | 12/17 | 15:55 | 16:03 | 16:08 | 16:14 | 5 | 0.490 | 11.300 | 現場計測用 |
| 24 | 12/17 | 16:15 | 16:22 | 16:27 | 16:33 | 5 | 0.495 | 11.795 | ポリ瓶(無処理) |
| 25 | 12/17 | 16:34 | 16:41 | 16:46 | 16:55 | 5 | 0.480 | 12.275 | ポリ瓶(無処理) |
| 26 | 12/18 | 8:17 | 8:24 | 8:29 | 8:36 | 5 | 0.490 | 12.765 | 採水容器保存 |
| 27 | 12/18 | 8:37 | 8:44 | 8:49 | 8:55 | 5 | 0.490 | 13.255 | 採水容器保存 |
| 28 | 12/18 | 8:56 | 9:03 | 9:08 | 9:14 | 5 | 0.495 | 13.750 | 採水容器保存 |
| 29 | 12/18 | 9:15 | 9:22 | 9:27 | 9:33 | 5 | 0.485 | 14.235 | 採水容器保存 |
| 30 | 12/18 | 9:50 | 9:57 | 10:02 | 10:10 | 5 | 0.500 | 14.735 | 滅菌済採水容器保存 |
| 31 | 12/18 | 10:12 | 10:19 | 10:24 | 10:31 | 5 | 0.500 | 15.235 | 滅菌済採水容器保存 |
| 32 | 12/18 | 10:33 | 10:42 | 10:47 | 10:56 | 5 | 0.495 | 15.730 | 滅菌済採水容器保存 |
| 33 | 12/18 | 10:59 | 11:07 | 11:12 | 11:21 | 5 | 0.485 | 16.215 | 滅菌済採水容器保存 |

本採水終了後のパッカー収縮では、まずラバーパッカーの張力によりパッカー中の蒸留水を一部地上に回収した。次に、窒素ガスでおよそ15分毎に $5\text{ kgf}/\text{cm}^2$ 程度、段階的に加圧し、最終的には $29\text{ kgf}/\text{cm}^2$ まで加圧してパッカーならびに圧力チューブ内の蒸留水を地上に回収した。パッカー水の回収後は加圧をやめて常圧に戻した状態で一晩放置し、翌朝より装置の撤去を行ない、最後に装置の洗浄・点検を実施した。

5. モニター物理化学パラメータ計測

試錐孔内の地下水を採取する際には、掘削水や採水装置の設置等による地下水汚染を考慮しなければならない。本調査では、主要元素等の分析・バクテリアの調査等の試料を得るために本採水を実施する前に予備採水を行った。予備採水で得られた試料に対し、モニター物理化学パラメータ計測およびモニター化学分析を実施し、地下水への掘削水等の影響がなくなったかを判断する基準とした。

ここでは、モニター物理化学パラメータ計測の方法と結果について述べる。なお、計測項目は、水温・pH・電気伝導度・酸化還元電位の4項目である

5.1 モニター物理化学パラメータの計測方法

還元物質を含む水溶液に対して、大気中でpH・酸化還元電位の測定した場合、還元物質と酸素の化合、酸素の溶存等によって測定値に誤差を生じさせる原因となる。そこで本調査では、試料が大気と接触することのないように、採水区間から回収された採水容器入り試料を、超高純度アルゴンガス(純度99.9995%)を充填した簡易グローブバッグ内に直接導入し、各項目の計測を実施した。また計測中は、アルゴンガスによるグローブバッグ内の気相の置換状況を確認するため、気相中の酸素濃度も同時に測定した。モニター物理化学パラメータ計測で使用した計測器とその仕様を表5.1に示す。

表5.1 モニター物理化学パラメータ計測に使用した計測器と仕様

| 計測項目 | 計測器の型式 | 精度 | 備考 |
|--------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| 水温 | (株)堀場製作所製 水質チェック-U-10 | ±0.3°C | サーミスタ法 |
| pH | (株)堀場製作所製 水質チェック-U-10 | ±0.05pH | 電極：ガラス複合電極 pH標準溶液による2点校正 |
| 電気伝導度 | (株)堀場製作所製 水質チェック-U-10 | ±1%F.S. (±10μS/cm) | 測定方法：四電極法 KCl標準液によるスパン校正 自動温度補償 |
| 酸化還元電位 | セントラル科学(株)製 ORPメータ-UC-23 | ±5mV | 電極：白金電極 (銀・塩化銀内極式) |
| 気相中の 酸素濃度 | 飯島電子工業(株) 酸素濃度計RO-102-Z | ±1% | 隔膜形ガルバニ電池式 空気による自動校正 |

5.2 モニター物理化学パラメータの計測結果

予備採水中に実施したバッチ式採水144回のうち、採水できなかった2回とモニター化学分析用とした26回を除く計116回分の試料について、モニター物理化学パラメータの計測を実施した。その結果を表5.2、図5.1～図5.4に示す。表中、電気伝導度は計測器の温度補償機能により得られた25°C換算値である。また酸化還元電位のORP(mV)は計測器の指示値、Eh(mV)は10°Cにおける基準水素電極換算値である。なおORPからEhへの換算には、次式を使用した。

$$Eh = -0.6(t - 10) + 217 + ORP$$

ここで、tはORP測定時の試料の水温(°C)である。

表5.2(1) モニター物理化学パラメータ計測結果

| 採水回数 | 採水量 (ℓ) | 総採水量 (ℓ) | 水温 (°C) | pH | 電気伝導度 (μS/cm) | 酸化還元電位 | | 酸素濃度 (%) | 備考 |
|------|------------|-------------|------------|------|------------------|---------|--------|-------------|----------|
| | | | | | | ORP(mV) | Eh(mV) | | |
| 1 | 0.50 | 0.50 | | | | | | | DVO分析用試料 |
| 2 | 0.50 | 1.00 | | | | | | | DVO分析用試料 |
| 3 | 0.50 | 1.50 | 17.4 | 8.82 | 350 | -54 | 159 | 0.53 | |
| 4 | 0.50 | 2.00 | 17.4 | 8.73 | 345 | -64 | 149 | 0.55 | |
| 5 | 0.50 | 2.50 | 18.1 | 8.77 | 345 | -123 | 89 | 0.66 | |
| 6 | 0.50 | 3.00 | 18.7 | 8.79 | 345 | -130 | 82 | 0.68 | |
| 7 | 0.50 | 3.50 | 18.0 | 8.76 | 344 | -181 | 31 | 1.06 | |
| 8 | 0.50 | 4.00 | 17.0 | 8.70 | 343 | -184 | 29 | 0.66 | |
| 9 | 0.50 | 4.50 | 17.5 | 8.77 | 344 | -184 | 29 | 0.71 | |
| 10 | 0.50 | 5.00 | 17.2 | 8.74 | 344 | -210 | 3 | 0.75 | |
| 11 | 0.50 | 5.50 | 16.8 | 8.82 | 344 | -207 | 6 | 0.78 | |
| 12 | 0.50 | 6.00 | | | | | | | DV1分析用試料 |
| 13 | 0.50 | 6.50 | | | | | | | DV1分析用試料 |
| 14 | 0.50 | 7.00 | 15.6 | 8.83 | 346 | -212 | 2 | 0.55 | |
| 15 | 0.50 | 7.50 | 16.2 | 8.80 | 346 | -234 | -21 | 0.56 | |
| 16 | 0.50 | 8.00 | 15.5 | 8.77 | 349 | -177 | 37 | 0.22 | |
| 17 | 0.50 | 8.50 | 14.5 | 8.94 | 347 | -213 | 1 | 0.36 | |
| 18 | 0.50 | 9.00 | 15.2 | 8.94 | 343 | -223 | -9 | 0.72 | |
| 19 | 0.50 | 9.50 | 14.7 | 8.95 | 344 | -222 | -8 | 0.67 | |
| 20 | 0.50 | 10.00 | 14.9 | 8.92 | 344 | -209 | 5 | 0.84 | |
| 21 | 0.50 | 10.50 | 15.2 | 8.91 | 335 | -214 | 0 | 0.76 | |
| 22 | 0.50 | 11.00 | 15.4 | 8.94 | 353 | -206 | 8 | 1.11 | |
| 23 | 0.50 | 11.50 | | | | | | | DV2分析用試料 |
| 24 | 0.50 | 12.00 | | | | | | | DV2分析用試料 |
| 25 | 0.50 | 12.50 | 15.0 | 8.89 | 352 | -206 | 8 | 1.03 | |
| 26 | 0.50 | 13.00 | 16.1 | 8.88 | 356 | -215 | -2 | 1.08 | |
| 27 | 0.50 | 13.50 | 15.5 | 8.88 | 355 | -202 | 12 | 1.32 | |
| 28 | 0.50 | 14.00 | 16.0 | 8.87 | 352 | -199 | 14 | 0.63 | |
| 29 | 0.50 | 14.50 | 15.6 | 8.87 | 360 | -236 | -22 | 0.47 | |
| 30 | 0.50 | 15.00 | 15.6 | 8.86 | 356 | -222 | -8 | 0.39 | |
| 31 | 0.50 | 15.50 | 16.2 | 8.86 | 350 | -250 | -37 | 0.19 | |
| 32 | 0.50 | 16.00 | 15.3 | 8.87 | 353 | -232 | -18 | 0.15 | |
| 33 | 0.50 | 16.50 | 15.4 | 8.87 | 349 | -231 | -17 | 0.14 | |
| 34 | 0.50 | 17.00 | | | | | | | DV3分析用試料 |
| 35 | 0.50 | 17.50 | | | | | | | DV3分析用試料 |
| 36 | 0.50 | 18.00 | 13.7 | 8.96 | 356 | -216 | -1 | 0.15 | |
| 37 | 0.50 | 18.50 | 15.0 | 8.98 | 355 | -238 | -24 | 0.19 | |
| 38 | 0.50 | 19.00 | 15.6 | 8.98 | 352 | -261 | -47 | 0.18 | |
| 39 | 0.50 | 19.50 | 15.4 | 8.97 | 354 | -270 | -56 | 0.16 | |
| 40 | 0.50 | 20.00 | 15.2 | 8.95 | 357 | -280 | -66 | 0.23 | |
| 41 | 0.50 | 20.50 | 15.3 | 8.93 | 358 | -278 | -64 | 0.18 | |
| 42 | 0.50 | 21.00 | 15.0 | 8.92 | 356 | -269 | -55 | 0.15 | |
| 43 | 0.50 | 21.50 | 16.1 | 8.91 | 361 | -275 | -62 | 0.14 | |
| 44 | 0.50 | 22.00 | 15.6 | 8.91 | 360 | -275 | -61 | 0.15 | |
| 45 | 0.50 | 22.50 | | | | | | | DV4分析用試料 |
| 46 | 0.50 | 23.00 | | | | | | | DV4分析用試料 |
| 47 | 0.50 | 23.50 | 14.7 | 8.91 | 361 | -271 | -57 | 0.20 | |
| 48 | 0.50 | 24.00 | 16.3 | 8.89 | 365 | -279 | -66 | 0.20 | |
| 49 | 0.50 | 24.50 | 15.8 | 8.87 | 360 | -283 | -69 | 0.20 | |
| 50 | 0.50 | 25.00 | 15.1 | 8.87 | 360 | -271 | -57 | 0.17 | |

表5.2(2) モニター物理化学パラメータ計測結果

| 採水回数 | 採水量 (ℓ) | 総採水量 (ℓ) | 水温 (°C) | pH | 電気伝導度 (μS/cm) | 酸化還元電位 | | 酸素濃度 (%) | 備考 |
|------|---------|----------|---------|------|---------------|----------|---------|----------|------------|
| | | | | | | ORP (mV) | Eh (mV) | | |
| 51 | 0.50 | 25.50 | 15.4 | 8.87 | 360 | -268 | -54 | 0.17 | |
| 52 | 0.50 | 26.00 | 15.7 | 8.87 | 359 | -263 | -49 | 0.18 | |
| 53 | 0.50 | 26.50 | 15.9 | 8.85 | 359 | -271 | -58 | 0.19 | |
| 54 | 0.50 | 27.00 | 16.2 | 8.84 | 357 | -272 | -59 | 0.19 | |
| 55 | 0.50 | 27.50 | 16.0 | 8.85 | 357 | -274 | -61 | 0.19 | |
| 56 | 0.50 | 28.00 | | | | | | | DV 5 分析用試料 |
| 57 | 0.50 | 28.50 | | | | | | | DV 5 分析用試料 |
| 58 | 0.50 | 29.00 | 15.1 | 8.85 | 355 | -259 | -45 | 0.20 | |
| 59 | 0.50 | 29.50 | 15.9 | 8.84 | 359 | -258 | -45 | 0.18 | |
| 60 | 0.50 | 30.00 | 15.8 | 8.85 | 359 | -264 | -50 | 0.36 | |
| 61 | 0.50 | 30.50 | 15.9 | 8.93 | 361 | -294 | -81 | 0.19 | |
| 62 | 0.50 | 31.00 | 16.6 | 8.95 | 360 | -297 | -84 | 0.16 | |
| 63 | 0.50 | 31.50 | 17.6 | 8.97 | 358 | -302 | -90 | 0.15 | |
| 64 | 0.50 | 32.00 | 18.0 | 8.94 | 355 | -316 | -104 | 0.15 | |
| 65 | 0.50 | 32.50 | 18.3 | 8.91 | 359 | -307 | -95 | 0.16 | |
| 66 | 0.50 | 33.00 | 18.7 | 8.92 | 363 | -300 | -88 | 0.18 | |
| 67 | 0.50 | 33.50 | | | | | | | DV 6 分析用試料 |
| 68 | 0.50 | 34.00 | | | | | | | DV 6 分析用試料 |
| 69 | 0.50 | 34.50 | 19.1 | 8.87 | 363 | -278 | -66 | 0.18 | |
| 70 | 0.50 | 35.00 | 19.0 | 8.87 | 364 | -306 | -94 | 0.18 | |
| 71 | 0.50 | 35.50 | 19.1 | 8.86 | 363 | -310 | -98 | 0.20 | |
| 72 | 0.50 | 36.00 | 19.3 | 8.86 | 363 | -299 | -88 | 0.08 | |
| 73 | 0.50 | 36.50 | 19.5 | 8.86 | 362 | -305 | -94 | 0.08 | |
| 74 | 0.50 | 37.00 | 19.7 | 8.85 | 362 | -311 | -100 | 0.09 | |
| 75 | 0.50 | 37.50 | 19.7 | 8.84 | 362 | -283 | -72 | 0.10 | |
| 76 | 0.50 | 38.00 | 20.0 | 8.84 | 354 | -297 | -86 | 0.11 | |
| 77 | 0.50 | 38.50 | 19.5 | 8.84 | 360 | -300 | -89 | 0.13 | |
| 78 | 0.50 | 39.00 | | | | | | | DV 7 分析用試料 |
| 79 | 0.50 | 39.50 | | | | | | | DV 7 分析用試料 |
| 80 | 0.50 | 40.00 | 18.7 | 8.85 | 360 | -297 | -85 | 0.17 | |
| 81 | 0.50 | 40.50 | 18.5 | 8.85 | 357 | -300 | -88 | 0.18 | |
| 82 | 0.50 | 41.00 | 18.0 | 8.86 | 362 | -285 | -73 | 0.19 | |
| 83 | 0.50 | 41.50 | 18.1 | 8.86 | 361 | -284 | -72 | 0.19 | |
| 84 | 0.50 | 42.00 | 18.0 | 8.86 | 362 | -288 | -76 | 0.20 | |
| 85 | 0.50 | 42.50 | 17.8 | 8.86 | 362 | -296 | -84 | 0.21 | |
| 86 | 0.50 | 43.00 | 17.7 | 8.86 | 362 | -279 | -67 | 0.21 | |
| 87 | 0.50 | 43.50 | 15.2 | 8.94 | 365 | -288 | -74 | 0.11 | |
| 88 | 0.50 | 44.00 | 17.2 | 8.96 | 360 | -252 | -39 | 0.18 | |
| 89 | 0.50 | 44.50 | | | | | | | DV 8 分析用試料 |
| 90 | 0.50 | 45.00 | | | | | | | DV 8 分析用試料 |
| 91 | 0.50 | 45.50 | 17.1 | 8.92 | 362 | -300 | -87 | 0.15 | |
| 92 | 0.50 | 46.00 | 17.3 | 8.90 | 363 | -307 | -94 | 0.16 | |
| 93 | 0.50 | 46.50 | 17.5 | 8.88 | 364 | -312 | -100 | 0.18 | |
| 94 | 0.50 | 47.00 | 17.6 | 8.88 | 363 | -257 | -45 | 0.18 | |
| 95 | 0.50 | 47.50 | 18.0 | 8.88 | 363 | -317 | -105 | 0.18 | |
| 96 | 0.50 | 48.00 | 18.2 | 8.87 | 363 | -319 | -107 | 0.18 | |
| 97 | 0.50 | 48.50 | 18.0 | 8.87 | 361 | -300 | -88 | 0.19 | |
| 98 | 0.50 | 49.00 | 18.3 | 8.87 | 364 | -311 | -99 | 0.19 | |
| 99 | 0.50 | 49.50 | 18.2 | 8.86 | 360 | -321 | -109 | 0.20 | |
| 100 | 0.50 | 50.00 | | | | | | | DV 9 分析用試料 |

表5.2(3) モニター物理化学パラメータ計測結果

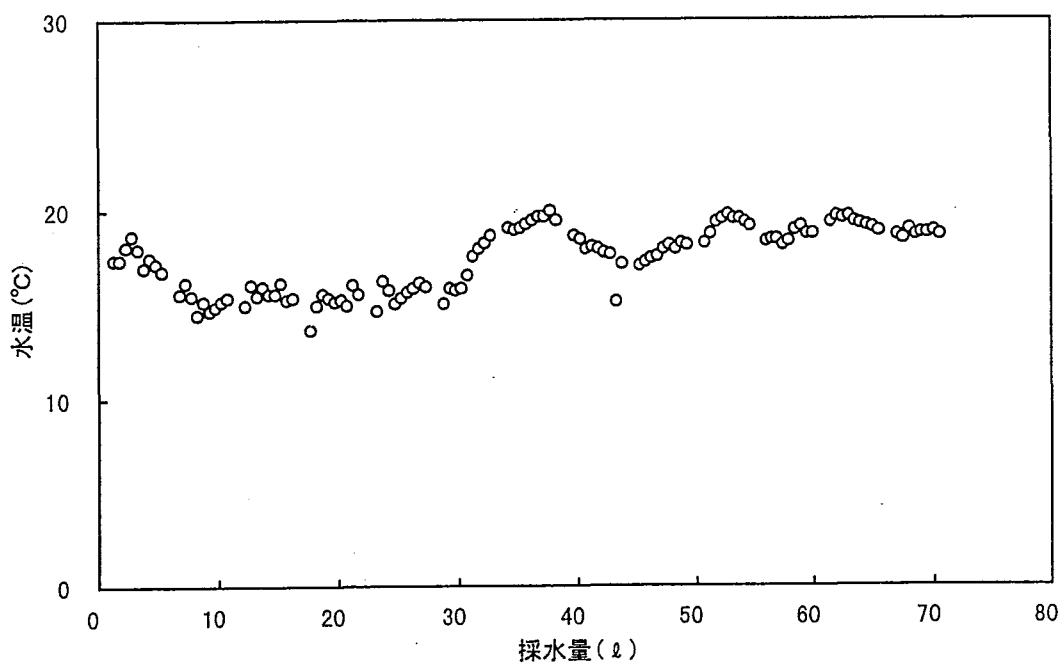


図5.1 水温計測結果

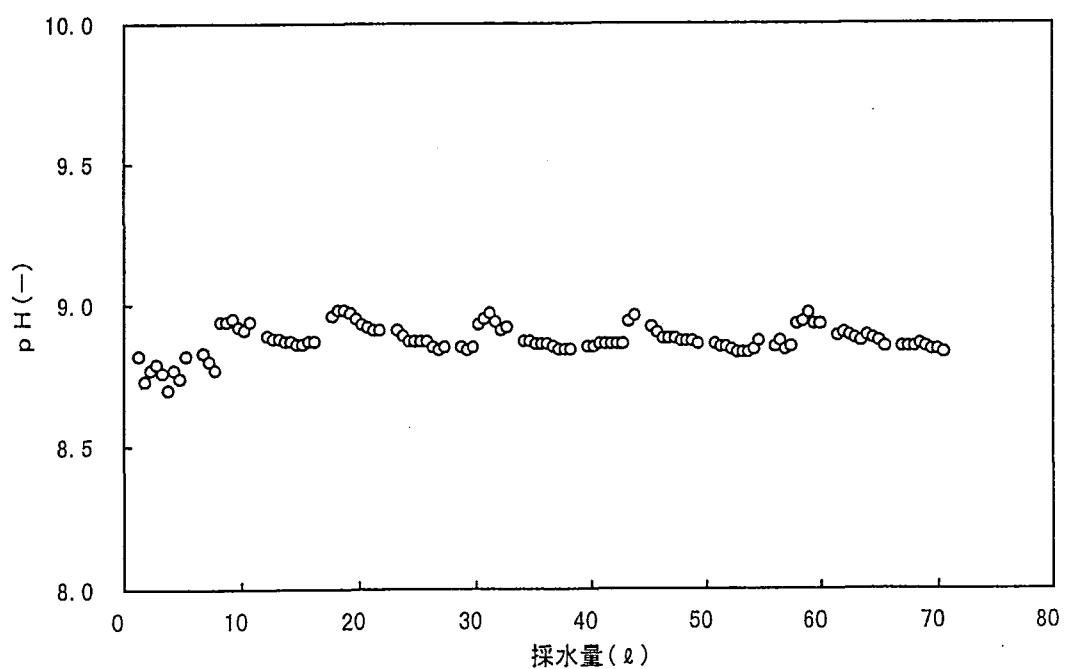


図5.2 pH計測結果

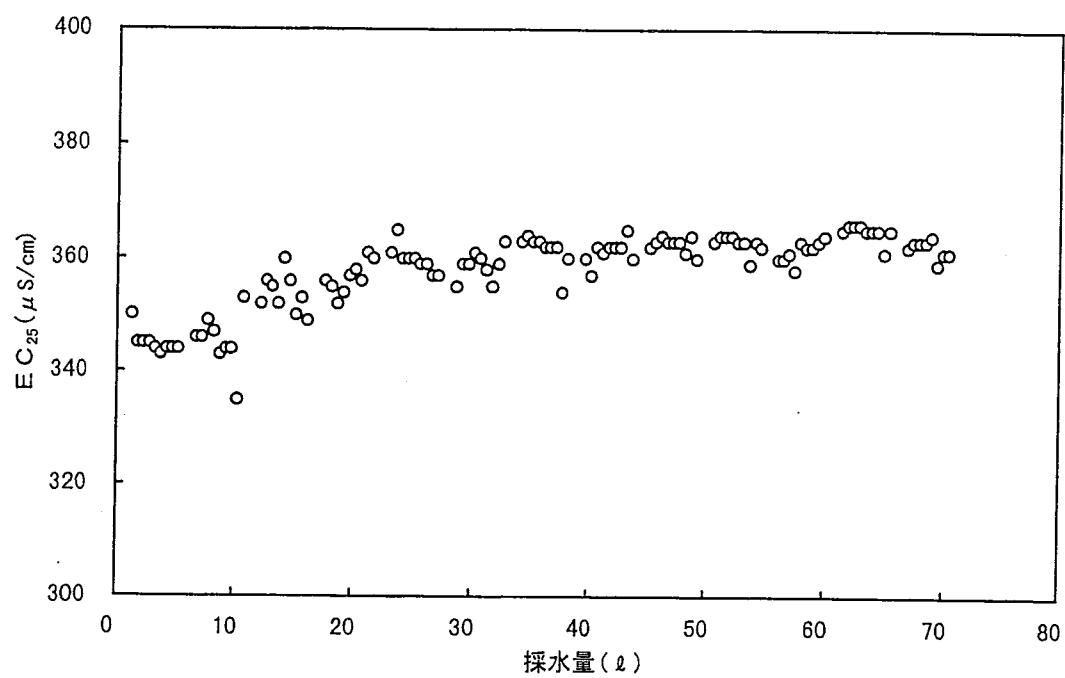


図5.3 電気伝導度(25°C換算)計測結果

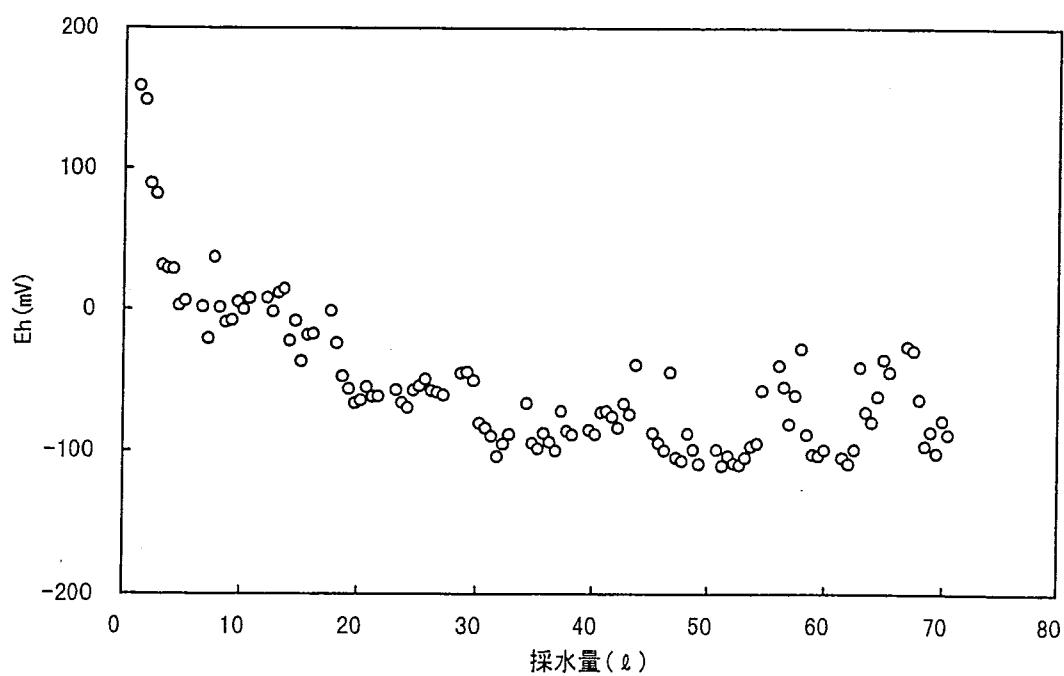


図5.4 酸化還元電位(10°C・水素電極基準)計測結果

予備採水の終了を決定する際には、予備採水作業の進行にともなう各項目の計測値の推移と安定度が重要な目安となる。そこで、各計測値を項目別に、採水区間体積毎に区分し、統計的処理を行った。その結果を表5.3、図5.5～図5.8に示す。なお、標準偏差 σ 、変動係数 v (%)の算出には次式を使用した。また、図5.5～図5.8は偏差図とし、偏差には標準偏差を用いた。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{avg})^2}{n-1}}$$

$$v = \frac{\sigma}{x_{avg}} \times 100$$

ここで、 x_i は計測値、

x_{avg} は計測値の算術平均値、

n は計測データ数である。

表5.3 モニター物理化学パラメータ計測値の統計的処理結果

| 測定項目 | 採水量による区分 | データ数 | 最大値 | 最小値 | 算術平均値 | 標準偏差 | 変動係数(%) |
|---------------------------------------|-----------|------|------|------|-------|------|---------|
| 温度 (°C) | 0 ~ 5.5 ℥ | 9 | 18.7 | 16.8 | 17.6 | 0.6 | 3.4 |
| | ~11.0 ℥ | 9 | 16.2 | 14.5 | 15.2 | 0.5 | 3.4 |
| | ~16.5 ℥ | 9 | 16.2 | 15.0 | 15.6 | 0.4 | 2.5 |
| | ~22.0 ℥ | 9 | 16.1 | 13.7 | 15.2 | 0.7 | 4.4 |
| | ~27.5 ℥ | 9 | 16.3 | 14.7 | 15.7 | 0.5 | 3.3 |
| | ~33.0 ℥ | 9 | 18.7 | 15.1 | 16.9 | 1.3 | 7.7 |
| | ~38.5 ℥ | 9 | 20.0 | 19.0 | 19.4 | 0.3 | 1.7 |
| | ~44.0 ℥ | 9 | 18.7 | 15.2 | 17.7 | 1.0 | 5.8 |
| | ~49.5 ℥ | 9 | 18.3 | 17.1 | 17.8 | 0.4 | 2.4 |
| | ~55.0 ℥ | 9 | 19.8 | 18.3 | 19.3 | 0.5 | 2.5 |
| | ~60.5 ℥ | 9 | 19.2 | 18.2 | 18.6 | 0.3 | 1.7 |
| | ~66.0 ℥ | 9 | 19.7 | 18.9 | 19.4 | 0.3 | 1.4 |
| | ~70.7 ℥ | 8 | 19.0 | 18.5 | 18.8 | 0.2 | 0.8 |
| pH | 0 ~ 5.5 ℥ | 9 | 8.82 | 8.70 | 8.77 | 0.04 | 0.5 |
| | ~11.0 ℥ | 9 | 8.95 | 8.77 | 8.89 | 0.07 | 0.8 |
| | ~16.5 ℥ | 9 | 8.89 | 8.86 | 8.87 | 0.01 | 0.1 |
| | ~22.0 ℥ | 9 | 8.98 | 8.91 | 8.95 | 0.03 | 0.3 |
| | ~27.5 ℥ | 9 | 8.91 | 8.84 | 8.87 | 0.02 | 0.2 |
| | ~33.0 ℥ | 9 | 8.97 | 8.84 | 8.91 | 0.05 | 0.5 |
| | ~38.5 ℥ | 9 | 8.87 | 8.84 | 8.85 | 0.01 | 0.1 |
| | ~44.0 ℥ | 9 | 8.96 | 8.85 | 8.88 | 0.04 | 0.5 |
| | ~49.5 ℥ | 9 | 8.92 | 8.86 | 8.88 | 0.02 | 0.2 |
| | ~55.0 ℥ | 9 | 8.87 | 8.83 | 8.84 | 0.01 | 0.2 |
| | ~60.5 ℥ | 9 | 8.97 | 8.84 | 8.90 | 0.05 | 0.5 |
| | ~66.0 ℥ | 9 | 8.90 | 8.85 | 8.88 | 0.02 | 0.2 |
| | ~70.7 ℥ | 8 | 8.86 | 8.83 | 8.85 | 0.01 | 0.1 |
| 電気伝導度 E_C^{25} ($\mu S/cm$) | 0 ~ 5.5 ℥ | 9 | 350 | 343 | 345 | 2 | 0.6 |
| | ~11.0 ℥ | 9 | 353 | 335 | 345 | 5 | 1.4 |
| | ~16.5 ℥ | 9 | 360 | 349 | 354 | 3 | 1.0 |
| | ~22.0 ℥ | 9 | 361 | 352 | 357 | 3 | 0.8 |
| | ~27.5 ℥ | 9 | 365 | 357 | 360 | 2 | 0.7 |
| | ~33.0 ℥ | 9 | 363 | 355 | 359 | 3 | 0.7 |
| | ~38.5 ℥ | 9 | 364 | 354 | 361 | 3 | 0.8 |
| | ~44.0 ℥ | 9 | 365 | 357 | 361 | 2 | 0.6 |
| | ~49.5 ℥ | 9 | 364 | 360 | 363 | 1 | 0.4 |
| | ~55.0 ℥ | 9 | 364 | 359 | 363 | 2 | 0.4 |
| | ~60.5 ℥ | 9 | 364 | 358 | 361 | 2 | 0.5 |
| | ~66.0 ℥ | 9 | 366 | 361 | 365 | 2 | 0.4 |
| | ~70.7 ℥ | 8 | 364 | 359 | 362 | 2 | 0.4 |
| 酸化還元電位 E_h (mV) | 0 ~ 5.5 ℥ | 9 | 159 | 3 | 64 | 59 | 92.2 |
| | ~11.0 ℥ | 9 | 37 | -21 | 2 | 16 | 966.2 |
| | ~16.5 ℥ | 9 | 14 | -37 | -8 | 17 | 221.6 |
| | ~22.0 ℥ | 9 | -1 | -66 | -49 | 22 | 45.1 |
| | ~27.5 ℥ | 9 | -49 | -69 | -59 | 6 | 10.1 |
| | ~33.0 ℥ | 9 | -45 | -104 | -76 | 23 | 30.1 |
| | ~38.5 ℥ | 9 | -66 | -100 | -87 | 11 | 13.1 |
| | ~44.0 ℥ | 9 | -39 | -88 | -73 | 14 | 19.8 |
| | ~49.5 ℥ | 9 | -45 | -109 | -93 | 20 | 21.2 |
| | ~55.0 ℥ | 9 | -58 | -110 | -98 | 16 | 16.6 |
| | ~60.5 ℥ | 9 | -28 | -103 | -73 | 28 | 38.5 |
| | ~66.0 ℥ | 9 | -35 | -109 | -72 | 28 | 39.3 |
| | ~70.7 ℥ | 8 | -26 | -101 | -71 | 29 | 41.0 |

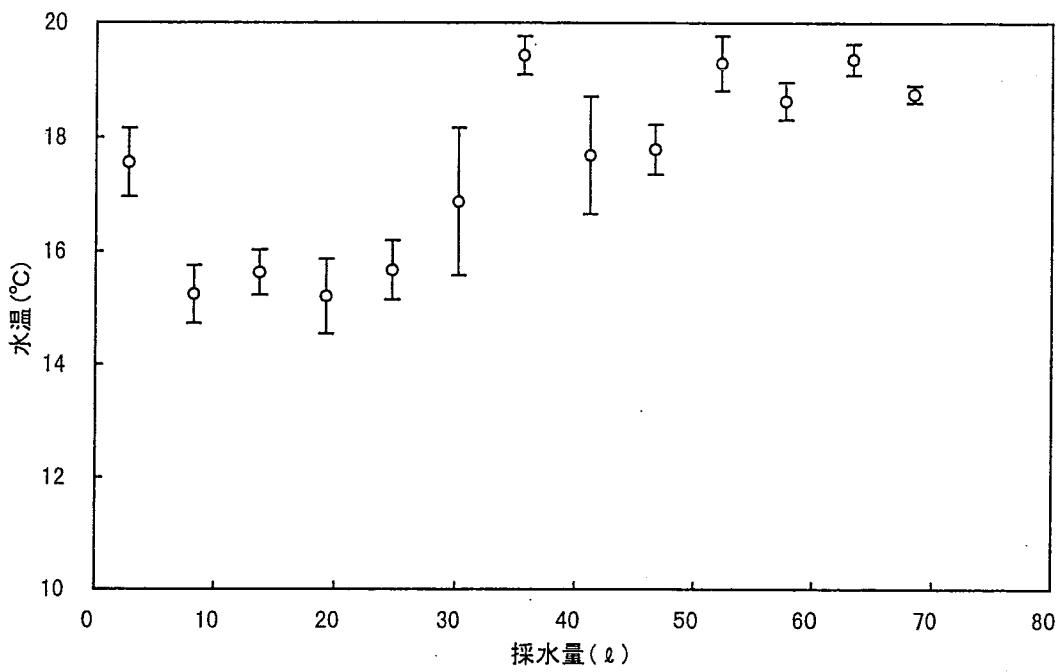


図5.5 水温計測値の統計的処理結果

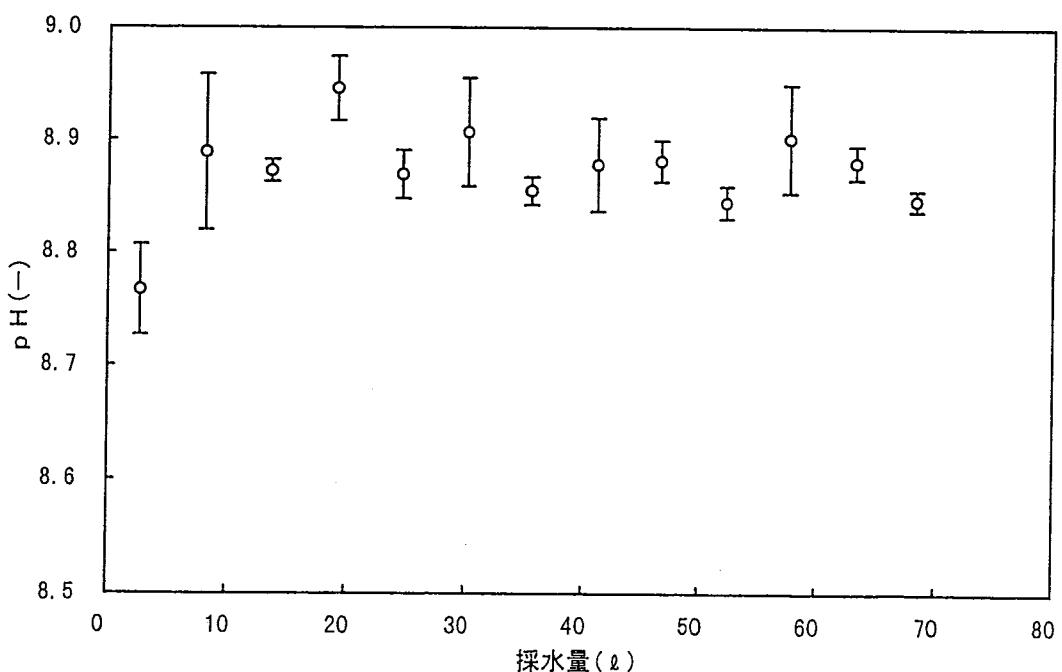


図5.6 pH計測値の統計的処理結果

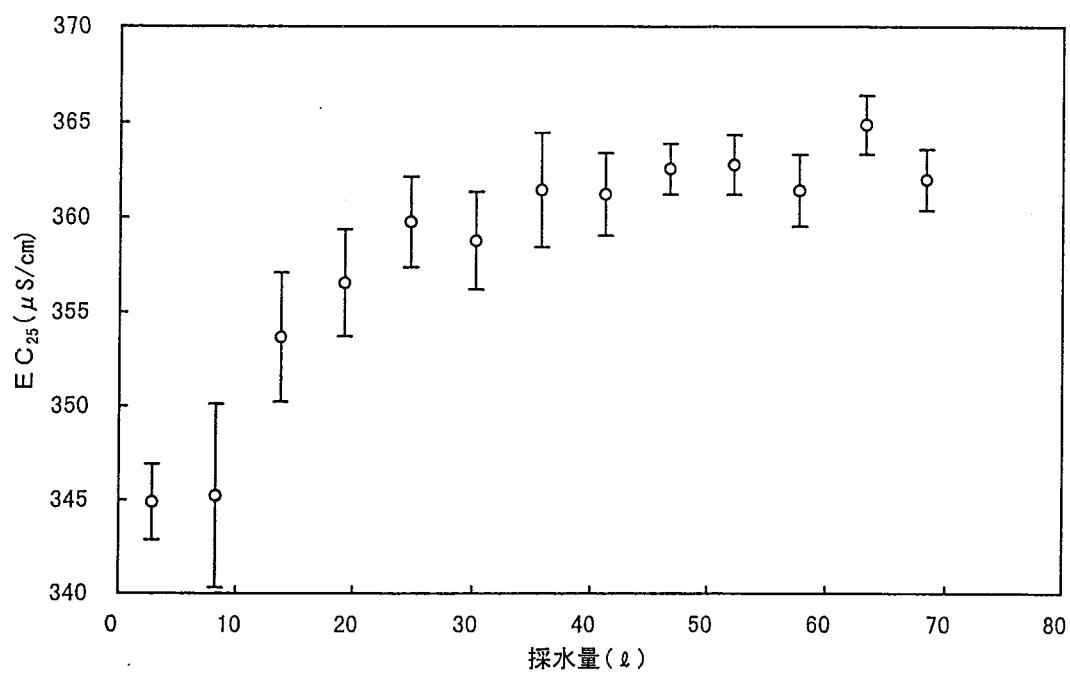


図5.7 電気伝導度(25°C換算)計測値の統計的処理結果

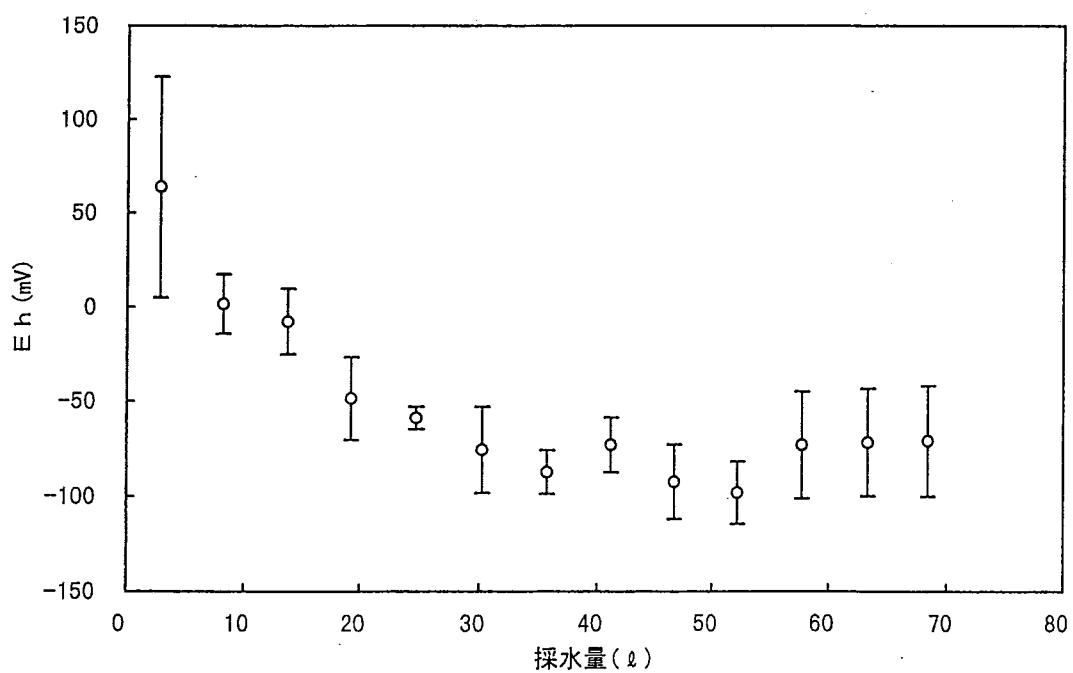


図5.8 酸化還元電位(10°C・水素電極基準)計測値の統計的処理結果

6. モニター化学分析

モニター化学分析は、モニター物理化学パラメータ計測と同様、地下水への掘削水等の影響がなくなったかを判断する基準とするため、予備採水の開始時および採水量が採水区間容量に達する毎に、分析所に試料を送付して行った。分析項目は、掘削の際、掘削用水にトレーサーとして添加したウラニンならびに特定元素7項目(SiO_2 ・ Na^+ ・ Ca^{2+} ・ Mg^{2+} ・ HCO_3^- ・ Cl^- ・ F^-)の計8項目である。

6.1 モニター化学分析の方法

バッチ式採水により地上に回収された地下水試料は、現地にて、採水容器から直接、保存容器に移し替えた。保存容器には、蒸留水洗浄済の250mℓポリ瓶を現地にて共洗いして使用した。試料を保存容器に移し替えるときには、気泡を発生させないように留意し、ヘッドスペースのできないよう満水状態にした。なお現地では、試薬の添加等の前処理は一切行わず、保存・運搬は常温で行った。分析1回当たりの試料量は、満水状態の250mℓポリ瓶入り試料2本分としたので、約600mℓである。

モニター化学分析の方法を表6.1に示す。

表6.1 モニター化学分析の方法

| 分析項目 | 分析方法 | 試料濾過の有無 | 備考 |
|------------------|----------------|---------|---------------|
| ウラニン | 蛍光光度法 | 濾過 | 精度: 0.001mg/ℓ |
| SiO_2 | ICP発光分析法 | 未濾過 | 精度: 0.28mg/ℓ |
| Na^+ | ICP発光分析法 | 未濾過 | 精度: 0.71mg/ℓ |
| Ca^{2+} | ICP発光分析法 | 未濾過 | 精度: 0.25mg/ℓ |
| Mg^{2+} | ICP発光分析法 | 未濾過 | 精度: 0.08mg/ℓ |
| HCO_3^- | 滴定法(pH4.8酸消費量) | 未濾過 | 精度: 0.03meq/ℓ |
| Cl^- | イオンクロマトグラフ法 | 未濾過 | 精度: 0.5mg/ℓ |
| F^- | イオンクロマトグラフ法 | 未濾過 | 定量下限: 0.1mg/ℓ |

6.2 モニター化学分析の結果

モニター化学分析では、13試料を採取したが、そのうちの4試料は分析を開始する前に本採水に移行したので、実際に分析を行ったものは9試料である。表6.2、図6.1～図6.7にモニター化学分析結果を示す。試料番号は試料を採取した順にDV0～DV8とした。また、図6.1～図6.7は分析結果と共に精度も表示できる偏差図とした。

表6.2 モニター化学分析結果

| 試料番号 | ウラニン (mg/l) | SiO_2 (mg/l) | Na^+ (mg/l) | Ca^{2+} (mg/l) | Mg^{2+} (mg/l) | HCO_3^- (meq/l) | Cl^- (mg/l) | F^- (mg/l) |
|------|----------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|
| DV0 | 0.002 | 17.9 | 39.6 | 20.0 | 10.1 | 2.68 | 26.8 | <0.1 |
| DV1 | 0.004 | 23.0 | 34.4 | 22.4 | 11.1 | 2.67 | 23.4 | <0.1 |
| DV2 | 0.006 | 22.8 | 36.4 | 23.2 | 11.1 | 2.76 | 24.4 | <0.1 |
| DV3 | 0.006 | 22.8 | 36.8 | 23.3 | 11.0 | 2.85 | 24.7 | <0.1 |
| DV4 | 0.008 | 22.1 | 38.0 | 23.5 | 11.0 | 2.79 | 25.8 | <0.1 |
| DV5 | 0.007 | 22.4 | 36.8 | 23.1 | 11.2 | 2.80 | 25.6 | <0.1 |
| DV6 | 0.007 | 21.8 | 38.4 | 23.7 | 11.0 | 2.81 | 25.6 | <0.1 |
| DV7 | 0.005 | 21.7 | 37.6 | 23.4 | 11.1 | 2.88 | 23.6 | <0.1 |
| DV8 | 0.006 | 21.1 | 37.6 | 24.0 | 10.8 | 2.83 | 24.0 | <0.1 |

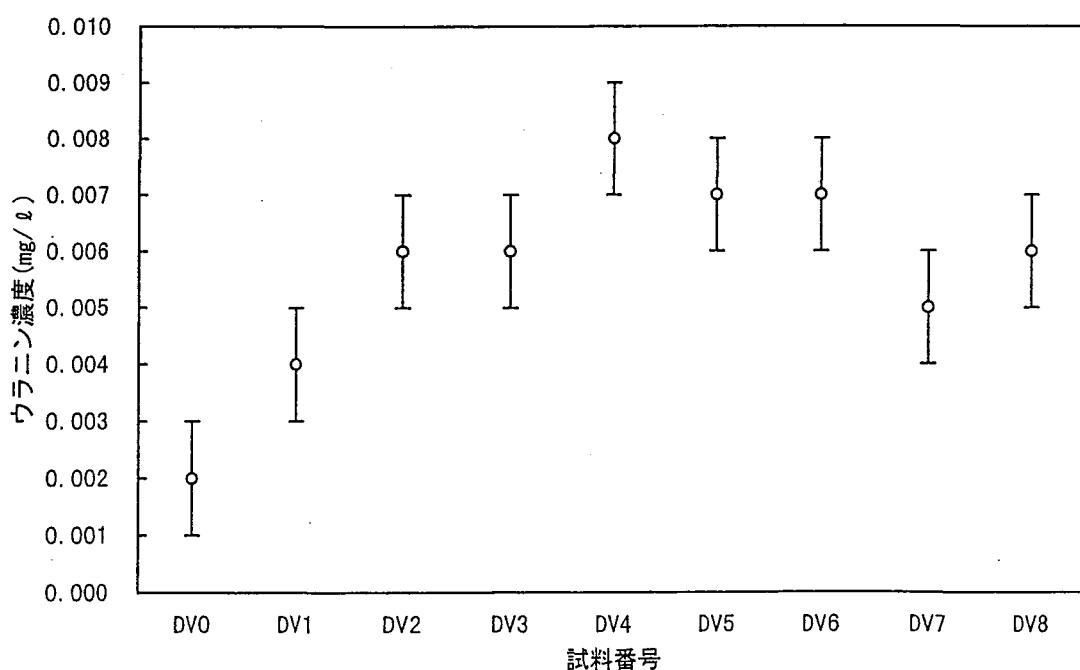


図6.1 モニター化学分析結果(ウラニン)

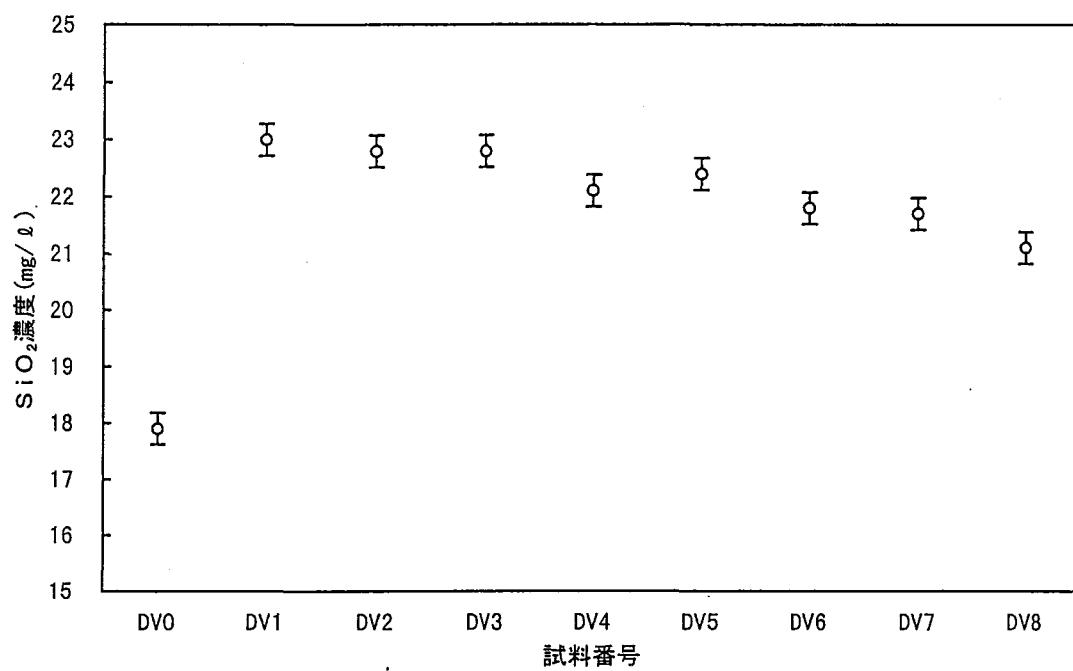


図6.2 モニタ一化学分析結果(SiO_2)

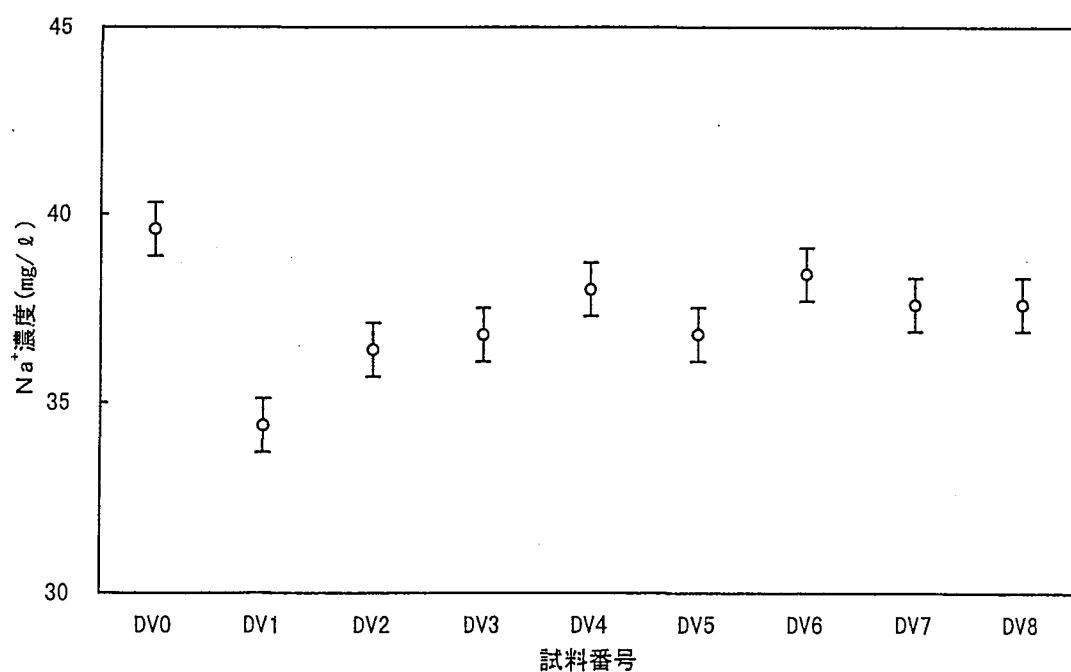


図6.3 モニタ一化学分析結果(Na^+)

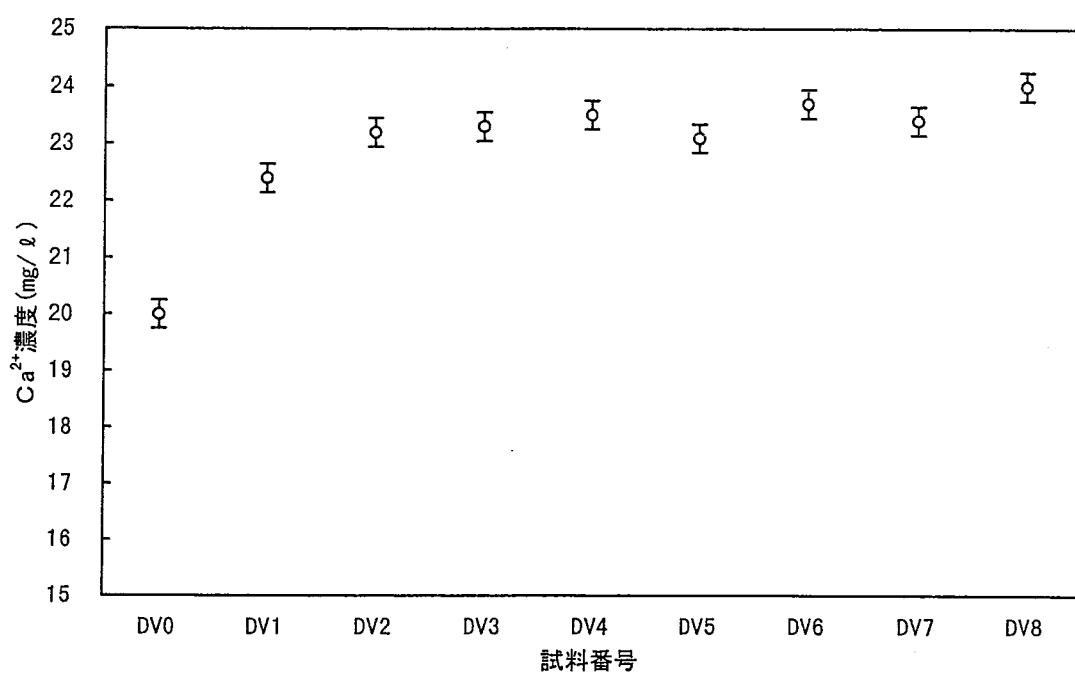


図6.4 モニタ一化学分析結果(Ca^{2+})

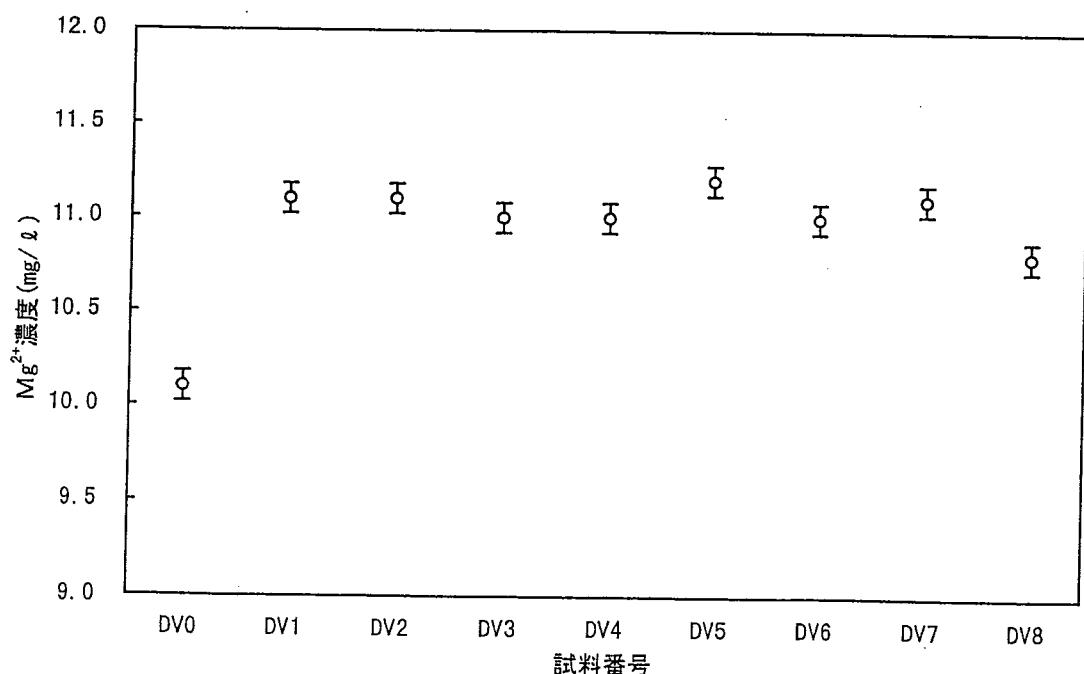


図6.5 モニタ一化学分析結果(Mg^{2+})

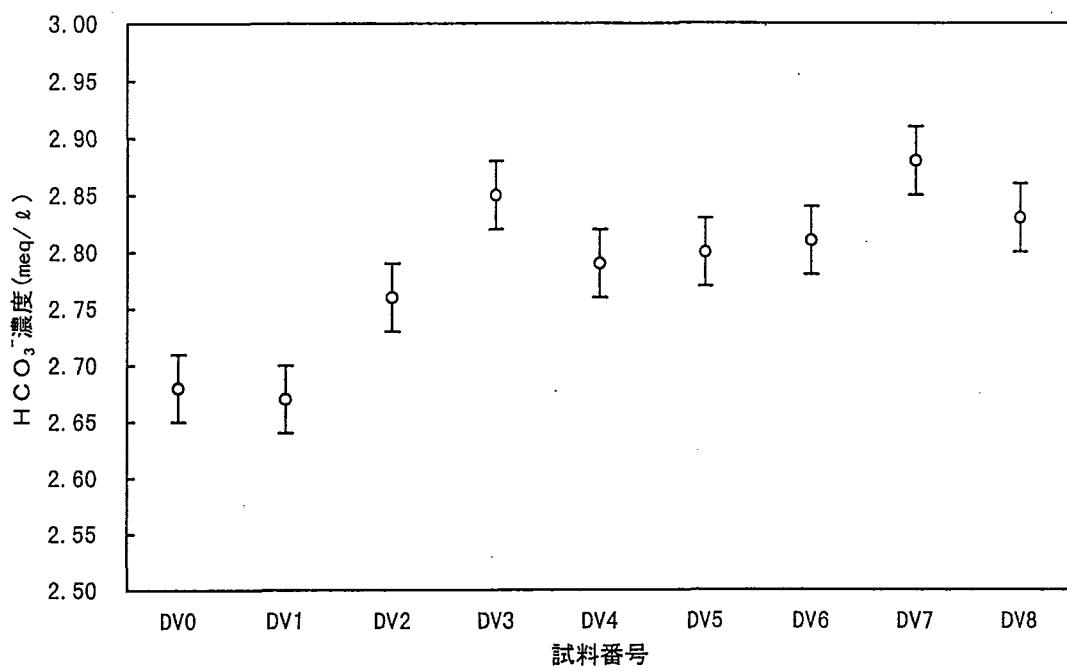


図6.6 モニタ一化学分析結果(HCO₃⁻)

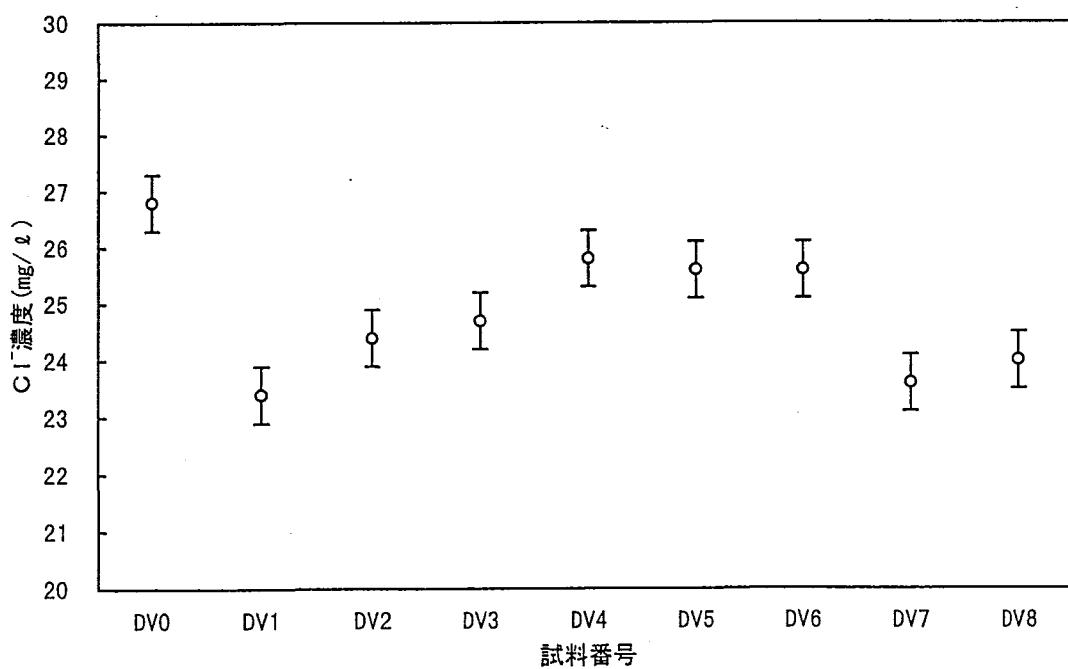


図6.7 モニタ一化学分析結果(Cl⁻)

7. 主要元素等の分析

予備採水で地下水への掘削水等の影響がなくなったと判断された後、本採水により「真の地下水」を採取し、物理化学パラメータ4項目・溶存ガス7項目・陽イオン11項目・陰イオン11項目・その他8項目の計41項目の分析を実施した。分析項目を表7.1に示す。

表7.1 主要元素等の分析項目

| 分類 | 分析項目 |
|-----------|--|
| 物理化学パラメータ | 温度・pH・電気伝導度・酸化還元電位 |
| 溶存ガス | O ₂ ・N ₂ ・H ₂ ・He・CH ₄ ・CO・CO ₂ |
| 陽イオン | Si・Na ⁺ ・K ⁺ ・Li ⁺ ・Ca ²⁺ ・Mg ²⁺ ・Sr ²⁺ Al ³⁺ ・Mn ²⁺ ・Total-Fe・Fe ²⁺ |
| 陰イオン | HCO ₃ ⁻ ・Cl ⁻ ・F ⁻ ・Br ⁻ ・I ⁻ ・S ²⁻ PO ₄ ³⁻ ・SO ₄ ²⁻ ・NO ₃ ⁻ ・NO ₂ ⁻ ・NH ₄ ⁺ |
| その他 | TOC・フミン酸・フルボ酸・ ³ H・δD δ ¹⁸ O・δ ¹³ C・ ¹⁴ C |

7.1 試料保存方法

主要元素等の分析用試料の保存・運搬には、分析項目別に4種類の保存方法を用いた。試料の保存方法を表7.2に示す。

表7.2 試料の保存方法

| 容器種類 | 試料量 | 分析項目 | 備考 |
|---------------------|----------------|--|--|
| 250mℓ ポリ瓶 | 18本 (約5.4ℓ) | 陽イオン(Si・Total-Fe Fe ²⁺ を除く) 陰イオン(S ²⁻ を除く) | 容器は、蒸留水洗浄後、共洗いをして使用。満水にし、約4℃で保存。 |
| 250mℓ ポリ瓶 | 4本 (約1.2ℓ) | Si・Total-Fe | 容器は、20%硝酸・蒸留水洗浄後、共洗いをして使用。1%硝酸酸性として、満水にし、約4℃で保存。 |
| 500mℓ 褐色 ガラス瓶 | 2本 (約1.2ℓ) | TOC・フミン酸・フルボ酸 | 容器は、蒸留水洗浄後、共洗いをして使用。満水にし、約4℃で保存。 |
| 500mℓ 採水 容器 | 10本 (約5.0ℓ) | 物理化学パラメータ・溶存ガス Fe ²⁺ ・ ³ H・δD・δ ¹⁸ O δ ¹³ C・ ¹⁴ C | 容器は、硝酸・蒸留水洗浄後、共洗いをして使用。バッチ式採水で使用し、そのまま約4℃で保存。 |

7.2 物理化学パラメータの計測方法

物理化学パラメータ4項目の測定は、試料を採水容器からアルゴン雰囲気中に取出し、温度は水銀温度計、pH・電気伝導度・酸化還元電位は、表7.3に示す計測器にて実施した。

表7.3 物理化学パラメータ計測で使用した計測器

| 計測項目 | 計測器の型式 | 備 考 |
|--------|-------------------------------|--|
| pH | 東亜電波工業(株)製 pHメータ-HM-30V | 電極：ガラス複合電極 再現性： $\pm 0.01\text{pH} \pm 1\text{ digit}$ |
| 電気伝導度 | 東亜電波工業(株)製 電導度計CM-30S | 測定方法：交流二極法 再現性： $\pm 0.5\%F.S.$ ($10\mu\text{S/cm}$) |
| 酸化還元電位 | 東亜電波工業(株)製 ポータブルORP計RM-12P | 電極：白金複合電極 (比較電極： 3.3mol/l 塩化銀電極) 再現性： $\pm 1\text{mV} \pm 1\text{ digit}$ |

7.3 溶存ガスの分析方法

溶存ガス7項目(O_2 ・ N_2 ・ H_2 ・ He ・ CH_4 ・ CO ・ CO_2)は、ガスクロマトグラ法により測定した。分析用の気体試料は次のようにして調製した。

まず、採水容器に真空瓶(容量200ml)を注射針で接続し、水試料の一部を真空瓶に移した。その際、採水容器内が常圧に保たれるように別途、アルゴンを送り込み、静置後、気相部より気体試料を得た。

使用機器ならびに測定条件は表7.4に示す。

表7.4 溶存ガス分析における使用機器ならびに測定条件

| 分析項目 | O_2 ・ N_2 ・ H_2 | He | CH_4 ・ CO ・ CO_2 |
|------------|--|---------------------|---|
| 使用機種 | ジーエルサイエンス製 GC-390 | (株)大倉理研製 GC-802T | ジーエルサイエンス製 GC-390 |
| 検出器 | 熱伝導度 | 熱伝導度 | 水素炎イオン化 |
| キャリヤガス | Ar | O_2 | Ar |
| カラム | モレキュラーシップ 5A 10m | モレキュラーシップ 5A 7 m | ホーリバッックQ 5 m |
| カラム槽温度(°C) | 50 | 50 | 50 |

7.4 陽イオンの分析方法

(1) Si・Li⁺・Ca²⁺・Mg²⁺・Sr²⁺・Al³⁺・Mn²⁺・Total-Fe

陽イオンのうち、Si・Li⁺・Ca²⁺・Mg²⁺・Sr²⁺・Al³⁺・Mn²⁺・Total-Feの8項目は、表7.5に示す測定波長にて日本ジャーレル・アッシュ社製ICP発光分析装置ICAP-575を使用して、誘導結合プラズマ発光分光法により測定した。なお、Si・Total-Feの分析用試料は、現地にて1%硝酸酸性とした試料にそれぞれ、フッ化水素酸、塩酸を添加し、それ以外のLi⁺・Ca²⁺・Mg²⁺・Sr²⁺・Al³⁺・Mn²⁺は未処理試料を濾紙5種Cで濾過し、酸を添加して分析に供した。

表7.5 誘導結合プラズマ発光分光分析の測定波長

| 項目 | Si | Li ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Sr ²⁺ | Al ³⁺ | Mn ²⁺ | T. Fe |
|------------|---------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|
| 波長 (nm) | 251.612 | 670.784 | 393.366 | 279.553 | 407.771 | 396.152 | 257.610 | 238.204 |

(2) Na⁺・K⁺

Na⁺はJIS K 0101(工場用水試験方法)47.1、K⁺はJIS K 0101(工場用水試験方法)48.1のフレーム光度法によった。

すなわち、濾紙5種Cで懸濁物質を除去した試料をアセチレン-空気フレーム中に噴霧し、Na⁺では波長589nmの輝線の強さを、K⁺では波長766nmの輝線の強さを測定した。測定装置には日本ジャーレル・アッシュ社製フレーム光度計AAS-88mark IIを使用した。

(3) Fe²⁺

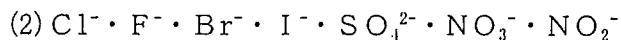
厚生省令第69号上水試験方法VI-3 12.5.2の1,10-フェナントロリン法によった。アルゴン雰囲気中で、濾紙5種Cで濾過した試料に1,10-フェナントロリン溶液と酢酸アンモニウム溶液を添加し、pH 5に調整後、30分静置して赤褐色の鉄(II)錯体を生成させる。この試料溶液の波長510nmにおける吸光度を日立製分光光度計U-1100により測定した。

7.5 陰イオンの分析方法

(1) HCO₃⁻

HCO₃⁻はJIS K 0102(工場排水試験方法)15.1の酸消費量(pH 4.8)によった。

濾紙5種Cで濾過した試料100mLをビーカーに入れ、N/10塩酸でpH 4.8になるまで滴定した。なお、pH測定は東亜電波工業製pHメーターHM-30Vを用いた。



陰イオンのうち、 $\text{Cl}^- \cdot \text{F}^- \cdot \text{Br}^- \cdot \text{I}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^- \cdot \text{NO}_2^-$ の 7 項目は、イオンクロマトグラフ法により測定した。試料には濾紙 5 種 C で濾過した試料を用いた。使用機器ならびに測定条件を表7.6、表7.7に示す。

表7.6 $\text{Cl}^- \cdot \text{F}^- \cdot \text{Br}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^- \cdot \text{NO}_2^-$ の

分析における使用機器ならびに測定条件

| | |
|-------|---|
| 機種 | 島津製 HIC-6A |
| 試料注入量 | $20 \mu l$ |
| 溶離液 | 2 mM フタル酸 |
| 流速 | $1.5 \text{cm}^3/\text{min}$ |
| 分離カラム | Shim-pacic IC-A1 : $5 \phi \times 140\text{mm}$ |
| 検出器 | 電気伝導度 |

表7.7 I^- の分析における使用機器ならびに測定条件

| | |
|-------|---|
| 機種 | Dionex社製 2010I |
| 試料注入量 | $50 \mu l$ |
| 溶離液 | 3 mM Na_2CO_3 4 mM NaHCO_3 0.75mM 4-ジア/フイ/ール |
| 流速 | $1.6 \text{cm}^3/\text{min}$ |
| 分離カラム | HPIC-AS5 : $4 \phi \times 250\text{mm}$ |
| 検出器 | 電気伝導度 |

(3) S^{2-}

JIS K 0101(工場用水試験方法)40.1のメチレンブルー吸光光度法によった。アルゴン雰囲気中で、濾紙 5 種 C で濾過した試料を硫酸酸性($\text{pH} 1$ 以下)とし、N,N'-ジメチル-p-フェニレンジアミン溶液と塩化鉄(III)溶液を添加し、1 分間静置する。次にリン酸水素二アンモニウム溶液を加え、5 分間静置する。以上の操作により 3,7-ビス(ジメチルアミノ)フェノチアジン-5 イウムクロリド(メチレンブルー)を生成させ、この試料溶液の波長670nmにおける吸光度を日立製分光光度計U-1100により測定した。

(4) PO_4^{3-}

JIS K 0101(工場用水試験方法)43.1.1のモリブデン青[塩化スズ(II)]吸光光度法によった。濾紙5種Cで濾過済の試料に対して、モリブデン酸アンモニウム溶液を添加し、ヘテロポリ化合物を生成させる。この試料溶液に塩化スズ(II)溶液を添加し、15分間静置することにより、ヘテロポリ化合物は還元され、モリブデン青が生成する。この試料溶液の波長880nmにおける吸光度を日立製分光光度計U-1100により測定した。

(5) NH_4^+

JIS K 0101(工場用水試験方法)36.2のインドフェノール青吸光光度法によった。濾紙5種Cで濾過した試料に酸化マグネシウムを加えて蒸留を行い、留出したアンモニアを希硫酸に吸収させる。この留出液にEDTA溶液、ナトリウムフェノラート溶液、次亜塩素酸ナトリウム溶液を加えて、液温20~25°Cで30分間静置し、インドフェノール青を生成させる。この溶液の波長630nmの吸光度を日立製分光光度計U-1100により測定した。

7.6 その他の成分の分析方法

(1) TOC

JIS K 0101(工場用水試験方法)20.1の燃焼酸化-赤外線分析法によった。試料を、二酸化炭素を除去した空気とともに高温(900°C以上)の全炭素測定用酸化触媒充填管に送り込み、有機物中の炭素及び無機物中の炭素を二酸化炭素とした後、その濃度を非分散形赤外線ガス分析計で測定して、まず全炭素量を求める。次に試料を有機物が分解されない温度(約150°C)に保った無機体炭素測定用酸性触媒充填管に送り込み、生成した二酸化炭素を測定し、無機体炭素量を求める。これら測定結果の差よりTOCを算出する。なお測定には、島津製作所製全有機体炭素計TOC-5000Aを使用した。

(2) フミン酸・フルボ酸

一定量の試料を分離カラム(カラム:フロンケミカル社製8mmφ×25mm、充填材:和光純薬製DEAE-Cellulose Type II)に通し、吸着した成分をNaOHで脱着させて採取した溶液に塩酸を添加し、攪拌・遠心分離を行った。残留物にNaOHを加えて攪拌し、塩酸でpH 7に調整し、メスフラスコで定容として波長350nmで吸光度を島津製作所製分光光度計UV-240により測定し、フミン酸を定量した。なお、標準試薬にはアルドリッヂ社製フミン酸を用いた。

フルボ酸の定量では、フミン酸分析の前処理中に遠心分離により得られた上澄

み液をサンプル瓶に移し、NaOHを加えて攪拌し、塩酸でpH 7に調整した。これをメスフラスコで定容とし、波長350nmで吸光度を島津製作所製分光光度計UV-240により測定した。フルボ酸の標準試薬には、日本腐食物質研究会Inogashira soirフルボ酸を用いた。

(3)³H

³Hの分析は、液体シンチレーション法により実施した。まず、試料を乾固するまで蒸留し、蒸留水の一部に電解質として過酸化ナトリウム、触媒として二酸化マンガンを加え、先の蒸留水に合わせた。次に得られた試料を電解セルに入れ、2°Cの冷却水槽に浸して電解濃縮を行った。電極にはFe-Ni電極を用い、電解密度70mA/cm²で、電解液が約12mLとなるまで濃縮した。

電解濃縮終了後、濃縮液中にCO₂を約15分間吹き込んで中和した後、蒸留し、低拡散ポリエチレンバイアルに、留出液9mLに対し、液体シンチレーター9gを添加し、冷暗所に一昼夜放置後、アロカ社製低バックグラウンド液体シンチレーションシステムLSC-LBⅢによりβ線を計測した。なお、濃縮計数を求めるため、濃度既知の標準トリチウム水についても同様の操作を実施した。

(4) δD

δDはウラン還元法により分析を実施した。まず、ファインピペットを用いて試料を5~10μL採取し、自然気化させて700~850°Cに加熱したウラン炉に導入し、H₂ガスを発生させた。この発生したH₂ガスをVG社製質量分析計MM602Cに導入してδDを測定した。

なお分析結果は、次式で定義される、標準試料に対する同位体比の千分率偏差δD(‰)で表現し、標準試料として、国際同位体標準試料(SMOW:Standard Mean Ocean Water・標準平均海水)を使用した。

$$\delta D = \left(\frac{R_A}{R_S} - 1 \right) \times 1000$$

ここで、δDは分析試料の標準試料に対する同位体比の千分率偏差(‰)、

R_Aは分析試料のD-H比(-)、

R_Sは標準試料のD-H比(-)で、1.558×10⁻⁴である。

(5) $\delta^{18}\text{O}$

$\delta^{18}\text{O}$ は水-二酸化炭素ガス交換法により分析を実施した。試料5mlをポリエチレン製注射器にとり、これに1気圧・10mlのCO₂ガスを市販ボンベより導入し、よく振った後、一度CO₂を捨てて溶存空気を追い出した。次に、新しいCO₂を導入し、25°Cの恒温器内で6時間以上静置した。この結果、H₂O-CO₂間での酸素同位体交換反応により、CO₂ガスは水の酸素同位体比よりも41.15‰ほど¹⁸Oに富む同位体比組成に固定される。このCO₂ガスを、真空装置を用いて水や空気を取り除くため精製し、精製されたCO₂ガスをNuclide Associate製質量分析計6-60に導入して測定した。

なお分析結果は、次式で定義される、標準試料に対する同位体比の千分率偏差 $\delta^{18}\text{O}$ （‰）で表現し、標準試料は δD と同じく、国際同位体標準試料(SMOW:Standard Mean Ocean Water・標準平均海水)を使用した。

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{R_A}{R_S} - 1 \right) \times 1000$$

ここで、 $\delta^{18}\text{O}$ は分析試料の標準試料に対する同位体の千分率偏差（‰）、

R_Aは分析試料の¹⁸O-¹⁶O比(-)、

R_Sは標準試料の¹⁸O-¹⁶O比(-)で、 2.0052×10^{-3} である。

(6) $\delta^{13}\text{C}$

試料をガラス瓶に採取し、Sr²⁺-アルカリ溶液を加え、密栓・混合し、CO₂ガスを除去したグローボックス内に放置し、SrCO₃の沈殿を生成した。次に、この沈殿をCO₂ガスの含まれない精製水で数回洗浄し、沈殿を乾燥して分離した。精製したSrCO₃を高真空装置内でH₃PO₄と反応させ、得られたCO₂を精製し、Nuclide Associate社製質量分析計6-60により計測した。

なお、分析結果は、次式で定義される標準試料に対する同位体比の千分率偏差 $\delta^{13}\text{C}$ （‰）で表現し、標準試料には国際同位体標準試料(PDB:Peedee Belemnite・米国南カロライナ州ピーディー層産箭石化石)を使用した。

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{R_A}{R_S} - 1 \right) \times 1000$$

ここで、 $\delta^{13}\text{C}$ は分析試料の標準試料に対する同位体比の千分率偏差（‰）、

R_Aは分析試料の¹³C-¹²C比(-)、

R_s は標準試料の $^{13}\text{C} - ^{12}\text{C}$ 比(ー)で、 1.1081×10^{-2} である。

(7) ^{14}C

試料をガラス瓶に採取し、 Sr^{2+} -アルカリ溶液を加え、密栓・混合し、 CO_2 ガスを除去したグローボックス内に放置し、 SrCO_3 の沈殿を生成した。次に、この沈殿を CO_2 ガスの含まれない精製水で数回洗浄し、沈殿を乾燥して分離した。精製した SrCO_3 を高真空装置内で H_3PO_4 と反応させ、得られた CO_2 を精製し、高真空装置内で Co 触媒と共に加熱し、得られたグラファイトの ^{14}C を米国のローレンス・リバモア国立研究所所有の FN タンデム型加速器付質量分析計により計測した。

なお分析結果は、次式で定義される ^{14}C 年代ならびに補正 ^{14}C 年代で表現した。

$$t = \frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \frac{T_{1/2}}{0.693} \times \ln\left(\frac{N_0}{N}\right)$$

ここで、 t は ^{14}C による年代、

λ は崩壊乗数、

N_0 は1950年の $^{14}\text{C} - ^{12}\text{C}$ 比、

N は試料の $^{14}\text{C} - ^{12}\text{C}$ 比、

$T_{1/2}$ は ^{14}C の半減期で5568年である。

$$t^* = t + \frac{T_{1/2}}{0.693} \times \ln\left[1 + \left(\delta^{13}\text{C} + 25.0\right) \times \frac{2}{1000}\right]$$

ここで、 t^* は補正 ^{14}C 年代、

t は ^{14}C による単純年代、

$T_{1/2}$ は ^{14}C の半減期で5568年、

$\delta^{13}\text{C}$ は炭素安定同位体比(%)、

25.0は樹木の $\delta^{13}\text{C}$ の平均値である。

7.7 主要元素等の分析結果

物理化学パラメータ4項目・溶存ガス7項目・陽イオン11項目・陰イオン11項目・その他8項目の計41項目の分析結果を表7.8に示す。

表7.8 主要元素等の分析結果

| 分類 | 項目 | 単位 | 分析結果 | 備考 |
|---------------|-------------------------------|-------|---------|-----------------------|
| 物理化学 パラメータ | 温度 | °C | 20 | 水銀温度計 |
| | pH | — | 8.6 | ガラス複合電極法 |
| | 電気伝導度 | μS/cm | 362 | 交流二極法 |
| | 酸化還元電位 | mV | -65 | 白金複合電極法 |
| 溶存ガス | O ₂ | ml/l | 25.1 | ガスクロマトグラフ法 |
| | N ₂ | ml/l | 104 | ガスクロマトグラフ法 |
| | H ₂ | ml/l | < 0.02 | ガスクロマトグラフ法 |
| | He | ml/l | < 0.001 | ガスクロマトグラフ法 |
| | CH ₄ | ml/l | 2.8 | ガスクロマトグラフ法 |
| | CO | ml/l | < 0.02 | ガスクロマトグラフ法 |
| | CO ₂ | ml/l | 0.12 | ガスクロマトグラフ法 |
| 陽イオン | Si | mg/l | 9.65 | 誘導結合プラズマ発光分光法 |
| | Na ⁺ | mg/l | 36.7 | フレーム光度法 |
| | K ⁺ | mg/l | 10.6 | フレーム光度法 |
| | Li ⁺ | mg/l | 0.01 | 誘導結合プラズマ発光分光法 |
| | Ca ²⁺ | mg/l | 23.7 | 誘導結合プラズマ発光分光法 |
| | Mg ²⁺ | mg/l | 10.9 | 誘導結合プラズマ発光分光法 |
| | Sr ²⁺ | mg/l | 0.40 | 誘導結合プラズマ発光分光法 |
| | Al ³⁺ | mg/l | 0.17 | 誘導結合プラズマ発光分光法 |
| | Mn ²⁺ | mg/l | 0.02 | 誘導結合プラズマ発光分光法 |
| | Total-Fe | mg/l | 0.30 | 誘導結合プラズマ発光分光法 |
| | Fe ²⁺ | mg/l | 0.06 | 1,10-オルトフェナントロリン法 |
| | | | | |
| 陰イオン | HCO ₃ ⁻ | mg/l | 173 | pH 4.8酸消費量 |
| | Cl ⁻ | mg/l | 26.6 | イオンクロマトグラフ法 |
| | F ⁻ | mg/l | 0.03 | イオンクロマトグラフ法 |
| | Br ⁻ | mg/l | < 0.2 | イオンクロマトグラフ法 |
| | I ⁻ | mg/l | < 0.2 | イオンクロマトグラフ法 |
| | S ²⁻ | mg/l | 0.20 | メチレンブルー吸光光度法 |
| | PO ₄ ³⁻ | mg/l | 0.04 | モリブデン青[塩化スズ(II)]吸光光度法 |
| | SO ₄ ²⁻ | mg/l | 1.34 | イオンクロマトグラフ法 |
| | NO ₃ ⁻ | mg/l | < 0.2 | イオンクロマトグラフ法 |
| | NO ₂ ⁻ | mg/l | < 0.2 | イオンクロマトグラフ法 |
| | NH ₄ ⁺ | mg/l | 0.19 | インドフェノール青吸光光度法 |
| | | | | |
| その他 | TOC | mg/l | 34 | 燃焼酸化-赤外線吸収法 |
| | フミン酸 | mg/l | 0.69 | 吸光光度法 |
| | フルボ酸 | mg/l | 35 | 吸光光度法 |
| | ³ H | TU | < 1.0 | 液体シンチレーション法 |
| | δD | SMOW‰ | -34.3 | 質量分析法 |
| | δ ¹⁸ O | SMOW‰ | -6.1 | 質量分析法 |
| | δ ¹³ C | PDB‰ | -10.4 | 質量分析法 |
| | ¹⁴ C年代 | yBP | 5530±50 | 加速器質量分析法 |
| | 補正 ¹⁴ C年代 | | 5760±50 | |

8. バクテリアの分析等

主要元素等の分析と同様、本採水により「真の地下水」を採取し、全菌数計数・特定バクテリアの存在調査9項目(鉄酸化細菌・鉄還元細菌・硫酸塩還元細菌・メタン生成細菌・アンモニア酸化細菌・亜硝酸酸化細菌・硝酸還元細菌・脱窒細菌)・硫酸塩還元細菌の同定を実施した。

8.1 試料保存方法

バクテリア分析用試料を採取する採水容器には、硝酸・蒸留水洗浄後、オートクレーブ殺菌(120°C、1.2atm、20min)したものを使用した。また現地にて採水容器のアルゴンパージ・減圧を行う前には、作業による雑菌の混入を防ぐため、使用器具のアルコール消毒をした。採取後は他の容器への移し替えは行わず、採水容器のまま約4°Cで保存・運搬した。

8.2 全菌数計数の方法

全菌数計数は、細菌のDNAあるいはRNAを蛍光染色し、蛍光顕微鏡下で計数するアクリジンオレンジ染色法を用いた。

まず、試料をニグロジン0.2%で前染色した孔径0.2μmスクレチオポアフィルターで濾過し、アクリジンオレンジ染色液で2分間染色した。次にアクリジンオレンジを吸引により除去した。これをプレパラートとし、落射型蛍光顕微鏡下で、明るいオレンジ～黄色に発色しているものを計数した。

8.3 特定バクテリアの存在調査方法

特定バクテリアの存在調査は、最確数法により実施した。ここではまず、最確数法について述べ、次に各菌の培養条件・判定基準を述べる。

(1) 最確数法

最確数(MPN: Most Probable Number)法とは、試料中の微生物数を統計学に基づき推定する方法である。試料の10倍希釀を繰り返し、各段階の希釀試料の微生物試験を3本もしくは5本ずつ行ない、得られた陽性管列から連続した3段階を選び、最確数表に照らし合わせて最確数(最尤推定値)を求める。

(2) 鉄酸化細菌

試料の10倍希釀を繰り返し、10⁶倍希釀まで作成した。表8.1に示す2%硫酸第1鉄を含むSilverman9K培地の入っている試験管5本に対して、各段階の希釀液を1mlづつ加え、30°C・1週間培養した。培養後、培地が赤褐色に変化したものを陽

性と判定し、最確数表から菌数を算出した。

表8.1 鉄酸化細菌の培地

(2%硫酸第1鉄を含むSilverman9K培地)組成

| | |
|---|--------------------|
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | 3.0 g |
| KCl | 0.1 g |
| K_2HPO_4 | 0.5 g |
| $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.5 g |
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 0.01 g |
| $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 20 g |
| 脱イオン水 | 1000mℓ (pH 3~4) |

(3) 鉄還元細菌

試料の10倍希釈を繰り返し、10⁷倍希釈まで作成した。表8.2に示すグルコースーアスパラギン培地の入っている試験管5本に対して、各段階の希釈液を1mℓづつ加え、30°C・1週間培養した。培養後、培地に10%酢酸に溶解したαα'-ジピリジル溶液(0.2%)を加え、赤色に変化したものを陽性と判定し、最確数表から菌数を算出した。

表8.2 グルコースーアスパラギン培地組成

| | |
|---|------------------|
| K_2HPO_4 | 3.0 g |
| KH_2PO_4 | 0.8 g |
| KCl | 0.2 g |
| $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.2 g |
| 酵母エキス | 0.5 g |
| アスパラギン | 5.0 g |
| グルコース | 20.0 g |
| $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 1.0 g |
| 脱イオン水 | 1000mℓ (pH 7) |

(4) 硫酸塩還元細菌

嫌気性菌用希釈液を用い、窒素ガス噴射下で作成した試料溶液を窒素ガス噴射下で10倍希釈を繰り返し、10⁷倍希釈まで作成した。各段階の希釈液を表8.3に示す

硫酸塩還元細菌用培地(溶液①、②、③を混合)の入っているキャップ付試験管5本に1mlづつ加え、流動パラフィンを加え、キャップ後、30°C・暗条件下で2週間培養した。培養後、培地が黒変したものを陽性と判定し、最確数表から菌数を算出した。

表8.3 硫酸塩還元細菌用培地組成

| | | |
|-------------|---------------------------------------|---------|
| 溶 液 ① | NH ₄ Cl | 1.0 g |
| | Na ₂ SO ₄ | 1.0 g |
| | MgSO ₄ · 7H ₂ O | 2.0 g |
| | CaCl ₂ · 2H ₂ O | 0.1 g |
| | FeSO ₄ · 7H ₂ O | 0.2 g |
| | 乳酸ナトリウム(70%) | 3.5 g |
| | 蒸留水 | 980 ml |
| 溶 液 ② | K ₂ HPO ₄ | 10.0 g |
| | 蒸留水 | 200 ml |
| 溶 液 ③ | アスコルビン酸ナトリウム | 0.1 g |
| | チオグリコール酸ナトリウム | 0.1 g |
| | 蒸留水 | 10.0 ml |

(5) メタン生成細菌

嫌気性菌用希釈液を用い、窒素ガス噴射下で作成した試料溶液を窒素ガス噴射下で10倍希釈を繰り返し、10⁶倍希釈まで作成した。表8.4に示すメタン生成細菌用培地の入っているバキュームバイアル3本に各段階の希釈液を1mlづつ加え、2気圧80%H₂-20%C Oの気相下で、30°C・2ヶ月間培養した。培養後、バキュームバイアル上部の気相をガスクロマトグラフでガス分析を行い、メタンの生成があったものを陽性と判定し、最確数表から菌数を算出した。

表8.4 メタン生成細菌用培地組成

| | |
|---------------------------------------|---------|
| 無機塩溶液1 | 50.0 ml |
| 無機塩溶液2 | 50.0 ml |
| 微量無機塩溶液 | 10.0 ml |
| ビタミン | 10.0 ml |
| FeSO ₄ · 7H ₂ O | 0.002 g |
| NaHCO ₃ | 5.0 g |
| 酢酸ナトリウム | 2.5 g |
| 蟻酸ナトリウム | 2.5 g |
| 酵母エキス | 2.0 g |
| トリプチケース | 2.0 g |

(6) アンモニア酸化細菌

試料の10倍希釈を繰り返し、10⁷倍希釈まで作成し、表8.5に示すアンモニア酸化細菌用培地の入っている試験管5本に各段階の希釈液を1mlづつ加え、28°C・4週間培養した。培養後、グリース・イロスペイ試薬を加え、赤色を呈したものと陽性と判定した。発色しなかったものは、さらに亜鉛粉末を加え、その後、赤く発色したものは陽性と判定し、最確数表から菌数を算出した。

表8.5 アンモニア酸化細菌用培地組成

| | |
|---|---------|
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | 0.05 g |
| NaCl | 0.3 g |
| K ₂ HPO ₄ | 1.0 g |
| MgSO ₄ · 7H ₂ O | 0.1 g |
| CaCO ₃ | 1.0 g |
| FeSO ₄ · 7H ₂ O | 0.03 g |
| 脱イオン水 | 1000 ml |

(7) 亜硝酸酸化細菌

試料の10倍希釈を繰り返し、10⁷倍希釈まで作成し、表8.6に示す亜硝酸酸化細菌用培地の入っている試験管5本に各段階の希釈液を1mlづつ加え、28°C・8週間培養した。培養後、グリース・イロスペイ試薬を加え、赤色の発色がないか弱い発色のものを陽性と判定し、最確数表から菌数を算出した。

表8.6 亜硝酸酸化細菌用培地組成

| | |
|---|---------|
| NaNO_2 | 0.05 g |
| K_2HPO_4 | 1.0 g |
| $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.1 g |
| NaCl | 0.3 g |
| $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.03 g |
| CaCO_3 | 1.0 g |
| 蒸留水 | 1000 ml |

(8) 硝酸還元細菌

試料溶液の10倍希釈を繰り返し、 10^7 倍希釈まで作成し、表8.7に示す硝酸還元細菌用培地3mlの入っている試験管5本に各段階の希釈液を1mlづつ加え、30°C・2週間培養した。培養後、グリース・イロスベイ試薬を加え、亜硝酸による赤色の発色があれば陽性、発色が認められないものには亜鉛末を少量加え、2分以内に赤い発色がないものは硝酸塩の消失とみて陽性、発色したものは陰性として最確数表から菌数を算出した。

表8.7 硝酸還元細菌用培地組成

| | |
|-----------------|---------|
| 肉エキス | 3.0 g |
| ペプトン | 5.0 g |
| NaNO_3 | 1.0 g |
| 蒸留水 | 1000 ml |

(9) 脱窒細菌

試料溶液の10倍希釈を繰り返し、 10^7 倍希釈まで作成し、表8.8に示すGiltay培地(溶液①、②を混合し、pH 7.0~7.2に調整)の入っているダーラム発酵管を設置した試験管5本に各段階の希釈液を1mlづつ加え、30°C・1週間培養した。培養後、培地が緑から濃青色に変化し、かつダーラム発酵管内に気泡が蓄積したものを陽性と判定し、最確数表から菌数を算出した。

表8.8 Giltay培地組成

| | | |
|-------------|----------------------|--------|
| 溶 液 ① | KNO_3 | 1.0 g |
| | アスパラギン | 1.0 g |
| | 1% - BTB 溶液 | 5.0 ml |
| | 蒸留水 | 500 ml |
| 溶 液 ② | クエン酸ナトリウム | 8.5 g |
| | $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | 1.0 g |
| | $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ | 0.05 g |
| | KH_2PO_4 | 1.0 g |
| | $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ | 0.2 g |
| | 蒸留水 | 500 ml |

8.4 硫酸塩還元細菌の同定方法

硫酸塩還元細菌の存在調査において、陽性反応が認められた培養液を用い、液体培地による希釀集積培養を繰り返し、寒天平板培地培養を実施した。さらに集積培養・寒天平板培地培養を繰り返し、得られた高集積培養液を顕微鏡下で観察した。

8.5 バクテリアの分析等の結果

アクリジンオレンジ染色法による全菌数計数の結果は、 5.8×10^2 (個/ml)であった。
特定バクテリアの存在調査における試験本数と陽性本数を表8.9に示す。

表8.9 特定バクテリアの存在調査における試験本数と陽性本数

| 項目 | 試料希釈倍数(陽性本数／試験本数) | | | | | | | |
|-----------|-------------------|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | ×1 | ×10 | ×10 ² | ×10 ³ | ×10 ⁴ | ×10 ⁵ | ×10 ⁶ | ×10 ⁷ |
| 鉄酸化細菌 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | - |
| 鉄還元細菌 | 5/5 | 5/5 | 2/5 | 1/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| 硫酸塩還元細菌 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 3/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| メタン生成細菌 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 0/3 | 0/3 | 0/3 | 0/3 | - |
| アンモニア酸化細菌 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 1/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| 亜硝酸酸化細菌 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 2/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| 硝酸還元細菌 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 3/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| 脱窒細菌 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |

表8.9の陽性本数と試験本数から最確数表により求めた菌数を表8.10に示す。

表8.10 特定バクテリアの菌数計数結果

| 項目 | 上位希釈倍率 | 三段階希釈における陽性本数 | 菌数(MPN/ml) |
|-----------|------------------|---------------|---------------------|
| 鉄酸化細菌 | 原液 | 0/5 0/5 0/5 | 未検出 |
| 鉄還元細菌 | ×10 ² | 2/5 1/5 0/5 | 6.8×10 |
| 硫酸塩還元細菌 | ×10 ² | 5/5 3/5 0/5 | 7.9×10 ² |
| メタン生成細菌 | ×10 | 3/5 2/3 0/3 | 9.3×10 |
| アンモニア酸化細菌 | ×10 ³ | 5/5 1/5 0/5 | 3.3×10 ³ |
| 亜硝酸酸化細菌 | ×10 ² | 5/5 2/5 0/5 | 4.9×10 ² |
| 硝酸還元細菌 | ×10 ³ | 5/5 3/5 0/5 | 7.9×10 ³ |
| 脱窒細菌 | ×10 ² | 5/5 0/5 0/5 | 2.3×10 ³ |

硫酸塩還元細菌の同定では、純粹・分離の過程で集積培養を重ねても他の嫌気性細菌が多く、単離することが困難であった。しかし、本試料では培養中に硫酸塩が還元されていることから硫酸塩還元細菌の存在は明らかである。

硫酸塩還元細菌はまず、胞子形成能により、胞子形成能を有する*Desulfotomaculum*属ならびに有しない*Desulfovibrio*属等に大別される。本試料の高集積培養液を顕微鏡下で観察したところ、芽胞を有する個体が認められることから、*Desulfotomaculum*属ではなく、*Desulfovibrio*属等と推定される。

9. 分析結果の考察

9.1 トリチウム濃度による地下水の年代推定

地下水におけるトリチウム(^3H)分析の主な目的は、地下水の滞留時間の推定にある。

^3H は、原子核内で、 n (中性子) $\rightarrow p$ (陽子) + e^- (電子) + ν (反中性微子)の反応が起こり、弱い β^- 線を出しながら崩壊(β^- 壊変)し、 ^3He となる水素の放射性同位体で、半減期は12.33年である。生成は大気上層で窒素原子と宇宙線の核反応で行われ、天然の降水中に含まれる量としては、10TU程度とされている。 ^3H は水素とともに水分子を形成し、その物理化学的な挙動は、通常の水分子とほとんど変わらない。

以上の理由で、 ^3H は理想的な水のトレーサーとして、比較的若い地下水の年代推定(～60年)に活用されている。地下水の年代は、 ^3H 濃度を用いて次式で推定することができる。

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \times \ln \frac{C}{C_0}$$

ここで、 t は ^3H 濃度から算出される地下水年代(年)、

$T_{1/2}$ は ^3H の半減期で12.33年、

C は地下水の ^3H 濃度(TU)、

C_0 は降水の ^3H 濃度(TU)である。

なお降水の ^3H 濃度は、1952年から1963年にかけて大気圏内で実施された熱核実験により著しく増加した。1963年には最大値が観測され、局所的には一時、天然に生成される ^3H 濃度の1,000倍以上に達した。その後、 ^3H 濃度は減少し、現在はほぼ天然レベルの10TU程度で推移している。また降水の ^3H 濃度は、季節による変動も認められており、上式を用いた地下水の年代推定では、降水の ^3H 濃度をどのように設定するかという問題が存在する。

今回の分析結果では、1 TU以下であったので、降水の ^3H 濃度を天然レベルである10 TUとし、試料の ^3H 濃度を1 TUとして年代を計算すると、41年という結果が得られる。しかし、41年前の降水が起源であると仮定した場合には、 ^3H 濃度は熱核実験により著しく増加しており、分析により得られた値の1 TU以下とはならない。したがって、今回の地下水試料の起源は、少なくとも ^3H 濃度が熱核実験の影響を受けていない45年以上前の降水を起源とすると考えられる。

9.2 δD ・ $\delta^{18}O$ による水起源の推定

水分子を構成する水素および酸素の安定同位体であるDや ^{18}O は、水の起源・混合・熱水活動・熱水流動における検討において優れた天然トレーサーとしての役割を果たす。これは2つの相が共存する場合、同位体分子の分配係数が異なるため、その間に同位体分別が生じることに起因している。

地表付近での水の循環では、蒸発・凝縮・凝固・融解にともない、D-H比(δD)、 $^{18}O - ^{16}O$ 比($\delta^{18}O$)が変化するため、降水の同位体比は、以下の4つの効果により変化することが知られている。

- ①緯度効果 ②高度効果 ③内陸効果 ④雨量効果

日本では、これらの効果のうち①緯度効果と②高度効果が重要となる。

なお降水の同位体比は、季節によっても変動することが知られているが、通常、地下水は混合のため季節変動は打ち消され、年平均値を示すとされている。また地下水の同位体比は、岩石との相互作用により変化し、この場合、 $\delta^{18}O$ と δD では一般的に $\delta^{18}O$ の方が大きく増加する。これは岩石中には、水素は酸素と比較して少量しか含まれておらず、その同位体比も淡水とあまり差がないのに比べ、酸素は、その同位体比が標準平均海水と比較して5%以上大きいためである。

実際の測定結果から地下水の起源等を検討する場合には、 δD と $\delta^{18}O$ の関係をプロットし、このプロットと天水線(天水における δD と $\delta^{18}O$ の関係を示す直線)を用いる。世界各地の河川水・湖水・雨水・雪の δD と $\delta^{18}O$ から求められた天水線は次式で表される(Craig H. (1961), Science, vol. 133, pp1702-1703)。

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$$

ここで、 $\delta^{18}O$ は $^{18}O - ^{16}O$ 比(‰)、

δD はD-H比(‰)である。

また日本では、太平洋側と日本海側とでは気団の発生形態に違いがあることなどから、以下に示す太平洋起源の水と日本海起源の水の天水線があり、通常の日本の自然水は、この2つの天水線の間で、 δD が-100~-40‰に入ることが知られている(松葉谷治(1985), 地熱エネルギー, vol. 10, pp112-115)。

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 10 \quad (\text{太平洋側の水})$$

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 26 \quad (\text{日本海側の水})$$

これら天水線を今回の分析結果と共に図9.1に示す。

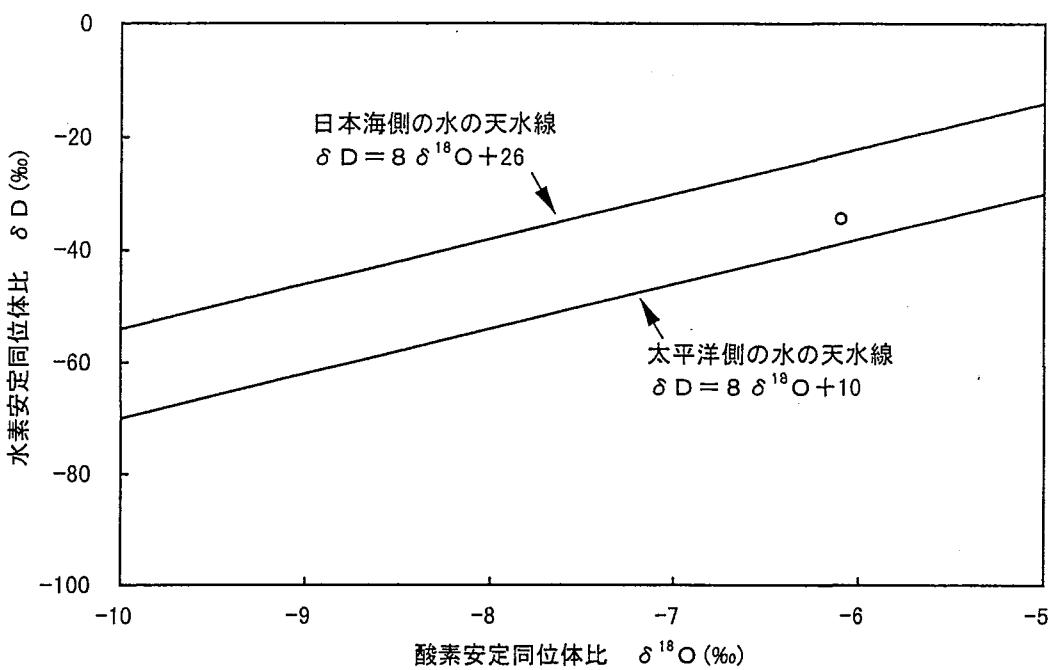


図9.1 酸素安定同位体比と水素安定同位体比の関係

図9.1から、今回の分析結果で得られた δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ (それぞれ-34.3‰、-6.1‰) は、太平洋側の天水を起源とする地下水の分析結果として一般的なものであることがわかる。

9.3 分析結果から評価した地下水の水質

化学成分の分析結果から水質を評価する場合に、よく用いられる座標図として、Piper により提案されたトリリニヤーダイヤグラムがある。これは、陽イオン・陰イオンそれぞれを2成分系としてプロットする菱形座標図と3成分系として検討する際に用いられる2つの三角座標図からなる。図9.2に今回の地下水のトリリニヤーダイヤグラムを示す。

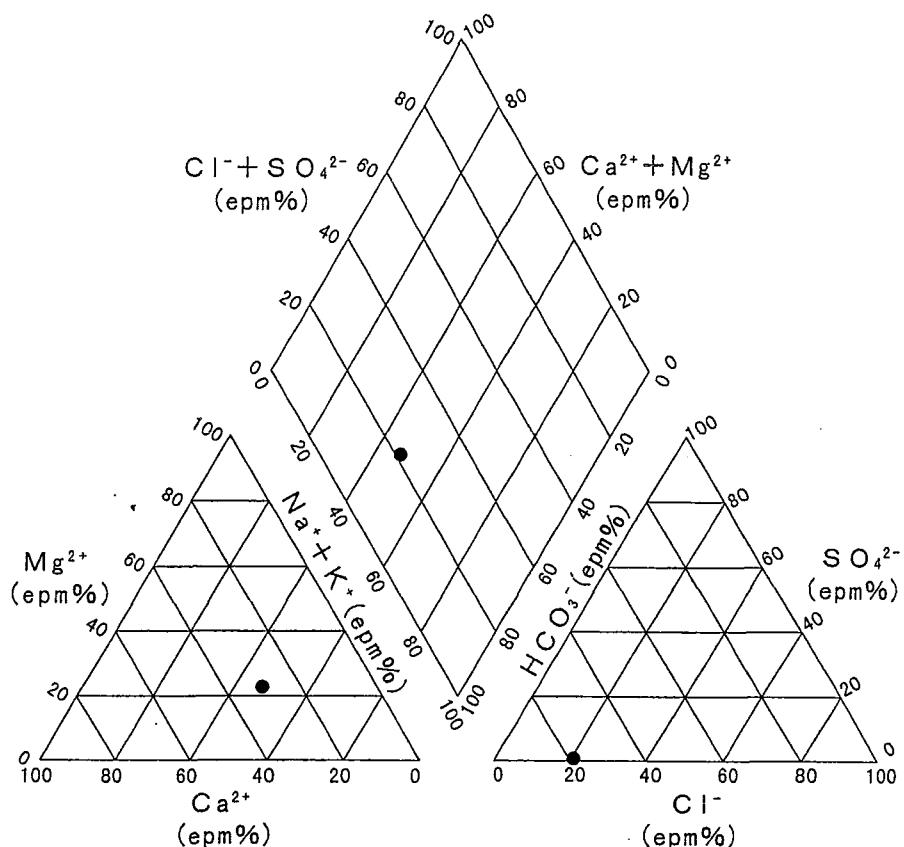


図9.2 トリリニヤーダイヤグラム

このトリリニヤーダイヤグラムによる水質区分では、中央のキーダイヤグラムの領域により次の4つに区分される。

- ①アルカリ土類重炭酸塩($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)型
- ②アルカリ重炭酸塩(NaHCO_3)型
- ③アルカリ土類非炭酸塩(CaSO_4 または CaCl_2)型
- ④アルカリ非炭酸塩(Na_2SO_4 または NaCl)型

今回の地下水は、これらのうちのアルカリ土類重炭酸塩($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)型に分類される。

また、この分類法とは別に、Backが提案した水質化学相による分類法がある(Back W. (1961), Techniques for mapping hydrochemical facies. USGS., Prof. Paper, 424-D, pp380-382)。これは、表9.3に示すようにイオンを陽イオン相・陰イオン相の2つに大別し、それぞれを4つの相に分類するものである。

表9.3 水質化学相の分類

| 陽イオン相 | 組成 (epm%) | |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| | $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ | $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ |
| $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ | 90~100 | 0~10 |
| $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$ | 50~90 | 10~50 |
| $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ | 10~50 | 50~90 |
| Na^+ | 0~10 | 90~100 |
| 陰イオン相 | 組成 (epm%) | |
| | HCO_3^- | $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ |
| HCO_3^- | 90~100 | 0~10 |
| $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ | 50~90 | 10~50 |
| $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$ | 10~50 | 50~90 |
| $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ | 0~10 | 90~100 |

今回の地下水の陽イオン相は $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$ で、陰イオン相は $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ に分類される。

9.4 pHと酸化還元電位からみた微生物の存在可能性

微生物が生育するための条件は、温度、pH、酸素や各微生物の栄養要求性環境因子等があるが、ZajicはpHと酸化還元電位(Eh)の観点から、図9.3に示す各微生物の生育条件を報告している(Zajic J. E. (1969), Microbial biogeochemistry, Academic Press Inc., New York)。

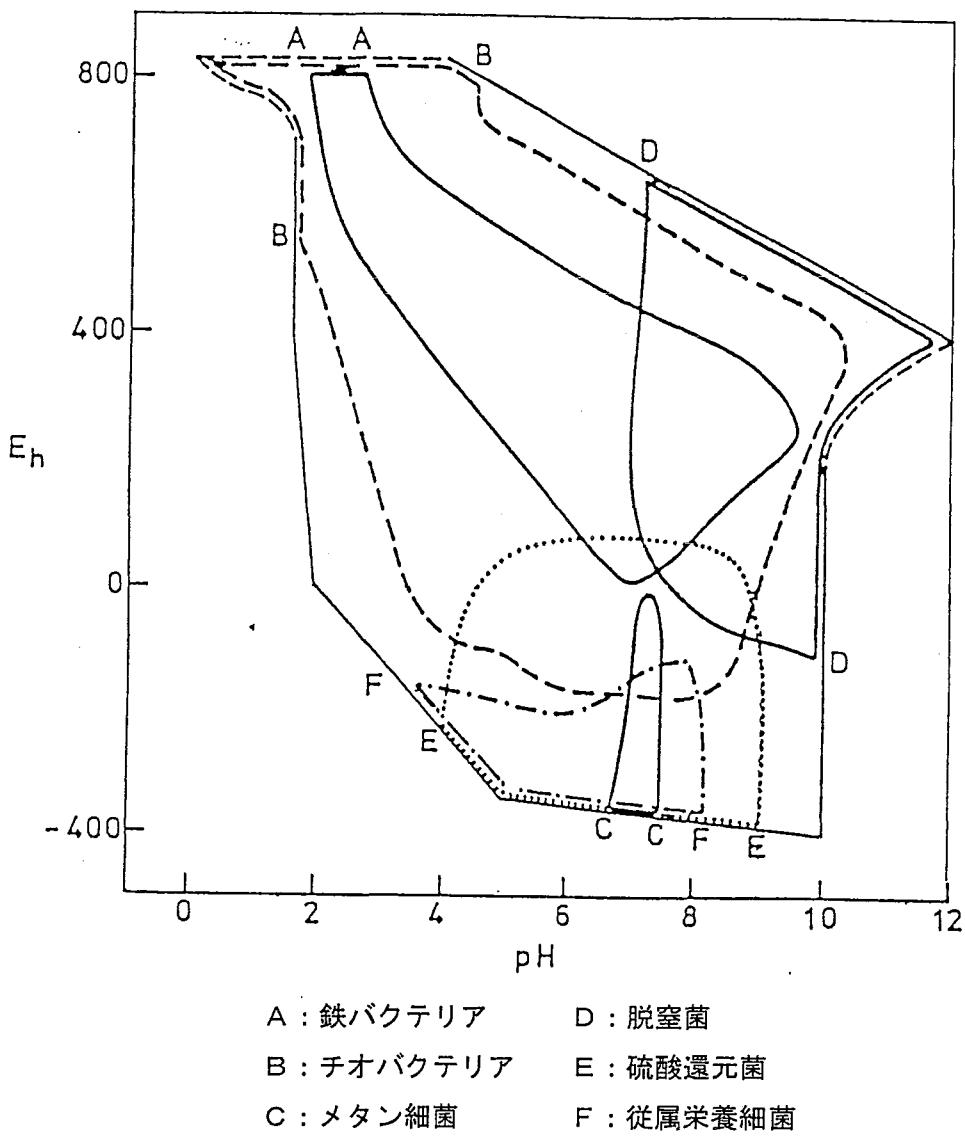


図9.3 Zajicによる微生物生育のためのpHとEhの範囲

今回の地下水の分析結果では、pHが8.6、Ehが-65mVであった。今回、存在調査を行った菌種のうち、図9.3の生育条件に当てはまる菌種は、脱窒細菌・硫酸塩還元細菌、当てはまらない菌種は、鉄酸化細菌・メタン生成細菌である。計数結果では、脱窒細菌・硫酸塩還元細菌が1ml当たり $10^2\sim 10^3$ のオーダーで存在し、硫酸塩還元細菌が優占種と判断される。また、鉄酸化細菌は未検出、メタン生成細菌は1ml当たり約10個と、存在量は小さい。以上より、今回の微生物計数結果は、Zajicの示した各微生物の生育条件と合致している。