

超深地層研究所周辺における  
地下水の地球化学モデルに関わる調査結果  
(平成 15 年度)

2004 年 10 月

核燃料サイクル開発機構  
東濃地科学センター

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下さい。

〒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

ファックス：029-282-7980

電子メール：[jserv@inc.go.jp](mailto:jserv@inc.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, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, JAPAN

## 目次

1. はじめに	1
2. 既存研究成果の概要	1
3. 調査方法	2
4. 結果と考察	3
4.1 地下水の水質分布と水質形成機構	3
4.1.1 地下水の水質分布	3
4.1.2 水質形成機構	3
4.2 地下水の pH・酸化還元状態とその形成機構	5
4.3 地球化学モデルと研究坑道建設過程で予測される地球化学環境について	6
5. まとめ	6
参考文献	7

## 図・表一覧

図 1 研究所用地周辺約 10 km四方の調査領域	8
図 2 研究所用地周辺の地下水の水質分布	8
図 3 研究所用地周辺の調査ボーリング孔位置図	8
図 4 ボーリングコア中の塩素含有量	9
図 5 地下水の水質深度分布図	9
図 6 水素・酸素同位体比図	10
図 7 塩化物イオン濃度と各成分濃度との相関図	10
図 8 飽和指数の深度分布図	11
図 9 研究所用地周辺の地下水の地球化学モデル	11
表 1 地下水の分析結果一覧	12

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究では、自然状態における地下深部の地球化学環境や地層処分場を建設する過程で起こり得る諸現象及び周辺環境への影響、地層処分場閉鎖後の地球化学環境などを調査・解析・評価するための研究・技術開発が課題の一つとされている。

東濃地科学センターでは、地層処分研究開発の基盤となる「深地層の科学的研究」の一環として、「超深地層研究所計画」<sup>1)</sup> (以下、MIU計画)に基づいて深度1000m規模の地下研究施設(以下、研究所)の建設を進めている。MIU計画は、「第1段階：地表からの調査予測研究段階」、「第2段階：研究坑道の掘削を伴う研究段階」、「第3段階：研究坑道を利用した研究段階」の3段階に分けて進めることになっており、研究所の建設過程の各段階で地球化学環境の調査を行いながら、上記の課題に関わる研究・技術開発を行っている。本報告書は、平成14年度までに実施した既往の調査と、平成15年度に新たに実施した地下水の地球化学特性に関わる調査の結果を踏まえて、研究所周辺での地下深部の地球化学環境(水質やpH、酸化還元状態などの三次元的分布)や、それから構築される地下水の水質形成機構に関わる地球化学モデル、モデルから予測される研究坑道建設過程で遭遇する地球化学環境などについてまとめたものである。

## 2. 既存研究成果の概要

研究所用地の周辺では、基盤をなす後期白亜紀の土岐花崗岩を新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)が不整合に覆い、さらにそれを固結度の低い新第三紀鮮新世の砂礫層(瀬戸層群)が不整合に覆っている<sup>2)</sup>。瑞浪層群は、下位より、泥岩・砂岩・礫岩からなり亜炭を挟む土岐夾炭累層(淡水成層)、凝灰質砂岩・泥岩・基底礫岩を主体とし軽石凝灰岩・細粒凝灰岩を伴う本郷累層(淡水成～汽水成層)、凝灰質砂岩・泥岩を主体とし凝灰岩・軽石凝灰岩を挟む明世累層(海成層)、シルト岩・砂岩を主体とする生俵累層(海成層)の4層に区分される<sup>3)</sup>。これまでの調査研究により、研究所用地では厚さ百数十mの堆積岩(瑞浪層群)が基盤の花崗岩を覆って分布することが明らかになっている。

また、これまでの広域地下水流動研究などにより、研究所用地を含む約10km四方の領域内(図1)では、北方側は地下水涵養域に、南方側は地下水流出域に相当し、研究所用地周辺の地下水の流動状態は地形に依存し、概ね北東から南西の流動方向であると推測されている<sup>4)</sup>。

地下水の地球化学特性については、研究所用地を含む約10km四方の領域内に異なる水質を示す地下水が分布していることが判っており<sup>4)</sup>、各地下水の分布状態は次のように整理できる。1) 研究所用地の北方の地下水涵養域：ナトリウム、カルシウム、炭酸水素イオンに富む地下水(以下、Na-Ca-HCO<sub>3</sub>型地下水)またはナトリウム、炭酸水素イオンに富む地下水(以下、Na-HCO<sub>3</sub>型地下水)、2) 研究所用地の南方の地下水流出域：ナトリウム、炭酸水素イオン、塩化物イオン濃度に富む地下水(以下、Na-Cl-HCO<sub>3</sub>型地下水)またはナトリウム、塩化物イオンに富む地下水(以下、Na-Cl型地下水)。研究所用地周辺は、1)と2)の地下水分布域の中間付近に位置しているものと推測される(図

2)。

### 3. 調査方法

研究所周辺における地下水の地球化学特性に関わる調査には、研究所用地内の3本のボーリング孔（MSB-2号孔：掘削長約180mの鉛直孔，MSB-4号孔：掘削長約100mの鉛直孔，MIZ-1号孔：掘削調査中，予定掘削長約1350mの鉛直孔～斜孔）と研究所用地外の2本のボーリング孔（DH-2号孔：広域地下水流動研究における掘削長約500mの鉛直孔，DH-15号孔：広域地下水流動研究における掘削長約1000mの鉛直孔）を用いた（図3）。

MSB-2号孔及びMSB-4号孔は平成14年に掘削され<sup>5)</sup>，同年に4深度，次年に14深度の地下水の採水調査を行った。DH-2号孔は平成5年から平成6年にかけて広域地下水流動研究において掘削を実施したボーリング孔であり，水理学的調査終了後は裸孔状態にあった。その後，平成14年に深度約170～500m間で11深度の地下水の採水調査を行った。MIZ-1号孔は，平成15年から平成16年にかけて掘削を行っており，平成15年度は深度約100～270m間で3深度の地下水の採水調査を実施した。DH-15号孔は研究所用地の約500m南西に位置し，平成15年から平成16年にかけて広域地下水流動研究において掘削を行なっているボーリング孔である。平成15年度は深度約60～230m間で5深度の地下水の採水調査を実施した<sup>6)</sup>。

採水調査では，各孔で試験深度の上下に設置した2つのパッカー（ダブルパッカー方式）で，もしくは試験深度の上端に設置したパッカー（シングルパッカー方式）とボーリング孔底の間で，試験区間を遮水して，岩盤の透水性を把握するための揚水試験の過程で水中ポンプを用いて地下水を採取した。揚水試験時には，地上で水中ポンプの地下水排出口に地下水水質連続モニタリング装置<sup>7)</sup>を接続し，地下水の水温，pH，Eh（酸化還元電位），EC（電気伝導度）などの物理化学パラメータを大気に触れない状態で連続的に測定した。また，MSB-2号孔及びMSB-4号孔では，平成14年の揚水試験実施後にボーリング孔内にMPシステム（多区間間隙水圧モニタリングシステム）<sup>5)</sup>を設置し，平成15年度に気密採水ボトルを用いたバッチ式採水により地下水を採取した。

採水調査において，より質の高い地下水データを取得するためには，掘削水の汚染を可能な限り排除して，原位置の地球化学的特徴（pH，酸化還元状態，溶存成分濃度など）を十分に保持した地下水試料を採取する必要がある<sup>8)</sup>。このため，上記のボーリング孔のうちDH-2号孔を除くボーリング孔の掘削では，掘削水に蛍光染料をトレーサーとして添加して，掘削リターン水の蛍光染料濃度を1時間に1回測定しながら，掘削水中の蛍光染料濃度を設定濃度に一定に管理して掘削を実施した。揚水試験時には蛍光染料濃度を1時間に1回測定して，揚水試料中での掘削水の汚染程度を定量的に把握した後に，地下水試料を採水した。各ボーリング孔において，トレーサーとして使用した蛍光染料は，以下の通りである。

- ・MSB-2，MSB-4号孔 堆積岩部：ナフチオン酸ナトリウム
- ・MSB-2，MSB-4号孔 花崗岩部：ウラニン
- ・MIZ-1号孔 堆積岩部：アミノG酸

- ・ MIZ-1号孔 花崗岩部；ウラニン
- ・ DH-15号孔 エオシン

採水した地下水の水質・起源・滞留時間などを明らかにするために、化学成分・同位体分析を行った。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 地下水の水質分布と水質形成機構

###### 4.1.1 地下水の水質分布

地下水の分析結果を表1に示す。データが得られている深度約 500m（標高約 -300m）までの研究所用地周辺の地下水は、堆積岩上部の明世累層・本郷累層中でシリカ、ナトリウム、カルシウム、硫酸、炭酸水素イオンに富み（以下、Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>型地下水）、堆積岩下部の土岐夾炭累層ならびに花崗岩中では Na-Cl 型地下水を示す。

Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>型地下水は、約 10km 四方の領域での調査における Na-Ca-HCO<sub>3</sub>型地下水に相当し（図2）；MSB-2、MSB-4号孔などを用いた地下水調査により、研究所用地周辺では、地下水中にシリカと硫酸も多く含まれることが判明した。MSB-2号孔ボーリングコアの既往化学分析結果<sup>5)</sup>では、堆積岩上部の明世累層・本郷累層と、堆積岩下部の土岐夾炭累層及び土岐花崗岩中の塩素の含有量には明瞭な違いが認められ、上部の堆積岩中では相対的に塩素濃度が低い（図4）。このことは、明世累層・本郷累層と土岐夾炭累層の地層境界付近に水理学的な境界が存在し、土岐夾炭累層（淡水成層）の岩石中には地下水から塩素が供給されている可能性を示唆するものである<sup>5)</sup>。

またSi-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>型地下水には、深度に応じて減少する成分（シリカ、カルシウム、硫酸、炭酸水素イオンなど）と、増加する成分（ナトリウムイオンなど）があることが明らかとなった（図5）。

一方、土岐夾炭累層及び土岐花崗岩中の Na-Cl 型地下水には、深部ほど塩分濃度が高くなる傾向が認められ、ナトリウム、カルシウム、臭素、塩化物イオンなどの成分は、深度とともにその濃度が高くなる傾向がある（図5）。また Na-Cl 型地下水は、Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>型地下水と比較して、硫酸イオン濃度（表1の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>）が低く、溶存ガスとして硫化水素ガス（表1の S<sup>-</sup>）を含むという特徴があり、Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>型地下水に比べて還元的状態にあると考えられる。

###### 4.1.2 水質形成機構

研究所用地周辺の地下水の水素・酸素同位体比は、すべて日本海側の天水線と太平洋側の天水線の間プロットされることから（図6）、地下水の主な起源は天水であると推測される。

明世累層・本郷累層中の Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>型地下水を採水した深度では、岩層の風化変質が相対的に進んでおり、コアに酸化環境であることを示唆する鉄水酸化物の沈殿や低 pH 環境であることを示唆する炭酸塩鉱物（主に貝化石）の溶脱痕が観察されている<sup>5)</sup>。これらのことから、Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>型地下水については、長石類などの構成鉱物

の風化変質反応や海成硫酸塩・硫化物の酸化溶解反応，炭酸塩鉱物の溶解反応などが水質形成反応として挙げられる。

一方，Na-Cl型地下水については，塩化物イオン濃度が深度に比例して増加し，ナトリウム，カルシウム，臭素イオン濃度が，深度に伴う塩化物イオン濃度変化と良い相関を示しながら増加する傾向が認められる（図7）。塩化物イオンは，水-岩石反応によって生成する2次鉱物中には取り込まれにくいイオンであるため，地下水中のその濃度は，水-岩石反応の進行程度や海水を起源とする地下水組成を検討する際の指標となる。塩化物イオン濃度の深度依存性と他成分との相関性から，花崗岩深部には塩化物イオン濃度の高い地下水が存在していると推測され，この地下水と浅部の塩化物イオン濃度の低い地下水の混合が水質形成機構として想定される。

花崗岩深部の塩化物イオン濃度の高い地下水の起源・成因については，

- ・ブラインや温泉水のように長期にわたる水-岩石反応により生成された地下水
- ・高温環境下で，水-岩石反応を主成因とする地下水

・当該地域が海底下にあった時代に地下深部に浸透していた海水に由来する化石海水などの可能性が考えられる。水-岩石反応を主成因とする高塩分濃度地下水の場合は，その地下水の化学的特徴として，一般的に水-岩石反応の進行に伴う塩化物イオン濃度やフッ素イオン濃度の増加が予想される。一方，化石海水を主起源とする高塩分濃度地下水の場合は，水-岩石反応によって影響を受けにくい陰イオンの成分比が海水の特徴を保存している可能性がある。この場合，特に海水の寄与が大きい地下水の臭素イオン/塩化物イオン（Br/Cl）比やホウ素イオン/塩化物イオン（B/Cl）比は，各々重量比で0.0034，0.00024<sup>9)</sup>という特徴的な値を示すことが判っている。研究所周辺に分布するNa-Cl型地下水のフッ素イオン濃度は，塩化物イオン濃度と負の相関を示しており（図7），塩化物イオン濃度が高いほど濃度が減少する。また，研究所用地周辺で最も深度が深く，最も塩化物イオン濃度の高いNa-Cl型地下水が観察される高砂温泉<sup>10)</sup>（研究所用地の約2km南方に位置）についても，フッ素イオン濃度は特に高い濃度ではなく，既往の調査で得られてきたNa-HCO<sub>3</sub>型地下水の値（最大で約13ppm<sup>10)</sup>）と同様である。この結果は，Na-Cl型地下水での水-岩石反応の進行程度はNa-HCO<sub>3</sub>型地下水と同程度であり，水-岩石反応が高塩分濃度地下水の主成因ではない可能性を示唆している。しかし，Metcalf et al., (2003)<sup>11)</sup>はフッ素イオンが塩化物イオンに比べ特定の鉱物に取り込まれ易いことを指摘している。熱力学解析の結果，花崗岩中ではホタル石（CaF<sub>2</sub>）の溶解・沈殿反応が平衡状態にあると計算されることから（図8），水-岩石反応により地下水中に供給されたフッ素イオンが二次生成鉱物のホタル石の沈殿により再度鉱物化した可能性もある。この場合，現在の地下水中のフッ素イオンの成分濃度が，単純には水-岩石反応の進行程度の指標とはならない可能性があり得る。

一方，海水の指標として用いられることの多いBr/Cl比，B/Cl比に関しては，高砂温泉の値は各々0.0044（2003年データ），0.0023（1991年データ）であり<sup>10)</sup>，Br/Cl比は海水のBr/Cl比に近いものの，B/Cl比に関しては海水の10倍程度高い値を示す。高砂温泉のBr/Cl比，B/Cl比が海水の値そのものを示さない理由として，高砂温泉の塩素濃度が

海水の 1% 程度であり非常に薄いため、化石海水に仮に由来するとしてもその寄与率が非常に低いことや、化石海水の水質が長期的な水-岩石反応により海水の水質から変化している可能性があることなどが挙げられる。実際に、化石海水のこれらの化学成分比については、水-岩石反応により海水のそれに比べ幅広い値を示す例も示されている<sup>12)</sup>。また塩素同位体比を用いた解析では、塩化物イオン濃度の高い地下水の起源として化石海水の可能性が示唆されている<sup>13)</sup>。

以上のことから、花崗岩深部の高塩化物イオン濃度の地下水の起源・成因は、海水が長期的な水-岩石反応の結果、その水質を変化させた化石海水である可能性が高いと考えられるが、今後、MIZ-1号孔やDH-15号孔、あるいは第2段階における調査・研究において、より塩化物イオン濃度の高い深部の地下水を採取することで確認を行っていく必要がある。

#### 4.2 地下水の pH・酸化還元状態とその形成機構

地下水の pH は約 7～10 の範囲内にあり、堆積岩の上部では深度とともに上昇する傾向を示す(図5)。地下水の化学組成を基にして熱力学的に地下水に対する各鉱物の飽和指数を計算した結果、pH がほぼ一定になる深度で方解石の溶解・沈殿反応がほぼ平衡状態に達していること(図5, 図8)、また堆積岩の上部では炭酸塩鉱物(主に貝化石)の溶解・再結晶痕が普遍的に観察されること<sup>5)</sup>から、地下水の pH に関わる主要な緩衝反応として炭酸塩鉱物の溶解・沈殿反応が想定される。

明世累層・本郷累層中の Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> 型地下水の酸化還元電位については、DH-15号孔での 2 深度のみしか実測できておらず、その実測値はそれぞれ、標高 146m で 45mV、標高 122m で -36mV である(表1)。実測できていない深度での酸化還元状態に関して、MSB-1～4号孔でのボーリングコアの観察結果に基づいてその酸化還元状態を推察した。酸化還元状態を反映し易い鉱物(鉄や硫黄を含む鉱物)の観察結果<sup>5)</sup>では、深度約 10～20m(標高約 200～190m) 以浅の割れ目表面に鉄水酸化物の沈殿が、深度約 40～60m(標高約 170～150m) 以深のコア中に黄鉄鉱が認められている。このことから、鉄の化学種(二価鉄/三価鉄)の酸化還元境界が深度約 10～20m(標高約 200～190m)、硫黄の化学種(硫酸イオン/硫化鉱物)の酸化還元境界が深度約 40～60m(標高約 170～150m) に位置すると推測される。これらの鉱物は、酸化還元電位の主要な制限固相となっている可能性がある。

一方、土岐夾炭累層と土岐花崗岩中の Na-Cl 型地下水の酸化還元電位については、溶存ガスの脱ガスにより真値から変化している可能性があるため、参考値として取り扱う必要があるものの、0～-280mV という実測値が得られている(表1, 図5)。また、この Na-Cl 型地下水は、明世累層・本郷累層中の Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> 型地下水に比べて硫酸イオン濃度が低く、溶存ガスとして硫化水素ガスを含む特徴がある(表1)ことから、Si-Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> 型地下水よりも還元的状態にあると推察される。実測された酸化還元電位に基づく熱力学解析では、主に非晶質 Fe(OH)<sub>3</sub> もしくはシデライト(FeCO<sub>3</sub>) の溶解・沈殿反応が平衡状態にあると計算され、これらの鉱物が酸化還元電位の制限固相とな

っている可能性がある（図8）。しかし、揚水ポンプを用いた地下水の採水においては、原位置の水圧が地上の1気圧まで減圧するため、酸化還元電位の実測時に地下水から硫化水素ガスが脱ガスしている可能性が高いこと、硫化水素ガスが遍在する環境においては硫酸イオン／硫化物イオン／硫化水素ガス間の酸化還元反応も主要な反応となり得ることから、原位置の酸化還元電位とその形成機構については更に注意深い検討が必要である。この点については、今後、第2段階での調査研究において、原位置の水圧を保持し溶存ガスの脱ガスのない地下水に対して酸化還元電位の実測を行う計画である。

#### 4.3 地球化学モデルと研究坑道建設過程で予測される地球化学環境について

Na-Cl型地下水が持つ深度依存性の特徴、すなわち塩化物イオン濃度が深度に比例して増加し、ナトリウム、カルシウム、臭素イオン濃度などが、深度に伴う塩化物イオン濃度変化と良い相関を示しながら増加する特徴から、これらの成分に関しては、未知の深度の領域での濃度を予測できる可能性がある。研究所用地周辺における地下水中の塩化物イオン濃度の分布を表す地球化学モデルを図9に示す。本モデルでは各成分の水平方向の濃度は成層分布していると仮定しているが、DH-15号孔の最深部（EL-23.6m）での塩化物イオン濃度とDH-2号孔の同標高付近（EL-14.9m、EL-39.1m）の塩化物イオン濃度を比較すると、DH-15号孔の方が60～70%程度高い濃度を示しており（表1）、DH-15号孔を含む研究所用地周辺では、より南（～南西）側の方に塩化物イオン濃度の高い地下水が分布している可能性が高いと推察される。したがってこの地球化学モデルについては、今後、新たに取得されるDH-15号孔とMIZ-1号孔での深部の地下水データを基に詳細な検討が必要である。

また、第1段階における地表からのボーリング孔を用いた採水調査の多くは、揚水ポンプを用いて採水を実施（表1）しているため、採水時における地下水中の溶存ガス（硫化水素ガス、炭酸ガス）の脱ガス現象によって濃度が変化したことが推察される。この脱ガス現象に関しては、第2段階の研究坑道掘削段階において、地下環境に対して酸化的、低圧力の地下空間がボーリング孔よりも、はるかに大きな規模で出現するため、ボーリング孔で観察されたものよりも、更に大規模な脱ガスが起これ、坑道周辺に溶存ガス成分に関する不飽和領域が形成されることが予想される。そのため、硫酸イオンなどの濃度や酸化還元電位の変化が坑道周辺で顕著に起こることが予測され、この点に着目した詳細な調査が必要である。

## 5. まとめ

本報告書では、平成15年度までに研究所用地周辺のボーリング孔を用いて実施した調査・解析結果に基づいて、研究所用地に分布する堆積岩及び花崗岩（深度500m程度まで）を対象に、研究坑道建設前（初期状態）の地下水の地球化学特性（水質、pH、酸化還元状態など）の3次元的分布とその形成機構について考察を行い、これらを表現する地球化学モデルを示した。本モデルについては、今後MIZ-1号孔やDH-15号孔の地表からのボーリング孔及び研究坑道内で新たに取得されるデータを用いて、モデルの検証・更新を

行なっていく予定である。また、MIU計画第2段階の研究坑道掘削段階では、第1段階の初期状態に関する地球化学モデルとそれから予想される研究坑道掘削過程で起こりうる諸現象に基づき、地下施設建設過程の地球化学的擾乱や周辺環境への影響を評価していく予定である。

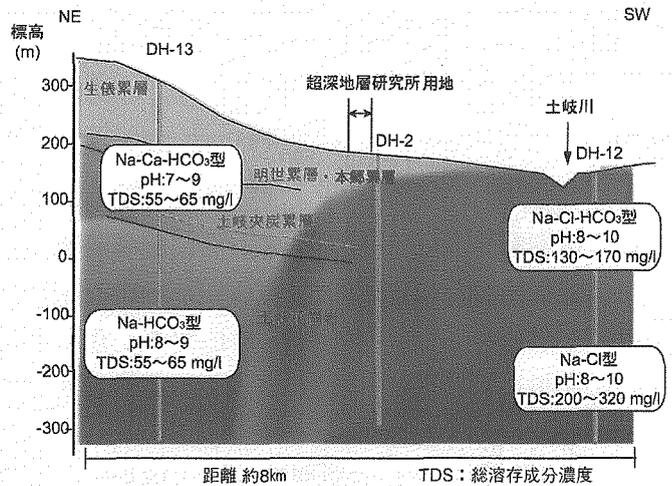
#### 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：“超深層研究所地層科学研究基本計画”，サイクル機構技術資料，JNC TN7410 2001-018 (2002)
- 2) 糸魚川淳二：“瑞浪地域の地質”，瑞浪市化石博物館専報，No.1，pp.1-50 (1980)
- 3) 笹尾英嗣，佐々木圭一，他：“瑞浪層群の層序区分について”，サイクル機構技術資料，JNC TN7420 2004-001 (2004)
- 4) 核燃料サイクル開発機構：“広域地下水流動研究年度報告書（平成14年度）”，サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2003-002 (2003)
- 5) Kumazaki, N., Ikeda, K., et al.：“Synthesis of the Shallow Borehole Investigations at the MIU Construction Site.”，JNC TN7400 2003-005 (2003)
- 6) 彌榮英樹，岩月輝希，他：“広域地下水流動研究における地下水の地球化学特性の調査結果（DH-15号孔）”，サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2004-006 (2004)
- 7) 岩月輝希，豊島賢治，他：“深地層を対象とした地下水の地球化学調査の現状”，原子力バックエンド研究，Vol.4，No.2 (1998)
- 8) 古江良治，岩月輝希，他：“試錐孔を利用した地下水の地球化学特性調査手法と品質管理”，サイクル機構技術資料，JNC TN7520 2003-001 (2003)
- 9) 半谷高久，小倉紀雄：“水質調査法”，丸善(2000)
- 10) Furue, R., Iwatsuki, T., et al.：“Data book on groundwater chemistry in the Tono area.”，JNC TN 7450 2003-001 (2003)
- 11) Metcalfe, R., Hama, K., et al.：“Geochemical approaches to understanding a deep groundwater flow system in the Tono area, Gifu-ken, Japan.”，Kono, Nishigaki & Komatsu (eds), Groundwater Engineering, pp. 555-561 (2003)
- 12) 小原欽一：深部地下水の水質形成機構に関する研究，サイクル機構技術資料，PNC TJ1679 97-001 (1997)
- 13) Metcalfe, R.：“放射性塩素同位体比 ( $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ ) に基づく地球化学解析”，JNC TJ7400 2003-006 (2003)



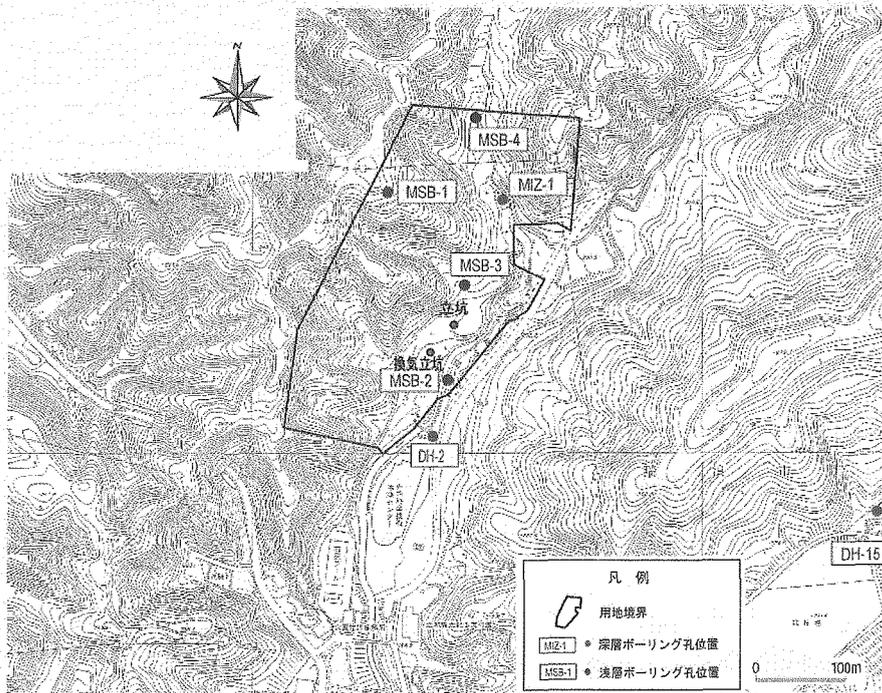
(出展：「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発—平成14年度報告—」に加筆)

図1 研究所用地周辺約10km四方の調査領域



(出展：「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発—平成14年度報告—」に加筆)

図2 研究所用地周辺の地下水の水質分布



瑞浪市都市計画基本図

〔MIZ-1, MSB-1, -2, -3, -4号孔：超深地層研究所計画におけるボーリング孔〕

〔DH-2, DH-15号孔：広域地下水流動研究におけるボーリング孔〕

(出展：「超深地層研究所計画年度計画書（平成15年度）」に加筆)

図3 超深地層研究所周辺の調査ボーリング孔位置図

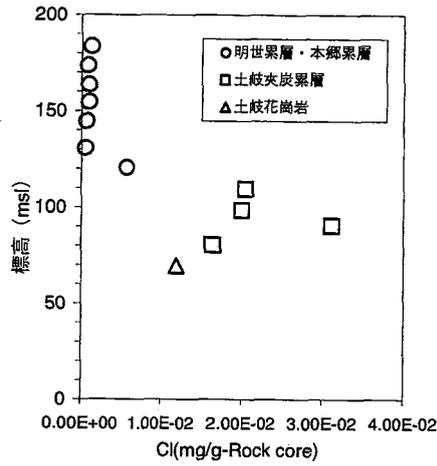


図4 ボーリングコア中の塩素含有量

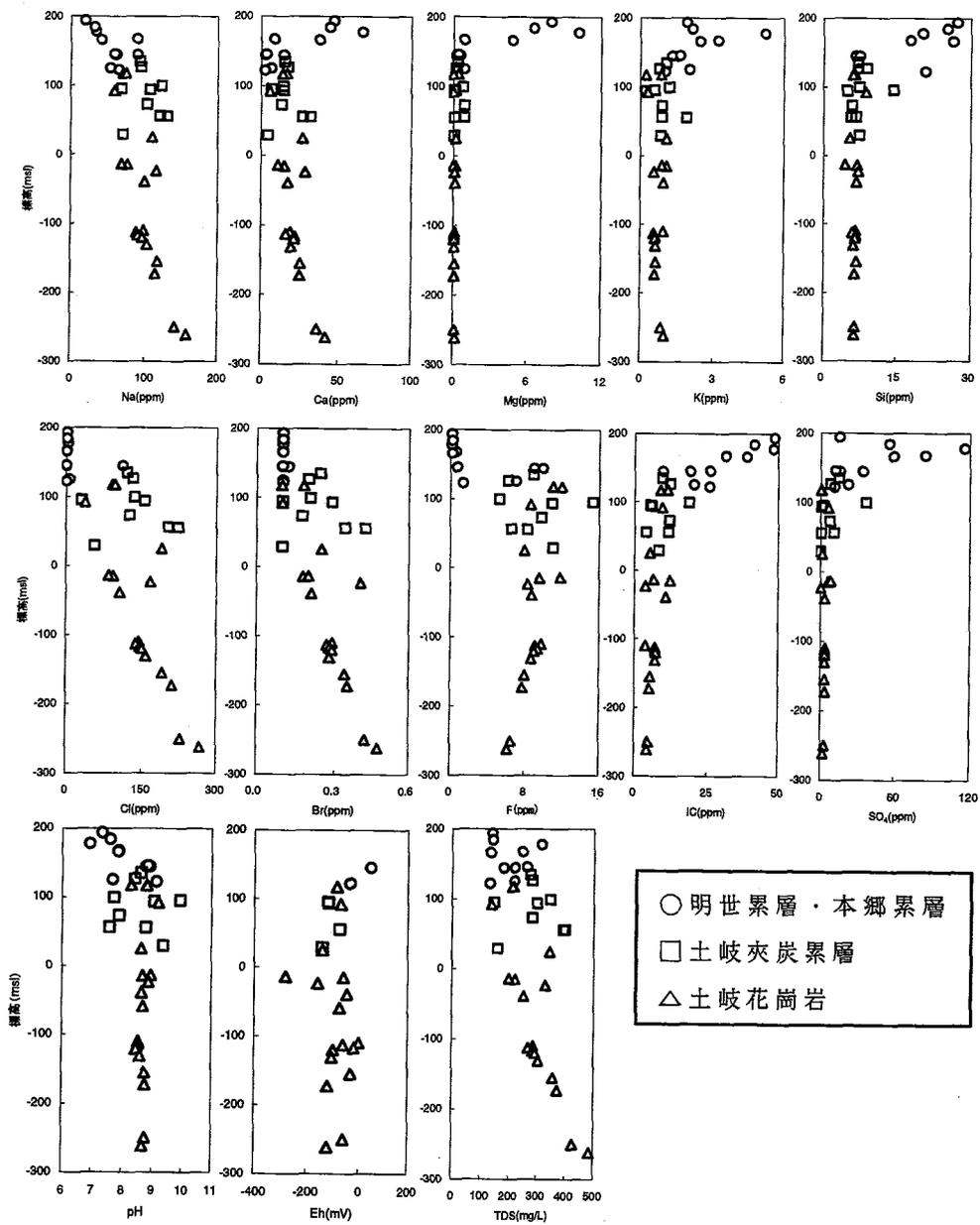


図5 地下水の水質深度分布図

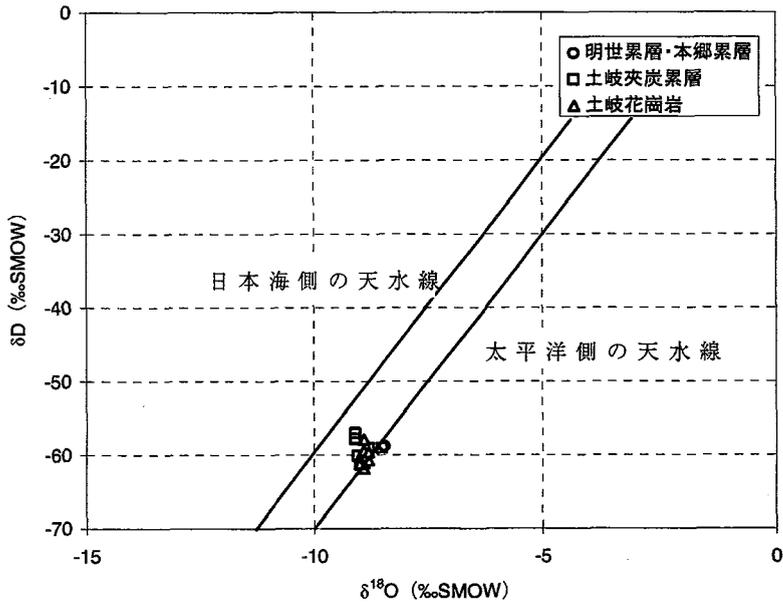


図6 酸素・水素同位体比図

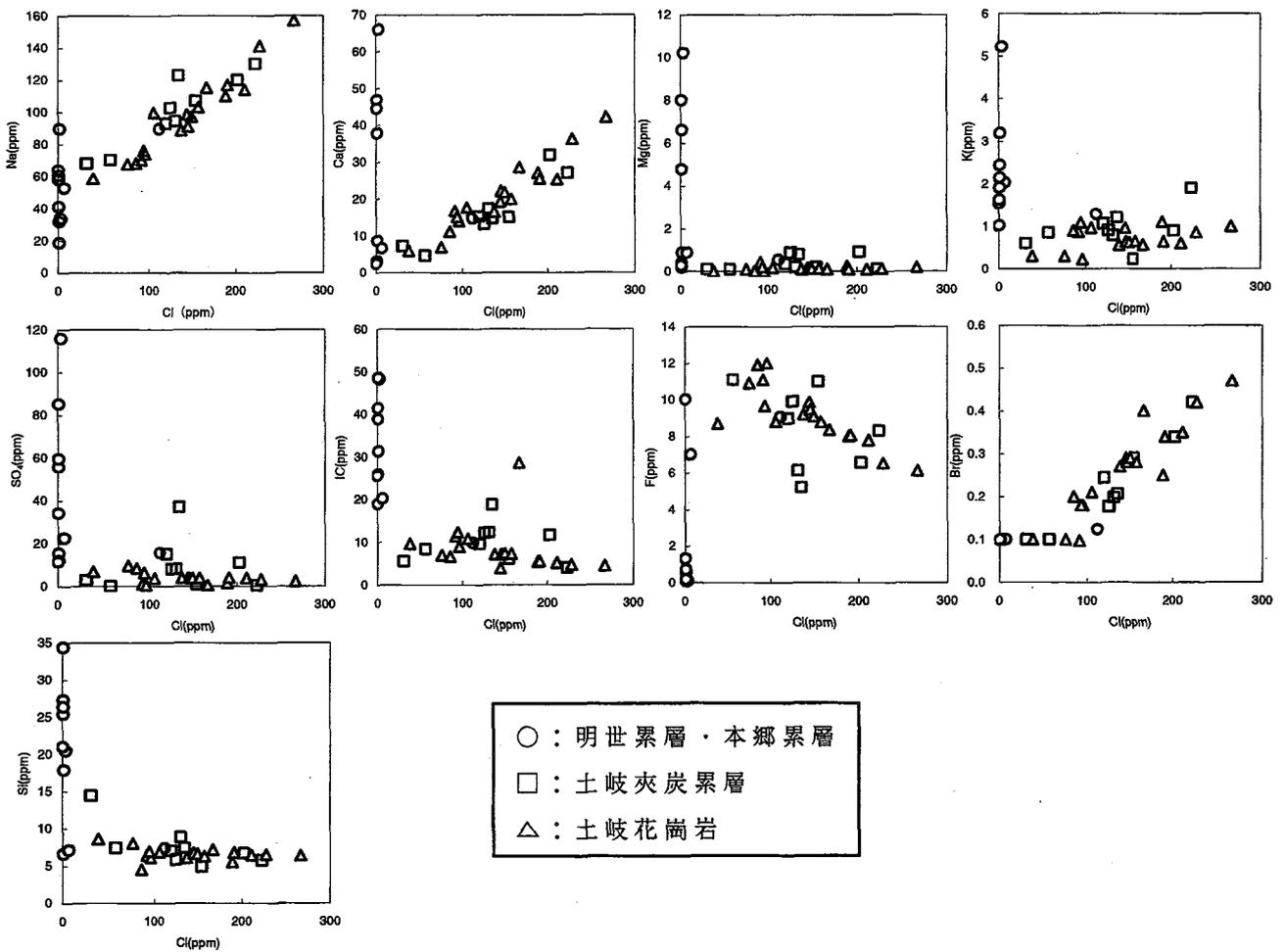


図7 塩化物イオン濃度と各成分濃度との相関図

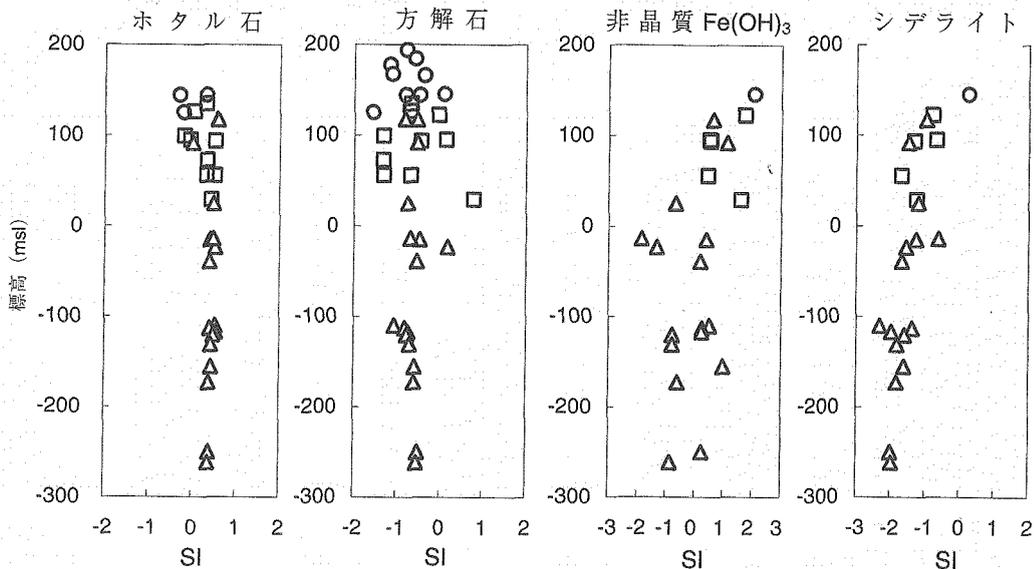


図8 飽和指数の深度分布図

飽和指数 (SI) が, -1 ~ +1 の範囲内にある場合, 平衡状態にあると見なしている。

○	明世累層・本郷累層
□	土岐夾炭累層
△	土岐花崗岩

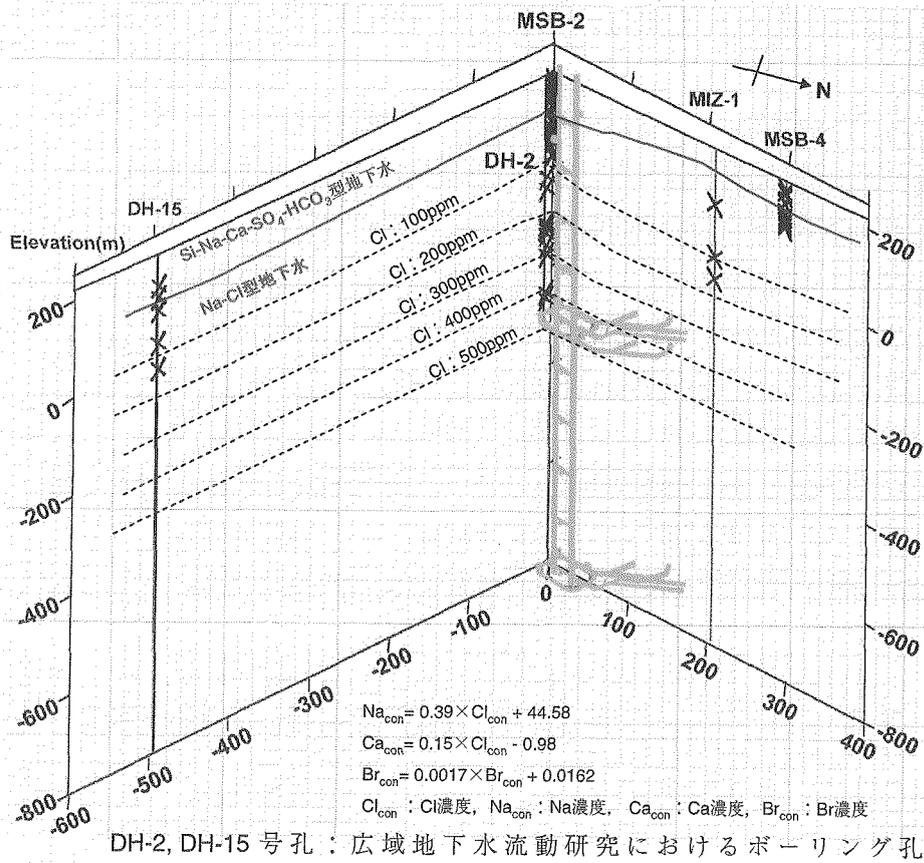


図9 研究所用地周辺の地下水の地球化学モデル

表 1 地下水の分析結果一覧

孔名	地質	採水方法	標高 (msl)		採水日	Temp. degC	pH	Eh mv	cond. mS/cm	Na <sup>+</sup> ppm	K <sup>+</sup> ppm	Ca <sup>2+</sup> ppm	Mg <sup>2+</sup> ppm	TC ppm	IC ppm	TOC ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	HS <sup>-</sup> ppm	S <sup>2-</sup> ppm	F ppm	Cl <sup>-</sup> ppm	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm	Br <sup>-</sup> ppm	Si ppm	Al ppm	Zr ppm	Fe ppm	Mn ppm	B ppm	U ppb	TDS mg/L	δD ‰	δ <sup>18</sup> O ‰	DF %	
			upper med.	lower med.																															
MSB-2	A	MP	179.7	175.8	2003.11.25	n.m.	6.9	n.m.	46.9	34.0	5.2	66.0	10.2	63.4	48.3	15.2	115.9	n.m.	<0.01	0.1	3.2	<0.3	<0.1	20.5	0.015	5.83	5.07	0.42	0.06	0.22	319	n.m.	n.m.	0.0	
MSB-2	A	MP	174.9	159.6	2003.11.25	n.m.	7.9	n.m.	39.9	89.7	3.2	8.6	0.9	41.0	31.3	9.6	85.3	n.m.	<0.01	0.6	1.3	<0.3	<0.1	17.9	0.004	0.06	<0.05	0.26	0.14	0.11	248	n.m.	n.m.	1.8	
MSB-4	A	MP	198.7	188.9	2003.11.21	n.m.	7.3	n.m.	32.4	18.8	1.9	46.9	8.0	60.4	48.6	11.8	15.4	n.m.	<0.01	0.1	1.1	<0.3	<0.1	27.3	0.003	2.81	1.14	0.26	0.05	0.07	180	n.m.	n.m.	0.1	
MSB-4	A	MP	187.9	180.6	2003.11.21	n.m.	7.8	n.m.	34.0	31.9	2.1	44.6	6.8	51.2	41.5	9.7	95.8	n.m.	<0.01	0.2	1.1	<0.3	<0.1	25.4	0.004	0.14	0.09	0.17	0.11	0.07	219	n.m.	n.m.	1.9	
DH-15	AH	PT	150.2	140.7	2003.10.10	20.8	8.8	45	38.0	58.4	1.6	3.7	0.4	28.0	25.9	21.7	32.1	<0.0004	0.03	0.7	0.8	<0.1	34.4	0.023	0.061	<0.05	0.004	0.28	<0.05	142	n.m.	-58.8	-6.5	0.5	
MSB-2	AH	MP	159.7	130.3	2003.11.25	n.m.	8.9	n.m.	25.5	60.6	1.5	2.7	0.2	24.9	19.0	5.8	34.2	n.m.	0.04	10.0	1.0	<0.3	<0.1	6.6	0.007	0.02	<0.05	0.01	1.29	<0.05	139	n.m.	n.m.	0.3	
MSB-2	H	MP	129.4	121.1	2003.11.25	n.m.	7.7	n.m.	25.4	53.0	2.0	6.6	0.9	27.7	20.3	7.5	22.5	n.m.	0.02	7.0	6.6	<0.3	<0.1	7.1	0.010	0.22	0.21	0.13	0.13	<0.05	133	n.m.	n.m.	0.4	
MSB-4	AH	MP	179.7	152.3	2003.11.20	n.m.	7.9	n.m.	34.0	41.3	2.4	37.8	4.8	46.1	38.9	7.2	59.6	n.m.	0.10	9.1	11.20	<0.3	0.12	7.4	0.008	0.02	<0.05	0.00	1.63	0.07	264	n.m.	n.m.	1.8	
MSB-4	H	MP	151.4	137.6	2003.11.20	n.m.	8.8	n.m.	45.0	89.5	1.3	14.7	0.5	14.4	9.8	4.6	15.5	n.m.	0.10	9.1	13.0	<0.3	0.12	7.4	0.008	0.02	<0.05	0.00	1.63	0.07	264	n.m.	n.m.	1.8	
DH-15	H,T	PT	128.7	115.8	2003.10.04	21.6	9.1	36	39.0	64.7	1.0	2.5	0.3	29.0	25.6	3.3	11.5	<0.0004	1.28	1.3	0.3	<0.3	<0.1	21.0	0.210	0.250	0.11	0.006	0.35	0.08	131	-58.0	-6.5	2.1	
MSB-2	T	MP	120.2	78.3	2003.11.25	n.m.	7.7	n.m.	58.1	122.8	1.2	14.7	0.8	25.6	18.7	6.9	37.1	n.m.	<0.01	5.2	135.3	<0.3	<0.1	7.4	0.004	0.13	0.08	0.04	1.02	<0.05	350	n.m.	n.m.	2.7	
MSB-2	T	MP	119.5	68.0	2002.07.07	21.8	9.1	-118	n.m.	107.0	0.2	15.0	0.2	7.6	6.0	1.6	0.8	n.m.	0.08	11.0	155.0	<0.3	<0.1	4.9	0.012	0.02	<0.05	0.01	n.m.	n.m.	302	-57.8	-9.1	1.8	
MSB-2	T	MP	77.4	68.1	2003.11.25	n.m.	7.9	n.m.	49.3	102.6	0.9	13.1	0.9	17.2	12.1	5.1	8.1	n.m.	0.08	9.9	125.6	<0.3	<0.1	5.9	0.005	0.15	0.09	0.07	0.83	0.05	284	n.m.	n.m.	0.3	
MSB-2	T	MP	67.2	44.8	2002.06.29	21.3	8.8	-75	n.m.	70.4	120.0	0.9	31.9	0.9	15.0	11.6	3.4	11.0	n.m.	0.08	6.5	202.5	<0.3	0.34	6.7	0.005	0.23	0.19	0.07	1.51	0.05	395	n.m.	n.m.	0.6
MSB-4	T	MP	136.7	132.8	2003.11.20	n.m.	8.6	n.m.	45.4	92.9	1.1	15.3	0.4	15.7	9.5	6.2	15.0	n.m.	0.11	9.0	120.0	<0.3	0.42	5.7	0.014	0.02	<0.05	0.02	n.m.	0.07	401	-57.0	-9.1	1.8	
MSB-4	T	MP	131.9	120.6	2003.11.20	n.m.	8.4	n.m.	53.5	94.4	0.8	17.2	0.2	17.3	12.2	5.0	8.0	n.m.	<0.01	6.1	131.2	<0.3	0.20	8.9	0.011	0.02	<0.05	0.00	1.67	0.07	276	n.m.	n.m.	2.6	
DH-15	T	PT	110.5	79.5	2003.11.15	21.7	10.0	-118	42.0	68.7	0.6	7.1	<0.1	7.7	5.5	2.2	2.8	<0.0004	1.88	15.4	30.3	<0.3	<0.1	14.4	0.480	0.290	0.11	0.006	1.76	0.10	146	-59.0	-8.8	13.3	
DH-15	T	PT	61.1	-3.2	2003.11.02	24.1	9.4	-140	48.0	70.3	0.9	4.5	<0.1	9.1	8.4	0.7	0.0	<0.0004	4.45	11.1	56.1	<0.3	<0.1	7.4	0.100	0.055	<0.05	0.001	0.60	0.11	159	-60.1	-9.0	2.9	
MSB-4	G	PT	119.0	115.5	2002.08.13	23.0	8.8	-86	n.m.	74.0	0.2	14.0	<0.1	10.0	8.9	1.1	<0.4	n.m.	0.50	12.0	96.0	<0.3	0.18	6.1	0.069	0.04	<0.05	0.01	1.58	0.06	217	-61.8	-8.9	0.3	
DH-2	G	PT	-33.9	-15.9	2002.09.23	24.2	8.7	-60	48.0	76.0	1.1	15.1	0.2	12.3	12.3	<2	6.3	n.m.	n.m.	9.7	93.9	<0.05	0.18	6.9	n.m.	0.02	n.m.	0.02	n.m.	n.m.	221	-60.4	-9.0	n.m.	
DH-2	G	PT	-34.9	-43.4	2002.10.09	22.4	8.7	-46	53.3	99.5	1.0	17.6	0.2	10.8	10.8	<2	3.6	n.m.	n.m.	8.8	165.0	<0.05	0.29	6.9	n.m.	<0.01	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	288	-60.0	-8.9	n.m.	
DH-2	G	PT	-109.1	-111.1	2002.09.25	22.5	8.5	0	65.0	98.5	1.0	19.2	0.1	3.9	3.9	<2	3.9	n.m.	n.m.	9.9	145.0	<0.05	0.29	6.8	n.m.	<0.01	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	288	-60.0	-8.9	n.m.	
DH-2	G	PT	-111.9	-113.9	2002.09.10	23.2	8.6	-61	63.0	88.6	0.6	16.5	0.1	7.1	7.1	<2	3.9	n.m.	n.m.	9.2	138.0	<0.05	0.27	6.8	n.m.	0.03	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	270	-60.3	-8.9	n.m.	
DH-2	G	PT	-116.1	-118.1	2002.09.17	23.2	8.5	-19	65.0	91.0	0.6	22.1	0.1	7.1	7.1	<2	3.9	n.m.	n.m.	9.5	146.0	<0.05	0.28	6.7	n.m.	0.01	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	287	-60.3	-8.9	n.m.	
DH-2	G	PT	-119.4	-121.4	2002.09.20	24.7	8.5	-99	66.0	97.0	0.6	21.7	0.1	7.3	7.3	<2	3.7	n.m.	n.m.	8.8	158.0	<0.05	0.28	6.2	n.m.	0.02	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	296	-60.3	-8.9	n.m.	
DH-2	G	PT	-127.3	-134.8	2002.10.06	23.2	8.6	-103	66.3	103.0	0.7	19.9	0.1	7.2	7.2	<2	3.7	n.m.	n.m.	9.1	150.0	<0.05	0.29	6.6	n.m.	0.02	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	308	-60.3	-8.9	n.m.	
DH-2	G	PT	-154.2	-156.2	2002.09.27	23.7	8.7	-32	76.7	117.0	0.6	25.5	0.1	5.5	5.5	<2	4.0	n.m.	n.m.	8.1	191.0	<0.05	0.34	6.8	n.m.	0.03	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	359	-59.4	-8.9	n.m.	
DH-2	G	PT	-171.9	-173.9	2002.10.01	24.6	8.8	-121	77.5	114.0	0.6	29.3	0.1	5.1	5.1	<2	3.7	n.m.	n.m.	7.8	211.0	<0.05	0.35	6.5	n.m.	<0.01	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	374	-59.4	-8.9	n.m.	
DH-2	G	PT	-245.9	-254.4	2002.10.12	23.2	8.8	-60	87.7	141.0	0.9	36.3	0.1	4.7	4.7	<2	3.2	n.m.	n.m.	6.5	228.0	<0.05	0.42	6.5	n.m.	<0.01	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	427	-60.8	-9.0	n.m.	
DH-2	G	PT	-257.6	-266.1	2002.10.15	25.0	8.7	-122	102.5	157.0	1.0	42.1	0.2	4.4	4.4	<2	2.3	n.m.	n.m.	6.1	287.0	<0.05	0.47	6.4	n.m.	<0.01	n.m.	<0.01	n.m.	n.m.	486	-60.7	-8.8	0.6	
MIZ-1	G	PT	93.6	90.3	2003.04.20	19.6	9.2	-71	352.0	58.7	0.3	5.9	<0.1	10.1	9.6	<1	6.8	<0.0002	0.09	8.7	37.5	<0.3	<0.1	8.6	0.058	0.021	<0.05	0.002	n.m.	n.m.	137	-60.7	-8.8	0.6	
MIZ-1	G	PT	84	-19.1	2003.07.09	22.3	8.9	-280	480.0	68.1	0.9	11.1	<0.1	9.4	6.6	2.8	8.4	<0.0004	4.49	11.9	85.3	<0.3	0.20	4.0	0.889	0.086	<0.05	0.084	n.m.	n.m.	200	-59.6	-8.8	2.6	
MIZ-1	G	PT	54.5	-63.7	2003.08.06	23.4	8.7	-74	32.7	67.6	0.3	6.9	<0.1	9.4	5.3	4.1	9.5	n.m.	n.m.	10.9	75.3	<0.3	<0.1	8.0	n.m.	n.m.	<0.05	0.003	1.26	0.07	332	-61.2	-9.0	1.0	
DH-15	G	PT	20.3	-26.8	2003.11.29	23.7	8.9	-158	100.0	152.0	0.6	28.6	<0.1	5.1	3.8	1.3	<0.4	0.0019	7.04	8.3	167.2	<0.3	0.40	7.2	0.100	0.080	<0.05	0.003	4.42	0.07	3144	n.m.	n.m.	n.m.	
高砂温泉	G	温泉水	-532	-1041	1991.10.08	36.2	8.8	n.m.	719.8	5.8	468.3	4.5	n.m.	n.m.	4.0	n.m.	n.m.	4.0	n.m.	0.70	4.3	1929.0	n.m.	8.4											