JAEA-Data/Code
2010-032

MSB-2 号孔・MSB-4 号孔における地下水の間隙水圧および水質観測

(2009 年 4 月～ 2010 年 3 月)

Monitoring of Pore Water Pressure and Groundwater Chemistry at MSB-2 and MSB-4 Boreholes in the MIU Construction Site
(April,2009-March,2010)

萩原 大樹　齋 正貴　竹口 真人　堀田 政國　水野 崇

Hiroki HAGIWARA, Masataka SAI, Masato TAKEGUCHI
Masakuni HORITA and Takashi MIZUNO

地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2011

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp）
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

JAEA-Data/Code 2010-032

MSB-2 号孔・MSB-4 号孔における地下水の間隙水圧および水質観測
（2009 年 4 月～2010 年 3 月）

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門　東濃地科学研究ユニット
萩原 大樹、齋 正貴*1、竹口 真人*2、堀田 政國*3、水野 崇

（2010 年 12 月 17 日受理）

日本原子力研究開発機構は、岐阜県瑞浪市に建設中の瑞浪超深地層研究所において、研究坑道掘削による地下水水質への影響把握を目的とした調査研究を進めている。その一環として、研究所用地内において掘削した浅層ボーリング孔（MSB-2 号孔および MSB-4 号孔）に多区間間隙水圧モニタリングシステム（MP システム）を設置して、地下水採水・水質分析および間隙水圧・水温測定を 2003 年度から月 1 回の頻度で実施している。これまでの観測結果から、研究坑道掘削に伴い、両観測孔において間隙水圧低下と水質変化が生じていることを確認している。また、MSB-4 号孔における水質の変化量は、MSB-2 号孔に比べ小さい。その原因としては両観測井間に位置する北北西走向の低透水性断層の存在が考えられる。

2009 年度における MSB-2 号孔および MSB-4 号孔における地下水採水・水質分析および間隙水圧・水温測定結果の概要は以下の通りである。

・深度 300m 予備ステージにおいて実施したボーリング掘削の影響と考えられる間隙水圧低下（約 8m）を MSB-2 号孔の区間 6~区間 10 で確認した。

・上記の間隙水圧低下に伴う地下水流動状態の変化が原因と考えられる地下水水質の変化（塩化物イオン濃度が最大約 60mg/L 上昇）を MSB-2 号孔の区間 6~区間 9 で確認した（なお、区間 10 は間隙水圧測定のみ）。

東濃地科学センター（駐在）：〒509－6132　岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64
＊1　パシフィックコンサルタンツ株式会社（元　技術開発協力員）
＊2　清水建設株式会社　名古屋支店
＊3　清水建設株式会社　技術研究所

JAEA-Data/Code 2010-032

Monitoring of Pore Water Pressure and Groundwater Chemistry at MSB-2 and MSB-4 Boreholes in the MIU Construction Site
(April,2009-March,2010)

Hiroki HAGIWARA, Masataka SAI*1, Masato TAKEGUCHI*2,
Masakuni HORITA*3 and Takashi MIZUNO

Tono Geoscientific Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received December 17, 2010)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has been carried out investigations to understand the fluctuation of groundwater chemistry related to the shafts excavation at the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) in Mizunami City, Gifu prefecture, Japan. The data for pore water pressure, water temperature and groundwater chemistry have been provided from two surface-based boreholes, MSB-2 and MSB-4 boreholes, installed a modular multilevel groundwater monitoring system (MP system). The hydrochemical and hydrological monitoring has been conducted once in a month since April 2003.

According to the results in the past six years, the shaft excavation has caused drawdown of the hydraulic head and change in the groundwater chemistry in the MIU construction site. The amount of groundwater chemistry change in the MSB-2 borehole was greater than in the MSB-4 borehole due to a north-northwest striking low-permeability fault located between these boreholes.

In this report, the data of the hydraulic and hydrochemical monitoring at the MSB-2 and the MSB-4 boreholes from April 2009 to March 2010 were compiled. Summaries of the monitoring results in the duration are as follows:

- Pore water pressures at intervals between no. 6 and no. 10 in the MSB-2 borehole decreased. The drawdown would be caused by the borehole drilling conducted in the gallery at 300m deep, termed -300m Sub Stage.

- Change in groundwater chemistry (e.g., about 60 mg/L increase in chlorine ion concentration) at intervals between no. 6 and no. 9 in the MSB-2 borehole occurred with the decrease in pore water pressure (only measuring pore water pressure at interval 10).

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory (MIU), Water Temperature, Groundwater Monitoring, Groundwater Chemistry, Pore Water Pressure

---

*1 Pacific Consultants Corporation (Former Collaborating Engineer)
*2 Shimizu Corporation, Nagoya Branch, Civil Engineering Department
*3 Shimizu Corporation, Institute of Technology

目次

1.　はじめに 1
2.　調査概要 2
3.　調査方法 6
3.1　間隙水圧・水温測定方法 6
3.2　地下水試料の採水方法 6
3.3　水質分析方法 7
3.3.1　分析項目 7
3.3.2　地下水試料の前処理、分析方法 8
3.4　分析データの品質管理 10
4.　調査結果 11
4.1　水質分析結果 11
4.2　間隙水圧・水温測定結果 11
参考文献 34
付録 35

CONTENTS

1. Introduction 1
2. Outline of investigation 2
3. Methodology 6
3.1 Pore water pressure and temperature measurement 6
3.2 Groundwater sampling 6
3.3 Groundwater chemistry analysis 7
3.3.1 Analytical items 7
3.3.2 Procedure for analysis 8
3.4 Quality management of data 10
4. Result 11
4.1 Groundwater chemistry 11
4.2 Pore water pressure and temperature 11
References 34
Appendix 35

1. はじめに

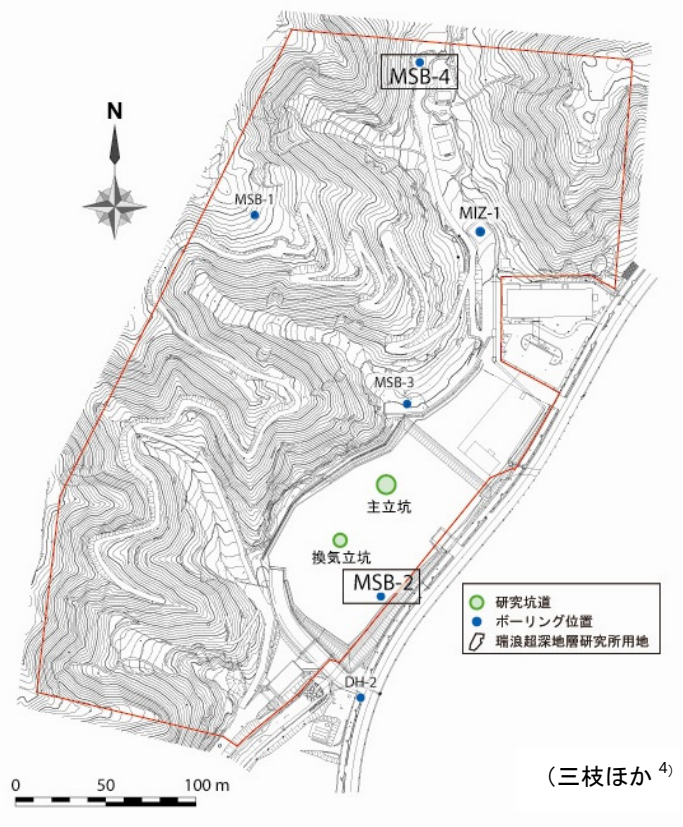
日本原子力研究開発機構は、岐阜県瑞浪市において 2 本の立坑と深度 100m 毎に設けられる予備ステージと呼ばれる水平坑道等の研究坑道からなる瑞浪超深地層研究所（以下、研究所）の建設を進めている。この研究坑道の掘削による地下水の地球化学特性への影響を把握するため、研究所用地内に掘削された 2 本の浅層ボーリング孔 [1)]（MSB-2 号孔および MSB-4 号孔）を対象に地下水採水・水質分析および間隙水圧・水温の測定を月 1 回の頻度で実施している。これまでの観測結果より、研究坑道の掘削による研究所用地内における地下水流動場や地下水の地球化学環境の変化が捉えられており [2),3)]、今後も研究坑道掘削の進捗に伴う地下水水質の変化が予想されるため、継続的に観測を行う予定としている。

本報告書は、2009 年 4 月から 2010 年 3 月までの地下水水質分析および間隙水圧・水温測定の結果をとりまとめたものである。

2. 調査概要

図 2-1 に観測井である MSB-2 号孔および MSB-4 号孔の位置を示す。両ボーリング孔には、多区間間隙水圧モニタリングシステム（Westbay Instruments 社製 MP システム）が設置されており、これを利用して、地下水採水および間隙水圧・水温測定を実施した。図 2-2 に MP システムの概略を、図 2-3 に地下水採水装置の概略を示す。また、表 2-1 および表 2-2 に両ボーリング孔における観測区間を示す。MSB-2 号孔および MSB-4 号孔は、ともに 2003 年 7 月より観測を行っている。MSB-2 号孔の区間 3 では、2004 年 10 月以降、MSB-2 号孔の区間 5 では 2006 年 3 月以降、また MSB-4 号孔の区間 4 では、2009 年 3 月以降に地下水採水が不能になった。採水が不能となった原因としては、研究坑道の掘削の影響で間隙水圧が低下し、採水ロポートに接続したサンプラーボトルに地下水が流入しなくなったためと考えられる。これらの観測区間の間隙水圧は、大気圧より低い負圧が観測されている。

なお、MSB-2 号孔の区間 10 では、間隙水圧測定用のポートのみが設定されているため、地下水採水作業は行っていない。



（三枝ほか [4] を編集）

図 2-1 MSB-2 号孔および MSB-4 号孔の位置図

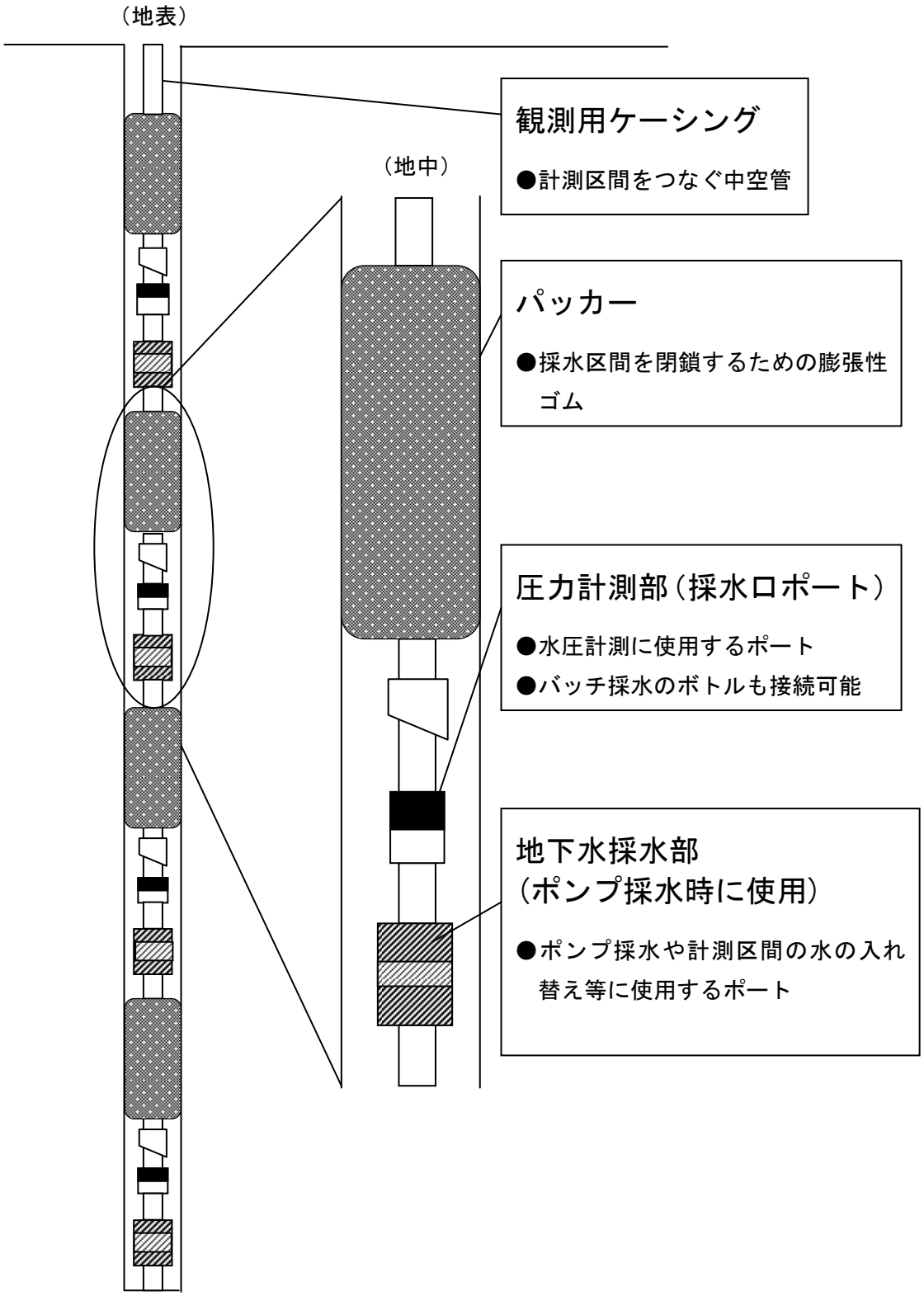


図 2-2 MP システムの概略図

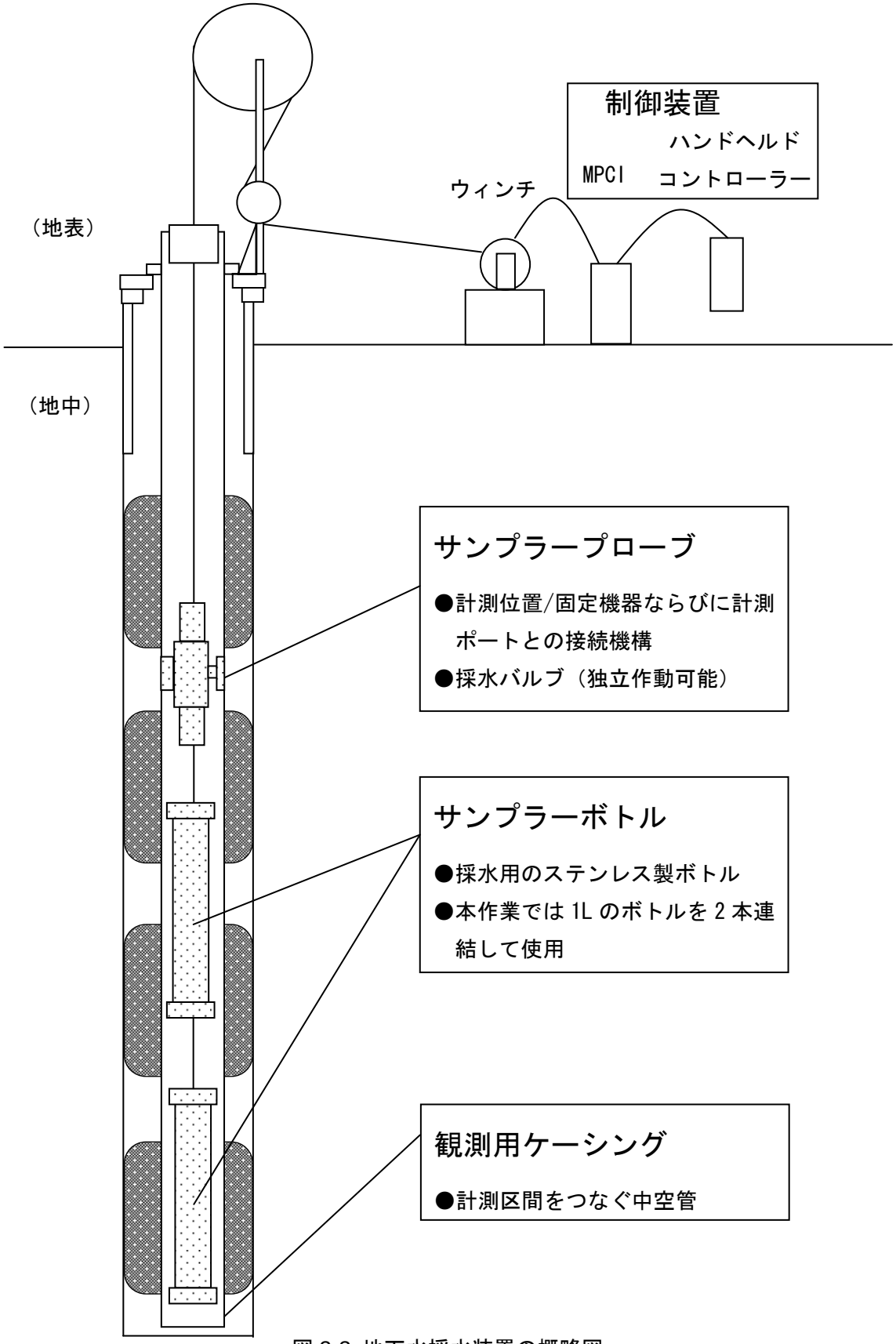


図 2-3 地下水採水装置の概略図

表 2-1 観測区間（MSB-2 号孔）

<table>
<tr><th rowspan="2">区間</th><th colspan="2">標高（masl※1）</th><th colspan="2">深度（mbgl※2）</th><th colspan="2">地質</th></tr>
<tr><th>区間上端</th><th>区間下端</th><th>区間上端</th><th>区間下端</th><th colspan="2">主な地層</th></tr>
<tr><td>1</td><td>179.7</td><td>175.8</td><td>18.8</td><td>22.7</td><td rowspan="2">明世累層</td><td>戸狩層</td></tr>
<tr><td>2</td><td>174.9</td><td>159.6</td><td>23.6</td><td>38.9</td><td rowspan="2">月吉層</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">158.7</td><td rowspan="2">130.3</td><td rowspan="2">39.8</td><td rowspan="2">68.2</td><td colspan="2" rowspan="2">本郷累層</td></tr>
<tr><td>4</td><td>129.4</td><td>121.1</td><td>69.1</td><td>77.4</td></tr>
<tr><td>5</td><td>120.2</td><td>78.3</td><td>78.3</td><td>120.2</td><td colspan="2" rowspan="4">土岐夾炭累層</td></tr>
<tr><td>6</td><td>77.4</td><td>68.1</td><td>121.1</td><td>130.4</td></tr>
<tr><td>7</td><td>67.2</td><td>44.8</td><td>131.3</td><td>153.7</td></tr>
<tr><td>8</td><td>43.9</td><td>28.1</td><td>154.6</td><td>170.4</td></tr>
<tr><td>9</td><td>27.2</td><td>23.3</td><td>171.3</td><td>175.2</td><td colspan="2" rowspan="2">花崗岩</td></tr>
<tr><td>10</td><td>22.4</td><td>18.5</td><td>176.1</td><td>180.0</td></tr>
</table>

※1masl: meter above sea level

※2mbgl: meter below ground level

表 2-2 観測区間（MSB-4 号孔）

<table>
<tr><th rowspan="2">区間</th><th colspan="2">標高（masl※1）</th><th colspan="2">深度（mbgl※2）</th><th colspan="2">地質</th></tr>
<tr><th>区間上端</th><th>区間下端</th><th>区間上端</th><th>区間下端</th><th colspan="2">主な地層</th></tr>
<tr><td>1</td><td>198.7</td><td>188.9</td><td>15.8</td><td>25.6</td><td rowspan="2">明世累層</td><td>戸狩層</td></tr>
<tr><td>2</td><td>188.0</td><td>180.6</td><td>26.5</td><td>33.9</td><td rowspan="2">月吉層</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">179.7</td><td rowspan="2">152.4</td><td rowspan="2">34.8</td><td rowspan="2">62.1</td><td colspan="2" rowspan="2">本郷累層</td></tr>
<tr><td>4</td><td>151.5</td><td>137.6</td><td>63.0</td><td>76.9</td></tr>
<tr><td>5</td><td>136.7</td><td>132.8</td><td>77.8</td><td>81.7</td><td colspan="2" rowspan="2">土岐夾炭累層</td></tr>
<tr><td>6</td><td>131.9</td><td>120.6</td><td>82.6</td><td>93.9</td></tr>
<tr><td>7</td><td>119.7</td><td>115.5</td><td>94.8</td><td>99.0</td><td colspan="2">花崗岩</td></tr>
</table>

※1masl: meter above sea level

※2mbgl: meter below ground level

3. 調査方法

3.1 間隙水圧・水温測定方法

間隙水圧および水温の測定は、それぞれのセンサーが内蔵されているサンプラープローブを用い、以下の手順で実施した。

(1) サンプラープローブにより地上で大気圧および外気温を測定する。

(2) 圧力計測部までサンプラープローブを降下後、ケーシング内の水圧を確認し、ケーシング内の水位との整合を確認後、圧力計測部にサンプラープローブを接続し、圧力値および水温の変化を観測する。

(3) 水温がほぼ一定の値を示すことを確認し、区間の水温とする。

(4) 圧力値を 30 秒毎に 4 回続けて同じ値になるまで計測を継続することにより、区間の間隙水圧とする。

(5) 次の区間までサンプラープローブを降下し、全区間の間隙水圧および水温の測定が終了するまで(2)～(4)の手順を繰り返す。

(6) 測定した間隙水圧を以下の式[5)]に代入し、水頭を求める。

$$h = z + P / \gamma$$

※h: 全水頭（m）、z: 基準面からの高さ（m）、P: 水の圧力（kN/m^2）、
γ: 水の単位体積重量（kN/m^3）

3.2 地下水試料の採水方法

地下水の採水は、ポンプなどを用いた連続採水ではなく、サンプラーボトルを使用したバッチ式採水を以下の手順で実施した。

(1) サンプラープローブと容積 1L のサンプラーボトル 2 本をコネクトチューブで接続する。大気との接触による水質の変化を防ぐため、1L のサンプラーボトル内部を窒素置換した後に、真空ポンプで真空にする。

(2) 採水対象区間深度にサンプラープローブを降ろして圧力計測部のポートに定着させる。間隙水圧の変動から、サンプラープローブへの地下水の流入を判断するため、サンプラープローブの圧力センサーが間隙水圧を計測している事を確認した後、サンプラープローブのバルブを開けて地下水試料を採水する。

(3) 1 回目に 1L のサンプラーボトル内に採水した地下水試料を、保管するためのポリ瓶等の容器の洗浄およびサンプラーボトルの洗浄に使用する。また、この地下水試料を使って現場（地表）において、大気との接触を極力低減させるために pH 計を固定した密閉容器に迅速に移して、水質（温度、pH 、電気伝導度）測定を実施する。

(4) 2 回目以降の地下水試料を分析用試料とする。また、2 回目以降の地下水試料を用いて現場（地表）で試料観察（臭い、色、気泡、沈殿、濁り）を実施し、大気

との接触を極力低減させるために迅速に Total-Fe、Fe^{2+}、S^{2-}を測定する。なお、各採水区間において、2003 年度から約 6L/回の採水を月 1 回ずつ実施している。そのため、毎月の採水では、採水区間の体積分の地下水を採水していないが、従来からの採水調査を通して、各区間に長期間滞留した地下水は排除していると考えられる。

3.3 水質分析方法

3.3.1 分析項目

主な水質分析項目および分析方法を表 3.3.1-1 に示す。なお、室内分析は東濃地科学センター分析室で行った。分析データは精度管理を行っている複数の分析所と比較することにより、品質を確認している。

表 3.3.1-1 分析方法

分析項目	分析方法
pH※	ガラス電極法(JIS K 0102)
pH	ガラス電極法(JIS K 0102)
電気伝導度※	電気伝導度計(JIS K 0102)
電気伝導度	電気伝導度計(JIS K 0102)
Na^{+}	ICP発光分光法(JIS K 0116)
K^{+}	ICP発光分光法(JIS K 0116)
Ca^{2+}	ICP発光分光法(JIS K 0116)
Mg^{2+}	ICP発光分光法(JIS K 0116)
Sr^{2+}	ICP発光分光法(JIS K 0116)
Si	ICP発光分光法(JIS K 0116)
Al	ICP発光分光法(JIS K 0116)
Total-Fe※	吸光光度法(JIS K 0115)
Total-Fe	ICP発光分光法(JIS K 0116)
Mn	ICP発光分光法(JIS K 0116)
Ti	ICP発光分光法(JIS K 0116)
B	ICP発光分光法(JIS K 0116)
F^{-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0127)
Cl^{-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0127)
NO_3^{-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0127)
NO_2^{-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0127)
Br^{-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0127)
PO_4^{3-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0127)
SO_4^{2-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0127)
CO_3^{2-}	滴定法(JIS K 0102)
HCO_3^{-}	滴定法(JIS K 0102)
Fe^{2+}※	吸光光度法(JIS K 0115)
Fe^{3+}	Total-Fe値－Fe^{2+}値
S^{2-}※	吸光光度法(JIS K 0115)
U	ICP質量分析装置(JIS K 0133)
全炭素	燃焼酸化-赤外吸収法(JIS K 0102)
無機炭素	燃焼酸化-赤外吸収法(JIS K 0102)
有機炭素	燃焼酸化-赤外吸収法(JIS K 0102)
ナフチオン酸ナトリウム	高速液体クロマトグラフ法(JIS K 0124)
ウラニン	高速液体クロマトグラフ法(JIS K 0124)
アミノG酸	高速液体クロマトグラフ法(JIS K 0124)

※現場（地表）で分析

3.3.2 地下水試料の前処理、分析方法

（1）pH

採水後、現場（地表）で直ちにガラス電極を用いた pH 計（堀場製作所製、D-13）で分析した。pH 分析中に地下水が大気と接触することを避けるため、pH 計を固定した密閉容器に地下水を移して分析した。分析室では、大気解放状態で分取した未処理の試料を、ガラス電極を用いた pH 計（東亜 DKK 製、DIGITAL pH METER HM-50V）で分析した。

（2）電気伝導度

採水後、現場（地表）で直ちに導電率電極を用いた電気伝導度計（堀場製作所、ES-12）で分析した。電気伝導度分析中に地下水が大気と接触することを避けるため、電気伝導度計を固定した密閉容器に地下水を移して分析した。分析室では、大気解放状態で分取した未処理の試料を、電気伝導度計（東亜 DKK 製、マルチ水質計 HM-60 型）で分析した。

（3）F^-、Cl^-、NO_2^-、Br^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、PO_4^{3-}

分析室で、0.45μm のイオンクロマトグラフ用フィルターでろ過後の試料をイオンクロマトグラフ分析装置（日本ダイオネクス製、DX-120）で分析した。

（4）CO_3^{2-}、HCO_3^-

分析室で、0.45μm のメンブレンフィルターでろ過後の試料を電位差自動滴定装置（京都電子工業製、AT－510）で分析した。

（5）Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Sr^{2+}、Si、Al、Total-Fe、Total-Mn、Ti、B

Total-Fe は、大気と接触することにより沈殿を形成し、地下水中での溶存濃度が変化する可能性があるため、現場（地表）で吸光光度計（HACH 製、DR/2400）を用いて分析した。その他の元素は、分析室で 50mL の未処理試料に硝酸 0.5 mL を添加し、60 ℃に設定された乾燥機内で 10～20 分加温後、懸濁物質がない場合は、そのまま ICP 発光分光分析装置（バリアン製、VISTA MPX）で分析した。懸濁物質が残っている場合は試料を 0.45μm のメンブレンフィルターでろ過し、ICP 発光分光分析装置（バリアン製、VISTA MPX）で分析した。

（6）TOC、IC、TC

①TOC（全有機炭素）：分析室で、未処理試料に塩酸を添加し、溶存炭酸物質を気化させ、後に残った有機炭素を全有機炭素計（島津製作所製、TOC－V CPH）で分析した。

②IC（無機炭素）：分析室で、未処理試料にりん酸を添加し、溶存炭酸物質を気化させ、全有機炭素計（島津製作所製、TOC－V CPH）で分析した。
③TC（全炭素）：①TOC（全有機炭素）＋②IC（無機炭素）として計算した。

（7）Fe^{2+}

大気と接触することで化学形が変化するため、現場（地表）で採水後、直ちに吸光光度計（HACH 製、DR/2400）を用いて分析した。

（8）S^{2-}

大気と接触することで化学形が変化するため、現場（地表）で採水後、直ちに吸光光度計（HACH 製、DR/2400）を用いて分析した。

（9）U

分析室で、50mL の未処理試料に、硝酸 0.5 mL を添加し、60 ℃に設定された乾燥機内で 10～20 分加温した。目視で懸濁物質が確認できない場合は、そのまま分析した。懸濁物質が残っている場合は、試料を 0.45μm のメンブレンフィルターでろ過後、ICP 質量分析装置（セイコーインスルメンツ製、SPQ－9200）で分析した。

（10）ナフチオン酸ナトリウム、ウラニン、アミノ G 酸

これらの物質は、掘削水の影響を定量的に把握するため、ボーリング孔の掘削時に掘削水へ添加したものである。分析室では、2mL の未処理試料を 0.45μm のメンブレンフィルターでろ過後、高速液体クロマトグラフ（島津製作所製、RF-1500）で分析した。

3.4 分析データの品質管理

（1）分析データの確認

取得データに関しては、生データのデータシートへの転記ミスの有無、日付等の記載事項の記載ミスの有無を分析担当者およびデータ管理者の複数人で確認した。

（2）イオンバランスを用いた品質確認

試料中に含まれる主要陽イオンと主要陰イオンについて $meqL^{-1}$ で表した数値の和を計算し、陽イオンと陰イオンのバランス（以下、イオンバランス）により分析データの精度を確認した。各分析項目において、分析値に明らかな異常値が出た時やイオンバランスが下記計算式[6]①、②、③で示した範囲に入らない時は、分析データに問題があると考えて再分析を行った。

① Σ陰イオンが 0～3.0$meqL^{-1}$ のとき

Σ陽イオン－Σ陰イオン＝±0.2 $meqL^{-1}$ 以内

② Σ陰イオンが 3.0～10.0 $meqL^{-1}$ のとき

$$\frac{\Sigma\text{陽イオン}-\Sigma\text{陰イオン}}{\Sigma\text{陽イオン}+\Sigma\text{陰イオン}}\times 100=\pm 2\ \%\text{以内}$$

③ Σ陰イオンが 10.0～800 $meqL^{-1}$ のとき

$$\frac{\Sigma\text{陽イオン}-\Sigma\text{陰イオン}}{\Sigma\text{陽イオン}+\Sigma\text{陰イオン}}\times 100=\pm 2\sim 5\ \%\text{以内}$$

※Σ陽イオン：Na^{+}、K^{+}、Ca^{2+}、Mg^{2+}

Σ陰イオン：F^{-}、Cl^{-}、SO_4^{2-}、HCO_3^{-}

（3）過去の傾向との比較

各分析結果は、これまでの分析結果と比較し、その傾向から大きく外れる場合には再分析を実施した。

4. 調査結果

4.1 水質分析結果

MSB-2 号孔および MSB-4 号孔の水質分析結果を図 4.1-1～図 4.1-18 に示す。MSB-2 号孔および MSB-4 号孔の掘削時にトレーサーとして使用した蛍光染料（堆積岩には、ナフチオン酸ナトリウムを濃度 10mg/L±10%、花崗岩にはウラニンを濃度 0.2mg/L±10%で添加）は、MSB-2 号孔では未検出であった。MSB-4 号孔ではウラニンが検出されたものの、添加濃度の 2%以下であった。また、2009 年 10 月に MSB-4 号孔の区間 6 において、採水が不能になったが同年 11 月より採水が可能となった。2009 年 10 月には、研究坑道内深度 300m 研究アクセス坑道においてボーリング孔（09MI21 号孔）の掘削を実施している。その際の湧水（最大約 350L/分）の影響により一時的に地下水位が低下したと考えられる。

MSB-2 号孔の Cl^-濃度に着目すると、区間 6～区間 9（Na-Cl 型地下水）において、2009 年 10 月以降に値が増減する変動がみられた（図 4.1-7）。これは、研究坑道の掘削および 2009 年 8 月より研究坑道内深度 300m 予備ステージで実施したボーリング孔（09MI20 号孔）の掘削に伴う湧水（最大約 140L/分）の影響と考えられる。一方、MSB-4 号孔では、区間 1～区間 3（Na-HCO_3^-型地下水）と区間 5～区間 7（Na-Cl 型地下水）の分析結果が水質に対応して差が認められるのに対し（例えば、図 4.1-13）、MSB-2 号孔では差が明瞭でない（例えば、図 4.1-4）。これは MSB-4 号孔付近の地下水は、主立坑沿いに確認されている断層によって研究坑道掘削および研究坑道内におけるボーリング掘削による擾乱を受けづらいためと考えられる [7]。また、MSB-2 号孔の U や PO_4^{3-}濃度、MSB-4 号孔の U 濃度等、局所的に変動する時期があるが、原因は明らかでない。

その他、イオンバランスは、MSB-2 号孔および MSB-4 号孔ともに、Na-Cl 型地下水で変動幅が大きい。特に、土岐夾炭累層において、マイナス方向への変動が大きく、Σ陰イオンを支配している Cl^-濃度との相関がみられ（図 4.1-9、図 4.1-18）、Cl^-濃度の測定に原因があると考えられるため、今後検討していく。なお、3.4（2）に示すように、範囲外の場合には再分析を実施したが、再分析の結果もほぼ同様であった。

4.2 間隙水圧・水温測定結果

MSB-2 号孔および MSB-4 号孔の間隙水圧測定値については、3.1（6）で示した方法により全水頭を算出した。それらの結果を図 4.2-1～図 4.2-2 に示す。また、間隙水圧測定と同時に行った水温測定結果を図 4.2-3～図 4.2-6 に示す。

MSB-2 号孔の区間 6～区間 10 では、2009 年 9 月以降に水頭の低下が認められた。特に区間 10 においては、約 8.0m 低下した（図 4.2-1）。一方、MSB-4 号孔では、区間 6 および区間 7 において、1 年を通して、共に約 3.6m 低下した（図 4.2-2）。区間 6 の 2009 年 10 月の全水頭は、前月と比べ 0.79m 低下し採水不能となった。その原因は、4.1 に述べたように深度 300m 研究アクセス坑道内におけるボーリング掘削によるものと考えら

れる。これらの水頭の低下は、観測を開始した 2003 年度から継続的に観測されており、今後も研究坑道の掘削に伴う水頭の低下が予想されるため、研究坑道の掘削状況を把握しながら、継続的にモニタリングを実施する必要がある。

水温の経時変化は、MSB-2 号孔および MSB-4 号孔において、共に明世累層で変動が認められたが、その他の区間は年間を通してほぼ一定の値を示した（図 4.2-3、図 4.2-4）。また、堆積岩に位置する区間では、深度依存性が認められ、花崗岩部の区間に比べ、温度勾配が大きい傾向を示した（図 4.2-5、図 4.2-6）。

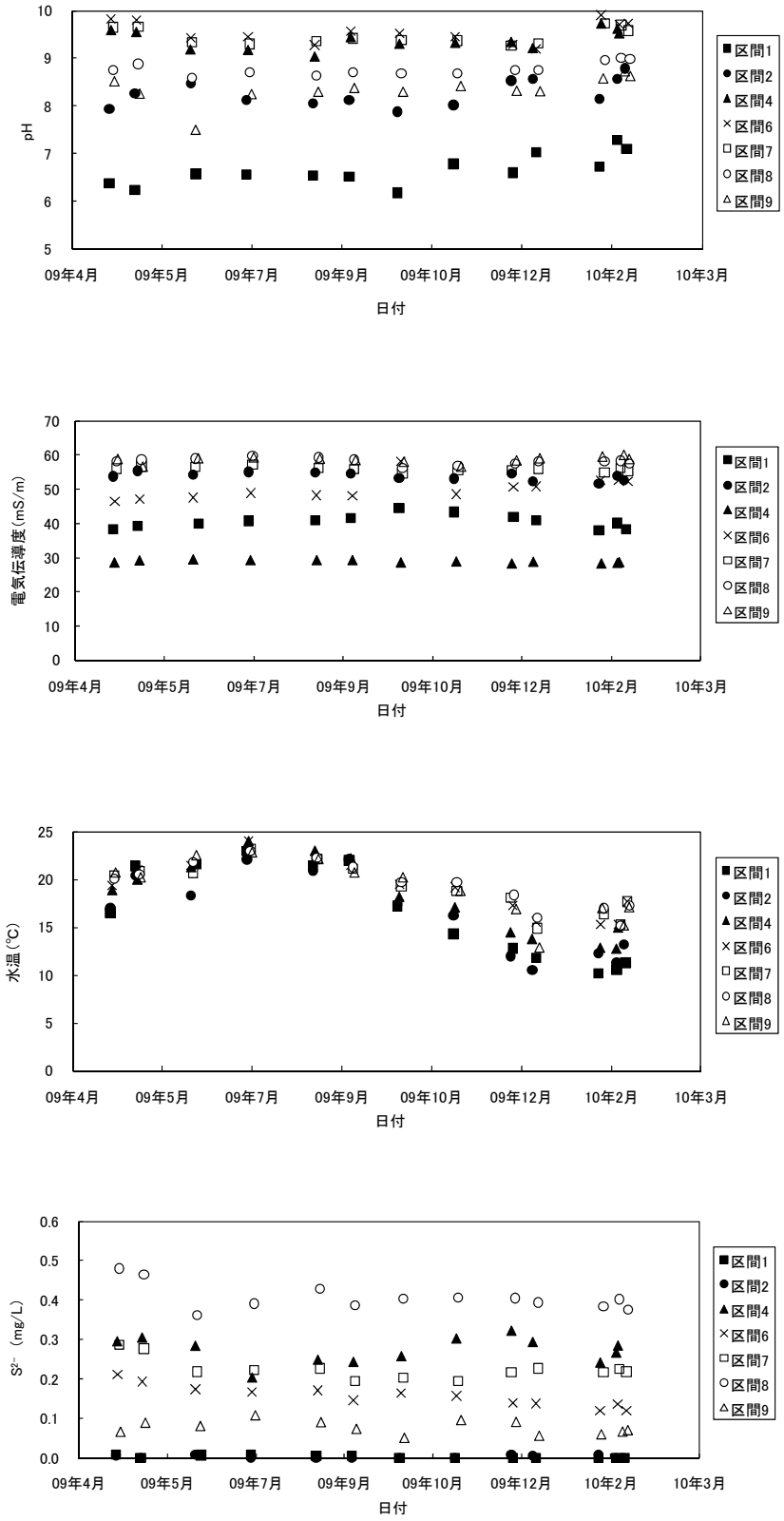


図 4.1-1 現場(地表)での簡易測定による化学成分濃度の経時変化（MSB-2 号孔）

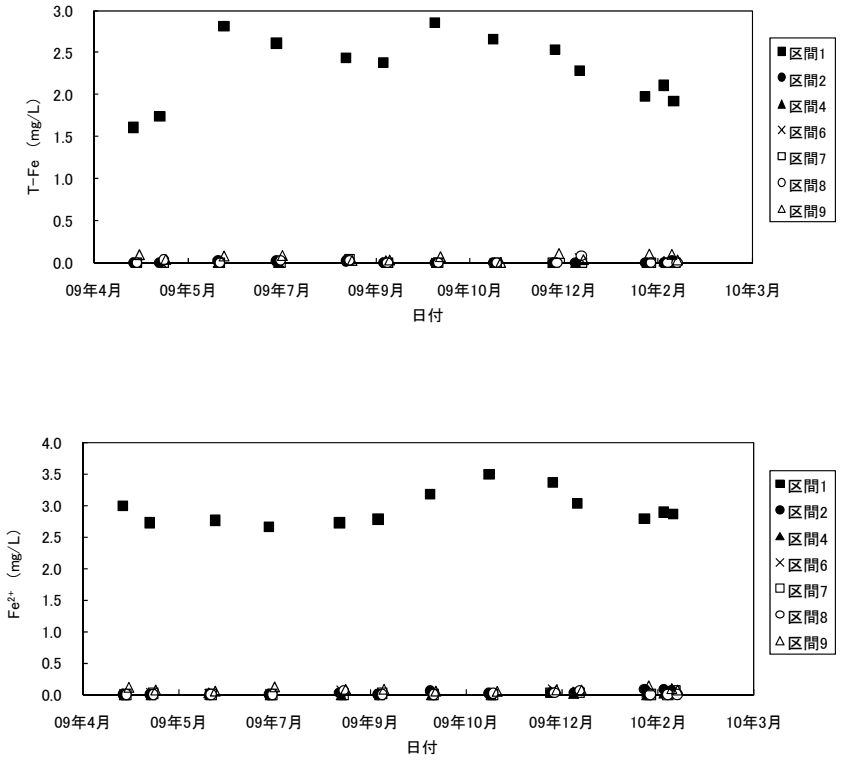


図 4.1-2 現場(地表)での簡易測定による化学成分濃度の経時変化（MSB-2 号孔）

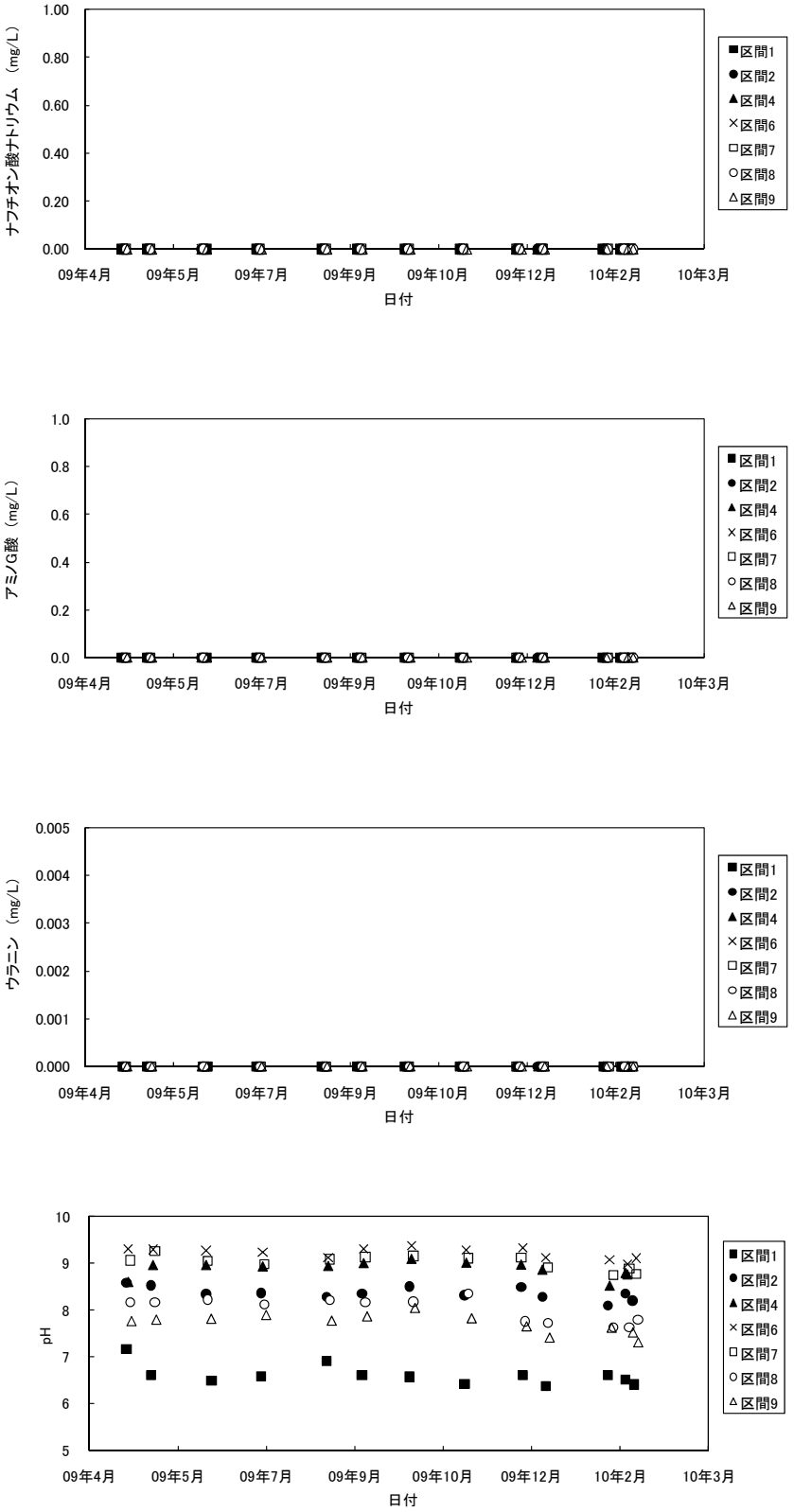
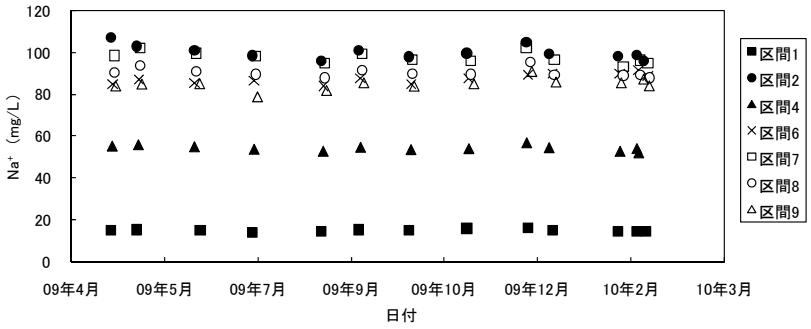
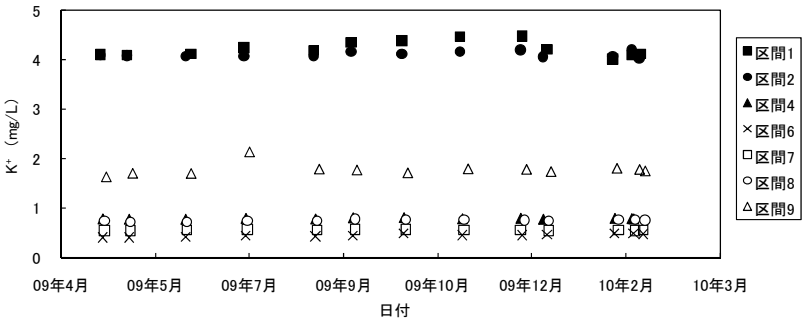
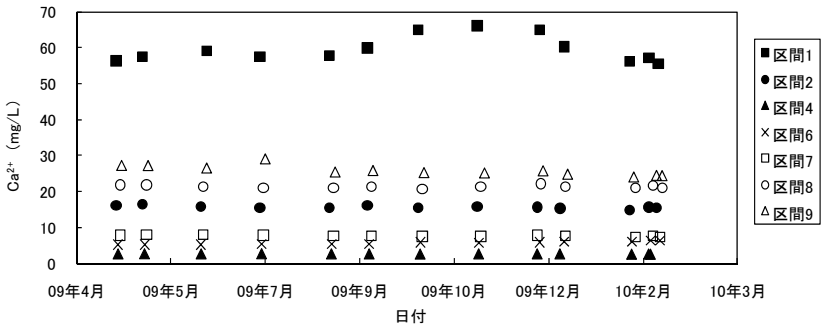


図 4.1-3 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-2 号孔）







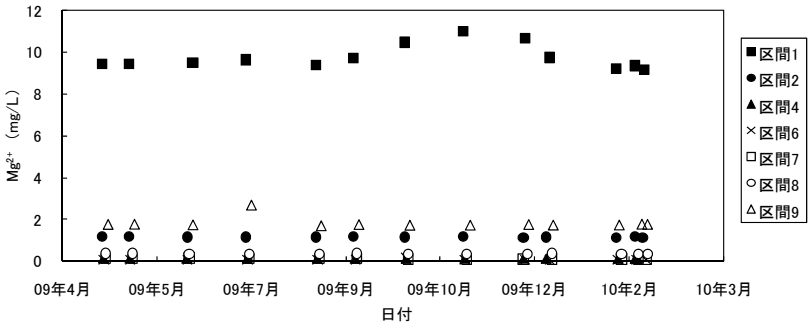


図 4.1-4 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-2 号孔）

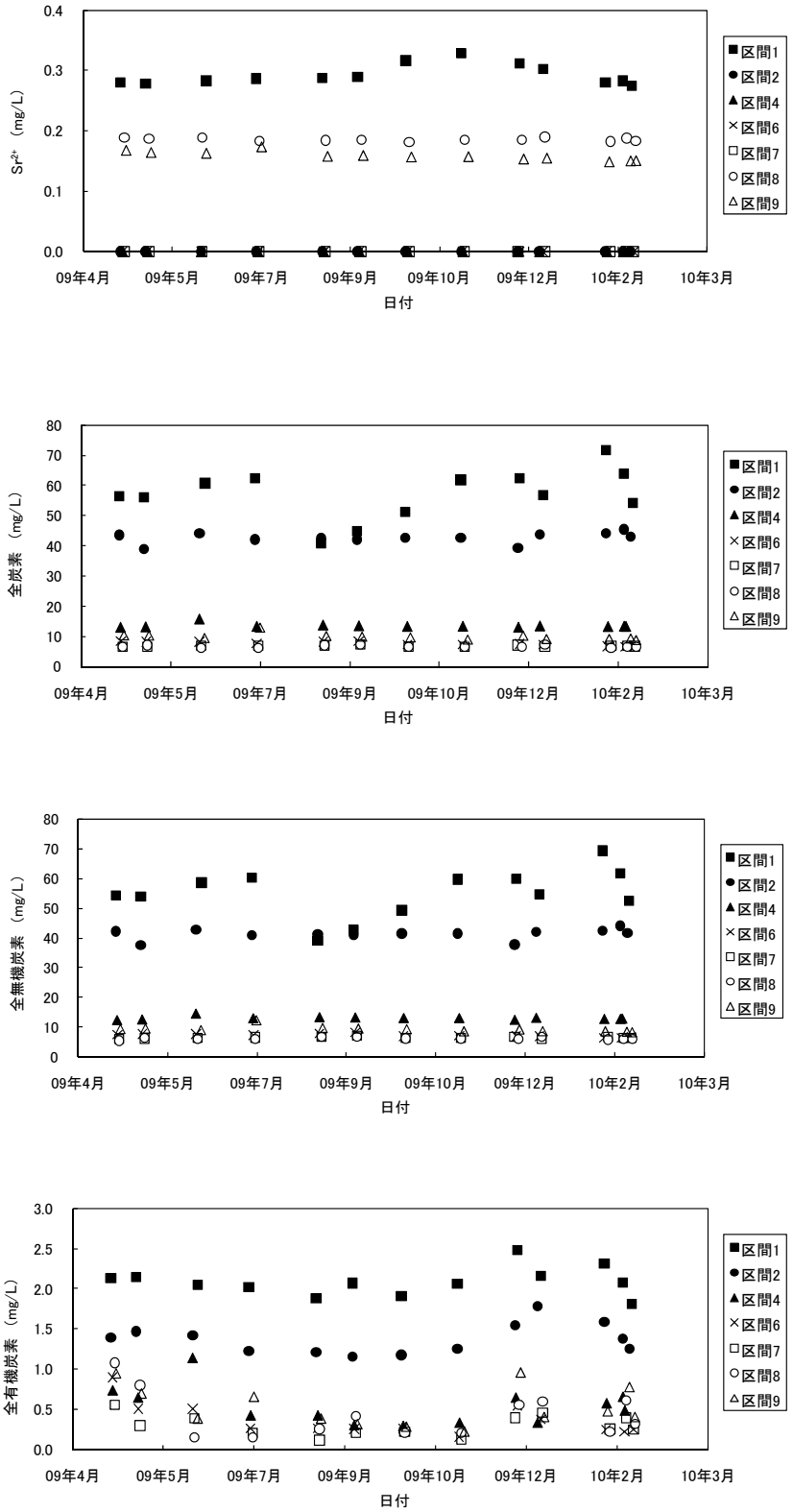
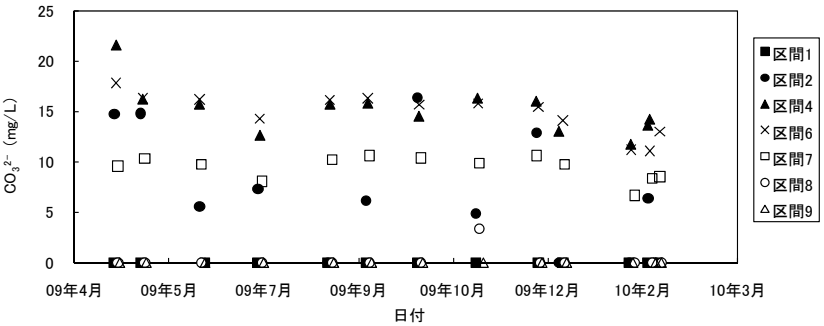
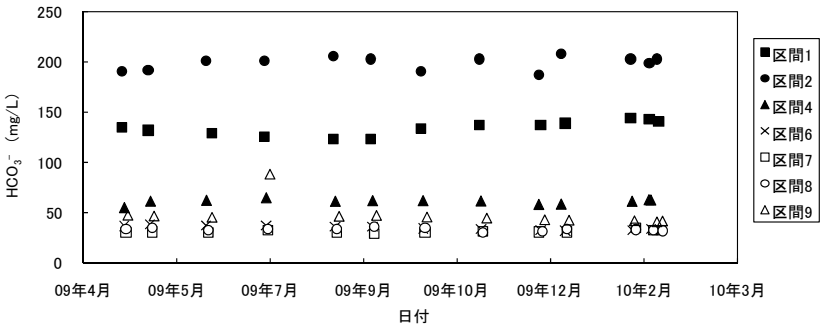
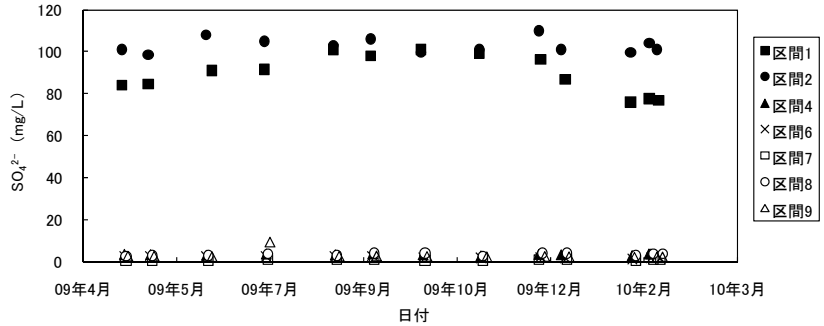


図 4.1-5 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-2 号孔）







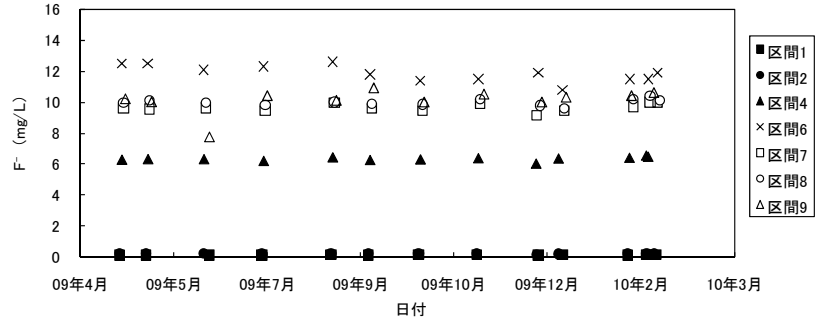


図 4.1-6 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-2 号孔）

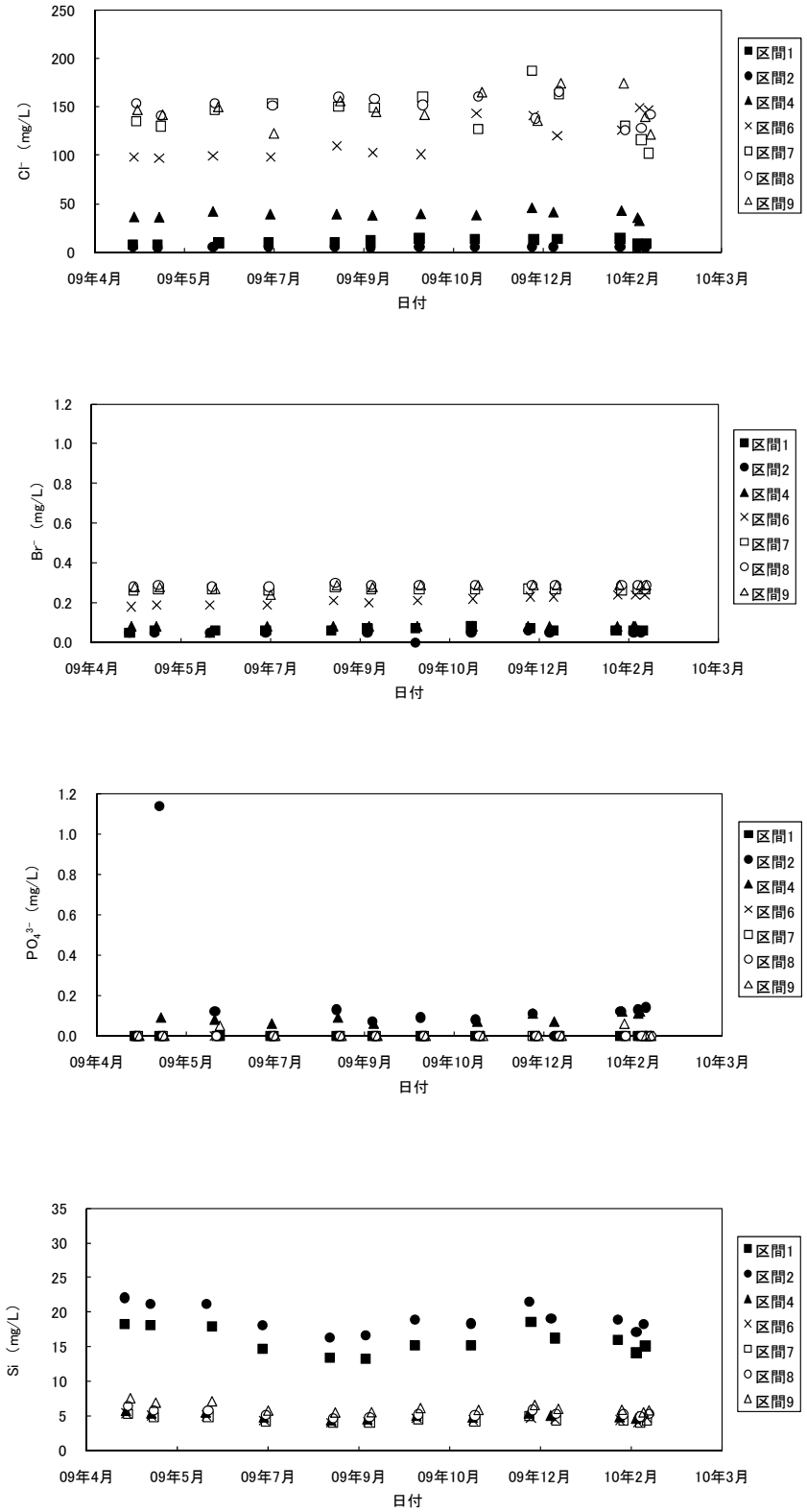


図 4.1-7 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-2 号孔）

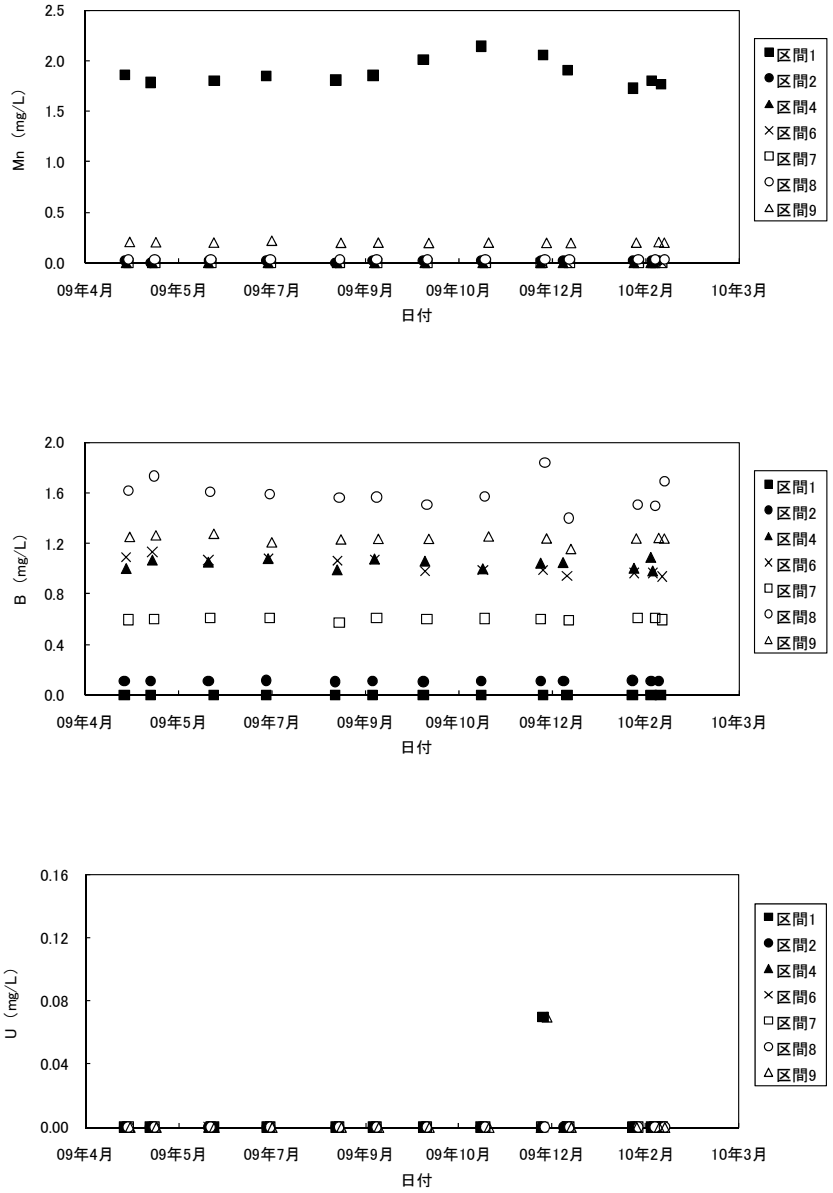


図 4.1-8 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-2 号孔）

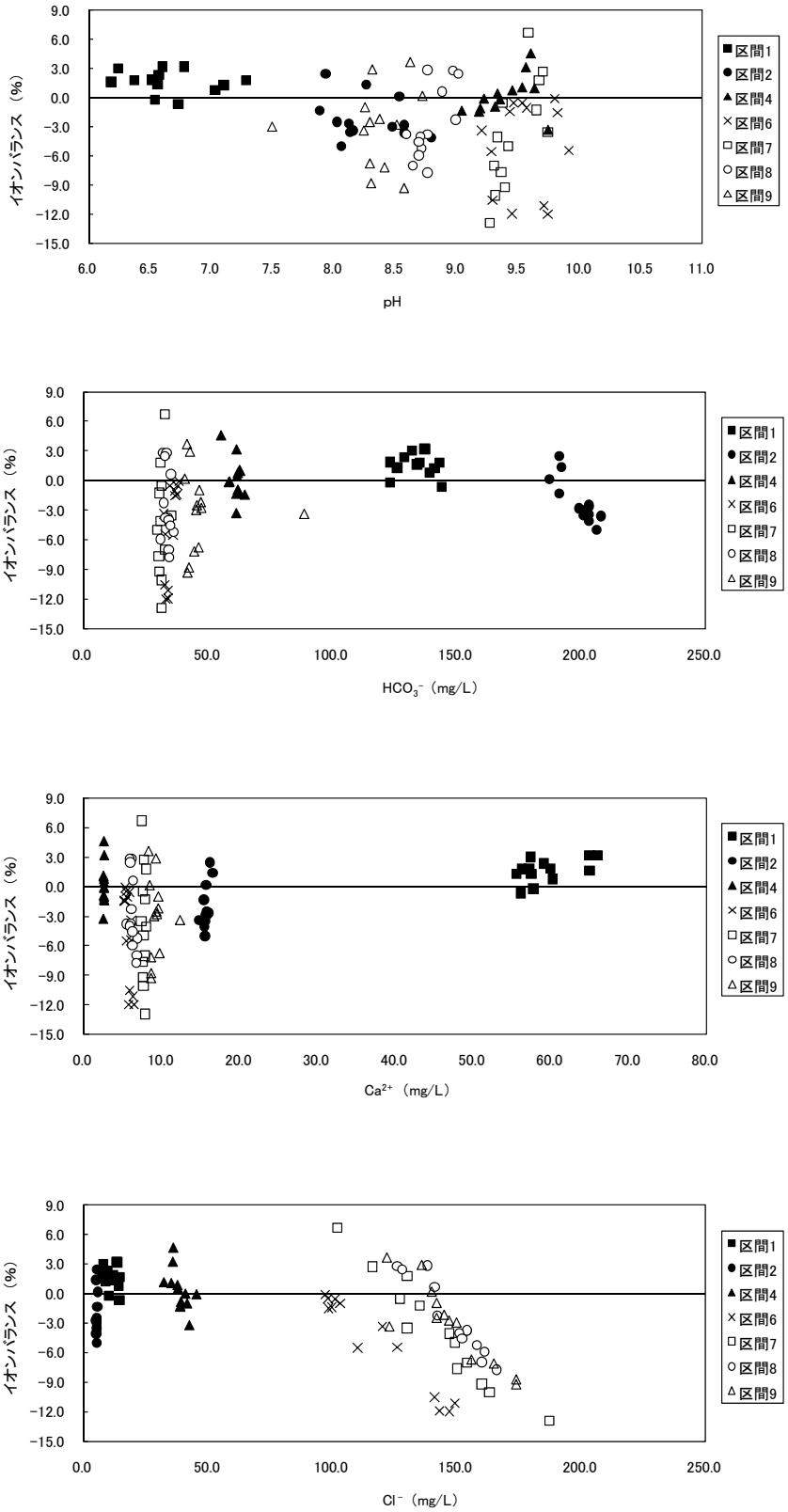


図 4.1-9 イオンバランスの相関図（MSB-2 号孔）

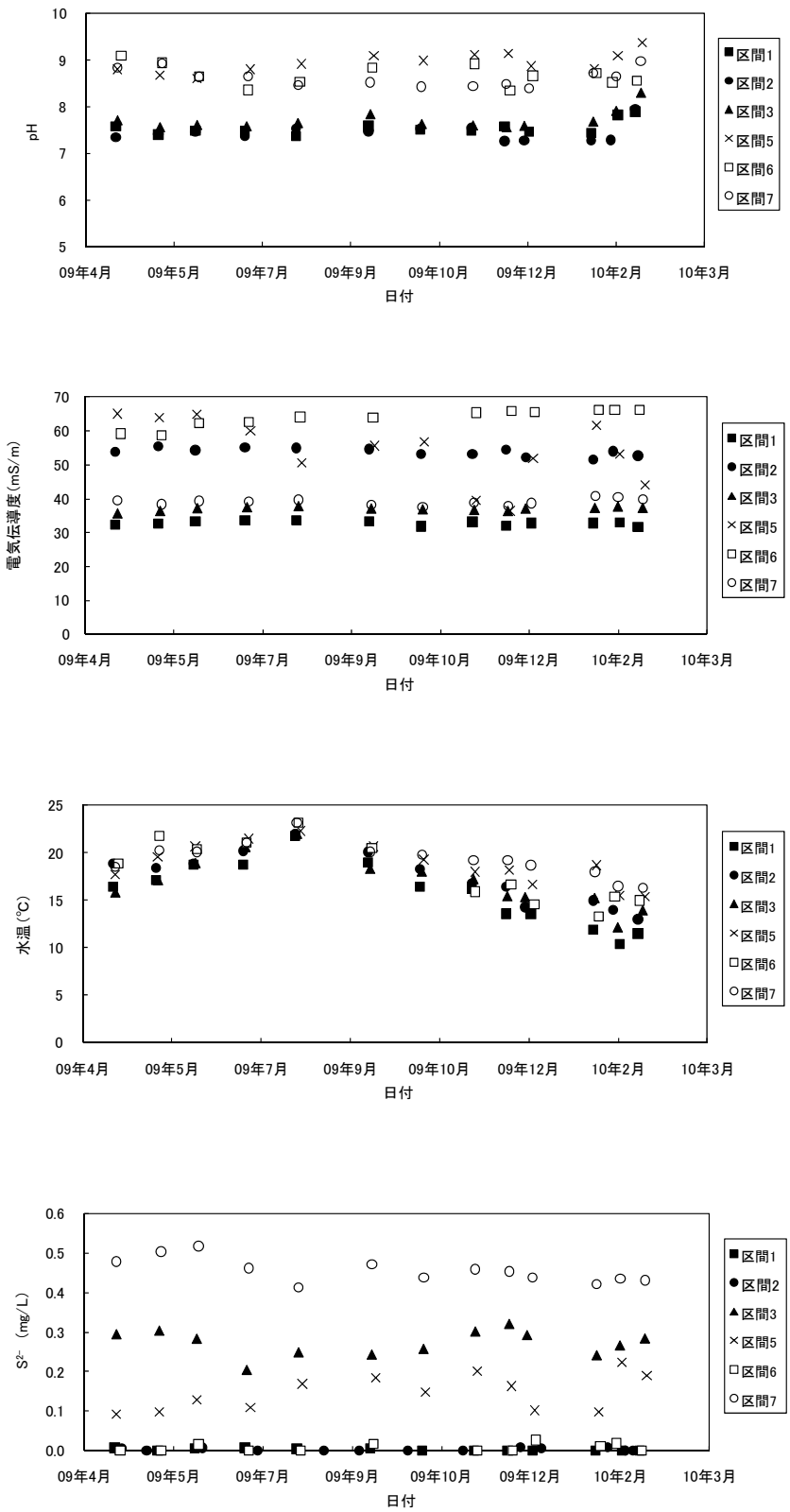


図 4.1-10 現場(地表)での簡易測定による化学成分濃度の経時変化（MSB-4 号孔）

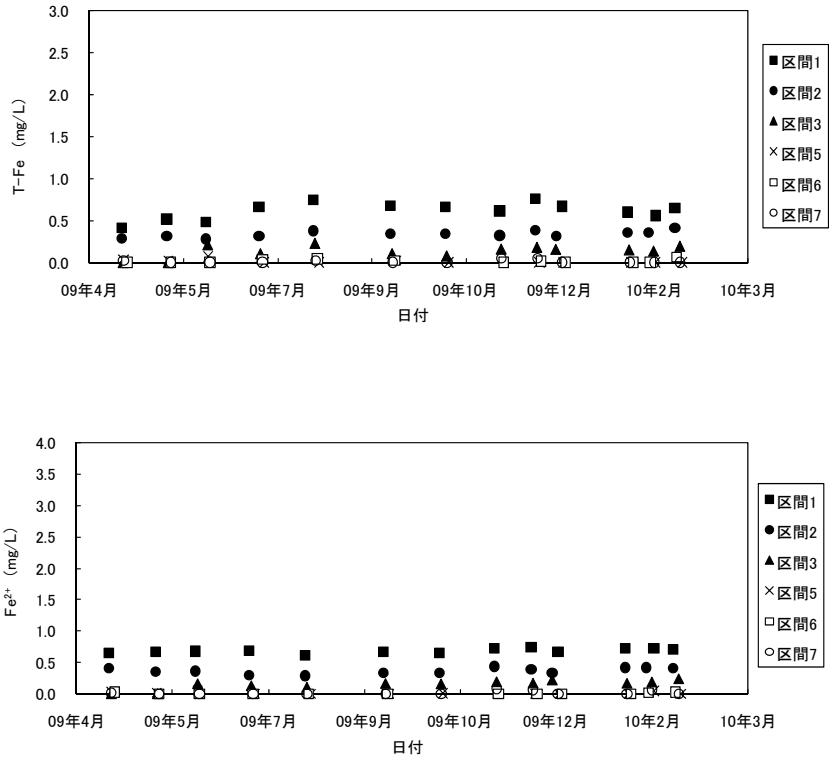


図 4.1-11 現場(地表)での簡易測定による化学成分濃度の経時変化（MSB-4 号孔）

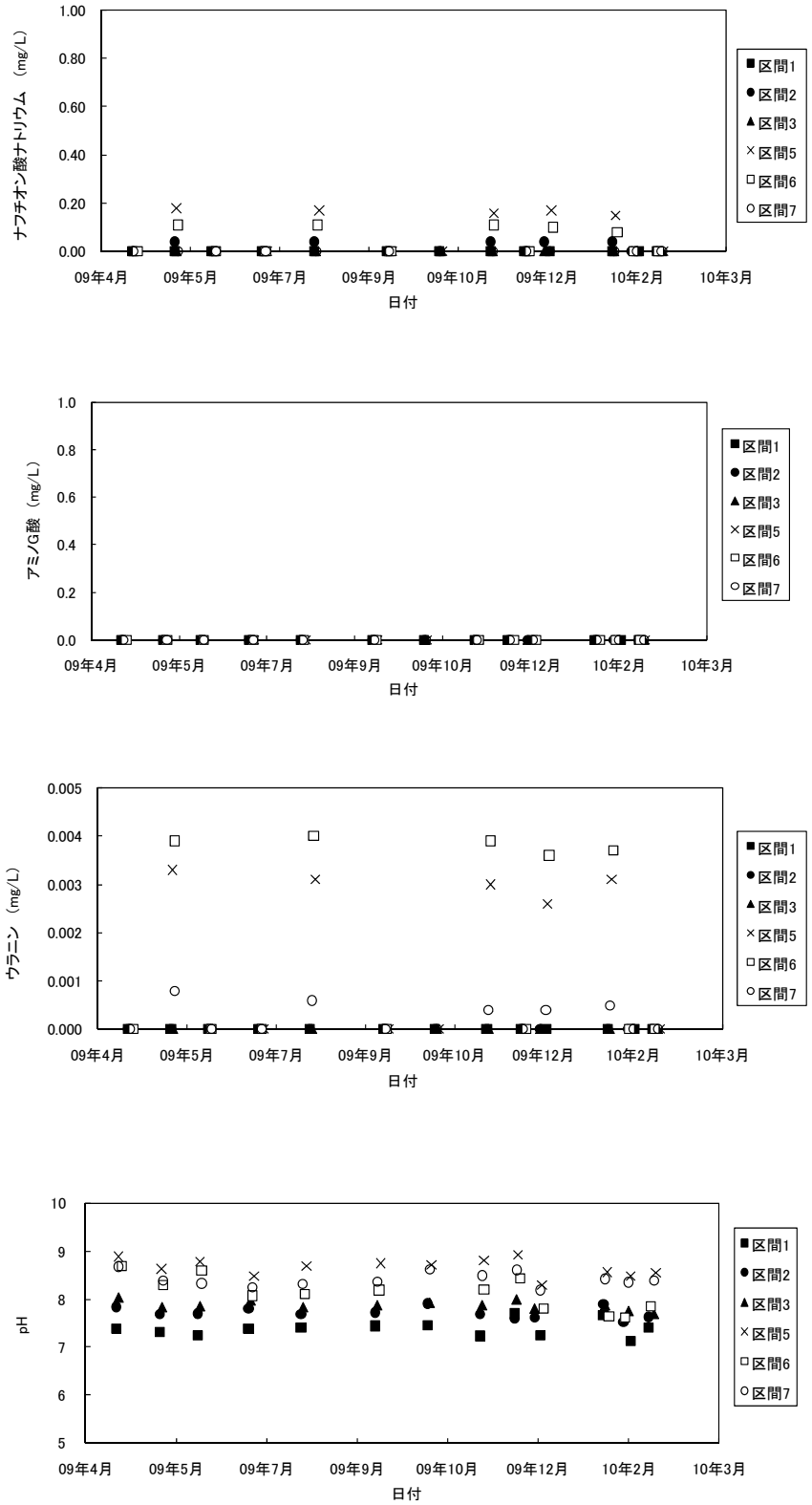


図 4.1-12 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-4 号孔）

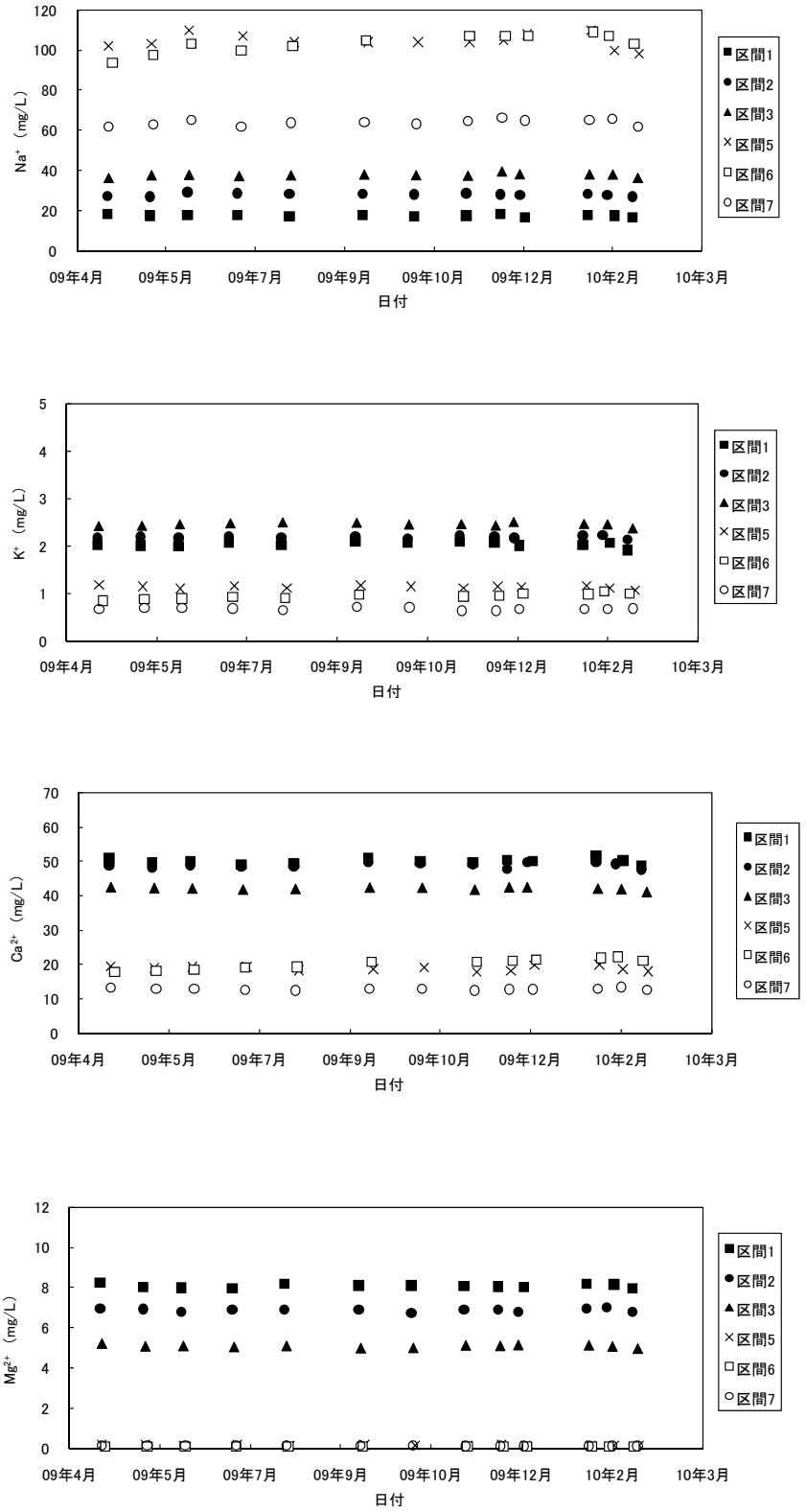


図 4.1-13 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-4 号孔）

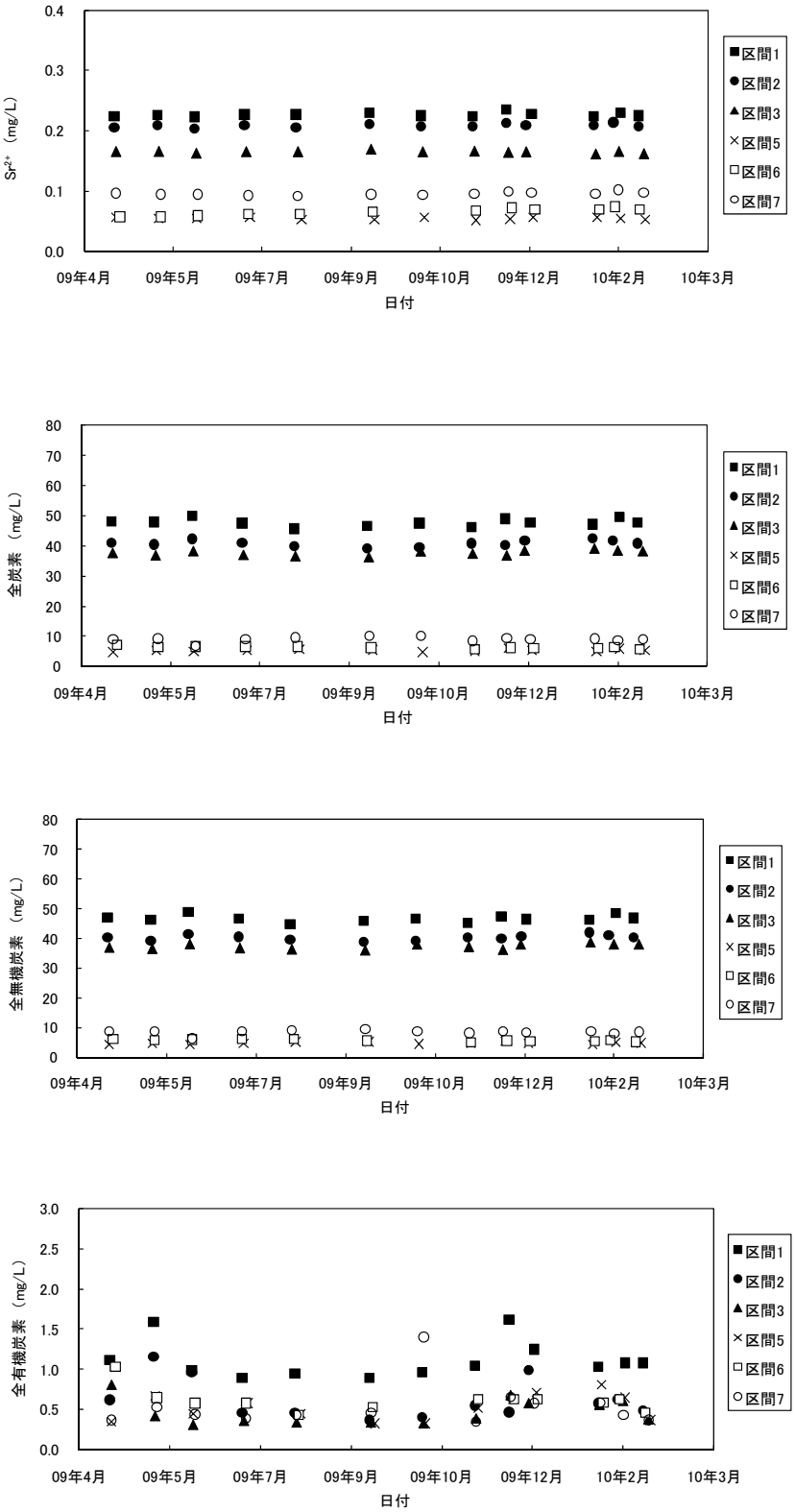


図 4.1-14 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-4 号孔）

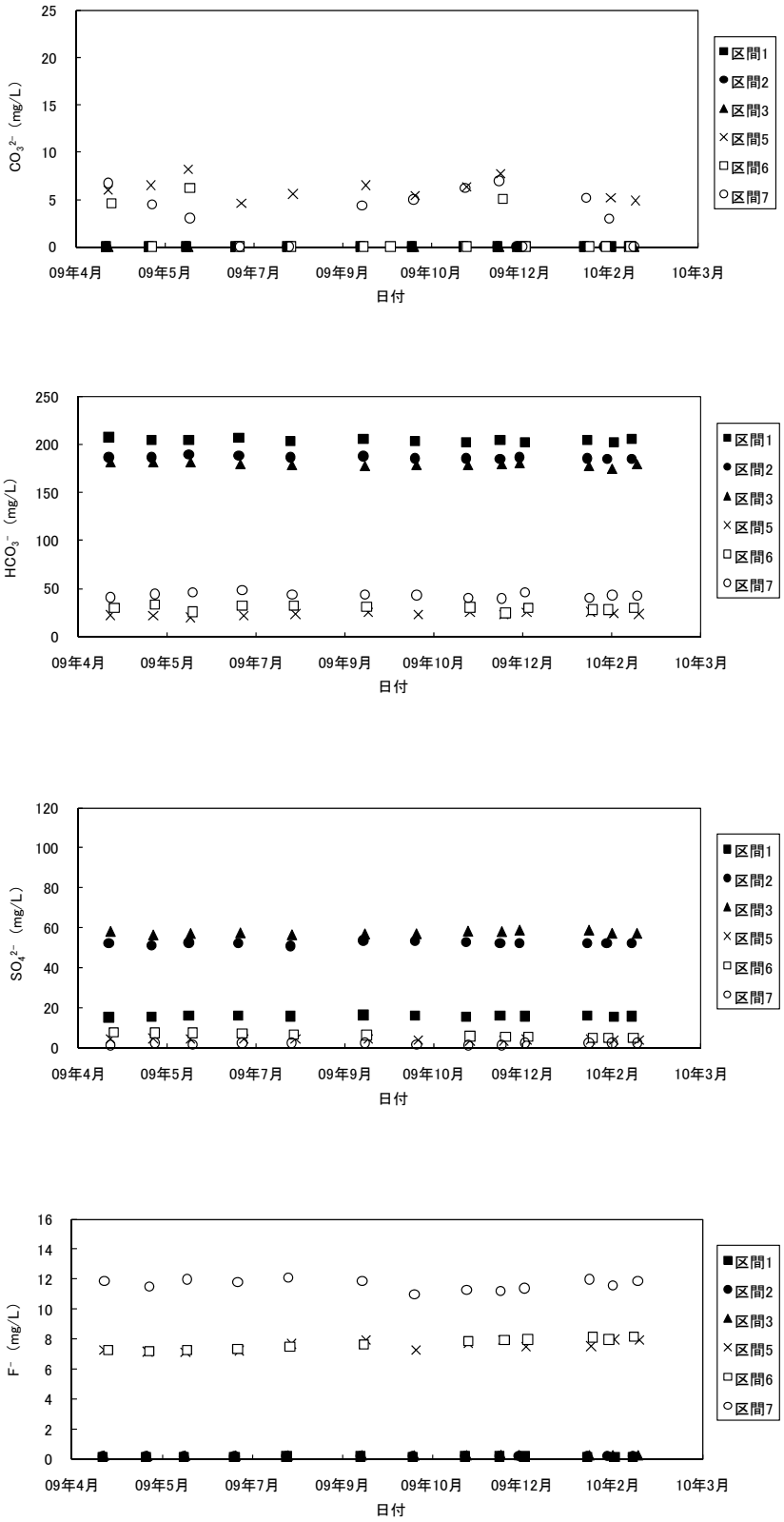


図 4.1-15 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-4 号孔）

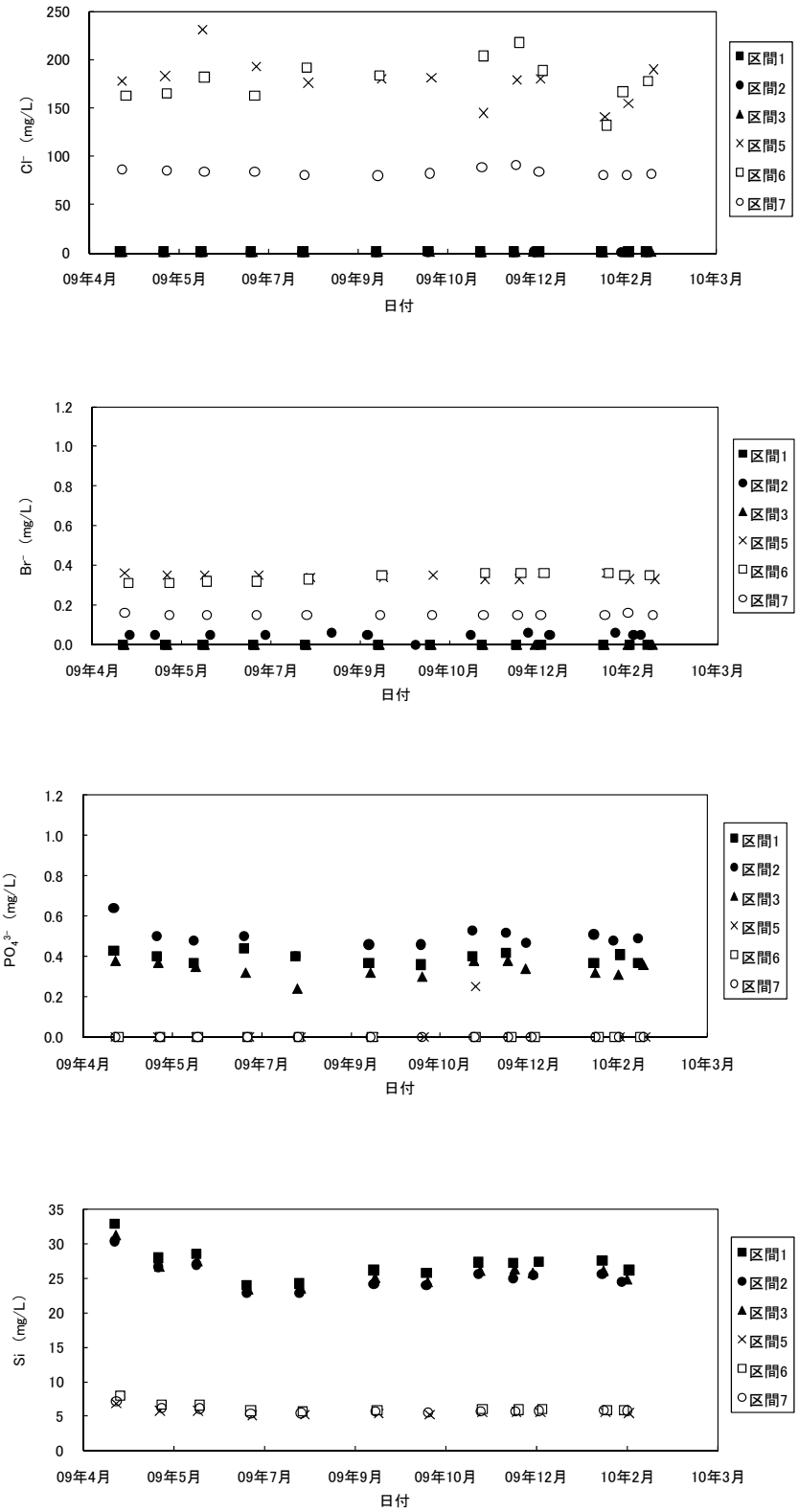


図 4.1-16 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-4 号孔）

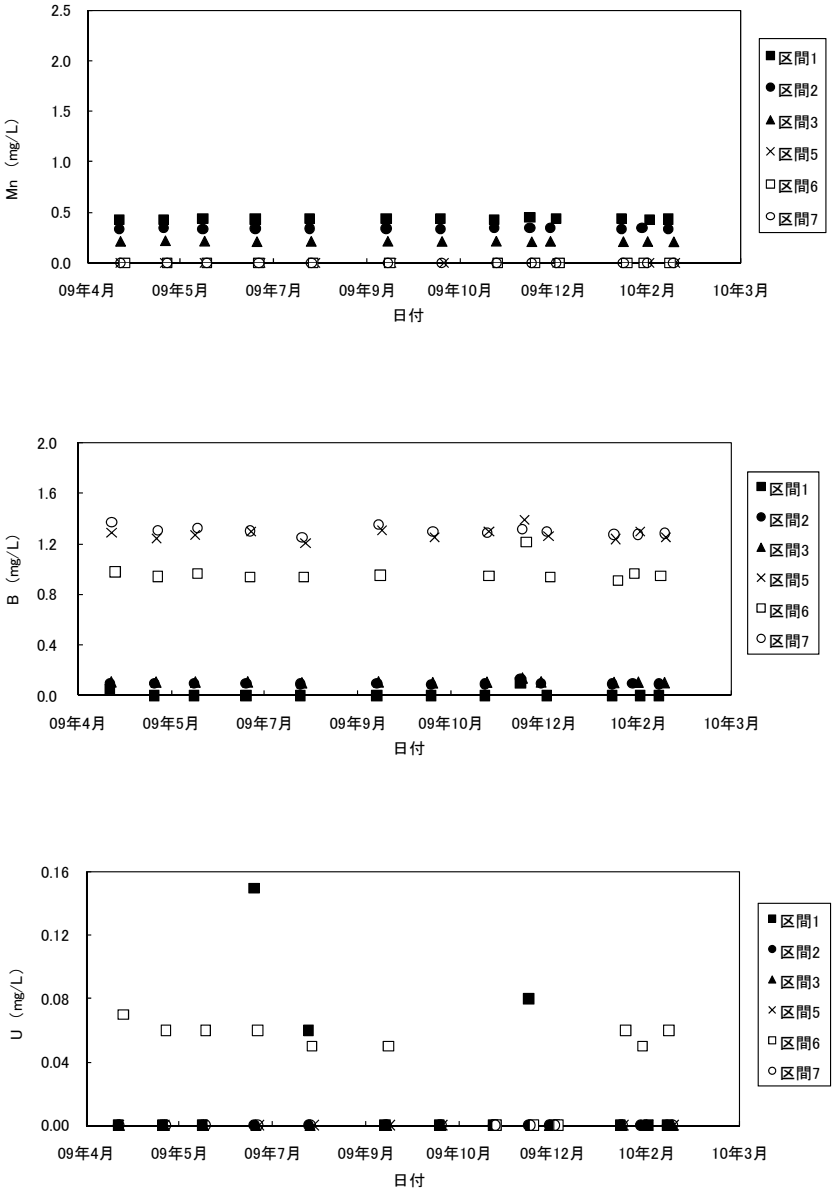


図 4.1-17 分析結果による化学成分濃度の経時変化（MSB-4 号孔）

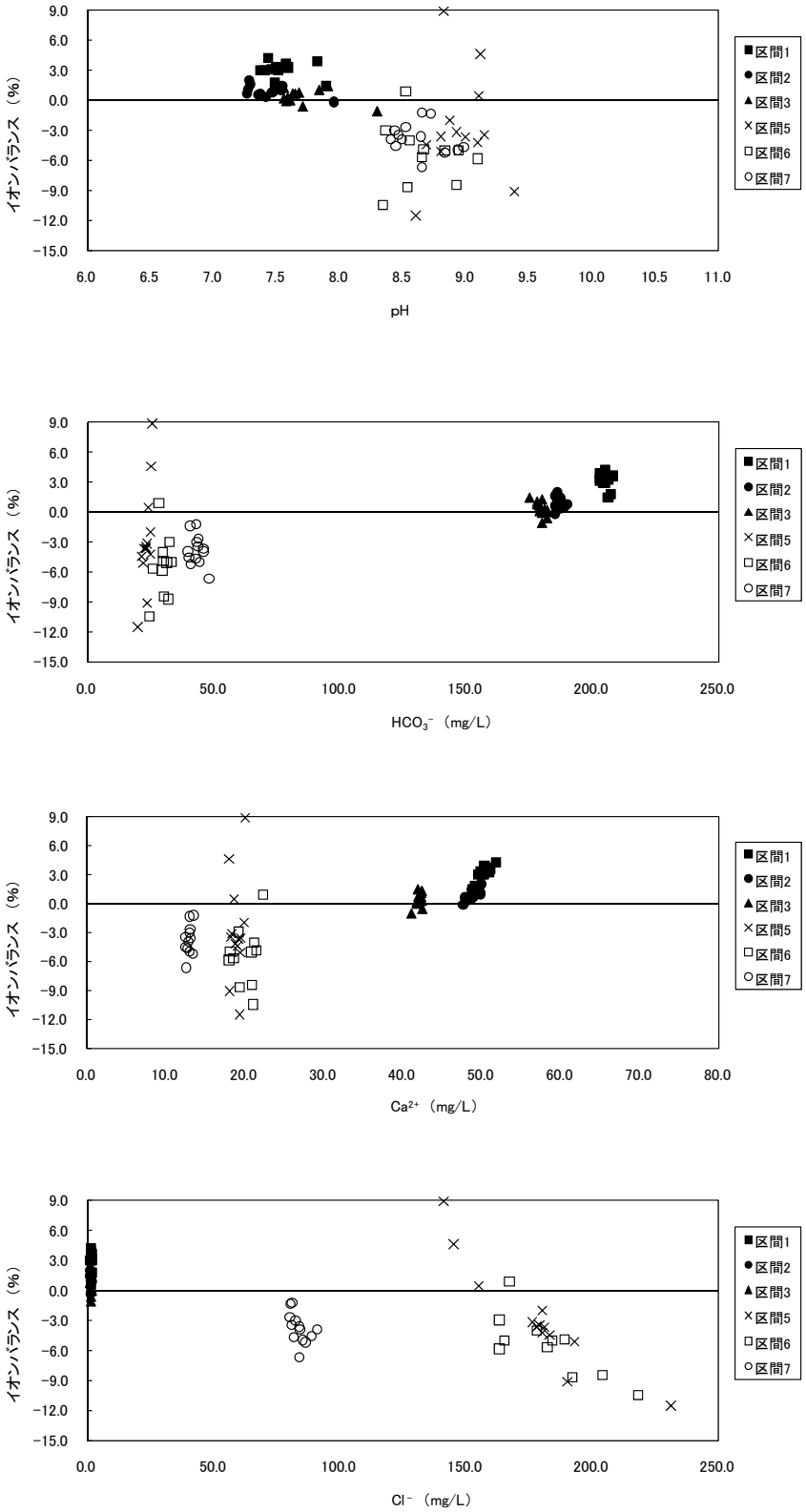


図 4.1-18 イオンバランスの相関図（MSB-4 号孔）

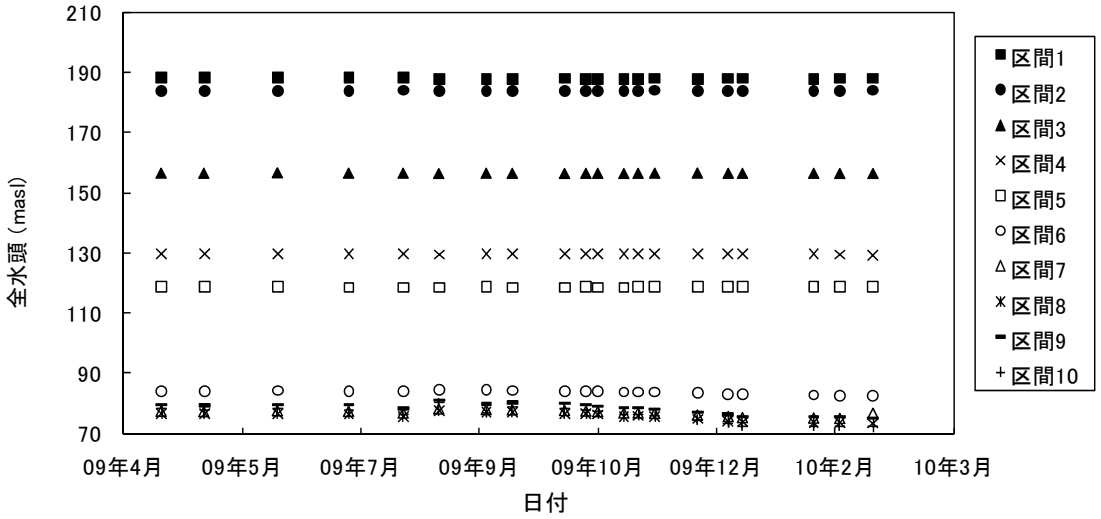


図 4.2-1 水頭の経時変化（MSB-2 号孔）

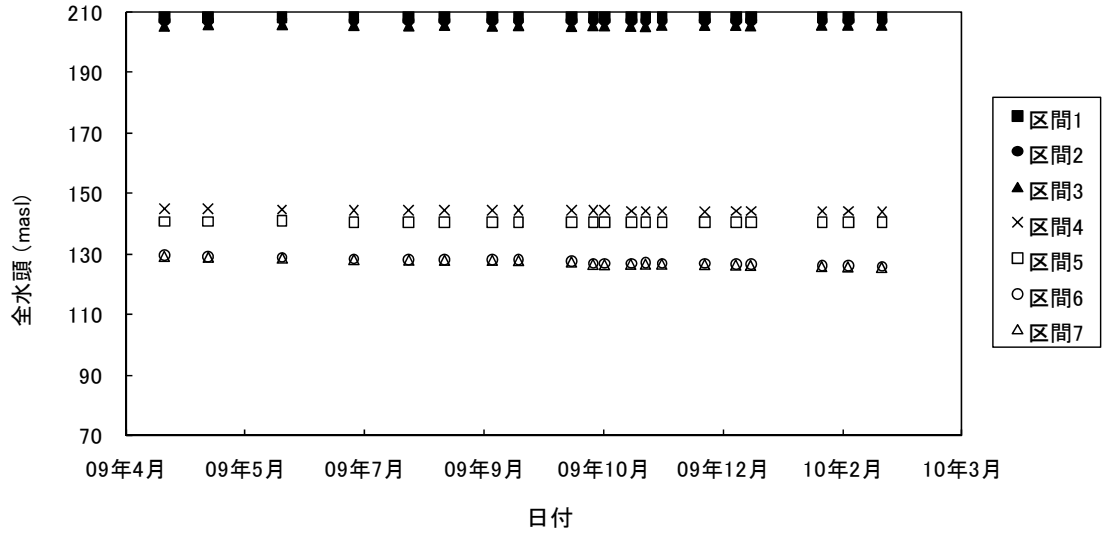


図 4.2-2 水頭の経時変化 (MSB-4 号孔)

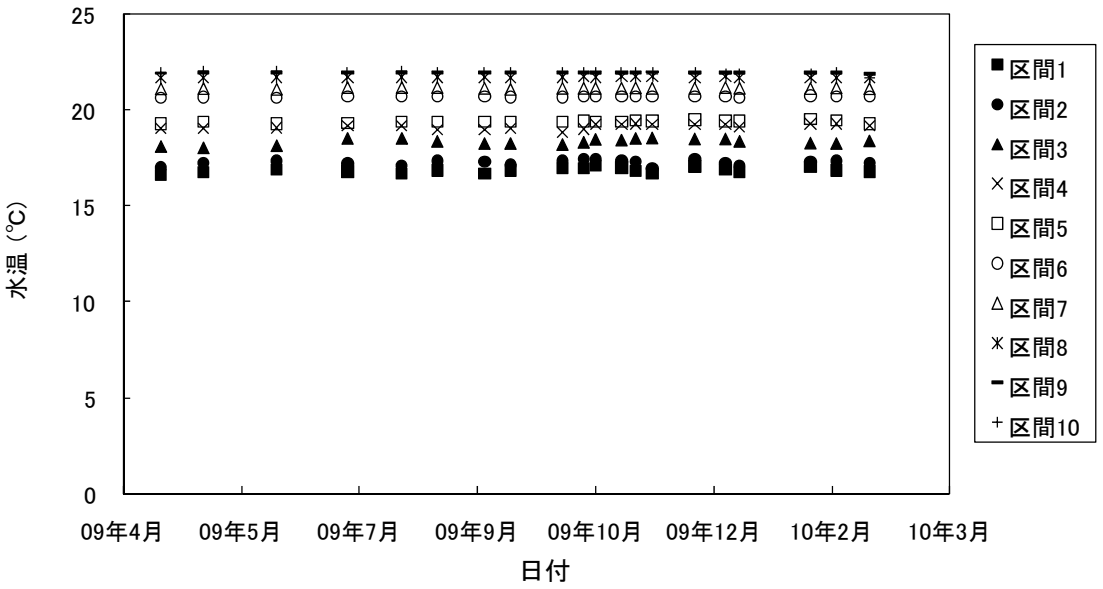


図 4.2-3 水温の経時変化 (MSB-2 号孔)

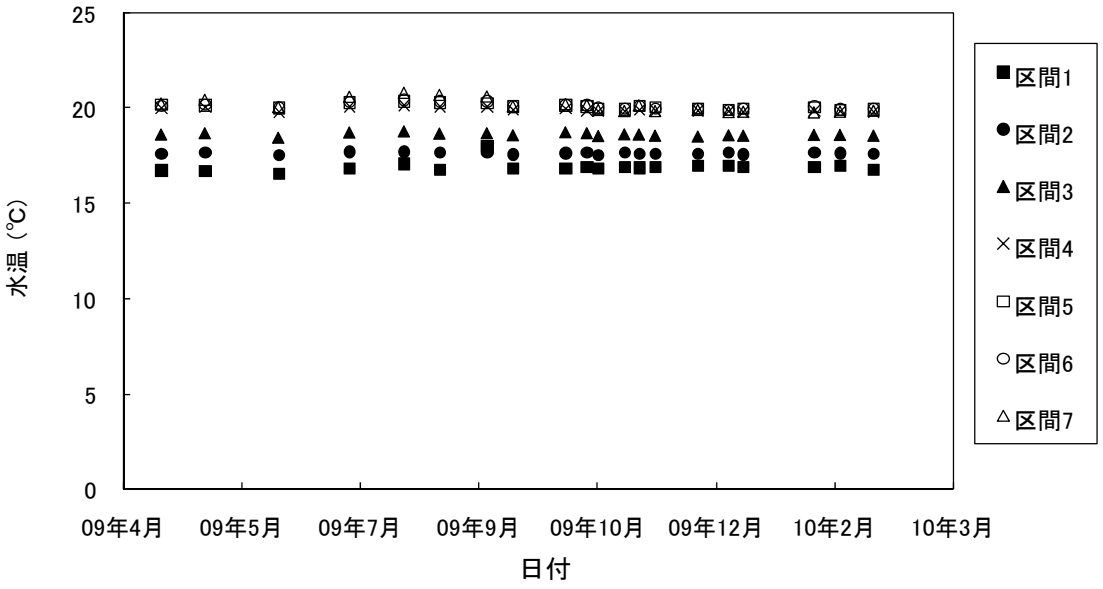


図 4.2-4 水温の経時変化 (MSB-4 号孔)

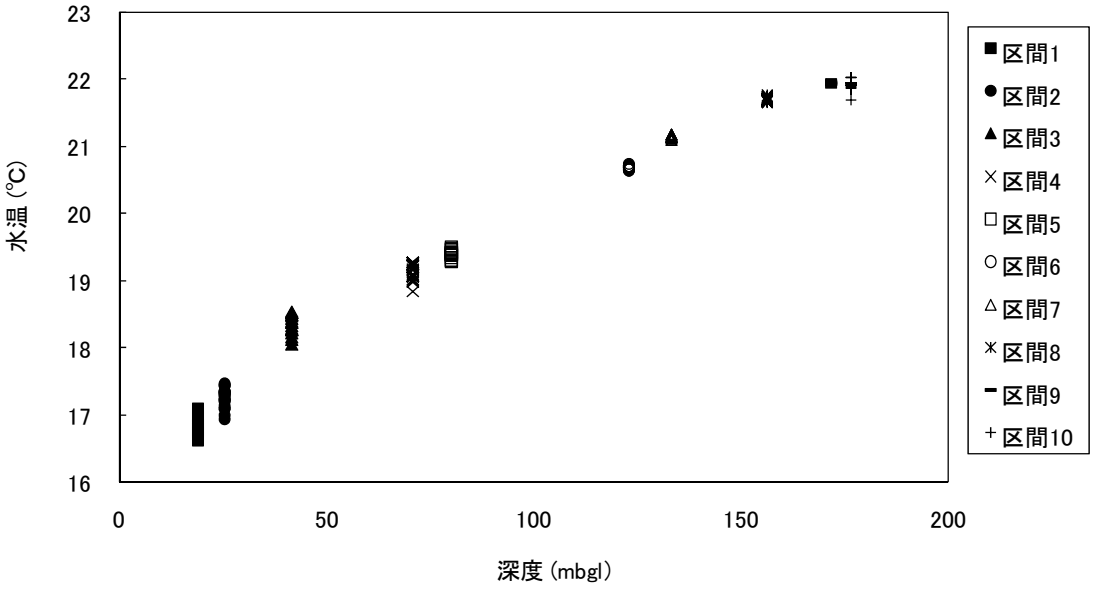


図 4.2-5 水温の深度変化 (MSB-2 号孔)

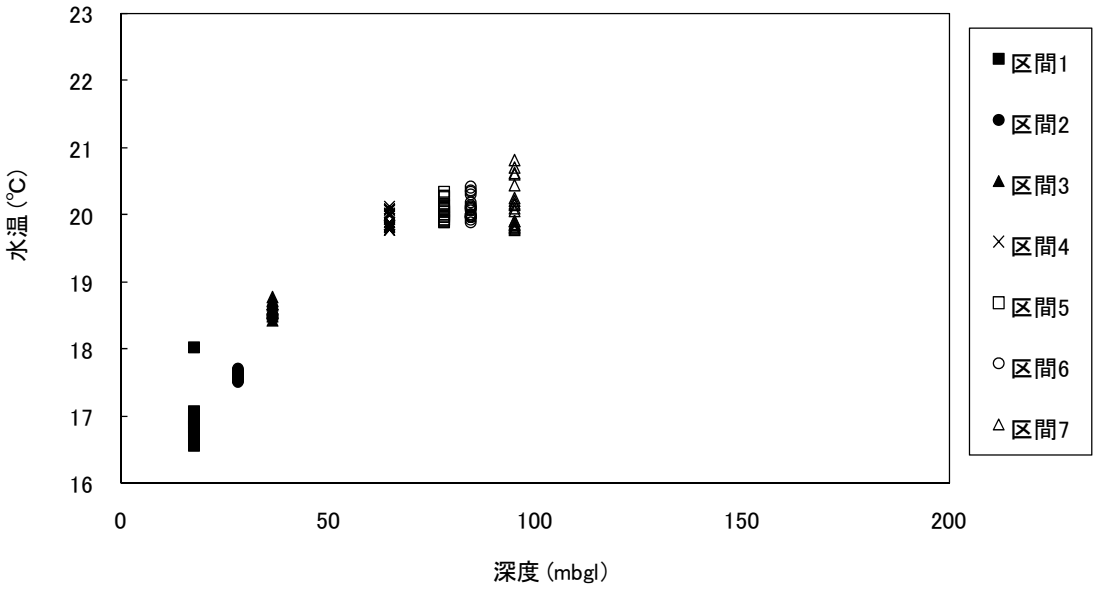


図 4.2-6 水温の深度変化 (MSB-4 号孔)

参考文献

1) Naoki Kumazaki，Koki Ikeda，Junichi Goto，Kei Mukai，Teruki Iwatsuki and Ryoji Furue: “Synthesis of the Shallow Borehole Investigations at the MIU Construction Site” , JNC TN7400 2003-005 (2003).

2) 井岡聖一郎，古江良治，岩月輝希:“深層ボーリング孔を用いた岩盤中の地下水の採取方法―地下水の酸化還元状態の把握のために―”，日本水文科学会誌，36，4 (2006).

3) 岩月輝希，天野由記，井岡聖一郎，三枝博光，竹内竜二:“大規模地下施設の建設に伴う周辺地下水環境の変化”，日本原子力学会和文論文誌，6，1，p.73-84 (2007).

4) 三枝博光，瀬野康弘，中間茂雄，鶴田忠彦，岩月輝希，天野健治，竹内竜史，松岡稔幸，尾上博則，水野崇，大山卓也，濱克宏，佐藤稔紀，久慈雅栄，黒田英高，仙波毅，内田雅大，杉原弘造，坂巻昌工:“超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第 1 段階）研究成果報告書”, JAEA-Research 2007-043 (2007).

5) M.K.Hubbert：“Theory of ground-water motion”, J. Geol , 48 , p. 785–944 (1940).

6) 日本分析化学会北海道支部　編:“水の分析－第 4 版－”,化学同人 (1996).

7) 水野崇，齋正貴，萩原大樹，青才大介，山本祐平:“瑞浪超深地層研究所における地球化学研究 - 第 1 段階における地球化学概念モデルの妥当性の確認方法について - ”, 日本地球化学会第 56 回年会講演要旨集，p.145 (2009).

付録

「研究坑道掘削の進捗」、「地下水分析結果」、「間隙水圧・水温測定結果」、「作業記録（地下水採水）」、「作業記録(間隙水圧・水温測定)」を付録として取りまとめ、CD-ROM に Microsoft 社製、EXCEL 形式で保存した。

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度[a]，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率[b]	（数字の） 1	1
比透磁率[b]	（数字の） 1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン[b]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能[f]	ベクレル[d]	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^9	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^6	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^2	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=1l=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています