



JAEA-Research

2006-084



JP0750003

堆積岩地域における広域地下水流动に関する研究 ：養老川流域の例

Study on Groundwater Flow System in a Sedimentary Rock Area :
Case Study for the Yoro River Basin, Chiba Prefecture

酒井 隆太郎 宗像 雅広 木村 英雄

Ryutaro SAKAI, Masahiro MUNAKATA and Hideo KIMURA

安全研究センター
廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ

Waste Disposal and Decommissioning Safety Research Group
Nuclear Safety Research Center

January 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは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/index.shtml>)
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行つております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
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
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

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

堆積岩地域における広域地下水流动に関する研究：養老川流域の例

日本原子力研究開発機構安全研究センター
原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット
酒井 隆太郎※・宗像 雅広・木村 英雄

(2006年11月17日受理)

高レベル放射性廃棄物およびTRU廃棄物等の長寿命核種を含む放射性廃棄物の地層処分では、地下水流动に伴う人間社会への核種移行を評価することが安全性を確保する上で重要となる。地下水流动研究については、既に、国内においては東濃鉱山や釜石、幌延など研究事例は数多くあるものの深部地下水の流动状況や深部地下水と浅所地下水との交流の有無など処分深度における地下水流动の将来予測を行う上において重要な課題が残されている。日本原子力研究開発機構では、地形・地質構造が比較的単純であり、既存の水理データならびに河川水、井戸水データ等の豊富な千葉県の養老川流域を堆積岩モデル対象地区として事例調査を開始した。本研究では、養老川流域の井戸、河川、湧水の水試料を採取し、水温、水質、酸素・水素同位体比、放射性炭素同位体年代の測定による実測データをもとに、広域の地下水賦存状況について検討を行った。

その結果、養老川流域には Ca-HCO₃型地下水、Na-HCO₃型地下水および、塩水系地下水の3種類の地下水が分かれて賦存しており、それぞれの起源は、Ca-HCO₃型地下水は数千年前以降に涵養された地下水、Na-HCO₃型地下水は数千年～2万年前の寒冷期に涵養された天水、そして塩水系地下水は約2万年前の化石塩水であることが明らかとなった。また、五井、馬立、養老温泉の3ヶ所については、深度200～400mから上昇したNa-HCO₃型地下水が地表近くまで到達していることが明らかとなった。即ち、従来、深部にNa-HCO₃型地下水や塩水系地下水が、また地下浅所にCa(Na)-HCO₃型地下水が賦存するという単純な階層構造の概念しかなかったが、今回の調査によって流出域においては深部に賦存するNa-HCO₃型地下水は浅所のCa-HCO₃型地下水分布域において一部希釈されつつもこの分布域を越えて地表まで流出しているということがわかり、養老川流域における地下水流动の特徴を把握することができた。

本報告書は、経済産業省原子力安全・保安院の委託により実施した研究成果の一部である
原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

※出向職員（応用地質株式会社から出向中）

Study on Groundwater Flow System in a Sedimentary Rock Area: Case Study for the Yoro River
Basin, Chiba Prefecture

Ryutaro SAKAI*, Masahiro MUNAKATA and Hideo KIMURA

Nuclear Facilities Safety Research Unit

Nuclear Safety Research Center

Japan Atomic Energy Agency

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received November 17, 2006)

In the safety assessment for a geological disposal of long-lived radioactive waste such as high-level radioactive waste and TRU waste etc, it is important to estimate radionuclide migration to human society associated with groundwater flow. Groundwater flow systems for many domestic areas including Tono Mine, Kamaishi Mine and Horonobe district have been studied, but deep groundwater flow circumstances, and mixing between deep groundwater and shallow groundwater flow system are not well understood. Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has started to investigate a sedimentary rock area in the Yoro river basin, in Chiba Prefecture, where the topographic and geological features are relatively simple for mathematical modeling, and hydraulic data as well as data from river and well water are available. Hydro-chemical conditions of the regional groundwater were discussed based on temperature, chemical compositions, isotopic ratios of hydrogen and oxygen, and the isotopic age of radioactive carbon for water samples collected from wells, rivers and springs in the Yoro river basin.

It was found that the groundwater system in this basin consists of types of water: Ca-HCO₃ type water, Na-HCO₃ type water and NaCl type water. The Ca-HCO₃ type water is meteoric water cultivated several thousand years or after, the Na-HCO₃ type water is meteoric water cultivated under cold climates several to twenty thousand years ago. The NaCl type water is fossil brine water formed twenty thousand years ago. It was also observed that the Na-HCO₃ type water upwelled at the surface originates from GL-200m to -400m. This observation indicates that the Na-HCO₃ type water upwelled through the Ca-HCO₃ type water area with the both waters partially mixed.

Keywords: Geological Disposal, Groundwater Flow, Hydro-chemical Conditions of the Regional
Groundwater, Sedimentary Rock Area

Studies reported in this paper were supported in part by the Nuclear and Industrial Safety Agency in Ministry of Economy, Trade and Industry.

*Research Staff on Loan (Oyo Corporation)

目 次

1. はじめに.....	1
2. 調査対象地域.....	1
3. 調査方法.....	2
3.1 地下水採取方法.....	2
3.2 地下水分析方法.....	2
4. 調査結果.....	3
4.1. 水温.....	3
4.2. 一般水質、酸素・水素同位体比.....	4
4.3. 地下水年代.....	5
5. まとめ.....	6
謝辞.....	7
参考文献.....	7

Contents

1 . Introduction.....	1
2 . Investigation area.....	1
3 . Methods.....	2
3.1 Sampling methods of groundwater.....	2
3.2 Analytical methods of groundwater.....	2
4 . Results.....	3
4.1. Water temperature.....	3
4.2. Water quality, oxygen and hydrogen isotope ratios of water.....	4
4.3. Age of groundwater.....	5
5 . Summary.....	6
Acknowledgements.....	7
References.....	7

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物およびTRU廃棄物等の長寿命核種を含む放射性廃棄物の地層処分では、地下水流动に伴う人間社会への核種移行を抑制することが安全性を確保する上で重要となる。地下水流动研究については、既に、国内においては東濃鉱山や釜石、幌延など研究事例は数多くあるものの深部地下水の流动状況や深部地下水と浅所地下水との関係など充分に解明されていない重要な課題が残されている。

地下水モデルの概念には、図-1に示すように Tóth の流动モデル (Tóth, J. (1962)⁽¹⁾) に代表されるような、地下水面(地形面)の形態にしたがった涵養一流動一流出という連續した系としての水文学的捉え方と、水質や安定同位体組成、地下水年代に基づいて、地下浅所には比較的若い天水起源の NaCa-HCO₃型の地下水、地下深所にはより古い Na-HCO₃型地下水や Na-Cl 型地下水が賦存 (Yabuuchi et al. (2004)⁽²⁾) する階層構造を成すとする地化学的な捉え方がある。しかし、これらの水文学的捉え方と地化学的捉え方はこれまで必ずしも統合されていなかった。このため、深部地下水の流动は長期に亘り、数 10km~100km の広域にまたがることから、深部の広域地下水流动モデルの構築のためには、Na-HCO₃型地下水や Na-Cl 型地下水の長期的な流动状況の理解、すなわち水文学的アプローチと地化学的アプローチの両方の側面から調査・解析を行う必要がある。

日本原子力研究開発機構では、平成 16 年度から千葉県の養老川流域を堆積岩を対象とした事例研究対象地区として、水文学的および地化学的調査を開始した。養老川流域は、地形・地質構造が比較的単純であるため、昔から詳細な調査の対象とされ、その結果として層序や、年代については良く知見が整備されている (三梨他,1959⁽³⁾、鈴木他,1995⁽⁴⁾、辻他 2005⁽⁵⁾、里口,2006⁽⁶⁾など) 点、水理データおよび河川・井戸データ等が豊富に存在する点 (井波,1983⁽⁷⁾、鈴木・小村,1999⁽⁸⁾、木山保他,2002⁽⁹⁾)、東京湾沿岸下-1000m 以深に存在する 2~3 万年前の淡水 (丸井他,2001⁽¹⁰⁾) が、過去の地下水流动の痕跡を残している (榆井,1988⁽¹¹⁾) ことが指摘されていることなどから、本研究の目的を遂行する上において既往知見を利用できるという有利な条件が揃っているものと判断した。本報告では、地化学的アプローチとして養老川流域で採取した井戸、河川、湧水の水試料についての地化学的データ (水温、水質、酸素・水素同位体比、放射性炭素同位体年代) に基づき、広域の地下水賦存状況について検討した結果を報告する。

2. 調査対象地域

養老川流域は、砂岩・泥岩が卓越し、源流域が第三紀の三浦層群、中流域が第三紀～第四紀の上総層群、下流域が第四紀の下総層群に相当する。このうち、上総層群よりも上位の層準は東京湾方向(北西方向)に 5° ~ 10° で緩く傾斜する同斜構造を呈する(関東地方編集委員会 (1986)⁽¹²⁾、図 2)。上流域には上総層群に変位を与えて南北系の断層が無数に存在するが、当地域の地質構造を規制するようなものではない。砂岩優勢の梅ヶ瀬層、柿ノ木台層、長南層は、泥岩優勢層に比べると浸食抵抗力が大きく比高差 100~200m の地形的な高まりを形成している。養老川は房総半島南東端に位置する標高 377m の清澄山に端を発し、三浦層群、上総層群、下総層群の走向方向に対して直交に流下し、東京湾に注ぐ全長約 50km の河川である。

調査地域のうちとくに中・下流域は古くから自噴帶として有名であり、上総掘りによる自噴井

が馬立より北の平野部に数多く存在し、全体に地下水位が高い地域である。自噴井分布域は、深度方向に水頭が増加することから流出域の兆候が示されている。当地域に関しては、近藤（1982）⁽¹³⁾、宮越（1999）⁽¹⁴⁾などによる、地下水流动シミュレーションによる地下水流动状況の把握、近藤（1985）⁽¹⁵⁾によるトリチウム濃度の分布パターンから下総層群の台地の地下水流动状況に関する研究、紺野（1998）⁽¹⁶⁾による養老川中・下流域の地下水の酸素同位体比を用いた地下水賦存状況に関する研究など、千葉大学によって精力的に進められてきた多数の研究成果がある。これらの養老川流域各所に対する成果を基にして、養老側流域全域における広域地下水流动を把握するために、養老川の源流域にあたる清澄山から河川出口の五井までの広い範囲を今回の調査対象とした。

3. 調査方法

3.1 地下水採取方法

地下水採取に当たっては、まず市原市井戸台帳⁽¹⁷⁾や、「いどじびき」⁽¹⁸⁾等に記されている3000本の井戸のうち、養老川流域の327ヶ所の井戸の現地所在調査を行った。その結果、現地で確認できた井戸と台帳にはないが現地調査で新たに確認された井戸の中から、最終的に153ヶ所の井戸で採水許可が得られ、井戸の深度が不明なもの25ヶ所を除く128ヶ所の井戸が採水可能であることがわかった。そこで、これらの井戸に河川・湖沼など18ヶ所を加えた計146地点を採水地点として選定した。図3に今回対象とした井戸の平面分布を示す。井戸には、主に生活用、農業用、工業用に使用されているもののに温泉井戸があり、その深度は数10m～630mである。下流域には、工業用井戸が多く、取水対象は深度300m以浅の下総層群であり、300m以深の笠森層は帶水層とはなりえないため、300m以浅の井戸がほとんどである。ただし、現在は取水制限のためほとんど利用されていない。養老川中流に深度300m以上の深い井戸が存在するのは、梅ヶ瀬層の砂層が良い帶水層となっているためと思われる。多くの井戸のスクリーン（井戸の中に地下水を取り入れるように加工をした集水管）深度は不明であるが、中・上流域の井戸の多くは家庭用井戸であることが多く、井底付近にスクリーンがあると見なして良いと考えられる。一方、下流域の井戸は工業用あるいは農業用であるため、実際の地下水湧出点はもう少し浅い可能性がある。

採水は、一般水質用1ℓ、水素・酸素同位体比分析用100mℓ、¹⁴C年代測定用1ℓをポリ瓶に採取した。すべての試料は空気中の水蒸気やガスによるコンタミネーションを起こさないように、口元まで水を満たした。分析は一般水質用および水素・酸素同位体比は全試料、¹⁴C年代測定は一般水質、水素・酸素同位体比の分析結果を踏まえて、代表的な深井戸12ヶ所について行った。

3.2 地下水分析方法

分析項目は、一般水質10元素（ Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , F^- , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , NO_3^- ）、水素・酸素同位体比、¹⁴C年代測定である。ただし、水温、pH、EC（電気伝導度）、ORP（酸化還元電位）は採取と同時に現地にて測定した。一般水質項目のうち、陽イオンについては原子吸光法、 HCO_3^- については、希硫酸による滴定法、その他の陰イオンについてはイオンクロマトグラフにより定量した。地下水の水素同位体比は亜鉛を用いた水-水素還元法（バッチ法）、酸素同位体比は二酸化炭素-水自動平衡法をそれぞれ前処理とする質量分析法により測定を行った。測定結果につい

では、すべて標準試料からの千分率偏差で算出し、 δ 表示 (δD , $\delta^{18}O$) (D : 重水素) で示した。測定精度は、 δD については、 $\pm 1\%$ 、 $\delta^{18}O$ は $\pm 0.1\%$ 程度である。千分率偏差は、

$$\delta = (R_x/R_{ST} - 1) \times 10^3$$

によって算出され、ここに X および ST はそれぞれ測定試料および標準試料を、また R は対象とする同位体比 (D/H , $^{18}O/^{16}O$) を示す。SMOW (標準平均海水) を標準試料として用いた。

地下水の ^{14}C 年代測定における、炭素の抽出については、原則、測定対象試料中の炭素を全て炭酸と仮定し、バブルリングにより水中の炭酸をすべて気相中に追い出した後、真空ラインに導いて精製作業を行った。その後、炭酸を還元してグラファイトとし、 ^{14}C -AMS (^{14}C -加速器質量分析器) で ^{14}C 濃度の測定を行った。 ^{14}C 濃度は、水素・酸素同様、標準試料からの千分率偏差、すなわち、

$$\delta^{14}C = (A_x^{14}/A_{ST}^{14} - 1) \times 10^3$$

で算出した。ここに、 A_x^{14} および、 A_{ST}^{14} はそれぞれ測定試料および標準試料の同位体比である。補正については、同時に測定された ^{13}C 濃度 ($A_S^{13} = ^{13}C/^{12}C$) から、 $\delta^{14}C$ を試料炭素が $\delta^{13}C = -25.0$ (\%) であるとしたときの ^{14}C 濃度 ($\Delta^{14}C$) に換算した。さらに $\Delta^{14}C$ を現代炭素の値を 100 としたときの値 (pMC: percent Modern Carbon) にし、下記の年代との関係式により年代値を求めた。

$$T (\text{yr}) = -8033 \times \ln (\text{pMC}/100)$$

測定精度は ± 0.5 pMC 程度である。地下水の ^{14}C 年代測定結果については表 1 に、水温、EC、pH、一般水質および、水素・酸素同位体比についての測定結果を表 2～表 4 に示す。

4. 調査結果

4.1 水温

図 4 は、養老川流域の地下水、河川水、湧水の水温分布を図 2 の A-A'に沿った深度断面に投影したものである。図中、観測された地下水の水温から推定される等水温線を表示するとともに、地下水温と地質分布との関係を見るため、地質境界も同時に投影した。地質境界は 1/10 万特殊地質図 (鈴木他,1995⁽⁴⁾)、および市原観測井データ、千葉観測井データ (鈴木・小村,1999⁽⁸⁾) をもとに作成した。水温の測定は冬期 1 月に実施していることから、河川水および数 10m 以浅の浅井戸の地下水は気温の影響を受け 11°C 以下と低いが、数 10m～630m の深井戸の地下水水温は 11°C ～ 17°C とそれよりも高い。流域全体を見ると養老温泉、馬立、五井周辺の 3ヶ所は、地表付近の水温は周囲に比べて高い特徴がある (図中の等水温線が上に凸形状の部分)。この 3ヶ所は地下水の流出域である可能性があるため、地下水の鉛直温度プロファイルについての検討を行った。

図 5 は、上記 3ヶ所の地下水の比較のため、源流域の地下水の水温を水温－深度の関係図に投影したものである。図中、五井および、馬立については岩崎、南総の既存の温度検層データ (宮越,1999⁽¹⁴⁾) および、養老温泉については防災科学技術研究所の市原観測井の温度検層データ (鈴木・小村,1999⁽⁸⁾) を併せて投影した。地点別に今回測定した水温データと温度検層データとを比較すると、両者は良く一致している。当地域の温度勾配を市原井の温度検層データ ($1.3^\circ\text{C}/100\text{m}$)

で代表し、地表付近まで外挿できるとすれば、源流域の地下水の水温の最大値はほぼ地温勾配の地表延長に位置するが、上記 3ヶ所については、同一深度における水温、および検層データは想定される温度勾配よりも高温側に位置し、地下水流动の影響が示唆される。一般に、地下水流动による効果として、鉛直 1次元の地下水温度分布は、地下水流出域ではその地域の平均的な地温勾配曲線に対して高温側に凸形状を呈し、その影響が現れ始める最深部が上向きの地下水フラックスの存在する最深部とされている (Dominico and Palciauskas, 1973⁽¹⁹⁾)。すなわち、上記 3ヶ所の上昇流発生 (図中の温度勾配変曲点) は、五井、馬立付近では深度 200 m 前後 (標高 - 200 m 前後)、養老温泉ではそれよりもやや深く深度 400 m 前後 (標高 - 300 m 前後) と推定することができる。

4.2 一般水質・酸素・水素同位体比

当地域の地下水組成を Na-Cl 関係図、および $\delta^{18}\text{O}-\text{Cl}^-$ 関係図に投影したものと図 6 および図 7 に示す。地下水は Na^+ が 400 ppm までは Cl^- をほとんど含まない淡水系地下水と、400 ppm 以上では Na^+ の増加とともに Cl^- が増加する塩水系地下水とに区別される。塩水系地下水はすべて養老温泉の井戸 6 試料から採水したものであり、 Cl^- は最大 2400 ppm 含まれ、現海水の約 1/10 に相当する。また、塩水系地下水は当地域北東の茂原ガス田の塩水と Cl^- が 0~30 ppm、 $\delta^{18}\text{O}$ が -7‰ 前後の淡水系地下水を端成分とする混合線上に位置することから、茂原ガス田の塩水 (亀井 (1997)⁽²⁰⁾) と同一起源の化石塩水が淡水によって希釈されたものと推定される。

淡水系地下水はキーダイヤグラム上、Ca-HCO₃型地下水と Na-HCO₃型地下水に分類され、これを Ca²⁺+Mg²⁺-Na⁺+K⁺ 図上に投影すると異なる地下水トレンドを示す。すなわち、図 8 に示すように Na-HCO₃型地下水は Na^++K^+ の増加とともに Ca²⁺+Mg²⁺ が減少する一方、Ca-HCO₃型地下水は Ca²⁺+Mg²⁺ の増加とともに Na^++K^+ はほとんど変化しないかわずかに増加する。数 10 m 以下の浅井戸の地下水や表流水は Ca²⁺+Mg²⁺、 Na^++K^+ は 2 me/ℓ 以下であるため、それ以上の濃度の地下水は涵養後、地層からイオンが地下水中に溶出されたものと推定される。

高橋 (2003)⁽²¹⁾ によると房総半島中南部の上総層群中の Ca-HCO₃型地下水は、陽イオンの増加とともに HCO₃⁻ が増加するが SiO₂ 濃度は増加しないことから、主に炭酸塩の溶解反応が寄与しているとしている。一方、Na-HCO₃型地下水は、 Na^+ の増加とともに HCO₃⁻、SiO₂ 濃度ともに増加していることや、地下水組成は長石 - モンモリロナイト間の反応において長石に不飽和であることを示しており、長石の溶解反応が寄与しているものと推察されている (高橋 (2003)⁽²¹⁾)。ただし、逆に地下水中の Ca²⁺ は減少傾向にあるため、同時に粘土鉱物等の陽イオン交換反応か炭酸塩鉱物の沈殿反応を考える必要があるとしている (高橋 (2003)⁽²¹⁾)。当地域の上総層群中の黄和田層、大田代層については、柏木・鹿園 (2005)⁽²²⁾ によって泥岩試料の粉末 X 線回折が実施されており、堆積時生成鉱物である石英や長石以外に、スメクタイト (モンモリロナイト) や方解石、ドロマイトなどが報告されている。これらのことから、当地域において地表で涵養された地下水は、モンモリロナイトの存在する環境では、モンモリロナイトと陽イオン交換反応が進み Na-HCO₃型地下水が形成され、炭酸塩鉱物の存在する環境においては、炭酸塩と地下水との反応によって Ca-HCO₃型地下水が形成されたものと考えられる。

淡水系地下水の δD - $\delta^{18}\text{O}$ 図を図 9 に示す。地下水の水素・酸素同位体比は、 $\delta\text{D}=-28\text{--}42\text{\textperthousand}$ 、

$\delta^{18}\text{O}=-5.6\sim-7.8\text{\%}$ の範囲にあり、いずれの淡水系地下水も天水線上 ($\delta\text{D}=8 \ \delta^{18}\text{O}+18.6$) に投影されることから、Na-HCO₃型地下水も Ca-HCO₃型地下水も天水起源であると思われる。図 10 は、養老川沿いの水質の種類に基づく地下水の賦存状況を A-A'深度断面に投影したものである。図中、図 4 に示した水温から見た上昇流発生深度も投影している。塩水系地下水は、養老温泉直下に分布するのみであり、それを取り巻く淡水系地下水はすべて Na-HCO₃型地下水であり、Na⁺や HCO₃⁻濃度の最大はそれぞれ 400ppm, 1000ppm 前後と高い値を示す。Na-HCO₃型地下水は、五井、馬立～南総、月崎、養老温泉の 4 ヶ所においては地表付近まで分布するが、これ以外では標高-200m ～-300m 以深に分布している。また、五井、馬立、養老温泉の 3 ヶ所は地下水温から見た流出域と一致している。これに対し Ca-HCO₃型地下水は上記 4 ヶ所の地下水流域と梅ヶ層中の一部を除いて、標高約-200m～-300m 以浅に分布している。すなわち、Na-HCO₃型地下水と Ca-HCO₃型地下水との分布境界はおおむね標高約-200m～-300m 付近にあり、流域の部分だけ地表へ突き出した形状を呈しているものと推定される。

水質境界の分布形状が何に規制されているのか確かめるため、図中、地質境界も同時に投影した。当地域には、透水性の高い砂岩優勢層（下位から順に三浦層群上部、梅ヶ層、万田野一柿ノ木台層、下総層群）と透水性の低い泥岩優勢層（三浦層群下部、大田代層、黄和田層、国本層、笠森層）とが交互に分布している。Ca-HCO₃型地下水は、透水性の高い下総層群や万田野一柿の木台層、梅ヶ層に選択的に帶水しているように見えるが、月崎周辺など必ずしもそうとは限らない。また、馬立～南総においては Na-HCO₃型地下水は透水性の高い万田野一柿ノ木台層で上昇流が発生し、透水性の低い笠森層で流出しているが、養老温泉では、上昇流は、透水性の低い大田代層で発生し、透水性の高い梅ヶ層で流出している。A-A'断面は 2 次元投影であるため、正確な地下水の分布深度と地質分布との関係になっていない。また、同じ地層中においても岩層変化があり、さらに詳細に両者の関係を見ていく必要がある。

図 10 中の A-A'深度断面には、地下水の酸素同位体比の空間分布についても投影した。当地域の最高標高に位置する清澄山（標高 377m）の浅井戸の地下水組成は $\delta\text{D}=-28.8\text{\%}$ 、 $\delta^{18}\text{O}=-6.1\text{\%}$ であり、周辺の高標高部に位置する浅井戸の地下水の酸素同位体比を見ても $\delta^{18}\text{O}=-7\text{\%}$ 以下のものは存在しないことから、 $\delta^{18}\text{O}=-7\sim-8\text{\%}$ の低い酸素同位体比を持つ地下水は現在とは気候の異なる寒冷期に涵養したものであると考えられる。Na-HCO₃型地下水はおおむね $\delta^{18}\text{O}=-7\sim-8\text{\%}$ の地下水流域に対応するが、Ca-HCO₃型地下水は、浅所では $\delta^{18}\text{O}=-5\sim-7\text{\%}$ 、深所では $\delta^{18}\text{O}=-7\sim-8\text{\%}$ の低い酸素同位体比の地下水が存在するという結果は紺野（1998）⁽¹⁶⁾ のデータとも一致する。すなわち、Na-HCO₃型地下水は過去に涵養された地下水であり、一方、Ca-HCO₃型地下水の一部は過去に涵養された地下水、地表付近の浅所地下水は現在の気候条件下で涵養された地下水として説明可能である。

4.3 地下水年代

地下水の ¹⁴C 年代測定の結果を表 1、および図 11 に示す。Na-HCO₃型地下水はおおむね数千年～2 万年前、塩水系地下水は 26,910 年前を示しているのに対して、Ca-HCO₃型地下水は、五井においては 1,250 年前、南総の 2 試料はいずれも現在、月崎下では 820 年前を示しており、Na-HCO₃

型地下水や塩水系地下水よりも若い地下水年代を示している。今から1~2万年前は最終氷期極寒期、亜氷期が存在することを考えると、Na-HCO₃型地下水の年代値は水素・酸素同位体比から推定された地下水起源と矛盾しない。塩水系地下水については、化石塩水とNa-HCO₃型地下水との混合であり、希釈率が1/10以下（化石塩水/Na-HCO₃型地下水=1/10以下）あることを考えると26,910年前は1試料のみのデータであるが、説明可能な値である。Ca-HCO₃型地下水のうち、五井、南総の試料はいずれも $\delta^{18}\text{O}=-5\sim-7\text{\textperthousand}$ であり、水素・酸素同位体比から推定された地下水起源と矛盾しない。

林・宮越（2004）⁽²³⁾によると関東平野中央部における低い水素同位体比を持つ地下水は、やはりNa-HCO₃型地下水であり、その年代は4,260~16,510年としている。本地域は関東平野南端の房総半島に位置しており、同じような起源を持つNa-HCO₃型地下水が深部に広く連続して賦存するものと推定される。地下水年代に関しては補正上の不確かさが残り、今後、他の年代測定法によるクロスチェックを行うなどデータの信頼性を高める必要がある。

5. まとめ

今回の調査で、養老川流域にはCa-HCO₃型地下水とNa-HCO₃型地下水、塩水系地下水の3種類の地下水が賦存しており、その分布状況について概略把握することができた。それぞれの起源は、塩水系地下水は約2万年前の化石塩水、Ca-HCO₃型地下水は数千年前以降に涵養された地下水であり、Na-HCO₃型地下水は数千年~2万年前の寒冷期に涵養された地下水であることが明らかとなった。また、五井、馬立、養老温泉の3ヶ所については、深度200~400mから上昇したNa-HCO₃型地下水が地表近くまで達していることが明らかとなった。月崎については水温分布から想定される上昇流は確認できなかったが、Na-HCO₃型地下水が浅所まで分布していることが推定できた。すなわち、従来考えられていた階層構造を持つ地下水賦存モデルに加えて、流出域においては、地下深部の古いNa-HCO₃型地下水が浅所のCa-HCO₃型地下水分布域を越えて地表に流出しているという流动を想定することができた。Na-HCO₃型地下水が広域地下水流动に相当するか否かについては、さらなる検討が必要である。

今回、養老川流域の井戸データを対象に深部の地下水の賦存状況を検討したが、未だ1事例に過ぎず、地質構造との関係も不明である。今後、さらに地化学データの蓄積と水文学的アプローチによってCa-HCO₃型地下水とNa-HCO₃型地下水との地下水交流の有無、涵養から流出に至るまでの流动経路などを確認するための調査や水収支解析を行うとともに、さらに事例数を増やし、広域の地下水流动の概念構築を行う必要がある。また、今回使用したデータのうち、井戸のスクリーン位置と井底深度との食い違いによる深度情報の不確かさや地下水年代の補正の問題などの課題が残る。今後、これらの課題についても並行して検討していく予定である。

なお、本研究は、放射性廃棄物地層処分に関する広域地下水流动の評価手法の確立のための研究の一部であり、地層処分候補地選定とは一切関係のないものである。

謝辞

地下水、河川水、湧水の試料採取、水温、水質、同位体分析に関しては、和歌山大学システム工学部の井伊博行教授、株式会社日さくの伊藤俊方氏他にご協力をいただいた。また、現地地下水試料の採水地点の選定、地下水年代測定等に関しては千葉大学環境リモートセンシング研究センターの近藤昭彦教授、清水建設株式会社の三宅紀治氏、新藤静夫千葉大学名誉教授他にご指導・ご協力いただいた。以上の方々に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) Tóth, J. (1962) : A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada. *J. Geophys. Res.*, **67**, 4375-4387.
- (2) Yabuuchi,S., Saegusa,H. and Takeuchi S. (2004) : Hydrogeological studies in the Mizunami Underground Research Laboratory Project, International Conference on JNC Underground Research Laboratory in Mizunami and Horonobe,Japan (2004) Abstracts, 51-64.
- (3) 三梨昂・安国昇・品田芳二郎(1959) : 千葉県養老川・小櫃川の上総層群の層序一養老川・小櫃川流域地質調査報告書一、地質調査月報、10、83-98.
- (4) 鈴木尉元・小玉喜三郎・三梨昂・遠藤毅・那須紀幸他 (1995) : 10万分の1東京湾とその周辺地域の地質(第2版) 説明書、特殊地質図(20)、地質調査所、109p
- (5) 辻隆司・宮田雄一郎・岡田誠・三田勲・中川洋・佐藤由理・中水勝 (2005) : 房総半島に分布する下部更新統上総層群大田代層と梅ヶ瀬層の高精度堆積年代一石油公団研究井TR-3コアの酸素同位体比・古地磁気・石灰質ナンノ化石に基づく年代層序一、地質学雑誌、111、1、1-20.
- (6) 里口保文 (2006) : 房総半島を年代軸とした鮮新統～下部更新統の広域火山灰層序、月刊地球「関東平野の形成史—最近のテフラ・地下地質・テクトニクス研究」、28、1、49-55.
- (7) 井波和夫 (1983) : 房総半島上総層群泥岩の圧密について、地質調査所月報、34、4、207-216.
- (8) 鈴木宏芳・小村健太郎 (1999) : 関東地域の孔井データ資料集、防災科学技術研究所、191、1-80.
- (9) 木山保、佐々木勝司、松崎達二、丸井敦尚 (2002) : 上総層群国本層泥岩の室内試験による透水特性、平成14年度資源・素材関係学協会合同秋季大会予稿集、pp.1-5
- (10) 丸井敦尚・安原正也・林武司・樋口宏之 (2001) : 東京湾岸の深層地下水、日本水文科学会誌、31、3、1-9.
- (11) 榆井久 (1988) : 地下水の容れものと水の流れ、アーバンクボタ No27 「地下水 地下水資源をめぐって 関東前面弧盆地ほか」、8-15.
- (12) 関東地方編集委員会 (1986) : 日本の地質3 関東地方、共立出版、335p.
- (13) 近藤昭彦 (1982) : 千葉県市原地域における地下水流动系の三次元数値シミュレーション、ハイドロロジー、12、12-18.
- (14) 宮越昭暢 (1999) : 養老川流域における地下水流动系について－二次元地下水モデルのMODFLOWによる検討－、千葉大学理学部地球科学卒業論文
- (15) 近藤昭彦 (1985) : 環境トリチウムによって明らかにされた市原地域の地下水流动系、地理学

- 評論, 58, 168-179.
- (16)紺野道昭 (1998) : 地下水温と安定同位体による市原市周辺における地下水流动系の推定. 千葉大学大学院理学研究科 1997 年度修士論文.
- (17)市原市(1970) : 市原市井戸台帳
- (18)丸井敦尚(1988) : 地質調査所版全国井戸・水文データベースの概要と新版「いどじびき」について、地質ニュース、522、32-36.
- (19)Dominico, P.A. and Palciauskas, V.V.(1973) Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional groundwater flow, Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 3803-3814.
- (20)亀井玄人 (1997) : ベントナイトに包まれた廃棄物ガラスのナチュラルアナログ、動燃事業団技術報告書、PNC TN 841097-035
- (21)高橋楨子 (2003) : 千葉県房総半島中南部における地下水水質の成因について、慶應義塾大学理工学部応用科学科卒業論文 (要旨)
- (22)柏木洋彦・鹿園直建 (2005) : 日本の堆積盆を想定した二酸化炭素地中貯留における水一岩石反応の検討：千葉県房総半島の例、地下水学雑誌、47、1、65-80.
- (23)林 武司・宮越昭暢 (2004) : 水素・酸素同位体組成からみた関東平野における広域地下水流动系、日本応用地質学会 平成 16 年度研究発表会講演論文集、407-410.

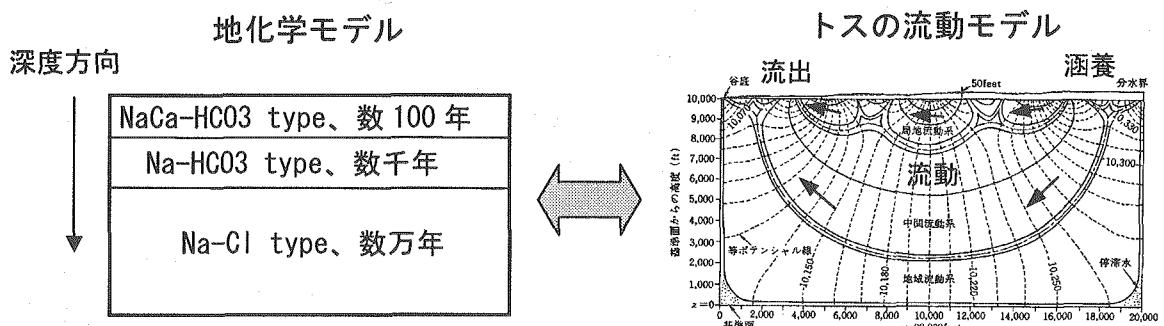


図1 地化学モデルと地下水流动モデルの概念の一例（地化学モデルは
Yabuuchi et al. (2004)⁽²⁾ の図を簡略化修正したもの。）

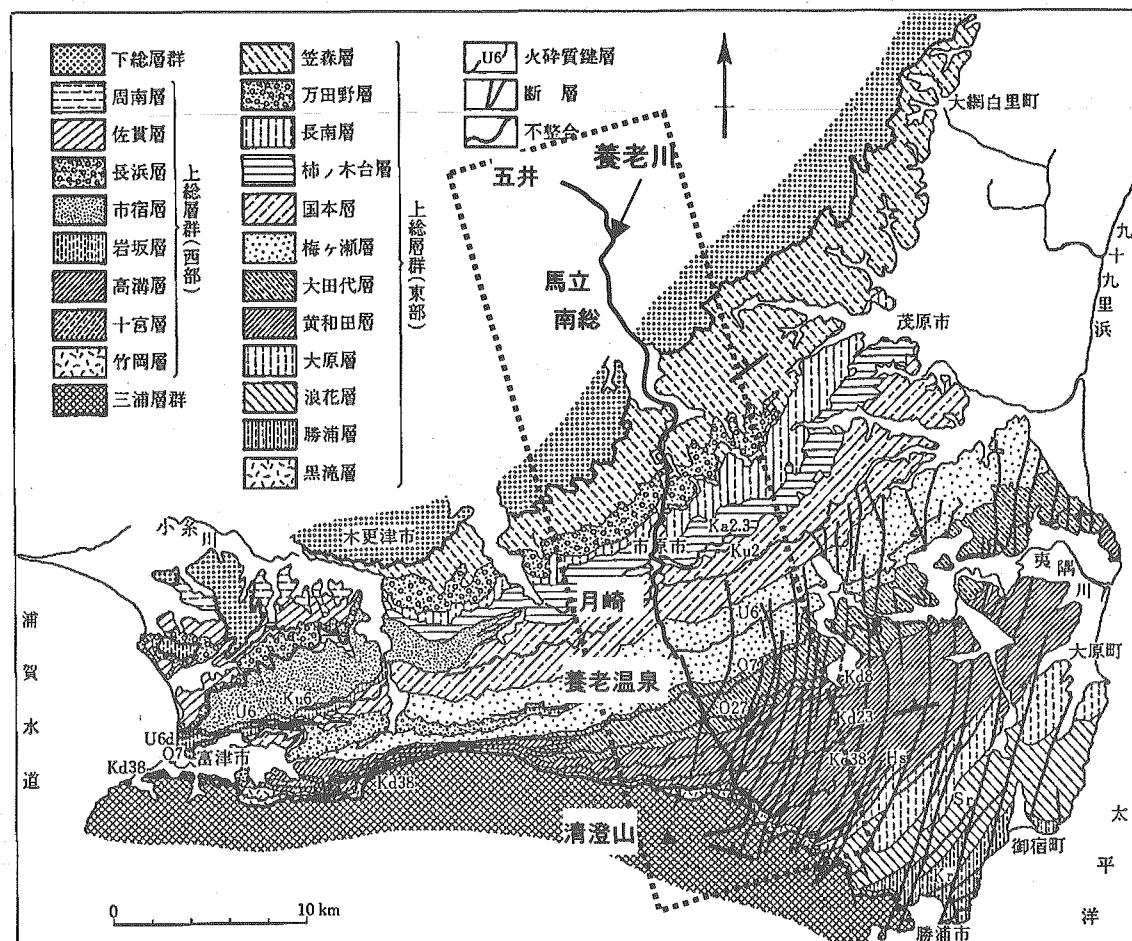


図2 養老川周辺の地質分布と本調査対象地域（破線四角が調査範囲）地質図は関
東地方編集委員会（1986）⁽¹²⁾ を引用・一部加筆。

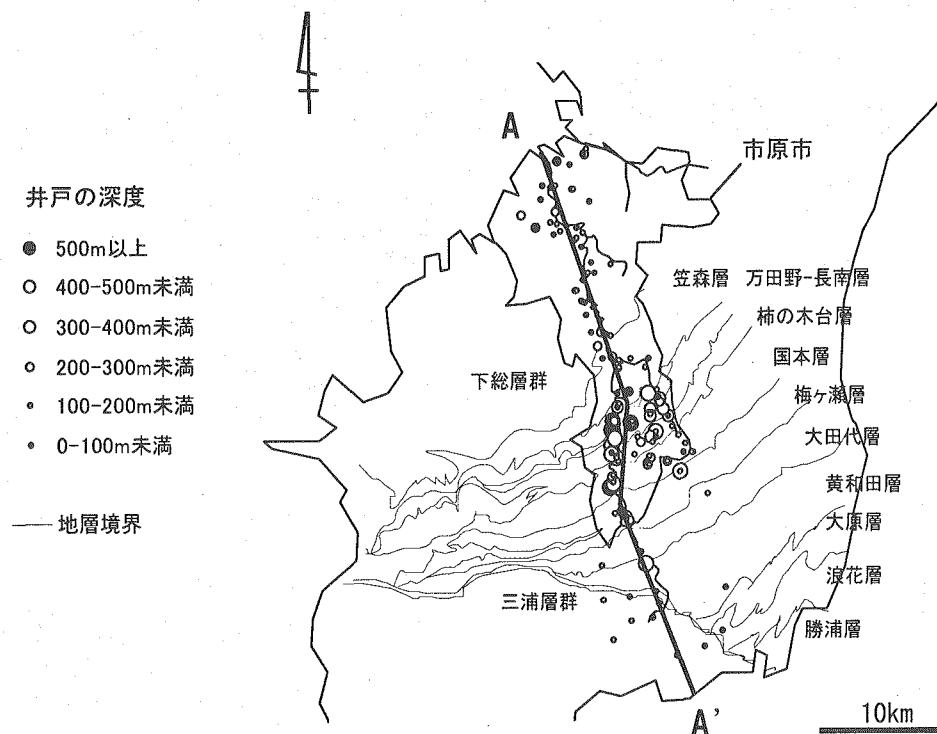


図3 養老川流域における調査対象井戸の分布 (A-A' : 養老川沿いの地下水断面位置)

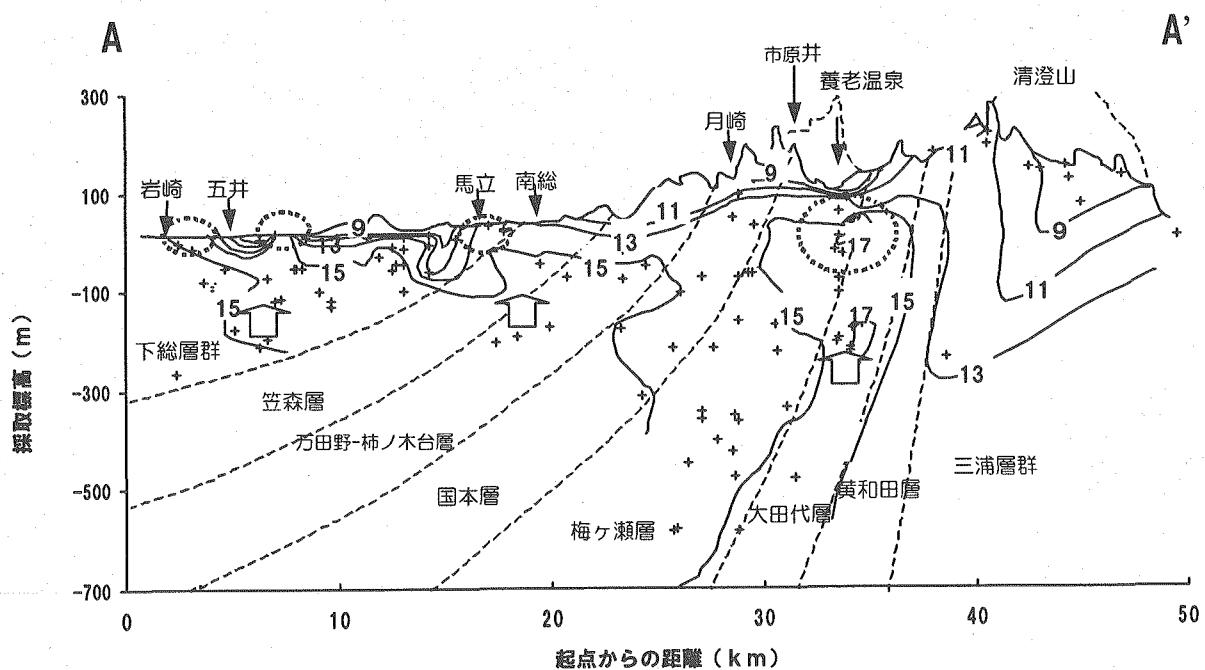


図4 養老川流域の地下水、河川水、湧水の水温の深度断面図 (深度は孔底深度で投影。
断面位置は図2のA-A'。+ : 水温観測点。実線は等水温線であり、数値は水温(°C)。
破線 : 地質境界。 ◌ : 等温線が上に凸の地点、矢印 : 図5の温度勾配変曲地点
から推定した上昇流の発生深度。)

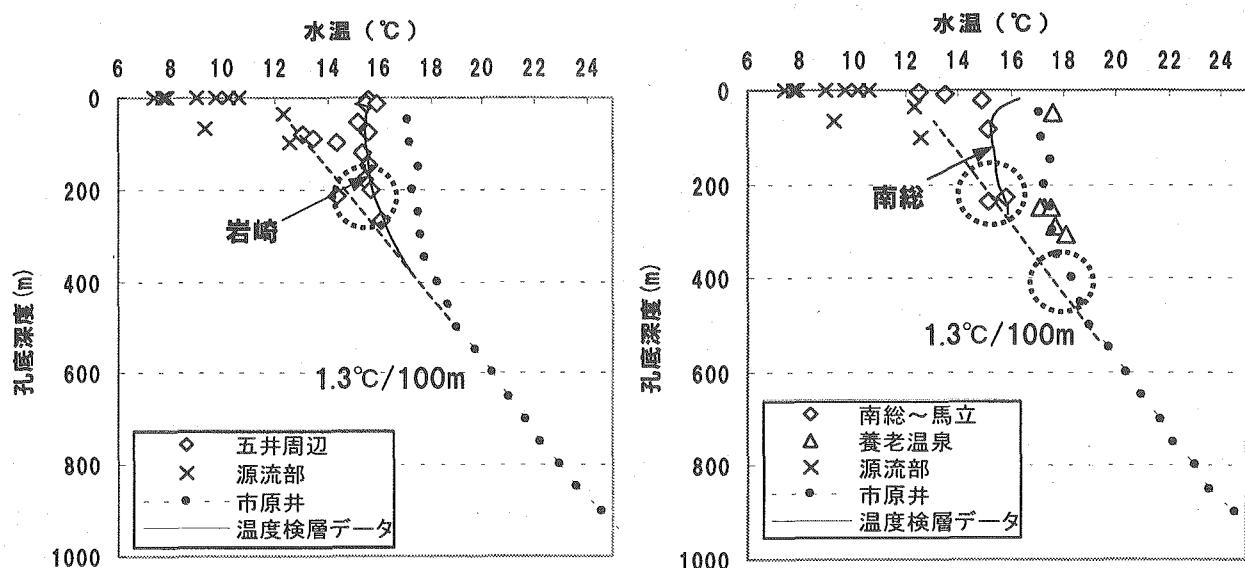


図5 地下水、河川水、湧水の水温と深度との関係 (◇、△、×: 本データ、○: 温度勾配変曲点、市原井データ: 鈴木・小村 (1999)⁽⁸⁾。温度検層データ: 宮越 (1999)⁽¹⁴⁾ より引用)

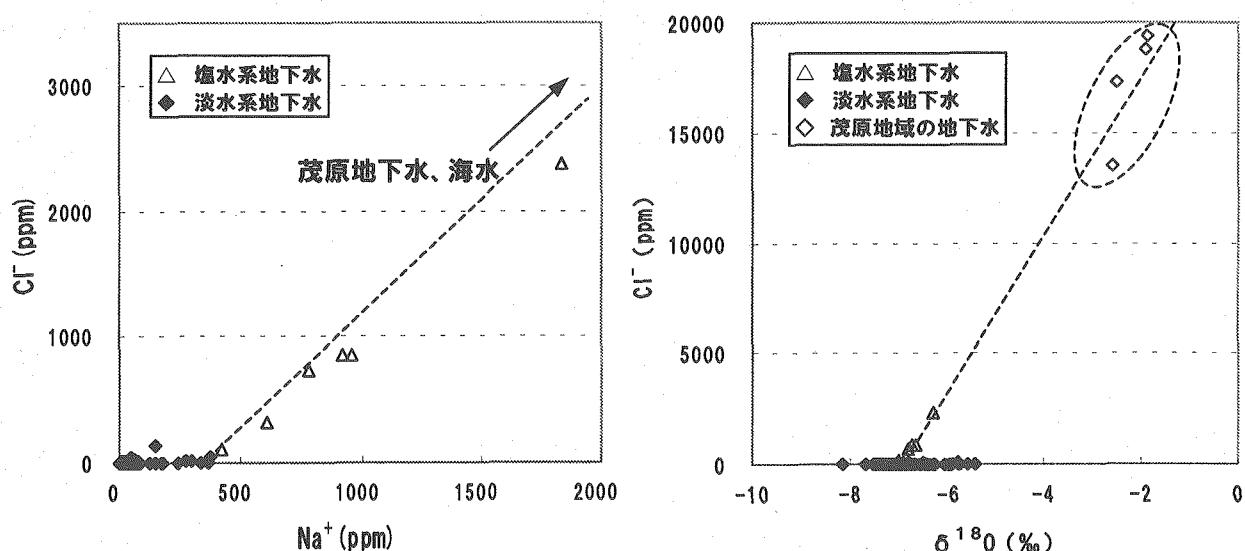


図6 地下水のNa⁺濃度とCl⁻濃度との関係
図(図中、Cl⁻濃度が30ppm以上で茂原地下水との混合線上にある地下水を塩水系地下水とし、それ以外を淡水系地下水とし区別して表示)

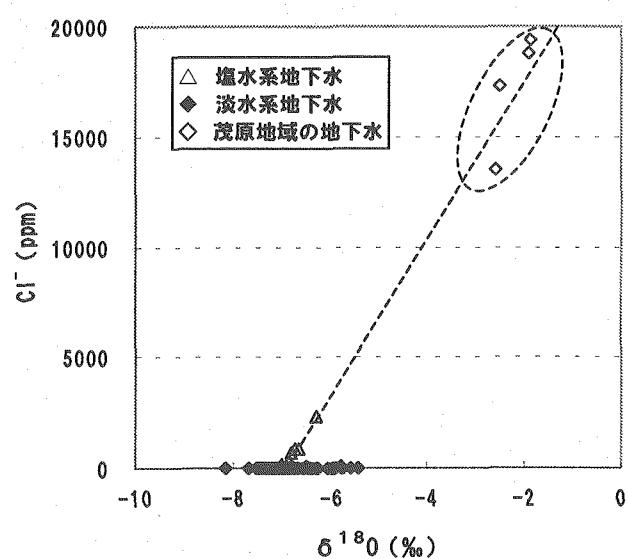
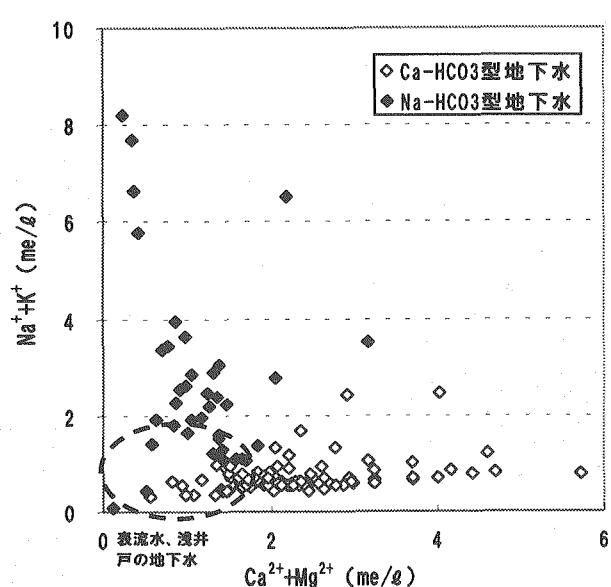
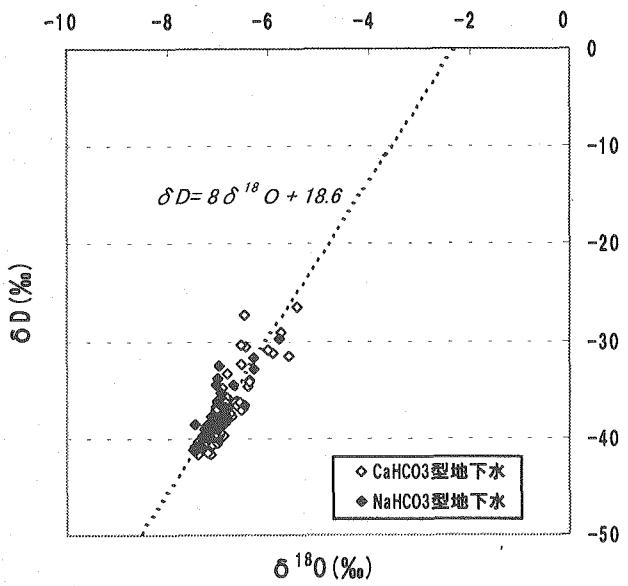
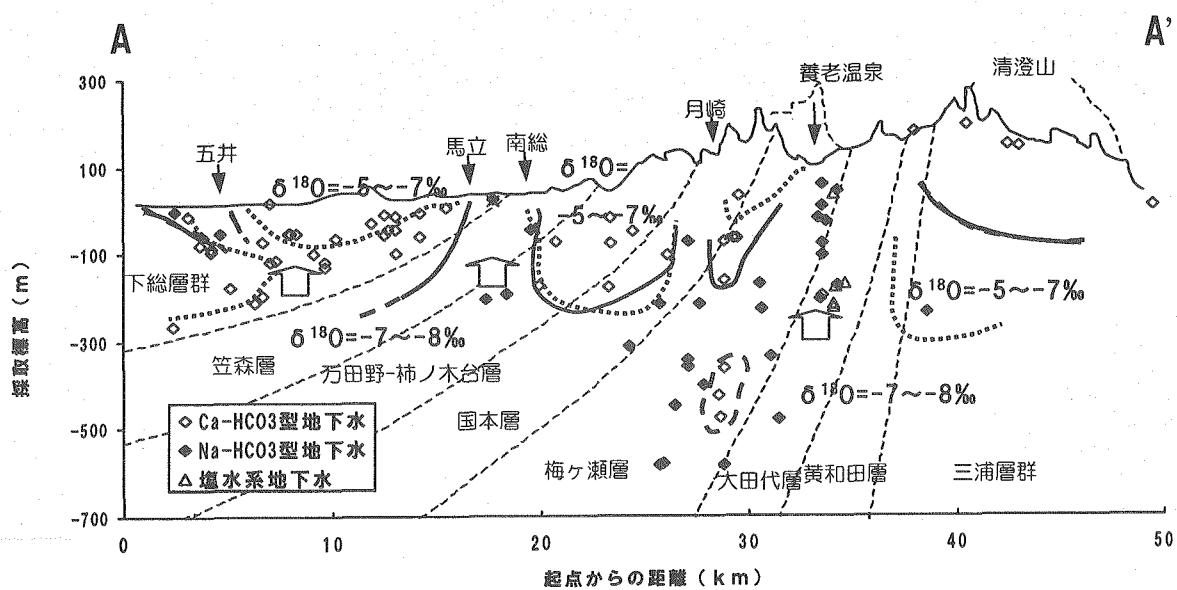


図7 δ¹⁸OとCl⁻濃度との相関図(茂原地域の地下水組成は亀井 (1997)⁽¹⁹⁾ より引用)

図 8 地下水の $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ と $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ の関係図 9 地下水の $\delta D - \delta^{18}\text{O}$ 関係図図 10 養老川流域の地下水（井戸水）組成の深度断面図（深度は孔底深度で投影、断面位置は図 1 の A-A'、矢印：図 2 に同じ。実線： $\text{Ca}-\text{HCO}_3/\text{Na}-\text{HCO}_3$ 境界、点線： $\delta^{18}\text{O} = -7\text{\textperthousand}$ 境界（塩水系地下水は除く）

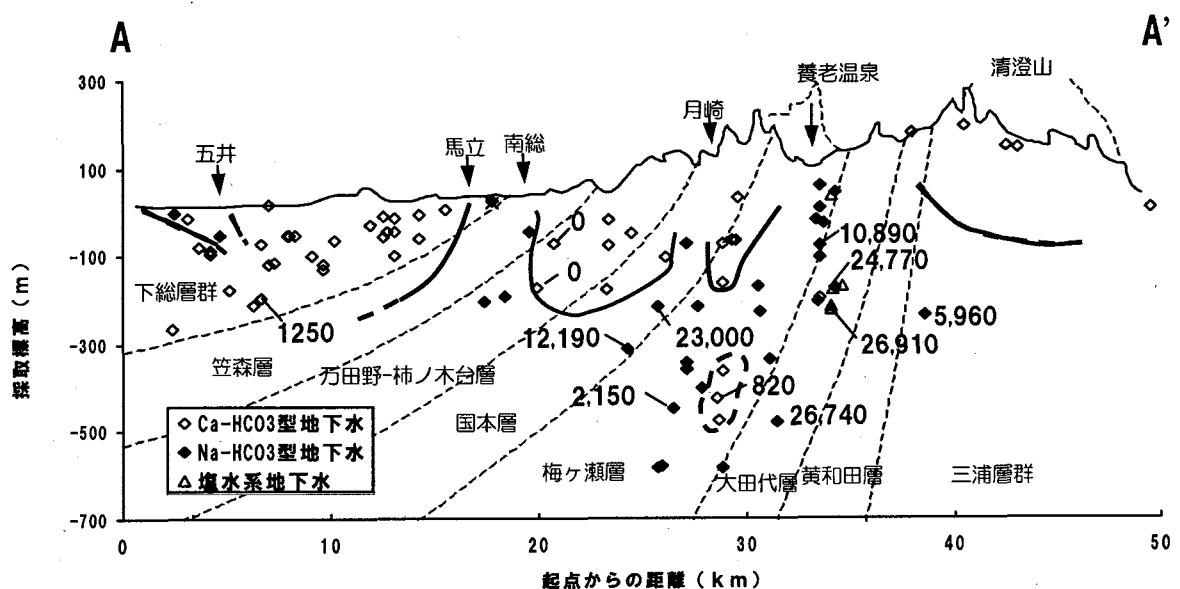


図 11 A-A' 深度断面図における地下水年代値の鉛直分布（実線： $\text{Ca}-\text{HCO}_3/\text{Na}-\text{HCO}_3$ 境界、数値は ^{14}C 地下水年代値、断面位置は図 1 の A-A'）

表 1 地下水の ^{14}C 年代測定結果

番号	標高 (m)	深度 (m)	水質の種類	$\delta^{14}\text{C}$ (‰)	pMC	pMC (補正值)	地下水年代 T (yrBP)
14	165	400	Na-HCO ₃	-750.5±1.8	23.83±0.17	47.59	5,960
22	76	250	Na-HCO ₃	-976.8±0.6	2.19±0.05	4.58	24,770
46	85	308	塩水系	-981.5±0.5	1.74±0.05	3.51	26,910
42	70	144	Na-HCO ₃	-878.2±1.1	12.18±0.11	25.78	10,890
58	61	540	Na-HCO ₃	-979.3±0.4	2.07±0.04	3.58	26,740
80	77	500	Ca-HCO ₃	-558.4±2.3	44.16±0.23	90.26	820
85	52	500	Na-HCO ₃	-618.7±2.2	36.87±0.22	76.52	2,150
114	45	260	Na-HCO ₃	-972.6±0.6	2.61±0.06	5.71	23,000
129	47	360	Na-HCO ₃	-891.5±1.2	10.35±0.12	21.93	12,190
183	35	108	Ca-HCO ₃	-328.5±3.4	65.16±0.35	132.99	modern carbon
179	28	200	Ca-HCO ₃	-342.8±2.9	63.72±0.31	131.07	modern carbon
283	4	180	Ca-HCO ₃	-588.6±2.2	40.24±0.23	85.58	1,250

表2 地下水の水温、水質分析結果一覧表（その1）

no.	水位 (m) (L/min)	涌水量 (L/min)	水温 (°C)	EC (mS/m)	pH	ORP (mV)	Cl (mg/L)	Br (mg/L)	NO3 (mg/L)	PO4 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Li (mg/L)	N (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	重炭酸 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	EDTA (mg/L)	EDTA (‰)	EDTA (‰)	標準	
1	1.8	-	13.9	18.7	6.92	262	0.0	22.7	0.0	0.5	0.0	18.4	0.0	12.7	0.0	2.0	40	8.5	11.0	-5.9	-27.3	87	
2	2.68	-	14.2	23.7	7.36	245	0.9	141	0.0	4.9	0.0	27.2	0.9	13.5	0.0	0.9	6.2	19.9	54.3	5.7	-29.1	108	
3	-	-	12.6	38.0	7.30	338	0.0	21.1	0.1	0.1	0.0	46.9	0.0	20.3	0.3	6.7	11.1	45.1	145.2	-6.4	-34.0	108	
7	-	-	15.3	56.4	7.34	-43	0.1	11.0	0.0	0.0	0.0	89.6	0.0	14.8	3.6	5.2	14.7	90.3	256.6	-6.4	-30.6	75	
8	-	-	15.3	88.4	7.15	133	0.0	16.4	0.0	0.0	0.0	201.9	0.0	21.9	3.0	7.0	28.4	147.0	359.1	-6.5	-32.3	75	
11	-	-	7.9	14.9	8.28	233	0.0	8.6	0.0	4.4	0.0	20.7	0.0	10.5	0.0	7.0	3.3	7.2	21.4	-6.1	-28.8	198	
12	-	-	10.2	42.1	7.84	-103	0.0	30.6	0.0	1.5	0.0	16.3	0.0	63.2	0.0	2.5	3.7	20.1	180.6	-6.9	-37.0	165	
13	-	-	13.3	89.0	8.10	-133	0.1	142.1	0.0	0.0	0.1	21.3	0.0	145.5	0.0	7.5	9.8	27.7	260.3	-7.0	-36.2	166	
14	-	-	12.3	44.7	7.66	91	0.1	10.2	0.0	14.4	0.0	24.9	0.0	60.8	0.0	5.4	6.3	30.4	204.6	-6.9	-36.7	187	
15	-	-	10.2	15.9	7.84	236	0.0	9.9	0.0	9.8	0.0	8.7	0.0	7.3	0.1	1.2	4.4	12.2	29.5	-6.5	-30.4	45	
16	2.29	-	14.3	23.4	6.67	187	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.3	0.0	14.7	0.0	11.6	6.3	18.7	61.0	-6.4	-34.6	138	
17	-	-	14.4	26.3	7.30	-133	0.0	21.2	0.0	7.8	0.0	26.0	0.0	21.6	0.0	4.1	8.1	20.8	69.5	-5.8	-29.8	136	
18	-	-	16.5	22.4	6.62	76	0.0	8.5	0.0	0.9	0.0	19.2	0.0	11.1	0.1	2.1	6.3	30.2	89.9	-5.9	-31.2	187	
19	-	-	9.3	19.4	8.08	218	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	15.9	0.0	9.0	1.6	2.7	17.2	74.6	-6.9	-37.3	211		
20	-	-	9.7	23.7	7.33	137	0.0	9.3	0.0	1.6	0.1	14.6	0.0	12.2	0.1	1.7	30	36.9	96.2	-6.8	-36.2	180	
22	自噴 不明	17.3	143.2	8.31	-173	0.4	38.8	0.0	1.4	3.2	0.0	0.5	375.4	2.0	142	2.1	4.9	901.2	-7.1	-38.3	78		
23	自噴 不明	17.1	246.0	8.25	-110	0.1	312.1	1.3	0.0	0.4	0.0	0.2	610.6	0.0	20.5	5.3	9.3	1022.8	-6.9	-36.3	109		
24	自噴 不明	17.4	403.0	8.02	-126	0.0	832.6	5.6	1.0	0.2	0.2	0.1	951.0	0.0	32.4	7.0	9.7	11.8	1201.7	-6.7	-35.1	105	
25	-	-	11.2	55.5	7.65	-316	0.1	10.4	0.0	7.5	0.4	8.5	0.0	76.6	0.0	6.7	5.3	54.9	292.2	-6.9	-37.6	105	
26	-	-	35.8	218.0	8.41	23	0.3	18.7	0.0	0.0	9.4	0.0	0.1	621.1	0.0	13.9	1.3	2.3	164.6	-7.5	-38.6	78	
27	-	-	15.2	38.7	7.72	-38	0.1	7.8	0.0	2.9	0.0	17.1	0.0	11.9	0.0	5.7	9.8	38.0	207.8	-6.8	-33.3	109	
28	-	-	7.7	16.3	7.44	182	0.0	5.6	0.0	1.2	0.0	3.6	0.0	7.2	0.0	1.3	3.3	14.0	81.3	-6.9	-37.0	316	
30	-	-	12.3	16.7	7.50	-100	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	2.3	4.5	11.3	51.9	-6.4	-34.1	105	
32	-	-	6	22.6	7.65	60	0.1	7.3	0.0	0.5	0.0	9.7	0.0	11.3	0.0	2.1	8.4	23.0	110.6	-6.8	-36.8	105	
33	-	-	11.2	29.0	7.77	600	0.0	10.7	0.0	0.1	0.1	17.8	0.0	11.1	0.1	3.0	6.2	34.2	120.8	-7.0	-36.7	105	
34	-	-	14.2	16.9	6.74	229	0.0	5.8	0.0	4.2	0.1	11.5	0.0	9.2	0.0	2.1	6.0	17.9	71.2	-6.9	-34.7	109	
35	-	-	15.4	42.2	7.02	96	0.1	8.0	0.0	6.7	0.0	47.6	0.0	19.2	0.0	6.9	15.0	49.3	61.8	-6.9	-39.7	46	
36	-	-	13.5	18.5	7.30	262	0.0	6.2	0.0	0.0	0.1	16.4	0.0	26.7	0.0	5.2	2.7	7.0	62.2	-6.8	-38.0	73	
37	自噴 不明	16.1	98.0	8.86	-350	0.3	7.9	0.0	23.0	3.0	0.0	0.1	274.1	0.0	8.7	1.0	3.0	539.4	-7.2	-39.4	70		
39	自噴 不明	15.4	108.2	8.86	33	0.6	9.4	0.0	1.9	4.2	1.5.5	0.0	29.5	0.0	10.4	0.7	2.5	683.0	-7.0	-36.0	77		
40	-	-	15.8	89.4	8.96	-32	0.0	6.6	0.0	0.1	0.0	12.6	0.0	12.8	0.0	5.1	10.8	31.5	484.1	-6.9	-36.1	105	
41	自噴 不明	17.3	121.3	8.80	15	0.1	52	0.0	0.6	0.1	11.2	0.0	33.2	0.0	11.9	12.7	31.2	79.1	-7.1	-39.7	46		
42	自噴 不明	15.6	69.9	8.94	54	0.2	59	0.0	15.6	2.5	12.3	0.0	171.6	0.0	9.4	1.6	4.3	364.0	-6.8	-37.1	69		
43	-	-	15.2	26.7	8.69	-96	0.0	8.4	0.0	0.1	0.0	16.0	0.0	32.9	0.0	7.5	4.5	12.9	95.8	-7.1	-38.9	76	
45	-	-	14.2	36.8	8.30	-144	0.0	6.1	0.0	23.5	0.0	19.4	0.0	44.2	0.2	12.0	6.1	19.1	133.0	-7.2	-40.1	72	
46	自噴 不明	18.1	303.0	7.88	-67	0.3	237.8	3.6	0.3	0.3	0.3	1836.7	0.0	30.7	33.0	27.1	1037.2	-6.3	-30.7	83			
47	自噴 不明	17.6	395.0	8.07	-193	0.0	851.7	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	269	0.0	20.9	12.5	49.2	64.7	-35.3	88			
48	自噴 不明	17.7	337.0	8.13	-175	0.1	726.4	0.0	0.0	29	1.3	0.1	791.9	0.0	25.0	10.0	13.3	854.2	-6.8	-36.3	70		
53	自噴 不明	12.3	20.8	8.35	120	0.1	4.3	0.0	6.7	0.1	7.3	0.0	8.3	0.0	8.8	7.7	20.0	94.3	-7.0	-37.1	76		
54	自噴 不明	14.8	28.2	8.47	161	0.1	5.3	0.0	11.5	0.1	0.0	0.0	35.8	0.0	9.5	3.9	10.4	119.0	-6.3	-32.9	64		
55	自噴 不明	14.7	40.3	8.62	-70	0.3	237.8	3.6	0.3	0.3	0.3	83.4	1.0	9.0	4.1	10.5	202.9	-7.2	-39.2	59			
56	-	-	13.2	18.3	7.22	213	0.0	8.5	0.0	39.7	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	1.0	7.4	14.4	-25.8	-82			
57	-	-	13	13	25.9	8.39	127	0.1	4.5	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	16.6	0.1	59	6.2	17.0	117.9	-7.1	-38.9	68
58	自噴 不明	16.2	91.4	8.59	-50	0.4	5.5	0.0	0.1	29	3.5	0.0	241.0	0.0	1.8	15.8	9.8	275.8	-7.5	-41.4	65		
63	自噴 不明	100	15	21.9	8.36	80	0.0	4.5	0.0	0.7	0.0	13.1	0.0	7.4	0.1	3.8	6.6	18.9	99.2	-7.2	-38.9	101	
66	-	-	14.9	24.6	8.35	116	0.1	5.1	0.0	1.0	0.0	8.2	0.0	10.6	0.0	5.2	10.1	27.9	118.5	-6.8	-37.1	124	
67	自噴 不明	100	14.8	23.2	8.30	57	0.0	5.2	0.0	0.6	0.0	13.4	0.0	9.4	0.0	5.2	8.7	24.0	103.7	-7.1	-38.5	124	
68	自噴 不明	14.1	27.4	7.46	180	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	12.4	0.0	3.2	10.5	25.0	122.0	-7.1	-39.9	101

No. 1～No. 43: 源流域～養老温泉、No. 53～No. 209: 養老温泉～馬立、No. 212～No. 307 馬立～岩崎（河口）

表3 地下水の水温、水質分析結果一覧表（その2）

no.	水位 (m)	涌水量 (L/min)	水温 (°C)	pH	EC (μS/m)	ORP (mV)	F _r (mg/L)	Cl _r (mg/L)	Br _r (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SO ₄ -S (mg/L)	Li _r (mg/L)	Na _r (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	Mg _r (mg/L)	K _r (mg/L)	Ca _r (mg/L)	Mg _c (mg/L)	Ca _c (mg/L)	Na _c (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	SiO ₂ C (%)	標高		
69	自噴 不明	14	27.9	8.31	105	0.0	10.3	0.0	0.0	177	0.0	12.8	0.5	3.8	11.5	31.5	128.5	6.9	-37.2							
71	0.1	-	10.1	7.90	221	0.0	5.9	0.0	1.4	3.4	0.0	7.1	0.0	0.7	2.6	7.0	37.2	7.0	-39.1							
73	自噴 不明	15.3	37.6	8.44	37	0.2	8.5	0.1	13.8	1.4	6.6	0.1	72.0	0.6	12.1	3.5	9.6	213.7	7.0	-38.3	93					
74	自噴 不明	14.2	23.5	8.13	-80	0.0	5.3	0.0	6.3	0.4	8.4	0.0	11.7	0.1	7.3	10.4	22.7	112.6	7.1	-37.7	T7					
75	自噴 不明	13.7	25.2	8.22	151	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	6.8	0.0	9.4	0.0	6.8	0.9	24.1	128.5	7.0	-38.4	82					
77	自噴 不明	14.3	40.4	8.34	-10	0.0	5.8	0.0	0.0	7.8	0.0	60.3	0.0	16.1	7.5	15.3	196.0	7.2	-39.0	51						
79	自噴 不明	14	36.0	8.06	-20	0.0	5.9	0.0	0.0	28.5	0.0	23.9	0.0	11.3	11.9	36.1	156.0	7.0	-37.9	49						
80	自噴 不明	50	14.4	22.0	8.18	-40	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	11.2	0.0	7.5	8.3	21.9	107.6	7.2	-39.0	63					
81	自噴 不明	20	14.2	24.5	8.04	111	0.1	4.7	0.0	5.9	0.1	5.2	0.0	20.0	0.0	7.7	7.8	15.8	119.4	7.2	-39.0	71				
82	自噴 不明	25	15	27.4	8.08	-40	0.1	5.2	0.0	8.8	0.1	9.7	0.0	20.8	0.0	8.2	8.5	17.7	114.9	7.2	-38.9	64				
83	自噴 不明	50	15	22.7	8.12	-31	0.0	4.9	0.0	6.9	0.0	13.8	0.0	7.9	8.3	22.3	116.1	7.1	-38.8	65						
85	自噴 不明	150	14.9	24.8	8.20	-9	0.0	0.0	0.0	0.3	5.3	0.0	22.7	0.0	12.3	7.2	16.8	121.8	7.2	-39.7	36					
88	自噴 不明	14.7	34.8	8.46	10	0.1	10.1	0.0	0.5	11.6	0.0	59.4	0.0	11.0	5.6	11.8	149.2	7.3	-39.1	60						
89	自噴 不明	3.6	13.8	26.4	8.30	80	0.1	8.3	0.0	10.2	0.1	10.2	0.0	21.5	0.0	10.7	7.0	14.8	98.2	7.1	-38.1	60				
90	自噴 不明	18	14	23.1	8.24	65	0.1	5.6	0.0	0.0	8.3	0.0	51.1	0.0	12.3	4.3	11.0	169.8	7.1	-38.6	113					
91	自噴 不明	25	14.3	30.5	8.32	-50	0.1	5.2	0.0	11.2	0.1	12.0	0.0	25.4	0.0	10.0	9.6	20.8	148.6	7.0	-33.3	141				
92	自噴 不明	10	14.2	37.3	7.20	-50	0.0	4.9	0.0	0.3	0.0	44.1	0.0	12.9	0.5	4.8	15.6	39.0	130.9	4.8	-33.9	101				
93	自噴 不明	10	15.3	33.5	8.31	-40	0.1	6.0	0.0	0.1	10.7	0.0	48.7	0.0	10.0	7.2	15.2	184.4	7.0	-33.8	83					
96	自噴 不明	36	14.3	29.2	8.40	70	0.1	5.5	0.0	19.6	0.6	9.0	0.0	37.3	0.0	10.9	5.4	12.2	146.8	7.0	-38.2	83				
101	0.03	-	9.1	11.6	7.31	31.5	0.0	8.7	0.0	1.4	0.0	8.7	0.0	10.1	0.0	0.0	2.5	6.3	24.2	6.3	-31.7	160				
102	自噴	30	14.9	27.1	8.20	5	0.0	5.4	0.0	0.0	6.3	0.0	21.3	0.0	2.8	10.0	6.8	16.5	134.2	7.0	-40.3	55				
103	自噴 不明	14.6	28.7	8.25	36	0.0	5.6	0.0	10.6	0.0	16.2	0.0	19.3	0.0	10.3	8.0	19.7	130.1	7.0	-38.4	73					
105	自噴	10	14.2	25.6	7.98	90	0.1	5.6	0.0	0.0	8.6	0.0	10.2	1.7	5.6	10.0	30.1	7.0	-38.3	92						
108	-	-	11.5	17.0	7.74	199	0.0	7.6	0.0	0.0	7.0	0.1	1.4	0.0	0.7	0.5	1.3	62.6								
111	自噴 不明	14.7	30.5	8.81	-190	0.1	5.6	0.0	0.0	4.7	41	0.0	182.7	0.0	10.2	1.3	2.4	283.3	7.3	-39.7	45					
114	自噴	4.8	14.4	137.0	8.81	12	0.1	5.9	0.0	0.0	8.9	0.5	0.1	368.9	0.0	13.2	2.6	4.3	872.3	7.0	-38.9	41				
123	-	-	15.7	21.9	8.06	50	0.0	5.7	0.0	0.0	12.4	0.0	9.7	0.0	5.6	8.3	30.2	127.7	4.7	-37.7	42					
124	-	-	14.7	21.7	8.09	90	0.1	6.2	0.0	1.2	0.1	7.2	0.0	9.9	0.0	7.9	9.7	30.6	133.6	6.9	-38.7	42				
127	-	-	15.1	24.3	8.08	63	0.1	6.5	0.0	0.0	12.7	0.0	9.1	0.0	5.0	8.3	30.6	106.5	4.8	-37.4	42					
129	自噴 不明	15.3	63.0	8.44	32	0.1	6.9	0.0	0.0	23.6	0.0	145.1	0.0	12.7	4.3	286.9	2.0	19.0	95.4	7.0	-38.4	33				
137	自噴	15	7.6	20.9	7.72	209	0.1	4.1	0.0	4.2	0.1	5.5	0.0	8.1	0.0	6.3	7.2	30.6	179.3	7.1	-38.5	62				
139	自噴	25	14.9	27.1	8.25	113	0.1	6.2	0.0	5.8	0.0	11.0	0.0	15.3	0.0	6.0	7.8	26.9	119.0	7.1	-38.8	62				
142	自噴	40	14.6	41.8	8.42	154	0.2	5.6	0.0	8.6	1.5	8.2	0.0	79.0	0.4	7.1	4.5	12.0	211.3	7.1	-39.3	75				
146	自噴	30	14.4	38.8	8.29	143	0.1	5.8	0.0	13.5	0.2	11.2	0.0	42.8	0.0	12.5	6.1	15.0	172.4	7.2	-38.2	79				
147	自噴	30	14.9	18.7	8.33	148	0.1	4.5	0.0	10.0	0.1	11.0	0.0	13.2	0.0	8.5	8.2	62	90.5	7.1	-37.7	56				
148	自噴	40	14.4	51.2	8.42	191	0.2	6.0	0.0	16.2	1.1	8.8	0.0	70.1	0.4	12.0	3.3	8.3	179.3	7.1	-38.5	62				
149	-	-	13.6	29.0	8.36	170	0.1	5.8	0.0	15.3	0.0	22.6	0.0	49.8	0.0	11.3	7.6	12.0	148.2	7.1	-38.7	55				
155	自噴	4	14.4	57.0	8.49	139以下	0.2	3.5	0.0	16.8	2.1	11.8	0.0	126.8	0.6	10.3	2.4	4.6	279.8	7.1	-37.9	62				
151	自噴	20	14.5	30.3	8.62	100	0.1	5.0	0.0	0.0	13.3	0.0	10.1	0.0	47.0	0.0	8.5	4.5	9.8	148.2	6.7	-34.5	58			
152	自噴	20	13.2	27.0	8.17	-12	0.1	4.5	0.0	10.0	0.6	19.1	0.1	24.1	0.1	8.7	8.0	14.9	101.7	7.2	-38.7	59				
153	自噴 不明	16.1	30.2	8.22	100	0.1	6.1	0.0	16.8	0.1	7.5	0.0	26.8	0.0	14.7	6.7	16.5	115.5	7.1	-38.0	63					
154	-	-	12	20.1	7.41	200	0.0	8.9	0.0	2.8	0.0	13.4	0.0	15.2	0.0	4.8	15.3	67.9	6.0	-30.9	63					
155	自噴	5	15	34.8	8.30	31	0.1	7.4	0.0	20.5	0.8	10.2	0.0	14.7	0.0	14.7	5.1	11.0	134.2	7.0	-32.5	51				
157	自噴	25	15	29.5	8.26	102以下	0.1	6.4	0.0	13.7	0.1	9.3	0.0	29.9	0.1	11.3	7.4	15.3	142.7	7.1	-37.5	55				
158	自噴	15	15.4	31.3	8.54	100	0.1	7.3	0.0	16.0	0.2	10.1	0.0	37.9	0.0	11.5	6.2	13.1	150.1	7.1	-34.5	56				
159	自噴 不明	14.3	31.6	8.07	100	0.0	4.1	0.0	1.0	0.2	1.7	0.0	0.0	5.9	0.0	5.9	9.2	33.2	170.6	6.6	-36.2	40				
160	自噴	3	14.5	27.2	8.24	80	0.1	4.7	0.0	2.2	0.1	3.3	0.0	9.1	0.0	7.0	9.8	33.0	143.4	6.7	-36.2	53				
161	自噴	9	14.1	27.4	8.18	123	0.1	6.9	0.0	2.7	0.0	9.1	0.1	11.9	0.1	6.6	9.8	36.5	131.6	7.1	-38.9	62				
164	-	-	12	34.1	8.12	218	0.0	10.0	0.0	0.0	13.9	0.0	0.0	12.3	0.0	21.8	38.1	244.8	5.4	-26.5	32					
165	自噴	20	15.1	33.5	8.12	178	0.0	3.9	0.0	0.0	15.9	0.0	0.0	12.7	0.0	10.7	12.6	21.6	5.6	-31.6	34					
168	-	-	13.1	33.0	7.62	128	0.0	10.3	0.0	0.0	33.4	0.0	0.0	12.5	0.0	20.2	17.8	63								

表4 地下水の水温、水質分析結果一覧表（その3）

no.	水位 (m)	涌水量 (L/min)	水温 (℃)	EC (mS/m)	pH	ORP (mV)	Br(mg/L)	Cl(mg/L)	F(mg/L)	NO3(mg/L)	PO4(mg/L)	SO4(mg/L)	NH4(mg/L)	Mg(mg/L)	Ca(mg/L)	重炭酸(mg/L)	SiO2(mg/L)	SD(‰)	標高			
171	-	15.7	17.7	8.38	143	0.1	51	0.0	0.0	0.1	93	0.0	8.1	0.2	9.9	8.4	19.7	101.7	-7.1	-39.4	56	
174	-	15.5	21.0	8.20	30	0.0	53	0.0	0.0	0.2	18.2	0.0	10.8	0.0	6.7	9.2	30.4	116.3	-7.3	-40.2	28	
179	当噴	-50	15.6	22.1	8.44	134	0.0	6.6	0.0	0.1	12.6	0.0	12.8	0.0	9.1	10.8	31.5	129.7	-7.1	-38.4	28	
181	-	14.2	14.6	8.55	170	0.0	4.6	0.0	0.4	0.0	13.8	0.0	7.4	0.0	7.2	6.2	22.8	76.9	-7.1	-39.6	65	
183	当噴	-30	15	24.7	8.31	155	0.1	5.2	0.0	0.6	0.1	11.2	0.0	14.7	0.0	11.9	12.7	31.2	156.4	-6.5	-36.9	65
186	-	15.2	13.9	6.64	270	0.0	11.5	0.0	18.2	0.0	13.0	0.0	11.3	0.2	4.7	3.3	10.9	24.0	-7.0	-40.2	99	
190	-	9.1	15.0	8.51	208	0.0	4.8	0.0	0.2	14.4	0.0	12.3	0.0	8.9	9.7	17.2	141.1	-7.1	-38.3	35		
196	-	15.8	20.2	8.82	224	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	8.9	0.0	40.9	0.0	5.6	2.4	8.7	19.8	-7.3	-40.9	37	
201	-	15.1	24.7	8.25	159	0.0	6.0	0.0	0.0	0.5	14.4	0.0	25.2	1.5	8.9	10.4	23.7	167.3	-7.2	-39.4	42	
203	-	13.5	38.7	6.83	136	0.0	32.7	0.0	1.0	0.0	20.8	0.0	45.7	0.0	17.7	11.3	39.8	205.6	-6.3	-33.3	25	
204	-	12.5	44.1	7.19	229	0.1	44.3	0.0	8.8	0.1	29.0	0.0	46.3	0.0	17.5	12.9	39.5	220.2	-5.8	-31.2	25	
205	-	15.1	28.9	8.26	193	0.0	6.0	0.0	0.5	0.0	8.6	0.0	34.7	0.0	7.4	3.3	18.7	7.2	-7.2	-37.5	31	
208	-	14.7	21.1	8.13	120	0.0	4.2	0.0	1.7	0.0	12.3	0.0	9.8	0.0	6.3	10.2	34.4	131.8	-7.0	-39.7	22	
212	-	15.4	24.2	8.41	21	0.0	4.1	0.0	0.3	0.0	6.3	0.0	11.7	0.9	7.5	10.1	24.5	133.4	-7.2	-40.3	29	
218	-	13.5	24.6	8.16	37	0.0	4.7	0.0	1.5	0.0	7.8	0.0	15.1	0.1	8.2	14.1	41.7	201.3	-7.4	-40.4	19	
221	-	9.5	22.4	7.28	27	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	12.9	0.0	40.4	0.0	2.9	7.9	24.7	58.0	-7.1	-39.6	25	
223	-	11.1	26.1	8.43	134	0.0	3.8	0.0	2.1	0.2	4.7	0.0	9.7	0.0	6.8	8.1	13.9	28.6	-7.5	-40.9	20	
226	-	14.7	28.3	6.73	206	0.0	8.5	0.1	2.7	0.0	19.4	0.0	12.2	0.0	2.9	11.7	33.0	130.9	-6.9	-38.2	20	
227	-	14.7	29.2	8.32	66	0.0	6.1	0.0	0.2	0.4	20.9	0.0	9.0	0.4	6.4	11.7	40.6	152.9	-7.2	-40.9	4	
229	-	15.4	32.2	8.22	40	0.0	4.8	0.0	0.0	0.4	11.8	0.0	11.9	0.2	3.3	10.9	46.7	187.1	-7.3	-41.1	13	
232	-	13.7	29.2	8.41	29	0.0	4.5	0.0	0.0	0.1	6.6	0.0	11.2	0.1	3.1	9.3	41.9	165.9	-6.5	-37.3	23	
233	-	15.4	30.4	8.04	-151	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	11.8	1.8	8.1	13.9	33.9	178.9	-8.1	-48.9	20	
234	当噴	-50	15.5	22.2	7.72	124	0.1	6.6	0.0	0.1	7.7	0.1	10.1	0.3	3.5	8.3	27.1	114.7	-7.0	-39.7	20	
236	-	15.6	27.0	8.13	-64	0.0	6.3	0.0	0.0	0.2	3.6	0.0	10.8	0.4	2.8	7.3	43.2	151.9	-7.0	-38.2	4	
239	-	13.1	27.5	8.00	225	0.0	9.3	0.0	1.9	0.0	6.6	0.0	10.1	0.0	1.7	6.0	42.6	143.1	-7.3	-41.1	8	
240	当噴	18	15.7	22.8	8.33	-143	0.0	4.6	0.0	0.3	0.0	2.8	0.0	12.5	1.7	7.5	8.1	24.6	123.7	-7.4	-40.6	4
247	-	-	-	-	-	-	5.4	0.0	0.7	0.0	6.8	0.0	9.6	0.1	2.9	8.2	21.5	183.0	-7.1	-37.9	33	
250	-	16	36.6	8.17	15	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	13.7	0.0	3.8	12.1	34.1	215.5	-6.6	-36.6	9	
251	-	14.5	20.9	8.46	107	0.1	2.8	0.0	0.0	0.6	1.7	0.0	10.9	1.4	8.4	7.7	19.4	121.2	-7.4	-41.6	8	
252	当噴	60	15.3	21.9	8.45	-117	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	9.5	0.3	5.5	7.5	31.7	133.0	-7.0	-39.8	7
260	当噴	25	15.6	16.3	8.35	-55	0.0	3.0	0.0	0.0	0.2	6.7	0.0	8.5	0.1	2.2	4.5	20.8	85.8	-7.1	-41.7	4
263	-	15.1	16.6	8.33	100	0.0	2.8	0.0	0.0	0.2	7.0	0.0	8.1	0.1	2.3	4.3	24.6	87.4	-7.2	-41.5	12	
264	当噴	15	15.7	23.5	8.10	-30	0.0	4.5	0.0	0.0	0.2	3.4	0.0	10.3	0.1	2.8	8.6	32.4	139.5	-7.0	-39.3	9
269	-	11.9	24.4	8.30	133	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	8.7	0.2	4.3	7.6	33.7	141.9	-7.2	-39.7	9	
270	-	14.5	22.8	8.30	-101	0.1	5.5	0.0	0.0	0.3	11.1	0.0	9.6	0.3	5.5	7.5	31.7	133.0	-7.0	-39.8	7	
273	-	14.4	23.2	8.91	-20	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	9.2	0.5	5.3	7.4	32.8	130.3	-7.2	-39.8	4	
274	-	14.4	23.1	7.95	73	0.0	4.6	0.0	0.0	0.2	3.0	0.0	9.9	0.9	5.8	6.5	31.0	140.3	-7.1	-40.7	4	
276	-	15.2	22.5	8.42	30	0.0	3.9	0.0	0.0	0.3	4.0	0.0	13.4	1.3	14.2	7.0	29.6	122.4	-7.3	-40.0	2	
277	-	15.8	23.6	8.12	120	0.0	4.2	0.0	0.0	0.1	3.3	0.0	10.3	1.0	9.6	7.5	26.6	136.2	-7.3	-39.8	2	
280	-	15.6	37.0	6.60	232	0.0	21.1	0.0	0.0	0.0	22.8	0.0	0.0	0.0	26.8	0.0	5.1	25.7	117.1	-7.1	-38.9	3
281	-	15.9	28.4	6.90	23	0.0	12.7	0.0	0.0	0.0	23.6	0.0	20.9	0.0	1.5	3.9	35.1	88.7	-6.9	-37.6	30	
282	-	15.9	21.1	8.30	13	0.0	3.1	0.0	0.0	0.2	10.8	0.0	8.8	0.1	2.1	5.1	32.1	130.1	-7.0	-39.4	3	
283	当噴	60	15.4	24.0	8.36	2	0.0	8.5	0.0	0.0	0.2	5.6	0.0	8.7	0.7	7.0	7.9	20.5	131.8	-7.0	-38.0	3
285	-	14.3	22.2	8.18	134	0.0	4.8	0.0	0.0	0.1	3.0	0.0	10.6	1.1	9.3	9.3	31	44.6	165.9	-6.6	-36.2	3
290	-	13.5	19.4	8.32	190	0.0	3.2	0.0	0.0	0.2	1.5	0.0	10.0	0.7	4.6	5.1	25.7	22.4	-6.9	-39.5	3	
293	-	14.4	25.6	8.26	178	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	12.2	0.1	4.0	6.7	33.8	152.5	-7.0	-40.5	3	
294	-	15.5	23.7	8.27	155	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	9.1	0.3	2.1	5.7	39.4	136.6	-6.5	-37.0	3	
299	-	14	40.7	7.98	179	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	14.3	0.0	3.2	11.6	61.0	196.2	-6.9	-38.0	3	
300	-	10.6	31.0	7.42	245	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	12.4	0.0	7.8	0.0	3.1	8.8	44.6	165.9	-6.6	-36.2	3	
304	-	15.2	43.5	8.10	73	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8	0.0	17.5	0.0	3.5	12.7	62.4	221.6	-6.9	-39.5	3	
306	当噴	16	21.5	8.35	70	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	14.4	1.4	8.5	7.6	22.1	117.5	-7.4	-41.1	3	
307	-	15.6	156.7	8.61	-96	2.2	105.0	0.4	0.7	8.4	47.6	0.0	41.5	0.0	2.3	93.5	-6.5	23	-36.6	3		

No. 1~No. 43: 源流域～養老温泉、No. 53~No. 209: 養老温泉～馬立、No. 212~No. 307: 馬立～岩崎(河口)

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
立体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
密度(質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
質量体積(比体積)	立法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
(物質量)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率	(数の)1	1

表 3. 固有の名称とその独自の記号で表される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
平面角	ラジアン ^(a)	rad	m · m ⁻¹ = ^(b)
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)	m ² · m ⁻² = ^(b)
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
压力	ニュートン	N	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N · m
功率、放熱	ワット	W	J/s
電荷、電気量	クーロン	C	N · A
電位差(電圧)	起電力ボルト	V	W/A
静電容量	コーラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	シージメンス	S	A/V
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
磁感应度	ヘンリイ	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C	K
光束度	ルーメン	lm	cd · sr ^(c)
(放射能)放射能吸収線量、質量エネルギー一分与、カーマニ線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量、組織線量当量	ベクレル	Bq	lm/m ²
	ギューレイ	Gy	J/kg
	シーベルト	Sv	J/kg
			m ² · s ⁻²

(a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表 4 に示されている。

(b) 実際にには、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 “1” は明示されない。

(c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号 sr を単位の表し方の中にそのまま維持している。

(d) この単位は、例としてミリセルシウス度 m°C のように SI 接頭語を伴って用いても良い。

表 4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含む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	ニュートン每メートル	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	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	m · m ⁻¹ · s ⁻² =s ⁻²
熱流密度、放射照度	ワット每平方メートル	W/m ²	kg · s ⁻³
熱容量、エントロピー	ジュール每ケルビン	J/K	m ² · kg · s ⁻² · K ⁻¹
質量熱容量(比熱容量)	ジュール每キログラム	J/(kg · K)	m ² · s ⁻² · K ⁻¹
質量エンントロピー	毎ケルビン		
質量エネルギー(比エネルギー)	ジュール每キログラム	J/kg	m ² · s ⁻² · K ⁻¹
熱伝導率	ワット每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	ジュール每立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ · kg · s ⁻²
電界の強さ	ボルト每メートル	V/m	m · kg · s ⁻³ · A ⁻¹
体積電荷	クーロン每立方メートル	C/m ³	m ⁻³ · s · A
電気変位	クーロン每平方メートル	C/m ²	m ⁻² · s · A
誘電率	ファラード每メートル	F/m	m ⁻³ · kg ⁻¹ · s ⁴ · A ²
透磁率	ヘンリー每メートル	H/m	m · kg · s ⁻² · A ⁻²
モルエネルギー	ジュール每モル	J/mol	m ² · kg · s ⁻² · mol ⁻¹
モルエンントロピー	ジュール每モル每ケルビン	J/(mol · K)	m ² · kg · s ⁻² · K ⁻¹ · mol ⁻¹
照射線量(X線及びγ線)	クーロン每キログラム	C/kg	kg ⁻¹ · s · A
吸収線量率	グレイ每秒	Gy/s	m ² · s ⁻³
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	m ⁴ · m ⁻² · kg · s ⁻³ =m ² · kg · s ⁻³
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m ² · sr)	m ² · m ⁻² · kg · s ⁻³ =kg · s ⁻³

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	ゼット	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

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=86400 s
度	°	1° = (π/180) rad
分	'	1' = (1/60)° = (π/10800) rad
秒	"	1" = (1/60)' = (π/648000) rad
リットル	L	1L=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2)ln10(Np)

表 7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位で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 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733(49) × 10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402(10) × 10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1ua=1.49597870691(30) × 10 ¹¹ m

表 8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	里	1 海里=1852m
ノット	ト	1 ノット=1 海里每時=(1852/3600)m/s
アール	a	1 a=1 dm ² =10 ⁻² m ²
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オンストローム	A	1 A=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バーン	b	1 b=100fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

表 9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイナ	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ボルト	P	1 P=1 dyn · s/cm ² =0.1Pa · s
ストークス	St	1 St=1cm ² /s=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G=10 ⁻⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe=(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 ⁻⁸ Wb
スビル	sb	1 sb=1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホル	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

表 10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キヨリ	Ci	1 Ci=3.7 × 10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58 × 10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 Gy=10 ⁻² Gy
レン	rem	1 rem=1 Sv=10 ⁻² Sv
X線単位	X unit	1X unit=1.002 × 10 ⁻⁴ nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W · m ⁻² · Hz ⁻¹
フェルミ	fm	1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット	Torr	1 metric carat=200 mg=2 × 10 ⁻⁴ kg
トール	atm	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=1000J
ミクロ	μ	1 μ=1pm=10 ⁻⁶ m