
原 著

関東地方における大深度温泉の地質と水質

関 陽 児¹⁾

(平成 20 年 11 月 7 日受付, 平成 20 年 12 月 25 日受理)

Relationship between Geology and Water Chemistry Observed in Deep Wells in the Kanto Region

Yoji SEKI¹⁾

Abstract

Relationship between water quality and geology in deep wells (bottom hole depths ranging from GL-1,000 to -2,000 m) in the Kanto region was studied mainly based on published data. Four types of geology were investigated as representative host rock geology for deep wells in the Kanto region. Characteristics in each geological unit are summarized as follows. (1) Deep water in the uppermost Tertiary and lower Quaternary Kazusa Group, host layer for Minami-Kanto gas field, is characterized by neutral pH, sea-water equivalent high salinity, and high homogeneity. Among all geological units herein studied, Kazusa Group has highest concentrations for Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- and dissolved CO_2 species. On the contrary, SO_4^{2-} concentration shows the lowest. Deep water in Kazusa Group is explained as fossil sea water evolved in sedimentary sequence rich in organic material with significant influences from microbes. (2) Deep water discharged from granitic rocks is characterized by dilute and alkaline pH, with dissolved CO_2 species as a dominant anion. This water is thought to be a water-rock interaction product mainly buffered by calcite (CaCO_3). This type of water is scattered even in the other host rock geology. (3) Arakawa Group, Tertiary marine sediments mainly deposited in Kinugawa graben, discharges deep water with neutral pH to slightly alkaline pH and relatively higher salinity. This water seems fossil sea water origin but is much matured and may be diluted as compared with that in Kazusa Group. (4) Yamizo Group, distributed in and around Yamizo mountains, has at least two types of deep waters. One is similar to (2) granitic rock types, the other is slightly alkaline with SO_4^{2-} as a dominant anion. Homogeneity of water quality is the lowest in the four geology types, which may be related to wide range of host rock mineralogy and fracture-related hydrology.

Key words : Deep wells, Kanto region, basement depth, dominant anion, fossil sea water, Minami-Kanto gas field.

¹⁾ 産業技術総合研究所地質調査総合センター 〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1, 中央第 7.

¹⁾ Geological Survey of Japan, Advanced Industrial Science and Technology, Chuo-7, Higashi 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan.

要 旨

関東地方の大深度温泉(孔底深度 1,000 m 以深)について、既報資料に基づきその地質と水質との関係を検討し、以下の結論を得た。(1)南関東ガス田すなわち上総層には、中性で海水並の NaCl 濃度を持つ同質性の高い地下水が広範囲に分布し、有機物に富む堆積物中に層序的に胚胎される化石海水として説明される。(2)花崗岩類中の水は、アルカリ性で炭酸種を卓越陰イオンとし、溶存成分総量があらゆる地層中で最も小さい。珪長質の岩石と天水が十分に反応した産物として説明される。(3)鬼怒川地溝帯を埋積する荒川層群中の水は中性ないしアルカリ性で、海水の数分の一に達する比較的高い塩分濃度をもつ。上総層群と同様に化石海水起源だが、水-岩石反応の進行度、胚胎層準の有機物含有量、天水等による希釈度合等に違いがあると考えられる。(4)八溝山地を中心とする八溝層群中の水の水質は多様性に富み、裂罅規制型の水理構造により胚胎岩石の化学・鉱物組成の不均質性が水質に反映されていると考えられる。

キーワード：深井戸温泉、関東地方、基盤面深度、卓越陰イオン、化石海水、南関東ガス田

1. はじめに

非火山性地域における大深度温泉(大山, 2004)は、近年の新規開業温泉の重要な一翼を担っている。大深度の地下では、一般に動水勾配が小さく地下水の流動速度は極めて小さいと考えられるので、起源や進化経路を異にする地下水の混合の進行も緩慢である可能性が高い。そのため、大深度温泉の水質は、長期間の滞留に伴う胚胎層との水岩石反応の進行や、地層堆積時にトラップされた海水等の保存・変質状態などを反映していると思われる。

関東地方でも多数の大深度温泉井が掘削されており、孔底深度 1,000-2,000 m の井戸に限っても、優に 100 以上の源泉について溶質組成が誌上公表されている(関ら, 2001; 丸井ら, 2001; 関ら, 2004; 宮崎ら, 2007, 村松ら, 2008 など)。大深度温泉井は、基本的に非火山性地域の地温勾配による温度を期待して掘削されるため、火山や局所的高温部に規制される従来型の温泉に比べて源泉位置の地理的分布を限定する要素が少ない。そのため、需要地に近いかあるいは需要地そのものである関東地方では、その全域から比較的地理的偏りが少ないデータを得ることができる。また、東京湾岸から房総半島にかけて分布する南関東ガス田(河合, 1961)では、大深度温泉井相当以上の深度をもつ多数の天然ガス採取孔井が掘削・稼行されており、それらの付随塩水の水質分析結果や地質の報告例も多い(杉崎ら, 1962; 磯村, 1967; 福田・永田, 1982; 福田ら, 1988; 相川, 1991; 今橋ら, 1996; 亀井, 2001 など)。さらに、大深度温泉の地質に関する公表資料も蓄積されつつある(高屋・佐藤, 1992; 国末ら, 2002; 三田ら, 2003; 関ら, 2004; 笠井, 2008 など)のに加えて、関東平野地下の先新第三紀の基盤面深度分布に関しても、近年詳細な知見が得られつつある(鈴木, 2002; 高橋ら, 2005 など)。

大深度温泉の地質と水質との関係を明らかにすることは、深部地下水の起源や水質の形成機構さらには広域地下水流動などについての理解を深める上で意義あることといえる。本論文では、既報の大深度温泉の水質・地質データおよびより精度が高くなった関東平野の基盤情報を参照し、広大な平野部から基盤岩により構成される周辺山地までを含む関東地方のほぼ全域を対象として、大深度温泉の地質と水質の関係性を検討する。

2. 対象と用いるデータ

本論文では、関東地方のほぼ全域に分布する大深度温泉の中から、孔底深度が 1,000-2,000 m の温泉井と天然ガス採取井を検討の対象とする。それらの孔井の大部分は、深度 1,000 m 前後より深い

区間にストレーナー（有孔管）を建て込んでおり，以浅の地下水は井戸に流入しない構造になっている．対象をこのような大深度温泉に限定することにより，地表から浸透・降下する若い天水起源の地下水による混合・希釈による擾乱の度合いがより少ない大深度の地下水について，岩石との相互作用が進行した滞留時間の長い水や，堆積時に粒子間隙にトラップされたまま長期間保持されてきた化石水の特徴を明らかにすることが期待できる．

検討に際しては，関ら（2004）に記載の主要溶存成分組成に加え，関ら（2001），丸井ら（2001），村松ら（2008）の既報値を参照した．

3. 大深度温泉水の基本的な特徴

関ら（2004）は，関東地方東部における大深度温泉水質の基本的特徴として，以下を指摘した．

1) pH が全て中性ないしアルカリ性で酸性泉は皆無． 2) 溶存イオン総量の多寡に3桁の範囲の大きな幅を持つ． 3) 陽イオン組成はNaの卓越するものが大部分であるのに対して陰イオン組成は多様性を示す．

関東地方の東部以外の地域については，北部～西部（関ら，2001），中央部（村松ら，2008），東京湾岸地域（丸井ら，2001）を参照できる．これらの文献中の孔底深度1,000-2,000 mの大深度温泉には前述の3つの特徴が全て認められ，それらが関東地方の大深度温泉全体に共通するものであるといえる．

4. 基盤深度と塩化物イオン濃度との関係

関東地方東部の大深度温泉水において，溶存イオン総量が多い温泉では，陰イオン組成は例外なく塩化物イオンが卓越する（関ら，2004）．関東地方の東部以外の大深度温泉の既報値（関ら，2001；丸井ら，2001；村松ら，2008）においても同様の傾向が明瞭に認められ，この特徴が関東地方全体の大深度温泉に当てはまることわかる．大深度温泉水の溶存イオン総量と密接に関係する塩化物イオンの濃度は，関東平野の地下に分布する先新第三紀の基盤面の深度分布（鈴木，2002；Fig. 1）と深い関係があり，最深部で地表下4,000 mに達する基盤面の深部域，および鬼怒川地溝帯や茨城県鹿行（ろっこう）地域などに認められる局所的な基盤面の凹地に塩化物イオン濃度の高い大深度温泉が分布している（Fig. 2）．

東京湾岸の川崎，東京，千葉から房総半島の中北部の太平洋沿岸と内陸部に分布する南関東ガス田（河合，1961）

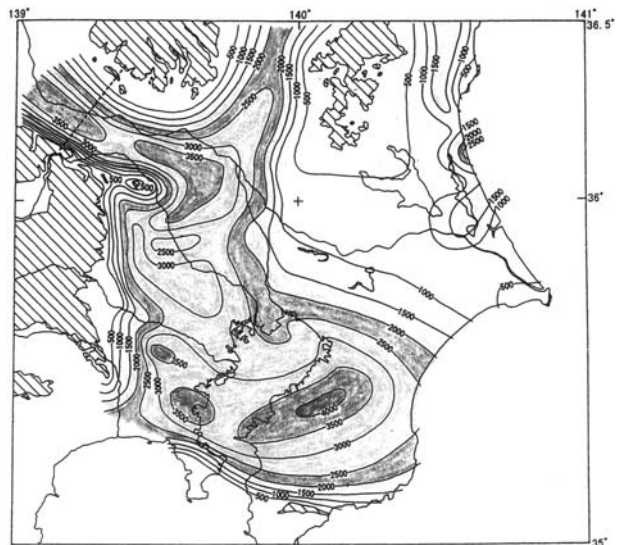


Fig. 1 Depth contour map of pre-Neogene basement in the Kanto region. Pre-Neogene sedimentary rocks and/or plutonic rocks are distributed in areas with oblique lines.

図1 関東地方の先新第三系基盤深度分布図（鈴木，2002）．斜線部分は先新第三系または深成岩の分布域．

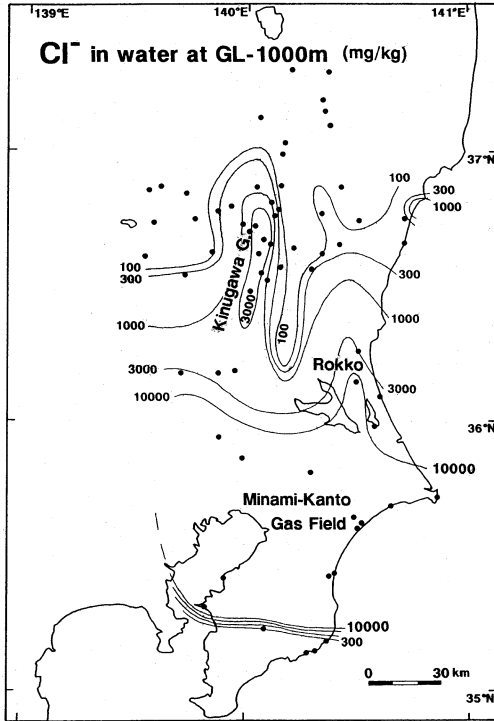


Fig. 2 Spatial distribution of chloride ion concentration in the eastern Kanto region.

図 2 関東地方東部における大深度温泉の塩化物イオン濃度の空間分布。

では、メタンを主とする天然ガスが、鮮新世末期から更新世中期に堆積した上総層群中にトラップされる海水並みの NaCl 濃度をもつ高塩濃度水中に溶存している。関東地方の大深度温泉の中で最も塩化物イオン濃度が高いグループにあたる $Cl > 10,000$ mg/kg の源泉は、東を九十九里沿岸-銚子に、西を東京・埼玉・神奈川都県の東部に、南を千葉県富津-大原に、および北を千葉-茨城県境の利根川流域にそれぞれ限られた範囲に分布する。この区域は、南関東ガス田の分布域とほぼ同一であり、先新第三系基盤面深度が 1,000-4,000 m に及ぶ地域である。この地域の大深度温泉には、稼行中の天然ガス生産井から産出する付随塩水を源泉とするものや、掘削や営業運転中に微量の可燃性ガスを伴うものも少なくない。

栃木県の中央部には、東を八溝山地に西を足尾山地に挟まれた南北に狭長な低地帯が分布し、鬼怒川地溝帯と呼ばれる（高屋・佐藤, 1992）。関東平野の先新第三系基盤面の深度軸は、埼玉・群馬県境の利根川流域から埼玉・東京・神奈川都県の東部を南北行し房総半島中央部に抜ける大きなクランク状を呈するが（鈴木, 2002）、鬼怒川地溝帯はそのクランクの北側の屈曲点から北行して関東構造盆地の分枝状を

呈する。地溝帯の東縁は烏山-菅生沼断層（石井, 1962）によって急傾斜で八溝山地と隔てられ、その最深部は関東平野の基盤最深部には及ばないものの地下 2,000 m 前後に達する。地溝帯の内部は、火山砕屑岩を主とする新第三系中川層群と海成新第三系の荒川層群により埋積され、荒川層群からは、塩化物イオン濃度が数 1,000 mg/kg に達する高塩化物源泉が普通に見出される（Fig. 2）。

茨城県南東部の太平洋沿岸部である鹿行地域には、関東構造盆地からは独立した基盤面の深部域が伏在している（Fig. 1）。鬼怒川地溝帯に比べて大深度温泉の分布密度が低く源泉数が多いが、この地域でデータが入手できる大深度温泉の塩化物イオン濃度も、ほぼ例外なく数 1,000 mg/kg に達している（Fig. 2）。

5. 卓越陰イオン種による区分の有効性

関東地方東部の大深度温泉では、陽イオン中の Na+K 当量分率が 75% 以上に達する孔井が、全体の 95% を占める（関ら, 2004）。この Na+K の大部分は Na なので、陽イオン組成は Na が卓越するものが大部分であることを意味する。一方、陰イオンの組成は、塩化物イオンが卓越する大深度温泉が多いものの、炭酸種が卓越するものや硫酸根を主とするものも少なくなく、陰イオン組成は多様性をもつことが示された。この陰イオン組成の多様性は、以下のように大深度温泉に認められる基本的な水質グループの特徴を反映しており、大深度温泉の水質の検討において卓越陰イオン

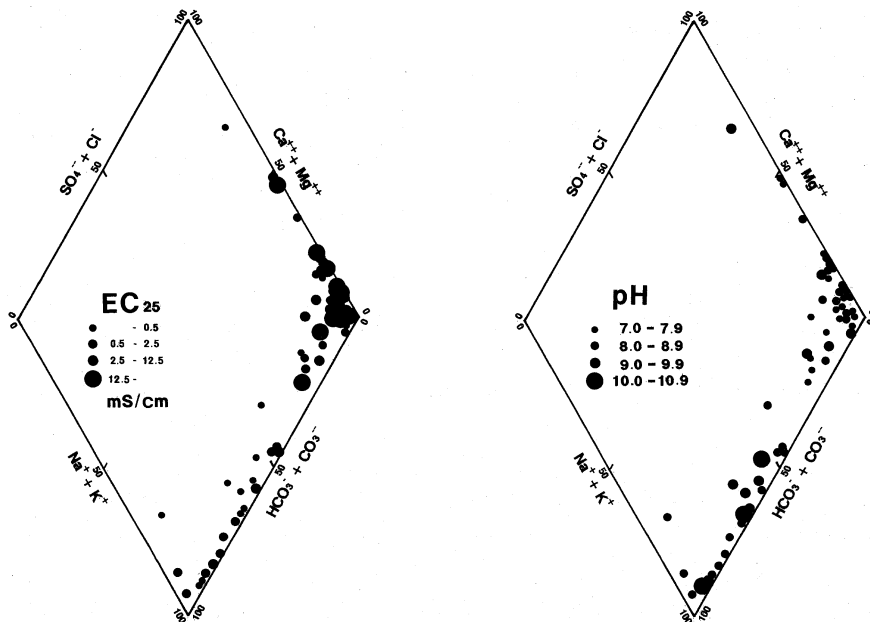


Fig. 3 Plots showing relationships between key-diagram and electric conductivity, and key-diagram and pH.

図 3 キーダイアグラムに電気伝導度と pH を重ねたプロット (関ら, 2004).

種によるグルーピングが有効な指標であることを示している。

関・ほか (2004) は、キーダイアグラムのプロットに pH を重ねると、pH 9 以上のアルカリ温泉がアルカリ炭酸塩型の領域に集中し、同じく電気伝導度を重ねると、高い電気伝導度の大深度温泉はアルカリ非炭酸塩型の領域に集中することを示した (Fig. 3)。さらに、pH と電気伝導度 (すなわち溶存イオン総量) の X-Y プロットに、卓越陰イオン種を重ねると、卓越陰イオン種ごとにそれぞれプロット上の特定の領域に集中することも示された (関ら, 2004 ; Fig. 4)。すなわち、塩化物イオンが卓越する大深度温泉の大部分は、中性で溶存イオン総量は希薄なものから海水相当まで幅広く含む。炭酸種が卓越するものは全て、アルカリ性または弱アルカリ性でその大部分で溶存イオンは希薄である。硫酸根を卓越陰イオンとするものは、pH も溶存イオン総量も前 2 者の中間的な特徴をもつ。これらの卓越陰イオン種の地理的分布を見ると、塩化物イオン卓越型が関東平野、鬼怒川地溝帯と茨城県鹿行地域に優占的に、また炭酸種卓越型が八溝山地に限定されて、さらに硫酸根卓越型が足尾山地や八溝山地内に点在することが認められる (Fig. 5)。

関東地方の東部以外の大深度温泉 (関ら, 2001 ; 村松ら, 2008 ; 丸井ら, 2001) についても上述した東部と同様の傾向が認められ、卓越陰イオン種が大深度温泉の水質の重要な指標であることは関東地方全体に対しても指摘できる。

6. 地質と水質との関係

関東地方東部の大深度温泉については、水質と地質との関係として、1) Na-Cl 型が平野部に卓越し、その起源が海成新第三系～第四系中の化石海水であること、2) アルカリ性低濃度 Na-HCO₃ 型が周辺山地に多く認められ、その起源が珪長質火成岩と反応した天水であること、3) アルカリ性中

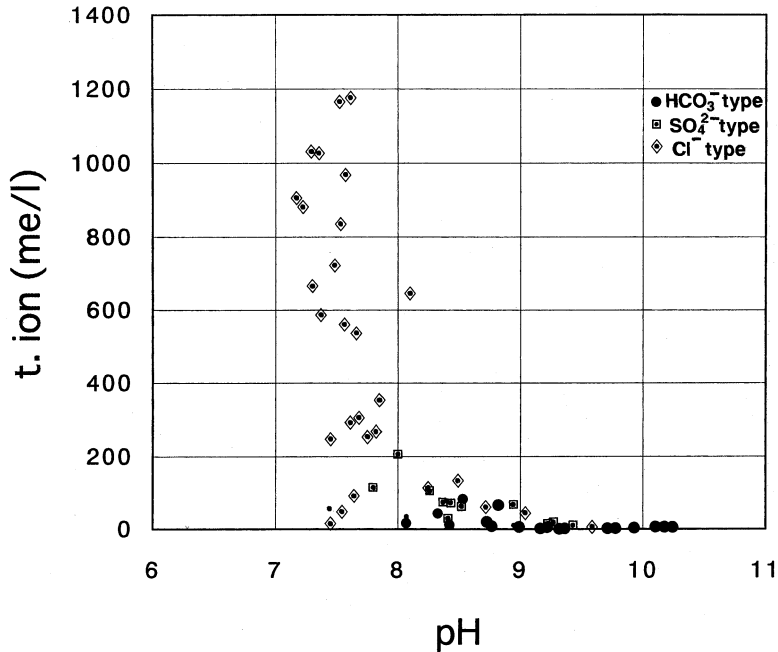


Fig. 4 Diagram showing dominant anion type on the two-dimensional space of pH and total dissolved ion.

図 4 溶存電解質総量と pH のプロットに、卓越陰イオンタイプを重ねたプロット (関ら, 2004).

濃度 $\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{SO}_4$ 型が鬼怒川地溝帯や周辺山地に認められ、その起源が先第三系堆積岩や新第三系火山砕屑岩と反応した天水であること等が指摘されている (関ら, 2004)。一方、関東平野、大阪平野、石狩平野、濃尾平野等の大深度温泉の主要溶質組成データの総括 (宮崎ら, 2007) によれば、大深度温泉の陰イオン組成は炭酸種イオンと塩化物イオンを主としており、溶存イオン総量が低い場合は炭酸イオン種が卓越して炭酸水素泉となり、溶存イオン総量が高い場合は塩化物イオン濃度が卓越して塩化物泉になることが、日本各地の平野部で共通する。

本節では、周辺山地を含む関東地方の大深度温泉の源泉の供給層準となっている代表的な地層を例に地層ごとの水質の特徴を示し、水の起源や水質の形成機構との関係について検討する。対象とする地層は、南関東ガス田の上総層群、足尾山地や八溝山地周辺の花崗岩類、鬼怒川地溝帯周辺の荒川層群、および八溝山地周辺の八溝層である。

(1) 上総層群

上総層群は、関東平野の 1/3 ほどの面積を占める南関東ガス田のガス胚胎層準である。南関東ガス田では、近年、特に首都圏において大深度温泉の新しい展開地域として大深度温泉の源泉数が増加している。

ここでは、上総層群の孔井として関ら (2004) の 10 源泉 (旭, 富津, 蓮沼, 柏, 木更津, 野田, 白子, 横芝の各市町内) を検討対象とする。これらの孔井の水質は、中性で海水並の高い塩分濃度をもつことを基本的な特徴とする。主要溶存成分の対数濃度軸上へのプロット (Fig. 6) は、このグループの水質が互いに高い同質性をもっていることを示す。同質性は、Na と Cl において特に高いが、硫酸根濃度は源泉間での違いが比較的大きく現れる。

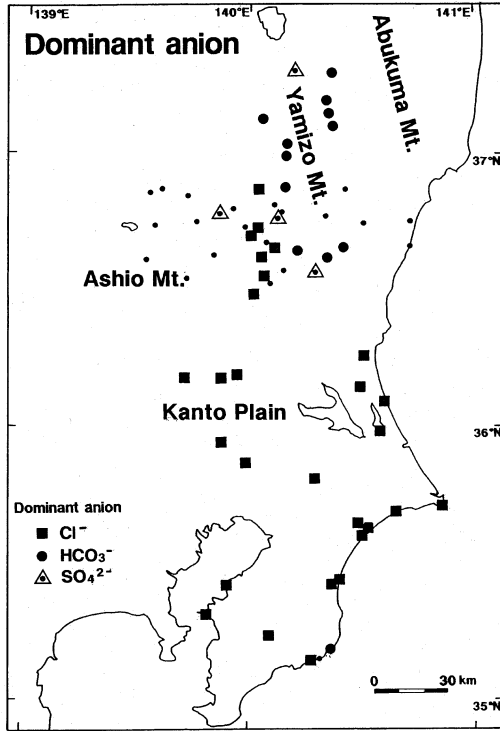


Fig. 5 Spatial distribution of dominant anion types in the eastern Kanto region.

図 5 関東地方東部における卓越陰イオン種の空間分布。

南関東ガス田の付随水に関しては、その海水並の NaCl 濃度、高い Ca/Mg 比、低い B/Cl 比、高いヨウ素濃度などから、海藻類を多量に取り込んだ海成堆積物中にトラップされた化石海水であると考えられている (杉崎ら, 1962; 福田ら, 1988; 亀井, 2001 など)。南関東ガス田域内の地理的に分散した大深度温泉水の水質の同質性が高いことは、共通の履歴をもつ多量の貯留水が温泉の供給源であることを示唆しており、化石海水を起源とする考えと調和する。源泉間での濃度差が大きい硫酸根は、海水に比べて濃度が 1-3 桁少なく、硫酸還元細菌による消費 (須藤, 1967; 岩月ら, 2003 など) で説明される。南関東ガス田の付随水は、他の地質に胚胎される水に比べて炭酸イオン種の濃度が有意に高い。これは炭化水素ガスの胚胎層であることと併せて考えると、堆積物に含まれていた有機物の分解により生じた二酸化炭素 (須藤, 1967; 早稲田・重川, 1988 など) が添加されているためと考えるのが自然であろう。

南関東ガス田における付随塩水の高濃度領域が、東部から西部に向けて深部化することは以前から知られていた (例えば, 鈴木, 1982)。最近、関東山地で涵養された天水が広域地下水流

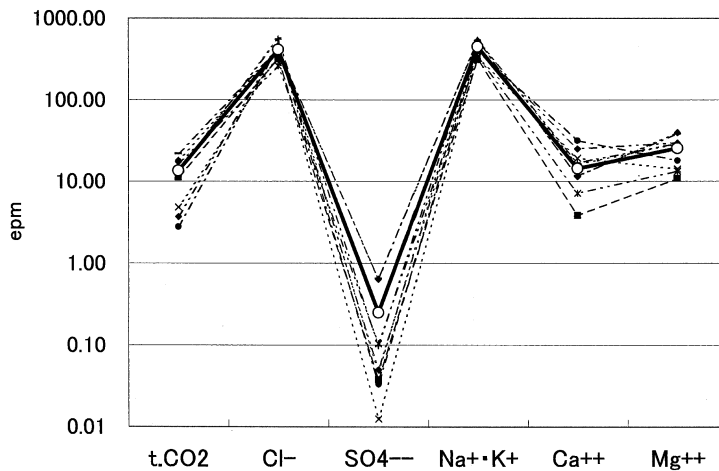


Fig. 6 Concentration patterns of major dissolved components for the Minami-Kanto gas field. Thick line shows average. "epm" is equivalent per million (me/L).

図 6 南関東ガス田の大深度温泉水の主要溶存成分濃度パターン。太線は平均値。縦軸の単位 epm はミリグラム当量/L。

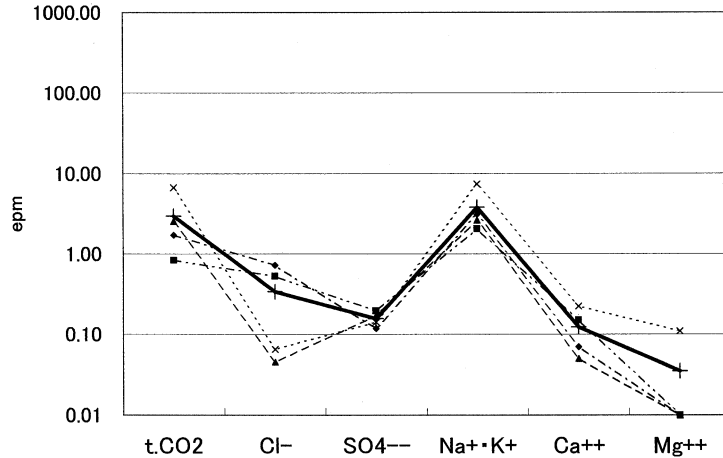


Fig. 7 Concentration patterns of major dissolved components for granitic rocks origin. Thick line shows average. "epm" is equivalent per million (me/L).

図 7 花崗岩類から湧出する大深度温泉の主要溶存成分濃度パターン。太線は平均値。縦軸の単位 epm はミリグラム当量/L。

動によりガス田付近に到達し、ガス田の西縁において混合・希釈が起きている状況が示されたが(村松ら, 2008), Fig. 6 にはその種の源泉は含まれない。

(2) 花崗岩

花崗岩から湧出する大深度温泉は、源泉数としては多くはないものの、関東平野周辺山地の基盤岩分布地域では、亀裂規制型の温泉水として重要な探査対象となっている。

花崗岩からの大深度温泉として、関ら (2004) の 4 源泉 (里美, 粟野, 黒羽, 那須の各町村内) の主要成分濃度を示す (Fig. 7)。これらの孔井では、八溝山地や足尾山地の花崗岩類が温泉水の胚胎層準となっており、その水質はアルカリ性で溶存イオン総量が極めて低いことを基本的な特徴とする。いずれの溶存成分濃度も 1 桁の範囲に集中しており、このグループの水質も互いに高い同質性を持つことが分かる。大深度温泉の水質としては、南関東ガス田のそれと対極をなし、Cl⁻, Na⁺ 濃度ともにあらゆる地域、地質から湧出する大深度温泉と比べて最も低い。

花崗岩類の分布域に希薄なアルカリ性鉱泉が多く見られることは従前より知られており (鈴木, 1979; 高松ら, 1981 など), その成因として限られた二酸化炭素供給のもとでの天水と岩石の反応による方解石との化学平衡が指摘されている (一國ら, 1982)。深度が大きくなっても、花崗岩地帯では同様の機構で水質が形成されているのであろう。花崗岩類に胚胎する水と同質の水は、後述のように荒川層群や八溝層群などの一部にも認められる。必ずしも花崗岩でなくとも、化石海水の関与や方解石以外に溶解度の高い鉱物、例えば硫化鉱物や硫酸塩鉱物等が存在しない場合には、花崗岩地帯と同様の水質が形成されると考えられる。

(3) 荒川層群

近年、源泉数を急激に増やしてきた栃木県において、大深度温泉の胚胎層準として多くの源泉を湧出する地層が荒川層群である。

ここでは、荒川層群から湧出する大深度温泉として関ら (2004) の 8 源泉 (芳賀, 市貝, 喜連川,

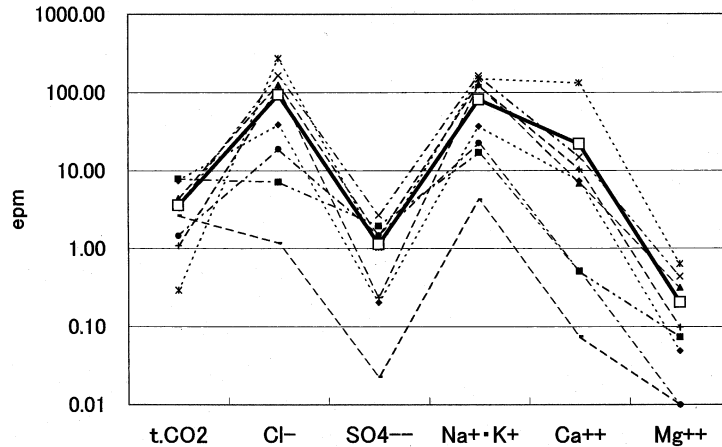


Fig. 8 Concentration patterns of major dissolved components for Arakawa Group origin. Thick line shows average. "epm" is equivalent per million (me/L).

図 8 荒川層群から湧出する大深度温泉水の主要溶存成分濃度パターン。太線は平均値。縦軸の単位 epm はミリグラム当量/L。

真岡、大田原、高根沢、氏家の各市町内)を検討対象とする。これらの孔井の水質は、中性ないしアルカリ性で、海水の数分の1に達する比較的高い塩分濃度をもつものが多い。主要溶存成分の対数濃度軸上へのプロット (Fig. 8) は、このグループの水質の相互同質性は、上総層や花崗岩類に比べると低いことを示す。溶存イオン総量の小さい一部の源泉 (氏家町) は、花崗岩にかなり類似した水質をもつ。荒川層群からの大深度温泉水は、先新第三系基盤面の深部上から湧出する高塩濃度水という点では南関東ガス田と共通するものの、両者にはいくつかの相違点がある。まず、荒川層群では卓越イオンである Na^+ と Cl^- の濃度が、上総層よりも1-2桁低い。また Mg^{2+} 濃度が極端に低く、 Ca/Mg 比が上総層よりも2-3桁も大きい。さらにヨウ素濃度 (栃木県薬務課, 1988) は、海水よりも2桁程度高いものの、上総層と比べて2桁程度低い。

荒川層群では、炭酸種濃度が花崗岩に胚胎する温泉と大差ないことや炭化水素ガスの産出がごく僅かであること (栃木県薬務課, 1988) などから、堆積物中の有機物量がかもともと少なかったか、分解が進行して終わりに近い段階にある可能性が考えられる。地層年代が上総層よりも1桁古いので、 Ca/Mg 比の高さと併せて、化石海水と岩石とのイオン交換などの相互作用が進行していることが示唆される。一方、ヨウ素濃度がさほど高くないことは、地層堆積時点で少なくとも海藻類の取り込み量は少なかった可能性が高い。 Na^+ と Cl^- の濃度が海水や南関東ガス田よりも低いことは、シート状鉱物の層間水や有機物の分解で生じた水による希釈 (須藤, 1967) の効果もあるうが、同じ地層中から花崗岩タイプの水も湧出することを考えると、天水起源の希薄な水による希釈も進行している可能性が高い。

(4) 八溝層群

八溝層群は、従来型の温泉地が局在していた関東地方北東部において、近年、源泉数を増やしている。

ここでは、八溝層群から湧出する大深度温泉として関ら (2004) の9源泉 (御前山, 美和, 馬頭, 鹿沼, 烏山, 茂木, 那須, 小川, 湯津上の各市町村内) を検討対象とする。これらの孔井の水質は、弱アルカリ性で硫酸根を卓越陰イオン種とするものおよびアルカリ性で炭酸種を卓越陰イオン種と

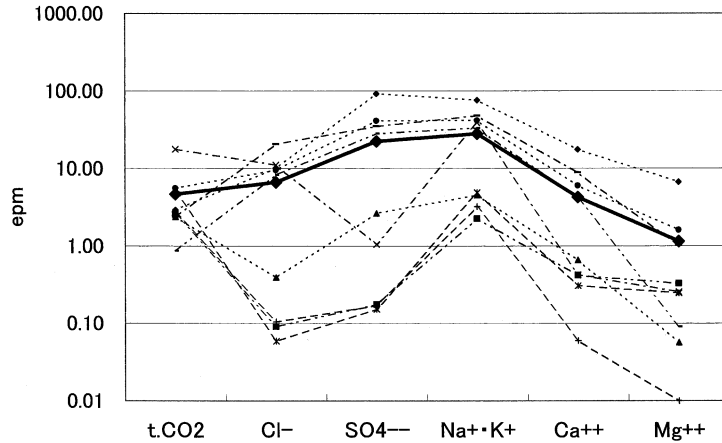


Fig. 9 Concentration patterns of major dissolved components for Yamizo Group origin. Thick line shows average. "epm" is equivalent per million (me/L).

図 9 八溝層群から湧出する大深度温泉の水質の主要溶存成分濃度パターン。太線は平均値。縦軸の単位 epm はミリグラム当量/L。

するものの 2 群が、少なくとも認められる。主要溶存成分の対数濃度軸上へのプロット (Fig. 9) を見ると、このグループの水質の相互同質性は検討した 4 つの地質群の中で最も低い。溶存イオン総量の小さい一部の源泉 (美和, 烏山, 那須の町村) は、花崗岩にかなり類似した水質をもつ。

八溝層群からの大深度温泉水に、化石海水が関与したものはなさそうである。方解石以外に溶解度の高い鉱物、例えば硫化鉱物や硫酸塩鉱物等が存在しない場合には、炭酸種を卓越陰イオンとする花崗岩タイプの水質を示し、硫化鉱物または硫酸塩鉱物を含む地層の場合、硫酸根を卓越イオン種とするグリーンタフ型 (松葉谷, 1981) に類似した水質になると考えられる。裂隙規制型の水理構造により、胚胎地層の化学組成の不均質性が水質に強く反映されていると考えられる。

6. ま と め

本研究では、既往研究結果を参照することにより、主要溶存成分組成について関東地方全域の大深度温泉の水質の特徴を確認し、化石海水を起源とする温泉が基盤の深部や凹部に存在すること、地層単位での大深度温泉の水質との対応関係の検討が水質形成機構の考察に有効であること等を示した。

関東地方の大深度温泉における代表的な地質と水質との関係は、以下にまとめられる。

(1) 南関東ガス田, すなわち上総層には、中性で海水並みの高い NaCl 濃度をもつ同質性の高い地下水が広範囲に分布する。溶存イオン総量はあらゆる地質中で最も高く、Cl⁻ を卓越陰イオン種とする。Na⁺, Cl⁻, Mg²⁺ に加えて、炭酸種の濃度があらゆる地質中で最も高い。硫酸根濃度は主要成分中で最も低いが、比較的バラツキが大きい。有機物に富む堆積物中に層序的に胚胎される化石海水として説明される。

(2) 花崗岩類に胚胎する水は、アルカリ性で溶存成分総量があらゆる地質中で最も低い。炭酸種を卓越陰イオン種とし、相互の同質性は高い。珪長質の火成岩と天水とが十分に反応した水質として説明できる。花崗岩類に胚胎する水と同質の水は、荒川層群や八溝層群などの一部にも認められる。必ずしも花崗岩でなくとも、化石海水の関与や方解石以外に溶解度の高い鉱物、例えば硫化鉱

物や硫酸塩鉱物等が存在しない場合に現出する水質と考えられる。

(3) 荒川層群に胚胎する水は、中性ないしアルカリ性で、海水の数分の1に達する比較的高い塩分濃度をもつものが多い。大部分はCl⁻を卓越陰イオンとするが、一部は炭酸種になる。南関東ガス田の大深度温泉と、基盤面の深所に胚胎する化石海水という共通性をもつが、水-岩石反応の進行、天水による希釈、胚胎層準の含有有機物の種類や量などに相違があると考えられる。

(4) 八溝層群に胚胎する水には、アルカリ性で炭酸種を卓越陰イオン種とする花崗岩タイプ、および弱アルカリ性で硫酸根を卓越陰イオン種とするグリーンタフ型の2群が、少なくとも認められる。水質の相互同質性は、全ての検討した地層中で最も低い。裂隙規制型の水理構造により、胚胎地層の化学組成の不均質性が水質に強く反映されていると考えられる。

このような水質と地質との対応関係の検討を、対象地域を広げ精度を高め多様な手法により進めることで、水の起源や形成機構についてのより正確な知見が得られるはずである。それは、大深度温泉水の有効利用、温泉資源の維持、新規温泉の探査などにおいて利用されるだけでなく、大深度の地下の利用に関係する様々な分野、例えば二酸化炭素の地中貯留や放射性廃棄物の地層処分等においても貴重な情報として活用できるであろう。

謝 辞

日本温泉科学会第61回大会運営委員長野田徹郎博士には、大会ミニシンポジウムにおける講演の機会と本稿執筆の機会を頂いた。記して深謝申し上げる。

引用文献

- 相川嘉正 (1991) : 千葉県温泉の化学—温泉およびガス田付随水の化学成分—。温泉科学, **42**, 22-34.
- 福田 理, 永田松三 (1982) : 日本の水溶型ヨウ素鉱床。石油技術協会誌, **47**, 168-185.
- 福田 理, 永田松三, 鈴木宏芳 (1988) : 関東平野の地下地質と地層流体。地質学論集, **31**, 5-40.
- 一國雅巳, 鈴木勸子, 鶴見 実 (1982) : 水-岩石相互作用の生成物としてのアルカリ性鉱泉水。地球化学, **16**, 25-29.
- 今橋正征, 加藤尚之, 高松信樹, 相川嘉正 (1996) : 千葉県を中心とした地域の温鉱泉水およびガス田付随水中の臭化物およびヨウ化物イオン含量。温泉科学, **46**, 69-78.
- 石井基裕 (1962) : 関東平野の基盤。石油技術協会誌, **27**, 615-640.
- 磯村泰治 (1967) : 九十九里ガス田付随水の研究—主としてハロゲン類の分布について—。岩石鉱物鉱床学会誌, **58**, 188-200.
- 岩月輝希, 村上由記, 長沼 毅, 濱 克宏 (2003) : ウラン鉱床の長期保存に関わる岩盤の酸化還元緩衝能力—東濃地域における天然環境の水・岩石・微生物システムの研究例—。地球化学, **37**, 71-82.
- 亀井玄人 (2001) : 茂原ガス田の地下水に含まれるヨウ素の起源と挙動。資源地質, **51**, 145-151.
- 笠井勝美 (2008) : 茨城の温泉と地質—地質構造から温泉の熱源をさぐる—。茨城温泉開発, 85p., 水戸。
- 河合興三 (1961) : 南関東ガス田についての鉱床地質学的研究。石油技術協会誌, **26**, 212-266.
- 国松彰司, 三田 勲, 和気史典 (2002) : 千葉県茂原ガス田の地下地質と水溶性天然ガス・ヨウ素の生産性について。石油技術協会誌, **67**, 83-96.
- 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**, 1-9.

- 松葉谷治 (1981) : 水素および酸素同位体比からみた温泉水の起源. 温泉科学, **31**, 47-56.
- 三田 勲, 和気史典, 国松彰司 (2003) : 九十九里地域におけるガス水比およびヨウ素濃度を規制する要因一特に, 海底扇状地堆積物および断層が果たす役割について一. 石油技術協会誌, **68**, 111-123.
- 宮崎哲郎, 柴田智郎, 秋田藤夫, 高橋徹哉, 青柳直樹, 中山憲司, 橋爪 清, 内野栄治, 甘露地泰雄 (2007) : 関東平野, 大阪平野, 石狩平野, 濃尾平野, 伊勢・志摩・鈴鹿地方における大深度温泉. 温泉科学, **57**, 99-114.
- 村松容一, 岡崎公美, 大城恵里, 安諸政俊 (2008) : 関東平野中央部の非火山性温泉における深部流体の生成機構. 地下水学会誌, **50**, 145-162.
- 大山正雄 (2004) : 大深度温泉井の開発について. 温泉科学の最前線 (日本温泉科学会編), ナカニシヤ出版, 69-93, 京都.
- 関 寿子, 林 武司, 丸井敦尚 (2001) : 関東平野における深層地下水の性状. 日本水文科学会誌, **31**, 11-24.
- 関 陽児, 中嶋輝允, 上岡 晃, 金井 豊, 間中光雄, 月村勝宏 (2004) : 関東地方東部における大深度温泉の特徴一水質と地質との関係一. 温泉科学, **54**, 1-24.
- 杉崎隆一, 吉本泰介, 加藤喜久雄, 杉浦 孜 (1962) : 南関東ガス田の地球化学的考察一とくにガス成分と鉱床の存在状態との関連について一. 地質学雑誌, **69**, 67-81.
- 須藤能光 (1967) : 日本における油田・ガス田塩水の地球化学的研究. 石油技術協会誌, **32**, 286-296.
- 鈴木宏芳 (2002) : 関東平野の地下地質構造. 防災科学技術研究所研究報告, **63**, 1-19.
- 鈴木励子 (1979) : アルカリ性鉱泉中のフッ素. 地球化学, **13**, 25-31.
- 鈴木尉元 (1982) : 南関東ガス田の天然ガス付随水の水質と分布の特徴. 地調月報, **35**, 666-667.
- 高橋雅紀, 林 広樹, 笠原敬司, 井川 猛, 川中 卓, 須田茂幸 (2005) : 関東平野下に伏在する中新世ハーフグラーベン群一地表地質からみた地下地質構造の新たな視点一. 防災科学技術研究所研究報告, **67**, 13-27.
- 高松信樹, 下平京子, 今橋正征, 吉岡龍馬 (1981) : 花崗岩地帯湧水の化学組成に関する一考察. 地球化学, **15**, 69-76.
- 高屋 正, 佐藤幸二 (1992) : 鬼怒川地溝帯の温泉. 温泉科学, **42**, 114-124.
- 栃木県業務課 (1988) : 栃木県の温泉地質 (下巻), 140p., 宇都宮.
- 早稲田周, 重川 守 (1988) : 本邦油・ガス田地帯における天然ガスの起源に関する地球化学的考察. 石油技術協会誌, **53**, 213-222.

(2008年9月26日 日本温泉科学会第61回大会にて発表)