

足柄平野沿岸部の深部塩水の酸素・水素同位体比と水質組成

板寺一洋*、菊川城司*、代田 寧*

Stable isotope ratio and chemical composition of deep saltwater in coastal area of Ashigara plain

by

Kazuhiro ITADERA *, Joji KIKUGAWA *, Yasushi DAITA *

1. はじめに

足柄平野の相模湾沿岸部では、1979(昭和54)年に地下水塩水化の兆候が認められた(横山ほか、1980)。これ以降、地下水中の塩化物イオンが水道水の水質基準(200mg/l)を上回る事例が報告される(横山ほか、1988)など、飲用および工業用の水源としても活用されている地下水の水質悪化に対する懸念が高まった。

横山ほか(1988)は、この塩水化を引き起こすメカニズムが、事業所による地下水の揚水による地下水位低下にともなう生じる塩水・淡水境界の局所的な上昇であることを解明し、塩水化進行の防止・改善対策について提言を行った。また、酸素・水素同位体比調査による塩水の起源解明を課題として挙げている。

板寺(2000)は、塩水化の顕著な地域を含む周辺地域における事業所の水源井について、酸素同位体比と塩化物イオンの関係について検討したが、塩水化の影響を被り、塩化物イオン濃度の高い地下水と、塩水化の影響を受けていない地下水との間には、同位体比の明瞭な違いが見出されておらず、塩水の起源についての詳細は依然として明らかになっていない。

今回、この塩水そのものに相当する水試料を採取し、

酸素・水素同位体比および主要成分の分析を行ったので、その結果について報告する。

2. 調査対象井戸の概要と周辺地域の水文地質

調査対象井戸(以下、対象井戸)は小田原市の相模湾沿岸部に掘削された。海岸線からの距離は約1kmである(図1)。掘削事業者による井孔完成図によると、掘削深度804.8m、仕上り管口径は100mmで、スクリーンは深度608.3mから793.6mまでの間に、計5区間、総長152.6mにわたって設置されている。また、深度403.2mには、遮水パッカーによる水止めが施され、それより浅層の地下水の混入を防いでいる。

この周辺地域に分布する深井戸としては、対象井戸のほぼ真北約2kmの地点に、温泉地学研究所が地震予知研究用に設置した小田原観測井(深度300m)がある(伊東ほか、1990)。また、板寺(2000)によれば、付近事業所の水源井の深度は60~180mであった。以上のことから、対象井戸は、現時点で足柄平野沿岸部における最深部の採水が可能な井戸ということになる。

地質調査所がこの付近で行った深度500mの調査ボーリング結果によれば、ほぼ全層がレキ層に分類される地

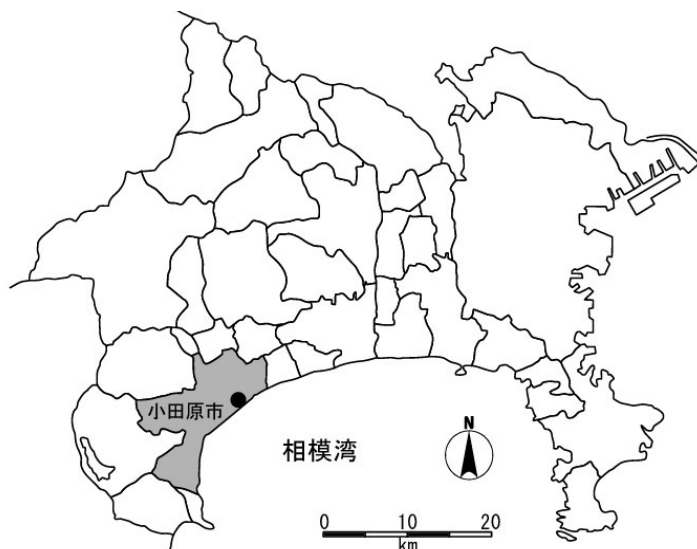


図1 対象井戸の位置(●は井戸の位置を示す)

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田586
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第36巻, 43 - 47, 2004.

層であった(Yamazaki, 1992)。対象井戸の掘削時の記録においても、孔底までの区間は、ほぼ全層がレキ層で構成されており、足柄層など基盤に相当する地層は確認されていない。また、平成13年度神奈川県地下構造調査により推定された関東平野南西部の基盤深度分布図によれば、足柄平野南部における基盤深度は1.4～1.8kmである(神奈川県、2002)。

以上のことから、対象井戸を含む周辺地域は、基盤深度が1000mを越え、その上に、透水性の良好なレキ層を主体とする地層が厚く堆積している地域であると考えられる。

3. 水質分析結果および酸素・水素同位体比

対象井戸の採水を2004(平成16)年4月12日に実施した。表1に採取した試料水の温度(現地にて測定)、電気伝導度、pH(実験室にて測定)、および、主要成分と酸素・水素同位体比の分析結果を示した。

採水は、深度100mに設置した水中ポンプにより、毎分250リットルの揚水を5時間以上継続した後に行っていることから、井戸孔内に滞留していた地下水は完全に入れ替わり、スクリーン深度の地下水が揚水されたものであると考えられる。

3.1.1. 水温

対象井戸の温度分布状況については、掘削事業者が実施した温度検層結果によれば、地表付近を除いて深度による温度変化は小さく、深度150m付近までは僅かに温度上昇し、20℃弱に達した後、450m付近までほぼ一定温度が続いている。それ以降では一様に温度が低下し、孔底温度はおおよそ16℃であった。表1に示したとおり、採水時の水温は16.1℃であった。毎分250リットルという比較的多い揚水量も考慮すると、スクリーンから孔内に流入した地下水が、揚水される間に周囲の地温による加熱あるいは冷却される影響は無視できるものと考えられる。

対象井戸における採水時の水温を、スクリーン設置区間(608.3～793.6m)の中央深度(約700m)の温度に相当するものとして、神奈川県温泉地学研究所(2000)に掲載された神奈川県内の非火山地域における温泉井(孔底深度500m以上)の孔底深度と温度のデータ比較する(図2)と、対象井戸の水温が極端に低いことがわかる。

3.2. 酸素・水素同位体比

表1に示したとおり、試料水の酸素・水素同位体比は、それぞれ-0.9‰、2.9‰であった。これらは海水に匹敵するほど重い同位体組成であり、横山(1988)が指摘したと

表1 試料水の水質組成等と酸素水素同位体比

		対象井戸	海水※
温度	(°C)	16.1	
電気伝導度	(μS/cm)	48300	
pH		7.63	
Na ⁺	(mg/l)	10500	10650
K ⁺	(mg/l)	305	380
Mg ²⁺	(mg/l)	1230	1270
Ca ²⁺	(mg/l)	794	400
Cl ⁻	(mg/l)	19800	18980
SO ₄ ²⁻	(mg/l)	2580	2650
HCO ₃	(mg/l)	229	140
δ ¹⁸ O	(‰)	-0.9	0
δD	(‰)	2.6	0

海水の水質組成は文献値(北野、1984)で(g/kg)単位で表示されていたものを1000倍して単位をそろえた。同位体比については標準平均海水の値とした。

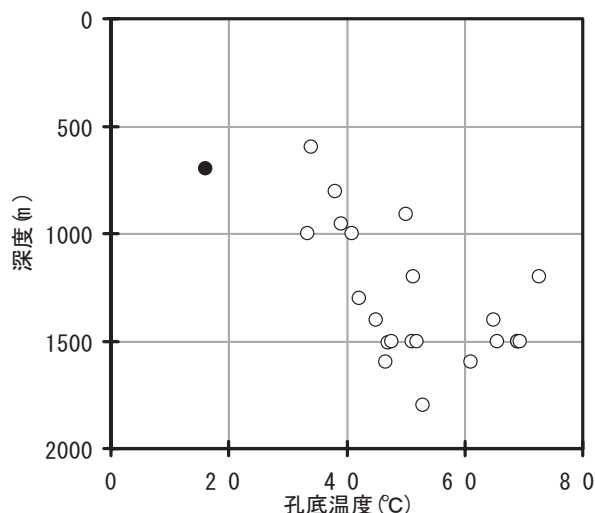


図2 神奈川県内における深度500m以上の非火山性温泉井の孔底温度と深度の関係(●は対象井戸)

おり、足柄平野沿岸部地下における塩水の起源が海水であることを示唆している。

また、標準平均海水(V-SMOW)と比較すると酸素同位体比が小さく、水素同位体比が大きい特徴があるので、今後、相模湾における海水の酸素・水素同位体比の深度分布状況や、過去の海水の同位体比変動に関するデータとの比較等を行うことにより、塩水の起源を空間的あるいは時間的に特定することができると考えられる。

3.3. 主要成分の組成

表1によれば、試料水はNa⁺とCl⁻を主成分としており、併せて示した海水(北野、1984)の組成と比較すると、きわめて近い組成であることがわかる。

表1に示した各成分濃度について、海水中の濃度に対

する当量比について検討した結果(図3) 試料水中には、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- が海水とほぼ同程度含まれている。この結果は、試料水が、海水そのもの、または、海水が淡水によって僅かに希釈されたものであるとして説明が可能であり、上述した酸素・水素同位体比の特徴とも大きく矛盾しない。これに対して、 Ca^{2+} は約2倍、 HCO_3^- は約1.5倍多く含まれている。この原因は不明であるが、海水が陸側に浸入した後、地層との反応等の過程を経たこと示していると考えられる。

4. 考察

神奈川県温泉地学研究所(1994)によれば、対象井戸付近の浅層地下水の水位は海拔5m付近である。また、井戸掘削地点の標高は約9mである。ガイベン - ヘルツベルクの法則によれば、海岸付近のある場所における塩水 - 淡水境界の深さは、その場所の地下水位(海拔基準)のおよそ40倍となるので、対象井戸付近における塩水 - 淡水境界の深度は浅くて200m程度、多く見積もっても400m程度ということになる。したがって、水止め位置やスクリーン深度等の井戸構造を考慮すると、対象井戸は足柄平野沿岸部の地下水塩水化の原因となっている塩水を直接汲み上げていると考えられる。試料水の酸素・水素同位体比および主要成分組成は、この深部塩水が海水起源であることを示唆している。

一方、対象井戸は、神奈川県の大深度温泉井と比較しても、深度に対して著しく水温が低い。また、この井戸自体の温度分布において、塩水 - 淡水境界より深い部分における温度勾配が極めて小さい。温度にみられるこうした特徴は、深部塩水が停滞性のものではないことを示している。

上述のとおり、対象井戸の周辺地域における基盤深度は1000mを越えると予想され、その上部にはレキ層を主体とする地層が厚く堆積している。深部塩水が停滞性でない(流動している)特徴を示したことは、このレキ層の透水性が良好であることを反映しているものと考えられる。

また、ガイベン - ヘルツベルグの法則により想定される塩水 - 淡水境界から基盤までの間を、海洋側から浸入した塩水が満たしているとすれば、その量は膨大であると考えられる。対象井戸の温度勾配が小さくなっているのは、そうした塩水の流動により、深部からの熱伝導が妨げられているためである可能性もある。試料水中に海水より多く含まれている Ca^{2+} や HCO_3^- についても、塩水が地層中を流動する間に、地層との反応等により加わったものと考えられる。

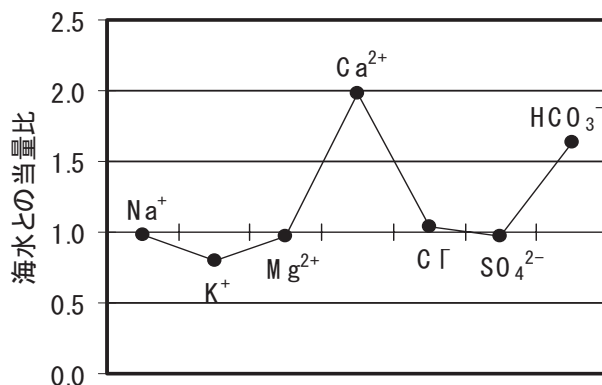


図3 海水と比較した試料水中の溶存成分の当量比

5. まとめ

足柄平野沿岸部に掘削された深度約800mの深井戸から採水された試料水は、ガイベン - ヘルツベルグの法則と周辺の地下水位の状況から、足柄平野の地下水塩水化の原因となっている深部塩水に相当すると考えられる。

この試料水の酸素・水素同位体比および主要成分の分析結果などから、足柄平野沿岸部の深部塩水は海水由来であるが、海水そのものではなく、地層との反応等の過程を経た可能性があることや、停滞性のものではないことが推定された。

今後、この塩水が、具体的にどこから浸入した海水に由来するのか、どのような水質形成過程を経ているのか、流動の速度はどのくらいなのか等について検討することにより、足柄平野のように、透水性が良好で厚い堆積層で覆われた平野が海岸と接している地域における塩水の実態を解明することができるであろう。

参考文献

- 板寺一洋 (2000) 足柄平野南部の地下水の酸素同位体比, 温地研報告, 31, 117-120.
- 伊東博、小鷹滋郎、棚田俊收、荻野喜作、長瀬和雄、横山尚秀、平野富雄、大木靖衛 (1990) 温泉地学研究所の地震・地下水位観測システムについて, 温地研報告, 21(3), 1-17.
- 神奈川県 (2002) 平成13年度神奈川県地下構造調査成果報告書, 34p.
- 神奈川県温泉地学研究所 (1994) 神奈川県地下水位・水頭分布図.
- 神奈川県温泉地学研究所 (2000) 事業概要 平成11年度, 104p.
- 北野 康 (1984) 化学選書 地球環境の化学, 裳華房, 237p.

Yamazaki, H. (1992) Tectonics of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, central Japan, 地質調査所月報, 43(10), 603-657.

横山尚秀、荻野喜作、平野富雄、小沢清 (1980) 足柄平野下流部の地下水について - 足柄平野の地下水(その5)-, 温地研報告, 12(2), 63-74.

横山尚秀、平野富雄、荻野喜作、大木靖衛 (1988) 足柄平野沿岸部の地下水塩水化調査結果(昭和61年度), 温地研報告, 19(3), 17-24.