

横浜市南部地域にみられる地下水の水質とその地質的背景

吉川循江・荒井桂子・田中礼子・磯田信一・杉本 寛

第16回環境地質学シンポジウム論文集 別刷

(2006年12月)

Reprinted from

The Proceedings of the 16th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, December 2006

横浜市南部地域にみられる地下水の水質とその地質的背景

吉川循江¹ 荒井桂子¹ 田中礼子¹ 磯田信一¹ 杉本 實²

1:横浜市衛生研究所 〒235-0012 横浜市磯子区滝頭 1-2-17

2:元横浜市環境科学研究所 〒235-0012 横浜市磯子区滝頭 1-2-15

Chemical components detected in well water drawn at the south area of Yokohama city

Yukie KIKKAWA¹, Keiko ARAI¹, Reiko TANAKA¹, Shinichi ISODA¹,
and Minoru SUGIMOTO²

1:Yokohama City Institute of Health 1-2-17, Takigashira, Isogo-ku, Yokohama, 235-0012 Japan

2:Yokohama Environmental Research Institute 1-12-15, Takigashira, Isogo-ku, Yokohama, 235-0012 Japan

Abstract

The ground waters drawn at the Yokohama City have been known that they have distinct differences in concentrations of chemical components. In this study we investigated the spreading of ground water on the strata of Yokohama south area. To understand the distribution of chemical components, we examined SO_4^{2-} and Ca^{2+} in well waters drawn from 183 drilled-wells and compared with the geologic map. The results revealed that most of the tested well waters have high concentrations of SO_4^{2-} and Ca^{2+} . The strata in south area of Yokohama city belong to Kazusa group that mainly has acidic pelite. There is a possibility that SO_4^{2-} and Ca^{2+} in the well waters are oozed from Kazusa strata. The different concentration of SO_4^{2-} and Ca^{2+} in Yokohama city seemed to depend on the geologic strata. Therefore, when well water is tested, geologic strata should be considered. This study would be a mile stone to understand the spread of pollution through the ground water.

Key word: SO_4^{2-} , Ca^{2+} , acidic pelite, acidic sulfate soil, ground water, Topographic and geologic map of Yokohama city

はじめに

平成 15 年に茨城県神栖町で発生した井戸水中の砒素(As)による健康被害事例を踏まえ、同年 6 月、厚労省は「飲用井戸の衛生対策の徹底について」を通知した。これを受け横浜市は平成 15~17 年に地下水を飲用する家庭用井戸や簡易給水水道、専用水道に該当する事業所を対象として、80 施設の水質基準適合検査¹⁻³⁾を行った。その結果、Mn, Fe 等の水質基準超過例が散見され、特に As は 10 例から検出(0.001mg/L 以上)された¹⁻³⁾。地下水による健康被害を未然に防止するため、同通知では各自治体に対して周辺水質の実態把握を求めている。そのためには、飲用井戸の周辺地域の地下水水質の特徴を把握することが重要である。その手法のひとつとして、地下水中の主要イオン(Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- 等)の水質組成を指標とし、水質の地域的な特性を把握する研究⁴⁻⁶⁾が行われている。

前回区分した横浜市北部、西部、臨海地域⁷⁾に引き続き、南部地域の地下水を対象として、地下水中の As の供給源といわれる硫化鉱物に由来する硫酸イオン(SO_4^{2-})⁸⁾と主要イオンに着目し、その水質の地域的な特性と地質的背景について検討したので報告する。

試料、調査方法、および横浜市南部地域の地形・地質

試料：平成 14 年 2 月から 3 月に持ち込まれた地下水 271 井

調査方法：横浜市の地形・地質図 2003 (横浜市)⁹⁾を用い、調査した井戸の所在地を確定し、地域、地形、地質から区分した。

横浜地域の地域区分は南部(N=33)を新たに区分し、北部(N=89)、西部(N=36)、臨海の各地域(N=25)はすでに区分⁷⁾した地域を用いた(Fig.1)。

地下水中のイオン類および水質基準項目等は告示の方法¹⁰⁾に準じて測定した。

還元性地下水(被圧地下水)は $\text{NH}_4\text{-N}$ が検出(0.12mg/L以上)され、かつ、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が検出されない場合(水質が還元状態⁷⁾)とした。

南部地域の地層・地形：南部地域(金沢区、栄区の一部)の地形⁹⁾は三浦丘陵に接し、円海山を中心とした侵食の進んだ斜面形を示し、山地として区分されている。地層は、沖積層と上総層群(野島、大船、小柴、中里層)からなり、相模層群は見られない特徴がある。地形は金沢低地、山稜地、侵食谷に区分される。金沢低地は宮川下流の海岸に形成され、低地の背後には上総層群の野島、大船、小柴層からなる山稜地が東西に連なっている。山稜地を開析した宮川、侍従川等の下方侵食によって侵食谷地形が形成されている。

結果と考察

横浜市内における井戸水の主要イオン成分

各地域の地下水の主要イオン成分(SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})の濃度別、検出率をTable1に、 Ca^{2+} と SO_4^{2-} の関係をFig.2に示した。

1) **硫酸イオン(SO_4^{2-})の検出状況**：南部地域の SO_4^{2-} 濃度が100mg/Lを超えて検出された率は30.3%で、他の地域は5.6~8.0%であった。南部は最高濃度1200mg/Lが2井、200~300mg/Lまでが5井であった。北部は最高濃度570mg/Lが1井、200~300mg/Lまでが1井であった。

2) **カルシウムイオン(Ca^{2+})の検出状況**：南部地域の Ca^{2+} 濃度が60mg/Lを超えて検出された率は約67%で、北部では約11%、臨海は20%、西部は8.3%であった。

3) **マグネシウムイオン(Mg^{2+})の検出状況**：南部地域の Mg^{2+} 濃度が20mg/Lを超えて検出された率は30.3%で、北部では約7.9%、臨海は24%、西部は8.3%であった。

4) **南部地域の主要イオンの特徴**：一般的に淡水の SO_4^{2-} 濃度¹¹⁾は20mg/L、 Ca^{2+} 濃度¹¹⁾は5~20mg/Lであり、これに比べ南部地域は SO_4^{2-} が火山地域(阿蘇)¹¹⁾の地下水56mg/Lと並び高濃度で検出され、 Ca^{2+} も高濃度に検出される地域であった。

南部地域の地形・地質的特性

南部地域の地下水(N=33)を地形と地層から区分し、地形・地層別に地下水中の SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度の検出状況をTable2に示した。

1) **沖積層**：沖積層⁹⁾の下位には上総層群があり、沖積層は横浜地層の上位に上部砂層が堆積している。上部砂層の旧砂州は貝化石を混入している。横浜地層は海成堆積物からなり透水性が高く、貝化石が多い。旧砂州上の海岸から程近い地下水は13井であった。

2) **上総層群**：小柴層上の地下水8井は、山稜地の1井と侵食谷(海岸から程近い5井、海岸から約7kmの2井)の7井であった。大船層上の地下水2井は山稜地であった。野島層上の地下水10井は、山稜地の2井と侵食谷(海岸から約2km)の8井であった。

3) **上総層群と硫化鉱物と SO_4^{2-}** ：石坂ら¹²⁾は SO_4^{2-} 濃度の高い地下水は硫化鉱物を多く含む地層中に見られると報告している。さらに、横浜市内の上総層群(柿生、王禅寺、鶴川、上星川、小柴層)に酸性泥岩(硫化鉱物、主に FeS_2 を顕著に含む岩石類)とよばれる海成堆積物が存在し、この堆積物に含まれる硫化鉱物が酸化されると SO_4^{2-} が生成されること¹³⁾を確認していた。一方、Asは自然環境中では硫化鉱物(硫鉄鉱や黄鉄鉱)として存在し、地下水や土壌に供給される^{8,14-16)}。南部の上総層群から取水される地下水の中では SO_4^{2-} 濃度が高い結果が得られたことから、南部の上総層群に存在する硫化鉱物を含む酸性泥岩の影響を受けていると考えられた。

南部と北部の上総層群から取水される地下水の比較

横浜市では北部地域にも上総層群の柿生、王禅寺、鶴川層がみられる^{7,12)}。そこで、北部(N=44)と南部(N=33)地域の上総層群(沖積層にあり下位に上総層群がある地下水も含む)から取水される地下水について、その性質を決める主要化学成分(Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 Fe)の各イオン間あるいはpHとの関係について検討した(Fig.3)。

1) **Ca^{2+} と SO_4^{2-}** ： Ca^{2+} と SO_4^{2-} 濃度の関係を Ca^{2+} は200mg/Lまで、 SO_4^{2-} は250mg/Lまでの範囲で示した。南部の方が Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 濃度とも高い傾向がみられた。野島層(N=8)の中央値は Ca^{2+} 濃度87mg/L、 SO_4^{2-} 濃度

160mg/Lであり、沖積・小柴層より高い傾向がみられた。南部の沖積・小柴層は、 $\text{Ca}^{2+} : \text{SO}_4^{2-}$ 濃度比が1:1程度であり、野島層は約1:2であった。北部は1:3程度、あるいは SO_4^{2-} が10mg/L以下で、かつ Ca^{2+} 濃度が高い傾向が約45%に見られた。

2) Ca^{2+} と Mg^{2+} ：硬度の成分を成す Ca^{2+} と Mg^{2+} 濃度の関係を示した。南部は $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ 濃度比が6:1程度と Ca^{2+} 濃度が高く、野島層は4:1程度であった。また北部は2:1程度であった。南部は硬度の高い(300mg/L以上)地下水が30.3%にのぼり(Table1)、硬度に占める Ca^{2+} 濃度の割合が高い傾向がみられた。

3) SO_4^{2-} とpH： SO_4^{2-} 濃度とpHの関係を示した。南部はpH6.4~7.9の範囲にあって、平均pH7.3を示している。北部はpH5.8~7.8の範囲にあって、平均pH7.0を示している。 SO_4^{2-} 濃度が330mg/Lと高い八ヶ岳等の酸性温泉水の場合は、pH3.0を示すデータがある¹¹⁾が、南部は SO_4^{2-} 濃度が200mg/L程度検出された場合もpH7~8を中心に分布した。一方北部は SO_4^{2-} 濃度が70mg/L程度検出された場合、pH6~7を中心に分布した。表層の自由地下水に比べ、滞留時間が長い還元性地下水のpHは7~8で、かつ SO_4^{2-} 濃度が低い傾向がみられた。この傾向は、被圧地下水は滞留時間が長くなるに従い、その SO_4^{2-} 濃度は還元により減少傾向があることが報告⁶⁾されており、この報告と一致した。一方、南部はpHを高める他の因子の存在が示唆される。

4) SO_4^{2-} と Cl^- ： SO_4^{2-} と Cl^- 濃度の関係を示した。南部は、 SO_4^{2-} 濃度が Cl^- 濃度に対して1井を除き高く、硫酸卓越型の水質であった。特に野島層は Cl^- 濃度に対して SO_4^{2-} 濃度が高い傾向がみられた。北部も南部と同様の傾向を示した。南部は海岸に隣接する地下水もあるため海水、風送塩の影響を考え海水の化学成分と比較した。海水については、 SO_4^{2-} の Cl^- に対する重量比¹¹⁾0.140が示されており、 Cl^- 濃度の方が大きい。したがって海水の影響は小さいと考えられた。なお、塩水化(Cl^- 濃度200mg/L以上)地下水は見られなかった。

5) Ca^{2+} と Na^+ ： Ca^{2+} と Na^+ 濃度の関係を示した。南部の Ca^{2+} と Na^+ 濃度比は北部に比べ Ca^{2+} 濃度が高い特徴がみられた。この特徴とpHの特徴から一般的な石灰岩 CaCO_3 (層)⁶⁾¹¹⁾から取水する地下水の特徴(Na^+ を供給しない、pH7.0~8.2)を示していた。 Ca^{2+} を支配する最大の因子は地質であり¹¹⁾、南部地域の地下水が Ca^{2+} に富むのは貝化石を含む沖積層の特徴も一因と考えられた。

6) Feと Ca^{2+} ：酸性泥岩中の硫化鉱物(パイライト、二硫化鉄 FeS_2)は風化の進行に伴い酸化され、 SO_4^{2-} と共にFeが生成する¹³⁾。そこでFeと Ca^{2+} 濃度の関係を示した。Fe濃度は北部で高く、南部は低い特徴がみられた。また、硫酸Caを伴う鉱床(硫化物鉱床の一種)が、南部地域に近い横須賀市鷹取山付近で報告¹⁷⁾されている。以上のことから南部と北部では酸性泥岩中の硫化鉱物が異なり、北部は二硫化鉄、南部は硫酸Caの鉱物が存在し、これらが地下水中の Ca^{2+} 濃度に影響している可能性が示唆された。

As 検出例とその水質

平成15~17年の冬季に実施した水質基準適合検査においてAsの検出された10例¹⁻³⁾の地域、地層区分とその水質をTable3に示した。Asは南部(小柴、中里層)、北部(柿生、王禅寺、鶴川、稲城層)、中央部(上星川層)に区分される各地域の上総層群の各層から取水された地下水から検出されていると推定された。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の関係から、Asは還元性地下水および自由地下水から検出される。また、北部地域にある施設6、7、8、9、10の結果から、Asの検出は、必ずしも SO_4^{2-} の高濃度検出に結びつかず、北部の上総層群の各層では、Asと SO_4^{2-} 濃度分布は均一ではないことが示された。

まとめ

地下水中の SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 濃度が高い横浜市南部地域の特殊性や地形、地質的特徴を検討した結果、次のことが明らかになった。

1) 上総層群に由来する地下水は SO_4^{2-} 濃度が高く、この理由は地層中に酸性泥岩(硫化鉱物を顕著に含む岩石類)が存在し、この硫化鉱物を含む地層から取水されているためと推定された。上総層群の中でも北部(柿生、王禅寺、鶴川層)と南部(小柴、大船、野島層)では SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、Fe濃度とpHに違いがみられた。

2) 南部地域の Ca^{2+} 濃度が高い原因は、海成の地層で貝化石が含まれる特徴や石灰岩層、硫酸Caを伴う鉱床の存在が示唆された。

3) Asは10例¹⁻³⁾の地下水から検出され、横浜市南部(小柴、中里層)、北部(柿生、王禅寺、鶴川、稲城層)、中央部(上星川層)に区分される上総層群の各層から取水されたと推定された。また、その水質からAsは

還元性地下水からも、自由地下水からも検出される。さらに、As の検出は必ずしも SO_4^{2-} 濃度に依存して検出されるわけではないことが示された。

謝辞：本研究にご協力いただいた各区福祉保健センター環境衛生監視員の各位に感謝いたします。

引用文献

- 1) 荒井桂子他, 2005, 水道未普及家屋の衛生対策に係る実態調査. 横浜市衛生研究所年報, 第44号, 117-126.
- 2) 荒井桂子他, 2006, 自己水源型簡易給水道の実態調査. 横浜市衛生研究所年報, 第45号(投稿中).
- 3) 荒井桂子他, 2006, 自己水源型専用水道の実態調査. 横浜市衛生研究所年報, 第45号(投稿中).
- 4) 角田定孝他, 2005, 横浜市の地下水帯水層調査(第1報). 横浜市環境科学研究所報, 第29号, 58-64.
- 5) 角田定孝他, 2006, 横浜市の地下水帯水層調査(第2報). 横浜市環境科学研究所報, 第30号, 24-27.
- 6) 地下水ハンドブック 1980, 地下水ハンドブック編集委員会編集 建設産業調査会 p145, 358, 367.
- 7) 吉川循江他 2002, 横浜市内にみられる地下水中のマンガ分布とその地質的背景. 第12回環境地質学シンポジウム論文集 111-116.
- 8) 安藤正典, 2000, インド・バングラディッシュにおける地下水と素汚染と健康影響. J. Natl. Public Health, 49(3), 266-274.
- 9) 横浜市地盤図集 2003, 横浜市.
- 10) 厚生労働省告示. 第261号; 水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法. 平成15年7月22日.
- 11) 水質調査法: 半谷高久・小倉紀雄 共著 丸善 東京 p71, 72, 74, 189, 192, 227-228, 234-237.
- 12) 石坂信之他, 1993, 神奈川県地下水の主要化学成分について. 神奈川県温泉地学研究所報告, 第24巻, 第2号 27-48.
- 13) 石坂信之, 1993, 酸性泥岩の科学的特徴について. 神奈川県温泉地学研究所報告, 第24巻, 第2号, 1-26.
- 14) 伊藤浩子他, 2003, 大阪北摂地域における地下水のヒ素含有変動とその要因. 地下水学会誌, 第45巻第1号 3-18.
- 15) 益田晴恵他, 1999, 大阪府北摂地域浅層地下水の天然由来と素による汚染メカニズム. 地下水学会誌, 第41巻第3号 13-146.
- 16) 益田晴恵, 2000, 地殻表層付近のヒ素の挙動と地下水汚染の拡大機構. 地下水学会誌, 第42巻第4号 295-313.
- 17) 小出良幸他 2000, かながわの自然図鑑① 岩石・鉱物・地層 有隣堂 横浜.

Table1 The well water containing SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} in Yokohama City

地域 地層 検査井戸数	SO_4 (mg/L)				Ca (mg/L)				Mg (mg/L)				硬度 (mg/L)	
	>100	>60	≥30	30未満	>100	>60	≥30	30未満	>20	>10	≥5	5未満	≥300	
北部														
沖積, 相模, 上総層群 N=89	5.6	10.1	23.6	60.7	3.4	7.9	24.7	64.0	7.9	48.3	39.3	4.5	4.5	
南部														
沖積, 上総層群 N=33	30.3	30.3	21.2	18.2	24.2	42.4	27.3	6.1	30.3	39.4	18.2	12.1	30.3	
臨海														
沖積, 相模, 上総層群 N=25	8.0	28.0	24.0	40.0	4.0	16.0	68.0	12.0	24.0	32.0	44.0	0.0	4.0	
西部														
相模層群のみ N=36	2.8	8.3	22.2	66.7	0.0	8.3	5.6	86.1	8.3	58.3	27.8	5.6	2.8	

表中数字: 検出率 (%)

Table2 The well water containing SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} of strata

南部地域 South area	検査井戸数(還元性井戸数)	濃度別井戸数(うち還元性井戸数)								
		SO_4 (mg/L)			Ca (mg/L)			Mg (mg/L)		
		>100	>60	≥30	>100	>60	≥30	>20	>10	≥5
沖積層 (軟弱地盤) (下に野島層) 2万年~1.8万年前	13 (1)	3	1	5	4	5	3	2	5	4
HM 浜層										
NZsm 中里層(砂質泥岩)										
NZam 中里層(砂泥互層)										
KHam 上星川層(砂層)										
上総層群 KHas 上星川層(細粒砂層)										
100万年前 Ko 小柴層	1		1			1				1
小柴層(侵食谷の海岸から約7km)	2		1			1			2	1
小柴層(海岸に接する)	5		4	1		5			4	1
OF 大船層(泥岩)										
大船層(侵食谷の海岸から1~2km)	2		1					2		1
OFis 大船層(凝灰質砂岩)										
NJis 野島層(凝灰質泥質砂岩)	2	1		1	1		1	1	1	1
野島層(侵食谷の海岸から約2km)	8 (2)	5 (1)	3 (1)		3	2	3 (2)	7 (1)	1 (1)	
NJtg 野島層(凝灰質礫岩)										

Table 3 The characterization of well water

		(mg/L)															
地域	施設	地層	採水日	As	pH	硬度	Na	K	Mg	Ca	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N	F	SO ₄	Fe	Mn
南部	1	小柴	2003年11月	0.016	7.2	130	11	2.9	9.4	35.0	22	4.3	0.1未満	0.09	42.1	0.04	0.007
	2	小柴	2003年11月	0.005	7.0	150	13	2.2	9.1	46.1	15	2.5	0.1未満	0.15	39.1	0.11	0.012
	3	小柴	2003年12月	0.002	7.5	140	12	2.2	7.8	42.0	13	0.9	0.1未満	0.13	32.1	0.03	0.006
	4	中里	2005年1月	0.0019	7.9	280	11	3.7	13.7	87.9	15	0.1未満	0.27	0.08未満	150.8	0.27	0.014
中央	5	上星川	2003年12月	0.001	6.7	91	9.6	2.1	10.6	19.1	15	3.4	0.1未満	0.08未満	20.9	0.07	0.005未満
北部	6	柿生	2003年12月	0.001	7.0	120	8.3	3.4	9.4	30.7	7.5	1.1	0.1未満	0.09	51.1	0.26	0.005未満
	7	王禪寺	2005年1月	0.0016	8.1	110	14	4.6	8.6	28.1	8.7	0.1未満	1.1	0.08未満	1.4	—	—
	8	鶴川 柿生	2005年2月	0.0010	8.2	48	40	10.0	3.6	13.3	6.5	0.1未満	4.3	0.14	5.6	0.039	0.023
			2005年9月	0.0011	8.2	47	39	9.7	3.5	12.8	6.9	0.1未満	4.5	0.14	6.3	0.042	0.025
	9-1	柿生	2005年12月	0.0004	-	65	8.1	3.1	7.5	13.6	2.4	0.1未満	0.14	0.08	4.4	1.1	0.29
	9-2	柿生	2005年12月	0.0013	-	70	8.4	3.1	8.3	14.1	2.8	0.1未満	0.1未満	0.08	2.8	1.4	0.23
	10-1	稲城	2005年12月	0.0035	-	50	7.0	2.7	5.4	11.3	4.0	0.5	0.1未満	0.09	4.9	0.18	0.013
	10-2	稲城	2005年12月	0.0077	-	65	7.4	3.1	7.0	14.2	7.3	0.1未満	0.1未満	0.08未満	18.3	0.87	0.054



Fig.1 The area of well water on geologic map
横浜市の地質と調査位置図

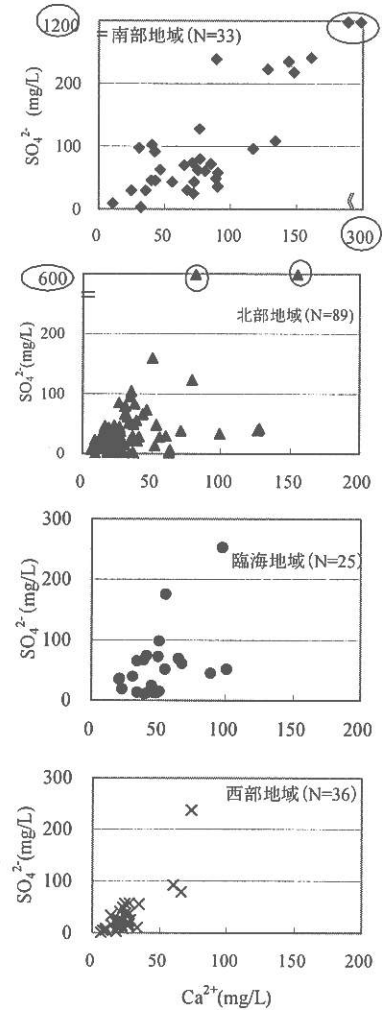


Fig.2 Relationship between Ca²⁺ and SO₄²⁻ concentrations

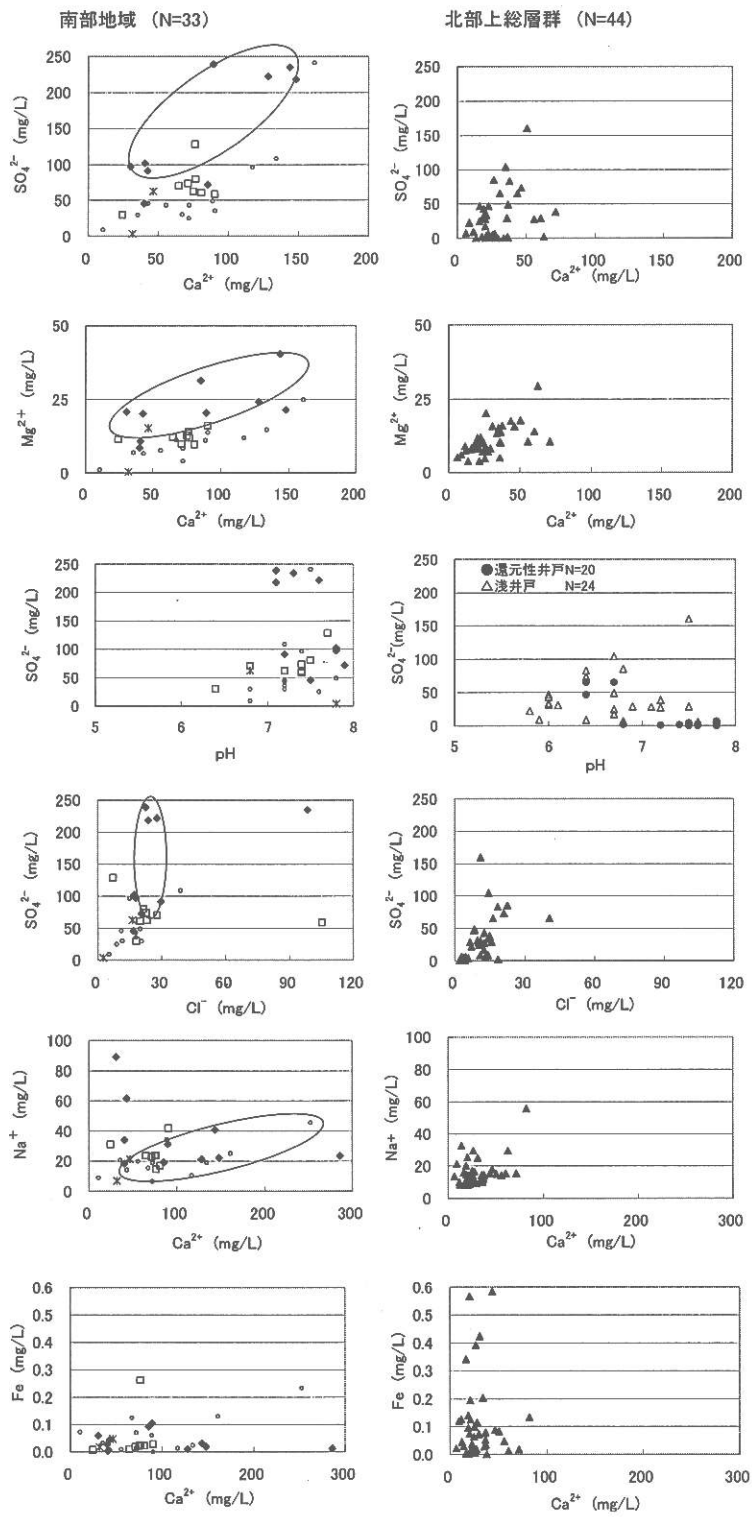


Fig.3 The characterization of well water in the south and north area.

□小泉層(N=8) ◆野島層(N=10) *大船層(N=2) ○沖積層(N=13)