

硝酸性窒素による地下水汚染対策検討調査  
—神奈川県大和市の汚染機構解明調査—

三村春雄, 福井 博\*, 飯田和義, 宮下雄次\*\*,  
石坂信之\*\*, 横山尚秀\*\*  
(水質環境部, \*現環境工学部, \*\*温泉地学研究所)

Technical report

Study on Groundwater Polluted with Nitrate

Haruo MIMURA, Hiroshi HUKUI\*, Kazuyoshi IIDA, Yuji MIYASHITA\*\*,  
Nobuyuki ISHIZAKA\*\*, Takahide YOKOYAMA\*\*  
(Water Quality Division, \*Environmental Engineering Division, \*\*Hot Springs Research Institute)

キーワード：地下水汚染, 硝酸性窒素, 窒素安定同位体, 地下水質

1. はじめに

地下水は生活用水、農業用水、工業用水など多くの用途に用いられるとともに、災害時の緊急用の水源としても有用であるが、現在有害物質による地下水汚染が各地で顕在化している。地下水は、公共用水域とは異なり、その汚染状況の確認が困難であり、また、地下水の流れる速度は一般的にかなり遅いため、一旦生じた汚染の自然浄化を期待することは困難である場合が多い。

このような状況から、平成 9 年 3 月「地下水の水質汚濁に係る環境基準」が設定され、カドミウムなど 23 項目が環境基準項目とされたが、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は要監視項目とされ、指針値が設けられた。しかし、平成 11 年 2 月の中央環境審議会で、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の地下水における検出状況等から早急な取り組みを迫る必要が高いと判断されたことを受け、フッ素、ホウ素と並び硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素を環境基準項目とする「地下水の水質汚濁に係る環境基準の一部を改正する件（環境庁告示第 16 号）」が平成 11 年 2 月 22 日に、告示された。

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による地下水汚染<sup>1)</sup>については、肥料、家畜排泄物、生活排水等が主な原因であると考えられ、これらの汚染源対策については、地方自治体や、農業分野などにおいて、様々な対策手法の検討や事例等の報告がされているところである。有機塩素系汚染物質による地下水汚染は地下の汚染溜りから拡散する点汚染源からの拡散であるのに対し、硝酸性窒素による地下水汚染は、面的な汚染源を持つこと、地表

から地下へ浸透していくなど、水循環機構全体と深く関わっているため、今後水循環全体を踏まえた汚染機構の解明及び汚染対策手法等の調査研究が望まれている。

本調査は、このような硝酸性窒素の汚染状況の実態をもとに、都市地域で流動方向が一定の大和市域を調査対象とし、硝酸性窒素による地下水の汚染状況の調査解析を行った。

2. 調査方法

2. 1 調査地域の概要

神奈川県ほぼ中央近くに位置する大和市（図 1）の行政区域面積は約 27Km<sup>2</sup> で、その 75%が市街化区域であり、南北に細長く、丘陵起伏がほとんどない地形である。東には境川、西には引地川が流れ、市中央の相模鉄道線及び小田急線の大和駅を中心にして市街化が進んでおり、工業、商業を中心とした産業構造で、農地面積は年々減少する傾向にある。

大和市のほぼ全域が台地上に位置するため<sup>2)</sup>、南部や河川近傍の低地を除くと地下水位は地表から 10 ~ 20 m 程度であり比較的深いところにある。一方、地点標高の低い南部地域等では、地表から 10 m 未満のところ地下水位が表れている。このため地下水面は市中央部の尾根部を緩やかに南に傾斜しながら、市の東部及び西部の両河川に向かって流下している。引地川源流部の上草柳地域は、以前は湧水地帯であり、台地上の浅層地下水を集めて湧出していたものと考えられる。

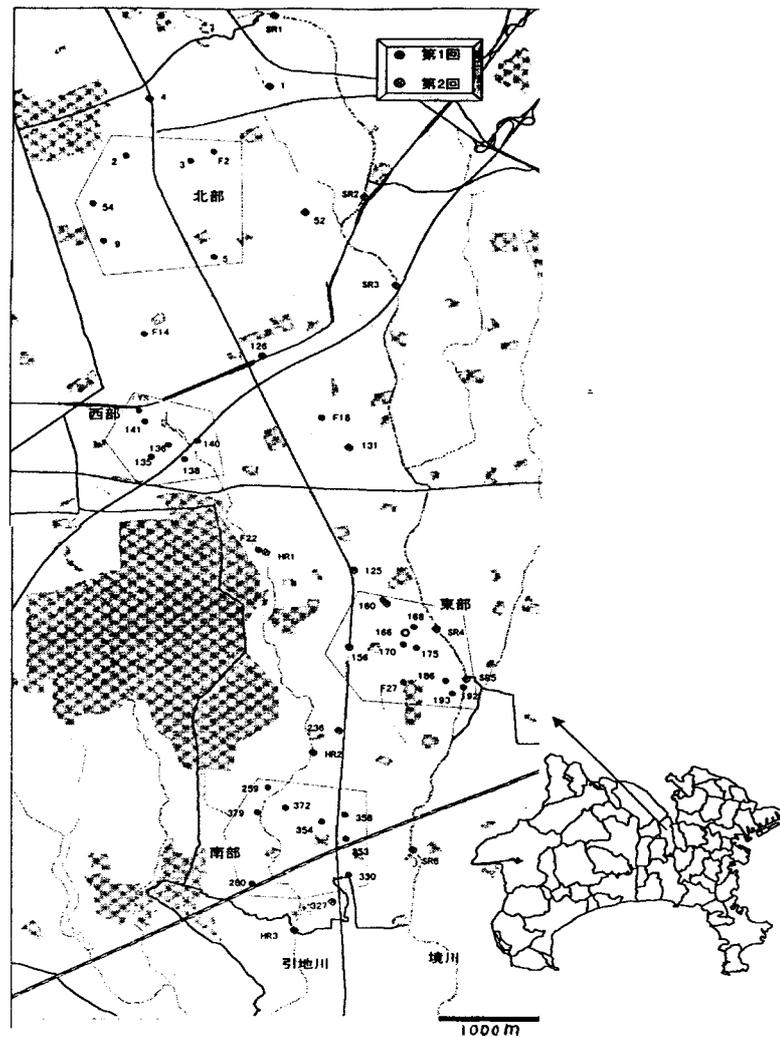


図1 調査地点の位置（網掛け部緑地、広場）

## 2. 2 調査方法

調査日時：第1回平成10年11月（秋季）及び第2回平成11年2月（冬季）

調査地点：図1に示すように第1回の調査地点は浅層地下水については土地利用の異なる地域を4ブロック選定し、各ブロックから防災井戸台帳をもとに5地点以上の井戸を選定した。北部地域（中央林間・南林間）の5地点は市の中央部と並んで都市化が進んだ地域であり、都市化が進んだ地域として選定した。南部地域（渋谷・福田）の8地点は、都市化が進行しているが、都市化や下水道の整備時期が北部より遅れており、農地と住宅が混在する都市化の初期段階と考えられる。西部地域（下草柳）の5地点は、林地、農地が比較的多い地域であり、市内における数少ない湧水地帯であったが、現在は地下水位の低下により湧出は認められなかった。東部地域（上和田）の7地点は果樹栽培、畜産などが行なわれており、これらの寄与が考えられる。これらの浅層地下水と比較

するために、市内の事業所の深井戸5地点を深層地下水として選定した。

第2回の調査地点は地下水に及ぼす地表水の影響を明らかにすること、および広域の地下水流動系における水質の変化を把握することを目的に、河川水（境川：6地点、引地川：3地点、引地川源流部：1地点）及び浅層地下水（12地点）を選定した。

調査項目：水温、pH、電気伝導度（EC）、酸化還元電位（ORP）、溶存酸素（DO）、イオン成分（ $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ）、窒素安定同位体比（ $\delta^{15}N$ ）、糞便性大腸菌群数（M-FC法）

なお、窒素安定同位体比の測定は前処理と濃縮のみを行い、委託分析に出した。

## 3. 調査結果

### 3. 1 第1回の調査結果

第1回の調査は土地利用状況の異なる4地域

表1 大和市硝酸性窒素調査結果(第1回)

地点No	水温	pH	EC mS/m	ORP mV	DO mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	F mg/l	Cl mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Na mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	NO <sub>3</sub> -N mg/l	δ <sup>15</sup> N ‰	糞便性大腸菌群数	
北部	2	15.8	7.10	26.7	175	7.6	1.40	<0.05	10.5	<0.1	37.5	<0.2	7.8	11.0	<0.1	0.5	11.9	25.7	8.5	8.5	47
	3	15.9	7.50	35.9	179	5.5	1.60	<0.05	12.9	<0.1	51.8	<0.2	9.9	13.0	0.1	0.4	16.7	29.1	11.8	12.0	9
	5	15.5	7.20	61.2	188	7.1	1.47	<0.05	17.4	<0.1	54.5	<0.2	5.1	9.4	0.2	0.4	17.0	30.8	12.4	10.0	0
	9	14.9	6.98	26.1	203	5.6	1.33	<0.05	24.4	<0.1	42.4	<0.2	4.8	7.8	0.1	0.6	13.3	26.3	9.7	7.2	0
	54	15.9	7.08	47.0	173	10.4	1.22	<0.05	11.6	<0.1	29.1	<0.2	3.6	7.0	0.2	1.0	11.1	24.8	6.7	8.4	0
	ave	15.6	7.17	39.4	184	7.2	1.40	<0.05	15.4	<0.1	43.1	<0.2	6.2	9.6	0.1	0.6	14.0	27.3	9.8	9.2	11.2
西部	135	17.5	7.72	21.1	190	6.1	1.34	0.57	12.5	<0.1	9.8	2.6	11.3	8.5	0.3	0.3	11.7	20.9	2.5	5.0	13
	136	14.7	7.39	33.8	163	4.9	2.29	<0.05	13.0	<0.1	25.7	<0.2	11.7	12.5	0.2	0.5	18.6	34.1	5.9	5.5	200
	138	15.3	7.80	30.0	178	5.8	1.03	<0.05	29.7	<0.1	38.0	<0.2	12.5	9.3	0.2	0.3	14.4	26.5	8.7	14.1	21
	140	16.0	7.80	31.9	173	4.6	1.38	<0.05	13.7	<0.1	33.3	<0.2	3.9	7.4	0.2	0.8	12.4	28.6	7.6	7.7	0
	141	14.3	6.74	20.1	215	5.5	0.70	<0.05	13.6	<0.1	20.3	<0.2	15.1	21.9	0.3	12.5	3.4	9.3	4.8	5.1	0
	ave	15.6	7.49	27.4	184	5.4	1.35	<0.05	16.5	<0.1	25.4	<0.2	10.9	11.9	0.2	2.9	12.1	23.9	5.9	7.5	46.8
南部	259	14.9	6.26	32.7	283	4.8	1.00	<0.05	15.5	<0.1	30.6	<0.2	51.6	15.4	0.2	0.5	13.3	29.1	7.0	8.8	20
	280	14.9	6.90	24.5	243	5.2	0.66	<0.05	19.7	<0.1	41.4	<0.2	18.2	9.0	0.2	0.3	12.5	22.2	9.5	8.2	0
	330	15.9	7.30	28.9	271	6.2	0.89	<0.05	9.7	<0.1	36.1	<0.2	35.5	11.0	0.4	0.3	13.3	23.3	8.5	6.7	2
	353	16.7	6.61	32.9	271	4.7	0.76	<0.05	26.2	<0.1	51.6	<0.2	29.3	21.1	0.3	0.6	11.7	27.2	11.9	11.9	0
	354	15.3	6.50	27.3	283	6.0	0.45	<0.05	18.0	<0.1	64.1	<0.2	25.7	11.0	0.2	0.8	10.7	24.7	14.7	7.5	2
	358	14.8	6.62	25.7	266	4.3	0.68	<0.05	11.1	<0.1	24.9	<0.2	43.6	13.9	0.3	0.5	11.1	23.6	5.9	7.9	0
	372	15.6	6.70	28.7	205	5.4	0.69	<0.05	18.4	<0.1	36.6	<0.2	34.2	20.7	0.3	1.0	7.5	25.5	8.5	8.5	0
	379	16.6	6.90	20.3	224	5.4	0.60	<0.05	13.9	<0.1	29.4	<0.2	15.4	12.8	0.4	0.4	8.8	15.9	6.9	8.2	200
	ave	15.6	6.72	27.4	256	5.3	0.72	<0.05	16.3	<0.1	39.3	<0.2	31.7	14.4	0.3	0.6	11.1	23.9	9.1	8.5	28
	160	15.4	6.93	21.2	192	8.5	0.48	<0.05	9.6	<0.1	41.1	<0.2	21.3	12.3	0.3	0.9	8.6	18.9	9.5	5.3	0
東部	166	12.4	6.80	58.0	166	6.9	0.78	<0.05	31.0	<0.1	161.4	<0.2	45.2	16.1	0.2	3.6	25.1	55.2	36.6	6.4	0
	170	15.6	6.98	23.7	164	8.2	0.40	<0.05	13.8	<0.1	60.9	<0.2	21.1	12.6	0.2	1.3	9.8	20.4	13.9	3.5	7
	175	14.7	6.94	21.4	220	5.2	0.81	<0.05	16.8	<0.1	45.7	<0.2	7.4	16.1	0.3	0.6	9.6	20.1	10.5	3.3	310
	186	14.8	7.40	26.2	144	9.9	0.44	<0.05	14.0	<0.1	68.5	<0.2	18.3	9.8	0.2	0.4	12.5	22.4	15.7	4.7	8
	192	15.9	7.15	51.8	56	4.5	1.22	<0.05	49.5	<0.1	98.5	<0.2	36.1	13.1	0.9	0.6	25.1	52.5	22.9	9.1	3
	193	14.6	7.07	22.6	183	8.5	0.62	<0.05	14.6	<0.1	63.6	<0.2	2.0	9.5	0.3	0.4	11.0	19.1	14.6	5.1	5
	ave	14.8	7.04	32.1	161	7.4	0.68	<0.05	21.3	<0.1	77.1	<0.2	21.6	12.8	0.3	1.1	14.5	29.9	17.7	5.4	48
	F2	16.1	7.50	28.4	181	2.5	1.34	<0.05	15.8	<0.1	34.3	<0.2	5.8	7.5	0.3	0.8	12.8	28.0	8.0	7.0	0
深井戸	F14	16.3	7.45	25.9	170	5.1	1.34	<0.05	11.9	<0.1	30.8	<0.2	3.5	7.3	0.6	0.9	11.2	25.9	7.4	7.0	0
	F18	16.2	6.78	35.7	159	6.3	1.32	<0.05	14.9	<0.1	35.8	<0.2	4.3	7.5	0.2	0.9	11.9	29.1	8.3	6.6	0
	F22	16.0	7.25	27.9	270	5.2	1.37	<0.05	15.4	<0.1	33.7	<0.2	7.6	8.3	0.4	0.8	13.4	28.6	7.9	7.7	0
	F27	16.2	7.50	27.9	170	4.5	1.36	<0.05	18.1	<0.1	32.6	<0.2	10.5	9.1	0.5	1.2	12.4	29.6	7.8	6.9	0
	ave	16.2	7.30	29.2	190	4.7	1.35	<0.05	15.2	<0.1	33.5	<0.2	6.3	7.9	0.4	0.9	12.3	28.2	7.9	7.0	0

を選定しそれぞれの地域の特徴を明らかにすることを目的にした。全地点の測定結果および地域毎の平均値を表1に示す。地域毎にまとめた平均値の概略は以下のとおりであり西部で高く、東部で低い傾向であった。ECは平均30.8 mS/mで北部で高く南部で低い傾向であった。ORPは南部で高い値を示していた。DOは東部、北部で高く、西部、南部の順に低くなり、深井戸では最も低かった。NO<sub>2</sub>はすべて不検出であった。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は0.1 mg/l以下であった。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は北部、西部で高く、深井戸とほぼ同程度であったのに対して、南部、東部では低かった。Clは東部で高く、その他は同程度の濃度であった。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は北部では深井戸とほぼ同じで低かったのに対して、南部(31 mg/l)、東部(21 mg/l)で高かった。Na<sup>+</sup>は深井戸で最も低く、北から南に向かって高くなっていた。Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>は大きな地域差は見られなかった。NO<sub>3</sub>は西部で低く、深井戸、南部、北部、東部の順に増加した。東部では局地的な高濃度地点を除いても他地域よりも高かった。窒素安定同位体比は東部で低く、西部、北部、南部の順に高くなっていた。農地の多い東部で低く、市街化の進んだ北部で高い傾向を示していた。

イオン成分についてヘキサダイアグラムで地域毎の水質特性を図2に示した。北部は深井戸とほぼ同様の水質を示しており、西部は北部に比べてNO<sub>3</sub>濃度が低くなっていた。南部ではHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が減少し、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub>濃度が増加していた。東部では、南部に比べてNO<sub>3</sub>濃度が高く、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>濃

度も高かった。

地点毎のデータについてみるとNO<sub>3</sub>は2.3~36.6 mg/lの範囲に分布しており、平均値は10.5 mg/lであった。NO<sub>3</sub>が環境基準値(10 mg/l)を超えていたのは10地点であり、農地が比較的多い東部の地点に多かった。糞便性大腸菌群数とNO<sub>3</sub>-N濃度との相関は特に見られなかった。トリリニアダイアグラム(図3)では各地域毎に近傍に分布しており、それぞれの地域毎に類似した水質構成を示しているといえる。また、北部から南部へと流下するに伴いHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の割合が減少する傾向が見られる。地域分類をするために、NO<sub>3</sub>、Cl、δ<sup>15</sup>Nの3成分を用いてクラスター分析を行った。クラスター分析は標準化ユークリッド平方距離を用いてウォード法により行った。クラスター分析結果のデンドログラムと3成分のバブルチャートを図4、5に示した。この結果大きく4クラスターに分けられた。クラスター1は北部地域、南部地域及び深井戸を主体としていた。クラスター2は西部地域、東部地域及び深井戸を主体としていた。クラスター3はδ<sup>15</sup>N値が大きい2地点であった。クラスター4はイオン濃度(特にNO<sub>3</sub>濃度)の高い東部の2地点であった。各クラスター毎にヘキサダイアグラム(図6)は類似しており、同じクラスター内で水質が類似していることを示している。

窒素同位体はその質量数の違いにより、アンモニアの揮散や硝化、脱窒、生物濃縮作用などの様々な過程において同位体分別が生じ、反応の基

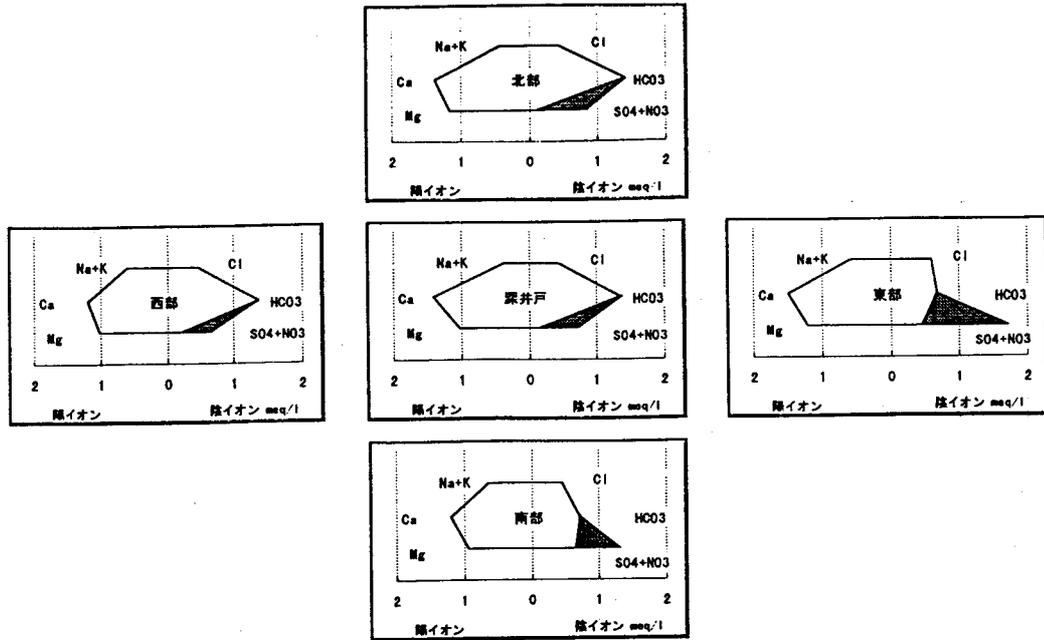


図2 第一回調査の地域平均のヘキサダイアグラム

(塗りつぶしは硝酸イオンの寄与を視覚的に比較するために示す)

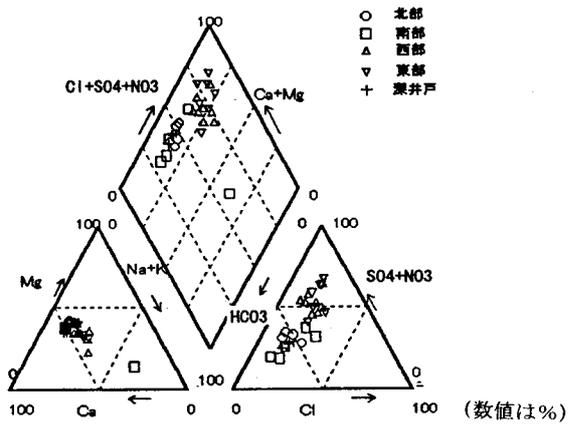


図3 第一回調査のトリリニアダイアグラム

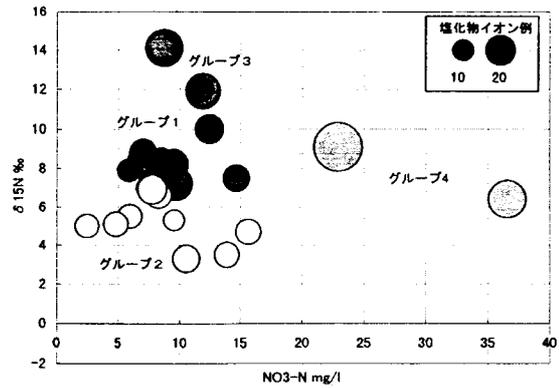


図5 塩化物イオン濃度(円の大きさ)と窒素同位体比および硝酸性窒素濃度の関係

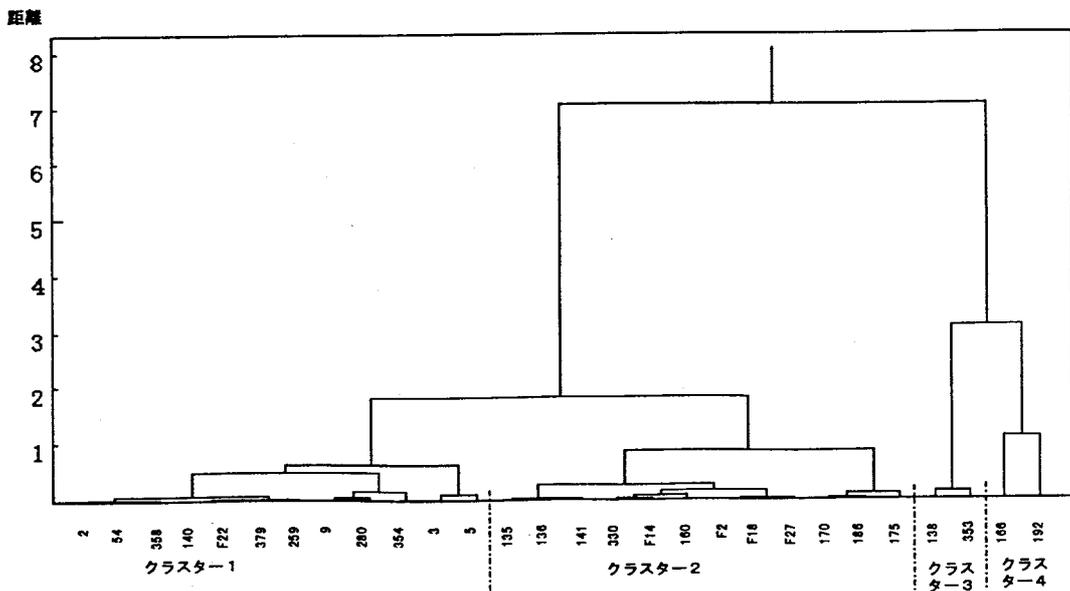


図4 第一回調査結果のクラスター分析によるデンドログラム

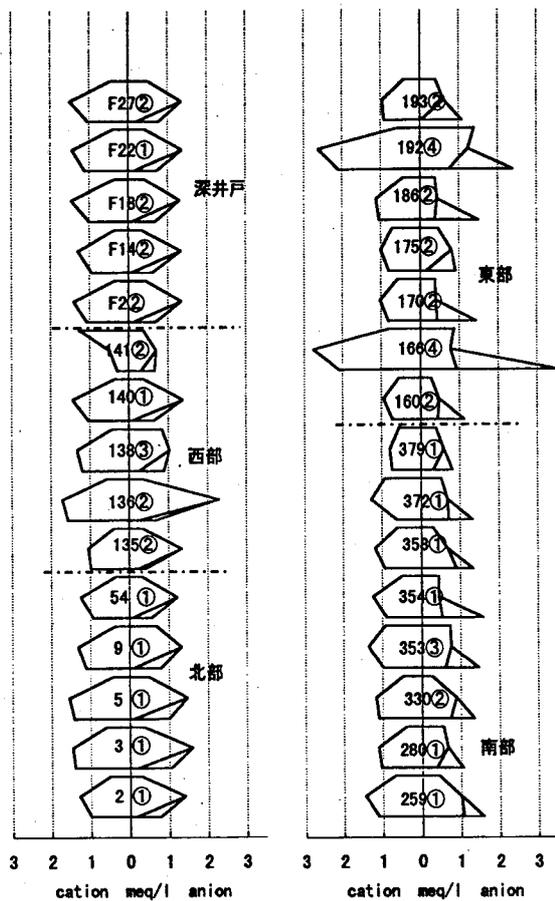


図6 第1回調査結果のヘキサダイアグラム

(グラフ内の記号は井戸番号、○数字はクラスター番号)

質に質量の大きい  $^{15}\text{N}$  が濃縮され、同位体比が高くなっていくことが解っている。このため、生成過程の異なる化学肥料や家畜糞尿などではそれぞれ異なった窒素同位体比を持ち、これらの同位体比の違いを手がかりに、窒素の供給源や汚染源の同定などの研究が行われるようになってきている。

窒素供給源別の  $\delta^{15}\text{N}$  値は、田瀬<sup>3)</sup>により、

降水：-8～2 ‰、畑地土壌：2～8 ‰、

無機化学肥料：-8～3 ‰、

有機肥料：10 ‰以上、

下水処理水：8～15 ‰

の範囲にあるとまとめられている。

今回の調査では  $\delta^{15}\text{N}$  は 3.3～14.1 ‰の範囲に分布し平均値は 7.5 ‰であった。硝酸性窒素濃度と窒素同位体比の関係をみると、住居地域の北部、南部では人間活動の影響があると考えられ窒素同位体比がやや大きく 6～12 ‰の範囲に分布しているのに対して、東部地域は肥料成分の影響を受けたため 6 ‰以下の地点が多かった。このように  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度と窒素同位体比の関係は、調査地点付近の局地的な土地利用状況の違いを反映していると考えられた。

次に特徴的な地点について考察すると、クラ

スター2に見られる林地に近い西部地域の地下水では自然状態に近い低い窒素同位体比を示し、東部の農地 (No166,170,175,186) も化学肥料由来の低い窒素同位体比を示している。一方住居地域を中心にしたクラスター1ではクラスター2よりも高い窒素同位体比 (6～12 ‰) を示していた。 $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が特に高かった No166 は、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  濃度が高く、以前家畜を飼育していたことから、家畜糞尿からの汚染が推測される。また、No192 も同様に  $\text{Cl}^-$  濃度、 $\text{SO}_4^{2-}$  濃度が高く、近くに牛舎があることからこれによる汚染が推測され、この地点に近い No186, No193 でも  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が高かった。クラスター4に含まれる No138 は  $\text{Cl}^-$  濃度が高く、大腸菌が検出されていることから、生活排水が影響して高い窒素同位体比 (14.1 ‰) を示したと考えられる。東部地域の中で特に高い  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度を示したクラスター3の2地点は  $\text{NO}_3\text{-N} > 20 \text{ mg/l}$ 、 $\delta^{15}\text{N} > 6 \text{ ‰}$  の領域にあり、過去に畜産をしていたことが確認されていることから、家畜糞尿が主な起源と考えられる。西部地域の中で高い窒素同位体比を示した地点は、調査地点の約 7～8 m 離れた地点で、浄化槽排水の地下浸透が認められることから、し尿系汚染が主因と考えられる。

### 3.2 第2回の調査結果

地下水と河川水との関係を明らかにするため、上流域から下流域にかけての河川水と、地下水流動に沿った浅層地下水の採取と分析を行った。

大和市の上流の都市から流下している境川は、都市河川の汚濁を反映した成分構成を示していた。一方、引地川は市内の湧水を水源としており、地下水に類似したイオン成分構成を示していた (図7)。これらの調査結果と地形要素を考慮すると、第1回の調査で高い  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度を示した地点に対する河川からの影響は無いと推定される。

浅層地下水の成分構成 (図7、8) は、地下水の流動に従って  $\text{HCO}_3^-$  の割合が減少し、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  が増加する傾向が見られた。陽イオン構成は、アルカリ土類金属イオンが主体でありあまり変化が無かった。

7イオン成分を変数として標準化ユークリッド平方距離を用いてウォード法によりクラスター分析を行ったところ、2クラスター (境川の河川水とその他) に分類された。その他の地点はさらに引地川、大和水源、市北部の井戸のクラスターと市中部より南の井戸を中心としたクラスターに分けられた。

地下水における  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の分布は、No5,52,

表2 大和市硝酸性窒素調査結果(第2回)

地点 No	水質		EC mS/m	ORP mV	DO mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	F mg/l	Cl mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l	Na mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	NO <sub>3</sub> -N mg/l	δ <sup>15</sup> N ‰	観測性 大腸菌 個	
	pH																				
境川	SR1	7.6	7.4	50.0	198	7.9	1.88	0.76	45.2	0.9	11.3	<0.2	52.6	53.6	9.5	8.5	11.0	39.1	2.6	9.7	3500
	SR2	8.0	7.1	46.3	273	7.6	1.91	<0.05	36.0	0.7	14.3	<0.2	41.0	41.1	8.3	7.9	11.5	38.3	3.2		3300
	SR3	13.3	7.4	35.4	219	8.5	1.63	<0.05	42.7	1.2	23.1	<0.2	38.8	51.2	7.2	11.6	10.4	32.9	5.2		0
	SR4	13.8	7.2	36.5	151	7.0	1.92	<0.05	46.7	2.2	20.6	<0.2	37.3	51.7	13.2	10.6	10.8	33.1	4.6	8.9	320
	SR5	12.7	7.5	37.1	116	7.7	1.93	0.06	44.9	2.2	20.2	<0.2	38.0	50.6	12.4	10.0	11.1	35.0	4.6		1600
	SR6	12.8	7.8	35.3	205	7.7	1.95	<0.05	42.4	1.8	19.3	0.9	34.9	44.6	12.8	9.3	10.9	31.8	4.4	10.9	800
ave	11.4	7.4	40.1	194	7.7	1.87		43.0	1.5	18.1		40.4	48.8	10.6	9.7	10.9	35.0	4.1	9.8	1587	
引地川	HR1	12.1	7.8	25.0	188	10.6	1.45	0.48	18.3	0.4	34.4	<0.2	28.4	23.6	0.6	2.0	13.6	38.0	7.8	8.7	650
	HR2	12.4	7.8	25.1	214	9.4	1.71	<0.05	18.4	0.1	33.8	2.6	12.5	17.8	0.7	1.8	14.9	43.7	7.6		1200
	HR3	12.3	7.3	24.6	194	8.4	1.76	<0.05	21.6	0.3	26.0	<0.2	13.3	15.6	1.2	2.4	14.8	45.3	5.9	14	1700
	ave	12.3	7.6	24.9	202	9.5	1.64		19.4	0.3	31.4		18.1	19.0	0.8	2.0	14.5	42.3	7.1	11.4	1183
源流	YS	11.8	7.6	20.9	294	12.1	1.45	<0.05	19.6	<0.1	34.4	<0.2	5.6	9.4	0.1	1.1	15.0	35.4	7.8		2
浅井戸	1	13.4	7.1	30.9	219	7.9	1.52	0.05	18.3	<0.1	35.2	<0.2	14.0	10.8	0.1	1.2	17.4	37.5	7.9	3.8	0
	4	16.0	6.9	22.4	340	8.5	1.18	<0.05	10.7	<0.1	22.9	<0.2	9.4	8.4	0.1	0.6	12.2	24.8	5.2	6.6	0
	* 5	14.9	7.0	32.7	239	8.0	1.51	<0.05	19.4	<0.1	58.5	<0.2	5.6	11.3	0.1	0.6	19.4	36.3	13.2		0
	52	11.4	7.6	33.4	233	10.2	1.30	0.15	27.8	<0.1	48.8	<0.2	17.9	25.0	0.2	0.8	17.6	32.0	11.0	7.2	18
	126	14.8	7.0	18.1	249	7.5	0.82	<0.05	15.9	<0.1	24.3	<0.2	0.9	8.6	0.1	0.4	10.6	17.7	5.5	1.5	12
	131	10.6	7.0	14.9	243	7.6	0.69	<0.05	10.1	<0.1	6.9	<0.2	14.9	8.1	0.2	0.3	8.7	15.7	1.6	7.7	0
	125	15.2	6.8	23.8	285	7.0	1.10	<0.05	10.5	<0.1	33.4	<0.2	20.2	8.5	0.1	0.3	9.6	17.9	7.5	6.6	0
	156	12.2	6.2	26.4	314	5.2	1.00	<0.05	11.8	<0.1	46.3	<0.2	24.2	16.3	0.1	0.5	13.6	29.6	10.5	14.5	2
	236	16.3	6.6	22.6	288	6.7	0.62	<0.05	12.9	<0.1	37.0	<0.2	27.9	14.8	0.1	0.5	11.9	21.7	8.4	7.3	0
	* 358	14.2	6.5	24.1	227	7.9	0.68	<0.05	10.7	<0.1	24.6	<0.2	47.9	16.3	0.1	0.7	12.4	25.6	5.6	7.9	0
	327	15.0	6.8	20.9	236	5.2	0.82	<0.05	11.2	<0.1	10.7	<0.2	38.0	11.0	0.1	0.6	11.9	25.3	2.4	11.5	0
	168	10.3	7.4	24.5	221	4.4	1.04	<0.05	17.8	<0.1	40.0	<0.2	36.8	24.0	0.2	1.4	15.0	29.9	9.0		
	ave	13.7	6.9	24.6	258	7.2	1.02		14.7		32.4		21.5	13.6	0.1	0.7	13.4	26.2	7.3	7.5	3

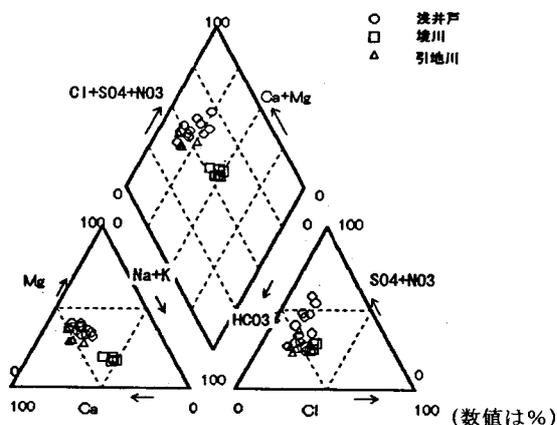


図7 第2回調査のトリリニアダイアグラム

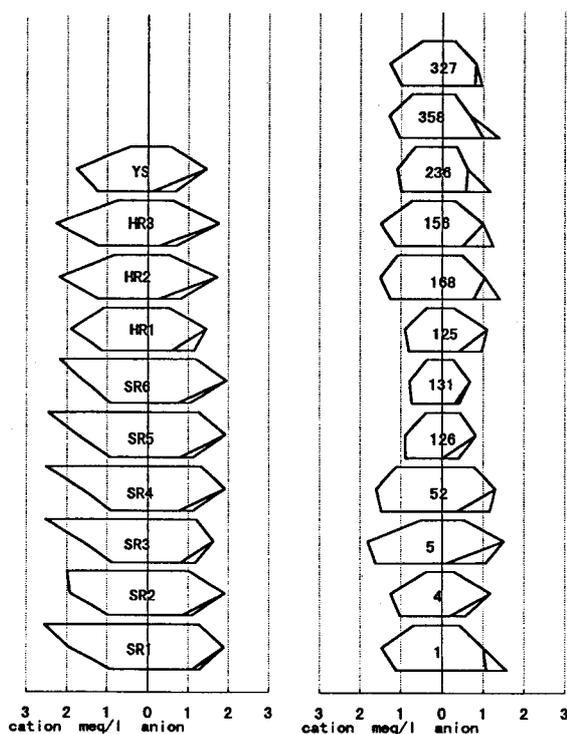


図8 第2回調査結果のヘキサダイアグラム  
(グラフ内の記号は井戸番号)

156,126で特に小さく、ついでNo1で小さかった。地下水のクラスター分析の結果と窒素安定同位体比の分布の間には特に関係は認められなかった。

### 3.3 発生源等の資料調査の結果

大和水源における NO<sub>3</sub>-N 濃度の推移<sup>4)</sup>と大和市の人口<sup>5)</sup>、農地面積、下水処理面積<sup>6)</sup>、浄化槽人口<sup>7)</sup>、Cl濃度の推移とを比較して図9に示した。

硝酸性窒素濃度は1989年まで増加傾向を示していたが、これ以降横ばいからやや減少へと推移している。この間人口の増加は1980年以降緩やかになっているが、下水道の処理区域面積が1988年以降急増しており、この効果がNO<sub>3</sub>-N濃度の減少に反映していると考えられる。

また、人為汚染の指標となるCl濃度は人口増加の激しい1970年代に高濃度となっており、下水処理区域面積の増加とともにClが減少している。この間宅地化の進行とともに、農地面積は減少傾向を示しており、肥料からの窒素供給量が減少していることもNO<sub>3</sub>-N濃度の減少の原因と考えられる。

### 4. まとめ

大和市における2回の調査結果から地下水中のNO<sub>3</sub>-N濃度は局地的な高濃度の汚染が認められた地点を除き、2~15 mg/lの範囲にあった。

地下水のNO<sub>3</sub>-N濃度には都市域と農地との間に大きな違いは認められなかったが、それぞれの地域の土地利用状況に応じて特徴的な水質の違いが認められ、硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比の関係から汚染原因を、次の3項に分けることができた。

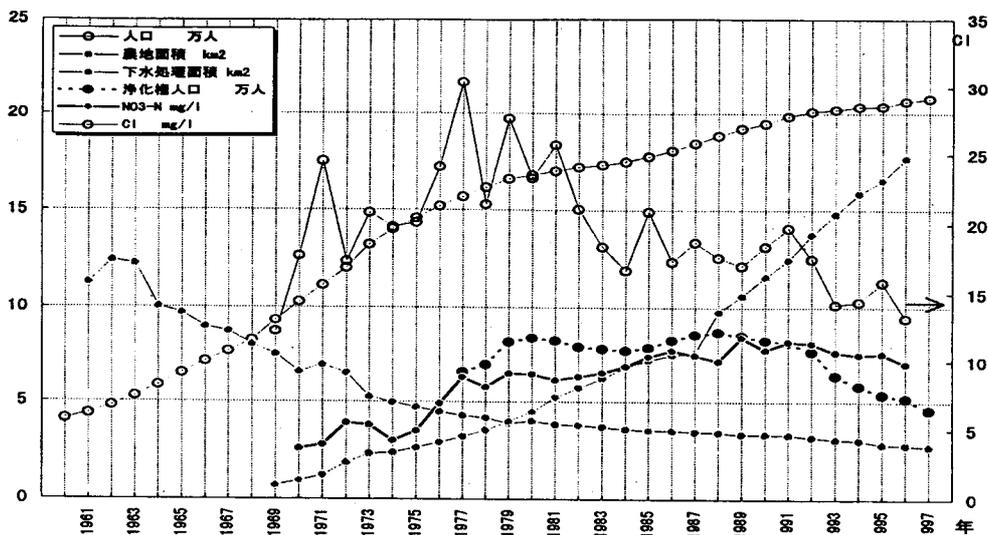


図9 大和市および大和水源での経年推移

(Clのみ右軸、他は左軸)

①し尿、生活雑排水系に起因するものは

$\text{NO}_3\text{-N} < 20 \text{ mg/l}$ 、 $\delta^{15}\text{N} > 6 \text{ ‰}$

の範囲である。

②自然、無機肥料系に起因するものは

$\text{NO}_3\text{-N} < 20 \text{ mg/l}$ 、 $\delta^{15}\text{N} < 6 \text{ ‰}$

の範囲である。

③家畜糞尿系に起因するものは

$\text{NO}_3\text{-N} > 20 \text{ mg/l}$ 、 $\delta^{15}\text{N} > 6 \text{ ‰}$

の範囲である。

この結果、硝酸性窒素による地下水汚染機構の解明には、都市域においても窒素安定同位体比を指標に用いることが有効であることが確認された。

また、発生源等の資料調査から、大和市場域においては農地面積の減少による窒素肥料の施用の減少や計画的な下水道整備による浄化槽排水の地下浸透処理の減少などにより、硝酸性窒素が地下水に及ぼす影響が年々低くなっていることが認められた。

謝辞：本調査に協力をしていただきました環境農政部大気水質課熊野技幹、森田技師および大和市環境部澤野氏に感謝いたします。また本調査にあたり適切なアドバイス等をいただいた和歌山大学工学部の平田教授、井伊助教授、また環境庁地下水・土壌環境室油本室長に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 平田健正編：土壌・地下水汚染と対策、(社)日本環境測定分析協会 (1996)
- 2) 大和市編：大和市史 8 (上) 別編 自然、大和市 (1996)
- 3) 田瀬則雄：水、38(8)、70-78 (1996)
- 4) 神奈川県編：清掃事業の実態、神奈川県環境部環境整備課 (1977～1997)
- 5) 大和市編：大和市の統計、大和市 (1960～1997)
- 6) 大和市編：平成9年度下水道統計、大和市下水道部 (1997)
- 7) 神奈川県企業庁編：県営水道の水質、神奈川県企業庁水道局水質センター (1970～1997)