

5．地下水汚染原因の検討

この章では、窒素の発生負荷量、地下水への供給量、及び地下水水質の観点から、地下水汚染原因の検討を行った。

5 - 1．発生負荷量

統計資料より、主な汚染原因の数量（作付面積、家畜頭数、人口、排水量、面積等）を収集し、これに標準的な窒素負荷原単位を掛け合わせて発生負荷量を試算した。

1) 施肥による発生負荷量

新治地区における作付面積 10ha 以上の作物を抽出し、これに茨城県で策定している施肥基準等に乗じて窒素の発生負荷量を算出した。算出結果は表-5-1-1 のとおりであり、74.3 ton-N / 年と試算された。

表-5-1-1 施肥による発生負荷量の試算

作物	作付け面積 ha	施肥基準量 kg-N/10a/年	たい肥投入量 kg-N/10a/年	発生負荷量 kg-N/年
水稻	491	9	-	44,190
陸稲	10	10.5	19.5	1,070
小麦	46	8	-	3,680
六条大麦	26	8.3	-	2,158
大豆	10	3	-	300
そば	37	3	-	1,110
青刈りとうもろこし	28	31	-	8,680
ねぎ	10	17	78	1,778
日本なし	45	13.9	-	6,255
かき	26	10.8	-	2,808
くり	27	8.4	-	2,268
合計	756	-	-	74,297

- ・ 作付け面積：農林水産省「2000年世界農林業センサス（農業編）及び茨城県ホームページより引用した。
- ・ 施肥基準量：茨城県野菜栽培基準（2004、1999）、果樹栽培基準（1998）の施肥基準量（総量）を使用した。
- ・ たい肥投入量：上記の栽培基準等に記載されている作物について、標準的な投入量（年間10a当たり陸稲500kg、ねぎ2000kg）を使用した。また、たい肥の内の窒素成分については、「堆肥の成分組成に関する研究」（茨城県農業試験場研究報告第6号1964）より3.9%として計算した。

2) 家畜排せつ物による発生負荷量

新治地区における家畜頭数を整理し、これに家畜排せつ物による発生汚濁負荷原単位を乗じて窒素の発生負荷量を算出した。算出結果は表-5-1-2 のとおりであり、426.3 ton-N / 年と試算された。

表-5-1-2 家畜排せつ物による発生負荷量の試算

家畜の種類	頭羽数 頭・羽	窒素原単位 kg-N/頭/年	発生負荷量 kg-N/年
牛	1,650	59.5	98,175
豚	14,400	15.5	223,200
鶏	62,000	0.90	55,800
合計	78,050	-	377,175

- ・ 牛豚頭数：農林水産省「畜産基本・予察調査・鶏ひなふ化羽数調査（H15.2.1）」、「畜産物流統計調査（H15.2.1）」、茨城県ホームページより引用した。
- ・ 原単位：硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引き p46 家畜ふん尿の窒素原単位より

3) 生活排水による発生負荷量

新治地区の人口を生活排水の処理形態別に集計し、これに1人1日あたりの発生汚濁負荷原単位(し尿と雑排水の合計量)を乗じて窒素の発生負荷量を算出した。算出結果は表-5-1-3のとおりであり、38.1 ton-N/年と試算された。

表-5-1-3 生活排水による発生負荷量の試算

処理方式	処理人口 人	窒素原単位 g-N/人/日	発生負荷量 kg-N/年
下水道	7,263	11	29,161
農業集落排水	1,484	11	5,958
合併浄化槽	647	11	2,598
コミュニティプラント	0	11	0
その他	96	11	385
合計	9,394	-	38,102

- ・ 原単位：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説(H11年度)p.33より、し尿と雑排水の合計値を使用した。

4) 自然由来による発生負荷量

新治地区の利用用途別の土地面積を集計し、これに標準的な原単位(地面に堆積した浮遊物質、降下ばいじん、動物の排せつ物、小動物の死骸、落ち葉などが雨天時に降水によって運ばれ、公共用水域に排出されたもの)を乗じて窒素の発生負荷量を算出した。算出結果は表-5-1-4のとおりであり、19.7 ton-N/年と試算された。

表-5-1-4 自然由来による発生負荷量の試算

土地利用	面積 ha	窒素原単位 kg-N/ha/年	発生負荷量 kg-N/年
田	680		施肥量で算出
畑	745		施肥量で算出
山林	768	4.4	3379.2
住宅地	373	16.2	6042.6
雑種地	99	16.2	1603.8
その他	534	16.2	8650.8
合計	3,199	-	19,676

- ・ 面積：茨城県税務課調べ(H14年)、茨城県ホームページより引用した。
- ・ 田畑：施肥量で算出したため、面源系からは除外した。
- ・ 山林の原単位：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説(H11年度)p.64より、山林の平均値を使用した。
- ・ 住宅地・雑種地・その他の原単位：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説(H11年度)p.62より、市街地の平均値を使用した。

5) 事業場系排水による発生負荷量

新治地区の事業場について、茨城県に届け出がなされた排水量及び排水水質を整理し、両者を掛け合わせて窒素の発生負荷量を算出した。算出結果は表-5-1-5のとおりであり、0.6 ton-N/年と試算された。

表-5-1-5 事業場系排水による発生負荷量の試算

中分類	小分類	細分類	排水量	排水水質	発生負荷量	
			m3/日	mg/L	kg-N/年	
農業	畜産農業	養豚業	0	-	-	
		その他の畜産農業	0	-	-	
食料品製造業	調味料製造業	しょう油・食用アミノ酸製造業	0	66	0	
		豆腐・油揚製造業	0	66	0	
	その他の食料品製造業		0	66	0	
			0	66	0	
窯業・土石製品製造業	ガラス・同製品製造業	板ガラス製造業		30	-	
			6	30	66	
	セメント・同製品製造業		0	2	0	
			0	29	0	
	骨材・石工品等製造業	石工品製造業		18	0	0
				0	0	0
			0	0	0	
			23	0	0	
鉄鋼業	製造業	フェロアロイ製造業	0	-	-	
	製鋼・製鋼圧延業	製鋼・製鋼圧延業(転炉、電気炉を含む)	0	-	-	
金属製品製造業	金属被覆・彫刻業、熱処理業(ほうろく鉄器を除く)	その他の金属表面処理業	19	12	81	
			15	12	66	
水道業	上水道業	上水道業	0	0	0	
			0	-	-	
			0	-	-	
	下水道業	下水道処理施設維持管理業		230	-	0
				254	-	0
		3	-	-		
道路貨物運送業	一般貨物自動車運送業	一般貨物自動車運送業(特別積合せ貨物運送業を除く)	20	1	7	
その他の小売業	燃料小売業	ガソリンスタンド	20	29	212	
			0	29	0	
			6	29	64	
				29	-	
宿泊業	旅館、ホテル	旅館、ホテル	7	4	10	
			0	4	0	
			0	4	0	
			0	4	0	
			0	4	0	
			14	4	21	
			4	4	6	
			0	4	0	
			9	4	13	
			4	4	6	
			35	4	51	
		簡易宿所	簡易宿所	1	30	5
				2	4	2
学校教育	中学校	中学校	26	-	-	
			0	-	-	
			0	-	-	
娯楽業	公園、遊園地	テーマパーク	10	3	11	
			0	66	0	
自動車整備業	自動車整備業	その他の自動車整備業	3	-	-	
			-	-	-	
合計			-	-	621	

6) 発生負荷量のまとめ

地下水の硝酸性窒素汚染の原因を解明する上では、まず、対象とする流域内に存在する様々な汚染源に関する情報を収集し、汚染のポテンシャルとしての発生負荷量を算定する必要がある。また、それぞれの汚染源から発生した負荷は、そのまま環境中に放出されるものではなく、生活系の排水であれば下水処理場や浄化槽、畜産系の負荷であればたい肥としての農地への投入、農業系の負荷であれば肥料中の窒素成分の作物への吸収や地下浸透など、個々の質的・量的な変化を考慮した上で、地下水への供給量すなわち影響の程度を見積もる必要がある。こうした観点から、地下水への窒素供給ポテンシャルとしての発生負荷量を算出した。

表-5-1-6 及び図-5-1-1 は、1) ~ 5) の結果をまとめたものである。その比率に着目すると、家畜排せつ物が74%、施肥が15%となっており、この2つで発生量負荷量の約9割を占めている。新治地区において、両者からの発生負荷量は非常に多いものとなっていることから、地下水の硝酸性窒素対策を進めていく上で、家畜排せつ物と施肥に主眼を置く必要があると考えられる。

表-5-1-6 新治地区全体での窒素の発生負荷量

汚染源の種類	発生負荷量 kg-N / 年	比率 %
施肥	74,297	14.6
家畜排せつ物	377,175	74.0
生活排水	38,102	7.5
事業場からの排水	621	0.1
面源系(住宅地・雑種地・その他)	19,676	3.9
合計	509,871	100.0

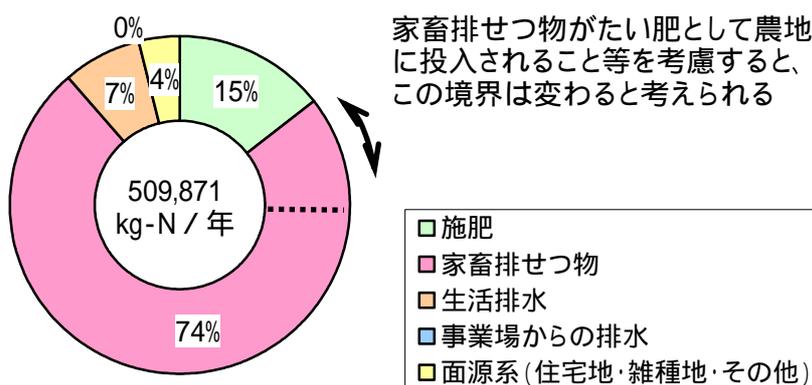


図-5-1-1 新治地区全体での窒素の発生負荷量

5 - 2 . 地下水への供給量

5 - 1 で試算した発生負荷量をもとに、地下水への窒素供給量の試算を行った。試算方法は、「硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引き ,p.45-48(2002)」の窒素原単位法に基づき、生活系の排水であれば単独浄化槽からの排水の地下浸透、畜産系の負荷であれば家畜排せつ物の不適正処理率、農業系の負荷であれば肥料中の窒素成分の作物への吸収や地下浸透など、個々の質的・量的変化を考慮した。

1) 施肥による地下水への供給量

施肥による地下水への供給量は、次式により算出した。土地利用用途別の溶脱率の設定値については表-5-2-1 に示す。

$$\begin{aligned} & \text{施肥による地下水への供給量(kg/年)} \\ & = \text{施肥に起因する発生負荷量 (kg-N/年)} \times \text{溶脱率(\%)} \end{aligned}$$

2) 家畜排せつ物による地下水への供給量

家畜排せつ物による地下水への供給量は次式により算出した。なお、式中の家畜排せつ物の不適正処理とは、農地還元や堆肥化などの有効利用を行わずに、野積みや素掘りの井戸へ廃棄するなど、直接、窒素が地下浸透するような処理をいう。現在では、家畜排せつ物の管理の適正化及び促進に関する法律が施行されていることから、不適正処理率を 0%と仮定して試算を行った。なお、家畜排せつ物からの発生負荷は堆肥などによって農地に還元されると考え、茨城県の野菜栽培基準に記載のあった作物に関して、施肥による負荷量として考慮している。

$$\begin{aligned} & \text{家畜排せつ物による地下水への供給量(kg/年)} \\ & = \text{家畜排せつ物に起因する発生負荷量 (kg-N/年)} \\ & \quad \times \text{家畜排せつ物の不適正処理率(\%)} \times \text{溶脱率(\%)} \end{aligned}$$

3) 生活排水による地下水への供給量

生活排水による地下水への供給量は、単独浄化槽の地下浸透処理を対象として次式により算出した。なお、単独浄化槽処理人口の実データが得られなかったため、生活系排水の処理人口(表-5-1-3)における「その他」を適用した。また、原単位は単独浄化槽排水(5.2~6.6g/人・日の上限値)と雑排水(1.10g/人・日)の合計値(7.7g/人・日)を採用した。

$$\begin{aligned} & \text{生活排水による地下水への供給量(kg/年)} \\ & = (\text{単独浄化槽排水の原単位 (g/人/日)} + \text{雑排水の原単位 (g/人/日)}) \\ & \quad \times \text{地下浸透処理人口(人)} \times \text{溶脱率(\%)} \end{aligned}$$

4) 自然由来による地下水への供給量

自然由来による地下水への供給量は、次式により算出した。なお、自然地下水の硝酸性窒素等濃度は、現地調査における深井戸（下坂田）の0.23mg/Lを用いた。また、降水量は年間平均値1,153mm、降水浸透率は全国平均値（22%）、調査範囲面積とは新治地区全体の面積をそれぞれ用いて試算した。

自然由来による地下水への供給量 = 自然地下水の硝酸性窒素等濃度(mg/L) × 降水量(mm/年) × 調査範囲面積(ha) × 降水浸透率(%)
--

5) 事業場系排水による地下水への供給量

事業場系による地下水への供給量は、事業場排水の地下浸透（または漏洩）量により算出することが望ましいが、こうした情報が不明であることから、前述の事業場系排水に起因する発生負荷量を用いた。

事業場系排水による地下水への供給量 = 事業場排水量(m ³ /日) × 排水水質(mg/L)

6) 溶脱率の設定

溶脱率とは、窒素成分が硝酸性窒素イオン等となって地下水へ移行する割合である。ここでは表-5-2-1に示す値を参考に、上限値、中間値、下限値の3通りについて試算を行った。

表-5-2-1 土地利用用途別の溶脱率（参考値）

区分	施肥			家畜排せつ物	生活排水	商工業排水
土地利用	畑	水田	草地	畜産事業場	住宅地	商工業地
溶脱率(%)	20~50	0~10	5~20	60~100	80~100	80~100

7) 地下水への供給量のまとめ

(1) 窒素供給の寄与割合

上記の仮定のもとで地下水への供給量を算出した結果、表-5-2-2に示すとおり、地下水への供給量は 8.7~22.2 ton-N/年と試算された。溶脱率の中間値を用いた場合の比率は、施肥(畑)が68%、施肥(水田)が14%、面源系が12%であり、農業系の占める比率が高くなっている。

表-5-2-2 新治地区全体での窒素の地下水への供給量

汚染源の種類	下限値		中間値		上限値	
	供給量 kg-N/年	比率 %	供給量 kg-N/年	比率 %	供給量 kg-N/年	比率 %
施肥(水田)	0	0.0	2,210	14.3	4,419	19.9
施肥(畑)	6,021	69.0	10,537	68.1	15,053	67.7
家畜排せつ物	0	0.0	0	0.0	0	0.0
生活排水	216	2.5	243	1.6	270	1.2
事業場からの排水	621	7.1	621	4.0	621	2.8
面源系(住宅地・雑種地・その他)	1,866	21.4	1,866	12.1	1,866	8.4
合計	8,724	100.0	15,476	100.0	22,229	100.0

家畜排せつ物については、新治地区内で 377 ton-N/年の発生負荷量が存在している。

このように、施肥に由来する負荷が非常に大きく、農業系の影響が示唆された。

新治地区の代表的な作物としては、なし、かき、くりが挙げられ(図-3-4-5~図-3-4-6)、近年、農家数及び作付け数ともに減少傾向が見られるものの(図-3-4-3~図-3-4-4)、上記の結果より、肥料由来の汚染に留意する必要がある。

一方、家畜排せつ物については、家畜排せつ物法の施行によって適正処理が行われていると考えられるため、地下水への供給は0としたが、発生負荷量(377 ton-N/年)は、地下水への供給量(8.7~22.2 ton-N/年)に対して17~43倍も存在しており、その適正処理の徹底とともにたい肥の取扱についての検討が重要と考えられる。

(2) 推定硝酸性窒素等濃度

次式によって推定硝酸性窒素等濃度を算出したところ、畑については3.2~8.0 mg/L、水田については0.0~2.6 mg/Lとの結果が得られた(降水量:1,153mm/年、調査面積:3,200 ha、降水浸透率:22%として算出)。

$\begin{aligned} & \text{推定硝酸性窒素等濃度 (mg/L)} \\ & = \text{全硝酸性窒素等供給量 (kg-N/年)} \\ & \quad \div (\text{降水量 (mm/年)} \times \text{調査面積 (ha)} \times \text{降水浸透率 (\%)}) \end{aligned}$

この値は、土地利用用途別に窒素供給量を降水の地下浸透量で割ったものであり、浸透水の平均的な窒素濃度を表している。浸透水中の窒素の形態はこれまでのところ明らかとなっていないが、畑においては、施肥基準を遵守していても溶脱率の上限で試算すると環境基準値の8割に達する濃度で地下水に浸透していることになる。

5 - 3 . 地下水水質による要因分析

ここでは、現地調査の際に行った水質検査結果を基に、水質からの汚染原因を検討した。

1) 窒素同位体比による検討

窒素には、中性子の数の違いにより重さの異なる質量数 14 (^{14}N) と 15 (^{15}N) の同位体が存在する。同位体は化学的な性質は同じであるが、質量数 (重さ) が異なるために原子や分子間に働く力が生じ、その結果、一般に、軽い同位体ほど気化しやすく移動しやすい。そのため、環境中に放出された窒素は、気化 (脱窒) 硝化 (アンモニアが酸化して硝酸イオンに変化する) 吸収 (植物がアンモニアや硝酸イオンを吸収する) などの現象を通して、部分的に窒素が反応した場合は、残物に重い ^{15}N の割合が反応前よりも増加し、逆に移動先に軽い ^{14}N の割合が高くなる。

新治地区における ^{15}N 値の 21 箇所の調査では、10‰以下の井戸は 17 箇所、10‰を超える井戸は 4 箇所であり、4.6 ~ 17.0‰の範囲で平均 8.3‰(sd=3.1)であった。硝酸性窒素濃度との関係は図-5-3-2 示すとおりで、今回測定された井戸水においては、硝酸性窒素濃度と ^{15}N 値の間には、正あるいは負の明瞭な相関関係は認められなかった。

これまでの多くの研究の結果、化学肥料由来の窒素の ^{15}N 値は 0‰前後、家畜排泄物や下水道処理由来の窒素の ^{15}N 値は 10 ~ 20‰程度、土壌由来の窒素の ^{15}N 値は 2 ~ 10‰であることが知られている。今回の調査における ^{15}N 値からは窒素の由来については判断が難しかった。

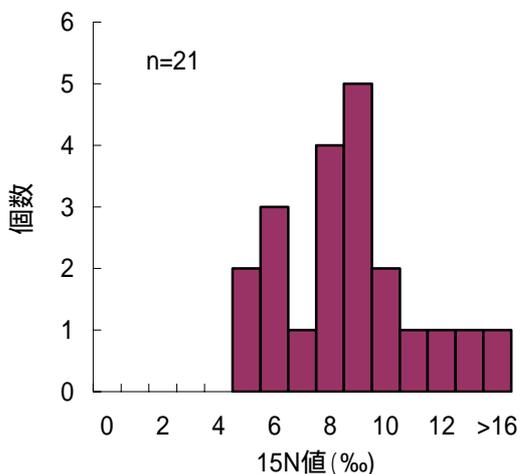


図-5-3-1 窒素同位体比の頻度分布

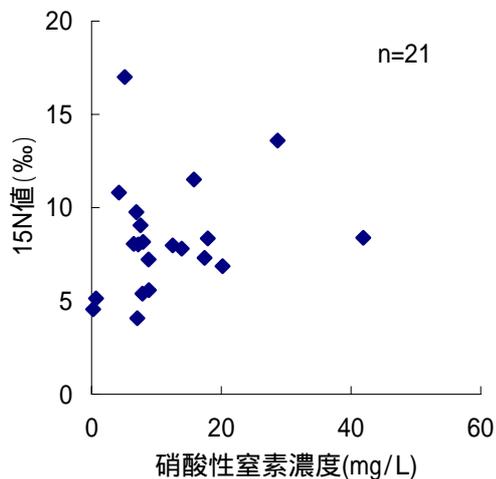


図-5-3-2 硝酸性窒素濃度と窒素同位体比の関係

2) キーダイヤグラムによる検討

調査を実施した井戸におけるキーダイヤグラムは図-5-3-3 に示すとおりである。硝酸性窒素濃度が低濃度であった、藤沢新田、上坂田、下坂田は で人為的影響を受けていないと判断できる。硝酸性窒素濃度が高かった永井では であり人為的影響を受けていると判断できる。小野、沢辺、大畑、田宮は で、その他は となっていた。

：アルカリ土類炭酸型；不圧地下水（浅層地下水）

：アルカリ炭酸型；被圧地下水（深層地下水）

：アルカリ土類非炭酸型；温泉水、汚染地下水

：アルカリ非炭酸型；海水、温泉水

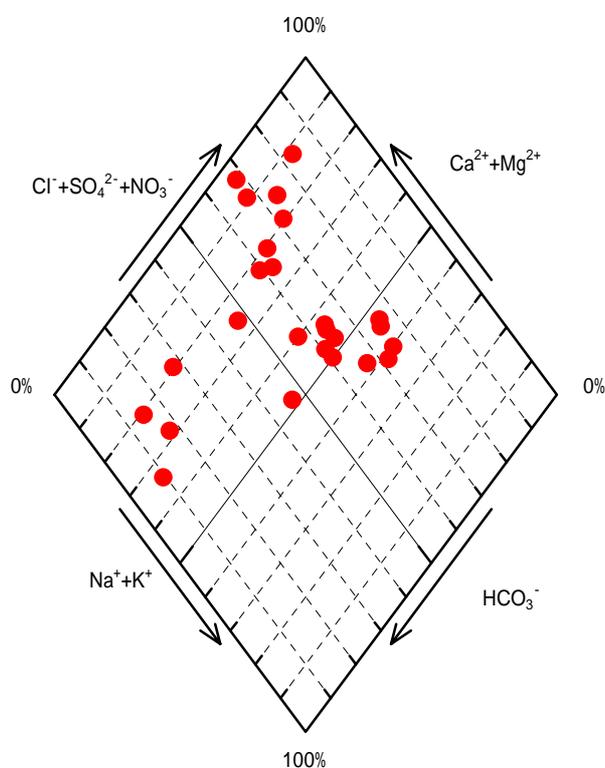


図-5-3-3 新治地区井戸水のキーダイヤグラム

3) ヘキサダイアグラムによる検討

第1回調査で高濃度が検出された永井、小高について第2回調査では周辺の井戸について調査を実施した。永井では近隣で高い濃度が検出されたが、小高では水質基準を超える濃度は検出されなかった。

永井、小高、田宮における調査井戸のヘキサダイアグラムは図-5-3-4に示すとおりである。

永井では濃度の差はあるものの、似通った形状を示したのに対し、小高、田宮では形状の違いがはっきりしていた。これは、永井では水脈が同様な影響を受けたことを示しており、小高では水脈そのものが別、もしくは水脈への影響範囲が違うことを示している。

このことから、新治地区においては、同一の水脈からの井戸と多数水脈からの井戸が混在しているものと推察される。

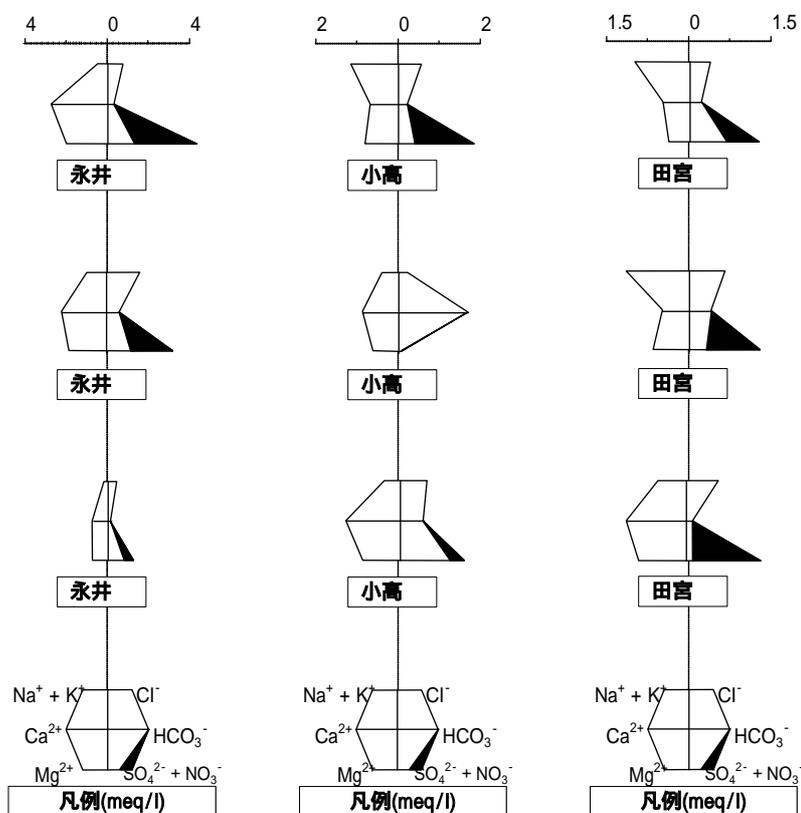


図-5-3-4 永井地区、小高地区、田宮地区のヘキサダイアグラム

4) 濃度相関マトリックスによる検討

第1~3回調査結果を基にして、硝酸性窒素及び各イオン間のそれぞれの相関係数を求め、濃度相関マトリックスを作成した。全ての井戸を対象とした結果は表-5-3-1、硝酸性窒素濃度10mg/L以上の井戸を対象とした結果は表5-3-1に示すとおりである。

硝酸性窒素濃度と高い相関を示している成分は、カルシウムイオン、マグネシウムイオンであり、相関係数は0.75以上である。また、カルシウムイオンとマグネシウムイオンとの間、

マグネシウムイオンと硫酸イオンとの間にも 0.70 以上の高い相関がみられていた。

硝酸性窒素濃度 10mg/L 以上の井戸を対象とした濃度マトリックスは、硝酸性窒素濃度とカルシウムイオン、マグネシウムイオンの相関係数が更に高くなり、それぞれ、0.85、0.84 であった。また、カルシウムイオン、マグネシウムイオンは硫酸イオンとの間にそれぞれ、0.96、0.95 の高い相関がみられていた。

環境省の硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る地下水調査汚染マニュアルや環境省の硝酸性窒素による地下水汚染対策事例集では、カルシウムイオンやマグネシウムイオンが硝酸性窒素と高い相関を示す場合は、肥料と共に多量の散布されたアルカリ資材や堆肥中の窒素成分と同程度含まれるカルシウムイオン、マグネシウムイオンの影響による可能性が高いとされている。

新治地区でも上記のとおり石灰などのアルカリ資材や石灰を含む堆肥が施用されており、硝酸性窒素と両イオンは正の相関を示したと考える。

表-5-3-1 濃度相関マトリックス (調査井戸全て対象)

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	EC
NO ₃ -N	0.00	0.02	0.75	0.79	0.65	0.53	-0.46	0.87
Na ⁺		0.30	-0.15	-0.06	0.37	0.02	0.10	0.16
K ⁺			-0.43	-0.32	0.09	-0.25	-0.32	-0.13
Ca ²⁺				0.83	0.53	0.56	0.05	0.86
Mg ²⁺					0.58	0.70	-0.01	0.92
Cl ⁻						0.51	-0.31	0.77
SO ₄ ²⁻							-0.27	0.70
HCO ₃ ⁻								-0.11

表-5-2-2 濃度相関マトリックス (硝酸性窒素 10mg/L 以上の井戸対象)

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	EC
NO ₃ -N	-0.06	0.07	0.85	0.84	0.58	0.68	-0.43	0.80
Na ⁺		0.57	0.42	0.46	0.58	0.63	0.36	0.24
K ⁺			0.20	0.30	0.52	0.23	-0.21	0.06
Ca ²⁺				0.99	0.83	0.96	-0.02	0.88
Mg ²⁺					0.85	0.95	-0.07	0.86
Cl ⁻						0.82	0.05	0.80
SO ₄ ²⁻							0.14	0.81
HCO ₃ ⁻								-0.18

5) 水質項目からみた汚染原因のまとめ

水質項目からみた硝酸性窒素の汚染原因については、窒素同位体比、キーダイヤグラムでは、原因の特定にまでは至らなかった。

濃度相関マトリックスでは、カルシウムイオン、マグネシウムイオンが硝酸性窒素と高い相関を示しており、肥料や堆肥の影響が示唆された。

5 - 4 . 地下水汚染原因の考察

ここでは、今年度に実施した調査結果をもとに、地下水の硝酸性窒素汚染の原因について考察を行った。

1) 発生負荷量

新治地区全体で窒素の発生負荷量を算出したところ、家畜排せつ物に由来するものが74%、施肥に由来するものが15%であった(図-5-1-1)。

2) 地下水への供給量

地下水への窒素供給の寄与割合は農業系が8割以上(畑:68%、水田14%)であり、農業系の占める比率が高かった(表-5-2-2)。一方、家畜排せつ物の発生負荷量地下水への供給量の17~43倍も存在している。

地下水への供給量から試算した推定硝酸性窒素等濃度は、畑が3.2~8.0 mg/L、水田が0.0~2.6 mg/Lであり、溶脱率の上限で試算した場合、畑では環境基準値の8割に達する濃度で地下水に浸透している。

3) 地下水水質からみた要因分析

地下水の窒素同位体比に着目したところ、畜産系に由来する汚染を示す明確な傾向は認められなかった(図-5-3-2)。また、施肥による影響も明確な傾向は認められなかった。一方、濃度マトリックスからは、硝酸性窒素とカルシウムイオン、マグネシウムイオンに正の相関がみられており、地下水濃度に影響を与えた原因としては施肥量の影響が推察された。

4) 汚染原因の検討に関する今後の課題

地下水の硝酸性窒素汚染を改善するためには、まず汚染原因を把握し、この知見に基づく具体的な負荷削減対策を進めていく必要がある。汚染原因の把握に関して、今年度の調査では、新治地区全体を対象に発生負荷量と地下水への供給量の試算を行ったが、地下水の流動や帯水層の存在など、地下水の実態に関して十分には考慮されていない。今後は、こうした点に留意の上、新治地区における窒素収支(図-5-3-5)や地下水賦存量を考慮し、汚染の寄与割合を詳細に把握する必要がある。

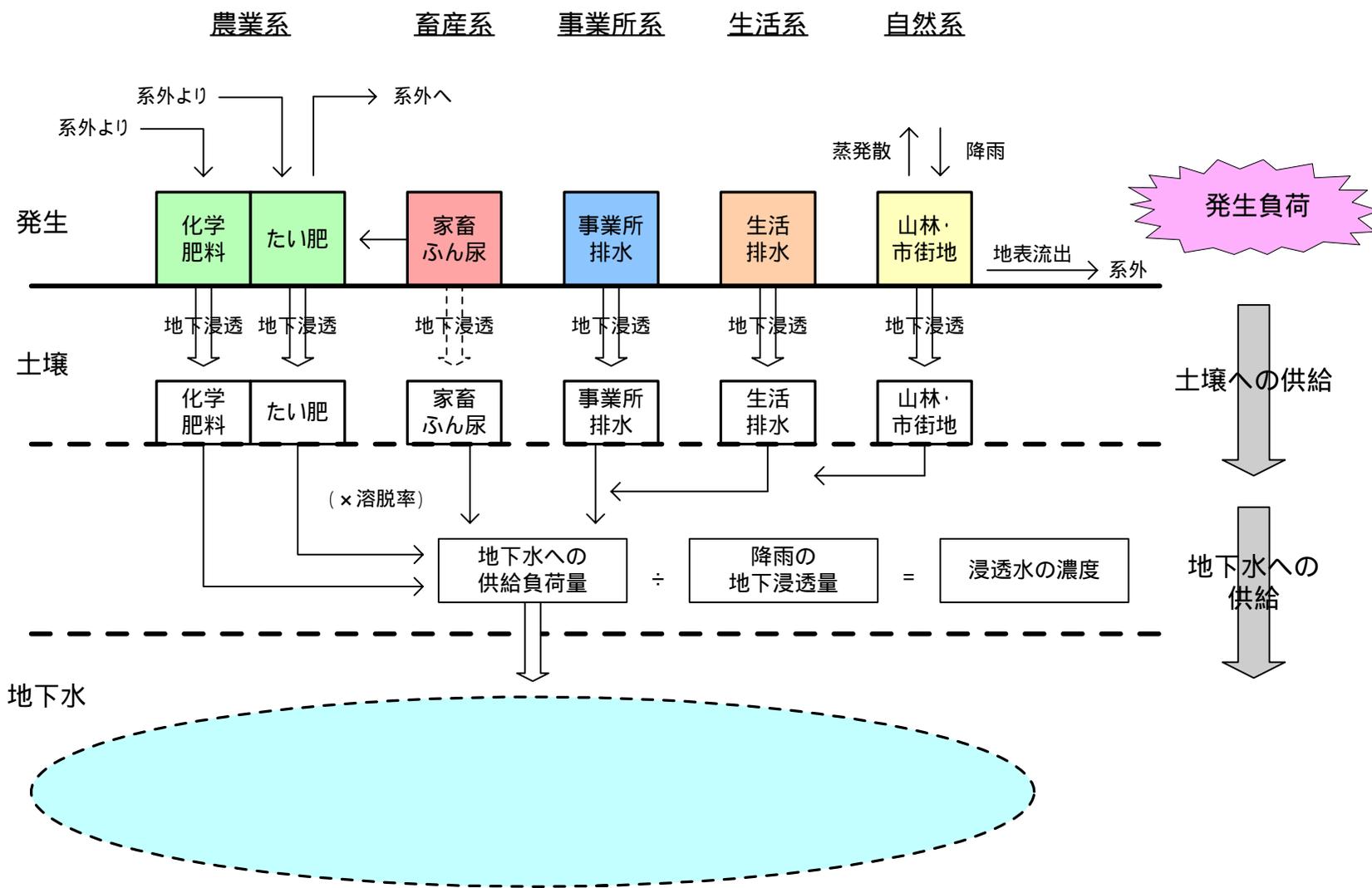


図-5-3-5 窒素の移動のイメージ

