

第4章 硝酸性窒素による地下水汚染の現状

1 熊本県の現状

熊本県では、全国に先駆けて、平成元年度から硝酸性窒素を参考調査項目として地下水質調査を実施し、県下の地下水の状況を注視してきた。平成4年度から、地下水質測定計画で有害物質等の調査を毎年同じ地点（井戸）で実施している定点調査井戸約160本について硝酸性窒素の調査を継続している。

平成4～13年度に実施した地下水質測定計画に基づく地下水質調査での硝酸性窒素濃度についてまとめた結果によれば、硝酸性窒素濃度の平均値は、経年的にわずかながら上昇ないし横ばい傾向にあることがうかがえる[表4-1]。

表4-1 地下水質測定計画に基づく定点監視地下水質調査結果（硝酸性窒素濃度）

	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13
調査地点数	117	117	159	159	159	161	159	159	159	173
検出地点数	113	104	144	130	135	138	136	135	142	146
検出率(%)	97	89	91	82	85	86	86	85	89	84
平均値(mg/l)	2.2	2.3	2.3	2.8	2.6	2.6	2.5	2.4	2.5	2.4
最高検出値(mg/l)	25.1	30.2	40.1	31.4	22.6	18.1	17.5	18	16	20
基準超過地点数	1	2	3	7	6	3	6	5	5	2
超過率(%)	0.9	1.7	1.9	4.4	3.8	1.9	3.8	3.1	3.1	1.2
全国の基準超過率(%)	-	-	2.8	5.0	4.9	6.5	6.3	5.1	6.1	5.8

注) 平成4及び5年度は年2回調査実施、2回の平均値

地下水質測定計画に基づき実施した地下水質調査結果のうち、平成元年～13年度までの硝酸性窒素の調査結果を取りまとめたところ、調査実数2,835井戸のうち、176井戸から環境基準を超過する硝酸性窒素濃度が検出されている。環境基準超過率は6.2%であり、ほぼ全国平均値と等しい値であった[表4-2]。

なお、平成13年度現在、県下94市町村のうちその約半数にあたる48市町村で環境基準超過井戸が確認されている。また、地域別に見た場合、環境基準超過井戸の集中する程度に地域毎に差が見られるものの、県下全域に汚染地区が分布していることが明らかとなっている。

表4-2 県内の地下水の硝酸性窒素濃度調査結果取りまとめ

		地点数
調査地点数	実数	2,835
	延べ	4,726
基準超過地点数	実数	176
	延べ	334
基準超過率(%)	実数	6.2
	延べ	7.1
最高検出値(mg/l)		94.8

2 対象地域の現状

(1) 水道水源井の硝酸性窒素濃度

荒尾市上水道の水源井の数は、現在、15地点24井戸であり、そのほとんどが深度70～100mの深井戸である[図4-1]。

荒尾市水道局が昭和49年から実施している各水源井の硝酸性窒素濃度の検査結果では、全水源井の平均値が昭和50年には0.61mg/lであったものの、その後増加傾向を示し、昭和56年には2mg/lを超過(2.41mg/l)した。その後、昭和60年代までは、2mg/l付近を推移したが、平成に入り再び増加し、平成6年に3mg/lを超過(3.34mg/l)した。平成11年は、3.16mg/lとなっている[図4-2]。

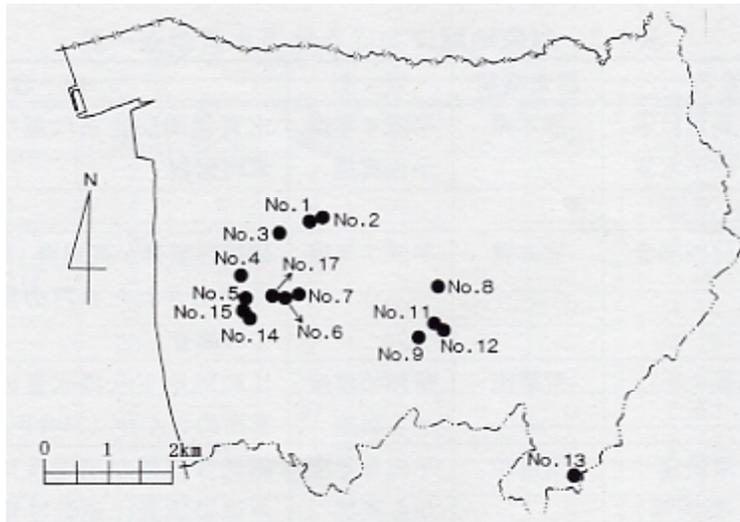


図4-1 荒尾市水道局水道水源井分布図

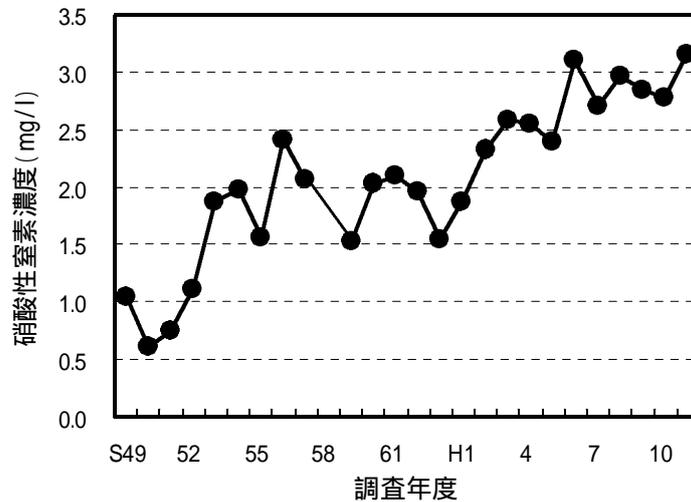


図4-2 荒尾市水道水源井硝酸性窒素濃度経年変化図（平均値）

(2) 地下水中の硝酸性窒素濃度

これまで、対象地域において実施された硝酸性窒素濃度調査は、表4-3に示した5調査である。

これらの地下水質調査の平成元年～平成12年度までの調査結果をまとめたところ、調査井戸558井戸中、507井戸から検出され、検出率は91%と非常に高かった。また、水道水質基準10mg/lを超過した井戸は38井戸であり、その中でも20mg/lを超えたものは4井戸であった。最高濃度は49.5mg/l、平均値は4.1mg/lであった[表4-4]。

(3) 硝酸性窒素濃度の分布状況

(1)に示した硝酸性窒素濃度調査の結果を各地区[図4-3]毎に取りまとめたところ、環境基準を超過した井戸のある大字は12にのぼり、川登及び平山がともに超過井戸数8で最も多かった[表4-5]。

また、調査地点を小字毎に分類し、小字内の調査地点の最高濃度を見た場合、汚染井戸は主に市中央部（上井手、平山、川登及び菰屋地区）に集中しており、一部、本井手、樺、

表4-3 対象地域における地下水質調査一覧

No.	調査名	調査機関	期 間	内 容
	地下水質測定計画に基づく地下水質調査	熊本県	平成4年度から実施	水質汚濁防止法に基づく地下水質の常時監視
	地下水質詳細調査	熊本県	平成7年度	硝酸性窒素が高濃度(概ね8mg/l以上)に検出された井戸の周辺井戸についての調査
	塩水化調査	荒尾市	昭和55年度から実施	比較的地下水揚水量の多い地域の事業所のさく井(34井戸)
	硝酸性窒素調査(追跡・概況等)	荒尾市	平成6年度から実施	硝酸性窒素が高濃度に検出された井戸追跡調査、硝酸性窒素による汚染の状況の把握のための調査
	水道水源井水質検査	荒尾市	昭和46年度から実施	水道法に基づく水道水源井における水質検査

表4-4 対象地域におけるこれまでの硝酸性窒素濃度調査結果取りまとめ

		地点数
調 査 地 点 数	実数	558
	延べ	893
検 出 地 点 数	実数	507
	率(%)	91
基準超過 地 点 数	実数	38
	率(%)	7
最高濃度 (mg/l)		49.5
平均濃度 (mg/l)		4.1

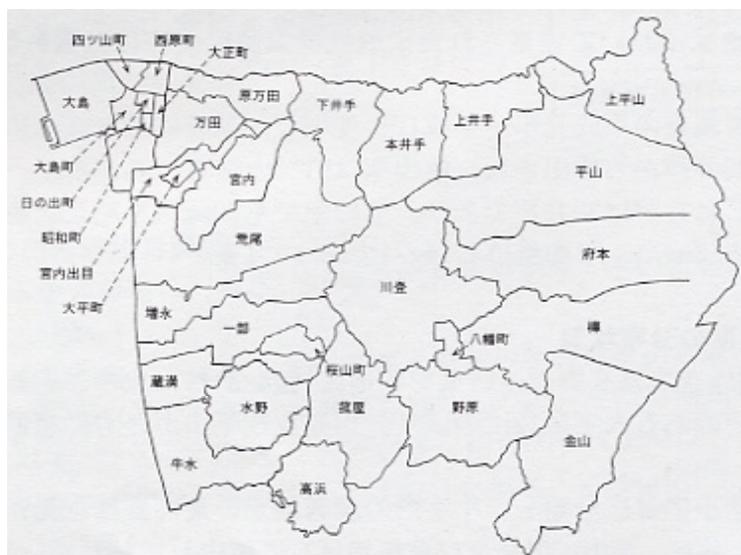


図4-3 地区位置図

高浜及び牛水地区にも汚染井戸が見られた[図4-4]。

表4-5 地区別硝酸性窒素濃度総括

No	地区名	井戸数		検出数		超過数		最高濃度 (mg/l)	平均濃度 (mg/l)
		実	延べ	実	率	実	率		
1	大島	3	3	2	67	0	0	6.20	2.37
2	原万田	4	4	4	100	0	0	3.80	2.73
3	万田	3	3	2	67	0	0	1.50	0.97
4	宮内出目	2	2	0	0	0	0	0.00	0.00
5	宮内	5	7	5	100	0	0	4.10	2.91
6	荒尾	28	45	22	79	0	0	9.10	2.28
7	増永	32	87	30	94	0	0	8.82	3.76
8	一部	30	82	30	100	0	0	6.60	3.05
9	蔵満	14	15	14	100	0	0	8.60	4.16
10	牛水	23	51	20	87	3	13	18.1	5.31
11	水野	18	54	18	100	0	0	10.0	4.00
12	高浜	22	28	17	77	2	9	16.0	2.57
13	菰屋	26	27	26	100	4	15	15.3	5.46
14	川登	72	110	70	97	8	11	36.1	5.60
15	野原	43	85	38	88	5	12	49.5	5.05
16	金山	19	30	19	100	1	5	14.1	4.40
17	樺	21	21	17	81	1	5	17.1	3.25
18	府本	21	24	14	67	1	5	15.9	2.37
19	平山	79	86	74	94	8	10	18.3	4.63
20	上平山	17	17	15	88	0	0	6.3	2.40
21	上井手	28	35	25	89	3	11	16.8	3.91
22	本井手	22	28	20	91	1	5	10.1	3.41
23	下井手	10	11	10	100	1	10	11.8	4.66
24	大平町	1	1	1	100	0	0	0.23	0.23
25	日の出町	1	1	1	100	0	0	3.80	3.80
26	昭和町	1	1	1	100	0	0	3.90	3.90
27	四ツ山町	3	3	3	100	0	0	1.26	0.87
28	西原町	3	3	3	100	0	0	1.26	0.87
29	大島町	1	1	1	100	0	0	1.70	1.70
30	大正町	2	2	1	50	0	0	0.80	0.40
31	八幡町	1	1	1	100	0	0	3.00	3.00
32	桜山町	3	25	3	100	0	0	8.52	6.33
計		558	893	507	91	38	7	49.5	4.05

3 対象地域の硝酸性窒素濃度の将来

汚染地点の硝酸性窒素濃度の経年変化を見ることにより濃度傾向を把握することを目的として、これまでの地下水質調査地点の中から高い濃度を示した地点の中から、地域分布も考慮に入れながら36地点を選定し、平成13及び14年度に硝酸性窒素濃度追跡調査を実施した[図4-5]。

最高濃度は、平成8年度の調査で最高濃度36.1mg/lを示した地点で、平成13年度に25.0mg/l、平成14年度に31.2mg/lであった。また、平成8年度の調査で環境基準を超過していた地点数が16であるのに対し、平成13年度は12地点、平成14年度は9地点と減少した。

次に、濃度傾向を把握するため、前回(平成7年度～12年度)の調査における濃度との差から、増加、横這い及び減少の3段階に分けて分類したところ、約9割にあたる地点が横這いあるいは減少傾向を示し、逆に増加傾向を示した地点は1割にも満たなかった[表4-6]。

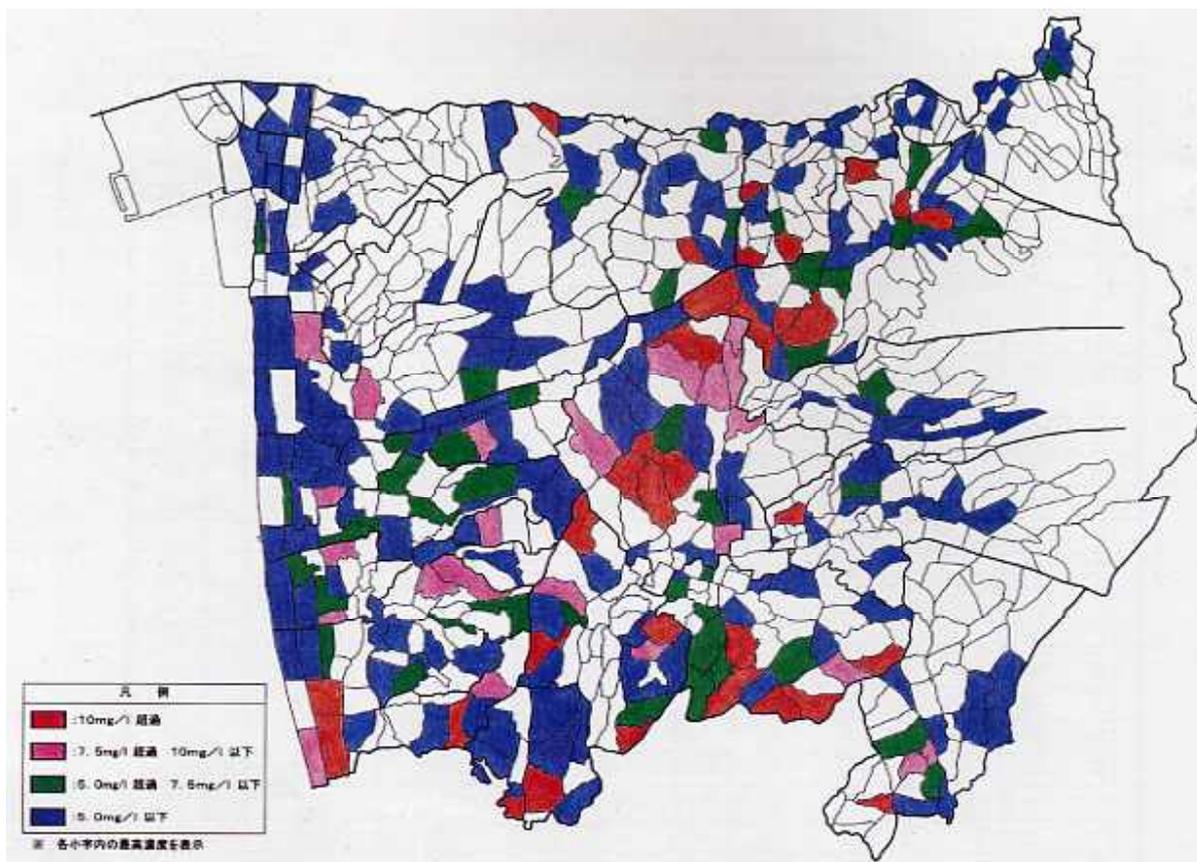


図4-4 対象地域硝酸性窒素濃度分布状況図

この半数近くが減少傾向を示している理由については、以下のことが考えられる。

これまでの対策の効果

窒素負荷量の自然的減少（果樹栽培面積減少、家畜飼育頭数減少等）

しかしながら、季節的な変動等も考えられ、長期的に調査を継続していく必要であると思われる。

また、硝酸性窒素濃度の傾向の分布状況を見た場合、川登地区中央部、平山、樺及び野原地区に増加傾向を示す地点が見られ、市中央部に集中していることが分かっている。これとは対照的に、市西部では横這いあるいは減少傾向を示していた。

さらに、濃度傾向と井戸深度との関連を見るため、井戸深度30m以浅と30m超過とに分類し、濃度変化の傾向を見たところ、30m以浅の地点では横這い傾向を示す地点が大部分を占め、30m超過の地点では減少傾向を示す地点が多く見られた。[表4-7]。

最後に、硝酸性窒素濃度と濃度傾向との関連を見るため、10mg/l超過と10mg/l以下とに分類し濃度傾向を見たところ、10mg/lを超過した地点では、濃度傾向に大きな

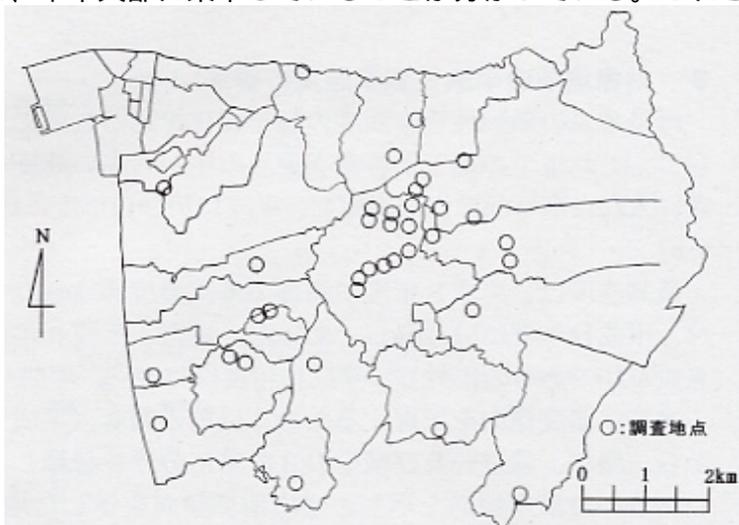


図4-5 硝酸性窒素濃度追跡調査地点図

差は見られなかったのに対し、10mg/l以下の地点では、増加傾向を示した地点は見られず、半数近い地点が減少傾向を示した[表4-8]。

このことは、10mg/lを超過した地点の中には、現在もなお地下水への窒素供給が続いている地点があることを示している。ただし、その窒素が地表から負荷された時期については明らかでない。

表4-6 硝酸性窒素濃度追跡調査地点の濃度傾向

傾 向	濃 度 差	井戸数	割合(%)
増 加	1 mg/l超過	3	8
横 這い	- 1 mg/l以上、1 mg/l以下	18	50
減 少	- 1 mg/l未満	15	42

表4-7 井戸深度毎の濃度傾向の分類

井戸深度	増加	横這い	減少	計
30m以浅	1	14	4	19
30m超過	1	3	8	12
不明	1	1	3	5
計	3	18	15	36

表4-8 硝酸性窒素濃度毎の濃度傾向の分類

濃 度	増加	横這い	減少	計
10mg/l超過	3	4	3	10
10mg/l以下	0	14	12	26
計	3	18	15	36

濃度は平成14年度調査値で分類

第5章 対象地域の地下水のその他の問題点

1 地下水位

現在、熊本県では、熊本周辺、八代、有明・玉名、天草の4地域に合計29本の地下水位観測井を設置し、地下水位変動の把握に努めている。対象地域内の有明海沿岸には、昭和56年及び59年に計3

地点の観測井を設置し、地下水位調査を実施している[表5-1]。荒尾市清里に設置した地下水位観測井によれば、春季3～5月頃と秋から初冬の10～12月頃に水位の上昇が見られ、3～5月に最高水位を示す。また、夏季の8～9月に2m程度の大きな水位の落ち込みと、冬季(2月頃)に小さな水位の落ち込みが見られる。

3地点とも経年的には大きく水位の上昇傾向が見られるものの、標高-8～-10m程度と依然として海面下にある[図5-1]。

表5-1 対象地域における熊本県所管地下水位観測井諸元

観測井戸名	地区名	井戸深度(m)	ストレナー位置(m)	水位観測開始年
玉名有明第1号	牛水	100	61.5- 72.5 78.0- 94.0	S56
玉名有明第3号	荒尾	54	32.0- 48.5	S59
玉名有明第4号	蔵満	110	82.5-104.5	S59

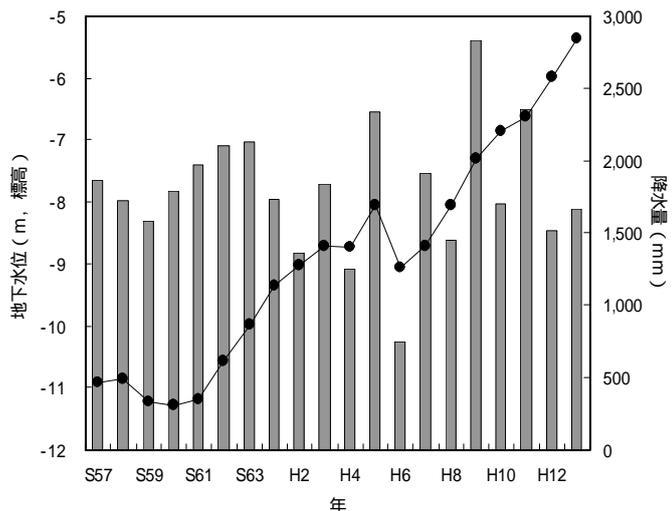


図5-1 水位及び降水量の経年変化図
(玉名・有明第1号)

2 地下水の塩水化

一般に、海岸沿いの沖積平野では、地下水が枯渇すると沿岸部で地下水の塩水化が生じる。我が国では、多くの都市や工業地帯が海浜に近い平野に発達しているので、地下水の塩水化を生じている地域も多く、対象地域沿岸部においても地下水の塩水化現象が確認されている。

荒尾市は、平成5年度から比較的揚水量の大きい地域の井戸33地点について地下水塩水化調査として塩素イオン濃度調査を実施している。平成13年度地下水塩水化調査結果によれば、調査33地点のうち6地点が、水道法に定める水質基準200mg/lを超過し、最高濃度は水野地区の430mg/lであった。また、全調査地点の約1/3に当たる地点の塩素イオン濃度が上昇傾向を示しており、今後もこの傾向は続くものと考えられる[表3-8]。

一般に、地下水の塩水化は、地下水の過剰揚水が原因とされており、海岸に近いほど、また井戸深度が大きいほど影響が大きいといわれている。塩水化が生じても、その後の採取量削減により回復させることは不可能ではないが、完全な回復には相当長期間を要する。

表3-8 荒尾市平成13年度地下水塩水化調査結果

濃度範囲	井戸数
20mg/l未満	7
20mg/l以上、50mg/l未満	14
50mg/l以上、100mg/l未満	3
100mg/l以上、150mg/l未満	0
150mg/l以上、200mg/l未満	3
200mg/l以上	6
計	33

昭和58年度荒尾・長洲地域地下水利用適正化調査報告書（昭和58年2月 通商産業省福岡通商産業局）によれば、地下水の流向から地下水は有明海沿岸部に集中することが明らかとなっているが、現在、この地域には大牟田市上水道水源が位置しており、沿岸部での地下水を対象とした新たな水資源開発は非常に困難な状況といえる。このまま、この地域での塩水化が深刻化すれば、沿岸部での地下水利用が困難となる可能性があり、対象地域の水資源の確保が大きな問題となることが予想される。

硝酸性窒素による地下水汚染は、荒尾地域の水資源の確保をより困難にする可能性が高く、沿岸域での地下水の塩水化は、対象地域での早急な硝酸性窒素汚染対策が必要とされる一因となっている。

第6章 汚染原因

1 汚染源

一般に、地下水中の硝酸性窒素の供給源あるいは汚染源として、以下の6項目が挙げられる。

- 生活排水系（浸透処理、浄化槽 - 単独・合併処理）
- 畜産系（土壌・畑地還元、浸透処理、畜舎排水）
- 農業系（化学肥料、有機肥料、植物残渣）
- 工場・事業所系
- 大気汚染系 - 降雨（自動車排ガス、事業場排ガス、火山噴出物など）
- 自然系（森林伐採）

しかし、汚染地域毎にそれぞれ汚染源は異なり、また複合していることが多い。このため、硝酸性窒素による地下水汚染の対策推進にあたっては、その地域における汚染原因を明らかにしておくことが重要である。

そこで、熊本県は、平成8年に対象地域において硝酸性窒素汚染機構解明調査を実施し、地下水質調査及び窒素供給源の所在・窒素負荷量調査等から、汚染機構の推定を行った。

2 地下水質調査

それまでの地下水質調査の結果、硝酸性窒素濃度の高かった井戸の集中していた地域の中から、硝酸性窒素濃度及び井戸深度等を考慮して22地点[図6-1]を選定し、定期モニタリング調査を実施した。

これら22地点の硝酸性窒素濃度の平均値は9.9mg/lであり、6地点は年間通して常に10mg/lを超過するなど、非常に高い硝酸性窒素濃度を示した。水質変化については、梅雨のときに溶存成分量の増加などの水質変化を示した2地点を除き、各地点とも大きな変化を示さなかった。

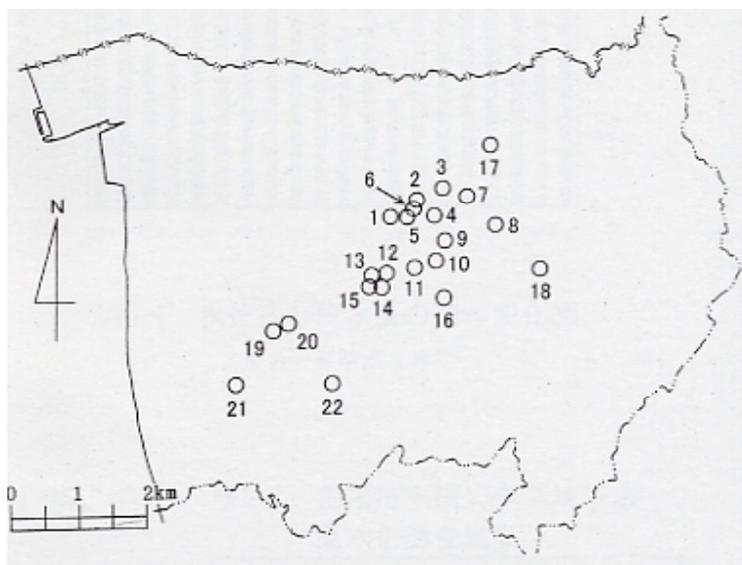


図6-1 定期モニタリング調査地点図

また、調査した地点の約8割が、硝酸性窒素による地下水汚染地域に特徴的なアルカリ土類非炭酸塩（ Ca^{2+} - SO_4^{2-} , NO_3^- ）型の水質を示した。さらに、高い硝酸性窒素濃度を示したいくつかの地点については、電気伝導率が大きく、重炭酸イオン（ HCO_3^- ）が非常に少なく、pHも他の地点に比較して低いなど硝酸性窒素による地下水汚染地域に特徴的な水質を示した。

3 窒素排出量

前述の6つの排出系のうち、対象地域での汚染源としての可能性が小さいと考えられた工場・事業所系、大気汚染系及び自然系の3排出系を除く、残り3排出系（生活排水系、畜産系及び施肥系）について、以下の条件により10年毎の窒素排出量を試算した[表6-1]。

生活排水は、人の生活に伴って発生する窒素量の原単位を使用。

施肥は、穀類（水陸稲及び麦類）及び果樹（梨及びみかん）への施肥について算出。

施肥量として施肥基準の値をそのまま使用。

家畜は、飼育頭羽数とふん尿中に含まれる窒素量の原単位との積。

総窒素排出量は、昭和50年に705t/年と最高を示したが、平成7年には、家畜、特に鶏による窒素排出量の減少により532t/年まで減少した。家畜による窒素排出量は、昭和50年には総窒素排出量の約4割を占めていたが、平成7年では、生活排水や施肥による排出量とほぼ等しい値である。ただし、この窒素排出量が単純に地下水汚染に寄与しているものではなく、汚染原因究明にはさらに他の調査結果とともに検討する必要がある。

表6-1 窒素排出量 (t/年)

年 度		S40	S50	S60	H7
生活排水		190	183	198	182
家畜	豚	32	70	62	34
	牛	53	64	89	72
	鶏	-	166	79	92
	計	85	300	230	198
施肥	穀類	163	88	84	42
	梨	41	34	40	42
	みかん	56	100	81	68
	計	260	222	204	152
計		535	705	632	532

4 土地利用と硝酸性窒素濃度分布との比較

生活排水系、畜産系及び施肥系の3つの系について、関連する土地利用状況と地下水中の硝酸性窒素濃度分布状況（硝酸性窒素濃度を円の大きさで表示）を比較することにより、地下水汚染との関わりを調査した。

まず、市街地（平成元年）は、市北西部を中心に市西部の海岸沿いに発達していることから、市街地と硝酸性窒素濃度分布とに重なる部分は少なく、このため生活排水による硝酸性窒素汚染とは考えにくい[図6-2]。

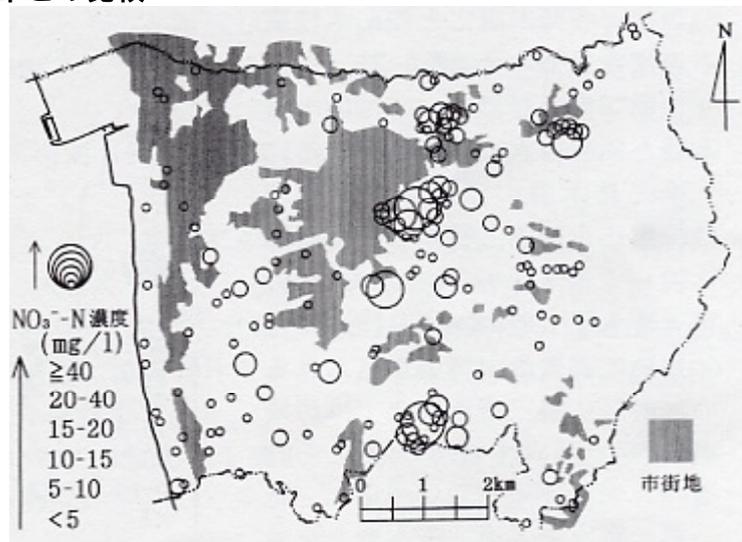


図6-2 市街地と硝酸性窒素濃度分布図

次に、昭和50年代から平成8年度にかけての畜産農家は、大部が市中央部に集中しており、硝酸性窒素濃度分布と重なる部分が多いことから、畜舎排水等による硝酸性窒素汚染が示唆される[図6-3]。

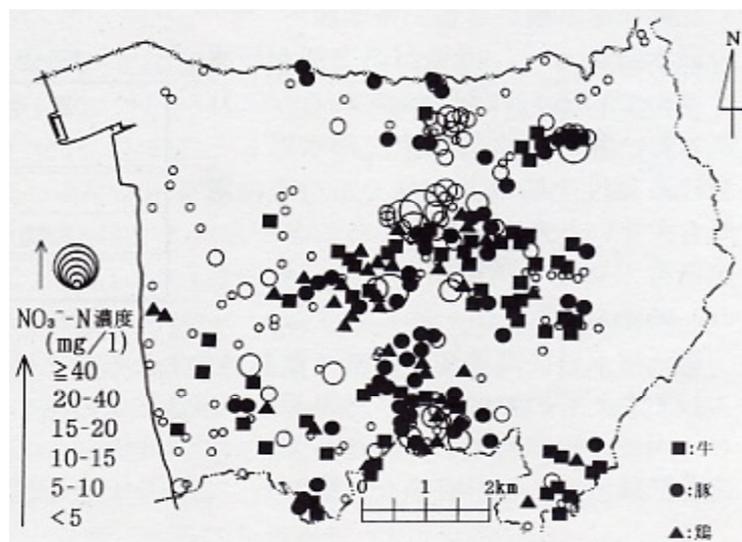


図6-3 畜舎と硝酸性窒素濃度分布図

水田地域（平成元年）の大部分は4つの主要河川流域を中心に広がっていることから、水田分布と硝酸性窒素濃度分布とに重なる部分は少なく、このため水田への施肥による硝酸性窒素汚染とは考えにくい[図6-4]。一方、果樹園（平

成元年)は、市中央部及び南西部に集中し、果樹園集中地域と硝酸性窒素濃度分布とが重なることから、果樹への施肥による地下水汚染の可能性が示唆される[図6-5]。

以上、土地利用と硝酸性窒素濃度分布との比較から、畜舎排水等及び果樹への施肥による地下水汚染の可能性が示唆された。

5 帯水層毎の硝酸性窒素濃度

対象地域には3つの帯水層が存在する。調査地点のうち9地点について、井戸深度及びイオン成分濃度等を参考に取水帯水層ごとに分類し、各帯水層ごとの硝酸性窒素濃度を比較した[表6-2]。ただし、第二帯水層については第一帯水層と同時取水の可能性がある。

第三帯水層の硝酸性窒素濃度は、第一及び第二帯水層のそれに比較して非常に小さい。すなわち、第一帯水層(特に、掘り抜きの浅井戸)に高濃度の汚染が見られるのに対し、第三帯水層までは汚染が進行していないものと考えられる。

第一帯水層と第二帯水層とを分ける長洲層の分布は連続性に乏しく、第一帯水層から第二帯水層への漏水によって、汚染が第二帯水層まで進んでいるものと考えられる。これに対し、第二帯水層と第三帯水層とを分ける粘性土層は、連続でかつその層厚も大きいと考えられていることから、第三帯水層まで汚染が達していないものと考えられる。

第一帯水層に高濃度の硝酸性窒素が含まれることは、この地区の硝酸性窒素が他から流入してきたものではなく、地表からの浸透によるものであることを裏付けている。すなわち、地表の土地利用との関連が大きいことを意味していると同時に、地表面からの窒素負荷を低減することが有効な対策の一つであることを裏付けている。

6 汚染機構

窒素排出量及び土地利用と硝酸性窒素濃度分布との比較等から、対象地域における硝酸性窒素による地下水汚染は、施肥系(特に果樹園)及び畜産系との関連が高いことが示さ

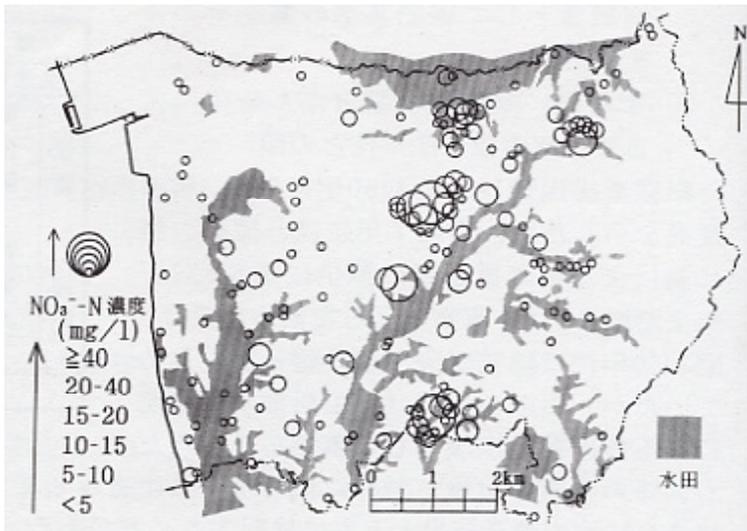


図6-4 水田と硝酸性窒素濃度分布図

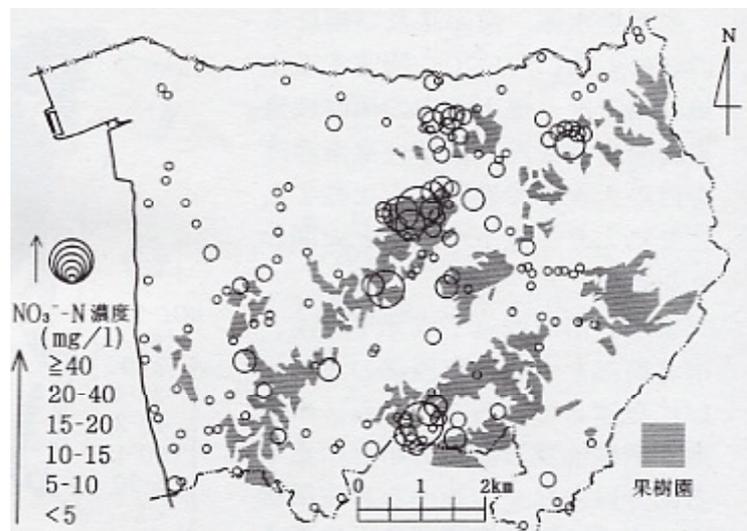


図6-5 果樹園と硝酸性窒素濃度分布図

表6-2 帯水層毎の硝酸性窒素濃度

帯水層	調査地点数	硝酸性窒素平均濃度(mg/l)
1	3	20.4
2(1と同時取水の可能性あり)	4	13.3
3	2	3.6

れた。そこで、窒素同位体比（以下、 ^{15}N 値）を測定することにより、調査地点の汚染機構について考察した[図6-6]。なお、これまでの調査結果から、 ^{15}N 値8‰を基準に、化学肥料の影響を受けた場合と家畜ふん尿及び家庭排水等の影響を受けた場合とに分類できることが報告されている。

8‰以下の ^{15}N 値を示すグループ（第グループ）には20地点が分類された。これらの地点の ^{15}N 値の平均値は、5.8‰と非常に小さく、 ^{15}N 値の小さい窒素分の供給による汚染、例えば化学肥料等の影響であることを示している。第グループに分類された地点の周辺土地利用は、大部分が梨園であり、所々にみかん園が点在する状況である。この地区は、最も梨園の集中する地区の一つであり、これらのことから、これらの地点の硝酸性窒素による汚染は、周辺の果樹園（特に、梨園）に散布された化学肥料の影響によるものと考えられる。

一方、8‰超過の ^{15}N 値を示すグループ（第グループ）に含まれた2地点の ^{15}N 値は、それぞれ9.6及び9.4‰とともに大きく、また、糞便性大腸菌が検出された。周辺の土地利用は大部分が梨園であることから、周辺の梨園からの化学肥料の溶脱による影響と、付近の畜舎の影響及び付近の果樹園に投入された家畜ふん尿等の影響あるいは生活排水等の影響とが加わった複合的な汚染と推察された。

調査22地点中大部分の20地点が、低い ^{15}N 値を示す第グループに含まれたことから、対象地域の硝酸性窒素による地下水汚染は、主として果樹への施肥、特に化学肥料の溶脱による汚染と推察された。

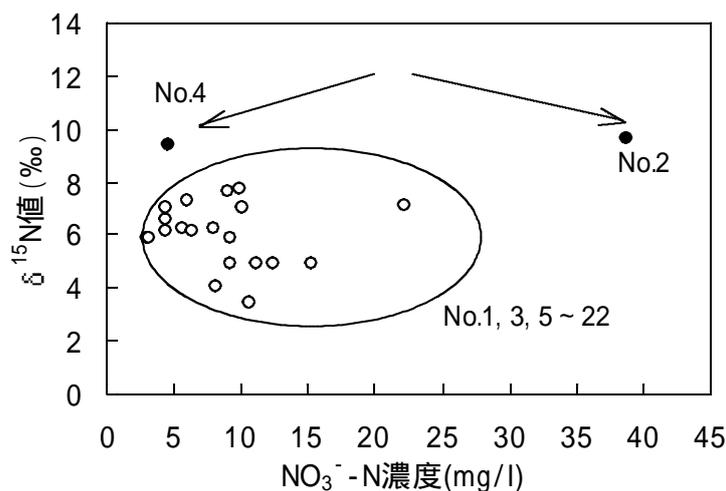


図6-6 硝酸性窒素濃度と ^{15}N 値との散布図

窒素同位体比（ ^{15}N 値）について

硝酸性窒素による地下水汚染の汚染源同定法として注目されているもの。窒素安定同位体の自然存在比を利用する。窒素には ^{14}N と ^{15}N の二つの安定な同位体が存在し、その大気中の存在比は99.635%と0.365%でほぼ一定であるが、物質により変化する。二つの同位体の比は、空気中の窒素の同位体比を基準として、 δ 値として千分率（‰、パーミル）で次のように表される。

$$^{15}\text{N}\text{値}(\text{‰}) = [(R_{\text{Sample}} / R_{\text{Air}}) - 1] \times 1,000$$

ここで、 $R = ^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$ である。この ^{15}N 値は、化学肥料や畜舎排水、家庭排水などの窒素の供給源毎にほぼ一定な値をとるために、供給源の同定が可能といわれている。

一般に、化学肥料の影響を受けた地下水の場合より低い値を示し、家畜ふん尿及び家庭排水等の影響を受けた地下水の場合より高い値を示すことが知られている。これまでの調査結果から、 ^{15}N 値8‰を基準に、化学肥料の影響を受けた場合と家畜ふん尿及び家庭排水等の影響を受けた場合とに分類できることが報告されている。