

(3) 地下水汚染の原因

1) 汚染原因・汚染機構解明調査結果

ア) 水質解析法

a) ヘキサダイアグラム

水質組成と溶存分量とを組み合わせる方法としてヘキサダイアグラムが用いられている。

図 4-4-10 の凡例のように陽イオンは上から、ナトリウムイオン+カリウムイオン ($\text{Na}^+\text{+K}^+$)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、マグネシウムイオン (Mg^{2+}) の順に左側に、また陰イオンは同じく塩化物イオン (Cl^-)、重炭酸イオン (HCO_3^-)、硫酸イオン+硝酸イオン ($\text{SO}_4^{2-}\text{+NO}_3^-$) の順に右側にといた成分配置で、各成分の当量値を水平軸にプロットし、各点を結んだものである。

ここでは、右側下段の硝酸イオン (NO_3^-) を黒塗りで表示している。

調査地点の地下水質の例として 9 月調査時の地下水質をヘキサダイアグラムで表し、図 4-4-10 に示した。調査を行った 22 地点 (図 4-4-11) のうち 17 地点が $\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-NO}_3^-$ 型を示した。その他の 5 地点については、No. 2 は $\text{Mg}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}\text{-NO}_3^-$ 型、No. 7 及び 13 は $\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-NO}_3^-$ 型を、No. 12 は $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ 型、No. 21 は $\text{Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$ 型の水質を示した。今回の調査で最も高い硝酸性窒素濃度を示した No. 2 は、 HCO_3^- が非常に少ないという特徴を示した。

さらに、他の地点に比較して電気伝導率 (EC) が大きく (平均 $512\ \mu\text{S/cm}$)、pH も平均 5.56 と水道水質基準の 5.8~8.6 よりも低かった。No. 6 及び 14 についてもまた、No. 2 と同様の特徴を示している。

水質変化については、梅雨時期に溶存成分の増加などの水質変化を示した No. 17 及び 18 の 2 地点を除き、各地点とも大きな変化を示さず、安定した水質を示した。

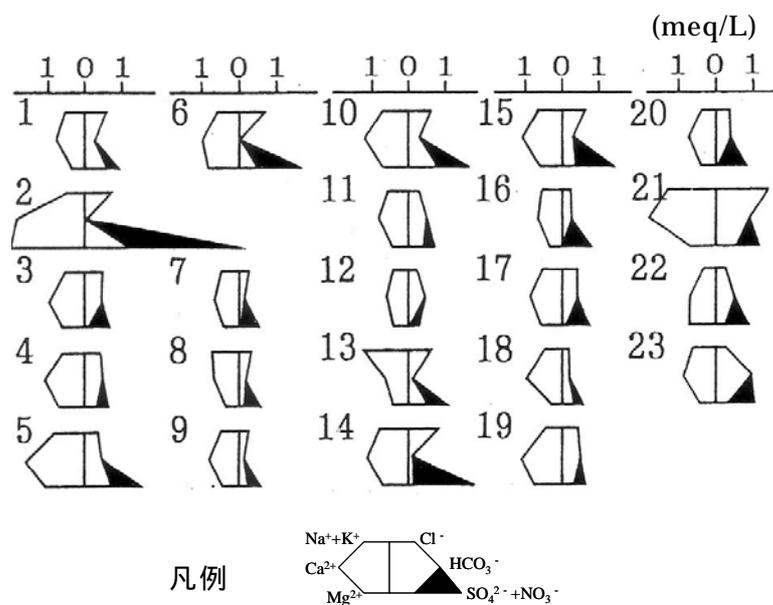


図 4-4-10 ヘキサダイアグラム

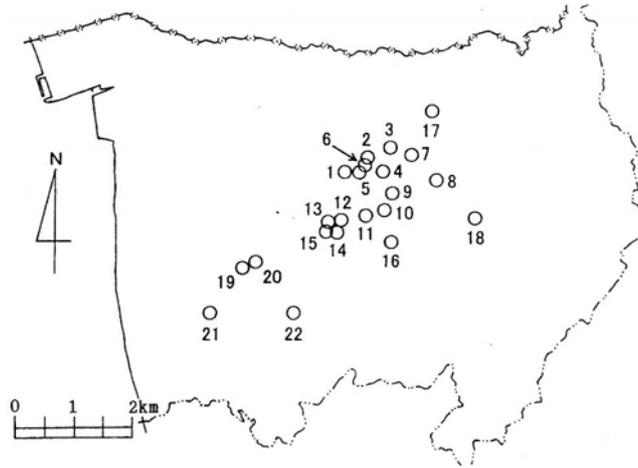


図 4-4-11 調査地点位置図

b) 濃度相関マトリクス

一般に、硝酸性窒素汚染は化学肥料の中でも、特に硫安（硫酸アンモニウム）に起因する場合、硝酸性窒素濃度と硫酸イオン濃度との相関が高いことが知られ、また、土壌の酸性化を防ぐために、石灰成分等を施すため、カルシウムイオン濃度との相関が高いことも知られている¹⁾。そのため、各項目間の相関関係を見ることにより、汚染源を推定することが可能である。表 4-4-2 に 9 月調査時の各項目間の相関係数を示した。

電気伝導率（EC）は、pH 及び HCO_3^- を除く他の項目と非常に高い相関を示した。また、マグネシウムイオンとカルシウムイオン及び硝酸性窒素、塩化物イオンとマグネシウムイオン及びカルシウムイオンとで高い相関が見られた。しかし、上述した硝酸性窒素と硫酸イオンでは 0.46、硝酸性窒素とカルシウムイオンでは 0.58 と、さほど高い相関は示さなかった。硝酸性窒素濃度が比較的高い No. 3、7、16 及び 17 では、硫酸イオンがほとんど含まれていないなど、硝酸性窒素と硫酸イオンとの関連は小さく、この傾向は No. 20 にも当てはまる。

これらのことから、硝酸性窒素が化学肥料の中でも硫安の施肥に起因するものとは考えにくい。以前から、梨への施肥は尿素中心であり、現在では有機肥料中心の施肥に移行しつつあることから硫安はほとんど使用されていない。このため、硝酸性窒素と硫酸イオンとの相関が低かったものと解釈される。これらのことから、地下水中の硝酸性窒素が、尿素など、化学肥料の中でも硫安以外の施肥に起因していると考えられる。

表 4-4-2 9月調査時の各項目間の相関係数表

	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻
pH	-	-0.26	-0.20	0.07	-0.13	-0.29	0.76	-0.19	-0.49	-0.32
EC		-	0.40	0.59	0.96	0.84	0.16	0.81	0.68	0.74
Na ⁺			-	0.38	0.25	0.01	0.09	0.64	0.01	0.31
K ⁺				-	0.63	0.19	0.49	0.73	0.05	0.27
Ca ²⁺					-	0.80	0.28	0.75	0.58	0.72
Mg ²⁺						-	-0.03	0.48	0.82	0.72
HCO ₃ ⁻							-	0.25	-0.44	-0.04
Cl ⁻								-	0.37	0.44
NO ₃ ⁻ -N									-	0.46
SO ₄ ²⁻										-

イ) 窒素安定同位体比法

9月調査時の硝酸性窒素濃度と ¹⁵N 値との散布図を図 4-4-12 に示す。水質が季節によって大きな変化を示す No.17 及び 18 の 2 点を除き、各地点とも ¹⁵N 値は、9月と2月とでその差が1ポイント以下と変化は小さかった。全国の試験地から報告された ¹⁵N 値の傾向から、7～8‰を境に無機化学肥料の影響を受けた地下水と生活排水や有機肥料の影響を受けた地下水とに分類することができる。そこで図 4-4-12 では、8‰を基準として大きく2グループに分類した。すなわち、¹⁵N 値が8‰未満を第1グループとし、8‰以上を第2グループとした。第1グループには20地点、第2グループにはNo.2及び4の2地点が含まれた。

図 4-4-12 の散布図にける分類に基づき汚染機構について考察し、汚染源の絞込みを行った。

調査地点 22 地点中、20 地点が含まれる第1グループの ¹⁵N 値は8‰以下の領域にある。季節変化を示した No.17 及び 18 を除けば、第1グループ中、最高を示したのは No.19 の 7.7‰、最低は No.22 の 2月の 3.2‰であり、¹⁵N 値の平均は 5.8‰であった。このことから、第1グループの 20 地点の硝酸性窒素は、¹⁵N 値の小さい窒素分の供給による汚染、たとえば化学肥料等による汚染であると考えられる。

ここで、第1グループに含まれる地点のいくつかについて、周辺の土地利用に注目した。図 4-4-13 に No.3、5 及び 6 の周辺土地利用状況を示した。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。この地域は梨栽培の盛んな荒尾市の中でも、最も梨園の集中する地域の一つである。また、No.11～15 の周辺土地利用についても同様である。

以上のことから、これら 8 地点の硝酸性窒素による汚染は、周辺の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。

第1グループに含まれた No.2 及び 4 の ¹⁵N 値は、それぞれ 9.6‰及び 9.4‰と、第2グループよりも高い値を示した。この 2 地点は、図 4-4-13 に示すように、No.3、5 及び 6 に近く、周辺の土地利用状況は梨園である。また、No.2 は、他の地点に比較して硝酸性窒素濃度が非常に高い。この付近では、かなり以前から、果樹園に大量のし尿の投与がなされていたこと、井戸深度が 13m と浅いこと、さらには

ふん便性大腸菌が検出されたことを考慮すると、投入されているし尿の影響によるものと考えられる。No. 4でも同じくふん便性大腸菌が検出された。家の裏手に牛舎があることから、そこからのし尿の影響、あるいは生活排水の影響と考えられる。

ただし、この2地点の¹⁵N値9.6‰及び9.4‰は、他の地域における、畜舎排水及び生活排水による汚染と考えられた地点での¹⁵Nの平均値(10.6‰及び11.7‰)よりも小さい値であるため、汚染原因は周辺の梨園からの化学肥料の溶脱と、し尿あるいは生活排水等が複合的に影響しているものと推察した。

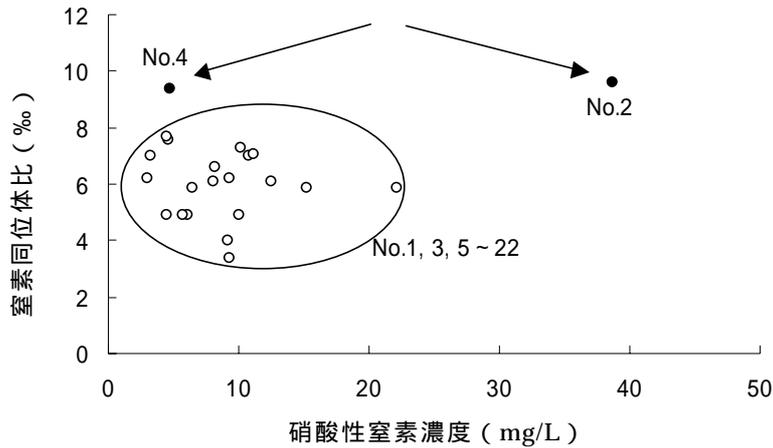


図 4-4-12 硝酸性窒素と¹⁵N値との散布図

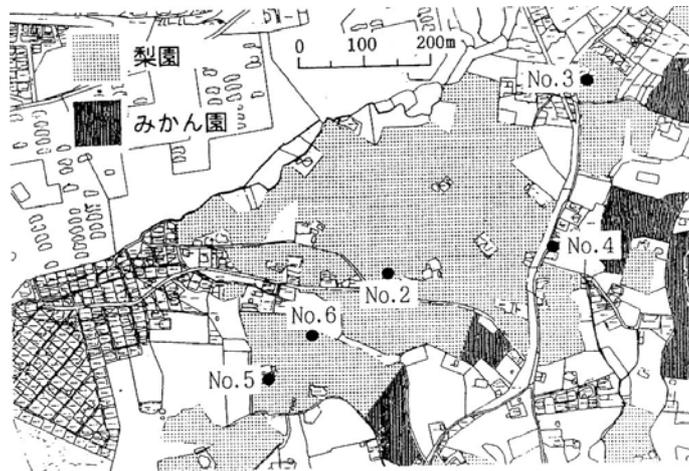


図 4-4-13 No. 3, 5 及び 6 周辺の土地利用状況

2) 地下水への窒素負荷発生状況(窒素収支等)

窒素原単位法を用いて地下水への窒素負荷発生状況を推定した。

基本的に大字を一つの単位として地区割りにし、降雨、施肥、畜産、生活排水の項目について汚染源ごとに窒素負荷を算出した。ただし降雨については地区ごとに大きな差はないものとして小字ごとに窒素負荷量を求めた。

ア) 降雨

(1)式を用いて、降雨による窒素浸透量を算出した。

$$\text{浸透量} = \text{窒素降下量} \times \text{浸透率} \dots\dots\dots (1)$$

窒素降下量はデポジットゲージ（降下ばいじん計）法による窒素降下量調査（県下 24～17 地点）における測定値の平均値を利用した。浸透率については 25%と仮定した。

イ) 施肥による地下浸透

荒尾市で最もよく栽培されている梨及びかんきつ類について、(2)式を用いて施肥による窒素浸透量を算出した。

$$\text{浸透量} = \text{栽培面積} \times L_{nN} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 L_{nN} は単位面積あたりの浸透量であり、荒尾市のアンケート調査結果に基づき窒素施肥量 F_N を用いて、(3)式¹⁾により算出した。

$$L_{nN} = 0.311F_N + 13.4 \dots\dots\dots (3)$$

ウ) 畜産（畜舎）による浸透

(4)式を用いて畜産による窒素浸透量を算出した。

$$\text{浸透量} = \text{頭（羽）数} \times \text{原単位} \times \text{浸透率} \dots\dots\dots (4)$$

浸透率は 25%と仮定した。

エ) 生活排水による浸透

(5)式を用いて、生活排水による窒素浸透量を算出した。

$$\text{浸透量} = \text{人口} \times \text{原単位} \times \text{未処理率} \times \text{浸透率} \dots\dots (5)$$

1 世帯あたりの人数が一律であると仮定し、市販地図から地区ごとの世帯数を読み取り、人口を算出した。原単位は表 4-4-3 に示したものを利用した。

下水道普及地域、し尿収集家庭及び合併浄化槽設置家庭は窒素浸透量を 0 とした。また、浸透率は一律に 25%とした。

表 4-4-3 算出に使用した原単位

項目	原単位 (kg/人/年)	
	し尿	雑排水
値	2.61	0.53

以上の排出源から予測される単位面積あたりの汚染リスク分布を図 4-4-14 に示した。窒素負荷量の和が大きい地区は、対象地域中央から東部にかけて分布している。これは、一部を除いて非常に負荷量の小さい対象地域北西部とは対照的である。なお、総負荷量は 106.4t/年という試算になった。

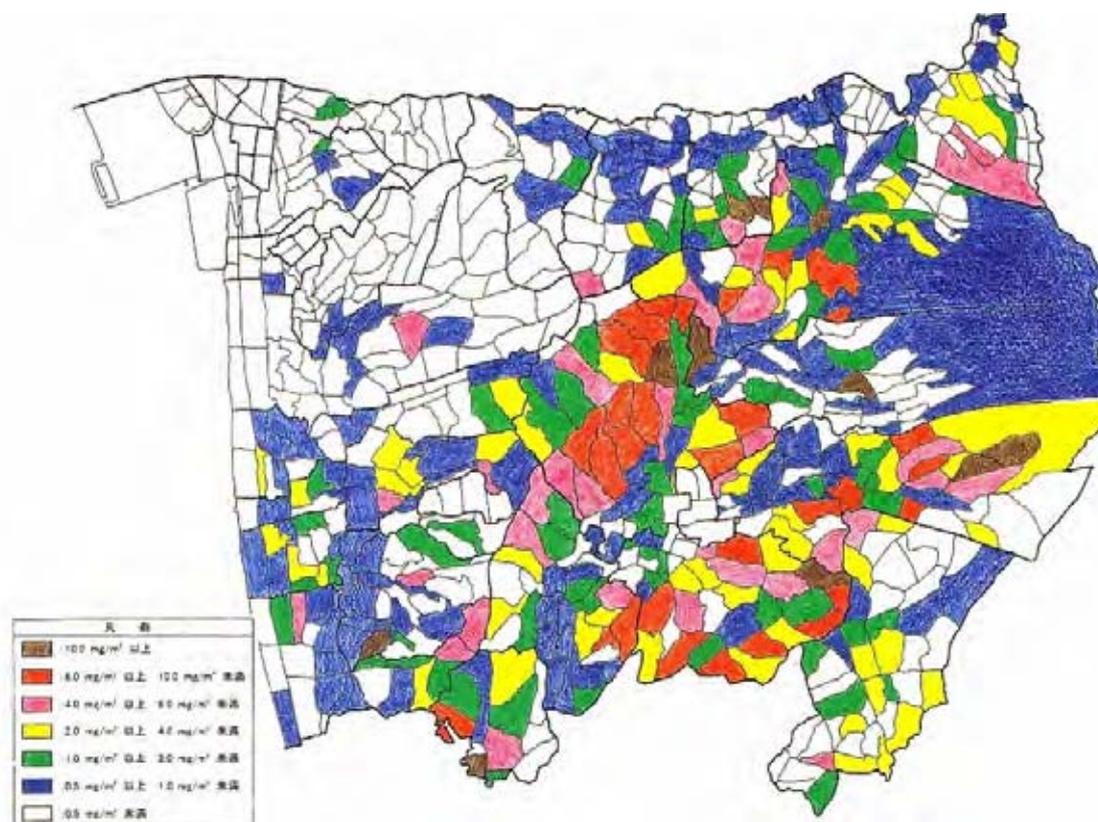


図 4-4-14 シュミレーションによる単位面積あたりの汚染リスク分布図

3) 負荷低減計画の策定

ア) 計画策定における関係機関等の連絡体制

熊本県では平成 9 年度に環境部局、農業・畜産部局、水道部局、分析・研究機関等で構成する「硝酸性窒素汚染対策連絡会議」を設置し、地下水の硝酸性窒素汚染に係る情報交換及び対策の推進方法の協議等を行ってきた。会議の構成員は表 4-4-4 のとおりである。

また、平成 13 年度に、県内でも特に硝酸性窒素汚染が顕著かつ汚染機構が解明されている荒尾市において「荒尾地域硝酸性窒素削減対策会議」を設置した。

表 4-4-4 硝酸性窒素汚染対策連絡会議構成員

議長	環境生活部次長
健康福祉部	健康福祉政策課長
	生活衛生課長
	保健環境科学研究所次長
農政部	農政課長
	経営技術課長
	園芸生産流通課長
	畜産振興課長・農業研究センター部長
環境生活部	環境政策課長
	環境保全課長

イ) 計画策定に係る検討経過

窒素負荷量削減計画策定のための検討会議という位置付けで、平成 13 年度に「荒尾地域硝酸性窒素削減対策会議」を設置した。構成員は表 4-4-5 のとおりである。

同会議には下部組織としてワーキンググループ会議（担当者会議）を設置し、計画の細かい検討はワーキンググループ会議で行った。第 1 回硝酸性窒素削減対策会議では構成員の顔合わせ及びスケジュールの確認を行い、1～3 回ワーキンググループ会議では計画策定に必要な基礎データの収集及び情報交換を行った。第 2 回硝酸性窒素対策会議及び第 4, 5 回ワーキンググループ会議では素案を検討し、第 3 回硝酸性窒素削減対策会議において計画の策定に至った（図 4-4-15、表 4-4-6）。

表 4-4-5 荒尾地域硝酸性窒素削減対策会議構成員

熊本県	環境生活部環境保全課長
	” 水保全対策室長
	玉名地域振興局振興調整室長
	” 保健福祉環境部長
	” 農林水産部長
	” 農業改良普及センター所長
	保健環境科学研究所次長
荒尾市	市民部環境保全課長
	産業振興部農林水産課長
	企画管理部企画調整課長
	水道局長
農業従事者	JA 玉名八幡支所長
学識経験者	和歌山大学システム工学部 平田健正教授
	熊本大学理学部 嶋田 純教授

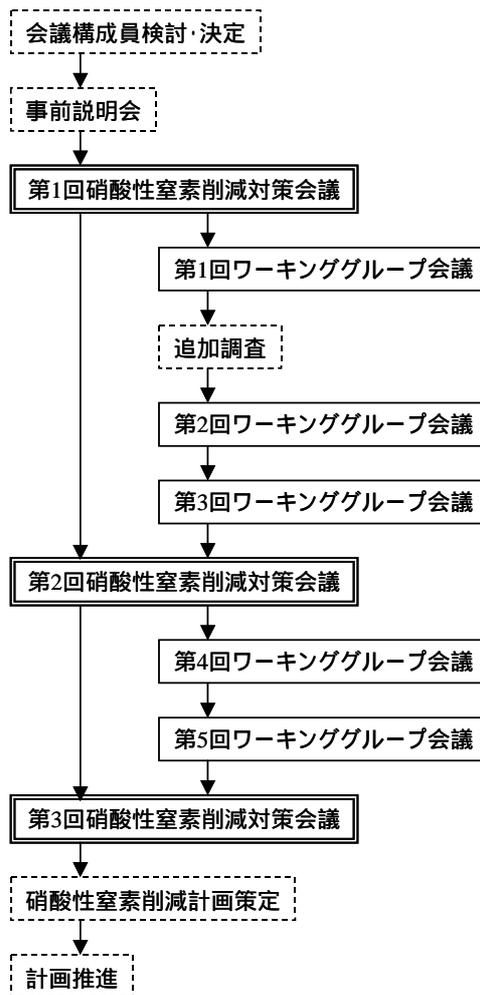


図 4-4-15 硝酸性窒素削減計画策定フロー図

表 4-4-6 連絡調整会議等での具体的な検討事項

第 1 回 荒尾地域硝酸性窒素削減対策会議

平成 13 年 10 月 22 日

- ・ 会議設置要綱の承認
- ・ 対象地域の硝酸性窒素濃度の現状説明
- ・ 硝酸性窒素削減計画の概要説明
- ・ 計画策定に向けた段取りの説明

第 1 回 ワーキンググループ会議

平成 13 年 11 月 26 日

- ・ 荒尾地域の地下水の特性説明
- ・ 窒素負荷量の試算方法の検討
- ・ 収集すべき情報の提供依頼

第 2 回 ワーキンググループ会議

平成 13 年 12 月 25 日

- ・ 追跡調査結果説明
- ・ 汚染源負荷量試算方法の検討
- ・ 会議への住民代表参加の検討

第 3 回 ワーキンググループ会議

平成 14 年 3 月 15 日

- ・ 汚染源負荷試算結果の説明
- ・ 削減計画概要素案についての検討
- ・ 具体的施策について

第 2 回 荒尾地域硝酸性窒素削減対策会議

平成 14 年 3 月 20 日

- ・ ワーキンググループ会議の検討結果の報告
- ・ 汚染源負荷試算方法の説明
- ・ 削減計画概要素案についての検討
- ・ 啓発対策について

第 4 回 ワーキンググループ会議

平成 14 年 12 月 25 日

- ・ 削減計画詳細素案の詳細検討

第 5 回 ワーキンググループ会議

- ・ 削減計画詳細素案の詳細検討

第 3 回 硝酸性窒素削減対策会議

- ・ 計画の策定

ウ) 計画の内容

a) 計画の目標

荒尾地域内の井戸から、硝酸性窒素濃度及び地域配分等を考慮して 35 地点の指標井戸を選定し、この井戸における硝酸性窒素濃度の変化から対策の効果を把握する。

目標達成にあたっては硝酸性窒素濃度レベルに応じて、以下の 2 つの目標水質を設定した（表 4-4-7）。また、指標井戸を現在の硝酸性窒素濃度に基づき 3 つに分類し、それぞれ初期目標と最終目標を設定した（表 4-4-8）。

表 4-4-7 水質目標の種類

	達成水質	管理水質
設定	達成されるべき濃度	維持されることが望ましい濃度
値	10mg/L 以下	5 mg/L 以下
理由	<p>(ア) 環境基本法に基づき定められた「地下水の水質汚濁に係る環境基準」（以下、環境基準）値を適用する。</p> <p>(イ) 環境基準は、人の健康を保護し、生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準である。</p> <p>(ウ) 国や都道府県は、この環境基準が速やかに達成され、かつ維持されるよう努める必要がある。</p> <p>(エ) 「水道法に基づく水質基準」においても、同じ値が採用されている。</p>	<p>(ア) これまでの全国的な地下水中の硝酸性窒素汚染状況から、濃度がこの数値を超過した場合に、その後環境基準値を超過する可能性が高いことが知られている。</p>

表 4-4-8 計画の目標

硝酸性窒素濃度 (井戸数)	初期目標 (平成 22 年度)	最終目標 (平成 34 年度)
10mg/L 超過 (9 井戸)	達成水質値を超過した井戸の割合 (平成 14 年度現在 25.7%) が 10% 以下となること	全ての井戸で達成水質値を満足すること
5mg/L 超過 ~ 10mg/L 以下 (17 井戸)	管理水質値を超過した井戸の割合 (平成 14 年度現在 48.6%) が 20% 以下となること	全ての井戸で達成水質値を満足すること
5mg/L 以下 (9 井戸)	現状濃度を維持又は現状濃度よりも低下させること	

b) 計画の体系

地下水汚染防止対策を推進するにあたっては、現在の取組み状況や実施可能性、対策の効果、地域特性等を考慮し、初期段階（平成15年度から平成22年度まで）に重点的に取り組むべき対策と中長期的に取り組むべき対策の設定を行い、総合的かつ計画的に推進するものとする。地下水汚染防止対策は、図4-4-16に示すように大きく「発生源対策」、「窒素流通対策」及び「啓発対策」の3つに分けて実施する。

「発生源対策」では技術的革新や設備等の充実による環境への窒素負荷の抑制、「流通対策」では地域内に発生する窒素の流通の促進による環境への窒素負荷の抑制、「啓発対策」では環境への窒素排出者である農業従事者及び生活排水処理対策対象者の意識改革による環境への窒素負荷の抑制を図る。

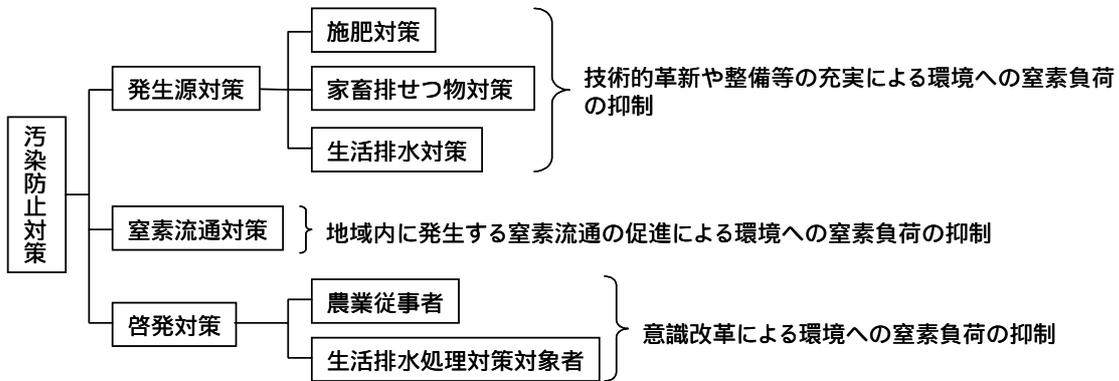


図 4-4-16 計画の体系

c) 計画の内容

硝酸性窒素による地下水汚染問題を解決するため、行政（JAを含む）及び住民（対策対象者）が協力し、各汚染源に対する対策を推進していく。

また、行政を構成する各部署（熊本県、荒尾市及びJA）は、本計画に基づき、それぞれの役割に応じ連携を図りながら対策を推進していく（図4-4-17）。

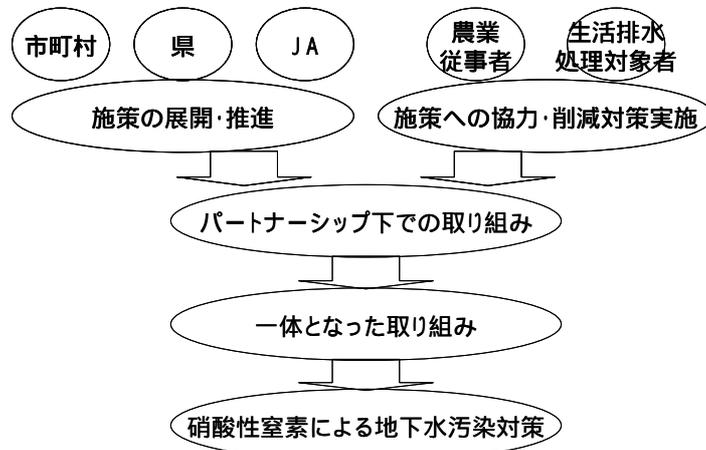


図 4-4-17 地下水汚染防止対策におけるパートナーシップ図

工) 計画の普及啓発方策

a) 方策内容

農業従事者については、施肥対策の推進にあたり、行政が実施する対策に対する理解と主体的な取組みが不可欠である。そのため以下の内容について農業従事者に対する啓発対策を実施する。

- 硝酸性窒素についての正しい理解（水質基準、健康影響等）
- 地下水汚染の状況の理解
- 汚染原因の理解（施肥及び家畜排せつ物及び排水の不適切処理）
- 施肥基準を基本とした施肥体系の遵守
- 家畜ふん尿の堆肥化、素掘り及び野積みの廃止等、適正処理の徹底
- 処理施設の設置等
- 対策実施のための意識改革

生活排水処理対象者については、主として下水道未普及地域が該当すると考えられるが、以下の内容について啓発対策を実施する。

- 硝酸性窒素についての正しい理解（水質基準、健康影響等）
- 地下水汚染状況の理解
- 汚染原因の理解（生活排水）
- 家庭排水の地下浸透の廃止
- し尿汲取り等による適正処理の徹底
- 合併処理浄化槽の整備の普及及び適正維持管理、下水道接続の普及
- 対策実施のための意識改革

b) 方策体系

対策の中心となる農業従事者及び生活排水処理対象者に対し、より早く、より新しい情報提供に努める。

また、農業従事者を対象とした会議あるいは集会等を通して直接説明を行うとともに、行政情報誌、啓発紙及びホームページ等での情報提供、パンフレット等の配布により、農業従事者及び生活排水処理対象者に対し、対策への理解と主体的な取組みを呼びかける（図 4-4-18）。

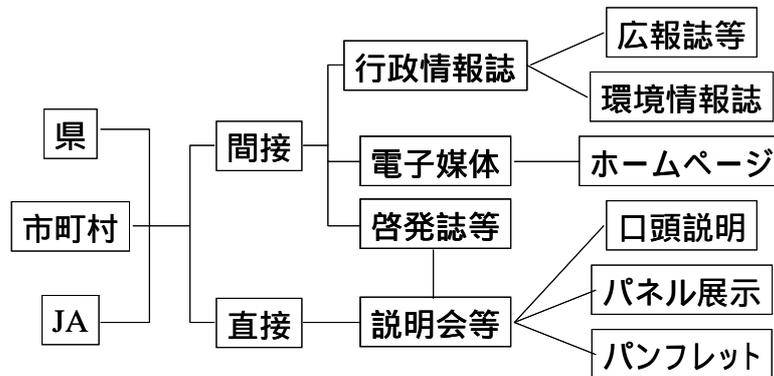


図 4-4-18 啓発体系図

オ) 負荷低減対策の実施

以下に示す地区については、より重点的に対策を推進する地区（重点対策地区）として設定した。重点地区では発生源対策、窒素流通・啓発対策及び対策効果モニタリングについてより重点的に対策を講じていく。

汚染井戸が確認されている地区

水道水源井が位置する地区

窒素負荷量が大きい地区

カ) まとめ

硝酸性窒素による地下水汚染は、これまでの揮発性有機塩素化合物による地下水のスポット的汚染とは大きく異なり、面的な汚染であり、そのため浄化が困難であるなどの特徴がある。本県の汚染についても同様のことが言え、対策に係る関係機関は環境部局のみならず、農政部局、厚生部局等々多岐にわたり、また市町村、地域住民の理解と主体的な取組みが必要不可欠である。

(4) おわりに

硝酸性窒素による地下水汚染については、その原因が事業場等からのスポット汚染でなく、農業における施肥や畜産廃棄物、それに生活排水の不適切処理等による面的な汚染であると考えられる。また、地下水は対象が地下にあるため、一旦汚染すると、その回復には長期間を要する。

このため汚染防止対策を講じるにあたっては、これらの特質を踏まえた取組みを進めていく必要がある。

まず、施策のあり方としては、回復の困難性からして、汚染が進んだ後の後手の回復対策よりも、汚染原因の窒素負荷量削減に重点を置いた先手の未然防止の観点からの取組みが重要であると考えられる。次に、汚染原因としては営農や社会生活に伴う面的な汚染である場合が多いため、それらの原因者である農業者や生活者に対して正しい理解と主体的な取組みを啓発等によって促すことが重要となる。

さらにこの推進にあたっては、環境部局のみならず、農政、水道、試験研究機関等の各部局、市町村、JA等がパートナーシップのもと連携協力して役割を分担し、総合的な対策を推進していくことが一番重要と考えている。

【参考文献】

- 1) 平田健正編：土壌・地下水汚染とその対策，p211（1996）