

平成 11 年度厚生省委託費による

水道における

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素対策の手引き

平成 12 年 3 月

社団法人 日本水道協会

## はじめに

地下水はわが国の水道における年間取水量の 4 分の 1 を占めており、特に中小規模の水道事業者においては非常に重要な水源となっている。一般に地下水は水質が良好で、水道水源として盛んに利用されているが、近年、その硝酸性窒素による汚染が各地で報告されている。

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による健康影響としては、メトヘモグロビン血症が知られている。メトヘモグロビン血症は、多量の亜硝酸性窒素を体内に吸収した場合に起こるものであり、チアノーゼ症状の原因になることが指摘されている。

こうしたことから厚生省では、以前から硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に関する水道水質基準を定め、水道事業者等に対して適切な水道水質管理に取り組むよう指導してきた。また、近年では WHO によるガイドライン等を踏まえ、硝酸性窒素と亜硝酸性窒素の合計量としての基準値 10mg/L に加えて、亜硝酸性窒素単独での指針値 0.05 mg/L を監視項目として追加し、より安全な水道水の供給に向けた水質管理の強化を促している。

このような状況を受けて、社団法人 日本水道協会では厚生省より「窒素化合物対策調査」を委託され、国包章一 国立公衆衛生院 水道工学部長を委員長とする委員会を設置し、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による地下水の汚染実態、汚染原因、低減化対策等に関する調査・検討を平成 10～11 年度の 2 年間にわたって実施した。

この「水道における硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素対策の手引き」は、委員会での 2 年間の調査結果を取りまとめ、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による地下水汚染対策に資するための手引きとして全国の水道事業者等に供するものである。

## 窒素化合物対策調査委員会 名簿

### 委員会（順不同、敬称略）

#### 委員長

国包 章一（国立公衆衛生院 水道工学部長）

#### 委員

坂本 康（山梨大学 工学部 土木環境工学科助教授）

保科 次雄（農林水産省 農業環境技術研究所 環境資源部 水質管理科長）

白鳥 洋征（静岡県環境部 環境循環総室 水道環境室長）

小笹 康人（熊本県保健環境科学研究所 地下水科学室 研究参事）

眞久 治（埼玉県南水道企業団 配水部 水質検査所 所長補佐）

#### 前委員

今井 秀夫（農林水産省 農業環境技術研究所 環境資源部 水質管理科長）

### 事務局

北原 健次（(社)日本水道協会 工務部長）

米沢 龍夫（(社)日本水道協会 工務部 水質課長）

金城 廣尚（(社)日本水道協会 工務部 水質課研究員）

後藤 利枝（(社)日本水道協会 工務部 技術課事務係長）

### 事務局補佐

岸野 加州（(株)日水コン 環境事業部 技術第一部 技術第一課長）

榊原 康之（(株)日水コン 環境事業部 技術第一部 技術第一課）

（平成12年3月現在）

# 目 次

第1章 総説	1
1 - 1 . 背景	1
1 - 2 . この手引きの目的	1
1 - 3 . 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による地下水汚染対策フロー	2
1 - 4 . この手引きの構成	4
第2章 汚染実態調査	5
2 - 1 . 汚染実態調査の目的	5
2 - 2 . 調査方法	5
第3章 汚染原因調査	8
3 - 1 . 汚染原因調査の目的	8
3 - 2 . 発生源から見た汚染の特徴	8
3 - 3 . 調査方法	9
第4章 汚染の将来予測	18
4 - 1 . 汚染の将来予測の目的	18
4 - 2 . 予測方法	18
第5章 対策の策定	20
5 - 1 . 対策の体系化	20
5 - 2 . 対策の概要	20
5 - 3 . 対策の選定基準	28
5 - 4 . 他部局との横断的組織づくりと情報公開	29
第6章 対策の実施と評価	30
6 - 1 . 対策の実施	30
6 - 2 . 対策の評価	30
参考文献	31

## 第1章 総説

### 1 - 1 . 背景

窒素はあらゆる生体の必須元素であるが、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素（以下、調査名や文献名等の固有名称として使用する以外では「硝酸・亜硝酸性窒素」と記述する）については健康影響が認められている。このうち自然水中などにおいて大量に存在する硝酸性窒素は、そのままの形態では毒性を有しないが、条件によりその一部が人の消化器系において毒性を有する亜硝酸性窒素に還元されるので、このことから硝酸・亜硝酸性窒素が1つのグループとして取り上げられている。

硝酸・亜硝酸性窒素による健康影響としては、メトヘモグロビン血症が知られている。メトヘモグロビン血症は、多量の亜硝酸性窒素を体内に吸収した場合に起こるものであり、チアノーゼ症状の原因となる。また、亜硝酸塩は胃の内容物と反応して *N*-ニトロソ化合物を生成する。この *N*-ニトロソ化合物は動物に対して発ガン性を有することから、ヒトに対しても発ガン性を有する可能性があるが、十分な疫学的証拠は未だ得られていない。

厚生省では、以前から硝酸・亜硝酸性窒素に関する水道水質基準を定め、水道事業者等に対して適切な水道水質管理に取り組むよう指導してきた。また、近年では WHO によるガイドライン等を踏まえ、硝酸性窒素と亜硝酸性窒素の合計量としての基準値 10mg/L に加えて、亜硝酸性窒素単独での指針値 0.05 mg/L を監視項目として追加し、より安全な水道水の供給に向けた水質管理の強化を促している。

### 1 - 2 . この手引きの目的

この手引きは、水道事業者等が水道原水の硝酸・亜硝酸性窒素汚染に適切に対処し得るよう、「汚染実態調査」、「汚染原因調査」、「汚染の将来予測」、「対策の策定」及び「対策の実施と評価」の考え方とその基本的な方法につき取りまとめたものである。

### 1 - 3 . 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による地下水汚染対策フロー

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による地下水汚染対策フローは、図 - 1.3.1 に示すとおりであり、この手引きでは、図中の網掛けの部分を中心として、考え方を取りまとめた。水道事業者においては、日常の水質監視を十分に行い、調査及び対策を行う必要があると判断された場合には、第 2 章から第 6 章を参考にして調査及び対策を行うことが望ましい。なお、亜硝酸性窒素は原水中においてはアンモニア性窒素に還元されたり、硝酸性窒素に酸化されることが多く、また浄水中においては、塩素処理によって硝酸性窒素に酸化されることから、この手引きでは、主に硝酸性窒素を対象に記述することとした。

以下では、調査及び対策を行う以前の段階として、水道事業者が行うべき「調査及び対策の必要性の判断」についての考え方を示した。

#### [ 調査及び対策の必要性の判断 ]

##### 1 ) 日常の水質監視

硝酸・亜硝酸性窒素については、水道水質基準で定められている 46 項目のうちの 1 項目として、水道法施行規則第 15 条に基づき、少なくとも 1 ヶ月に 1 回の頻度で行わなければならない。

##### 2 ) 調査及び対策の必要性の検討

この手引きで示す調査及び対策を実施するかどうかの判断については、以下の「調査及び対策を実施するかどうかの判断基準」に示す 3 項目を十分検討し、これらのうちのいずれかに該当する場合には、第 2 章以降で示す調査及び対策を実施する必要がある。なお実施に当たっては、水質濃度のレベル、検査体制、地域特性等を十分考慮の上、必要と思われる部分のみを適宜選択して実施することも考えられる。

#### 調査及び対策を実施するかどうかの判断基準

- 硝酸・亜硝酸性窒素濃度が高いレベルにある
- 硝酸・亜硝酸性窒素濃度が経年的な上昇傾向にある
- 硝酸・亜硝酸性窒素による水源の汚染のおそれがある

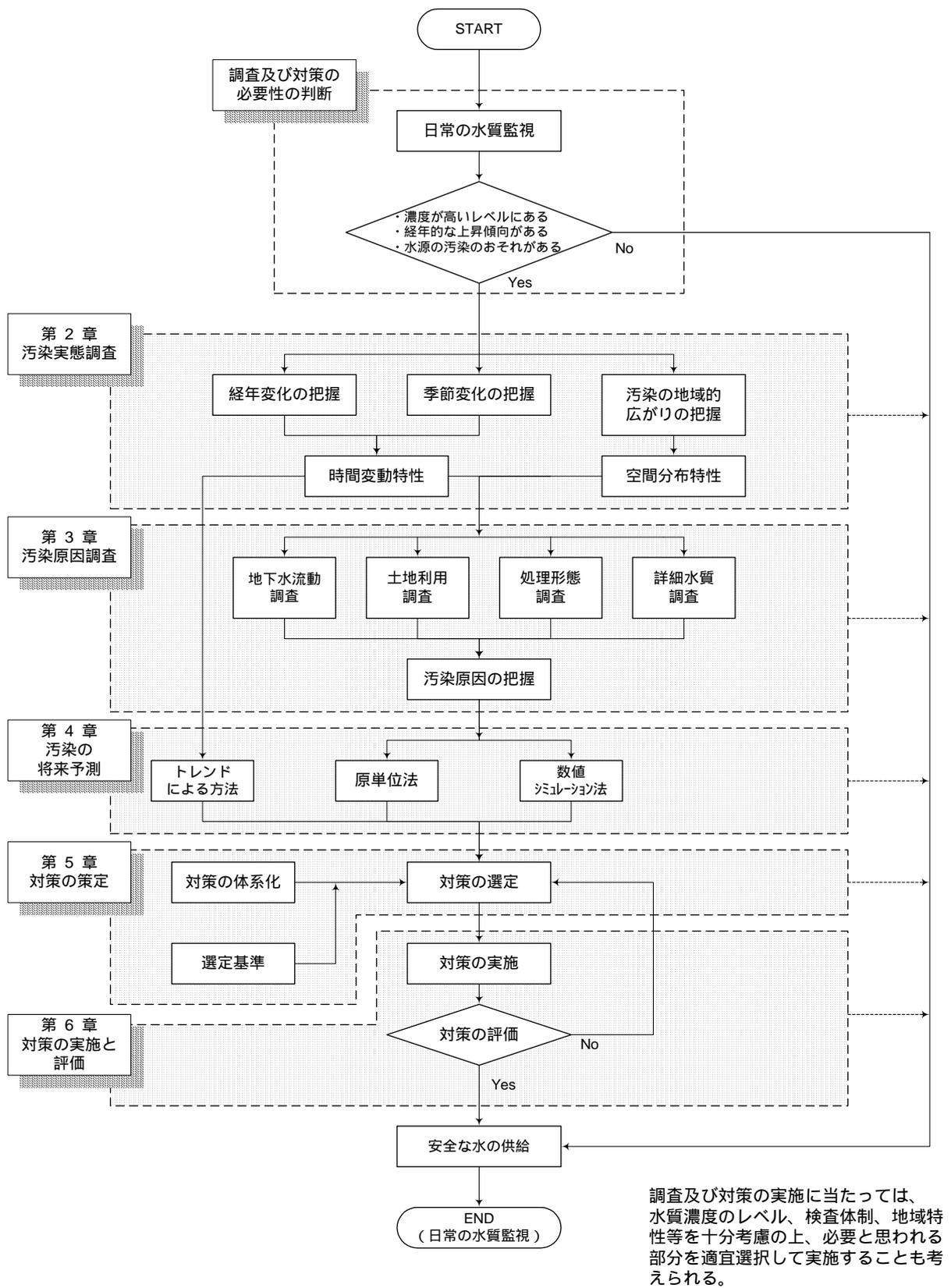


図 - 1.3.1 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による地下水汚染対策フロー

## 1 - 4 . この手引きの構成

この手引きの構成は以下に示すとおりである。

### [ 調査及び対策の必要性の判断 ]

この手引きで示す調査及び対策の必要性を判断する際の判断基準を示した。

### [ 第 2 章 汚染実態調査 ]

地下水汚染の傾向を把握し、適切に対処するために行う汚染実態調査について、その目的及び具体的方法を示した。

### [ 第 3 章 汚染原因調査 ]

硝酸・亜硝酸性窒素汚染への効果的な対策を講じるために行う汚染原因調査について、発生源ごとの汚染の特徴及び調査内容を示した。

### [ 第 4 章 汚染の将来予測 ]

地下水中の硝酸・亜硝酸性窒素濃度が、今後、基準値を超過する可能性があるかどうかを把握するために行う汚染の将来予測について、目的及び具体的な予測方法を示した。

### [ 第 5 章 対策の策定 ]

硝酸・亜硝酸性窒素対策を体系化し、各対策の概要、対策の選定基準、横断的組織づくり及び情報公開について考え方を示した。

### [ 第 6 章 対策の実施と評価 ]

硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染対策を評価する際の視点として、水質改善効果や費用対効果等についての考え方を示した。

## 第2章 汚染実態調査

### 2 - 1 . 汚染実態調査の目的

硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染に対する適切な措置を講じるため、水道事業者等は汚染実態調査を行い、汚染の実態を明らかにする必要がある。

### 2 - 2 . 調査方法

汚染実態調査では、水道原水に関する既存の水質データをもとに、硝酸・亜硝酸性窒素濃度の経年変化、季節変化及び汚染の地域的な広がりについて検討し、時間変動特性及び空間分布特性に関する定量的な解析を行う。

#### 1 ) 経年変化の把握

地下水は浸透速度が遅く、汚染物質の浸透に時間遅れがあるため、濃度の長期的な傾向を把握することが重要である。また、地下水汚染の長期的な傾向を把握することにより、今後の汚染動向を予測する際の目安とすることができる。

具体的な手順としては、濃度の年最大値、年平均値、年最小値に関する経年変化をグラフで表し、長期的な傾向に関する考察を行う。増加傾向にあると判断され、水質基準超過のおそれがある場合には、「汚染原因調査(第3章)」及び「対策の策定(第5章)」を行う。また、横ばいや減少傾向にある場合でも、推移を注意深く監視するとともに、集水域に存在する汚染源との関連性に注意を払う必要がある。なお、濃度を毎月測定している場合には、12ヶ月の移動平均値をプロットすることにより、季節的な変動を取り除いた状態でのトレンドを把握することが可能となる。検討期間については、データが現存する全ての年度を対象とし、可能な限り長期的な傾向の把握に努める。

#### 【参考 - 1】硝酸・亜硝酸性窒素濃度の経年変化に関する事例

図 - 2.2.1 は、主要3水源における硝酸性窒素濃度の経年変化を示した沖縄県宮古島の例である。1970年後半から1980年の初めにかけては3~6mg/L程度であったが、その後6~9mg/Lまで上昇した。近年は低下傾向にあるが、依然として高いレベルにあることがわかる<sup>1)</sup>。

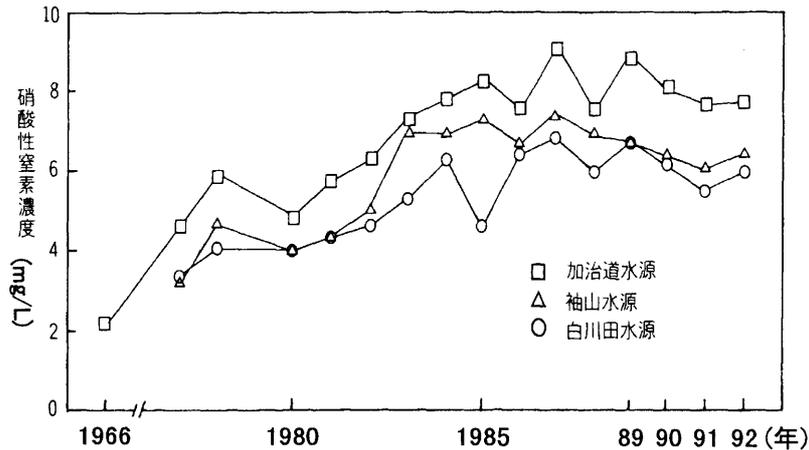


図 - 2.2.1 沖縄県宮古島の主要3水源における硝酸性窒素濃度の経年変化<sup>1)</sup>

## 2) 季節変化の把握

水道水源として利用されるような深い帯水層の地下水は、地表からの影響を受けにくいいため、一般に年間を通じて水質は比較的安定しているが、汚染された浅い地下水が周囲に存在する場合、その影響を受けて深井戸が汚染されることもある。濃度の季節変化を把握することで、こうした周囲からの汚染の影響をある程度、確認することができるので、季節変化の状況を把握しておくことが重要である。

具体的な手順としては、濃度の月最大値、月平均値及び月最小値に関する季節変化をグラフで表し、季節的な傾向を視覚的に把握する。季節的な変動が大きい場合、前記のような汚染地下水の影響を受けていることが考えられるので、周囲に汚染源がないかどうかを確認するとともに、井戸の汚染防止対策を講じる。汚染原因を把握する方法については「汚染原因調査(第3章)」、井戸の汚染防止対策については「対策の策定(第5章)」、「井戸等の管理技術マニュアル, 日本水道協会, 1999<sup>2)</sup>」等を参照する。

## 3) 汚染の地域的広がりの把握

地理的に接近した井戸であっても、地下水の水脈が異なる場合、汚染の状況に大きな差異を生じることがある。このため、地下水の濃度が地域的にどのような分布を形成しているのかについて整理することで、汚染の傾向や汚染源の特定等が容易になることもあるので、汚染の地域的な広がりを把握することは重要である。

具体的には、複数の水源井戸から取水を行っている場合、全ての井戸を対象として濃度の年最大値、年平均値及び年最小値を地図上に記入して等濃度線やメッシュ図を作成し、汚染の地域的な広がり及び汚染が点源か面源かの把握を行う。また、空間相関解析等の手法を用いて、地点間の関連性を検討することも効果的である。

なお、水道水源としての井戸は本数が限られており、これだけで汚染の地域的な広がりを把握することは困難であるため、「汚染原因調査(第3章)」で述べる他部局・他機関のデー

夕を十分に活用することが望ましい。こうした検討結果を用いて、土地利用調査の結果と重ね合わせることで、汚染原因の特定に関する情報をある程度得ることが可能となる。

#### 【参考 - 2】汚染の地域的広がりに関する事例

図 - 2.2.2 は、硝酸性窒素の濃度分布を示した熊本県A市の例である。市内 150 ヶ所の井戸を対象として調査を行った結果、市の中央部を縦断する形で高濃度の井戸が集中している様子がわかる。こうした結果と土地利用図を重ね合わせることで、汚染原因の大まかな傾向を把握することが可能となる<sup>3)</sup>。

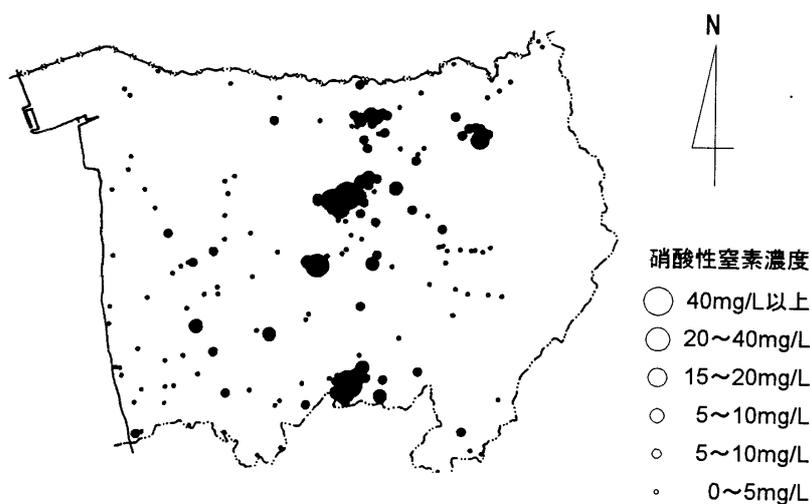


図 - 2.2.2 熊本県A市における汚染の地域的広がり<sup>3)</sup>

図 - 2.2.3 は、硝酸性窒素の地域的広がりを等濃度線で示した岐阜県各務原市の例である。この地域は東部に畑地が広がっており、にんじんの栽培が盛んに行われている。このため、東部の地下水で 25mg/L を超える高濃度を検出したことがあり、この影響が西部地区へ広がっている様子がわかる。なお、その後の対策により、近年では硝酸・亜硝酸性窒素の濃度が低下している<sup>4)</sup>。

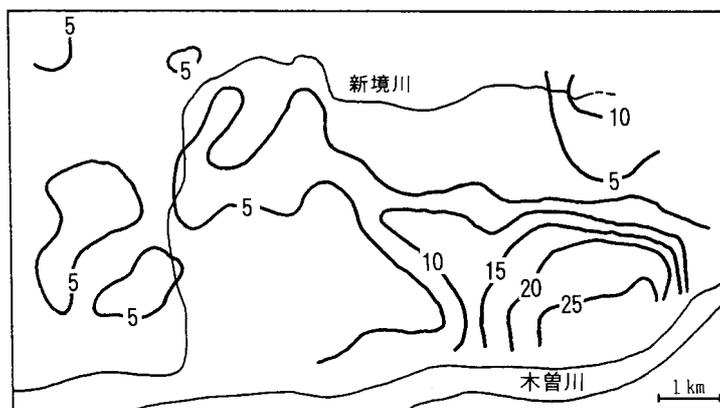


図 - 2.2.3 岐阜県各務原市における硝酸性窒素の等濃度線<sup>4)</sup>

## 第3章 汚染原因調査

### 3 - 1 . 汚染原因調査の目的

地下水汚染の発生源を特定することは一般に困難であるが、効果的な対策を講じるためには汚染原因調査を行い、汚染の由来を明らかにする必要がある。なお、関連資料の多くは都道府県の環境担当、水資源担当、地下水担当等の部局が所有していると考えられることから、調査の際には水道所管部局等を通じて各方面へ働きかけ、他部局等のデータを積極的に活用する必要がある。

### 3 - 2 . 発生源から見た汚染の特徴

汚染原因調査を行う際には、汚染原因をある程度想定しておく必要がある。第3章では、汚染原因を「生活系」、「畜産系」、「産業系」及び「農業系」に分類して、それぞれの分類ごとに汚染原因の特徴を示した。調査に当たっては「汚染実態調査(第2章)」で把握した汚染状況を踏まえて、汚染原因を検討する。

#### 1) 生活系

浄化槽排水の土壌浸透処理や下水道管からの汚水の地下浸透が、地下水の硝酸性窒素汚染の原因になっている地域がある。小規模の土壌浸透処理は地下水中での混合・希釈を期待できるが、都市域などの人口集中地域では地下水汚染を引き起こすおそれがある。また、生活系の汚水が地下浸透した場合、アンモニア性窒素は生物分解を受けて硝酸性窒素や亜硝酸性窒素に酸化されるが、そのような変化を行っても抜本的な対策を行ったことにはならないので、合併浄化槽の整備など、生物学的硝化・脱窒が適切に行われる処理システムの普及が必要である。

#### 2) 畜産系

家畜排せつ物を農地利用する場合、窒素分の多くは作物や牧草等に吸収され、一部が溶脱して地下水に流入するが、素掘貯留の場合、作物による吸収がないため、環境に与える負荷は大きくなる。このため、家畜排せつ物が素掘貯留や野積みされる地域の中には、処分場からの浸出水が地下水の硝酸性窒素汚染の原因になっているところがある。こうした状況のもと、平成11年11月には「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律(農林水産省・法律第112号)」が制定・施行され、家畜ふん尿の野積みや素掘貯留が基本的に禁止されることとなっている。

### 3) 産業系

工場や事業場での窒素の使用については、表面洗浄に硝酸を用いる金属・機械製造業など、主として酸化型窒素を用いる場合と、原料にタンパク質を含む食料品製造業など、還元型窒素を用いる場合があり、この窒素の酸化還元タイプにより排水処理方法が大きく異なる。産業系からの環境負荷削減対策の実施に当たっては、インプット対策（原材料、副原料、薬品等の検討）とプロセス対策（作業工程の改善）を十分に行い、排水処理対策を行うこととされている。

### 4) 農業系

肥料として畑地や果樹園等に供給されたアンモニア性窒素や硝酸性窒素は作物により固定される。一方、作物に吸収されず畑地に残存したアンモニア性窒素は、大部分が土壌粒子や土壌有機物に吸着されるが、残存した硝酸性窒素は土壌粒子にほとんど吸着することなく、雨水や灌漑用水に溶脱する。畑地や果樹園等での施肥量は作物によって大きく異なる。お茶やにんじんなど、特に多肥の畑地においては硝酸性窒素の溶脱が大きく、こうした地域の中には施肥量の低減化や土地改良等の対策が行われているところがある。

こうした状況のもと、平成 11 年 10 月には「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律（農林水産省・法律第 110 号）」が施行され、環境と調和のとれた農業生産を確保するため、化学肥料の施用を減少させる効果が高い技術や堆肥等により、土壌の性質を改善する技術等に一体的に取り組もうとする農業者に対する金融・税制上の特例措置等が講じられることとなっている。

## 3 - 3 . 調査方法

汚染原因調査としては、地下水がどのように流れているのかを推定する調査及び窒素負荷がどこで多く排出されているのかを推定する調査があり、具体的には「地下水流動調査」、「土地利用調査」、「処理形態調査」及び「詳細水質調査」を行う。

### 1) 地下水流動調査

地下に浸透した汚染物質が地中においてどのように移動するのかを明確にするためには、地下水の流動方向を把握する必要がある。地下水流動調査は、水資源に関する部局や機関などで行われることが多いので、既存の調査結果の有無について、まずは他部局・他機関等に問い合わせる。既存の調査結果が存在しない場合は、汚染地域内における地下水水位の一斉測定を一般の井戸も含めて可能な範囲で実施し、地下水の流向を把握する。なお、地下水水位は季節によって変動する場合があるので、測定頻度は年 2 回以上（豊水期、渇水期）が望

ましい。地下水水位の測定結果をもとに、地下水水位の等高線図を帯水層ごとに作成し、地下水の流向分布、流速分布、集水域等を把握する。

【参考 - 3】地下水流域の区分に関する事例

一般に地下水の流動方向を把握することは困難であるが、地下水流域を比較的明確に区分することが可能な地域もある。図 - 3.3.1 は、地下水流域の区分を示した宮古島の例であり、この地域は 22 の流域に分類することができると考えられている<sup>5)</sup>。

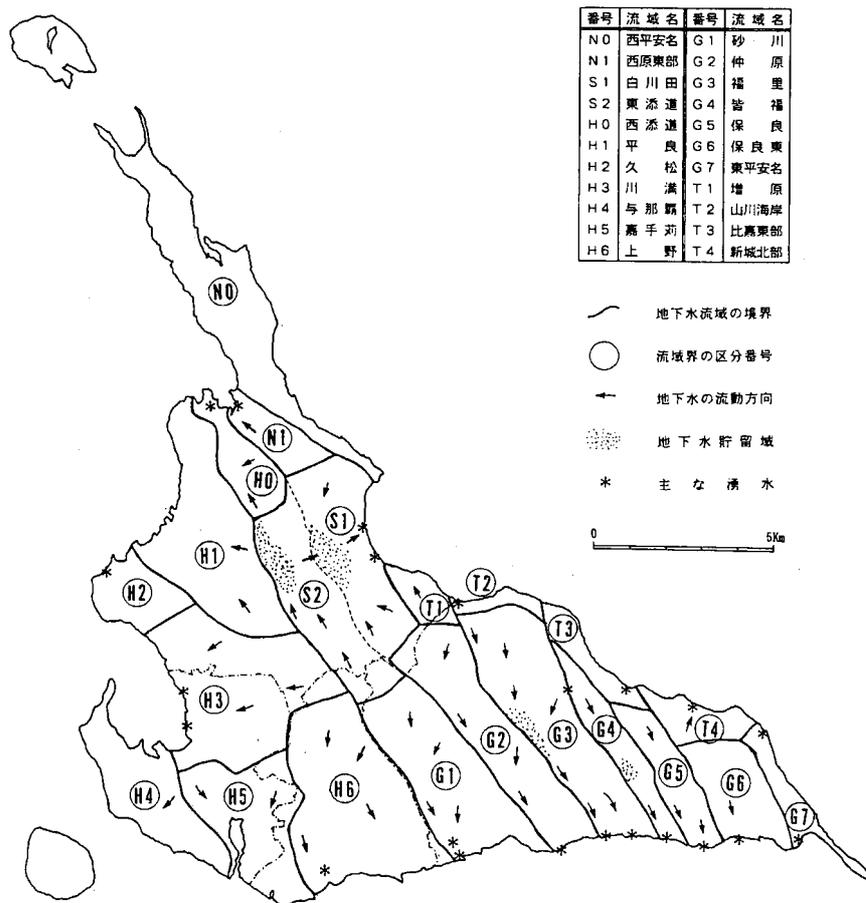


図 - 3.3.1 宮古島における地下水流域の区分<sup>5)</sup>

2) 土地利用調査

硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染の主要な原因としては、生活排水、肥料からの溶脱、家畜排せつ物などが挙げられる。対象とする井戸の集水域における土地利用状況を調査し、第3章で検討した「汚染の地域的広がり」の等濃度線またはメッシュ図と重ね合わせることで、こうした汚染原因の把握を試みる事が可能となる。なお、畑地については作物の種類によって施肥量が大きく異なるので、作物の種類についても把握する。

【参考 - 4】土地利用調査の事例

表 - 3.3.1 は、上水道の原水で高濃度の硝酸・亜硝酸性窒素が検出されているいくつかの事例について、周辺の土地利用状況及び推定汚染原因を調査した結果である。高濃度の硝酸・亜硝酸性窒素による汚染が認められる事例のうち、多くのケースでは水源の周辺地域において果樹園や野菜畑が営まれている。また、一部の水源については、畜舎排水や家庭雑排水も要因として考えられている<sup>6)</sup>。

表 - 3.3.1 水道原水で高濃度の硝酸・亜硝酸性窒素が検出されている主な事例<sup>6)</sup>

番号	水源	濃度範囲 mg/L	周辺の 土地利用状況	推定汚染原因
1	浅井戸	6.6 ~ 15.3	果樹園, 野菜畑	化学肥料
2	"	1.2 ~ 7.7	水田, 住宅地	調査したが原因不明
3	"	8.1 ~ 9.3	水田, 畑, 住宅地	化学肥料, 家庭雑排水
4	"	0.3 ~ 6.2	水田	原因不明
5	"	5.2 ~ 7.2	果樹園	化学肥料
6	"	4.2 ~ 10.6	果樹園	化学肥料
7	"	4.4 ~ 13.7	水田	化学肥料
8	深井戸	5.5 ~ 8.3	牧場	家畜排泄物の土地還元
9	"	5.9 ~ 8.4	住宅地	地質的なもの
10	"	3.9 ~ 12.1	野菜畑	化学肥料
11	"	5.1 ~ 9.9	畑, 水田	圃場整備
12	"	3.5 ~ 9.7	野菜畑	化学肥料
13	"	2.1 ~ 5.4	水田	原因不明
14	"	4.2 ~ 7.7	果樹園	化学肥料
15	"	3.3 ~ 6.1	畑	堆肥
16	"	7.4 ~ 9.1	畑	化学肥料(調査結果による)
17	"	4.6 ~ 6.4	果樹園, 住宅地	化学肥料, 圃場整備
18	"	3.6 ~ 7.7	畑	原因不明
19	湧水	4.3 ~ 8.3	野菜畑, 畜舎	化学肥料, 畜産排水

3) 処理形態調査

生活系及び畜産系の排水による影響が想定される地域については、生活排水や家畜ふん尿等の処理形態を把握する。特に生活系排水については、下水道や浄化槽等の普及の進捗状況を調査し、地下水汚染への影響と関連づける。

4) 詳細水質調査

汚染原因の特定を行い、適切な対策を講じるためには、硝酸・亜硝酸性窒素以外の水質項目や、土地利用などの外的要因との関連性についても検討する必要がある。対象となる水質項目としては、「水道事業体において通常測定している項目」と「必要に応じて適宜検討する項目(カルシウムイオン、硫酸イオン、窒素安定同位体比等)」がある。また外的要因として

は、土地利用状況、地下水の流動系、集水域、降水量等がある。

以下では、詳細水質調査の具体的内容として「濃度相関による方法」、「キーダイヤグラムによる方法」、「ヘキサダイヤグラムによる方法」、「窒素安定同位体比による方法」及び「他の外的要因との関連性分析」について概要と事例を示す。

### (1) 濃度相関による方法

各項目間の相関係数をマトリックス形式で表し、相関係数の大小によって汚染原因を検討する方法である。例えば、硝酸性窒素とカルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ )やマグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )の相関が高い場合、あるいは窒素肥料の主成分である硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )がカルシウムイオンやマグネシウムイオンと相関が高い場合などには、窒素肥料による汚染の原因が考えられる。このように、検討の対象とする分析項目には、各種のイオンなど水道事業者が通常測定していない項目も含まれるので、必要に応じて適宜こうした項目も追加して測定することが望ましい。

#### 【参考 - 5】濃度相関マトリックスの事例

表 - 3.3.2 は、岐阜県各務原台地の地下水を対象として作成した濃度相関マトリックスの例である。 $\text{NO}_3\text{-N}$  と高い相関性を示した項目は電気伝導率、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ であり、相関係数はそれぞれ 0.87、0.82、0.80 であった。これは、土壌の酸性化を防ぐ目的で苦土石灰(カルシウムとマグネシウムを主成分とする肥料)が窒素肥料とともに散布されていることを示している。また電気伝導率、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ は  $\text{SO}_4^{2-}$  との間にも、それぞれ 0.86、0.87、0.85 の高い相関性があった。一方、アルカリ度( $\text{CaCO}_3$ )との相関性は低く、それぞれ 0.04、0.14、0.02 であった。この結果より、対象地域においては地下水に含まれる  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Mg}^{2+}$  が土壌や岩石からの溶出ではなく、肥料の影響を受けていると考えられた<sup>4)</sup>。

表 - 3.3.2 濃度相関マトリックスの一例<sup>4)</sup>

	EC	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	アルカリ度	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{SiO}_2$
EC	*									
$\text{Na}^+$	0.60	*								
$\text{K}^+$	0.36	0.43	*							
$\text{Ca}^{2+}$	0.97	0.44	0.25	*						
$\text{Mg}^{2+}$	0.91	0.37	0.23	0.89	*					
$\text{Cl}^-$	0.76	0.76	0.47	0.61	0.57	*				
アルカリ度	0.04	0.16	-0.02	0.14	0.02	-0.17	*			
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.87	0.40	0.28	0.82	0.80	0.70	-0.31	*		
$\text{SO}_4^{2-}$	0.86	0.39	0.22	0.87	0.85	0.51	-0.10	0.69	*	
$\text{SiO}_2$	0.17	0.20	0.22	0.17	0.19	0.04	0.60	0.00	-0.04	*

EC：電気伝導率

(2) キーダイヤグラムによる方法<sup>7)</sup>

キーダイヤグラムは本来、主要陽イオン、主要陰イオンの組成比を示す 2 つの三角ダイヤグラムと、それを合成して得られる 1 つの菱形ダイヤグラムから構成されるが、水質解析を行う場合には、簡略化して菱形ダイヤグラムのみを用いれば十分である (図 - 3.3.2)。

ダイヤグラムを作成するには、表 - 3.3.3 に示す換算係数にて、濃度単位 (mg/L) から当量単位 (me/L) に換算して次式の計算を行い、 $[\text{HCO}_3^-]$  軸と  $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$  軸の交点にプロットする。

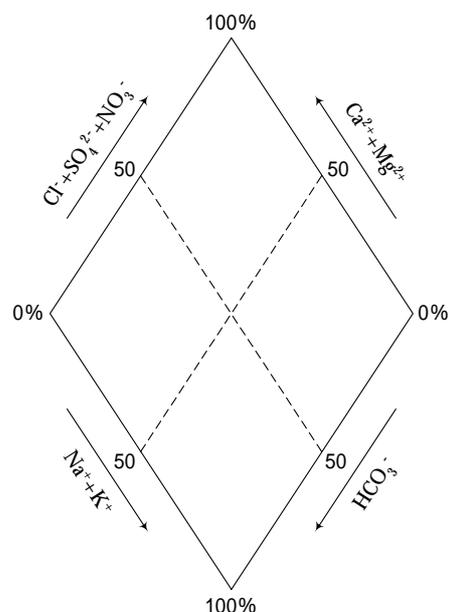


図 - 3.3.2 キーダイヤグラム<sup>7)</sup>

$$[\text{HCO}_3^-] \% = (\text{HCO}_3^-) \div (\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-) \times 100$$

$$[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}] \% = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \div (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 100$$

表 - 3.3.3 mg/L から me/L への換算係数<sup>7)</sup>

項目	記号	係数
カルシウム	(Ca)	0.0499
マグネシウム	(Mg)	0.0822
ナトリウム	(Na)	0.0435
カリウム	(K)	0.0256
マンガン	(Mn)	0.0364
第1鉄イオン	(Fe <sup>2+</sup> )	0.0358
アンモニウムイオン	(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.0556
アルカリ度	(CaCO <sub>3</sub> )	0.0200
炭酸水素イオン	(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.0164
炭酸イオン	(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0.0333
塩化物イオン	(Cl <sup>-</sup> )	0.0282
硫酸イオン	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0.0208
硝酸イオン	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.0161
ふっ化物イオン	(F <sup>-</sup> )	0.0556

この方法の利点は、「プロットされた位置で水質組成が分かる」、「グルーピングが容易である」、「異質の水の混合など、グループ間の相互関係が分かる」、「溶存成分量の多少に関係なく作図できる」、「多数のサンプルを同時に扱える」などである。一方、欠点と

しては、「 計算や作図がやや面倒である」、「 量的関係が分からない」、「 同一スペースに集中する場合の作図が困難である」などである。

図 - 3.3.2 より、地下水の特徴を読みとることができる。例えば、同一の地下水系（同一の水質起源）に属すると考えられる地下水は、その含有量の大小に関係なく、ほぼ同一の箇所に集中する。また、このグラフのどの位置にプロットされるのかによって、地下水の性状を以下のように分類することができる<sup>3)</sup>。

( ) 炭酸塩硬度 (Carbonate Hardness)

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  や  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  により構成される地下水である。主として不圧地下水はこの部分に位置し、循環性の供給型地下水の特徴を有している。被圧地下水もこの地点にあるが、もっと広範囲に散り、徐々に( )に移行する傾向がある。

( ) 炭酸アルカリ度 (Carbonate Alkalinity)

$\text{NaCO}_3$  や  $\text{K}_2\text{CO}_3$  からなり、停滞性の水質であることを示す。停滞性の被圧地下水はこの位置に集まる傾向がある。

( ) 非炭酸塩硬度 (Non-Carbonate Hardness)

汚染されていない通常の地下水にはあまり見られないが、窒素肥料による影響を受ける場合、このタイプに位置することがある。

( ) 非炭酸アルカリ度 (Non-Carbonate Alkalinity)

塩化物や硫酸塩が主体であり、海水の混入や化石塩水の混入した地下水であると考えてよい。

【参考 - 6】キーダイヤグラムの事例

図 - 3.3.3 は、岐阜県各務原台地の地下水を対象として作成したキーダイヤグラムの例である。陽イオンでは  $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$  グループ、陰イオンでは  $[\text{NO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}]$  グループがともに 50% 以上となる III 型に該当するサンプルが圧倒的に多いことが分かる。このことから、II 型や IV 型にプロットされるような一般的な地下水ではなく、窒素によって組成が変化した地下水であることや、このような地下水が台地に広く分布している状況を読みとることができる<sup>4)</sup>。

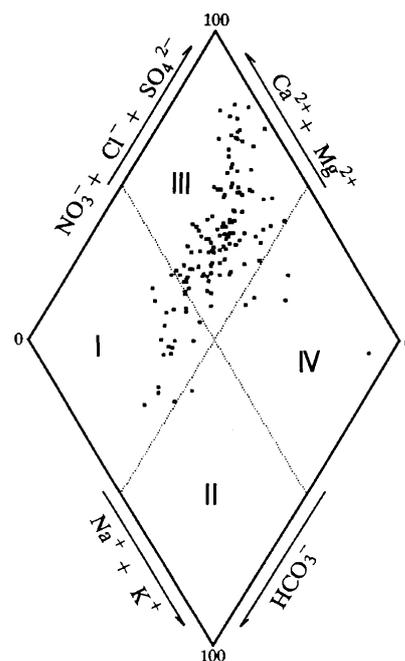


図 - 3.3.3 キーダイヤグラムの一例<sup>4)</sup>

(3) ヘキサダイアグラムによる方法

ヘキサダイアグラムは、図 - 3.3.4 のような成分配置によって各成分の当量値を水平軸上にプロットし、各点を結んで作成するものである。なお  $\text{NO}_3^-$  については、無機汚染の指標であるため、黒く塗りつぶして存在をアピールしている。

この方法の利点は、「作図が容易である」、「図の形状から水質組成がわかる」、「図の大小から溶存成分量がわかる」、「 $\text{NO}_3^-$  を黒く塗りつぶしているので窒素汚染の状況を把握しやすい」、「図形が単純であり比較分類が容易である」などである。一方、欠点としては、「2成分系の混合などの微妙な差が分からない」、「溶存成分量の差が大きい場合に同一スケールで描けない」、「温・鉱泉や塩水化地下水など、特定の成分が極端に多い場合の作図が困難である」などである<sup>9)</sup>。

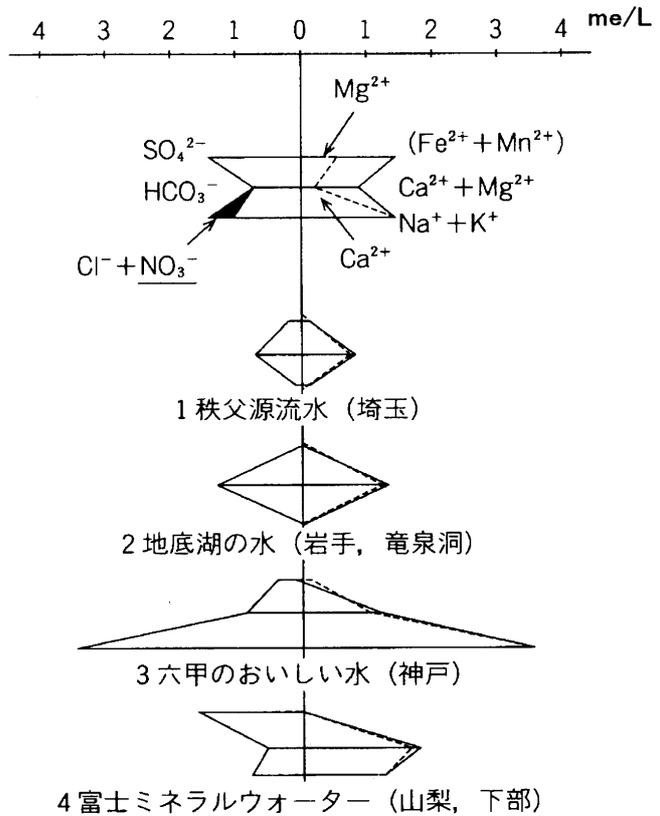


図 - 3.3.4 ヘキサダイアグラム<sup>9)</sup>

【参考 - 7】ヘキサダイアグラムの事例

図 - 3.3.5 は、埼玉県北部 (A) と静岡県西部 (B) の地下水を対象として作成したヘキサダイアグラムの経時変化を表したものである。A については、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  が増加している。一方 B については、 $\text{NO}_3^-$  と  $\text{Ca}^{2+}$  が増加し、 $\text{SO}_4^{2-}$  は逆に減少している。このようにヘキサダイアグラムを並べることで、地点や時間が異なる地下水の組成を容易に比較することが可能となる<sup>9)</sup>。

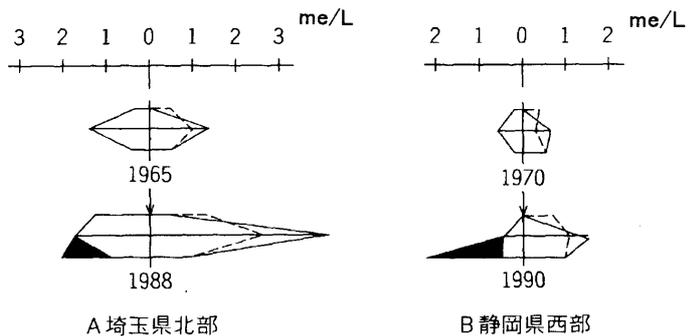


図 - 3.3.5 ヘキサダイアグラムの経時変化<sup>9)</sup>

(4) 窒素安定同位体比による方法

窒素安定同位体とは、窒素を構成する  $^{15}\text{N}$  と  $^{14}\text{N}$  の安定同位体比が物質固有の値をとる性質を利用して、地下水で検出される硝酸性窒素の起源解明を試みる方法である。窒素の安定同位体比  $^{15}\text{N}$  値は、対象とする物質の  $^{15}\text{N}$  と  $^{14}\text{N}$  の比  $R (= ^{15}\text{N}/^{14}\text{N})$  を求め、標準物質（大気中の窒素）の同位体比との差を次式の千分率で表現する。

$$^{15}\text{N} (\text{‰}) = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{air}}) - 1] \times 10^3$$

このように、 $^{15}\text{N}$  は大気中の窒素成分との差として表現されるため、大気中の窒素ガスを固定して製造される無機化学肥料の  $^{15}\text{N}$  値は、理論上ゼロとなる。

図 - 3.3.6 は、全国各地で観測された硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比  $^{15}\text{N}$  の関係を示したものである。地下水中の硝酸性窒素が無機質化学肥料に由来する場合、硝酸性窒素濃度の上昇に伴い、 $^{15}\text{N}$  値は徐々に減少する。無機化学肥料を使用している山形県試験地では、 $^{15}\text{N}$  値の範囲が 1.1 ~ 7.9‰ と低く、硝酸性窒素濃度に対して横に長く伸びる分布を示す。一方、浄化槽排水由来の窒素成分が多いと見られる香川県試験地では、 $^{15}\text{N}$  値の範囲が 4.8 ~ 21.2‰ となっており、観測対象とした地下水の中では最も高い部類に属している。このように、窒素安定同位体比は土地利用形態をある程度反映し、その指標となりうる。一般に、無機質化学肥料施肥地では低く、有機性窒素由来の地下水は高めの値を示すことが多い<sup>10)</sup>。

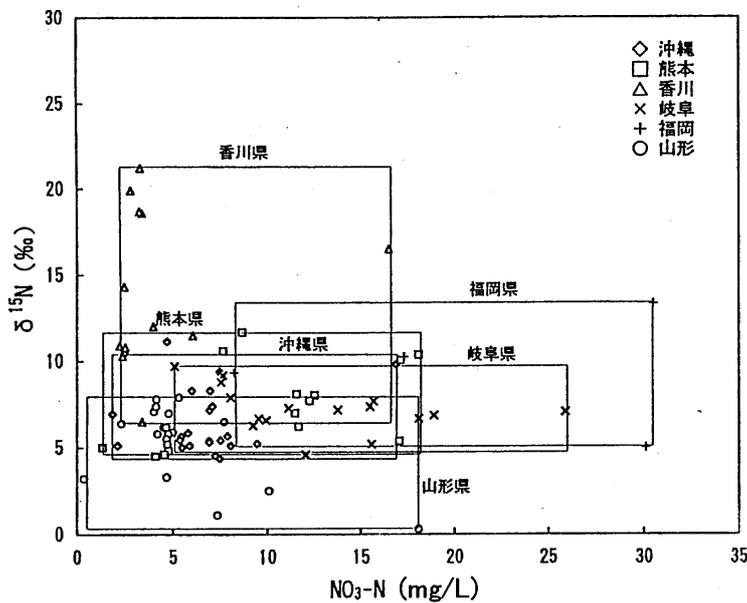


図 - 3.3.6 硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比  $^{15}\text{N}$  の関係<sup>10)</sup>

【参考 - 8】窒素安定同位体比の事例

図 - 3.3.7 は、熊本県 A 市の地下水を対象として作成した硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比  $^{15}\text{N}$  の散布図である。これまでの調査結果より、 $^{15}\text{N}$  値が 8‰ 以上である場合には生活排水及び畜産排水等の影響を受けた地下水、8‰ 以下である場合には化学肥料の影響を受けた

地下水であることが明らかになっていることから、同図では 8‰ を境界として 群と 群に分類した。

第 群では、 $^{15}\text{N}$  が高い値を示したことから、生活排水及び畜産排水の影響であると考えられた。このことは、糞便性大腸菌群が同時に検出されたことから裏付けられた。特に No.2 では、井戸の周辺においてし尿の直接散布が行われており、その影響を強く受けていることが伺われた。ただし、平成 7 年度に行った他の調査地域での畜舎排水及び浄化槽排水の  $^{15}\text{N}$  は

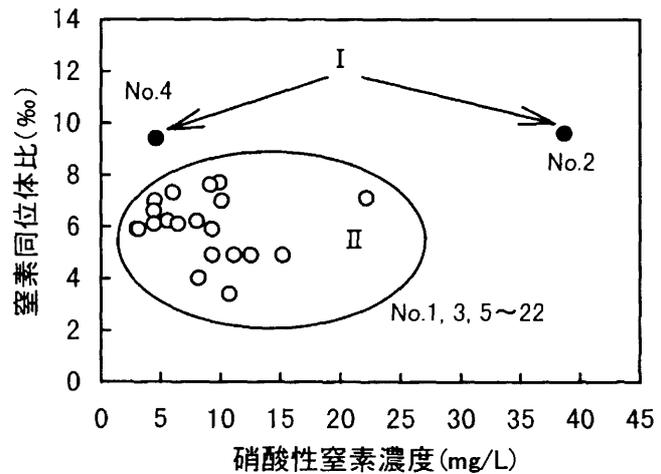


図 - 3.3.7 硝酸性窒素濃度と  $^{15}\text{N}$  の散布図<sup>3)</sup>

39.7‰及び 15.0‰という非常に高い値を示したことから、図 - 3.3.7 の第 群が生活排水及び畜産排水のみの汚染というには値が低いと考えられる。この第 群の 2 地点は、第 群の調査地点と同一の地域にあることから、第 群と同じ汚染原因によるものに生活排水と畜産排水が加わった複合汚染である可能性が高い。

一方、第 群については、井戸周辺の土地利用の大部分が果樹畑であることから、それに施肥される無機質化学肥料の影響によるものと考えられる。しかし、この第 群においても一部では糞便性大腸菌群が検出されていることから、地点によっては生活系及び畜産系の排水による影響も受けた複合型の汚染である可能性も示唆された<sup>3)</sup>。

#### (5) 他の外的要因との関連性分析

窒素化合物の濃度変化に関係すると考えられる土地利用、地下水取水量、地下水水位等についてもデータを整理し、こうした外的要因との関連性分析を試みる。この場合、相関分析だけでなく、主成分分析やクラスター分析等の多変量解析を用いることも効果的である<sup>11)</sup>。

#### 5) 汚染原因の把握

上記 1) ~ 4) の各調査を総合的に踏まえ、対象地域における汚染原因の把握を行う。

## 第4章 汚染の将来予測

### 4-1 汚染の将来予測の目的

適切な汚染対策を策定するためには、「汚染実態調査(第2章)」と「汚染原因調査(第3章)」での検討を踏まえ、将来の汚染状況について見極めを行う必要がある。その目的は、今後、基準値を超える可能性があるかどうか把握すること、対策の効果を予測すること等である。なお、地下水の流れは非常に遅いことから、対策を講じても直ちに元の濃度に回復することが期待出来ないことも多い。このため、将来予測を行う際には長期的な視点が必要である。

### 4-2 予測方法

汚染の将来予測方法としては、トレンドによる方法、原単位法、数値シミュレーション法等がある。いずれの方法も適用条件があることから、必要とされる精度や目標年度など、状況に応じて各方法を使い分けるものとする。なお、計算に用いるパラメータは、可能な限り最新のデータを使用する必要がある。

#### 1) トレンドによる方法

濃度の過去の経年的な傾向を将来に当てはめて将来の値を予測する方法であり、「汚染実態調査(第2章)」での検討結果から類推することができる。この方法は、集水域の土地利用や施肥の方法等、汚染原因の構造が大幅に変わった場合に対応できないことから、長期的な目安を得るための方法と位置づけられる。

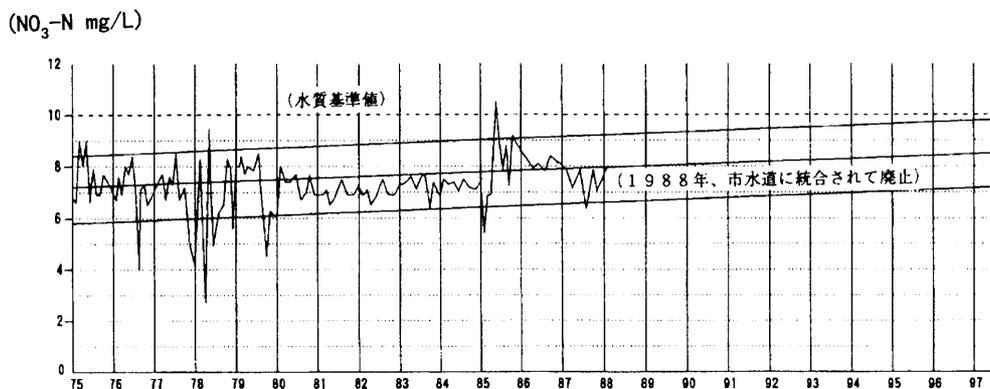


図 - 4.2.1 トレンドによる方法<sup>12)</sup>

## 2) 原単位法

窒素の負荷原単位と将来のフレームを掛けて算出した窒素負荷量に溶脱率を乗じて、地下水への窒素供給量を算出する方法であり、影響の比率を汚染源ごと、あるいは流域ごとに推定することが可能となる。この方法では、汚染原因の構造変化にも対応可能であるが、原単位や溶脱率の設定に際しては、流域別下水道整備総合計画調査・指針と解説<sup>13)</sup>等を参考にしながら、地域の実情に応じた値を用いる必要がある。

### 【参考 - 9】窒素負荷量の算出例

表 - 4.2.1 は、窒素負荷量原単位と各フレームをもとに、窒素の発生負荷量を汚染源ごとに算出した宮古島の例である。汚染源別の比率をみると、窒素肥料が約 5 割、牛が 3 割、人が 1 割となっていることがわかる。ここで得られた値に溶脱率を乗じ、浸透水量で割ることによって、濃度の推定を行うことが可能となる<sup>1)</sup>。

表 - 4.2.1 宮古島の窒素負荷量<sup>1)</sup>

汚染源	フレーム		原単位		負荷量 kg/日	比率 %
人	48,263	人	12	g/人/日	579	9.8
牛	6,549	頭	290	g/頭/日	1,899	32.1
豚	9,719	頭	40	g/頭/日	389	6.6
鶏	42,360	羽	-	-	-	-
窒素肥料	1,112	kg-N/年	-	-	3,047	51.5
合計	-	-	-	-	5,914	100.0

## 3) 数値シミュレーション法

硝酸性窒素による地下水の汚染原因を定量化し、窒素低減対策を実施した場合の水質改善効果を予測する際に、数値シミュレーションを用いることがある。一般的には、水の移動に関する運動方程式、連続式、溶質の移動に関する移流分散方程式をもとに、空間的、時間的な汚染分布を推定する移流分散解析が用いられる。なお、解析にあたっては、水位分布が既知であることが前提となる。

## 第5章 対策の策定

### 5 - 1 . 対策の体系化

硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染対策は、水道事業者が主体となって行う対策と他部局や関係各機関との協力のもとで行う対策に分けられる。前者には、「原水または浄水の変更・混合」、「浄水処理」、「井戸の構造改善」があり、後者には、「発生源対策」、「集水域管理対策」、「地下水浄化対策」がある。この中から「費用対効果」、「水量の安定性」、「技術的可能性」、「環境への影響」等を総合的に考慮して適切な対策を選定する。また、他部局・関係各機関との協力による対策では、対策のための組織づくり、情報の公開・共有化にも留意する必要がある。

### 5 - 2 . 対策の概要

硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染対策には、水道事業者が主体となって行う対策と、他部局や関係各機関との協力のもとで行う対策に分けられる。各対策の体系は表 - 5.2.1 に示すとおりであり、詳細については、「窒素化合物対策調査 報告書（日本水道協会，平成 12 年 3 月）<sup>14)</sup>」を参照する。

硝酸・亜硝酸性窒素対策の体系化を表 - 5.2.1 に示し、「水道事業者が主体となって行う対策」及び「他部局・関係機関との協力のもとで行う対策」のそれぞれについて概要を述べる。

表 - 5.2.1 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素対策の体系化

対策の策定主体	名称		方法
水道事業者が主体となって行う対策	原水または浄水の変更・混合		<ul style="list-style-type: none"> <li>・他の原水との混合・希釈</li> <li>・他の浄水との混合・希釈</li> <li>・水源の変更(地下水 表流水 等)</li> <li>・用水供給の受水</li> </ul>
	浄水処理による硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素除去	物理学的方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イオン交換法</li> <li>・電気透析法</li> <li>・逆浸透膜法</li> <li>・触媒脱窒法</li> </ul>
		生物学的方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生物処理法(従属栄養性脱窒法)</li> <li>・生物処理法(独立栄養性脱窒法)</li> <li>・内生脱窒法</li> </ul>
	井戸の構造改善	汚染防止対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・汚染水の侵入防止対策</li> <li>・ケーシング溶接箇所への孔食</li> <li>・浄化設備による措置</li> </ul>
		汚染拡散防止対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・継続的な取水、モニタリング</li> </ul>
		廃井	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スクリーンの遮断、モニタリング</li> </ul>
他部局・関係機関との協力のもとで行う対策	発生源対策	化学肥料の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・減肥、緩効性肥料の使用</li> <li>・施肥方法、灌漑方法の改善</li> <li>・マルチ、草生被覆による浸透溶脱防止</li> <li>・多肥と少肥の作物を組み合わせた輪作</li> </ul>
		家畜ふん尿の農地利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・素掘貯留、投棄の廃止</li> <li>・堆肥、液肥化による農地利用</li> </ul>
	集水域管理対策		<ul style="list-style-type: none"> <li>・森林面積の保持</li> <li>・多肥の畑地、樹園地の面積制限</li> <li>・地形を利用した窒素除去の活用</li> </ul>
	地下水処理対策		<ul style="list-style-type: none"> <li>・揚水処理法</li> <li>・地上集積処理法</li> <li>・地中遮断処理法</li> </ul>

1) 水道事業者が主体となつて行う対策

(1) 原水または浄水の変更・混合

硝酸・亜硝酸性窒素濃度の高い地下水を他系統の原水または浄水と混合・希釈させたり、水源を表流水や用水供給に変更する方法であり、組み合わせとしては以下のものが考えられる。なお、他系統との混合・希釈を行っている場合であっても、混合後の浄水だけでなく、混合前の原水についても濃度を測定することが望ましい。

他の原水との混合・希釈

他の浄水との混合・希釈

水源の変更（地下水 表流水等）

用水供給の受水

(2) 浄水処理

硝酸・亜硝酸性窒素を水中から除去する主な方法としては、物理学的方法と生物学的方法がある（表 - 5.2.2）。物理学的方法としては、イオン交換法、電気透析法、逆浸透膜法、触媒脱窒法等がある。一方、生物学的方法としては、生物処理法（従属栄養性脱窒法）、生物処理法（独立栄養性脱窒法）等がある。これらの処理方法のうち、イオン交換法、電気透析法、逆浸透膜法等の分離除去技術については、硝酸・亜硝酸性窒素が高濃度の排水が発生する点に留意する必要がある。こうした濃縮排水については、生物処理によって脱窒する方式があり、一部では実用化されている。

表 - 5.2.2 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の除去技術

分類	処理法	原理
物理学的方法	イオン交換法	強塩基性陰イオン交換樹脂を用いて、陰イオンである硝酸イオンを分離除去する。
	電気透析法	陰イオン交換膜を介して陰イオンを電氣的に移動させ、陰イオンである硝酸を分離除去する。
	逆浸透膜法	逆浸透膜によって硝酸イオンを除去する。
	触媒脱窒法	水素供与体として水素ガスを直接用いて、触媒の存在下で硝酸性窒素を窒素ガスにまで還元する。
生物学的方法	生物処理法 (従属栄養性脱窒法)	従属栄養脱窒素細菌が付着増殖した粒状層でろ過し、硝酸性窒素を窒素ガスにまで還元する。水素供与体としてエタノールを用いる。
	生物処理法 (独立栄養性脱窒法)	独立栄養細菌である硫黄脱窒素細菌が付着増殖した粒状層でろ過し、硝酸性窒素を窒素ガスにまで還元する。

## イオン交換法

イオン交換体のイオンと水中のイオンを交換することにより、目的とするイオンを除去する方法である。

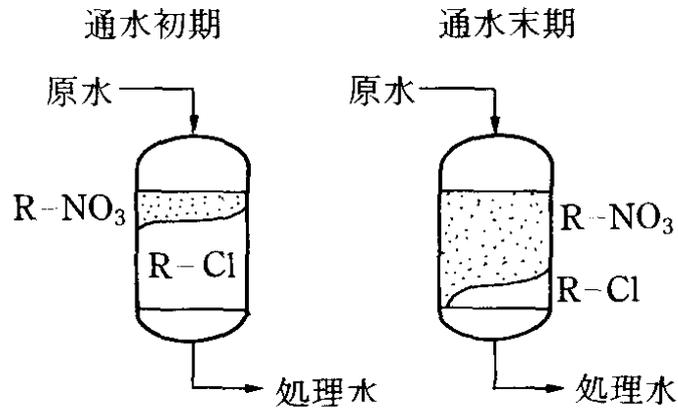


図 - 5.2.1 イオン交換反応模式図

### 【参考 - 10】イオン交換設備の事例

図 - 5.2.2 は、国内で導入されているイオン交換法の諸元とフローの例である<sup>15)</sup>。

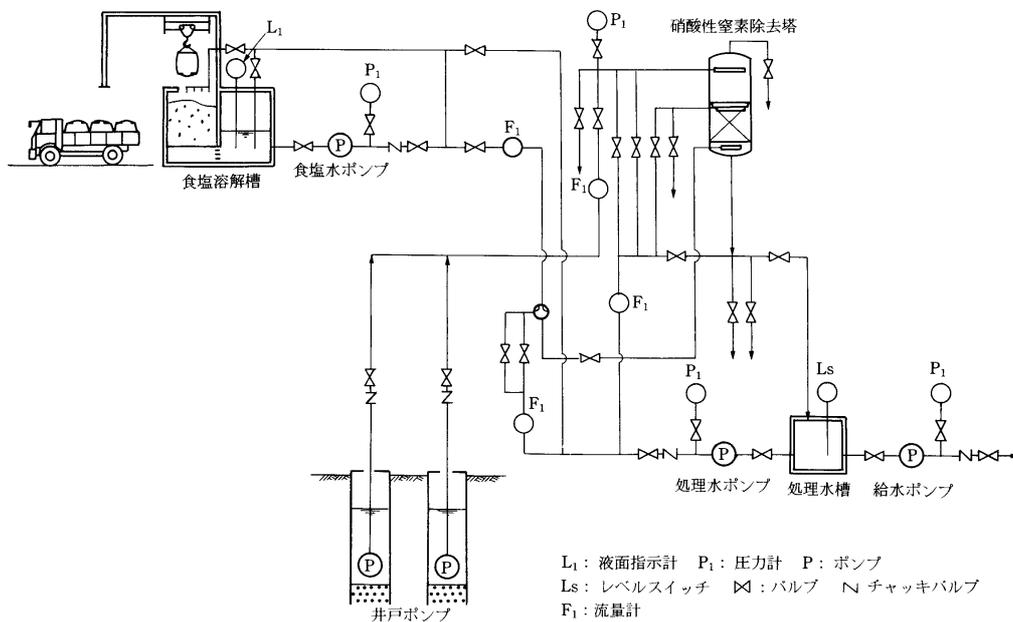


図 - 5.2.2 イオン交換樹脂設備のフロー<sup>15)</sup>

## 電気透析法

イオン交換膜を隔膜として用い、電氣的に塩を移動させることによって溶液中の塩の濃縮または脱塩を行う方法である。

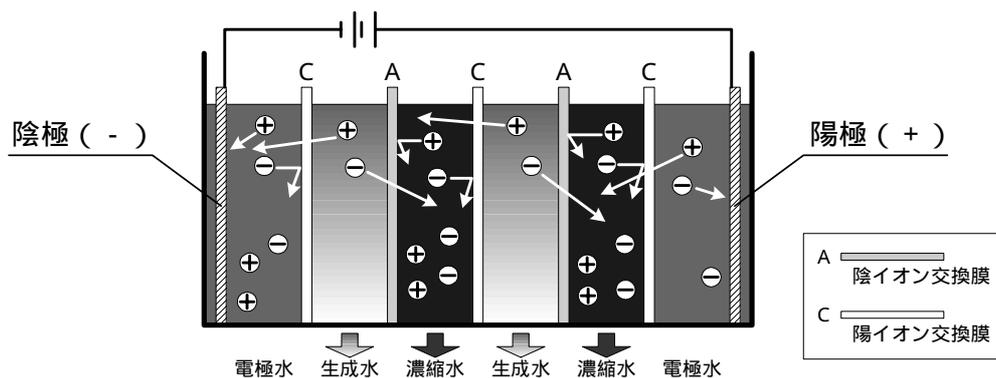


図 - 5.2.3 電気透析法の原理

【参考 11】電気透析設備の事例

図 - 5.2.4 は、国内で導入されている電気透析設備のフローである。この例では、濃縮排水を脱窒槽内での脱窒反応によって窒素ガスと生物脱窒処理水に分離する方式を採用している。

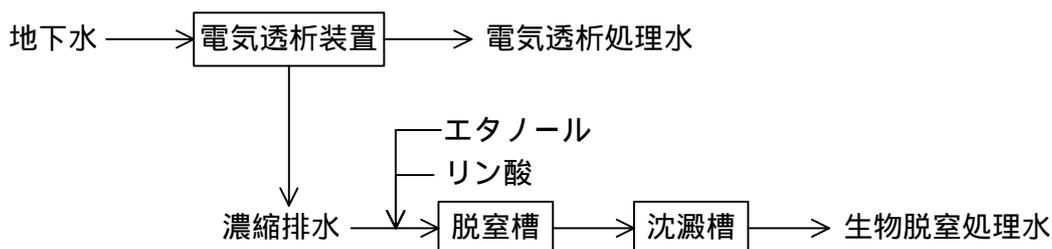


図 - 5.2.4 電気透析設備のフロー<sup>16)</sup>

逆浸透膜法

半透膜の片側の被処理水に機械的な圧力を加えることによって、不純物を含まない水を半透膜の反対側に得る方法であり、硝酸性窒素だけでなく、砒素をはじめ他の無機イオンや有機物も除去可能である。

触媒脱窒法

水中の硝酸性窒素と水中に溶存させた水素ガスとを水素添加触媒の存在下で反応させ、硝酸性窒素を窒素ガス化する方法である。

## (2) 生物学的方法

生物学脱窒処理は、脱窒菌の働きを利用して硝酸性窒素を窒素ガスに還元するものであり、その際、水素供与体として有機物、あるいは無機物のどちらを利用するかによって、従属栄養性脱窒と独立栄養性脱窒に区別される。

### 従属栄養性脱窒法

脱窒菌の働きを利用して硝酸性窒素を窒素ガスに還元する方法のうち、水素供与体として有機物を利用するものである。通常は飲料水としての利用を考えると、脱窒菌の有機炭素源としてエタノールや酢酸を添加する。

### 独立栄養性脱窒法

脱窒菌の働きを利用して硝酸性窒素を窒素ガスに還元する方法のうち、水素供与体として無機物を利用するものである。

## (3) 井戸の構造改善

水道水源として利用されるような深井戸は一般に年間を通じて水質は安定しているが、周囲に存在する汚染した浅井戸の地下水が、深井戸のケーシングに沿った水みちを通過して侵入することがある。このため、まずは汚染源の調査を行い、汚染源及び汚染経路を遮断する必要がある。また、深井戸を廃井とする場合は、汚染された深井戸が他の地下水に影響を及ぼさないよう、井戸内にトレミー管を下ろしてセメントミルクを注入し、スクリーン部や破損部などが完全に閉塞されるように施工する必要がある<sup>2)</sup>。

## 2) 他部局・関係機関との協力のもとで行う対策

他部局・関係機関との協力のもとで行う対策としては、発生源対策、集水域管理対策、地下水浄化対策がある。これらは水道事業者が直接行う対策ではないことから、他部局や関係各機関との協力のもと、働きかけていく枠組みが必要となる。

### (1) 発生源対策

発生源が生活系などの点源である場合には、その管理責任者に改善を依頼する。一方、畜産系や農業系などの面源については、多肥の畑地や樹園地での化学肥料の削減、家畜ふん尿の農地利用等が考えられる。化学肥料の削減では、第一に過剰な施肥を止めることによる減肥、緩効性肥料の活用、施肥方法の改善、灌漑方法の改善、マルチや草生被覆などによる浸透溶脱の防止、多肥と少肥の作物を組み合わせた輪作がある。こうした取り組みはいくつかの地域で行われている。家畜ふん尿については素掘貯留や投棄を止めて堆肥・液肥化して農地へ施用する。家畜ふん尿を有機質肥料として農地へ投与する場合には、化学肥料との調和を図り、過剰な窒素量にならないよう留意する。

これらの発生源対策では、自治体の環境部局、農業部局などの協力を必要とするので、必要に応じて対策協議会等の組織を設置することが望まれる。なお家畜排せつ物については「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律（農林水産省・法律第112号）」が平成11年11月に制定され、同法の適用による公共用水域の水質保全促進が期待されている。

### (2) 集水域管理対策

集水域全体としての排出窒素量を抑制するために、排出窒素量が少ない森林面積を保持する一方で、排出窒素量の大きい多肥の畑地・樹園地の面積を制限する方策が考えられる。森林面積が大きければ、多肥の畑地からの排出がある程度あっても、森林地域からの低濃度の流出水によって希釈されるので、森林面積と多肥畑との面積割合が重要である。また、集水域全体での施肥や家畜ふん尿の総量規制も有効な方策と考えられる。一方、集水域に水田、水路、湿地、河畔林、斜面林があり、さらに池や沼がある場合、これらを流下する過程で窒素は植生吸収や脱窒によって除去される。地下水の涵養水がこのような窒素除去ゾーンを通過し、それぞれのゾーンで除去機能が効果的に発揮されるような水管理及び植生管理が求められる。これらの集水域管理対策では、自治体の土地管理部局、水資源部局、環境部局の協力が必要となる。こうした対策を推進していく際には様々な困難を伴うことが予想されるが、重要な考え方である。

#### 【参考 12】地形を利用した硝酸性窒素管理対策の事例

図 - 5.2.5 は、農業用溜め池によって農地排水の脱窒を試みた大清水池の例である。年間の窒素流入負荷量 2,517kg / 年に対して流出負荷量は 1,261kg / 年であり、ほぼ半分が溜め池にお

いて脱窒されていることがわかる<sup>17)</sup>。

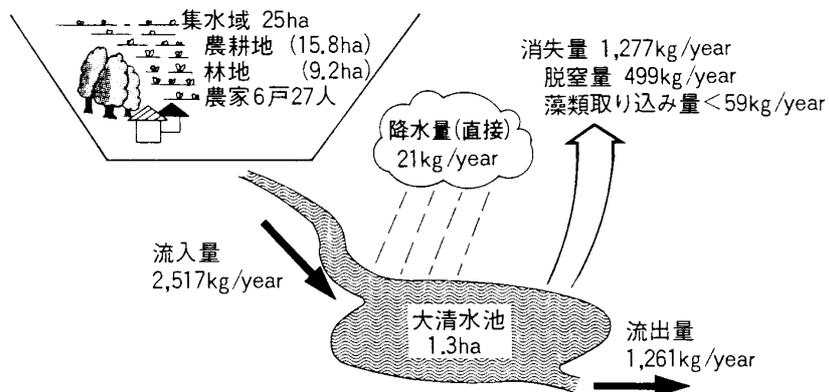


図 - 5.2.6 大清水池集水域における年間窒素フロー<sup>17)</sup>

### (3) 地下水浄化対策

地下水浄化対策としては、浸透防止対策と帯水層浄化対策がある。前者は、土壤中を浸透する硝酸性窒素が帯水層に到達するのを防止するために、地下浸透の段階において硝酸性窒素を除去する方法であり、帯水層より上部の不飽和帯で硝酸性窒素を除去または回収する。この方法の多くは、脱窒細菌が活発に働く層を不飽和帯に形成するという考えが中心となっている。一方、後者は、帯水層の地下水を浄化する方法であり、帯水層から汚染地下水を汲み上げ、汲み上げた汚染地下水に浄化のための処理を施す非原位置処理と、帯水層の汚染された地下水をそのままの位置で浄化する原位置処理がある<sup>18)</sup>。

### 5 - 3 . 対策の選定基準

水質改善効果、費用対効果、水量の安定性、技術的可能性、環境への影響等を総合的に検討して、地域の特性に見合った適切な対策を選定する。

#### 1 ) 水道事業者が主体となつて行う対策

##### (1) 費用対効果

イニシャルコストとランニングコストの両方を考慮する。なお、イオン交換法や電気透析法などの浄水処理によって硝酸性窒素の除去を行う場合、濃度にもよるが、一部の水量のみを処理して希釈することで、費用の低減化や施設の省スペース化を図る方法もある。

##### (2) 水量の安定性

代替水源を確保する場合等、年間を通じて十分な取水が可能かどうかを十分検討する。

##### (3) 技術的可能性

年間を通じて、安定的に処理が可能であるかどうかを十分に検討する。

##### (4) 環境への影響

対策の選定に当たっては、周囲の環境に与える影響についても留意する。例えば、物理学的な浄水処理方法によって硝酸・亜硝酸性窒素を分離・除去する場合には、濃縮排水が発生したり、イオン交換法を用いる場合には、高濃度の塩分を含んだ排水等が発生したりするので、可能な限りこうした排水も処理することが望ましい。また、エネルギー消費量についても考慮する必要がある。

#### 2 ) 他部局・関係機関との協力のもとで行う対策

##### (1) 費用負担

他部局・関係機関との協力のもとで行う対策については、事業主体の費用負担を伴うことから、当事者間での連絡調整が必要である。

##### (2) 技術的可能性

年間を通じて、安定的に処理が可能であるかどうかを十分に検討する。

#### 5 - 4 . 他部局との横断的組織づくりと情報公開

他部局・関係各機関との協力による対策を行うにあたっては、対策のための組織づくり、情報の公開・共有化にも留意する必要がある。

##### 1 ) 対策のための組織づくり

環境部局、地下水担当部局、農業部局、学識関係者等、地域における関係各機関が一体となって取り組むことが望ましい。地元で協議会を設置し、総合的な対策を行って成果が得られている地域がある。

##### 2 ) 情報の公開・共有化

硝酸・亜硝酸性窒素の汚染状況や対策等の情報については積極的に公開し、地域住民の理解を得る必要がある。

## 第6章 対策の実施と評価

水質改善効果や費用対効果等を総合的に考慮して汚染対策を実施する。対策の実施後も水質監視を継続して行い、十分な水質改善効果が得られているかどうかを確認する。さらなる対策が必要と判断される場合には、対策フローに従って、再度検討を行う。

### 6 - 1 . 対策の実施

「対策の策定(第5章)」での検討を踏まえて、硝酸・亜硝酸性窒素対策を実施する。その際、必要に応じて認可申請書や変更届け等、法的な手続きを経ることに留意する。

### 6 - 2 . 対策の評価

硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染対策を実施した後は、日常の水質監視を行うとともに、運転管理データを適宜記録し、十分な水質改善効果が得られているかどうかを確認する必要がある。なお、想定した水質改善効果が得られない場合には、その原因を検討するとともに、調査及び対策を実施するかどうかの判断基準(p.2)等に基づいて、対策の再検討を行うものとする。

## 参考文献

- 1) 田淵：地下水の硝酸汚染と対策，農業土木学会誌，Vol.67，No.1，pp.59～66，1999
- 2) 社団法人日本水道協会：井戸等の管理技術マニュアル，1999
- 3) 廣畑・藤田・松下・松岡・渡辺・松崎：熊本県北部A市の硝酸性窒素汚染について，地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 第6回講演集，pp.243～246，1998
- 4) 寺尾：畑作地帯の硝酸性窒素による地下水汚染と軽減対策 - 岐阜県各務原台地における汚染事例 - ，水環境学会誌，Vol.19，No.12，pp.956～960，1996
- 5) 宮古広域圏事務組合・宮古島地下水水質保全対策協議会：宮古島地下水水質保全調査報告書，1996
- 6) 高屋敷・国包・眞柄：硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染とその要因，第44回全国水道研究発表会講演集，p.747～749，1993
- 7) 工業技術会：地下水汚染・土壌汚染の現況と浄化対策
- 8) 榎根：実例による新しい地下水調査法，山海堂，1991
- 9) 環境庁水質保全局水質管理課・土壌農薬課監修，平田編著：土壌・地下水汚染と対策，社団法人日本環境測定分析協会，1996
- 10) 平田：わが国における硝酸性窒素による地下水汚染の現状と問題点，水環境学会誌，Vol.19，No.12，pp.950～955，1996
- 11) 益田・高屋敷・堤・国包・眞柄・田中：硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染の多変量解析，水道協会雑誌，Vol.64，No.9，pp.29～37，1995
- 12) 各務原地下水研究会：よみがえる地下水 各務原市の闘い，京都自然史研究所，1994
- 13) 建設省都市局下水道部監修：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説，社団法人日本下水道協会，平成11年度版
- 14) 社団法人日本水道協会：窒素化合物対策調査報告書，平成12年3月
- 15) 三宅：水道水中の微量成分除去の研究 - イオン交換樹脂による硝酸性窒素除去装置の開発研究 - ，第25回衛生工学研究討論会講演要旨集，pp.13～15，1988
- 16) 神島・伊徳・石丸・野中・西尾・八木：地下水中の硝酸性窒素トータル除去システム：第51回全国水道研究発表会講演集，pp.260～261，2000
- 17) 川島：農耕地より生じる硝酸態窒素負荷とその制御，用水と廃水，Vol.41，No.10，pp.899～903，1999
- 18) 圓岡・西村：硝酸性・亜硝酸性窒素汚染地下水のバイオレメディエーション，用水と廃水，Vol.41，No.10，pp.914～919，1999