

地下水の硝酸性窒素汚染対策について

～長野県豊丘村における硝酸性窒素総合対策モデル事業～

環境省水・大気環境局 土壤環境課 地下水・地盤環境室
吉井 啓剛、藤塚 哲朗、西前 晶子、兼平 進一

1. はじめに

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素（今後、「硝酸性窒素」という）は、乳幼児を中心に血液の酸素運搬能力が失われ酸欠になる疾患（メトヘモグロビン血症）を引き起こすものである。現在、硝酸性窒素による地下水汚染は、他の環境基準項目に比べ数多く存在し、硝酸性窒素汚染対策を推進していくことが現在の地下水行政の大きな課題の一つである。特に、地下水を飲用に用いている地域においては重点的に対策を実施していく必要がある。

硝酸性窒素による地下水汚染は、単独の工場・事業場が汚染源となる場合が多い揮発性有機化合物等による汚染と異なり、施肥、家畜排泄物、生活排水等と汚染原因が多岐に渡るとともに、汚染原因範囲及び汚染範囲が広範囲に及び傾向がある。このため、地域の自然的・社会的特性、汚染実態、発生源等の状況等に応じた有効な対策を講ずることが必要である。

環境省ではこのことを踏まえて、平成 13 年 7 月に「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る水質汚染対策マニュアル」を作成した。また平成 17 年度より、地域の実情に応じた実行可能な対策の立案、対策の効果の定量的な予測・評価を行うことによって総合的な硝酸性窒素対策を支援する「硝酸性窒素総合対策モデル事業」を実施している。

本論文は、長野県豊丘村において実施しているモデル事業の概要について報告するものである。

2. 豊丘村における硝酸性窒素汚染について

2-1. 硝酸性窒素汚染の経緯

豊丘村では、平成 15 年度及び 16 年度に、長野県によって地下水汚染の実態調査及び汚染原因の解析が行われている。この調査の背景にあったのは、水道水源の約 95% を地下水に依存する豊丘村の水道水源井戸において、硝酸性窒素の濃度が近年増加傾向にあり、一部の井戸で基準を超過したことである。県の調査の結果、硝酸性窒素汚染は浅層地下水のみでなく、ミソベタ層という難透水層の下の層にも見られることが分かった。調査の結果、主な汚染原因は、過去に農地等に供給された化学・有機質肥料及びたい肥を含めた家畜排泄物とされた。また、近年の地下水揚水量の増加や、水田面積の減少による涵養量の減少についても指摘された。そして、考えられる地下水保全対策として、窒素負荷削減対策、地下水汚染緩和対策等が挙げられた。

2-2. 水文地質及び村の水道水源の現状

豊丘村の地下水は、難透水のミソベタ層を境とし、上位の第一地下水（上伊那層に胚胎）、下位の第二地下水（下伊那層に胚胎）に区分される。これらに加え、伊那層最上部の風化粘土化部を基底とする宙水が段丘堆積物に胚胎している。（図-1 参照）

Groundwater pollution control programs regarding Nitrate Nitrogen and Nitrite Nitrogen contaminations.

Ground Environment Division Environment Management Bureau Ministry of the Environment

AKIHSA YOSHII, TETSURO FUJITSUKA, AKIKO NISHIMAE, SHINICHI KANEHIRA

豊丘村の資料によれば、水道水源の硝酸性窒素濃度は、第一地下水を対象とするもので5mg/l をすでに超過しており、10mg/l に達するものもある。第二地下水では一部で 10mg/l に達するが 5mg/l 程度に留まっている井戸もあり、第一地下水に達した硝酸性窒素の影響が第二地下水に及びつつあると評価される。

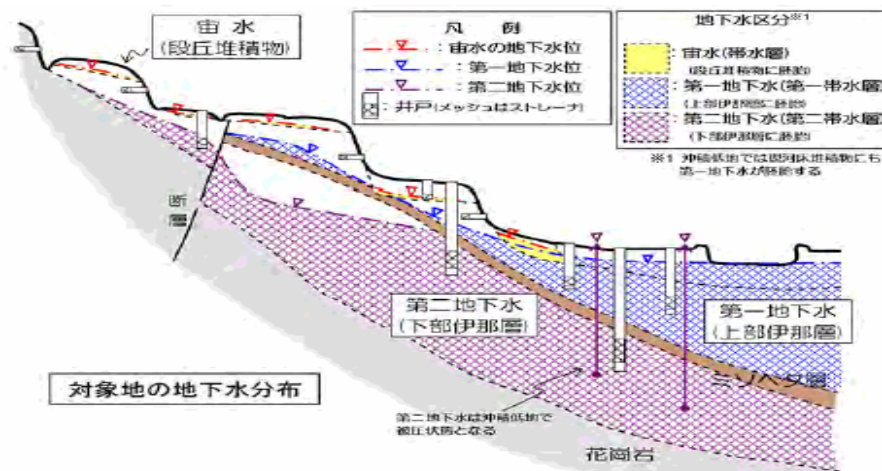


図-1 水文地質構造

3. 本モデル事業の構成

本モデル事業の調査・検討の構成を図-2 に示す。

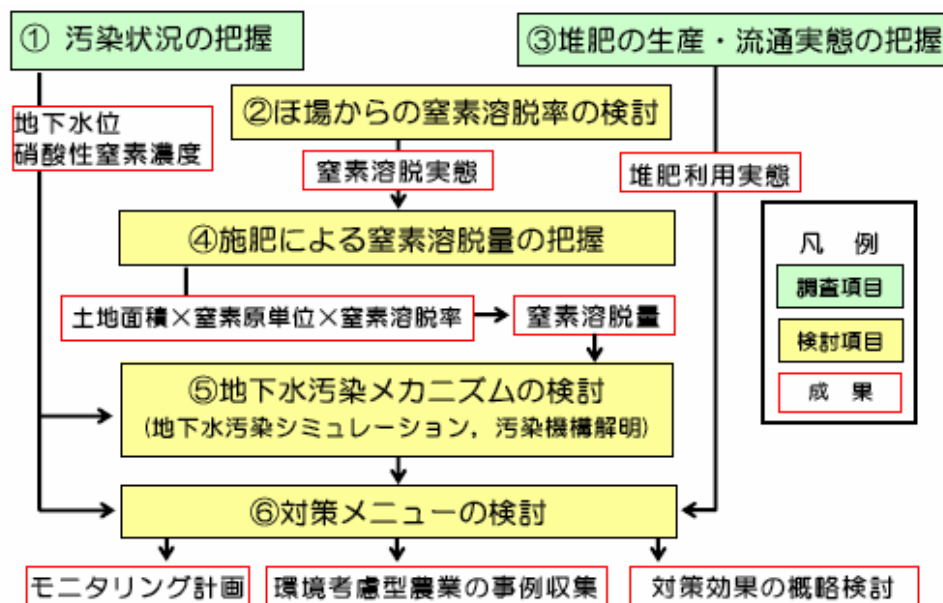


図-2 モデル事業の構成

4. 調査・検討結果

4-1. 汚染状況の把握

(1) 目的

汚染状況の把握を目的として「硝酸性窒素濃度調査」を行うとともに、「地下水位、湧出量のモニタリング」、「河川量調査」を実施した。

(2) 手法・数量

- ・地下水位、湧出量のモニタリング

自記式記録計を用いた連続観測、触針式水位計を用いた定期観測、7箇所

- ・河川流量調査

電磁流速計あるいは容器を用いた流量観測、3 河川（芦部川・漆沢川、虻川）

- ・硝酸性窒素濃度調査

採水試料を公定法にて分析、8 箇所

(3) 結果

各地下水の硝酸性窒素濃度は 10mg/l を超過する箇所が多いが、天竜井川沿いや近傍に水田等がある箇所ではこれを下回った。

第二地下水は降雨に対する応答に乏しく、季節的な降雨量変化に応じた緩慢な地下水位変化を示すことが把握された。宙水の地下水位は地表面に近いことから降雨に対し明瞭に応答するが、その程度は井戸の集水域の広がりや周辺の土地利用に異なることが把握された。また、段丘崖の横井戸からの湧水は年間を通し枯れないことが把握された。なお、春季及び夏期の河川流量は秋期及び冬季に比べ多く、推定される河川水の地下水への伏没量は 17 年度より多くなった。

4-2. ほ場における窒素溶脱の検討

(1) 目的

長野県が実施している減肥試験ほ場において、施肥等による窒素供給と樹体による窒素吸収の過程で変化する土壌中の窒素含有量を定期的に調査することで、果樹園土壌での窒素溶脱の実態を検討する基礎資料を得るとともに、減肥による効果を検証する基礎データを得ることを目的とした。

(2) 手法及び数量

- ・ 土壌サンプリング回数（パイプを打ち込み所定深度の土壌を採取）：4 回
- ・ 土壌サンプリングの箇所 6 月、8 月 慣行区 2 箇所、減肥区 2 箇所
10 月 12 月 慣行区 2 箇所、減肥区 2 箇所
- ・ 土壌サンプリングの深度 0.0～0.25～0.5～0.75～1～1.52 の 6 深度
- ・ 分析試料数（水分率、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、アンモニア性窒素、全窒素）

慣行区とは、これまでに農家が行っていた堆肥手法（全面堆肥）、堆肥量（窒素量：23.1kg/10a）で栽培を行っている区域

減肥区とは、施肥手法を局所施肥（幹周りのみ施肥）とし、施肥量を慣行区の 30%あるいは 50%に減じて栽培を行っている区域

(3) 結果

慣行区は全面施肥、減肥区では、幹周りへの局所施肥のため、幹周りの単位面積あたりの施肥量は変わらない。このため、幹周りの土壌の窒素含有量は慣行区と減肥区ではほとんど変わらなかった。一方、樹間では表層部で大きく異なり、減肥区では無施肥のため土壌全体の窒素含有量は慣行区に比べ少なかった。これにより、減肥区ではより効率的に肥料が樹体に吸収されており、余分な窒素の地下へ溶脱が低減されていると考えられる。

4-3. 堆肥の生産・流通実態の把握

堆肥の生産・流通実態を把握するため、村内の比較的規模の大きい（家畜飼育頭数 10 頭以上）畜産農家 10 軒に対しアンケートを実施した。6 軒から回答があり、牛が最も多く飼育されており家畜排せつ物基本的に自家処理し堆肥としていることが明らかとなった。アンケート結果に基づけば、年間 1,200 t の家畜排せつ物から 670t の堆肥が生産され、このうち村内へ施肥されるのは 400t と見込まれる。また、このア

ンケートでは周辺市町村からの堆肥流通量が把握されていない。JAへの聞き取りによれば、村内の堆肥施用量の6~8割は村外から流通していると考えられる。これを加味すれば村内での施用される堆肥量は1,000~2,000tとなる。長野県の堆肥施用基準では、化学肥料に加え堆肥を果樹に施用する場合、その堆肥施用量として2.5t/10aを示している。この施用基準では、堆肥の有効窒素成分率を0.1%とし、2.5tの堆肥で得られる窒素量2.5kgを化学肥料のみの施用基準量から差し引き施肥し、土づくりを行うことを指導している。この施用基準に基づけば、豊丘村の果樹園(316ha)で望まれる堆肥施用量は、7,900t(316ha×10×2.5t/10a)となる。村内の家畜排せつ物は、適正な処理、堆肥化、農地への施用が行われている。しかしながら、施用基準から望まれる量に足りておらず、村では堆肥の利用向上を図る余地があると判断される。

4-4. 施肥による窒素溶脱量の把握

水道水源の汚染原因とされている段丘部を含む重点地域での地下水汚染メカニズムを明らかにするため、同地域での過去から現在にかけての窒素溶脱量の変化を把握した。

(1) 窒素原単位の整理

窒素原単位は、村の生産記録に基づく結果、平成15年度のアンケート結果(県実施)、県施肥基準、地域施肥基準のほか、全国の施肥基準に示された値を集計し、過去から現在までの値を整理した。整理にあたっては、対象地の土地利用が「果樹園」、「畑」、「水田」、「桑園」に大別されるので、「果樹」、「野菜」、「水稻」、「桑」の基準を整理した。(表-1参照)

表-1 過去から現在にかけての窒素原単位の整理

年代	農作物毎の窒素原単位(Nkg/10a) ^{※1}			
	果樹(果樹園) ^{※2}	水稻(水田)	野菜(畑) ^{※3}	桑(桑園)
昭和45年	19.2	-	-	-
昭和50年	-	-	-	-
昭和55年	18.0	-	-	-
昭和60年	18.0	-	-	-
平成2年	18.6	-	-	30~40
平成5年	-	10.0	27.3	
平成7年	18.3	-	-	
平成10年	-	9.0	24.6	
平成15年	20.5	10.1	-	
平成17年	19.2	-	-	

※1 原単位の出典は以下の通りである

	: 地域施肥基準		: 村の生産記録に基づく値
	: 長野県施肥基準		: 全国の施肥基準に基づく値
	: H15アンケート(県実施)結果		

※2 複数果樹種の平均値

※3 複数野菜種の平均値

(2) 土地利用変化の整理

対象とした重点調査地域の土地利用は、7年代(S27,51,59,63,H10,13,18)にて把握した。把握した土地利用は施肥されている「果樹園」、「畑」、「水田」、「桑園」の4区分とした。この結果、重点調査地域の土地利用は、豊丘村全体の傾向と同じく、全体面積は減少傾向にあり、特に桑畑の減少が著しいことが把握された。また、果樹園については中位1段丘で特に多くこれについては増加傾向であることが把握された。(図-3参照)

(3) 窒素溶脱量の算出

窒素溶脱量は、「果樹園」、「水田」、「畑」、「桑園」の土地利用面積に「果樹」、「野菜」、「水稻」、「桑」の窒素原単位と窒素溶脱率を乗じることで算出した。窒素溶脱率は既存文献（環境省 2002 硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引きほか）より、果樹 30%、水稻 5%、野菜 35%、桑 42%とした。この結果、過去から現在にかけて重点地域の各段丘毎の窒素溶脱量は桑園の減少に伴い減ってきていることが明らかとなった。なお、土地利用区分年にあたる窒素原単位がない場合、直近の値を用い算出している。

(図-4 参照)

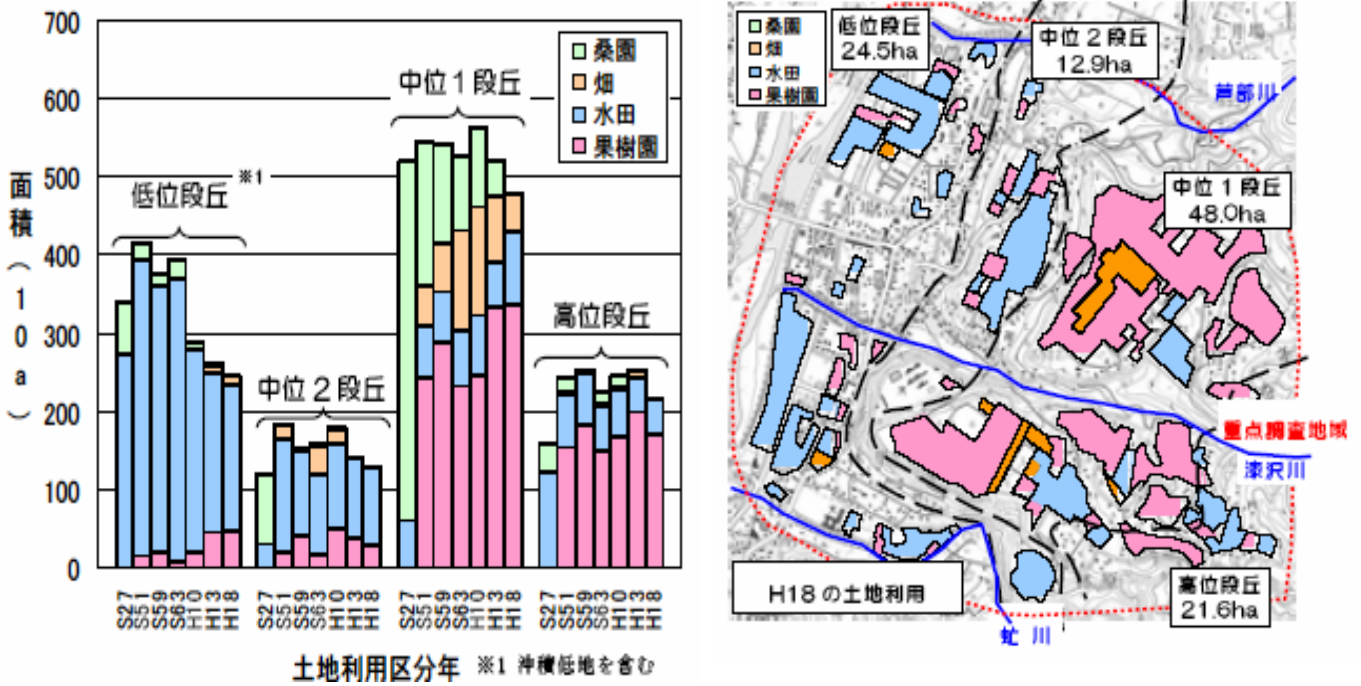


図-3 重点調査地域での土地利用の変化

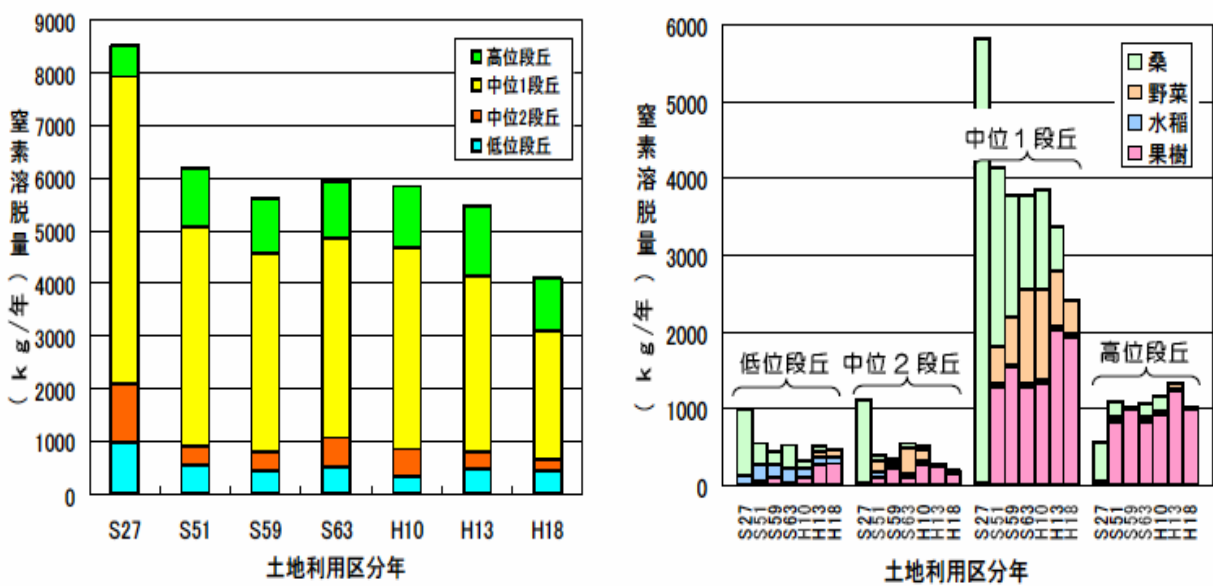


図-4 重点調査地域での窒素溶脱量の変化

4-5. 地下水汚染メカニズムの検討

(1) 地下水流動解析

村中心を東西に切る代表断面で2次元地下水流動解析を行った。想定される箇所に地下水位線が表現され現況再現が図れた。(図-5 参照)

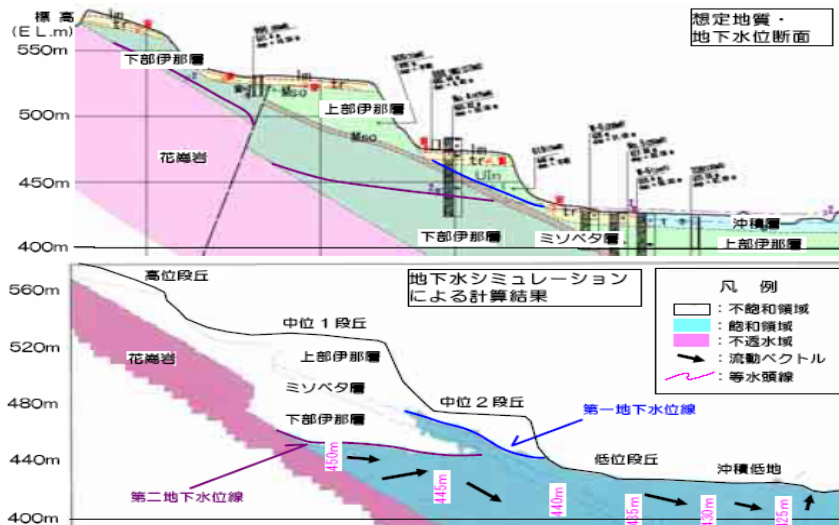


図-5 シミュレーション結果

(2) 地下水汚染解析

地下水流動解析を行った代表断面で地下水汚染解析を行った。地表面に与える窒素の涵養濃度を变化させ、現状の硝酸性窒素濃度との比較を行った(感度解析)結果、地表面に与える硝酸性窒素濃度を15mg/lとし涵養開始から40年経過した状態が、現況の対象地の水源井の硝酸性窒素濃度(6~15mg/l)と近くなった。よって、対象地の窒素汚染が始まったのは現在より40年前の昭和40年前後である可能性が示唆された(図-7 参照)。次に、重点調査地域での現在の窒素溶脱量と地下水涵養量から算出される窒素涵養濃度5.4mg/lが今後も続くと仮定すれば、対象地の水源井の硝酸性窒素濃度が環境基準を下回るのに約40年かかることが示唆された(図-8 参照)。また、難透水層であるミソベタ層は硝酸性窒素汚染を防止する働きがあることが示唆された(図-9 参照)が、ミソベタ層を分断する断層や割れ目によって汚染が拡散することも考えられる。

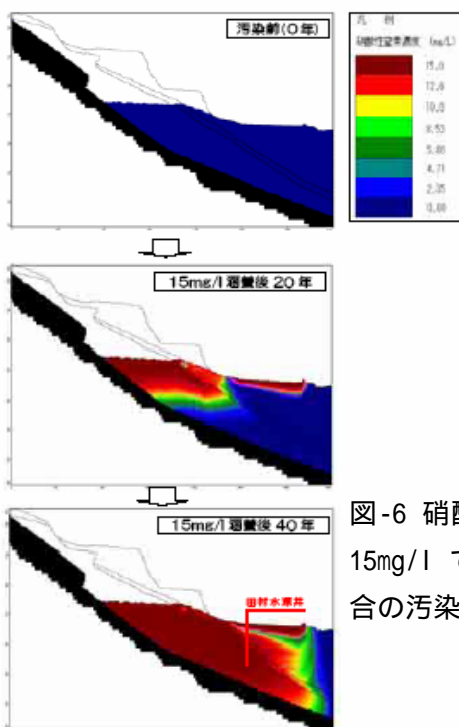


図-6 硝酸性窒素濃度15mg/lで涵養した場合の汚染拡散過程

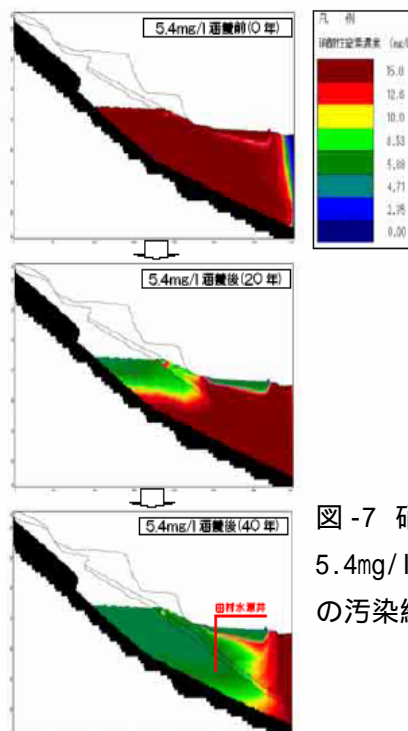


図-7 硝酸性窒素濃度5.4mg/lで涵養した場合の汚染緩和過程

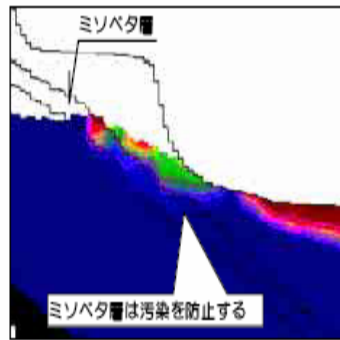


図-8 ミソバタ層の汚染防止効果

(3) 地下水汚染メカニズムの検討

窒素溶脱量は過去から現在にかけて減少傾向にあるものの、過去の窒素溶脱が現在の硝酸性窒素汚染を引き起こしていると考えられる。地表から溶脱した硝酸性窒素は、直下の段丘堆積物に胚胎する宙水に付加し、この宙水が下方の第一地下水や第二地下水に付加し汚染を拡大している。第一地下水及び第二地下水は東から西へ流動する過程で宙水の付加を受け続け、沖積低地で高濃度となる。第二地下水は一部で硝酸性窒素濃度が環境基準以下で溜まっている所も見られるが、第一地下水は基本的に環境基準値を超過しており汚染が進行していることが伺える。

なお、天竜川近傍の井戸では天竜川の水を引き込むことで硝酸性窒素濃度が低くなっている。また、支川から伏没する河川水により部分的に硝酸性窒素が希釈されている可能性がある。(図-9 参照)

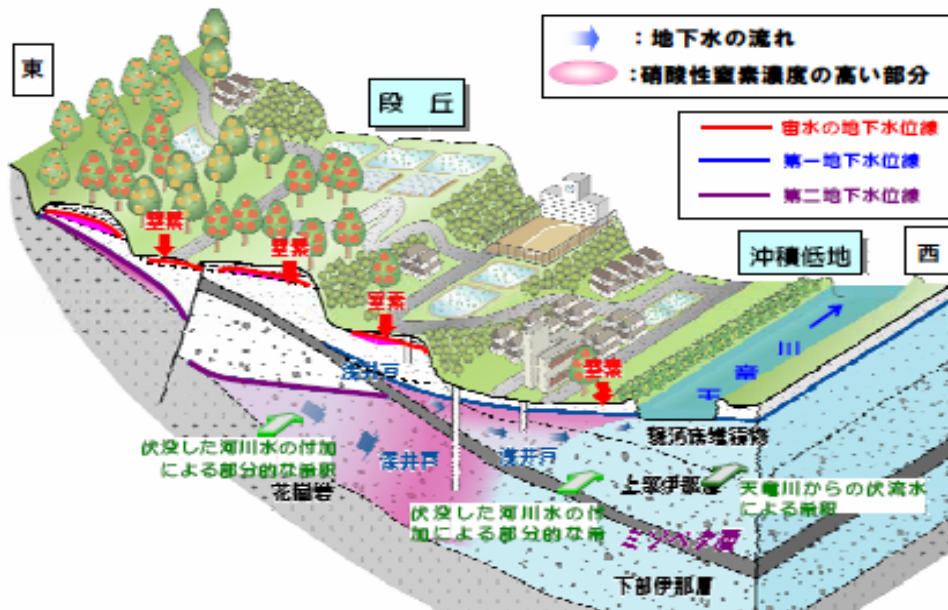


図-9 豊丘村の硝酸性窒素汚染メカニズム

4-6. 対策メニューの検討

対策メニューとして、「発生源対策」、「地下水汚染緩和対策」及び「その他の対策」がある。本モデル事業において検討を行った対策メニューは(表-2)のとおりである。

表-2 対策メニュー一覧

対策メニュー		具体的内容
発生源対策	施肥実態の把握	◆生産記録による農作物別窒素原単位算出(地元機関) ◆現状負担で手に入る資料(生産記録、J A肥料販売予約記録)の活用検討
	施肥方法毎の溶脱量算出	◆現状の窒素負荷量分布図作成 ◆経年的な窒素負荷・溶脱量グラフ作成 ◆減肥ほ場における土壌窒素濃度分析等に基づく窒素溶脱率の推定
	適正な施肥基準の設定	◆実証ほ場における熟期遅延効果試験の実施(地元機関) ◆実証ほ場における柿の減肥試験の実施(地元機関)
	家畜排せつ物対策	◆豊丘村での堆肥流通量、販売量、生産・流通上の課題等の把握 ◆堆肥の循環利用率向上への課題・可能性検討
生活排水対策	生活排水対策方針の作成	◆高度処理型浄化槽(窒素除去型)の普及(地元機関) ◆浄化槽の適正な維持管理(地元機関) ◆合併処理浄化槽等から下水道等への早期接続の推進(地元機関)
地下水汚染緩和対策	地下水かん養	◆水利権、労力、資金等課題の明確化
	浄化技術の導入	◆適応可能な技術選定、効果・費用等の検討
その他の対策	普及啓発資料の作成	◆地下水汚染の現状啓発パンフレット ・パンフレットの作成 ・関係者説明会(農村フォーラム)の開催(地元機関) ・全戸配布(地元機関) ・パンフレットweb公開(地元機関) ◆環境考慮型農業の事例収集 ◆環境省調査事例の紹介パンフレットの作成
	指標の設定	◆地下水モニタリング案の策定(箇所、項目、頻度)

5. 地元での取り組み

豊丘村では、「地下水」や「エコ農業」といった話題をテーマに毎年フォーラムを開催している。このフォーラムでは、関係機関と農業従事者を主体とする地元の方々が、豊丘村の地下水保全や循環型農業について様々な意見を交換している。

6. 今後の課題

平成 17 年度より始まった本モデル事業は、平成 19 年度をもって終了となる。これまでに、長野県により指摘された豊丘村での地下水の硝酸性窒素汚染の原因を追認した。また、汚染メカニズムを既存資料や現地調査結果により検討し、その妥当性を地下水汚染解析によって検証した。対策に関しては、パンフレットをはじめとする啓発資料に加え、他地域の環境考慮型農業の事例を収集し、地元の啓発資料として整理した。加えて、施肥対策と地下水涵養対策の効果について概略の効果検証を行った。

今年度は、本モデル事業の最終年度にあたり、以下の調査・検討課題を取り組む予定である。

- ・ 窒素溶脱の実態を把握するのに不可欠なほ場での「窒素挙動(収支)」
- ・ 土壌中の窒素含有量調査で示唆される「窒素集積部」の調査
- ・ 地下水汚染シミュレーションを活用した「対策効果」の検討
- ・ 豊丘村で実行可能な対策メニューの提案

また、この事業の成果は、豊丘村及び長野県のみならず、全国の都道府県あるいは市町村の環境保全担当者等により活用されることを期待するものである。今後、地域の硝酸性窒素汚染の削減に向けた調査・検討・対策を講じる上での資料として活用できる情報の提供を目指していく。