

44. 長野県豊丘村における地下水の硝酸性窒素汚染

○富樫聡（八千代エンジニアリング（株））、兼平進一（環境省地下水・地盤環境室）
山本晃（八千代エンジニアリング（株））、高橋努（同）、才田進（同）

1. はじめに

長野県下伊那郡豊丘村における硝酸性窒素による地下水汚染の対策立案を目的として、調査・検討を行った。本報告では、地下水汚染の現状と水文地質構造を概説し、地下水シミュレーションで得られた知見を報告する。

2. 対象地の概要

長野県豊丘村は天竜川左岸に広がる人口約7千人の農村である。集落の多くは天竜川沿いの沖積低地や低位段丘面上にあり中位～高位段丘には特産の柿やりんごをはじめとする果樹園が広がっている。

豊丘村では、沖積低地や低位段丘面上に設置された取水井から地下水を揚水し水道水として利用しているが、近年、地下水の硝酸性窒素濃度が増加傾向にあり、一部では環境基準(10mg/l)を超過している(図-1 参照)。長野県¹⁾によれば、豊丘村の硝酸性窒素汚染は過去に施用された肥料から溶脱した窒素が原因としている。なお、豊丘村では下水道施設が完備され、家畜排せつ物も適切に処理されている。

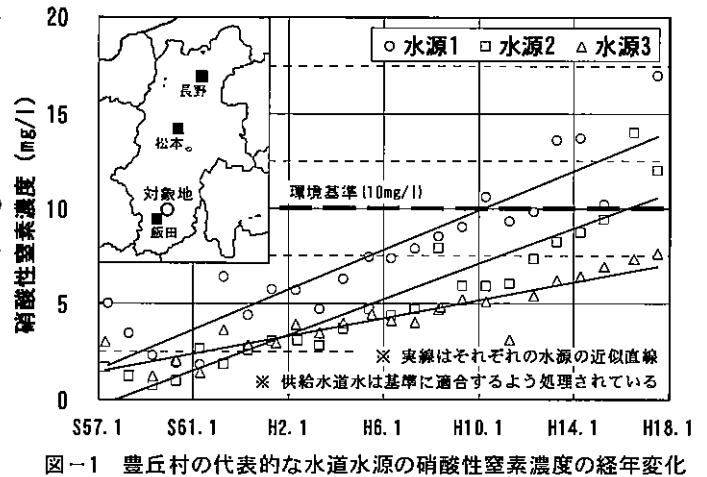


図-1 豊丘村の代表的な水道水源の硝酸性窒素濃度の経年変化

3. 水文地質概要

対象地には難透水性基盤と見なされる花崗岩を覆って伊那層が分布する²⁾。伊那層は火山泥流堆積物からなる難透水層(ミソベタ層)により、上位の上部伊那層と下位の下部伊那層に区分される(図-2 参照)。これらを段丘堆積物、ローム層および現河床堆積物が覆う。

伊那層は面的広がりをもった厚みのある砂礫層で帯水層として機能しており、その透水係数は $10^{-3}(\text{cm/s})$ を示す。

地下水は上部伊那層に胚胎する第一地下水と下部伊那層に胚胎する第二地下水に区分され、いずれも水道水の取水対象となっている。また、段丘堆積物直下には、風化によって粘土化した層が伏在しており、段丘堆積物中には宙水が認められる。

これらの地下水は降雨の浸透と河川水の伏没による供給を受けながら、高標高部から低標高部へと流動し天竜川に達する。宙水と第一地下水は不圧状態であるが、第二地下水はミソベタ層が加圧層として機能しているため被圧しており、沖積低地や低位段丘面の井戸で自噴している。



図-2 豊丘村の水文地質構造概念 (断面線位置は図-3 参照)

4. 汚染の現状と窒素溶脱量の推算

(1) 硝酸性窒素汚染の現状

豊丘村中心部の地下水の硝酸性窒素濃度の平面分布(図-3 参照)は、果樹園の広がる中位1段丘部の宙水で15mg/前後と高く、低位～中位段丘にある第一、第二地下水でも15mg/l前後の値となっている。一方、天竜川沿いの地下水は10mg/l以下である。これは中位～高位段丘で施用された肥料に含まれる窒素の一部が地下へ溶脱し宙水に付加した後、第一、第二地下水に達していることを示唆する。天竜川沿いの井戸で硝酸性窒素濃度が低いのは、硝酸性窒素濃度の低い天竜川本川の伏流水によって希釈されるためと考えられる。

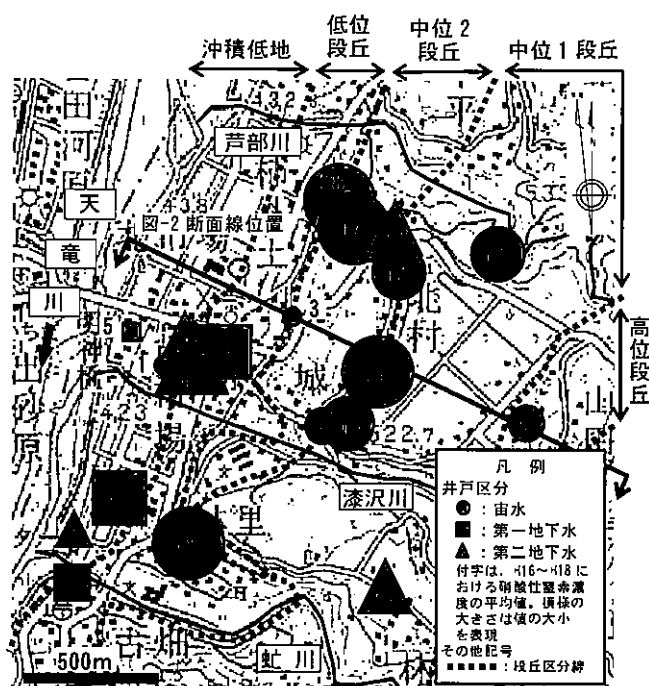


図-3 豊丘村中心部の地下水中の硝酸性窒素濃度

(2) 過去から現在の窒素溶脱量の推算

対象地の過去～現在の土地利用(田・畑・桑・果樹別)を旧版地形図を用いて算出し、施肥基準³⁾に基づく農作物毎の窒素原単位、文献窒素溶脱率^{3)~5)}から、過去から現在にかけての窒素溶脱量を推算した(図-4 参照)。昭和27年には段丘面上での桑の生産が盛んであったために、現在を大きく上回る窒素負荷・溶脱があったと想定される。その後、桑畑は果樹園へと変わったため、現在では過去に比べ窒素溶脱量は減少している。現在は果樹園からの窒素溶脱量が全溶脱量の大半を占めていると考えられる。

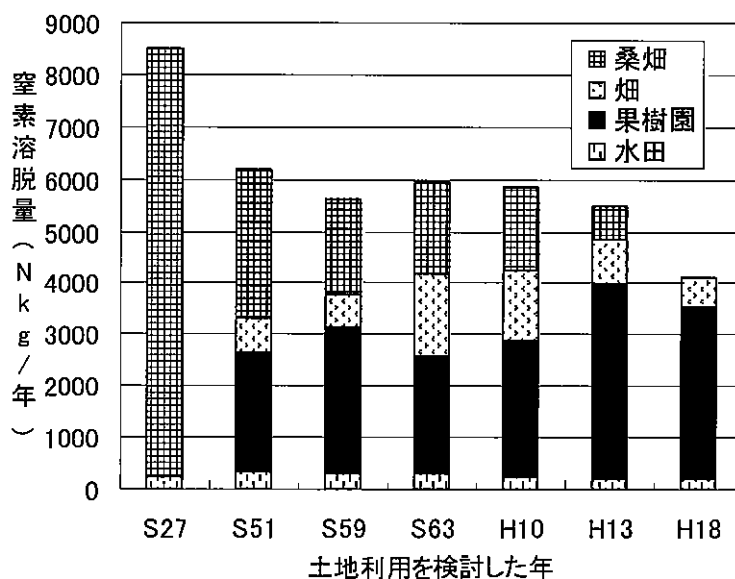


図-4 豊丘村中心部における過去～現在の窒素溶脱量の推算値

5. 地下水シミュレーション

水文地質構造、硝酸性窒素による地下水汚染の現状、窒素溶脱量の推算値等を参考に、地下水シミュレーションを行った。地下水シミュレーションは図-2に示す鉛直断面をモデル化し、地下水流動解析と地下水汚染解析を行った。

(1) 解析条件

解析メッシュは幅10m、厚さ2.5mを基本とする長方形メッシュとし、総メッシュ数は11,400である。解析メッシュと地層区分を図-5に示す。各層における透水係数は、現地調査結果より、表-1に示す値を設定した。また、分散係数については文献値を採用した⁶⁾。

本検討で用いた解析コードは、解析対象地域に適した条件の設定が可能であること、モデル構築の容易さ等を考慮し、地下水流動解析にはMODFLOW、地下水汚染解析にはMT3Dをそれぞれ採用し、数値解析した。

表一 各層における透水係数

地層名	透水係数 (cm/s)	設定根拠等
上部伊那層	1.0×10^{-3}	原位試験の相乗平均から算定
ミソベタ層	5.0×10^{-6}	データなく、岩相から上部伊那層より2～3オーダー小さいと推定
下部伊那層	1.0×10^{-3}	現況再現の試行により上部伊那層と同程度と評価
花崗岩		不透水とみなす

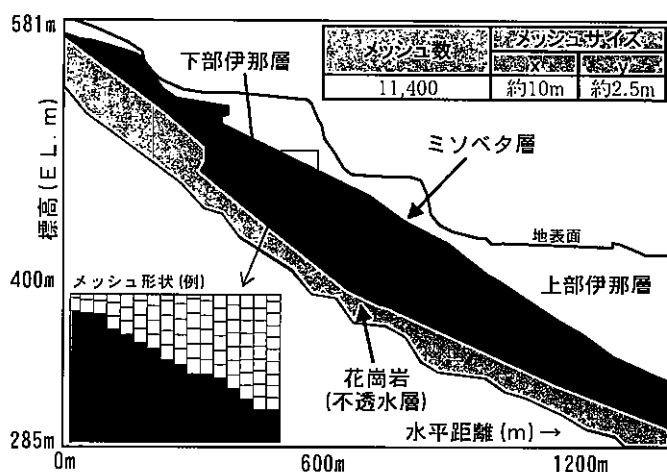


図-5 解析メッシュ

(2) 解析結果

解析モデルを構築し、上述の条件のもとで地下水流動解析を行った。その結果、地下水位の実測値および現地調査より想定される地下水賦存形態を再現できた。

地下水汚染解析では、地表面からの窒素溶脱濃度を複数ケース設定し、非定常計算により感度解析を実施した。感度解析の結果、地表面の窒素溶脱濃度を15mg/lの一定値としたケースで、涵養開始から40年経過した時点の対象地の水源井周辺における硝酸性窒素濃度が、現況の硝酸性窒素濃度(15mg/l程度)に最も近い状態となった(図-6参照)。

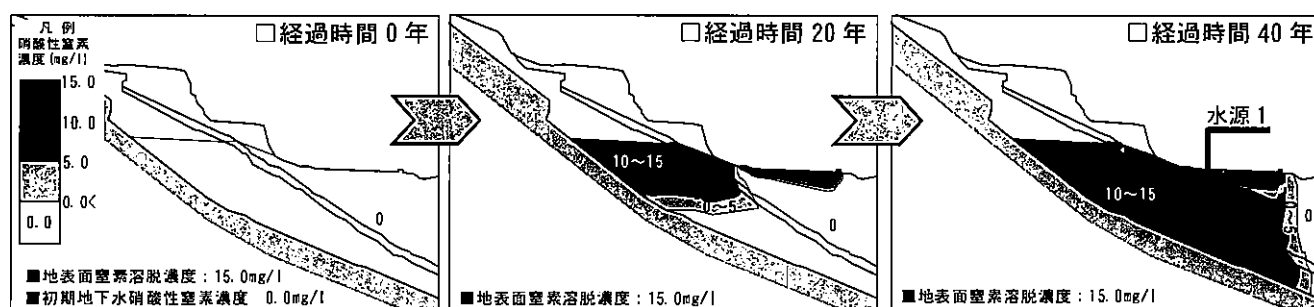


図-6 感度解析結果(地表面窒素溶脱濃度 15.0mg/l)

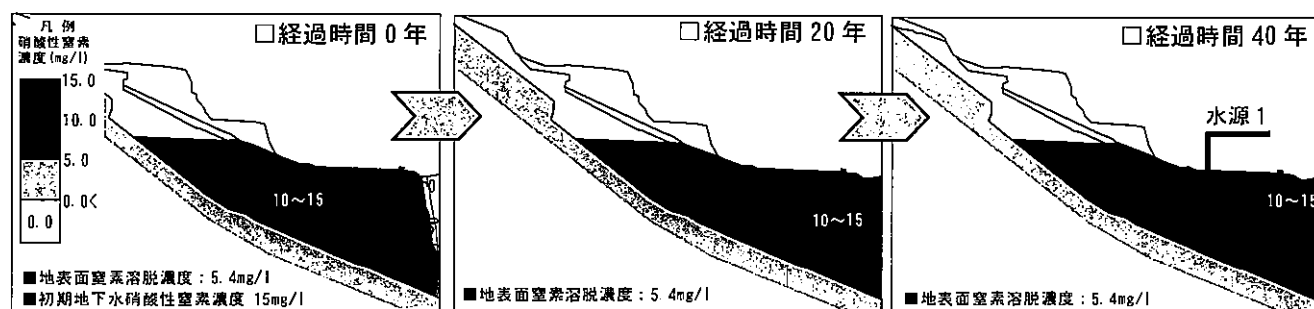


図-7 感度解析結果(地表面窒素溶脱濃度 5.4mg/l)

次に、解析対象領域のほぼ全域の地下水の硝酸性窒素濃度を15 mg/lに設定した上で、現在の窒素溶脱量と地下水涵養量から算出される窒素溶脱濃度(5.4mg/l)を一定値で供給したケースを解析した。その結果、対象地域の水源井における硝酸性窒素濃度が環境基準(10mg/l)を下回るまでに、約40年要する結果が得られた(図-7参照)。また、感度解析より、難透水層であるミソベタ層は、第一地下水から第二地下水への硝酸性窒素汚染の拡大を抑制する機能を果たしていることが再現された。

6. まとめ

(1) 地下水汚染メカニズム

水文地質構造、現在の地下水の汚染状況およびシミュレーションによる検討結果を勘案すると、対象地域における地下水の硝酸性窒素による汚染メカニズムは以下のようにまとめられる(図-8参照)。

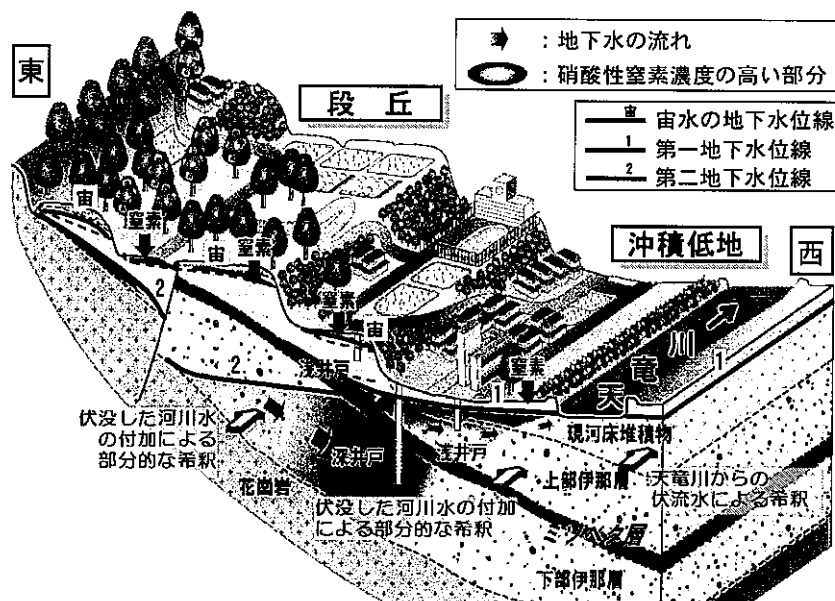


図-8 豊丘村の地下水の硝酸性窒素汚染メカニズム

- ①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する。宙水は下方の第一地下水や第二地下水に付加し、汚染が高標高部から低標高部に拡大する。
- ②第一および第二地下水は、高標高部から低標高部へ流動する過程で、断続的に硝酸性窒素を含む宙水の供給を受けるため、沖積低地に達する地下水中の硝酸性窒素濃度は高い値を取る。
- ③天竜川近傍の井戸では、天竜川本川からの伏流水により希釈されるため、硝酸性窒素濃度が低い。また、支川からの河川水の伏没により、部分的に硝酸性窒素濃度が希釈されている箇所もあると推測される。
- ④現在、窒素溶脱量は過去に比べ減少しているが、シミュレーションの結果からみて、過去の窒素負荷が現在の硝酸性窒素汚染に影響していると考えられる。

(2) 今後の方向性

豊丘村における地下水への窒素負荷量は過去に比べ減少しているものの、いまだ地下水の硝酸性窒素濃度の低下傾向が認められない。したがって、汚染メカニズムを念頭に実現可能かつ効率的な対策を講じることが重要である。

対策を進めて行くためには、今回の調査結果・検討結果を住民に分かりやすい形で情報提供しつつ、地下水保全に対する意識醸成を図ることが重要と考える。また、地下水シミュレーションで得られた定量的評価や視覚的で分かり易い図を活用し今後の見通しを示すことが、住民の意識醸成には非常に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 長野県(2005):豊丘村における地下水保全対策モデル事業報告書、101.
- 2) 富樫均、堀順一(2005):地質構造に規制された地下水汚染-長野県豊丘村の事例-、第15回環境地質学シンポジウム論文集、65~70.
- 3) 長野県(2000):環境にやさしい農業技術の手引き、179~232、335.
- 4) 農業技術研究所(1999):農業環境モニタリングマニュアル、10.
- 5) 公害研究対策センター(2002):硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引き、131.
- 6) 水収支研究グループ(1993):地下水資源・環境論-その理論と実践-、92