

# 硝酸態窒素による地下水汚染ポテンシャルの広域的評価

高田 雅之, 三島 啓雄, 北川 理恵, 粕 庄輔

## Large scale evaluation of potential for Nitrate pollution in groundwater

Masayuki TAKADA, Yoshio MISHIMA, Rie KITAGAWA, and Shosuke NATSUME

### Abstract

To evaluate present state of nitrate contamination in ground water and its vulnerability to water pollution, large scale analysis using GIS were carried out in cultivable area in Hokkaido Island. Firstly, relationships between water quality in wells and surrounding environment were examined. The result shows that nitrate concentration had positive relationship to geological setting and land use. Secondly, modified DRASTIC method was introduced to try to evaluate susceptibility of study area to nitrate contamination. DRASTIC method was developed by EPA (United States Environmental Protection Agency) to evaluate ground water pollution potential using hydrogeological settings.

**Keywords:** 地下水(Groundwater), 汚染(Pollution), 硝酸態窒素(Nitrate), DRASTIC

### 1. はじめに

硝酸態窒素は人体に入ると亜硝酸態窒素に還元され, 乳幼児などにチアノーゼ症状を示す酸素欠乏症(メトヘモグロビン血症)を引き起こすほか(公害対策研究センター, 2002), 近年は野生生物への影響(伊藤・川村, 2003)も指摘されており, 硝酸態窒素による地下水汚染は国内外で重要な環境問題のひとつである。

1999年には環境基本法に基づく,『地下水の水質汚濁に係る環境基準』が改定され, 環境基準値に硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素濃度(基準値: 10mg/L)が追加された。しかし2006年度の地下水質概況調査における環境基準

超過率は, 全国で4.3%(環境省, 2008), 北海道で3.2%(北海道, 2007)と他の基準項目と比べて依然として高く対策が急がれている。

硝酸態窒素の主な発生源としては, 耕作地への施肥, 家畜が排出する糞尿, そして産業排水および家庭排水が挙げられる。このうち家畜の糞尿に関しては『家畜排泄物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律』(1999年公布)により規制が厳格化され, また産業及び家庭排水に關しても,『水質汚濁防止法』による排水規制(2001年改正)や, 下水道の整備率の上昇並びに単独処理浄化槽の新設禁止(2001年法改正)などにより, 法的規制が強まってきており, これらの地下水中の硝酸態窒素濃度への寄与率は今後低下していくことが予測される。したがって今後の硝酸態窒素による汚染対策は, 耕作地への

施肥及び放牧地からの糞尿に対して重点的に実施することが求められる。

集約的な農業による安定的な食糧生産と安全な水資源の確保を両立させるためには、農地の適正な配置、作付け及び施肥管理が重要であり、国及び地方自治体による政策的・計画的対応が不可欠である。そのためにはまず対象とする地域の地下水は汚染されやすい性質を持つのか否かを面的に判断する情報が有用である。硝酸態窒素の地下水への流入量は、施肥等による地表および地中への窒素投入量と、投入された場所の表層土壤、不飽和層および帯水層（飽和層）の水理地質条件によって主に規定されることから、対象地域が本来持つ地下水汚染ポテンシャルを評価するためには、後者の水理地質条件を他の地域と比較評価する検討が必要となる。本研究ではこのような視点に立って、主として農業地域を対象に、水理地質に関する空間情報を用いた、硝酸態窒素による地下水汚染ポテンシャルの広域的評価を試みた。

## 2. 地下水汚染ポテンシャル評価手法

### 2.1. 地下水水質データと空間属性

ポテンシャル評価に先だって、地下水の硝酸態窒素濃度と土地利用及び表層地質との関係について分析した。水質は公共水域の常時監視データ（1999～2002年度：1,121件）を、土地利用及び表層地質は国土交通省のデータを用いた。GISにより観測地点の周辺500m内で最も大きな面積を占める凡例区分を抽出し、その地点の硝酸態窒素濃度との関係を分析した。

### 2.2. DRASTIC

地下水汚染のポテンシャルを評価する手法として、米国EPAが開発し実用化されているDRASTICを用いた（EPA, 1987）。DRASTICは水理地質に関する7つの項目について、項目間の重み(w)と、各項目内の区分に応じた得点(r)とを掛け合わせ、それらの合計値により汚染ポテンシャルの大きさを評価する手法である（田瀬, 1990）。7つの項目は下記のとおりである。

D：地表から地下水までの深さ

R：地下水への水供給量（涵養量）

A：帯水層の性質

S：土壤の性質

T：地形（勾配）

I：不飽和層の性質

C：透水係数

地下水汚染ポテンシャルの大きさ(Gwpp)は以下のように算出されるが、本研究ではこのうちD, S, T, Iをまず作成した。残りは順次加えていく予定である。  
$$Gwpp = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

ここで、 $X_w$ は項目Xの重み、 $X_r$ は項目Xごとの区分得点を示す。各変数の重みはEPAに従い、得点はEPAに適宜対応させて設定した。

### 2.3. 対象地域

北海道中央農業試験場が整備した農地土壤メッシュデータのうち、土性情報を持っているメッシュ地域を対象範囲とした。これは、土性情報が評価項目のひとつであるとともに、今回の評価対象が主に農地または農地への転用が可能である地域としていることによる。なお、他項目で一部地域が欠落している場合は、評価対象外とした。解析の空間精度は農地土壤メッシュデータと同様の1km×1km（3次メッシュ）とした。

### 2.4. 各項目のパラメータ作成

#### (1) D：地下水面までの深さ（Depth to water）

公共水域の常時監視及び保健所による水質検査井戸のうち不圧地下水を取水している浅井戸のデータ（1999～2007年度：2,298件）を用いて、井戸の位置情報と井戸深データからクリギング法により地下水面の空間内挿を行った。なお用いた井戸深の平均値は8m程度であった。得点は水位が浅いほど高い値となる。

#### (2) S：土壤の性質（Soil media）

北海道中央農業試験場が整備した農地土壤メッシュデータのうち、土性情報を抽出しDRASTICの評価テーブルに当てはめて得点化を行った。その際、データ中の鉛直層別情報（1層：1～15cm 2層：15～30cm 3層：30～60cm 4層：60～100cm）から得点を層厚で重み付けして平均し、各メッシュの代表値とした。得点は透水性が良いほど高い値となる。

#### (3) T：地形（Topography）

国土地理院の3次メッシュ標高データから、各セルにおける勾配（%）を算出しDRASTICのテーブルに

従い得点化を行った。得点は緩斜面ほど高い値となる。

#### (4) I : 不飽和層の性質 (Impact of vadose zone)

国土交通省土地・水資源局国土調査課が公開している水基本調査（地下水調査）の井戸 GIS データには、井戸掘削の際に収得した柱状図が付随しており、これらのうち 1980 年以降のものを抽出し層別データを作成した。次に各層の土質情報を DRASTIC のテーブルに従って得点化した。その際、前述の農地土壤のデータと重複する深度 1m までの情報は除いた。さらに先に作成した地下水表面までの深さデータと重ねて、地下水表面より浅い柱状図データのみを抽出し不飽和層の土質データとし、最も透水性が低い層の得点を各井戸における不飽和層の性質の値とした。

これをもとに以下の手順で空間内挿を実施した。まず井戸の位置情報から 1) ポロノイ分割による空間内挿を実施し、地形形成プロセスが類似していれば地盤を構成する堆積物の層序も類似すると仮定して、2) ポロノイ図と地形分類図（若松ほか、2005）との間でインターセクト処理を実施し、3) 井戸と重複したポリゴンのみを抽出した。最後に 4) 井戸から発生させた 10km のバッファポリゴンによって 3) のデータをクリップし、不飽和層の得点付きポリゴンを作成した。得点は透水性が良いほど高い値となる。

#### 2.5. 汚染ポテンシャルの評価

前記 4 つの項目について、3 次メッシュ単位に得点と重みを乗じて合計し、地下水汚染ポテンシャルを算出するとともに、地図化して調査井戸における硝酸性窒素の濃度分布図と比較した。さらに汚染ポテンシャル値のヒストグラムをもとに、サンプル数が同程度となるよう閾値を設定し、汚染ポテンシャルを「高い」「中間」「低い」の 3 クラスに区分し、各クラスに属する井戸の硝酸性窒素濃度との関係を分析した。

### 3. 結 果

#### 3.1. 地下水水質データと空間属性

図 1~2 に地下水の硝酸性窒素濃度と土地利用及び表層地質との関係を示した。その結果、水田以外の農用地で濃度が高い傾向を示した。また地質区分との関係では、第四紀火山噴出物が最も高く、次いで段丘堆

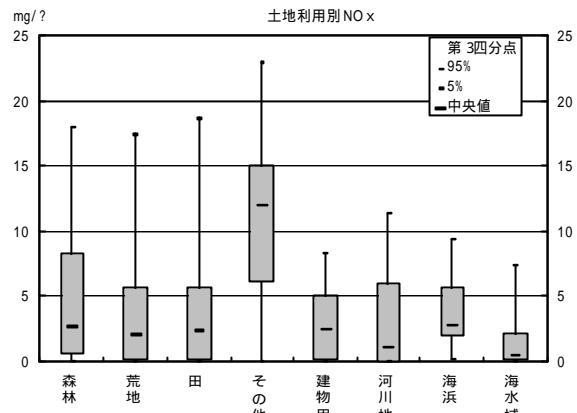


図 1 硝酸性窒素濃度と土地利用との関係

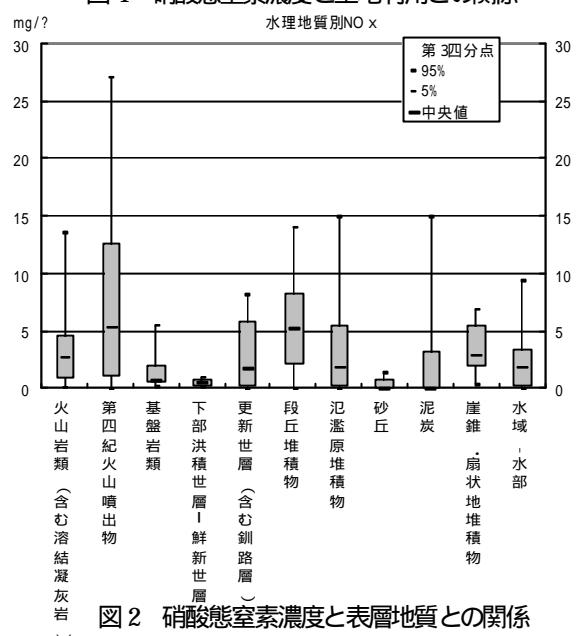


図 2 硝酸性窒素濃度と表層地質との関係

積物、沼澤原堆積物等で高い傾向を示した。このことから、農地における窒素負荷との関係、及び透水性の高い地質で硝酸性窒素が地下水に到達しやすい傾向が示唆された。

#### 3.2. DRASTIC のパラメータ作成

DRASTIC のうち、地下水表面までの深さ(D)、土壤の性質(S)、地形(T)、不飽和層の性質(I)の 4 項目についてパラメータマップを作成した。一例として、図 3 に地下水表面までの深さに関する得点マップを示した。

#### 3.3. 汚染ポテンシャルの評価

4 つの項目の合計として求めた地下水汚染ポテンシャルを図 4 に、また地下水の硝酸性窒素の濃度分布を図 5 に示した。全体的には、ポテンシャルと実測値は

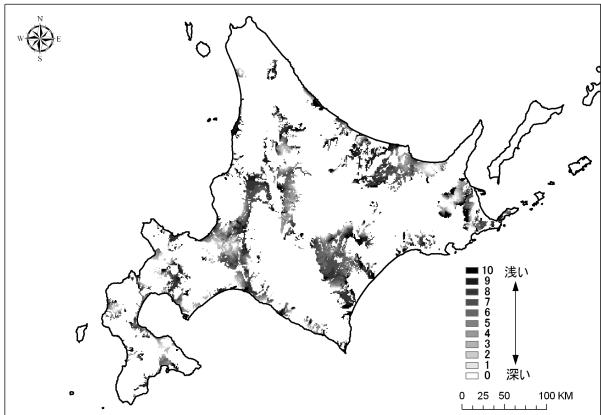


図3 地下水面までの深さを示す得点マップ

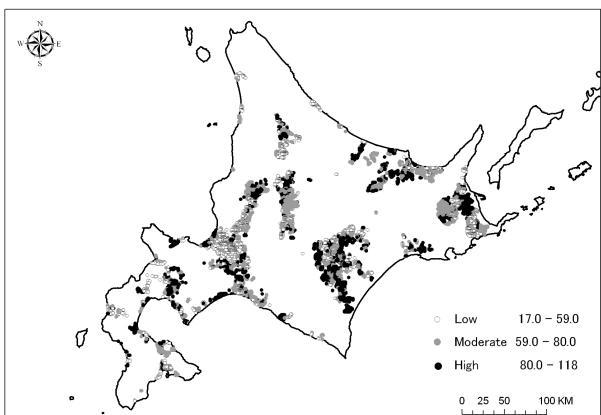


図4 地下水汚染ポテンシャル(4項目)

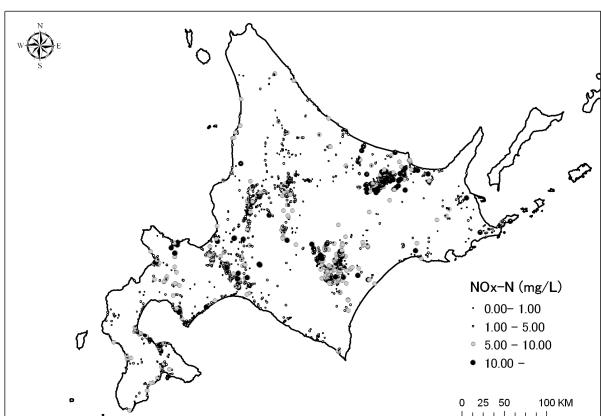


図5 地下水の硝酸性窒素の濃度分布

よく対応している傾向が見られた。さらに3クラスに区分したポテンシャルと、実測濃度との関係をプロットし一元配置分散分析により分離性を評価した結果(図6)、いずれの組み合わせもp値が5%以下となり、有意な結果が得られた。このことは、DRASTICによる地下水汚染ポテンシャル評価が北海道に適用可能であることを示唆するものであると考える。

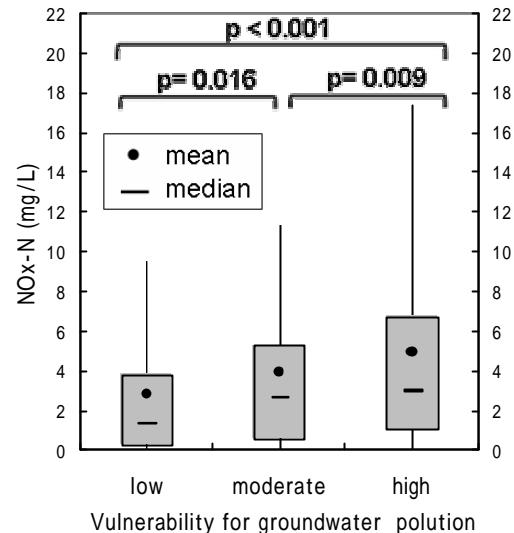


図6 汚染ポテンシャルと実測濃度との関係

#### 4. おわりに

今後、残りの3項目についても地図化し、7項目による汚染ポテンシャル地図を作成し、窒素負荷に関する情報と併せて評価を行う予定である。また地域的な条件及び結果の違いについても詳細な分析を行いたい。

#### 謝辞

本研究は北海道の特定政策研究「硝酸性窒素等による地下水汚染の防止・改善」の一貫として行ったものであり、関係機関及び関係者に深甚の謝意を表する。

#### 参考文献

- 伊藤富子・川村洋司 (2003) 硝酸イオンがオオエゾヨコエビ産卵数と落葉付着微生物活性に及ぼす影響実験、北海道立水産孵化場研究報告, 57, 13-17.
- 環境省(2008)平成20年版環境/循環型社会白書、環境省。
- 公害対策研究センター(2002)硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引、公害対策研究センター。
- 田瀬則雄(1990)アメリカにおける地下水汚染問題、琵研所報, 15-25.
- 若松加寿江・久保純子・松岡昌志・長谷川浩一・杉浦正美(2005)日本の地形・地盤デジタルマップ、東京大学出版会。
- 北海道(2007)北海道環境白書07、北海道。
- EPA(1987)DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, EPA/6002-87/035。

