

2. 硝酸性窒素汚染の潜在的リスク要因評価

(1) 目的

広域的な視点から地下水汚染の潜在的リスクを評価し把握することは、発生源の寄与を適正に評価する上で、また、地域に応じた効率的な対策を講じる上で、さらにより広い視点で政策的観点から現状を認識する上で、極めて意義深いといえる。

硝酸態窒素の地下水への流入量は、施肥等による窒素投入量と、投入された場所の表層土壌、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、本研究では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て、硝酸態窒素汚染の潜在的（ポテンシャル）リスクの評価を行った。併せて農地の地目によって地下水汚染の発現に差異があるかどうかについても検討を加えた。

(2) 方法

研究の流れを図 I-2-1 に示した。まず、地下水水質測定地点のデータを GIS 化した後、水理地質に関する広域的なパラメータデータを作成し、それらをもとに DRASTIC 手法を用いた地下水汚染ポテンシャルマップを試作した。GIS データの処理は ArcGIS9.2 (ESRI Inc. 米国) を用いた。以下、具体的な方法について記す。

① 地下水水質データ整備と空間属性

地下水水質測定地点データとして、公共用水域常時監視データ及び保健所分析データを GIS データに整備した。整備したのは、1999～2007 年度データのうち不圧地下水を取水していると考えられる 50m 以下の浅井戸データ (2,298 件) である。

地下水の硝酸態窒素濃度と地表因子との関係について分析するための土地利用及び表層地質データは国土交通省の国土数値情報 GIS を用いた。各測定地点を中心に周辺 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 DRASTIC を用いた汚染ポテンシャル評価

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¹⁾。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²⁾。7 つの項目は下記のとおりである。

- D (Depth to Water) : 地表から地下水面までの深さ
- R (Net Recharge) : 地下水への水供給量 (涵養量)
- A (Aquifer Media) : 帯水層の性質
- S (Soil Media) : 土壌の性質
- T (Topography) : 地形 (勾配)
- I (Impact of the Vadose Zone Media) :
不飽和層の性質
- C (Hydraulic Conductivity of the Aquifer) :
帯水層の透水係数

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。

$$Gwpp = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

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 EPA¹⁾ (表 I-2-1) に従い、得点は EPA¹⁾ に適宜対応させて設定した。

なお、A と C のパラメータについては、全道を対象とした精度の高いデータ作成が現時点で困難であり、また既存の深井戸データから北海道の帯水層は概ね砂礫質が優占していると判断されることから、本研究では D, R, S, T, I の 5 パラメータに着目して評価した。

表 I-2-1 DRASTIC に用いた各項目の重み付け

Feature	Weight
Depth to Water	5
Net Recharge	4
Aquifer Media	3
Soil Media	2
Topography	1
Impact of the Vadose Zone Media	5
Hydraulic Conductivity of the Aquifer	3

EPA¹⁾



図 I-2-1 潜在的リスク評価研究のフロー

③ 評価対象地域

地下水汚染ポテンシャル評価を行う対象地域は、北海道中央農業試験場が整備した農地土壌メッシュデータ（1km×1km）のうち、土性情報の属性を有し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（S）であるとともに、今回の評価対象が主に農地を含む平地域を想定していることによる。なお項目によって、情報が欠落しているメッシュは評価対象外とした。解析の空間精度も本メッシュデータに準じた。

④ 各項目のパラメータ作成

以下の a～e のパラメータを用いたが、各パラメータの得点区分は本節末の付表を参照のこと。

a. D：地下水面までの深さ

地下水水質データ（50m 以下の浅井戸データ：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い、農地土壌メッシュの範囲を切り取った。最後に EPA¹⁾ を基に区分得点を設定した。なお得点は水位が浅いほど高い値となる。

b. R：地下水涵養量

アメダスデータより作成した 1km メッシュ気象データの気温及び日射量のデータから、Makkink 式³⁾ を用いて蒸発散量を算出し、同 1km メッシュ降水量データより蒸発散量を差し引いた値を地下水涵養量とした。区分得点の設定は、涵養量の中央値および平均値（400-420mm 程度）を考慮して行った。その際、降水量が多い地域では硝酸性窒素が地下水から流出しやすいという、米国とは異なる日本の実情を考慮し、EPA¹⁾ の得点順位を逆転させた。したがって得点は涵養水量が少ないほど高い値となる。

c. S：土壌の性質

農地土壌メッシュデータより土性情報を抽出し、EPA¹⁾ 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。なお得点は透水性が良いほど高い値となる。

d. T：地形

国土地理院の 50m メッシュ標高データ（50mDEM）から、各セルにおける勾配（%）を算出し、EPA¹⁾ の区分に従って得点化を行い、1km メッシュ内で平均値を算出した。なお得点は緩斜面ほど高い値となる。

e. I：不飽和層の性質

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、井戸掘削の際に取得した柱状図が付随しており、これらのデータを利用してまず層別データを作成した。次に各層の土質情報を EPA¹⁾ のテーブルに従って得点化した。その際、前述の農地土壌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面までの深さデータと重ねて、地下水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、各土質に応じて EPA¹⁾ の区分に基づき得点化したのち、各層の厚さによる加重平均値を対象井戸の得点値とした。そしてこれをもとに空間内挿を実施した。なお得点は透水性が良いほど高い値となる。

⑤ 汚染ポテンシャルの評価

前記 5 つの項目について、1km 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視覚的に比較した。

次に、汚染ポテンシャル値のヒストグラムをもとに、サンプルの分散を考慮し、平均値から上下 $\sigma/2$ に閾値を設定し、汚染ポテンシャルを「高い」「中間」「低い」の 3 クラスに区分した。そして 3 クラスの汚染ポテンシャルと各クラスに属する井戸の硝酸性窒素濃度との関係を、全道及び農地の地目別（農地土壌メッシュデータの属性）に集計し、一元配置分散分析により分離性を検証した。最後に、各項目の得点と調査井戸における硝酸性窒素の濃度との関係を分析し、ポテンシャル評価の妥当性について検討を加えた。

（3）結果と考察

① 地下水水質データ整備と評価対象地域

図 I-2-2 に公共用水域常時監視データ及び保健所分析データを基に整備した地下水の硝酸態窒素濃度を、また図 I-2-3 に農地土壌メッシュデータから設定した評価対象地域を示した。対象地域の総メッシュ数は 24,461 メッシュとなった。

② 地下水水質と空間属性

図 I-2-4～5 に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、次いで段丘堆積物、氾濫源堆積物等で高い傾向を示した。

これらのことから、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態窒素が地下水に到達しや

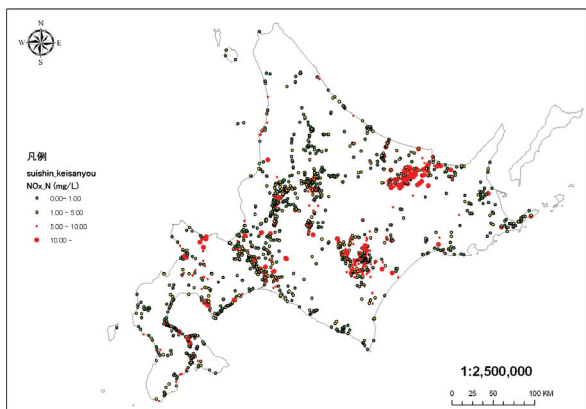


図 I-2-2 地下水の硝酸態窒素濃度

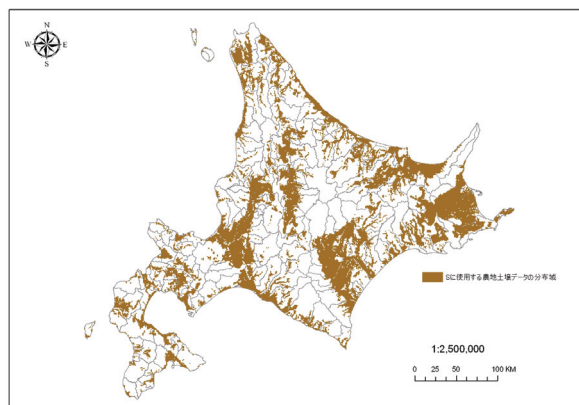


図 I-2-3 評価対象地域

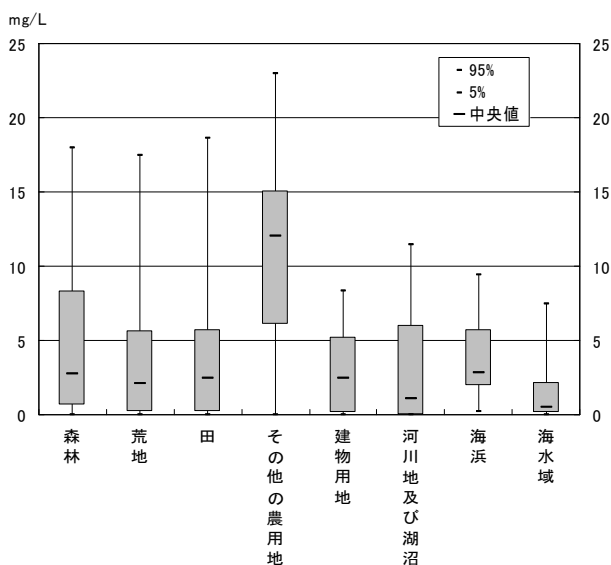


図 I-2-4 硝酸態窒素濃度と土地利用との関係

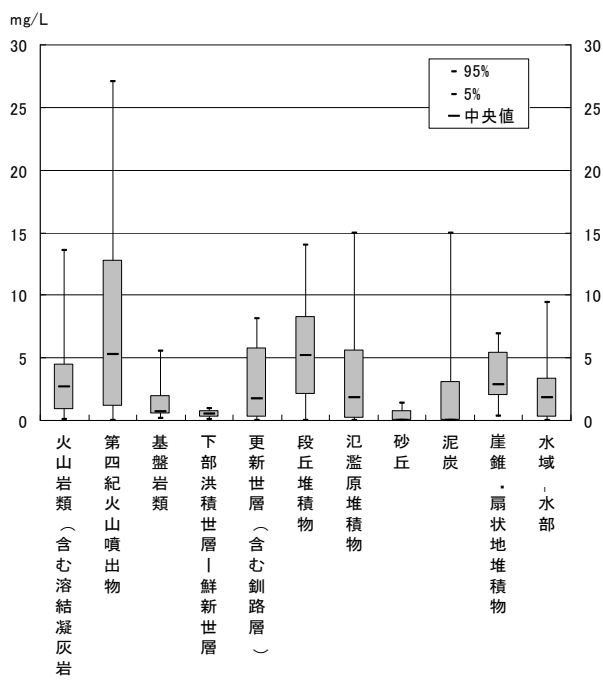


図 I-2-5 硝酸態窒素濃度と表層地質との関係

すい傾向が明らかとなった。

③ DRASTIC のパラメータ作成

DRASTIC の 7 項目のうち、地下水水面までの深さ(D)、地下水涵養量(R)、土壌の性質(S)、地形(T)、不飽和層の性質(I)の 5 項目について得点分布地図を作成した(図 I-2-6~10)。なお、地下水水面までの深さに関して、評価に用いた井戸深の平均値は 8m 程度であった。

④ 汚染ポテンシャルの評価

5 つの項目を合計し、地下水汚染ポテンシャルを高中低の 3 クラスに区分した地図(図 I-2-11)と、地下水の硝酸性窒素の濃度分布図(図 I-2-2)とを視覚的に見比べると、全体的には、ポテンシャルと実測濃度とはよく対応している傾向が見られた。

次に、3 クラスに区分したポテンシャルと硝酸性窒素の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 I-2-12)、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 手法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している。それぞれのクラスにおける硝酸性窒素の実測濃度の水質基準(10mg/L)超過率は、汚染ポテンシャルが「低い」クラスで 2.7%、「中間」クラスで 6.4%、「高い」クラスで 15.0%となり、ポテンシャルが高くなるに従って超過率も大きくなった。

これを農地の地目別(普通畑、水田、牧草地)で比較すると、水田及び牧草地では、汚染ポテンシャルクラスによる硝酸性窒素の実測濃度に差異が見られなかったのに対して、普通畑では有意な差が見られた(表 I-2-2)。

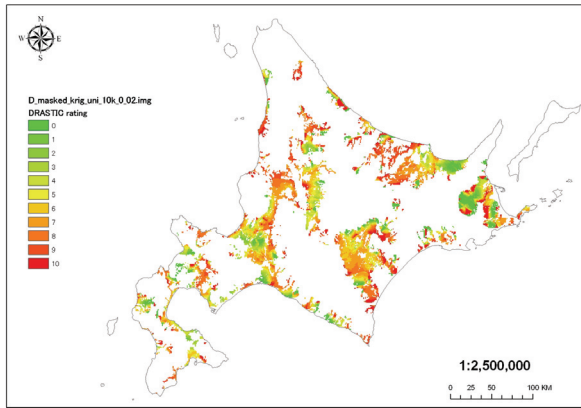


図 I-2-6 地下水面までの深さを示す得点地図

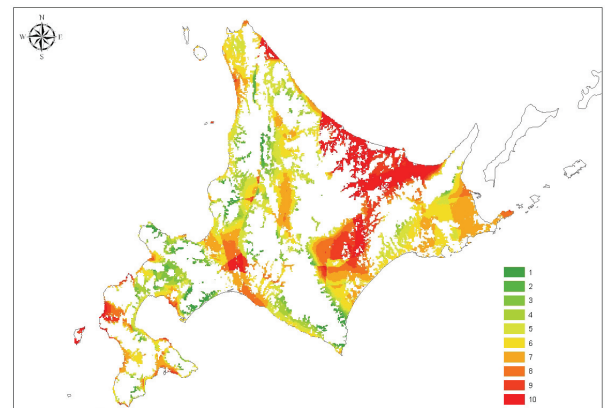


図 I-2-7 地下水涵養量を示す得点地図

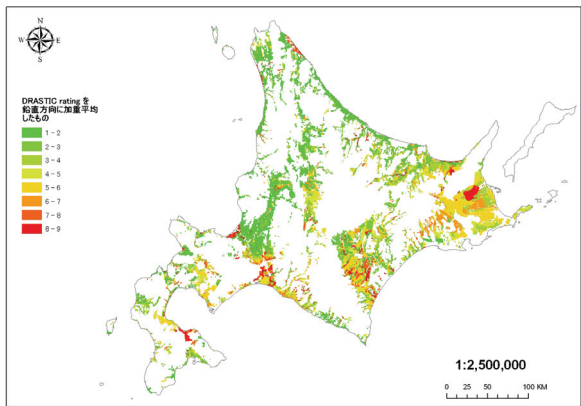


図 I-2-8 土壌の性質を示す得点地図

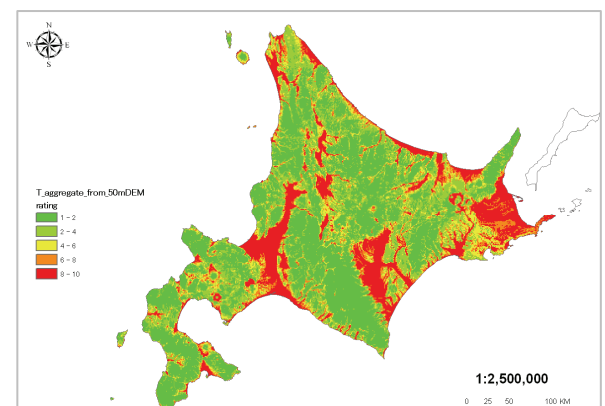


図 I-2-9 地形を示す得点地図

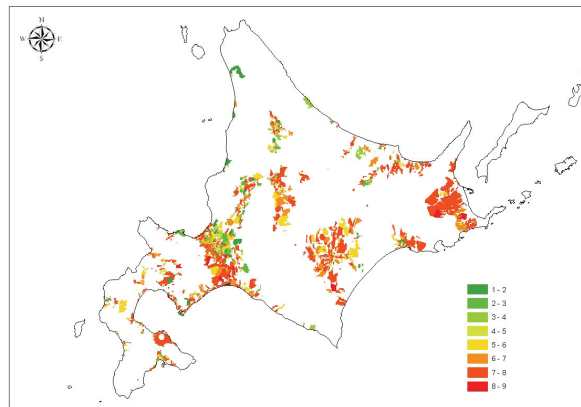


図 I-2-10 不飽和層の性質を示す得点地図

(4) 要約

地下水水質データとその立地特性に関しては、土地利用及び地質との関係性が示された。また、米国 EPA が構築した地下水汚染ポテンシャル評価手法 (DRASTIC) を応用して、地下水位、水涵養量、表層土壌、地形、不飽和層の性質に関する面的情報を作成、得点化し、広域的な汚染ポテンシャルの評価を行った。その結果、地下水汚染ポテンシャルクラスを有意に区分でき、特に畑地でポテンシャルに応じた地下水汚染が発現しやすいことが明らかとなった。また地域の水理地質条件によって最大汚染レベルを予測する可能性を示すことができた。

(5) 成果の公表

高田雅之・三島啓雄・北川理恵・棗庄輔. “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”. 第 17 回地理情報システム学会講演論文集. 397-400 (2008).
 高田雅之・三島啓雄・北川理恵・三上英俊. “GIS を用いた地下水汚染ポテンシャルの広域的評価”. 北海道環境科学研究センター所報. 35 (2009). in press.

このことは、畑地においては汚染ポテンシャルの高さに応じて地下水汚染が発現しやすいことを示すものといえる。

また図 I-2-13 に、各項目及び合計の得点と調査井戸における硝酸態窒素の濃度との関係を示した。これより、土壌の性質を除いて、得点に応じた最大濃度レベルが概ね示され、硝酸態窒素による地下水汚染ポテンシャルレベルが定量性をもって評価可能であることが示唆されたといえる。

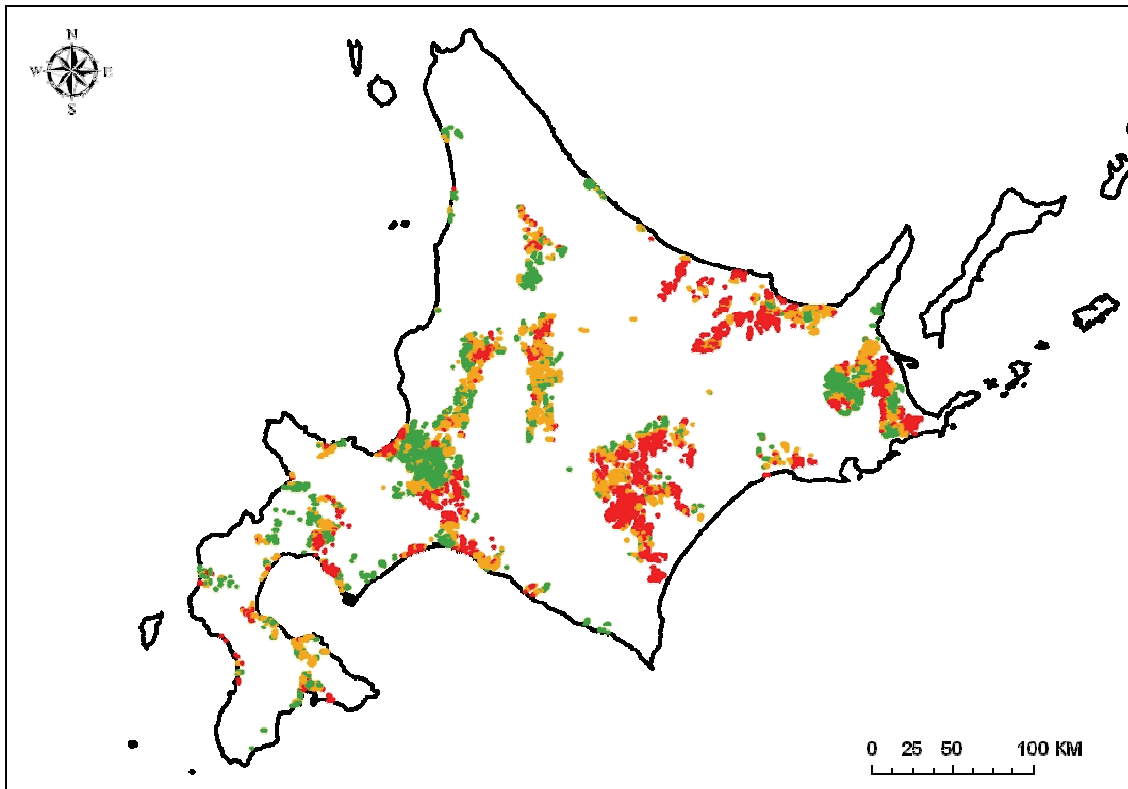


図 I-2-11 地下水汚染ポテンシャル (3 区分)

(6) 引用文献

- 1) EPA. “DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings”. EPA/6002-87/035 (1987).
- 2) 田瀬則雄. “アメリカにおける地下水汚染問題”. 珪研所報. 8, 15-25 (1990).
- 3) Makkink, G. F. “Testing the Penman formula by means of lysimeters”. Journal of the Institution of Water Engineers. 11, 277-288 (1957).

(高田雅之、三島啓雄)

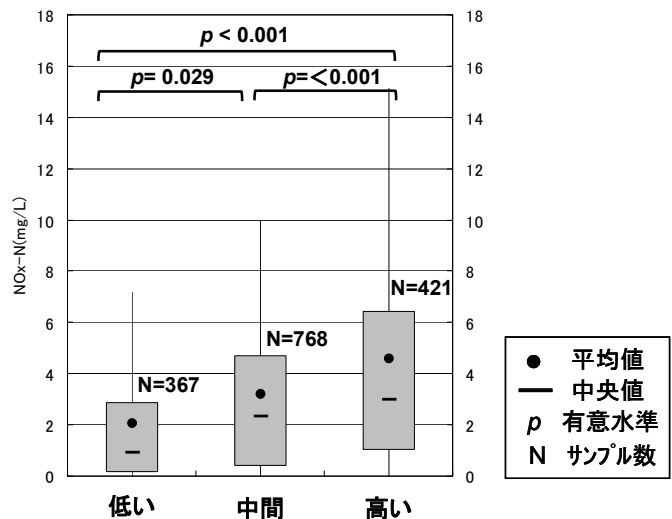


図 I-2-12 地下水汚染ポテンシャル別の硝酸性窒素濃度

表 I-2-2 農地の地目別・ポテンシャル別の硝酸性窒素濃度 単位: mg/L

地目	普通畑			水田			牧草地		
	低	中	高	低	中	高	低	中	高
ポテンシャルレベル									
地点数	158	387	307	165	304	87	41	68	20
中央値(mg L ⁻¹)	1.3	3.3	5.1	1.8	2.3	2.3	0.2	1.3	2.6
平均値(mg L ⁻²)	2.6	4.5	7.0	2.7	3.0	4.0	1.0	3.0	2.8

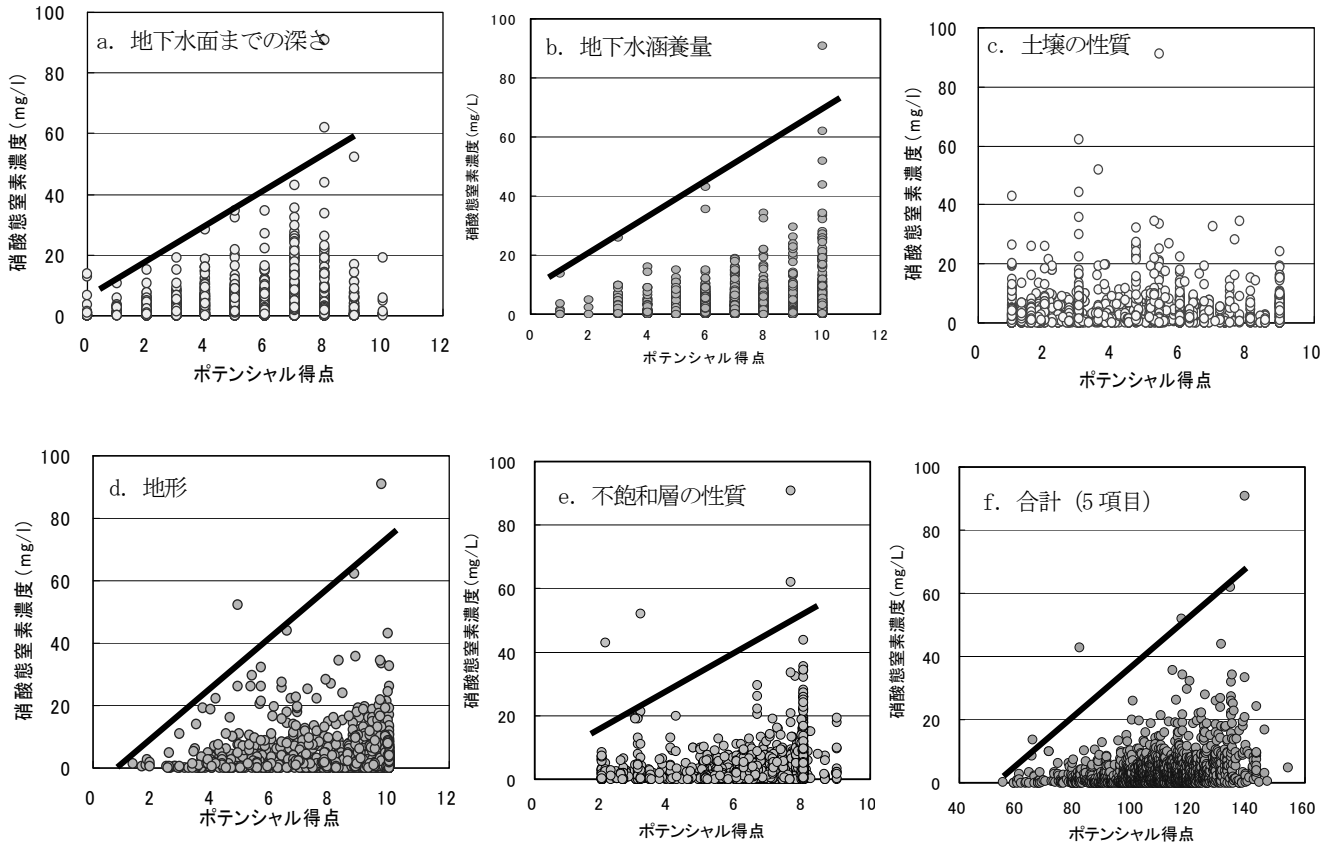


図 I-2-13 項目得点と硝酸性窒素濃度との関係

付表 I-2-1 D(地表から地下水
面までの深さ)の得点

深さ (m)	得点
0 ~ 3	10
3 ~ 6	9
6 ~ 9	8
9 ~ 12	7
12 ~ 15	6
15 ~ 18	5
18 ~ 21	4
21 ~ 24	3
24 ~ 27	2
27 ~ 30	1
30 ~	0

付表 I-2-2 R(地下水涵養量)
の得点

涵養量 (mm)	得点
0 ~ 100	10
100 ~ 200	9
200 ~ 300	8
300 ~ 400	7
400 ~ 500	6
500 ~ 600	5
600 ~ 700	4
700 ~ 800	3
800 ~	2
	1

付表 I-2-3 S(土壌の性質)の得点

土性の分類	得点
S	9
LS	9
SL	6
L	5
SIL	4
SCL	3
CL	3
SICL	3
SC	1
LIC	1
SIC	1
HC	1

付表 I-2-4 T(地形)の得点

傾斜 (%)	得点
0 ~ 2	10
2 ~ 6	9
6 ~ 12	5
12 ~ 18	3
18 ~	1

付表 I-2-5 I(不飽和層の性質)の得点

不飽和層	得点
加圧層	1
シルト/粘土層	3
変成岩/火成岩	4
頁岩	3
石灰岩	6
砂岩	6
層理のある石灰岩_砂岩_頁岩	6
砂/礫とシルト/粘土層の互層	6
砂礫 (シルト粘土少ない)	8
玄武岩	9
石灰岩 (カルスト)	10