

銚田地域における地下水中の硝酸態窒素濃度と土地利用及び畜産関連施設との関係

平野七恵¹・江口定夫¹・板橋直^{1,2}・吉川省子¹・大内孝雄^{3,4}・松森堅治⁵

¹農研機構農環研 ²農水技会事務局 ³茨城県霞ヶ浦環境科学センター ⁴茨城県環境対策課 ⁵農研機構西日本農研

キーワード: 硝酸態窒素、地下水、土地利用、QGIS、空中写真

抄録

農畜産業が盛んな銚田地域を対象に、地下水中の硝酸態窒素濃度に及ぼす土地利用及び畜産活動の影響を調査した。採水井戸から異なる半径の範囲を対象に、土地利用別面積率及び畜産関連施設を空中写真を用いた地理情報システム (GIS) 解析により求め、さらに堆肥置き場の周囲を堆肥散布の多い領域とみなして他と区別した。これらを独立変数、硝酸態窒素濃度を従属変数として赤池情報量基準 (AIC) に基づき最適重回帰モデルを選定した結果、井戸からの半径 500 m を GIS 解析範囲、堆肥置き場からの半径 150 m を堆肥多散布領域としたときに最小 AIC の最適モデルが導出され、地下水中の硝酸態窒素濃度の地域内分布を説明するための土地利用及び畜産活動に関わる変数とその空間的範囲が特定された。選定された独立変数の一つである水田面積率は負の偏回帰係数を有し、水田からの地下浸透水が硝酸態窒素による地下水汚染を軽減する効果を持つことが示唆された。

1. はじめに

霞ヶ浦の北浦に注ぐ銚田川は、硝酸態窒素濃度が高く、環境基準 (硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素) である 10 mg N/L を超えることがあるため、原因の解明が求められている。銚田地域は畑作が卓越し、露地畑ではニンジンや甘藷、施設畑ではメロンや葉菜類が多く栽培されている。また、台地上には地下水を灌漑する水田が多く分布する。さらに、畜産も盛んに行われており、1 km² あたり約 1800 頭の豚が飼養されている。これまで、銚田川流域の河川水中の窒素を対象とした研究報告は多いが、河川水の主要な供給源の一つである地下水を対象とした研究はほとんど行われていない。

本研究では、地下水中の硝酸態窒素濃度に着目し、農畜産業がその濃度の空間的分布に与える影響を把握するため、採水井戸周辺の土地利用および畜産関連施設との関係について調べた。

2. 方法

銚田地域を対象に、2014~2017 年に計 70 か所の井戸で地下水を採取し、硝酸態窒素濃度等を測定した。採水井戸から半径 100, 300, 500 及び 700 m 以内の範囲において、井戸ごとに土地利用別面積率を算出し、硝酸態窒素濃度との関係 (統計的に有意な

相関関係の有無) を調べると共に、どの半径で土地利用面積率を算出すると、硝酸態窒素濃度と有意な相関関係を示す土地利用が増えるかを調べた。土地利用別面積率の算出には、空中写真 (2003 年 10~12 月、撮影縮尺 2 万分の 1) から目視判断で水田、露地畑、施設畑、森林、樹園地、荒地、建物用地、パドック (畜舎に隣接した家畜用運動場) 等を分類して自作した土地利用図を使用した。また、空中写真から畜舎の屋根面積 (家畜飼養規模の指標) の計算、堆肥置き場 (堆肥散布量が多い領域の指標) の目視同定等を行った。GIS データ作成・解析には、フリーソフトである QGIS を用いた。

さらに、上記 4 つの半径の集計範囲を対象に、地下水中の硝酸態窒素濃度を従属変数、土地利用別面積率及び畜舎の屋根面積を独立変数として、様々な組合せで重回帰分析を行い、赤池情報量基準 (AIC) が最小となる独立変数の組合せを選定して最適重回帰モデルとした。これらの結果、後述するように、半径 500 m を集計範囲としたときに AIC が最小となる重回帰モデルが得られたことから、以降の GIS データ解析は、採水井戸から半径 500 m を対象とした。

次に、集計範囲内にある堆肥置き場の周囲を『範囲 M』として、それ以外の範囲よりも堆肥散布量の多い領域と仮定した。すなわち、『範囲 M』とそれ以

外の範囲を区別して土地利用面積率を算出することで、堆肥による窒素負荷が地下水中の硝酸態窒素濃度に与える影響を表現できると考えた。なお、パドックと建物用地については、堆肥を散布しないと考えると『範囲 M』には含めなかった。硝酸態窒素濃度を従属変数、『範囲 M』及びそれ以外の範囲の土地利用別面積率、『畜舎の屋根面積』を独立変数として、AIC が最小となる独立変数の組合せを選定し、『範囲 M』を考慮した最適重回帰モデルとした。なお、『範囲 M』としては、堆肥置き場から半径 100, 150, 200, 250 及び 300 m の 5 通りの領域を検討し、AIC を基準として重回帰モデルの選定を行った。これにより、『範囲 M』をどの半径で設定すると最も AIC の低い重回帰モデルが得られるかを特定した。

3. 結果と考察

今回の調査では、地下水中の硝酸態窒素濃度は全体 (70 地点) の 41% で環境基準を超過した。採水井戸からの 4 通りの範囲 (半径 100, 300, 500 及び 700 m) について、硝酸態窒素濃度と土地利用別面積率の相関係数を見ると、500 m のときに、水田と露地畑の 2 種類の土地利用で有意な相関となることが示された (図 1)。さらに、これら 4 通りの範囲内で様々な組合せで重回帰分析を行った。そのうち、それぞれの範囲内で AIC が最小となった重回帰モデルの AIC と井戸からの半径の関係を図 2 に示す。いずれのモデルも、井戸からの半径が 500 m 付近で AIC が最小となる傾向があった。その中でも最も AIC が小さかった重回帰モデルの独立変数は、水田面積率、パドック面積率及び『畜舎の屋根面積』であり、水田面積率の偏回帰係数のみ負の値を示した。また、切片の値は 9.7 mg N/L であり、地下水汚染が地域全体に広がっていることが示唆された。

これらのことから、井戸から半径 500 m を集計範囲としたときに、最も、土地利用面積率及び畜産関連施設と地下水中の硝酸態窒素濃度の関係がより密になることが示された。また、図 1 では、露地畑面積率が正の相関 (5% 有意) を示すのに対し、施設畑面積率との相関は見られなかったが、これは露地畑のほうが施設畑よりも降雨による硝酸態窒素の溶脱が生じやすいためと考えられる。

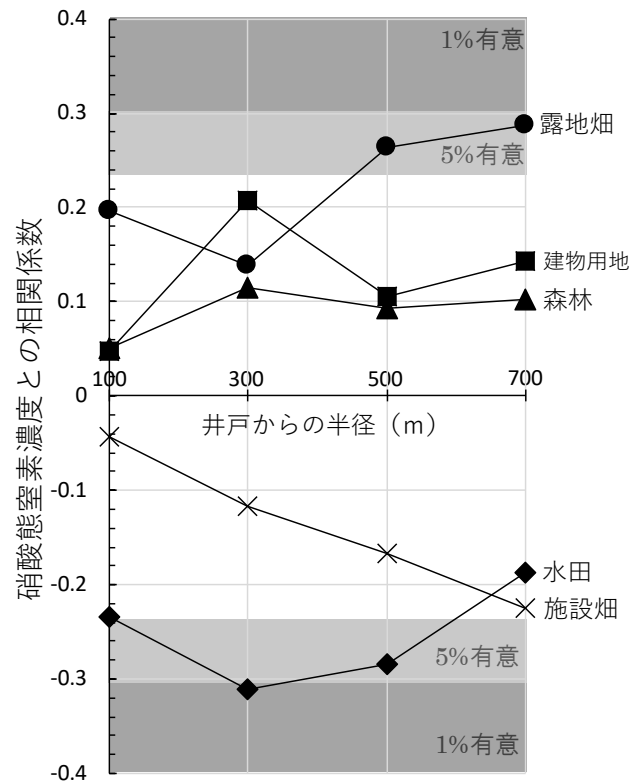


図 1 それぞれの範囲における硝酸態窒素濃度と土地利用別面積率の相関係数

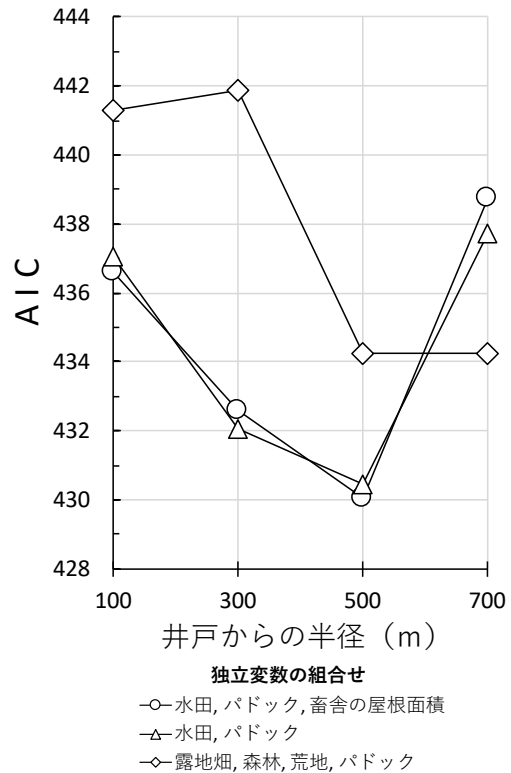
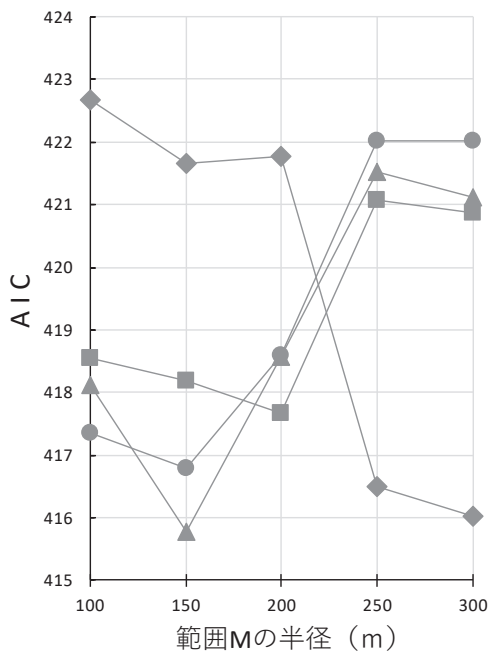


図 2 4 通りの範囲における重回帰モデルの AIC

次に、井戸から半径 500 m の範囲内を対象として、『範囲 M』の半径を 5 通り (100, 150, 200, 250 及び 300 m) 設定して、様々な独立変数の組み合わせで重回帰分析を行った。それぞれの領域内において、最小 AIC が得られた重回帰モデルの AIC と『範囲 M』の半径との関係を図 3 に示す。多くのモデルが半径 150 m のときに AIC が最小値を示す傾向にあったが、中には、半径 300 m のときに最小 AIC を示すモデルもあった。これらの中で最も AIC が小さい重回帰モデルは、半径 150 m のときに得られ、独立変数としては、『範囲 M』内の水田、樹園地及び荒地の各面積率と、それ以外の樹園地及びパドックの各面積率が選択され、『範囲 M』内の水田面積率とそれ以外の樹園地面積率の偏回帰係数が負の値を示した。また、切片の値は 9.1 mg N/L であった。また、全体的に、堆肥を多く散布する領域として『範囲 M』を考慮した場合 (図 3) は、『範囲 M』を考慮せずに重回帰分析を行った場合 (図 2) よりも、AIC が大きく低下することが示された。

水井戸周囲の土地利用及び畜産関連施設の間を、空中写真に基づく GIS データを用いて解析した結果、地下水中の硝酸態窒素濃度の地域内分布は、採水井戸から半径 500 m の範囲内の土地利用及び畜産関連施設の影響を受けていること、堆肥置き場から半径 150 m の領域内では、他の領域よりも多くの窒素負荷が生じていることが示唆された。AIC を基準として選定された多くの重回帰モデルの切片は、9 mg N/L 以上であり、土地利用にかかわらず硝酸態窒素による地下水汚染が地域全体に広がっていることが示唆された。一方、水田は硝酸態窒素濃度に対して負の効果を持っており、水田からの地下浸透水は、汚染軽減に役立っていると考えられる。以上より、土地利用別面積率だけでなく、畜産活動に関する複数の指標を用いた GIS データ解析により、地下水硝酸態窒素濃度に影響する空間的範囲とその主な要因が示され、具体的な地下水汚染発生及び軽減の特徴を把握することが可能となった。



独立変数の組合せ (■ : 『範囲 M』内 ____ : 『範囲 M』外)

- 水田, 露地畑, 樹園地, 荒地, 樹園地, パドック
- ▲ 水田, 樹園地, 荒地, 樹園地, パドック
- 水田, 露地畑, 樹園地, 樹園地, パドック
- ◆ 露地畑, 樹園地, 荒地, 露地畑, 施設畑, 樹園地, パドック

図 3 『範囲 M』の半径の違いによる重回帰モデルの AIC の変化

4. 結論

銚田地域における地下水中の硝酸態窒素濃度と採