

霞ヶ浦流入河川の溶存態窒素、リン、有機炭素濃度と 集水域の土地利用の関係

北村友一* 南山瑞彦**

1. はじめに

霞ヶ浦では、流域における下水道普及率の向上にもかかわらず、水質改善が進んでいないのが現状である。湖内の水質汚濁の要因は、河川から直接流入するものと、湖内で増殖する藻類によるものがある。湖内での藻類増殖を抑えるためには、陸域からの栄養塩負荷量を低減させることが重要である。陸域からの栄養塩の効果的な削減対策立案のためには、その主要な発生源を明らかにする必要がある。そこで、霞ヶ浦流域を調査対象とし、流入河川の溶存無機窒素、溶存無機リン、溶存有機炭素濃度と集水域の土地利用の関係を解析し、その発生源を推定した。

2. 解析方法

霞ヶ浦は茨城県東南部に位置し、主に西浦（172 km²）と北浦（36 km²）から構成される。図-1 に、調査対象河川とした 23 の霞ヶ浦流入河川とその集水域を示す。

集水域の土地利用情報は、GIS（Geographic Information System）を用いて整理した。行政界、河川流域界、土地利用のデータは国土数値情

報¹⁾を利用した。各河川の集水域の土地利用割合は、平成 18 年度版の 100m 細分メッシュデータを水田、畑、森林、市街地、荒地および道路・その他・水面（以下、道路等）に区分して河川流域ごとに集計し、算出した。各集水域内の下水処理人口と下水処理以外人口は、500m メッシュ人口データ²⁾と市町村別下水道普及率³⁾からメッシュ毎に算出し、河川流域ごとに集計して求めた。各集水域内の家畜頭数は、市町村別家畜頭数²⁾と各市町村の陸地面積（全面積－湖面面積）⁴⁾から家畜飼育密度を算出し、各河川流域の対応する市町村の面積に乗じて算出した。

霞ヶ浦流入河川の水質調査は、図-1 の地点で、平成 21 年 5 月から平成 22 年 3 月にかけて、7 月を除く各月に 1 回晴天時に行った。水質測定項目は、アンモニア態窒素（NH₄-N）、硝酸態窒素（NO₃-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）、リン酸態リン（PO₄-P）、溶存有機炭素（DOC）である。GIS で得られた各土地利用情報と水質分析値から、単相関、順位相関、主成分分析を行った。

3. 解析結果

3.1 霞ヶ浦流入河川集水域の特徴

図-2 に、各河川の土地利用割合、人口密度、家畜飼育密度を示す。集水域の土地利用割合のうち、水田の割合が最大の河川は、新利根川（65%）である。畑の割合が最大の河川は銚田川（56%）である。森林の割合は、恋瀬川、城下川、大洋川、石川で高い。市街地の割合は、山王川、花室川、新川で高く、これらの河川では森林の割合は約 10%と低くなっている。道路等の割合と人口密度は、市街地の割合が高い河川で高い。下水処理以外人口は、山王川で高い。豚の飼育密度は巴川、銚田川、二重作川、大洋川で高い。乳牛の飼育密度は園部川、梶無川、巴川で、肉牛の飼育密度は一の瀬川、天の川、新川で高い。

3.2 水質調査結果

図-3 に、主な河川の NO₃-N、PO₄-P、DOC 濃



図-1 霞ヶ浦の調査対象河川、集水域、水質調査地点

Relationship between dissolved inorganic nitrogen, phosphorus, organic carbon of kasumigaura river and land use of the watershed.

度の経月変化を示す。NO₃-N 濃度は 9 月以降に高くなる傾向が観られ、PO₄-P 濃度の変化は河川によって異なった。DOC は 5、6、8 月に高く、9 月以降は低下する傾向が観られた。新利根川では年間を通じて概ね一定であった。NO₃-N 濃度と DOC 濃度の変化は、茨城県の霞ヶ浦流入河川の T-N 濃度および COD 濃度⁵⁾の季節変化と同様の傾向を示しており、今回の水質調査結果は、季節による水質の違いを捉えられていると考えられる。

3.3 土地利用割合と水質の関係

各河川の水質の年平均値として、10 回の水質調査結果の平均値を求め、これと集水域の土地利用の関係を解析した。図-4 に、水田、畑、森林、市街地の割合および豚、乳牛の飼育密度と各水質の関係を示す。表-1 に、土地利用割合および家畜、人口密度と各水質項目の相関係数の一覧を示す。

NO₃-N 濃度と土地利用

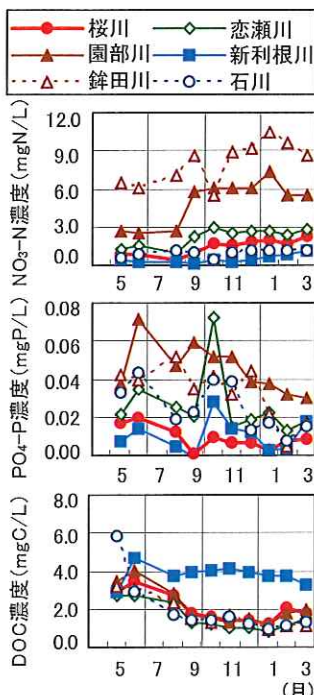


図-3 主な河川のNO₃-N、PO₄-P、DOC濃度の変化

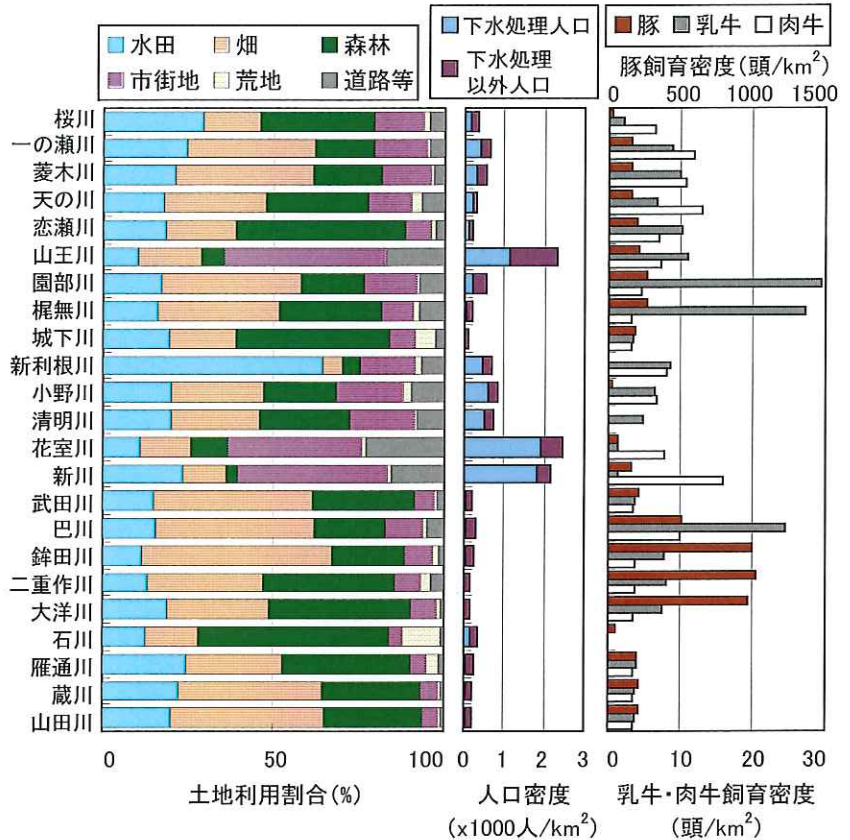


図-2 各河川集水域の土地利用割合、人口密度、家畜飼育密度

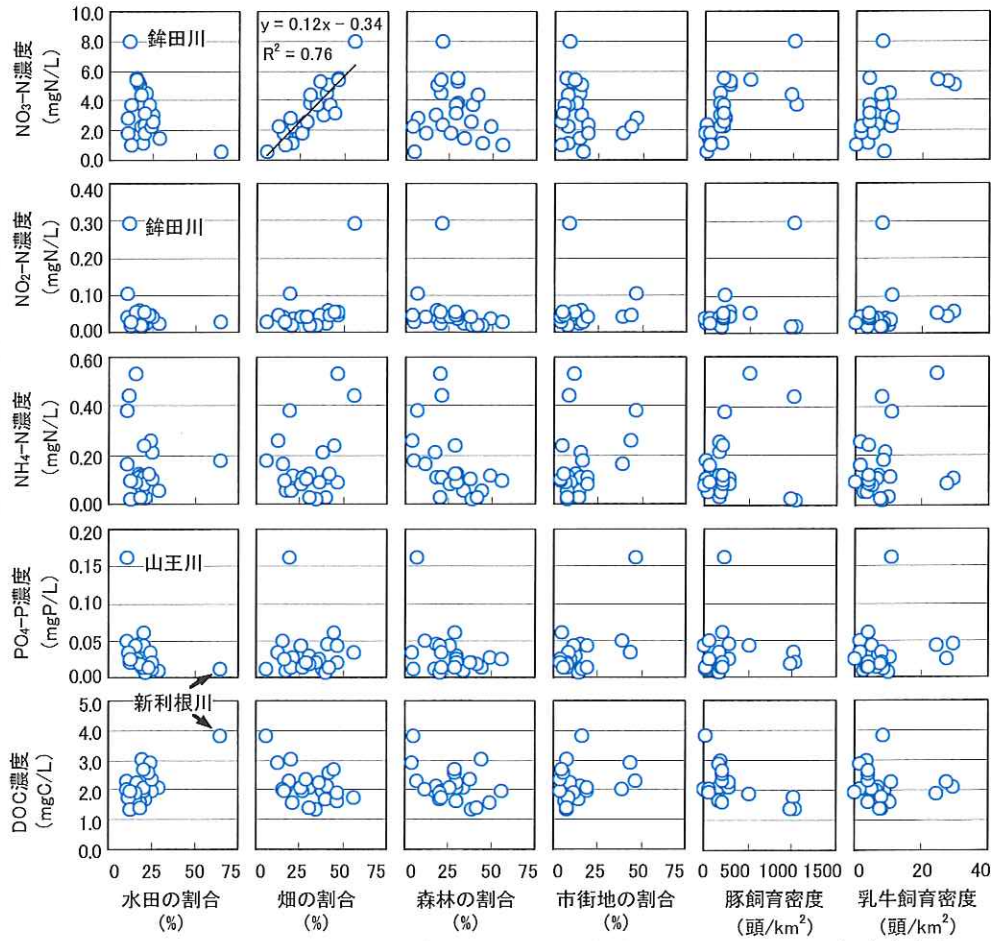


図-4 各河川集水域の水田、畑、森林、市街地の割合および豚、乳牛の飼育密度と水質の関係 (個々のプロットは各調査河川)

表-1 各河川集水域の土地利用と水質の相関係数の一覧

	土地利用割合(%)						流域の家畜密度(頭/km ²)			人口密度(人/km ²)	
	田	畑	森林	市街地	荒地	道路等	豚	肉牛	乳牛	全人口	下水処理以外人口
NO ₃ -N	-0.43 *	0.87 (**)	-0.09	-0.25	-0.41	-0.24	0.64 (**)	-0.02	0.50 (*)	-0.30	-0.11
NO ₂ -N	-0.26	0.45 *	-0.25 (**)	0.07	-0.18 (**)	0.00	0.44 *	-0.08	0.09	0.06	0.21
NH ₄ -N	-0.12	0.27	-0.49 (*)	0.32	-0.27	0.24	0.19	0.31 (*)	0.24	0.29	0.39
PO ₄ -P	-0.35 (**)	-0.08	-0.37	0.60 **	-0.23	0.53 **	-0.02	0.02	0.15	0.59 **	0.88 **
DOC	0.69 (**)	-0.44 *	-0.39	0.21	0.06	0.18	-0.48 *	0.15	-0.11	0.21	0.08

相関係数 *:p<0.05 **:p<0.01, 順位相関係数 (*):p<0.05 (**):p<0.01

の関係についてみると、畑の割合に対して直線的な増加を示し、相関係数は 0.87 と高くなった。水田とは負の相関を示し、水田の割合が高い新利根川で最低となった。森林や市街地の割合とは弱い負の相関を示した。豚の飼育密度とは正の相関を示し、300 頭/km² までは密度とともに増加する傾向であった。1000 頭/km² 付近では河川による違いが大きくなったが、相関係数と順位相関係数の両方で $p<0.01$ で有意と判定された。乳牛の飼育密度とも正の相関を示した。

NO₂-N 濃度と土地利用の関係は、明確ではないが、畑の割合および豚の飼育密度と正の相関を示した。鉾田川は NO₂-N 濃度が高く、他の河川から外れた位置にプロットされている。

NH₄-N 濃度は森林の割合と負の相関を示した。また、有意と判定されなかったが、市街地の割合と正の相関であった。

PO₄-P 濃度は水田と負の相関を示し、市街地や道路等の割合、人口密度、下水処理以外人口密度と正の相関を示した。山王川は PO₄-P 濃度が高いため、また新利根川は水田の割合が高いため、他の河川から外れた位置にプロットされている。

DOC 濃度は水田と正の相関を示し、畑の割合および豚の飼育密度と負の相関を示した。森林とは負の相関であったが有意と判定されなかった。

春季：5、6 月、夏季：8、9 月、秋季：10、11、12 月、冬季：1、2、3 月と区分して水質の平均値を求め、土地利用と季節毎の水質の関係を解析した。図-5 に、土地利用割合および家畜飼育密度と季節毎の水質の相関係数を示す。NO₃-N 濃度は、季節によらず畑の割合および豚、乳牛の飼育密度と正の相関を示した。水田の割合とは負の相関を示した。NO₂-N と NH₄-N 濃度についてみると、特に NO₂-N は、冬季は他の季節と異なり、市街地と正の、森林と負の相関を示した。PO₄-P 濃度は季節による相関係数の変化が小さく、市街地の割合と正の、森林や水田の割合と負の相関を示した。DOC 濃度は、春季は他の季節と異なり、どの項目とも相関係数が低かった。夏季～冬季は水田の割合と正の、畑や森林の割合と負の相関を示した。

3.4 多変量解析による土地利用と水質の関係

土地利用と水質の関係について全体像を把握するため多変量解析を行った。始めに、各河川の土地利用割合、人口密度、下水処理以外人口密度、家畜飼育密度（合計 11 項目）の相関係数行列を用いて主成分分析を行った。その結果、各河川の土地利用特性は 3 つの主成分で表現された。累積寄与率は、第 2 主成分までで 63.2%、第 3 主成分までで 77.0%であった。図-6 に、第 1、第 2 主成分についての各土地利用項目の主成分負荷量プロットを示す。第 1 主成分は、市街地、道路等の割合および人口密度が＋方向に、森林、畑の割合が一方向に分布したことから、集水域の都市化に関連する成分であると考えられる。第 2 主成分は、畑の割合および豚、乳牛の飼育密度が＋方向に、水田が一方向に分布したことから、畑の割合と家畜飼育密度に関連する成分であると考えられる。

次に、第 1、第 2 主成分について、各水質項目との主成分負荷量を季節別に算出し、図-6 に重ねてプロットした。NO₃-N 濃度は、いずれの季

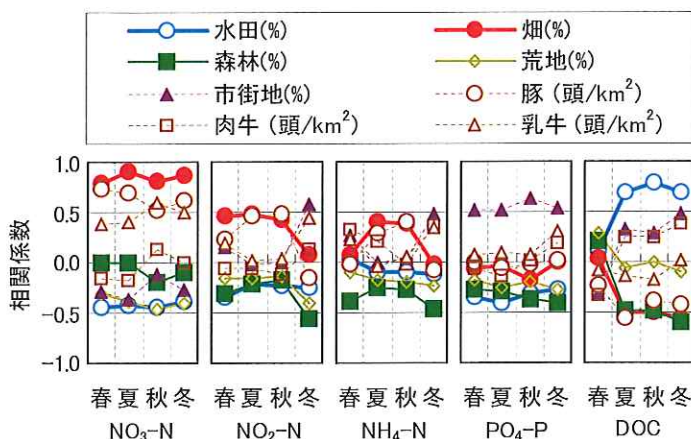
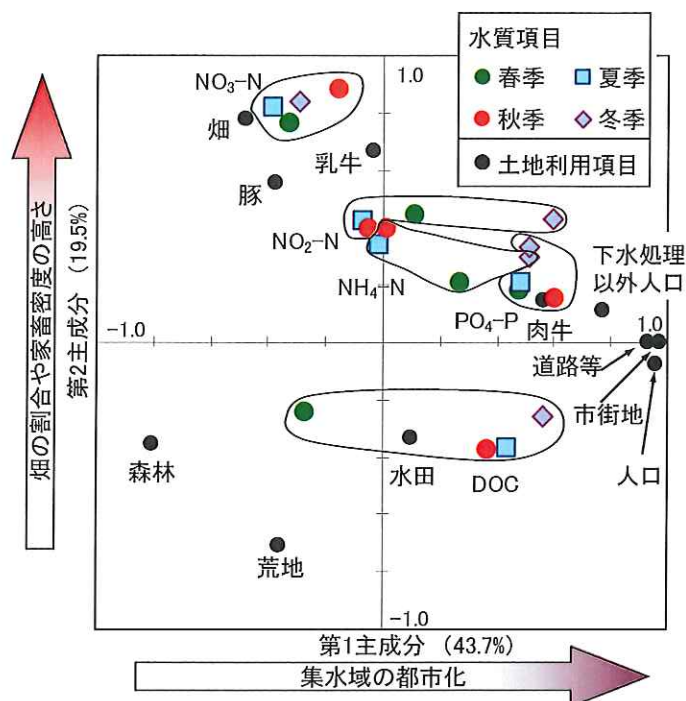


図-5 各河川集水域の土地利用と水質の季節毎の相関係数



図・6 主成分負荷量プロットに基づく、土地利用と季節別の水質の関係

節も畑の割合、豚、乳牛の飼育密度と近い位置に分布し、季節による分布位置の変化が小さかった。畑からは肥料や堆肥に由来する窒素が流出するため⁶⁾、畑の割合と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の位置が近くなったと考えられる。豚の密度との関係については、糞尿によるもの⁷⁾と考えられる。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の分布位置は、春季と冬季は他の季節と異なり、第1主成分が正（市街地、人口密度）の方向へ移動した。第2主成分は、いずれの季節も正となっており、畑の割合や家畜の飼育密度の影響も受けていると考えられる。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は第1主成分が正となり、肉牛の飼育密度や下水処理以外人口密度の近くに分布し、季節による分布位置の変化は小さかった。DOC 濃度は、夏、秋、冬は市街地、人口密度と水田の間に分布したが、春季は第1主成分が負となり、森林と水田の間にプロットされた。春季は水田の湛水期であり、湛水期と非湛水期で DOC の流出特性が異なると考えられる。

4. おわりに

陸域からの栄養塩の主要な発生源を明らかにするため、霞ヶ浦流域を対象に、GIS を用いて河川ごとの土地利用状況を整理し、各河川の土地利用割合、家畜飼育密度、人口密度と溶存無機窒素、溶存無機リン、溶存有機炭素濃度の関係を解析し

た。本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 河川水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は集水域の畑の割合および豚の飼育密度と高い正の相関を示し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の主要な発生源は、畑や豚飼育によると推測される。
- (2) 主成分分析から土地利用と水質の関係の全体像を解析した結果、集水域の畑の割合や家畜飼育密度は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と高い相関があることが示された。
- (3) $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、集水域の市街地の割合や下水処理以外人口密度と正の相関を示した。
- (4) 河川水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度と集水域の土地利用の関係は季節による違いは観られなかった。
- (5) DOC 濃度は水田の割合と正の相関を示した。

窒素、リン、有機炭素の発生源が推定されたことにより、本成果は、負荷削減のための詳細調査計画や対策立案の基礎資料として役立つものと考えられる。

参考文献

- 1) 国土数値情報（平成 22 年度版行政界データ、平成 21 年度版河川流域界データ、平成 18 年度版土地利用細分メッシュデータ）、国土交通省
- 2) 地図で見る統計（H17 年国勢調査－世界測地系（500m メッシュ）、2005 年農林業センサス－農業（総数））、総務省統計局
- 3) 平成 17 年度版下水道統計、日本下水道協会
- 4) 平成 22 年全国都道府県市区町村別面積調、国土交通省国土地理院
- 5) 公共用水域水質等測定結果、茨城県
<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/seikan/kanta-i/water/kokyoyosuiiki.html>
- 6) 黒田清一郎、田淵俊雄：湧水中の硝酸態窒素濃度と負荷量の変動－野菜畑地からの硝酸態窒素流出特性に関する研究（Ⅰ）－、農業土木学会論文集、181、pp.31～38、1996。
- 7) 志村もと子、田淵俊雄：素掘貯留池を伴う養豚場が河川の窒素濃度に及ぼす影響－畜産主体の集水域における窒素流出に関する研究（Ⅰ）－、農業土木学会論文集、182、pp.1～7、1996。

北村友一*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ水質チーム
主任研究員、博士（工学）
Dr.Tomokazu KITAMURA

南山瑞彦**



岡山市下水道局局長（前
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ水質チーム
上席研究員）
Mizuhiko MINAMIYAMA