



霞ヶ浦の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<sup>1)</sup>を利用した。人口と家畜頭数のデータは、「地図で見る統計」<sup>2)</sup>のうち、平成17年国勢調査および農林業センサスを利用した。

各河川の集水域の土地利用は、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、土地利用割合を求めた。各集水域内の人口は、500mメッシュ人口データをもとに、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、市町村別の家畜頭数から求めた。すなわち、国土地理院が発表している平成22年の市町村別面積および各市町村に属する湖面積<sup>3)</sup>を用いて各市町村の陸地面積を求め、市町村内の家畜の分布は均等であるとみなして家畜飼育密度を算出した。流域ごとの家畜頭数は、各河川流域の対応する市町村の面積に家畜飼育密度を乗じて算出した。

### 2.1.3 霞ヶ浦流入河川の水質データ

霞ヶ浦流入河川の水質データは、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回晴天時に調査を行ったものである。

水質測定項目は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  (TRAACS2000: BRAN+LUEBBE)、DOC (TOC-V: 島津製作所) である。なお、流量観測は行っていない。

### 2.1.4 解析方法

データの解析はExcel統計2004を用いて行った。最初に、各土地利用等の項目と水質の関係を散布図と相関係数から個別に解析した。相関の有無の検定にあたっては、外れ値の影響を受けにくい順位相関係数を併用した。次に、土地利用と水質の関係の全体像を把握するため主成分分析および重回帰分析を行った。主成分分析は、土地利用割合、人口密度、家畜飼育密度(全10項目)の相関係数行列を対象とし、集水域の土地利用を主成分得点で表した。そして、主成分得点と水質の相関関係を図示した主成分負荷量プロットから、土地利用と水質の関係を評価した。重回帰分析は、多重共線性の問題を回避するため、主成分回帰法<sup>4)</sup>により行った。すなわち、土地利用データから計算された主成分得点を説明変数、水質を目的変数として重回帰分析を行い、土地利用と水質についての関係式を得た。

## 2.2 印旛沼流域の土地利用と水質の関係

### 2.2.1 印旛沼流域の概要

印旛沼は千葉県北西部に位置し、総面積は11.55km<sup>2</sup>、平均水深は1.7m、流域全体の面積は541.1km<sup>2</sup>である。図-2に、印旛沼流域における調査対象河川を示す。印旛沼流域では、鹿島川と高崎川流域内の土地利用特性の異なる5つの支流を調査対象とした。

### 2.2.2 集水域の土地利用情報の整理

印旛沼の集水域の土地利用割合、家畜頭数は、霞ヶ浦流域と同様にGISを用いて整理した。各集水域内の人口は、500mメッシュ人口データと市町村別下水道普及率<sup>5)</sup>を用いて、メッシュ毎の下水処理人口と未処理人口を求め、河川流域ごとに集計して求めた。

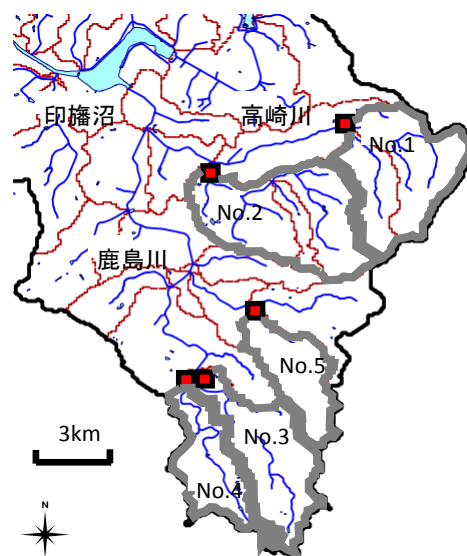
### 2.2.3 水質測定項目

印旛沼流入河川では、図-2のNo.1~5の地点で、平成24年1月から2月にかけて6回晴天時に流量観測と水質調査を行った。

水質調査項目は、水温、pH、EC、SS、VSS、DOC (TOC-5000: 島津製作所)、T-N、T-P (TRAACS2000: BRAN+LUEBBE)、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  (イオンクロマトグラフDX-120およびICS-1100: 日本ダイオネクス) である。金属類は6回の調査のうち4回、総濃度と溶存態の濃度を測定した。測定項目はFe、Mn、Cu、Mo、B、Zn、Al、Ni、Co、Se (ICP-MS X7CCT: サーモフィッシャーサイエンティフィック) である。

### 2.2.4 解析方法

土地利用と水質の関係は、地点間比較、相関係数、主成分分析によって解析した。各河川の水質は全調

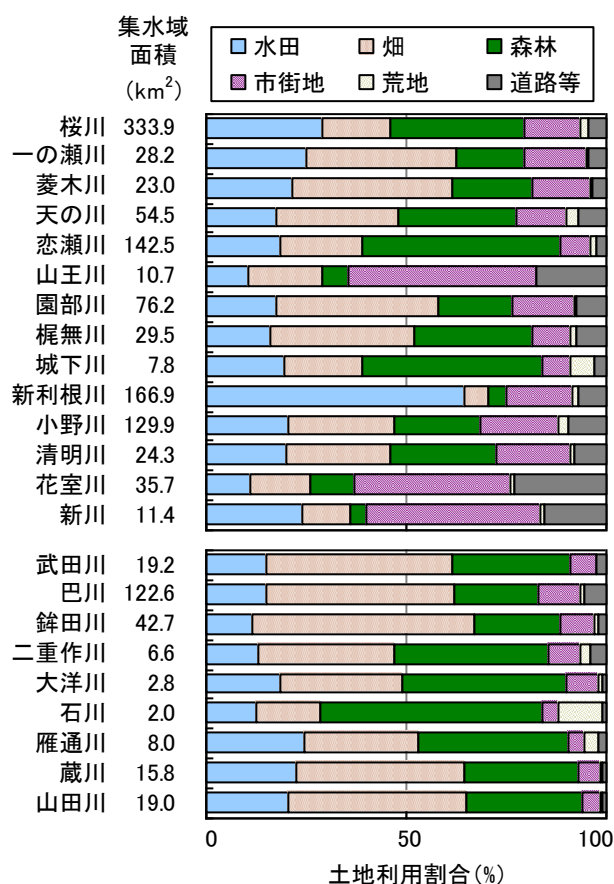


- 2 - 図-2 印旛沼の調査対象河川の集水域と調査地点

査の平均値を解析に用いた。また、T-N と T-P については集水域からの負荷量を原単位法で求め、実測負荷量と比較した。原単位法では、集水域の面源負荷量と、人、家畜による負荷量を各集水域に適用した。面源負荷量は、水田、畑、山林、市街地の面源負荷量原単位<sup>67)</sup>と各集水域の土地利用形態別面積から求めた。森林と荒地の原単位は山林の値を、道路とその他の原単位は市街地の値を使用した。人の生活による負荷量は、下水処理人口分は流域外へ排出され、下水未処理人口分は合併浄化槽を利用すると仮定し、各集水域の下水未処理人口に、1人1日あたりの合併浄化槽の排出負荷量<sup>67)</sup>を乗じて推定した。家畜による負荷量は、各集水域の家畜頭数に、豚と牛の1頭あたりの排出負荷量<sup>67)</sup>を乗じて推定した。実測負荷量は、各調査のT-N、T-P濃度に流量を掛けて平均し求めた。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 霞ヶ浦流入河川の溶存態窒素・リン・有機物濃度と集水域の土地利用の関係



#### 3.1.1 各調査河川流域の特徴

図-3に、各河川の集水域面積と土地利用割合、人口密度、家畜飼育密度を示す。集水域面積 100km<sup>2</sup>以上の河川は西浦流入河川では桜川、恋瀬川、新利根川、小野川、北浦流入河川では巴川である。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、西浦流入河川では園部川 (41%)、北浦流入河川では銚田川 (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。北浦流入河川では市街地の割合はいずれも低い。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。豚の飼育密度は北浦の巴川、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。

#### 3.1.2 水質調査結果

図-4に、主な河川のNO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、DOC濃度の変化を示す。NO<sub>3</sub>-N濃度は9月以降に高くなる傾向が観られた。PO<sub>4</sub>-P濃度の変化は河川によって異なる

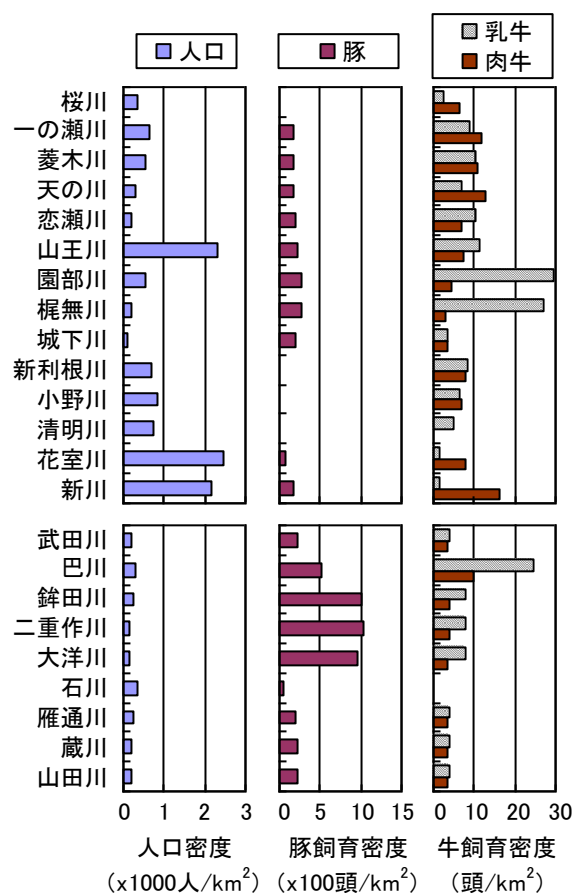


図-3 霞ヶ浦流域の各流入河川の集水域面積、土地利用割合、人口密度と家畜飼育密度

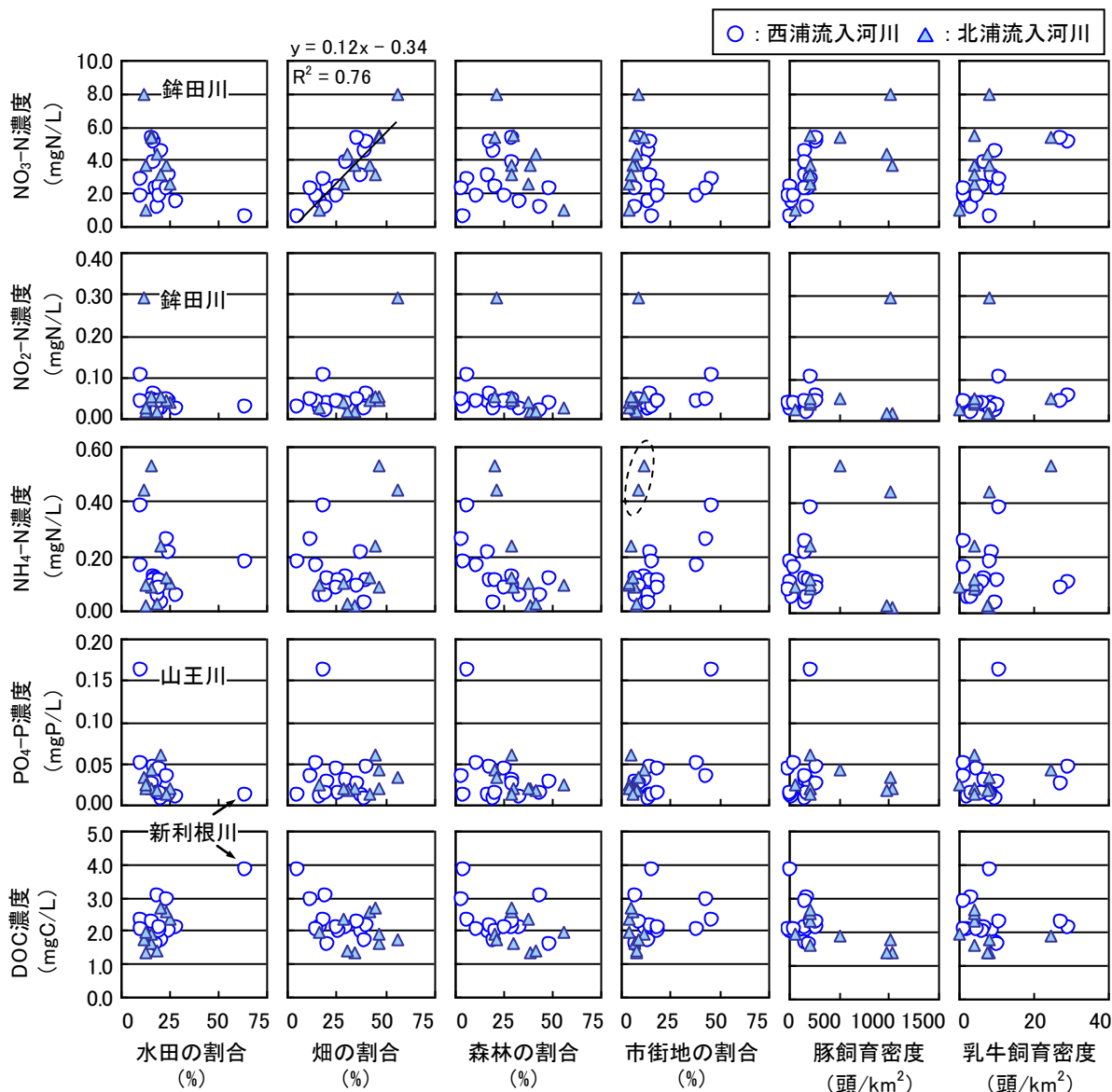


図-5 水田、畑、森林、市街地の割合および豚、乳牛の飼育密度と水質の年平均値の関係（霞ヶ浦）

表-1 土地利用割合および家畜、人口密度と水質の相関係数の一覧（霞ヶ浦）

		土地利用割合(%)						流域の家畜密度(頭/km <sup>2</sup> )			人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
		水田	畑	森林	市街地	荒地	道路等	豚	肉牛	乳牛	
NO <sub>3</sub> -N	全域	-0.43 *	0.87 (**)	-0.09	-0.25	-0.41	-0.24	0.64 (**)	-0.02	0.50 (*)	-0.30
	西浦	-0.47	0.85 (**)	0.01	-0.17	-0.36	-0.11	0.70 (**)	0.07	0.77 (**)	-0.19
	北浦	-0.36	0.86 (**)	-0.78 *	0.70 (**)	-0.65	0.31	0.58	0.48	0.46	-0.28
NO <sub>2</sub> -N	全域	-0.26	0.45 *	-0.25 (**)	0.07	-0.18 (**)	0.00	0.44 *	-0.08	0.09	0.06
	西浦	-0.39	0.02	-0.45	0.66 (*)	-0.51 (*)	0.57 (**)	0.36	-0.01	0.31	0.59 (*)
	北浦	-0.40	0.63 (**)	-0.53 (**)	0.31	-0.19	-0.05	0.39	0.06	0.10	0.10
NH <sub>4</sub> -N	全域	-0.12	0.27	-0.49 (**)	0.32	-0.27	0.24	0.19	0.31 (*)	0.24	0.29
	西浦	-0.03	-0.35	-0.65 (**)	0.79 (**)	-0.42	0.62 *	0.15	0.40 (*)	-0.09	0.73 (**)
	北浦	-0.27	0.65	-0.72 (**)	0.61	-0.26	0.46	0.12	0.68 *	0.70 *	0.35
PO <sub>4</sub> -P	全域	-0.35 (**)	-0.08	-0.37	0.60 (**)	-0.23	0.53 (**)	-0.02	0.02	0.15	0.59 (**)
	西浦	-0.41 (**)	-0.15	-0.37	0.69 (**)	-0.38	0.61 (**)	0.27	-0.08	0.11	0.64 *
	北浦	-0.07	0.40	-0.41	0.14	-0.18	0.17	-0.11	0.36	0.33	0.17
DOC	全域	0.69 (**)	-0.44 *	-0.39	0.21	0.06	0.18	-0.48 *	0.15	-0.11	0.21
	西浦	0.70 (**)	-0.61 *	-0.37	0.13	0.34	0.07	-0.15	0.04	-0.14	0.10
	北浦	0.66	0.07	-0.18	-0.55	-0.04	-0.35	-0.69 *	-0.05	-0.24	0.15

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

ったが、1~3月よりも5、6月に高くなる傾向が観られた。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。

### 3.1.3 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-5に、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年平均値の関係を示す。表-1に、土地利用割合および家畜飼育密度、人口密度と水質項目の相関係数の一覧を示す。河川全域 (n=23) に加えて、西浦流入河川のみ (n=14)、北浦流入河川のみ (n=9) で相関係数を求め、相関の有無を検定した。NO<sub>3</sub>-N濃度と土地利用の関係に

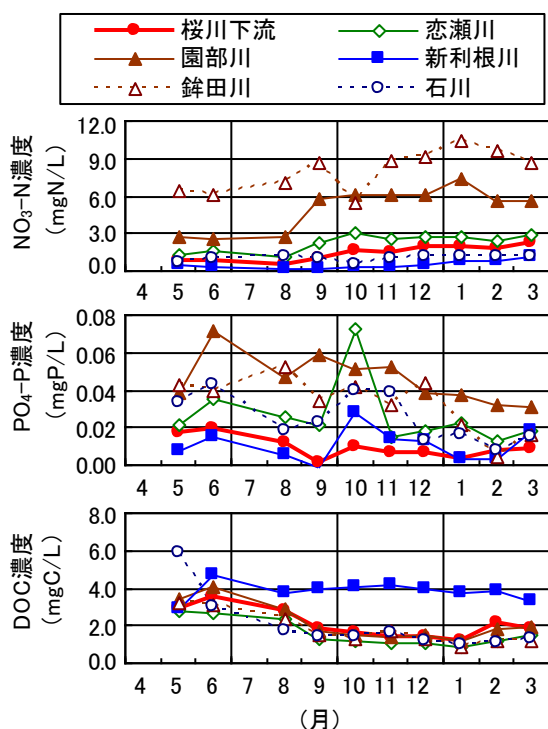


図-4 主な霞ヶ浦流入河川のNO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、DOC濃度の経月変化

ついてみると、NO<sub>3</sub>-N濃度は畑の割合に対して直線的な増加を示し、回帰直線の決定係数 (R<sup>2</sup>) は0.76であった。畑の割合との相関係数は、全域、西浦流入河川のみ、北浦流入河川のみのいずれも0.85以上と高かった。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。森林の割合とは全体としては弱い負の相関を示した。市街地の割合との関係は、西浦流入河川では明確でないが、北浦流入河川では正の相関を示した。豚の飼育密度とは正の相関を示し、300頭/km<sup>2</sup>までは密度とともに増加する傾向であった。1000頭/km<sup>2</sup>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。乳牛の飼育密度とは正の相関を示した。

NO<sub>2</sub>-N濃度と土地利用の関係は、明確ではないが、全域でみると畑の割合および豚の飼育密度と正の相関を示した。銚田川はNO<sub>2</sub>-N濃度が高く、他の河川から外れた位置にプロットされた。西浦流入河川のみでは市街地や道路等の割合、人口密度と正の相関を示した。

NH<sub>4</sub>-N濃度は全域でみると、森林の割合と負の相関を示した。また、有意とは判定されなかったが、市街地の割合とは正の相関であった。北浦流入河川では、市街地の割合が低いにもかかわらず、NH<sub>4</sub>-N濃度が高い河川があった。

PO<sub>4</sub>-P濃度は、水田と負の相関を示した。山王川はPO<sub>4</sub>-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た。市街地や道路等の割合、人口密度と正の相関を示したが、順位相関係数はp≥0.05で、有意とは判定されなかった。

DOC濃度は全体でも、新利根川を除いても水田と正の相関を示した。畑の割合および豚の飼育密度とは負の相関を示した。森林とは負の相関であったが、

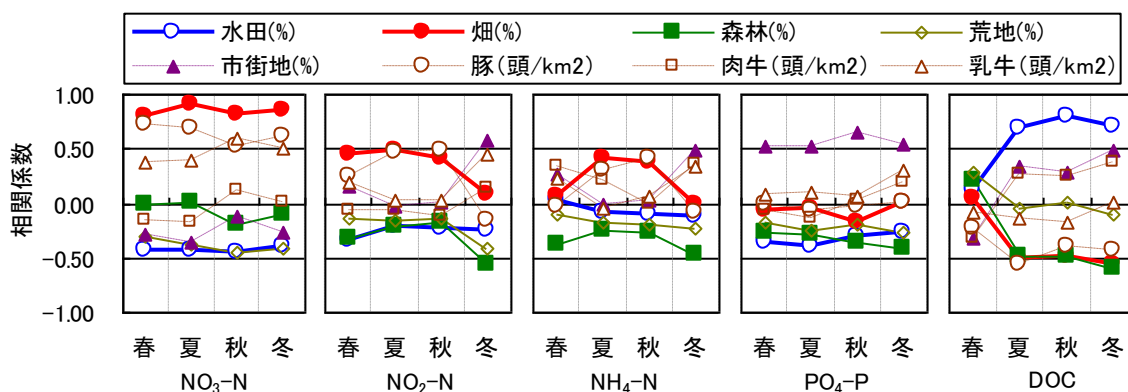


図-6 土地利用と水質の季節平均値の相関係数の比較 (霞ヶ浦)

$p \geq 0.05$  で、有意とは判定されなかった。

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-6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。NO<sub>3</sub>-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。NO<sub>2</sub>-N濃度とNH<sub>4</sub>-N濃度についてみると、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。PO<sub>4</sub>-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。

た。

### 3.1.4 多変量解析による水質の形成要因の把握

土地利用割合、人口密度、家畜飼育密度を用いた主成分分析の結果、第3主成分までの累積寄与率は77.8%となった。集水域の土地利用特性は第1～第3主成分で概ね表現できていると考えられる。図-7aに、第1～第3主成分についての各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-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-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。第3主成分は水田の割合が+方向に分布しており、これを

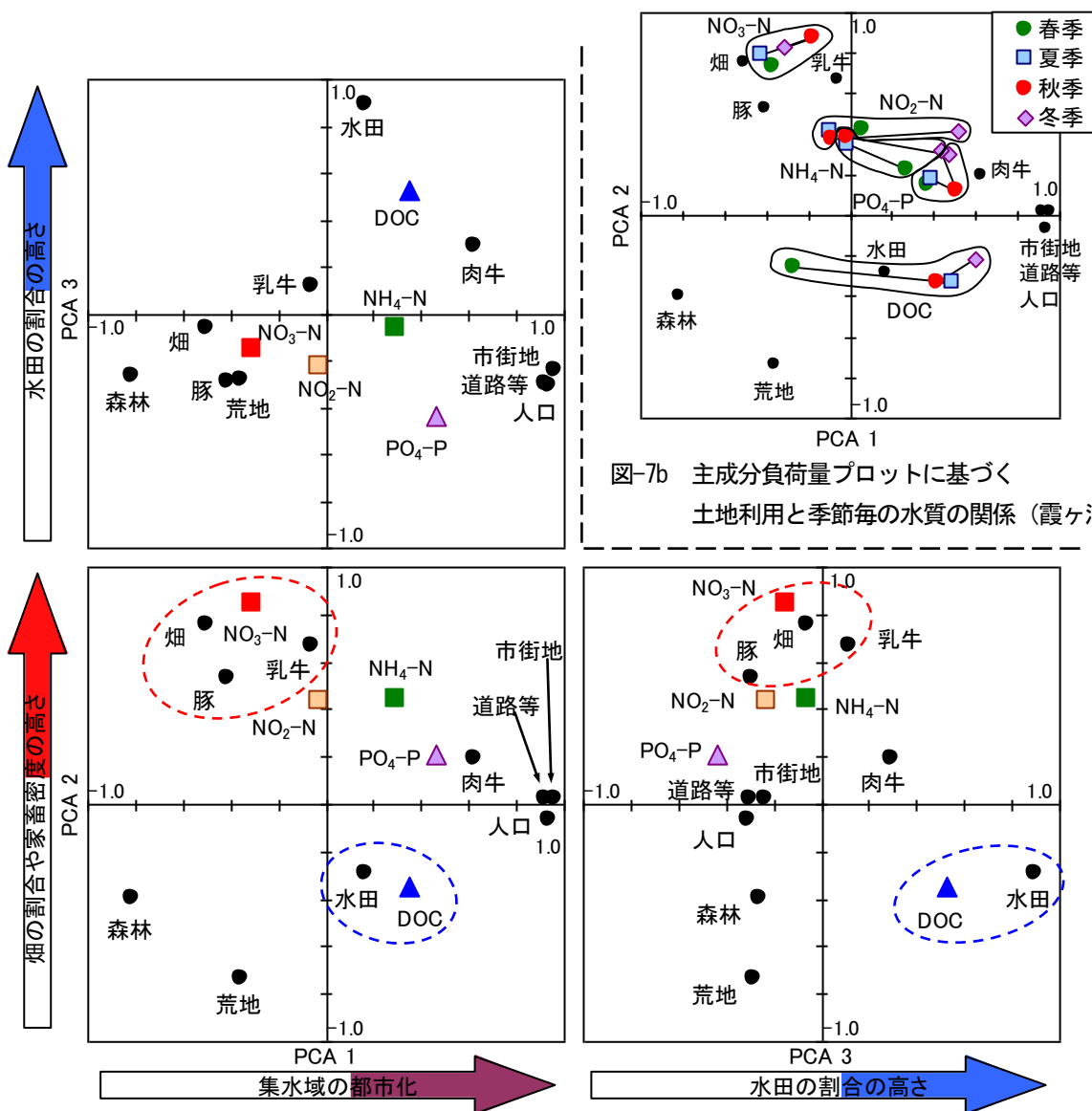


図-7b 主成分負荷量プロットに基づく土地利用と季節毎の水質の関係（霞ヶ浦）

図-7a 主成分負荷量プロットに基づく土地利用と水質の年平均値の関係（霞ヶ浦）

反映する成分であると考えられる。

土地利用の主成分得点と各水質の年平均値の相関係数を求め、図-7aの主成分負荷量プロット上における各水質の分布位置を調べた。NO<sub>3</sub>-N濃度は、畑の割合、豚、乳牛の飼育密度と近い位置に分布した。畑からは肥料や堆肥に由来する窒素が流出するため<sup>8)</sup>、畑の割合とNO<sub>3</sub>-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<sup>9)</sup>と考えられる。NO<sub>2</sub>-N濃度は、第2主成分が正であったが、NO<sub>3</sub>-N濃度と比較すると畑の割合から離れた位置に分布した。NH<sub>4</sub>-N濃度とPO<sub>4</sub>-P濃度は、第1、第2主成分が共に正の位置に分布しており、畑だけでなく市街地からも影響を受けていたと推測される。DOC濃度は、水田の近くに分布した。

次に、主成分得点と水質の季節毎の平均値の相関係数を求め、主成分負荷量プロット上の季節毎の分布の違いを調べた。図-7bに、第1、第2主成分と季節毎の水質の関係を示す。NO<sub>3</sub>-N濃度は、いずれの季節も畑の割合や豚、乳牛の飼育密度の近くに分布した。集水域の畑や畜産業は、年間を通じてNO<sub>3</sub>-N濃度に影響を及ぼしていると考えられる。NO<sub>2</sub>-N濃度は、冬季に第1主成分の正の方向に移動し、市街地との相関が高くなった。NH<sub>4</sub>-N濃度は、春季と冬季に第1主成分が正の位置に分布した。PO<sub>4</sub>-P濃度の分布の変化は小さかった。DOC濃度は、夏季～冬季は水田の近くに分布していたが、春季は第1主成分が負となり、水田のプロット位置から離れた分布となった。

集水域の土地利用が水質に及ぼす影響を数値化するため、重回帰分析の1種である主成分回帰分析を行った。その結果、NO<sub>3</sub>-N濃度に関して、自由度修正済決定係数(R<sup>2</sup>)=0.816で次の回帰式が得られた。

$$\text{NO}_3\text{-N濃度 (mgN/L)} = \left( \begin{array}{l} -0.0375 \times \text{田}(\%) \\ +0.0479 \times \text{畑}(\%) \\ -0.0091 \times \text{森林}(\%) \\ -0.1797 \times \text{荒地}(\%) \\ -0.0052 \times \text{市街地}(\%) \\ -0.0085 \times \text{道路等}(\%) \\ +0.0016 \times \text{豚}(\text{頭}/\text{km}^2) \\ +0.0003 \times \text{肉牛}(\text{頭}/\text{km}^2) \\ +0.0582 \times \text{乳牛}(\text{頭}/\text{km}^2) \\ -0.0002 \times \text{人口}(\text{人}/\text{km}^2) \end{array} \right) + 2.47$$

畑の割合1%あたりのNO<sub>3</sub>-N濃度の変化量は、畑で+0.048mgN/Lであった。家畜密度についてみると、豚は1頭/km<sup>2</sup>あたり+0.0016mgN/L、乳牛は1頭/km<sup>2</sup>あたり+0.058mgN/Lとなった。

## 3.2 印旛沼流入河川の水質と集水域の土地利用の関係

### 3.2.1 各調査地点の水質と集水域の土地利用の関係

図-8に、各集水域の土地利用割合、人口密度、家畜飼育密度を示す。土地利用割合のうち、畑の割合はNo.1とNo.5で高く、森林の割合はNo.3で高い。水田の割合は、どの集水域も10%未満である。市街地の割合は、No.2の16%が最大であり、集水域による違いが小さい。全人口密度と下水処理されていない人口は、No.1とNo.2で多い。No.3とNo.4は全人口の90%以上が下水処理人口になっている。豚の飼育密度はNo.1で高く、No.3とNo.4で低い。肉牛の飼育密度はNo.2で、乳牛の飼育密度はNo.5で高い。

図-9に各調査地点の主要な水質項目(T-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、T-P、PO<sub>4</sub>-P、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Al、DOC)の平均値を示す。表-2および表-3に、土地利用と水質の全項目の相関係数を示す。T-N、NO<sub>3</sub>-N、T-Al濃度はNo.1とNo.5で高く、畑の割合や豚の密度と正の相関を示した。NO<sub>2</sub>-N濃度は、No.1、No.2、No.5で高かった。NH<sub>4</sub>-N濃度はNo.1とNo.2で高く、市街地、道路等の割合や、肉牛の飼育密度、下水未処理人口の密度と正の相関を示した。T-P濃度とPO<sub>4</sub>-P濃度はNo.1、No.2、No.4で高く、市街地、道路等の割合や全人口密度と正の相関を示した。T-N、T-Pは、森林の割合と負の相関を示した。Na<sup>+</sup>濃度はNo.1、No.2、No.4で高く、DOCはNo.2で高かった。

土地利用割合、全人口密度、下水未処理人口密度、家畜飼育密度と水質の平均値(計50項目)を用いた主成分分析の結果、第2主成分までの累積寄与率は76%となった。図-10に、第1主成分と第2主成分の主成分負荷量プロットを示す。主成分1は、市街地の割合、全人口密度、肉牛の密度が正、森林の割合が負になっていることから、集水域の都市化に関連する成分と考えられる。主成分2は、畑の割合、豚と乳牛の密度が正、水田の割合が負になっていることから、畑の割合と家畜飼育密度に関連する成分と考えられる。水質項目についてみると、T-N濃度、NO<sub>3</sub>-N濃度、NO<sub>2</sub>-N濃度は畑の割合や豚の飼育密度の近くに分布した。一方、NH<sub>4</sub>-N濃度は全人口、肉牛の密度、下水未処理人口の密度の近くに分布した。T-P濃度、PO<sub>4</sub>-P濃度、DOC濃度は市街地や道路の割合、全人口密度の近くに分布した。

### 3.2.2 集水域の土地利用と栄養塩の流出負荷量の関係

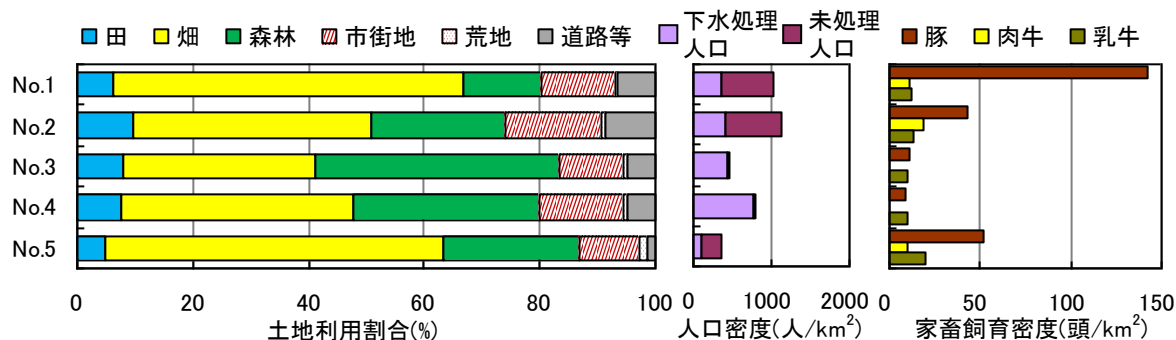


図-8 印旛沼小流域における、各調査河川集水域の土地利用割合、人口密度、家畜飼育密度

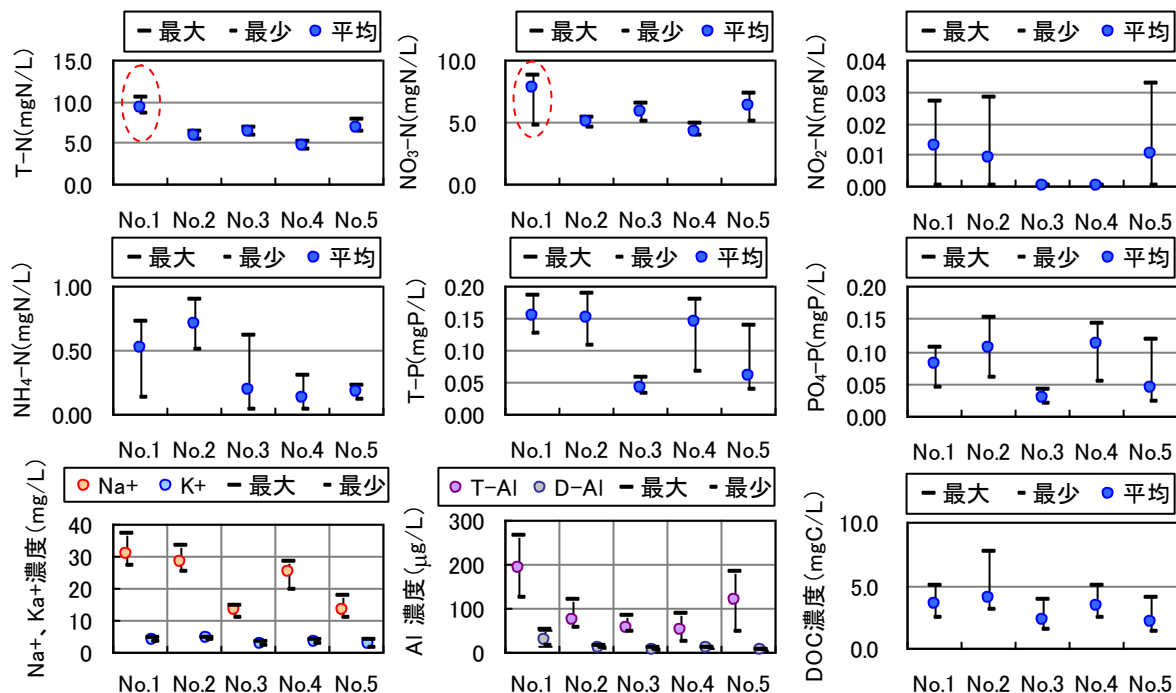


図-9 各調査地点の主要な水質項目の平均値 (印旛沼)

表-2 集水域の土地利用と水質の相関係数の一覧 (一般項目、窒素、リン、無機イオン) (印旛沼)

	土地利用割合 (%)						家畜飼育密度 (頭/km <sup>2</sup> )			人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	
	田	畑	森林	市街地	荒地	道路等	豚	肉牛	乳牛	全人口	未処理
pH	0.24	-0.77	0.91	-0.14	-0.17	-0.21	-0.77	-0.90	-0.59	-0.43	-0.89
EC (ms/m)	0.43	0.17	-0.65	0.83	-0.57	0.85	0.50	0.61	-0.28	0.99	0.78
SS (mg/L)	-0.18	0.22	-0.29	0.35	-0.67	0.05	0.15	-0.24	-0.23	0.34	-0.09
VSS (mg/L)	-0.10	0.54	-0.77	0.36	-0.74	0.51	0.84	0.36	-0.21	0.75	0.65
DOC (mgC/L)	0.61	-0.06	-0.46	0.93	-0.56	0.90	0.28	0.52	-0.40	0.98	0.66
TN (mg/L)	-0.52	0.73	-0.64	-0.39	-0.17	0.00	0.91	0.34	0.23	0.13	0.54
D-TN (mg/L)	-0.52	0.72	-0.63	-0.40	-0.16	0.01	0.91	0.33	0.22	0.13	0.53
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	0.47	0.17	-0.61	0.63	-0.12	0.81	0.50	0.88	-0.02	0.82	0.95
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	-0.39	0.85	-0.92	0.00	0.16	0.09	0.83	0.82	0.64	0.33	0.83
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	-0.63	0.75	-0.57	-0.53	-0.08	-0.15	0.86	0.25	0.30	-0.03	0.42
TP (mg/L)	0.32	0.20	-0.62	0.82	-0.65	0.71	0.42	0.45	-0.28	0.92	0.61
D-TP (mg/L)	0.44	-0.02	-0.41	0.91	-0.54	0.65	0.11	0.33	-0.30	0.83	0.41
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	0.44	-0.04	-0.38	0.90	-0.52	0.62	0.07	0.31	-0.29	0.80	0.37
Na <sup>+</sup> (mg/L)	0.34	0.21	-0.65	0.78	-0.69	0.79	0.54	0.49	-0.34	0.97	0.70
K <sup>+</sup> (mg/L)	0.56	0.06	-0.56	0.78	-0.42	0.93	0.47	0.72	-0.28	0.96	0.86
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	0.45	0.04	-0.42	0.46	-0.49	0.86	0.58	0.53	-0.42	0.79	0.76
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	0.49	-0.67	0.58	0.36	0.35	-0.06	-0.91	-0.21	-0.06	-0.18	-0.47
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	0.33	0.13	-0.53	0.82	-0.71	0.68	0.34	0.32	-0.36	0.89	0.50
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0.37	0.27	-0.73	0.78	-0.44	0.81	0.56	0.74	-0.13	0.96	0.88



表-3 集水域の土地利用と水質の相関係数の一覧（金属類）（印旛沼）

	土地利用割合(%)						家畜飼育密度(頭/km <sup>2</sup> )			人口密度(人/km <sup>2</sup> )	
	田	畑	森林	市街地	荒地	道路等	豚	肉牛	乳牛	全人口	未処理
T-Fe(μ g/L)	0.25	0.32	-0.64	0.34	-0.11	0.67	0.68	0.83	0.04	0.67	0.94
T-Mn(μ g/L)	0.62	-0.06	-0.39	0.60	-0.14	0.87	0.37	0.76	-0.20	0.78	0.84
T-Cu(μ g/L)	0.10	0.44	-0.79	0.56	-0.67	0.68	0.77	0.54	-0.21	0.89	0.78
T-Mo(μ g/L)	0.68	-0.14	-0.32	0.79	0.16	0.71	0.01	0.81	0.07	0.67	0.70
T-B(μ g/L)	0.48	0.07	-0.50	0.77	0.17	0.58	0.10	0.85	0.24	0.67	0.72
T-Zn(μ g/L)	0.62	-0.01	-0.51	0.82	-0.38	0.94	0.39	0.71	-0.29	0.96	0.84
T-Al(μ g/L)	-0.61	0.90	-0.83	-0.25	-0.24	-0.01	0.98	0.41	0.33	0.24	0.60
T-Ni(μ g/L)	0.01	0.59	-0.88	0.51	0.06	0.38	0.56	0.90	0.47	0.63	0.86
T-Co(μ g/L)	0.15	0.48	-0.81	0.45	0.04	0.56	0.66	0.97	0.32	0.69	0.99
T-Se(μ g/L)	-0.03	0.19	-0.27	-0.08	-0.64	0.42	0.67	0.03	-0.47	0.39	0.37
D-Fe(μ g/L)	0.51	-0.90	0.91	0.02	-0.24	0.10	-0.71	-0.73	-0.77	-0.21	-0.68
D-Mn(μ g/L)	0.70	-0.14	-0.34	0.69	-0.25	0.93	0.31	0.69	-0.32	0.83	0.79
D-Cu(μ g/L)	0.43	-0.07	-0.31	0.88	-0.47	0.55	-0.02	0.25	-0.26	0.73	0.29
D-Mo(μ g/L)	0.69	-0.21	-0.23	0.78	0.24	0.64	-0.12	0.76	0.09	0.60	0.60
D-B(μ g/L)	0.46	0.07	-0.47	0.75	0.22	0.52	0.06	0.83	0.28	0.61	0.68
D-Zn(μ g/L)	0.72	-0.15	-0.38	0.96	-0.24	0.86	0.09	0.67	-0.22	0.89	0.68
D-Al(μ g/L)	-0.18	0.57	-0.74	0.18	-0.68	0.45	0.91	0.34	-0.19	0.65	0.65
D-Ni(μ g/L)	0.09	0.43	-0.71	0.59	0.17	0.30	0.29	0.81	0.49	0.54	0.69
D-Co(μ g/L)	0.60	0.03	-0.54	0.81	-0.20	0.88	0.35	0.82	-0.12	0.90	0.87
D-Se(μ g/L)	0.08	0.55	-0.86	0.42	-0.02	0.54	0.72	0.95	0.31	0.69	0.99

※相関係数0.7以上または-0.7以下のものは、着色して示した

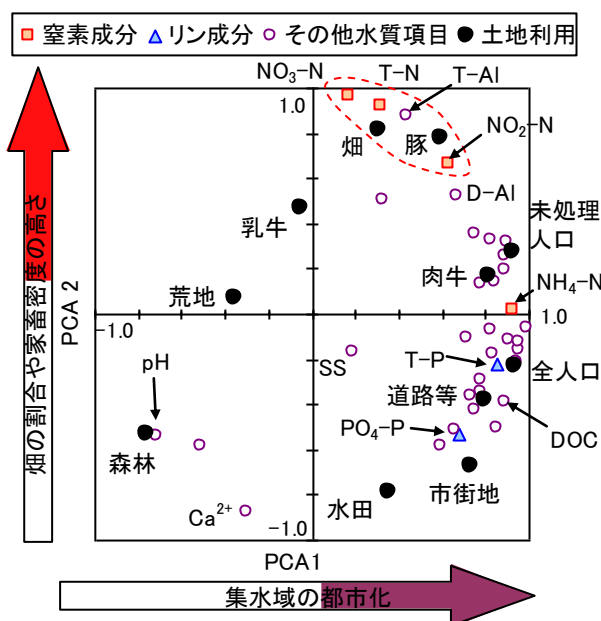


図-10 主成分負荷量プロットに基づく土地利用と各水質項目の関係（印旛沼）

図-11 に、原単位法で求めた各集水域の T-N、T-P 負荷量と、実測負荷量の比較を示す。T-N、T-P のいずれも、各集水域の負荷量多少の傾向は、原単位法と実測とで一致していることがわかる。T-P についてみると、No.1~5 のいずれも、実測負荷量が原単位法による負荷量より低くなった。河川水中の冬季の T-P 濃度が春季より低くなる傾向があることから、

実測負荷量が低く算出された可能性がある。利根川流域別下水道整備総合計画 (A) および第 6 次総量削減計画 (B) に基づく負荷量と、原単位調査事例 (C) に基づく負荷量を比較すると、原単位調査事例 (C) では畑の T-N 負荷量が大きく算出された。印旛沼流域における畑からの T-N の面原負荷量原単位は、様々な地域の調査事例の平均値よりも小さいと推測される。原単位などの妥当性を評価するためには、年間を通した、また雨天時を含めた調査を行う必要がある。

#### 4. まとめ

霞ヶ浦流域と印旛沼流域を対象に、GIS を用いて河川ごとの土地利用状況を整理した。そして、各河川の土地利用割合、人口密度、家畜飼育密度と窒素、リン、有機物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。

霞ヶ浦流域の調査では、

(1) 河川水の NO<sub>3</sub>-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、DOC 濃度は水田の割合と正の相関を示した。

(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が高い河川で NO<sub>3</sub>-N 濃度が高くなる傾向が示された。

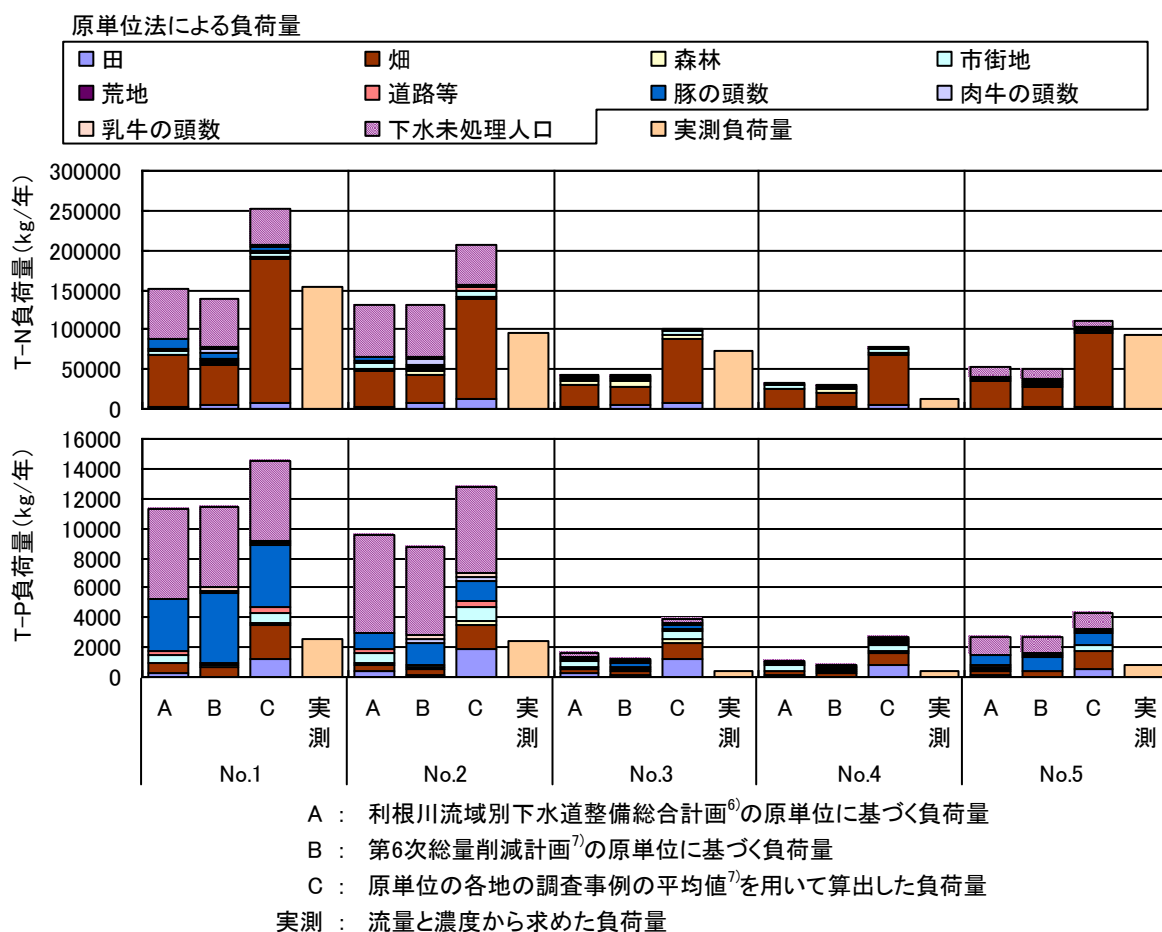


図-11 T-N、T-Pの原単位法による負荷量と実測負荷量の比較（印旛沼）

(3) 河川水の NO<sub>3</sub>-N 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。

印旛沼小流域の調査では、

(4) T-N、NO<sub>3</sub>-N 濃度は畑の割合や豚の密度と正の相関を示した。

(5) T-P、PO<sub>4</sub>-P、NH<sub>4</sub>-N 濃度は市街地の割合や人口密度と正の相関を示した。

(6) 微量金属については、Al が畑の割合や豚の飼育密度と正の相関を示した。

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 国勢調査－世界測地系（500 m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 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  
 4) 吉村季織、福原亘治、三ツ木健一郎、高柳正夫（2011）、Microsoft Excel を用いたケモメトリクス計

算(4) - 主成分回帰 -、*Journal of Computer Chemistry, Japan*, 10(1), 32-43.

5) 平成 21 年度版下水道統計、日本下水道協会

6) 利根川流域別下水道整備総合計画 計画書より面原負荷量原単位（第 5 期湖沼水質保全計画）、500 人槽以下の通常型合併浄化槽の排出負荷量原単位（第 6 次総量削減計画）、家畜の排出負荷量原単位（利根川流域総計画基本方針）、千葉県（2012）

7) 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説より原単位調査事例、第 6 次総量削減計画における原単位、日本下水道協会（2008）

8) 黒田清一郎、田淵俊雄(1996)、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、31-38.

9) 志村もと子、田淵俊雄(1996)、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、1-7.

## STUDY ON COMPREHENDING THE DYNAMIC CIRCULATION AND RUNOFF OF MATERIALS ON A BASIN SCALE ②

**Budget:** Grants for operating expenses (General Account)

**Research Period:** FY2011-2015

**Research Team:** Water Environment Research Group (Water Quality)

**Authors:** MINAMIYAMA Mizuhiko, KOMORI Koya, HIRAYAMA Takahiro, KITAMURA Tomakazu, SHIBAYAMA Yoshiyuki

**Abstract:** The objective of this research was to identify the runoff mechanism of pollution in river watersheds. In this study, the relationship between the N and P concentrations in river water and land use of the river watersheds at Lake Kasumigaura and Lake Inbanuma was investigated using measured in-situ data and data calculated using a geographic information system (GIS). At Kasumigaura, NO<sub>3</sub>-N concentrations in river water were correlated with the proportion of upland fields and the density of pigs in the watershed. At Inbanuma, T-N and NO<sub>3</sub>-N concentrations in river water were also correlated with the proportion of upland fields and the density of pigs in the watershed. At both Lake Kasumigaura and Lake Inbanuma, phosphorus concentrations tended to be high in the river whose watershed had a high proportion of urban areas and population density.

**Key words:** Lake Kasumigaura, Lake Inbanuma, nutrient, runoff, land use