

印旛沼に対する集水域内土地利用別の窒素及びリンの負荷

八槿 敦

キーワード：集水域，土地利用，窒素，リン，ランドサットTMデータ

I 緒 言

窒素やリンの汚濁が進んだ河川水は、全国的に湖沼等の閉鎖性水域における富栄養化の原因となっている。印旛沼は、千葉県北部に広がる野菜生産が盛んな下総台地の中央に位置し、CODが全国の湖沼中5番目に高く（環境省水・大気環境局，2010）、硝酸濃度が3～13mg/Lである（印旛沼環境基金，2008）。沼は水道水源としても利用されているため、水質の改善が求められている。下総台地に降った雨は、関東ローム層を浸透し、湧水となって地表面に表れ、河川を流れて印旛沼に注ぐ。この湧水が、沼への流入水の約半分を占めるともいわれる（白鳥，2006）。近年、硝酸濃度が水質汚濁に係る環境基準値である44mg/L（硝酸態窒素に換算して10mg/L）を超える湧水が顕在化しており、集水域に占める畑の面積割合が高いほど、その濃度は高い傾向があると報告されている（真行寺ら，2006）。さらに、この地域を流れる河川の硝酸濃度が高いことから、農地から流出する硝酸が、沼に対して大きな負荷をかけている可能性が指摘されている（印旛沼流域水循環健全化会議，2010）。

これまでに、台地上に農地が広がる集水域において、施肥量が多い畑地から流出する窒素が、集水域全体の負荷のうち大きな割合を占めていること、林地からの流出量は少なく窒素濃度を低く抑える役割を果たしていること、さらに谷津田は台地から流出する窒素を大量に吸収・除去していることが明らかにされている（田湖ら，1991）。環境省は、農地などの非特定汚染源（面源）が関与している硝酸による水質汚染においては、集水域など関係地域の範囲を設定し、発生源ごとに窒素流出量を把握する必要があることを示している（公害研究対策センター，2002）。このような状況から、100 m メッシュの国土数値情報土地利用データの活用による土地利用の割合と位置が河川水質に及ぼす影響の解析（木村・岡崎，2008）や、1kmメッシュの統計データによる養牛に起因する窒素負荷量の推定（神山ら，

2003）など、メッシュ情報から発生源別に負荷の実態が評価されている。

全国的に畜産地帯や野菜・果樹生産地帯の井戸水の硝酸態窒素濃度は高く、畜産廃棄物と施肥に起因する地下水の硝酸汚染が進行していることが指摘され、その低減が求められている（熊沢，1999）。この対策としては、窒素施肥量を低減する各種の環境保全型農業の技術が開発されている（松丸，2003）。印旛沼流域では、水田、畑、樹園地などの農地とともに市街地や林地が混在しており、沼に対する窒素及びリンによる負荷を低減する上では、土地利用別に負荷の状況を明らかにし、対策を進める必要がある。このためには、前述のようなメッシュ情報を利用した負荷の実態把握が有効と判断される。そこで、ランドサット衛星データを利用して、印旛沼流域の土地利用を100mメッシュで判別し、土地利用と集水域から流れ出す小水路の水質との関係から、土地利用別に沼に及ぼす窒素及びリンによる負荷の実態を評価することを試みた。

II 方 法

1. 土地利用の区分

デジタルデータ化した農耕地土壌図とランドサットTMデータから、地目別に農地の分布状況を判別した（八槿，2011）。すなわち、土壌図とTMデータを重ね合わせ、土壌図において水田の区画（ポリゴン）内にあり、2001年6月観測のTMデータで水面と識別されるピクセル（30m×30m）を水田とした。また、土壌図畑ポリゴン内にあり、2001年6月及び11月、2002年2月のいずれかのTMデータで耕起が行われているピクセルを畑とした。これに、水田ポリゴン内にあり、2001年6月のTMデータで畑と認識されるピクセルを転換畑として加えた。土壌図の樹園地ポリゴン内にあり、2001年6月のTMデータで植生と確認されるピクセルを樹園地とした。1/25,000地形図においてビニールハウスあるいはガラス室の施設と示された場所は、2001年6月観測のTMデータで、中間赤外の反射強度（バンド7 CCT値）が低く、青の反射強度（バンド2 CCT値）が高い傾向があった。そこで、土壌図の水田あるいは畑ポリゴン内にある同様のピクセルを施設とした。このように抽出した畑、樹園地及び施設を合わせて畑地とした。

受理日2011年8月22日

本報告の概要は日本土壤肥料学会（2009年9月，京都市）において発表した

農地以外の土地利用については、2002年10月観測のTMデータを用いて、市街地、林地、草地（主にゴルフ場）及び水田以外の水域を抽出した。すなわち、バンド1～5及び7を用いたクラスタ分析によって、ピクセルを60クラスに分けた。各クラスのバンド3とバンド4のCCT値の関係から、福原（1996）の方法に従って、それぞれの土地利用を識別した。

データ解析を行うための100mメッシュには、国土数値情報の3次メッシュ区画（1/25,000地形図を縦横10等分したもの、概ね1km×1km）を地理情報システムによって縦横10等分したポリゴン（概ね100m×100m）を用いた（八槇, 2007）。TMデータにおけるピクセル単位の土地利用を100mメッシュの属性情報に変換するために、TMデータと100mメッシュを重ね合わせ、100mメッシュ内にあるピクセルの最も多い土地利用を、そのメッシュの土地利用とした。

2. 集水域の抽出

集水域の抽出には、国土数値情報50mメッシュ標高データから下向きの最大標高差を導き、水の流れる方向を表す流路網（流下方向マトリクス）を作成するソフトウェアであるEDA-DEM（著作権者：土師ダムと川の源流域・人と水と里山の共生プロジェクト）を利用した。

これまでに、窒素流出に関する調査は70ha（田淵ら, 1991）あるいは170ha（田淵・沼尻, 1986）の集水域において行われている。そこで、面積が100～200ha程度で、印旛沼流域の最上流に位置し、外部からの水の流入がない157か所の集水域を任意に抽出した。このうち、採水する水路が確認でき、かつ土地利用が立地する地域の特徴を表す集水域を、流域内で偏りがないように59か所選定し、調査対象とした。

3. 小水路からの水の採取と分析方法

水田から流出する肥料成分の影響がなく、降雨が少ない時期である2008年の12月5日、9日、11日及び15日に、小水路が集水域から流れ出す地点において採水を行った。

採取した水は、メンブレンフィルター（東洋濾紙製

第1表 印旛沼流域の土地利用別面積と調査対象集水域の土地利用別平均面積（ha）

	水田	畑	樹園地	施設	草地	林地	市街地	水域	計
印旛沼流域	6,478	8,984	471	164	2,384	9,699	22,459	1,704	52,343
	(12)	(17)	(1)	(0)	(5)	(19)	(43)	(3)	(100)
調査対象集水域	2±4	32±31	2±5	1±1	6±9	20±16	62±34	3±3	127±34
	(1)	(25)	(2)	(1)	(5)	(16)	(49)	(2)	(100)

注1)カッコ内は面積割合を示す。

2)調査集水域の数値は平均値±標準偏差を示す。

DISMIC-25cs, 孔径0.45μm)でろ過した後に、その硝酸(NO₃⁻), リン酸(PO₄³⁻)濃度をイオンクロマトグラフ(ダイオネクス製IC-20)で、アンモニウム(NH₄⁺)濃度をオートアナライザー分析装置(プランルーベ製TRAACS2000)で、亜鉛(Zn²⁺)濃度をICP発光分光光度計(バリアンテクノロジーズジャパンリミテッド製710-ES)でそれぞれ測定した。また、ろ過しない試料をペルオキシニ硫酸カリウムで酸化分解(坂本・林, 1999)した後、生成した硝酸態窒素(NO₃-N)及びリン酸態リン(PO₄-P)をオートアナライザー分析装置で定量し、同装置で定量した分解前の無機態窒素(硝酸態窒素とアンモニア態窒素の合計量)及びリンをこれらの値から差し引いて、有機態の窒素(N)及びリン(P)濃度を求めた。

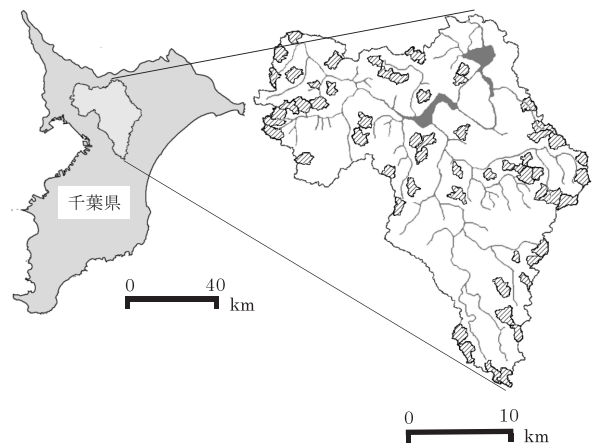
4. 流域下水道が整備されている集水域の判別


市街地面積割合が70%以上で高いにもかかわらず、有機態窒素濃度が0.7mg/L以下、かつ亜鉛濃度が8μg/L以下で、両者が顕著に低い集水域が11か所あった。家庭下水汚泥中の亜鉛濃度が高い(山本・渡辺, 1996)ことから、これらは流域下水道が整備されている地域にあり、家庭雑排水が終末処理場で浄化されるため小水路に流入していない集水域と判別した。これらを含む集水域全体と、省いたもので、土地利用と小水路の水質との関係の解析を行った。

Ⅲ 結 果

1. 印旛沼流域と調査対象集水域の土地利用

ランドサットTMデータから判別した印旛沼流域の土地利用では、市街地が22,459ha(43%)と最も多く、次いで林地が9,699ha(19%)、畑が8,984ha(17%)、水田が6,478ha(12%)であり、樹園地と施設はそれぞれ471ha, 164haで1%以下であった(第1表)。畑、樹園地及び施設の合計面積割合(以下畑地面積割合とする)は、18%であった。



第1図 印旛沼流域の範囲と59か所の調査対象集水域
注)右図中のが調査対象集水域を示す。

調査対象とした59か所の集水域の分布を、第1図に示した。その平均面積は127haであり、土地利用別では、市街地が62ha (49%)で最も多く、次いで畑が32ha (25%)、林地が20ha (16%)であり、水田、樹園地、施設、草地及び

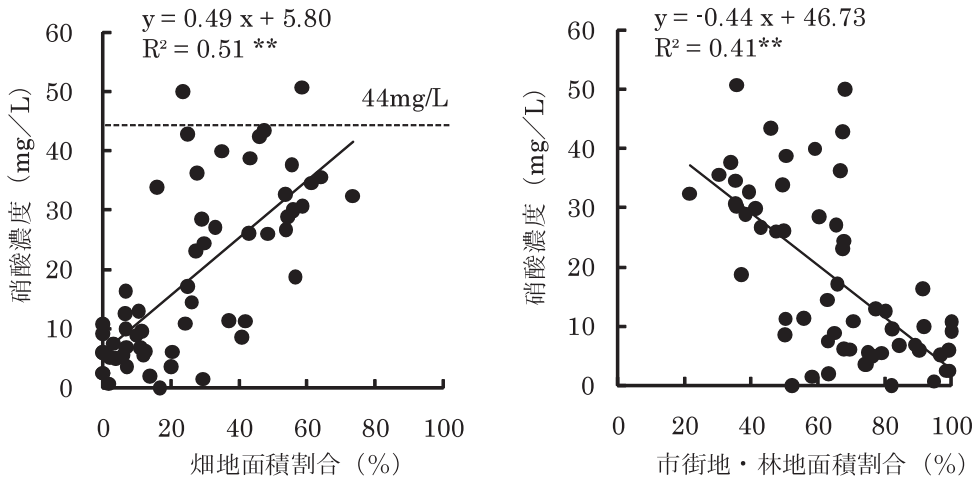
水域はいずれも6ha (5%)以下であった(第1表)。集水域の土地利用別面積割合は、印旛沼全流域に比べると、水田が低く、畑、樹園地及び施設がやや高かった。

2. 小水路の水質

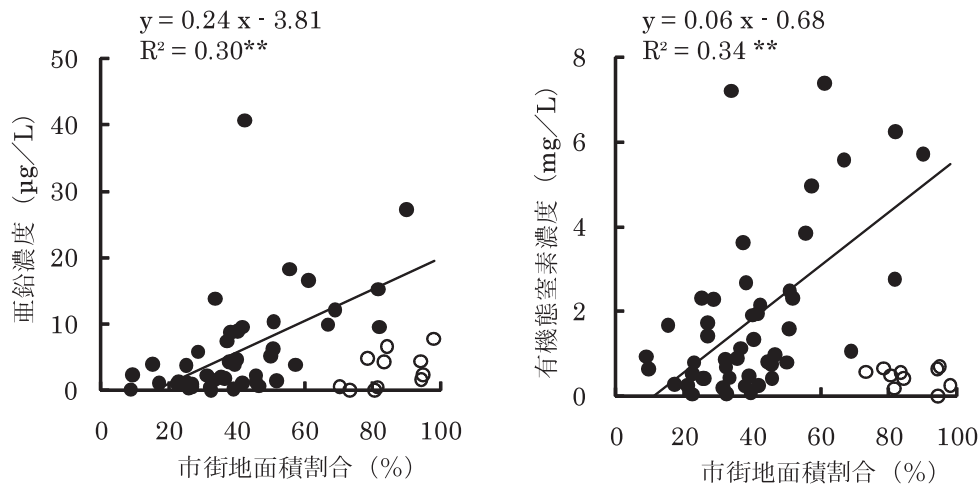
第2表 調査対象全体、流域下水道整備及び未整備地域の集水域における小水路水質の平均

集水域	地点数 (か所)	陰イオン濃度		陽イオン濃度		有機態濃度	
		NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	Zn ²⁺	N	P
		(mg/L)		(mg/L)	(µg/L)	(mg/L)	
調査対象全体	59	18±14	0.41±0.74	0.8±1.5	5.2±7.1	1.6±1.8	0.055±0.093
流域下水道整備	11	6±15	0.12±0.80	0.1±1.7	3.0±7.8	0.4±1.9	0.020±0.102
流域下水道未整備	48	21± 3	0.48±0.14	1.0±0.2	5.7±2.7	1.8±0.2	0.063±0.008

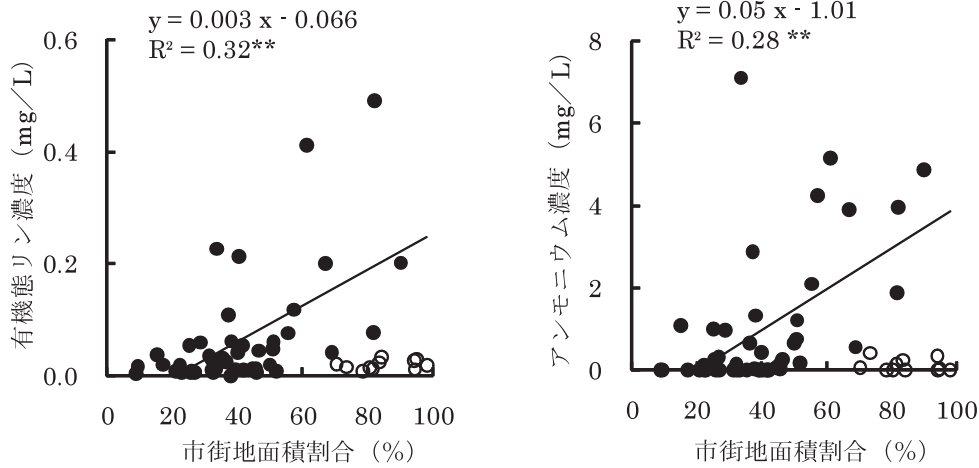
注) 地点数以外の数値は平均値±標準偏差を示す。



第2図 集水域の畑地及び市街地・林地面積割合と小水路の硝酸濃度との関係
注) **は1%水準で有意であることを示す。



第3図 市街地面積割合と集水域小水路の亜鉛及び有機態窒素濃度との関係
注1) ○は流域下水道が整備されていると判別した地点であり、関係式の算出からは省いた。
2) **は1%水準で有意であることを示す。



第4図 市街地面積割合と集水域小水路の有機態リン及びアンモニウム濃度との関係

注1) ○は流域下水道が整備されていると判別した地点であり，関係式の算出からは省いた。
 2) **は1%水準で有意であることを示す。

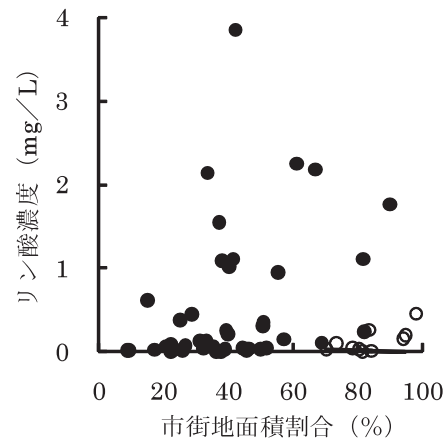
採水地点は，多くが水田の水路であり，都市化された一部の地域では，市街地内を流れる小河川であった。

小水路の水質の平均値を第2表に示した。硝酸濃度は，調査対象集水域全体の平均では18 mg/Lであり，最大値が51mg/Lで，2か所で44mg/Lを超えた(第2図)。リン酸及びアンモニウム濃度はそれぞれ0.41及び0.8 mg/Lであり，有機態窒素及び有機態リン濃度はそれぞれ1.6及び0.06mg/Lであった。流域下水道が整備されていると判別した集水域の硝酸，リン酸，アンモニウム，有機態の窒素，リン濃度は，調査対象集水域全体の1/8～1/2と低く，特にアンモニウム濃度は0.1mg/Lで大幅に低かった。

3. 小水路の水質

集水域の土地利用別面積割合と小水路水質との関係を第2～5図に示した。畑地面積割合(x)が高いほど硝酸濃度(y)は高く，両者の間には $y=0.49x+5.80$ で表される正の相関関係があった(第2図)。硝酸濃度が44mg/Lを超えた2か所では，同程度の畑地面積割合の集水域に比べてその濃度が顕著に高かった。一方，市街地と林地の合計面積割合(以下市街地・林地面積割合とする，x)が高いほど硝酸濃度(y)は低く，両者の間には $y=-0.44x+46.73$ の負の相関関係が認められた。

全調査対象集水域に関する畑地及び市街地面積割合と有機態窒素及び亜鉛濃度との間には，明らかな関係はなかった(第3図)。しかし，流域下水道が整備されていると判別した集水域を除くと，市街地面積割合(x)が高いほど亜鉛濃度(y1)及び有機態窒素(y2)は高く，それぞれの関係は $y1=0.24x-3.81$ 及び $y2=0.06x-0.68$ の正の相関式で表された。



第5図 市街地面積割合と集水域小水路のリン酸濃度との関係

注1) ○は流域下水道が整備されていると判別した地点であり，関係式の算出からは省いた。
 2) **は1%水準で有意であることを示す。

同様に流域下水道が整備されていると判別した集水域を除くと，市街地面積割合(x)が高いほど有機態リン(y1)及びアンモニウム濃度(y2)が高く，これらの間にはそれぞれ $y1=0.003x-0.066$ 及び $y2=0.05x-1.01$ で表される正の相関関係が認められた(第4図)。しかし，市街地面積割合とリン酸濃度との間には，明らかな関係はなかった(第5図)。

IV 考 察

ランドサットTMデータから判別した土地利用では，印

旛沼流域は市街地が最も多くの面積を占めるが、それ以外では林地、畑、水田の割合が大きい（第1表）。流域内の最上流に位置する集水域を調査対象としたため、その水田面積割合は流域全体に比べると少なかった。しかし、調査対象集水域は、流域全体と同様に市街地や畑が混在しており、印旛沼流域における水田以外からの窒素流出の実態を表していると判断される。

小水路の硝酸濃度は平均が18 mg/Lで（第2表）、2か所で44mg/Lを超えた（第2図）。これまでに、森林、農業及び畜産のいずれかが主体の集水域において窒素の流出調査が行われ、林地からの負荷は著しく少なく、これに対して畑地からの負荷が素掘り貯留池を伴う畜産からの負荷とともに際立って大きいことが明らかにされている（田淵・黒田, 1991；志村・田淵1996）。本報においては、畑に樹園地及び施設を加えた畑地面積割合が高いほど小水路の硝酸濃度は高く、市街地・林地面積割合が高いほどその濃度は低かった（第2図）。畑地面積割合と硝酸濃度との関係式から、畑地面積が100%である場合の硝酸濃度を求めると55mg/Lとなる。このことから、畑地から流出する硝酸が印旛沼に対する負荷に大きく関与していることが示された。一方、市街地・林地面積割合と硝酸濃度との関係から、市街地・林地面積割合が100%である場合の硝酸濃度は3 mg/Lと低いことが推定される。市街地は、林地と同様に硝酸に関する負荷程度が著しく低いと判断される。

素掘り貯留池を有する養豚では、集水域における飼育頭数と河川水の硝酸濃度との間に高い正の相関関係がある（志村・田淵, 1996）。本報では、面源に限り、畜産や工場などの特定汚染源（点源）からの負荷は考慮していない。1999年に家畜排せつ物法が施行され、現在は素掘り貯留池などの不適切な処理は行われていないので、畜産からの負荷は大幅に減少していることが推察される。しかし、印旛沼流域にある八街市では家畜排せつ物量が比較的多いことから（八横ら, 2003）、過去に処理された排せつ物が小水路の硝酸濃度に影響していることが懸念される。硝酸濃度が44mg/Lを超えた2か所では、同程度の農地面積割合である集水域に比べて、顕著にその濃度が高かった。これらには畜産等の点源が存在し、その負荷によって硝酸濃度が高くなったため、畑地面積割合と硝酸濃度との関係式の傾きが大きくなり、畑地の負荷程度が高く見積もられた可能性がある。

印旛沼流域における流域下水道の処理面積は15,300haであり（印旛沼環境基金, 2008）、流域面積の29%に相当する。本調査で流域下水道が整備されていると推測された集水域は11か所で、調査対象集水域の19%であり、流域下水道の処理面積割合に比べると少ない。判別したものの以外に、流域下水道が整備されている集水域があることが伺われる。

硝酸濃度に比べると、小水路のアンモニウム、有機態窒素及び有機態リン濃度は、平均がそれぞれ0.86、1.6及び0.05mg/Lと低かった（第2表）。しかし、流域下水道が整備されていないと判別した集水域では、市街地面積割合が大きいほどこれらの濃度は高い傾向があった（第2, 3図）。印旛沼と同様に下総台地にある手賀沼では、流域に占める市街地面積が圧倒的に多く、未処理の生活雑排水と単独処理浄化槽排水の対策が水質浄化に大きく係わるといわれている（小林・平間, 1996）。さらに、浄化槽からのリンの流出が大きいことが明らかにされている（田中ら, 2007）。本報では市街地面積割合とリン酸濃度との間に明らかな関係はなかった（第5図）。しかし、窒素とともに市街地から流出する有機態リンは、印旛沼に対する負荷源となっていることが示された。一方、流域下水道が整備されていると判別された地域では、窒素及びリン濃度は著しく低く（第2表）、流域下水道の整備が市街地からの負荷低減に顕著に作用していることが確認された。

以下、印旛沼全流域に占める各土地利用面積を考慮して、農地及び市街地の沼に対する窒素負荷の程度を試算する。印旛沼流域の市街地面積22,459haから流域下水道処理面積15,300haを差し引くと、流域に占める下水道が整備されていない市街地面積割合は14%となる。市街地面積割合とアンモニウム濃度及び有機態窒素濃度との関係式（第3, 4図）から、市街地面積割合が14%の場合のアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）濃度は0.2mg/L、有機態窒素（N）濃度は0.1mg/Lと算出され、いずれも著しく低い。一方、農地面積割合と硝酸濃度との関係式（第2図）から、印旛沼流域における農地面積割合である18%の場合の硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）濃度は3.3mg/Lとなる。この試算から印旛沼に対する畑地からの窒素負荷量は、市街地に比べて大幅に多いことが推測される。

前述のように、畑地面積割合が100%の場合の小水路の硝酸濃度は55mg/Lになると推定される。しかし、集水域の主な土地利用が畑地である台地からの湧水の平均硝酸濃度は130mg/Lで（真行寺ら, 2006）、推定値の2倍以上と高い。非灌漑期には、谷津田からの浸透流出水が、水路の硝酸濃度を低下させることが報告されている（田淵ら, 1991）。印旛沼流域においても湧水から小水路に到る過程で、谷津田の作用によって硝酸濃度が顕著に低下した可能性がある。

以上のように、ランドサットTMデータで土地利用を判別することによって、閉鎖系水域である印旛沼に対する農地及び市街地の窒素及びリンの負荷程度を評価することができた。沼に対する窒素の負荷に関しては、農地から流出する硝酸が大きく関与していることが明らかとなった。しかし、これには点源からの負荷が含まれていることが予測される。印旛沼の浄化を進めるうえでは、これまでに開発

された窒素施肥量を低減する技術(松丸, 2003)の普及を図り、農地から流出する硝酸の低減を進める必要がある。また、湖沼の汚濁には窒素とともに、リン酸が大きくかわる。市街地からの有機態リンの流出を低減することも重要である。

V 摘 要

印旛沼流域において、標高データから面積100~200haの集水域を59か所抽出し、ランドサットTMデータからその土地利用を判別して、土地利用別に窒素及びリンの負荷の状況を明らかにした。

1. 集水域小水路の硝酸イオン濃度は、平均が18 mg/L, 最大が51mg/Lであり、2か所で水質汚濁に係る環境基準値の44mg/Lを超えていた。アンモニウム及びリン酸濃度は平均がそれぞれ0.86及び0.41mg/L, 有機態の窒素及びリン濃度は平均がそれぞれ1.6及び0.05mg/Lであった。
2. 集水域の農地面積割合(x)が高いほど、硝酸濃度(y)は高く、両者の関係は $y=0.49x+5.80$ の正の相関式で表された。一方、市街地及び林地の面積割合(x)が高いほど、硝酸濃度(y)は低く、 $y=-0.44x+46.73$ の負の相関関係があった。
3. 流域下水道が整備されていると判別される地域を除くと、市街地面積割合(x)が高いほど、アンモニウム(y1)、有機態窒素(y2)及び有機態リン濃度(y3)が高かった。これらの関係はそれぞれ $y1=0.05x-1.01$, $y2=0.06x-0.68$ 及び $y3=0.003x-0.066$ の正の相関式で表された。

VI 引用文献

福原道一(1996) 土壤図の作成. 農業リモートセンシング - 環境と資源の定量的解析 -. pp.57-60. 養賢堂. 東京.

印旛沼環境基金(2008) 平成19・20年版いんば沼白書. 215pp.

印旛沼流域水循環健全化会議(2010) 印旛沼流域水循環健全化計画. 49pp.

環境省水・大気環境局(2010) 平成21年度公共用水域水質測定結果. 114pp.

木村園子ドロテア・岡崎正規(2008) 多摩川流域における土地利用と河川水窒素濃度との関係. 地学雑誌 117:553-560.

小林節子・平間幸雄(1996) 湖沼の水環境保全のための流

域総合管理手法. 水環境学会誌. 19:121-131.

公害研究対策センター(2002) 硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引. 359pp.

神山和則・寶示戸雅之・佐々木寛幸・宮路広武(2003) 農業統計メッシュデータを用いた養牛に起因する水系への窒素負荷量の推定. 土肥誌. 74:425-433.

熊沢喜久雄(1999) 地下水の硝酸態窒素汚染の現況. 土肥誌. 70:207-213.

松丸恒夫(2003) 窒素肥料有効利用のための施肥法. 農林水産研究ジャーナル. 26:15-20.

志村もと子・田淵俊雄(1996) 養豚飼養頭数密度と河川水窒素濃度との関係 - 畜産主体の集水域における窒素流出に関する研究(Ⅲ). 農土論集. 182:193-199.

真行寺孝・大塚英一・金子文宜・松丸恒夫(2006) 湧水中の $\delta^{15}N$ 及びイオン組成解析による下総台地の硝酸汚染の実態. 千葉農総研研報. 5:95-103.

坂本一憲・林 敦敏(1999) 土壤中の微生物バイオマス窒素量の迅速測定法 - ペルオキシ二硫酸カリウム分解法による可溶性全窒素量の測定 -. 土と微生物. 53:57-62.

白鳥孝治(2006) 生きている印旛沼. 嵩書房出版. 千葉. 161pp.

田淵俊雄・黒田久雄(1991) 台地と谷津田の農業集水域の窒素流出構造 - 面源主体の農業集水域からの流出負荷に関する研究(Ⅲ) -. 農土論集. 154:65-72.

田淵俊雄・沼尻 剛(1986) 非灌漑期における窒素流出負荷の特徴 - 台地と谷津田の農業集水域からの窒素流出に関する研究(Ⅰ) -. 農土論集. 124:35-43.

田淵俊雄・黒田久雄・稲葉 昭・川野宏明・海老名保孝・堀角京美(1991) 非灌漑期の農業集水域からの流出水の窒素濃度と負荷 - 面源主体の農業集水域からの流出負荷に関する研究(Ⅰ) -. 農土論集. 154:45-53.

田中恒夫・萩原健史・小林幸夫・木下恵理・杉山英行(2007) 浄化槽から排出される汚濁負荷とその河川・沼水質への影響. 水環境学会誌. 30:219-225.

八槇 敦(2007) 土壤図の活用. 土壌を愛し, 土壌を守る. pp.371-375. 博友社. 東京.

八槇 敦(2011) 衛星データ, デジタル土壤図などの土壌情報を利用した環境影響評価. 農林水産技術研究ジャーナル. 34:37-41.

八槇 敦・斉藤研二・安西徹郎(2003) 千葉県における農地に関する窒素収支. 千葉農総研研報. 2:66-77.

山本満寿夫・渡辺義人(1996) 土壌還元した家庭下水汚泥中の重金属の挙動. 土肥誌. 67:24-31.

Nitrogen and Phosphorus Loadings in the Catchment of the Inba Marsh, Japan, according to Land Use

Atsushi YAMAKI

Key words : land use, nitrogen, phosphorus, catchment, Landsat TM data

Summary

We investigated 59 sites (area 100 to 200 ha) in the catchment of the Inba Marsh, in Chiba Prefecture, Japan, from altitude data and distinguished their uses from Landsat TM data. Nitrogen and phosphorus loadings of the marsh were clarified according to land use.

1. The mean nitrate concentration in runoff water from the catchment was 18 mg/L and the maximum was 51 mg/L. In two places, it was greater than 44 mg/L (the Japanese environmental quality standard for water pollution). The average ammonium and phosphate concentrations were 0.41 mg/L and 0.86 mg/L, respectively. The average organic nitrogen and organic phosphorus concentrations were 0.05 mg/L and 1.6 mg/L, respectively.
2. The higher percentage of agricultural areas (x) in the catchment, the nitrate concentration (y) in runoff water were high. They were positively correlated, as determined by the equation $y = 0.49x + 5.80$. In contrast, the higher percentage of urban and forest areas (x), the nitrate concentration (y) were low. They were negatively correlated as determined by the equation of $y = -0.44x + 46.73$
3. Excluding the region determined as using the river basin sewerage, the higher percentage of urban areas (x), the concentrations of ammonium (y_1), organic nitrogen (y_2), and organic phosphorus (y_3) were high. These parameters were positively correlated, as shown by the equations $y_1 = 0.05x - 1.01$; $y_2 = 0.06x - 0.68$; and $y_3 = 0.003x - 0.066$.