

## 課題 1 (2) 印旛沼流入河川の実態

### はじめに

印旛沼をモデルとした特定流域圏を考えていくうえで、流入河川の現状とその水質管理は、まず最初に押さえておかねばならない課題であろう。過去においても当センターの前身の一つである千葉県水質保全研究所において、印旛沼流入河川の水質管理に関しては多くの研究がなされている<sup>1, 2, 3)</sup>。ここでは印旛沼流入河川の水質、流入負荷、河川の自浄作用などの現状について調べ、過去の研究成果との比較を通じて印旛沼流入河川の水質管理について考察する。

### 1 印旛沼流入河川三咲川の流入負荷解析調査

#### 1・1 目的

印旛沼流入河川である桑納川は、源流部付近に人口密集地が多く、下水道未成備地区を含むため主に生活排水の影響により上流部の汚濁が著しい。一方、中流部以下は周辺に田園地帯が広がっており、汚濁の流入は比較的少ない。

このような系の流入負荷を詳細に検討することは印旛沼の水質シミュレーションモデルの精度を高めるとともに、得られたパラメーターは他地域、他河川にも適用できるものを多く含むと考えられる。

そこで今回は、流出特性、河川の自浄作用を把握するための資料とする目的で、桑納川の一支出である三咲川について流入負荷を検討した。

#### 1・2 調査・検討の方法

#### 1・2・1 流域の状況

三咲川は集水域 183.1ha、全長 3km 程度の小さな水路であり、流域人口約 12,000 人のうち上流部にその大部分が居住している。

水路はほぼ全域にわたって直線的な垂直護岸であるが、田園地帯を流れる下流部では土砂の堆積により川幅が狭くなったり、中洲の形成も見られる。また、河床からはヨシ、ガマ等が繁茂するなど植生も見られ、河道断面は一様でない。

#### 1・2・2 調査地点と調査内容

上流から順に 1～10 までの地点番号をつけ、調査の目的に応じてこの 10 地点のうちの一部または全部の地点について流速測定、採水調査を行った。概略図を図 1 に示した。

採水調査において分析した項目は表 1 のとおり。

調査では、流下に伴う各地点での流量、水質の変化、地点 9 における水位、水質の日変化、などを調べた。また、降雨時の流出状況を検討するため中間に降雨のあった 3 日間、地点 9 に水位計を設置し、10 分ごとの水位を記録した。

#### 1・2・3 自然浄化能の検討

三咲川では上流部に人口が集中しているが、中流域から桑納川流入までの区間は主に田園地帯であり、生活系排水の流入はきわめて少ない。図 1 の地点 4 より下流では、地点 5 と 6 の間に流入水路があるが通常ほとんど流れておらず、実際、現地調査時には流入が観測されていない。そこで水路からの流入は無視できると考え、地点 4 から地点 9 までの区

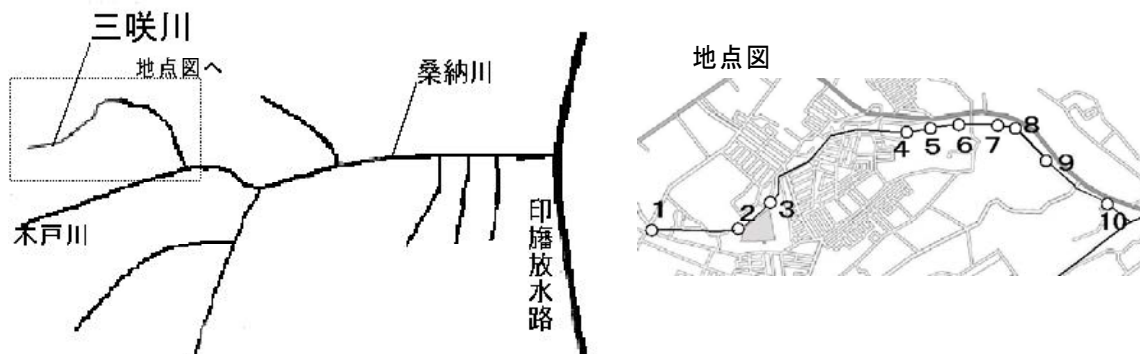


図1 三咲川調査地点

間を流下する間の汚濁物質量の減少を川の自浄作用によるものと考えて自然浄化の速度を試算した。

### 1・3 結果と考察

#### 1・3・1 流下に伴う水質の変化

2003年10月20日の調査について三咲川の流下に伴う水質変化の例を図2に、流量変化の例を図3に示した。

図2からわかるように、三咲川では流下に伴って速やかにBOD、CODが低下していた。全窒素はBOD、CODに比べて緩やかではあるがやはり流下に伴って低下が見られた。三咲川では、最上流部の三咲5丁目において最も生活排水の流入が多く、上流部ほど汚濁が強いことがわかる。地点4付近までは流域内に無視できない数の下水道未接続人口を擁しているが、その間においても流下に伴ってBOD、

CODが低下しており、平水時における有機系汚濁の低減効果は流入を上回っていると思われる。

この低減効果のうち、沈殿や河道の障害物への付着によって滞留しているだけのものは洪水時には流され、最終的には印旛沼への流入負荷となるが、一部は滞留の間に生物的、化学的分解によって水系から除去されていることが考えられる。

#### 1・3・2 降雨時の流出状況

地点9に水位計を設置した調査日のうち2004年6月21日及び7月29日には船橋地方に降雨があり、降雨時の流出状況が観測された。7月29日の降雨時の地点9における流速の変化を図4に示した。流速は水位計の観測結果からManningの式を用いて算出したが、水草の繁茂が激しいため粗度係数を仮定せず、縦軸は「流速×n（粗度係数）」の形で表した。当該区域の水面勾配は河川計画上の数

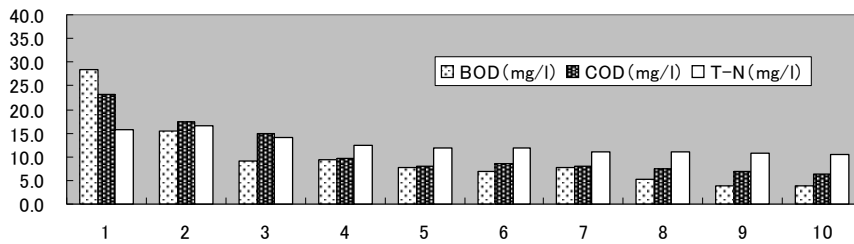


図2 三咲川の流下に伴う水質変化

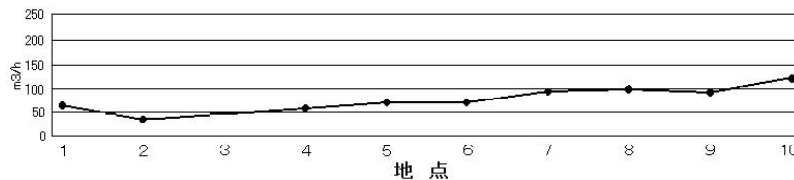


図3三咲川各地点の流量

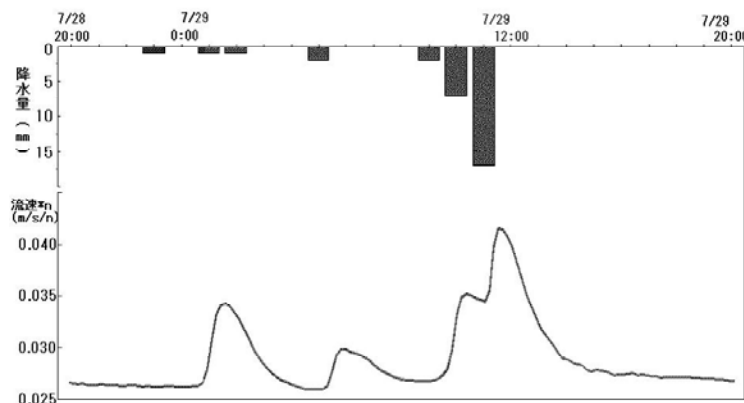


図4 2004年7月28～29日の降雨時流出特性

値である 1/400 とした。図には当日のアメダス船橋における時間降雨量を併せて示した<sup>4)</sup>。

図から、降雨時の流出ピークは鋭敏で、ピークから平常時程度の流量に減少するまでの時間は 8 時間程度であった。この減衰時間は桑納川・桑橋、手繰川・無名橋などで観測されているそれぞれ 7 時間、12 時間という値に近く、市街化率の大きい都市型河川の特徴を示していた<sup>5)</sup>。

### 1・3・3 自然浄化能の検討

汚濁物質が流下につれて減少していく速度が、汚濁物質の量のみで比例すると考えると、地点 4 における汚濁物質の量を  $X_4$ 、地点 9 における汚濁物質の量を  $X_9$  とすると

$$-\log \frac{X_9}{X_4} = K T \quad (T: \text{到達時間}; K: \text{定数})$$

と表せる。そこで、三咲川の水質、流量調査の結果からこの式に  $X_4$ 、 $X_9$ 、 $T$  をあてはめると BOD について浄化(除去)速度定数  $K \approx 1.7$  (日<sup>-1</sup>) が得られた。過去に国内各地の河川において算出された総合的除去速度定数が 0.16 ~ 7.6 (日<sup>-1</sup>) 程度であり<sup>6)</sup>、この値から三咲川においても自然浄化(浮遊性微生物による分解+付着微生物による分解+沈殿)が一定程度起こっていることが推測される。

一方、COD 及び全窒素について同様の計算を行った結果、それぞれ  $K=-1.2$  (日<sup>-1</sup>) 及び  $K=-3.5$  (日<sup>-1</sup>) と、マイナスの速度定数が得られ、いずれ

の項目も流下につれて負荷が増大しているという結果となった。水質調査によれば流下につれて COD、全窒素の濃度は低下していたが、同時に河川流量が増加しており、明瞭な流入水路は認められないものの、土手からの滲み出しや河底などからの湧水が存在し、その中に COD 及び窒素類が含まれていたことが考えられる。すなわち、COD 及び全窒素に関しては河川内での除去を上回る流入があることが推測される。

## 2 神崎川およびその他の流入河川の状況

### 2・1 目的

前節で三咲川では、流下に伴って BOD、COD、全窒素の濃度は低下するが、COD、全窒素に関しては負荷が増加していた。明瞭な流入はほとんど見られない河川において流下につれて負荷が増加し、土手からの滲み出し水や河底などからの湧水の中に COD 及び窒素類が含まれていたことが考えられた。特に全窒素の負荷は大きく増加しており、滲みだし水や湧水にかなりの濃度の窒素が含まれていることが考えられる。そこで、三咲川、桑納川よりも水質汚濁が進んでいないと予想される神崎川を中心に、その他の印旛沼流入河川について水質調査を行った。

### 2・2 神崎川及びその他の流入河川の水質調査

#### 2・2・1 調査地点と調査内容



図 5 神崎川及びその他の印旛沼流入河川の調査地点

調査は神崎川とその支川 12 地点、高崎川上流部 7 地点、印旛沼中央排水路流入水路 5 地点及び北印旛沼直接流入河川 7 地点、さらに比較のため高崎川と分水嶺を接している木戸川(芝山町等)、根木名川の上流部それぞれ 4 地点、2 地点について行った。なお、ここで木戸川(芝山町等)とは、図 1 の三咲川調査地点の図に示された木戸川とは別の河川であり、混同を避けるため「木戸川(芝山町等)」と表記したものである。調査地点を図 5 に示した。分析項目は神崎川とその支川の地点については BOD、COD、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性

窒素を、その他の地点では硝酸性窒素、亜硝酸性窒素のみとした。また、神崎川上流部地点 K 2 ~ K 6 では流量測定も行い、流下にもなう汚濁負荷量の変化を調べた。

## 2・2・2 調査結果と考察

各地点の水質分析結果を表 1 に、また、神崎川上流部の流下に伴う負荷量の変化を図 6 に示した。神崎川上流部の K 3, K 4, K 5, K 7 をみていくと、水質ではアンモニア性窒素濃度が流下に伴って低下している以外は変化が少なく、BOD、COD など有機汚濁に関しては良好な水質が保たれているといえる

が、硝酸性窒素については 4 地点とも 6 mg/L を超えていることがわかる。流量の増加が急激なため負荷量としては流下に伴い著しく増大している。K 5 と K 7 の間には K 6 の水路以外には大きな流入は見られないにもかかわらず流量及び負荷量は地点 K 6 のものを加えた量よりはるかに増加していることからみて、神崎川上流部では硝酸性窒素を多く含んだ水が河底や土手などからしみ出していることが推察される。

神崎川水系では神崎川本川上流部に比べ支川の二重川 (K 8 ~ 10) では硝酸性窒素濃度は低く、一方 BOD、COD 濃度はやや高い傾向がみられた。二重川の上流域には住宅の密集したところが多く、生活排水の影響がやや大きいことが考えられる。高崎川、根木名川、木戸川(芝山町等)の上流部(調査地点 T 1 ~ T 7, N 1, N 2, D 1 ~ D 4)では、地点 T 2 を除いて硝酸性窒素濃度が 7 mg/L を超えており、(硝酸性窒素 + 亜硝酸性窒素)の濃度が環境基準 (10mg/L) を超過していた地点が 4 地点あった。地点 T 2 は富里工業団地の排水路上にあり、工業団地排水以外の流入が少ないため他地点と異なる水質を示したものと思われる。

表 1 神崎川及びその他の河川の水質分析結果

河川	地点	採水年月日	NO3-N	NO2-N	NH4-N	BOD	COD
神崎川	K1	2005/1/20	2.4	0.07	2.07	1.4	4.8
	K2	2005/1/20	4.0	0.08	1.05	1.3	3.6
	K3	2005/1/20	7.1	0.10	1.65	2.1	4.8
	K4	2005/1/20	6.5	0.10	1.11	1.2	4.6
	K5	2005/1/20	6.8	0.10	0.81	2.2	4.2
	K6	2005/1/20	10.4	0.12	0.73	3.0	3.8
	K7	2005/1/20	7.0	0.08	0.54	1.8	4.1
	K8	2005/7/19	2.4	0.25	0.60	3.7	7.9
	K9	2005/7/19	2.7	0.42	5.35	3.9	9.5
	K10	2005/7/19	3.4	0.26	1.30	3.6	7.0
	K11	2004/11/24	5.6	0.06	0.18	1.4	3.3
	K12	2004/11/24	5.9	0.08	0.37	2.1	3.5
高崎川	T1	2007/1/30	13.3	0.07	0.64		
	T2	2007/1/30	0.0	0.34	0.26		
	T3	2007/1/30	12.4	0.01	0.56		
	T4	2007/1/30	13.4	0.21	2.09		
	T5	2007/1/30	9.4	0.10	0.23		
	T6	2007/1/30	8.0	0.15	0.73		
	T7	2007/1/30	9.9	0.07	0.38		
北印旛沼流入	I1	2007/2/7	2.0	0.15	0.35		
	I2	2007/2/7	3.0	0.07	0.70		
	I3	2007/2/7	1.4	0.10	0.90		
	I4	2007/2/7	0.4	0.34	3.66		
	I5	2007/2/7	4.3	0.15	0.39		
	I6	2007/2/7	1.6	0.01	0.61		
	I7	2007/2/7	0.0	0.07	0.52		
中央排水路流入	C1	2007/2/7	2.2	0.01	0.39		
	C2	2007/2/7	3.1	0.07	0.59		
	C3	2007/2/7	1.1	0.56	0.39		
	C4	2007/2/7	2.1	0.08	0.30		
	C5	2007/2/7	1.5	0.06	0.44		
根木川	N1	2007/1/30	9.6	0.03	0.20		
	N2	2007/1/30	8.9	0.17	0.64		
木戸川(芝山町等)	D1	2007/1/30	8.6	0.15	1.57		
	D2	2007/1/30	7.9	0.56	4.49		
	D3	2007/1/30	8.7	0.08	0.75		
	D4	2007/1/30	11.7	0.06	0.84		

一方、北印旛沼直接流入河川、印旛沼中央排水路流入水路（調査地点 I 1～I 7, C 1～C 5）では、硝酸性窒素濃度は最大で 4.3mg/L と、高崎川、根木名川、木戸川の上流部に比べて低濃度であった。

高崎川、根木名川、木戸川の上流部は畑作地帯、北印旛沼～中央排水路の周辺は水田地帯であり、この土地利用状況の違いが硝酸性窒素濃度に影響を与えていることも考えられる。

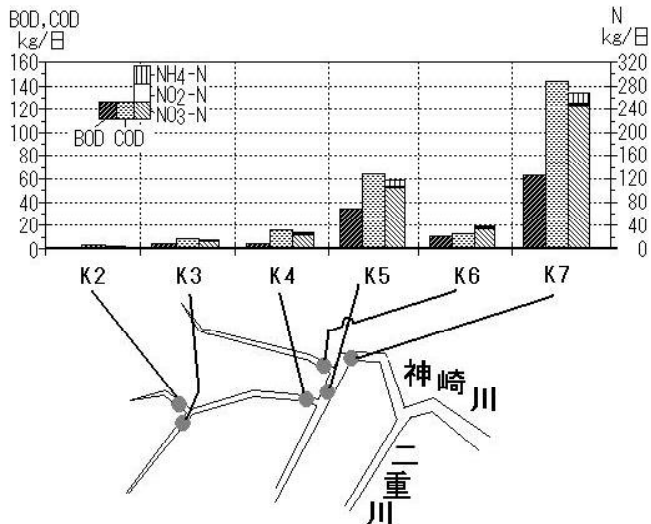


図6 神崎川上流部の負荷量の変化

## 2・3 その他の調査例

### 2・3・1 花輪川植生浄化調査

桑納川に流入する花輪川において、河道植生がもつ水質浄化機能を把握する目的で調査が行われている<sup>7)</sup>。この調査は印旛沼流域水循環健全化会議によるみためし行動の一環として、市民団体と行政とで協働して実施されたものである。

調査では河道植生が繁茂していて、区間内に支川・排水路の合流のない調査対象区間を 300m 程度選定し、このうち半分程度の区間の植生(ヨシ・マコモ)を、平水時水面に切株がわずかに出る程度まで刈り取り、残り区間は対照としてそのまま植生を残した。調査対象区間の中の3地点で水質を測定し、植生の有無による水質浄化能力の違いを把握するものである。

結果の詳細については参考文献<sup>7)</sup>に譲るが、SS, BOD, COD, 全窒素, 及び全りんそれぞれについて

て植生による水質浄化効果が確認された。植生刈り取りによる違いは明確には出なかった。

### 2・3・2 上手繰川水質調査

印旛沼流入河川の手繰川の支川である上手繰川において、市民と協働の川づくり活動として、生態系に配慮した河川改修を行い、水質及び生物調査を行っている<sup>8, 9)</sup>。

水質調査は 2004 年 5 月 13 日に、図 7 に示した 7 地点で行われ、おおむね以下のような結果が得られている。詳細については資料編に掲載した。

- ① 源流部以外の水質は良好であり、とりわけ魚道水路の水質は清浄であった。
- ② 源流部から佐倉市に流入するまでの区間において水量が増加して水質が改善されていた。この区間で大量の清浄な水が流入していることが推測された。また、河川内の自浄作用も期待された。
- ③ 印旛沼流域で汚染が懸念される硝酸性窒素の濃度は、調査地点全域において比較的低濃度であり、水田の多い土地利用形態との関係が示唆された<sup>8)</sup>。

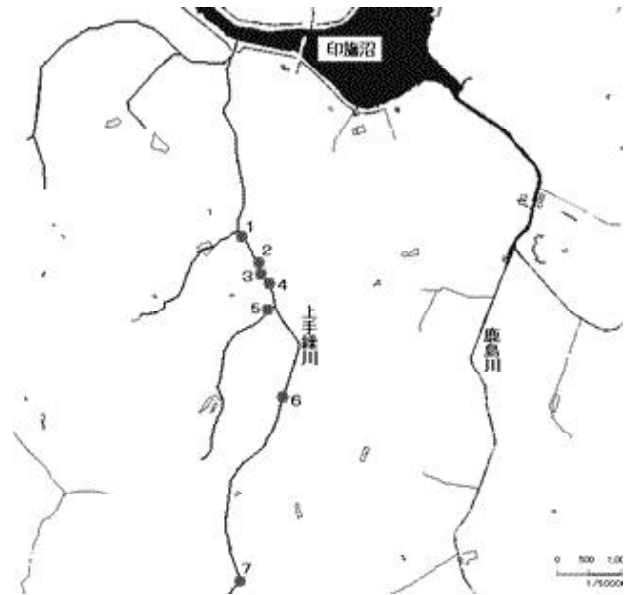


図7 上手繰川水質調査地点

## 3 印旛沼流入河川の窒素類濃度の推移

### 3・1 目的

これまで述べてきたように、印旛沼流入河川では有機系汚濁の比較的小さい河川でも硝酸性窒素の高い場合が多く、沼の富栄養化への影響は無視できな

い。そこで、流入河川の窒素類濃度の推移についてまとめていくこととする。

### 3・2 長期的推移

1976年度から2003年度までの28年間にわたる公共用水域水質測定結果から県内のおもな河川の窒素類濃度の推移が当センターによりまとめられている<sup>10)</sup>。その中から印旛沼流入河川の結果を取り出したものを図8に示した。

図8 hに示した桑納川・桑納橋では、アンモニア性窒素はこの28年の間に4分の1以下となり大きく減少しているが、硝酸性窒素は少しずつ増加している。また、図8 a, bに示した鹿島川はほぼ全域農村地帯を流れる川である。下流側bの鹿島橋ではやはり20年ほど前にはアンモニア性窒素が比較的高い濃度で検出されていたが、近年では減少し、代

わって20年前には非常に低かった硝酸性窒素濃度が上昇してきている。このような硝酸性窒素濃度の上昇傾向は農村型の河川にも、都市河川にも共通して見られている。

### 3・3 季節変化

鹿島川(鹿島橋)と桑納川(桑納橋)について、窒素類濃度の季節変化を図9に示した。

鹿島川は農村型の河川であり、全窒素の大部分を硝酸性窒素が占め、毎年濃度の上昇、下降を繰り返していることがわかる。例年ほぼ5月から8月頃には濃度が低下している。この時期は水田の湛水時期と重なっており、水田の湛水が窒素濃度に影響していることが推察される。水田に入れる灌漑用水によって希釈される効果も考えられるが、水田に水を溜めることによって、水田の下の土壌は酸素の供給が

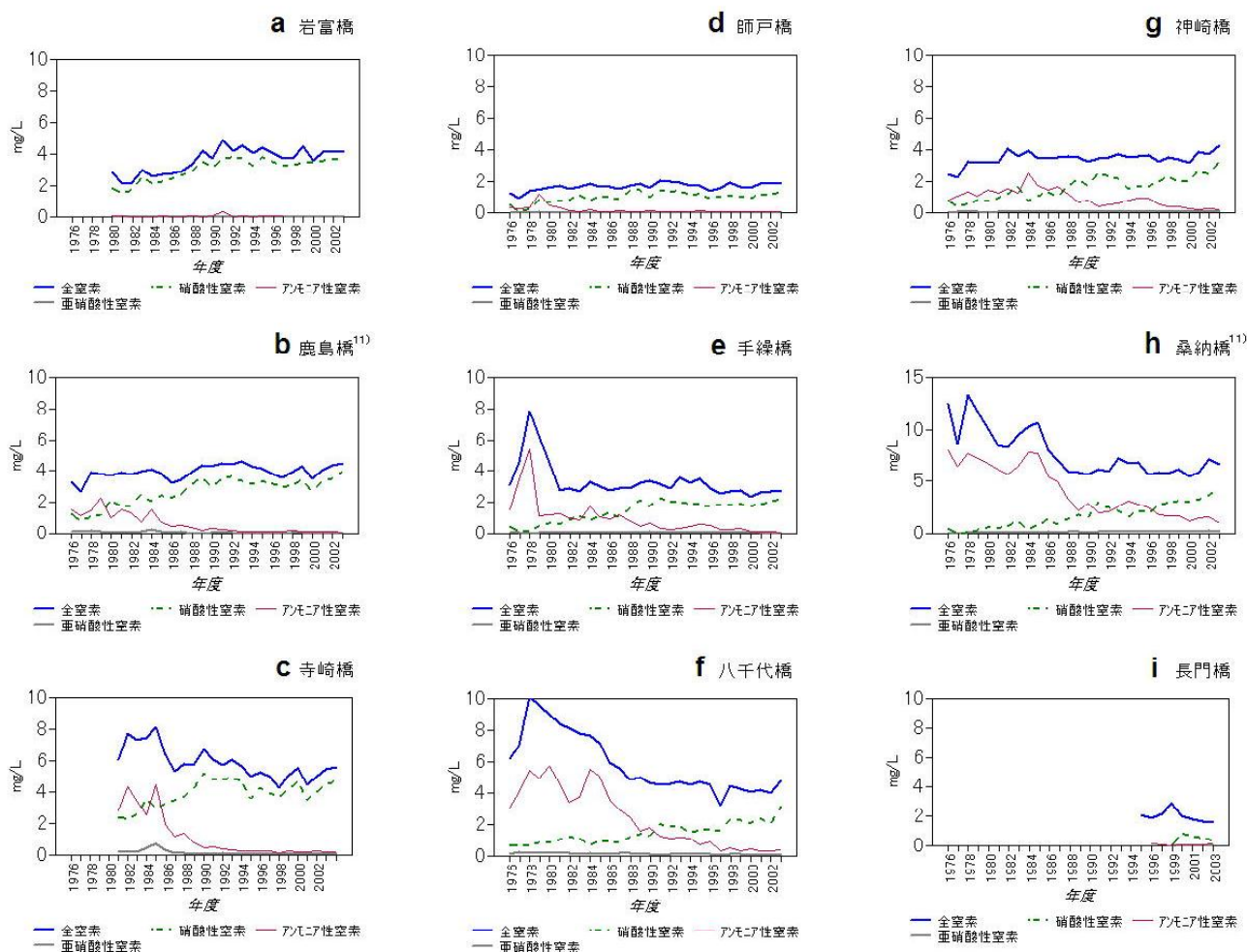


図8 印旛沼流入河川の窒素類濃度の推移

断たれて還元的になり、その下部で脱窒が起こることも影響していると考えられる。

桑納川（桑納橋）は最上流部の人口密集地と中流部以降の田園地帯を持つ都市型と農村型の混合した河川であり、ここでも硝酸性窒素は5月から8月頃に低下し、鹿島川と同様水田の湛水の影響が見られた。また、桑納川ではアンモニア性窒素が1月から3月頃の冬季に上昇していた。これは、上流部の人口密集地の一部下水道未整備、未接続部分からの排水の影響と考えられ、特に冬季には酸化の速度が遅いためアンモニア性窒素の濃度が上昇しているものと思われる。

### 3・4 背景の変化

鹿島川と桑納川について、過去から近年にかけての背景の変化を検討した。図10に両河川の流域内処理形態別人口及び生活系の全窒素の発生負荷量を、20数年前と最近（2001年度）について示した<sup>1,2)</sup>。図の下部には窒素類濃度の1976年度から2003年度までの推移をあらためて示した。この図で、発生負荷については原単位から算出した窒素負荷量を流域面積で除した「比負荷」の形で表した。

鹿島川は農村型の河川であるが、この二十数年で流域の人口が増加し、下水道の普及は進んだものの窒素負荷という点では若干増加している。比負荷の増加を反映して、窒素濃度は横ばいからやや増加の傾向にあった。

都市・農村複合型の桑納川では下水道の普及が進

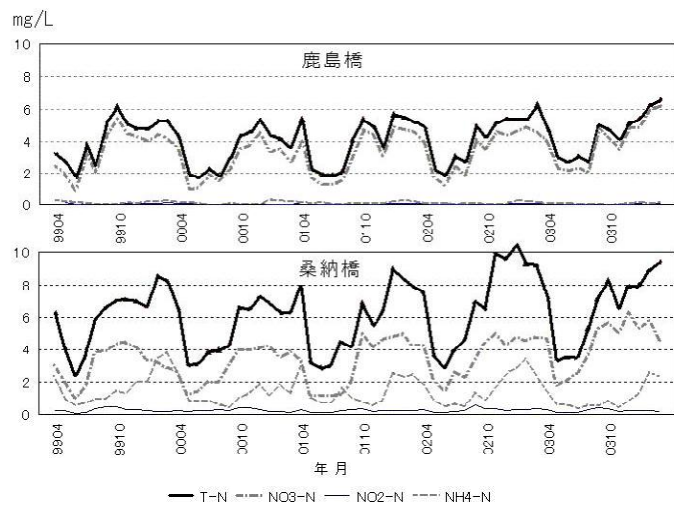
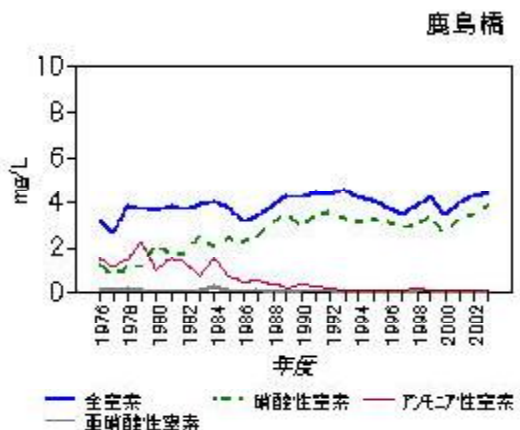
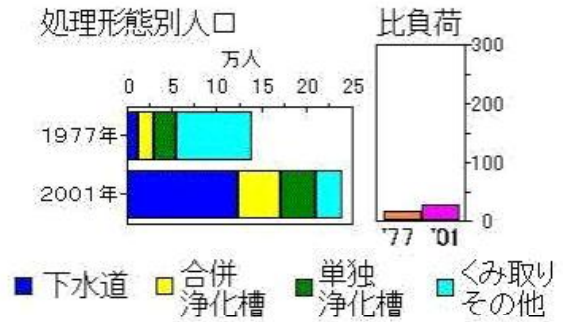


図9 窒素類濃度の季節変化<sup>1)</sup>

## 鹿島川



## 桑納川

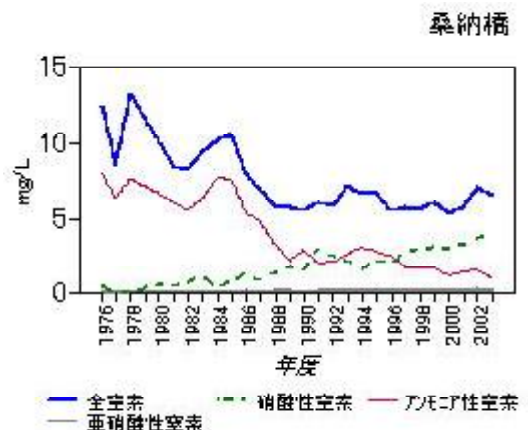
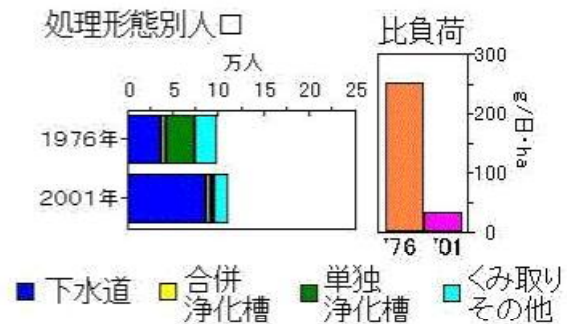


図10 生活系窒素負荷量の過去と現在の比較<sup>1)</sup>

み、窒素の負荷は大幅に減った。しかし河川の窒素濃度は負荷の減少が著しい割には減少しておらず、最近では全窒素は横ばいで、アンモニア性窒素は減少したが硝酸性窒素がその分だけ増えている状況であった。こうした河川では生活系からの窒素負荷の減少がそのまま環境濃度に反映されなくなっているといえる。

### 3・5 土地利用形態と河川の窒素

生活系からの窒素負荷減少が環境濃度にあまり反映されないことから、河川の窒素濃度の起源は他のところにあると考えられる。流入河川の状況を概観すると、畑作地帯を流れる河川は水田地帯を流れる河川に較べて窒素濃度が高い傾向があった。そこで、窒素の起源として面源負荷を考え、土地利用形態とその付近の河川の窒素類濃度を比較してみた。

図 11 に、高崎川、根木名川、木戸川、北印旛沼流入河川、中央排水路流入水路において測定された窒素類濃度とその付近の土地利用形態を重ねて示し

た。図中、円グラフの大きさは全窒素濃度を表す。

高崎川、根木名川、木戸川の上流部は畑作地帯、北印旛沼～中央排水路の周辺は水田地帯であり、付近の河川における窒素濃度は畑作地帯と水田地帯で大きく違っていることがわかる。土地利用状況の違いは硝酸性窒素濃度に影響を与える一つの要素であろうと推測される。

### 4 まとめ

印旛沼流入河川の実態についてみてきた。

印旛沼流入河川桑納川の支川である三咲川で、水質調査、降雨時の流出特性、河川の自浄作用について検討したところ、以下のことがわかった。

① 三咲川では流下に伴って速やかに BOD, COD 濃度は低下し、徐々にではあるが全窒素濃度も低下していたが、負荷量でみると COD, 全窒素では流下につれて負荷が増加し、流入するしみ出し水の影響が推定された。BOD については負荷量も流下に伴って低下しており、平水時の浄化能力が認められ

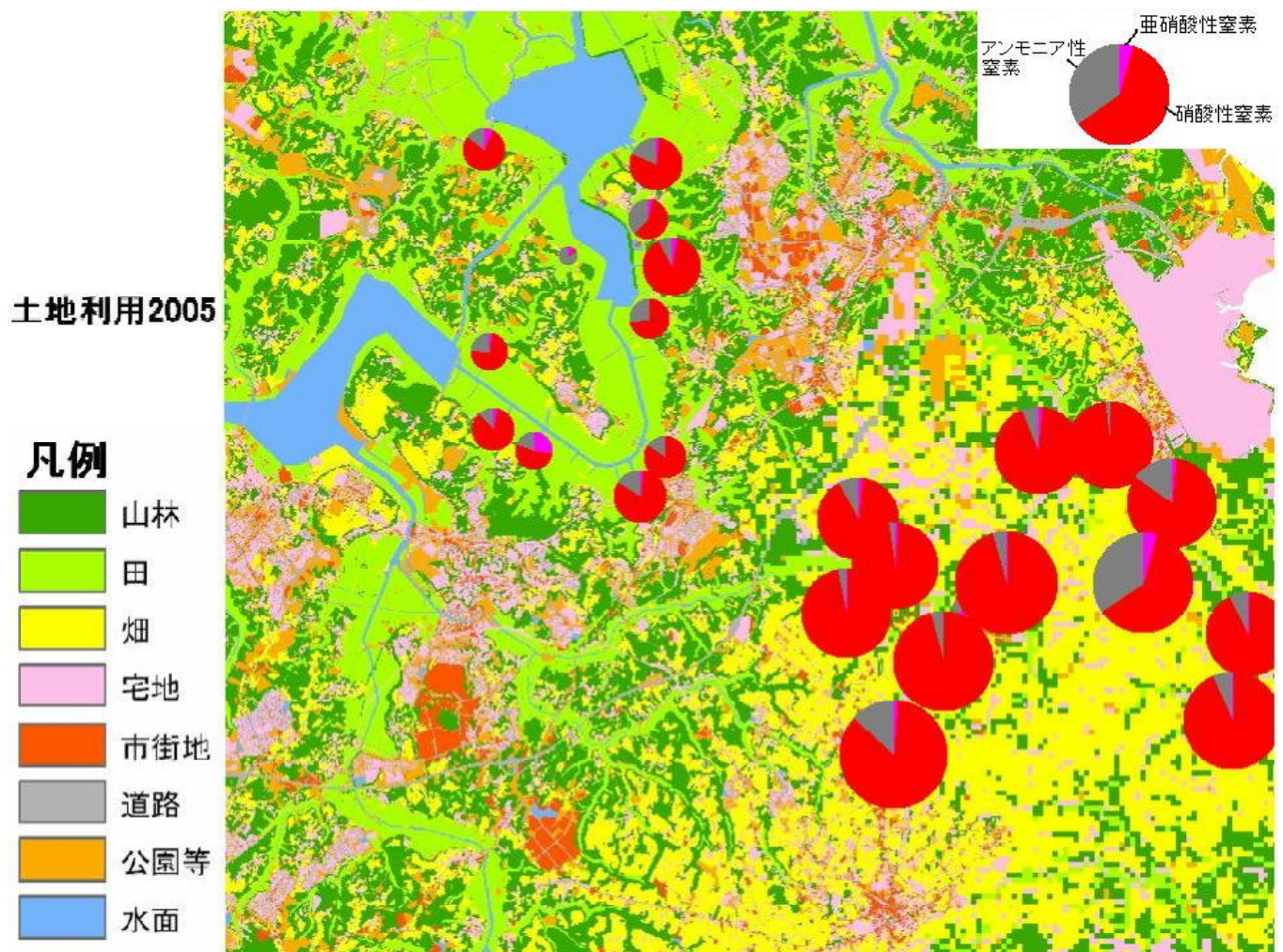


図11 土地利用形態と付近の河川水の窒素類濃度

\*土地利用図出典：国土地理院；細密数値情報（10mメッシュ土地利用）



た。

② 降雨時の流出ピークは鋭敏で、減衰時間は短く、市街化率の大きい都市型河川の特徴を示していた。

三咲川以外の印旛沼流入河川では、主に窒素類濃度について調査、検討した。調査した河川のうちでは、神崎川上流部、高崎川上流部において硝酸性窒素濃度の高い地点が多く見られた。一方、二重川、北印旛沼直接流入河川、中央排水路流入水路では硝酸性窒素濃度は比較的低かった。生活系の影響が推測される二重川を除いて、市民との協働により調査を行った上手繰川を含めて水田地帯を流れる河川で低く、畑作地帯で高いという傾向がみられた。

印旛沼流入河川の窒素類濃度の長期的な推移については、アンモニア性窒素濃度は減少していたが硝酸性窒素濃度は増加傾向が認められた。生活系排水が窒素汚染の主因とはいえない河川もあると思われた。

硝酸性窒素濃度の季節変動には一定の傾向が見られ、水田の湛水による脱窒の影響が考えられた。

畑作地帯と水田地帯を流れる河川の硝酸性窒素濃度には大きな差があり、土地利用状況の違いは硝酸性窒素濃度に影響を与える一つの要素であろうと推測された。

## 文献

1) 千葉県水質保全研究所：水保研資料 No.41, 鹿島川調査報告書(1984).

2) 千葉県水質保全研究所：水保研資料 No.11, 桑納川負荷解析報告書(1977).

3) 千葉県水質保全研究所：水保研資料 No.14, 神崎川負荷解析報告書(1979).

4) 気象庁ホームページ：気象統計情報

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

5) 千葉県：印旛沼流域水循環健全化会議第4回委員会資料(2003).

6) 宗宮功編著：自然の浄化機構，技法堂出版，p90(1990).

7) 千葉県：印旛沼流域水循環健全化会議第7回委員会参考資料(2004).

8) 小倉久子，飯村晃，小林廣茂，平間幸雄：市民と協働の川づくりと水質調査，千葉県環境研究センター年報第4号(2004)。(資料編に掲載)

9) 小倉久子，飯村晃，平間幸雄，小林廣茂，藤村葉子：印旛沼流域の生態系再生－市民と協働で行った上手繰川水質調査(2005年)－，千葉県環境研究センター年報第5号(2005)。(資料編に掲載)

10) 飯村晃，小倉久子，平間幸雄，小林廣茂：県内河川の形態別窒素濃度の推移，千葉県環境研究センター年報第5号(2005).

11) 飯村晃：千葉県内河川の窒素類濃度について，水環境学会誌，**29(10)**，585-588(2006).

12) 千葉県水質保全研究所：水保研資料 No.26, 鹿島川河川総合診断(1980).