

霞ヶ浦流域の主要河川の窒素濃度変化とその要因解明

松森堅治*・板橋 直**

目 次

I 緒 言	61	1 霞ヶ浦に流入する河川の全窒素濃度変化	63
II 方 法	62	2 河川水の全窒素濃度が上昇する要因	65
1 霞ヶ浦流域の対象河川と解析に使用したデータ	62	3 谷津田流域における非かんがい期の窒素浄化機能の変化	70
2 流域の窒素浄化能変化を解析する対象流域と調査方法	62	IV 結 言	71
III 結果と考察	63	参考文献	72
		Summary	73

I 緒 言

霞ヶ浦の水質に関して、1981年に霞ヶ浦富栄養化防止条例が制定されて以降様々な対策が実施されてきた。加えて、農業分野では、1992年に「新しい食料・農業・農村政策の方向」の中で環境保全型農業が位置づけられ、1999年の「食料・農業・農村基本法」、「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」の成立、2006年の「有機農業の推進に関する法律」の成立、2007年には「農地・水・環境保全型向上対策」が実施されるなど、農業の持続的な生産と農村の振興、環境保全、自然再生に向けた施策が進行している。しかし、霞ヶ浦の全窒素濃度の変化はFig.1に示すようにほぼ横ばいで、1996年以降はわずかながら上昇の傾向も見られる。

農地からの施肥窒素の溶脱が浅層地下水や河川・湖沼の水質汚染の一因と言われる中、小川ら(1984, 2000)や田淵ら(1983, 2005a)によって谷津田における窒素浄化が確認された。施肥量の削減とともに、水田・ため池・湿地が持つ脱窒・吸収による窒素の浄化機能の活用において、地形および土地利用における連鎖を利用した窒素浄化により集水域外への流出削減が期待されている。

しかし、近年の水田とそれを取り巻く環境の変化は著しく、たとえば、Fig.2の2時期の空中写真にみるように霞ヶ浦に流入する河川沿いの低地では、圃場整備前(Fig.2a)は水路が狭く蛇行し、水田は区画が小さく不整形ながらもほとんどが耕作されていた。現在(Fig.2b)は圃場整備に伴い排水路の分離が進む一方、整備水田

の畑作利用や狭い谷津や谷壁斜面など条件不利地での休耕・耕作放棄が進行している。これらの水田の利用・管理状況の変化に伴い、流域内の水の流れにも大きな変化があると予測される。

圃場整備により、かんがい期には河川水の循環かんがいによる水田の窒素浄化機能の発揮や、低い窒素濃度の用水による希釈が期待できる。しかし、非かんがい期には、台地からの湧水を利用して谷津田において、排水路や暗渠の整備により、浅層地下水が田面あるいはその地下を通過せずに排水路へ直接流出するなど、湧水の窒素濃度が高いときに水田の持つ窒素浄化機能が十分に発揮されない場合が考えられる。一方、休耕・耕作放棄や転換畑は、これまで窒素浄化機能が発揮されていた水田の消失であり、かんがい期の浄化機能の減少につながる。休耕・耕作放棄は、未整備水田に多く、関東の台地や丘陵地では、特に、谷頭部、谷壁斜面や狭い谷底にある水田での荒廃が目立つ。さらに転換畑では、畑作物への転換による施肥量の増加に加え、溶脱した窒素成分が暗渠を通して速やかに流出するなど水系への窒素流出の

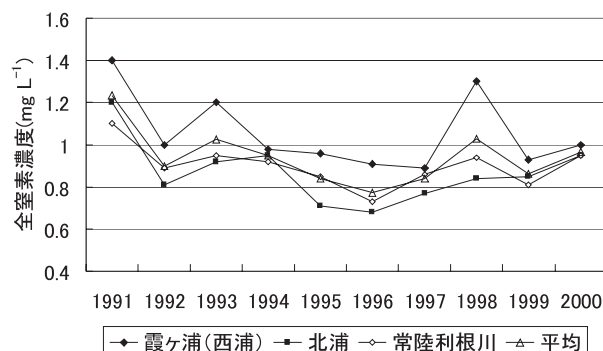


Fig.1 霞ヶ浦の全窒素濃度の経年変化
Change of total nitrogen concentration of Lake Kasumigaura
茨城県資料(2002)より作成

* 農村環境部環境評価研究室

** (独)農業環境技術研究所

平成21年11月5日受理

キーワード：硝酸態窒素、水田、脱窒、圃場整備、耕作放棄

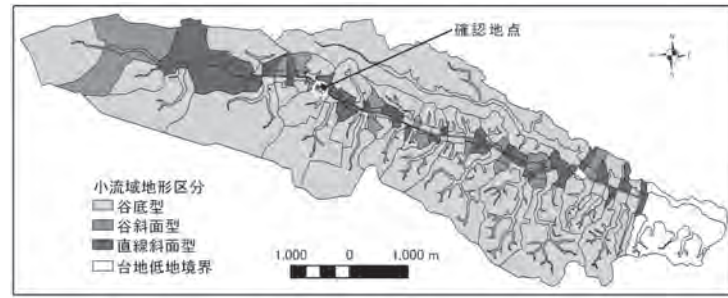


Fig.5 地形の特徴による菱木川流域の小流域区分
Small watershed units of the Hishiki river watershed

1970年代から1990年代までの窒素濃度上昇とその後の下降、1997年頃から再上昇するという傾向で、これらの変化との関係を探るべく、詳細な土地利用図の情報作成と流域内の多数の地点で窒素濃度の測定を行った。

ここでは、表流水と湧水の硝酸態窒素濃度調査の結果から、濃度変化に及ぼす土地利用と土地・水管理との関係について検討した。流域を菱木川に流入する水路により84の集水域（以下、小流域と呼ぶ）に分け、小流域からの流出水量と硝酸態窒素濃度の測定、および各集水域の土地利用、水田・水路の整備状況の調査を行った。

小流域からの流出水量は、2003年4月7日と10日の2日間に84小流域を巡回して、水路横断面計測と電磁流速計（離合社 TK-105DH）による流速測定、もしくは水路幅が60cm以下で菱木川流入直前に落差工等がある場合に容器による一定時間の全量計測により算定した。硝酸態窒素濃度は、流出水量の計測時に反射式光度計（MERCK社製 RQ-Flex2）を用いて現地で計測した。なお、4月5日に30.6mmの降雨（菱木川流域に近い石岡市石川に設置した雨量計の観測値）があり、調査日と近いことからその影響が懸念されるため両調査日に本流の同一地点（Fig.5の円印）で観測を行った。その結果、10日の流量に1割強の減少が見られたが、硝酸態窒素濃度は両日とも 4.7 mg L^{-1} で変化はなかった。

小流域区分図は、2,500分の1都市計画図の等高線と水路から分水界を判読し、現地において水路の流入状況を確認して作成した。小流域は、内部に谷底面を含む場合を谷底型小流域、谷底面を含まない場合は斜面の形状により谷斜面型小流域と直線斜面型小流域として区分した。土地利用、水田・水路の整備状況図は、2,500分の1都市計画図を基図として1998年（カラー）と2002年（白黒）の空中写真オルソ画像を判読し、2003年に現地調査を行って作成した。GISデータの作成、解析にはArcGIS Ver.9.2（ESRI社）を使用した。

Ⅲ 結果と考察

1 霞ヶ浦に流入する河川の全窒素濃度変化

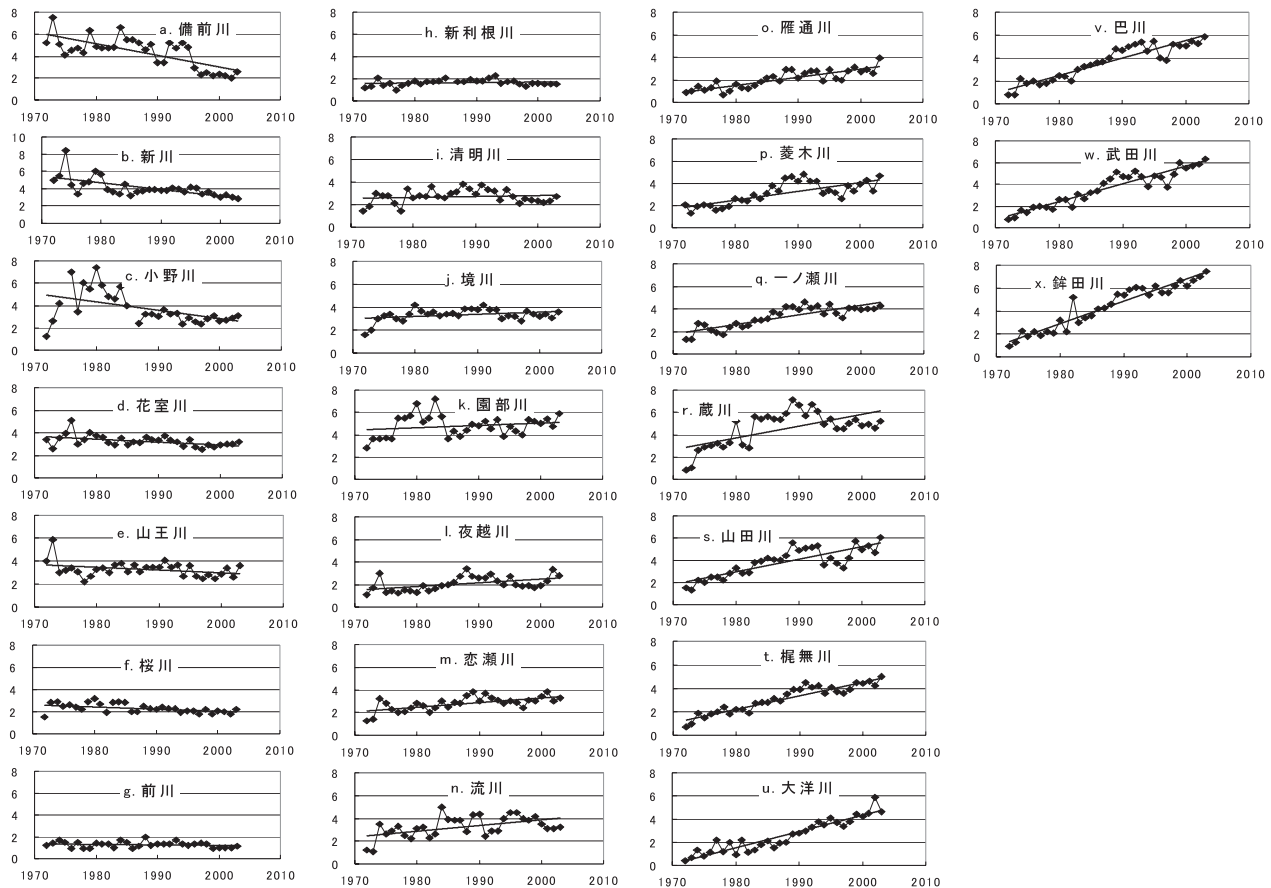
Fig.6は、霞ヶ浦流域の24河川について32年間の全窒素濃度の年平均値（月1回測定の平均値）をプロット

したもので、図中に直線で示した1次式の回帰係数の大きさによって減少～変化なし（回帰係数 <0 ）、変化なし～微増（回帰係数 <0.05 ）、増加（回帰係数 >0.05 ）の3タイプに分けられる。減少傾向が7河川（a～g）、変化の小さいのが7河川（h～n）、増加傾向が見られるのは10河川（o～x）となっている。増加傾向の河川ではいずれも1990年代前半に一度ピークがあり、その後一旦は減少しているが1997年ころ以降に再び濃度の増加傾向が見られる。同様の傾向は、変化の小さい河川のグループにおいても見られる。また、全期間（1972～2003年）では減少傾向の河川でも小野川、花室川、山王川において、弱いながら近年の増加傾向が見られる。

それらの地理的な分布をFig.7に示す。減少傾向の河川は、備前川、新川、小野川、花室川、山王川、桜川、前川で多くが霞ヶ浦の西部に分布する。備前川、新川、小野川は減少が顕著で1970年代に 6 mg L^{-1} を超えていたものが2000年には $2 \sim 3 \text{ mg L}^{-1}$ まで低下している。これらの流域は、Fig.8-aに見るように建物用地率が高い地域が多く、都市的な土地利用を含むことから、下水道の普及や農地、畜産の減少などにより窒素負荷量が減少したと予想される。

変化の少ない河川は、水田が流域の65%を占める新利根川に代表されるように水田の面積割合が特に高い流域や森林面積率の高い恋瀬川、夜越川、流川など、単位面積当たりの窒素負荷が比較的小さな土地利用の多い流域である。浄化能や希釈能が高いために窒素負荷量の変化が水質に現れにくい、もしくは負荷量の変化が少ないと考えられる。新利根川など水田や森林の割合が高い河川では $1 \sim 2 \text{ mg L}^{-1}$ の比較的低い濃度で推移するが、畑地の割合が高い園部川や境川などでは $3 \sim 5 \text{ mg L}^{-1}$ の高い濃度で推移している。

増加傾向は、鉾田川、巴川、武田川など北浦に流入する河川に顕著で、いずれの河川も1970年代には全窒素濃度が 1 mg L^{-1} ほどであったものが、 $4 \sim 7 \text{ mg L}^{-1}$ に上昇している。これらの流域では、畑や樹園地など単位面積当たりの窒素投入量の比較的大きな土地利用が多く、水田の割合が小さいなど、窒素負荷が大きく浄化能が小さな流域で窒素負荷量の増大が水質の変化に現れやすい。Fig.8-b, cに見るように増加率（回帰係



減少～変化なし(回帰係数< 0) 変化なし～微増(回帰係数< 0.05) 増加(0.05 < 回帰係数)

Fig.6 霞ヶ浦流入河川の年平均全窒素濃度の変化傾向

Changes of Annual mean of total nitrogen concentration of 24 rivers

茨城県公共用水域水質調査(1972～2003年)より作成した。回帰係数は

a. 備前川が最小値 -0.107, x. 銚田川が最大値 0.196 で, a から x の順に大きい。

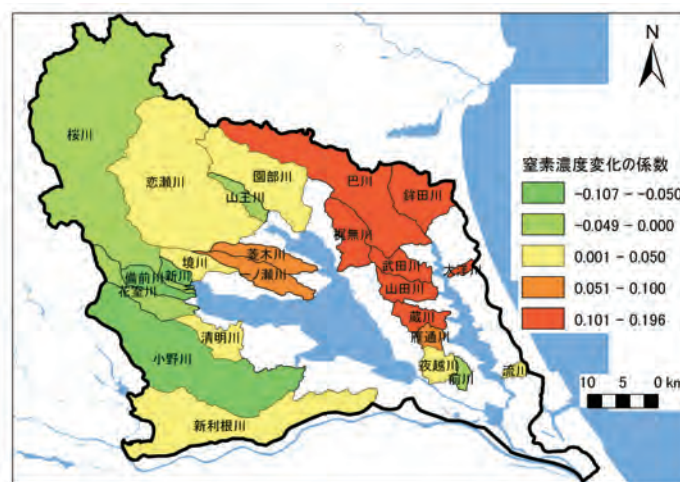


Fig.7 霞ヶ浦流域の主な流入河川の1972年から2003年の全窒素濃度の変化傾向
Regression coefficient of total nitrogen concentration changes of 24 rivers (1972-2003)

数)が正で高い河川ほど、水田面積率および畑・樹園地面積に対する水田面積の比が小さい傾向にある。すなわち、水田の面積が大きい流域ほど、窒素負荷の増加に伴う流出窒素濃度の上昇に対して頑健である。

霞ヶ浦流域において、水田は湖岸の低地や河川の氾濫原のほか、台地の谷津田地形に分布し、山地を含む桜川流域と恋瀬川流域では扇状地性の低地にも見られる。また、面積は多くないが、台地上位面には井戸による地下

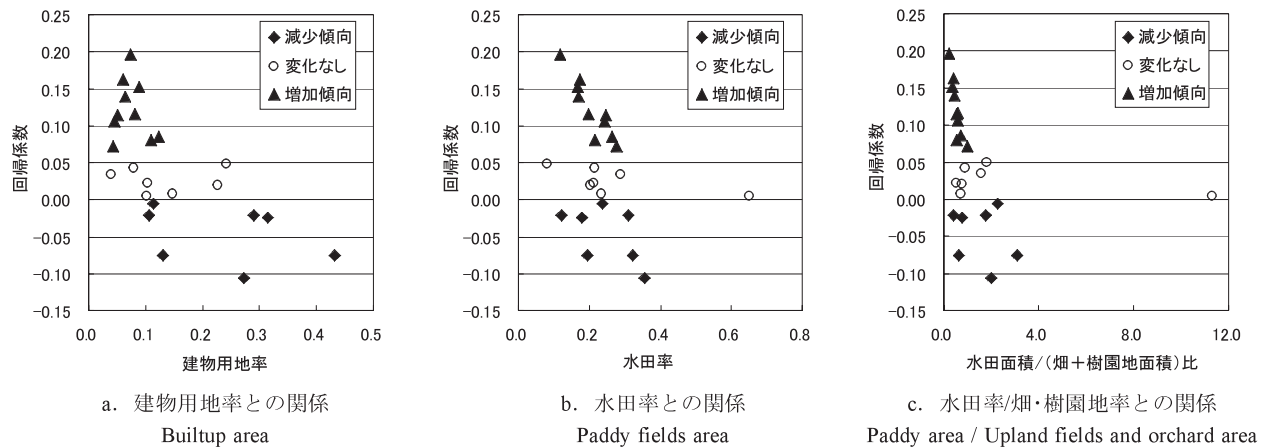


Fig.8 河川流域の土地利用と河川水の全窒素濃度の変化傾向との関係

Relationships between the regression coefficient of total nitrogen concentration and landuse ratio of watershed

横軸は流域の土地利用面積率（国土数値情報 1/10 細分土地利用 1998 年から流域ごとに集計）

もしくはその比縦軸は全窒素濃度変化の回帰係数（Fig.6 の回帰直線の傾き）

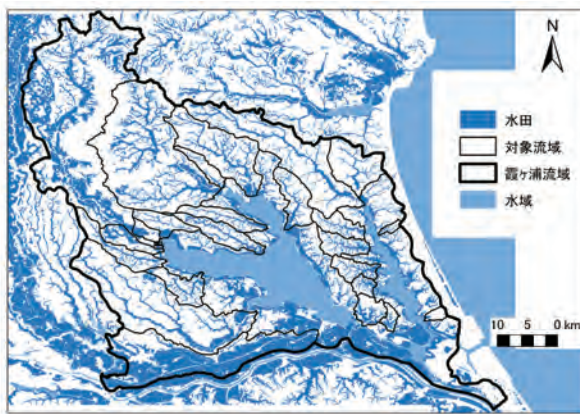


Fig.9 霞ヶ浦流域の水田分布

Paddy fields area of the Lake Kasumigaura watershed

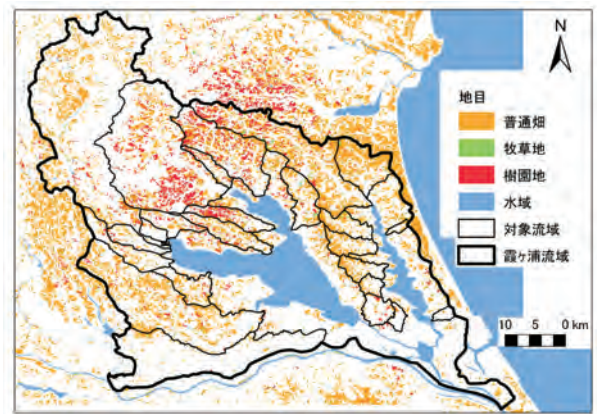


Fig.10 霞ヶ浦流域の畑，樹園地の分布

Upland fields area of the Lake Kasumigaura watershed

（農林水産省平成 14 年第 4 次土地利用基盤整備基礎調査より作成）

水のくみ上げや霞ヶ浦からの用水を用いた陸田とよばれる水田が見られるのも本地域の特徴である（Fig.9）。平坦な台地上位面では畑，樹園地（果樹）が主な土地利用で，特に，畑は低地との比高が小さく平坦な流域の上流部に多く，比高の大きい下流部では平坦地が少なく急斜面が多くなるため主に林地として利用され畑は少ない（Fig.10）。

2 河川水の全窒素濃度が上昇する要因

1) 窒素負荷量の変化

窒素濃度上昇の要因として，まず考えられるのが流域の窒素負荷量の増加である。霞ヶ浦流域全体で見ると，豚頭数は 1990 年をピークにやや減少傾向，牛頭数はほぼ横ばいであり，人口は増加傾向にある（Fig.11）。生活排水についてみると，霞ヶ浦流域全体では下水道利用人口は増加している（Fig.12）。一方では，単独処理浄化槽や合併処理浄化槽も増加しており，下水道整備による負荷減少を戸別浄化槽の増加による負荷増大で埋めて

いる（田淵，2005b）とされ，Fig.6 において都市域を含む流域では窒素濃度の減少傾向が見られたものの，農村部では増加傾向が見られたことから，地域的には生活排水の処理方式の変化も濃度上昇の一因である。

面源系では，畑，水田の面積はともに減少傾向にあるが，水田にくらべ畑の減少割合が高く，畑に対する水田の面積比は増加傾向となっている（Fig.13）。茨城県全体で見ても同じ傾向が見られ，1970 年と 2000 年を比較すると畑は約 5 割，水田は約 2 割減少している（Fig.14）。耕地面積の減少から施肥に由来する面源系の窒素負荷量は減少していると考えられる。多肥作物への転換により単位面積当たりの施肥量が増加した可能性も考えられるが，Fig.15 に示すように茨城県内の化学肥料の流通量は 1980 年代に横ばいであったものが 1992 年以降急激に減少し，かつ化学肥料流通量の減少割合が畑面積の減少割合より高いことに加え，全国の水田への単位面積当たりの施肥量（Fig.16）が減少していることから，同一の作物であれば環境保全型農業の推進により減肥が普及し，

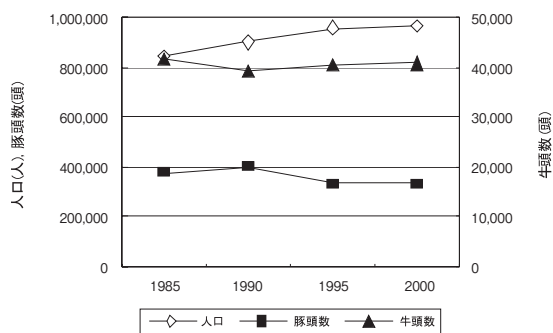


Fig.11 霞ヶ浦流域の人口、家畜頭数変化
Population and number of animals (pigs, cattle)
in the Lake Kasumigaura watershed
茨城県資料より作成

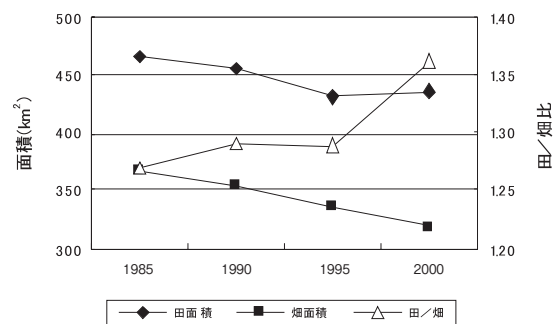


Fig.13 霞ヶ浦流域の農地面積変化
Cultivated land of the Lake Kasumigaura watershed
茨城県資料より作成

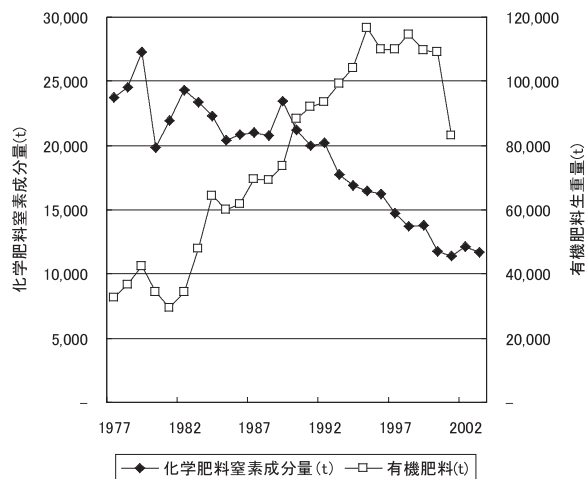


Fig.15 茨城県の肥料流通量
Amount of fertilizer circulation in Ibaraki Prefecture
茨城県肥料流通調査報告より

畑面積の減少と合わせて流域全体では面源からの窒素負荷量は減少している。ただし、有機肥料については全量が把握されていないために詳しい状況は不明である。茨城県内における流通量の増加 (Fig.15) と近年の有機農業の推進状況から、場所によっては有機肥料の多投によ

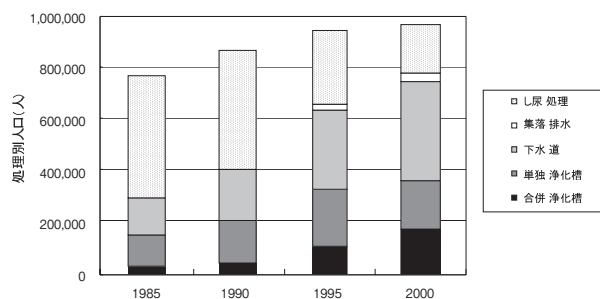


Fig.12 霞ヶ浦流域の生活排水処理方式の変化
Population according to domestic waste water treatment
in the Lake Kasumigaura watershed
茨城県資料より作成

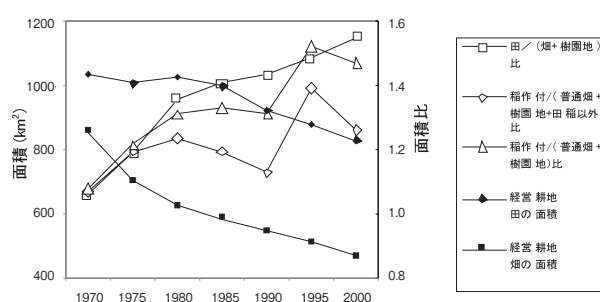


Fig.14 茨城県の農地面積変化
Cultivated land of Ibaraki Prefecture
2000年世界農林業センサスより作成

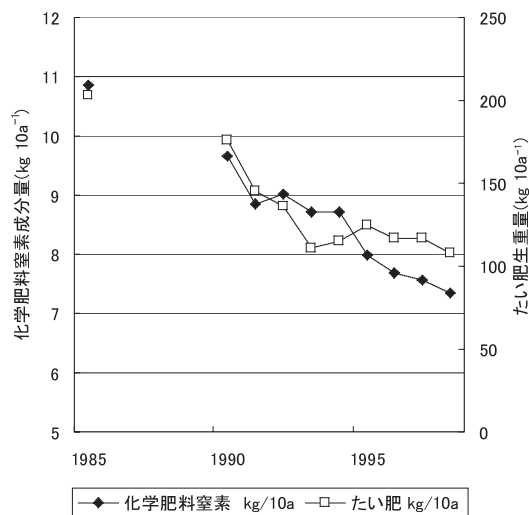


Fig.16 水田への施肥量の変化
Change in amount of applied nutrient into paddy fields
農業生産資材情報センターより
(資料：農林水産省農業統計調査)

り施肥窒素の総量が増加している可能性がある。

次に、Fig.6において窒素濃度変化の傾向の異なる河川として、新川、新利根川、菱木川、鉾田川の4河川について流域ごとに窒素の負荷量と流出量の変化を解析する。人由来の排出負荷は、新川と新利根川では1970年

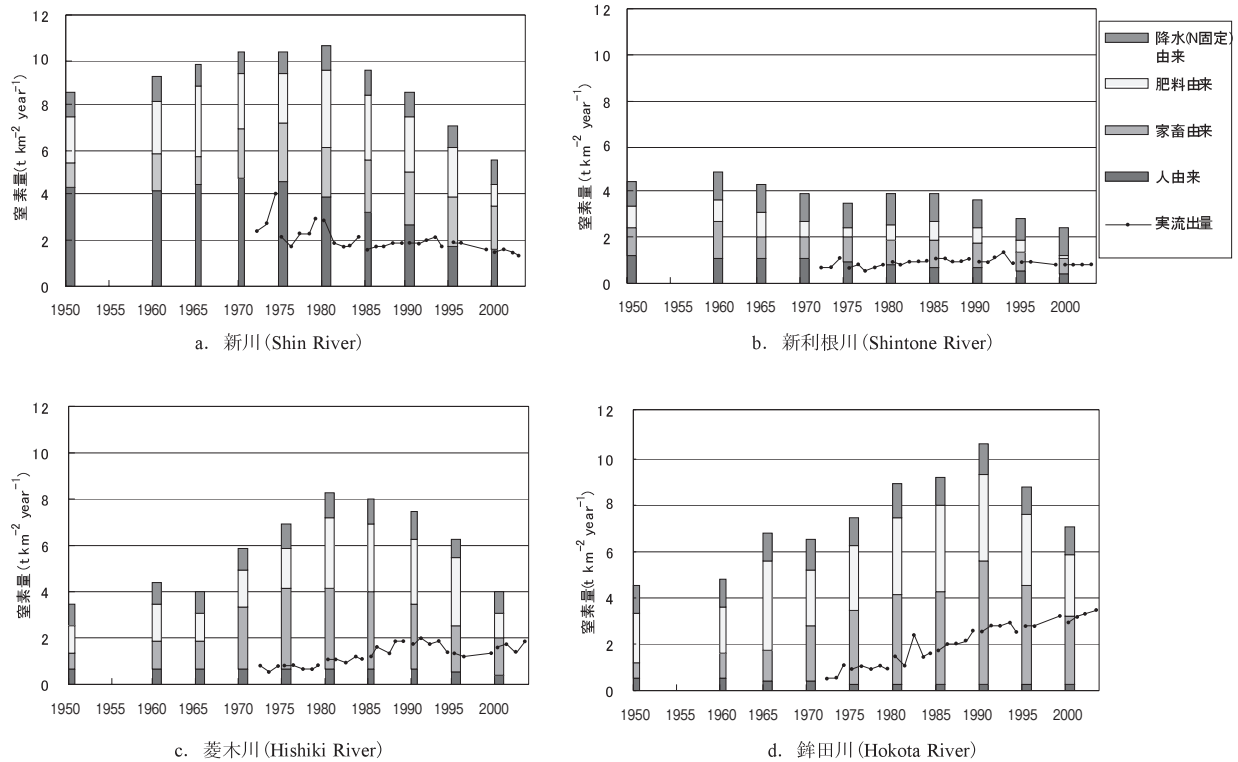


Fig.17 各河川の原因別の全窒素排出負荷量と流出量

N potential outflows in a watershed and actual outflows in the corresponding river

Table 1 河川の全窒素濃度変化と流域の土地利用面積
Regression coefficients of total nitrogen concentration of outflows
and landuse in the corresponding catchment area

	窒素濃度 変化係数	水田 面積率	畑・樹園地 面積率	建物用地 面積率
新川	-0.076	0.323	0.104	0.432
新利根川	0.005	0.651	0.058	0.103
菱木川	0.080	0.215	0.396	0.110
鉾田川	0.196	0.118	0.558	0.074

全窒素濃度変化係数は、1972年から2003年の月別観測値の年平均値の単回帰式の係数(傾き)。公共用水域データより作成。
土地利用面積率は1998年の国土数値情報より作成。

以降に減少、菱木川と鉾田川では横ばいとなっており流域によって傾向が異なる (Fig.17)。人由来の排出割合が高く、その減少が特に大きい新川の全窒素濃度の減少傾向は、実流出量と人由来の負荷量の変化がよく一致しており、下水道の整備など生活排水対策による負荷量の削減の効果と考えられる。新利根川の実流出量は変化の幅は小さいが1970年以降の負荷合計量の変化とよく似ており、家畜由来および肥料由来の負荷の影響が大きいと考えられる。

一方、全窒素濃度が上昇傾向の菱木川と鉾田川では、1990年代までの実流出量が家畜由来および肥料由来の負荷量に少し遅れて変化する傾向を示している。しかし、1990年代前半をピークとして一旦減少した後に1997年頃から再び窒素流出量が増加する傾向については、菱木川、鉾田川ともに増加を示す窒素負荷量の項目は見あたらない。これは Fig.6 の他の増加傾向の河川についても

同様である。

窒素濃度の変化には降雨による希釈の効果も考えられるため、当該年の降水量で各流域の合計負荷量を割ってみたが、結果は負荷量合計の変化とほぼ同じ傾向であった。このように、負荷量や希釈能の変化だけでは最近の河川の窒素濃度変化の傾向を捉えることができない。そこで、濃度変化に重要なもう一つの要因である流域の窒素浄化能の変化について解析する。

2) 流域の窒素浄化能に関わる変化

河川の窒素濃度に影響する要因の一つとして、水田やため池等の窒素浄化能の変化が考えられる。霞ヶ浦流域には広い台地とそれを開析する谷津が多く分布する。谷津の低地や谷壁斜面では、台地の浅層地下水からの湧水が見られ、それらを利用して古くからため池や水田(谷津田)がつくられてきた。水田の多くは谷底につくられるほか、谷壁斜面に階段状に作られている場合も多い。水田やため池、湿地が脱窒や植生吸収による窒素浄化の機能を持つことは以前から知られ、窒素濃度の高い湧水が見られる台地の畑の下流に位置する谷津田では、特に高い浄化機能が期待されている(田淵ら(1983)、小川ら(1984))。

Fig.18 は、濃度変化傾向の異なる4河川の月別全窒素濃度の5年毎の平均値を奇数月について示したものである。すべての河川で1975(1975年~1979年)は5月の濃度が最も高く、7月と9月に低くなり、冬期にやや高くなる傾向が見られる。5月の高濃度は代かき濁水の落水の影響、7、9月の濃度低下は水田へのかんがいによ

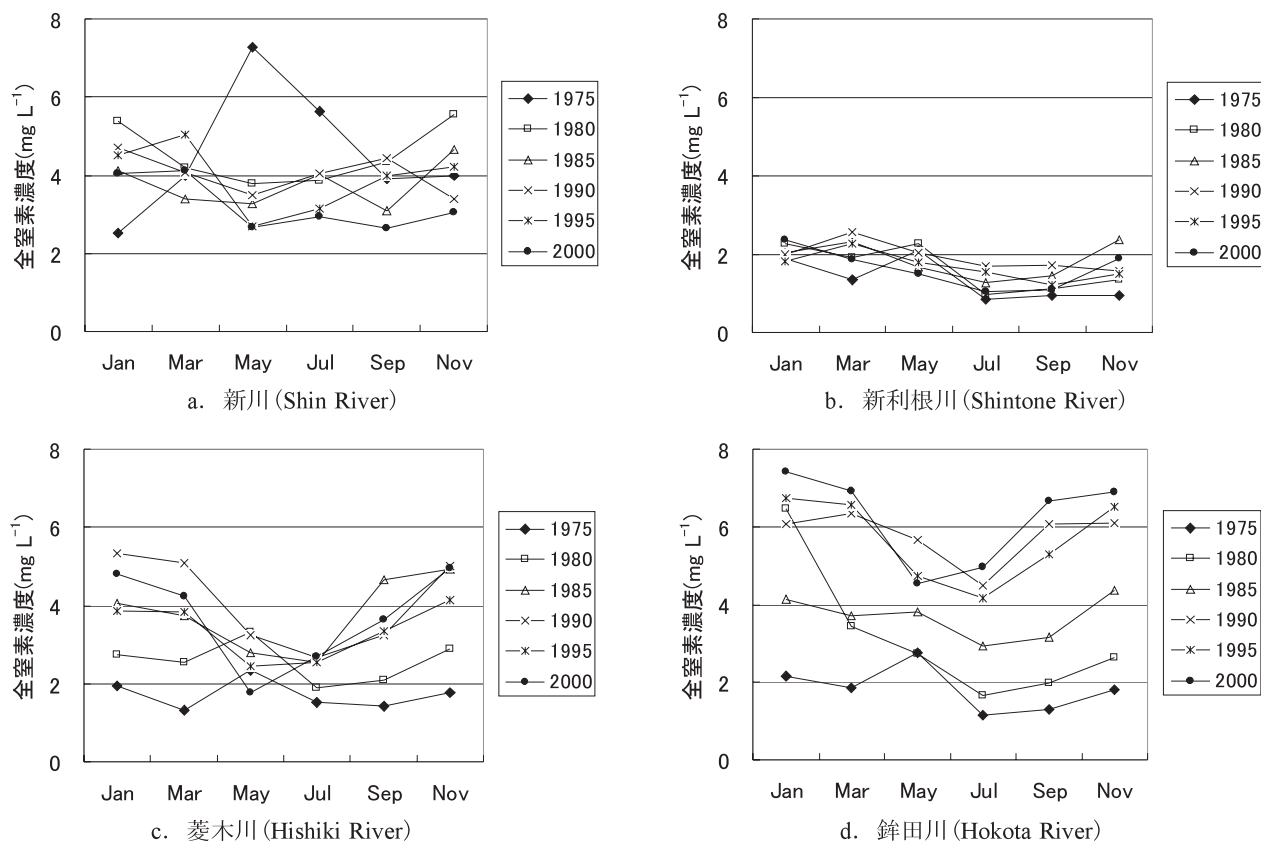


Fig.18 河川の月別全窒素濃度の5年間の平均値 (mg L^{-1}) の推移
 Changes of five-year mean of the monthly total nitrogen concentration in river water
 1975 は 1975 ~ 1979 年の 5 年間の平均値。茨城県公共用水域調査より作成。

る浄化，冬期は水田へのかんがいの停止および低温による脱窒能の低下などによるものと考えられる。いずれの河川も 1980 年代以降は年間の濃度分布に変化が現れ，徐々にかんがい期に濃度が低く非かんがい期に濃度が高いという分布に移行しており，その傾向は鉾田川や菱木川などの窒素濃度が増加傾向の河川に顕著である。

Fig.19 より，菱木川の月別の全窒素濃度の変動を詳しく見ると，1970 年代～1980 年代前半は代かき，田植え時期に高く，非かんがい期にやや高い傾向にある。非かんがい期の濃度は 1978 年～1980 年と 1986 年～1988 年に急激に上昇している。菱木川両岸低地の圃場整備は 2 時期に分けられ，第一期は 1975 年～1979 年に流域の下流側半分，第二期は 1986 年～1990 年に上流側が施工された。圃場整備により循環かんがいの水利システムが構築され，低地水田との境界である台地斜面下部には 2 面柵渠の排水路がつくられた。また，菱木川の支流となる谷津では，一部は土水路の未整備水田あるいはその休耕・放棄水田として残っているが，圃場整備され 2 面柵渠もしくは 3 面コンクリート水路となっている場合も多い。このような構造では，台地の浅層地下水からの湧水は水田を通らず，排水路に直接に流出して河川に流入することが多く，窒素濃度の高い湧水においては脱窒による水田の浄化機能が発揮されない場合があると推測される。濃度上昇と圃場整備の時期が一致することから，投

入窒素量の増加による地下水の窒素濃度の上昇に加え，非かんがい期においては圃場整備に伴う水田の浄化機能の減少が濃度上昇の一因である。

水田の圃場整備は Fig.20（平成 14 年第 4 次土地利用基盤整備基礎調査）に見るようになりに進行し，鉾田川流域では 8 割，菱木川流域でも 6 割を越える整備率となっている。菱木川では，本流沿いの低地はほぼ圃場整備が完了し，1990 年代以降には支流の谷津田についても整備が進行し，ほぼ半数の谷津で排水路，暗渠の整備がなされている。一方では，Fig.19 の圃場整備前後の空中写真に見るように，アクセスが難しく機械作業が困難な谷津田では，休耕や耕作放棄，ため池の消失，荒廃も進行している。

かんがい期は，菱木川両岸の低地ではパイプラインによる河川水の循環かんがいが行われるため，水田の浄化機能が働いている。また，陸田と呼ばれる台地上位面の水田では，湧水や河川水に比べて窒素濃度の低い出島用水（霞ヶ浦から取水）が利用され，さらに窒素濃度の低い低地の井戸（台地の浅層地下水とは異なる帯水層）による地下水かんがいを利用する谷津田もあるため，希釈も窒素濃度を低下させる要因である。さらに，未整備水田やため池等により台地からの高濃度湧水の浄化も見込まれるため，かんがい期の菱木川本流では上流から下流のどの地点をとっても $1 \sim 2 \text{ mg L}^{-1}$ と変化が小さく，非

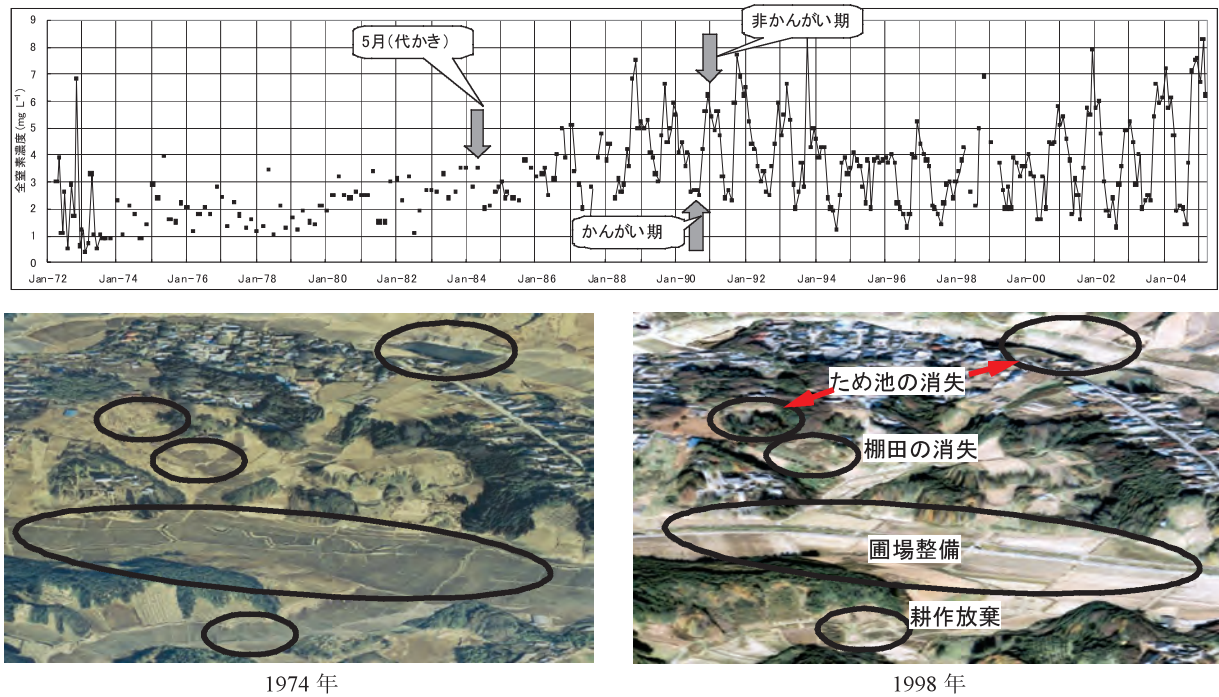


Fig.19 菱木川の月別全窒素濃度の変動傾向の変化と対応する土地の変化状況
Monthly variations in total nitrogen concentration of the Hishiki River and corresponding land condition changes

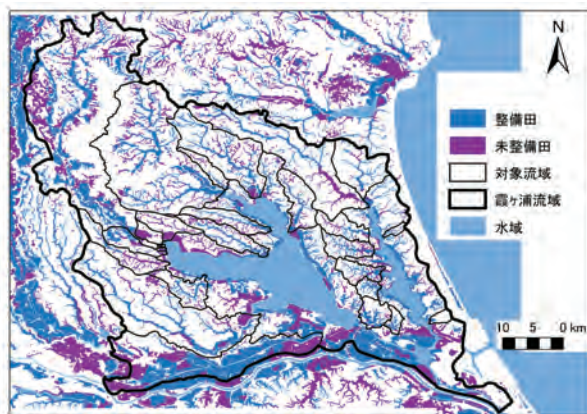


Fig.20 流域の水田整備状況

Farm land consolidation area in the Lake Kasumigaura watershed
農林水産省平成 14 年第 4 次土地利用基盤整備基礎調査より作成

かんがい期に比べ濃度が低い (Fig.21)。Fig.21 の第 9 地点で 2004 年 3 月 12 日と同年 5 月 12 日に突発的な濃度の上昇が見られるが、これは点源 (工場排水) に由来する一時的なものであった。

圃場整備および休耕・耕作放棄が窒素浄化能の低下につながっている可能性は示したが、機能低下の定量的な評価および経年的な変化についてはまだ把握されていない。したがって、霞ヶ浦の支流流域における 1997 年以降の窒素濃度上昇の要因として、休耕、耕作放棄および圃場整備による浄化機能の低下は影響が大きいと推察されるが、その検証は今後の課題である。

3) 流域の窒素負荷と浄化の両方にかかる要因

流域の窒素負荷と浄化の両方にかかる要因としてもう一つ重要なものに田畑転換、転作田がある。Fig.22 は全

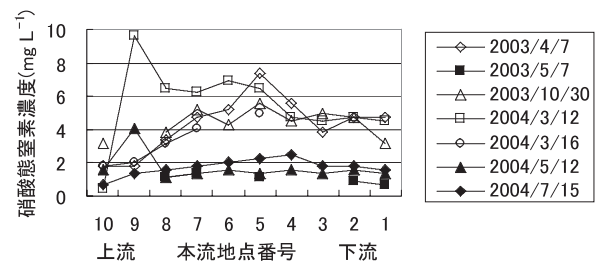


Fig.21 菱木川のかんがい期と非かんがい期の硝酸態窒素濃度 (調査地点番号は Fig.23 を参照)

Spatial distribution of nitrate nitrogen concentrations in the Hishiki River in irrigation and nonirrigation period

国の田、畑面積の減少と田から畑への転換面積の変化である。水田の転作、畑転換では、畑として利用されるため脱窒の機能は著しく低下し、かつ施肥窒素による負荷の増大が懸念される。特に、基盤整備により暗渠が整備された水田では、降雨等の浸透水は暗渠を通して速やかに排水路に流出し、かつ水田は地形や土地利用の連鎖の最下流に位置することが多いため、下流域での浄化を期待できず、その転作による流域への影響は台地の畑よりも大きい。霞ヶ浦流域のように窒素濃度の高いかんがい水の流入が多い水田における転作では、浄化機能の喪失となる。すなわち、水田転作はこれまで流域外への窒素流出の削減に対して、正の大きな値から負の大きな値に変わる可能性が高い。

転作作物としては大豆や小麦、ソバなど比較的施肥量の少ない作物が多いが、霞ヶ浦流域では、ハウス野菜・果物や果樹など比較的多くの肥料を投入する作物が栽培されている地域もある。霞ヶ浦流域内の水田および転作

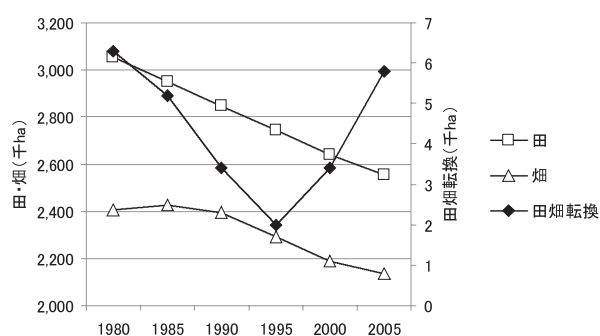


Fig.22 農地面積の変化 (全国)

Area of cultivated land, and transfer from paddy fields to upland fields

田、転換畑で暗渠排水の硝酸態窒素濃度の調査を行った結果では、水稻作の場合、かんがい期、非かんがい期を通じて 1 mg L^{-1} を超える田は少ないのに対して、畑作利用されている水田の場合に数～数十 mg L^{-1} の範囲で濃度の高い暗渠排水が多く見られた。水田の転作、転換畑利用の面積は今後も拡大すると予想される。圃場レベルの流出機構の解明に加え、その流域への影響を明らかにし、対策についての検討が必要である。

3 谷津田流域における非かんがい期の窒素浄化機能の変化

水田の窒素浄化能については、小川ら (1984, 2000)、田淵ら (1987, 2005a) など多くの計測、実験事例がある。ここでは菱木川を事例に、流入する水路についての硝酸態窒素濃度の実測値と土地利用別の原単位法による推定値との差および集水域の地形や谷津田の有無との関係から、最近の谷津田環境の変化を踏まえつつ、流域単位で見た場合の浄化能の有無について検討する。特に、循環かんがいの水利システムを利用した浄化が期待できず、窒素濃度が上昇する非かんがい期を対象に水田の効果について議論する。

菱木川を小流域 (Fig.23 の支流の流域) に区分し、小

流域の末端で表流水の硝酸態窒素濃度と流量の測定を2003年4月に、小流域内部の湧水と表流水の硝酸態窒素濃度の測定を同年の3～4月に行った。非かんがい期には、中流の小流域で窒素濃度が高く (最高値 15.9 mg L^{-1})、本流の濃度もほぼ中間の第5地点の濃度が 7.4 mg L^{-1} と最も高く、下流の小流域は濃度の低い流域が多いため希釈され河口に近い第1地点では 4.7 mg L^{-1} まで低下した。

Fig.24 は小流域において表流水の硝酸態窒素濃度の実測値を被説明変数、土地利用別の原単位法 (田淵ら, 1986) による流出窒素濃度の推定値を説明変数として、小流域の地形と水田の有無による相違から非かんがい期の浄化機能の有無を調べたものである。小流域内に谷底面を含む場合を谷底型小流域、谷底面を含まない場合を斜面の形状により谷斜面型小流域と直線斜面型小流域として区分した (Fig.5)。

谷津田を含む35の谷底型小流域では、流域に占める谷津田面積比を0.1で2区分すると谷津田面積比の高いグループで実測値の濃度に低い傾向が見られた。さらに図には示していないが未整備水田の有無で窒素濃度を比較すると、未整備の谷津田がある小流域で実測窒素濃度が低い傾向が見られた。谷斜面型と直線斜面型の48の小流域では、谷壁斜面に湧水を利用した水田がある場合に流出する窒素濃度が低くなる傾向がみられた。これらから非かんがい期でも水田により窒素が浄化されていると考えられる。田淵ら (2005a) は谷津田の通年の湛水試験から非稲作期にも湛水により窒素浄化があることを示した。

台地の流域では、古くから湧水を利用して谷底面や谷頭凹地、谷壁斜面に水田が作られている。台地が畑や果樹園として利用されている場合、浅層地下水の硝酸態窒素濃度が高くなることが多く、菱木川流域の谷津田でも 10 mg L^{-1} を越える高窒素濃度の湧水が田越しにかんがいされる場所もある。これら湧水は、かんがい期には田面に湛水され、表面排水や浸透水として下流の田に移動

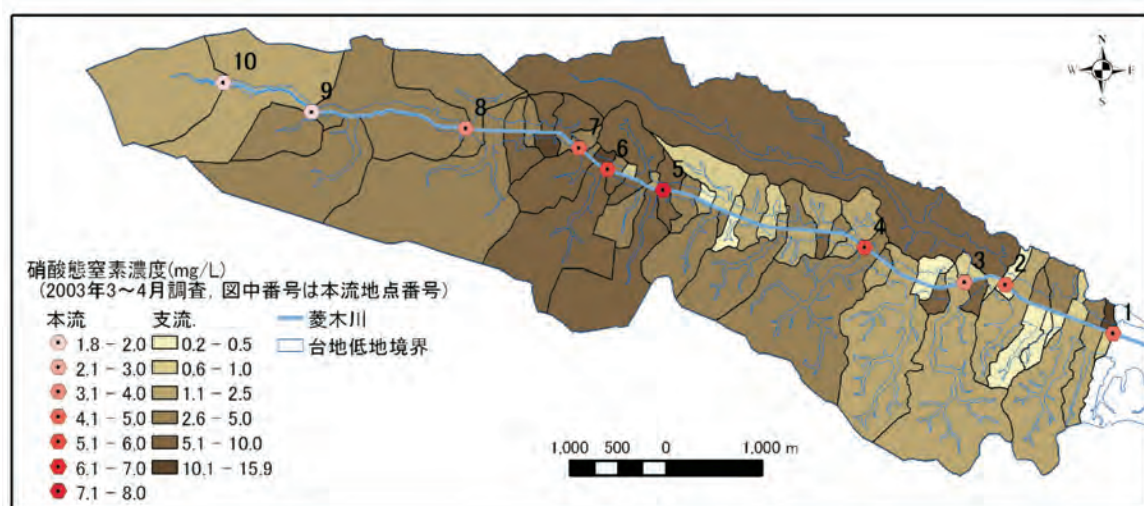


Fig.23 菱木川の本流および支流 (小流域) の表流水の硝酸態窒素濃度分布

Nitrate nitrogen concentrations in main and branch streams of the Hishiki River

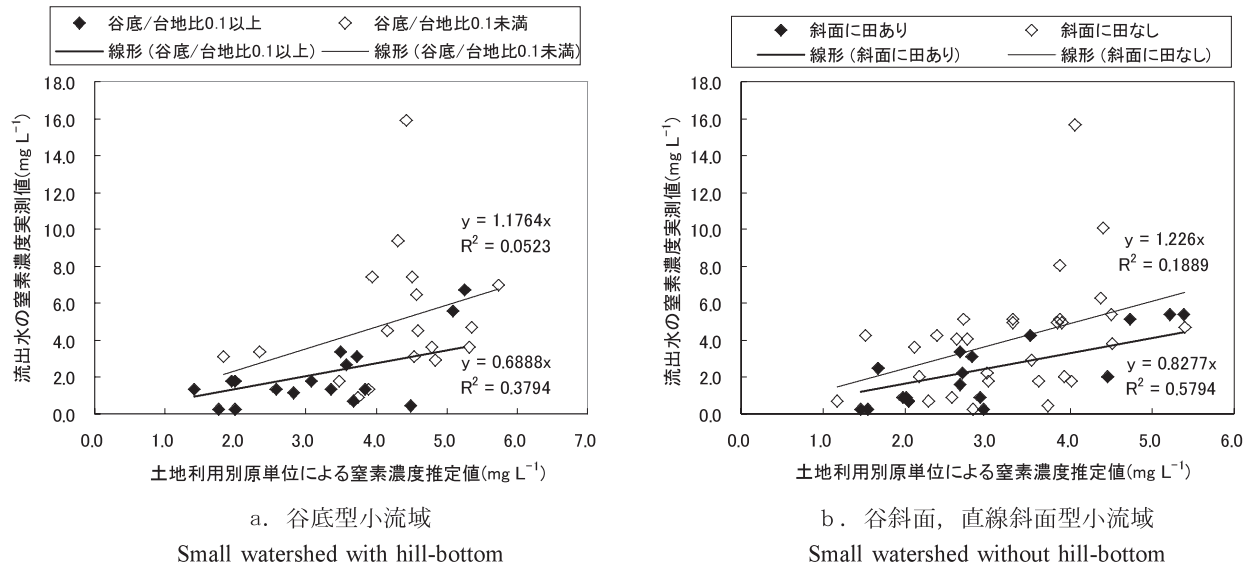


Fig.24 小流域における水田の有無と流出負荷

Relationship between nitrogen outflow and existence of rice paddy in small watershed

a. 谷底型小流域は、流域の谷底面積と台地面積の比を 0.1 で 2 区分して比較した。

b. 谷斜面, 直線斜面型小流域は、斜面の水田の有無で 2 区分して比較した。

するにしたがって徐々に濃度が低下する。非かんがい期では田面に入らずに水路を流下して濃度が低下しないまま系外に排出されるが、未整備田などで田面との比高の小さい土水路の場合には、田面へのしみだしや流入も見られるなど非かんがい期にも浄化機能が發揮されていると考えられる水田が多い。また、数は少ないが、かんがいを湧水に頼っている場合に 12 月から湛水を始める水田も見られた。

しかし、圃場整備された谷津田では、2 面柵渠、3 面張りコンクリート水路や暗渠によって非かんがい期に湧水が速やかに排水されるため、浄化機能が低下している。菱木川両岸の低地は、ほぼ基盤整備され菱木川からの揚水による循環かんがいが行われている。谷津でも 5 割以上で排水路や暗渠、地下水を水源とするかんがい用管路が整備され、台地湧水の窒素を浄化する可能性が高い未整備水田が少なくなっている。さらに、残った未整備水田では 4 割近くが休耕、放棄されており、谷壁斜面・麓部の湧水を利用したテラス状の未整備水田は、かつて谷壁斜面の湧水帯に沿って多く見られたが、その 9 割近くが放棄や植林によって消失し、窒素の浄化機能が失われつつある。

IV 結 言

霞ヶ浦流域の河川について統計情報をもとに流域内の土地利用と窒素負荷量の変化について検討を加え、流域の窒素浄化機能が低下しているのではないかとの視点に立ち、主要な河川の全窒素濃度の変化について解析した。その結果、1990 年代半ばまでの窒素濃度の変化は面源および点源の窒素負荷量変化と関係が強いこと、循環灌

漑により灌漑期の窒素濃度上昇が抑制されていること、1997 年以降の窒素濃度上昇に対応する窒素負荷量の増大は見られないことを明らかにした。さらに、その一支流域である菱木川流域の事例解析から流域内の水田の減少や水田の圃場整備と休耕・放棄など管理状態の変化により窒素浄化機能が低下している現状を把握した。これらより、1997 年以降の窒素濃度上昇が窒素浄化機能の低下が一因であることを示した。

これら窒素浄化機能の変動に関わる休耕・耕作放棄、田畑輪換、圃場整備等の経年変化について、流域を対象に解析できる情報はない。今後、必要な GIS の数値情報の整備により浄化機能の定量的な変動評価を行うことが必要である。

また、流域への環境負荷の削減に向けた環境保全型農業の取り組みへの要望は、今後一層高まるものと思われる。一方では、畜産廃棄物の農地還元、有機農業の進展、バイオマス燃料用の作物生産などの施策も展開され、地域にとっては新たな窒素負荷となる可能性も懸念される。流域内の持続的な環境の形成のためには、窒素負荷量の一層の削減とともに流域内の浄化機能の向上が必要である。特に、谷津が広く分布する関東の台地では谷津田の耕作放棄も多く、水田、ため池、湿地等を利用した窒素浄化には、流域外への排出負荷を削減するとともにビオトープや集落の景観管理への効果も考えられる。

2007 年度から農地・水・環境保全向上対策が本格実施されるなど、農村の環境保全に向けた取り組みが進む中、地域資源を活かした保全技術の開発が期待されている。そうした期待に応えることができる貴重な資源である谷津田を、その機能を発揮できるように維持、管理する手法の開発が課題である。

参考文献

- 1) 茨城県霞ヶ浦対策課 (2002): 霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画, 第 4 期.
- 2) 茨城県環境対策課 (1972 ~ 2005): 茨城県公共用水域調査.
- 3) 茨城県肥飼料検査所 (1993): 茨城県肥飼料検査所創立 30 周年記念誌, p36-41.
- 4) 茨城県肥飼料検査所 (2003): 茨城県肥飼料検査所創立 40 周年記念誌, p32-124.
- 5) 茨城県肥飼料検査所 (2004): 平成 15 年度茨城県肥料流通調査報告, p8-13.
- 6) Itahashi, S., Komada, M. and Takeuchi, M. (2006): Methods for estimating the Nitrogen Load on a Catchment Scale, *JARQ*, **40**, 131-142.
- 7) 松森堅治 (2005): 地理情報システムを用いた窒素負荷予測, 続・環境負荷を予測する, 博友社, 東京, p60-79.
- 8) 農林水産省関東農政局: 茨城県農林水産統計年報
- 9) 農林統計協会: 2000 年世界農林業センサス
- 10) 小川吉雄・酒井 一 (1984): 畑地から水田へ流入した硝酸態窒素の動向, 土肥誌, **55**, 533-538.
- 11) 小川吉雄・加藤英孝・陽 捷行 (2000): 地下水面直上部における降下浸透水中の硝酸態窒素の消長と土壌の脱窒能, 土肥誌, **71**, 494-501.
- 12) 田淵俊雄・鈴木誠治・高村義親 (1983): 非稲作期の谷津田における畑地流出水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の除去について, 農土論集, **104**, 9-15.
- 13) 田淵俊雄・高村義親 (1986): 集水域からの窒素・リンの流出, 東京大学出版会, 東京, 226pp.
- 14) 田淵俊雄・末正奈緒希・高梨めぐみ (1987): 水田湛水による硝酸態窒素の除去試験, 農業土木学会誌, **61**, 53-58.
- 15) 田淵俊雄・黒田久雄・篠田鎮嗣 (2005a): 湛水流下過程における硝酸態窒素濃度の低下, 土壌の物理性, **99**, 65-72.
- 16) 田淵俊雄 (2005b): 湖の水質保全を考える, 技法堂出版, 東京, p194.

Changes of Nitrogen Concentration in Branch River of Lake Kasumigaura and Their Causes

MATSUMORI Kenji and ITAHASHI Sunao

Summary

Recently, the change concerning the management situation of the paddy field like the abandonment of cultivation, the paddy-upland rotation, and the farm land consolidation, etc. is large. It is expected that a decrease in the paddy field area and these changes influence the nitrogen outflow load of the watershed as a decrease in the water quality purification ability.

Then, causes of the change of the nitrogen concentration was examined in branch rivers of the Lake Kasumigaura in Ibaraki Prefecture. In this study, water monitoring data of 24 rivers observed by public sectors, statistical data and GIS data were analyzed. And then, to clarify the decrease in the purification function, high density synoptic observed data of nitrate-nitrogen concentration in the Hishiki River watershed that is branch in Lake Kasumigaura were analyzed.

As a result, it became clear the following. ①The change in nitrogen concentration until middle of the 1990's relates to the nitrogen load amount change of the non-point and point source. ②The rise of the nitrogen concentration of the irrigation period is controlled by the cyclic irrigation. ③The increase of the amount of the nitrogen load corresponding to the rise of the concentration of nitrogen after 1997 is not observed. ④The nitrogen purification ability has decreased by the change in the condition of the paddy field such as fallow, abandonments, and rotational upland fields.

Keywords : Nitrate-nitrogen, paddy field, denitrification, farm land consolidation, cultivation abandonment