

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
環境学研究系自然環境学専攻  
自然環境形成学分野  
2009年度  
修士論文

都市郊外部における低湿地活用を中心とした生活系汚濁負荷対策  
による負荷低減効果

Potential for pollution loads from households reduced through wastewater treatment centered  
around wetlands in suburban areas

2010年2月26日  
2009年度3月修了  
指導教員 横張 真 教授  
086620 古木 治郎

## 目次

目次	-----	2
図表一覧	-----	4
第1章 研究の背景・目的・構成	-----	6
第1節 研究の背景	-----	6
1. はじめに	-----	6
2. 日本国内における生活系汚濁負荷と負荷対策	-----	7
3. これからの生活系汚濁負荷への負荷対策	-----	8
4. 小規模分散型の生活排水処理システムにおける負荷対策	-----	9
5. 湿地での植生浄化による流下経路での負荷対策	-----	9
6. エコロジカルサニテーションによる発生源での負荷対策	-----	12
第2節 研究の目的・構成・対象地	-----	13
1. 研究の目的	-----	13
2. 研究の構成	-----	13
3. 本研究における「小流域」の捉え方と解析の方針	-----	14
4. 研究対象地域	-----	15
第2章 生活系汚濁負荷の発生状況	-----	17
第1節 目的と方法	-----	17
第2節 印旛沼流域の小流域の抽出	-----	22
第3節 印旛沼流域内の生活系汚濁負荷の処理状況の把握	-----	24
第4節 各小流域の個別処理人口の推定	-----	25
第5節 各小流域の生活系汚濁負荷の発生量の推定	-----	26
第3章 低湿地での植生浄化による負荷低減効果	-----	27
第1節 目的と方法	-----	27
第2節 低湿地での植生浄化による負荷浄化量の推定	-----	29
第3節 低湿地での植生浄化による負荷低減効果の推定	-----	30
1. 小流域内での負荷低減効果	-----	30
2. 小流域間での負荷低減効果	-----	32
第4章 低湿地での植生浄化・エコロジカルサニテーション導入による 複合的な負荷低減効果	-----	33

第1節	目的と方法	-----	33
第2節	エコロジカルサニテーション導入時の生活系汚濁負荷の発生量の推定	--	34
第3節	エコロジカルサニテーション導入による負荷低減効果の評価	-----	35
第4節	低湿地での植生浄化・エコロジカルサニテーション導入による 複合的な負荷低減効果の評価	-----	35
	1. 小流域内での負荷低減効果	-----	35
	2. 小流域間での負荷低減効果	-----	37
第5章	結論および展望	-----	38
第1節	研究の結論	-----	38
	1. 研究の結果	-----	38
	2. 現行計画との比較	-----	38
第2節	今後の展望	-----	40
注釈		-----	43
引用文献		-----	43
謝辞		-----	46

## 図表一覧

第 1 章 研究の背景・目的・構成	
図 1-1	主要な海域における汚濁負荷量の推移 ----- 7
図 1-2	本研究で想定する小規模分散型の生活排水処理システムにおける負荷対策 ----- 9
図 1-3	植生浄化の原理 ----- 10
図 1-4	植生浄化法の実施例 ----- 10
図 1-5	谷底平野で生じている耕作放棄田 ----- 11
図 1-6	エコロジカルサニテーション ----- 12
図 1-7	本研究の構成 ----- 14
図 1-8	小流域内・小流域間（下流部）での負荷対策 ----- 15
図 1-9	印旛沼流域 ----- 15
図 1-10	印旛沼利流域の土地利用 ----- 16
図 1-11	印旛沼に流入する負荷の発生源別割合 ----- 16
第 2 章 生活系汚濁負荷の発生分布の把握	
図 2-1	小流域界の修正の例 ----- 17
図 2-2	集合処理の整備状況の把握に用いた下水道計画図（汚水）の例 ----- 18
表 2-1	集合処理の整備状況の把握に用いた計画図 ----- 19
表 2-2	印旛沼流域内の各市町村の集合処理状況 ----- 19
表 2-3	印旛沼流域内の各市町村の個別処理状況 ----- 20
図 2-3	各小流域の個別処理の算出方法 ----- 21
表 2-4	個別処理タイプ別の発生負荷原単位 ----- 21
図 2-4	抽出された印旛沼流域の小流域 ----- 22
図 2-5	印旛沼流域のカスケード構造 ----- 23
図 2-6	生活系汚濁負荷の処理状況 ----- 24
図 2-7	個別処理人口の分布 ----- 25
図 2-8	生活系汚濁負荷の発生量 ----- 26
第 3 章 低湿地での植生浄化による負荷低減効果	
図 3-1	低湿地の抽出の例 ----- 27
表 3-1	低湿地の負荷低減量の原単位 ----- 28
図 3-2	抽出された低湿地の分布 ----- 29
図 3-3	各小流域の低湿地面積 ----- 29

図 3-4	推定された低湿地の負荷低減量	-----	30
図 3-5	低湿地での植生浄化後の生活系汚濁負荷の残存量	-----	31
図 3-6	小流域内での更なる負荷低減が可能な小流域	-----	31
図 3-7	小流域内および小流域間での負荷低減効果	-----	32
表 3-2	低湿地での植生浄化による負荷低減効果	-----	32

#### 第 4 章 低湿地での植生浄化・エコロジカルサニテーション導入による複合的な負荷低減効果

表 4-1	エコロジカルサニテーションの発生負荷原単位	-----	33
図 4-1	エコロジカルサニテーション導入時の生活系汚濁負荷の発生分布	-----	34
表 4-2	エコロジカルサニテーション導入による負荷低減効果	-----	35
図 4-2	複合的負荷対策後の生活系汚濁負荷の残存量	-----	36
図 4-3	小流域での更なる負荷低減が可能な小流域	-----	36
図 4-4	小流域内および小流域間での負荷低減効果	-----	37
表 4-3	複合的負荷対策による負荷低減効果	-----	37

#### 第 5 章 結論および展望

表 5-1	各負荷対策による負荷低減効果	-----	38
表 5-2	緊急行動計画による生活系汚濁負荷の低減目標	-----	39
表 5-3	緊急行動計画による負荷低減効果	-----	40
表 5-4	印旛沼の環境基準値と「湖沼水質保全計画（第 5 期）」目標値	-----	40

# 第1章 研究の背景・目的・構成

## 第1節 研究の背景

### 1. はじめに

依然として河川や湖沼の主要な汚濁源である生活系汚濁負荷に対する新たな負荷対策として、近年、「分散型都市サニテーション (Decentralised Urban Sanitation)」(Lens et al., 2001) といったコンセプトに代表される、小規模分散型の排水処理システムが希求されている。その背景には、従来の公共下水道に代表されるような大規模集中的な排水処理への問題提起がある。各世帯からの生活排水を大量の水道水で希釈して回収し、高価格・高エネルギーで複雑な排水処理技術により処理する大規模集中的な排水処理は、水や資源の循環、エネルギー利用、整備・維持管理コストなどの面で、持続可能な排水処理システムとは言えない (Lettings et al., 2001)。

小規模分散型の排水処理システムを担う新たな手法のひとつとして、近年、湿地などにおいて水生植物を用いて汚濁負荷を除去する「植生浄化法」が注目されている(社団法人日本水環境学会, 2007)。植生浄化法は、閉鎖性水域での富栄養化の原因物質である窒素やリンの除去にとくに優れており、従来の排水処理では除去が困難であった窒素やリンといった生活系汚濁負荷を、その「流下経路」で除去することができる。植生浄化法については、その有効性が言われて久しいものの、日本国内においては大規模面積の湿地の確保が難しく、その実施事例は多くない現状にあった。しかし、近年、都市郊外部では、耕作放棄田・休耕田由来の湿地が多く生じていることから、元来集水性に優れているこのような湿地は新たな植生浄化法の場として期待される。今後、このような湿地の水質浄化機能(尾崎, 1998)を活用した生活系汚濁負荷の負荷対策は、耕作放棄田・休耕田の新たな活用策という点からも期待され、延いては都市郊外部の緑地計画への新たな知見ともなることが期待される。

他方、小規模分散型の排水処理システムの議論においては、「流下経路」での負荷対策に加え、各世帯における「発生源」での負荷対策も求められる。発生源での負荷対策としては、「エコロジカルサニテーション」に代表される汲み取り型し尿処理がある。汲み取り型し尿処理は、生活系汚濁負荷において大部分を占めるし尿由来の窒素やリンの除去に加え、それらの資源利用の面からも有効とされている。そのため、「バイオマスニッポン総合戦略」(2006年閣議決定)においても述べられているように、資源の乏しいわが国では、枯渇が危惧されているリンをはじめとした栄養塩の有効な回収・利用が希求されていることから、汲み取り型し尿処理は生活系汚濁負荷低減および資源利用の両面から強く求められるところである。

本研究では、以上のような社会的背景より、まず湿地での植生浄化による生活系汚濁負

荷低減効果に関する議論を、本研究の第一のオリジナリティとして議論の中心に据える。加えて、小規模分散型排水処理システム全体での議論を完結するべく、汲み取り型し尿処理によるさらなる生活系汚濁負荷低減効果の議論を行う。そして、これらの議論より、都市郊外部における今後の新たな生活系汚濁負荷対策として、低湿地活用を中心とした小規模分散型の負荷対策による負荷低減効果を明らかにする。

本研究の詳細な背景については、以降に整理していく。

## 2. 日本国内における生活系汚濁負荷と負荷対策

日本国内では、住宅から排水される生活系汚濁負荷による水質汚濁が、1950年代中頃からの高度経済成長期に始まった。都市部の人口増加に比べ、安価な化学肥料の普及による下肥へのニーズの低下、生活様式の変化に伴う水洗トイレのニーズの増加といった社会情勢の変化に対して、下水道をはじめとした排水処理システムが立ち遅れ、生活系汚濁負荷による河川や湖沼への水質汚濁が顕在化した。

今日でも生活系汚濁負荷は依然として河川や湖沼への主要な汚濁源となっている。生活系汚濁負荷（T-N・T-P）の発生状況（図1-1）を見てみると、主要な海域において全汚濁負荷に占める生活系汚濁負荷の割合は、東京湾でT-N：65%、T-P：70%、伊勢湾でT-N：40%、T-P：47%、瀬戸内海でT-N：33%、T-P：41%と依然として高いことが分かる（環境省、2006）。そのため、今後も生活系汚濁負荷への更なる対策が希求される。

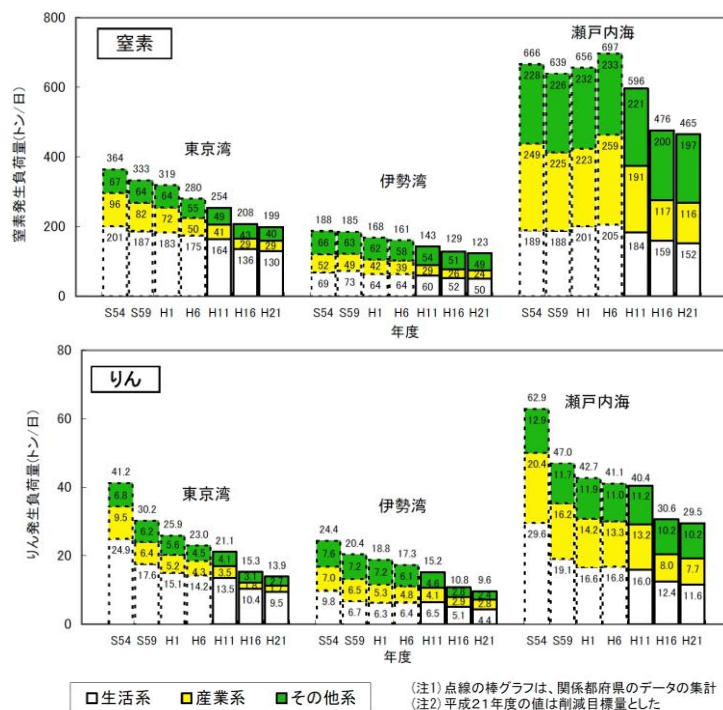


図 1-1 主要な海域における汚濁負荷量の推移

「化学的酸素要求量、窒素含有量及びりん含有量に係る総量削減基本方針に関する参考資料」

(環境省、2006) より引用

生活系汚濁負荷への負荷対策では、これまで都市部を中心に公共水道などの大規模集中型の排水処理が目指されてきた一方、都市郊外部においては処理能力の劣る個別処理による対応がなされてきた。人口規模の大きい市区町村の市街化区域や非線引き区域の既成市街地といったいわゆる都市中心部では、1970年の水質汚濁防止法の成立および下水道法の改正を背景に、公共用水域の水質保全を目的とした下水道の計画的な整備が成されてきた。その結果、都市部の各世帯から生じた生活排水は、大規模集中型の排水処理システムにより、管渠で一括収集され終末処理場において大規模に処理されてきた。

その一方で、市街化調整区域・非線引き区域の既成市街地といった都市中心部の外に位置する都市郊外部では、下水道の未整備・計画区域外の地域が多く存在している。それらの地域では、各家屋に設置された汲み取り処理や単独処理浄化槽、合併処理浄化槽<sup>註1</sup>)を用いた個別処理が行われてきた。その結果、費用対効果の低さから大規模集中型の排水処理システムが整備できない「都市に劣る」地域として、処理能力の劣る個別処理による負荷対策がいわば対処療法的に講じられてきた。

### 3. これからの生活系汚濁負荷への負荷対策

今後の生活系汚濁負荷への負荷対策では、持続可能な「水循環」「資源循環（回収および利用）」「エネルギー利用」などの点から、小規模分散型の排水処理システムを議論する必要がある（船水，2005,2009）。戦後、日本国内の都市部を中心に整備されてきた大規模集中型の排水処理システムは、生活系汚濁負荷の高効率な処理という点のみにおいては有効に機能してきた。しかし、水・資源循環やエネルギー利用の観点から鑑みると、窒素やリンといった栄養塩を含む生活系汚濁負荷を大量の水道水で希釈して回収し、エネルギー消費量が高く、複雑な排水処理技術をもちいて行う排水処理は、必ずしも優れた排水処理システムとは言えない（Lettings et al., 2001）。特定の地点から取水され浄水された大量の水道水によって生活系汚濁負荷を輸送・回収し、処理後に特定の地点で放流する従来の大規模集中型の排水処理システムは、水循環の変化に伴う流域の生態系サービスの低下（谷内，2009）、施設の維持や更新のための高額な投資、資源の回収効率の低下（Lettings et al., 2001）など、多くの課題を有している。

このような観点から生活系汚濁負荷への負荷対策を展望すると、以下のことが言える。すなわち、人口の集中する DID（人口集中）地区を代表するような都市中心部では、世帯が密集かつ大多数あるため、費用対効果の面から今後も依然として大規模集中型の排水処理システムを活用することが妥当と考えられる。しかし、その一方、人口が散在する都市郊外部では、従来の各世帯での個別処理や集落での集合処理を見直し、より生活系汚濁負荷の低減効果に優れた小規模分散型の排水処理システムを構築する必要がある。つまり、生活系汚濁負荷の流下径路や発生源において、持続可能な水・資源循環、エネルギー利用に根ざした負荷対策を目指す必要がある。



#### 4. 小規模分散型の生活排水処理システムにおける負荷対策

小規模分散型の生活排水処理システムに関しては、近年多くの議論がされている（例えば、Lens et al, 2001 ; Reed et al, 2001 ; Maksimovic, 2003 など）。システムとしての詳細は、いまだ発展段階ではあるが、主には「流下経路」および「発生源」における負荷対策が中心となる。

一般に生活系汚濁負荷の排出プロセスは「発生源」・「流下経路」・「流達水域」に分けられ、各排出プロセスにおいて適切な負荷対策を講じることによって流域全体での負荷低減を目指す必要がある。しかし、生活系汚濁負荷は点源汚濁源で、その排出プロセスが明確であることを考慮すると、拡散することで効率的な負荷低減が困難になる「流達水域」の前段階である「流下経路」および「発生源」において、生活系汚濁負荷を低減することが求められる（図 1-2）。

本研究では、これら 2つの排出プロセスのうち、とくに「流下経路」における耕作放棄田を中心とした低湿地での植生浄化による負荷対策に、議論の新規性を求める。また、小規模分散型の生活排水処理システム全体の議論の完結のために、「流域経路」での負荷対策への補完的な議論として「発生源」での負荷対策を位置づける。

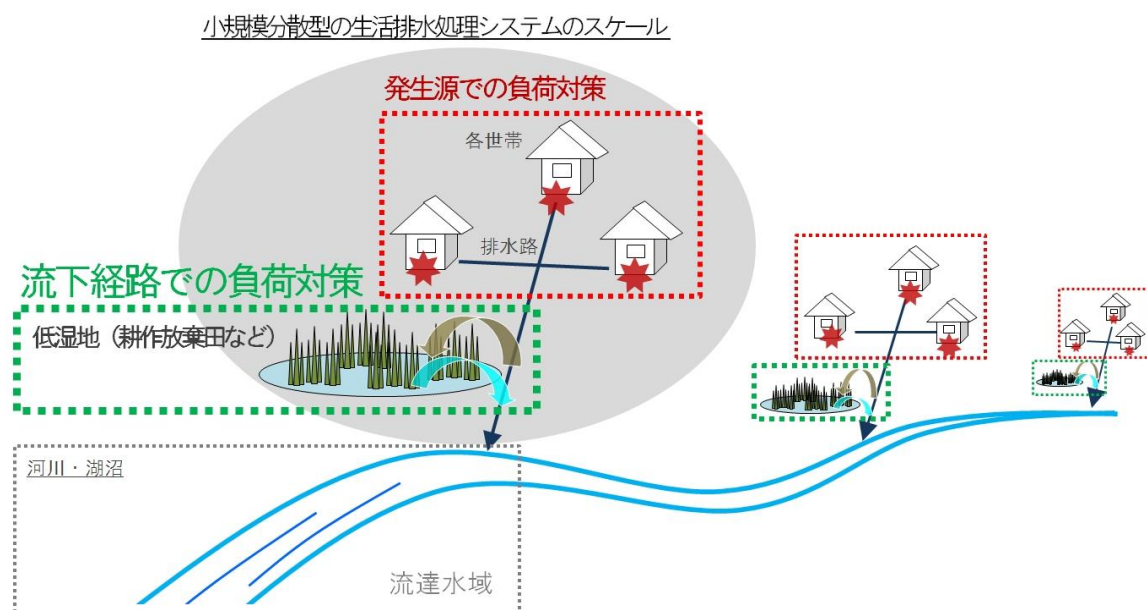


図 1-2 小規模分散型の生活排水処理システムにおける負荷対策

#### 5. 湿地での植生浄化による流下経路での負荷対策

小規模分散型の生活排水処理システムにおいて、発生源から生じる生活系汚濁負荷に対しては、その流下経路でさらに負荷低減を行う必要がある。都市郊外部における流下経路での生活系汚濁負荷対策では、個別処理での除去が難しく、湖沼などの閉鎖性水域の富栄養化

養化の原因となる窒素やリンの除去が求められる。流下経路における対策には、河川内での礫間接触酸化法や低湿地での植生浄化法などがあるが（社団法人 日本水環境学会，2007；財団法人河川環境管理財団・河川環境総合研究所，2007），植生浄化法は生活系汚濁負荷対策として特に有効といえる。

植生浄化法は，他の手法に比較し，水生植物による窒素やリンなどの栄養塩の除去効果が高く（図 1-3），また日常的な維持管理が容易でエネルギーコストが低い（財団法人 河川環境管理財団 河川環境総合研究所，2007；細見・須藤，1991）。そのため，窒素やリンなどの栄養塩の高い除去率が求められる水域や，個別処理後の排水に対するさらなる負荷対策として有効となる（Angelakis，2001）（図 1-4）。

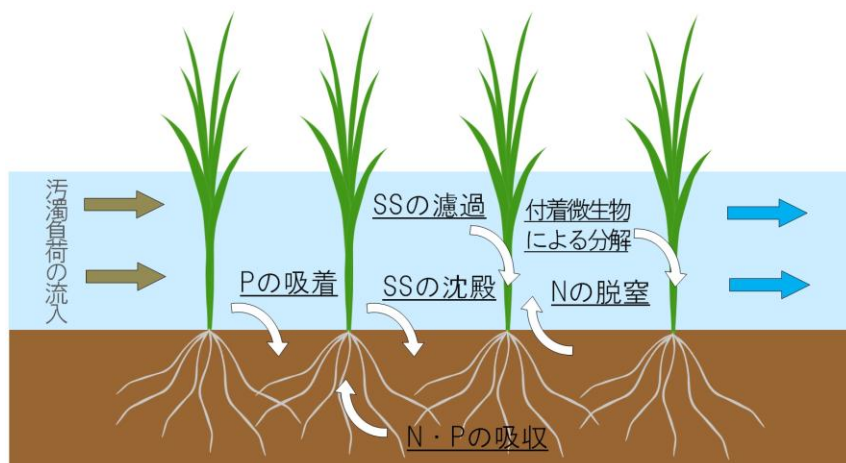


図 1-3 植生浄化の原理（佐藤（2003）をもとに作成）



図 1-4 植生浄化法の実施例

北海道・南角山地区水質浄化施設（左：施設掘削当初、右：植生発生後）

財団法人河川環境管理財団・河川環境総合研究所（2007）より引用

植生浄化法については，多くの既往研究があり，有効性について一定の議論が見られる。例えば，ヨシ原や耕作放棄田・休耕田などの湿地の有する負荷低減効果に関しては，細見（1990，1994），古川（2002）などにより報告されてきた。また，谷底平野で生じている耕作放棄田・休耕田由来の湿地の有する負荷低減効果については，農地由来の面源負荷を対象にして地形連鎖という観点から，加藤ほか（2003，2005），黒田ほか（1999），松森

ほか (2005), 田淵ほか (1993), 田淵ほか (1996), 田淵 (2006) などにより報告されている。加えて, 細見ほか (1988), 細見 (1991) では, 都市郊外部の谷底平野において生じている休耕田由来の湿地が有する生活系汚濁負荷低減効果が報告されている。

このように, 実験レベルにおいては植生浄化法の有効性を報告する既往研究が多数あるものの, 計画論レベルにおいては植生浄化法を負荷対策として活用した際の実効性を議論したものは少ない。その背景には, これまで日本国内では大規模な湿地の確保が難しく, 負荷対策としての実施が困難であったことがあげられる。しかし, 近年, 都市郊外部において多くの耕作放棄田が生じている状況を鑑みると, 耕作放棄田を中心とした湿地はこれまでの植生浄化法の課題に対する解決策となり得ると考えられる。谷底平野や低地に立地している耕作放棄田 (図 1-5) は, その地理的特徴から集水性や発生源である住宅地との近接性に優れている。そのため, 耕作放棄田を中心とした湿地を活用した植生浄化は, とくに都市郊外部における流下経路での生活系汚濁負荷対策として有効といえる。



図 1-5 谷底平野の耕作放棄田 (いずれも千葉県で著者撮影)

住宅地の立地する台地に入り込むかたちで, 谷底平野に多くの耕作放棄田が発生している。

このような耕作放棄田を中心とした湿地の新たな活用は, 現在課題となっている耕作放棄地対策 (農林水産省, 2009), さらに今後の都市郊外部における緑地計画にも寄与するものと考えられる。とくに谷底平野に立地している耕作放棄田は, 営農条件の悪さから耕作放棄が進んでおり (白井, 1984), その多くが今後も復田・転作による新たな農的活用が見込めないと考えられる。またその一方で, 人口減少・少子高齢化の進行により, そのような農地は都市的開発の対象にもなくなると考えられる。そのため, このような耕作放棄田由来の湿地は, 従来の農的・都市的土地利用を目的とせず, 環境保全のために「環境保全機能 (横張, 1994) (本研究では水質保全機能)」の担保を目指す土地として見なすことで, 新たな緑地計画の指針が得られると考えられる。

以上より, 都市郊外部における流下経路での負荷対策では, 低湿地での植生浄化による生活系汚濁負荷低減を試みる必要がある。なお, 本研究の以降においては, 耕作放棄田を中心とした谷底平野や低地に立地している湿地を植生浄化に適した湿地として, 総じて「低湿地」とする。

## 6. 汲み取り型し尿処理による発生源での負荷対策

発生源での負荷対策では、これまで都市郊外部において、合併処理浄化槽をはじめとする個別処理の整備が行われてきた。しかし、処理能力の劣る単独処理浄化槽や旧型の合併処理浄化槽が広く用いられていることにより、これらの地域では依然として生活系汚濁負荷が多く発生している。浄化槽法にもとづく現行制度内では、このような都市郊外部においては、高度処理型（窒素・リン除去）の合併処理浄化槽の整備促進が最善策とされ、すでに多くの既往研究・実施事例がある。しかし、現行制度外にも議論を及ぼすと、必ずしも個別処理の高度処理化が最善策とは言えない。水道水を利用してし尿を水洗処理するこれらの個別処理は、効率的な資源（窒素・リン）回収が困難であり、持続可能な水循環や資源循環の点から課題を有している。

そのような課題に対する解決手法として、近年、「エコロジカルサニテーション」に代表される汲み取り型し尿処理が再び注目されている（図 1-6）。この特徴は、従来のように水道水によりし尿を水洗処理するのではなく、し尿（もしくは、さらにしと尿）を分離して汲み取り、資源として再利用するところにある。し尿の汲み取りにより、生活系汚濁負荷の主要負荷源であるし尿由来の汚濁負荷が低減され、大きな負荷低減効果が期待できる（船水，2005,2009；堀江ほか，2008）。また、従来のし尿の輸送媒体であった水道水を使用しないことで持続可能な水循環の構築が可能となり、し尿を汲み取り利用することで持続可能な資源利用が可能になる（Lettings et al., 2001；Winblad, 2003；船水，2005,2009）。そのため、「バイオマスニッポン総合戦略」（2006 年閣議決定）においても述べられているように、資源の乏しいわが国では枯渇が危惧されているリンをはじめとした栄養塩の有効な回収・利用が希求されることから、生活系汚濁負荷対策に加え資源利用の面からも、汲み取り型し尿処理は強く求められるところである。

以上より、都市郊外部における発生源での負荷対策では、各世帯に汲み取り型し尿処理導入することによる生活系汚濁負荷の低減を試みる必要がある。なお、本研究の以降においては、上記のような汲み取り型し尿処理を総称して「エコロジカルサニテーション」とする。



図 1-6 エコロジカルサニテーション

（左：エコロジカルサニテーションのトイレ（し尿分離型），右：回収した尿の農地利用）

GTZ <<http://www.gtz.de/en/index.htm>>より引用

## 第2節 研究の目的・構成・対象地

### 1. 研究の目的

本研究は、都市郊外部における低湿地での植生浄化を中心とした小規模分散型の生活系汚濁負荷対策による負荷低減効果を推定することを目的とする。具体には、小流域ごとに、まず 1) 低湿地での植生浄化による負荷低減効果を推定する。つづいて、2) 低湿地での植生浄化および各世帯へのエコロジカルサニテーション導入による複合的な負荷低減効果を推定する。

### 2. 研究の構成

本研究は、研究課題 1) および 2) の達成のために、図 1-7 に示す構成にしたがって議論を展開する。具体には、以下に示す 4 点の議論を通して本研究を進める。

#### ①個別処理由来の生活系汚濁負荷の発生状況（第2章）

研究課題の解明にあたっては、まずその基礎情報として、現在印旛沼流域において発生している個別処理由来の生活系汚濁負荷を小流域ごとに把握する必要がある。そのため、本章では、各小流域の生活系汚濁負荷の発生量の推定を行う。

#### ②低湿地での植生浄化による生活系汚濁負荷の低減効果の推定（第3章）

第2章で把握された生活系汚濁負荷の発生分布をもとに、流下経路での負荷対策として低湿地で植生浄化を行った場合の負荷低減効果を推定する。本章で得られる結果は研究課題 1) に対する解となる。本章での議論は、小規模分散型の生活排水処理システムにおける流下経路での負荷対策として、低湿地を活用した植生浄化の有効性を示すものであり、本研究の中心的議論となる。

#### ③低湿地での植生浄化および各世帯へのエコロジカルサニテーション導入による複合的な負荷低減効果の推定（第4章）

つぎに、第2章で把握された各小流域の生活系汚濁負荷の発生量をもとに、第3章で明らかになった流下経路での負荷対策（低湿地で植生浄化）に加え、発生源での負荷対策として各世帯にエコロジカルサニテーションを導入した場合の複合的な負荷低減効果を推定する。本章で得られる結果が研究課題 2) に対する解となる。本章での議論は、小規模分散型の排水処理システム全体での議論を完結するため、小規模分散型の生活排水処理システムにおける流下経路での負荷対策に加え、発生源での負荷対策としてエコロジカルサニテーションの有効性を示すものである。

#### ④都市郊外部における小規模分散型の生活排水処理システムの展望（第5章）

研究の結果を総括し、これからの都市郊外部における小規模分散型の生活排水処理システムのあり方・実現可能性についての展望を行う。



図 1-7 本研究の構成

### 3. 本研究における「小流域」の捉え方と解析の方針

流域とは、分水界に囲まれ表流水の集積する自然地理学的基礎単位であり、空間的階層性を有している（武内，1980）。自然流下によって流域ごとに集積する生活系汚濁負荷への負荷対策においては、下流部への汚濁負荷の拡散を防ぎ、流域全体として最大限の低減効果を目指すために、まず負荷集積の最小単位となる「小流域」ごとの対策が求められる。

そこで、本研究で掲げる研究課題の解明にあたっては、「小流域」を解析単位する。具体には、研究課題 1)および 2)の負荷低減効果の推定にあたって、まず①「小流域内」での負荷低減効果、そして小流域内での負荷低減が不十分な小流域においては、②余剰の汚濁負荷を下流部小流域に流下した際の「小流域間」での負荷低減効果を推定していく（図 1-8）。なお、印旛沼流域における小流域の詳細については、のちの第 2 章第 2 節の図 2-5 に示す。

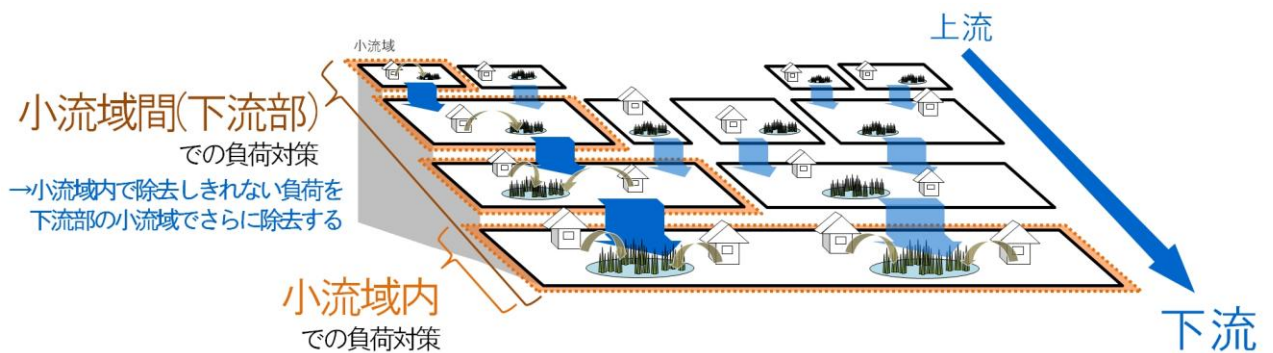


図 1-8 小流域内・小流域間（下流部）での負荷対策

#### 4. 研究対象地域

本研究では、対象地域を千葉県印旛沼流域とする。印旛沼流域は、千葉県北部の下総台地に位置し、17市町村（印西市・鎌ヶ谷市・佐倉市・白井市・千葉市・東金市・富里市・成田市・船橋市・八街市・八千代市・四街道市・大網白里町・栄町・酒々井町・印旛村・本埜村）を含む流域である（図 1-9）。

本研究で対象とする印旛沼流域は、以下のような特徴を有している。



図 1-9 印旛沼流域

i) 下総台地上に、都市郊外部の住宅地が多く立地している。

図 1-10 に示すように、印旛沼流域では、高度経済成長期以降、流域西部・中央部（白井市・鎌ヶ谷市・八千代市・佐倉市）を中心に宅地などの都市開発が行われた。その結果、それらの地域を中心に都市部が広がり、その周辺地域や東部・北部・南部地域では都市郊外部が広がっている。

ii) 谷底平野や低地では、近年低湿地における植生浄化を行う場となりうる耕作放棄田が生じている。

印旛沼流域は下総台地上に位置しており、流域内に多くの谷底平野(谷津)が存在している。それらの谷底平野では、かつては多くの水田耕作が行われていたが、近年営農条件の悪さから耕作放棄が進んでいる(中村ほか, 1998)。そのため、図 1-10 に示すように、流域内にはそのような耕作放棄田を含む多くの低湿地が存在している。なお、現在の印旛沼流域内の低湿地の分布については、のちの第 3 章第 2 節で示す。

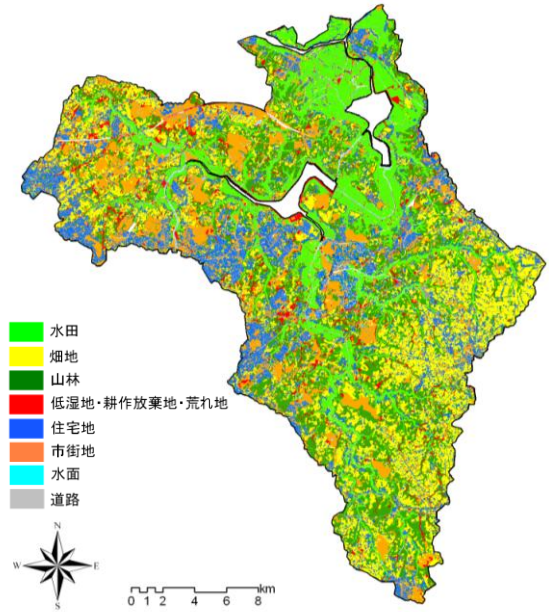


図 1-10 印旛沼流域の土地利用

iii) 個別処理由来の生活系汚濁負荷が依然として主要な汚濁源となっている。

印旛沼流域では、都市郊外部を中心に、下水道などの集合処理施設が未整備の地域が広がっている。図 1-11 に示すように、そのような地域からは個別処理由来の生活系汚濁負荷が発生している。なお、現在の生活系汚濁負荷の処理状況については、のちの第 2 章第 3 節において示す。

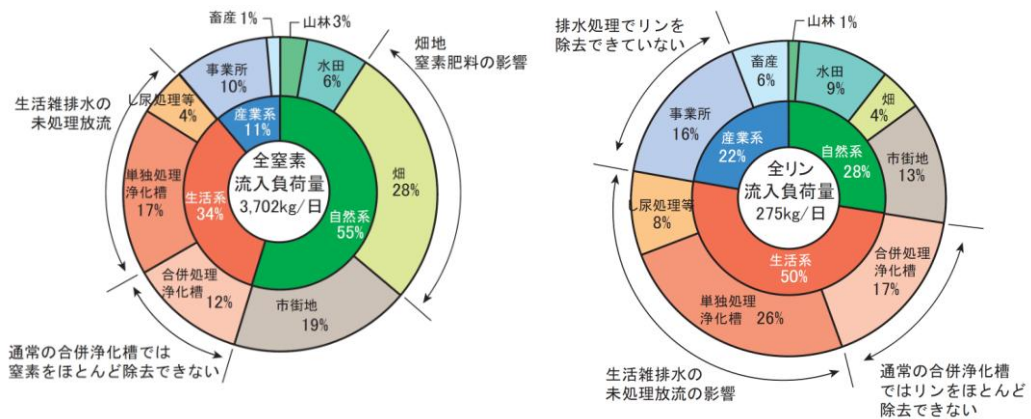


図 1-11 印旛沼に流入する負荷の発生源別割合

「印旛沼流域水循環健全化会議 第 4 回委員会 (2004) 資料」より引用

そのため、本研究の目的である都市郊外部における生活系汚濁負荷に対する新たな複合的負荷対策を検討する地域として適切と考えられる。



## 第2章 生活系汚濁負荷の発生状況

### 第1節 目的と方法

本章では，研究課題である負荷低減効果の推定にあたっての基礎情報として，現在印旛沼流域において発生している個別処理由来の生活系汚濁負荷の発生分布を推定することを目的とした．具体の推定方法は以下に示す．

#### ① 印旛沼流域の小流域の抽出

本研究では，およそ1次谷津をひとつ含む「小流域」を解析単位とする．小流域は，「数値地図50mメッシュ（標高）」（国土地理院）を用いて，ArcGIS9.3（ESRI社）の水文解析により抽出した．印旛沼流域は下総台地上に位置し，土地の起伏が少ないため，水文解析による抽出では最小集水面積が小さくなるほど，過度な細分や異常線形が抽出されてしまう．そのため，信頼性の高い小流域の抽出が可能な閾値として最小集水面積を100haに設定した（片桐ほか，2004）．また，流域内の谷底平野や人工改変の進んだ市街地では，ArcGISの水文解析による小流域の抽出が精度を欠くため，「印旛沼土地改良区管内（支区別）排水流域図」や各市町村の「下水道計画図（雨水）」をもとに，手作業による修正を行った（図2-1）．

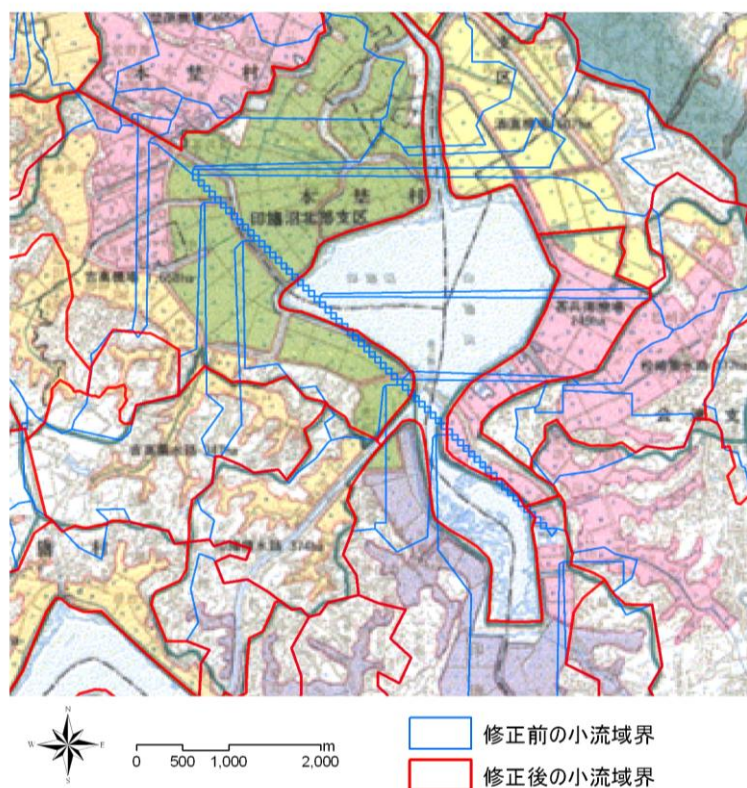


図2-1 小流域界の修正の例

「印旛沼土地改良区管内（支区別）排水流域図」との重ね合わせにより修正を行った．

## ② 印旛沼流域内の生活系汚濁負荷の処理状況の把握

印旛沼流域内の生活汚濁負荷の発生分布を把握するにあたり、まず基礎情報として生活系汚濁負荷の処理状況把握を行った。集合処理（公共下水道など）に関しては、「下水道計画図（汚水）」など各市町村作成の計画図（図 2-2）および千葉県作成の「印旛沼流域下水道計画図」をもとに整備状況を把握した（表 2-1, 表 2-2）。個別処理に関しては、処理タイプ（汲み取り・単独処理浄化槽・合併処理浄化槽）別の整備状況を把握した（表 2-3）。集合処理の整備状況は、すべて GIS を用いてベクターデータ化した。

個別処理の各タイプの整備状況は、各市町村における合併処理浄化槽の整備支援制度を考慮し、集合処理の「事業認可済み区域」では汲み取り・単独処理浄化槽、「事業未認可区域」および「未計画区域」では汲み取り・単独処理浄化槽・合併処理浄化槽が整備されていると見なした。なお、「既整備区域」では、公共下水道、特定環境保全公共下水道および農業集落排水施設が整備されている。

なお、印旛沼流域内での集合処理の（終末）処理場は、印旛沼の流入河川や東京湾といった流達水域に立地しているため、集合処理由来の生活系汚濁負荷は流達水域に直接放流されている現状にある。そのため、本研究では、各小流域内で生じている生活系汚濁負荷を個別処理由来とみなし、その流下経路および発生源における負荷対策を議論していく。

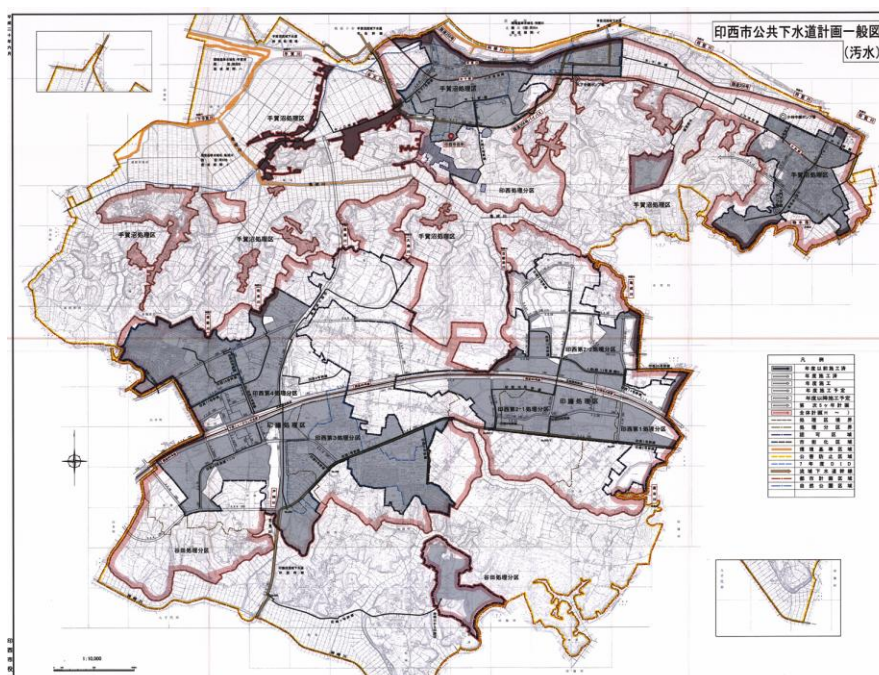


図 2-2 集合処理の整備状況の把握に用いた下水道計画図（汚水）の例

「印西市公共下水道計画一般図（汚水）」、灰色の箇所が既整備区域、赤色の太線内が下水道計画区域を表す。

表 2-1 集合処理の整備状況の把握に用いた計画図

市町村	計画図名	発行元	縮尺	作成年
	印旛沼土地改良区管内(支区別)排水流域図	印旛沼土地改良区	—	—
	流域下水道計画図(印旛沼・手賀沼・江戸川左岸)	千葉県県土整備部下水道課	1:50,000	2009年
印西市	印西市公共下水道計画一般図(汚水)	印西市都市建設部上下水道課	1:10,000	2008年
	印西市公共下水道計画一般図(雨水)	印西市都市建設部上下水道課	1:10,000	2008年
鎌ヶ谷市	鎌ヶ谷市公共下水道計画図	鎌ヶ谷市都市建設部下水道課	1:10,000	2008年
	鎌ヶ谷市公共下水道計画図(雨水)	鎌ヶ谷市都市建設部下水道課	1:10,000	—
佐倉市	佐倉市公共下水道計画図(汚水)	佐倉市土木部下水道課	1:20,000	2001年
	佐倉市公共下水道計画図(雨水)	佐倉市土木部下水道課	1:20,000	2002年
	農業集落排水事業計画一般図(坂戸地区)	佐倉市経済環境部農政課	1:5,000	—
白井市	白井市公共下水道計画一般図(汚水)	白井市環境建設部上下水道課	1:10,000	1999年
	白井市公共下水道計画一般図(雨水)	白井市環境建設部上下水道課	1:10,000	—
千葉市	千葉市公共下水道計画図(汚水)	千葉市下水道局	1:25,000	2007年
	千葉市下水道計画図(雨水)	千葉市下水道局	1:25,000	2008年
	市街化調整区域の汚水処理整備計画図	千葉市下水道局下水道計画課	1:25,000	2003年
富里市	富里市公共下水道計画図(汚水)	富里市都市建設部下水道課	1:25,000	2004年
	富里市公共下水道計画図(雨水)	富里市都市建設部下水道課	1:30,000	2006年
成田市	成田市公共下水道計画図(汚水)	成田市下水道課	1:10,000/20,000	2008年
	成田市公共下水道計画図(雨水)	成田市下水道課	1:10,000/20,000	—
八街市	八街市公共下水道計画図(汚水)	八街市建設部下水道課	1:10,000	2005年
	八街市公共下水道計画図(雨水)	八街市建設部下水道課	1:10,000	2005年
八千代市	八千代市公共下水道計画図(汚水)	八千代市上下水道局	—	—
	八千代市公共下水道計画図(雨水)	八千代市上下水道局	—	—
四街道市	四街道市下水道計画図(汚水)	四街道市建設水道部下水道課	1:10,000	2005年
	四街道市下水道計画図(雨水)	四街道市建設水道部下水道課	1:10,000	2005年
大網白里町	大網白里町公共下水道計画図(汚水)	大網白里町下水道課	1:40,000	—
栄町	栄町下水道計画図(汚水)	栄町下水道課	1:10,000	—
	栄町下水道計画図(雨水)	栄町下水道課	1:10,000	2001年
酒々井町	酒々井町下水道計画図	酒々井町上下水道課	1:10,000	—
	酒々井町印旛沼流域関連公共下水道一般図(雨水)	酒々井町上下水道課	1:10,000	2001年
印旛村	印旛村下水道計画図(汚水)	印旛村環境課下水道係	1:25,000	2001年
	印旛村下水道計画図(雨水)	印旛村環境課下水道係	—	—
本埜村	本埜村印旛沼流域関連公共下水道(汚水)実施計画図	本埜村経済建設課	—	—
	本埜村印旛沼流域関連公共下水道(雨水)実施計画図	本埜村経済建設課	—	—

表 2-2 印旛沼流域内の各市町村の集合処理状況

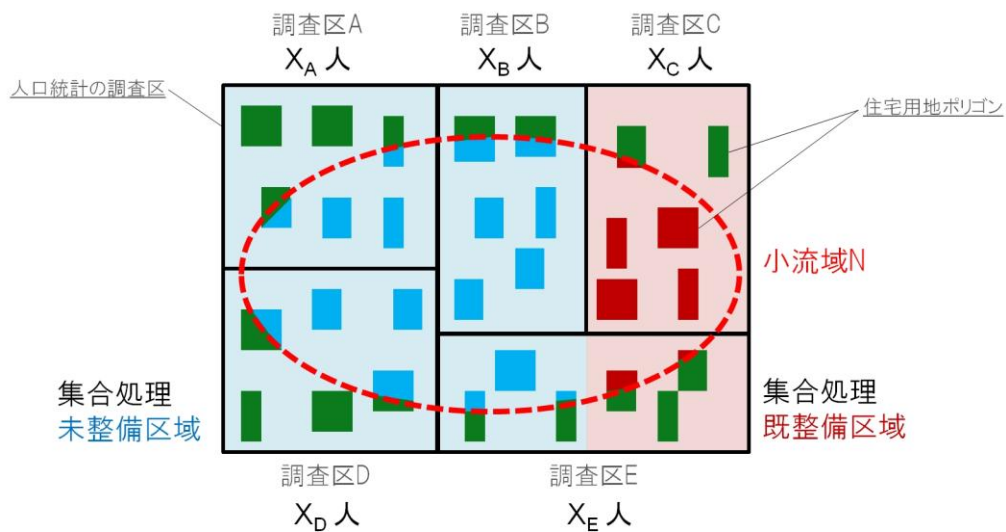
整備目的・地域	集合処理タイプ			
	公共下水道		特定環境保全公共下水道	農業集落排水施設
	単独下水道	流域下水道 (手賀沼・印旛沼)		
整備目的・地域	主として市街地における下水を排除・処分することを目的に、市街化区域(市街化区域が設定されていない場合は既成市街地およびその周辺地域)において整備		農山村の中心集落および自然保護を必要とする地域の水質保全を目的とし、市街化区域(市街化区域が設定されていない場合は既成市街地およびその周辺地域)以外の都市計画区域において整備	農業集落における農業用水の水質保全および機能維持を目的とし、農業振興地域(これと一体的に整備することを相当とする区域を含む)内の農業集落において整備
印西市		○		
鎌ヶ谷市		○		
佐倉市		○		○
白井市		○		
千葉市	○	○	○	○
東金市	○			
富里市		○		
成田市		○		
船橋市	○	○		
八街市		○		
八千代市	○	○		
四街道市		○		
大網白里町	○			
栄町	○			
酒々井町		○		
印旛村		○		
本埜村		○		

表 2-3 印旛沼流域内の各市町村の個別処理状況

	個別処理タイプ		
	汲み取り	単独処理浄化槽	合併処理浄化槽
処理方法	<p>トイレから排出されるし尿のみを汲み取りにより処理し、他の家庭雑排水は未処理のまま排水する</p>	<p>し尿のみを各建物に併設されている浄化槽にて処理を行い、家庭雑排水は未処理のまま排水する</p>	<p>し尿および家庭雑排水を浄化槽にて処理し排水する</p>
印西市	7.2%	41.5%	51.3%
鎌ヶ谷市	9.3%	47.4%	43.3%
佐倉市	32.7%	41.9%	25.5%
白井市	28.5%	34.8%	36.7%
千葉市	22.6%	52.2%	25.3%
東金市	15.1%	34.9%	50.0%
富里市	18.6%	11.4%	70.0%
成田市	13.8%	47.6%	38.6%
船橋市	4.4%	38.6%	57.0%
八街市	17.9%	29.1%	53.0%
八千代市	21.5%	47.2%	31.2%
四街道市	48.4%	32.8%	18.8%
大網白里町	22.1%	47.8%	30.1%
栄町	6.1%	60.6%	33.3%
酒々井町	56.6%	21.7%	21.7%
印旛村	7.8%	26.7%	65.5%
本埜村	14.0%	25.0%	61.0%

### ③ 各小流域の個別処理人口の推定

②で把握された処理状況をもとに、現在の個別処理人口を小流域ごとに推定した。個別処理人口の推定では、GIS上で人口統計（統計局，2005）および土地利用データ（千葉県，2006）より、各小流域に含まれる全住宅地に対する集合処理未整備区域内住宅用地の面積比に応じた按分により、各小流域に個別処理人口を算出した（図 2-3）。



### 小流域Nの個人処理人口

$$= X_A \times \frac{\text{住宅用地Aの面積}}{\text{住宅用地Aの面積}} + X_B \times \frac{\text{住宅用地Bの面積}}{\text{住宅用地Bの面積}} + X_D \times \frac{\text{住宅用地Dの面積}}{\text{住宅用地Dの面積}} + X_E \times \frac{\text{住宅用地Eの面積}}{\text{住宅用地Eの面積}}$$

図 2-3 各小流域の個別処理人口の算出方法

#### ④ 各小流域の生活系汚濁負荷の発生量の推定

③で算出された個別処理人口をもとに、各小流域の生活系汚濁負荷の発生量の推定を行った。発生量の推定にあたっては、まず「一般廃棄物処理事業実態調査」（千葉県，2006）をもとに、各市町村の処理タイプ別人口比（表 2-3）に応じた按分により、小流域ごとの処理別人口を算出した。そして、得られた処理タイプ別人口に対して、各処理タイプの原単位（表 2-4）を積算することで発生負荷量の推定を行った。

なお、発生負荷量の推定に用いた原単位は、藤村（2006）の提案値をもとに決定した。藤村（2006）では、種々の文献値や調査結果をもとにより精度の高い生活系負荷原単位を検討し、現状において最適と考えられる数値を提案している。そのため、本研究で使用する原単位として適しているといえる。

汚濁負荷の指標には、個別処理において除去が難しく、閉鎖性水域の富栄養化の原因物質でもある T-N（全窒素）および T-P（全リン）を採用した。

表 2-4 個別処理タイプ別の発生負荷原単位

処理形態 原単位(g/人・日)	汲み取り		単独処理浄化槽		合併処理浄化槽	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
	2.0	0.3	7.0	0.9	5.5	0.7

## 第2節 印旛沼流域の小流域の抽出

抽出された小流域は、総面積 52,461ha、流域数 215 であった（平均面積：244ha、最大面積：1168ha、標準偏差：170）（図 2-4）。印旛沼流域は 9 流域（鹿島川・高崎川・手繰川・印旛沼放水路・桑納川・神崎川・師戸川・長門川・西印旛沼）に分かれる。なお、以降の解析では、すべてこの小流域を解析単位とした。抽出された小流域は、図 2-5 に示すようなカスケードを構成している。本研究では、このカスケード構造をもとに、小流域内・小流域間での負荷低減効果の推定を行っていく。

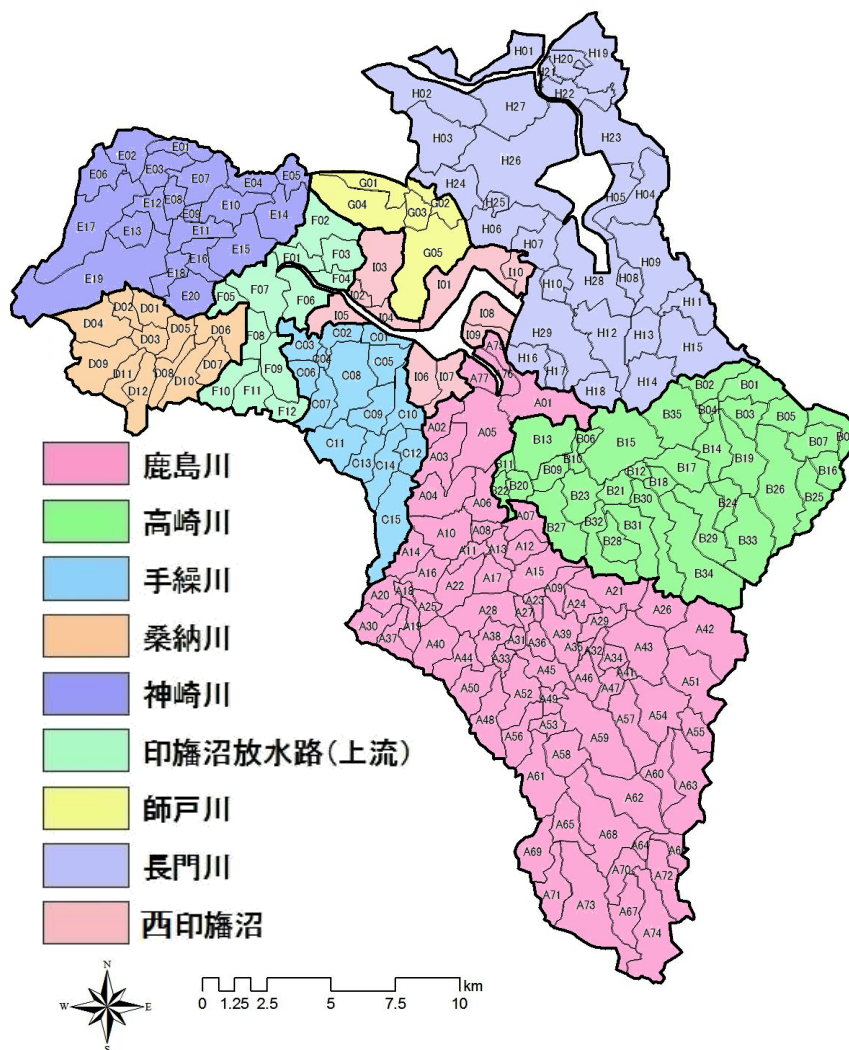
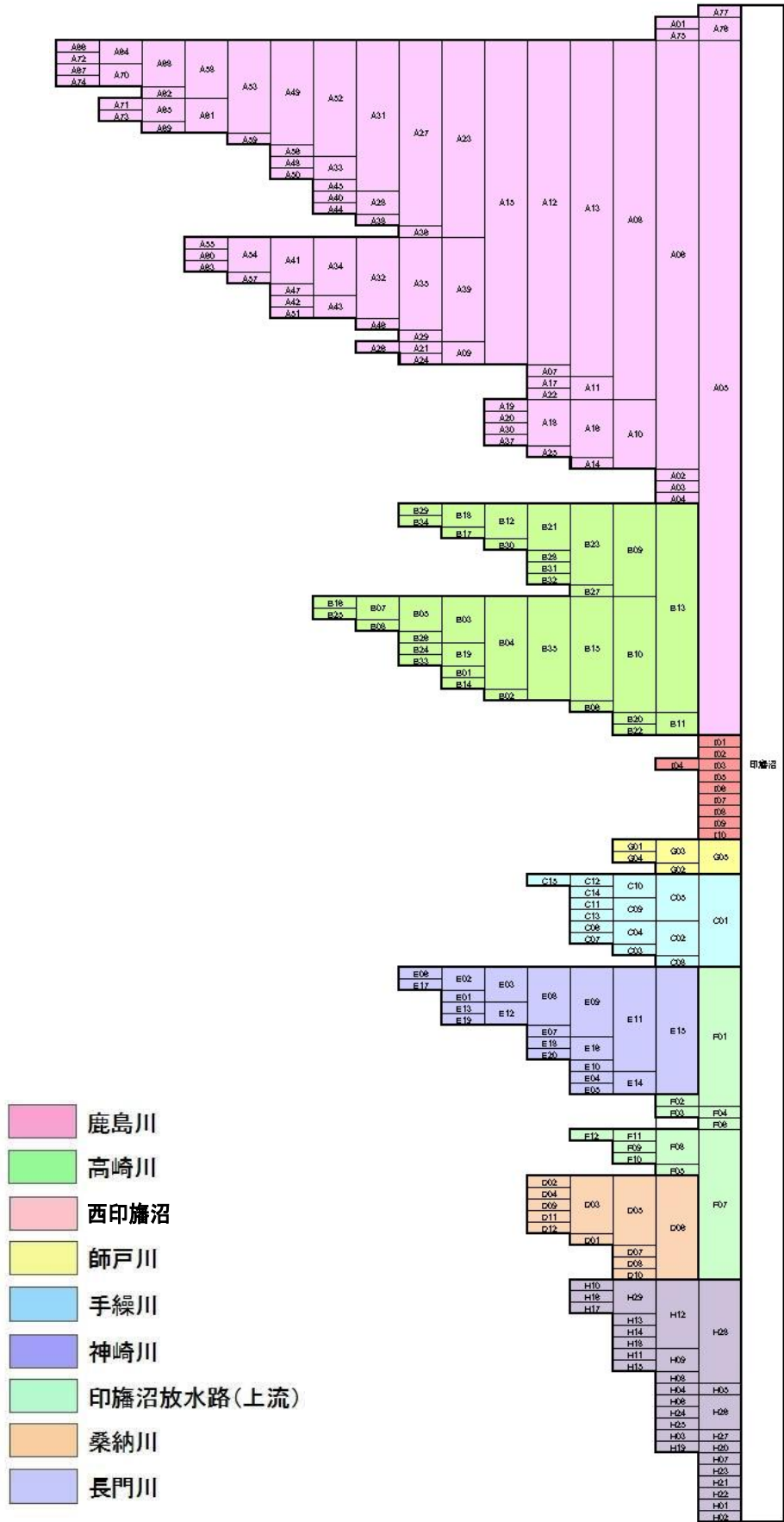


図 2-4 抽出された印旛沼流域の小流域

上流 ← → 下流



- 鹿島川
- 高崎川
- 西印旛沼
- 師戸川
- 手繰川
- 神崎川
- 印旛沼放水路(上流)
- 桑納川
- 長門川

図 2-5 印旛沼流域の階層構造

### 第3節 印旛沼流域内の生活系汚濁負荷の処理状況の把握

印旛沼流域における生活系汚濁負荷の処理状況を図2-6に示す。

集合処理においては、「既整備区域」のうち、流域南部ではおもに特定環境保全公共下水道および農業集落排水施設が整備されており、その他ではすべて公共下水道が整備されている。

このうち、公共下水道は、現在 DID 地区など人口の集積が著しい市街化区域を中心に整備されている状況にある。そのため、これら地域では、費用対効果の点から今後も大規模集中型の排水処理システムの継続が望ましいと考えられる。その一方、特定環境保全公共下水道および農業集落排水施設の「既整備区域」や、公共下水道の「事業認可済み区域」・「事業未認可区域」は、持続可能な水・資源循環の構築という観点から、今後は大規模集合型から小規模分散型の排水処理システムへの転換が積極的に進められるべき地域と考えられる。そのため、本研究では、これらの地域を既存の集合処理から切り離し、小規模分散型の排水処理システムによる新たな負荷対策を講じる対象地域に含めて議論を展開する。

なお、以降では、未計画区域、特定環境保全公共下水道および農業集落排水施設の既整備区域、公共下水道の事業認可済み区域・事業未認可区域を総じて、「公共下水道未整備地域」とする。

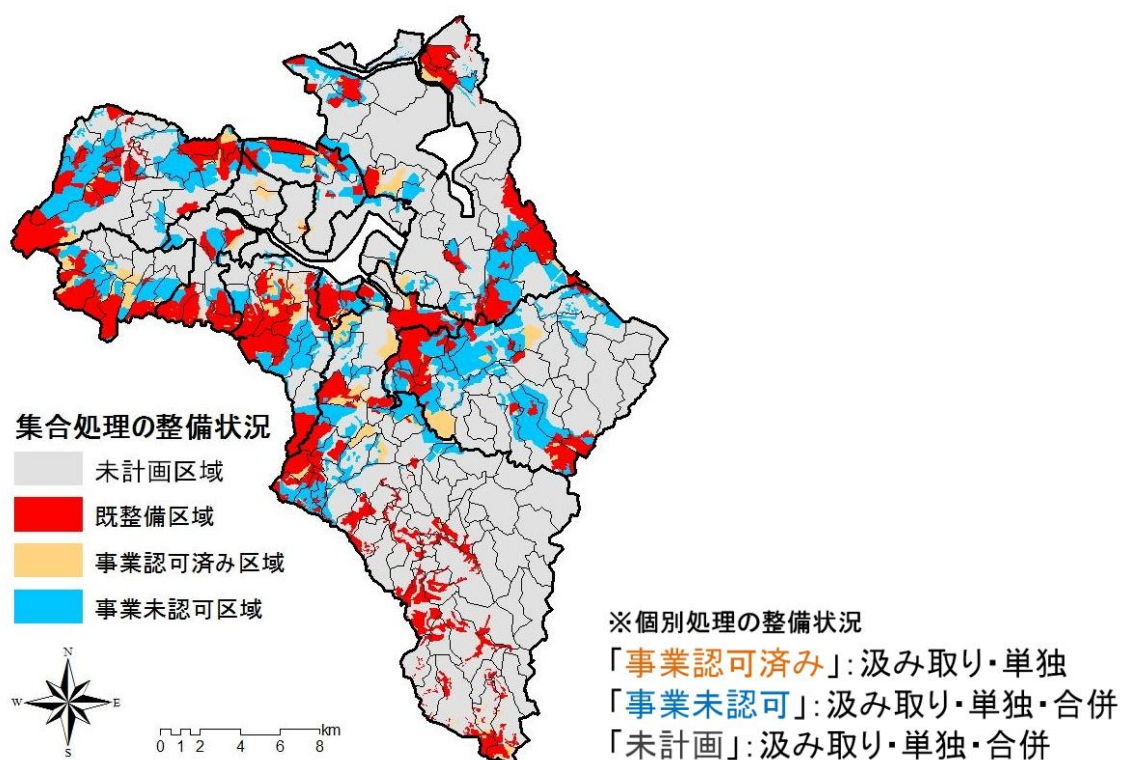


図2-6 生活系汚濁負荷の処理状況



#### 第4節 各小流域の個別処理人口の推定

各小流域の個別処理人口の推定結果を図2-7に示す。

印旛沼流域の西部（神崎川・桑納川・印旛沼放水路流域）には、上流部（1次流域）を中心に、人口の多い小流域が分布している。これらの小流域は、白井市・鎌ヶ谷市・船橋市・八千代市の市街地にあたり、新京成線や東葉高速線の沿線の住宅地となっている。中央部（手繰川・西印旛沼・鹿島川（下流）流域）に分布する人口の多い小流域は、佐倉市の市街地にあり、京成本線沿線の住宅地が分布している。また、南部（鹿島川流域）にも人口の多い小流域がみられ、上流部には住宅地が分布している。これらの地域の住宅地は、鉄道沿線に立地するものが多く、都市部の集積した住宅地となっている。

一方、印旛沼流域の東部（鹿島川・高崎川・長門川流域）にも、人口の多い小流域がみられる。これらの地域は、八街市・酒々井町・成田市の市街地にあたり、上記の地域同様、鉄道沿線の密集した住宅地（酒々井町・成田市）が見られる一方、低密の散在的な住宅地（八街市）もみられる。また、北部（長門川流域）にも人口の多い小流域がみられ、散在的な住宅地が分布している。

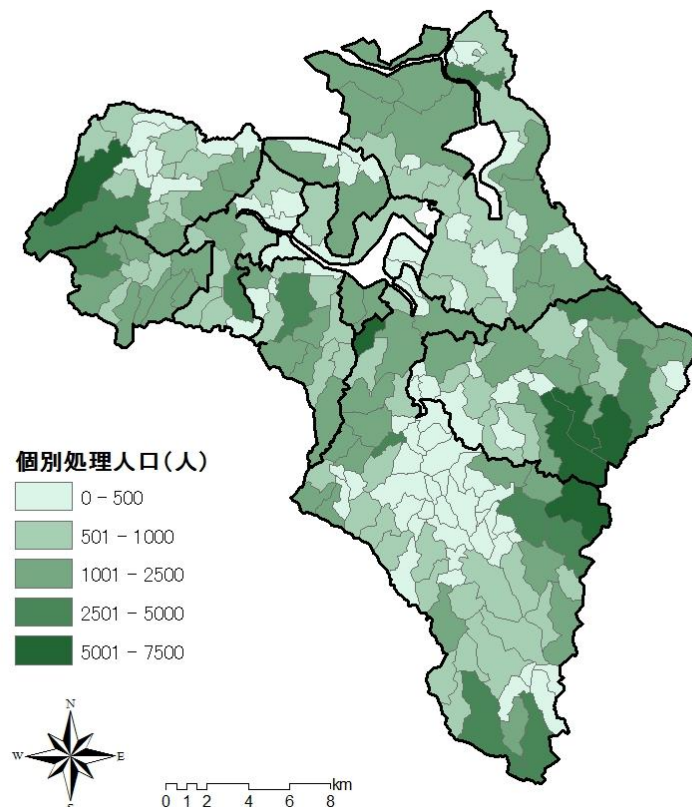


図2-7 個別処理人口の分布

## 第5節 各小流域の生活系汚濁負荷の発生量の推定

各小流域の生活系汚濁負荷の発生量の推定結果を図2-8に示す。

印旛沼流域の西部や中央部は、印旛沼流域下水道などの集合処理の全体計画区域に含まれている。しかし、いまだ整備率の低い地域が多く存在しているため、密集した住宅地が多く分布しているこれらの地域からは、多くの生活系汚濁負荷が発生している。

一方、南部や東部、北部は、住宅地の密集する地域（酒々井町・成田市）に加え、散在的に住宅地の立地している地域（八街市）が多く存在している。そのため、これらの地域では、公共下水道の未整備地域にくわえ、全体計画に含まれていない地域が多く存在しており、多くの生活系汚濁負荷が生じている。

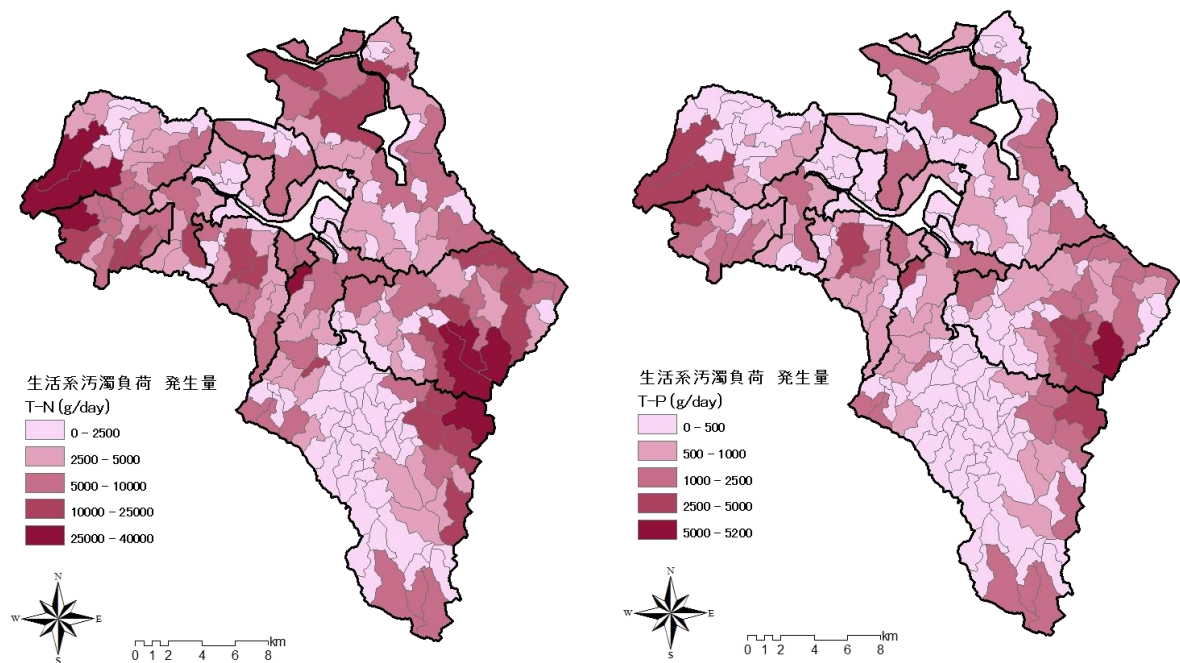


図2-8 生活系汚濁負荷の発生量（左：T-N／右：T-P）

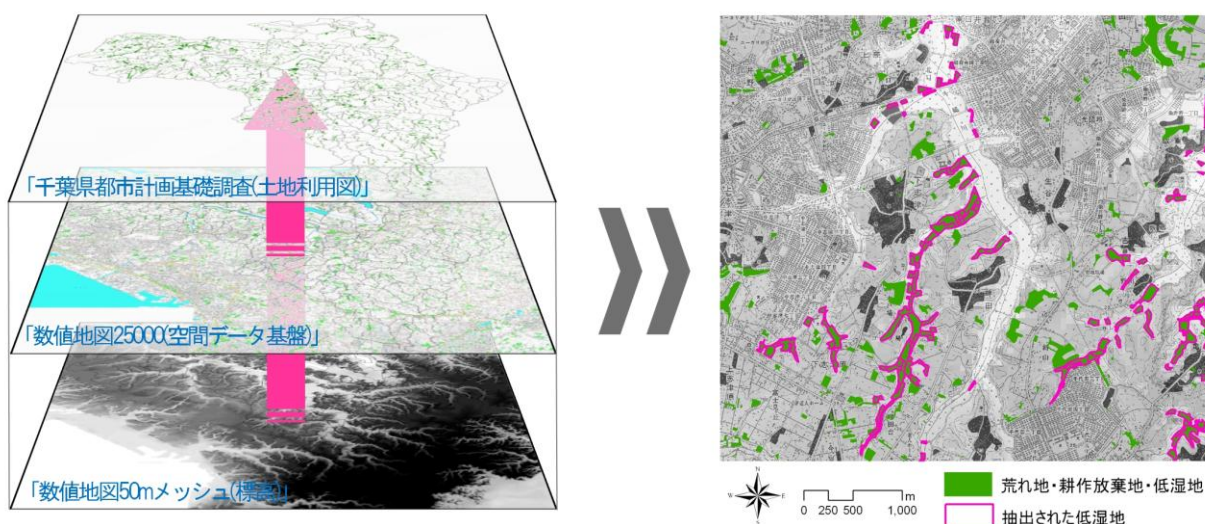
## 第3章 低湿地での植生浄化による負荷低減効果

### 第1節 目的と方法

本章では、生活系汚濁負荷に対する流下経路での負荷対策として、印旛沼流域内に分布している低湿地を用いて植生浄化を行った場合の負荷低減効果の推定を行った。具体的な推定方法は以下に示す。

#### ①低湿地の抽出

まず、本研究で想定する流下経路での負荷対策を行う空間である低湿地の抽出を行った。ArcGIS9.3 (ESRI 社) を用いて、「数値地図 50m メッシュ (標高)」(国土地理院)、「数値地図 25000 (空間データ基盤)」(国土地理院) および「千葉県都市計画基礎調査 (土地利用図)」(千葉県, 2006) を用いて、谷底平野および低地に含まれる土地利用コード「荒れ地・耕作放棄地・低湿地」のポリゴンを抽出し、耕作放棄地などを含む低湿地 (以下、「低湿地」とした (図 3-1)。谷底平野および低地に立地する低湿地は、その多くがかつては水田として利用されており、高い集水性・湿性を有しているため、植生浄化による負荷対策の場として適していると考えられる。



「荒れ地・耕作放棄地・低湿地」(千葉県都市計画基礎調査)のうち、谷底平野・低地(数値地図25000/数値地図50mメッシュ)に立地するものを抽出し、植生浄化に適した「低湿地」とした。

図 3-1 低湿地の抽出の例

## ②低湿地での植生浄化による負荷低減量の推定

①で抽出された低湿地をもとに、原単位法により植生浄化による負荷低減量の推定を行った。具体的には、抽出された低湿地の面積に低湿地の負荷低減量の原単位（表 3-1）を積算し、小流域ごとに低湿地での植生浄化による負荷低減量を推定した。

なお、負荷低減量の原単位には、低湿地での植生浄化による生活系汚濁負荷の負荷低減効果を実測した細見ほか（1991）の数値を用いた。細見ほか（1991）は、茨城県石岡市（もと新治郡八郷町）で生じている耕作放棄された谷津田を用いて、周辺住宅地から流入する未処理の生活排水に対する植生浄化の負荷低減効果を、長期的な測定にもとづき明らかにした。そのため、本研究が対象とする印旛沼流域と同様な条件下での測定とみなすことができ、負荷低減量の原単位として引用するに値すると考えられる。

なお、細見ほか（1991）では、具体的には 12 年間にわたり放棄され、ヨシ・ガマを中心とした水生植物が繁茂した谷津田（およそ 1,200 m<sup>2</sup>）において、台地上に立地する住宅地（45 戸）から流入する無処理の生活雑排水を湿地全域に滞留させ、およそ 4 年間にわたり測定された負荷流入量と負荷流出量の差から年平均の除去率を求めいている。そのため、細見ほか（1991）は、低湿地での植生浄化による負荷低減効果のうち、年間の季節変化に対応した推定には適していないものの、中期的な推定には有効と考えられる。

表 3-1 低湿地の負荷低減量の原単位

低湿地における負荷低減量(g/m <sup>2</sup> ・日)			
T-N	0.13	T-P	0.024

## ③低湿地の有する負荷低減効果の評価

第 2 章で得られた生活系汚濁負荷の発生分布および、②で得られた低湿地における植生浄化による負荷低減効果をもとに、現在生じている生活系汚濁負荷に対する低湿地の負荷低減量を推定した。

具体的には、まず a)小流域内での負荷低減効果を、小流域ごとに【(現在の生活系汚濁負荷の発生量(第 2 章)) - (低湿地での植生浄化による負荷低減量(本章))】を計算することで推定した。つぎに b)小流域内での十分な負荷低減効果が望めない小流域に対して、カスケード構造(図 1-8, 図 2-5)を利用して、小流域間(下流部小流域)に残存負荷を流下させることで小流域間での負荷対策を講じた際の低減効果の評価を行った。

## 第2節 低湿地での植生浄化による負荷低減量の推定

第1節①で抽出された印旛沼流域内の低湿地の分布を図3-2に示す。印旛沼流域の西部（神崎川・桑納川流域）・南部（鹿島川流域）の上流部，中央部（西印旛沼流域）や北部（長門川流域）には，印旛沼沿いの湿地帯を除き，耕作放棄された谷津田由来の大規模な低湿地が分布していることが分かる。これらの低湿地は，各小流域において谷底平野に分布しており，住宅が多く立地する台地に入り込む形で分布しているため，台地上から流下してくる生活系汚濁負荷を低減するに優れた立地といえる。

各小流域に含まれる低湿地の面積は，図3-3に示すようになる。大規模な低湿地の分布している西部・南部の上流部，中央部や北部では，小流域ごとの低湿地面積も大きくなっていることがわかる。

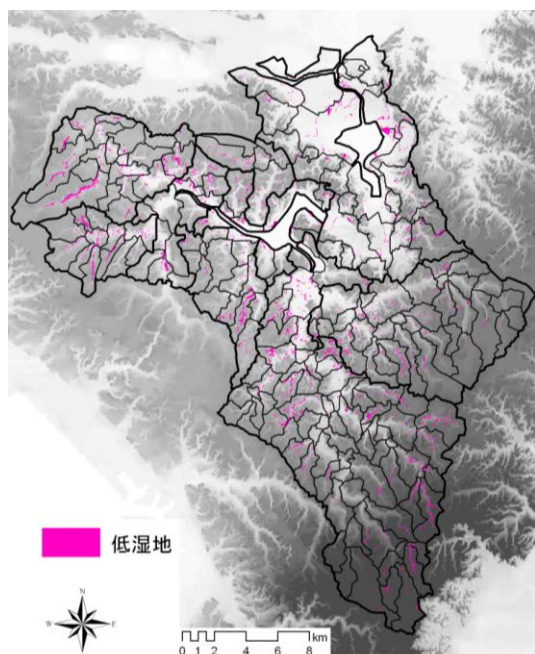


図3-2 抽出された低湿地の分布

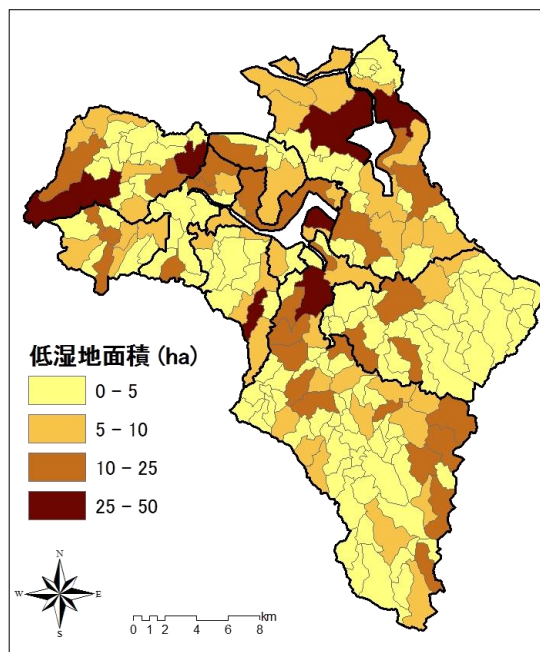


図3-3 各小流域の低湿地面積

算出された各小流域の低湿地面積より，各小流域での低湿地を活用し生活系汚濁負荷の植生浄化を行った場合の負荷低減量は，図3-4に示すように推定された。西部・南部の上流部，中央部や北部では，各小流域の低湿地面積が大きいことから，T-N・T-Pともに高い負荷低減量を有する小流域が多く分布している。そのため，これらの小流域やその上流部に位置する小流域では，生活系汚濁負荷に対する高い負荷低減効果が見込まれる。

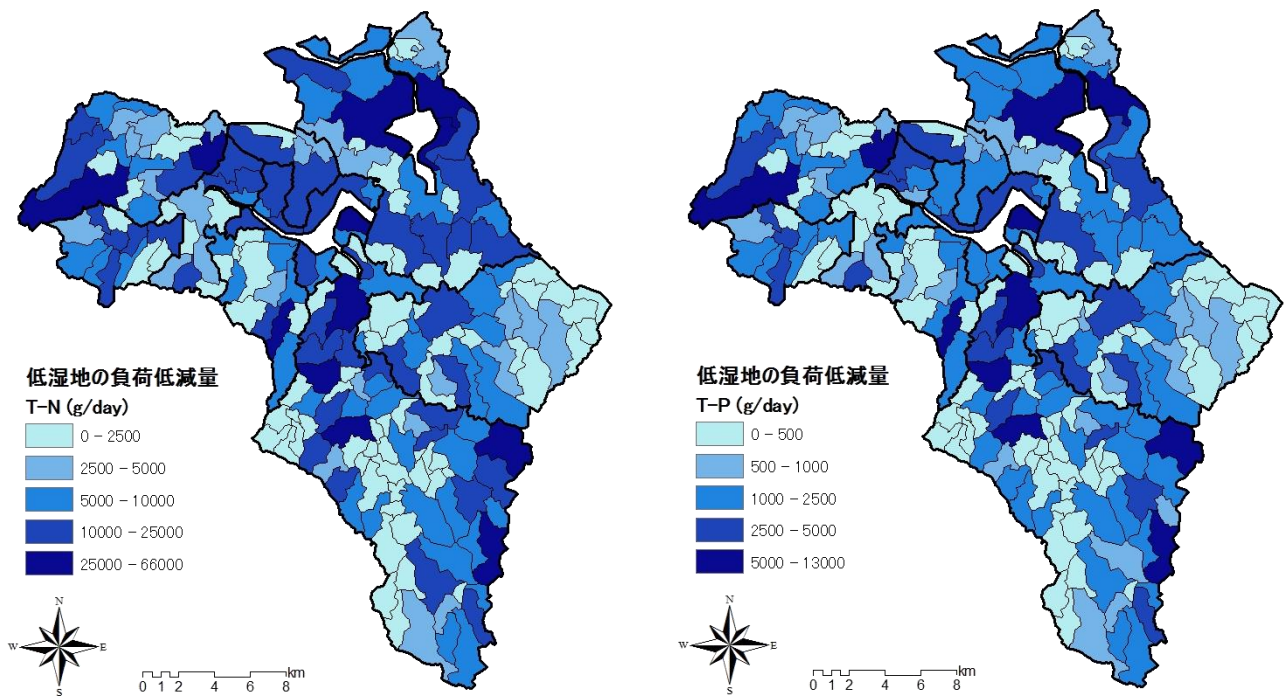


図 3-4 推定された低湿地の負荷低減量（左：T-N／右：T-P）

### 第 3 節 低湿地での植生浄化による負荷低減効果の評価

#### 1. 小流域内での負荷低減効果

第 2 節で推定された負荷低減量をもとに、まず小流域内での生活系汚濁負荷の低減効果の評価した。小流域内のみで生活系汚濁負荷の低減を目指した場合、図 3-5 に示すように T-N・T-P ともに、多くの小流域で生活系汚濁負荷を除去することが可能なことが分かった。一方、印旛沼流域の西部・中央部および東部の一部の小流域では、生活系汚濁負荷の低減が不十分となっている。これらの地域で低減効果が低い理由としては、植生浄化を行う低湿地の面積が小さく、生活系汚濁負荷の発生源である住宅地は多く分布していることがあげられる。小流域内での負荷低減効果をみると、表 3-2 に示すように低減量・低減流域ともにおよそ 6 割の生活系汚濁負荷の除去が見込まれた。

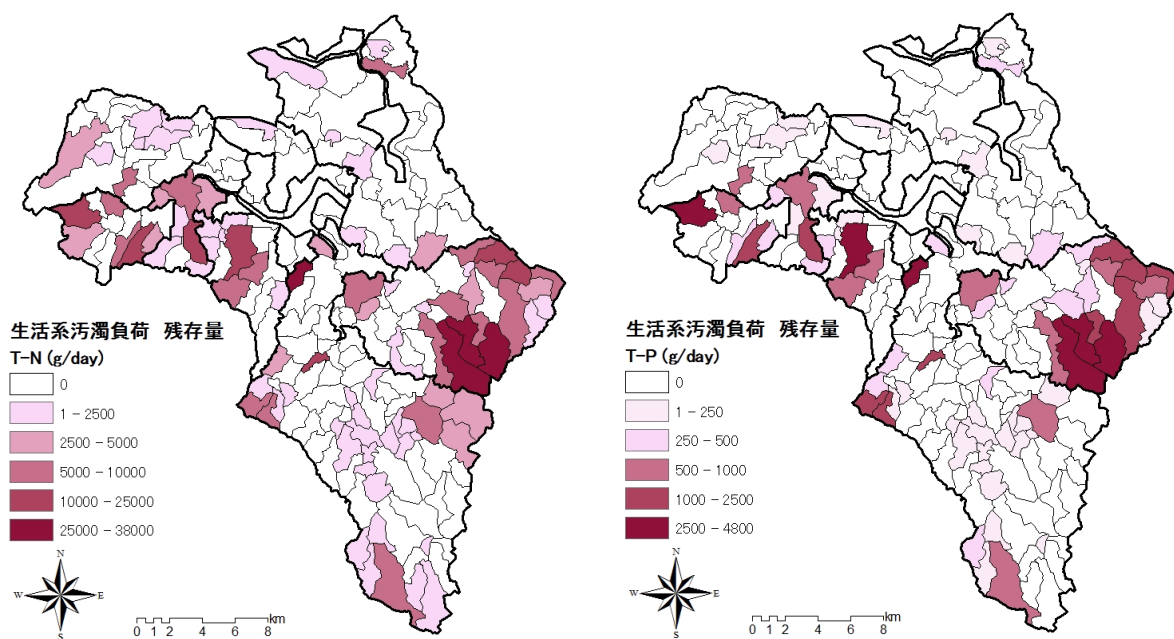


図 3-5 低湿地での植生浄化後の生活系汚濁負荷の残存量

その一方、各小流域において低湿地での植生浄化を行った場合に、生活系汚濁負荷の発生量に比べ、低湿地の有する負荷低減量が大きくなる小流域の分布を図 3-6 に示す。青色に色塗られている小流域では、生活系汚濁負荷の発生量を低減量が上回り、更なる負荷低減が可能である。そのため、これらの小流域では、上流部の各小流域において除去することができず残存している生活系汚濁負荷を除去することが可能となる。

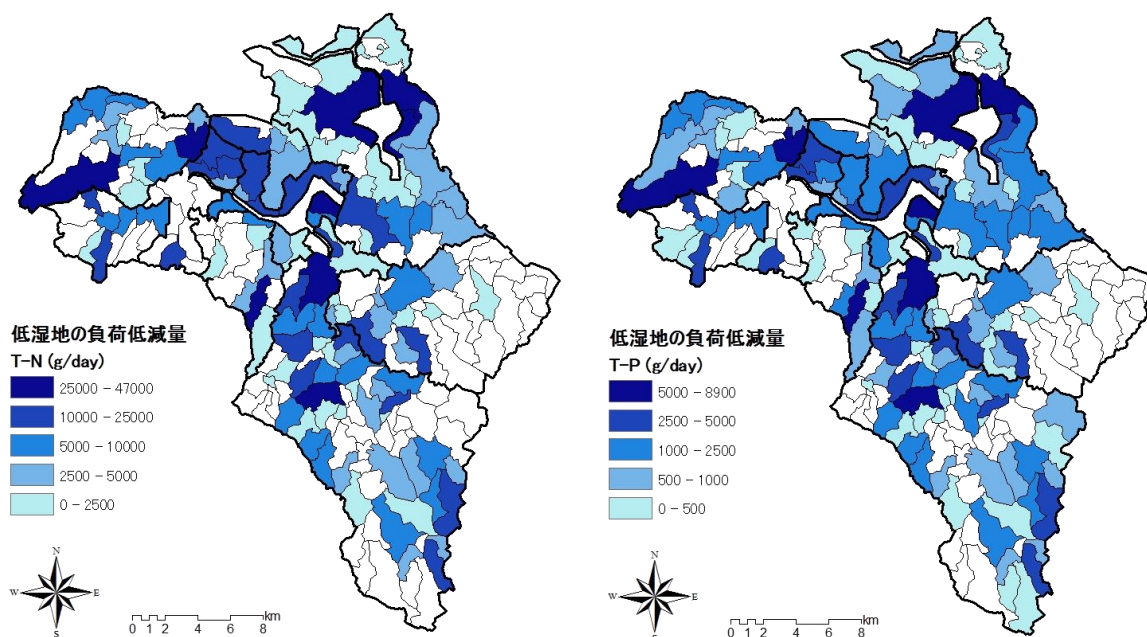


図 3-6 小流域内での更なる負荷低減が可能な小流域

## 2. 小流域間での負荷低減効果

つぎに、小流域内での低減効果が不十分な小流域において、さらに小流域間で負荷対策を講じた場合の負荷低減効果を推定した。各小流域で残存している生活系汚濁負荷（図 3-5）を、更なる負荷低減が可能な下流部の小流域（図 3-6）で除去した場合、図 3-7 に示すような負荷低減効果が見込まれた。T-N においては印旛沼流域の西部および北部，T-P においては西部・北部・南部において、負荷の浄化が可能な小流域があることが分かった。

一方、T-N・T-P とともに、中央部および東部においては、低湿地による植生浄化のみでは、生活系汚濁負荷の浄化が十分行われぬ小流域が存在している。小流域間で負荷低減効果をみると、表 3-2 に示すように低減量・低減流域ともにおよそおよそ 7～8 割の低減効果が見込まれた。

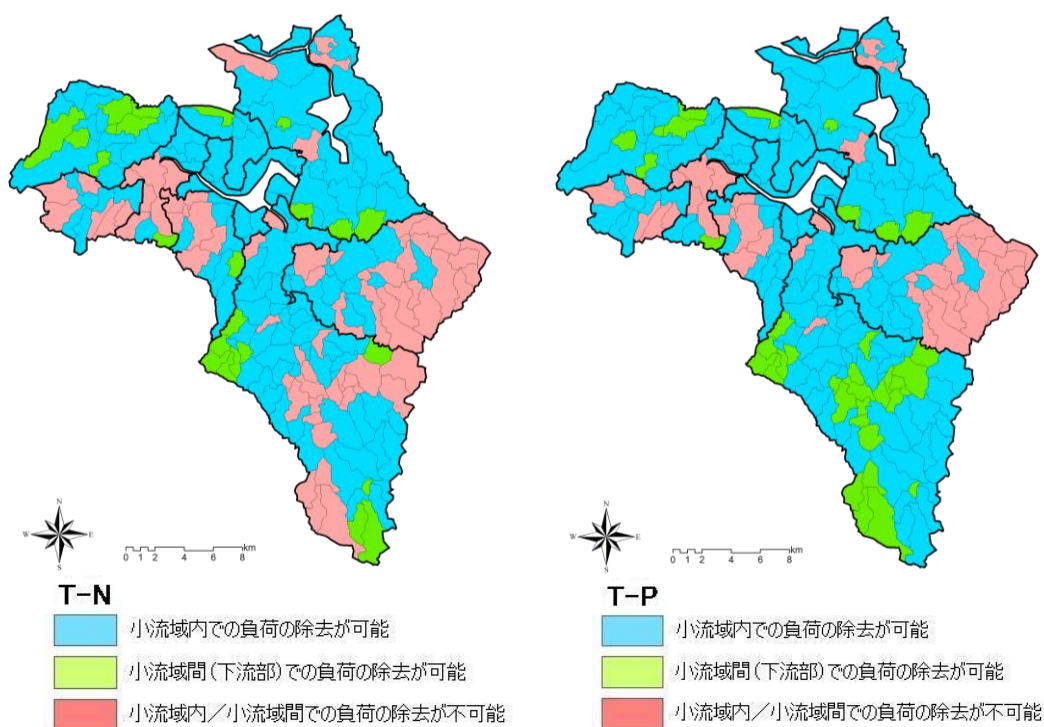


図 3-6 小流域内および小流域間での負荷低減効果

表 3-2 低湿地での植生浄化による負荷低減効果

左:T-N/右:T-P		低湿地での植生浄化
小流域内	低減量(%)	58.1 / 64.5
	低減流域(流域数)	122 / 135
小流域間	低減量(%)	73.1 / 83.4
	低減流域(流域数)	145 / 172



## 第4章 低湿地での植生浄化・エコロジカルサニテーションの導入による複合的な負荷低減効果

### 第1節 目的と方法

本章では、生活系汚濁負荷に対する発生源での負荷対策として、印旛沼流域内の各世帯に対してエコロジカルサニテーションを導入した場合の負荷低減効果の推定を行った。具体の推定方法は以下に示す。

#### ①エコロジカルサニテーション導入の対象地域

エコロジカルサニテーション導入の対象地域としては、第2章第3節でも述べたように、これからの持続可能な水・資源循環の構築という観点から、現在個別処理を行っている地域に加え、特定環境保全公共下水道および農業集落排水施設による集合処理を行っている地域（公共下水道未整備地域）を対象とした（図2-6）。

これらの集合処理施設は、都市郊外部において整備されているが、本研究が想定している小規模分散型・低エネルギー型の排水処理システムを議論する際は、持続可能な水・資源循環の構築という観点から、積極的に個別処理へと転換することが望ましいと考えられる。

#### ②エコロジカルサニテーション導入時の生活系汚濁負荷の発生量の推定

エコロジカルサニテーションは、従来の汲み取り処理と基本的に同原理のし尿処理である。そのため、これらの地域に対してエコロジカルサニテーションを整備した際の各世帯からの生活系汚濁負荷の発生量は、汲み取り処理による発生量と同様とみなした。

エコロジカルサニテーション導入時の生活系汚濁負荷の発生量の推定では、第2章第1節④と同様、エコロジカルサニテーションの対象地域の居住人口に汲み取り処理の負荷原単位（表4-1）を積算することで、小流域ごとに発生量を推定した。

表4-1 エコロジカルサニテーションの発生負荷原単位

処理形態	エコロジカルサニテーション	
	T-N	T-P
原単位(g/人・日)	2.0	0.3

#### ③エコロジカルサニテーション導入による負荷低減効果の推定

本節②で得られた結果をもとに、小流域内での負荷低減効果の評価を行った。なお、本章で検討している負荷対策は、各小流域における発生源への対策であるので、小流域間での負荷低減効果の評価は行わない。

#### ④低湿地での植生浄化・エコロジカルサニテーションの導入による複合的な負荷低減効果の推定

具第3章および本節③で得られた結果をもとに、流下経路において低湿地での植生浄化、発生源においてエコロジカルサニテーションの導入を行った際の負荷低減量を推定した。具体には、第3章と同様に、まずa)小流域内での負荷低減効果を、小流域ごとに【(現在の生活系汚濁負荷の発生量(本節②)) - (低湿地での植生浄化による負荷低減量(第3章))]を計算することで推定した。つぎにb)小流域内での十分な負荷低減効果が望めない小流域に対して、カスケード構造(図1-8, 図2-5)を利用して、小流域間(下流部小流域)に残存負荷を流下させることで小流域間での負荷対策を講じた際の低減効果の評価を行った。

### 第2節 エコロジカルサニテーション導入時の生活系汚濁負荷の発生量の推定

エコロジカルサニテーション導入による各小流域の生活系汚濁負荷の発生量の推定結果を図4-1に示す。

生活系汚濁負荷の発生分布は、第3章で推定した現在の生活系汚濁負荷の発生分布と同様の傾向を示し、印旛沼流域の西部や中央部は、密集した住宅地が多く分布していることから、多くの生活系汚濁負荷が発生している。また、南部や東部、北部は、住宅地の密集する地域(酒々井町・成田市)に加え、散在的に住宅地の立地している地域(八街市)が多く存在しているため、多くの生活系汚濁負荷が生じている。

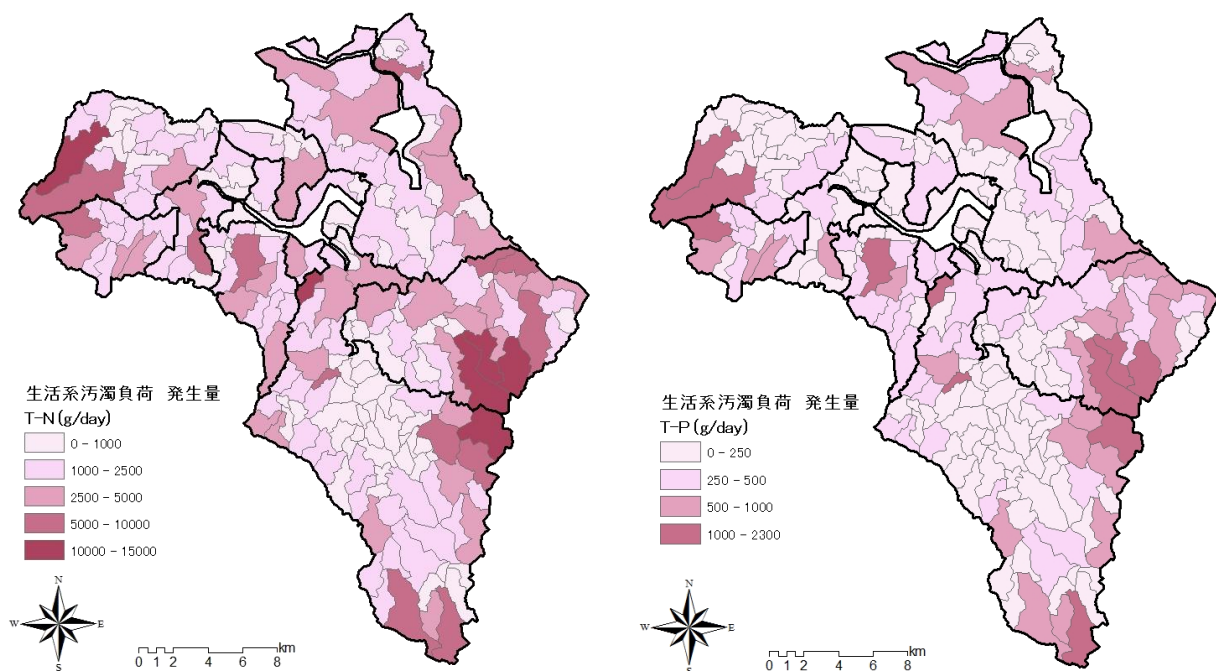


図4-1 エコロジカルサニテーション導入時の生活系汚濁負荷の発生分布(左:T-N/右:T-P)

### 第3節 エコロジカルサニテーション導入による負荷低減効果の評価

エコサニテーション導入による負荷低減効果を印旛沼流域全体でみると、表4-2のようになった。発生源での対策としてエコロジカルサニテーションを導入した場合、特定環境保全公共下水道・農業集落排水施設による集合処理人口が多い流域南部の小流域では、エコロジカルサニテーション導入によりむしろ生活系汚濁負荷が増す結果となったが、それらを除く大部分の小流域では発生量が低減する結果となった。発生負荷の総量で見るとおよそ6割の負荷低減、流域数で見ると大多数の小流域で現状の発生量と比較し負荷低減が見込まれた。

表4-2 エコロジカルサニテーション導入による負荷低減効果<sup>注)</sup>

左:T-N/右:T-P		エコロジカルサニテーション導入
小流域内	低減量(%)	59.8 / 54.1
	低減流域(流域数)	205 / 204
小流域間	低減量(%)	—
	低減流域(流域数)	—

注) 現状での生活系汚濁負荷の発生量と比較し、発生量が低減した小流域の数を算出した。  
 なお、他章の「低減流域」では生活系汚濁負荷を除去可能な小流域の数を算出している。

### 第4節 複合的負荷対策による負荷低減効果の評価

#### 1. 小流域内での負荷低減効果

まず小流域内での生活系汚濁負荷の低減効果の評価した。各小流域内での複合的負荷対策として、エコロジカルサニテーションおよび低湿地での植生浄化による負荷低減を行った場合、図4-2に示すように、T-N・T-Pともに、大部分の小流域で生活系汚濁負荷を除去することが可能なことが分かった。表4-2に示すように、低減量にしておよそ9割弱の負荷低減が見込まれ、低減流域にしておよそ7割強の低減効果がみられた。

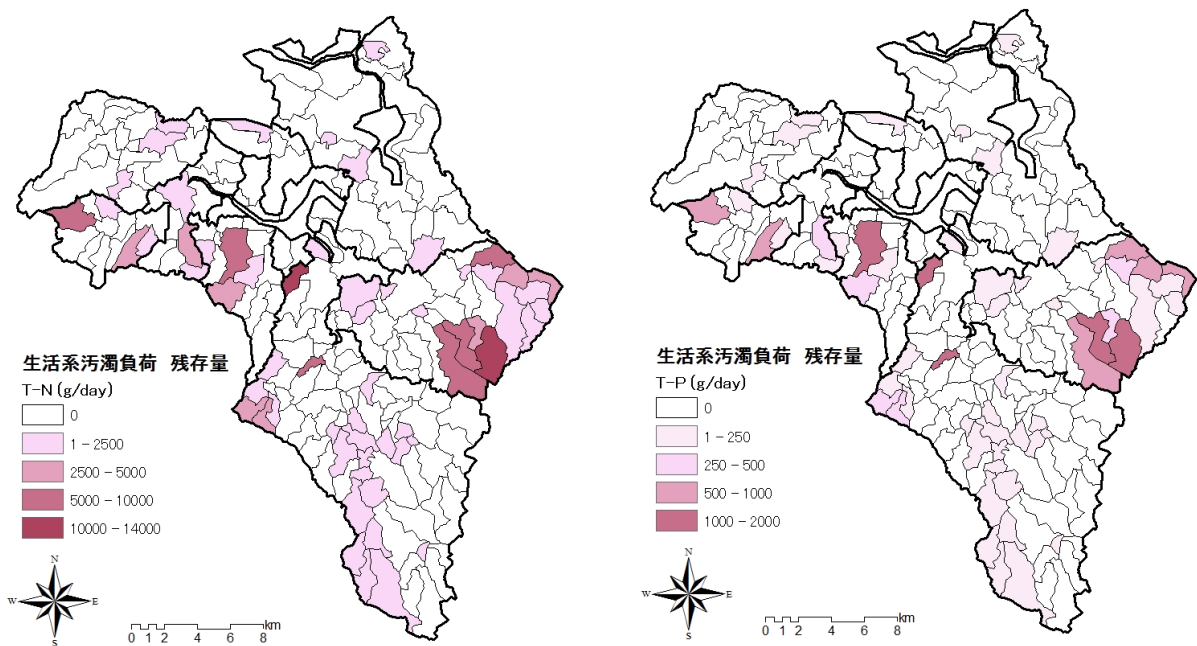


図 4-2 複合的負荷対策後の生活系汚濁負荷の残存量

その一方、各小流域内において複合的負荷対策を講じた場合に、生活系汚濁負荷の発生量に比べ、低湿地の有する負荷低減量が大きくなる小流域の分布を図 4-3 に示す。青色に色塗られている小流域では、生活系汚濁負荷の発生量を低減量が上回り、更なる負荷低減が可能である。そのため、これらの小流域では、上流部の各小流域において除去することができず残存している生活系汚濁負荷を除去することが可能となる。

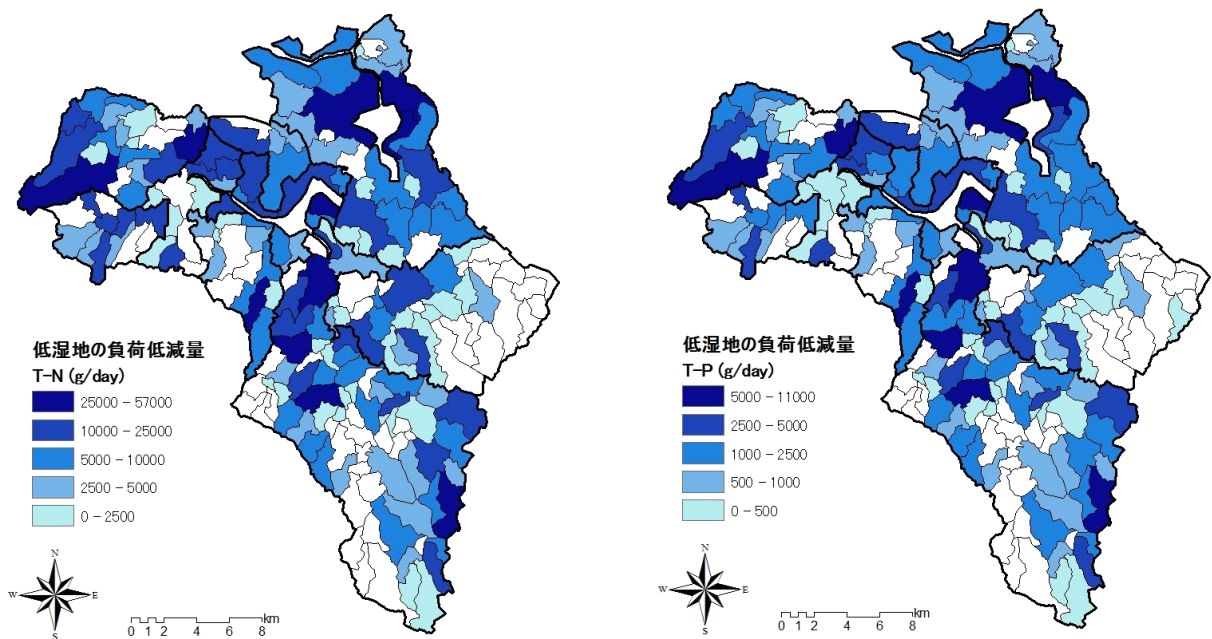


図 4-3 小流域での更なる負荷低減が可能な小流域

## 2. 小流域間での負荷低減効果

つぎに、小流域内での低減効果が不十分な小流域において、さらに小流域間で負荷対策を講じた場合の負荷低減効果を推定した。さらに小流域間での負荷対策を講じると、低減量にしておよそ 10 割の負荷低減が見込まれ、流域数にしておよそ 9 割強の低減効果がみられた。

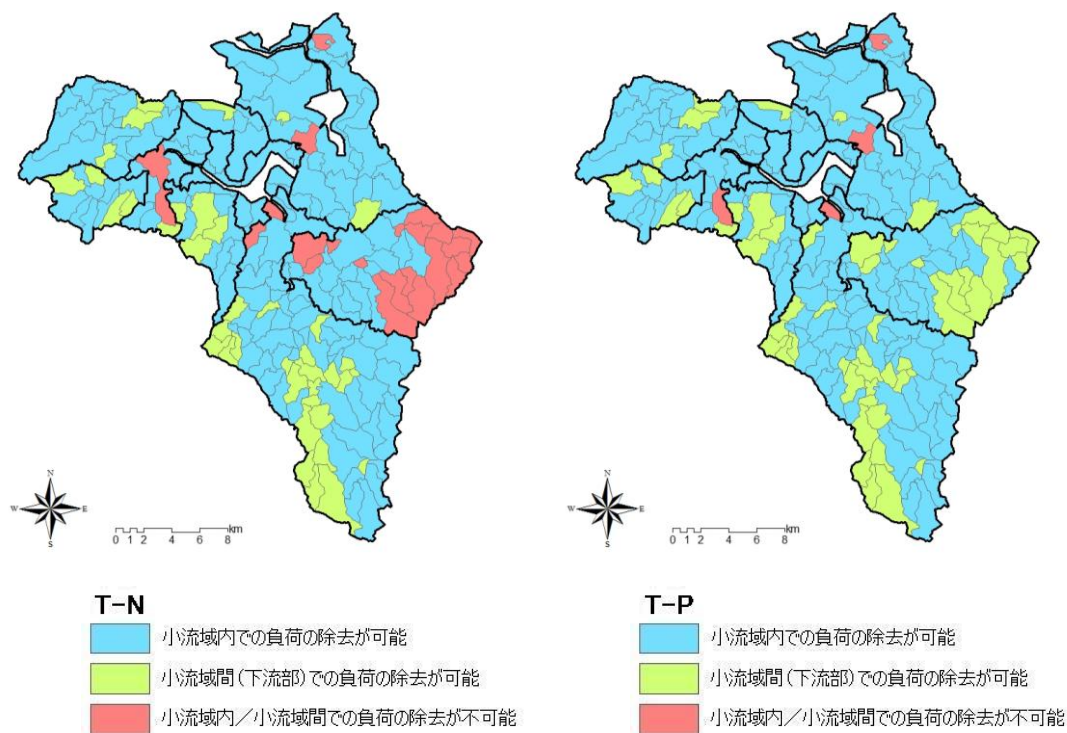


図 4-4 小流域内および小流域間での負荷低減効

表 4-3 複合的負荷対策による負荷低減効果

左:T-N/右:T-P		複合的負荷対策
小流域内	低減量(%)	88.6 / 88.3
	低減流域(流域数)	153 / 155
小流域間	低減量(%)	99.7 / 99.9
	低減流域(流域数)	192 / 211

## 第5章 結論および展望

### 第1節 研究の結論

#### 1. 研究の結果

第2章～第4章で得られた負荷低減効果の結果を表5-1にまとめた。生活系汚濁負荷への新たな負荷対策による負荷低減効果について、以下のことが明らかになった。

印旛沼流域では、流下経路での対策として耕作放棄田を中心とした低湿地を活用して植生浄化を行うことにより、各小流域内ではおよそ6割の負荷低減が見込まれ、小流域間では7割～8割の負荷低減効果が見込まれた。また、流下経路・発生源での複合的対策として、低湿地での植生浄化に加え、各世帯にエコロジカルサニテーションを導入した場合、小流域内で9割弱の負荷低減が見込まれ、さらに小流域間ではほぼ全ての負荷（窒素・リン）の除去が見込まれた。以上より、本研究が想定している低湿地活用を中心とした生活系汚濁負荷対策が、新たな生活排水処理システムとして高いポテンシャルを有していることが明らかとなった。

表5-1 各負荷対策による負荷低減効果<sup>注)</sup>

左:T-N/右:T-P		研究課題1) 流下経路での対策	研究課題2) 流下経路+発生源の複合的対策	
		低湿地での植生浄化	エコロジカルサニテーション導入	複合的負荷対策
小流域内	低減量(%)	58.1/64.5	59.8/54.1	88.6/88.3
	低減流域(流域数)	122/135	205/204	153/155
小流域間	低減量(%)	73.1/83.4	—	99.7/99.9
	低減流域(流域数)	145/172	—	192/211

注)「低減流域」とは、各小流域において、生活系汚濁負荷をすべて除去可能な小流域の数を表す。

なお、「エコロジカルサニテーション導入」では、現状での生活系汚濁負荷の発生量と比較し、発生量が低減した小流域の数を算出している。

#### 2. 現行計画との比較

現在、千葉県では、印旛沼の水環境の改善に向け、2030年を「恵みの沼」再生の目標年次とする「印旛沼流域水循環健全化計画（長期構想）」を策定している（千葉県，2004）。当計画においては、効率的かつ集中的な施策の実行を目的として、2010年を目安とする「緊急行動計画（中期構想）」を策定しており、生活系汚濁負荷に対する低減目標も掲げられて

いる（印旛沼流域水循環健全化会議，2005）。生活系汚濁負荷に対する低減目標は表 5-2 に示すように試算されており，これをもとに算出した負荷低減効果（低減量（%））は表 5-3 に示す通りである。なお，表 5-2 のうち，「ケース 3 将来施策あり（緊急行動計画実施）」という項目が，緊急行動計画で定められている負荷低減目標であり，具体には「合併処理浄化槽の新規設置，および転換分が全て高度処理型合併処理浄化槽になる」ことを想定している。

表 5-2 緊急行動計画による生活系汚濁負荷の低減目標

印旛沼流域水循環健全化会議 第 5 回委員会（2004 年 1 月 16 日）資料より抜粋

(人数:人)		総人口	下水道	農集排	合併	単独	し尿	自家	高度
-	現況	727,113	523,725	2,730	76,044	74,205	49,851	558	0
ケース1	将来施策なし	828,710	523,725	1,963	212,336	85,412	23,627	70	0
ケース2'	将来施策あり(施策調査結果)	828,710	641,267	6,961	122,434	34,351	23,627	70	0
ケース3	将来施策あり(緊急行動計画実施量)	828,710	641,267	6,961	57,969	34,351	23,627	70	64,465

(COD負荷:kg/日)		総量	下水道	農集排	合併	単独	し尿	自家	高度
原単位(g/人・日)			0	2.9	3.3	22.3	19.2	19.2	2.5
-	現況	2,881	0	8	251	1,655	957	11	0
ケース1	将来施策なし	3,066	0	6	701	1,905	454	1	0
ケース2'	将来施策あり(施策調査結果)	1,645	0	20	404	766	454	1	0
ケース3	将来施策あり(緊急行動計画実施量)	1,594	0	20	191	766	454	1	161

(T-N負荷:kg/日)		総量	下水道	農集排	合併	単独	し尿	自家	高度
原単位(g/人・日)			0	3.5	6.5	7.5	3	3	2.5
-	現況	1,212	0	10	494	557	150	2	0
ケース1	将来施策なし	2,099	0	7	1,380	641	71	0	0
ケース2'	将来施策あり(施策調査結果)	1,149	0	24	796	258	71	0	0
ケース3	将来施策あり(緊急行動計画実施量)	891	0	24	377	258	71	0	161

(T-P負荷:kg/日)		総量	下水道	農集排	合併	単独	し尿	自家	高度
原単位(g/人・日)			0	0.41	0.67	0.7	0.4	0.4	0.25
-	現況	124	0	1	51	52	20	0	0
ケース1	将来施策なし	212	0	1	142	60	9	0	0
ケース2'	将来施策あり(施策調査結果)	118	0	3	82	24	9	0	0
ケース3	将来施策あり(緊急行動計画実施量)	91	0	3	39	24	9	0	16

※施策を実施した場合（ケース2' およびケース3）、現況に比べ、農業集落排水（農集排）の負荷量が増加していることについては、農集排の整備により処理人口が増加しているためである。農集排の整備により、合併、単独、し尿、自家の処理人口が減少するため、負荷量のトータル値は減少することになる。

表 5-3 に示したように，千葉県が策定している緊急行動計画では，T-N・T-P ともにおよそ 26% の負荷低減が目標されている。この低減目標と本研究の結果（表 5-1）を比較すると，低湿地での植生浄化による負荷対策のみで達成可能であることが分かる。そのため，印旛沼流域においては，耕作放棄田を中心とした低湿地の新たな活用という観点から見ても，生活系汚濁負荷低減の場として低湿地を活用する意義は大きいと考えられる。

しかし，印旛沼の環境基準値と「湖沼水質保全計画」目標値（千葉県，2007）の差（表

5-4) からも分かるように、現在の目標値が環境基準値を大きく上回っている現状にあり、緊急行動計画や湖沼水質保全計画において設定されている負荷低減のみでは、環境基準を達成することが困難といえる。そのため、今後の印旛沼流域における生活系汚濁負荷の低減にあたっては、流下経路に加え発生源でも負荷対策を講じることにより、さらなる負荷低減を目指す必要がある。

表 5-3 緊急行動計画による負荷低減効果

	緊急行動計画による高度処理型合併処理浄化槽の整備	
	T-N	T-P
低減量(%)	26.5	26.6

表 5-4 印旛沼の環境基準値と「湖沼水質保全計画（第5期）」目標値<sup>注)</sup>

(mg/L)	環境基準値	「湖沼水質保全計画 (第5期)」 目標値
T-N	0.4	2.7
T-P	0.03	0.10

注) 環境基準値は、環境基本法の類型にもとづき定められた基準値。

「湖沼水質保全計画（第5期）」は、湖沼水質保全特別措置法にもとづき定められた水質保全計画（第5期は2010年度目標）。

## 第2節 今後の展望

都市郊外部において、本研究が対象とする耕作放棄田を中心とした低湿地は、発生源である住宅地との近接性に優れるという特徴を有している。そのため、今後の生活系汚濁負荷対策において、その立地特性から湿地活用による植生浄化はとくに将来性があるといえる。このことは、今後の耕作放棄地の活用策、延いては都市郊外部における新たな緑地計画にとっても有益となるであろう。

とくに、人口減少・少子高齢化の進行するなか、三大都市圏の多くの都市や政令指定都市などの郊外地域においては、依然として住宅地開発と耕作放棄といった農林地の荒廃が進行することが予想される（横張，2007）。このような郊外地域では、人口がある程度集積しており、各世帯からも多くの生活系汚濁負荷の発生が予想される。そのため、住宅地との高い近接性をもつ低湿地の活用を中心とした生活系汚濁負荷対策が、三大都市圏の多



くの都市や政令指定都市などの郊外地域において、新たな生活排水処理システムの中核をなすことが強く期待される。

今後、都市郊外部において、本研究の想定している生活系汚濁負荷対策を展開していくためには、以下に上げる課題について、更なる議論を行う必要がある。

### ①低湿地における環境保全機能

横張（1994）が指摘するように、農林地は生物相保全・水保全・景観保全といったさまざまな環境保全機能を有している。このうち、本研究では「水保全（水質浄化）機能」に着目し、生活系汚濁負荷に対する有効性を明らかにした。しかし、本研究で対象としている耕作放棄田を中心とした湿地などの農林地の活用にあたっては、その他の環境保全機能との相対的評価の中から、最も発現させるべき環境保全機能を選択する必要がある。

### ②季節性を考慮した低湿地の管理

財団法人河川環境管理財団・河川環境総合研究所（2007）でも指摘されているように、低湿地を活用した植生浄化では、繁茂した水生植物の刈り取り等による定期的な管理が必要となる。第3章において引用した細見ほか（1991）では、低湿地での定期管理を行わない場合での生活系汚濁負荷の除去率が求められているが、適切な管理を行うことにより更なる負荷低減効果が見込まれる。そのため、今後低湿地での植生浄化による負荷対策を推進していくためには、地域住民などの受益主体を中心とした管理のあり方についても、十分に議論を行う必要がある。

### ③低湿地への環境インパクト

低湿地での植生浄化により生活系汚濁負荷の低減を行う場合、負荷による低湿地への環境インパクトについて十分に分析する必要がある。本研究が想定している負荷は、生活排水由来であり、一般に自然環境に対して悪影響を与える重金属等の有害物質は含有されていないとされる。低湿地における生活系汚濁負荷の低減を実測した細見ら（1991）においても、T-N・T-Pなどの環境指標において長期的にも効果が発揮されており、生活排水の流入により低湿地の環境が著しく影響を受け、湿地本来の機能が失われたとは考えにくい。しかし、今後低湿地での植生浄化による負荷対策を推進していくためには、T-N・T-Pといった指標に加え、生物学的指標にもとづいた負荷対策の有効性の立証も必要となる。

### ④負荷対策の経済性

本研究の想定している負荷対策の実現にあたっては、排水処理システムとして稼働させるための経済性の議論も必要不可欠となる。耕作放棄田などの低湿地の整備や、各家屋でのエコロジカルサニテーション整備のためのイニシャルコストの試算に加え、排水処理シ

システムのランニングコストの試算が必要となる。

#### ⑤資源循環の可能性

本研究で想定しているエコロジカルサニテーションは、資源（窒素・リン）の効率的な回収に優れている。従来の水洗トイレとは異なり、し尿を（分離して）高濃度で抽出することが可能であるため、近年枯渇が危惧されているリンをはじめとした栄養塩の回収システムとしても有効といえる。また、低湿地における植生浄化においても、窒素・リンをはじめとした栄養塩を吸収した植物を回収し系外に持ち出すことで、低湿地の負荷低減効果を促進するとともに、バイオマスとしての利用も可能となる。そのため、今後はエコロジカルサニテーションおよび低湿地での植生浄化による資源循環の議論も望まれる。

#### ⑥市民の排水観・トイレ観

本研究が想定している小規模分散型の生活排水処理システムの実現にあたっては、市民がもつ排水処理に対する意識についても議論する必要がある。低湿地での植生浄化においては、排水が流入することによる低湿地への環境影響とは別に、かつては食料生産の場であった耕作放棄田で「低湿地で排水を植生浄化する」ことへの抵抗感が生じると考えられる。また、エコロジカルサニテーションの整備にあたっては、その処理原理からいわゆる「ボットン」トイレへの逆行を強く想起させることが考えられる。これらの抵抗感・嫌悪感は、排水処理システムの実現に際しては決して軽視できるものではなく議論に値するものであるが、その一方で、このような議論の流れは各時代の環境意識により大きく変化する。それゆえ、議論にあたっては、受益者の視点からの実現可能性を議論する一方で、今後の受益者の環境意識の変化も大いに促していく必要がある。

#### ⑦ミクروسケールでのポテンシャルの推定

本研究では印旛沼流域を対象に、マクروسケールでの分析により負荷低減効果の評価を行った。今後は、上記の①～⑤の議論に加え、ミクروسケールでの更なる分析が必要となる。具体には、低湿地内での集排水、低湿地の植生、各家屋から低湿地への排水、各家屋でのエコロジカルサニテーションの設置などの状況など、多くの点について実現可能性の議論が必要になる。

以上に示した課題についても今後議論することにより、本研究が議論した「都市郊外部における低湿地活用を中心とした生活系汚濁負荷対策」の実現可能性は、さらに高まると考えられる。

## 注釈

### 註 1

2000年の浄化槽法改正に伴い、下水道計画区域外の地域での単独処理浄化槽の新設が禁止された。また、既設の単独処理浄化槽に対しては、合併所為浄化槽（現在、一般に「浄化槽」とは合併処理浄化槽を指す）への更新の努力義務が課されている。なお、各個別処理の詳細については、のちの第2章の表2-3で述べる。

## 引用文献

- ・ A. N. Angelakis (2001) : 持続可能な発展に向けた環境保護技術, P. Lens, G. Zeeman and G. Lettinga 編 : 「分散型サニテーションと資源循環—概念, システムそして実践—」, 技報堂出版, 301-330
- ・ C. Maksimovic and J. A. Tejada-Guibert 編 (2003) : 「都市水管理の先端分野—行きづまりか希望か—」, 技報堂出版, pp.419
- ・ 千葉県 (2004) : 「印旛沼流域水循環健全化緊急行動計画書」, pp.40
- ・ 千葉県環境生活部水質保全課 : 第5期湖沼水質保全計画の概要 : [http://www.pref.chiba.lg.jp/syozoku/e\\_suiho/8\\_kosyo/8\\_inba5ki/index.html](http://www.pref.chiba.lg.jp/syozoku/e_suiho/8_kosyo/8_inba5ki/index.html) , 2009.12.28 閲覧
- ・ 千葉県環境生活部資源循環促進課・千葉県環境促進協議会 (2008) : 「平成18年度清掃事業の現況と実績」, pp.220
- ・ 千葉県県土整備部都市計画課 : 平成18年度千葉県都市計画基礎調査
- ・ 環境省 (2006) : 化学的酸素要求量, 窒素含有量及びりん含有量についての総量削減基本方針に関する参考資料 : [http://www.env.go.jp/water/heisa/6kisei/kihon182.0/4\\_ref.pdf](http://www.env.go.jp/water/heisa/6kisei/kihon182.0/4_ref.pdf), 2009.12.28 閲覧
- ・ 堀江陽介・内海秀樹・松井三郎 (2008) : 尿尿分離型生活排水処理システムの影響評価, 学会誌「EICA」, 13, 2・3 合併, 77-82
- ・ 藤村葉子 (2006) : 生活排水の負荷原単位と各種浄化槽による排出負荷, 用水と排水, 48, 5, 432-438
- ・ 船水尚行 (2005) : “混ぜない”, “集めない” をコンセプトとした排水処理システム, 「自然と共生した流域圏・都市の再生」ワークショップ実行委員会 編 : 「自然と共生した流域圏・都市の再生」, 山海堂, pp.307
- ・ 船水尚行 (2009) : 持続可能なサニテーションの開発と水循環への導入, 水環境学会誌, 32, 9, 471-475
- ・ 古川大輔・石川雅也・佐藤洋平 (2002) : ヨシ湿地を利用した水質浄化機能—農村地域水辺空間の創造に向けて—, 農村計画論文集, 2, 205-210

- ・ G. Lettings, P. Lens and G. Zeeman (2001) : 持続可能な発展に向けた環境保護技術, P. Lens, G. Zeeman and G. Lettinga 編 : 「分散型サニテーションと資源循環－概念, システムそして実践－」, 技報堂出版, 3-10
- ・ Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (2009) : 「Compilation of 24 SuSanA case studies」, pp.160
- ・ 細見正明・稲葉一穂・稲森悠平・原沢英夫・須藤隆一 (1988) : アシ原の自然浄化能を活用した生活雑排水処理, 国立公害研究所研究報告, 119, 6-17
- ・ 細見正明 (1990) : 湿地による水質浄化, 用水と排水, 32, 8, 716-719
- ・ 細見正明・須藤隆一 (1991) : 湿地による生活排水の浄化, 水質汚濁研究, 14, 10, 674-681
- ・ 細見正明 (1994) : 内陸湿地における自然浄化のメカニズムと浄化機能の積極的利用, 水環境学会誌, 17, 3, 149-153
- ・ 印旛沼流域水循環健全化会議 (2003) : 「印旛沼流域水循環健全化会議第4回委員会資料」, pp.43
- ・ 印旛沼流域水循環健全化会議 (2004) : 「印旛沼流域水循環健全化会議第5回委員会資料」, pp.144
- ・ 片桐由希子・山下英也・石川幹子 (2004) : コモンデータに基づく小流域データベースの作成と緑地環境評価の手法に関する研究, ランドスケープ研究, 67, 5, 793-798
- ・ 加藤亮・黒田久雄・中曽根英雄 (2003) : 窒素負荷削減対策への土地利用別水質タンクモデルの適用, 農業土木学会論文集, 224, 237-243
- ・ 加藤亮・黒田久雄・中曽根英雄 (2005) : 分布モデルによる浄化型湿地の配置と窒素負荷除去量の評価, 農業土木学会論文集, 235, 43-50
- ・ 黒田久雄・田淵俊雄・高阪快児・中曽根英雄 (1999) : 休耕田を活用した窒素除去の持続性と有機物に関する検討, 農業土木学会誌, 68, 9, 965-971
- ・ 松森堅治・栗田英治・木村吉寿 (2005) : 谷津流域における地形・土地利用の連鎖を利用した窒素浄化対策, 農村計画圧壊学術研究発表会要旨集, 65-66
- ・ 中村好男・万福和子・古賀祐治 (1998) : 印旛馬流域における谷津田での循環灌漑と水質保全, 農業土木学会誌, 66, 12, 1242.48
- ・ 農林水産省 (2008) : 耕作放棄地解消支援ガイドライン, pp.15・尾崎保夫 (1998) : 水質浄化機能, 陽捷行編 : 「環境保全と農林業」, 朝倉書店, 64-71
- ・ 社団法人日本水環境学会 (2007) : 「水環境ハンドブック」, 朝倉書店, pp736
- ・ 政府統計の総合窓口 (2005) : 平成17年国勢調査(小地域) : <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/toukeiChiri.do?method=init>, 2009.10.06 閲覧
- ・ S. C. Reed, R. W. Crites and E. J. Middlebrooks 編 (2001) : 「自然システムを利用した水質浄化－土壌・植生・池などの活用－」, 技報堂出版, pp.429

- ・ 白井哲之 (1984) : 習志野原周辺谷底低地の土地利用－現状と土地条件からの検討－, 千葉大学教育学部紀要, 29, 1, 81-93
- ・ 田渕俊雄 (2006) : 水田窒素除去機能の定量化への試み, 農業土木学会誌, 74, 8, 703-706
- ・ 田渕俊雄・黒田久雄・志村とも子 (2001) : 休耕田を活用した長期窒素除去試験, 土壌の物理性, 87, 27-36
- ・ 谷内茂雄 (2009) : 流域管理の新しい潮流, 谷内茂雄・脇田健一・原雄一・中野孝教・陀安一郎・田中拓弥編 : 「流域環境学－流域ガバナンスの理論と実践－」, 京都大学学術出版会, 15-23
- ・ U. Winbland (2003) : 環境の持続性, エコサニテーションと合併処理浄化槽, 月刊浄化槽, 325, 23-26
- ・ 佐藤和明 (2003) : 植生浄化法の施設計画と技術, 島谷幸宏・細見正明・中村圭吾編 : 「エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化－持続可能な水環境の保全と再生－」, ソフトサイエンス社, 148-162
- ・ 田渕俊雄・篠田鎮嗣・黒田久雄 (1993) : 休耕田を活用した窒素除去の試み, 61, 12, 1123-1128
- ・ 田渕俊雄・志村とも子・尾野充彦 (1996) : 休耕田における窒素除去試験の結果と実用性の検討, 64, 4, 345-350
- ・ 武内和彦 (1980) : 流域環境整備の生態学的方法－赤土流出の著しい沖縄島北部小流域を事例として－, 応用植物社会学研究, 9, 1-15
- ・ 横張真 (1994) : 農林地の環境保全機能に関する研究, 緑地学研究, 13, pp.172
- ・ 横張真 (2007) : 縮退する都市と「農」, 都市計画, 56, 5, 11-14
- ・ 財団法人河川環境管理財団・河川環境総合研究所 (2007) : 「植生浄化施設計画の技術資料 [2007年版]」, pp258

## 謝辞

一昨年四月にこの研究室の門を叩いてから、まさに光陰矢の如し、二年という月日は瞬く間に過ぎてゆきました。今こうしてこの「二年」という時の流れを振り返るとき、私を支えてきてくれた全ての人々への感謝の念に堪えません。

まず、私の指導教員であり師である横張真教授に対し、此処に深く感謝の意を表します。横張教授は、学部時代は相撲部での活動に没頭し、ろくに勉学を積まず、造園の「ぞ」の字も分からない私を快く受け入れて、厳しくご指導下さいました。この二年間、横張教授には、非常に多くの事をご教授いただきました。造園という専門分野に関しては勿論ですが、それ以上に「一人の人間として、社会に出んとする若者として如何に生きるべきか」を教えて頂いたように思います。また、二年間にわたり横張教授からは激しくも温かみある無数の愛の鞭を頂きました。それは時として私の心身を抉るような強烈でもありました。全くもって脆弱な育ちの私にとっては、容易に堪え心地よい刺激と感ずることのできるものなど殆どなく、常に蚯蚓腫れができるほど激しいものばかりでした。そして、その全てに誠実に応えることが出来ずにいた事も多くあったことも事実です。それ故に、二年間にわたり心身に刻み込まれた鞭の跡は、これから先の私の人生の戒めとし、また励みとしてゆきたいと思います。この二年間、本当に素晴らしい「形成」生活を与えていただき、誠にありがとうございました。今後ともご指導、ご鞭撻のほど宜しくお願い申し上げます。

また、合同ゼミを通して鋭く厳しくご指導下さいました筑波大学の村上暁信講師、コースゼミ等を通して陸水学の専門的知見からご指導下さいました自然環境構造学分野の山室真澄教授をはじめ、自然環境学専攻の先生方に深く感謝を申し上げます。

形成ゼミの先輩方、同期たち、後輩たちにも大きく支えられた二年間でした。科学警察研究所の雨宮護氏、栗田英治氏、宮本万理子女史、清水章之氏、Vudipong Davivong 氏、Gerald Bolthouse 氏、寺田徹氏、渡部陽介氏は、形成ゼミに来たばかりのヒヨっ子の時から二年間にわたり、なかなか「水」から離れることの出来ない私を根気強くご指導下さいました。また、遠藤賢也氏、大澤陽樹氏、田口圭介氏、土田恵理女史、南里美緒女史、古谷崇氏は、修士一年のとき研究に迷ってばかりの私を優しくご指導下さいました。また、私の同期である石松志津枝さん、関愛久美さん、保科宇秀君、森岡育代さんとは、二年間にわたり濃厚な研究生活を共にすることができました。特に、保科君とはお互いすべてが正反対の凸凹コンビでありながら、共に切磋琢磨することができました。また、田原眞一君、三上拓君、柚木英恵さん、松本類君、保條理弘君、新保奈穂美さん、筑波大学村上研究室の皆さんには、ゼミを通して多くの鋭い指摘をいただきました。皆さん、二年間にわたり本当にありがとうございました。

最後に、この充実した二年間を与えてくれた両親、そして常に心の支えとなってくれた祖父母、三人の兄弟に、深く感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

2010年2月26日 利根運河を望む環境棟5階デザイン部屋にて

古木 治郎