

ミレニアム・プロジェクト「循環型経済社会」事業実施報告書

【府省名：環境省】

事 項	説 明
実施施策名	12 環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究
実施目標	2001年度までに、円滑な物質循環及び静脈産業育成の観点から、技術面に関する基礎的データの収集・整備、産業技術面での課題等技術面での環境整備について調査研究を行い、今後の政策方向を明らかにする。
事業の成果と実施状況	（事業の成果） 環境低負荷・資源循環型の流域管理手法を評価するため、流域水循環モデルおよび有機物および栄養塩類を指標とした流域物質循環モデルを霞ヶ浦を事例として構築した。これらを用い、流域の汚濁発生源、直接浄化対策を汚濁負荷策源効果と資源循環効果の側面から施策シナリオ分析を行った結果、環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システム構築に対する資源循環の効果が大きなことが明らかになり、発生源対策との的確な組み合わせの重要性が明らかになった。 （事業の実施内容） 循環型経済社会において水環境改善システムを確立するために代表的な富栄養化湖沼であり、水道水源である霞ヶ浦をモデル流域として、(1)流域の水環境改善技術の適切な導入評価のための水循環・物質循環解析モデルの構築および(2)流域管理に関わる現行污水处理技術、運用方法、制度を含めた効率的・効果的な総合的流域管理の方策の検討を行った。なお、具体的な実施内容は以下に示すとおりである。 ①水循環モデルとして地下水系を含む分布パラメータ型流出タンクモデルを作成し、霞ヶ浦流入河川の検証を行った。 ②流域の汚水系統の排出、河川への流達、流達過程での吸着・溶脱・分解、河川内浄化等の現象を総合的に取り扱える域物質循環モデルの開発構築を行い、本モデルにより桜川流域等実測河川について解析を行った。 ③有害化学物質の流域安全性評価のため、流域蓄積・流出モデルの検討を行い、農薬類の流出特性および有害化学物質の管理のあり方について解析を行った。 ④水環境管理の経済的手法については、流域の地域循環システムの規模における、経済性や省エネルギー性の観点からシステム評価を行う分析手法の検討を行った。 ⑤現行政施策も含め、効果的・効率的な流域管理のための総合的な方策、制度の検討および生ゴミの資源化・堆肥化システム等の技術的検討を加え、流域の経済効率性、財政への影響の観点から霞ヶ浦流域への適用性の検討を行った。
事業の企画立案・実施者としての事業の総括	（実施目標の達成状況） 流域の水環境改善技術の適切な導入評価のための水環境、物質循環解析モデルの構築および流域管理に関わる現行污水处理技術、運用方法、制度を含めた効率的・効果的な総合的流域管理の方策を明らかにすることを目標として実施したが所期の目標をおおむね達成することができた。 （成果の政策への活用） 水環境・物質循環解析モデルを用いた検証および総合的流域管理の方策の検討を行ったところ窒素、リン除去方式の処理システムの整備の重要性および生ゴミディスポーザー活用システムにおいては資源循環をふまえた整備の重要性が明らかとなったが、指定湖沼の第4期湖沼水質保全計画においても窒素、リン対策の強化がうちだされ政策への活用がなされたといえる。 （今後の事業の展開） 生活系排水対策として下水道と双対して重要な位置づけにある浄化槽については窒素、リン除去型のシステム整備がなされるよう条例化を視野に入れ高度処理浄化槽の普及展開の可能な政策提言事業の展開を図ると同時に流域における適正技術の効果的な普及を念頭においた政策へ反映できる技術開発研究を今後展開していくこととする。 （その他） 本事業の成果をふまえ、霞ヶ浦流域の土浦市の環境基本計画に窒素、リン除去型の高度合併処理浄化槽の普及整備の重要性を位置づけ条例を施行することと全国的な発信拠点を構築することができた。
関係機関や民間との連携の状況	流域の環境・資源管理について総合的なシステム解析が要求されている。この分野について、湖沼法に基づく環境省の湖沼水質保全計画策定や国土交通省の直轄するダム貯水池・湖沼の富栄養化対策や流域管理システム構築技術を展開しているコンサルタント（日水コン）と解析技術を含めた連携強化を進めた。それと同時に、高度処理技術の導入のあり方については、モデル流域とする霞ヶ浦の所在する茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課を窓口にして密接な連携をもとにして進めた。
当該テーマにかかる外的な研究環境（国際動向、研究動向等）など参考事項	平成13年4月の日中韓三ヶ国環境大臣会合において「環境保全上健全な水循環を確保し、発展の基礎としての水資源を確保し、効率的な水の利用を可能とする持続可能な水資源管理の重要性」の前年度に共通認識として示され、かつ、水質改善システムの開発・普及プロジェクトの共同実施が合意されたことを踏まえ、この理念をもとに推進した。国立環境研究所ではすでに韓国と水質改善システム開発に関するJICAの技術協力実施の実績を有し、平成13年度からは中国との技術協力を実施開始しており、本研究成果の大きな発展が期待されている。また、国連は平成12年3月22日を「世界水の日」に定め、水利用に関する総合管理のあり方等の「世界水ビジョン」作りを進めている。さらに、国立環境研究所では水質改善システムの総合的な技術開発フィールドとしてパイオ・エコエンジニアリング研究施設が整備され、本課題の成果をふまえ今後、国際的な水環境改善技術が構築されることが期待される。
所要経費	平成12年度 23百万円 平成13年度 19百万円

【年次計画表】

事業名 番号) 12 環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究

	12年度	13年度
当該年度の目標	環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムの構築において、円滑な物質循環および静脈産業育成の視点から、技術面、制度面のデータ収集・整備の調査研究を行う。	環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムの構築において、円滑な物質循環および静脈産業育成の視点から、平成12年度の成果に基づき、更に生活系、産業系排水等の処理改善技術面での精度、環境整備等に資する調査研究を行い、今後の政策の方向を明らかにする。
当該年度の具体的課題	①霞ヶ浦の水質悪化経年変化特性とその要因解明のため河川別流域汚濁源フレームの集積調査と汚濁源別流域負荷量の解析を行った。 ②現行の汚濁負荷策源施策や排出規制にかかる法制度や行政施策を総合的に整理検討し、現行施策の問題点を抽出した。 ③汚濁負荷の流域での削減および湖沼の直接浄化に関する水環境の改善技術情報を整理検討し、現行の水環境改善技術の問題点を抽出した。 ④環境低負荷・資源循環型の汚濁負荷削減手法としてのバイオ・エコエンジニアリングを導入した開発技術の体系化を行った。 ⑤バイオ・エコエンジニアリング導入技術の汚濁負荷策源性能、省エネルギー性建設コスト、維持管理性を従来技術と比較評価した。	①環境低負荷・資源循環型の流域管理手法を評価するため、取排水システムを含む流域水循環モデルの構築を行った。 ②上記の水循環モデルを基に霞ヶ浦流域を事例として有機物および栄養塩類を指標として、流域物質循環モデルを構築した。 ③流域における資源循環の適正化の一環としての汚濁処理改善技術の導入を評価するため、有機物および窒素・リンの資源循環フローの現況特性を解析した。 ④③の結果を基に、霞ヶ浦流域を事例として、流域の汚濁発生源対策、直接浄化対策を汚濁負荷策源効果と資源循環効果の側面から施策シナリオ分析を行った。 ⑤④のシナリオによる水質改善効果および資源循環効果を①②で作成した流域水循環・物質循環モデルを適用し予測評価した。 ⑥⑤の結果をもとに環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システム構築のための政策提言についてまとめた。
実施体制 委託先等)	独立行政法人国立環境研究所が主体となり、筑波大学、建設省建築研究所、社)型式浄化槽等と連携して実施した。	独立行政法人国立環境研究所が主体となり、筑波大学、社)型式浄化槽協会、茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課等と連携し実施した。
予算	23百万円	19百万円
進捗状況 実施に当たって生じた問題点等を含む)	①霞ヶ浦の汚濁特性として流域の窒素蓄積と、湖内の嫌気化に伴う脱窒素とリン溶出が原因とした。またそのが背景が面源負荷の土地利用に起因することを明らかにした。 ②現況の水質汚濁が発がん性物質や富栄養化で発生する「ファコ」による毒性物質の発生等の新たな水質問題に対処するため法整備と技術開発の必要性を明らかにした。 ③現行の流域汚濁負荷対策は有機物負荷の削減主体であり、窒素・リンの汚濁負荷対策には、下水道未普及地域の雑排水および農地地域の窒素蓄積の削減技術の必要性を明らかにした。 ④バイオ・エコエンジニアリング技術としての高度浄化型合併浄化槽、植栽土壌浄化法、植生浄化法等の開発技術を有機物、窒素、リンの総合的削減機能の面から体系化した。 ⑤バイオ・エコエンジニアリング導入技術の汚濁負荷削減性能の比較評価を行ったが、省エネルギー性、建設コストの算定では実施適用事例が少ないためスケールメリット・デメリットの視点からの評価は不十分となった。	①環境低負荷・資源循環型の流域管理手法を評価するための流域水循環モデルについて代表河川の詳細モデルを作成した。なお灌漑期の流出モデル係数についてなお検証見直しを行った。 ②霞ヶ浦流域の有機物および栄養塩類を指標とした流域物質循環モデルとして、地表面流出、地下水系での吸着脱着、溶出機構をモデル化した。なお、流域の長期的蓄積機構については上記機構以外の機構導入による解析の必要性を明らかにした。 ③有機物および窒素・リンの資源循環フローの現況特性について、文献および農地系の地域悉皆調査事例を調査した。この結果をもとに、霞ヶ浦流域の特性について解析検討した。 ④③の結果を基に、霞ヶ浦流域を事例として、施策シナリオ分析のために河川流域別の汚濁発生源対策、流域内浄化対策、河川直接浄化対策による汚濁負荷策源量と資源循環量の算定・解析を進めた。 ⑤水質改善シナリオおよび資源循環シナリオを検討し、今後①②で作成した流域水循環・物質循環モデルを適用し予測計算と評価を行った。 ⑥改善技術の効果的・効率的導入政策、資源循環政策との連携施策について政策提言案をまとめた。
自己評価	環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムの構築において、円滑な物質循環および静脈産業育成の視点から、技術面、制度面のデータ収集・整備の調査研究を行い、次年度の水循環モデル、物質循環モデル構築の基盤が築かれ、所期の目標を達成できたものと考えられた。	環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムの構築において、円滑な物質循環および静脈産業育成を目標として平成12年度の成果をふまえ更に、生活系、産業系排水等の処理改善技術面での精度、環境整備等に資する調査研究を行い今後あるべき水環境改善のための政策の方向を明らかにすることができたと考えられる。また、有機物、栄養塩類を指標とした物質循環モデルをベースとした水改善及び資源循環シナリオ分析までの解析フローを構築したことにより、本手法の開発途上国等への適用が期待され、効率的な支援方策決定に寄与するものと考えられた。

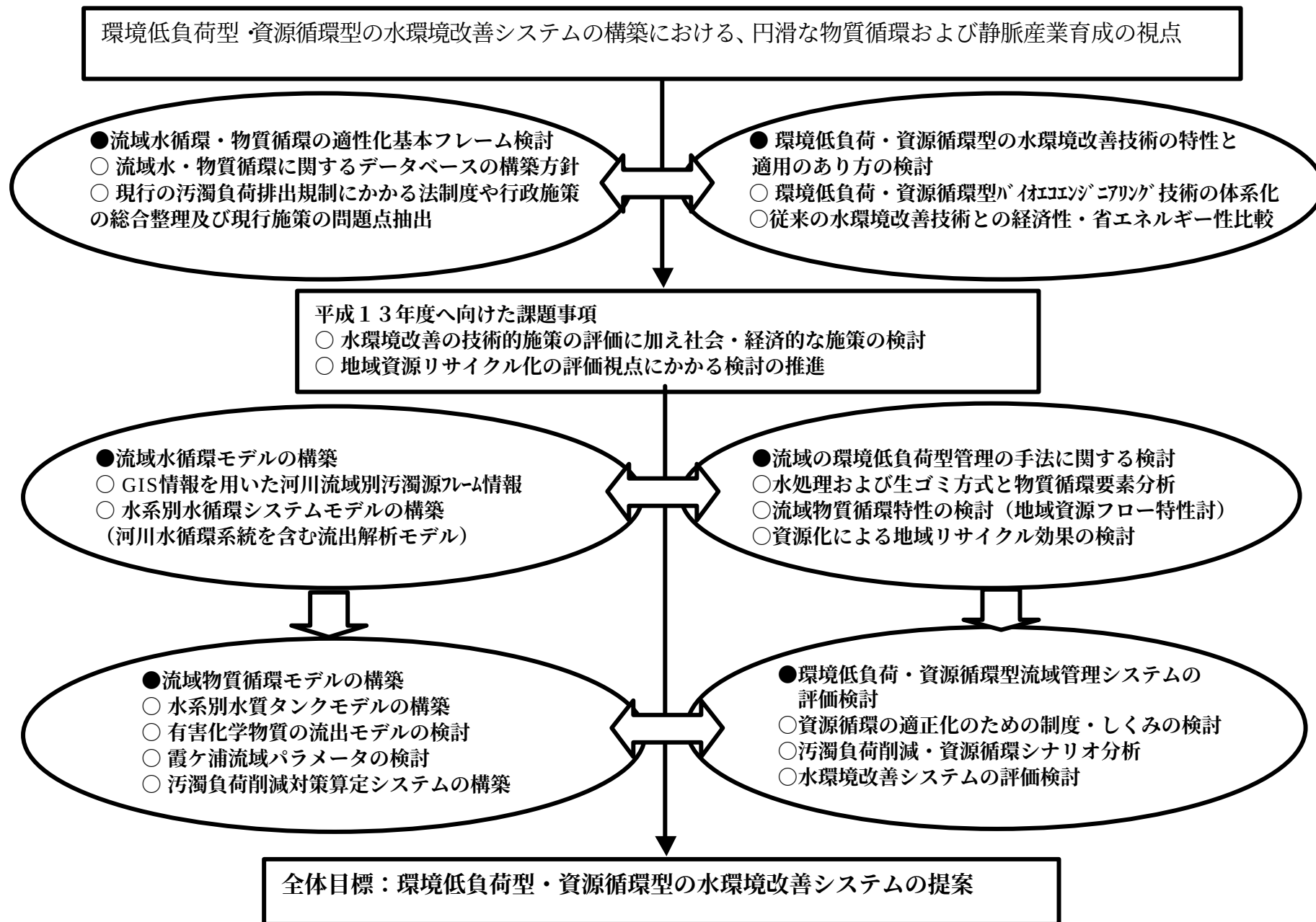


図 - 1 環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究

ミレニアム・プロジェクト「循環型経済社会」事業実施報告書

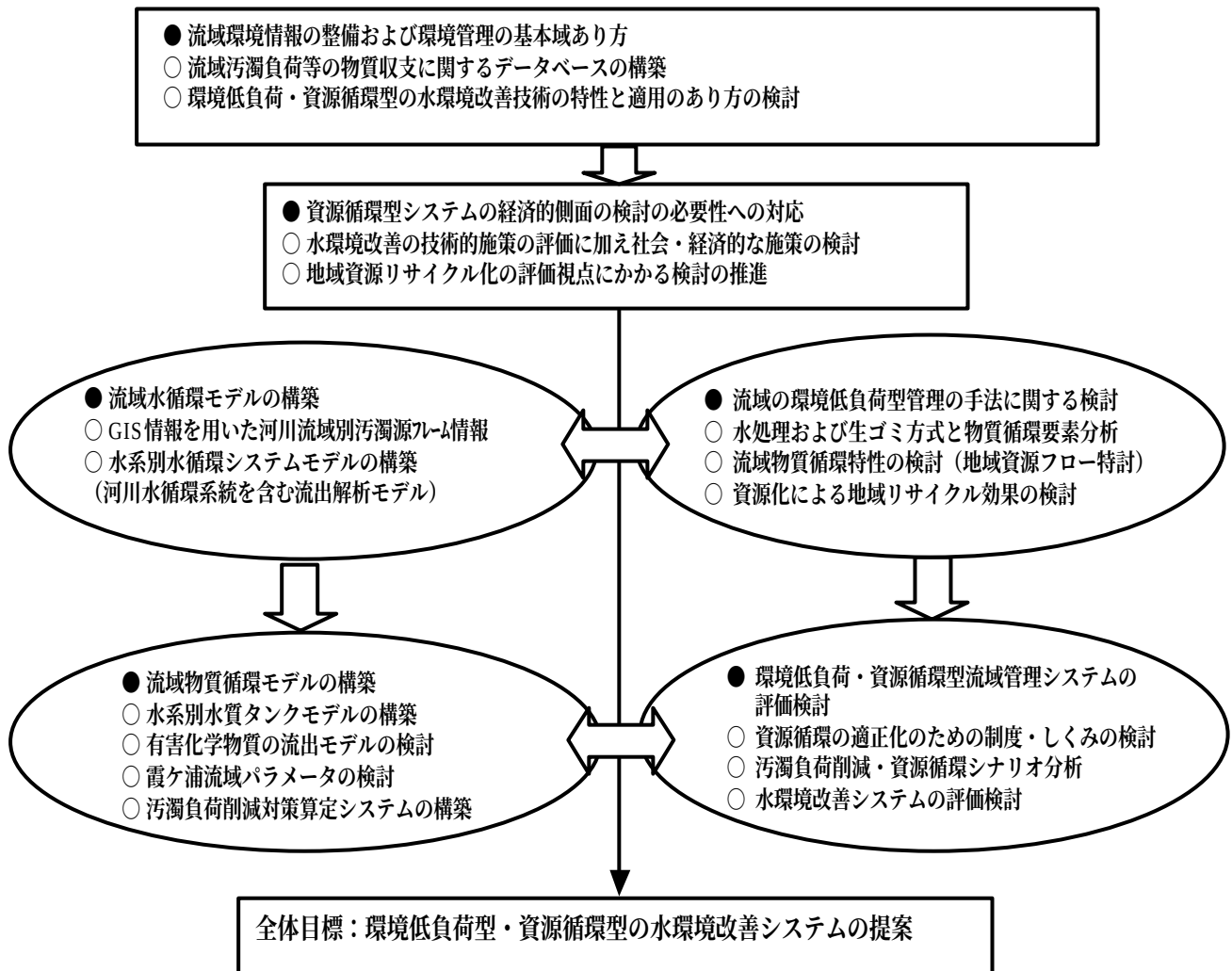
12 環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究 (概要書)

平成 14 年 5 月 27 日

独立行政法人 国立環境研究所

1. 調査・研究目的と研究フロー

1. 1 調査研究の全体フロー



環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究フロー

1.2 調査・研究目的

環境低負荷・資源循環型の水環境改善システムに関する調査・研究目的と内容は、地域における水循環・物質循環の適性化及び循環型社会形成のための静脈産業育成の観点から、技術面に関する基礎的データの収集・整備、産業技術面での課題等技術面での環境整備について調査研究を行い、今後の政策方向を明らかにすることにある。すなわち本調査・研究は循環型経済社会において水環境改善システムを確立するために代表的な富栄養化湖沼であり、水道水源である霞ヶ浦をモデル流域として、具体的な地域環境データを用いて分析・研究を進めたものである。

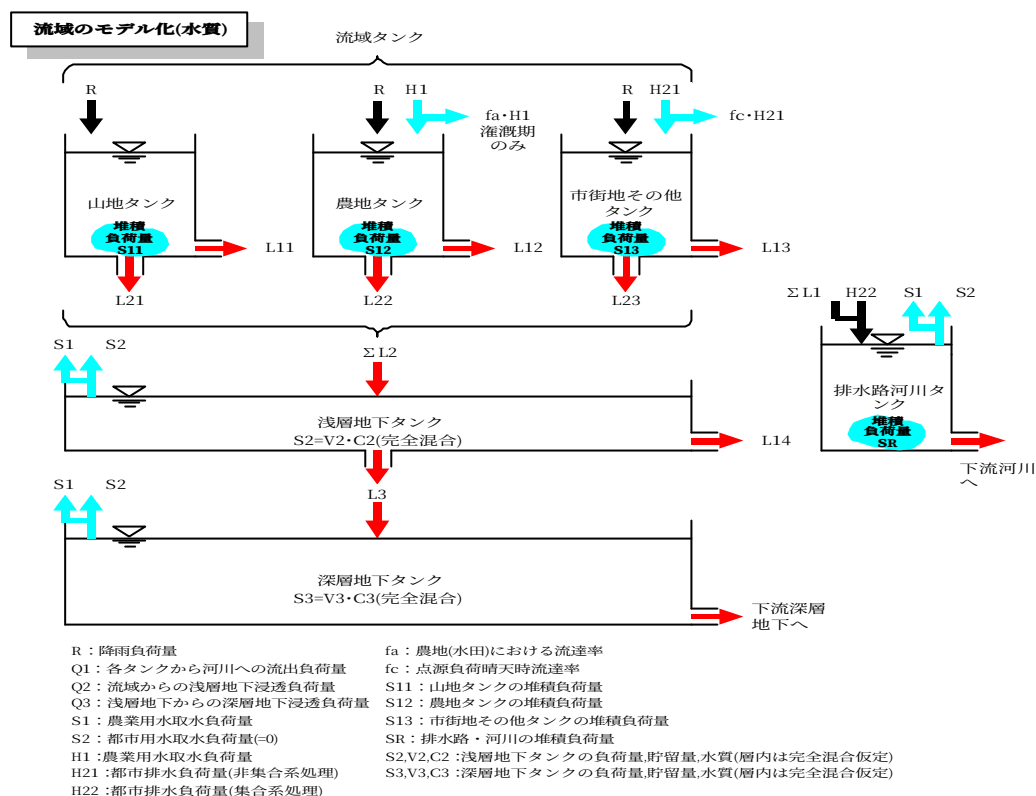
本調査・研究では、序章として、資源循環型の水環境改のシステム化が必要な背景について現況の規制行政の動向を整理し、その改善ポイントを抽出するとともに、開発技術の特性について整理検討を加えた。またモデル流域としての霞ヶ浦流域および湖沼環境に関する総合データベースを構築した。2章から5章にわたっては、第2章流域水循環モデルの構築の検討、第3章流域物質循環モデルの構築の検討、第4章流域の物質循環特性と資源循環化の検討、及び第5章流域の環境低負荷型資源循環管理手法の検討を行った。第6章では第2章および第3章で構築したモデルにより、環境低負荷型・資源循環型の水環境施策の導入シナリオを分析し、環境低負荷型のバイオ・エコエンジニアリング技術の導入と資源化施策の効果を予測するとともに総合施策の費用対効果の評価を行った。

以下得られた成果の概要を述べるとともに、当初計画からのギャップおよび課題点をまとめた。

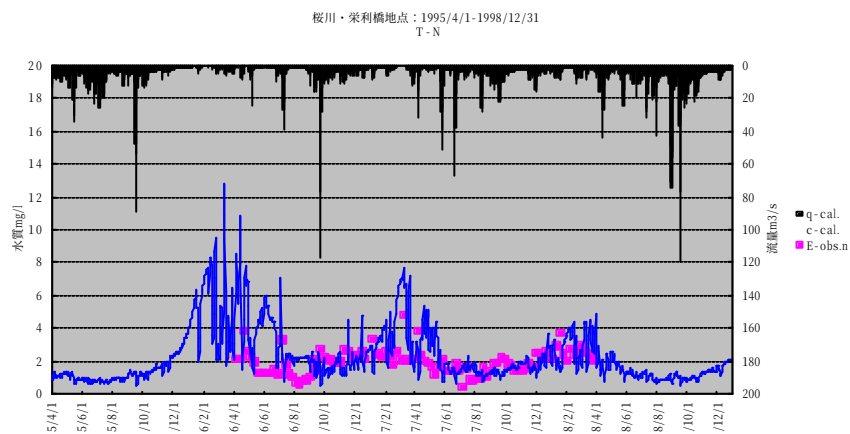
序章では、WHOが飲料水の安全性基準として進めている有毒アオコが産生するマイクロキスティンのような新たな水環境の汚染拡大を例示し、対策の危急性と重要性について論じた。また具体的施策を担保する水処理技術、流域浄化手法および河川湖沼環境の新浄化手法について開発技術の総合的な整理解説を行った。

第2章では1kmメッシュの土地利用区分に対応する水循環モデルを構築し、一体構造とした物質循環モデルを作成した。第3章では、霞ヶ浦という具体流域を事例として、特に土地利用別の物質循環構造をモデル化し、土地利用の変化および降雨特性の変化に対する流域河川の流出特性と地下水系を含めた流況変化への影響評価が可能なモデルである水質タンクモデルを作成した。具体的には霞ヶ浦流入河川のうち最も流域面積の大きい桜川流域について、1kmメッシュの国土数値情報をもとに、土地利用区分毎の水質タンクモデルを構築した。モデルの概要を図-1に示す。またこのモデルによる河川水質変動の検証結果を図-2に示した。

次いで環境安全性の改善効用の評価のため、有害化学物質に関するマルチメディアモデルにより霞ヶ浦のダイオキシン類および農薬類の安全性についても予測検討を加えた。



図ー1 霞ヶ浦水質タンクモデル模式図



図ー2 水質タンクモデル検証結果

水循環・物質循環モデルを桜川流域を対象に構築したが、最も大きい流入河川流域でも 1km^2 では、流下方向での水質縦断分布や休耕田利用活用型の浄化システムの効果解析等、浄化施設の適正配置検討等のツールとしては不十分であり、250m メッシュデータが揃っていない分散型地域におけるモデル構築としては課題を残すこととなった。

第 4 章では、物質循環構造の特性に係る指標として発生汚濁原単位を農地への肥料や生

物資源投入量原単位および排出原単位まで拡張して調査した。その結果、CODで 66.3 トン/日、T-N で 37.5 トン/日、T-P で 6.33 トン/日の発生があり、また流域への投入負荷量としては、霞ヶ浦流域全体では畜産系の負荷圧が高く、適性な資源循環量の約 3 倍の負荷圧となっていることが判明した。また、生活系排水系の有機汚泥を資源循環系に再生利用可能な割合は約 30%であり、流域資源管理を適正化することにより、畜産負荷圧を約 1/3 まで抑制可能であることが見出された。

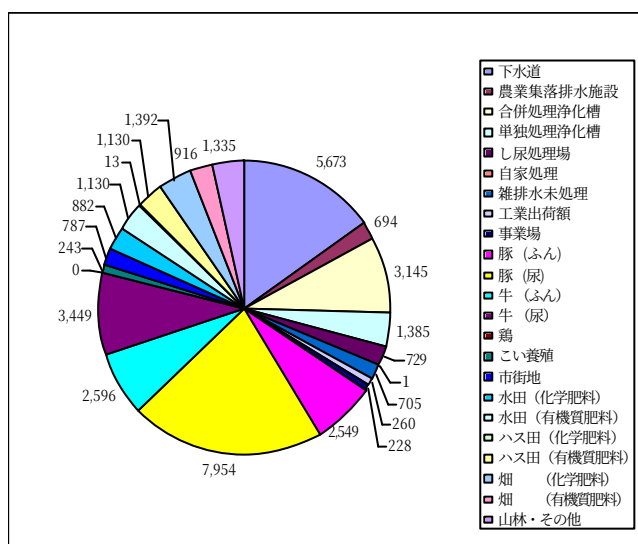


図-3 霞ヶ浦流域の T-N 発生負荷量

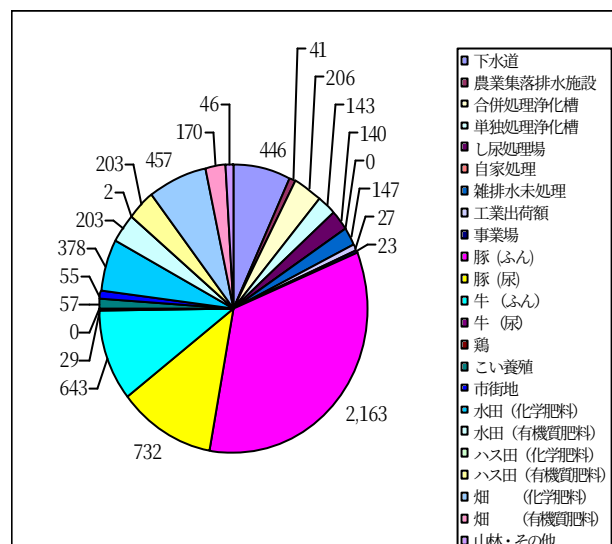


図-4 霞ヶ浦流域の T-P 発生負荷量

霞ヶ浦流域における地域物質循環フローの文献調査の結果、流域への資源投入量は窒素等量で年間 24,273 トン (66.5 t/日) となっており、農地還元量は 12,544 トン (34.4 t/日)、結果としての環境負荷量 9,650 トン (26.4 t/日) と推計された。この環境負荷を、図-3 に示した発生汚濁負荷量と比較すると、総発生負荷量が 37.5 t/日であり、河川等への流達率や、流域内抑留効果を考えれば妥当な数値と判断される。したがって地域投入量に対する還元循環利用率としては約 50%であり、環境への負荷として 40%が排出されていることとなる。これらの結果から、従来の一過型の汚濁解析では明示できなかった物質循環の悪循環フローを定量化して示すことができた。

なお、当初、物質循環フローを霞ヶ浦の河川流域ブロック別に推計することを目標としていたが、発生、排出原単位の推計にあたって有機物資源の農地還元循環に関する地区単位の統計データがそろっていないため、流域全体の特性しか解明できなかった。しかしながら今後他の指標についての地区データからの推計方法を編み出すことにより、地区の物質循環の偏移を考慮した適性化を明確にしていくことが可能と考えられる。

次に第 5 章では、有機性廃棄物としての水処理汚泥系とごみ廃棄物について、霞ヶ浦流域の特性値を推計した。表-2 に水処理汚泥系を、図-5 には茨城県のごみ発生量を示し

た。その結果、水処理汚泥系では、窒素で 6.5 トン/日、リンで 3.0 トン/日となり、発生負荷量のそれぞれ 17%、50%が汚泥系として系内蓄積しているという結果が得られた。

表－1 水処理汚泥成分発生量（トン/年）

水処理法	C	N	P
浄水場			
下水処理場	4,944	963	446
農業集落排水処理	408	80	37
合併処理浄化槽	3,066	597	276
し尿処理場	3,790	738	342
合 計	12,208	2,378	1,101

一般家庭のゴミの年間排出量は、茨城県全体で 1084 千トンである。そのうち、可燃ゴミは 709 千トン、不燃ゴミは 75 千トン、資源ゴミは 58 千トンとなっている。ゴミ総量の 28%が生ゴミであるとする、生ゴミは 304 千トン/年で可燃ごみの 43%に相当する

したがって有機資源ごみとして循環リサイクルすることにより、焼却施設から発生するダイオキシン等の有害化学物質は 40%を削減可能ということとなる。

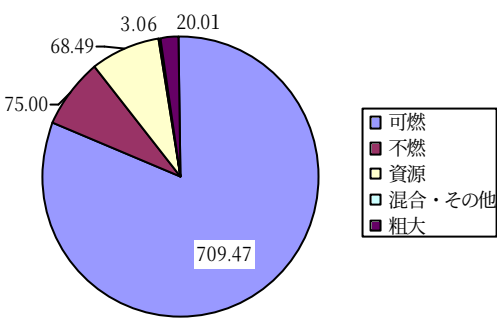
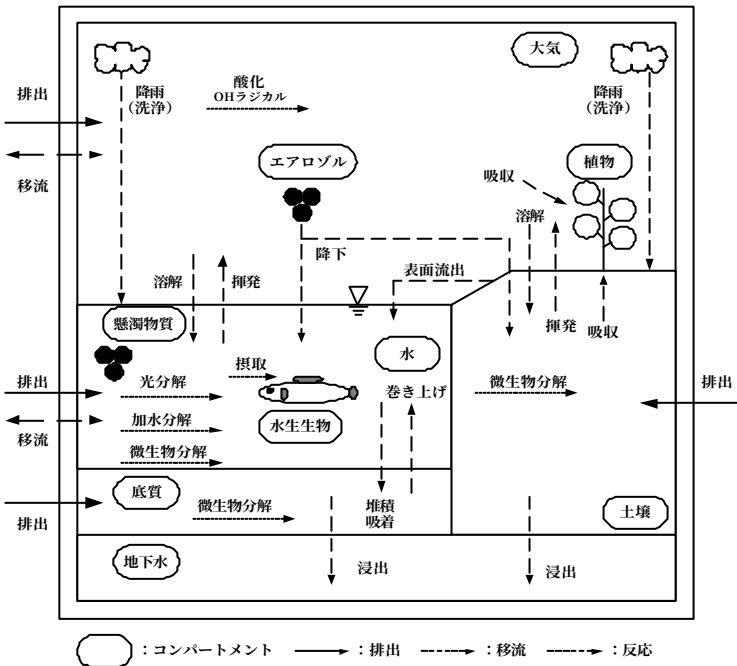


図-5 茨城県の廃棄物の種別構成（平成 11 年度）

次に、霞ヶ浦流域の汚染源として、ダイオキシン類をはじめ農薬類の評価システムが必要という観点から、物質循環の一環としての予測モデルの構築を行った。図-5 にマルチメディア型の運命予測モデルの模式図を示す。

また、ダイオキシンの発生量の推計値；70g/年を境界条件として、現在のダイオキシンの分布を予測計算した。結果を表-6 に示した。

結果の特徴として、
①99%のダイオキシンの存在形態は土壌である。②魚体中の濃度は約 2ng/kg という結果が得られた。動植物プランクトン体



図－6 環境有害物のマルチメディアモデル模式図

の濃度も同程度であり、堆積底泥を含めて霞ヶ浦湖沼のダイオキシン濃度の監視・管理は環境安全性確保に必要な重要な管理事項である。

表－２ 環境中の物質濃度、量

媒体	濃度		物質質量 g	存在比率 %
	pg/L ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\mu\text{g}/\text{t}$		
大気	0.00	0.00	0.00	0.00
水	0.00	0.00	0.00	0.00
土壌	0.66	0.28	389.72	99.20
堆積物	1.33	0.55	2.94	0.75
浮遊性堆積物	4.15	2.76	0.18	0.05
魚	1.69	1.69	0.00	0.00
total			392.85	100.00

6 章では、環境低負荷型・資源循環型の環境システムの具体化のため、従来の汚濁負荷施策をふくめ、省庁枠を超えた施策として、河川や湖沼の直接修復技術や畜産系廃棄物や生ごみ資源の循環効果とその経済性についてシミュレーションによる評価を行った。

未処理雑排水について、①下水道整備区域でまだ下水道管渠が未接続の部分、いわゆる下水道未水洗化人口分と②単独浄化槽、③し尿処理、④自家処理の各し尿系統のみの処理を対象としている人口区分の合計になる。未処理し尿分については、①下水道整備区域の未水洗化部分と下水道未整備区域人口（農村集落排水処理施設等の下水道類似施設を除く）およびし尿自家処理人口が相当する。それぞれの整備の主管省庁・行政体は異なるため個別の目的・評価システムのもとで別々に実施されており、行政効率に関して大きな議論となっているところである。

今後の整備で重要課題となっている部分は、

- (1) 下水道等の未整備地区（未処理雑排水対策と未処理し尿分）の整備
- (2) 単独浄化槽の合併浄化槽化
- (3) 富栄養化対策としての窒素・リンの削減強化

の三つであるが、(1) および (2) は主として国土交通省の下水道施策による BOD 対策であり、(2) は環境省所管の県環境部局の施策 (3) は今後の新たな省庁連携による環境施策と汚濁対策技術のセットとしてどう導入整備していくかにあり、本研究では休耕農地の活用や河道内の直接浄化手法として土壌や水生植物を活用した土壌浄化法を 1 つケースとして導入するシナリオを設定した。

表-3 汚濁負荷削減対策シナリオ

	基本対策シナリオ	NO.	
A	未処理の生活系排水対策を中心とする整備による負荷削減効果と投資効果	01 02 03	未処理人口整備率を流域平均で10% 未処理人口整備率を流域平均で20% 未処理人口整備率を流域平均で50%
B	ケース02に浄化槽対策 (単独浄化槽の合併処理化)	1 2 3	02+単独浄化槽の合併化促進無し 02+単独浄化槽の合併化促進(現況の40%) 02+単独浄化槽の合併化促進(現況の100%)
C	ケース2に土壌処理技術付加による高度化	1D 2D 3D	02のシナリオに土壌浄化導入率10% 02のシナリオに土壌浄化導入率30% 02のシナリオに土壌浄化導入率50%
D	農村環境整備事業または河川事業との連携		河川水量の取込整備率30% 河川水量の取込整備率50% 河川水量の取込整備率70%
E	地域資源循環型システムの導入		畜産糞尿の堆肥化農地還元 生ごみのバイオガス発電

(注) 整備率は流域平均で市町村毎にはシナリオに応じて異なる整備率を個別に設定。

ア、CODの削減

CODの削減は、本研究で取り上げた削減シナリオの範囲（未処理雑排水の整備率を流域全体で約20%～50%整備。ただし市町村単位では人口密度の高い地域を優先整備し整備の効率化をはかる）で、最大で15%にとどまっており、有機物除去を主体とする整備の拡大にも係わらず、実行可能と想定される施策シナリオの範囲では、投資の増大の割に削減率が低い結果となった。

イ、窒素の削減率は、CODと同程度で最大で17%となった。削減パターンは、生活雑排水系の有機物処理の拡大が基本となっているため、窒素の削減の整備拡大にともなう伸びは相対的に小さい結果となっている。

ウ、リンの削減率は、最大で13%程度であり、窒素より低い結果となっている。

次に、未処理雑排水対策と同時に単独浄化槽を合併浄化槽化するシナリオでは、生活排水の処理に土壌処理を加える効果は高く、特に、未雑排水対策の取り込み率が流域全体で30%という中間的な段階であっても削減効果が現れている。これは、土壌処理の各水質項目の浄化効果が高いためである。この結果は今後の分散型地域の雑排水対策の方向性に重要な示唆をあたえており、整備水準を広域的に拡大することが効果を拡大することではなく、高効率な浄化手法とを組合せ省庁連携事業として実施しながら、段階整備を行うことが重要であることを示している。

また、遊休土地利用型の浄化方式の適用はリンの削減効果が著しく進展する結果となり、土地管理の省庁連携策の問題をクリアできれば、実施可能でかつ汚濁負荷削減効果を総合的にアップする有効な施策であることが判明した。

図-7に示した予測結果から、各シナリオによる整備効果の特徴を下記のように整理される。

- 今後の生活排水対策の整備率が20%までの段階では、小規模集合排水処理の方が公共下水道等の整備より投資効率が高い。
- COD除去に関しては、整備率が高いほど規模の効果が現れるが、窒素、リンに

関しては、整備を拡大するほど投資効率が低くなる傾向が得られた。これは窒素、リンの流達率が整備により増大することが起因しているためである。

- 農村集落排水施設による整備は、整備率の高い段階で、投資効率が高くなる傾向がある。これは霞ヶ浦流域の集落形態規模の場合、農村集落排水処理規模が適正規模となっていることが考えられるが、もともとの費用関数において、規模の効果が高くなるような関数となっており、強い解釈には留意する必要がある。
- 植生土壌浄化手法との組み合わせ方式での大きな特徴は下記の三つである。
 - ① COD削減効率は、農村集落排水処理との組み合わせで大きな効果を発揮し、投資効率は2倍程度に増加する。
 - ② リンの削減効率は、小規模集合排水し処理との組み合わせで大きな効果を発揮し、投資効率は、整備の初期段階で高い傾向を示す。
 - ③ 以上から、基本的には、BOD処理技術と窒素、リンの総合的処理技術のシステム化は重要であり、かつ、COD削減を優先するか、リン削減を優先するかによって、組合せる整備手法が異なることになり、政策判断により投資効果が大きく異なる可能性があることが判明した。

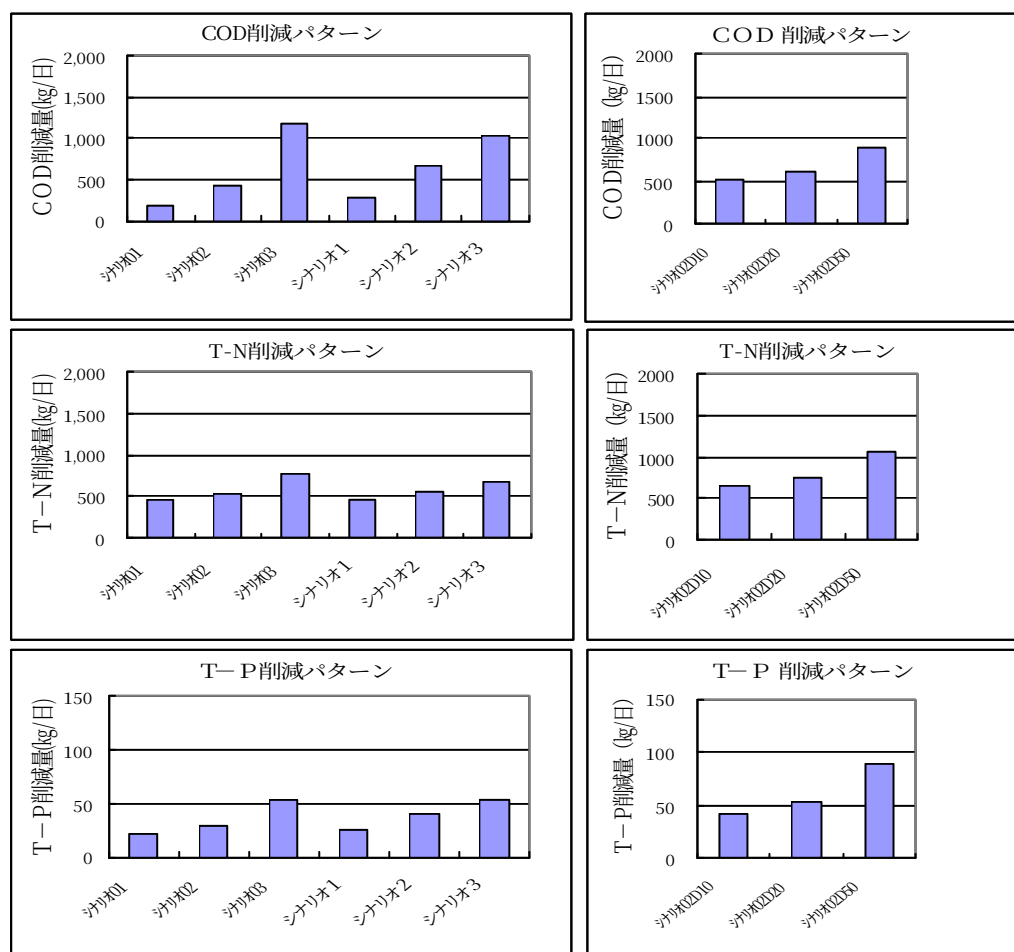


図-7 施策シナリオによる削減パターン

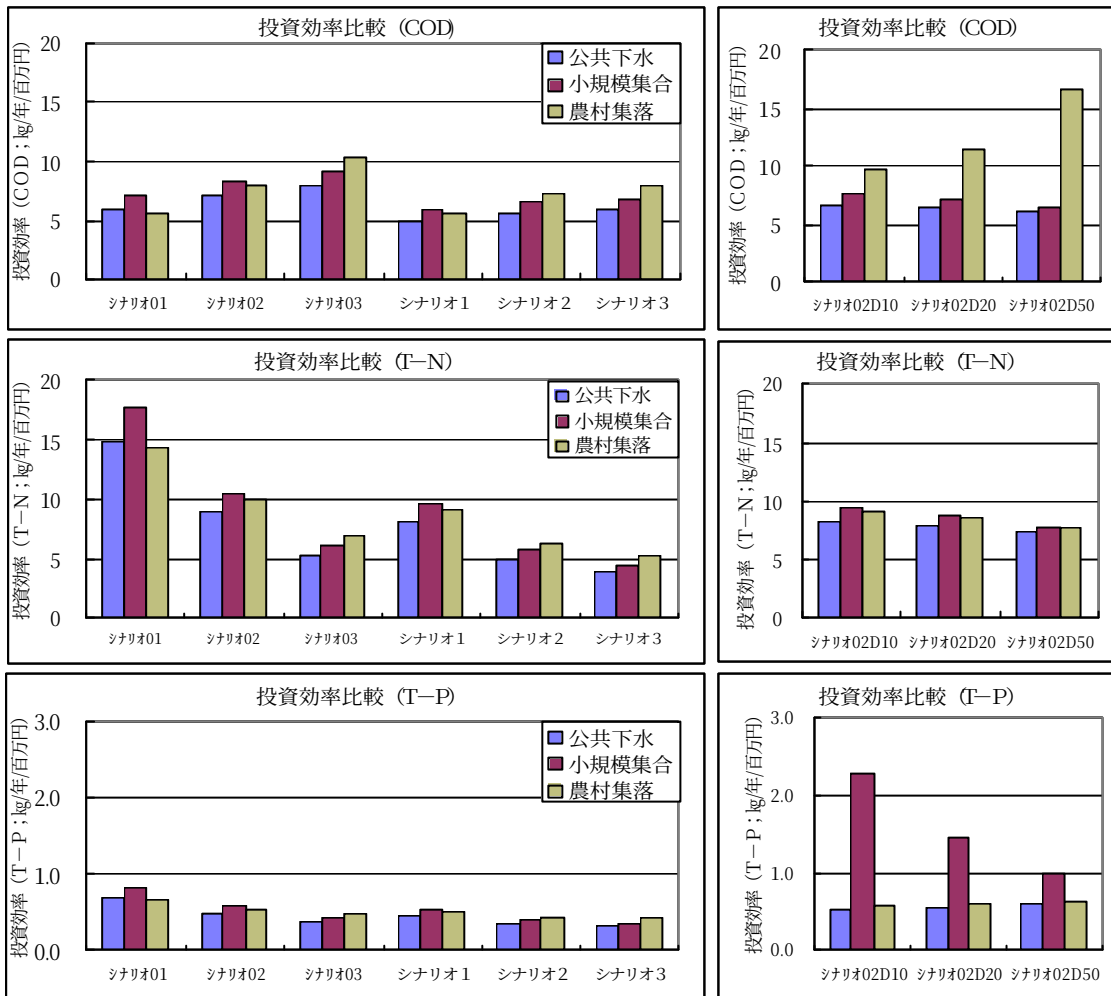


図-8 施策シナリオ別の投資効率の比較

表-4 シナリオ別削減負荷量

単位；kg/日

項目	排出負荷量	シナリオ01	シナリオ02	シナリオ03	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
COD	7,919	183	430	1,172	293	651	1,026
T-N	4,447	457	537	776	472	567	667
T-P	403.2	21.1	29.3	53.7	26.4	39.8	53.9

表-5 シナリオ別負荷削減率

項目	排出負荷量	シナリオ01	シナリオ02	シナリオ03	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
COD	7,919	2.3%	5.4%	14.8%	3.7%	8.2%	12.9%
T-N	4,447	10.3%	12.1%	17.4%	10.6%	12.8%	15.0%
T-P	403.2	5.2%	7.3%	13.3%	6.5%	9.9%	13.4%

表-6 河川浄化対策効果

河川直接浄化	現況河川 負荷T-N			COD削減量 (kg/日)	T-N削減量 (kg/日)	T-P削減量 (kg/日)
	COD(kg/日)	T-N(kg/日)	T-P(kg/日)			
河川シナリオ1	18,059	8,241	370	1,249	472	37
河川シナリオ2	18,059	8,241	370	1,993	764	57
河川シナリオ3	18,059	8,241	370	2,588	1,019	71

表-7 費用対効果

河川直接浄化	COD削減率	T-N削減率	T-P削減率	COD削減効率 (kg/年/百万円)	T-N削減効率 (kg/年/百万円)	T-P削減効率 (kg/年/百万円)
河川シナリオ1	6.9%	5.7%	9.9%	33.0	12.5	0.97
河川シナリオ2	11.0%	9.3%	15.5%	32.4	12.4	0.93
河川シナリオ3	14.3%	12.4%	19.3%	31.4	12.4	0.87

次に、地域循環の平滑化による適正農地還元化による効果と投資効率の予測結果を要約すると以下のとおりである。

まず、家畜糞尿の農地還元負荷圧は、流域平均で 200kg/ha におよび、さらに 400kg/ha を超える市町村が 8 市町村にも上る。特に北浦関連市町村は畜産密度が全体として高く、北浦流域内で需給バランスを確保すること極めて困難な状況にある。

しかしながら絶対量の需給バランスの設定で可能な施策を本分析結果で明らかにすることができ、実行可能な当面对策の許容水準として茨城県全体の平均 145kg/ha を目標として地域管理を行うシナリオを設定した。

すなわち、少なくとも緊急的に実施可能なレベルとして、霞ヶ浦流域において茨城県の平均レベルに均衡するまで管理することは可能との判断から、まず畜産系の窒素管理を前提した場合の予測をおこなった。すなわち、市町村毎の農用地あたりの家畜糞尿還元を 145kg N/ha を基準として近隣市町村に配分し（実際に販売譲渡等により行われているが、流域全体として整合をとる）、過剰分について、次に示す生ごみとの共同処理を行うというシナリオを設定した。これを予測した結果、流域全体では、削減可能発生負荷量として下記の結果が得られた。

表-8 家畜糞尿の農地還元の適性化による削減

項目	削減負荷量 (kg/日)	流出率	流出負荷量 (kg/日)
COD	24,105	0.08	1,928
T-N	13,035	0.35	4,562
T-P	3,998	0.005	20.0

表-9 霞ヶ浦流域の生ごみ発生量の推計値

項目	家庭系	事業系	計	単位
現物	242,061	168,938	410,999	kg/日
C	1,646	1,841	3,487	kg/日
N	2,130	2,382	4,512	kg/日
P	349.8	388.6	738	kg/日

さらに、生ごみ等の有機資源循環型の施策シナリオの予測結果を要約すると下記のとおりである。資源バイオガス発電による資源回収量の生ごみ 1 t あたりのバイオガス発電により、電力回収量は 160kw-h、消費電力は 50kw-h、生成コンポスト量は 300kg とされる。（white ら、1999）霞ヶ浦流域内の家庭系生ごみと事業系生ごみの資源回収量の推計値は実効回収率を 50%として、約 320 t が資源化とエネルギー回収されることになり、炭素で約 1700kg/日、窒素で 2250kg/日、リンで 370kg/日となり、窒素は現況排出付加量の約 50%、リンは現況排出負荷量の 90%の削減と等価の効果が見込める結果となり、資源循環型の水環境施策の具体化が極めて重要であることが判明した。さらには電力エネルギーとしての回収量は 48000kw-h/日が見込まれる計算となり、年間のエネルギー回収金額は 3~4 億円が見込まれることとなる。

総括と今後の課題

霞ヶ浦流域の社会経済フレームを具体的な対象流域として、環境低負荷型・資源循環型施策の導入効果予測と投資効率の評価解析を行った。

これまでの汚濁対策において、資源循環配分施策までとり扱った水環境改善施策の評価の試みはほとんど無く、本研究により、整備手法の選定、地域整備順位の決定、環境低負荷型の水処理・浄化技術の開発等、政策決定の具体的な選択について重要な示唆を得ることができた。特に土地活用施策と資源循環施策の推進は重要かつ効果的であり、省庁枠を超えた行政施策の重要性を指摘できる。

なお、本研究では、当初、流域分析モデルを河川流域間や市町村間の行政施策の連携の可能性まで分析を目指し、よりリアルな分析システムの構築を目指していた。しかしながら、現在入手可能な社会経済指標の統計レベルにおいて、特に資源循環に係る指標の統計レベルにおいては、流入河川の流域単位で分析することが限度であることがわかった。通の通達関数を用いたが、整備の高度化領域では、より詳細な地形条件と排出源の配置が重要となるが、この分析を容易に行うには 100m メッシュ統計等の整備が充分行われる必要がある。今後このような分析を現在の 1km メッシュ統計データの内捜補完方式を開発することにより、精度の高い流域管理の予測評価が可能となろう。

本研究では霞ヶ浦をモデルとして流域の負荷削減に関して費用対効果を加味した最適化に関する一連の流れを示してきたが、これらの手法は我が国の他湖沼ばかりでなく、開発途上国への展開が当然、期待される。開発途上国では汚濁負荷量の発生パターン、適応されるべき技術、インフラ整備への意識等が異なるために、アプローチ等の変更は必要となると思われるが、基本的な評価フレームは同様なものと考えられる。21 世紀が「水の時代」と考えられ、現実的に多くの地域で水環境保全が危機にさらされている状況であることからこれらの手法の適用は緊急の課題と考えられる。したがって、今後は本手法の開発途上国への展開を図るために、現在、当方が主体となって実施している、中国太湖をモデルとした水手法改善技術に関する技術移転を目指した JICA のプロ技である「太湖水環境改善プロジェクト」と連携し、本プロ技で不足をしていた流域管理手法の部分でケーススタディ的な検討を行う予定としている。