

平成 23 年度 環境経済の政策研究

水分野における経済的手法を含めたポリシーミックスの
効果と社会影響に関する研究

最終研究報告書

平成 24 年 3 月

京都大学

広島大学 東京大学 法政大学 東洋大学
滋賀大学 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

目次

I	研究の実施経過	1
1.	研究の成果	1
1.1	研究の背景と目的	
1.2	3カ年における研究計画及び実施方法	
1.3	本研究の成果	
1.4	行政ニーズとの関連・位置づけ	
1.5	政策インプリケーション	
2.	3カ年における進捗結果	6
2.1	3カ年における実施体制	
2.2	3カ年における進捗状況	
2.3	ミーティング開催や対外的発表等の実施状況	
2.4	平成23年度の研究方針	
II	研究の実施内容	24
	要約	24
1.	本論1 海外の事例分析	32
1.1	経済的手法の導入事例	
1.2	費用対効果を考慮した対策選定	
1.3	結論	
2.	本論2 国内の事例分析	62
2.1	はじめに	
2.2	1970～1990年代の水環境と農業環境政策	
2.4	滋賀県内の環境保全型農業に向けた取り組み	
2.5	魚のゆりかご水田プロジェクト事業	
2.6	家棟川流域現地調査の概要	
2.7	結論	
3.	本論3 水質解析	82
3.1	研究対象地域の概要	
3.2	流域水循環計画に関する研究	
3.3	汚濁負荷解析に関する研究	
3.4	水環境保全対策に関する研究	
3.5	結論	

4. 本論4 水質の経済評価と経済実験	123
4.1 水質の経済的評価手法のレビュー	
4.2 予備調査	
4.3 本調査	
4.4 経済実験による分析	
4.5 結論	
5. 本論5 統合モデル	149
5.1 はじめに	
5.2 分析事例1：琵琶湖流域水物質循環モデルによる解析	
5.3 統合モデルによる分析事例2：家棟川流域における水質取引の費用対効果分析	
5.4 まとめと政策的インプリケーション	
6. 結論と今後の課題	196
III 添付資料	201
参考文献	201
第1章 添付資料	206
第3章 添付資料	213
1. 千葉県流量・水質データとモデル計算値との整合性	
2. 汚濁負荷削減シナリオ別印旛沼への年間汚濁負荷量と内訳	
3. 連続モニタリングに使用した計測機器	
4. 印旛沼流入河川における水質モニタリング状況（設置状況）	
5. 手縄川地点における濁度と電気伝導度(EC)の項目と溶存態(Dissolved matter)と懸濁態(Particulate matter)のCOD, T-N, T-Pとの関係	
6. 汚濁負荷削減対策のモデル上での反映における考え方と基礎式	
第4章 添付資料	234
1. 付録(1) 予備調査 調査票 【印旛沼】	
2. 付録(2) 予備調査 調査票 【琵琶湖】	
3. 付録(3) 本調査 一般市民対象調査票	
4. 付録(4) 本調査 農家対象調査票	
5. 付録(5) 選択実験の詳細分析	
第5章 添付資料	280
1. 第5章 付録 MIKEモデルの政策利用事例	

I 研究の成果及び進捗結果

1. 研究の成果

1.1 研究の背景と目的

これまで国内の水質保全対策等は排水規制等の直接規制を中心に進められてきた。この直接規制により健康項目に係る環境基準については達成率が99.1%（平成19年度）に達するなど、高い効果を挙げている。しかし、湖沼や内湾など閉鎖性水域においては生活環境項目に関する水質の改善がなかなか進まない状況にあり、水域に流入する汚濁負荷の削減を今まで以上に進めていく必要がある。水環境保全施策を効率よく展開するには、面源汚濁負荷対策を含め、流域単位での調和のとれた汚濁負荷削減が求められている。さらに、今後さらに顕著になると予想される地球温暖化による気候変動の影響等も考慮に入れた水環境行政が必要とされている。こうした新たな対策を実施するためには、従来型の直接規制では限界があることから、新たな経済的手段が求められている。

本研究は、こうした背景をふまえ、水分野において経済的手法を導入したときの効果を評価することで、費用対効果の高い環境対策のあり方を検討することを目的とする。具体的には、以下の三点について研究を行う。

第一に、水利用に係る環境対策の最適な経済的負担を求める能够るように、事業場や面源（農地、山林、市街地）等排出源ごとに汚濁負荷量を把握し、排水対策の経済的効果を評価する。ここでは、自然科学的な知見をもとに汚濁負荷量を定量化するとともに、水質改善を行ったときの経済的効果を金銭単位で評価する。

第二に、排水課徴金や排出量取引などの経済的手段を排水対策に導入した場合と従来の直接規制の場合で対策コストを比較することで、費用対効果の観点から効率的な水質対策のあり方について分析を行う。ここでは、排水課徴金や排出量取引の効果を分析するため経済実験を実施する。

そして第三に、これらの研究成果をもとに、日本の実情に適した経済的手法を含め制度のあり方を検討するとともに、排水の水質改善へのインセンティブを高めるための施策提言を行う。

なお、本研究は、経済政策分析を目的とするものの、排水の環境負荷を把握するためには自然科学的なデータの取り扱いが必要不可欠であることから、流域汚濁負荷解析や水環境保全を扱う環境工学分野の研究者と連携して研究を進める。

1.2 3か年における研究計画及び実施方法

平成21年度は、先行研究のレビューおよび基礎的なデータの収集を行う。平成22年度は、モデル流域を設定し、水質対策の経済的評価を実施する。平成23年度は、これまでの研究成果を統合し、水質対策のための経済的手段に関して政策提言を行う。具体的には以下の研究計画で研究を実施する。

平成21年度

（1）国内外における水分野における経済的手法の導入事例のレビュー

海外においては、水分野に対して排水課徴金や排出量取引を実施している事例が存在するが、こうした海外の動向について最新のデータを収集する。

（2）事業場排水、生活排水、面源負荷の把握・分析

排水汚染源には、事業場排水、生活排水、面源排水などがあるが、各排出源によって排出物質の性質は異なる。そこで、各排出源からの水質汚濁負荷の基礎データの収集および分析を行う。ここでは自然科学的知見に基づいて流域の汚濁負荷解析を中心とするが、これは次年度の経済的評価の基礎データとなるものである。

（3）水質の経済的評価手法および経済実験手法の検討

水質改善の経済的効果を評価するための手法および経済実験の手法について検討を行う。ここでは代替法、トラベルコスト法、ヘドニック法、CVM、コンジョイント分析について検討する。また次年度に行う調査のために、予備調査および予備実験を実施する。

平成22年度

（1）モデル流域での経済的評価

モデル流域を設定し、前年度に検討した評価手法を適用することで、水質改善の経済的効果を計測する。水質改善の経済的効果には利用価値だけではなく非利用価値も含まれることから、住民の表明データを用いるCVMまたはコンジョイント分析による評価が必要と考えられる。そこで、モデル流域の地域住民に対してアンケート調査を実施し、水質改善の効果を計測する。

（2）経済的手法の導入効果の分析

モデル流域において排水課徴金や排出量取引を実施したときの費用削減効果を分析する。ここでは、設定流域の排水対策の経済モデルを構築し、排水課徴金や排出量取引の影響をシミュレーションすることで費用便益分析を行う。また、排水課徴金や排出量取引の影響を分析するための経済実験を実施することで、こうした経済的手段を導入することの利点と欠点について分析を行う。経済実験では、（1）従来の直接規制の場合、（2）排水課徴金単独、（3）排出量取引単独、（4）複数の政策手段を組み合わせたポリシーミックス、の4種類について比較を行うことで、これまで理論分析で示されてきたポリシーミックスの有効性を検証する。また、流域を特定化しない実験とモデル流域を対象にした実験とを比較することで、分析結果が他の流域にも適用可能かどうかについても検証を行う。

平成23年度

（1）ポリシーミックスの分析

これまでの分析結果を統合し、水質改善に経済的手法を導入したときの影響について分

析を行う。経済評価によって得られた評価額をもとに水質改善の便益を分析する。一方で、経済実験の成果をもとに排水課徴金や排出量取引の効果を経済モデルに導入する。そして、これらの結果を統合することで水質改善の費用便益分析を実施することで、経済的手法を導入したときの効果を分析する。

これにより、直接規制、排水課徴金、排出量取引を個別に実施した場合と、複数の政策手段を組み合わせたポリシーミックスを導入した場合で、経済的効果の比較を行うことでポリシーミックスの効果を分析する。また、こうした新たな制度を国内にて導入するためには、様々な法制度上の問題が発生する可能性があることから、法制度的な観点からも制度実現のために何が必要なのかについて分析を行う。

（2）経済合理性の高い政策手法の提案

これまでの分析結果をふまえ、新たな経済合理性の高い政策手段について提言を行う。具体的には、水利用量または汚濁負荷量（農地等については施肥量等）をもとに

- ・税・賦課金・拠出金等を原資とした水環境保全基金
- ・排出量取引（総量規制に基いたキャップアンドトレード）
- ・上下水道への価格転嫁

等の政策手法について提案を行う。

1.3 本研究の成果

本研究の成果には、以下の通りである。

第一に、水質の経済的評価を行うための分析手法を開発したことである。これまで水質改善の経済的価値を評価する手法がいくつか開発されてきたが、その多くは利用価値を評価するものにとどまっており、本研究のように生態系保全効果まで評価した事例は少ない。本研究の評価手法は、モデル流域だけではなく、その他の多くの流域でも適用可能であり、学術的な貢献度は高いと思われる。

第二に、水質改善を対象とした経済実験の分析手法を構築したことである。これまで温暖化対策を対象とした経済実験は多数行われてきたが、水質改善を対象とした経済実験はほとんど行われていない。本研究は、水質改善を対象に排水課徴金や排出量取引の影響を経済実験によって分析したが、こうした研究は国内だけではなく海外でも注目を集めると思われる。

第三に、信頼性の高い評価結果を得たことである。本研究では、自然科学の研究者と環境経済学の研究者が連携し、水質改善の経済的評価を実施することから、自然科学的な観点から分析した結果をもとに経済的評価を行うことができる。過去の評価事例では、このような自然科学的なデータをもとに評価したものは少なく、本研究では信頼性の高い評価結果を得ることに成功したと考えられる。

第四に、水質改善に対して具体的な政策提言を行ったことである。本研究では、直接規制、排水課徴金、排出量取引のそれぞれの政策手段を用いたときの経済的効果を実証データにより分析することで、経済合理性の高い新たな政策を提言した。

1.4 行政ニーズとの関連・位置づけ

本研究の環境政策への貢献は以下のものが含まれる。

第一に、排水規制の対象外となっている小規模事業場からの排水、生活排水、農地や森林等の面源負荷の水質対策が求められているが、効果的・効率的な汚濁負荷削減手法や上下水道の取排水系統の再構築も含めた効率的な水管理の導入を提言することが可能となる。

第二に、排水課徴金や排出量取引制度に対する関心が高まっているが、これらの理論的および実証的根拠を示すことが可能となる。湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼流域や水質汚濁防止法等に基づく総量規制実施流域においては、①水利用量または汚濁負荷量などに対して排出課徴金を設定することで水環境保全基金を創設することの効果、②水利用量または汚濁負荷量をもとに排出量取引を導入したときの効果を分析することが可能となる。これらは、将来、排水課徴金や排出量取引制度を本格的に導入する際には重要なデータとなることが予想される。

第三に、生物多様性保全や水辺の親水性確保が求められているが、これらのための施策枠組みを導入することが可能となる。水の多面的機能を含めた水環境の経済的評価をもとに生物多様性や水辺の親水性確保のための環境基準等の導入の必要性、保全施策実施への提言が可能となる。

以上のように、本研究は環境政策に経済的手段を導入することの効果を示すことができることから、本研究の成果は現実の環境政策に多くの貢献をもたらすと考えられる。

1.5 政策インプリケーション

本研究の政策インプリケーションには以下のものが含まれる。

第一に、水環境政策における費用対効果分析などの経済分析の重要性を示したことである。これまで国内の水質対策は直接規制が中心であり、経済的手段の導入は実施されていなかった。このため水環境政策において経済分析は必ずしも重視されていない状況が続いている。しかし、アメリカでは水質を対象とした排出量取引である水質取引制度が導入されるなど、経済分析が水環境政策にすでに導入されている。また欧州でもEU水枠組み指令では、費用効果分析を含む経済分析の実施が明記されており、費用効果分析の導入に向けて研究が進められている。今後は、世界的に水環境政策において経済分析の導入が進むことが予想され、国内においても早急に取り組む必要があるといえる。

第二に、水環境政策においてもポリシーミックスの重要性を示したことである。本研究では、経済実験および統合モデルによって水質取引制度の分析を行ったが、いずれも水質取引の費用対効果が高いという結果が得られた。ただし、水質取引制度を十分に機能させるためには、水質取引制度に参加するためのインセンティブが不可欠であるが、国内の点源汚染源の多くは環境基準をすでに達成しているため、新たに水質取引に参加する必要性が感じられないであろう。米国では水質が基準を満たさない河川に対して設定される、1日あたり総合最大負荷量（TMDL）による点源汚染主体への削減義務の強化が、水質取引を実現させ、有効に機能させる強力な牽引役となっており、水質取引の成否を決める大きな要

素の1つといえる。国内で水質取引を導入する際にも、点源汚染主体に対する規制強化を同時に検討するなど、有機的に連携したポリシーミックスの考え方方が不可欠と考えられる。

2. 3カ年における進捗結果

2.1 3カ年における実施体制

本研究の実施体制は以下のとおりである。

岡田 光正（広島大学）研究統括並びに連絡調整
古米 弘明（東京大学）流域水循環計画に関する研究
西澤 栄一郎（法政大学）費用対効果と水質取引に関する研究
栗山 浩一（京都大学）研究統括並びに連絡調整および経済評価に関する研究
荒巻 俊也（東洋大学）水環境保全対策に関する研究
中島 典之（東京大学）汚濁負荷解析に関する研究
田中 勝也（滋賀大学）経済評価に関する研究
佐藤 祐一（滋賀県琵琶湖環境科学研究所）経済評価に関する研究（平成22年度より
参加）

本研究では水質対策の費用対効果を分析するが、水質対策の効果を検討するためには自然科学のデータが不可欠であることから、水質に関する環境工学の専門家と環境経済学の専門家が共同で研究を行う形式を採用している。なお、工学モデルによる分析と経済学モデルによる分析を統合化するため、本研究では水質分析のための統合モデルの開発を行う。

なお、平成22年度より佐藤 祐一氏が新たにメンバーに加わった。佐藤 祐一氏は本研究の対象地の一つである琵琶湖を対象に水質に関する工学モデルの構築を行っており、本研究と密接な関係があることから、新たにメンバーに入ってもらった。

本研究では、審査評価会において審査・評価委員から多くの建設的なコメントを得たが、審査・評価委員の有益なコメントを次年度の研究計画に反映させて研究を行った。審査・評価委員からの指摘事項とその対応は表1および表2のとおりである。

表1 審査・評価会における指摘と対応方針（平成21年度）

（1）総評（全体的なコメント）

- 環境工学分野の研究者と環境経済・政策学分野の研究者の学際的な研究班を組織しており、各々の分担課題に関しては初年度として着実な進捗が見られる。学際性、異分野間の連携を次年度以降、具体的にどのように進めていくのかが、課題全体としての成果の意義に重要な意味を持つと考えられるので、課題全体を統括する役割の研究者のリーダーシップに期待したい。
- 海外の制度をそのまま想定するのではなく、日本の実情に即した制度設計に貢献できる成果として取りまとめのうえ、次年度の報告書にも反映していただきたい。

表1 審査・評価会における指摘と対応方針（平成21年度、続き）

(2) 次年度に対応すべき研究全体に係る指摘事項	
審査・評価委員からの指摘事項	指摘事項に対する回答
○ 海外の事例分析がモデル分析や政策にどのように活かされるのかが不明確である。 <u>海外の制度をそのまま想定するのではなく、日本の実情に即した制度設計に貢献できる成果として取りまとめのうえ、次年度の報告書にも反映して頂きたい。</u>	○ 海外の経済的手法の成功事例を見出し、その直接的な導入を考えているわけではなく、経済的手法が導入された経緯や根拠となる法令、および実施方法の詳細を検討することで、経済的手法を導入するときの留意点や制度が機能する条件を明らかにする。
○ 研究内容の2と5とでは対象流域が異なるので、汚濁負荷に関する環境工学モデルと他のモデルとの間の接合の仕方を工夫する必要がある。	○ 環境工学モデルの構築には流域固有の状況を的確に反映することが肝要であり、経済モデルとの統合の際にも同様の配慮・工夫を心がける予定である。
○ 水分野は、他分野と比較すると汚染制御にあたって地域固有の利害関係が大きく影響すると考えられるため、研究の実施や取りまとめに当たって十分に考慮して欲しい。	○ 対象流域の地域固有の利害関係を適切に考慮した上で研究を実施する予定である。
○ この研究の成果（来年度以降見込まれる）を現実的なものとしようとした場合、法制度面の研究は必須なのではないか。法と経済の接点はクリティカルであると思われる。	○ 海外の事例調査においても、法制度の調査を行っており、わが国での実施を考えるにあたっても、湖沼法をはじめとする関係法令との整合性を図る。
(3) 次年度に対応すべき研究内容に係る指摘事項	
審査・評価委員からの指摘事項	指摘事項に対する回答
○ 環境工学パートが経済分析（モデル）にどのような形で反映されるのかが見えにくい。 ➢ 次年度の報告書においては詳細に記載すべきである。 ➢ また、成果報告会での説明の中に、工学モデルにも経済評価を組み入れる旨（パワーポイントの13ページ）があつたが、その点について改めてご説明をお願いしたい。	○ 経済モデルのアウトプットの1つが水質取引による点源・面源負荷の変化であり、これをインプットとして河川環境の改善を予測するのが環境工学モデルである。両モデルの統合により政策実施から環境への帰結までを一元的に分析することで、政策の経済評価をおこなうのが本研究の到達点の1つである。次年度の報告書では暫定的な結果とともに、技術的な詳細についても細かく説明することとしたい。

表1 審査・評価会における指摘と対応方針（平成21年度、続き）

○ 経済モデルによる分析についても、どのようなモデルを指しているかがわかりにくいので、報告書の中で詳細に記載すべきである。	○ 2010年度の報告書では、経済モデルについて具体的に示す予定である。
○ 経済実験等の実施に当たっては、水分野の特徴を盛り込み、CO ₂ の排出量取引とは異なった成果を見出せるよう、設計段階から行政担当者とも連携を図るとともに、研究計画においてもそのような部分を十分に反映させるべき。	○ 経済実験の実験計画を検討する段階から行政担当者と連携を行うことで、水分野の特徴を反映した経済実験を実施する予定である。
○ CO ₂ 、水、大気の各分野の特徴を踏まえ、これらと排出量取引との関係について報告書の中で言及して欲しい。	○ 報告書の中で、CO ₂ 、水、大気の各分野の特徴と排出量取引との関係について言及する予定である。

(4) 次年度以降に取り組むと良いと思われる事項

審査・評価委員から挙げられた事項	左記事項に対する回答
○ 工学パートの分析に当たっては、負荷の流入量（フロー）ベースだけでなく、蓄積量ベースでも見ていく必要があるのではないか。	○ ストックベースで汚染負荷を分析することは確かに望ましいが、そのためには湖沼内での物質拡散モデルを新たに構築し、10年単位で分析・評価を実施する必要があり、本研究課題の枠組みでは難しい。ただしストックベースとフロー・ベースで望ましい政策オプションが大きく乖離することは特殊な条件の流域を除けば考えにくく、本研究課題で得られた知見は多くの一般的な流域で適用可能であるものと考えられる。

表2 審査・評価会における指摘と対応方針（平成22年度）

(1) 総評（全体的なコメント）	
○ 環境工学分野の研究者と環境経済・政策学分野の研究者の学際的な研究班を組織しており、各々の分担課題に関しては初年度として着実な進捗が見られる。学際性、異分野間の連携を次年度以降、具体的にどのように進めていくのかが、課題全体としての成果の意義に重要な意味を持つと考えられるので、課題全体を統括する役割の研究者のリーダーシップに期待したい。	○ 海外の制度をそのまま想定するのではなく、日本の実情に即した制度設計に貢献できる成果として取りまとめのうえ、次年度の報告書にも反映していただきたい。
(2) 次年度に対応すべき研究全体に係る指摘事項	
審査・評価委員からの指摘事項	指摘事項に対する回答
○ 海外の事例分析がモデル分析や政策にどのように活かされるのかが不明確である。 <u>海外の制度をそのまま想定するのではなく、日本の実情に即した制度設計に貢献できる成果として取りまとめのうえ、次年度の報告書にも反映して頂きたい。</u>	○ 海外の経済的手法の成功事例を見出し、その直接的な導入を考えているわけではなく、経済的手法が導入された経緯や根拠となる法令、および実施方法の詳細を検討することで、経済的手法を導入するときの留意点や制度が機能する条件を明らかにする。
○ 研究内容の2と5とでは対象流域が異なるので、汚濁負荷に関する環境工学モデルと他のモデルとの間の接合の仕方を工夫する必要がある。	○ 環境工学モデルの構築には流域固有の状況を的確に反映することが肝要であり、経済モデルとの統合の際にも同様の配慮・工夫を心がける予定である。
○ 水分野は、他分野と比較すると汚染制御にあたって地域固有の利害関係が大きく影響すると考えられるため、研究の実施や取りまとめに当たって十分に考慮して欲しい。	○ 対象流域の地域固有の利害関係を適切に考慮した上で研究を実施する予定である。
○ この研究の成果（来年度以降見込まれる）を現実的なものとしようとした場合、法制度面の研究は必須なのではないか。法と経済の接点はクリティカルであると思われる。	○ 海外の事例調査においても、法制度の調査を行っており、わが国での実施を考えるにあたっても、湖沼法をはじめとする関係法令との整合性を図る。

表2 審査・評価会における指摘と対応方針（平成22年度、続き）

(3) 次年度に対応すべき研究内容に係る指摘事項	
審査・評価委員からの指摘事項	指摘事項に対する回答
<p>○ 環境工学パートが経済分析（モデル）にどのような形で反映されるのかが見えにくい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 次年度の報告書においては詳細に記載すべきである。 ➢ また、成果報告会での説明の中に、工学モデルにも経済評価を組み入れる旨（パワーポイントの13ページ）があったが、その点について改めてご説明をお願いしたい。 	<p>○ 経済モデルのアウトプットの1つが水質取引による点源・面源負荷の変化であり、これをインプットとして河川環境の改善を予測するのが環境工学モデルである。両モデルの統合により政策実施から環境への帰結までを一元的に分析することで、政策の経済評価をおこなうのが本研究の到達点の1つである。次年度の報告書では暫定的な結果とともに、技術的な詳細についても細かく説明することとしたい。</p>
<p>○ 経済モデルによる分析についても、どのようなモデルを指しているかがわかりにくいので、報告書の中で詳細に記載すべきである。</p>	<p>○ 2010年度の報告書では、経済モデルについて具体的に示す予定である。</p>
<p>○ 経済実験等の実施に当たっては、水分野の特徴を盛り込み、CO₂の排出量取引とは異なる成果を見出せるよう、設計段階から行政担当者とも連携を図るとともに、研究計画においてもそのような部分を十分に反映させるべき。</p>	<p>○ 経済実験の実験計画を検討する段階から行政担当者と連携を行うことで、水分野の特徴を反映した経済実験を実施する予定である。</p>
<p>○ CO₂、水、大気の各分野の特徴を踏まえ、これらと排出量取引との関係について報告書の中で言及して欲しい。</p>	<p>○ 報告書の中で、CO₂、水、大気の各分野の特徴と排出量取引との関係について言及する予定である。</p>

2.2 3カ年における進捗状況

＜平成21年度＞

(1) 海外の事例分析

海外では水分野に対して排水課徴金や排出量取引などの経済的手段を用いている事例が存在するが、海外事例の最新情報を収集した。2009年度はアメリカの現地調査を中心に分析を行った。オハイオ州では、下水処理場やチーズ工場などの点源汚染源から排出される窒素・リンを自ら削減代わりに周辺の農場の汚染削減費用を負担する「水質取引」の制度が導入されている。またカリフォルニア州では、排水排出者に対して排水課徴金が行われ

ており、排水許可証の発行や水質モニタリングに関わる費用の財源として利用されていることが分かった。

(2) 汚濁負荷の把握・分析

調査対象地として千葉県印旛沼を選定し、雨天時水質モニタリング調査の準備を行い、汚染汚濁の現状を分析した。印旛沼は全国の湖沼の中でも特に汚染が深刻化していることで知られている。そこで印旛沼の流入河川の水質に関して既存のデータを収集して、各流入河川からの汚染負荷の現状を把握するとともに、新たに水質モニタリングのための連続観測センサー機器等を設置する準備を進めた。さらに、GISデータをもとに流域汚濁負荷を解析するためのシミュレーションモデルを構築し、面源汚染源における水質汚染対策の効果を分析するためのモデルを検討した。

(3) 水質の経済的評価手法の検討

水質の経済的評価の先行研究を収集し、各評価手法の適用可能性について検討した。水質関連の評価研究は783件が存在し、このうちヘドニック法52件、トラベルコスト法211件、CVM409件、コンジョイント分析12件であった。これらの先行研究を精査したところ、トラベルコスト法とCVM（またはコンジョイント分析）の組み合わせが有効と思われる。そこで、千葉県印旛沼および琵琶湖を対象に予備調査を実施した。流域住民に対して水質に対する意識調査を行った。水質については琵琶湖より印旛沼の方が悪化しているという印象を持つ人が多い。水質改善に対する支払意思額は印旛沼1,076円、琵琶湖1,327円／年／世帯であった。一方、生態系保全の支払意思額は印旛沼942円、琵琶湖999円／年／世帯であった。

(4) 水質の経済実験分析

排水課徴金や排出量取引などの経済的手段の有効性を検討するため経済実験による分析を検討した。2009年度は、学生を対象とした排出量取引の予備実験を京都大学にて実施した。排出量取引には売り手と買い手の二者間で取引が行われる「相対取引形式」と公開の場で取引が行われる「ダブルオークション形式」が提案されているが、この両者の違いを経済実験により分析することで、取引内容の公開が排出量取引の効果にもたらす影響を検討した。その結果、ダブルオークション形式の費用削減効果が最も高いことが示された。

(5) 分布型流域分析モデルによる水政策評価手法の検討

排水課徴金や排出量取引などの政策が湖沼の水環境に与える影響の評価には、環境工学や経済学をはじめとする学際的な知見に基づいた、信頼性の高いモデルの構築が不可欠である。そこで2009年度は、デンマーク水理研究所（DHI）が開発したMIKE SHE水文モデル、およびMIKE 11水理モデルを統合した分布型流域分析モデルを構築し、各種の政策を費用対効果の視点から評価する分析枠組みを検討した。

＜平成 22 年度＞

(1) 海外の事例分析

欧州連合 (EU) の水枠組み指令 (Water Framework Directive) に関する取り組みについて調査した。9月にドイツで調査を行った。まず、ドイツ連邦食料・農業・消費者保護省のフォン・チューネン研究所において、統合モデルによる農業の面源対策の分析と EU 水枠組み指令の目標を達成するために必要な費用の推計を行った研究の概要や、農業環境政策とその評価などについて説明を受けた。つづいてバーデン・ビュルテンベルク州のフライブルク近郊の農家 5 戸を訪問し、同州で実施している MEKA (市場負担緩和と農耕景観のための所得補償) プログラムおよび SchALVO (水質保全地区および所得補償についての規定) プログラムの取組状況について聞き取りを行った。

文献調査としては、水枠組み指令の関連文献の収集と検討を行うとともに、バーデン・ビュルテンベルク州における流域管理計画のうち、最も流域面積の大きいネッカー川 (ライン川の支流) の計画について、主要部分の翻訳を翻訳会社に依頼した。水利用の経済分析、原価回収、対策計画とその費用の推計について、ドイツの 1 支流域の事例ではあるが実施状況を把握することができた。

(2) 国内の事例分析

滋賀県内で現在実施されている環境保全型農業に関する制度として「環境直接支払制度」および「魚のゆりかご水田」を抽出し、それぞれについて事例分析をおこなった。また県内の流域においてこれらの制度の実施状況や今後の課題などを詳細に把握するため、平成 22 年 8 月および平成 23 年 1 月に家棟川流域 (滋賀県野洲市) を対象とした現地視察および、農家・NGO・行政担当者への聞き取り調査を実施した。その結果、対象流域においてこれらの制度は普及してきている課題も多く、特に制度の自立性における国の関連政策との兼ね合いや、生産物の販路拡大における農協との関係構などが検討すべき点として明らかになった。

(3) 汚濁負荷の把握・解析

千葉県印旛沼を対象にして、前年度作成した汚濁負荷解析モジュールによる水収支、汚濁物質収支について 2002 年から 2009 年までの年間計算を行った。その収支解析の基礎となる降雨量、土地利用、点源汚濁負荷などの GIS データの表示方法の取りまとめを行った。

また汚濁負荷解析モジュールでの雨天時汚濁流出負荷計算における整合性の確認を行った。大まかには再現できることを確認したものの、雨天時ごとの汚濁負荷量の再現性を向上する必要性とその改善方法を見出した。

そこで、汚濁負荷解析モジュールによる雨天時汚濁流出負荷量のキャリブレーションを高度に行うために、本年度は特に現場モニタリングに重点を置き、雨天時の流出時における水質観測装置を現地に本格的に設置した。そして、7 月 5 日から 2 か所 (手練川無名橋、臼井第二排水機場) においては、水位、水温、濁度、電気伝導度を連続観測した。また、3

か所（江川池袋橋，鹿島川亀崎橋，高崎川高岡橋）においては，水温の連続観測データを得た。C O D，全窒素（T N），全りん（T P）といった化学分析を要する水質項目について，雨天時データを時間間隔を短く，大量に入手することは困難であるため，これらの水質濃度を連続観測可能な濁度と電気伝導度を用いて推定する方法を検討した。

さらに前年度に作成した面源負荷対策オプションのリストをもとに，点源負荷も含めた印旛沼流域で有効と考えられる負荷削減オプションを整理して，昨年度構築した汚濁負荷解析モジュールで解析可能な対策を取りまとめた。そして，解析モジュールにおけるモデル化の考え方とその効果の特徴を整理した。

そして，印旛沼の10河川流域ごとに汚濁負荷削減オプションの導入可能性を土地利用分類からまとめ，導入しやすさを流域ごとに示した。また，負荷削減量の推定とその環境影響をまとめた。大まかではあるが対策ごとのコストの大小とその実施者と費用負担の考え方を整理することで，導入シナリオの作成の整理を進めた。特に，汚濁負荷削減量を住民などにいかにわかりやすく説明するかの工夫として，削減量を合併浄化槽による処理人口当たりで表現する事例を検討した。

（4）経済評価に関する研究

聞き取り調査の結果を踏まえて，経済評価のための調査票設計を実施した。評価手法はCVMおよび選択実験を採用した。Web調査と郵送調査の両方でアンケート調査を実施した。その結果，Web調査1156サンプル，郵送調査は500サンプル（一般396，農家104）のデータを回収した。このデータをもとに統計分析を行った。選択実験による分析結果では，水質対策が111億円，透明度対策が70億円，生態系保全対策が27億円であった。また環境保全型農業の実施による水質対策の効果をCVMで評価したところ，集計支払意思額は京都府49億3,150万円，大阪府69億6,940万円であった。農家を対象としたCVM調査では，環境保全型農業の実施に必要な補償額は10aあたり2752円，農業排水対策に必要な補償額は10aあたり4000円であった。

（5）統合モデル

工学モデルと経済モデルの結合に関しては，統合モデルの核となる分布型流域モデル（MIKE SHE/11）の試験的運用を踏まえ，上述の現地調査をおこなった家棟川流域へのモデルの適用に向けた作業を進めた。統合モデルはまだ結果の妥当性・信頼性についてバリデーションを進めている段階であるが，日本農業経済学会では基礎的な結果について報告を行った。

また，MIKEモデルの政策分析への応用事例を把握するため，モデルの開発元であるデンマーク水理研究所（DHI）を訪れ，モデル開発者や政策分析担当者への聞き取り調査を実施した。その結果，MIKEモデルはすでに欧米から東アジアの国々まで普及が進んでおり，これら国々の流域管理政策の意思決定ツールとして活用されている事例が明らかとなった。

＜平成23年度＞

(1) 海外の事例分析

デンマークの水枠組み指令の実施状況と費用効果的対策の検討について調べるため 11 月に現地調査を実施した。デンマークは環境目的法の改正によって水枠組み指令の国内法実施を行った。同法は水計画の策定と実施を規定するという形で水枠組み指令を取り込んでいる。この水計画における対策プログラムは、経済分析によって費用効果的なものを選ぶべきであると同法に明記されている。これに基づき、流域管理計画は①環境目標の設定、②窒素の削減目標の設定、③対策の選定という手順で対策の選定が行われている。窒素負荷の多くが農業からのものであることから、対策は農業を中心としたものになっていた。対策の具体的な選定にあたっては、実施可能な対策をリストにあげ、それぞれの対策の費用と削減効果を計算した。そして費用対効果の高いものから、目標を実現するまでの対策が選ばれていた。

(3) 汚濁負荷の把握・解析

千葉県印旛沼を対象に水質データのモニタリングを行い、水質データの収集と分析を行った。第一に、簡易汚濁負荷量の推定方法を開発した。降雨時における湖沼流入河川での水質調査は流域からの面源汚濁負荷の正確な把握のために必須である。そこで、汚濁負荷量の正確な推定を常時把握できることを目指し、自動観測が可能な濁度と電気伝導度(EC)を用いて、面源汚濁負荷の主な水質パラメータである COD, T-P, T-N の流出負荷量を推定する方法を開発した。第二に、前年度までに作成した汚濁負荷削減オプションのリストを対象に、汚濁負荷削減策の導入可能性とコストの評価を行った。第三に、以上のデータをもとにモデル分析により汚染負荷削減対策の効果について分析を行った。面源負荷は土地利用ごとに発生や流出メカニズムが異なり、実測によるメカニズム解明は困難であることから、本検討では土地利用別に面源負荷の解析が可能で、かつ将来の施策展開を考慮した面源対策効果の解析が可能なように、各種の面源対策を組み込んだモデルの構築とその適用性について検討を行った。

(4) 経済評価に関する研究

水質対策を対象とした排出量取引制度である水質取引制度の導入効果を分析するため、実験室内で水質取引制度を再現し、水質取引制度の費用削減効果を分析した。現在は予備実験が完了した段階であり、分析途中ではあるものの、取引比率に関する情報を農家に提供することが取引に影響をもたらす可能性が示された。したがって、水質対策においても排出量取引などの経済的手段が有効であるといえるが、排出取引制度を設計する際には取引内容や取引比率を公開することが重要であることが示された。

(5) 統合モデル

本研究では経済・工学の視点から学際的に水質対策を評価する統合モデルを開発し、政策評価を実施した。第1のモデルでは家棟川流域（滋賀県野洲市）の水田で施肥量が半減したときのシナリオ計算を実施した。その結果、TOCでは大きな変化はないが、TN、TPでは特に4月末～6月における濃度が大きく減少していることが分かった。このことは、施肥量の適正化等の施策により、現地調査でも確認された代かき・田植え期の濁水の影響を相当程度緩和できることを意味している。第2のモデルでは家棟川流域において水質取引が実施された場合の費用対効果を求め、県が超高度下水処理を実施する場合との比較分析を試みた。実施期間・割引率についてさまざまな条件を設定して分析をおこなったが、一貫して水質取引の費用対効果における優位性を示す結果となった。また、高い排出削減が期待される農家を優先して取引に参加させるターゲティング戦略を採用した場合、そうでない場合と比較して大幅に費用対効果を高められることが示された。農業環境政策における公平性の観点からは実施が困難な政策と考えられるが、限られた予算で最大の効果をあげるために、効率性向上の手段として検討すべき課題といえる。

2.3 ミーティング開催や対外的発表等の実施状況

3カ年で各メンバーのミーティングを34回実施した。海外調査や国内調査でも研究メンバーの多くが参加し、情報交換を密接に行った。また初年度に設置したメーリングリストを用いて日常的に意見交換を行った。対外的発表については学会報告18件、論文など6件、シンポジウム等開催6回である。その内訳は以下のとおりである。

ミーティング

1. 平成21年10月16日：パシフィックコンサルタント担当者（湯浅、上原）との研究打ち合わせ
参加者：古米弘明、中島典之、荒巻俊哉
内容：印旛沼流域水循環健全化会議活動の情報収集、印旛沼における水質調査の情報収集、流域水・物質循環モデルに関する討議、求められる機能の整理、面源負荷排出量推定モジュールに関する討議、物理過程組み込みの整理
2. 平成21年10月22日
参加者：栗山浩一、田中勝也
内容：経済分析に関する研究打ち合わせ
3. 平成21年10月30日
参加者：栗山浩一、田中勝也
内容：水質モデルを開発しているDHI社を訪問し、担当者から最新情報をヒアリング

4. 平成 21 年 11 月 14 日

参加者：栗山浩一，古米弘明，西澤栄一郎，荒巻俊也，田中勝也，吉田友美

内容：研究計画の確認と今後の研究方針について打ち合わせを行った

5. 平成 21 年 12 月 1 日：面源負荷削減技術に関する研究打ち合わせ

参加者：古米弘明，荒巻俊哉，中島典之，Bao 研究員

内容：技術的オプションや費用に関する情報整理

6. 平成 21 年 12 月 7 日

参加者：栗山浩一，田中勝也

内容：滋賀大学で研究会を開催し，経済評価についての最新動向を栗山が報告

7. 平成 22 年 2 月 16 日：研究成果の取りまとめに関する打ち合わせ

参加者：古米弘明，荒巻俊哉

8. 平成 22 年 2 月 24 日：パシフィックコンサルタント担当者（湯浅，上原）との研究打ち合わせ

参加者：古米弘明

内容：千葉県実施水質調査に連動した来年度モニタリング計画立案，面源負荷排出量推定モジュールの確認，印旛沼水理水質サブモジュールの確認

9. 平成 22 年 5 月 17 日

印旛沼の視察と現地調査打合せ

参加者：古米弘明，中島典之，春日郁朗，金鎮英，上原 浩

印旛沼水循環健全化会議の事務局を務めているパシフィックコンサルタントのメンバー（上原 浩）と現場業者と，印旛沼現地視察を行うとともに，現地調査装置設置の打ち合わせならびに，調査河川と設置位置の決定を行った。

10. 平成 22 年 5 月 27 日

アンケート調査に関する研究打ち合わせ

参加者：栗山浩一，田中勝也，吉田友美

京都大学にて打ち合わせを行い，対象流域，アンケート調査，排出対策コスト，経済実験，行政との実験，現地調査，学会報告について具体的に話し合った。5 月 28 日に西澤，田中，および水環境課の井原・五味氏と打ち合わせを実施した。

11. 平成 22 年 5 月 28 日

法政大学にて研究会を開催。またこの研究会には環境省水環境課の担当者も参加し，

研究会後に研究メンバーと打ち合わせも行った。研究会の報告者は以下のとおり。

大塚 健司（アジア経済研究所）

「中国の水環境政策とガバナンス—太湖流域の事例を中心に」

西澤 栄一郎「欧州連合の水枠組み指令—流域ガバナンスの視点から」

12. 平成 22 年 6 月 21 日

滋賀大学にて研究会を開催した。報告者は佐藤祐一氏（滋賀県琵琶湖環境科学センター）および Thomas Ballatore 氏（日本経済大学）である。佐藤祐一氏は本プロジェクトにとても関心があるとのことで、プロジェクトに共同研究者として参画してもらうことになった。

13. 平成 22 年 7 月 21 日

京都大学にて研究会を開催し、JunJie Wu 氏（オレゴン州立大学）および馬奈木俊介氏（東北大学）に報告してもらった。研究会の前にはミーティングを開催し、両氏から本プロジェクトに対する助言を受けた。

14. 平成 22 年 9 月 11 日

名古屋大学にて開催された環境経済・政策学会に参加した研究メンバーが集まり、進捗状況の確認および今後の研究方向について意見交換を行った。

15. 平成 22 年 11 月 15 日

京都大学にて研究会を開催し、藤栄剛氏（滋賀大環境総合研究センター）に報告してもらった。藤栄氏は琵琶湖周辺の農家の環境対策を調査しており、本プロジェクトと関連が高いことから、今後も情報交換を進めることになった。

16. 平成 22 年 11 月 19 日

法政大学にて研究会を開催。報告者は以下のとおり。

勢一 智子（西南学院大学）

「ドイツ水資源管理制度の法理と手法—環境法改革の動向から」

西澤 栄一郎「EU 水枠組み指令のドイツにおける実施状況—農業面を中心に」

17. 平成 22 年 12 月 6 日

汚濁負荷解析モジュールの改良検討

参加者：古米弘明、学部生 1 名（永野雄一）、上原 浩、湯浅 岳史

昨年度、汚濁負荷解析モジュール作成の委託先であるパシフィックコンサルタントの 2 名（上原 浩、湯浅 岳史）とモジュールによる汚濁解析結果を事例として、改良点についての討議を行った。

18. 平成 23 年 2 月 10 日
参加者：古米弘明，荒巻俊哉，中島典之，金鎮英
汚濁解析結果から，対策シナリオの導入可能性の整理など，水環境保全対策に関する今年度の成果取りまとめを行った。また，来年度以降の汚濁負荷解析モジュール利用した削減対策シナリオの検討方針について，議論を行った。
19. 平成 23 年 5 月 23 日
法政大学にて研究会を開催。報告者は以下のとおり。
田中 勝也「環境保全型農業の普及による河川への影響：統合モデルによる分析事例」
20. 平成 23 年 5 月 27 日：パシフィックコンサルタント担当者（湯浅，上原）との研究打ち合わせ
参加者：古米弘明，中島典之，佐藤 祐一，金鎮英研究員
内容：連続水質観測状況とデータの公開，モデルキャリブレーションの方向性についての意見交換
21. 平成 23 年 6 月 10 日
法政大学にて研究会を開催。報告者は以下のとおり。
野田浩二（武藏野大学）「英國水利権制度史とわが国への含意」
22. 平成 23 年 6 月 10 日
参加者：栗山浩一，田中勝也
内容：シアトルで開催された米国環境資源経済学会(AERE)大会にて研究成果を報告するとともに，海外の関連研究者から本プロジェクトに対するコメントを受けた。
23. 平成 23 年 8 月 22 日
京都大学にて経済実験に関する研究打ち合わせを開催。
参加者：栗山浩一，田中勝也，伊藤伸幸研究員，吉田友美研究員
24. 平成 23 年 6 月 24 日
法政大学にて研究会を開催。報告者は以下のとおり。
藤堂史明（新潟大学）
「水環境から考える経済システムと環境の関わり：エントロピー経済学の視点」
25. 平成 23 年 10 月 3 日
参加者：栗山浩一，西澤栄一郎，田中勝也，佐藤祐一，伊藤伸幸研究員
内容：滋賀県下水道課に下水道における水質対策の現状と課題について聞き取り調査

を実施. また今後の研究内容について打ち合わせを実施.

26. 平成 23 年 9 月 23 日

参加者：栗山浩一，西澤栄一郎，田中勝也

内容：長崎大学で開催された環境経済・政策学会大会にて研究成果を報告するとともに，参加したメンバーで研究打ち合わせを行った.

27. 平成 23 年 10 月 17 日

参加者：古米弘明，中島典之，荒巻俊也，金鎮英研究員

内容：平成 23 年度の成果報告および今後の取りまとめ方向の最終調整，研究成果発表計画

28. 平成 23 年 10 月 13 日

法政大学にて研究会を開催. 報告者は以下のとおり.

関 良基（拓殖大学）「地域研究の総合的アプローチの可能性」

29. 平成 23 年 10 月 28 日

参加者：栗山浩一，田中勝也

内容：統合モデルの開発および分析方法について打ち合わせを実施.

30. 平成 23 年 11 月 15 日

参加者：栗山浩一，田中勝也

内容：地球研にて研究成果を報告. および今後の研究について打ち合わせを実施.

31. 平成 23 年 11 月 17 日：パシフィックコンサルタント担当者（湯浅，上原）との研究打ち合わせ

参加者：古米弘明，金鎮英研究員

内容：印旛沼水質解析におけるツールの提供および解析依頼について議論を行った.

32. 平成 23 年 12 月 13 日

参加者：栗山浩一，西澤栄一郎，田中勝也

内容：環境省担当者と打ち合わせを行い，政策ニーズの確認および今後の研究について打ち合わせを行った.

33. 平成 23 年 12 月 19 日

参加者：田中勝也

内容：水質分析の専門家である JunJie Wu 氏（オレゴン州立大学）と打ち合わせを行い、本プロジェクトに関するアドバイスを受けた。

34. 平成 24 年 1 月 23 日

参加者：古米弘明、荒巻俊哉、中島典之、金鎮英研究員

内容：最終成果報告書の作成計画と役割分担

学会報告

- 1) Pham Ngoc Bao, Toshiya Aramaki, Hiroaki Furumai. "Economic instruments and policy mixes for water pollution control in Asian countries" 14th International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication Quebec, September 12-17, 2010
- 2) Tanaka, K., J. Wu, and K. Kuriyama. "Estimating the Process of Urbanization and its Influence on Lake Water Quality" Paper presented at Western Economic Association International 85th Annual Conference (June 28-July 3, 2010, Portland, Oregon).
- 3) Tanaka, K. and J. Wu. "A spatial analysis of land use change and water quality in Lake Biwa, Japan" Agricultural & Applied Economics Association Annual Meeting (July 25-28, 2010, Denver, Colorado).
- 4) 金鎮英・古米弘明. 印旛沼流域における雨水浸透施設導入による市街地ノンポンポイント負荷の削減効果, (社) 日本下水道協会, 第 48 回下水道研究発表会, 2011 年 7 月 26 日～28 日, 東京
- 5) 金鎮英, 中島典之, 古米弘明, 荒巻俊哉, 上原浩, 湯浅岳史. 濁度と EC の連続観測データを活用した窒素流出負荷量の推定手法による原単位の評価, 日本水環境学会シンポジウム, 2011 年 9 月 10 日～11 日, 東北工業大学
- 6) Jinyoung Kim, Hiroaki Furumai, Fumiuki Nakajima, and Toshiya Aramaki. "Improved calibration of runoff load model using continuous monitoring data on turbidity and electrical conductivity" 15th International Conference of the IWA Diffuse Pollution Specialist, 18-23 September 2011, Totorua, New Zealand
- 7) - 10) 環境経済・政策学会 2010 年大会, 名古屋大学 (2010 年 9 月 11 日)

- 企画セッション（1）「水環境政策の経済評価と経済的手段の適応可能性」 F会場
座長：栗山浩一（京都大学） 討論者：佐藤祐一（滋賀県琵琶湖環境科学研究所センター）
- 1 イントロダクション 栗山浩一（京都大学）
 - 2 海外における経済的手段の適用事例 西澤栄一郎（法政大学）
 - 3 水環境政策の経済分析モデル 田中勝也（滋賀大学）
 - 4 水質取引の経済実験 吉田友美（京都大学）

- 11) – 13) 日本農業経済学会 2011年大会, 早稲田大学 (2011年6月11日)
特別セッション「流域保全の経済分析－水質保全と生物多様性保全を中心に－」
- 1 西澤栄一郎（法政大学）
 - 2 吉田友美（京都大学）
 - 3 西村武司・松下京平・藤栄剛（滋賀大学）
- 14) Tanaka, K. and J. Wu. "Estimating the Effects of Urbanization on Water Quality in Lake Biwa" Paper presented at the Association of Environmental and Resource Economists (AERE) Summer Workshop (6月9-10日, ワシントン州シアトル) .
- 15) Jinyoung Kim, Hiroaki Furumai, Fumiyuki Nakajima, and Toshiya Aramaki. "Calibration of a GIS based nonpoint source pollution model and scenario analysis for reduction of discharged load to a eutrophic lake in Japan" 4th IWA-ASPIRE Conference, 2–6 October 2011, Tokyo, Japan
- 16) Hiroaki Furumai, Yuichi Nagano, and Jinyoung Kim. "Runoff load estimation of particulate and dissolved nitrogen in Lake Inba watershed using continuous monitoring data on turbidity and electric conductivity" 4th IWA-ASPIRE Conference, 2–6 October 2011, Tokyo, Japan
- 17) Tanaka, K., J. Wu, and K. Kuriyama. "Cost-Effectiveness of Water Quality Trading Program in a Spatially Heterogeneous Watershed in Japan" Paper presented at 14th World Lake Conference (2011年10月31日–11月4日, テキサス州オースティン).
- 18) Tanaka, K. "Water Quality Trading: New Economic Instrument for Watershed Restoration" 科学技術振興機構 (JST) 日中若手異分野研究交流会 (2011年11月26–27日, 海南省海口市) .

論文など

- 1) 栗山浩一「水質保全の経済分析」156–163, No.161, 季刊環境研究, 2011年5月

- 2) Jinyoung Kim and Hiroaki Furumai. "Improved calibration of a rainfall-pollutant-runoff model using turbidity and electrical conductivity as surrogate parameters for total nitrogen" Water and Environment Journal (査読中)
- 3) Jinyoung Kim, Yuichi Nagano and Hiroaki Furumai. "Runoff load estimation of particulate and dissolved nitrogen in Lake Inba watershed using continuous monitoring data on turbidity and electric conductivity" Water Science and Technology (査読中)
- 4) 田中勝也(近刊予定)「農業と水環境問題」馬奈木俊介編『環境・資源経済学入門－市場は有効か？』昭和堂
- 5) Tanaka, K., and K. Kuriyama (Forthcoming) "Cost-Effectiveness of Water Quality Trading Program in a Drainage Watershed in Lake Biwa" Lakes and Reservoirs. (査読中)
- 6) Tanaka, K. (Forthcoming) "Interactions Between Land Use and Water Quality" in Oxford Handbook of Land Economics, Oxford University Press. (査読中)
- 7) 西澤栄一郎「農業部門の窒素・リンの削減手法としての水質取引」『2011 年度 日本農業経済学会論文集』pp.409-416. (2011 年 12 月)

一般向けシンポジウムなど

- 1) 環境白書を読む会, 大阪府ドーンセンター (2011 年 7 月 7 日)
報告タイトル : 水質保全と環境政策
報告者 : 栗山浩一 (京都大学)
参加者 : プロジェクト関係者, 環境省環境計画課担当者, 一般市民
- 2) - 3) 一般市民向け講習会「環境評価のための基礎実習」(初心者向け)
日程・場所 : (東京会場) 2011 年 11 月 20 日 京都大学品川オフィス
(京都会場) 2011 年 11 月 26 日 京都大学農学部
内容 : 本プロジェクトで開発を進めている環境評価手法および経済実験手法を一般市民にわかりやすく解説
参加者 : 本プロジェクト関係者, 一般市民
- 4) - 5) 一般市民向け講習会「環境評価のための基礎実習」(中級者向け)
日程・場所 : (東京会場) 2012 年 12 月 10 日 京都大学品川オフィス
(京都会場) 2011 年 12 月 16 日 京都大学農学部
内容 : 本プロジェクトで開発を進めている環境評価手法および経済実験手法を一般市民

にわかりやすく解説

参加者：本プロジェクト関係者，一般市民

6) 八王子学園都市大学 いちょう塾 平成 23 年 11 月 12 日

報告タイトル：日本の水環境の現状と課題

講師：西澤栄一郎（法政大学）

参加者：一般市民

II 研究の実施内容

要約

これまで国内の水質保全対策等は排水規制等の直接規制を中心に進められてきた。この直接規制により健康項目に係る環境基準については達成率が99.1%（平成19年度）に達するなど、高い効果を挙げている。しかし、湖沼や内湾など閉鎖性水域においては生活環境項目に関する水質の改善がなかなか進まない状況にあり、水域に流入する汚濁負荷の削減を今まで以上に進めていく必要がある。水環境保全施策を効率よく展開するには、面源汚濁負荷対策を含め、流域単位での調和のとれた汚濁負荷削減が求められている。さらに、今後さらに顕著になると予想される地球温暖化による気候変動の影響等も考慮に入れた水環境行政が必要とされている。こうした新たな対策を実施するためには、従来型の直接規制では限界があることから、新たな経済的手段が求められている。

本研究は、こうした背景をふまえ、水分野において経済的手法を導入したときの効果を評価することで、費用対効果の高い環境対策のあり方を検討した。本研究の分析は、(1) 海外の事例分析、(2) 国内の事例分析、(3) 水質解析、(4) 水質の経済評価と経済実験、(5) 統合モデルによる分析、の5つの分野によって構成されている。なお、本研究は、経済政策分析を目的とするものの、排水の環境負荷を把握するためには自然科学的なデータの取り扱いが必要不可欠であることから、流域汚濁負荷解析や水環境保全を扱う環境工学分野の研究者と連携して研究を進めた。各項目の分析結果の概要は以下のとおりである。

（1）海外の事例分析

海外の事例分析では、水分野における経済的手法の導入事例について、水質取引を中心に調査した。また、費用対効果の高い環境対策のあり方に関する、EUの水枠組み指令の実施における費用効果分析の適用状況を調査した。

アメリカで実施されている水質取引の事例から得られるわが国への示唆については、まず排出量取引制度の導入に向けては、汚濁負荷の把握が必要であり、モニタリングの充実を図ることが重要である。EUの水枠組み指令で加盟国に最初に求められたのもモニタリング体制の整備であった。つぎに、水質取引制度の計画に際しては環境、下水道、農業の各部門の協働と連携が重要である。制度設計に関しては、すでに始まっている農業者などへの環境支払いの枠組みをうまく利用することができれば、あまり時間をかけずに導入が可能であろう。さらに、水質取引は制度の要となる組織が重要である。市町村と県または農協の普及指導部門との有機的連携が求められる。さいごに、水質取引の導入を検討すること自体が、統合的流域管理に資するということを指摘できる。



図 0.1 水質取引の概念

また欧州で検討が進められている水環境政策の費用効果分析に関しては、わが国でも早急に取り組むべきである。欧州では費用効果分析を含む経済分析の実施がEU指令に明記されており、費用効果分析への取り組みが急速に進められている。一方、わが国では水環境分野での費用効果分析は、まだ始まっていないといってよいであろう。欧州で手法が確立されるのを待って、それを導入すればよい、というわけにはいかない。環境の状況が異なり、また評価にはデータの整備が前提となるからである。いまから費用効果分析の経験を蓄積していくことが必要である。

(2) 国内の事例分析

本研究において検討する主要な政策の1つである水質取引では、点源-点源、点源-面源、面源-面源など、さまざまな汚染主体間の取引が想定される。とりわけ湖沼流域環境の改善を図る上では面源、中でも農業由来の面源汚染を取引枠組みにいかに取り込むかは、実効性の高い制度を設計する上で重要な課題といえる。

水質取引がどのような形態を取るにせよ、面源汚染の主体として農家が取引に参入する場合、汚染物質（窒素、リンなど）の排出削減には低農薬・低肥料の農法をはじめとする、環境保全型農業の採択が現実的なオプションとして考えられる。そのため国内ですでに実施されている環境保全型農業の普及に向けた制度・政策事例を整理・分析することは、本プロジェクトにおいて具体的な政策議論を深める上で欠かせない案件といえる。

そこで本研究では、国内の環境保全型農業普促進に向けた取り組みとして、滋賀県で実施されている「環境直接支払制度」および「魚のゆりかご水田プロジェクト事業」を中心に事例分析を実施した。また、これらの取り組みについての現状をより詳細に把握するため、琵琶湖南東部に位置する家棟川流域（滋賀県野洲市）を対象とした現地観察および、農家・NGO・行政担当者への聞き取り調査を実施した。その結果、対象流域においてこれら

の制度は普及してきているものの課題も多く、特に制度の自立性における国の関連政策との兼ね合いや、生産物の販路拡大における農協との関係構築などが検討すべき点として明らかになった。

(3) 水質解析

本研究では、千葉県印旛沼を対象に水質データを分析し、汚濁負荷削減対策の効果を分析するためのモデル開発を行った。

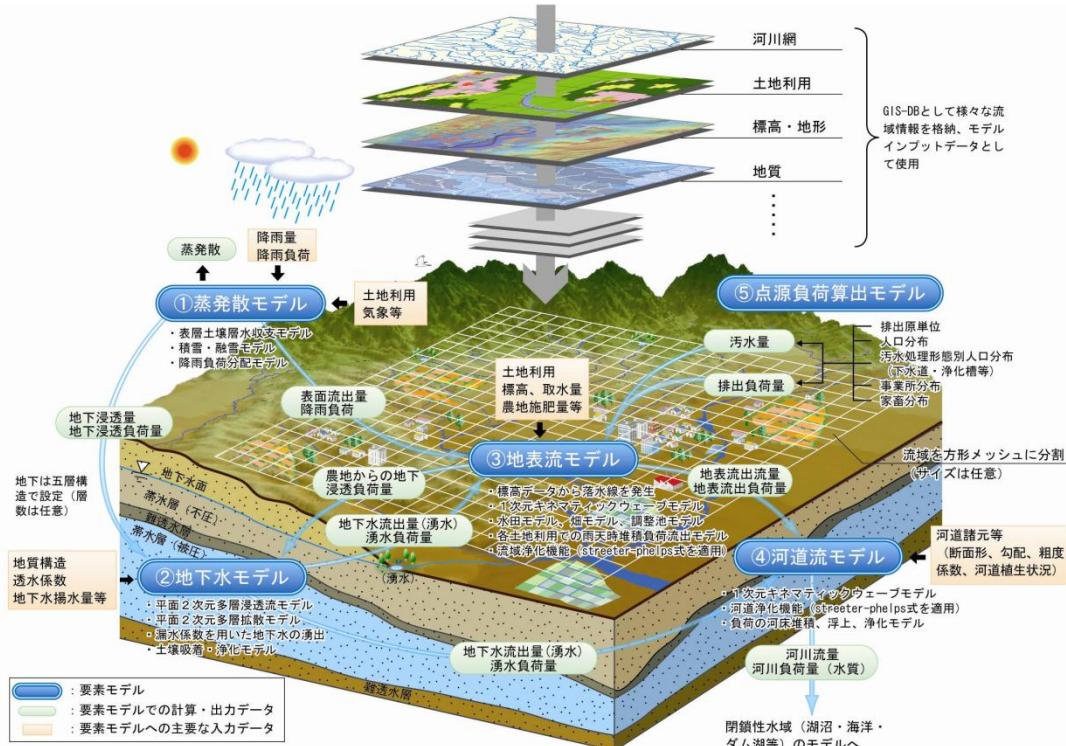


図 0.2 流域水・物質循環モデルの概要

第一に、水質のモニタリングを実施し、水質データの収集と分析を行った。千葉県が平成14年から実施している印旛沼の流入河川7箇所で行っている水位や水質調査と連携しながら、独自の晴天及び雨天時水質データの構築のために、2010年7月5日から水位、水温、濁度、電気伝導度に対する連続水質モニタリングを開始した。機器設置地点は、濁度計および水位水温計は2箇所（手縫川（無名橋）、低地排水路（臼井第二排水機場））、水温計は5箇所（鹿島川（羽鳥橋）、高崎川（高岡橋）、手縫川（無名橋）、江川（池袋橋）、低地排水路（臼井第二排水機場））とした。これによって、長期間にわたる対象河川での電気伝導度と濁度データの構築ができた。

第二に、簡易汚濁負荷量の推定方法を開発した。降雨時における湖沼流入河川での水質調査は流域からの面源汚濁負荷の正確な把握のために必須である。そこで、汚濁負荷量の正確な推定を常時把握できることを目指し、自動観測が可能な濁度と電気伝導度(EC)を用

いて、面源汚濁負荷の主な水質パラメータである COD, T-P, T-N の流出負荷量を推定する方法の開発を試みた。千葉県の印旛沼流入主要河川での過去の水質データを利用して、印旛沼の主要流入河川の中で、最も流域内市街地の割合が高く、面源汚濁負荷管理が重要であると考えられる手縫川流域を選定し分析を行った。その結果、COD, T-P, T-N の濃度推定式を以下のように提案した。

$$\text{COD} = P\text{-COD} + D\text{-COD} = \{0.246 \times [\text{濁度}] + 0.131\} + 3.40$$

$$T\text{-N} = P\text{-N} + D\text{-N} = \{0.0319 \times [\text{濁度}] - 0.0722\} + \{0.0627 \times [\text{EC}] + 0.523\}$$

$$T\text{-P} = P\text{-P} + D\text{-P} = \{0.00596 \times [\text{濁度}] + 0.00513\} + \{0.00113 [\text{EC}] + 0.0177\}$$

また、この推定式は、比較的正確に実測値を再現することからその妥当性の確認ができた。

第三に、汚濁負荷削減オプションのリストを作成し、汚濁負荷削減策の導入可能性とコストの評価を行った。まず、既に水質取引制度などの導入事例がある欧米の事例を中心に諸外国における研究論文や報告書などのレビューを通して、経済的手法の枠組みの中で、さまざまな面源負荷対策を実施していくうえでの課題などを整理した。次に印旛沼流域において導入可能と考えられるものについて、経済的手法を導入するときに重要な特性について、定性的に整理を行った。そして本研究の対象流域である印旛沼での第5期印旛沼水質保全計画（H18-22）における水質保全対策の整理を行い、同時並行的に水循環健全化への取り組みを全県的に行っていいる印旛沼流域水循環健全化会議の動向を調べてまとめた。そして、各種の対策の対策導入によって期待される効果や、モデル上での反映における考え方と基礎式をまとめた。さらに汚濁負荷削減対策ごとにコストの推計方法をまとめ、水質改善に伴う経済評価に必要な基礎データの作成を行った。

第四に、以上のデータをもとにモデル分析により汚染負荷削減対策の効果について分析を行った。面源負荷は土地利用ごとに発生や流出メカニズムが異なり、実測によるメカニズム解明は困難であることから、本検討では土地利用別に面源負荷の解析が可能で、かつ将来の施策展開を考慮した面源対策効果の解析が可能なように、各種の面源対策を組み込んだモデルの構築とその適用性について検討を行った。

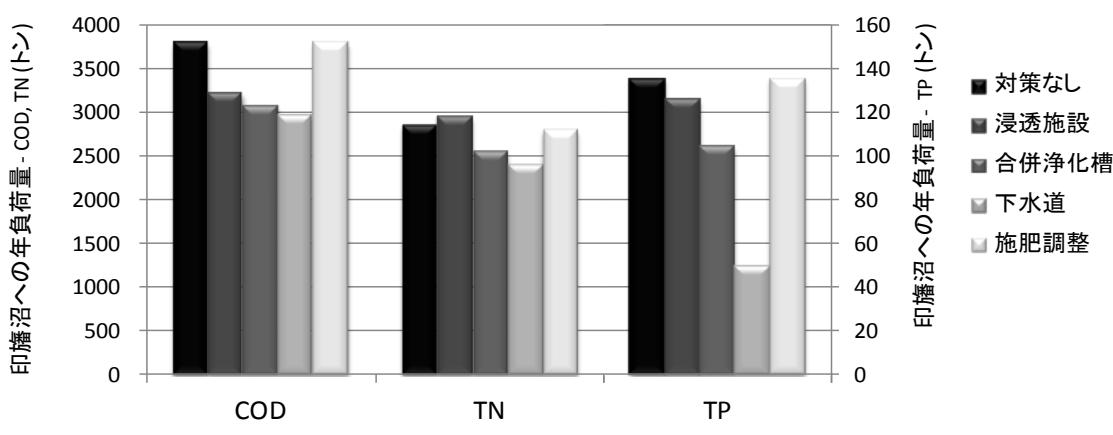


図 0.3 汚濁負荷削減対策の効果（印旛沼）

ここで開発したモデルをもとに千葉県印旛沼において様々な汚濁負荷削減対策の導入シナリオの削減効果を解析したところ、CODについては雨水浸透枠と透水性舗装、合併浄化槽、下水道の対策による削減量は15%以上削減されると推定された。TNについては合併浄化槽、下水道、環境保全型農業による年負荷量は2%～11%が削減されると推算された。特に合併浄化槽、下水道の対策による削減量は11%以上で、印旛沼への流出負荷対策として有効であると考えられる。そしてTPに関しては合併浄化槽、下水道の対策による削減量は23%と64%で、印旛沼への流出負荷対策として有効であると考えられる。

(4) 水質の経済評価と経済実験

水質の経済的評価手法について検討するとともに、千葉県印旛沼と琵琶湖を対象に実証研究を行った。流域住民に対して水質に対する意識調査を行ったところ、水質については琵琶湖より印旛沼の方が悪化しているという印象を持つ人が多い傾向にあった。CVMによる予備調査の結果では、水質改善に対する支払意思額は印旛沼1,076円、琵琶湖1,327円／年／世帯であった。一方、生態系保全の支払意思額は印旛沼942円、琵琶湖999円／年／世帯であった。以上のように印旛沼と琵琶湖では水質対策の支払意思額は比較的近い金額となった。

また琵琶湖を対象に水質対策の経済効果について詳細な分析を行った。本調査ではWeb調査と郵送調査の両方でアンケート調査を実施した。Web調査と郵送調査で評価額を比較したところ、顕著な差は見られなかった。選択実験による分析結果では、水質対策が111億円、透明度対策が70億円、生態系保全対策が27億円であった。また環境保全型農業の実施による水質対策の効果をCVMで評価したところ、集計支払意思額は京都府49億3,150万円、大阪府69億6,940万円であった。農家を対象としたCVM調査では、環境保全型農業の実施に必要な補償額は10aあたり2752円、農業排水対策に必要な補償額は10aあたり4000円であった。これらの評価額は、行政が水質対策の費用対効果を分析するときの情報として有用なものであると考えられる。

	現状	対策後	支払意思額	集計額
水質 (%)	14%	100%	2,169円	111億円
透明度 (m)	4.4m	6.6m	1,355円	70億円
生態系保全 (%)	30%	50%	532円	27億円
政策全体			4,056円	208億円

表0.1 水質対策の便益評価

また経済実験により水質対策に経済的手段を導入したときの費用削減効果を分析した。一般的な排出取引制度では、売り手と買い手の二者間で取引が行われる「相対取引形式」と公開の場で取引が行われる「ダブルオークション形式」が提案されているが、この両者

の違いを経済実験により分析することで、取引内容の公開が排出量取引の効果にもたらす影響を検討した。その結果、ダブルオークション形式の費用削減効果が最も高いことが示された。一方、水質対策を対象とした排出量取引制度には、点源汚染源と面源汚染源で取引を行う水質取引制度が存在する。そこで実験室内で水質取引制度を再現し、水質取引制度の費用削減効果を分析した。現在は予備実験が完了した段階であり、分析途中ではあるものの、取引比率に関する情報を農家に提供することが取引に影響をもたらす可能性が示された。以上の経済実験の結果は、水質対策においても排出量取引などの経済的手段が有効であることを示しているが、排出取引制度を設計する際には取引内容や取引比率を公開することが重要であることを示唆している。

（5）統合モデルによる分析

本研究では経済・工学の視点から学際的に水質対策を評価する統合モデルを開発し、政策評価を実施した。第1のモデルでは家棟川流域（滋賀県野洲市）の水田で施肥量が半減したときのシナリオ計算を実施した。その結果、TOCでは大きな変化はないが、TN、TPでは特に4月末～6月における濃度が大きく減少していることが分かった。このことは、施肥量の適正化等の施策により、現地調査でも確認された代かき・田植え期の濁水の影響を相当程度緩和できることを意味している。第2のモデルでは家棟川流域において水質取引が実施された場合の費用対効果を求め、県が超高度下水処理を実施する場合との比較分析を試みた。実施期間・割引率についてさまざまな条件を設定して分析をおこなったが、一貫して水質取引の費用対効果における優位性を示す結果となった。また、高い排出削減が期待される農家を優先して取引に参加させるターゲティング戦略を採用した場合、そうでない場合と比較して大幅に費用対効果を高められることが示された。農業環境政策における公平性の観点からは実施が困難な政策と考えられるが、限られた予算で最大の効果をあげるために、効率性向上の手段として検討すべき課題といえる。

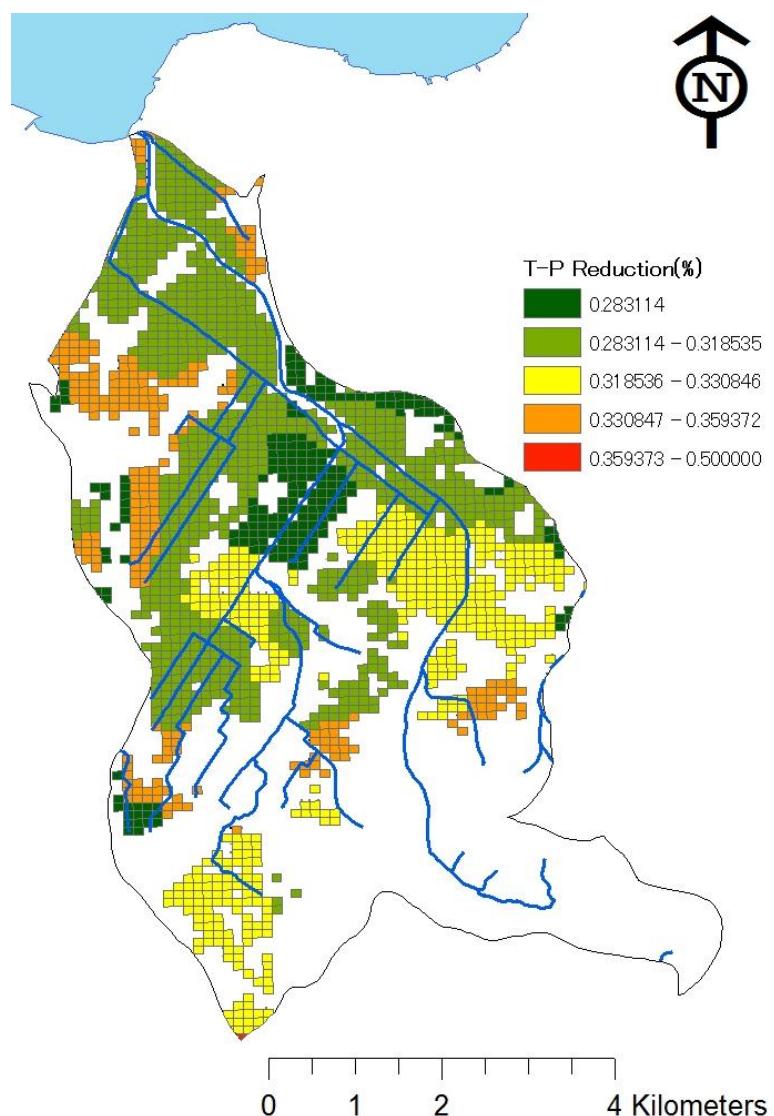


図 0.3 水質取引によるリン排出削減効果

今後の水環境政策の課題

最後に、これらの分析結果をもとに今後の水質対策の課題を検討した。本研究では経済的手段の一つである水質取引に着目し、国内に水質取引制度を導入したときの効果について検討を行った。経済実験および工学－経済学の統合モデルにより水質取引の経済効果を分析したが、いずれも水質取引の費用対効果が高いことが示された。このことは、今後は従来の直接規制に加えて、水質取引等の経済的手段の導入を検討する必要性が高いことを示している。

ただし、水質取引は比較的歴史の浅い取引制度であり、実施されている米国でもその多くが試験段階であることは留意が必要である。したがって、水質取引制度を国内に導入を検討する際には、水質取引を機能させるための条件を満たす必要がある。

まず第1に、CO₂など大気質の取引とは異なり、水質取引では排出源の位置関係が非常に重要である。例えば、下流域における水質改善のため同量の排出削減が上流および下流で実施された場合、一般的に水質改善への貢献度は下流の排出削減の方が高い。これは上流での排出の場合、拡散や自然の浄化作用により、下流に到達するまでに汚染負荷量が減少するためである。また、クレジットの買い手が同一地域に集中した場合、取引により排出が局所的に増加して水質がむしろ悪化してしまう「ホットスポット」の問題も懸念される。

第2に取引制度における利害関係者に対するインセンティブである。水質取引では、制度設計や取引仲介に関わるステークホルダーに十分なインセンティブが供与されていないと制度が機能しない一因になることが指摘されている。一方で、オハイオ州シュガーライフ流域など一部の水質取引のように、利害関係者に対する適切なインセンティブを維持することで産官学の連携を深め、その中で取引実績を重ねている事例も見られる。

第3に、水質取引を機能させるには点源汚染に対する規制強化がセットとして欠かせない。日本では現行の水質規制のもとで点源汚染主体のほとんどが基準を満たしており、こうした汚染主体にとっては追加的な削減に取り組むインセンティブは実質的に存在しない。米国では水質が基準を満たさない河川に対して設定される、1日あたり総合最大負荷量(TMDL)による点源汚染主体への削減義務の強化が、水質取引を実現させ、有効に機能させる強力な牽引役となっており、水質取引の成否を決める大きな要素の1つといえる。国内で水質取引を導入する際にも、点源汚染主体に対する規制強化を同時に検討するなど、有機的に連携したポリシーミックスの考え方方が不可欠と考えられる。

1. 本論 1. 海外の事例分析

本研究の目的は、水分野において経済的手法を導入したときの効果を評価することで、費用対効果の高い環境対策のあり方を検討することである。海外の事例分析の課題は、第一に、水分野における経済的手法の導入事例の調査である。本報告書では、欧米諸国の水環境政策における経済的手段の導入状況を概観したあと、アメリカの各地で導入が試みられている水質取引について、現地調査を行ったオハイオ州の事例を中心に、実態を分析する。

第二に、費用対効果の高い環境対策のあり方に関する連絡して、欧州諸国における費用対効果を考慮した対策選定の実態を調査した。2000年に導入された欧州連合（EU）の水枠組み指令（Water Framework Directive）は、発効後15年以内に良好な地表水・地下水の状態を達成するという目標を掲げている。それを実現するために、河川流域ごとに管理計画を策定することを加盟国に求めている（European Commission, 2000）。この計画には、具体的な政策として対策プログラム（Programme of Measures）を盛り込むこととされているが、対策は費用効果的なものを選定すべきとの規定がある。実際にどのようにして対策プログラムを策定したのか、費用効果分析をどのように行ったのかが本研究課題にとって有用な知見である。本報告書では、現地調査を行ったドイツ、オランダ、デンマークはそれぞれ異なるやりかたで対策プログラムを策定した。それらを比較することで費用対効果を検討するうえでの示唆を得ることを目的とする。

なお、わが国における本研究の調査対象地域の性格に鑑み、農業部門の水環境政策を中心についていく。

1.1 経済的手法の導入事例

1.1.1 経済的手法：概観

経済的手法とは、「市場メカニズムを前提とし、経済的インセンティブの付与を介して各主体の経済合理性に沿った行動を誘導することによって政策目的を達成しようとする手法」である（環境省、2006）。言い換えると、環境による（悪い）影響を与える特定の行為をすることによって、その行為者が金銭的に得をする（損をする）仕組みをつくることで、その行為を助長（阻害）しようとする、というのが経済的手法である。

経済的手法には、①税・課徴金、②補助金、③排出取引、④預託金払い戻し制度（deposit refund system、デポジット制度）などの形態がある。①の税・課徴金は、汚染物質の排出などの、環境に負荷を与える行為に対して賦課されるものであり、②の補助金はその反対に、環境への負荷を減らす行為に対して支給されるものである。

③の排出取引では、規制当局が汚染物質の総排出量を定め、各排出源に排出枠（許可証）を割り当てる。そして排出源に許可証の売買を認める。したがって排出源は、実際の排出量が所有している許可証の量より多ければ許可証を購入しなければならず、逆に少なければ許可証を売ることができる。

④の預託金払い戻し制度は、環境に損害を与えるおそれのある行為をする場合、事前に金銭を徴収しておき、損害が発生しなかった時に徴収金を返還するという仕組みである。飲料容器のデポジット制度は、容器をごみとして捨てることをやめさせ、その結果として

容器をリサイクルできるわけである。水環境分野においても、湿地の開発に際して前もって保証金を徴収しておき、ミティゲーションなどによって生態系への悪影響がないことが証明されれば保証金を返すという、環境契約履行保証金 (environmental performance bonds) 制度が提案されている (Common and Stagl, 2005)。しかし、具体的な制度としての検討は行われていない。

本報告書では税・課徴金と排出取引についてとりあげる。

1.1.2 税・課徴金の導入状況

水環境政策の分野で何らかの税・課徴金を導入しているヨーロッパの国を表 2.1 にまとめた。アメリカでは、1993 年という古いデータだが、39 の州が水域に直接排水する排出者から排水課徴金を徴収している (表 1.2)。

表 1.1 何らかの税・課徴金を導入しているヨーロッパの国

税の種類	国名
排水課徴金	オーストリア、ベルギー、ブルガリア、クロアチア、デンマーク、エストニア、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシア、ハンガリー、イタリア、ラトビア、リトアニア、マルタ、モンテネグロ、オランダ、ポーランド、ルーマニア、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン
農薬税	デンマーク、イタリア、ノルウェー、スウェーデン

出典 : OECD, Economic Instruments Database (<http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/>)

表 1.2 アメリカにおける排水課徴金の導入状況 (1993)

料金体系	導入している州の数
均一料金、または産業/規模別料金	11
排水量に応じた料金	18
排水量と有害物質の種類に応じた料金	10

出典 : U.S.EPA (2001)

排水課徴金は点源に課されている。これは、汚染物質の排出量に応じて課徴金の支払いを求める制度である。面源汚染に関しては、排出量を直接測定することが困難なため、課税対象として排出量以外のものを選ばざるを得ない。北欧諸国では、後述するように肥料や農薬といった投入物に課税されている。カリフォルニア州では、農地に存在する重金属 (セレン、モリブデン) が農業排水から川に流出し、生態系に悪影響を与えることが問題となつたが、圃場からの排水量の測定費用が高いため、灌漑用水の料金を逓増型ブロック制にすることで節水を促し、有害物質の流出を抑制している事例がある (武藤, 2009)。また、オランダでは、1998 年から 2005 年まで、養分 (窒素、リン) の余剰量 (農地投入量と作物吸収量との差) に対して課税していた。

税・課徴金は上で述べたように、画一的規制に比べ汚染物質の排出削減費用を全体では軽減することができ、長期的にはさらに低い費用で削減をすすめようというインセンティ

ブを与える。その反面、価格メカニズムを通して排出者の行動を変化させるという手法であるため、設定した料率で目標の削減量を達成できない可能性がある。物価水準の変動なども考慮すると、料率は適宜見直される必要がある。

また、税・課徴金だけで目標量を削減させようとすると、料率をかなり高くしなければならないことが多く、排出削減よりも財源の確保を目的とする排水課徴金制度が多いのが実態である。

アメリカにおける排水課徴金の導入目的は、州の実施する排水許可プログラムの財源調達であり、税による環境保全効果は考慮されていない。したがって、課徴金の額が環境負荷の大きさと無関係なところが多く、排水量に関わらず一定金額の州も11ある。ここでは、料率が比較的細分化されているカリフォルニア州の例を紹介する。

カリフォルニア州では、水質課徴金が排出者に課せられている。これは、排水許可書の発行や水質モニタリングなどの事業に関わる費用を賄うためのものである。NPDES（全国汚染物質排出除去システム）の許可書に関しては、ベース料金+単価×許可排水量という形で料金が決まる。これに定率の上乗せ金（surcharge）が水質モニタリング費用として加算される。これに加え、NPDESがカバーしない排出（公共用水域への排出でないもの、土壤への浸透や灌漑排水など）については、WDR（Waste Discharge Requirements、廃棄物排出要件）という許可書の取得が求められる。これに関わる課徴金は、「水質への脅威」と「複雑性」という基準から分類される。前者は水域の用途を長期的または短期的に阻害するかどうかで3段階に分かれており、後者は有害物質を排出しているか、水処理システムを通しているかで3段階に分かれている。この2指標の組み合わせで料率は9種類あり、これに上乗せ金が付加される。料率はプログラム費用と均衡するように毎年調整される。

ドイツの排水課徴金は、州が徴収し、その収入は行政費用と水質保全施策に使われている。汚染削減のインセンティブを排出者に与えることを期待して導入されたが、排水中の汚染物質の濃度が製品1単位あたりの負荷量に関する基準を守れば料率が軽減されること、排水処理施設の改修を行えばその費用と課徴金の支払額とを相殺できることなどから、課徴金は上記の基準を遵守させる効果はあったが、費用最小化が達成されたとはいえないとしている（諸富、2000・岡、2006）。

イギリス（イングランドとウェールズ）の排水課徴金は、排水許可証の制御・管理費用を回収することを目的としている（環境省、2004）。

フランスとオランダの排水課徴金は排水処理施設の維持・管理費用などの水質保全対策の財源確保を目的として導入された。フランスでは流域ごとに設置されている水管管理庁が、オランダでは国または水管管理組合が、それぞれ徴収している（環境省、2004）。ただし、オランダでは料率が十分に高く設定されたため、排出者に排出削減のインセンティブを与えていると評価されており、こうした機能を果たした唯一の事例とされている（諸富、2000・岡、2006）。

さらに、肥料や農薬などの投入物への課税の場合は、投入量の削減とその環境影響との関係が他の多くの要因に左右されるので、効果が不確実となる。オランダの養分余剰量への課税についても同様である。この制度の場合、基準を超える余剰分について課税されるという仕組みだったため、基準量を遵守させるという効果はある程度発揮されたが、限界排出削減費用が均等化して費用を最小化させるという効果は発揮されなかった。

1.1.3 排出取引

環境保全のための経済的手段のひとつである排出取引(emissions trading)は、アメリカ合衆国で大気保全対策として1970年代に導入されたのが最初である。1990年代半ばには同国で二酸化硫黄の排出取引制度が始まり、国連気候変動枠組み条約の京都議定書では削減義務がある国同士での温室効果ガスの排出取引が認められた。これに対応して、EU連合やニュージーランドなどで域内・国内の排出取引制度が実施されている(天野, 2009)。

このように、排出取引制度は大気保全・地球温暖化対策として活用されているが、水質保全に適用する試みも当初から存在した¹。ただし、農業部門が関わる事例は少なく、制度上可能であっても、実際に農業者が参加しているものはまれであった。しかし、近年になって農業者が取引に関わる事例がいくつか出てきた。

本報告書ではアメリカ・オハイオ州を取り上げる。同州では、農業者が削減に取り組むプロジェクトが複数あること、削減の取り組みがすでに進んでいること、それぞれのプロジェクトの性格が異なること、などがオハイオ州を取り上げる理由である。以下、その実態を明らかにするとともに、取引が成立している理由について考察し、日本への示唆について検討する。

(1) 水質取引の概要

水質取引(water quality trading)とは、水域に汚濁物質を排出している排出源が、他の排出源による削減量を譲渡してもらうことで、規制当局によって定められた排出量の上限を超えて排出することができる、という仕組みである。名称としては、一般的に effluent trading、また窒素やリンを対象とするときは nutrient trading などが使われるが、アメリカの連邦環境保護庁(U.S. EPA)が2003年に「水質取引政策」という文書(U.S. EPA, 2003)を出したころから、水質取引という用語が多く使われるようになっている。このため、本稿ではこの語を使うことにする。

以下では、アメリカでの議論と実践を踏まえて概要を述べる。

水質汚濁物質の排出源は大きく点源(point source)と面源(nonpoint source)に分けられる。点源は下水処理場や工場であり、面源は農地、市街地や道路などの土地利用である。アメリカの水質浄化法(Clean Water Act)は、水域に排水する点源に対して、許可書(permit)の取得を義務づけている。排水規制は業種ごとに全国一律の基準が設定されているが、排出先の水域の水質基準が達成されない場合は総量規制が求められる。これは一日最大負荷量(TMDL)と呼ばれ、点源の許可書には排出量の上限が記される。これに対して、面源には許可書が不要であり、TMDL 設定水域でも排出源ごとの排出上限はない。TMDL の設定時や、施設の改修・増設時に点源は一層の排出削減を求められることがある。水質取引では、自ら削減する代わりに、他の排出源の削減費用を負担し、その削減分を本来削減すべき分にあてる。

水質取引の類型化のひとつに、排出源の種類による分類がある。点源間取引は排出上限がある排出者同士の取引であり、点源面源取引では点源が面源の削減分を、金銭を払って

¹ その最初の例は1981年のアメリカ・ウィスコンシン州のものである(西澤, 1999)。

取得する²。面源には排出上限がないため、ある基準量を上回って削減した場合に、それをクレジットとして点源に売ることができる³。

下水処理場や工場には排水規制が課せられており、すでに何らかの排水処理を行っているため、さらなる削減には新たな設備投資などの対策が必要である。他方、農業には排水規制がなく、一般に最善管理方法(BMP: Best Management Practices)と呼ばれている面源対策は、不耕起栽培やカバークロップなどの農法の変更や家畜糞尿の適切な管理などからなっており、それらの費用は点源の削減費用に比べて小さい⁴。このため、点源面源取引によって削減費用を低下させることができる。

ただし、面源の排出量は測定が困難で、変動もあるため、取引に際して、点源には必要量を超えるクレジットの取得を求めることがある。この大きさを取引比率(trading ratio)という。たとえば、点源がある物質 1kg の削減を求められているとき、取引比率が 2:1 であれば、点源は 2kg 分のクレジットを取得しなければならない。取引比率は、水域と排出源との位置関係を考慮して決められることもある。



図 1.1 アメリカにおける水質取引の導入状況

出典：Environmental Trading Network

² 面源間取引も存在するが、農業が関わらないので、ここでは取り上げない。

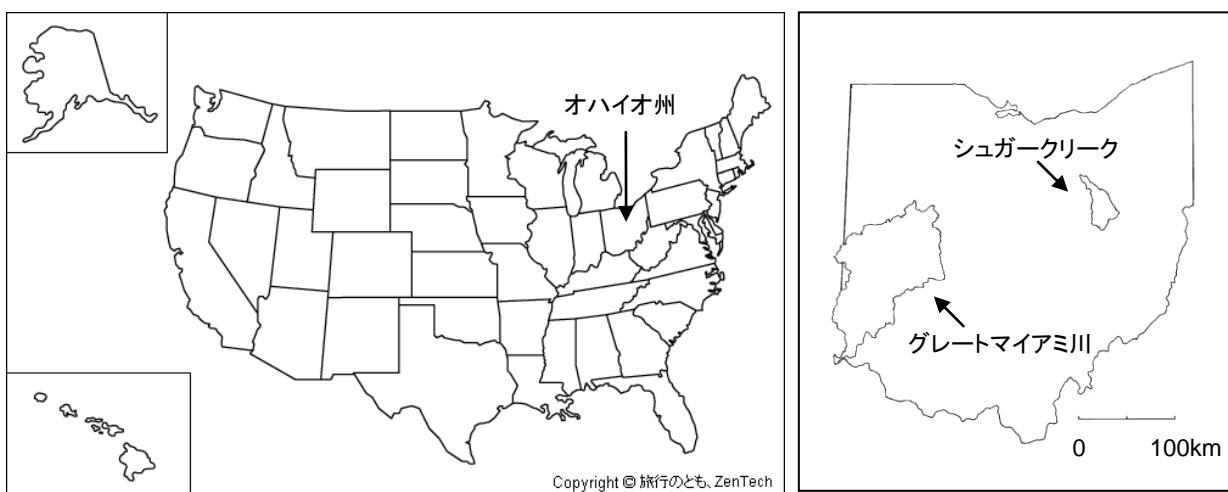
³ 京都議定書が定める京都メカニズム(他国の削減分を自国の削減分にカウントする仕組み)にあてはめると、点源間取引が国際排出量取引、点源面源取引がクリーン開発メカニズムに相当する。

⁴ BMP の具体的な内容については、西澤・合田(1999)を参照されたい。

(2) 水質取引の現状

Selman et al. (2009)によると、2008年の時点で世界で26の水質取引プログラムが存在し、そのうち22件がアメリカにある。残りはオーストラリアが3件、カナダが1件である。アメリカの22件のうち、農業部門が関わっているものは13件である。連邦環境保護庁の最近のリストによれば、7つの州で水質取引の規則または指針を策定している⁵。このように、農業部門が関わる水質取引はアメリカでもまだ少ない。

日本でも水質取引は制度としてはすでにある。2005年の下水道法の改正により、高度処理共同負担制度が導入された(藤木, 2007)。これは、下水処理場が窒素またはリンを目標以上に削減する場合、他の自治体はその費用の一部を負担することで、自ら運営する下水処理場では削減しなくてよい、という仕組みである。しかしながらこれは実施例がない。



第1.2図 オハイオ州の位置と関係流域の位置

(3) オハイオ州の事例

① グレートマイアミ川

グレートマイアミ川はオハイオ州南西部を流れる全長約270km、ミシシッピ川の支流オハイオ川の支流である。流域面積は約1万km²、流域人口は約150万人で最大の都市はデイトン(Dayton、人口15万人)である。流域面積の7割が農業的土壌利用で、森林が11.5%でそれに次ぐ⁶。

水質は、評価した部分のうち21.4%の区間で目標を達成していない。栄養塩類の流入量が多く、地域の水環境にとってリンが問題であるが、メキシコ湾への負荷は窒素が高い。目標未達成水域では州環境保護局が総量規制であるTMDLの制定手続きをすすめており、

⁵ コロラド、アイダホ、ミシガン、オハイオ、オレゴン、ペンシルヴァニア、ヴァーモントの各州。リストは以下のURLからアクセスできる。

<http://water.epa.gov/type/watersheds/trading/tradingmap.cfm>

⁶ 本項目は主にマイアミ保全区の水質取引プログラムマネージャーからの聞き取りと配布資料による。

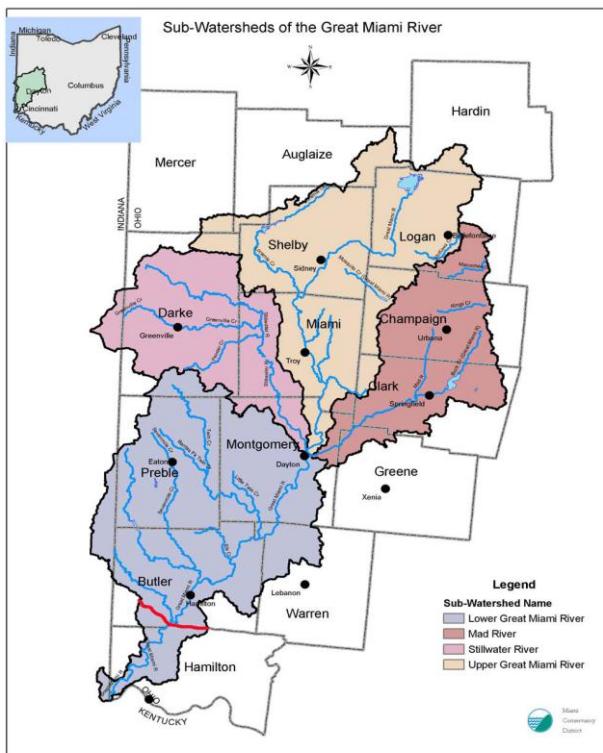


図 1.3 グレートマイアミ川流域図

出典：マイアミ保全区ホームページ

点源の排水基準の強化が見込まれたため、2005 年にマイアミ保全区が中心となって取引プログラムを策定した⁷。

事前の試算では、下水処理場の高度処理には 20 年間で 4 億 2,250 万ドルかかるが、水質取引では 4,650 万ドル(データ収集・取引費用を含む)ですむという結果が出た(Kieser & Associates, 2004)。また、下水処理場が高度処理を行うのに比べ、農場が対策を行う場合、水質以外の便益が得られることが取引のメリットとして指摘された。その便益とは、対象物質以外の削減、生物の生息地の提供、木陰・水温の低下、川岸の防護、流速の低下、湿地の増加、氾濫源の保護、環境容量の増加、エネルギー・温室効果ガスの削減と多岐にわたる⁸。

このプログラムはパイロットプロジェクトとして始められた。まず、自治体の運営する下水処理場が排水量に応じて合計で 120 万ドルを拠出し、連邦農務省自然資源保全局が補助金を 93.7 万ドル支給した。その後さらに連邦環境保護庁などから約 100 万ドルを得た。

⁷ 1913 年、グレートマイアミ川の洪水により、この地域では死者 360 人、被災者 1 万人、被害額 1 億ドルの大きな損害を被った。翌年州議会はオハイオ保全法を制定した。この法律は集水域単位の行政区を作り、水管理を担当する行政機関の設置を可能にした。マイアミ保全区はこの法律に基づき 1915 年に設立された。住民の財産の洪水からの保護、水量と水質の確保、川や水辺でのリクリエーションの支援を目的としている。

⁸ 例えば、河畔に植栽すれば、土壤の流出が減り、川岸の防護にもなると同時に、木陰ができるで水温が低下する。また、生物の生息地にもなるといった効果も発生しうる。

これらの資金が面源対策とプログラムの運営資金にあてられる。

このプログラムの特徴は、農場からの参加を募り、それをリバースオークション方式で採択するという点にある。マイアミ保全区は定期的に農場での対策の提案を募集する。各郡にある土壤・水保全区は農場と相談し、実施する BMP や受け取り希望額を決めて応募する。応募案件はプロジェクト諮問委員会が審査する。案件の中からリンを 1 ポンド削減するのに費用が低いものから順番に採択する。採択された場合、土壤・水保全区はマイアミ保全区と契約書を結ぶ。農場は土壤・水保全区と契約を結び、プロジェクトの基金から交付金を受け取る。

削減量の計算は、従来からオハイオ州で BMP による削減量の計算に使っている方法に準じている。削減クレジットの価格は総費用を総削減量で割ったものとなる。

取引比率は、点源の排水する水域が基準未達成水域の場合が 2:1、達成水域の場合が 1:1 となっている(Water Conservation Subdistrict of the Miami Conservation District, 2005)。

2009 年までに 6 回のリバースオークションを実施し、99 件を採択した。これはリン 380 トン以上の削減に相当する。支払総額は 110 万ドルで、リン 1 ポンド当たり 1.5 ドル以下(1kg 当たり約 3.3 ドル以下)となっている。

② シュガークリーク

シュガークリークは全長 72km、流域面積は 914km^2 である。流域面積の土地利用は草地が 50%、耕地が 20%、森林が 24%、残りが宅地等となっている(Ohio Environmental Protection Agency, 2002)。

ここでは、Alpine Cheese Company というチーズ工場の規制遵守問題の解決策として取引プログラムが 2006 年に策定され、翌年から実施されている。

シュガークリークの TMDL は 2002 年に設定され、点源のリンの排水濃度は 1mg/l とされた。同工場はそれまでの 1 日排水量が 2.2 万ガロン(約 83m^3)だったので、この濃度を適用すると排出上限は 0.08kg/day となる。1998 年のオハイオ州環境保護庁の調査ではこの工場のリンの 1 日排出量は 8.35kg もあったため、大幅な削減が必要となった。くわえて、同工場は規模拡大を計画し、許可書更新時に 1 日排水量を 2.2 万ガロンから 14 万ガロン(約 530m^3)に増やすよう申請した。これは認められたが、この排水量でのリンの排出上限は 0.56kg/day となる。しかし、同工場はこれを実現不可能と考え、オハイオ州立大学に相談した。そこで同大学と地元 Holms 郡土壤・水保全区は水質取引プログラムを策定した。オハイオ州環境保護庁と協議の末、濃度を 3.2mg/l、リン排出量を 1.7kg/day とし、1.7kg と 0.56kg の差 1.14kg/day を水質取引で賄うことが許可書に明記された(Sugar Creek Project, 2006)。

同工場は土壤・水保全区とオハイオ州立大学に、5 年間で合計 80 万ドルを支払う。これは農場に支払う費用とプログラム実施のための人件費や調査費にあてられる。土壤・水保全区は対象農場を選び、農場に対してプロジェクトへの参加を打診する。参加農場は土壤・水保全区から助成金が支払われる。取引比率は対策の種類と流域によって異なる。畜産対策は 1:1、耕種対策は上流域で削減する場合は 2:1、中流域は 4:1、下流域は 8:1 となっている。

2009 年までに 25 農場が合計で 95 件の BMP を実施し、すでに同工場が必要とする 5,500 ポンド(約 2.5 トン)を超える 7,000 ポンド(約 3.2 トン)のクレジットが発生している。

③ 州の水質取引規則

オハイオ州環境保護庁は水質取引規則を 2006 年に制定した。規則は次の 4 つの目的を

掲げている。

- i. 水質改善のための流域単位の取り組みを促進する
- ii. 水質を改善し、水質基準の達成・維持の費用を最小化する
- iii. 点源・面源からの自発的な汚濁削減の経済的インセンティブを提供する
- iv. 汚濁削減以外の追加的な環境便益を得る

オハイオ州環境保護庁はこの規則に基づき、申請のあった水質取引プログラムを認可する。州自体がプログラムを運営するわけではなく、あくまでも地域の発意によってプログラムが計画・実施される、というのがこの規則の特徴である。

取引比率は原則として、点源間取引では 1:1、点源面源取引では総量規制未実施水域で 2:1、実施水域で 3:1 とされているが、これ以外の比率とすることも可能としている。

連邦の補助金による面源対策はクレジットにすることはできない。ただし、費用を地元で負担している場合は、その部分に対してクレジットを認めるとしている。

このように、オハイオ州政府は水質取引を支援する仕組みをつくっている。なお、この規則は 2007 年初めから発効しているが、まだプログラムの申請は出されていない。グレートマイアミ川とシュガークリークのプログラムはこの規則の制定前に始まっていたため、特例として 10 年間は審査を不要とした。ただし、2 つのプログラムはこの規則に概ね適合している。

なお、添付資料として本規則の主要部分の翻訳を付す。

(4) オハイオ州にみる水質取引の成功要因

(2) でみたように、水質取引プログラムは全米で 22 件、うち農業部門が関わるものは 13 件にとどまっている。水質取引が広がっていない背景や理由については多くの文献で論じられている⁹。また、点源面源取引において農業者の参加がすすんでいないということも指摘されている。Breetz et al. (2005) は、農業者の参加がすすまない主な理由として、農業者がプログラム関係者と信頼関係を構築していないことや情報伝達が不十分なことを挙げている。

ここでは、オハイオ州の水質取引プログラムにおいて取引が実現している理由を、農業側の事情を中心に 5 点挙げる。

① 環境規制の存在

1 点めは、取引が行われるためのクレジットの需要側の要因である。

当然のことながら、水域に水質環境基準が設定され、点源が排出を削減する必要に迫られていなければクレジットの需要は発生しない。取引プログラムの中には、総量規制である TMDL の設定を見込んで導入されたものの、その設定が済んでいない、あるいは設定された排出上限が厳しくないために取引が行われていないものがある。

これに対して、グレートマイアミ川では 2010 年の時点で TMDL が 3 つの支流域で設定され、残りの流域でも順次設定されることになっている。シュガークリークでは前述のとおり 2002 年に TMDL が設定されている。

⁹ U.S. EPA (2008) は水質取引プログラムの阻害要因を、制度、経済、技術などの側面から検討している。

② 制度設計時からの農業部門の関与

オハイオ州のプログラムでは、農業者の参加を容易にする仕組みがいくつかある。まず、制度設計の段階から農業関係者が関与していたことが指摘できる。

グレートマイアミ川の場合、マイアミ保全区は2003年から2005年にかけて100回以上の会合を開き、制度の説明や具体的な内容についての意見聴取を行った。農業部門では土壌・水保全区、連邦農務省自然資源保全局、オハイオ・ファーム・ビューロー・フェデレーション、個別の農業者などが対象であった。また、応募案件を審査するプロジェクト諮問委員会は7名で構成されており、うち1名が農業者代表としてオハイオ・ファーム・ビューロー・フェデレーションから出ている。

シュガークリークの場合、オハイオ州立大学が2000年に研究プロジェクトを立ち上げ、農業者とともに水質調査や負荷削減対策をすすめてきたという背景がある(Moore, 2009, 荒井・モア, 2009)。地域の環境問題の解決に地元住民、研究者、行政機関が協力して取り組むという体制の中から考案されたプログラムというのがこの特徴である。

③ 既存の農業環境政策と類似した仕組みの採用

農業者は、土壌・水保全区のスタッフからの、補助金が出るのでBMPを採用してみては、という提案を受け、BMPを実施するかどうかを決める。これは、費用分担(Cost Share)プログラムと呼ばれる、連邦農務省の環境改善奨励プログラム(EQIP)やオハイオ州自然資源局の農業汚染削減プログラムの仕組みと同じである。対策の種類も費用分担プログラムのものとほぼ同じである。つまり、農業者は直接クレジットを取り引するわけではない。言い換えると、この仕組みは、農業者が「窒素あるいはリンの排出を1kg削減すれば○ドル受け取れる」のではなく、たとえば「河畔に植栽すれば○ドルもらえる」というものである。したがって、参加農場は取引プログラムに参加しているという意識はほとんどない¹⁰。

費用分担プログラムとの違いは、資金の出し手が連邦や州政府ではなく、点源(形式的には点源が拠出した基金)だという点である。グレートマイアミ川では、農業者は政府の補助金よりも地元の資金を好み、また土壌・水保全区も適用可能であれば取引プログラムを薦めているという¹¹。シュガークリークの場合、参加農場はアーミッシュであり¹²、連邦補助金を受給していないため、これまでBMPを実施していなかったという事情がある。

④ 仲介機関の存在

水質取引では、クレジットの売り手や買い手が自ら相手を探して相対取引をするということはほとんどない。そこで仲介機関の役割が重要となる。とくに農業者と日常的に接觸している土壌・水保全区の果たしている役割が大きい。土壌・水保全区は、農場に対して土壌保全をはじめとする環境対策の技術的支援を行っており、農場が費用分担プログラムに参加する際に、実施すべき対策について助言している。このため、農業者との信頼関係が構築されている。土壌・水保全区は個別農場の状況を把握し、それぞれの農場にあったBMPを設計し、実施したときの削減量を計算する。

¹⁰ 面源対策によるリンの削減量は、州政府が費用分担プログラムにおいてBMPによる削減量を計算する方法に準じており、それぞれの圃場の条件を勘案して算出される。

¹¹ マイアミ保全区の水質取引のプログラムマネージャーからの聞き取りによる。

¹² 自給自足の生活様式を守り続けるアーミッシュは社会保障税を支払わない代わりに連邦補助金を受け取っていない(Kraybill, 1989)。

グレートマイアミ川の場合、プログラムの事務局であるマイアミ保全区が仲介機関となり、点源からは資金を拠出してもらい基金をつくり、面源に対しても削減プロジェクトの募集をする。農場との間を取り持つのが土壤・水保全区である。

シュガークリークの場合、オハイオ州立大学が規制当局であるオハイオ州環境保護庁とチーズ工場との間に入って調整し、農場との調整は土壤・水保全区があたっている。

⑤ 費用削減以外の効果

最後に、これは農業側の要因ということではないが、オハイオ州のプログラムが成功しているというのは、経済的手法としての水質取引の第一の利点である総削減費用の低下以外の効果があることを指摘したい。

グレートマイアミ川では前節で述べたように、水質改善以外の効果として、温室効果ガスの削減をはじめとしてさまざまな効果が挙げられている。

シュガークリークではチーズ工場が自らの削減だけで必要な削減量を達成するよりも費用が少なくてすんだだけでなく、必要量以上の削減がすすんだ。また、このプログラムによってチーズ工場の規模拡大が実現したため、雇用が12人増加し、流域内の酪農家からの牛乳の購入量も増えた。プログラムの参加農場は酪農家が多い。このプログラムを契機に、農業者の環境に対する意識が高まり、農場の環境負荷を定量的に認識し、それへの対処を行うようになった。くわえて、リン流出削減対策は乳質を改善させ、乳価の向上につながった。対策のひとつとして河畔のフェンス設置がある。これは牛を川に近づけないことによって糞尿の直接流入を防ぐためのものだが、乳中の体細胞数も減少させた¹³。このため牛乳の評価が上がったのである(Moore, 2009)。このように、農場の環境意識の向上や地域振興のきっかけになったことが重要であると考えられている。

(5) わが国への示唆

上記の諸点は、日本に対して以下のような示唆を与える。

まず、第1の点についていふと、実質的な総量規制が点源に課されなければ、排出取引は起こらない。面源に関しては、汚濁負荷のデータの蓄積が不足している(武田, 2010)。汚濁負荷や水質の状況を把握することは水質改善に取り組む上での前提となるが、そのモニタリングが日本では不十分である(大垣, 2005)。水質取引にはモニタリングが不可欠なので、プログラムの導入を検討すること自体がモニタリングの整備を促し、現状把握に資する¹⁴。

第2の点は、制度の設計段階から環境部局、下水道部局、農業部局との協議が重要であることを示している。日本の場合、ひとつの都府県で完結していない流域も多く、そのようなところでは国の機関が関わることが一般的であろう。その場合、環境、国土交通および農林水産の各省の連携が鍵となる。

¹³ 河川水の中に多様な微生物があり、牛が川の水を飲んだりそれに触れたりすることで細菌が入り込み、白血球が増え、体細胞数が増加すると考えられる。

¹⁴ 水質取引では各排出源の排出量をモニターすべきであるが、面源は排出量を明確に測定できないため、BMPによるクレジットの計算は一定の前提に基づいて事前に計算し、水質検査の地点と頻度を増やすことで、水質改善の効果を検証しようとしている。グレートマイアミ川では州環境保護局の水質検査に加え、マイアミ保全区が8時間おきの自動計測という、より詳細な流量・水質のモニタリングを行っている。シュガークリークでは100か所以上の地点でオハイオ州立大学が2週間に1回水質を調査している。

第3の点は、温室効果ガスの排出取引のように市場を創設するという複雑な手続きをせずに農業者が取引制度に関わることができる事を示している。日本でも2007年から農地・水・環境保全向上対策が、2011年からは環境保全型農業直接支援対策が実施され、環境保全的な営農活動に対する支払いが行われている。この環境支払いの枠組みを使って水質取引を導入することは可能である。

第4の点は、制度の要となる組織がポイントであることを示している。アメリカでは土壤・水保全区が水質取引プログラムにおいて農場に関する書類の作成と農業者への技術支援の両者を担当している。日本の場合、上記の環境支払いでは市町村が農家とやりとりをしている。しかし、技術面での支援は都道府県の普及部局や農協の営農指導部門が行っている。水質取引を日本で導入するにあたっては、市町村と普及・指導部門との有機的連携あるいは政策と技術の両者を担う組織が必要となろう。

第5の点は、水質取引が単なる経済的手法の導入にとどまらない価値を有していることを示している。点源面源取引を検討するということは、部門横断的に水質改善の可能性を探ることである。つまりそれは流域全体で環境保全に取り組むということに他ならない。水質取引制度の導入を検討することは、統合的流域管理の具体的な一形態である。

補論 面源対策（非点源汚染政策）の手法に関するレビュー

平成22年度の指摘事項を受け、面源対策の手法をレビューする。対象は、農業からの栄養塩類（窒素、リン）の負荷削減手法とし、各手法を便宜的に、規制、補助金、クロスコンプライアンス、税、排出取引、の5つに整理した。

（1）規制

① 施用量基準

これは、肥料や家畜糞尿の農地施用量に上限を設けるものである。EUの硝酸塩指令（European Commission, 1991）は、硝酸塩監視地域（NVZ）における糞尿からの窒素施用量の上限を170kgN/haと定めている。

② 施用禁止区域

いくつかの国は、水源地周辺や河畔から一定の範囲での施用を禁じている。オランダでは水路から5メートル以内を施肥禁止帯としている。

ドイツのバーデン・ビュルテンベルク州では、SchALVO（水質保全地区および所得補償についての規定）という制度を実施している。水源地周辺を水質保全地域に指定し、地域内の農業者には収穫後の窒素施肥削減、収穫後のカバークロップ、耕起の制限、草地の不耕起、作物別の規制、土壤中の残留硝酸塩の制御などの規制がかかる。硝酸塩濃度を下げる必要性が高いところほど規制が厳しくなっている。これによる費用の増加（所得の減少）に対しては州が補償金を支給する。金額は基本額が165ユーロ/ha・年であり、これに行為によっては上乗せがある。

③ 施用期間の規制

ヨーロッパでは収穫後から播種前の時期、特に農地が凍結しているときは施用が禁止されているところが多い。オランダの場合、禁止期間は9月16日から翌年1月31日までである。

④ 家畜糞尿の保管

肥料等を農地に施用できない期間に発生した家畜糞尿は、環境中に出で行かないように管理が求められる。オランダの場合、畜産農場に対し、9月～2月の6か月間糞尿を保管できる施設の設置が義務付けられている。

⑤ 施用方法の規制

環境負荷が少ない方法での施用を義務づけている国がある。オランダの場合、糞尿の表面散布は禁じられており、インジェクションが求められている。

(2) 補助金

環境保全的行為をする農業者に補助金・奨励金を支給するという仕組みである。EUの共通農業政策では農業環境支払い(agri-environment payments)によるものが主体である。アメリカでは、連邦農務省の環境改善奨励プログラム(EQIP)や保全ステュワードシッププログラム(CSP)、各州の費用分担プログラムなどがある。また、侵食しやすい土地を耕作しない場合に、農務省が地代を支払う、保全休耕プログラム(CRP)という制度もある。

(3) クロスコンプライアンス

これは、農業者への補助金の交付要件として、一定の行為を求めるものである。EUの共通農業政策の直接所得補償は良好な農業活動規範の遵守が要件である。アメリカでは、侵食しやすい土地を耕作する場合に土壤保全計画を策定・実施することや湿地を耕地にしないことなどが、農産物価格プログラムの支払い要件となっている。

(4) 税

肥料等への課税はヨーロッパで行われている(Söderholm and Christiernsson, 2008)。

オーストリアでは穀物の輸出補助金の財源確保を主目的に、環境負荷削減を副次的な目的として肥料への課税が1986年から1995年の欧州共同体への加盟時まで行われていた。

デンマークでは1998年から肥料の窒素分に課税されている。しかし、実質的に農業者は免除されており、対象は家庭菜園などに限られる。また、2005年には家畜飼料中のリンに対して課税されるようになった。税収は農場の固定資産税の引き下げに使われている。

ノルウェーでは、1988年から2000年まで化学肥料へ課税されていた。主たる目的は環境保全型農業をすすめる政策の財源調達で、環境負荷削減は副次的な目的だった。従価税で、窒素価格の1%程度だったため、使用を抑制するインセンティブは低く、負荷削減対策としては他の方法がよいということで廃止された。

スウェーデンでは、1984年に肥料への課税が始まった。環境負荷の削減と農業環境政策の財源調達が目的であった。窒素には現在も課税されているが、リン酸への課税は1994年にリンの肥料に含まれるカドミウムに対する課税に変更された。

オランダでは、1987年から1997年まで余剰糞尿課徴金制度があった。これは、飼養する家畜の糞尿に含まれるリン酸の量を農地で割った値が一定水準を上回る場合に、上回った量に応じて課徴金を農場から徴収するという制度である。これは財源調達を目的とする課徴金で、収入は糞尿基金に入れられ、糞尿加工技術の開発と処理施設の建設、飼料中の窒素とリンの含有量を減らす研究、糞尿輸送費などに使われた。その後、1.1.2に記したように、1998年から2005年まで、養分(窒素、リン)の余剰量(農地投入量と作物吸収量との差)に対して課徴金がかけられていた。農業者は、農場への投入物としての窒素・リンと、農場からの産出物としての窒素・リンを記録することが義務づけられる。投入物としては、肥料、飼料、家畜、家畜糞尿などがあり、産出物としては、農産物と家畜糞尿がある。投

入量と産出量の差をミネラル(窒素とリン)の損失量(loss)と呼び、環境への負荷とみなしている。この損失量に許容上限値として損失基準量が定められており、損失量がこれを上回った場合、農場は課徴金を支払わなければならない。

(5) 排出取引

農業部門が関わる排出取引は、上述のとおりである。これに類似するものとして、オランダで1994年から2005年まで実施されていた糞尿生産権制度、1998年に導入された豚生産権制度、2001年に始まった家禽生産権制度がある。糞尿生産権制度は、上述の農地あたりの糞尿中リン酸量が一定基準を超える農場が規模拡大をする場合は、他の農場から糞尿生産権を取得することを求めるという制度である。また、ベルギーでは、糞尿取引制度が2007年に導入された。

1.2 費用対効果を考慮した対策選定

EUの水枠組み指令は、環境分野の指令で経済性を考慮することを定めた初の指令である。経済性の考慮はいくつかの点で求められるが、本報告書では対策プログラムの選定における費用対効果の分析を取り上げる。水枠組み指令の概要と同指令における経済分析に関する規定およびその実施状況をみたあと、ドイツ、オランダ、デンマークにおける費用効果分析の実際について検討する。

1.2.1 EU水枠組み指令の概要

(1) 目的

水枠組み指令は第1条に以下のような目的を掲げている。

- ・地表水と地下水の状態の悪化を防ぎ、改善すること
- ・水資源の長期的保全に基づく持続可能な水利用を促進すること
- ・優先物質の促進を段階的に削減し、優先有害物質の排出を停止または漸減すること
- ・地下水汚染を段階的に削減し、さらなる汚染を防止すること
- ・洪水および渇水の影響緩和に貢献すること

(2) 環境目標

この指令は陸域の地表水、河口水、沿岸水、地下水の保全のために目指すべき状態を第4条で規定している。そこでは、以下のようなことが定められている。

- ・指令発効後15年以内に良好な地表水・地下水の状態を達成する
- ・地表水について、優先物質による汚染を段階的に削減し、優先有害物質の排出等を停止または段階的に停止する
- ・地下水について、人為的汚染物質の濃度の重大かつ継続的上昇傾向を逆転させる

良好な地表水の状態とは、生態学的かつ化学的に良好(good)な状態であり、良好な地下水の状態とは、量的かつ化学的に良好(good)な状態であるとされている。また、優先物質として附録Xに33物質が掲げられており、優先有害物質は2008年の指令(European Commission, 2008)で13物質が指定された。

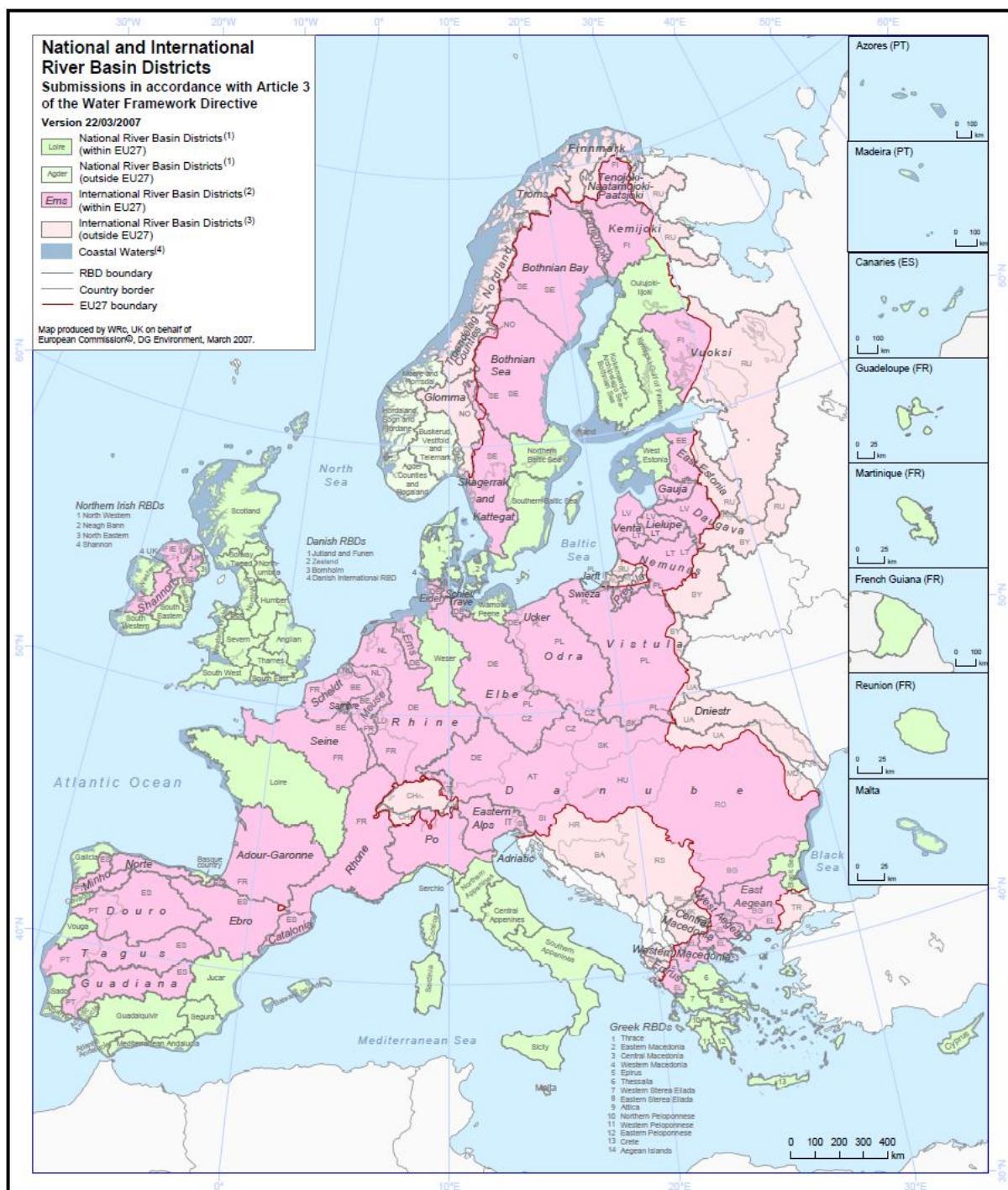


図 1.4 流域区分図

出典：EU ホームページ

(3) 主な特徴

この指令の特徴としては、第 1 に、流域単位の取り組みを求めていることがあげられる。加盟国は河川流域を確定し、河川流域地区を指定しなければならない（第 3 条）。流域が複数の国にまたがる場合は国際河川流域地区として指定される。この流域地区を単位として管理計画が策定される。この計画は 6 年ごとに見直される。

第 2 に、総合的なアプローチが取られている。点源と面源に対して、既存の指令の遵守を対策プログラム(Programme of Measures)として実施することとされている。既存の指令内容を基本対策として実施することが求められるが、それだけでは目標達成が見込めない場合、補完対策としてさらなる対策の実施が求められる。

第 3 に情報公開と市民参加が重視されている。加盟国はこの指令の実施、特に河川流域管理計画の策定、評価、更新においてすべての関係者の積極的な関与を奨励することが義務づけられている（第 14 条）。管理計画は少なくとも実施 1 年前に素案を公表し、6 か月間はコメントを受け付けることとされている。

第 4 に、水サービスの費用回収などに表れているように、実施にあたって経済性に配慮することが求められている点をあげることができる。これについては後述する。

(4) 実施スケジュール

この指令は以下のような実施スケジュールを定めている。

- 2003 国内法の整備 河川流域地区と担当機関の指定
- 2004 河川流域地区の特性、人の活動による環境影響の評価と水利用の経済的分析
- 2006 モニタリング・ネットワークの整備 意見聴取開始
- 2008 流域管理計画素案の公表
- 2009 流域管理計画の策定
- 2010 水の価格付け政策の導入
- 2012 対策プログラムの実施
- 2015 第 1 期計画の終了 環境目標の達成
- 2021 第 2 期計画の終了
- 2027 第 3 期計画の終了

1.2.2 水枠組み指令における経済分析

この指令において経済分析あるいは経済的側面の考慮が求められるのは以下のようない面においてである（Brouwer, Barton and Oosterhuis, 2010）。

(1) 流域の経済的特徴付け

第 5 条は、加盟国が各河川流域地区の性質、地表水と地下水の状態に対する人間活動の影響評価、および経済分析について指令発行後 4 年以内（つまり 2004 年までに）報告することを求めている。経済分析には以下のようないが含まれる（Brouwer, Barton and Oosterhuis, 2010）。

- ・流域における水利用の経済的重要性の評価
- ・2010 年までの流域における水需要予測

- ・水サービスの費用回収の評価

(2) 費用効果分析

第 11 条は対策プログラムについて規定している。そこでは、附属書Ⅲに関係して、対策が最も費用効果的であることが求められている。

(3) 過度の費用

第 4 条は、環境目標を達成するための費用が過度にかかる場合、その水域を人工水域または大きく改変された水域に指定する、あるいは環境目標を緩和することができるとしている。ここでの「過度にかかる費用(disproportional cost)」は基準が示されておらず、目標を緩和する範囲や程度は加盟国によって異なっている。費用便益分析によって費用が便益を上回れば緩和できるという解釈をする国もある。

(4) 費用回収とインセンティブを持つ価格設定

第 9 条には、「経済的分析に関して、また特に汚染者負担原則に従って、環境・資源費用を含む水サービスの費用回収の原則を考慮する」とある。そして、2010 年までに水の価格付け政策が利用者に対して適切なインセンティブを提供すること、産業、家庭、農業などの水利用が費用回収に適切な貢献をするよう、加盟国に求めている。

1.2.3 経済分析への取り組み

水枠組み指令が加盟国に実施を求める領域は広範にわたり、新たな事項も多い。経済分析もその一つである。また流域が複数国にまたがるものも珍しくなく、国際的な協力も欠かせない。こうしたことから、EU では手法の開発や情報の共有などを目的として共通実施戦略というプログラムを進めている。個別の課題ごとに作業部会をつくり、ガイダンス文書の作成やパイロット事業を行っている。経済分野に関しては、2003 年に経済分析のガイダンス文書(WATECO, 2003)を発表したほか、ワークショップをこれまでに複数回開いている。

ドイツは連邦制をとっていることもあり、水枠組み指令の実施は州が行うことになっている。このため、連邦環境省が LAWA(Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser : 水問題に関する連邦・州作業グループ)を組織している。これは 16 州と連邦から構成されており、施策の実施に関する技術的な問題を議論し、勧告を行う。LAWA はドイツ国内向けに本指令の実施に関するガイダンス文書(LAWA, 2003)を作成している。

(1) 流域における経済分析の事例

ドイツにおける経済分析の実施状況を、ネッカー川を事例としてみていくことにする。ネッカー川はライン川の支流である。全長 367km、マンハイムでライン川に合流する。流域面積は 14,000 平方 km で 550 万人が住んでいる。流域面積のほとんどがバーデン・ビュルテンベルク州に属し、同州の面積の約 4 割を占めている。州都でありダイムラー、ボルシェ、ボッシュなどの本社があるシュトゥットガルトもネッカー川沿いにある。

本項では、バーデン・ビュルテンベルク州によるネッカー川流域管理計画の第 6 章「水

利用の経済分析」の概略を紹介する(Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2009).



図 1.5 ライン川上・中流域の流域図

出典：バーデン・ビュルテンベルク州環境・交通省資料

注：黒い太線がバーデン・ビュルテンベルク州を表す

まず第 1 節では「水利用の経済的重要性」として州の土地利用、人口、就業者数、総生産額などの基礎的データを示したあと、州の水道事業の概要として事業者数、供給量、水道料金について記している。つづいて、公共水道、工業、農業の部門別に取水量と排水量の推移を述べ、水運や観光などのその他の利用にも言及している。

第 2 節は「水供給と水利用の動向（ベースライン・シナリオ）」であり、気候変動や人口、経済発展のシナリオに基づき、それらの変化によって水の利用量や汚濁負荷などがどのように推移するかについてモデルを使って推計している。これはネッカーフィルムを対象にして行

われた RIVERTWIN という研究プロジェクトの成果である。これによれば 1 人あたりの飲用水使用量は、「経済・技術志向の発展」というシナリオ A ではあまり変化しないが、「環境・社会志向の発展」というシナリオ B では現在の 1 日あたり 120 リットルが 2015 年には 90 リットルに減少するとしている。産業部門では大きな変化がない。農業部門では共通農業政策の改革によってネッカーフルダ川流域の地下水への窒素流入は 9% 減少するが、年変動のほうが大きく、いずれにしろ共通農業政策の改革だけでは水枠組み指令の目標達成には不十分としている。また、水供給と排水処理に州では年間 17 億 5000 万ユーロが必要で、農業環境対策には年間 9700 万ユーロが支出されるとしている。

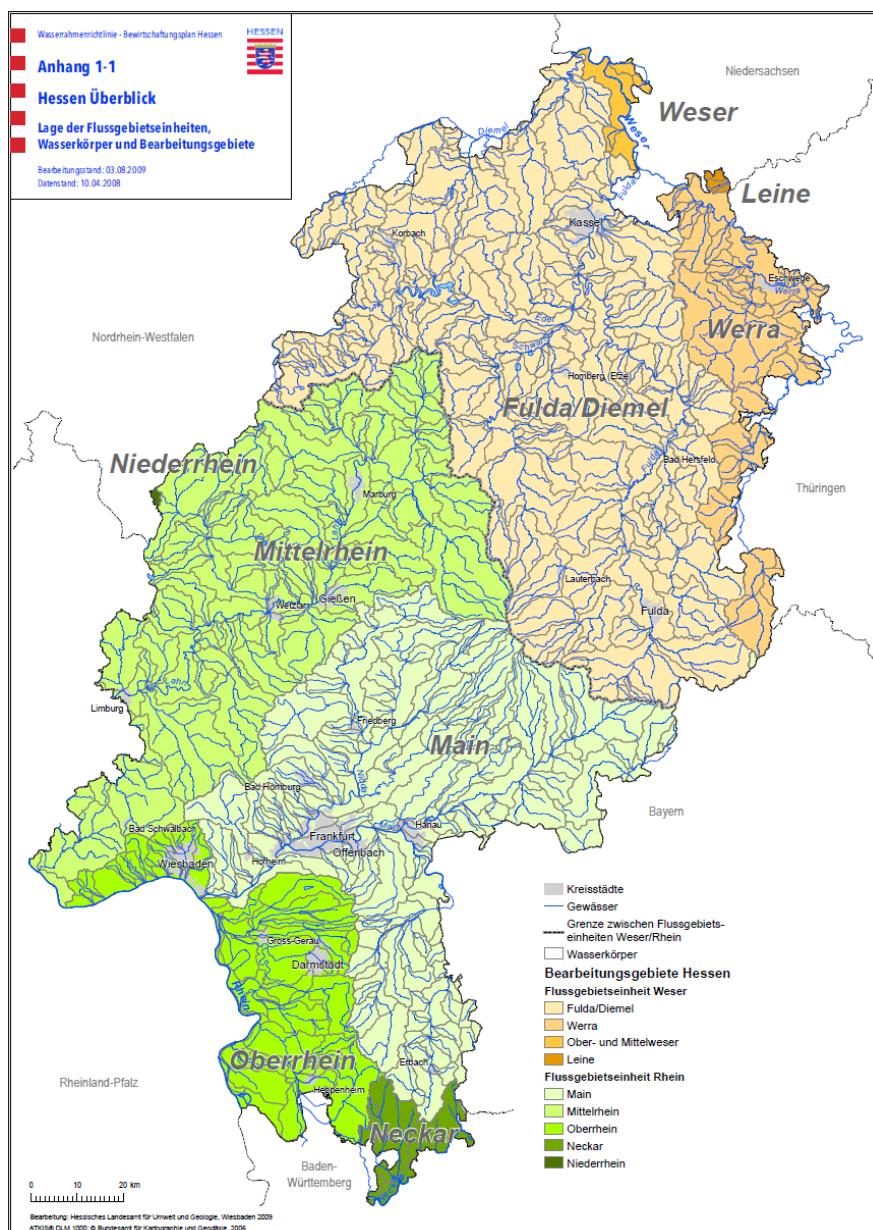


図 1.6 ヘッセン州の流域図

出典：ヘッセン州流域管理計画

第3節は「水道事業の費用回収」である。同州では水道事業は水道料金によって運営されており、環境・資源費用は明確に計算されていないようだが、排水課徴金や取水料を徴収しており、原則的に費用回収は行われているとしている。

第4節は「費用回収に対するその他の水利用の寄与」であるが、水法に原因者負担の規定があることと土壤保全法に土壤汚染による地下水汚染には原因者負担条項があることを記すのみである。最後の第5節「対策・複合的対策の費用効率」には、対策を連邦環境省のハンドブックを用いて環境保全に対する効果、その経済的・法的実行可能性と時間的実現可能性という基準に基づいて対策の優先順位を決定したと記されている。具体的な対策プログラムについては次の第7章に記載されている。

より具体的なデータが示されている例として、ヘッセン州の流域管理計画がある(Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2009)。同州は州で単一の流域管理計画を策定している。ヘッセン州は2万1000平方km、人口約600万人で、ライン川とヴェーザー川の流域からなる。同州の流域管理計画では、8つの支流域ごとに各種の指標が計算され、水道供給の費用回収率は全体で94.9%、下水道事業のそれは93.8%となっている。

(2) 各国の実施状況

EC委員会は水枠組み指令の第1段階の実施評価において、2004年末が提出期限であった経済分析の報告書について、各国の報告内容を検討している(Commission of the European Communities, 2007)。ただし、報告書に提示された情報の量と質は加盟国間で大きな差があり、情報が不十分な国があるため、各国の比較も限られたものになっている。

費用回収に関しては、25か国中、十分な情報を載せている国は家庭(公共水道)部門では14か国あるが、産業部門では8か国、農業部門では5か国にとどまっている。情報を載せている国の費用回収の程度をみると、家庭部門で70~100%、産業部門で40~100%、農業部門で1~100%と大きなばらつきがある。

考慮している費用の類型別でみると、金銭的・投資費用は17か国で示されているが、資源費用は6か国、環境費用は5か国で示されているに過ぎない。

また、流域管理計画素案の意見聴取期間中にパリで開催された、水枠組み指令の実施に関する第2回ヨーロッパ水会議の会議資料では、同素案における経済分析の記載状況について触れている(Kampa et al., 2009)。

これによると、114の素案のうち105で経済分析が入っており、97で水利用の費用や価格について記されている。対策として水の価格付けを挙げているものは69にのぼる。また、環境・資源費用の情報はあまり示されておらず、費用回収に関しては数字が曖昧か質的な情報が多く、農業部門の言及が少ない。インセンティブをもつ価格設定や税・補助金についての記述も少ない。汚染者負担原則を考慮している国はさらに少ない。ただし、ドイツについては現状の料金や課徴金で費用をほぼ賄っているとしている。

1.2.4 加盟国における費用効果分析の実施状況

(1) ドイツ

ドイツでは、連邦環境庁の委託で、国際・欧州環境政策研究所(Ecologic)とカッセル大学

が、対策プログラムの策定にあたっての費用効果的対策の選定のためのハンドブックを作成した(Interwies, 2005). このハンドブックは、以下のような手順で費用効果的な対策を選ぶことを推奨している。

- ①対策候補を選ぶ
- ②効果的な対策を選ぶ
- ③対策の組合せを選ぶ
- ④対策と手段の組合せを検討する
- ⑤費用を計算する
- ⑥最も費用効果的な対策の組合せを決める
- ⑦他の支流域の対策案と調整する

④に「対策と手段の組合せを検討する」とあるが、対策(measure)は河畔林を植える、河川を再蛇行化するといった具体的な行為を指し、手段(instrument)は補助金や税、普及といった、目標を実現するために用いる方法である。ある手段がそれぞれの対策を促進するのか、妨げになるのか、といった相互関係について検討するとされているが、具体的にどのように分析するのかは例示されていない。

ハンドブックにも上記の手順の実施例が記されているが、ここでは、よりわかりやすい、van Engelen (2005)による、オランダの Leijen 湖での適用例を紹介する(van Engelen et al., 2008)。

- ①地元の専門家が 33 の対策候補を選定する。
- ②4 人の専門家が 4 つの観点から対策を 4 段階で評価する。

4 つの観点とは、大型水生植物、藻類、底生無脊椎動物、魚類の数、構成、質である。4 つの観点に対してそれぞれ 0~3 点をつけるので、12 点満点、評価者が 4 人なので最高点は 48 点である。得点が 0~1 を（生態学的な）効果なし、2~17 を効果小、18~33 を効果中、34~48 を効果大とした。効果大と判定された対策はなく、効果中と判定された 11 の対策を選んだ。

③11 の対策の 1 対 1 の組合せについて、4 人の専門家が効果を 3 段階で評価した。12 点満点中、9 点以上の組合せが 7 つあり、それをもとに 5 種類の組合せを選んだ。その組合せに、目標達成を確保するようにさらに対策を加え、合計で 3~5 種類の対策からなる 5 つの組合せをつくった。

④ハンドブックの第 4 のステップは行われていない。

⑤直接費用として、初期投資費用と維持管理費用を計算した。間接費用は他部門が負担する費用とし、4 段階で質的に評価した。

⑥目標達成の可能性、達成時期、直接費用、間接費用を評価した（表）。目標達成の可能性の低い C, E はまず除き、A, B, D を比べると、A, B より D の費用が低く、D は A より効果は少し劣るかもしれないが、達成可能性は A と等しい。そこで、D を最も望ましい組合せとして選んだ。なお、D は浚渫、ブリーム（コイ科の魚）の駆除、湖岸堤の拡張、湿地の創出である。

表 1.3 Leijen 湖での対策の組合せの比較

組合せ	目標達成可能性	生態学的効果	達成時期	直接費用(百万€)	間接費用
A	かなり高い	とても大きい	中期	16.6～16.7	少
B	高い	中／大	中期/長期	15.8	少
C	低い	中	長期	かなり高い	中
D	かなり高い	大	短期/中期	4.0～5.1	少
E	低い	中	短期	0.2	少

出所 : van Engelen et al., 2008

ハンドブックの方法は、対策の効果を定性的に評価するため、費用対効果が定量的に示されない。これに対して、定量的な費用効果分析による対策の選定方法を提案しているのがヘルムホルツ環境研究センターのクラウアーらである。Klauer et al. (2012)は BASINFORM という意思決定支援システムを提案している。水環境への影響要因を、地下水への栄養塩類と農薬、地下水へのその他の影響、地表水への栄養塩類・有機物・農薬、地表水の構造・水文状況、地表水への他の影響の 5 つに分け、各要因への対策を独立に選ぶことができるとして仮定することで、定量的な費用効果分析を行っている。

このような複数の方法が開発されているものの、2009 年に策定された流域管理計画では、一般的に費用対効果が考慮されたとは言い難い。各州の流域管理計画に関して、GRÜNE LIGA (2011)は、各州は費用対効果を考慮して対策を選んだと記しているが、具体的にどのような手順で選んだのかは多くの州で不明としている。いくつかの州は上記のハンドブックを参照したとしている。また、チューリンゲン州は BASINFORM を利用しているとのことである。

(2) オランダ

オランダでは、水枠組み指令の実施にあたって、国レベルで 3 回の費用効果分析または費用便益分析を行っている¹⁵。

最初は 2005 年に行われた。オランダの議会は、水枠組み指令の実施は実行可能で費用が受け入れられるものであるべきという立場から、交通・公共事業・水資源管理省に水枠組み指令実施の費用と便益を示すことを求めた。目標水準をどこに設定するか、適用可能な対策は何か、といったことがわかつていなかったが、同省は 2005 年末にトップダウン方式で基本対策と追加対策のごく大まかな費用を見積もった。基本対策では下水道関連の対策が年額約 18 億ユーロと最も高く、下水処理 (7.7 億ユーロ/年) と農業 (7.2 億ユーロ/年) がそれに続く。追加対策では土木関連の事業 (河川の近自然化・再蛇行化、魚道の設置など) が年額 2.8 億ユーロ、農業と下水処理がそれぞれ年額 2 億ユーロとされた(van der Veeren, 2010)。

次の分析は 2006 年に行われた。このときは、補完対策を実施した場合の費用を流域ごとに積み上げ方式で推計した。この作業は、水管理組合、州、自治体、交通・公共事業・水

¹⁵ オランダでは一連の分析を社会的費用便益分析(Social Cost Benefit Analysis)と呼んでいるが、2 回目のものを除いて環境改善の便益は貨幣評価されていない。

資源管理省の地方部局が協力し、市民や NGO の参加を得てすすめた。費用は 4 つのシナリオについて、地表水、生態系、地下水の分野ごとに推計された。シナリオは、既存の対策だけを実施するベースライン、限られた対策を実施する場合、幅広く対策を実施する場合、技術的に可能なあらゆる対策を実施する場合、の 4 つである。この段階でも目標水準や対策の効果などの情報は不十分であった。また、地方から提出された情報もバラバラであった。

現行の対策費用は 50 億ユーロ/年と見積もられた。これに他の指令などで実施が求められる対策の費用として上乗せされる 7.5 億ユーロ/年がベースラインの値とされた。幅広く対策を実施するというシナリオでは、ベースラインに比べ年あたり 10 億ユーロ以上費用が増加する。これは 35% 以上の増加であり、GDP の 1.8~2.2% に相当する。なお、農業分野については、対策の費用と効果のデータが得られなかつたため、推計されていない。

このときは便益の推計も行われている。まず、2015 年に水枠組み指令の目標が達成されると仮定し、その状態の便益を推計した。つぎに、目標を達成する指標と対策とを関連づけ、各シナリオが水枠組み指令の目標にどれだけ近づくか（達成率）を計算し、シナリオごとの便益を、（目標達成の便益） ×（達成率）として求めた。最も大きいものは水域付近の住宅価格の上昇などに表れる、良好な自然環境で暮らすことの便益となった。自然が増えることで二酸化炭素吸収量が増えるという価値がそれに次いでいる¹⁶。

なお、これとは別に、仮想評価法（CVM）による便益評価も行われた。2003 年 10 月に 5,000 世帯に調査票を送り、27% から回答を得た。2 肢選択 CVM で、水枠組み指令の目標を達成することに対する支払意志額を尋ねたところ、今後 10 年間の追加的な支払意志額が年あたり 90~105 ユーロ（95% 信頼区間）という結果が得られた。これは調査時点の家計が支払っている水道料金の約 20% に相当する（Brouwer, Roy and Rob van der Veeren, 2009）。

費用は短期的に発生し、便益は長期にわたり発生するため、費用と便益を 100 年の割引現在価値で比較した。割引率は 4% を用いた。3 つのシナリオすべてで費用が便益を上回り、その差は対策を多く実施するほど広がるという結果になった。便益/費用の比率は水文的な対策のほうが負荷削減などの水質対策よりも高い、つまり効率的であることが示された。これは、水質対策は 1970 年代から取り組みが始まり、すでに多くの対策がとられているために新たな対策の費用が高いのに対し、河川の再蛇行化などの水文的な対策はまだあまり行われていないことがある。

こうした結果や、別の研究による農業部門の対策費用が高いという結果、農業部門の強い抵抗などがあり、2009 年に策定された流域管理計画では、生態系の改善を目標とする水文的対策が中心となった。

2008 年には 3 回目の分析が環境評価庁によって行われた。ここでは、流域管理計画の素案に入れる予定の対策が評価対象になった。より精緻な費用便益分析を積み上げ方式で行うことが目指されたが、今回も地方から提出された費用のデータは統一性に欠けていた。また、便益を貨幣評価することは困難であるとされ、代わりに効果を指標で示すこととした。生態系の改善を目的とする対策が主体であるため、指標は生態系の質指標（Ecological Quality Ratio）が使われた。地方の機関が所管している水域の平均的な指標値は、現状が 0.44

¹⁶ van der Veeren (2010) は推計方法について述べていない。

で、これが 0.6 になれば水枠組み指令の目標が達成されることになる。費用対効果をみると、対策全体では指標を 0.1 上昇させるのに、年あたり 1~2 億ユーロかかるのに対し、河川の再蛇行化や生態系操作(biomanipulation)では 3~7 千万ユーロにとどまっている。こうした対策の効率性が確認された。また、生態系への貢献という点からみると、農業部門の対策は費用対効果が低いとされた。

このように、オランダでは費用便益分析を手がけているが、データの入手可能性やデータの未整備のため、費用の推計も精度がそれほど高くはなく、2008 年の分析は費用効果分析にとどまっている。

(3) デンマーク

デンマークは環境目的法 (Miljømålsloven) の改正によって水枠組み指令の国内法実施を行った。同法は水計画の策定と実施を規定するという形で水枠組み指令を取り込んでいる。この水計画における対策プログラムは、経済分析によって費用効果的なものを選ぶべきであると同法に明記されている。これに基づき、流域管理計画は以下のような手順で策定された。

①環境目標の設定

沿岸域の生態学的に良好な状態を具体的に決めるのに際し、指標としてアマモの生息深度（海面下何メートルまでアマモが生息しているか）が選ばれた。それが基準値（1890~1900 年の値）から 74% 以上あれば生態学的に良好であるとして、これを環境目標とした。

②窒素の削減目標の設定

つぎに、生息深度と水域の窒素濃度の関係を調べ、生息深度の目標値に対応する窒素濃度の目標値を定め、それを実現する窒素負荷量を求めた。他方、現行の対策や他の指令などで実施予定の対策をとったとき（ベースライン）の 2015 年における窒素負荷量を計算した。このベースラインの窒素負荷量と、環境目標に対応した窒素負荷量の差が、窒素負荷量の削減目標である。

表 1.4 主な対策の費用と効果

	費用 (€/ha)	削減効果 (kgN/ha)	費用対効果 (€/kgN)
秋期の耕起規制	1.2	7	0.2
草地の耕起規制	9.0	15	0.6
キャッチクロップ	56.4	14	4.1
10m の河畔緩衝帯	277	48	5.8
湿地の創出	1,043	113	9.2
有機酪農	37	9	4
エネルギー作物の栽培	188	17	11
窒素施用基準の強化			26

出所：コペンハーゲン大学 Dr. Brian H. Jacobsen のプレゼンテーション資料

③対策の選定

窒素負荷の多くが農業からのものであることから、対策は農業を中心としたものになつ

ている。対策の具体的な選定にあたっては、実施可能な対策をリストにあげ、それぞれの対策の費用と削減効果を計算した。そして費用対効果の高いものから、目標を実現するまでの対策を選んだ。

(4) 各国の比較

3か国の状況を比較すると、デンマークが先進的なようにもみえるが、そうともいえない。デンマークでは、国内の政治状況もあって水枠組み指令の検討が進まず、流域管理計画の策定が終わったのは、指令の期限より2年遅れた2011年末であった。また、デンマークの費用効果分析は、トップダウン的に行われた。言い換えると、そこで利用された費用や効果は国全体の平均的な値である。地域的にみれば、より費用効果的な対策があり、流域の実情にあたって、きめ細かな対策の選定がなされるべきであったという批判がある。

また、定量的な効果の測定ができたのは、環境目標の指標を1つにして、それを窒素負荷という1つの政策目標に集約することができたからである。デンマークの流域管理計画は沿岸域の水質とその生態系への影響に焦点を当てており、河川や湖沼、地下水には異なるアプローチが必要かもしれない。

オランダは費用便益分析を目指しており、最も合理的なアプローチにもみえるが、便益評価まで至っていない。費用便益分析の追究は、オランダの水質汚染が深刻であることと関連があると考えられる。水質改善のために排出負荷を削減するには多額の費用がかかる。このため、オランダは大部分の水域を人工水域または大きく改変された水域に指定した。指定の妥当性については、今後欧州委員会との間で議論となることが予想される。こうした水域指定による目標緩和を費用便益分析で正当化する狙いがオランダにはあるようだ。

ドイツでは、対策の効果を定性的に評価する手法を、各州の計画立案者向けのハンドブックで提案している。他方、定量的な費用効果分析手法も開発されている。しかし、2009年に完了した流域管理計画へのこうした手法の適用は一部にとどまった。流域管理計画の策定は州の業務だが、各州のレベルでは費用効果分析を行う人的・物的資源が不十分であったというのが大きいのだろうが、地表水、地下水、水文状態の各課題に対応し、1つの目標に絞っていないことも費用効果分析が広まっていない一因であろう。

費用効果分析の定量的アプローチと定性的アプローチについて、van Engelen et al. (2008)が比較検討を行っている。定量的アプローチは、分析の透明性が高く、わかりやすいため、結果に対する納得が得られやすいが、費用と効果が定量化できる分野に限られ、効果が複数あるときの順序づけやウェイト付けが課題であるとしている。また、定性的アプローチは、専門家による質的比較ができれば時間もかからないので実用的ではあるが、結果の透明性では劣るとしている。

このように、定量的な分析と定性的な分析はそれぞれ一長一短あり、各国はそれぞれの国の実状を踏まえて模索をしている状況にある。今後もこうした試みがしばらく続くであろう。

1.2.5 農業部門の対策費用の推計

費用効果分析に関連して、ドイツで行われた、農業部門の対策費用を推計したプロジェクト研究を2つ紹介する。

(1) WAgriCo プロジェクト

WAgriCo(農業と協力した水資源管理)プロジェクトは、2005年から2008年まで実施された、農業から水環境への負荷削減の実証プロジェクトである。これはEUの環境・自然保護に関する補助事業であるLIFEプログラムの補助を受け、イギリス(イングランド南部)とドイツのニーダーザクセン州で行われた。同州では3か所のパイロット地区において、州の諸機関とドイツ連邦食料・農業・消費者保護省のフォン・チューネン研究所(vTI)ほかの研究機関が50の農場と協力して14種類の対策の開発と評価を行った。検討した対策の費用と効果は表1-1のとおりである。

この表の最後にある「窒素利用効率の改善」は、このプロジェクトで新たに提案されている政策手法である。それ以外のものは、「行動志向型」手法とされている。つまり、政府が農業者に対して特定の対策を導入することを条件に一定額を支払う。これに対して、「結果志向型」の手法は、窒素利用率などの特定の指標を用いて、その達成度に応じて助成金を支払うという仕組みである。この仕組みにおいて、具体的にどのような削減手法を導入するかは農業者の裁量である。したがって、特定の対策の導入を求める行動志向型の対策に比べて費用効率性が高くなることが期待できる。このプロジェクトでは指標として農場単位の窒素収支が採用された。ただし、研究期間内には結果志向型手法の分析は十分にできなかったとしている。

表1.5 WAgriCo プロジェクト： 対策ごとの支払額、窒素削減量および費用効率

対策	支払額 €/ha	窒素収支削減量 (平均・kgN/ha)	費用効率 (平均・€/kgN)
キヤッチクロップ：耐寒性植物を含むこと、 耕起を遅らせること	120	20	6
キヤッチクロップ	80	20	4
3年間の休閑とカバークロップ	120	60	2
夏作前のライ麦・ライ小麦の自生(落粒育成)	30	10	1.5
トウモロコシ・ビート収穫後の不耕起	25	5	5
収穫後の糞尿施用の制限	15	15	1
糞尿施用方法の改善	25-35	15	1.7-2.3
トウモロコシの畝間の縮小	40	10	4
穀物作でのアンモニウム基剤液肥の インジェクション施用	35	10	3.5
冬期作の穀物とジャガイモにおける stabilised 化学肥料の施用	25	25	2.5
トウモロコシの根元へのキヤッチクロップ	125	10	
冬期作穀物の前の菜の花栽培 (キヤッチクロップとしての)	60	10	
冬期作穀物の前あるいは夏期作の後の 菜の花の自生(落粒育成)	40	15-20	2-2.7
窒素利用効率の改善	0-40	0-33.3	1.2

出典：Ostenburg, Bernhard, Thomas Schmidt and Tania Runge (2008)

なお、このプロジェクトを踏まえ、ニーダーザクセン州では農業環境支払いに 3 つの対策が新たに対象に加わり、流域管理計画にもプロジェクトの結果が反映されたという。

(2) AGRUM Weser プロジェクト

フォン・チューネン研究所を中心とする研究グループは、3 つのモデルの統合モデルを用いて、ヴェーザー川流域における農業部門の個別の環境保全行為の実行可能性を検討し、EU 水枠組み指令の目標を達成するために必要な費用を推計した(Kreins et al., 2009)。この地域では農地からの窒素排出が問題となっており、研究はそこに焦点を当てている。水枠組み指令の目標は、地下水で硝酸態窒素濃度 50mg/l、地表水で窒素濃度 3mg/l である。

ヴェーザー川は長さ 430km、流域面積が 4 万 9000 平方 km で、ニーダーザクセン、ヘッセン、ノルトライン・ヴェストファーレン、チューリンゲン、ザクセン・アンハルト、ブレーメン、バイエルンの各州に広がっている。流域の 55% が農業的土地利用である。この流域を対象に選んだのは、水質が問題となっていること、水文条件や土地利用が多岐にわたっており、他の地域にとっても参考になること、唯一の国内河川であること、などの理由からであった。政策による農業生産の変化と窒素負荷量の変化は農業経済モデル RAUMIS、地下水の窒素の動態は GROWA/WEKU モデル、各排出源の窒素負荷量と流域の水質との関係は MONERIS、という 3 つのモデルをつなげることによって上記の分析を行っている。

ベースライン・シナリオでは、2003 年から 2015 年にかけて流域の地下水の硝酸態窒素濃度は平均で 40mg/l から 30mg/l に低下するが、50mg/l を超える地域がかなりある。したがって地域によってベースラインから削減すべき窒素排出量は異なるが、流域全体では年間 2 万 3000 トンの削減が必要であり、これは余剰窒素量（農地への窒素投入量と植物による吸収量との差）の 19% に相当する。

地下水と地表水の目標を達成するために追加的に必要な対策を以下のような手順で試算した。まず、既存研究で分析されている 45 の対策の中から、削減可能量の多さや費用効率性の高さ、農業者の受容度の高さなどの観点から 8 つの対策を取り上げた(River Basin Commission Weser, 2009)。このうち、有機農業への転換は容易にはできないと考え、その他の対策では目標と達成できない場合に導入することとした。つぎに、各地域でそれぞれの対策を可能な限り導入した場合に削減される余剰窒素量を計算した。この削減量が必要量を上回っているときには各対策の導入割合が等しくなるように配分し、必要量を下回っているときには不足分を有機農業への転換で補うことにした。それぞれの対策の必要導入量と費用は表 1-2 のようになった。全体で追加的に 9400 万ユーロが必要という結果になった。なお、この費用は農業環境政策として農業者に支払う金額である。農業者への普及・指導などの費用を考慮すると 25% 増になるという。

ただし、このプロジェクトの最終結果が出る前に流域管理計画の素案を策定しなければならなかつたため、このプロジェクトの研究成果の一部しか流域管理計画には反映されていないという。

表 1.6 AGRUM-Weser プロジェクト：対策ごとの効果、費用および総費用

対 策	削減効果	費 用	総費用	1,000 €	
	kgN/ha	€/ha	€/kgN	地下水目標	地表水目標
キヤッチクロップの栽培	20	80	4	27,970	7,670
冬の菜の花栽培	10	60	6	13,220	3,520
粗放的作物の導入	40	70	1.8	8,450	2,280
草地の粗放化	30	100	3.3	2,950	790
穀物への化学肥料の低減	30	80	2.7	1,540	40
糞尿散布方法の改善	15	30	1	5,280	2,160
収穫後の糞尿散布の禁止	15	15	1	660	760
有機農業への転換	60	170	2.8	14,050	2,710
合 計				74,110	19,940

出典: River Basin Commission Weser (2009)

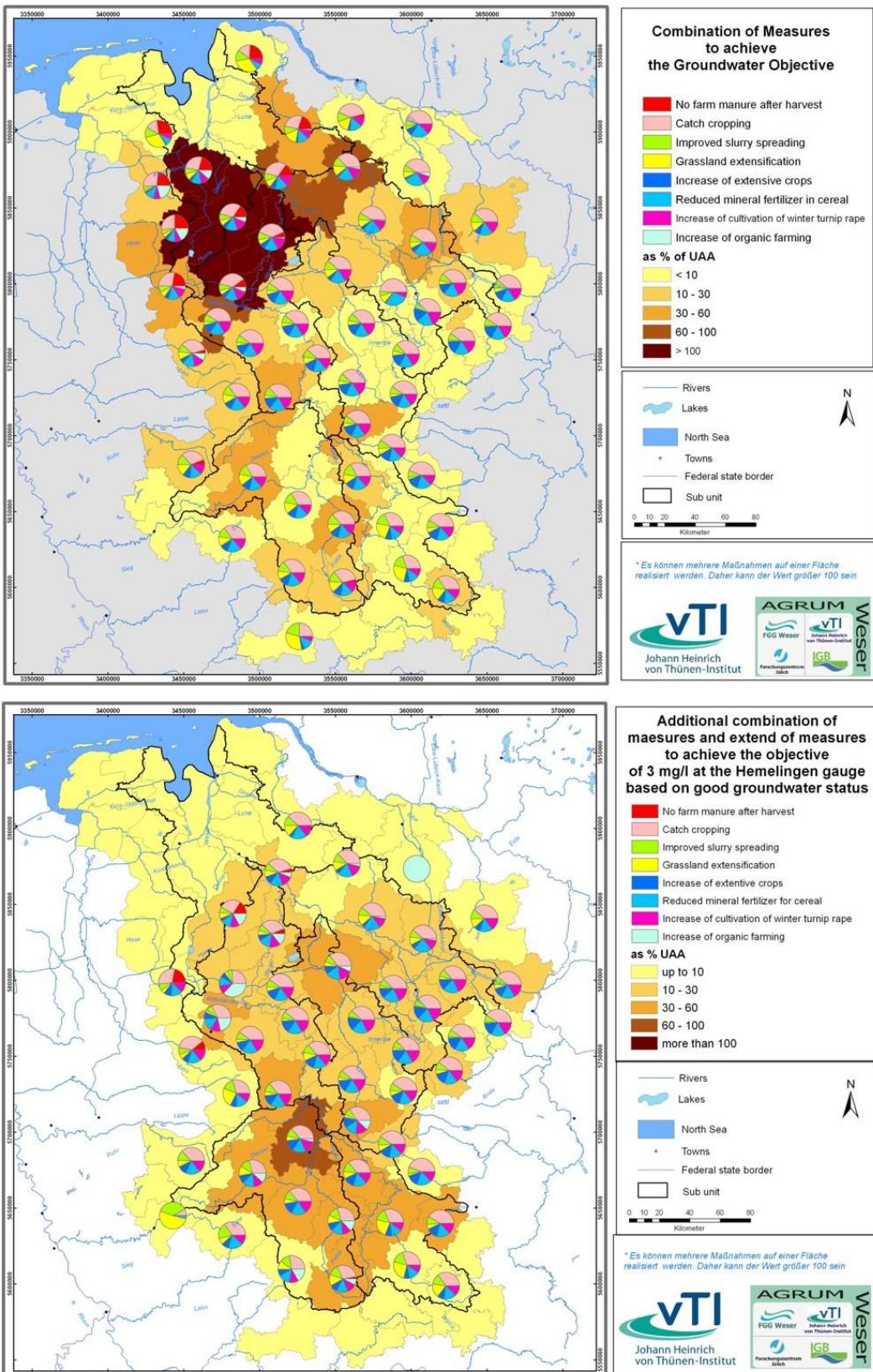


図 1.7 AGRUM Weser プロジェクト：対策の必要導入量

注：地下水の目標達成必要量（上）と地表水の目標達成必要量（下）

1.3 結論

海外の事例分析では、水分野における経済的手法の導入事例について、水質取引を中心とし調査した。また、費用対効果の高い環境対策のあり方に関連して、EUの水枠組み指令の実施における費用効果分析の適用状況を調査した。

水質取引の事例から得られるわが国への示唆については、1.1.3の最後に述べたとおりである。繰り返せば、まず排出量取引制度の導入に向けては汚濁負荷の把握が必要であり、モニタリングの充実を図ることが重要である。EUの水枠組み指令で加盟国に最初に求められたのもモニタリング体制の整備であった。つぎに、水質取引制度の計画に際しては環境、下水道、農業の各部門の協働と連携が重要である。制度設計に関しては、すでに始まっている農業者などへの環境支払いの枠組みをうまく利用することができれば、あまり時間をかけずに導入が可能であろう。さらに、水質取引は制度の要となる組織が重要である。市町村と県または農協の普及指導部門との有機的連携が求められる。さいごに、水質取引の導入を検討すること自体が、統合的流域管理に資するということを指摘できる。

費用効果分析に関しては、わが国でも早急に取り組むべきである。

欧州における水環境政策の費用効果分析は、現時点では試行錯誤の状態である。しかし、注意すべきことは、費用効果分析を含む経済分析の実施がEU指令に明記されていることである。これまでの環境分野の指令、特に硝酸塩指令の実施過程をみると、指令に記されていることは、期限が守られないことが多いが、実施が必ず求められている。

水枠組み指令では、経済分析の実施と流域管理計画の策定はこのあと2回ずつ求められる。次回の経済分析は2013年中に終えるべきこととされており、2015年の第一期計画の終了までには次期の流域管理計画を策定しなければならない。2回目はより精緻な分析が求められる。こうしたステップを踏んでいくことで、費用効果分析の知見が確実に増えていくであろう。

わが国では水環境分野での費用効果分析は、まだ始まっていないといってよいであろう。欧州で手法が確立されるのを待って、それを導入すればよい、というわけにはいかない。環境の状況が異なり、また評価にはデータの整備が前提となるからである。いまから費用効果分析の経験を蓄積していくことが必要である。

欧州での費用効果分析の適用が一般化していくば、OECD(経済開発協力機構)でこれを導入する動きが出てくるであろう。そのとき日本で取り組んでいなければ、枠組みづくりに参加できなくなってしまう。対応が必要であるとする所以である。

2. 本論2. 国内の事例分析

2.1 はじめに

本プロジェクトにおいて検討する主要な政策の1つである水質取引では、点源-点源、点源-面源、面源-面源など、さまざまな汚染主体間の取引が想定される。特に本プロジェクトのように湖沼流域環境の改善を図る上では面源、中でも農業由来の面源汚染を取引枠組みにいかに取り込むかは、実効性の高い制度を設計する上で重要な課題といえる。

水質取引がどのような形態を取るにせよ、面源汚染の主体として農家が取引に参入する場合、汚染物質（窒素、リンなど）の排出削減には低農薬・低肥料の農法をはじめとする、環境保全型農業の採択が現実的なオプションとして考えられる。そのため国内すでに実施されている環境保全型農業の普及に向けた制度・政策事例を整理・分析することは、本プロジェクトにおいて具体的な政策議論を深める上で欠かせない案件といえる。

そこで本研究では、国内の環境保全型農業普促進に向けた取り組みとして、滋賀県で実施されている「環境直接支払制度」および「魚のゆりかご水田プロジェクト事業」を中心に事例分析を実施した。また、これらの取り組みについての現状をより詳細に把握するため、琵琶湖南東部に位置する家棟川流域を対象にして現地調査を複数回実施した。以下、本節ではまず滋賀県における1970年代以降の水環境と農業環境政策について概観し、続いて第3節では現在実施されている滋賀県の環境保全型農業の動向について個別に分析する。最後に第4節では家棟川流域（滋賀県野洲市）の現地調査について、その概要と結果を述べる。

2.2 1970～1990年代の水環境と農業環境政策

滋賀県では平成13年に「環境こだわり農業認証制度」が始まる20年以上前から水環境政策が実施されてきた。その大きな起点の1つとなったのは、昭和52年に観測された琵琶湖における大規模な赤潮の発生といえる。その改善に向けて合成洗剤に代わり粉せっけんの使用を推進する運動が広がり、行政機関と県民との協力組織にまで発展した¹。

この運動を受け、滋賀県は昭和54年に「琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例（琵琶湖条例）」を制定した²。この条例では工業排水の規制項目に富栄養化の原因となる窒素とリンが盛り込まれ、また窒素とリンを含む家庭用合成洗剤の販売・贈答・使用が禁止された。

農業に対しては、同条例の農業の適正使用等（第21条）、家畜の糞尿の適正処理（第22

¹阿部泰隆、中村正久『湖の環境と法』、信山社、1997.07.20

²滋賀県「琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例（昭和54年10月17日条例第37号）」『県例規集』、<http://www.pref.shiga.jp/jourei/reisys/354901010037000000MH/354901010037000000MH/354901010037000000MH.html>

条) が規定されているが、これらは努力義務である。これにより窒素の流入負荷量が 2 万 1,786kg/日 (当初試算 2 万 1,981kg/日)、リンが 1,501kg/日 (当初試算 1,876kg/日) と、当初の目標を超える削減効果が得られた。

表 2.1 1999 年までの水環境規制

分類	年	法律・条例
産業系	1970	水質汚濁防止法
	1972	水質汚濁防止法上乗せ条例 (法律より 2~10 倍厳しい基準を設定)
	1972	公害防止条例
	1979	富栄養化防止条例
	1996	水質汚濁防止法上乗せ条例などの改正 (排水基準が適用される工場などを日平均排水量 10m ³ 以上まで裾下げ)
家庭系	1990	水質汚濁防止法改正
	1979	富栄養化防止条例 (リンを含む家庭用合成洗剤の使用禁止など)
	1991	県内全域を生活排水対策重点地域に指定
	1996	生活排水対策の推進に関する条例 (合併処理浄化槽の設置義務付け)
畜産・水産	1972	水質汚濁防止法上乗せ条例による排水規制
農用地	-	-

出所：平成 22 年度版滋賀県環境白書

昭和 55 年には「琵琶湖 ABC 作戦」により、下水道の整備、窒素・リン除去のための高度処理の実施、土地利用対策などを打ち出した³。農業についても、肥料の適正使用等環境と調和した「クリーン＆リサイクリング農業」を同県農林部が公表し、前年の琵琶湖条例の解釈と、農林水産業における対策の具体的なあり方を示した。中でも水田排水に関しては、12 項目にわたる琵琶湖富栄養化防止要綱のうち、「正しい施肥方法」、「良い土づくり」、「正しい水管理」の 3 項目が柱となっている。

農林業分野は富栄養化防止対策内でも未だ努力義務とされていたが、啓蒙普及活動によ

³環境省「第三章第一節 4 閉鎖性水域の汚濁対策」『昭和 57 年環境白書』

って施肥の改善が進められた。昭和 57 年には全国に先駆けて国定の新施肥基準（例えば窒素の施肥量計が 12kg であったものを計 10kg にするなど）の普及に乗り出し、追肥重点施肥の実施面積率を 15.2% から、昭和 62 年には 73.6% にまで定着させた⁴。

昭和 61 年には、前年に国の湖沼法において琵琶湖が指定湖沼になったことを受け、京都府と共同で湖沼水質保全計画の策定を始めた。平成 3~7 年を対象とした第 2 次計画からは、琵琶湖の窒素・リンなどの環境基準値を定め、以来 5 年ごとに改定している（リン濃度の基準値は南湖のみ）⁵。

その後も地域の特性を反映し、土地利用方法、社会活動にまで踏み込んだ環境計画である「湖国環境プラン」（昭和 62 年）⁶や、国の水質汚濁防止法を受けた県内全域の「生活排水対策重点地域」指定（平成 3 年）⁷、農村地域の水質・生態系保全を目的とした「みずすまし構想」（平成 7 年）⁸など、次々と独自の環境政策を打ち出してきた（表 2.1 1999 年までの水環境規制）にも示しているとおり、産業系や家庭系の規制が強化され、また 1990 年度末には上下水道の普及率も全国平均に追い付くなど、点源汚染への規制・対策は全国的にみても進んだものとなった。

しかし、琵琶湖の水質の変化を長期的にみると、必ずしも改善に繋がっていない（図 2.1）。リンは南湖において大きな改善傾向があったが、1990 年代後半に入ると環境目標に達しない水準で横ばいになっている。窒素は一時期減少したが、その後悪化傾向になり、環境目標値を上回っている。COD に関しては、同じ有機量を示す BOD が改善している一方で、1980 年代後半から悪化傾向にある⁹。こうした中、工業や家庭からの点源汚染だけでなく、面源汚染対策すなわち農業分野での対策強化が求められるようになった。

⁴梶井功、他『戦後日本の食料・農業・農村第 9 卷／農業と環境』、農林統計協会、2005、pp.380-385

⁵琵琶湖・淀川水質保全機構、前掲書、p. 124, 125

⁶阿部、他、前掲書、1997、pp.122-124

⁷滋賀県『滋賀の環境 2010（平成 22 年版環境白書）』、2010、p.40,
<http://www.pref.shiga.jp/biwako/koai/hakusyo22/honpen/2-6.pdf>

⁸滋賀県農村振興課、「みずすまし構想」,
<http://www.pref.shiga.jp/g/noson/mizusumashi/mizusumashi.html>

⁹ BOD と COD のかい離については、BOD では検出されない難分解性有機物の増加が原因として推測されている（滋賀県『琵琶湖ハンドブック』、p.174）。

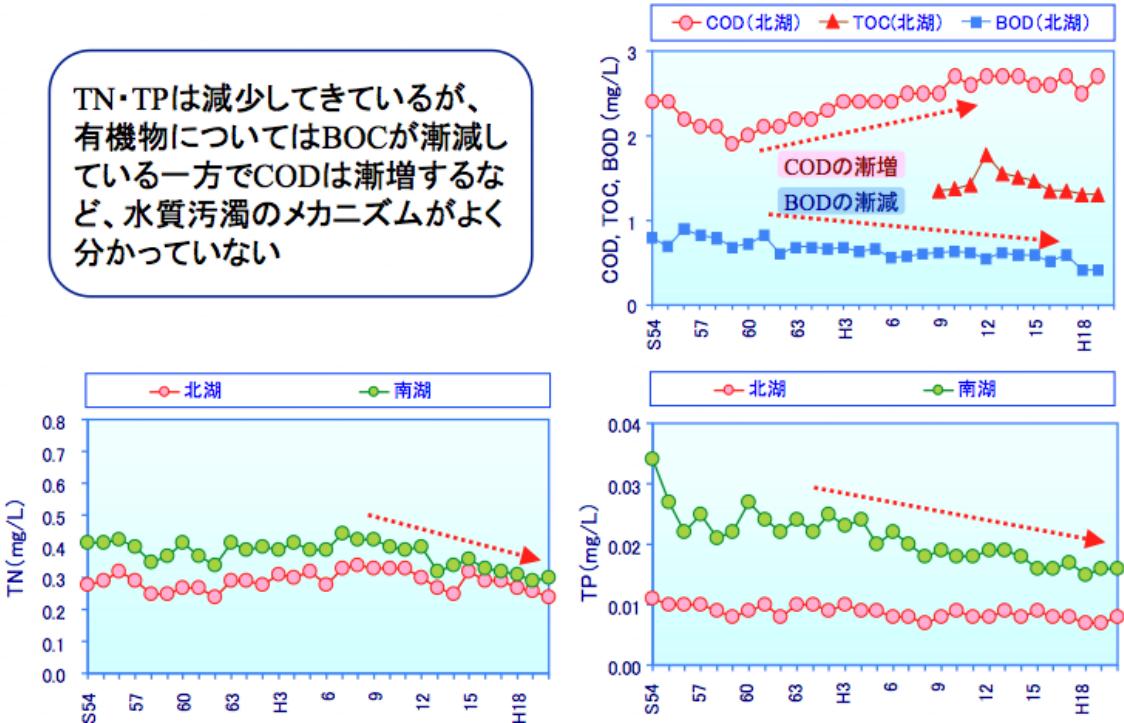


図 2.1 琵琶湖における水質の推移（昭和 54～平成 18 年）

出所：佐藤（2010）「琵琶湖とその流域の水量・水質を再現する」

滋賀大学環境総合研究センター公開研究会報告資料

2.4 滋賀県内の環境保全型農業に向けた取り組み

（1）環境直接支払制度

環境直接支払制度実施に至る背景：環境こだわり認証

前述のように、農業分野には水質保全対策が強制されていなかったが、昭和 50 年代には啓蒙普及活動によって施肥量の削減に成功している。しかしながらこの成功は、施肥量を新基準にまで減らし、適切な施肥方法の実践によってむしろ収穫量が増え、農家の収入増加につながったことも要因として大きく、農家の任意・自助努力による一層の削減は難しかった。そこで平成 13 年度から、農家にとって経済的インセンティブとなる「環境こだわり認証制度」が導入された。

「環境こだわり農産物」とは、（1）化学肥料・化学合成農薬の使用量を慣行の 5 割以下（特例では 7 割以下）に削減し、かつ（2）環境配慮技術（湖・周辺環境への負荷削減、生態系保全・景観形成）を実施して栽培された農産物を指す。従ってこれら 2 つが県による「環境こだわり農産物」認証の要件となり、かつ平成 16 年度からの直接支払いの要件ともなっている。

表 2.2 および表 2.3 に一部具体例を示したが、化学合成農薬・化学肥料の使用量に関しては、計 23 作物 30 作型の「通常の使用量」が調査された上で、5 割削減の相当量が規定されている。環境配慮技術は、「琵琶湖・河川への濁水、窒素、リンの流出防止」、「周辺環境に配慮した病害虫雑草防除」、「農業用使用済みプラスティック対策」の 3 区分にわたり、13 の技術が提示された。

この認証によって農産物の付加価値を上げ、環境配慮活動という外部効果の創出を反映させることを一つの狙いとしていたが、消費者が支払い意思を示さなければその効果は得られない¹⁰。そのため、環境こだわり農業の普及に向けた新たな施策として、同県は 2003 年に環境こだわり農業推進条例を制定し、環境こだわり農業を実施する農家に対して経済的助成、その他の支援を行えることを示した。

表 2.2 化学肥料・農薬使用量の上限値

農作物名	水稻	麦	大豆	人参	もも	茶	輪菊
化学合成農薬の述べ使用成分数	7	3	5	4	11	8	16
化学肥料の窒素成分量(kg/10a)	4	6	1	12	6	27	15

表 2.3 環境保全技術と環境こだわり農産物認証シール

水稻	必須項目	水田からの濁水の流出防止
		周辺環境に配慮した農薬の使用
選択項目 (2 技術以上)		水田ハローの使用、緩効性肥料の施用、水田を活用した生物生息環境の保全、など
水稻以外	必須項目	周辺環境に配慮した農薬の使用
		養液栽培における廃液の適正処理
	選択項目 (1 技術以上)	緩効性肥料の施用、土壌診断に基づくリン酸資材の施用、生き物調査や子どもたちとの交流の場の提供、など



出所：滋賀県農業経営課

¹⁰梶井功, 他, 前掲書, p.393

(2) 平成 16~18 年度の動向

平成 15 年の推進条例制定の翌年から始まった環境直接支払いでは、(3) 堆肥の他の有機質資材の適正使用と、(4) 知事との協定の二点が、環境こだわり認証制度の要件に付け加えられた。

家畜糞尿などの有機肥料については何ら制限がなく、過剰使用が懸念されていた。有機肥料とはいって、微生物の分解能力を超えた量が流出すれば水質の富栄養化の原因となる。それを防ぐために(3)の要件が導入され、牛、豚、鶏、堆肥、稻わらといった有機資材の施肥基準が 6 作物 20 土壌別に定められた。

(4) 知事との協定は、推進条例の第 23 条～第 24 条に定められている。環境こだわり農業により直接支払いを受けようとする農業者は、知事と 5 年の期間で環境こだわり農業を実践する旨の協定を、県知事との間で締結する。この協定が守られた場合にのみ、直接支払いが交付されるという仕組みである¹¹。

表 2.4 環境直接支払いの交付単価（円/10a、平成 16~18 年度）

		化学合成農薬・化学肥料使用量	
単価設定区分		慣行の 5 割以下	慣行の 7 割以下
水稻	3ha 以下	5,000	1,000
	3ha 超過分	2,500	500
野菜	施設栽培	30,000	6,000
	露地など	5,000	1,000
果物	ぶどう、もも、なし、いちじく	30,000	6,000
	梅、柿、栗、ブルーベリー	10,000	2,000
茶		10,000	2,000
なたね		2,000	-

(出典)滋賀県農政水産課

表 2.4 環境直接支払いの交付単価（円/10a、平成 16~18 年度）は直接支払いの交付単価である。これらの単価は農業改良普及センターなどによる農家への聞き取り調査やアンケートにより算出された、環境こだわり農業実践による経営収支の差を基にしている。例

¹¹滋賀県農政水産課農産ブランド推進室提供資料

えば水稻については、収穫量は4.2%減少するが、販売価格が4.7%上昇するため、粗収益の差はないものとされた。生産費の差は、肥料費差、化学合成農薬費差、生物等農薬費差、生産資材費差と労働費差を合わせて、5,228円/aとなった。この差を参考に、水稻（3ha以下）の単価5,000円/10aが設定された¹²。

（3）平成19～22年度の動向

（1）要件

知事との協定期間である5年を経るより前のH19年度に、農林水産省が「農地・水・環境保全向上対策」の本格実施の一部として、化学合成農薬や化学肥料の大幅低減などの環境保全型農業に対して、環境直接支払いを開始した。同時に滋賀県は国の環境直接支払い政策へと移行した。国の環境直接支払いは、化学合成農薬・化学肥料の5割削減などの農業活動を対象としている点においては、滋賀県の環境直接支払いと同様である。

しかし要件などの制度の構造は、滋賀県の制度とは大きく異なる。その最たる違いは、1階部分の「共同活動支援」と2階部分の「営農活動支援」からなる構造に表れている。「共同活動」とは地域・集落ぐるみで農地や農業用水路、水質などを保全する活動を指す。一方で「営農活動」とは、化学合成農薬・化学肥料の5割削減という農業環境活動の部分である。

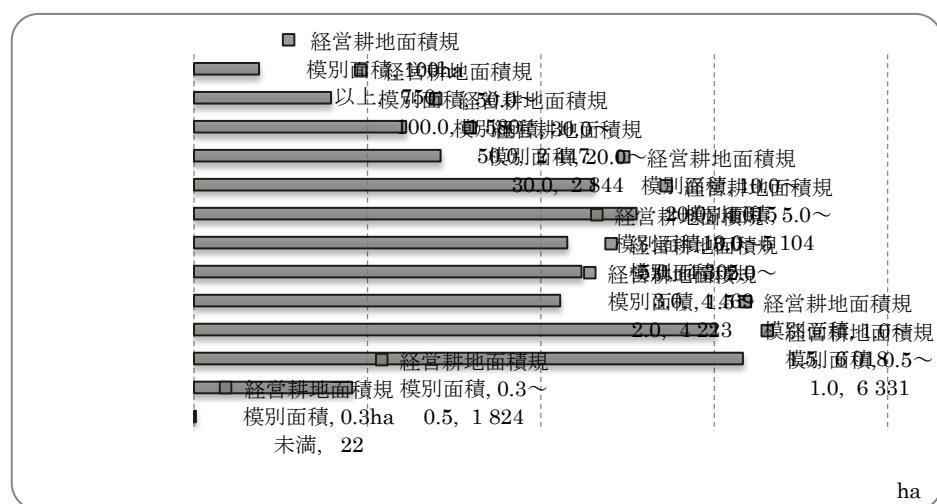
農水省では以前から「共同活動支援」としてこの部分を経済的助成の対象としてきたが、今回環境支払いを実施するに際し、「共同活動支援」の対象となった上で、「営農活動」を行った場合にのみ交付金を支払うこととした。換言すると、1階部分の「共同活動」の要件を満たさない場合は、2階部分の「営農活動」の要件を満たしても、交付の対象外となる。その上、「営農活動」の支援対象となる以前に満たさなければならない要件は、「共同活動」以外にもある。それらは（1）地域生産者の8割以上が環境負荷低減活動を実践する、（2）化学合成農薬・化学肥料の削減に関して、作物ごとの場合は地域生産者の約5割以上が実践する、もしくは作物全体の場合は地域の作付面積の2割以上かつ生産者の3割以上が実践する（「まとまり要件」）、（3）国のエコファーマー認定を受ける、の3点である。

国の制度の特徴は、「共同活動」や（1）の環境負荷低減活動、加えて「営農活動」に強く関係する（2）の「まとまり要件」のように、農家個人の農業環境活動を要件とするのではなく集団として要件を科しているところにある。まとまりを持たせることのメリットは、例えば「共同活動」の草刈りなど、地域で協力して行うことにより広範囲で確実に行われる点、農薬・化学肥料の流出という面減汚染の対策としてより高い環境改善が見込まれる

¹²滋賀県農政水産課「経営収支調査結果概要」

点が上げられる。

実際にはこの制度の実施によるデメリットも大きかった。県内の農業は経営耕地面積の規模が3ha未満の小規模・零細農家が半分を占め（図2.2 規模別経営耕地面積），農外の所得が農業所得を上回る準主業農家¹³，副業的農家¹⁴の割合も，近畿地方全体と比較しても多い（図2.3 規模別経営体数）。すなわち，地域内での「共同活動」の際に，より多くの農家・住民との間で，また土地から離れなければならない時間の多い農家との間で合意・協力に至る必要があり，高いハードルとなることが懸念された¹⁵。



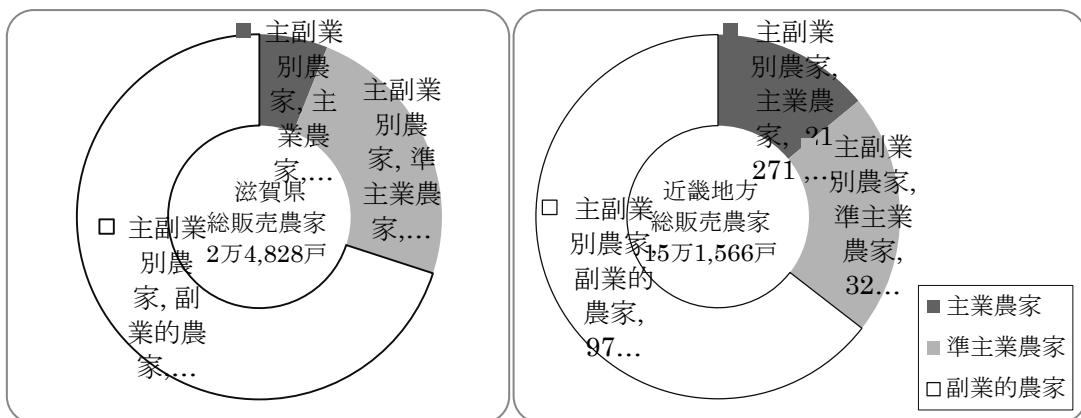


図 2.3 規模別経営体数

出所：世界農林業センサス 2010¹⁶

(2) 交付単価と財源

表 2.5 平成 19 年度からの支援単価 (円/10a) に示すように、交付単価に関しても若干の変化があった。滋賀県の事例を参考にしたこともあり、水稻の交付単価は滋賀県制度より 1,000 円/10a の増額となった。さらに滋賀県では交付の対象外であった麦、大豆、花きが盛り込まれ、果物・茶は 12,000 円/10a の一律の水準になった。しかし、例えば滋賀県でのなしの栽培には各果実にネットをかける方法が採られており、通常の栽培よりコストがかかるが、一律化されたことでその差が反映されなかつたため、同作物の栽培農家の不満が大きかった¹⁷。

国の制度下では、環境直接支払いのうち 75%を国が、残りの 25%を各都道府県が支出する。「まとまり要件」など、県内農家にとって制限の多くなる国の制度に移行した背景には、県の財政的理由があったことは否定できない。平成 20 年度の収支不足額は平成 19 年度ベースで約 400 億円に上り¹⁸、平成 19 年に知事は一般財源のうち裁量のある 350 億円の 8 割カットを指示した¹⁹。国の制度に移行した場合、環境直接支払いのうち 3/4 が国の財源から支出されるため、県の財政負担の軽減に繋がる。次節で述べるとおり制度移行後も環境こだわり農業は順調に増加したが、図 2.4 が示すように県の支出は抑えられた。

¹⁶農林水産省『世界農林業センサス』、<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/about/2010.html>

¹⁷滋賀県農政水産課聴き取り（平成 22 年 8 月 5 日実施）

¹⁸京都新聞（平成 19 年 12 月 22 日）

¹⁹滋賀県知事会見（平成 19 年 8 月 6 日）、<http://www.pref.shiga.jp/chiji/kaiken/files/20070806.html>

表 2.5 平成 19 年度からの支援単価 (円/10a)

単価設定区分		国制度の支援単価 (平成 19 年度～)	県制度の支援単価 (～平成 19 年度)
水稻		6,000	5,000
麦・大豆		3,000	-
野菜	いも・根菜類	6,000	(施設) 30,000 (露地) 5,000
	葉茎菜類	10,000	
	果菜類・果実的野菜	18,000	
	施設(トマト, なす, きゅうり, ピーマン, いちご)	40,000	
果樹	ぶどう, もも, なし, いちじく	12,000	30,000
	うめ, かき, くり, ブルーベリー		10,000
茶			10,000
花き		10,000	-
その他(小豆, そば, はとむぎ, 飼料作物など)		3,000	2,000

(出典) 滋賀県農政水産課

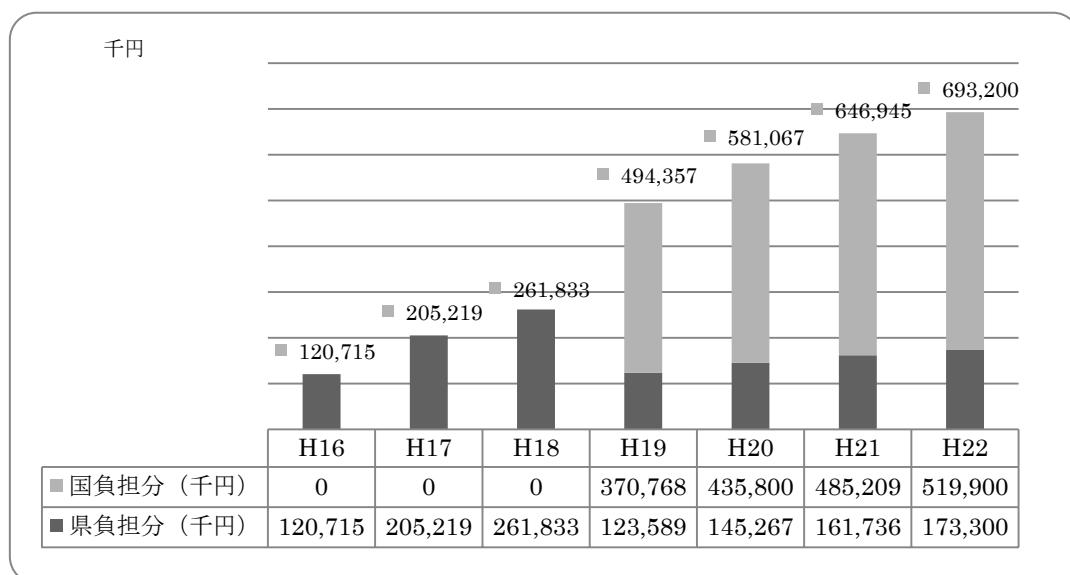


図 2.4 滋賀県の交付額推移 (千円)

出所：滋賀県農政水産課

(3) 普及

県による認証制度開始の平成 13 年度は、環境こだわり農業の実施面積は 400ha に満たなかったが、環境直接支払いが始まった平成 16 年度から年 1,000~2,000ha のペースで増加していた（図 2.5）。その中で平成 19 年度から始まった国の制度ではまとまり要件を初めとした様々な要件が科せられたが、実施面積を大幅に広げている。

平成 19 年度の実施面積の 86%を占める水稻は、平成 18 年度までに環境こだわり農業を実践していた水田の 90%が国の制度に移行可能であったが²⁰、この間の伸びを見ると、国の要件を満たすことのできる農家・経営耕地が多かったと考えられる。水稻はその後も拡大を続け、平成 21 年度には県水田総面積の 30%を占めるまで普及した（表 2.6）。

なお、県によると、麦と大豆に関しては、県の施策では認証の対象にはなっていたが支払いの対象ではなかったため、国の施策に移行して支払いが開始されたことで登録農業者が増えたのであり、実際は環境こだわり農業実施面積はほとんど増加していない。

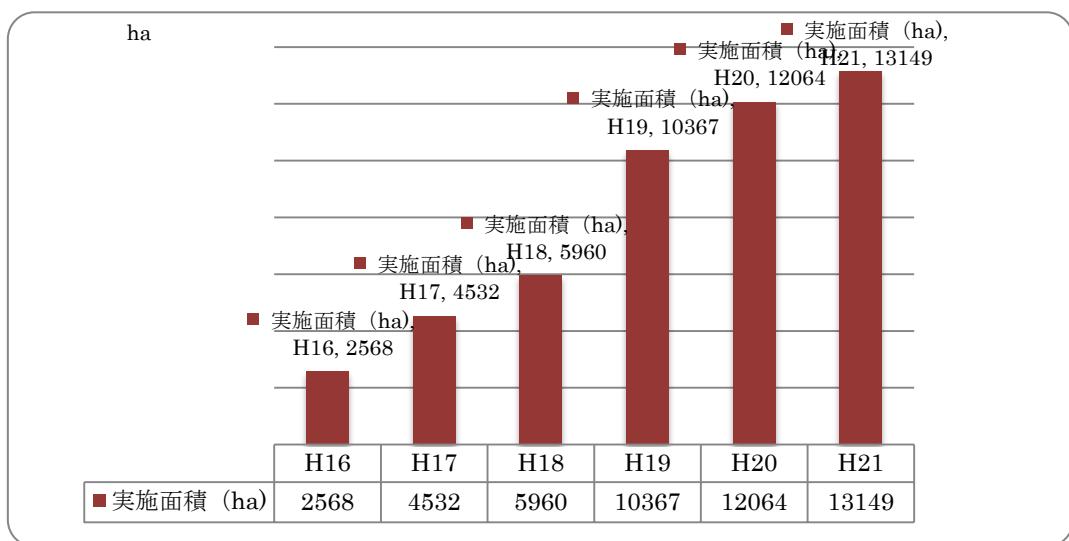


図 2.5 環境こだわり農業の実施面積推移（平成 16~21 年度）

²⁰滋賀県農政水産課聴き取り（平成 22 年 8 月 5 日実施）

表 2.6 環境こだわり農業実施面積内訳

年 度	面積	内訳						
		合計	水稻	麦	大豆	野菜	果樹	茶
H13	393.7	383.5		0.9	9.3			
H14	664.7	552	0.1	19.2	78.6	13.5	1.2	
H15	1,224.80	970.2	0.2	66.4	157.2	24	6.8	
H16	2,568.10	2,281.80	0.2	14.1	195.3	54.8	19.8	2
H17	4,532.00	4,154.70	0.2	16.8	252.3	69.3	23.3	15.4
H18	5,960.20	5,512.30	0	27.4	309	70.8	26.8	13.8
H19	10,367.30	8,893.10	9.8	830.4	353.8	81.4	25.5	173.3
H20	12,063.70	10,117.00	27.8	1237	358.7	103.9	29.7	189.8
H21	13,148.80	10,961.40	25.9	1533.2	289.7	103.3	19.7	215.6

出所：滋賀県農政水産課

平成 23 年度以降の見通し

上記のように環境保全型農業が普及してきた平成 20 年 8 月、平成 23 年度農林水産省概算要求とともに、環境直接支払いの見直しが公表された。見直しのポイントとして、①「共同活動」との切り離し、②国と地方の負担割合の変更 (3 : 1 ⇒ 1 : 1)、③支払い対象となる「営農活動」の変更が挙げられるが、特に③に注目しておきたい。

平成 23 年度からの対象農業活動は、「化学肥料・農薬を原則 5 割以上低減する農業者が行う、地球温暖化防止、生物多様性保全に効果の高い営農活動」²¹とされた。すなわち、化学肥料・農薬の削減は支払い対象外となったのである。具体的な営農活動は、

- a) カバークロップ：農地を植物で覆って土作りをする
- b) 大豆栽培におけるリビングマルチや果樹栽培における早生栽培など
- c) 冬期における水田の湛水
- d) 有機農業

と定めており、いずれか一つを実践することが支払いの要件となる。

しかし、a)は調整が難しくコメの味が落ちる恐れもあり、また c)も土の表面を柔らかくし田植機の利用を困難にするなど²²、いずれも非常に水準の高い環境農業である。そのため県

²¹農林水産省生産局農業環境対策課『平成 23 年度概算要求の概要』

http://www.maff.go.jp/seisan/kankyo/hozen_type/pdf/23pr.pdf

²²滋賀県農業関係者聴き取り（平成 22 年 10 月 28・29 日実施）

内でもほとんど導入事例がなく、交付単価が 8,000 円/10a と経済的インセンティブは高いものの、新制度に適応できる農地は県内のわずか 1.3%に限られている²³。滋賀県の環境こだわり農業は「琵琶湖等の環境を保全すること」が目的であるため²⁴、いかに農家に広く浸透させるかを目指しているのに対し、国の新制度ではトップランナーを目指す内容となっているため、そもそものねらいが乖離しているという問題もある²⁵。

そこで滋賀県では、温暖化防止や生物多様性保全につながる 8 項目について国の支援を申請した。しかしながら、平成 23 年 12 月下旬になって国から回答があり、6,600ha 分を見込んでいた緩効性肥料の取り組みが支援対象から外れた。緩効性肥料は温室効果ガスの排出抑制につながり、農家への補助は国と県、市町で 10a 当たり 4,000 円を想定していた。滋賀県では独自に 2,000 円の補助を表明した上で、市町とも相談し、計 3,000 円の支援ができないか検討している²⁶。経済的なインセンティブを維持しつつ、適応範囲をいかに広げていくか、両者のバランスが取れた制度作りが今後の課題といえる。

2.5 魚のゆりかご水田プロジェクト事業

魚のゆりかご水田プロジェクト事業は平成 13 年度に滋賀県により始められた環境保全型農業を促進する取り組みであり、琵琶湖から魚類が遡上できる排水路にすることにより、田んぼを昔ながらの「魚のゆりかご」に戻し、生態系の再生を目指すことが主な目的である。その背景には圃場整備などにより産卵・成長の場を失ったニゴロブナをはじめとする在来魚が、外来魚の影響なども合わさって急速にその数を減らしていることや、用排分離による農業由来の面源汚染の深刻度が増していることなどが挙げられる。

またプロジェクト実施に先立ち魚類の繁殖能力を調査したところ、水田がきわめて優れた繁殖場であることが確認され、慣行水田（慣行栽培による水田）にニゴロブナの親魚を放流したところ、比較的高い生残率（稚魚数／産卵数）が認められた。そのためニゴロブナが水田に遡上できる仕組みとして、「水田魚道排水柵」が開発されたが、降雨によるまとまった水量がないと親魚の遡上は見られないという問題が残った。そこで平成 16-17 年度には水田魚道排水柵を改良した排水路堰上げ式水田魚道が開発された。県内の間伐材を利用した同魚道を設置した結果、在来魚が多数遡上し、水田でのニゴロブナの繁殖が確認された²⁷。

²³京都新聞、平成 22 年 11 月 2 日、<http://www.kyoto-np.co.jp/politics/article/20101102000166>

²⁴ 滋賀県環境こだわり農業推進条例、<http://www.pref.shiga.jp/g/kodawari/kodawari/jorei.html>

²⁵ 滋賀県農業経営課聞き取り（平成 23 年 10 月 2 日実施）

²⁶ 毎日新聞、平成 24 年 1 月 25 日、<http://mainichi.jp/area/shiga/news/20120125ddlk25010437000c.html>

²⁷滋賀県魚のゆりかご水田プロジェクト HP

<http://www.pref.shiga.jp/g/noson/fish-cradle/7-past/index.html>

こうした在来魚の遡上効果に加え、魚のゆりかご水田と慣行水田（慣行栽培による水田）を比較した結果、魚のゆりかご水田では畦畔からの漏水が抑制でき、用水節減効果・流出負荷削減効果が認められた。こうしたことから平成17年には滋賀県水産試験場と県庁土木交通部河港課が連携して「魚の道づくり・魚のゆりかご水田検討委員会」を設置し、翌18年3月には「魚のゆりかご水田技術指針」を策定するに至った。

このように魚のゆりかご水田プロジェクトは徐々にフォーマルな制度として普及が進み、生態系保全に加え環境学習効果や地域住民の環境意識向上など、副次的に様々な効果が認められるようになった。また同プロジェクトに参加する水田で作られる米のブランド化の試みが進められ、平成18年7月には「魚のゆりかご水田米」として商標登録された。



図2.6 魚のゆりかご水田の概要

出所：滋賀県庁 HP

滋賀県野洲市では、取り組みの始まった平成 18 年度には 1 地区 3.2 ヘクタールのみであったが、野洲市内だけでも平成 22 年度には 6 地区 27.3 ヘクタールにまで広がり、野洲市だけでなく琵琶湖東岸・湖北の 18 地区約 2,000 ヘクタールにまで拡大している（図 2.7）。絶対的な規模としてはまだ限定的な取り組みではあるが、生産米のブランド化もあってその認知は急速に進んでいる。またこの魚のゆりかご水田は平成 22 年度の農林水産省補助事業「生物多様性向上農業拡大事業」にも選定されている。

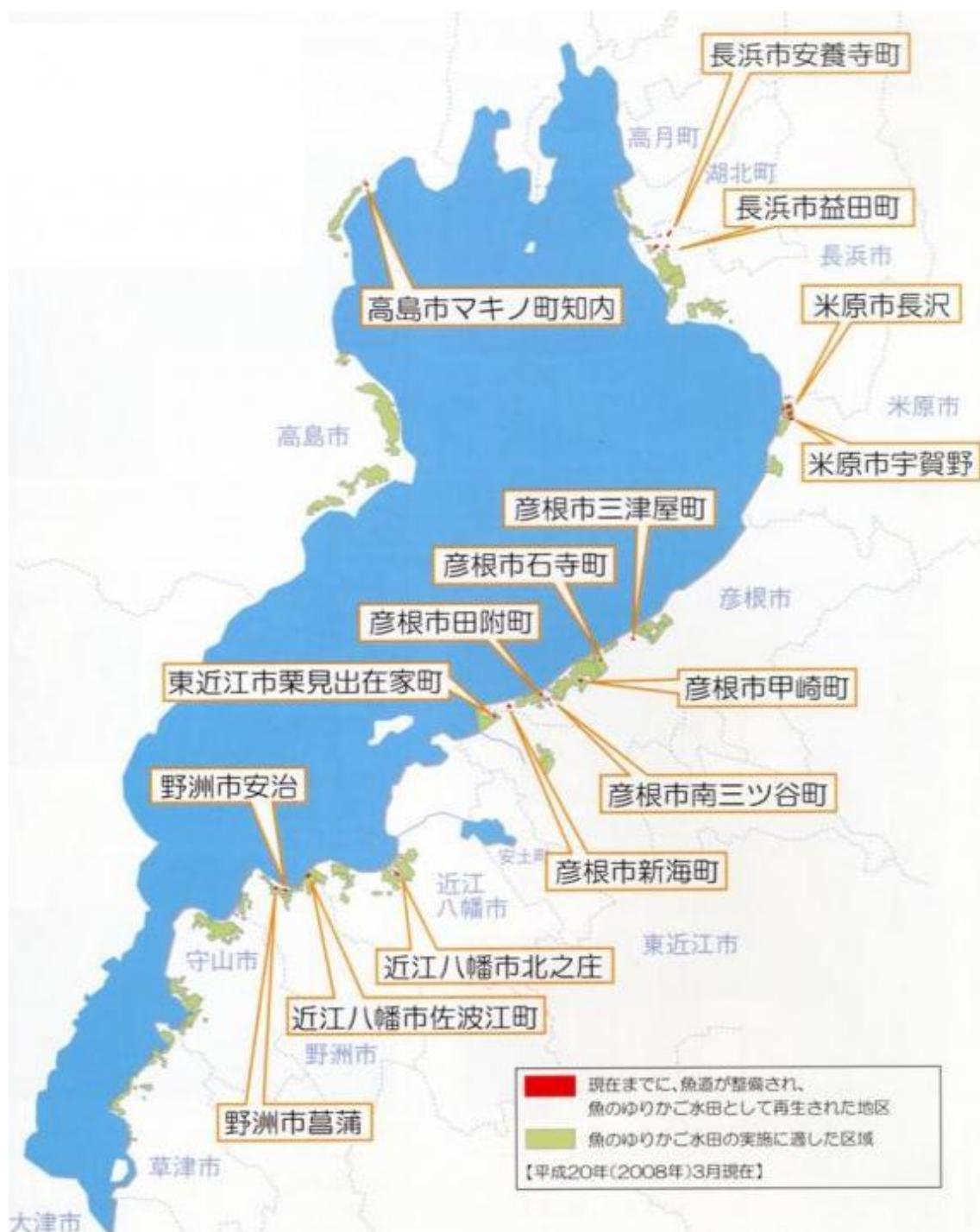


図 2.7 魚のゆりかご水田取り組み地区（平成 22 年 3 月時点）

出所：滋賀県庁 HP

2.6 家棟川流域現地調査の概要

本プロジェクトにおいて水質取引をはじめとする水環境政策の検討を進める上で、対象流域の理解を深めると同時に、現在すでに実施されている関連制度・政策の現状や課題の把握は欠くことができない要素である。そのため平成22年度は本プロジェクトが検討する政策課題のニーズが比較的高いと思われる流域を選び、現地視察・聞き取り調査を2回に分けて実施した。

対象となる流域は、琵琶湖南東部に位置する家棟川（やなむねがわ）流域である（図2.8・図2.9）。この流域は面積のほとんどが滋賀県野洲市に属し、市内の面源由来の汚染の8割が同流域を通じて琵琶湖に流入している。対象地としてこの流域を選択した主な理由は上述のように野洲市内の面源汚染における同流域の重要性に加え、（1）琵琶湖東岸における主要な稻作地帯の1つであり、農業由来の面源汚染の悪化が特に懸念されていること、（2）そのため環境保全型農業に対するニーズが高く、その普及もある程度進んでいること、（3）行政主体である野洲市の本プロジェクトへの理解が高く、現地調査においても全面的な協力を得られたこと、などである。

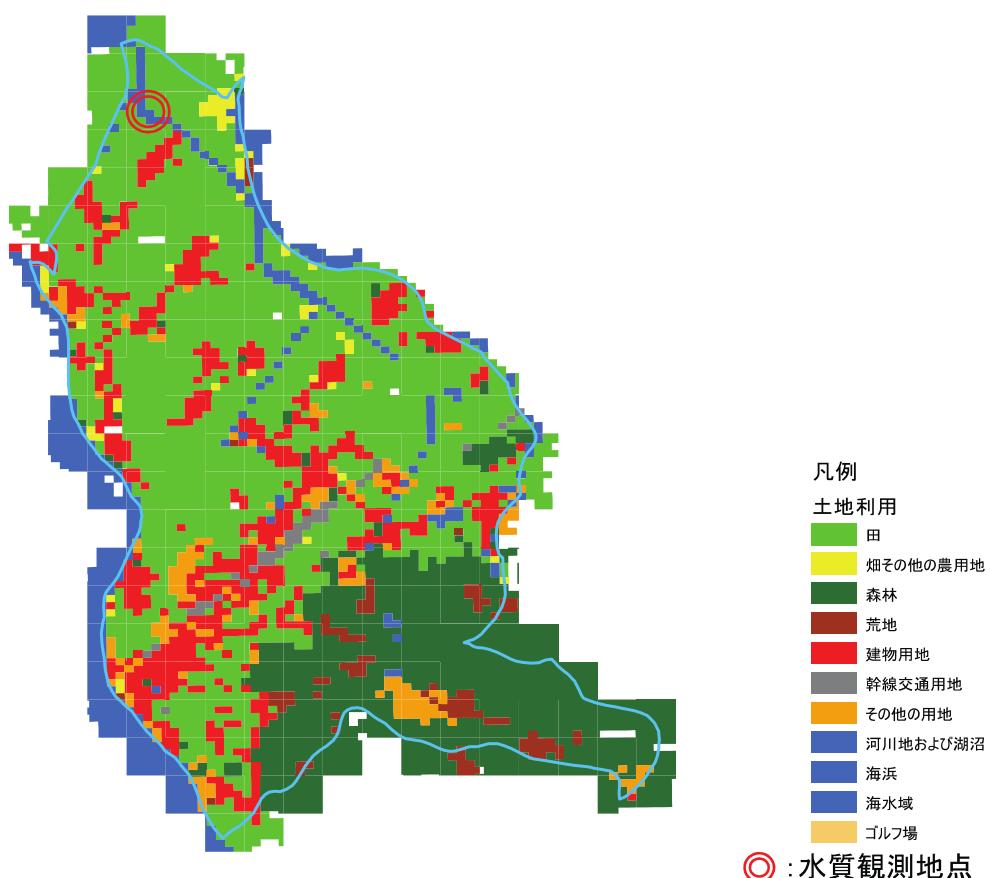


図2.8 家棟川流域における土地利用（平成20年）

出所：国土計画局国土数値情報データ



図 2.9 家棟川下流域（平成 22 年 8 月撮影）

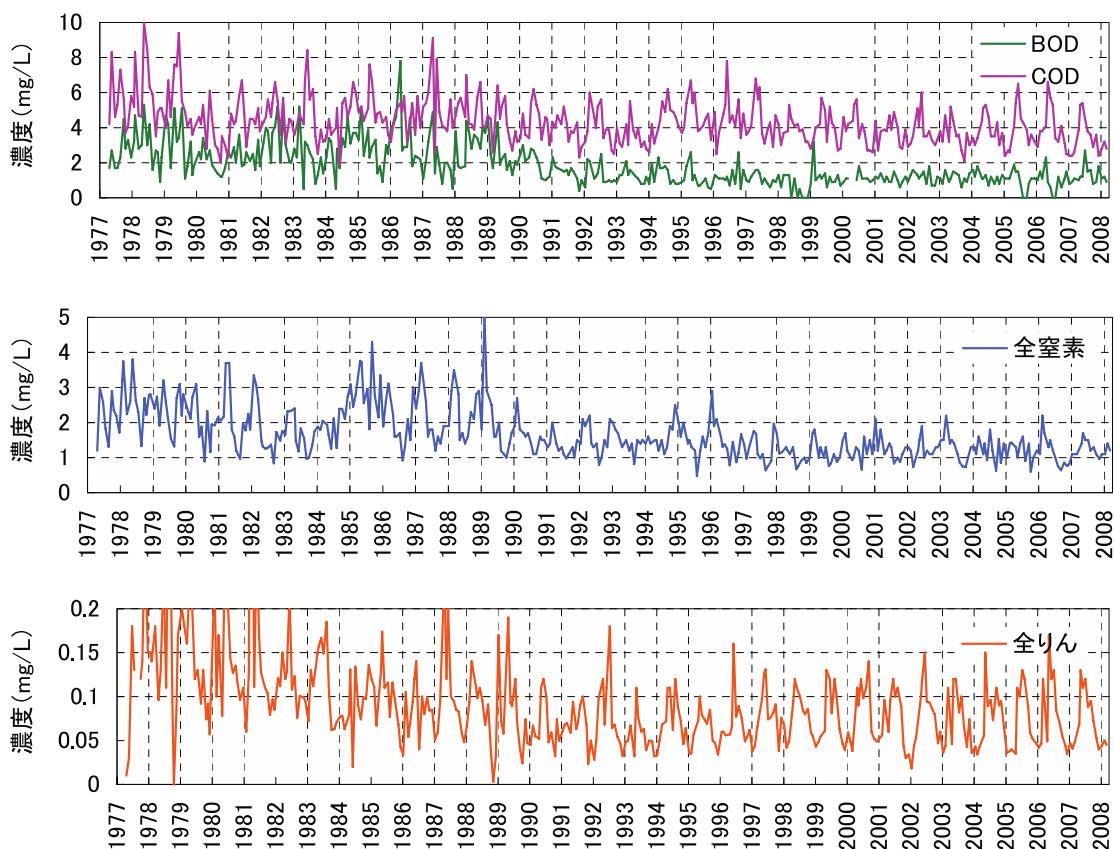


図 2.10 家棟川下流域における水質指標の推移（1977～2008 年）

出所：滋賀県琵琶湖環境科学研究所資料

また野洲市は平成 17 年度に「野洲市環境基本計画」²⁸を策定し、持続可能な地域社会の構築に向けた市レベルでのさまざまな行動計画を推進していることでも広く知られている。

²⁸野洲市 HP (<http://www.city.yasu.lg.jp/doc/kankyoukeizaibu/kankyouseisakuka/2006010609.html>)

第1回の調査は平成22年8月4日（参加者：栗山、佐藤、田中、吉田）、第2回の調査は平成23年1月24日（参加者：栗山、西澤、佐藤、田中、吉田）に、それぞれ野洲市菖蒲地区、須原地区を訪問して実施した（各地区の位置は図2.10を参照）。訪問地区では魚のゆりかご水田の現場などを観察するとともに、現地の農家や地元NGO、野洲市役所の担当職員を交えた自由な雰囲気での聞き取りインタビューを実施した。

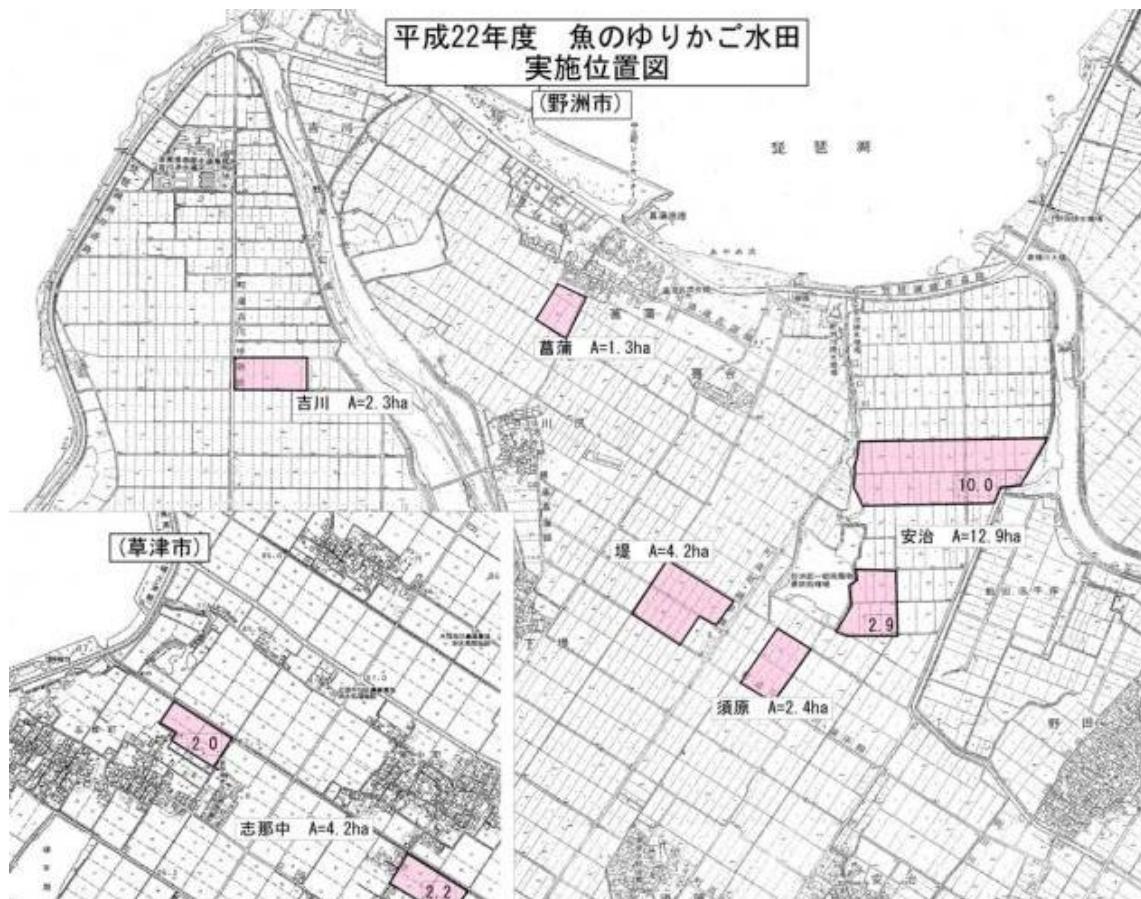


図2.11 家棟川流域およびその周辺における魚のゆりかご水田取り組み地区
(平成22年度)

その中で本節で触れた直接支払制度についてはその自立性の問題が指摘された。具体的にはこの政策は「農地・水・環境保全向上対策」の存在により財政的に成り立っており、同対策の動向によっては直接支払制度が立ちゆかなくなってしまう可能性もあること、そのため県レベルの取り組みは国の政策スタンスの変化に否応なく影響を受けてしまう危惧が指摘された。

また魚のゆりかご水田プロジェクトについては、取り組みを拡大する上での販路の問題が指摘された。現状では精米過程での設備について農協に依存せざるを得ないが、農協と

してはこのプロジェクトからの経済的なインセンティブは低く、この制度に取り組むメリットも少ない。このような問題に対処するため平成22年よりゆりかご水田の生産者と農協との連絡機関として「魚のゆりかご協議会」が設置されたが、まだ始まったばかりの取り組みのため、その効果は現時点ではまだ未知数である。

2.7 結論

本研究では、琵琶湖を対象に水質対策の現状と課題を整理した。また環境保全型農業による水質対策として、滋賀県内で現在実施されている環境保全型農業に関する制度として「環境直接支払制度」および「魚のゆりかご水田」を抽出し、それについて事例分析をおこなった。また県内の流域においてこれらの制度の実施状況や今後の課題などを詳細に把握するため、家棟川流域（滋賀県野洲市）を対象とした現地視察および、農家・NGO・行政担当者への聞き取り調査を実施した。その結果、対象流域においてこれらの制度は普及してきているものの課題も多く、特に制度の自立性における国の関連政策との兼ね合いや、生産物の販路拡大における農協との関係構などが検討すべき点として明らかになった。

3. 本論3. 水質解析

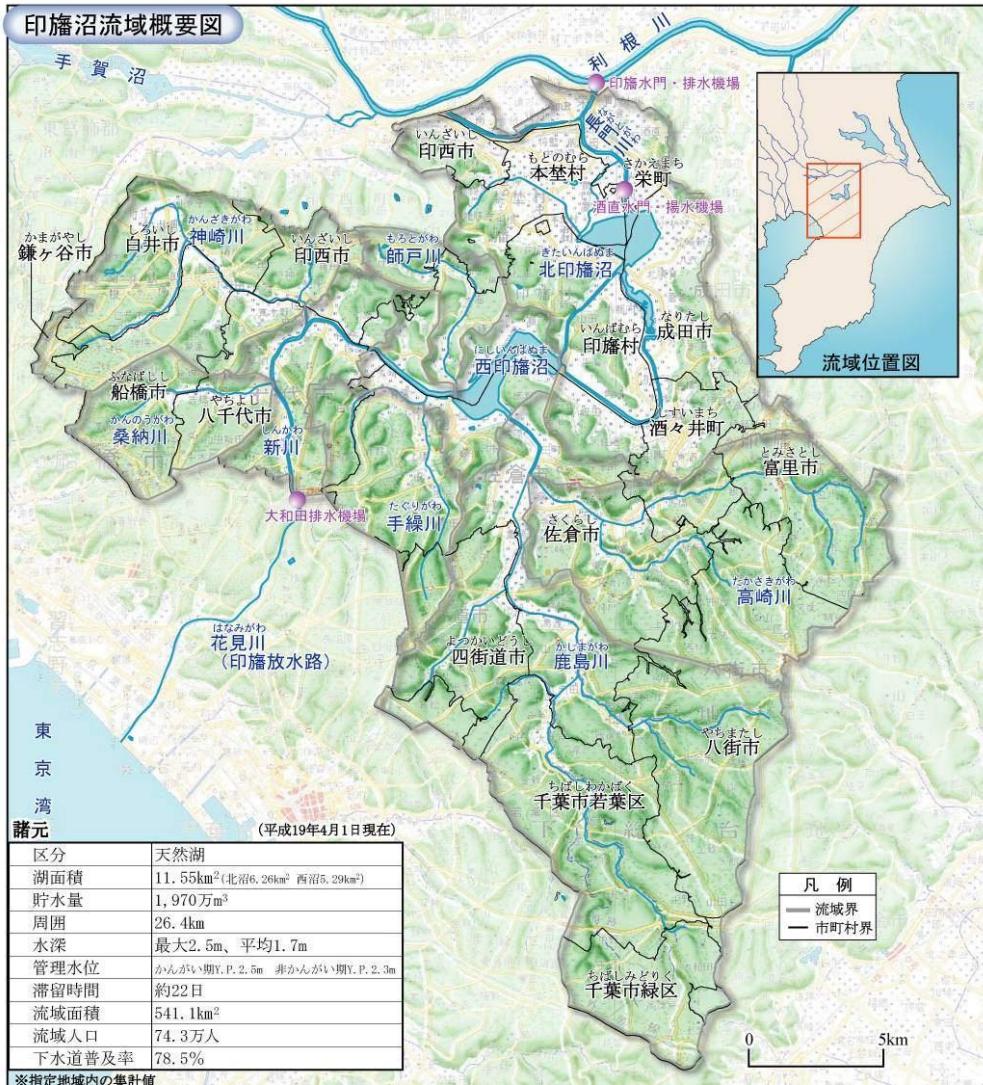
本論3では、「研究項目（2）流域水循環計画に関する研究」、「研究項目（3）汚濁負荷解析に関する研究」、「研究項目（4）水環境保全対策に関する研究」における研究成果について述べる。

3.1 研究対象地域の概要

湖沼の水質環境基準達成率が50%程度にとどまり、河川や海域に比べて低い状況にある。そのような背景から、平成17年には湖沼水質保全特別措置法が改正され、面源負荷に関する対策の強化・推進が強く求められている。

研究項目(2), (3), (4)における水質調査や汚濁負荷解析には、対象流域として印旛沼流域を選定する。印旛沼は指定湖沼の一つであり、点源だけでなく面源の影響も重要であり、水道水源として水質障害が顕在化している。また、多くの解析基礎データやモニタリングデータの蓄積があること、地元自治体や関係機関、市民団体から成る流域水循環健全化会議を立ち上げており、流域水循環の視点から様々な取り組みを展開していることなどもその理由である。

印旛沼の流域の概要を諸元等と合わせて図3.1に示す。流域人口は74.3万人（平成19年）であり、沼の水は上水、工業用水、農業用水として利用されている。また、この流域については土地利用や負荷排出源などの多くの電子データの整備が比較的進んでおり、負荷削減策の効果を算出するにあたって有利である。図3.2～3.5に、対象流域の標高、土地利用、特定事業所、汚水処理形態別人口、家畜頭数の分布を図示する。



環境基準

項目	類型	基準値	湖沼水質保全計画目標値 [※]	平成19年度年平均値(速報値)
COD	湖沼・A	3.0mg/l (75%値)	7.5mg/l 8.9mg/l ^{※※}	11mg/l 12mg/l ^{※※}
T-N	湖沼・III	0.4mg/l	2.7mg/l	2.4mg/l
T-P	湖沼・III	0.03mg/l	0.10mg/l	0.14mg/l

※第5期の目標値で、施策を講じた場合の平成22年度の年平均値
※※COD75%値

利水状況

項目	状況	備考
上水	3,800万m ³ /年(平成19年度)	
工業用水	6,447万m ³ /年(平成19年度)	
農業用水	8,751万m ³ /年(平成19年度)	
内水面漁業	184t/年(平成18年) [※]	手賀沼を含む

※農林水産統計年報(関東農政局)

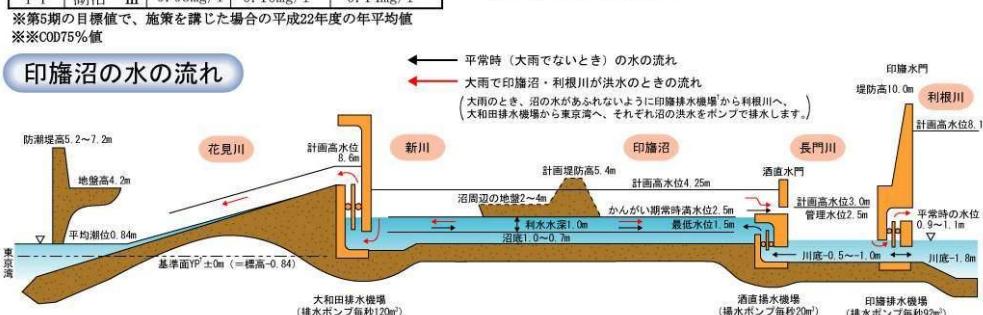


図3.1 印旛沼流域の概要と水の流れ

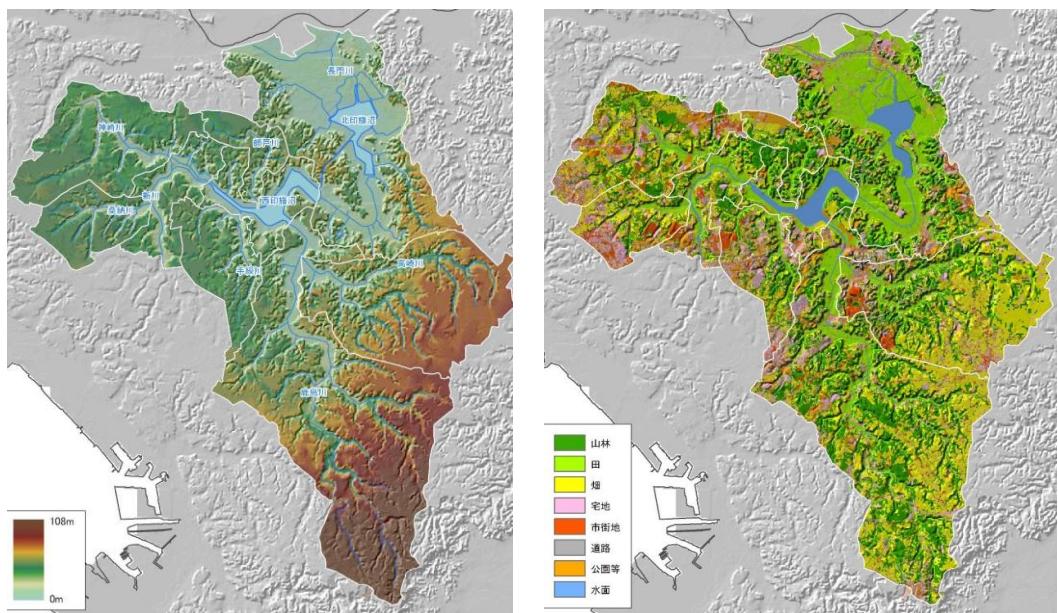


図 3.2 印旛沼流域の標高（左）と土地利用（右）

【元データ】標高：「Terrain」 北海道地図株式会社, 10m メッシュ標高データ,
土地利用：国土地理院発行 数値地図 5000 「土地利用」 2000 年をベースに作成

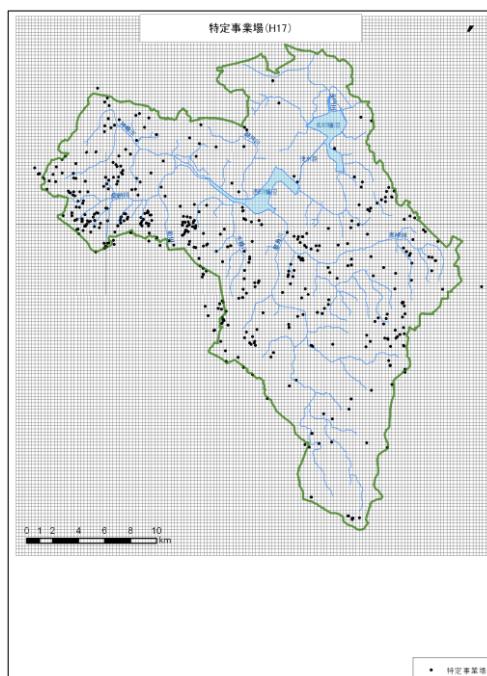


図 3.3 印旛沼流域の特定事業所の分布（千葉県水質保全課資料より）

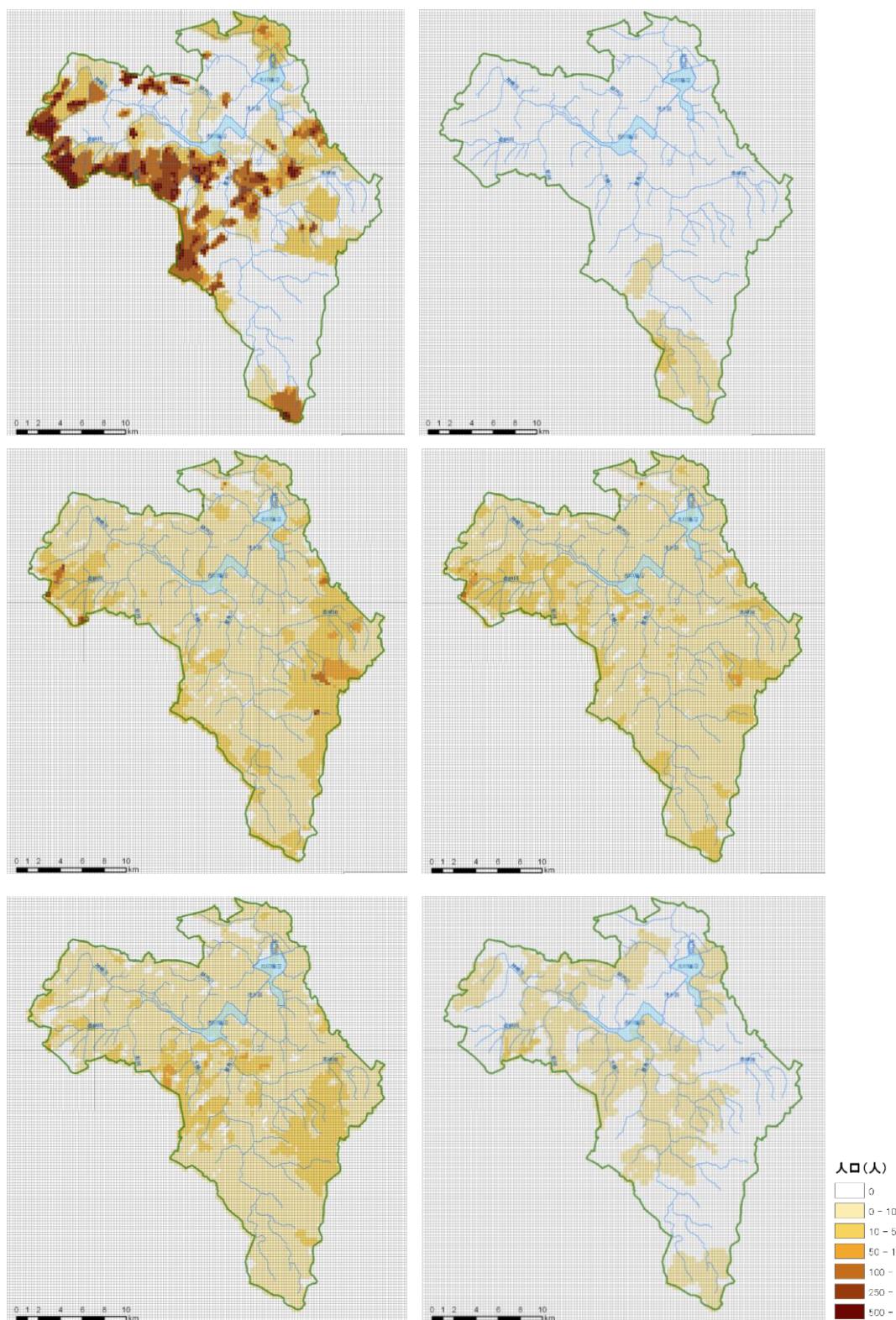


図3.4 印旛沼流域の汚水処理形態別人口の分布（千葉県水質保全課資料より）
 (上左) 下水道接続人口, (上右) 農業集落排水処理利用人口, (中左) 通常型合併処理浄化槽人口, (中右)
 単独処理浄化槽人口, (下左) し尿処理場利用人口, (下右) 高度処理型合併処理浄化槽人口

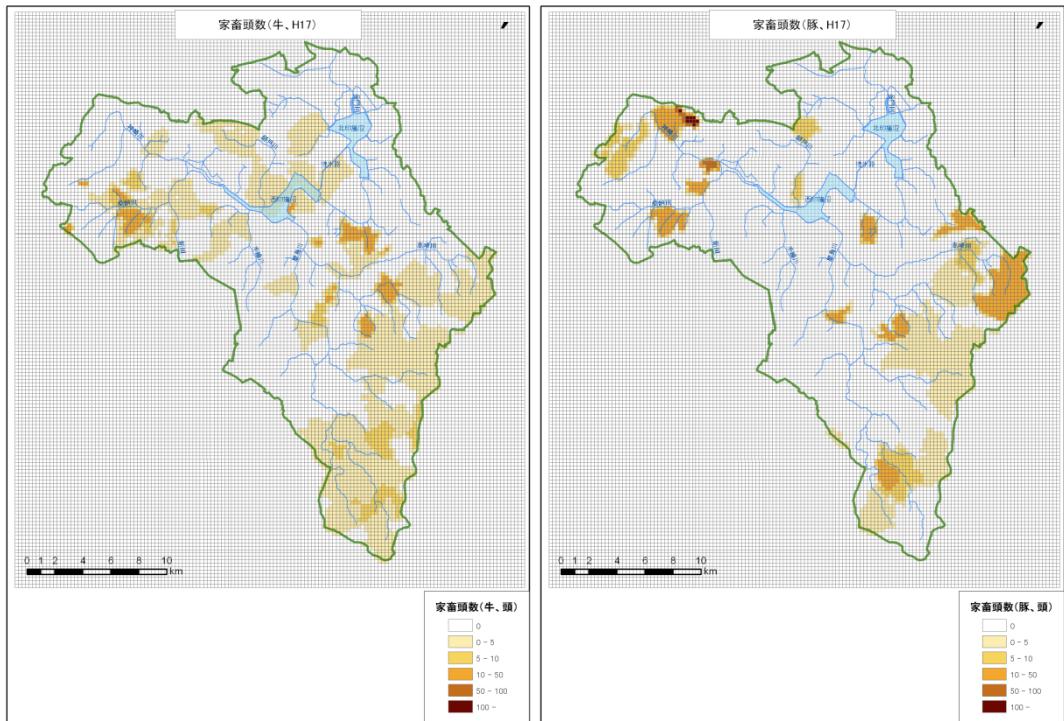


図 3.5 印旛沼流域の家畜頭数（左：牛、右：豚）の分布（千葉県水質保全課資料より）

3.2 流域水循環計画に関する研究

3.2.1 流域汚濁負荷の把握における手法

(A) 汚濁負荷解析モジュールの概要

閉鎖性水域の水質汚濁に対し、様々な施策が実施されているものの、水質改善が進まない状況にある。この1つの原因として、面源負荷に対する知見不足、効果的な対策不足が考えられている。

面源負荷は、土地利用ごとに発生メカニズム、流出メカニズムが異なることに加え、実際の現場では様々な土地利用が混在するため実測によるメカニズム解明も容易ではない。

このため、実測データによる現象解明を行いながら、面源負荷とはまさに土地の広い「面」からの流出負荷のため、ポイントでの調査である実測データでは分からぬ点を補う意味からも、分布型の面源負荷解析モデル（流域水・物質循環モデル）の構築が必要となる。

そこで、本検討では土地利用別に面源負荷の解析が可能で、かつ将来の施策展開を考慮した面源対策効果の解析が可能なように、各種の面源対策を組み込んだモデルを採用するとともに、実流域（千葉県印旛沼流域）のデータを用いて、モデルの適用性を検討することを目的とする。

なお、面源負荷等の汚濁負荷の削減は、河川の水質改善とともに、下流域に閉鎖性水域が存在する場合には、その閉鎖性水域の水質改善にも直結する。そこで、面源負荷解析モデル構築により解析された汚濁負荷削減の効果がより具体的に現れる閉鎖性水域の水質を解析できるモデル（湖沼水質予測モデル）を用いていくことを念頭に、本検討を進めるこことする。

流域水・物質循環モデルでは、様々な流域水・物質循環モデルの水・物質循環を解析することから、6つの要素モデルから構成されている。各要素モデルの概要を表3.1にまとめ。また、モデルの構造と要素モデルの概略を図3.6に示す。

表3.1 流域水・物質循環モデル 各要素モデルの概要

No.	要素モデル	解析内容	付加モデル
①	蒸発散モデル	土地被覆・気象条件に応じた降雨の分配（蒸発散、地下浸透、表面流出）を解析する。	積雪・融雪モデル 気温・雨量の標高補正 降雨水質モデル
②	地下水モデル	平面2次元多層浸透流解析により、地下水層での水・物質の挙動（地下水位、流速、物質移動・拡散）、および地表への湧出（湧水量・湧水水質）を解析する。	湧出モデル
③	地表流モデル	キネマティックウェーブ法により、地表面での水・物質の挙動（水位、流速、物質移動・拡散）を解析する。	雨天時流出負荷モデル 水田モデル 畑モデル 調整池モデル 脱窒モデル

④	河道モデル	キネマティックウェーブ法により、河道での水・物質の挙動（水位、流速、物質移動・拡散）、を解析する。	河道巻き上げモデル 河道内浄化モデル
⑤	点源負荷算出モデル	生活系・事業所系・畜産系（：ノンポイントソース）の排出負荷量を解析する。	汚水処理形態別人口分布作成モデル

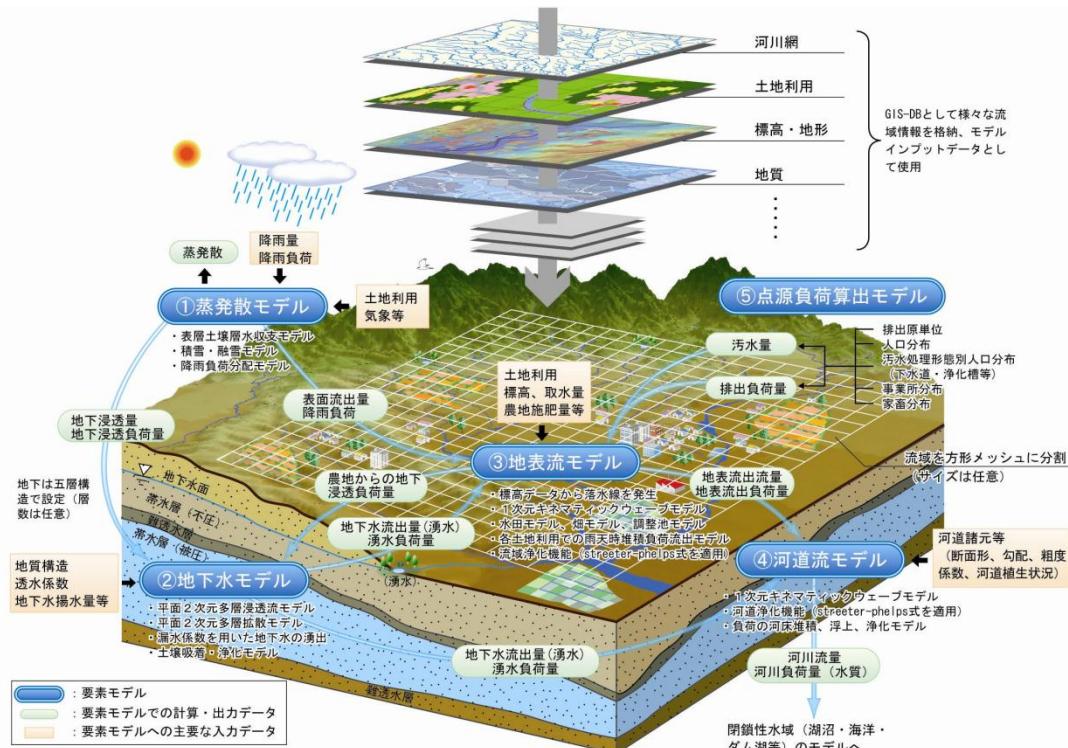


図 3.6 流域水・物質循環モデルの概要

(B) 汚濁負荷解析モジュールの入力データの整理

(1) 15 ティーセン流域の降雨データ及び降雨特徴

面源負荷モデルを考慮する上で、流域内でのあらゆる降雨の特徴を把握することは重要である。そこで、本節では過去印旛沼周辺降雨観測データから降雨の季節変化を含む経年変化を分析した。また、汚濁負荷の流出パターンに大きく影響すると考えられる降雨パターンを総降雨量、最大降雨強度、先行晴天時間、初期 3 時間降雨量の 4 つの項目を利用し、クラスタ分析によって 4 つの種類に分けた。

印旛沼流域内およびその近傍における、千葉県降雨量観測の 13 地点、および気象庁アメダス観測の 2 地点を合わせ合計 15 地点で雨量観測が行っているため、全体流域をティーセン分割して、各メッシュに雨量観測地点を割り振った。分析に用いられた降雨は 2002 年から 2007 年の 6 年間のデータである。また、6 時間以上の先行先天日数持つイベントを独立イベントとして取り扱い、15 地点の 6 年間で合計 7,919 イベントを対象として分析を行つ

た。

図 3.7 にティーセン分割で分けられた印旛沼流域を示し、それぞれのティーセン流域における名称と面積を表 3.2 にまとめた。また、図 3.8 に過去における印旛沼流域内降雨発生特徴として、月別降雨発生頻度や降雨強度別発生頻度をまとめて示した。

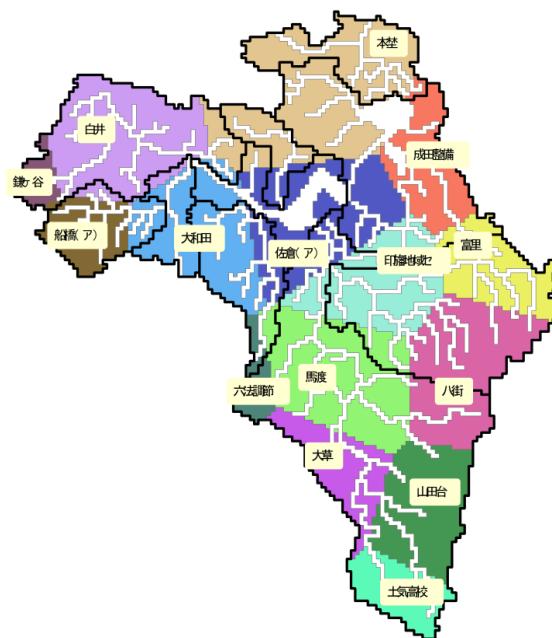


図 3.7 印旛沼流域内降雨観測地点のティーセン分割

表 3.2 印旛沼流域内降雨観測地点の概要

ティーセン No.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
観測地点名	六法調 節	土氣高 校	大草	大和田	鎌ヶ 谷	印旛 地 域セ	馬渡	白井
流域内面積 (km ²)	7.88	16.56	19.63	36.19	6.25	29.56	45	42.88
ティーセン No.	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	
観測地点名	木塙	八街	山田台	成田整 備	富里	船橋 (ア)	佐倉 (ア)	
流域内面積 (km ²)	59.31	41	31.63	21.75	22.44	14	38.38	

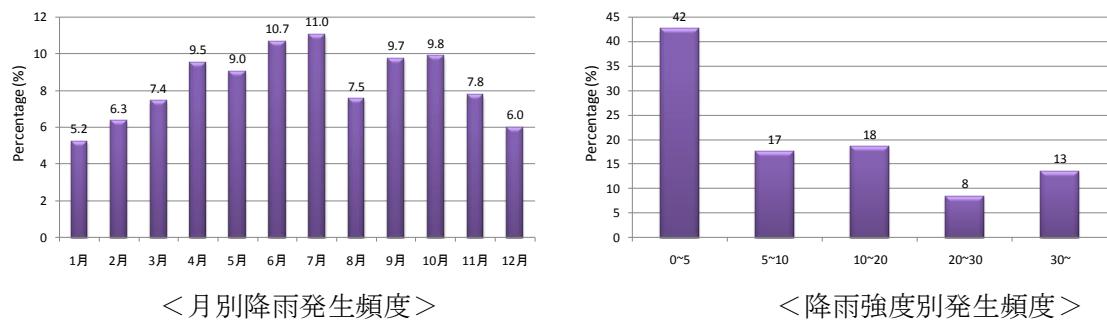


図 3.8 過去印旛沼流域内降雨発生特徴

(2) 河川流域の土地利用と点源汚濁負荷状況

面源と点源を含む汚濁負荷の発生源は流域内で様々な形で分散して分布している。汚濁負荷削減を想定する対策を効果的に行うためにはより細かい汚濁負荷発生源や排出経路を把握した上で、適切な対応をすることが大切である。しかし、現在の印旛沼直接の 8 つの河川流域に対して、流域での水・汚濁物質の流出メカニズムやその制御方法を考えるにはそれぞれの流域の面積は広く、含まれている土地利用が多様のため、特定の汚濁負荷対策を立案することが混乱である。そこで、本研究では印旛沼に直接の 8 つの川につながる支流流域に着目して、支流流域に基づいた水・物質の流出を制御する考えを示す。これらの河川ベースの汚濁削減対策は隣接の河川に及ぼすその効果算定や細かい流域の特性に合わせた対策立案の利便性からその有効性が期待される。

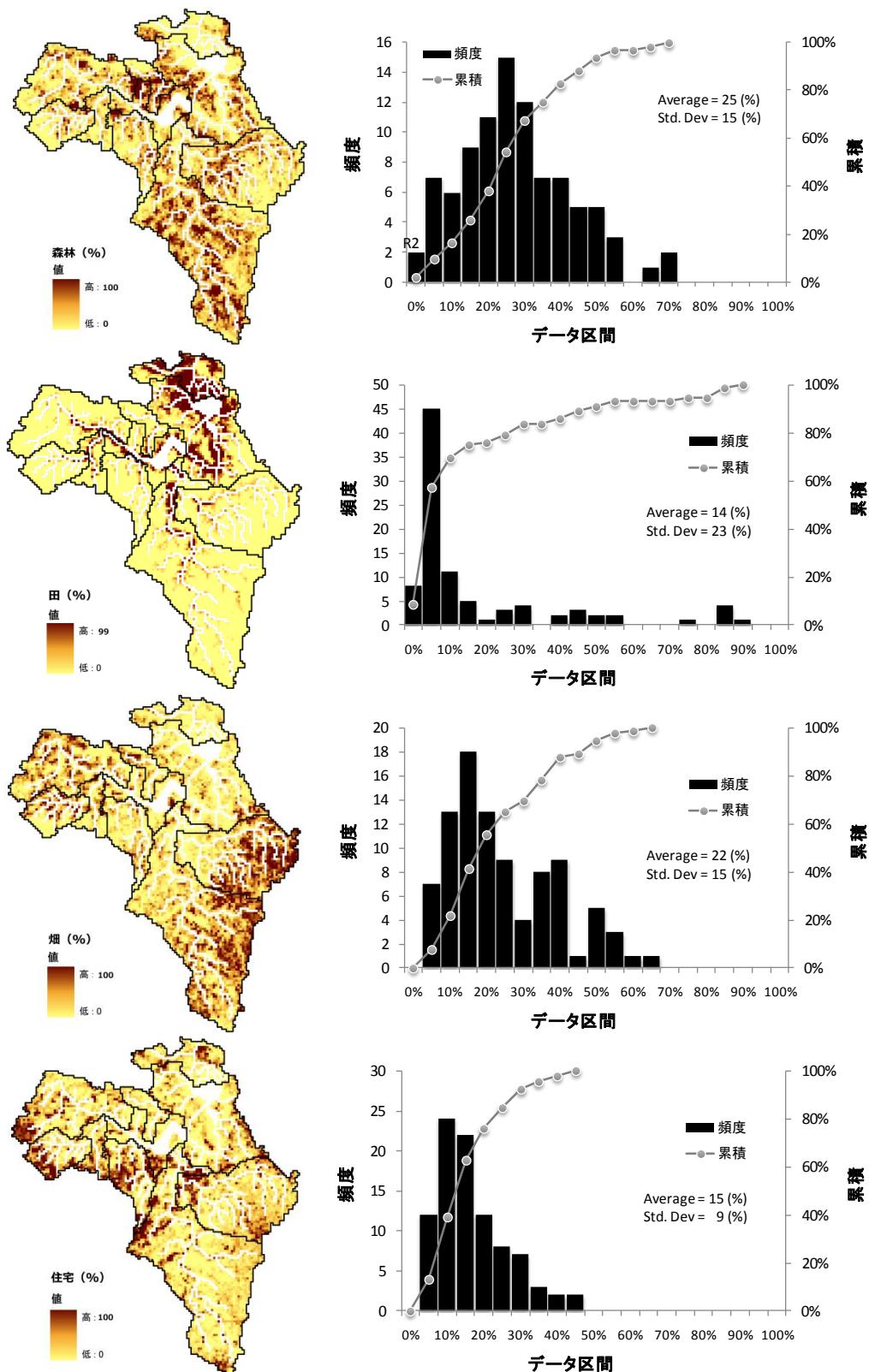
流域ごとの土地利用には、国土地理院発行の土地利用データ（数値地図 5000「土地利用」2000 年）を用いた。土地利用は 19 種類に区分されており、これを下表に示すように、8 つの土地利用区分に統合した（表 3.3）。

表 3.3 土地利用区分の細区分

数値地図		印旛沼流域土地利用	数値地図		印旛沼流域土地利用
Code	土地利用区分	土地利用区分	Code	土地利用区分	土地利用区分
1	山地・荒れ地	山林	11	道路用地	道路
2	田	田	12	公園・緑地等	公園等
3	畑、他の農地	畑	13	公共公益施設用地	公園等
4	造成中地	公園等	14	河川・湖沼等	水面
5	空地	公園等	15	その他	公園等
6	工業用地	市街地	16	海	水面
7	一般低層住宅地	宅地	17	対象地域外	—
8	密集低層住宅地	市街地	18	(無し)	—
9	中高層住宅地	市街地	19	(無し)	—
10	商業・業務用地	市街地	—	—	—

上記の土地利用項目に基づき、印旛沼流域内、それぞれの土地利用の分布を示し、かつ 92 河川流域で、その土地利用の割合の分布を共に図 3.9 に示した。

また、図 3.10 には生活系点源汚濁負荷の排出量を土地利用と同じく、印旛沼流域内分布と 92 河川ベースの分布を示した。



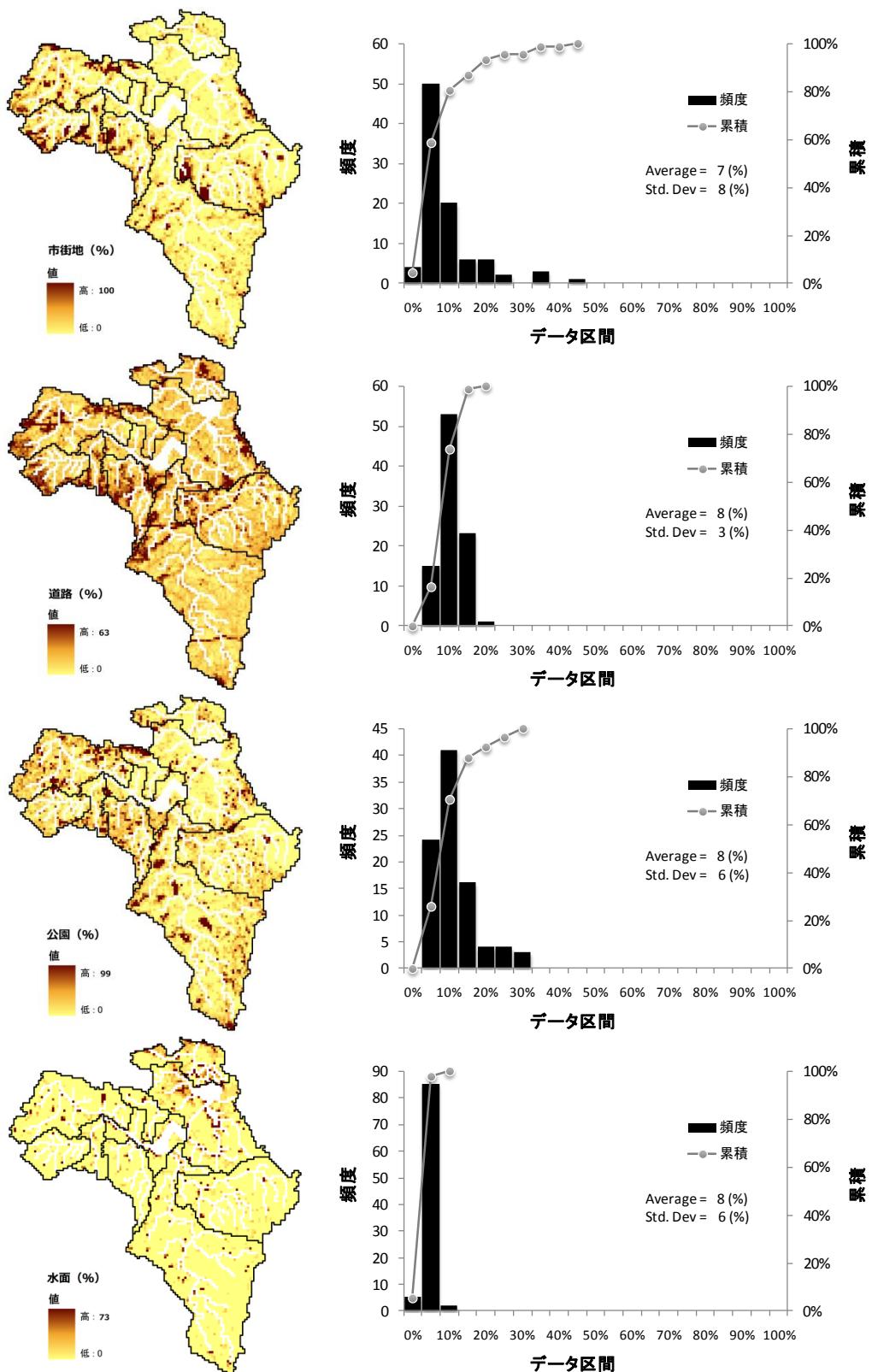


図 3.9 印旛沼流域内 8 つの土地利用の分布と 92 河川流域でのその割合の分布

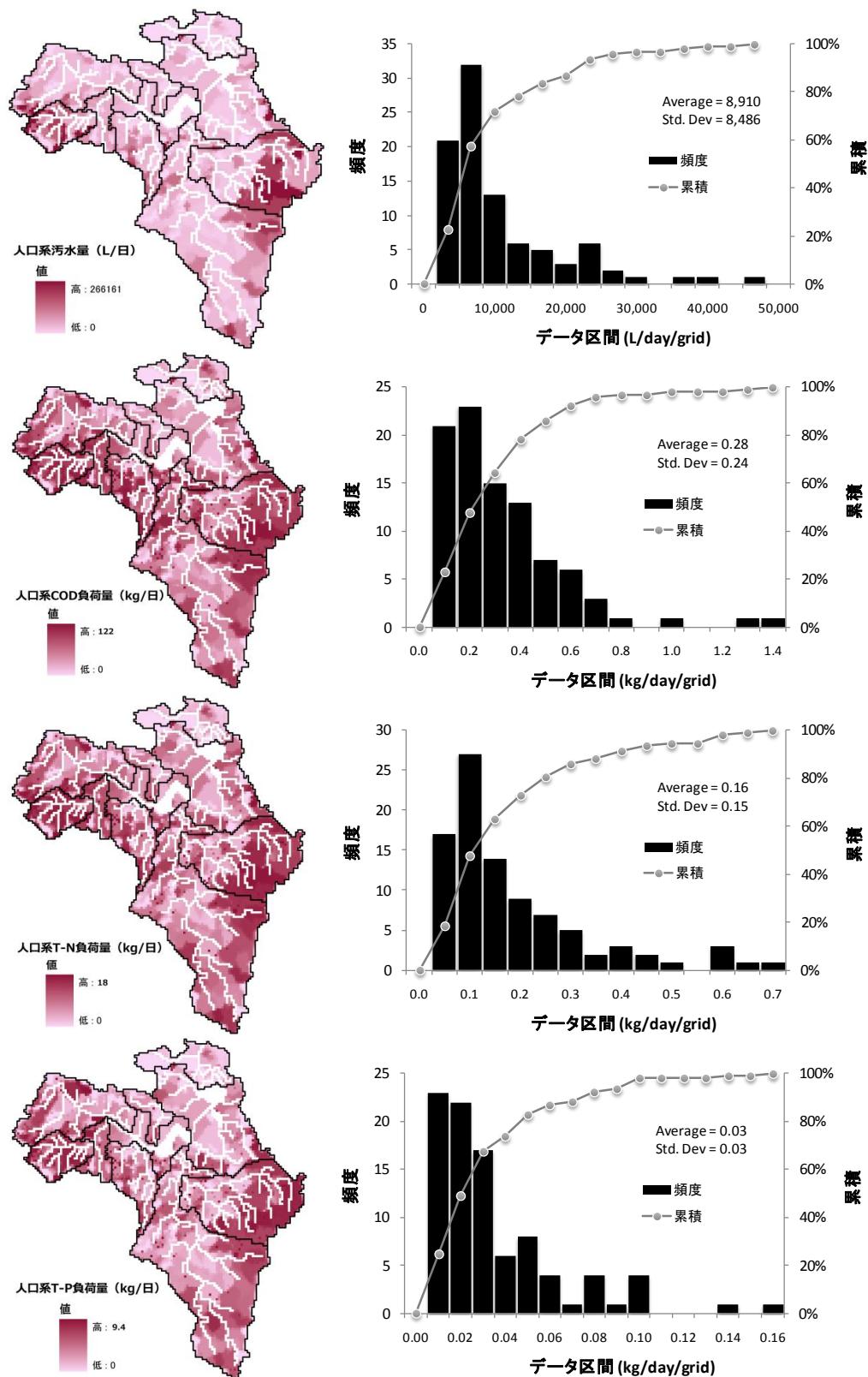


図 3.10 生活系点源汚濁排出量の分布と 92 河川流域でのその割合の分布

(C) 汚濁負荷解析モジュールの整合性検討

流域内汚濁発生源としての点源・面源の相対的な重要性や、それぞれの汚濁負荷削減の可能性の検討する上で、立案される対策オプションとそれをモデル上で表現するためには、調査データと汚濁負荷解析モジュール結果との整合性を確認することが重要である。しかし、250m メッシュ、1時間降雨データの使用などのモデル自体の限界を踏まえて、整合性を検討する必要がある。そこで、調査地点毎の負荷量・流量の関係で調整したモデルのパラメータを用いて調査データとの比較を行った。使用データは4.1節で示す千葉県水質データを用いた。図3.11に調査の7地点における流量の計算結果を調査データと比較した図である。引き続き、水質項目は「添付資料1.」に示す。

今回の検討を通じ、流量・負荷量に対して、計算値と調査値との誤差が30%前後であり、今後の本格的なキャリブレーションのためのパラメータの微細調整が必要と判断される。

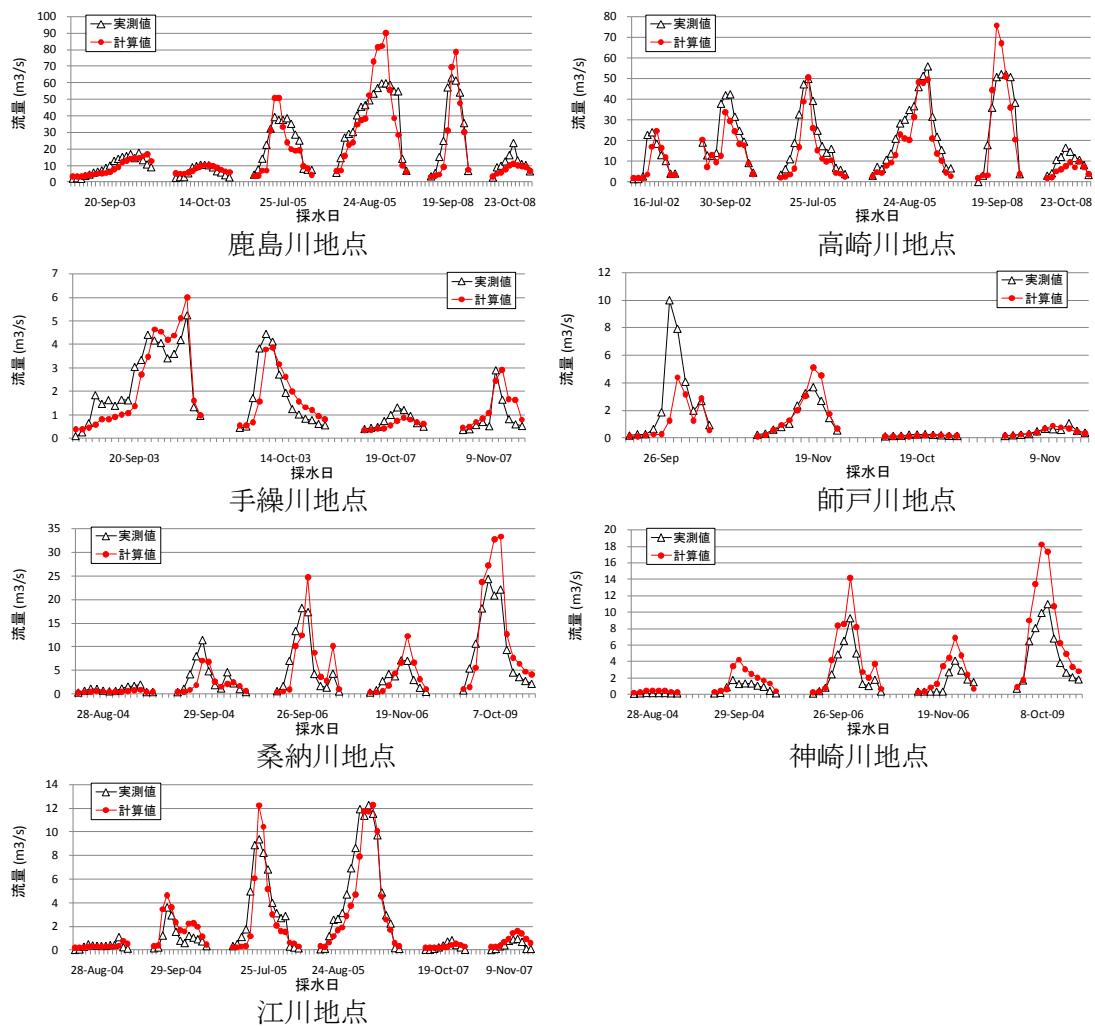


図3.11 7地点における流量の計算結果と調査データとの比較

3.2.2 モデルを利用した源汚濁負荷削減対策の評価

5.3 節で整理する流域汚濁負荷削減対策オプションの中で、雨水浸透枠と透水性舗装、合併浄化槽、下水道、環境保全型農業の 4 つの対策を印旛沼全流域に適用して、汚濁負荷削減効果や印旛沼水質への影響について検討を行った。

(A) 流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオの設定

(1) 現状シナリオ

流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ解析結果は湖沼水質モデルと連携される。ここで、観測データの入手制限によって、湖沼水質モデルの検証が 2002 年の印旛沼水質と気象条件を利用したため、2002 年の汚濁負荷や印旛沼水質状況を現状とし、各種域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ解析結果との比較を行う。

(2) 雨水浸透施設の導入シナリオ

雨水浸透施設は市街地、宅地、道路での地下浸透量が増加するとともに、メッシュに入る降雨量が減少するため、表面流出量、表面発生負荷量が減少する効果が期待される。本検討で考慮した雨水浸透施設は浸透枠と透水性舗装である。

雨水枠と透水性舗装の導入量の設定には、雨水浸透施設技術指針（雨水貯留浸透技術協会）の浸透枠と透水性舗装における過去の事業実績からもとめた設置密度と集水面積の関係を利用した。印旛沼全流域における浸透枠と透水性舗装の総導入量と原単位、そして浸透施設の諸元を表 3.4 に示す。

表 3.4 雨水浸透施設の導入量と諸元

	総導入量	導入原単位	貯留容量	浸透能
浸透枠	848,623 個	12 個 ha^{-1} (宅地)	150 L $unit^{-1}$	$0.43 (m^3 hr^{-1} unit^{-1})$
透水性舗装	1,198 ha	$165 m^2 ha^{-1}$ (道路)	-	$0.01 (m^3 hr^{-1} m^{-2})$

(3) 合併浄化槽の導入シナリオ

合併浄化槽の導入はメッシュで付加される負荷量が減少するため、メッシュの水質濃度が低下する効果が期待される。

合併浄化槽の導入による生活系汚濁負荷の除去率は表 3.5 に示す第 5 期印旛沼湖沼水質保全計画における点源系の原単位を用いてもとめた。501 人槽以上の COD, TN, TP 負荷量に対する除去率をそれぞれ 88%, 67%, 36% とする。

表 3.5 第 5 期印旛沼湖沼水質保全計画における点源系の原単位

区分	項目	単位	COD	T-N	T-P
生活系	し 尿	g / 人・日	10	7	0.7

	雑排水		13	2	0.3
	合 計		23	9	1
畜産系	牛・馬	g／頭・日	530	290	50
	豚		130	40	25
生活系	合併処理浄化槽	501 人槽以上	2.8	3	0.64
		201 人槽～	3	4	0.64
		500 人槽	4.1	5.5	0.64
		200 人槽以下	3.5	3	0.64
	高度処理型小型合併処理浄化槽		16.2	7	0.9
	単独処理浄化槽		13	2	0.3
	し尿処理場		13	2	0.3
	自家処理				
畜産系	牛・馬	g／頭・日	5.3	5.4	1.45
	豚		4.8	2.8	2.68

(4) 下水道の導入シナリオ

合併浄化槽と同様、下水道の導入はメッッシュで付加される負荷量が減少するため、メッッシュの水質濃度が低下する効果が期待される。

本検討では、下水道の導入による生活系汚濁負荷はすべて、流域外へ排出され印旛沼への流出はないとした。

(5) 環境保全型農業シナリオ

環境保全型農業として本検討では、施肥量の削減を考慮する。これは、施肥量を減じることにより、地下へ浸透する負荷が減る。これにより地下水水質、湧水水質が改善し、平常時の河川水質が改善する効果が期待される。

モデルでの通常の施肥量は、印旛沼流域の各 15 市町村単位で、主要農作物の作付面積と、それらの農作物を栽培する際の基準施肥量（窒素、リン：10aあたりの投入量 kg）を用いて、トータルの施肥投入量を利用した。その施肥量は水田－COD(39.8), T-N(39.8), T-P(15.8) (kg/ha) であり、畑－COD(121.2), T-N(121.2), T-P(53.7) (kg/ha/year)とした。

通常の施肥状況との比較は、千葉県では化学肥料を慣行の半分以下に減らした「ちばエコ農産物」の認証制度を平成 14 年 (2002) から開始していることから「通常施肥料の 50%」に削減するシナリオで検討を行った。

(B) シナリオ別年間汚濁負荷量の比較

(1) 初期条件

1981～2001年（1987年除外）の20年間平均の気象条件（年降水量、平均気温、日可照時間）を用いて、100ヶ年の計算を実施し、その結果の地下水位・水質分布および土壤水分分布を求め、本計算の初期条件として与えた。100ヶ年における地下水の平均 COD, TN, TP 濃度の経年変化を図 3.12 に示す。

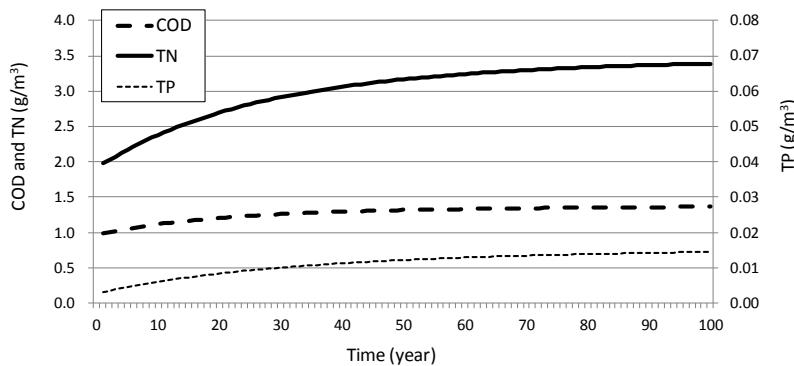
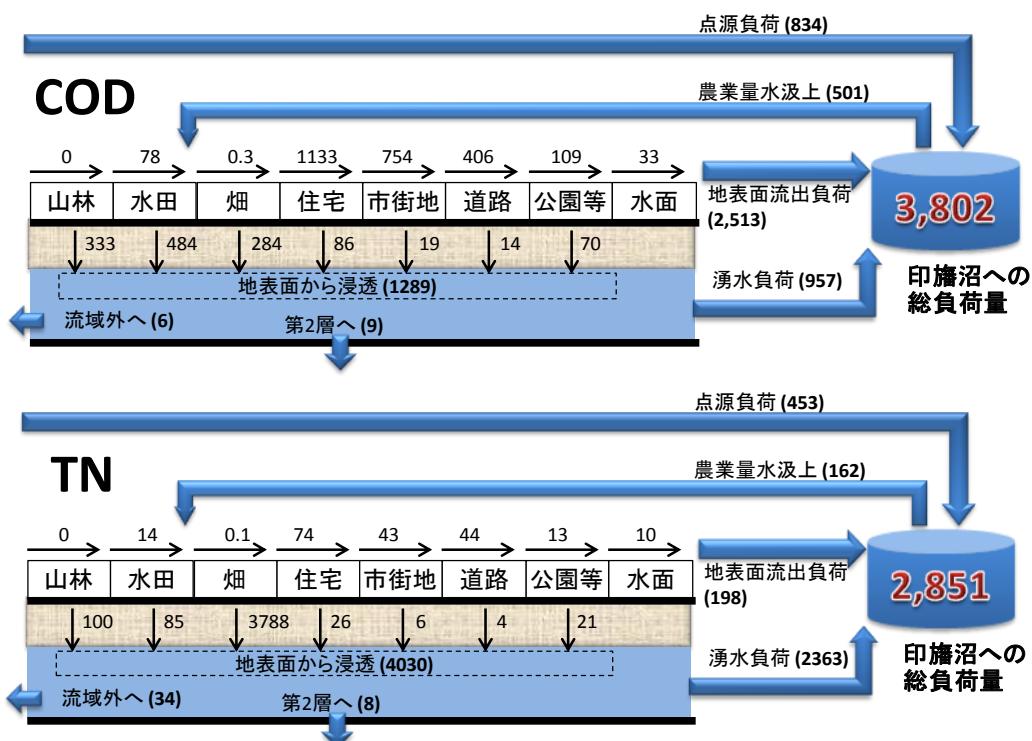


図 3.12 地下水の平均 COD, TN, TP 濃度の経年変化

(2) 現状の汚濁負荷状況

流域汚濁負荷削減対策を何も導入していない現状における COD, TN, TP の印旛沼への年負荷量と内訳を図 3.13 に示す。



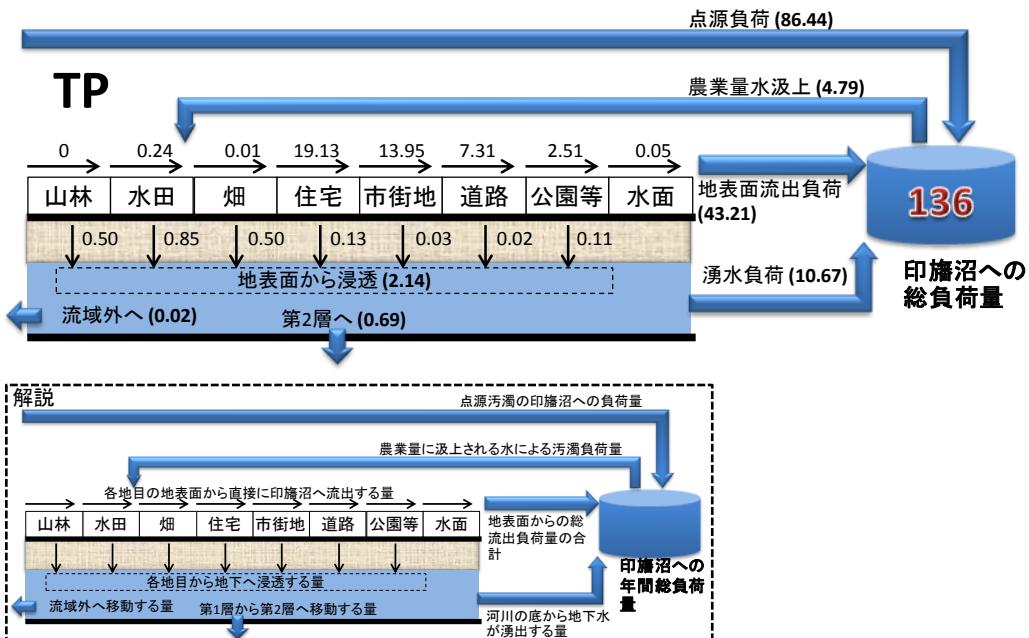


図 3.13 現状（流域汚濁負荷削減対策なし）の印旛沼への年間汚濁負荷量と内訳

(3) 対策別汚濁負荷削減量

流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別印旛沼への COD, TN, TP の年間負荷量を図 3.14 に示す。 COD, TN, TP の印旛沼への年負荷量と内訳は「添付資料 2.」にまとめる。

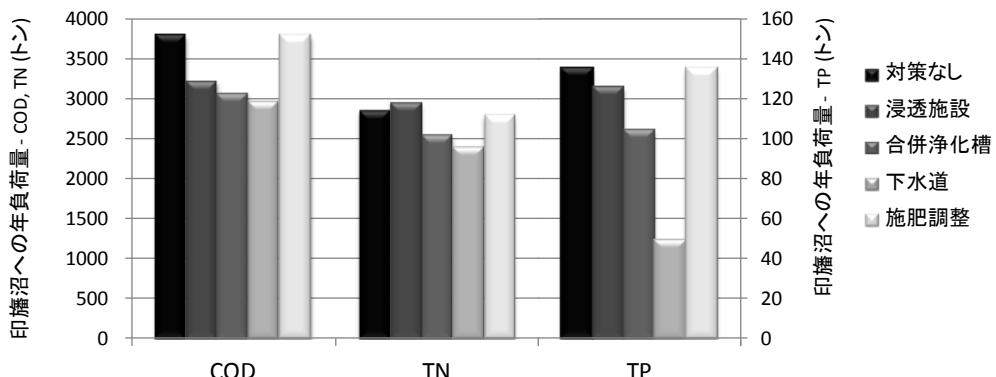


図 3.14 汚濁負荷削減対策別印旛沼への COD, TN, TP の年間負荷量の比較

(C) シナリオ別別印旛沼水質への影響の検討

(1) 湖沼水質モデルの概要

水域の水質形成機構（水質物質と反応素過程の関連図）の概略図を図 3.15 に示す。想定しうる水質形成機構は可能な限りモデルで表現することが望ましいが、一方で観測データや反応速度定数などの知見が少ない水質物質や反応過程をモデルに加えても、計算が煩雑

になるのみである。

本研究では、流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオによって期待される印旛沼水質の相対的比較や水質改善における合理的対策の決定をその目的としたため、無機物、底生動物、鳥や人間の影響、堆積に係る水質物質や反応過程は考慮しないボックスモデルで水質の評価を行った。

水質モデルの7つのボックス構成と3つの水質評価地点を図3.16に示す。流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別水質の評価は西印旛沼の上水道取水口（BOX2）と北印旛沼中央部（BOX6）とする。

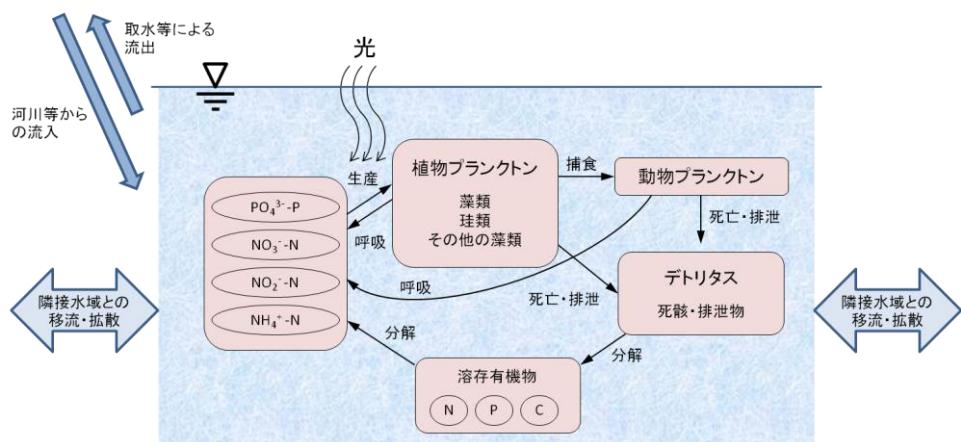


図3.15 水域の水質形成機構（水質物質と反応素過程の関連図）の概略図

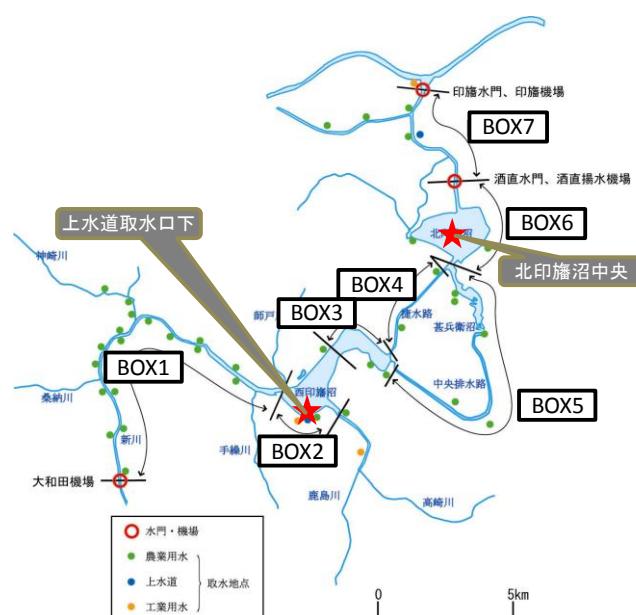


図3.16 水質モデルの7つのボックス構成と3つの水質評価地点

(2) 湖沼水質の時系列変化

流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別西印旛沼と北印旛沼における水質の時系列変化を図 3.17 に示す。

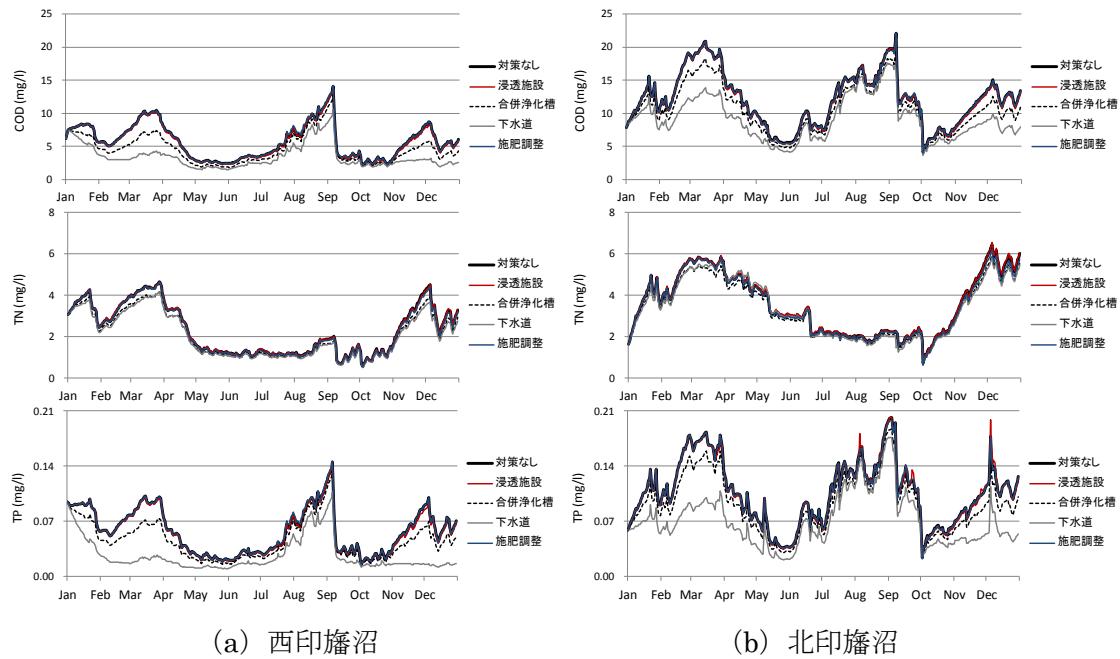
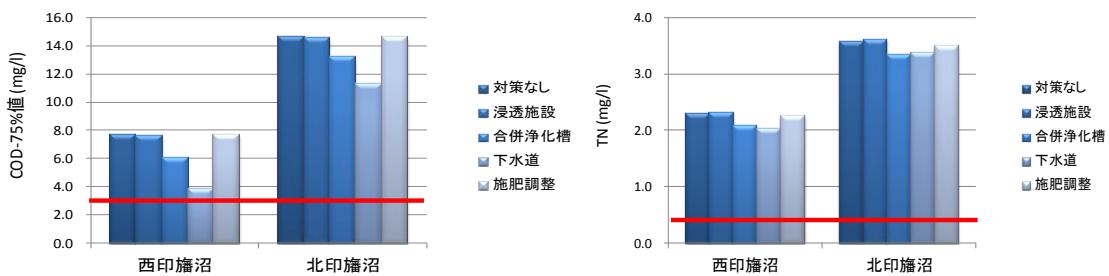


図 3.17 流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別西印旛沼と北印旛沼における水質の時系列変化

(3) 湖沼水質改善効果

流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別西印旛沼と北印旛沼における水質の年平均値の比較を図 3.18 に示す。



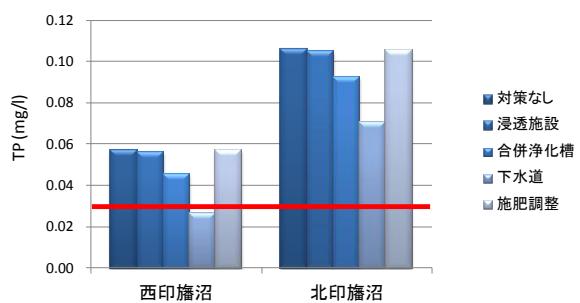


図 3.18 流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別西印旛沼と北印旛沼における水質の年平均値の比較

3.3 汚濁負荷解析に関する研究

3.3.1 千葉県水質データ

水質解析を行うにあたり、水質の現況を把握することは必須である。汚濁負荷排出の実態調査においては晴天時の状況だけではなく、降雨に伴う面源汚濁負荷流出も把握する必要がある。また、年による天候の差異の影響を考慮し、モデルパラメータの検討を容易にするためにも、できるだけ長期間のデータを入手する必要がある。既に当該流域では、多くの水質観測データが存在し、それらを有効活用することが望ましい。

そこで本年度は既存データの収集と追加データ取得のための準備を行った。

千葉県が平成14年から実施している印旛沼の流入河川7箇所での調査状況（表3.6）を把握して、そこでの水位や水質データの入手を行った。図3.19に各調査地点の印旛沼流域内位置、該当する流域、土地利用割合、流域面積を示す。

表3.6 千葉県実施の印旛沼流入河川の調査状況

観測年	観測日	鹿島川羽鳥橋	高崎川高岡橋	手練川無名橋	師戸川古屋橋	桑納川金堀橋	神崎川河原子橋	江川池袋橋
2002	7/16 - 17 9/30 - 10/3	○	○					
2003	9/20 - 22 10/14 - 15	○	○					
2004	8/28 - 30 9/29 - 10/1				○	○	○	
2005	7/25 - 28 8/24 - 28	○	○				○	○
2006	9/26 - 28 11/19 - 21				○	○	○	
2007	10/19 - 20 11/9 - 12			○	○			○
2008	9/19 - 21 10/23 - 25	○	○					
2009	10/7 - 8					○	○	
2010	10/28 - 30		○					

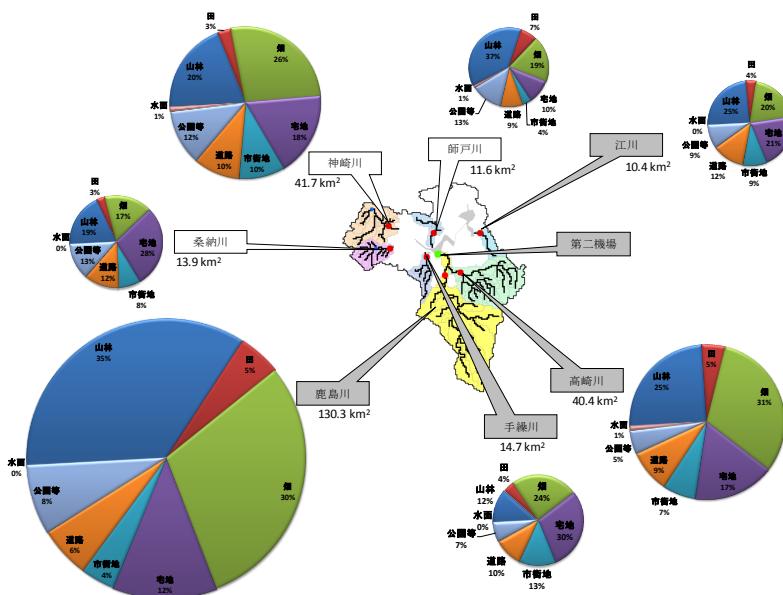


図3.19 千葉県雨天時流量・水質調査地点と流域の土地利用

3.3.2 印旛沼流入主要河川における連続水質モニタリングの実施

(A) 水質モニタリングの実施概要

印旛沼に流入する汚濁負荷のうち家庭排水や工場排水などの点源汚濁負荷量は年々減少しているものの、畑、水田また市街地の不浸透面から流出する面源汚濁負荷量は年々増加しており、全体に占める割合も増加している。このため印旛沼に流入する汚濁負荷を考える際には、面源汚濁負荷量の正確な把握が欠かせない。

そこで、千葉県が平成14年から実施している印旛沼の流入河川7箇所で行っている水位や水質調査と連携しながら、独自の晴天及び雨天時水質データの構築のために、2010年7月5日から水位、水温、濁度、電気伝導度に対する連続水質モニタリングを開始した。機器設置地点は、濁度計および水位水温計は2箇所（手縫川（無名橋）、低地排水路（臼井第二排水機場））、水温計は5箇所（鹿島川（羽鳥橋）、高崎川（高岡橋）、手縫川（無名橋）、江川（池袋橋）、低地排水路（臼井第二排水機場））とした。

モニタリングを行った機器設置地点を印旛沼流域図上で図3.20に示し、設置機器の説明を表3.7にまとめた。これは、晴天時と雨天時の日常気象変化の様々なパターンや季節変化及びそれに伴う周辺耕作地の状況変化などによる湖沼水質変化を微視的・巨視的に把握するために必要なデータであり、設置した計測機器の特徴や寸法、そして設置した現場の様子を「添付資料3.」と「添付資料4.」に整理した。

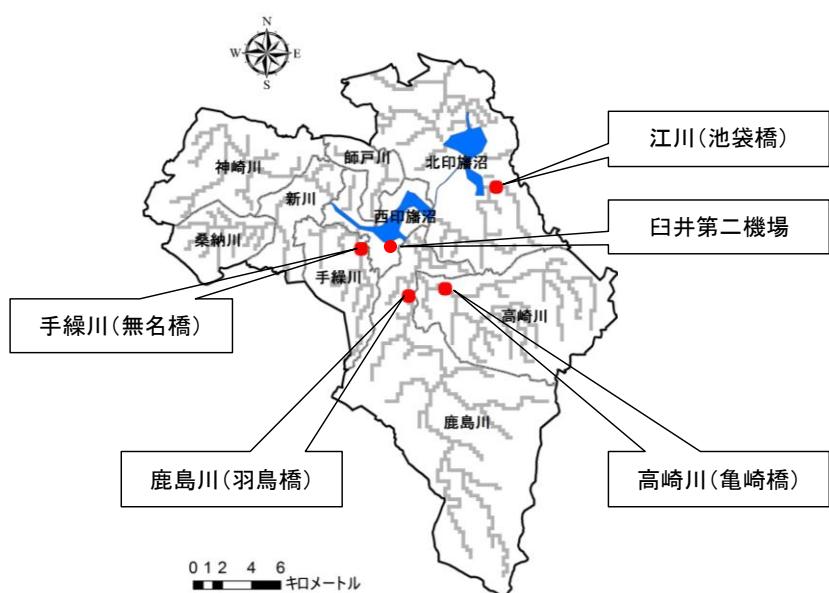


図3.20 印旛沼周辺連続水質モニタリング地点

表 3.7 印旛沼周辺流域におけるモニタリング内容

河川・水路	設置場所	設置機器	管理者	備考
低地排水路	臼井第二機場付近	濁度計, EC 計, 水位計	印旛沼土地改良区	機場前
手繩川	無名橋	濁度計, EC 計, 水温計	千葉県	河川流量観測地点
高崎川	高岡橋	水温計	千葉県	水位計設置箇所
江川	池袋橋付近	水温計	成田市	水位計設置箇所
鹿島川	亀崎橋	水温計	千葉県	水位計設置箇所

2010 年 7 月 5 から日印旛沼流入河川における水位, 水温, 濁度, 電気伝導度に対する連続水質モニタリングを開始した以来, 2012 年 1 月現在, 7 回にわたって自動記録データの回収を行った.

(B) データの整理

水質モニタリング全対象地点である 5 地点の中, 濁度計と EC 計が揃って設置されている手繩川 (無名橋) と臼井第二機場地点での EC と濁度との計測結果を図 3.21 と図 3.22 に示す.

連続計測によって得られた水位・水質データは汚濁負荷解析モジュールのキャリブレーションやモデルの精緻化に重要なデータであり, この結果は研究項目(3)の水環境保全対策に関する研究において, 面源負荷対策オプションを用いたそれぞれの対策毎の導入シナリオに対する汚濁負荷削減量や導入費用の推定を行う上に妥当なツールの提供につながる.

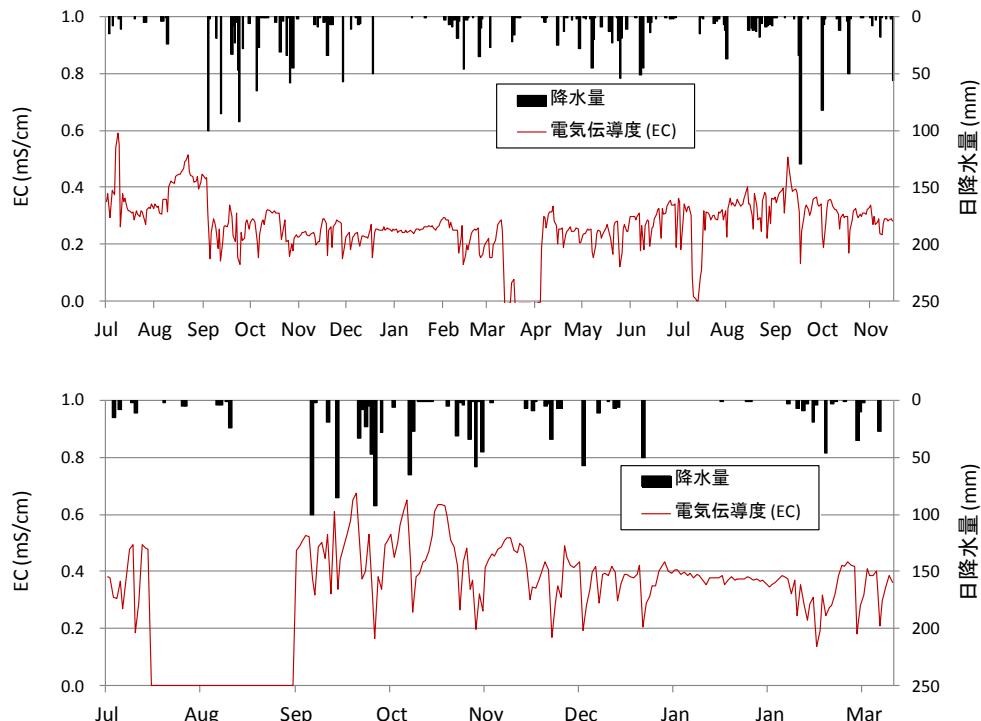


図 3.21 手繩川 (無名橋) (上) と臼井第二機場 (下) 地点における EC の経日変化

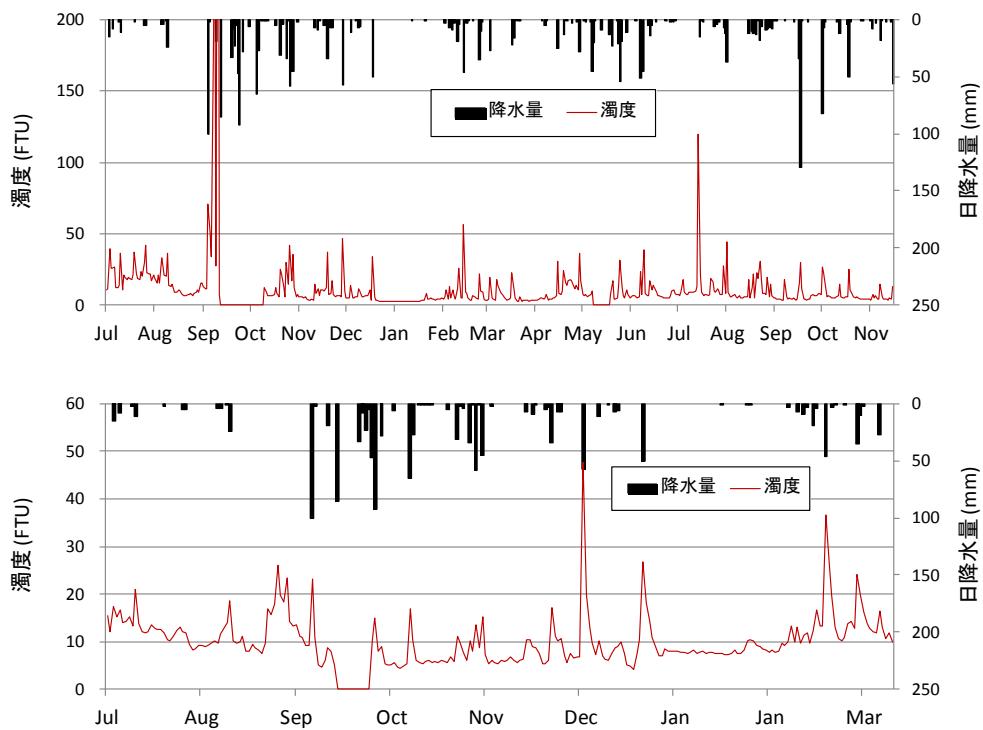


図 3.22 手縫川（無名橋）（上）と臼井第二機場（下）地点における濁度の経日変化

3.3.3 簡易汚濁負荷量の推定方法の開発

降雨時における湖沼流入河川での水質調査は流域からの面源汚濁負荷の正確な把握のために必須である。さらに、研究項目(2)の研究内容であるモデルを用いた汚濁負荷解析においてもモデル解析結果の精度向上のために精緻なモデルキャリブレーションを行うことが求められる。しかし、現地調査を伴う雨天時水質調査には時間と費用などが膨大に必要であることから、限られた地点と頻度で水質調査が行われていることが現状である。

そこで、汚濁負荷量の正確な推定を常時把握できることを目指し、自動観測が可能な濁度と電気伝導度(EC)を用いて、面源汚濁負荷の主な水質パラメータである COD, T-P, T-N の流出負荷量を推定する方法の開発を試みた。

本研究では印旛沼の主要流入河川の中で、最も流域内市街地の割合が高く、面源汚濁負荷管理が重要であると考えられる手縫川流域を選定し分析を行った。また、4.1 章で記述した千葉県の印旛沼流入主要河川での過去の水質データを利用した。

手縫川地点における濁度と電気伝導度(EC)の項目と溶存態 (Dissolved matter) と懸濁態 (Particulate matter) の COD, T-N, T-P との関係を「添付資料 5.」にまとめる。

懸濁態については濁度から、溶存態については D-COD 以外は電気伝導度(EC)から直線近似で単回帰分析を行った結果を以下の図 3.23 と図 3.24 に示す。図中には最小二乗法で求

めた回帰式とその決定係数、また95%信頼区間を上限、下限ともに示した。

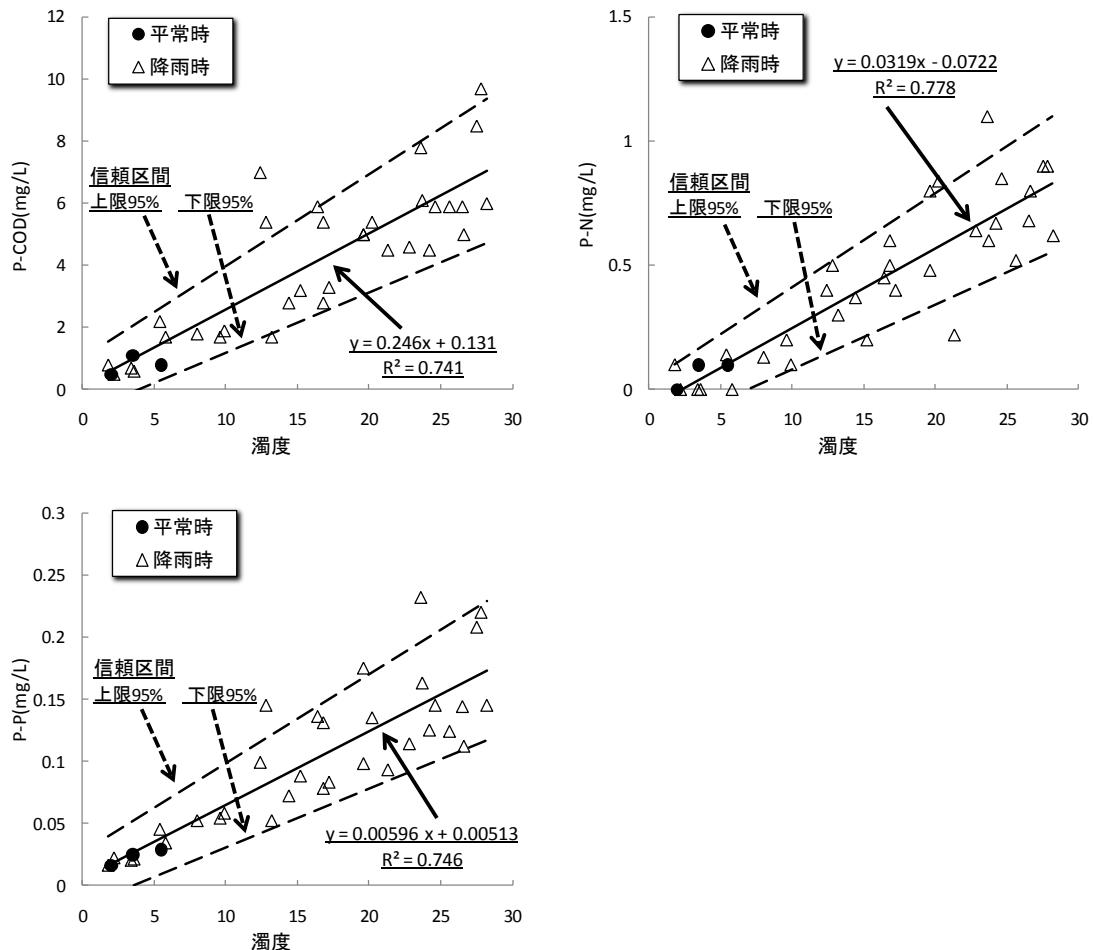


図 3.23 懸濁態と濁度間の回帰式と信頼区間

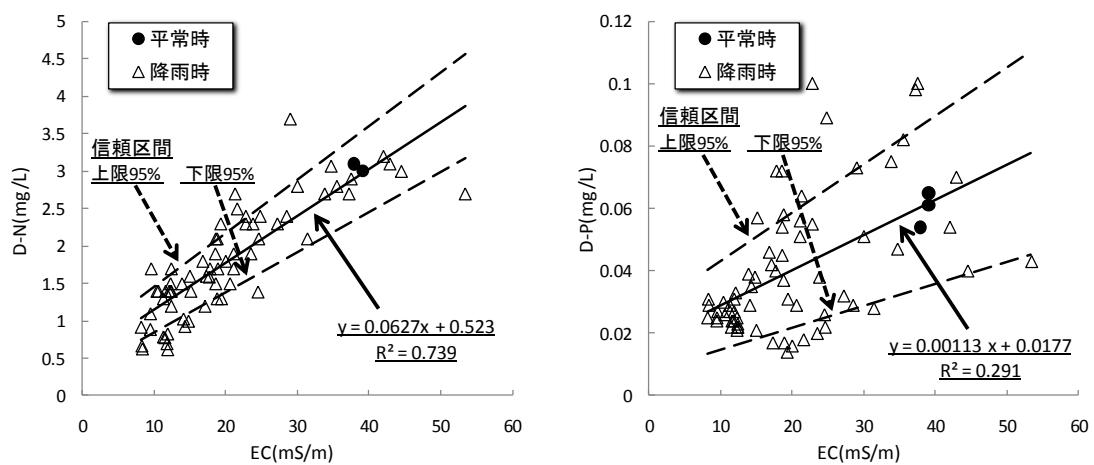


図 3.24 溶存態と濁度間の回帰式と信頼区間

これ以下ではこれらの回帰式を用いて, COD, T-N, T-P の濃度を予測していくが, D-COD は自動観測可能なデータのどれとも相関が無かつたため, 今回の実測値全体の平均値で定める. その値は手織川無名橋において 3.40mg/L となり, 定数として扱うこととする.

以上より手織川無名橋における COD, T-N, T-P 濃度の推定式は以下のようになる.

$$\text{COD} = \text{P-COD} + \text{D-COD}$$

$$= \{0.246 \times [\text{濁度}] + 0.131\} + 3.40$$

$$\text{T-N} = \text{P-N} + \text{D-N}$$

$$= \{0.0319 \times [\text{濁度}] - 0.0722\} + \{0.0627 \times [\text{EC}] + 0.523\}$$

$$\text{T-P} = \text{P-P} + \text{D-P}$$

$$= \{0.00596 \times [\text{濁度}] + 0.00513\} + \{0.00113[\text{EC}] + 0.0177\}$$

以上の推定式で求めた COD, T-N, T-P 濃度の妥当性を検討するために, 過去 5 降雨イベントに対して, 実測値と推定値の比較を行い (図 3.25~3.27), 降雨パターンによらず, 推定値は比較的正確に実測値を再現することの確認ができた.

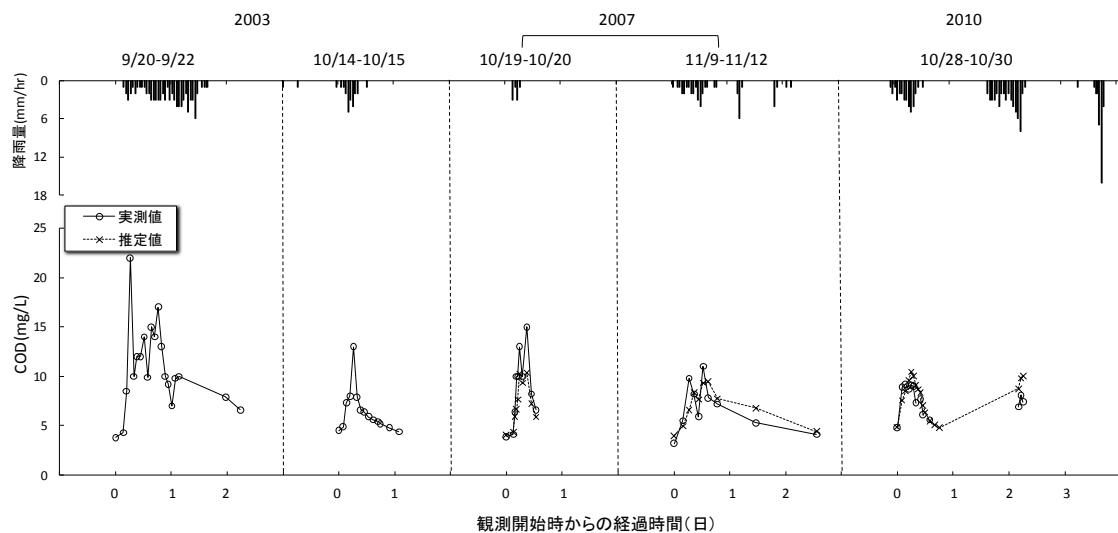


図 3.25 COD の実測値と導出値の比較

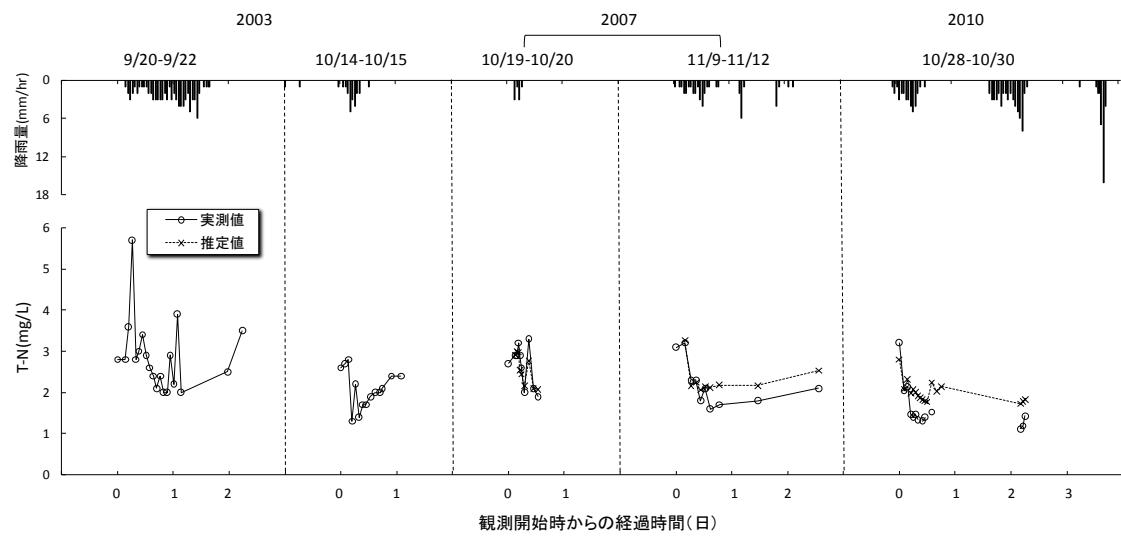


図 3.26 T-N の実測値と導出値の比較

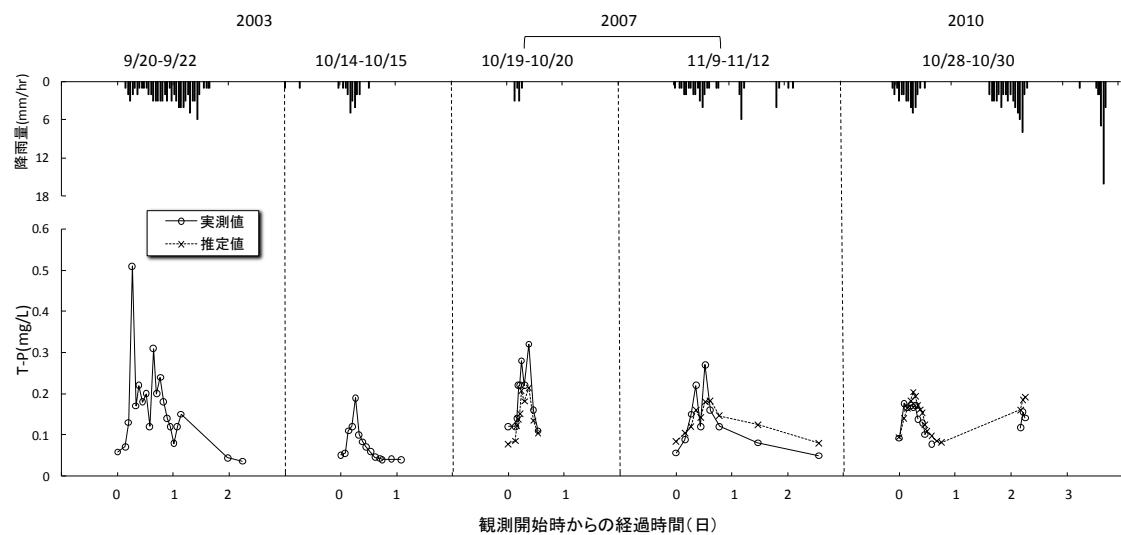


図 3.27 T-P の実測値と導出値の比較

3.4 水環境保全対策に関する研究

3.4.1 流域汚濁負荷削減のための対策オプションの精査

本項では、既に排出権取引制度などの導入事例がある欧米の事例を中心に諸外国における研究論文や報告書などのレビューを通して、経済的手法の枠組みの中で、さまざまな面源負荷対策を実施していくうえでの課題などを整理する。

(A) 面源負荷対策の重要性と課題

面源負荷はその特質から排出権取引制度に導入するには課題が多いことがこれまでも指摘されている。具体的には、降雨などのランダムな気象条件の影響を受けること、排出源でその負荷を測ることができないこと、排出負荷と負荷削減策の関係について十分な知見がないことがその特質として挙げられている(Stephenson et al., 2007)。つまり、排出権取引制度に導入するためには、面源負荷を十分な確からしさで定量的に評価できるかどうかが課題としてあげられている。

その一方、下水道など点源への対策が進んだ流域においては面源負荷の削減が水環境の改善において重要であるとともに、一般的に点源より面源負荷の方が削減費用が安価である。また、排出権取引制度により排出者へのインセンティブを高めることで、面源負荷の計測や削減対策の効果の定量的な評価についての技術開発が誘導されることも考えられる。

(B) 面源負荷の種類

栄養塩の面源負荷は、主として農地や畜産などの農業からの発生と、下水の越流や十分に処理されていない生活雑排水などの都市からの排水に分けられる(Carpenter et al., 1998)。これら以外では、農業廃棄物や化石燃料の燃焼などによる大気中の窒素酸化物などの降下が挙げられる。

(C) 面源からの栄養塩負荷の削減手法

以下に面源からの栄養塩負荷の削減手法について、その概要を紹介する。

都市計画的手法：河川沿いや海岸・湖岸沿いの植生により水域への面源負荷の流出が大幅に削減できるとの報告がある。(Hill, 1996; Carpenter et al., 1998)。また、このような植生は、水域および水域周辺の生態系にも好影響を与える。また、湿地においても脱窒により下流への窒素が削減でき、費用効率性の高い手法であるとの議論がある(Carpenter et al., 1998)。ただし、これらの対策の実施には、プロジェクトの計画、実施におけるさまざまなプロセスへの市民などステークホルダーの参加が必要である(Olson, 1992)。

農業における窒素・リンの管理：農地への施肥はその一部しか作物に吸収されず、残りは栄養塩の面源負荷の要因となっている。また、高密度での家畜の飼育も栄養塩の負荷の原因である (Carpenter et al., 1998)。施肥については、作物の要求量に応じて削減するこ

とと、施肥した窒素のうち水系へ流出する割合を削減することの 2 つが考えられる。高密度での家畜の飼育は、糞尿を天元として管理し、水系へ流出する前に除去するか肥料として再利用することが考えられる。

発生源管理：肥料に関しては作物の摂取速度を基準に施肥量を検討していくことで、負荷を削減することが可能である。また、畜産についても、家畜の要求量に基づいて飼料中の栄養塩を管理していくことで負荷削減が可能である (Carpenter et al., 1998)。

流出過程における管理：農地から水域への栄養塩の流出は、水域沿いの植生帯や滯水池、土壤流出を防止する対策などにより削減することが可能である。例えば、水域沿いの植生がリン負荷の 50~85%を削減する。しかし、このような対策は土壤への栄養塩の蓄積を招くため、発生源対策や蓄積した栄養塩の除去といった対策と組み合わせて行うべきである (Carpenter et al., 1998)。

都市流出の管理：下水システムの最適化、滯水池や人工湿地などによる統合的な雨水管理、道路の清掃、雨水浸透や建築現場での土砂流出のコントロールなど、さまざまな方策がある (Carpenter et al., 1998)。

これらの中で利用されている技術オプションは、滯水池や調整池、人工湿地や安定化池など面源からの流出水を下流側で集めて処理施設により処理する方法、農法の改善や堆肥化、道路清掃など面源からの発生そのものを少なくする方法、植生帯や湿地など下流側で自然の機能を利用して削減する方法などに分けられる。

(D) 削減対策の実施主体

課徴金や補助金、排出権取引などの経済的手法の導入を想定した場合、これらの対策の実施主体が経済的なインセンティブの元に行動を起こすことが求められる。想定される実施主体は、農業生産者、畜産業者、都市の雨水管理者などである。ただし、農業生産者は小規模な場合が多く、ある地域（流域）で共同体として削減対策の実施主体となる場合が想定される。

さらに、排出権取引や課徴金においては、オフセットとして汚濁負荷の排出者が自身の排出負荷を直接削減する代わりに他の場所で汚濁負荷の削減をするような場合も想定される。例えば、下水道事業者が処理水の放流先の河川や湖沼で汚濁負荷の削減策を実施し、そこで認められた削減量を排出権取引や課徴金の相殺に用いるような例である。オフセットを導入することにより、実施主体が取り得るオプションを増やすことができる。ただし、実施主体が実際に排出している場所と削減を行う場所が異なるため、汚濁負荷のホットスポット（集中する場所）を引き起こすことになっていないかなどの注意が必要であろう。

(E) 経済的手法導入時の各削減対策

経済的手法の中でも、課徴金や排出権取引と補助金では各対策実施にあたって要求され

る事項や課題が異なる。課徴金や排出権取引では、各排出者に割り当てられている排出量や課徴金の基準となっている排出量と実際の排出量の差を正確に把握する必要がある。また、オフセットで面源負荷の削減を行う場合は、その対策がなかったときの排出量と対策が導入されたときの排出量の差を把握する必要がある。面源対策の中ではこのような排出量の把握が難しいものも多く、経済的手法導入時にこのような排出量の把握が難しいものを対策として検討すべきかどうかについて議論が必要となる。

一方、補助金では対策技術の導入に対する補助とすると、上記のようなモニタリングは不要であるので、導入は容易になる。例えば、米国などでは、Green payment programsとして、環境負荷が少ない農法を採用している農業生産者に対して、その農法を採用した事による損失分を補填する制度が注目されている。農業生産者は自発的に参加するかどうかを選択できる。この方法は、農業生産者の収入を増やすとともに、環境負荷を減らし、農業生産における社会的な価値を増加させる方法として考えられている(Wu and Babcock, 1995)。ただし、損失補填が多額であると施行費用がかかり、少額であると十分な参加が得られない(Feng, 2007)ため、どれくらいの規模へのサポートが必要かなどの精査が必要である。このような補助金の課題は、各対策技術により具体的にどの程度負荷が削減されたかについて情報が得られないため、対象とする水域への汚濁負荷削減を目標通り達成できるかどうかが担保されない。

表3.8に技術オプションと実施主体、導入時の必要事項や課題をまとめる。

表3.8 面源負荷に対する汚濁負荷削減技術と経済的手法導入時の利用における課題

技術オプション	実施主体	導入時の必要事項や課題
滯留池／調整池	大規模農業生産者 畜産業者、農業生産者の集合体、雨水管理者、点源のオフセット	<ul style="list-style-type: none"> 排出負荷量のモニタリングは可能。ただしオフセットとして利用する場合は、流入負荷と流出負荷の双方のモニタリングが必要。 集合体として設置する場合は共同で費用負担することになり、個々の排出源の排出実態に応じて負担をせずに一律の負担を課すような状況が生じるため、一般的に個々の排出者への負担が大きくなりがち。 十分な土地面積が必要 地下水の汚染や生態系への影響が想定される。 流入状況により処理効率が変化（処理効率の予測が難しい）
人工湿地処理	大規模農業生産者 畜産業者、農業生産者の集合体、雨水管理者、点源のオフセット	<ul style="list-style-type: none"> 構造によるが、排出負荷量のモニタリングは可能。ただしオフセットとして利用する場合は、流入負荷と流出負荷の双方のモニタリングが必要。 集合体として設置する場合は共同で費用負担することになり、個々の排出源の排出実態に応じて負担をせずに一律の負担を課すような状況が生じるため、一般的に個々の排出者への負担が大きくなりがち。 生態系への影響が想定される。 気象や環境条件の影響を受けるとともに、有害物質を含む排水は処理効率の低下につながる可能性

技術オプション	実施主体	導入時の必要事項や課題
安定化池	大規模農業生産者 畜産業者, 農業生産者の集合体, 雨水管理者, 点源のオフセット	<ul style="list-style-type: none"> 排出負荷量のモニタリングは可能. ただしオフセットとして利用する場合は, 流入負荷と流出負荷の双方のモニタリングが必要. 集合体として設置する場合は共同で費用負担することになり, 個々の排出源の排出実態に応じて負担をせずに一律の負担を課すような状況が生じるため, 一般的に個々の排出者の負担が大きくなりがち. 処理効率を改善するために曝気装置を設置した場合に付加的な運転費用が発生する.
堆肥化	畜産業者, 点源のオフセット	<ul style="list-style-type: none"> オフセットで利用する場合は堆肥化プロセスへの流入栄養塩負荷のモニタリングが必要. 製造堆肥の需要の安定性と, 堆肥に含まれる栄養塩による施肥された地域での追加的な栄養塩負荷. 堆肥化プロセス中に大気へ放出される窒素成分のモニタリングの必要性
メタン発酵	畜産業者, 点源のオフセット	<ul style="list-style-type: none"> 排出負荷量のモニタリングは可能. オフセットで利用する場合はメタン発酵プロセスへの流入栄養塩負荷のモニタリングが必要. メタン発酵後の排水は廃棄物の管理方法.
水域沿いへの植生	大規模農業生産者, 農業生産者の集合体, その他の発生源のオフセット	<ul style="list-style-type: none"> 流入・排出負荷量のモニタリングは困難. 導入可能場所は限定的
雨水浸透施設	雨水管理者, 点源のオフセット	<ul style="list-style-type: none"> 排出負荷量・削減負荷量のモニタリングは困難. 導入可能場所は限定的 (十分な面積と土壌浸透能の確保) 地下水汚染のリスク
道路清掃	雨水管理者	<ul style="list-style-type: none"> 排出負荷量, 削減負荷量のモニタリングは困難.
農法の改善	大規模農業生産者, 農業生産者の集合体	<ul style="list-style-type: none"> 排出負荷量, 削減負荷量のモニタリングは困難.
湿地保全	オフセット	<ul style="list-style-type: none"> 削減負荷量のモニタリングは困難. 導入可能場所は限定的 (十分な面積と土壌浸透能の確保)
湖沼や河川内の対策	オフセット	<ul style="list-style-type: none"> 対策によっては削減負荷量のモニタリングは可能.

3.4.2 印旛沼において導入可能な水環境保全対策の特性

ここでは, 流域水・物質循環モデルにより解析が可能な対策のうち, 印旛沼流域において導入可能と考えられるものについて, 経済的手法を導入するときに重要となる特性について, 定性的に議論する.

(A) 負荷削減量の推定方法とその他の環境影響

導入候補となる対策を特性に応じて7つに分類し, 表3.9にまとめた.

負荷削減量の推定については, 下水道などの集合処理, 面源対策でも施設を用いて集中的に除去をする場合などは, 実際のモニタリングを行うことも可能である. よって, 経済的な手法を導入する場合も, 削減負荷量をモニタリング結果から定量化でき, 信頼性が高いものと考えられる. 一方で, 浸透対策や面源のソフトな対策は実質的にモニタリングが困難であり, モデルを用いて削減負荷量を推定せざるをえない. 施肥量削減などは間接的

な施肥量のデータから負荷削減量の推定が必要となり、やはり不確実性が含まれる。

その他の環境影響については、良い面での効果として見込まれるものと悪影響の双方がある。例えば、浸透対策や路面清掃は、それぞれ洪水制御や地下水涵養、街の美観の向上、という観点から推進すべき対策であり、これらの対策への支出の全額が水質汚濁負荷削減に帰るべきではない。また、施肥量削減は化学肥料の節約による費用削減に結びつく可能性もある。一方、下水道や浄化槽などの施設建設による対策は、建設、運用に伴う環境負荷の増大を招くことになる。経済的手法の導入を想定した費用効率性の議論を行う場合は、このような他側面における便益や費用についても留意する必要がある。

表 3.9 対策ごとの負荷削減量の推定方法と環境影響

	対策のイメージ	負荷削減量の算定方法と精度	その他の環境影響
生活・事業場排水対策（集合処理）	下水道	<ul style="list-style-type: none"> ● 削減量のモニタリングが容易。 ● 流域外へ負荷を移動している場合もあり、その場合は 100% 削減となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 小河川などにおける水量の減少 ● 下水道の建設、運用における追加的なエネルギー&資源消費
生活・事業場排水対策（個別処理）	合併浄化槽	<ul style="list-style-type: none"> ● 削減量のモニタリングがある程度可能。 ● モデルによる推定は、変動する排水に対する除去率をどう設定するかによるが、不確実性は相対的に小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 浄化槽の建設、運用における追加的なエネルギー&資源消費
都市面源対策（浸透対策）	雨水浸透マス 透水性舗装	<ul style="list-style-type: none"> ● 削減量のモニタリングは困難であり、モデルによる推定。 ● モデルによる推定には、不確実性も多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 洪水制御や地下水涵養が主目的の場合が通常であり、集水域への汚濁負荷削減効果は副次的な効果である。 ● 浸透マスの建設などへの追加的な資源消費がある。 ● 地下水汚染の懸念もある。
都市面源対策（直接除去・ソフト）	路面清掃 初期雨水の下水処理	<ul style="list-style-type: none"> ● 削減量のモニタリングは困難であり、モデルによる推定。 ● モデルによる推定には、不確実性も多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 実施に関わるエネルギー消費の増加 ● 路面清掃は街の美観の向上や雨水排除機能の維持
都市面源対策（直接除去・ハード）	調整池等 路面排水処理	<ul style="list-style-type: none"> ● 削減量のモニタリングはある程度可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建設、運用における追加的なエネルギー&資源消費 ● 調整池の場合、水辺の創出による効果と影響
農地対策（発生削減）	施肥量削減	<ul style="list-style-type: none"> ● 施肥量のデータからモデルにより推定。 ● モデルによる推定には、不確実性も。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 化学肥料などの製造に伴う環境負荷の削減
農地対策（直接除去）	調整池等 排水処理	<ul style="list-style-type: none"> ● 削減量のモニタリングはある程度可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建設、運用における追加的なエネルギー&資源消費 ● 調整池の場合、水辺の創出による効果と影響

（B）対策ごとのコストの傾向と実施者

対策ごとのコストの傾向と実施者を上記 7 分類ごとに表 3.10 にまとめた。

コストについて導入地域やスケールなどによりばらつきが大きいが、一般的な傾向で考

えると、生活・事業場排水対策は高く、面源における対策は低くなる傾向があることが推測される。また、印旛沼流域では面源からの汚濁負荷の比率が比較的多いため、面源対策の効果が大きいことが想定される。このようなことから、各対策の実施者間での取引も含めたインセンティブの付与が、重要な政策オプションとして検討されうる状況にあるものと考えられる。

表 3.10 対策ごとのコストの傾向と費用負担

	コスト	実施者と費用負担
生活・事業場排水対策（集合処理）	管路網と処理施設の整備が必要であり、特に密度が低いところでは高コスト	●下水道事業者による実施 ●利用者からの料金徴収
生活・事業場排水対策（個別処理）	サイズおよび処理性能により異なるが、栄養塩除去をするためには高コストになる場合が多い。	●利用者による実施と負担 ●一部、行政からの補助
都市面源対策（浸透対策）	汚濁負荷削減が相当見込める場合は低コストに。	●個人の敷地の場合は個人負担 ●公共空間および道路などで実施する場合は、行政による負担
都市面源対策（直接除去）	汚濁負荷削減が相当見込める場合は低コストに。	●行政による実施
都市面源対策（直接除去）	処理の程度、建設コストによるが、低成本になる場合も	●行政による実施。民間による開発の場合は、民間事業者による実施。
農地対策（発生削減）	化学肥料の使用費削減 収量の低下による収益減の可能性 施肥方法の変更によるコスト増	●農家による実施 ●農業共同体としての実施
農地対策（直接除去）	処理の程度、建設コストによるが、低成本になる場合も	●行政あるいは農業共同体としての実施

3.4.3 汚濁負荷解析モジュールにおける水質保全対策の反映

流域水循環計画の視点から、指定湖沼としての第5期印旛沼水質保全計画（H18-22）における水質保全対策の整理を行い、同時並行的に水循環健全化への取り組みを全県的に行っている印旛沼流域水循環健全化会議の動向を調べた。

本研究における水質解析において、各排出源からの水質汚濁負荷の基礎データの収集および分析であった。3.1で示したように印旛沼流域では多くの点源負荷については基礎的データが既に存在しており、面源汚濁負荷の調査・解析が課題として残されている。そこで、汚濁負荷解析に用いる流域水・物質循環モデルに含まれる面源負荷排出量推定モジュールの作成を主として進めた。その際、点源対策や面源対策をモデル上で反映するために必要となる物理素過程のモデル構造の精査を行い、水質保全対策として、生活排水対策、事業所排水対策、面源対策（路面清掃、調整池管理、施肥管理、初期雨水対策など）などの対策シナリオやオプションを導入できるモジュール構造になるように工夫を施した（表3.11）。各種の対策の対策導入によって期待される効果を表3.12に示し、モデル上での反映における考え方と基礎式を「添付資料6.」に示す。

表 3.11 流域水・物質循環モデル上で評価可能な対策

区分	モデルでの対策名
浸透対策	1 雨水浸透マス 2 透水性舗装 3 緑地保全
生活系排水対策	4 下水道 5 合併処理浄化槽, 高度処理型合併処理浄化槽 6 都市排水路等での負荷削減（都市排水の下水道への取り込み等）
事業所対策	7 事業場排出負荷削減
面源対策	8 路面清掃 9 調整池での負荷トラップ・清掃 10 環境保全型農業（施肥量削減） 11 初期雨水の下水道への取り込み 12 路面排水処理
直接浄化	13 河川・排水路での直接浄化 14 凈化用水の導入 15 湿地浄化

表 3.12 各汚濁負荷削減対策におけるモデルでの考え方と効果

対策名	モデル化の考え方	効果
1 雨水浸透マス	市街地および宅地において、メッシュ上に、貯留浸透施設の貯留量（入力データとして設定）をもつ貯留タンクを想定することにより、貯留浸透の効果を計算する。	地下浸透量が増加するとともに、メッシュに入る降雨量が減少するため、表面流出量、表面発生負荷量が減少する。
2 透水性舗装	市街地、道路において、透水性舗装の設置により増加した地下浸透量を、直接、蒸発散モデルにより計算される地下浸透に付加することにより、対策の効果を評価する。	雨水浸透マスと同様に、地下浸透量が増加するとともに、メッシュに入る降雨量が減少するため、表面流出量、表面発生負荷量が減少する。
3 緑地保全	GIS データベースにおいて、各メッシュの緑地に関する地目（山林、畑、公園等）の土地利用割合を増加させることにより、緑地を保全する。	メッシュでの浸透能力が維持され、地下浸透量が保持され、表面流出量・表面発生負荷量の増加を抑制できる。
4 下水道	GIS データベースにおいて、汚水処理形態別人口を変更することにより、生活系の排出負荷量を削減する。	メッシュで付加される負荷量が減少するため、メッシュの水質濃度が低下する。
5 都市排水路等での負荷削減	流域の地表面において、指定するメッシュに対して、施設等による負荷の削減量を与えることにより、負荷削減効果を見る。	地表面での負荷量を系外へ除去するため、下流へ流下する負荷量が減少する。
6 事業場排出負荷削減	GIS データベースにおいて、事業場の排水量・排出負荷量を変更することにより、事業場排出負荷量を削減する。	下水道や合併処理浄化槽と同様に、メッシュで付加される負荷量が減少するため、メッシュの水質濃度が低下する。
7 路面清掃	地表流モデルでの雨天時負荷流出モデルでの計算において、指定する（路面清掃を行う）日、指定するメッシュにおいて、負荷堆積量 S に清掃による削減率 $E(\%)$ を乗じて負荷堆積量を減じる。	表面発生負荷量に起因する負荷堆積量 S を減じるため、降雨時に発生する負荷量が減少する。

8 調整池での負荷トラップ・清掃	調整池で流出水が一時的に滞留することによる沈降（トラップ）効果、および堆積物の清掃による除去効果を算定する。	調整池清掃実施以後において、降雨時の調整池内の堆積量の再浮遊による調整池水質の増加を抑制することができるため、流下する負荷量が減少する。
9 環境保全型農業	現況の値として設定する水田、および畑の施肥量を減じることにより、削減効果を見る。	施肥量を減じることにより、地下へ浸透する負荷が減る。これにより地下水水質、湧水水質が改善し、平常時の河川水質が改善する。
10 初期雨水の下水道への取り込み	市街地や住宅団地等からの雨水流出水のうち、雨水流出初期において、ある一定量までを貯留し浄化することにより、汚濁負荷の流出を抑制しようとする対策である。流末の雨水貯留槽に初期雨水をため込み、貯留した汚濁水を浄化させる。貯留量を超えた量はそのまま流出する。	高濃度の初期雨水の負荷量を系外へ除去するため、流下する負荷量が減少する。
11 路面排水処理装置	初期の雨水による路面排水（First Flush）によって流れ出る汚濁物質を選択的に浄化することを目的として、路面排水処理装置を設置する。	降雨時の流出負荷量を系外へ除去するため、降雨時に下流へ流下する負荷量が減少する。

上記の対策オプションは導入先の土地利用の条件によって異なり、対策によっては導入できない地域もあり得る。表 3.13 には印旛沼 10 個の流域に対して、それぞれの対策に対して、必要とする土地利用条件や流域への導入可能面積（数）を示す。

表 3.13 汚濁負荷解析モジュールを用いた河川流域に対する各対策導入可能性

対策	流域	河川流域名	鹿島	高崎	手織	神崎	新川	桑納	師戸	西印	北印	長門
		流域面積 (km ²)	川	川	川	川	川	川	川	川	川	川
		人口密度 (人/km ²)	164.0	85.5	32.3	63.0	15.1	25.5	13.7	28.9	84.4	30.6
対策名	対策導入制御パラメータ											
1 雨水浸透マス	市街地・住宅・道路面積 (ha/ha)*											
2 透水性舗装	市街地・住宅・道路面積 (ha/ha)											
3 緑地保全	山林・畑・公園面積 (ha/ha)											
4 下水道	生活汚水量 (L/日/ha)											
5 都市排水	市街地・住宅・											

路等での負荷削減	道路面積 (ha/ha)										
6 事業場排出負荷削減	事業場汚水量 (L/日/ha)	1080	2313	1103	936	1065	3076	570	589	700	134
7 路面清掃	道路面積 (ha/ha)	0.07	0.08	0.11	0.09	0.11	0.09	0.09	0.06	0.08	0.09
8 調整池での負荷トラップ・清掃	流域内調整池数	10	9	4	7	1	5	4	0	3	0
9 環境保全型農業	水田・畑面積 (ha/ha)	0.35	0.42	0.23	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.44	0.54
10 初期雨水の下水道への取り込み	市街地・住宅・道路面積 (ha/ha)	0.22	0.29	0.45	0.33	0.42	0.45	0.21	0.17	0.21	0.23
11 路面排水処理装置	市街地・住宅・道路面積 (ha/ha)	0.22	0.29	0.45	0.33	0.42	0.45	0.21	0.17	0.21	0.23

*(ha/ha):河川流域全体面積に対するそれぞれの土地利用面積

3.4.4 汚濁負荷削減対策ごとのコストの推定

ここでは 3.2.2 節で記述の 4 つの流域汚濁負荷削減対策について、コストの推計方法をまとめる。

(1) 浸透施設の導入

浸透枠や浸透トレンチの導入にかかる費用は、初期費用としては枠やトレンチの購入費用と共に設置工事費が必要となり、維持管理費として清掃費が必要となる。環境省へのヒアリングで得られた印旛沼流域や千葉県手賀沼流域における設置基数と事業費（実績値）から、導入単価を計算すると表 3.14 のようになる。印旛沼の事例は雨水浸透施設を設置する初期費用のみを考慮しているのに対し、手賀沼の事例は清掃などへの協力に対する謝礼も含めた値となっており、実際はこれらの値の間ぐらいになるものと思われる。

なお、耐用年数は清掃などの維持管理状況により異なると思われるが、20 年と仮定すると初期費用は 2.4 千円／年となる。

表 3.14 雨水浸透施設の設置事例における導入単価

	設置基数	事業費（千円）	導入単価（千円／基）
印旛沼（雨水浸透施設の設置）	194	9,470	48
手賀沼（浸透枠モニター制度）	5	1,500	300

透水性舗装の導入にかかる費用としては、初期費用として舗装材と施工費が考えられる。こちらも同様に環境省のヒアリングより、印旛沼流域および手賀沼流域における導入面積と事業費から導入単価を推計すると、表 3.15 のようになる。両事例で大きな差はなく、1m²あたり 7~10 千円となっている。耐用年数は導入場所の条件により大きく異なるものと思われるが、仮に 20 年とすると、年間あたりの導入費用は 350~500 円／m² となる。

表 3.15 透水性舗装の導入事例における導入単価

	導入面積（m ² ）	事業費（千円）	導入単価（千円／m ² ）
印旛沼	42,088	292,125	9.4
手賀沼	1,980	18,600	6.9

(2) 合併浄化槽

合併浄化槽は初期費用として浄化槽本体の費用に設置工事費が必要となる。この費用は状況に応じて大きな幅があり、数十万円から 100 万円を超える場合もある。また、定期的な点検や汚泥の引き抜きが必要となるが、年間で数万円の費用が必要となる。仮に設置費用を 100 万円、耐用年数 20 年、点検等の費用が年間 3 万円とすると、8 万円／基／年となる。

(3) 下水道

下水道の導入費用の推計方法は、例えば流域別下水道整備総合指針と解説（日本下水道協会、2008）などに詳しく述べられている。下水道の導入費用は、管渠建設費、ポンプ場の建設費、用地費、維持費、処理場の建設費、用地費、維持費に分けられ、管渠建設費の場合は工法ごとに、処理場の場合は処理方式ごとに費用関数が異なる。

参考までに下水道料金では、多くに事業体で 1m³あたりだいたい 100~200 円となっている。一人 1 年間の下水量を 100m³（一日約 270L）とすると、一人年間 1~2 万円と言うことになる。なお、下水道料金は下水道にかかる総費用を表していないため、実際の費用はこれより大きくなる。

(4) 環境保全型農業

施肥量を減らすと肥料購入代が節約できることになり、利益がもたらされる。ただし、

施肥量減に伴い収穫量が減少した場合は、コストが発生する。さらに、人手がかかることも予想され、その分人件費が必要となる。また、機械を用いた局所施肥などを実施する場合は、導入費用が必要となる。

環境省へのヒアリングでは、岡山県の児島湖において、土壤診断による適正な施肥量の算出を支援する事業があり、63圃場を対象として3,695千円の事業費が使われている。単純に圃場あたりで割ると59千円となる。ただし、土壤診断に基づく施肥量の普及率など、状況に応じて大きく変わるものと思われる。

3.5 結論

3.5.1 流域水循環計画に関する研究

本研究では、湖沼水質予測モデルツールの作成、汚濁負荷収支や汚濁流入負荷量算定の精緻化、印旛沼水質予測モデルによる水質改善効果評価、水および汚濁負荷収支や汚濁流入負荷削減効果の表示方法検討などの研究項目（2）の研究計画を実行し、平成23年まで得られた研究成果とその意義、そして他の研究項目との連携内容を以下にまとめた。

1) 多様な発生源由来の汚濁負荷におけるモデル解析方法の有効性と精度向上

面源負荷は土地利用ごとに発生や流出メカニズムが異なり、実測によるメカニズム解明は困難であることから、本検討では土地利用別に面源負荷の解析が可能で、かつ将来の施策展開を考慮した面源対策効果の解析が可能なように、各種の面源対策を組み込んだモデルの構築とその適用性について検討を行った。

研究項目（3）から提供された千葉県水質データを利用して、千葉県印旛沼を対象にする汚濁負荷解析モジュールの精緻化を行った。降雨量、土地利用、点源汚濁負荷などのモデル計算に基礎となる入力データの取りまとめのため、GISを利用して流域単位の整理を行った。この結果は、研究項目（4）の汚濁対策オプションの導入しやすさを評価することに利用される。

印旛沼水質調査の7地点における流量の計算結果を調査データと比較を通じ、流量とCOD、TN、TPの負荷量に対して、計算値と調査値との30%前後の誤差が見られたものの、流出傾向やピーク流出量の近似性から適用したモデルパラメータを採用することにした。

2) 流域汚濁負荷削減対策別の定量的汚濁負荷削減量の算定と比較

研究項目（4）から提供された流域汚濁負荷削減対策オプションの中で、雨水浸透耕と透水性舗装、合併浄化槽、下水道、環境保全型農業の4つの対策を印旛沼全流域に適用して、シナリオ別汚濁負荷削減効果に対する定量的な検討を行った。

流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ解析結果は湖沼水質モデルと連携されることから、湖沼水質モデルの検証対象期間である2002年の印旛沼水質と気象条件を利用した汚濁負荷状況を現状とし、各種域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ解析結果との比較を行った。

流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別印旛沼への COD, TN, TP の年間負荷量は、対策導入前と比べて、各汚濁物質別に以下の結果となった。

<COD>

- 年負荷量は 4 つのシナリオで 0.2%~22% が削減されると推算された。
- 雨水浸透枠と透水性舗装、合併浄化槽、下水道の対策による削減量は 15% 以上で、印旛沼への流出負荷対策として有効であると考えられる。

<TN>

- 合併浄化槽、下水道、環境保全型農業による年負荷量は 2%~11% が削減されると推算された。しかし、雨水浸透枠と透水性舗装導入シナリオでは、別印旛沼への年負荷量が 3% 増加する結果となった。これは、地下へ浸透される雨水が湧出量を増やし溶存性 TN の流出量を増加させたと考えられる。
- 合併浄化槽、下水道の対策による削減量は 11% 以上で、印旛沼への流出負荷対策として有効であると考えられる。

<TP>

- 年負荷量は 4 つのシナリオで 0.01%~64% が削減されると推算された。
- 合併浄化槽、下水道の対策による削減量は 23% と 64% で、印旛沼への流出負荷対策として有効であると考えられる。

3) 流域汚濁負荷削減対策別の印旛沼水質への影響把握

面源負荷等の汚濁負荷の削減は、河川の水質改善とともに、下流域に閉鎖性水域が存在する場合には、その閉鎖性水域の水質改善にも直結する。そこで、流域汚濁負荷削減対策別の定量的汚濁負荷削減量の算定結果に基づき、具体的に現れる閉鎖性水域の水質を解析できるモデルを用いて検討を行った。

<汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別の西印旛沼と北印旛沼における水質の時系列変化>

- COD と TP の印旛沼水質は降水量と変化と同様の流出傾向が見られ、夏季の水質が想定的に悪化する結果となった。そして、合併浄化槽と下水道の対策では水質改善効果は見られたものの、浸透施設導入や環境保全型農業の対策のように、雨天時流出負荷の削減があるものの、過去に蓄積した地下水中の栄養塩類供給があることから短期間では、ほとんど水質改善効果が見られない結果となった。
- TN の印旛沼水質は、降雨にともなう湖水希釈による水質改善効果があり、降雨の少ない冬季の水質が想定的に悪化する結果となった。4 つの汚濁負荷削減シナリオでいずれにおいても、3 月や 11 月において合併浄化槽と下水道の対策による水質改善が一部見られるものの、全般的には、COD と TP と相対比較すると、短期間には顕著な印旛沼水質改善に結び付けられる有効な効果は見られなかった。

<流域汚濁負荷削減対策の導入シナリオ別西印旛沼と北印旛沼における水質の年平均値>

- 西印旛沼より北印旛沼の水質が悪い状況であることが推定された。

- － 合併浄化槽と下水道の対策で COD と TP に対する有効な水質改善効果が見られた。特に、下水道の対策場合、TP の環境基準が達成できる結果（西印旛沼）となった。
- － しかし、TN 濃度における水質改善効果はいずれの対策でも見られなかった。

3.5.2 汚濁負荷解析に関する研究

本研究では、汚濁負荷解析モジュールの精緻化のための現場モニタリング、汚濁負荷解析モジュールの精緻化のための現場モニタリングとデータ整理の研究開始当初における研究項目（3）の研究計画を実行し、平成 23 年まで得られた研究成果とその意義、そして他の研究項目との連携内容を以下にまとめる。

1) 千葉県水質データの整理

水質解析を行うにあたり、水質の現況を把握することは必須である。汚濁負荷排出の実態調査においては晴天時の状況だけではなく、降雨に伴う面源汚濁負荷流出も把握する必要がある。また、年による天候の差異の影響を考慮し、研究項目②でのモデルパラメータの検討を容易にするためにも、できるだけ長期間のデータを入手する必要がある。

千葉県が平成 14 年から実施している印旛沼の流入河川 7 箇所での調査状況を把握して、そこでの水位や水質データの入手を行った。

2) 印旛沼流入主要河川における連続水質モニタリングの実施

千葉県が平成 14 年から実施している印旛沼の流入河川 7 箇所で行っている水位や水質調査と連携しながら、独自の晴天及び雨天時水質データの構築のために、2010 年 7 月 5 日から水位、水温、濁度、電気伝導度に対する連続水質モニタリングを開始した。機器設置地点は、濁度計および水位水温計は 2 箇所（手練川（無名橋）、低地排水路（臼井第二排水機場））、水温計は 5 箇所（鹿島川（羽鳥橋）、高崎川（高岡橋）、手練川（無名橋）、江川（池袋橋）、低地排水路（臼井第二排水機場））とした。これによって、長期間にわたる対象河川での電気伝導度と濁度データの構築ができた。

3) 簡易汚濁負荷量の推定方法の開発

降雨時における湖沼流入河川での水質調査は流域からの面源汚濁負荷の正確な把握のために必須である。さらに、研究項目(2)の研究内容であるモデルを用いた汚濁負荷解析においてもモデル解析結果の精度向上のために精緻なモデルキャリブレーションを行うことが求められる。

そこで、汚濁負荷量の正確な推定を常時把握できることを目指し、自動観測が可能な濁度と電気伝導度(EC)を用いて、面源汚濁負荷の主な水質パラメータである COD, T-P, T-N の流出負荷量を推定する方法の開発を試みた。

千葉県の印旛沼流入主要河川での過去の水質データを利用して、印旛沼の主要流入河川の中で、最も流域内市街地の割合が高く、面源汚濁負荷管理が重要であると考えられる手練川流域を選定し分析を行った。

その結果、COD, T-P, T-N の濃度推定式を以下のように提案した。

$$\text{COD} = \text{P-COD} + \text{D-COD} = \{0.246 \times [\text{濁度}] + 0.131\} + 3.40$$

$$\text{T-N} = \text{P-N} + \text{D-N} = \{0.0319 \times [\text{濁度}] - 0.0722\} + \{0.0627 \times [\text{EC}] + 0.523\}$$

$$\text{T-P} = \text{P-P} + \text{D-P} = \{0.00596 \times [\text{濁度}] + 0.00513\} + \{0.00113[\text{EC}] + 0.0177\}$$

また、この推定式は、比較的正確に実測値を再現することからその妥当性の確認ができた。

3.5.3 水環境保全対策に関する研究

本研究では、汚濁負荷削減オプションのリスト作成、導入シナリオの作成と評価、汚濁負荷削減策の導入可能性とコストの評価、経済モデルへの汚濁負荷や水質改善に関する情報提供などの研究開始当初における研究項目（4）の研究計画を実行し、平成23年まで得られた研究成果とその意義、そして他の研究項目との連携内容を以下にまとめる。

研究項目(2)で流域汚濁負荷削減対策別の定量的汚濁負荷削減量の検討に必要な対策オプションのリストアップと点源や面源対策オプションごとの導入費用の推定法を整理した。

1) 流域汚濁負荷削減のための対策オプションの精査

既に排出権取引制度などの導入事例がある欧米の事例を中心に諸外国における研究論文や報告書などのレビューを通して、経済的手法の枠組みの中で、さまざまな面源負荷対策を実施していくうえでの課題などを整理した。

2) 印旛沼において導入可能な水環境保全対策の特性

印旛沼流域において導入可能と考えられるものについて、経済的手法を導入するときに重要となる特性について、定性的に整理を行った。

3) 汚濁負荷解析モジュールにおける水質保全対策の反映

本研究の対象流域である印旛沼での第5期印旛沼水質保全計画（H18-22）における水質保全対策の整理を行い、同時並行的に水循環健全化への取り組みを全県的に行っている印旛沼流域水循環健全化会議の動向を調べてまとめた。そして、各種の対策の対策導入によって期待される効果や、モデル上での反映における考え方と基礎式をまとめた。

4) 汚濁負荷削減対策ごとのコストの推定

研究項目(2)で議論した4つの流域汚濁負荷削減対策について、コストの推計方法をまとめ、水質改善に伴う経済評価に必要な基礎データの作成を行った。

4. 本論 4. 水質の経済評価と経済実験¹

4.1 水質の経済的評価手法のレビュー²

水質改善には様々な経済的効果が含まれるが、大別すると利用価値と非利用価値に分類できる。表 4.1 は、水質改善の経済的効果を利用価値と非利用価値の観点から整理したものである。飲料水の水質改善、資産価値の上昇、レクリエーション価値の改善、農業・漁業生産への効果、工業用水への影響などは利用価値に関するものも多いが、良好な生態系や景観の維持・回復のように非利用価値に関するものも存在する。

表 4.1 水質改善の経済的効果

水質改善の効果	内容	価値分類
飲料水に対する好影響	飲料水用に浄化するための費用の節約効果、あるいは、飲料水の水質が改善されることによって消費者の水利用がペットボトルから水道水にシフトすることによる費用節約効果	利用価値
資産価値（快適さの価値）	水質改善に伴い発生する土地価格の上昇効果	利用価値
レクリエーション価値（ポート／カヌー／その他レクリエーション）	川面に浮かぶごみの減少又は生物生息環境の改善（水鳥、魚等）に伴う訪問者及び訪問延べ回数の増加効果	利用価値
農業・漁業への好影響	より多くの農作物・漁獲高、より高品質の農作物・魚介類が取れること等による、農業者・漁業者の所得上昇効果	利用価値
工業用の取水に対する好影響	染色業、食品製造業等、大量の水利用を行うがその質に敏感な業種に対する好影響（腐食防止・消毒、ろ過処理、スクリーニング等の処理費用節約効果）	利用価値
良好な生態系・景観の維持・回復	良好な生態系・景観の維持・回復に対し、支払う意志を有する金額（支払意志額）を基に算定される便益	非利用価値

注：「水質保全分野における経済的手法の活用に関する検討会報告書（平成 16 年 7 月）」、環境省より作成。

環境の経済的価値を評価する研究では、様々な環境資源の評価が行われてきたが、水質

¹本章の分析については吉田友美氏（京都大学農学研究科）および永石妙美氏（早稲田大学政治経済学部）の協力を得た。

²環境の経済評価の初心者向けテキストとして栗山（1997）および鷺田（1999）およびなどがある。また環境経済評価の理論については、ヨハンソン（1994）、Freeman（2003）、栗山（1998）が詳しい。環境経済評価で用いられる計量手法については Haab and McConnell（2002）および Champ et al.（2003）を参照。

の評価に関する実証研究は多数存在する。表 4.2 は、水質の経済評価に用いられている評価手法を整理したものである。

代替法は、環境財を私的財で置換する費用をもとに評価するものである。飲料水の場合は、ミネラルウォーターなどの私的財で代替可能なので、代替法による評価が可能である。しかし、水質改善が生態系に及ぼす影響などは、生態系を私的財で代替できないため代替法では評価できない。

トラベルコスト法は、水質改善がレクリエーション地の訪問行動に及ぼす影響をもとに水質改善の効果を推定するものである³。湖沼の水質を改善することで周辺のキャンプ場に訪問する観光客が増えたならば、今までよりも高い旅費を支払ってでもこのキャンプ場を訪問する人が増えたことになるので、この影響をもとに水質改善の効果を金銭単位で評価できる。しかし、トラベルコスト法は訪問行動に着目しているため、訪問者がほとんどいない地域では、トラベルコスト法で水質改善の効果を評価することは困難である。

表 4.2 水質の経済的評価手法

名称	対象	内容
代替法	利用価値	水質をミネラルウォーターなどの私的財に代替するときの置換コストによって評価。
トラベルコスト法	利用価値	レクリエーション地の水質改善によって訪問者が増える効果をもとに水質改善の効果を評価。
ヘドニック法	利用価値	水質改善が地代や地価に及ぼす影響をもとに評価。
CVM	利用価値・非利用価値	水質改善に対する支払意思額をたずねて評価。
コンジョイント分析	利用価値・非利用価値	水質改善の代替案に対する選好をたずねて評価。

ヘドニック法は、水質改善の影響が土地市場や労働市場などの代理市場に及ぼす影響をもとに水質改善の効果を推定するものである⁴。たとえば、湖沼の水質が改善して周辺地域の悪臭が改善されると、それまで敬遠していた人が湖沼の周辺地域に居住するようになり、周辺地域の家賃や地代が上昇するかもしれない。このようにヘドニック法は、水質改善がもたらす地代上昇効果をもとに水質改善の効果を評価する。しかし、誰も住むことのない奥地の湖沼の水質改善は、生態系の観点からは重要な対策であっても、その周辺地域に誰も住んでいないのであれば土地市場に影響が見られないためヘドニック法では評価できない。

CVMは水質改善対策にいくらまで支払っても構わないか（支払意思額）をたずねることで水質改善の効果を評価するものである⁵。CVMは、利用価値だけではなく、水質改善

³ トラベルコスト法についてはHerriges and Kling (1999) や栗山・庄子(2005)が詳しい。

⁴ ヘドニック法については肥田野(1997)が詳しい。

⁵ CVMは「仮想評価法」や「仮想市場法」などと訳されることもあるが、通称の「CVM」が

のもたらす生態系維持・回復効果などの非利用価値も評価できるという利点を持っている。しかし、アンケート調査のデータを用いることから、質問票設計やサンプル設計を適切に行わないとバイアスが発生して信頼性の高い評価ができなくなる危険性も知られている。

コンジョイント分析は、複数の水質改善の代替案を回答者に提示して、この代替案に対する好ましさをたずねることで評価する⁶。コンジョイント分析では様々な質問形式が提案されているが、環境経済学の分野では複数の代替案の中から最も好ましいものを選んでもらう「選択実験」が一般的に用いられている。コンジョイント分析は、CVMと同様に水質改善の非利用価値を評価できる。さらに、対策を構成する属性単位に価値を分解することができるため、水質改善に関する複数の代替案を比較することが可能となる。しかし、CVMと同様にアンケート調査のデータを用いるので、バイアスの影響を受けやすいという欠点を持っている。また、最新の評価手法なので、環境経済学の分野では先行研究が他の評価手法に比べて少ないという問題もある。

表4.3は、各評価手法が水質改善効果に適用可能かについて示したものである。飲料水の水質改善効果については、ミネラルウォーターなどの代替財が存在するため評価可能である。ただし、輸入品のミネラルウォーターは輸送時のCO₂発生量が水道水よりも多く、使用後のペットボトルが廃棄物となるなど、環境負荷という点では完全な代替財とは言い難いため、計測時には注意が必要である。一方、CVMやコンジョイント分析は、飲料水の水質改善に対する支払意思額をたずねることで評価が可能である。

表4.3 水質改善効果と各評価手法の適用可能性

効果	代替法	ヘドニック法	トラベルコスト法	CVM コンジョイント分析
飲料水の水質改善効果	△	×	×	○
資産価値	×	○	×	○
漁業・農業の生産改善効果	○	△	×	○
レクリエーション効果	×	×	○	○
生態系保全効果	×	×	×	○

水質改善による資産価値の上昇は、土地市場に着目したヘドニック法により評価可能である。また、CVMやコンジョイント分析では、水質が改善された場合、家賃がどれだけ上昇しても構わないかをたずねることで評価が可能である。

そのまま使われることが多い。CVMについては栗山(1997), 栗山(1998), Mitchell and Carson (2001)が詳しい。

⁶ コンジョイント分析については、鷲田・栗山・竹内(1999), 栗山(2000), 栗山・庄子(2005)などが詳しい。

農業・漁業の生産改善効果は、農産物や水産物がそもそも私的財であることから、水質改善と生産改善の関係を示すことができるならば、代替法で直ちに評価可能である。また生産が改善されたことで農地や漁港周辺の土地価格が上昇するならば、ヘドニック法によっても評価できるかもしれない。しかし、農地に関しては様々な規制が存在し、完全競争市場を想定したヘドニック法の前提が満たされていない可能性が高い。CVMやコンジョイント分析では、農家に対して生産が改善される政策に対していくら支払っても構わないかをたずねることで評価は可能である。

レクリエーション効果については、代替法やヘドニック法では評価は困難だが、訪問行動に着目したトラベルコスト法は適用が可能である。またCVMやコンジョイント分析では、レクリエーション地の水質改善に対する支払意思額をたずねることで評価が可能である。

そして生態系保全効果については、生態系を将来世代に残す価値（遺産価値）や生態系が存在すること自体が持っている価値（存在価値）などの非利用価値に関係するものであるため、利用価値しか評価できない代替法・ヘドニック法・トラベルコスト法では評価は困難である。一方、CVMやコンジョイント分析は生態系保全に対する支払意思額をたずねることで生態系保全の価値も評価が可能である。

なお、水質の経済価値を評価した研究事例に関しては、国内でもいくつかの実証研究が存在し、海外では膨大な実証研究が存在する。環境評価研究のデータベースである EVRI⁷ (Environmental Valuation Reference Inventory)によると、水質関連の評価研究は783件が存在し、このうちヘドニック法 52 件、トラベルコスト法 211 件、CVM 409 件、コンジョイント分析 12 件であった。このように先行研究では、トラベルコスト法とCVMが中心であった。なお、コンジョイント分析の研究事例が少ないが、この原因には、コンジョイント分析は最新の評価手法であり、環境評価に使われるようになって間もないことが影響していると考えられる。コンジョイント分析はCVMと同様に評価範囲が広く、近年は研究が増加していることから、今後は水質評価においてもコンジョイント分析の評価事例も増加することが予想される。

以上のことより、水質の経済評価に用いる評価手法としては、トラベルコスト法、CVM、コンジョイント分析が有力な候補として考えられる。

4.2 予備調査

4.2.1 調査対象地の選定

水質の経済評価の実証研究を行う調査対象地として、千葉県印旛沼と琵琶湖を選定した。印旛沼の現状については、第3章「水質解析」を参照されたい。印旛沼は印旛沼流域では、高度経済成長期以後、急速に宅地開発が進み、流域の人口が急増した。それにともない、印旛沼の水質が悪化し、印旛沼の汚染は環境基準を大きく超えている。印旛沼は、平成19年には湖沼水質ランキングで最下位となるなど、全国の湖沼の中でもっとも水質汚染が深刻化した湖沼として知られている。

⁷ <http://www.evri.ca/>

一方、印旛沼と比較するために琵琶湖についても評価を実施することにした。印旛沼は、水質汚染が進んでおり、レクリエーション利用は散歩や釣りが行われている程度であり、印旛沼の評価だけでは水質改善のレクリエーション効果を十分に把握することが難しい。一方、琵琶湖は、散歩や釣りだけではなく、キャンプ、ヨット、ボート、ワイドサーフィンなど様々な利用が行われている。そこで、印旛沼と琵琶湖を比較することで、水質改善がレクリエーション効果に及ぼす影響を分析することにした。琵琶湖現状については第2章「国内の事例分析」を参照されたい。

4.2.2 予備調査の概要

平成22年度に本格的な経済評価を実施するために、平成21年度は予備調査を実施した。予備調査の目的は、水質に対する一般市民の意識を調べるとともに、CVMやコンジョイント分析で水質改善の経済効果を分析するためのシナリオ作成に必要な基礎データを収集することにある。

調査項目は(1)水道水に対する意識、(2)レクリエーション利用の実態、(3)水質改善への支払意思額、(4)生態系保全効果への支払意思額、(5)森林環境税に対する意識、(6)個人属性、の6つの項目から構成される。「(2)レクリエーション利用の実態」は、トラベルコスト法を行うために必要な情報を収集するために用いるものである。「(3)水質改善への支払意思額」、および「(4)生態系保全効果への支払意思額」はCVMの設問である。一般にCVMでは二肢選択形式が用いられることが多いが、今年度は予備調査のため、支払カード形式を採用した⁸。

千葉県印旛沼と琵琶湖の流域を対象にインターネット調査によるアンケート調査を実施した。インターネット調査は回答者がPC利用者に限定されるため母集団を完全に反映できない可能性があるが、短期間に多くのサンプルを回収できることから、予備調査ではインターネット調査を採用した。各調査の概要は以下の通りである。

- 千葉県印旛沼
 - 調査期間 2010年2月5日（金）～2010年2月10日（木）
 - 調査対象者 千葉県在住の20代～50代の一般男女個人
 - 調査配信数 7,509人、回収数 1,009人、回収率 13%
- 琵琶湖
 - 調査期間 2010年2月5日（金）～2010年2月10日（木）
 - 調査対象者 千葉県在住の20代～50代の一般男女個人
 - 調査配信数 7,974人、回収数 977人、回収率 12%

4.2.3 予備調査の分析結果

⁸ 二肢選択形式は回答者の負担が少ないが提示額設計が必要となるため、プレテストでは自由回答形式や支払カード形式が用いられることが多い。CVMの質問形式については栗山（1997）および栗山（1998）を参照。

予備調査の分析結果は以下のとおりである。なお、予備調査で用いた調査票および単純集計結果は、「付録 調査票」を参照されたい。

(1) 水道水の水質

- 水道水に対する意識は印旛沼と琵琶湖では大きな違いは見られなかつた。(問1)
- 水道水の水質は、高度処理のため比較的満足度が高く、現状維持を好む傾向が見られた。(問5・6)
- 水質対策の優先順位は「有害物質>サビ色>カビ臭>カルキ臭」であった。(問7)

(2) レクリエーション利用

- 訪問率は、琵琶湖では87.4%と非常に高いが、印旛沼も46%に達した。(問8)
- 水質は印旛沼の方が悪い印象が見られた。(問8-4)
- 利用形態は、印旛沼は散歩・釣り・観光が中心だが、琵琶湖はマリンスポーツも多い。(問8-5)
- レクリエーション施設の整備については、印旛沼は「ある程度重要」と考える人が多いのに対して、琵琶湖は「あまり重要ではない」と考える人が多い。この原因としては、印旛沼は施設整備が進んでいないのに対して、琵琶湖では多数の施設がすでに整備されていることが影響したものと考えられる。

(3) 水質改善の支払意思額(問11)

- 水質を改善して環境基準を達成するために、新たな対策を実施することに対する支払意思額をたずねた。金額は世帯当たり、10年間である。
- 平均支払意思額は、印旛沼1,076円、琵琶湖1,327円／年／世帯であった。

(4) 生態系保全の支払意思額(問14)

- 生態系を守るために、新たな対策を実施することに対する支払意思額をたずねた。金額は世帯当たり、10年間である。
- 平均支払意思額は、印旛沼942円、琵琶湖999円／年／世帯であった。

(5) 森林環境税

- 森林環境税の認知度はどちらも低い。(問15)
- 森林環境税への負担意思は印旛沼476円、琵琶湖706円であった。

以上のように予備調査では、千葉県印旛沼と琵琶湖を対象に、レクリエーション利用の現状、水質改善の支払意思額、生態系保全の支払意思額などをたずねたところ、印旛沼と琵琶湖では金額は比較的近いことが判明した。なお、予備調査では具体的な水質改善のシナリオを提示せずに調査を実施したため、支払意思額は先行研究の評価額に比べると幾分低い評価額となった。そこで水質解析で検討されるシナリオを提示して調査を実施する必要性が高いことが判明した。

4.3 本調査

予備調査の結果を踏まえて、本調査では大規模なアンケート調査を実施した。用いた評価手法はCVMと選択実験の両方である。CVMでは水質改善に対する支払意思額をたずねた。一方、選択実験では、様々な水質対策の代替案を示し、最も好ましい対策を選んでもらった。

予備調査では、一般市民を対象とした調査であったが、水質対策において湖沼周辺農家の排水管理などの面源汚染対策が重要となっていることから、本調査では一般市民対象の調査に加えて農家を対象とした調査も実施した。農家対象の調査では、排水管理などの水質対策の状況を把握するとともに、水質対策を実施するためには、一般市民による費用負担がどれだけ必要なのかを調べた。

また、予備調査はインターネットを利用したWeb調査のみを実施したが、Web調査では調査対象者がインターネット利用者に限られることから、必ずしも母集団を正確に反映できないことが、しばしば指摘されている。そこで、本調査では、Web調査と郵送調査を併用することで、両者の比較を可能とするように調査設計を行った。また農家を対象とした調査では対象者を農家に限定する必要があり、Web調査も郵送調査も困難であることから、訪問留め置き回収により調査を実施した。

本調査は琵琶湖の水質を評価対象とした。一般市民を対象とした調査では、滋賀県および下流の京都府・大阪府の在住者を対象とした。農家を対象とした調査では、滋賀県の「魚のゆりかご水田」実施エリアに対象地点を設定した。

4.3.1 調査概要

Web調査、郵送調査、農家調査のそれぞれの概要は以下のとおりである。

Web調査概要

(1) 調査目的

琵琶湖の水質に関する意識調査、
水質保全の政策評価（選択実験）
周辺農家の水質対策の経済評価（CVM）

(2) 調査手法

インターネット調査

(3) 調査地域

滋賀県、大阪府、京都府

(4) 調査対象

20歳～69歳男女

(5) 対象者抽出ソース

日経リサーチアクセスパネル

(6) スケジュール

12月21日 調査依頼メール配信

12月24日 追加配信

12月27日 調査サイトクローズ

(7) 配信数

	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
男性	870	773	530	392	473	3039
女性	870	943	600	520	570	3503
合計	1740	1717	1130	912	1043	6542

(8) 有効回答数

	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
男性	101	152	110	97	122	582
女性	104	138	114	112	106	574
合計	205	290	224	209	228	1156

回収率 17.7%

郵送調査

(1) 調査手法

一般編：郵送法

農家編：訪問留置法

(2) 調査地域

一般編：滋賀、京都、大阪

農家編：滋賀

(3) 調査対象

一般編：20歳～69歳男女

農家編：特に設定なし

(4) 対象者抽出ソース

一般編：日経リサーチアクセスパネル

農家編：ランダムウォーク（「魚のゆりかご水田」実施エリアに地点を設定）

<http://www.pref.shiga.jp/g/noson/fish-cradle/5-ground/index.html>

(5) スケジュール

一般編：

1月7日 調査票投函
1月20日 投函締切日

農家編：

1月7日 調査開始
1月19日 調査終了

(6) 調査対象数

一般編：各府県以下割付にて 200枚ずつを配布

	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
男性	20	20	20	20	20	100
女性	20	20	20	20	20	100
合計	40	40	40	40	40	200

農家編：ランダムウォークで、調査依頼承諾者に対して調査票を留め置いた

(7) 回答数

一般編（滋賀）：62.5%

	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
男性	10	11	13	11	11	56
女性	11	13	12	16	16	68
不明	0	0	1	0	0	1
合計	21	24	26	27	27	125

一般編（京都）：67.5%

	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
男性	13	9	11	17	18	68
女性	14	13	13	18	9	67
合計	27	22	24	35	27	135

一般編（大阪）：68.0%

	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
男性	11	8	14	13	15	61
女性	11	13	15	19	17	75
合計	22	21	29	32	32	136

農家編：104件に留め置き、全件回収した

4.3.2 水質保全の政策評価（選択実験による分析）

政策評価では、図4.1のような選択実験を用いた。回答者は4つの対策の中から最も好ましいものを一つ選んでもらう。回答者には図4.1のような設問を一人につき8回繰り返した。各回ごとに対策の中身は変化するが、対策4は現状で毎回同じである。

項目	対策1	対策2	対策3	対策4(現状)
琵琶湖の水質 (環境基準7項目の達成度)	達成度 14%	達成度 30%	達成度 60%	達成度 14% 北湖 29%, 南湖 0%
琵琶湖の透明度	現状と同じ (4.4m)	現状より良い (6.6m)	現状より悪い (2.7m)	4.4m 北湖 6.1m, 南湖 2.7m
レクリエーション設備	キャンプ場の 拡充	キャンプ場の 拡充	マリーナの 拡充	拡充しない
生態系保全 (外来魚の駆除率)	生息量の 70%	生息量の 50%	生息量の 30%	生息量の 30%
負担額	2000 円	500 円	4000 円	0 円

↓ ↓ ↓ ↓
どれか一つを選択

図4.1 選択実験の設問例

選択実験では、表4.4の属性と水準を用いた。これらの属性・水準を組み合わせて直交計画法により選択実験のプロファイルを作成した。

Web調査のデータを用いたときの選択実験の推定結果は表4.5のとおりである⁹。推定結果は良好であり、すべての属性が有意となった。この推定結果をもとに各属性の支払意思額（一世帯あたり）を計算した結果は表4.6のとおりである。これに滋賀県・京都府・大阪府の世帯数(5,132,145)をかけることで集計額が得られる。

⁹Web調査と郵送調査では顕著な差は見られなかった。詳細は「第4章付録（5）選択実験の詳細分析」を参照。

表 4.4 属性と水準の一覧

属性	水準 1	水準 2	水準 3	水準 4	水準 5
水質基準	14%	30%	60%	100%	
透明度	2.7m	4.4m	6.6m		
レク設備	マリーナ	キャンプ場	拡充しない		
生態系	20%	30%	50%	70%	
金額	500	1,000	2,000	4,000	10,000

表 4.5 推定結果（条件付きロジット）

	係数	t値	p値
水質(%)	0.00727	16.76	0.00
透明度(m)	0.17755	22.90	0.00
キャンプ場拡充	-0.48447	-14.41	0.00
マリーナ拡充	-0.40178	-12.45	0.00
生態系保全(%)	0.00767	9.97	0.00
対策 4	-0.14109	-4.00	0.00
負担額(1000 円)	-0.28830	-38.01	0.00
サンプル数	9248		
対数尤度	-11196.7		

表 4.6 評価額

	1世帯あたり支払意思額	集計額
水質(%)	25 円／%	1.29 億円／%
透明度(m)	616 円／m	31.61 億円／m
キャンプ場拡充	-1,680 円	-86.24 億円
マリーナ拡充	-1,394 円	-71.52 億円
生態系保全(%)	27 円／%	1.37 億円／%

表 4.7 仮想的な保全策の政策評価

	現状	対策実施後	支払意思額	集計額
水質(%)	14%	100%	2,169 円	111 億円
透明度(m)	4.4m	6.6m	1,355 円	70 億円
生態系保全(%)	30%	50%	532 円	27 億円
政策全体			4,056 円	208 億円

また、選択実験の結果をもとに政策評価を行った。ここでは、表 4.7 のような仮想的な政策を対象に分析を行ったところ、この政策の支払意思額は一世帯あたり 4,056 円であり、集計価値は 208 億円であった。このうち約半分が水質の価値であり、水質の環境基準を達成することの必要性が高いことが示された。

4.3.3 農家における水質対策の政策評価 (CVMによる分析)

(1) 調査概要

農家の水質対策の効果を評価するために、一般市民と農家を対象に CVM による調査を行った。一般市民対象の調査では、「環境保全型農業」（化学肥料・化学合成農薬 5 割削減）を県全体に普及させる政策の実施に対する支払意思額を二段階二肢選択形式でたずねた。一方、農家対象の調査では、化学肥料・農薬の 5 割以下削減の場合と、農業排水の流出防止対策を実施した場合で、それぞれどれだけの補助か必要なのかをたずねた。化学肥料・農薬の 5 割以下削減は一般市民と同様に二段階二肢選択形式であり、農業排水の流出防止対策は支払カード形式を用いた。二段階二肢選択形式の提示額は表 4.8 のとおりである。実際に用いた設問は、本報告書の最後に調査票が添付されているので参照されたい。

表 4.8 CVM における提示額

	一般市民対象			農業者対象		
	T*	Tu	Tl	T*	Tu	Tl
1	500	1,000	250	500	1,000	250
2	1,000	2,000	500	1,000	2,000	500
3	2,000	4,000	1,000	2,000	4,000	1,000
4	4,000	8,000	2,000	4,000	5,000	2,000

注：円、**T***：1 回目、**Tu**：1 回目賛成の 2 回目、**Tl**：1 回目反対の 2 回目

yy：両回とも賛成、yn：1 回目賛成・2 回目反対、ny：1 回目反対・2 回目賛成、nn：両回とも反対

(2) 一般市民対象の調査

表 4.9 は、一般市民対象の Web 調査のデータをもとに化学肥料・化学合成農薬 5 割削減の効果を推定した結果を示している。結果はいずれも良好であり、すべての変数が有意であった。

表 4.10 は推定された支払意思額を集計したものである。推定支払意思額は、京都府 2,421 円、大阪府 2,381 円であり、これに各府県の世帯数をかけた集計評価額は、京都府 49 億 3,150 万円、大阪府 69 億 6,940 万円であった。これを 10aあたりに換算すると、総耕地面積のケースでは京都府 9,218 円／10a、大阪府 1 万 3,027 円／10a となり、総経営耕地面積のケースでは京都府 1 万 1,075 円／10a、大阪府 1 万 5,651 円となった。このことから、滋賀県の農地での水質対策の価値は、滋賀県内だけではなく下流の京都府や大阪府にまで広がっていると考えられる。

表 4.9 化学肥料・化学合成農薬 5 割削減に対する支払意思額（一般市民 Web 調査）

«1. 滋賀県 (n=79) »

(a) ロジットモデル

変数	係数	t値	p値
constant	12.4665	7.843	0.000 ***
ln(Bid)	-1.5696	-7.644	0.000 ***
対数尤度	-110.437		

推定 WTP(円)	中央値	2,815
	平均値	3,601

(b) ウィブル

変数	係数	t値	p値
Location	8.3379	70.609	0.000 ***
Scale	0.8690	8.021	0.000 ***
対数尤度	-110.019		

推定 WTP(円)	中央値	3,040
	平均値	3,595

«2. 京都府 (n=183) »

(a) ロジットモデル

変数	係数	t値	p値
constant	11.6545	11.371	0.000 ***
ln(Bid)	-1.4957	-10.790	0.000 ***
対数尤度	-227.996		

推定 WTP(円)	中央値	2,421
	平均値	3,295

(b) ウィブル

変数	係数	t値	p値
Location	8.1669	88.439	0.000 ***
Scale	0.8760	11.548	0.000 ***
対数尤度	-223.643		

推定 WTP(円)	中央値	2,555
	平均値	3,153

«3. 大阪府 (n=625) »

(a) ロジットモデル

変数	係数	t値	p値
constant	11.2680	21.450	0.000 ***
ln(Bid)	-1.4492	-20.612	0.000 ***
対数尤度	-846.473		

推定 WTP(円)	中央値	2,381
	平均値	3,281

(b) ウィブル

変数	係数	t値	p値
Location	8.1733	171.102	0.000 ***
Scale	0.9164	21.960	0.000 ***
対数尤度	-834.756		

推定 WTP(円)	中央値	2,534
	平均値	3,171

表 4.10 集計評価額（化学肥料・化学合成農薬 5 割削減）

	支払意思額	集計評価額	10aあたり	
			総耕地面積	総経営面積
単位	円／世帯	円	円／10a	円／10a
滋賀県	2,815	12 億 2,988 万	2,299	2,762
京都府	2,421	49 億 3,150 万	9,218	1 万 1,075
大阪府	2,381	69 億 6,940 万	1 万 3,027	1 万 5,651

なお、滋賀県では2004年より環境保全型農業への直接支払制度を開始しているが、水稻の場合、化学肥料・農薬の5割削減では支払金額は5,000円／10aであった。この滋賀県単独の制度は、2007年に農林水産省が「農地・水・環境保全向上対策」として直接支払制度を導入したことにより、滋賀県の制度から国の制度へと移行した。2007年からは化学肥料・農薬の5割削減の直接支払金額は6,000円／10aとなった。いずれにしても、農家の水質対策の価値は、直接支払制度の金額を大幅に上回っている。

（3）農家対象の調査

次に農家を対象とした調査の結果について見てみよう。104人の回答者のうち、経営総面積3ha以下の農家が2/3以上を占めた。現在も環境こだわり農業を実践している農家は63戸であり、調査対象に含まれた環境こだわり面積は計約200～300haとなる。

年収は300～500万円台にやや集中したものの、その他は全体にばらついた。ただし農業所得割合に関しては、年収のうち半分以上が農業外収入による農家が90戸にのぼった。

現在の琵琶湖の水質に関する質問や、琵琶湖や河川、用水路に生息する固有種の保護に関する質問に対しては、「大幅に改善してほしい」「少しは改善してほしい」、「最優先で守るべき」「可能な範囲で守るべき」が大多数を占め、水系環境に対する関心の高さを覗わせた。また農業と環境汚染を結びついている回答者も約80%と非常に多かった。

化学肥料・化学合成農薬5割削減のCVM調査では、以下のシナリオを設定した。この提示額(x)の部分は表4.8のとおりである。

化学肥料・化学合成農薬の使用量を慣行農業の5割以下に削減した場合、農業の生産コストが平均して年間10アールあたり5,000円増加するとします。
もし、その増えた分のコストを、あなたが(x)円を負担し、非農業者を含む国民が(5,000-x)円負担する（補助金など）としたら、あなたは5割削減を実践しますか、しませんか。

表4.11は、化学肥料・化学合成農薬5割削減を実施するための支払意思額をCVMにより評価した結果を示している。環境こだわり農業を実践している農家は、対策コスト5,000円のうち、大半を自分で負担しても構わないと考えているが、実践していない農家は対策コストの半分しか負担したくないと考えている。このように、環境こだわり農業を実践中の農家と実践していない農家で支払意思額が大きく異なることが分かった。

表 4.11 化学肥料・化学合成農薬 5 割削減の支払意思額（農家対象調査）

(a) 実践中				(b) 実践なし			
変数	係数	t値	p値	変数	係数	t値	p値
constant	7.2068	5.364	0.000 ***	constant	8.6518	4.558	0.000 ***
ln(Bid)	-0.8539	-4.856	0.000 ***	ln(Bid)	-1.1210	-4.371	0.000 ***
n	66			n	38		
対数尤度	-68.758			対数尤度	-50.034		
中央値	4,627			中央値	2,248		
平均値	3,298			平均値	2,631		

また、「農業排水の流出防止」に関する CVM では、二段階二肢選択方式ではなく支払いカード形式によって質問をした。有効回答数 77 サンプルの結果を用いたところ、受入補償額（WTA）の平均値は農家一世帯あたり 4,727 円、中央値は 4,000 円となった。

4.4 経済実験による分析¹⁰

次に、排水課徴金や排出量取引の影響を分析するための経済実験を実施することで、水分野において経済的手段を導入することの利点と欠点について分析を行う。かつては、経済学では物理学や化学のように実験を行うことが困難と考えられてきたが、近年では被験者を対象とした経済実験を実施する実験経済学の研究が注目を集めている。経済実験では、排水課徴金や排出量取引を導入したときの経済構造を再現し、被験者を対象に実験を行うことが可能となる。経済実験では、実験室内で実験を行う実験室実験と、実験室外で一般市民を対象に行うフィールド実験がある。経済実験は、様々な操作が可能であり、被験者間の複雑な相互作用を観測することが可能であるものの、被験者はランダムサンプルではないため母集団を反映させることが難しい。一方、アンケート調査は、ランダムサンプルによって母集団の動向を把握することが可能だが、経済実験のように回答者間の相互作用を分析することは難しい。

表 4.12 経済実験分析とアンケート分析

実験室実験	実験室内にモデル流域の経済構造を再現し、被験者を対象に経済実験を実施する。実験室内なので操作が容易であり、排水課徴金や排出量取引の影響を分析することが可能。ただし、あくまでも仮想的設定となるため、現実の政策への適用性は低い。
フィールド実験	モデル流域で実際に排水課徴金や排出量取引を試験的に導入し、その影響を分析する。現地にて実際に実験を実施するため、現実の政策への適用性が高い。ただし、実験室内とは異なるため、操作性は低い。
アンケート調査	地域住民にアンケートを実施することで、排水課徴金や排出量取引の影響を分析する。多数のサンプルを得ることで母集団を反映できるものの、実験室実験やフィールド実験のような操作的な試みは困難。

本研究では、一般的な排出量取引に関する経済実験と、水質対策に限定した水質取引に

¹⁰ 実験経済学については川越(2007)が詳しい。

に関する経済実験を実施した。一般的な排出量取引に関する経済実験は、大気汚染対策や温暖化対策などでも研究が進められているものであり、各被験者は個々の汚染源の役割が与えられ、被験者間で排出量の取引が行われる。これに対して、水質対策で実施されている水質取引の場合は、点源汚染源（または政府）と面源汚染源との取引となるため、各被験者は面源汚染源の役割が与えられ、排出量の売却は一種のオークションとして取引が行われる¹¹。温暖化対策の場合は誰が削減しても効果は等しいと考えられるが、水質対策の場合は汚染削減地点により削減効果が異なるため、水質取引実験では削減地点による影響を考慮する必要がある。どちらの実験も実験室内で取引制度を再現することで排出量取引制度の費用削減効果を分析する。水質取引実験は水質対策で用いられている水質取引制度に直結したものであるが、水質取引を対象とした経済実験の先行研究は非常に少ないとから、本研究では標準的な排出量取引実験も実施し、水質取引実験と比較を行った。

4.4.1 排出量取引実験の実験計画

排出量取引実験では、排出量取引制度の費用削減効果を分析する。排出量取引制度には、売り手と買い手の2人の間で売買取引を行う「相対取引」と公開の場で売買を行う「ダブルオークション」が提案されている。そこで、両者の違いを経済実験によって分析する。

表 4.13 相対取引とダブルオークション

取引方法	内容
相対取引 (公開実験、 非公開実験)	相対取引とは、被験者がそれぞれ個別に取引できそうな相手を探して、排出権の価格や数量を2人のみで交渉し、合意に至った条件で取引するという取引方法である。公開実験では、自分の費用関数と成立した排出権1単位当たりの取引価格が公開されるが、一方、非公開実験ではそれが公開されない。
ダブルオークション	ダブルオークションでは、2人で取引をする相対取引とは異なって、すべての被験者が買値、売値を公開の場で叫び、取引相手を探す方法である。よって、ダブルオークション実験では、契約価格は公開される。

排出量取引実験の被験者は、学部生か経済学系以外の大学院生などの学生である。男女比は気にせず、応募に集まったメンバーを被験者とする。被験者の集め方は、京都大学のインターネット応募システムを使う。応募時や実験のインストラクション時に、排出権に関する実験であることは知らせない。被験者には、パフォーマンスに応じた謝金払う。排出量取引実験の実験計画は以下のとおりである。また実験で用いたインストラクションは付録を参照されたい。

¹¹ 水質取引の詳細については第2章を参照。

(1) 日時, 時間, 被験者人数など

- 実験日時

2010年3月1日(月)に実験者による予備実験と打ち合わせを行い, 2日(火), 4日(木), 5日(金)の3日間に, 被験者による経済実験を行う. 時間は, 午前10時 - 午後12時半と, 午後1時半 - 午後4時である.

- 実験日時と実験内容

2010年3月2日(火), 午前10時 - 午後12時半, 午後1時半 - 午後4時

- 相対取引実験(取引価格と数量の公開)
- 被験者数: (10人から上位6人選別) 6人×2セッション

2010年3月4日(水), 午前10時 - 午後12時半, 午後1時半 - 午後4時

- 相対取引実験(取引価格と数量の非公開)
- 被験者数: (10人から上位6人選別) 6人×2セッション

2010年3月5日(木), 午前10時 - 午後12時半, 午後1時半 - 午後4時

- ダブルオークション実験
- 被験者数: (10人から上位6人選別) 6人×2セッション

- 被験者人数

- 選別の結果, 最終的に参加する被験者数は, 合計36人である.

(2) 初期賦存の価格と削減費用

実験の最初に被験者に配る初期賦存量は, 100円(全員同じ)で, 削減チケットを, 実験の最初に, (6人グループなので)3人ずつの3単位配られるグループと, 7単位配られるグループに分けた. この削減チケットの費用への換算方法は, 1単位あたり2乗することにより求められる. 例えば3単位ならば, 9円である. 利得は, お金から費用を引くことによって求められる.

(3) 効率的価格と均衡での設定

効率的な削減チケットの取引価格は1単位当たり10円になるように設定した. また均衡での削減チケットの単位は, 5単位になるように設定した.

4.4.2 排出量取引実験の結果

上述のように, 効率的な削減チケットの取引価格は, 10円である. 各実験設定における効率的な取引価格(10円)からの差は, 表4-2に示すとおりである.

3つの実験設定の中で, 効率的取引価格と実際の取引価格の差が, 最も小さいのは, ダブルオークション実験においてである. 一方, 実際の取引価格の差が, 最も大きいのは, 相対取引の非公開設定(各被験者の削減費用と成立取引価格を非公開にするというもの)である. つまり, 相対取引(中でも非公開設定)よりも, ダブルオークションの方が, 効率的価格で取引されたということである. この結果は, 先行研究に一致する.

表 4.14 各実験における効率的価格との差

実験設定	効率的価格との差 (平均)
相対取引 (公開)	-0.65 円
相対取引 (非公開)	-2.36 円
ダブルオークション	-0.52 円

4.4.3 水質取引実験とは

次に水質取引実験について説明する。水質取引実験の目的は、水質取引における入札行動の意思決定メカニズムを解明し、どのように制度設計を行えば水質取引の効率性を高められるかについて明らかにすることである。

本章では仮想評価法 (CVM) や選択実験を用いた水質の経済評価を行ってきた。これらの評価手法は水質改善の利用価値だけでなく非利用価値も評価することができるという特徴をもつ。これまでの CVM や選択実験を用いて算出された評価額は、汚濁負荷の削減に社会的価値があることを示している。

一方、第 1 章の海外事例分析では、欧州連合 (EU) の水枠組み指令 (Water Framework Directive; European Commission, 2000) に関する取り組みについて調査を行ってきた。指令第 9 条には、「経済的分析に関して、また特に汚染者負担原則に従って、環境・資源費用を含む水サービスの費用回収の原則を考慮する」と記されているにもかかわらず、ドイツを除いた各国の取り組みでは、税や補助金などの経済的インセンティブによる対策が少なく、汚染者負担原則を適用している国がきわめて少ないので現状である。

国内においても面減汚濁負荷の排出源 (農地、山林など) に対して汚染者負担の原則を適用し、直接規制あるいは排水課徴金などの経済手段を用いた面減汚濁負荷対策を実施することが望ましいが、海外と同様に導入が難しい。汚染者負担原則を適用できないこのような状況下では、次善の策として政府あるいは自治体と面減汚濁負荷の排出源の間で水質取引を行い、それらの効率性を高めていくことが当面の課題となるだろう。

オハイオ州では、政府と自治体の運営する下水処理場が環境目標を達成するために、あるいは汚染者負担の原則を適用された点源汚染者が規制を遵守するために農家と水質取引を行っている。前者のケースでは、逆オークションによって買い手である政府と下水処理場が、売り手である複数の農家の提示する排出削減計画と補償金の希望額の中から、排出削減 1 単位あたりの補償金額の低いものから順に取引を成立させるという方法を採用している。

水質取引実験ではオハイオ州の事例を参考にし、買い手である政府が売り手である農家を選ぶ逆オークションについて分析を行った。ここでは、農家に削減量の異なるいくつか

の排出削減計画と補償金の希望額を入札してもらい、水質改善の社会的純便益の最も高い削減量から順に取引を成立させていく水質取引について実験を行った。

4.4.4 経済実験概要

経済実験のそれぞれの概要は以下のとおりである。

経済実験の概要

(1) 被験者対象

京都大学学部生および大学院生

(2) 被験者抽出ソース

京都大学生活協同組合アルバイト紹介掲示板

(3) 実験スケジュール

予備実験（6セッション）：1月16日（月）～18日（水）

本実験（12セッション）：2月13日（月）～16日（木）

実験デザインの概要

(1) 面源汚濁負荷の汚染源（売り手）の利得関数

・経済には農家が n 存在し、すべての農家の利潤関数 π は同一であると仮定

・農家 i ($i=1, \dots, n$) は生産要素 (x_i) を投入し農作物を生産

・農家は価格を所与として利潤を最大化するが、単純化のため価格を省略

・生産要素 1 単位の投入により汚濁負荷の原因物質 (e_i) を 1 単位排出 ($x_i = e_i$)

・農家の利潤関数を $\pi(e_i) = -\alpha e_i^2 + \beta e_i$ と仮定 ($\alpha, \beta > 0$)

・初期時点で農家は利潤を最大化する排出量、 $e_i^o = \frac{\beta}{2\alpha}$ で生産をしていると仮定

・農家 i が水質取引によって補償金 p_i を受け取り、排出を e_i まで削減した場合の利得は、 $p_i - [\pi_i(e_i^o) - \pi_i(e_i)]$

・農家が e_i まで排出を削減することに対する受入補償額は、 $WTA_i(e_i) = \pi(e_i^o) - \pi(e_i)$

・すべての農家は、農家間で利潤関数が同一であることは知っている

・すべての農家は、排出の削減が政府や自治体（あるいは社会）にとってどれだけ便益があるかについて知ることができないが、それらがオークションの回ごとに変化しないことは知っている

(4) 政府または自治体（買い手）の利得関数

・ θ_i ($\theta_i > 0$) を各農家 i の排出した汚濁負荷の移動係数とし、汚濁負荷による地域住

民の被害関数を $D = \delta \sum_i e_i \theta_i$ と仮定 ($\delta > 0$)

- ・農家 i の農家 j に対する取引比率は, θ_i / θ_j で表わされる
- ・政府または自治体 (以下, 政府) は, CVM や選択実験を用いて δ に関する情報を入手
- ・各農家 i に水質取引による補償金 p_i を支払った場合の政府の利得は, $D(e^*) - D(e) - \sum_i p_i$
- ・政府は被害関数に関する情報を持っているが, 農家の利潤関数に関する情報 (α, β) について知ることができない
- ・政府には予算 Z ($Z \leq \sum_i p_i$) があり, すべての農家は予算の金額について知ることができないが, 政府に予算があることは知っている

(5) オークション形式

- ・買い手がどの売り手と取引を行うかを決める逆オークション
- ・売り手の入札は封印 (他の売り手の入札額について知ることができない) オークションで行われ, 落札価格は売り手の提示した価格 (差別価格) で決定
- ・政府は, 予算を使い切るまで純便益 ($\delta \theta_i (e^* - e_i) - p_i$) の最も高い削減計画を提案してきた農家から取引を成立させていく
- ・すべての農家は, 他の農家の取引結果について知ることができない

(6) 実験トリートメント

- ・取引比率に関する情報の提供が水質取引市場の効率性に与える影響について分析を行うため, 表 4.15 に示す 6 つの実験トリートメントを実施
- ・1 回のセッションを 4 つの実験トリートメントで構成
- ・各セッションでは 14 人の被験者が 7 人のグループに分かれ, 農家 (売り手) として水質取引実験に参加
- ・買い手はすべてコンピュータが実施
- ・1 つのグループには取引比率 (θ_i / θ_j) の高い農家が 3 人, 低い農家 4 人が存在
- ・移動係数 θ_i の異なる 3 つの農家のタイプが存在
- ・被験者は 1 ステージ 5 回から構成されるオークションに 6 ステージ参加
- ・プレ実験では, $\alpha = 1, \beta = 200, \delta = 100$ とし, 政府の予算を $Z = 5000$ に設定

表 4.15 水質取引実験トリートメント

トリートメント	取引比率の最小値	取引比率の最大値	タイプの名称	タイプに関する情報
D-I	1	1	ブルー	あり
S-I	0.83	1.2	レッド, ブルー	あり
L-I	0.71	1.4	イエロー, ブルー	あり
D	1	1	ブルー	なし
S	0.83	1.2	レッド, ブルー	なし
L	0.71	1.4	イエロー, ブルー	なし

表 4.16 水質取引予備実験のスケジュール

セッション	日時	ステージ					
		1	2	3	4	5	6
1	1/16 13:00～14:30	D	D-I	D	L-I	L	L-I
2	1/16 14:45～16:15	D	D-I	D	S-I	S	S-I
3	1/17 13:00～14:30	L	L-I	L	D-I	D	D-I
4	1/17 14:45～16:15	L	L-I	L	S-I	S	S-I
5	1/18 13:00～14:30	S	S-I	S	D-I	D	D-I
6	1/18 14:45～16:15	S	S-I	S	L-I	L	L-I

(5) 実験のインセンティブ

- ・実験では実験参加費 1500 円に加え、被験者に利得を最大化させるインセンティブを与えるため、実験で得たポイント 2 ポイントにつき 1 円実験報酬を増額

(9) その他

- ・実験中は被験者間のコミュニケーションを禁止
 - ・実験結果の文脈依存性を排除するため、農家のタイプの呼称を移動係数の高い方から順に、ブルー、レッド、イエロー、排出削減計画の呼称を削減量の多い方から順に商品 A、商品 B、商品 C、商品 D、農家と政府の呼称をそれぞれ売り手、買い手とした

図 4.2 D-I トリートメントの売り手の画面（予備実験）

あなたのグループには「ブルー」が7人います。どの売り手が生産しても、同じ品名の商品を購入することによる買い手の収益は同じです。

あなたのタイプは「ブルー」です。

それぞれの商品を生産する費用を確認し、売り値を決めて入力してください。費用と売り値の単位は「ポイント」です。
すべて入力し終わったらOKボタンを押してください。

	費用	売り値
商品A	1600	
商品B	1225	
商品C	900	
商品D	625	

OK

図 4.3 S-I トリートメントの売り手の画面（予備実験）

どの売り手が生産するかによって、同じ品名の商品を購入することによる買い手の収益は異なります。

「ブルー」から同じ品名の商品を購入することによる買い手の収益は「レッド」の1.17倍です。「レッド」から同じ品名の商品を購入することによる買い手の収益は「ブルー」の0.86倍です。

あなたのグループには「ブルー」が3人、「レッド」が4人います。

あなたのタイプは「レッド」です。

それぞれの商品を生産する費用を確認し、売り値を決めて入力してください。費用と売り値の単位は「ポイント」です。すべて入力し終わったらOKボタンを押してください。

商品	費用	売り値
商品A	1600	<input type="text" value=""/>
商品B	1225	<input type="text" value=""/>
商品C	900	<input type="text" value=""/>
商品D	625	<input type="text" value=""/>

OK

図 4.4 L-I トリートメントの売り手の画面（予備実験）

どの売り手が生産するかによって、同じ品名の商品を購入することによる買い手の収益は異なります。

「ブルー」から同じ品名の商品を購入することによる買い手の収益は「イエロー」の1.40倍です。「イエロー」から同じ品名の商品を購入することによる買い手の収益は「ブルー」の0.71倍です。

あなたのグループには「ブルー」が3人、「イエロー」が4人います。

あなたのタイプは「イエロー」です。

それぞれの商品を生産する費用を確認し、売り値を決めて入力してください。費用と売り値の単位は「ポイント」です。すべて入力し終わったらOKボタンを押してください。

商品	費用	売り値
商品A	1600	<input type="text" value=""/>
商品B	1225	<input type="text" value=""/>
商品C	900	<input type="text" value=""/>
商品D	625	<input type="text" value=""/>

OK

図 4.5 タイプに関する情報がないトリーントメントの売り手の画面（予備実験）

商品を購入することによる買い手の収益が、あなたのタイプと他の売り手のタイプとでどのくらいの違いがあるか、あるいは同じであるかは分かりません。
あなたのグループにどのタイプの売り手がどれだけいるかは分かりません。

それぞれの商品を生産する費用を確認し、売り値を決めて入力してください。費用と売り値の単位は「ポイント」です。
すべて入力し終わったらOKボタンを押してください。

	費用	売り値
商品A	1600	<input type="text"/>
商品B	1225	<input type="text"/>
商品C	900	<input type="text"/>
商品D	625	<input type="text"/>

OK

図 4.6 オークションの結果の画面

商品Aの取引が価格2000ポイントで成立しました。

今回あなたの獲得したポイントは400ポイントです。
確認が終わったらOKボタンを押してください。

	費用	売り値	取引結果
商品A	1600	2000	成立
商品B	1225	2000	
商品C	900	2000	
商品D	625	2000	

OK

4.4.5 水質取引実験の分析結果

分析の途中経過

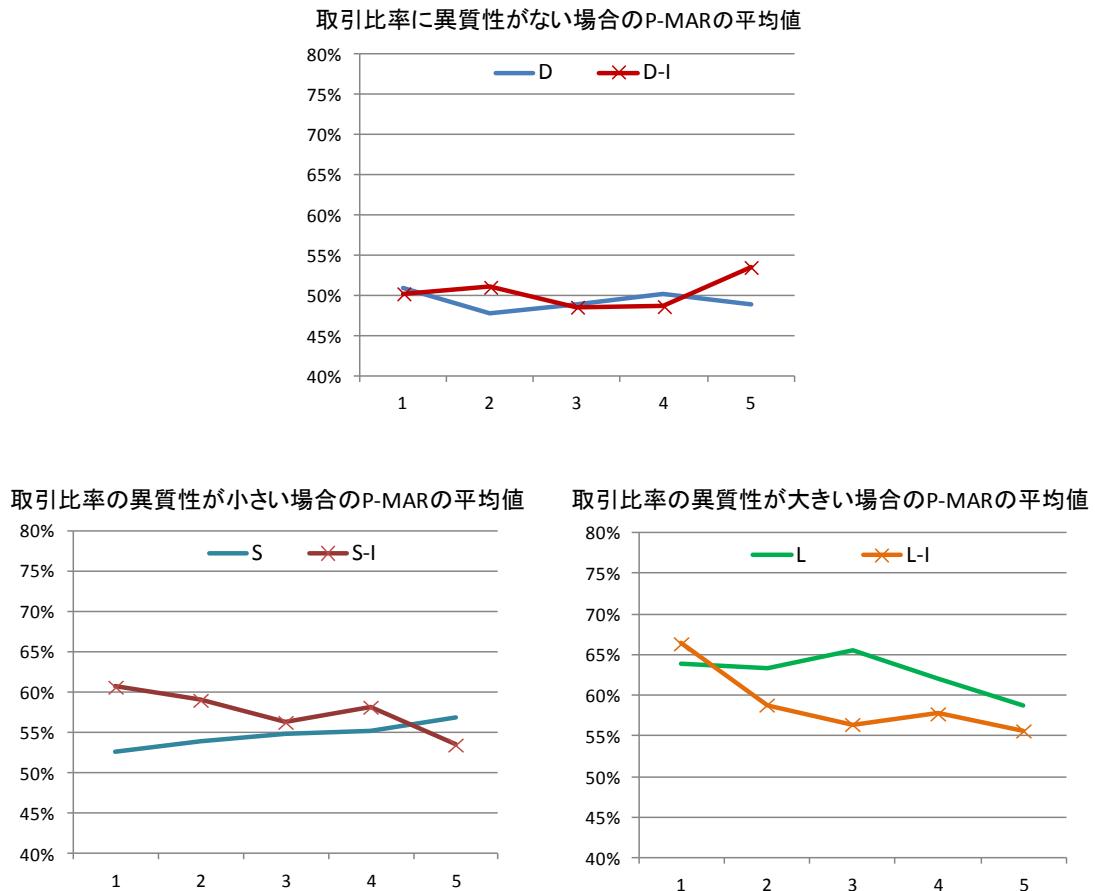
(1) P-MAR の比較

- P-MAR(the Percentage of Maximum Abatement Realized)は、政府の予算で達成可能な社会的純便益の最大値に対するオーケションメカニズムによる実現値のパーセンテージ (Cason and Gangadharan, 2005)
- 予算額はすべてのトリートメントで一定であるので、移動係数の低い農家が出現する S トリートメントと L トリートメントの順に達成可能な社会的純便益の最大値が下がり、オーケションで同じ社会的純便益を実現した場合の達成率が高くなる
- D トリートメント (図 4.7 上) では、取引比率に関する情報提供は実現される社会的純便益に有意な影響を与えていなかった (Mann-Whitney 両側検定, p 値=0.629, $N=120$)
- S トリートメント (図 4.7 左下) では、取引比率に関する情報提供が実現される社会的純便益に有意に正の影響を与えていた (Mann-Whitney 片側検定, p 値<0.01, $N=120$)
- L トリートメント (図 4.7 右下) では、取引比率に関する情報提供が実現される社会的純便益に有意に負の影響を与えていた (Mann-Whitney 片側検定, p 値<0.05, $N=120$)
- 農家 (売り手) が取引比率に関する情報を得ることによって、グループ内で取引比率の低いことを知った農家は入札額を下げ、取引比率の高い農家は入札額を上げることが予想される。S トリートメントと L トリートメントの間で、取引比率に関する情報提供が実現される社会的純便益に異なる影響を与えていたことは、直感的に異なる戦略をとる両者の入札額の変化のバランスによって決まることが予想されるが、個人レベルの入札行動に関する詳細な分析が必要である。

(10) 今後の課題

- 今後は予備実験のデータを個人の入札行動に関して分析を行い、本実験のデザインを適宜修正する

図 4.7 各トリートメントにおける P-MAR の平均値



4.5 結論

本章では、水質対策の経済効果を金銭単位で評価する手法について検討し、千葉県印旛沼と琵琶湖を対象に実証研究を行った。また経済実験により水質対策に経済的手段を導入したときの費用削減効果について分析を行った。

第一に、水質の経済的評価手法について検討したところ、水質関連の評価研究は 783 件が存在し、このうちヘドニック法 52 件、トラベルコスト法 211 件、CVM 409 件、コンジョイント分析 12 件であった。これらの先行研究を精査したところ、トラベルコスト法と CVM（またはコンジョイント分析）の組み合わせが有効と考えられた。

第二に、千葉県印旛沼および琵琶湖を対象に予備調査を実施した。流域住民に対して水質に対する意識調査を行ったところ、水質については琵琶湖より印旛沼の方が悪化しているという印象を持つ人が多い傾向にあった。水質改善に対する支払意思額は印旛沼 1,076 円、琵琶湖 1,327 円／年／世帯であった。一方、生態系保全の支払意思額は印旛沼 942 円、琵琶湖 999 円／年／世帯であった。以上のように印旛沼と琵琶湖では水質対策の支払意思額は比較的近い金額となった。

第三に、琵琶湖を対象に水質対策の経済効果について詳細な分析を行った。本調査ではWeb調査と郵送調査の両方でアンケート調査を実施した。その結果、Web調査1156サンプル、郵送調査は500サンプル（一般396、農家104）のデータを回収した。このデータとともに統計分析を行った。選択実験による分析結果では、水質対策が111億円、透明度対策が70億円、生態系保全対策が27億円であった。また環境保全型農業の実施による水質対策の効果をCVMで評価したところ、集計支払意思額は京都府49億3,150万円、大阪府69億6,940万円であった。農家を対象としたCVM調査では、環境保全型農業の実施に必要な補償額は10aあたり2752円、農業排水対策に必要な補償額は10aあたり4000円であった。これらの評価額は、行政が水質対策の費用対効果を分析するときの情報として有用なものであると考えられる。

第四に、経済実験により水質対策に経済的手段を導入したときの費用削減効果を分析した。一般的な排出取引制度では、売り手と買い手の二者間で取引が行われる「相対取引形式」と公開の場で取引が行われる「ダブルオークション形式」が提案されているが、この両者の違いを経済実験により分析することで、取引内容の公開が排出量取引の効果にもたらす影響を検討した。その結果、ダブルオークション形式の費用削減効果が最も高いことが示された。一方、水質対策を対象とした排出量取引制度には、点源汚染源と面源汚染源で取引を行う水質取引制度が存在する。そこで実験室内で水質取引制度を再現し、水質取引制度の費用削減効果を分析した。現在は予備実験が完了した段階であり、分析途中ではあるものの、取引比率に関する情報を農家に提供することが取引に影響をもたらす可能性が示された。以上の経済実験の結果は、水質対策においても排出量取引などの経済的手段が有効であることを示しているが、排出取引制度を設計する際には取引内容や取引比率を公開することが重要であることを示唆している。

5. 本論 5 統合モデル

5.1 はじめに

本プロジェクトが現在進めている水質取引や排水課徴金などの水環境政策の評価には、環境工学や環境経済学をはじめとする学際的な知見に基づいた、科学的に信頼性の高い流域モデルの構築が不可欠である。適切なモデルを用いることにより流域の水循環を高い確度で把握できるとともに、政策実施による水循環の変化が水量・水質などに及ぼす影響を定量的に評価することが可能となる（土木研究所 2000 年）。このようなモデルを活用した政策分析の枠組みはアメリカ・EU 諸国では学術・実務を問わず幅広く実施されている。例えば 2000 年に採択された EU 水政策枠組み指令¹ (Water Framework Directive; WFD) では、一部の国では流域計画の策定に web ベースの政策評価ツールが用いられており、このツールはデンマーク水理研究所 (Danish Hydraulic Institute; DHI) が開発した MIKE SHE 水文モデルや MIKE11 水理モデル、MIKE BASIN 流域モデルなどがベースとなっている (MIKE SHE/11 モデルについては後述)。また DHI は EU 加盟国以外の国々にも MIKE モデルをベースとした流域政策に関する意思決定サポートシステムを納入し、各国の持続的な流域管理に向けたコンサルティング業務をおこなっている。一方アメリカでは、流域の環境評価や政策や水環境政策の評価ツールとして、環境保護局 (EPA) が無償で提供する水文データおよびソフトウェアのパッケージである BASINS が、学術・行政実務を問わず幅広く利用されている²。

このような状況を踏まえ、本プロジェクトでは対象範囲・役割の異なる 2 つの統合モデルを構築し、水質対策の政策評価を実施した。第 1 のモデルは、広域データによる琵琶湖全体を網羅した統合モデルである（琵琶湖流域モデル）。このモデルでは 500m×500m と比較的大きめのグリッドを分析単位とすることにより、複数の流域を含む広範囲な政策の実効性など、湖沼・地域レベルでの評価が可能である。またこのモデルは湖沼内での水循環の動態も予測可能だから、流域における水質対策が実際に湖沼環境に与える影響を単

¹ 表層水、河口水、沿岸水、地下水を保全するために、汚染の防止および削減、持続可能な水利用の促進、水環境の保全、水域の生態系の改善、洪水および渇水の影響緩和を図る統一的な水管理を目的として、欧州議会・欧州理事会により 2000 年に採択された水政策の枠組みである (Kallis, G. and Butler, D. (2001) The EU Water Framework Directive: Measures and Implications. *Water Policy*, 3(2). pp. 125–142)。この政令は管理計画の策定が行政的な区域単位ではなく、流域単位で実施され、従来型の管理計画よりも湖沼・河川の状況に則した形態であることや、自然条件・経済条件などを考慮した多面的な視点に基づいていることなどが特徴である。より詳細については西嶋秀幸・富岡誠司 (2002) 「EU とイギリスにおける流域管理政策調査」『平成 14 年度ダム水源地環境技術研究所 所報』 pp. 111–114. を参照のこと。

² BASINS の詳細については EPA の公式ウェブサイトを参照のこと。

<http://www.epa.gov/waterscience/basins/>

一の分析枠組で評価可能な点が利点である。

第2のモデルはデンマーク水理研究所（DHI）の MIKE SHE 水文モデルおよび MIKE 11 水理モデルおよび経済モデルを組み合わせた統合モデルである。このモデルは個別の流域における水質対策が各農家の汚染行動に与える影響とその費用などを詳細に定量化するため、100m×100m の比較的解像度の高いグリッドを分析単位とする水文モデルを基盤としている。そのため琵琶湖流域全体など広範囲の影響予測を実施することは計算上の制約から難しいが、個別の比較的小規模な流域については政策の費用対効果などを詳細に分析することが可能である。以下、第2節・第3節ではそれぞれの統合モデルについて紹介するとともに、モデルから得られた水質対策の評価結果について詳しく報告する。

5.2 分析事例1：琵琶湖流域水物質循環モデルによる解析

本節では、滋賀県が産学官連携により構築してきた「琵琶湖流域水物質循環モデル」を用いて、第2章で説明した家棟川流域の水質の特徴を解析した結果について述べる。まず、琵琶湖流域水物質循環モデルの概要について述べ、続いて家棟川流域の水質調査の概要と結果を、最後に琵琶湖流域水物質循環モデルを家棟川流域に適用した結果について述べる。

5.2.1 琵琶湖流域水物質循環モデルの概要

琵琶湖を取り巻く流域の水環境を把握し、対策の実施による琵琶湖の水質の変化を精度良く予測するためには、時々刻々の気象がもたらす陸域での水・物質の循環や湖内の水温と流動、またそれらが湖内のプランクトンや汚濁物質等に及ぼす影響を再現することが必要である。しかし陸域からの面源負荷量を推定する際に一般に用いられる原単位法では、降雨の多少やパターンによらず一定の負荷量が与えられるため、面源負荷が河川や琵琶湖に及ぼす影響の把握や、面源対策や降雨時対策の効果予測に課題があった。

以上より琵琶湖流域では、琵琶湖の集水域における水物質循環・湖内流動・湖内生態系に関するモデルを結合し、気象や社会条件等を考慮して非定常な解析が可能な分布型モデル「琵琶湖流域水物質循環モデル」が構築されている（佐藤ら, 2010；佐藤ら, 2011）。ここでは本モデルの概要を述べる。

（1）琵琶湖流域水物質循環モデルの全体像

琵琶湖流域水物質循環モデルの計算フローを図5-1に示す。モデルは「陸域水物質循環モデル」「湖内流動モデル」「湖内生態系モデル」の3つから成り、それぞれ気象や地形、社会条件等のデータと他のモデルからの出力を読み込んでシミュレートする。

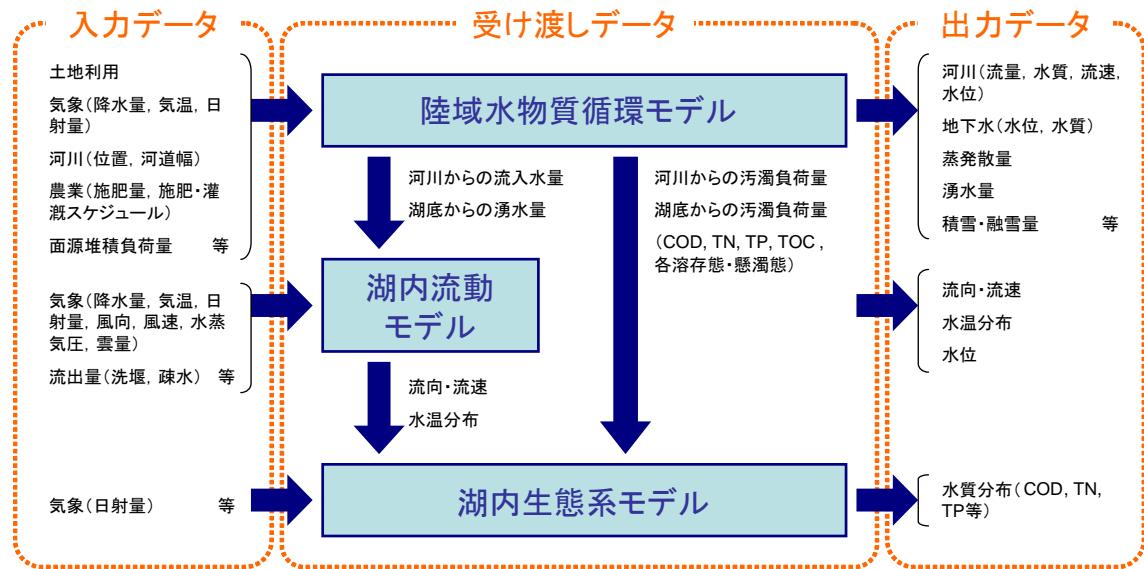


図 5-1 琵琶湖流域水物質循環モデルの全体像

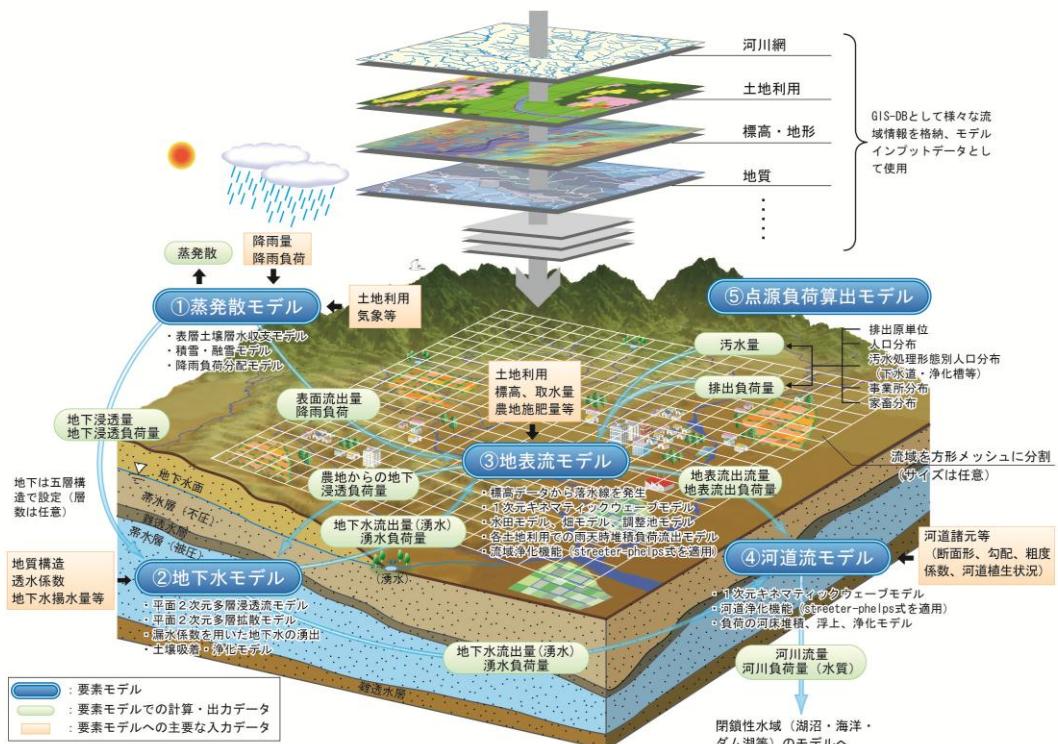


図 5-2 陸域水物質循環モデルの概要

(2) 陸域水物質循環モデルの概要

構築した流域水物質循環モデルは6つの要素モデルから成る500m メッシュの分布型モデルであり、任意時刻・任意地点における河川流量や水質等をシミュレートすることが可能である（図5-2）。解析する物質はCOD, TN, TPの3物質であるが、湖内生態系にデータを受け渡す際に、各流域の過去の水質調査データから、CODをTOCに、また各物質を溶存態と懸濁態に形態分離している。

水循環については、降水をインプットデータとし、地表面での降水の分配～地下水流～地表流～河道流といった流域での水の挙動に関する物理現象を解析する各サブモデルを統合することによって流域全体の現象を解析する。例えば地表流、河道流については、一次元のKinematic Wave法により解析する。

物質循環については、負荷の発生・排出・流達過程における物理的機構を再現するため、特に面源負荷の発生と負荷流達機構について以下のモデルを構築している。

i) 農地以外の土地利用

市街地や道路など各種土地利用の地表面から降水時に発生する負荷を、無降水時の負荷の堆積や降水時の負荷発生を考慮した雨天時流出負荷量算定モデルを用いて算出する。このモデルは次式により表現される。

$$L_s = k \cdot S_s^m \cdot (Q_s - Q_c) Q_s^n + C_{rain} \cdot Q_s$$

$$dS_s / dt = \begin{cases} \Delta S & (\text{晴天時}) \\ -L_s & (\text{降雨時}) \\ 0 & (S_s \geq S_{\max} \text{ or } S_s = 0) \end{cases}$$

ここで、 L_s ：地表面流出負荷量、 Q_s ：地表面流出水量、 Q_c ：掃流限界流量、 C_{rain} ：降水水質、 S_s ：地表面堆積負荷量、 ΔS ：晴天時負荷堆積速度、 S_{\max} ：最大堆積負荷量、 $k \cdot m \cdot n$ ：パラメータである。

ii) 農地（水田）

土地利用に水田を有するメッシュにおいては、施肥からの溶脱や用水由来の負荷、水田の貯留効果等を考慮するため、水田レイヤーを別に設定し、水田の欠口部からの流出水量（本間公式により算出）と水田内水質から流出負荷量を計算した後、これを地表流の計算に受け渡している。

$$L_{pad} = Q_{pad} \cdot C_{pad}$$

$$\frac{dV_{pad} \cdot C_{pad}}{dt} = R_t \cdot C_{rain} + L_{agr} + \alpha \cdot S_{pad} - C_{pad} (I_t + Q_{pad})$$

ここで、 L_{pad} ：水田流出負荷量、 Q_{pad} ：水田流出水量、 C_{pad} ：水田内水質、 V_{pad} ：水田内水量、 R_t ：降水量、 L_{agr} ：用水負荷量、 α ：溶脱定数、 S_{pad} ：残存施肥量、 I_t ：地下浸透水量である。

iii) 負荷の流達

河道における汚濁負荷の流下過程では、1次元移流方程式により物質の挙動を表現する他、河川水の流速や水質等に応じて汚濁負荷が堆積・浮上・浄化する機構、すなわち平常時には河床に負荷が堆積し、降水時には堆積負荷が削り取られて浮上するという現象や、堆積負荷が時間に応じて浄化するという現象を再現するため、河床堆積負荷と河川水との相互作用を考慮した下記のモデルを構築している。

【平常時】

$$\frac{\partial V_r \cdot C_r}{\partial t} + u_t \frac{\partial V_r \cdot C_r}{\partial x} = L_t - k_d \cdot C_r \cdot V_r$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial t} = k_d \cdot C_r \cdot V_r - k_p \cdot S_r$$

【降水時】(河床堆積負荷の浮上開始～終了時)

浮上開始の判断： $u_t / u_{t-1} \geq a$ (このときの u_t を u^*)

浮上終了の判断： $u_t / u^* \leq b$

ここで、 S_r ：河床堆積負荷、 V_r ：河道メッシュの容量、 C_r ：河道メッシュの水質濃度、 u_t ：流速、 L_t ：外部からの流入負荷、 k_u ：再浮上係数、 k_d ：沈降係数、 k_p ：自然浄化係数、 a ・ b ：パラメータである。

(3) 湖内流動モデルの概要

湖内流動モデルは、琵琶湖内部での水の流動および水温変化を計算するモデルである。水域を平面方向に $1\text{km} \times 1\text{km}$ に分割し、鉛直方向には水深の異なる 8 層に分割し作成したメッシュを計算単位として、外部条件（気象、河川流入出）を与えることにより、湖内での水の流れを計算し、湖内での流速および水温分布を結果として出力する（図 5-3）。

具体的には、岩佐ら（1983）の手法を参考に、層位モデルを用いた準三次元的解析が可能な湖水流動モデルを作成している。流れの解析に用いる基礎方程式は静水圧近似と Boussinesq 近似を用いた非圧縮性流体の連続の式および運動方程式としている。

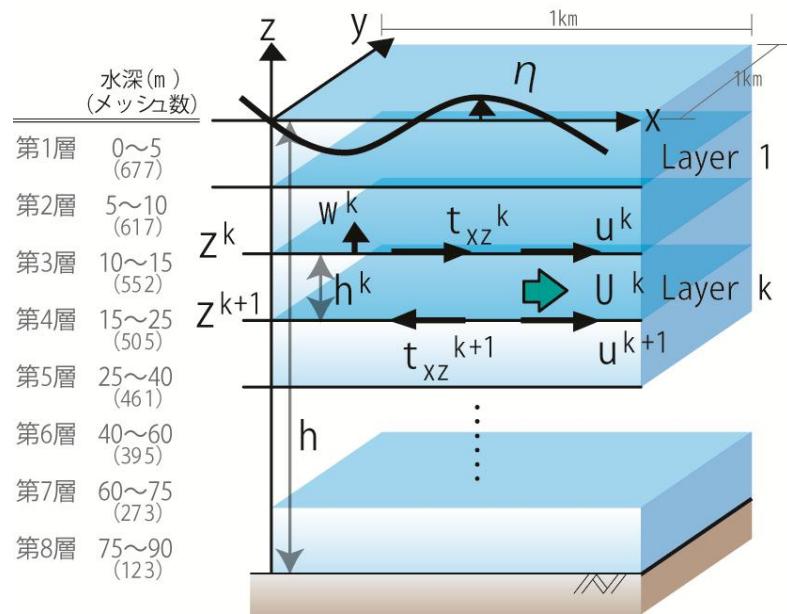


図 5-3 湖内流動モデルの概要

(4) 湖内生態系モデルの概要

湖内生態系モデルは、琵琶湖内部での生態系や各種物質の濃度を計算するモデルである。計算単位となるメッシュは、平面・鉛直方向ともに湖内流動モデルと同じであり、湖内における移流拡散モデルと生態系モデルを結合させることにより開発した湖内生態系モデルを使用している (Komatsu et al., 2006)。このモデルでは、湖内の溶存酸素、有機物、栄養塩、鉄などの金属の濃度を予測するために、陸域水物質循環モデル、湖内流動モデルの結果を連成させ、時間発展方程式を解く。また、リンの挙動を把握するために、鉄のサイクルや底質-水相互作用を考慮し、好気状態の下での物質の吸着・沈降と嫌気状態での溶解・溶出のプロセスを考慮する (図 5-4)。

このうち生態系モデルでは、水相 7 コンパートメントと溶存酸素、底質 4 コンパートメントからなる支配方程式を導出している。湖内における栄養塩の挙動・ダイナミックスは、河川からの流入、瀬田川への流出、生物相による摂取、水相における沈殿・再懸濁、懸濁への吸脱着、底質からの溶出および水-底質相互作用による吸脱着、無機化、堆積により表現している。

なお湖内生態系モデルでは、前述のように有機物として COD ではなく Carbon 量 (TOC) を用いた解析を行っているが、最終的に COD で評価するために、再度 TOC を湖内水質の統計データから COD に換算するという操作を行っている。

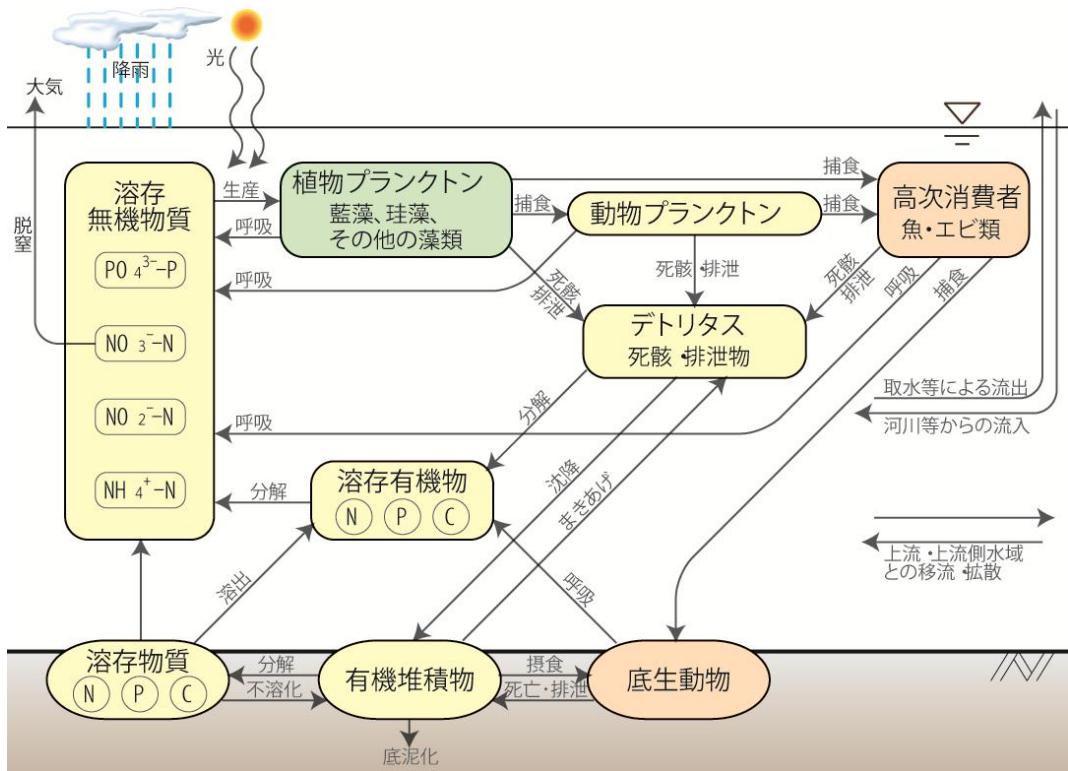


図 5-4 湖内生態系モデルの概要

(1) シミュレーションの結果と検証

1) 計算条件

2004 年度（2004 年 4 月 1 日～2005 年 3 月 31 日）を対象として陸域水物質循環、湖内流動、湖内生態系の再現計算を行った結果を紹介する。降水量については、2004 年度のアメリカデータをティーセン分割して陸域のメッシュに割り振った。土地利用については、1997 年度の国土数値情報土地利用 3 次メッシュデータと 2004 年度の市町別土地利用データを参照して、2004 年度のメッシュデータを作成した。点源負荷については、2004 年度のデータを元にメッシュ別負荷量を算定した。

各モデルの初期値について、湖内流動については、計算開始時の流速は全て 0 とし、水温は計算開始時における層ごとの水温を全域にわたり適用した。湖内水質については、計算開始時における観測水質をスプライン補間して設定した。

2) 計算結果と検証

琵琶湖流入河川のうち最大の流域面積を有する野洲川（流域面積：398km²、流域人口：

133,645 人, 土地利用: 山林・他 68%, 宅地・道路 17%, 水田 9%, ゴルフ場 4%, 畑 1%)において河川流量を検証した結果を図 5-5 に示す. 時系列的に見ると平常時と降雨時の変化を精度よく再現することができた一方で, 年間総流出量としては観測で 4.35 億 t/年, 計算で 5.11 億 t/年とやや過大な結果となった. これは, 野洲川の河川水が農業用水として他流域にかなり導水されており, 例えば石部頭首工では最大取水量が $6.8\text{m}^3/\text{s}$ で, ここで取水された農業用水は野洲川に戻らない場合が多い一方, 現在のモデルではこうした取排水過程を考慮していないことが一因と考えられる.

続いて通年の負荷量としての妥当性を検証するために, 他年度のデータを含めた観測値と, 計算値の L-Q 図の比較を行った (図 5-6). 1 ヶ月に 1 回の平常時観測データを用いて比較しているため, 必ずしも降雨時の負荷量の妥当性を検証できるわけではないが, 全項目について L-Q 図の傾きは概ね再現できている. 一方で, TP については L-Q 図のふくらみが計算で大きい結果となった. TP は COD や TN に比べて降水時に懸濁態成分として流出するが多く, その浮上・沈降のメカニズムがモデルで十分再現できていないことが原因であると考えられる.

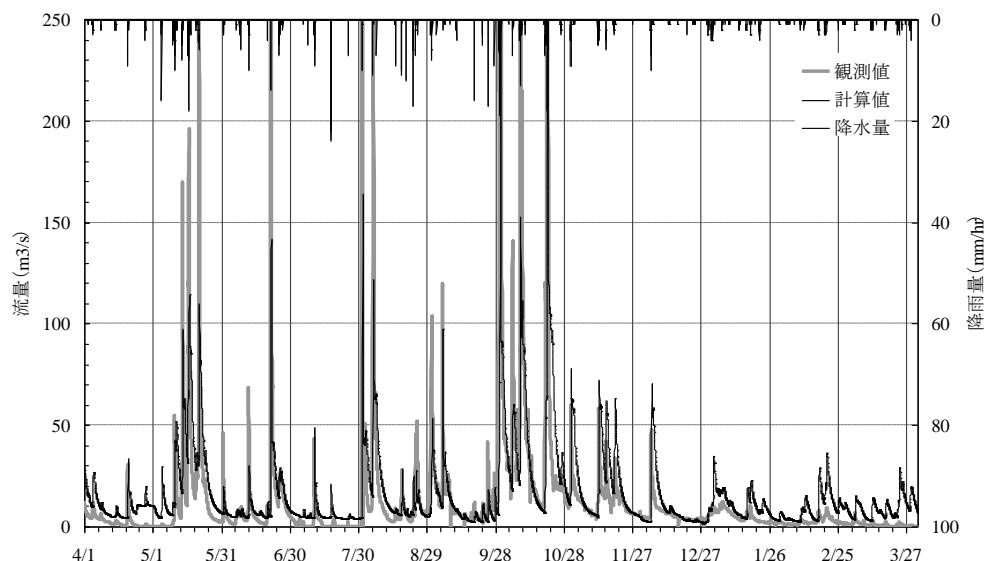


図 5-5 野洲川流量の再現計算結果

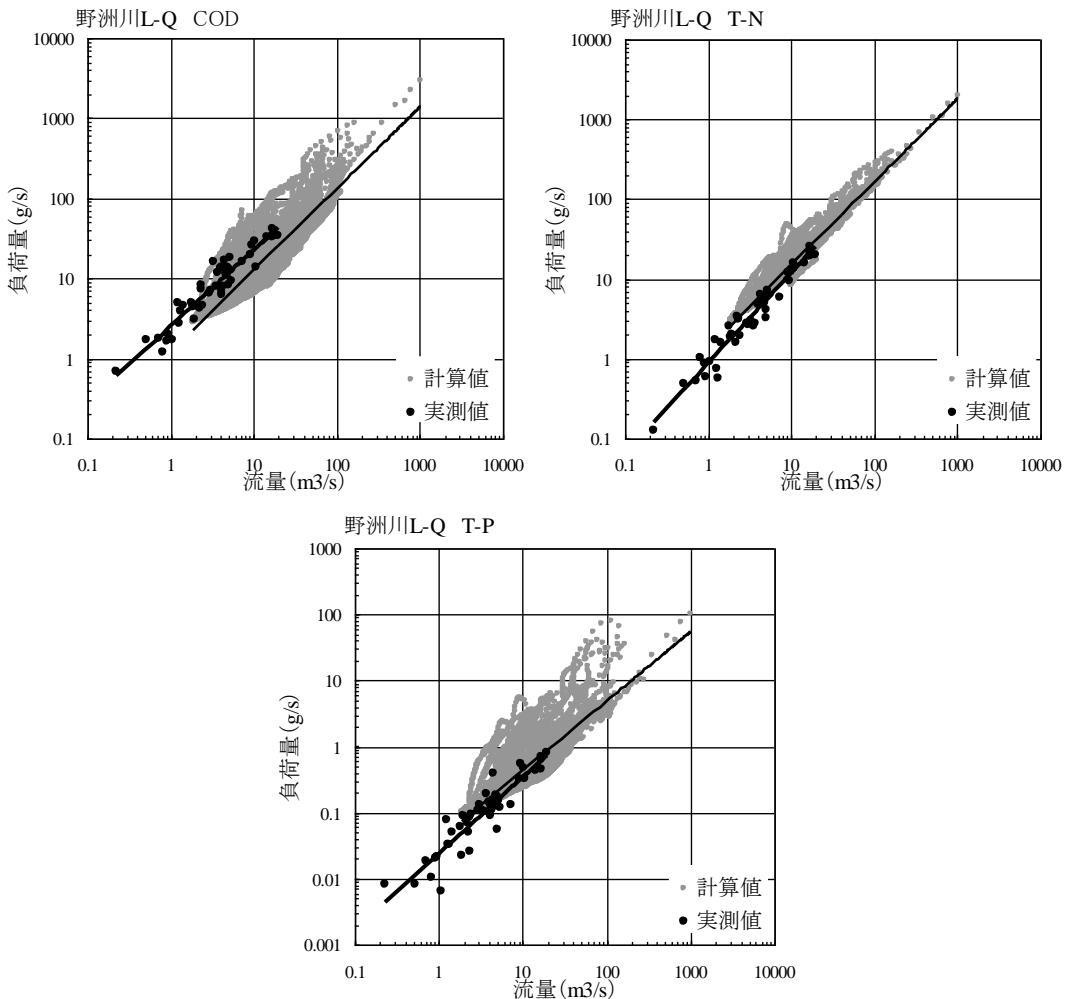


図 5-6 野洲川負荷量 (L-Q 図) の再現計算結果

湖内流動モデルでの計算結果の一例を図 5-7 に示す (7 月のもの). 琵琶湖には 3 つの環流が存在するといわれているが, 本モデルにおいても図のように 3 つの環流が現れる時期が確認された. 年間を通じた水温の水温分布, 鉛直分布も概ね再現されており, 水の流動と水温の変化を良好に再現できた.

湖内生態系モデルについて, 湖内の環境基準点における COD・TN・TP 年間平均値の再現計算結果を図 5-8 に示す. 横軸は観測地点の ID を示すが, 琵琶湖の北湖 (17A~12B), 南湖 (9B~4A) 共に地点ごとの濃度の差をよく再現できており, 特に 8C は汚濁の進んだ赤野井湾のすぐ沖にあたり, 陸域からの負荷量が湖内水質にもたらす影響を再現できていることが分かる. 一方で南湖の TN・TP についてはばらつきが大きく, 南湖の水質変動の複雑さに比してメッシュサイズが大きいこと, 大量繁茂している沈水植物の影響などが要因として考えられる.

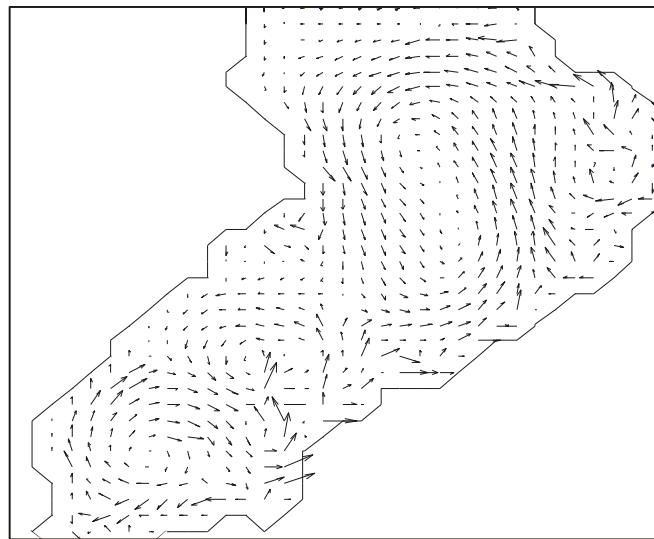


図 5-7 北湖湖流の再現計算結果 (7 月)

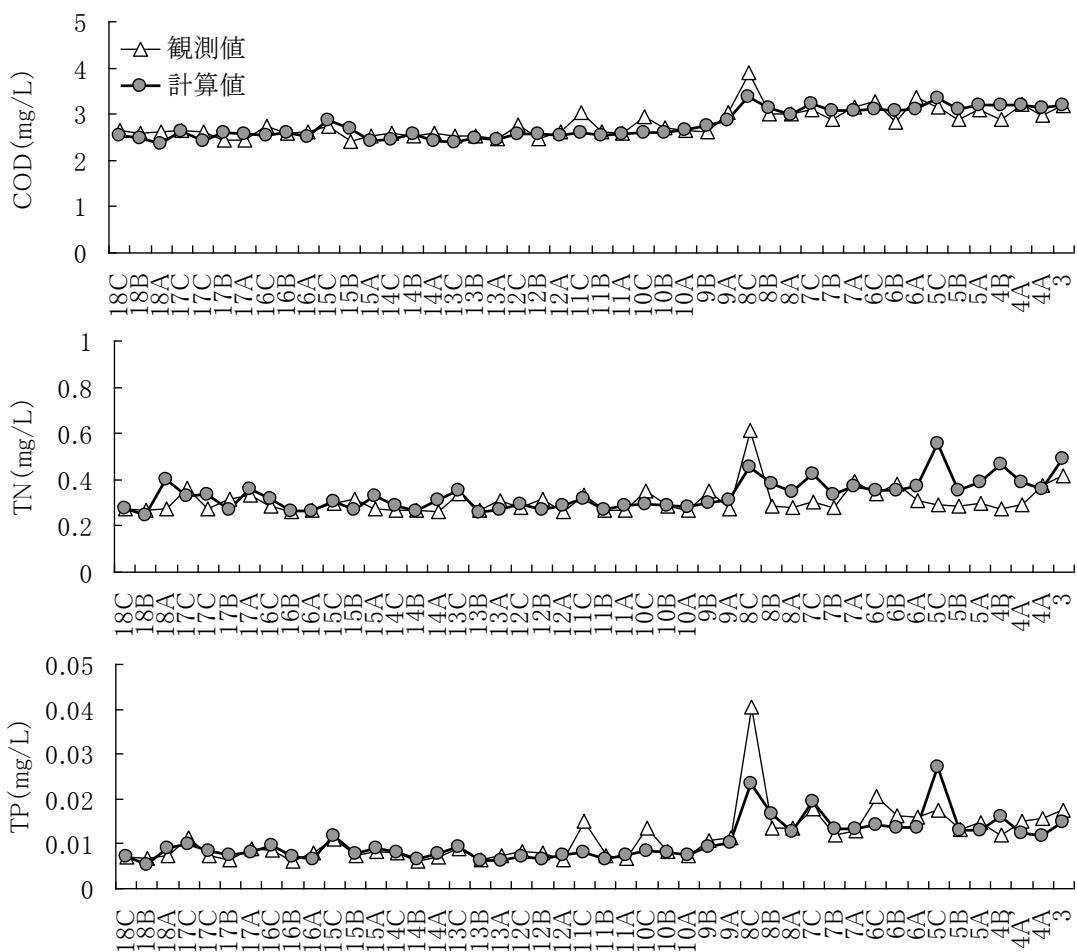


図 5-8 湖内水質の再現計算結果（2004 年度）

5.2.2 家棟川流域における水質調査の概要と結果

(1) 水質調査の概要

第2章で述べた対象流域である家棟川の水質の状況を把握するため、流域の上中下流における水質調査を実施した。概要は以下の通りである。

調査地点数：12 地点

調査期間：2011年4月末以降（2012年1月現在継続中）

調査頻度（定期観測）：

（灌漑期）1週間に1回

ただし、代かき期は1日に1回（3地点）

（非灌漑期）1～2週間に1回

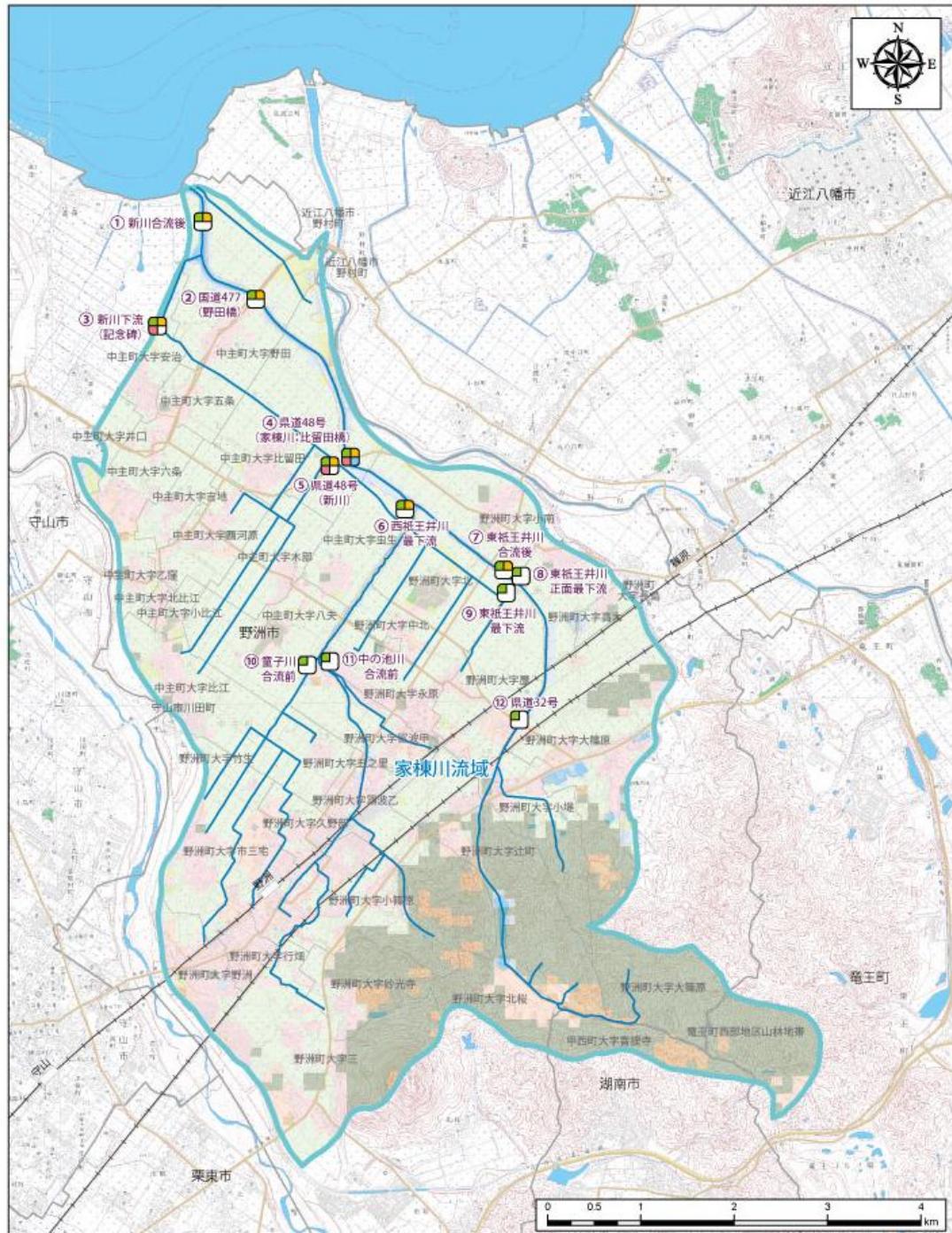
調査項目：

（連続観測）水位、濁度（～7月末）

（定期観測）EC, SS, DOC, POC, DN, PN, DP, PP

調査地点ごとの調査の概要を図5-9に示す。

家棟川水質調査地点



凡例

家棟川流域界	駅
家棟川流域内河川	鉄道
市町村境界	道路
大字境界	

土地利用

田	建物用地
畠その他の農用地	幹線交通用地
森林	その他の用地
荒地	河川

家棟川水質調査地点

センター手採水
センター手採水・潮度計設置
センター手採水・潮度計設置・NPO手採水
センター手採水・潮度計設置・NPO手採水・水位計設置

図 5-9 家棟川水質調査地点

(2) 水質調査の結果

水質調査の結果を次ページ以降に示す。これから理解される家棟川流域の特徴は以下の通りである。

- ・ 4月末～5月中旬までの代かき・田植え期に特に懸濁態成分の負荷が卓越する傾向にある。この傾向は新川や東祇王井川など支流域で顕著である。
- ・ ほとんど全ての水質項目において、灌漑期を過ぎ非灌漑期に入ると濃度が減少することから、農地からの負荷の影響を強く受ける河川である。
- ・ 地点別に見ると、⑩童子川は EC が高いことから工場排水などの影響を受ける河川であること、⑨東祇王井川は TP・TN 濃度が高いことから流域の水田の影響を受ける河川であること、また水位の変化からは、少なくとも④比留田橋までは琵琶湖の水位変化の影響を受けることが分かる（琵琶湖水が直接河川に遡上しているのか、あるいは琵琶湖水位に応じて河川水の琵琶湖への流入が律速されているのかは本調査だけでは分からぬ）。
- ・ 9/21 の台風 15 号襲来時に調査を実施したが、SS が上昇する他、有機物では溶存・懸濁態が、リンでは溶存態が特に上昇傾向を示した。一方で窒素は溶存・懸濁態共に大きな変化がなかった。こうした降雨時の負荷が年間の流入負荷に大きな影響を与えていることが示唆される。ただし、これは台風が通過して 1 日ほど経過していたときであったため、降雨時の詳細な変化については降雨時調査を実施する必要がある。

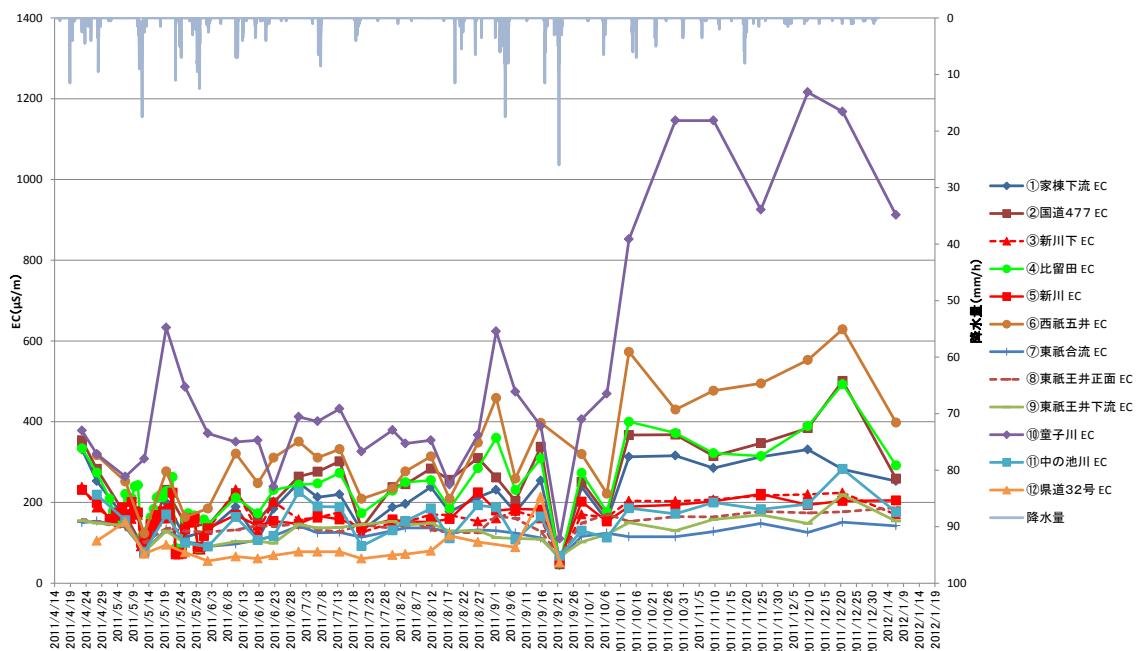


図 5-10 家棟川 EC 調査結果

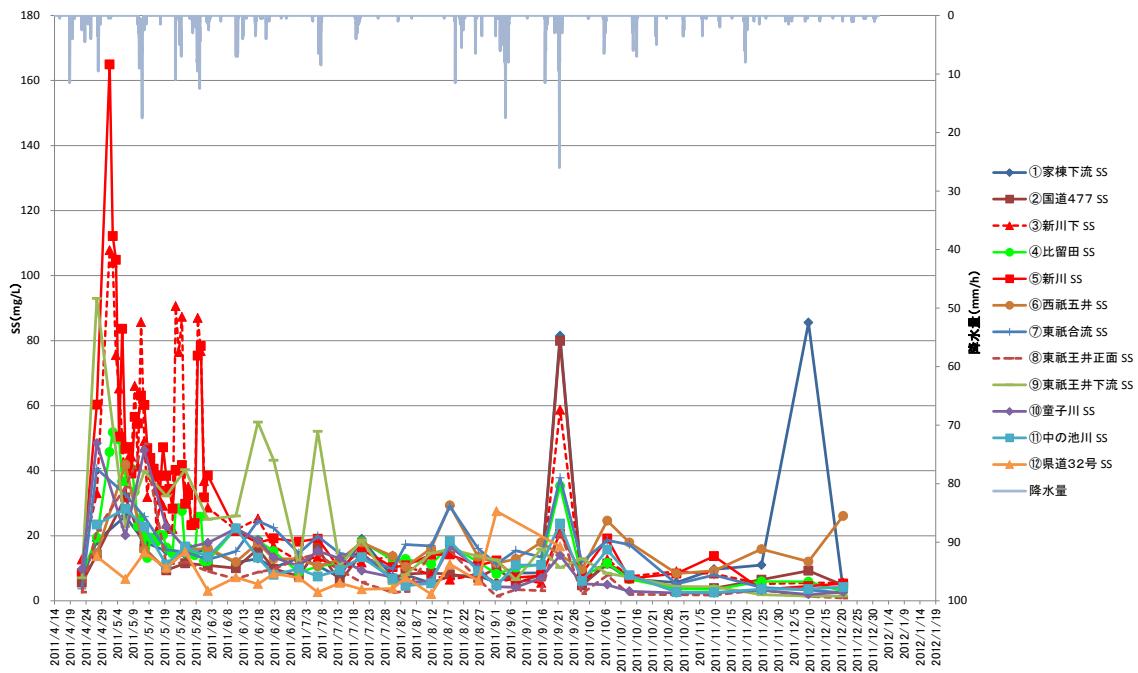


図 5-11 家棟川 SS 調査結果

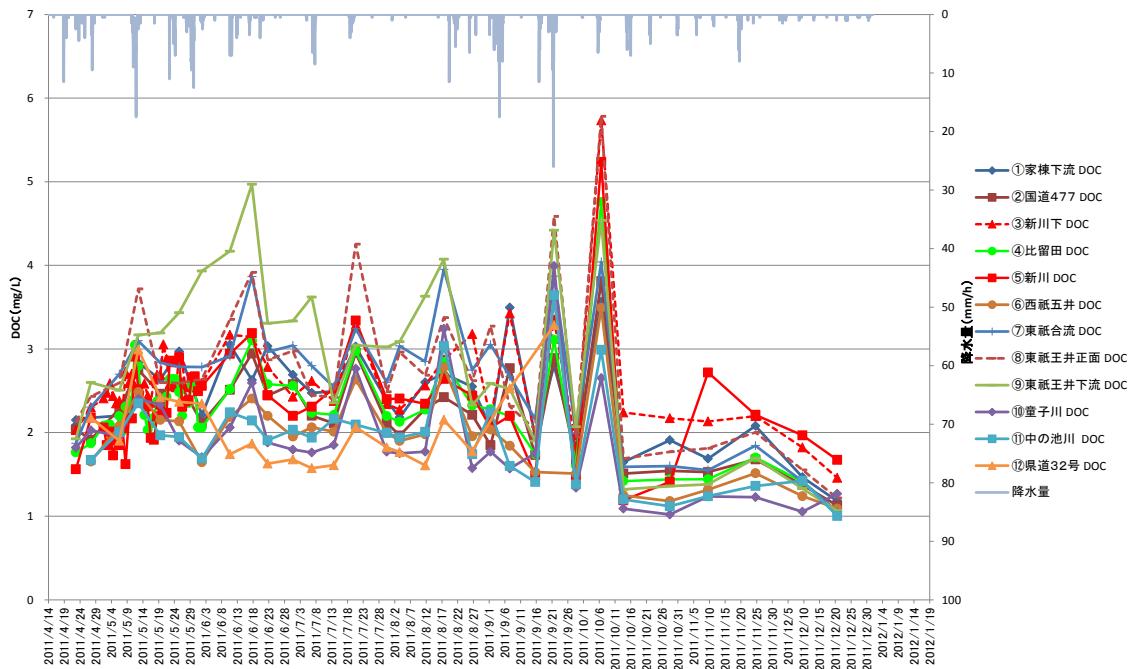


図 5-12 家棟川 DOC 調査結果

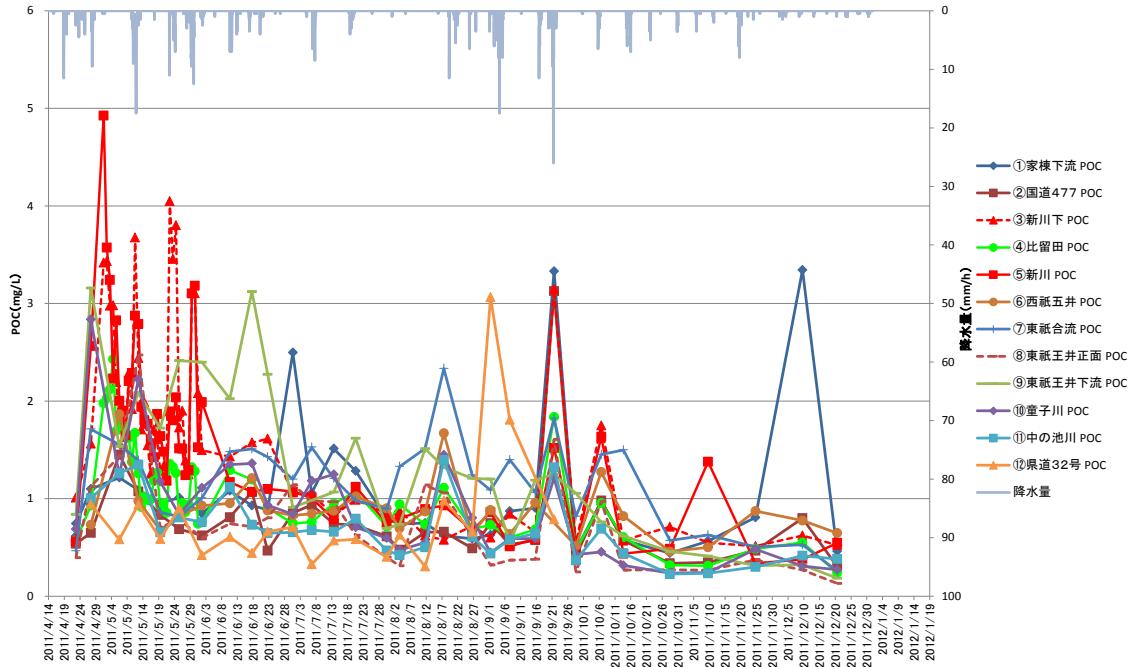


図 5-13 家棟川 POC 調査結果

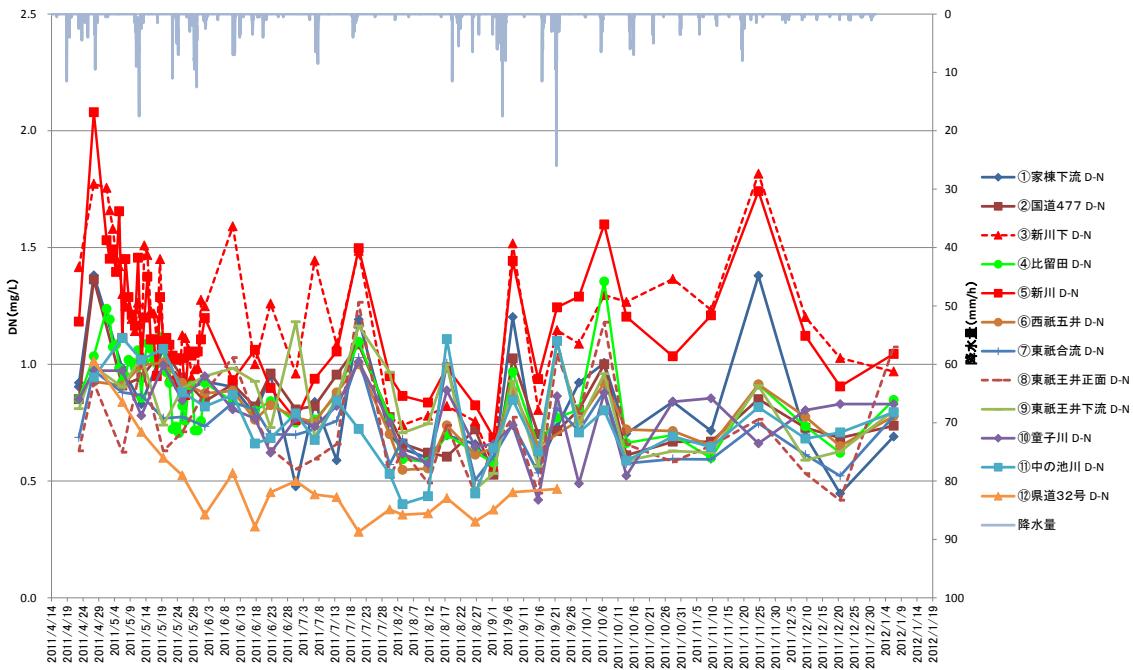


図 5-14 家棟川 DN 調査結果

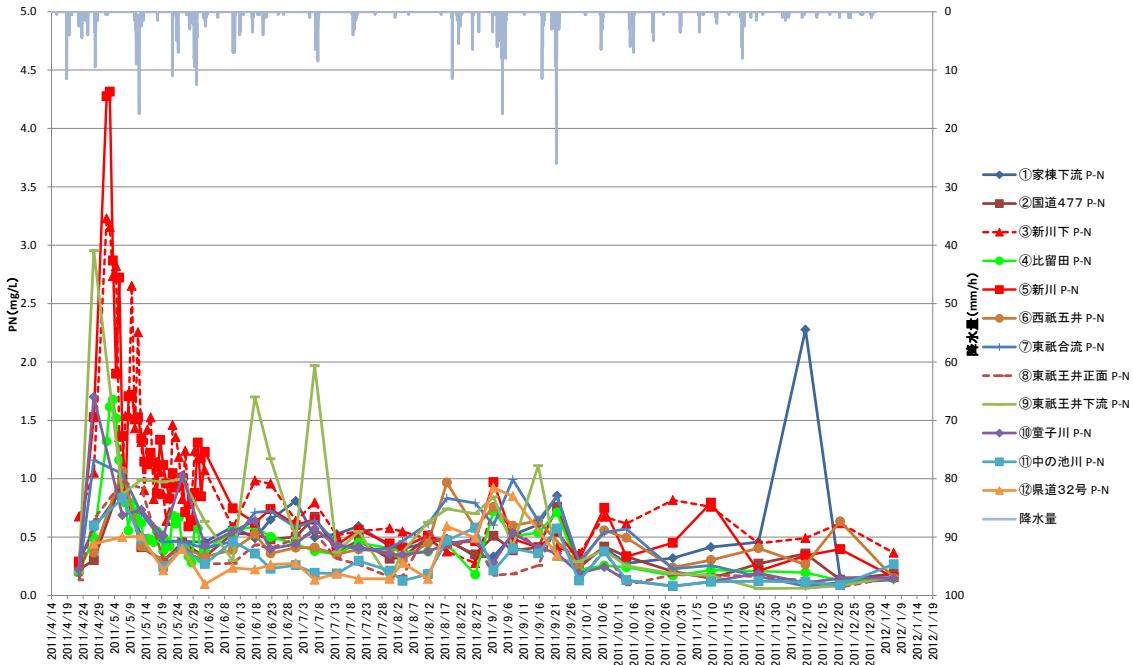


図 5-15 家棟川 PN 調査結果

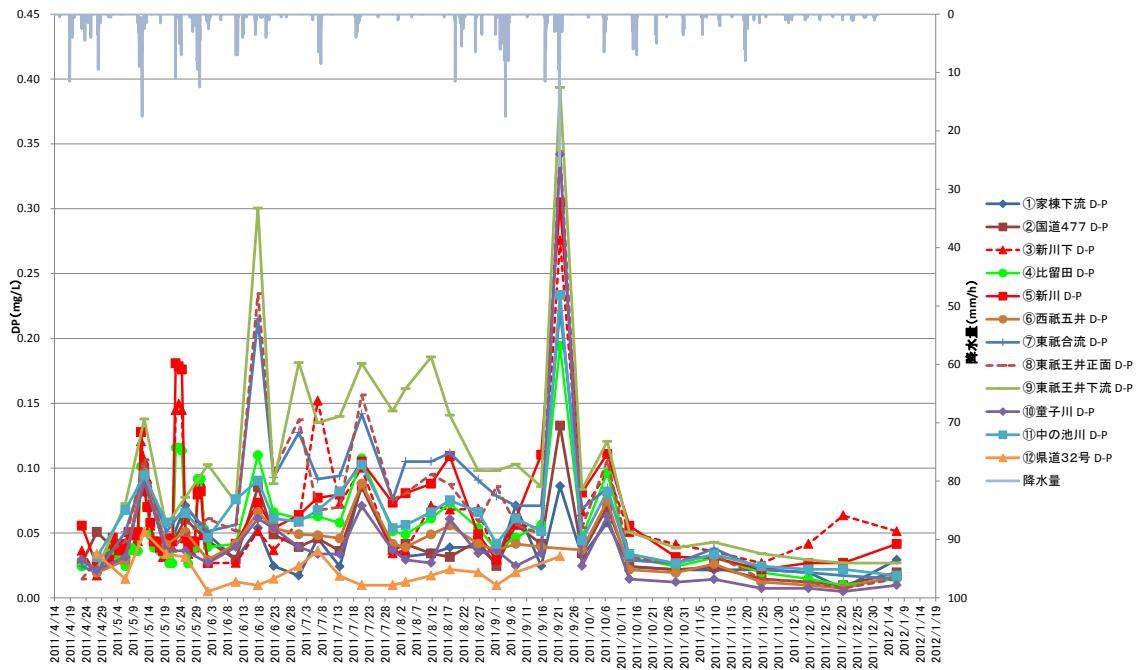


図 5-16 家棟川 DP 調査結果

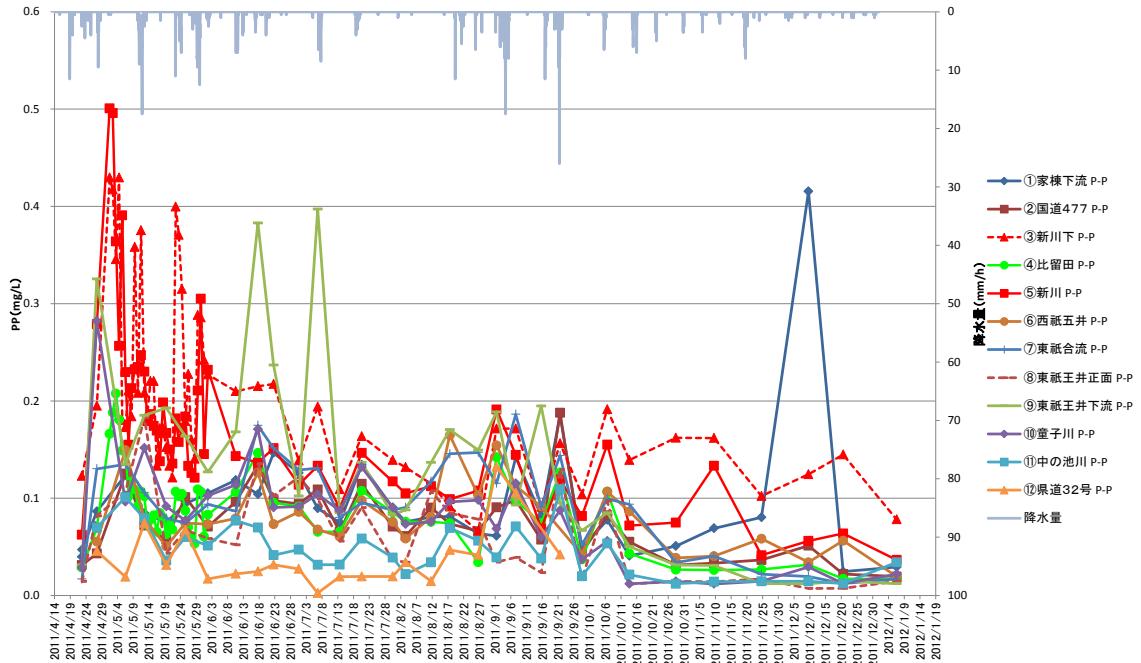


図 5-17 家棟川 PP 調査結果

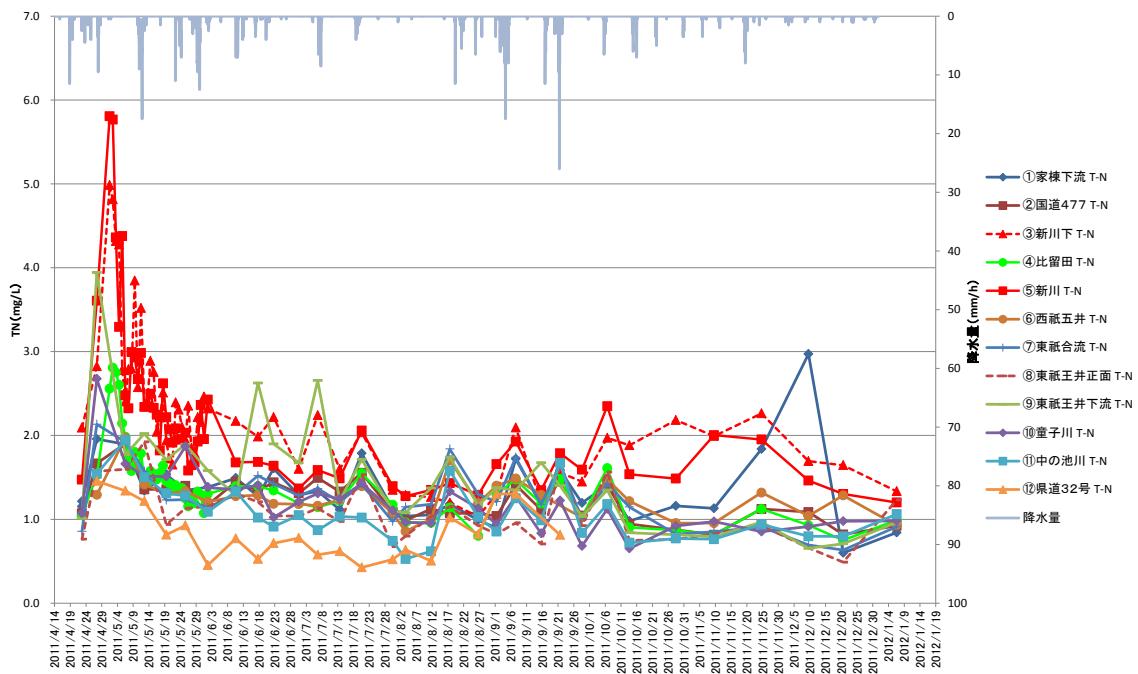


図 5-18 家棟川 TN 調査結果

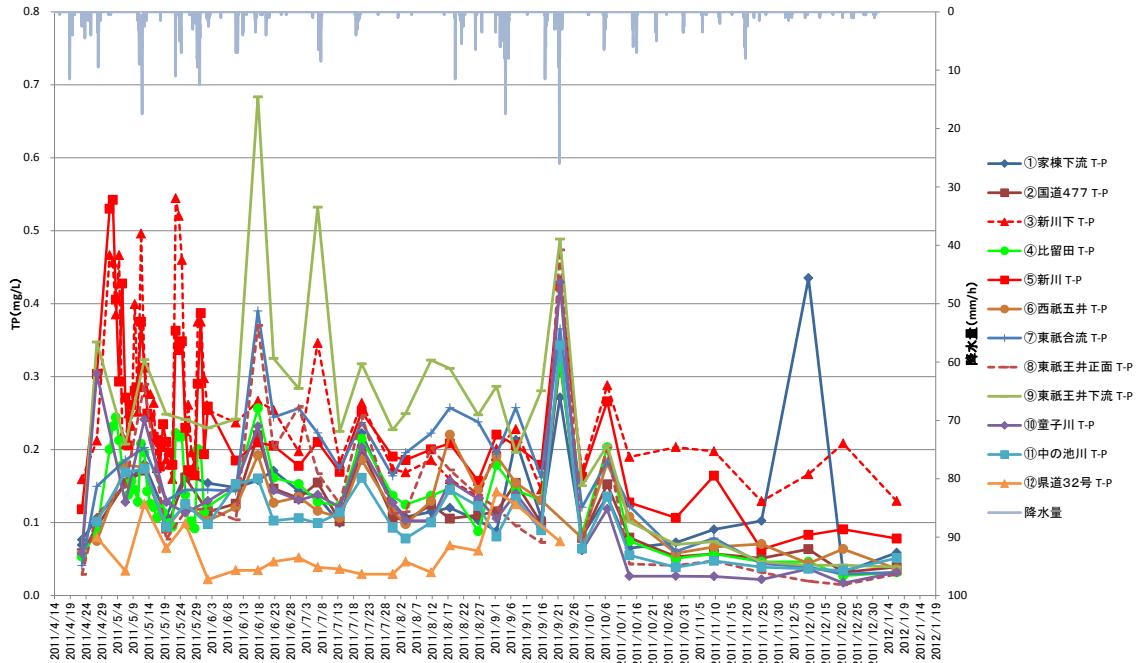


図 5-19 家棟川 TP 調査結果

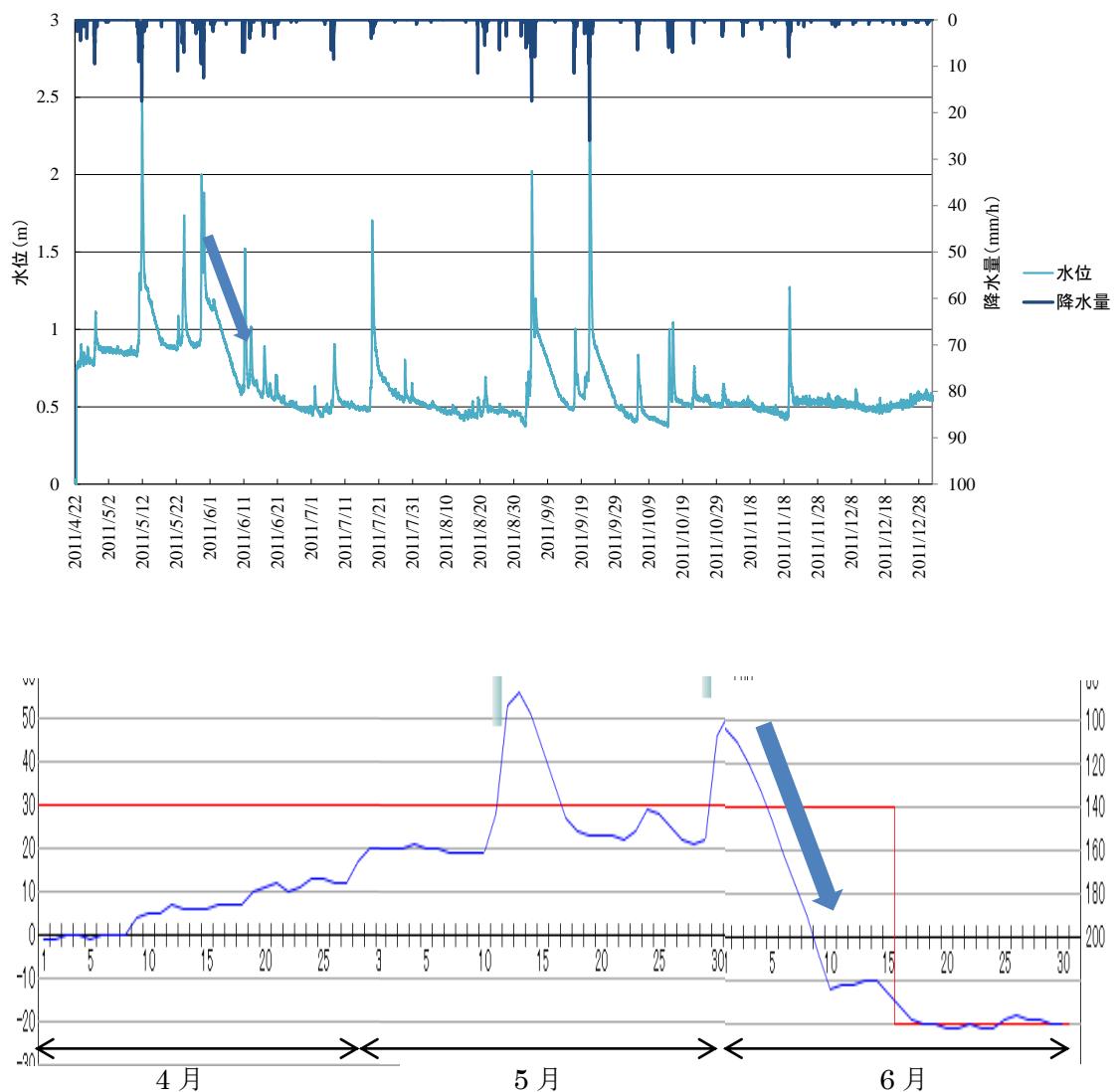


図 5-20 水位調査結果（上図：④比留田橋、下図：4～6月の琵琶湖）

家棟川流域における浮遊物質量(SS)の変化

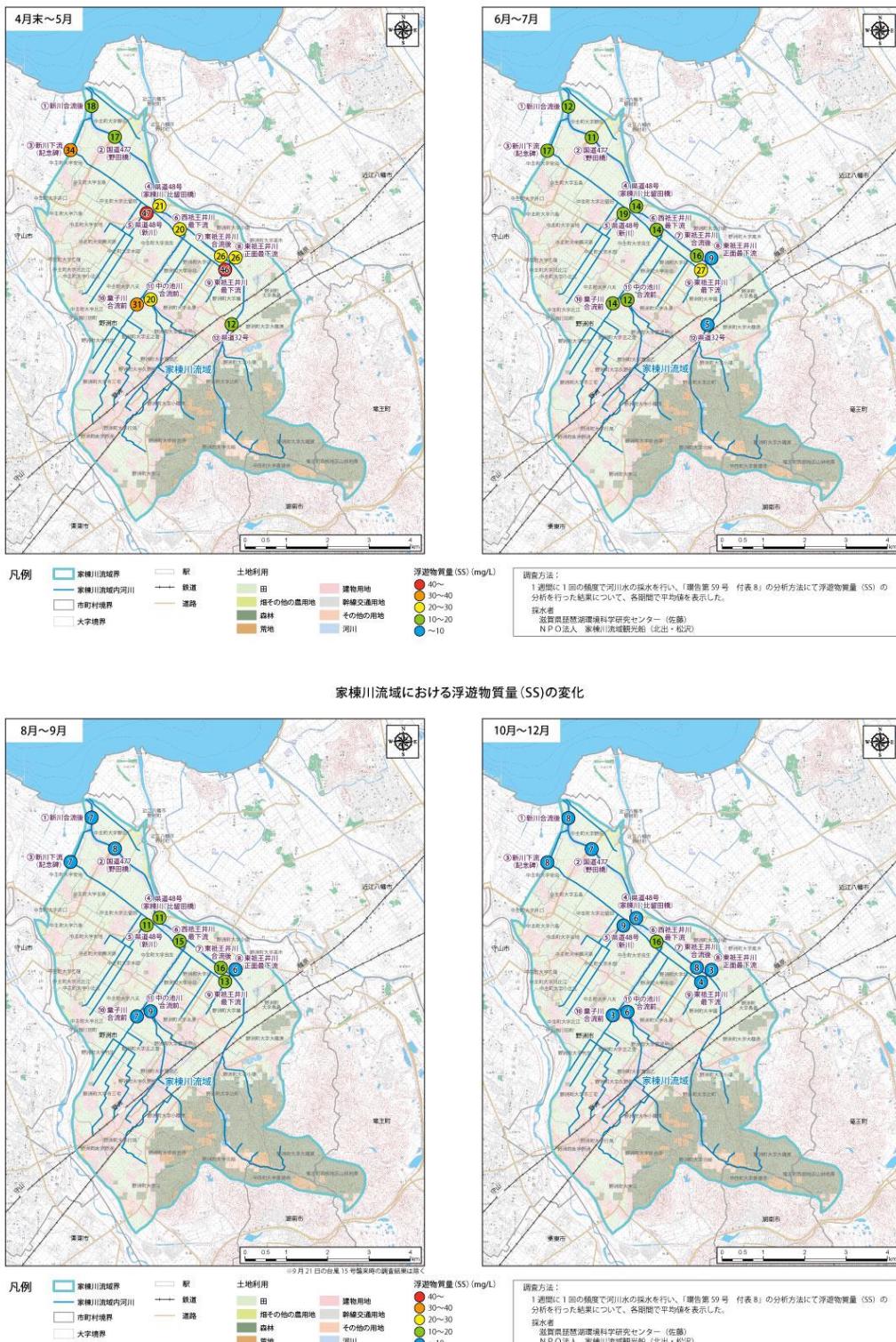


図 5-21 家棟川 SS の時期別平均値

家棟川流域における全有機炭素 (TOC) の変化

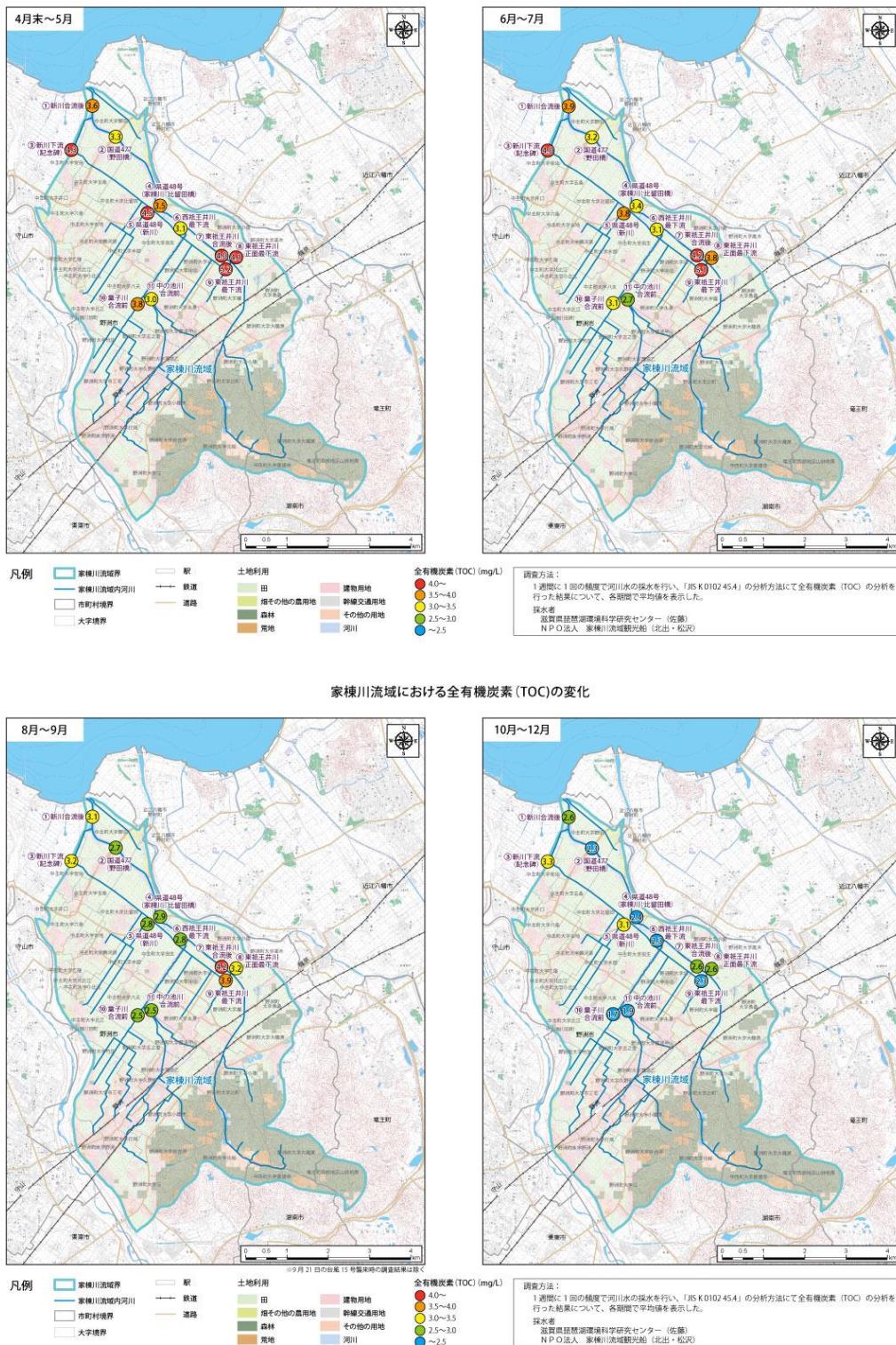


図 5-22 家棟川 TOC の時期別平均値

家棟川流域における全窒素(T-N)の変化

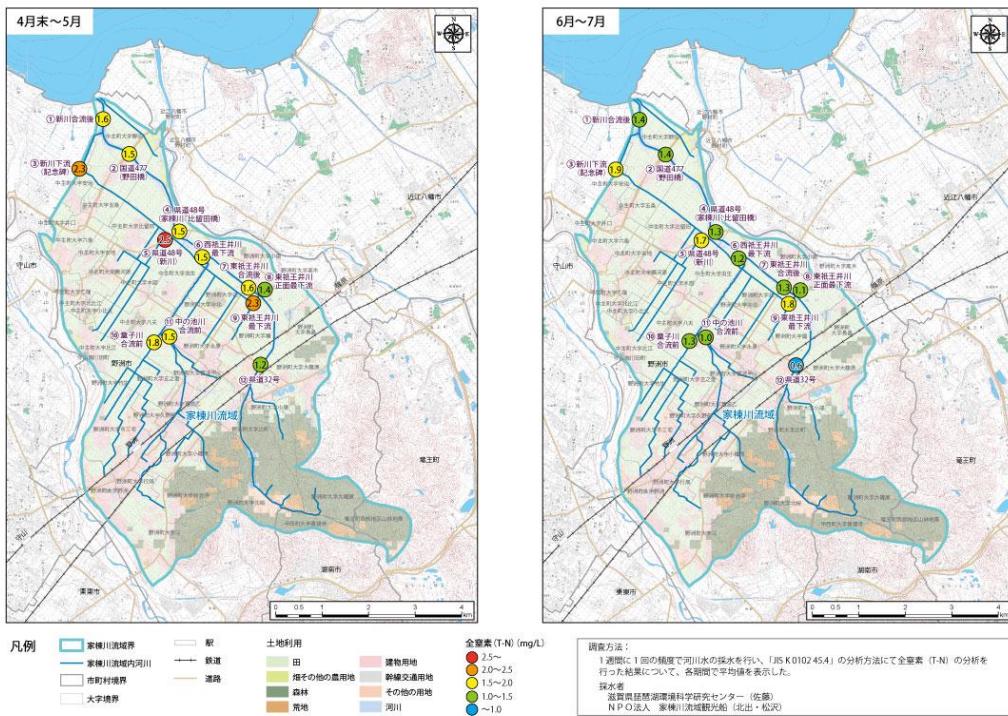


図 5-23 家棟川 TN の時期別平均値

家棟川流域における全りん(T-P)の変化

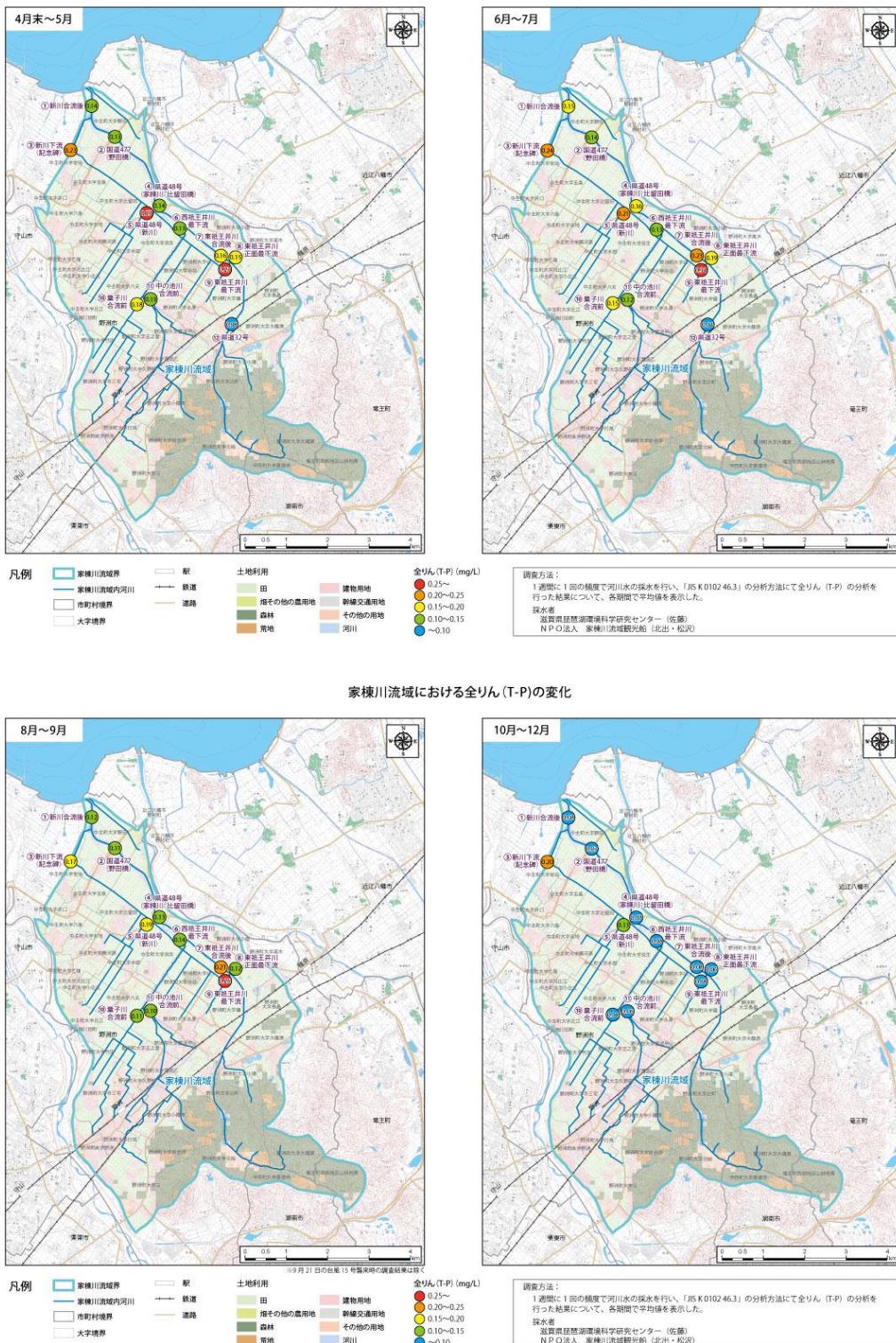


図 5-24 家棟川 TP の時期別平均値

5.2.3 流域水物質循環モデルの家棟川流域への適用とシナリオ解析

(1) 流域水物質循環モデルの家棟川流域への適用

5.3.1 で述べた琵琶湖流域水物質循環モデルを家棟川流域に適用し, 2011 年に調査した結果を用いて, モデルのキャリブレーションを行った. ただし, メッシュサイズが 500m であることから, 家棟川流域の支流を含めた詳細な解析を行うことは困難であった. ここでは, 代表的な地点として②国道 477 号と, ④比留田橋の 2 地点における解析結果について述べる.

モデルの計算条件は以下の通りである.

計算期間 : 2011/1/1~12/31

計算水質項目 : 河川流量, TN, TP, TOC

土地利用 : 2006 年の国土数値情報を統計データから 2010 年に補正

気象 : 該当期間の近江八幡アメダス

点源負荷 : 2010 年度における各事業所等の実測データ

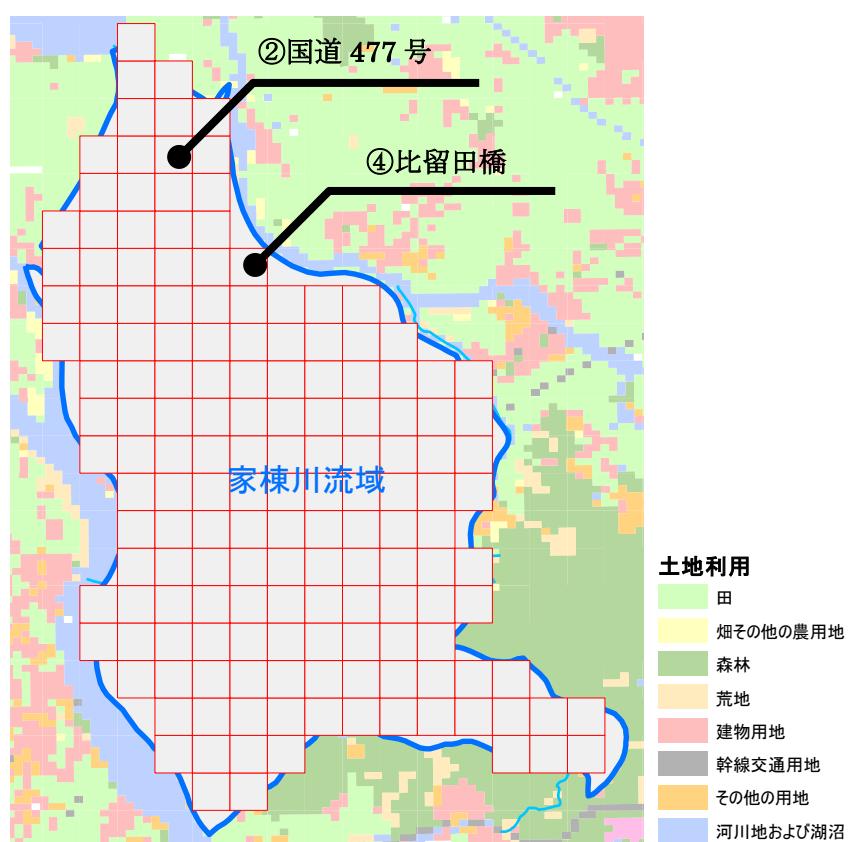


図 5-25 家棟川流域とモデル解析地点

モデルの各種パラメータは、すでに琵琶湖流域で実績のある値（佐藤ら、2011）を基本として、家棟川流域の実態や水質の再現結果を見て適宜キャリブレーションを行った。本研究で重要な水田に関するパラメータの一覧を表5-1に示す。

再現計算結果を図5-26、図5-27に示す。TOC、TN、TPとともに、代かき・田植え期に水質が高く、非灌漑期になると水質が減少する傾向などをよく再現できたと考えられる。観測は1日～2週ごとの結果であるのに対し、モデルでは1時間ごとの出力となっていることから、後者では降雨時に水質が大きくなることがある。この妥当性については、今後降雨時調査などを実施することにより検証していくことが必要である。

地点ごとの年間負荷量は、②国道477号についてはTOCで134.7t/y、TNで65.4t/y、TPで6.5t/yとなり、④比留田橋についてはTOCで123.3t/y、TNで58.9t/y、TPで6.3t/yとなった。

表5-1 水田に関するパラメータの一覧

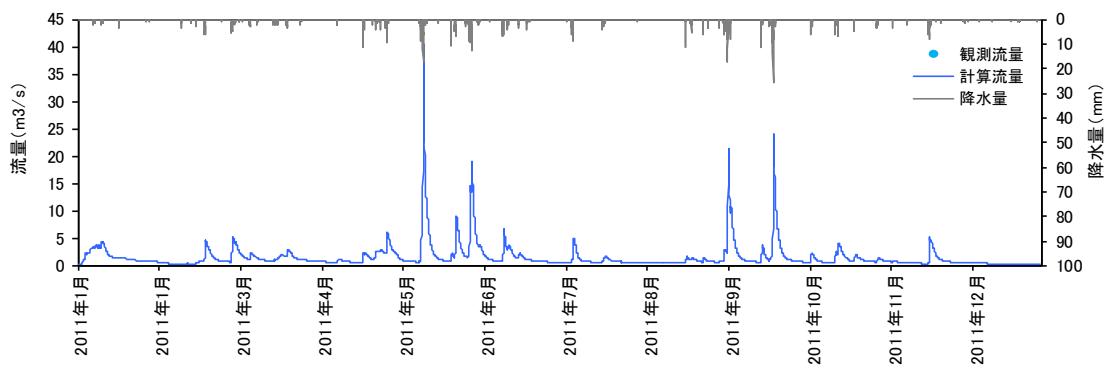
水田諸元の設定

項目	単位	値	備考
畦畔高さ	m	0.06	
欠口幅	%	1	欠口幅(m)/水田幅(m)
欠口高さ	m	0.02	灌漑期(代かき・田植え期)
	m	0.01	灌漑期(それ以外)
	m	0	非灌漑期

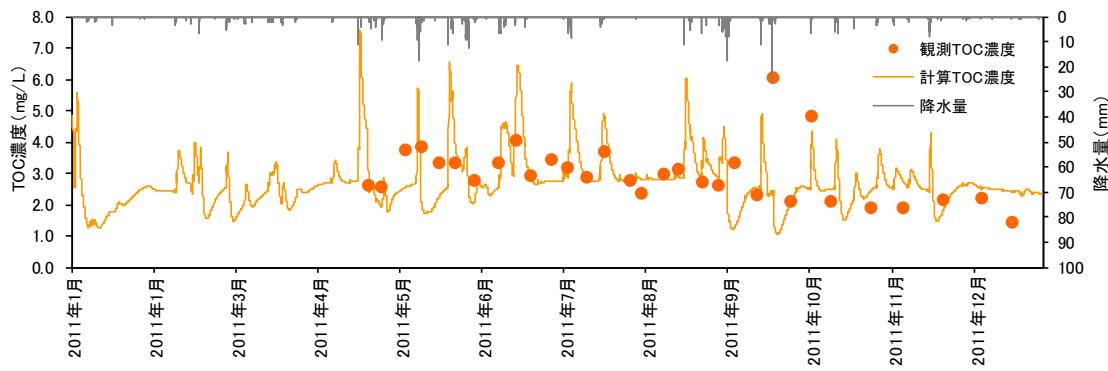
施肥量等の設定

項目	単位	値	備考
有機物由来負荷(TOC)	kg/ha	56	4月下旬～5月上旬と6月上旬に施肥量として設定
施肥量	窒素	kg/ha	105
	リン	kg/ha	14
作物吸収量	窒素	kg/ha/日	0～1
	リン	kg/ha/日	0～0.18
溶脱率	有機物	1/日	0.03
	窒素	1/日	0.04
	リン	1/日	0.03
除去速度係数a		0.000011	TNのみ
〃	b	0.005	TNのみ

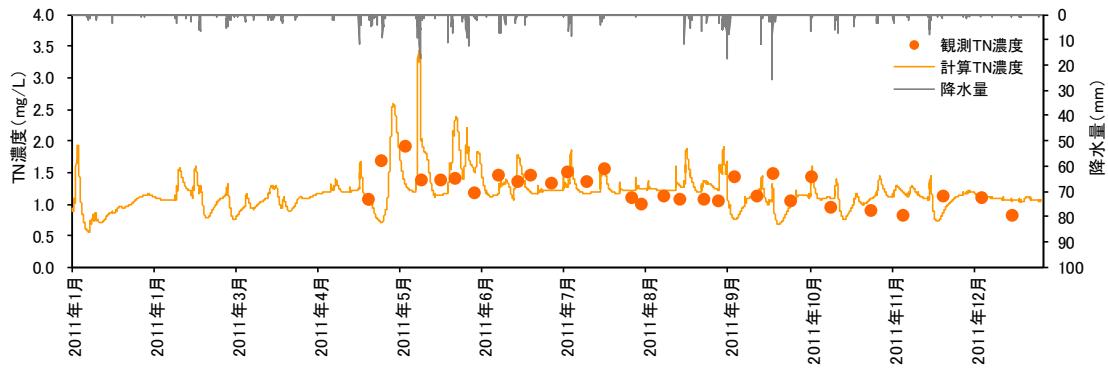
1. 河川流量



2. 河川TOC濃度



3. 河川TN濃度



4. 河川TP濃度

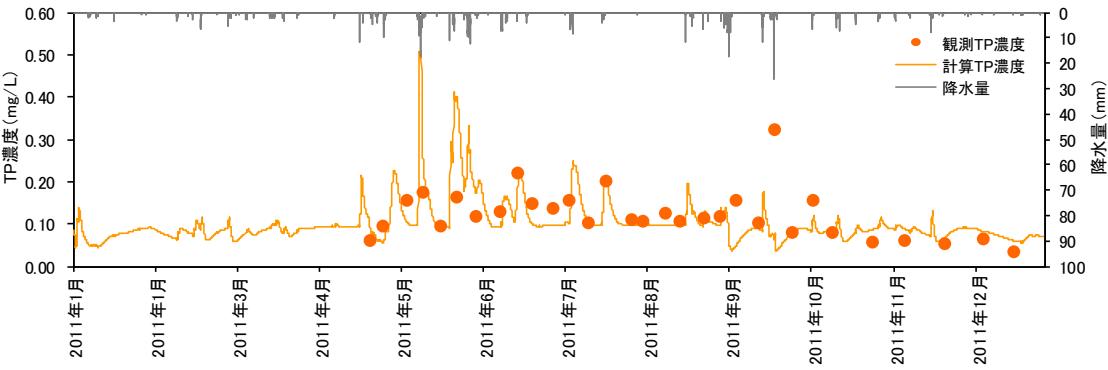
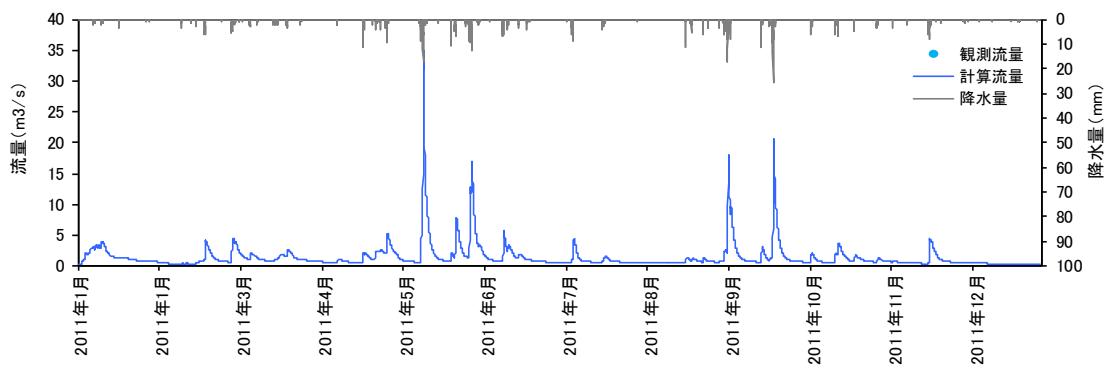
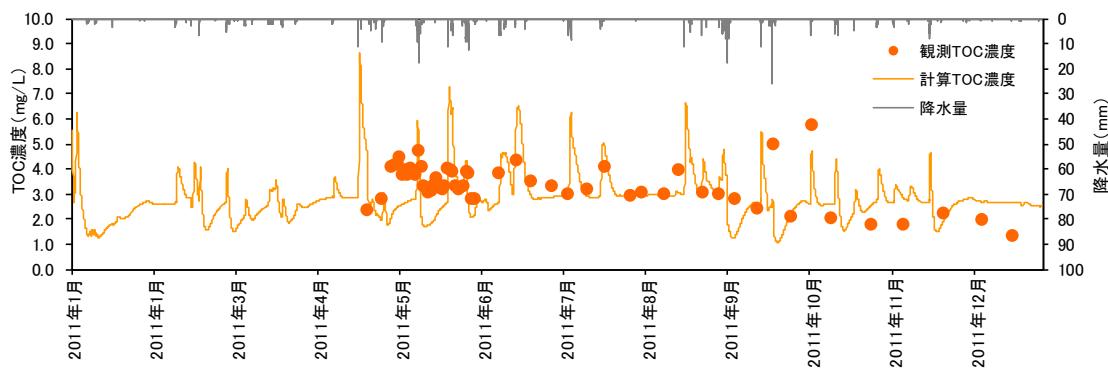


図 5-26 ②国道 477 号におけるモデル解析結果

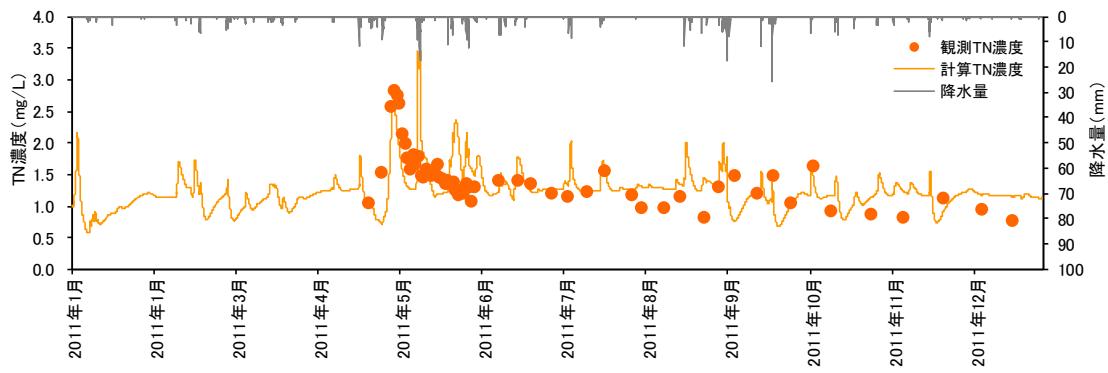
1. 河川流量



2. 河川TOC濃度



3. 河川TN濃度



4. 河川TP濃度

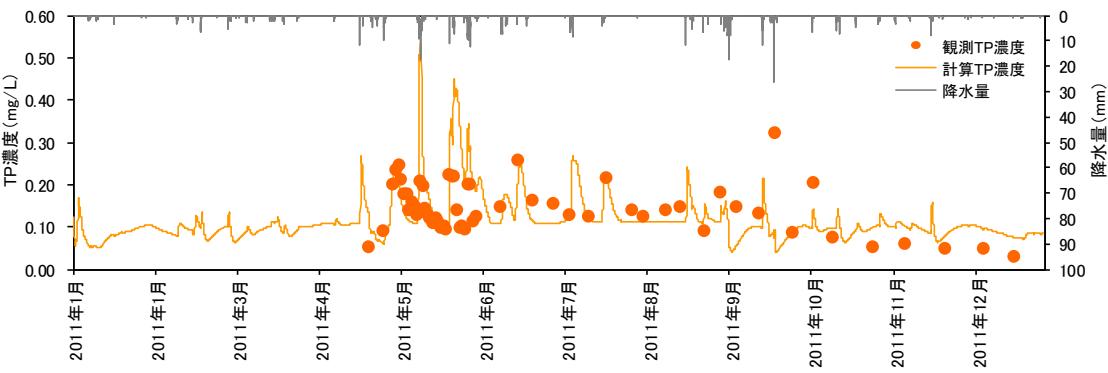


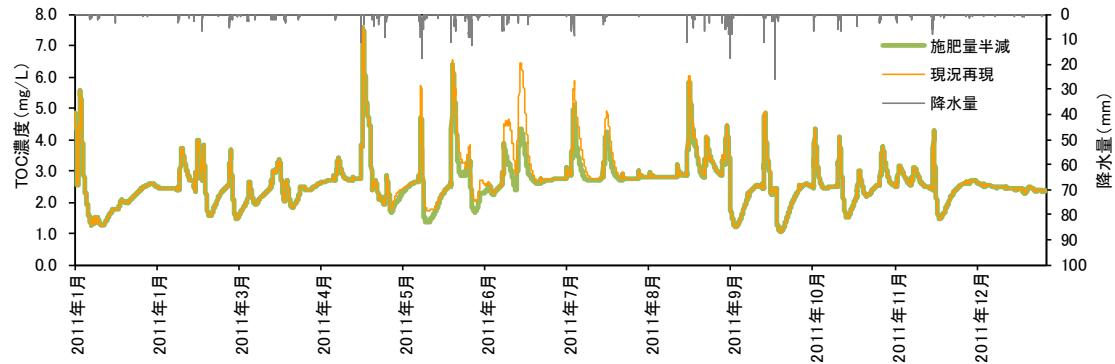
図 5-27 ④比留田橋におけるモデル解析結果

(2) シナリオ解析

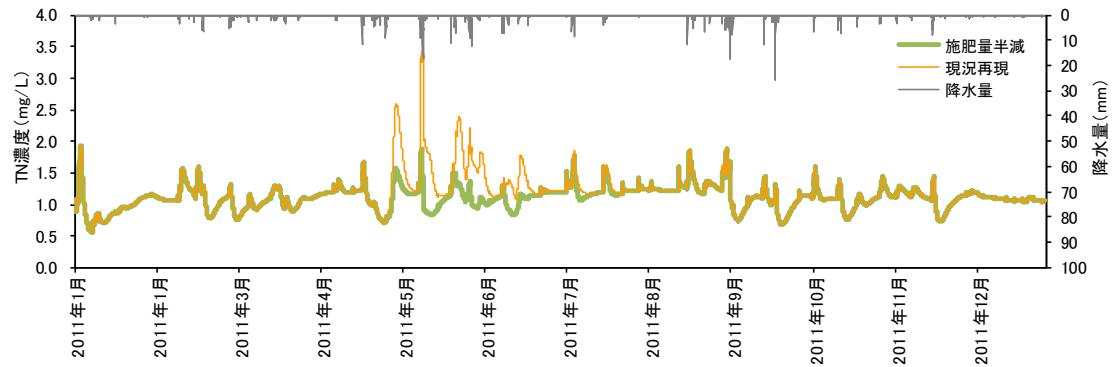
上記構築したモデルを用いて、流域内の水田で施肥量が半減したときのシナリオ計算を実施した。つまり、表 5-1 で示した TOC, TN, TP の施肥量を全て半分にしたときの河川水質に対する感度を見ることで、環境保全型農業が水質に与える影響を予測・評価することが可能となる。

図 5-28 に②国道 477 号における解析結果を示す。TOC では大きな変化はないが、TN, TP では特に 4 月末～6 月における濃度が大きく減少していることが分かる。このことは、施肥量の適正化等の施策により、現地調査でも確認された代かき・田植え期の濁水の影響を相当程度緩和できることを意味している。負荷量で見ると、TOC で 125.6t/y, TN で 54.3t/y, TP で 4.0t/y となり、それぞれ 6.8%, 17.0%, 38.9% の削減となった。当該流域における環境保全型農業は、TP で特に顕著な効果が現れると考えられた。

1. 河川TOC濃度



2. 河川TN濃度



3. 河川TP濃度

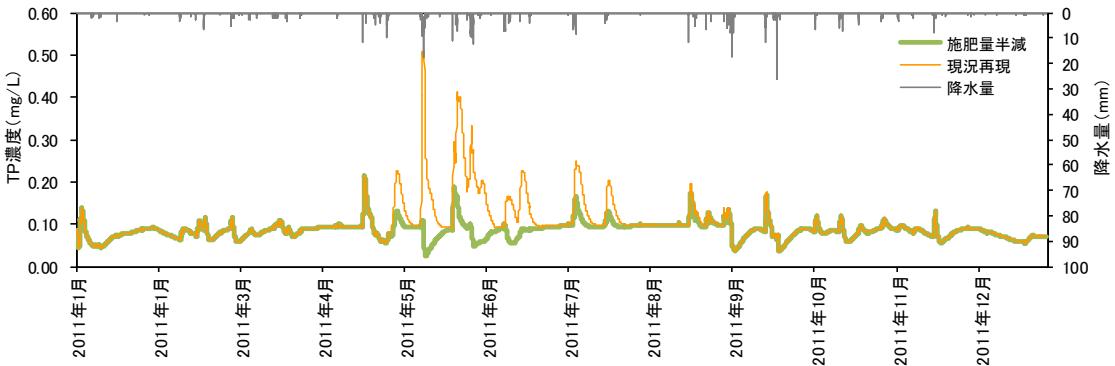


図 5-28 ②国道 477 号におけるシナリオ計算結果

5.3 分析事例 2：家棟川流域における水質取引の費用対効果分析

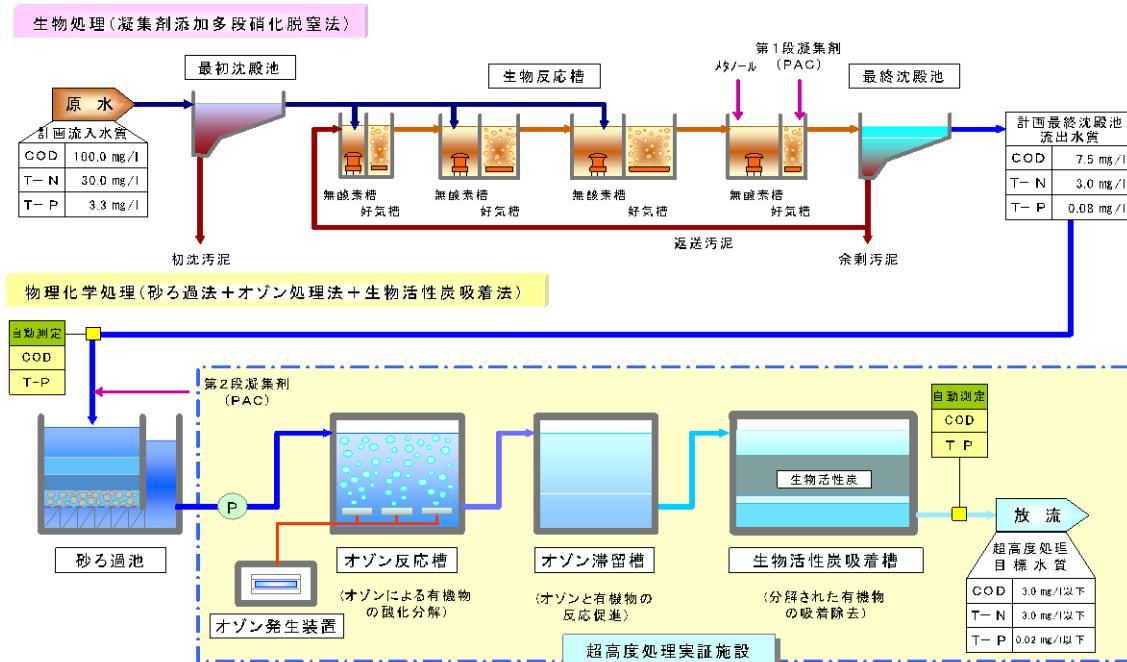
5.3.1 水質取引とは

第 2 の統合モデルでは、家棟川流域（滋賀県野洲市）における仮想的な水質取引の実施による費用対効果の分析を紹介する。モデルの説明・分析に先立ち、本節では水質取引の概要と、関連して滋賀県の超高度下水処理技術を紹介する。

水質取引（water quality trading）とは、湖沼・流域などにおける水質改善を目的とした排出権取引制度の総称である。その基本的なメカニズムは SO_2 や CO_2 など既存の排出権取

引制度とほぼ共通であり、汚染削減の限界費用が高い排出主体が自ら削減に取り組む代わりに、限界費用の低い汚染主体から排出クレジットを購入するものである³。クレジットの売り手・買い手ともに点源汚染主体である場合（点源-点源取引）がこれまで一般的であったが、近年ではクレジットの買い手として農家を対象とした取引（点源-面源取引）が注目されつつある。これは農家の汚染削減の限界費用が点源主体と比較して低く、削減の余地が大きいことによる。海外では1990年代以降に米国やカナダ、オーストラリアなどで実証プログラムが数多く実施されてきている。海外における取引制度の事例は第2節「海外事例」に詳しい。

国内では未実施の水質対策であるが、湖沼流域における水質改善に向けた新しい取り組みとして近年注目が集まりつつある。その適用対象はさまざまな地域が考えられるが、本節では琵琶湖におけるリン削減に向けた可能性の1つとして、分析を試みたい。琵琶湖流域のリン排出における最大の汚染主体の1つが滋賀県の下水処理場であり、更なる削減に向けた超高度処理技術の導入が検討されている。これは下水道における高度処理（凝集剤添加循環式硝化脱窒法+砂ろ過）を超える処理方式として滋賀県が定義付けしているものであり、具体的には高度処理にオゾン・生物活性炭を組み合わせた処理方式である（今掘・西村 2008年）。超高度処理における各浄化プロセスのイメージを図5-29に示す。



³ 排出権取引の理論的枠組については、たとえば細田・横山（2007）を参照のこと。

図 5-29 滋賀県の下水における超高度処理プロセス

(出所：今掘吉一・西村峻介（2008）)

この超高度処理を実施することで、高度処理と比較してリンの排出を 0.06mg/l から 0.03mg/l と約半減させることができるとおり、琵琶湖における大幅なリン削減に向けて期待が寄せられている。検証作業は平成 16 年度より滋賀県大津市において始められており、技術的課題はほぼクリアされている。しかしながら、必要な費用が膨大なため本格実施には至っていない⁴。

本研究では超高度処理を実施した場合と、この技術の代替として水質取引を実施した場合の費用対効果を比較分析し、琵琶湖における今後の水質対策の新たな可能性について検討する。

5.3.2 MIKE モデルの概要

MIKE SHE 水文モデル

MIKE SHE 水文モデルは流域の水循環（表層水・地下水を含む）の再現・予測を目的とした、メッシュベースの分布型物理モデルである⁵。計算に当たっては対象となる流域全体を水平方向には直交するメッシュに、鉛直方向には柱状の複数の土壤層に分割する。この分割されたブロックごとに、降雨・積雪などの観測値と地表面の透水係数などのパラメータを与え、流域全体における水循環を解析する。このような分布型物理プロセスに基づく解析モデルは今日では数多く存在するが、MIKE SHE は世界的な業界標準の 1 つとして幅広く利用されている。

MIKE SHE により水循環に関するさまざまな解析が可能であるが、よく用いられるものとして（1）河川管理計画の策定、（2）水質保全政策の策定、（3）湿原管理計画の策定、（4）気候変動による水循環への影響評価、（5）土地利用変化による水循環・水質への影響評価、（6）農業の灌漑排水計画の策定および影響評価、（7）洪水氾濫解析、などが挙げられる。図 5-30 は MIKE SHE における水循環の取り扱いの概要と、解析に用いられる基礎式をまとめたものである。

⁴ 滋賀県下水道課への聞き取り調査による。

⁵ 水循環を解析する方法として。これは地形や流出特性に応じて流域を分割し、分割された各流域からの流出を河川への入力として取り扱う。また河川における水の流れは物理的なモデルで追跡するものである。モデルの技術的側面については山下他（2006）が詳しい。

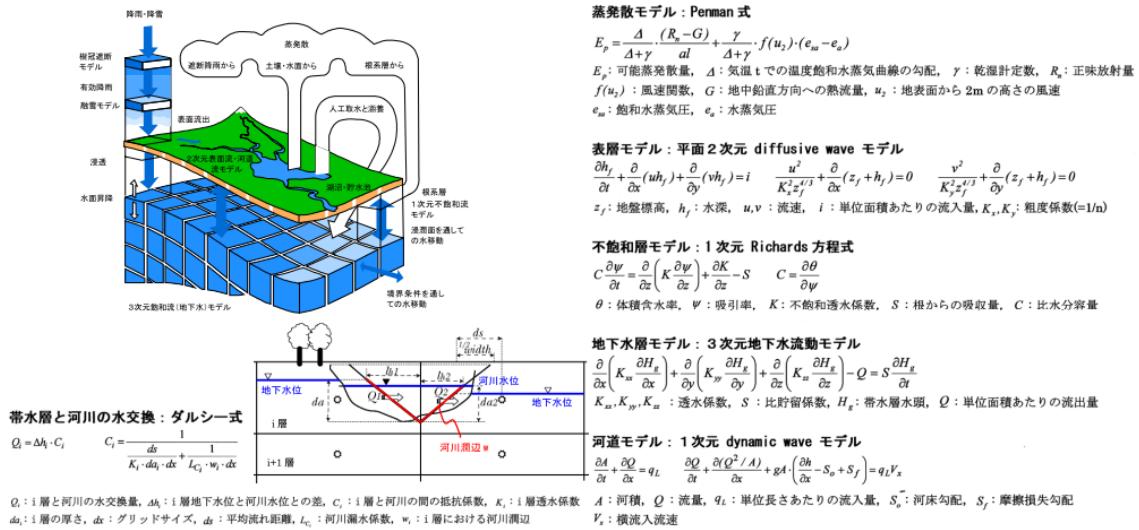


図 5-30 MIKE SHE による水循環のモデル化と基礎式

(出所: 濱崎他 (2006 年) ⁶⁾

MIKE 11 水理モデル

MIKE 11 は河道・河床変動・水質解析等が可能な 1 次元河川解析の水理モデルであり、河川の動態解析分野における事実上の世界標準モデルである。モデルの基礎となるのは 1 次元水理モデルであるが、物質の移流・拡散モデル、水質・生態系モデル、河床変動モデルなども MIKE11 のパッケージに含まれる。そのため MIKE 11 が適用可能な範囲は広範囲におよび、例えば河川における (1) 洪水リスク予測と対策の評価、(2) リアルタイムの洪水予測、(3) 河川整備による水質・生態系への影響評価などの詳細な分析検討が可能である。

図 5-31 に MIKE 11 における解析フローを示す。

MIKE 11 が実際に適用できる範囲はモデルの構成により異なり、MIKE11 Studio、MIKE11 Enterprise などのエディションに含まれる内部モジュールの種類による。本プロジェクトでは水理解析とあわせて窒素・リンなどの水質汚染物質の流出拡散プロセスを分析する必要があるため、必要なモジュールを備える MIKE 11 Enterprise を採用した。MIKE SHE でも同様の Enterprise エディションを導入し、両者を組み合わせることで (1) 流域からの汚染物質(窒素・リンなど) 流出量、および (2) 河川に流入した汚染物質の拡散過程、を単一の分析枠組みの中で評価することを可能とした。詳細については次節で紹介する。

⁶⁾ 濱崎修他 (2006) 「丸亀平野における水循環の調査と解析」『水工学論文集』第 50 卷、265-270 ページ。

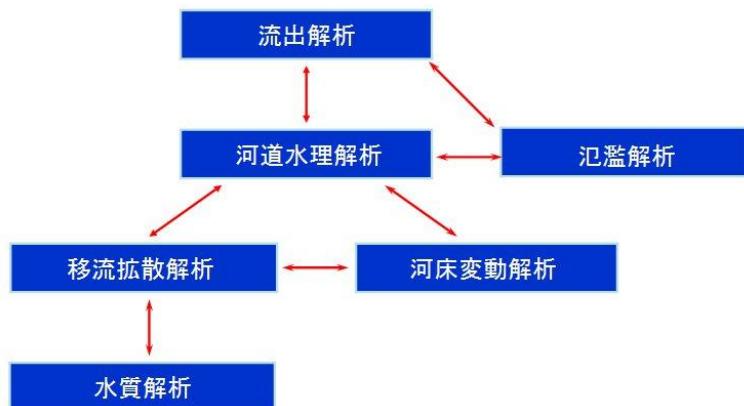


図 5-31 MIKE 11 の解析フロー (出所 : DHI Japan 資料)

MIKE 11 が実際に適用できる範囲はモデルの構成により異なり、MIKE11 Studio、MIKE11 Enterprise などのエディションに含まれる内部モジュールの種類による。本プロジェクトでは水理解析とあわせて窒素・リンなどの水質汚染物質の流出拡散プロセスを分析する必要があるため、必要なモジュールを備える MIKE 11 Enterprise を採用した。MIKE SHE でも同様の Enterprise エディションを導入し、両者を組み合わせることで (1) 流域からの汚染物質 (窒素・リンなど) 流出量、および (2) 河川に流入した汚染物質の拡散過程、を単一の分析枠組みの中で評価することを可能となる (図 5-32)。この図に示す流れはあくまで一例であり、対象となる問題や流域の規模・特性などによりさまざまな形態を取ることが可能である。

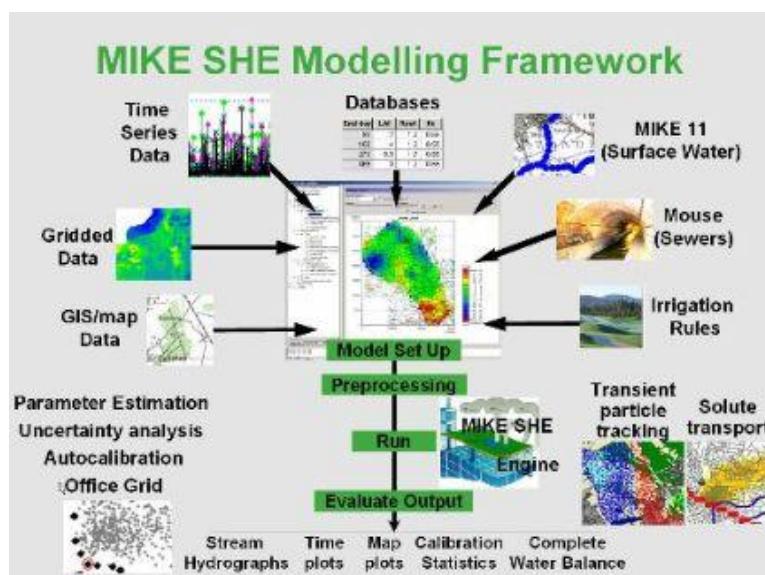


図 5-32 MIKE SHE/11 における分析枠組み (出所 : DHI ウェブサイト⁷⁾)

⁷ <http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/MIKESHE>

本研究のように MIKE モデル群を組み合わせたパッケージを利用して、政府・自治体レベルで湖沼・流域管理に役立てている事例は海外では少なくない。それら一部事例については章末の附録を参照されたい。

5.3.3 統合モデルの概要・対象流域

まず、家棟川流域統合モデルの分析フレームワークを図 5-33 に示す。本モデルではまず、排出課徴金や水質取引などの政策シナリオを設計し、その実施が汚染主体である個別農家の行動にどのような影響を及ぼすかについて経済モデルにより予測する。この経済モデルで必要とされるインプットは政策実施による経済条件の変化 (e. g. 補助金、課徴金の有無とそれらの水準) であり、モデルから得られるアウトプットは汚染主体の行動変化である。これは具体的には、各農家の政策に対する参加状況（採択行動）と、参加した場合の汚染負荷量の変化を指す。この経済モデルは本プロジェクトで実施中の経済実験・便益評価の成果であり、平成 22 年度に実施した環境こだわり農業への参加に対する農家の支払い意思額を用いた。この情報により対象流域の農家が水質取引に参加した場合に見込まれる費用が求められ、政策の費用対効果を評価する上で重要な役割を果たした。

また、政策実施による面源汚染主体の行動変化は、環境工学モデルのインプットとして重要な役割を果たしている。この工学モデルは前述の MIKE SHE/11 モデルをベースにしており、流域の高精細 GIS データと組み合わせることで、農地からの面源負荷量、河川の水質変化を 100m x 100m の解像度で数値化することが可能である。よって経済モデル・工学モデルを連動させて運用することにより、政策シナリオの実施から水質改善の効果まで、一元的に予測することができる。また経済モデルでは政策の実施費用も算出できることから、政策が持つ費用対効果について現実的な形で数値化し、評価することができる。本研究ではこの統合モデルを水質取引制度の分析に適用し費用対効果に優れ、かつ実効性を伴った水環境政策の提言を試みた。

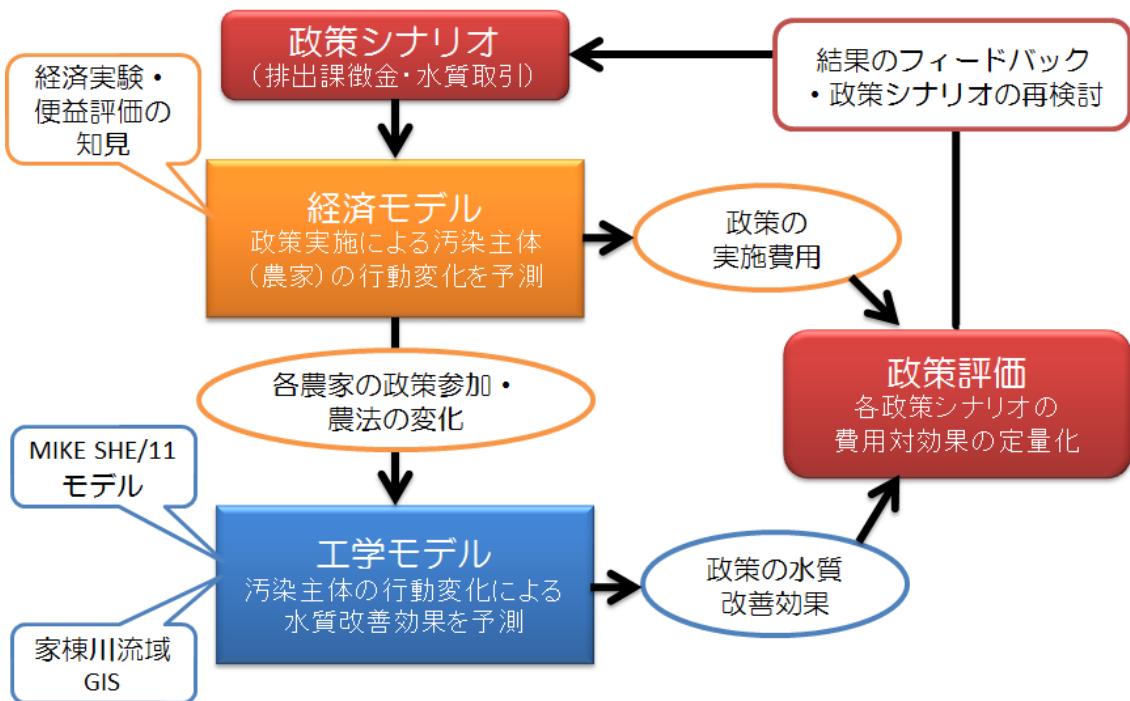


図 5-33 家棟川流域統合モデルのフレームワーク

このように、経済モデルと工学モデルを組み合わせた一連の分析フレームワークにより、水質政策が汚染行動の変化を通じて水質改善をどの程度実現させるかを、現実的な形で分析・予測することが可能である。モデルの構築には膨大なデータが必要となるが、今年度よりプロジェクトに参画した滋賀県琵琶湖環境科学研究所の協力も得て、ほぼすべてが収集済みである。主要な GIS データについて表 5-2 および図 5-34 に示す。

表 5-2 統合モデルの使用データ一覧

種類	名称	入手先	利用可能期間
自然・人口・ 土地利用	地表面標高データ(DEM) 土地利用メッシュ(1) 土壤・地質 人口	基盤地図情報 国土数値情報 国土数値情報 国土数値情報	国土地理院 国土交通省国土計画局 国土交通省国土計画局 国土交通省国土計画局
水文・水質	琵琶湖水質データ 河川横断面 河川流量 地下水位	窒素・リン・BOD他 河川横断面 河川流量 地下水位	滋賀県琵琶湖環境科学研究所 国土交通省琵琶湖河川事務所 滋賀県琵琶湖環境科学研究所 滋賀県琵琶湖環境科学研究所
気象	降雨 気温	降雨 気温	気象庁AMeDAS 気象庁AMeDAS

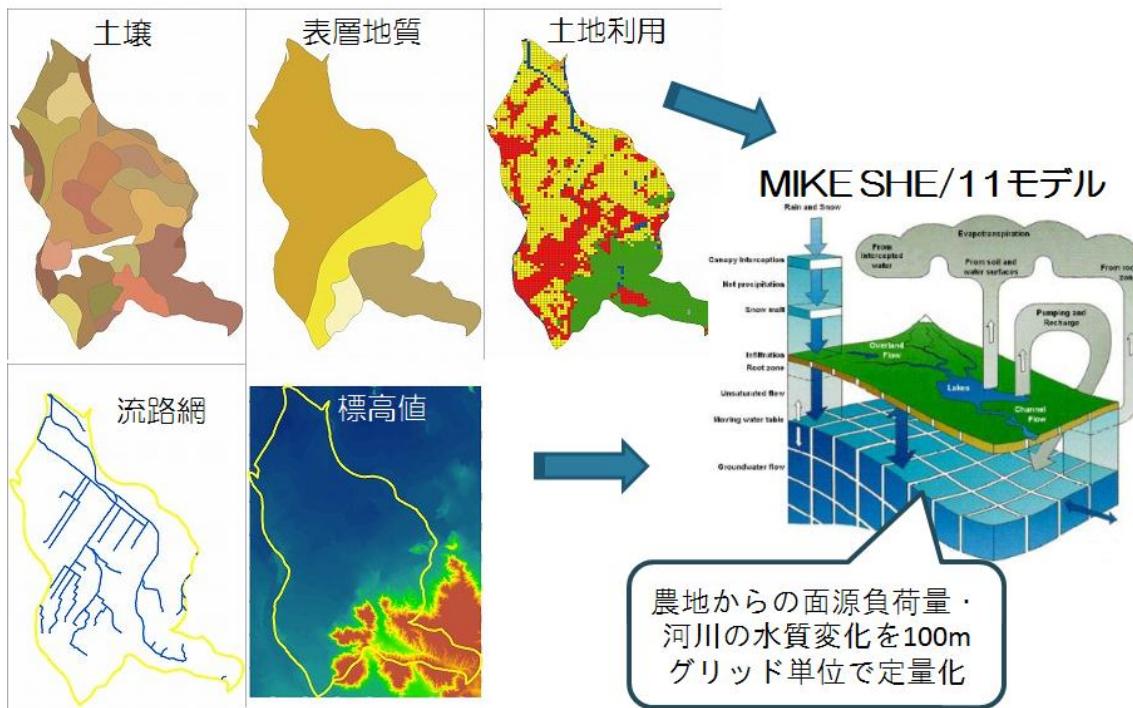


図 5-34 家棟川流域 GIS データと MIKE SHE/11 モデル

リンの農業からの環境負荷を推計する上で、対象流域で実際におこなわれている農法を理解しモデルに組み込むことは分析精度を高める上で非常に重要である。本研究では滋賀県においてもっとも一般的に生産されている「キヌヒカリ」の施肥スケジュールおよび施肥量について、滋賀県が発行する「稻作技術指導指針」を参考にしてモデル化した（滋賀県 2010 年）。

上述の統合モデルが対象とする流域は、琵琶湖南東部に位置する家棟川流域（滋賀県野洲市）である（図 5-35、写真 5-1）。琵琶湖に流入する数多くの流域から家棟川流域を選択した主な理由は（1）琵琶湖周辺でも稻作が特に盛んな地域の 1 つ（図 5-36 の土地利用図を参照）であり、農業由来の面源汚染による水質悪化が強く懸念されていること、（2）そのため環境保全型農業に対するニーズが高く、その普及も周辺地域と比較して進んでいること、（3）本プロジェクトに対する行政主体（野洲市）の認識・理解が高く、聞き取り調査や現地視察において全面的な協力を得られたこと、などである。

本プロジェクトでは統合モデルが流域の現状に則したものとなるよう、家棟川流域における河川および環境保全型農業の視察や生産者への聞き取りなど、平成 23 年度だけでも複数回の現地調査を実施した。調査の詳細については第 2 章「国内事例」を参照されたい。



図 5-35 家棟川流域（滋賀県野洲市）



写真 5-1 家棟川下流域（平成 22 年 8 月撮影）

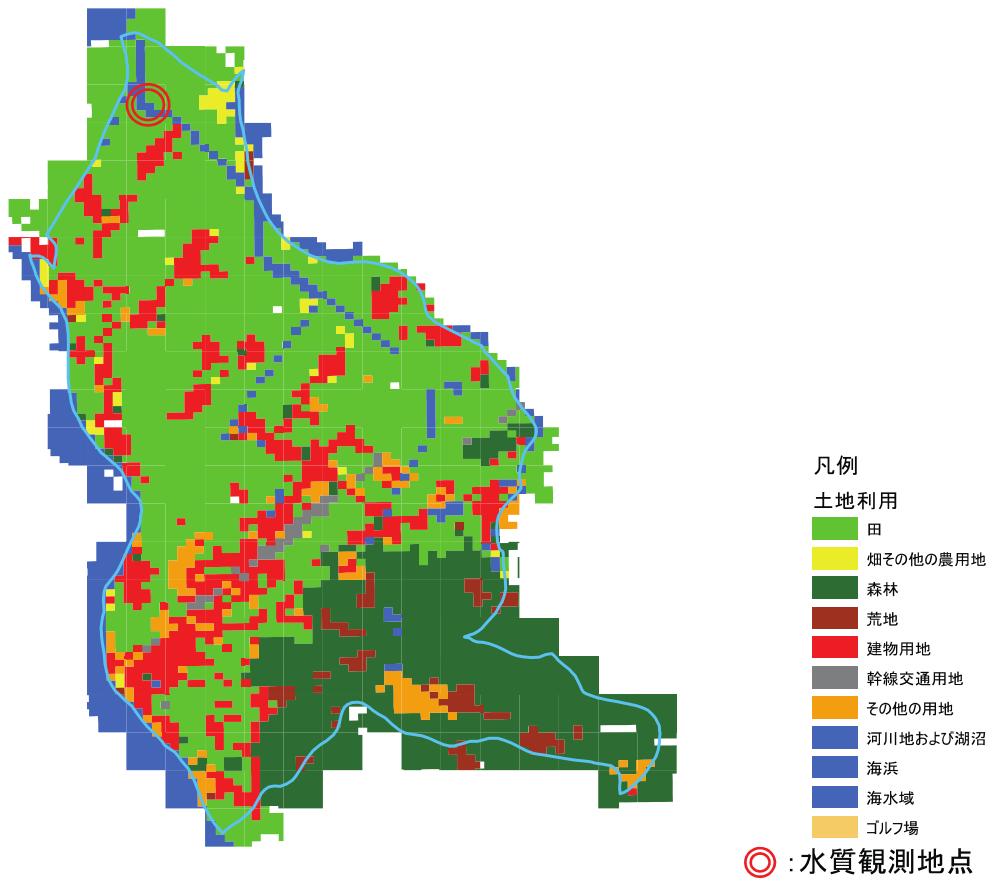


図 5-36 家棟川流域における土地利用（平成 20 年）

出所：国土計画局国土数値情報データ

5.3.3 分析結果

まず、水質取引の費用対効果を評価する前段階として、家棟川流域内の農家における水質取引参加の前後におけるリン流出量の変化を MIKE モデルにより予測した。すべての農家が水質取引に参加する以前は慣行農法を実施していると仮定した上で、各水田からのリン排出ポテンシャルを 1 ヘクタール (100m グリッド) 単位で求めた。その結果、流域全体の T-P 流出負荷の平均値は 3.1Kg/ha であり、小林他 (2005) や蓮川他 (2009) など関連する先行研究とほぼ同様の結果となった。

また、水質取引に参加した場合の仮想的なシナリオとして、参加農家はリン排出削減のために従来の農法（慣行農業）と比較して化学肥料を 5 割削減し、同時に水田からの濁水流出の措置をとることとした。これらは滋賀県の「環境こだわり農業」における一般的な保全農法であり、十分実行可能な対策である⁸。このシナリオのもとでのリンの流出削減率

⁸ 環境こだわり農業の詳細は第 2 章「国内調査」および田中（近刊予定）を参照のこと。

(%) を図 5-37 に示す。このシナリオにおける流域全体の平均値は 2.2Kg/ha であり、平均して 1 ヘクタール 0.9Kg のリン排出の削減が可能と推計された。これも先行研究（蓮川 2009）に近い結果であり、一定程度の妥当性は担保されたと考える。

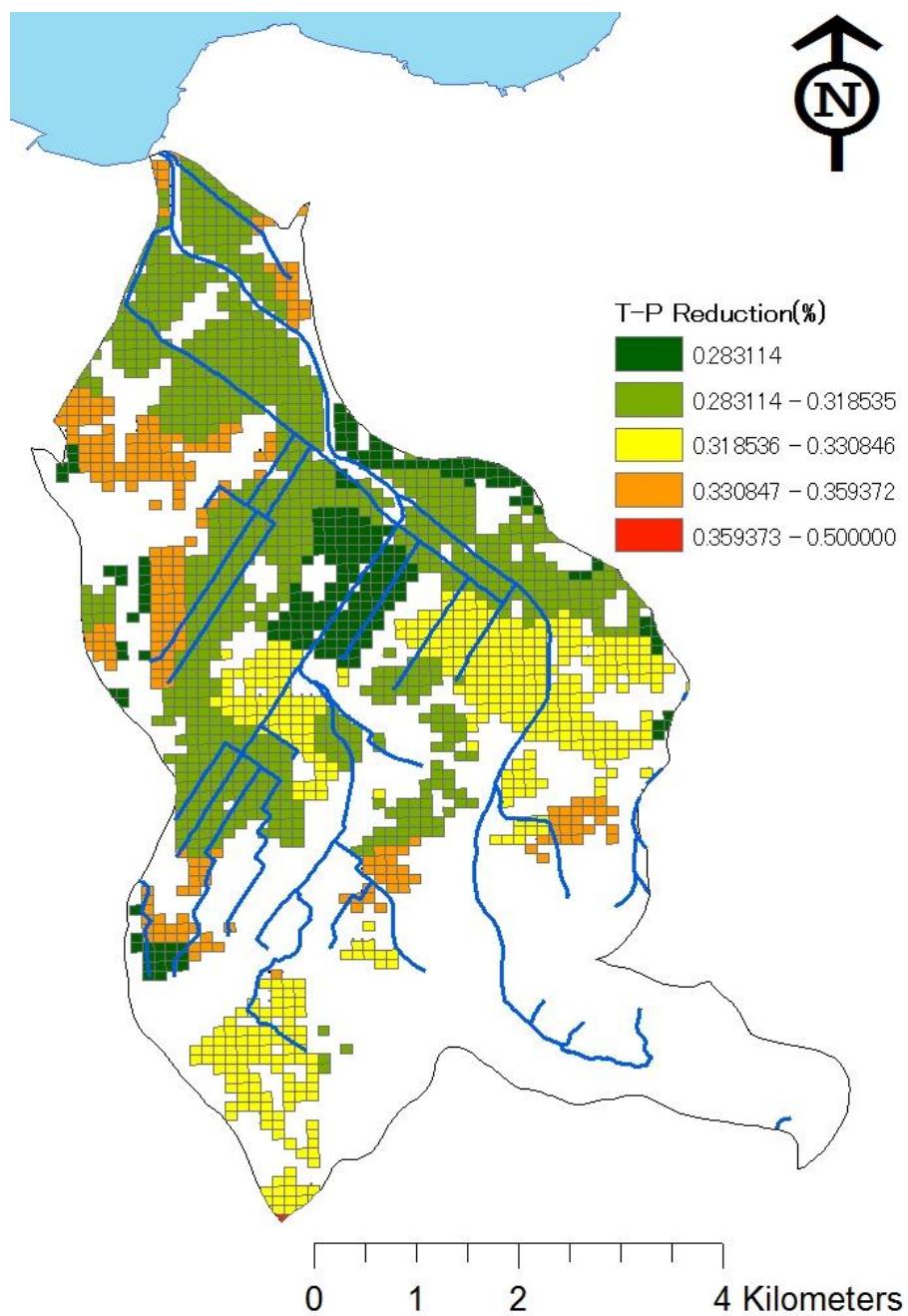


図 5-37 水質取引の実施によるリン排出削減ポテンシャル (%)

図 5-37 が示す通り、水質取引に参加して同じ水質対策を実施した場合でも、実際のリン排出削減量は農地によって大きく異なる。これは各農地の地理的・物理的な違い（例えば高度・傾斜度・土壌特性・気象条件など）によるものであり、家棟川流域のように比較的

小規模な流域でも空間的異質性が少なからず存在することを意味する。このことが政策の費用対効果にどのように影響するかについては後で詳しく述べる。

以上的情報を使用して、本研究では仮想的な水質取引を導入した場合の費用対効果について詳細な分析を実施した。この政策評価シミュレーションで本研究が設定した水質取引の概要は以下の通りである。

- 目的：リン排出の年間あたり 200Kg 削減
- 取引形態：点源 – 面源
- クレジットの買い手：下水処理場管轄の地方自治体（滋賀県）
- クレジットの売り手：家棟川流域の農業者
- 取引比率：1:2
- 実施期間：5 年、10 年、20 年
- 割引率：3%、5%、10%

本研究で想定するような点源-面源間の取引の場合、面源汚染の不確実性を考慮して取引比率 (trading ratio) を設定することが一般的である。これは農業などの面源汚染では気象条件や季節要因などに大きく左右されるため、負荷量の把握には不確実な要素が伴うことによる。この問題に対処するため、実際の取引において点源と面源の負荷量を同等には扱わず、1:2 ないし 1:3 の取引比率を設定することが海外では一般的である。たとえば取引比率が 1:2 の場合、点源汚染主体が環境負荷を 1 単位オフセットする場合、面源汚染主体から 2 単位の削減クレジットを購入する必要があることを意味する。本研究では海外での事例としてより一般的な 1:2 の取引比率を適用した⁹。目的がリン排出の 200Kg 削減であるため、この取引比率では農業由来の面源汚染負荷では倍の 400Kg の削減が必要になる。これは、家棟川流域の農家の約 25%が取引に参加する水準に相当する。

以上の条件をもとにした水質取引の費用対効果を、超高度処理の実施の場合と比較したものが以下の表 5-3 から 5-11 である。超高度処理では初期的な建設費が大きいため、それを含んだ場合と維持費のみの 2 パターンについて分析した。

⁹ 硬直的な取引比率には効率性の問題も指摘されているため、弾力的な比率による効率性の改善に向けた研究も進められている (Malik et al. 1993; Tanaka and Kuriyama (査読中))。

表 5-3 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 5 年、割引率 3%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	331,772,477	314,473,227	104,824,409
リン総削減量 (Kg)	1,000 (200Kg × 5年)	1,000 (200Kg × 5年)	2,000 (400Kg × 5年)
費用対効果 (円/Kg)	331,772	314,473	52,412

表 5-4 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 5 年、割引率 5%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	319,734,958	303,063,367	101,021,122
リン総削減量 (Kg)	1,000 (200Kg × 5年)	1,000 (200Kg × 5年)	2,000 (400Kg × 5年)
費用対効果 (円/Kg)	319,735	303,063	50,511

表 5-5 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 5 年、割引率 10%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	293,283,385	277,991,030	92,663,677
リン総削減量 (Kg)	1,000 (200Kg × 5年)	1,000 (200Kg × 5年)	2,000 (400Kg × 5年)
費用対効果 (円/Kg)	293,283	277,991	46,332

表 5-6 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 10 年、割引率 3%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	617,962,330	585,740,595	195,246,865
リン総削減量 (Kg)	2,000 (200Kg × 10年)	2,000 (200Kg × 10年)	4,000 (400Kg × 10年)
費用対効果 (円/Kg)	308,981	292,870	48,812

表 5-7 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 10 年、割引率 5%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	570,255,663	540,521,445	180,173,815
リン総削減量 (Kg)	2,000 (200Kg × 10年)	2,000 (200Kg × 10年)	4,000 (400Kg × 10年)
費用対効果 (円/Kg)	285,128	270,261	45,043

表 5-8 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 10 年、割引率 10%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	475,389,292	450,601,588	150,200,529
リン総削減量 (Kg)	2,000 (200Kg × 10年)	2,000 (200Kg × 10年)	4,000 (400Kg × 10年)
費用対効果 (円/Kg)	237,695	225,301	37,550

表 5-9 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 20 年、割引率 3%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	1,077,784,339	1,021,586,607	340,528,869
リン総削減量 (Kg)	4,000 (200Kg × 20年)	4,000 (200Kg × 20年)	8,000 (400Kg × 20年)
費用対効果 (円/Kg)	269,446	255,397	42,566

表 5-10 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 20 年、割引率 5%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	920,343,173	872,354,724	290,784,908
リン総削減量 (Kg)	4,000 (200Kg × 20年)	4,000 (200Kg × 20年)	8,000 (400Kg × 20年)
費用対効果 (円/Kg)	230,086	218,089	36,348

表 5-11 水質取引の実施における費用対効果の推計結果（実施期間 20 年、割引率 10%）

水質取引なし(超高度処理による対応)		水質取引 (ターゲティングなし)	
	建設費 + 維持費	維持費のみ	
総費用の現在価値 (円)	658,672,444	624,328,006	208,109,335
リン総削減量 (Kg)	4,000 (200Kg × 20年)	4,000 (200Kg × 20年)	8,000 (400Kg × 20年)
費用対効果 (円/Kg)	164,668	156,082	26,014

このように、統合モデルを使用して滋賀県家棟川流域における水質取引の費用対効果を分析した結果、水質取引の費用対効果が超高度処理を大きく上回る結果となった。たとえば実施期間 10 年、割引率 5% の場合、超高度処理によるリン排出削減では費用対効果が約 27 万円/Kg であるのに対し、水質取引では約 4 万 5 千円/Kg と、4 分の 1 以下の水準で削減を達成することが可能であることが示された。実施期間・割引率の条件により具体的な数値は異なるが、どのような条件のもとでも一貫して水質取引が高い費用対効果を有する

結果となった。

次に、水質取引におけるターゲティングの有無が費用対効果に影響について評価する。すでに明らかなように、家棟川のように小規模な流域でも農地からの面積あたりリン排出量は空間的に大きく異なっている。そこで、保全型農業によるリン排出削減ポテンシャルが高い農家を取引に優先的に参加させた場合（ターゲティングあり）と、流域内のどの農家も自由に取引に参加できる（ターゲティングなし）場合で、水質取引の費用対効果がどのように異なるかを定量的に評価した。

表 5-12 ターゲティングの有無による費用対効果の違い（実施期間 10 年、割引率 5%）

水質取引		
	ターゲティングなし	ターゲティングあり
総費用の現在価値 (円)	180,173,815	142,337,314
リン総削減量 (Kg) (400Kg × 10年)	4,000 (400Kg × 10年)	4,000 (400Kg × 10年)
費用対効果 (円/Kg)	45,043	35,584

表 5-12 が示す通り、水質取引においてターゲティングをおこなった場合、ターゲティングなしと比較して約 20% の費用対効果の向上が確認された。ここでは一例として実施期間 10 年、割引率 5% の場合のみの結果であるが、本節が検討したどの条件の組み合わせでもターゲティングの有効性は顕著に示された。このようなターゲティング戦略は、農家間の公平性の観点から農業環境分野では実施が難しいが、米国をはじめとして海外ではすでに広く実施されている（たとえば米国の環境質奨励プログラム（EQIP））。政策の効率性を高める上で、日本でも今後検討すべき政策課題の 1 つと考える。

以上、本節では統合モデルを使用した水質取引における費用対効果の分析結果を取りまとめた。政策評価では取引の実施期間・割引率についてさまざまな条件を設定したが、リン削減に向けた水質取引の費用対効果は一貫して超高度処理を上回るものであった。ただし、超高度下水処理は本来 COD 削減を目的としたものであり、リンの削減に必要な技術的水準および費用はそれよりも低くなる。その意味で本節の分析結果は超高度処理の費用を過大に評価していることは否定できず、実際の費用対効果の差は本節の結果よりも小さくなることが予想される。しかしながら費用対効果における水質取引の優位性は顕著に大きく、リン削減に特化した情報をもとに再度評価した場合でも、基本的な結論は変化しないと考えられる。

水質取引の歴史は浅く実施事例もまだ限られており、国内で実施するには制度的な障壁も少なくない。また、取引を有効に機能させるにはいくつかの課題があり、実施に際してはよく留意する必要がある。次節では統合モデルの分析結果をまとめるとともに、取引制度の課題については詳しく触れることとしたい。

5.4 まとめと政策的インプリケーション

本節では経済・工学の視点から学際的に水質対策を評価する試みとして、2つの統合モデルを構築し、政策評価を実施した。第1のモデルでは $500m \times 500m$ 単位の琵琶湖流域モデルを家棟川流域（滋賀県野洲市）に適用し、流域内の水田で施肥量が半減したときのシナリオ計算を実施した。TOC、TN、TP の施肥量を全て半分にしたときの河川水質に対する感度を見ることで、環境保全型農業が水質に与える影響を予測・評価を試みた。その結果、TOC では大きな変化はないが、TN、TP では特に4月末～6月における濃度が大きく減少していることが分かった。このことは、施肥量の適正化等の施策により、現地調査でも確認された代かき・田植え期の濁水の影響を相当程度緩和できることを意味している。負荷量で見ると、TOC で $125.6t/y$ 、TN で $54.3t/y$ 、TP で $4.0t/y$ となり、それぞれ 6.8%、17.0%、38.9% の削減となった。当該流域における環境保全型農業は、TP で特に顕著な効果が現れると考えられた。

第2のモデルでは $100m \times 100m$ 単位の分析モデルにより対象流域のリン排出削減ポテンシャルを求めることで、水質取引の実施による費用対効果を詳細に分析した。得られた費用対効果を下水に対する超高度処理によるリン削減のものと比較した結果、さまざまな政策条件のもとでも一貫して水質取引の優位性が示された。また、高い排出削減が期待される地域を優先して取引に参加させるターゲティング戦略を採用した場合、そうでない場合（ターゲティングなし）と比較して大幅に費用対効果を高められる可能性も示された。農業環境政策においてはしばしば公平性が重視されるため、この観点からは実施が難しい政策と考えられるが、限られた予算の中で政策の効率性を高める上で、今後日本でも検討されるべき課題と考えられる。

水質取引はまだ比較的歴史が浅く、すでに実施されている米国など海外でも取引の多くがまだしてパイロット段階である。また、既存の取引制度のすべてが十分に機能いるわけではなく、取引を実施したものの取引実績が少ない、あるいは取引がまったく成立していない事例も少なくない点は留意が必要である。詳しくは第1章「海外事例」に譲るが、本章の締めくくりとして水質取引を有効に機能させるため、実施に先立って検討すべき課題についてまとめたい。

まず第1に、CO₂など大気質の取引とは異なり、水質取引では排出源の位置関係が非常に重要である。例えば、水質改善に向けた汚染排出削減が上流および下流で実施された場合、一般的に水質改善への貢献度は下流の方が高い。これは上流における排出は移流拡散や自然の浄化作用により、下流に到達するまでに汚染負荷量が一定程度減少するためである。また、クレジットの買い手（点源汚染主体）が同じ地域に集中した場合、取引の実施により局所的に輩出が増加して水質がむしろ悪化してしまう「ホットスポット」の問題も懸念される。また、本節の統合モデルで示されたように、比較的小規模な流域においても汚染排出ポテンシャルは農地により大きく異なり、どの農地を参加させるかによって水質取引の有効性は大きく異なる。しかしながら、農家を含む点源-面源取引では小規模な汚染排出源が多数にのぼるため、状況の把握と対応が困難である。現状では農地ごとの汚染ポテンシャルの評価はほとんど実施されておらず、政策の有効性も十分議論されているとはいえない。このように、水質取引では汚染主体の位置関係および汚染主体間の空間的異質性は重要な要素であり、政策を有効に実施する上で検討すべき課題の1つといえる。

第2に、本節の統合モデルとは直接に関係していないが、取引制度を円滑に機能させるためには利害関係者に対して適切なインセンティブを供与することが重要である。Selman (2008) が指摘するように、一部の水質取引では、制度設計や取引仲介に関わるステークホルダーに十分なインセンティブが供与されておらず、そのことが制度が機能しない一因にもなっている。一方で、オハイオ州シュガー川流域など一部の水質取引のように、利害関係者に対してインセンティブを供与しつつ産官学の連携を深め、着実に取引実績を重ねている事例も見られる。

最後に、水質取引を有効に機能させる上で点源汚染に対する規制強化は欠かせない要素といえる。米国では1日あたり総合最大負荷量 (Total Maximum Daily Loads; TMDL) による排出規制強化が点源汚染主体を水質取引に参加させる原動力となっており、取引の成否を決める重要な要素の1つとなっている¹⁰。日本では現行の水質規制のもとで点源汚染主体のほとんどが基準を満たしており、追加的な削減に自ら取り組むインセンティブは存在しないといってよい。水質取引は自発的な取引によるボランタリーな制度のため、汚染主体に削減インセンティブが存在しない限り有効に機能するとは考えにくい。米国の事例を見る限り、規制強化とセットで導入されていない取引制度の多くが期待通りの効果をあげていないのが現状である。日本国内で水質取引の実施を検討する上でも、点源汚染主体に対

¹⁰ TMDL (Total Maximum Daily Loads) は水質法 (Water Quality Act) 第303条d項に基づき導入された汚染物質の総量規制である。この規制は水質基準を満たさない河川に対して設定され、流域における水質基準を達成するための1日あたりの最大許容汚染負荷量を定めるとともに、各汚染主体に対する排出枠を規定している。

する規制強化を同時に実施にするなど、取引と規制が有機的に連携したポリシーミックスの考え方方が不可欠と考えられる。

6. 結論と今後の課題

6.1 結論

本研究では、水質対策において経済的手法を導入したときの効果を評価することで、費用対効果の高い環境対策のあり方を検討した。本研究で得られた成果は以下のとおりである。

第一に、海外の事例分析では、水分野における経済的手法の導入事例について、水質取引を中心調査した。また、費用対効果の高い環境対策のあり方に関連して、EUの水枠組み指令の実施における費用効果分析の適用状況を調査した。

水質取引の事例から得られるわが国への示唆については、まず排出量取引制度の導入に向けては、汚濁負荷の把握が必要であり、モニタリングの充実を図ることが重要である。EUの水枠組み指令で加盟国に最初に求められたのもモニタリング体制の整備であった。つぎに、水質取引制度の計画に際しては環境、下水道、農業の各部門の協働と連携が重要である。制度設計に関しては、すでに始まっている農業者などへの環境支払いの枠組みをうまく利用することができれば、あまり時間をかけずに導入が可能であろう。さらに、水質取引は制度の要となる組織が重要である。市町村と県または農協の普及指導部門との有機的連携が求められる。最後に、水質取引の導入を検討すること自体が、統合的流域管理に資するということを指摘できる。

第二に、国内の事例分析では、琵琶湖を対象に水質対策の現状と課題を整理した。また環境保全型農業による水質対策として、滋賀県内で現在実施されている環境保全型農業に関する制度として「環境直接支払制度」および「魚のゆりかご水田」を抽出し、それについて事例分析をおこなった。また県内の流域においてこれらの制度の実施状況や今後の課題などを詳細に把握するため、家棟川流域（滋賀県野洲市）を対象とした現地視察および、農家・NGO・行政担当者への聞き取り調査を実施した。その結果、対象流域においてこれらの制度は普及してきているものの課題も多く、特に制度の自立性における国や関連政策との兼ね合いや、生産物の販路拡大における農協との関係構などが検討すべき点として明らかになった。

第三に、水質解析では、多様な発生源由来の汚濁負荷におけるモデル解析方法の有効性と精度向上を行った。面源負荷は土地利用ごとに発生や流出メカニズムが異なり、実測によるメカニズム解明は困難であることから、本検討では土地利用別に面源負荷の解析が可能で、かつ将来の施策展開を考慮した面源対策効果の解析が可能なように、各種の面源対策を組み込んだモデルの構築とその適用性について検討を行った。そして千葉県印旛沼の流入主要河川における連続水質モニタリングを実施するとともに、簡易に汚濁負荷量を推定する方法の開発を行った。さらに各対策の実施する際に必要となるコストについても分析を行った。

ここで開発したモデルをもとに千葉県印旛沼において様々な汚濁負荷削減対策の導入シナリオの削減効果を解析したところ、CODについては雨水浸透井と透水性舗装、合併浄化槽、下水道の対策による削減量は15%以上削減されると推定された。TNについては合併浄

化槽, 下水道, 環境保全型農業による年負荷量は2%~11%が削減されると推算された. 特に合併浄化槽, 下水道の対策による削減量は11%以上で, 印旛沼への流出負荷対策として有効であると考えられる. そしてTPに関しては合併浄化槽, 下水道の対策による削減量は23%と64%で, 印旛沼への流出負荷対策として有効であると考えられる.

第四に, 水質の経済的評価手法について検討するとともに, 千葉県印旛沼と琵琶湖を対象に実証研究を行った. 流域住民に対して水質に対する意識調査を行ったところ, 水質については琵琶湖より印旛沼の方が悪化しているという印象を持つ人が多い傾向にあった. CVMによる予備調査の結果では, 水質改善に対する支払意思額は印旛沼1,076円, 琵琶湖1,327円/年/世帯であった. 一方, 生態系保全の支払意思額は印旛沼942円, 琵琶湖999円/年/世帯であった. 以上のように印旛沼と琵琶湖では水質対策の支払意思額は比較的近い金額となった.

また琵琶湖を対象に水質対策の経済効果について詳細な分析を行った. 本調査ではWeb調査と郵送調査の両方でアンケート調査を実施した. Web調査と郵送調査で評価額を比較したところ, 頗著な差は見られなかった. 選択実験による分析結果では, 水質対策が111億円, 透明度対策が70億円, 生態系保全対策が27億円であった. また環境保全型農業の実施による水質対策の効果をCVMで評価したところ, 集計支払意思額は京都府49億3,150万円, 大阪府69億6,940万円であった. 農家を対象としたCVM調査では, 環境保全型農業の実施に必要な補償額は10aあたり2752円, 農業排水対策に必要な補償額は10aあたり4000円であった. これらの評価額は, 行政が水質対策の費用対効果を分析するときの情報として有用なものであると考えられる.

第五に, 経済実験により水質対策に経済的手段を導入したときの費用削減効果を分析した. 一般的な排出取引制度では, 売り手と買い手の二者間で取引が行われる「相対取引形式」と公開の場で取引が行われる「ダブルオークション形式」が提案されているが, この両者の違いを経済実験により分析することで, 取引内容の公開が排出量取引の効果にもたらす影響を検討した. その結果, ダブルオークション形式の費用削減効果が最も高いことが示された. 一方, 水質対策を対象とした排出量取引制度には, 点源汚染源と面源汚染源で取引を行う水質取引制度が存在する. そこで実験室内で水質取引制度を再現し, 水質取引制度の費用削減効果を分析した. 現在は予備実験が完了した段階であり, 分析途中ではあるものの, 取引比率に関する情報を農家に提供することが取引に影響をもたらす可能性が示された. 以上の経済実験の結果は, 水質対策においても排出量取引などの経済的手段が有効であることを示しているが, 排出取引制度を設計する際には取引内容や取引比率を公開することが重要であることを示唆している.

第六に, 経済・工学の視点から学際的に水質対策を評価する統合モデルを開発し, 政策評価を実施した. 第1のモデルでは家棟川流域(滋賀県野洲市)の水田で施肥量が半減したときのシナリオ計算を実施した. その結果, TOCでは大きな変化はないが, TN, TPでは特に4月末~6月における濃度が大きく減少していることが分かった. このことは, 施肥量の適正化等の施策により, 現地調査でも確認された代かき・田植え期の濁水の影響を相当程度緩和できることを意味している. 第2のモデルでは家棟川流域において水質取引が実

施された場合の費用対効果を求め、県が超高度下水処理を実施する場合との比較分析を試みた。実施期間・割引率についてさまざまな条件を設定して分析をおこなったが、一貫して水質取引の費用対効果における優位性を示す結果となった。また、高い排出削減が期待される農家を優先して取引に参加させるターゲティング戦略を採用した場合、そうでない場合と比較して大幅に費用対効果を高められることが示された。農業環境政策における公平性の観点からは実施が困難な政策と考えられるが、限られた予算で最大の効果をあげるために、効率性向上の一手段として検討すべき課題といえる。

6.2 今後の水質対策の課題

最後に、これらの分析結果をもとに今後の水質対策の課題を検討する。これまで国内の水質対策は点源汚染源に対して環境基準を設置し、汚染をコントロールする直接規制を中心であった。国内の直接規制政策は点源汚染源対策としては有効に機能したと考えられるが、湖沼などでは生活排水や農業排水などの面源汚染源対策が必要である。面源汚染源に対して直接規制を実施することは事実上不可能であり、新たな対策が必要とされている。

そこで本研究では経済的手段の一つである水質取引に着目し、国内に水質取引制度を導入したときの効果について検討を行った。経済実験および工学-経済学の統合モデルにより水質取引の経済効果を分析したが、いずれも水質取引の費用対効果が高いことが示された。このことは、今後は従来の直接規制に加えて、水質取引等の経済的手段の導入に向けた検討の必要性が高いことを示している。

ただし、水質取引は比較的歴史の浅い取引制度であり、実施されている米国でもその多くが試験段階であることは留意が必要である。過去に多くの流域で取引プログラムが実施されているが、十分に機能しておらず取引実績が少ない、あるいは取引がまったく成立していないプログラムも少なくない。したがって、水質取引制度を国内に導入を検討する際には、水質取引を機能させるための条件を満たす必要がある。

まず第1に、CO₂など大気質の取引とは異なり、水質取引では排出源の位置関係が非常に重要である。例えば、下流域における水質改善のため同量の排出削減が上流および下流で実施された場合、一般的に水質改善への貢献度は下流の排出削減の方が高い。これは上流での排出の場合、拡散や自然の浄化作用により、下流に到達するまでに汚染負荷量が減少するためである。また、クレジットの買い手が同一地域に集中した場合、取引により排出が局所的に増加して水質がむしろ悪化してしまう「ホットスポット」の問題も懸念される。これらの問題は点源-点源取引にも共通するが、農家を含む点源-面源取引では小規模な汚染排出源が多数にのぼるため、状況の把握と対応がより困難である。

第2に取引制度における利害関係者に対するインセンティブである。Selman (2008) が指摘するように、一部の水質取引では、制度設計や取引仲介に関わるステークホルダーに十分なインセンティブが供与されておらず、そのことが制度が機能しない一因にもなっている。一方で、オハイオ州シュガーラ川流域など一部の水質取引のように、利害関係者に対する適切なインセンティブを維持することで産官学の連携を深め、その中で取引実績を重ねている事例も見られる。

第3に、水質取引を機能させるには点源汚染に対する規制強化がセットとして欠かせない。日本では現行の水質規制のもとで点源汚染主体のほとんどが基準を満たしており、こうした汚染主体にとっては追加的な削減に取り組むインセンティブは実質的に存在しない。米国では水質が基準を満たさない河川に対して設定される、1日あたり総合最大負荷量(TMDL)による点源汚染主体への削減義務の強化が、水質取引を実現させ、有効に機能させる強力な牽引役となっており、水質取引の成否を決める大きな要素の1つといえる。国内で水質取引を導入する際にも、点源汚染主体に対する規制強化を同時に検討するなど、有機的に連携したポリシーミックスの考え方方が不可欠と考えられる。

6.3 残された研究課題

最後に、残された研究課題について述べたい。本研究は、国内外の事例を分析するとともに、水質対策に経済的手段を導入したときの効果を経済評価、経済実験、統合モデルなど様々な手法により定量的に分析したものであり、国内では類似の先行研究は存在しない。海外では本研究と同じアプローチの研究が開始されたばかりであり、本研究は、まさに世界の最先端の研究成果であると自負している。とはいえ、本研究にも残された課題は少なくない。

第一に、本研究で開発したモデルを他流域に適用することが必要である。水質問題は地域により状況が異なるため、個々の流域ごとに分析を行う必要がある。このため本研究では千葉県印旛沼と琵琶湖を対象に分析を行った。今後、様々な地域の水質対策を検討するためには、本研究で開発した分析手法やモデルを他の流域にも適用し、多くの流域で実証研究を行うことが必要であろう。

第二に、水質対策による生態系保全の効果を分析することが必要である。本研究では、主としてTN、TP、CODなどの汚濁負荷を分析したが、水質対策と生態系保全の関係については経済評価で部分的に分析を実施したに止まっており、水質対策と生態系保全のメカニズムが解明されていないことから政策評価を実施することは困難な状況にある。しかし、生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)を契機として生態系保全に対する社会の関心が高まっていることから、今後は水質対策においても生態系保全の効果を考慮することが必要となるであろう。今後は、生態系への影響を統合モデルに組み込むことで、生態系への影響を考慮した新たなモデルを開発することが緊急の課題といえる。

そして最後に、本研究で分析した水質取引などの経済政策を国内の水政策に実際に導入し、本研究の分析結果を実証実験により検証することが必要である。本研究では、水質モニタリング、聞き取り調査、大規模アンケート調査、GISデータなど様々なデータと最新の分析モデルにより綿密に水質対策の効果を分析した。そして水質取引などの経済的手段の費用対効果が高いものの、水質取引の有効性を高めるためには直接規制の強化と組み合わせたポリシーミックスが必要であることを明らかにした。しかし、実際に水質取引を導入したときに、本研究の予想通りの結果が得られるかを検証することが重要であろう。そのためには、全国規模で水質政策に経済的手段を導入する前に、特定の流域で水質取引の実証実験を実施することが考えられるが、そのためには環境省担当者、対象流域の自治体、

農家や地域住民などとの連携がこれまで以上に必要となるであろう。「環境経済の政策研究」は行政と研究者の連携が重視されているが、本研究をさらに発展する際には、行政だけではなく流域の上流から下流までの幅広いステークホルダーとの連携が今後は不可欠といえるであろう。

謝辞

本研究を推進する上で多数の方々の協力を得た。審査評価委員の方々からは、本研究に対して建設的なコメントを多数いただいた。審査評価委員のコメントは、本研究を推進する上で、非常に有用であった。本研究の対象流域の行政担当者、農家、NGO、地域住民の方々には聞き取り調査に協力していただいた。環境省水環境課担当者の方々は、多忙にも関わらず本研究のために時間を割いていただき、密接な情報交換を行うことができた。おかげで、環境省の行政ニーズを本研究に的確に反映することができた。そして環境省環境計画課の担当者の方々からは定期的な進捗報告において多数のコメントをいただいた。環境省の担当者との議論は、本研究にとって非常に重要なものであった。多くの方々の支援がなければ、3年間という短期間にこれだけの成果を得ることは不可能であったであろう。ここに厚くお礼を申し上げる次第である。

III 添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録 等）

参考文献

第1章

- Breetz, Hanna L., Karen Fisher-Vanden, Hannah Jacobs, and Claire Schary, Trust and Communication: Mechanisms for Increasing Farmers' Participation in Water Quality Trading, *Land Economics*, 81, 2005, 170-190.
- Brouwer, Roy and Rob van der Veeren, Cost and Benefits of Water Policy, Stijn Reinhard and Henk Folmer eds, *Water Policy in the Netherlands*, Resources for the Future, 2009, pp.91-107.
- Brouwer, Roy, David Barton and Frans Oosterhuis, Economic Methods, models and instruments for the Water Framework Directive, Peter A. Vanrolleghem ed. *Integrated Assessment for Water Framework Directive Implementation: Data, Economic and Human Dimension*, IWA Publishing, 2010, pp.207-305.
- Commission of the European Communities, Accompanying document to the 'Towards Sustainable Water Management in the European Union' First stage in the implementation of the Water Framework Directive, Commission Staff Working Document, SEC, 2007, 362.
- Common, Michael and Sigrid Stagl, Ecological Economics: An Introduction, Cambridge University Press, Cambridge, 2005, pp.431-433.
- European Commission, Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal* L375, 1991.
- European Commission, Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities* L327/1-L327/72, 2000.
- European Commission, Directive 2008/105/EC of the European parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Communities* L348/84-L348/97, 2008.

- GRÜNE LIGA, Economic Instruments in the Water Framework Directive: An Opportunity for Water Protection, GRÜNE LIGA, Berlin, 2011.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bewirtschaftungsplan Hessen 2009-2015, 2009.
- Interwies, M. A., Kraemer, R. A., Kranz, N., Görlach, B., Dworak, T., Borchardt, D., Richter, S., Willecke, J. *Basic Principles for Selecting the Most Cost-effective Combination of Measures for Inclusion in the Programme of Measures as Described in Article 11 of the Water Framework Directive*, Ecologic, Berlin, 2003.
- Kampa, Eleftheria, et al., Plunge into the Debate, 2nd European Water Conference, Conference document, 2009.
- Kieser & Associates, Preliminary Economic Analysis of Water Quality Trading Opportunities in the Great Miami River Watershed, Ohio: Executive Summary, 2004.
- Klauer, R., Rode, M., Schiller, J., Franko, U., Mewes, M. Decision Support for the selection of Measures according to the Requirements of the EU Water Framework Directive, *Water Resources Management*, 26, 2012, 775-798.
- Kraybill, Donald B. *The Riddle of Amish Culture*, Johns Hopkins University Press, 1989.
- Kreins, Peter et al., Costs of achieving objectives of the water framework directive by reducing diffuse nitrogen leaching in agriculture in the Weser river basin. Paper presented in International Conference of the European Society for Ecological Economics, 2009.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), German Guidance Document for the implementation of the EC Water Framework Directive, 2003.
- Ligtvoet, W., G. P. Beugelink, R. Franken, *Evaluation of the Water Framework Directive in the Netherlands: costs and benefits*, PBL report, 500140004, Bilthoven, 2008
- Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, Bewirtschaftungsplan Bearbeitungsgebiet Neckar, 2009.
- Moore, R. H. Ecological Integration of the Social and Natural Sciences in the Sugar Creek Method, Bohlen, P. J. and House, Gar eds. *Sustainable Agroecosystem Management*, CRC Press, 2009, 21-38.
- Ohio Environmental Protection Agency, Total Maximum Daily Loads for the Sugar Creek Basin, 2002.

- Ostenburg, Bernhard, Thomas Schmidt and Tania Runge, Report to the EC Commission by vTI on expected costs of adequate programmes of measures to be implemented state-wide in Lower Saxony, Deliverable 9.2, 2008.
- River Basin Commission Weser, Modelling Project AGRUM Weser; Summary of the Final Report, 2009.
- Selman, Mindy, Suzie Greenhalgh, Evan Branovsky, Cy Jones, and Jenny Guiling, Water Quality Trading Programs: An International Overview, WRI Issue Brief Water Quality Trading No.1, World Resources Institute, 2009.
- Söderholm, Patrik, Anna Christiernsson (2008) Policy Effectiveness and acceptance in the taxation of environmentally damaging chemical compounds, Environmental sciency and policy, 11, 240-252.
- Sugar Creek Project of the OARDC/Ohio State University, Holms Soil and Water Conservation District, Alpine Cheese Company, A Plan to Reduce Phosphorus Loading and Improve Stream Ecological Function in the Middle Fork and Adjoining Watersheds of the Sugar Creek, 2006.
- U.S. EPA, EPA Water Quality Trading Evaluation: Final Report, 2008.
- U.S. EPA, Office of Water, Water Quality Trading Policy, 2003.
- U.S. EPA, The U. S. Experience with Economic Incentives for Protecting the Environment, 2001.
- van der Veeren, R., Different cost-benefit analyses in The Netherlands for the European Water Framework Directive, *Water Policy*, 12, 2010, 746-760.
- van Engelen, Donné, Kosteneffectiviteitsanalyse de Leijen, 2005.
- van Engelen, D., Seidelin, C., van der Veeren, R., Barton, D. N., Queb, K., Cost-effectiveness analysis for the implementation of the EU Water Framework Directive, *Water Policy*, 10, 2008, 207-220.
- WATECO, Economics and the Environment: The Implementation Challenge of the Water Framework Directive, European Communties, 2003.
- Water Conservation Subdistrict of the Miami Conservation District, Great Miami River Watershed Water Quality Credit Trading Program: Operations Manual, 2005.
- 天野明弘『排出取引』中央公論新社, 2009.
- 荒井聰・リチャード H. モア「アメリカ合衆国農業環境政策の成果と課題－オハイオ州シ ュガーフリーク流域の事例を中心に－」『農業市場研究』18(1), 2009, 50-56.
- 大垣眞一郎監修『河川と栄養塩類 管理に向けての提言』技報堂出版, 2005.
- 岡敏弘『環境経済学』, 岩波書店, 2006, 128-149.
- 岡敏弘「直接規制」植田和弘・岡敏弘・新澤秀則編『環境政策の経済学』日本評論社, 1997, 第7章.

- 環境省「水質保全分野における経済的手法の活用に関する検討会報告書」, 2004, 75-76.
- 環境省編『環境基本計画—環境から拓く 新たなゆたかさへの道—』, ぎょうせい, 2006, 24.
- 武田育郎『よくわかる水環境と水質』オーム社, 2010.
- 西澤栄一郎「水質保全対策としての排出取引制度」『農業総合研究』, 53(4), 1999, 83-120.
- 西澤栄一郎・合田素行「アメリカ大西洋岸 3 州の農業環境政策」『農業総合研究』, 53(1), 1999, 89-128.
- 藤木修「水質保全のための流域管理—日・米・欧の比較—」『平成 19 年度国土技術政策総合研究所講演会講演集』国総研資料第 418 号, 2007, 103-130.
- 武藤幸雄「農業排水管理における非線形灌漑用水料金制の利用」『農業経済研究』, 81, 2009, 179-192.
- 諸富徹『環境税の理論と実際』, 有斐閣, 2000, 103-154.

第 4 章

- 川越 敏司(2007) 『実験経済学』東京大学出版会.
- 栗山浩一 1997) 『公共事業と環境の価値—CVM ガイドブック』筑地書館.
- 栗山浩一(1998) 『環境の価値と評価手法—CVM による経済評価』北海道大学図書刊行会.
- 栗山浩一(2000) 「コンジョイント分析」大野栄治編著『環境経済評価の実務』勁草書房.
- 栗山浩一・庄子康編著(2005)『環境と観光の経済評価—国立公園の維持と管理—』勁草書房.
- 竹内憲司 (1999) 『環境評価の政策利用—CVM とトラベルコスト法の有効性—』勁草書房.
- 肥田野登(1997)『環境と社会資本の経済評価—ヘドニック・アプローチの理論と実際』勁草書房.
- 鷺田豊明(1999)『環境評価入門』勁草書房.
- 鷺田豊明・栗山浩一・竹内憲司編著(1999)『環境評価ワークショップ—評価手法の現状』筑地書館.
- Champ, P.A., K.J. Boyle, and T.C. Brown eds. (2003), A Primer on Nonmarket Valuation, Kluwer Academic Publishers.
- Freeman III, A.M. (2003), The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods, Resources for the Future.
- Haab, T.C. and McConnell, K.E. (2002), Valuing Environmental and Natural Resources: The Econometrics of Environmental Valuation, Edward Elgar.
- Herriges, J.A. and C.L. Kling eds. (1999), Valuing Recreation and The Environment: Revealed Preference Methods in Theory and Practice. Edward Elgar.
- Johansson, P.O.著, 嘉田良平監訳(1994)『環境評価の経済学』多賀出版.
- Mitchell, R.C. and Carson, R.T.著, 環境経済評価研究会訳 (2001) 『CVM による環境質の経済評価—非市場財の価値計測』山海堂.

Timothy N. Cason and Lata Gangadharan (2005) “A Laboratory Comparison of Uniform and Discriminative Price Auctions for Reducing Non-point Source Pollution”, *Land Economics*, Vol. 81 No. 1, pp. 51-70

第5章

土木研究所 (2000) 『都市河川流域における水・熱循環の統合解析モデルの開発』建設省土木研究所資料.

蓮川他 (2009) 「環境こだわり農業の取り組みによる水稻作付期の流出負荷低減効果」『滋賀農業技術センター研究年報』, 48:1-21.

今掘吉一・西村峻介 (2008) 「水処理における超高度処理技術」『下水道協会誌』12月号.

岩佐義朗, 井上和也, 劇樹坤, 阿部徹 (1983) 琵琶湖湖流の三次元的な解析, 京都大学防災研究所年報, 26B-2, pp. 531-542.

小林他 (2005) 「施肥改善および水管理の適正化によるグライ土水田からの栄養塩類等の流出負荷軽減予測」『滋賀農業技術センター研究年報』, 45:13-36.

Komatsu, E., T. Fukushima and H. Shiraishi (2006) “Modeling of P-dynamics and algal growth in a stratified reservoir mechanisms of the P-cycle and interactions between water and sediment,” *Ecological Modelling*, 197: 31-349.

Malik, A. S., D. Letson, and S. R. Crutch-field. (1993) “Point/Nonpoint Source Trading of Pollution Abatement: Choosing the Right Trading Ratio” *American Journal of Agricultural Economics* 75: 959-967.

佐藤祐一・小松英司・永禮英明・湯浅岳史・上原浩 (2010) 陸域・湖内流動・湖内生態系を結合した琵琶湖流域水物質循環モデルの構築, 環境システム計測制御学会誌, 15 (2), pp. 21-24.

佐藤祐一・小松英司・永禮英明・上原浩・湯浅岳史・大久保卓也・岡本高弘・金再奎：陸域－湖内流動－湖内生態系を結合した琵琶湖流域水物質循環モデルの構築とその検証, 水環境学会誌, 34 (9), pp. 125-141, 2011.

Selman, M. et al. (2009) *Water Quality Trading Programs: An International Overview*. World Resources Institute (WRI) Issue Brief.

滋賀県 (2010) 「稻作技術指導指針」.

田中勝也 (近刊予定) 「農業と水環境問題」馬奈木俊介編『環境・資源経済学入門 – 市場は有効か?』昭和堂.

Tanaka, K., and K. Kuriyama (査読中) “Cost-Effectiveness of Water Quality Trading Program in a Drainage Watershed in Lake Biwa” *Lakes and Reservoirs*.

山下三男他 (2006) 「河川水文シミュレーションモデルの現状と新しい提案」『陸水学会誌』67: 267-280.

第1章 添付資料

オハイオ州水質取引規則（一部略）

オハイオ州環境保護庁 地表水課 基準・技術支援係
行政規則第3745章の5 水質取引 2007年1月1日発効

1. 定義

(Z)「資格を持つ土・水保全専門家」とは、郡の土壤・水保全区の職員、オハイオ州自然資源部土壤・水保全課または他の自然資源部の職員、連邦農務省自然資源保全局(NRCS)の認定プランナー、NRCS職員、連邦農務省登録技術サービス提供者、認定作物プランナー、オハイオ土壤学協会が認定した土壤学者、専門的エンジニア、あるいはこれらと同等の教育、知識、経験を持つとオハイオ州環境保護庁長官が認めた専門家を指す

2. 目的と適用

目的は4つ

- (1)水質改善のための流域単位の取り組みを促進する
- (2)水質を改善し、水質基準の達成・維持の費用を最小化する
- (3)点源・面源からの自発的な汚濁削減の経済的インセンティブを提供する
- (4)汚濁削減以外の追加的な環境便益を得る

3. 禁止事項と制限事項

- (A)(1)水質基準違反をしないこと
(2)現行または指定用途を阻害しないこと。飲用水取水地点での水質悪化への影響を含む。
(3)TMDLで定めた排出量を超えないこと
(4)技術に基づく排水基準の達成に用いないこと
(5)CWA208条に基づく地域全体の下水処理管理計画に適合的であること
- (B)生物濃縮物質には適用しない
- (C)CAFO(集約的家畜飼養施設)の参加条件
- (1)CAFO 生産地区内の構造的制御手法または管理手法による削減分はクレジットにカウントしない
 - (2)CAFOはCAFO生産地区内に適用される排出ゼロ技術の遵守にクレジットを使えない
 - (3)BMPや生息地復元事業は、それらがNPDESで求められている養分管理計画を遵守するためのものでなければ、クレジットとして使える
- (D)生息地復元事業は本規則に沿うように汚濁負荷削減量が計算できれば、クレジットとして認めてもよい(生息地事業の例:ダム撤去、河畔安定化、水路変更)
- (E)(1)BMPによる面源負荷削減は連邦の補助金が入っている場合、地元負担分をクレジットにすることができる
(2)ただし、CWA319条の補助金が一部または全部入っている場合はクレジットにすることはできない

4. 水質取引の一般要件

- (A)水質取引では本規則と他の法令を遵守すべき。求める情報がなければ水質取引管理計画の申請をオハイオ州環境保護庁長官は却下できる。
- (B)承認された日から同計画は最大 5 年間有効
- (C)管理計画の承認のない水質取引は認められない
- (1)NPDES の許可証の一部として管理計画が申請される場合は NPDES の申請料のみ徴収する 申請料は \$ 200
- (2)NPDES の許可証とは独立している場合は計画申請料と審査料を徴収する
- (D)本規則に先立って実施されている水質取引については、管理計画を次のように提出すること
- (1)Great Miami 川プログラムは 10 年以内に提出すること
- (a)オハイオ州環境保護庁長官が承認するまでは実施要領(2005.2.8)に基づいて行うこと
- (b)実施要領の変更にはオハイオ州環境保護庁長官、許可証所持者、プログラム関連部局の同意が必要である
- (c)オハイオ州環境保護庁長官は以下のようなクレジットを認めなくてもよい
- (i)要領に則っていない (ii)地域的な悪影響を引き起こす (iii)実施要領の 1.3 にある対策の成功および便益を達成していない
- (2)Alpine プロジェクトは 10 年以内に提出すること
- (a)承認されるまでは 2006.1.1 の取引計画に基づいて行うこと
- (b)実施要領の変更にはオハイオ州環境保護庁長官、許可証所持者、プログラム関連部局の同意が必要である
- (c)オハイオ州環境保護庁長官は以下のようなクレジットを認めなくてもよい
- (i)取引計画に基づいていない (ii)地域的な悪影響を引き起こす (iii)取引計画の 17-18 ページにある成功の基準に達していない
- (3)他の取引は 5 年以内に提出すること
- (E)水質取引は(1)流域、(2)TMDL 区域、(3)長官が本規則の目的を達成すると認めた地域のいずれかで実施できる
- (F)交換比率適用後、許可証保持者が支払った面源汚濁削減量は水質クレジットとして NPDES の許可証排水基準達成のために使うことができる
- (G)TMDL が設定されていない水質悪化水域での水質取引は、水質基準に近づくものでなければならない。承認された流域計画、または地域が策定した流域計画で長官が審査して許容できると認めたものにあるデータと情報は pre-TMDL 取引の科学的根拠として使うことができる
- (H)TMDL が設定されている水質悪化水域での水質取引は、TMDL 設定の前提と要件に整合的でなければならず、TMDL の実施を遅らせるものであってはならない
- (I)BMP は十分に維持され設計どおりに機能している限りにおいて水質クレジットとして使うことができ、資格を持つ土・水保全専門家の最低年 1 回の検査を受けることとする
- (J)BMP は水質取引管理計画の有効期限を超えて契約してもよい。上記(I)の要件を満たせば、計画の更新時に水質クレジットとして継続して使うことができる。

(K)資格を持つ土・水保全専門家は以下のことをするものとする

(1)水質クレジットの計算 (2)適切な BMP の選択 (3)ベースラインの設定と BMP の汚濁負荷削減量の算定 (4)BMP の実地検査 (5)BMP の有効性の評価、負荷削減と水質クレジット算定法の評価改善用にデータを得るための水質モニタリングの実施

5. 水質取引：管理計画申請の一般要件

(A)管理計画は本規則に則って策定すること

(B)承認された管理計画での取引を変更する者または流域水質取引地区の拡大を提案する者は新しい管理計画申請書を長官に提出すること。新しい申請書は(1)取引の変更もしくは地域の拡大の少なくとも 6 か月前に提出すること (2)本規則に則ること

(C)管理計画の更新申請書は有効期限の少なくとも 6 か月前に長官に提出すること。更新申請書は本規則に則り、かつ以下のことを記載すること

(1)水質取引の経済評価 (取引の数や種類、クレジットの価格、管理費用、費用節約額を含む)

(2)全取引の全体的な環境面・経済面の有効性の評価

(3)必要であれば見直しや改善策の提案

(D)長官は取引の件数、BMP の状況や参加水準などを考慮し、(C)の(1)(2)に記した事項を免除あるいは軽減することができる

6. 水質取引：管理計画の申請に際しての要求事項

(A)水質取引管理計画は(1)説話体(narrative form)で、(2)長官の定める様式で、(3)参加者またはオハイオ州環境保護庁と参加者との覚書または他の協定、土地利用計画、他の流域単位の協定など長官が必要とみなす情報を含むこと

(B)点源間取引が行われる場合、水質取引管理計画の申請は

(1)各許可証保有者の NDPEs 許可証申請書の一部として申請し、

(2)目的を記し、

(3)水質取引地域全体の(a)集水域(b)TMDL 水域(c)取引がされる流域全体を示す地図を載せ、

(4)提出時点で参加する許可証保有者すべてと連絡責任者を示し、

(5)取引対象項目リストを示し、

(6)水質のすぐに手に入る情報と水質基準との比較などの評価を記し、

(7)交換比率の根拠を述べ、

(8)項目ごとの上限、wasteload allocation、load allocation を記し、

(9)水質ベースラインの根拠と設定手続きを示し、

(10)取引行為について述べ、

(11)取引実施のスケジュールを示し、

(12)13.に従い、市民参加のプロセスを記し、

(13)14.に従い、水質の悪影響の有無や改善の有無を見るための水質モニタリング実施スケジュールを記し、

(14)クレジットが発生しなかったときの対策について記すこと

(C)上記(A) (B)に加え、点源・面源取引が行われる場合、計画申請書は以下のことを記すものとする。

- (1)提案の実施に責任を持つ他者、組織、機関、資格を持つ土・水保全専門家
 - (2)取引が行われる地域の現状と予測される土地利用
 - (3)面源のあるところの水理評価ユニットの地図、11 枝または 14 枝の水理ユニットコードつき
 - (4)使われる BMP のリスト、実施検査の頻度、汚濁除去率と負荷削減率の評価の頻度、BMP の有効性を測るための水質モニタリングの頻度
- (D)流域取引（2 者以上の点源と 1 者以上の面源との間の取引）の場合、さらに以下のことを記す。
- (1)すべてのベースライン (2)すべての面源の水理評価ユニットの地図

7. 水質クレジットの要件

(A)水質クレジットは以下の要件を満たすこと。

- (1)時間当たり量で明確に定義されていること。それができないときは規則 8 にしたがつて他の適切な単位で表されていること
 - (2)単位は、TMDL の設定、NPDES 許可証あるいは他の規則の期間や規定と整合的であること
 - (3)(B)で示された場合を除き、NPDES 許可証の期間と同じ期間に発生すること
- (B)クレジットが NPDES 許可証遵守に不十分だとわかった時の対策としてプログラムがクレジットを保有してもよい

8. 水質クレジットと汚濁負荷の計算

- (A)連邦規則や NPDES 許可証に方法・手続（サンプリング法、モニタリング頻度など）が記されている場合は汚濁負荷の測定や水質取引に参加している許可証保有者の遵守の判断はそれを用いる
- (B)方法・手続が法令や NPDES 許可証に記されていない場合、水質クレジットは
- (1)他の方法がよいと長官が判断した場合を除き、BMP の負荷削減表を使って計算する
 - (2)表にない物質または BMP については、長官がよいと判断した一般的に受け入れられる工学的方法を用いる
- (C)負荷削減を評価するとき、長官は BMP 実施または土地利用の変化による汚濁負荷削減のモニタリングデータを考慮することができる

9. 水質ベースラインの決定

(A)TMDL 設定区域の許可証保有者のベースラインは(1)と(2)の少ないほうとする

- (1)TMDL の wasteload allocation (2)現在の排出水準
- (B)TMDL 非設定区域または規則 1 による用途を達成している区域の許可証保有者のベースラインは以下のいずれかの少ないものとする
- (1)現行の水質に基づく排出水準、(2)技術に基づく行為基準、(3)現在の排出水準

(C)面減のベースラインは現行の土地利用と農法（管理手法）による汚濁負荷とする。現行の管理手法は連邦、州、地域の規定に従い、

(1)正確で代表的で信頼できる過程と実施の情報、入手可能な流量とモニタリングのデータ、汚濁負荷データと記録を使って計算されるものであること

(2)特に記載のない限り、変更前の3年間の代表的な情報データを使って計算されるものであること。他の期間（連作体系全体の期間など）を使う場合は資格を持つ土・水保全専門家が認めたときや長官がよいとした時は使ってよい。

(D) NPDES 許可証の雨水排水施設のベースラインは

(1)許可証に記載された排水上限、あるいは

(2)許可証に記載された、または認められた管理手法の実施によって達成される汚染物質の削減量とする

(E)長官は以下の場合、水質取引管理計画の一部として提出された、他のベースライン設定方法を支持するデータや情報を考慮することができる

(1)データが3年間の代表的な情報を用いている

(2)データが正確で代表的で信頼できる過程と実施の情報、入手可能な流量とモニタリングのデータ、汚濁負荷データと記録を使って計算されている

10. 水質取引：取引比率

(A)許可証保有者間の取引では取引比率は1:1とする

(B)許可証保有者と面源との取引では

(1)TMDLが認められていない場合、取引比率は2:1とする

(2)TMDLが認められている場合、取引比率は3:1とする

(C)長官は(1)から(4)のことを考慮するような取引比率、あるいは(5)または(6)のような取引比率に変えることができる

(1)現地モニタリング・観察

(2)水質調査結果

(3)生息地復元事業が追加的に環境便益を生む可能性

(4)プロジェクト固有の情報

(5)水質基準を守るような比率

(6)他の情報で長官が認めるものに基づく比率

11. 水質取引：個別のNPDES許可証・一般許可証への取引の反映

(A)取引に参加する許可証保有者のNPDES許可証には水質取引を認めるために特別の条件が記される

(B)長官は地域的な悪影響を防ぐため、以下のような制限を水質取引に課すよう特別な条件をNPDES許可証に記すことができる

(1)上流との取引制限

(2)より高い取引比率の要求

(3)排水基準のうちクレジットが使える割合の制限

(C)長官は制限を付けるかどうかの判断にあたり、以下のような情報を用いることができる

- (1)地域的な影響を示すオハイオ州環境保護庁の水質調査結果
 - (2)モデルとデータ、汚染物質の環境容量
 - (3)流量の少ないところ、貯水池
 - (4)急性の効果を引き起こす物質
- (D)許可証保有者間の取引では、排水上限を(1)買い手は引き上げ、(2)売り手は引き下げる
- (E)点源面源取引では、点源の許可証には以下のものを含む
- (1)取引前の排水上限
 - (2)排水のモニタリングと報告事項
 - (3)水質クレジット
 - (4)特別の条件
- (F)長官は規則 3745-38 に基づき、流域一般許可証を発効することができる。これは同一流域内に TMDL に記された汚濁削減を達成するために点源のグループの上限を物質別に示すものである。

12. 記録、報告事項、遵守、執行、監査

- (A)記録
- (B)報告事項に関する要求事項
- (C)遵守、執行、監査

13. 市民参加に関する要求事項

- 管理計画提出者は以下のことをすること
- (A)最初の提出または見直しに際し、最低 1 回は市民集会を開くこと
 - (B)市民集会は提出後、長官の承認前に開くこと
 - (C)市民集会の少なくとも 30 日前に公告を取引地域の郡内の一般紙に出すこと。公告には以下のことを記すこと
 - (1)水質取引の実施に責任を持つ個人、組織、機関、資格を持つ土・水保全専門家
 - (2)水質取引に参加する NPDES の許可証保有者
 - (3)流域と取引地域の範囲
 - (4)当該水質取引の簡単な説明
 - (D)少なくとも 30 日前に市民集会の日時を長官に知らせること
 - (E)口頭・書面によるコメントを記した反応の概要を長官と集会の全参加者に示すこと

14. 水質モニタリングに関する要求事項

- (A)水質モニタリング計画は長官が以下のことをするのに十分な情報を含むこと
 - (1)水質に悪影響があったかどうかの判定
 - (2)水質の改善があったかどうかの記述
- (B)水質モニタリング計画には以下のことを記すこと
 - (1)対象汚染物質のリスト
 - (2)各汚染物質のモニタリング頻度
 - (3)モニタリングポイントの位置

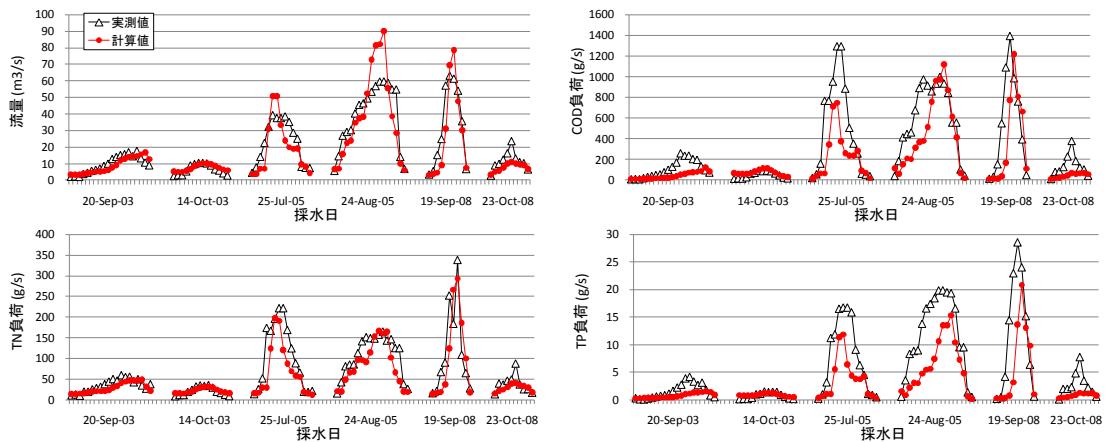
(4)各汚染物質の計測方法と手続き

(C)上記B項にしたがって提出された情報では取引が水質を改善するか悪化させるか判断できないときは、長官は申請者に追加的な情報の提供を求めることができる

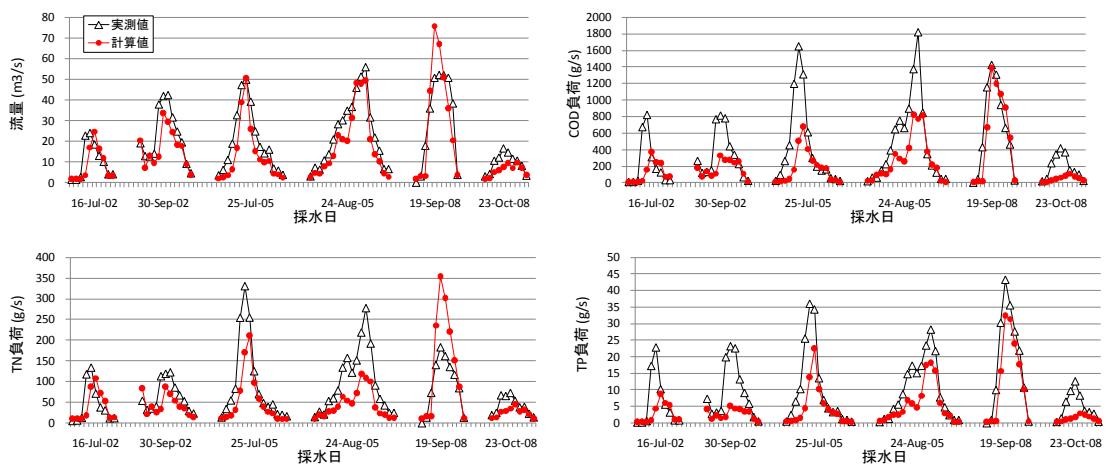
第3章 添付資料

1. 千葉県流量・水質データとモデル計算値との整合性

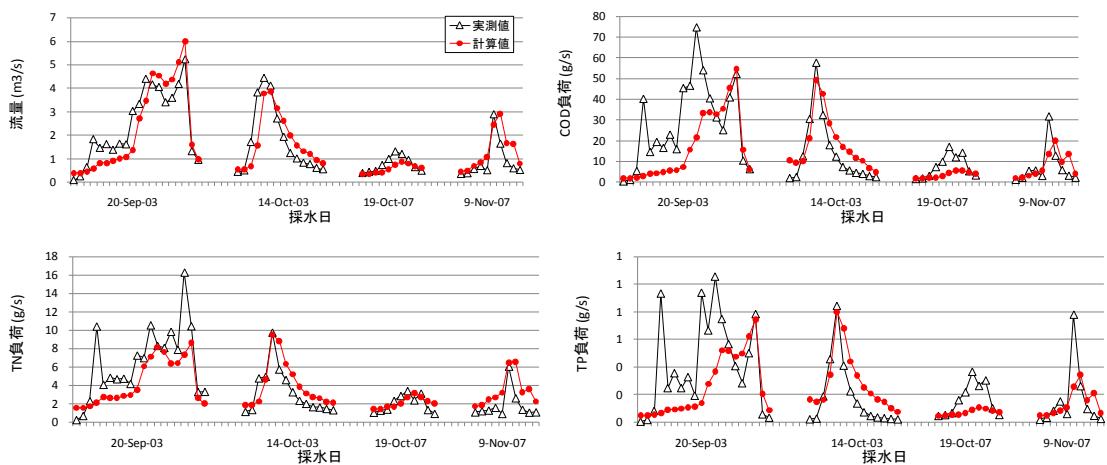
鹿島川地点



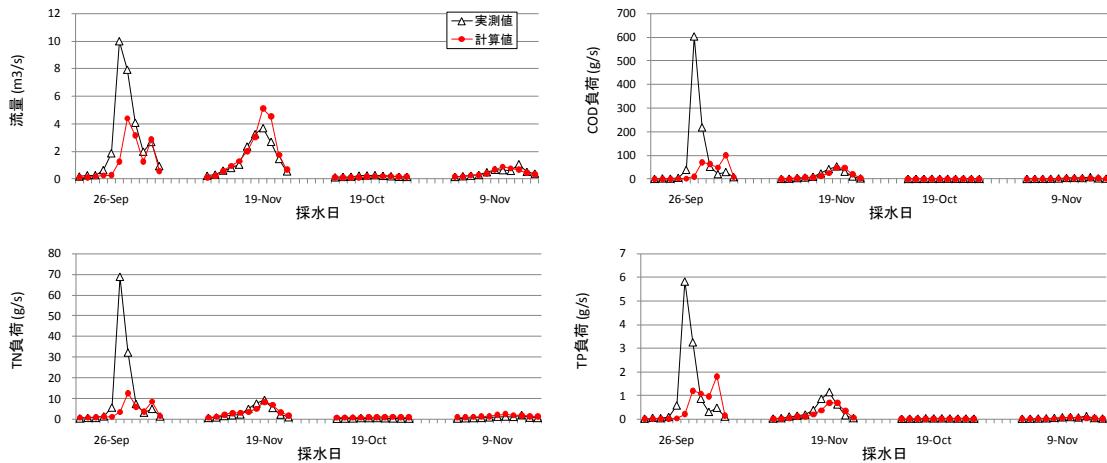
高崎川地点



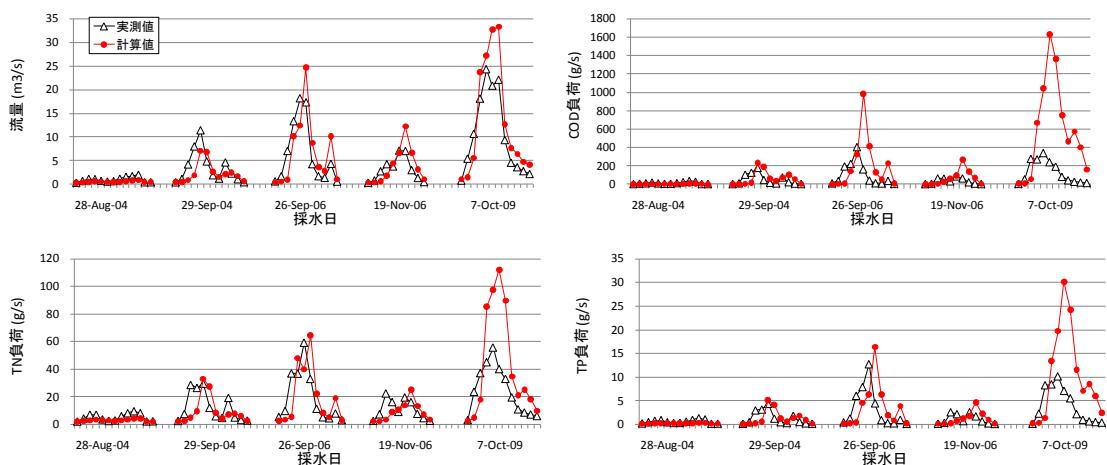
手繹川地点



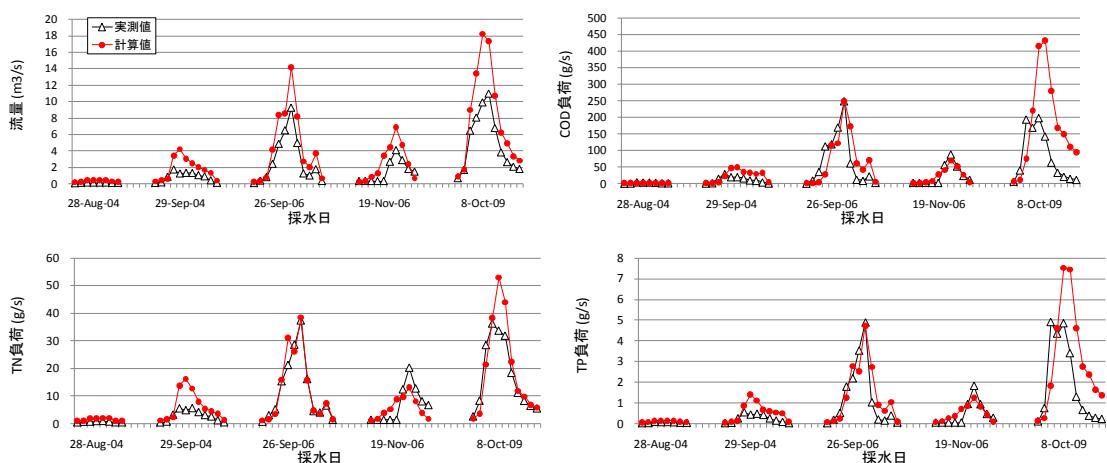
師戸川地点



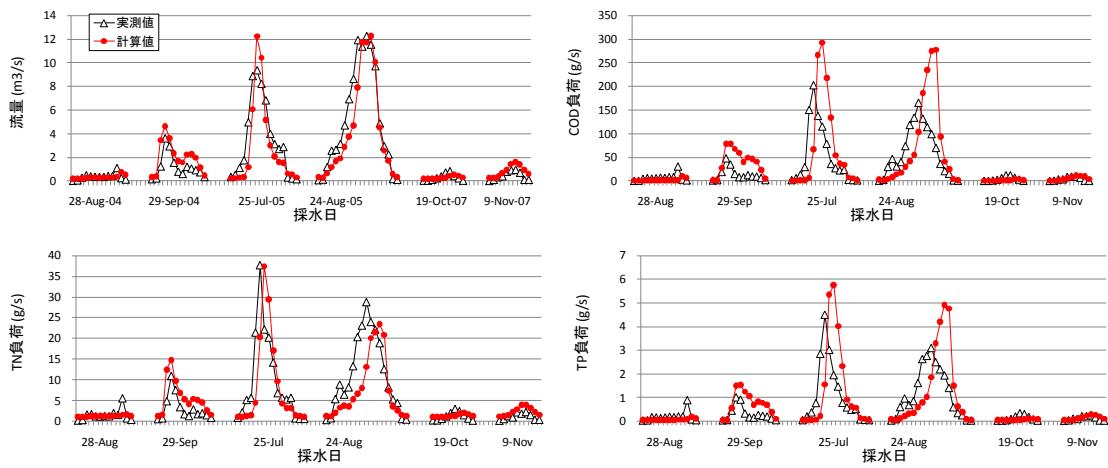
桑納川地点



神崎川地点



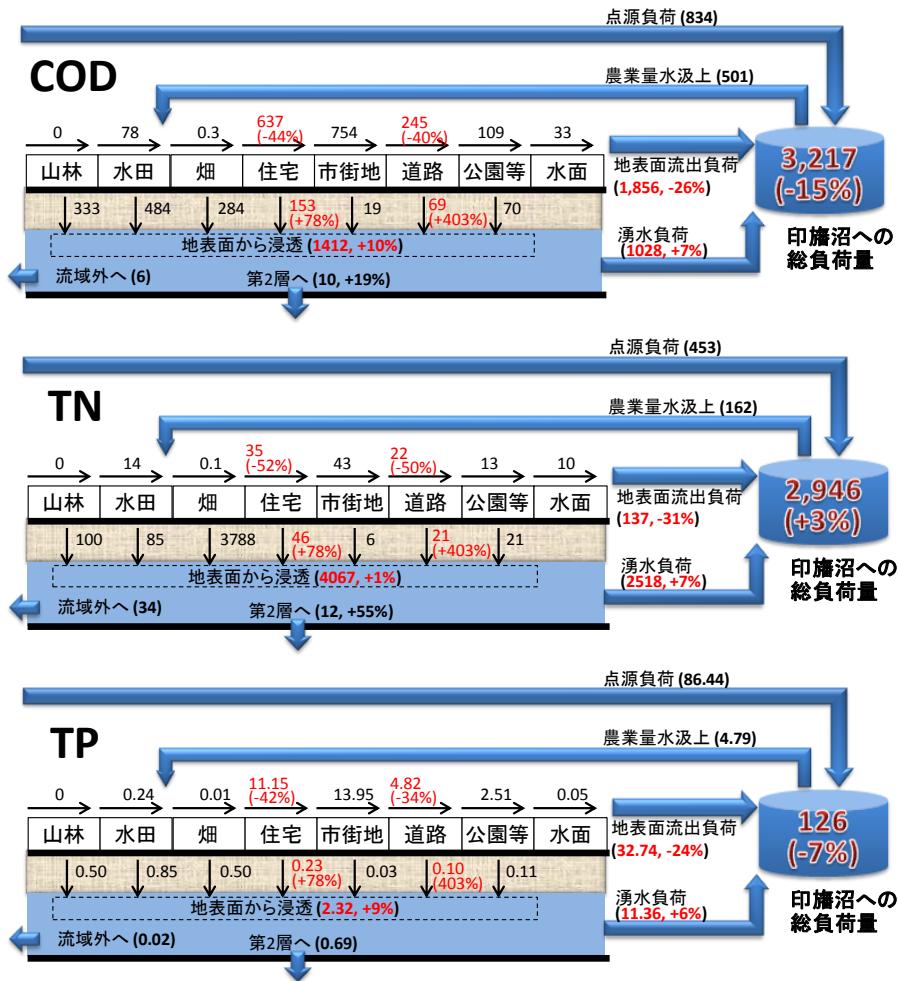
江川地点



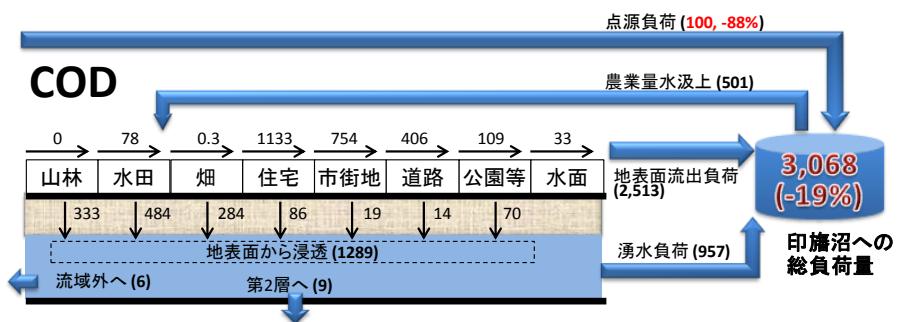
2. 汚濁負荷削減シナリオ別印旛沼への年間汚濁負荷量と内訳

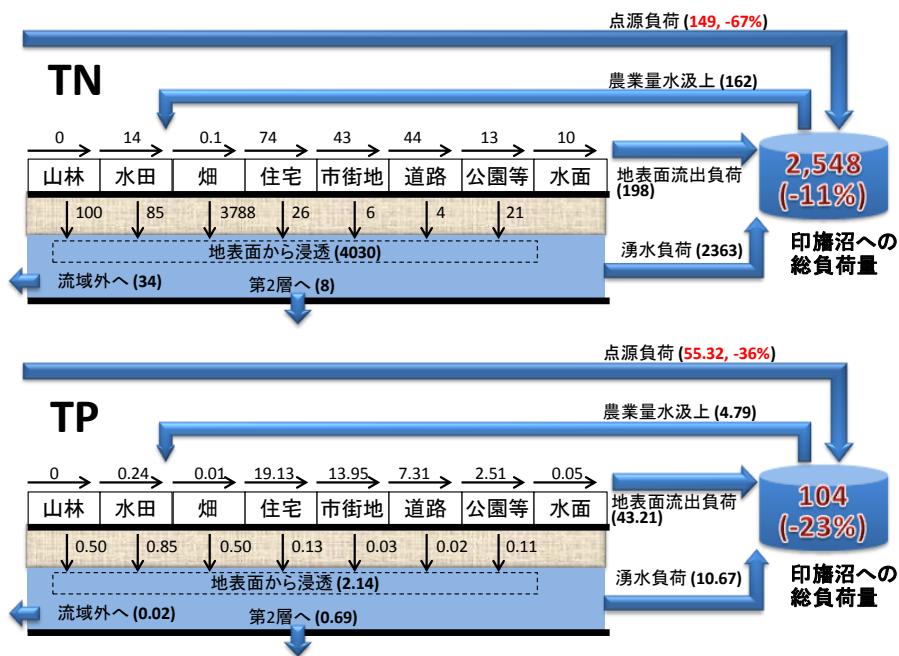
※ 項目の%は現状シナリオ（図3.8）での同項目の値を基準とした増減率の百分率を表す。

（1）雨水浸透施設の導入シナリオ

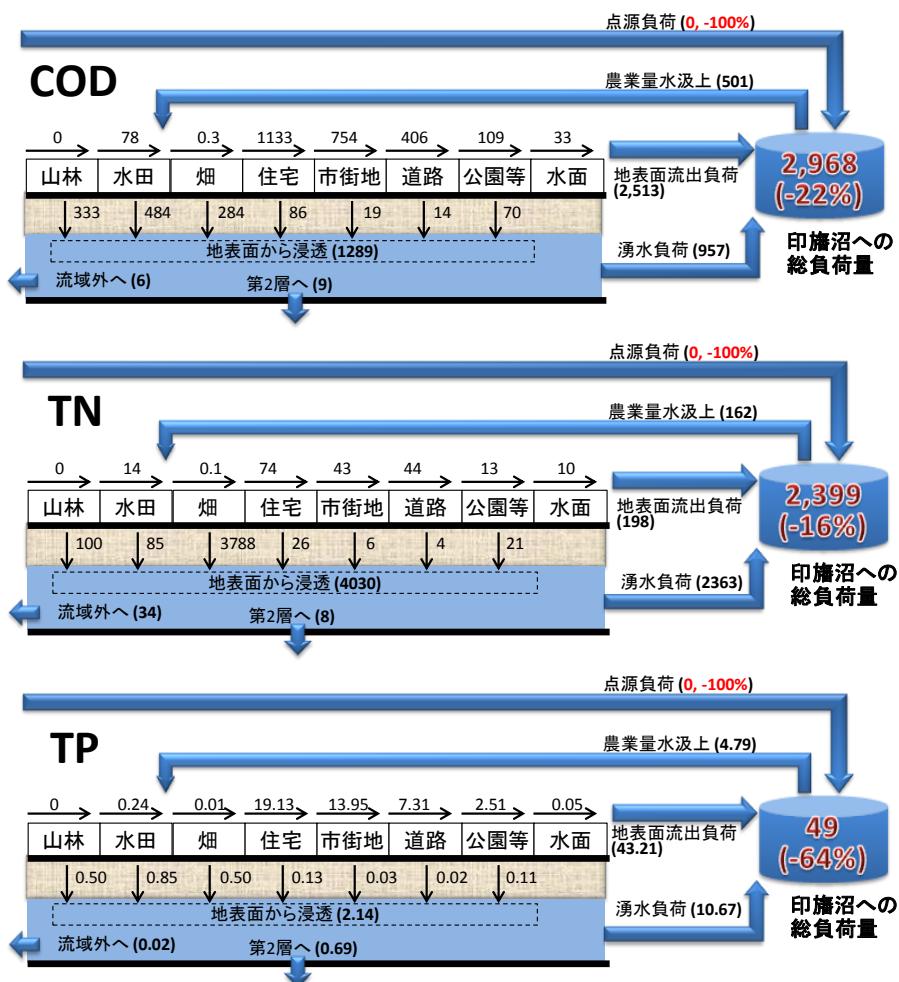


（2）合併浄化槽の導入シナリオ

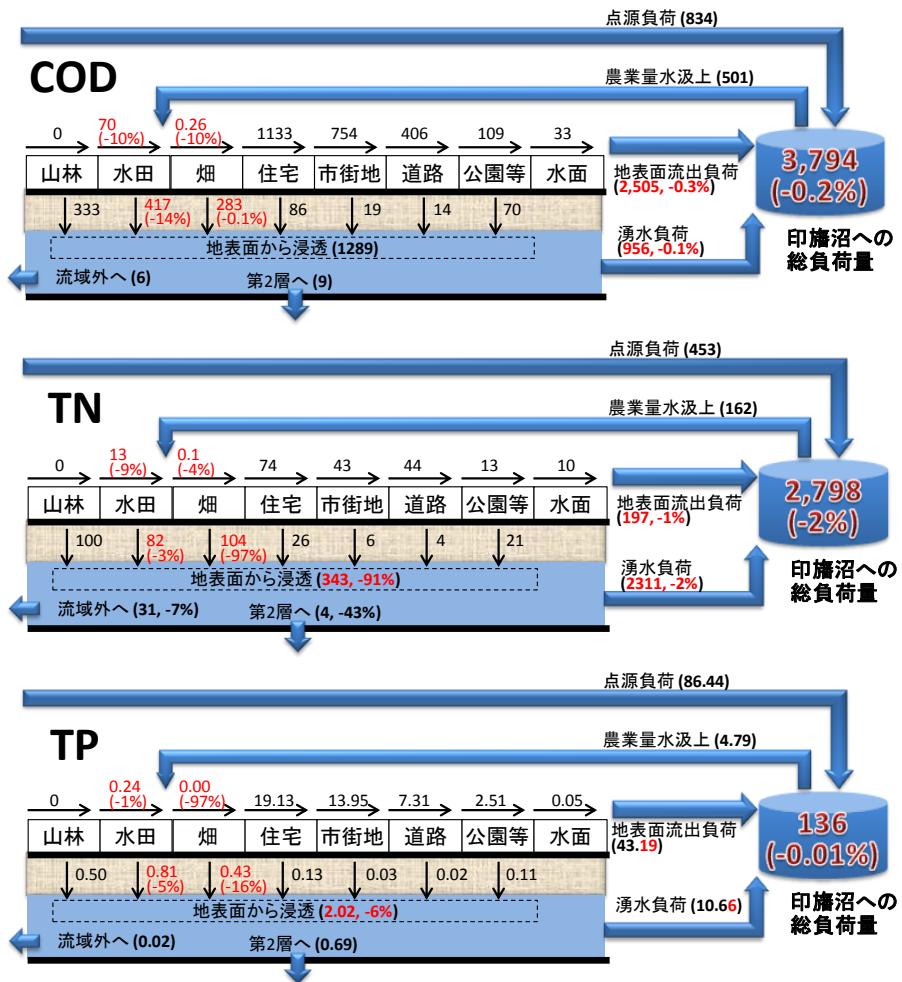




(3) 下水道の導入シナリオ



(4) 環境保全型農業シナリオ



3. 連続モニタリングに使用した計測機器

① 濁度 (ATU75W)

中濃度濁度と超高濃度の異なる計測レンジを持つセンサを搭載している。それぞれのレンジは 0~2,000ppm (カオリン相当) と 0~100,000ppm である。赤外後方散乱方式で精度は $\pm 0.6\text{ppm}$ と 2ppm である。挿入するメモリの容量を変えることで計測データの数を増やすことが可能である。



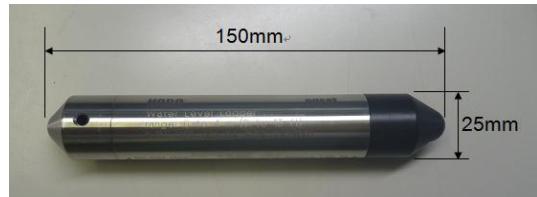
② 電気伝導度 (ACT-HR)

16 ビットデジタル形式で、最大 178,439 データの記録が可能である。測定範囲は 0-60mS/cm、測定精度は $\pm 0.02\text{ mS/cm}$ である。



③ 水位 (HOBO U20)

圧力式水位計測機器で、計測範囲は 4m、精度は $\pm 0.3\text{cm}$ である。水中と大気の計測値を利用して、水位の変化を表す。本計測では臼井第二機場に大気圧計測用のセンサを設置した。



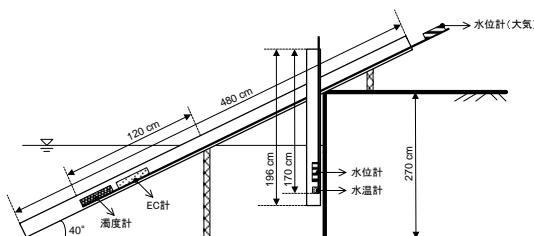
④ 水温 (HOBO UTBI-001)

計測レンジは-20°C~70°Cであり、精度は 0°C~50°C の範囲では $\pm 0.2^\circ\text{C}$ である。

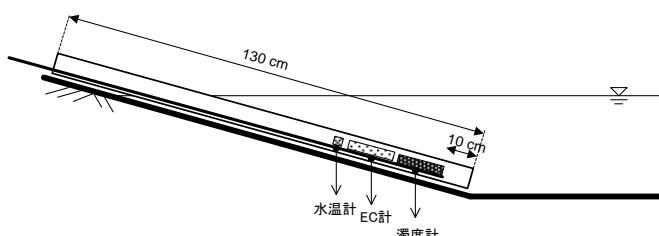


4. 印旛沼流入河川における水質モニタリング状況（設置状況）

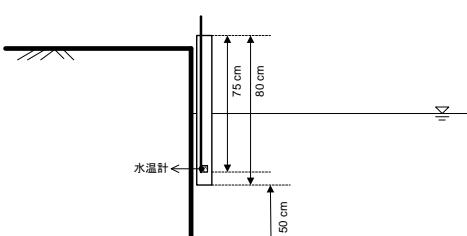
① 白井第二機場



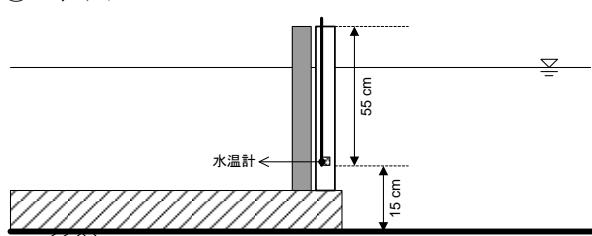
② 手繩川



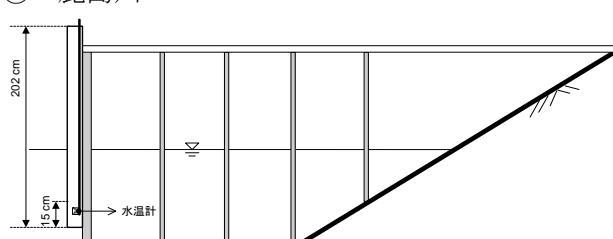
③ 高崎川



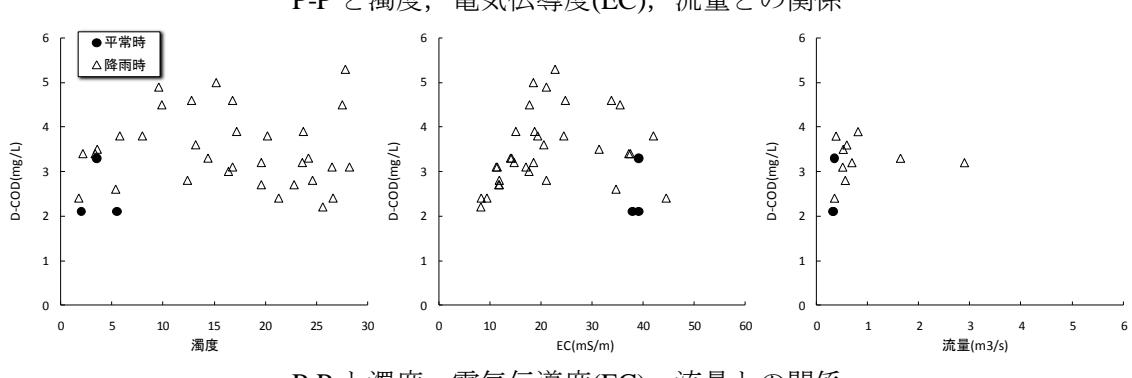
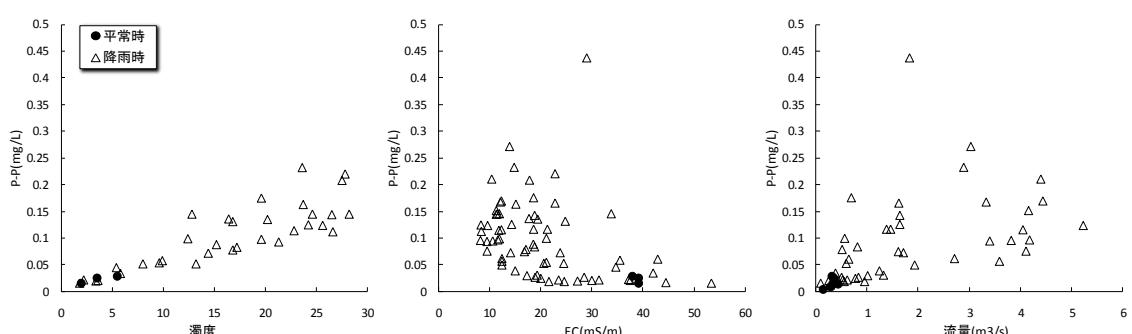
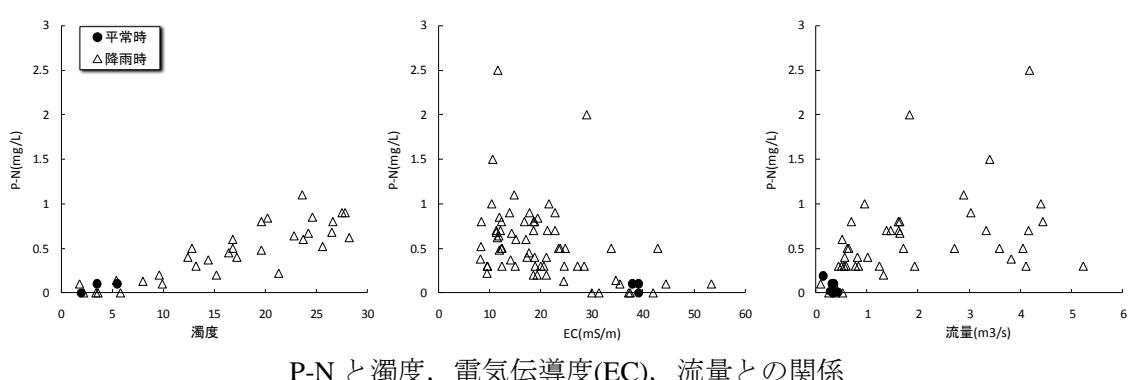
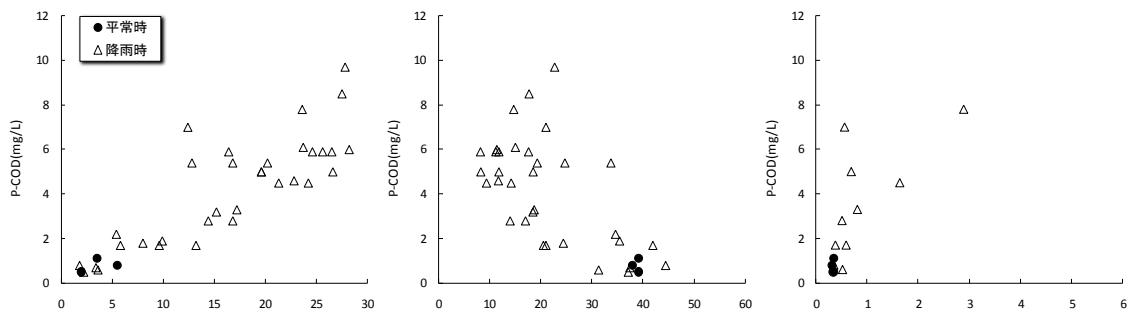
④ 江川

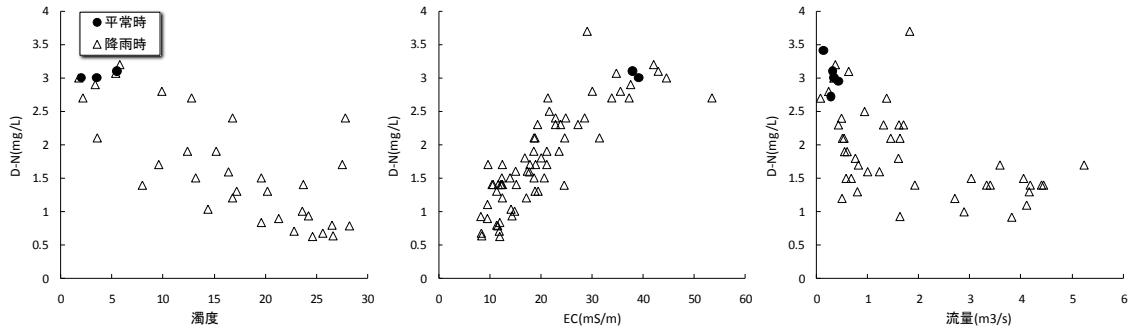


⑤ 鹿島川

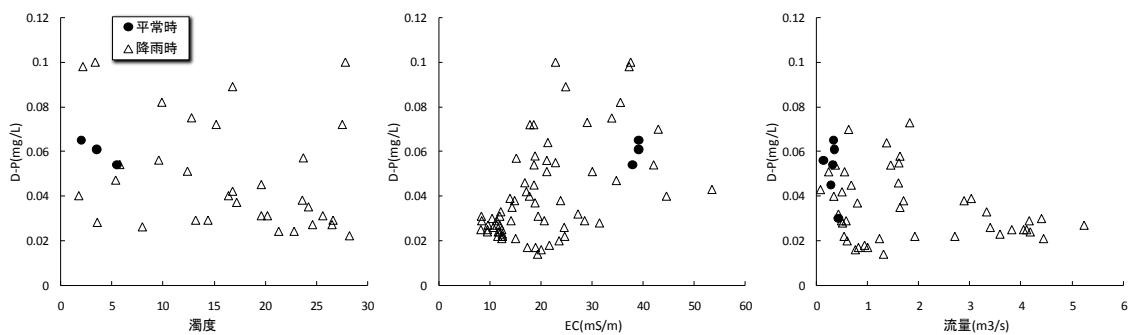


5. 手織川地点における濁度と電気伝導度(EC)の項目と溶存態 (Dissolved matter) と懸濁態 (Particulate matter) の COD, T-N, T-P との関係





P-P と濁度, 電気伝導度(EC), 流量との関係



P-P と濁度, 電気伝導度(EC), 流量との関係

6. 汚濁負荷削減対策のモデル上での反映における考え方と基礎式

1) 雨水浸透マス

A) モデル化の考え方

市街地および宅地において、メッシュ上に、貯留浸透施設の貯留量（入力データとして設定）をもつ貯留タンクを想定することにより、貯留浸透の効果を計算する。

ここで考慮している対策は、雨水浸透マスおよび浸透トレーニチ等である。

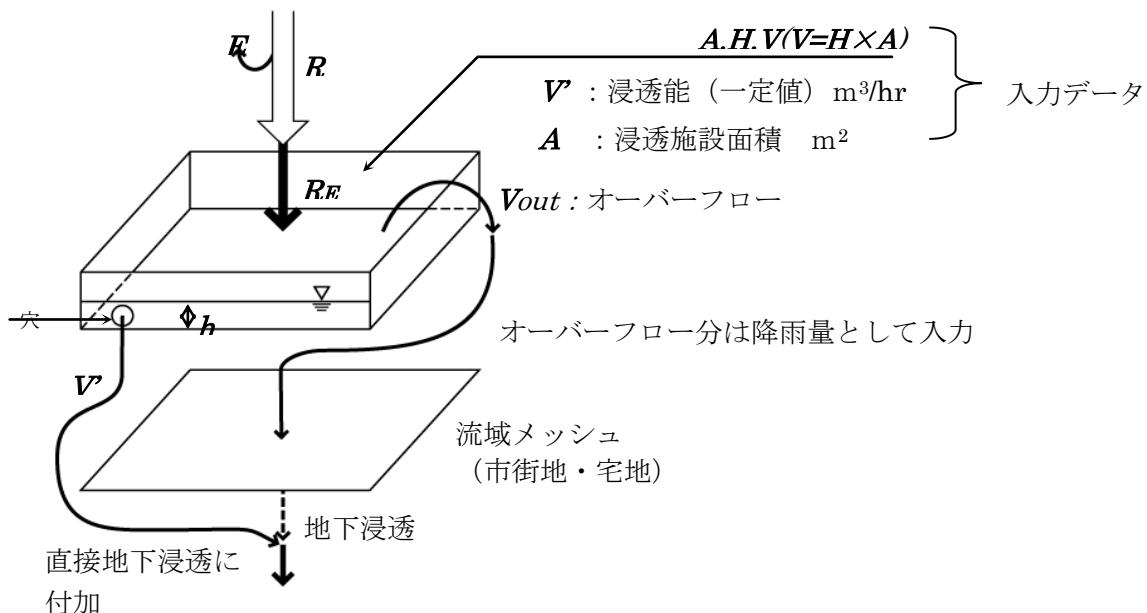


図 雨水浸透マスのモデル化

B) 計算式

計算式は以下の通り。

$$h_{t+1} = h_t + R_E - \frac{V_{out}}{A} - \frac{V'}{A} \Delta t$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h_t \geq H \text{ の場合} \\ V_{out} = (R_E - \frac{V'}{A} \Delta t) \times A \\ h_t < H \text{ の場合} \\ V_{out} = 0 \end{array} \right.$$

C) モデル解析上での効果

地下浸透量が増加するとともに、メッシュに入る降雨量が減少するため、表面流出量、表面発生負荷量が減少する。

2) 透水性舗装

A) モデル化の考え方

市街地、道路において、透水性舗装の設置により増加した地下浸透量を、直接、蒸発散モデルにより計算される地下浸透に付加することにより、対策の効果を評価する。

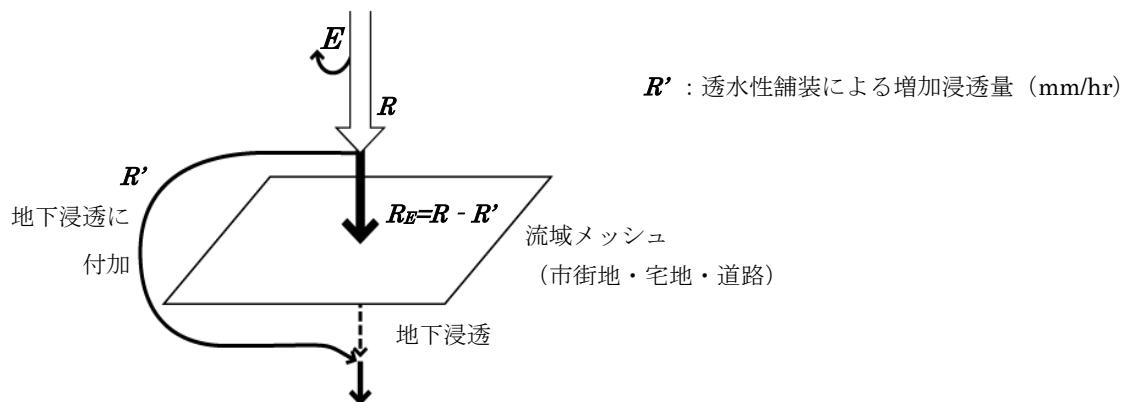


図 透水性舗装のモデル化

B) 計算式

計算式は、以下の通り。

$$R' = V_p \times A$$

V_p : 透水性舗装の浸透能 $\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$

A : 舗装整備面積 m^2

} 入力データ

$$\left\{ \begin{array}{l} R > R' の場合 \\ \quad R_E = R - R' \\ R < R' の場合 \\ \quad R_E = 0, \quad R' = R \end{array} \right.$$

C) モデル解析上の効果

雨水浸透マスと同様に、地下浸透量が増加するとともに、メッシュに入る降雨量が減少するため、表面流出量、表面発生負荷量が減少する。

3) 緑地保全

A) モデル化の考え方

GIS データベースにおいて、各メッシュの緑地に関する地目（山林、畑、公園等）の土

地利用割合を増加させることにより、緑地を保全する。

また将来への土地利用の変化により山林、畠等が住宅地化、市街地化する（その土地利用割合が増加する）メッシュについて、その土地利用を山林、畠等のままですることにより、緑地を保全する。

B) モデル解析上での効果

メッシュでの浸透能力が維持され、地下浸透量が保持され、表面流出量・表面発生負荷量の増加を抑制できる。

4) 下水道

A) モデル化の考え方

GIS データベースにおいて、汚水処理形態別人口を変更することにより、生活系の排出負荷量を削減する。

B) モデル解析上での効果

メッシュで付加される負荷量が減少するため、メッシュの水質濃度が低下する。

5) 合併処理浄化槽（高度処理型合併処理浄化槽）

A) モデル化の考え方

「下水道」と同様に、GIS データベースにおいて、合併処理浄化槽あるいは高度処理型合併処理浄化槽の処理人数を変更することにより、生活系の排出負荷量を削減する。

B) モデル解析上での効果

下水道と同様に、そのメッシュで付加される負荷量が減少するため、メッシュの水質濃度が低下する。

6) 都市排水路等での負荷削減

A) モデル化の考え方

流域の地表面において、指定するメッシュに対して、施設等による負荷の削減量を与えることにより、負荷削減効果を見る。

B) 基礎式

下式により地表面の水量・水質を計算する。

$$\text{水量: } H' = H - \frac{Q \cdot \Delta t}{A}$$

$$\text{水質: } C' = C - \frac{H \cdot A \cdot C - L \cdot \Delta t}{H' \cdot A}$$

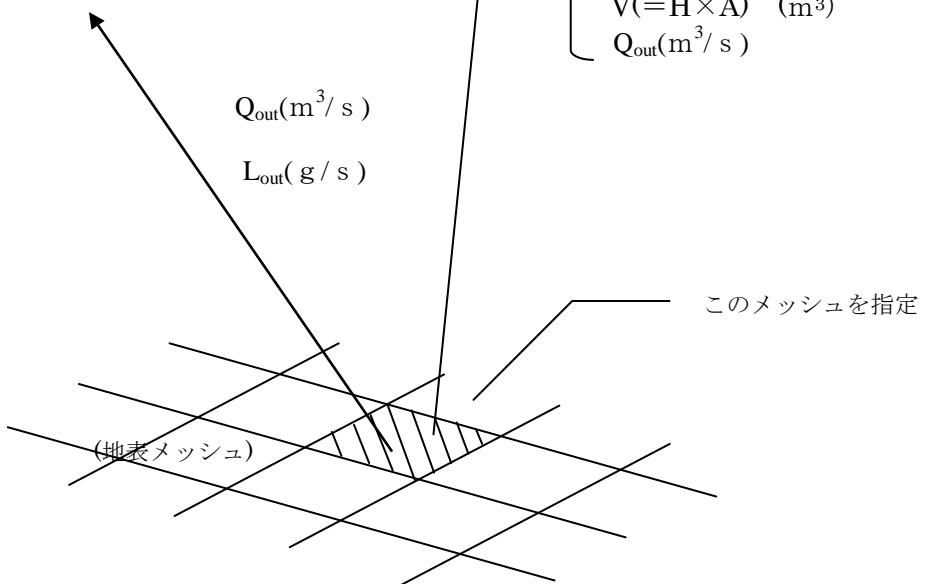


図 都市排水路等における負荷削減のモデル化

C) モデル解析上での効果

地表面での負荷量を系外へ除去するため、下流へ流下する負荷量が減少する。

7) 事業場排出負荷削減

A) モデル化の考え方

GIS データベースにおいて、事業場の排水量・排出負荷量を変更することにより、事業場排出負荷量を削減する。

B) モデル解析上での効果

下水道や合併処理浄化槽と同様に、メッシュで付加される負荷量が減少するため、メッシュの水質濃度が低下する。

8) 路面清掃

A) モデル化の考え方

地表流モデルでの雨天時負荷流出モデルでの計算において、指定する（路面清掃を行う）

日, 指定するメッシュにおいて, 負荷堆積量 S に清掃による削減率 E (%) を乗じて負荷堆積量を減じる.

B) 基礎式

$$S' = S \times \left(1 - \frac{E}{100}\right)$$

ここで, S' : 削減後負荷堆積量 (g), S : 負荷堆積量 (g),
 E : 清掃による堆積量の削減率 (%)

C) モデル解析上での効果

表面発生負荷量に起因する負荷堆積量 S を減じるため, 降雨時に発生する負荷量が減少する.

9) 調整池での負荷トラップ・清掃

A) モデル化の考え方

- 調整池で流出水が一時的に滞留することによる沈降 (トラップ) 効果, および堆積物の清掃による除去効果を算定する.
- 調整池内の堆積を堆積物量 S とし, 沈降・除去により増加・減少する.
- 降雨時に調整池へ大きな流入があると, 流入量に応じて堆積が再浮遊・流下する.
- 負荷トラップの場合, 除去率 (沈降速度) を変える (大きくする).
- 清掃の場合, 清掃日時を指定し, 除去割合 (清掃度) を与えて, 堆積物が除去されることで対策効果を見る.

B) 基礎式

調整池での水質計算において, 指定した日, 指定した調整池において, 堆積物量 S を除去する.

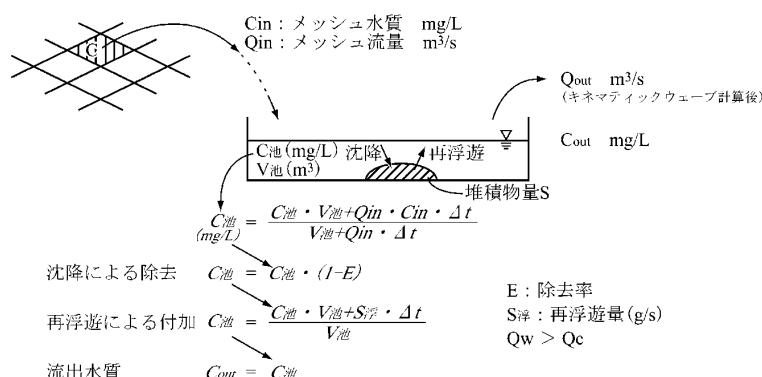


図 調整池における汚濁負荷削減のモデル化

C) モデル解析上での効果

調整池清掃実施以後において、降雨時の S の再浮遊による調整池水質の増加を抑制することができるため、流下する負荷量が減少する。

10) 環境保全型農業（施肥量の削減）

A) モデル化の考え方

現況の値として設定する水田、および畑の施肥量を減じることにより、削減効果を見る。

B) モデル解析上での効果

施肥量を減じることにより、地下へ浸透する負荷が減る。これにより地下水水質、湧水水質が改善し、平常時の河川水質が改善する。

11) 初期雨水対策

A) モデル化の考え方

市街地や住宅団地等からの雨水流出水のうち、雨水流出初期において、ある一定量までを貯留し浄化することにより、汚濁負荷の流出を抑制しようとする対策である。流末の雨水貯留槽に初期雨水をため込み、貯留した汚濁水を浄化させる。貯留量を超えた量はそのまま流出する。

B) 基礎式

地表流量 Q が増加した時、降雨があったと判断し、その時点から、地表面流量を一定量 ($V_{貯}$) 貯まるまでため込む。その間、下流メッシュへの流下はない。 $(Q_{out}=0, L_{out}=0)$ 一定量 ($V_{貯}$) を超えると、通常の計算 ($Q_{out}=Q, L_{out}=L$) に戻す。

$$V = \sum_t^T (Q_t \cdot \Delta t)$$

$V > V_{貯}$ となるまで $\left\{ \begin{array}{l} Q=0 \text{ とする.} \\ L=0 \end{array} \right.$

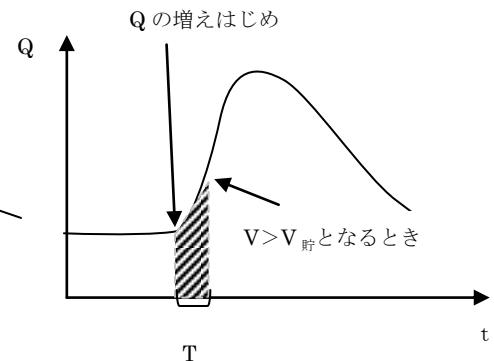
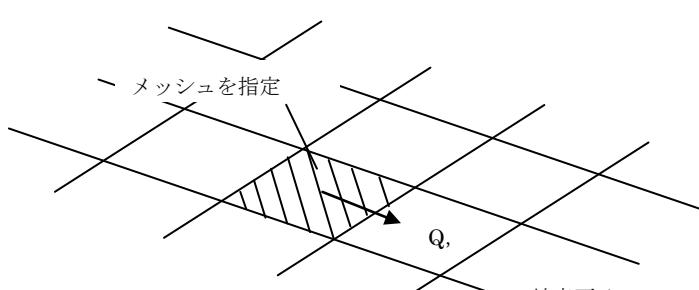


図 初期雨水対策における汚濁負荷削減のモデル化

C) モデル解析上の効果

高濃度の初期雨水の負荷量を系外へ除去するため、流下する負荷量が減少する。

12) 路面排水処理

A) モデル化の考え方

初期の雨水による路面排水（First Flush）によって流れ出る汚濁物質を選択的に浄化することを目的として、路面排水処理装置を設置する。

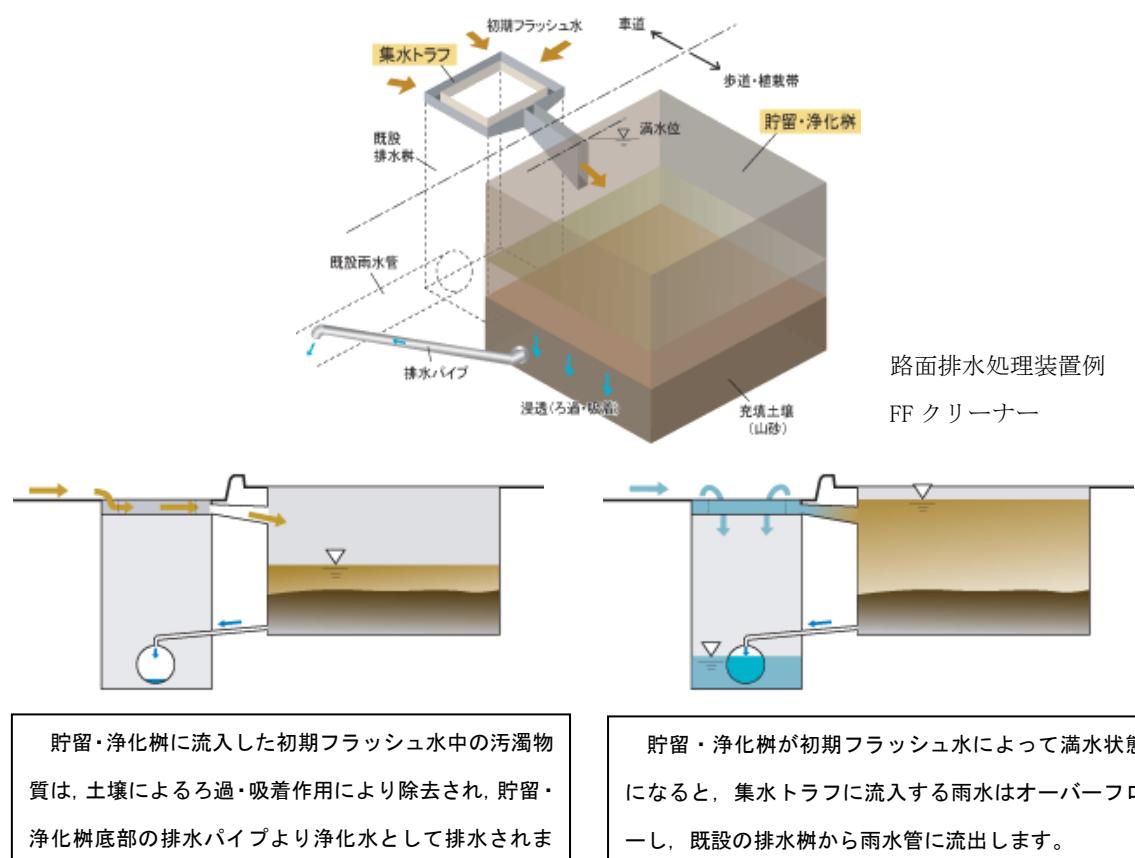


図 路面排水処理装置（FF クリーナー）の模式図とメカニズム

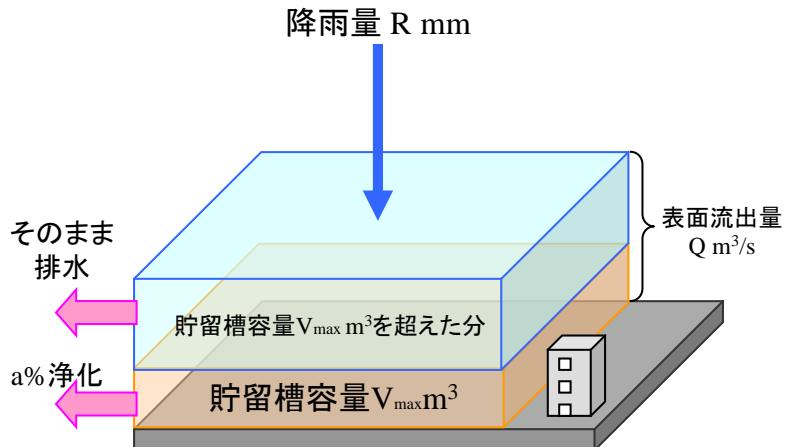


図 路面排水処理装置 (FF クリーナー) における汚濁負荷除去のモデル

モデルでは、計画除去率 (COD, TN, TP 別%), 貯留槽容量 (m³) を設定し、貯留総容量を超えない地表流量の範囲内では地表面負荷が計画除去率分除去されると考える。対象とする地目はユーザーが指定可能とする。

B) 基礎式

$$V_t = V_{t-1} + Q_t \Delta t - \Delta V \Delta t$$

ただし、

$$V_t \leq 0 \text{ のときは } V_t = 0$$

$V_t \geq V_{\max}$ のときは $V_t = V_{\max}$
とする。

$V_t = V_{\max}$ のとき、対象地域からの負荷量は

$$L_t = k \times S^m \times (Q_t - Q_c) Q_t^n \quad (\text{変化無し})$$

$0 \leq V_t < V_{\max}$ のとき、対象地域からの負荷量は

$$L_t = (1 - a/100) \times \{k \times S^m \times (Q_t - Q_c) Q_t^n\} \quad (\text{浄化率がかかる})$$

ただし、

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{\max} : \text{設定した貯留槽容量 (m}^3\text{)} \\ \Delta V : \text{単位時間あたり貯留槽からの放流量 (m}^3/\text{s}\text{)} \\ \Delta t : \text{タイムステップ (sec)} \\ V_t : \text{時間 } t \text{ における貯留槽内の雨水量 (m}^3\text{)} \\ Q_t : \text{時間 } t \text{ における表面流出量 (m}^3/\text{s}\text{)} \\ Q_c : \text{限界流量 (m}^3/\text{hr}\text{)} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} S : \text{堆積負荷量 (g)} \\ k, m, n : \text{パラメータ} \\ L_t : \text{時間 } t \text{ における流出負荷量 (g/s)} \\ a : \text{浄化率 (\%)} \end{array} \right.$$

C) モデル解析上での効果

降雨時の流出負荷量を系外へ除去するため、降雨時に下流へ流下する負荷量が減少する。

13) 河川・排水路での直接浄化

A) モデル化の考え方

施設等を設置し、河川水を汲み上げて礫間接触酸化法等により浄化し、浄化した水を放流する対策である。浄化施設が設置されている河川メッシュを指定し、入力データで与える除去率 E によって、負荷量を削減（水質を低下）させることにより、浄化効果を算出する。

B) 基礎式

$$\text{浄化の計算: } C' = \frac{Q' \cdot C (1 - E)}{Q'}$$

$$\text{浄化後河川水質の計算: } C = \frac{(Q - Q') \cdot C + Q' \cdot C'}{Q}$$

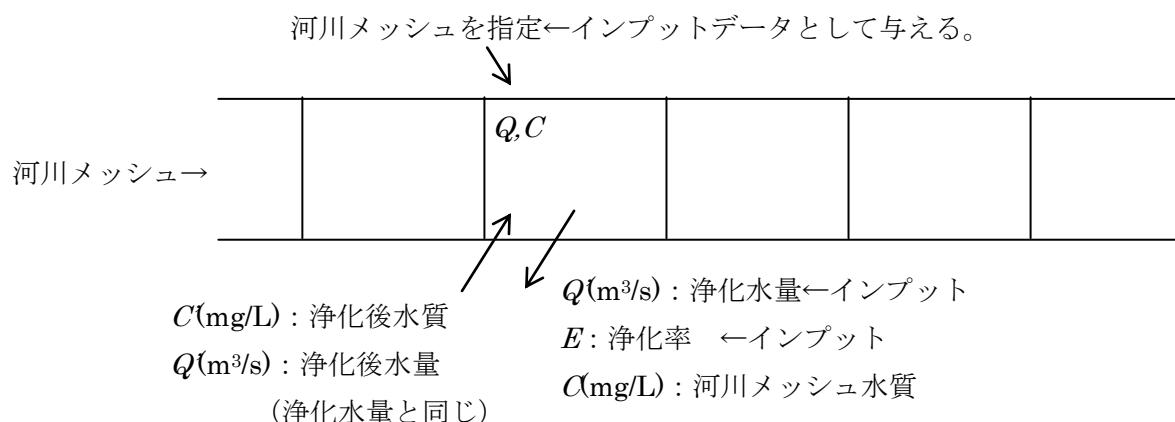


図 直接浄化における汚濁負荷除去のモデル化

C) モデル解析上での効果

河川流量（水量）はそのままだが、水質を低減させるため、下流へ流下する負荷量が減少する。

14) 淨化用水の導入

A) モデル化の考え方

流域外あるいは流域内から導水して放流し、河川の流況や水質を改善する対策である。

B) 基礎式

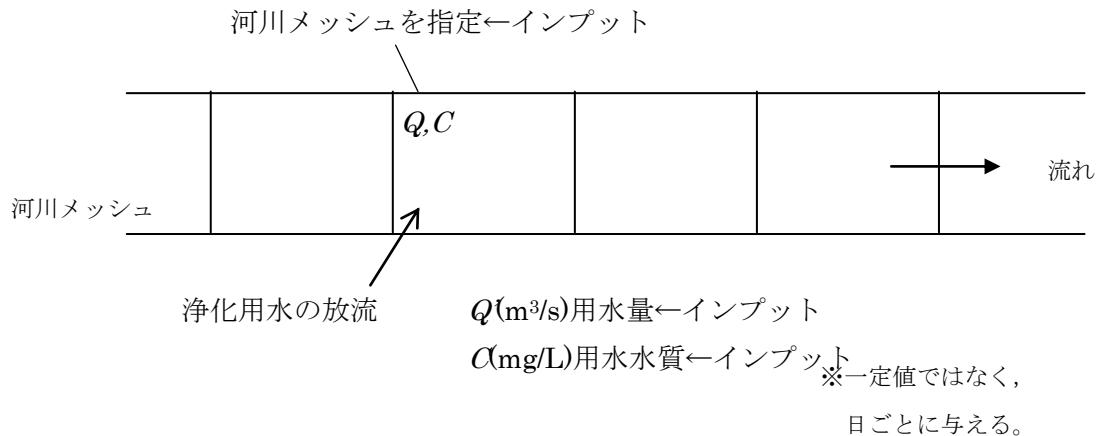


図 淨化用水導入における汚濁負荷除去のモデル化

$$\text{用水導入後 流量 } Q = Q + Q'$$

$$\text{水質 } C = \frac{Q \cdot C + Q' \cdot C'}{Q + Q'}$$

C) モデル解析上での効果

系外から放流するため、その河川での負荷量としては増加する。ただし、基本的に水質濃度の低い水を放流することから、水質濃度が低下する。

また、流量が増加することから流末の閉鎖性水域の流況が改善（回転率向上）し、閉鎖性水域の水質が改善する。

15) 湿地浄化

A) モデルでの考え方

河道メッシュで湿地帯位置を指定し、その河道メッシュの負荷量を浄化することにより、負荷削減の効果を評価する。

$$C'V = CV - C_{in} \cdot Q + C_{out} \cdot Q$$

$$Q_{in} = Q_{out} = Q : \text{浄化流量 (m}^3/\text{日})$$

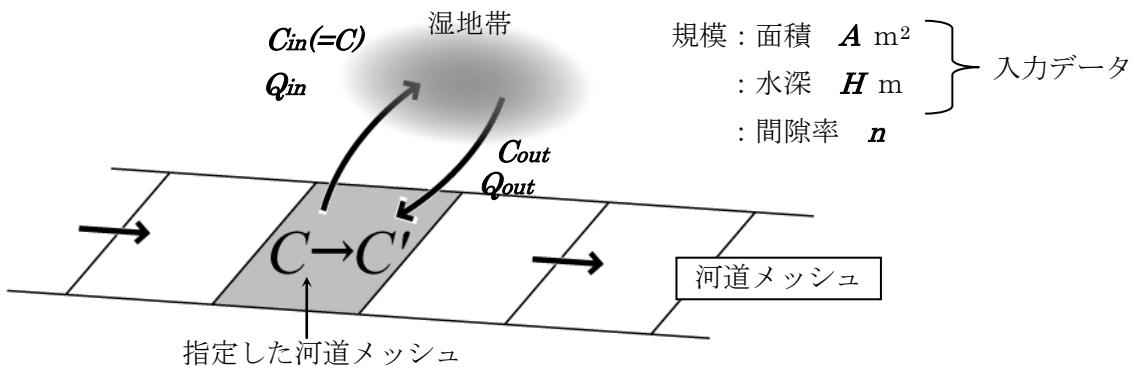


図 湿地浄化における汚濁負荷除去のモデル化

B) 計算式

計算式は以下の通り.

COD

$$C_{out} = C_{in} \times \exp(-0.678 \times 1.06 \times HRT)$$

T-N

$$C_{out} = C_{in} \times \exp(-0.376 \times 1.15 \times HRT)$$

T-P

$$C_{out} = C_{in} \times \exp\left(\frac{-2.73}{HLR}\right)$$

ここで、

$$HRT = \frac{A \times H \times n}{Q} \quad : \text{滞留時間 (日)}$$

$$HLR = 100 \times \frac{Q}{A} \quad : \text{水面積負荷 (cm/日)}$$

水質に関するアンケート調査

はじめに

このアンケート調査は水質について皆さんのご意見をお伺いするものです。このアンケートは京都大学農学研究科栗山浩一研究室の委託を受けて株日本リサーチセンターが実施しています。皆さんにお答えいただいた内容は、公表時には集計されたもののみ用います。皆さんの氏名や年齢などの個人情報を用いることはございません。率直にお答えください。

水道水についておたずねします

問1 あなたは、普段、水をどのように飲んでいますか。この中からいくつでもあげてください。(いくつでも)

- | | |
|----------------------------|-------|
| 1. 特に措置を講じずに、水道水をそのまま飲んでいる | 27.2% |
| 2. 淨水器を設置して水道水を飲んでいる | 50.2% |
| 3. ミネラルウォーターなどを購入して飲んでいる | 46.2% |
| 4. 水道水を一度沸騰させて飲んでいる | 16.8% |
| 5. その他() | 7.1% |

※アラート: 問1-2浄水器 OFF & 問3≥1、問1-2浄水器 ON & 問3=0

※アラート: 問1-3ミネラルウォーター OFF & 問4≥1

●問1-3ミネラルウォーター ON & 問3=0は、OKとする。(無料の水をもらっている人が問1-3にONした場合を想定)

問2 あなたの家庭では、水道料金は一ヶ月でいくらぐらいですか。

一ヶ月で 平均 4,632 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問3 あなたの家庭では、浄水器の維持費用に使っている金額は一ヶ月でいくらぐらいですか。本体価格は含まず、カートリッジなどで使っている金額を一ヶ月当たりに換算してください。また使用していない場合は0円とお答えください。

一ヶ月で 平均 537 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問4 あなたの家庭では、ミネラルウォーターに使っている金額は一ヶ月でいくらぐらいですか。ペットボトル、ビンなどの通常のもの、宅配タンク型のものなどすべて含んでお答え下さい。使用していない場合は0円とお答えください。

一ヶ月で 平均 769 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問5 あなたは、現在使用している水道水の質について満足していますか。(ひとつだけ)

- | | |
|-----------------------|-------|
| 1. 全ての用途において満足している | 36.8% |
| 2. 飲み水以外の用途において満足している | 53.7% |
| 3. 全ての用途において満足していない | 9.5% |

問6 水道水の質について、あなたは、今後どのようにすべきだと思いますか。(ひとつだけ)

- | | |
|---------------------------------------|-------|
| 1. 現状より水道料金等の負担が増えても、質を高くする | 16.7% |
| 2. このままでよい | 80.4% |
| 3. 現状より水道料金等の負担を少なくするため、質を低くしてもしかたがない | 2.9% |

問7 水道水の水質に関する以下の対策について、あなたはどのくらい重要だと思いますか、それとも重要でないと思いますか。それぞれについて一つをお選びください。(それぞれ一つずつ)

	非常に重要	ある程度重要	ふつう	それほど重要ではない	まったく重要ではない
カビ臭の除去	1 57.7%	2 30.9%	3 10.5%	4 0.9%	5 0.0%
カルキ臭(消毒用の塩素臭)の除去	1 43.8%	2 40.6%	3 13.7%	4 1.9%	5 0.0%
サビ色の除去	1 64.2%	2 24.9%	3 10.3%	4 0.7%	5 0.0%
有害物質の除去	1 79.1%	2 12.9%	3 7.5%	4 0.5%	5 0.0%

*改ページ

千葉県印旛沼についておたずねします

図は千葉県の印旛沼の流域を示しています。印旛沼の流域には約 76 万人が住んでいます。印旛沼は、流域内の水道水、工業用水、農業用水などに利用されています。



この図は以下にあります

<http://inba-numa.com/what/syoukai/inbanumatowa>

問8 あなたは、これまでに印旛沼を訪れたことがありますか。(ひとつだけ)

1. 訪れたことがある →問8-2へ 46.0%
2. 訪れたことはない →問9へ 52.0%
3. わからない →問9へ 2.0%

*改ページ

問8-2 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。どのくらいの頻度で訪れてていますか。(ひとつだ

け)

- | | |
|---------------|-------|
| 1. 週に1回以上 | 0.5% |
| 2. 一ヶ月に1~3回程度 | 1.7% |
| 3. 1年に数回程度 | 11.8% |
| 4. 10年に数回程度 | 16.6% |
| 5. 10年に1回未満 | 15.5% |

問8-3 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。過去一年では、印旛沼のどこを訪れましたか。

訪問した場所(地名または施設名)を自由にご記入ください。複数の場所を訪れた場合は、それぞれご記入ください。

*無回答はアラート

問8-4 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。印旛沼の水質をどのように思いましたか。(ひと

つだけ)

- | | |
|-----------|-------|
| 1. 非常によい | 0.3% |
| 2. 少しよい | 0.6% |
| 3. ふつう | 11.9% |
| 4. 少し悪い | 10.9% |
| 5. 非常に悪い | 11.8% |
| 6. 覚えていない | 10.6% |

問8-5 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。印旛沼を訪問した理由を教えてください。以下

から該当するものをいくつでもお選びください。(いくつでも)

- | | | | |
|-------------|--------------|-------------------|---------------|
| 1. 散歩 17.0% | 4. キャンプ 1.0% | 7. ウィンドサーフィン 0.0% | 10. 仕事 3.8% |
| 2. 水泳 0.2% | 5. ヨット 0.0% | 8. カヤック 0.1% | 11. その他 11.0% |
| 3. 釣り 4.9% | 6. ボート 0.1% | 9. 観光 16.7% | () |

*改ページ

問9 あなたは印旛沼に対してどのような印象を持っていますか。それについて一つをお選びください。(そ

れぞれ一つずつ)

非常に ある程度 ふつう それほどそう まったくそうは わからない
そう思う そう思う は思わない は思わない

汚染が進んでいる	1 11.4%	2 37.8%	3 16.8%	4 12.8%	5 0.4%	6 20.9%
多種類の生物が生息している	1 6.9%	2 37.3%	3 22.8%	4 11.0%	5 1.1%	6 21.0%
漁業が盛んだ	1 0.9%	2 8.2%	3 23.1%	4 32.7%	5 12.6%	6 22.6%
観光利用が盛んだ	1 0.8%	2 6.2%	3 22.8%	4 34.0%	5 16.6%	6 19.7%
環境対策が進められている	1 1.6%	2 16.8%	3 29.6%	4 24.7%	5 5.4%	6 22.0%

印旛沼の水質についておたずねします

印旛沼流域では、高度経済成長期以後、急速に宅地開発が進み、流域の人口が急増しました。それにともない、印旛沼の水質が悪化しています。図は印旛沼の水質汚染の推移を示していますが、印旛沼の汚染は環境基準を大きく超えています。印旛沼は、平成19年には湖沼水質ランキングで最下位となるなど、全国の湖沼の中でもっとも水質汚染が深刻化した湖沼として知られています。



この図は以下にあります

http://www.pref.chiba.lg.jp/syozoku/e_suiho/8_kosyo/8_inba5ki/8_pamph-inba2.html

問10 印旛沼の水質を改善して環境基準を達成することは重要ですか、それとも重要ではありませんか。(ひ)

とつだけ

- | | |
|---------------|-------|
| 1. 非常に重要 | 47.2% |
| 2. ある程度重要 | 43.3% |
| 3. ふつう | 8.6% |
| 4. あまり重要ではない | 0.9% |
| 5. まったく重要ではない | 0.0% |

以下は仮の質問です。印旛沼の水質を改善して環境基準を達成するために、新たな対策を実施するとします。そのためには皆さんにも費用の一部を負担してもらう必要があるとします。そこで印旛沼の水質を改善するために「印旛沼水質基金」を設置し、皆さんから募金を集めるとします。この基金に集まったお金は、印旛沼の水質改善の目的にのみ使われるとしています。この基金に募金すると、あなたの自由に使える金額が募金した分だけ少なくなることにご注意ください。

問11 印旛沼の水質を改善するために、あなたの世帯ではこの基金に年間いくらまで支払っても構いませんか。なお、募金を集めるのは10年間のみとします。(ひとつだけ)

1. 0円 →問11-2へ 18.1%	6. 700円 2.6%	11. 7,000円 0.3%
2. 100円 14.4%	7. 1,000円 27.0%	12. 10,000円 2.2%
3. 200円 3.1%	8. 2,000円 3.6%	13. 15,000円 0.0%
4. 300円 3.6%	9. 3,000円 3.3%	14. 20,000円 0.1%
5. 500円 18.1%	10. 5,000円 3.5%	15. 30,000円以上 0.2%

*改ページ

問11-2 0円を選んだ人におたずねします。その理由をお教えください。(ひとつだけ)

- 1. 印旛沼の水質には関心がないから 7.4%
- 2. 印旛沼の水質は現状でも十分だから 1.5%
- 3. 基金を設置することに反対だから 5.2%
- 4. その他() 4.0%

*改ページ

印旛沼のレクリエーション施設についておたずねします

印旛沼では、オートキャンプ場が整備されており、印旛沼の景観を楽しみながらキャンプができます。また印旛沼周辺にはサイクリングロードが整備されており、印旛沼の景観を楽しみながらサイクリングを行うことができます。

オートキャンプ場



サイクリングロード



この写真は以下にあります

<http://www.inbanuma-kankou.jp/spot/2.html#4>

問12 印旛沼周辺でキャンプ場やサイクリングロードを整備することは重要ですか、それとも重要ではありませんか。(ひとつだけ)

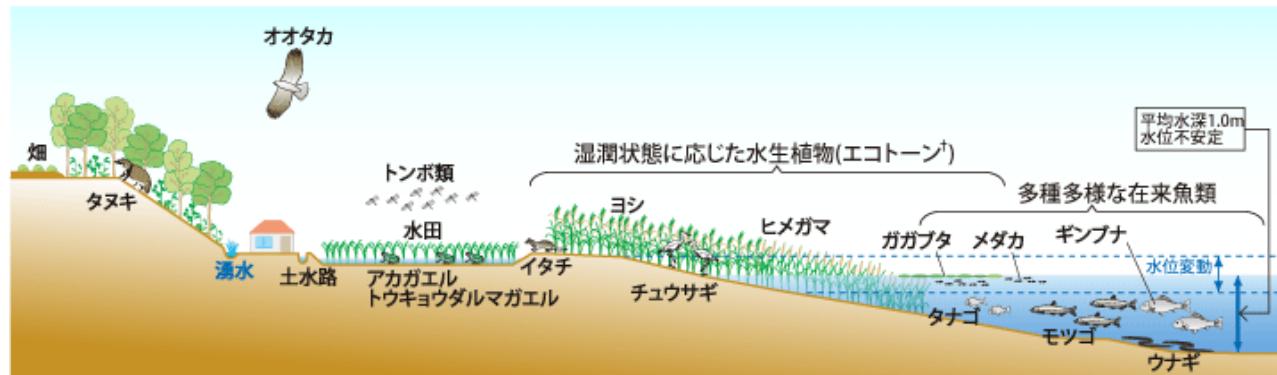
- | | |
|---------------|-------|
| 1. 非常に重要 | 5.9% |
| 2. ある程度重要 | 31.3% |
| 3. ふつう | 26.2% |
| 4. あまり重要ではない | 26.8% |
| 5. まったく重要ではない | 9.7% |

*改ページ

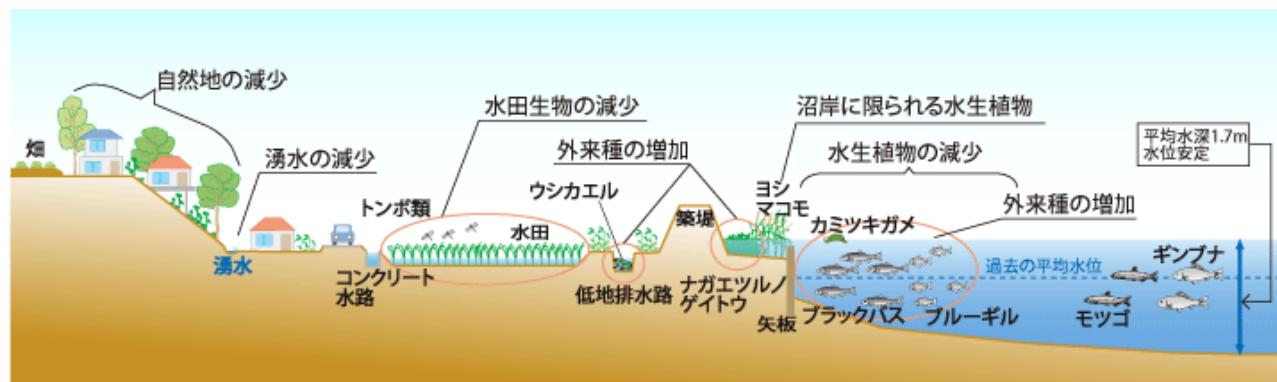
印旛沼の生態系についておたずねします

印旛沼には、かつては、良好な自然環境に支えられて、多種多様なふるさとの生き物が生息していました。しかし、今日では流域の市街地化や自然水辺の減少により、生態系に影響が出ています。

過去



現在



問13 印旛沼の生物を守ることは重要ですか、それとも重要ではありませんか。(ひとつだけ)

- | | |
|---------------|-------|
| 1. 非常に重要 | 41.9% |
| 2. ある程度重要 | 44.6% |
| 3. ふつう | 11.6% |
| 4. あまり重要ではない | 1.5% |
| 5. まったく重要ではない | 0.4% |

以下は仮の質問です。印旛沼の生態系を守るために、新たな対策を実施するとします。そのためには皆さんにも費用の一部を負担してもらう必要があるとします。そこで印旛沼の生態系を守るために「印旛沼生態系基金」を設置し、皆さんから募金を集めるとします。この基金に集まったお金は、印旛沼の生態系保全の目的にのみ使われるとします。この基金に募金すると、あなたの自由に使える金額が募金した分だけ少なくなることにご注意ください。

問14 印旛沼の生態系を守るために、あなたの世帯ではこの基金に年間いくらまで支払っても構いませんか。

なお、募金を集めるのは10年間のみとします。(ひとつだけ)

1. 0円 →問14-2へ 18.4%	6. 700円 3.3%	11. 7,000円 0.1%
2. 100円 14.7%	7. 1,000円 22.0%	12. 10,000円 1.5%
3. 200円 4.7%	8. 2,000円 3.6%	13. 15,000円 0.0%
4. 300円 6.2%	9. 3,000円 3.3%	14. 20,000円 0.1%
5. 500円 19.0%	10. 5,000円 3.1%	15. 30,000円以上 0.2%

*改ページ

問14-2 0円を選んだ人におたずねします。その理由をお教えください。(ひとつだけ)

- 1. 印旛沼の生態系には関心がないから 6.3%
- 2. 印旛沼の生態系は現状でも十分守られているから 1.4%
- 3. 基金を設置することに反対だから 7.0%
- 4. その他() 3.7%

*改ページ

印旛沼周辺の森林は、印旛沼の水源を守る役割を持っています。そこで、千葉県では環境の観点から森林を整備するために森林環境税の創設が検討されています。このような制度は全国各地で実施されています。たとえば、滋賀県では平成18年度より「琵琶湖森林づくり県民税」が設けられました。滋賀県の住民は、一人あたり年間800円を県民税に追加して負担することになっています。

問15 あなたは千葉県で森林環境税が検討されていることを知っていましたか。(ひとつだけ)

- | | |
|-----------|-------|
| 1. 知っていた | 3.9% |
| 2. 知らなかった | 96.1% |

問16 もしも、千葉県で森林環境税が実施されたら、あなたはいくらまで払ってもかまいませんか。(ひとつだけ)

1. 0円	16.9%	6. 500円	30.9%	11. 1,000円	14.9%
2. 100円	15.9%	7. 600円	1.5%	12. 1,500円	0.6%
3. 200円	3.9%	8. 700円	1.2%	13. 2,000円	1.5%
4. 300円	7.8%	9. 800円	3.2%	14. 4,000円	0.1%
5. 400円	0.8%	10. 900円	0.2%	15. 5,000円以上	0.7%

*改ページ

ここからはあなた自身のことについておたずねします

※ 問17・18、問20・21(問19は別ロジック)は、最終的に無回答を認められるようにする。(下記 問17の例)

- ① 問17(1回目)の回答画面を無回答で「次へ」をクリック
- ② 「問17についてお答えになっておりません。」のアラート表示画面に進む。
- ③ 「次へ」をクリックすると、問17(2回目)の回答画面を表示
- ④ 問17(2回目)の回答画面を無回答で「次へ」をクリック
- ⑤ 次の質問、問18へ進む

問17 あなたの性別をお教えください。(ひとつだけ)

- | | | | |
|------|-------|------|-------|
| 1. 男 | 48.1% | 2. 女 | 51.9% |
|------|-------|------|-------|

問18 あなたの年齢をお教え下さい。(ひとつだけ)

- | | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|------|
| 1. 20代 | 23.1% | 2. 30代 | 24.8% | 3. 40代 | 26.6% | 4. 50代 | 25.5% | 5. 60代以上 | 0.0% |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|------|

問19 あなたのお住まいをお教えください。

郵便番号()ー() ※記入欄は、2セルにする

都道府県(※下記 47 都道府県をプルダウン形式で選択)

()市区町村

()町名

※ 都道府県の未選択、市区町村、町名の OA の無回答はアラート

・郵便番号、都道府県は、無回答なしで、必ずいずれかを選択してもらう。

・市区町村、町名については、アラート文章を下記とする。

「問19の「市区町村」についてお答えになっておりません。お答えになりたくない場合は「答えたくない」とご入力下さい」

「問19の「町名」についてお答えになっておりません。お答えになりたくない場合は「答えたくない」とご入力下さい」

1. 北海道	11. 埼玉県	21. 岐阜県	31. 鳥取県	41. 佐賀県
2. 青森県	12. 千葉県 100%	22. 静岡県	32. 島根県	42. 長崎県
3. 岩手県	13. 東京都	23. 愛知県	33. 岡山県	43. 熊本県
4. 宮城県	14. 神奈川県	24. 三重県	34. 広島県	44. 大分県
5. 秋田県	15. 新潟県	25. 滋賀県	35. 山口県	45. 宮崎県
6. 山形県	16. 富山県	26. 京都府	36. 徳島県	46. 鹿児島県
7. 福島県	17. 石川県	27. 大阪府	37. 香川県	47. 沖縄県
8. 茨城県	18. 福井県	28. 兵庫県	38. 愛媛県	
9. 栃木県	19. 山梨県	29. 奈良県	39. 高知県	
10. 群馬県	20. 長野県	30. 和歌山県	40. 福岡県	

分析に必要なため、できるだけ詳しい住所が必要です。個人を特定化する必要はないので、番地まで必要ありませんが、できれば町名まで入力してもらうようお願いします。

問20 あなたのご職業をお教えください。(ひとつだけ)

1. 会社員 45.7%	4. 専業主婦 24.3%	7. その他 () 9.2%
2. 公務員 4.5%	5. パート 10.8%	
3. 自営業 5.5%	6. 年金受給者 0.1%	

問21 あなたの家の年収は税込みでどのくらいですか。年金も含みます。(ひとつだけ)

1. 200万円未満 6.2%	6. 600万円台 10.6%	11. 1, 100万円台 2.2%
2. 200万円台 4.4%	7. 700万円台 9.4%	12. 1, 200万円台 2.3%
3. 300万円台 9.41%	8. 800万円台 7.3%	13. 1, 300万円台 2.0%
4. 400万円台 13.1%	9. 900万円台 9.0%	14. 1, 400万円台 1.8%
5. 500万円台 12.6%	10. 1, 000万円台 6.2%	15. 1, 500万円以上 3.7%

問22 あなたの現在の同居家族人数(ご自分を含めて)をお知らせ下さい。(ひとつだけ)

1. 1人暮らし(単身世帯) 14.2%	6. 6人 2.5%
2. 2人 18.8%	7. 7人 0.6%
3. 3人 26.8%	8. 8人 0.1%
4. 4人 30.0%	9. 9人 0.0%
5. 5人 7.0%	10. 10人以上 0.0%

問23 最後に何かご意見がございましたら、ご自由にお書き下さい。

※問23は、無回答アラートなし。(無回答の場合は、アンケート終了画面へ) *アンケート終了

水質に関するアンケート調査

はじめに

このアンケート調査は水質について皆さんのご意見をお伺いするものです。このアンケートは京都大学農学研究科栗山浩一研究室の委託を受けて株日本リサーチセンターが実施しています。皆さんにお答えいただいた内容は、公表時には集計されたもののみ用います。皆さんの氏名や年齢などの個人情報を用いることはございません。率直にお答えください。

水道水についておたずねします

問1 あなたは、普段、水をどのように飲んでいますか。この中からいくつでもあげてください。(いくつでも)

- | | |
|----------------------------|-------|
| 1. 特に措置を講じずに、水道水をそのまま飲んでいる | 29.1% |
| 2. 淨水器を設置して水道水を飲んでいる | 42.8% |
| 3. ミネラルウォーターなどを購入して飲んでいる | 40.8% |
| 4. 水道水を一度沸騰させて飲んでいる | 21.2% |
| 5. その他() | 5.6% |

※アラート: 問1-2浄水器 OFF & 問3≥1、問1-2浄水器 ON & 問3=0

※アラート: 問1-3ミネラルウォーター OFF & 問4≥1

●問1-3ミネラルウォーター ON & 問3=0は、OKとする。(無料の水をもらっている人が問1-3にONした場合を想定)

問2 あなたの家庭では、水道料金は一ヶ月でいくらぐらいですか。

一ヶ月で 平均 4,753 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問3 あなたの家庭では、浄水器の維持費用に使っている金額は一ヶ月でいくらぐらいですか。本体価格は含まず、カートリッジなどで使っている金額を一ヶ月当たりに換算してください。また使用していない場合は0円とお答えください。

一ヶ月で 平均 450 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問4 あなたの家庭では、ミネラルウォーターに使っている金額は一ヶ月でいくらぐらいですか。ペットボトル、ビンなどの通常のもの、宅配タンク型のものなどすべて含んでお答え下さい。使用していない場合は0円とお答えください。

一ヶ月で 平均 616 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問5 あなたは、現在使用している水道水の質について満足していますか。(ひとつだけ)

- | | |
|-----------------------|-------|
| 1. 全ての用途において満足している | 41.9% |
| 2. 飲み水以外の用途において満足している | 52.6% |
| 3. 全ての用途において満足していない | 5.5% |

問6 水道水の質について、あなたは、今後どのようにすべきだと思いますか。(ひとつだけ)

- | | |
|---------------------------------------|-------|
| 1. 現状より水道料金等の負担が増えても、質を高くする | 12.2% |
| 2. このままでよい | 84.1% |
| 3. 現状より水道料金等の負担を少なくするため、質を低くしてもしかたがない | 3.7% |

問7 水道水の水質に関する以下の対策について、あなたはどのくらい重要だと思いますか、それとも重要でないと思いますか。それぞれについて一つをお選びください。(それぞれ一つずつ)

	非常に重要	ある程度重要	ふつう	それほど重要ではない	まったく重要ではない
カビ臭の除去	1 56.8%	2 30.2%	3 12.5%	4 0.4%	5 0.1%
カルキ臭(消毒用の塩素臭)の除去	1 43.5%	2 39.1%	3 15.9%	4 1.3%	5 0.2%
サビ色の除去	1 62.1%	2 26.4%	3 11.0%	4 0.4%	5 0.1%
有害物質の除去	1 80.2%	2 11.5%	3 8.2%	4 0.1%	5 0.0%

*改ページ

琵琶湖についておたずねします

琵琶湖は日本で最大の湖です。図は琵琶湖と淀川の流域を示しています。琵琶湖・淀川の水を利用していいる世帯は約1700万世帯にも達します。このため近畿地方の「水がめ」と呼ばれることがあります。



この図は以下にあります

http://www.bq.or.jp/kankyo/k_01.html

問8 あなたは、これまでに琵琶湖を訪れたことがありますか。(ひとつだけ)

- | | |
|--------------------|-------|
| 1. 訪れたことがある →問8-2へ | 87.4% |
| 2. 訪れたことはない →問9へ | 11.6% |
| 3. わからない →問9へ | 1.0% |

*改ページ

問8-2 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。どのくらいの頻度で訪れてていますか。(ひとつだけ)

(け)

- | | |
|---------------|-------|
| 1. 週に1回以上 | 2.7% |
| 2. 一ヶ月に1~3回程度 | 2.6% |
| 3. 1年に数回程度 | 21.4% |
| 4. 10年に数回程度 | 38.6% |
| 5. 10年に1回未満 | 22.2% |

問8-3 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。過去一年では、琵琶湖のどこを訪れましたか。

訪問した場所(地名または施設名)を自由にご記入ください。複数の場所を訪れた場合は、それぞれご記入ください。

※無回答はアラート

問8-4 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。琵琶湖の水質をどのように思いましたか。(ひとつだけ)

(け)

- | | |
|-----------|-------|
| 1. 非常によい | 1.6% |
| 2. 少しよい | 7.1% |
| 3. ふつう | 32.3% |
| 4. 少し悪い | 25.6% |
| 5. 非常に悪い | 10.1% |
| 6. 覚えていない | 10.6% |

問8ー5 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。琵琶湖を訪問した理由を教えてください。以下

から該当するものをいくつでもお選びください。(いくつでも)

1. 散歩 17.4%	4. キャンプ 11.1%	7. ウィンドサーフィン 0.9%	10. 仕事 6.6%
2. 水泳 12.1%	5. ヨット 0.5%	8. カヤック 0.8%	11. その他 11.6%
3. 釣り 8.3%	6. ボート 1.0%	9. 観光 51.5%	()

*改ページ

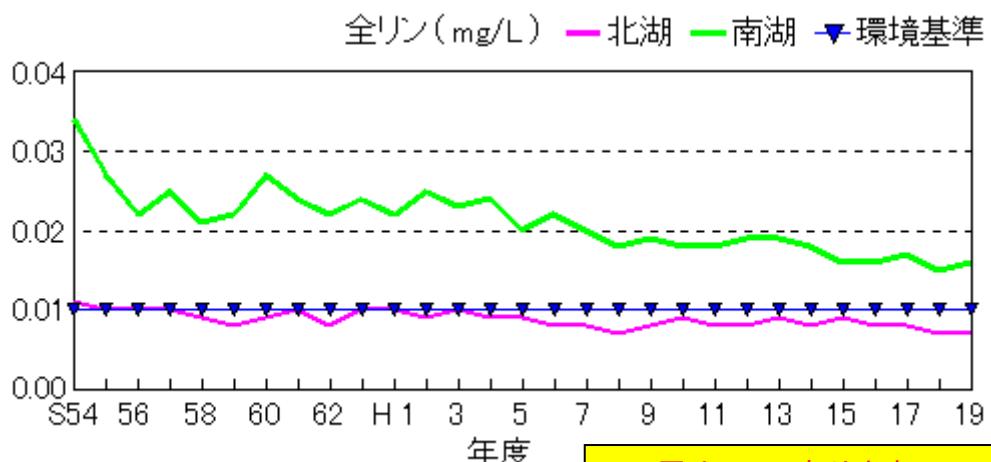
問9 あなたは琵琶湖に対してどのような印象を持っていますか。それぞれについて一つをお選びください。(それぞれ一つずつ)

	非常に そう思う	ある程度 そう思う	ふつう	それほどそ うは思わない	まったくそ うは思わない	わからない
汚染が進んでいる	1 10.8%	2 49.2%	3 23.4%	4 10.5%	5 0.3%	6 5.6%
多種類の生物が生息している	1 17.1%	2 52.1%	3 19.8%	4 4.8%	5 0.7%	6 5.5%
漁業が盛んだ	1 1.0%	2 11.4%	3 28.4%	4 41.5%	5 11.3%	6 6.6%
観光利用が盛んだ	1 6.0%	2 32.1%	3 35.0%	4 20.9%	5 2.1%	6 3.8%
環境対策が進められている	1 2.5%	2 26.2%	3 38.5%	4 23.2%	5 2.7%	6 7.0%

*改ページ

琵琶湖の水質についておたずねします

琵琶湖では、多くの人々によって水質を守るための努力が続けられています。以前に比べると水質は改善されてきましたが、窒素やリンなどでは環境基準を達成できていません。このため、周辺地域に異臭が発生したり、水道水の水質を維持するために多額の費用が必要となるなどの問題が生じています。



この図は以下にあります

<http://www.yodosuikyo.jp/river/biwako.html>

問10 琵琶湖の水質を改善して環境基準を達成することは重要ですか、それとも重要ではありませんか。(ひ)

とつだけ)

- | | |
|---------------|-------|
| 1. 非常に重要 | 47.9% |
| 2. ある程度重要 | 44.2% |
| 3. ふつう | 6.9% |
| 4. あまり重要ではない | 0.9% |
| 5. まったく重要ではない | 0.1% |

以下は仮の質問です。琵琶湖の水質を改善して環境基準を達成するために、新たな対策を実施するとします。そのためには皆さんにも費用の一部を負担してもらう必要があるとします。そこで琵琶湖の水質を改善するために「琵琶湖水質基金」を設置し、皆さんから募金を集めるとします。この基金に集まったお金は、琵琶湖の水質改善の目的にのみ使われるとしています。この基金に募金すると、あなたの自由に使える金額が募金した分だけ少なくなることにご注意ください。

問11 琵琶湖の水質を改善するために、あなたの世帯ではこの基金に年間いくらまで支払っても構いません

か。なお、募金を集めるのは10年間のみとします。(ひとつだけ)

- | | | |
|---------------------|-----------------|--------------------|
| 1. 0円 →問11-2へ 13.5% | 6. 700円 3.2% | 11. 7,000円 0.7% |
| 2. 100円 12.5% | 7. 1,000円 29.2% | 12. 10,000円 3.0% |
| 3. 200円 3.3% | 8. 2,000円 5.2% | 13. 15,000円 0.2% |
| 4. 300円 4.2% | 9. 3,000円 4.4% | 14. 20,000円 0.0% |
| 5. 500円 16.2% | 10. 5,000円 4.3% | 15. 30,000円以上 0.2% |

*改ページ

問11-2 0円を選んだ人におたずねします。その理由をお教えください。(ひとつだけ)

- | | |
|---------------------|------|
| 1. 琵琶湖の水質には関心がないから | 2.9% |
| 2. 琵琶湖の水質は現状でも十分だから | 3.2% |
| 3. 基金を設置することに反対だから | 4.7% |
| 4. その他() | 2.8% |

*改ページ

琵琶湖のレクリエーション施設についておたずねします

琵琶湖では、水泳、釣りなどが盛んですが、最近はボート、ヨット、ウインドサーフィンなど様々なウォータースポーツも行われています。ウォータースポーツを楽しむためにマリーナなどの施設が整備されています。また琵琶湖周辺ではキャンプ場などの施設も整備されています。

マリーナの写真



この写真は以下にあります

http://www.ohtsu-marina.jp/cgi-bin/whatsnew/whats_display.cgi?id:gallery

問12 琵琶湖周辺でマリーナやキャンプ場を整備することは重要ですか、それとも重要ではありませんか。

(ひとつだけ)

- | | |
|---------------|-------|
| 1. 非常に重要 | 4.6% |
| 2. ある程度重要 | 28.8% |
| 3. ふつう | 26.3% |
| 4. あまり重要ではない | 32.0% |
| 5. まったく重要ではない | 8.3% |

*改ページ

琵琶湖の生態系についておたずねします

琵琶湖には1000種類もの生物が生息しています。そのうち61種は琵琶湖にだけ生息している固有の生物です。しかし、オオクチバス(ブラックバス)やブルーギルなどの外来種が増えており、従来から琵琶湖に生息している生物が次第に減少するなど、琵琶湖の生態系が影響を受けることが懸念されています。

問13 琵琶湖の固有種を守ることは重要ですか、それとも重要ではありませんか。(ひとつだけ)

- | | |
|---------------|-------|
| 1. 非常に重要 | 47.8% |
| 2. ある程度重要 | 39.6% |
| 3. ふつう | 10.1% |
| 4. あまり重要ではない | 2.1% |
| 5. まったく重要ではない | 0.3% |

以下は仮の質問です。琵琶湖の生態系を守るために、新たな対策を実施するとします。そのためには皆さんにも費用の一部を負担してもらう必要があるとします。そこで琵琶湖の生態系を守るために「琵琶湖生態系基金」を設置し、皆さんから募金を集めるとします。この基金に集まったお金は、琵琶湖の生態系保全の目的にのみ使われるとします。この基金に募金すると、あなたの自由に使える金額が募金した分だけ少なくなることにご注意ください。

問14 琵琶湖の生態系を守るために、あなたの世帯ではこの基金に年間いくらまで支払っても構いませんか。

なお、募金を集めるのは10年間のみとします。(ひとつだけ)

- | | | |
|---------------------|-----------------|--------------------|
| 1. 0円 →問14-2へ 18.3% | 6. 700円 2.3% | 11. 7,000円 0.5% |
| 2. 100円 14.5% | 7. 1,000円 22.1% | 12. 10,000円 1.0% |
| 3. 200円 3.7% | 8. 2,000円 3.4% | 13. 15,000円 0.1% |
| 4. 300円 6.8% | 9. 3,000円 4.4% | 14. 20,000円 0.0% |
| 5. 500円 19.1% | 10. 5,000円 3.5% | 15. 30,000円以上 0.3% |

*改ページ

問14-2 0円を選んだ人におたずねします。その理由をお教えください。(ひとつだけ)

- | |
|--------------------------------|
| 1. 琵琶湖の生態系には関心がないから 5.8% |
| 2. 琵琶湖の生態系は現状でも十分守られているから 2.8% |
| 3. 基金を設置することに反対だから 5.9% |
| 4. その他() 3.8% |

*改ページ

滋賀県の森林は、琵琶湖の水源を守る役割を持っています。そこで、滋賀県では環境を重視した森林づくりを行うことを目的に「琵琶湖森林づくり事業」が行われています。この事業の費用必要な費用に充てるため、平成18年度より「琵琶湖森林づくり県民税」が設けられました。滋賀県の住民は、一人あたり年間 800 円を県民税に追加して負担することになっています。

問15 あなたは「琵琶湖森林づくり県民税」を知っていましたか。(ひとつだけ)

- | |
|-----------------|
| 1. 知っていた 4.5% |
| 2. 知らなかつた 95.5% |

問16 あなたは「琵琶湖森林づくり県民税」の一人あたり年間 800 円は高いと思いますか、それとも安いと思いますか。(ひとつだけ)

- | |
|-----------------------|
| 1. 高すぎる → 問16-2 31.4% |
| 2. 安すぎる → 問16-2 7.5% |
| 3. ちょうどよい → 問17 61.1% |

*改ページ

問16-2 ではいくらまで払ってもかまいませんか。

一人あたり年間

平均 706

 円

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

*改ページ

ここからはあなた自身のことについておたずねします

※ 問17・18、問20・21(問19は別ロジック)は、最終的に無回答を認められるようにする。(下記 問17の例)

- ① 問17(1回目)の回答画面を無回答で「次へ」をクリック
- ② 「問17についてお答えになっておりません。」のアラート表示画面に進む。
- ③ 「次へ」をクリックすると、問17(2回目)の回答画面を表示
- ④ 問17(2回目)の回答画面を無回答で「次へ」をクリック
- ⑤ 次の質問、問18へ進む

問17 あなたの性別をお教えください。(ひとつだけ)

- | | |
|------------|------------|
| 1. 男 50.3% | 2. 女 49.7% |
|------------|------------|

問18 あなたの年齢をお教え下さい。(ひとつだけ)

- | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1. 20代 23.7% | 2. 30代 25.3% | 3. 40代 24.6% | 4. 50代 26.4% | 5. 60代以上 0.0% |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|

問19 あなたのお住まいをお教えください。

郵便番号()ー() ※記入欄は、2セルにする

都道府県(※下記 47 都道府県をプルダウン形式で選択)

()市区町村

()町名

※ 都道府県の未選択、市区町村、町名の OA の無回答はアラート

・郵便番号、都道府県は、無回答なしで、必ずいずれかを選択してもらう。

・市区町村、町名については、アラート文章を下記とする。

「問19の「市区町村」についてお答えになっておりません。お答えになりたくない場合は「答えたくない」とご入力下さい」

「問19の「町名」についてお答えになっておりません。お答えになりたくない場合は「答えたくない」とご入力下さい」

1. 北海道	11. 埼玉県	21. 岐阜県	31. 鳥取県	41. 佐賀県
2. 青森県	12. 千葉県	22. 静岡県	32. 島根県	42. 長崎県
3. 岩手県	13. 東京都	23. 愛知県	33. 岡山県	43. 熊本県
4. 宮城県	14. 神奈川県	24. 三重県	34. 広島県	44. 大分県
5. 秋田県	15. 新潟県	25. 滋賀県	7.3%	35. 山口県
6. 山形県	16. 富山県	26. 京都府	22.3%	36. 徳島県
7. 福島県	17. 石川県	27. 大阪府	70.4%	37. 香川県
8. 茨城県	18. 福井県	28. 兵庫県	38. 愛媛県	45. 宮崎県
9. 栃木県	19. 山梨県	29. 奈良県	39. 高知県	46. 鹿児島県
10. 群馬県	20. 長野県	30. 和歌山県	40. 福岡県	47. 沖縄県

分析に必要なため、できるだけ詳しい住所が必要です。個人を特定化する必要はないので、番地までは必要ありませんが、できれば町名まで入力してもらうようお願いします。

問20 あなたのご職業をお教えください。(ひとつだけ)

1. 会社員 42.9%	4. 専業主婦 21.1%	7. その他 () 10.5%
2. 公務員 3.8%	5. パート 12.9%	
3. 自営業 8.3%	6. 年金受給者 0.5%	

問21 あなたの家の年収は税込みでどのくらいですか。年金も含みます。(ひとつだけ)

1. 200万円未満 10.2%	6. 600万円台 7.5%	11. 1, 100万円台 1.2%
2. 200万円台 7.1%	7. 700万円台 9.7%	12. 1, 200万円台 1.6%
3. 300万円台 13.1%	8. 800万円台 9.4%	13. 1, 300万円台 0.9%
4. 400万円台 12.7%	9. 900万円台 3.8%	14. 1, 400万円台 1.0%
5. 500万円台 14.1%	10. 1, 000万円台 5.0%	15. 1, 500万円以上 2.6%

問22 あなたの現在の同居家族人数(ご自分を含めて)をお知らせ下さい。(ひとつだけ)

1. 1人暮らし(単身世帯) 14.3%	6. 6人 4.0%
2. 2人 20.9%	7. 7人 0.7%
3. 3人 25.2%	8. 8人 0.2%
4. 4人 25.1%	9. 9人 0.1%
5. 5人 9.5%	10. 10人以上 0.0%

問23 最後に何かご意見がございましたら、ご自由にお書き下さい。

※問23は、無回答アラートなし。(無回答の場合は、アンケート終了画面へ) *アンケート終了

水質に関するアンケート調査

はじめに

このアンケート調査は水質について皆さんのご意見をお伺いするものです。このアンケートは京都大学農学研究科栗山浩一研究室の委託を受けて***調査会社名***が実施しています。皆さんにお答えいただいた内容は、公表時には集計されたもののみ用います。皆さんの氏名や年齢などの個人情報を用いることはございません。率直にお答えください。

水道水についておたずねします

問1 あなたは、普段、水をどのように飲んでいますか。この中からいくつでもあげてください。(いくつでも)

1. 特に措置を講じずに、水道水をそのまま飲んでいる
2. 淨水器を設置して水道水を飲んでいる
3. ミネラルウォーターなどを購入して飲んでいる
4. 水道水を一度沸騰させて飲んでいる
5. その他()

※アラート: 問1-2浄水器 OFF & 問3≥1、問1-2浄水器 ON & 問3=0

※アラート: 問1-3ミネラルウォーター OFF & 問4≥1

●問1-3ミネラルウォーター ON & 問3=0は、OKとする。(無料の水をもらっている人が問1-3にONした場合を想定)

問2 あなたの家庭では、水道料金は一ヶ月でいくらぐらいですか。

一ヶ月で 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問3 あなたの家庭では、浄水器の維持費用に使っている金額は一ヶ月でいくらぐらいですか。本体価格は含まず、カートリッジなどで使っている金額を一ヶ月当たりに換算してください。また使用していない場合は0円とお答えください。

一ヶ月で 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問4 あなたの家庭では、ミネラルウォーターに使っている金額は一ヶ月でいくらぐらいですか。ペットボトル、ビンなどの通常のもの、宅配タンク型のものなどすべて含んでお答え下さい。使用していない場合は0円とお答えください。

一ヶ月で 円ぐらい

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

問5 あなたは、現在使用している水道水の質について満足していますか。(ひとつだけ)

- 1. 全ての用途において満足している
- 2. 飲み水以外の用途において満足している
- 3. 全ての用途において満足していない

問6 水道水の質について、あなたは、今後どのようにすべきだと思いますか。(ひとつだけ)

- 1. 現状より水道料金等の負担が増えても、質を高くする
- 2. このままでよい
- 3. 現状より水道料金等の負担を少なくするため、質を低くしてもしかたがない

問7 水道水の水質に関する以下の対策について、あなたはどのくらい重要だと思いますか、それとも重要でないと思いますか。それぞれについて一つをお選びください。(それぞれ一つずつ)

	非常に重要	ある程度重要	ふつう	それほど重要ではない	まったく重要ではない
カビ臭の除去	1	2	3	4	5
カルキ臭(消毒用の塩素臭)の除去	1	2	3	4	5
サビ色の除去	1	2	3	4	5
有害物質の除去	1	2	3	4	5

*改ページ

琵琶湖についておたずねします

琵琶湖は日本で最大の湖です。図は琵琶湖と淀川の流域を示しています。琵琶湖・淀川の水を利用していいる世帯は約1700万世帯にも達します。このため近畿地方の「水がめ」と呼ばれることがあります。



この図は以下にあります

http://www.bq.or.jp/kankyo/k_01.html

問8 あなたは、これまでに琵琶湖を訪れたことがありますか。(ひとつだけ)

- 1. 訪れたことがある →問8-2へ
- 2. 訪れたことはない →問9へ
- 3. わからない →問9へ

*改ページ

問8-2 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。どのくらいの頻度で訪れてていますか。(ひとつだけ)

(け)

- 1. 週に1回以上
- 2. 一ヶ月に1~3回程度
- 3. 1年に数回程度
- 4. 10年に数回程度
- 5. 10年に1回未満

問8-3 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。過去一年では、琵琶湖のどこを訪れましたか。

訪問した場所(地名または施設名)を自由にご記入ください。複数の場所を訪れた場合は、それぞれご記入ください。

※無回答はアラート

問8-4 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。琵琶湖の水質をどのように思いましたか。(ひとつだけ)

(け)

- 1. 非常によい
- 2. 少しよい
- 3. ふつう
- 4. 少し悪い
- 5. 非常に悪い
- 6. 覚えていない

問8ー5 訪れたことがあると答えたひとにおたずねします。琵琶湖を訪問した理由を教えてください。以下

から該当するものをいくつでもお選びください。(いくつでも)

1. 散歩	4. キャンプ	7. ウィンドサーフィン	10. 仕事
2. 水泳	5. ヨット	8. カヤック	11. その他
3. 釣り	6. ボート	9. 観光	()

*改ページ

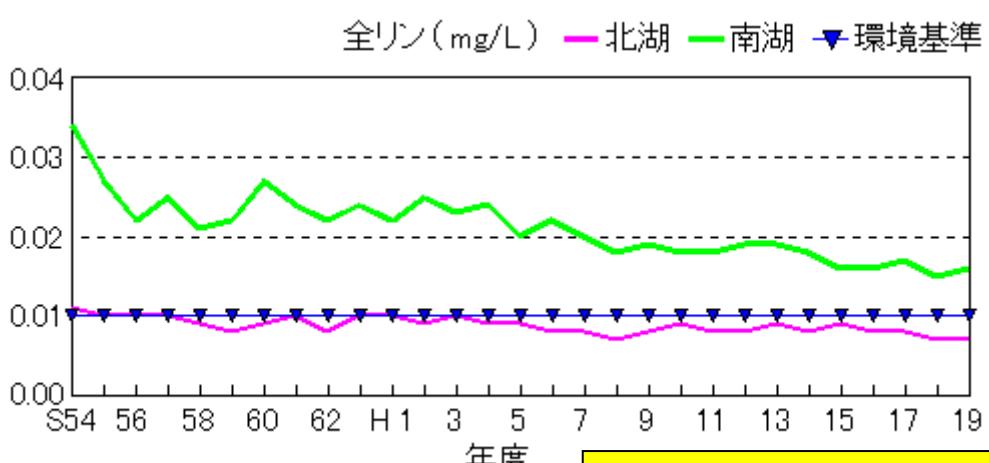
問9 あなたは琵琶湖に対してどのような印象を持っていますか。それぞれについて一つをお選びください。(それぞれ一つずつ)

	非常に そう思う	ある程度 そう思う	ふつう	それほどそ うは思わない	まったくそ うは思わない	わからない
汚染が進んでいる	1	2	3	4	5	6
多種類の生物が生息している	1	2	3	4	5	6
漁業が盛んだ	1	2	3	4	5	6
観光利用が盛んだ	1	2	3	4	5	6
環境対策が進められている	1	2	3	4	5	6

*改ページ

琵琶湖の水質についておたずねします

琵琶湖では、多くの人々によって水質を守るための努力が続けられています。以前に比べると水質は改善されてきましたが、窒素やリンなどでは環境基準を達成できていません。現在、環境基準7項目の達成度は14%にすぎず、まだ多くの項目が環境基準を満たしていません。このため、周辺地域に異臭が発生したり、水道水の水質を維持するために多額の費用が必要となるなどの問題が生じています。



この図は以下にあります

<http://www.yodosuikyo.jp/river/biawako.html>

問10 琵琶湖の水質を改善して環境基準を達成することは重要ですか、それとも重要ではありませんか。(ひ)

とつだけ)

- 1. 非常に重要
- 2. ある程度重要
- 3. ふつう
- 4. あまり重要ではない
- 5. まったく重要ではない

琵琶湖の水質を調べる指標として、琵琶湖の透明度も使われています。透明度には環境基準は設けられていません。透明度が高いところでは深いところまで見えますが、水が濁っていて透明度が低いところでは深いところは見えなくなります。現在の琵琶湖の透明度は、北湖 6.1m、南湖 2.7m であり、南側の透明度が低い状態にあります。

問11 琵琶湖の水質を改善して透明度を改善することは重要ですか、それとも重要ではありませんか。(ひと)

つだけ)

- 1. 非常に重要
- 2. ある程度重要
- 3. ふつう
- 4. あまり重要ではない
- 5. まったく重要ではない

*改ページ

琵琶湖のレクリエーション施設についておたずねします

琵琶湖では、水泳、釣りなどが盛んですが、最近はボート、ヨット、ウインドサーフィンなど様々なウォータースポーツも行われています。ウォータースポーツを楽しむためにマリーナなどの施設が整備されています。また琵琶湖周辺ではキャンプ場などの施設も整備されています。

マリーナの写真



この写真は以下にあります

http://www.ohtsu-marina.jp/cgi-bin/whatsnew/whats_display.cgi?id:gallery

問12 琵琶湖周辺でマリーナやキャンプ場を整備することは重要ですか、それとも重要ではありませんか。

(ひとつだけ)

- 1. 非常に重要
- 2. ある程度重要
- 3. ふつう
- 4. あまり重要ではない
- 5. まったく重要ではない

琵琶湖の生態系についておたずねします

琵琶湖には 1000 種類もの生物が生息しています。そのうち 61 種は琵琶湖にだけ生息している固有の生物です。しかし、オオクチバス(ブラックバス)やブルーギルなどの外来種が増えており、従来から琵琶湖に生息している生物が次第に減少するなど、琵琶湖の生態系が影響を受けることが懸念されています。琵琶湖に生息する外来魚は約 1400 トンと推定されています。滋賀県では、琵琶湖の生態系を守るために約 400 トン(生息量の約 30%)の外来魚を駆除しています。

問13 外来魚を駆除して琵琶湖の固有種を守ることは重要ですか、それとも重要ではありませんか。(ひとつだけ)

- 1. 非常に重要
- 2. ある程度重要
- 3. ふつう
- 4. あまり重要ではない
- 5. まったく重要ではない

*改ページ

琵琶湖の保全活動についておたずねします

このように琵琶湖には水質保全、レクリエーション利用、生態系保全など様々な課題があります。これらの課題を解決するためには新たな対策を実施する必要がありますが、そのためには皆さんにも費用の一部を負担してもらう必要があるとします。そこで琵琶湖を守るために「琵琶湖保全基金」を設置し、皆さんから募金を集めるとしています。この基金に集まったお金は、琵琶湖の保全活動の目的にのみ使われるとしています。この基金に募金すると、あなたの自由に使える金額が募金した分だけ少なくなることにご注意ください。

例えば下表のような4種類の対策があるとします。

表 琵琶湖保全対策の一例

項目	対策 1	対策 2	対策 3	対策4(現状)
琵琶湖の水質 (環境基準7項目の達成度)	達成度 14%	達成度 30%	達成度 60%	達成度 14% 北湖 29%, 南湖 0%
琵琶湖の透明度	現状と同じ (4.4m)	現状より良い (6.6m)	現状より悪い (2.7m)	4.4m 北湖 6.1m, 南湖 2.7m
レクリエーション設備	キャンプ場の 拡充	マリーナとキャン プ場の拡充	マリーナの拡 充	拡充しない
生態系保全 (外来魚の駆除率)	生息量の 70%	生息量の 50%	生息量の 30%	生息量の 30%
負担額	2000 円	500 円	4000 円	0 円

↓ ↓ ↓ ↓
どれか一つを選択 □ □ □ □

このような対策をこれから示しますので、4つの対策を比べて、あなたが最も好ましいと思うものを一つ選んで下さい。なお、基金への負担は一回だけとします。この基金に支払われたお金は琵琶湖の保全活動のみに使われます。お支払い頂いた分だけ自由に使えるお金が減ることを念頭においてお答え下さい。

問14

* * * * * ここに選択実験の設問が入ります * * * * *

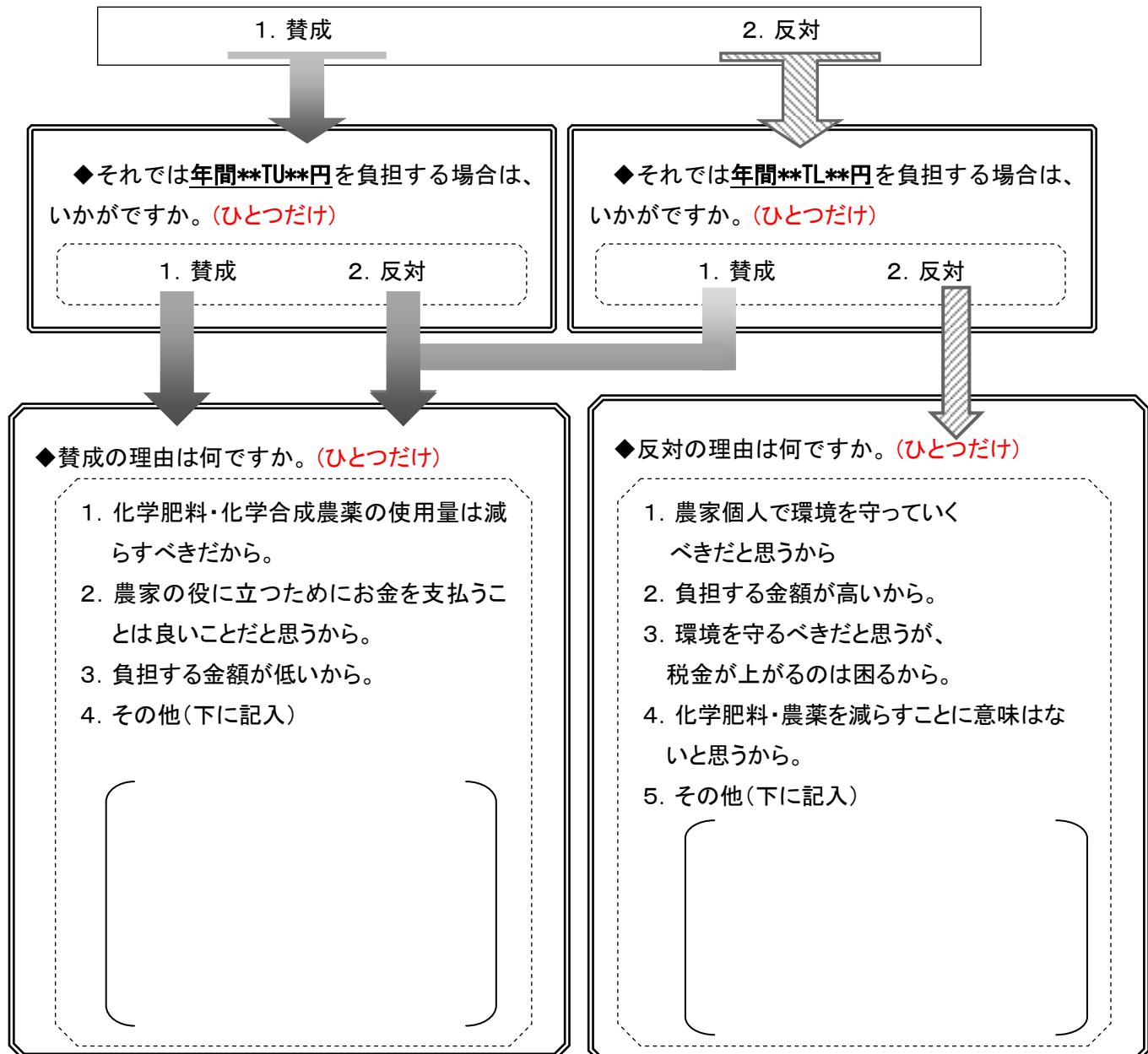
選択実験 バージョン4種類 × タスク8回

*改ページ

問15

琵琶湖の水質を改善するためには、琵琶湖周辺地域の農業の環境対策も重要です。そこで、滋賀県全体に「環境保全型農業」を普及させる政策を実施するとします。この政策によって、化学肥料・化学合成農薬の使用量を、慣行農業の5割以下に減らすことができます。ただし、そのためには、あなたの世帯の税金が年間**T1**円増加するとします。

あなたは、琵琶湖周辺地域で環境保全型農業を実現するために年間**T1**円を支払うことに賛成ですか、反対ですか。(ひとつだけ)



バージョン	1	2	3	4
T1	500	1000	2000	4000
TU	1000	2000	4000	8000
TL	250	500	1000	2000

*改ページ

琵琶湖周辺の森林についておたずねします

滋賀県の森林は、琵琶湖の水源を守る役割を持っています。そこで、滋賀県では環境を重視した森林づくりを行うことを目的に「琵琶湖森林づくり事業」が行われています。この事業の費用必要な費用に充てるため、平成18年度より「琵琶湖森林づくり県民税」が設けられました。滋賀県の住民は、一人あたり年間 800 円を県民税に追加して負担することになっています。

問16 あなたは「琵琶湖森林づくり県民税」を知っていましたか。(ひとつだけ)

- 1. 知っていた
- 2. 知らなかった

問17 あなたは「琵琶湖森林づくり県民税」の一人あたり年間 800 円は高いと思いますか、それとも安いと思いますか。(ひとつだけ)

- 1. 高すぎる → 問16-2
- 2. 安すぎる → 問16-2
- 3. ちょうどよい → 問17

*改ページ

問17-2 ではいくらまで払ってもかまいませんか。

一人あたり年間 円

※数値は、整数(小数点、無回答はアラート)、「.」「.」の入力もアラート

*改ページ

ここからはあなた自身のことについておたずねします

問18 あなたの性別をお教えください。(ひとつだけ)

- 1. 男
- 2. 女

問19 あなたの年齢をお教え下さい。(ひとつだけ)

- 1. 20代
- 2. 30代
- 3. 40代
- 4. 50代
- 5. 60代以上

問20 あなたのお住まいをお教えください。

郵便番号()ー() ※記入欄は、2セルにする

都道府県(※下記 47 都道府県をプルダウン形式で選択)

()市区町村

()町名

※ 都道府県の未選択、市区町村、町名の OA の無回答はアラート

・郵便番号、都道府県は、無回答なしで、必ずいずれかを選択してもらう。

・市区町村、町名については、アラート文章を下記とする。

「問20の「市区町村」についてお答えになっておりません。お答えになりたくない場合は「答えたくない」とご入力下さい」

「問20の「町名」についてお答えになっておりません。お答えになりたくない場合は「答えたくない」とご入力下さい」

- | | | | | |
|---------|----------|----------|---------|----------|
| 1. 北海道 | 11. 埼玉県 | 21. 岐阜県 | 31. 鳥取県 | 41. 佐賀県 |
| 2. 青森県 | 12. 千葉県 | 22. 静岡県 | 32. 島根県 | 42. 長崎県 |
| 3. 岩手県 | 13. 東京都 | 23. 愛知県 | 33. 岡山県 | 43. 熊本県 |
| 4. 宮城県 | 14. 神奈川県 | 24. 三重県 | 34. 広島県 | 44. 大分県 |
| 5. 秋田県 | 15. 新潟県 | 25. 滋賀県 | 35. 山口県 | 45. 宮崎県 |
| 6. 山形県 | 16. 富山県 | 26. 京都府 | 36. 徳島県 | 46. 鹿児島県 |
| 7. 福島県 | 17. 石川県 | 27. 大阪府 | 37. 香川県 | 47. 沖縄県 |
| 8. 茨城県 | 18. 福井県 | 28. 兵庫県 | 38. 愛媛県 | |
| 9. 栃木県 | 19. 山梨県 | 29. 奈良県 | 39. 高知県 | |
| 10. 群馬県 | 20. 長野県 | 30. 和歌山県 | 40. 福岡県 | |

分析に必要なため、できるだけ詳しい住所が必要です。個人を特定化する必要はないので、番地まで必要ありませんが、できれば町名まで入力してもらうようお願いします。

問21 あなたのご職業をお教えください。(ひとつだけ)

- | | | |
|--------|----------|------------|
| 1. 会社員 | 4. 専業主婦 | 7. その他 () |
| 2. 公務員 | 5. パート | |
| 3. 自営業 | 6. 年金受給者 | |

問22 あなたの家の年収は税込みでどのくらいですか。年金も含みます。(ひとつだけ)

- | | | |
|------------|---------------|----------------|
| 1. 200万円未満 | 6. 600万円台 | 11. 1, 100万円台 |
| 2. 200万円台 | 7. 700万円台 | 12. 1, 200万円台 |
| 3. 300万円台 | 8. 800万円台 | 13. 1, 300万円台 |
| 4. 400万円台 | 9. 900万円台 | 14. 1, 400万円台 |
| 5. 500万円台 | 10. 1, 000万円台 | 15. 1, 500万円以上 |

問23 あなたの現在の同居家族人数(ご自分を含めて)をお知らせ下さい。(ひとつだけ)

- | | |
|----------------|-----------|
| 1. 1人暮らし(単身世帯) | 6. 6人 |
| 2. 2人 | 7. 7人 |
| 3. 3人 | 8. 8人 |
| 4. 4人 | 9. 9人 |
| 5. 5人 | 10. 10人以上 |

問24 最後に何かご意見がございましたら、ご自由にお書き下さい。

※問24は、無回答アラートなし。(無回答の場合は、アンケート終了画面へ) *アンケート終了

○●滋賀県 環境農業政策についてのアンケート調査●○

環境に対する意識についてお尋ねします。

【問1】あなたは現在の琵琶湖の水質について、どのようにお考えですか。(一つに○)

1. 大幅に改善してほしい 2. 少しは改善してほしい 3. 現状のままで良い
4. 現状より悪化しても問題ない 5. わからない

【問2】あなたは、琵琶湖や河川、用水路に生息するニゴロブナやホンモロコなどの固有種を守るべきだと思いますか。(一つに○)

1. 最優先で守るべき 2. 可能な範囲で守るべき 3. 守る必要はない 4. わからない

【問3】あなたは、農業が河川や土壤などの環境に対してどのような影響があると思いますか。(一つに○)

1. 大きな環境汚染が生じている 2. 少しの環境汚染が生じている
3. 環境汚染は生じていない 4. わからない

環境保全型農業についてお尋ねします。

◆滋賀県では「環境こだわり農業」を推進しています。

«「環境こだわり農業」の例»

化学肥料・化学合成農薬	● 使用量を慣行の5割以下にする
農業技術	● 水田からの濁水が流れ出ないようにする(浅代掻きをする、落水をしない) ● 周辺環境に配慮して農薬を使用する

【問4】環境こだわり農業を実践して、コスト(経費)はどう変わりましたか。実践されていない方は、どう変わると思いますか。

1. 増加 2. 減少 3. 変わらない

【問5】«問4で「増加」、「減少」に○を付けた方» その増加分(減少分)はどのくらいですか。

年間10アールあたり、

1. 1~500円 2. 501~1,000円 3. 1,001~2,000円 4. 2,001~3,000円
5. 3,001~4,000円 6. 4,001~5,000円 7. 5,001~6,000円 8. 6,001~7,000円
9. 7,001~8,000円 10. 8,001~9,000円 11. 9,001~10,000円
12. 10,001円以上(具体的に: 円)

【問6】環境にだわり農業を実践して、年間の農作業の時間はどう変わりましたか。実践されていない方は、どう変わると思いますか。

1. 増加 2. 減少 3. 変わらない

【問7】《問4で「増加」、「減少」に○を付けた方》 その増加分（減少分）はどのぐらいですか。

1. 1~5日 2. 6~10日 3. 11~15日 4. 16~20日 5. 21~30日
5. 31~40日 6. 41~50日 5. 51~60日 6. 61日以上

問8

化学肥料・化学合成農薬の使用量を慣行農業の5割以下に削減した場合、農業の生産コストが平均して年間10アールあたり5,000円増加するとします。

もし、その増えた分のコストを、あなたが500円を負担し、非農業者を含む国民が4,500円負担する（補助金など）としたら、あなたは5割削減を実践しますか、しませんか。

1. 実践する

2. 実践しない

◆それではあなたが1,000円、国民が4,000円を負担する場合は、いかがですか。（一つに○）

1. 実践する

2. 実践しない

◆それではあなたが250円、国民が4,750円を負担する場合は、いかがですか。（一つに○）

1. 実践する

2. 実践しない

◆その理由は何ですか。（一つに○）

1. 自身で環境を守っていくべきだと思うから
2. 地域の人々の役に立て、良いことだと思うから
3. 環境を守る農業は、（どちらかというと）社会で支えていくべきだと思うから
4. 環境を守るべきだと思うが、経営的に厳しいから
5. その他

◆その理由は何ですか。（一つに○）

1. 自身で環境を守る必要はないと思うから
2. 地域の人々の役に立つとは思えないから
3. 環境を守るべきだと思うが、経営的に厳しいから
4. 化学肥料・農薬を減らすことに意味はないと思うから
5. 5割以下の削減は厳しすぎるから
6. その他

稻作を行っている方にお伺いします（畑作のみの方は問10にお進み下さい）。

問9

農業排水を流出させないようにした場合（浅代掻きをする、落水をせず自然減水する、養液を循環利用する）、農作業の時間が平均して年5%長くなるとします。

あなたは、こうした農業排水の流出を防ぐ取り組みをする際、どれぐらいの補助が必要だと思いますか。（一つに○を付けてください）

年間10アールあたり、

- | | | | |
|-------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| 1. 0円（不要） | 2. 1～500円 | 3. 501～1,000円 | 4. 1,001～2,000円 |
| 5. 2,001～3,000円 | 6. 3,001～4,000円 | 7. 4,001～5,000円 | 8. 5,001～6,000円 |
| 9. 6,001～7,000円 | 10. 7,001～8,000円 | 11. 8,001～9,000円 | |
| 12. 9,001～10,000円 | 13. 10,001円以上（具体的に：
円） | | |



◆その理由は何ですか。（一つに○）

1. 自身で水質などの環境を守っていくべきだと思うから
2. 地域の人々の役に立て、良いことだと思うから
3. 水質を守る農業の取り組みは、（どちらかというと）社会で支えていくべきだと思うから。
4. 環境保全以前に、農業排水を出さないことは農業にとって良いことだから
5. 農業排水の流出を防いでも、効果はないと思うから
6. その他〔 〕

あなたご自身についてお尋ねします。（調査結果の分析以外で、決して用いません。）

【問10】 あなたの住まいをお教えください。

郵便番号（ ）-（ ）
〔 〕市〔 〕町

【問11】 あなたの年齢を教えてください

- | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 1. 20代 | 2. 30代 | 3. 40代 | 4. 50代 | 5. 60代 | 6. 70代 | 7. 80代以上 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|

【問12】 あなたの性別をお教えください。

- | | |
|-------|-------|
| 1. 男性 | 2. 女性 |
|-------|-------|

【問13】 あなたの現在の同居家族人数（ご自分を含めて）をお知らせ下さい。

- | | |
|----------------|-------|
| 1. 1人暮らし（単身世帯） | 6. 6人 |
| 2. 2人 | 7. 7人 |
| 3. 3人 | 8. 8人 |
| 4. 4人 | 9. 9人 |

【問14】 あなたの家の年収は税込みでどのくらいですか。年金も含みます。

- | | | |
|------------|--------------|---------------|
| 1. 200万円未満 | 6. 600万円台 | 11. 1,100万円台 |
| 2. 200万円台 | 7. 700万円台 | 12. 1,200万円台 |
| 3. 300万円台 | 8. 800万円台 | 13. 1,300万円台 |
| 4. 400万円台 | 9. 900万円台 | 14. 1,400万円台 |
| 5. 500万円台 | 10. 1,000万円台 | 15. 1,500万円以上 |

【問15】 そのうち、農業所得の割合はどれくらいですか

1. 0～24% 2. 25～49% 3. 50～74% 4. 75～99% 5. 100%

【問16】 あなたの経営面積はどれだけですか。

総面積：〔 〕アール、延べ面積：〔 〕アール

【問17】 主要生産・販売作物を教えてください。（複数回答可）

1. 稲 2. 麦 3. 大豆 4. 野菜 5. 果樹 6. 茶 7. その他（ ）

【問18】 年間の農作業時間を日数で教えてください。

約〔 〕日／365日

【問19】 あなたのこれまでの就農年数をお答えください。

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 1. 10年未満 | 2. 10年以上20年未満 | 3. 20年以上30年未満 |
| 4. 30年以上40年未満 | 5. 40年以上50年未満 | 6. 50年以上 |

【問20】 環境こだわり農業の経験について教えてください。

- | | |
|----------------|-----------------|
| 1. 平成18年度以前～現在 | 3. 平成18年度以前にやめた |
| 2. 平成19年度以降～現在 | 4. 平成19年度以降にやめた |
| 5. 実践したことない | |

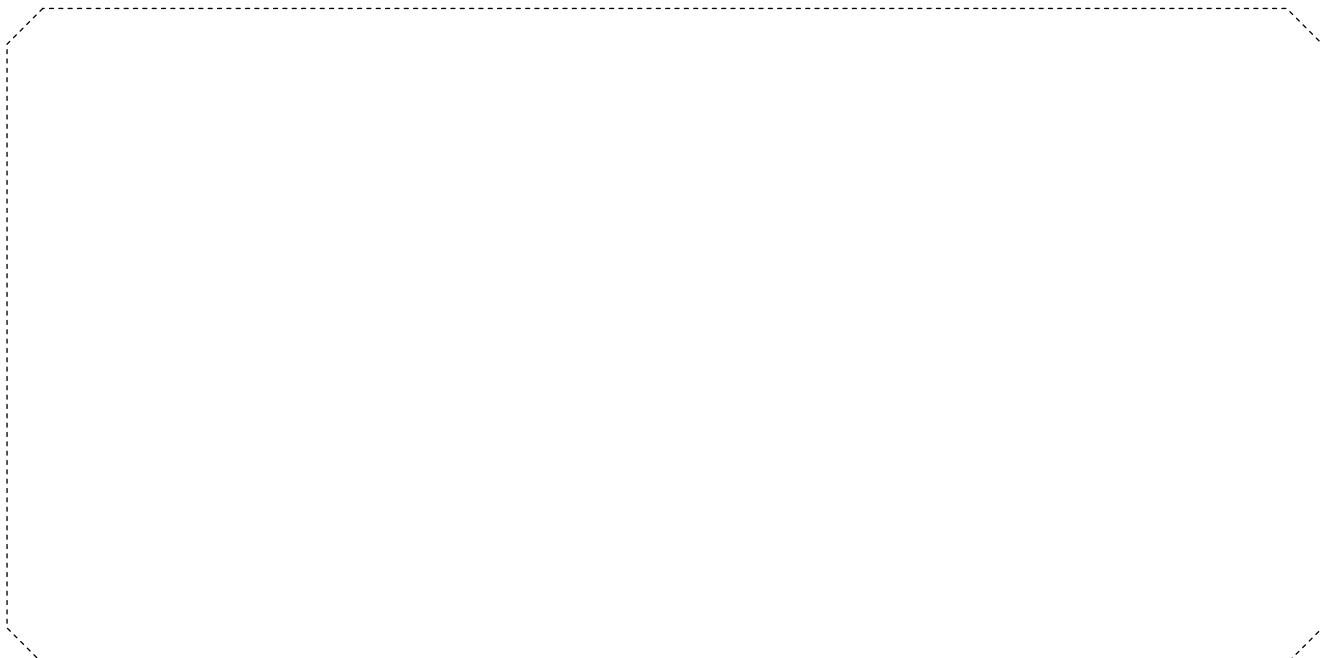
◆差し支えなければその理由（始めた理由、やめた理由、実践しない理由）もご記入ください。



【問21】（現在も環境こだわり農業を実践している方）環境こだわり農業の述べ面積はどれぐらいですか。

環境こだわり農業の取り組み面積：〔 〕アール、
延べ面積：〔 〕アール

【問22】農業政策などに関するご意見があれば、ご自由にご記入ください。



アンケートへのご協力、本当にありがとうございました。

★同様のアンケートを、問8、問9の額を変えた4パターンを配布する予定です。

グループ	1	2	3	4
1回目	500円	1,000円	2,000円	4,000円
Y e s → 2回目	1,000円	2,000円	4,000円	5,000円
N o → 2回目	250円	500円	1,000円	2,000円

第4章 付録（5）選択実験の詳細分析

ここでは、選択実験のモデルや分析の詳細について示す。またWeb調査と郵送調査の比較も行う。

A.1 基本モデル

この節では選択実験を行うにあたり使用した選択肢の属性のみを用いて推定を行う。ここで用いたモデルを以下では基本モデルとよぶ。

基本モデルの推定式は、次式のとおりである。

$$V_i = \beta_1^k \times \text{PRICE}^k + \beta_2^k \times \text{QUALITY}^k + \beta_3^k \times \text{CLALITY}^k + \beta_4^k \times \text{CAMP}^k + \beta_5^k \times \text{MARINA}^k + \beta_6^k \times \text{REMOVALRATE}^k + \theta \times \text{ASC},$$

ただし、 $i \in \{A, B, C, D\}$ を選択し i とし、選択肢 $i = A, B, C$ のとき $\theta = 0$ 、 $i = D$ のとき $\theta = 1$ とする。 V_i は、線形ランダム効用関数における調査者にとって観察可能な確定項である。 j は j 番目の独立変数、 $k = \text{Web}$ のときWeb調査が行われたことを表わし、 $k = \text{Posting}$ のとき郵送調査が行われたことを表わす。このとき β_j^k は推定される係数とする。各独立変数の定義を下記の表A-1にて示す。

表A-1 独立変数の定義

変数名	変数の定義
ASC	定数項
PRICE^k	被験者の負担額（単位は円）
QUALITY^k	環境基準の達成率
CLALITY^k	琵琶湖の透明度（水深何mまで見えるか）
CAMP^k	キャンプ場の拡充（キャンプ場を拡充する場合に1、拡充しない場合に0をとるダミー変数）
MARINA^k	マリーナの拡充（マリーナを拡充する場合に1、拡充しない場合に0をとるダミー変数）
REMOVALRATE^k	外来魚の駆除率

A.2 基本モデルの推定結果

基本モデルの推定結果は表 A-2 に示すとおりである。表 A-2 からいずれの独立変数の係数の t 値も 10%有意水準を満たしていることがわかる。

表 A-2 モデル 1 の推定結果

Web 調査結果					
	coef	exp(coef)	se(coef)	t 値	p
ASC	0.214951	1.24	3.47E-02	6.19	5.90E-10
PRICE ^k	-0.00029	1	7.60E-06	-38.38	0.00E+00
QUALITY ^k	0.753485	2.124	4.37E-02	17.23	0.00E+00
CLALITY ^k	0.205587	1.228	8.61E-03	23.87	0.00E+00
CAMP ^k	-0.487	0.614	3.36E-02	-14.48	0.00E+00
MARINA ^k	-0.40711	0.666	3.25E-02	-12.54	0.00E+00
REMVALRATE ^k	0.827018	2.286	7.74E-02	10.68	0.00E+00
Likelihood ratio test=3311 on 7 df, p=0 n= 36992, number of events= 9248					
郵送調査結果					
	coef	exp(coef)	se(coef)	t 値	p
ASC	0.543876	1.723	6.32E-02	8.61	0.00E+00
PRICE ^k	-0.00029	1	1.19E-05	-24.5	0.00E+00
QUALITY ^k	1.085342	2.96	7.46E-02	14.56	0.00E+00
CLALITY ^k	0.282264	1.326	1.46E-02	19.33	0.00E+00
CAMP ^k	-0.4315	0.65	5.53E-02	-7.8	6.00E-15
MARINA ^k	-0.51186	0.599	5.50E-02	-9.3	0.00E+00
REMVALRATE ^k	1.530539	4.621	1.32E-01	11.64	0.00E+00
Likelihood ratio test=1349 on 7 df, p=0 n= 12288					

すべての変数において係数の符号は、Web 調査も郵送調査も同じである。これは両者の分析結果が整合的であることを示している。

PRICE の係数の符号は負である。これは負担額が低いほど嬉しいということを示している。QUALITY の係数の符号は正である。これは琵琶湖の水質が良い方ほど被験者の効用が上昇することを示している。QLARITY の係数の符号は正である。琵琶湖の透明度が高い方ほど被験者の効用が上昇することを示している。CAMP と MARINA の係数の符号は負である。キャンプ場やマリーナの拡充を進めると試験者の効用が下がる傾向にあることを示している。この理由として、例えば「キャンプ場やマリーナに訪れる観光客が琵琶湖にごみを捨てるかもしれない」と被験者が予測したことにより、キャンプ場やマリーナの拡充

が進むほど被験者の効用が下がるということが考えられる。REMOVALRATE の係数は正である。これは、外来魚の駆除率が高いほど嬉しいことを示している。全体の係数の符号を通じて、被験者は琵琶湖の環境が良くなることを望んでいるという考えに整合的である。

水道水の水源が琵琶湖である被験者（滋賀県・京都府・大阪府に住む被験者）は琵琶湖の環境を身近な問題であると感じる一方、琵琶湖から遠くに住む被験者は琵琶湖の環境問題をそれほど身近に感じていないと思われる。そのため、琵琶湖から遠い場所に住む被験者を考えた場合、環境問題に意識のある被験者は琵琶湖の環境変化を真剣に受け止めるかもしれないが、環境問題に意識のあまりない被験者は琵琶湖の環境変化を真剣に受け止めないかもしれない。逆に、琵琶湖の環境変化は多くの琵琶湖周辺住民にとって重要な問題と考えているかもしれない。このような状況が正しいのだとすると、琵琶湖周辺の被験者間では、琵琶湖の環境変化に対する評価が個人間でそれほど異ならないと思われる。また、琵琶湖から遠く住む被験者間では、琵琶湖の環境変化に対する評価が個人間の属性に基づいて異なるであろう。次節では、この仮説について検証するため、個人属性を考慮してモデルの推定を行う。

4.3 個人属性を含めたモデル

琵琶湖の環境変化による影響が個人間で異なるのかについて考えるために、琵琶湖周辺に住む被験者から集めたデータと全国の被験者から集めたデータを使ってそれぞれ推定を行い、結果を比較する。この節では個人属性の影響を考えるため、所得と性別という個人属性に着目し分析を行った。具体的には、前節の独立変数で用いた負担額・水質・透明度と個人属性を示す所得・性別の交差項をモデルに導入する。

まず、Web 調査と郵送調査で以下のモデルを考える。このモデルでは負担額・水質・透明度と所得・性別の全ての交差項を入れており、これをフルモデルと呼ぶ。

$$V_i = \beta_1^k \times PRICE^k + \beta_2^k \times QUALITY^k + \beta_3^k \times CLALITY^k + \beta_4^k \times CAMP^k + \beta_5^k \times MARINA^k + \beta_6^k \times REMOVALRATE^k + \beta_7^k \times PRICE_INCOME^k + \beta_8^k \times PRICE_GENDER^k + \beta_9^k \times QUALITY_INCOME^k + \beta_{10}^k \times QUALITY_GENDER^k + \beta_{11}^k \times CLALITY_INCOME^k + \beta_{12}^k \times CLALITY_GENDER^k + \theta \times asc,$$

変数の定義は次表となる。

表 A-3 独立変数の定義

変数名	変数の定義
<i>ASC</i>	定数項
<i>PRICE^k</i>	被験者の負担額 (単位は円)
<i>QUALITY^k</i>	環境基準の達成率
<i>CLALITY^k</i>	琵琶湖の透明度 (水深何 m まで見えるか)
<i>CAMP^k</i>	キャンプ場の拡充 (キャンプ場を拡充する場合に 1, 拡充しない場合に 0 をとるダミー変数)
<i>MARINA^k</i>	マリーナの拡充 (マリーナを拡充する場合に 1, 拡充しない場合に 0 をとるダミー変数)
<i>REMOVALRATE^k</i>	外来魚の駆除率
<i>GENDER</i>	性別 (男性ならば 1, 女性ならば 0 をとるダミー変数)
<i>INCOME</i>	所得 (単位は万円)
<i>PRICE_INCOME^k</i>	PRICE と INCOME の積
<i>PRICE_GENDER^k</i>	PRICE と GENDER の積
<i>QUALITY_INCOME^k</i>	QUALITY と INCOME の積
<i>QUALITY_GENDER^k</i>	QUALITY と GENDER の積
<i>Clarity_INCOME^k</i>	CLARITY と INCOME の積
<i>Clarity_GENDER^k</i>	CLARITY と GENDER の積

このモデルから t 値の絶対値が小さい独立変数を順に推定式から削除し, 全ての独立変数の t 値が 10%有意水準になる状態でモデルを決定した. 独立変数削除により, Web 調査のモデルでは *QUALITY_GENDER* が独立変数から削除され, 郵送調査のモデルでは全ての交差項が削除された. フルモデルと独立変数の削除により決定されたモデルの推定結果は次表となる.

表 A-4 Web 調査のフルモデル：推定結果

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
ASC	2.27E-01	1.255	3.48E-02	6.52	7.00E-11
Price	-3.72E-04	1	1.68E-05	-22.21	0.00E+00
Quality	4.83E-01	1.621	8.92E-02	5.42	6.00E-08
Clarity	2.06E-01	1.228	1.87E-02	10.99	0.00E+00
Camp	-4.88E-01	0.614	3.37E-02	-14.48	0.00E+00
Marina	-4.10E-01	0.664	3.25E-02	-12.59	0.00E+00
Removalrate	8.32E-01	2.298	7.77E-02	10.72	0.00E+00
Price_Income	6.40E-06	1	2.02E-06	3.18	1.50E-03
Price_Gender	7.59E-05	1	1.42E-05	5.36	8.30E-08
Quality_Income	5.81E-02	1.06	1.18E-02	4.94	7.90E-07
Quality_Gender	-9.92E-02	0.906	7.77E-02	-1.28	2.00E-01
Clarity_Income	4.84E-03	1.005	2.52E-03	1.92	5.50E-02
Clarity_Gender	-5.20E-02	0.949	1.66E-02	-3.13	1.80E-03

Likelihood ratio test=3417 on 13 df, p=0 n= 36992, number of events= 9248

表 A-5 Web 調査の独立変数削除後モデル：推定結果

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
ASC	2.27E-01	1.255	3.48E-02	6.52	6.90E-11
Price	-3.67E-04	1	1.63E-05	-22.59	0.00E+00
Quality	4.31E-01	1.538	7.91E-02	5.44	5.30E-08
Clarity	2.05E-01	1.228	1.87E-02	10.96	0.00E+00
Camp	-4.88E-01	0.614	3.37E-02	-14.48	0.00E+00
Marina	-4.10E-01	0.664	3.25E-02	-12.59	0.00E+00
Removalrate	8.32E-01	2.298	7.77E-02	10.72	0.00E+00
Price_Income	6.39E-06	1	2.02E-06	3.17	1.50E-03
Price_Gender	6.73E-05	1	1.24E-05	5.41	6.10E-08
Quality_Income	5.82E-02	1.06	1.18E-02	4.95	7.50E-07
Clarity_Income	4.84E-03	1.005	2.52E-03	1.92	5.50E-02
Clarity_Gender	-5.07E-02	0.951	1.66E-02	-3.05	2.30E-03

Likelihood ratio test=3415 on 12 df, p=0 n= 36992, number of events= 9248

PRICE, QUALITY, CLARITY, CAMP, MARINA, REMOVALRATE の係数は基本モデルと同じである。そのため、これらの係数の解釈も基本モデルに一致する。PRICE_INCOME の係数は正であり、所得が多い被験者ほど価格の上昇を気にしないということになる。PRICE_GENDER の係数は正であり、男性ほど価格の上昇を気にしないということになる。QUALITY_INCOME の係数は正であり、所得の大きい被験者ほど水質の改善を高く評価する。CLARITY_INCOME の係数は正であり、所得の大きい被験者ほど透明度の改善を高く評価する。CLARITY_GENDER の係数は負であり、男性ほど透明度の改善をあまり評価しないという結果を得た。以上より、女性ほど琵琶湖の環境改善を評価し、所得が高いほど琵琶湖の環境改善を評価しているという傾向にあることが分かった。

表 A-6 郵送調査のフルモデル：推定結果

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
ASC	5.45E-01	1.725	6.32E-02	8.622	0.00E+00
Price	-3.03E-04	1	2.40E-05	-12.644	0.00E+00
Quality	1.14E+00	3.114	1.48E-01	7.681	1.60E-14
Clarity	2.55E-01	1.291	3.04E-02	8.387	0.00E+00
Camp	-4.33E-01	0.648	5.53E-02	-7.831	4.90E-15
Marina	-5.14E-01	0.598	5.51E-02	-9.334	0.00E+00
Removalrate	1.53E+00	4.622	1.32E-01	11.631	0.00E+00
Price_Income	-5.44E-08	1	3.20E-06	-0.017	9.90E-01
Price_Gender	2.61E-05	1	2.15E-05	1.215	2.20E-01
Quality_Income	2.86E-03	1.003	2.00E-02	0.143	8.90E-01
Quality_Gender	-1.41E-01	0.868	1.33E-01	-1.063	2.90E-01
Clarity_Income	5.09E-03	1.005	4.15E-03	1.227	2.20E-01
Clarity_Gender	-6.05E-03	0.994	2.80E-02	-0.216	8.30E-01

Likelihood ratio test=1353 on 13 df, p=0 n= 12288, number of events= 3072

表 A-7 郵送調査の独立変数削除後モデル：推定結果

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
ASC	0.543876	1.723	6.32E-02	8.61	0.00E+00
Price	-0.00029	1	1.19E-05	-24.5	0.00E+00
Quality	1.085342	2.96	7.46E-02	14.56	0.00E+00
Clarity	0.282264	1.326	1.46E-02	19.33	0.00E+00
Camp	-0.4315	0.65	5.53E-02	-7.8	6.00E-15
Marina	-0.51186	0.599	5.50E-02	-9.3	0.00E+00
Removalrate	1.530539	4.621	1.32E-01	11.64	0.00E+00

Likelihood ratio test=1349 on 7 df, p=0 n= 12288, number of events= 3072

郵送調査において、係数の t 値に基づいて独立変数を削除した結果、最終的に選択されたモデルは基本モデルに一致した。郵送調査では琵琶湖周辺（滋賀県・京都府・大阪府）の被験者に調査したので、琵琶湖の環境改善に関する影響に対して、これらの地域に住む被験者の属性による差はないと推測される。また、Web 調査と郵送調査の結果を比較するために、郵送調査で得られたデータを Web 調査の独立変数選択後のモデルで推定すると結果は以下のようになる。

表 A-8 Web 調査と郵送調査の比較：推定結果

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
ASC	5.45E-01	1.724	6.32E-02	8.6202	0.00E+00
Price	-2.99E-04	1	2.36E-05	-12.6819	0.00E+00
Quality	1.08E+00	2.936	1.37E-01	7.86	3.90E-15
Clarity	2.54E-01	1.289	3.04E-02	8.351	1.10E-16
Camp	-4.33E-01	0.649	5.53E-02	-7.8201	5.30E-15
Marina	-5.13E-01	0.599	5.50E-02	-9.3223	0.00E+00
Removalrate	1.53E+00	4.616	1.32E-01	11.624	0.00E+00
Price_Income	7.93E-08	1	3.20E-06	0.0248	9.80E-01
Price_Gender	1.59E-05	1	1.92E-05	0.8254	4.10E-01
Quality_Income	1.19E-03	1.001	1.99E-02	0.0597	9.50E-01
Clarity_Income	5.10E-03	1.005	4.15E-03	1.2281	2.20E-01
Clarity_Gender	-2.90E-03	0.997	2.78E-02	-0.1044	9.20E-01

Likelihood ratio test=1352 on 12 df, p=0 n= 12288, number of events= 3072

この結果から、全ての交差項の係数が 10%有意でないので、琵琶湖周辺にすむ被験者の属性間で琵琶湖の環境改善に関する影響に差が観察されなかった。

A.4 限界支払意志額（属性の価格評価）

この節では琵琶湖の環境を示す項目が 1 単位変化した場合の支払意志額について考える。限界支払意志額の計算には、基本モデルの推定結果を用いる。このとき、各限界支払意志額は次式によって求められる。

$$MWTP = -\frac{[\text{独立変数の係数の推定値}]}{[\text{価格に関する係数の推定値}]}$$

琵琶湖周辺に住む被験者ほど琵琶湖の環境変化に対して大きい影響を受けると思われる所以、MWTPは琵琶湖周辺に住む被験者の方が琵琶湖から遠い地域の被験者より大きいと思われる。実際に計算されたMWTPは次表で与えられる。

表 A-9 限界支払意志額

	Web 調査	郵送調査
Quality	2589.296	3729.698
Clarity	706.4845	969.9794
Camp	-1673.53	-1482.82
Marina	-1399.02	-1758.97
Removalrate	2841.986	5259.584

水質・透明度・外来魚の駆除率に関するMWTPは琵琶湖周辺に住む被験者を対象とした郵送調査の方が全国の被験者を対象とした Web 調査より大きくなっている、事前の予測と整合的である。

一方、キャンプ場やマリーナが整備されると、琵琶湖の環境が悪化すると予測されるが、琵琶湖周辺住民はこれを利用することができる。したがって、琵琶湖周辺に住む被験者は、キャンプ場やマリーナの整備による琵琶湖環境の悪化から大きな不効用を得る一方で、これらの施設を利用することによる効用も得られる。そのため、全国の被験者と比べて、MWTPが大きいかどうかは事前に分からぬ。実際のMWTPを推定結果から求めると、次のようなになる。キャンプ場の整備に関するMWTPは、Web 調査の方が郵送調査より小さい。したがって、キャンプ場の整備による不効用は琵琶湖周辺の被験者の方が小さいことになる。一方、マリーナの整備に関するMWTPは、Web 調査の方が郵送調査より大きい。したがって、マリーナの整備による不効用は琵琶湖周辺の被験者の方が大きいことになる。このような違いの原因は、琵琶湖周辺に住む被験者にとって、キャンプ場の利用の方がマリ

一ナの利用より身近に感じ、キャンプ場が整備されることに対してあまり不快に思わなかつたのかかもしれない。

4.5 各変数の基本統計量

上記の分析に用いた変数の基本統計量を下記の表に示す。なお、変数の内容と定義は表A-10と同様である。

表 A-10 各変数の基本統計量

Web 調査の基本統計量				
ASC	Price	Quality	Clarity	Camp
Min. :0.00	Min. : 0	Min. :0.1400	Min. :2.700	Min. :0.00
Median :1.00	Median : 1000	Median :0.3000	Median :4.400	Median :0.00
Mean :0.75	Mean : 2560	Mean :0.4175	Mean :4.525	Mean :0.25
Max. :1.00	Max. :10000	Max. :1.0000	Max. :6.600	Max. :1.00
郵送調査の基本統計量				
ASC	Price	Quality	Clarity	Camp
Min. :0.00	Min. : 0	Min. :0.1400	Min. :2.700	Min. :0.00
Median :1.00	Median : 1000	Median :0.3000	Median :4.400	Median :0.00
Mean :0.75	Mean : 2555	Mean :0.4175	Mean :4.525	Mean :0.25
Max. :1.00	Max. :10000	Max. :1.0000	Max. :6.600	Max. :1.00
Marina Removalrate Gender Age Income				
Min. :0.00	Min. :0.2000	Min. :0.0000	Min. :10.0	Min. : 0.000
Median :0.00	Median :0.3000	Median :1.0000	Median :30.0	Median : 500.0
Mean :0.25	Mean :0.3937	Mean :0.5035	Mean :29.7	Mean : 550.8
Max. :1.00	Max. :0.7000	Max. :1.0000	Max. :50.0	Max. :1500.0

第5章 付録 MIKE モデルの政策利用事例

デンマーク水理研究所 (DHI) が開発する MIKE SHE 水文モデルは、イギリス水文研究所、フランスのコンサルタント企業、および DHI の 3 社共同で開発された SHE (Système Hydrologique Europeen) に端を発する。このモデルはヨーロッパに適用可能な水文モデルを開発することを目的としてヨーロッパ共同体委員会 (Commission of European Countries) の補助を受け、5 年の歳月を経て開発が進められた。最初のバージョンが提供されたのは 1982 年のことである。SHE はその後、複数の異なる機関により独自の開発が進められ、DHI では SHE を分布型物理モデル（後述）へと発展し、MIKE SHE モデルを誕生させた。現在 MIKE SHE は水文、環境、生態、気象等など、さまざまな分野で国・地域を問わず幅広く利用されている。

また DHI は、河川の 1 次元解析モデルとして MIKE11、湖沼や海洋における 2 次元解析の MIKE 21、下水道整備のシミュレーションの MOUSE、水棲環境における生態系アセスメントの ECO Lab など、用途に応じた多くのソフトウェアを MIKE シリーズとして提供している。これらのソフトウェアを組み合わせることにより、水環境の分析に向けた多様なニーズに対応することが可能である。MIKE シリーズのソフトウェア群をまとめたものを図 1 に示す。

なお、開発元の DHI は半官半民で非営利の組織であり、水環境に関する総合的な研究・コンサルティングを目的として 1964 年に設立された。当初の活動範囲は主にヨーロッパ諸国であったが、現在では世界各国でプロジェクトの実施・ソフトウェアの販売をおこなっている。デンマークの本社と日本を含む海外 23 カ国の支社における全職員数は 2009 年時点で約 850 人であり、そのうち 75% は技術スタッフである¹。

¹ DHI Japan 資料。



図 5-A1 MIKE モデルのソフトウェア群

(出所 : DHI Japan 資料)

前節で若干述べたように, EU 水政策枠組み指令 (WFD) に基づいた流域計画を策定する上で, デンマークをはじめとする複数の加盟国でウェブベースの政策評価ツールである「意思決定サポートシステム (Decision support system; DSS)」が用いられている (図 5). このツールは DHI の MIKE SHE 水文モデルや MIKE11 水理モデルなど, 既存も MIKE モデル群の必要なコンポーネントを抽出・統合した解析エンジンがベースとなっている. DHI はこの DSS を使用した流域管理について EU 加盟国以外の国々でも積極的にコンサルティング業務を実施しており, 採択事例は近年急速に増加している (後述).

このように, MIKE モデルを使用した流域管理は近年広がりを見せているが, 基本的な用途が各国のクライアント (主に中央・地方政府および関係省庁) に向けたシステム構築とその運用・保守であるため, 学術的な研究と異なり公にされている情報は限定的である. そこで本プロジェクトでは, 平成 22 年 9 月にデンマークの DHI 本部を訪問し, MIKE モデルの開発者や DSS による政策分析の担当者から実際のコンサルティング業務の詳細について一連のプレゼンテーションを受けた. その結果, DSS の海外での採用実績は近年急速に伸びており, 近年ではベトナムや中国など, アジア地域においてその傾向が特に顕著であることが明らかになった.

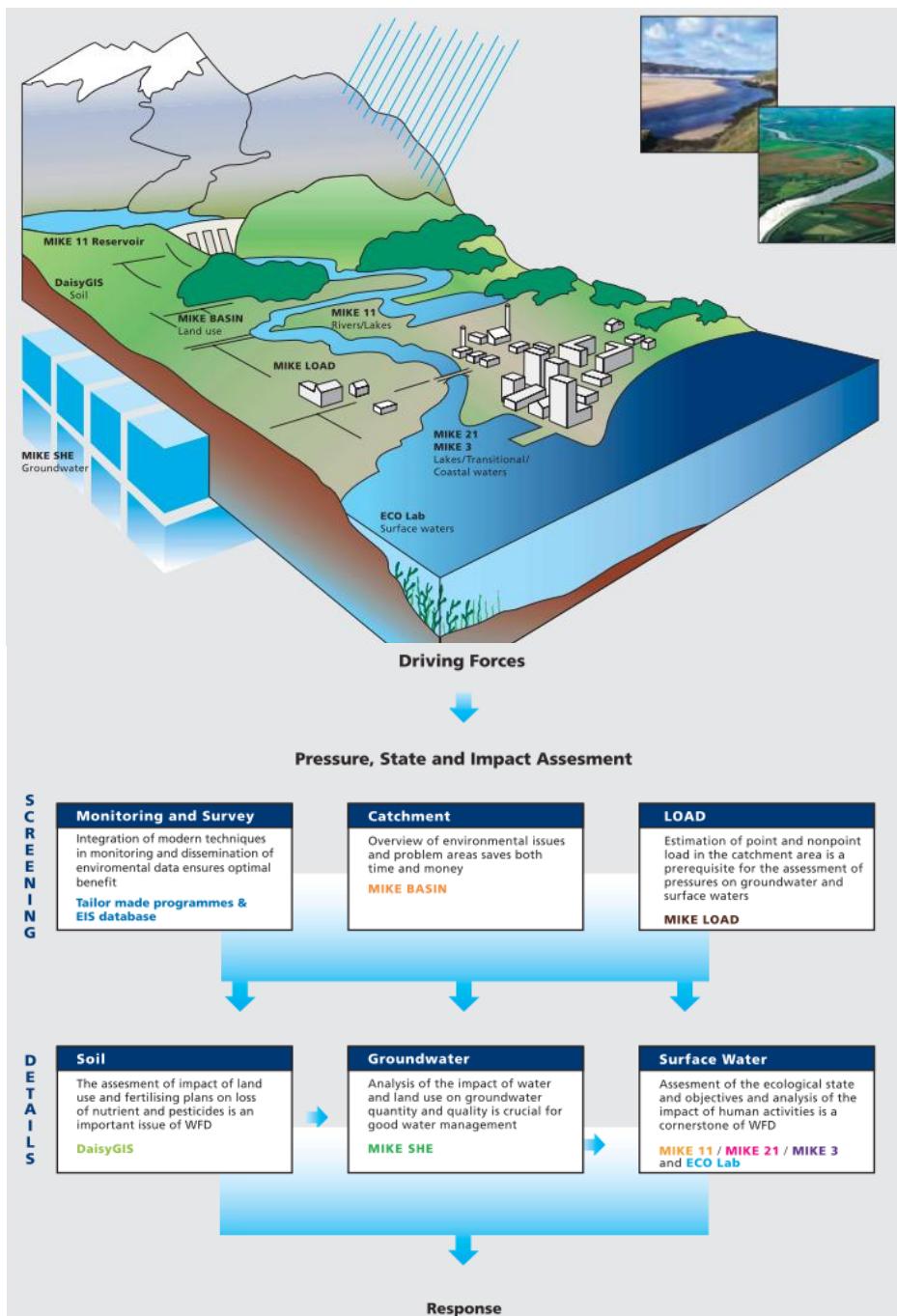


図 5-A2 WFD 意思決定支援ツールの概要

出所：DHI プrezentation 資料

以下、インド環境森林省からの委託業務により構築されたヤムナ川流域管理 DSS を例にとり、DSS の概要を説明する。DSS は国・地域の地理的・社会的条件や、求められるアウトプットによりの仕様は異なるが、システムの根幹を成すフレームワークは概ね共通である。DSS はサーバーとクライアント PC から構成されるシステムで、流域管理のソフトウェアや

データはすべてサーバー側に収納されており、クライアントPCからのリクエストに応じて演算をおこなう。そのためクライアントPCには特殊なソフトウェアは一切必要なく、インターネット環境とウェブブラウザがあれば実行できる典型的なシンクライアント環境を実現している。これは費用対効果の観点から途上国において特に要求が高い仕様とのことである。

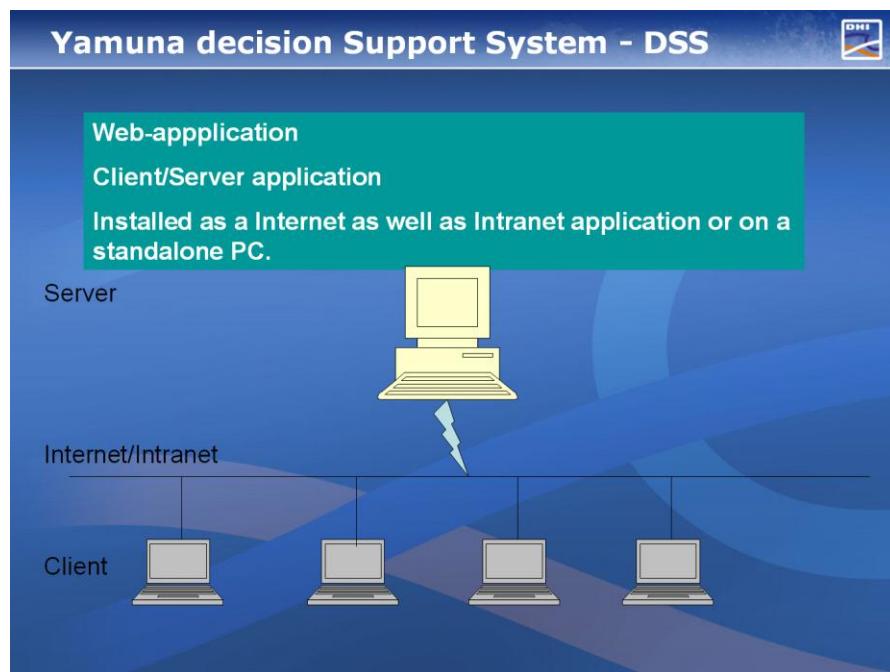


図 5-A3 インドヤムナ川流域における DSS ネットワーク

出所：DHI プrezentation 資料

水政策の意思決定をおこなう上で、必要な操作はすべてのシンクライアント上で可能であり、操作体系も非常に簡便である。そのため、政策評価をおこなう実務家に最低限のトレーニングをおこなうことで、即実践に移すことが可能である。政策シミュレーションに必要な基本データの入力や、政策シナリオのデザインはすべてウェブブラウザ上で操作され（図 5-A4）、シミュレーションの結果も同様にブラウザ上に表示される（図 5-A5）。

Ministry of Environment and Forests **Yamuna River Water Quality DSS**

वर्षा के विनाशी ।
वर्षा के व्यवस्थी ॥

Detailed parameters

Node ID: Saharanpur (442) - 2010

Default data:	
Water Demand Per Capita - Sewered (default)	262
Water Demand Per Capita - Open defec (default)	100
Population No.	607166
% unsewered - open defecation	15
% unsewered to open canals	28
% of sew. -no STP	36
STP 1 mechanical - (primary)	0
STP 2 Biological (second)	0
STP 3 Biological + nitri	0
STP 4 Bio+nitri+denitri	0
STP 5 =STP 3 + P-remov	0
STP 6 =STP 4 + P-remov	0
STP 7 =WSP (waste stabilization pond)	0
STP 8 =UASB+FPU(Upflow anaerobic Sludge Blanket+final polizing unit)	64
STP 9 =UASB+EAS (Upflow anaerobic Sludge Blanket+Extended aerobic system)	0
STP 10 =MBBR (moving bed reactor)	0
STP 11 =SBR (Sequencing Batch reactor)	0
STP 12 =MBR (Membrane Bioreactor)	0

Save data

Data to be used:

Water Demand Per Capita - Sewered (default)	262
Water Demand Per Capita - Open defec (default)	100
Population No.	607166
% unsewered - open defecation	15
% unsewered to open canals	28
% of sew. -no STP	36
STP 1 mechanical - (primary)	0
STP 2 Biological (second)	0
STP 3 Biological + nitri	0
STP 4 Bio+nitri+denitri	0
STP 5 =STP 3 + P-remov	0
STP 6 =STP 4 + P-remov	0
STP 7 =WSP (waste stabilization pond)	0
STP 8 =UASB+FPU(Upflow anaerobic Sludge Blanket+final polizing unit)	64
STP 9 =UASB+EAS (Upflow anaerobic Sludge Blanket+Extended aerobic system)	0
STP 10 =MBBR (moving bed reactor)	0
STP 11 =SBR (Sequencing Batch reactor)	0
STP 12 =MBR (Membrane Bioreactor)	0

図 5-A4 DSS の事例：ウェブブラウザでの必要データの入力例

出所：DHI プrezentation 資料

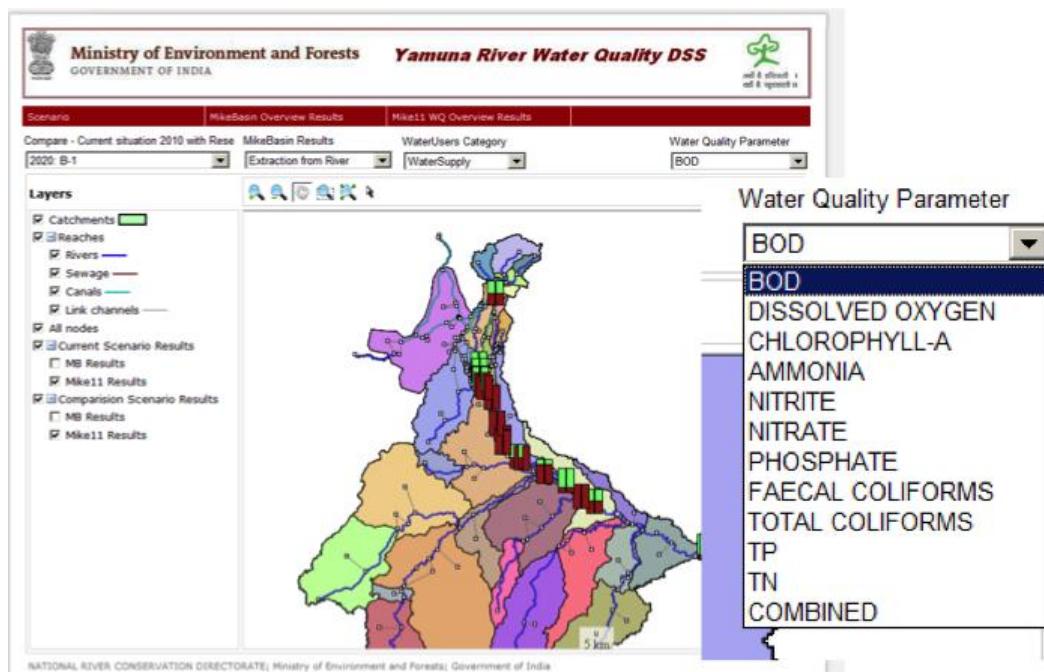


図 5-A5 DSS の事例：ウェブブラウザでの水質シミュレーションのアウトプット例

出所：DHI プrezentation 資料

このように DHI が提供する流域管理の DSS は、先進国はもちろん途上国でも導入できる利便性が高く費用対効果の高い形態をとっている。また、情報はサーバーに一極管理されるためメンテナンスや更新などの作業も非常に簡便である。解析エンジンには定評のある MIKE ソフトウェアが用いられていることから予測精度も高く、これらの点が評価されて DSS の採用は EU 加盟国のみならず世界各国に広がっている。特に上述のインドやベトナム、中国などのアジア諸国において顧客を増やしており、インドでは現在 12 の流域で DSS が稼働中、あるいは導入作業の段階である（図 5-A6）。アジア諸国での急速な需要の高まりに対応して、DHI では海外拠点の中でも最大規模のものをシンガポールおよび上海に設置し、常駐する専門職員の数は 100 名を超えており、それと比較すると小規模ではあるが、日本にも DHI の支部が横浜に置かれ、MIKE ソフトウェア群の営業および技術サポートが実施されている。

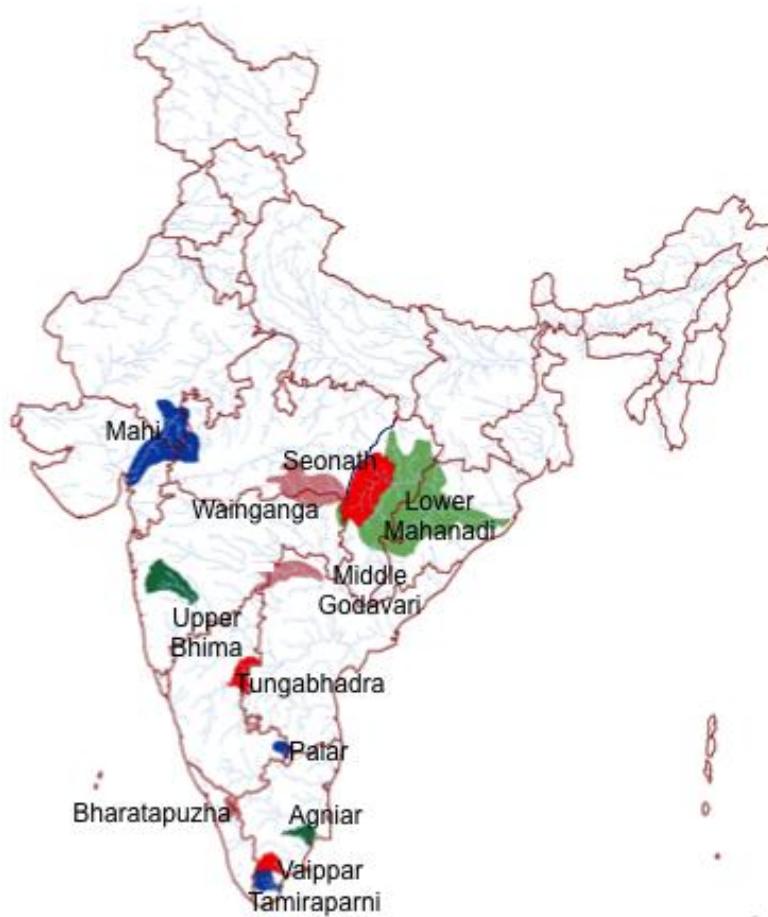


図 5-A6 インドにおける DSS 導入済み・導入予定の流域

出所：DHI プrezentation 資料