

氏 名	アロク クマール Alok Kumar
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1329 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Optimum Allocation of Discharged Pollutant Loads from Nonpoint Sources in a Watershed using GIS (地理情報システムの援用による流域内非点源汚濁排出負荷量の最適配分)
論文調査委員	(主 査) 教 授 河 地 利 彦 教 授 青 山 威 康 教 授 高 橋 強

論 文 内 容 の 要 旨

河川や湖沼の水質を積極的に改善し保全する最も有効な方法は、流域や水系から排出される汚濁負荷量を絶対的に軽減することである。このため、流域を単位とした水質管理の重要性が叫ばれてきた。科学的根拠に基づいてこのような管理を実践するには、まず流域の流出口から公共用水域に排出される汚濁排出量の許容限度量を求めること、そして、この許容限度量の遵守を要件として、これを汚濁排出源の特性を考慮しつつ流域空間上に合理的に配分することが必要となる。本論文は、後者の問題について、地理情報システム（GIS/Geographic Information System）を援用した最適化の枠組みの中で、流域内部の農地等からの非点源汚濁排出負荷量を土地管理ユニット（LMU/Land Management Unit）ごとに最適に配分するための方法論について基礎的な検討を行い、流域の水質管理政策決定者（意思決定者）の選好が反映できるいくつかの有用な最適配分モデルを提案したものである。

第1章は緒論であり、本研究の背景として、世界的に深刻化する水質汚濁の問題に触れ、汚濁負荷軽減に対するこれまでの対策や制度は「水質基準を維持するために許容される最大汚濁負荷量」という基準達成と負荷量との間の有機的な因果規範に基づいて行われていないことを指摘し、実効ある負荷軽減を図るには、点源、非点源にかかわらず、汚濁負荷規制（排出規制）は科学的合理性に裏付けされた水質基準との間の斯様な因果規範に基づいて行うことが重要であると説いている。

第2章では、非点源汚濁負荷問題に対するモデル化、およびGISによる空間分析に関する既往の研究を渉猟、整理して、本研究の位置づけを明らかにしている。

第3章では、まず基本となる汚濁排出負荷量の最適配分モデルを開発している。このモデルでは、水田、畑地、市街地、森林をLMUとする土地利用形態別の管理ユニットを考え、流域の流出口とLMUでの排出基準、並びに意思決定者の選好として与件できる、異なる土地利用間での汚濁排出の優先度を規定する関係式を主たる制約条件として、流域内の非点源全体からの総排出負荷量を最大化する単一目的の線形計画モデルを定式化している。このとき、自然浄化による汚濁物質量の低減効果を考慮するため、その流下距離に応じた低減は、汚濁物質量に線形比例すると仮定して、流域内で一様な自然浄化係数を導入している。また、流域境界の特定、土地利用形態の空間的分布の把握、各LMUから流域の流出口までの流下距離の算出にはGISを用いている。そして、開発したモデルを、滋賀県の野洲川流域内の小流域に適用して全窒素負荷量の最適配分問題を解き、最適化演算の実行可能性を検証している。

第4章では、自然浄化能の効果をより精細に最適化モデルに反映させるため、流域を微小な一様格子に分割して個々の格子をLMUとし、同時に、許容汚濁排出負荷量のLMU間での格差を最小化する（LMU間での負荷の平等性を実現する）ことを新たに管理目的に付加して、多目的（2目的）線形計画モデルを開発している。このとき、総排出負荷量の最大化とLMU間での負荷格差の最小化との間のトレード・オフは、両目的に任意の重み付けをすることによって意思決定者の選好として処理できるよう工夫している。本モデルもまた先と同じ流域に適用し、最適化演算の実行可能性を検証するとともに、基本モデルとの間で最適解の比較を行っている。

第5章では、前章で示したモデルの改良を図っている。すなわち、流域の表層地質の違いが汚濁物質量の低減効果に及ぼす影響を明示的に解に反映させるため、格子型の各 LMU からの汚濁排出負荷量を地表流成分と地中流成分とに区分し、その比率とそれに対応した自然浄化能を考慮することによって、モデルの高度化を図っている。再び先の流域に対して本モデルを適用して、モデルの実行可能性を検証するとともに、本論文で提示した三つのモデルが与える最適解について相互比較を行い、それぞれのモデルがもつ意義と有用性を総括している。

終章である第6章では、前章までに示したモデルの特性と得られた結果を要約、整理し、今後の研究課題を展望している。また、ここで導入した GIS を用いた LMU ベースの負荷量算定の手法は、近年水環境の効果的な保全策の一つとして世界的に注目されている流域内での排出権取引の問題を定式化する際にも有用であるとしている。

論文審査の結果の要旨

河川や湖沼等の公共用水域の水質汚濁防止に対してさまざまな対策が講じられているが、その成果が顕著に現れない理由の一つに、流域における水質管理が科学的合理性に基づいて総体的、俯瞰的に行われていないことが挙げられる。しかし、このような管理を実現する具体的な方法論についての研究は乏しく、いわんや、農地等からの非点源の汚濁排出の問題に焦点を当てた流域管理手法の研究に至っては全くその先例を見ない。本論文は、流域の流出口から流出する汚濁物質量を一定量以下に抑えるという条件のもとで、それを流域内で非点源の排出源ごとにどのように空間的に配分すればよいかを、GIS による空間分析の手法と最適化理論を用いて検討したものであり、評価できる主要な点は以下のとおりである。

- (1)流域における水質管理のあり方とその具体的な方法論を提案した。すなわち、流域の水質管理は、流域出口において許容しうる最大汚濁排出量を規定し、その制約下で流域全体から流出する汚濁物質総量を最大化するような規範に基づいて流域内部にその最大量を合理的に配分すべきであるとし、その方法論を最適化理論に依拠して示した。
- (2)GIS の援用によって二次元流域場での最適配分問題を線形計画問題として定式化した。その際、意思決定者の選好が反映でき、水質管理戦略の代替案の作成が可能となるよう工夫した。また、汚濁物質量は自然浄化によって流下距離に応じて指数関数的に低減するとした。
- (3)意思決定者の流域に対する管理方針と入手できる GIS 関連データの種類と解像度等に応じて使い分けることのできる、異なる三つの非点源汚濁排出負荷量の最適配分モデルを提示した。すなわち、土地利用形態別に負荷量を配分しそれらの間で負荷の優先順位が意思決定者の選好として規定できる第一のモデル、一様な格子スケールで配分し格子間での負荷の優先順位とともに平等性が規定できる第二のモデル、さらには、第二のモデルを改良して、汚濁物質の流出を地表流出と地中流出に区分して取り扱うことのできる第三のモデルを示した。
- (4)個々のモデルを定義する線形計画問題について、実流域への適用を通じて最適解の実行可能性と有効性を検証した。

以上のように、本論文は、非点源汚濁排出負荷量を面空間上で適正にコントロールして流域の水質管理を行うための方法論について先駆的に考察し、環境管理の分野に新生面を開いたものであり、水質源工学、環境システム工学の発展、並びに流域の水質管理の実際面に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成15年2月17日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。