

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	竹 内 潤 一 郎
論文題目	Hydro-environmental Modeling of Surface and Subsurface Flows in Agricultural Watershed (農業流域における地表水・地下水流れの水理・水文学的モデル化)		
(論文内容の要旨)			
水田稲作を中心とする農業生産活動が営まれる農業流域を対象とした、地表水と地下水とを一体的にとらえる現象連成的な水環境(水理・水文学的環境)の動態把握は、流域内の水および物質の循環をよりの確に理解する上で、また水環境の保全という観点から、水利用や営農のあり方をより具体的に論じる上できわめて重要である。本論文は、このような観点から、農業流域における施肥計画や土地利用配置計画に対する最適化手法とともに、流域水環境の広域的かつ精細な水理・水文学的モデル化手法について検討したものであり、以下の8章から構成されている。 第1章は緒論であり、農業流域における水環境の保全に対する水理・水文学的モデルの果たすべき役割について述べ、本論文の目的と意義を示している。 第2章では、流域モデル並びに農地における窒素動態モデルに関する先行研究を渉猟、整理している。 第3章では、環境保全型農業という観点から、降雨や灌漑に起因して発生する硝酸溶脱を抑制するための最適な施肥計画を作成する手法を提案している。本手法は、農地における水と窒素の動態を解析するためのシミュレーションモデルと最適化手法から構成され、数十年にわたる長期の日降水量データを与条件とすることを可能にしている。 第4章では、環境保全型の流域管理を行うための土地利用配置計画に対する最適化手法を提案している。本手法は、飽和・不飽和浸透流を表現する三次元のRichards式と溶質の輸送式とを連成させた有限要素法による水・物質循環モデルと最適化手法から構成され、最適化問題を流域内の残留環境負荷量と流域外への排出環境負荷量の重み付き総和を最小化する問題として定式化している。 第5章では、地表水、表層土壌、浅層地下水の三層から構成される有限体積法によるグリッド型水理・水文環境モデルを開発している。地表の二層にはそれぞれ分布型のタンクモデルと土壌水分モデルを、地下水流れには不圧浅層地下水流動モデルを用いてこれらを連成させることによって、地下水と水路間の水交換を考慮した準三次元型モデルを構築している。 第6章では、前章のモデルに改良を加え、領域分割に水路や土地利用境界、農地の区画に適合した三角柱型の体積セルを採用することにより、モデル上ですべての農地を耕区単位で離散化、認識でき、水路ネットワークの構造も正確に取り込むことのできる空間分解能の高いモデルを開発している。 第7章では、河川流、地表流、地下水流のそれぞれを、一次元拡散波近似式、二次元拡散波近似式、三次元Richards式で表した三つのサブモデルから構成される完全な物理則連成型の流域モデルを有限体積法により構築している。また、流域の分割には、離散化誤差を制御するために地形勾配に応じて平面メッシュ(セル)サイズを調整する適応型メッシュ生成法を提案している。 終章である第8章では、以上によって得られた知見を要約・整理するとともに、今後の課題について述べている。			

(論文審査の結果の要旨)

近年、農業流域における水環境の保全という観点から、施肥計画や土地利用配置計画を合理的かつ効果的に行うための方法論の確立、さらには流域内における複雑な水・物質循環過程を高精度かつ効率的に解析・再現するためのモデル化手法の改善が重要な課題となっている。本論文は、このような観点から、地表水と地下水とを一体的にとらえる両者の現象連成的な流れ場さらには物質輸送場を想定して、これらの問題に対して新たな水理・水文学的接近を試みたものであり、評価できる主要な点は以下のとおりである。

(1)施肥計画、土地利用配置計画の問題では、評価関数によって管理目的を明確に定義し、現象を再現しながら多数の候補の中から効率的に最適解が求まる手法を考案している。これにより、流域管理者は、最適解を採用し管理した場合の効果や影響について明確に検証や解析を行うことが可能となる。

(2)最適施肥計画問題では、過去の気象データから算出される平均有効雨量ではなく、過去20年間の日降雨量データによって降雨の影響を最適解に反映させる方法をとっていることから、地下水への硝酸溶脱量の抑制に対するより実効性のある施肥計画を作成することが可能となる。この手法で得られた施肥計画を採用することにより、硝酸溶脱量が標準施肥と比較して約20%削減できることを例証している。

(3)準三次元流域モデルでは、表層土壌に対して、保持されている水分量に応じて蒸発散量や浸潤量が決まる土壌水分モデルを用いることにより、従来では扱うことのできなかった効果を水循環過程の中に組み入れ、また排水路を内部境界とすることにより、排水路と地下水領域間での水交換を物理・数学的に合理的に処理する方法を考案している。

(4)農地および領域内に存在するすべての排水路を耕区単位の解像度で離散化、認識できる高精細な準三次元流域モデルの開発に成功している。これによって、流域管理という立場から、転作地の移動や環境保全型農業の導入による水環境への影響を詳細に検討することが可能となる。

(5)世界的に見てもきわめて先駆的な試みである物理則に基づく地表水と地下水との流れを連成させた三次元流域モデルの開発では、有限体積法の援用と、領域分割に地形の勾配に応じて平面メッシュ(セル)サイズを調節する新規な適応型メッシュ生成法を導入することによって、計算経済性と解析精度を飛躍的に高めることに成功している。

以上のように、本論文は、農業流域における水環境の保全を目的とした最適な施肥計画並びに土地利用配置計画を立てるための数理計画モデル、さらには地表水・地下水の水理・水文学的な動態を再現するための数値解析モデルを開発し、それらの有効性を検証したものであり、水資源工学、水文学、環境水理学の発展並びに地域環境の管理・保全の実務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22年10月12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。

要旨公開可能日： 年 月 日以降