

農業農村における水資源・水環境管理 ー水・物質モデルー
農林地流域を対象とした物理型三次元分布型水物質モデルの紹介
 Introduction of a distributed physically-based 3D hydrologic model for agricultural basin

○久保田富次郎*

○ KUBOTA Tomijiro

1. はじめに 森林や農地は流域圏において一般に多くの面積を占めることから水・物質循環の主要な場の構成要素であり、河川流量の安定化や水環境、生態系の保全のためには農山村地域の適切な管理は重要な課題のひとつである。その中で水環境に着目すると過剰施肥や家畜排泄物を起源とする面源汚染問題が懸念されているが、それらは主に確認に労力を要する地表面下の土壌や不飽和帯、地下水帯における生物化学的反応を伴う物質移動現象として生じている。それは流域の場の条件に応じて長い時間遅れを伴う現象であるため、環境対策の効果発現やその時期を定量的に評価・予測を行うことは従来困難であった。ここでは、農林地流域の河川や地下水の水文諸要素の長期非定常計算を目的として開発された物理型三次元分布型水物質モデルとその解析事例を紹介したい。なお、本研究は農村工学研究所を中心として実施されたプロジェクト研究において多くの研究者の協力により得られた成果^{1),2)}の一部である。

2. 三次元分布型水物質モデルの概要

1) 概要 モデルは水と窒素を対象とし、気象・地形・地質等の自然環境条件や農業土地利用、用水管理、施肥法などの諸条件等を入力し、モデルを介して河川水や地下水の水量とそれらに含まれる窒素負荷量の時間的、空間的分布を出力する。流域モデルは三次元空間を小さな領域(グリッド)に分割した三次元分布型モデルであり、水移動についてはダルシー則やマニング式、物質移動は移流分散式をベースとした物理型モデルである。

2) サブモデル ①流域水文モデル 流域水文モデルは、登坂ら(1996)による水・空気2相流れを考慮した地表水・地下水連成解析モデルを用い、農業用水や水田、畑地、森林に特有な水文・水循環プロセスをサブモデルに組み込み差分法により数値計算を行う。

②窒素サブモデル モデルで考慮する窒素循環プロセスは、植物体の吸収や大気への脱窒、土壌への吸着、堆肥(有機態窒素)／化学肥料による施肥や降水、そしてグリッド間の移動を考慮する。諸反応は反応速度論的手法を採用し、有機態窒素の無機化は杉原ら(1986)の式を用い一年を超える長期の計算に対応するよう計算手順を工夫した。硝化反応は1次反応式、作物等による窒素吸収は半月ごとに一定とする0次反応則で表す。また土壌への硝酸態窒素の吸着反応はラングミュア型平衡吸着式を用いる。

③畑地サブモデル 畑地は、作土を各層5～15cm厚、心土を数10cm厚のグリッドで構成し、窒素循環に寄与する範囲で窒素モデルを組み込む。

④水田サブモデル 水田は、水田が存在するグリッドで湛水が可能ないようにモデル上の畦畔で仕切った水田グリッドによりモデルを構成する。水田グリッドが存在する領域では、各グリッドが水平になるようモデル上の標高を調整する。また、水田は低湿地に立地するため、自然な条件では湧水を生じることが多いが、それを避けるため、水田グリッドにはモデル上の暗渠を設置する。水田における窒素動態は、Yoshinaga et al.(2004)のモデルを組み込む。また、農業用水は、河川や排水路などの任意地点から取水可能な構造である。

⑤森林サブモデル 森林では、水循環の観点から林分による樹冠遮断率の違いを考慮する。

* (独) 農研機構 九州沖縄農業研究センター National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region
 三次元分布型水・物質モデル 農林業環境対策 効果予測

3. 恋瀬川流域への適用

1) 流域の概要と流域モデル 解析対象流域は、利根川水系恋瀬川流域である。恋瀬川は、石岡市やかすみがうら市を集水域に持つ流域面積 213km² の一級河川である。モデルに必要な土地利用、土壌・地質分布、水文・水質・窒素循環に関するパラメータは Takeuchi et al.(2005),久保田ら(2008)等既往の研究成果を、不明なものは一般値を用いる。

また、流域は 313×150×22(x, y, z 方向) の 103 万グリッド(水平方向の 1 辺の平均長さは約 70m)に分割した。

2) パラメータフィッティング 実測値が得られたいくつかの地点での河川流量と河川水質をターゲットとして粗度係数や水理地質などのパラメータフィッティングを行った。一方、地下水位や水質の検証データは十分に得られなかったため一部に課題が残された。

3) 農林業環境対策シミュレーション モデルを用いて恋瀬川流域を対象とした農林業環境対策シミュレーションを行った。想定したケースは、①現行(作物の施肥吸収率が 50%)、②施肥効率を向上させた場合(施肥吸収率が 80%)、③肥効率をさらに向上させた場合(吸収率 100%) 等である。Fig.1 に浅層地下水の試算結果の一例を示す。その結果、農業環境対策の効果をもその場所の空間的な立地条件に応じて定量的に把握することが可能であった。

4. まとめと今後の課題 本モデルを用いると、実際の現象が用いた支配方程式で表せるならば必要なパラメータを揃えた上で流域規模の農業環境対策の効果算定・評価が可能である。物理型モデルであるため経験モデルと異なり必要なパラメータがある程度の精度で得られれば流域規模の長期にわたる十分な観測(検証)データがなくても予測可能なはずである。しかし現状において課題は多い。まず、流域の水理地質構造をどのように把握するか? 必要なパラメータをどのように得るか? マトリックス流を想定した基礎式に実際に存在する水みちの影響をどこまで反映させられるか? そして、地下でゆっくりと進行する微生物を介した生物反応を反映させられるか? などである。モデルの汎用化、実用化にあたっては現状では容易に得ることができない情報も少なくなく、今後の技術開発やデータ蓄積を待つ必要がある。

一方、これらの問題が解決されれば、例えば、①富栄養化が問題となる閉鎖性水域への流入負荷の長期変化、②硝酸態窒素汚染が台地流域の水質改善予測等において活用が期待される。また、結果を視覚的に表せることから、③環境学習やリスクコミュニケーション等への活用も期待されよう。

参考文献

1) 久保田ら(2006):農における自然との共生Ⅱ,p.41-60, 2) 久保田ら(2007):農における自然との共生Ⅲ,p.23-42, 3) 登坂ら(1996):地下水学会誌, 38(4), 253-267, 4)Yoshinaga et al. (2004). *Paddy & Water Environment*, 2(3), 145-152. 5)Takeuchi et al.(2005), *Science in China ser. C Life Sciences 2005 Vol.48 Supp. I*, 100-109, 6) 久保田ら(2008): 農工研技報, 207, 35-52

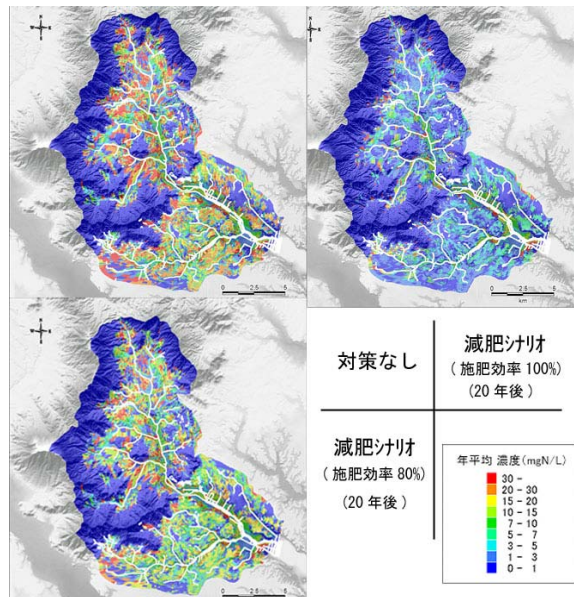


Fig.1 シナリオによる浅層地下水中の窒素の分布予測
Distribution of nitrogen concentration in shallow groundwater by scenarios