

水田に着目したノンポイント汚染源からの汚濁流出解析と対策評価のためのモデル開発

環境計画工学研究室 森田 匠

1. はじめに

わが国では、1970年代、経済発展に伴い、河川や湖沼・沿岸海域などの公共用水域の水質が著しく悪化した。そのため湖沼の富栄養化が問題となっている。湖沼の水質改善対策として、ポイント汚染源からの排水規制が行われてきたが、依然、水質改善はみられていない。このことから、水質悪化の原因としてノンポイント汚染源からの影響が注目され、2006年にノンポイント汚染源対策を初めて盛り込んだ湖沼法が改正・施行された。同法の施行により、ノンポイント汚染源の汚濁負荷解析が急務となっている。

そこで本研究ではノンポイント汚染源の中でも水田に注目し、その汚濁負荷算定と水田管理対策の効果を再現できる圃場モデルの構築を試みた。水田は肥料・灌漑水使用が多く、かつ面的広がりがあるため、湖沼への汚濁負荷流出に大きく影響していると考えられる。また水田は、水管理により安価かつ比較的容易に汚濁負荷削減効果が期待できる。そこでさらに、圃場モデルとGISを活用し、流下に伴う濃度変化を面的に把握できるようシミュレーションすることで、水田管理対策が必要な地点を明らかにした。その上で、流域全体の水質改善効果の評価し、効果的なノンポイント対策案を提案した。

2. 研究方法

本研究では、流下の流量および濃度変化をシミュレーションできる用水路ネットワークモデル、水田内の物質・化学変化を考慮して構築した圃場モデルを組み合わせた流域水田統合モデルを用いて流域全体の汚濁流出解析を行う。この流域水田統合モデルを用いて、2つの方向からアプローチすることとした。研究のフローを図1に示す。一つめのアプローチとして、湖山池流域を対象に本モデルを適用させ、流域全体の年間汚濁負荷量の計算を行う。さらに、本モデルでは各水路区間の流量と濃度が計算可能である特性を活かし、流下に伴う濃度変化をGISを用いて可視化する。可視化により、流域のどこの水田で汚濁過多が起きているかが把握できるようになる。もう一方のアプローチでは、流域水

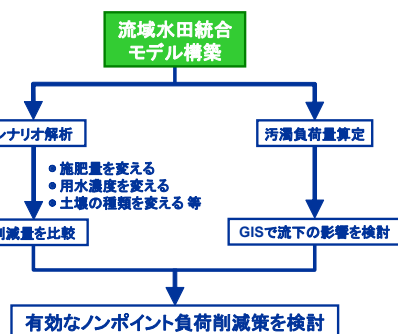


図1 研究フロー

田統合モデルの圃場モデルにおいて、施肥量、用水量など水管理を行った際の汚濁負荷削減効果といった計算結果が算定できる。効果を算定できる特徴を活かし汚濁過多地域に対して、いくつかの水田管理シナリオを行い汚濁負荷量の削減量を比較をする。以上の結果から、現実的に実施可能かつ最大限の削減効果を持つ水田管理シナリオの提案を行う。以上の研究結果から有効なノンポイント負荷量の削減案を提案する。

3. 流域水田統合モデルの概要

本モデルは図2に示すような構成となっており、圃場内の物質収支と水収支を捉えた圃場モデル、水路の流下に伴う流量および濃度変化を捉えた用水路ネットワークモデルの2つのモデルによって構成される。

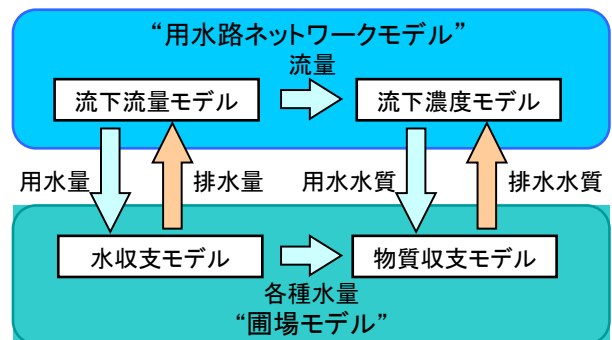


図2 流域水田統合モデルの構成

用水路ネットワークモデルは本モデルのメインモデルであり、流量計算と濃度計算を行える。頭首工から取水された灌漑用水は、流下途中に点在する圃場や分水工などの用水施設の影響を受け流量や濃度が変化していく。その流量や濃度変化をシミュレーションが可能である。流量計算を行う部分では流域に存在する全ての水路の流量を再現することができる。再現された用水量は、濃度計算する部分に渡され、その水路の濃度を再現する。つまりこのモデルにより、流域に点在する各圃場に供給される取水流量とその濃度を計算することができる。この圃場への供給用水量と用水水質をサブモデルである圃場モデルに渡し、圃場からの排出される排水量、排水水質を受け取って、排水路の新たな水量と濃度を計算する。算出された水量と濃度は、流下を繰り返す最終的には、水路末端部において湖沼に流入する。

サブモデルである圃場モデルは、水収支モジュールと物質収支モジュールから構成される。水収支モジュールは、用水路ネットワークモデルの流量計算で算出した用水量および降雨より、圃場内の水収支を計算することが

できる。圃場内の水収支では、圃場からの越流および暗渠や、地下流出の物理現象により排水路へ流出する排水量がシミュレーションできる。物質収支モジュールは、降雨と用水路ネットワークモデルで算出した用水に含まれる物質質量を供給源として、圃場内での脱窒や硝化などの物理・化学現象を捉え物質収支を計算する。圃場モデルで算定した排水量・排水水質は用水路ネットワークモデルに渡され次の水路の計算に利用される。

本モデルで算定する水質項目は、窒素、リン、SS(浮遊物質)とする。水域における栄養塩は、その形態によって生物に直接利用される溶存態と、そうではない懸濁態に分かれる。全窒素や総リンだけでは、水域への汚濁要因の総量を把握することは可能だが、水域への影響を把握することは難しい。しかし、流域末端において形態別の物質質量が把握できれば、アオコなどの水域への影響を予測可能となる。したがって、本モデルにおける算定項目はNH₄-N(硝酸態窒素)、NO₃-N(硝酸態窒素)、DON(溶存性有機体窒素)、PN(Particle Nitrogen: 粒子態窒素)、PO₄-P(リン酸態リン)、DOP(溶存性有機態リン)、PP(粒子態リン)、SS(浮遊物質)の8項目とする。計算出力のタイムステップは1日単位とし、年間の汚濁負荷量の算定を行う。

3. 流下の影響評価

流域水田統合モデルで算定した流量や濃度をGISのレイヤーの機能を用いて、水路と流量および濃度の関係付けた。そして、流量と濃度を等級シンボル表示をし、流下の流量や濃度変化を視覚的に表現してみた。六反田広域水田のPO₄流下濃度変化(186日目=中干し)結果を図3に示す。

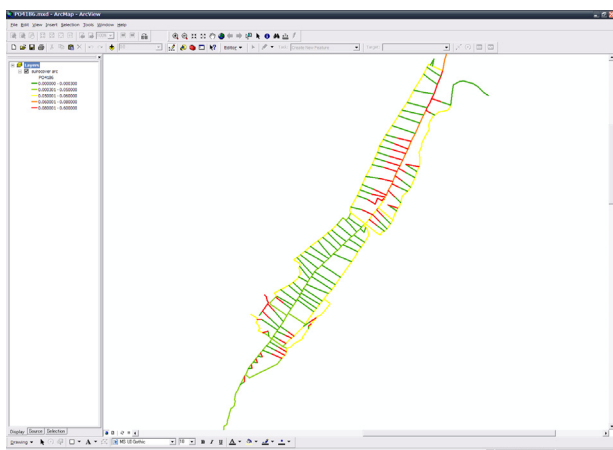


図3 六反田広域水田のPO₄流下濃度変化(中干し)

図3は186日目の中干し日のPO₄流下濃度変化を表した図である。頭首工から与えられた初期流量は濃度が薄く、最初の水田に取り込まれて出てくるときに濃度が高くなって(赤くなって)出てきていることが分かる。特に下流に行くほど、その現象が多くみることができる。中干し日では水田を通過することで、汚濁して排水されるため「汚

濁型」の水田として作用していることが分かった。

4. 対策シナリオの評価

本研究では、浅水代掻き・取水管理・一発施肥・2倍施肥の4つのシナリオを選択し、対策効果の評価を行った。ここでは、取水管理シナリオについて述べる。

通常、中干し後の取水は3~4日に一度の取水を推奨している。しかし、最近では兼業農家の増加により、多くの水田では掛け流しが行われている。掛け流し農業とは取水口を常時明けておき、排水口から一定水深以上の水を落水させる農業である。掛け流し農業の取水管理は、取水口の開け閉めする必要がないため比較的労力が少なく済む。しかし、多くの水を使用することで、過剰な表面排水を引き起こす要因になる。そこで、取水管理シナリオでは、中干し以降の取水を4日間隔に取水を抑制する。取水管理することで慣行時と比べて合計で0.99m/dayの取水が削減される。これにより農業イベントや降雨時に余分な表面流出を防止することが期待できる。

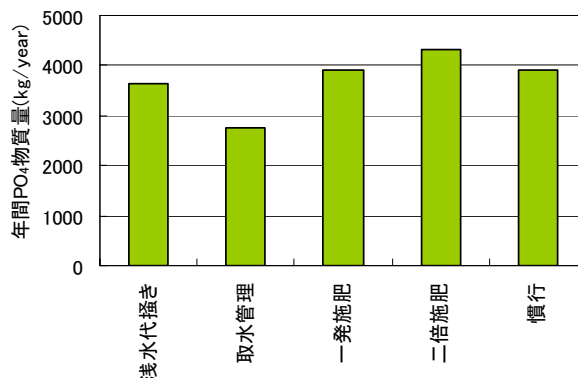


図4 シナリオ毎の年間物質質量と慣行の比較(PO₄)

シナリオ毎の年間の物質質量と慣行を比較するグラフを図4に示す。PO₄については、取水管理を行うことで、最も大きいPO₄汚濁負荷量の削減を図ることができた。取水管理はNH₄の汚濁負荷削減量も大きいことを考慮すると、4つのシナリオの中で、最も効果的な汚濁負荷削減対策であると思われる。

5. 結論

本研究では、汚濁負荷流出に影響を与える要因は、圃場からの負荷量は用水水質や用水量に依存するという竹谷(2002)の報告により、従来考慮されることのなかった用水水質と用水量に着目したモデルの構築を行った。モデルの構築にあたっては一筆圃場モデルと農業水路の汚濁負荷量と流量を算定する用水路ネットワークモデルの構築した。構築したモデルを用いることで、流域内の「汚濁型」水田の位置を把握することができた。この「汚濁型」水田の位置が把握できることで、施肥量を減らすことにより汚濁負荷流出の削減が可能と考えた。

また、シナリオ解析の結果、取水管理が効果的な対策であると考えられる。