

## 水田内流れにおける一次元水質モデルの開発

Improvement of one-dimensional water-quality model in flows through a paddy field

○ 安瀬地一作\*, 黒田久雄\*\*, 櫻町航平\*\*, 吉田貢士\*\*

○ AZECHI Issaku, KURODA Hisao, SAKURMACHI Kohei, YOSHIDA Koshi

### 1. はじめに

面源からの窒素流出対策として、休耕田を用いた窒素除去が考えられている。休耕田に注入された湧水は、水田土壌の脱窒作用を受けて窒素濃度を減じ排水路へ流出するが、このときの水田内の流れは、水口、水尻の位置や田面の凹凸形状、勾配、稲株等障害物の有無など様々な要因により決まり、その流れに応じて窒素除去量も変動する。したがって、効率的に窒素除去が行われるような流れを水田内で作ることで面源からの窒素流出に対して効果的な対策をとることができる。しかし、このような水田内流れに対して脱窒作用を含めてその水質を適切に評価する手法はほとんど提案されていない。そこで、本研究では、水田内流れを主流域と滞留域とに分け、領域間の水質交換を考慮することで、水田内流れにおける水質を精度よく予測できる一次元水質モデルを開発する。開発したモデルは、平面二次元解析結果および模型実験と比較しその妥当性を検証する。

### 2. モデルの概要

水田内の流れは、田面全域を均一には流れず、主流域とほとんど流れない滞留域とに分かれる。それゆえ、流入した窒素濃度も主に主流域の流れに乗って輸送されるが、その過程で滞留域との水質交換を行う。また、水田内に流入した水は、水田土壌の脱窒作用を受けて窒素濃度を減じることが知られており、この脱窒作用は水田土壌との接触時間が長いほど大きくなる。そのため、滞留域では主流域よりも脱窒量は大きくなる。したがって、水田内を流れる水の水質を評価するためには、この両者の水質交換作用および脱窒作用を考慮にいたったモデルを開発する必要がある。本研究では、これらの効果を考慮にいたったモデルを開発する。

主流域と滞留域を明確にするため、水田中央に不透水シートを設置した条件を考える。この場合、Fig.1 に示すように主流域と滞留域が現れる。脱窒作用を一次反応型、水質交換は濃度差に比例するとし、滞留域では窒素濃度の移流はないとすると、それぞれの領域について質量保存側は次のようになる。

【主流域】

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} + u \frac{\partial C_m}{\partial x} = k(C_r - C_m) \frac{b}{V_m} - a C_m \frac{S_m}{V_m}$$

【滞留域】

$$\frac{dC_r}{dt} = k(C_m - C_r) \frac{b}{V_r} - a C_r \frac{S_r}{V_r}$$

ここで、C：窒素濃度(mg/l)，u：流速(m/s)，k：水質交換速度(m/s)，b：主流域，滞留域境界面面積(m<sup>2</sup>)，a：窒素除去係数(m/s)，S：底面積(m<sup>2</sup>)，V：体積(m<sup>3</sup>)であり、添え字mは主流域，rは滞留

\* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所National Institute for Rural Engineering, NARO

\*\*茨城大学農学部, Ibaraki University, College of Agriculture

Key Word 水田内流れ, 水質交換, 一次元水質モデル

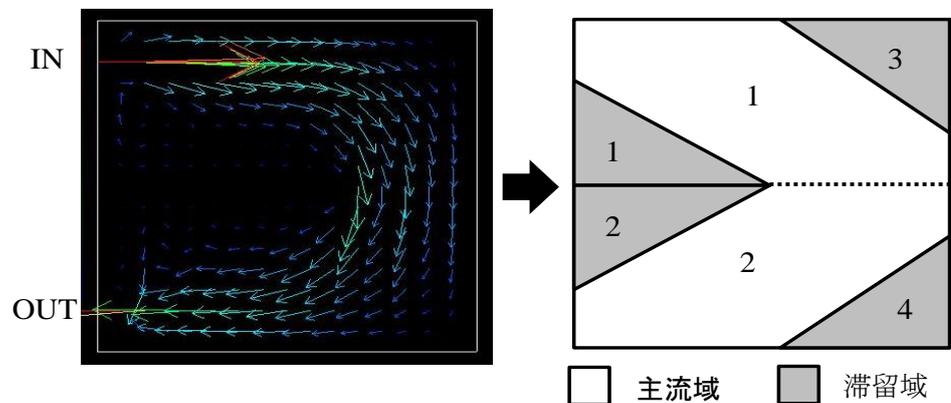


Fig.1 Main stream region and retention region

域を表す。それぞれ右辺第一項が水質交換を，第二項が脱窒を表している。滞留域は常微分方程式であるため，簡単に解が得られる。主流域においても特性速度 $u$ では滞留域と同様に常微分方程式となるため，どちらも解が得られてそれぞれ次のようになる。

【主流域】

$$C_m = \frac{kb}{kb + aS_m} C_r + \left( C_{in} - \frac{kb}{kb + aS_m} C_r \right) \exp\left(-\frac{kb + aS_m}{V_m} t\right)$$

【滞留域】

$$C_d = \frac{kb}{kb + aS_r} C_m + \left( C_0 - \frac{kb}{kb + aS_r} C_m \right) \exp\left(-\frac{kb + aS_r}{V_r} t\right)$$

$C_{in}$ ：流入窒素濃度(mg/l)， $C_0$ ：滞留域初期窒素濃度(mg/l)。窒素除去係数を， $a = 0.000011T^2 + 0.005$ (ここに  $T$  は水温(°C)である。)とし，水質交換速度  $k$  および移流速度  $u$  を模型実験結果および平面二次元解析より求めると，水田内水質が上二式より算定される。

### 3. 結果および課題

模型実験は， $0.45\text{m} \times 0.45\text{m}$  の正方形模型水槽にて，水深  $0.01\text{m}$ ，土壌厚  $0.05\text{m}$ ，流入窒素濃度  $20\text{mg/l}$ ，水温  $25^\circ\text{C}$ ，無植生，暗条件で流量  $4$  通り，シート長さ  $0\text{m}$ ， $0.24\text{m}$ ， $0.39\text{m}$  の3ケースを行った。平面二次元解析では物質輸送には移流拡散方程式に脱窒項を追加したものを，流れ解析には連続式，運動方程式を用い，時間差分はオイラー陽解法，空間差分はQUICKESTを用いた。ただし，ここで対象とする流れは非常に遅い層流流れであるため，移流拡散方程式の差分法時には離散化誤差によるオーバーシュート，アンダーシュートを避けなければならない。そこで，本研究では，移流拡散方程式を移流段階と非移流段階にわけ，移流段階では濃度をtangent関数変換して計算を行った。

模型実験，平面二次元解析と比較した結果，一次元水質モデルは，シートが短い場合には概ね実験結果，二次元解析結果とあっているが，シートが長くなると流出水窒素濃度を過小評価している(Fig.2 参照)。これは，今回は，滞留域を Fig.1 に示すように三角形としたが，シートが長くなると，流れはシートを大きく迂回するため，三角形とはならないことが原因と考えら得る。今後は，主流域，滞留域の大きさをより正確に設定する必要がある。また，水質交換速度は，今回は実験結果から同定したが，これについても今後詳細な検討が必要である。

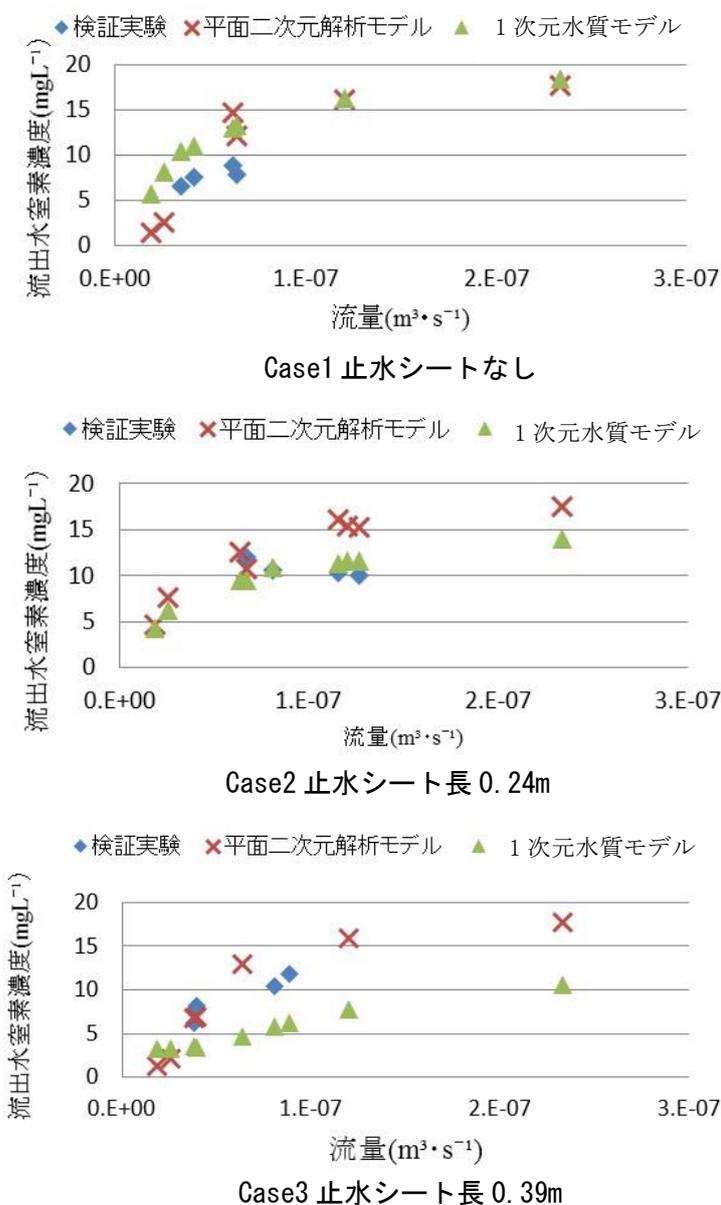


Fig. 2 Comparison between the experimental result and the analysis result