

水田における栄養塩と濁質の除去機構---境膜モデルの導入

Removal Mechanizm of T-N T-P and SS through a Paddy Field Based on a New Film-model

大井 節男* 樽屋 啓之* 中田 達
(Ooi Setsuo) (Taruya Hiroyuki) (Nakada Toru)

1. はじめに

用排水系が整備された水田では水管理の自由度が高い。従って、これを活用した栄養塩の効率的除去が模索されている。また、この方式は濁質の除去にも活用可能である。本研究は、境膜モデルの導入により、水田における流況と除去速度との関係を明らかにする。即ち、除去機構を水中から土中への物質移動現象としてとらえ、土表面の境膜の役割とその効果を明らかにする。

2. 実験方法

水田区画 (10 m × 10 m、愛知県農試内) で、灌漑・非灌漑期にわたり 6 回の栄養塩と濁質の除去試験を行った。流況等は i) 動水時と静水時 ii) 高速流速 iii) 植生と非植生 と変化させた。注入水は SS (水田周辺の排水路に堆積した土: 300 mg/L)、N (KNO₃溶液: 10, 20 mgN/L)、P (KH₂PO₄溶液: 5 mgP/L) の混合懸濁液とし、水口からの流量は 0.35 L/s、水深は 5 cm とした。分析法は、T-N: 銅カドミウムカラム還元法、T-P: モリブデン青吸光度法、SS: 重量法と TOADKK 濁度計

3. 境膜モデル

境膜モデルは水面での物質移動現象のモデルとし発展してきた¹⁾。ここでは、栄養塩や濁質の除去を、水中から土表面への物質移動現象としてとらえ、境膜モデルで表現する (図 1)。これは完全混合状態の水中 (水深 H にわたり一様な濃度 C) から薄い境膜 (拡散層、沈降層) を通して物質が土表面 (濃度 $C_s = 0$ と仮定) へと移動するモデルである。

微小時間 (Δt) の間に、単位面積あたり除去される物質質量 ($-H\Delta C$) は濃度 C (濃度勾配) に比例する (境膜での拡散移動量)。除去速度定数 K を用いると (1) 式となり、これを積分して (2) 式を得る。

$$(\text{単位面積除去量}) = -H\Delta C = KC\Delta t \quad \dots (1)$$

$$\ln(C) = -(K/H)t + \text{const.} \quad \dots (2)$$

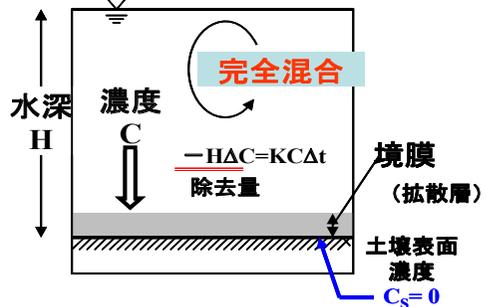


図 1 土表面境膜モデル

4. 温度効果

土表面境膜モデルでは、除去速度定数 K は境膜での拡散速度に比例する ((1) 式)。一方、水面境膜モデルでは表面境膜の破壊と再生を含むため、除去速度定数 K が拡散係数のルートに比例する (速い流速)。硝酸イオンの除去で得られた田淵等の実験式²⁾ と拡散係数や粘度から得られた値を比べた (図 2)。両者とも良い一致を示し、安定した境膜の存在が示された。

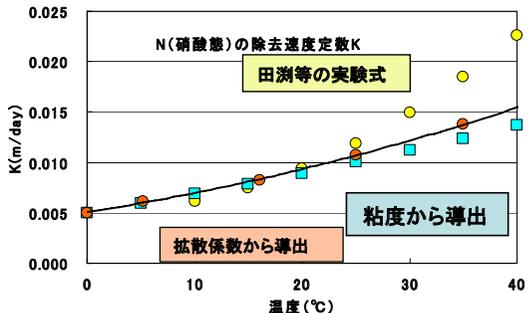


図 2 境膜モデルに基づく温度効果 (安定境膜)

* (独) 農研機構 農村工学研究所

キーワード: 水田 除去速度 栄養塩 濁質 境膜モデル

5. 低減曲線と除去速度定数

各地点での濃度は時間がたつと一定となり、水田内は濃度分布を持った定常状態となった。(2)式は各地点での定常濃度の自然対数 $\ln(C)$ と平均流達時間 t との関係を表す。即ち $-(KH)$ を傾きとする直線関係を示す (図3)。これから求めた動水時の除去速度定数 K/H を表1に示す。特に、波板を入れて整流し高速にした時 (ケース4, ケース6)、除去速度が低下する傾向と温度効果 (1.7~2.0倍) とが顕著であった。

6. 流況の効果

濁水供給中 (動水時) の除去速度は停水後 (静水時) の除去速度よりSSで3.3倍程度大きい (図4)。T-N (2.2倍) やT-P (2.6倍) でも動水時に除去速度は大きくなる。静止状態では完全混合条件が破れ境膜が厚くなる効果を生むため除去速度は小さくなる。SSの場合は沈降しにくい粒子が残される要因も重なる。又、既報の文献³⁾でも同じ流速効果を示している。

7. 土表面の二重境膜

拡散の速い硝酸イオンの除去速度がリン酸イオンの除去速度より遅い。さらに高温で脱窒が盛んな時に硝酸イオンの除去速度 (拡散速度) が理論値より速くなる (図2)。---これは土層側にも境膜が有り濃度 C がゼロとなる面が移動することを示す。即ち、脱窒面の移動が拡散の遅い土中では重要となる。

8. 植生の効果

植生の効果を見ると、静水時に顕著で、除去速度がSS (2.0倍)、T-N (6.5倍)、T-P (2.1倍) と増加する (表2)。ただし、この倍率は温度の効果 (約2倍) も含むため、植生のみによる効果はT-Nのみに現れている。

【謝辞】 本研究は文部科学省科学技術振興調整費「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発 (代表: 辻本哲郎)」の一部として行った。又、実験にあたっては愛知県農業総合試験場農業工学Gの多大なる協力を得た。

静水中での除去速度定数 $K(\text{m/day}) H=5\text{cm}$

	SS	T-N	T-P
植生アリ	0.143	0.057	0.089
植生ナシ	0.071	0.009	0.042
アリ/ナシ	2.02	6.51	2.12

表2 静水時における植生の効果

ケース	実施日	植生	波板の設置	K_{SS}/H	K_N/H	K_P/H
1	7月8日	あり	なし	0.39	0.12	0.10
2	7月10日	あり	なし	0.36	0.14	0.17
3	8月18日	あり	なし	0.31	0.10	0.19
4	8月20日	あり	あり	0.28	0.04	0.11
5	11月28日	なし	なし	0.33	0.15	0.12
6	11月30日	なし	あり	0.17	0.02	0.06

K_{SS}, K_N, K_P : SS, T-N, T-Pの除去速度定数 [m h⁻¹]
H: 灌水深 (= 0.05 m)

表1 動水時における除去速度定数

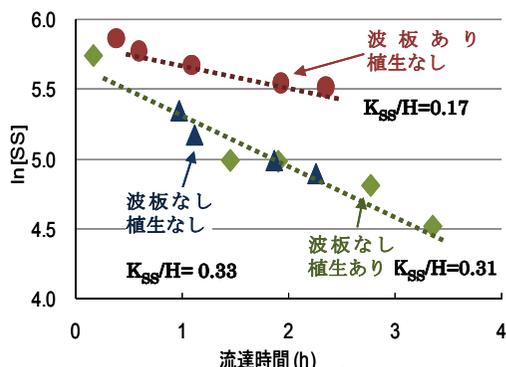


図3 動水時における低減曲線 (SS: mg/L)

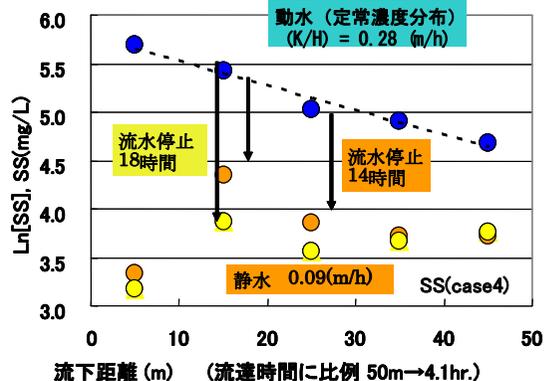


図4 動水時と静水時の除去速度

【引用文献】

- 1) 大井節男: 酸化溝における曝気の研究、農業土木試験場技法、A20、pp.49-57、(1980)
- 2) 田淵俊雄: 水田窒素除去機能の定量化への試み、農土誌 74(8)、pp.703-706
- 3) 伊藤信・増島博: 田面流水における窒素・リン濃度の変動と流速条件、土肥誌、51(6)、pp.478-486、(1980)