# 改良型物質流出タンクモデルを用いた森林流域からの硝酸態窒素流出機構に関する考察

高松高専　正員　○田村 隆雄　　香川県　　正員　小西 敏雄
徳島大学　正員　　吉田　弘　　徳島大学　ﾌｪﾛｰ　端野 道夫

**１．はじめに**　著者らのグループは，これまでに森林流域の水質浄化機能を定量評価することができる実用的なモデルとして「物質流出タンクモデル」の構築を進めてきた．本報告ではこれまで複雑な構造を有していたモデルを簡素化するとともに，モデルを徳島県白川谷森林試験流域における長期水質観測データに適用して得られた，硝酸態窒素の渓流水濃度の再現結果，土壌水濃度の推定結果，ならびに年間収支量の算定結果をもとに，森林流域からの硝酸態窒素の流出機構について考察する．

**２．改良型物質流出タンクモデルの概要**　改良型物質流出タンクモデルの構造図を**図-１**に示す．モデルは，雨水と溶存物質の動きを表現するために，表層土壌を表した表層タンクと，地下水帯を表した地下水タンクで構成され，表層タンクは更に土壌Ａ層を表した上部タンクと，土壌Ｂ層とＣ層を表した１次ならびに２次土壌水分タンクから構成されている．従来のモデル[1)]は，溶存物質の流出機構を表現するために，土粒子構造に取り込まれた吸着態物質と土壌間隙水中に含まれ実際の流出現象に寄与する溶存態物質という２つの成分を考慮した複雑な構造であったが，観測資料の再検証を行い次のような改良ならびに簡素化を図った．

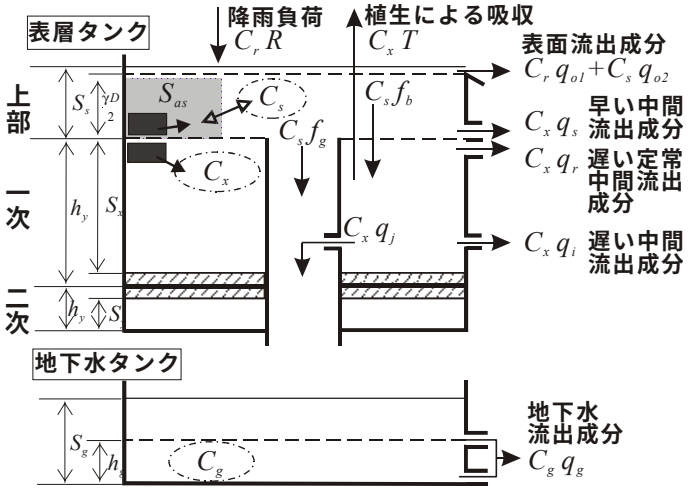


**図-１　改良型物質流出タンクモデル**

**1)** 渓流水質形成機構での１次土壌水分タンクは濃度上昇，地下水タンクは濃度希釈という役割を明確にするために，遅い定常中間流出成分を設けた．また表層タンクから地下水タンクへの物質移流は雨水流動の大きな洪水時のみとした．**2)** 流出現象に直接寄与しない吸着態物質は原則として考慮しない．ただし上部タンクは無降雨時に水深がゼロになるため吸着態物質を考慮した．**3)** 観測結果から土壌深度 30～50cm における硝酸態窒素の濃度変動は微小なので２次土壌水分タンクの物質収支式を廃止した．

溶存物質の流出過程については，移流（全タンク），溶質交換（上部タンク），植生による吸収（１次土壌水分タンク），および土壌中微生物による硝化（上部タンク，１次土壌水分タンク）を考慮して，それぞれ**式(1)**～**(4)**のような定式化を行い，各タンクにおいて収支式（詳細は参考文献**1)**）を組み立てた．

$$L_{q\xi}=C_\xi\cdot q_\eta \ or\ L_{f\eta}=C_\xi\cdot f_\eta \qquad (1)$$

$$L_{ex,s}=\nu_s\left(k_s\cdot S_{as}-C_s\right)\cdot S_s \qquad (2)$$

$$L_{\delta T}=C_x\cdot T \qquad (3)$$

$$L_{n\xi}=\alpha_\xi\exp\left\{\beta_\xi\left(\theta-\theta_{0\xi}\right)+\gamma_\xi\left(S_\xi/h_\xi-\phi_\xi\right)\right\} \qquad (4)$$

ここで，$L_{q\xi}$，$L_{f\xi}$：溶存態物質移流量（mg/hr），$C_\xi$：溶存態物質濃度（mg/mm），$q_n$：雨水移流成分量，$L_{ex,s}$：溶質交換量（mg/hr），$\nu_s$：溶質交換係数，$k_s$：溶質交換速度係数（/hr），$S_{as}$：上部タンクの吸着態物質濃度（mg/mm），$C_s$：上部タンク溶存態物質濃度（mg/mm），$S_s$：上部タンク雨水貯留高（mm），$L_{\delta T}$：植生による吸収量（mg/hr），$C_x$：一次土壌水分タンクの溶存態物質濃度（mg/mm），$T$：植生の吸収強度（mm/hr），$L_{n\xi}$：硝化量，$\alpha_\xi$：硝化速度係数（mg/hr），$\beta_\xi$：温度係数（/℃），$\theta$：日平均地温（℃），$\theta_{0\xi}$：地温閾値（℃），$\gamma_\xi$ 土壌水分係数，$S_\xi$：貯留水深，$h_\xi$：土壌層厚（mm），$\phi_\xi$：土壌水分閾値，$\xi$（$=s, x, y, g$）：タンクを

キーワード：森林流域，水質浄化機能，硝酸態窒素，タンクモデル，物質収支
連絡先（田村 隆雄　〒761-8058　高松市勅使町 355　TEL:087-689-3938 / FAX:087-869-3929）

表す添字，$\eta$（$=o$，$s$，$h$，$i$，$j$，$k$，$l$，$g$，$r$）：流出成分を表す添字，$\zeta$（$=f$，$b$）：浸透成分を表す添字である．

**３．モデルの適用結果**　徳島県白川谷森林試験流域（23ha，スギ人工樹林）で得られた 1992 年の観測資料に改良型タンクモデルを適用した結果を**図-２**に示す．渓流水濃度をみると，一部過小評価している部分もあるが，改良型モデルは渓流水濃度の季節変化を良好に再現できている．次に降雨時における土壌中での硝酸態窒素濃度の変化は，過去の観測結果[2]から，まず表層土壌（10cm 付近）が上昇し，降雨ピーク後にやや深い層（20cm～30cm）の濃度が続いて上昇する．そしてそれよりも深い層では，濃度がほとんど変動しないということが分かっている．**図-２**をみると，降雨時に上部タンクの濃度が発現した後，土壌 B 層に相当する一次土壌水分タンクの濃度が上昇している．地下水タンクの濃度はそれほど大きな変動は見られない．以上のことから改良型物質流出タンクモデルは渓流水だけでなく土壌水の濃度変化についても概ね表現できていると考える．

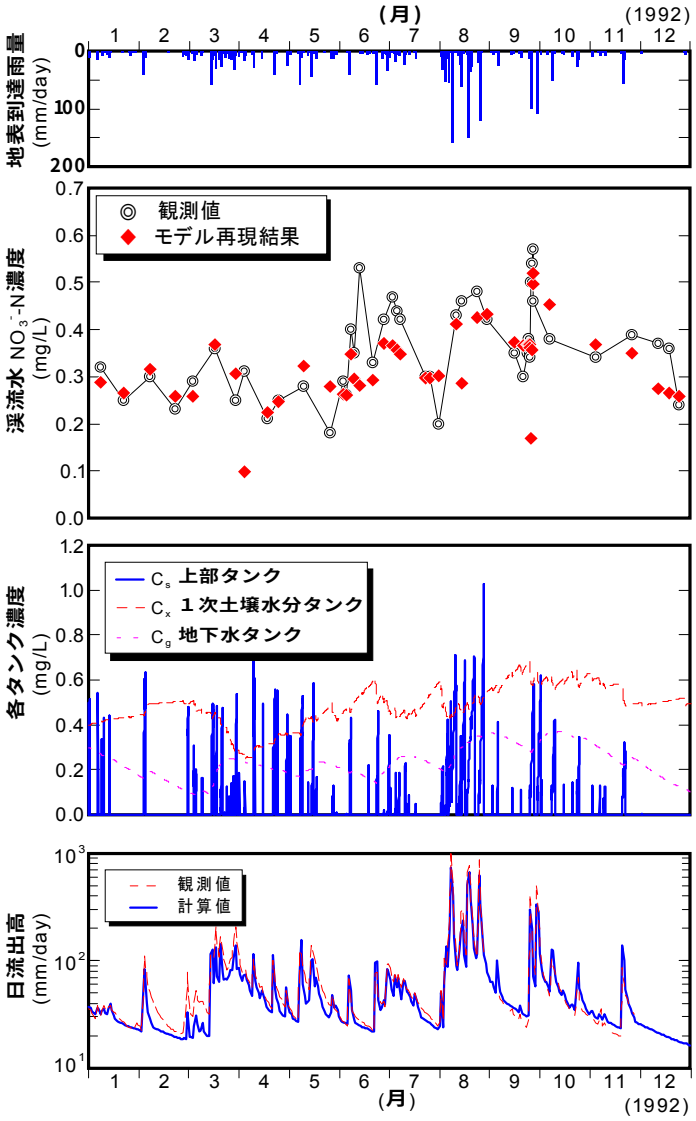


**図-２　改良型タンクモデルによる再現結果**

**表-１　硝酸態窒素の収支**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 入力 | 降雨 | | 1892 | |
| | 溶出・硝化 | 上部タンク | 3456 | |
| | | 1 次土壌水分タンク | 2523 | |
| 出力 | 植生吸収　1 次土壌水分タンク | | 1424 | |
| | 流出 | 表面流出 | 20 | (0.3%) |
| | | 早い中間流出 | 1407 | (21.3%) |
| | | 遅い中間流出 | 1606 | (26.6%) |
| | | 遅い定常中間流出 | 1752 | (24.4%) |
| | | 地下水流出 | 1800 | (27.3%) |

単位：g/ha

**４．物質収支**　物質収支を**表-１**に示す．降雨負荷量は 1892g/ha で流出負荷量は 6585g/ha であった．負荷量の流出率は 3.5 となることから，硝酸態窒素は森林流域が流出負荷源であり，その原因となっているのは微生物による硝化であることが分かる．流出成分に注目すると，濃度的にはそれぞれ特徴を有する[2]ものの，負荷量としてみると，成分でそれほど大きな差異がなく，定常的に発生している成分ほど多くの負荷量を流出させていることが分かる．植生による吸収量は流出成分に含まれる負荷量とほぼ同じであり，流出機構において大きな役割を果たしていると考えることができる．

**５．おわりに**　改良型物質流出タンクモデルを用いて硝酸態窒素の流出機構について考察を行った．今後は植生や土壌，地質などの森林流域の諸量が渓流水質形成機構にどのような影響を与えるかについて研究を進める予定である．

**参考文献**　**1)** 田村ら：硝化モデルを組み込んだ森林流域からの硝酸態窒素流出モデルに関する検討，水工学論文集，44，pp.1149-1154，2000．**2)** 吉田ら：山地小流域での渓流水質形成過程に関する基礎的検討，水工学論文集，38，pp.271-276，1994．