

# 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負荷量の推定

徳島大学大学院 学生員 小西 敏雄 高松 高専 正員 田村 隆雄  
 徳島大学工学部 正員 吉田 弘 徳島大学工学部 フェロー 端野 道夫

1. はじめに 本研究グループは徳島県白川谷森林試験流域において降雨や渓流水濃度などについての様々なデータを観測してきた。しかし、各土壌層からどの程度の割合で流出するか観測することは難しい。そこで本研究グループではこれまで構築してきた物質流出タンクモデルを用いて渓流水硝酸態窒素負荷量の成分ごとの流出負荷量について推定を試みた。

2. 物質流出タンクモデルの概要 モデルは、土壌間隙率、浸透能、微生物活性の異なる複数の土壌層を表現するため4つのタンクからなっている。各タンクには、土粒子構造に取り込まれ流動しにくい吸着態物質と、雨水流動に敏感に反応し流出する溶存態物質を設けている。そして、溶存態物質と吸着態物質の間でおこる溶質交換過程、溶存態物質の移流過程、硝化過程、植生による吸収過程をそれぞれ定式化して組み込んだ。各タンクでの溶質交換量、移流量、硝化量、植生による吸収量を以下の式(1)~(4)に、式(5)、(6)に1次土壤水分タンクの収支式を示す。詳細については参考文献1)を参照されたい。

$$L_{ex\xi} = v_{\xi}(k_{\xi} \cdot S_{a\xi} - C_{\xi}) \quad (1)$$

$$L_{q\xi} = C_{\xi} \cdot q_{\eta} \quad \text{or} \quad L_{q\xi} = C_{\xi} \cdot f_{\zeta} \quad (2)$$

$$L_{n\xi} = \alpha_{\xi} \exp\{\beta_{\xi}(\theta - \theta_{0\xi}) + \gamma_{\xi}(S_{\xi}/h_{\xi} - \phi_{\xi})\} \quad (3)$$

$$\begin{cases} L = C_x \cdot T \cdot \delta_x \cdot (10/\theta_a)^2 & (\theta_a \geq 10^{\circ}\text{C}) \\ L = 0 & (\theta_a < 10^{\circ}\text{C}) \end{cases} \quad (4)$$

$$d(C_x S_x)/dt = L_{q\xi} + L_{ex\xi} - L \quad (5)$$

$$d\{S_{ax} h_x (1 - f_x)/f_x\}/dt = -L_{ex\xi} + L_{n\xi} \quad (6)$$

$L_{ex}$  : 溶質交換量 (mg/hr),  $L_q$  : 移流量(mg/hr),  
 $L_n$  : 硝化量 (mg/hr),  $L$  : 植生による吸収量(mg/hr),  
 $C$  : 溶存態物質濃度(mg/mm),  $S_a$  : 吸着態物質濃度(mg/mm),  $k$  : 溶質交換係数,  $v$  : 溶質交換速度係数(1/hr),  $q$  : 流出成分 (mm/hr),  $f$  : 浸透強度(mm/hr),  $\alpha$  : 硝化速度係数(mg/hr),  $\beta$  : 温度係数(1/),  $\gamma$  : 日平均地温( ),  $\theta_0$  : 地温閾値( ),  
 $\delta$  : 土壤水分係数,  $S$  : 貯留水深(mm),  $h$  : 土壤層圧(mm),  $\phi$  : 土壤水分閾値,  $T$  : 吸収強度(mm/hr),  
 $\theta_x$  : 吸収係数,  $\theta_a$  : 日平均気温( ),  $\theta$  : (s, x, y, g) : タンクを表す添字 (=o, s, h, i, j, k, l, g) : 流出成分を表す添字, (=f, b) : 浸透成分を表す添字である。

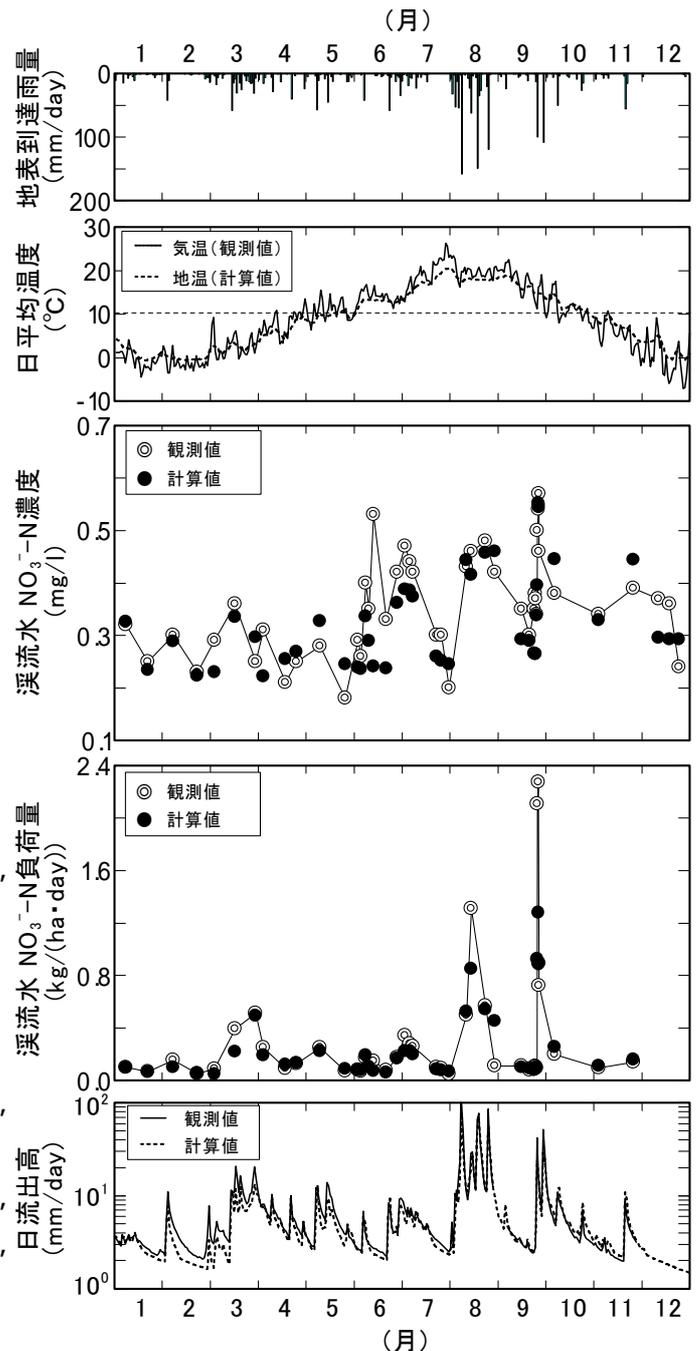


図 - 1 物質流出タンクモデルによる計算結果(1992年)

キーワード：タンクモデル，森林流域，硝酸態窒素，流出負荷量，物質収支

連絡先 (〒770-8506 徳島市南常三島町2丁目1番地 TEL&FAX 088-656-7333)

3. 渓流水硝酸態窒素濃度の再現結果 徳島県白川谷森林試験流域(23ha, スギ人工林)で得られた1992年の観測データに物質流出タンクモデルを適用した結果を図-1に示す。渓流水硝酸態窒素濃度の図から、6月、9月に若干過小評価している部分があるが、一年を通して季節変化を再現できていることがわかる。負荷量についても季節変化は再現できているが、8-9月の豪雨時には計算値は観測値に比べて若干過小のようである。

4. 硝酸態窒素負荷量収支 物質流出タンクモデルの概要図を図-2に、各成分に対応する硝酸態窒素負荷量を表-1にそれぞれ示す。表-1の負荷量の期間については、1992年1年間長期収支、7/30から8/29までの降雨量が多く直接流出成分と基底流出成分とがほぼ同等の夏季収支、そして一降雨の集中観測を行った9/23から9/28まで5日間の直接流出成分が大半を占める短期収支を示した。ここで、流出水高、硝酸態窒素負荷量は累計値、硝酸態窒素濃度は平均値である。まず流出水高についてみると、長期収支では地下水流出成分が最も多く(53%)、土壌下方ほど流出水高が多いことがわかる。夏季収支ではどの土壌層からも平均して流出している(20~30%)。短期収支は洪水イベントにおける収支なので早い中間流出成分の割合が最も高くなっている(45%)。これらのことから流出水高については、降雨後すぐは早い中間流出成分の割合が高いが、期間が長くなるにつれ浸透した成分の影響により遅い中間流出成分や地下水流出成分の割合が高くなっていくことがわかる。

濃度については、どの期間においても遅い中間流出成分が高い。これは、本物質流出タンクモデルでは、早い中間流出成分が発生する上部タンクの溶存態物質は晴天時には存在せず降雨強度が浸透能を越えたときに発生すること、上部タンクの雨水移流が速く吸着態物質からの溶質交換速度が遅れること、濃度の低い多量の降雨によって溶存態物質濃度が薄められることなどによると考えられる。そして、これらのモデルによる各流出成分濃度の推定結果は、9/23~9/28の洪水イベントでの斜面土壌水質濃度の観測結果<sup>2)</sup>とも概ね同様の傾向を示している。負荷量は、長期収支では土壌下方ほど多い。早い中間流出成分と地下水流出成分は流出水高、遅い中間流出成分は濃度の影響を受けていることがわかる。夏季収支、短期収支も長期収支と同様の傾向である。降雨(流入)負荷量に対する流出負荷量の割合について長期収支で3.1倍、夏季収支で12.7倍、短期収支で2.8倍となっている。これらのことから、硝酸態窒素は土壌中で生産され降雨負荷量以上に流出していることがわかる。

5. おわりに 物質流出タンクモデルによる硝酸態窒素負荷量の推定結果によれば硝酸態窒素負荷量の早い中間流出成分と地下水流出成分については流出水量の影響が、遅い中間流出成分については濃度の影響が大きいことがわかった。また、この推定結果は観測事例とも概ね同様の傾向を示した。

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，pp271-276，1994。

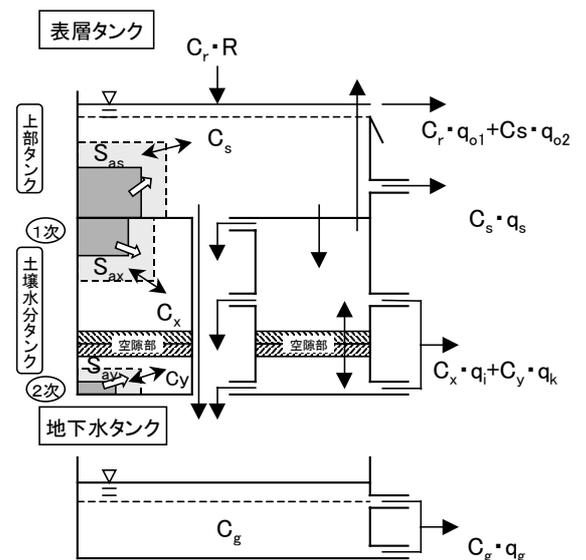


図-2 物質流出タンクモデル概要図

表-1 モデルによる硝酸態窒素物質収支

	1992年		流出水高 (mm)	濃度 (mg/l)	負荷量 (g/ha)
	1/1~12/31	7/31~8/29			
長期収支	降雨負荷		2813	0.117	2309
	表面流出成分		148	0.001	80
	早い中間流出成分		360	0.043	1277
	遅い中間流出成分		491	0.494	2425
	地下水流出成分		1131	0.281	3357
	合計		2131		7139
夏季収支	降雨負荷		936	0.024	229
	表面流出成分		130	0.007	61
	早い中間流出成分		191	0.225	715
	遅い中間流出成分		127	0.542	688
	地下水流出成分		196	0.346	727
	合計		645		2192
短期収支	降雨負荷		134	0.069	93
	表面流出成分		5	0.011	6
	早い中間流出成分		26	0.246	137
	遅い中間流出成分		13	0.690	78
	地下水流出成分		14	0.299	42
	合計		58		262