

動力学モデルによる河川感潮部での直鎖アルキルベンゼン スルホン酸塩（LAS）の挙動に関する検討

阿南工業高等専門学校 正 上月康則
鳥取大学工学部 正 細井由彦
徳島大学工学部 正 伊藤禎彦
（株）熊谷組 正○大野伸也

1. はじめに 河川水中におけるLAS挙動に影響を及ぼす重要な要因には、生分解と懸濁物質（SS）への吸着による移動がある。そこで、著者らはこれまで河川感潮部におけるLASの吸着特性¹⁾および生分解特性^{2)~4)}を明らかにしてきた。またSS界面に付着する細菌の特性は、水中に浮遊する細菌と異なることも指摘してきた。本研究ではこれらの要因のうち、実験から明確にすることが困難であったSS界面上の細菌の特性に注目し、モデルから検討した。

2. モデルの基本構造 河川水中でのLASは、水中およびSS界面上でそれぞれ浮遊細菌、付着細菌により生分解され、またFreundlichの等温吸着式にしたがってSSへ吸着し、さらに沈降により底質に移動し水中から除去される。本モデルではLASが河川感潮部に流入し滞留する間に塩分の変動を受けながら、上記の要因によってLASが除去される過程を表現する。

基礎式を表1に示す。LASの生分解特性に関する検討から、浮遊細菌と付着細菌は増殖速度、収率、耐塩分ストレス性などが異なり、LASの生分解においてSS界面上での細菌の働きも大きいことが示された^{2)~3)}。そこで本モデルでは細菌を浮遊細菌と付着細菌に、またLASについても溶存態LAS、吸着態LASに区別して表現した。さらにSS界面上で増殖した付着細菌の一部は脱離することが明らかにされている²⁾ことから、これを一定の脱離速度定数（Z）で表現した。

3. 係数値の設定 LASの生分解モデルはMonod式で表現することから最大増殖速度（ μ_{MAX} ）、半飽和定数（ K_s ）、収率（Y）などを算出しなければならない。さらに河川感潮部においては細菌群は塩分の変動の影響を受ける⁴⁾ことから、塩分ストレス感受性係数（ γ ）も算出する。また細菌を浮遊細菌と付着細菌に分けて考えていることから、以上の定数を両細菌について文献等の範囲内で実験値と適合するように求めた。その結果、付着細菌の最大増殖速度は浮遊細菌の1.5倍であることがわかった。半飽和定数および収率をみても付着細菌は浮遊細菌に比べて580倍および1.1倍であり、少量の基質で効率的に増殖できることがわかる。また付着細菌の塩分ストレス感受性係数は、浮遊細菌の0.01倍であり塩分の変動の影響は小さいことがわかった。なおSSの沈降速度は塩分の影響を考慮した二

表 1 基礎式

$$\begin{aligned} \mu_p &= \mu_{MAXP} \frac{C}{K_{SP} + C} \\ \mu_A &= \mu_{MAXA} \frac{q}{K_{SA} + q} \\ \frac{dB_p}{dt} &= \mu_p \times B_p + Z \times B_A - \gamma_p \times \left| \frac{dS}{dt} \right| \times B_p - \beta \times B_p \\ \frac{dB_A}{dt} &= \mu_A \times B_A - Z \times B_A - \gamma_A \times \left| \frac{dS}{dt} \right| \times B_A - \beta \times B_A \\ \frac{dC}{dt} &= -\mu_F \times \frac{BF}{Y_F} - \zeta \times \left(k \times C^{\frac{1}{n}} - Q \right) \times SS \\ \frac{dQ}{dt} &= -\mu_A \times \frac{B_A}{Y_A} + \zeta \times \left(k \times C^{\frac{1}{n}} - Q \right) - Q \times w \times \frac{1}{h} \times SS \\ \frac{dW}{dt} &= Q \times w \times \frac{1}{h} \times SS \end{aligned}$$

Q (g/kg), q (g/n³) : 吸着態LAS濃度
C (g/n³) : 溶存態LAS濃度
W (g/n³) : 沈降LAS濃度
B_A (g/n³) : 付着細菌数
B_P (g/n³) : 浮遊細菌数

表 2 係数値

最大増殖速度	(1/hr)	$\mu_{MAXP} = 0.1$ $\mu_{MAXA} = 0.15$
半飽和定数	(g/n ³)	$K_{SP} = 0.56$ $K_{SA} = 0.001$
収率	(-)	$Y_p = 0.65$ $Y_A = 0.71$
塩分ストレス感受性係数 (1/g)		$\gamma_p = 0.67$ $\gamma_A = 0.01$
死滅速度定数	(1/hr)	$\beta = 0.03$
脱離速度定数	(1/hr)	$Z = 0.03$
沈降速度	(n/s)	$w = 0.000038$

渡⁶⁾によるものを用いた。表 2 に得られた係数値を示す。

4. モデルの適合性の検討 本モデルによる計算結果の一例を図 1, 2 に、一連の実験で得られた実験値と計算値の関係を図 3～5 に示す。河川水には種々雑多な細菌が含まれることや、本研究で考慮した要因以外にも細菌の挙動に影響を及ぼしているものもあると思われることから、細菌の挙動を合致させることは困難であるといわれている⁶⁾。しかしながら、図 1, 2 からは LAS および浮遊細菌、付着細菌の挙動がよく再現されていることがわかる。

また全実験データについて比較してみると図 3～5 より、計算値と実験値の相関は浮遊細菌で 0.77、付着細菌で 0.8 であることから、十分に細菌の挙動は表現されていると考えられる。また LAS の挙動については相関係数 0.97 であった。以上のことから、塩分の変動する環境下における LAS の挙動を明らかにするためのモデルとして、本モデルは適用可能であることがわかった。

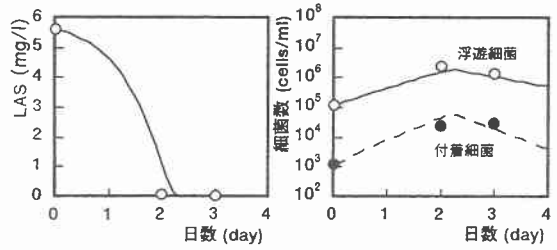


図 1 計算結果 (SS 添加系)

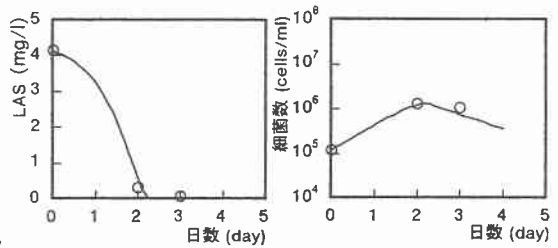


図 2 計算結果 (SS 無添加系)

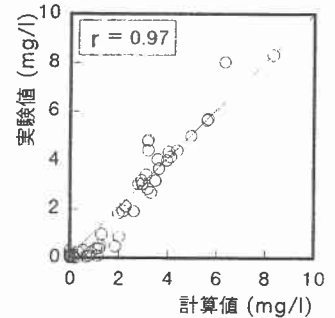
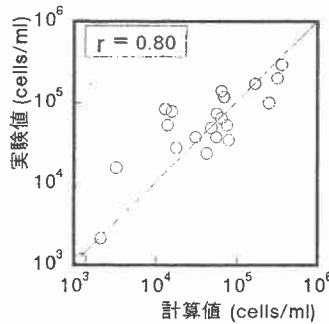
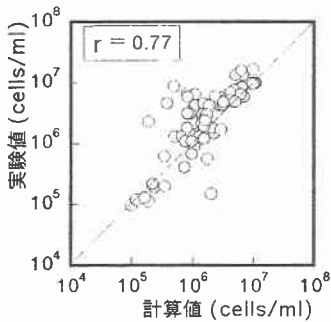


図 3 計算値の検証結果 (浮遊細菌数)

図 4 計算値の検証結果 (付着細菌数)

図 5 計算値の検証結果 (LAS)

5. まとめ 1) 付着細菌の最大増殖速度は浮遊細菌の 1.5 倍であった。2) 付着細菌の半飽和定数および収率は、浮遊細菌の 580 倍および 1.1 倍であることから、付着細菌は少量の基質で効率的に増殖できることがわかった。3) 付着細菌の塩分ストレス感受性係数は浮遊細菌の 0.01 倍であり塩分の変動の影響は小さいことがわかった。4) 計算値と実験値を比較した結果、LAS の場合、相関係数は 0.97、浮遊細菌では 0.77、付着細菌では 0.80 であり、本モデルを用いることで、河川感潮部における LAS の挙動に及ぼす塩分の変動の影響を定量化できることがわかった。

6. 参考文献 1) 感潮河川における陰イオン界面活性剤の懸濁物質への吸着特性に関する研究、水質汚濁研究、上月ら、1991。2) SS 界面における細菌の増殖特性、中四、上月ら、1994。3) 塩分が変動する環境下における LAS の分解に及ぼす SS の影響、年講、1994。4) 浸透圧ショック下における細菌の挙動に関する現地観測、中四、上月ら、1994。5) 強混合河川感潮部における物質輸送と水質変換に関する研究、学位論文、二渡了、1993。6) 富栄養化水の有機物分解過程のモデリングと関連微生物群の自浄能の評価、水環境学会誌、藤井ら、1992。