

自然降雨条件下における土壌中の物質移動の伝達関数モデルによる予測
Prediction of Solute Transport in Soil under Natural Rainfall
using Transfer Function Model

○酒井直樹
Naoki Sakai

清澤秀樹
Hideki Kiyosawa

1. はじめに

土壌中の物質動態の正確な調査や予測は、実験的な条件下では数多く行われているものの、実際の現場に適用可能な方法は確立されていない。本研究では、自然条件下(非定常の水分フラックス状態)での溶質移動を TDR によって測定する方法を試み、伝達関数モデルによって予測する方法を検討した。

2. 研究方法

2.1 野外観測の概要 (実施期間 2006年 12/6~12/16, 2007年 1/15~2/28)

三重大学町屋構内圃場に 1m 四方の区画を 2ヶ所設定し、0.3mol/l の KCL 水溶液(試験区)、水道水(対象区)を 5l ずつ 5分間にわたりジョウロで均一になるように散布した。その量は 5mm の降水量に相当する。

2.2 測定方法

土壌中の溶質濃度を測定するため、登尾(2003)を参考に TDR を用いて、土壌溶液の電気伝導度(EC)を測定した。TDR 波形から EC を求める方法は Hillhorst(2000)によった。センサーは、表面から鉛直方向にプローブ長さ 10, 20, 30cm の 3本を挿入し、水平方向には深さ 5, 10, 20, 30cm の 4本を挿入した。圃場の気象状況は、自動観測機器で記録されていた。

2.3 伝達関数による溶質濃度の計算

伝達関数モデルは、流出液の濃度変化

を流入口から流出口までの距離 L に関する溶質移動時間の分布とみなし、確率密度関数(pdf)としてとらえたものである(Jury,1982)。パルス状に溶質を与えた場合の移動時間 pdf には、以下の正規分布型((1)式)、対数正規型((2)式)がよく用いられる。

$$f(L,t) = \frac{L}{2\sqrt{\pi Dt^3}} \exp\left[-\frac{(L-Vt)^2}{4Dt}\right] \cdots(1)$$

$D(L)$: 有効拡散・分散係数 $V(L)$: 間隙流速

$$f(L,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{[\ln t - \mu]^2}{2\sigma^2}\right\} \cdots(2)$$

$\sigma(L)$: $\ln t$ の標準偏差 $\mu(L)$: $\ln t$ の平均

これらは定常水分フラックスを想定しているが、非定常条件下では、時間 t を積算浸透量 I に置き換えても近似できるとされている(Jury,1982)。(1)式は L を任意の深さ x に置き変えることで、(2)式はパラメータ σ , μ を

$$\mu_x = \mu_L + \ln(x/L), \sigma_x = \sigma_L \cdots(3)$$

のように置くことで、任意深さ x の溶質濃度の予測に利用することができる。(3)式を用いた(2)式は移流対数正規伝達関数(CLT)と呼ばれる。

本研究では、非線形最小二乗法を用いて(1)、(2)式を野外観測によって得られた実測値に適合させ、得られたパラメータから任意の深さ x における溶質濃度の変化を予測した。なお、積算浸透量は鉛直方向の TDR から得られる平均土壌水分

量と水収支の関係から求めた。

3. 結果

TDR 波形から得られた電気伝導度 (EC) を Fig.1 に示す。水道水を与えた対象区では、EC の変化はほとんど見られなかった。試験区では降水時に EC の急激な変化が表れたが、これは溶質移動に与える水フラックスの影響の大きさを表している。また、深い地点ほど濃度のピークは小さくなった。試験区の深さ 20cm の初期の濃度は、深さ 10cm より大きくなったが、30cm の実測値が他の深さよりも大きくなることは無かった。これは、粗間隙などの局所的な土壤構造が原因と考えられる。

時間 t に代え、積算浸透量 I を横軸にとったグラフを Fig.2 に示し、(1), (2) 式を各深さの実測値にあてはめたときのパラメータを Table 1 に示す。σ 以外のパラメータは対象とするスケール L に対して線形的に増加しており、特に分散係数 D のスケール依存性が顕著に表れている。すなわち、 D , V は深さの一次式で近似でき、 μ は、

$$\mu_x = \mu_L + \lambda \ln(x/L) \dots (4)$$

とした方がより適合性が良いことが分かった。本研究では、 $\lambda = 0.6811$ となった。

4. まとめ

自然降雨条件における土壤中の溶質移動を TDR によって観測したが、積算浸透量を独立変数とすることで、従来からよく用いられている伝達関数モデルを適用できることが分かった。また、そのパラメータはスケール依存性を持ち、対数正規分布を仮定した場合の μ に関しては、(4) 式で表せることが分かった。

残された課題として、様々な降雨強度パターンや土壤条件の影響を検討する必要がある。

5. 引用・参考文献

- 1) Hillhorst, M.A., 2000. Soil Sci. Soc Am J 64:1922-1925
- 2) Jury, 1982. Water Resour. Res. 18; 363-368
- 3) 登尾, 2003. 土壌の物理性 No.93

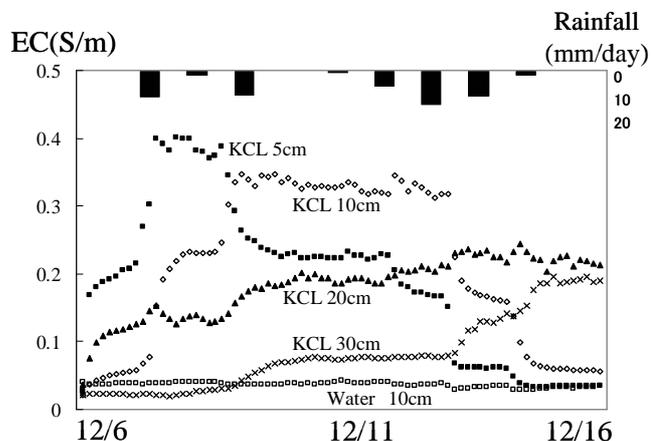


Fig.1 Temporal variation of EC and daily rainfall(12/6~12/16).

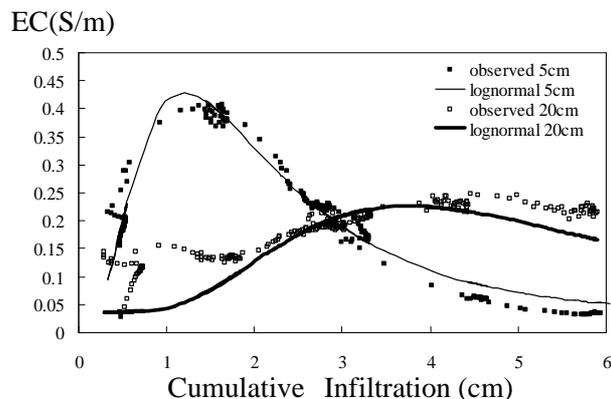


Fig.2 Comparison of experimental data and lognormal pdf with cumulative infiltration as a independent variable.

Table 1 Parameters of lognormal pdf and Fickian pdf with cumulative infiltration as a independent variable.

L(cm)	σ	μ	D	V
5	0.678	0.647	2.923	2.075
10	0.464	1.140	3.247	2.882
20	0.516	1.589	9.107	3.928
30	0.472	1.875	12.991	4.930