

酸性雨の溶質移動に関する研究

熊本大学大学院 学生員○奥村 知明 熊本大学工学部 学生員 久保 賢二
熊本大学工学部 正 員 中島 重旗 熊本大学大学院 原田 浩幸

1. はじめに 最近我が国に於て酸性雨による森林枯死の被害の報告が見られるようになった。森林の枯死は酸性雨による土壌の酸性化過程で溶出或るい吸着される様々な成分に起因するとされている。しかし、土壌の酸性化過程に関する研究報告例は非常に少ないように思われる。そこで本研究は人工酸性雨水を用いた模擬浸透試験を行い、Langmuir式と物質収支式の2つのモデル式による溶質移動の解析を試み土壌の酸性化についての検討した。

2. 基礎方程式 溶質成分の溶出・吸着モデル式(Langmuir式)と拡散を無視できると仮定した一次元押し出し流れの物質収支式を以下に示す。

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -k_1 q (c_s - c) + k_2 (q_0 - q) c \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \alpha \frac{\partial q}{\partial t} = v \frac{\partial c}{\partial z} \quad \text{----- (2)}$$

深さ z 方向を i, 時間 t 方向を j として (1), (2) 式を差分方程式で表すと (3), (4) 式となる。

$$q_{i,j+1} = q_{i,j} + \{ -k_1 q_{i,j} (c_{s,j} - c_{i,j}) + k_2 (q_0 - q_{i,j}) c_{i,j} \} \Delta t \quad \text{--- (3)}$$

$$c_{i,j+1} = c_{i,j} + \frac{v}{2} r (c_{i,j+1} + c_{i-1,j}) - \alpha (q_{i,j+1} - q_{i,j}) \quad \text{----- (4)}$$

ここで、q : 成分残存量 (mg/g) α : 重量体積率 (g/cm³)
c : 成分濃度 (mg/cm³) v : 移流速度 (cm/s)
q₀ : 成分溶出可能量 (mg/g) t : 時間 (s)
c_s : 成分飽和濃度 (mg/cm³) z : 深さ (cm)
k₁, k₂ : 脱着速度定数 (cm³/mg/s) r = Δt / Δz

よって、土壌に於ける溶質成分の移動は (3) 式と (4) 式の連立差分方程式を解くことで求められる。なお、(1) 式中の諸定数は振とう試験に於て (2) 式中の移流項を無視して求められる。

3. 実験方法 試料は熊本空港周辺から採取した黒ぼく土、赤ぼく土を用いた。土壌の化学的性状を表-1に示す。人工酸性雨水は実雨水のデータからイオン交換水に硫酸カリウムと硝酸カリウムをそれぞれ0.1mol/lづつ溶かし、塩酸でpH3, pH4に調整した。この時硫酸イオンと硝酸イオン濃度は9.6ppmと6.2ppm, カリウムイオン濃度は11.7ppmとなる。浸透試験装置の概略を図-1に示す。降水は4l/dayとして40l浸透させた。これは、熊本市の年間降水量を2000mmとすると約1.2年の降雨の降水量に相当する。また、土壌カラムの深さ10cmおきに土壌溶液を採水して溶質成分やpHの測定を行った。

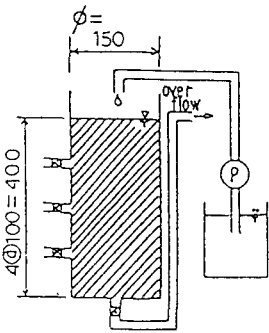


図-1 浸透試験装置の概略

表-1 土壌の性状(試験前)

土壌	交換性塩基 (eq/100g)				CEC (eq/100g)	BS (%)	pH	
	Ca	Mg	K	Na			(液相)	(固相)
黒ぼく土	0.285	0.300	0.275	0.083	34.469	2.74	5.62	4.86
赤ぼく土	1.336	0.601	0.685	0.394	28.733	10.49	4.83	5.39

BS : 塩基飽和度

表-2 土壌の性状(実験後-黒ぼく土・人工酸性雨pH4浸透)

深さ	交換性塩基 (eq/100g)				CEC (eq/100g)	BS (%)	pH
	Ca	Mg	K	Na			
10 cm	1.439	0.138	2.520	0.102	36.898	11.33	4.74
20 cm	1.297	0.268	0.284	0.114	24.102	8.14	4.81
30 cm	1.758	0.312	0.319	0.102	35.816	6.95	4.77
40 cm	1.763	0.333	0.359	0.170	35.228	7.45	4.77

BS : 塩基飽和度

4. 試験結果及び考察

黒ぼく土を詰めた図-1のカラムにpH4の人工酸性雨水を浸透させた試験結果を表-2、図-2、図-4、図-6に、pH3の人工酸性雨水を浸透させた結果を図-3、図-5、

図-7に示す。

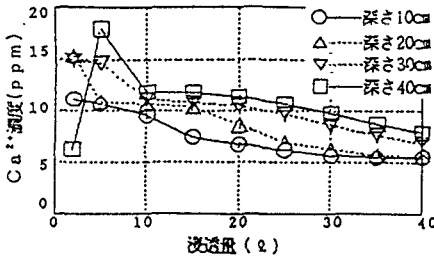


図-2 交換性カルシウム変化(黒ぼく土・人工酸性雨pH4浸透)

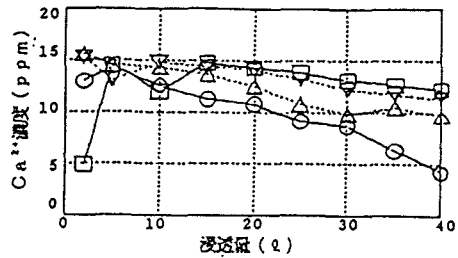


図-3 交換性カルシウム変化(黒ぼく土・人工酸性雨pH3浸透)

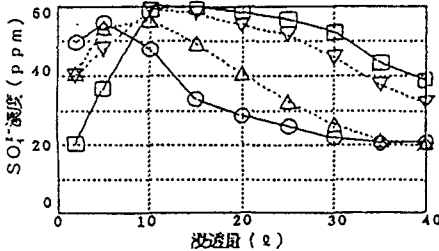


図-4 硫酸イオン変化(黒ぼく土・人工酸性雨pH4浸透)

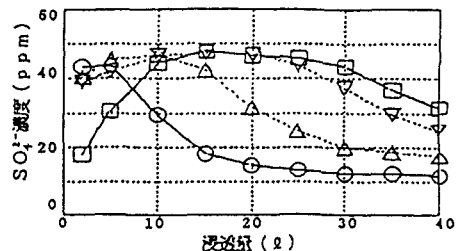


図-5 硫酸イオン変化(黒ぼく土・人工酸性雨pH3浸透)

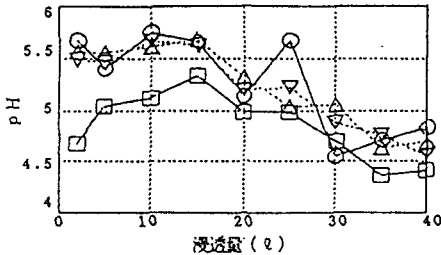


図-6 土壌溶液のpH変化(黒ぼく土・人工酸性雨pH4浸透)

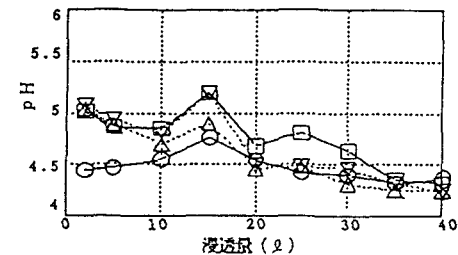


図-7 土壌溶液のpH変化(黒ぼく土・人工酸性雨pH3浸透)

表-2と表-1との比較から黒ぼく土は酸性雨水の酸中和が進んで塩基飽和度が増加しており、それが特に深さ10cmで起きていることが分かる。また全層に於て土壌のpH変化がほとんど見られない事から土壌に緩衝能力があることは明らかである。交換性塩基については酸性雨水にカリウムが含まれるためカリウム濃度は深さ10cmで高いか以下の層では小さい。よって、カリウムは主に表層で吸着されたことが分かる。その他の交換性塩基は酸による鉱物破壊により増加しているが、カラム内の移流により下層で滞留あるいは吸着されていると思われる。

人工酸性雨水pH4の図-2について、交換性カルシウムは下層に向かうほど大きい全層低下・平衡に向かう傾向にある。しかし人工酸性雨水pH3の図-3については深さ10cmを除く他の層で人工酸性雨水pH4のカルシウム濃度よりも高い。明らかに酸性雨水pH4よりも水素イオン濃度の高い酸性雨水pH3の方でカルシウムが溶出しやすいことを示している。

図-4、図-5の結果からは酸性雨水pH3、pH4ともに10cm、20cm、30cm、40cmの順に溶出がピークに達する傾向があるが、これが移流によって起きていると思われる。また硫酸イオン濃度は酸性雨水pH4よりpH3の方が低く、pHが低いと硫酸イオンの溶出が弱まると思われる。よって、土壌カラム内の硫酸イオン濃度はpHと移流速度に影響されることが分かる。

図-6と図-7はそれぞれ人工酸性雨pH4、pH3浸透時の土壌溶液pHを示したものである。土壌溶液のpHはpH4浸透よりもpH3浸透の方が低い。しかし、pH3浸透の土壌pHが深さ10cmおきにそれぞれ4.24、4.77、4.75、4.82であったので人工酸性雨水が中和されぬままに出てきた可能性があると思われる。

5. 今後の課題 以上の実験結果を2.で示した2つのモデル式によりシミュレートを行い、モデル式の適性を示すとともに土壌溶液中成分の将来予測を行って、最終的には陽イオンと陰イオンの電氣的平衡から土壌溶液のpH予測から将来に於ける土壌酸性化の検討を行うことが必要と思われる。