

B-33

フィールド実験と数値モデルによる雲底下大気物質洗浄過程の検討

山梨大学工学研究科社会・情報システム工学専攻

山梨大学山梨大学大学院 医学工学総合研究部

○熱田洋一

大石哲

西田継

坂本康

藤田昌史

1. はじめに

酸性雨は、地球環境問題の1つとしてあげられており、森林生態系などへ与える影響が心配されている。酸性雨問題の解決には酸性雨形成機構の解明が必要である。そのため、多くの酸性雨モデルが提案され、多くの知見が得られている。しかし、それらの酸性雨モデルは実観測結果との比較が不十分である。

そこで、本研究では山の斜面で降水水質高度分布と大気物質濃度を観測し、その結果と雲底下物質洗浄モデルによるフィールド実験の再現結果との比較を行った。なお、今回はガス状物質の洗浄過程のみを取扱っている。

2. 実験方法

フィールド実験は、甲府盆地北部の山中で行なった(図1)。実験地北側は山岳地域で、南側の標高の低い場所は市街地が広がる。図2にそのフィールド実験地概要を示す。急な山の斜面に降水採取地点を5地点設けた。さらに、D地点では、大気物質濃度観測と転倒マス雨量計による0.5mmごとの降水量観測を行なった。各降水採取地点間の水平距離は、600m以下であり、各地点の降水量の差はほとんどない。また、実験地内の大気物質濃度は一様である(予備実験で確認)。HNO₃、NH₃ガスは拡散スクラバーにより採取し、NO₃⁻、NH₄⁺エアロゾル成分はスクラバーの後段に設置したPTFEフィルターにより採取した。この実験により大気物質濃度が既知の空間内を通過する間にどのような降水水質変動が起こるのかを検討することが出来る。なお、降雨中実験地に霧がかかっている場合のデータは、本論文では取り扱っていない。

3. 雲底下ガス状物質洗浄モデル概要

本論文の雲底下ガス状物質洗浄モデルは、Seinfeldら(1997)などに従い作成した

3.1 化学反応

雨滴に取り込まれたガスは、雨滴内で解離や酸性化される。取扱った化学反応は、下記である。

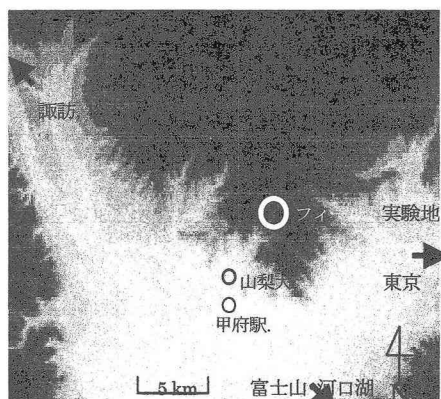
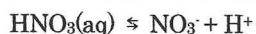
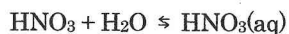


図1 フィールド実験地場所(甲府盆地北部、色が濃いほど標高が高い)

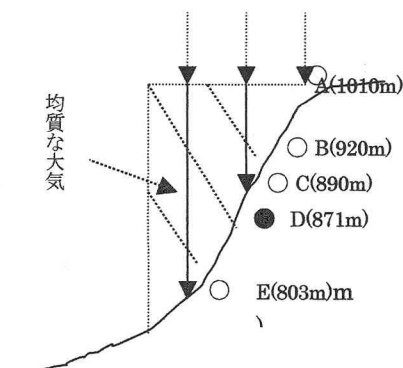
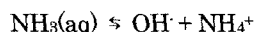


図2 採水地点概要(断面図)



3.2 支配方程式

あるガス状物質が雨滴に取り込まれる濃度 C_i の変化は、下記の式であらわされる。

$$\frac{dC_{igw}}{dz} = \frac{3k_{Gi}}{rv} \left(C_{iG} - \frac{C_{iaq}}{H_i} \right) - R_i$$

$$k_{Gi} = \frac{D_{iG}}{r} (1 + 0.3 \text{Re}^{1/2} \cdot \text{Sc}_i^{1/3})$$

ここで、 C_{iG} :ガスの濃度(mol/l), C_i :雨滴内物質濃度(mol/l), r :雨滴半径(cm), v :落下速度(cm/s) <Gunn and Kinzer>, K_{Gi} :物質移動係数(cm/s), H_i :ヘンリー一定数 ((mol/l solution)/(mol/l gas)), Re :レイノルズ数, Sc_i :シュミット数, D_{iG} :ガスの拡散係数[cm²/s] である。

この物質移動は、雨滴表面の物質濃度と大気中ガスの濃度の違いにより起こる。

3.3 計算条件

時間ごと(100秒ごと)、雨滴粒径ごと(雨滴半径:0.01cm~0.2cm, 0.001cmごと)に落下に伴う雨滴内物質濃度の計算(雨滴落下方向に1mmごと)の後、その結果と仮定した雨滴粒径分布(Marshall and Palmer)に基づき、各時間の物質洗浄量を算出した。 NO_3^- , NH_4^+ の初期濃度と HNO_3 , NH_3 ガス初期濃度、降雨強度は、実測値を与えた。

4. 結果

図3に各降雨イベント直前の大気物質濃度を示す。今回解析対象とした降雨イベントは、ガス濃度が高い6月29日、6月30日、8月19日の降雨である(NH_3 ガスについても同様の傾向)。また、各降雨イベントの降水量、降雨強度、pHを表1に示す。

4.1 ガス洗浄過程シミュレーション結果と観測結果との比較

図2に8月19日の実験地内のガス濃度実測値とシミュレーション値の変動を示す。

大まかに見ると、2つの値の間に大きな違いは見られず、本モデルによる雲底下ガス洗浄過程のシミュレーションは、比較的うまくいっていると考えられる。さらに、詳細に検討すると下記の傾向が得られた。

- 1) 降雨前半: ガス濃度のシミュレーション値が過大評価となっている場合が多い。
- 2) 降雨後半: ガス濃度のシミュレーション値が実測値より低くなる場合が多い。

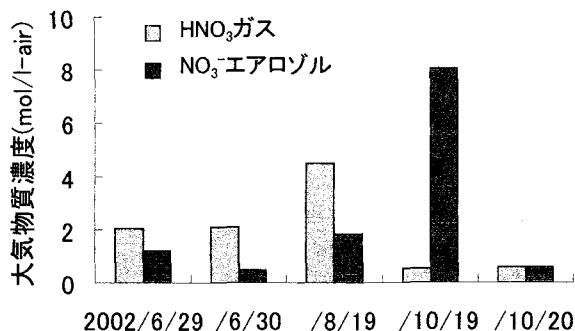


図3 各降雨イベント直前の大気物質濃度

表1 各降雨イベントの降水量、降雨強度、降水のpH

	2002/6/29	/6/30	/8/19	/10/19	/10/20
降水量(mm)	14.9	10.5	30.4	5.4	10.3
降雨強度(mm/h)	1.9	1.3	2.6	0.8	1.1
pH	4.6	5.0	5.3	4.3	5.2

4.2 シミュレーション値の誤差の原因の推測

まず、降雨前半のガス濃度シミュレーション値が過大評価している原因について考える。表2に降雨直前の風ベクトルと降雨前半の平均風ベクトルとガス濃度のシミュレーション値の誤差を示す。降雨直前では、いずれの降雨イベントにおいても南よりの風が吹いているが、降雨開始とともに北よりの風に変わっていることがわかる。図1で示したとおり、実験地の南側は市街地で、北側は山岳地域であることから、南側は相対的に汚染された大気で、北側はきれいな大気であると思われる。このことより、降雨開始とともに実験地に清純な大気が混入し、実測のガス濃度が下がり、シミュレーション値が過大評価しているように見えたと考えられる(シミュレーションは実験地外から大気物質の流入などは考慮されていない)。

次に、降雨後半のガス濃度実測値がシミュレーション値を上回る原因について考える。表3に降雨後半の平均風ベクトルとガス濃度のシミュレーション値の誤差を示す。6月29日と8月19日の雨では、南よりの風が吹いているのに対し、6月30日では、北よりの風が吹いている。降雨前半の場合と同様に考えると、北よりの風から南よりの風が変わったことにより、比較的汚染された空気が実験地に混入したために、実測値がシミュレーション値を上回ったと考えられる。また、このときは洗浄比も高くなることが表4より分かる。

4.3 降雨落下に伴う降水水質変動

図4落下距離と降水中の NO_3^- 濃度の関係について示す。実測値、シミュレーション値ともに降雨落下距離と NO_3^- 濃度との間の関係は、直線で近似できる。2つの値の差は、モデルがエアロゾルの洗浄過程を考慮していないためである。

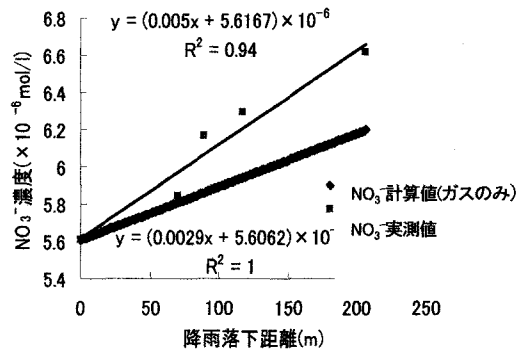


図4 落下距離と降水中の NO_3^- 濃度の関係

5. まとめ

ガス洗浄モデルを用いてシミュレーションを行なったところ、観測結果と大きなずれはなく、また、誤差原因の推定も行なうことができたため、うまく雲底下ガス洗浄過程を再現できた。

表2-1 降雨直前の風ベクトル

降雨前1時間平均風ベクトル(m/s)
6/29 南南西1.6
6/30 南西2.8
8/19 南東3.6



表2-2 降雨前半の風ベクトルとシミュレーション値の誤差 (ガス濃度の実測値とその採取時間中の平均シミュレーション値の差)

降雨前半平均風ベクトル(m/s)	HNO ₃ 誤差		NH ₃ 誤差	
	($\times 10^{-11}$ mol/l-air)	(%)	($\times 10^{-11}$ mol/l-air)	(%)
西0.9	-0.04	-5	0.38	8
北西1.9	0.71	30	2.39	26
北北東1.1	0.46	19	0.82	22

表3 降雨後半の平均風ベクトルとシミュレーション値の誤差

降雨後半平均風ベクトル(m/s)	HNO ₃ 誤差		NH ₃ 誤差	
	($\times 10^{-11}$ mol/l-air)	(%)	($\times 10^{-11}$ mol/l-air)	(%)
/6/29 南西0.4	-0.89	-94	-6.3	-98
/6/30 北西0.8	0.37	72	3.4	11
/8/19 西南西0.6	-0.06	-7	-1.17	-56

表4 各降雨イベント、各物質の洗浄比 (降雨直前の物質質量(ガス+エアロゾル)と実際に洗浄された量の比)

	NO ₃ ⁻ 洗浄比	NH ₄ ⁺ 洗浄比
/6/29	2.3	0.7
/6/30	0.9	0.5
/8/19	2.8	0.7