

大気汚染物質の沈着量予測モデル

大阪大学工学部 山口 克人

○近藤 明

1. はじめに

大気汚染物質は、移流・拡散によって輸送され、その輸送過程で光化学反応によって変質し、沈着現象によって大気から除去される。酸性雨などの比較的長距離の大気汚染物質の輸送問題を考える場合、沈着による除去過程が重要となる。沈着過程は、降雨によらない乾性沈着と降雨による湿性沈着とがある。さらに湿性沈着は、雲によって除去されるRAINOUTと降雨によって除去されるWASHOUTに分けられる。本研究では、このような沈着過程のなかで、乾性沈着とWASHOUTの予測モデルを作成し、大阪府下での年間沈着量を予測する。対象とする汚染物質は、 SO_2 と NO_x である。

2. 沈着モデル

①乾性沈着¹⁾ 沈着過程を乱流境界層内の乱流拡散による輸送過程、粘性境界層内の分子拡散による輸送過程、表面反応による輸送過程の3過程にわけて考える。沈着抵抗は、これらの3過程の抵抗、乱流層抵抗・粘性層抵抗・表面抵抗の直列抵抗として定義される。さらに、表面抵抗は、植物の気孔による抵抗と地面の表面抵抗の並列抵抗で表される。乱流層抵抗と粘性層抵抗は、大気安定度や摩擦速度などの微気象パラメータにより求める。気孔抵抗は、日射量や土中水分量より決定する。地面の表面抵抗は、決定要因が複雑で定式化が困難なため、定数を与えた。

②WASHOUT WASHOUTは、S. Kumar²⁾の1次元モデルより算出した沈着量から、計算の簡略化のために降雨強度と初期濃度の指数関数で表される洗浄係数を導出し、これを用いてWASHOUT量を求める。Kumarモデルは、(1) 大気中のガスが雨滴に吸収される過程、(2) 吸収されたガスの雨滴中での解離過程、(3) 雨滴中での酸化過程の3過程より構成されている。大気汚染ガスとして SO_2 、 NO_2 、 NH_3 、 H_2O_2 、 O_3 の5つの物質を考える。 NH_3 は、雨滴の酸性度を中和する働きがあり、 H_2O_2 、 O_3 は、酸化剤として雨滴中のS(IV)イオンをS(VI)イオンに変える働きをする。雨滴中のイオンとして大気汚染ガスが解離して生成する HSO_3^- 、 SO_3^{2-} 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- と酸化により生成する SO_4^{2-} および H^+ 、 OH^- を考慮している。このモデル計算は各物質の濃度変化を経時的に求めるので時間が非常にかかり、1年間のWASHOUT量を算出するには膨大なコストと時間を要することになる。

そこで、式(1)で定義される洗浄係数の考えを導入する。WASHOUTによる除去量は、初期濃度と降雨後の濃度との差で表されるので、式(2)となる。式(2)に式(1)を代入して整理すると、式(3)となる。初期濃度を雲底で0の線形分布を仮定すると、初期濃度の空間平均は、地面での初期濃度の1/2で表される。このことを用い、式(3)を洗浄係数について解くと、式(4)となる。ここで、洗浄係数を降雨強度と初期濃度の指数関数で表されると仮定する(式(5))。式(5)の左辺はKumarモデルを用いて算出し、降雨強度と初期濃度を目的変数として重回帰計算をすることにより式(5)の未知数 a 、 b 、 c を決定した。その結果を図1に示す。 $a=1.60e^{-10}$ $b=0.719$ $c=-0.634$

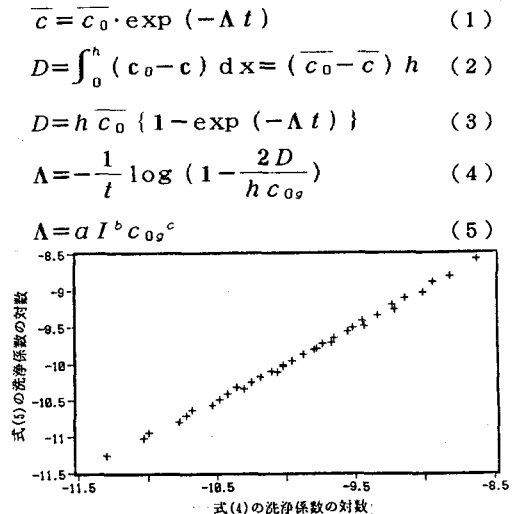


図1. 重回帰計算の結果

Katsuhito YAMAGUCHI; Akira KONDO

ただし、 NO_2 ガスはKumarモデルで計算した結果、ほとんど除去されなかったため、洗浄係数は SO_2 ガスに対してのみ求めた。

3. 大阪府下の沈着量の計算方法

①乾性沈着 準備として、大阪府下を22箇所の一般大気測定局に基づいて分割する。分割した地域ごとの土地利用を国土地理院の数値情報より求める。この計算では、簡略化のため都市、裸地、畑、水田、樹木林、水圏の6つに分類した。そして、一般大気測定局で測られている大気の温度、比湿、風速、日射量、大気汚染ガス(SO_2 、 NO_2 、 NO)の月平均値を求め、フーリエ変換をして1日の周期パターンを作成する。次に測定局のデータを基に、土地利用別に熱収支モデル¹⁾を解き地面の温度を求め、大気安定度・摩擦速度を決定し、沈着抵抗を算出する。各大気汚染ガスをこの沈着抵抗で割ることにより沈着フラックスが求まる。この沈着フラックスに時間と面積をかけることにより沈着量を算出できる。この計算を22に分割した地域毎に12カ月分行うことにより、大阪府下の年間沈着量を積算できる。

②WASHOUT 大阪府下の一般大気測定局で降雨が測られている測定局が少ないため、大阪市の測定局で府下を代表させることにした。WASHOUTモデルで述べた洗浄係数を使って一雨毎の沈着量を求め、1年間の積算を行った。

4. 計算結果

図2に、大阪府下の SO_2 沈着速度MAPを示す。都市における沈着量が多いため、大阪市などの都市部で沈着速度が大きく、周辺にいくに従い小さくなっているが、値の差は小さく地域による違いはほとんどないと言える。図3には、 NO_2 沈着速度MAPを示す。傾向は SO_2 と同じであるが、郊外山間部での沈着速度が小さくなっている。次に、大阪府下での排出量とモデルで求めた沈着量の比較を表1に示す。 SO_2 、 NO_x の乾性沈着量は、排出量のほぼ60%となった。排出量が全て沈着除去され、乾性沈着と湿性沈着がほぼ同量である⁴⁾とすると、この乾性沈着モデルで現象を表現出来る。 SO_2 のWASHOUT量は、排出量の約10%となった。降雨から湿性沈着量を測定できても、RAINOUTとWASHOUTに分離することが困難なため、モデルの妥当性についての議論は現段階ではできない。しかし、WASHOUTで除去できる量は、RAINOUTに比べて少ないと推測される。今後は、RAINOUT現象をモデル化し、湿性沈着量の評価を行っていく必要がある。

【記号】
 a, b, c : 洗浄係数の定数 $\bar{C}$: ガスの空間平均濃度 [m^3/m^3] $\bar{C}_0$: 初期の空間平均濃度 [m^3/m^3]
 C_{00} : 地面の初期濃度 [m^3/m^3] D : 単位面積の沈着量 [m^3/m^2] h : 雲底高さ [m]
 I : 降雨強度 [mm/h] t : 降雨時間 [s] Λ : 洗浄係数 [$1/\text{s}$]

【参考文献】

- 1) 吉川隆 大気汚染ガスの乾性沈着モデル, 第31回大気汚染学会講演集, 1990
- 2) S. Kumar Reaction scavenging of pollutants by rain: A modeling approach, Atmos. Env., 20, 1015-1024, 1986
- 3) J. W. Deardorff Efficient Prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of albedo of vegetation, J. Geophys. Res., 83, 1889-1903, 1978
- 4) 藤田慎一, わが国における硫酸酸化物の乾性沈着量に関する研究, 大気汚染学会誌, 25, 343-353, 1990

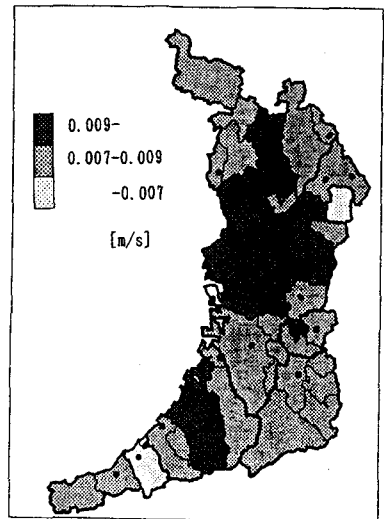


図2. SO_2 の沈着速度MAP

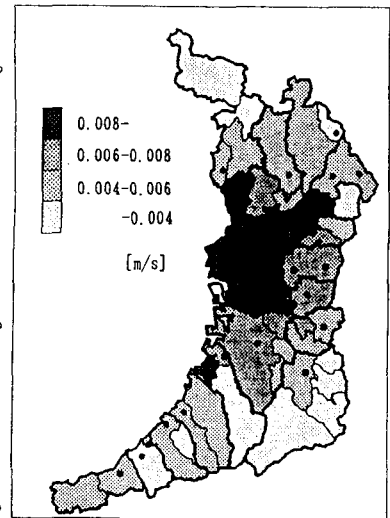


図3. NO_2 の沈着速度MAP

表1. 沈着量と排出量の比較

	SO_2	NO_x	
		NO_2	NO
乾性沈着量 [m^3]	4.00E6	8.45E5	4.92E5
WASHOUT 量 [m^3]	6.42E5		
総排出量 [m^3]	6.73E6	2.05E7	
乾性沈着の割合[%]	59.4	65.3	
WASHOUT の割合[%]	9.5	0.01以下	