

II-351

降雨強度と雨滴による汚染ガス吸収

大阪大学基礎工学部 正会員 芝 定孝・伊藤 龍象

大阪大学工学部 正会員 末石富太郎

1. はじめに 大気、水、土壌の三圏の環境汚染には相互作用があり、このような汚染に対する安易な個別的处理は環境汚染問題の真の解決にならないばかりか、他圏への汚染物質の拡散と移出とをもたらすだけかもしれない。大気汚染と水質汚濁や土壌汚染との相互作用に係わる重要な物質移動現象の一つに降雨による大気汚染ガスの吸収がある。雨滴による汚染ガスの吸収は「降雨による大気の浄化」かもしれないが、同時に「大気による降雨の汚染」をもたらす事は明白である。このガス吸収は雨水水質を左右する基本的物理現象であり、雨滴径、雨滴形状、雨滴の初期汚染状態などのミクロな物理化学的因子によって支配される。しかし、実用的な見地からすれば、ガス吸収量は、測定が難しいミクロな因子よりも容易に観測されるマクロな水文気象要素と関係づける事が望ましい。物理化学的なミクロ因子のうち滴径は既に降雨強度の関数として与えられている。そこで、本報告では、前回報告した雨滴によるガス吸収量のミクロな評価式と、水文気象観測に基づいたMarshall-Palmerの雨滴径分布とを用いて、マクロな水文気象要素である降雨強度による雨滴の汚染ガス吸収量の記述を試みた。

2. 降雨強度と雨滴径分布 雨滴と呼ばれる水滴は通常直径が0.02cmから0.6cmのものである。直径が0.6cm程度より大きくなると大気中で分裂し、0.02cm程度より小さいものは落下中に消滅する。雨滴径の分布を支配する因子には降雨強度の他に、雨の型(地雨、雷雨、地形性降雨など)や雨の中心位置、相対湿度などがある。現在得られている観測資料では滴径分布の記述に際してこれらの因子すべてを考慮する事は困難で、降雨強度のみが考慮されているのに過ぎない。大気中の雨滴径の分布を与えるMarshall-Palmerの分布はEq. 1で示される。

$$N = N_0 \exp(-\alpha D R^{-\beta}), \quad \pi(D) = N / \int N dD \quad \text{----- (1), (2)}$$

ただし、 $N [\text{cm}^{-4}]$ は単位体積中の雨滴濃度、 $D [\text{cm}]$ は雨滴の直径、 $R [\text{mm/hr}]$ は降雨強度である。また、 N_0 、 α 、 β は定数で多くの観測資料に対して、 $N_0 = 0.08$ 、 $\alpha = 41$ 、 $\beta = 0.21$ が成立する。Eq. 1の N と D との関係はFig. 1に示す様になり、雨滴径が小さい程、個数が多く、また、降雨強度が大きくなる程、滴径の大きい雨滴の割合が大きくなる。雨滴は大気中で落下するにつれ蒸発や分裂するため小粒になったり、逆に、衝突併合して大粒になったりするので、雨滴径分布は大気中で必ずしも一定ではない。ここでは、便宜上、雲底から地上に至るまで、任意の高度において、Eq. 1の雨滴径分布を有するものと仮定する。後の汚染ガス吸収量の算定に用いる直径 D の雨滴の相対個数密度関数 $\pi(D)$ はEq. 1を用いてEq. 2の様に求められる。

3. 降雨強度と汚染ガス吸収量 直径 D の雨滴の汚染ガス無次元吸収量 $ma(D, t)$ をEq. 3で定義する。また、雨滴の汚染ガス無次元吸収可能量 $m(D, t)$ は、前回の報告によると、Eq. 4で与えられる。ただし、 $C(D, t)$ は直径 D の

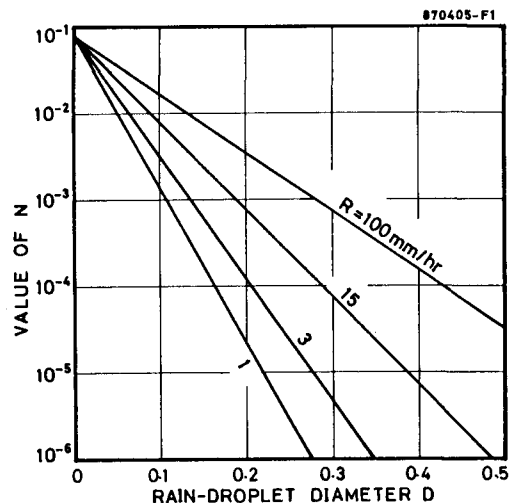


FIG.1-DISTRIBUTION OF RAIN-DROPLET NUMBER

雨滴の時刻 t における濃度で、 $C(D, 0)$ はその初期濃度、 C_w は雨滴表面濃度 (D 、 t にかかわらず一定)であ

$$ma(D, t) = \frac{C(D, t) - C(D, 0)}{C_w - C(D, 0)}, \quad m(D, t) = \frac{C_w - C(D, t)}{C_w - C(D, 0)}, \quad ma(D, t) = 1 - m(D, t) \dots (3), (4), (5)$$

る。明らかに、 $ma(D, t)$ と $m(D, t)$ との間にはEq. 5の関係が成立する。また、 $m(D, t)$ は、前回の報告によると、

$$m(D, t) = 3 \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp\left(-\frac{\lambda_n}{\kappa^{1/3}} \hat{t}\right), \quad \hat{t} = \frac{4\mathfrak{D}}{D^2} t \dots (6), (7)$$

Eq. 6で与えられる。ただし、 $\hat{t}$ はEq. 7で与えられる無次元時刻で、 $\mathfrak{D}$ は雨滴内での汚染物質の拡散係数、 κ は雨滴を回転楕円体とみなした場合の短軸と長軸との比 ($\kappa \leq 1$)、 t は時刻、である。ここで、雲底の高さを H 、直径 D の雨滴の落下速度を $v(D)$ とすれば、直径 D の雨滴が地上に到達するのに要する無次元時間 $\hat{T}(D)$ はEq

$$\hat{T}(D) = \frac{4\mathfrak{D}}{D^2} \frac{H}{v(D)}, \quad v(D) = 9.58 \left\{ 1 - \exp\left[-\left(\frac{D}{0.177}\right)^{1.147}\right] \right\} \dots (8), (9)$$

.8で与えられる。ただし、 $v(D)$ [cm]はBestによるとEq. 9で与えられる。従って、地上に到達した雨水の汚染ガス吸収量(雨水水質)の期待値 $\hat{M}_a$ は、 t に $\hat{T}(D)$ を代入した結果を用いて、Eq. 10で与えられる。ここで、計

$$\hat{M}_a = \int ma(D, \hat{T}(D)) \cdot n(D) dD, \quad \hat{D} = \frac{D}{D_0}, \quad \hat{R} = \frac{R}{R_0}, \quad \Gamma = \frac{\mathfrak{D} H}{D_0^2 v_0} \dots (10), (11), (12), (13)$$

算の便宜上、無次元雨滴直径 $\hat{D}$ 、無次元降雨強度 $\hat{R}$ 、および無次元パラメータ Γ をEqs. 11、12、13の様に定義する。ただし、 D_0 、 R_0 は基準となる雨滴直径および降雨強度で、 $D_0 = 0.6\text{cm}$ 、 $R_0 = 15\text{mm/hr}$ とする。また、

$$\hat{M}_a(\hat{R}) = \int \exp\left\{-\left[\frac{\lambda_n}{\kappa^{1/3}} \cdot \frac{3.931 \hat{D}^2}{1 - \exp(-4.056 \hat{D}^{1.147})}\right] \Gamma + 13.93 \hat{R}^{-0.21} \hat{D}\right\} d\hat{D} / \int \exp(-13.93 \hat{R}^{-0.21} \hat{D}) d\hat{D} \dots (14)$$

v_0 は直径 D_0 の雨滴の落下速度である。 $\hat{D}$ 、 $\hat{R}$ 、 Γ で記述したガス吸収の式はEq. 14となる。

4. 計算結果

Fig. 2にEq. 14で求めた雨水の無次元ガス吸収量(雨水水質) $\hat{M}_a(\hat{R})$ と無次元降雨強度 $\hat{R}$ との関係を示す。 $\hat{R}$ が0.2未満は弱い雨、0.2~1未満は並の雨、1以上は強い雨である。無次元パラメータ Γ が大きい程、雨滴のガス吸収量の多い事、従って、雨水水質の低下する事がわかる。また降雨強度 $\hat{R}$ が大きい程、雨滴による汚染ガス吸収量の少なくなる事が示されている。これは降雨強度が大きければ、大きい滴径の分布に占める割合が大きくなる(Fig. 1)為と解釈されよう。なぜなら、大粒の雨滴は大気中の滞留時間、すなわち気液接触時間が短く、従って、地上に到達する大粒の雨滴濃度は低くなるからである。なお、本研究は文部省科学研究費一般研究(B)「大気汚染・水質汚濁現象を統合した都市環境制御の研究」(代表者・末石富太郎)により行った。

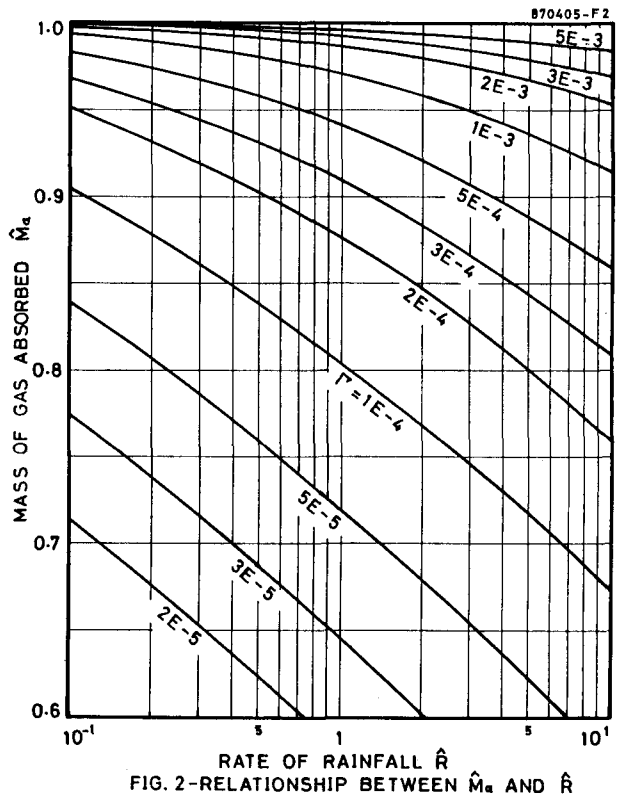


FIG. 2-RELATIONSHIP BETWEEN $\hat{M}_a$ AND $\hat{R}$