

水滴散布による霧消し（数値実験）

山口大学 学生会員 ○ 安永真理子
正会員 塩月善晴

1. はじめに

高速道路における霧発生による交通障害、瀬戸内海の特に春先の霧による航路障害、空港閉鎖はいまだに克服できない問題である。暖域での、氷晶過程を伴わない水霧については水滴散布による消霧が一つの方法として考えられている。適当な霧を設定し、散布する水滴の粒径分布をいろいろ変えて消霧の効果を数値実験で調べた。

2. 方法

(1) ストカスティックモデル法

雨粒や霧粒の水滴粒径分布 (N_D 分布) は様々な形を取る。変化の要因となる物理過程として水滴がくつきあってより大きな水滴に成長する併合過程と、大きくなりすぎた水滴は落下中空気抵抗のため不安定となって分裂し、小水滴を再生産する分裂過程が主な役割を演ずると考えられる。本研究では直径 0.2mm 未満の霧粒に対し自然降雨に近いより大きな水滴群を持つ散布水を投入し、併合分裂過程によって霧の水滴群が除去される様子を N_D 分布の変化で見る。併合分裂の能率を確率的に表現するためストカスティック法と呼ばれる。 N_D 分布の代わりに、時刻 t における質量 x の雨粒の空間濃度を $f(x, t)$ とすると次のような微積分方程式が成り立つ。

$$\begin{aligned} (\partial/\partial t)f(x, t) = & \int_{x_0}^{x/2} f(y, t)f(x-y, t)K(y, x-y)dy - f(x, t) \int_{x_0}^{x_{\max}} f(y, t)K(x, y)dy \\ & - f(x, t)p(x) + \int_x^{x_{\max}} f(y, t)Q(y, x)p(y)dy \end{aligned}$$

ここで、 y ; ダミイ変数, $x_{\max}$; 計算で許された水滴最大径 $D_{\max}$ の質量, $D_{\max} = 8\text{mm}$, x_0 ; 計算で許された水滴最小径 $D_{\min}$ の質量, $D_{\min} = 0.02\text{mm}$, $K(x, y)$; x, y についての捕捉核, $p(x)$; 単位時間に質量 x の雨粒が分裂する確率, $Q(y, x)$; 質量 y の水滴 1 個の分裂によって生成される質量 x の水滴の数 $p(y) Q(y, x)$; 質量 y の水滴が質量 x の水滴になる分裂核

なお $K(x, y) = \pi(r_1 + r_2)^2 |V_1 - V_2|$, $p(x) = 2.94 \times 10^{-7} \exp(34r_1)$, $Q(y, x) = ab/(3x)(r_1/r_2) \exp(-br_1/r_2)$, $a = 62.3$, $b = 7$ 、ここで r_1, V_1 は質量 x の雨粒の半径、落下速度を示す。添字2は質量 y の雨粒についてのものである。さらに上式の右辺に 垂直輸送項 $(\partial/\partial z) \{(U - V(x)) \cdot f(x, t)\}$ をつけ加えると、水滴群の落下輸送による $f(x, t)$ の変化を見ることができる (Shiotsuki, 1974)。 U は垂直上昇気流速度、 $V(x)$ は質量 x の水滴の落下速度である。

(2) 霧モデル

表3-1 霧と散布水の N_D 分布

・新たな霧発生は無い静止霧とする。
・ $\Delta z = 80\text{m}$, $\Delta t = 5\text{sec}$ とする (計算安定条件) ・霧の厚さは 240m とし M2 (地表 - 80m), M3 ($80 - 160\text{m}$), M4層 ($160 - 240\text{m}$) の3層に分けて変化を見る。・散布水はM4層の上面に与えられる。・M1層 (地表面

$$*** N_D = 6000M / \rho / \pi / D^3 / (2\pi)^{0.5} / \sigma \exp\{-(D - D^*)^2 / 2 / \sigma^2\}$$

N_D 分布特性	霧	散布水
M , 含水量 g/m^3	0.1 (視程 300m)	10.0
D , 平均直径 mm	0.1	1.52
$k = \sigma / D$	0.249	0.145

下)を貯留槽として設け全体の水分の保存状況を見る(計算安定条件)。

3. 実験結果例

表に示した霧と散布水の N_D 分布 (N_D ; 個数 / m^3 / mm , M ; 空間含水量 g/m^3 , D ; 水滴平均直径 mm , k ; 分布の広がりを示すパラメータ, Shiotsuki, 1975)での結果を3-1, 2, 3, 4に示す。なお散布水の投与時間は $TTT = 6 \times \Delta t = 30 \text{ sec}$ である。

図3-1: $t = 5 \text{ sec}$ ($I = 1$)。左のM2層には霧の N_D 分布と散布水の N_D 分布が描かれ、それぞれの降水パラメータ (R ; 雨量強度 mm/hr , Z ; レーダ反射 mm^6/m^3 , $D0$; 体積中央直径 mm) を示している。雲物理学では降水粒子の直径が 0.2 mm 未満のものは霧粒と定義されている。 N_D 分布の $D = 0.2 \text{ mm}$ までの霧粒の持つ含水量を $FOGM$ (g/m^3) で示す。気象学上の定義では視程 1 km 未満のとき霧とされる。霧の含水量 $FOGM$ と視程のあいだには良好な関係があり (Petterssen, 1956)、 $FOGM$ から視程を推定することができる。 $FOGM = 0.015 \text{ g/m}^3$ のとき視程は 1 km なので、 $FOGM < 0.015 \text{ g/m}^3$ となったとき霧は消滅したとして良い。

図3-2: $t = 20 \text{ sec}$ ($I = 4$)。 $FOGM = 0.0134$ 。M4層の霧は消滅した。

図3-3: $t = 35 \text{ sec}$ ($I = 7$)。 $FOGM = 0.0107$ 。M3層の霧は消滅した。

図3-4: $t = 50 \text{ sec}$ ($I = 10$)。 $FOGM = 0.00909$ 。M2層の霧は消滅した。

4. まとめ

上記の実験では散布水の雨量強度 RS は 195 mm/hr である。散布時間 30 sec で 1 m^2 あたりの散布水量は $195 \text{ mm} / 3600 \text{ sec} \times 1 \text{ m}^2 \times 30 \text{ sec} = 1.625 \text{ (I)}$ となる。霧と散布水の条件をいろいろ変えてみて現場実験に備えたい。

参考文献

- 1) Shiotsuki, Y., 1974: On the flat size distribution of drops from convective rainclouds., Jour. Met. Soc. Japan, 52, 42-60,
- 2) Shiotsuki, Y., 1975: An Equation for Size Distribution of Precipitation Elements Based on the normal Distribution of Liquid Water Content, Ibid, 53, 1, 75-86
- 3) Petterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, Vol. II, p266, McGraw-Hill, New York.

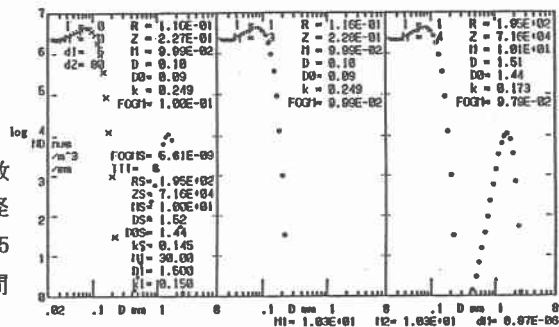


図3-1 解析結果 ($t = 5 \text{ sec}$)

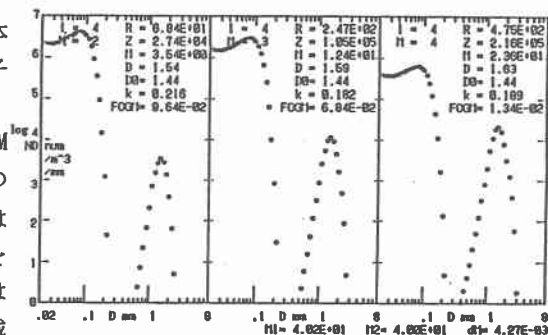


図3-2 解析結果 ($t = 20 \text{ sec}$)

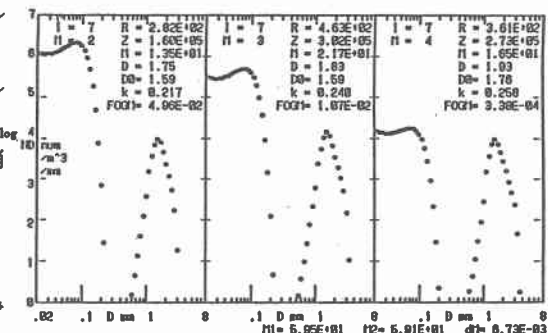


図3-3 解析結果 ($t = 35 \text{ sec}$)

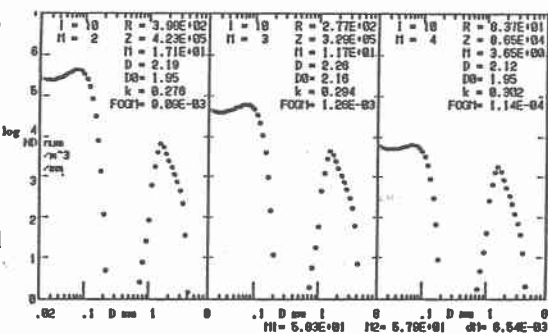


図3-4 解析結果 ($t = 50 \text{ sec}$)