

第10章 大気汚染予測技術

10.1 大気拡散理論

大気中に排出された煙は風により移流され、風の乱れにより拡散される。移流による希釈効果は風速に比例する。図10.1.1は移流による希釈効果を示したものである。図中の○は煙を時間的に不連続な塊（パフと呼ばれる）で表したものである。煙を一秒間隔で排出されるパフで近似すると、隣り合うパフの間隔は風速に比例する。つまり、風速が1 m/sでは、間隔が1 m、風速が2 m/sでは2 mとなる。隣り合うパフの間隔は希釈効果を表す。間隔が1 mの場合の濃度は、2 mのもの2倍の濃度となる。つまり、風速の効果だけをみると、濃度は風速に逆比例する。

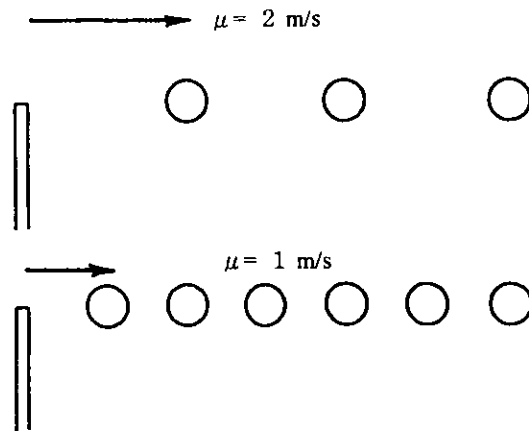


図10.1.1 風速による煙の希釈効果

そこで、第4章と一部重複するが、大気中の風や気層につき考えてみる。風は木や森や都会の高層ビル群や山を越えて吹いて行く。これらの地表面の凹凸は粗度と呼ばれる。粗度は風の流れを妨害し、渦を発生させる（図10.1.2）。渦は風を乱し、風向や風速を時々刻々変化させる。風向や風速がランダムに変化する流れを乱流と呼ぶ。大気中の風はもっとも典型的な乱流である。

地表面粗度で作られる風の乱れは地表面近くでもっとも大きく、上空に行くに従い次第に小さくなる。地表面の風の乱れの影響が及ぶ上空までの大気層を大気境界層と呼ぶ。大気境界中層では、乱れの大きさだけでなく、風速も高さ方向に変化する。つまり、地表面による抵抗により、風速は地表近くでは弱く、上空に行くに従い増加する。

地表面にはこれらの凹凸だけでなく、水面や地面など温度の相違も存在する。また、晴天の日の日中には、地表面が日射により暖められ、地表面近くの空気の温度が高くなるため、対流が生じる。この対流運動も風の乱れを発生させる大きな原因の一つである。日中の対流が活発に生じている大気境界層を混合層と呼ぶ。これに対し、曇天の日中など対流が弱く、風速の効果が支配的な大気境界層を中立境界層と呼ぶ。

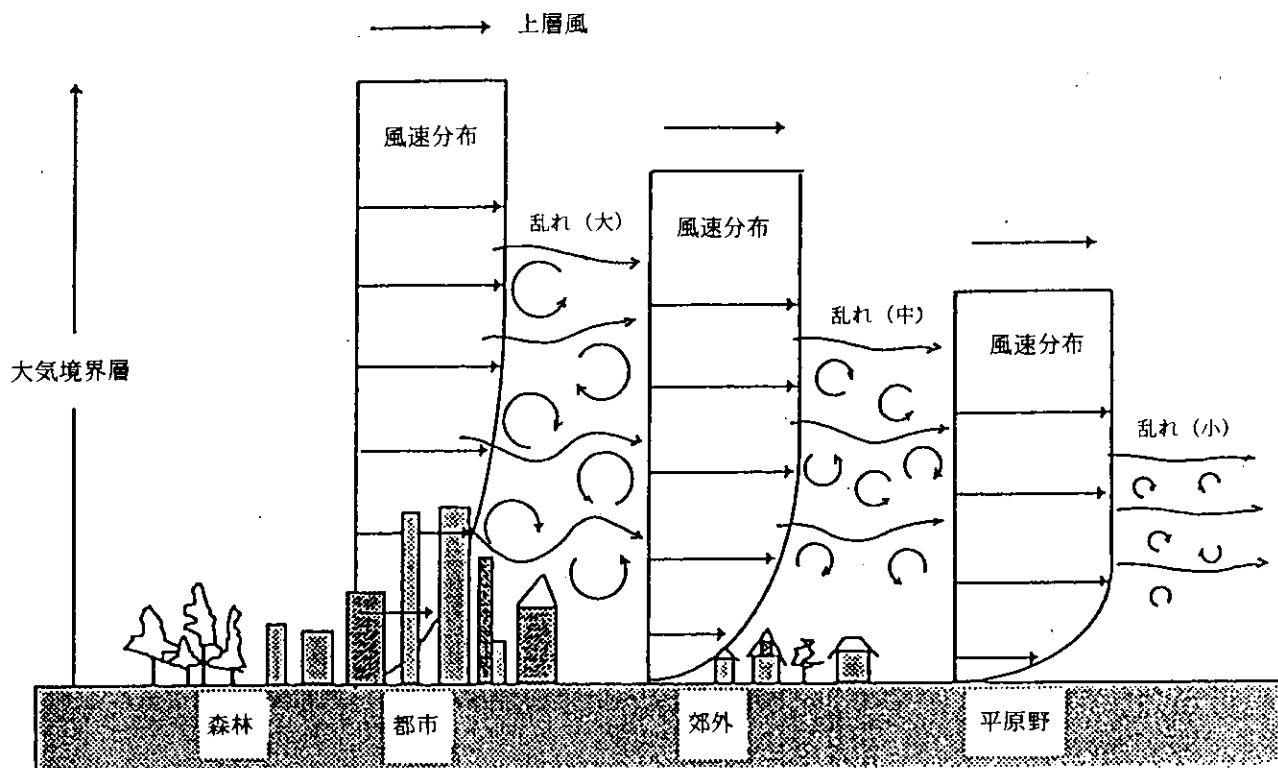


図 10.1.2 地表面粗度による大気の流れの発生と大気境界層

一方、晴天の日の夜間には、赤外放射により地表面から熱が上空に逃げる。このため、地表面の温度が下がり、それとともに地表面近くの大気が冷やされる。大気の温度分布は地表面近くで急激に下がる。この気層を接地逆転層と呼ぶ。逆転層の中では風の乱れが小さくなる。図 10.1.3 に混合層、中立層、接地逆転層時の大気境界層の概念図を示す。

気温は通常は上空ほど低下する。気温低下の割合は、大気を乾燥空気とし、空気塊の上下移動が可逆断熱的に行われるとすると、100 m あたり 0.98°C となる。これを乾燥断熱減率と言い、記号 γ_d で表す。気温の減率が γ_d より大きい場合、浮力の効果により気塊の上下運動が促進されるため、大気は不安定状態にあるといわれる (図 10.1.4)。一方、気温の減率が γ_d より小さい場合、浮力が気塊の上下運動を抑える方向に働くため、大気の流れは小さくなる。これを大気は安定状態にあると言う。大気の温度が上空ほど高い領域を気温逆転層と呼ぶ。逆転層は風の弱い晴天日の夜間に出現するが、極めて強い安定状態である。図 10.1.4 に気温鉛直勾配と大気安定度の関係を示す。

次に、風の乱れと拡散の関係を考える。風は時々刻々その大きさと風向が変化する。風のベクトルをその平均と平均からの偏差で表す。平均風向に直角で水平な成分と鉛直方向の成分に分解する。これを乱流成分と呼ぶ。風の乱れの大きさは、乱流成分の二乗平均の平方根で表す。風の変動と拡散の関係は煙の粒子一つ一つの乱流中での軌跡を考えてみると分かり易い (図 10.1.5)。煙の粒子は風の乱れにより上下左右に蛇行しながら流れて行く。このとき風の乱れが大きければ、煙の拡がりも大きくなる。

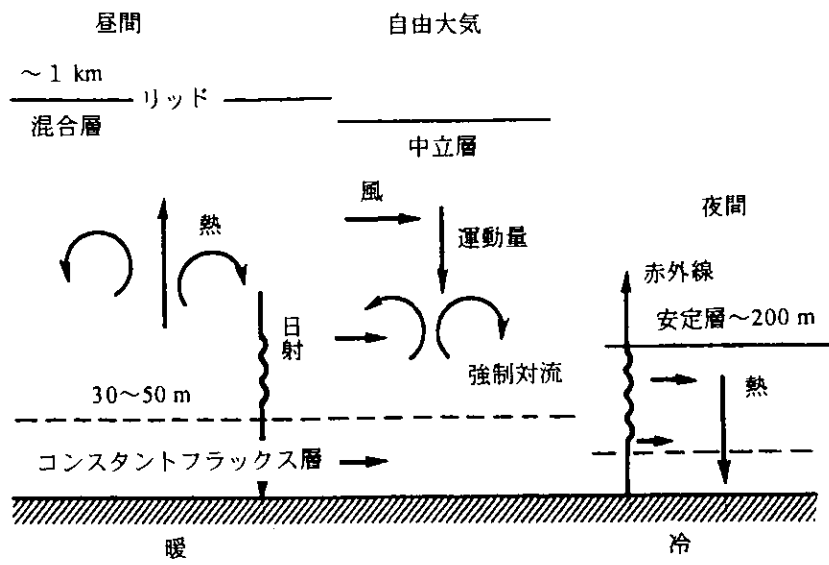


図 10.1.3 大気境界層の成因と分類

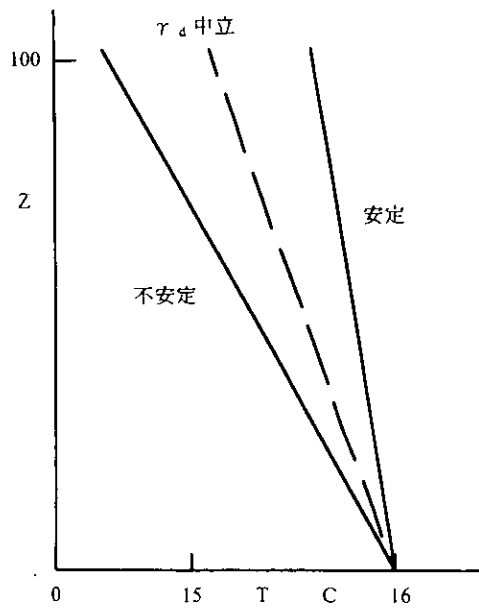


図 10.1.4 大気温度勾配と大気安定度

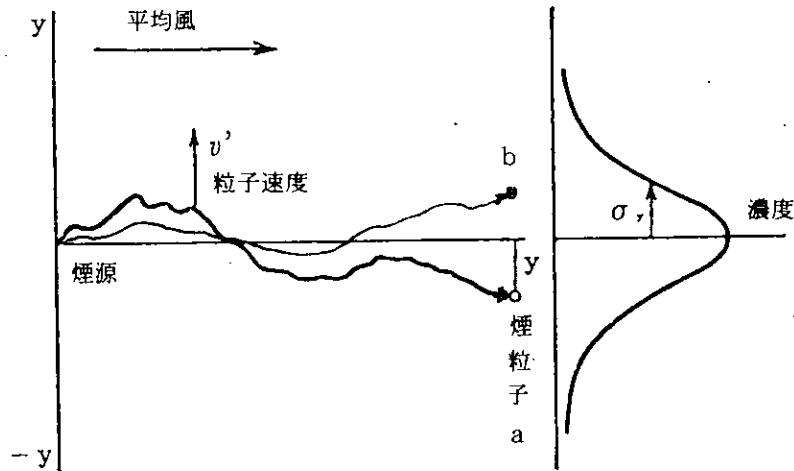


図 10.1.5 粒子の拡散と濃度分布

煙を重さも大きさも無視できる粒子の集まりと考え、図 10.1.5 のように多数の粒子を追跡する。風下側のある断面での粒子群の拡がりを見ると、平均風向の延長線上でもっとも数が多く、それから離れるに従って数が減少する。この粒子の数が濃度を表す。煙の濃度分布は中心（以後煙軸と呼ぶ）で最大で、煙軸を中心に正規分布あるいはガウス分布と呼ばれる分布となる。この分布関数の標準偏差を煙の拡散幅と呼ぶ（図 10.1.5）。すなわち、濃度分布を数式で表すと (1) 式で示せる。

$$C(y) = C_0 \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 σ_y は y 方向の拡散幅である。また、 C_0 は煙軸の濃度を表す。

その性質が場所にも方向にもよらず一定な乱流を等方性乱流と呼ぶ。等方性乱流場での拡散、つまり、拡散幅 σ_y は乱流の大きさ σ_v により (2) 式のように表される。

$$\sigma_y = \left\{ 2\sigma_v^2 \int_0^T (T - \xi) R(\xi) d\xi \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 T は煙が大気中を浮遊している時間、 $R(\xi)$ は乱流の統計的な性質で自己相関関係数と呼ばれる。 $R(\xi)$ は ξ が 0 の時に 1 であり、 ξ が大きくなるにしたがい 0 に近づく。拡散幅は大気の安定度によっても変化するが、それについては次節で述べる。

拡散を表す他の方法に、拡散係数による方法がある。例えば図 10.1.6 のように濃度の分布が表せるとき、ある点 z で、 z 方向の煙の拡散による輸送量 $F(z)$ は (3) 式のように表される。

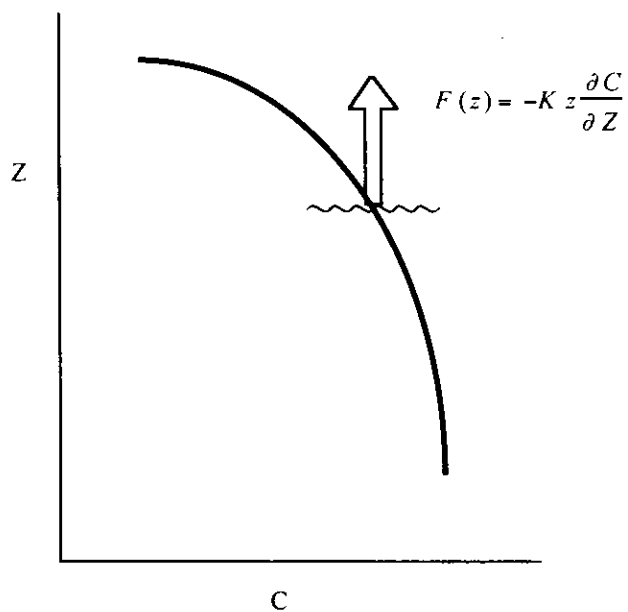


図 10.1.6 濃度勾配と物質の輸量 Fz の関係

$$F(z) = -K z \frac{\partial C}{\partial z} \dots\dots\dots (3)$$

拡散係数 K もまた大気安定度により大きく変化する。

以上が解析解および、拡散係数を用いた拡散の理論的な取扱い法である。