

# 中国地方東部地域の日本海から瀬戸内海にいたる 降水中の化学成分の分布と変動

浅沼友光・北岡豪一（岡山理大・理）・古谷智晴（岡山大・理）

## 1 はじめに

岡山県から鳥取県までの河川水中の  $\text{Cl}^-$  濃度の分布は山陰の海岸地域で高く、内陸にゆくにしたがって低くなる傾向がみられる。これは冬季の季節風によって運ばれる日本海起源の海塩による影響によるものと考えられる。日本海から瀬戸内海にいたる海塩の降下量の分布を調べるために、簡位雨量計を 17 地点に設置し(図 1), 2002 年 5 月より 1~2 ヶ月ごとに雨水を採取している。

## 2 結果

雨量計にたまつた雨水には降雨以外にドライフォールアウトによる  $\text{Cl}^-$  成分も含まれると考えられる。そこで、ある期間雨量計にたまつた雨水の  $\text{Cl}^-$  濃度とその期間の降水量を乗じ、それを観測期間で割ったものを平均日  $\text{Cl}^-$  降下量と定義することにする。図 2 はいくつかの観測地点における平均日  $\text{Cl}^-$  降下量を、それぞれの観測期間の中点にプロットしたものである。ただし、降水量に関しては雨量計をオーバーフロウすることがあったので、とりあえず、近くの気象庁測候所の降水量を用いて計算したものを実線で結んだ。図中の白ぬきのプロットは簡易雨量計による実測降水量を用いたものである。平均日  $\text{Cl}^-$  降下量は、両者の間でほぼ一致しているので気象庁雨量データを用いることにする。図 2 のように平均日  $\text{Cl}^-$  降下量は海岸で高く内陸ほど低くなる傾向と、冬に高く、夏に低い季節による変動がみられる。秋から冬に  $\text{Cl}^-$  降下量が高いのは季節風による影響によるものと考えられる。図 3 と図 4 は 2004 年の冬季と夏季における平均日  $\text{Cl}^-$  降下量の水平分布をしたものである。冬季の平均日  $\text{Cl}^-$  降下量は、日本海海岸からの距離に対して顕著に指数関数的に減少している。夏季は明瞭ではないが、同様の分布がみられる。そこで、海岸から距離  $x$  における  $\text{Cl}^-$  の平均日降下量  $Q$  は、年間を通じて

$$Q = Q_0 \cdot \exp\left(-\frac{x}{X}\right) \quad (1)$$

の形で近似されるものとする。このように表すと、 $Q_0$  は海岸における平均日  $\text{Cl}^-$  降下量を、 $X$  は平均飛距離を意味している。図 3 と図 4 に示すように、 $Q_0$  が夏季より冬季の方が高く、 $X$  が冬季より夏季の方が長い。 $Q_0$  を風速と対比させるため、気象庁倉吉測候所で観測された日平均風速から北成分を持つ風のみを抽出して(南風成分を持つ風は除外)、平均をとり、それを平均風速としてみた。 $Q_0$  は図 5 のように平均風速が大きくなると急に高くなる傾向がみられる。

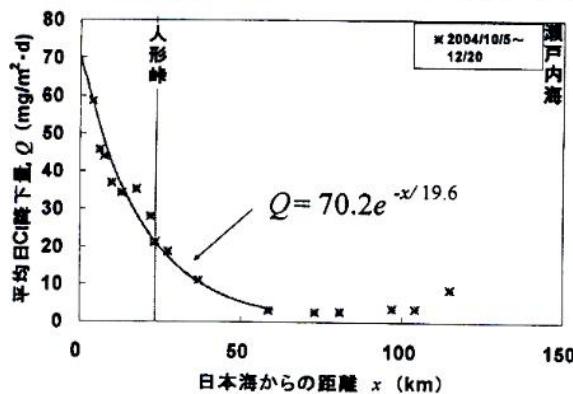


図 3 冬季

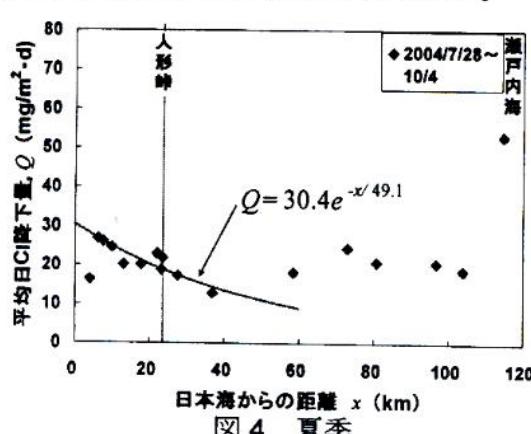


図 4 夏季

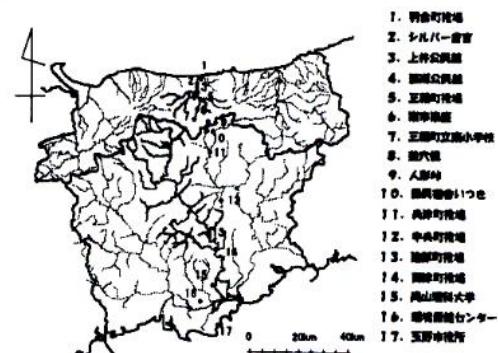


図 1 簡位雨量計設置場所

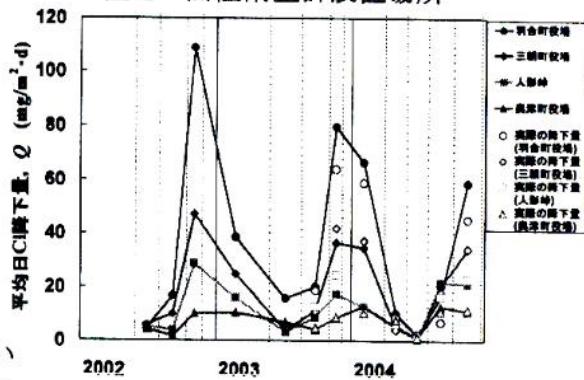


図 2 平均日  $\text{Cl}^-$  降下量の季節変動

### 3 考察

大気単位体積あたりの海塩粒子の個数を  $n$ (個/m<sup>3</sup>), 水平方向の一般流の風速を一様の  $U$ (m/s)とし(高さに無関係とする), 定常状態を仮定する。簡単のため, 海塩粒子は粒径が一様とし, 落下速度  $W$ (m/s)は一様と仮定する。(ストークスの定理より, 落下速度  $W$  は粒子半径の2乗に比例する。)

#### ◎海上

海上では, 鉛直方向の移流と拡散のつりあつた平衡状態を考える。鉛直拡散係数を  $D_T$  とすると。

$$-\frac{d(Wn)}{dz} = D_T \frac{d^2 n}{dz^2} \quad (2)$$

境界条件:  $z \rightarrow \infty, n \rightarrow 0$ ,  
 $z = 0, n = 0$

で解くと

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{W}{D_T} z\right) \quad (3)$$

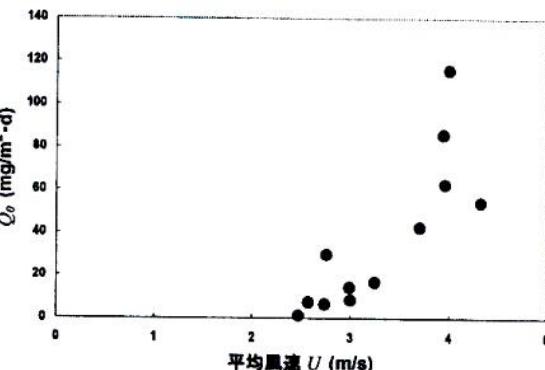


図 5  $Q_0$  と平均風速(倉吉)との関係

#### ◎陸上

陸上では鉛直方向と水平方向の移流と拡散がつり合う定常状態を考える。水平, 鉛直方向の拡散係数をそれぞれ  $D_L, D_T$  とすると,

$$\frac{\partial(Un)}{\partial x} - \frac{\partial(Wn)}{\partial z} = D_L \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + D_T \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} \quad (4)$$

境界条件  $z \rightarrow \infty, n \rightarrow 0$ ,

$x \rightarrow \infty, n \rightarrow 0$

$x = 0, z = 0, n = n_0$

変数分離法より  $n(x,z) = X(x) \cdot Z(z)$  とすると, (4)は

$$D_L \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} - U \frac{\partial X}{\partial x} = -D_T \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} - W \frac{\partial Z}{\partial z} = p \quad (\text{定数}) \quad (5)$$

$$\text{海岸 } x=0 \text{ で海上の鉛直分布に等しいとすると, } p = \frac{W^2}{D_T} \quad (6)$$

$$\text{よって, } n = n_0 \cdot \exp\left[\frac{U}{2D_L} \left\{1 - \sqrt{1 + 4 \left(\frac{W}{U}\right)^2 \frac{D_L}{D_T}}\right\} x - \frac{W}{D_T} z\right] \quad (7)$$

分かりやすくするため,  $U$  の大きい場合と小さい場合の両極端を調べてみると,

$$\text{I. } \frac{U}{W} \gg \sqrt{\frac{D_L}{D_T}} \quad n = n_0 \cdot \exp\left[-\frac{W}{D_T} \left(\frac{W}{U} x + z\right)\right] \quad (8)$$

$$\text{II. } \frac{U}{W} \ll \sqrt{\frac{D_L}{D_T}} \quad n = n_0 \cdot \exp\left[-\frac{W}{D_T} \left(\sqrt{\frac{D_T}{D_L}} x + z\right)\right] \quad (9)$$

となる。実際は  $U$  は  $W$  に比べて十分大きいと考えられるので, I の場合が現実的と思われる。降下量  $Q$  は  $z = 0$  における  $n$  と  $W$  の積とみなせるから, (8)を用いると

$$Q = nW = n_0 W \cdot \exp\left(-\frac{W^2 x}{D_T U}\right) \quad (10)$$

これは観測式(1)で  $Q_0 = n_0 W$ ,  $X = D_T U / W^2$  であることを意味し, 粒径が一定ならば, 平均風速が大きいほど  $X$  が大きくなることを表している。ところが実際は, 上記のように平均風速の弱い夏季の方が  $X$  が大きい。これは,  $X$  には平均風速  $U$  が 1 乗で効いているのに対し落下速度  $W$  の 2 乗, すなわち粒径の 4 乗で効く効果によるものと考えられる。すなわち, 水平風速の弱い夏は強い冬に比べて海塩粒子の粒径が小さいため  $X$  が大きくなっているものと考えられる。