

## ②湿性沈着

湿性沈着としては、降水時に粒子が雨滴に補足され大気中から除去されるウォッシュアウトを考えることとした。評価するモデルとしては、時間により排出強度が減衰するモデルとし、以下にそのモデル式を示す。

$$Q(t) = Q_0 \cdot \exp(-\lambda t)$$

Q : 時刻tにおけるみなし排出強度

Q<sub>0</sub> : 排出源の排出強度

λ : 洗浄係数

洗浄係数λは、降水量を変数とした場合は、以下の式で表される。

$$\lambda(a) = 6.94 \times 10^{-4} E(a) \cdot I^{0.7}$$

λ(a) : 粒子の粒径(a)での洗浄係数

E(a) : 粒子の粒径(a)での衝突効率

I : 降水強度(mm/h)

## (2) 沈着量

### ① 乾性沈着

乾性沈着により地表に移る移動量は、大気中濃度の式をもとにして以下のように単位時間面積あたりの量として表すことができる。

$$G(x) = C(x) \cdot V_d \cdot H(x)$$

$G(x)$  : 風下距離 (x) での乾性沈着量 ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$ )

$C(x)$  : 風下距離 (x) での地表面の大気中濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

$V_d$  : 乾性沈着速度 ( $\text{m}/\text{s}$ )

$H(x)$  : 風下距離 (x) での地表への移行係数 ( $0 < H(x) < 1$ )

### ② 湿性沈着

湿性沈着量を評価するモデルは、降水による粒子の洗浄が高さ方向で同時に進行すると仮定すると、湿性沈着量は以下のようなになる。

$$\begin{aligned} \psi(x) &= \int_0^{\infty} \lambda C(x,z) dz \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_y U} \cdot \lambda Q_0 \exp(-\lambda x/U) \end{aligned}$$

$\psi(x)$  : 風下距離 (x) における湿性沈着量

$C(x, z)$  : 風下距離 (x)、高さ (z) における物質濃度

$\sigma_y$  : 水平方向拡散幅

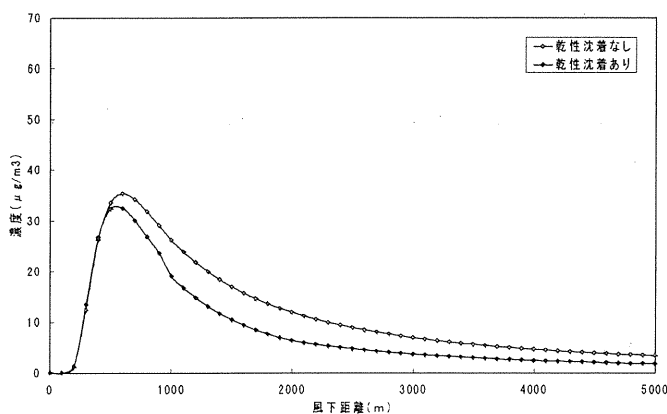
$U$  : 風速 ( $\text{m}/\text{s}$ )

### 3) 断面予測

#### (1) 大気中濃度

##### ① 乾性沈着

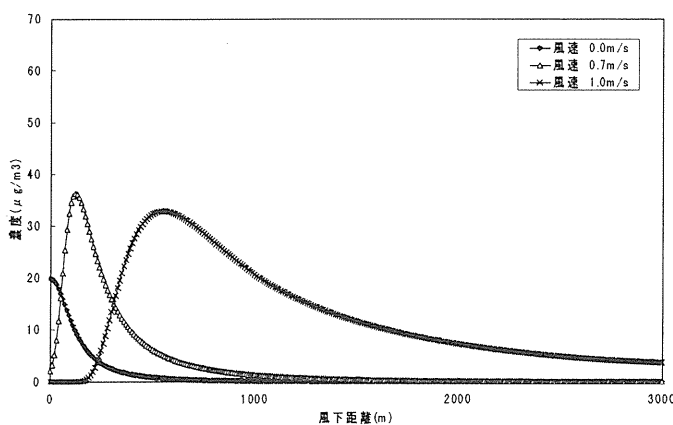
乾性沈着を考慮した場合、考慮しない場合の、大気中濃度を図3-2-15に示す。また、乾性沈着を考慮した場合で、風速及び大気安定度による大気中濃度の変化を表した図を図3-2-16～図3-2-18に示す。予測条件としては、一般的なモデルケースとして、排出強度、煙突高さ、大気質状況等を設定した。



#### <条件>

- ・排出強度 1.0 [kg/h]
- ・煙突高さ 30 [m]
- ・有効煙突高非考慮
- ・粒径 10 [ $\mu\text{m}$ ]
- ・風速 1.0 [m/s]
- ・大気安定度 D

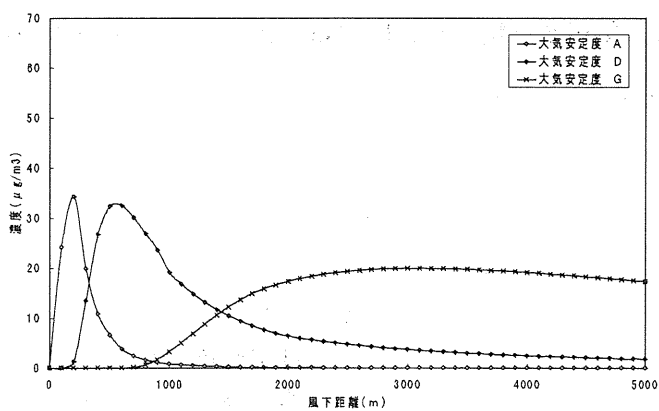
図3-2-15 大気中濃度(乾性沈着効果)



#### <条件>

- ・排出強度 1.0 [kg/h]
- ・煙突高さ 30 [m]
- ・有効煙突高非考慮
- ・粒径 10 [ $\mu\text{m}$ ]
- ・大気安定度 D

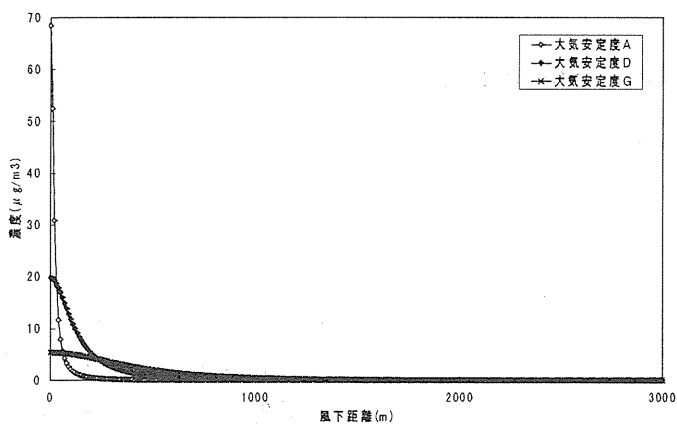
図3-2-16 風速別大気中濃度



<条件>

- ・排出強度 1.0 [kg/h]
- ・煙突高さ 30 [m]
- ・有効煙突高非考慮
- ・粒径 10 [ $\mu\text{m}$ ]
- ・風速 1.0 [m/s]

図3-2-17 大気安定度別大気中濃度(風速1.0m/s)



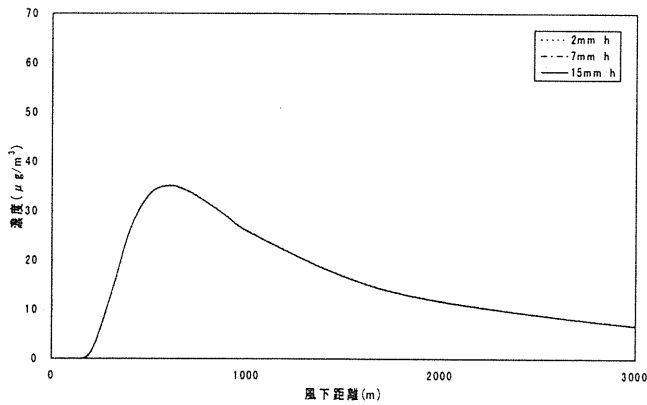
<条件>

- ・排出強度 1.0 [kg/h]
- ・煙突高さ 30 [m]
- ・有効煙突高非考慮
- ・粒径 10 [ $\mu\text{m}$ ]
- ・風速 0.0 [m/s]

図3-2-18 大気安定度別大気中濃度(風速0.0m/s)

②湿性沈着

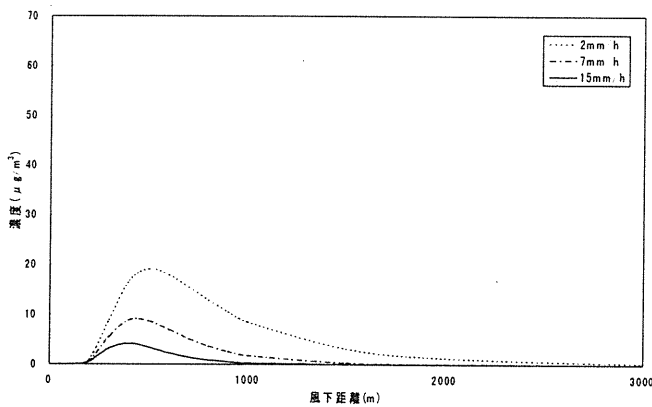
湿性沈着を考慮した場合の、気相及び粒子相の降雨量の違いによる大気中濃度の変化を表した図を図3-2-19、図3-2-20に示す。



<条件>

- ・排出強度 1.0 [kg/h]
- ・煙突高さ 30 [m]
- ・有効煙突高非考慮
- ・風速 1.0 [m/s]
- ・大気安定度 D

図3-2-19 降雨量別大気中濃度(気相(分子径1.3nm))



<条件>

- ・排出強度 1.0 [kg/h]
- ・煙突高さ 30 [m]
- ・有効煙突高非考慮
- ・風速 1.0 [m/s]
- ・大気安定度 D

図3-2-20 降雨量別大気中濃度(粒子相(粒径10μm))

(2) 沈着量

① 乾性沈着

乾性沈着を考慮した場合の、風速及び大気安定度による沈着量の変化を表した図を図3-2-21～図3-2-23に示す。

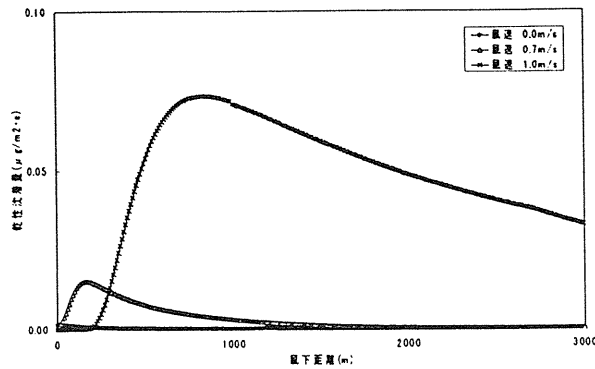


図3-2-21 風速別沈着量

<条件>

- ・ 排出強度 1.0 [kg/h]
- ・ 煙突高さ 30 [m]
- ・ 有効煙突高非考慮
- ・ 粒径 10 [μm]
- ・ 大気安定度 D

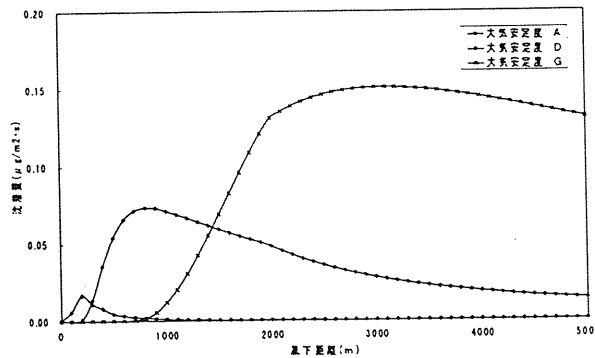


図3-2-22 大気安定度別沈着量(風速1.0m/s)

<条件>

- ・ 排出強度 1.0 [kg/h]
- ・ 煙突高さ 30 [m]
- ・ 有効煙突高非考慮
- ・ 粒径 10 [μm]
- ・ 風速 1.0 [m/s]

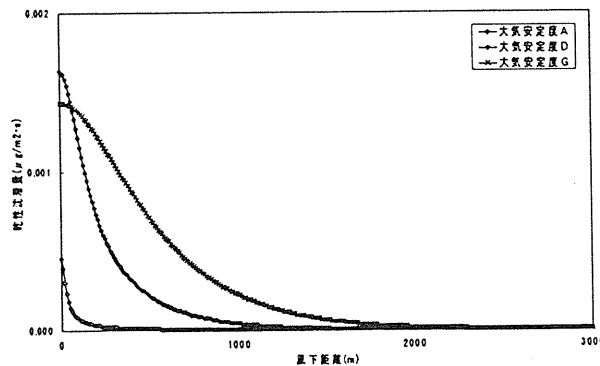


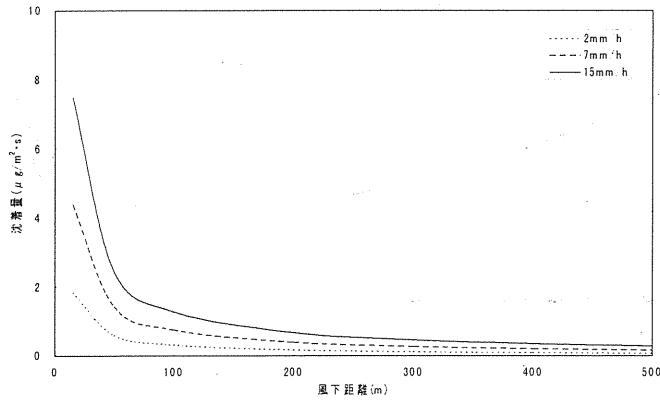
図3-2-23 大気安定度別沈着量(風速0.0m/s)

<条件>

- ・ 排出強度 1.0 [kg/h]
- ・ 煙突高さ 30 [m]
- ・ 有効煙突高非考慮
- ・ 粒径 10 [μm]
- ・ 風速 0.0 [m/s]

②湿性沈着

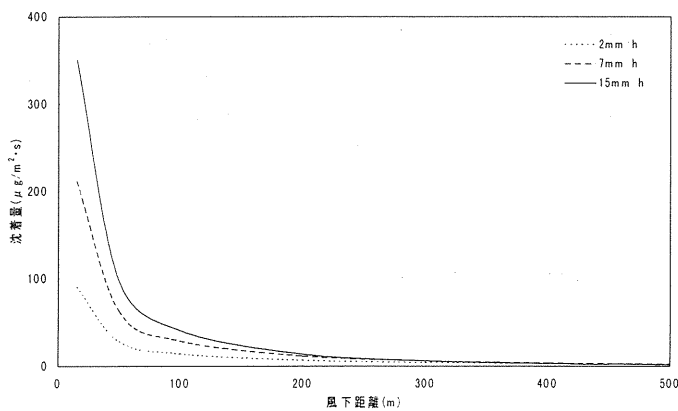
湿性沈着を考慮した場合の、気相及び粒子相の降雨量の違いによる沈着量の変化を表した図を図3-2-24、図3-2-25に示す。



<煙源条件>

- ・ 排出強度 1.0 [kg/h]
- ・ 煙突高さ 30 [m]
- ・ 有効煙突高非考慮
- ・ 風速 1.0 [m/s]
- ・ 大気安定度 D

図3-2-24 降雨量別沈着量(気相(分子径1.3nm))



<煙源条件>

- ・ 排出強度 1.0 [kg/h]
- ・ 煙突高さ 30 [m]
- ・ 有効煙突高非考慮
- ・ 風速 1.0 [m/s]
- ・ 大気安定度 D

図3-2-25 降雨量別沈着量(粒子相(粒径10μm))

4) 現況値との比較

(1) 大気中濃度

毒性のある17異性体についての大気中濃度計算結果を図3-2-26に示す。

結果を見ると、予測値が実測値よりも1～2オーダー低い値となっている。また、9/25の北側予測点のように、南側からの風が吹かない日もあり、その場合の濃度は極めて低い。しかしながら、こういう気象条件下においても実測値では数 $\text{pg}/\text{m}^3$ の濃度がある。

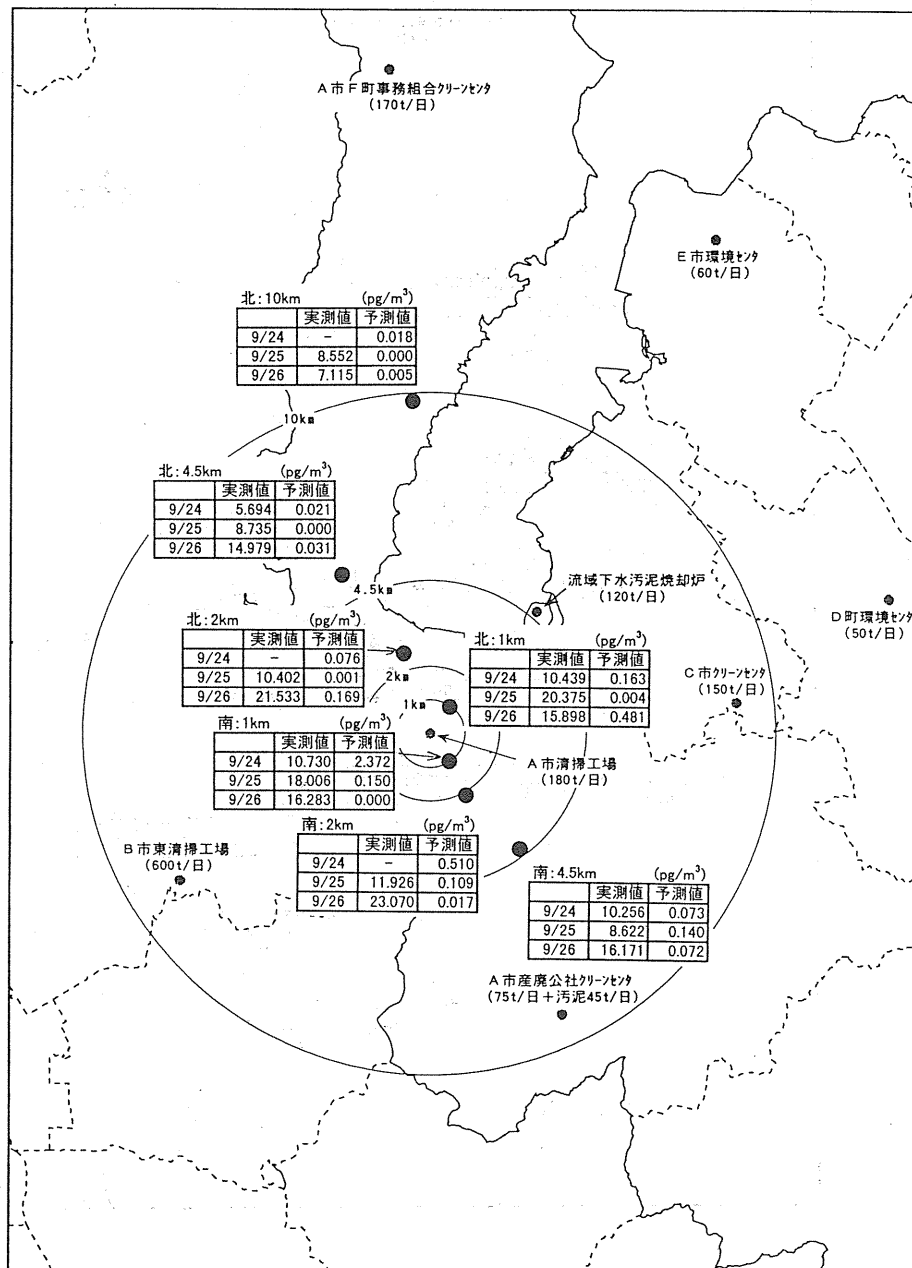


図3-2-26 大気中濃度計算結果



(2) 沈着量

毒性のある17異性体についての沈着量計算結果を図3-2-27に示す。

結果を見ると、全体的に南側の予測結果は実測値に近いが、北側については1オーダー程度の違いが見受けられる。

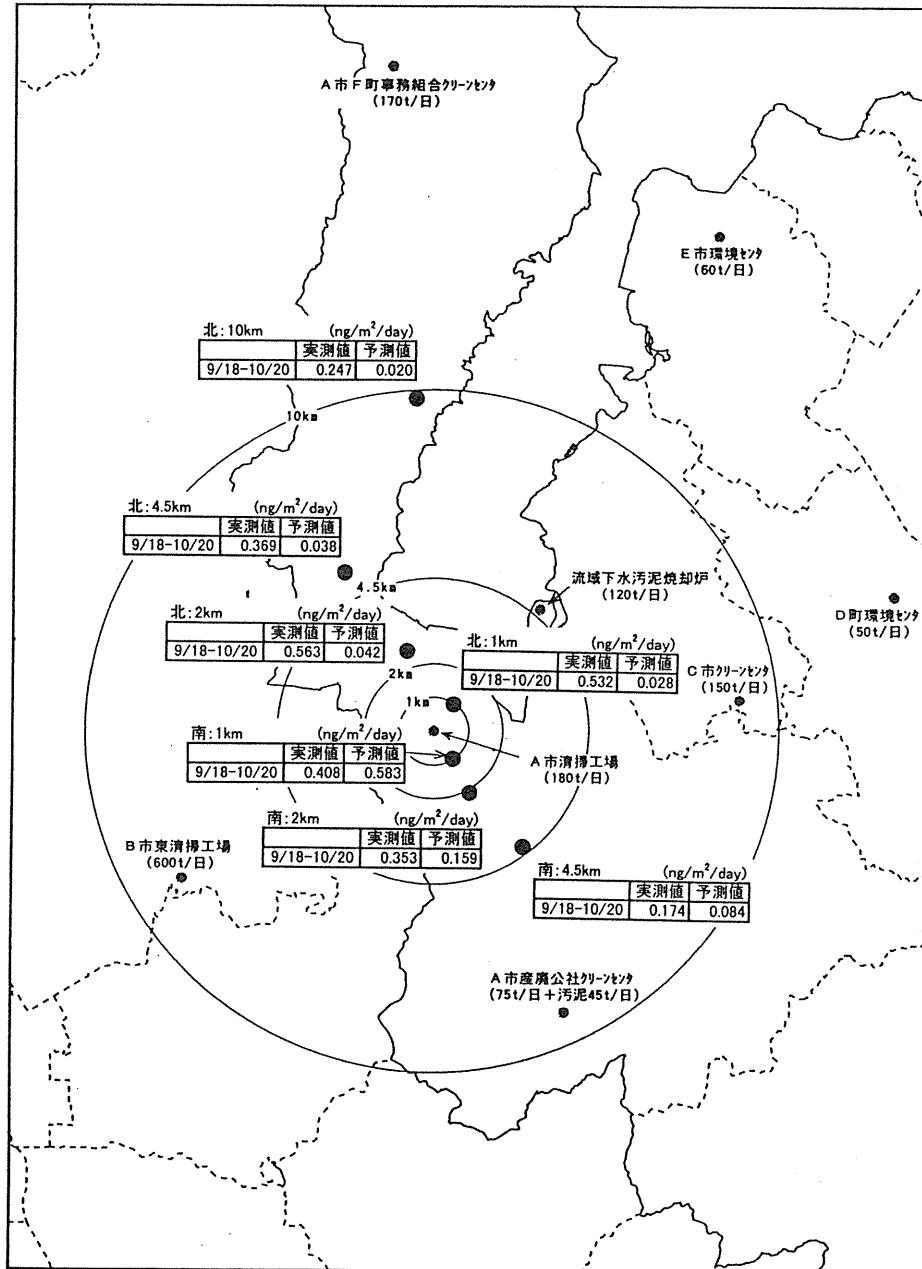


図3-2-27 沈着量計算結果

5) 粒子粒径の検討

予測値が実測値より1～2オーダー低い原因の1つとして、予測条件の相違が考えられる。ここでは、粒径に着目し検討を行った。

粒径分布の測定値はEP出口での値であり、実際の煙突出口付近の粒径は把握されていない。また、粒径10 $\mu$ m以上の粒子は測定されていないため、今回の調査では推計を行い拡散予測条件としている。

これらのことから、1つの仮定として、煙突出口付近の粒径を数十 $\mu$ mであると考え、粒径をすべて20 $\mu$ mの場合(ケース1)とすべて50 $\mu$ m(ケース2)の場合の2ケースを想定した。検討結果を表3-2-8に示す。

検討結果を見ると、濃度はほぼ粒径に比例して大きくなっている。このことから粒径10 $\mu$ m以上の粒子が大気中濃度に与える影響は大きく、このことが実測値と予測値の相違の原因の1つである可能性が考えられる。

表3-2-8 検討結果(予測条件による違い)

		実測値	予測値 ( $\text{pg}/\text{m}^3$ )		
			標準ケース	ケース1	ケース2
9/24	北:1km	10.439	0.163	0.181	0.294
	北:2km	-	0.076	0.080	0.164
	北:4.5km	5.694	0.021	0.040	0.188
	北:10km	-	0.018	0.037	0.097
	南:1km	10.730	2.372	2.551	2.727
	南:2km	-	0.510	0.687	0.806
	南:4.5km	10.256	0.073	0.065	0.066
9/25	北:1km	20.375	0.004	0.000	0.000
	北:2km	10.402	0.001	0.000	0.000
	北:4.5km	8.735	0.000	0.000	0.000
	北:10km	8.552	0.000	0.000	0.000
	南:1km	18.006	0.150	0.440	0.532
	南:2km	11.926	0.109	0.374	0.450
	南:4.5km	8.622	0.140	0.086	0.210
9/26	北:1km	15.898	0.481	0.677	0.950
	北:2km	21.533	0.169	0.460	0.606
	北:4.5km	14.979	0.031	0.037	0.049
	北:10km	7.115	0.005	0.004	0.004
	南:1km	16.283	0.000	0.000	0.002
	南:2km	23.070	0.017	0.022	0.111
	南:4.5km	16.171	0.072	0.076	0.202

標準ケース: 粒径分布に実測値を用いた場合。

ケース1 : 粒径をすべて20 $\mu$ mとした場合。

ケース2 : 粒径をすべて50 $\mu$ mとした場合。

## 6) バックグラウンド濃度の検討

実測値が予測値よりも1～2オーダー高い原因の1つとして、ここではバックグラウンド濃度の存在を考えた。これは以下の実測値に対する考察から考えられる。

1. 発生源に対して測定地点が風上側にあり、また、付近に大規模な発生源がないにもかかわらず、実測濃度が大きい地点がある。
2. 発生源から10km地点付近に大規模な発生源がないにもかかわらず、10km地点の実測濃度と他地点の実測濃度との差が小さい。

バックグラウンド濃度としては、A市清掃工場の北10kmの地点の実測濃度をバックグラウンド濃度と仮定した場合、それぞれの地点の予測結果にバックグラウンド濃度を加味することによって、予測値は実測値と比較的同程度となる。

また、バックグラウンド濃度となる要因は以下のものが考えられる。

- ・他の発生源（清掃工場、簡易焼却施設や自動車等）からの影響。
- ・広域圏を考えた場合の移入の影響。
- ・A市清掃工場から数時間以上前に発生したダイオキシンが、大気中に浮遊している状態。
- ・一度地表に沈着した粒子が、風等により巻き上げられる。

## 7) 他の発生源からの寄与の検討

調査地点の付近には大規模な焼却施設はないが、調査地点の直近に家庭用等の小さな発生源が存在するかを現地踏査を行ってその存在を確認した。

### ①北10km地点

調査地点は民家の庭先であり、民家の南南西 約400m地点で造園業者の焼却施設があった。処理は週に数回数時間行っていた。

### ②北4.5km地点

調査地点はA市役所(2階建)屋上であり、付近には焼却施設は見あたらなかった。

### ③北2km地点

調査地点は保護院(2階建)屋上であり、南東隣接地約30mに簡易焼却炉が存在した。大気濃度調査時期には、雨の日をのぞく毎日 朝約30分間の処理を行っていた。

### ④北1km地点

調査地点は民家の庭先であり、北東 約200m地点に、自動車販売会社の簡易焼却炉が存在した。処理は毎日 約30分間行われていた。

### ⑤南1km地点

調査地点は民家の庭先であり、付近には焼却施設は見あたらなかった。

### ⑥南2km地点

調査地点は民家の軒先であり、付近には田畑が残っている地域があり、野焼きが行われていると予想されるが、焼却施設は見あたらなかった。また、薪による風呂釜設備も多数存在した。

### ⑦南4.5km地点

調査地点は民家の庭先であり、近隣では野焼きをしているであろう民家がかなり見受けられた。

現地踏査により、調査地点付近にいくつかの焼却施設が確認できた。これらの施設からダイオキシンが発生しているか、また発生していればその発生量はどの程度なのか不明な部分があるが、ひとつの可能性としてこれらの発生源の存在を確認した。

## 8) 気象条件の検討

大気中濃度の予測結果は実測値よりも1～2オーダー低い値となっていたが、参考として気象条件を取り上げ検討を行った。

検討内容は、A市清掃工場の気象データにおける無風の比率が少ないことを鑑み、1つの仮定として無風の比率を上げた場合について検討を行った。仮定する検討条件としては、50%及び75%の無風時(CALM：風速0.4m/s以下)が存在する気象データとした。検討結果を表3-2-9に示す。検討結果をみると、無風の比率を上げると、それに伴い予測値も高くなる傾向がみられた。

本調査では、A市清掃工場の風を全域にあてはめた拡散予測を行っており、拡散途中での風向の変化は考慮していない。また、地形による煙流主軸の曲がりも考慮していない。たとえば、風速1m/sの場合、煙突から出たガスが北10kmの測定地点までたどり着くのに3時間かかることになる。この間に風向風速が一様であることは考えにくく、今後の検討としては、その点を加味した予測を行う必要があると思われる。

表3-2-9 予測結果(気象条件による違い)

		実測値	予測値 (pg/m <sup>3</sup> )		
			標準ケース	ケース1	ケース2
9/24	北:1km	10.439	0.163	1.457	2.102
	北:2km	-	0.076	0.769	1.128
	北:4.5km	5.694	0.021	0.183	0.235
	北:10km	-	0.018	0.060	0.072
	南:1km	10.730	2.372	3.234	3.880
	南:2km	-	0.510	1.089	1.449
	南:4.5km	10.256	0.073	0.186	0.238
9/25	北:1km	20.375	0.004	1.312	1.957
	北:2km	10.402	0.001	0.673	1.033
	北:4.5km	8.735	0.000	0.121	0.173
	北:10km	8.552	0.000	0.027	0.039
	南:1km	18.006	0.150	1.419	2.065
	南:2km	11.926	0.109	0.727	1.087
	南:4.5km	8.622	0.140	0.191	0.243
9/26	北:1km	15.898	0.481	1.729	2.375
	北:2km	21.533	0.169	0.825	1.185
	北:4.5km	14.979	0.031	0.151	0.203
	北:10km	7.115	0.005	0.032	0.044
	南:1km	16.283	0.000	1.393	2.039
	南:2km	23.070	0.017	0.719	1.079
	南:4.5km	16.171	0.072	0.167	0.218

標準ケース:A市清掃工場の気象データを用いた場合。

ケース1 :CALMを50%程度にした場合。

ケース2 :CALMを75%程度にした場合。

## 9) まとめ

今回の調査では、ごみ焼却施設周辺環境におけるダイオキシン類の大気中濃度及び沈降沈着量を再現できる大気拡散モデルを作成し、そのモデルを用いてダイオキシン類の予測を行った。

しかし、予測結果は現況値と比べ、大気中濃度は1～2オーダー程度低く、また沈着量も同程度から1オーダー低い値となった。これらの原因として、次のことが考えられる。

1. 粒径分布の測定値はEP出口での値であり、実際の煙突出口付近の粒径は把握されていない。また、粒径 $10\mu\text{m}$ 以上の粒子が測定されていないため、今回の調査では推計を行い拡散予測条件としている。粒径 $10\mu\text{m}$ 以上の粒子が大気中濃度に与える影響は大きく、このことが、実測値と予測値の相違の原因の1つである可能性が考えられる。
2. 発生源に対して測定地点が風上にあり、また、付近に大規模な発生源がないにもかかわらず、実測濃度が大きい地点がある。発生源から10km地点付近に大規模な発生源がないにもかかわらず、10km地点の実測濃度と他地点の実測濃度との差が小さい。以上の理由から、バックグラウンド濃度が存在している可能性が考えられる。
3. 観測地点付近に簡易焼却施設等の別の発生源が存在し、そこからの寄与が無視できない程度の濃度である可能性がある。
4. 気象データをA市清掃工場の1地点で代表させているが、個々の地点での風向と必ずしも一致していない。

これからことから今後の課題としては、次のことが考えられる。

1. 広域圏を考えた移入の把握。
2. 煙突出口付近及び拡散開始直後の粒径分布の把握。
3. A市清掃工場以外の発生源も対象とした濃度算定。
4. 過去に発生して大気中を浮遊している粒子の考慮。
5. 地表面からの巻き上げが濃度に寄与しているか検討。
6. 簡易焼却施設からの発生濃度の調査。
7. 風向の時間による変化を考慮できる拡散モデルでの検討。

#### 4. 狭域拡散

##### 1) 概要

大気中における煙、浮遊粒子等の拡散解析にはブルームモデル、パフモデル等が広く利用されている。しかし、複雑な地形を考慮した場合あるいは一辺数十m～1km程度の範囲で建物の大きさ・高さが無視できない場合等は大気の局所的な流動を考慮しなければならない。そのために流体の運動方程式、拡散方程式を数値的に解くことが必要である。そこで、汎用3次元熱流動拡散解析ソルバー“PHOENICS”を用いてA市清掃工場煙突から大気中に排出されるダイオキシンの拡散のシミュレーションを行った。従来の解析で、径の10 $\mu$ m程度の粒子は重力沈降が小さく、発生源より1km程度では地上付近まで降下しないことがわかったため、一つのモデルケースとして径25 $\mu$ mの浮遊粒子に付着したダイオキシンの拡散を考えることにする。現況再現のため、南北1kmの地点を選び、濃度および降下ばいじん量の実測値との比較を行った。実測値との比較はTotal PCDD/Dfsの値で行っている。これは各異性体を対象にすると計算量が非常に増大すること、広域計算で各異性体毎の計算を行ったところ実測値との隔たりが大きいことがわかり、Totalでの比較で十分と考えたからである。

尚、計算メッシュサイズは水平方向については50mを基本としているが、清掃工場近傍では1mであり、工場から離れるにつれて徐々に大きくし最終的に50mとなる可変メッシュを採用している。鉛直方向は5mが基本で、上空ではやや粗くしている。

##### 2) 解析モデルおよび解析条件

###### (1) 解析モデル

風速が低いので空気は非圧縮性流体として扱い、流れは乱流である。また、座標系は直交座標を用いる。基礎方程式は連続の式（質量保存式）、ナビエーストークスの式（3次元、運動量保存式）、拡散方程式である。詳細は「(5) 解析モデルの詳細」の通り。

###### (2) 解析条件

解析条件は以下の通り。

- ・ 計算領域…800m（東西方向）×1300m（南北方向）×300m（高さ方向）
- ・ 風向…NNW、NWおよびSSW、SW
- ・ 風速…NNW:0.8m/s、NW:0.8m/s、SSW:1.3m/s、SW:1.2m/s（平均風速時）
- ・ 空気動粘性係数… $1.54 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s

- ・ 空気密度…1.184 kg/m<sup>3</sup>
- ・ 排ガス流量…38000Nm<sup>3</sup>/h (2炉平均、wet)
- ・ 排ガス流出速度…23.0m/s
- ・ 煙突高さ…55m
- ・ 浮遊粒子径…25 μm
- ・ 浮遊粒子密度…2250kg/m<sup>3</sup>
- ・ ダイオキシン排出濃度 (Total PCDD/DFs) …620 ng/Nm<sup>3</sup>

解析領域平面図を図3-2-28、図3-2-29、断面図を図3-2-30、図3-2-31に示す。

### (3) 大気中の浮遊粒子の重力沈降

大気中の粒子の終末沈降速度は、以下の式を用いる。

$$v = (\rho_p - \rho_i) D_p^2 g / 18 \mu \quad (\text{Stokesの式})$$

( $v$ : 粒子終末沈降速度、 $\rho_p$ : 粒子密度、 $\rho_i$ : 大気密度、 $\mu$ : 空気粘性係数、

$D_p$ : 粒子径、 $g$ : 重力加速度、)

上記式に値を代入すると、沈降速度は以下ようになる。

$$v = 4.2 \times 10^{-3} \text{m/s}$$

### (4) 降下ばいじん

乾性沈着については、最下部（地表面付近）の鉛直方向粒子速度と濃度より降下量を求める。また、湿性沈着については、一定の割合で雨滴に取り込まれた粒子の量を鉛直方向に加えることによって求める。この時、大気中の濃度は取り込まれる分低くなる。単位体積あたり雨滴に取り込まれる量は、

$$C \times \Lambda$$

で表される。ここで、 $C$ : 粒子濃度 (ng/m<sup>3</sup>)、 $\Lambda$ : 洗浄係数 (1/s) である。 $\Lambda$  については、

$$\Lambda = 1.0 \times 10^{-4} (1/s)$$

とする。



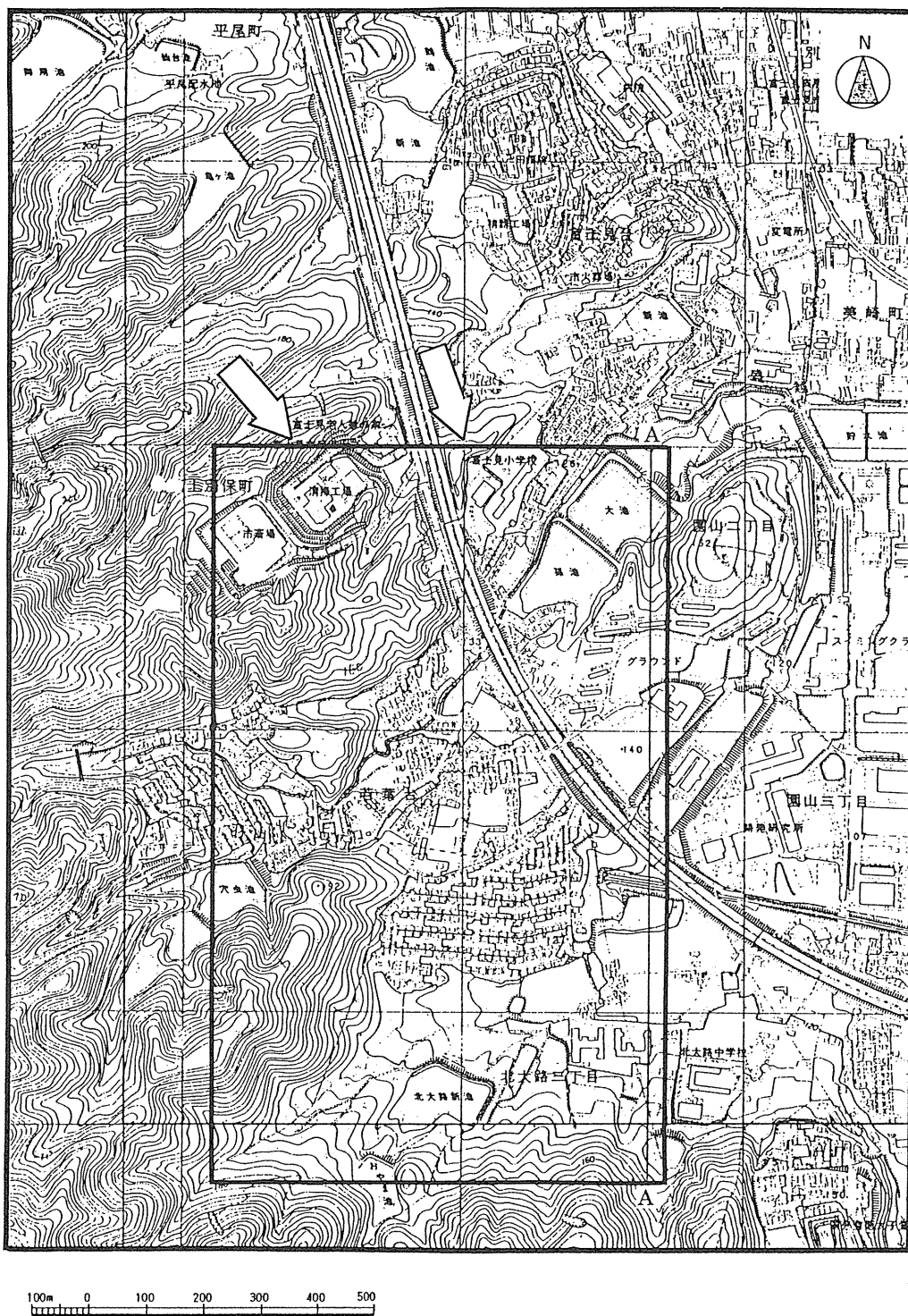


図3-2-28 解析領域平面図（風向NNW、NWの場合）



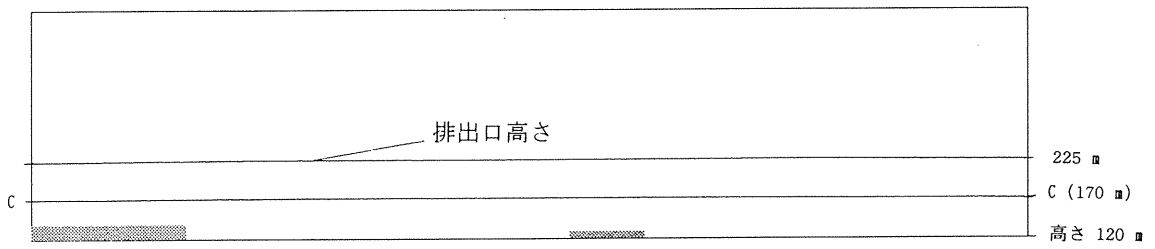


図3-2-30 解析領域断面図（風向NNW、NWの場合、図3-2-28のA-A断面）

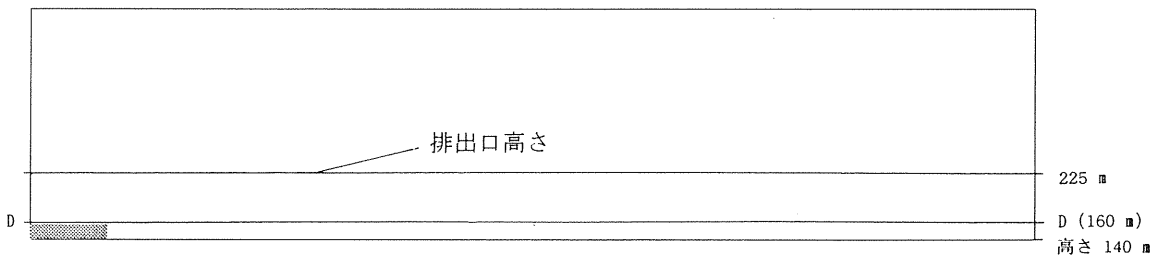


図3-2-31 解析領域断面図（風向SSW、SWの場合、図3-2-29のB-B断面）

### 3) 解析結果

#### (1) 濃度

風速ベクトル図・濃度コンタ図を図3-2-32～図3-2-43に示す（6）項にまとめて表示）。各図の表示断面は解析領域平面図・断面図（図3-2-28～図3-2-31）に示す。

計算は南北の実測点（何れも発生源から東にずれている）に向かう一定風向（NNW、NW、SSW、SWの4ケース、他の風向は南（南南東）1kmあるいは北1kmの実測点のダイオキシン濃度に寄与しない）とした場合の定常計算であるので、濃度の値はそれぞれ24時間NNW、NW、SSW、SW方向の風が吹き続いたものに相当する。そこで、以下のように実測点濃度を計算する。

$$\text{南1km実測点計算値} = C_{NNW} \times F_{NNW} / 24 + C_{SW} \times F_{SW} / 24$$

$$\text{北1km実測点計算値} = C_{SSW} \times F_{SSW} / 24 + C_{SW} \times F_{SW} / 24$$

（ $C_{NNW}$ ：風向NNWの場合の定常計算濃度、 $C_{NW}$ ：風向NWの場合の定常計算濃度、 $C_{SSW}$ ：風向SSWの場合の定常計算濃度、 $C_{SW}$ ：風向SWの場合の定常計算濃度、 $F_{NNW}$ ：風向NNWの頻度、 $F_{NW}$ ：風向NWの頻度、 $F_{SSW}$ ：風向SSWの頻度、 $F_{SW}$ ：風向SWの頻度）

以上により、観測点南1kmおよび北1kmにおける濃度値を計算すると下表のようになる。ここで、標準ケースは粒径分布が実測値（径25 $\mu\text{m}$ の粒子4%、但し、10 $\mu\text{m}$ 以上の粒子については推定）である。また参考ケースとして、ケース1は25 $\mu\text{m}$ の粒子が20%を占める場合、ケース2は50%を占める場合である。図中の－は清掃工場から観測点方向へ向かう風が観測されていないことを示す（すなわち風向頻度：0）。

表3-2-10 南1kmにおける濃度 (Total PCDD/DFs、単位：pg/m<sup>3</sup>)

	9/24	9/25	9/26
実測値	24	38	35
計算値（標準ケース）	—	1.4	—
計算値（ケース1）	—	7.2	—
計算値（ケース2）	—	18.0	—

表3-2-11 北1kmにおける濃度 (Total PCDD/DFs、単位：pg/m<sup>3</sup>)

	9/24	9/25	9/26
実測値	27	42	41
計算値（標準ケース）	1.9	—	1.0
計算値（ケース1）	9.5	—	5.0
計算値（ケース2）	23.8	—	12.5