

2017年12月9日

PM_{2.5}などの大気汚染物質の現状と課題

大原利眞

国立研究開発法人国立環境研究所 福島支部

tohara@nies.go.jp

自己紹介

職歴：

1987年 財団法人計量計画研究所 研究員

1999年 静岡大学工学部システム工学科 教授

2004年 国立環境研究所 地域環境研究センター長等

2014年 国立環境研究所 フェロー（福島支部研究総括）

専門：大気環境科学・大気環境工学

委員等：

環境省中央環境審議会・微小粒子状物質（PM_{2.5}）等

専門委員会委員長ほか大気汚染関係の委員会ほか、

大気環境学会会長

2



国立環境研究所とは？

茨城県のつくば研究学園都市に本部があります。研究職員は約210名、全員で約850名です。



大震災直後から調査研究を開始

災害廃棄物・汚染廃棄物の処理処分に関する調査研究



災害廃棄物の現地調査
被災地廃棄物の燃焼試験
汚染廃棄物仮置場の現地調査

環境中(大気・水・土壌等)の放射性物質の動きの解明



森林からの放射性物質流出状況調査
放射性物質の大気シミュレーション

震災による環境変化が人や生物・生態系にもたらした影響の評価



宮城県南三陸町仮置き場での大気粉じん測定
仙台市蒲生干潟の調査

震災復興のまちづくりへの貢献



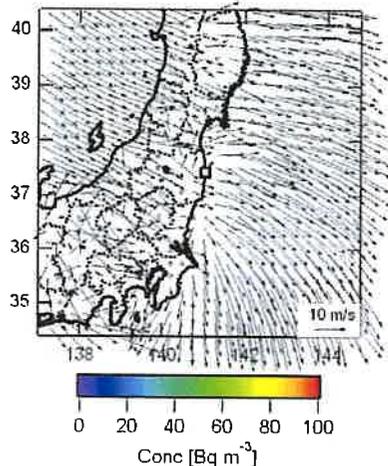
福島県新地町との基本協定締結
復興都市づくりの課題と展開

4

シミュレーション結果(セシウム137)

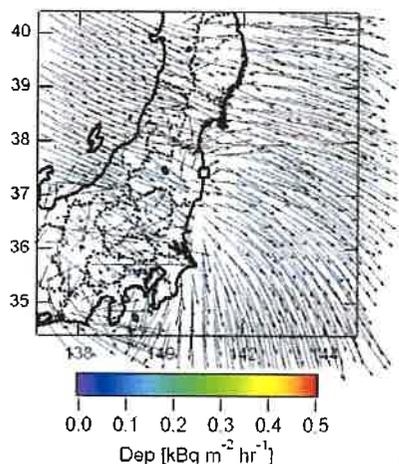
地上付近の大気濃度

CONC. 2011/03/12, 01JST
Cs-137



沈着量

DEP. 2011/03/12, 01JST
Cs-137



昨春、国立環境研究所福島支部を開設



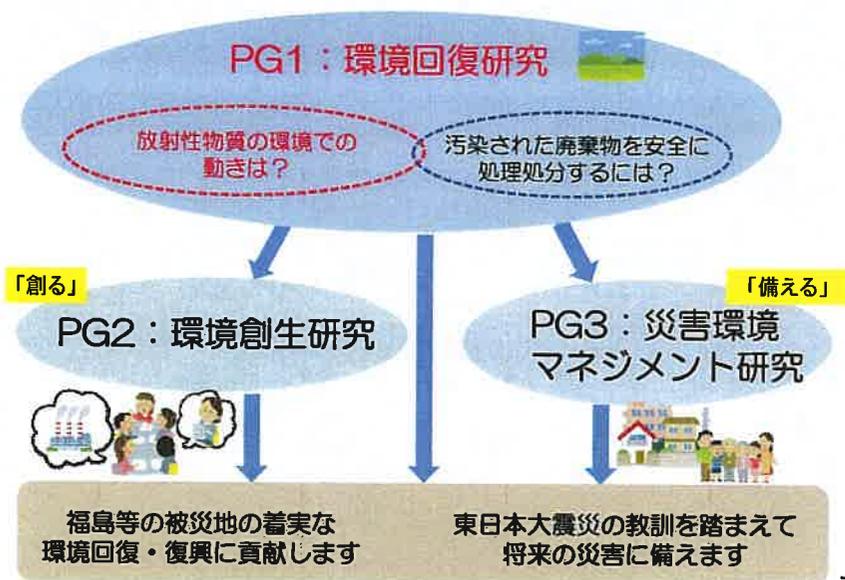
福島県環境創造センター(福島県三春町)



2016年4月、福島県が整備した福島県環境創造センターの研究棟に福島支部を開設

国立環境研究所の現地研究拠点として福島支部を開設し、福島県、JAEA等と連携し、調査研究を展開中

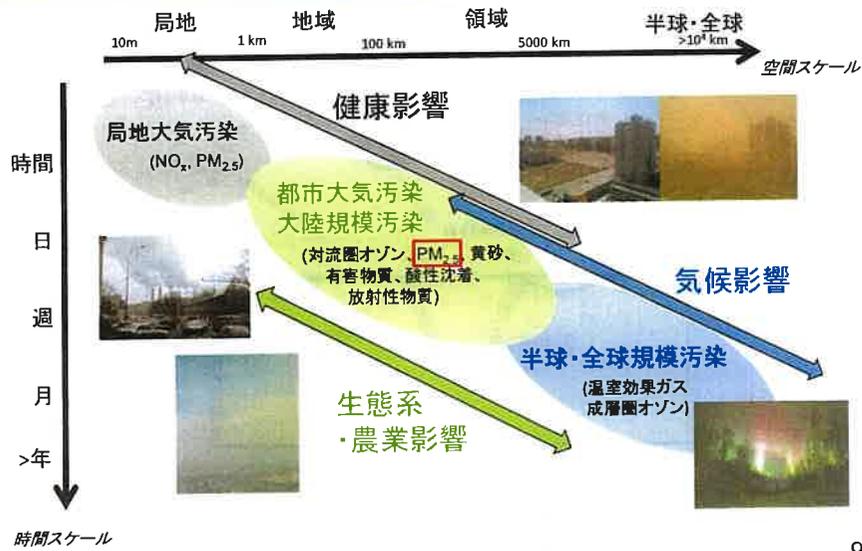
国立環境研究所で進めている研究



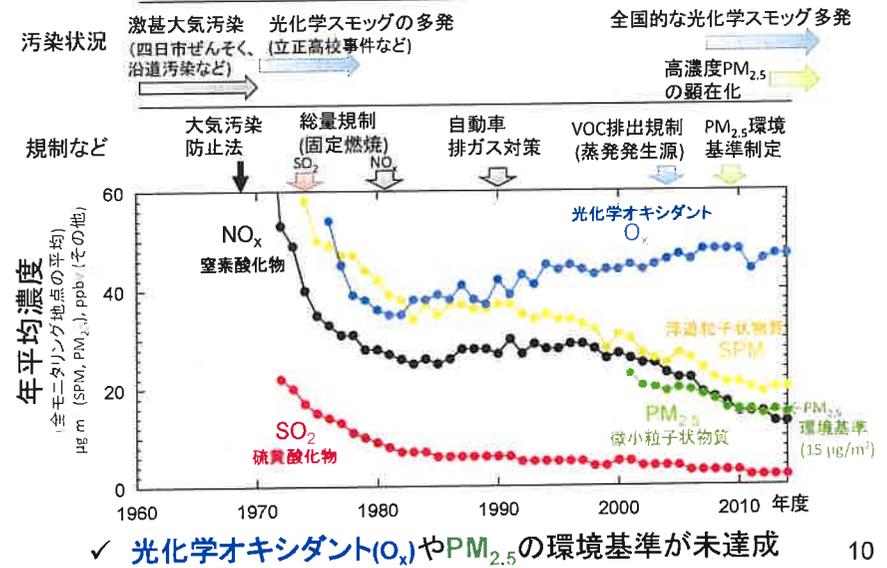
本日、お話する内容

1. PM_{2.5}等による大気汚染
2. 大気拡散とシミュレーション
3. 拡散モデルCALPUFF
4. おわりに

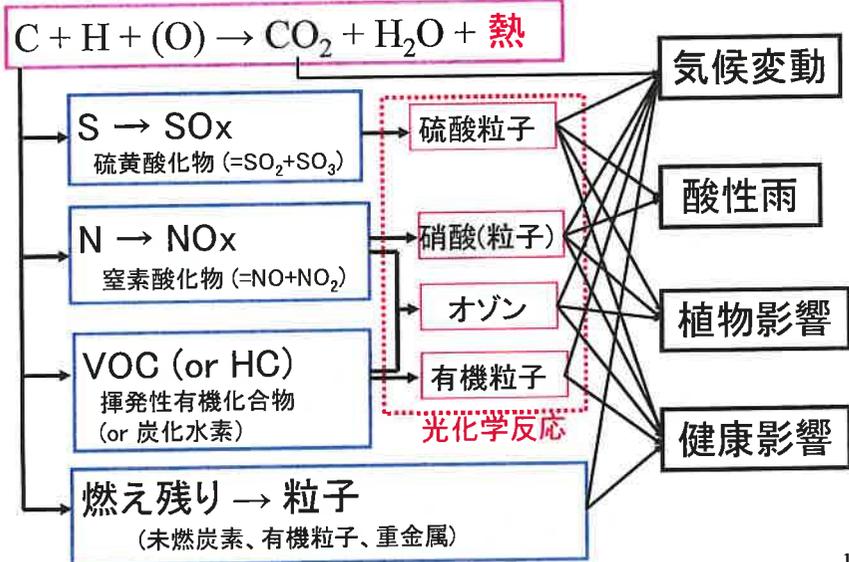
大気環境問題の概要



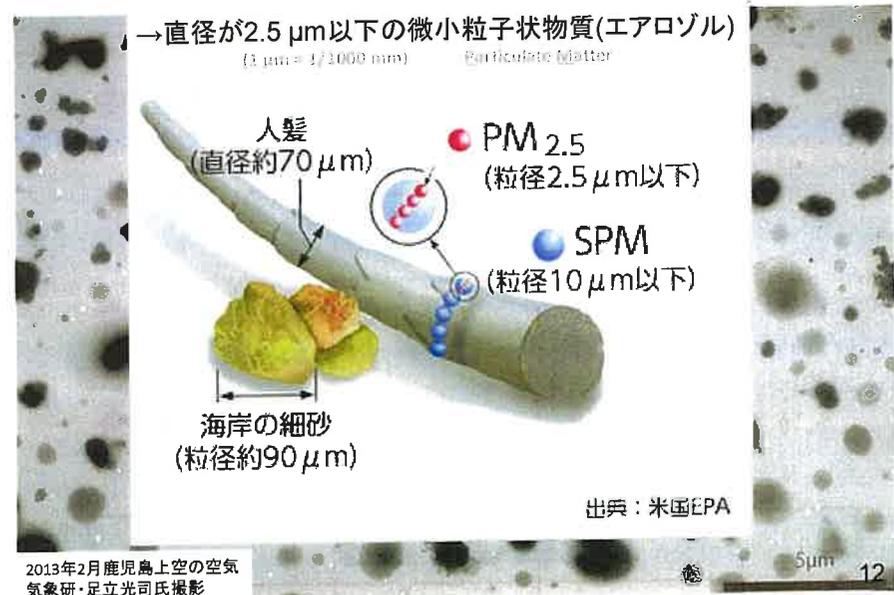
日本の大気汚染状況の推移



化石燃料燃焼による環境影響



PM_{2.5}とは?



「PM_{2.5}」の意味

- PMはParticulate Matterの略で、「粒子状」-「物質」の意味です。
- 2.5は粒子の大きさを表しており、 μm （マイクロメートル）の単位で、2.5の数値です。
- PM_{2.5}は直径 $2.5\mu\text{m}$ （ $1\mu\text{m}=0.001\text{mm}$ ）以下の小さな粒子のことをいいます。

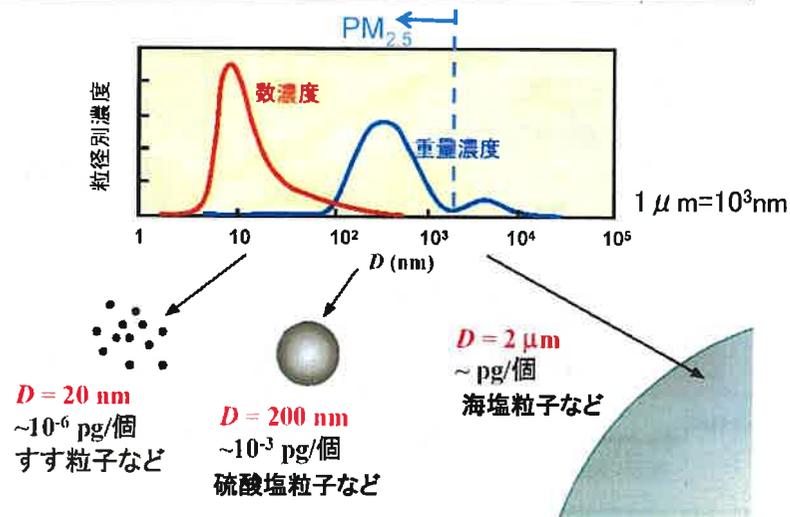
13

PM_{2.5}の特徴

- ◆ 大きさがイロイロ
- ◆ でき方がイロイロ
- ◆ 成分がイロイロ
- ◆ 寿命が長い

14

粒子の大きさは？



首都大学東京・竹川先生作成

15

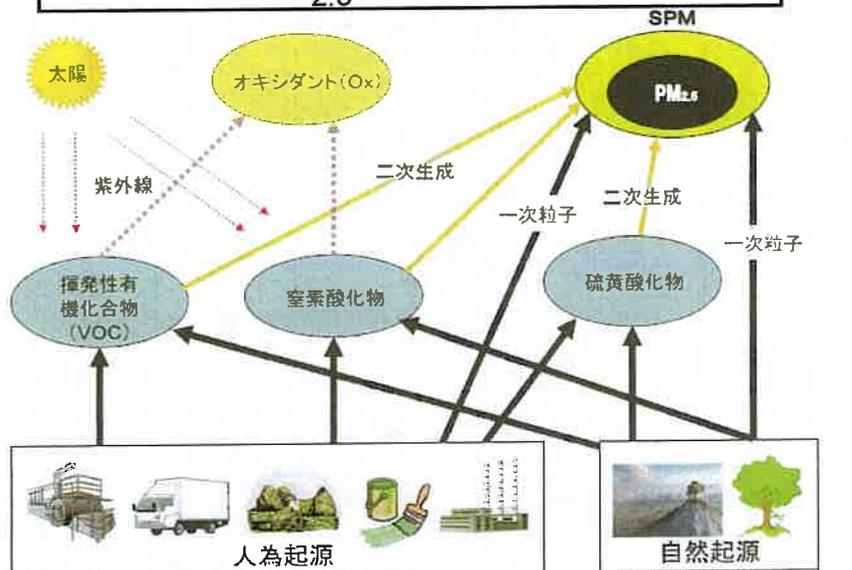
1次粒子と2次粒子(生成)

PM_{2.5}のでき方には2種類あります。

- 1次粒子：発生源から直接、排出されたもの
- 2次粒子：発生源から排出されたガス（SO₂, NO_x, VOCなど）が大気中で反応して粒子化したもの

16

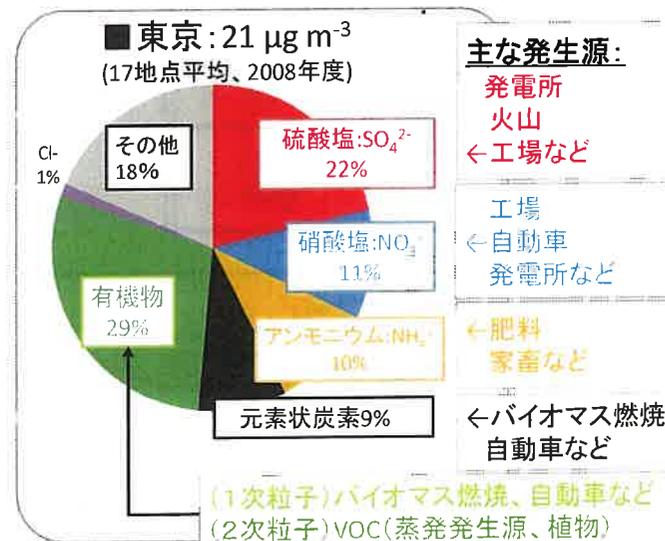
PM_{2.5}の生成経路



東京都微小粒子状物質検討会、2011

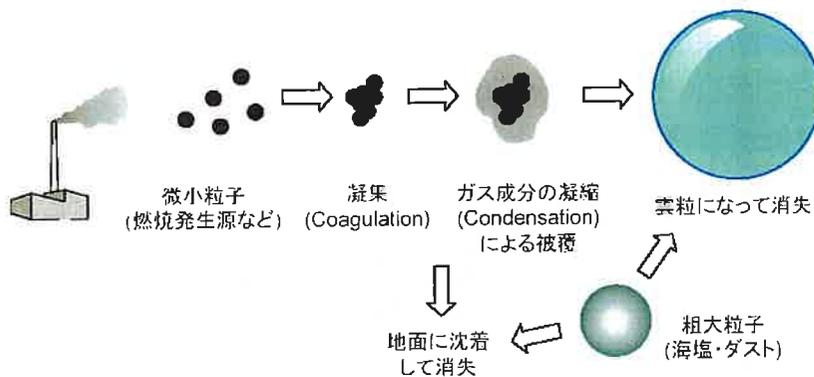
火山・黄砂・植物等 17

実はPM_{2.5}は各種物質の集合体である



18

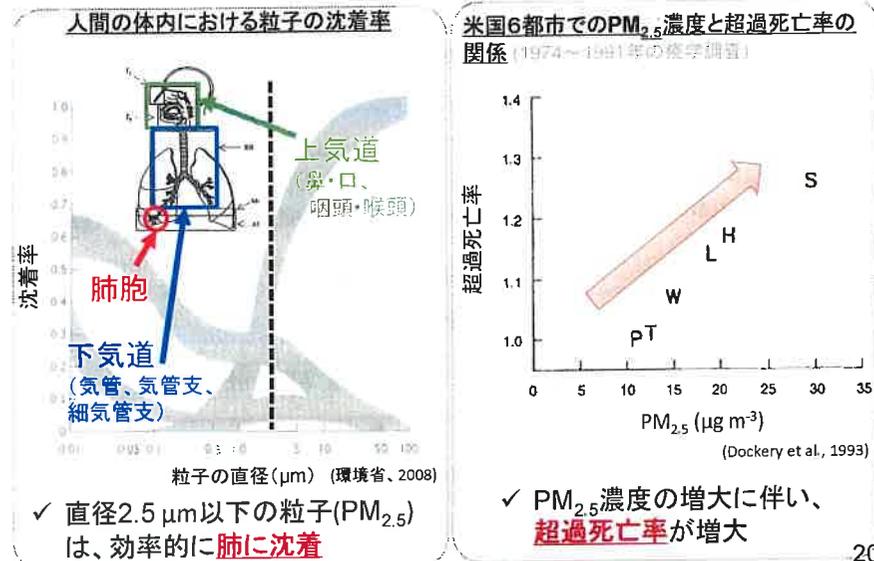
粒子の一生(寿命は数日~1週間)



首都大学東京・竹川先生作成

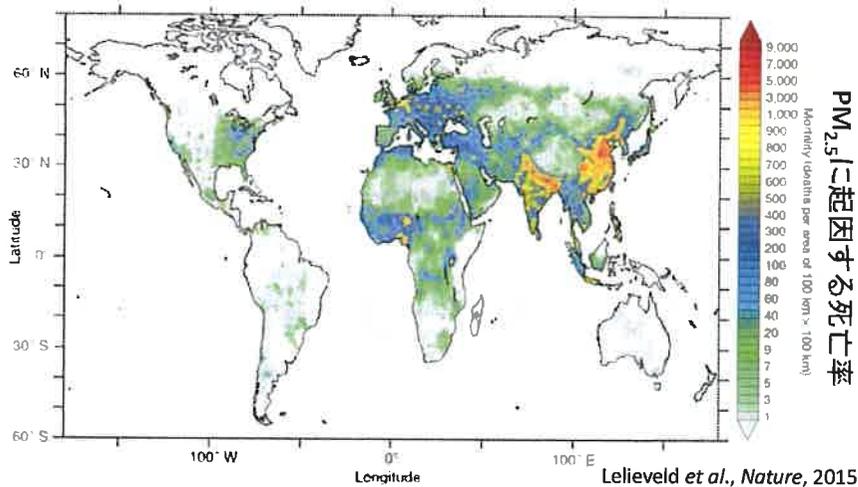
19

PM_{2.5}の健康影響



20

PM_{2.5}に起因する死亡率



✓ PM_{2.5}の問題は、東アジア・南アジア・欧州などで特に深刻

21

PM_{2.5}の環境基準

日本では2009年にPM_{2.5}の環境基準を制定
(年平均値: 15 $\mu\text{g m}^{-3}$; 日平均値: 35 $\mu\text{g m}^{-3}$)

世界各国のPM_{2.5}の環境基準

		年平均	日平均
日本	2009.9 -	15 $\mu\text{g m}^{-3}$	35 $\mu\text{g m}^{-3}$
米国	1997.7 -	15 $\mu\text{g m}^{-3}$	65 $\mu\text{g m}^{-3}$
	2006.9 -	15 $\mu\text{g m}^{-3}$	35 $\mu\text{g m}^{-3}$
	2013.1 -	12 $\mu\text{g m}^{-3}$	35 $\mu\text{g m}^{-3}$
WHO (指針値)	2006 -	10 $\mu\text{g m}^{-3}$	25 $\mu\text{g m}^{-3}$
EU	2007.12 -	25 $\mu\text{g m}^{-3}$	
中国	2016.1 -	35 $\mu\text{g m}^{-3}$	75 $\mu\text{g m}^{-3}$
韓国	2015.1 -	25 $\mu\text{g m}^{-3}$	50 $\mu\text{g m}^{-3}$

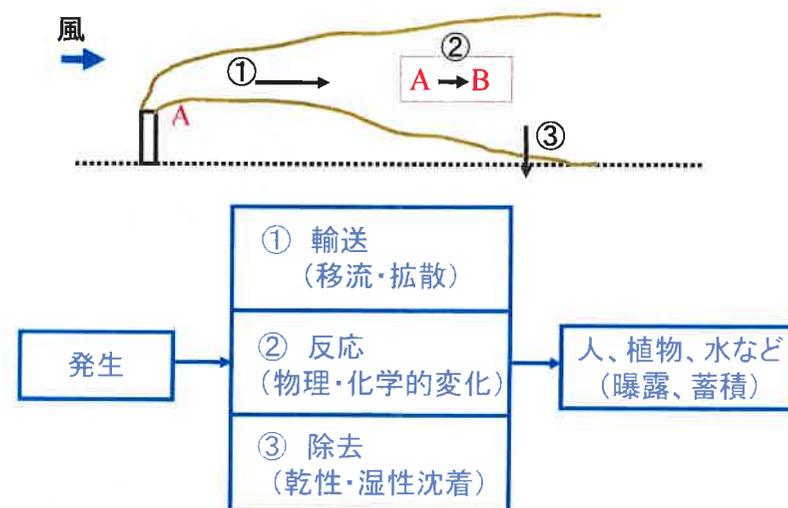
22

本日、お話しする内容

1. PM_{2.5}等による大気汚染
2. 大気拡散とシミュレーション
3. 拡散モデルCALPUFF
4. おわりに

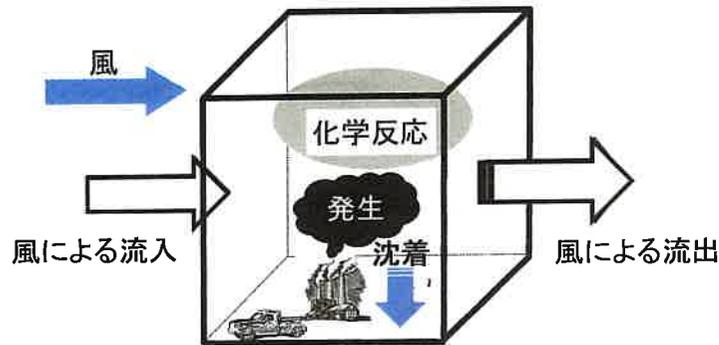
23

煙突から放出された大気汚染物質の挙動



24

簡単な大気汚染モデルの例 (ボックスモデル)



ボックス内の大気汚染物質の量 =
 風による流入量 + 発生量 + 化学反応による生成量
 - 風による流出量 - 化学反応による消滅量 - 沈着量

25

大気汚染モデルの基礎式

ある大気汚染物質の挙動は
 偏微分方程式で表される。

$$\frac{\partial \bar{c}_i}{\partial t} + U \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x} + V \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial y} + W \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial z}$$

(a) (b) (c)

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial z} \right) + R_{c_i}(\bar{c}_1, \dots, \bar{c}_N) + S_{c_i} + \left. \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial t} \right|_{aero}$$

(d) (e) (f) (g) (h)

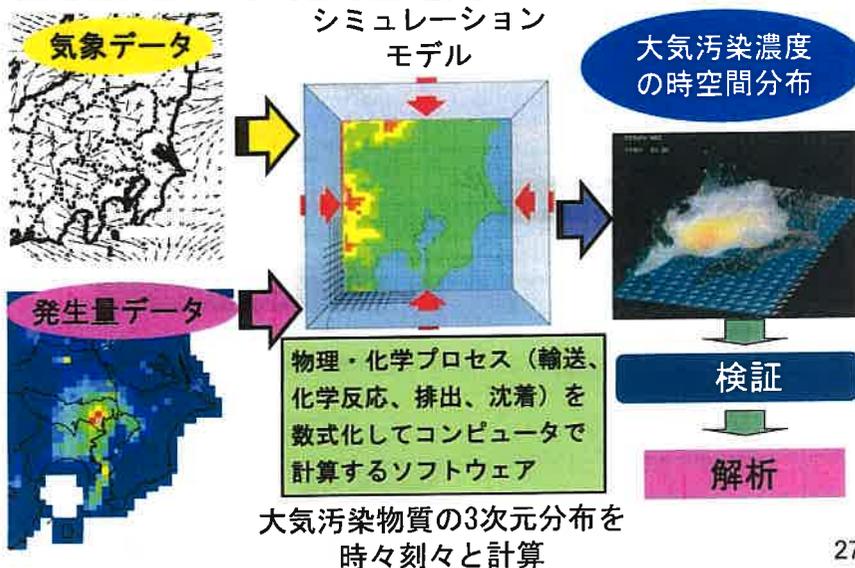
\bar{c}_i : 大気汚染物質の種類 i の濃度 ($i = 1, \dots, N$; N は成分数)
 K_x, K_y, K_z : x, y, z 方向の渦拡散係数
 U, V, W : x, y, z 方向の風速成分

各項の意味

- | | |
|--------------------|--------------------|
| (a) : 汚染物質濃度の時間変化率 | (e) : 鉛直方向の乱流拡散 |
| (b) : 水平方向の移流 | (f) : 化学反応による生成・消失 |
| (c) : 鉛直方向の移流 | (g) : 発生 |
| (d) : 水平方向の乱流拡散 | (h) : ガス・粒子変換 |

26

大気環境シミュレーション



27

シミュレーションモデルの種類

簡便なモデル

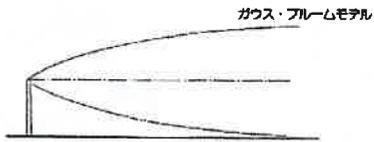
- 解析型モデル : プルームモデル、パフモデル
- ボックスモデル : ワンボックス、多重ボックス

厳密なモデル

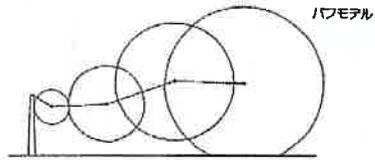
- 数値型モデル :
 - オイラー型モデル
 - ラグランジュ型モデル

28

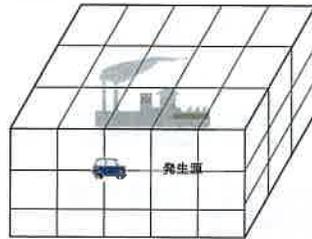
ブルームモデル



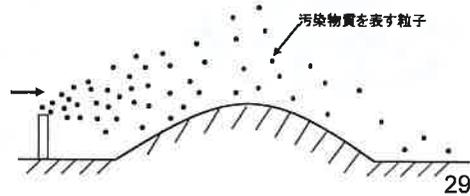
パフモデル



オイラー型モデル



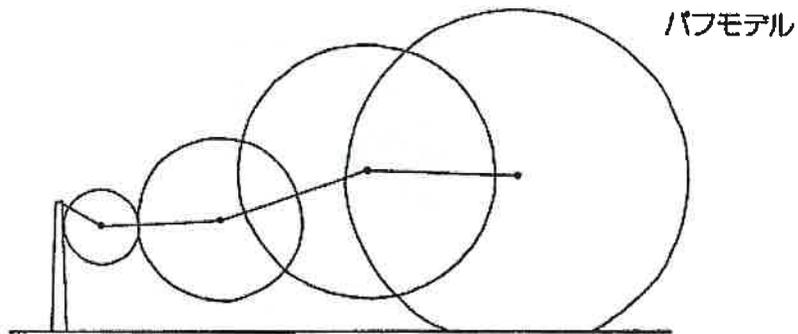
ラグランジュ型モデル



本日、お話しする内容

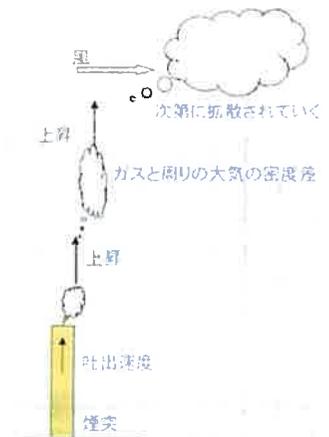
1. PM_{2.5}等による大気汚染
2. 大気拡散とシミュレーション
3. 拡散モデルCALPUFF
4. おわりに

CALPUFFはやや複雑なパフモデル

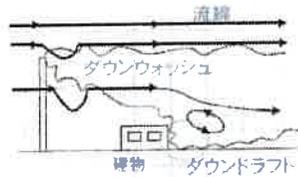


煙突出口周辺における排出ガスの挙動(1)

煙突から排出されたガスは、まず吐出速度の効果で大気中を上昇し、次に高温ガスの場合には密度差によって生じる浮力の効果で上昇しながら、次第に風に流され拡散していく。



煙突出口周辺における排出ガスの挙動(2)



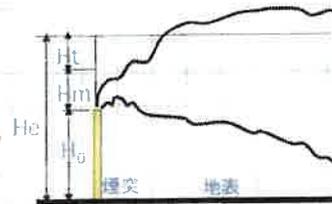
しかし、吐出速度が風速より小さい場合、煙は煙突背後に生じる渦や、付近の建物によって発生する渦に巻き込まれ、急激に地上へ降下することがある。これが、“ダウンウォッシュ”あるいは“ダウンドラフト”と呼ばれる現象である。ダウンウォッシュなどは地上における汚染濃度を高めるため好ましくない。ダウンウォッシュを避けるために、

- ・吐出速度を5~6m/s以上にする。
 - ・煙突出口の形状を工夫する。
- などの方法がとられる。

33

汚染濃度の推定 (ステップ1:有効煙突高の計算)

排ガスは運動量と密度差によって上昇することは述べたが、実際の煙突高にこれらの効果による上昇高を加えた煙突高(これを“有効煙突高”という)を仮定し、その高さからガスが排出されると考える。すなわち、有効煙突高(H_e)は次式で定義される。



H_0 : 煙突高, H_m : 運動量による上昇高
 H_t : 浮力による上昇高, H_e : 有効煙突高

有効煙突高=実煙突高+ガスの上昇高

有効煙突高の推定には様々な式が提案されている。代表的なものには、以下に示すボサンケの式とコンカウの式がある。

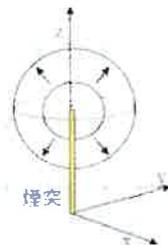
34

汚染濃度の推定 (ステップ2:有効煙突高から排出された汚染物質濃度の推定)

1) パフ式

パフ(puff, ひと吹き、ふっと吹くこと、シュークリーム)

パフ式は無風状態、十分に広い空間において、高さ H_e の煙突から瞬間的にガスが排出された場合に適用される。無風状態の時排出されるガスは、図に示すように3次元的に球状に広がっていく。

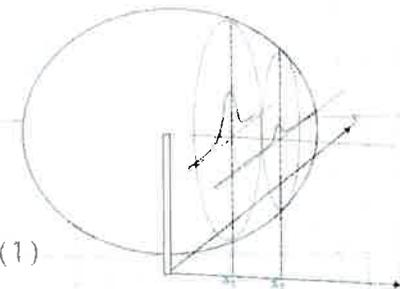


35

汚染濃度の推定(ステップ2:続き)

はじめに、y軸方向の濃度分布を考える。x軸上の任意の距離xにおけるy軸方向の濃度分布は、中心で高く中心から離れるにしたがい低くなるような分布になる。この分布に次の正規分布型を仮定する。

$$f(y) = e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$



ここで、

y: y軸方向の距離。

σ : y軸方向のガスの乱れの大きさを表す指標(これを拡散幅と呼ぶ)。

e: 自然対数の底である。

正規分布

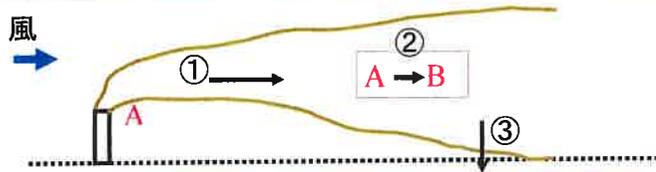
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

μ : 正規分布の平均

36

仙台火発シミュレーションで使用している主な設定

標高・土地利用	全球データ(TAPMのデータセット)、50×50格子(30, 10, 5km)
気象	38局の気象官署データ、TAPMモデル(CSIROの気象モデル)



発生	①移流・拡散	特殊な拡散(ダウンウオッシュ、内部境界層による拡散など)の扱いについては不明(記述が無いので、たぶん無視している)
Dustのうち 30%:PM2.5, 37.5%:PM10	②反応	ISORROPIA II (←Geos-Chem) SO ₂ ⇒硫酸塩、NO _x ⇒硝酸塩 POSTUTIL NO, NO ₂ , HNO ₃ , 硝酸塩に再分解
有効煙突高度式の記述無なし	③除去	(記述はないが、たぶん) 乾性沈着:抵抗モデル、湿性沈着:降水除去係数

41

CALPUFFの長所と短所

我が国の環境アセスメントで一般的に使用されているSPM用シミュレーションモデルと比較して、

長所

- ✓ 複雑な気象、地形の場合でもある程度、適用可能
- ✓ 想定される物理・化学プロセスがひとつおり入っている
- ✓ 二次粒子モデルをある程度の精度で計算できる(と思われる)
- ✓ 時々刻々の濃度を計算できる

短所

- ✓ 我が国での適用例がない。従って、検証もされてない。

42

本日、お話す内容

1. PM_{2.5}等による大気汚染
2. 大気拡散とシミュレーション
3. 拡散モデルCALPUFF
4. おわりに

43

仙台火発シミュレーションの弱点

- ✓ (大) 我が国ではCALPUFFの適用例がないこと。
従って、検証もされてないこと。
- ✓ (小) PM2.5 / PM(dust)排出比の設定における不確実性
- ✓ (小) 海風時の内部境界層によるフューミゲーションの扱い
⇒ この効果が入ってない場合には過小評価の可能性
- ✓ (中) 二次粒子の再現性
(計算対象が硫酸塩と硝酸塩のみであること、硫酸塩と硝酸塩の再現性が不明なこと)

この他に、健康影響評価における不確実もある(の方が大きいかな)

44

御清聴ありがとうございました