

環境影響評価研修  
(2018.10.18 京都リサーチパーク)

# 環境影響評価の技術的動向 (生活環境)

龍谷大学理工学部  
(滋賀県大津市瀬田大江町)

市川陽一

[ichikawa@rins.ryukoku.ac.jp](mailto:ichikawa@rins.ryukoku.ac.jp)



# 自己紹介

専門 大気環境工学

煙の拡散(ラプラスの魔女を目指して)

アセス審査会

経産省環境審査顧問会、

滋賀県環境影響評価審査会 など

アセスの仕事

石炭粉じんの予測手法(SPMマニュアル、発電所アセス手引)

排ガス拡散予測数値モデル(発電所アセス手引)

ごみ焼却施設アセスマニュアル など

# 本日の講演内容

## 1. 大気環境概論

## 2. 技術的動向

- ・排ガス拡散予測の数値モデル
- ・PM<sub>2.5</sub>の予測
- ・ドップラーライダーによる上層気象観測

## 3. アセス図書、審査意見、住民問い合わせの ケーススタディ

- ・未だにアワセメント
- ・ポピュリズム？ PM<sub>2.5</sub>の予測
- ・うちの煙突は低い

# 1. 大気環境概論

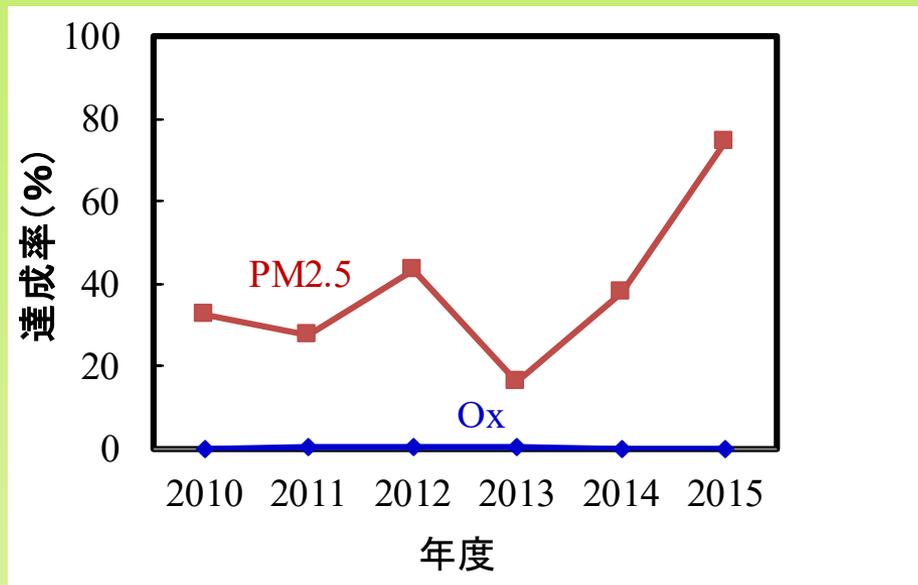
年月	出来事
1960代	公害の時代
1970.7	光化学スモッグ(東京・女子高生被害)
1973	環境基準(SO <sub>2</sub> ,CO,SPM,NO <sub>2</sub> ,Ox)
1990代	東アジアの酸性雨問題
1997	気候変動枠組条約締約国会議COP3、京都議定書採択(2005年発効)
1999	環境基準(ダイオキシン類)
2007.5	オゾンの越境汚染騒動(福岡県で運動会中止、新潟県で初の注意報)
2009	環境基準(PM <sub>2.5</sub> )
2013.1	中国のPM <sub>2.5</sub> 騒動
2013	水俣条約採択(2017年発効、2018年4月改正大気汚染防止法施行、 水銀の排出規制)
2015	COP21 パリ協定採択(2016年発効)
2018	環境基本計画(4月)、エネルギー基本計画(7月):CO <sub>2</sub> 2030年 ▲26%、2050年▲80%、エネルギーミックス深掘り・堅持



# 大気汚染物質の環境基準等の達成状況

## 一般局

## 2015年度(達成率)



%	一般局	自排局
NO <sub>2</sub>	100	99.8
SPM	99.6	99.7
SO <sub>2</sub>	99.9	100

## 2015年度(超過地点数)

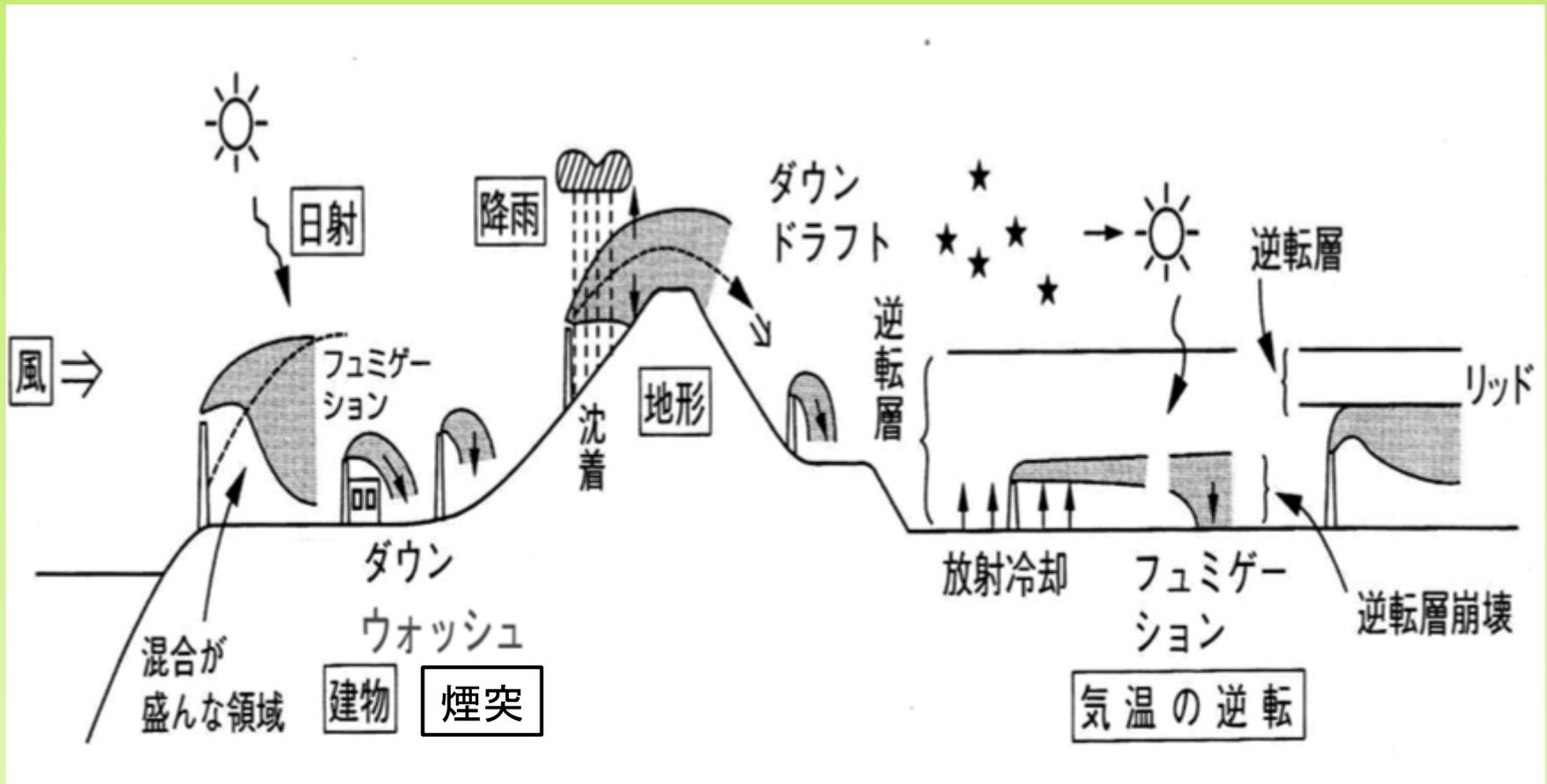
ダイオキシン類	0/660 地点
---------	----------

## 2015年度

Ox 長期的な改善傾向を評価するための指標(2014~16年度:地域によって増加、減少)

指針値 (40ngHg/m <sup>3</sup> ) 超過地点数	一般	発生源周辺	沿道
水銀および化合物	0/204	0/21	0/39

# 短期高濃度の要因 (気象、地形・建物)

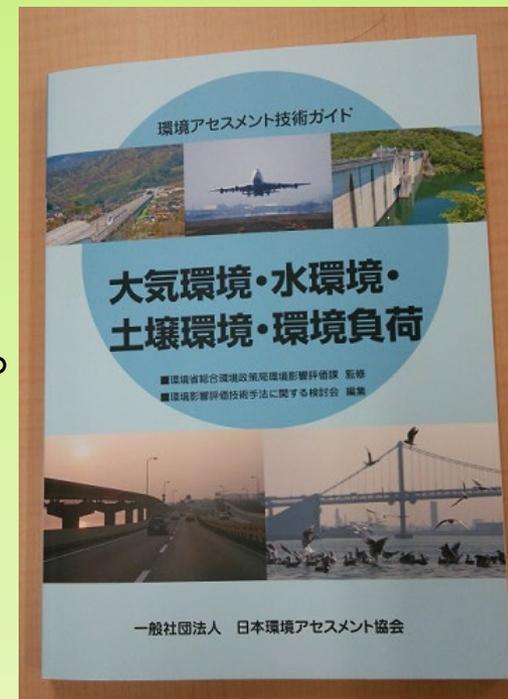


要因	大気拡散現象、予測の動向
地形	起伏により拡散が促進され、煙軸が地面に近づく。最大着地濃度は高くなり、出現距離は煙源に近づく。ごみ焼却場のアセスでは野外実験を行うところあり。火力・地熱発電所のアセスでは風洞実験から数値モデルへ移行
建物 煙突	煙突が建物高さの2.5倍以下、吐出速度が風速の1.5倍以下で煙の下降や巻き込みが起こり、地表濃度が高くなる(ダウンウォッシュ)。低煙突や景観煙突で検討 ごみ焼却場のアセスでは風洞実験を行うところあり。
逆転層	<ul style="list-style-type: none"> <li>・下層の気温が低い逆転層では空気が動きにくいので、汚染物質が上昇・拡散せず濃度が高くなる。</li> <li>・日射によって地表近くで混合が盛んになって逆転層が崩壊すると、上空の煙が混合によって地表に降りてくる(フュミゲーション)。内陸立地(主にごみ焼却場)で検討</li> </ul>
熱的な 内部境界層	高い煙突から排出された煙は、陸地に発達した混合の盛んな内部境界層に入ると一気に地表に降りてくる(フュミゲーション)。海岸立地(主に火力発電所)で検討

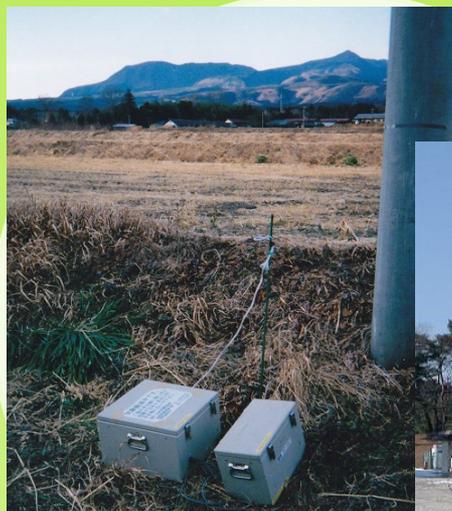
予測手法		内 容	適 用
野外トレーサ実験		現地でトレーサガスを放出して濃度分布を測定する。 あわせて地上や上空の気象観測を行う。	1950年代末～70年代前半によく実施 ごみ焼却場のアセスでは拡散式のパラメータ補正に用いられている。
風洞実験		大きなダクト内に地形や建物・構造物の模型を入れてトレーサガスの濃度分布を測定する。	風洞は1960年代半ばから設置 ごみ焼却場、発電所のアセスで実績 火力発電所では2000年、 地熱発電所では2018年から数値モデルに代替される。
計算	拡散式	排煙上昇や拡散の公式に従って濃度分布を計算する（パフ・プルームモデル）。	年平均・日最大濃度 ダウンウォッシュ、逆転層、 フミゲーションの予測
	数値モデル	運動方程式や拡散方程式を数値的に解いて、気流や濃度分布を求める。	火力発電所の地形、地熱 発電所の地形・建物影響 評価で実績→「技術ガイド」の更新

# 環境アセスメント**技術ガイド** (2017.9) 「大気環境・水環境・土壌環境・環境負荷」

技術ガイド(p.83) 3次元数値モデル 「火力発電所の環境影響評価では複雑地形上の大気質予測で適用されている。また、建物近傍の道路事業を対象に大気質予測の学会ガイドラインが作成されている。**その他、山間部への適用が検討されている。(→山間部の地熱発電所の環境影響評価で複雑地形、建物を考慮した大気質予測に適用されている。)**  
なお、弱風、安定な条件での適用は課題が多い。



# 大気拡散の 予測手法



トレーサ実験と気象観測



現実そのものだが、  
その事例限り

簡単に結果はでるが、  
妥当性の確認が大切

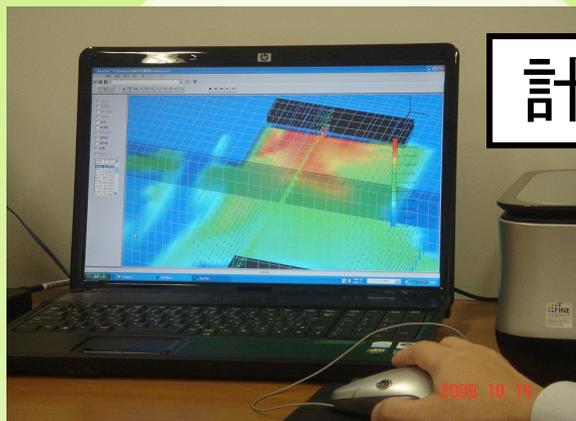
現地

ともいき  
共生

装置があればデータは  
とれるが、相似が大切

計算

室内



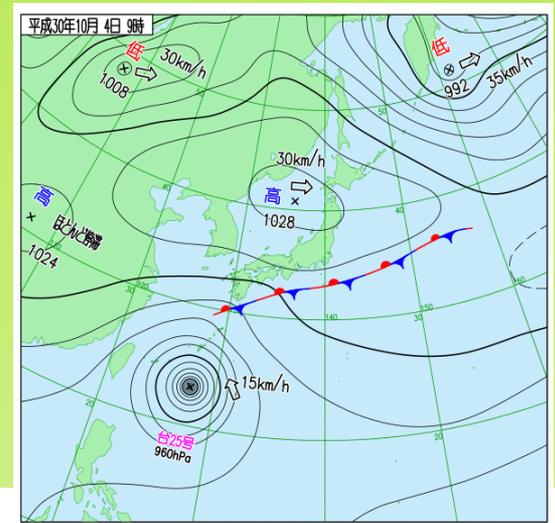
パフ・プルームモデル  
と数値モデル



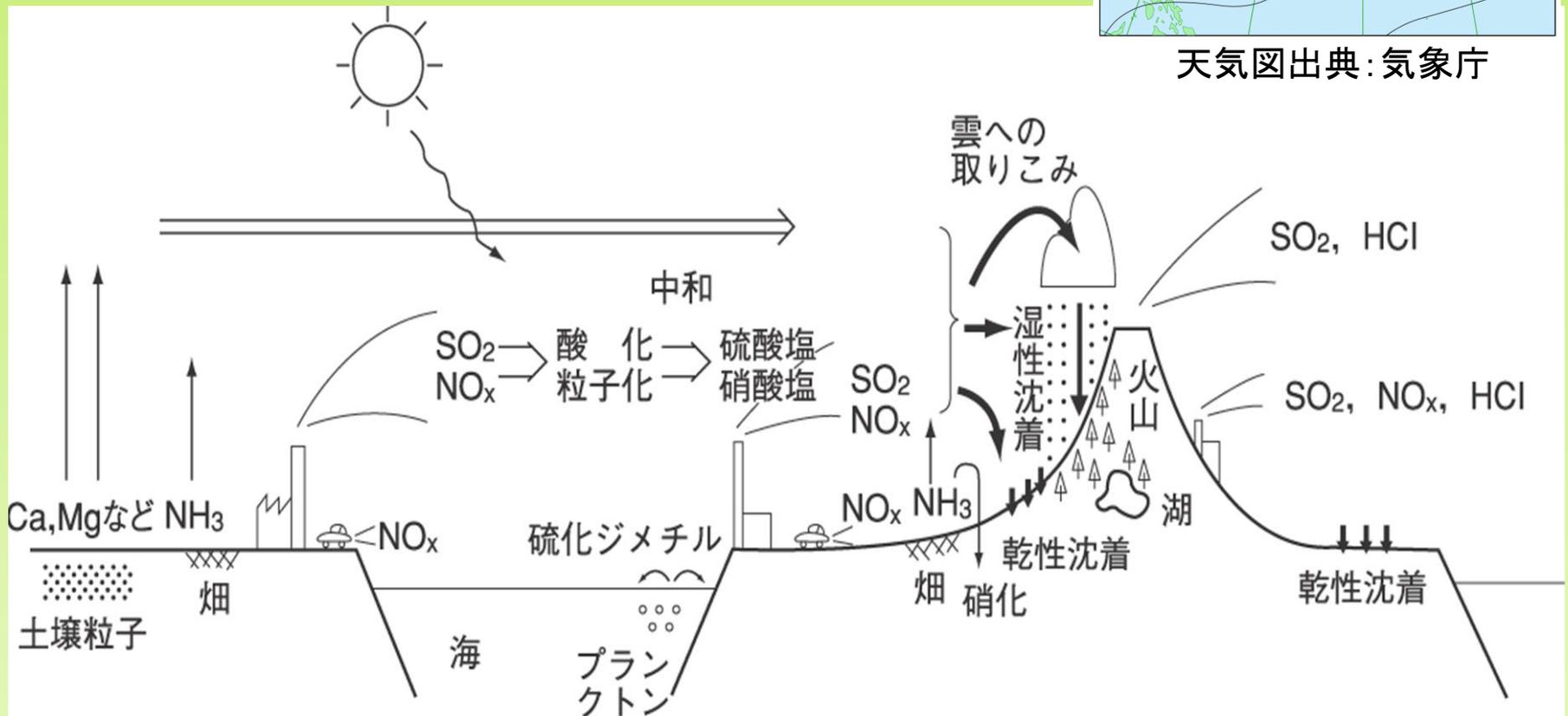
風洞実験



# 広域輸送(越境汚染)の概念



天気図出典: 気象庁



シノプティック(天気図)スケールの大気質予測には、発生、輸送、反応・二次粒子生成、雲、沈着(湿性、乾性)などの過程を考慮する。

気象モデルは、シノプティックスケールを対象に観測データを同化しながら、雲物理や放射過程を考慮して、様々な気象要素を予測する。大気環境の分野では、さらに化学反応をともなう汚染物質の輸送・沈着を扱う。これは大気化学輸送モデルと呼ばれる。

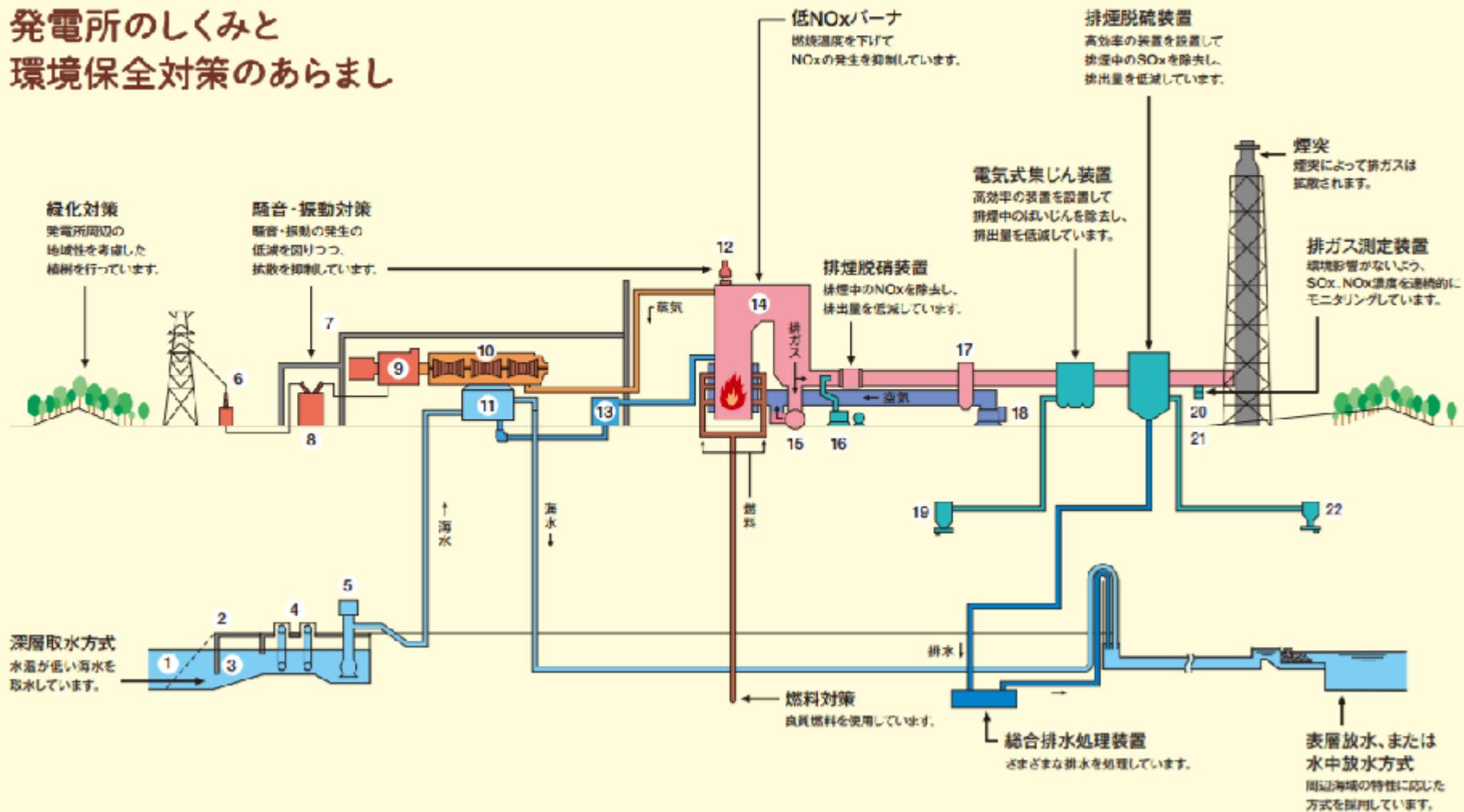
大気化学輸送モデル:

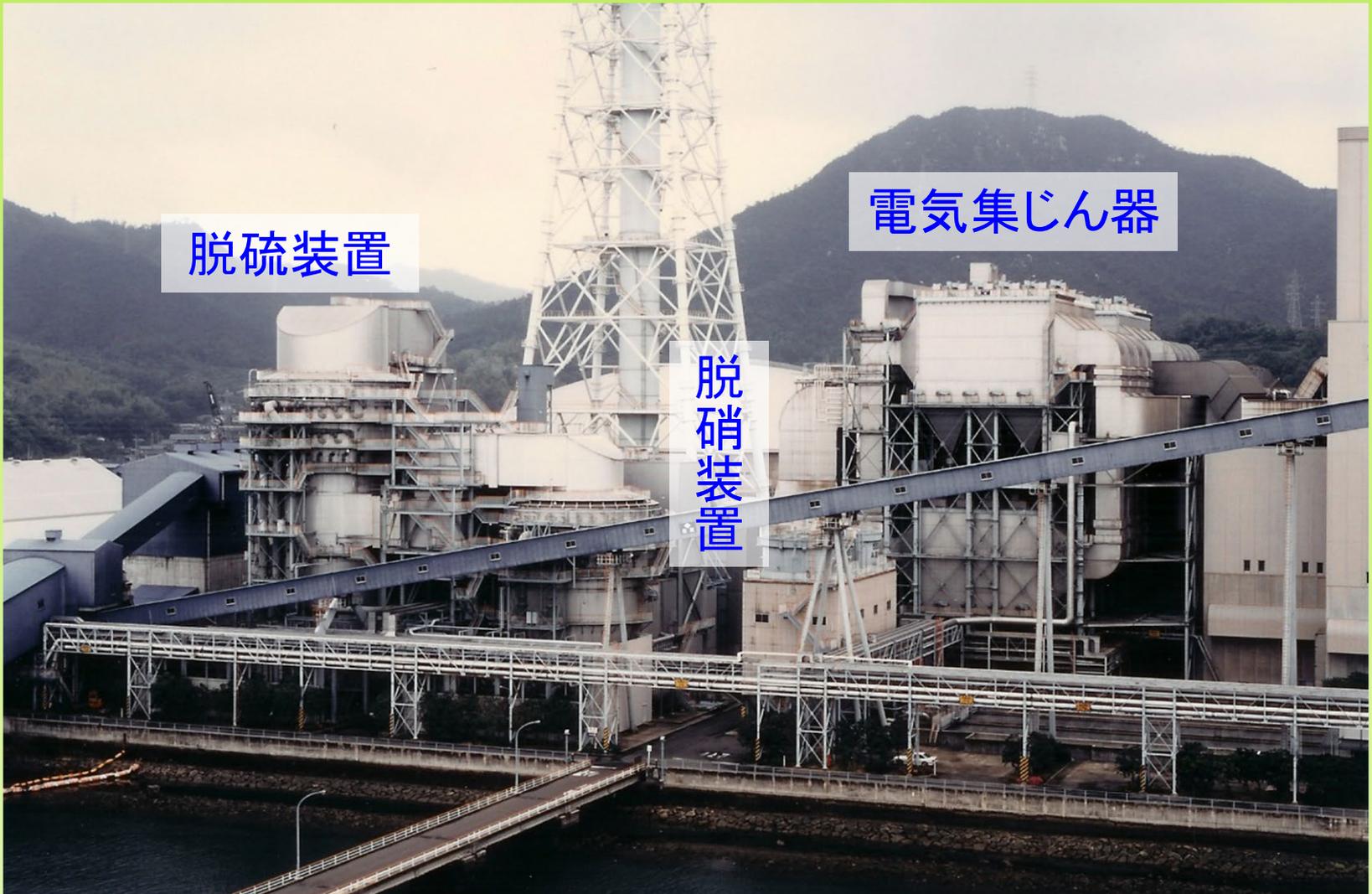
WRF/CMAQ、GEOS/CHEM など



# 火力発電所

## 発電所のしくみと 環境保全対策のあらまし





脱硫装置

電気集じん器

脱硝装置

写真：電源開発(株)提供

# 排ガス処理

	火力発電所(石炭)	ごみ焼却場
ばいじん	電気集じん器 Hgの除去	ろ過式集じん器 (バグフィルター) ダイオキシン類の発生を抑制
SO <sub>x</sub>	脱硫装置 Hgの除去	湿式ガス洗浄塔 HCl, Hgも 乾式(煙道吹込)
NO <sub>x</sub>	脱硝装置	触媒脱硝塔
ダイオキシン類		活性炭吸着塔Hgも
CO <sub>2</sub>	設備なし(二酸化炭素回収・貯留CCS: 10万t/年の貯留実証試験<<石炭火力50 万kWで300万t/年/ごみ焼却場170t/日 で2万t/年)	

PM<sub>2.5</sub>  
の抑制

# 気候変動やPM<sub>2.5</sub>に関心が集まる今、 「大気汚染」を語る

日時：平成30年11月3日(土) 14時30分～16時30分  
場所：大阪府立大学なんばセンター(I-siteなんば)  
カンファレンスルームC1(2階)  
〒556-0012 大阪市浪速区敷津東2丁目1番41号  
南海なんば第1ビル Tel 06-7656-0441(代表)  
<http://www.osakafu-u.ac.jp/isitenanba/about/map/>  
主催：大気環境学会近畿支部  
参加費：500円、学生無料  
参加申し込み：市川陽一(龍谷大学)  
ichikawa@rins.ryukoku.ac.jp, Tel. 077-544-7104

## 内 容

開会挨拶・総括：島 正之(大気環境学会近畿支部長)

### 1. 大気汚染について、もしかしたら知らないこと、知りたいこと

演者：池田有光(大阪府立大学名誉教授)

公害や大気汚染という言葉が広く使われていた1960年代～80年代の知見は環境アセスメントにとって必須であることは言うまでもないが、気候変動やPM<sub>2.5</sub>など地球規模やアジアといった広域の問題に対処するにも、有益である。また、PM<sub>2.5</sub>問題の本質は1990年代の酸性雨問題と変わらない。しかし、60年代～90年代の大気汚染について知る機会がないままに、大気環境に係わる人の世代交代が進んでいるのが現状である。そこで、長年にわたって大気環境に関する研究・教育に携わり、環境行政に貢献されてきた池田先生に標記の題目でお話を頂く。

### 2. 大気汚染・大気環境問題に関する座談会

池田有光、安田龍介(大阪府立大学)、西村浩一(大阪ガス)  
前山徳久(日本気象協会)、市川陽一(龍谷大学)

気象・大気拡散、ドローン観測、環境アセスメント、エネルギー、温暖化、熱環境などの話題について、自由に意見を交える。

会の終了後、懇親会(実費)を実施します。希望者は市川へ事前申し込みして下さい。

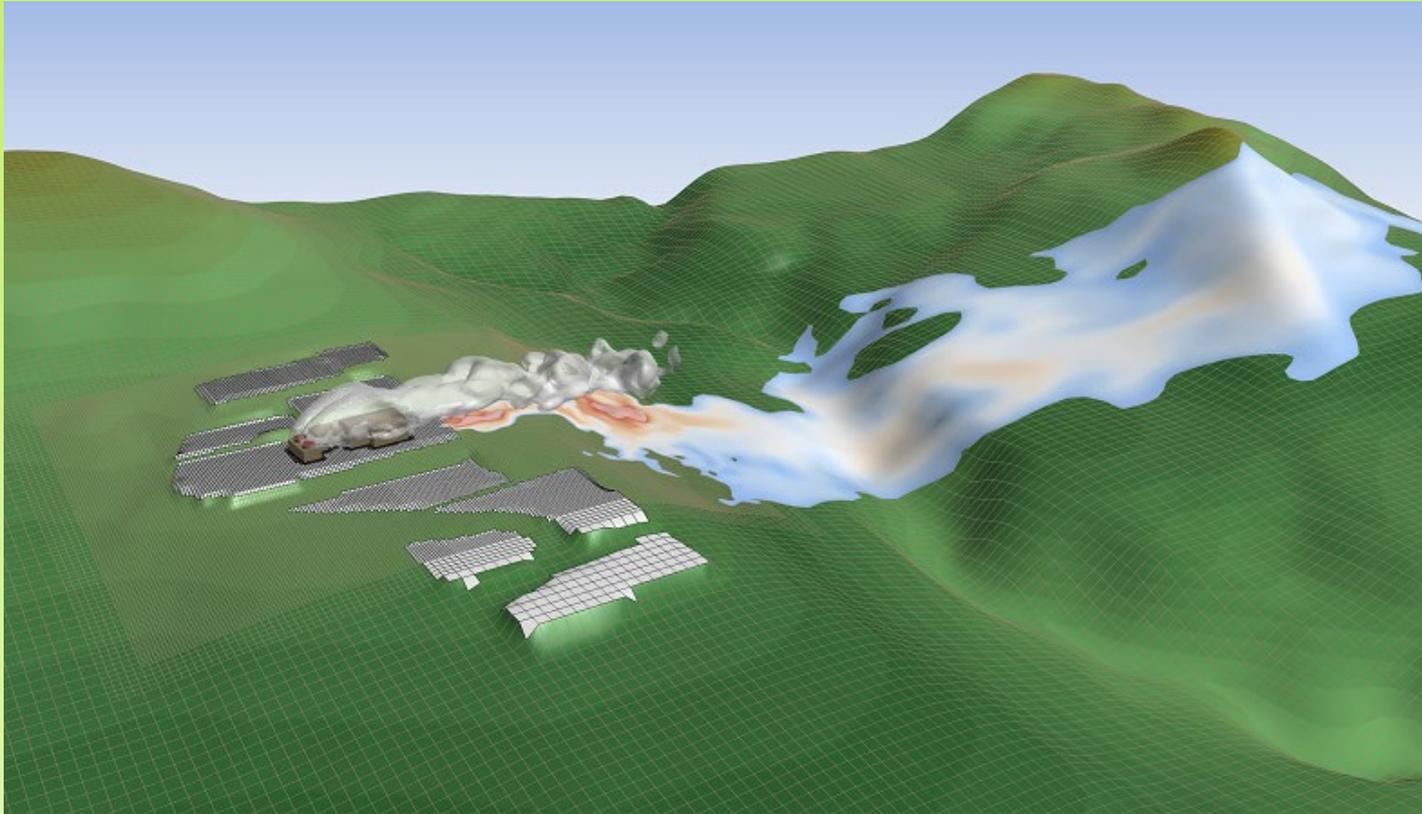
## 2. 技術的動向 ①数値モデルの実用

年	手引等	対象と乱流モデル
1999	発電所アセス手引(保安院、現在の経産省)	火力発電所排ガス、地形、RANS、現地・風洞
2012	日本原子力学会標準	原子力発電所排ガス、地形・建物、RANS、風洞
2013	大気環境学会ガイドライン	建物、市街地、RANS、現地、風洞
2015	発電所アセス手引(経産省、改訂)	冷却塔白煙、排気上昇・建物、LES、現地・風洞
2016	経済産業省発電所環境審査調査事業	火力発電所空冷復水器の温風、排気上昇・建物、LES、風洞
2017	NEDO研究開発事業 発電所アセス手引(経産省、改訂)	地熱発電所硫化水素、排気上昇・地形・建物、LES、風洞

## 3次元数値モデル

CFD(計算流体力学)モデルは、大きくても20~30km程度の局地的スケールを対象とし、主に風や温度を予測する。従来、風洞実験を行っていた建物や地形が対象(数値風洞)。k- $\epsilon$ モデルで代表される時間平均値からの変動成分をモデル化するRANSと、格子より小さな乱れのみモデル化するラージ・エディ・シミュレーションLESなどに分かれる。大気環境の分野では汚染物質の拡散を含めて扱う。LESの実用が、適用範囲の拡大、予測精度の向上につながった。

# 地熱発電所排ガスの数値モデルの計算例



電力中央研究所・佐藤歩氏提供

## 2. 技術的動向 ②PM<sub>2.5</sub>

環境影響評価法に基づく基本的事項等に関する技術  
検討委員会報告書素案 (2018.9)

基本的事項と直接関係しない、アセス制度の充実のための方策(10) 技術手法の情報収集・整理

「事業者により環境影響評価が適切になされるよう、微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) の取扱い、-----等のテーマについて、環境影響評価に係る技術手法の開発を進めるべきである。」

- ・SPMのアナロジー？ Hgの予測と同じ？
  - ・広域・複合・累積効果？ 大気化学輸送モデル？
- 国・自治体の仕事では

# 大気化学輸送モデルの例

気象客観解析データ



気象モデルWRF

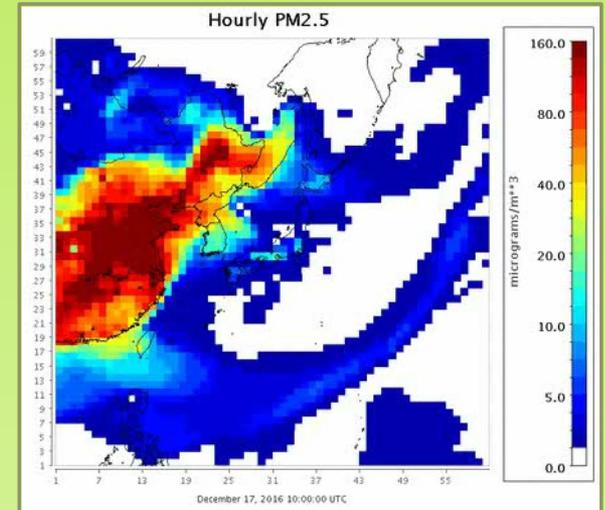


CMAQ

- ◆ 移流
  - ◆ 拡散
  - ◆ 気相反応
  - ◆ 粒子相反応
  - ◆ 雲・液相反応
  - ◆ 湿性・乾性沈着
- 化学式198、物質78

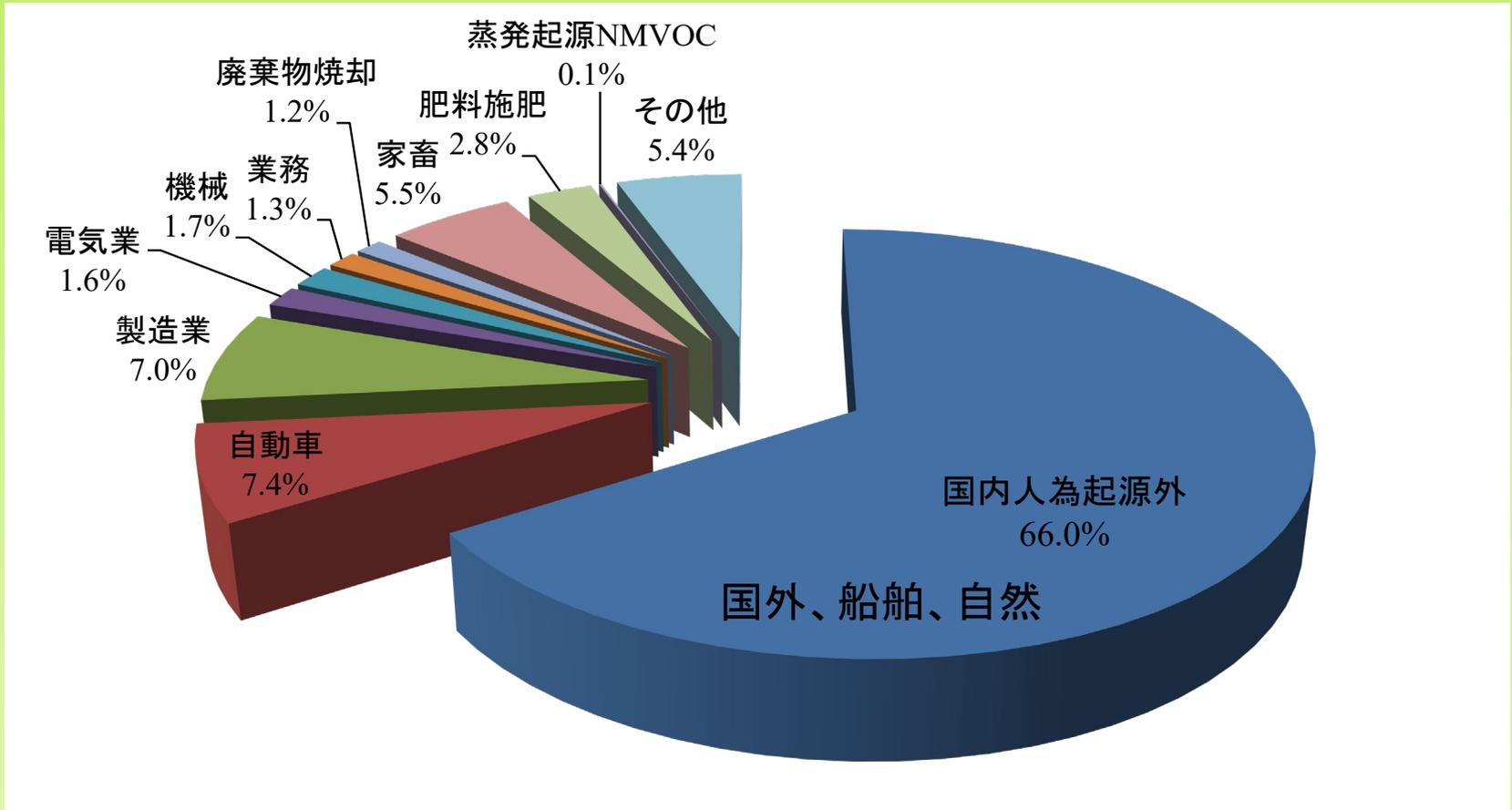
更新  
将来(他事業者  
の計画)

排出量データ  
人為  
自然(火山、植物)



PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の  
予測性能はよい～まずまず  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup>はまずまず～よくない

# わが国におけるPM2.5の発生源寄与



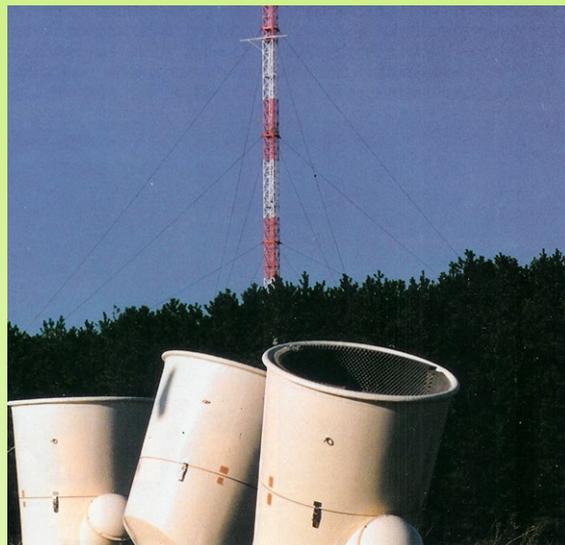
板橋・速水(大気環境学会誌、2016)をもとに作成、2010年度対象、 $PM_{2.5}$ 質量濃度は $10.61\mu\text{g}/\text{m}^3$

### ③上層風(煙突高さ付近の風)の観測

方法	長所	短所
地上風からべき法則で推定	地上設置	べき法則の適用性、地上と上層の風向の違いについて検討
煙突	一般の気象測器で観測	上層設置(複数台)、塔体影響を受ける(風向・風速の演算のために風洞実験が必要なことも)
ドップラーソーダー (音のパルスを上空3方向に送信し、空気密度の違いにより散乱してくる音波を受信、解析)	地上設置 「気象指針(1994)」、「発電所アセス手引(1999)」で採用 検証済み(学術、実用面での妥当性確認)、実績豊富	音の問題
ドップラーライダー (レーザー光のパルスを方位を変えて上空に発射し、エアロゾルからの散乱光を受信、解析)	地上設置、小型 音の問題がない ゾンデ等との比較、欠測率、サイト適用性の評価が進行中	維持管理に不明な点がある



煙突による上層風の観測  
(赤井幸夫氏提供)



ドップラー音波レーダと気象鉄塔  
(赤井幸夫氏提供)



ドップラーライダー

# アセスメントにおけるドップラーライダーの使用 (上層風の通年観測)

	常陸那珂共同 火力1号(2016)	武豊火力発電所 (2017)	大津市北部クリーン センター(2016)
測器	仏レオスフェア社 ウインドキューブv2	同左	英ハローフォトニクス社 ストリームライン
風速 (ゾンデとの比較)	相関係数 0.97	相関係数 0.98	相関係数 0.89
風向 (ゾンデとの比較)	±1方位の 一致度 96.2%	±1方位の 一致度 99.1%	ベクトル相関係数 0.97
欠測率 気象指針 年間 10%以下 連続30日 30%以下	5.9% 25%以下	3.8% 8.9%以下	高度により1~6%

姉ヶ崎火力発電所のアセス(2018)

電力中央研究所の日本海側における通年観測 (2018)

( )内は報告年を記載

### 3. ケーススタディ

#### ① 予測結果と評価結果の不整合(1)

「建設機械等の稼働に伴う二酸化窒素の将来環境濃度は、最大でも0.0598ppmと予測され、環境基準に適合している。以上のことから、環境保全の基準等の確保に支障を及ぼすものではないと評価する。」(火力発電所準備書、2018)

☑環境基準 0.04～0.06ppmのゾーン内又はそれ以下

☑将来環境濃度＝バックグラウンド＋事業寄与濃度

△対応：支障を及ぼすものではないという評価を削除

## ② 予測結果と評価結果の不整合 (2)

「冷却塔白煙の下端高度を40m、長さを約2kmと予測。白煙による道路交通、住居への影響はほとんどない。白煙の発生を可能な限り抑制することから、眺望景観への影響はほとんどない。」(火力発電所準備書、2017)

- ☑2kmとは、リサーチパークから京都駅まで
- ☑冷却塔 長さ110m(風向によっては幅になる)
- ☑地元意見なし

対応：環境監視計画(冷却塔白煙)

周辺環境に影響がある場合は、  
冷却塔の負荷抑制等を行う。

発生状況の公表

### ③ 予測手法が主役？

「微小粒子状物質(PM2.5)の**予測手法**及び対策に係る今後の動向を踏まえて、必要に応じて追加の環境保全措置を含めた適切な対応を行うこと。」(火力発電所準備書環境大臣意見、2018)

☑よい予測手法ができることと追加の環境保全措置は直接結びつかない(予測した結果、影響がなければ措置は不要。予測しなくても影響があれば措置は必要)

**予測手法 → 予測にもとづく環境影響評価**

☑「個別の事業における影響を見積もることは難しい」(環境省、技術ガイド、2017)と不整合

☑事業全体の寄与評価(板橋・速水、2016)から、個別事業の影響は推定可能

- ☑越境汚染を含む広域、地域計画に係わる予測は国・自治体の仕事
- ☑事業者に求めることは、予測より原因物質の排出抑制
- ☑環境大臣意見は自治体意見に踏襲される

対応：「微小粒子状物質（PM2.5）に係る最新の知見を踏まえて、必要に応じて追加の環境保全措置を含めた適切な対応を行うこと。」

#### ④ 調査・予測を行えば影響を回避・低減できる？

「方法書以降に、猛禽類について、生息状況を調査し、影響予測を行うことにより、直接改変による重大な影響を回避又は低減できる可能性が高いと評価する。」

(風力発電所配慮書、2018)

「猛禽類について、重大な影響の可能性があるものと考ええる。調査結果に応じて、配置・基数・改変区域の見直し等を検討することによって、回避・低減される。」(風力発電所配慮書、2017)

これから行う調査・予測の結果がわからないのに評価ができるのか

大気や騒音なら類似事例から予測可能だが

## アセスメント、十の知方(しるべ)

- 一. 知恵を出し合う
- 二. 最善をつくす
- 三. 減り張りをつける
- 四. ひとつにとらわれない
- 五. 何もしないことがよいこともある
- 六. 積み重ねが大切
- 七. いじめはダメ
- 八. ずるいこともできる
- 九. 奇妙なこともある
- 十. ハッピーエンドを迎えたい

## ⑤ アセス時の数値モデルの検証

「事業者、コンサル、行政、審査会は、数値モデルへの過剰な信頼がある。シミュレーションには検証のための現地観測データが必要、検証が必要ではないか。」(火力発電、住民問合せ、2017)

☑例えば、予測モデルを用いて現況再現計算を行い、計算値と実測値を確認することにより、評価において必要とされる水準が確保されているかを確認する。

(技術ガイド、p.43)

☞既存の施設がない場合、煙突排ガスの大気質予測のように施設の寄与濃度が十分に小さい場合は無理

☞案件ごとに検証していたら、事業者へ過剰な負担

☞新しいモデルの適用にあたっては検証が必須

☑予測手法や原単位は、データ、知見の蓄積があり、実験的な検証等によりその精度が十分に把握されているものを使用する。(技術ガイド、p.45)

☞手引、マニュアルのモデルを用いる。手引等に採用される際に、**予測性能やアセス適用性**が検証されている(実験的な検証結果の学術論文、従来手法との比較、アセス案件への試適用)。

### アセス時のモデル検証が不要な場合

・手引、マニュアルで採用されているモデルを使用する。

### モデル検証が必要な場合

- ・新しくモデルを開発したとき、代替手法を提案するとき
- ・適用範囲を大きく変えるとき(例:中立条件→安定条件、地形条件→建物条件)
- ・拡散係数など計算パラメータの妥当性を確認するとき

## ⑥ 実行可能な範囲内で環境影響を回避低減

「煙突高さ58mは近隣の同業他事業の82mと比べて余りにも低い」(バイオマス発電、住民問合せ、2018)

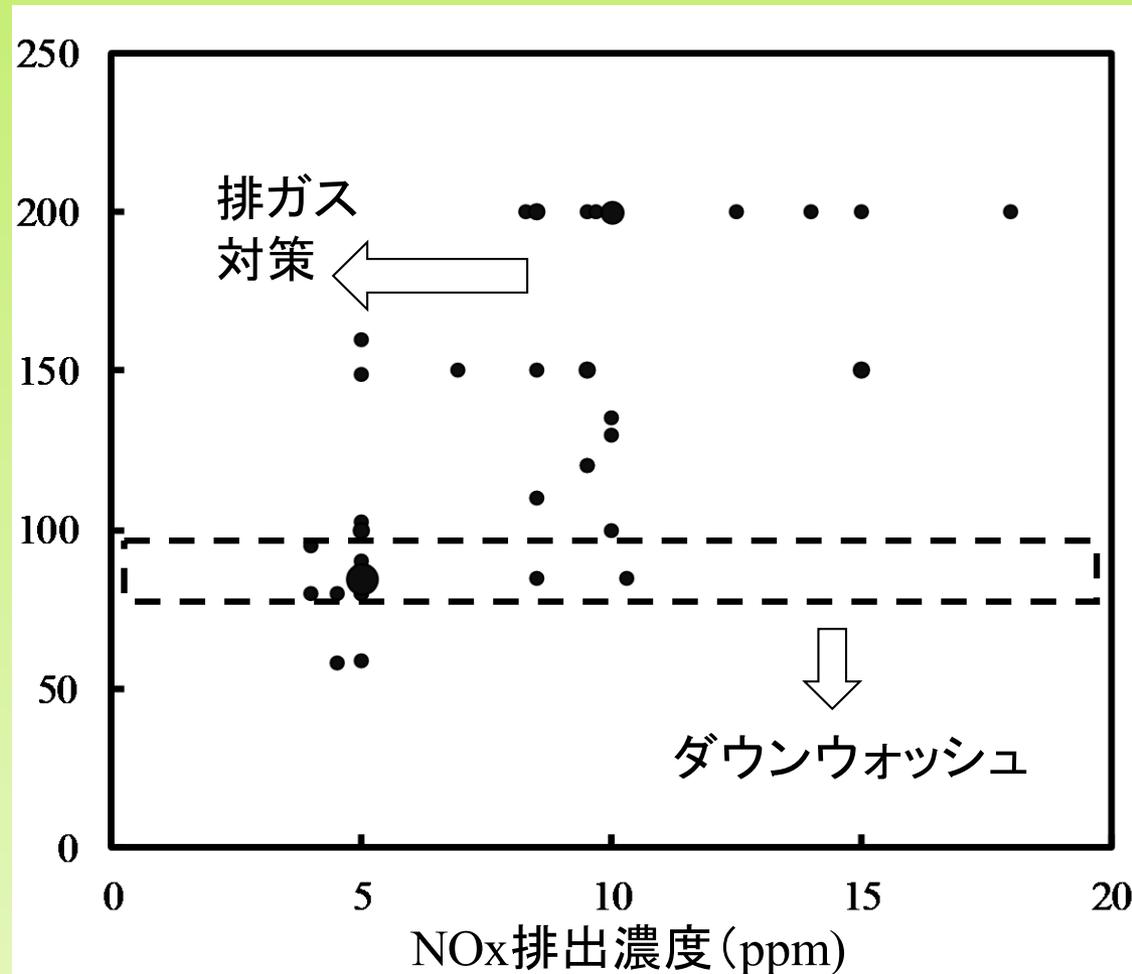
☑「実行可能な範囲内」の誤解。必要最小限ではなく、ベスト追求型の視点が必要(環境影響評価法に基づく基本的事項等に関する技術検討委員会報告書素案2018.9の指摘課題)

☑実行可能な範囲内で環境影響を回避低減しているかどうかという評価の視点に立てば、同業の他の事業者が設定できている排出濃度や煙突高さの確保が大切。異なる事業との比較も有効

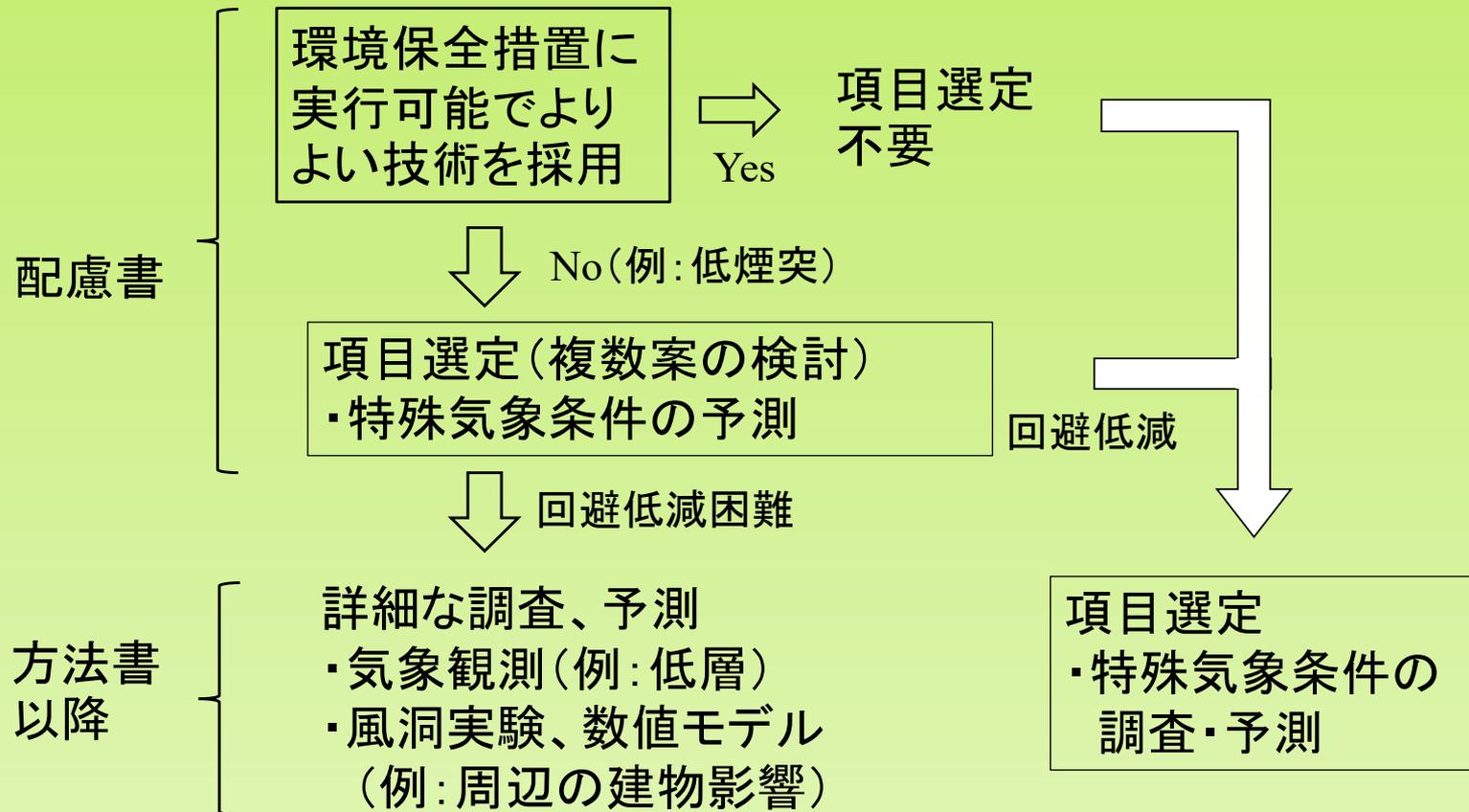
# 異なる事業間の環境保全措置の比較例

	ごみ焼却 (175t/日)	バイオマス発電 (7.5万kW)	LNG火力発電 (60万kW)
排ガス量(乾き) m <sup>3</sup> N/h	40 × 10 <sup>3</sup>	250 × 10 <sup>3</sup>	2200 × 10 <sup>3</sup>
排ガスNO <sub>x</sub> 濃度 ppm	50	140	5
煙突高さ m	59	?	80

# 煙突高さ(LNG火力発電所) 建物ダウンウォッシュに配慮



# 低煙突の調査・予測フロー



# まとめ

- ・大気質の調査・予測に関する2015年以降の技術動向として、LESを用いた3次元数値モデルによる排ガス拡散予測とドップラーライダーを用いた上層風の観測の実用があげられる。

これらは、実用にあたって(手引、マニュアル類での採用にあたって)検証がともなっている。

- ・アセス時に、手引類の予測手法に検証を求めるのは過剰な要求。アセスにおける実績も信頼性の根拠と言える。

・PM<sub>2.5</sub>について、事業者としての予測・評価は板橋・速水(2016)で一応、決着済みと考えてよい。越境汚染、地域計画での予測は国・自治体が上位のアセスですべき。

・未だに環境影響なしという評価結果ありきのアセス図書があるのは残念(国・自治体の指導が必要)

・同業の他事業者が実施している環境保全措置を実施できなければ、実行可能な範囲内とは言いがたい。