

火力発電における環境アセスメント・大気質に関する予測について

東京情報大学 名誉教授
岡本眞一

目 次

1. 火力発電と大気汚染.....	1
1.1 火力発電所での大気汚染対策.....	1
1.2 関係法令と大気拡散の知識.....	3
2. 環境アセスメントの重要性.....	4
2.1 濃度予測の必要性.....	4
2.2 大気拡散のモデル化・・・シミュレーションモデルの構築.....	5
2.3 予測モデルの利用形態.....	6
3. 大気質の予測について.....	8
3.1 正規型プルーム式の妥当性.....	8
3.2 拡散モデルの不確定性.....	10
3.3 火力発電所についての拡散モデル開発の海外での動向.....	12
3.4 炭じんの拡散モデル.....	12
4. 実務集案での調査・予測・評価の方法と示唆.....	13
4.1 調査.....	13
4.2 予測.....	13
4.3 評価.....	14
5. 関連する知識.....	15
5.1 公害防止管理者の選任.....	15
5.2 環境マネジメントシステム（JIS Q 14001）の審査登録.....	15
6. まとめ.....	15
参考文献.....	16

まえがき

ここでは、小規模な火力発電所での大気汚染対策の概要と大気質の予測及び評価の方法について説明する。環境中の大気汚染物質濃度の予測には拡散モデルを使用する。拡散モデルでは、大気拡散式により大気中の微量成分濃度を計算するが、この際に、実用的な資源（技術、利用手段、費用、時間など）の範囲内で、かつ所要の推定精度が得られるような方法を選択することが大切である。さらに、適切な予測モデルの入力データを確保して、それに基づいて、予測・評価をすることも重要である。

1. 火力発電と大気汚染

1.1 火力発電所での大気汚染対策

化石燃料を燃料とする火力発電所では、燃料をボイラで燃焼させて蒸気を発生し、得られた蒸気によりタービンを回して発電する。燃焼排ガスには、ばいじん、硫酸化合物、窒素酸化物などの大気汚染物質が含まれる。このような火力発電所での大気汚染対策は大きく分けて、以下の3項目である。

- ① 燃焼装置自体での対策（低NO_xバーナー、燃焼管理、など）
- ② 燃焼装置の排出ガス対策（大気汚染物質除去装置、煙突、など）
- ③ 燃料受け入れ施設等での対策（粉体の飛散防止、炭化水素の蒸発、揮発防止など）

このうち③の燃料受け入れ施設等での対策については、石炭、燃え殻、集じん装置の飛灰等の粉じん飛散防止と液化ガス等の炭化水素の漏えい、蒸発、揮発防止である。後者は光化学大気汚染対策としても重要であるが、小規模施設での重要度はそれほど高くない。

一般に、風によって最も動かされやすい粉じんは、40 μ m程度の粒子であって、これが極めて小さい粒子に衝突して、それらを空气中に舞い上がらせる。堆積場での粉じん対策は、堆積時、集積時、移動時に分けて考える。

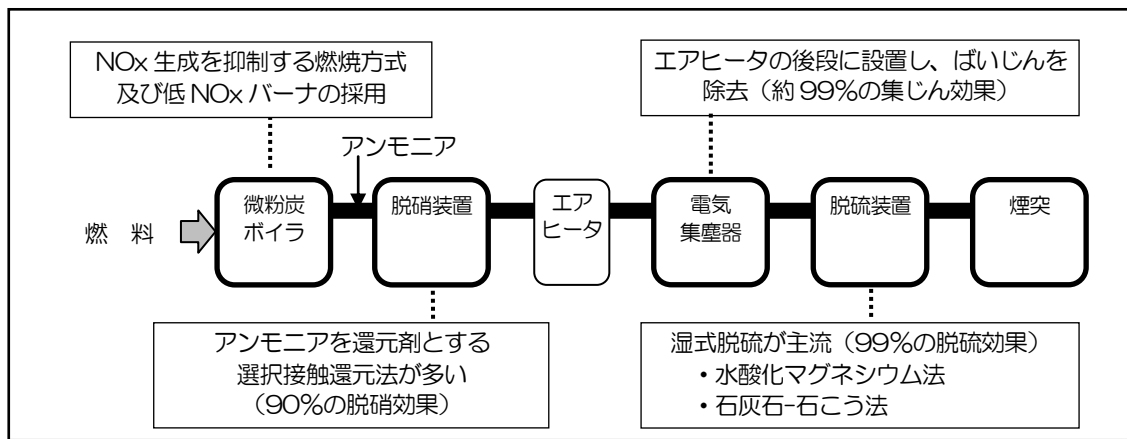
最も効果のある粉じん飛散防止対策は屋内方式である。屋外での堆積時の飛散は表面水分により大きく異なる。それぞれの対策としては、以下のような方法がある。

- 屋外方式 — 散水
- 薬液の散布
- 表面の締固め
- 防じんカバー
- 防じん壁
- その他
- 屋内方式 — 建築物内設置

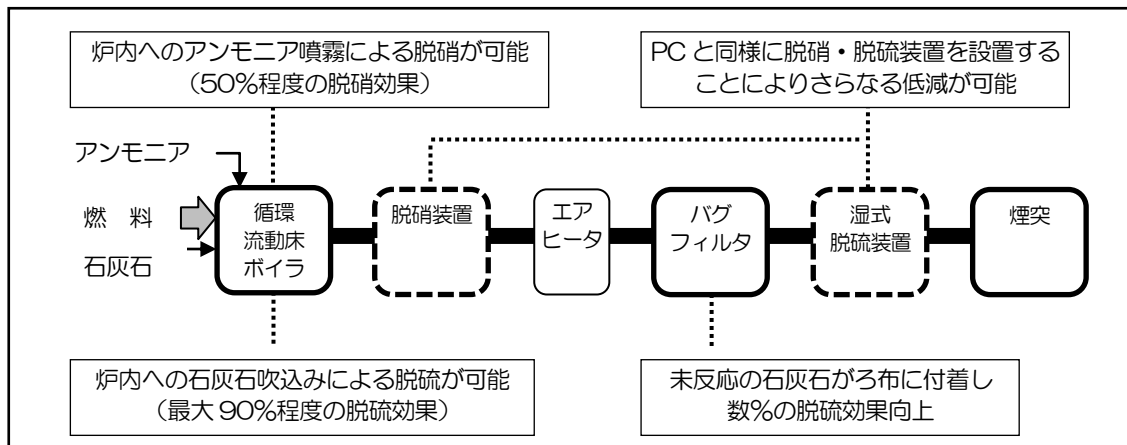
石炭焚ボイラ排ガスと重油焚ボイラ排ガスを比較すれば、石炭焚ボイラ排ガスでは、ばいじん濃度が高く、重油専焼ボイラ排ガスではガス中の無水硫酸（SO₃）と未燃カー

ボンが結合したアシッドスマットが含まれる。ガス焚ボイラ排ガスでは、ばいじん、硫黄酸化物はほとんどゼロで、一般的には窒素酸化物のみが対策の対象となる。

ボイラの燃焼排ガスは、集じん装置、脱硫装置、脱硝装置といった排煙処理装置を経て、煙突から大気に排出される。この際に、これら3つの装置の配列は、装置の最適処理ガス温度を考慮して、ガス・ガスヒーター（エアヒーター）とも組み合わせて決定される。この配列は図1のようになる。湿式脱硫装置を通過した排出ガスは温度が低下するので、ガス・ガスヒーターで過熱した後、煙突から排出される。



【PC（微粉炭ボイラ）】



【CFB（循環流動床ボイラ）】

図1 火力発電所の排煙処理装置の配列

火力発電所には、かなりの高さの煙突が設置されている。その煙突の効果は次のようなものである。

- ① 自然通風力の確保（燃焼管理）
- ② 施設周辺の環境濃度（着地濃度）の低下
- ③ リスク管理（環境対策装置等のトラブル対策）

この②の煙突の大気拡散の効果を景観等の他の環境要素とトレードオフに掛けるのは適切ではない。この効果を確定した上で、この効果を減ることがないように、デザイン等、他の要素について検討するのが望ましい。

1.2 関係法令と大気拡散の知識

大気汚染物質の排出に際しては、その設置や運用に際して、様々な法律による制約を受ける。したがって、そのような施設の設置者は、大気拡散とともに法律についての知識も必要である。このような大気環境予測を求める法令の例を表1に示す。

表1 大気環境予測を求める法令の例とその具体的な方法の根拠

(行政による予測)

大気環境予測を求める法令	具体的な方法の根拠	目的
大気汚染防止法	①大気汚染防止法 第5条の2(総量規制基準) 同法施行規則、環境省令 ②大気汚染防止法 第5条の3(総量規制計画) 同法施行令 ③大気汚染防止法 第18条の21	①大気環境基準の順守 ②大気環境基準の順守 ③大気環境基準の順守(ベンゼン等)
自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特別地域における総量の削減等に関する特別措置法	自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特別地域における総量の削減等に関する特別措置法 第7条第2項、第9条第2項	NO ₂ ,SPMの環境基準を確保し国民の健康を保護し、生活環境を保全すること
悪臭防止法	悪臭防止法 第4条第2項第2号、同法施行規則 第6条の2 排出ガスの拡散幅及び排出ガスの流れの中心軸の上昇高さの算定の方法(環境庁告示)	特定悪臭物質の排出を制限して、国民の健康を保護し、生活環境を保全すること
工場立地法	工場立地法 第2条第4項 産業公害総合事前調査における大気に係る環境濃度予測手法マニュアル	国民経済の健全な発展と国民の福祉の向上に寄与すること
石油コンビナート等災害防止法	石油コンビナート等災害防止法第31条第1項 石油コンビナートの防災アセスメント指針	石油コンビナート等特別防災区域に係る災害から国民の生命、身体及び財産を保護すること

(事業者による予測)

大気環境予測を求める法令	具体的な方法の根拠	目的
環境影響評価法	各事業ごとの主務省令	各事業ごとの環境影響評価
電気事業法	電気事業法 46条の2~23 発電所に係る環境影響評価の手引き	発電所の環境影響評価
廃棄物の処理及び清掃に関する法律	廃棄物の処理及び清掃に関する法律 第8条、第15条 同法施行規則 第3条の2、第11条の2 廃棄物処理施設生活環境影響調査指針	生活環境の保全及び公衆衛生の向上を図ること
核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律	核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律 第23,24条	原子炉等による災害を防止し公共の安全を図ること

* 最近は改正等が続いているので、最新版を確認してください。

このような法令が求めている具体的かつ技術的な内容は、一般的な法律の専門家の知識の範囲内では理解が難しい面もある。一方、大気拡散の専門家(研究者)にとっては、法律等の立案やその行政的な運用に関しては興味を示さない方が圧倒的に多い。このような背景から、大気環境負荷の大きい装置の管理者にとっては、相談できる適切な専門家を探すのに苦労することが多いと思われる。

2. 環境アセスメントの重要性

2.1 濃度予測の必要性

大気環境の問題では、環境中における各成分の濃度による評価が重要である。すなわち、人体への直接影響や気候・動植物、建造物などへの影響を考えれば、排出量よりも、環境中での濃度の方が、その影響の程度との間に、強い相関関係が認められる。しかし、私たちは、この大気中における汚染物質濃度を直接に制限することができない。多くの場合、図2に示すように、大気汚染物質の大気中での濃度を一定の水準以下に保つために、その排出量を制御することで対応している。

環境中での濃度は、図3に示すように、大気中へ放出された汚染物質が大気中において、移流（風に流されること）、拡散（風の乱れにより広範囲に散らばること）、反応（化学反応により他の化合物へ変化すること）、除去（地物へ付着したり、雨に洗い流されて、大気中から消滅すること）という伝搬の過程を経て、私たちのところへ到達することにより決定される。このため、大気環境中での汚染物質濃度を環境基準以下の良好な状態に維持する、あるいは環境基準で定められた濃度以下の状態へ改善するためには、その濃度に対応する排出量の上限值を正確に把握することが必要になる。

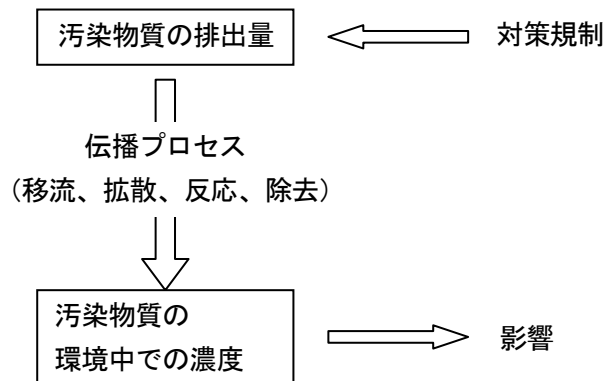


図2 大気汚染の排出量と濃度の関係

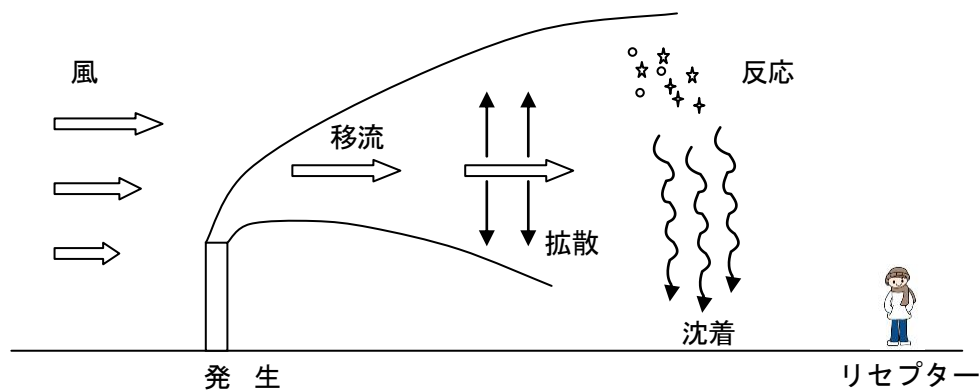


図3 汚染物質の伝播

2.2 大気拡散のモデル化・・・シミュレーションモデルの構築

ここで、大気汚染モデルと拡散モデルの関係について考えてみる。

一般的に大気汚染モデルは拡散モデルよりも広い範囲を対象としており、大気中での汚染物質の挙動を記述する拡散モデルの外側に位置する気象データの前処理や、発生源情報の処理プログラムなども含めていると考える（図4）。大気汚染の推定や予測を行うためには、その現象を拡散式などの数式で記述する、あるいは統計的な方法で表現するというように、現象を記述する必要がある。風洞実験などの場合には若干異なる点もあるが、コンピュータでシミュレーションを行うことを考えれば、最終的にはコンピュータが理解できる言語で現象を記述する必要がある（図5）。

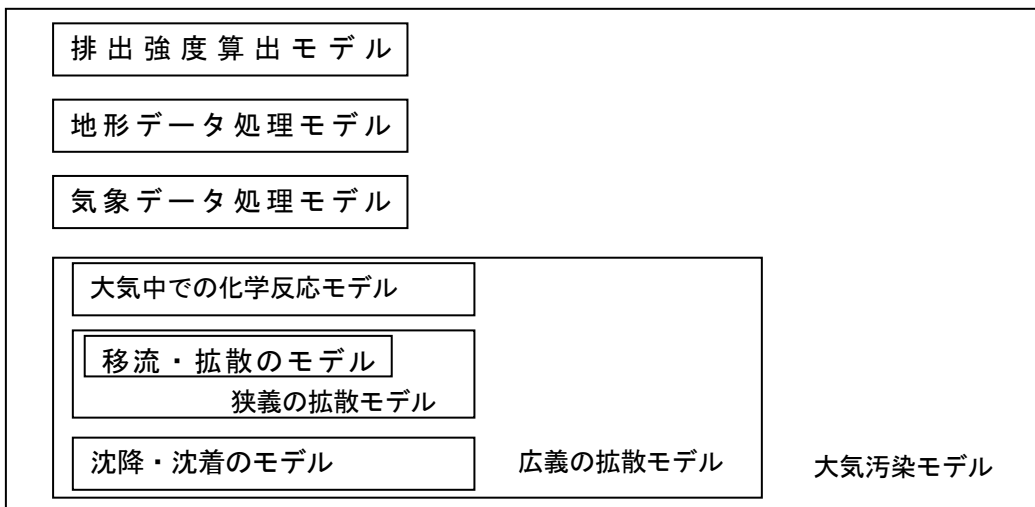


図4 拡散式を主体とした大気汚染モデルの枠組み

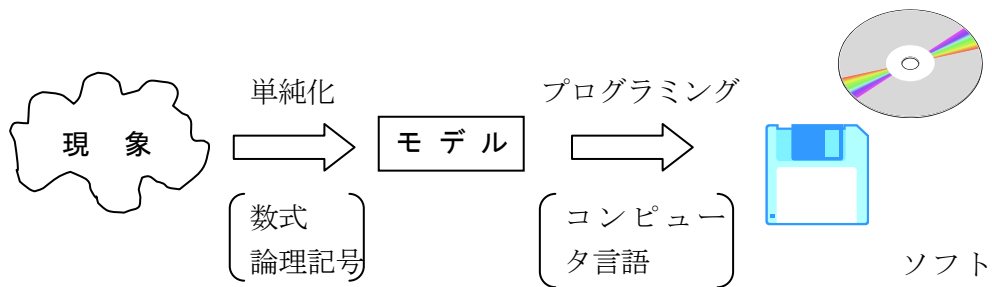


図5 現象のモデル化とコンピュータ・ソフトウェアの関係

大気環境の予測について考えた場合、予測にかけられるリソース（資源）すなわち金銭的な負担、技術的な能力、マンパワー（人的な投入可能な量）、コンピュータの性能などには限界がある。さらに、現実にはさまざまな制約があつて、限られた費用、人材、期間及び技術的な能力の範囲内で現象を記述するモデルを構築し、予測をしなくてはならない。そこで、モデル化という技術が必要になる。つまり、予測をするに当たって不必要な細かい現象を切り捨てて、現象を単純化することである。これは大気汚染のモデル化と呼んでいる。さらに何を評価したいのかを考えることも必要である。

例えば、代替案の評価を目的としているのであれば、予測モデルがそれぞれの案の違いを定量的に推定できる精度を持っていることが必要である。予測手法を含めた方法についての検討を行う前に、不十分な予測モデルを使用して代替案の評価を行うような環境配慮は適切ではない。

一般的な小規模火力発電所の環境影響評価では、硫黄酸化物、窒素酸化物、浮遊粒子状物質が予測の対象となる。このうち、窒素酸化物は光化学大気汚染の原因物質の1つである。しかし、小規模火力発電所については、その寄与分を定量的に評価するのは難しく（その影響は非線形で、厳密には単純な寄与率の加算では表現できない）、さらに、その寄与もあまり大きくはないので、通常は考慮する必要はないと考えられる。しかし、光化学オキシダントの環境基準未達成地域であり、周辺の多くの工場が地方自治体との間で環境協定（公害防止協定）等を締結している場合には、積極的な対応が望まれる。

窒素酸化物については、環境基準が二酸化窒素（ NO_2 ）について設定されている。一般的な燃焼施設の排煙中の窒素酸化物はNOが90%程度、 NO_2 が10%程度である。しかし、燃焼状態によってもこの比率は変動し、大気中での酸化反応速度も非常に速いので、扱いが複雑になる場合もある。さらに、光化学反応では NO_2 からNOへの反応もあり、一部は粒子化していわゆる $\text{PM}_{2.5}$ （2次生成粒子）となる。

一般的な小規模火力発電所の環境影響評価では、窒素酸化物はすべて二酸化窒素（ NO_2 ）であるとして、大気中での化学反応プロセスは無視して、移流拡散の物理プロセスのみをモデル化した予測モデルを使用するのが簡便である。そのようにして求められた当該施設の寄与分を NO_2 バックグラウンド濃度の上に加算する方法を採用することが最も容易な対応である。それで、将来濃度が環境基準より十分に低ければ、それでよい。あまり余裕がない場合は、窒素酸化物の反応モデルを考慮する。

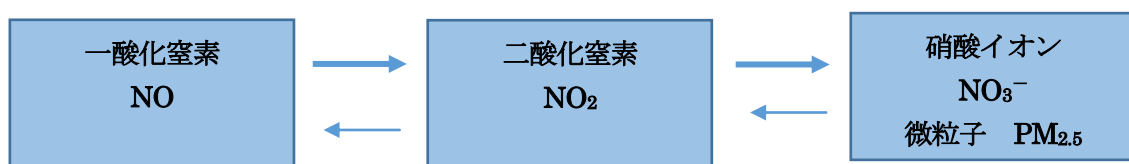


図6 窒素酸化物の大気中での化学変化

2.3 予測モデルの利用形態

大気汚染物質の移流拡散を記述する拡散モデルは、地方自治体における大気環境保全計画の策定や新たに汚染発生源となり得る施設の建設に係わる環境アセスメントなど、環境政策の中のさまざまな場面で利用されてきた。このような拡散モデルの行政的な応用について整理すれば、表2に示すように、地域全体の計画に関するものと、個別施設に関する利用に分けることができる。地域計画に関する利用では、財政的、技術的に拡散モデルの性能評価が可能な機関で実施されることが多いので、拡散モデルが所与の目的を達成するために十分な性能を持つものであるか否かの検証が検討される

こともある。そして、わが国の総量規制¹⁾の制度の中で基準年度でのデータに基づいて、まずモデルの検証を行い、その後に予測計算を行うことを義務づけている。しかし、アメリカの指針においては、このような方法は明確に否定されている²⁾。そして、このような拡散モデルに関しては、拡散式自体や大気安定度と拡散幅との対応関係の設定などの本質的な部分の改変は認められない。

表2 拡散モデルの利用目的からの分類

多発生源	地域計画（大気環境保全計画） 総量規制
単一発生源	環境アセスメント 新規発生源施設の計画、承認手続き、等

総量規制モデルなど、市街地や工業地域の全体を対象地域とした一般的な拡散モデルでは、特定の施設近傍ではなく、地域全体としての一定の水準の予測値を得ることを目的としている。このため、特定の施設近くでの地形の影響や建屋による風の乱れの影響、など局所的な拡散特性はあまり重視されることがない。しかし、個別施設を対象とする環境アセスメントにおいては、このような特性が最も注目すべき対象であり、正しく予測されるべき事項であると考えられる。したがって、個別施設の環境影響評価に総量規制モデルを安易にそのまま使用することは適切ではない。

3. 大気質の予測について

3.1 正規型プルーム式の妥当性

気温こう配が変化すると、大気が安定になったり不安定になったりする。そして大気が安定になると、大気の上下方向の動きが抑制されるので、大気の乱れも弱くなる。一方、大気が不安定になると、大気の上下方向の動きが加速されるので、大気の乱れも大きくなる。大気の乱れが大きくなると、空気とともに動く煙の動きも大きくなるので、煙の拡散作用も大きくなる。このような大気の安定、不安定の程度を大気安定度という。この大気安定度とその時の煙の流れ方の特徴は表3に示されることは多くのテキストに記載されている。その検証を米国電力研究所（EPRI）がライダー観測により行っている。この結果を表4に示す。

表3 気温こう配とそのときの煙の流れ方

大気の状態	気温こう配	出現時期	煙の流れ方	高煙源についての地上濃度
不安定		よく晴れた日中 あまり風は強くない	ループ型…上下に大きく蛇行、時間平均をとると輪郭は点線ようになる 	ときどき、高濃度が出現する
中立～弱安定		常に現れる (特に曇天時や風のやや強いときに多い)	錐型 	平均的 (最大着地濃度は不安定時よりも遠方で出現し、やや低い値となる)
強安定 (逆転層)		風の弱い夜間	扇型…偏平な扇の形状 	地上濃度は非常に低い

表4 米国 PMV&D プロジェクトでのライダー観測による各プルーム形状の出現比率

パターン	キンケイド発電所	ブルラン発電所
ループ型 (looping)	4%	14%
錐型 (coning)	53%	47%
扇型 (fanning)	-	-
その他	43%	39%

(出典: EPRI report EA-3077 and EA-3760)

ここで、米国電力研究所（EPRI）によるエアートレーサー拡散実験で得られた地上濃度分布の出現パターンの特徴を図7に示す。図7左上の「(a) 正規型 (Gaussian)」とは、正規型プルーム式で表現できるような典型的な濃度分布形である。この結果を見ると、キンケイドでは正規分布型の出現は、全体の約3分の1程度である。また、ブルランでは全体の20%程度しか出現していない。つまり正規型プルーム式で表現できるような状況は、現実の世界ではこの程度の出現頻度でしかないということを、この実験は示している。さらに、私たちがよく利用しているパスキル-ギフォード線図も

このようなデータから導かれたものであって、非常に大きなバラツキを伴う推定値であるということを理解する必要がある。

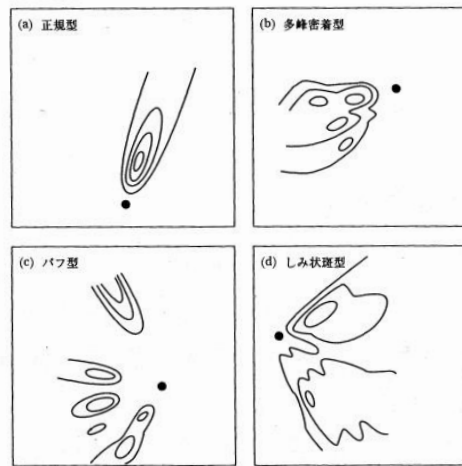


図 6-5 米国電力研究所の PMV & D プロジェクトにおける地表濃度パターンの分類 (●は発生源位置、等濃度線図の濃度値は任意スケール)。(文献 3 を参考にして作成)

図 7 地表濃度分布 (EPRI report EA-3077 and EA-3760 に基づいて、作成)

ここで、パスキルの大気安定度分類 (日本式) とパスキル - ギフォード線図を忠実に使用して拡散幅を推定し、正規型ブルーム拡散式により、煙源の風下での最大着地濃度を計算した結果を国内で実施されたエアートレーサー拡散実験の結果と比較した。表 5 の Wind A は地上気象のみを使用した場合である。大気安定度 A, AB では計算値の方が 10 倍程度の過大評価となっていることが分かる。地上での大気安定度が強不安定でも、高度 200-300m の上空では拡散幅があまり大きくなることを示唆している。しかし、標準偏差も非常に大きいので、平均値では約 10 倍の過大評価でも、最大値では過小評価の可能性もある。拡散式による濃度予測では、常にこのような大きなばらつきを伴うということ、そして、平均値の予測と最大値の予測では最適なパラメータの設定が異なるということを理解するべきである。

表 5 正規型ブルーム拡散式とパスキル - ギフォード線図のパラメータによる濃度推定精度¹³⁾

大気汚染学会誌 第25巻 第4号 (1990)

Table 2. Ratio of calculated and observed maximum ground level normalized concentrations (C/Q) for each atmospheric stability.

Atmospheric stability	Number of data	Ccal/Cobs (wind A)	Ccal/Cobs (wind B)
		$\bar{X} \pm \sigma$	$\bar{X} \pm \sigma$
A, AB	10	11.01 ± 9.59	8.63 ± 5.75
B, BC	16	2.99 ± 4.77	2.80 ± 3.44
C, CD	16	1.61 ± 1.45	2.47 ± 2.50
D	13	1.41 ± 1.07	2.83 ± 2.09

X: mean σ: standard deviation

次にEPRIのPMV&DプロジェクトでのCRSTERモデル(以前の米国EPAでの推奨モデル)の評価を見てみよう。ここでは、パスキル大気安定度がA階級のときにはパスキル-ギフォード図のA階級の σ_z を使用して、拡散幅 σ_y の時間補正はせずに、1時間ごとの濃度を計算している。この方法により、発電所周辺での最高濃度を予測した結果は、予想されたほどには評価が悪くなく、表6に示すように実測値に近い計算値が得られている⁷⁾。しかし、この最高濃度の出現した時刻と場所についての対応はよくないと報告されている⁷⁾。すなわち、ある施設の周辺のどこかで出現する可能性のある最高濃度を予測して、その施設の環境影響を評価するという観点からは適切なモデルであるといえる。

表6 米国CRSTERモデルの予測性能評価 (EPRIのPMV&Dプロジェクト)

地 点	煙突高度 (m)	トレーサー実験 有効時間数 (時間)	1時間値での最高値		1時間値での次高値	
			実測値	予測値	実測値	予測値
キンケイド発電所 (平地)	187	294	325	555	312	538
ブルラン発電所 (丘陵地)	240	260	467*	456	442	396

(濃度は基準化濃度C/Qで10⁵s/m³です)

(注) 例えば、*印の基準化濃度を排出強度100m³/時の発生源に置きかえれば、
 $467 \times 10^5 \times (100 + 3600) = 13 \times 10^8$ となり、約0.013ppmに相当します。

3.2 拡散モデルの不確定性

一般的な拡散計算では、煙突から放出されている煙の濃度を計算する際、ベキ乗則により煙突高さの風速を計算して、その風速を使って正規型プルーム式で濃度を計算する。しかし、正規型プルーム式の導出に際しては(拡散の微分方程式を解くときには)、空間(全計算領域)の中で風速は不変であると仮定して式を解いている。すなわち、矛盾する操作をしている。このように近似的な計算をすることの便利さを優先させているというのが現状であるが、実測データを使って計算結果を検証することによって、その誤差の範囲がどの程度であるかを私たちは知ることができる。すなわち、事実に基づく確認が大切である。

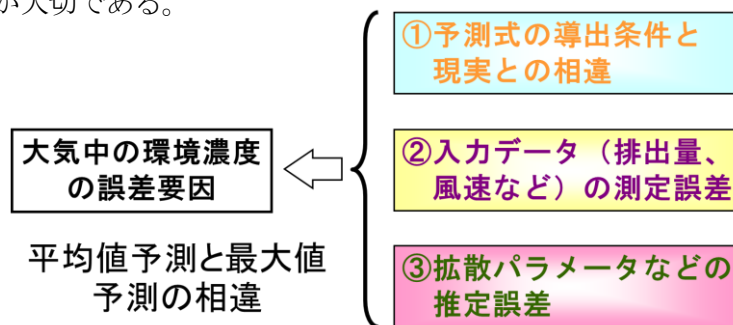


図8 拡散モデルの不確定性

次に、年平均濃度の予測における個々の条件別濃度計算値の整合性について検討してみよう。総量規制のための拡散モデルは、個々の短時間値を予測するためのモデルではなくて、年平均値を計算するためのモデルである。すなわち、拡散パラメータなどは年平均値及び各条件別平均濃度の予測に適するように設定されていて、最高濃度の予測に合わせて設定されたものではないということを理解することが大切である。

例えば、排煙上昇高さの推定アルゴリズムについても、大気安定度から拡散幅を推定する方法についても、それぞれの実測値と推定値を比較すれば、誤差の標準偏差は非常に大きく、平均濃度の予測と最大濃度の予測では、同一のパラメータ（排煙上昇高さ、拡散幅、等）を使用することはできない。

このために、長期間（例えば1年間）の濃度分布の全体を拡散シミュレーションで求めようとする、図9に示すように、計算値は平均濃度の周辺に多く集まるようになってしまう。ここに、年平均値から環境基準に対応する98%値を統計的に推定する方法を採用する理由があると考えられる^(注)。

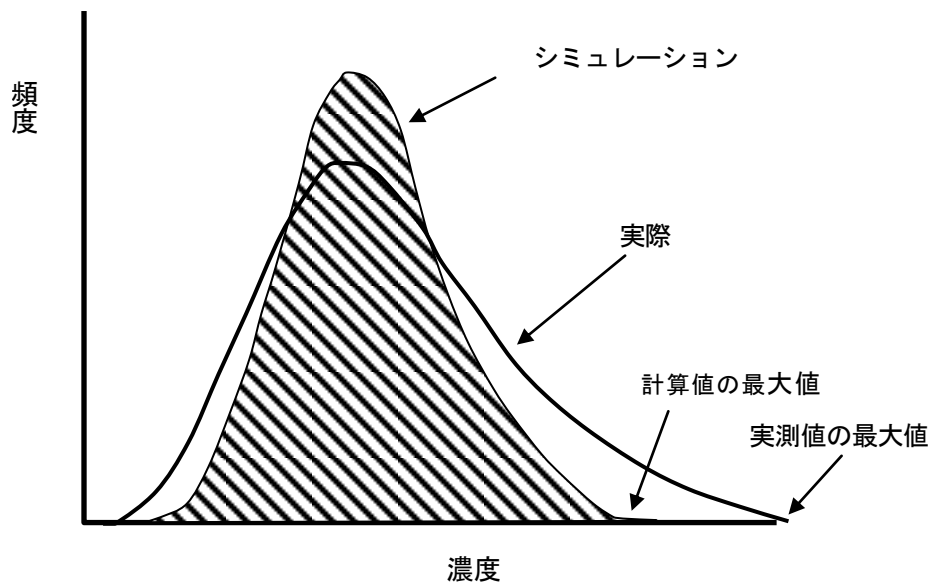


図9 濃度の頻度分布についての実測値とシミュレーション結果との比較(一般的な傾向)

(注) 年平均値から環境基準に対応する98%値を統計的に推定する方法(回帰分析)では、データとして使用する測定局の選定が問題になることがある。例えば、地形的な影響等で、年平均値が比較的に低いにも係わらず、高濃度の出現頻度が高い場合などである。このような場合に、多くの測定局が集中している市街地の測定局のデータから導かれた回帰式が使用できるかという問題が生じる。このような予測対象地点の地域特性が方法書の検討段階で議論になることもある。しかし、小規模であっても、火力発電所の煙突はある程度の高度を有しているため、一般的な回帰式(例えば、全国のデータから得られた式)でも問題はない。

3.3 火力発電所についての拡散モデル開発の海外での動向

日本では、多くの拡散予測手法を総量規制モデルの延長上に考える傾向が見られるが、アメリカでは1960年代後半から火力発電所の大容量化が急速にすすみ、わが国の総量規制モデルとほぼ同等なモデルである CDM⁴⁾ などでは、適切な環境対策が実施できないと考えられて、個別施設（平坦地にある孤立点発生源）を対象とした有効な拡散モデルの開発を進めてきた³⁾。そして、多くの火力発電所などのデータに基づいて検証された CRSTER モデルを提案した。このモデルは米国の環境基準である SO₂ 濃度の3時間および24時間の平均値についての次高値あるいは最高値を直接に予測することを目的にしたものである。その後、CRSTER モデルに対する批判を背景にして、米国電力研究所 (EPRI) の PMV&D プロジェクト⁵⁾ などが実施されたこともあり、拡散モデルのあり方が各方面で議論されるようになった⁶⁾。そして、現在では、CDM, CRSTER モデルに代わり、AERMOD が推奨モデルとなっている。世界的には、アメリカの AERMOD とイギリスの ADMS が主流となっており、わが国のモデルは世界標準（行政的に使用される拡散モデルの要求事項）を満たしていないと考えられている。

3.4 炭じんの拡散モデル

わが国では、1970年代の後半から1980年代にかけて、石油危機の教訓から、火力発電所の燃料として石油から天然ガス及び石炭への傾斜が急速に進み、この時代に石炭火力発電所及び石炭を扱うコールセンターを対象とした環境影響調査の研究が進んだ。この中で、炭じん飛散の予測手法も開発された。このような拡散モデルを表7に示す。また、炭じん等の飛散防止対策については、公害防止管理者のテキスト⁸⁾ 等に示されている。

表7 炭じん等飛散のシミュレーションモデル⁹⁾

開発機関	財電力中央研究所 電源開発(株)	中国電力(株) 三菱重工業(株)	(財)産業公害防止協会
出典	Okabe, et al. (1982)	白倉、他(1982)	同上(1990)
発じん源	落下発じん(スタッカー) 表面発じん(パイル)	落下発じん(スタッカー等) 表面発じん(パイル)	落下発じん 表面発じん 走行発じん
拡散式	煙軸傾斜モデル	煙源減衰モデル	煙軸傾斜モデル
拡散幅 (σ_y)	$(60/3)^{0.5}$ で補正	$(60/3)^{0.2}$ で補正	σ_{y0} で補正
主な実測調査	表面発じんの風洞実験 落炭発じんの野外と風洞での調査	表面発じんの風洞実験 落炭時飛散の野外実験	表面発じんの風洞実験 走行発じんの野外実験 落下発じんの風洞及び野外実験
実測値との比較	大気中の濃度	沈着量	沈着量

(参考文献 10-12)

4. 実務集案での調査・予測・評価の方法と示唆^(注)

4.1 調査

現況濃度の状況の調査は、大気汚染常時監視測定局のうち、一般環境大気測定局（以下「一般局」という。）の測定データを収集する。調査地域は半径 10 km の範囲を目安とし、調査地域内の一般局を対象に測定データを収集する。

気象の状況の調査は、将来濃度予測における予測条件（風向、風速、大気安定度等）の把握のために行う。調査項目は、地上気象を対象とし、風向、風速、日射量及び放射収支量（放射収支量のデータがない場合には雲量）である。最寄りの気象官署や大気汚染常時監視測定局等の測定データについて、入手可能な最新の 1 年間のデータを収集する。日射量を観測している気象台は少ないので、近隣の管区気象台でのデータを使用してもよいと思われる。

4.2 予測

予測の基本的な手法として、大気拡散予測のためのソフトウェアを利用することが想定される。例えば、経済産業省と（一社）産業環境管理協会が開発した「低煙源工場拡散モデル METI-LIS」¹や（一財）電力中央研究所が開発した「火力発電所用大気アセスメント支援ツール」²、その他の拡散計算ソフト等がある。アメリカ環境保護庁（EPA）のサポートセンターからは、EPA の認証モデルのソフト、取り扱い説明書、関連資料、などをダウンロードすることもできる³。

年平均値の予測結果は、汚染物質ごとに予測地域内の影響を等濃度線図等により明らかにし、あわせて最大着地濃度及びその出現地点も明らかにする。なお、煙突形状等を勘案して、ダウンウォッシュ発生頻度が高い（年間で 5% 以上）と想定される場合は、年平均値の計算においても、ダウンウォッシュ時の拡散モデルを使用することが必要である。ダウンウォッシュ発生頻度が十分に低い場合は、ダウンウォッシュの影響を無視した予測手法を使用してもよい。予測段階で煙突形状が確定していない場合は、想定される最もダウンウォッシュが生じやすい形状の案に基づいて予測を行い、確定段階で修正することが望ましい。

また、環境基準の日平均値と比較するために、常時監視測定結果を利用して、年平均値から日平均値の年間 2% 除外値あるいは 98% 値を推定するための変換式を作成し、最も寄与濃度が高い測定局等を対象として環境基準と比較する。

(注) この資料は 1 月 6 日に開催された第 3 回検討会の際に配布された資料に基づいて、著者が私見をまとめたもので、最終的な実務集の内容を反映したものではない。

1 低煙源工場拡散モデル METI-LIS <http://www.jemai.or.jp/tech/meti-lis/download.html>

2 火力発電所用大気アセスメント支援ツール

<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/V13020.html>

3 Support center for regulatory atmospheric modeling (SCRAM) US EPA <https://www.epa.gov/scram>

表 8 予測の方法案

特殊条件での予測手法、等	リブレース・ガイドライン* 1での対応	小規模火力での推奨される対応
年平均値の予測	—	ソフトの利用* 2
環境基準対応の日平均値の予測	—	回帰式による* 3
特殊条件下での1時間値の予測		
上層に逆転層がある場合	LIDによる反射を考慮したプルーム式	考慮する必要はない
ダウンウォッシュ等がある場合	ダウンウォッシュ時の拡散モデル	ダウンウォッシュ時の拡散モデル
フュミゲーション発生時	フュミゲーション時の拡散モデル	考慮する必要はない* 4
地形影響がある場合	必要に応じて数値解モデル	考慮する必要はない

* 1 「火力発電所リブレースに係る環境影響評価手法の合理化に関するガイドライン」(平成25年3月改訂環境省)

* 2 経済産業省のMETI-LISまたは電力中央研究所のアセス支援ツールでのモデルを使用する。

* 3 年平均値と環境基準対応の日平均値との回帰式による。

* 4 早朝逆転層解消時のフュミゲーションは継続時間が短いので、考慮する必要はない。

海岸での内部境界層については、関東地方以北の太平洋に面して地域では関係自治体と協議して、当該施設よりも大きな周辺の施設で大気汚染の問題が生じていなければ、考慮しなくてもよい。
パスキルの拡散幅A (σ_y の時間補正はしない) で通常のプルーム式での寄与濃度計算値が短時間環境基準値よりも十分に低ければ、(例えば、1/10程度以下であれば) 考慮する必要はない。

高濃度が発生するような特殊な気象条件は、年間を通じて発生する頻度が限られるが、環境濃度に対する寄与率が高くなるおそれがあり、小規模火力発電においても環境影響として留意が必要な場合もある。しかし、基本的には上記の回帰式による98%値の予測の中で、このような事項は考慮されていると考えて良い。したがって、小規模火力については、上層の逆転層などの影響は考慮しなくても良いと考えられる。

4.3 評価

大気の汚染に係る環境基準や地方公共団体の環境目標値等との整合が図られているか評価する。環境基準との整合に係る評価に当たっては、最大着地濃度地点、及び最寄りの測定局位置において、長期的評価(日平均値の2%除外値若しくは98%値、又は年平均値と環境基準等との対比)及び短期的評価(1時間値と環境基準等との対比)を行う。なお、原則として、工業専用地域等を除外して、環境基準が適用される対象地域について評価を行う。

5. 関連する知識

5.1 公害防止管理者の選任

一定規模以上の大気汚染物質を排出する施設を有する工場では、「特定工場における公害防止組織の整備に関する法律」により公害防止管理者の選任が必要になる。同法施行令別表第2より、排出ガス量4万立方メートル以上の工場には第1種（排ガス中に指定された有害ガスを含む場合）または第3種の公害防止管理者の選任が必要である。このため、一般的な10万KW程度の小規模火力発電所でも、燃焼施設（ボイラ）の排出ガス量は30万立方メートルぐらいとなり、大気3種管理者の選任が必要になる。

同法施行規則第15条の国家試験の実施細目、別表第3に試験科目が示されている。この中で「大規模大気特論」の知識は、この資料の理解にも不可欠である。また、事前に関係当局の担当者、コンサルタント、専門家との相談をする際にも、この知識は有益である。管理者の選任は施設の稼働直前ではなく、計画段階から、その支援が得られるように配慮するべきである。

5.2 環境マネジメントシステム（JIS Q 14001）の審査登録

環境マネジメントシステム（JIS Q 14001）の審査登録は任意であり、必須ではない。しかし、多くの利害関係者の理解を得るために、考慮してもよいと思われる。多くの自治体でも、各組織の認証取得を支援している。

環境マネジメントシステム JIS Q 14001 規格では、要求事項の4.2項「利害関係者のニーズおよび期待の理解」がとくに重要である。それをPDCAの”P”にどのように反映できるかが、組織の力量にかかっている。利害関係者の理解が得られるように、いわゆる「紙・ごみ・電気」と呼ばれるような形式的な環境配慮^(注)ではないことを期待する。

6. まとめ

多くの環境アセスメントや大気汚染防止計画において、拡散モデルは数多く用いられてきた。しかし、その精度や推定誤差の大きさなどを正しく理解していない使われ方も目立つようである。さらに、その結果を利害関係者へわかり易く説明することも重要である。そして、環境行政の中でモデルをどのように利用するかという利用者の立場からの拡散モデルの検討も必要不可欠な課題であると思われる。

この資料の作成にあたり、文献14-16から一部を引用した。

(注) 工場周辺で深刻な環境汚染問題を起こしているにも関わらず、本社のオフィスでの消灯やコピー用紙の節約などを重要な取り組み項目としている環境マネジメントシステムで、認証取得を目指すこと。

参考文献

- 1) 環境庁編：窒素酸化物総量規制マニュアル，公害研究対策センター(1982)
- 2) U.S. EPA: Revision to the Guideline on air quality models: Adoption of a preferred long range transport model and other revisions, Federal register 68, 72, p.18461 (2003)
- 3) 岡本眞一：孤立発生源を対象とした拡散モデルの開発と性能評価、大気汚染学会誌、24, 3、163-179, (1989)
- 4) Busse, A. D. and Zimmerman, J. R. : User's guide for the Climatological Dispersion Model, EPA-R4 -73-024
- 5) 岡本眞一：大気環境予測講義、ぎょうせい (2001)
- 6) 岡本眞一：行政対応拡散モデルとその評価、大気汚染学会誌、27, 3、A44-A52(1992)
- 7) Bowne, N. E., Londergan, R. J. and Murray, D. R., Summary of results and conclusions for the EPRI plume model validation and development project: moderately complex terrain site, Electric Power Research Institute EPRI EA-3755(1985)
- 8) 公害防止の技術と法規編集委員会：新・公害防止の技術と法規 2015 大気編、産業環境管理協会 (2015)
- 9) 東京情報大学岡本研究室：大気汚染濃度予測のための調査研究報告書 - 粒子状物質の拡散モデルについて - (1993)
- 10) Okabe, Y., Nakai, M., Ichikawa, Y and Orimoto, M.: Coal particle dispersion caused by coal-handling, Central Res. Inst. Electric Power Industries, CRIEPI report E283008. (1982)
- 11) 白倉茂生、西島茂行, 研谷明義：石炭粉じんの飛散予測と防止対策、火力原子力発電、34, 5, 479-491(1983)
- 12) 産業公害防止協会：平成元年度炭じん等汚染手法開発調査・発じん式及び拡散シミュレーション報告書(1990)
- 13) 岡本眞一、塩沢清茂：正規型ブルーム式と Pasquill-Gifford 線図による高煙源についての拡散予測の整合性、大気汚染学会誌 Vol. 25, No. 4 pp. 257-262 (1990) .
- 14) 岡本眞一：環境省：「平成 16 年度環境影響評価研修会テキスト」、大気環境の予測評価技術 (2004)
- 15) 岡本眞一：千葉市新港横戸町線・環境についての勉強会 (第 2 回) 大気質の予測手法について、講演資料 (資料作成支援：KCS) (2002)
- 16) 岡本眞一、溝呂木昇：新エッセンシャル問題集 大規模大気特論、産業環境管理協会 (2012)