

大気環境影響評価

近藤裕昭（産業技術総合研究所）

1. 環境影響評価

1891年の足尾銅山の鉱毒問題の国会提起以来顕在化した公害問題は戦後激しさを増し、1960年代の高度成長期、環境関連の法律が未整備の中、四大公害病と呼ばれる深刻な被害が発生した。このような中、国は1967年から68年にかけて、公害基本法、大気汚染防止法、中央公害対策審議会等を施行・設置した。旧通産省でも開発地域における総合的な公害防止を図るため、産業公害総合事前調査という制度を1965年に発足させている。これらの制度では深刻な大気汚染を緊急に沈静化させる必要性から、対象物質の排出基準・環境基準等の数値目標を達成することに重点がおかれた（石井, 2002）。

その後、地球環境問題の顕在化に伴い、1992年にリオデジャネイロで開催されたいわゆる「地球サミット」において提唱された「持続可能な開発」を受けて1993年に環境基本法や1999年に施行された環境影響評価法では、開発を伴う事業計画に対し、計画立案を事前に開示し、住民・専門家との意見交換を通して環境影響評価を行うことが定められた。

<環境基本法より>

（環境影響評価の推進）

第二十条 国は、土地の形状の変更、工作物の新設その他これらに類する事業を行う事業者が、その事業の実施に当たりあらかじめその事業に係る環境への影響について自ら適正に調査、予測又は評価を行い、その結果に基づき、その事業に係る環境の保全について適正に配慮することを推進するため、必要な措置を講ずるものとする。（ゴシック体は著者による）

具体的な手順として、事業者は（第1種事業の場合）環境影響評価を行うに際し、まずその方法案を方法書として作成する。方法書は都道府県知事等に提出され、住民はこれに対して意見を提出することができ、これらに基づき知事等が勧告を行うことができる。事業者は勧告等を勘案し環境影響評価を実施する。実施の結果、その評価について環境保全に関する意見を聞くため、準備書を作成し開示し、原則として地元で説明会を行う。事業者は準備書に対する住民等の意見を勘案して評価書を作成する。評価書については環境大臣が意見を述べるができるが、問題がなければ事業計画が認可されることに

なる。つまり、第1種事業の場合、事業者が作成する方法書、準備書の2つについて住民等の意見を聞くことが必要となっている。

2. 大気環境濃度シミュレーション

2.1 大気環境濃度予測の意味

開発行為に伴い、将来大気環境がどう変化するかを予測するためには何らかのシミュレーションモデルを用いる必要がある。ここで、天気予報と環境影響評価のための大気環境予測の差について考えてみる。天気予報の場合、これを利用する人は、たとえば明日のある時刻のある場所での天気の情報が欲しいと思うであろう。つまり特定の時間と場所における天気の情報が必要である。これに対し、大気環境濃度予測で求められているのは、開発行為にともなって新たな汚染物質が排出された時、事故などを除いて通常起こりうる範囲のどのような条件下でも環境濃度がある一定の基準を超えないようにするにはどうすればよいかということになる。従って一般には場所と時間の情報は必ずしも必要ではない。

これに対し、大気汚染の問題でも環境影響評価ではなく、明日の光化学大気汚染がいつ、どこで、どのくらいのレベルになるのかを予測するためには天気予報と同じような意味での予測シミュレーションが必要となってくる。以下シミュレーションを行うに当たって留意すべき項目を述べる。

2.2 対象物質

平成18年度版の環境白書によれば、「大気環境の現状」の節で記載されている項目は以下のようになっている。

- ・ 酸性雨
- ・ 光化学オキシダント
- ・ 窒素酸化物
- ・ 粒子状物質
- ・ 硫黄酸化物
- ・ 一酸化炭素
- ・ 有害大気汚染物質
- ・ 騒音・振動
- ・ 悪臭
- ・ その他（ヒートアイランドが含まれる）

これらのうち、環境影響評価手法として定まった手法がとられているのは窒素酸化物、硫黄酸化物と一部の有害大気汚染物質にすぎない。他の物質がな

かなか定まった手法がとれない理由は、発生源データの収集が困難であることや大気中で起きる反応過程に必要な気象条件を気象シミュレーションでうまく表現できない等の要因がある。

2. 3 平均化時間

対象とする汚染物質の暴露時間と健康等へのリスクを勘案した場合、どのくらいの時間スケールが問題となるかによりシミュレーションの手法が異なってくる。一般に大気中にはいろいろなスケールの大気乱流が存在することから、平均化時間を変えると時間平均濃度は大幅に変化する。たとえば毒性の強い物質であれば短時間の暴露でもリスクが大きいのでそのような評価も行う必要がある。大気汚染物質については環境基準が設けられているが、この平均化時間は1時間または1時間平均値の1日（あるいは数時間）平均である。従ってシミュレーションも1時間または1日平均値を計算できるように設計する必要がある。

2. 4 拡散場

対象となる煙突や発生源がどのような場所に設置されているか、工場建屋や高架道路、都市域のビルや複雑地形の影響を受ける場合シミュレーションの手法は大変難しくなる。このような場合、従来は風洞実験が用いられてきた。また、長期的な平均濃度が対象であれば、いろいろな簡略化された手法が提案されている。

3. シミュレーションの手法

3. 1 ガウス分布型モデル

煙突等の点状の煙源からの乱流拡散をガウス分布型モデルで記述するもので最も多くの環境影響評価で用いられてきている。ガウス分布型モデルでは有風時（概ね地上10mの平均風速が 0.4ms^{-1} 以上）の煙突からの煙の拡散を(1)式で表す。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (1)$$

ここで C は地点 (x, y, z) での汚染物質の濃度、 Q は汚染物質の単位時間・単位体積あたりの排出量であり、 x は風の主流の方向、 y は横風方向、 z は鉛直方向である。この式から、ある地点の濃度を決めるのに重要なパラメータがわかる。1番目のパラメータは(1)式の分母にある風速 U であり、風速が大きいとそれに反比例して濃度が下がる。2番目のパラメータは分母と指数関数の中にある σ_y, σ_z であり、それぞれ横風方向と鉛直方向の拡散幅あるいは拡散パラメータと呼ばれている。拡散パラメータは風下距離 x の関数であり、大気安定度により大きく変化する量である。大気安定度階級を求めるには、Pasquillの方法（たとえば産業環境管理協会，2007）がよく

使われる。Pasquillでは地上風速と放射量により大気安定度を6つの段階に分類している。拡散パラメータの値は大気が昼間不安定な時に大きく、夜間安定になった時に小さくなる。拡散幅が大きいと濃度は下がるが、煙の影響を被る範囲が広がる。3番目のパラメータは最後の指数関数の分子にある H_e で有効煙突高と呼ばれる。有効煙突高は2つの部分、すなわち実際の煙突の高さである実煙突高と煙突から出てくる煙の浮力や運動量により上昇する高さ（煙上昇）の和である。有効煙突高が高いと地上($z=0$)の濃度が下がる。

ガウス分布型モデルで記述するのは1時間平均程度の1風向、1大気安定度、1風速階級の濃度であるが、1時間平均値の実測値と比較するとあまりよくは合わない。また汚染物質の質量保存、気象の場の定常性、拡散する場の平坦一様性が前提である。ガウス分布型モデルは、年間平均等の長時間平均値を求めるのによく使用される。これを行うためには(1)式を適用する気象条件を定め、その気象条件がそれぞれ年間どの程度の頻度で起こるかを求めておき、その頻度に応じて各条件で計算した結果を重ね合わせることを行う。こうして求められた年間平均値は地形が平坦であれば実測とかなり合ってくる。この結果と環境基準である1日平均値と関係づけるためにはさらなる手法が必要である。

ガウス分布型モデルを基本として大気環境影響評価を行うツールとして公開されているソフトウェアがいくつかある。日本ではMETI-LISというソフトウェアが(社)産業環境管理協会から公開されている。このほか英国のADMS等が世界的によく使用されている。

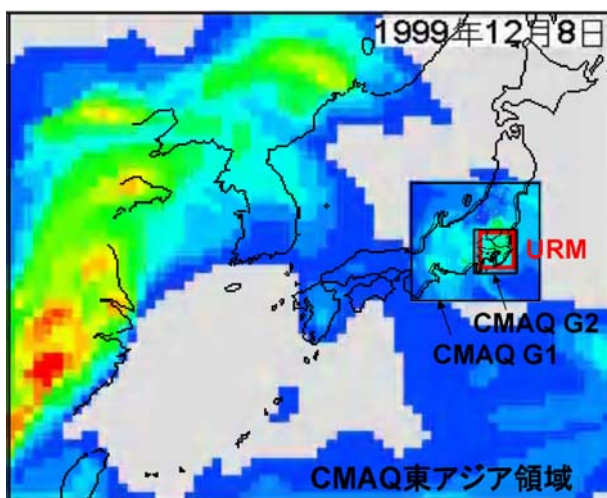
3. 2 数値モデル

ガウス分布型モデルの適用条件をはずれる、複雑な地形、非定常の過程、化学変化、短時間暴露などが重要な場合はガウス分布型モデルを使用すると大きな誤差を含むことになる。複雑地形については風洞実験による手法がとられてきているが、風洞実験も大気の安定度が安定な弱風時を再現することが困難である。

このようなことから1980年代より数値モデルを使用して大気環境濃度を計算する手法が次第に発展してきた。このような流れは大きく二つある。一つは比較的大きなスケールの大気化学反応を含むモデル開発であり、米国EPAのCMAQなどがこれにあたる。もう一つは都市域の複雑なビルスケールの流れに乗った拡散の計算でCFDモデルと呼ばれている。

CMAQはCommunity Multiscale Air Quality Modelの略称で、米国EPAのNational Exposure Research Lab.を中心に開発が進められてきており、1998年に初版が公開された。このモデルは都市からRegional

なスケールを対象とし、対流圏オゾン、酸性降下物、視程、浮遊粒子状物質(PM2.5, PM10)を対象としている。日本でも九州大学をはじめとするいくつかの大学や国立環境研究所、(財)石油産業活性化センターのプロジェクトである JCAP (Japan Clean Air program) がこれを使用している。また現在深刻さを増しつつある東アジアの大気汚染解析・研究にアジアのコミュニティーで中心的に使用されつつあるモデルである。第1図に JCAP が使用した CMAQ による東アジア地区における浮遊粒子状物質の濃度計算結果を示す。CMAQ の計算を実行するためには気象モデルを用いて風などの気象条件を計算する必要があるが、JCAP では RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) を用いている。



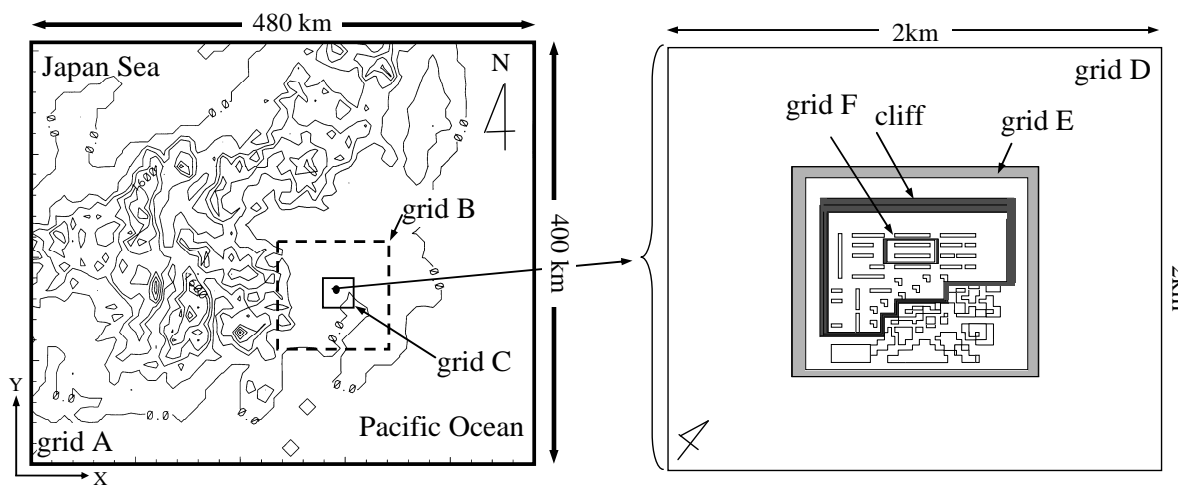
第1図 JCAP IIプロジェクトでCMAQを用い計算したSPMの濃度分布の例。

(http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap2/index_jcap2.html)

CFD (Computational Fluid Dynamics) モデルは、広義では数値計算による気象や風工学に関する数値モデルが含まれるが、通常はビルスケールの風環境や大気環境を対象とした数値モデルのことを指す。CFD モデルはビル風などの風環境を解析するため、建築や風工学の分野で開発が進んだ。気象モデルの基本方程式系が primitive equation であるのに対し、CFD モデルの基本方程式系は一般に Navier-Stokes equation である。また、数値計算を行う離散化に対する考え方が両者では少し異なる。また CFD モデルでは乱流の3次元性を陽に考慮し、いわゆる境界層近似を用いて鉛直方向を特別扱いするようなことはしない。

ビル風のように小さなスケールの計算を行う場合、常に問題となるのが境界条件である。ビル風を含む大気環境問題の場合、2.1節でも述べたように必ずしもその出現時刻を予報することは重要ではないので、簡略化された定常的境界条件を用いてもその問題にはならなかった。しかし、沿道大気汚染やヒートアイランド問題、さらにはテロ攻撃に伴う毒ガスや火災に伴い発生する煙の拡散予測が現実的な課題となってきた今日、マルチスケールのモデルを用いて気象予測モデルの結果をダウンサイズする手法がいくつか提案されるようになってきた。

第2図は、ヒートアイランド解析のために使用した6段階ネスティングをしたCFDモデルによる計算モデルの例である(マルチスケールモデル)。100mほどのスケールの団地の周辺の気温や風を計算するにあたって、中部日本を含む500kmスケールの領域からの計算を気象モデルで行い、さらにその計算結

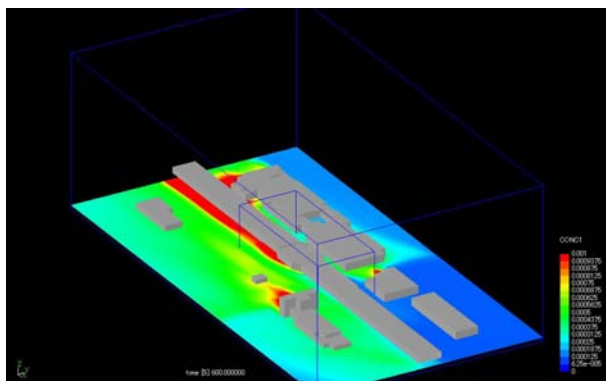


(1) メソスケールの解析領域 (grid A-C)

(2) ミクروسケールの解析領域 (grid D-F)

第2図 メソスケール気象モデルの計算結果を境界条件としてビルスケールの風・気温を計算するモデルの例 (村上, 2000)

果をCFDモデルの境界条件として計算を進めるものである(村上, 2000)。近藤他は同様な考え方で道路沿道拡散の計算を行っている(Kondo et al., 2006); 第3図)。



第3図 川崎市池上新町付近を対象としたマルチスケールモデルによる沿道拡散解析の例。

2. 3節で平均化時間により大気環境濃度の平均値は変化すると述べた。数値モデルが扱っているのはどのような「平均」なのであろうか。実はこの問題は決着がついていない重要な問題の一つである。

3. 3 CFDモデルの比較・ガイドライン

CFDモデルはNavier-Stokes方程式に基礎をおき、物理的にしっかりとした基礎の元に構築されていると思われがちであるが、実際は必ずしもそうではない。「平均」の問題、離散化の問題、乱流モデルの問題等、これらをどう取り扱えば実大気中の現象のある程度の誤差の範囲内で計算できるかという点についてはまだ手探りの状況である。しかしながら、ガウス分布型モデルで扱えないような複雑な条件下における大気環境を扱える手法は数値モデルのみであり、誤差を許容範囲に抑えながらどのようにCFDを使用すればよいか、各方面で比較研究やガイドラインの作成が現在行なわれている。

そのような例としてヨーロッパではTRAPOSというプロジェクトでCFDモデルをハノーバー市に適用し、5つのモデルと風洞実験の結果を比較している(Ketzel et al., 2002)。計算された気流の場を矢印にして書いてみると大きな差が見えるわけでないが、濃度計算ではあるポイントで比較すると7倍の差が生じている。モデルはみな乱流モデルに同じ標準k-εモデルを用いており、境界条件も同一である。このような差は、移流計算の計算スキームや、壁面の境界条件に使用している壁関数の差により生じている。同様なCFDを用いた比較実験やガイドラインの作成は日本でも日本建築学会や大気環境学会で行なわれている。

4. おわりに

環境影響評価では、人間が行う開発行為において事前にその行為による環境への負荷がある水準以下に収まるかどうかの評価を行う。評価においては開発行為(およびその影響)が人間のコントロール可能な範囲に留まることが前提であり、また水準はその影響を被る人々のリスクとベネフィットのかねあいによって決まる。ただし、一般に後者があるところに収束できるかどうかは別の問題である。

しかし、天気現象や地球環境問題等の環境問題は、事実上人間がコントロールすることはできない。このため、「予報」を行うことにより、被害を最小限にする必要がある。地球規模の環境問題も人為起源であるので、そのメカニズムがもう少し解明されれば「環境影響評価」にのせることも可能になってくるであろう。そういう意味でシミュレーション技術はまだ不完全であり、「持続可能」な社会が実現できるまでにシミュレーション技術が完成できるかどうかなかなか予断を許さない。

謝辞

本講演では新エネルギー・産業技術総合研究機構による提案公募型研究開発事業「高効率の熱交換・熱拡散促進型の省エネ都市形成手法の開発(エネルギー・環境技術 98Ec06-007)」、(財)石油産業活性化センターによるJCAP IIプロジェクト、環境省地球環境保全等試験研究費による「都市域における局所的高濃度汚染の高精度予測手法に関する研究」による成果の一部を使用した。

参考文献

- 石井邦宜監修, 2002: 20世紀の日本環境史, 産業環境管理協会, 197頁.
- Ketzel, M, P.Louka, P.Sahm, E.Guilloteau, J-F.Sini and N.Moussiopoulos, 2002: Intercomparison of numerical urban dispersion models –Part II: Street canyon in Hannover, Germany. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 2,603-613.
- Kondo, H., K. Asahi, T. Tomizuka and M. Suzuki, 2006: Numerical analysis of diffusion around a suspended expressway by a multi-scale CFD model. *Atmospheric Environment*, **40**, 2852-2859
- 村上周三(代表), 2000: 高効率の熱交換・熱拡散促進型の省エネ都市形成手法の開発. 平成10年度・11年度新エネルギー・産業技術総合研究機構提案公募型研究開発事業研究成果報告書 産業環境管理協会, 2007: 新・公害防止の技術と法規 2007 大気編 I II.