

曝露評価に関する知見の整理の進め方

曝露評価については、大気中濃度、発生源影響及びヒトへの曝露様態に関する事項を、既存の知見に基づき、大気濃度の情報、発生源の排出量や寄与濃度の推計方法の情報及びヒトへの曝露量の推定に関する情報を記述する。

(1) 大気中濃度

- 米国の粒子状物質に関する国家環境大気基準 (NAAQS) の策定時における観測事例の紹介を行う。
- 日本の事例として、平成 19 年 7 月に公表した微小粒子状物質曝露影響調査報告書を中心に、いくつかの知見も踏まえ長期変動、日内変動など、特徴的な事例を紹介する。また、SPM との比較も行う。

(2) 発生源影響

1) 粒子状物質に関する排出量の推計

- 排出量推計対象物質について、粒子状物質に関する排出量推計で対象とする汚染物質 (一次粒子、及び二次粒子の前駆物質) について述べる。
- 発生源別排出量の推計法について、MAP 調査等の実態調査に基づく排出量の算定法や原単位法と呼ばれる排出係数と活動量から推計する手法など、粒子状物質に関する汚染物質の排出量推計手法について述べる。また、SPM と $PM_{2.5}$ とを区別して推計手法を述べることは、困難と考えられるため、粒子状物質全般及びその前駆物質の推計法について述べる。発生源区分としては、人為起源 (燃焼系 (固定、移動、農業)、蒸発系 (工業、移動)、その他 (下水、農業、ペットなど))、自然起源 (植物 VOC、土壌、海塩など) を包括する。

2) 粒子状物質に関する排出インベントリの現状

- 発生源別排出量について、これまでに実施された粒子状物質の排出量推計の概要を紹介する。特に、大気質予測モデルへの入力を前提に作成された地域、時間分布を考慮した排出インベントリについては、現状を詳しく記述する。
- 発生源別プロファイルについて、発生源別の粒径分布や NO_x 、 SO_x 組成、VOC 組成等について、現状を述べる。
- 欧米を中心とした海外における最近の排出インベントリの現状について、概要を述べる。
- 現状の排出量推計結果を踏まえ、推計精度の向上や改良を要する点について述べる。

3) 発生源別寄与濃度の推定 (レセプターモデル)

- レセプターモデルの原理について、レセプターモデルの原理を説明した上で、CMB法と多変量モデルとの相違、特に応用する場合の前提条件、精度などの一般的な事項について述べる。また、単に計算モデルとしてではなく、必要な測定データの精度をはじめとして、十分に信頼できる結果を推計するために必要な条件を整理して記述する。
- CMBモデルについて、指標成分法、線形計画法、最小自乗法、有効分散最小自乗法といった代表的なモデルについて、原理と特徴を応用例と共に説明する。特に有効分散最小自乗法については米国での利用状況などを記述する。
- 多変量レセプターモデルについて、因子分析法、TTFA、多重回帰法、PMF/UNMIXといった代表的なモデルについて、モデルの原理と特徴を述べるとともに、代表的な応用例と併せて説明する。特にPMF/UNMIXはSTNで測定されたPM_{2.5}データを用いた発生源別寄与濃度の推定が行われている等、欧米における利用状況を記述する。
- マスクロージャーモデルについて、成分分析した結果により、どの程度のPM_{2.5}の質量が説明できるかなど、このモデルの利用の仕方を解説する。
- 炭素の同位体分析等についても記述する。
- 特に推定結果の精度に着目して要点をまとめる。

4) 発生源別寄与濃度の推定 (シミュレーションモデル)

- シミュレーションモデルの種類とその概要を説明する。さらに、粒子の生成・成長・消滅過程に関するモデルを概説するとともに、シミュレーションモデルを構成する気象モデル、気相・液相反応モデル、乾性・湿性沈着モデルについても概説する。
- 気象データについて、シミュレーションモデルで使用する気象データの種類、データ源などを整理する。
- 発生源データについて、排出インベントリから、シミュレーション用データを加工・編集するプロセスを概説する。
- モデルの事例について、国内の事例から概要及び再現性について整理する。また、一般環境モデルとともに沿道モデルについても述べる。また、欧米における代表的なモデル数例について、その概要や再現性について整理する。
- 発生源別寄与濃度の推計について、国内の事例から、シミュレーションモデルから推計された発生源別寄与濃度・寄与率の結果を整理するとともに、欧米の事例も示す。
- レセプターモデルとシミュレーションモデルの比較について、国内外において、各々の手法により推計された発生源寄与率を比較し、その違いを整理する。

(3) 人への曝露様態

- 人への曝露がどのようにして起こるのか、環境大気曝露、環境大気以外の曝露と個人曝露量との関係について、基本的な概念を説明する。
- 外気曝露を中心とするが、生活時間のほとんどを屋内で過ごす日本や欧米の一般住民を対象とするため、屋内曝露に留意して整理する。
- 地域集団（住民）の曝露を評価するためには、一般大気環境測定局の測定濃度を用いることが多い点を踏まえ、地域内の多数の地点の外気濃度と、測定局濃度との関係を確認した調査事例を曝露影響評価報告書も参考に紹介する。
- 多くの測定事例の中から、比較的日本と住宅状況が似ている欧米の測定事例を紹介する。屋内濃度と個人曝露濃度の相関、屋外濃度と屋内濃度の相関等にふれつつ、騒音防止も兼ねて窓を閉め切り、室内環境を制御する家屋等、環境濃度から生活者の曝露を推定できない場合があること等についても説明する。
- 個人曝露量の推計に係る影響因子について以下の観点に留意しつつ説明する。
 - ・ 個人曝露量は、対象者の活動空間の曝露濃度と曝露時間で決まる。
 - ・ 曝露濃度は場所による変動、時間変動の影響を受ける。ヒトの活動によって曝露対象物が発生・飛散する場合は、室内の平均濃度で個人曝露量を正確に推定することはできない。
 - ・ 国によってヒトが屋内で過ごす時間に差はあるが、特に日本人は、平日の生活時間の9割以上を屋内で過ごしている。
- 直接的方法である個人サンプラあるいは個人曝露モニターによる測定について、個人曝露影響評価報告書を参考に、主要なPM_{2.5}の個人サンプラの構造、サンプリング方法等、概要を説明する。また、PM_{2.5}とPM_{10-2.5}を同時に測定できるものは少ない点など、動向についてもふれる。
- モデルによる推定方法について、推定方法について具体的事例を紹介しつつ、概要を述べる。
- 間接的方法として、場所と時間から推定する方法及びPM_{2.5}以外の汚染物質濃度から推定する方法について、具体的事例を紹介しつつ、概要を述べる。

(4) まとめ

- 大気中濃度について、わが国と諸外国(米国等)の大気中濃度、化学組成(特に金属成分や炭素成分など)、粒径分布などの異同を比較・整理する。
- 発生源影響について、わが国と諸外国(米国等)の微小粒子に対する発生源の特徴と寄与率を比較・整理するとともに、発生源モデルによる将来予測の精度向上に資する情報を整理する。さらに、環境濃度レベルの低下に伴う、人為起源に対する自然起源の寄与率の増大傾向について触れる。
- 人への曝露様態について、環境属性別の個人曝露量の推計値について概観すると共に、その推計精度向上に資する情報を整理する。

曝露評価に使用する各種モデルの概説

粒子状物質濃度やその発生源寄与率の推計方法にはレセプターモデルとシミュレーションモデルがある。また、フィルタ法による質量濃度の地域代表性検証手法の一つとして成分分析値を用いた質量濃度推定手法モデル（Chemical mass closure model）がある。以下、これらのモデルについて説明する。

1. レセプターモデル

レセプターモデルは環境大気粒子（PM）の様々な特徴を基にして、発生源寄与を推定する方法である。レセプターモデルには、CMB（Chemical Mass Balance）モデル、多変量モデル等がある。

1) CMB モデル

レセプターモデルの基本概念は、質量保存の考え方にあり、測定点で採取した大気エアロゾル粒子の各化学成分濃度は様々な発生源で排出された大気エアロゾル粒子の化学成分濃度の重ね合わせにより表現できる。このことを定式化したものが以下の式（1）である。

$$x_j = \sum_{k=1}^p a_{jk} S_k \quad (j=1 \sim m) \quad (1)$$

ここで x_j は採取された大気エアロゾル粒子中の成分 j の大気中濃度、 a_{jk} は発生源 k における大気エアロゾル粒子中の成分 j の含有率、 S_k は測定点で採取される大気エアロゾル粒子の中で発生源 k に由来する比率を表したものである。また m は対象とする化学成分数、 p は対象とする発生源種の数である。ここで a_{jk} が既知のときに S_k を求める方法を Chemical Mass Balance（CMB）法という。

2) 多変量モデル

CMB モデルが、単一の試料中の元素組成と発生源における元素組成の情報に基づいた推計方法であるのに対して、多変量モデルは多くの試料の元素組成情報を用いて、発生源の情報がなくとも推計できる方法である。

多変量モデルは、同じ発生源から排出された粒子中の成分組成は変化しないとの仮定に基づいており、解析には測定点の試料が数多く採取されている

ことが必要である。

代表的な多変量モデルの解析手法には重回帰分析、クラスター分析、判別分析、主成分分析、因子分析がある。

2. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは、発生源の排出データをベースにして、発生源から測定点に達するまでの移流、拡散、沈着、重力沈降及び大気中成分の化学変化をモデル化し、測定点の環境大気粒子の濃度及び発生源の寄与を推定する方法である。

3. マスクロージャーモデル

マスクロージャーモデル (Chemical mass closure model) は、フィルタ法による質量濃度の地域代表性検証手法の一つであり、粒子状物質の質量濃度といくつかの主要成分 (特定のイオン成分、有機炭素、無機炭素、特定の金属成分) との関係を統計的に求めておき、以後の測定において、成分測定データから質量濃度を推定し、測定質量濃度の妥当性が評価できるというものである。