

39. アジア地域における二酸化硫黄の大気拡散に関する研究

STUDY ON ATMOSPHERIC DIFFUSION OF SULFUR OXIDES IN ASIA

岡田修平*、藤原健史**、松岡 譲***

Shuhei OKADA*, Takeshi FUJIWARA**, Yuzuru MATSUOKA***

ABSTRACT; Sixty percents of people in the world live in Asian area, and their economic activities earn twenty four percents of the total GDP all over the world. As the population increases and the economic activities, emissions of sulfur oxides and nitrogen oxides from combustion are increasing and the emissions cause not only local pollution but also global environmental pollution.

It is important to calculate the concentration of sulfur oxides that is emitted from the stack of large point sources. In this paper, a software package was developed to calculate the diffusion of sulfur oxides which is emitted from Asian large point sources by using the Japanese air pollution model, and this package was applied to diffusion problems by large point sources China, Korea and India's. The result is displayed as figures with GIS and the diffusion in each country was discussed.

KEYWORDS; sulfur oxides, large point source, GIS, atmospheric diffusion

1 はじめに

アジア地域には、世界人口の 6 割が住み、その経済活動は世界の GDP 合計の 24%程度を占めている。これらの人口の増加と経済活動の活発化に伴い、エネルギー消費は急増し、硫酸化物、窒素酸化物、二酸化炭素などの排出量の増加が顕著で、局地汚染に加えて地球環境に大きな影響を与え始めている。また、工業の急速な発展や自動車の著しい増加により、大都市部や工場周辺で煤煙や硫酸化物による被害がではじめ、中国などの都市では硫酸化物の観測値が WHO の基準をかなり上回る状況にある。発展途上国では経済の振興が環境対策よりも優先されがちであるが、いくつかの国々では、わが国の公害対策が本格的に実施された 1960 年代の経済力に達していて、煤塵や硫酸化物などの環境対策に本腰を入れて取り組み始めている。アジアの多く国々では、先進国が有する高度で高価な環境技術よりはむしろ、それぞれの国状に適したものが求められている(江幡禎則, 1997)。

本研究では煤煙の環境対策が十分でないアジア地域を対象として、火力発電所や工場などの大規模固定発生源から移流・拡散する二酸化硫黄の濃度を、プルーム、パフモデルを用いて算出し、GIS を用いて大気汚染状況を視覚的に表示することを目的とした。

*京都大学大学院工学研究科環境工学専攻修士課程 Master of Environmental Eng., Graduate School of Eng., Kyoto Univ.

**京都大学大学院工学研究科環境工学専攻助教授 Assoc. Prof. of Environmental Eng., Graduate School of Eng., Kyoto Univ.

***京都大学大学院工学研究科環境工学専攻教授 Prof. of Environmental Eng., Graduate School of Eng., Kyoto Univ.

2 大気拡散プログラムパッケージの概要

本研究では、アジア地域の火力発電所・工場などの大点煙源から排出される二酸化硫黄の濃度計算を行うプログラムパッケージを開発した。計算フローを図1に示す。

このパッケージでは、排出源データと気象データを入力として、排出源周辺における二酸化硫黄の地上濃度を算出することができる。計算範囲を点煙源を中心とした1000km×1000kmの範囲とし、緯度・経度ともに30秒間隔で格子点を取り、その地点で濃度を計算する。以上の操作をすべての点煙源について繰り返し、格子点での濃度を足し合わせる。求めた二酸化硫黄の地上濃度をGIS用いて画像表示する。なお、計算の対象国を中国、韓国、インドとした。

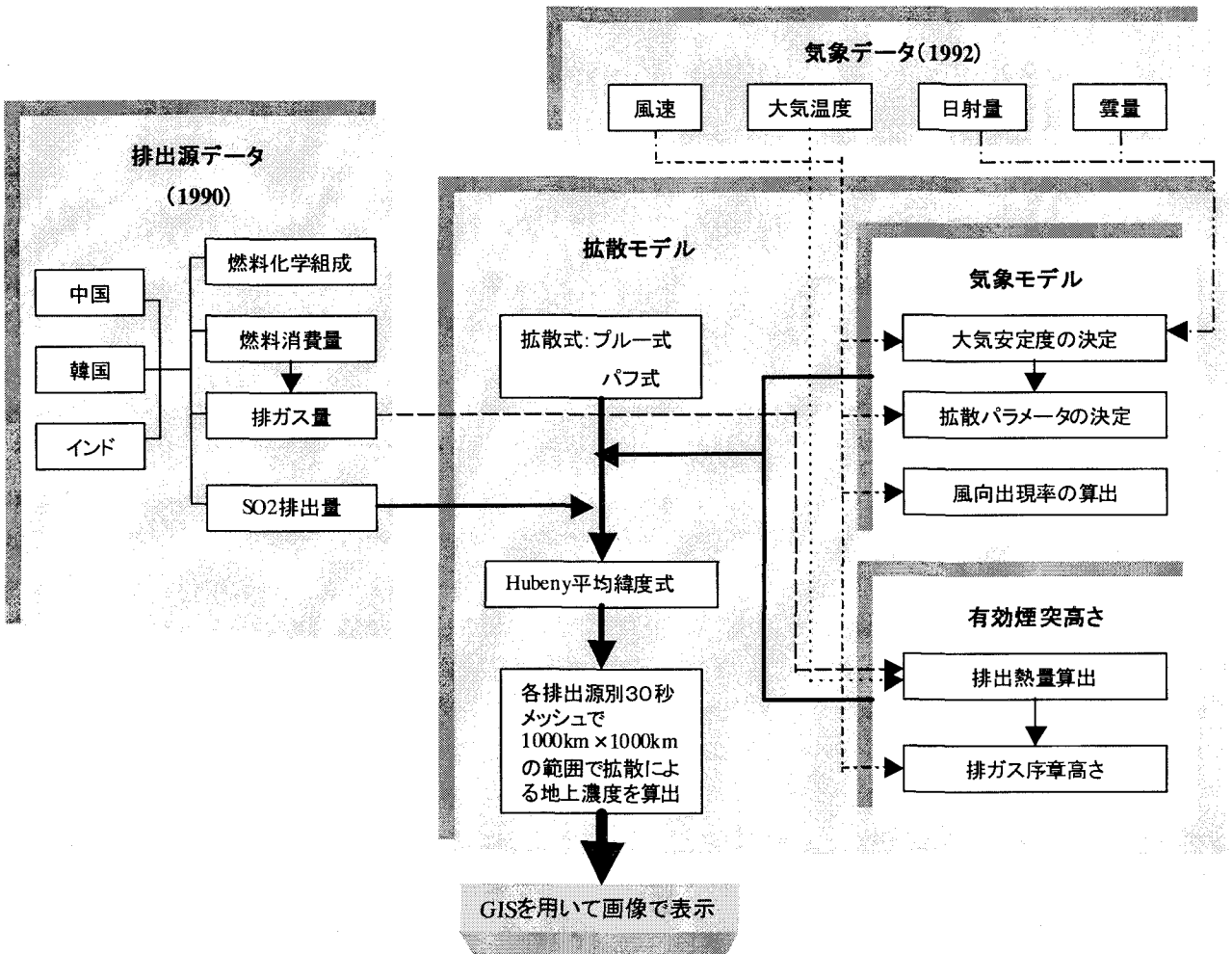


図1 大気拡散モデル概要図

3 大気拡散モデルの適用

3. 1 拡散式

本研究では、環境庁の総量規制マニュアル(1995)に示される大気拡散モデルを用いて、二酸化硫黄の地上濃度の拡散計算を行った。風速を1.0m/s以上の有風時、0.0m/s以上0.5m/s未満の無風時、0.5m/s以上1.0m/s未満の弱風時に分類した。拡散式として、有風時のプルーム式と無風時・弱風時のパフ式の2種類を用い、横方向一様分布式という形で用いた。この横方向一様分布式とは、風向を16方位に区分(22.5°間隔)し、区分内の風の出現率を用いて風向ごとに濃度計算を行うものである。1つの風向区分内では拡散濃度は風下距離に依存する(岡本眞一, 2001)。弱風時には総量規制モデルによる風向出現率の補正を行った。用いた風速データを9段階の風速階級に分類し、計算時間の短縮化を図った。拡散式の変数に用いられる有効煙突高

さは、排ガス量から算出した排ガス熱量を、有風時は CONCAWE の式、無風時は Briggs の式に与えることによって求めた(総量規制マニュアル 1975)。計算点の高さは、人の健康への影響を考慮して 1.5m とした。

3. 2 気象モデル

大気安定度は Pasquill の安定度階級分類表を用いた。本研究では大気安定度を以下のようにして決定した。まず、任意の日時における地軸の傾きを算出し、その傾きから地球上の昼間の範囲を算出した。求めた昼間の範囲から任意の経緯度における昼夜を判定し、昼間では気象データの日射量と風速を、夜間では雲量と風速を用いて大気安定度を決定した。

ブルーム式で用いる拡散パラメータを Pasquill-Gifford 安定度分類別に風下距離の関数として与えた。またパフ式で用いる拡散パラメータは総量規制マニュアルにあるように Tuner 図から求められる値を経験的に修正した値を用いた。

3. 3 排出源からの計算点の位置

拡散式によって、任意の経緯度における計算点での地上濃度を計算した。計算範囲が広範囲になると球面上での排出源から計算点までの距離や方位は平面上のそれとは異なる。本研究では、Hubeny の平均緯度の式(高橋正義編, 1988)を用いて地球の球面上での距離、方位に修正して拡散計算を行った。この式は、日本で準拋楕円体として採用されているベッセル楕円体についての子午線曲率半径や卯酉線曲率半径、赤道半径などの値を用いて、排出源と計算点の2点の経緯度を与えることによって、これら2点間の距離・方位を求めることができる式である。

3. 4 入力データ

(A) 気象データ

気象データには風速[m/s]、大気温度[k]、日射量[W/m²]、雲量[0-1]のデータを用いた。これらのデータは European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) のデータを用いた。データの詳細を表 1 に示す(ECMWF Data Services)。

表1 気象データ詳細	
範囲	北 N60.000°
	西 E60.000°
	南 S15.000°
	東 E160.000°
メッシュ	0.5° × 0.5°
開始期間	1992.01.01.00
終了期間	1992.12.31.18
時間間隔	6時間ごと

(B) 排出源データ

(1) 二酸化硫黄排出量

排出源データには大点煙源によるデータ、つまり Large Point Source データ(以下「LPS データ」と示す)を用いた。具体的には RAINS の David Streets らによる 1990 年の LPS データである。

拡散計算を行った中国、インド、韓国についての LPS データの概要を表 2 に示す。本研究で用いた LPS の条件について以下に示す。

- a) 排出源はすべて都市部に存在すると仮定した。
- b) 排出量は年間を通して一定とした。
- c) 対象となる排出源は以下の条件のどれかに当てはまる工場及び発電所とした。
 - ①500MW 以上の供給能力のある発電所
 - ②1,500MW 以上の熱投入量のある工場
 - ③SO₂ を年間 20,000t 以上排出する工場又は発電所

表2 LPSの詳細

国名	LPS数	燃料成分	単位	対象年度
中国	83	重油、無煙炭(中間質)	kt/y	1990
インド	36	重油、無煙炭(高品質)	kt/y	1990
韓国	3	重油、無煙炭(中間質)	kt/y	1990

(2) 排ガス量

排出源ごとの年間のエネルギー消費量[PJ/y]をもとにして排ガス量を計算した。まず、1990年のLPSデータに基づいたLPS設備への熱投入量[MWh]にその設備の稼働率[-]をかけてエネルギー消費量を求め、各燃料成分の発熱量から燃料投入量[t/y]に換算した。次に、各燃料成分、重油・無煙炭の化学組成のデータを用いて燃焼計算を行い排ガス量を体積単位で算出した。ここで、重油、無煙炭の化学組成率はRAINS-ASIAのデータを利用した。最後に求めた排ガス量と二酸化硫黄排出量から、排ガス中の二酸化硫黄の濃度を計算した。

中国、インド及び韓国の二酸化硫黄排出量と排ガス中の二酸化硫黄濃度をわが国の濃度と比較したものを図2に示す。この図から、中国の二酸化硫黄排出量は多く、その排出量が多いほど二酸化硫黄濃度が高くなることがわかる。インドは二酸化硫黄濃度がほぼ一定で与えられている。わが国は脱硫装置の普及、良質の重油の使用など早くから二酸化硫黄対策を行っており、二酸化硫黄濃度は低い。

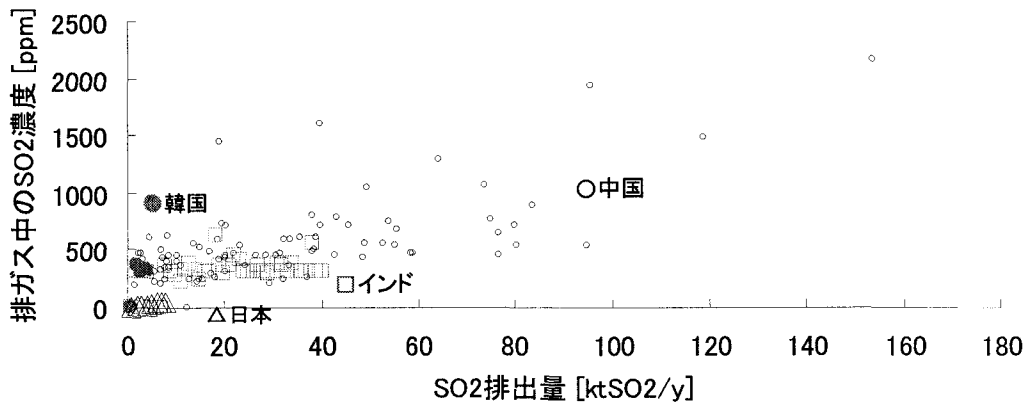


図2 対象国3ヶ国と日本との排ガス量及び濃度の比較

5 計算結果及び考察

中国、韓国、インドの3カ国について、点煙源から拡散した二酸化硫黄の地上濃度をそれぞれ求め、結果を図3、4、5に表示した。これらの図は拡散された二酸化硫黄の地上濃度を対数表示し色分けしたものである。

中国では全体にわたって、二酸化硫黄の地上濃度は 10^{-3} ppm以上の値を示した。特に二酸化硫黄の地上濃度が高かったところでは、タイハン山脈の周辺に位置するタートン炭田、ホワイナン炭田、太原(タイユワン)、鄭州(チョンチョウ)などで、その濃度は0.01ppmのオーダーであった。計算された地上濃度は最高で0.04ppmを示し、日本の年平均二酸化硫黄濃度(0.01ppm)の4倍の値であった。炭田地帯で地上濃度が高くなった理由は、石炭を利用した発電所や工場がこの地域に集まっているためと考えられる。華北平原にも排出源が集中しており、

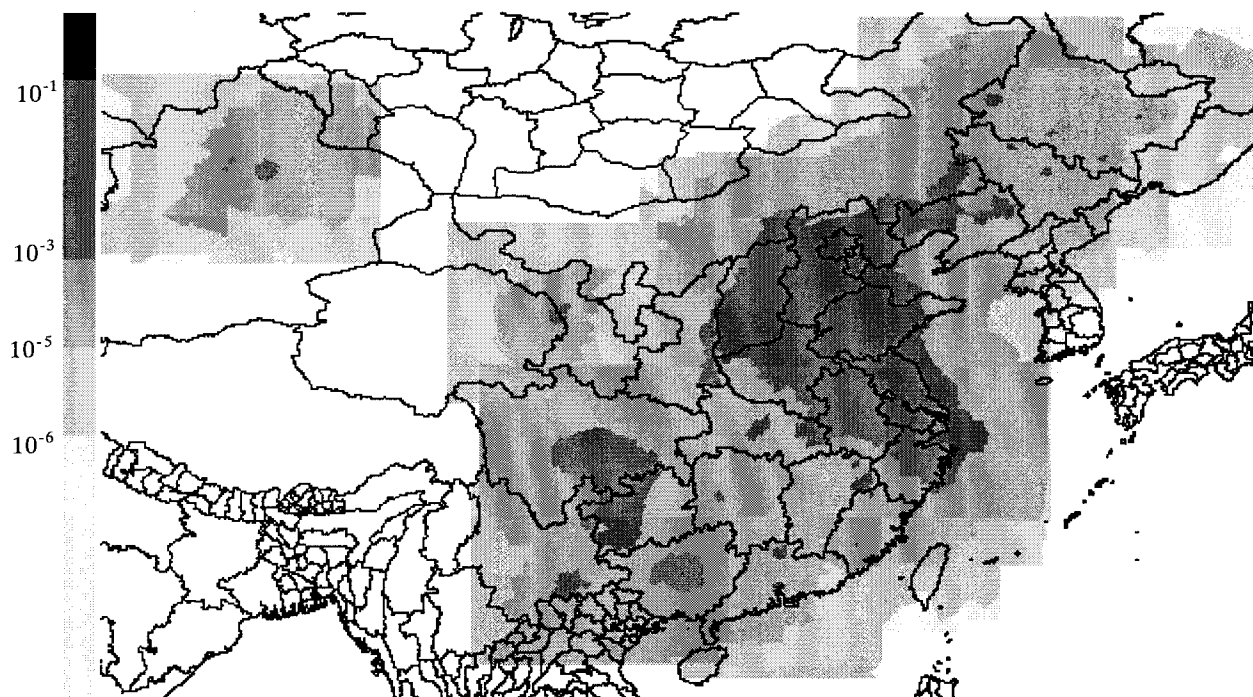


図3 中国全体における二酸化硫黄地上濃度分布

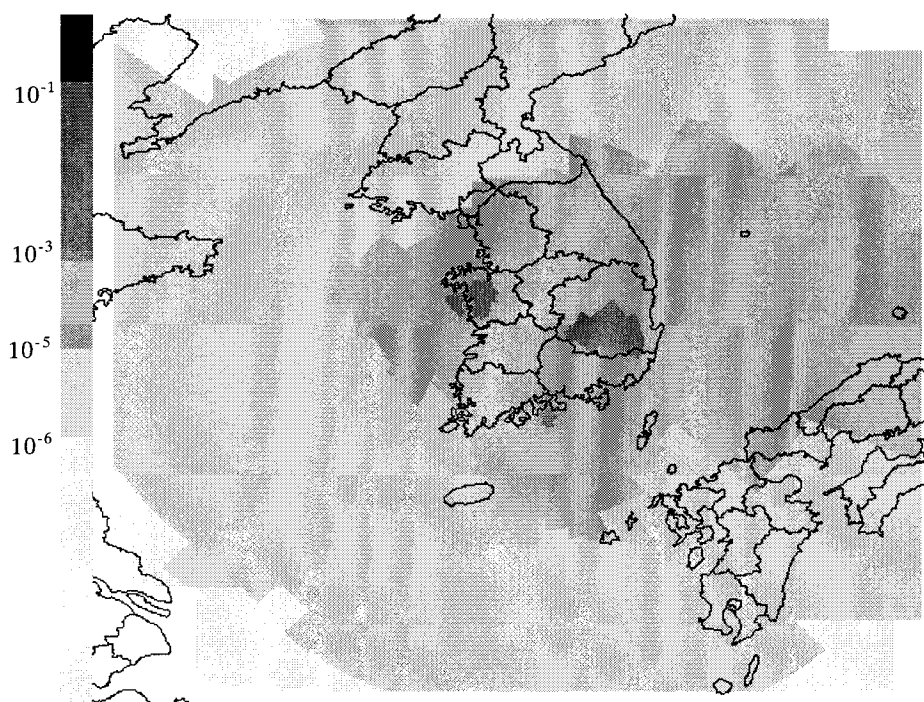


図4 韓国全体における二酸化硫黄地上濃度分布

そこでは東方向に拡散していることがわかった。また、工業都市重慶の周辺では独立して高い濃度を示した。

韓国では全体にわたって、二酸化硫黄の地上濃度は 10^{-4} ppm 以上の値を示した。テグ周辺やインチョン、ソウルの大都市周辺で高い二酸化硫黄の濃度を示し、 10^{-3} ppm 以上の値を示した。また韓国全体で、偏西風の影響とみられる強い東方向の拡散が見られた。

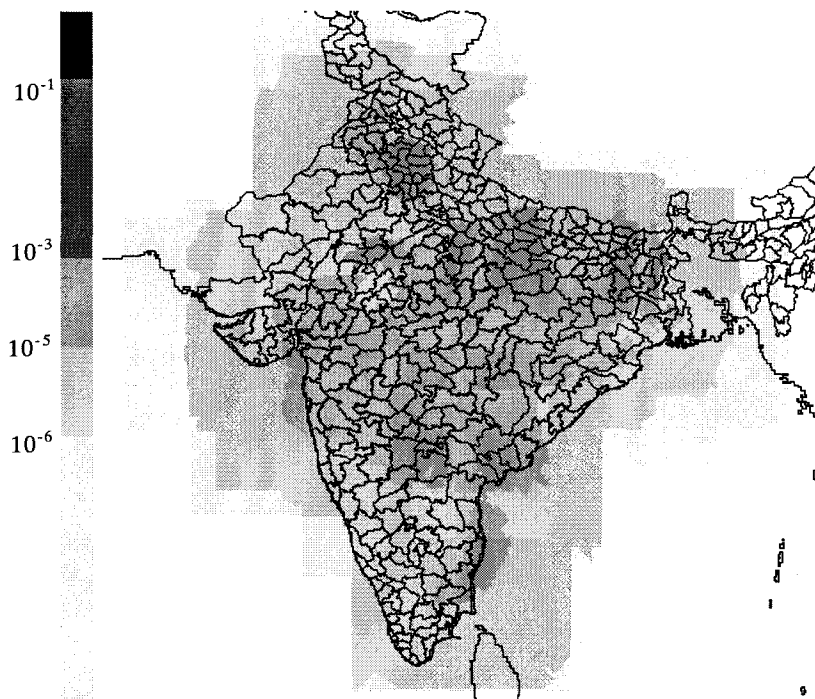


図5 インド全体における二酸化硫黄地上濃度分布

インドでは全体にわたって、二酸化硫黄の地上濃度は 10^{-4} ppm から 10^{-3} ppm オーダーの値となった。その中で高濃度を示した地域は、工業都市であるマドラス周辺、ラホールからデリーにかけての地域、インド北東部の炭田地帯、デカン高原周辺などであった。

以上の結果より、中国の二酸化硫黄の地上濃度は韓国とインドに比べて高い値であることがわかった。RAINS の韓国とインドの LPS データには排出量データが欠けているものがあり、計算値は実際の濃度より低いと考えられる。なお、排出源には他に面煙源や長距離移動をする二酸化硫黄があり、それらを全て加えた上で実測値と比較することが必要である。

6 まとめ

本研究で開発したモデルを用いて、LPS から排出された二酸化硫黄の地上濃度を算出し、その濃度の分布を画像で表示することができた。LPS ごとに算出した地上濃度を重ね合わせることで、排出源が密集しているところでは地上濃度が高い値を示し、特に中国では、日本での年平均二酸化硫黄濃度を超える地域も広範囲で存在することが視覚的にわかった。

文 献

岡本眞一(2001):大気環境予測講義 ギョウせい.

江幡禎則 (1997):東アジア諸国のエネルギー消費と大気汚染対策 科学技術政策研究所ホームページ <http://www.nistep.go.jp/achiev/abs/jpn/mat051j/mat051aj.html>.

環境庁大気保全局大気規制課(1975):総量規制マニュアル 公害研究対策センター.

高橋正義編:総観地理学講座 3 地図学 地図の利用法 朝倉書店(1988)

David Streets, Markus Amann, Neelo Bhatti, Janusz Cofala, Collin Green(1995):AN ASSESMENT MODEL FOR AIR POLLUTION IN ASIA Capter4.

ECMWF Data Services パンフレット: <http://www.ecmwf.int/>.