

3. 長距離輸送モデルの検証

3.1 検証データ

東アジア地域における硫黄酸化物の長距離輸送過程の計算を行う前に、長距離輸送モデルの検証をしておくことが必要である。すなわち、東アジア地域では硫黄酸化物の沈着に関する測定データが殆ど無いので、モデルによる再現性に関してどの程度信頼できるかを確かめた上で計算を実施し、東アジア地域における酸性沈着の見積もりを行うのが順当な方法である。従って、モデル検証に用いるデータも信頼性のある実測データが望ましい。

アメリカではNAPAP「酸性雨アセスメント国家計画 (National Acid Precipitation Assessment Program)」が1982年から実施されており、この計画では硫黄酸化物の排出源データ及び乾性・湿性沈着の測定データが整備されており、特にモデル開発のためのデータセットも用意されている。そこで本研究によって開発した長距離輸送モデルの検証はこのNAPAPのデータを用いて北アメリカを対象にして硫黄酸化物の輸送、沈着過程のシミュレーションを実施してモデルの再現性を評価すると共に、計算結果を考察することによってモデルのパラメーター等の見直しを行った。モデル検証に用いたデータは、硫黄酸化物の発生源データに関しては「The NAPAP Emission Inventory (Version 2)」, 沈着量に関する実測データは「NADP/NTN* Annual Data Summary (Precipitation Chemistry in the United States 1985)」であり、これらのデータは全てアメリカ環境保護庁 (EPA) から提供を受けたものである。

3.1.1 排出源データ

北アメリカの1985年における人為的な硫黄酸化物の年間排出量は、3,100万トンであり、そのうちアメリカで2,700万トン、カナダで400万トン大気中に排出されている。EPAより提供された硫黄酸化物の排出源データは各州別にまとめられており、これを格子点に振り分けるために都市や工業地域を考慮しアメリカで120点、カナダで17点設定した。またこれらの設定にはアメリカ及びカナダの発生源資料から統計して作成した519点の排出源分布を示した Venkatram 等 (1983) による排出源分布図も参照した。アラスカ州及びハワイ州を除いた全アメリカの硫黄酸化物排出量の50%を上位8州が占め、また上位16州で77%を占める。硫黄酸化物の最も排出量の多いオハイオ州は全アメリカの排出量の11%を占めており、一方、最も少ないワシントンDCで0.03%、バーモント州では0.04%にすぎない。全アメリカの硫黄酸化物排出量の77%を占めているそれぞれの16州のSO₂、SO₄²⁻の排出量、及び代表的排出源である70地点とその緯度、経度を表3.1に示した。モデル検証計算にはこの16州の排出源だけを用いた。表からも分かるように大排出源はアメリカ東部でミシガ

*National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network

Table 3.1 Annual emission of sulfur dioxide and sulfate for 16 states of U. S. in ton/year. (From 1985 NAPAP emission inventory, annual U. S. point and area source emission by state).

Cities	States	Lat.	Long.	SO ₂	SO ₄ ²⁻
Akron	Ohio	41.04	81.31		
Cincinnati	Ohio	39.09	84.27		
Cleveland	Ohio	41.29	81.41		
Toledo	Ohio	41.39	83.33		
Youngstown	Ohio	41.05	80.38		
Dayton	Ohio	39.45	84.11	2,560,946	28,806
Indianapolis	Ind.	39.46	86.09		
Evansville	Ind.	37.58	87.33		
Gary	Ind.	41.35	87.20	1,938,272	27,698
Austin	Tex.	30.16	97.44		
San Antonio	Tex.	29.25	98.29		
Corpus Christi	Tex.	27.48	97.23		
Houston	Tex.	29.45	95.21		
Beaumont	Tex.	30.05	94.06		
Dallas	Tex.	32.46	96.47		
Odessa	Tex.	31.50	102.22		
Fort Worth	Tex.	32.43	97.19		
Texarkana	Tex.	33.25	94.02	1,505,228	12,341
Erie	Pa.	42.07	80.05		
Pittsburg	Pa.	40.26	79.59		
Philadelphia	Pa.	39.57	75.09		
Allentown	Pa.	40.36	75.28	1,428,589	35,084
Chicago	Ill.	41.51	87.39		
Decatur	Ill.	39.50	88.57		
Springfield	Ill.	39.48	89.38		
Peora	Ill.	40.41	39.85	1,390,970	23,845
St. Louis	Mo.	38.37	90.11		
Columbia	Mo.	38.57	92.20		
Independence	Mo.	39.05	94.24		
Kansas City	Mo.	39.05	94.34		
St. Joseph	Mo.	39.46	94.50		
Cape Girardeau	Mo.	37.18	89.31		
New Madrid	Mo.	36.35	89.31		
Hannibal	Mo.	39.42	91.21	1,178,043	15,431
Atlanta	Ga.	33.44	84.23		
Savannah	Ga.	32.05	81.06	1,112,711	13,793
Charleston	W. Va.	38.20	81.37	1,058,435	12,329

Table 3.1 (Contd.)

Cities	States	Lat.	Long.	SO ₂	SO ₄ ²⁻
Nashville	Tenn.	36.09	86.47		
Knoxville	Tenn.	35.57	83.55		
Memphis	Tenn.	35.08	90.02	977,398	13,982
Louisville	Ky.	38.15	85.45		
Lexington	Ky.	38.02	84.30		
Hopkinsville	Ky.	36.51	87.29		
Paducah	Ky.	37.05	88.36	878,008	15,894
Huntsville	Ala.	34.43	86.35		
Decatur	Ala.	34.36	86.59		
Birmingham	Ala.	33.31	86.48		
Mobile	Ala.	30.41	88.02	724,644	12,258
Tucson	Ariz.	32.13	110.55		
Phoenix	Ariz.	33.26	112.24		
Safford	Ariz.	32.50	109.42		
Tec Nos Pos	Ariz.	36.56	109.42	717,755	4,525
Buffalo	N.Y.	42.53	78.52		
Rochester	N.Y.	43.09	77.36		
Syracuse	N.Y.	43.02	76.08		
Binghamton	N.Y.	42.05	75.55		
Albany	N.Y.	42.39	73.45		
New York	N.Y.	40.43	74.01	665,332	22,647
Tampa	Fla.	27.56	82.27		
St. Petersburg	Fla.	27.46	82.40		
Miami	Fla.	25.46	80.11		
Jacksonville	Fla.	30.19	81.39		
Pensacola	Fla.	30.25	87.13	659,662	14,802
Detroit	Mich.	42.20	83.03		
Bay City	Mich.	43.35	83.53		
Grand Rapids	Mich.	42.58	85.40		
Iron Mountain	Mich.	45.49	88.03		
Iron Wood	Mich.	46.27	90.10	551,068	12,523
Milwaukee	Wis.	43.02	87.54		
Madison	Wis.	43.04	89.24	514,461	13,913
Total emission of 16 states				17,861,522	279,881
Total emission of all U.S.A.*				23,146,211	490,415

*Except Alaska and Hawaii.

ン湖及びエリー湖の南部に位置するオハイオ、インディアナ、ペンシルベニア、イリノイ州などの工業地域である。

排出源高度は全ての排出源に対して $\sigma = 0.98$ (約200mに相当する)より汚染質が大気中に排出されるものとした。そしてそれぞれの排出源強度に対応した個数の粒子を Δt (=10分)毎に大気中に放出した。

3.1.2 沈着量データ

湿性沈着観測ステーションはアラスカ、ハワイ州を含む全アメリカで148地点あり、図3.1は1985年における湿性沈着観測地点と1984年12月4日から1985年3月5日迄の冬季94日間に実測された SO_4^{2-} の積算湿性沈着量を示したものであり、等値線の単位は g/m^2 である。湿性沈着はフロリダ州を除く東部に集中しており、特に沈着量が多いのはインディアナ、オハイオ、ケンタッキー、テネシー州等である。これらの州は全て硫黄酸化物の大排出源またはその近隣の州である。このようにアメリカ東部地域に高い湿性沈着量が集中的に観測されているので、モデル検証計算結果の比較には図3.2で示した観測ステーションのうち、アメリカ東部地域の63地点の観測データを用いた。

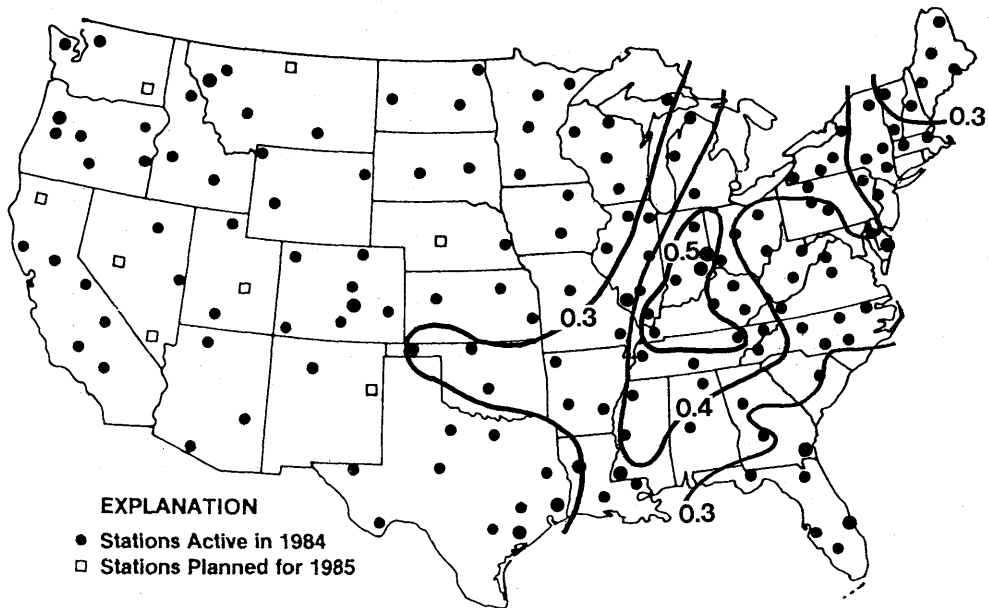


Fig. 3.1 The locations of NADP/NTN stations and contour of observed SO_4^{2-} wet deposition of in g/m^2 for winter quarter on 1985.

3.2 モデル検証の計算

気象予測モデル (FLM) を北アメリカに適用するために地形データを FLM の格子間隔に合わせた上、2.2.4節で述べたように GANL を初期値及び境界値として1984年12月4日から1985年3月5日迄の94日間について1時間毎の気象変数の予測データを計算し、気象変数の格子点データを磁気テープに蓄積した。

図3.2は94日間の計算による湿性沈着量の分布を示したものである。図3.2の実測による沈着量分

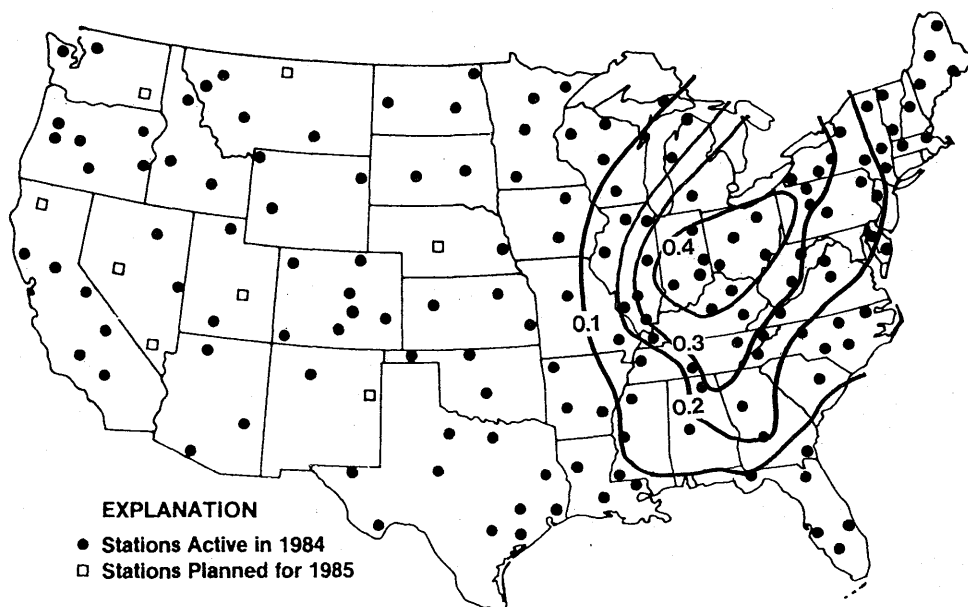


Fig. 3.2 The same as Fig. 3.1, but for calculated wet deposition.

布図と比較してみると分布の形は僅かに違うが、最大沈着量の出現している地域は再現されている。しかし、実測ではテキサス州北部からオクラホマ州にかけて湿性沈着が見られるのに対して、計算ではこれが再現されていない。この地域では局地的なシビア・ストームによる降水が頻発するが、この現象は格子間隔が127kmのモデルでは表現されていないので、このことが湿性沈着の差となった可能性がある。このことを除外すれば沈着量は計算値が少しばかり過小評価されているが、計算による湿性沈着量分布の形はある程度再現されていると言える。さらに量的に計算値と実測値とを比較してみると計算値は全体的に過小評価をしており、実測値の70%程度しか表現していないことが図3.3からも知ることができる。この全体的な過小評価の理由の一つはこの検証計算の場合には降水のしきい値を0.5mm/hと大きめに取ったために降水を抑制する方向に働いたこと、すなわち、

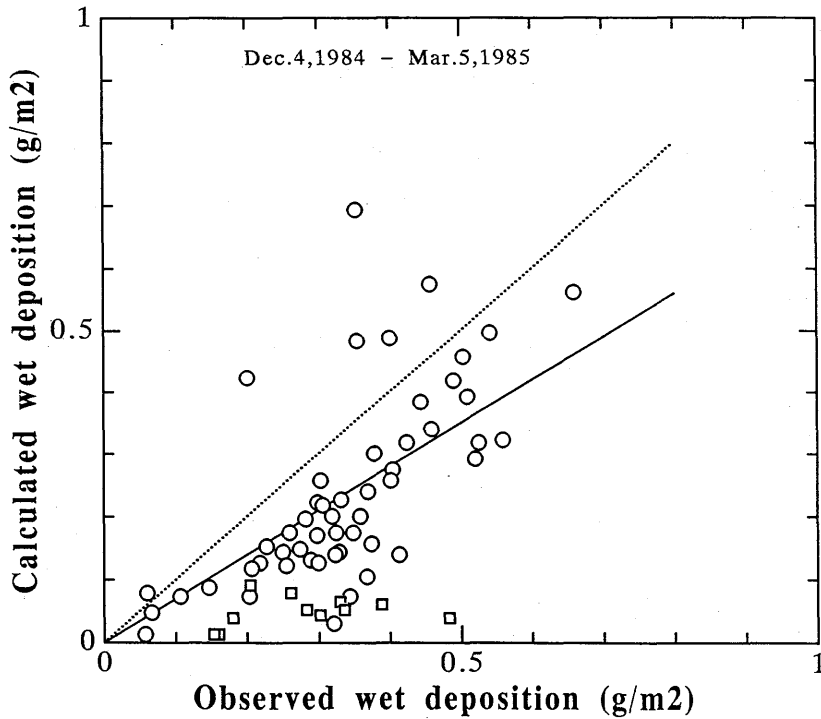


Fig. 3.3 Comparison between calculated and observed sulfate wet deposition at each stations. The symbol of square shows the data at Okulahoma, and Texas. (Observed data from "NADP/NTN Precipitation Chemistry").

降水を抑制した分だけ降水による沈着が少なくなったものと考えられる。また、雲による汚染質の取り込み過程 (in cloud scavenging) を考慮していないことも計算値が過小に見積もってしまう原因であることは確かなようである。しかし、湿性沈着に対する in cloud scavenging の確実な寄与率は把握されているわけではなく、例えば、航空機による雲中における SO_4^{2-} の生成率の観測結果 (Hegg and Hobbs, 1982) 及び雲による SO_4^{2-} の沈着率の観測結果 (Hegg et al., 1984) でもそれぞれが広範な値のデータを示している。雲と汚染質との相互間の関係は、2.4節で述べたような過程がモデル的に考えられるが、しかし、この過程は実験や観測による裏付けやパラメーターの決定等がなされなければならない、今後の調査・研究成果の蓄積を待つほかはないように思われる。さらに上述したように中西部地域の降水がよく再現できないことも過小評価の原因と考えられる。図3.3で示した□印は中西部地域の観測地点のデータであり、この地域の全ての計算値が極端な過小評価を示しており、これらのデータは計算値全体を統計的に過小評価側へシフトさせるのにも寄与している。