4. 東アジア地域におけるシミュレーション

長距離輸送モデルの検証計算を実施した結果,湿性沈着に対してある程度の良好な結果を得るこ とができた。また,モデルの特徴や長・短所を知ることもでき,その結果,モデルのパラメータの チューニングや降水量のしきい値の見直し等も行った。そして排出源データを調査,整理した後, 東アジア地域における硫黄酸化物の輸送・沈着過程のシミュレーションを実施した。

4.1 排出源と排出量

アジア地域の硫黄酸化物の排出量は加藤他(1991)及びKato and Akimoto(1992)による調査結 果を利用した。この調査はアフガニスタン、パキスタン以東のアジア全域の25ヵ国におけるエネル ギー消費構造から硫黄酸化物,窒素酸化物および二酸化炭素の排出量を1975年から1987年まで求め たものである。しかしながら、この調査にはロシア極東域は含まれていないので「最新ソ連極東総 攬(エンタプライズ)」を基に極東地域の工業都市をわが国との地理的関係を考慮して選定し、追 加した。

排出量はインド,中国については州または省毎に,その他は国毎に算出されているため,これら をモデルの格子に合わせて排出源の位置と排出量を配分する必要がある。排出源の位置と配分につ いては都市,工業地域を考慮し,排出量については都市の人口,工業地域の規模により加重配分を した。このようにして先ず,東アジア地域の計算領域における各々の排出源からの排出量,地点名 及びその位置を緯度・経度で地点を拾い上げ,排出量の少ない地点や近傍の排出源については併合 し,最終的には80地点の排出源を決定した。表4.1には東アジアの各国及びその地域の排出量と選 出した80地点についての緯度・経度及び加重配分した硫黄酸化物の排出量を示した。インドの排出 量については計算領域外であるが,排出量が多いので東部の工業地域のアッサムとビハールの排出 源だけを考慮し,計算領域内に排出源を仮定して設定した。

4.2 シミュレーションと結果

東アジア地域における硫黄酸化物の沈着量を評価するためのシミュレーションは、1985年の1年 間について日本の国内の排出源を除いて行った。すなわち、近隣諸国の排出源からわが国にどれだ けの硫黄酸化物が年間を通して輸送されて沈着するかを調べ、わが国における沈着量に対する寄与 率を求めた。モデル計算による沈着量の評価は格子間隔の4分の1の面積(約31.8×31.8km)で なされている。わが国における沈着量評価地点は代表的な地域の排出源地点と同じ場所とした。す なわち、北九州、延岡、徳山、倉敷、大阪、名古屋、清水、東京、新潟、苫小牧の10地域である。 これらの計算による沈着量評価地域及び後述する実測による湿性沈着量の測定地点を図4.1に示し た。計算値の評価地域の中に実測地点が含まれる地域は大阪、名古屋、東京、札幌(苫小牧)の4ヵ

-53-

気象研究所技術報告 第34号 1995

Countries	Provinces	No.	Cities	Emission	Lat.	Long.
China	Beijin	1	Beijin	401.0	39.90	116.40
	Tianjin	2	Tianjin	280.0	39.15	117.22
	Hebei	3	Shijiazhuang	963.0	38.02	114.50
	Shanxi	4	Taiyuan	367.0	37.90	112.55
		5	Datong	367.0	40.10	113.28
	Niemenggu	6	Baotou	530.0	40.50	109.50
	Liaoning	8	Dalian	188.4	38.85	121.55
		9	Anshan	753.6	41.10	122.95
	Jirin	12	Changchun	198.6	43.90	122.25
		13	Jirin	132.4	43.85	126.50
1. S.	Heilongjiang	14	Harbin	257.0	45.75	126.55
1. A.		15	Qiqihar	51.4	47.30	123.95
		16	Daqing	154.2	46.60	124.95
4		17	Jiamusi	51.4	46.75	130.35
	Shanghai	18	Shanghai	584.0	31.20	121.45
	Jiangsu	19	Nanking	834.6	32.05	118.75
		20	Maanshan	139.1	31.70	118.45
		21	Wuxi	417.3	31.60	120.25
	Zhejiang	22	Hangzhou	354.0	30.22	120.04
	Anhui	23	Hefei	264.0	31.85	117.25
		24	Huainan	176.0	32.61	116.95
	Fujian	25	Fuzhou	81.2	20.06	119.30
		26	Amoy	60.9	24.41	118.12
		27	Sanming	60.9	26.20	117.60
	Jiangxi	28	Nanchang	187.5	28.68	115.90
		29	Ganzhou	187.5	25.83	114.88
	Shandong	30	Jinan	1,110.9	36.62	117.00
		31	Quingdao	476.1	36.08	120.25
	Henan	32	Zhengzhou	623.0	34.75	113.70
		33	Luoyang	267.0	34.70	112.40
	Hubei	34	Wuhan	499.0	30.56	114.25
	Hunan	35	Changsha	522.0	28.20	113.00
	Guangdong	36	Guangzhou	341.6	23.20	113.25
		37	Swatowu	85.4	23.70	117.38
	Guangxi	38	Nanning	172.0	22.80	108.28
		39	Liuzhou	172.0	24.30	109.12
	Sichuan	40	Chengdu	898.8	30.70	104.05
		41	Chongqin	898.8	29.55	106.50
		42	Luzhou	449.4	28.85	105.30
	Chuizhou	43	Guiyang	591.0	26.60	106.70
	Yunnan	44	Kunming	437.5	25.05	102.70
		45	Gejiu	187.5	23.35	103.15
	Xizang	46	Lhasa	2.0	29.85	91.15

Table 4.1 Annual emissions of sulfur oxides in east Asia in 10^3 tons/year.

Table 4.1 (Contd.)

Countries	Provinces	No.	Cities	Emission	Lat.	Long.
China	Shanxi Gansu Qinghai Ningxia Xinjiang	47 48 49 50 51 52 53	Xian Yanan Yumen Lanzhou Xining Yinchuan Urumuqi	680.0 170.0 24.5 220.5 47.0 139.0 203.0	$\begin{array}{r} 34.26\\ 36.59\\ 39.35\\ 36.00\\ 36.50\\ 38.48\\ 43.85\end{array}$	108.90 109.40 97.45 103.85 101.65 106.27 87.55
Korea	Kyonggi Kyongsangnam Kyongsangnam Chungchongnam	54 55 56 57	Seoul Pusan Taegu Taejon	341.5341.5341.5341.5341.5	37.55 35.10 35.85 36.33	127.00 129.00 128.55 127.40
Taiwan	Northern Southern	58 59	Taipei Gaoxiong	346.5 346.5	25.05 22.60	121.48 120.25
Hongkong	Hongkong	60	Hongkong	144.0	22.35	114.20
India	Asam Bihar	61 62	Nongpo Kishanganji	121.0 514.0	26.20 26.30	91.80 88.00
Thailand.	Kohlat	63	Uttaradit	507.0	17.00	102.00
Philipine	Luzon Island	64	Manila	351.0	14.50	121.00
North Korea	Western Eastern	65 66	Pyongyang Hamhung	346.5 346.5	39.00 39.50	125.50 127.50
Japan	Kita-kyushu Minami-Kyushu Chugoku-1 Chugoku-2 Hanshin Chubu Tokai Keihin Joetsu Hokkaido	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76	Kita-Kyushu Nobeoka Tokuyama Kurashoki Osaka Nagoya Shimizu Tokyo Niigata Tomakomai		$\begin{array}{c} 33.86\\ 32.58\\ 34.07\\ 34.57\\ 34.67\\ 35.17\\ 35.03\\ 35.67\\ 37.90\\ 42.67 \end{array}$	$\begin{array}{c} 130.80\\ 131.50\\ 131.80\\ 133.80\\ 135.52\\ 137.00\\ 138.52\\ 139.72\\ 139.04\\ 141.65\end{array}$
Russia	Fareast	77 78 79 80	Vladivostok Chavarovsk Komsomol'sk Juzino- Sachalinsk		43.00 18.00 50.50 47.13	$ \begin{array}{r} 132.00\\ 135.00\\ 136.80\\ 142.60 \end{array} $



Fig. 4.1 The location of observation stations of wet deposition and receptors to evaluate the calculated depositions.

所である。

計算による各地域における硫黄酸化物($SO_2 + SO_4^{2-}$)の年間沈着量を乾性沈着と湿性沈着量及び 両者の和を総沈着量として図4.2に示した。計算値は硫黄酸化物の沈着量を硫黄の量に換算して表 わしているが,モデルでは1時間に1%の割合で SO_2 から SO_4^{2-} への変質を考慮しており,汚染質 のトラベルタイムが長いこと,降水による SO_4^{2-} の沈着率は SO_2 のそれに対して3倍ほど大きいこ

-56-



Fig. 4.2 Calculated annual deposition of sulfur oxides reduced into sulfur element in various area of Japan.

となどから湿性沈着の殆どは SO4²⁻ である。図からも分かるように乾性沈着量は北九州が最も多く, 東へ行くに従い小さくなっている。しかし,新潟では東京,清水よりは僅かに多い。一方,湿性沈 着量は地域による差は殆ど見られず,乾性沈着量と湿性沈着量との比率は東に行くに従い小さくな り,大阪で同等となり,それ以東ではこの比率は逆転している。

この計算値に対応する実測による非海塩起源の SO4²⁻の湿性沈着量は図4.3に示されており、これも硫黄の量に換算した値である。実測データは環境庁によって1983年から5年間実施された「第 1次酸性雨対策調査」によるものである。調査地点は、長崎県(長崎市、大村市)、広島県(広島市、



Fig. 4.3 Observed wet deposition of sulfate reduced into sulfur element at various area of Japan.

庄原市),大阪府(大阪市,池田市),名古屋市(南区,名東区),東京都(江東区,武蔵野市),宮 城県(仙台市,大川原町),北海道(札幌市,鵡川町)であり,長崎から北海道迄の7都道府県で 都市域と田園域の2ヵ所ずつの計14地点で,モデル計算を行った地点と異なるところも含まれてい る。ここで引用しているデータは1985年4月から1986年3月迄の1年間の湿性沈着測定値であり, 図はこの期間の総沈着量と降水量である。測定値は都市域と田園域とに差の見られる地点が幾つか あるが,都市域では局地的な沈着,すなわち,都市域にある排出源からの寄与があることが考えら れる。全国的にみると降水量は西から東に行くに従い少なくなっている傾向がみられるが,しかし, 湿性沈着量には地域的な差は見られない。これは計算結果にも見られることである。沈着量の評価 期間に3ヵ月のずれはあるが,計算と実測による湿性沈着量を比較してみると,平均的には計算値 は実測値より約1桁小さい。都市域とそれに隣接した郊外において沈着量の差があるなどから,測 定点近傍の排出源の影響も考えられるので,長距離輸送による広域にわたる沈着量の評価には調査 地点の代表性に留意する必要がある。

一方,上記の10地点におけるモデル計算による1985年の硫黄酸化物の乾性沈着,湿性沈着及び両 者の和を総沈着量としてそれぞれの月変化を硫黄の量に換算して図4.4に示した。乾性沈着量は総 体的に西から東の地域へ順次少なくなっており,このことは汚染質が平均的に見て西から東に輸送



Fig. 4.4 Calculated monthly depositions of sulfar oxides at various area of Japan.

-58-

されていることを示唆している。特に西の地域では冬季に高く,夏季に低い値を示しているが,こ の傾向は東に向かうに従い薄れて行き,東京,新潟,苫小牧では月変化は殆ど見られず,年間を通 じてほぼ一定に近い。また総沈着量に対する湿性沈着量の割合は西の地域ほど小さい。西の地域で は乾性沈着量が多く,湿性沈着量と同等であるが,これに対して東の地域では乾性沈着量が少なく, 総沈着量の殆どは湿性によるものである。この傾向は日本国内の排出源を入れた計算では,沈着量 評価地点近傍の排出源の寄与によって異なってくると考えられる。しかし,本研究の対象とした年 ではないが,島根県衛生公害研究所によって1988年6月から1990年5月までの2年間に測定された 非海塩起源の SO4²の湿性沈着量のデータ(山口,1991)の中で日本海に面した測定点として隠岐 島西郷,日御碕,江津における2年間平均の月別降水量(a)と沈着量(b)を参考データとして 図4.5に示した。沈着量の月別変化を見るとどの地点も1月が最も多い。特に隠岐島西郷では1月 の最大値から最低値を示している6月まで次第に減少している。9月はどの測定点でも湿性沈着量 が僅かに多くなっているが,この月は前後の月に比べて降水量も圧倒的に多い。



Fig. 4.5 Observed monthly precipitation (a) and wet deposition of sulfate(b) at Saigoh, Hinomisaki, and Gotsu, Shimane Prefecture. (From Yamaguchi, 1991).

-59-

前にも述べたように本輸送モデルの移流・拡散にはラグランジュ粒子法を適用しており、リセプ ターオリエンテッドモデルの性格も併せ持っている。従って、ある地域の沈着量に寄与している排 出源を辿って行くことが可能である。ここでは10地域の中で沈着量が最も多かった北九州地域に及 ぼしている排出源を冬季(1月)と夏季(7月)に分け、それぞれの季節における乾性沈着及び湿 性沈着について調べた。図4.6は北九州地域の乾性沈着に寄与している各排出源の寄与率を示した ものである。(a) は冬季であり、(b) は夏季についてのものである。横軸の数値は排出源番号を 示しており、これは表4.1の番号に対応しているが、顕著な寄与を示している排出源には地域名を 記した。冬季では京城(Seoul,韓国)の寄与が圧倒的に大きく30%強を占めている。次いで鞍山 (Anshan、中国)、平壌(Pyongyang)、咸興(Hamhung、北朝鮮)等の寄与が見られる。これらの 排出源は北九州地域から見ると冬季の季節風の風上に位置している。夏季では上海(Shanghai)、 南京(Nanking)、無錫(Wuxi、中国)、京城(Seoul)、大田(Taejon、韓国)、台北(Taipei、台湾)



Fig. 4.6 Contribution rate to dry deposition at Kita-kyushu area originated from foreign emissions.

等からの寄与が見られる。夏季では南西方向に位置する排出源からの寄与が現れてくる。7月の上 旬は夏季の典型的な太平洋高気圧が出現しており、これらの排出源からの寄与は汚染質が高気圧の 縁を輸送されて来たものであろう。一方、7月の下旬には台風7号が本邦の南海上を迷走しており、 韓国からの寄与は台風の影響によるものと思われる。

湿性沈着については図4.7に示されているように寄与率は小さいが,多数の排出源からの寄与が ある。夏季では釜山(Pusan),大邸(Taegu),大田(Taejon,韓国),石家荘(Shijiazhuang),武 漢(Wuhan),貴阻(Guiyang),西安(Xian,中国)等で,冬季では上海,南京,韓国の各都市か らの寄与がある。湿性沈着の場合は移流・拡散の他に降水が関与し,降水域においてのみ大気中の 汚染質が沈着するために輸送・沈着過程が乾性沈着の場合より複雑である。

これらの寄与率は1985年の冬季と夏季のそれぞれ1ヵ月について考察したものであり、平均的な 冬季及び夏季におけるものを代表しているものではない。



Fig. 4.7 Same as Fig. 4.4, but for wet deposition.