

II-441 冬期日本海上で生成する雪雲が酸性物質の生成・輸送に及ぼす影響

一 数値モデルによる研究 一

豊橋技術科学大学

(学生会員) P.C.-S. Lee、

(正会員) 北田敏廣、

九州大学応用力学研究所 (正会員) 植田洋匡

1. 序

過去数年間に行ってきた酸性雨/酸性雪輸送モデルに関する研究および冬期に日本海上で生成する雪雲に伴う酸性物質の輸送に対するモデルの適用についてまとめを述べたい^{1)~4)}。

2. 想定した状況

西高東低の冬型気圧配置の下で、大陸の冷気が暖かい日本海上を吹走するとき、海面から水蒸気を供給され雪雲を生成することは良く知られている。この雪雲の生成にともなって大陸起源の汚染質がどの程度酸性物質に変換され得るかを調べた。

Rutledge & Hobbs (1986) が北米の寒冷前線に伴って現れる狭い幅の雨域(やや大きな上昇流)を解析するのに用いた雲物理モデルと我々の開発した酸性雨/酸性雪モデル^{1)~4)}を結合し、図1のモデル領域を対象にして数値解析を行った。図1の二次元領域を日本海上移動する空気塊に見立てたものである。

3. 結果

午前8時から始めて午後8時まで12時間分のシミュレーションを雲なしの場合(ケースD0)と雲生成を伴う場合(ケースD1)について行った。ただし、流れ場はD0, D1いずれも同じものを用いている。

(濃度分布)

雲水の中で化学的に生成しない物質であっても、雲が生じ降雪があることによってその濃度分布が大きく変えられる。例えば、図2は気相の HNO_3 濃度の鉛直分布を示すが、雲、降雪のある場合の方(D1)がむしろ雲底より下層で高濃度となっている。溶解性の高い HNO_3 を雲がフィルターし、雲粒子が成長して生じる雪によって下層に戻され、さらに雪の蒸発とともに再び気相にもどる過程のためと考えられる。このことは、液相生成もする SO_4^{2-} もむろん同じであって図3に示す高度Z以下に存在するdry- SO_4^{2-} の総量の鉛直分布が、この物質のほとんどが雲層のある高度1.6km程度以下にあることを示している。すなわち、本研究で対象としたような弱い対流雲の生成する場合には、汚染物質が雲層の下にトラップされる可能性を示す。

(物質収支)

表1にケースD0(雲なし)とD1(雲あり)の場合の物質収支(NO_y, SO_x)を示す。表より、以下の事が分かる。(1)12時間で SO_x 総量の40.6%が SO_2 の乾性および SO_4^{2-} の湿性沈着により大気中から取り除かれる;(2)このうち湿性沈着の割合は全沈着量の約10%である;(3) SO_4^{2-} の沈着はほとんどが降雪によるものである;(4)12時間で NO_y 総量の27%が乾性、湿性沈着により大気中から取り除かれる;(5)ケースD1の沈着量はケースD0(雲なし)のその2.6倍である。

($\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ および $\text{NO}_x \rightarrow \text{NO}_3^-$ or HNO_3 酸化)

表1を用いて領域一時間平均的な $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ 変換速度を推定できる。 SO_2 の領域内存在量、時間蓄積沈着量を用いると、D0の場合 $k=0.0125 \text{ h}^{-1}$ 、D1の場合 $k=0.0156 \text{ h}^{-1}$ となり、雲生成がある場合

(D1)、変換速度が約25%増となった。なお、この増加をもたらした雲水相のS(IV)酸化化学反応の寄与率は、 H_2O_2 によるものが 77.4%, O_2 (Fe^{3+} , Mn^{2+} 触媒)が 21.1%, O_3 が 1.5% であった。初期の気相の H_2O_2 濃度レベルは約 0.6~1.0ppb である。

$NO_3^-+HNO_3$ の場合は事情が異なり、雲ありの場合 (D1)、12時間後の $NO_3^-+HNO_3$ 生成総量が、逆に、雲なしの場合 (D0) の29.9moleから24.3moleへ約19%減少した。液相での NO_3^- 生成は無視できるものとしてモデルには含まれていないため雲生成による光量の減少のみが反映されているものと考えられる。

4.文献

(1) Kitada, Lee, Ueda: Air Pollution Modeling and Its Application VIII, Plenum Press, 521-529 (1991). (2) Kitada, Lee, Ueda: Proc. 2nd IUAPPA Regional Conf. on Air Pollution, Vol. 2,87-94 (1991). (3) & (4) Kitada, Lee et al.: Numerical modeling of long range transport of acidic species in association with meso- β -convective-clouds across the Japan Sea resulting in acid snow over coastal Japan: I. Model description & II. Results and discussion, Atmos. Environ. (submitted for publication) (1992).

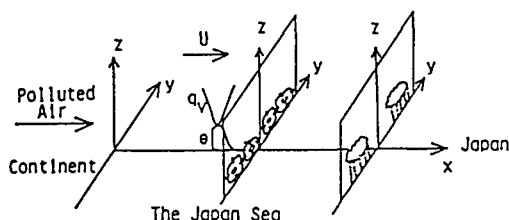


Fig. 1 Schematic diagram of the 2-D calculation domain for a pair of convective cloud streets over the Japan Sea in mid-winter.

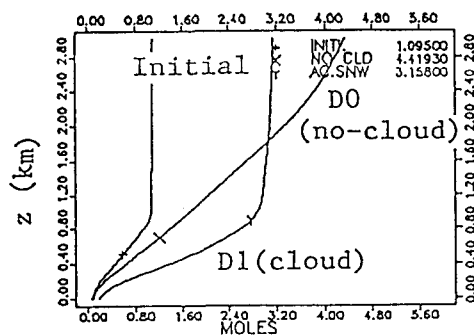


Fig. 3 Vertical profiles of dry SO_4 mass integrated over altitudes of 0 to z (km) at the 12th hr.

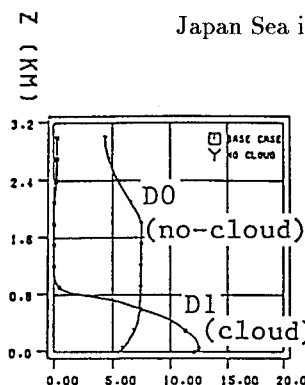


Fig. 2 Vertical profiles of gaseous HNO_3 (ppb) at $y=10.5$ km at the 12th hr.

Table 1 Mass Budget of SO_x and NO_y within 2 pairs of Roll Vortices (R.V.)(in moles)

Case	Total mass within 2 pairs of R.V.(gas)			Total mass within 2 pairs of R.V.			Accumulated depositions			Total
	NO	PAN	SO_2	$(cld)NO_3^-$	SO_2	SO_4^{2-}	HNO_3+	SO_2	SO_4^{2-}	
	NO_2	HNO_3	SO_4^{2-}	$(snw)NO_3^-$	SO_2	SO_4^{2-}	NO_3^- Dry	Dry	Dry	NO_y
	HNO_3	NO_3^-	*% w.r.t. total SO_x, NO_y				NO_3^- Wet	Wet	Wet	
0 HIR	23.79	0.35	29.20	-	-	-	-	-	-	30.30
Initial	30.06	0.09	1.10	-	-	-	-	-	-	60.85
Tot.	5.97	0.52								
D0	12.78	1.68	22.98	-	-	-	2.56	4.33	0.01	30.286
6 HIR	20.46	0.07	2.97	-	-	-	-	-	-	60.816
	22.53	0.62					$\Sigma 4.21\%$	14.29%	0.03%	
12 HIR	-	2.21	18.88	-	-	-	6.23	7.00	0.02	30.286
	21.98	0.04	4.38	-	-	-	-	-	-	60.816
	29.59	0.53					$\Sigma 10.24\%$	23.10%	0.07%	
D1	13.12	1.45	20.05	0.105	0.03	0.07	3.33	7.21	0.02	30.294
6 HIR	27.72	0.06	2.44	1.11	0.01	0.183	2.15	0.005	0.269	60.858
	11.26	0.41		$\Sigma 2.01\%$	0.13%	0.83%	9.00%	23.81%	0.95%	
12 HIR	-	1.82	14.48	0.115	0.03	0.05	8.08	11.12	0.05	30.294
	27.92	0.07	3.16	1.27	0.007	0.256	8.32	0.020	1.12	60.858
	12.77	0.20		$\Sigma 2.28\%$	0.12%	1.01%	26.95%	36.77%	3.86%	