

C-4 東アジアにおける酸性・酸化性物質の制御対策とその評価に関する研究

(1) 東アジアにおける酸性雨原因物質の排出量及び発生量分布の将来予測に関する研究

研究代表者 国立公衆衛生院 溝口 次夫

厚生省 国立公衆衛生院

地域環境衛生学部

溝口 次夫、後藤 純雄、渡辺 征夫

埼玉大学工学部

坂本 和彦、奥山 正喜、君山 克憲

環境庁 国立環境研究所

地球環境研究グループ

秋元 肇

村野健太郎・畠山史郎

平成3-5年度合計予算額 27,077千円

(平成5年度予算額 8,943千円)

[要旨] 東アジア各国の酸性雨の被害を防止するためには、その原因物質であるSO₂、NO_xおよびそれらの酸化を軽減するCO、中和成分であるNH₃などの関連物質の発生量の現状を正確に把握し、正しい将来推定を行なうことが重要である。アジア各国の人為起源SO₂、NO_xの国別、州省別排出量データをもとに1975、1980、1987年における緯度・経度1°×1°のグリッドデータを作成した。各グリッドへの排出量の分配にあたっては、エネルギー転換部門、工業部門、その他工業、非鉄金属精錬所等の位置をできる限り同定し、同定しきれない部分及び運輸部門、民生部門については都市人口の分布に基づいて配分を行なった。ソ連アジア地域について、各地域毎のエネルギーバランス表を入手しその整理を行った。乳用牛、肉用牛、豚、肥料に関して、各グリッド毎のNH₃放出量を求めた。これらの国内の総放出量はそれぞれ4.6、6.0、4.4、4.9×10⁴ton/年であった。文献の排出係数を持ちいて、中国の石炭利用におけるCOの排出量を見積もった。商業や家庭での利用、すなわち民生用の利用は1988年の全石炭消費量の約22%しか占めていないが、それから排出されると推定されるCOの量は全体の89%にも達していた。

[キーワード] 発生源インベントリー、二酸化硫黄、窒素酸化物、アンモニア、一酸化炭素

1. 序

東アジアはヨーロッパ大陸、北米大陸に次いで酸性雨の原因物質であるSO₂、NO_xの排出量が多い地域である。しかも韓国と共にわが国へ直接酸性雨の影響をおよぼす可能性が最も大きい中国は現在既にSO₂の排出量はわが国の十数倍以上となっており、今後の経済発展を考えるとすでに看過できない状態になっている。わが国を含めた東アジア各国の酸性雨の被害を防止するためには、その原因物質であるSO₂、NO_xおよびそれらの酸化を軽減するCO、中和成分であるNH₃などの関連物

質の現状を正確に把握し、正しい将来推定を行なうことが重要である。特にNH₃は酸性雨のpH低下に対して緩衝作用をもつが、地表に達したのち硝酸にまで酸化される際に土壤中にH⁺を供給することから、土壌肥沃度の指標である塩基飽和度を低下させる懸念もある。

2. 研究目的

本研究の最終目標は、東アジア各国からのSO₂、NO_x、CO、NH₃などの排出量を地域別等にできるだけ正確に将来予測をおこなうことである。予測データは、わが国を含めた東アジア全域の酸性雨の被害を防止するためのシュミレーション等に有効に利用できる必要がある。それらのために研究は次の順序で行なう。

- (1) 中国、韓国その他東アジア各国からのSO₂、NO_xの排出量の現状を把握する。
- (2) (1)のデータをシュミレーションモデルに利用するためグリッドデータとする。
- (3) 日本国内のNH₃の発生量をグリッド別に求める。
- (4) 中国における石炭からのCO排出量の推定を行う。

3. 結果と考察

(1) 中国、韓国からのSO₂、NO_xの排出量の把握

韓国は1965年以来、急速に経済発展を遂げており、近年それに伴うエネルギー消費量は著しく増大し、1989年には1965年当時の6倍以上にも達している。韓国における石炭や石油の使用によるSO₂やNO_xの排出状況を調べた。表1には米国のEPAで求められている排出係数を使用して算出されたSO₂やNO_xの排出量を地域別に、燃料種ごとにさらに燃料の利用形態別に整理した。1981年から燃料の低硫黄化がすすめられ、大都市では低硫黄燃料の供給が開始され、さらに1987年には自動車排ガス規制が強化された。そのため、一時的にこれらの対策によりSO₂とNO_xの排出量またはその増加率は低下したが、最近では工業および輸送産業からのSO₂、工業および発電関連によるNO_xの排出量が増加しつつある。

中国ではSO₂排出量の90%以上が石炭燃焼起因であるが、その排出量の推定値は約1,500(基準年:1990)、1,600(1989)、1,800(1989)、2,000(1990)万トン/年とかなり大きくくい違っている。表2にこれらの推定値を直轄都市および省別に、NO_xの排出量データとともに示した。この表を見た場合に、特に大きくくい違っている地域がかなりあるが、その中に石炭使用量が多く、かつ硫黄含有率の高い石炭を使用している地域がある。たとえば、四川省がその例に当たる。この相違の原因は、中国側の統計データではいずれも標準炭を利用し、その硫黄含有率は1.12%、燃焼による排出率は64%と仮定しているところにあると推定される。このような仮定に基づいて見積もった場合に、硫黄含有率の高い石炭を大量に使用する所ほど真のSO₂排出量より低く見積もられることになると思われる。

(2) SO₂、NO_xのグリッドデータの作成

アフガニスタン、パキスタン以東のアジア各国における人為起源 SO₂、NO_xの国別、州省別(インド・中国)排出量データをもとに1975、1980、1987年における緯度・経度1°×1°のグリッドデータを作成した。各グリッドへの排出量の分配にあたっては、エネルギー転換部門、工業部門については火力発電所、鉄鋼業、化学・石油化学工業、その他工業、非鉄金属精錬所等の位

表1 韓国における石炭と石油の消費によるSO₂とNO_xの排出量とその利用形態別排出量の地域分布(1990) SO₂ (単位:10³ ton/year)

地域	燃料種別		利用形態別			合計	
	石油	石炭	暖房	工業	輸送		発電
Seoul	60	78	98	20	17	3	138
	(62)	110	131	16	9	15	172)
Pusan		90	24	23	40	4	90
	(40)	27	29	21	15	2	67)
Taegu		40	22	14	4	0	40
	(14)	19	25	7	2	0	34)
Inchon		86	14	33	36	4	86
	(24)	16	15	18	2	5	41)
Kwangju		16	11	2	2	0	16
	(-	-	-	-	-	-	-)
Kyonggi		156	32	95	11	18	156
	(58)	22	27	45	5	4	80)
Kangwon		105	16	62	6	21	105
	(15)	68	14	41	5	23	82)
Chungbuk		56	12	42	3	0	56
	(8	30	12	23	4	0	38)
Chungnan		103	15	24	3	60	103
	(15)	73	21	10	3	55	88)
Chonbuk		69	12	42	3	0	69
	(14)	15	15	10	2	1	29)
Chonnam		194	13	128	15	38	194
	(31)	37	22	20	8	17	68)
Kyongbuk		251	20	208	24	0	251
	(33)	175	19	180	9		208)
Kyongnam		277	30	104	22	122	277
	(67)	60	26	39	16	46	127)
Cheju		12	4	1	1	5	12
	(5	2	3	0	1	2	6)
Total	930	681	336	806	189	280	1,611
	(387)	653	359	431	81	170	1,041)

a) Numerical values of upper column were data for 1990^{b) c)} and those of lower column were data for 1987.^{d)} Value 0 indicates below 500 ton/year.

b) Annual Reports of Korean Environmental Statics 1991.

c) I.-S. Park, J.-G. Na, J.-S. and Kim, The Emission amounts of SO₂ and NO₂ in Korea, In Proceedings of International Symposium on Emission Inventory and Prevention Technology for the Atmospheric Environment, pp.103-118, March 24-25, 1992, Tsukuba, Japan.

d) Annual Reports of Korean Environmental Statics 1988.

表1 続き：NOx

(単位:10³ ton/year)

地域	燃料種別		利用形態別				合計
	石油	石炭	暖房	工業	輸送	発電	
Seoul			17	5	100	6	128
	(160	13	20	4	143	6	174)
Pusan			4	6	101	2	113
	(75	4	4	5	69	1	79)
Taegu			4	5	19	0	28
	(35	2	4	2	31	0	37)
Inchon			3	9	42	3	56
	(35	2	2	4	29	2	37)
Kwangju			2	1	11	0	14
	(-	-	-	-	-	-	-)
Kyonggi			7	16	57	7	87
	(126	2	5	11	110	2	128)
Kangwon			2	18	21	11	53
	(31	3	2	1	27	4	34)
Chungbuk			2	12	14	0	27
	(26	1	2	1	25	0	27)
Chungnam			2	3	16	30	88
	(46	4	3	2	42	2	50)
Chonbuk			3	62	32	0	27
	(32	2	2	2	29	0	34)
Chonnam			5	17	58	51	88
	(66	2	3	4	60	1	68)
Kyongbuk			3	63	32	0	98
	(57	2	3	6	51	0	59)
Kyongnam			5	17	58	51	132
	(98	2	4	10	84	2	100)
Cheju			1	0	8	2	11
	(10	0	0	0	8	1	10)
Total			58	203	535	129	926
	(796	41	54	52	709	22	796)

a) Similar with a) indicated in Table 1(1).

置をできる限り同定し、同定しきれない部分及び運輸部門、民生部門については都市人口の分布に基づいて配分を行なった

図1、2はそれぞれSO₂及びNOxの1987年における1°×1°グリッド排出量をGgS/yr、GgN/yr単位で階層にわけ、図示したものである。図1にみられる様にSO₂の排出強度の大きいグリッド

表2 中国における直轄都市および省別のSO₂とNO_x排出量

	SO ₂ (10 ⁴ ton/year)			NO _x (10 ³ ton/year)
	1987 ^{a)}	1989 ^{b)}	1990 ^{c)}	1987 ^{a)}
1. Beijing	40	34	34	240
2. Tianjin	32	24	22	173
3. Hebei	93	90	89	450
4. Shanxi	67	97	78	282
5. Neimenggu	49	49	53	168
6. Liaoning	100	105	98	538
7. Jilin	27	28	26	193
8. Heilongjiang	49	32	32	328
9. Shanghai	105	39	42	477
10. Jiangsu	201	102	100	609
11. Zhejiang	61	47	47	290
12. Anhui	52	41	38	240
13. Fujian	25	13	12	109
14. Jiangxi	39	32	30	141
15. Shangdon	175	189	193	497
16. Henan	98	68	49	396
17. Hubei	62	62	56	284
18. Hunan	48	58	55	240
19. Guandong	72	42	40	346
20. Guanxi	36	59	60	101
21. Sichuan	261	150	148	404
22. Guizhou	65	54	50	94
23. Yunnan	70	23	23	124
24. Xizang	0	0	0	3
25. Shaanxi	102	62	59	198
26. Gansu	25	35	35	115
27. Qinghai	4	3	3	28
28. Ningxia	14	11	13	39
29. Xinjiang	19	15	16	87
30. Hainan	-	1	1	-
Total	1,983	1,564	1,494	7,265

a) N. Kato and H. Akimoto, Atmos. Environ., 26A, 2997(1982).

b) Annual Reports of Chinese Environmental Statics 1990.

c) W.-X. Wang, Q. Shi, and Y.-H. Shu, SO₂ emission and its control in China, In Proceedings of International Symposium on Emission Inventory and Prevention Technology for the Atmospheric Environment, Supplement, pp.43-53, March 24-25, 1992, Tsukuba, Japan.

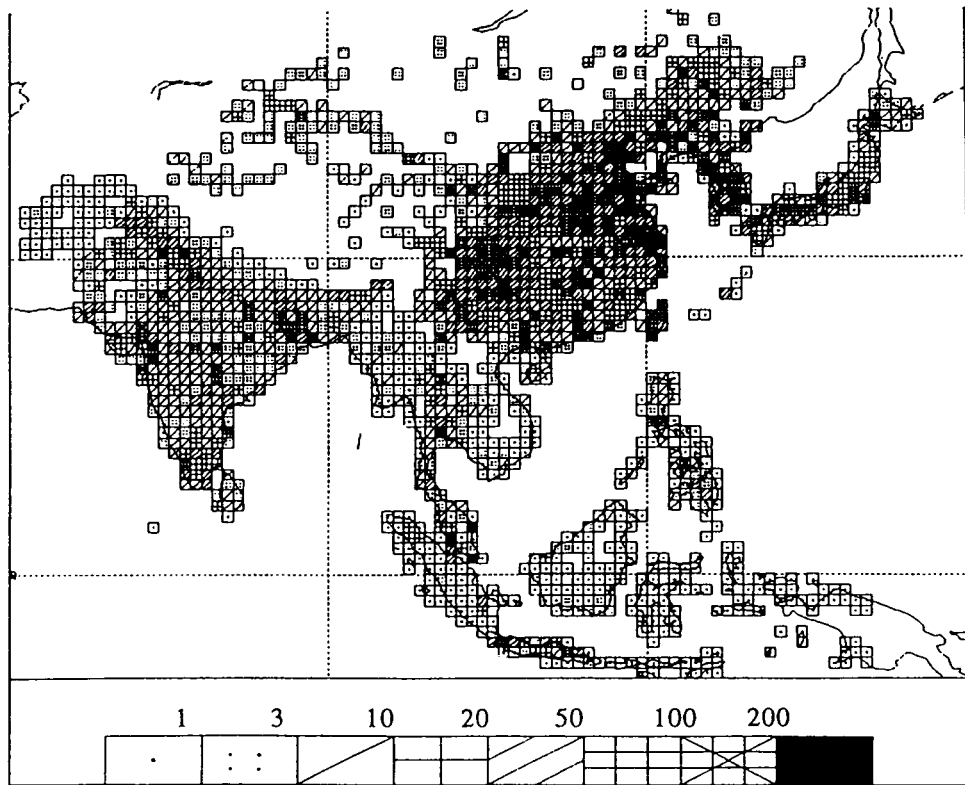


図1 1987年のグリッド別SO₂発生量 (GgS/yr)

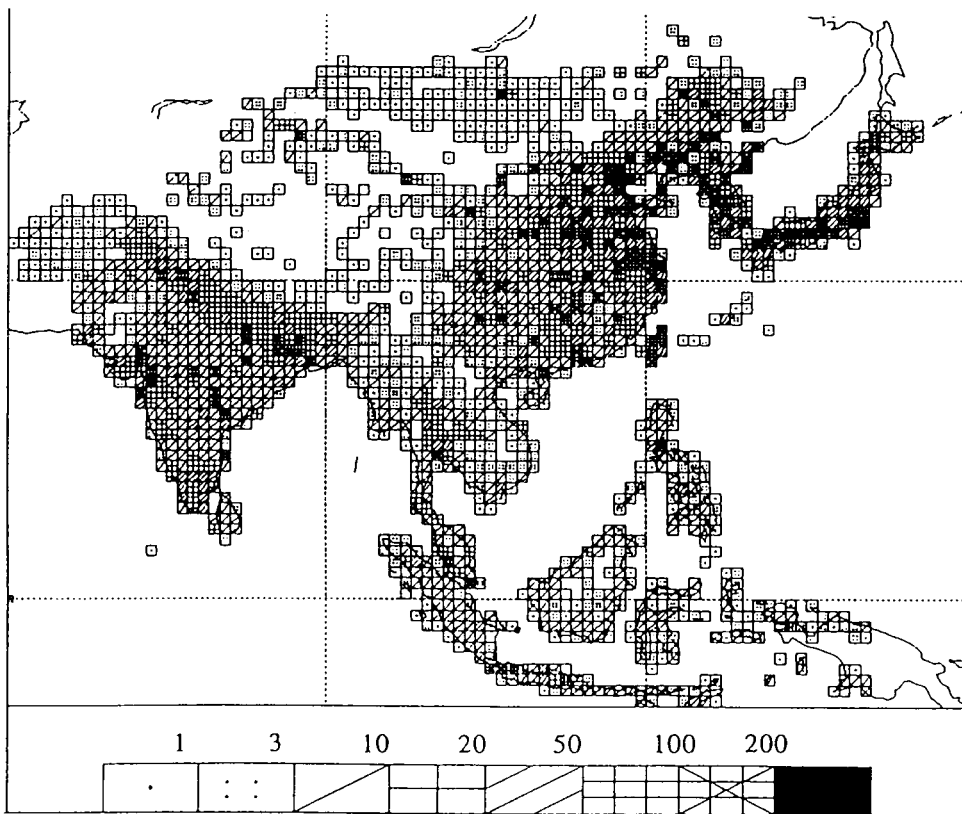


図2 1987年のグリッド別NO_x発生量 (GgN/yr)

は中国東部（特に黄海・東シナ海沿岸）、中国内陸部、台湾、韓国に分布している。中国東部ではSO₂排出強度100 GgS/yr以上のグリッドは、チチハル、沈陽、大同、北京、天津、唐山、瀋陽、勝利、西安、徐州、南京、蘇州、上海、武漢等の都市にみられる。それ以外では四川省及び貴州省の成都、重慶、貴陽等の都市が100 GgS/yr以上の排出強度を持っているが、これらは中国で最初に降水の酸性化が報じられた地域である。中国大陸以外では台湾の高雄、韓国のソウル、釜山/ウルサン、タイのバンコク等が100 GgS/yr以上の排出強度を示している。我が国では1975年には東京及び瀬戸内海岸でSO₂の排出強度が100 GgS/yrを超えていたが、図にみられる様に1987年にはすべてのグリッドが50 GgS/yr以下である。上に挙げた地域に次いで、50 GgS/yr以上の高排出量のグリッドは台湾北部（台北、台中/新竹）、フィリピンのマニラ、インドのボンベイ、アーメダバード及びシンガポール等にみられる。

図2に示されたNO_xの分布にはSO₂の分布と比較して類似はしているが、いくつかの立った違いがみられる。最も大きな違いとしては、我が国のいくつかのグリッドにおけるNO_xの排出量がきわめて大きいことと、中国内陸部の高SO₂排出グリッドのNO_x排出量がSO₂に比べてはるかに小さいことが指摘される。これは我が国のNO_x排出抑制の努力がエネルギー消費量の増加に追い付いていないため、及び中国内陸部においては石炭中の硫黄含量が高いためエネルギー消費量に比べて、SO₂の排出量が大きいためである。NO_xの排出強度がアジアで最も高いのは東京のグリッドで、年間排出量100 GgN/yrを超えている。これに次いで、排出強度50 GgN/yr以上のグリッドは大阪、北京、大同、上海にみられる。

東アジアにおける酸性物質沈着についてのモデル計算を行うに当たってはアジアロシアからのSO₂、NO_xのエミッションの影響を考慮する必要がある。このため、これまでロシアを除くアジア25ヶ国について行ってきたSO₂、NO_xについてのエミッションインベントリーの手法を旧ソ連アジア地域について適用することを試みた。各経済セクター毎、燃料種毎のエネルギーバランス表を基に、それぞれに仮定されたエミッションファクターを乗ずることによって、これら大気汚染物質の排出量を算出する方法を用いた。この方法の利点はその基本を信頼性が比較的高いと思われるエネルギー統計に置いていること、および燃料中の硫黄分の割合、エミッションファクターを仮定することにより、各国について整合性のとれた共通の手法で排出量を見積もることが出来る点

表3 旧ソ連アジア地域における燃料別エネルギー消費量（単位：TOE）

	石炭	石油	ガス	合計
極東	13,483	14,178	1,869	29,529
東部シベリア	23,211	10,307	3,413	36,932
西部シベリア	25,348	15,331	34,575	75,254
トルクメニスタン	465	1,810	4,526	6,801
タジキスタン	310	1,774	1,004	3,088
キルギスタン	1,568	1,898	1,210	4,675
ウズベキスタン	3,222	8,618	18,624	30,463
カザフスタン	25,041	17,028	7,810	49,879
合計	92,647	70,944	73,031	236,672

にある。旧ソ連アジア地域について本手法を適用するに当たって必要な、各地域毎のエネルギーバランス表を入手しその整理を行った。統計の基本となる地域は極東、東部シベリア、西部シベリア、トルクメニスタン、タジキスタン、キルギスタン、ウズベキスタン、カザフスタンの8地域である。表3はこれら8地域における燃料別エネルギー使用量をまとめたものである。表3に見られるように旧ソ連アジア地域全体では、石炭、石油、ガスの消費量はそれぞれ全エネルギー消費量の約3分の1ずつであるが、地域別にはそれぞれの消費量は非常に偏っており、例えば東部シベリアやカザフスタンでは石炭の消費量が、西部シベリアやウズベキスタンではガスの消費量が多いのが大きな特徴である。極東では石炭および石油の消費量が大きいことが分かる。

(3) NH₃のグリッド別発生量

ヨーロッパにおいては牧畜が盛んなためNH₃の放出が大きく、またNH₄⁺として土壤に負荷されてからは土壤の酸性化をもたらすために、NH₃の発生量が精度高く得られている。これらのデータによると、牛、豚を始めとする家畜からの放出量と、肥料からの放出量が大部分を占めている。このため日本国内においても、おもに牛豚を始めとする家畜と肥料からの発生量の算出を試みた。

日本国内においては、県別、北海道においては支庁別のデータを得て、それをグリッド（緯度・経度1°×1°）に換算するのが適当であろうと考えた。このため牛豚の飼育頭数のデータを得た。また肥料に関しては、全国の使用量をもとにそれを作付面積で割って各県の肥料使用量とした。県別データをグリッド別データにするためには、陸地面積比を用いた。

ヨーロッパにおいては、牛、豚それぞれ一頭からの年間のNH₃の排出係数（エミッションファクター）が、それらの飼育状況にある程度考慮して決められている。日本の場合には、気温が高いため本質的にはヨーロッパの値より大きくすべきであるが、日本の場合には土壤層が厚いために地下深く浸透していきNH₃が変換を受ける確立も高くなるため、前者の正の効果と後者の負の効果 considering ヨーロッパのエミッションファクターをそのままの数字で第一次近似で使用した。すなわち、乳用牛、肉用牛は23.04、豚が5.36 NH₃ kg/animal/年である。

肥料に関しては、排出係数は欧州では硫酸アンモニウム、尿素がそれぞれ8、15%のNH₃として

	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	68	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	530	265	22	57	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	197	781	1541	761	379
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	384	325	655	1184	39	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	324	176	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	1063	952	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	1092	1803	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	432	2350	1231	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	29	239	1065	1770	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	212	560	1416	3028	1539	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	278	650	871	395	972	1145	806	751	942	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	227	44	521	770	969	1134	518	671	606	180	64	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	1011	1738	943	530	411	548	163	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	178	303	3199	3218	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	4544	1587	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	240	149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	686	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	390	245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	136	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図3 肉用牛によるNH₃のグリッド別放出量 (ton/year)

の揮散であるが、高度化成の詳細な化学組成のデータが無いため、これらの3種類に対して10%のNH₃揮散とした。

乳用牛、肉用牛、豚、肥料に関して、各グリッド毎のNH₃放出量を求めた。これらの全国規模の放出量はそれぞれ4.6、6.0、4.4、4.9 x10⁴ton/年であった。肉用牛による各グリッドからのNH₃放出量を、経度124~145 緯度24~46 にわたり図3に示した。

これまで述べたのは主に農業活動にともなうNH₃発生量であった。日本の場合には工業活動からのNH₃発生が考えられるため、自動車、火力発電所、下水処理施設について調査した。まず、ガソリン車の排出ガスにNH₃が含まれる可能性があるため、自動車メーカーの排出ガス対策について調べた。広く採用されているのはO₂センサ付き三元触媒システムといわれるもので、HC・CO・NO_xの浄化対策を目的とするものであるが、理論空燃比になるようにコントロールしているのでNH₃排出の可能性は少ない。

火力発電所のNH₃の放出の可能性を探るために、火力発電所の脱硝装置のメカニズムについて調べた。現在、最も多く採用されているのは選択接触還元法といわれる方法で、NH₃を還元剤として使っているが、NH₃の注入量はNO_xの量に応じて必要量を注入しているのでリークNH₃量はほとんどないと考えられた。さらに、下水処理施設からのNH₃の発生の可能性を、下水処理施設メーカーの設備について調べた。下水処理施設から発生するNH₃濃度は、脱臭装置を設置している場合には90%以上は除去されて大気に放散されている。ただし、施設から発生するNH₃の定量的なデータは無い。エアレーションタンクでは流入下水の約6倍の空気を吹き込んでいるので、ある程度のガスは大気へ放散される。しかし、その他の設備については、大気へ放散されるNH₃量は少ないことが示された。

(4) 中国における石炭からのCO排出量の推定

用途別の各燃料からのCO排出係数に注目してみると、石炭の場合は一般家庭や商業、農業等で使用される場合の排出係数が著しく大きい。これ以外でCOの排出係数が特に大きいものは輸送用

表4 中国における利用形態別石炭消費量^{a)}と部門別CO排出量^{b)}の見積り

部 門	1980		1985		1988	
	石炭消費量	CO排出量	石炭消費量	CO排出量	石炭消費量	CO排出量
工 業	334	334	425	425	495	495
発 電	123	62	175	88	252	126
輸 送	24	552	26	598	24	552
商業/家庭	126	5,670	191	8,910	212	9,540
合 計	607	6,618	815	10,021	983	10,713

a) Coal consumptions for four consumption sectors were obtained from the literature (Using efficiency of coal and its environmental effects in China, Vol. 1, 1990).

b) CO emission factors for each use used in this estimation were indicated in the reference (Cullis and Hirscher, Atmos. Environ., 24A, 1153(1990)).

燃料としての石炭の鉄道による使用である。表4はCullisら(1990)の排出係数をもちいて、中国の石炭利用におけるCOの排出量を見積もったものである。ここに示した結果は商業や家庭での利用、すなわち民生用の利用は1988年の全石炭消費量の約22%しか占めていないが、それから排出されると推定されるCOの量は全体の89%にも達している。一方、石炭の消費量としては約50%となっている工業的な利用からのCO排出量は、わずかに5%程度である。これらの事実は石炭からのCO排出量の抑制には民生用の石炭の利用を減少させること(暖房のための集中供熱やガス化)や家庭等での利用時の燃焼効率の改善が極めて有効であることを示唆している。

なお、現在は中国全体としては自動車の普及率は低いが、今後はモータリゼーションの発達による石油利用による輸送関連のCO排出増大が考えられるため、石炭燃焼以外からの排出にも注目する必要がある。

国際共同研究等の状況

1) 「東アジアにおける酸性雨モニタリングとSO₂、NO_xのエミッション・インベントリー手法の統一に関する国際ワークショップ」を1993年1月27～29日と1994年1月25～27日に国立環境研究所で開催し、中国、台湾、韓国よりの研究者の参加があった。

2) IGAC/APARE(東アジア・北太平洋地域研究)及びIGAC/GEIA(グローバル・エミッション・インベントリー活動)

第1回IGAC科学コンファレンスが1993年4月18-22日にイスラエルのエラートで開催されたので、これに参加して当研究成果の一部を発表した。

研究発表の状況

論文

1) N.Kato and H.Akimoto, Anthropogenic Emissions of SO₂ and NO_x in Asia; Emission Inventories, Atmos. Environ. 26A, 2997-3017, 1992.

2) H.Akimoto, S.C.Liu and D.D.Davis, Atmospheric chemistry of the East-Asian Northwest Pacific Region. First IGAC Scientific Conference, Eilat, Israel, April 18-22, 1993. (Proceedings in press)

3) H. Akimoto and H. Narita, Distribution of SO₂, NO_x and CO₂ Emissions from Fuel Combustion and Industrial Activities in Asia with 1° × 1° Resolution, Atmos. Environ. 28A, 213-225, 1994.

講演

1) 秋元 肇、加藤信夫、アジアにおける人為起源SO₂、NO_xのエミッション・インベントリー、第33回大気汚染学会(大阪)(1992年12月)

2) 秋元 肇、成田博仁、アジアにおける人為起源SO₂、NO_x、CO₂の分解能1° × 1°でのエミッション分布、第34回大気汚染学会(千葉)(1993年12月)

3) 村野健太郎、畠山史郎、溝口次夫、他、久芳奈遠美、岡田誠、アンモニア発生フラクスマップの作成(1)、第34回大気汚染学会(千葉)(1993年12月)