

C-1 東アジア地域の大気汚染物質発生・沈着マトリックス作成と国際共同観測に関する研究

(2) 東アジア地域の大気汚染物質発生源インベントリーの精緻化に関する研究

独立行政法人 国立環境研究所 大気圏環境研究領域 村野健太郎

埼玉大学 経済学部

外岡豊

財団法人 計量計画研究所

神成陽容

平成 11～13 年度合計予算額 41,805 千円

(うち、平成 13 年度予算額 12,859 千円)

[要旨]

東アジア地域を対象として、多成分の大気汚染物質発生源インベントリーを開発した。このインベントリーは、硫黄酸化物・窒素酸化物による大気汚染・酸性雨の実態解明を進めている内外の研究活動に対して、数値シミュレーションに用いる正確な発生源入力データを提供することを目的としている。インベントリーの主な諸元は、①対象地域：中国・台湾・韓国・北朝鮮・モンゴルおよび日本、②対象年度：1995 年、③対象物質：SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃、④対象発生源：人為起源および自然起源（植物起源 NMVOC）、⑤地域単位：経緯度 1 度グリッドである。特に、中国はいずれの物質についても最大の排出国であり、他の国の風上国でもあることから重点的な推計作業を行った。

構築されたインベントリーは、内外の研究者に CD-ROM 版で配布する予定であり、広く利用されることを期待している。

[キーワード] 東アジア、発生源インベントリー、SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃

1. 研究目的

近年の東アジア地域における大気環境問題は、大都市内のローカルな大気汚染問題に加えて、国境を超えて輸送される大気汚染物質によるいわゆる越境大気汚染の重要性が認識されてきた。東アジア地域を対象として硫黄酸化物、窒素酸化物による大気汚染・酸性雨の実態解明を進めている内外の研究活動にとって、現況の発生源情報を把握することが重要な課題となっている。すなわち、サルフェート、ナイトレートの生成・輸送・除去といった各過程の解明のためには、大気化学反応過程を組み込んだ長距離大気輸送モデルによる研究が必要であり、その研究実施においては、信頼性の高い発生源インベントリーを入力データとして用いることが求められている。本研究では、原因物質である SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃ を対象として、表 1-1 を開発諸元とする東アジア地域発生源インベントリーを開発することを具体的目標とした。

東アジア地域のなかでも、中国はこれら大気汚染物質の大排出国であること、朝鮮半島・日本列島の風上国であることから発生源インベントリー整備の必要性が高い地域であり、本研究における重点国とした。また、NMVOC に関しては人為起源のみならず自然起源放出が

光化学反応系において重要であることから、植物起源NMVOCを推計対象に加えた。

表 1—1 東アジア地域発生源インベントリーの開発目標

項目	摘要
対象物質	SO ₂ , NO _x , NMVOC, NH ₃
対象発生源	人為起源、自然起源（植物起源 NMVOC）
対象地域	中国、韓国、北朝鮮、台湾、モンゴル、日本
空間分解能	緯度経度 1 度グリッド
時間分解能	年間値（植物起源 NMVOC については月別・昼夜別推計値）
推計年	1995 年

2. 研究方法

一般に、人工的な大気汚染物質排出量は排出をもたらす活動量と単位活動量あたりの排出原単位の積で表わされる。

$$\text{排出量} = \text{活動量} \times \text{排出原単位}$$

活動量の例としては、固定燃焼発生源における燃料消費量や自動車発生源における走行距離などが相当する。排出原単位は燃料消費量や走行距離あたりのある物質の排出量であり、多くの測定調査によって代表性が確認されていることが望ましい。

上記の排出量は、ある集計単位とする地域や活動種類について計算され、全活動種類についての排出量集計値が地域の排出量を与える。従って、排出原単位に関する知見、活動データの質・量が排出量推計の精度を左右する。東アジア地域の人為起源排出量推計においては、一般に地域固有の排出原単位データの蓄積に乏しいこと、活動量を与えるための基礎データである国・地域の統計資料が未整備のケースが多いことなどの問題があるため、それらの課題をクリアすることが必要である。本研究では、各年度毎に対象物質を設定して順次排出データベースを構築した。以下、各々の物質に関する研究方法を記す。

（1）中国における SO₂, NO_x 排出量

中国では、1998 年に発刊された『中国能源統計』によって省別エネルギー需給バランス表などの従来の統計資料より詳細なエネルギー需給統計資料が得られるようになった。本研究では、この新訂『中国能源統計』を用いた NO_x, SO₂ 排出量推計手法を開発し、推計精度の向上を図った。

推計手順は、以下の 3 つに大別される。

- 業種別の省別・燃料別詳細エネルギー消費実態の把握
- 省別 SO₂, NO_x 排出量の推計
- 都市活動指標と地理情報に基づく 1 度グリッド排出量の推計

以下、各手順を簡単に説明する。

①省別エネルギー需要マトリックスの推計

新訂『中国能源統計』では従来掲載されていなかった省別のエネルギー需給バランス表が得られる。省別エネルギー需給バランス表の項目は、縦が供給・需要 32 部門、横がエネルギー種類 20 種であり、燃料以外では電力、熱、その他エネルギーの 3 項目があげられている。しかし、バランス表では、最終エネルギー消費部門のうち工業についての業種内訳が得られていない。そこで、図 2-1 に示す手順で、独自に省別工業部門エネルギー消費の産業別内訳を推計することとした。最終的には 60 のエネルギー需要部門に細分したエネルギー需要マトリックスが得られた。この 60 部門が今回の排出量推計の発生源部門となる。エネルギー需要マトリックスの単位は実物量と標準炭(熱量)換算表とがある。SO₂排出量推計には実物量表を NO_x 排出量推計には換算表を用いた。

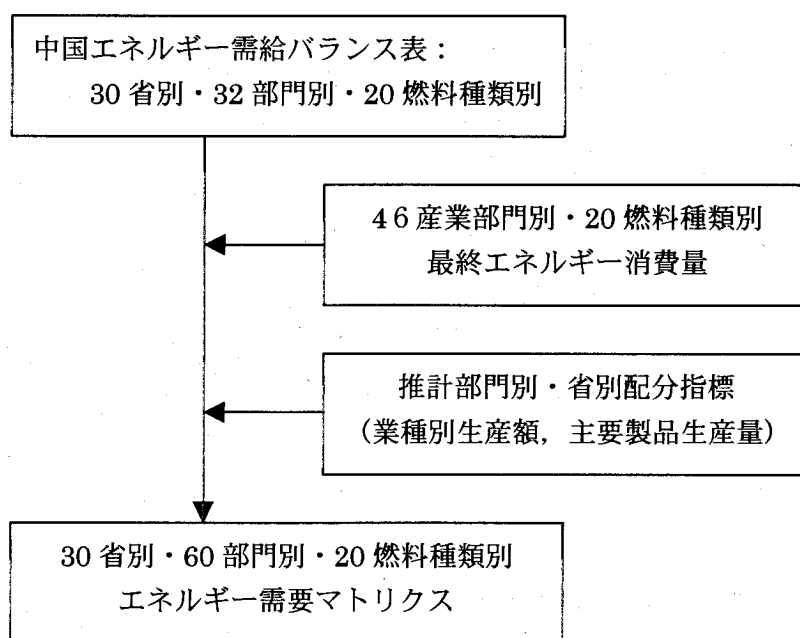


図 2-1 省別詳細エネルギー需要マトリックス作成手順

②SO₂排出量の推計手法

SO₂排出量の推計手法は東野等(1995)を基本的に踏襲した。推計手順を図 2-2 に示す。SO₂排出量は(1)式により計算した。SO₂排出量は燃料中硫黄含有率に依存する。石炭以外の燃料については燃料別に平均 S 分を設定した。石炭については産炭地と消費地の関係から省別に異なる S 分推定値を適用した。燃料中の S 分のうち大気に放出される割合(排出比率)を石炭については発生源部門別に設定した。この設定は EPA(1985)が基礎になっており、Spiro et al(1992)、科技庁(1991)、東野等(1995)の検討を踏まえて設定したものである。

$$E_{SO_2\ ijk} = 2 \cdot F_{ijk} \cdot S_{ijk} \cdot (1 - \alpha_{ijk}) \cdot (1 - R_{ijk}) \quad (1)$$

$E_{SO_2\ ijk}$: SO₂ 排出量

i : 年次
j : 地域 省及び特別市
k : 発生源種類（業種）
m : 燃料種

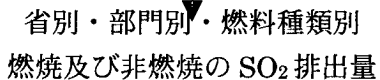


圖 2-2 省別／部門別・燃料種別 SO₂ 排出量推計手順

NOx 排出量の推計手法も東野等(1995)を基本的に踏襲した。推計式は(2)式による。基礎活動データは標準炭(低位発熱量)換算燃料使用量から換算した低位熱消費量である。標準炭 1 kg は低位発熱量 7000kcal、ジュールには 4.1868joul/cal で換算した。

ENox _{ijkm}	: NOx 排出量	GgNO ₂ /年
E _{ijkm}	: 熱消費量（低位発熱量）	TJ/年
EFNOx _{ijkm}	: NOx 排出係数	g/GJ（低位発熱量ベース投入）

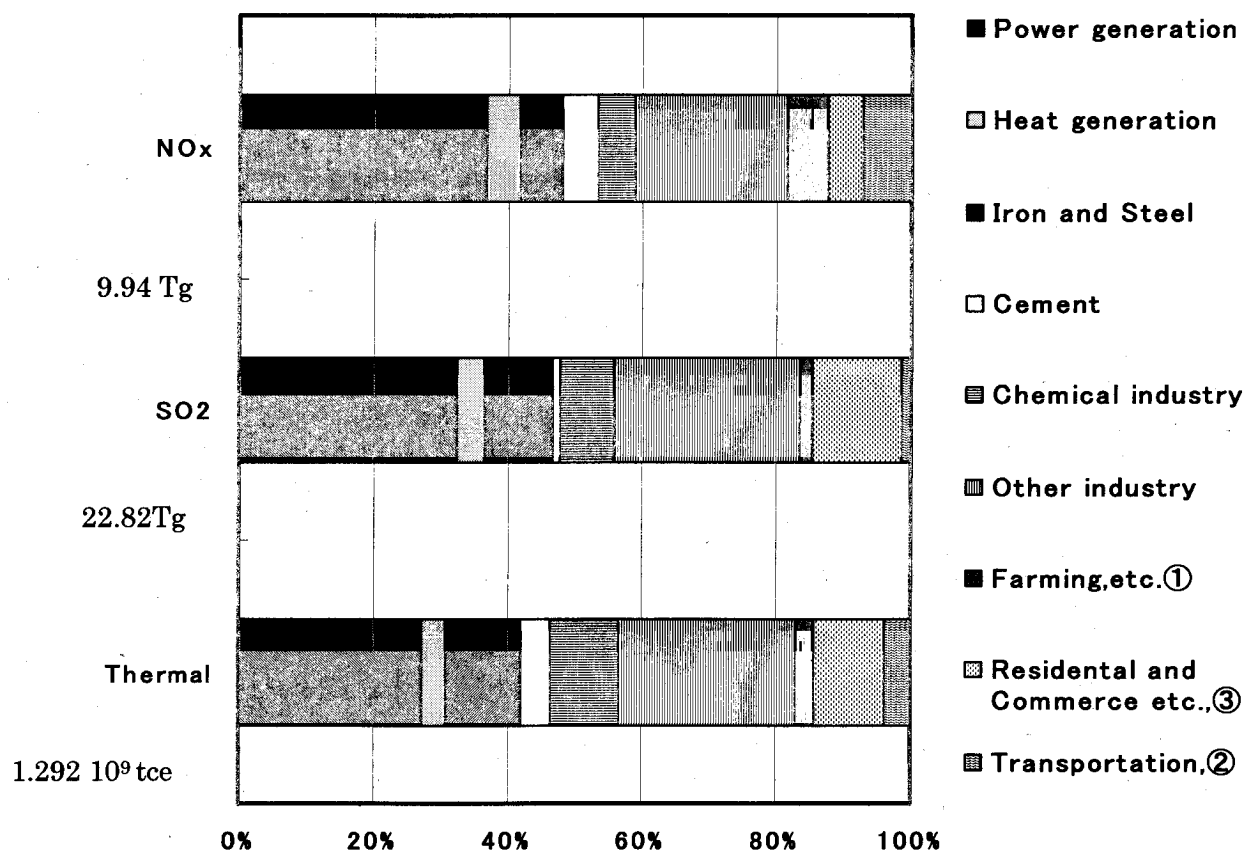
熱量当)

- i : 年次
- j : 地域 省及び特別市
- k : 発生源種類 (業種)
- m : 燃料種

NO_x 排出係数は東野等(1996)と同じ水準を与えた。最新の CORINAIR ガイドライン (1999)による排出係数を参照して改訂すべき点を検討したが、東野等(1996)の後、特に取り入れるべき新しい排出係数データは得られなかった。

④省別排出量推計結果

省別・排出部門別・燃料別に行った排出推計結果のうち、省別総括表および排出部門別総括表を表 2-1 に示す。中国全土推計結果は SO₂ が 22.82Tg_{SO2}、NO_x が 9.94Tg_{NO2} であった。また、熱消費量は標準炭換算 12.92 億 t であった。図 2-3 に発生源別排出構成を示す。火力発電所からの排出寄与が大きく NO_x37%、SO₂32%であった。省別では SO₂ 排出量については四川省、山東省が特に大きく 2000Gg/年を超えている。NO_x 排出量は山東省、広東省、遼寧省、江蘇省等の排出が大きい。500Gg/年以上の省が 6 省あり、排出上位省間の地域較差は SO₂ にくらべて小さい傾向がみられた。



note: ① Farming, forestry, animal husbandry, fishery and water conservancy

② Transportation, Storage, Postal and telecommunication services, etc.

③ Commerce, food service, supply of materials, marketing and storage

図 2 - 3 部門別 SO₂, NO_x および熱消費量の構成(1995)

表 2 - 1 省別および部門別 SO₂, NO_x 排出量推計結果(1995)

省	(Gg/y)		NO.	排出部門	(Gg/y)	
	SO ₂	NO _x			SO ₂	NO _x
1 Beijing	333	192	1	1. 農林畜産水産	442.4	585.1
2 Tianjing	319	191	2	2. 工業	18,481.4	7,586.7
3 Hebei	1,396	644	3	採炭・選炭	502.9	109.6
4 Shanxi	1,251	458	4	石油天然ガス採掘	45.6	17.6
5 Inner Mongolia	900	272	5	鉄鉱採掘選鉱	18.7	11.4
6 Liaoning	1,027	656	6	非鉄金属鉱採掘選鉱	39.1	6.8
7 Jilin	419	315	7	非金属鉱石採掘選鉱	85.2	20.5
8 Heilongjiang	510	461	8	木竹・伐採輸送	30.9	6.0
9 Shanghai	621	356	9	食品加工	286.4	54.6
10 Jiangsu	990	652	10	食品生産	198.1	37.8
11 Zhejiang	706	409	11	飲料品生産	201.2	31.8
12 Anhui	723	350	12	タバコ	56.8	21.5
13 Fujian	327	169	13	織物工業	395.2	95.2
14 Jiangxi	574	194	14	衣服その他繊維	27.8	11.3
15 Shandong	2,215	728	15	皮革	23.7	7.8
16 Henan	1,154	524	16	木材竹等製品	59.9	11.8
17 Hubei	818	424	17	家具	12.1	3.4
18 Hunan	724	363	18	紙製品	391.8	58.0
19 Guangdong	892	697	19	印刷	12.8	5.2
20 Guangxi	601	173	20	教育文化スポーツ品	5.5	5.8
21 Hainan	15	31	21	石油精製	130.5	127.6
23 Sichuan	2,627	486	22	化学原料・製品	1,826.0	470.2
24 Guizhou	1,131	169	23	医薬品	137.7	26.3
25 Yunnan	807	143	24	化学繊維	71.1	22.0
26 Tibet			25	ゴム製品	91.6	17.6
27 Shaanxi	715	145	26	プラスチック製品	58.4	21.0
28 Gansu	383	174	27	非金属鉱産品	1,501.3	1,382.8
29 Qinghai	48	32	28	セメント	247.3	510.5
30 Ningxia	236	65	29	ガラス	14.9	27.0
31 Xinjiang	361	172	30	その他	1,239.1	845.4
Total	22,823	9,642	31	鉄精錬	2,321.3	594.5
			32	非鉄精錬	106.7	47.9
			33	金属製品	120.2	37.8
			34	一般機械	226.6	59.4
			35	特殊用途機械	123.1	30.4
			36	輸送機械	152.4	43.0
			37	電気機械	68.0	28.5
			38	電子製品	26.8	12.9
			39	計測器・業務機械	13.1	4.0
			40	その他工業	191.2	33.1
			41	電力	7,385.5	3,550.2
			42	蒸気・温水供給	953.1	484.1
			43	石炭製品供給	478.7	68.4
			44	コークス・コークス炉ガス	174.9	12.2
			45	石油精製	4.0	0.0
			46	ブリケット	1.2	0.1
			47	水道	5.8	2.3
			48	3. 建設	107.1	91.3
			49	4. 運輸・倉庫・郵便・電話	331.8	675.8
			50	鉄道(旅客)	8.1	79.3
			51	鉄道(貨物)	51.5	200.0
			52	道路(旅客)	15.5	146.5
			53	道路(貨物)	17.8	53.4
			54	船舶	27.0	112.3
			55	その他	212.0	84.4
			56	5. 卸・小売・飲食	218.8	131.3
			57	6. 住宅	2,785.1	374.4
			58	都市	1,103.8	197.4
			59	郊外	1,681.3	177.0
			60	7. その他	375.0	141.5
			61	合計	22,823.0	9,591.7

⑤グリッド排出量の推計

前節で得られた省排出量を、都市別分解指標によって都市別排出量に細分した。省排出量から都市別排出量への配分指標一覧を表2-2に示す。都市への配分にあたっては、発生源の直接的な活動指標を得ることが困難であり、間接的な活動指標に頼らざるを得ない場合がある。ここでは、主として中国城市統計年鑑を出典として活動指標を選択した。

表2-2 省別SO₂、NO_x排出量の都市配分指標一覧

NO.	部門	都市配分指標
1	1. 農林畜産水産	産業別GDP 第1産業
2	2. 工業	—
3	3. 採炭・選炭	97職種別従業員人数(万人)採掘業
4	4. 石油天然ガス採掘	97職種別従業員人数(万人)採掘業
5	5. 鉄鉱採掘選鉱	97職種別従業員人数(万人)採掘業
6	6. 非鉄金属鉱採掘選鉱	97職種別従業員人数(万人)採掘業
7	7. 非金属鉱石採掘選鉱	97職種別従業員人数(万人)採掘業
8	8. 木竹・伐採輸送	96全部工業総産値(万元)
9	9. 食品加工	96全部工業総産値(万元)
10	10. 食品生産	96全部工業総産値(万元)
11	11. 飲料品生産	96全部工業総産値(万元)
12	12. タバコ	96全部工業総産値(万元)
13	13. 織物工業	96全部工業総産値(万元)
14	14. 衣服その他繊維	96全部工業総産値(万元)
15	15. 皮革	96全部工業総産値(万元)
16	16. 木材竹等製品	96全部工業総産値(万元)
17	17. 家具	96全部工業総産値(万元)
18	18. 紙製品	96全部工業総産値(万元)
19	19. 印刷	96全部工業総産値(万元)
20	20. 教育文化スポーツ品	96全部工業総産値(万元)
21	21. 石油精製	96全部工業総産値(万元)
22	22. 化学原料・製品	96全部工業総産値(万元)
23	23. 医薬品	96全部工業総産値(万元)
24	24. 化学繊維	96全部工業総産値(万元)
25	25. ゴム製品	96全部工業総産値(万元)
26	26. プラスチック製品	96全部工業総産値(万元)
27	27. 非金属鉱産品	96全部工業総産値(万元)
28	28. セメント	96全部工業総産値(万元)
29	29. ガラス	96全部工業総産値(万元)
30	30. その他	96全部工業総産値(万元)
31	31. 鉄精錬	96全部工業総産値(万元)
32	32. 非鉄精錬	96全部工業総産値(万元)
33	33. 金属製品	96全部工業総産値(万元)
34	34. 一般機械	96全部工業総産値(万元)
35	35. 特殊用途機械	96全部工業総産値(万元)
36	36. 輸送機械	96全部工業総産値(万元)
37	37. 電気機械	96全部工業総産値(万元)
38	38. 電子製品	96全部工業総産値(万元)
39	39. 計測器・業務機械	96全部工業総産値(万元)
40	40. その他工業	96全部工業総産値(万元)
41	41. 電力	主要発電所別燃料消費量(燃料消費量がゼロの省は人口を使用)
42	42. 蒸気・温水供給	人口(百万人以上都市のみ)(百万人以上都市がない省は全都市人口)
43	43. 石炭製品供給	煤気家庭用量
44	44. コークス・コークス炉ガス	製鉄所別銑鉄生産量(大規模製鉄工場のない省は2次産業生産額)
45	45. 石油精製	2次産業生産額
46	46. ブリケット	煤気家庭用量
47	47. 水道	人口
48	48. 建設	96国内総生産値(万元)
49	49. 運輸・倉庫・郵便・電話	—
50	50. 鉄道(旅客)	鉄路客運量(万人)
51	51. 鉄道(貨物)	鉄路貨運量(万吨)
52	52. 道路(旅客)	公路客運量
53	53. 道路(貨物)	公路貨運量
54	54. 船舶	貨運総量-鉄路貨運量-公路貨運量(左記データがゼロの省は人口)
55	55. その他	人口
56	56. 卸・小売・飲食	人口
57	57. 住宅	—
58	58. 都市	人口
59	59. 郊外	人口
60	60. その他	人口

(2) 中国における人為起源NMVOC排出量

NMVOC排出は、燃焼由来の他に溶剤等の使用や燃料の漏洩に伴う蒸発排出があることが特徴であり、日本では蒸発排出が燃焼由来排出を上回ることが認められている。中国は、NMVOCの人為起源排出においても周辺国を上回る排出が想定されるため、統計資料および既往の排出係数データにより1994,1995年現在の排出量推計を行った。ここでは、結果の概要についてのみふれる。表2-3は、中国における発生源別NMVOC排出量(全国計)を示す。また、日本におけるNMVOC排出構成と中国におけるそれを比較して図2-4に示す。推計結果の主な特徴は以下のとおりであった。

- ①蒸発排出と燃焼排出を比較すると、日本と異なり燃焼排出が卓越している。
- ②石油供給系における NMVOC 排出量は日本の石油供給系からの排出量とほぼ同水準であるが、燃焼系の排出量が大きいため相対的に小さな寄与率となっている。
- ③塗料溶剤の排出量は固定蒸発発生源の75%を占めるが、総排出量に対しては6.80%と少ない。また日本の塗料溶剤排出量(1993年度)の1.3倍弱の水準である。
- ④固定燃焼発生源からのNMVOC排出では、特に小型石炭ボイラの排出係数が高いことを反映して石炭燃焼による排出量が多く、次いで、家庭等におけるバイオマス燃焼による排出量が大きな比率を占めている。

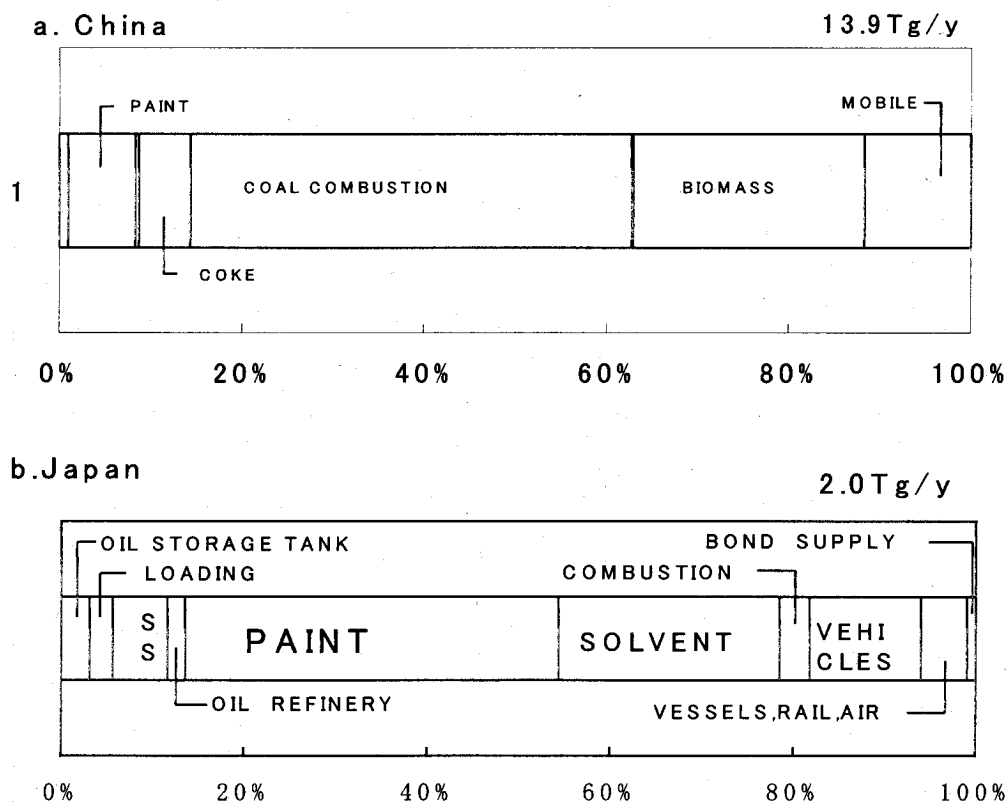


図2-5 中国・日本における人為起源発生源別 NMVOC 排出量構成

表 2 - 3 中国における人為起源 NMVOC 排出量総括表 (1994,1995)

Sources	Carender Year	NMVOC Emission 1000t/y	NMVOC Emission %
Oil Refinery	1994	92	0.66%
Lubricant	1995	2	0.01%
Filling Underground Tank	1994	13	0.09%
Refueling Displacement Losses	1994	17	0.12%
Gasoline Service Station Total	1994	30	0.22%
Oil Supply Total	1994,95	124	0.89%
Petro Chemical Products	1994	21	0.15%
Paint Solvent Use	1995	1017	7.32%
Tri Chloro Ethilene	1994	16	0.11%
Per Chloro Ethilene	1994	13	0.10%
Chlorous Total	1994	29	0.21%
Rubber Solvent Use (Tyres Production)	1994	26	0.19%
SOLVENT Total	1994,95	1101	7.93%
STATIONARY EVAPORATIVE TOTAL	1994,95	1216	8.76%
Power Plant	1994	253	1.82%
Thermal Plant	1994	35	0.25%
Others (Industries)	1994	6387	46.02%
Coke Production	1994	774	5.58%
Coke Consumption	1994	35	0.25%
Coal Gas Generation	1994	2	0.01%
Coal Total	1994	7486	53.93%
Kerosene	1994	3	0.02%
Diesel	1994	12	0.09%
Heavy Oil	1994	15	0.11%
Natu.Gas	1994	3	0.02%
Oil,Gas Total	1994	33	0.24%
Crop Stalk	1995	2123	15.30%
Firewood	1995	1409	10.15%
Methane	1995	0	0.00%
Biomass Total	1995	3532	25.45%
Stationary Combustion Total	1994	11052	79.62%
Gasoline Vehicles Engine	1994	1080	7.78%
Gasoline Vehicles Evapo	1994	397	2.86%
Gasoline Vehicles	1994	1477	10.64%
Buses Diesel	1994	24	0.17%
Trucks Diesel	1994	16	0.12%
VehiclesTotal	1994	1517	10.93%
Agricultural; Trackter	1994	44	0.32%
Rail Ways Diesel	1994	24	0.17%
Vessels Diesel	1994	27	0.20%
Mobile Diesel Total	1994	135	0.97%
Mobile Sources Total	1994	1612	11.61%
EVAPOLATIVE TOTAL #1	1994,95	1614	11.63%
Fossil Fuel COMBUSTION TOTAL#2	1994	8734	62.93%
COMBUSTION TOTAL#2	1994,95	12266	88.37%
ARTIFICIAL TOTAL	1994,95	13880	100.00%

#1: STATIONARY EVAPO+ Gasoline Vehicle Evapo

#2: Excluding Gasoline Vehicle Evapo.

(3) 中国以外の国・地域の人為起源 SO₂, NO_x, NMVOC 排出量

本研究で用いた中国以外の基礎排出量資料およびグリッド排出量データベースの作成方法を表2-4に示す。4国・地域のうち台湾、韓国に関しては現状の知見の範囲で信頼に足る排出推計が政府統計によって得られる。従って、本推計ではそれを採用してグリッド分解を行った。北朝鮮については、限られた情報しか得られないが、エネルギー消費推計をベースとして総排出量を推計しグリッド分解を行った。モンゴルについても同様であり、ここでは IIASA の推計をベースとした。日本については、環境庁推計（計量計画研究所,2000)による 10km グリッドデータを基礎データとして編集した。

表 2-4 国・地域別グリッド排出量推計方法

国・地域	基礎排出量	地域排出量推計	グリッド分解*3
台湾	政府推計値（部門・燃料別）*1	県別燃料消費実績	県別・グリッド別人口推計値
韓国	政府推計値（道別 1996 値）*2	同左	道別・グリッド別人口推計値
北朝鮮	燃料消費に基づく推計	—	グリッド別人口推計値
モンゴル	IIASA 推計	—	グリッド別人口推計値

*1 台湾政府資料

*2 1998 年韓国政府環境白書、1998/9、韓国環境部

*3 CIESIN6 分グリッド人口データベースにより 30 分グリッドへ分解

(CIESIN, Center for International Earth Science Information Network, Columbia University)

(4) NH₃排出量

本研究では、GEIA 等の従来の NH₃ 排出データベース(Bouwman et al, 1997)を参照した結果、寄与の大きい発生源と考えられる家畜、化学肥料施肥、人・ペット、バイオマス燃焼を対象として東アジア地域の NH₃ 排出データベースを構築した。

①家畜

家畜飼養頭数に関する統計資料の状況を表2-5に示す。中国・韓国・台湾については地域別の飼養頭数資料が得られたので、家畜種類分類が粗い場合には FAO 統計で補ったうえで利用した。

表 2-5 家畜飼養頭数統計資料

国・地域	国レベル	地域レベル
中国	FAO 統計（種類別頭数）	省別・種類別頭数（中国統計年鑑）
韓国	"	道別・種類別頭数
北朝鮮	"	—
モンゴル	"	—
台湾	政府統計	県別・種類別頭数（農業統計年報）

FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations)

本推計で設定した排出係数を表 2－6 に示す。ここで、中国、北朝鮮、モンゴルは地域区分 2（発展途上国）とした。

FAO 統計に基づいて 1980 年以降の各国の家畜排出量の推移を見積もった結果を図 2－6 に示す。中国は、排出量自体が突出して多いのに加えて、近年の増加傾向も著しい。

国別NH3排出量(1980年～2001年)

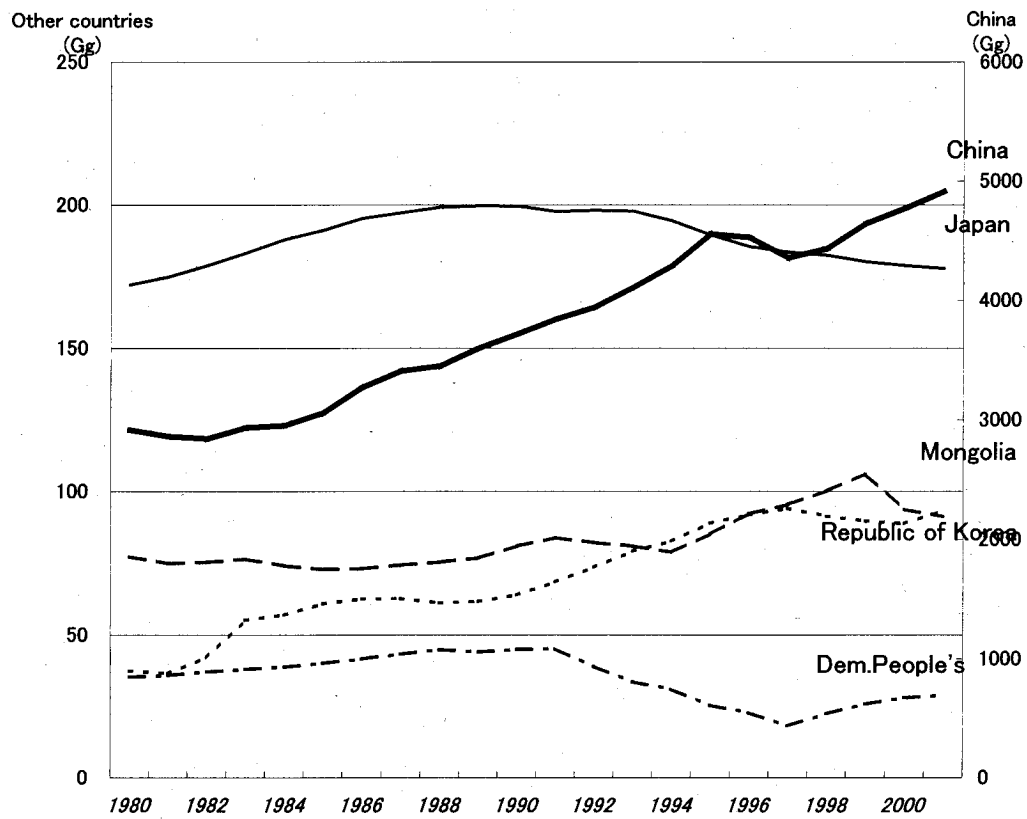


図 2－6 各国における家畜由来 NH3 排出量の推移
(FAO 家畜飼養頭数統計に基づく)

表 2－6 家畜排泄物由来の NH3 排出係数

	NH3 EF (kg/head/y)	
	region 1	region 2
Asses	9.2	10.6
Buffaloes	10.6	10.6
Camels	12.9	12.9
Cattle	9.5	9.8
Dairy cow	24.8	21.1
Chickens	0.2	0.2
Ducks	0.2	0.2
Geese	0.2	0.2
Goats	0.8	1.2
Horses	9.2	10.6
Live Animals nes	0.2	0.2
Mules	9.2	10.6
Pigs	4.9	4.9
Sheep	0.8	1.2
Turkeys	0.2	0.2

②化学肥料

化学肥料の施肥による NH₃ 排出は、家畜と同様に FAO 統計および各国政府統計による化学肥料使用量を用い、平均的なアンモニア揮散率を適用して推計した。窒素肥料、リン酸肥料、カリ肥料の消費量推移を FAO 統計および各国政府資料により検討すると、中国以外の国では、1990 年以降の消費は横這いないし減少傾向であるが、中国では消費拡大傾向が続いている。推計に用いた窒素肥料の N 揮散率を表 2-7 に示す。ここで、中国南東部は熱帯地域として高い揮散率を設定した。本項および①で推定された 1995 年の家畜由来・化学肥料施肥 NH₃ 排出量をまとめて表 2-8 に掲げる。

表 2-7 化学肥料施肥による N 揮散率

	Ammonium Nitrate	Ammonium Phosphate (N)	Ammonium Sulphate	Calcium Ammonium Nitrate	Calcium Cyanamide	Other Complex Fert (N)	Other Nitrogenous Fert	Urea
揮散N%(Temperate zone)	2	3.5	8	2	2	3	20	15
揮散N%(Tropical zone)	2	3.5	8	2	2	3	30	25

表 2-8 家畜由来・化学肥料施肥 NH₃ 排出量 (1995 年)

		NH ₃ 排出量		unit:t/y
		家畜	肥料	
中国	China	4,892,949	6,125,320	
台湾	Taiwan	78,578	40,756	
韓国	Korea, Republic of	91,061	46,625	
北朝鮮	Korea, Dem People's Rep	25,423	11,596	
モンゴル	Mongolia	85,071	73	

③人由来の NH₃

人由来の NH₃ 排出係数は不明確であり本推計であらたな知見を得ることができなかったため、GEIA の排出係数を採用した。各国・地域の人口により推計された NH₃ 排出量を表 2-9 に示す。GEIA では、この排出係数 0.6kg-NH₃/person/y は人とペットをあわせた合成値としているが、Sutton(2000)の指摘によれば過大推定であることを免れず、現在の知見における上限値と解するべきである。

推計された NH₃ 排出量は、中国については 0.7Tg/y であり農業起源の排出量と比較すると重要性は低い。

表 2-9 人・ペットによる NH₃ 排出量(1995)

Country or area	unit:millions	
	1995	Source NH ₃ (t/y)
China	1211.200 ¹⁾	a) 726,720
Democratic People's Republic of Korea	21.543	a) 12,926
Mongolia	2.300	a) 1,380
Republic of Korea	45.090	a) 27,054
Taiwan	20.788	b) 12,473

1)End of year stated
a)Statistics Division, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)
<http://www.unescap.org/stat/statdata/apinfig.htm>
b)National Statistics of China

NH ₃ EMISSION FACTOR	kg/person/y
	0.6

④ バイオマス燃焼

中国におけるバイオマス燃焼は、エネルギー利用に限ると 1995 年で稲藁 352.156Tg (3000kcal/kg)、薪 175.235Tg(4000kcal/kg)である。NH₃ 排出係数を 0.89g/kg-dry matter とし、含水率を 17%とすると、約 400Gg/y の排出量が推計される。本推計では、省別に得られるバイオマス燃焼量に基づいて推計した。他の国については、バイオマス燃焼量のデータが得られないため、ここでは推計対象外とした。

⑤ NH₃ 排出量グリッドデータベース

本推計では、経緯度 1 度グリッドで空間分解した排出量データベースを構築した。そのための作業分解グリッドとして経緯度 30 分グリッドを用いている。表 2-10 に、グリッドデータ推計方法をまとめた。

表 2-10 NH₃ グリッド排出量推計方法

発生源	基礎排出量データ	グリッド配分方法
家畜排泄物由来 化学肥料施肥	地域別[省(中国)、県(台湾)、道(韓国)]排出量	・地域・30 分グリッド対応表による配分 ・Land surface データ(4 分グリッド)*1 による田畑・草地領域への面積比例配分
バイオマス燃焼	省別排出量(中国のみ)	・地域・30 分グリッド対応表による配分 ・グリッド別農村人口データ*2 による比例配分
人・ペット	6 分グリッド世界人口データベース*3 による直接推計	

*1 建石(千葉大学)による(Grid Tsukuba)。

*2 外岡による。

*3 CIESIN, Center for International Earth Science Information Network, Columbia University

(5) 植物起源のNMVOC排出量

光化学反応を伴う大気輸送系においては、人為起源の NMVOC の他に、大気に放出される自然起源 NMVOC が影響を及ぼす。その主たるものは植物起源のイソプレン、モノテルペン等である。従って、これらに関して時空間分解した放出量データは基礎データとして必須である。植物起源 NMVOC は、一般に①標準条件における葉重量あたり排出係数 ε 、②気象条件による補正関数 γ 、③面積あたり葉密度 D の積により推定される。 ε は、詳しくは植生種別に適用され、あるいは地域の生態系代表値として設定される。 γ は、イソプレンでは気温と PAR(光合成活性有効放射量)に依存し、その他の化学種では気温に依存する関数であり、時刻別に適用される。また、 D は植生種別代表値あるいは生態系代表値として設定される。以上は、いずれも植生の混在した地域の VOC を推計する際の重要なファクターとなる。

地球規模の植物起源 VOC に関する最近の推計としては、Guenther et al.(1995)による 1 度グリッドの排出量データが GEIA(The Global Emissions Inventory Activity)の一環として作成されている(以下、GEIA)。また、日本を対象とした植物起源 NMVOC の排出推計は、環境庁プロジェクト(計量計画研究所,2000)で行われ、10km グリッド排出量が推計されている(以下、JEA)。これらの資料を比較検討して以下の結論を得た。

- ①GEIA と JEA では植生区分・植生密度の推定方法が大きく異なるが、日本域の総排出量の差は比較的小さい。
- ②物質別にみると、イソプレンとモノテルペンの比率が大きく異なる。これは、GEIA において、イソプレン排出係数を大幅に上方修正したためである。
- ③CORINAIR(1999)等による最近の知見を含むイソプレン排出係数は GEIA に比べて小さい傾向を示しており、今後、見直す必要も考えられる。

以上の予察をふまえ、北緯 15~55 度、東経 70~150 度領域の東アジア域を対象として、比較的簡易な方法により 0.5 度グリッドでの植物起源 NMVOC 排出量を推計した。この目的は、GEIA との比較および一次的な空間分布・季節分布を与えることである。推定の概要を表 2-11 に示した。本推計の特徴は、植生区分データにアジア域の精度に重点をおいた建石(千葉大学)のデータセットを用いたこと、季節・時間変動を導出するために、日本域の気温・PAR データから月平均気温を変数とする解析的な気象条件補正関数を導いたことである。

推計結果から、年間の NMVOC 排出量分布を図 2-7 に示す。前述した中国の人為起源 NMVOC 排出量と比較するため中国域を切り出すと、イソプレン 7,390Gg/y (GEIA 17,380), モノテルペン 9,490Gg/y(5,070), OVOC 8,260Gg/y(10,810), 合計 25,140Gg/y (33,260)であった。植物起源の合計値は人為起源の 13,910Gg/y に対し 1.81 倍(GEIA では 2.39 倍)となった。本推計・GEIA 推計のいずれも人為起源を大きく上回る排出が推計されていることから、植物起源 VOC が重要であることが強く示唆される。

表 2－1 1 東アジア域植物起源 NMVOC 推計概要

		備考
植生区分	建石による Global Four-minute Land Cover Data Set (GRID Tsukuba より提供)	アジア域の Ground Validation がなされている。 月平均気温は IIASA Data (GRID Tsukuba より提供)
排出係数 ε	生態系別代表値設定	
葉密度 D	生態系別代表値設定	
気象条件補正関数 γ	月平均気温を変数とする回帰モデル	
推計単位	グリッド	
	季節	
	時刻	

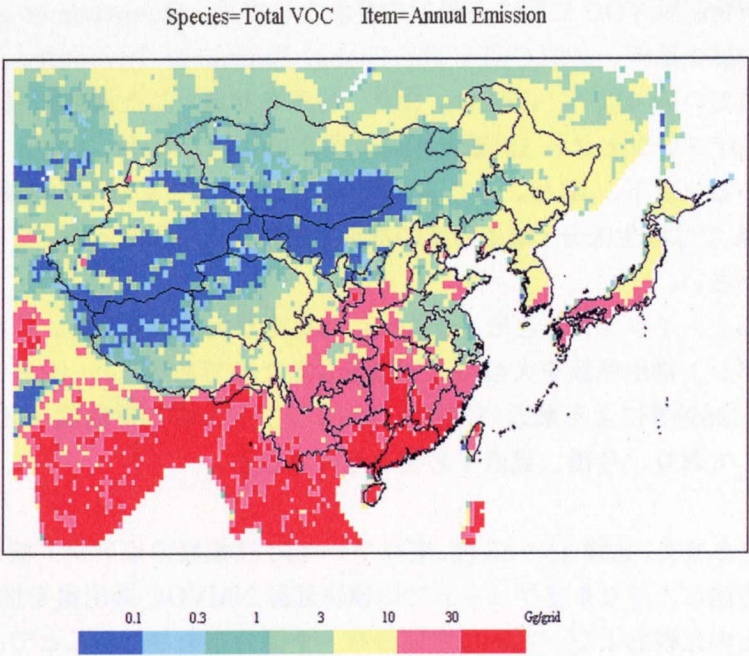


図 2－7 東アジア域における植物起源 NMVOC 排出量分布

3. 結果・考察

(1) グリッド排出量

本研究で推計されたグリッド排出量（人為起源の年間排出量強度を平方メートルあたりグラムで表示）を図3－1に示す。この図は、作業単位である緯度経度0.5度グリッド排出量を示しているが、データ利用者は0.5度,1度のいずれのグリッドデータも利用可能である。

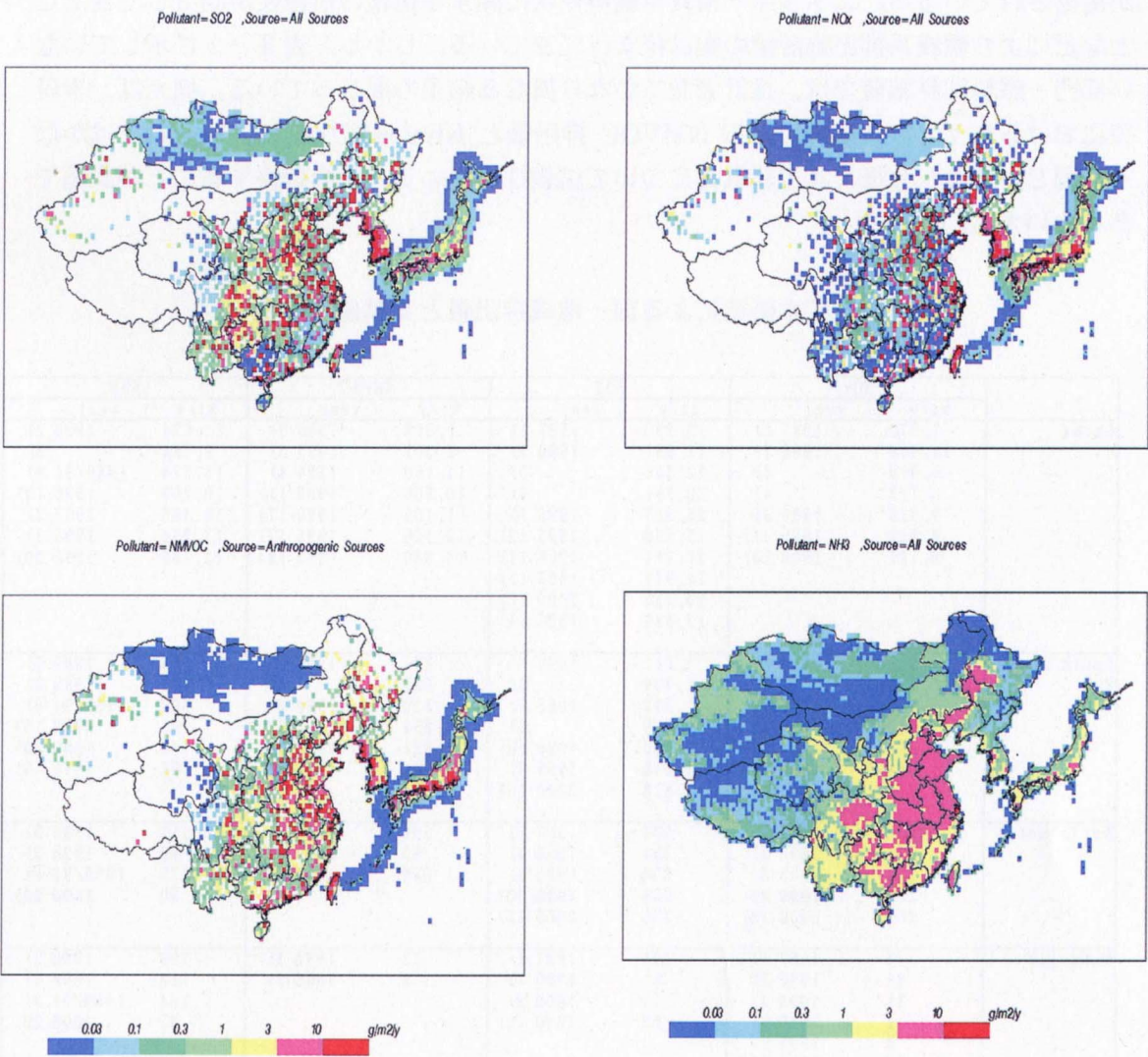


図3－1 グリッド排出量データベースによる年間排出強度分布

(2) 国・地域排出量

本研究で推計された国・地域別の NO_x, SO₂, NMVOC, NH₃ 排出量（人為起源）を既往文献値と比較して、表 3-1 にまとめた。本研究で対象とした国・地域は中国、台湾、韓国、北朝鮮、モンゴルであるが、日本については環境省によるグリッドデータが作成されていることから、本データベースには環境省による日本域データを付け加えている。

東アジアにおける最大の排出国である中国については、本研究の前後にいくつかの推計が提出されているが、エネルギー消費や燃料性状に関する情報の信頼性が向上してきたことなどにより燃焼系排出推計値の幅は狭まってきている。しかし、表 3-1 に示していない部門・燃料別詳細値では、推計者間でかなり異なる結果も混じっている。例えば、本研究におけるバイオマス燃焼による NMVOC 排出量と Klimont(2001)によるそれとはかなりの開きがある。今後、排出係数等について信頼性の高いデータを取得することが課題であるといえる。

表 3-1 本研究による国・地域排出量と文献値の比較

	NO _x		SO ₂		NMVOC		NH ₃	
	kt/y	year	kt/y	year	kt/y	year	kt/y	year
China	7,370	1987 1)	19,990	1987 1)	1,918	1990 3)	11,674	1990 2)
	14,916	1990 2)	23,991	1990 2)	2,307	1995 3)	9,764	3)
	6,919	3)	22,385	3)	14,160	1994 4)	13,578	1989/91 8)
	6,722	4)	20,951	4)	10,900	1990 11)	10,259	1990 19)
	9,413	1995 3)	25,827	1995 3)	11,105	1990 17)	14,495	1995 2)
	9,642	1995 14)	25,698	1995 12)	13,120	1995 17)	12,294	1995 3)
	9,191	2000 13)	26,211	1996 12)	13,880	1995 18)	12,133	1995 20)
			24,971	1997 12)				
			20,753	2000 13)				
			22,823	1995 14)				
South Korea ROK	926	1990 5)	1,611	1990 5)	221	1990 5)	145	1990 3)
	930	3)	1,709	3)	658	3)	173	1995 3)
	1,152	1995 5)	1,532	1995 5)	150	1995 5)	200	1989/91 8)
	1,438	3)	1,219	3)	1,254	3)	141	1988 16)
	1,258	1996 20)	1,500	1996 20)	821	1996 20)	165	1995 20)
	1,084	1998 5)	1,146	1998 5)	141	1998 5)	186	1996 16)
	1,315	2000 13)	828	2000 13)				
North Korea	468	1987 1)	333	1987 1)	100	1990 3)	157	1990 3)
	378	1990 3)	354	1990 3)	60	1995 3)	90	1995 3)
	252	1995 3)	256	1995 3)	358	1996 20)	175	1989/91 8)
	264	1996 20)	356	1996 20)			50	1996 20)
	265	2000 13)	226	2000 13)				
Mongolia	72	1987 1)	101	1987 1)	13	1990 3)	109	1990 3)
	31	1990 3)	81	1990 3)	8	1995 3)	118	1995 3)
	25	1995 3)	74	1995 3)			134	1989/91 8)
	2	1990 9)	83	2000 13)			87	1995 20)
	3	1995 9)						
	38	2000 13)						
Taiwan	325	1987 1)	605	1987 1)	545	1990 3)	134	1990 3)
	404	1990 3)	512	1990 3)	580	1995 3)	145	1995 3)
	530	1995 3)	455	1995 3)	1,065	1995 10)	132	1995 20)
	415	1995 10)	410	1995 10)	608	1995 20)		
	646	1995 20)	445	1995 20)				
	519	2000 13)	376	2000 13)				
Japan	1,940	1987 1)	1,140	1987 1)	2,170	1990 3)	356	1990 3)
	1,770	1990 3)	1,029	1990 3)	1,956	4)	338	1990 19)
	1,455	4)	989	4)	2,018	1994 6)	200	1992 7)
	1,688	1994 6)	845	1994 6)	2,068	1995 3)	522	1994 6)
	1,987	1995 3)	955	1995 3)	1,954	1995 15)	700	1989/91 8)
	2,310	1995 15)	1,099	1995 15)	1,873	1998 15)	338	1995 3)
	2,213	1998 15)	995	1998 15)			530	1995 15)
	2,188	2000 13)	800	2000 13)			532	1998 15)

- 1)Akimoto,H and H.Narita;Distribution of SO₂,NO_x and CO₂ emissions from fuel combustion and industrial activities in asia with 1° resolution,Atmos. Env.,Vol.28,No.2,pp213-225,1994
- 2)Soon-Ung Park and Naibin Bai;Emission inventory of SO₂,NO₂ and NH₃ in China,
The 5th International workshop on the Comparison of Trans-boundary Air Pollution Model and Harmonization of the Methodology of Emission Inventories of Air Pollutants in East Asia.
- 3)IIASA; A Comprehensive Assessment of Large-Scale Environmental Problems in East-Asia,IIASA No. 98-129
- 4)Tonooka,Y;;Emission inventory compilation for NMVOC and CO in East Asia
The 5th International workshop on the Comparison of Trans-boundary Air Pollution Model and Harmonization of the Methodology of Emission Inventories of Air Pollutants in East Asia.
- 5)Ministry of Environment,ROK
- 6)IBS資料
- 7)Murano,K et al.;Gridded Ammonia Emission Fluxes in Japan,Water Air and Soil Pollution,85,1915-1920,1995
- 8)Zhao Dianwu and Wang Anpu;Estimation of Anthropogenic Ammonia Emissions in Asia,Atmos. Env.,Vol.28, No:4,pp689-694,1994
- 9)Ganbat,M and T.Bulgan;Country report of Mongolia,Proceedings of the Expert Group Meeting on Emission Monitoring and Estimation,1999,Niigata,Japan,ESCAP
- 10)政府資料
- 11)Klimont,Z;Presentation material for the 5th workshop,Tsukuba
- 12)Streets,D.G,N.Y. Tsai, H. Akimoto, K. Oka; Sulfur dioxide emissions in Asia in the period 1985-1997,Atmos. Env., Vol.34,4413-4424,2000
- 13)Streets,D.G. ; Presentaion material for the 6th workshop,Tsukuba
- 14) Mu Haijin, Y. Tonooka, K. Sakamoto, Z. Weisheng, N. Yadong; Development of an Emission Model of Air Pollutants- SO₂ and NO_x in China,Energy,Environment Conference,Tokyo,2001
- 15) 計量計画研究所(環境庁委託); 大気汚染物質排出量グリッドデータ整備業務報告書,2000.3
- 16) Soon Ung Park, Y.H. Lee; Estimation of Ammonia in South Korea, Presentaion material for 6th workshop, Tsukuba
- 17) Klimont, Z; Presentation material for 6th workshop,Tsukuba
- 18) 本研究推計値. Acidrain 2000で発表
- 19) Bouwman, A. F., D. S. Lee, W. A. Asman, F. J. Dentener, K. W. Van Der Hoek and G. J. Olivier : A global high-resolution emission inventory for ammonia, Global Biogeochemical Cycles, Vol. 11, No. 4, 561-587, 1997
- 20) 本研究推計値。

4. 本研究により得られた成果

本研究では、東アジア地域を対象とした長距離大気輸送モデルに投入するための総合的な大気汚染物質発生源インベントリーの開発を行った。本研究は、SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃に関する人為発生源・自然発生源からの排出量を十分な精度のグリッド排出量として把握することを課題としており、SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃の人為起源排出および植物起源NMVOCに関して、1995年における各国・地域の排出量を推計した。これらの研究結果により、以下のような大気汚染物質発生源インベントリーを構築することができた。

- 対象物質 : SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃
- 対象地域 : 中国、韓国、北朝鮮、台湾、モンゴル、日本
- 空間分解能 : 緯度経度1度グリッドおよび0.5度グリッド
- 時間分解能 : 年間値 (植物起源 NMVOC については月別・昼夜別推計値)
- 推計年 : 1995年

以上のインベントリーデータおよびドキュメントは CD-ROM に収録されており、内外の研究者が利用可能である。

5. 引用文献

- 東野晴行, 外岡 豊, 柳澤幸雄, 池田有光(1995) 東アジア地域を対象とした大気汚染物質の排出量推計—中国における硫黄酸化物の人為起源排出量推計—, 大気環境学会誌, Vol30, No6, pp374-390
- 東野晴行, 外岡 豊, 柳澤幸雄, 池田有光(1996) 東アジア地域を対象とした大気汚染物質の排出量推計(Ⅱ)—中国におけるNO_x、CO₂ 排出量推計を中心とした検討—, 大気環境学会誌, Vol31, No6, pp262-281
- Sinton J.E., M.D.Levine(1998) Energy efficiency in China: accomplishments and challenges, Energy Policy, Vol26, No.11, pp813-829
- Streets D.G., S.T.Waldhoff(1998) Biofuel use in Asia and Acidifying Emissions, Energy, Vol.23, No.12, pp1029-1042
- Spiro, P.A., D.J.Jacob, J.A.Logan(1992): Global inventory of sulfur dioxide emissions with 1° × 1° resolution. Journal of Geophysical Research 97, 6023-6036
- Bouwman, A. F., D. S. Lee, W. A. Asman, F. J. Dentener, K. W. Van Der Hoek and G. J. Olivier(1997) : A global high-resolution emission inventory for ammonia, Global Biogeochemical Cycles, Vol. 11, No. 4, 561-587
- Sutton, M. A., U. Dragosits, Y. S. Tang, D. Fowler: Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK(2000)., Atmospheric Environment, 34, 855-869

[国際共同研究等の状況]

国際ワークショップ (The 5th, 6th, 7th International WS on the Comparison of Trans-boundary Air Pollution Model and Harmonization of the Methodology of Emission Inventories of Air Pollutants in East Asia) を平成11、12、13年度に開催した。

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

- ① K. Murano and O. Oishi: Global Environmental Research, 4,13-23(2000)
“Emission, Concentration Variation, and Dry and Wet Deposition of Reduced Nitrogen Compounds(NH_x)”
- ② Y.Tonooka, A. Kannari, H. Higashino, K. Murano: Water Air and Soil Pollution 130,1 99-204 (2001)
“NMVOCs and CO Emission inventory in East Asia”

(2) 口頭発表

- ① K. Murano, Y. Tonooka, K. Suzuki and E. Toda: The 8th Meetings of the UN ECE Task Force on Emission Inventories, Roskilde, Denmark, 1999
“Emission Inventory Research Activities in Japan”
- ② 外岡豊、東野晴行、村野健太郎：第40回大気環境学会（1999）
「東アジア地域を対象とした大気汚染物質排出量推計—その4 人工起源 NMVOC 排出量の改訂推計—」
- ③ Y. Tonooka, A. Kannari, H. Higashino and K. Murano:
5th International Workshop on the Comparison of Trans-boundary Air Pollution Model and Harmonization of the Methodology of Emission Inventories of Air Pollutants in East Asia, Tsukuba, Japan, 2000
“Emission inventory compilation for NMVOC and CO in East Asia”
- ④ 外岡豊、神成陽容、村野健太郎、東野晴行、穆海林、寧亜東：第41回大気環境会（2000）「東アジア地域を対象とした大気汚染物質排出量推計—その5 グリッド別排出分布の推計—」
- ⑤ Kannari, T. Baba, H. Ueda, Y. Tonooka, K. Matsuda and E. Toda:
6th International Workshop on the Comparison of Trans-boundary Air Pollution Model and Harmonization of the Methodology of Emission Inventories of Air Pollutants in East Asia, Tsukuba, Japan, 2001
“Emissions Inventory in Japan, 1998: SO₂, NO_x, NMVOC, CO, PM₁₀, NH₃, CO₂ and energy”
- ⑥ Y. Tonooka, A. Kannari, H. Higashino and K. Murano:
6th International Workshop on the Comparison of Trans-boundary Air Pollution Model and Harmonization of the Methodology of Emission Inventories of Air Pollutants in East Asia, Tsukuba, Japan, 2001
“Emission inventory compilation in East Asia—SO₂, NO_x, CO and NMVOCs”
- ⑦ H. Mu, Y. Tonooka, K. Sakamoto, W. Zhou and Y. Ning：第17回エネルギーシス

テム・経済環境コンファレンス講演論文集(2001) "Development of an Emission Model of Air Pollutants- SO₂ and NO_x in China"

⑧ 神成陽容、外岡豊、村野健太郎：第42回大気環境学会（2001）「日本・中国における人為起源・植物起源NMVOC排出」

⑨ A. Kannari, T. Baba, H. Ueda, Y. Tonooka and K. Matsuda:

7th International Workshop on the Comparison of Trans-boundary Air Pollution Model and Harmonization of the Methodology of Emission Inventories of Air Pollutants in East Asia, Tsukuba, Japan, 2001

"Development of Multipollutant Emissions Inventory in Japan"

⑩ Y. Tonooka , A. Kannari, H. Higashino and K. Murano:

7th International Workshop on the Comparison of Trans-boundary Air Pollution Model and Harmonization of the Methodology of Emission Inventories of Air Pollutants in East Asia, Tsukuba, Japan, 2001

"Emission Inventory Compilation for NMVOC and CO in East Asia"

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

研究成果をCD-ROMに収録、内外の研究者に配布してデータの利用を図る予定。