

C-1 東アジアの環境酸性化物質の物質収支解明のための大気・土壌総合化モデルと  
国際共同観測に関する研究

(1) 東アジアスケールの環境酸性化物質の総合化モデルの開発に関する研究

② 酸性雨前駆物質の発生量分布とその将来予測に関する研究

研究代表者 国立環境研究所地球環境研究グループ 村野健太郎

環境庁 国立環境研究所

地球環境研究グループ	主任研究官	村野健太郎
地球環境研究グループ	温暖化影響・対策研究チーム	甲斐沼美紀子
社会環境システム部	環境経済研究室	森田恒幸
大気圏環境部	大気反応研究室	畠山史郎
(委託先)	埼玉大学経済学部	外岡 豊
	京都大学工学部	松岡 譲

平成8-10年度合計予算額 35,396千円  
(平成10年度予算額 9,693千円)

[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SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>の発生量の将来予測およびそれらの酸化を支配する揮発性炭化水素の発生量の現状を正確に把握することが重要である。東アジア地域の非メタン揮発性炭化水素(NMVOC)発生量を試算し、発生量をグリット化した。中国でのNMVOC排出量についてはこれまで信頼できる推計がなかったが、燃焼系、蒸発系の固定、移動発生源について排出量を推計した。中国の全人為発生源排出量は14.8TgNMVOCである。うち燃焼系発生源が9割を占めており、蒸発系発生源が8割近くを占めている日本とは好対照である。とくに中国では石炭燃焼からの排出寄与が大きく5割以上を占めているが、これは小規模燃焼機器で還元雰囲気中で燃焼しNMVOCが発生しやすいと想定しているからである。次いで農業廃棄物等のバイオマス燃焼からの排出も多く2割を占めている。塗料、石油化学、石油製品取扱等蒸発固定発生源からの排出は1.2Tgと小さかった。日本における家畜、肥料からのアンモニア発生量の推定を平成7年度データでアップグレードした。前回(平成3年度データ)と発生量に大きな差は無かった。経済成長モデルと汚染物質排出モデルをリンクさせた新しいモデルを開発した。このモデルを用いて、中国の4つの経済発展のシナリオを仮定したときの、二酸化硫黄と窒素酸化物の将来の排出量をシミュレートした。この結果、中国の二酸化硫黄の排出については、2020年から2030年ころをピークに排出量が減少する傾向にあるが、窒素酸化物については排出のピークが2030年から2050年にずれることが明らかとなった。

[キーワード] 東アジア、発生源インベントリー、将来予測、揮発性炭化水素、二酸化硫黄  
アンモニア

## 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SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>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SO<sub>2</sub>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。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SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>発生量の将来予測、およびそれらの酸化を支配する非メタン揮発性炭化水素(NMVOC)、また、硝酸ガスの長距離輸送を支配するアンモニアの発生量の現状を正確に把握することが重要である。

## 2. 研究目的

本研究の目的は、東アジア各国からのSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>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い、それらの酸化を支配する揮発性炭化水素の発生量を地域別に得ることである。発生量あるいはその予測データは、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ミュレーション等に有効に利用できる必要がある。

- (1) 東アジア地域の自然起源揮発性炭化水素発生量を推計し、グリッド別発生量分布を求める。
- (2) 日本における家畜、肥料からのアンモニア発生量の推定をアップグレードする。
- (3) 中国を対象にして、SO<sub>2</sub>及びNO<sub>x</sub>の排出モデルに経済成長モデルをリンクさせた新しいモデルの開発を進める。

## 3. 結果と考察

### 1. 中国のNMVOC排出量推計

#### (1) 蒸発発生源

##### ① 石油供給系

##### ア、油井

天然ガス井、原油油井では伴出するガス中にNMVOCが含まれている。カナダの排出係数<sup>1)</sup>によれば原油油井で0.9Mg/GgoilのNMVOC排出がある。中国の原油生産量は約1.49億tであるのでNMVOC排出量は134Gg/y(0.90%)、中国全人為起源排出量の0.90%となる。以下排出量の次ぎに括弧で示す%値は中国全人為起源排出量を100%とした排出寄与構成比である。

##### イ、製油所

石油精製は製油所全体で処理量当THC排出量を推計する総括係数<sup>1)</sup>を用いた。様々な値が提示されているが、例えば西欧でのTHC排出係数として0.09kgTHC/t (CORINAIR90, Default Emission Factor 2), cited in 1)) とする低い設定値もあるが同書には旧式精製設備で1.0kgTHC/t<sup>2)</sup>とする報告もある (Part 6, July1991)。そのCH<sub>4</sub>割合を10%と想定すると<sup>1)</sup>、旧式の場合は0.9kgNMVOC/tとなる。新式0.25kgTHC/t処理量とする係数もあり、NMVOCとしては0.225kg/tとなる。うち25%が製油所プラント、75%が貯蔵、出荷関連とされる<sup>3)</sup>。多様な水準の排出係数例から中国の総括排出係数としてFCCU、0.63kgTHC/m<sup>3</sup>feedを用いた<sup>1)</sup>。単位のm<sup>3</sup>feedは処理量klと同じである。CH<sub>4</sub>割合はU.S. EPAの13%を用いた<sup>1)</sup>。NMVOCとして0.548kgNMVOC/m<sup>3</sup>となる。日本の製油所のNMVOC排出量推計は石油精製プラント、潤滑油製造、貯蔵施設、出荷施設別に推計している<sup>4)</sup>が、これらを総括した同様の処理量当排出係数を算出すると0.13kgNMVOC/kl に相当する。うち出荷施設が6割を占

めているが、中国ではコーンルーフタンクでの軽質油貯蔵が多いと仮定すると貯蔵タンクからの排出割合がもっと大きい可能性がある。この計算では中国の製油所排出は処理量当りで評価して日本の4倍の水準であると想定したことになる。0.225kgNMVOC/k1では日本との差が小さすぎ、0.9kgNMVOC/k1よりは最近では排出抑制技術水準が改善されているだろうと想定した、中位的な想定である。すなわちこれは中国の実態に関する情報が得られていないために、十分な根拠のある想定ができず、排出抑制の技術水準の状況にある程度の差を想定したにすぎない。推計結果は92GgNMVOC/年(0.61%)である。なお潤滑油生産について日本と同じ排出係数を与えて推計したが生産量が小さくNMVOC排出量は2GgNMVOC/年と小さかった。

#### ウ、ガソリン流通

給油所(ガソリンスタンド、またはSS、サービスステーションとも言う)は各国共通のNMVOC発生源である。日本で用いている排出係数<sup>4)</sup>、受入1.08kg/k1、給油1.44kg/k1を中国にも適用した。この排出係数は安定しており誤差範囲は他の発生源に比べて小さい。推計結果は30GgHC/年であるが、国土面積、人口の割にはガソリン消費量が小さくNMVOC排出寄与も大きくはない。石油供給系からのNMVOC排出量推計結果について表1に示す。中国全土合計で258Gg/yであり、この推計結果では総排出量の1.73%である。これ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、後述するように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。

表1 中国における石油供給に基づく非メタン炭化水素発生量(1994~1995)

Sources	CY	Oil Input#1 1000t	Oil Input#1 1000kl	NMVOC EF kg/k1	NMVOC Emission t/y	
Oil Refinery	1994	146082	167557	0.55	91838	#2
Rubicant	1995	2280	2533	0.75	1897	#3
Underground Tank Filling Losses	1994	9002	1198	1.08	12935	#4
Refueling Dispracement Losses	1994	9002	1198	1.44	17246	#4
Gasoline Service Station Total	1994	9002	1198	2.52	30181	
Oil Supply Total		146082	167557		123916	

#1: Oil Refinery Crude Oil Input, Rubicant production Amount, Gasoline SS, Gasoline Throuput  
For conversion of Oil Input unit ton to kl, average density of the clude oil is assumed as  
follows : 871.836 /120° kg/m3, derived from weighted average of the 3 main clude  
oil field area , Daqin, Shongli, Liaohe

#2: Emission Factors : EMEP/CORINAIR(1996) Atmspheric Emission Inventory GUIDEBOOK Vol1  
, B111-50,Table26 ,http://WWW.eea.dk/aegb/,THC.EF0.63kg/k1,GH4%=13%,from USEPA,AP42

#3: Rubicant/EF Case of Yokohama city

#4: JEA(1994)EF for Japan Case

## ② 石油化学

石油化学基礎品生産工程は日本の排出係数<sup>4)</sup>を適用したが、石油化学工業協会の設定値(1977)と環境庁調査全国平均値(1983)のうち大きい方の値を優先採用した。生産量は<sup>5)</sup>による20品目である。主要基礎品については工場別に点源別排出量を推計できる。推計結果は21Gg/y(0.14%)である。全

土合計では相対的に排出寄与は小さいが、局所的な光化学大気汚染を引き起こす可能性は十分ある。

### ③ 塗料溶剤

中国での塗料消費量は中国統計年鑑<sup>9)</sup>には記載がないが、Zhu Yushu等(1996)<sup>7)</sup>に1995年の17種類に区分された塗料種類別生産量が示されているので、その値を消費量として用いた。含有、希釈溶剤率は日本での設定値<sup>9)</sup>を適用した。両国の塗料種類区分が一致しない部分は類似の塗料種類を当て、さらに日本の設定値を適用できない部分については含有、希釈とも一律30%の溶剤率を与えた。表2に示したように1995年における中国の塗料消費量は170万t、アルキド樹脂系が2割、フェノール樹脂系、油性塗料が1割等となっており、その構成は日本とはかなり異なっている。溶剤消費量推計結果は含有、希釈とも約50万tHCで計約100万tである。処理除去なしと想定して中国での塗装からのNMVOC排出量は1017Gg/yと推計された。この推計値は各塗料種類別に想定した溶剤率の加重平均で含有、希釈とも約30%程度の溶剤率を想定した場合に基づくものである。この推計結果では塗料溶剤の排出量は図1に示すように固定蒸発発生源の75%を占めるが、総排出量に対しては6.80%である。また日本の塗料溶剤排出量(1993年度)の1.26倍である。

表2 中国における塗料溶剤からの非メタン炭化水素発生量(1995)

Paint Type	Product t/y	Percent %	Solvent% in Paint	Thinner %	Solvent Paint t/y	Thinner t/y	Solvent Total t/y
Total	1,696,075	100	31 #	28.57 #	532,030	484,587	1,016,617
Oils & fats paint	163,878	9.66	6	24.38	9,833	39,953	49,786
Natural resin paint	100,767	5.94	30 *	30.00 *	30,230	30,230	60,460
Phenol-formaldehyde resin paint	212,988	12.56	30 *	30.00 *	63,896	63,896	127,793
Bitumen resin paint	42,921	2.53	30 *	30.00 *	12,876	12,876	25,753
Alkyd resin paint	363,040	21.41	45	32.65	163,368	118,533	281,901
Amino resin paint	104,237	6.15	35	27.20	36,483	28,352	64,835
Nitro resin paint	60,745	3.58	30 *	30.00 *	18,224	18,224	36,447
Cellulose paint	1,240	0.07	30 *	30.00 *	372	372	744
Perchlorovinyl resin paint	22,290	1.31	50	30.64	11,145	6,830	17,975
Vinyl resin paint	47,210	2.78	50	30.64	23,605	14,465	38,070
Acrylic resin paint	51,221	3.02	45	39.04	23,049	19,997	43,046
Epoxy resin paint	53,662	3.16	37	24.05	19,855	12,906	32,761
Polyester resin paint	127,850	7.54	21	22.78	26,849	29,124	55,973
Polyurethane resin paint	85,793	5.06	39	39.09	33,459	33,536	66,996
Silicone resin paint	3,807	0.22	30 *	30.00 *	1,142	1,142	2,284
Rubber paint	14,265	0.84	36	11.51	5,135	1,642	6,777
Other paint	175,028	10.32	30 *	30.00 *	52,508	52,508	105,017
Auxiliary material	65,133	3.85	0	0.00	0	0	0

\* : Assumed 30% Tentatively

# : Weighted Mean%

### ④ 工業用溶剤

#### ア、ゴム用溶剤

中国でのゴム生産については統計資料が乏しいが、タイヤの生産量が得られる<sup>9)</sup>ので、日本のタイヤ生産とゴム用溶剤消費量の関係<sup>9)</sup>からタイヤ1条当りのNMVOC排出量を求めると0.283kgHC/条であり、中国でも同水準の排出があると仮定してタイヤ生産工程でのゴム用溶剤使用量すなわちNMVOC排出量を26GgNMHC/年(0.18%)と推計した。

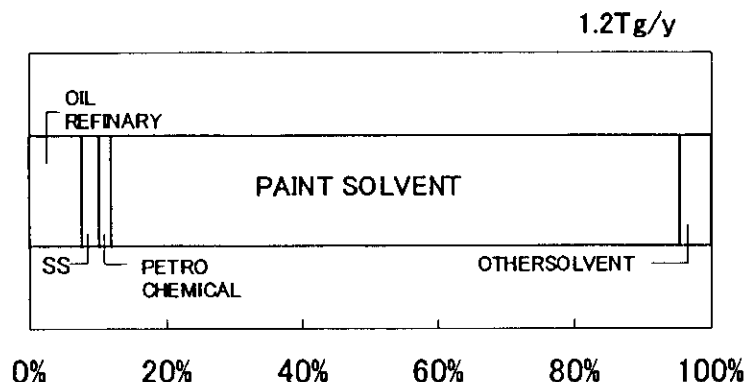


図1 中国における固定揮発発生源からの非メタン炭化水素発生量の割合（1994～1995中国年）

### イ、塩素化系溶剤

塩素化系溶剤は、その使用量<sup>5)</sup>を排出量と見なして推計した。トリクロロエチレン16GgHC/年、パークロロエチレン、13GgNMHC/年で1994年の塩素化系溶剤合計29GgNMHC/年(0.19%)である。パークロロエチレンの80%はドライクリーニング用である<sup>5)</sup>。以上から塗料以外の工業用、クリーニング用溶剤からのNMVOC排出量は55Gg/y(0.37%)と推計された。この他にも例えば印刷インキ溶剤、有機系接着剤溶剤、食用油抽出、繊維しみ抜き等、また塗料、印刷インキ製造工程等、溶剤使用に伴うNMVOCの排出があると考えられるが、上記の推計結果から多く見積もっても100Gg/y以内程度であろうと考えられる。

### ⑤ 推計対象外固定蒸発発生源

石炭鉱業関係の排出について推計していない。石炭鉱業から排出が多いのはCH<sub>4</sub>でNMVOCはそれに比べて十分低い水準であると考えられるが、排出を無視出来るほど小さくはないであろう。とくに中国では石炭の産出量も多いので、推計してみるべき発生源であろう。例えば揮発成分の多い石炭を露天掘している炭鉱ではかなりのNMVOCの排出があると考えられる。坑内掘の場合でもメタンに伴いエタン、プロパンが数%排出される<sup>1)</sup>。炭種によっては貯炭場や無蓋貨車輸送中にも無視できない排出がある場合も考えられる。実排出水準は石炭の性状によって大きく異なるものと考えられるが、それと関係付けた排出係数は報告されていないようである。それが今回推計を行わなかった理由であるが、今後検討すべき課題の一つであろう。

### ⑥ 蒸発固定発生源まとめ

以上から蒸発固定発生源合計1350Gg/yである。これは次に述べる燃焼系発生源を合わせた総排出量に対し9.03%の寄与である。蒸発発生源として後に述べるガソリン車の蒸発損失もあり、それを合わせた値1748Gg/y(11.69%)が蒸発発生源計となる。固定蒸発発生源の寄与が相対的に小さいことが中国の排出の特徴である(図1)。

## (2) 燃焼発生源

### ① 固定発生源

固定燃焼発生源からのNMVOC排出量については主として燃料種類別に、発生源業種による燃焼機

器の規模等を考慮して推計した。排出係数は西欧の事例<sup>1)</sup>を参考にした。発電所等の大規模ボイラでは微粉炭燃焼であるのでNMVOC排出濃度は低いと考えられる。1t/h程度の小型の石炭ボイラーの場合には固定火格子塊炭燃焼、4t/h程度のボイラでは振動火格子、20t/h級ではチェーンストーカ型が用いられている<sup>2)</sup>。これらの小型ボイラでは燃焼が還元雰囲気になりやすくNMVOC、CH<sub>4</sub>が発生しやすいと想定される。このような想定に従って西欧の排出係数設定事例を適用した。その結果主として工業用と考えられる小規模石炭燃焼ボイラの排出量が突出して大きい推計結果となった。コークス炉については日本の実測例から大きめの事例を与えた<sup>3)</sup>。推計結果は表3に示すように8421Gg/yであり、総排出量の56%を占め最も主要な発生源は石炭燃焼、とくに中小規模の燃焼設備である。石炭以外の燃料油、天然ガスの燃焼によるNMVOCの排出は小さい。推計結果を表4に示すが、33Gg/y(0.22%)の寄与である。

表3 中国における石炭燃焼に伴う非メタン炭化水素発生量(1994中国年)

Emission Sources	Fuels	Fuel Consumption 1000t	Thermal Consumption PJ	NMHC EF g/GJ	NMHC Emission 1000t/cy	EF applied
Power Plant	coal	403216	8441	30	253	>=50MW boiler #1
Thermal Plant	coal	55327	1158	30	35	>=50MW boiler #1
Coke Production	Mat.Coal	139479	2920	265	774	JEA New Otto#2
Coke Consumption	Mat.Coal	139479	2920	12	35	Coke oven#1
Coal Gas Generation	Mat.Coal	7880	165	12	2	Coke oven#1
Coal Washing Loss	Coal	43103	902	0	0	
Others(Industries)	Coal	582923	12203	600	7322	<30MW boiler#1
Coal Total		1231928	28709		8421	

Coal LHV 5000kcal/kg

J=4.1868cal

#1: Emission Factors : EMEP/CORINAIR(1996) Atmospheric Emission Inventory GUIDEBOOK Vol1  
. B111-50,Table26 ,http://WWW.eea.dk/aegb/

#2 : JEA,1976,401p,Table3.1 0.2 New Otto Type COG, n=1, 111kg/10<sup>8</sup>kcal=max case

Fuel Consumption Statistic Data and Caloryfic Value Data Source: China Emnergy Statistical Yearbook,1991-1996

表4 中国における石油とガスの燃焼に伴う非メタン炭化水素発生量(1994中国年)

Fuels	LHV kcal/ kg,m3	Fuel Consumption 1000t	Thermal Consumption PJ	NMHC EF g/GJ	NMHC Emission 1000t/cy	EF applied
Kerosene	10200	4523.2	193	15	3	<50MW boiler#1
Diesel	10200	18708.7	799	15	12	<50MW boiler#1
Heavy Oil	10000	35948.9	1505	10	15	>=50MW boiler #1
Natu.Gas#2	9310	17342	676	5	3	>=50MW boiler #1
Oil,Gas Total		-	3173		33	

#1: Emission Factors : EMEP/CORINAIR(1996) Atmospheric Emission Inventory GUIDEBOOK Vol1  
. B111-50,Table26 ,http://WWW.eea.dk/aegb/

#2: Natural Gas Consumption Unit: 10<sup>6</sup> M3

Fuel Consumption Statistic Data and Caloryfic Value Data Source: China Emnergy Statistical Yearbook,1991-1996

## ② バイオマス燃焼

農村部での農業廃棄物、薪等のバイオマス燃料の使用については従来中国政府の統計はなかったが、最近出たエネルギー統計<sup>11)</sup>には薪、稲藁、自家発生メタンの三種類について示されている。ここでは1995年値について推計した。1995年の中国の総エネルギー消費量はバイオマスを含んで1510MTCOEであり、バイオマス燃料は17%((11)より計算)を占めている。中国のバイオマス燃料

消費量については文献10)にも統計値が示されていた。この<sup>11)</sup>の値は<sup>10)</sup>よりやや小さいが、年次の違いを無視して総量では4%程度の差であり正確な統計が得難いものである。ほぼ等しいと言える。推計結果を表5に示す。メタンは消費量、排出量ともに小さい。しかし家庭用炊事、暖房燃焼機器でのバイオマス燃焼は、ここで480g/GJの大きな排出係数<sup>1)</sup>を与えているようにNMVOC排出が大きな発生源であり、3532Gg/y、24%と石炭燃焼に次ぐ排出寄与となっている。

表5 中国におけるバイオマス燃焼に伴う非メタン炭化水素発生量 (1995中国年)

Biomass Fuel	Calrific Value LHV Kcal/kg	Fuel Consumption 1000t,10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Fuel Consumption Mtce	Thermal Consumption LHV PJ	NMHC EF g/GJ	NMHC Emission 1000t/y	EF applied#1
Crop Stalk	3000	352156	151	4423	480	2123	Fireplace Stove
Firewood	4000	175235	100	2935	480	1409	
Methane#2	5000	1515	1.08	32	10	0.3	
TOTAL		528906	252	7390		3532	

#1: EMEP/CORINAIR(1996) Atmspheric Emission Inventory GUIDEBOOK Vol1,B112-14.Table6 ,http://WWW.eea.dk/aegb/

#2: Fuel Consumption Methane is 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>

Fuel Consumption Statistic Data and Caloryfic Value Data Source: China Ernergy Statistical Yearbook.1991-1996

### ③ 移動発生源

#### ア、ガソリン車

中国での走行車両はガソリン乗用車については西欧系の会社の現地生産車が多いようであり、最近の西欧での排出係数<sup>1)</sup>が参考になる。燃料消費量からNMVOC排出量を求める排出係数は、走行道路区分または速度によらない概括的な排出係数も用意されている。ガソリン車についてはエンジン排ガスだけでなく、蒸発損失も推計した。ここで用いたガソリン車のNMVOC排出係数、エンジン排ガス928g/GJ、蒸発損失342g/GJ、合計1270g/GJは、エンジン3.75、蒸発1.38、合計5.13g/kmに相当し、かなり高排出水準である。例えば1972年頃の英国における自動車のエンジン排ガスNMVOC排出係数は小型大型を平均して2.9g/台kmと想定されている<sup>12)</sup>。これは燃料当23g/lまたは31g/kgfuelに相当する<sup>13)</sup>。また、同時に蒸発損失として0.56g/台km、4.4g/l、5.9g/kgfuelの排出がある<sup>14)</sup>。蒸発を含めて844g/GJであり、ここで用いた排出係数より1972年頃の英国の排出係数の方が小さい。ガソリン車全般と乗用車の差と考えればここで用いた値が過大であるとの評価を避けることができるが、走行区域別に設定された排出係数では、ガソリン乗用車の場合、都市部で3.60g/km、田園地帯で1.70g/km、高速道路で1.00g/kmである<sup>1)</sup>。これは燃費から燃料当に換算するとそれぞれ、30、25、16g/kgfuelである。排出抑制に不利な都市部の走行条件下でも上記採用値よりやや小さい。ここでの基本方針は基礎情報が不明の場合は安全を見て大きめの推計を採用しており、排出係数が過大かという印象もあるが、1270g/GJを採用した。その結果、表6に示すように、1477Gg/y(9.88%)と推計された。寄与の大きさから言ってガソリン車の排出係数設定は推計結果に大きな影響を与える重要要素である。

#### イ、ディーゼル車

バス、貨物トラックに関しては自国技術の車両が多いものと想定する。バスは都市内走行がほとんどであるので走行地域別都市部の大型ディーゼル車(16t以上級)の排出係数<sup>1)</sup>を用いた。また貨物車は都市間の大型貨物車の走行が多いと想定する。田園地帯の大型ディーゼル車(16t以上級)の排出係数<sup>1)</sup>は熱量当では170g/GJであり、走行地域によらない概括排出係数<sup>1)</sup>は190g/GJであ

る。1割程度の差でしかないが大きいほうの190g/GJを採用した。推計結果はバス、24Gg/y (0.16%)、トラック16Gg.y (0.11%)、ディーゼル車計40Gg/y (0.27%)であり、現状では寄与は小さい。

表6 中国における移動発生源からの非メタン炭化水素発生量 (1994中国年)

Emission Sources	Fuels	Fuel Consumption 1000t	Data Year CY	HHV kcal/kg	LHV kcal/kg	Thermal Consumption LHV Pcal	NMHC EF g/GJ	NMHC Emission 1000t/y	EF
Gasoline Vehicles Engine	Gasoline	26967.3	1994	11304	10300	1163	928	1080	#1
Gasoline Vehicles Evapo	Gasoline	26967.3	1994	11304	10300	1163	342	397	#1
Gasoline Vehicles Total	Gasoline	26967.3	1994	11304	10300	1163	1270	1477	#1
Buses	Diesel	1643.0	1994	10918	10200	70	339	24	#2
Trucks	Diesel	2018.6	1994	10918	10200	86	190	16	#3
Vehicles Total	Diesel	30628.9	1994	10918	10200	1319		1517	
Agricultural: Tractor	Diesel	9342.5	1994	10918	10200	399	110	44	#4
Rail Ways	Diesel	1934.2	1994	10918	10200	83	288	24	#5
Vessels	Diesel	4383.2	1994	10918	10200	187	145	27	#6
Mobile Diesel Total	Diesel	19321.4	1994	10918	10200	825		135	
Mobile Sources Total		15659.8	1994			1988		1612	

- #1: EMEP/CORINAIR(1996) Atmospheric Emission Inventory GUIDEBOOK Vol2 Table7.6 Gasoline Passenger Cars Uncontrolled, 12.3l/100km assumed Exhaust 3.75g/km, Evapo 1.38g/km Total 5.13g/km=55.5g/kgfuel=1.27g/MJ, [http://WWW.eea.dk/aegb/cap07/b710\\_4.htm](http://WWW.eea.dk/aegb/cap07/b710_4.htm),  
 #2: ibid.,Table7.35 Diesel Heavy Duty Vehicles >16t URBAN 366g/km fuel = 44.4l/100km assumed, 5.8g/km,16g/kgfuel, converted= 339g/GJ  
 #3: ibid,Table7.12 Diesel Heavy Duty Vehicles 30.8l/100km assumed, 2.08g/km=8.16g/kgfuel=190g/GJ  
 #4: ibid Table7.10 Diesel Light Duty Vehicles 11.0l/100km assumed, 5.13g/km=28.5g/kgfuel=0.11g/MJ  
 #5: USEPA(1977),AP42, 3.2.2 THC 11g/l,99%NMHC assumed=288g/GJ  
 #6: USEPA(1977),AP42, 3.2.3 THC6.0g/l, 61.4kg/10<sup>8</sup>kcal, 99% NMHC assumed=145g/GJ

Fuel Consumption Statistic Data and Caloryfic Value Data Source: China Energy Statistical Yearbook,1991-1996

#### ウ、鉄道・鉄道

鉄道、船舶については最近は低い値の排出係数も発表されているが、ここでは大きめの排出があるものと想定してUSEPAの古い排出係数<sup>15)</sup>をあえて採用してみた。結果は鉄道、24Gg/y (0.16%)、船舶27Gg/y (0.18%)でディーゼル自動車と同程度であった。

以上、移動発生源からのNMVOC排出量推計結果合計は表6に示すように1612Gg/y (10.78%)であるが、そのほとんどはガソリン車からの排出である。

#### (3) 人為起源NMVOC排出量まとめ

以上の推計結果から燃焼系NMVOC排出量を合計すると表7に示すように13201Gg/y (88.31%)となった。またガソリン自動車の蒸発損失を含む蒸発系発生源排出量は1748Gg/y, (11.69%)である。

図2に全人為起源排出量の発生源構成を示すが、蒸発系発生源の寄与が相対的に小さく、石炭、バイオマス燃焼による排出が突出していることが中国の特徴と言える。これは図3に示す日本の排出構成と比較するとよくわかる。燃焼系の寄与が小さく、ほとんどが蒸発系である日本の排出構成に比べて、中国では蒸発系の寄与が小さく、燃焼系の寄与が圧倒的に大きく全く逆転した構成になっている。

このような推計結果になったことは、製造業等一般の石炭燃焼施設の排出係数に中小規模を想定した一律の排出係数600g/GJを与えたことが大きな原因となっている。業種毎にボイラ規模構成を想定して、大規模ボイラには相応の低い排出係数を与えれば結果は下方に修正される。日本の燃焼系NMVOC排出量推計にはボイラに関して施設規模の関数にした排出係数を用意して用いてい



る<sup>16)</sup>。一次近似としては中国における中小石炭燃焼施設のNMVOC排出係数が大きいと想定することは的を得ているものと考えられるが、ここで用いた排出係数の水準とその与え方が、果たして妥当であったかは再考を要するものである。

表7 中国における人為起源非メタン炭化水素発生量 (1994~1995)

Sources	Calendar Year	NMVOC Emission 1000t/y	NMVOC Emission %
Oil Refinery	1994	92	0.62%
Rubicant	1995	2	0.01%
Filling Underground Tank	1994	13	0.09%
Refueling Displacement Losses	1994	17	0.12%
Gasoline Service Station Total	1994	30	0.20%
Oil Supply Total	1994,95	124	0.84%
Petro Chemical Products	1994	21	0.14%
Paint Solvent Use	1995	1017	6.86%
Tri Chloro Ethilene	1994	16	0.11%
Per Chloro Ethilene	1994	13	0.09%
Chlorous Total	1994	29	0.20%
Rubber Solvent Use (Tyres Production)	1994	26	0.18%
SOLVENT Total	1994,95	1101	7.43%
STATIONARY EVAPORATIVE TOTAL	1994,95	1216	8.21%
Power Plant	1994	253	1.71%
Thermal Plant	1994	35	0.23%
Coke Production	1994	774	5.23%
Coke Consumption	1994	35	0.24%
Coal Gas Generation	1994	2	0.01%
Others (Industries)	1994	7322	49.42%
Coal Total	1994	8421	56.84%
Kerosene	1994	3	0.02%
Diesel	1994	12	0.08%
Heavy Oil	1994	15	0.10%
Natu.Gas	1994	3	0.02%
Oil,Gas Total	1994	33	0.22%
Crop Stalk	1995	2123	14.33%
Firewood	1995	1409	9.51%
Methane	1995	0	0.00%
Biomass Total	1995	3532	23.84%
Stationary Combustion Total	1994	11986	80.91%
Gasoline Vehicles Engine	1994	1080	7.29%
Gasoline Vehicles Evapo	1994	397	2.68%
Gasoline Vehicles	1994	1477	9.97%
Buses Diesel	1994	24	0.16%
Trucks Diesel	1994	16	0.11%
Vehicles Total	1994	1517	10.24%
Agricultural; Trackter	1994	44	0.30%
Rail Ways Diesel	1994	24	0.16%
Vessels Diesel	1994	27	0.18%
Mobile Diesel Total	1994	135	0.91%
Mobile Sources Total	1994	1612	10.88%
EVAPOLATIVE TOTAL #1	1994,95	1614	10.89%
Fossil Fuel COMBUSTION TOTAL#2	1994	9669	65.27%
COMBUSTION TOTAL#2	1994,95	13201	89.11%
ARTIFICIAL TOTAL	1994,95	14815	100.00%

#1: STATIONARY EVAPO+ Gasoline Vehicle Evapo

#2: Excluding Gasoline Vehicle Evapo.

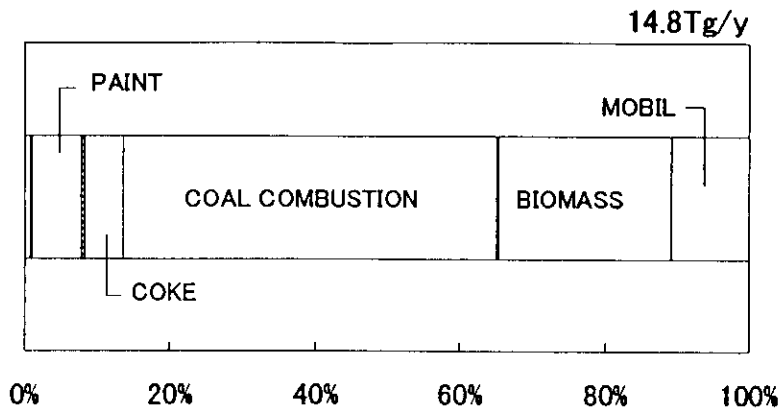


図2 中国における人為発生源からの非メタン炭化水素発生量の割合

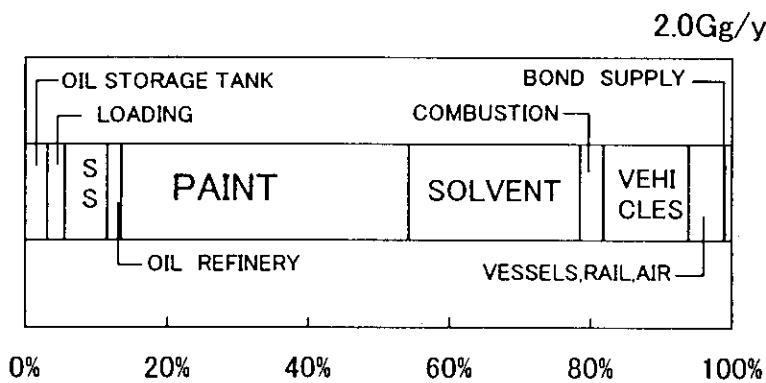


図3 日本における人為発生源からの非メタン炭化水素発生量の割合 (1993年度)

ちなみに他の推計結果と比較してみると、例えばR I V Mが推計した世界排出量データ、EDGE R, Ver2に1990年のNMVOC排出量データ<sup>17)</sup>があるが、その中国の排出量は18.2Tg/yである。我々の推計と比較して見ると、表8に見るように、発生源の構成はかなり異なっており、燃焼発生源合計では、2割の差しかないが、化石燃料とバイオマスの構成が全く逆転しており、我々の推計は上述のように化石燃料とくに石炭について大きな推計結果となっているが、R I V Mの推計ではバイオマス燃焼がきわめて大きい。彼等は薪の消費量をかなり大きく見積もっているか薪焚の家庭用炊事暖房機器の排出係数が相当大きい値と考えられる。また蒸発発生源についても彼等の推計は我々の推計に対して過大であり、3.7倍の大きさになっている。この傾向はR I V Mの日本のNMVOC排出量が5.4Tg/yとより信頼できる国内推計値<sup>1)</sup>の2.1Tg(1990年度)の2倍以上となっていることからもうかがえる。蒸発発生源についてR I V M推計の日本の排出量は2.6Tgであり、我々の国内推計値は1.7Tgであった。このことからR I V Mの蒸発固定発生源推計は過大な傾向と判断される。

また、自動車のNMVOC排出についてR I V Mは大きな排出係数を与えており、我々の中国推計が同様の欧州排出係数を用いたので中国の自動車排出に関してはほぼ一致した結果であったが、日本についてはR I V M推計は2.3Tg、国内推計0.3Tgと8倍もの違いがあった。これについては国内推計で用いている排出係数には蒸発損失は含まれておらず、これが実際にはかなり大きい可能

性もあるので、国内推計が過小との評価も成り立つ。

R I V M推計にあって我々の推計になかったのはUncontrolled waste burning(廃棄物の野焼き)1.9Tg、Deforestation(山火事?)0.4Tg、Savannah burning(草地火入)0.1Tgである。これらをどうやって推計したのかR I V Mの報告書では詳しい説明はないが、基礎活動量の統計値が得られれば信頼性は低くとも推計を試みるに値しよう。

#### (4) 今後の課題

以上、中国の人為起源NMVOC排出量の推計について検討した。中小燃焼機器における石炭の排出係数を正確に設定することが推計精度向上の鍵である。アジア諸国での排出量推計にあっては、実態を反映した結果を得るためには発生源排出実態の実測が必要不可欠である。このような認識もその重要性をようやく認められつつあり、1999年1月に新潟でアジア諸国の関係者を招いて専門家会合が持たれた<sup>18)</sup>。各国の発生源施設実測事例がすぐにも報告される日程が具体化されているわけではないが、各国での実測事例は実際の排出水準を知る手がかりとなり、他国の排出係数を適用するにも、客観的な裏付けのもとで排出係数を設定できることの意義は大きく、推計結果の信頼性を飛躍的に高めるものである。燃焼系のNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>について、そのような実測事例がもっとも最初に収集される可能性が高いが、NMVOCについては一段と難しい面があり、CH<sub>4</sub>を含むTHCについての実測結果でも、あれば十分参考になるので、測定実施の日程を出来る限り早めることが重要である。こうした排出実態の調査はこれからの国際共同研究の一課題ともなるべきものである。最近では持ち運びが簡易な小型測定機器も開発されており、それらの機器を用いれば、多数ヶ所の実測もさほどの負担なく実施できる。中国やアジア各国での実測事例が多数報告されることが排出量推計の信頼性を得る上できわめて重要である。

## 2、東アジア地域の人為起源NMVOC排出量

中国の排出量が突出して大きいのが、東アジア全域の総排出量を求めるべく得られた地域別排出量をまとめてみると、表8を得た。北朝鮮、モンゴル、シベリア地域については推計値は得られていない。発生源構成を比較する目的でSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>についても東アジアの地域別排出量をまとめて表9に示す。うち、日本の排出量については筆者(外岡)が推計を担当してきた経緯があり、1993年度NMVOC排出量推計値を中国と比較する目的で既に図3に示したが、詳しくは都道府県別にも排出量が推計されており、さらに発生源の基礎活動量のメッシュ・データを用いて経緯度約10km×10kmの、国土地理院因の標準2次メッシュ別の排出分布を推計した。日本については化学反応を含む移流拡散モデル・シュミレーション用に発生源種類別・月別・時刻別・物質種類別にグリッド(メッシュ)・データを算出できる計算体系が用意されている。最終的には東アジア全域についてそのような移流拡散モデル・シュミレーション用の発生源データ計算体系が整備されるべきであるが、現時点ではそこまでは研究作業が進んでおらず、中国のグリッド別排出量分布の推計、韓国、台湾地域等の各国推計最新最詳細値の入手が、次ぎの段階の研究作業であり、それを踏まえて全域にまたがる移流拡散モデル・シュミレーション用の発生源データ計算体系を整備できる条件が整うことになる。この計算体系については手法の考え方は既にできているが、具体化されていないので、ここでは説明を省く。次ぎの段階の研究作業がほぼ完成した時点で、その具体化に着手することになる。

表 8 東アジアにおける非メタン炭化水素の国、セクター別発生量

Area	Evaporative Sources	Combustion Sources			Artificial Total	Data Year	
		Sub Total	Stationary	Mobile			
China	1170	12890	12762	128	14060	1994	*1
Taiwan.area#1		889	478	411	889	1991	*2
Korea	667	154	21	133	821	1997,96#2	*3
Japan	1551	405	67	338	1956	1993	*4
4.Araes.Total	3388	14338	566	882	17726		

#1: Stationary, Mobile include evaporative sources, unseparatable evapo & comb.  
 #2: NMVOC from Evapo. sources, 1997, HC from Comb. sources, 1996

\*1: This work

\*2: Chang Ken-Hui, Fu-Tian Jeng (1994) Emissions Inventory and Distribution in Taiwan, the 2nd International Workshop On the Harmonization of the Monitoring Techniques of Acid Deposition and the Methodology of Emission Inventories of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in East Asia, Tubuka

\*3: Korea Government (1999) Country Report on Expert Meeting on Emission Monitoring and Estimation, Niigata

\*4: IBS (1996) Inside Report for JEA

表 9 東アジアにおける二酸化硫黄および窒素酸化物発生量 (1990)

ARAE	ALL ARTIFICIAL TOTAL	STATIONARY				MOBILE			
		SUB-TOTAL	POWER PLANT	INDUSTRY	BUILDINGS RESIDENCE	SUB-TOTAL	VEHICLES	VESSELS	
JAPAN*1	989	745	206	503	36	244	210	35	
CHINA	20951	20820	6799	10203	3817	132	89	43	
TAIWAN*2	583	551	317	214	20	32	30	2	
KOREA*3	1611	1422	280	806	336	189	77	112	
NORTH KOREA	676	671	116	528	28	5	5	-	
FAR EAST RUSSIA*4	247	244	-	-	-	3	3	-	
MONGOLIA*5	62	61	45	8	3	1	0	0	
EAST ASIA TOTAL	25119	24514	7763	12262	4240	606	414	192	

ARAE	ALL ARTIFICIAL TOTAL	STATIONARY				MOBILE			
		SUB-TOTAL	POWER PLANT	INDUSTRY	BUILDINGS RESIDENCE	SUB-TOTAL	VEHICLES	VESSELS	AVIATION
JAPAN*1	1455	792	213	524	54	715	666	42	7
CHINA	6722	6272	2263	3557	452	450	208	241	1
TAIWAN*2	599	238	115	115	8	361	358	0.3	0.03
KOREA*3	925	391	129	203	58	535	412	123	-
NORTH KOREA	0	202	101	161	3	31	-	-	-
FAR EAST RUSSIA*4	89	61	-	-	-	29	-	-	-
MONGOLIA*5	40	39	34	3	1	0.4	-	-	-
EAST ASIA TOTAL	9830	7995	2855	4563	576	2121	1644	406	8

\*1: 1990 FY. RAIL IS INCLUDED in VEHICLES. VESSEL=INSIDE HARBOR AREA ONLY : OFFSHORE SO<sub>2</sub> =276.30 × 10<sup>3</sup>t  
 \*2: 1991 CY. from LIN (1994)  
 \*3: BY KOREA GOVERNMENT RAIL IS INCLUDED in VESSELS  
 \*4: from Berlyand M.E. (1990)  
 \*5: 1985

### 3、自然起源NMVOC排出量

植物起源のNMVOC排出量については、イソブレン、テルペン、それ以外のVOCに分けて、月別に推計した結果を表5、6に示す。この推計では、図示した地域(10° N~60° N × 100° E~160° E)の自然起源VOC排出量は22.9Gg/yである。イソブレンの排出が最も大きく半分を占めており、その他のVOC、モノテルペンの順であった。

植物のVOC放出量は気温の関数として推計され、夏季が最大となる。図示地域内の月別排出量は

分の排出がある。逆に冬季11月から4月まではきわめてわずかな排出量しかなく、ほとんど排出なしに近い結果となっている。

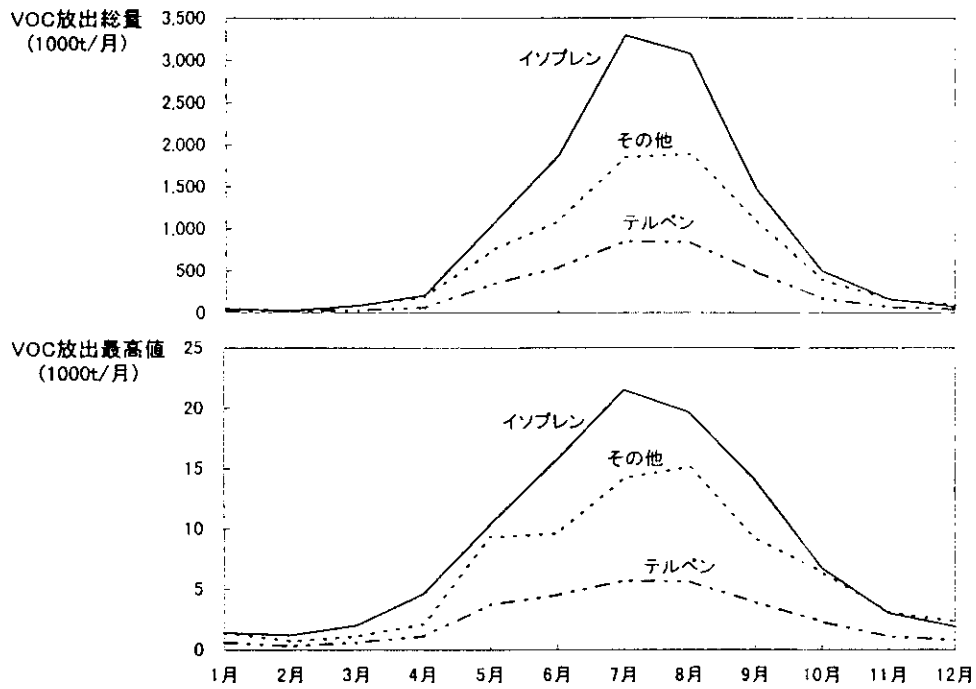


図4 東アジアにおける生物発生源に由来する揮発性炭化水素発生量の経月変化

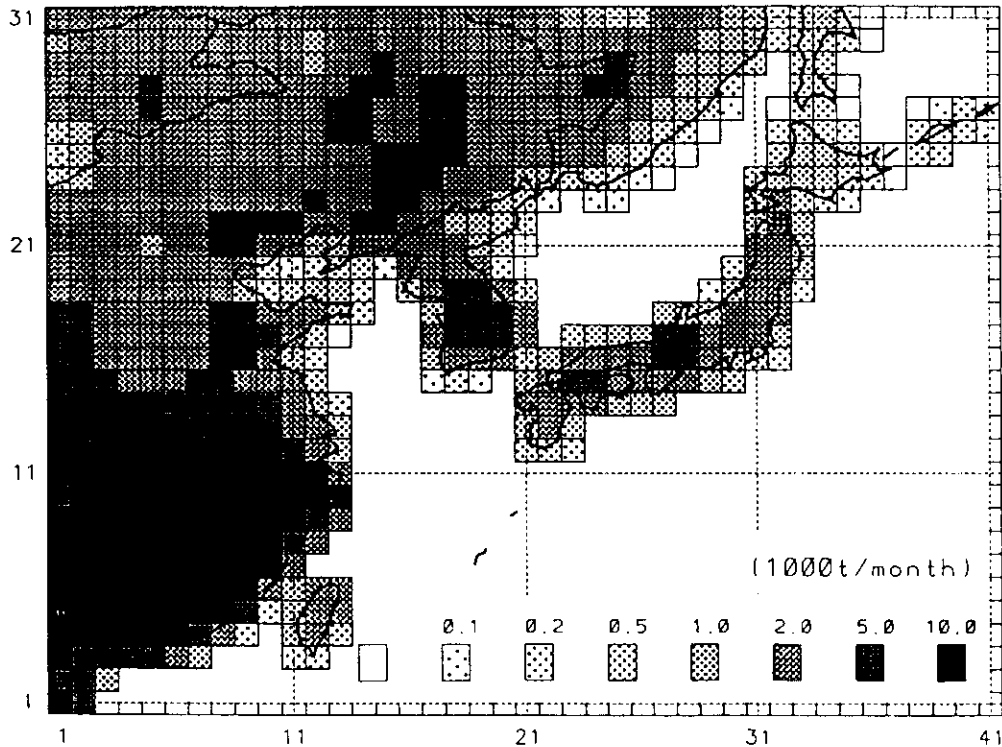


図5 東アジアにおける7月の生物発生源に由来するイソプレン発生量地図

2, 日本における家畜、肥料からのアンモニア発生量

日本における家畜、肥料からのアンモニア発生量の推定を平成7年度データでアップグレードした。発生係数は前回と同じ値を用いた。すなわち、乳用牛・肉用牛：23.04、豚：5.36、卵・肉鶏：0.248 kgNH<sub>3</sub>/頭/年とし、肥料についても、前回同様、窒素肥料のすべてから、10%が揮散するとした。以下の資料を収集し使用した。

- イ 北海道農業統計表、平成7年度（1995年）、北海道農政局（平成8年3月）発行
- ロ 家畜改良関係資料、平成7年度（1995年）、農林水産省畜産局家畜生産課（平成9年4月）発行
- ハ 食鳥流通統計、平成7年度（1995年）、農林通産省統計情報部流通消費統計課
- ニ 肥料年鑑、平成7年度（1995年）、肥料協会新聞部発行第42版

結果としては、豚からのアンモニア放出量は、豚の頭数が、1991年：8,040,957頭から1995年：6,655,443頭へ減少しており、その結果を反映していた。肥料では、使用量が、1991年：603,799Nトンから1995年：572,977Nトンへ減少している。家畜及び肥料を合わせたアンモニア放出量について、1995年と1991年の差の分布を作成した。豚の頭数の減少、及び肥料の使用量の減少を反映して、少し減少しているが前回（平成3年度データ）と発生量に大きな差は無かった。

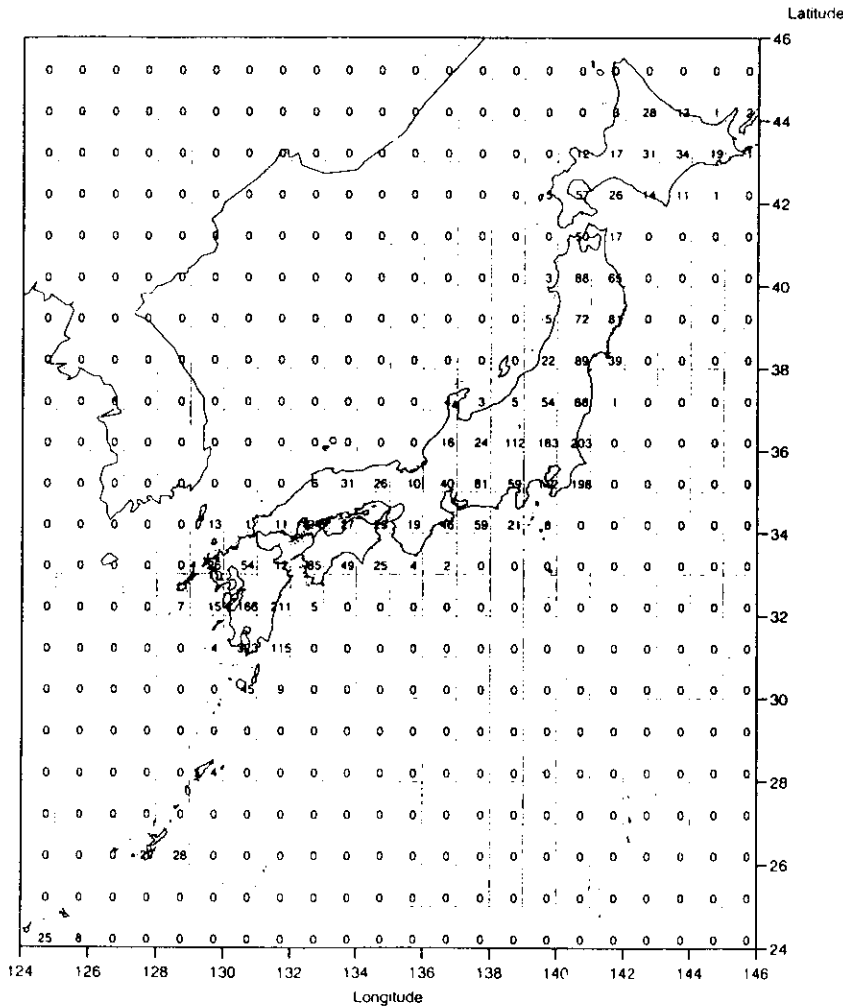


図6 豚からのアンモニア放出量マップ (10ton NH<sub>3</sub>/年)

### 3. 二酸化硫黄及び窒素酸化物の排出モデルと経済成長モデルを結合した統合モデルの開発

二酸化硫黄及び窒素酸化物の排出に関しては、近年、経済発展に伴う所得の増加が公害対策を促進させるという関係、即ち、環境クズネツ曲線を仮定した予測が求められるようになってきた。これは、ある一定の所得水準に達すると、大気汚染の影響の評価に関して被害額が大きく見積もられるようになり、大気汚染対策を促進するインセンティブが高まるという歴史的な事実に基づく現象である。このような現象が勘案されるようになってきた背景には、人間の適応行動を無視した警告型予測では、政策決定に役立つ情報が非常に少ないことへの反省があり、人間の適応行動を十分予測した上でこれらの行動を支援するような政策を立案することの方が、より効率的で効果があるとの認識に基づく。このため、二酸化硫黄及び窒素酸化物の排出モデルに経済成長のフィードバックを勘案することが求められるようになってきた。

このようなニーズに対応するため、今までに開発してきた排出モデルに経済成長モデルをリンクさせた新しいモデルを開発した。このモデルは、各国各地域の一人当たりGDPと大気汚染対策の開始時期との関係をモデル化したものであり、経済成長のフィードバックが過去の歴史にそって再現できる構造になっている。そして、このモデルを用いて、中国の4つの経済発展のシナリオを仮定したときの、二酸化硫黄と窒素酸化物の将来の排出量をシミュレートした。ここで前提とした4つの経済成長シナリオは、西欧型経済発展シナリオ（A1）、経済ブロック化シナリオ（A2）、持続形発展シナリオ（B1）、及び環境重視型地域強調シナリオ（B2）である。それぞれのシナリオ毎に、異なった潜在経済成長率、人口、及び各種技術の革新の度合いを設定された。

このシミュレーション結果を図7と図8に示す。中国の二酸化硫黄の排出については、2020年

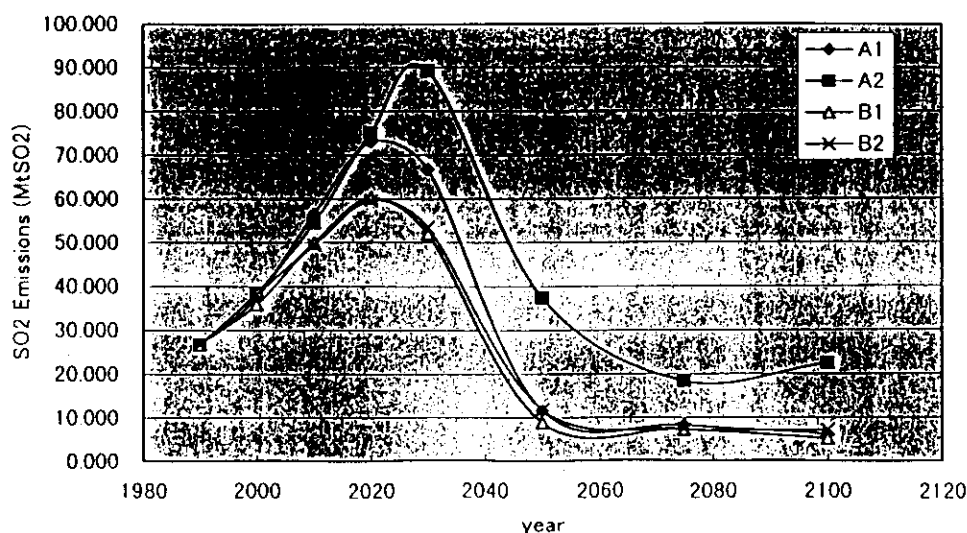


図7 中国における二酸化硫黄排出量の将来予測

から2030年ころをピークに排出量が減少する傾向にあるが、窒素酸化物については排出のピークが2030年から2050年にずれることが明らかとなった。経済成長が遅く、技術革新のスピードがゆるやかな経済ブロック化シナリオ（A2）において、大気汚染の解決が最も遅れる可能性がある。

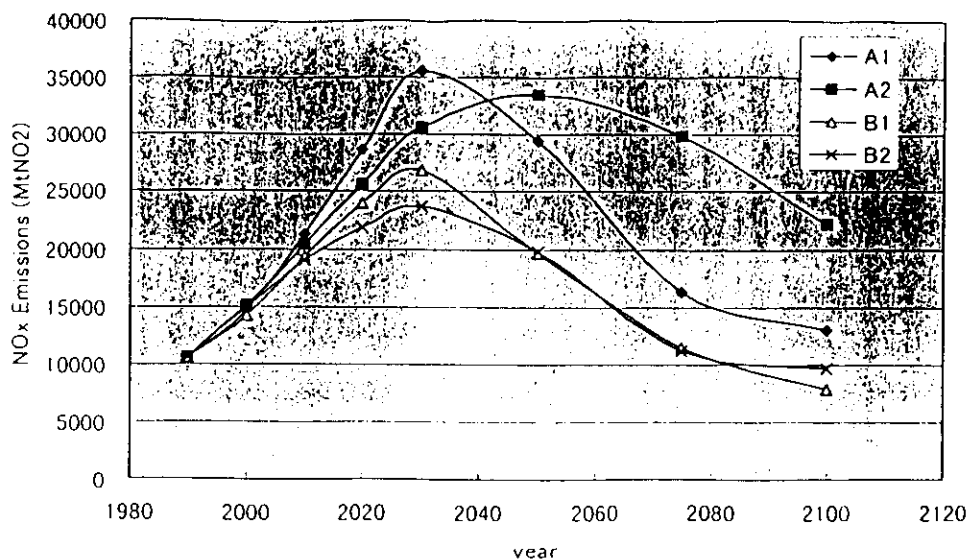


図8 中国における窒素酸化物排出量の将来予測

今後はこのモデルの制度をさらに高め、酸性雨の被害の予測に使っていく予定である。

付記 中国塗料種類別生産量については、日本塗料工業会、中尾氏から情報提供を受けた。ここに記して謝意を表するものである。

#### 文献

- 1) McInnes G. edt(1996)Atmospheric Emission Inventory Guidebook, EMEP/CORINAIR joint production, 同書は<http://www.eea.dk/aegb/>でも得られる。
- 2) CITEPA(1992)CORINAIR INVENTORY DEFAULT EMISSION FACTORS HANDBOOK, part6 (1991) ,p3
- 3) CITEPA(1992)CORINAIR INVENTORY DEFAULT EMISSION FACTORS HANDBOOK, part7(1991)Annex 1-15p
- 4) 計量計画研究所(1994)炭化水素類固定発生源対策基礎情報調査,環境庁委託(担当・外岡豊)
- 5) 東西貿易通信社編(1996)中国の石油産業と石油化学工業1996-97年版
- 6) 国家统计局編(1998)中国統計年鑑1998,中国統計出版社
- 7) Zhu Yushu,Liu Zexi(1996)China's paint production output ranks the 4th in the world, APIC, 27th
- 8) NEDO(1994)環境調和型石炭利用システム可能性調査,NEDO-C-9330, 430-433p
- 9) 環境庁(1976)固定燃焼施設における大気汚染物質の排出係数に関する調査報告書
- 10) SintonJ. E. etal(1996)China Energy Databook, LBL-32822Rev. 4
- 11) 国家统计局工業交通統計司編(1998)中国能源統計年鑑1991-1996
- 12) BriceK. A, R. g. Derwent(1978)Emissions Inventory for Hydrocarbonns in the U. K., Atmos Environ, Vol12, pp2045-2054
- 13) ibid, 2048p, UKにおけるガソリンエンジン車排ガスから490Gg, 同蒸発損失としてその16%、



94Gg(Table3及び本文)と記述があるが94/490は19%に相当するので、16%との記述を誤記と判断、エンジン排ガスの19%の蒸発損失があるものと解釈した。

- 14) 前出3)のPart3, 51pTableVI. 1. 5-1, 1)のB710-33, Table7. 31とも同じ値
- 15) US. EPA(1977)Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42
- 16) 計量計画研究所(1997)前駆物質排出目録検討調査報告書(実作業担当・外岡豊)
- 17) Olivier J. G. J et al(1996)Discription of EDGER Version2. 0, RIVM&TNO  
ftp://info.rivm.nl/pub/lae/EDGARV20/
- 18) ESCAP(1999)Report of the Expert Group Meeting on Emission Monitoring and Estimation,  
27-29, January, 1999, Niigata
- 19) IBS(1996)前出16)のための内部資料
- 20) Chang Ken-Hui, Fu-Tian Jeng(1994) Emssions Inventory and Distribution in Taiwan,  
the 2nd International Workshop On the Harmonization of the Monitoring Techniques  
of Acid Deposition and the Methodology of Emission Inventories of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in  
East Asia, Tubuka

#### 研究発表の状況

##### 論文(○は査読誌)

- 1) 村野健太郎  
酸性雨－広がる被害、影響、対策の行方を最近の動向から捉える  
資源環境対策、32、1135-1143(1996)
- 2) Murano, K., Hatakeyama, S., Kuba, N., Lee, D. S. and Lee, .T-Y.  
Gridded ammonia emission fluxes in Japan and Korea  
Proceedings of the International Symposium on Acidic Deposition and its Impacts  
134-140(1996)
- 3) Morita, T. (1997) An Economic Evaluation of Japan,s Response to Air Pollution. in  
“Japan,s Experience in the Battle against Air Pollution” , pp76-93, The Pollution  
Related Health Damage Compensation and Prevention Association.
- 4) Tonooka, Y.,  
Country report on emission estimation in Japan  
Proceedings of the Expert Group Meeting on Emission Monitoring and Estimation, 85  
-113(1999)

##### 学会発表

- 1) 外岡 豊、東野晴行、村野健太郎、大原利眞、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3 NMVOC排出量の推計－、第38回大気環境学会(つくば)(1997年9月)