

C-4 東アジアの酸性雨原因物質等の総合化モデルの開発と制御手法の実用化に関する研究  
(0) 酸性雨原因物質、関連物質の発生量分布の現状と将来予測モデルの開発に関する研究

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
	酸性雨研究チーム	島山史郎
	温暖化影響・対策研究チーム	森田恒幸・甲斐沼美紀子
(委託先)	東京大学先端科学技術研究センター	秋元 肇
	名古屋大学工学部	松岡 譲
	埼玉大学経済学部	外岡 豊

平成6-7年度合計予算額 22,292 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>およびそれらの酸化を軽減するCO、中和成分であるNH<sub>3</sub>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。アンモニアのグリッド（緯度1°×経度1°）別アンモニア放出量を日本、韓国について、乳用牛、肉用牛、豚、鶏、肥料に関して求めた。中国においては乳用牛、肉用牛、豚についてグリッド別アンモニア放出量を得たが、豚では日本より大きなアンモニア放出量を示した。日本国内の一酸化炭素のグリッド別発生量を固定発生源と移動発生源について計算した。日本の総発生量は $1.83 \times 10^6$  COt/年であり、太平洋ベルト地帯で発生量が大きかった。東京を含むグリッドで全国の24%の発生量を示した。硫酸化物の排出モデルの開発と改良に取り組むとともに、空間的な排出分布の予測制度を高めるため、アジア地域の硫酸化物の大排出源に関する調査を実施した。

【キーワード】発生源インベントリー、将来予測、アンモニア、一酸化炭素、世界モデル

## 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軽減するCO、中和成分であるNH<sub>3</sub>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。

## 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>、CO、NH<sub>3</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NH<sub>3</sub>の発生量をグリッド別に求める。
- (2) 一酸化炭素のグリッド（緯度1°×経度1°）別発生量を得る。
- (3) 改良した世界モデルを用いて硫黄酸化物排出量の予測を行う。

## 3. 結果と考察

- (1) アンモニアのグリッド（緯度1°×経度1°）別アンモニア放出量  
NH<sub>3</sub>発生フラックス（F）は以下の式で表される。

$$F = EF \times N$$

EF：NH<sub>3</sub>発生係数（Emission factor）

N：個体数

欧州では、牛、豚、鶏それぞれ一頭からの年間のNH<sub>3</sub>の発生係数（エミッションファクター）が、それらの飼育状況を考慮して決められている。日本の場合には、平均気温が高いので本質的にはヨーロッパの値より発生係数を大きくすべきであるが、逆に平均降水量が大きく、土壌層が厚いためNH<sub>4</sub><sup>+</sup>が地下深く浸透していきNO<sub>3</sub><sup>-</sup>やN<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>への変換を受ける確率も高くなるため、前者の正の効果と後者の負の効果とを考慮して欧州の発生係数をそのまま第一次近似で使用した。韓国でも発生係数のデータが無いため、降水量の少なさを考え、欧州の発生係数をそのまま使用した。すなわち、乳用牛、肉用牛 23.04、豚 5.36、鶏 0.248 kgNH<sub>3</sub>/頭/年である。肥料に関しては、発生係数は欧州では硫酸アンモニウムが8、尿素が15%NH<sub>3</sub>揮散であるが、高度化成のデータが無いため、これらの3種類の肥料に対して10%NH<sub>3</sub>揮散とした。

家畜からのグリッド（緯度1°×経度1°）別NH<sub>3</sub>発生フラックスを算出した。豚からのNH<sub>3</sub>発生フラックスを各グリッド上にレンジ別にして図1に示した。関東地方、九州地方南部、韓国中央部が特に高い発生量を示していた。NH<sub>3</sub>発生フラックスのトップ5は4,740～2,740トンNH<sub>3</sub>/年であり、韓国中央部に2グリッド、関東地方に2グリッド、九州地方南部に1グリッドあった。乳用牛の場合には、トップ5のNH<sub>3</sub>発生フラックスの値は4,740～2,010トンNH<sub>3</sub>/年であり、韓国中央部に1グリッド、北海道に3グリッド、関東地方北部に1グリッドあった。肉用牛の場合にはトップ5は4,600～3,550トンNH<sub>3</sub>/年であり、韓国で大量に飼育されているため、韓国中央部に4グリッド、九州地方南部に1グリッドあった。鶏の場合にはトップ5は5,180～2,950トンNH<sub>3</sub>/年であり、韓国中央部に1グリッド、九州地方に3グリッド、東北地方に1グリッドあった。

肥料によるグリッド別NH<sub>3</sub>発生フラックスを図2に示した。NH<sub>3</sub>発生フラックスは、韓国で非常に高く、日本の最高値（2,070トンNH<sub>3</sub>/年）よりも高いグリッドが9個あった。日本では2,500トンNH<sub>3</sub>/年以上の発生フラックスを示すグリッドが無く、日本国土においてはそれほど大きな差はないが、北海道、関東地方、九州地方北部にやや高い発生フラックスを示す部分があった。NH<sub>3</sub>発生フラックスのトップ5は0,440～3,150トンNH<sub>3</sub>/年であり、全部韓国中央部にあった。

豚、牛、鶏、肥料の合計のグリッド別NH<sub>3</sub>発生フラックスを図3に示した。総発生フラックスのトップ5は18,100～13,200トンNH<sub>3</sub>/年で韓国中央部に3グリッド、関東地方北部に1グリッド、

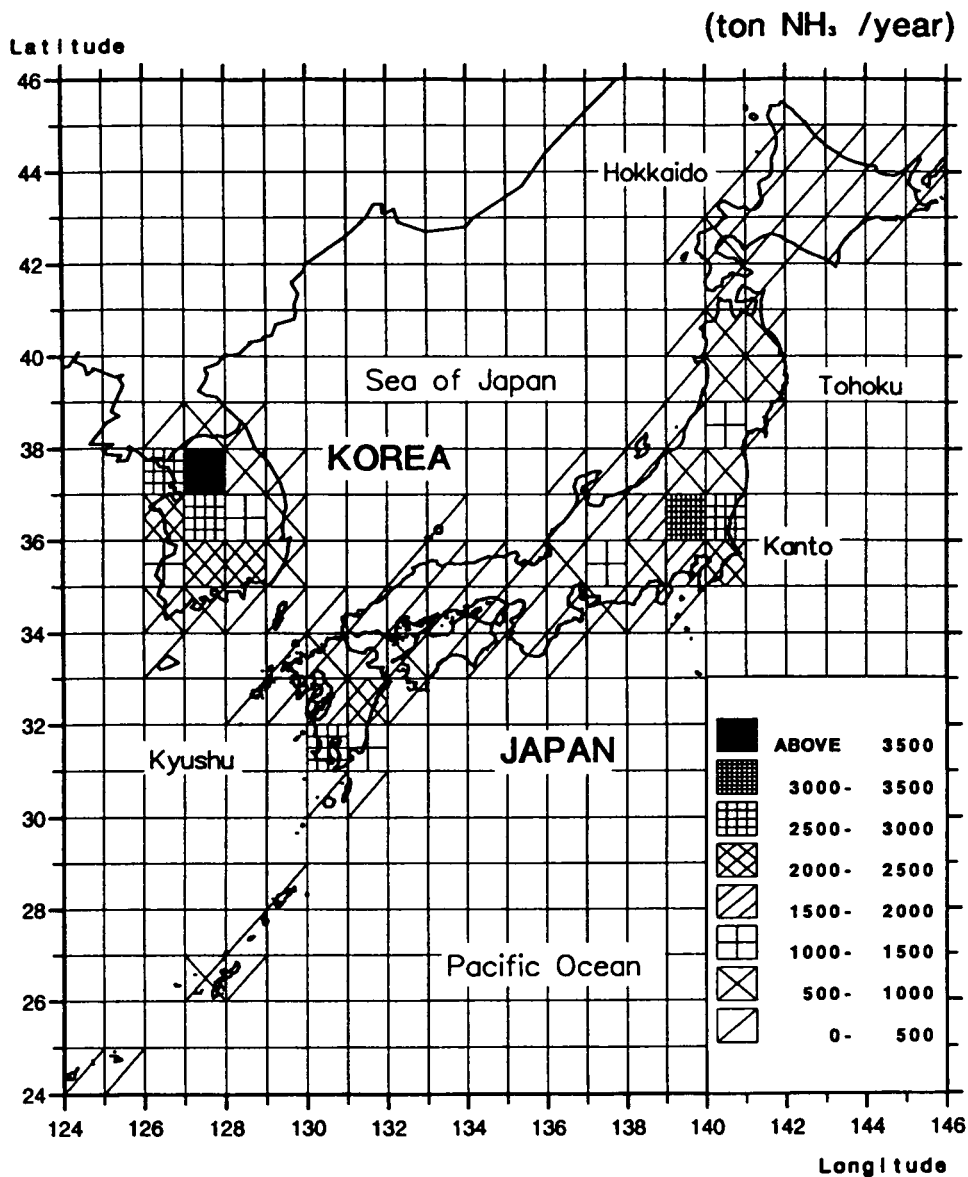


図1 豚からのグリッド（緯度1°×経度1°）別アンモニア放出量

九州地方南部に1グリッドあった。

日本の合計NH<sub>3</sub>発生量は、豚：4.41 x10<sup>4</sup>、乳用牛：4.61 x10<sup>4</sup>、肉用牛：6.02 x10<sup>4</sup>、鶏：7.77 x10<sup>4</sup>、肥料：5.02 x10<sup>4</sup>、合計：27.8 x10<sup>4</sup> ton NH<sub>3</sub>/年であった。韓国の合計NH<sub>3</sub>発生量は、豚：2.41 x10<sup>4</sup>、乳用牛：1.15 x10<sup>4</sup>、肉用牛：3.71 x10<sup>4</sup>、鶏：1.92 x10<sup>4</sup>、肥料：5.20 x10<sup>4</sup>、合計：14.4 x10<sup>4</sup> ton NH<sub>3</sub>/年であった。Asmannらの見積では、日本と同等の規模の国である、旧西ドイツ、英国は牛、豚、鶏、肥料がそれぞれ、34、12、1.9、6.2 x10<sup>4</sup> ton NH<sub>3</sub>/年 27、4.1、3.4、6.7 x10<sup>4</sup> ton NH<sub>3</sub>/年の発生量を示していた。日本と比較すると、牛では欧州各国の発生量が非常に大きく、豚は旧西ドイツが特に大きく、英国は日本と同レベルであった。鶏は日本の発生量が特に大きく、肥料による発生量は三か国が同レベルであった。

中国に関しては家畜のデータが得られていないため、E. Matthewsのデータをダウンロードした。

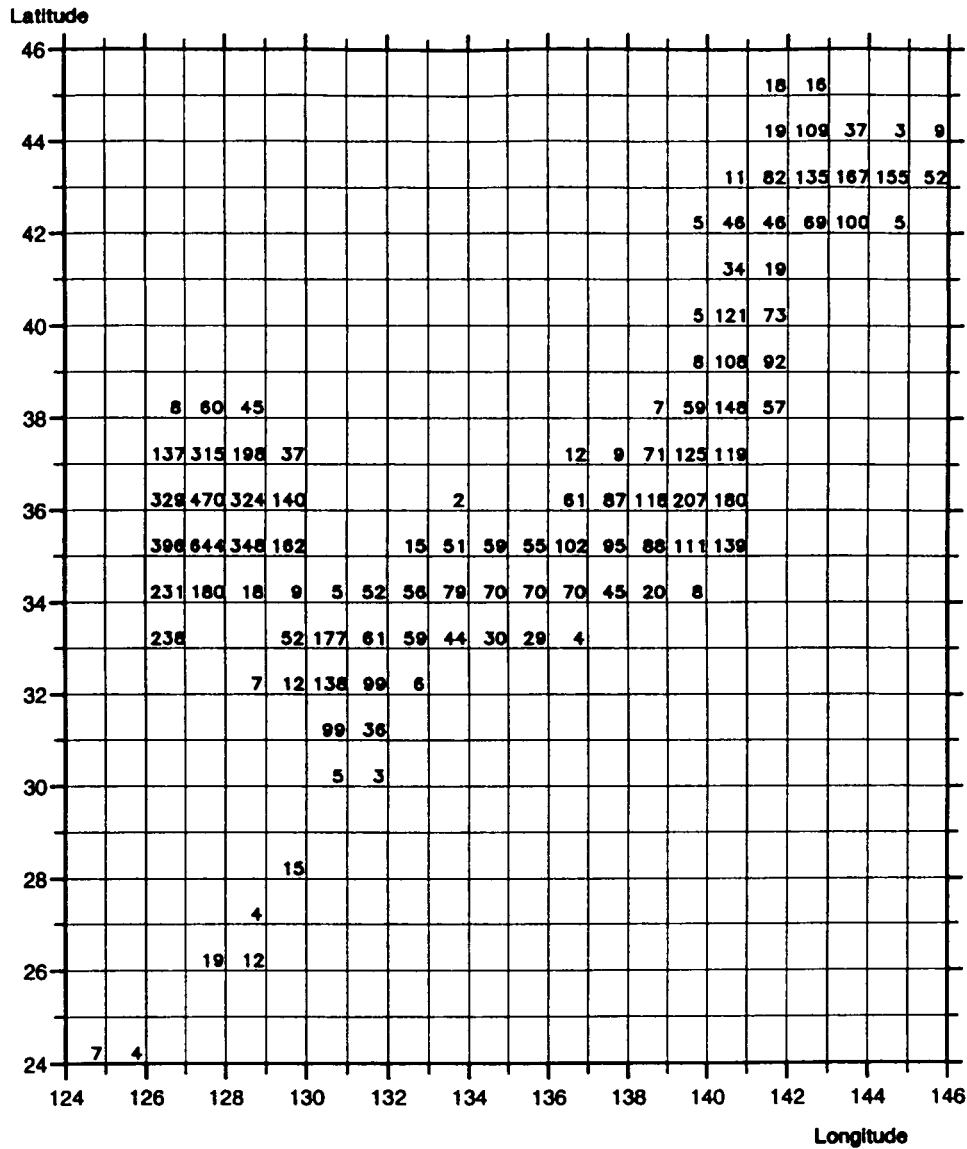


図2 肥料からのグリッド別アンモニア発生フラックス (10ton NH<sub>3</sub>/年)

このデータは、全世界のグリッド (緯度1° × 経度1°) 別の家畜の頭数密度 (/km<sup>2</sup>) が得られている<sup>1)</sup>。この頭数密度にグリッドの面積をかけて、グリッド別の頭数とした。グリッドの面積は緯度の関数として次の近似式を使った。

$$S(\phi) = 12391 \times \cos \phi \quad (\text{km}^2)$$

家畜一頭当りの放出係数はこれまで日本や韓国で用いたものと同じ値を用いた。このようにして中国における家畜からのNH<sub>3</sub>放出量を見積ったが、乳牛と肉牛は中国本土においては放出量は低かった。しかし豚においては、図4に示したように日本と比べても非常に高い値を示した。特に高い値を示したのは東シナ海沿岸にあるグリッドと内陸部、重慶などにあるグリッドである。そのほか全土に渡ってかなり高い放出量を示すグリッドがあった。このように中国においては豚によるNH<sub>3</sub>放出量が全体的に高い値を示しており、このアンモニアの長距離輸送に関して更に検討す

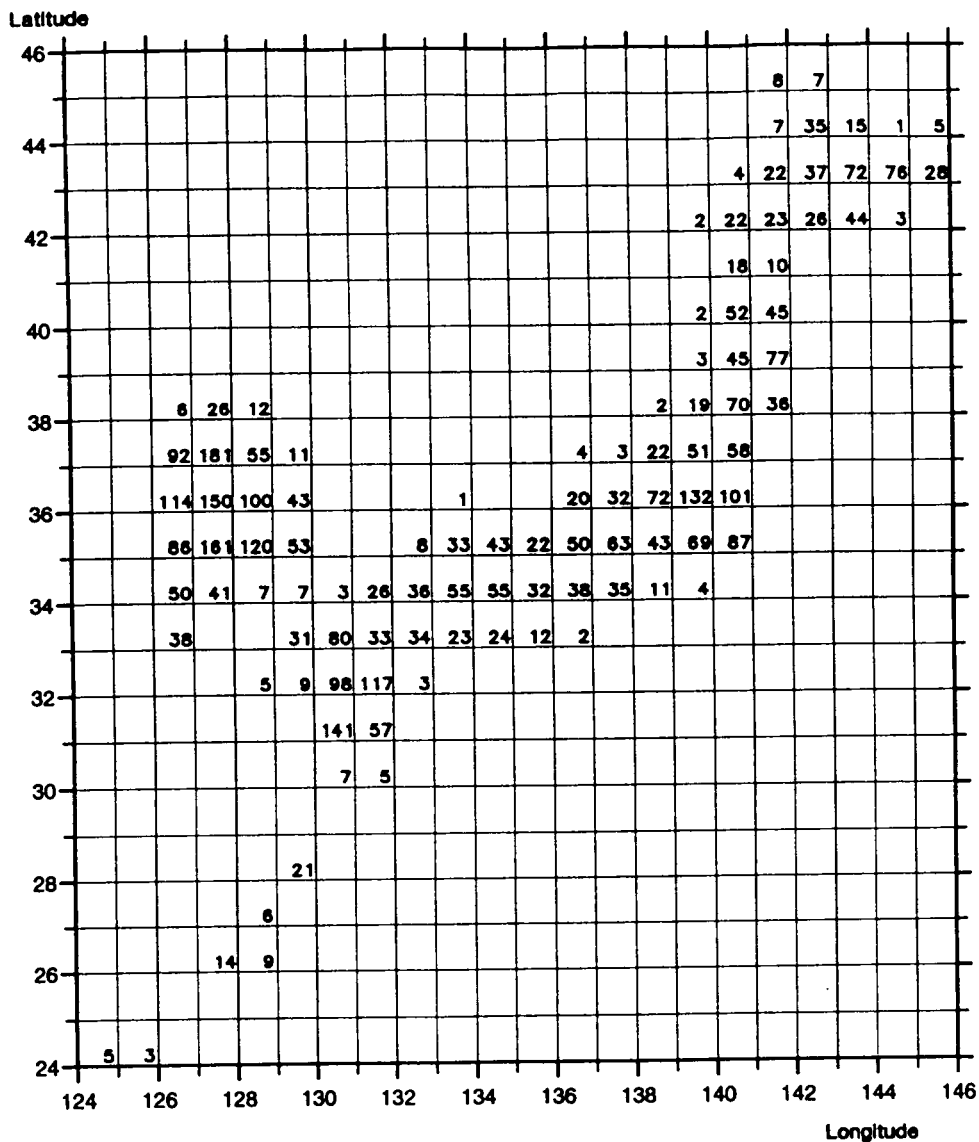


図3 家畜、肥料からのグリッド別アンモニア発生フラックス (100ton NH<sub>3</sub>/年)

る必要がある。

(2) 一酸化炭素のグリッド (緯度1° × 経度1°) 別発生量

一酸化炭素 (CO) は燃焼により必ず排出される化合物であり、人為的排出源としては化石燃料燃焼の寄与が最も大きい。COは種々の化合物を酸化するOHラジカルとの反応があるために、大気中では非常に重要な化学種である。このため、東アジア地域に於てこの物質のグリッド別発生量を求めることは非常に重要である。中国においては、製鉄所などの工業過程が閉鎖系でないために、日本と比べて非常に大量のCOが大気中に放出されているが、全発生量の評価は個々の工場環境対策としての整備具合によって異なるために、複雑であり非常に難しい。このためグリッド別の石炭、石油の使用量、石炭の硫黄含有率は細かなデータがまとめられているが、排出係数の方

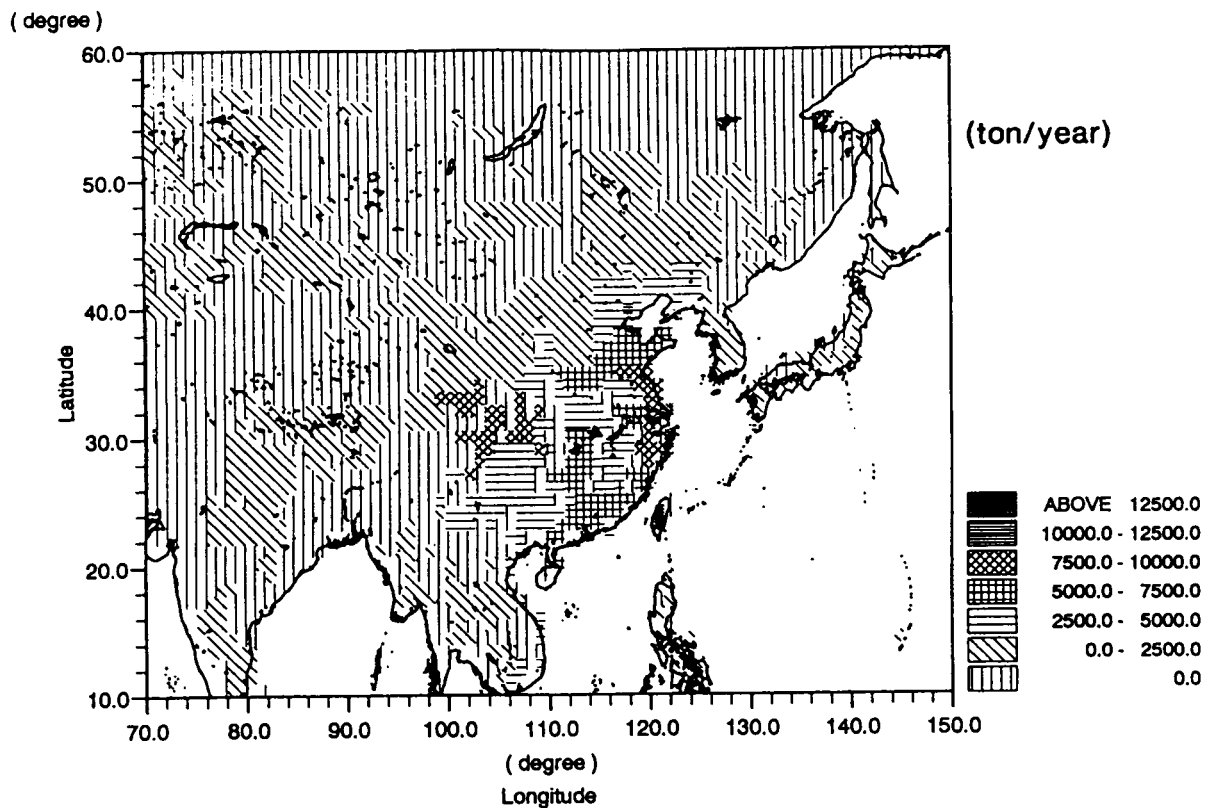


図4 中国における豚からのグリッド別アンモニア放出量

が複雑であるために評価することが難しい。

昭和63年度環境庁の資料<sup>2)</sup>によると、COの主な発生源として評価されたのは固定発生源と移動発生源である。前者の場合、排出量の算出方法としては、重油(1)、重油(2)、石炭・コークス、木・木炭、ガス(1)、ガス(2)、廃棄物などの燃料の種類によって、燃料をベースとした排出係数とそれぞれの燃料消費量を算定し、CO排出量を得たが、1985年ベースで0.0693 Cmt/年である。またエネルギー管理がよく、密閉式構造であるいくつかの業種においては、発生量はゼロとした。後者に関しては、車種別(小型貨物・貨客、乗用、普通貨物、特殊、乗合)のCO排出原単位と、車種別の自動車走行量を算出し、CO排出量として0.715 Cmt/年という値を得た。この両者を合計すると0.784 Cmt/年(=1.83×10<sup>6</sup> C0t/年)となる。この固定発生源、移動発生源の全排出量を、工業立地は偏りがあるが、自動車の台数、走行量はほぼ人口に比例すると見て、人口比でグリッド別発生量に割り振った(図5)。その結果によると東京、横浜などを含む首都圏のグリッドが44万tになり最高値が得られた。続いて関西の大阪を含む地域に高い排出量を得られた。そのほか大都市圏、あるいは工業都市圏のグリッドに大きな値が得られて、トップ5が5万t以上であった。

### (3) 改良した世界モデルを用いた硫黄酸化物排出量予測

硫黄酸化物排出モデルの開発については、中国及び韓国の国別モデルの開発とともに、世界モデルの改良に取り組んだ。中国モデルについては、硫黄酸化物排出モデルと二酸化炭素排出モデ

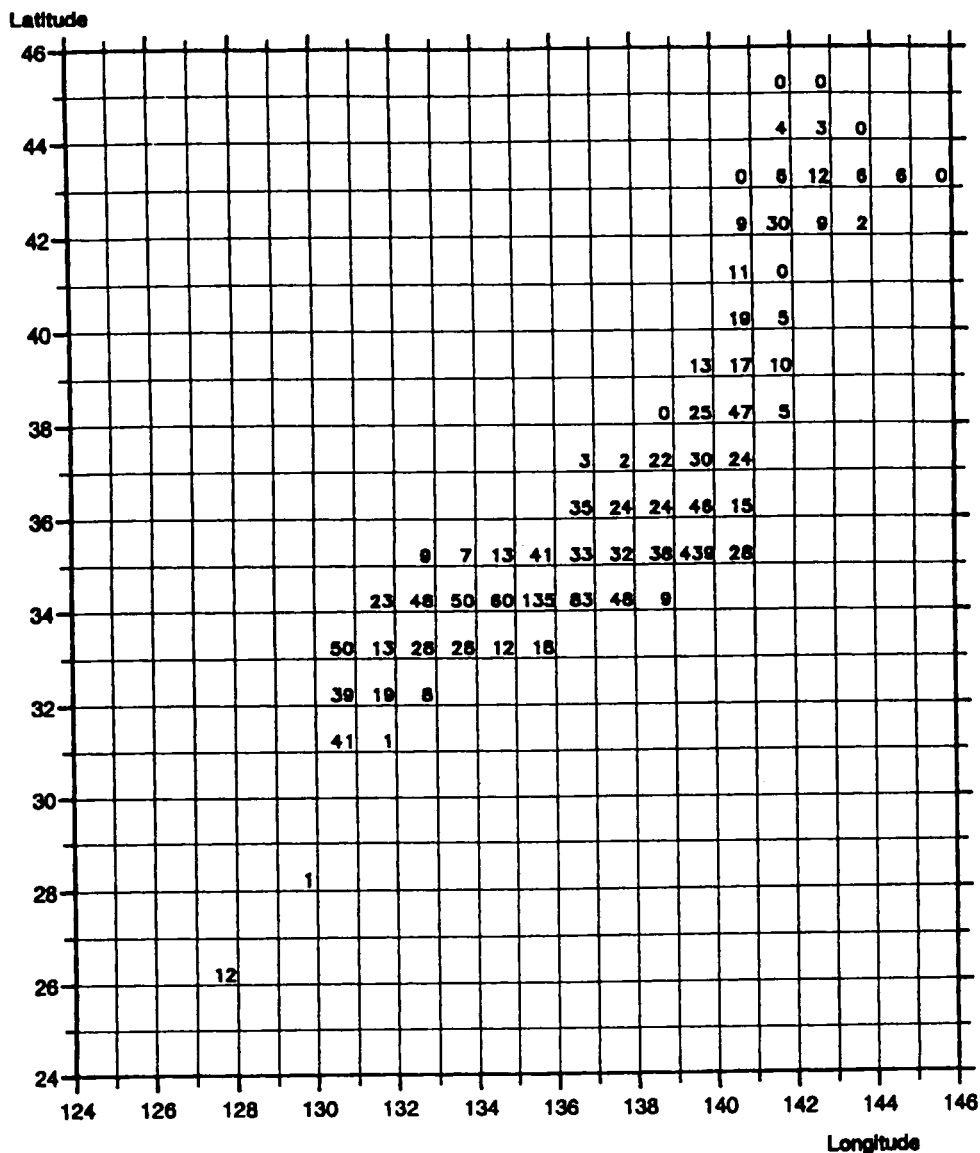


図5 一酸化炭素のグリッド別発生フラックス (kton CO/年)

ルを統合するため、ボトムアップ型のエネルギー技術モデルに硫黄酸化物の排出モジュールを組み込む作業を行った。また韓国モデルについては、昨年度収集したデータをもとに、硫黄酸化物排出モデルの最初のバージョンを開発した。一方、世界レベルの硫黄酸化物排出モデルについては、既にトップダウン型のエネルギー経済モデルを開発しているが、このモデルの入力データやパラメータを最新のデータをもとにして更新した。

図6は、改良した世界モデルを用いて将来の二酸化硫黄の排出量を推計したものである。アジア太平洋地域においては中国及びインドの排出量の伸びが著しく、今のままで行けば、2025年にはアジア太平洋地域全体で1990年の排出量の約8割増しになると予想される。早急な対応策の検討が必要である。これに対してヨーロッパにおいては、西欧の二酸化硫黄対策の進展と東欧の経済活動の低迷によって、来世紀初頭までは排出量が減少するが、東欧の経済成長の回復とともに

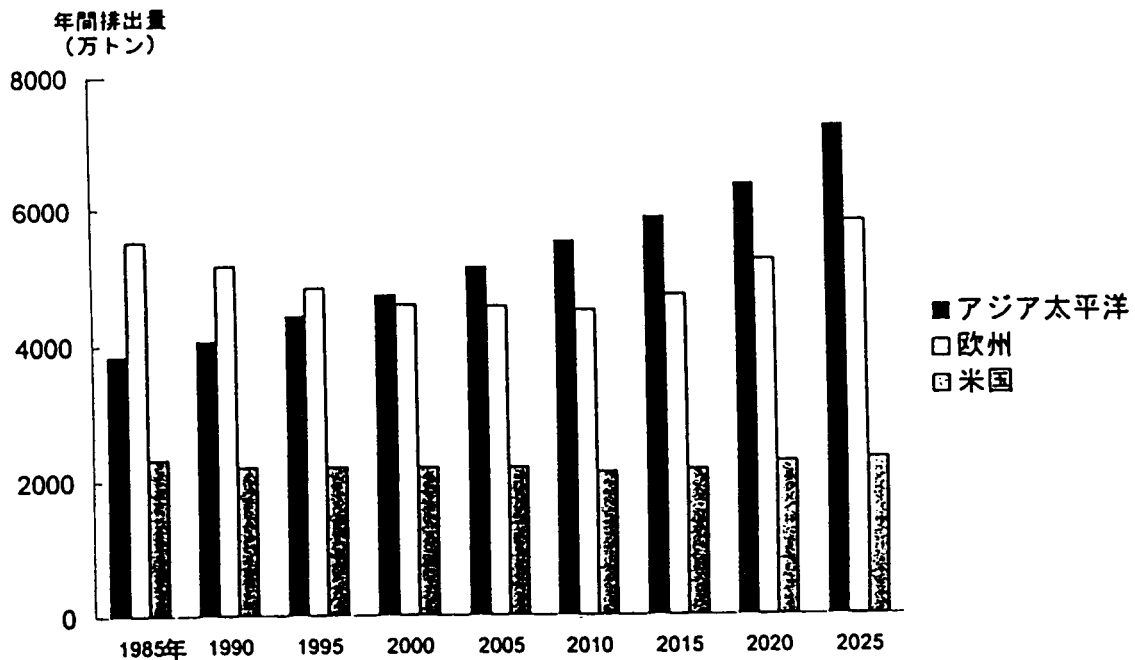


図6 世界モデルを用いた二酸化硫黄排出量の予測

再び排出量が増え続ける。2010年頃からこれに備えた対応が必要となる。また、米国においては新しい大気浄化法の効果により二酸化硫黄の削減は長期間継続されるが、安定した経済成長とともに石炭から石油へのエネルギー転換が進まないことによって、排出量は横ばいとなると推定されている。

次に、アジア地域の硫酸化物の大排出源に関する調査については、供給電力が2000MW以上の火力発電所、熱消費電力が1500MW以上の工場、年間の二酸化硫黄排出量が2000トン以上の施設を対象にして、その位置と排出量を同定した。

#### 文献

- (1) J. Lerner, E. Matthews, I. Fung, Methane Emission from Animals: A Global High-Resolution Data Base, *Global Biochem. Cycles*, 2, 139-156 (1988)
- (2) 財団法人日本環境衛生センター、地球温暖化問題への対策に関するスクリーニング調査結果報告書 (大気管理)、58-65 (1989)

#### 国際共同研究等の状況

「東アジアにおける酸性雨モニタリングとSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>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1995年1月31～2月2日、1996年2月13～2月15日に国立環境研究所で開催し、中国、韓国、台湾よりの研究者の参加があった。

この研究はGBP-IGACのGEIA (Global Emission Inventory Activity) のプログラムとして行われた。



## 研究発表の状況

### 論文（○は査読誌）

- 1) K. Murano, S. Hatakeyama, T. Mizoguchi, N. Kuba, Gridded Ammonia Emission Fluxes in Japan, *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 1915-1920 (1995)
- 2) K. Murano, S. Hatakeyama, N. Kuba, Dong Soo Lee, Tae-Young Lee, Gridded Ammonia Emission Fluxes in Japan and Korea, *Proceedings of the International Symposium on Acidic Deposition and its Impacts*, 134-140 (1996)
- 3) 村野健太郎、窒素系化合物で汚染が憂慮される日本の土壌－アンモニア発生量マップの作成－、*資源環境対策*、32、1551-1553 (1996)

### 講演

- 1) 村野健太郎、畠山史郎、溝口次夫、久芳奈遠美、東アジア地域のアンモニア発生フラックスマップ（3）、第36回大気環境学会（東京）（1995年11月）