

20. 中国における大気汚染物質排出インベントリの推計に関する研究

A STUDY OF AN AIR POLLUTANT EMISSION INVENTORY IN CHINA

松尾友寛*・松岡譲*・島田洋子*

Tomohiro MATSUO, Yuzuru MATSUOKA, Yoko SHIMADA

ABSTRACT; In developing countries, increase of energy consumption by rapid economic growth has caused large emission of air pollutants and greenhouse gases. It is necessary to take a measure for appropriately managing the atmospheric environment in these countries. In this study, we aim at developing the Atmospheric managing system to provide the useful information for the simultaneous control of both air pollutants and greenhouse gases. As the first step, we estimated an air pollutant emission inventory in China.

KEYWORDS; Air Pollutant, Energy Consumption, Emission Inventory, China

1. はじめに

最近、発展途上国における大気汚染問題が深刻化している。これは主にエネルギー消費が原因である。これらの地域では、急速な経済成長に伴うエネルギー消費の増加によって汚染が進み、それに対する対策の遅れが、地域の深刻な大気汚染という状況を招いている。また、エネルギー消費は、大気汚染物質(SO₂、NO_x、SPM など)だけでなく、温暖化原因物質(CO₂、CH₄ など)の排出原因でもある。今後の経済成長が予測される発展途上の国々は、地球温暖化に劇的な影響を与える潜在的可能性が大きい。地域大気汚染と地球温暖化対策は、両者の原因であるエネルギー消費に対する対策を行うことによって複合的な抑制を図れる場合が多い。本研究は、温暖化原因物質と大気汚染原因物質の複合的抑制を行うための大気環境統合管理情報システム(図1参照)を開発し、中国、インドなど複合効果の大きい地域での現実性および実効性の高い大気質管理施策の提言を行うことを目標としている。ここではその第一段階として、中国における大気汚染物質排出インベントリ(大気汚染物質排出目録)の推計を行った。

2. 大気環境統合管理情報システム

2.1 大気環境統合管理情報システムの概観

大気環境統合管理情報システムは、エネルギー消費量算定モデルを中心に構成される。このモデルは、個々のエネルギー最終消費者の消費行動や、エネルギー消費技術の変化を追跡していくボトムアップ型のモデルで、温暖化原因物質の排出量を算定するのに用いられてきた。このモデルでは、以下のようにしてエネルギー消費量を算定する。まず、社会経済シナリオによりエネルギーサービス需要量を想定する。次に、そのエ

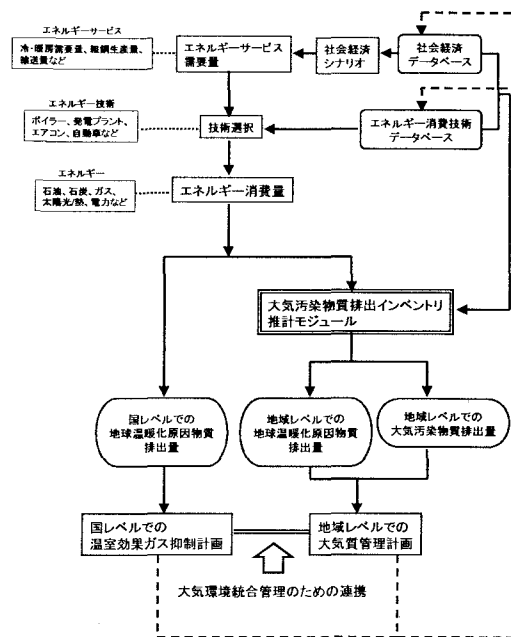


図1 大気環境統合管理情報システムの概観

* 京都大学大学院工学研究科環境工学専攻 Department of Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

エネルギーサービスを提供するためにどのようなエネルギー消費技術が選択され、どれだけ使われるかを計算する。このエネルギー消費技術の選択は、技術価格・エネルギー消費量・可能普及率などのエネルギー消費技術に関する情報をもとに、様々な制約条件下で、エネルギー消費システムに関わる総費用を最小化するように計算される。このモデルでは、エネルギー消費技術に関する詳細な情報を提供するデータベースを組み込むことにより、エネルギー消費技術の選択を合理的に行うことができる。エネルギー消費技術が選択されたことによって、エネルギーサービスを提供するために必要なエネルギー消費量を算定することができる。このエネルギー消費量に排出原単位を乗ずることにより、温暖化原因物質および大気汚染物質の排出量が算定される。このモデルから得られるエネルギー消費量は、主として地域的に集約されたもの、すなわち国レベルのものである。よって、算定される排出量も国レベルのものとなる。しかし、地球温暖化問題に対応していくためには、もはや国を最小単位とした対策だけでは不十分で、地域における対策を同時に行っていく必要性が高まっている。また、大気汚染問題は地域の汚染状況を把握することにより有効な対策を行うことができる。そこで、大気環境統合管理情報システムは、地域レベルでの排出量を把握するために、大気汚染物質インベントリ推計モジュール(図2参照)を用いる。これにより、得られたエネルギー消費量をもとに、温暖化原因物質と大気汚染物質の両方の地域レベルでの排出インベントリを推計する。

エネルギー最終消費量算定モデル、大気汚染物質排出インベントリ推計モジュールの両者とも、社会経済、エネルギー消費技術に関する情報を必要とする。よって大気環境統合管理情報システムにおいて、社会経済とエネルギー消費技術の2つのデータベースを組み込むことにより、エネルギー最終消費モデルと大気汚染物質排出インベントリ推計モジュールにおけるこれらの情報の共用が可能となる。これにより、社会経済の状況とエネルギー消費技術の変化を、国の排出インベントリと、詳細な地域での排出インベントリの両方に反映させることができる。これは大気環境の統合的管理の上で非常に効果的である。なぜなら、地球環境保全という視点での国レベルの対策が、地域に及ぼす影響を評価することができる一方で、地域に住む人々の生活環境保全という視点での対策が、国全体に及ぼす影響を評価することもできるからである。すなわち、グローバルかつローカルという2つの視野で大気環境の管理を行うことが可能になる。

2.2 大気汚染物質排出インベントリ推計モジュール

大気汚染物質排出インベントリ(大気汚染物質排出目録)は、汚染物質の排出に関する様々な情報をもとに推計される。まず、汚染物質の排出の原因となる人為的活動を特定し、それを汚染物質の排出部門として設定する。さらに、エネルギー消費起源の汚染物質では、その排出部門において、いかなるエネルギー源、エネルギー技術、排出削減技術が用いられているかが重要で、これらの情報をもとに、使用エネルギー源、使用エネルギー技術毎に排出原単位が定められる。エネルギー消費起源の汚染物質の排出量は、エネルギー消費量に排出原単位と排出削減率を乗ずることにより算定される。また、大気汚

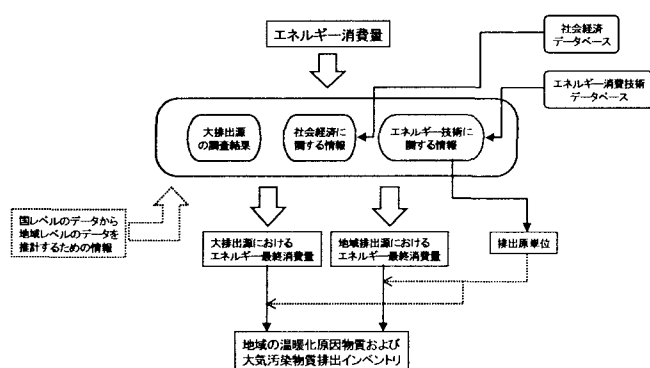


図2 大気汚染物質排出インベントリ推計モジュール

染物質の排出源には、大排出源(大規模な工場など)と、中、小規模の排出源を広範囲の空間スケールでまとめた面排出源がある。インベントリ推計では大排出源と面排出源を区別化して扱う。大排出源に関しては、調査により、その排出源における汚染物質の排出量についての情報を入手する。面排出源については大地域に集約されているものがほとんどである。よって、より詳細に地域でのインベントリ推計を行うために、面排出源のデータをより集約度の低い地域のデータに分配する。この分配を合理的に行うために、エネルギー消費と関連性がある社会経済の指標(人口、工業生産額および就業者数など)が用いられる。これらの指標は、分配する各地域毎に得られる必要がある。

このような様々な情報に基づいてインベントリを推計することにより、排出部門別、エネルギー源別、大排出源別および面排出源別に排出量を算定することができ、汚染物質の排出構造を解析するために非常に有用な情報を提供する

ことが可能となる。特に、大排出源や地域における汚染物質の排出状況を把握することにより、地域レベルでの大気環境管理対策の決定に有用な情報を提供することができる。

大気環境統合管理情報システムにおける大気汚染物質排出インベントリ推計モジュールでは、想定した社会経済状況やエネルギー消費技術の下で、エネルギー消費モデルから得られたエネルギー消費量を用いて、地域レベルでの温暖化原因物質ならびに大気汚染物質の排出インベントリを推計することができる。すなわち、このシステムでは、従来、モニタリングのために用いられてきたインベントリシステムに将来予測の機能を付加させることで、大気環境管理を効果的に実施するために必要な情報を提供する。本発表では、このシステムを開発するための準備として、中国を対象とする大気汚染物質排出インベントリの推計を行い、その結果をもとに、より整合性の高い大気汚染物質排出インベントリ推計モジュール開発のための課題を明確にする。

3. 中国における大気汚染物質排出インベントリの推計

本推計の対象年度は 1991 年とし、対象とする大気汚染物質は SO_2 および NO_x とする。また、中国を 2371 の地域に分割し、その各地域毎に排出量を算定する。

3.1 SO_2 および NO_x の排出量算定手順

(A) 大気汚染物質排出量の算定

大気汚染物質は、人為的活動におけるエネルギー消費や各種の財の生産などが排出の原因である。ここでは、これを活動量と呼ぶ。活動量は様々な要因と関わりがある。たとえば、エネルギー消費は、エネルギーを消費する技術や、使用されるエネルギー種などにより多様な消費形態をとる。この消費形態の違いは、大気汚染物質の排出量に影響を及ぼす。大気汚染物質の排出量は、活動量に、排出原単位と排出率とを乗じることで算定される。排出率とは、汚染物質の排出削減技術による削減率を 1 から減じたものである。以下にその式を示す。

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

SO_2 および NO_x は、主にエネルギー消費が原因で排出されるため、活動量はエネルギー消費量である。ただし、 SO_2 は硫酸製造や非鉄金属精錬の過程からも排出されるから、この場合の活動量はそれぞれ硫酸生産量、非鉄金属精錬量となる。排出原単位の推計は、 SO_2 および NO_x とも、燃料がどのようにに燃焼されるかに注意する必要がある。さらに SO_2 については、燃料の硫黄含有率や製品への残留率、 NO_x については、燃料を燃焼させる炉の性状や、燃焼プロセスに特に注意して排出原単位を定める必要がある。排出率は、中国の現状から 1 とする。

(B) 排出部門と使用燃料種

エネルギー消費量データは、中国全体のエネルギーバランス表¹⁾を使用した。ここに、エネルギーバランス表とは、一次エネルギー、エネルギー転換および最終消費の各部門におけるエネルギーの収支をエネルギー種毎に表現したものである。従って、燃料消費起源の排出部門は、エネルギーバランス表を参照し、農林水産業、工業、建設業、運輸、商業、民生、エネルギー転換およびその他の 8 部門とした。工業、民生、エネルギー転換についてはさらに細かく分類した。また SO_2 は、エネルギー消費以外に、硫酸生産、非鉄金属精錬からも発生するため、これら 2 部門を非燃料消費起源による排出部門とした。硫酸生産、非鉄金属精錬におけるそれぞれの生産量は、2371 地域毎のデータ⁶⁾を得た。また、各排出部門で使用される燃料種は、エネルギーバランス表における分類から、原料炭、粘結炭、その他石炭、コークス、原油、重油、ガソリン、灯油、軽油、LPG、天然ガス、その他ガス、およびその他の 13 燃料種に分類した。

(C) エネルギー消費量データの地域への分配

入手したエネルギー消費量データ¹⁾は中国の国全体のものであるため、詳細なインベントリ推計を行うために、国全体のエネルギー消費量データを 2371 の地域に分配した。その際は排出部門毎に、その排出部門でのエネルギー消費

と関連性が高いと考えられる社会経済の指標^{2)~5)}を用いた(表1参照)。分配は、エネルギー消費量が各排出部門の社会経済の指標に比例するとして、以下に示す式により行った。

$$F_{p,ijk} = F_{n,ij} \times I_{p,jk}$$

$F_{p,ijk}$: 地域に分配されたエネルギー消費量

$F_{n,ij}$: 全国で合計したエネルギー消費量

$I_{p,jk}$: 地域別、排出部門別の社会経済指標

i : 燃料消費起源の排出部門、 j : 燃料種、 k : 地域

表1 排出部門における社会経済指標

排出部門	社会経済指標
農林水産業	農業生産用エネルギー消費量
工業	工業生産額
建設業	住宅建設投資額
運輸	旅客および貨物輸送量
商業	商業就業人員数
民生	都市および農村人口
エネルギー転換	工業生産額
その他	各地域の総人口

* 上記に加え、民生とその他以外は、各地域の総人口も指標とした。

(D) 排出原単位

SO₂、NO_xともに、科学技術庁の推計値⁹⁾を参考にして設定した。本算定では排出原単位をエネルギー使用熱量あたりの排出量とした。

(1) SO₂

SO₂の排出原単位をEF(kg SO₂/Gcal)とすると、これは以下の式で表される。

$$EF = \frac{S \times P \times (1 - D)}{Q} \times 10^{-10}$$

ここに、 S は硫黄含有率(%)、 P は排出部門別のSO₂排出率(%)、 D は脱硫率、 Q は燃料種別の発熱量(kg/kcal)である。ただし、今回の算定では中国における排出削減技術を考慮しないため、脱硫率は0とした。

(2) NO_x

NO_xの排出原単位については、アジア地域一般に適用可能なものとしての実測調査事例がない。よって、科学技術庁は、日本およびアメリカ合衆国などの排出原単位設定に関する既存文献⁹⁾から排出原単位を推計している。

(E) 排出量の算定

以下に示す式により、排出部門毎のSO₂およびNO_xの排出量を算定した。

(1) 燃料消費起源の排出部門

$$SCOM_{i,j,k} = COMP_{i,j,k} \times SEFC_{i,j,k} \times 10^{-3}$$

$$SCOM_k = \sum_i \sum_j SCOM_{i,j,k}$$

$$NCOM_{i,j,k} = COMP_{i,j,k} \times NEFC_{i,j,k} \times 10^{-3}$$

$$NCOM_k = \sum_i \sum_j NCOM_{i,j,k}$$

$SCOM_k$: 地域 k における年間 SO₂ 排出量(ktSO₂/y)

$SCOM_{i,j,k}$: 地域 k における排出部門 i 、燃料種 j の年間 SO₂ 排出量(ktSO₂/y)

$NCOM_k$: 地域 k における年間 NO_x 排出量(ktNO₂/y)

$NCOM_{i,j,k}$: 地域 k における排出部門 i 、燃料種 j の年間 NO_x 排出量(ktNO₂/y)

$COMP_{i,j,k}$: 地域 k における排出部門 i 、燃料種 j のエネルギー使用量(Tcal/y)

$SEFC_{i,j,l}$: 省 l 、排出部門 i 、燃料種 j における SO₂ の排出原単位(kgSO₂/Gcal)

$NEFC_{i,j}$: 排出部門 i 、燃料種 j における NO_x の排出原単位(kgNO₂/Gcal)

i : 排出部門、 j : 燃料種、 k : 地域、 l : 省

(2) 非燃料消費起源の排出部門

1) 硫酸製造からの SO₂ 排出量

$$SSAE_k = SSAF \times SSLP_k$$

$SSAE_k$: 地域 k における SO₂ の排出量(ktSO₂/y)

$SSAF$: 硫酸とならずに SO₂ として放出される割合

表3 省別SO₂およびNO_x排出量

省	SO ₂ (ktSO ₂)	NO _x (ktNO ₂)
北京	365.08	225.33
天津	328.79	178.36
河北	884.94	440.07
山西	584.12	282.23
内蒙古	496.56	169.12
遼寧	1086.21	627.56
吉林	312.61	248.18
黒竜江	465.15	341.17
上海	980.28	434.82
江蘇	2566.19	719.25
浙江	842.57	389.36
安徽	612.24	259.68
福建	462.86	179.92
江西	602.78	182.43
山東	2623.07	654.12
河南	1008.52	433.16
湖北	851.89	396.02
湖南	662.87	310.77
広東	1504.19	677.41
广西	866.97	183.72
海南	71.45	35.76
四川	3044.26	474.66
貴州	692.71	115.84
云南	992.75	139.36
西藏	12.99	5.37
陝西	911.70	164.14
甘肅	363.36	157.10
青海	47.77	31.04
寧夏	151.13	38.87
新疆	182.10	86.08
合計	24578.08	8580.92

SSLP_k: 地域 *k* における硫酸生産量(ktSO₂/y)

k: 地域

2) 非鉄金属精錬からの SO₂ 排出量

$$SNFE_k = \sum_r \left(\frac{32 \times SNFN_r \times SFFP_{k,r}}{SNFM_r} \right)$$

SNRE_k: 地域 *k* における SO₂ 排出量(ktSO₂/y)

SNFN_r: 非鉄金属種 *r* の硫黄の原子数

SNFP_{k,r}: 地域 *k* における非鉄金属種 *r* の生産量(kt/y)

SNFM_r: 非鉄金属種 *r* の原子量

k: 地域、*r*: 非鉄金属種

ここで、銅の原料は CuFeS₂ であるから SNFN_{Cu} は 2、同様に鉛の原料は PbS、亜鉛の原料は ZnS であるから SNFN_{Pb} ならびに SNFN_{Zn} は 1 となる。また、原料種毎の原子量は SNFM_{Cu}: 63.546、SNFM_{Pb}: 207.2、SNFM_{Zn}: 65.39 とした。

3.2 算定結果と考察

1990 年における中国全体の SO₂ および NO_x の排出量はそれぞれ、24.58(MtSO₂)、8.58(MtNO₂)と算定された。以下に排出地域別、排出部門別および燃料種別に考察する。

(A) 排出地域別

表 3 に SO₂ および NO_x の地域別の算定結果を省単位で示す。SO₂ については、省別では四川省、山東省、江蘇省からの排出が特に多く、それぞれ 3044.26(ktSO₂)、2623.07(ktSO₂)、2566.19(ktSO₂)となり、排出地域別では上海市、重慶市、広州市からの排出が 760.85(ktSO₂)、435.22(ktSO₂)、319.09(ktSO₂)となった。NO_x については、省別では江蘇省、広東省、山東省からの排出が特に多く、それぞれ 719.25(ktNO₂)、677.41(ktNO₂)、654.12(ktNO₂)となり、排出地域別では上海市、北京市、天津市からの排出がそれぞれ 330.03(ktNO₂)、197.30(ktNO₂)、162.69(ktNO₂)となった。SO₂、NO_x ともに排出量が多い地域は、山東省、上海市、江蘇省および広東省などの工業化が進んでいる東部沿海地域と内陸地域の四川省であり、これらの地域に優先的に排出削減対策を実施する必要があるといえる。

(B) 排出部門別

表 4 に SO₂ および NO_x の部門別の算定結果を示す。SO₂ では燃料消費部門からの排出が 23774.12(ktSO₂)と全体の 95%以上を占めている。その中でも工業部門およびエネルギー転換部門からの排出がそれぞれ 9885.44(ktSO₂)、8778.32(ktSO₂)となり、合わせると約 80%を占めている。また、エネルギー転換部門の中の火力発電部門からの排出が 7797.42(ktSO₂)と最も多く、この部門だけで全体の約 30%を占めている。中国の電力消費量は、経済成長に伴い今後大幅に伸びることが予想される。従って、SO₂ の大排出源である火力発電所における排出削減対策が重要である。NO_x では工業部門とエネルギー転換部門からの排出が 7137.46(ktNO₂)と全体の 80%以上を占めている。これは SO₂ の場合と同様の結果となった。しかし、運輸部門では SO₂ との明らかな相違が見られる。運輸部門では NO_x が 7.50%、SO₂ が 2.15%で NO_x の比率の方が大きくなっている。これは NO_x が、ディーゼル車などの自動車排ガスが主要な排出源であることが主な原因であると考えられる。よって、NO_x においては運輸部門の排出削減対策が SO₂ に比べ極めて重要であるといえる。

表4 排出部門別SO₂およびNO_x排出量(単位はSO₂がktSO₂、NO_xがktNO₂、排出率は%)

部門	詳細部門	SO ₂ 排出量	排出率	NO _x 排出量	排出率
農林水産業		483.83	1.97	167.88	1.96
	工業	514.66	2.09	198.96	2.32
工業	石炭鉱業	74.18	0.30	40.95	0.48
	石油・天然ガス鉱業	154.53	0.63	57.66	0.67
	その他鉱業	822.29	3.35	273.41	3.19
	食料品・飲料・たばこ製造業	585.94	2.38	217.96	2.54
	繊維工業	95.19	0.39	43.33	0.50
	木材・木製品製造業	336.91	1.37	124.82	1.45
	パルプ・紙製品製造業	144.82	0.59	45.13	0.53
	化学工業	1997.73	8.13	724.96	8.45
	医薬品製造業	137.90	0.56	51.66	0.60
	ゴム・皮革製品製造業	193.23	0.79	79.74	0.93
	窯業・土石製品製造業	2543.34	10.35	911.96	10.63
	鉄鋼業	956.34	3.89	380.57	4.44
	非鉄金属精錬業	201.92	0.82	82.28	0.96
	金属製品製造業	119.43	0.49	47.37	0.55
	機械工業	778.91	3.17	299.31	3.49
	その他製造業	328.16	1.34	123.35	1.44
	石油精製およびコークス製造業	64.23	0.26	27.72	0.32
	電力・熱供給業	6.67	0.03	2.79	0.03
	ガス製造・供給業	3.86	0.02	1.82	0.02
	水道水製造・供給業	9885.44	40.22	3650.05	42.54
エネルギー転換	工業合計	7797.42	31.73	2997.51	34.93
	火力発電	748.63	3.05	343.99	4.01
	熱供給	0.00	0.00	0.00	0.00
	洗炭	174.89	0.71	112.31	1.31
	コークス製造	35.87	0.15	27.94	0.33
	石油精製	21.51	0.09	5.67	0.07
	ガス供給	8778.32	35.72	3487.41	40.64
	エネルギー転換合計	116.93	0.48	75.21	0.88
建設業		527.30	2.15	649.88	7.57
	運輸	203.69	0.83	51.40	0.60
	商業	1605.76	6.53	189.10	2.20
	民生	1694.78	6.90	166.12	1.94
民生	都市生活	3299.85	13.43	355.11	4.14
	農村生活				
燃料消費部門合計		23774.12	96.73	8580.92	100.00
硫酸生産		623.64	2.54	-	-
非鉄金属精錬		180.32	0.73	-	-
合計		24578.08	100.00	8580.92	100.00

(C)燃料種別

表5に燃料種別のエネルギー依存率とSO₂およびNO_xの排出率を示す。エネルギー依存率とは、発熱量換算の総エネルギー消費量に対する各燃料種の消費量の比である。中国はエネルギー源を石炭に強く依存していることから、SO₂、NO_xとも石炭からの排出が80%を超えている上に、石炭はエネルギー依存率より排出率の方が大きい。従って、よりクリーンなガス系のエネルギー源への転換はもちろんのこと、大気汚染物質の排出を少なくする技術を開発していく必要がある。また、ガソリン、ディーゼル油はSO₂と比べNO_xの排出率が高くなっている。これは(B)で述べたように、運輸部門での相違から起因するものと考えられる。

表5 燃料種別のエネルギー依存率とSO₂およびNO_x排出率

燃料種	エネルギー依存率	(単位は%)	
		SO ₂ 排出率	NO _x 排出率
原炭	60.87	83.72	74.58
粘結炭	5.82	1.12	1.53
その他石炭	1.54	6.23	5.55
コークス	5.22	3.14	3.54
その他コークス	0.00	0.00	0.00
原油	13.17	0.42	0.63
重油	3.82	4.13	2.90
ガソリン	2.47	0.22	5.52
灯油	0.44	0.01	0.52
ディーゼル油	3.30	1.00	4.73
LPG	0.39	0.00	0.05
天然ガス	1.58	0.00	0.38
その他ガス	1.38	0.00	0.07

4. おわりに

本研究は、温暖化原因物質と大気汚染原因物質の複合的抑制を行うための大気環境統合管理情報システムの開発を目的とする。その第一段階として、本発表ではこのシステムを構成する大気汚染物質排出インベントリ推計モジュールを策定し、中国におけるSO₂、NO_xの大気汚染物質排出インベントリを、排出地域毎、排出部門毎および燃料種毎に推計した。その結果、大気汚染対策が急務となる地域、排出部門および燃料種を特定した。

本研究の目的である大気環境統合管理情報システムと、大気汚染物質排出インベントリ推計モジュールが効果的に機能するためには、多くの情報が必要となる。また、大気環境統合管理情報システムは、大気環境の管理に有用な情報を提供することを目的としているので、その情報には信頼性の高さが求められる。しかしながら、途上国は統計データの整備が不十分な国がほとんどである。よって、途上国の大気環境の管理において、効果的な対策の策定に大きく寄与できるような説得力のある情報を提供するためには、新たな情報の収集はもちろんのこと、既存の情報の再検討を行っていくことが重要である。

参考文献

- 1) 国家統計局工業交通統計司: 中国能源統計年鑑 1991-1996、中国統計出版社、1998.
- 2) 国家統計局城市社会経済調査總隊: 中国城市統計年鑑 1992、中国統計出版社、1992.
- 3) 国家統計局工業交通統計司: 中国工業經濟統計年鑑 1992、中国統計出版社、1992.
- 4) 国家統計局: 中国統計年鑑 1992、中国統計出版社、1992.
- 5) 中国農村能源年鑑編集委員会: 中国農村能源年鑑 1997、中国農業出版社、1998.
- 6) The Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and State Planning Committee, the State Economic Information Center, the Institute of Statistical and State Statistical Bureau: 1994, The National Economic Atlas of China, Oxford Univ. Press.
- 7) 中華人民共和國民生部: 中華人民共和國行政区劃簡冊 1993、中国地圖出版社、1994.
- 8) 李召奮、張爰、丁雅嫻: 中華人民共和國行政区劃代碼資料手帳、科学普及出版社、1991.
- 9) 科学技術庁科学技術政策研究所: アジアのエネルギー利用と地球環境、大蔵省印刷局、1991.