

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21360254

研究課題名（和文） 高精細ダウンスケーリング手法によるアジア地域の将来大気汚染物質  
排出量マップの作成研究課題名（英文） Development of high resolution emission map of air pollutants in  
Asian region using new downscaling method.

研究代表者

倉田 学児（KURATA GAKUJI）

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90283506

研究成果の概要（和文）： 経済発展に伴うアジア地域の大气汚染物質の排出量の急増によって、著しい健康影響が広範囲に生じている。本研究は、温室効果ガスと大气汚染物質の排出量の両側面から、エンドユースモデルを用いたアジア各国の排出量の将来推計を行い、さらに地域統計データや GIS を用いた高精細ダウンスケーリング手法を構築することで、空間分布をより詳細化した排出量マップを作成した。

研究成果の概要（英文）：

Due to the rapid economic growth in Asian countries, the emission amount of atmospheric pollutants has been increasing, and cause a health impact at wide area.

In this study, we developed the method to estimate future emission of atmospheric pollutants and greenhouse gases using end-use technology model. Also, we developed the high-resolution downscaling method using regional statistics and GIS data, which can create fine and accurate emission map of atmospheric pollutants.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2012年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	9,600,000	2,880,000	12,480,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：大気循環，大気汚染防止・浄化，二酸化炭素排出削減，  
ダウンスケーリング，モデリング

### 1. 研究開始当初の背景

温室効果ガスの中長期的な排出削減シナリオにおいて、PM<sub>2.5</sub> や対流圏オゾンなど大気中の寿命が比較的短い物質についても、気候変動への影響を把握するために将来の排出量を推計することが求められている。これらの短寿命の温室効果ガスは同時に健康影響や生

態系影響を引き起こす大気汚染物質でもあるため、急激な経済成長が見込まれるアジア地域の巨大都市圏内においては、その影響を推計するために空間詳細な排出量マップを作成することが必要となっている。そのためには、地域別、部門別にできる限り詳細な将来の大気汚染物質の排出量を推計する手法の確立と、それを空間詳細化するためのダウンスケーリ

ング手法の構築が必要となる。

化石燃料起源の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量で、中国は 2007 年に世界最大の排出国となり、2009 年にはインドがロシアを抜いて世界で 3 番目の排出国となった。アジア全域の CO<sub>2</sub> 排出量の増加率は年 6%以上であり、世界で最も増加の著しい地域である。大量の化石燃料が消費されることで、同時に大気汚染物質も大量の発生することから、経済成長を阻害することなく化石燃料の使用量を削減できる低炭素技術の導入や社会の低炭素化は、大気汚染防止と気候変動の緩和策の両方に有効である。途上国を中心としてコ・ベネフィットアプローチによる温室効果ガスの排出削減策の実効性への関心を高く、それらの定量化のためにも排出量マップの重要性は大きい。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、中長期的な将来における大気汚染物質の詳細な排出量マップを作成することであり、そのために、①出来る限り細かな地方行政区域を単位として、エネルギー・エンドユースモデルを適用して温室効果ガスと大気汚染物質の将来排出量を推計すること、②高精細ダウンスケーリング手法を開発して、高精細な排出量マップを作成すること、③現状の大気汚染物質排出量マップを利用して三次元大気化学輸送モデルを実行して汚染物質の空間濃度分布を計算し、地上観測・航空機観測・衛星観測などの観測データと比較することで、ダウンスケーリング手法の妥当性を検証すること、の 3 点について具体的に研究を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) 手法の概要

本研究で用いた手法の全体像を図 1 に示す。排出量の推計にはエネルギー・エンドユースモデルである AIM/Enduse モデルを使用した。エンドユースモデルの入力データとして必要な工業品生産量、輸送量などのサービス需要量およびエネルギーを消費してこれらのサービスを提供する機器に関するデータは、各種文献や他研究の結果を参考にして整備した。

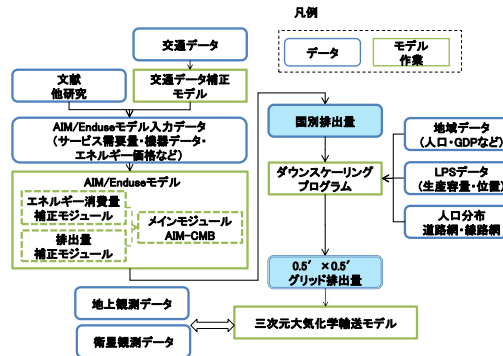


図 1 手法の全体像

交通部門については本研究の中で推計モデルを作成した。次に、地域データ、LPS データ、人口分布、道路網、鉄道網などを用いて、エンドユースモデルにより得た国別の排出量を 30" × 30" のグリッドへと配分し、排出量マップを作成した。

### (2) AIM/Enduse モデル

本モデルは外生的に与えられたサービス需要量を満たしつつ費用が最小となるような機器の組み合わせのもとでガス排出量を推計する、最適化型のボトムアップモデルである。主要な式は以下の通りである。

#### a) 排出量推計式

地域・部門  $i$  からのガス  $m$  の排出量  $Q_i^m$  は式(1)で表される。排出量  $Q_i^m$  は地域・部門  $i$  での除去技術  $p$  を備えた技術  $l$  の総運転量  $X_{l,p,i}$  と排出係数  $e_{l,p,i}^m$  を乗じたものである。排出係数  $e_{l,p,i}^m$  は式(2)で表される。

$$Q_i^m = \sum_j \sum_{(l,p) \in W_j} (X_{l,p,i} \cdot e_{l,p,i}^m) \quad (1)$$

$$e_{l,p,i}^m = \left( f_{0,l}^m + \sum_k f_{k,l}^m \cdot (1 - \xi_{l,i}) \cdot E_{k,l,p,i} \cdot (1 - U_{k,l}) \right) \cdot (1 - d_{l,p,i}^m) \quad (2)$$

$Q_i^m$ : 地域・部門  $i$  でのガス  $m$  の排出量  
 $X_{l,p,i}$ : 地域・部門  $i$  での除去機器  $p$  を備えた機器  $l$  の総運転量  
 $e_{l,p,i}^m$ : 地域・部門  $i$  での除去機器  $p$  を備えた機器  $l$  のガス  $m$  の排出係数  
 $f_{0,l}^m$ : 機器  $l$  を 1 単位運転する際のエネルギー以外から排出されるガス  $m$  の量  
 $f_{k,l}^m$ : 機器  $l$  にてエネルギー種  $k$  を 1 単位消費したときに排出されるガス  $m$  の量  
 $\xi_{l,i}$ : 地域・部門  $i$  での機器  $l$  の運転方法による効率改善係数  
 $E_{k,l,p,i}$ : 地域・部門  $i$  での除去機器  $p$  を備えた機器  $l$  を 1 単位運転するときのエネルギー種  $k$  の消費量  
 $U_{k,l}$ : 機器  $l$  に投入されるエネルギー種  $k$  のうち燃料使用されない比率  
 $d_{l,p,i}^m$ : 地域・部門  $i$  における除去機器  $p$  を備えた機器  $l$  のガス  $m$  の処理率

#### b) 排出係数制約式

地域・部門  $i$  や機器に対して排出係数に上限  $ef_{i,k,l}^m$  が定められている場合は式(3)の制約を課す。

$$f_{k,l}^m \cdot \sum_p E_{k,l,p,i} \cdot (1 - d_{l,p,i}^m) \cdot X_{l,p,i} \leq ef_{i,k,l}^m \cdot \sum_p E_{k,l,p,i} \cdot X_{l,p,i} \quad (3)$$

$ef_{i,k,l}^m$ : 地域・部門  $i$  での除去機器群を備えた機器  $l$  でエネルギー種  $k$  を 1 単位消費した際に排出されるガス  $m$  の量の上限

#### c) 外生サービス需給バランス式

地域・部門  $i$  でのサービス種  $j$  の総需要量  $D_{j,i}$  は式(4)で表され、総需要量が総供給量を超えることがないものとする。

$$D_{j,i} \leq (1 + \Psi_{j,i}) \cdot \sum_{(l,p) \in W_j} A_{l,j,i} \cdot X_{l,p,i} \quad (4)$$

$A_{l,j,i}$ : 地域・部門  $i$  での機器  $l$  の 1 単位操作によるサービス種  $j$  の供給量

$\Psi_{j,i}$ : 地域・部門  $i$  での機器  $l$  のサービス種  $j$  を供給する効率改善係数

$D_{j,i}$ : 地域・部門  $i$  でのサービス種  $j$  の総需要量

#### d) 目的関数

モデルの目的関数である総費用  $TC$  を式(5)に示す。総費用とは初期費用と運転費用に排出税を足し合わせたものである。総費用がすべての制約条件を満足し最小になるように機器選択を行う。

$$TC = \sum_l \left( \sum_{(i,p) \in W_l} \left\{ C_{l,i,p}^0 \cdot r_{l,p,i} + \sum_{p_1} C_{l,i,p_1 \rightarrow p}^x \cdot M_{l,i,p_1 \rightarrow p} + \left( g_{l,i,p}^0 + \sum_k g_{k,i} \cdot (1 - \xi_{l,i}) \cdot E_{k,i,p} \right) \cdot (1 - SC_{l,i,p}^r) \cdot X_{l,i,p} \right\} \right) + \sum_m \zeta_i^m \cdot Q_i^m + \sum_k \zeta_{k,i}^e \cdot Q_{k,i}^e \rightarrow \min$$

$C_{l,i,p}^0$ : 除去機器  $p$  を備えた機器  $l$  の新設時の時間的割引を考えた1年ごとの費用

$r_{l,p,i}$ : 部門  $i$  における除去機器  $p$  を備えた機器  $l$  の新導入量

$C_{l,i,p_1 \rightarrow p}^x$ : 除去機器を  $p_1$  から  $p$  に交換したときの機器  $l$  の1年ごとの費用

$M_{l,i,p_1 \rightarrow p}$ : 除去機器を  $p$  から  $p_1$  に交換した機器  $l$  のストック量

$g_{l,i,p}^0$ : 除去機器  $p$  を備えた機器  $l$  の1単位運転時の運転費用

$g_{k,i}$ : 部門  $i$  におけるエネルギー種  $k$  の価格

$SC_{l,i,p}^r$ : 除去機器  $p$  を備えた機器  $l$  の運転費用に対する補助金率

$\zeta_i^m$ : 地域・セクター  $i$  でのガス  $m$  の排出税

$\zeta_{k,i}^e$ : 部門  $i$  におけるエネルギー種  $k$  に対するエネルギー税

#### (3) エネルギー消費量の補正

エンドユースモデルで計算された基準年におけるエネルギー消費量を統計値と整合させるため、エネルギー消費量補正モデルを適用した。補正対象となるパラメータはエネルギー消費量、ストック量、サービス需要量である。目的関数はエネルギー消費量、ストック量、最終サービス需要量の誤差の和とし、この最小化問題を線形計画法により解いた。

エネルギー消費量の報告値として、産業部門以外では IEA Energy Balances を、産業部門では藤森ら (2009) の推計結果を用いた。

#### (4) 排出量の補正

エネルギー消費量と同様に、エンドユースモデルで計算された基準年における排出量を報告値に補正するモデルを開発した。補正対象となるパラメータは排出係数である。誤差関数として排出係数の誤差の二乗和を定義し、誤差関数が最小となる排出係数を推計した。

#### (5) シミュレーションの対象

対象地域は表 1 に示すアジア 12 か国・地域とした。対象物質は  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , TSP,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , NMVOC, CO の 8 種とし、エネルギー起源の排出量を推計した。シミュレーションは、2005 年を基準年として 2050 年まで行った。

エネルギー機器とサービス需要量は世界モデルである AIM/Enduse[Global] の最新データ

表 1 対象地域

名前	詳細
日本	
中国	中国、マカオ、香港
インド	
インドネシア	
韓国	
マレーシア	
タイ	
ベトナム	
その他東南アジア	ラオス、ミャンマー、ブルネイ、カンボジア、東ティモール、フィリピン、シンガポール
その他南アジア	バングラデシュ、ブータン、ネパール、パキスタン、モルディブ、スリランカ
その他東アジア	台湾、北朝鮮、モンゴル
その他オセアニア	フィジー、ババアニューギニア、キリバス、ナウル、サモア、ソロモン諸島、トンガ、ツバル、バヌアツ、マーシャル諸島、ミクロネシア、パラオ、クック諸島、フランス領ポリネシア、ニュージーランド、ニウエ、北マリアナ諸島、ピトケアン、トケラウ、ウォリス・フトゥナ諸島

ベースに基づいて設定した。また、大気汚染物質の除去機器については、RAINS (IIASA Web) などを参考にして諸元を設定した。

#### (6) 排出係数の設定

排出係数は、温室効果ガスについては AIM/Enduse [Global] データベースのデータを用いた。大気汚染物質については、 $SO_2$  以外は EEA (2009) に基づいて各国一律に設定し、 $SO_2$  は庄司 (2008) に基づいて国別に設定した。

#### (7) シナリオの設定

シナリオは表 2 に示す 3 種類設定した。大気汚染物質の規制は、排出係数制約式において排出係数の上限 ( $ef_{i,k,l}^m$ ) を設定することにより表現した。

表 2 設定したシナリオ

コード	シナリオ名	大気汚染物質	温室効果ガス
REF	基準シナリオ	各国の現行規制を維持	-
CM1	$CO_2$ 排出税シナリオ	各国の現行規制を維持	$CO_2$ 排出税 (AME 2bシナリオ)
CM2	$CO_2$ 排出税 + 大気汚染物質	規制強化 (工業機械・発電ボイラ等)	$CO_2$ 排出税 (AME 2bシナリオ)
	排出規制強化シナリオ	に対して、2050年において2005年の日本並みの排出規制を課す)	

#### (8) 交通データ補正モデル

エンドユースモデルの交通部門における入力データとして、サービス需要量 (輸送人キロ・トンキロ)、基準年ストック量 (車両保有量)、ストック機器のエネルギー効率などが必要である。交通統計には欠測や誤りが多く、モデルへの入力にあたってこれらを補間・修正 (以下、補正) する作業が欠かせない。ここでは、多くの統計を用いて、輸送量、エネルギー消費量、保有量間で互いに整合した交通データ群を推計するためのモデルを開発した。

#### (9) 排出量空間分布の推計

エンドユースモデルにより得られた国・地域別の排出量を段階的にダウンスケーリングし、 $30'' \times 30''$  のグリッド排出量を推計した。ここではダウンスケーリングの際に用いた配分指標について述べる。

#### a) 大規模排出源 (LPS) 配分指標の整備

発電部門や工業部門においては LPS からの排出が大部分を占めており、可能な限り正確

表3 LPS データの出典

部門	出典
発電	World Electric Power Plants Database (Platts, 2003, 2008, 2009a) <sup>23,24,25</sup> International Electric Power Sourcebook (Platts, 2009b) <sup>25</sup> IEA Clean Coal Center CoalPower5 database (IEA Clean Coal Center, 2010) <sup>26</sup> Developments in Steelmaking Capacity of Non-OECD Economies (OECD, 2004, 2009) <sup>27,28</sup>
鉄鋼	WORLD CAPACITY AND PRODUCTION REPORT CRUDE STEEL (James F. King, 2004, 2007) <sup>29,30</sup>
セメント	World Cement Directory 2002 (CEMBUREAU, 2003) <sup>31</sup> Global Cement Directory 2008-2009 (Schenck Process, 2008) <sup>32</sup> 東アジアの石油産業と石油化学工業2007年版(東西貿易通信社, 2007a) <sup>33</sup>
石油化学、石油精製	中国の石油産業と石油化学工業2007年版(東西貿易通信社, 2007b) <sup>34</sup> アジアの石油化学(重化学工業通信社, 2010) <sup>35</sup>

で情報量が多い LPS データを配分指標として用いることは排出インベントリの改善に大きく貢献すると考えられる。本研究では、発電、鉄鋼、セメント、石油精製、石油化学の 5 部門で LPS データを整備し、配分指標として用いた。LPS データの出典を表 3 に示す。

b) 線排出源 (LS) 配分指標の設定

道路・鉄道の 2 部門で LS データを整備し、配分指標として用いた。道路部門は OpenStreetMaps (OSM) の道路データを用いた。道路分布のカバー率は、各国における OSM の道路長の合計を国際道路統計の道路長と比較することで求めた。鉄道分布は VMAP0 (National Geospatial Intelligence Agency, 1995) を用いた。鉄道分布のカバー率は、VMAP0 において鉄道分布が存在する国はすべて 1 とした。LS に配分しきれなかった排出量は AS 排出量としてダウンスケーリングした。

c) 面排出源 (AS) 配分指標の整備

LPS および LS に配分しきれなかった排出量と、家庭部門などの排出量は AS 配分指標を用いてダウンスケーリングした。この際、国・地域レベルの排出量から直接グリッド排出量を推計するより、各国の行政地域区分(州、省、市など)を経由し、段階的にダウンスケーリングの方が正確である。本研究で扱ったアジア 44 国の行政地域区分数を表 4 に示す。これらの地域区分で人口、GDP、車両保有台数などのデータを収集し、部門に合わせて適切な指標を選択し、ダウンスケーリングした。最終的なメッシュへの配分には LandScan の人口データ (2010) を用いた。

4. 研究成果

(1) 国別排出量推計結果

エンドユースモデルによる国別排出量推計

表4 アジア 44 国の行政地域区分数

国名	地域数(少)	地域数(多)	国名	地域数(少)	地域数(多)
バングラデシュ	4	64	ウズベク	1	1
ブルネイ・ダルサラーム	4	ネパール	5	5	5
ブータン	1	20	サウル	1	1
中国	33	2875	パキスタン	8	129
クック諸島	1	1	ピトクアン諸島	1	1
フィジー	5	15	フィリピン	17	81
ミクロネシア	4	4	パラオ	13	13
インドネシア	33	33	バブアニューギニア	20	20
インド	35	591	北朝鮮	12	12
日本	47	1931	フランス領ポリネシア	1	1
カンボジア	1	24	シンガポール	1	1
キリバス	1	1	ソロモン諸島	8	8
韓国	16	233	タイ	17	76
ラオス	3	17	トケラウ	3	3
スリランカ	9	25	東ティモール	13	13
モルディブ	1	1	トンガ	5	5
マーシャル諸島	1	1	ツバル	8	8
ミャンマー	14	299	台湾	23	23
モンゴル	22	22	ベトナム	64	64
北マリアナ諸島	4	4	バヌアツ	6	6
マレーシア	15	132	ウリス・フトゥナ諸島	5	5
ニューカレドニア	3	3	サモア	11	11

結果を表 5 に示す。表中、2005 年以外の排出量は 2005 年との比で表している。

REF シナリオでは、2050 年の CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 排出量は 2005 年よりそれぞれ 2.4, 2.1, 3.1 倍に増加したが、PM<sub>2.5</sub> および CO, NMVOC 排出量はそれぞれ 0.54, 0.98, 0.81 倍に減少した。PM<sub>2.5</sub> および CO, NMVOC 排出量の減少は主として家庭部門におけるエネルギーシフトが要因である。

CM1 シナリオでは、CO<sub>2</sub> のみならず SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> などの大気汚染物質排出量も REF シナリオと比較して大きく減少した。これは、CO<sub>2</sub> 排出税

表5 国別排出量推計結果

シナリオ	2005	2020 REF	2020 CM1	2020 CM2	2050 REF	2050 CM1	2050 CM2
CO <sub>2</sub> [Mt]							
日本	1351	0.95	0.90	0.89	0.78	0.51	0.50
中国	5265	1.52	1.42	1.40	2.33	1.59	1.81
インド	1370	1.56	1.43	1.43	1.43	3.34	3.76
インドネシア	363	1.64	1.56	1.56	3.46	2.93	3.22
韓国	537	1.21	1.14	1.14	1.54	1.15	1.17
タイ	228	1.32	1.27	1.26	2.52	1.71	1.86
マレーシア	161	1.33	1.29	1.29	2.20	1.66	1.69
ベトナム	81	1.95	1.86	1.86	3.95	3.12	3.47
その他東南アジア	217	1.23	1.10	1.10	2.15	1.15	1.40
その他アジア	156	2.02	1.86	1.86	5.28	3.58	4.06
その他オセアニア	416	1.07	1.05	1.05	1.39	1.03	1.13
アジア計	8	0.95	0.87	0.87	2.19	1.19	1.23
アジア計	10152	1.42	1.32	1.32	2.42	1.72	1.93
SO <sub>2</sub> [kt]							
日本	1667	0.96	0.94	0.91	0.75	0.55	0.54
中国	28064	1.48	1.42	1.28	1.85	1.37	0.92
インド	7128	1.40	1.33	1.08	3.90	2.76	1.48
インドネシア	1938	1.30	1.24	1.08	2.52	2.05	1.16
韓国	2814	1.08	0.94	0.91	1.19	0.79	0.69
タイ	1005	0.99	0.94	0.85	1.60	1.28	1.05
マレーシア	334	1.11	1.09	0.98	1.59	1.33	0.91
ベトナム	273	1.49	1.43	1.30	2.49	1.87	1.27
その他東南アジア	1889	0.92	0.71	0.66	1.36	0.55	0.38
その他アジア	952	1.41	1.31	1.14	4.19	3.18	1.90
その他オセアニア	1588	1.17	1.14	1.07	1.43	1.17	1.00
アジア計	31	0.76	0.69	0.53	1.25	0.90	0.28
アジア計	47683	1.37	1.30	1.14	2.05	1.54	0.99
NO <sub>x</sub> [kt NO <sub>x</sub> ]							
日本	3231	1.11	0.98	0.91	1.27	0.66	0.65
中国	15966	1.99	1.48	1.22	3.78	2.10	1.62
インド	5377	1.40	1.32	1.14	3.92	3.18	2.18
インドネシア	1580	1.44	1.30	1.18	2.91	2.14	1.40
韓国	2575	1.19	0.96	0.90	1.53	0.80	0.63
タイ	780	1.30	1.21	1.05	2.43	1.68	1.27
マレーシア	373	1.19	1.13	1.08	1.95	1.76	1.56
ベトナム	271	1.70	1.55	1.44	2.84	2.19	1.57
その他東南アジア	2524	0.91	0.67	0.64	1.36	0.48	0.38
その他アジア	687	1.37	1.29	1.14	3.14	2.41	1.68
その他オセアニア	754	1.17	1.13	1.11	1.93	1.77	1.68
アジア計	31	1.02	0.94	0.87	2.34	1.91	1.60
アジア計	34168	1.59	1.28	1.10	3.06	1.91	1.43
TSP [kt]							
日本	221	1.00	0.85	0.76	1.17	0.52	0.49
中国	8277	0.91	0.85	0.83	0.59	0.37	0.35
インド	4312	0.91	0.89	0.77	0.62	0.60	0.52
インドネシア	1444	0.93	0.97	0.96	0.34	0.29	0.28
韓国	182	1.08	0.82	0.81	1.39	0.74	0.68
タイ	258	0.79	0.74	0.69	0.59	0.40	0.36
マレーシア	92	0.97	0.93	0.83	1.16	1.07	0.44
ベトナム	744	1.17	1.16	1.16	0.42	0.41	0.40
その他東南アジア	721	0.91	0.84	0.83	0.48	0.25	0.23
その他アジア	1391	0.68	0.79	0.79	0.23	0.24	0.19
その他オセアニア	71	1.35	1.30	1.23	1.67	1.52	1.29
アジア計	23	1.11	1.10	1.09	0.65	0.61	0.56
アジア計	17736	0.91	0.93	0.91	0.56	0.42	0.38
PM10 [kt]							
日本	198	1.04	0.87	0.77	1.26	0.54	0.51
中国	7807	0.91	0.85	0.82	0.59	0.37	0.34
インド	4098	0.91	0.89	0.77	0.63	0.61	0.53
インドネシア	1372	0.93	0.97	0.97	0.34	0.29	0.28
韓国	169	1.10	0.82	0.81	1.45	0.75	0.70
タイ	245	0.79	0.74	0.69	0.61	0.40	0.36
マレーシア	90	0.81	0.77	0.74	0.80	0.67	0.44
ベトナム	708	1.17	1.16	1.16	0.42	0.41	0.40
その他東南アジア	692	0.91	0.84	0.83	0.48	0.25	0.23
その他アジア	1323	0.68	0.79	0.79	0.23	0.24	0.19
その他オセアニア	66	1.36	1.31	1.23	1.71	1.56	1.33
アジア計	21	1.12	1.11	1.10	0.65	0.61	0.55
アジア計	16788	0.91	0.93	0.91	0.56	0.42	0.38
PM2.5 [kt]							
日本	177	1.06	0.89	0.78	1.29	0.56	0.53
中国	7712	0.90	0.84	0.82	0.56	0.35	0.33
インド	4078	0.91	0.89	0.77	0.62	0.60	0.53
インドネシア	1366	0.93	0.97	0.97	0.34	0.29	0.28
韓国	155	1.11	0.83	0.82	1.47	0.78	0.74
タイ	241	0.79	0.74	0.69	0.59	0.40	0.35
マレーシア	84	0.97	0.93	0.84	1.16	1.07	0.46
ベトナム	707	1.17	1.16	1.16	0.42	0.41	0.40
その他東南アジア	675	0.91	0.85	0.84	0.47	0.25	0.23
その他アジア	1321	0.68	0.79	0.79	0.23	0.23	0.19
その他オセアニア	60	1.38	1.32	1.25	1.74	1.58	1.36
アジア計	21	1.12	1.12	1.11	0.64	0.61	0.59
アジア計	16598	0.90	0.92	0.91	0.54	0.41	0.37
CO [kt]							
日本	11229	1.01	1.00	1.00	0.90	0.86	0.86
中国	83007	1.02	1.00	1.00	1.00	0.89	0.91
インド	37678	1.02	1.13	1.13	1.11	1.04	1.05
インドネシア	12502	1.04	1.05	1.05	0.73	0.65	0.66
韓国	2450	1.35	1.29	1.29	1.77	1.69	1.69
タイ	3469	0.81	0.80	0.80	0.80	0.71	0.71
マレーシア	1790	1.26	1.07	1.07	2.02	1.80	1.76
ベトナム	7371	1.24	1.15	1.15	0.84	0.68	0.68
その他東南アジア	4846	1.01	0.96	0.96	0.55	0.46	0.46
その他アジア	10699	0.73	0.83	0.83	0.50	0.46	0.45
その他オセアニア	2617	1.27	1.18	1.18	1.85	1.62	1.63
アジア計	178	1.12	1.11	1.11	0.89	0.86	0.84
アジア計	177835	1.02	1.03	1.03	0.98	0.89	0.89
NMVOC [kt]							
日本	1217	1.00	0.97	0.97	0.91	0.85	0.84
中国	12212	0.95	0.93	0.92	0.78	0.67	0.67
インド	6223	1.02	1.11	1.11	1.11	0.89	0.85
インドネシア	2135	1.03	1.03	1.03	0.62	0.54	0.54
韓国	340	1.25	1.14	1.14	1.57	1.38	1.38
タイ	543	0.98	0.92	0.92	1.24	1.03	1.03
マレーシア	223	1.32	1.02	1.02	1.82	1.49	1.47
ベトナム	1345	1.24	1.12	1.12	0.83	0.65	0.65
その他東南アジア	835	1.01	0.93	0.93	0.50	0.39	0.39
その他アジア	1829	0.72	0.82	0.82	0.38	0.36	0.36
その他オセアニア	296	1.34	1.17	1.17	1.86	1.62	1.62
アジア計	29	1.13	1.13	1.13	0.77	0.75	0.75
アジア計	27227	0.99	0.99	0.98	0.81	0.71	0.71

をかけたことに起因するエネルギーシフト（例えば石炭から天然ガスなど）の影響である。

CM2 シナリオでは、大気汚染物質は CM1 シナリオよりさらに削減された。SO<sub>2</sub> については、除去機器の普及によりアジア全体で 2050 年の排出量は 2005 年よりもやや減少した。NO<sub>x</sub> については、SO<sub>2</sub> 同様排出量は削減されるが、SO<sub>2</sub> と異なりアジア全体の排出量は 2005 年比 1.4 倍と依然として増加傾向を示した。

### (2) 部門別排出寄与率の推移

REF, CM2 シナリオにおける、アジアの SO<sub>2</sub> 部門別排出寄与率の推移を図 2, 図 3 にそれぞれ示す。CM2 シナリオでは REF シナリオと比較して発電部門の排出寄与率が大きく減少していることがわかる。これは発電部門における脱硫装置の普及の効果である。

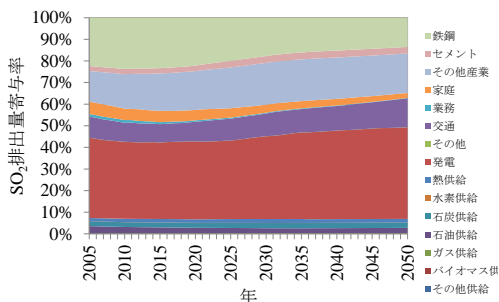


図 2 REF シナリオにおける SO<sub>2</sub> の部門別排出量寄与率

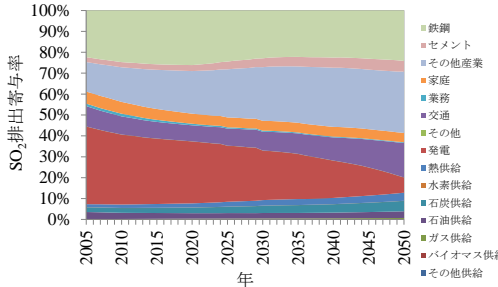


図 3 CM2 シナリオにおける SO<sub>2</sub> の部門別排出量寄与率

### (3) 既往の研究との排出量の比較

中国、インドについて、本研究と既往の研究で推計された排出量の比較を行った結果を図 4 と図 5 に示す。中国の NO<sub>x</sub> については、本研究の CM1 シナリオと IEA (2012) の CPS シナリオがほぼ同一となった。インドの SO<sub>2</sub> については、本研究の CM2 シナリオと IEA (2012) の 450 シナリオの排出量の増加率が、ほかのシナリオと比較してもっとも小さくなった。

### (4) 排出量空間分布

2005 年における PM<sub>2.5</sub> の排出量分布図を図 6 に示す。PM<sub>2.5</sub> については排出量の空間的な偏りは NO<sub>x</sub> と比較して小さく、各グリッドから万遍なく排出されている様子がわかる。これは、

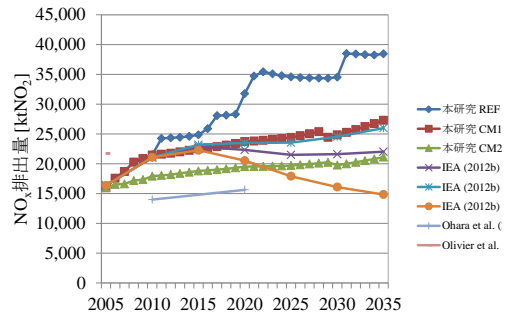


図 4 中国における NO<sub>x</sub> 排出量の比較

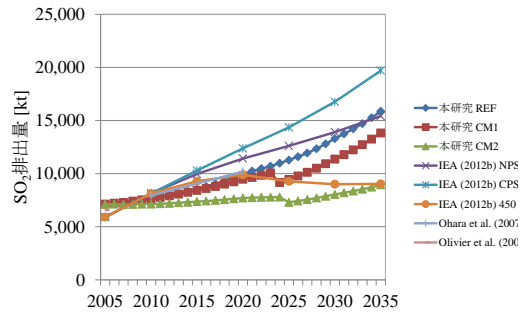


図 5 インドにおける SO<sub>2</sub> 排出量の比較

PM<sub>2.5</sub> は民生部門からの排出寄与が大きいため、排出量の多くが AS として配分されたためである。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) エンドユースモデルの適用に際して、アジアを単一 8 か国を含む 12 か国・地域に分割し、排出量の推計を行った。これにより、既往の研究では単一国として取り上げられることの少ない、タイ、マレーシア、ベトナムなどの東南アジア新興国の排出量も推計することができた。
- (2) CO<sub>2</sub> 排出税を課す CM1 シナリオにおいては、CO<sub>2</sub> だけでなく全ての大気汚染物質排出量が REF シナリオより削減されると推計された。このことから、大気汚染緩和効果が、気候変動対策を推進することのインセンティブになりうる。
- (3) 国・地域の排出量の推計から排出量空間分布の推計まで、地域・部門に依らない統一的な推計手法を開発した。このこと

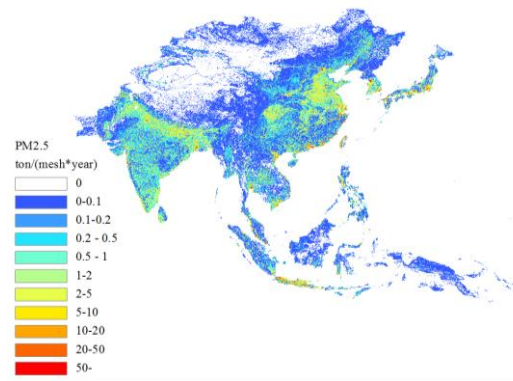


図 6 PM<sub>2.5</sub> の排出量空間分布

は国・部門間の比較分析や入力データの更新、手法の改良などを行う上で有用である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① 倉田学児, 持続可能社会の大気汚染削減ビジョン, 環境システム計測制御学会誌, 査読無, 14, 2010 年, 51-55
- ② 柳千絵, 島田洋子, 倉田学児, 松岡譲, アジア地域の人々を対象とした PM<sub>2.5</sub> 曝露濃度の推定, 地球環境研究論文集, 査読有, 18, 2010 年, 19-27
- ③ 井上浩隆, 河瀬玲奈, 松岡譲, 世界のセメント需要とその生産に伴う CO<sub>2</sub> 排出量の推計, 環境衛生工学研究, 査読無, 24, 2010 年, 51-54
- ④ 島田洋子, 郭敏娜, 倉田学児, 松岡譲, 中国各地域の都市と農村の生活時間調査情報を用いた室内環境中 PM<sub>2.5</sub> 曝露評価, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 67 (6), 2011 年, II\_307-314
- ⑤ 森本壮一, 倉田学児, 松岡譲, アジア地域におけるエネルギー・産業統計と整合的な大気汚染物質排出量推計手法の開発, 環境衛生工学研究, 査読無, 25 (3), 2011 年, 96-99
- ⑥ 郭敏娜, 倉田学児, 松岡譲, 中国での室内汚染および交通起源の沿道大気汚染を考慮した PM<sub>2.5</sub> 曝露量推計, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 6, 2012 年, 193-204
- ⑦ Pichnaree Lalitaporn, Gakuji Kurata, Yuzuru Matsuoka, Satellite observations of Tropospheric NO<sub>2</sub> over Asia: Analysis of Seasonal Variations and Comparison with Model, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 6, 2012 年, 171-182
- ⑧ 河瀬玲奈, 東章吾, 松岡譲, 日本における低炭素社会と脱物質化社会構築の可能性について—鉄鋼を例として—, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 6, 2012 年, 371-381

[学会発表] (計 10 件)

- ① 安福一樹, 倉田学児, 松岡譲, アジア地域における大気汚染物質の大規模排出源の位置推計に関する研究, 土木学会地球環境シンポジウム, 2010 年 8 月 28 日, 諏訪東京理科大学 (長野県)
- ② Kawase R., Inoue H., Matsuoka Y., Estimation of Global Cement Demand towards 2030, International Society for Industrial Ecology 2010, 2010 年 11 月 8 日, 東京

- ③ 森本壮一, 安福一樹, 倉田学児 (他), アジア地域における各種統計を用いた大気汚染物質排出量分布の推計, 第 52 回大気環境学会年会, 2011 年 9 月 16 日, 長崎大学
- ④ 河瀬玲奈, 松岡譲, 2050 年における経済発展と温室効果ガス削減目標のかかわりについて, 環境経済・経済学会, 2011 年 9 月 23 日, 長崎大学
- ⑤ 郭敏娜, 倉田学児, 島田洋子 (他), 中国における都市農村別の PM<sub>2.5</sub> 曝露濃度の推定, 第 52 回大気環境学会年会, 2011 年 9 月 16 日, 長崎大学
- ⑥ Gakuji Kurata, Minna Guo, Naoya Kuramoto, Soichi Morimoto, Yuzuru Matsuoka, Emission inventory to estimate co-benefit of Low carbon Society policy in Asian countries, The 12th International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Science Conference, 2012 年 9 月 17 日～2012 年 9 月 21 日, Beijing, China
- ⑦ Gakuji Kurata, Pichnaree Lalitaporn, Comparison of seasonal variation between anthropogenic and natural emission inventory and Satellite observation in Southeast Asia, American Geophysical Union's 45th Annual Fall Meeting, 2012 年 12 月 3 日～12 月 7 日, San Francisco, USA
- ⑧ Gakuji Kurata, Recent Progress on the Model development of Air Quality and co-benefits, The 18th AIM International Workshop, 2012 年 12 月 14 日～2012 年 12 月 16 日, 国立環境研究所(つくば市)
- ⑨ Gakuji Kurata, Pichnaree Lalitaporn, Yuzuru Matsuoka, Evaluation and improvement of Air Pollutant emission inventory for Asian region by using Satellite column densities data, 2012 ACCENT-IGAC-GEIA Conference, 2012 年 6 月 11 日～2012 年 6 月 13 日, Toulouse, France
- ⑩ 河瀬玲奈, 東章吾, 松岡譲, 日本における鉄鋼需要量削減が CO<sub>2</sub> 排出量におよぼす影響について, 京都大学環境衛生工学研究会第 34 回シンポジウム, 2012 年 7 月 27 日～2012 年 7 月 28 日, 京都大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

倉田学児 (KURATA GAKUJI)  
京都大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 90283506

##### (2) 研究分担者

河瀬玲奈 (KAWASE REINA)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 90378852  
松岡譲 (MATSUOKA YUZURU)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 90109033