

中国各地域の汚染物質排出特徴と エネルギー構造の関連性に関する計量分析

朱美華* 山下研* 青正澄**

(*アジア大気汚染研究センター **横浜市立大学)

1. はじめに

2013年、駐中国アメリカ大使館が中国の大気汚染に関する情報を公開して以来、中国の大気汚染は世界中から注目を受けている。そのため、中国政府は2012年の「環境空気質基準」の改正に続き、2013年6月に「大気汚染防止10条措置」、9月に「大気汚染防止行動計画2013-2017」を公布するなど、一連の対策を取ってきた。トップダウン式による厳しい規制により、SO₂の工業排出量は2011年の2017.2万トンから1704.4万トンに、NO_xの工業排出量は1729.7万トンから1404.8万トンに減少する傾向を見せている。

一方、産業活動や生活活動は必ずエネルギー消費を通じて成り立つため、大気汚染は各国の産業活動や人々の生活活動と密接な関係がある。また、エネルギー消費構造はその国の大気環境に大変大きな影響を与えている。そのため、エネルギー消費と環境問題をめぐっては、多くの先行研究がなされている。一つはエネルギー消費とCO₂排出量との関連性に関する研究で、白・松本(2011)、張(2012)等がある。また、汚染物質排出量や中国大気汚染に関する地域特徴を分析した先行研究の蓄積を見ると、Jiming Haoら(2005)では中国の大気汚染は従来のSO₂の汚染から粒子状物質汚染に移行したと指摘した。特に、中国北方地域では石炭を利用した暖房供給が行われているため、南方地域より粒子状

物質の汚染が深刻になっていると指摘している。またXuemei Bai(2000)では東アジア地域、特に中国では先進国が経験してきた大気汚染ではなく、工業汚染に加え、自動車汚染、生活汚染など複合型汚染が発生していると指摘した。

本研究では、『中国環境統計年鑑』、『中国エネルギー統計年鑑』、『中国統計年鑑』の統計データを用いて、以下のようなことを明らかにする。第1に、全国及び各地域の工業・生活・自動車による汚染物質の排出量動向を分析する。第2に、中国の31地域の排出量データを用いて因子分析を行い、汚染物質の要因を抽出すると共に、汚染物質の因子得点を算出する。第3に、汚染物質の各要因が排出量の増減に与えるどのような、どの程度の影響を与えるかについてロジスティック回帰分析分析を通じて明らかにする。第4に、因子分析とロジスティック回帰分析の結果とエネルギー消費構造を連携して分析することで、汚染物質排出量を抑制する上での課題を探る。

2. 分析材料と分析方法

2010年まで、中国各地域の汚染物質排出量に関する統計指標はSO₂排ガスの総量・工業排出量・生活排出量、Sootの排出総量・工業排出量・生活排出量、Dustの工業排出量で統計されてきた。しかし、2011年、中国環境保護部が統計制度の指標体系、調査方法及び関連技術規定などについて改正を

行い、統計範囲を工業原・農業原・都市生活原、自動車、集中式汚染処理施設、5つに分類した(『中国環境統計年鑑2012』, p47)。また、2010年までは Soot と Dust の排出量がそれぞれ統計されていたことに対し、2011年からは Soot と Dust の排出量が一つの指標としてまとめられ、粒子状物質(Soot・Dust)の排出量として統計されている。また、従来の SO₂、Soot・Dust の排出量の統計に加えて、NO_x の排出量も統計されるようになった。統計指標の変化をまとめると、『中国環境統計年鑑2012』から中国31の地域に関しては、SO₂の排出総量・工業排出量・生活排出量・集中式汚染処理施設排出量、NO_xと粒子状物質(Soot・Dust)の排出総量・工業排出量・生活排出量・自動車排出量・集中式汚染処理施設排出量に分けて統計されている。

本研究では、『中国環境統計年鑑』2011年と2014年で公表されている中国31地域のSO₂の工業排出量・生活排出量、NO_xと粒子状物質の工業排出量・生活排出量・自動車

排出量の8つの排出量データを用いて、因子分析を行った。軸の回転方法はバリマックス回転、因子得点推定法は最小2乗推定を選択した。

また、因子分析で抽出された各因子が汚染物質の排出増減にどのような影響を与えるのかを明らかにするために、ロジスティック回帰分析を行った。

最後に、因子分析とロジスティック回帰分析で得られた結果と『中国エネルギー統計年鑑』と『中国統計年鑑』で分析したエネルギー構造を連携して分析し、中国における大気環境質の現状と課題を明らかにした。

3. 分析結果

3.1 排ガスの排出量の傾向と内訳

中国の統計指標体系が変わった2011年からのSO₂、NO_x、粒子状物質の排出量の推移(図1)をみると、SO₂とNO_xの排出量は減少しているものの、粉塵の排出量は若干不規則でありながら増加する傾向がみられる。

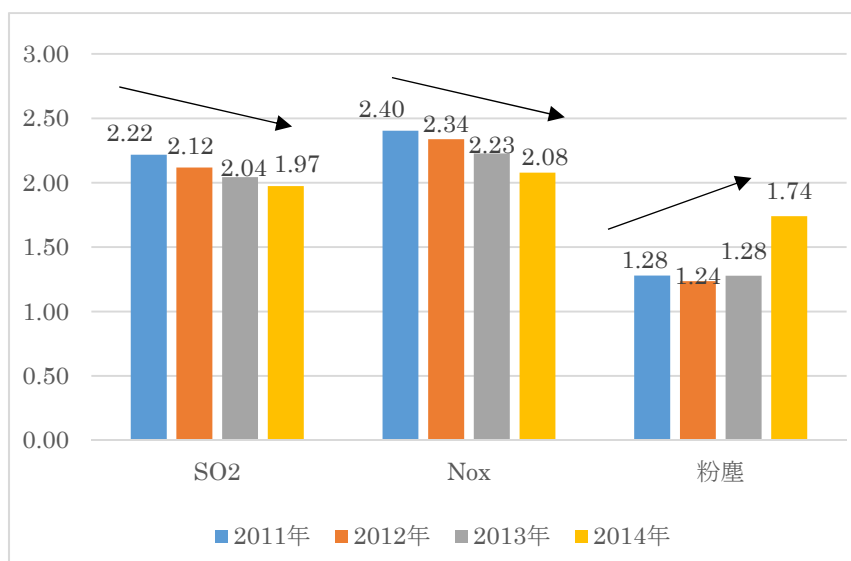


図1：排ガス排出総量の経年変化(万トン)

データの出所：『中国環境統計年鑑』各年版

各指標の排出量の内訳を表 1 でみると、全体的には以下のような特徴を表している。第 1 に、どちらの指標においても、工業排出量の占める割合が低下しているものの、依然として多くの割合を占めている。第 2 に、生活排出量の占める割合はまだ少ない

ものの、割合は確実に増加している。特に SO₂ と粒子状物質の割合は全体の 1 割以上を占めている。第 3 に、NO_x 排出量においては、自動車排出の割合が高く、3 割以上を占めている。

表 1: 排ガス排出量の経年内訳変化(%)

		2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
SO ₂	工業排出 (減少傾向)	91.0	90.3	89.8	88.2
	生活排出 (増加傾向)	9.0	9.7	10.2	11.8
NO _x	工業排出 (減少傾向)	71.9	70.9	69.4	67.6
	生活排出 (増加傾向)	1.5	1.7	1.8	2.2
	自動車排出 (増加傾向)	26.5	27.4	28.8	30.2
粒子状物質	工業排出 (減少傾向)	86.1	83.3	85.6	83.7
	生活排出 (増加傾向)	9.0	11.6	9.7	13.1
	自動車排出 (減少傾向)	4.9	5.2	4.7	3.3

データの出所: 『中国環境統計年鑑』各年版

3.2 汚染物質排出量に関する因子分析

中国の各地域の SO₂、NO_x、粒子状物質の汚染物質排出量がどのような要因によって構成されているかを分析するために因子分析を行った。分析では、『中国環境統計年鑑』2011 年と 2014 年の中国 31 の地域、8 つの汚染物質排出量のデータを用いている。なお、集中式汚染処理施設の排出量は割合が 0.01~0.02%しか占めていないため、因子分析からは排除した。因子分析では、8 つの汚染物質の排出量の増減特徴を明らかにするため、2014 年/2011 年の汚染物質排出量の比率データを用いて因子分析を行った。

分析結果は表 2 に示す。8 因子のうち、第 1 因子の固有値が 2.460、第 2 因子が 1.841、第 3 因子が 1.434、第 4 因子が 0.828 だったので、第 3 因子で切り取り、因子負荷量を

算出した。表 2 で示すとおり、第 1 因子の因子負荷量を見ると、NO_x と粒子状物質の自動車排出の因子負荷量が高かったため、第 1 因子は自動車排出因子とネーミングした。第 2 因子は各指標の生活排出で高得点が集中しているため、生活排出因子とネーミングした。同じく第 3 因子では工業関連排出の因子負荷量が高かったため、工業排出因子とネーミングした。したがって、第 1 因子が自動車排出、第 2 因子が生活排出、第 3 因子が工業排出であり、3 者が汚染物質排出量の構成要因となる。

因子分析の有意性を見ると、3 因子までの累積寄与率が 0.717 であり、全体の 7 割以上が因子分析により説明でき、分析精度はいいと思われる。

表 2：汚染物質排出量に関する因子分析結果

	自動車	生活	工業	共通性
NOx 自動車排出	0.874	-0.069	0.181	0.802
粒子状物質自動車排出	0.937	-0.037	-0.052	0.883
SO ₂ 生活排出	0.102	0.805	-0.19	0.694
NOx 生活排出	-0.16	0.672	0.415	0.65
粒子状物質生活排出	-0.114	0.831	-0.024	0.704
SO ₂ 工業排出	0.513	-0.124	0.721	0.798
NOx 工業排出	0.307	0.067	0.677	0.557
粒子状物質工業排出	-0.242	-0.029	0.767	0.648
寄与率	0.264	0.227	0.226	
累積寄与率	0.264	0.49	0.717	

3.3 汚染物質排出構成要因が排出量総量の増減に与える貢献度分析

本節では汚染物質排出の構成要因が排出量総量の増減にそれぞれどのような、どれぐらいの影響を与えるかを明らかにするために、ロジスティック回帰分析を行った。ロジスティック回帰分析は量的変数から質的な変数(0/1のデータであり、本研究の場合は排出総量が増加した/していない)を予測することに使われる。判別分析より優れたところは目的変数への説明変数の貢献度が分

かるだけではなく、どの程度(数値)、どのように(プラス/マイナス)影響しているかまで分析できる点である。ロジスティック回帰分析を実施するためのデータ設定は以下のようにしている。まず、説明変数(独立変数)は因子分析で得た31地域サンプルの自動車排出・生活排出・工業排出の因子得点である。被説明変数(従属変数)は汚染物質排出総量2014年/2011年の比率が>1の場合は1と設定し、<1の場合は0と設定した。

表 3: 汚染物質排出構成要因が排出量増減に与える貢献度分析

	偏回帰係数	オッズ比	オッズ比下限	オッズ比上限	標準偏差
自動車排出	-1.160*	0.314	-2.825	0.506	0.850
生活排出	0.997	2.710	-0.381	2.375	0.703
工業排出	-4.177*	0.015	-7.433	-0.920	1.662
切片	0.535		-0.566	1.637	0.562
対数尤度値	-10.323				
実測予測 R ²	0.728				

注：*は5%有意性を意味する。

分析結果は表3に示す。まず、ロジスティック回帰分析において、貢献度の指標とな

るオッズ比を持って汚染物質排出量の増減への貢献度を見ると、貢献度の大きい順（オッズ比）では生活排出、自動車排出、工業排出になっている。そのうち、自動車排出と工業排出は汚染物質排出量の増減にマイナスの貢献をしているが、生活排出はプラスの貢献をしていることが分かる。自動車と工業の各汚染物質の排出量は減少する傾向にあり、汚染物質排出量総量を減少させる効果を果たすが、各汚染物質の生活排出量は増加傾向にあるため、排出量の総量の増加させる効果を果たすことになる。

ロジスティック回帰分析の有意性を見ると、自動車排出と工業排出の2つの変数は5%有意性を持っている。また分析全体の精度を表す指標である実測予測R²は0.728であり、7割以上の予測値が実測値と合致して

いることを説明し、分析の精度はいいと思われる。

3.4 エネルギー消費構造

まず、中国全体のエネルギー消費構造を表4から見ると、石炭換算法によるエネルギー消費総量は1980年代から60275.0万トンから2014年の425806.0万トンになり、7.1倍増加した。また、エネルギー消費総量の増加趨勢を見ると、2000年以後に急速に増加していることが分かる。エネルギー消費総量の内訳をみると、石炭と石油という化石燃料の消費量の割合が減少し、その代わりグリーンエネルギーである天然ガスと水力・原子力・太陽などの発電による電力の割合が増加している。

表4:エネルギー消費量及び構造

	エネルギー消費 (万トン標準石炭)		エネルギー消費内訳 (%)			
	総量	倍率	石炭	石油	天然ガス	その他 電力
1980年	60275.0	1.0	72.2	20.7	3.1	4.0
1985年	76682.0	1.3	75.8	17.1	2.2	4.9
1990年	98703.0	1.6	76.2	16.6	2.1	5.1
1995年	131176.0	2.2	74.6	17.5	1.8	6.1
2000年	146964.0	2.4	68.5	22.0	2.2	7.3
2005年	261369.0	4.3	72.4	17.8	2.4	7.4
2010年	360648.0	6.0	69.2	17.4	4.0	9.4
2014年	425806.0	7.1	65.6	17.4	5.7	11.3

注：その他電力は、水力・原子力・太陽・風力などの発電による電力を指す。

出所：『中国統計年鑑』各年版

エネルギー消費構造の趨勢を見る限り、注目すべき特徴がないので、これからは汚染物質排出量分析、因子分析とロジスティ

ック回帰分析で重要な要因として提示された自動車と生活排出に焦点を絞って、エネルギー構造を分析する。

まず、1996年から2015年までの民間自動車保有台数の増加を見ると、図2で示す通り、1996年の1115.8万台から、2015年の16284.4万台に増えている。その増加率を見ると、2005年以後、特に2010年以後の自

動車保有台数の増加率が急速に伸びている。

自動車の燃料となるガソリンとディーゼルの消費量の推移を表5から見ると、消費総量は両方と増加する傾向にある。

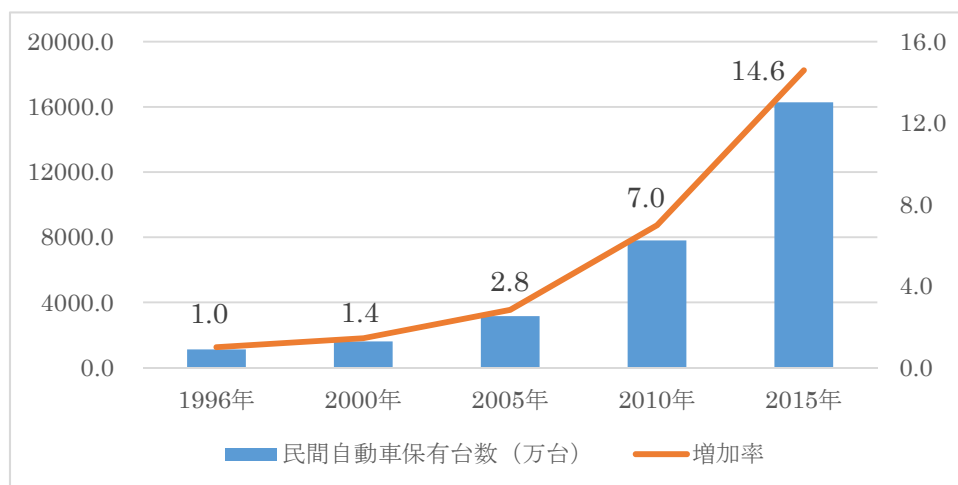


図2: 民間自動車保有台数の推移

出所: 『中国統計年鑑』各年版

表5: ガソリンとディーゼル消費量の経年変化

		ガソリン				ディーゼル			
		2000年	2005年	2010年	2015年	2000年	2005年	2010年	2015年
総量 (万トン)	総量	3504.6	4854.9	6886.2	11368.5	6806.2	10972.2	14633.8	17360.3
	物流業	1527.8	2430.1	3204.9	5306.6	3293.8	5890.4	8518.6	11162.8
	生活	227.6	523.8	1213.7	2593.1	178.4	406.4	770.7	990.7
増加率	総量	1.0	1.4	2.0	3.2	1.0	1.6	2.2	2.6
	物流業	1.0	1.6	2.1	3.5	1.0	1.8	2.6	3.4
	生活	1.0	2.3	5.3	11.4	1.0	2.3	4.3	5.6
割合(%)	総量	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	物流業	43.6	50.1	46.5	46.7	48.4	53.7	58.2	64.3
	生活	6.5	10.8	17.6	22.8	2.6	3.7	5.3	5.7

出所: 『中国統計年鑑』各年版

一方、大変興味深いところは、両者の増加率と割合である。まず、ガソリンの消費

量の増加率と割合の変化をみると、ガソリンの消費量が最も多い物流業の増加率は3.5倍に対し、生活の増加率は11.4倍と物流業の3倍以上になっている。使用量の増加に伴い、生活部門のガソリン使用量の割合も6.5%から22.8%に増加したものの、物流業の割合46.7%に比べると半分未満である。続いて、ディーゼルの消費量の増加率の割合の変化をみると、物流業のディーゼル使用量の増加率はガソリン並みで3.4倍増加している。また、物流業の割合の増加(48.4%⇒64.3%)は生活部門の割合(2.6%⇒5.7%)の増加を大幅上回っている。ガソリンとディーゼルの消費量推移の特徴をまとめてみると、両者とも物流業の使用量が5割前後を占めている。一方、ガソリンは

生活部門における消費量の増加が著しく、ディーゼルは物流業の使用量の増加が大変顕著である。

続いて、生活部門のエネルギー消費構造を見てみる。生活部門のエネルギー源としては、石炭、コークス、ガソリン、灯油、ディーゼル、天然ガス、電力の7つのエネルギー源がある。一方、表6で示す通り、天然ガスと電力の単位が他のエネルギーと異なるため、各エネルギー使用量の時系列の構造変化を見る事が出来ない。そのため、本研究では単位の異なるエネルギーを表6の換算係数を利用して標準石炭に換算して時系列のエネルギー構造変化を見ることにした。

表6:各種エネルギー源を標準石炭に換算する際の換算係数

	石炭	コークス	ガソリン	灯油	ディーゼル	天然ガス	電力
単位	kg 標準石炭/kg	kg 標準石炭/kg	kg 標準石炭/kg	kg 標準石炭/kg	kg 標準石炭/kg	kg 標準石炭/m ³	kg 標準石炭/kWh
標準石炭への換算係数	0.9000	0.9714	1.4714	1.4714	1.4571	1.2150	0.1229

出所：『中国エネルギー統計年鑑2015』、361頁

1995年から2014年までの生活部門のエネルギー構造を見ると、石炭の使用量はエネルギー源全体に占める割合は1995年の87.1%から32.1%へと、使用量の割合が半分以下に減少した一方、電力使用量の割合は8.8%から34.0%へ大幅増加して石炭の割合を上回っている。天然ガスとガソリンの使用量の割合も増加し、それぞれ1.7%から16.0%、0.7%から12.0%へと10倍前後伸びている。天然ガスの割合の増加は都市部門における都市ガスのインフラ整備が大

幅改善されたことによるものと考えられ、ガソリン消費量の割合の増加は自家用車の増加によるものだと考えられる。

4. まとめ

中国の大気汚染問題が国民及び世界の中国を受けてから、中国政府は大気環境基準の改正や様々な対策、国家計画を策定・実施することを通じて、中国の大気環境質を改善するため力を入れてきた。その努力が成果にもつながり、経済発展が継続してい

中でも各種汚染物質の排出量は規制できるようになってきている。特に、工業部門における SO₂、NO_x、粒子状物質の排出量は年々減少している。

本研究では、汚染物質の排出量とエネルギー消費量データを用いて各種計量分析を行った結果、以下のようなことが明らかになった。

第1に、汚染物質の排出量データを利用して行った因子分析では、まず汚染物質の排出量要因は自動車排出、生活排出、工業排出という3つの要素で構成される。

第2に、因子分析で明らかになった3つの汚染物質の排出要因のうち、どのような要因がどの程度排出量の増減に貢献しているかを明らかにするためのロジスティック回帰分析では、生活排出要因の貢献度が最も高く、自動車と工業の排出要因がその後を継ぐ。また、偏回帰係数から見ると、生活排出係数はプラス、自動車と工業排出係数はマイナスとなっている。なお、自動車と工業の排出係数は5%統計上の有意性を持っている。実際の汚染物質排出量の割合の

変化と連携してみると、工業排出は SO₂、NO_x、粒子状物質の3つ指標とも割合が減少傾向、生活排出は3つ指標において割合が増加、自動車は NO_x の排出割合は増加しているものの、粒子状物質の排出割合は減少傾向にあった。全体的にみると、各種規制により、工業の汚染物質の排出量の大幅の削減により全体の排出量がコントロールできる状況ではあるが、自動車と生活部門における排出量の規制が新たな課題となっている。

第3に、エネルギー消費構造の分析では、全体的にみると石炭と石油の化石燃焼の消費量の割合は減少傾向にある反面、天然ガスや水力・原子力・太陽などの発電により電力の消費量の割合は増加する傾向にあり、化石燃料からグリーンエネルギーへと緩やかにシフトしている傾向がみられている。新たな課題となっている自動車と生活部門のエネルギー消費構造を見ると、生活部門におけるガソリンの消費量の急速な増加が汚染物質の排出量を削減する上での課題となった。

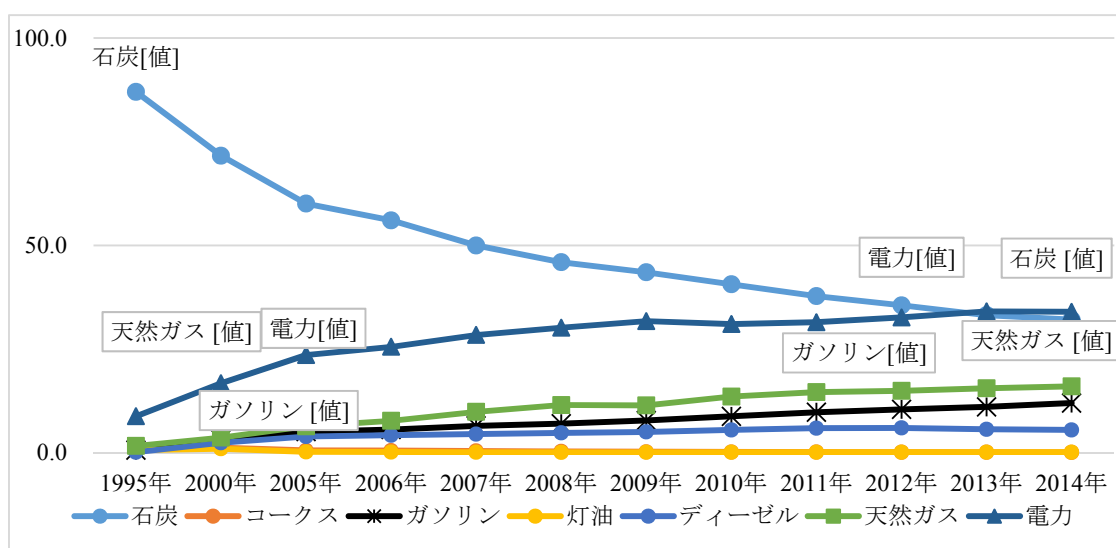


図3:生活部門におけるエネルギー構造

参考文献

- [1]白金鶴・松本亨 (2011)「中国の 30 省市を対象とした二酸化炭素排出の要因分析及びその類型化」『第 39 回環境システム研究論文発表会講演集』第 39 巻, pp.171-177.
- [2]国家統計局・環境保護部編『中国環境統計年鑑 2012-2015』中国統計出版社
- [3]国家統計局能源統計司編『中国能源統計年鑑 2015』中国統計出版社
- [4]Jiming Hao, Litao Wang. (2005) “Improving urban air quality in China: Beijing case study,” *Journal of Air & Waste Management Association*, 55, 1298-1305
- [5]Xuemei Bai, Hidefumi Imura. (2000) “A Comparative Study of Urban Environment in East Asia: Stage Model of Urban Environmental Evolution.,” *International Review for Environmental Strategies*, 1(1), 135-158
- [6]張宏武 (2012)「中国における化石エネルギー起源の CO₂排出量変化の要因分析」『人間環境学研究』第 10 巻, pp.73-88.
- [7]中国統計局 HP : <http://www.stats.gov.cn/>