

中国における SO₂ 限界削減費用の推定方法の考察

羅 朝暉・時政 崑

(受付 2008 年 10 月 31 日)

1. は じ め に

1.1 限界削減費用研究の背景

近年中国ではかつてない速さで工業化，都市化が進み，それと同時にエネルギーの消費量も増加してきた。中国における一次エネルギーの消費において，石炭は69.4%を占めており（国家统计局編，『中国統計年鑑・2007』261頁），石炭などを燃焼する際に放出される二酸化硫黄（以下，SO₂ という）は1990年の1495万トンから年平均3.0%で増加し，2006年では2589万トンで世界一である（日本の年間排出量70～80万トンの約30倍に相当する）。これは酸性雨などかなり深刻な大気汚染を引き起こすとされている（「2006年中国環境状況公報」，2007）。

中国は既に世界の主要汚染地域の一つとなっており，中国の汚染問題は中国に留まらずアジア地域および世界全体にも大きな影響を及ぼすに至った。特に，中国における SO₂ の排出により，酸性雨が発生し，その汚染は日本や韓国や日本海周辺に及んでいるといわれている。従って，中国の SO₂ による大気汚染問題今や国際的にも重要な課題となっている。

中国では酸性雨による汚染問題を解決するために，各種環境基準の制定，環境対策や環境管理制度の確立などに取り組んできている。環境政策において，重要なことは環境基準を最小の費用で達成する効率性である。SO₂ の削減には費用がかかるため，削減費用を最小にするような効率的な政策を行うことが求められる。効率的な政策とは，各排出源に対する限界削減費用が均等化されるような政策である。排出権取引制度は効率的削減を実現するので重要な環境経済政策の一つと注目されている。CO₂ については，排出権取引市場は拡大が続いている。2002年にイギリスで始まり，2005年1月からは EU 全体でこの制度が採用されている。日本では2008年10月21日に排出量取引（本稿では排出権取引）の国内統合市場の試行が始まり，将来の本格的な参加義務型排出量取引制度の導入に備えている。中国でも大気汚染制御の面に限られるものの，排出権取引の実験を行って，ある程度の成果を見ている。

排出権取引市場の需要・供給を決めるものは限界削減費用である。排出権取引制度は取引主体（ある地域或いは企業）の排出量が初期配分を超える場合，限界削減費用が排出権価格より高ければ，不足分を購入するが，逆に，限界削減費用が排出権価格より低ければ，自ら削減すればよい。従って，各取引主体が自らの限界削減費用を知らないと，取引するか否か

決められない。言い換えれば、各取引主体が排出権を購入また売却する前に、自らの限界削減費用の推定が不可欠である。

SO₂の削減費用に対して今までさまざまな研究が行われてきた。大別すると二種類の方法がある。一つは個別技術に基づき、削減技術ごとの費用の積み上げ計算によって求める方法である。もう一つは、モデルに基づくシミュレーションを通しての推定である。これは企業レベルでの研究がかなり進んでいる。たとえば、Mckitrick (1999)はSO₂を削減するのに、脱硫装置の設置、低硫黄燃料への転換などの排出削減手段を持つ企業の限界削減費用関数を理論的に導出している。岡敏弘ら(2002)は個別の施設レベルの発生源毎に、各種の削減手段(生産量の減少、省エネルギー、原燃料の低硫黄化、排煙脱硫、流動床ボイラーなど)それぞれについて、まず汚染削減量と削減費用のスケジュールを推定し、つぎに、それぞれの汚染削減量毎に最も安価な削減手段とその費用を同定するなどして、SO₂の限界削減費用を求めた。推定された限界削減費用は排煙脱硫の場合では43円/kgと指摘した。しかし、地域別あるいは国別でのSO₂の限界削減費用の推定計算はそれほど多くは見られない。

本稿の目的は中国を例にして、各取引主体(行政区の省、市別)が排出権取引をする際に、前提となる自地域の限界削減費用を実際のデータを用いて推定することである。いくつかの限界削減費用推定モデルで、各地域の限界削減費用を明らかにすることによって、排出権取引政策の導入による政策効果の分析が可能となる。それは望ましい政策枠組みの策定の一助となると考えられる。

本稿は次のように構成されている。次の1.2では前論文(羅 朝暉・時政 昴(2007))で我々が推定を行った限界削減費用の実証モデルについて述べる。第2節ではこれまで限界削減費用についての実証モデルにより1997年から2006年の10年間のデータを用いて限界削減費用を分析する。ここでは前論文と異なるデータを採用している。第3節では限界削減費用の線形回帰による推定方法及び結果を述べる。第4節ではまず非線形回帰推定をとりあげ、次に構造変化や削減量以外の削減費用規定要因を取り入れた重回帰分析する。第5節では限界削減費用の推定結果について、経済発展状況に応じた地域分けをして検討することとする。第6節では残された問題及び今後の研究課題を述べる。

1.2 前論文の限界削減費用実証推定モデルについて

限界削減費用MACは、汚染物質をさらに1単位削減するときの追加的費用である。この概念によると、ある新規施設の限界削減費用は単位削減量当たりの新規施設費用となる。よって、以下の式(2-1)で表すことができる。

$$MAC = \frac{FC}{FSC} \quad (2-1)$$

ここで、*MAC*：限界削減費用（万元/トン）

FC：新規施設費用（万元）

FSC：新規施設の SO₂ 削減量（トン）

新規施設の削減費用はその設備の年減価償却 *FDE* と施設を運営する上で発生する運行費用 *FRU* の二部分から成り立っている。この減価償却 *FDE* は設備の投資額を設備の耐用年数で除した値である。新規施設の運行費用については、全施設の運行費と全施設の投資額の比と新規施設の運行費と新規施設の投資額の比がほぼ等しいと考え、新施設も全施設も運行経費の割合が変わらないとして導出した。

同じように、全施設の SO₂ 削減量と全施設の年処理能力（全施設の煤煙処理量と全施設の浄化処理量の和）の比と新規施設の SO₂ 削減量と新規施設の年処理能力の比がほぼ等しいとみなすと、新規施設の SO₂ 削減量 *FSC* が求められる。

以上のことから、限界削減費用は式(2-2)により導出された。

$$MAC = \frac{\frac{YI}{LI} + \frac{TM}{TI} YI}{\frac{SC}{ST + CT} YI} \quad (2-2)$$

ここで *YI*：年間投資（本年度実行済み投資額）（万元）

LI：設備の耐用年数（年）

TM：全設備運行費（万元）

TI：全設備不変価（全施設の歴年の投資額）（万元）

SC：全施設の SO₂ 削減量（トン）

ST：全施設の煤煙処理量（億標立方メートル）

CT：全施設の浄化処理量（億標立方メートル）

YT：新規施設の年処理能力（億標立方メートル/年）

以降では中国の行政区分による27省と4直轄市を対象とし、上記の実証モデルを利用し、2000年から2005年までの各地域のデータを代入して、この各地域の限界削減費用の推計値を求める。推定された結果から、最大の SO₂ 限界削減費用は上海の5.654万元/トン、最小の値は安徽の0.05万元/トン、中国全体の平均限界削減費用は0.978万元/トンであった。

2. 限界削減費用推定ためのデータについて

我々のこれまでの研究において2000年或いは2000-2005年のデータを利用して推定してきた。しかし、データの安定性、時系列、データの入手可能の増大、大きなプロジェクトの長

表2-1 工業廃気の排出と処理の基本状況（北京の例，1997－2006年）

01. 北京	年間投資	年間煤煙処理	浄化処理	設備原価	全設備運行費	SO ₂ 削減量	時処理能力
	万 元	億標立方メートル	億標立方メートル	万 元	万 元	ト ン	標立方メートル/時
1997年	16597	1723	1211	123309	30749	8936	1123076
1998年	18578	1571	1284	166600	28347	6107	1318171
1999年	50154	1586	1202	149098	30740	6143	2691240
2000年	33740	1691	1315	235135	39299	9748	3817046
2001年	32767	1797	1238	245362	41166	10496	3098178
2002年	45413	1816	1150	253592	43451	12545	900000
2003年	58034	1825	1179	273646	47337	23902	4200000
2004年	29594	1927	1271	304315	48388	35818	3800000
2005年	91383	2015	1517	303478	56813	47003	7060000
2006年	89534	2772	1869	364513	49399	68290	22260000
平均値	46579	1872	1324	241905	41569	22899	5026771

期間投資を考えると，2000年から2005年の5か年間でなく，1997年から2006年までの10年間というより長期のデータを利用することが必要である。1998－2007年の『中国環境年鑑』から北京を例として取り上げると，表2-1「工業廃気の排出と処理の基本状況（北京の例，1997－2006年）」のようである。ほかの地域のデータはここで省略することとする。

前節で述べた実証モデルの推定結果は，表2-2「各地域工業廃気の排出と処理の基本状況および限界削減費用推定値（1997－2006年，実証推定モデル）」，表2-3「各地域各年度の限界削減費用（1997－2006年，実証推定モデル）」となる。各地域統計には，地域差があり，一部誤差があり，またデータの欠損があるため補完するなどを行いました，外れなどで対応した。表2-2で示すように，全地域10年間の限界削減費用の平均値は0.956万元/トン，最高値は上海の4.80万元/トンで，5年間（2000－2005）推定結果の平均値0.978，最高値の上海5.654万元/トンと比べると，やや低くなった。これは経済発展に伴う削減能力の上昇による削減費用の低下のためである。全体でみると，2万元/トン以上は3地域，2～1万元/トンでは7地域，1～0.1万元/トンでは最も多く16地域，0.1万元/トン以下は5地域，最低値は湖北の0.032万元/トンである。この10年間のデータで削減量と限界削減費用関係をみると，以下のことが明らかとなる。地域別に見ると，限界削減費用が高い地域では削減量は少なく，限界削減費用が低い地域では削減量が多い。たとえば，限界削減費用が高い青海（限界削減費用が3位），海南（5位），チベット（10位）の削減量の平均値はそれぞれ，1938トン（削減量が30位），4384トン（29位），128トン（31位）となっており，これは削減量が小規模であるため，

中国における SO₂ 限界削減費用の推定方法の考察

表2-2 各地域工業廃気の排出と処理の基本状況および限界削減費用推定値（1997-2006年、実証推定モデル）

	年間投資	年間煤煙処理	浄化処理	設備原価	全設備運行費	SO ₂ 削減量	時処理能力	年処理能力	新規設備運行費	新規施設コスト	新規施設のSO ₂ 削減量	限界処理費用
	万元	億標立方メートル	億標立方メートル	万元	万元	トン	標立方メートル/時	億標立方メートル	万元	万元	トン	万元/トン
01. 北京	46579	1872	1324	241905	41569	22899	5026771	440	8004	12662	3155	4.013
02. 天津	34720	2296	816	103884	30048	59838	11324861	992	10043	13515	19071	0.709
03. 河北	58115	8277	7786	285322	127659	314747	10344181	906	26002	31814	17756	1.792
04. 山西	68240	5897	3716	300244	102728	245492	8966287	785	23348	30172	20060	1.504
05. 内蒙古	27074	5433	2424	137347	26802	162428	4475909	392	5283	7991	8105	0.986
06. 遼寧	42574	6594	5941	578962	120636	672441	4464613	391	8871	13128	20980	0.626
07. 吉林	14105	2434	1106	122667	20988	48636	3149741	276	2413	3824	3791	1.009
08. 黒龍江	16851	3748	822	128779	18030	25516	11555330	1012	2359	4044	5652	0.716
09. 上海	20341	3017	3682	187456	70043	49288	3111307	273	7601	9635	2006	4.804
10. 江蘇	84179	8776	4613	500916	117480	374237	24984693	2189	19742	28160	61178	0.460
11. 浙江	44822	5663	2815	344118	103739	291150	10975564	961	13512	17994	33017	0.545
12. 安徽	17091	2987	2001	237733	51578	567947	10897416	955	3708	5417	108699	0.050
13. 福建	55611	1953	1736	183675	40149	59014	16435576	1440	12156	17717	23031	0.769
14. 江西	12701	1487	1258	76541	27805	572901	3316710	291	4614	5884	60636	0.097
15. 山東	98248	9422	5703	523638	150115	525080	26733180	2342	28165	37990	81297	0.467
16. 河南	46485	6169	3942	285048	71829	251255	19789947	1734	11714	16362	43080	0.380
17. 湖北	30742	2931	3661	234944	53795	384105	61753118	5410	7039	10113	315187	0.032
18. 湖南	34444	2115	2135	217882	57337	474882	8914807	781	9064	12509	87257	0.143
19. 広東	75610	6051	3441	499876	140637	207809	12234402	1072	21272	28833	23462	1.229
20. 広西	16890	2903	3217	148880	34557	354086	14170511	1241	3921	5610	71821	0.078
21. 海南	991	315	218	13928	2584	4384	251497	22	184	283	181	1.559
22. 重慶	10034	1584	1083	97899	42299	249661	1257209	110	4335	5339	10313	0.518
23. 四川	48601	3142	2784	203735	47545	209706	14888389	1304	11342	16202	46152	0.351
24. 貴州	16957	2004	1582	91100	22582	132977	3990220	350	4203	5899	12963	0.455
25. 雲南	25300	1802	1725	220685	48380	456780	9083145	796	5546	8076	103034	0.078
26. チベット	268	9	4	1117	284	128	106842	9	68	95	94	1.008
27. 陝西	16248	2130	1213	114708	23853	83968	3368742	295	3379	5004	7413	0.675
28. 甘肅	30983	1848	1309	177107	30333	536533	3987359	349	5307	8405	59357	0.142
29. 青海	2986	250	601	33577	7606	1938	1825680	160	677	975	364	2.677
30. 寧夏	8971	1064	612	38217	7467	27564	3543233	310	1753	2650	5105	0.519
31. 新疆	9653	1982	785	87909	18071	35426	2114769	185	1984	2950	2372	1.243

表2-3 各地域各年度の限界削減費用（1997－2006年，実証推定モデル）

	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	平均値
01. 北 京	19.351	20.319	29.562	8.312	9.348	36.953	5.412	2.056	3.189	0.735	13.524
02. 天 津	0.611	1.408	0.453	0.338	0.036	4.091	12.976	4.496	8.761	19.466	5.264
03. 河 北	2.423	0.760	1.539	0.785	0.933	0.683	2.510	1.133	2.182	9.492	2.244
04. 山 西	1.598	0.853	0.546	0.180	1.223	0.330	0.566	3.278	2.438	8.137	1.915
05. 内 蒙 古	0.090	0.598	1.365	0.279	0.251	0.123	1.387	0.684	0.918	8.275	1.397
06. 遼 寧	0.270	0.536	0.213	0.276	0.331	0.229	0.473	0.379	1.934	4.125	0.876
07. 吉 林	0.420	1.095	0.609	0.587	0.702	3.000	0.551	0.670	2.579	0.811	1.102
08. 黒龍江	3.315	3.205	1.229	0.981	3.021	0.065	5.044	11.592	2.078	5.901	3.643
09. 上 海	2.560	1.979	0.870	1.148	2.635	6.867	7.634	24.980	21.383	11.498	8.155
10. 江 蘇	0.373	1.585	0.439	0.339	0.406	0.526	1.036	0.760	1.062	0.221	0.675
11. 浙 江	0.818	0.996	0.615	0.832	0.557	0.498	0.322	0.126	1.155	2.362	0.828
12. 安 徽	0.221	0.077	0.082	0.096	0.005	0.114	0.448	0.332	0.174	0.246	0.180
13. 福 建	0.819	1.053	0.602	0.081	0.812	0.753	3.951	0.730	4.707	1.008	1.451
14. 江 西	0.102	0.034	0.003	0.018	0.067	0.013	0.158	0.402	0.665	0.298	0.176
15. 山 東	0.235	0.385	0.377	0.328	0.550	1.091	0.624	0.219	1.278	0.572	0.566
16. 河 南	1.000	1.367	0.359	0.051	0.745	3.565	0.256	1.024	1.297	1.941	1.161
17. 湖 北	0.238	0.066	0.156	0.031	0.587	0.655	1.137	0.394	0.276	0.012	0.355
18. 湖 南	0.042	0.028	0.051	0.047	0.005	0.225	0.199	0.516	0.711	0.866	0.269
19. 広 東	0.155	0.415	0.818	0.354	0.751	1.929	2.802	3.501	1.795	1.061	1.358
20. 広 西	0.128	0.075	0.216	0.009	0.063	0.038	0.203	0.421	0.959	1.108	0.322
21. 海 南	1.376	1.626	1.389	1.517	1.212	2.000	2.938	1.809	8.418	3.631	2.592
22. 重 慶	0.314	0.296	0.235	0.576	0.427	0.597	0.640	0.422	0.214	1.925	0.565
23. 四 川	0.136	0.201	0.112	0.219	0.258	0.392	0.486	0.950	0.845	0.307	0.391
24. 貴 州	0.091	1.443	0.337	0.244	0.413	0.197	0.668	0.592	0.244	1.816	0.604
25. 雲 南	0.139	0.036	0.088	0.054	0.205	0.174	0.122	0.015	0.136	0.348	0.132
26. チベット	－	－	－	0.025	0.624	1.878	3.693	1.996	4.044	1.182	1.920
27. 陝 西	0.263	0.318	0.821	0.621	0.521	0.786	0.641	0.745	0.892	1.650	0.726
28. 甘 肅	0.152	0.056	0.197	0.130	0.084	0.028	0.318	0.146	0.333	0.638	0.208
29. 青 海	14.032	－	－	1.074	3.046	0.976	3.827	2.202	4.177	7.203	4.567
30. 寧 夏	0.137	0.043	1.776	0.261	0.631	0.071	0.438	1.219	1.001	6.021	1.160
31. 新 疆	0.624	0.262	0.557	1.043	0.373	0.585	0.791	2.460	1.368	10.375	1.844
平均値	1.734	1.418	1.573	0.672	0.994	2.240	2.008	2.266	2.620	3.653	1.941

限界削減費用が高くなる事例と考えられる。

各地域ごとの経年変化について見ると、表2-3を行に関して見ると示されるように、限界削減費用はほぼ上昇している。

次節でこの10年間のデータを利用し、限界削減費用＝平均削減費用という実証モデルとは異なる方法で限界削減費用を求める。第3節で線形回帰モデル、第4節で非線形回帰モデルを用いて各地域の限界削減費用を推定する。

3. 限界削減費用の線形回帰モデルによる推定

各地域の削減コストと削減量を関係づければ削減コスト関数を考えることができる。本稿の目的は限界削減費用を導出することである。前稿（羅 朝暉・時政 昂（2007））においては、地域別の経年データの信頼性を勘案し、5年間の地域別総削減費用の平均値と総削減量の平均値をとり、両者の比である平均削減費用を限界削減費用に等しいとして導出した。ここでは、線形削減費用関数を同定することなく、限界費用を求めた。その際、削減コストを同定するためのデータについて、第1節において示した各地域の1997～2006年の10年における削減費用、削減量のデータを用いて導出した。上のデータは、年を固定したクロスセクションデータとしてみるか、地域を指定した時系列データとしてみるかで2つの見方ができる。

ここで、われわれは地域別削減費用の特徴を知りたいので、各地域の時系列データから、地域別の削減費用を推定することを考える。もっとも簡単には削減費用を削減量で回帰することにより、削減費用曲線を推定して、この推定された（削減量の関数として表される）削減費用関数から、その導関数を求め、限界削減費用を導出する。このとき、削減費用関数として線形回帰により導出する場合と、非線形回帰する場合の2つの方法があり、2つの方法を試みた。第2節では、線形回帰の場合、第3節では非線形回帰の場合の分析結果を示す。

本節では C_i を各地域の年あたり総削減コスト、 R_i を各地域の年あたり削減量とするとき、

$$C_i = a_i + b_i R_i \quad (3-1)$$

という回帰式を推定する。これは、 C_i と R_i の間に1次式の関係が成立すると仮定して得られる結果である。1次式の削減費用関数の下では限界費用は $C'_i(R_i)$ で表されるので b_i となり、これは削減量いかにかわらず一定となる。線形関数を仮定した場合の推定パラメータ値と各地域の限界削減費用の値を表3-1「中国各地域の限界削減費用の推定値（線形推定、1997－2006年）」に掲げる。

表3-1 中国各地域の限界削減費用の推定値（線形推定，1997-2006年）

地域	順位	費用		地域	順位	費用			
		傾き(限界削減費用)	切片			傾き(限界削減費用)	切片		
	01.	北京	1.347	57302		09.	上海	2.459	-30818
	02.	天津	0.988	5659		29.	青海	2.326	5504
	03.	河北	0.694	-32516		26.	チベット	1.854	394
	04.	山西	0.964	-65584		13.	福建	1.608	872
	05.	内蒙古	0.560	-37017		23.	四川	1.385	-194240
	06.	遼寧	1.095	-573335		01.	北京	1.347	57302
	07.	吉林	0.311	19967		06.	遼寧	1.095	-573335
	08.	黒龍江	0.286	27572		02.	天津	0.988	5659
	09.	上海	2.459	-30818		04.	山西	0.964	-65584
	10.	江蘇	0.614	-27939		30.	寧夏	0.933	-9279
	11.	浙江	0.472	11235		19.	広東	0.745	61470
	12.	安徽	0.086	20041		03.	河北	0.694	-32516
	13.	福建	1.608	872		21.	海南	0.665	659
	14.	江西	0.187	-66403		10.	江蘇	0.614	-27939
	15.	山東	0.532	-30938		05.	内蒙古	0.560	-37017
	16.	河南	0.452	4744		15.	山東	0.532	-30938
	17.	湖北	0.341	-46444		31.	新疆	0.503	1602
	18.	湖南	0.255	-29467		11.	浙江	0.472	11235
	19.	広東	0.745	61470		16.	河南	0.452	4744
	20.	広西	0.304	-56318		27.	陝西	0.425	4407
	21.	海南	0.665	659		24.	貴州	0.418	-16014
	22.	重慶	0.261	-12864		17.	湖北	0.341	-46444
	23.	四川	1.385	-194240		07.	吉林	0.311	19967
	24.	貴州	0.418	-16014		20.	広西	0.304	-56318
	25.	雲南	0.155	2981		08.	黒龍江	0.286	27572
	26.	チベット	1.854	394		22.	重慶	0.261	-12864
	27.	陝西	0.425	4407		18.	湖南	0.255	-29467
	28.	甘肅	0.220	-56970		28.	甘肅	0.220	-56970
	29.	青海	2.326	5504		14.	江西	0.187	-66403
	30.	寧夏	0.933	-9279		25.	雲南	0.155	2981
	31.	新疆	0.503	1602		12.	安徽	0.086	20041

この回帰式の切片と勾配の p 値を見ると、値が大きいところが12地域ある。切片がマイナス値を取る地域が16もある。切片がマイナスとなるのは、勾配が1より大で、かつ削減量が小さい地域と考えられるが、切片が負ということは、削減量がある程度小さくするとマイナスの削減費用が現れるので、総削減コスト曲線の同定としては問題がある。もちろん削減量の変化が、小さい場合、つまり当該削減費用関数を持つ地域が排出権取引を行うとき、考慮する排出権の供給量が小幅の時には、問題とはならない。しかし、われわれは、この限界費用曲線から排出権需要曲線や供給曲線を導出し、かなり大幅の削減量の変化を伴う排出権取引を行う場合を考えたい。そこで、コスト曲線は直線形になるのではなく、削減量が低水準のとき下に凸の曲線になっていると考えるべきであろう。従って次節で示すように非線形回帰により、削減費用を導出することとする。

また、線形推定では推定された限界削減費用の値は、最大値は上海2.46、これに続き青海2.33、チベット1.85、福建1.61、四川1.38、北京1.35、遼寧1.1の大きい削減コストの地域と、安徽0.09、雲南0.15、広西0.19、甘肅0.22、黒竜江0.29などの小さい地域がある。次節で、限界削減費用の非線形回帰モデルにより、推定することとする。

4. 限界削減費用の非線形推定

4.1 限界削減費用の非線形回帰モデルによる推定

非線形回帰曲線として、削減量が削減費用とともに指数的に伸びるときに、削減量、削減費用の対数を取ったものについて、回帰線を求める形のものを取り上げる。なぜなら、あらかじめ2次関数などの関数形を仮定する根拠が得にくいからである。つまり $\ln C_i$ を $\ln R_i$ に回帰して

$$\ln C_i = a_i + b_i \ln R_i \quad (4-1)$$

という回帰式を求める。これは、費用関数の形では

$$C_i = e^{a_i} R_i^{b_i} \quad (4-2)$$

と書ける。

これから、 $b_i > 1$ のときに限界削減費用が逡増的增加関数、つまり総削減費用は削減量の増加とともに増加し、伸び方が削減が進むにつれて上昇していく形になる。 $1 > b_i > 0$ のときは、逡減的增加関数となる。これは総削減費用は削減量の増加とともに増加するものの、伸び方が削減量が大きくなるにつれて低下して行くことを示す。 $0 > b_i$ ときは、総削減費用が削減量の減少関数となる場合になる。非線形回帰のパラメータの推定結果を表4-1「中国各地域の限界削減費用の推定値（非線形単回帰推定、1997-2006年）」に掲げる。

表4-1 中国各地域の限界削減費用の推定値（非線形単回帰推定，1997-2006年）

			総削減量(R)	総削減量(R)	MAC1	MAC2
	傾き b	切片 a	2006年	平均値 (97-2006)	2006年	平均値 (97-2006)
01. 北京	0.358094708	7.851363388	68290	22899	0.725	1.463
02. 天津	1.34392446	-3.844317088	176665	59838	1.834	1.264
03. 河北	1.168175397	-2.729085635	723439	314747	0.737	0.641
04. 山西	1.224467185	-3.337804642	588715	245492	0.858	0.705
05. 内蒙古	1.395177493	-6.057451035	439174	162428	0.554	0.374
06. 遼寧	3.960936845	-41.26616296	903706	672441	2.049	0.854
07. 吉林	0.742677909	2.401149038	87614	48636	0.438	0.510
08. 黒龍江	0.410572531	6.296023974	24057	25516	0.582	0.563
09. 上海	1.170020417	-1.313111738	94494	49288	2.207	1.976
10. 江蘇	1.247175965	-3.857674368	1036810	374237	0.808	0.628
11. 浙江	0.674844139	3.410316165	749013	291150	0.251	0.342
12. 安徽	0.680403282	2.062153914	904727	567947	0.067	0.077
13. 福建	1.078535031	-0.448314755	146258	59014	1.753	1.632
14. 江西	3.132271265	-31.1575008	844539	572901	0.399	0.175
15. 山東	1.190700121	-3.299968177	1469037	525080	0.659	0.541
16. 河南	0.975922523	-0.457253418	709410	251255	0.447	0.458
17. 湖北	1.646482401	-9.898432403	620053	384105	0.460	0.337
18. 湖南	1.025957305	-2.16245347	551435	474882	0.166	0.166
19. 広東	1.151821549	-1.886497401	687541	207809	1.344	1.121
20. 広西	2.405747498	-20.00331267	476727	354086	0.474	0.312
21. 海南	0.553257341	3.504226583	9640	4384	0.305	0.434
22. 重慶	1.148807423	-3.456245742	419159	249661	0.249	0.230
23. 四川	2.89622945	-24.27745191	330634	209706	2.422	1.022
24. 貴州	1.326473943	-5.12127127	306921	132977	0.490	0.373
25. 雲南	1.007305607	-1.945885383	896992	456780	0.159	0.158
26. チベット	0.315264542	4.804446965	130	98	1.373	1.666
27. 陝西	0.972532551	-0.446122925	183105	83968	0.446	0.456
28. 甘肅	1.675516698	-11.16195661	892027	536533	0.249	0.177
29. 青海	0.278742203	7.184571013	5438	1938	0.743	1.565
30. 寧夏	1.652627686	-7.518814771	33805	27564	0.810	0.709
31. 新疆	0.781379495	1.637596683	16255	35426	0.482	0.407

これを見ると、 p 値が大きい地域は吉林、上海、安徽、福建、河南、湖南、広東、陝西、新疆の9地域に減少した。また、線形回帰の時の切片の p 値が大きくて問題となっていた地域は福建、陝西、安徽、河南の4地域を除いて、非線形回帰をとることで改善されている。さらに、線形回帰のときの切片がマイナス値となる問題は、今度は削減費用関数に現れる e の冪がマイナスとなることを意味するから、削減費用関数がマイナスの値をとることは起こらない。傾きの p 値は、湖南と新疆が、やや大きい値となっている他は、線形回帰の時と変わらず問題はない。

この総削減費用関数を用いて、限界削減費用を計算するには、導関数を求め、限界削減費用を計る点での削減量の値を代入すればよい。つまりこの削減量からさらに追加的に1単位の削減増を行うときの限界削減費用が導出されることとなる。

$b_i > 2$ となる限界削減費用が通増的增加関数となる地域は、遼寧、江西、広西、四川の4地域、 $2 > b_i > 1$ の通増的增加関数となる地域は甘肅、湖北、寧夏、内蒙古、天津、貴州、江蘇、山西、山東、上海、河北、広東、重慶、福建、湖南、雲南の16地域で最も多い。 $1 > b_i$ の通減的增加関数の削減費用は、河南、陝西、新疆、吉林、浙江、安徽、海南、黒竜江、北京、チベット、青海の11地区になる。新疆のみが総費用が減少関数となる。

この限界削減費用を2006年の削減量を基準に見るか、1997～2006年の平均削減量を基準にしてみるかによって、その値は表4-1に示すように異なる。当然ながら $b_i > 1$ の時は、削減量が大きい時の方が限界削減費用が高く、 $1 > b_i$ の時は削減量が大きいときの方が限界削減費用は小さくなる。

1997～2006年の平均削減量を基準にみると、限界削減費用は、上海の1.96万元/トンが最も高く、安徽の0.07万元/トンが最も低い、その格差は28倍である。その格差は、線形回帰の時の29倍より縮まっている。2006年の削減量基準で見た場合、四川の2.42万元/トンと安徽の0.067万元/トンで約36倍となる。

4.2 構造変化を含む限界削減費用の非線形回帰モデルによる推定

さて、各地域の削減費用と、削減量の時系列を（対数を取った形ではあるが）並べてみると、その動きは、必ずしも同方向でなく、逆方向の場合も見られる。削減費用が前年より増加しているにもかかわらず、総削減量が前年より減少している地域が見られる。または削減量が前年より減少したにもかかわらず、削減費用は増加している地域がある。

これがやや逆説的に見える原因としては、我々が削減量の増加が、新規削減設備の設置や性能改善により起こると考えるからである。これは削減装置の新設・増設が削減コストの引き上げにつながり、削減量と削減費用が正の相関を持つはずだと考えるからである。

ところで、中国の環境データにおいて、「削減量とは、排ガス対策施設による処理を経て

除去された SO₂ 量」と定義されていて、実際の計算は、各設備の持つ除去率×汚染産出量として計算されている。しかし、削減量のうち、①削減装置の増大や、削減装置の性能向上による削減率の上昇（削減設備）のほかに、②石炭から、天然ガスへの転換という低硫黄化による削減量の増加（燃料代替）、③エネルギーの使用効率の拡大による石炭投入の減少による削減量の増大（省エネ）④非効率事業所の閉鎖による削減量の増大（工場閉鎖）がある。

上で述べた削減量の定義では削減量の増加は、実際に削減設備を通った煙などの汚染の前駆物質の量が増加する場合だけを考えている。②から④のケースでの削減量の増加は、該当しない。否むしろ、削減の減少として統計上は出現する。②の燃料転換の場合、汚染前駆物質は減少するので削減量は減少する。一方削減費用は不変か、上昇すると考えられるので、総削減費用曲線は上方シフトする。③の省エネで石炭使用が減少した場合は、汚染前駆物質は減少するので削減量は減少する。一方削減費用は不変か、減少すると考えられるので、総削減費用曲線は上方シフトする。④の工場閉鎖の場合は、石炭の使用量が減少するので、削減量は減少する。一方、削減費用の内、減価償却費は無くなり、運行費も無くなるので、削減費用も減少する。総削減費用曲線は、総合的に上方シフトするか、下方シフトするか不明となる。尚、閉鎖された工場が、別の地域などで新しい設備を稼働させるようになると、その地域での石炭投入量の増加などのため、削減量は増加させられる。また、削減費用も増加する。総削減費用曲線は、総合的に上方シフトか、下方シフトか不明となる。

こうして、通常削減費用関数は、除去設備の増設に伴う削減費用関数上の移動という形なので、それ以外の要因による削減費用と削減量の関係は、ある種の構造変化による変化と考えられる。そのような変化が起こる年の削減量と削減費用のデータを直接、回帰線の推定に用いるのは妥当とはいえない。そこで、構造変化を示すダミー変数を導入する。ダミー変数は0か1の値のみ取る変数であり、ここでは削減量が前年より減少した年のみ値1をとり、前年より増加する場合は0をとるとしよう。

$$\ln C_i = a_i + b_{1i} \ln R_i + b_{2i} D_i \quad (4-3)$$

という推定式を導入する。つまり

$$C_i = e^{a_i + b_{1i}} R_i^{b_{2i}} \quad (4-4)$$

という費用曲線を推定するのである。この方程式の推定結果を表4-2「中国各地域の限界削減費用の推定値（非線形2変数の回帰推定、1997-2006年）」に示す。

この構造変化として、工場閉鎖、燃料転換などを考え、これを含む非線形回帰の推定結果と、構造変化を含まない非線形回帰の推定結果を比べて p 値が改善される方を採用した。この結果、北京、天津、内モンゴ、遼寧、黒竜江、江西、山東、河南、湖北、雲南、寧夏の11地域について、構造変化があるときの推定値を採用する。

このときの p 値は、勾配に関してはチベットがやや大きいのみで、切片の p 値はその値が

中国における SO₂ 限界削減費用の推定方法の考察

表4-2 中国各地域の限界削減費用の非線形推定 (削減量, ダミー変数, 1997-2006年)

	重 回 帰						重回帰		単回帰		MAC 結果		
	LN (R)	ダミー変数				総削減量		MAC1	MAC2	MAC1	MAC2	MAC1	MAC2
	傾き b1	傾き b2	p 値 LN(R)	p 値 (ダミー変数)	切片 a	2006年	平均値 (97-06)	2006年	平均値 (97-06)	2006年	平均値 (97-2006)	2006年	平均値 (97-2006)
01. 北 京	0.253	-0.453	0.014	0.025	8.956	68290	22899	0.483	0.998	0.725	1.463	0.483	0.998
02. 天 津	1.467	0.486	0.001	0.257	-5.316	176665	59838	2.031	1.417	1.834	1.264	2.031	1.417
03. 河 北	1.176	0.088	0.000	0.790	-2.840	723439	314747	0.742	0.647	0.737	0.641	0.737	0.641
04. 山 西	1.296	0.285	0.007	0.549	-4.303	588715	245492	0.900	0.756	0.858	0.705	0.858	0.705
05. 内 蒙 古	1.602	0.443	0.011	0.399	-8.647	439174	162428	0.704	0.442	0.554	0.374	0.704	0.442
06. 遼 寧	3.612	-0.163	0.000	0.243	-36.518	903706	672441	1.794	0.776	2.049	0.854	1.794	0.776
07. 吉 林	0.856	0.147	0.137	0.685	1.123	87614	48636	0.513	0.592	0.438	0.510	0.438	0.510
08. 黒 龍 江	0.437	0.170	0.093	0.456	5.977	24057	25516	0.700	0.601	0.582	0.563	0.700	0.601
09. 上 海	1.228	0.085	0.020	0.812	-1.968	94494	49288	2.337	2.084	2.207	1.976	2.207	1.976
10. 江 蘇	1.288	0.251	0.000	0.397	-4.393	1036810	374237	0.856	0.671	0.808	0.628	0.808	0.628
11. 浙 江	0.646	-0.186	0.003	0.709	3.776	749013	291150	0.236	0.323	0.251	0.342	0.251	0.342
12. 安 徽	0.665	-0.155	0.176	0.747	2.286	904727	567947	0.066	0.076	0.067	0.077	0.067	0.077
13. 福 建	2.172	-0.600	0.007	0.357	-17.532	146258	59014	0.060	0.020	1.753	1.632	1.753	1.632
14. 江 西	3.196	0.277	0.000	0.020	-32.089	844539	572901	0.386	0.179	0.399	0.175	0.386	0.179
15. 山 東	1.191	0.000	0.000		-3.300	1469037	525080	0.659	0.541	0.659	0.541	0.659	0.541
16. 河 南	0.989	0.040	0.000	0.812	-0.623	709410	251255	0.456	0.465	0.447	0.458	0.447	0.458
17. 湖 北	1.715	0.646	0.000	0.024	-10.840	620053	384105	0.465	0.352	0.460	0.337	0.465	0.352
18. 湖 南	0.746	-0.291	0.507	0.714	1.545	551435	474882	0.122	0.119	0.166	0.166	0.166	0.166
19. 広 東	1.104	-0.160	0.031	0.770	-1.280	687541	207809	1.246	1.065	1.344	1.121	1.344	1.121
20. 広 西	2.404	0.018	0.001	0.962	-19.982	476727	354086	0.473	0.312	0.474	0.312	0.474	0.312
21. 海 南	0.539	0.313	0.020	0.416	3.527	9640	4384	0.364	0.434	0.305	0.434	0.305	0.434
22. 重 慶	1.148	-0.004	0.001	0.990	-3.444	419159	249661	0.249	0.230	0.249	0.230	0.249	0.230
23. 四 川	3.138	0.276	0.001	0.432	-27.318	330634	209706	2.720	1.116	2.422	1.022	2.422	1.022
24. 貴 州	1.320	-0.028	0.000	0.851	-5.036	306921	132977	0.487	0.369	0.490	0.373	0.490	0.373
25. 雲 南	1.015	0.191	0.001	0.395	-2.108	896992	456780	0.184	0.160	0.159	0.158	0.184	0.160
26. チベット	0.362	0.355	0.298	0.198	4.450	130	98	1.979	1.923	1.3731816	1.66631397	1.373	1.666
27. 陝 西	0.980	0.035	0.003	0.885	-0.536	183105	83968	0.448	0.460	0.446	0.456	0.446	0.456
28. 甘 粛	1.679	0.008	0.001	0.970	-11.204	892027	536533	0.249	0.177	0.249	0.177	0.249	0.177
29. 青 海	0.289	0.208	0.019	0.535	7.068	5438	1938	0.753	1.634	0.743	1.565	0.743	1.565
30. 寧 夏	1.890	0.640	0.010	0.246	-10.178	33805	27564	1.461	0.830	0.810	0.709	1.461	0.830
31. 新 疆	1.838	0.788	0.097	0.251	-9.702	16255	35426	0.832	0.995	0.482	0.407	0.482	0.407

大きいのが、黒竜江、内蒙古、上海、河南、湖北、広東、陝西、新疆の8地域となりやや改善された。構造変化モデルで新たに導入されたダミー変数の p 値は、ダミー変数が取り入れられた11地域の中で、内蒙古、黒竜江、雲南がやや高い程度で、構造変化の導入は、回帰式の適合度をかなり改善したといえる。

ダミー変数の係数は、ここで構造変化を入れた場合の推計が採用された10地域の内、北京以外はすべてプラスの係数を持っている。これは、削減量の下落が見られる年において総削減費用、限界削減費用とも上昇して測定すべきであることを示している。

また限界削減費用の形は、 $b_i > 2$ となる逓増型増加関数の形が四川、広西、福建の3地域、 $2 > b_i > 1$ の逓減的増加関数が、15地区、 $1 > b_i$ の減少関数が11地区になる。

また限界削減コストは、平均削減量基準で、最高値は上海の1.97万元/トン、最低値は安徽の0.08万元/トンで約25倍の格差、2006年の削減量基準で、最高上海2.21万元/トン、最低安徽0.07万元/トンで32倍の格差となるがこれは、構造変化を考えない場合より多少縮小されたことを表す。

4.3 エネルギー効率要因の導入をした場合の推定

前項でダミー変数を導入する方法により、推定の適合度が改善されることを見た。削減量が減少したにもかかわらず、削減コストが増加した場合について、前項では、この逆相関の源泉を構造変化にまとめた。つまり燃料転換や工場閉鎖については、構造変化要因をダミー変数として、つまり、右上がり削減費用関数の上方シフト要因として考えた。しかし、それ以外に、削減量と削減費用のマイナス相関を追加説明する要因がないかと考えたとき、今度は環境汚染の少ない新規発電所の増設に伴い地域汚染産出量が全体として増加して、汚染削減量が増加し、新規発電所の削減設備の減価償却費や運転費用という削減費用の増加というケースがある。これは、③の省エネ要因による動きと考えられる。この要因は、構造変化に含めるよりは、地域エネルギー消費 E_i を地域 GDP_i で除した地域エネルギー効率という要因として別途考え、この項を取り入れて、回帰分析を行ってみるべきと考えられる。すなわち

$$\ln C_i = a_i + b_{1i} \ln R_i + b_{2i} \ln(E_i / GDP_i) + b_{3i} D_i \quad (4-5)$$

という回帰式を推定する。このとき総削減費用は、

$$C_i = e^{a_i + b_{3i} D_i} R_i^{b_{1i}} (E_i / GDP_i)^{b_{2i}} \quad (4-6)$$

と推定される。この式の導関数に地域削減水準 R_i の値を入れてやれば、その R_i の水準における限界削減費用が得られる。すなわち

$$C_i'(R_i) = b_{1i} e^{a_i + b_{3i} D_i} R_i^{b_{1i} - 1} (E_i / GDP_i)^{b_{2i}} \quad (4-7)$$

$$C_i''(R_i) = (b_{1i} - 1) b_{1i} e^{a_i + b_{3i} D_i} R_i^{b_{1i} - 2} (E_i / GDP_i)^{b_{2i}} \quad (4-8)$$

となり $b_1 > 1$ のとき限界費用逓増、 $1 > b_1 > 0$ の時限界費用低減、 $0 > b_1$ 時は、限界費用そのものがマイナスになるということを表す。

この回帰式の推定結果と、この回帰式を利用して1997年から2006年の平均削減量の点における限界削減費用を推定してみると、表4-3「中国各地域の限界削減費用の非線形推定（削減

中国における SO₂ 限界削減費用の推定方法の考察

表4-3 中国各地域の限界削減費用の非線形推定（削減量，エネルギー効率，ダミー変数，1997-2006年）

地域	削減量傾き b1	エネルギー 効率傾き b2	ダミー傾き b3	切片 a	決定係数	MAC の平均値 (97-06)
01. 北京	0.20307	-0.13152	-0.42251	10.67891	0.83802	0.798
02. 天津	0.07004	-4.34047	0.08835	52.24886	0.93972	0.987
03. 河北	1.03509	-2.83754	-0.05785	27.03276	0.93475	0.570
04. 山西	0.37930	-3.60025	0.45998	44.83598	0.75603	0.234
05. 内蒙古	1.53214	-0.44030	0.40882	-3.33734	0.64259	0.423
06. 遼寧	3.65625	0.04728	-0.15952	-37.58666	0.92846	0.785
07. 吉林	0.13355	-2.43349	0.01488	33.05696	0.87499	0.102
08. 黒龍江	-0.18290	-2.31811	-0.31972	35.01133	0.73218	0.601
09. 上海	0.34509	-2.98113	0.15328	35.21379	0.89191	1.976
10. 江蘇	1.04297	-1.56002	-0.03187	13.05306	0.94827	0.524
11. 浙江	0.27116	-5.24630	-0.02786	56.39810	0.00000	0.323
12. 安徽	-0.73109	-4.07644	-0.01304	59.77746	0.66414	0.075
13. 福建	0.94607	1.39279	-0.09987	-11.57721	0.89583	1.421
14. 江西	3.24576	0.32893	0.29226	-35.80479	0.98520	0.181
15. 山東	1.19244	-0.54110	0.00000	1.74540	0.95416	0.539
16. 河南	0.78444	-1.60967	-0.00260	17.35704	0.94327	0.369
17. 湖北	1.64831	-0.47555	0.66095	-5.40190	0.90251	0.339
18. 湖南	0.90239	1.24579	0.00637	-12.35680	0.24331	0.146
19. 広東	0.07467	-5.96901	0.11329	65.47753	0.95815	0.707
20. 広西	2.96421	2.34930	0.05119	-49.28079	0.80002	0.379
21. 海南	0.58017	-2.63166	0.33020	27.25164	0.72925	0.462
22. 重慶	1.58047	0.91597	-0.15277	-17.71814	0.87624	0.318
23. 四川	2.63886	-1.95918	0.25604	-2.16025	0.85176	0.956
24. 貴州	1.27380	0.04493	-0.13057	-4.94182	0.94519	0.355
25. 雲南	0.84923	-2.23080	0.11075	21.84460	0.85366	0.133
26. チベット	-	-	-	-	-	1.007
27. 陝西	0.39688	-2.11647	0.05437	26.60064	0.93414	0.193
28. 甘肅	2.42781	1.39745	0.09831	-35.31356	0.84900	0.250
29. 青海	0.33829	0.87162	0.16863	-2.30657	0.57357	1.074
30. 寧夏	1.88060	0.09453	0.63074	-11.09086	0.63842	0.826
31. 新疆	0.32516	-3.06676	0.40387	37.28500	0.75755	0.208

量, エネルギー効率, ダミー変数, 1997-2006年)」のようである。

削減費用を削減量とダミー変数だけで回帰した場合と, 削減量, エネルギー効率とダミー変数で回帰した場合とで, 限界削減費用が異なる。エネルギー効率が高いことを示す (E/GDP) が小さい地域では, 限界削減費用が小さくなり (北京, 河北, 内モンゴ, 江蘇, 福建, 河南, 湖北, 湖南, 四川, 貴州, 雲南, 陝西,), エネルギー効率が低く, (E/GDP) が大きい地域では, 限界削減費用が大きくなる傾向が小さくなり (遼寧, 江西, 広西, 海南, 重慶, 甘肅), ほぼ当初の予測のような結果となった。

なぜなら, 先進地域は, 環境改善的な新設備増設のため, 削減費用曲線が上方シフトし, 当初の方程式のままでは削減費用が高めに現れ, 限界削減費用も高めに現れることとなる。これを修正する項が相対的に小さい (E/GDP) と考える。また, 発展途上地域は, 削減量の削減が汚染排出的な発電設備の閉鎖という方法が採られたため, 削減費用曲線が下方シフトしたと考えられる。そこで, これを修正するのが, 相対的に大きい (E/GDP) の項となる。

こうして, 削減費用の推定を本節で示したように, 削減量, エネルギー効率とダミー変数の3つの説明変数で非線形回帰した式を基に確定することとしたい。但し, p 値によっては, エネルギー効率の項を落として, 削減費用を削減量とダミー変数だけで非線形回帰した式から得られる限界削減費用を採用した (吉林, 黒竜江, 浙江, 安徽,)。

さらに, 天津と上海, 山西は上記いずれの方法でも削減量やダミー変数の p 値が高いので他の推定を行った。

天津はダミー変数が入った R の線形単回帰分析による推定値, 上海は, ダミー変数なしの R の線形単回帰の推定値を採用した。いずれも切片の値がプラスであることを重視したからである。また山西はダミー変数なしの R の非線形単回帰分析により推定した。

最後にいくつかの地域では, データの欠落で推定が困難であったり, 異常値があると見られたので, 異常値を排除した推定を行ったり, 単なる削減費用と削減量の比を取った平均費用 = 限界費用と考えた値を採用した (チベット, 青海, 新疆)。

5. 推定結果の分析

本論文でこれまで中国の行政区別における10年間のデータおよび実証推定モデルでの限界削減費用を述べた上で, 線形回帰分析, 非線形回帰分析による各地域の限界削減費用推定を考察してきた。しかし, 中国の31省 (市) では人口, 面積, 経済発展などの自然, 社会条件の格差も様々であって, さらに各地域の削減量, 削減費用, データの管理状況などの視点から全地域をいくつかの地域に類型化して, 中国の SO_2 限界削減費用の特徴を簡潔にまとめる必要があると考えられる。

以下では都市型、沿海工業型、内陸発展途上型、特別型を四種類に分けて分析することとする。まず、一人当たり GDP が顕著に高い北京、天津、上海の三直轄市を都市型に分ける。次に、相対的に発展地域である江蘇、浙江、福建、山東、広東を沿海工業型に分ける。これまでの削減量、年間投資などの削減費用が異常と考えられるチベット、青海、新疆を特別型に区分する。最後に、経済の面で相対的に発展途上である河北、山西、内モンゴ、遼寧、吉林、黒龍江、安徽、江西、河南、湖北、湖南、広西、海南、重慶、四川、貴州、雲南、陝西、甘肅、寧夏20地域を内陸発展途上地域に分類する。

上述したように区分され、限界削減費用、一人当たり GDP は表5-1「類型化された地域の限界削減費用などの特徴」、図5-1「類型化された地域の限界削減費用」、図5-2「類型化された地域の一人当たり GDP の分布などの分布」で示される。

これを見ると、まず最も限界削減費用が高いのが上海の1.976であり、最も低いのが、安徽の0.075と、その格差は26.3倍に及ぶことがわかる。都市型は経済発展が進んでいて、最も1人当たり GDP の高い地域である。この地域の1人当たり GDP は平均で30000元/年に達している。次いで沿海工業型で、これは発展の著しい沿岸部の地域の中でも第2次産業の発展において顕著な地域である。都市型の次に1人当たり GDP の高い地域であり、1人当たり GDP は都市型の1/2で、平均が15000元以上となっている。さらに GDP が沿海工業型の1/2で平均で7500元/年の地域が、内陸発展途上型の地域である。最後に、特別型の3地域は、削減量のデータで大幅な変動がやり、データの欠落が見られたため推定において、他の方法を利用せざるを得ない地域である。

この地域類型の違いによる限界削減費用を見たとき、都市型が、1.254万元/トンと最も高く、ついで、沿海工業型0.703万元/トン、内陸発展途上型は0.446万元/トンと経済発展の順に高い限界削減費用を持つことがわかる。ただ、一人当たり GDP 格差が4.2倍であったのに、限界削減費用の格差は2.8倍にとどまっている。

こうして、経済発展とともに、限界削減費用が高いのは、地域がより高度の汚染削減設備を設置しているため、さらに経済発展とともに、削減量の累積が進み、より高価な削減設備を導入する必要があったためと考えることができよう。

中国全体での1人当たり GDP と限界削減費用との相関をも見ると0.42程度で、必ずしも強い相関ではない。そこで類型ごとに相関の違いを見ていく。

そこで各類型で1人当たり GDP と限界削減費用の関係を見ると、都市型、沿海工業型の2地域では、限界削減費用の差はデータのすくないことにもよるが、相関はそれほどでなく、1人当たり GDP の増大と限界削減費用の大きさの相関はないように見える。ただ、内陸発展途上型の地域では、限界削減費用が1人当たり GDP と弱い相関0.40をもつ。とくに高い限界削減費用を持つ河北、山西、遼寧、吉林、黒龍江、四川、寧夏の地域は寧夏を除き1人

表5-1 類型化された地域の限界削減費用などの特徴

類 型	地 域	2006年	平均値 (97-2006)	一人当たり GDP (97-06)
都 市 型	01. 北 京	0.483	0.998	29630
	02. 天 津	2.031	1.417	23997
	09. 上 海	2.207	1.976	40858
	(都市型)	1.574	1.464	31495
沿 海 工 業 型	10. 江 蘇	0.808	0.628	16001
	11. 浙 江	0.251	0.342	18231
	13. 福 建	1.753	1.632	14021
	15. 山 東	0.659	0.541	13052
	19. 広 東	1.344	1.121	16451
	(沿海型)	0.963	0.853	15551
内 陸 発 展 途 上 型	03. 河 北	0.737	0.641	9983
	06. 遼 寧	1.794	0.776	13555
	21. 海 南	0.305	0.434	8120
	04. 山 西	0.858	0.705	7443
	05. 内 蒙 古	0.704	0.442	9134
	07. 吉 林	0.438	0.510	8992
	08. 黒 龍 江	0.700	0.601	10668
	12. 安 徽	0.067	0.077	6253
	14. 江 西	0.386	0.179	6430
	16. 河 南	0.447	0.458	7354
	17. 湖 北	0.465	0.352	8627
	18. 湖 南	0.166	0.166	7201
	20. 広 西	0.474	0.312	5894
	22. 重 慶	0.249	0.230	7138
	23. 四 川	2.422	1.022	6276
	24. 貴 州	0.490	0.373	3437
	25. 雲 南	0.184	0.160	5674
	27. 陝 西	0.446	0.456	6300
	28. 甘 肅	0.249	0.177	4999
	30. 寧 夏	1.461	0.830	6541
(内陸型)	0.652	0.445	7501	
特 別 型	26. チベット	1.373	1.666	6132
	29. 青 海	0.743	1.565	6803
	31. 新 疆	0.482	0.407	9136
	(特別型)	0.866	1.213	7357

中国における SO₂ 限界削減費用の推定方法の考察

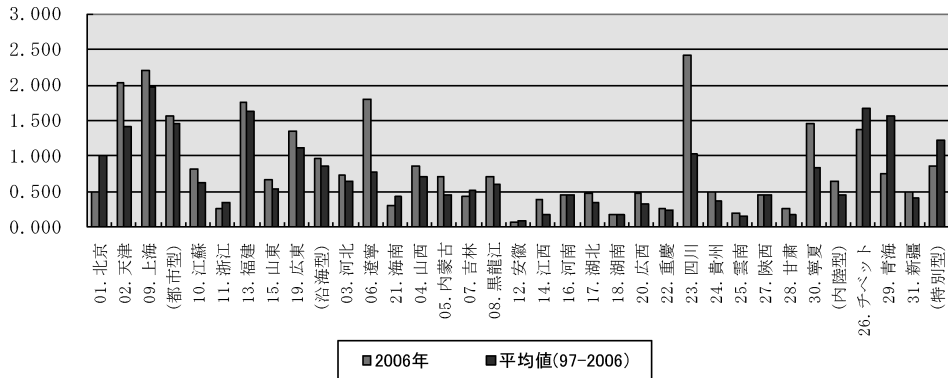


図5-1 類型化された地域の限界削減費用などの分布

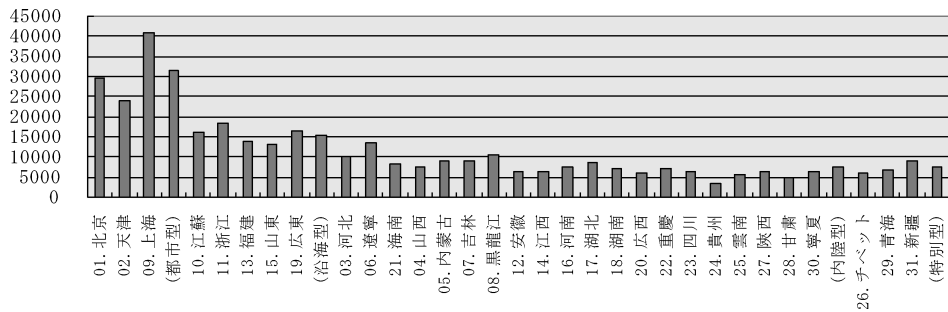


図5-2 類型化された地域の一人当たり GDP の分布

当たり GDP が7500元/年で内陸発展途上型の地域の平均以上の値を取っていて、プラス相関を持つことが分かる。これらのことから、1人当たり GDP と、汚染水準の削減に向けての努力との関係を示す右下がり環境クズネット曲線部分に中国の環境が該当しているとも考えられよう。

6. 終わりに

本稿で、われわれは、日本・韓国・中国の行政地域間で SO₂ 削減のための排出権取引をした場合の政策効果を計測する際に、排出権市場の需要曲線、供給曲線の推定に不可欠の中国各地域の限界削減費用の導出について検討してきた。最初に、われわれが前稿まで依拠した方法である、現実のデータになるべく修正を加えない形の、総削減費用/総削減量から限界削減費用を求める（実証モデルと呼んできた）方法をデータの増加によって修正した結果を第2節で述べた。それに加え、第3節、第4節において、最近集積されてきた10年間の汚染削減量と削減費用のデータから、回帰分析を利用して総削減費用関数を推定した後、限界削減

費用を推定する方法をいくつか試みた。その際、線形回帰式、非線形回帰式による推定を行い、結果を比較するとともに、構造変化を導入した推定も試みた。その結果、削減量が前年より減少した年に政府による政策的指導による工場閉鎖、燃料転換などを考慮する構造変化と、省エネ要因をなどの新たな変数を導入しての回帰分析を基準にし、各地域の限界削減費用を確定することにした。その結果、限界削減費用の地域格差は、従来の推定値よりかなり縮小された。また、限界削減費用の地域別特徴として、都市型、沿海工業型、内陸発展途上型、特別型と分けた場合、都市型が最も高く、ついで沿海工業型がその 1/2、内陸発展途上型は、さらにその 1/2 で、都市型の 1/4 に過ぎないことを導出した。

今後の課題としてはこれらのデータを利用して、排出権取引関数を推定し、排出権取引便益の推定に向かうことである。その際、現在同定した限界削減費用は、各地域の汚染削減の現状、つまり地域の持つ現在の技術と現在の削減活動水準の地域別データに依存した限界削減費用の導出を行ったものだという条件がある。通常、取引者の排出権取引における排出権購入の動機となるのは、削減装置による削減と生産からの撤退による削減など、排出権購入の代替手段を取る際のコストとしての限界削減費用である。この観点から見ると本稿の分析は、一時的接近と言えるかもしれない。実際、熱転換部門のような場合は、本来は、削減装置の導入コストを除去設備ごとに把握することで、限界削減費用推定に進むことも可能である。しかし、ここでは、ミクロの部門での排出権取引ないし、限界削減費用を問題にするのではなく、中国全体での排出権取引政策という、広い観点からの分析になるので、ある意味で部門間の問題は捨象したマクロ分析にならざるを得なかった。

また、排出権取引が、数十年のタイムスパンを持つバンキング/ボローイングを含むより広範な体系になると、現状のマクロ的な限界削減費用から離れ、削減装置設置コストの面からのアプローチの重要性はさらに増すであろう。

謝辞

本稿の研究について、豊田利久、張南（以上広島修道大学）、高橋与志（広島大学）の各先生よりコメントを頂いた。また、本研究は学術振興会の科学研究費（課題番号17530199）による研究成果の一部である。

参 考 文 献

- [1] 中国環境年鑑編委会編（1998－2007年）『中国環境年鑑』中国環境年鑑社各年版。
- [2] 《中国環境統計》專題組編（1998－2007年）『中国環境統計』中国統計出版社 各年版。
- [3] 中国国家環境保護総局（2007）「2006年中国環境狀況公報」《中国環境年鑑》編委会編（2007）『中国環境年鑑・2007』中国環境年鑑社202－221頁。

- [4] 中国国家環境保護総局・経済貿易委員会・科学技術委員会（2002）《石炭燃焼二酸化硫黄汚染排出防止技術政策》《中国環境年鑑》編委会編（2003）『中国環境年鑑・2003』中国環境年鑑社55-60頁.
- [5] 趙通生, 馮銀厂, 朱 坦（2005）「中国北方城市 SO₂ 总量控制有效性分析」『環境汚染と防治』第9期.
- [6] 岡 敏弘・藤井美文・石川雅紀・須佐美周・加藤 悟・松野 裕（2002）「環境影響物質の限界削減費用を用いた環境配慮商品の社会的効果の測定」2002年9月28日環境経済・政策学会2002年大会.
- [7] 張 宏武（2003）『中国の経済発展に伴うエネルギーと環境問題 部門別・地域別の経済分析 』溪水社.
- [8] 羅 朝暉・時政 昺（2007）「中国における SO₂ 排出権取引の便益研究」『経済科学研究』第11巻第1号, 59-84頁.
- [9] Grubb, M., Edmonds, J., Ten Brink, P. Morrison, M. (1993), “The costs of limiting fossil-fuel CO₂ emission: a survey and analysis,” *Annual Review of Energy and Environment*, Vol. 18, pp. 397-478.
- [10] Mckittrick, R. (1999), “A Derivation of the Marginal Abatement Cost Curve,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 37, pp. 306-314.