

中国における SO₂ 排出権取引の便益推定

羅 朝暉・時政 崑

(受付 2007 年 5 月 8 日)

1. はじめに

近年、排出権取引を汚染管理に適用することへの関心が高まりつつある。しかし、現時点で実施されている排出権取引制度ではこの問題を考慮していないし、理論面の研究に関する現在の資料を見ても、汚染管理の側面に殆ど触れていない。

本研究では中国の省級別の行政地域が取引主体となる SO₂ 排出権取引モデルを定式化して、中国の汚染管理基準などに対する排出権取引制度の効果を分析する。まず、各地域の限界削減費用と各地域間の移動係数を推定したうえで、排出権取引のモデルを設定し、中国全地域の環境質目標を達成して全地域の便益最大化を図るような、中国の排出権取引の競争均衡価格を推定し、その価格に対し各地域が SO₂ をどのぐらい削減すべきか、どれだけの量の排出権を購入すべきか、あるいはどのぐらいの量の排出権を売却すべきか、まだどれだけの削減費用がかかるか及び取引後どのような便益を手に入れられるかを分析するものである。

以下第 2 節では、限界削減費用の概念及び実証推計モデルを述べて、各省を計算単位として限界削減費用を求める。第 3 節では、大気汚染気象学のプルーム拡散モデル運用し、各地域間の移動係数を推定する。第 4 節では、推定された移動係数を利用して、削減費用最小化モデルを導入する。そして、全地域の環境質目標を達成するうえで、中国全土の削減費用を最小化するような最適削減量を求めて費用効果分析をする。第 5 節では、排出権取引便益の最大化モデルを導入する。さらに、このモデルを利用し、排出権の競争均衡価格を予測し、この均衡価格の下での排出権取引による各地域の費用便益を導出する。第 6 節では中国の地域別の削減費用や排出権取引の量、排出権取引の便益を含めるが中国全地域を沿岸発展地域と内陸発展途上地域の二つに分けて分析する。終わりでは、この論文での優れた点、欠点と今後の課題を述べる。

2. 地域別削減コスト

2.1 限界削減費用の概念及び実証推計モデル

限界削減費用 (MAC: Marginal Abatement Cost) とは、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。この排出削減量と限界削減費用は 1 対 1 の関係で変化する。

理論的なモデルの限界削減費用は既に行っている削減量とともに変動するので、本来は動学的な分析が必要となるが、実証分析にとってこの必要なデータの収集及び計算など不可能であるから、本研究では SO_2 の動学的な分析には立ち入らず、可能な限りモデルを単純化し、静学的な枠組みに限定する。

限界削減費用の概念によると、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 SO_2 削減量（トン）

新規施設の費用は当設備の年減価償却 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 は設備の投資額と設備の耐用年数の比である。新規施設の運行費用を求めるために、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同じであると考えて、両施設とも運行経費割合が変わらないとして(2-2)が示される。

$$FC = FDE + FRU = \frac{YI}{LI} + \frac{TM}{TI} YI \quad (2-2)$$

ここで FDE ：年減価償却（万元）

FRU ：運行費用（万元）

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）

全施設の SO_2 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）の比及び新規施設の SO_2 削減量と新規施設の年処理能力の比がほぼ同じであると見なすと、新規施設の SO_2 削減量 FSC は式(2-3)で示される。

$$FSC = \frac{SC}{ST + CT} YT \quad (2-3)$$

ここで SC ：全施設の SO_2 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）

中国における SO₂ 排出権取引の便益推定

上記の式(2-2)及び式(2-3)を式(2-1)に代入すると限界削減費用の計算式(2-4)になる。

$$MAC = \frac{\frac{YI}{LI} + \frac{TM}{TI} YI}{\frac{SC}{ST + CT} YI} \quad (2-4)$$

この式を利用して、各省の集計した限界削減費用を算定する。

2.2 各地域の SO₂ の限界削減費用の推定値

各省が各地域の単位として、上記の式(2-4)を利用してこの各省の集計した限界削減費用を求める。以下の表を示すように、各地域 SO₂ 最大の限界削減費用は北京の8.312万元／トン、中国全体として平均限界削減費用は0.0497万元／トンであった。

表2-1 各地域削減コスト状況 (2000年)

	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	限界削減費用
	億標立方メートル／年	万 元	万 元	ト ン	万元／トン
01. 北 京	334.37	5639.09	9013.11	1084.32	8.312
02. 天 津	170.14	925.78	1458.66	4319.22	0.338
03. 河 北	757.29	8018.13	11377.19	14485.65	0.785
04. 山 西	2097.45	6277.41	12125.94	67433.26	0.180
05. 内 蒙 古	1138.80	4177.03	7969.34	28526.57	0.279
06. 遼 寧	524.63	7410.88	11659.78	42300.24	0.276
07. 吉 林	532.57	3145.35	6036.96	10285.17	0.587
08. 黒 龍 江	1308.26	3215.14	6445.73	6571.80	0.981
09. 上 海	584.72	2799.82	4917.26	4284.74	1.148
10. 江 蘇	1502.04	5715.67	11193.73	33040.68	0.339
11. 浙 江	1164.87	10073.34	17488.37	21024.77	0.832
12. 安 徽	346.09	2641.90	5204.02	54094.13	0.096
13. 福 建	6943.65	2962.04	4944.79	61366.60	0.081
14. 江 西	391.85	1217.04	2149.26	121366.23	0.018
15. 山 東	2791.27	15511.57	24893.86	75971.81	0.328
16. 河 南	9680.50	6497.84	10511.65	205333.73	0.051
17. 湖 北	35602.26	5037.29	7704.06	2502778.70	0.003
18. 湖 南	1007.25	4341.88	7163.38	152951.52	0.047
19. 広 東	1650.84	6494.36	11702.89	33039.83	0.354
20. 広 西	9617.22	3351.10	6040.57	703835.07	0.009

21. 海 南	41.52	73.68	141.37	93.21	1.517
22. 重 慶	116.91	5076.95	6900.12	11988.29	0.576
23. 四 川	592.38	4307.82	7167.23	32765.96	0.219
24. 貴 州	340.08	1715.71	2745.81	11266.50	0.244
25. 雲 南	922.13	3861.07	7743.82	142485.33	0.054
26. チベット	19.32	2.45	14.95	599.04	0.025
27. 陝 西	218.41	1462.09	2838.32	4574.15	0.621
28. 甘 肅	330.97	4770.06	8391.89	64751.91	0.130
29. 青 海	407.54	596.46	924.99	861.11	1.074
30. 寧 夏	164.82	224.49	686.93	2629.18	0.261
31. 新 疆	175.11	1196.92	2108.54	2020.85	1.043

3. 地域間移動係数

3.1 移動係数の概要

排出権取引の最適費用を求めるために、中国各地域間で排出された SO_2 の輸送経路の分析、ある地域で排出された SO_2 が他の地域をどの程度汚染しているかなど量的な分析をする必要がある。

汚染を排出する排出源での各 SO_2 の排出量 q_1, q_2, \dots, q_m (m は排出源の数) に対し、リセプター (receptor) j の汚染量 p_j は以下の式 (3-1) ような関係がある。

$$p_j = f_j(q_1, q_2, \dots, q_m) + B_j^{(1)} \quad (3-1)$$

ここで、 p_j : 各リセプターの汚染量

q_i : 各排出源の排出量

B_j : 背景汚染水準

f_j : 汚染量と排出量の間関数

多くの環境問題において、この汚染関数 f_j は一次関数となっているから、式(3-1)は以下の式(3-2)になる。

$$p_j = \sum_i a_{ji} q_i^{(2)} \quad (3-2)$$

また、第 i 汚染源から第 j リセプターへの汚染量は $p_{ji} = a_{ji} q_i$ となる。

さて、排出源 i からの排出量が Δq_i 単位変化することによってリセプター j での汚染量が

1) C. D. コルスタッド著 (1999) 『環境経済学入門』有斐閣 p. 161

2) 同上

Δp_j 単位変化する。このリセプター j での汚染水準の変化と排出源 i での汚染排出量の変化の比率は a_{ji} という移動係数 (transfer coefficient) である³⁾。この移動係数は式(3-3)として書き表すことができる。

$$a_{ji} = \Delta p_{ji} / \Delta q_i^{4)} \quad (3-3)$$

理論的には、各リセプター (地域) の汚染量の和 $\sum_j p_{ji}$ は排出源 i (地域) の SO₂ の排出量の総量 q_i と同じであるから、移動係数 a_{ji} は以下の式で計算できる。

$$a_{ji} = p_{ji} / \sum_j p_{ji} \quad (3-4)$$

$$\sum_j a_{ji} = 1 \quad (3-5)$$

ここで、 a_{ji} : ある地域 i から各地域 j への移動係数

p_{ji} : ある地域 i から各地域 j への汚染量

$\sum_j p_{ji}$: ある地域 i から各地域 j への汚染量の総和

3.2 移動係数の計算及び結果

ここでは大気汚染気象学のプルーム拡散モデルを利用し、中国の気候、地形状況を考慮し、各地域間及び各地域と他国間の移動係数を求める。中国全体を行政区分による27省と4直轄市(北京、天津、上海、重慶)によって分割し、省(市)と表し、そのうえで、移動係数を計算する。

ここでは、一省(市)の全ての煙突からの排出量を集計して一つの煙突からの排出量と見なし、この煙突は省(市)の中心に存在すると仮定して計算する。有効煙突高度 H_e は平均有効煙突高度 200 m と仮定する。各省(市)の風下距離について、各省の季節風の夏季と冬季の風向によって、中国の搜狗 sogou というソフトウェアで調べる。

あるリセプター j の汚染量 p_{ji} はこのリセプター j の地表濃度 C_j と汚染距離に関連がある(地表濃度が大きければ、汚染がひどくなり、汚染距離が長ければ、汚染された面積が多くなる)。つまり、汚染量 p_{ji} は地表濃度と汚染距離に正比例することが分かる。図3-1「i 省(市)からリセプターへの地表濃度曲線及び汚染距離」のように、汚染量 p_{ji} は地表濃度 C_j と汚染距離 (b-a) の積 (j の濃度曲線下の面積 S_j) と考えられる。すなわち、

$$p_{ji} = S_j = \int_a^b C_j(x) dx \quad (3-6)$$

この濃度曲線下の面積 S_j を台形 abcd の面積と見なせば、汚染量 p_{ji} の計算が容易にできる。

3) 同上

4) 同上

$$p_{ji} = S_j \doteq S_{\text{台形}} = \frac{(C_{ja} + C_{jb})(b-a)}{2} \quad (3-7)$$

この S_j と $S_{\text{台形}}$ の差をできる限り少なくするために、このリセプター j を十等分して、この十個の台形の面積を合計するとほぼ S_j すなわち汚染量 p_{ji} になる。よって、ある排出源 i からリセプターの各32省（市） j への移動係数 a_{ji} が求められ、これは式(3-8)で示される。

$$a_{ji} = \frac{\tilde{S}_{ji}}{\sum_i \tilde{S}_{ji}} \doteq \frac{S_{ji}}{\sum_i S_{ji}} = \frac{\sum_1^{11} \frac{(C_a + C_{a-1})(x_a - x_{a-1})}{2}}{\sum_i S_{ji}} \quad (3-8)$$

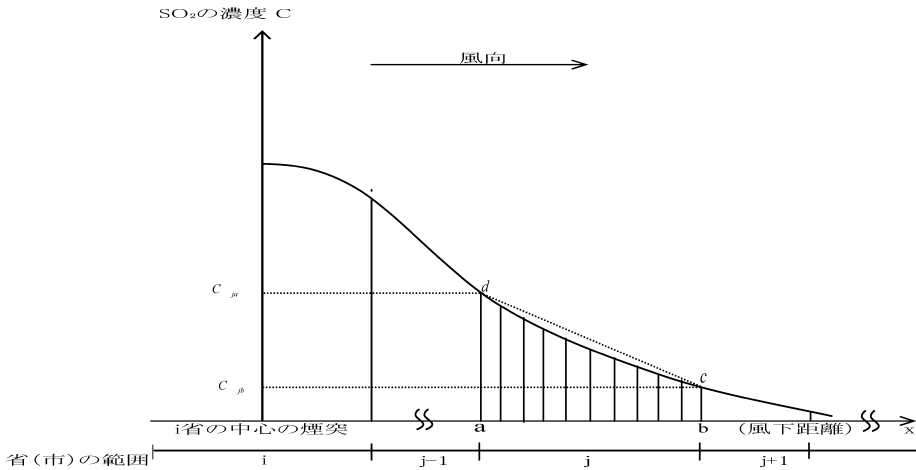


図3-1 i省（市）からリセプターへの地表濃度曲線及び汚染距離

紙数に限りがあるので、計算過程を省略してまとめたものは表3-1「中国全域の各地域間の移動係数（夏季）」と表3-2「中国全域の各地域間の移動係数（冬季）」である。これまで理論と実際のデータによって、各地域間の移動係数を算出できるが、この計算にはある程度の誤差が存在する。たとえば、ある省全ての煙突からの排出量を一つの煙突からの排出量と見なすと仮定したことによる誤差があり、着地濃度の計算式によって、便宜上台形面積としたという計算による誤差もある。上述した各原因により、誤差はある程度存在しているが、移動係数は比例関係であり、この比例の分母と分子の誤差は相殺されるので、誤差は小さくなると考えられる。

ここでは大気拡散理論のブルームモデルを利用し、各地域間の移動係数を推定した。この移動係数を求める計算方法を初めて採用するので、まだ解決すべき要素があるはずだが、排出権取引に啓発的な意義があれば、十分だと思う。

表3-2 中国全域の各地域間の移動係数(冬季)

移出 リネ プター	北京	天津	河北	山西	内蒙古	遼寧	吉林	黒龍江	上海	江蘇	浙江	安徽	福建	江蘇	江西	山東	河南	湖北	湖南	廣東	廣西	雲南	貴州	陝西	甘肅	青海	寧夏	新疆				
北京	0.5989	0.1948	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
天津	0	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
河北	0.1944	0.0892	0.6996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
山西	0	0.0852	0.7101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
内蒙古	0.0745	0.0603	0.0875	0.0998	0.6952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
遼寧	0	0	0	0	0	0.7368	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
吉林	0	0	0	0	0	0.1011	0.718	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
黒龍江	0	0	0	0	0	0.0732	0.1605	0.7361	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
上海	0	0	0	0	0	0	0.4591	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
江蘇	0	0	0	0	0	0	0.4025	0.7311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
浙江	0	0	0	0	0	0	0	0.6817	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
安徽	0	0	0	0	0	0	0	0.1962	0.7345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
福建	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6932	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
江西	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1422	0.7113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
山東	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0442	0.111	0	0	0	0	0.7199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
河南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0318	0.1019	0	0	0	0	0.7069	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
湖北	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0785	0.175	0	0	0	0.7488	0.0584	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
湖南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7428	0.0408	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
廣東	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
廣西	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7313	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
海南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6555	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
重慶	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0105	0	0.6082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
四川	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0792	0.0314	0.0767	0.0256	0.2713	0.756	0.2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
貴州	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0273	0.1158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
雲南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0499	0	0	0	0	0.159	0.8218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
チベット	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
陝西	0	0	0	0.0677	0	0	0	0	0.0263	0.0897	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7236	0	0	0	0	0	0	
甘肅	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0594	0.0308	0.0128	0.0176	0.0038	0.0105	0.0223	0.0075	0	0	0	0	0	0	0	0.6421	0.0425	0	0	0	0	0	0	
青海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0233	0.0239	0.0117	0.0468	0.1103	0.0301	0	0	0	0	0.7726	0	0	0	0	0		
寧夏	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.0047	0.0062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0761	0.1724	0	0.679	0	0	0	
新疆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8012	0	0	0	

4. 削減費用最小化モデルの分析

4.1 削減費用最小化基本モデルの導入

移動係数 a_{ji} はこのリセプター j に排出源 i から輸送されている汚染量の変化 $\Delta p_{j,i}$ と排出源 i での排出量の変化 Δq_i の比率である。これは $a_{ji} = \Delta p_{j,i} / \Delta q_i$ (3-3) である。この式を変形すると、 $a_{ji} \Delta q_i = \Delta p_{j,i}$ となり、合計すると、以下の式(4-1)になる。

$$a_{1,1} \Delta q_1 + a_{1,2} \Delta q_2 \cdots + a_{1,i} \Delta q_i \cdots + a_{1,31} \Delta q_{31} = \Delta p_{1,1} + \Delta p_{1,2} \cdots + \Delta p_{1,i} \cdots + \Delta p_{1,31} \quad (4-1)$$

$$\text{つまり、} \quad a_{1,1} \Delta q_1 + a_{1,2} \Delta q_2 \cdots + a_{1,i} \Delta q_i \cdots + a_{1,31} \Delta q_{31} = \Delta p_1 \quad (4-2)$$

ここで、 $a_{1,i}$: ある排出源 i からリセプター 1 への移動係数

Δq_i : ある排出源 i の SO₂ の排出削減量

$\Delta p_{1,i}$: ある排出源 i からリセプター 1 への汚染削減量

Δp_1 : 全ての排出源 i からリセプター 1 への汚染削減量合計、すなわち、リセプター 1 の汚染削減量

式(4-1)及び式(4-2)によると、リセプター 1 の汚染削減量 Δp_1 は各31省(市)排出源 i からリセプター 1 への移動係数 $a_{1,i}$ と各省(市) SO₂ の排出削減量 Δq_i の積の合計である。同じように考えると、リセプター j の汚染削減量 Δp_j は各31省(市)排出源 i からリセプター j への移動係数 $a_{j,i}$ と各省(市) SO₂ の排出削減量 Δq_i の積の合計であることが分かる。

本節の研究対象は環境質目標を達成する上で中国国内全社会の削減費用が最小化することであるから、計算範囲は“32. その他”を除く中国国内の31省(市)と考えられる。よって、各31省(市)の汚染削減量(汚染水準)を達成するためには、各31省(市)が削減すべき排出量は以下の各式を満たさなければならない。中国各地域の環境質を達成するために目標汚染削減量が分かれば、各地域の最低排出削減量が分かる。以下の式(4-3)で示される。

$$\begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,i} & \cdots & a_{1,31} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{j,1} & \cdots & a_{j,i} & \cdots & a_{j,31} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{31,1} & \cdots & a_{31,i} & \cdots & a_{31,31} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta q_1 \\ \cdots \\ \Delta q_i \\ \cdots \\ \Delta q_{31} \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} \Delta p_1^* \\ \cdots \\ \Delta p_j^* \\ \cdots \\ \Delta p_{31}^* \end{bmatrix} \quad (4-3)$$

ここで、 Δq_i : 環境質を達成するために排出源のある省(市) i の SO₂ の最低排出削減量

Δp_j^* : リセプターのある省(市) j の目標汚染削減量

上式を利用して各31省(市)の最低排出削減量を算出しようとする、削減費用最小化基本モデルは次式(4-4)のような線形計画問題に定式化することができる。

$$\text{Min}_{(q_i)} C_1\Delta q_1 + C_2\Delta q_2 \cdots + C_i\Delta q_i \cdots + C_{31}\Delta q_{31} \quad (4-4)$$

ここで C_i : ある省(市) i の限界削減費用

Δq_i : ある省(市) i の排出削減量

sub. to (4-3)

以上の式(4-3)及び(4-4)という削減費用最小化基本モデルによって、全地域の目標汚染削減量 Δp_j^* を達成するように、各地域では SO_2 の最低排出削減量 Δq_i を実施すると、式(4-5)の最小値は全社会の最小削減費用となる。

4.2 削減費用最小化基本モデルの各パラメータについて

削減費用最小化モデルという式(4-3), (4-4)によって、以下でこのモデルの各パラメータの地域別の大気質基準濃度 C^* , 削減率 β などの値を求める。

4.2.1 地域別の SO_2 の大気質基準濃度

SO_2 の目標大気質濃度を求めるために、中国の今の環境大気質基準を述べておく。

今中国で実施している環境大気質基準は(GB3095-1996)環境大気質基準である⁵⁾。この基準は、環境大気質の機能エリア及び基準区分、汚染物質項目、測定時間、濃度制限値、サンプリング及び分析方法、そしてデータ統計の有効性に関する規定を定めており、中国全土での環境大気質評価に適用される。

目標大気質濃度はこの(GB3095-1996)環境大気質基準で定めた SO_2 濃度の制限値を参照する。これによる、 SO_2 に対する基準をまとめたものが表4-1「汚染物質 SO_2 の濃度制限値」である。

表4-1 汚染物質 SO_2 の濃度制限値⁶⁾

汚染物質	測定値の選定時間	濃度制限値			濃度単位	分析方法
		一級基準	二級基準	三級基準		
SO_2	年平均	0.02	0.06	0.1	mg/m^3 (標準状態)	ロザニンホルマリン分光光度法
	日平均	0.05	0.15	0.25		
	一時間平均	0.15	0.5	0.7		

表4-1で環境大気質基準は三つのレベルに分け、一類エリアでは一級基準を、二類エリアでは二級基準を、そして三類エリアでは三級基準を実施するものとする。

5) 国家环保局科技标准司编, 大气环境标准工作手册, 中华人民共和国国家标准, 《环境空气质量标准》(GB3095-1996)

6) 同上

これで環境大気質機能エリア分類について述べる。一類エリアは、自然保護区、景勝地、及び特殊な保護を必要とする地区である。二類エリアは、都市計画の中で確定された居住区、商業・交通及び住民の混合区、文化区、一般工業区、及び農村地区である。三類エリアは、環境対策などを制定する前に作られた古い工業区で、経済的な理由などで容易に移転できないため、「特定工業区」と指定されている⁷⁾。このように分類すると、三類エリアが少ないため、中国全土には主な地域の二類エリア（つまり一般地域）と一類エリアの自然保護区により構成されていることが分かる。大気質 SO₂ 基準濃度 C_j^* を求めるために、以下の式(4-5)で計算する。

$$C_j^* = C_j^{1*} \delta_j^1 + C_j^{2*} (1 - \delta_j^1) \quad (4-5)$$

ここで C_j^* : リセプター j の大気質 SO₂ 基準濃度

C_j^{1*} : リセプター j の一類エリア目標大気質濃度制限値

δ_j^1 : リセプター j の一類エリア（ここでは自然保護区）の面積が管轄区域の面積を占める比率

C_j^{2*} : リセプター j の二類エリア目標大気質濃度制限値

「中国環境統計」で調べた自然保護区の比率と式(4-5)を利用して計算した大気質 SO₂ 基準濃度 C_j^* まとめると表4-2「地域別大気質 SO₂ 基準濃度（2000年）」となる。

次項では、この結果をもとに地域の目標濃度 C_j^* や削減率 $\Delta\beta$ などを求めることとする。

4.2.2 地域別の大気質濃度及び削減率

削減目標を達成するための目標削減率 $\Delta\beta$ は環境目標によって制定された基準濃度で決まる。この基準濃度 C_j^* は（GB3095-1996）環境大気質基準で定めた大気汚染物質 SO₂ が超えてはならない濃度の制限値である（つまり、最低値）。よって、実際の SO₂ の大気質濃度 C_j が大気質 SO₂ 基準濃度 C_j^* より大きい地域の場合、このリセプター j の大気質濃度は下げられなければならないので、大気質目標濃度 C_j^* は基準濃度 C_j^* となる。削減率 $\Delta\beta$ の計算式は

$$\Delta\beta = \frac{\Delta C_j^*}{C_j} = \frac{C_j - C_j^*}{C_j} \quad (4-6)$$

になる。反対に大気質濃度 C_j が基準濃度 C_j^* より小さい地域の場合、大気質濃度 C_j は基準濃度 C_j^* を達成し、下げる必要はないので、目標濃度 C_j^* は大気質濃度 C_j となり、 $\Delta\beta$ は 0 になる。このように規制し、大気質目標濃度 C_j^* が分かる。『中国環境年鑑』で調べた実際の濃度 C_j と目標濃度 C_j^* を式(4-9)に代入して削減率 $\Delta\beta$ が得られる。このようなまとめたものが表4-3地域別大気質濃度及び削減率（2000年）である。

7) 国家环保局科技标准司编, 大气环境标准工作手册, 中华人民共和国国家标准, 《环境空气质量标准》(GB3095-1996)

表4-2 地域別大気質 SO₂ 基準濃度 (2000年)

	二級基準 mg/m ³	一級基準 mg/m ³	一類エリア (自然保護区)比	基準濃度 mg/m ³
北 京	0.06	0.02	0.041	0.05836
天 津	0.06	0.02	0.114	0.05544
河 北	0.06	0.02	0.006	0.05976
山 西	0.06	0.02	0.007	0.05972
内 蒙 古	0.06	0.02	0.056	0.05776
遼 寧	0.06	0.02	0.076	0.05696
吉 林	0.06	0.02	0.102	0.05592
黒 龍 江	0.06	0.02	0.070	0.05720
上 海	0.06	0.02	0.070	0.05720
江 蘇	0.06	0.02	0.051	0.05796
浙 江	0.06	0.02	0.012	0.05952
安 徽	0.06	0.02	0.026	0.05896
福 建	0.06	0.02	0.018	0.05928
江 西	0.06	0.02	0.015	0.05940
山 東	0.06	0.02	0.027	0.05892
河 南	0.06	0.02	0.014	0.05944
湖 北	0.06	0.02	0.030	0.05880
湖 南	0.06	0.02	0.039	0.05844
広 東	0.06	0.02	0.035	0.05860
広 西	0.06	0.02	0.067	0.05732
海 南	0.06	0.02	0.051	0.05796
重 慶	0.06	0.02	0.058	0.05768
四 川	0.06	0.02	0.113	0.05548
貴 州	0.06	0.02	0.020	0.05920
雲 南	0.06	0.02	0.056	0.05776
チベット	0.06	0.02	0.326	0.04696
陝 西	0.06	0.02	0.017	0.05932
甘 肅	0.06	0.02	0.111	0.05556
青 海	0.06	0.02	0.074	0.05704
寧 夏	0.06	0.02	0.040	0.05840
新 疆	0.06	0.02	0.100	0.05600

中国における SO₂ 排出権取引の便益推定

表4-3 地域別大気質濃度及び削減率 (2000年)⁸⁾

	基準濃度 mg/m ³	大気質濃度 mg/m ³	目標濃度 mg/m ³	削減率
北 京	0.05836	0.071	0.05836	0.1780
天 津	0.05544	0.056	0.05544	0.0100
河 北	0.05976	0.169	0.05976	0.6464
山 西	0.05972	0.200	0.05972	0.7014
内 蒙 古	0.05776	0.034	0.034	0.0000
遼 寧	0.05696	0.062	0.05696	0.0813
吉 林	0.05592	0.012	0.012	0.0000
黒 龍 江	0.05720	0.029	0.029	0.0000
上 海	0.05720	0.046	0.046	0.0000
江 蘇	0.05796	0.029	0.029	0.0000
浙 江	0.05952	0.044	0.044	0.0000
安 徽	0.05896	0.013	0.013	0.0000
福 建	0.05928	0.014	0.014	0.0000
江 西	0.05940	0.039	0.039	0.0000
山 東	0.05892	0.059	0.05892	0.0014
河 南	0.05944	0.039	0.039	0.0000
湖 北	0.05880	0.037	0.037	0.0000
湖 南	0.05844	0.116	0.05844	0.4962
広 東	0.05860	0.049	0.049	0.0000
広 西	0.05732	0.034	0.034	0.0000
海 南	0.05796	0.007	0.007	0.0000
重 慶	0.05768	0.120	0.05768	0.5193
四 川	0.05548	0.047	0.047	0.0000
貴 州	0.05920	0.161	0.0592	0.6323
雲 南	0.05776	0.021	0.021	0.0000
チベット	0.04696	0.001	0.001	0.0000
陝 西	0.05932	0.041	0.041	0.0000
甘 肅	0.05556	0.060	0.05556	0.0740
青 海	0.05704	0.012	0.012	0.0000
寧 夏	0.05840	0.057	0.057	0.0000
新 疆	0.05600	0.134	0.056	0.5821

8) 中国環境年鑑編輯委員会編 (2001) 『中国環境年鑑・2000』中国環境年鑑社 p. 523

4.3 削減費用最小化モデル及び各パラメータの算定

4.3.1 削減費用最小化モデルの導入

リセプター j での SO_2 の年間汚染量 p_j は夏季の汚染量と冬季の汚染量の二部分で構成されるから、

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ \dots \\ p_j \\ \dots \\ p_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{1w} \\ \dots \\ p_{jw} \\ \dots \\ p_{31w} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_{1s} \\ \dots \\ p_{js} \\ \dots \\ p_{31s} \end{bmatrix} \quad (4-7)$$

と書ける。ここで、冬季汚染量と夏季汚染量に分けて示すと、以下の削減費用最小化（年間）モデルが式(4-4)および(4-8)になる。

$$\underset{(q_i)}{\text{Min}} \sum_{i=1}^{31} C_i \Delta q_i \quad (4-4)$$

Subject to

$$\begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,i} & \dots & a_{1,31} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j,1} & \dots & a_{j,i} & \dots & a_{j,31} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{31,1} & \dots & a_{31,i} & \dots & a_{31,31} \end{bmatrix}_{\text{winter}} \begin{bmatrix} \Delta q_1 / 2 \\ \dots \\ \Delta q_i / 2 \\ \dots \\ \Delta q_{31} / 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,i} & \dots & a_{1,31} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j,1} & \dots & a_{j,i} & \dots & a_{j,31} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{31,1} & \dots & a_{31,i} & \dots & a_{31,31} \end{bmatrix}_{\text{summer}} \begin{bmatrix} \Delta q_1 / 2 \\ \dots \\ \Delta q_i / 2 \\ \dots \\ \Delta q_{31} / 2 \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} \Delta p_1^* \\ \dots \\ \Delta p_j^* \\ \dots \\ \Delta p_{31}^* \end{bmatrix} \quad (4-8)$$

4.3.2 削減費用最小化モデルの各パラメータの結果

各地域の冬季と夏季の半年排出量 $q_i/2$ 、冬季の移動係数 $(a_{ij})_{\text{winter}}$ 及び夏季の移動係数 $(a_{ij})_{\text{summer}}$ 、削減率 $\Delta\beta$ などを式(4-8)、式(4-6)に代入すると、各地域の冬季の汚染量 P_{jw} 、夏季汚染量 p_{js} 、年間汚染量 p_j 及び目標汚染削減量 Δp_j^* となる。それで、上述した削減費用最小化モデル数式をエクセルのソルバーに設定して計算する。計算結果は目的関数の最小削減費用 $\underset{(q_i)}{\text{Min}} \sum_{i=1}^{31} C_i \Delta q_i$ が1,825,546万円/年となり、最適削減量が表4-4「削減費用最小化モデルのパラメータ及び最適削減量」で示される。

中国における SO₂ 排出権取引の便益推定

表4-4 削減費用最小化モデルの各パラメータ及び最適削減量

	限界削減 コスト C_i	排出量 q_i	目標汚染削 減量 Δp_i^*	最適削減量 Δq_i	最適削減汚 染量 Δp_i
	万元/トン	トン/年	トン/年	トン/年	トン/年
北 京	8.312	146431	17911.70	32871.1	17911.7
天 津	0.338	213709	1198.50	0.0	1374.2
河 北	0.785	1133599	540148.25	905815.8	540148.3
山 西	0.180	902681	579193.06	819495.1	623847.4
内 蒙 古	0.279	506309	0.00	0.0	117018.7
遼 寧	0.276	705672	42002.80	139703.4	102292.5
吉 林	0.587	201688	0.00	0.0	7064.4
黒 龍 江	0.981	221670	0.00	0.0	5110.6
上 海	1.148	326804	0.00	0.0	24063.0
江 蘇	0.339	1140991	0.00	0.0	37012.5
浙 江	0.832	561847	0.00	0.0	8868.9
安 徽	0.096	350625	0.00	0.0	24621.9
福 建	0.081	214338	0.00	0.0	0.0
江 西	0.018	288108	0.00	0.0	0.0
山 東	0.328	1460902	1699.63	0.0	75270.2
河 南	0.051	747384	0.00	0.0	52563.2
湖 北	0.003	508218	0.00	279044.3	222101.8
湖 南	0.047	626494	257278.69	626494.0	471783.2
広 東	0.354	881556	0.00	0.0	0.0
広 西	0.009	800485	0.00	0.0	49066.1
海 南	1.517	20178	0.00	0.0	0.0
重 慶	0.576	664240	212662.91	537694.1	327742.4
四 川	0.219	994064	0.00	0.0	206673.8
貴 州	0.244	642490	344320.04	642490.0	476026.4
雲 南	0.054	323853	0.00	0.0	85896.6
チベット	0.025	756	0.00	0.0	0.0
陝 西	0.621	553738	0.00	0.0	40236.9
甘 肅	0.130	311878	20472.69	0.0	23155.5
青 海	1.074	20177	0.00	0.0	22261.8
寧 夏	0.261	174155	0.00	0.0	0.0
新 疆	1.043	187689	88399.46	152138.8	123100.9

5. 排出権取引の便益最大化モデルの分析

排出権取引 (Emissions Trading) というのは各排出源に初期分配した排出量と実排出量の差を排出源同士で取引することを認め、効率的に排出 (削減) 量を配分し、目標とする排出総量を最小の費用で達成しようという政策手段である⁹⁾。排出権取引を行えば、直接規制など環境政策で必要となる費用より少ない最小費用で全域の目標とする削減量に達成できると言われている。

5.1 排出権取引便益最大化モデルの導入

5.1.1 全地域総便益の定式化

中国各地域の排出権取引直前の SO_2 排出量を \bar{q}_i ($i=1,2,\dots,31$) とし、政府が定めた各地域の目標排出量を q_i^* とする。各地域は排出権の価格 P を与件として行動すると仮定する。排出権取引後各地域の便益を π_i とし、最適排出量を q_i とする。以下では各地域を排出権購入地域及び売却地域に分けて、各地域に生じる排出権取引からの便益 π_i を求める。図5-1に示すように、横軸にある地域の直前排出量 \bar{q}_i 、目標排出量 q_i^* 、最適排出量 q_i とする。縦軸に中国排出権取引市場の排出権の価格 P 、この地域の限界削減費用 MAC_i をとる。

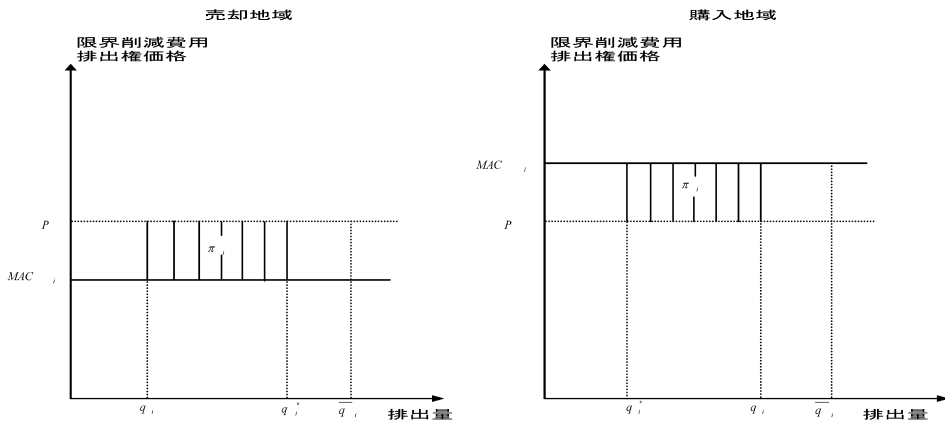


図5-1 排出権取引における購入地域と売却地域の便益

まず排出権を売却する地域の便益 π_i を考えてみる (左パネル参照)。地域 i は目標濃度を達成するためには (直接規制の場合)、 \bar{q}_i から q_i^* まで SO_2 を削減しなければならない。削減

9) 植田和弘・岡 敏弘・新澤秀則編著 (1998)『環境政策の経済学：理論と現実』日本評論者 p. 147

費用は限界削減費用 MAC_i と線分 $\bar{q}_i - q_i^*$ を両辺とする長方形の面積 $MAC_i (\bar{q}_i - q_i^*)$ となる。一方、排出権の価格が P だとするならば、余計に削減することによって利益を得ることができ。このことを考慮に入れて排出量 q_i を決めなければならない。削減費用は限界削減費用 MAC_i と線分 $\bar{q}_i - q_i$ を両辺とする長方形の面積すなわち $MAC_i (\bar{q}_i - q_i)$ から排出権販売による売り上げ $P(q_i^* - q_i)$ を引いて、 $MAC_i (\bar{q}_i - q_i) - P(q_i^* - q_i)$ となる。そうすると、売却地域の排出権取引の便益（利潤）関数は上述した二つの削減費用の差

$$\begin{aligned}\pi_i(q_i) &= MAC_i (\bar{q}_i - q_i^*) - \{MAC_i (\bar{q}_i - q_i) - P(q_i^* - q_i)\} \\ &= P(q_i^* - q_i) + MAC_i (q_i - q_i^*) \\ &= P(q_i^* - q_i) - MAC_i (q_i^* - q_i)\end{aligned}$$

$$\text{すなわち } \pi_i(q_i) = (q_i^* - q_i)(p - MAC_i) \quad (5-1)$$

となる。

次に排出権を購入する地域の便益 π_i を考える（右パネル参照）。

$$\pi_i(q_i) = (q_i - q_i^*)(MAC_i - p) \quad (5-2)$$

となり、式(5-1)と同じ形をしている。よって、中国全体での排出権の購入地域の総便益と売却地域の総便益は同じ形をした項の和であるから、

$$\sum_{i=1}^{31} \pi_i(q_i) = \sum_{i=1}^{31} (q_i^* - q_i)(p - MAC_i) \quad (5-3)$$

となる。

5.1.2 制約条件の数式化

まず購入地域と売却地域つまり全域の制約条件（条件1）について述べる。

（条件1） 各変数 q_i 及び a_{ij} の積和（汚染量）は目標汚染量 P_j^* 以内

$$\sum_{i=1}^{31} (a_{ij})_{winter} q_i / 2 + \sum_{i=1}^{31} (a_{ij})_{summer} q_i / 2 \leq P_j^* \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 31)$$

次に、ある排出権価格 P_x にとって購入地域 i ($i = 1, 2, 3, \dots, x$) の制約条件を述べる。図5-1「排出権取引による購入地域と売却地域の便益」の購入地域部分を参照して、条件2, 3を得る。

（条件2） 各変数 q_i は直前排出量以内 $q_i \leq \bar{q}_i$ ($i = 1, 2, 3, \dots, x$)

（条件3） 各変数 q_i は目標排出量 q_i^* 以上 $q_i > q_i^*$ ($i = 1, 2, 3, \dots, x$)

さらに、売却地域 i ($i = x, x+1, x+2, \dots, 31$) の制約条件（条件4, 5）を述べる。図5-1「排出権取引で購入地域と売却地域の便益」の売却地域部分を参照して、条件4を得る。

（条件4） 各変数 q_i は目標排出量 q_i^* 以内 $q_i < q_i^*$ ($i = x, x+1, x+2, \dots, 31$)

この売却地域の排出量 q_i の下限について、以下の注意をしておこう。限界削減費用は排出

削減量のある下限から急激に上昇して高くなっていくから、各排出量変数 q_i の下限があるはずである。目下、中国にはほとんどの発電所ボイラー、工業ボイラーなどの排煙脱硫装置の脱硫率は85%前後であるから¹⁰⁾、ある地域 i で全ての二酸化硫黄排出設備が排煙脱硫装置を採用しても、地域 i の脱硫率85%である（つまり、削減率の下限が85%）。よって、

(条件5) 各変数 q_i は直前排出量の15% ($0.15 * \bar{q}_i$) 以上

$$q_i > 0.15 * \bar{q}_i \quad (i = x, x+1, x+2, \dots, 31)$$

5.2 取引便益最大化モデルの各パラメータの算定

本節は本研究の最終目的の一つである。すなわち、30個の排出権の可能価格 P_x のなかから一つの排出権の競争均衡価格 P_x^* を推定し、その P_x^* の下で、排出権取引を行うときに各地域は SO_2 をどのように削減すべきか、どれくらい量の排出権を購入すべきか、あるいはどのくらいの量の排出権を売却すべきか、まだどれくらいの削減費用がかかるか及び取引後どのような便益を手に入れられるかを算定する。ここでは目標排出量 q_i^* を排出権取引制度の前提としての排出権の割当枠の初期配分問題であると考えられる。以下の式で目標排出量 q_i^* を与えることにしよう。

$$q_i^* = \bar{q}_i (1 - \Delta\beta_i) \gamma \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 31) \quad (5-4)$$

ここで $\Delta\beta_i$: 前節で述べた各地域の削減率

γ : 全国一律で割当枠の削減率（初期配分率と略称する）

式(5-4)の $\bar{q}_i(1 - \Delta\beta_i)$ 部分は上述した削減費用最小化モデルで述べたように、中国で実施している環境大気質基準（GB3095-1996）を達成するために、削減しなければならない部分である（中国には“汚染した者が処置すべきである”という制度になっている）。式の初期配分率 γ は現時点の嚴重な汚染状況を改善するために、長期環境目標による全国一律での削減すべき量である（公正性の観点において）。政府は国の SO_2 汚染状況、環境容量、削減技術の現状及び発展予想に依存して初期配分率 γ を制定する。

本研究は初期配分率 γ を70%及び60%と仮定する。上述したように各目標排出量 q_i^* を算定し、売却地域の排出量下限 $\bar{q}_i \times 0.15$ を計算して各パラメータをまとめると、表5-1「便益最大化モデルにおける各地域のパラメータ値」となる。

10) Wanshan.com Corporation
http://www.wanshan.com/Products/HUANBAO_13.htm
 『石炭燃焼二酸化硫黄汚染排出防止技術政策』
http://www.zhb.gov.cn/japan/env_info/3_2_2_014.htm

中国における SO₂ 排出権取引の便益推定

表5-1 便益最大化モデルにおける各地域のパラメータ値

	限界削減費用 MAC_i	直前排出量 q_i	年間汚染量 P_j	目標汚染削減量 Δp_i^*	売却地域の下限 $q_i^{\wedge}=q_i^* \cdot 0.15$	削減率 $\Delta \beta_i$	目標排出量 $q_i^*(0.6)$	目標排出量 $q_i^*(0.7)$	目標汚染量 p_i^*
	万元/トン	トン/年	トン/年	トン/年	トン/年		トン/年	トン/年	トン/年
1. 北京	8.312	146431	100612	17912	21965	0.178	72217	84254	82700
21. 海南	1.517	20178	35702	0	3027	0.000	12107	14125	35702
9. 上海	1.148	326804	149919	0	49021	0.000	196082	228763	149919
29. 青海	1.074	20177	152498	0	3027	0.000	12106	14124	152498
31. 新疆	1.043	187689	151866	88399	28153	0.582	47062	54906	63466
8. 黒龍江	0.981	221670	207143	0	33251	0.000	133002	155169	207143
11. 浙江	0.832	561847	438186	0	84277	0.000	337108	393293	438186
3. 河北	0.785	1133599	835638	540148	170040	0.646	240511	280596	295489
27. 陝西	0.621	553738	475998	0	83061	0.000	332243	387617	475998
7. 吉林	0.587	201688	184846	0	30253	0.000	121013	141182	184846
22. 重慶	0.576	664240	409492	212663	99636	0.519	191567	223495	196829
19. 広東	0.354	881556	643217	0	132233	0.000	528934	617089	643217
10. 江蘇	0.339	1140991	1056136	0	171149	0.000	684595	798694	1056136
2. 天津	0.338	213709	119850	1199	32056	0.010	126943	148100	118652
15. 山東	0.328	1460902	1253480	1700	219135	0.001	875353	1021245	1251781
5. 内モンゴ	0.279	506309	704731	0	75946	0.000	303785	354416	704731
6. 遼寧	0.276	705672	516701	42003	105851	0.081	388985	453815	474698
30. 寧夏	0.261	174155	169477	0	26123	0.000	104493	121909	169477
24. 貴州	0.244	642490	544553	344320	96374	0.632	141747	165371	200233
23. 四川	0.219	994064	1092575	0	149110	0.000	596438	695845	1092575
4. 山西	0.180	902681	825767	579193	135402	0.701	161724	188678	246574
28. 甘肅	0.130	311878	276658	20473	46782	0.074	173279	202159	256185
12. 安徽	0.096	350625	404579	0	52594	0.000	210375	245438	404579
13. 福建	0.081	214338	151863	0	32151	0.000	128603	150037	151863
25. 雲南	0.054	323853	395674	0	48578	0.000	194312	226697	395674
16. 河南	0.051	747384	609640	0	112108	0.000	448430	523169	609640
18. 湖南	0.047	626494	518491	257279	93974	0.496	189374	220936	261212
25. チベット	0.025	756	35134	0	113	0.000	454	529	35134
14. 江西	0.018	288108	222338	0	43216	0.000	172865	201676	222338
20. 広西	0.009	800485	703607	0	120073	0.000	480291	560340	703607
17. 湖北	0.003	508218	423118	0	76233	0.000	304931	355753	423118

5.3 排出権の均衡価格の下での各地域削減状況などの予測

前節のモデルでは排出権取引便益最大化モデルに追加して次の条件が成立しなければならない。排出権取引市場の排出権需給関係によって、排出権の総購入量は総売却量と一致せねばならない、つまり排出権超過需要 Per_x が0になければならない。よって、排出権均衡価格 P_x^* における各地域取引量、最適削減量などを予測するために、便益最大化モデルに（制約条件6）

$Per_x = \sum_1^{31} q_i - \sum_1^{31} q_i^* = 0$ を追加して便益最大化をすることができる。その結果は、表5-2

「 P_x^* における各地域の最適削減量 \hat{q}_i^* および排出権取引量」に示される。ここでは、表5-2の取引量の欄でプラスは排出権購入量、マイナスは排出権売却量を表している。

5.4 排出権の均衡価格の下での費用便益分析

本節は便益最大化モデルを利用し、排出権取引で各地域の費用便益分析をすることとする。

① 排出権の均衡価格 P_x^* における各地域の費用の計算

5.1.1で述べたように、図5-1によって、各売却地域の費用 $Cost_i = MAC_i(\bar{q}_i - q_i) - P_x^*(q_i^* - q_i)$ となり、各購入地域の費用 $Cost_i = MAC_i(\bar{q}_i - q_i) + P_x^*(q_i - q_i^*)$ となる。よって、中国全体での排出権の購入地域の費用と売却地域の費用は同じ式になる。この式によって排出権均衡価格 P_x^* の下での各地域の費用は求められる。

② 排出権の均衡価格 P_x^* における各地域の便益の計算

5.1.1で述べたように、式(5-2) $\pi_i(q_i) = (q_i - q_i^*)(MAC_i - p)$ を利用し、排出権の均衡価格 P_x^* の下で各地域の便益を求めることができる。

③ 直接規制（排出権取引しないとき）の費用の計算

図5-1で示すように、直接規制の場合には各地域の費用（削減費用だけ）は $Cost_i = MAC_i(\bar{q}_i - q_i)$ で算定できる。

上述したように、各データを以上の式に代入してまとめると、表5-3「排出権の均衡価格 P_x^* における各地域の費用、便益の比較」が求められる。

本節では便益最大化モデルを利用して、中国の排出権取引での排出権均衡価格を推定することができる。またこの排出権価格のもとでの各地域の取引量、費用、便益などを推定した。以上の結果をグラフにまとめると、次節の図6-1「排出権取引で各地域の取引量の推定」、図6-2「排出権取引で各地域の費用の推定」、図6-3「排出権取引で各地域の便益の推定」、図6-4a「沿岸発展地域及び内陸発展途上地域取引量などの比較」、図6-4b「排出権均衡価格 P_x^* の下で全地域総便益、総費用の推定」、図6-5「沿岸発展地域及び内陸発展途上地域のGDP、限界削減費用の比較」に示すようになる。

中国における SO₂ 排出権取引の便益推定

表5-2 p_x^* における各地域の最適削減量 \hat{q}_i^* 及び排出権取引量

項目 単 位	最適削減量 \hat{q}_i^*		取引量 $\hat{q}_i^* - q_i^*$	
	トン/年		トン/年	
初期分配率	$\gamma = 0.7$	$\gamma = 0.6$	$\gamma = 0.7$	$\gamma = 0.6$
01. 北 京	125290	129073	41036	56855
21. 海 南	20178	20178	6053	8071
09. 上 海	326804	326804	98041	130722
29. 青 海	20177	20177	6053	8071
31. 新 疆	78437	78437	23531	31375
08. 黒 龍 江	221670	221670	66501	88668
11. 浙 江	561847	561847	168554	224739
03. 河 北	280596	249691	0	9180
27. 陝 西	553738	553738	166121	221495
07. 吉 林	201688	201688	60506	80675
22. 重 慶	315345	315345	91851	123778
19. 広 東	881556	881556	264467	352622
10. 江 蘇	1140991	1140991	342297	456396
02. 天 津	148100	126943	0	0
15. 山 東	1021245	1460902	0	585549
05. 内 蒙 古	459814	303785	105398	0
06. 遼 寧	648308	285274	194492	-103711
30. 寧 夏	174155	26123	52247	-78370
24. 貴 州	246484	96374	81113	-45373
23. 四 川	988494	149110	292649	-447329
04. 山 西	188678	135402	0	-26322
28. 甘 肅	46782	46782	-155378	-126498
12. 安 徽	52594	52594	-192844	-157781
13. 福 建	32151	32151	-117886	-96452
25. 雲 南	48578	48578	-178119	-145734
16. 河 南	112108	112108	-411061	-336323
18. 湖 南	93974	93974	-126962	-95400
26. チベット	113	113	-416	-340
14. 江 西	43216	43216	-158459	-129649
20. 広 西	120073	120073	-440267	-360218
17. 湖 北	76233	76233	-279520	-228698
			総購入量	総購入量
排出権均衡価格	0.155万元/年	0.278万元/年	2060912	2378198
			総売却量	総売却量
			-2060912	-2378198

表5-3 排出権の均衡価格 p_x^* における各地域の費用、便益の比較

	取引しないときの費用 (直接規制)		取引するときの費用		取引するときの便益	
	万元/年		万元/年		万元/年	
初期分配率	$\gamma = 0.7$	$\gamma = 0.6$	$\gamma = 0.7$	$\gamma = 0.6$	$\gamma = 0.7$	$\gamma = 0.6$
01. 北 京	516832	616880	182077	160064	334755	456816
21. 海 南	9181	12242	937	2240	8245	10002
09. 上 海	112514	150019	15168	36276	97346	113743
29. 青 海	6502	8670	936	2240	5566	6430
31. 新 疆	138545	146729	117633	122699	20912	24030
08. 黒 龍 江	65225	86967	10288	24606	54937	62361
11. 浙 江	140203	186937	26077	62366	114126	124571
03. 河 北	669958	701442	669958	696779	0	4663
27. 陝 西	103080	137441	25701	61466	77380	75975
07. 吉 林	35515	47353	9361	22388	26154	24965
22. 重 慶	253681	272057	215024	235163	38656	36894
19. 広 東	93676	124901	40916	97854	52760	27046
10. 江 蘇	115966	154621	52957	126652	63008	27969
02. 天 津	22157	29302	22157	29302	0	0
15. 山 東	144063	191868	144063	162493	0	29376
05. 内 蒙 古	42434	56578	29295	56578	13138	0
06. 遼 寧	69423	87293	45902	87100	23520	193
30. 寧 夏	13650	18201	8083	16928	5567	1272
24. 貴 州	116281	122038	109061	120505	7219	1533
23. 四 川	65233	86977	46494	60690	18738	26287
04. 山 西	128393	133240	128393	130669	0	2571
28. 甘 肅	14220	17962	10318	-747	3902	18709
12. 安 徽	10119	13492	-1164	-15113	11283	28606
13. 福 建	5181	6908	-3558	-12086	8739	18994
25. 雲 南	5280	7040	-12596	-25481	17877	32521
16. 河 南	11478	15304	-31074	-60809	42552	76114
18. 湖 南	18994	20472	5298	-1534	13696	22006
26. チベット	6	8	-48	-78	54	86
14. 江 西	1531	2041	-20179	-31641	21709	33682
20. 広 西	2061	2748	-62275	-94123	64336	96871
17. 湖 北	469	626	-41915	-62135	42384	62761
	総費用	総費用	総費用	総費用	総便益	総便益
合 計	2931851	3458356	1743292	2011309	1188559	1447048

6. 推定結果の考察

前節で述べた対費用効果分析はある環境目標を達成するための費用面だけを取り上げたものである。これに対し、環境政策ないしは計画の費用面のみならず便益面も注目し、費用と便益の双方を相互に比較可能な形で測定し表現するのが費用便益分析 (benefit-cost analysis) である。ここでは中国全地域を沿岸発展地域 (以下沿岸地域とする) と内陸発展途上地域 (以下内陸地域とする) の二つに分けて限界削減費用、取引量を分析してみる。地域の区分については、北京、海南、上海、浙江、河北、広東、江蘇、天津、山東、遼寧、福建11省 (市) を沿岸地域、青海、新疆、黒龍江、陝西、吉林、重慶、内モンゴ、寧夏、貴州、四川、山西、甘肅、安徽、雲南、河南、湖南、チベット、江西、広西、湖北20省 (市) を内陸地域に分けることにする (広西は地理の面で西に偏る南部の沿岸地域であるが、経済の面が発展途上であるため、内陸地域に入れたほうが良いと考えられる)。現時点の中国各地域の汚染状況及び限界削減費用に基づいて、排出権を取引して、以下のことが推定できる。

① 排出権の価格の推定

中国の排出権均衡価格は0.155万元/トン (初期配分率 $\gamma = 0.7$ の場合) と0.278万元/トン ($\gamma = 0.6$) になることを推定できる。

② 排出権の下で排出権の取引量の推定

初期配分率 $\gamma = 0.7$ の場合、中国の購入地域が全部で17省、総購入量は206万トン/年となる。売却地域が全部で10省、総売却量はもちろん同量の206万トン/年となる。ただ、取引しない省も4省ある。 $\gamma = 0.7$ から $\gamma = 0.6$ へ変化すると、排出権均衡価格が高くなるから、購入地域の数も3省減った。売却地域のほうが、排出権均衡価格が高くなるために、売却地域の数及び売却量が5省、16%増えた。

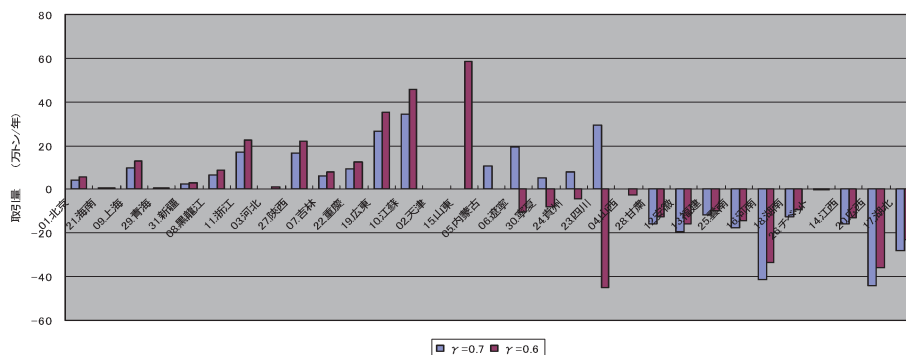


図6-1 排出権取引の下で各地域の取引量の推定 (正の値：購入、負の値：売却)

③ 排出権取引の下で各地域の費用の推定

費用が一番高いのは河北省の67億元/年 ($\gamma = 0.7$), 70億元/年 ($\gamma = 0.6$) である。初期配分率 $\gamma = 0.7$ から $\gamma = 0.6$ へ変化すると、ほとんどの購入地域のほうは費用が増加し、売却地域の費用が減少する。

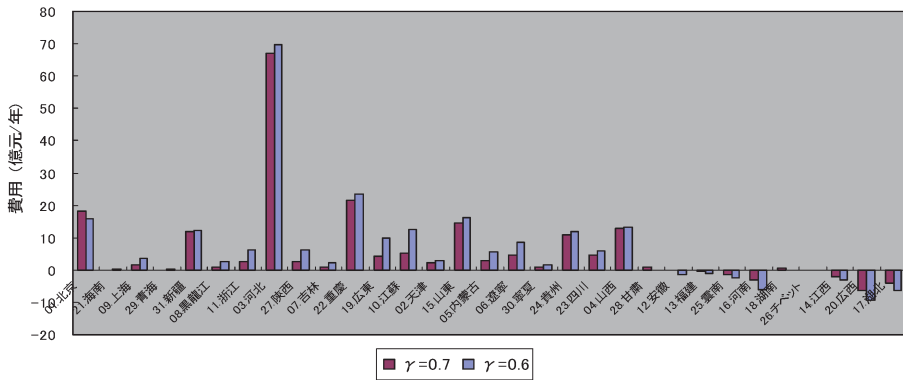


図6-2 排出権取引の下での各地域の費用の推定

④ 排出権取引の下で各地域の便益の推定

初期配分率 $\gamma = 0.7$ の場合、マイナス便益の地域がなく、もたらした便益が一番高いのは北京の33億元/年であり、便益が一番少ないのは取引しないの河北, 天津, 山東, 山西 4 省である。

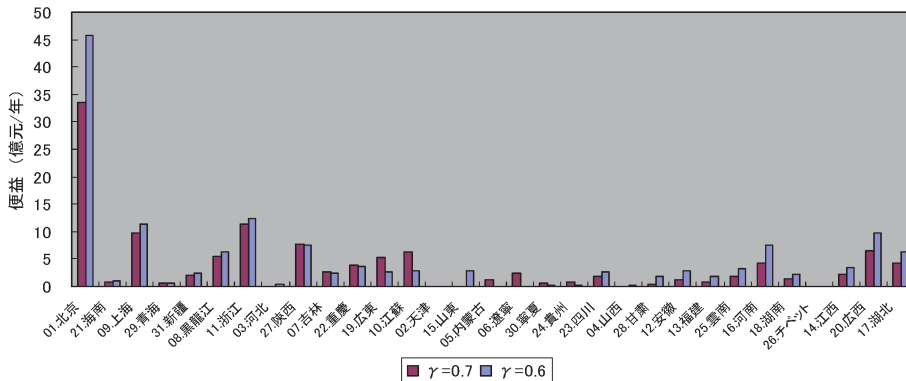


図6-3 排出権取引の下で各地域の便益の推定

⑤ 直接規制下での総費用と排出権取引の総費用, 総便益の変化

直接規制と排出権取引との比較をしてみよう、初期配分率 $\gamma = 0.7$ の場合、取引しないときの全国総費用が293億元/年 ($\gamma = 0.6$: 346億元/年) であり、排出権取引を実施すると、

総費用が174億元/年 ($\gamma = 0.6 : 201$ 億元/年)と減少し, 119億元/年 ($\gamma = 0.6 : 145$ 億元/年)の総便益をもたらした。 $\gamma = 0.7$ から $\gamma = 0.6$ へ変化させると, 取引しないときの総費用が293億元/年から53億元/年だけ増加を示し, 取引するときの総費用も174億元/年から27億元/年だけ増加を示す。また, 総便益も119億元/年から26億元/年だけ増加することが分かった。

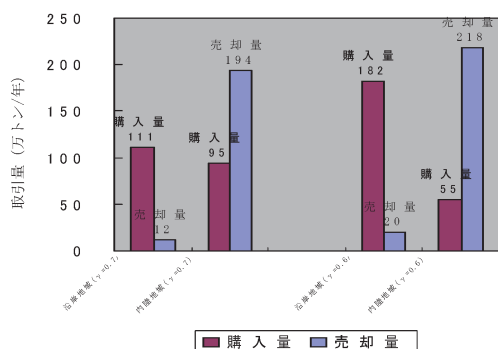


図6-4a 沿岸発展地域及び内陸発展途上地域取引量などの比較

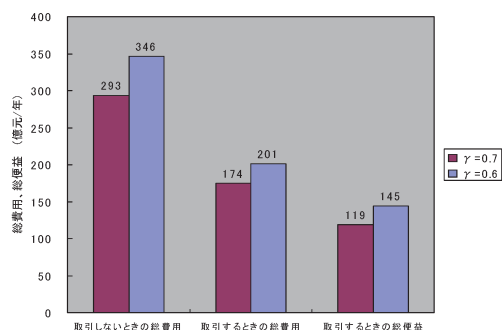


図6-4b 排出権均衡価格 P_x^* の下で全地域総便益, 総費用の推定

⑥ 沿岸発展地域及び内陸発展途上地域の排出権取引での特徴

上述したように, 沿岸地域と内陸地域の相違がはっきり見える。つまり, 沿岸地域には限界削減費用が高いため, 殆ど排出権を購入し, 内陸地域には限界削減費用が低いから, 売却するほうが多いという特徴が判明する。

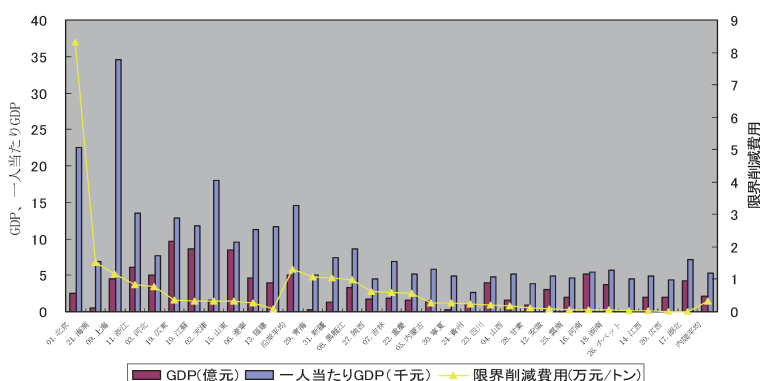


図6-5 沿岸発展地域及び内陸発展途上地域の GDP, 限界削減費用の比較

7. 終わりに

本稿では、SO₂ 排出権取引の汚染転嫁によって局部汚染集中という批判に対し、排出権取引の下でのメリットを計算するため便益最大化モデルの各地域の費用便益分析を行うことを行った。しかしながら、色んな欠点及び未解決点もあるはずである、これが今後に残された課題となる。

- ① 本稿では初め移動係数を排出権取引に導入して、問題解決の道筋を示した。これは SO₂ 排出権取引の理論研究にとって、ある程度の示唆（啓発）的な意義があると思われる。
- ② 本稿では、中国の全土で省級の行政区を主体として算定しているが、実際にはこの方法は中国以外の広い範囲で適用できると考えられる。
- ③ 今後さらに時系列の視点からより長い期間のデータを使って、各地域の限界削減費用を求めていく必要がある。
- ④ 今後さらに移動係数の推定において、できる限り誤差を少なくする計算方法を検討したい。
- ⑤ 排出権取引制度はかなり複雑な環境政策として、初期配分などいろいろな法律、規則の検討が不可欠なことが今後の課題と考えられる。
- ⑥ 今後より詳細に沿岸地域と内陸地域を比較して排出権取引の下での地域最適削減量、削減費用、総便益及び各要素間の相関関係を考察していきたい。

[付記]

本研究は、著者のうち時政が研究代表者の科学研究費補助金（課題番号17530199）の研究成果の一部である。

主要参考文献

- [1] 岡本真一著（2001）『大気環境予測講義』ぎょうせい
- [2] 倉嶋 厚 [等] 著（1994）『アジアの気候』（世界気候誌シリーズ 第1巻）古今書院
- [3] 若松伸司・篠崎光夫共著（2002）『広域大気汚染』華裳房
- [4] バリー・C・フィールド著（2002年）『環境経済学入門』日本評論社
- [5] 時政 昴著（2001）『環境・資源経済学』中央経済社
- [6] 宋国君著（2004）『排污权交易』，化学工业出版社
- [7] Scott, E. A. and Tietenberg, T. (1981) : “The Empirical Properties of Two Classes of Designs for Transferable Discharge Permit Markets”, *Journal of Environmental Economics and Management* Vol. 9, pp. 101-121
- [8] Sogou 地図 <http://maps.sogou.com/maps.jsp>
- [9] 中国环境年鉴编辑委员会编（2001）：『中国环境年鉴・2000』，中国环境年鉴社
- [10] 中国气象数据共享服务网 <http://cdc.cma.gov.cn/publicservice/climate.jsp?STPROVI>