

# 中国各地域，日本，韓国間の CO<sub>2</sub> 排出権取引について

時政 勗・王 鵬飛

(受付 2011 年 5 月 31 日)

## 第1章 研究の目的

中国は改革開放以来の二十年間、平均 9 % の経済成長を続けてきており、これにともなって温暖化ガスの発生量はさらに増加の傾向を示している。中国は化石燃料の中で温暖化ガスの発生が多い石炭消費大国であり、石炭は一次エネルギーの消費総量の 70 % 近くを占めている。そのため、石炭などを燃焼する際に放出される CO<sub>2</sub> は（エネルギー使用によるもので）年間 27 億トン（2006 年）にのぼり、かなり深刻な温暖化を引き起こしている。

中国の温暖化ガス排出は中国の経済発展によるものであるが、同時に中国・韓国・日本の経済連携構造から来る重化学工業重視によってもたらされる。問題は、中国一国のものではなく、連携構造を持つ 3 カ国にかかわっているともいえ、そこで日本・中国・韓国で共同で CO<sub>2</sub> 削減問題に対処する必要もあろう。

また、日本国内でも、中国国内でも、国内地域間での経済格差縮小が叫ばれていて、各種経済問題はマクロ的な対応だけではすまない。各地域の経済状況の違いを勘案して対処することが必要となる。そこで本研究では日本、韓国などと中国の国際間及び国内地域間の排出権取引などを通じての環境対策を行う場合の結果を予測する。

本論では日本の 6 地域、韓国一国と中国の現行の省級別の行政地域 30 が取引主体となる CO<sub>2</sub> 排出権取引を例として取り上げ、ある CO<sub>2</sub> 削減目標を達成することを目指して排出権取引を行うときの取引状況を予測することとした。既に時政・王 [2011]、時政 [2010] で行ったように、中国各地域や韓国の CO<sub>2</sub> 限界削減費用推定値と、ついで本稿で示した日本の 6 地域について限界削減費用推定値を利用して、排出権取引のモデルを設定した。そのうえで日本各地域、韓国と中国全地域のある環境質目標を仮に設定した。この目標設定に対する排出権の競争均衡価格を推定した。そののち、その削減目標を達成するため、各地域が CO<sub>2</sub> をどれほど自己削減すべきか、どれほどの量の排出権を購入・売却すべきか、まだ削減費用はどれくらいかかるか及び取引によりどれだけの排出権取引利益を手に入れるかについても示した。

## 第2章 排出権取引便益考察のための限界削減費用

本節では排出権取引の利益最大化モデルを導入し、分析の前提となる限界削減費用の推定について論ずる。

### 2.1節 取引便益最大化モデルの各パラメータについて

以下で排出権取引モデルのパラメータについてのべる。温室効果ガスの場合、その排出の影響は地球全体に及ぶため、 $\text{SO}_2$  のケースと異なり、排出源の目標汚染削減量、地域別の大気質基準濃度、移動係数などは簡単化される。

#### ①各地域の移動係数

まず  $\text{CO}_2$  のケースでは、 $\text{SO}_2$  のような越境汚染問題で中心的な働きをする輸送モデルのように移動係数を考慮する必要がない。そこで、排出源からの排出はレセプターへの影響度の説明をする移動係数を考慮する必要はなく、汚染の排出が、考慮している地域や地球全体というレセプターの被害につながる。汚染を排出する排出源での各  $\text{CO}_2$  の排出量  $e_1, e_2, \dots, e_m$  ( $m$  は排出源の数) に対し、唯一のレセプター (receptor) である考慮している地域または地球の汚染量は

$$\sum e_i$$

として表される。

#### ②地域別の大気質基準、目標汚染削減量

レセプターでの目標  $\text{CO}_2$  濃度に対し IPCC のシナリオ別の汚染削減量などがあるが、ここでは、以下のようにする。わかりやすく日本については、2010年にわが国政府が（条件付きながら）国際公約した2020年を基準に考えて、90年比25%減とする。中国については2000年比0%減とする。中国は周知のように、2020年に GDP 比でみた  $\text{CO}_2$  排出を1995年比45～40%減という暫定的目標を打ち出しているが、ここでは議論の単純化のため、削減率で目標設定している。さらに時政・王 [2011] で述べたように、この2009年の中国政府目標では、中国各地域においてこれまでと同様に GDP の成長が進めば排出量が大幅増加となる地域も現れると予測されるが、ここでは2009年の政府の目標と離れて、一つのシミュレーションとして、2000年比0%減という目標を仮に設定した。韓国は1991年と同等水準を目標とする。これについても仮定である。各国のこの政策目標を達成するため、つまり日本各地域は、その排出を1990年の値の75%に、韓国は1991年の値の100%に、中国は、2000年比100%とすることが要請される。それぞれ現在のところデータが揃う2006年の汚染排出量から、この大

きさの汚染排出量になるよう、汚染削減が要請されると仮定して議論をした。

## 2.2節 CO<sub>2</sub> 限界削減費用推定方法

本節では中国・韓国・日本という東アジア地域の温暖化防止問題を取りあげ、これら3国の間で、全体的に汚染を削減する目的を達成することを考える際に不可欠となる、各国・各地域の CO<sub>2</sub> の限界削減費用を推定する方法について述べる。ここで、日本の限界削減費用推定を中心に説明し、韓国、中国の地域別 CO<sub>2</sub> 汚染削減費用の推定結果に言及する。

限界削減費用の推計方法としては、2つの考え方がある。1つは直接各産業の大気汚染削減投資のデータから、削減資本支出（厳密には、この資本支出額を耐用年数で除した減価償却費分が一年間の汚染削減投資額となる）を求め、これに汚染削減活動の経費（運行費）をプラスして、求める方法がある。これは、個別企業のケースか、電力など産業別の大気汚染削減投資のデータが揃っている部門や、中国などについて行うことができる。

第2の方法は、このようなデータがない日本のような場合、マクロの産業の粗付加価値や各企業総営業余剰データを用いて間接的に限界削減費用を推定する方法がある。つまり、汚染削減を、削減装置設置の費用でなく、生産削減により達成しようとするさいに失うことになるであろう粗付加価値や営業余剰を削減費用と考える方法、つまり機会費用アプローチとも言うべきものである。

したがって、汚染削減の限界費用を、各種削減技術や装置のコストを調査して汚染物質1単位当たりのコストを出す方法が困難なとき、汚染の生み出す限界粗付加価値を利用して削減コストを求めることが出来ることになる。

汚染排出を説明変数とし、粗付加価値を非説明変数とする生産関数を作ったとき、それを汚染排出量で微分したものが、汚染排出の限界粗付加価値とみなされる。言い換えるとこの生産関数の微分を取り、それから限界労働費や資本費を差引けば、これが汚染排出の限界利潤であり、汚染削減からの限界費用にもなる。

なお、ここで注意すべきは、粗付加価値は、汚染排出つまり環境サービスの消費だけから生み出されるというよりも、投入労働量、資本量、土地量などの、生産要素による貢献部分も大きい。粗付加価値生産関数にはこれらの要因を入れる必要がある。ところが、これらの生産要素量の変化を明示的に入れると、問題の焦点が他の生産要素の働きに移ってしまう。そこで、A. Yiennaka et al [2001] や中野 [2007] のように、これらの一般の生産要素の投入量を時間の関数とみなして、一括することにする。つまりこれらの汚染物質以外の生産要素の投入量を、時間の関数で代理するのである。すると次のような粗付加価値生産関数を考えることができる。そのほかの生産要素投入量が時間について指数的に増加すると考えるが、それを時間に関する2次か1次の関数とする次式を仮定する。

$$Y = e^{\alpha} E^b \exp(cT + dT^2) \quad (2-1)$$

ここで  $E$  は汚染排出量,  $T$  は時間である。各産業や一国全体の全産業の粗付加価値が, 二酸化炭素の排出  $E$  によって生み出されていると想定するのである。

換言すると,

$$Y = E^b$$

という関数が  $T$  とともに上方シフトさせられていて, この  $\exp(cT + dT^2)$  という上方シフトの要因が, 時間  $T$  とともに増加する投入する労働量, 資本量, 土地の変化や技術進歩を反映するとみるのである。したがって

$$\partial Y / \partial E = b e^{\alpha} E^{b-1} \exp(cT + dT^2) \quad (2-2)$$

がある汚染水準の場合の限界利潤となり, 汚染削減の限界費用を測定するのに大きな役割を果たすのである。

さて, この生産関数の推定において, (2-1) 式の両辺の対数をとった式

$$\ln Y = \ln a + b \ln E + cT + dT^2 \quad (2-3)$$

を考えて

$$\ln Y = y, \quad \ln E = e$$

とおくと, 次のような線形式が得られる。

$$y = \alpha + be + cT + dT^2 \quad (2-4)$$

ここで  $\alpha$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  はパラメータ。この線形式を最小二乗推定して, (2-4) 式のパラメータを確定し, 汚染の限界利潤, 限界削減費用の導出に持って行くことにしよう。

### 2.3節 限界削減費用のデータと推定方法

(2-4) 式を推定するのに必要となるデータは, 一国全体または, 各国地域の粗付加価値と, 排出  $\text{CO}_2$  汚染量である。前者は, 韓国・日本など各国「国民経済計算」から得られる。後者は OECD Environmental Data 1995, 1999, 2004 や各国政府のホームページなどから得られる。

本論文では, 韓国全体と日本の地域(北海道・東北, 関東, 中部, 近畿, 中国四国, 九州・沖縄の6地域別)区分し, 中国に関しても行政地域区分別にて推計した。韓国について地域別区分を取り上げなかったのは地域別データがないためである。サンプル期間は, 1991年～2008年までとした。日本は1990年～2006年とし, 中国は1995～2006年とした。

## 2.5節 日本の限界削減費用の推計について

本節では、日本の限界削減費用の推計結果について述べる。推計の方法としては、わが国で資源エネルギー庁から出されている地域別（北海道・東北、関東、中部、近畿、中国四国、九州・沖縄）エネルギー消費データ特に C 単位での消費データと、各地域の GDP のデータを用いて、上で述べた方法と同様にして、汚染による生産関数を推定する。この場合も 1 次あるいは、2 次の時間シフト項を導入した。さらに、データの系列相関の恐れのため、プレイス・ウィンステン変換を行って、一般化最小二乗法で回帰式を推定した。この地域 GDP の汚染に関する回帰式を微分し、限界削減費用を導出したが、その微係数の値について BAU 経路に沿ったものと、10%、20%、30%、40%、50% カットした量に抑えることが要請される経路に沿った場合との差とで、限界削減費用を導出する。これが、従来の排出量より排出がそれぞれ、5%、10%、20%、30%、40%、50% カットした量に抑えることが要請されている場合で、限界削減費用（さらに 1 単位の追加削減を必要とするときの費用）がどの程度高くなるかを求め、限界削減費用の値を推計することが考えられる。ただし、日本の場合、パラメータ  $b$  の値がマイナスになる地域が現れたりする。これは関東などでは、省エネなど汚染排出削減努力が実を結び、汚染排出の限界粗付加価値生産が、排出量が減少するにつれ増加するという状態にあったためである。この場合は、粗付加価値生産関数が時間経過とともにシフトする大きさが急激に高く現れる。そのような地域で資本投入の増加など同様の傾向が今後とも続くことが期待するのは難しい。これは、削減目標が強化されればされるほど、GDP が増える形になるが、それは環境サービス以外の労働・資本の投入が増えて行ったからだとも考える必要がある。しかし、過去の動きと同様の傾向を期待するには無理があり、そこで過去において、環境の投入が少なくなって資本や・労働の投入が伸びたと思われる地域では、労働・資本などを代理している時間の項を 2 次ではなく 1 次式として推定を行った。そこで、削減コストを、BAU 排出量の場合と新基準排出量の場合の限界粗付加価値生産の差として、BAU 排出量  $E_0$  と新基準排出量  $E_1$  の粗付加価値関数の微係数の差が新基準排出量の限界粗利潤と考えよう。このように定義した限界削減費用は次のようになる。

すなわち

推定式のシフト項が  $T$  の 1 次式の時は

$$MAC = ab(E_1^{b-1} - E_0^{b-1})\exp(cT) \quad (8)$$

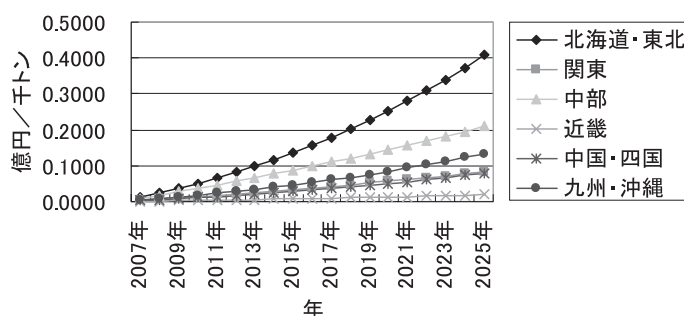
となる。

さて、地域別の推定式を掲示するのは、別の機会に譲り、ここでは結果だけ述べる。

以上の結果から、C の限界削減費用は、排出削減量が 90 年比 25% の場合 1,000 トンあたり 296 万円から 2,313 万円の間にあること、つまり 1 トンあたり 0.296 万円から 2.3 万円の間に、平均

表－１ 日本の地域別限界削減費用（90年比25%削減の場合）

	北海道・東北	関 東	中 部	近 畿	中国・四国	九州・沖縄
2007年	0.03020	0.00945	0.0163	0.0038	0.00361	0.0058
2008年	0.06090	0.01945	0.0338	0.0076	0.00732	0.0117
2009年	0.09199	0.0301	0.0528	0.0115	0.01112	0.0178
2010年	0.12335	0.0415	0.0733	0.0154	0.01501	0.0241
2011年	0.15485	0.0536	0.0957	0.0194	0.01899	0.0306
2012年	0.18639	0.0665	0.120	0.0235	0.02303	0.0371
2013年	0.21784	0.0804	0.1466	0.0275	0.02714	0.0438
2014年	0.24908	0.0952	0.1757	0.0317	0.03130	0.0506
2015年	0.2800	0.1111	0.2074	0.0358	0.03550	0.0575
2016年	0.3105	0.1282	0.2424	0.0399	0.03974	0.0644
2017年	0.3404	0.1466	0.2808	0.0441	0.04401	0.0714
2018年	0.3696	0.1664	0.3230	0.0482	0.04829	0.0784
2019年	0.3983	0.1877	0.3694	0.0524	0.05258	0.0854
2020年	0.4256	0.2107	0.4207	0.0565	0.05687	0.0925
平均億円／千トン	0.2313	0.0962	0.1827	0.0298	0.02961	0.0479
限界削減費用	2.3133	0.962	1.8271	0.298	0.2961	0.4793

図－１ 日本の地域別 CO<sub>2</sub> 限界削減費用

で1.29万円にあたることを確認できる。CO<sub>2</sub>の1トン当たりに換算するとこれは、0.0807万円から0.627万円となり、平均で0.281万円に相当する。

地域別の特徴としては、もっとも低い値は中国・四国であり、続いて近畿、九州・沖縄と続き、最も高いのは、北海道・東北であり、北海道・東北は、中国・四国の7.8倍の限界削減費用が掛かることになる。これは北海道・東北、関東の高い限界削減費用を持つ地域ではエネルギー消費と汚染排出の成長率がこれまでプラスであったのに対し、近畿や中国・四国ではマイナスであった。このため、汚染削減による、GDP抑制の影響が、プラス地域の北海道・東北、関東で、強く出るのに、マイナスの近畿や中国・四国では弱いと考えられる。このような削減費用の大きさが現れるのは、90年比で25%削減の場合、2025年において、現状の2008年比で69%削減、0%の場合でも51%の削減、30%増加の場合でも43%の削減を必

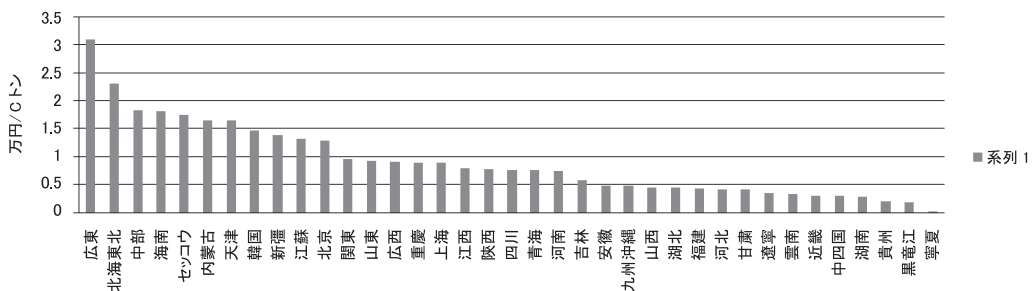


要とするからである。

次にこれらの限界削減費の時系列的な動向を見て行くと、図－1に示すように、毎年の限界削減費用の負担は、時間の経過とともに単調増加して行くことがわかる。とくに、2016年、2017年ころより限界削減費用が急増を始め2009年の10倍のオーダーになる。また、抑制基準の違いによる限界削減費用の格差が広がって行くこと、つまりマイナス20%、30%という厳しい抑制が掛かると急激に上昇することが言える。つまり1990年比の削減目標が、プラス30%、0%、マイナス30%と汚染抑制基準が厳しくなるにつれ、限界削減費用はグラフの上方シフトが拡大して行くことが言える。

## 2.6節 日本・中国・韓国の CO<sub>2</sub> 限界削減費用の計測

本節では中国・日本・韓国の CO<sub>2</sub> 限界削減費用の推定結果を示す。中国の CO<sub>2</sub> 限界削減費用や韓国の推定方法の詳細は、時政 [2010]、時政・王 [2011] に譲る。こうして以下の地域別 CO<sub>2</sub> 限界削減費用が導出される。ただしここで注意しておくべきことは、これら削減費用が、削減目標が異なれば異なるということである。より多い削減目標を設定すれば限界削減費用は上昇するからである。



図－2 限界削減費用

各地域の限界削減費用は上の図に示される。ここで限界削減費用の地域的特質についてみておこう。前節の方法により、中国各地域の CO<sub>2</sub> 限界削減費用を確定したが、中国の地域格差問題との関係で、ここでは、中国の限界削減費用の地域的特徴を見ておきたい。

まず最も限界削減費用が高いのが広東の3.106615万円/CO<sub>2</sub>トンであり、最も低いのが寧夏の0.00808万円/CO<sub>2</sub>トン、と、その格差は384倍に及ぶことがわかる。

ただ、ここで地域別特長をさらに見やすくするため、中国の地域を経済発展の度合いで次のように区分する。すなわち、1人当たり GDP を経済発展の指標にとり、都市型、沿海工業型、内陸発展途上型および特別型中国と、4つの地域に分ける。都市型は直轄市のうち、北京、天津、上海という最も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

表－2

都市型・日韓	1.0969	セッコウ	1.739827	安 徽	0.480077
北海東北	2.313341	江 蘇	1.319272	山 西	0.442941
中 部	1.827076	山 東	0.931235	湖 北	0.436235
天 津	1.640482	福 建	0.423479	河 北	0.40958
九州沖縄	0.479306	内陸発展途上	0.651419	甘 肅	0.401846
韓 国	1.461058	内 蒙 古	1.652012	遼 寧	0.341191
北 京	1.284984	江 蘇	1.319272	雲 南	0.335707
閩 東	0.962091	広 西	0.90202	湖 南	0.2864
上 海	0.885907	重 慶	0.888164	黒 竜 江	0.1818
近 畿	0.297999	江 西	0.797242	そ の 他	0.584786
中 四 国	0.29607	陝 西	0.773936	新 疆	1.37772
沿岸工業	1.554506	四 川	0.766242	青 海	0.757398
広 東	3.106615	河 南	0.7358	貴 州	0.195946
海 南	1.806607	吉 林	0.575074	寧 夏	0.00808

る。この地域の1人当たりGDPは平均で30,000元/年を達成している。日本各地域と韓国もこの型に入れておこう。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15,000元以上となっている。江蘇、浙江、福建、山東、広東の5地域である。さらにGDPが沿海工業型の1/2で平均が7,500元の地域を、内陸発展途上型の地域とする。さらにデータの少ないチベットは除いたが、青海、新疆、貴州、寧夏の4地域も削減量のデータで大幅な変動が見られたり、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ため、その他地域とした。

上の表では中国のこれら地域別特徴のうち都市型地域に韓国と日本各地域を合わせたものを最も発展した地域とした。この地域類型の違いによる限界削減費用を見たとき、沿岸工業地域が、1.5545万円/Cトンと最も高く、ついで、都市型・日韓は1.554506万円/トン、内陸発展途上型が0.651419万円/1トン、その他型0.5848万円/Cトンとなる。経済発展と高い限界削減費用の相関が見受けられることがわかる。しかも中国だけで見ると都市型の限界削減費用が1.270458万円/Cトンと沿海型のそれとあまり変わっていない。

こうして、大都市では、経済発展とともに限界削減費用が低くなる傾向がある。経済の発展している沿岸工業地域ではGDPとエネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量が多いが、設備の省エネ化も進みGDPあたりのエネルギー消費量や汚染量も少なくなっているため汚染やエネルギー消費の減少に伴いGDPの減少が大きく出る。これに対し、逆に内陸発展途上地域ではGDPが低くエネルギー消費の減少と汚染の減少が、GDPをあまり減少させないから限界



削減費用が小さくなるためだと考えられる。

一般的には、都市型では、経済発展とともに汚染排出が減少する、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環境クズネッツ曲線部分の右下がりに該当していると考えられる。

これに対し、内陸発展途上地域は汚染排出量の多いエネルギー資源である石炭などに依存する割合が多く、石油化、ガス化に遅れているためと考えられる。とくに高い限界削減費用を持つ山西、広西、貴州、陝西、内蒙古、吉林、黒龍江、四川、地域は1人当たり 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、内陸発展地域において限界削減費用が経済発展と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環境クズネッツ曲線の右上がり部分に内陸発展途上地域が該当していると考えられよう。

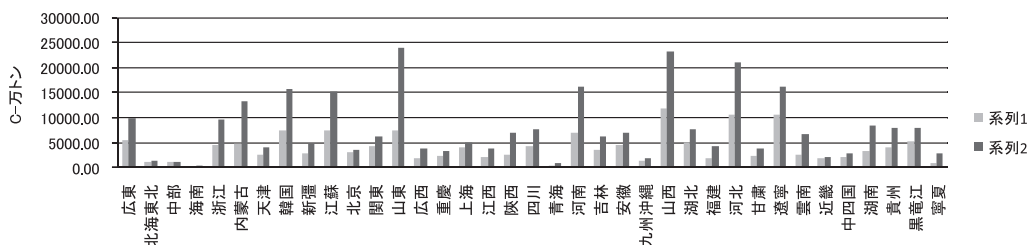
### 第3章 排出権取引の均衡と利益推定

#### 3.1節 排出権取引の数式化

次に、前節で述べた中国、韓国、日本の限界削減費用曲線を利用して、これらの国のある目標 CO<sub>2</sub> 削減基準を排出権取引を用いて達成しようとするとき、全地域でどのような取引がなされ、どれだけの取引総便益が得られるかの問題に移る。取引対象は日本の6地域、韓国及び中国の行政区分による31省（市）とする。日本6地域、及び中国各地域のデータのある2006年、韓国の2008年を出発点として、削減計画を実施する場合を考える。

本論文の想定する削減計画を次のようにする。第2章で述べたように日本は2020年に実現する目標90年比-25%CO<sub>2</sub> 排出水準を、中国は2020年に2000年の排出水準に、韓国は2020年に1991年と同等水準に、おくことを目標としよう。この目標は3カ国全体にとって厳しいもので、仮置きのものであるが、3カ国全体の CO<sub>2</sub> 排出水準は2006年の286,468万 C-トンから、20020年に148,383万トンに48.2%減少されるというものである。

そこで、現状の排出量と計画排出量の差48.2%だけ少ない排出水準を中国各地域、韓国、



図－3 排出の現状と排出権の配分

表－３ 排出の現状と排出権の配分

	制限：初期配分 C 万-t	現実：2006年 排出量 C- 万 t		制限：初期配分 C 万-t	現実：2006年 排出量 C- 万 t
広 東	5,543.61	9,958.54	青 海	464.48	847.02
北海東北	1,006.8	1,433.2	河 南	6,883.45	16,121.13
中 部	1,221.7	1,221.7	吉 林	3,560.24	6,202.55
海 南	223.68	507.66	安 徽	4,618.57	6,862.37
浙 江	4,424.15	9,710.40	九州沖縄	1,439.2	1,799.5
内 蒙 古	4,801.12	13,363.39	山 西	11,732.04	23,238.25
天 津	2,609.84	4,071.85	湖 北	4,914.27	7,714.55
韓 国	7,336.25	15,611.99	福 建	1,823.60	4,252.01
新 疆	2,904.84	4,870.47	河 北	10,629.43	21,121.45
江 蘇	7,358.46	15,131.98	甘 肅	2,367.54	3,735.93
北 京	3,043.63	3,456.52	遼 寧	10,508.72	16,057.15
関 東	4,201	6,271.2	雲 南	2,488.39	6,822.90
山 東	7,536.37	23,950.26	近 畿	1,755	2,054.4
広 西	1,950.76	3,841.87	中 四 国	2,081.5	2,749.2
重 慶	2,429.61	3,231.69	湖 南	3,212.92	8,397.58
上 海	4,125.24	4,923.73	貴 州	4,098.70	7,946.59
江 西	2,038.74	3,676.76	黒 竜 江	5,290.25	7,835.63
陝 西	2,648.34	6,900.34	寧 夏	886.53	2,866.83
四 川	4,224.33	7,709.10			

日本が達成するため、これら各地域に初期配分として目標排出水準に等しい排出権を設定して、各国各地域が排出権取引によって、この初期配分に等しい  $\text{CO}_2$  排出目標を達成することにしたと考えよう。

初期配分として、もちろんこれはひとつの仮説例であり、もし排出権取り引きを実施した場合どのような需要・供給状態、どれほどの取引利益が出るかの試算ための計算である。各地域の最適な排出水準は、初期配分とは無関係ではあるものの、各地域の排出権取引便益は初期配分により左右されることに注意しなければならない。

このとき各取引主体に、定められた各地域の目標排出量を  $L_i$  (初期配分) 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する。排出権取引後各地域の便益を  $\pi_i$  とし、最適排出量を  $e_i$  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での便益  $\pi_i$  を求める。

目標排出量  $L_i$ 、最適排出量  $e_i$  をとる。日本、韓国及び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を  $MAC_i$  とする。

まず排出権を売却する地域の便益  $\pi_i$  を考えてみる。地域  $i$  は目標排出量以下の排出を実現すればあまった排出権を市場で売却し利益を得る。市場での売却量は  $L_i - e_i = x_i$  であり、この部分だけ多く削減しなければならないので、そのための削減費用を排出権販売収入から差

し引いた  $(MAC_i - P)$  が 1 単位販売あたりの利益だから

$$(P - MAC_i)(L_i - e_i) = (P - MAC_i)xi \quad (3-1)$$

が、売却地域の排出権取引の便益となる。

次に排出権を購入する地域の便益  $\pi_i$  を考えると購入地域は、購入量  $-xi = e_i - L_i$  について 1 単位当たり、 $(MAC_i - P)$  の利益を得るから、利益は、上式 (3-1) と同じ形をしている。

よって、日本、韓国及び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、

$$\sum_{i=1}^{36} \pi_i = \sum_{i=1}^{36} (L_i - e_i)(p - MAC_i) \quad (3-2)$$

となる。

この値が排出権取引の総便益を与える。

### 3.2節 排出権競争均衡価格の導入

本節は現時点で与えられる限界削減費用の下で、排出権市場の競争均衡価格  $P_x^*$  の推定方法を述べる。日本、韓国及び中国の地域別の限界削減費用は高削減費用から低削減費用まで順番に並べて36個がある<sup>1)</sup>。この各限界削減費用を排出権価格の候補と考え36個の排出権価格  $P_x$  を求める。

次に排出権の価格  $P_x$  と市場の排出権需給関係を述べる。

たとえば  $P_x = MAC_1$  (排出権価格が最も番高い) の場合、 $i = 1$  地域は他地域から排出権を購入したいが、他の  $i = 2, 3, \dots, 36$  各地域は自地域の  $MAC_i$  より排出権価格の方が高いので、排出量を余計に削減し、余剰分を排出権として売却したい。このとき、排出権需要量  $\Sigma(e_i - L_i)$  が排出権供給量  $\Sigma(L_i - e_i)$  より小さいか否かが、実行可能性条件となる。つまり各地域の排出量の総計  $\sum_1^{36} e_i$  が政府が定めた各地域の目標排出量の合計  $\sum_1^{36} L_i$  より大きい小さいかが問題となる。前者なら排出権市場は超過需要に、後者なら超過供給になる。両者が等しいなら需給均衡が成立し、排出権の超過需要はゼロとなる。 $\Sigma X_i = 0$  または

$$\sum_1^{36} e_i = \sum_1^{36} L_i$$

が均衡条件である。我々は排出権市場を均衡にする価格の下で排出権取引便益最大化をする

1) Tsutomu Tokimasa and Zhaohui Luo “Benefits Estimation of the SO<sub>2</sub> Emissions Trading in Japan, South Korea and each Region of China” in Quantitative Analysis on Contemporary Economic Issues Kyushu University Press

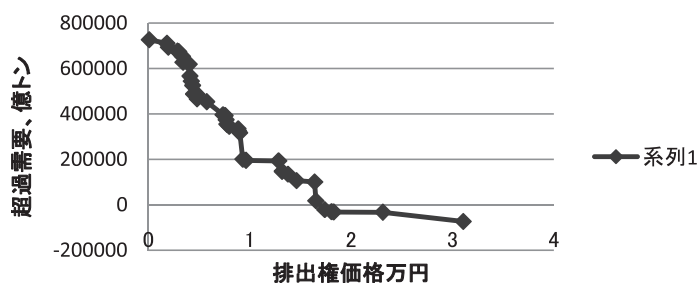
ところを求めたい。

また取引主体（各地域）が、自らの限界削減費用が排出権価格より高いところでは、排出権を売却し、逆の地域ではそれを購入する行動をとる。さらに各地域は、排出権価格と限界削減費用の差が大きいほど取引に熱心になると仮定する。つまりある排出権価格の下で需要を行った地域は、排出権価格がそれより低下した場合は、必ず以前以上に需要を行う、また以前の排出権価格で供給を行っていた地域は、排出権価格の上昇がみられた場合、以前の量以上の供給を行うとしよう。こういう形で取引がなされると仮定することは分権的最適化行動に合致している。定式化は以下のようになる。各地域の排出権供給量を  $X_{it} > 0$  と置くと、 $X_{it} < 0$  なら需要量になる。

各地域  $i$  について、価格が  $P_t$  から  $P_{t+1}$  に低下したとき  $X_{it} < 0$  なら  $X_{it+1} \leq X_{it}$ 。この条件の下で各地域は取引からの利益  $(P_t - MAC_i)X_{it}$  を最大化するように  $X_{it}$  を選択する。こうして各排出権価格  $P_t$  の下での総需要・総供給を見れば表－４のようになる。

表－４ 排出権市場の状態

排出権価格 万円/C-t	超過需要	排出権価格 万円/C-t	超過需要	排出権価格 万円/C-t	超過需要
3.10661467	-74,191.64	0.90201983	316,237.62	0.42347866	543,528.04
2.31334062	-33,349.23	0.88816407	324,726.27	0.40957964	566,079.82
1.8271	-32,327.52	0.88590705	333,951.43	0.40184594	618,119.6
1.80660674	-31,455.94	0.79724171	345,073.1	0.34119137	626,936.54
1.73982651	-22,315.47	0.77393606	353,977.17	0.33570748	653,191.74
1.65201206	16,730.824	0.76624202	373,907.82	0.29799853	673,202.36
1.64048182	99,672.131	0.75739784	392,396.88	0.2961	674,170.21
1.46105786	105,841.39	0.73579395	395,593.62	0.28637404	675,873.26
1.3777199	134,092.24	0.57507361	453,161.51	0.1959	692,984.72
1.31927187	146,600.25	0.4801	465,570.76	0.1818	710,125.36
1.284984	192,739	0.47930554	486,160.72	0.00807982	726,095.19
0.9620907	195,196.17	0.44294091	487,153.97		
0.93123483	200,111.9	0.43623476	525,172.44		



図－４ 排出権市場の状態

この超過需要がゼロとなる価格を求めれば均衡価格になる。ここでは1.652012062万円/CTonとなる。

### 3.3節 制約条件の数式化

次に、2節で述べた目的関数式(3-2)を解く際の制約条件について触れる。

まず、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。

最適排出量の次の条件2を満たさなければならない。

(条件2) 各変数  $e_i$  は2020年のBAU排出量以下、つまり

$$e_i \leq \bar{e}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, x) \quad (3-4)$$

とする。他方、売却地域の排出量  $e_i$  の下限について、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と考えられるから、各排出量変数  $e_i$  の下限があるはずである。各地域のエネルギー消費の下限や、省エネ設備の限界などから無制限に排出量を0まで抑えられない。ここでの計算では、排出権の50%として、計算を試みた。よって、次の条件をおく。

(条件3) 各変数  $e_i$  は目標排出量または排出権の初期配分の50%以上

$$e_i \geq L_i * 0.5 \quad (i = x, x + 1, x + 2, \dots, 37) \quad (3-5)$$

### 3.4節 排出権取引便益の最大化モデルの数式化

前述した議論をまとめ、排出権取引便益の最大化モデルを導入する。ついで、このモデルを利用し、排出権の競争均衡価格  $P_x^*$  の推定をする。

ある排出権取引の予定の排出権価格  $P_x(x = 1, 2, 3, \dots, 30)$  における、排出権取引便益の最大化モデルは、以下のように

$$\text{目的関数} \sum_{i=1}^{36} \pi_i = \sum_{i=1}^{36} (L_i - e_i)(p - MAC_i) = \sum_{i=1}^{36} X_i (p - MAC_i) \quad (3-2)$$

を制約

$$e_i \leq \bar{e}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, x) \quad (3-4)$$

$$e_i \geq L_i * 0.5 \quad (3-5)$$

$$(i = x, x + 1, x + 2, \dots, 37)$$

$$X_{il+1} \leq X_{il}$$

$$\sum_{i=1}^{36} e_i \leq \sum_{i=1}^{36} L_i$$

のもとで最大化すること。

この線形計画問題の解は、端点最適解となる。 $(P - MAC_i) > 0$  なら排出権の売却を最大限の  $0.5 * Li$  まで行う。 $0.5 * Li$  という削減限度いっぱいまで排出の削減を行う。 $(P - MAC_i) < 0$  なら排出権の購入を最大限の  $\bar{e}_i - L_i$  まで、つまり BAU の汚染排出量まで排出権の購入を行う。ただ、価格が低下していくときはいったん前の価格で購入を行っていた地域は必ず購入を継続し、価格が上昇していくとき、以前の価格で売却をしていた地域は必ず売却を続けるという条件の下での排出権取引市場を考察する。

### 3.5節 排出権取引の利益の算定

本節は37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が  $CO_2$  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、あるいはどれ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の計算結果を示す。

本節は前節で導入した排出権取引モデルについて、各地域の限界削減費用と等しい37個の仮定された排出権価格の一つずつの値  $P_x$  に対し、各地域の排出権の需要供給量の状態や需給均衡の下での取引利益の状況を見ていこう。市場全体の純需要、取引便益の総額を導出する。次いでこれらの価格の中で純需要をゼロにするものの中で取引利益の最大化を実現するものを探し、その価格の下での各地域排出量から、最適排出量、最適取引量、最適取引利益を算定する。

ところで線形計画モデルの場合通常、解は各変数の実行可能領域の端点に限られる。ここでは、排出権価格が内蒙古1.652012万円の限界削減費用と等しいときに需要供給が均衡する。したがって内蒙古の限界削減費用以上の限界削減費用を持つ地域、広東、北海道東北、中部、海南、セッコウ、内蒙古が、排出権を購入し、そのほかの地域が売却することになる。

ただし、これは各変数の領域を限定する以下の条件から決まる。これらの条件は各地域の排出量の上限（排出権購入の上限）を定める2020年の BAU 排出量までとし、各地域の排出量下限（排出権売却の上限）を与える排出権の初期配分の50%という条件などであり、これらの排出権取引の上限や下限の条件次第で、各地域の可能排出量が変わり、いろいろのタイプの解が出現する。もちろん、この場合購入を行う地域が排出権を購入しうるだけの、資金を持つという前提がある。以下排出権取引の結果を図と付録のデータで示す。

こうして、このケースでは内蒙古が61,637万トン、広東が38,070万トン、セッコウが36,834万トン、海南が9,028万トンの購入が大きく、わが国は、北海道東北が排出権を518万トン購入し、中部260万トン、となる。排出権価格が1.65万円/C トンであるので、これらの大量購入地域は10兆円～6兆円という購入費が必要となる。ほかの地域はすべて排出権売



中国各地域、日本、韓国間の CO<sub>2</sub> 排出権取引について

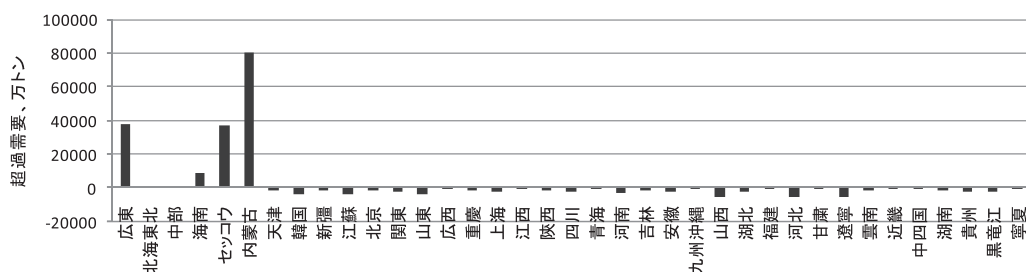


図-5 排出権需給状況

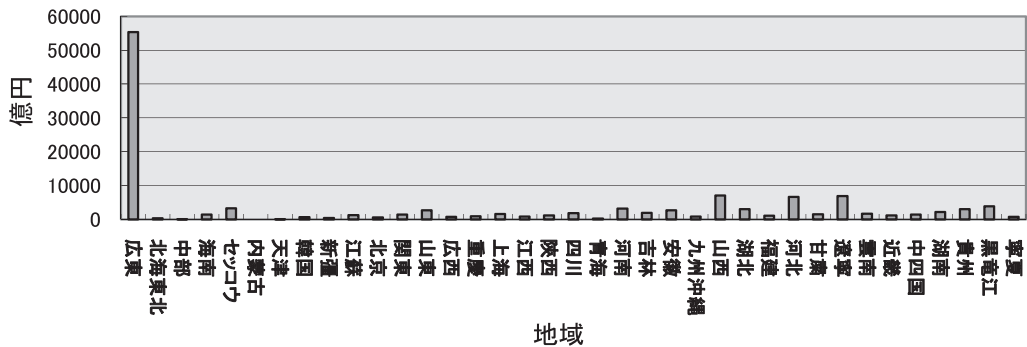
表-5 排出権需給状態

地 域	C- 万トン	地 域	C- 万トン	地 域	C- 万トン
広 東	38,070.61	広 西	-975.382	福 建	-911.801
北海東北	518.303	重 慶	-1,214.8	河 北	-5,314.71
中 部	260.7357	上 海	-2,062.62	甘 肅	-1,183.77
海 南	9,028.629	江 西	-1,019.37	遼 寧	-5,254.36
セッコウ	36,834.22	陝 西	-1,324.17	雲 南	-1,244.2
内 蒙 古	80,540.75	四 川	-2,112.16	近 畿	-877.5
天 津	-1,304.92	青 海	-232.241	中 四 国	-1,040.75
韓 国	-3,668.13	河 南	-3,441.73	湖 南	-1,606.46
新 疆	-1,452.42	吉 林	-1,780.12	貴 州	-2,049.35
江 蘇	-3,679.23	安 徽	-2,309.28	黒 竜 江	-2,645.13
北 京	-1,521.81	九州沖縄	-719.6	寧 夏	-443.265
関 東	-2,100.5	山 西	-5,866.02		
山 東	-3,768.18	湖 北	-2,457.14		

却を行う。とくに山西5,866万トン、河北5,314万トン、遼寧5,254万トンが5,000万トン以上の売却をしていて、売上額が8,000億円を超える。

排出権取引の利益としては、売上代金から削減費用を差し引いたものであり、また購入代金はそのままコストになるのではなく、自地域で自己削減した場合のコストと、排出権購入によりかかるコストの差である節約コスト分になる。得られた総利益が123,634億円であり、地域別には購入地域では広東を除き価格と限界費用の差が小さいので、取引利益は小さい。購入地域の便益は広東55,377億円、セッコウ3,234億円が大きい。売却地域の取引利益は山西7,092億円、遼寧6,887億円、河北6,603億円、黒竜江3,888億円、河南3,153億円と膨大になり、そのほか貴州など4地域で2千億円、吉林など10地域でも1千億円超の取引便益が発生する。

このような極端な結果が出たのは、われわれのモデル設定が排出量の上限を、日本は2020年に実現する目標90年比-25%CO<sub>2</sub>排出水準を、中国は2020年に2000年の排出水準に、韓国は2020年に1991年と同等水準に抑えるというドラスティックな政策を取ったためである。つ



図－6 排出権取引便益

表－6 排出権取引便益

地 域	億円	地 域	億円	地 域	億円
広 東	55,377.6	広 西	731.5	福 建	1,120.1
北海東北	342.7	重 慶	927.9	河 北	6,603.1
中 部	45.6	上 海	1,580.1	甘 肅	1,479.9
海 南	1,395.7	江 西	871.3	遼 寧	6,887.5
セッコウ	3,234.5	陝 西	1,162.7	雲 南	1,637.7
内 蒙 古	0	四 川	1,870.8	近 畿	1,188.1
天 津	15.0	青 海	207.7	中 四 国	1,411.1
韓 国	700.4	河 南	3,153.3	湖 南	2,193.8
新 疆	398.3	吉 林	1,917.0	貴 州	2,983.9
江 蘇	1,224.2	安 徽	2,706.3	黒 竜 江	3,888.8
北 京	558.5	九州沖縄	843.8	寧 夏	728.6
関 東	1,449.1	山 西	7,092.4		
山 東	2,716.0	湖 北	2,987.3		

まりこのようなドラスティックな CO<sub>2</sub> 抑制政策を排出権取引で行うのは、実現可能性が薄いということを示している。

#### 第4章 ま と め

上述したことをまとめると、現時点の日本・中国・韓国各地域の汚染削減目標及び限界削減費用に基づいて、排出権取引の結果、以下の推定値を得た。

##### ①排出権の価格の推定

上述したように CO<sub>2</sub> 排出権取引均衡価格は内蒙古の限界削減費用と等しい1.652012万円/C トン（初期配分は、日本1990年比－25%，韓国1991年比，中国2000年比）であると推定できる。

## ②排出権取引の下で排出権の取引量の推定

排出権取引均衡価格は1.652012万円/トンのもとで、購入は内蒙古61,637万トン、広東38,070万トン、浙江36,834万トン、海南9,028万トンが大きく、日本の地域では北海道東北518万トン、中部260万トンであり、ほかの地域はすべて排出権売却を行う。とくに山西5,866万トン、河北5,314万トン、遼寧5,254万トンが5,000万トン以上の売却をしていて売却が大きい。勿論購入を行うのは、限界費用が高い地域や国で、売却は限界費用が低い地域である。

## ③排出権取引の下で各地域の利益の推定

表で示すように、得られた総利益が123,634億円であり、利益が最も高い地域広東を除けば利益が売却地域に片寄っている。購入地域では広東の55,377億円が大きいだけで、セッコウで3,000億円程度、他の購入地域は少い。大きい売却を行っている地域の取引利益は、山西7,092億円、甘肅6,887億円、を筆頭に大量売却地域は数千億円の利益が上っている。

④限界費用が高く、排出量の上限が高く設定されたため、セッコウ、広東、内モンゴル、北海道東北、中部のみが排出権を購入し、ほかの地域は排出権の売却のみを行うという結果を得たのは、われわれがここで設定した、各取引地域の排出上限、下限の置きかたによる。特に各地域の排出権の購入上限を BAU の2020年排出量の1.0倍以上に拡大することを許せば、個々に掲げた地域以外の限界削減費用が高い地域も購入が可能となり、購入地域数は増加する。

最後に残された問題点について述べる。第一に、本研究においては、日本の地域別 CO<sub>2</sub> 限界削減費用を推定し、時政（2010）時政・王（2011）で推定した中国の地域別限界削減費用の推定後の応用課題として、排出権取引の取引便益を導出した。これは、排出権取引の是非についてのさまざまな議論があることに對し、定量的な側面から回答を出すことを目指したからである。ただし推定したモデルが線形計画法に従ったため、解が端点解になり、各地域の制約条件によって確定されてしまうという問題があった。非線形モデルによる推定が残された問題である。

第二に、CO<sub>2</sub> 削減費用の推定については、われわれのように、機会費用を用いる方法でなく、CO<sub>2</sub> 削減技術のコストをさまざまなエネルギー利用分野から、積み上げて導出することがなされている。これについては、炭酸ガス貯留、燃料電池、太陽光発電などでエポックメイキングな技術が出現するときなどは、とくに重要となる。ここでは、とりあえず、削減費用導出のために、機会費用という近似計算によった。しかし、電力など産業部門別削減費用の導出の際は、削減技術に応じた限界削減費用を利用することに意味があると思われる。

第三に、CO<sub>2</sub> 排出量のデータを導出するにあたり、各国各地域のエネルギー消費データから排出係数を掛けて導出した。これは機会費用方式による推定の場合非エネルギー使用からの排出を含まないため、CO<sub>2</sub> 排出の過小評価、CO<sub>2</sub> 限界削減費用の過大評価につながる。

第四に、各国の通貨表示のデータを円に換算する際為替レートを利用した。これは中国や

韓国の限界削減費用を過小評価する可能性を含む。

第五に、排出権取引の便益に、排出権の売買からの利益のみを取り上げた。つまり排出権価格と自ら削減活動を行う場合の限界削減費用の差額が利益につながるという考えである。しかし、汚染物質の排出はエネルギーの使用量にかかわっており、排出の増大の利益は、単に、削減費用節約という利益ではない。エネルギー使用量の増大とともに得られる地域の経済活動増大分、また排出量削減に伴い、地域の経済活動収縮という損失がある。排出権取引の便益推定の際には、もっと広い観点からの考察が必要である。非線形モデルでの分析が必要となる。

#### 謝辞

本稿の一部内容について第一著者が学会（日本応用経済学会2009年秋季大会、2010年資源・エネルギー学会春季研究報告会）第二著者が、日本応用経済学会2010年秋季大会で報告をした。その際コメントをいただいた、甲南大学植隆宏先生、(株)電力中央研究所永田豊先生および天津商業大学張宏武先生に感謝したい。なお残される誤りは筆者に所属する。

#### 参 考 文 献

- Atkinson, S. E. and T. H. Tietenberg (1982), “The Empirical Properties of Two Classes of Designs for Transferable Discharge Permit Markets”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 9, pp. 101–121.
- Tietenberg, T. H. (2006), *Emissions Trading: Principles and Practice*, Resource For The Future
- 時政 昺 (2010)「韓国・日本各地域の CO<sub>2</sub> 限界削減費用の推定について」人間環境学研究第 8 巻
- 時政 昺・王 鵬飛 (2011)「中国の地域別 CO<sub>2</sub> 限界・平均削減費用の推定と環境政策に対する含意」経済科学研究第14巻第 2 号
- 中野牧子 (2007)「地球温暖化対策としての経済的手段と規制的手段の費用比較」『国民経済研究』190巻 5 号, pp. 73–83.
- 羅 朝揮・時政 昺 (2009)「中国各地域、日本、韓国間 SO<sub>2</sub> 排出権取引の便益推定」時政 昺・細江守紀編『応用経済学の課題と展開』勁草書房, pp. 166–184.
- Yiennaka, A., H. Furtan and R. Gray (2001), “Implementing the Kyoto Accord in Canada: Abatement Costs and Policy Enforcement Mechanisms”, *Canadian Journal of Agricultural Economics* 49, pp. 105–126.