Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-05-10

米国の二酸化硫黄承認証市場の実証研究 : 報酬率規制の影響

有村, 俊秀

(Citation)
国民経済雑誌,191(1):17-29

(Issue Date)
2005-01

(Resource Type)
departmental bulletin paper

(Version)
Version of Record

(JaLCDOI)
https://doi.org/10.24546/00055974

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/00055974

米国の二酸化硫黄承認証市場の実証研究：報酬率規制の影響

有　村　俊　秀

本研究は，米国の二酸化硫黄承認証市場における電力会社の規制遵守方法に関して，公益事業委員会（PUC）の規制が与える影響を，プロビットモデルを用いて実証分析したものである。分析の結果，州政府やPUCによる高硫黄石炭の保護が，燃料の選択を歪めていることが，先行研究と同様，確認された。しかし，PUCの発行した承認証取引におけるガイドライン等が，承認証取引における不確実性の除去に及ぼした影響は確認できなかった。また，報酬率規制のアバーチ＝ジョンソン効果についても，燃料転換への影響を確認できなかった。

キーワード　二酸化硫黄承認証市場，プロビットモデル，PUC，報酬率規制

1　米国のSO_2排出承認証（Allowance）取引制度の概要

1.1　概要

米国のSO_2排出承認証（Allowance）取引制度は，北米大陸の酸性雨の問題に対処するための酸性雨プログラムの一環として導入された。電力会社から排出される二酸化硫黄（SO_2）を効率的に抑制するために創設されたものである。このシステムのもとでは，化石燃料を使用する電力会社はSO_2の排出承認証を付与される。1つの排出承認証は，1トンのSO_2を排出する許可証となる。そして電力会社は毎年SO_2の排出量に見合った分の承認証を提出しなくてはならない。この承認証取引制度はいわゆる排出量取引制度であり，それまで実施された排出量取引制度の最大のものであった。

この排出承認証の取引制度には，2つの段階が存在する。第1フェーズ（1995年～1999年）では，80年代に高硫黄石炭を用いていたために排出量の多い261の発電ユニットが規制対象となる。これらのユニットは“フェーズⅠユニット”と呼ばれる。2000年から始まる第2フェーズでは，化石燃料を用い，25MW以上を発電する発電ユニットのほとんどが規制対象となる。2000年以降のみ規制対象となるユニットは“フェーズⅡユニット”と呼ばれる。SO_2排出量の目標は，第1フェーズの1mmBtu[1)]あたり2.5ポンドから第2フェーズの同1.2ポンドに引き下げられる。この承認証取引制度の導入によって，1980年時点では全米の発電所から年

間1890万トンが排出されていたSO_2が，第2フェーズの終わりまでには年間890万トンに減少する予定となっている。

第1フェーズでは，規制遵守するために様々な手段が用いられた。エネルギー情報局（The Energy Information Administration：以下EIA）（1997）によると，52%のユニットが低硫黄石炭に燃料転換もしくはこれを混合使用し，32%が追加的に承認証を取得した。このほか，10%が脱硫装置を設置し，3%が操業を停止した。

環境保護局（Environmental Protection Agency：以下，EPA）の報告（1996）によると，フェーズIユニットからの総排出量が，1995年には，1990年の870万トンであったものが，440万トンに減少した。EPAは560万トンの承認証を発行したので120万トン分の承認証は将来の使用のためにバンキングされたことになる。EPAによって行われたオークションでは，承認証の落札価格は，1995年の1トンあたり＄132から1996年の＄68.14に下落した。しかし，1999年には価格上昇し，2004年3月オークションでは＄272.82となった（http://www.epa.gov/airmarkets/auctions/index.html）。

1.2　承認証市場の問題点

燃料規制や技術的規制のような直接規制による排出抑制政策と比べ，承認証市場は，排出削減を最も少ない費用で達成することができると理論的には考えられている。承認証取引制度においては，政府は承認証を発行し，排出者は排出量に応じた排出承認証を保有しておく必要がある。ただし，排出者はこれを売却したり，購入したりすることができる。したがって，限界削減費用の低い電力会社は排出を削減し，限界削減費用が高い電力会社に承認証を売ることができる。逆に，限界削減費用が承認証の価格より大きい電力会社は，追加的な承認証を入手することで規制遵守することができる。

二酸化硫黄承認証取引制度については，その承認証価格の予想外の低さもあり，成功とされることも多いが，様々な問題も指摘されている。例えば，Carlson他（2000）は，承認証取引制度の最初の二年間は，期待された効率性が発揮されておらず，同制度による二酸化硫黄削減に要した費用は，適切に計画された直接規制による二酸化硫黄削減費用とあまり変わらないのではないかと指摘している。

なぜ，このような結論が導かれたのであろうか？　原因は，各州政府による様々な承認証取引制度に関する介入や，それぞれの州の「公益事業委員会（Public Utility Commission, 以下, PUC）」によるものだと考えられる。承認証取引制度の規制を受けるほとんどの発電所は，PUCの規制に従わなくてはならないのである。PUCはレートベースに何を含めるかを決定し，それに応じて電力価格を設定している。したがって，PUCは電力会社の行動を歪め，その結果，承認証市場は最低費用で削減目標を達成できない可能性がある。

州やPUCによる電力会社への規制は，より具体的には以下のような理由により，SO_2承認証の市場に対して，影響を及ぼす可能性があると考えられる。

第一に，高硫黄石炭保護政策の影響が指摘されている。(Rose (1997), Rose 他 (1993), Winebrake 他 (1995))。いくつかの州は高硫黄石炭の産地であり，できるだけ地元産出の高硫黄石炭の使用を維持する圧力が存在している。そのため，地元石炭利用の税制面の優遇などが提案された。これらの点に関しては，Arimura (2002) と Ellerman and Montero (1998) において高硫黄石炭保護が電力会社の高硫黄石炭使用を促進したことが確認された。

第二に，Coggins and Swinton (1996) が指摘しているように，地方の環境規制が，限界削減費用と承認証価格が等しくなるのを妨げる可能性がある。同研究は地方の環境規制が承認証市場にとって重要な要因になっていると示唆した。彼らはウィスコンシン州のプラントレベルでの，SO_2排出量の限界削減費用を推定した。彼らのSO_2の限界削減費用の推定値は，平均で，1トンあたり約＄292.70 (1992年のドル価格) となった。1993年のEPAのオークションでは，承認証の平均的な価格は1トンあたり＄156.00であり，彼らの推定結果は承認証の価格と限界削減費用の乖離を示した。彼らは，この差異がウィスコンシン州の地方のSO_2排出規制によるものと言えると主張した。Arimura (2002) は，厳しい州・市レベルの環境規制が，それらの規制を受ける発電所において低硫黄石炭使用を促進していることを実証的に確認した。

第三は，電力価格のレートベースの規則に関する情報の欠如から生じるものである。例えば，承認証の購入費用が電力料金に含めてよい場合には，電力会社は，二酸化硫黄を削減するために低硫黄石炭に燃料転換するほうがより費用がかからないとしても，承認証を購入すると考えられる。しかしながら，Bailey (1996) が報告しているように，多くのPUCが承認証取引に対する政策について不明確であったことが知られている。このような規制ルールに対する不確実性は，SO_2承認証市場の機能に影響を及ぼす可能性がある (Winebrake 他 (1995))。Burtraw (1996) は，「規制ルールの進展に関する不確実性はSO_2承認証市場に対する警戒を引き起こす」と指摘した。そして，Arimura (2002) はPUCの影響を受ける電力会社と，影響を受けない電力会社の違いに注目し，PUCの承認証売買の処理に対する不確実性が承認証購入を減少させ，燃料転換を促進したことを示した。

Baileyはさらに，このPUCによる承認証取引の扱いには，不確実性にレベルの差があるとして，それを三種類に分類した。Baileyの研究では，これらの不確実性のレベルの違いが電力会社の行動に影響を及ぼしたかどうかを検証しているが，電力会社間の限界削減費用の違いを全く考慮されておらず十分とは言えない。

最後に[2)]，アバーチ＝ジョンソン効果 (Averch and Johnson (1962)) の影響が危惧されている。承認証取引制度の規制遵守するためには，燃料転換や脱硫装置の設置によって対応が

可能である。しかし，これらは投資集約的な対応策である。そのため，報酬率規制が資本集約的な汚染削減技術に対する過剰投資を引き起こす可能性が存在するのである（Cronshaw and Kruse (1996), Coggins and Smith (1993), Bohi and Burtraw (1992)）。

以上，先行研究においては承認証市場における潜在的な問題点が理論的に示され，かつ，そのいくつかは実証的に検証された。しかし，最後に指摘されたPUCによる報酬率規制の影響については，実証的に明らかにされていない。また，PUCのもたらす不確実性が承認証市場に与える影響も十分に明らかにされたとは言えない。そこで本研究では，PUC規制の下にある電力会社を対象として，PUCによる報酬率規制が承認証取引制度下の電力会社の遵守行動へ影響を及ぼしたかどうか，さらに，PUCの示したガイドライン等が不確実性低減に効力を持ったかを実証的に分析する。次節では，推定される計量モデルを示す。3節で，分析に用いたデータと推定結果を示し，考察を行う。最後に結論を4節でまとめる。

2　燃料転換に関する計量モデル

2.1　モデル

この節では，推定される計量モデルを示す。前節で述べたように，電力会社の法令遵守の対策方法は85%が，燃料の転換もしくは混合使用と排出承認証の取得による。[3] したがって，ここでは2つの対策方法，つまり，(a)高硫黄石炭の利用（追加的な排出承認証の取得），及び，(b)燃料の転換（余剰承認証の売却あるいはバンキング），とに焦点をあてる。脱硫装置を設置するかどうかという選択は本稿では扱わない。

実際に，脱硫装置を設置するかという選択は，事後的には非経済的と考えられることが多い（Carlson 他 (2000)）。多くの研究者が，脱硫装置に対する投資の選択はPUCの規制や動きによって影響を受けると示唆している（Rose (1997)）。また，6つの発電ユニットは操業を止め，9つはその他の方法を選択した。これらの選択は，本稿の分析対象としない。

本稿では承認証取引制度に対する電力会社の対応を分析するので，発電所の構造に関して言及しておく必要があるだろう。多くの米国の電力会社は，石炭，石油，ガス，原子力を使用するいくつかの発電所を持っている。石炭を使用する発電所は3つの主な部分によって構成される。すなわち，ボイラー，発電装置，煙突である。石炭はボイラーで燃焼され，熱が発生し，それにより水蒸気が産まれ，発電装置に送り込まれ，発電される。このとき，石炭の燃焼の副産物としてSO_2が作られ，煙突を通して大気中に排出されるのである。電力会社は脱硫装置を煙突に設置することにより，SO_2の排出量を削減することができる。フェーズIユニットのほとんどは1つのボイラーは1つの発電装置に接続されており，本論文ではこれを“発電ユニット”と定義することにする。

排出者の多様性をとらえるため，本稿では発電ユニットレベルでの意思決定を分析するこ

ととする。環境規制は発電所レベルではなく，それより小さいボイラーのレベル，つまり，発電ユニットレベルで課される。環境規制は設備の新旧によって適用される規制が異なることが多い。二酸化硫黄の排出規制についても同様であり，一つの発電所においても，その設置年度違いから，ボイラー毎に課されている規制が異なる。酸性雨プログラムでも，同一発電所内においてフェーズⅠ規制を受けるものと，フェーズⅡまで規制を受けないボイラーが併存しているものが存在する。また，発電所は，連邦政府レベルの環境規制だけではなく，州政府・市の地方自治体レベルの環境規制を受けている。これもボイラー単位で異なる。これらの事情を反映させるために，発電ユニットレベルでの分析が必要となるのである。

本稿では，Arimura (2002) のモデルを用いて，報酬率規制の影響，及び，PUC規制の不確実性のレベルの差の分析を行うため，フェーズⅠユニットのフェーズⅠでの意思決定に焦点を当てる。同モデルは，発電ユニットの管理者が，電力需要を満たすように発電するために，高硫黄石炭と低硫黄石炭の燃料の選択を行う費用最小化のモデルである。二酸化硫黄の排出量は，それぞれの燃料タイプに応じて異なる。その排出量に見合う承認証を保有しなければならない。高硫黄石炭を利用すれば承認証が不足し，不足分を購入することとなる。低硫黄石炭を利用すれば，承認証は初期配分だけで排出量に見合う量になり，余剰が発生し，売却あるいはバンキングできるというモデルである。以上，まとめると選択肢は，

a) 高硫黄石炭の利用（不足承認証の取得）

b) 低硫黄石炭の利用（余剰承認証の売却，あるいはバンキング）

となる。

同モデルでは，高硫黄石炭が利用される場合（つまり，不足承認証を入手しなければならない場合）は，発電ユニットiにおいて以下の不等式が成立する時である。

$$\beta_0+MAC_i^F+R_i'\beta^R+K_i\beta^K+A_i\beta^A+\varepsilon_i>0 \qquad (1)$$

ここで，

$$MAC_i^F=\frac{P_i^L-P_i^H}{(\mu_i^H-\mu_i^L)c} \qquad (2)$$

であり，P_i^H，P_i^Lはそれぞれ，発電ユニットiにおける高硫黄石炭，低硫黄石炭の価格（単位：$/mmBtu)，$\mu_i^H$，$\mu_i^L$は高，低硫黄石炭の硫黄含有量（ポンド/mmBtu）を表している。また，cは硫黄を二酸化硫黄量に転換させる定数である（ここで，構造上，$\mu_i^H>\mu_i^L$となっていることに留意が必要である）。つまり，MAC_i^Fは低硫黄石炭の利用により1ポンドの二酸化硫黄を削減するために，追加的に支払わなければならない費用を表している。これはSO_2の限界削減費用に近い概念である。従って，MAC_i^Fを，燃料に関する限界削減費用と呼ぶことにする。全ての電力会社は同じ承認証価格に直面しているため，発電装置iの法令遵守の手段はMAC_i^Fによって左右される。大きなMAC_i^Fのユニットの管理者は追加的な承認証を取得

し，小さなMAC_i^Fのユニットの管理者は低硫黄石炭に燃料転換もしくはこれを混合使用する傾向になることが考えられよう。

しかし，MAC_i^Fは限界削減費用の一部でしかない。限界削減費用には観察不可能なものが一部存在すると考えられる。すなわち，バーナーを換えるときの資本費用や異なるタイプの石炭を用いたときの操業費用の違いである。しかしこれらのデータは入手が困難であり，本モデルでは，観測不可能な誤差項に含まれると仮定されている。

発電容量にはK_iを，発電所の年数にA_iを用いる。さらにベクトルR_iはPUCや州・市政府の規制の観測可能な部分をあらわす変数であり，具体的には次節で説明を行う。

さらに，Arimura (2002) によると，もう一つの選択肢である低硫黄石炭の利用（余剰承認証の売却，あるいはバンキング）が選択されるのは，

$$\beta_0+MAC_i^F+R_i'\beta^R+K_i\beta^K+A_i\beta^A+\varepsilon_i\leq 0 \qquad (3)$$

が成立する場合となる。

観測不可能な誤差項ε_iがの正規分布に従うと仮定すると，上記の意思決定は，二項選択のプロビットモデルとなる。つまり，ユニットの管理者が，高硫黄石炭利用を続けるのか，あるいは，燃料転換（もしくは混合使用）するのかを決定する二項選択モデルである。

なお，上記のモデルにおいては，プロビットモデルのMAC_i^Fの係数の符号が正であることが含意されている。

2.2　規制の変数

この小節では，規制変数ベクトルについて説明する。始めに本論文の分析と Arimura (2002) の違いについて明らかにする。Arimura (2002) は，PUC規制を受ける発電所と受けない発電所の違いに着目し，PUCの規制の不確実性が燃料選択行動に影響を及ぼしたことを明らかにした。しかし，本稿ではPUCの規制下にある電力会社のみを取り上げ，PUC規制の中の違いが燃料選択，さらには，承認証市場参加に影響を及ぼしたかを分析している。

規制を表す第一の変数は，地元の高硫黄石炭の保護を示すダミー変数*PROTECTION*である。このダミー変数は，もしユニットが高硫黄石炭を産出する州に位置していたら1をとるものとする。Rose (1997) や Rose 他 (1993) が述べているように，幾つかの州の行動は，高硫黄石炭産業を保護することを目的にしたものである。Ellerman and Montero (1998) と Arimura (2002) の研究報告では，これらの石炭保護の影響が確認されている。もし，これらの行動が影響をもつとすると，*PROTECTION*の係数は正となる。

PUCによって許容された報酬率（Allowed Rate of Return）を表す変数として，*ROR*を用いる。許容された報酬率が低いと過剰投資が促進され（アバーチ＝ジョンソン効果），燃料転換が促進される可能性がある。つまり*ROR*の係数は，正になると予想される。

PUCの排出承認証取引に対する態度についての変数も加えた。Bailey (1996) によると，PUCの排出量取引の態度は大きく3種類に分類することができる。第一は，承認証取引による損益に関して一般的な指示 (Order) を発表しているPUCである。第二は，承認証取引についてその売上や購入費用の処理に対して，非公式なガイドライン (Guidance) を発行しているPUCである。第三に，これらガイドラインも指示も示していないPUCである。

Bailey (1996) によると，“ガイドライン”，“指示”とも当局の態度や意向を伝えるものではあるが，“ガイドライン”は“指示”とは同じ統制力を持たないとされている。これらPUCの承認証取引の損益に対する態度の違いが，電力会社の承認証への市場参加に影響を与えている可能性がある。そのため，“ガイドライン”を出しているPUCの規制下にある発電所を表すダミー変数 *GUIDE* を，“指示”を表すダミー変数 *ORDER* を，規制を表す変数として加えた。これにより，Arimura (2002) の分析をさらに進め，PUC間の不確実性の違いの影響を分析することができる。

これらの変数が承認証売買に関わる不確実性を除去するものであれば，承認証の購入を促進すると考えられ，係数は正になると考えられる。しかも，Bailey (1996) によれば，ガイドラインの方が指示より強制力が弱いため，*GUIDE* の係数が，*ORDER* の係数より小さくなると考えられる。

以上より，プロビットモデルの規制を示す変数は次のようになる。

$$R_i = \{PROTECTION_i,\ ROR_i,\ GUIDE_i,\ ORDER_i\}$$

3　データと推定結果

3.1　データ

フェーズⅠの発電ユニットレベルでの規制遵守方法は，EIAによる酸性雨プログラムの概要『The Effects of Title IV of the Clean Air Act Amendments of 1990 Electric Utilities: An Update (1997)』に記載されている。この報告では，法令遵守の方法は5つのカテゴリーに分けられている：(1)追加的な承認証の取得，(2)低硫黄石炭への燃料転換，もしくはこれの混合使用，(3)脱硫装置の設置，(4)操業停止，(5)その他。このデータセットの重要な特徴とは，燃料転換と燃料の混合使用を分けていないところであり，本稿でもこの点を反映したモデルを推定している。

基本統計量は表1に示した。遵守手段はダミー変数であり，a)高硫黄石炭の利用（承認証の購入）ならば1，b)低硫黄石炭の利用（承認証の売却あるいはバンキング）ならば0をとるダミー変数である。以下に示すようにいくつかの変数に欠損値があり，標本の数は147となっている。43%のユニットで高硫黄石炭の利用（承認証の購入）が選ばれ，57%のユニットで低硫黄石炭の利用（承認証の売却あるいはバンキング）が選択されていることが示されて

いる。

石炭価格と硫黄含有量のデータセットはEIA423（連邦エネルギー規制委員会（FERC）に提出される報告書）から入手可能である。EIA423には，発電所における全ての石炭購入について，プラントでの石炭価格，熱量，石炭の硫黄含有量等の情報を入手することができる。購入されている石炭は，Gollop and Roberts (1983) に従い硫黄酸化物の排出量3.0ポンド/mmBtu（硫黄含有量では，1.5ポンド/mmBtu）で，低硫黄と高硫黄のタイプに分類した。

そして，高硫黄石炭価格 P_i^H，低硫黄石炭価格 P_i^L と両石炭の硫黄含有量 μ_i^H，μ_i^L は以下のように算出した。

$$P_i^H=\frac{\sum_{\mu_{ij}>1.5}P_{ij}x_{ij}}{\sum_{\mu_{ij}>1.5}x_{ij}},\ P_i^L=\frac{\sum_{\mu_{ij}\leq 1.5}P_{ij}x_{ij}}{\sum_{\mu_{ij}\leq 1.5}x_{ij}},\ \mu_i^H=\frac{\sum_{\mu_{ij}>1.5}\mu_{ij}x_{ij}}{\sum_{\mu_{ij}>1.5}x_{ij}},\ \mu_i^L=\frac{\sum_{\mu_{ij}\leq 1.5}\mu_{ij}x_{ij}}{\sum_{\mu_{ij}\leq 1.5}x_{ij}}$$

ここで，P_{ij}，μ_{ij}，x_{ij}，は，それぞれ第i発電ユニットの属する発電所においてj番目に購入された石炭の価格（$/mmBTU），硫黄含有量（pounds/mmBTU），と熱量（mmBTU）である。

本稿では，1993年のデータを用いたがこれは以下の理由による。第一に，燃料転換に際しては工事や調整期間が必要であったため (Burtraw (1996))，承認証取引規制が開始される前に意思決定されていたことが知られているからである。第二に，1994年と1995年には燃料価格データに欠損値が多いことがある。規制遵守のため，発電所において石炭が完全に低硫黄石炭に転換されると，それ以降においてその発電所で高硫黄石炭が用いられなくなり，その発電所での高硫黄石炭価格を求めることができない。1994年及び1995年のデータに欠損値が多いのは，このためであると考えられる。

発電容量に関する情報は，プラントの管理者によってFERCに提出されたEIA860から入手した。これはメガワットで計測されている。発電所の操業年数についてもEIA860から情報を得た。

報酬率規制（*ROR*）のデータは，Utility Regulatory Policy in the United States and Canada: Compilation 1994-1995 (1995) から入手した。フェーズIユニットを規制対象に持つPUCは20ある。アラバマ州とメリーランド州は報酬率を規定していないため，今回の分析の対象としない。

地方の高硫黄石炭に対する保護をあらわすダミー変数である*PROTECTION*は，もしユニットが次の州に存在する場合に1となるようにする。これらは，ケンタッキー州，イリノイ州，インディアナ州，オハイオ州，ペンシルヴァニア州である。この情報は Ellerman and Montero (1998) と Rose (1997) から得た。

既に述べたように，ユニットが操業停止，もしくは石油，天然ガスに転換する，もしくは

脱硫装置をつけた場合も標本から除外した。プロビットモデルの対象となる標本は高硫黄石炭と低硫黄石炭の使用が観察されたユニットからなる。石炭価格のうちどちらか一方のデータが欠落している発電所もある。また，PUC規制下にあり，報酬率規制のデータが入手可能な発電ユニットが分析対象となるので，標本の数は147である。

RORは最小8.2%から最大11.59%までのばらつきがある。

ガイドラインの発行（*GUIDE*＝1）のあったPUCにある発電ユニットは37%，PUCによる指示が提示（*ORDER*＝1）されたユニットは52%である。両者合わせると89%となり，多くのPUCにおいて，承認証取引に何らかの方向性が示されたことがうかがえる。

表1　基本等計量

変数名	単　位	平　均	標準偏差	最小値	最大値
遵守手段	Dummy	0.429	0.497	0	1
MAC^F	($/sulfur pound)	0.00426	0.209	−0.5216	0.9031
GUIDE	Dummy	0.374	0.486	0	1
ORDER	Dummy	0.524	0.501	0	1
ROR	Percent	9.956	0.790	8.2	11.59
PROTECTION	Dummy	0.687	0.465	0	1
CAP	Megawatt	339.8	229.3	100	952
AGE	Year	31.63	7.803	17	46

いくつかのMAC_i^F（$/1ポンド$SO_2$）は，高硫黄石炭がわずかに低硫黄石炭より高いことによって，負の値をとっていることも分かった。低硫黄石炭は，1980年代の半ばまで高硫黄石炭より高かった。結果として，もともと高硫黄石炭が多くの発電ユニットで用いられていた。しかし，鉄道産業の規制緩和により，西部からの低硫黄石炭の価格が引き下げられたのである（Burtraw (1996)）。いくつかのユニットにおいて，低硫黄石炭の価格が高硫黄石炭の価格より低いため，低硫黄石炭は，酸性雨プログラムがなかったとしても，使われていたかもしれないのである。[4)] これはEllerman and Montero (1998) の知見とも一致している。

州や市レベルの地方自治体による規制もまた考慮しなくてはならない。多くのフェーズⅠユニットは，酸性雨プログラムの他にも，SO_2排出についての州，地方政府の規制を受けている。これらの地方の規制は1995年以前に施行されたもので，依然として効力を持つものであり，いくつかの規制値は，酸性雨プログラムのそれより厳しいものとなっている。これらの厳しい規制は，規制対象となっているユニットに対して燃料転換を十分に強いることができるものである。しかし，州政府の規制は，燃料規制や排出規制など規制の形態が多様であり，プロビットモデルへ一つの指標として取り入れることは困難である。一つの対処法は，地方の環境規制が酸性雨プログラムのフェーズⅠの基準（2.5ポンド/mmBtu）より厳しいものであるかどうかのダミー変数を用いることである。

PUC規制の下にあり酸性雨プログラムより厳しい地方の環境規制を課されているユニットは，フェーズⅠユニットの中に12あった。そのうち燃料転換が5のユニットで行われ，2ユニットで脱硫装置が設置されていた。残りのユニットでは他の手法が用いられた。これらの地方の厳しい環境規制に直面している12ユニットはプロビットモデルの推定から除外した。燃料転換したユニットについては，高硫黄石炭の情報に欠損値があること及び，地方規制のダミー変数が完全にユニットにおける選択肢を予測することから，プロビットモデルの標本から除外した。[5)]

3.2　分析結果

プロビットモデルの推定結果は，表2に示されている。MAC_i^F の係数は正であり，3％有意水準で統計的に有意であった。これは基礎的なモデルと整合的である。つまり，大きな MAC_i^F に直面している管理者は，低硫黄石炭に燃料転換もしくはこれの混合使用をするより，むしろ追加的な承認証の取得をする傾向にあるということである。したがって，一般的に，発電ユニットの管理者は，承認証市場に効率的に反応していると言える。

PROTECTION（地元の高硫黄石炭の保護）の係数は，正かつ有意に0ではないと言える。したがって，もしユニットが高硫黄石炭の炭鉱のある州に位置しているとき，州の圧力によって高硫黄石炭に有利な燃料選択をするように影響を受けていたことが示されている。これは，PUCの費用回収規則が，第1フェーズの初期段階における石炭の選択に影響を与えていたということを示しており，Rose（1997）と一致している。さらに，この結果は Arimura（2002）や Ellerman and Montero（1998）の知見とも一致している。

ROR の係数は予想と異なり負であったが，有意ではなかった。*GUIDE* と *ORDER* の係数も予想と異なりともに負となったが，やはり有意ではなかった。

また，発電容量（*CAP*）や操業年数（*AGE*）の係数も有意ではなかった。

<推定結果>

変　数	係　数	標準誤差	Z値	P値
MAC^F	1.3922	0.6043	2.3	0.021
GUIDE	−0.2650	0.4103	−0.65	0.518
ORDER	−0.5389	0.3767	−1.43	0.153
ROR	−0.0524	0.1416	−0.37	0.711
PROTECTION	0.5434	0.2673	2.03	0.042
CAP	−0.000198	0.000861	−0.23	0.818
AGE	0.0006	0.0256	0.02	0.983
定　数	0.3562	1.5945	0.22	0.823

注1）従属変数1は，高硫黄石炭利用，0は低硫黄石炭利用に対応。
注2）観測数は147で，対数尤度は−91.49。

3.3 考察

プロビットモデルの推計では，報酬率規制のアバーチ＝ジョンソン効果は確認できなかった。しかし，この結果には留意が必要である。アバーチ＝ジョンソン効果は，報酬率規制が過剰投資を促進するというものであるが，本稿の分析対象は，発電ユニットおける燃料転換の有無（とそれに伴う承認証市場への参加）であった。二酸化硫黄汚染削減投資という点では，脱硫装置の設置の投資の方が資本集約的であり，アバーチ＝ジョンソン効果がもし存在するのであれば，脱硫装置設置投資において，その効果が出る可能性は否定できない。

また，推計結果では，PUC の発行したガイドライン（Guidance）と指示（Order）が不確実性を取り除く効果を確認できなかった。これは，Bailey（1996）と符合するものである。Bailey（1996）では，発電所ユニットにおける限界削減費用の差が考慮されていなかった。本稿では，高硫黄石炭と低硫黄石炭の燃料価格差に注目し，発電ユニットにおける限界削減費用も考慮したが，やはり，ガイドライン（Guidance）と指示（Order）が不確実性を取り除き承認証市場を活性化したという結果は得られなかった。

また，上記の議論から明らかであるが，二つの変数が不確実性の除去において，違いがあったかどうかも確認できなった。

これらの結果から，ガイドライン（Guidance）と指示（Order）は承認証市場の活性化に効果を持たなかったと結論できるだろうか。単に，ガイドラインといっても，承認証の売却を促進するものもあれば，購入を促進するものもあるかもしれない。両者とも内容によってその影響が，燃料転換促進あるいは，高硫黄石炭利用維持のどちらにもなる可能性がある。つまり，ガイドライン等の詳細な内容を考慮した分析を行わなければ，これらのアナウンスメントが効果を持ったかどうかは結論付けることは難しい。

4 結　　論

本研究は，米国の SO_2 承認証市場における電力会社の法令遵守方法に関して，PUC 規制が与える影響を実証分析したものである。石炭が低硫黄石炭に転換または混合使用されるのか，もしくは高硫黄石炭を利用し続け追加的な承認証が取得されるのかという，二項選択をプロビットモデルにより分析した結果，州政府や PUC による高硫黄石炭の保護が，燃料の選択を歪めていることが確認された。

しかし，PUC が発行する承認証取引に関するガイドライン等が，不確実性の除去に影響を及ぼしたとは確認できなかった。この点に関しては，ガイドラインが承認証の購入を促進する内容なのか，売却を促進する内容なのか，より詳細な分析が必要であると考えられる。

また，報酬率規制のアバーチ＝ジョンソン効果を，燃料転換については確認できなかった。しかしながら，アバーチ＝ジョンソン効果はより投資を必要とする脱硫装置の設置と関係が

深いと考えられる。また，地元高硫黄石炭保護のため，脱硫装置の設置が進められた可能性もある。今後は，脱硫装置の設置まで含めた意思決定モデルを構築することにより，PUCの承認証取引に関する態度やアバーチ＝ジョンソン効果を，包括的に分析することが望まれる。これらは今後の課題としたい。

注

本研究は，文部科学省科学研究費補助金の資金援助を受けている。また，データ収集・整理においては，環境省の「平成15年度地球環境研究総合推進費」の研究助成を受けた。また，Dallas Burtraw と Paul Sotkiewicz からコメントを頂いた。ここに感謝の意を表したい。なお，本稿に残された誤りは全て筆者のものである。

1) mmBtu とは1,000,000Btu の省略形である。Btu は熱エネルギーの量を測るときに用いられる標準的な単位である。
2) 他の環境政策との関係でEPAと電力会社間で問題が発生し，承認証の価格変動が引き起こされている可能性がある。詳しくは，有村（2001）を参照。
3) 脱硫装置は27ユニットに設置された。
4) いくつかのユニットでは，長期契約のために，1990年代の初めまで価格の高い高硫黄石炭を用いていた。
5) 詳細は Arimura (2002) を参照。地方の規制によるダミー変数は推定のために含めることはできないが，地方の環境規制の承認証市場への影響については，Arimura (2002) で議論されている。

参考文献

Arimura, Toshi H. "An Empirical Study of the U. S. SO_2 Allowance Market: Effects of PUC Regulations." *Journal of Environmental Economics and Management*, 2002, 44(2), pp. 271-289.

Averch, Harvey and Johnson, Leland L. "Behavior of the Firm under Regulatory Constraint." *American Economic Review*, 1962, 52(1), pp. 1052-1069.

Bailey, Elizabeth M. "Allowance Trading Activity and State Regulatory Rulings: Evidence from the U. S. Acid Rain Program." MIT Center for Energy and Environmental Policy Research. Working Paper 96002, 1996, pp. 1-27.

Bohi, Douglas R. and Burtraw, Dallas. "Utility Investment Behavior and the Emission Trading Market." *Resources and Energy*, 1992, 14(1-2), pp. 129-153.

Burtraw, Dallas. "Cost Savings Sans Allowance Trades? Evaluating the SO_2 Emission Trading Program to Date." *Contemporary Economic Policy*, 1996, 14(2), pp. 79-94.

Carlson, Curtis; Burtraw, Dallas; Copper, Maureen and Palmer, Karen L. "Sulfur Dioxide Control by Electric Utilities: What Are the Gains from Trade?." *Journal of Political Economy*, 2000, 108(6), pp. 1292-1326.

Coggins, Jay S. and Smith, Vincent H. "Some Welfare Effects of Emission Allowance Trading in a Twice Regulated Industry." *Journal of Environmental Economics and Management*, 1993, 25(3), pp. 275-297.

Coggins, Jay S. and Swinton, John R. "The Price of Pollution: A Dual Approach to Valuing SO_2 Allowances." *Journal of Environmental Economics and Management*, 1996, 30(1), pp. 58-72.

Cronshaw, Mark B. and Kruse, Jamie B. "Regulated Firms in Pollution Permit Markets With Banking." *Journal of Regulatory Economics*, 1996, 9(2), pp. 179-189.

Ellerman, A. Denny and Montero, Juan-Pable. "The Declining Trend in Sulfur Dioxide Emissions: Implications for Allowance Prices." *Journal of Environmental Economics and Management*, 1998, 36(1), pp. 26-45.

Gollop, Frank M. and Roberts, Mark J. "Environmental Regulation and Productivity Growth: The Case of Fossil-fueled Electric Power Generation." *Journal of Political Economy*, 1983, 91(4), pp. 654-674.

National Association of U. S. Regulatory Utility Commission. *Utility Regulatory Policy in the United States and Canada: Compilation 1994-1995*, Washington DC, 1995.

Rose, Kenneth. "Implementing an Emissions Trading Program in an Economically Regulated Industry: Lessons from the SO_2 Trading Program." In Richard F. Kosobud and Jennifer M. Zimmerman (Ed.) *Market Based Approaches to Environmental Policy: Regulatory Innovations to the Fore*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1997.

Rose, Kenneth; Taylor, Alan S. and Harunuzzaman, Mohammad. "Regulatpry Treatment of Electric Utility Clean Air Act Compliance Strategy, Costs, and Emission Allowances." technical report, National Regulatory Research Institute, 1993.

US Energy Information Administration. *The Effects of Title IV of the Clean Air Act Amendments of 1990 on Electric Utilities: An Update.* DOE/EIA-0582(97), Washington DC, 1997.

US Environmental Protection Agency. *Compliance Report: Acid Rain Program.* EPA 430-R-97-025, Washington DC, 1996.

Winebrake, James J.; Farrell, Alexander E. and Bernstein, Mark A. "The Clean Air Act's Sulfur Dioxide Emissions Market: Estimating the Costs of Regulatory and Legislative Intervention." *Resource and Energy Economics*, 1995, 17(3), pp. 239-260.

有村俊秀「米国二酸化硫黄許可証市場の研究における課題」『上智経済論集』第47巻 第1，2号合併号 pp. 87-95. 2001年.