

# 産業組織論 レポート課題 7

経済学研究科 23A18014 丹治伶峰

Fowlie, Reguant and Ryan (2016) “Market-Based Emissions Regulation and Industry Dynamics,” *Journal of Political Economy*

## 1 目的

温室効果ガスの排出規制が施行されている、かつ完全競争の仮定が満たされない市場の産業構造推定を行うための計量経済学的方法を検討する。その上で、4つの排出規制政策に対する企業意思決定の変化をシミュレーションし、それぞれによる社会的余剰の減少と、排出を削減することによる恩恵との変化を考察し、政策提言を行う。

## 2 新規性

貢献の一つに、動学モデルにおける構造推定の手法を、環境保全のための規制に対する産業の行動選択について応用した点がある。動学モデルにおける構造推定の手法の発達にも関わらず、同様の先行研究はほとんど行われてこなかった。また、先行研究で指摘されてきた、市場の寡占状態から生じる歪みの問題を伴うデータについて、外部性を内部化する政策の効果を識別する方法を示している。推定とシミュレーションによって得られた政策提言は、環境保護政策の効率性・公平性を推定し、適切な政策をデザインするための示唆を与えている。

## 3 産業の説明

■Industry Portland のセメント産業は非常に寡占的な市場で、生産量上位の5企業が全生産量の54%を占めている。需要は主にコンクリートの調合産業によるもので、その需要は経済状況や建設事業の有無によって周期的に変動する。また、コンクリートに代わる選択肢としては、アスファルトなどの原料が代替品として用いられている。

アメリカ国内に関しては、製品の陸路輸送に係るコストが大きいことから、生産工場が海岸線に近いエリアに散在する傾向がみられる。また同様の理由から、輸入によって賄われる需要量も大きい。海路輸送の技術革新から、アメリカのセメント輸入量は増加傾向にあり、1980年から2006年の間に、輸入が全体需要に占める割合は3%から25%にまで増加した。主な輸入先はカナダで、これにより統計には表れない温室効果ガスの排出を引き起こしている可能性が指摘されている。

セメント生産は、操業のために多量の温室効果ガスの排出を必要としており、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>などの指定物質に限れば発電設備に続いて2番目に多くの汚染物質を放出している産業である。また、CO<sub>2</sub>

の排出量は産業の中でも最も排出量が多い。二酸化炭素の排出は、セメントの原料を合成するために行う化石燃料の燃焼によって起こる割合が最も高く、その燃焼効率も窯のタイプによって大きく異なる。

削減のための方策としては、古い窯を新しいものに交換することによる燃焼効率の改善、セメントに代わる別の建築資材への代替、燃焼工程に用いる燃料の変更による効率の改善が挙げられている。また、長期的な削減方法として、発生した二酸化炭素の分解技術の確立にも触れられている。

■Market Regulation 市場レベルでの排出削減の取り組みについて、この論文では4つの方法を挙げている。

まず前提として、分野を越えた国際的な排出量の上限設定を行う。この上限に基づいて、制限なく排出を行うことが出来る上限値(排出権)が与えられる。この排出権は、市場で自由に取引を行うことができるものとする。

その上で議論されるのが、排出権の分配をどのようにして行うかという問題である。この論文では、4つの方法について議論・推定を行う。

1つめは一様価格オークションによって分配を求める方法で、理論上は排出に対して課税を行う場合と同様になる。この方法には stakeholder からの反発があるため、多くの施策で行われているのが2つめの無料配布方式である。この制度の下では、企業の過去の生産活動に基づき、無料で排出権の分配が行われる。3つめは grandfathering と呼ばれる方法で、全体の生産量をもとに一定期間ごとに排出権の分配量を更新していくものである。これにより、輸入によって起こる排出への寄与も考慮することが可能になる。4つめの BTA は、セメントの輸入に直接課税を行う方法で、同じく海外での排出代行を防ぐことが期待される。

## 4 データ

企業の特性と意思決定に関するデータは US Geological Survey (USGS) と Portland Cement Association (PCA) から取得する。USGS はポートランドのセメント産業に属する全ての国内企業のデータを施設レベルで収集したデータセットで、これを窯レベルで公開しているのが PCA である。具体的には窯の所在地、窯のタイプ、原油と操業キャパシティに関するデータを持っている。また、企業の参入・退出、企業規模の変遷に関するデータもここから得られており、25年間における企業の参入退出、及び保有する窯の増減に関するデータを取得する。データの信頼性を担保するため、USGS の aggregated data との相互参照を行う。

市場の区分けについては、USGS ではなく、EPA によるものを用いる。EPA のものの方が市場の区分けが詳細であるため、USGS から取得した生産量等に関するデータは、それぞれの市場に存在する窯の数に応じて分配したものを用いる。また、シミュレーションを行う際は、企業数が5以下の市場のみを対象にする。

このデータによると、市場内に存在する企業数や温室効果ガスの排出量には、市場間で隔たりがあった。また、市場に入ってくる輸入製品の量にも市場間の特性が見られ、海岸線に近いエリアの市場は輸入量が大きかった。

また、需要推定における操作変数として、US Energy Information Administration と US Census Bureau's County Business Patterns から、弾力性、石油価格、天然ガス価格、賃金に関するデータ

を取得する。価格は 2000 年を基準とした実質価格を用いる。

## 5 モデル

■**静学モデル** はじめに、筆者は静学モデルによって、貿易のある独占市場における企業の意思決定と、外部性の内部化がもたらす社会的余剰について分析している。ここから、環境外部性が生じる市場において政府が生産規制を行うと、(1) 輸入品が市場に占める割合が増加することによる余剰の減少 (rent leakage)(2) 温室効果ガスの排出を抑制することによる余剰の増加 (3) 規制を受けない海外市場の排出増加による余剰の増加 の 3 つの影響が発生し、結果として社会的余剰が減少することを確認している (second-best)。

これを踏まえ、筆者は続いて生産者への補助金政策について評価している。補助金は国内生産者の供給増加を促し、結果外部性を内部化した状態における最適な価格を実現することができる。一方で、この方法は、国内生産者に比べて限界費用の高い輸入製品による供給を必要としているため、分配の効率性の問題は依然として残存する。この問題に対処するための方策を求めるのがこの論文の意図であると言える。

より信頼性の高いシミュレーションを行うための追加的な仮定として、上記のモデルを寡占市場に修正し、さらに動学的なモデルによる分析を行う。動学モデルにおいては、企業が生産や投資の計画を修正することができる一方で、不完全競争市場における排出規制を動学モデルで分析することで、これが引き起こす効率性の低下や、国内企業の退出行動が起こることによる輸入の増加などの悪影響を記述することが出来る。

■**動学モデル** 無限期間・離散時間 (年刻み) における動学ゲームによる分析を行う。市場に存在する企業数の最大  $\bar{N}$  で、各企業が生産キャパシティに関する state  $s$ 、及び生産量あたりの温室効果ガスの排出量を規定する state  $e$  に基づいて意思決定を行う。 $e$  は具体的にはその企業が持つ窯のタイプを表し、古いタイプから順に wet, dry, state-of-the-art dry の 3 つの値を取る。

各期における企業の意思決定は次の通り。

1. 既存企業がその期の退出コストを元に、市場から退出するかどうかを決定する
2. 企業が投資コストを観察する。市場に参入していない潜在参入企業は、さらに参入のためのコストも受け取る。
3. 既存・潜在企業が capacity への投資・参入に関する意思決定を行う
4. 既存企業がその期の生産量を決定する。

退出を決めた企業もその期までは操業を行うものとする。また、capacity への投資は実現までに 1 期分のラグがあると仮定している。

### 5.1 Static Payoffs

同質材市場  $m$  における、constant-elasticity aggregate demand は価格  $P_m$  によって

$$\ln Q_m(P_m; \alpha) = \alpha_{0m} + \alpha_1 \ln P_m$$

で与えられる。一方、輸入製品の供給は

$$\ln M_m(P_m; \rho) = \rho_0 + \rho_1 P_m$$

で与えられ、国内企業への需要は、両者の差によって定義される。各期において、企業はその期の state を元に、静学的な利潤  $\bar{\pi}$  を最大化する生産量  $q_i$  を選択する。

$$\bar{\pi}(s, e, \tau; \alpha, \rho, \delta) \equiv \max_{q_i \leq s_i} P \left( q_i + \sum_{j \neq i} q_j^*; \alpha, \rho \right) q_i - C_i(q_i; \delta) - \phi(q_i, e, \tau)$$

$C(q_i; \delta) = \delta_{i1} q_i + \delta 1(q_i > v s_i)(q_i/s_i - v)^2$  は生産に係るコスト関数で、生産量に関わらず一定のコストを表す第一項と、キャパシティの限界に近づくにつれて逓増する第二項に分解される。一方、 $\phi(., ., .)$  は環境規制によって生じるコストであり、この項の表現形によってシミュレーションを行う政策を識別することが出来る。 $\tau$  は二酸化炭素の排出コストを規定する外生変数で、この論文では技術革新による変動を考慮せず、分析を行う全ての期間において一定であると仮定する。

それぞれの政策における関数形の仮定は以下の通り。

### 1. Emissions tax or emissions trading with auctioned permits

$$\phi(q_i, e_i, \tau) = \tau e_i q_i$$

一つ目の政策は、排出権の価格を、オークションによって決められた  $\tau$  に固定し、この価格で排出権取引を行う方法である。この場合、企業は  $\tau$  を所与として、排出量に対して一定のコストを負担する。

### 2. Grandfathering

$$\phi(q_i, e_i, \tau) = \tau(e_i q_i - A_i)$$

Grandfathering は、各企業の過去の capacity から、一定量の排出権を無料で割り当てる方式である。与えられた排出権は価格  $\tau$  で取引され、従って企業はその排出権を上回る分の生産について、従量コストを支払うことになる。無料で割り当てられる排出権は  $A_i = \Psi_g \cdot e \min\{s_{i0}, s_i\}$  で与えられ、値は過去の capacity に依存する。一旦市場から退出すると、その企業に与えられる排出権はなくなり、また新規参入した企業には、無料の排出権は与えられないものとする。

### 3. Output-based allocation updating/rebating

$$\phi(q_i, e_i, \tau) = \tau \cdot (e_i - \Psi_d) \cdot q_i$$

3つ目は、その期の生産量に応じて、負担したコストに対する払い戻しを行う方法である。 $\Psi_d$  は払い戻しの割合を決めるパラメータである。この方法は、生産に対する補助金として捉えることも出来る。

### 4. Border tax adjustment with auctioned permits

$$\phi(q_i, e_i, \tau) = \tau e_i q_i$$

4 つめは BTA と呼ばれる方法で、国内企業に関してはオークション価格による方法と同じ  $\phi$  が与えられる。ここではそれに加えて、海外からの輸入に対する課税を行う。

$$\ln M(P; \rho, \tau) = \rho_0 + \rho_1 \ln(P - \tau e_M)$$

この結果、同じ価格条件における国内企業に対する需要量に変化し、これが企業行動の変化をもたらす。

以上から、各期における企業の利潤が決定される。

## 5.2 Dynamic Decisions

次に、企業の参入・退出と投資の意思決定に関するモデルを定義する。

capacity に対する投資のコスト関数は、平均  $\mu_\gamma$ 、分散  $\sigma_\gamma^2$  の正規分布  $F_\gamma$  に従う fixed cost、増設を行う場合・縮小を行う場合それぞれで異なる 2 次形式の可変費用で表現される。

$$\Gamma(x_i; \gamma) = \gamma_{i1} + 1(x_i > 0)(\gamma_2 x_i + \gamma_3 x_i^2) + 1(x_i < 0)(\gamma_4 x_i + \gamma_5 x_i^2)$$

一方・市場に参入・退出を行う際のコストは

$$\Phi(a_i; \kappa_i, \phi_i) = \begin{cases} -\kappa_i & \text{entry cost} \\ \phi_i & \text{exit cost} \end{cases}$$

で与えられる。 $\kappa$  および  $\phi$  の値はそれぞれ既知の分布  $F_\kappa, F_\phi$  によって定まるが、その実現値は企業のみが観察できるものとする。exit cost は正負いずれの値を取る可能性もある。

以上から、企業の各期の利潤は

$$\pi_i(a, x, s, e; \theta, \tau) = \bar{\pi}_i(s, e; \alpha, \rho, \delta, \tau) - \Gamma(x_i; \gamma_i) + \Phi(a_i; \kappa_i, \phi_i)$$

で定義される。 $\theta$  はパラメータの集合である。この利潤関数を元に、parametric approximation を用いて Markov Perfect Nash Equilibrium を導出する。

## 5.3 Welfare Measures

総余剰は、国内の消費者・企業・政府の総余剰  $w_1$ 、そこから温室効果ガスの排出による損失を引いた  $w_2$ 、更に輸入によって海外に転嫁している分の排出の損失を減じた  $w_3$  の 3 つで記述される。

$$\begin{aligned} w_1(s, e, \tau; \theta) &= \int_0^{Q^*} P(z; \alpha) dz - P(Q^*; \alpha) Q^*, \\ &\quad + \sum_i (\alpha^*, x^*, s, e, \tau; \theta) \\ &\quad + \sum_i \phi(q_i^*, e_i, \tau) + \tau e_M M \\ w_2(s, e, \tau; \theta) &= w_1(s, e, \tau; \theta) - \tau \sum_i e_i q_i^*, \\ w_3(s, e, \tau; \theta) &= w_2(s, e, \tau; \theta) - \tau e_M M(P^*; \rho) \end{aligned}$$

$w_1$  の第三項は海外からの関税収入で、BTA を採用しているときのみ正の値を取るが、その他の政策においては 0 を取る。

政策を行わない際の余剰を  $w_0(s, e, \tau; \theta)$  とし、これを baseline とすると、現在価値で測った期間中の総余剰は

$$Wi = \sum_{t=1}^T \beta_S^t (w_{it}(s, e, \tau; \theta) - w_{0t}(s, e, \tau; \theta))$$

と定義される ( $i = 1, 2, 3$ )。  $\beta_S$  は割引因子である。

## 6 推定

### 6.1 Static Parameters

■Demand 需要量の自然変数を被説明変数、対数価格と人口・マクロ経済指標などの demand shifter を説明変数とする回帰式を推定する。操作変数には石油・天然ガスの価格、電力価格と賃金を用いる。推定は最尤法によって行う。推定された需要の弾力性は、導入する説明変数によって-0.9 から-2.0 の間で推移した。

■Imports 需要推定と同様に、操作変数法でそれぞれの市場における対数輸入量を回帰する。説明変数は輸入セメントの平均価格で、操作変数にはその州の生産量・建造物の新たな着工数、その州の失業率を用いる。その他の供給変動要因として、輸送に係る費用、燃料価格を導入している。また、地域ダミーによって市場間の固定効果をコントロールする。供給弾力性の推定値は 2.5 から 3.0 を取った。

■Production Costs 推定された需要・輸入のパラメータから、クールノー寡占モデルにおける国内企業のコスト関数を、(1) 実際の供給量と予測値の差分 (2) 均衡における限界費用と限界利潤の差分の二つのモーメントを用いた GMM 法で求める。1 企業が同一の市場において複数の工場を稼働させている場合は、それぞれの合計の capacity を有する一つの企業とみなして推定を行う。セメント 1 トン当たりのコストの推定値は\$47 で、企業の利潤率は 37% と推定された。この結果は、大手の生産者が報告している利潤や、EPA によるコストの推定値とも近く、推定が現実から大きく逸脱しないことが確認された。

### 6.2 Dynamic Parameters

動学パラメータの推定は 2 段階に分けて行われる。1 段階目では、state variable を投資と市場への参入・退出についての意思決定に写す policy function を推定する。続いて 2 段階目では、forward simulation によってパラメータを推定する。

■Policy Functions 既存企業の capacity に関する意思決定は

$$s_{t+1} = \begin{cases} T(s_t) & \text{if } s_t < T(s_t) - B(s_t) \text{ or } s_t > T(s_t) + B(s_t) \\ s_t & \text{else} \end{cases}$$

で与えられる。 $T(\cdot)$  および  $B(\cdot)$  はそれぞれ企業の capacity target と、実際に adjustment を行う閾値となる乖離を表す関数で、それぞれ線形回帰によって推定される。

$$\ln T_{imt}(s) = \eta_1 + \eta_2 1(ientrant) + \eta_3 [1 - 1(ientrant)] \ln \text{Capacity}_i + \eta_4 MT_m + \epsilon_{T_{imt}}$$

$$\ln B_{imt} = \eta_5 + \eta_6 \ln \text{Capacity}_i + \eta_7 MT_m + \epsilon_{B_{imt}}$$

$MT$  は市場の混雑度を示す変数で、長期的に実現可能な市場サイズからの逸脱を示す。 $T(\cdot)$ 、 $B(\cdot)$  の値はそれぞれ企業の参入・既存企業の capacity adjustment が起こった時の capacity の値、その capacity adjustment の大きさによって観察される。推定結果は「market tightness が上がると adjustment が起こりにくくなる」「新規参入企業はより大きな capacity を以て市場に参入する」という予想と整合的であった。

一方、参入・退出の意思決定は、上記のモデルの被説明変数をそれぞれのイベントが起こったか否かの二値変数を取るプロビット回帰によって推定される。市場には常に最低でも 1 社の potential entrant が存在すると仮定する。推定結果から、market tightness が上昇すると新たな参入が起こる確率が大きく低下すること、逆に退出が起こる確率が上昇すること、また自社の capacity が小さな企業はより市場から退出しやすいこと、そして参入・退出のいずれの行動も極めて起こりにくい事象であると推定された。

■Forward Estimation 時間割引率は  $\beta = .90$  とする。初めに forward simulation を用いて、すべての企業が均衡戦略を取った場合の将来の outcome についての期待値を計算し、それから企業の戦略を実際に観察されたものと符合するようなパラメータの値を求める。具体的には、実際に観察された戦略と、4 つの代替的な戦略の下での continuation value を、continuation value が必ず正値を取る、参入・退出を行う企業の continuation value はしない場合の value に等しい、という仮定を置いた上で導出する。これによって、利潤関数に線形で導入されているパラメータを導くことができる。

capacity の維持費用は生産 1 トン当たり \$197 で、先行研究とほぼ同じ推定値が得られた。capacity の変更についての固定費用の平均は \$48.5M、標準偏差は \$28.5M と推定された。

参入コストの推定値は平均 \$75M、標準偏差 \$27.9M で、実際に観察された参入確率近傍である 2% 点の参入コストの値は \$17.6M であった。一方、退出の固定費用の推定値は平均 -\$152M、標準偏差はその約半分で、退出する企業はそれによって正の利潤を受け取っていること、したがって outside option は比較的魅力のある選択肢であることが分かった。

### 6.3 Goodness of fit

実際に観測されたデータ、および Bajari et al. のモデルで行ったシミュレーションの値との比較を行う。Bajari et al. のシミュレーションは実際のデータから policy function を推定しているのに対し、この論文のシミュレーションはモデルの均衡から推定を行っている。市場規模に関する推定はどちらのモデルも実際の観測値に近い値を出しているが、Bajari et al. の方法が投資を過小評価している一方で、この論文の方法では規模の縮小が過大に見積もられている。また企業の参入・退出に関する推定は 2 つの推定の両方を考慮に入れる必要があるとしている。

## 6.4 Environmental Parameters

最後に、環境への損失に関わるパラメータを推定する。温室効果ガスの排出に伴う単位当たり損失、社会的な割引因子、窯のタイプごとの温室効果ガスの単位当たり排出量を推定し、それぞれの政策について、最適なパラメータを設計するための分析を行う。現状の法規制の下では、 $\tau$ 、 $\beta_s$  の値はそれぞれ\$5-\$65、0.97 と推定された。

## 6.5 Policy Parameters

Grandfathering における無償の排出権の割合を、その企業の capacity の 42.5% とすると、排出量はベースラインのおよそ半分になった。また、排出量に応じてリベートを行う政策について、ヨーロッパで実際に導入されていた 0.716 permit per metric ton とすると、法令遵守のためのコストは旧タイプの窯で 62%、新しいタイプの窯で 77% 削減されると推定された。

# 7 シミュレーション

シミュレーションの比較対象となるベースラインは、カリフォルニア州の排出規制に関する法制度が一切存在しない状態とする。また、動学モデルを用いる意義を検討するために、静学モデルによるシミュレーションとも比較を行う。静学モデルにおいては、企業は生産量のみをコントロールし、その他の要素はすべて所与と考えて行動するものとする。

### ■Simulated Market Outcomes

**Production capacity** それぞれの政策を導入した時の  $\tau$  の値に対する capacity の反応を観察する。 $\tau$  の値の増加による capacity の変動が最も大きいのはオークションによる分配で、 $\tau$  の増加とともに規模の縮小・市場からの退出を行う企業が増加した。BTA を導入すると、減少はやや緩やかになった。

一方、Grandfathering を導入すると、capacity はある点から上昇に転じた。静学分析では Grandfathering とオークションの方法は全く同じものと認識されるが、動学分析を導入することで両者が異なる行動を導くことが示唆された。初めに無償で分配される排出権は、 $\tau$  の値が増加すると相対的な価値が上昇する。規模を縮小したり、市場から退出するとこの配分は減少・没収されるため、規模を保持するインセンティブが働いたと考えられる。

また、生産量に応じたりべートを行う方法も大きな変化が見られた。平均的な企業にとって、リベートによる実質的な生産補助金は、二酸化炭素価格の負担額を 4 分の 1 にまで抑えるため、capacity の縮小が大きく抑制される。

**Cement prices** 静学モデル・動学モデルのいずれの場合も、 $\tau$  の値が上昇すると、企業はそれを価格に転嫁する行動がみられる。特に影響が大きいのは BTA で、これは国内・海外のどちらの企業も排出によるコストを負担していることが原因である。

また、静学モデルにおいては、動学モデルに比べ、価格・供給量の変化が小さく推定され、 $\tau = \$15$  まではほとんど変化が見られなかった。これは、静学モデルにおいては、capacity などの state を変更することが出来ないと仮定されるためである。逆に動学モデルにおいては小さな  $\tau$  でも価格転嫁



が観察され、寡占モデルによる市場の「歪み」の影響が顕現する。 $\text{capacity}$  を高いレベルで維持する **Grandfathering** は価格については大きな抑制効果を示さなかった。これは、高い  $\tau$  において、企業がその規模を持て余していることが要因である。

**Domestic emissions** 国内企業の排出量を最も強く抑制するのはオークションによる分配で、国内企業が外部性の内部化によるコストについて何の補償も受け取らないことも整合的な結果である。

**BTA** を導入すると、国内企業の生産量・排出量の減少は抑制された。

静学モデルでは、**Grandfathering** とオークションは同じ推定結果を導いた一方で、動学モデルでは **Grandfathering** の方が高い生産量を予測した。直感的な説明としては、各地域において実際に稼働する企業数が増加することが考えられる。

**Emissions leakage** **Emission leakage** が最も大きくなったのはオークションによる分配で、輸入が賄う需要の割合が上昇した。**Grandfathering**、リベートはそれぞれこの効果を抑制した。一方、逆に海外からの輸入を減らすと推定されたのが **BTA** で、環境維持のコストを海外企業に負担させることで、インセンティブを減少させた。

**Market outcomes over time**  $\tau$  を固定した時の  $\text{capacity}$  と  $\text{production}$  の変化をシミュレーションする。この論文では技術革新を想定しないため、どの政策を取った場合も、反応は速やかに起こり、そのまま安定する。**Grandfathering** では投資の縮小と無料の排出権がトレードオフとなるため、やや収束が遅くなる。また、長期的にはオークションによる分配と **Grandfathering** との差が大きくなり、オークションの方がより強力に企業の退出・縮小を促すことが分かる。

## 8 コメント

この論文の方法は、 $\phi$  にさまざまな関数形を仮定することで、どんな政策についても同様の手順でパラメータの推定、及びシミュレーションを行うことが可能である。