

マルチエージェントシミュレーションによる複数の再生可能エネルギー促進政策の影響分析

03100980 吉川歩
指導教員 西野成昭 准教授

1. 背景と目的

化石燃料から再生可能エネルギーへのエネルギー源の移行は、エネルギー不足の問題や地球温暖化問題に対処するために不可欠であるとされており、各国では再生可能エネルギーへの移行促進のための様々な政策が導入されている。

しかし、様々な再生可能エネルギー促進政策が混在する中、個々の政策についての研究は行われてきたが、複数の政策が同時に実行された場合の効果の研究については、比較的数量が少ない。

その中で Fischer et al. は主要政策を 6 つ取り上げ、それぞれの政策の効果をいくつかの指標を用いて分析した[1]。その過程で、彼らは 6 つの政策の内、固定価格制の政策である 4 つを統合的に扱った電力市場のモデルを使用しているが、固定価格制の政策も含めたモデルは提示していない。

そこで本研究では、Fischer et al. のモデルを拡張し、6 つの政策全てを対象とする複数政策モデルを構築し、複数の再生可能エネルギー促進政策の影響の分析を行った。

2. 研究の手法

本研究では手法として、均衡分析とマルチエージェントシミュレーションを採用した。

まず、ゲーム理論の均衡概念に基づいた均衡分析を行い、複数の再生可能エネルギー促進政策が再生可能エネルギーからの電力量と消費者余剰に与える影響を調べた。そして、均衡分析で得られた理論解に至るまでの動的な過程を分析するためにマルチエージェントシミュレーションも行った。

3. 分析の指標

本研究では、再生可能エネルギー促進政策の影響を分析する指標として、再生可能エネルギーから発電された電力量と消費者余剰の 2 つを採用した。

まず、再生可能エネルギーの普及を促進させるという、再生可能エネルギー促進政策の第一の目的に着目し、再生可能エネルギーから発電された電力量に注目した。再生可能エネルギーから発電された電力量が増えると、再生可能エネルギーの普及が促進されるとみなす。

また、再生可能エネルギーを普及する際に課題と指摘されるのがコストの高さであり、考慮すべきこととして消費者の負担の軽減が考えられる。ここでは分析の際の指標として消費者余剰を取り入れ、消費者余剰が増えると、消費者の負担が軽減されるとみなす。

4. 複数政策モデル

ここでは、Fischer et al. のモデルを拡張し、均衡分析と

マルチエージェントシミュレーションを行った複数政策モデルの概要を説明する。また、複数政策モデルに時間軸の要素を取り入れてマルチエージェントシミュレーションを行ったモデルについても説明する。

4.1 複数政策モデル

本モデルの構成要素として、それぞれ石油/石炭(F)、天然ガス(G)、原子力(B)、再生可能エネルギー(R)をエネルギー源とする 4 者の電力生産者をまず設定する。それぞれの電力生産者は別々の電力供給関数と利得関数を保有する。一方、電力消費者としては消費者全体として 1 つの需要関数を持つように設定する。

次に、分析対象とする 6 つの再生可能エネルギー促進政策として、排出税、化石燃料税、再生可能エネルギーへの補助金、研究開発への補助金、Renewable Portfolio Standards (RPS)、Emissions Performance Standards (EPS)を採用した。

各政策

排出税は石油/石炭と天然ガスを使用する生産者に対し、それぞれのエネルギー源の汚染度 μ_f 、 μ_g と電力量の積である排出量に比例した額の税金が課される制度である。また、化石燃料税は石油/石炭と天然ガスを使用する生産者に対し、それぞれの生産した電力量に比例した額の税金が課される制度である。

再生可能エネルギーへの補助金は、再生可能エネルギーを使用する生産者に対して、その電力生産量に比例した額の補助金が支給される制度である。

研究開発への補助金は、再生可能エネルギーを使用する生産者に対して、一定の額の補助金を支給する制度である。

RPS は石油/石炭と天然ガスを使用する生産者に対して、その電力生産量に対して一定の割合の電力量を、再生可能エネルギーからの電力量から買い取らなければならない制度である。

そして最後に、EPS は石油/石炭と天然ガスを使用する生産者に対して、汚染度が 0 である原子力や再生可能エネルギーからの電力を購入させることで、供給する電力全体の汚染度を一定の値までに抑えることを義務付ける制度である。

各エージェントの行動

均衡分析においては、各生産者の供給関数と、需要関数から、電力価格や各生産者の電力生産量、そして消費者余剰が導出される。

一方、マルチエージェントシミュレーションでは、各生産者が電力価格と、その価格によって利得が最大化される電力生産量を提示する。それら提示価格と生産量

と、消費者の持つ需要曲線をもとに、図 1 の様に電力価格と各生産者の電力生産量が決定する。なお、各生産者は Q 学習によって提示価格の学習を行う。

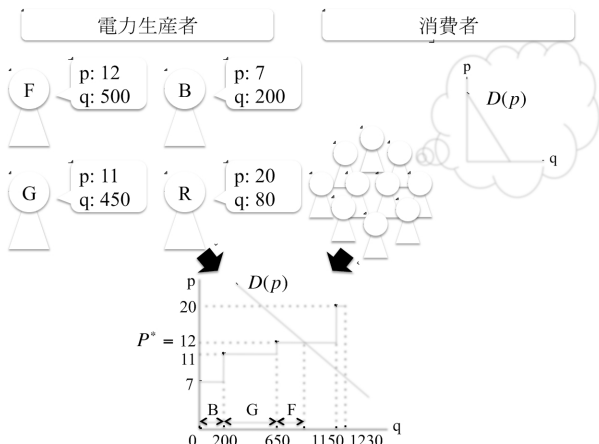


図 1. マルチエージェントシミュレーションでの各エージェントの行動

4.2 時間軸を導入したモデル

前述の通り、複数政策モデルに時間軸の要素を取り入れたモデルについてもマルチエージェントシミュレーションを行い、各指標が均衡に至るまでの挙動についての分析も行った。

複数政策モデルでは、各生産者の利得関数のうち技術進歩によるコスト削減表す項は式(1)の様に、外生的に与えられている。なお、 \bar{K} は定数、 t は時間である。

$$-(\bar{K}(t^{0.5} - 1))^{0.5} \quad (1)$$

しかし、時間軸を導入するモデルでは、式(2)、(3)の様に変更される。なお、 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ は定数、 π_{t-1} は前回取引にて得た利得、 K_t は t までに蓄積した技術量とする。

$$\begin{cases} \bar{\beta}\bar{\alpha}(\pi_{t-1})^{0.5} - K_t^{0.5} & (2) \\ K_t = K_{t-1} + \bar{\alpha}(\pi_{t-1})^{0.5} & (3) \end{cases}$$

ここでは、前回取引にて得た利得に応じて、式(2)の第 1 項の研究開発費や、技術進歩の度合いが決定される、内生的な技術進歩が表現されている。

時間軸を導入したモデルとして 3 つ用意した。つまり、内生的な技術進歩のみを取り入れたモデルを時間軸モデル、内生的な技術進歩に加え需要関数が増加していくモデルを需要増加モデル、そして内生的な技術進歩に加えて需要関数が減少していくモデルを需要減少モデルとし、マルチエージェントシミュレーションを行った。

5. 分析結果

ここでは、均衡分析とマルチエージェントシミュレーションによって得た結果の一部を載せる。図 2 のシミュレーション結果からは、RPS の政策値を増加させ、または EPS の政策値を減少させて規制を強めると、再生可能エネルギーからの電力量が減少してしまい、両政策の強化は逆効果となってしまうことがわかる。

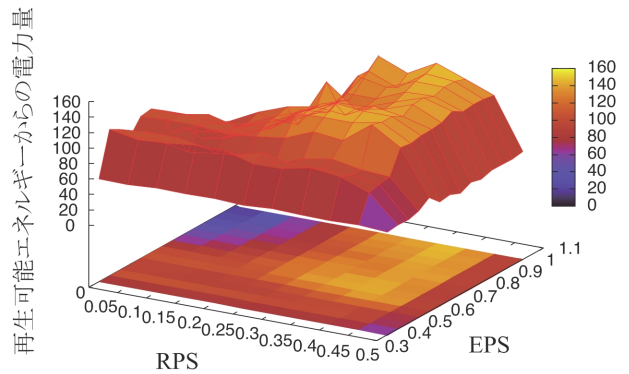


図 2. 排出税、化石燃料税が軽い場合での RPS/EPS と再生可能エネルギーからの電力量との関係

6. 結論

まず、個別の政策については、研究開発への補助金の増減は均衡解における再生可能エネルギーからの電力量と消費者余剰に影響を及ぼさないことが示された。

次に、各政策が同時に実行された場合については、表 1 のような政策間の相互依存関係が見られた。

表 1. 政策間の相互依存関係

RPS/EPSの強さ	境界 I		
	弱	境界 I	強
rの生産源	市場取引+RPS/EPSからの割当	RPS/EPSからの割当	市場取引 (∵f=g=0)
rの増減	増加	増加	減少
θ, τの強化がrへもたらす影響	rを増加 (θ, τが小さいと不安定)	rを減少	なし
σの強化がrへもたらす影響	rを増加	なし	rを増加
CSの増減	減少	減少	減少
θ, τの強化がCSへもたらす影響	CSを減少	CSを減少	CSを減少
σの強化がCSへもたらす影響	CSを増加	なし	CSを増加

r: 再生可能エネルギーからの電力量 θ: 排出税
 f: 石油/石炭からの電力量 τ: 化石燃料税
 g: 天然ガスからの電力量 σ: 再生可能エネルギーへの補助金
 CS: 消費者余剰

なお、表 1 においての再生可能エネルギーからの電力量が増加から減少に転じる境界 I は、排出税や化石燃料税の額の大きさによって変動する。両税の額が大きいと、RPS/EPS を強めていくときに、早い段階で再生可能エネルギーからの電力量は減少に転じるが、両税の額が小さいと、より RPS/EPS を強めなければ、再生可能エネルギーからの電力量は減少に転じない。

さらに、時間軸を導入したモデルからは、需要増加時にはその増加分のほとんどを化石燃料からの電力が補い、需要減少時にはその減少分のほとんどは化石燃料からの電力が削減していることがわかった。

参考文献

[1] Fischer, C. and R.G. Newell, "Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation", *Journal of Environmental Economics and Management* 55(2), pp.142-162, 2008