

再生可能エネルギー部門を考慮した 応用一般均衡モデルによる環境政策評価

武藤 慎一¹・近藤 拓也²

¹正会員 山梨大学大学院准教授 医学工学総合研究部工学学域社会システム工学系
(〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11) E-mail: smutoh@yamanashi.ac.jp

²非会員 シーエヌ建設株式会社 (〒453-0013 愛知県名古屋市中村町亀島1-4-12)

低炭素社会の実現向け再生可能エネルギーに注目が集まっており、その導入に向けた補助金政策や環境税の導入により間接的にそれらの普及を図るなど、各種政策が実行されつつある。しかし、これらは新たな費用負担等を通じて経済的損失を生じさせる場合が多い。そこで、社会経済への影響も考慮した上で適切な政策の検討を行うことが再生可能エネルギーの普及を図る上でも重要であると考えられる。

そこで本研究では、再生可能エネルギー部門を考慮した応用一般均衡モデルを開発し各種環境政策の評価を行うことによって、適切な政策の提言を行うことを目的とする。特に、再生可能エネルギー部門と従来型のエネルギー部門とのコスト差を考慮し、それが各種政策によってどのように縮まるのかを検討し、さらにその社会経済への影響を評価して最終的な政策分析を行うものである。

Key Words : *renewable energy, CGE model, policy evaluation*

1. はじめに

現代社会は化石燃料に依存している。しかし、化石燃料は有限であり、石油は残り40年程度しか存在しないともいわれている。また、化石燃料の消費は二酸化炭素を発生させ、それが地球温暖化問題を引き起こす。現時点でわが国は、長期的な温室効果ガス削減目標として2050年までに80%削減を目指すとし、中期的な目標として、すべての主要国による公平かつ実効性ある国際的枠組みの構築と意欲的な目標の合意が前提条件ではあるが、2020年までに1990年比で25%の温室効果ガスを削減するとしている(中長期ロードマップ)¹⁾。また山梨県では、長期目標(おおむね2050年)として『CO2ゼロやまなし』というCO2の純排出量をゼロにする目標を掲げている(山梨県地球温暖化対策実行計画)²⁾。

そこで、今後は化石燃料に依存しない持続可能な社会の構築が重要になる。その方法について、国全体では先の「中長期ロードマップ」にて、山梨県では「山梨県地球温暖化対策実行計画」にて検討がなされているが、そこでは省エネルギー化のさらなる促進、新技術開発によるエネルギー効率の向上などとともに、再生可能エネルギーの導入が主要施策として位置づけられている。

「中長期ロードマップ」あるいは低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会³⁾では、国全体で

2020年までに一次エネルギー供給量に占める再生可能エネルギーの割合を10%程度に高め、さらに2050年までには原子力も含めてゼロカーボン達成するとの提案がなされている。

しかしながら、そうした目標を達成するには新たな費用負担等によって経済的損失が生じる可能性がある。円滑に持続可能社会を実現するには、そうした経済的損失をできる限り小さくする施策を選択することが重要といえる。そこで本研究では、再生可能エネルギー部門を考慮した応用一般均衡(Computable General Equilibrium : CGE)モデルを構築し各種環境政策の評価を行い、再生可能エネルギーを効率的に導入するための施策の検討を行うことを目的とする。

2. 電力部門の需給の現状

本章では、エネルギー消費の中でも再生可能エネルギーの果たす役割が比較的大きい電力部門について、電源別発電量の推移を示すとともに、再生可能エネルギーの普及の現状について明らかとする。

図-1には、水力、火力、原子力、新エネルギーに分けて発電量を示した。火力発電の割合が最も大きく、水力、原子力はここ十年ほどその割合はそれほど変化していない。新エネルギーは風力、太陽光発電が主なものであり、

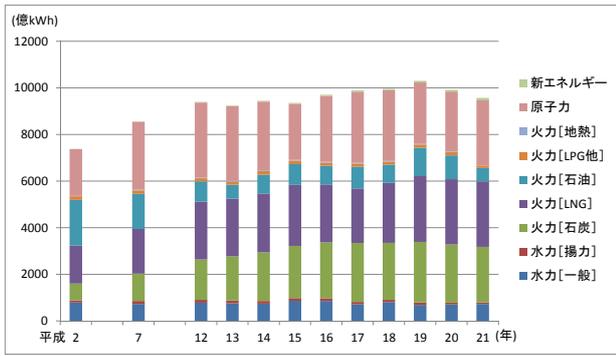


図-1 電源別発電量の推移

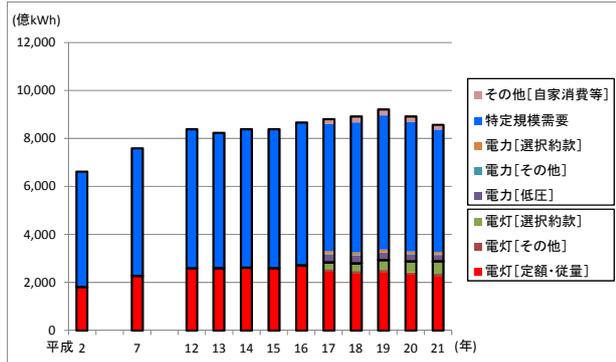


図-2 電力販売量

[出典：電気事業連合会，電気事業のデータベース（FEPC INFOBASE 2010）⁴⁾を基に筆者らが作成]

本研究の再生可能エネルギーを指すものである。平成21年からは地熱発電も新エネルギーに含まれている点には注意されたい。図-1からは新エネルギーはほとんど普及が進んでおらず、平成21年でも全発電量の1%程度である。

図-2は、電力販売量の推移を内訳も含めて示したものである。ただし、平成2年から16年までは電灯と電力のみに分け、平成17年以降からそれらの内訳も細かく示した。各項目は具体的には、電灯〔定額・従量〕；家庭、業務などの定額・従量契約、電灯〔その他〕；街灯など、電灯〔選択約款〕；家計、業務の選択約款契約、電力〔低圧〕；小規模工場など、電力〔その他〕；農事・事業・業務用電力、電力〔選択約款〕；選択約款契約による電力、特定需要規模；高圧・特別高圧電力を使用する大規模工場やデパート・ホテルなどとなっている。これを見ると、家庭、業務への電力販売量と、特定需要規模と呼ばれる大規模産業および業務施設への電力販売量がほとんどを占めており、平成21年ではそれぞれ2.5割、6割ほどとなっている。

次に、産業連関表に基づき、電力需要の主体別内訳（図-3）と電力部門の財別投入割合（図-4）を明らかにする。図-3より、産業連関表による金額ベースでの電力需要においても家計が全体の2.5割程度を占めている。産業部門では、工業系では化学、鉄鋼・金属、機械が大きな割合を占め、その他には商業、公共サービス部門が

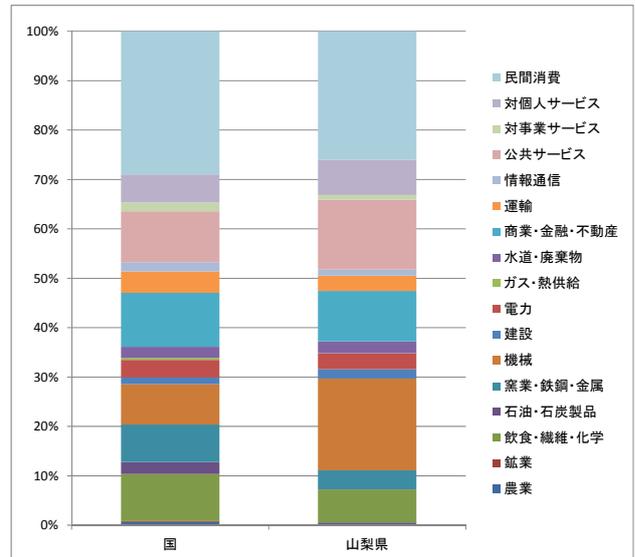


図-3 産業連関表による産業別電力需要

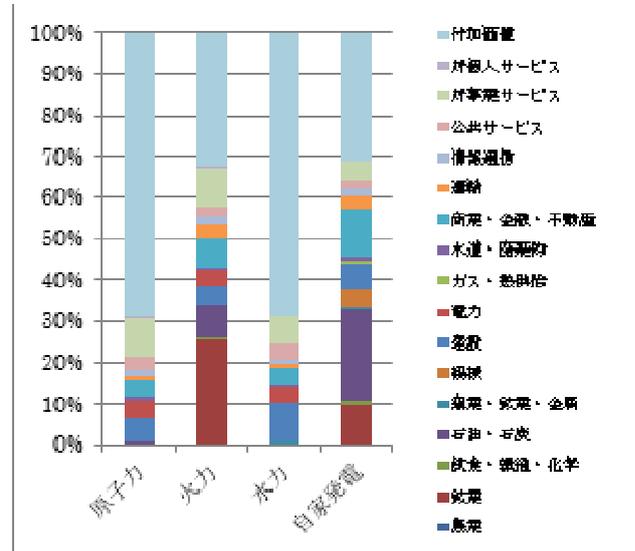


図-4 産業連関表による電源別電力部門の投入構造

多いことがわかる。電源別電力部門の投入構造では、原子力、水力や付加価値額が7割程度を占め、火力、自家発電部門は鉱業あるいは石油・石炭部門からの投入すなわち化石燃料の投入が多くなっていることがわかる。

3. 応用一般均衡モデルの概要

ここでは再生可能エネルギーを考慮した応用一般均衡（CGE）モデルを構築する。

(1) CGEモデルの全体構成

本CGEモデルは、山梨を対象とするものとし、企業が18部門（農林水産業、鉱業、バイオマス、飲食、石油石炭製品、窯業・鉄鋼・金属、機械、建設、水力発電、自家発電、ガス・熱供給、水道・廃棄物処理、商業・金融・不動産、運輸、情報通信、公共サービス、対事業サ

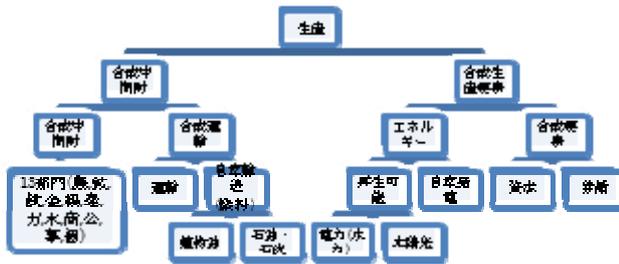


図5 企業の行動モデル

ービス，対個人サービス)，そして家計，政府，投資および移輸出の各部門からなる社会経済を想定する。

まず企業の電力部門については，山梨県は水力発電と自家発電のみであることから，ここでの電力部門は水力，自家発電部門としそれに再生可能エネルギー部門を考慮するものとした。なお，原子力，火力発電部門は県外に存在し，移入により山梨県内で消費されるものとする。また，石油石炭部門は，ガソリン，軽油，重油など輸送におけるエネルギー供給を担う部門であり，今後電気自動車とともにバイオエタノールなどが新エネルギーとして導入されるものと考えられる。そこで，従来の石油石炭部門に加え，バイオエネルギー部門を考慮することとした。なお，これらの投入構造すなわち投入係数は従来の植物油部門のものを利用することとした。

(2) 各主体の行動モデル

企業の行動モデルは，従来のCGEモデルと同様，生産技術制約下での階層型費用最小化行動に基づき定式化を行った。その企業行動モデルのツリーを図-5に示す。また，家計も従来のCGEモデルと同様，効用水準制約下での支出最小化行動に基づき定式化を行った。以上の各主体の具体的な行動モデルは，Barro型CES関数を用いて定式化を行う⁹⁾。

このうち，再生可能エネルギー部門については，当該部門の財・サービスの普及に障害となるものとして，当該部門の技術が未成熟であること，既存産業部門との費用差の存在などが指摘できる。これらを本CGEモデルでは，Barro型CES関数における生産技術効率パラメータによって表現することを検討する。具体的には，それを考慮した再生可能エネルギー部門の費用最小化行動モデルは以下ようになる。

$$pf = \min_{x_1, x_2} p_1 x_1 + p_2 x_2 \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } f = \gamma \left[\alpha \{\beta x_1\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha) \{E(1-\beta)x_2\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1b)$$

ただし， f ：生産量， x_1, x_2 ：投入財1，2の投入量， p_1, p_2 ：財1，2の財価格， α, β, γ ：パラメータ ($0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$)， σ ：代替弾力性パラメータ， E ：生産技術効率パラメータ。

式(1)の最適化問題を解くと以下のように需要関数が得られる。

$$x_1 = \frac{1}{\gamma \cdot \beta^{1-\sigma}} \left(\frac{\alpha}{p_1} \right)^{\sigma} \Psi^{\frac{\sigma}{1-\sigma}} \cdot f \quad (2a)$$

$$x_2 = \frac{1}{\gamma E(1-\beta)^{1-\sigma}} \left(\frac{1-\alpha}{p_2} \right)^{\sigma} \Psi^{\frac{\sigma}{1-\sigma}} \cdot f \quad (2b)$$

ただし， $\Psi = \alpha^{\sigma} \left(\frac{p_1}{\beta} \right)^{1-\sigma} + (1-\alpha)^{\sigma} \left(\frac{p_2}{E(1-\beta)} \right)^{1-\sigma}$ 。

ここでは単純に，2財モデルを例に費用最小化問題の基本モデルを示した。これを基に，本CGEモデルにおいて，再生可能エネルギーの普及によってその費用が低減する構造について説明を行う。ここでは，生産技術効率パラメータ E が，再生可能エネルギー需要の増加とともに効率化するものと想定する。すなわち，再生可能エネルギーがそれほど普及していない段階では， x_2 財（例えば生産要素など）の投入効率が悪く，そのため従来部門の生産費用よりも多くの費用を要することになる。これが，再生可能エネルギーの消費量が増加するとともに効率化されるとする。その結果，再生可能エネルギーの普及とともにその価格も低減していくことが表現可能となる。

4. 政策分析

続いて，前章で構築したCGEモデルを用いて政策分析を行う。ここではまず，2011年度の税制改正にて導入されることとなった地球温暖化対策税¹⁰⁾に関する分析を行うこととする。すなわち，地球温暖化対策税が導入された場合の山梨県経済にもたらされる影響とともに，それが再生可能エネルギーの普及にどの程度寄与するのかを明らかとするものである。

(1) 地球温暖化対策税導入の概要

2011年度の税制改正にて，地球温暖化対策税が導入されることとなった。本政策は2011年10月から石油などの化石燃料に課されている石油石炭税を増税するもので，増税分を地球温暖化対策に使用するとされている。石油石炭税は，化石燃料の採取，輸入時に課税され，電力会社や石油元売り会社が直接的には負担することとなる。増税額は，原油が従来比で37%高くなる。なお，この増税に伴うガソリン価格の上昇幅は0.76円程度であると予想されている。

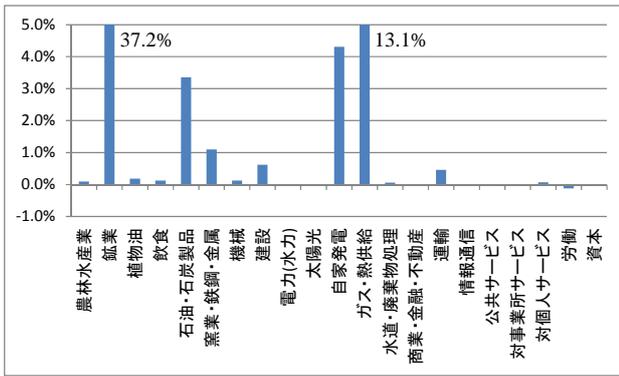


図-6 地球温暖化対策税導入に伴う財価格変化

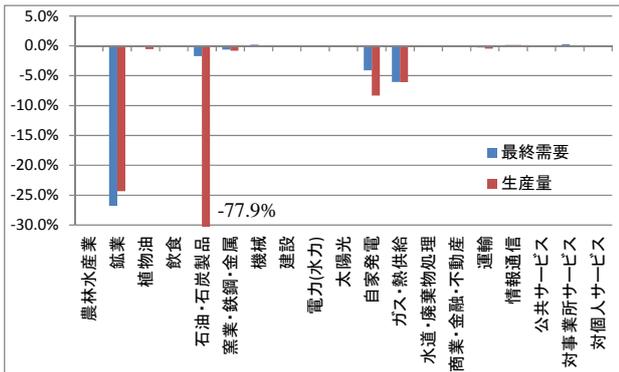


図-7 地球温暖化対策税導入に伴う最終需要、生産量変化

(2) 分析結果

シミュレーション計算を実施するにあたり、本CGEモデルでは鉱業部門の価格が1.37倍になるように当該部門の間接税率を設定して、政策を表現することとした。

以上の政策設定下での財価格変化の結果を図-6に、最終需要と生産量変化の結果を図-7に示す。これを見ると、鉱業部門は当然のこととして、それ以外にガス・熱供給、自家発電、石油・石炭製品部門の価格上昇が大きい。それに伴う生産量の低下に関しては、石油・石炭製品部門の落ち込みが非常に大きい結果となった。しかし、最終需要量の減少率はそれほど大きくない。これは元々移輸入量が多いため、山梨県内での生産量の変化が最終需要の落ち込みにはそれほど影響しなかったものと考えられる。なお、本計算にあたっては山梨県外を固定的に扱ったために、地球温暖化対策税導入による移輸入量の変化が生じなかった。地球温暖化対策税は、日本国内であれば域外でも影響を受けるため、この点は今後のモデル改良の課題になる。

また、自家発電部門の価格上昇率が高く、その生産量の減少率が大きい点も興味深い。自家発電部門は、山梨県内でもある程度の生産量を保っているが、それらは石油を投入するため、地球温暖化対策税導入の影響を受けたものと考えられる。ただし、その結果自家発電を行っていると考えられる大規模工場を有するような第二次産

業系の生産量変化にまではそれほど影響を与えてはいないことがわかる。

税収変化に関しては、地球温暖化対策税導入に伴い山梨県での税収は約35億円の増加となった。

5. まとめ

本研究では、再生可能エネルギーの導入による持続可能社会の実現のために、どのような政策が有効となるのかを分析するために、応用一般均衡モデルの開発と政策分析を行った。ここではまず、現在導入予定の地球温暖化対策税に関する数値シミュレーション分析を行った。しかし、それらは再生可能エネルギーへの転換という点ではあまり効果が現れない結果となった。これについては、本CGEモデルで導入した、再生可能エネルギーの普及に伴い当該部門の生産費用が低減していくことを表現した生産技術効率パラメータが効果的に機能していない可能性がある。また、代替弾力性の設定等についても、現段階では任意に設定しているため、見直しが必要であると考えている。今後は、以上のモデル上あるいは数値計算上の改良を行うとともに、直接的に再生可能エネルギーを普及させるための政策分析についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会：中長期の温室効果ガス削減目標を実現するための対策・施策の具体的な姿（中長期ロードマップ）（中間整理），<http://www.challenge25.go.jp/roadmap/>，2010。
- 2) 山梨県森林環境部環境創造課：山梨県地球温暖化対策実行計画，山梨県，2009。
- 3) 低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会：低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策について，2009。
- 4) 電気事業連合会：電気事業のデータベース（FEPC INFOBASE 2010），<http://www.fepec.or.jp/library/data/infobase/pdf/infobase2010.pdf>，2011。
- 5) 武藤慎一，森杉壽芳，青木優，桐越信：Barro型CES関数によるSCGEモデルの一般性向上—交通行動モデルを中心に—，応用地域学会2009年度研究発表会，2009。
- 6) 内閣府税制調査会：平成23年度税制改正大綱，内閣府，2010。