

応用一般均衡分析による再生可能エネルギーの導入政策の評価

Analysis of the policies and measures for promoting electricity from renewable energy sources using Applied General Equilibrium Model

林 周*

Amane HAYASHI

盛岡 通*

Tohru MORIOKA

ABSTRACT : Renewable energy (Solar power, Wind Power, Biomass, etc) is a power generation system which does not discharge carbon dioxide in process of power generation, and in order to consider as what sustainable energy system, it attracts attention as an effective means. In European Union and the United States, various policies for making renewable energy spread in electricity market is implemented focusing mainly on obligation of acquisition of the electric power generated by renewable energy. This paper, through overview of the renewable-energy spread policy of some countries, analyzes and evaluates the effect and economical influence by the promotion policy for the photovoltaics and the wind power to which spread of the future is expected. The economical influences of measures toward the spread of renewable energy are verified analyzed by using the applied general equilibrium model. As a result, the introduction on the renewable energy is influenced by the investment subsidy to the renewable energy, which source is revenue of a carbon tax, and the change of the demand characteristic (consuming structure) which is caused by the increase of green consumers.

KEYWORDS ; Renewable Energy(RE), Photovoltaic, Wind Power, Applied General Equilibrium Model

1 はじめに

再生可能エネルギー (RE: Renewable Energy) は、発電の過程で二酸化炭素を排出しない発電システムであり、持続可能なエネルギーシステム構築に有効な手段として注目されている。代表的な再生可能エネルギーとして、太陽光発電や風力発電があり、特に太陽光発電は世界で第1位の導入量となっているように徐々に普及が進んでいる。しかし、エネルギー供給全体でみた場合には依然として微々たる量であり、長期的には地球温暖化問題対策において、CO₂排出量の削減に向けてより大規模かつ継続的に導入することが求められる。ヨーロッパ、アメリカでは、再生可能エネルギーにより発電した電力の買い取りの義務付けを中心として、再生可能エネルギー普及のための様々な社会実験的性格を持つ政策が展開されており、着実な成果を上げている。我が国でも今後、先行している海外の導入政策事例の評価を行った上で、多様な政策メニューを実施し本格的に再生可能エネルギー導入と市場自立化を図る必要がある。

再生可能エネルギー導入を技術面から評価した研究として、技術別に太陽光発電発電システムの導入量を世界での地域別の評価したもの¹⁾や、習熟曲線によるコスト低下とそれに伴う導入量の予測等を行った研究など^{2), 3)}がある。また、再生可能エネルギーの政策とその導入効果を分析した研究として、太陽光発電システム設置形態やパネルの材質等の技術要素別に補助金による導入効果の予測を行った研究⁴⁾等がある。奥島[2000]⁵⁾は、補助金以外に炭素税、グリーン電力制度による太陽光発電の導入量変化とCO₂排出量削減効果を産業連関分析によりGDP一定の制約下でのマクロレベルでのCO₂削減効果を併せて評価している。その

* 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻環境マネジメント領域

* Graduate School of Engineering, University of Osaka

他、マクロモデルを用いた温暖化対策の評価においてもエネルギー需給構造の分析において、太陽光発電等の導入量が扱われている。

これら既往研究においては、技術と政策による導入量評価及び CO₂ 産業連関分析に基づいたライフサイクルでの CO₂ 削減効果等を扱っているが、再生可能エネルギー事業を一つの産業として捉え、導入・普及を図る各種の政策により導入量がう増加し、その影響が産業に波及することをマクロな経済システムの枠組みで評価した扱った研究は少ない。

そこで本研究は、再生可能エネルギーによる発電事業を産業として自立させるような効率的な施策とその効果を検討するための分析ツールを開発することを目的とする。まず先進国の再生可能エネルギー導入普及政策の整理を通じて、再生可能エネルギー導入政策の分類を行い、政策実施の論理を明らかにする。次に再生可能エネルギーとして事業化の可能性が高く、将来の普及期待される太陽光発電と風力発電を対象として、それら導入促進政策による産業への効果を分析・評価する経済モデルを構築し、その有用性を確認する。

2 再生可能エネルギーの現状と導入普及に関する政策・措置

2.1 再生可能エネルギーの普及と問題点

1998 年現在、太陽光発電の導入量は約 13 万 kW、風力発電は 3.8 万 kW である。政府の現行の目標では 2010 年にそれぞれ、500 万 kW、30 万 kW となっているが、風力発電は現実には既にそれを追い越す勢いで導入が進んでおり、表 1 に示した現状での再生可能エネルギー普及に関する問題点を踏まえ、目標値とそのための政策・措置を再構築する必要性に迫られている。

表 1 太陽光・風力発電に関する普及の問題点

要因	太陽光発電	風力発電
制度的	・ 設置一件当たりの補助金額が少ない	・ 各種法律による道路、橋等の付帯設備の設置が必要 ・ 煩雑な工事認可手続き
	・ 電力買い取り制度による投資回収の保証がされていない ・ 再生可能エネルギー全体に対する政府予算が他のエネルギーに比べて小さい	
経済的	・ 材料費が高く、発電コストが既存電源よりも高い	・ 風力資源の多い僻地や海岸線等に設置する際の追加的送電設備の費用負担が必要
	・ 化石燃料等の競合するエネルギー価格に環境コストが反映されていない	
技術的	・ 出力変動による系統連携における電力品質の低下	
土地 利用	・ 共同住宅等に設置する場合のシステム、電力の所有権の問題 ・ 大規模システム設置は広大な土地が必要	・ 各種法律による立地困難性 ・ オフショア設置 ・ 風資源と立地容易性との地理的乖離

2.2 政策と措置

再生可能エネルギー導入政策の代表的なものについて表2に整理した。以下に概要を述べる。

(1) 規制措置

主として、電力系統を保有する電力会社に対して行政当局から再生可能エネルギーによる電力（RE 電力）の買い取りを義務付ける政策である。買い取りの価格に関しても自主的に決められる場合と当局の規

表 2 再生可能エネルギー導入政策

施策カテゴリー		概要
買い取りの義務付け		・ RES-Eの電力系統への接続を認め、一定機関の定額での電力を買取を電力会社等に義務付ける
補助金		・ 設置システムの設備容量に応じた補助金額の交付 ・ 電力会社によるRES-Eの買い取り補助
税控除		・ 所得税控除 ・ 投資税控除
炭素税		・ 競合する化石燃料エネルギー価格の上昇
グリーン電力	プロジェクト貢献型	・ 電力会社の用意する特定のプロジェクトや基金に対して市民、企業が電力料金に追加料金を支払う ・ 設置されるRE設備や発電電力量と支払う金額は無関係
	直接投資型	・ 特定のRE設備への投資に顧客が直接参加する。
	電源の選択方式	・ REを含む各種の発電形態から電源を選択できる ・ 上乗せ料金と組み合わせる
グリーン証明書		・ RE電力事業者に対し、販売電力に応じて「グリーン証明書」を発行、全ての顧客（電力消費者）に保有を義務付ける。証明書の売買により義務を果たす。証明書の取引は電力の取引とは別に行なわれ、電力市場以外に証明書の取引市場ができる。
RPS（再生可能エネルギーポートフォリオ）		・ 電力供給事業者（小売事業者）に対して、一定比率での再生可能エネルギー電力の販売・流通を義務付ける。この義務は、自らRE発電施設により発電するか、他施設からRE電力を購入するかにより満たすことができ、義務量は売買することで達成してもよい。米国諸州で実施。

制を受ける場合とがある。また、買い取り価格と電力料金の差額を政府の負担で補填する場合もある。

(2) 補助金

設備投資に対する直接的な初期コスト低減策である。直接的な補助金の他には発電電力量当たりの購入単価への補助もある。

(3) 炭素税

化石燃料の持つ外部環境コストを価格に内部化し、CO₂ 排出量のより少ないエネルギーの優位性を高めるための経済的手段である。税収を省エネ投資や新エネ投資に回すこともできる。

(4) 消費者のグリーン嗜好の活用

消費者・需要家のグリーン志向を刺激し、RE 発電の普及に結び付けようという制度であり、消費者は通常の電力料金に加えて定額、あるいは使用電力量に応じた一定の金額を自由意思に基づいて支払う。これを再生可能エネルギーへの投資、補助金等の基金とする制度である。

(5) 市場メカニズムの活用

電力供給事業者等に一定量の RE 電力の供給枠を保持することを義務付ける、或いは電力需要者に対して一定割合の RE 電力量相当の証明書保有を義務付け、これらの義務枠を市場取引することでコスト削減インセンティブを与える仕組み。市場メカニズムを活用する政策として注目されつつあり、ヨーロッパにおけるグリーン証明書 (Tradable Green Certificates)、アメリカの RPS (Renewables Portfolio Standard) がある。

本研究では、いくつかの施策による普及とそれによる産業への影響を分析する分析モデルを構築することを目的としていることから、以上挙げた政策・措置のうち、炭素税、補助金、グリーン電力制度について分析を行う。これらはいずれも経済的メカニズムを持っており、経済モデルによる分析に適している。

3 分析モデルの構築

3.1 応用一般均衡モデルの概要

応用一般均衡モデルを用いて分析を行う。以下にその概要を示す。

経済には家計と企業が存在すると仮定される⁶⁾ (図1)。家計は財・サービスの購入に際してある選好を持ち、所与の予算制約の下で自身の効用を最大化するように行動する。企業は、与えられた技術の下で生産活動を行い自身の利潤を最大化するように行動する。これらの行動は、ある市場構造の下で、需要と供給が一致するように市場において調整される。市場の構造とは、市場に参加する家計や企業の数、これらの持つ情報、市場と市場のつながり等さまざまなものを含む。家計の選好、企業の生産技術、市場の構造はそれぞれ、効用関数、生産関数、市場均衡条件というかたちで方程式体系として定式化される。これらを一連の方程式として扱い、それらを解くことで、対象とする経済システムがどのような均衡状態になるのかを知ることが可能である。本研究の目的である、政策の波及効果や国民経済的影響等を検証するのに適したモデルであると考えその適用を図った。

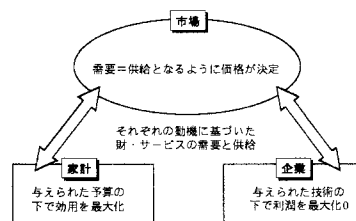


図 1 経済主体の関係

3.2 モデル構造

本研究でのモデルの全体構造を図2に示す。産業は資本・労働をコブダグラス型関数で付加価値要素とし、他産業からの中間投入財とレオンティエフ型生産関数で結合し生産を行う。表3に産業の分類を示しているが、既存産業から部品、建設工事等の関連産業を分離統合することにより、太陽光発電と風力発電を新たな産業として設定する。これら2つの部門は電力を生産財とし、他の財・サービスと同様に市場取引されると仮定する。生産された財・サービスは国内財と輸出される財に分離され、国内財は輸入された財と合成され国内市場で取引される。合成財は産業への中間投入需要、政府、家計、投資部門にそれぞれ別れて消費される。政府は家計からの直接税・生産税(炭素税)・輸入税・輸出税を所得として受け取り、政府消費・政府貯

蓄（投資）として支出する。家計には、産業部門から雇用者所得や営業余剰などの要素所得が分配され、それに加え海外からの経常移転によって所得を形成する。家計所得は最終消費及び政府への直接税として支出され、残りは家計貯蓄として投資される。投資部門

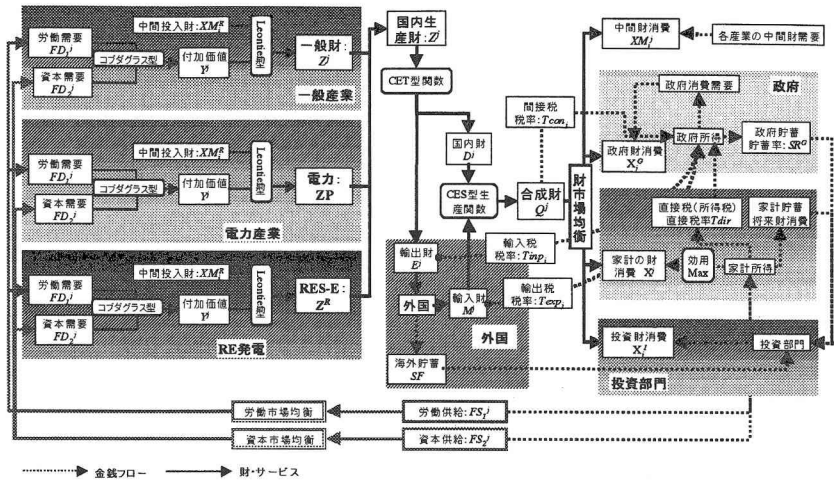


図 2 モデルの全体構造の模式図

は、家計貯蓄・政府貯蓄・海外からの資本移転を原資として資本形成を行い、各産業主体に配分される。資本形成は各産業から財・サービスを購入する形で行なわれる。

最終的に市場均衡式やその他制約条件を定式化し、家計の効用を最大化することにより、それぞれの財、労働・資本等生産要素の均衡解を算出する。図2に示したように、既存の産業から、太陽光発電と風力発電の発電設備と関連産業を分離・統合することにより一つの産業としてモデル上で表現する。

3.3 応用一般均衡モデルによる分析の手順

本研究のシミュレーションは以下の手順を用いた。

(1) 基準均衡のためのデータベース作成

応用一般均衡モデルはある一時点の基準均衡を反映するようにモデルを推定する。基準均衡時におけるそれぞれの財の生産額、消費額、生産要素投入額などを行列の形でまとめて表す。

(2) モデルの推定

(1) で作成した初期状態のデータを元に、モデルを構成する方程式と係数の組合せを等しくして、初期状態における係数を推定する。

(3) 比較静学上の基準となる均衡解の算出

(2) で推定した係数を基に一度モデルの最適解（基準均衡解）を求める。

(4) 政策実施後の均衡解の算出及びその差異の検証

政策実施を表現したモデルを構成する外生変数を変化させ、基準均衡解と比較することでその政策の効果を評価する

3.4 初期データの推計

(1) 各産業の初期データ

生産セクターの各産業は表3に示したように分割され、太陽光発電と風力発電以外は1995年度産業連関表⁷⁾及び国民経済計算⁸⁾から産業内投入・間接税、輸出入、消費支出、貯蓄額等のデータを援用した。太陽光発電・風力発電については以下に述べる。

(2) 太陽光発電及び風力発電の産出額

まず、基準となる1995年度の太陽光及び風力発電の設備容量(kW)から、

表 3 産業の分類

農林水産業
鉱業
食料品・繊維・紙・パルプ
化学製品・金属製品・鉄鋼・非鉄金属
機械
建設
化石燃料
電気
太陽光発電
風力発電
ガス・熱供給・水道・廃棄物処理
商業・金融・保険・不動産
運輸
その他

それぞれのシステムについて設備稼働率及び電力購入単価等を平均化したものから年間の総発電電力量を求める。それぞれの産出額は、電力会社への売電及び、自家消費分

とに分けられる。太陽光発電の産出額は、まず電力会社の系統を通じて売電された電力量をもとめ、残りが自家消費されたと考え、自家消費分は家計消費分とした。風力発電は補助事業によるものが大半であることから、全て電力会社の購入分とした。

(3) 投入額

RE 発電部門への投入額は、太陽光発電と風力発電のそれぞれのシステム設置に係る費用構成の項目を基に、関連する各産業からの投入として、産出額から資本・労働投入分と間接税分を引いた投入額に対して比例配分した。これを表3に示した産業分類に対応した形で配分した。資本・労働投入を電力産業の投入係数と同様であると仮定し算出した。

4 シミュレーション結果

4.1 シミュレーションケースの設定

取り上げる施策として、下の表5に示した3つを取り上げる。以下にその結果を示す。

表 5 シミュレーションケース

施策	概要	シミュレーションケース
炭素税	産業分類のうち、「化石燃料」産業に対する間接税率を操作することにより、炭素税率の変化を与える。税率は基準均衡における当該産業の生産額当たりの CO2 排出量 ¹²⁾ から求めた。	既往研究 ¹³⁾ 等を参考に、税率を以下の4段階に変化させる。 ・ 5 千円/t-C ・ 1 万円/t-C ・ 2 万円/t-C ・ 3 万円/t-C
補助金	政府消費部門の当該産業の生産財に対する需要が増大するものとして、政府の生産財の消費関数のシェアパラメータを操作することにより、補助金が出されることを表現した。	炭素税の4つの税率に合わせて、税収の増加分を再生可能エネルギーへの補助金として支出する。
グリーン電力制度	生産財の家計消費支出を外生的に増加させる。家計の消費関数における再生可能エネルギーへの消費支出割合(シェアパラメータ)を増加させることにより表現した。	家計消費支出 ¹⁴⁾ のうち、電力への消費支出割合を固定しつつ、産業連関表上での家計消費全体の0.5%から3%までが再生可能エネルギーへ支払いを増加させるものとする。支出額は一口500円程度とした。

4.2 炭素税収の RE 産業への補助金還元

5 千円/t-C～3 万円/t-C までの4段階の炭素税を表3の「化石燃料」産業に対して課し、それによる政府の税収を太陽光発電への補助金として還元した場合を検討した。その結果を示す(図3, 図4)。5 千円/t-C, 1 万円/t-C, 2 万円/t-C, 3 万円/t-C のそれぞれの税収に対して、生産額は 37,443 百万円, 41,163 百万円, 46,056 百万円, 50,193 百万円と各々増加している。太陽光発電の設備容量は最大で約 200 万 kW に増加している。

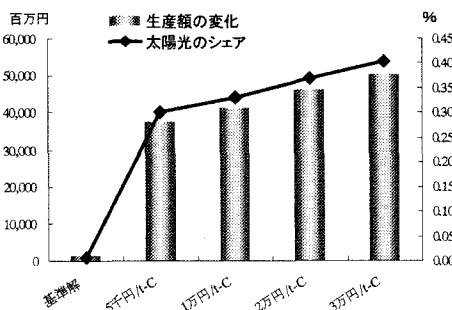


図 3 炭素税収還元の結果

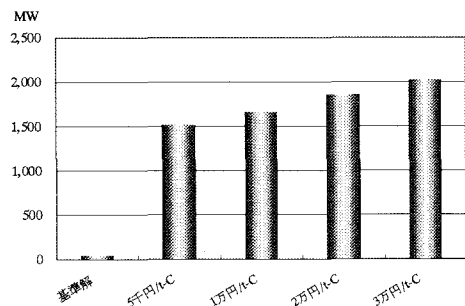


図 4 炭素税収還元の結果(太陽光発電容量)

4.3 家計消費性向の変化

グリーン電力制度を想定し、家計消費のグリーン電力に対する支出が増大したと仮定した。結果を図5、6に示す。家計の3%がグリーン電力へ参加をした場合、太陽光発電の生産額は約110億円に、電力全体に占める割合は0.012%から約0.085%まで上昇した。また、太陽光発電の設備容量も最大で約40万kWに増大した。

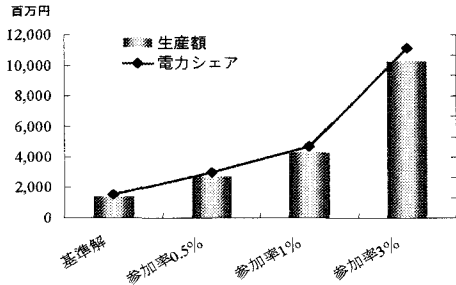


図5 グリーン電力導入結果

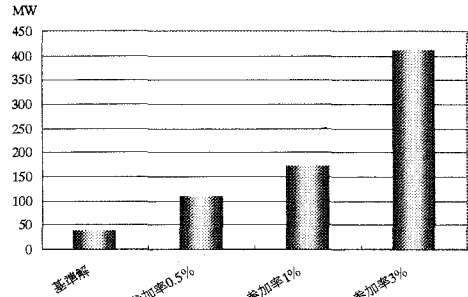


図6 グリーン電力導入結果（発電容量）

5 まとめ

炭素税課税単独では産業全体として炭素集約度に応じて生産水準の低下が見られた。税収を太陽光発電への補助金として目的税化することにより、太陽光発電の生産額は大幅な増加が見られ、電力全体に占めるシェアも増大した。グリーン電力制度について、家計消費性向の変化による直接的効果が働き、消費セクターへの刺激を与える政策は再生可能エネルギーの普及に有望であるといえる。このような制度は特定のセクターの追加的投資が必要であるが、炭素税というCO₂排出量に応じた費用負担による再生可能エネルギー事業育成施策がより効率的であることが分かった。また、以上のことから本研究で用いた分析モデルが政策の分析ツールとして一定の有用性があることが確認できた。今後の課題として、以下を挙げる

- ・ 産業への投入要素として化石燃料や電力を他の生産財と別に扱うことにより、グリーンエネルギーとの代替を明示的に捉えること。
- ・ 生産セクターと消費セクター間での相互関係を表現し、産業のグリーン化と消費のグリーン化を扱うことが可能なモデル構造とすること。

参考文献及び参考資料

- 1) 小杉隆信他：グローバルエネルギーモデルによる太陽光発電システムの普及予測，第14回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp99-104，1998.1
- 2) 樋谷治紀：学習曲線による新エネルギーのコスト分析，太陽エネルギー学会誌 Vol.25, No.6，pp37-41，1999.11
- 3) 正田剛他：新エネルギーの将来コストと導入量の見通し，第15回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp77-82，1999.1
- 4) 今村栄一・内山洋司，太陽光発電システムの普及展望，電力経済研究 No.36，pp3-14，1996.7
- 5) 奥島啓介：メタボリズム文明型エネルギーシステムの構築に関する研究，地球環境関西フォーラム「メタボリズム文明社会への転換が及ぼす経済影響等の調査」，2000.6
- 6) 土木学会土木計画学研究委員会：応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用，土木学会ワンデーセミナーシリーズ15，1998.6
- 7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：新エネルギー技術開発関係データ集作成調査（太陽光発電），2000
- 8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：新エネルギー技術開発関係データ集作成調査（風力発電），2000
- 9) 総務庁：平成7年度産業連関表，1999
- 10) 経済企画庁：平成10年度国民経済計算年報，1998
- 11) 資源エネルギー庁：新エネルギー便覧平成10年度版，通商産業調査会，1999
- 12) 森口祐一他：産業連関表によるエネルギー・二酸化炭素排出原単位95（β版），<http://aerosol.energy.kyoto-u.ac.jp/~lea/I-Otabel/public.html>，2000
- 13) 松岡譲他：わが国における二酸化炭素排出量の見通しとその抑制対策の効果について，土木学会論文集 No.580/VII-5，pp27-35，1997.11
- 14) 総務庁統計局：全国消費者実態調査報告 第1巻家計収支編，日本統計協会，1996