

# 住宅用太陽光発電の電力買取制度のシミュレーション分析

段 野 幹 男  
根 本 二 郎  
山 口 敬 大

This paper aims to examine efficiency of the feed-in tariff for residential solar electricity introduced in 2012. The feed-in tariff provides strong support for deployment of the residential photovoltaic system by obliging electricity incumbents to purchase the generated solar electricity at some fixed rate. Since the purchasing costs are passed through to the electricity price, the resulting reduction in CO<sub>2</sub> emission is achieved at costs of higher electricity prices. Thus, an adequate measure for evaluating efficiency of feed-in tariff for residential solar electricity is utility loss due to unitary reduction in CO<sub>2</sub> emission. For this purpose, we build a multi-sector CGE model including the solar photovoltaic system industry. The results show that the current tariff level, 42 yen per kwh, is justifiable in terms of efficiency in reducing CO<sub>2</sub> emission given technological conditions at 2012. It is also suggested that a subsidy for solar photovoltaic system is costly and much less efficient than the feed-in tariff system.

## I. はじめに

再生エネルギーの固定価格買取制度は、わが国においても平成24年7月に導入された。この制度は、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスによって発電された電力を、電力会社が固定価格で買取することを義務付けることにより、再生可能エネルギーの導入を促進することを企図している。同様の手法はドイツ、スペインなど欧州諸国を中心に採用され、再生可能エネルギー利用の拡大・普及に大きな効果を挙げている。ドイツなど欧州諸国に比べ緯度の低いわが国では特に太陽光発電の普及可能性は大きく、なかでも住宅用太陽光発電は戸建住宅・集合住宅の屋根・屋上への導入ポテンシャルが6500万kwと見積もられている<sup>1)</sup>。既に東日本大震災以前のエネルギー基本計画（平成22年）においても、2030年度

の太陽光発電電力量目標は572億kwh（資源エネルギー庁「再生エネルギー導入見通しの内訳について」平成24年3月）とされており、導入に向けて政策的対応が求められていた。

しかし、固定価格買取制度においては電力会社の買取費用は電力料金に転嫁して回収することになっており、電力需要者が賦課金として負担することになる。家計の側から見れば、電力会社への売電により所得が増える一方、電力価格の上昇は所得の実質的な目減りとなる。こうした定量的な問題は、買取価格の水準に影響を受けるほか、現行制度のように全量を買取るか、自家消費分を差し引いて余剰を買取るかによっても影響を受ける。また、現在、太陽光発電システムを家計が購入する際には、住宅用太陽光発電導入支援対策補助事業による補助金が交付されており、こ

れも家計の効用に影響を与える。

そこで、これらの政策パラメータが制度に与える影響を定量的に評価するため、CGE モデルを作成しシミュレーション分析を行う。CGE モデルは、太陽光発電システムに対する需給と電力の需給バランスを明示的に分析する必要から、太陽光発電システム製造部門と電力部門とを含む多部門モデルとする。シミュレーション分析は、買取価格、太陽光発電システム設置に対する補助金、買取方式が全量であるか余剰であるかについて、家計の効用、CO<sub>2</sub> 排出の削減量とその単位削減費用への効果を見ることを目的とする。さらに、補助金が太陽光システムの設置に対してではなく、電力価格の上昇抑制を目的とする価格補助金として使われた場合、あるいはドイツなどでも行われたように、産業の電力消費に対する補助金として使われた場合のシミュレーションも併せて行う。

太陽光発電の固定価格買取制度については、松村（2010）が全量買取と余剰買取を比較し、後者は社会全体のエネルギー効率が低下するとして前者を推奨している。また、太陽光発電に対する公的補助金・制度の効果を分析した研究として、中野（2006）が住宅用太陽光発電装置の CO<sub>2</sub> 削減効果とユーザー・コストの計測を行っている。また明城・大橋（2009）は、住宅用太陽光発電システムにおいて需要関数と費用関数を推定し、公的補助金の効果を計測している。その結果、1997 年から 2005 年の期間で太陽光発電の普及は 2 倍以上促進され、CO<sub>2</sub> の削減量は 419 万 t に相当するとしている。

これらの先行研究はいずれも定性的な研究であるか、または部分均衡分析によるものである。本稿では、こうした先行研究のアプローチ

とは異なり、多部門 CGE モデルのシミュレーションによる定量的一般均衡分析を行って、固定価格買取制度による CO<sub>2</sub> 削減の効率性の測定と、買取価格の水準や公的補助金の効果の評価を行う。

以下では、第 2 節で基本モデル、第 3 節で基本モデルに基づくシミュレーション・モデルについて説明し、第 4 節で買取価格、太陽光発電システム設置補助金、全量/余剰の買取方式に関するシミュレーション分析の結果を示す。第 5 節では、システム設置に対する以外の補助金の効果について、シミュレーション分析の結果を検討する。第 6 節では分析結果をまとめて述べる。

## II. 基本モデル

### 1. 産業連関表と社会会計表

生産活動を行う産業部門として、農林水産鉱業、窯業・土石、非鉄金属、電子・電気機械、太陽光発電システム、それ以外の製造業、電力、電力を除くサービス業の 8 部門を想定する。太陽光発電買取制度のシミュレーションのため、太陽光発電システム部門を独立した部門として扱い、同システムの製造に必須の材料を供給する（投入係数の大きい）窯業・土石、非鉄金属、電気・電子機械の 3 部門、太陽光発電電力の買取先である電力業部門を独立部門とする。

モデルの基礎となる産業連関表には 2005 年全国表を用いるが、同表には太陽光発電システム部門が存在しない。太陽光発電システム部門については、内閣府「総合的な経済・エネルギー・環境分析に資する技術情報の整備のための研究」（平成 19 年 12 月）で推計されている投入係数のデータを用い、2005 年表の

電子・電気機械部門から太陽光発電システム部門を分離し8部門表を作成した<sup>2)</sup>。

これを基に、経済主体（家計、企業、政府、外国）の収支を包含した社会会計表を作成し、付加価値率、貯蓄率、税率などのパラメータをこの社会会計表に依拠して決め、原則として社会会計表のバランスが基本モデルの解となるようにした。ただし、太陽光発電システムに対する需要は2005年と現時点でかなりの開きがあることから、太陽光発電システムに対する支出の全体消費支出に占めるシェアは2011年時点を反映するようにし、他の財に対する支出シェアは2005年のシェアで決まるように効用関数のパラメータを決める。

## 2. 基本構造

モデルは上記8部門の財の需給均衡を同時決定する構造を持つ。供給（生産者）側は家計の保有する生産要素（資本、労働）と中間原材料を投入して生産物を供給し、生産量と

生産要素の投入は利潤が最大になるよう決められる。生産物の供給先は国内市場と外国（輸出）であるが、その二つの市場への供給比率は、総収入が最大化されるように定められる。

需要側は、家計需要、政府需要、企業による設備投資が総需要を構成する。家計の需要総量、政府の需要総量は、それぞれ家計所得と政府所得の一定割合（2005年基準）で決まる。また設備投資は経済全体の貯蓄の一定割合（2005年実績）で決まる。各部門の財への支出割合は、設備投資と政府需要については2005年実績のシェアで決まり、家計需要は効用が最大化されるよう部門間の支出シェアが決まる。家計需要、政府需要、設備投資を集計して総需要が決まるが、総需要は国内で生産された財（国内財）に対する需要と輸入財に対する需要を含む。二つの財の間の需要比率は、両者の差別化の程度に基づいて、効用が最大になるように決定される。

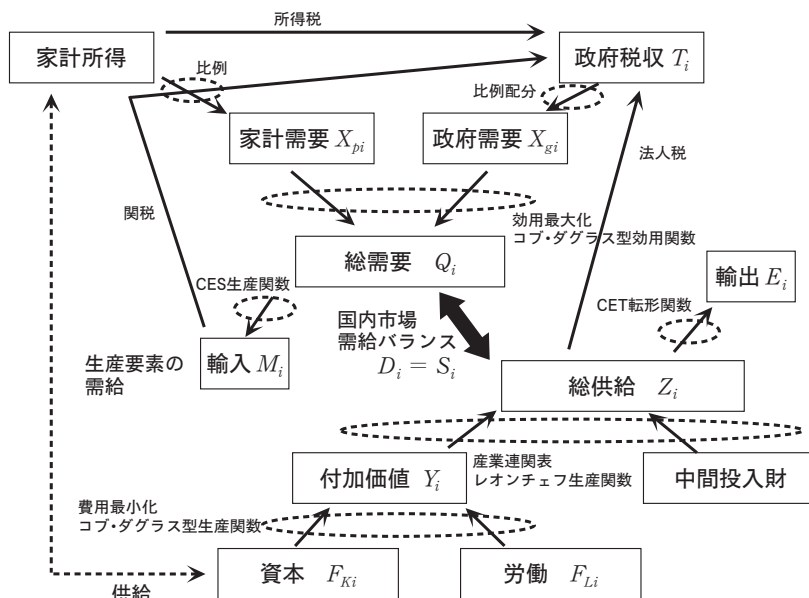


図1 CGEモデルにおける財の需要・供給バランス

以上のような需給両サイドの定式化の下に、すべての財の国内財の需要と供給が均衡するように、生産物価格が決まる。図 1 に個別の財の需給決定の基本構造を示す。

### 3. 供給サイド

#### (1) 生産

各部門の生産は 2 段階に分離できるものと仮定する。第 1 段階は、家計が保有する資本と労働を投入して付加価値を生産するプロセスであり、第 2 段階は付加価値と原材料・燃料を結合して各部門の生産物を供給するプロセスである。第  $i$  部門の付加価値を  $Y_i$ 、第  $i$  部門の投入する労働と資本をそれぞれ  $F_{Li}$ 、 $F_{Ki}$  とする。形式的には、第 1 段階は

$$(1) \quad Y_i = f(F_{Li}, F_{Ki}), \quad i = 1, 2, \dots, 8$$

である。第 2 段階は、第  $i$  部門の生産量を  $Z_i$  とすると、

$$(2) \quad Z_i = g(Y_i, Z_j) \quad i, j = 1, 2, \dots, 8$$

となる。

ここでは、(1)の関数  $f$  (付加価値生産プロセス) についてコブ・ダグラス型生産関数を仮定する。

$$(3) \quad Y_i = b_i F_{Li}^{\beta_{Li}} F_{Ki}^{\beta_{Ki}}$$

さらに、賃金率  $p_{FL}$  と単位資本コスト  $p_{FK}$  および付加価値デフレーター  $p_{Yi}$  の下で、付加価値ベースの利潤  $p_{Yi} - (p_{FL} F_{Li} + p_{FK} F_{Ki})$  が最大になるように労働投入  $F_{Li}$  と資本投入  $F_{Ki}$  が決まるものと仮定する。この利潤最大化条件より、

$$(4) \quad F_{hi} = \beta_{hi} p_{Yh} \frac{Y_i}{p_{Fh}} \quad h = K, L$$

が得られる。

コブ・ダグラス型生産関数のパラメータの値は、2005 年時点の諸変数の実際値の下で、(4)式が成立するように  $\beta_{hi}$  を決め、(3)が成立

するように  $b_i$  を決める。

式(2)の関数  $g$  は、レオンチェフ生産体系 (産業連関表) によるものとする。すると第  $i$  部門の生産  $Z_i$  は  $FF_i$  を最終需要として産業連関表の横方向のバランスより

$$(5) \quad Z_i = \sum_k a_{ik} Z_k + FF_i$$

によって決まる。ただし  $a_{ik}$  は第  $k$  部門の第  $i$  部門からの投入係数である。同時に、産業連関表の縦方向のバランスによって、各部門の財の生産物価格  $p_{Zi}$  が次のようにして決定される。

$$(6) \quad p_{Zi} = \sum_k a_{ki} p_{Zk} + a_{Yi} p_{Yi}$$

ここで、 $a_{Yi}$  は第  $i$  部門の付加価値率 ( $a_{Yi} = Y_i/Z_i$ ) である。投入係数、付加価値率の値は 2005 年全国産業連関表による。

#### (2) 国内財供給と輸出

次に、生産された  $Z_i$  は国内市場に供給されるか輸出される。国内市場向けの財 (国内財)  $S_i$  と輸出向け (輸出財)  $E_i$  が完全に代替的であれば  $Z_i = S_i + E_i$  であるが、ここでは両者は完全に代替的ではないと仮定し、それぞれの仕向け地用に一定の調整が行われる。このため国内財、輸出財と総生産量の関係は

$$(7) \quad Z_i = h(S_i, E_i)$$

と書け、関数  $h$  は差別化の程度を反映する。

ここでは CES 型関数を仮定し、

$$(8) \quad Z_i = \theta_i (\xi_{Di} S_i^{\phi_i} + \xi_{Ei} E_i^{\phi_i})^{\frac{1}{\phi_i}}$$

のように特定化する。国内財と輸出財の配分は、生産物  $Z_i$  を仕入れて国内市場と輸出に振り向ける供給業者を想定し、その利潤  $(p_{Di} S_i + p_{Ei} E_i) - (1 + \tau_{Zi}) p_{Zi} Z_i$  を最大にすることから決定する。ここで  $p_{Di}$  は第  $i$  部門国内財価格を、 $p_{Ei}$  は同部門輸出財価格、 $p_{Zi}$  は同部門生産物価格で、税率  $\tau_{Zi}$  の生産税が課されることを想定する (生産者に対する課税

の近似)。この利潤最大化条件より

$$(9) \quad S_i = \left( \frac{\xi_{Di} \theta_i^{\phi_i} (1 + \tau_{Zi}) p_{Zi}}{p_{Di}} \right)^{\frac{1}{1-\phi_i}} Z_i$$

$$(10) \quad E_i = \left( \frac{\xi_{Ei} \theta_i^{\phi_i} (1 + \tau_{Zi}) p_{Zi}}{p_{Ei}} \right)^{\frac{1}{1-\phi_i}} Z_i$$

を得る。

関数(8)のパラメータは  $\phi_i = 1.5$  とする。その意味は、国内財と輸出財の転形弾力性が2、すなわち国内市場価格が輸出価格に対して相対的に1%上昇(下落)したとき、国内市場への国内財の供給が輸出に対して2%増加(減少)することを意味する。一方、 $\theta_i$ 、 $\xi_{Ei}$ 、 $\xi_{Di}$  については2005年において(8)(9)(10)式が成立するように決める。

#### 4. 需要サイド

生産物と輸入財に対する需要は、家計と政府の消費、企業の設備投資および生産に必要なとなる中間財の需要である。

##### (1) 家計消費

家計はその効用を最大にするよう消費需要を決定する。家計の効用を  $U$ 、第  $i$  部門の生産物に対する消費需要(国内生産物と輸入の双方を含む)を  $X_{pi}$  とすると、効用関数は次のように定義される。

$$(11) \quad U = U(X_{p1}, X_{p2}, \dots, X_{p8})$$

家計は資本と労働  $F_{Li}$ 、 $F_{Ki}$  を供給して所得  $p_{FL}F_{Li} + p_{KL}F_{Ki}$  を稼得する。ここから貯蓄  $S_p$  と家計に対する所得税  $T_H$  を除いた  $(p_{FL}F_{Li} + p_{KL}F_{Ki}) - S_p - T_H$  を消費支出総額として、効用を最大化するように  $X_{pi}$  を決定する。効用関数を

$$(12) \quad U = \prod_{i=1}^8 X_{pi}^{\alpha_i}$$

とすると、第  $i$  部門の国内市場価格  $p_{Qi}$  (生産物価格と輸入財価格の合成) を所与として、

$$(13) \quad X_{pi} = \frac{\alpha_i}{p_{Qi}} (p_{FL}F_{Li} + p_{KL}F_{Ki} - S_p - T_H)$$

家計貯蓄  $S_p$  および家計に対する所得税  $T_H$  は、次のように家計所得の一定割合とする。

$$(14) \quad S_p = s_p (p_{FL}F_{Li} + p_{KL}F_{Ki})$$

$$(15) \quad T_H = \tau_H (p_{FL}F_{Li} + p_{KL}F_{Ki})$$

ただし  $\tau_H$  は家計所得税率である。

パラメータ  $\alpha_i$ 、 $s_p$ 、 $\tau_H$  のうち、効用関数パラメータ  $\alpha_i$  については2005年時点で(12)が成立するように定める。ただし太陽光発電システム(第6部門)は近年需要が急増しており、2005年をベースにした場合、最近の需要実勢からかけ離れたものとなる。そのため  $i = 6$  の場合は、2011年の観察値で式(12)が成立するように定めることとする。その他  $s_p$ 、 $\tau_H$  については2005年全国産業連関表にしたがうように決める。

##### (2) 政府消費

第  $i$  部門の生産物に対する政府消費(国内生産物と輸入の双方を含む)  $X_{gi}$  は、税収合計  $T$  から政府貯蓄  $S_g$  を差し引いた政府総支出に比例するものとみなす。

$$(16) \quad X_{gi} = \frac{\mu_i}{p_{Qi}} (T - S_g)$$

政府貯蓄は税収合計に比例して

$$(17) \quad S_g = s_g T$$

とする。税収は家計所得税  $T_H$ 、生産税  $T_{Zi}$  の他に関税第  $i$  部門の財の輸入に課す関税  $T_{Mi}$  がある。

$$(18) \quad T = T_H + \sum_{i=1}^8 T_{Zi} + \sum_{i=1}^8 T_{Mi}$$

$$(19) \quad T_{Zi} = \tau_{Zi} p_{Zi} Z_i$$

$$(20) \quad T_{Mi} = \tau_{Mi} p_{Mi} M_i$$

式(20)において  $M_i$  は第  $i$  部門の財の輸入、 $p_{Mi}$  は第  $i$  部門輸入財の価格、 $\tau_{Mi}$  は同関税率である。以上より、政府の財政収支は



$$(21) \quad B = \left( T_H + \sum_{i=1}^8 \tau_{Zi} p_{Zi} Z_i + \sum_{i=1}^8 \tau_{Mi} p_{Mi} M_i \right) - \sum_{i=1}^8 \frac{\mu_i}{p_{qi}} (T - S_g)$$

となる。

パラメータ  $\mu_i$  の値は、2005 年の時点で (16) が成立するように決める。政府貯蓄率  $s_g$  および税率  $\tau_{Zi}$ ,  $\tau_{Mi}$  は 2005 年全国産業連関表より求めたものを用いる。

### (3) 設備投資

企業の設備投資は、経済全体の総貯蓄  $S$  を原資として行われる。設備投資のために需要される第  $i$  部門の財を  $X_{Vi}$  とすると、 $X_{Vi}$  は総貯蓄に比例するものとする。

$$(22) \quad X_{Vi} = \frac{\lambda_i}{p_{qi}} S$$

総貯蓄  $S$  は家計貯蓄  $S_p$ 、政府貯蓄  $S_g$ 、対外貯蓄  $S_f$  (経常収支赤字) の和である。

$$(23) \quad S = S_p + S_g + \varepsilon S_f$$

ここで  $S_f$  はドル建てで、 $\varepsilon$  はドル建円レート (¥/\$) である。円レートは一定とし、為替相場は変動しないものとする。

パラメータ  $\lambda_i$  の値は、2005 年において (20) 式が成立するように決めるものとする。

### (4) 中間需要

第  $i$  部門の財に対する第  $j$  部門からの中間需要  $X_{ij}$  は、投入係数  $a_{ij}$  により決まる。したがって、第  $i$  部門の財に対する中間需要の合計  $X_i$  は

$$(24) \quad X_i = \sum_{j=1}^8 a_{ij} Z_j$$

となる。

### (5) 国内財需要と輸入

第  $i$  部門の財に対する家計消費、政府消費、設備投資、中間需要を合計したものが、同部

門の財に対する総需要  $Q_i$  である。すなわち

$$(25) \quad Q_i = X_{pi} + X_{gi} + X_{Vi} + \sum_{j=1}^8 a_{ij} Z_j$$

であるが、 $Q_i$  は国内で生産された財 (国内財) への需要と輸入された財への需要の双方を含んでいる。第  $i$  部門の財のうち国内財に対する需要を  $D_i$ 、輸入財に対する需要を  $M_i$  とする。国内財と輸入財が完全代替であれば  $Q_i = D_i + M_i$  であるが、ここでは両者は差別化されていて不完全代替であると仮定する。このため、国内財と輸入財、総需要の関係は、

$$(26) \quad Q_i = q(D_i, M_i)$$

のような関数によって記述され、不完全代替の程度は関数  $q$  の性質によって決まる。ここでは CES 型を仮定し、

$$(27) \quad Q_i = \gamma_i (\delta_{Di} D_i^{\eta_i} + \delta_{Mi} M_i^{\eta_i})^{\frac{1}{\eta_i}}$$

とする。国内財と輸入財の比率は、国内財  $D_i$  と輸入財  $M_i$  を調達して総需要  $Q_i$  を満たすように配給する流通業者を想定して、あたかもその利潤  $p_{qi} Q_i - (p_{Di} D_i + (1 + \tau_{Mi}) p_{Mi} M_i)$  が最大になるように決まるものとする。ここで  $p_{Di}$  は第  $i$  部門の国内財の価格である。この利潤を最大化する条件より

$$(28) \quad D_i = \left( \frac{\delta_{Di} \gamma_i^{\eta_i} p_{qi}}{p_{Di}} \right)^{\frac{1}{1-\eta_i}} Q_i$$

$$(29) \quad M_i = \left( \frac{\delta_{Mi} \gamma_i^{\eta_i} p_{qi}}{(1 + \tau_{Mi}) p_{Mi}} \right)^{\frac{1}{1-\eta_i}} Q_i$$

を得る。

関数 (27) のパラメータは  $\eta_i = 0.5$  とする。その意味は、国内財と輸入財の代替弾力性が 2、すなわち国内財の輸入財に対する相対価格が 1% 上昇 (下落) したとき、国内財の輸入財に対する相対需要が 2% 減少 (増加) することを意味する。一方、 $\gamma_i, \delta_{Mi}, \delta_{Di}$  については 2005 年において (27) (28) (29) 式が成立するように決める。

## 5. 国内市場の需給均衡

第  $i$  部門の国内財に対する需要  $D_i$  と供給  $S_i$  は均衡する。

$$(30) \quad D_i = S_i \quad i = 1, 2, \dots, 8$$

## 6. 貿易収支

第  $i$  部門の財の輸出  $E_i$ 、同輸入  $M_i$  に基づき、貿易収支バランスは次のように書ける。

$$(31) \quad \sum_{i=1}^8 p_{Ei}^W E_i + S_f = \sum_{i=1}^8 p_{Mi}^W M_i$$

ここで  $p_{Ei}^W$ 、 $p_{Mi}^W$  はそれぞれ第  $i$  部門の財の国際輸出価格（ドル建）と同国際輸入価格（ドル建）である。よって  $S_f$  はドル建ての経常収支赤字（対外貯蓄）に相当する。

本モデルは国際価格は与えられるものとし内生変数としない。為替レートも外生的に先決しているものとする。

## 7. CO<sub>2</sub> 排出

CO<sub>2</sub> の排出は、各部門の生産と家計および政府の消費を通じて発生する。これら社会会計表に基づくアクティビティの CO<sub>2</sub> 排出原単位は明らかではない。しかし、太陽光発電買取制度のインパクトの大部分は電力需給バランスへの影響であることから、CO<sub>2</sub> の排出量は経済全体の電力消費（ $Z_7$ ）に由来するもののみを考慮する。つまり、

$$(32) \quad CO_2 = kv_p Z_7$$

$$v_p = 15.1 \text{ (円/kwh)}$$

$$k = 0.000550 \text{ (t-CO}_2\text{/kwh)}$$

CO<sub>2</sub> は排出量で単位はトン (t)、 $Z_7$  は金額表示（2005年円価値単位）であるので単位換算が必要である。2005年度の使用電力量は1043800百万kwh（電気事業連合会「電気事業便覧」）である一方、2005年全国産業連関表の電力業の国内生産額は15783367百万円であるので、1 kwhは2005年円価値単位では

15.1円となる。よって  $v_p = 15.1$  (円/kwh) である。

また、CO<sub>2</sub> 排出原単位は、経済産業省「平成23年度の電気事業者ごとの実排出係数」の代替値を用い0.000550 (t-CO<sub>2</sub> /kwh)を用いている。

## 8. 等価変分

モデルは効用(11)が最大になるように解く。買取制度の費用を計測するため、等化変分を用いて効用を貨幣単位で近似する。等価変分は、経済状態の変化によって効用が変化するとき、価格を変化前の水準に固定したとして、変化後の効用水準を実現するために必要な消費支出の増分である。

形式的には、ある価格水準の下で、所与の効用水準を達成可能な最小の消費支出の大きさを与える関数を最小支出関数と呼ぶが、効用関数(12)に対応する最小支出関数は

$$(33) \quad E(p_{q1}, p_{q2}, \dots, p_{q8}, U) = \frac{\prod_i p_{qi}^{\alpha_i}}{\prod_i \alpha_i^{\alpha_i}} U$$

である。状態変化前の価格と効用を  $p_{qi}^0, U^0$ 、変化後の効用を  $U^1$  とすると、等価変分  $EV$  は

$$(34) \quad EV = E(p_{q1}^0, p_{q2}^0, \dots, p_{q8}^0, U^1) - E(p_{q1}^0, p_{q2}^0, \dots, p_{q8}^0, U^0)$$

のようにして計算できる。

## III. シミュレーション・モデル

家計が設置した住宅用太陽光発電システムからの発電電力は、一定割合  $\omega$  を自家消費し余剰を電力会社に売電する。自家消費率が0 ( $\omega = 0$ ) であれば全量買取となる。電力会社は買取に要する費用を電力価格に転嫁して回収する。また、太陽光発電システムの設

置は経済全体での電力供給力の増加であり、電力需給バランスに影響する。

これらの効果をモデルに取り込んだ上で、買取価格の水準と太陽光発電システム設置に対する補助金のマクロ経済への影響についてシミュレーション分析を行う。そのために必要な基本モデルの拡張と修正について、以下で説明する。

### 1. 家計所得

モデルにおいて、家計の太陽光発電システムに対する需要は  $Z_6$  (2005 年円価値単位) である。2005 年における太陽光発電のシステム価格は 66 万円/kw である (経済産業省「平成 23 年度エネルギー白書」) ので、円価値単位から kw への変換係数はその逆数  $0.15 \times 10^{-5}$  (kw/円) となる。よって、住宅用太陽光発電システムの新規増設  $D_{SUN}$  (kw) は

$$(35) \quad D_{SUN} = v_S^{-1} Z_6 \\ v_S = 6.6 \times 10^5$$

となる。既存の設備容量を  $F_{SUN}$  (kw) として、既存設備と新設設備から得られる発電量  $R_{SUN}$  (kwh) は、システムの年平均稼働率を既存設備について 12%，新規増設分については 6% とすると

$$(36) \quad R_{SUN} = 0.12 \times 8760 \times (0.5 D_{SUN} + F_{SUN})$$

である<sup>3)</sup>。さらに買取価格を  $\rho$  (円/kw) とすれば、年間買取額  $I_{SUN}$  (円) は自家消費率  $\omega$  の下で

$$(37) \quad I_{SUN} = \rho(1-\omega)R_{SUN}$$

となる。家計所得の増加は、家計消費、家計貯蓄、家計所得税に影響を与える。このため、式(13)(14)(15)は以下のように変更される。

$$(38) \quad X_{pi} = \frac{\alpha_i}{p_{Qi}} (p_{FL} F_{Li} + p_{KL} F_{Ki} + I_{SUN} - S_p - T_H) \\ i \neq 6, 7$$

$$(39) \quad S_p = s_p (p_{FL} F_{Li} + p_{KL} F_{Ki} + I_{SUN})$$

$$(40) \quad T_H = \tau_H (p_{FL} F_{Li} + p_{KL} F_{Ki} + I_{SUN})$$

### 2. 電力需給

電力の国内市場需給バランスは、系統に家計から売電された電力分だけ供給が増加する。よって、式(25)は電力部門 (第 7 部門) について以下のように修正される。

$$(41) \quad Q_7 = X_{p7} + X_{g7} + X_{v7} \\ + \sum_{j=1}^8 a_{7j} Z_j - v_p (1-\omega) R_{SUN}$$

一方、需要側では自家消費分だけ系統電力に対する需要が減少する。つまり、(13)式は電力需要について

$$(42) \quad X_{p7} = \frac{\alpha_7}{p_{Q7}} (p_{FL} F_{Li} + p_{KL} F_{Ki} + I_{SUN} - S_p - T_H) \\ - v_p \omega R_{SUN}$$

のように修正される<sup>4)</sup>。

### 3. 電力価格

電力会社の買取費用は電気料金に転嫁して回収される。このため、式(6)は電力部門 (第 7 部門) について、次のような修正を行う。

$$(43) \quad p_{Z7} = \sum_k a_{k7} p_{2k} + a_{y7} p_{y7} + \frac{I_{SUN}}{Z_7}$$

### 4. 太陽光システム設置補助金

家計による太陽光システム設置の際に、 $\pi$  (円/kw) だけの補助金が交付される場合、太陽光発電システムの設置価格  $p_{Q6}$  は  $v_S^{-1} \pi$  だけ下落することになる。よってこの場合、同システムに対する需要は式(13)を次のように変更する。

$$(44) \quad X_{p6} = \frac{\alpha_i}{(p_{Q6} - v_S^{-1} \pi)} \\ \times (p_{FL} F_{Li} + p_{KL} F_{Ki} + I_{SUN} - S_p - T_H)$$

補助金の財源は、家計から一括税として徴収



することにして、式(40)を次のように変更する。

$$(45) \quad T_H = \tau_H(p_{FL}F_{Li} + p_{KL}F_{Ki} + I_{SUN}) + v_s^{-1}\pi X_{g6}$$

#### IV. シミュレーション分析 1：買取価格，設置補助金，買取方式

##### 1. 前提

住宅用太陽光発電電力の買取制度のシミュレーション分析として、以下のような想定を置く。制度は2012年度当初に開始されたものとし、電力買取の対象となる設備は2012年度に新設される設備の50%と、2011年度末までの累積設備量の約55%とする。2012年度に新設される設備については、稼働時点が年間を通じて一様に分布するとすれば設備年齢は平均0.5年となることを考慮する。

既存設備については、2011年度末で407.8万kw（経済産業省「平成23年版資源エネルギー白書」）存在する。しかし経済産業省「再生エネルギーの固定価格買取制度について」（平成24年7月）では2012年度中の買取対象を約32億kwhと見込んでいる。同資料は2012年度の導入見込みを約150万kwとしており、新設住宅用太陽光発電の平均稼働率を6%とすると、年間発電量は約8億kwhとなる。そこで残る24億kwhが既存設備からの買取であるとして、既存設備の平均稼働率を12%とすると230万kw程度が買取対象として含意されていることがわかる。この想定にしたがい、以下では既存設備容量を230万kwとする。

現行の固定価格買取制度は全量買取制度であり、買取価格は42円/kwh、また住宅用太陽光発電導入支援対策補助事業により設備設置時に7万円/kwの補助金が交付されている。この現状を標準ケースとし、買取価格、補助金に変化した場合、および全量でなく自家消

費を40%として余剰買取が行われた場合について、以下のようなケースのシミュレーション分析を行う。

	買取価格	補助金	自家消費率	
ケース1A	42円/kwh	7万円/kw	0%	標準ケース
ケース2A	30円/kwh	7万円/kw	0%	低買取価格ケース
ケース3A	50円/kwh	7万円/kw	0%	高買取価格ケース
ケース4A	42円/kwh	0万円/kw	0%	補助金廃止ケース
ケース5A	42円/kwh	14万円/kw	0%	補助金倍額ケース

次に、太陽光発電電力の40%が自家消費され、60%の余剰が買取の対象となることを想定し、全量買取の場合と同様のケースについてシミュレーションを行う。

	買取価格	補助金	自家消費率	
ケース1B	42円/kwh	7万円/kw	40%	標準ケース
ケース2B	30円/kwh	7万円/kw	40%	低買取価格ケース
ケース3B	50円/kwh	7万円/kw	40%	高買取価格ケース
ケース4B	42円/kwh	0万円/kw	40%	補助金廃止ケース
ケース5B	42円/kwh	14万円/kw	40%	補助金倍額ケース

この他、補助金の使い方について、現行の太陽光発電システム設置に対する補助ではなく、電力への価格補助を行うケースと産業の電力使用に対して補助金を支出するケースのシミュレーションを行ったが、その結果は第5節に示す。

##### 2. 概観

ケース1A～5A、ケース1B～5Bについて、太陽光発電システム新設容量、電力価格上昇率、電力由来CO<sub>2</sub>排出削減量、等価変分、および等価変分をCO<sub>2</sub>排出削減量で割ったCO<sub>2</sub>のトンあたり排出削減費用を表1に一覧する。また、等価変分とCO<sub>2</sub>のトンあたり排出削減費用の結果について、図2a, bに示す。

表 1 シミュレーション分析結果：買取価格，設置補助金，買取方式

	太陽光発電 新設容量	電力価格 上昇率	CO <sub>2</sub> 排出 削減量	等価変分	CO <sub>2</sub> 単位 削減費用	買取価格	設置補助金	全量/余剰
単位	万kw	%	万 t-CO <sub>2</sub>	10億円	千円/t-CO <sub>2</sub>	円/kwh	万円/kw	
Case 1A	131.3	0.949	152.4	-103.1	67.6	42	7	全量
Case 2A	90.7	0.617	112.6	-128.9	114.5	30	7	全量
Case 3A	159.9	1.194	182.1	-124.4	68.3	50	7	全量
Case 4A	117.4	0.921	146.9	-23.1	15.7	42	0	全量
Case 5A	149.0	0.985	159.4	-214.6	134.7	42	14	全量
Case 1B	131.3	0.572	92.5	-94.1	101.7	42	7	余剰
Case 2B	90.7	0.366	72.6	-121.8	167.8	30	7	余剰
Case 3B	160.0	0.724	107.5	-114.0	106.0	50	7	余剰
Case 4B	117.4	0.553	88.4	-13.9	15.7	42	0	余剰
Case 5B	149.1	0.597	97.7	-205.9	210.8	42	14	余剰

\* 余剰買取の場合，家計の太陽光発電の自家消費率は40%

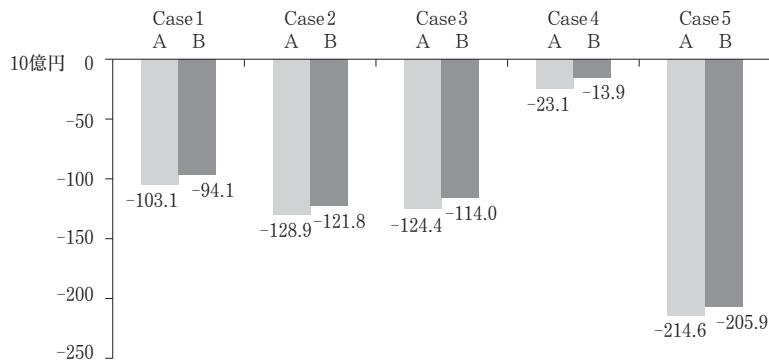


図 2 a 等価変分

A：全量買取 B：余剰買取（自家消費率40%）

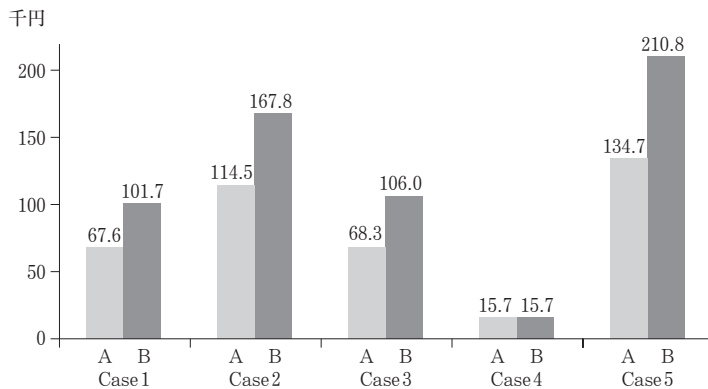


図 2 b CO<sub>2</sub>単位削減費用

A：全量買取 B：余剰買取（自家消費率40%）

想定通り、すべてのケースにおいて買取制度の導入後、太陽光システムの設置容量は増加する。CO<sub>2</sub> 排出量は減少する一方で電力価格は上昇し、買取による家計の所得増の効果は電力価格上昇によって打ち消され、等価変分は低下する。CO<sub>2</sub> 排出量の削減を大きくしようとして太陽光発電システムの導入量を増やすほど、家計所得は増加し電力料金の上昇が生じる一方、電力需要とそれに伴う CO<sub>2</sub> 排出量は、家計所得増により増加し電力料金の上昇によって減少する。このため、CO<sub>2</sub> の削減効率、つまり1トン削減するのに要する必要な等価変分の減少（等価変分で測った CO<sub>2</sub> 単位削減費用）がどうなるかは自明ではない。

### 3. 買取価格の効果

まず買取価格の効果を見るため標準ケース 1A（買取価格42円/kwh）を、買取価格以外の条件を一定として、ケース 2A（30円/kwh）とケース 3A（50円/kwh）に対して比較する。買取価格が高いほど、太陽光発電システムの新設容量は増加する。標準ケース42円/kwhでは131万kwであるのに対し、ケース 3A（50円/kwh）では160万kwとなる。

同様に、電力価格上昇率、CO<sub>2</sub> 排出量とも買取価格が高いほど大きくなり、低買取価格のケース 2Aでは0.62%の電力価格上昇とともに CO<sub>2</sub> が113万t削減され、標準ケース 1Aでは0.95%の上昇で削減量は152万tとなる。これが買取価格50円/kwhのケース 3Aでは、1.2%の電力価格上昇に伴い182万tの CO<sub>2</sub> 排出が削減される。CO<sub>2</sub> 排出削減量は、太陽光発電システム新設容量にほぼ比例するといえる。稼働率を一定としているため、容量の相違は太陽光の発電電力量の相違であり、太陽

光が増えた分がそのまま CO<sub>2</sub> 排出量削減につながっている。

一方、等価変分は標準ケースで約-1000億円であるが、買取価格が標準ケースより低くても高くても等価変分は減少する。高買取価格のケース 3Aで等価変分が減少するのは、標準ケースに比べ電力価格の上昇による実質所得の目減り効果が、売電による所得増の効果を上回るためであり、低買取価格のケース 3Bで等価変分が減少するのはその逆、つまり売電量の減少による所得減の効果が、電力価格上昇率の低下による実質所得増の効果を上回るからである。したがって、現行の買取価格42円/kwhは等価変分の観点からは、ほぼ妥当な水準であるとみなすことができる<sup>5)</sup>。

これに対して CO<sub>2</sub> 排出量削減を目的とするならば、買取価格は高い方が望ましい。そこで排出量削減の効率性を評価するために、等価変分を削減量で割って削減量1トンあたりの費用を見ると、1トン当たりの削減費用は標準ケースが6万7600円、高買取価格のケース 3Aがそれとほぼ同等の6万8300円であり、低買取価格のケース 2Aでは11万4500円と高くなる。したがって、CO<sub>2</sub> 排出削減量を大きくしたい場合には、現行の買取価格よりもう少し高い価格を設定する選択肢もあり得るといえる<sup>6)</sup>。

### 4. 補助金の効果

次に、買取価格は標準ケースに固定して、太陽光システム設置補助金を廃止した場合（ケース 4A）と補助金を倍額の14万円/kwにした場合（ケース 5A）を標準ケース 1Aと比較する。

太陽光発電システムの新設は補助金が高いほど増加し、補助金がないケース 4Aに比べ、

7 万円/kw の標準ケース 1A では約 12% 増加、補助金を倍額するケース 5A では約 27% の増加となる。電力価格上昇率は補助金が無いケース 4A で 0.92%、標準ケース 1A で 0.95%、補助金倍額のケース 5A で 0.99% となる。電力由来 CO<sub>2</sub> 排出削減量も補助金額が大きいほど多くなり、補助金無しのケース 4A で 147 万 t、標準ケース 1A で 152 万 t である。

等価変分は、補助金額が大きくなるほど減少する。補助金が 0 円、7 万円、14 万円のケースで、等価変分はそれぞれ -230 億円、-1030 億円、-2150 億円となる。このような性質は、補助金の財源が税金であることによる。一般に、課税は家計の最適（効用最大となる）資源配分に歪みをもたらす効果が大きく、補助金が大きくなれば等価変分に与える影響も大きい。CO<sub>2</sub> の単位削減費用で見ると、補助金 0 の場合 1 万 5700 円、標準ケースの 7 万円/kw で 6 万 7500 円、14 万円/kw で 13 万 4700 円となる。効率性を考慮するなら、CO<sub>2</sub> のさらなる削減のためには補助金よりも買取価格の引き上げの方が望ましい。

たとえば、補助金を 0 にしても買取価格を 45 円/kwh に引き上げるシミュレーションを行うと CO<sub>2</sub> 排出削減量は 157.1 万 t となり、標準ケース 1A の削減量を若干上回ることができる。この場合、CO<sub>2</sub> の単位削減費用は 1 万 700 円となり、標準ケース 1A（6 万 7600 円）より大幅に引き下げることができる。

## 5. 余剰買取の効果

ここまで見てきたケースは、いずれも太陽光発電電力は自家消費がゼロ、すなわち全量買取が前提であった。これを余剰買取の場合と比較する。以下では、太陽光発電電力の 4 割（固定）が自家消費され、6 割が電力会社

に売電されるものとして余剰買取のシミュレーションを行った。ケース 1B～5B はそれぞれ、ケース 1A～5A を余剰買取に変更したものである。

全量買取か余剰買取かの相違は、太陽光発電システムの新設に影響を与えない。両者の相違は電力価格の上昇率に表れ、買取コストの差額だけ全量買取の方が電力価格は高くなる。その差は最大で 0.47% ポイント（高買取価格のケース 3A/B）、最小で 0.25% ポイント（低買取価格のケース 2A/B）である。

CO<sub>2</sub> 排出の削減量は全量の場合の方が大きく、全量買取は余剰買取の場合の 1.5 倍から 1.7 倍の削減量となる。太陽光システムの新設量が同じであるにもかかわらず、CO<sub>2</sub> 削減量に差が出るのは電力価格の上昇率に差があるからで、全量の場合は電力価格が高くなることで電力需要を抑制して CO<sub>2</sub> 削減量を大きくしている。

しかし、全量買取は電力価格が高くなることから、等価変分は余剰買取の方が大きくなる。いずれのケースにおいても、等価変分は全量買取よりも余剰買取の方が 100 億円程度大きくなるのがわかる。ただし、単位削減費用で見ると全量の方が全般的に有利であり、ケース 4A/B を除き、余剰買取では単位削減費用が全量買取の場合の 1.5 倍程度になる。しかし補助金を 0 とするケース 4A/B では、全量買取、余剰買取とも単位削減費用にほとんど差がなく、しかもこのケースの時に単位削減費用は最小となる。

## V. シミュレーション分析 2：補助金政策

### 1. 前提

ここでは補助金について、現行の太陽光発

電システムの設置に対してではなく、別の方法で補助金を支出することを想定する。太陽光発電の買取制度は買取により家計の所得を高める一方で、電力価格の上昇が家計の効用を損なう原因となっている。そこで、電力価格の上昇を抑えることを目的として、電力に対し価格補助金を支出することが考えられる。また、ドイツなど固定価格買取制度を運用している国で採用されているように、産業の電力需要に対して補助金を支出して費用の高騰を抑える場合を想定する。これら二つのケースについて、標準ケース1Aをベースにして買取価格42円/kwh、全量買取の下でシミュレーションを行う。その際、比較のために補助金総額は7万円×新設太陽光発電システム容量になるものとする。この場合、新設容量がシミュレーションによって異なるため、実際の補助金総額は標準ケース1Aと等しくはならない。補助金の財源は標準ケース1Aと同じく、家計から税として徴収する。

電力価格補助金のケースを6A、産業電力需要に対する補助金のケースを7Aとする。

	買取価格	補助金	自家消費率	
ケース6A	42円/kwh	7万円/kw相当	0%	電力に価格補助金
ケース7A	42円/kwh	7万円/kw相当	0%	産業の電力需要に補助金

電力価格補助金のケース6Aについて具体的には、補助金総額を  $v_S^{-1} \pi X_{p6}$  として、これを電力（第7部門）価格を決定する式(43)右辺から引く。すなわち(43)の代わりに

$$(46) \quad p_{Z7} = \sum_k a_{k7} p_{Zk} + a_{Y7} p_{Y7} \frac{I_{SUN}}{Z_7} - v_S^{-1} \pi X_{p6}$$

を用いる。

産業の電力需要を補助するケース7Aの場合は、やはり補助金総額を  $v_S^{-1} \pi X_{p6}$  とすると、補助金は各産業部門の電力需要に応じて配分される。各産業の電力需要はそれぞれの部門の電力投入係数  $a_{7i}$  の大きさで決まる。第k産業部門（電力を除く）の補助金配分シェアは、 $a_{7k} / \sum_i a_{7i}$  となるので、これに補助金総額を乗じて電力を除く各産業部門の価格決定式の左辺から引く。つまり、電力を除く各産業部門の価格決定式(6)を次のように変更する。

$$(47) \quad p_{Zi} = \sum_k a_{ki} p_{Zk} + a_{Yi} p_{Yi} - \left( a_{7k} / \sum_i a_{7i} \right) v_S^{-1} \pi X_{p6} \quad i \neq 7$$

## 2. 結果

ケース6A、7Aの主要な結果について、標準ケース1Aとともに表2にまとめて示す。

標準ケース1Aは、3ケースの中で新設容量が最も多くCO<sub>2</sub>排出量削減も最大である。単位削減費用も最小であるが、等価変分は最

表2 シミュレーション分析結果：補助金政策

	太陽光発電 新設容量	電力価格 上昇率	CO <sub>2</sub> 排出 削減量	等価変分	CO <sub>2</sub> 単位 削減費用	買取価格	設置補助金	全量/余剰
単位	万kw	%	万t-CO <sub>2</sub>	10億円	千円/t-CO <sub>2</sub>	円/kwh	万円/kw	
Case1A	131.3	0.949	152.4	-103.1	67.6	42	7	全量
Case6A	117.4	0.336	55.6	-88.9	159.9	42	電力価格に補助金	全量
Case7A	119.6	0.782	125.2	-97.5	77.8	42	産業の電力需要に補助金	全量

\* すべてのケースについて、補助金総額は7万円×太陽光発電新設容量(kw)で決まる。ただし、それぞれのケースで新設容量は異なるので補助金額の水準は異なる。

\* 補助金の財源は家計に対する課税である。



小となる。電力価格補助金のケース 6A は、電力価格上昇率を低く抑えることで等価変分は最大となるが、電力価格が低いために CO<sub>2</sub> 排出の削減量は少なくなる。ケース 7A は、標準ケースと電力価格補助金の中間で、CO<sub>2</sub> 削減量、等価変分、CO<sub>2</sub> 単位削減費用とも 3 ケース中の中位である。

太陽光発電システムの新設容量については、設置に補助金を出す標準ケース 1A が 131 万 kw で最も多い。これに次ぐのが産業の電力需要補助の 120 万 kw であるが電力価格補助の 117 万 kw と大差はない。しかし電力価格の上昇率はケース 6A と 7A で大きな差があり、電力価格を補助するケース 6A では 0.34% の上昇に止まるのに対し、産業の電力需要を補助するケース 7A では 0.78% となる。この結果、CO<sub>2</sub> 排出の削減量はケース 6A で 55.6 万トン、ケース 7A で 125 万トンとなる。CO<sub>2</sub> 排出削減量が最大になるのは標準ケースの 152 万トンで、削減量を重視する場合はシステム設置に対する補助金が有利である。

等価変分では、電力価格補助金のケース 6A が最大で 890 億円となり、電力価格抑制の効果が表れている。しかし、CO<sub>2</sub> 単位削減費用ではケース 6A が突出して高く 16 万円となる。他の 2 ケースが 7 万 8000 円（電力価格補助、ケース 7A）と 6 万 8000 円（システム設置補助、標準ケース 1A）であるので、効率性の観点から電力価格補助は採用し難いと考えられる。補助金の使い方としては、CO<sub>2</sub> 削減量重視なら現行のシステム設置補助が妥当であり、等価変分を考慮する場合は産業電力需要に対する補助金も選択肢としてあり得る。

## VI. 結論

住宅用太陽光の発電電力買取制度について、制度設計に資するシミュレーション分析を行った。制度の目的として、CO<sub>2</sub> 削減量を重視するのか、削減効率（単位削減費用）を重視するのか、それとも家計の効用に配慮するのかにより評価は異なる。以上の分析を要約すると、次のような結論が導かれる。

- (1) 現行の方式の下では、等価変分、CO<sub>2</sub> 削減の費用効率（単位削減費用）の両面で、42 円/kwh の買取価格は概ね妥当であるといえる。
- (2) 太陽光システムに対する設置補助金は資源配分に歪みをもたらす効果が強く、補助金を廃止した場合には等価変分が大きく改善する。補助金の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果は認められるが、買取価格の引き上げによっても同じ効果が得られるため、もし一層の CO<sub>2</sub> 削減を目指す場合は、少なくとも資源配分の効率性の観点からは補助金よりも買取価格の引き上げを行う方が望ましい。
- (3) 全量買取か余剰買取かという選択では、CO<sub>2</sub> 削減効果と削減効率の点で全量買取の方が有利であり、等化変分では余剰買取が有利となる。ただし、補助金を廃止した場合には、削減効率の点でも余剰買取は全量買取と遜色ないパフォーマンスを示すので、余剰買取を採用する場合には補助金を廃止した上で所要の CO<sub>2</sub> 削減量を得られるだけの買取価格を設定することが望ましい。
- (4) 補助金の使い方として、電力価格に対する補助は CO<sub>2</sub> 削減の費用効率の点で難があり、採用を推奨できない。一方、太陽光発電システムの設置に対する補助金は CO<sub>2</sub> 排出削減効果が大きく、産業の電力需要に

対する補助金支出は等価変分の点で優位である。よって、補助金を政策として用いる場合は、この二つの方式を代替的に用いるか併用することも考えられる。

## 付記

本稿は国立大学法人名古屋大学と株式会社トヨタIT開発センターとの間の共同研究「スマートコミュニティの経済効果算定」による成果の一部である。

## 注

- 1) 政府エネルギー・環境会議コスト等検証委員会報告書（平成23年12月19日）による。導入ポテンシャルとは、経済性や系統接続費用を考慮せず自然条件と技術条件のみを制約とした最大導入可能エネルギーである。
- 2) この内閣府の資料はエネルギー経済研究所への委託調査報告である。
- 3) 新規増設分については、稼働開始時点が年間を通じて一様に分布するとみなし、平均稼働率を既存設備の半分と考える。
- 4) 式(42)を(41)に代入すればわかるように、電力の国内市場需給は自家消費率から独立である。

- 5) 等価変分の減少を最小化する買取価格は現行の水準よりやや低く40円/kwhとなる。この結果の前提条件としては、効用関数のパラメータを決める基礎として用いている2011年時点の太陽光システム需要が効用最大化条件と整合的であることと、設置補助金が7万円/kwであることが重要である。
- 6) CO<sub>2</sub>単位削減費用を最小化する買取価格は45円/kwhである。

## 参考文献

- 中野諭（2006）「住宅用太陽光発電のCO<sub>2</sub>削減効果とユーザーコストの計測」 Keio Economic Observatory Discussion Paper, No. 102.
- 松村敏弘（2010）「太陽光発電、全量購入を」『日本経済新聞』経済教室，2010年8月20日。
- 明城聡・大橋弘（2009）「住宅用太陽光発電普及に向けた公的補助金の定量分析」文部科学省科学技術政策研究所 Discussion Paper.

（株式会社トヨタIT開発センター）  
（名古屋大学大学院経済学研究科）  
（鉄道情報システム株式会社）