

2018 年度 卒業論文

太陽光発電普及政策の分析
～固定価格買取制度の政策効果～

慶應義塾大学 経済学部
石橋孝次研究会 第 19 期生

増田 竜之

序章

電力、ガスといった公益事業は 2011 年の東日本大震災と福島第一原発事故によって大きく変化したと考えられている。原発依存からの脱却が進み、地域独占や発送電一貫体制などといったこれまでの事業の在り方が見直されている。特に電気事業については、電力システム改革を通じて、大きく変化している。新規参入者が増加する一方で、旧一般電気事業者は 2020 年には送配電分離が実施される。

本論文では電気事業において、2012 年に施行された固定価格買取制度に着目した。二酸化炭素排出削減の切り札として、また国産エネルギーにもなる再生可能エネルギーの普及させるための制度である。日本ではなく、海外でも導入された事例もあるメジャーな制度ではあるが、今日では様々な問題点が挙げられており、改廃をすべきという声もある。

こうした視点から本論文では、以下のような構成をとっている。まず第 1 章で固定価格買取制度についての現状分析を述べた。第 2 章で固定価格買取制度が電力小売市場や再生可能エネルギー市場に与える影響を考察し、それを踏まえたうえで第 3 章では、住宅用太陽光パネルの需要関数を求めることで、固定価格買取制度が太陽光パネルの需要に与える影響を実証的に分析した。第 4 章では求めた需要関数を使ってシミュレーション分析を行い、今後太陽光発電がどのように伸びていくのか、またそれによる CO₂ の削減量や経済価値などを求めている。

目次

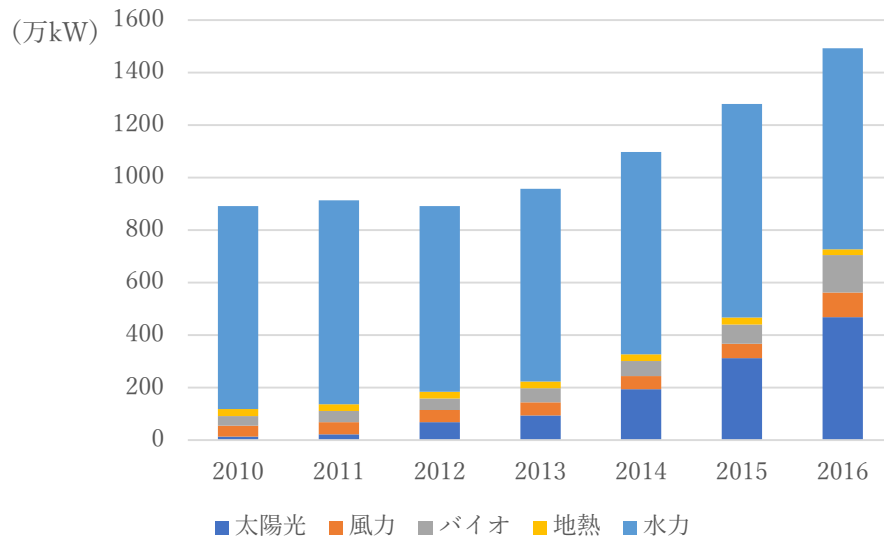
第1章 現状分析	1
2章 住宅用太陽光パネルの需要関数の推定 理論分析	5
2.1 固定価格買取制度が行われない場合の市場均衡	5
2.2 固定価格買取制度が行われる場合の市場均衡	7
第3章 住宅用太陽光パネルの需要関数の推定	10
3.1 先行の研究紹介	10
3.1.1 太陽光発電のオーナーシップコスト	10
3.1.2 需要モデル	11
3.1.3 太陽電池の費用関数	11
3.1.4 データ	12
3.1.5 推定結果	13
3.2 実証分析	17
3.2.1 データ	17
3.2.2 推定結果	18
第4章 固定価格買取制度に関するシミュレーション分析	23
4.1 先行研究の紹介	23
4.1.1 シミュレーションに用いる仮定	23
4.1.2 太陽光発電の普及シミュレーション	24
4.1.3 CO ₂ 削減効果のシミュレーション	26
4.1.4 余剰電力買取制度の費用対効果	28
4.1.5 全量買い取りの場合のシミュレーション	31
4.2 シミュレーション分析	33
4.2.1 シミュレーションに用いる需要関数と仮定	33
4.2.2 累積導入量のシミュレーション結果	34
4.2.3 CO ₂ 削減効果のシミュレーション結果	35
4.2.4 CO ₂ 削減効果の経済的価値	36
第5章 結論	38
参考文献	39
あとがき	40

第 1 章 現状分析

固定価格買取制度とは、「太陽光」「風力」「水力」「地熱」「バイオマス」の 5 つのいずれかの再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で一定期間買い取る制度である。一般的な電気の価格よりも高値で買い取り、その差額を広く薄く電気料金に上乗せする。日本では、2012 年 7 月 1 日から施工されていて、海外でもドイツやスペインなどで導入された事例がある。この制度の趣旨は、発電設備の高額な建設コストに対する回収の見通しが立ちやすくし、現状コストの高い再生可能エネルギーの導入の促進を図る点にある。

再生可能エネルギーとは太陽光、風力、波力、潮力、地熱、バイオマスなどから得られるエネルギーをいう。水力を除くと、再生可能エネルギーの中でも、太陽光、風力、地熱などへの依存度は、非常に低い。ただ、近年、世界で新設される発電所に占める再生可能エネルギー発電割合は急速に伸びている。図 1-1 は再生可能エネルギーによる発電量の推移を表したもの。固定価格買取制度が導入された 2012 年以降、太陽光発電の伸びは顕著であることがわかる。そこで本研究ではその中でも太陽光発電に焦点を当てる。

図 1-1 再生可能エネルギーによる発電量の推移

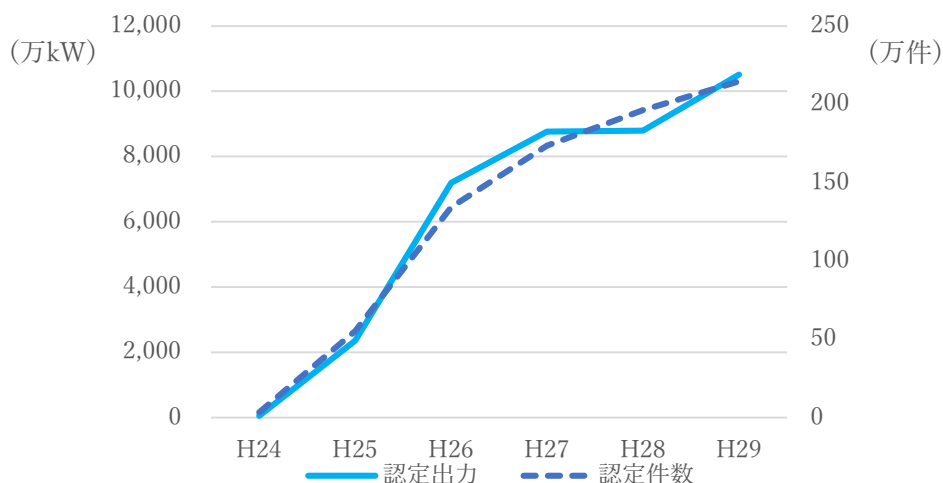


出所：自然エネルギー財団ホームページ

固定価格買取制度は国が定める要件を満たす事業計画を策定し、その計画に基づい

て新たに発電を始められる方が対象としているが、図 1-2 からわかるようにその認定件数、認定発電量は一貫して上昇している。なお、発電した電気は全量が買取対象になるが、住宅の屋根に載せるような 10kW 未満の太陽光パネルの場合は、自分で消費した後の余剰分が買取対象となる。

図 1-2 固定価格買取制度の認定出力・認定件数の推移

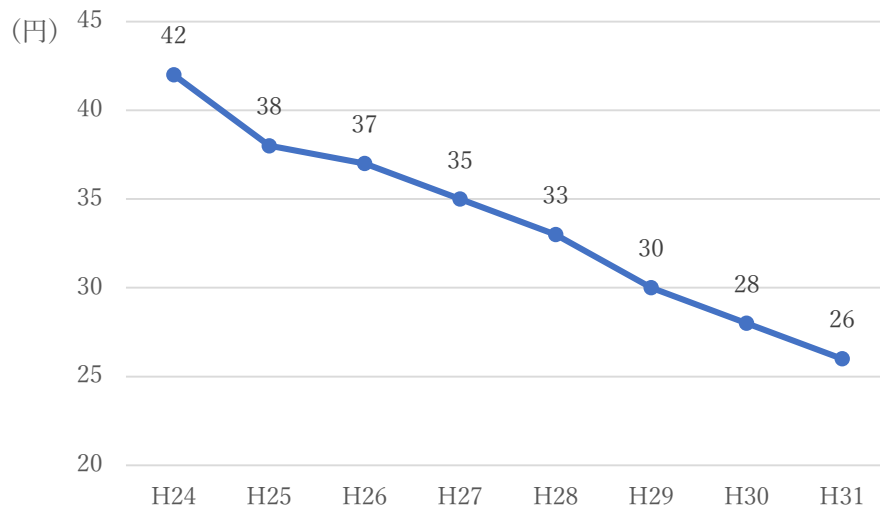


出所：資源エネルギー庁ホームページ

上述したように、電気の買取単価については比較的高い価格が設定されている。これは固定価格買取制度で買い取られる再生可能エネルギー電気の買い取りに要した費用は、電気の利用者から広く集められる再生可能エネルギー発電促進賦課金によって賄われているためである。発電の方式ごとに価格が決められていて、図は 10kW 未満の太陽光によって発電された電気の買取価格の推移を示している。固定価格買取制度の趣旨より、技術革新や生産コストの削減により発電設備の導入コストが低下した場合、それに合わせて買取価格も低く設定される。図 1-3 のように、買取価格は一貫して低下している。

ただし、固定価格買取制度の認定を受けた発電設備については設定された買取期間 10 年間は、その後の買取価格が変更されたとしても、当初の価格で買い取ることが保障されている。例えば 2012 年に認定を受けた発電設備は、1kWh あたり 42 円で買い取ることが約束され、その後の買取価格が変更されたとしても、42 円で変わらず買い取られる。

図 1-3 公定買取価格の推移



出所：資源エネルギー庁ホームページ

しかし、固定価格買取制度にはいくつかの問題点がある。その一つとして、買取価格の減少が挙げられる。制度施行当初は売電単価が高額であったために、参入数が飛躍的に増加した。しかしそれにより、需要と供給のバランスを保てるように売電単価の見直しが毎年行われている。図 3 からわかるように、買取価格は制度施行から一貫して減少しており、設備投資をその買い取り価格に見合った低コストに抑えない限り、投資事業として成り立たなくなるという見方が多い。住宅用は 19 年には 24 円/kwh になる予定で、12 年の 42 円/kwh から 4 割以上下落した。経済産業省は、太陽光発電のコストのさらなる低減を掲げており、事業用設備は一部入札制度を導入した。

第二の問題点として業者による不正が挙げられる。上述のように、固定価格買取制度は認定を受けた発電設備に対して設定された買取期間 10 年間は、その後の買取価格が変更されたとしても、当初の価格で買い取ることが保障されている。それを利用して経済産業省による事業の認定を受けたにも関わらず、稼働させないまま設備を導入する費用が値下がりするのを待ち、発電開始時期を先延ばしにする事業者がいる。現在経済産業省はこの問題に対して、過去に高い価格での買い取りを認めた太陽光発電について、まだ稼働していない施設は発電しても買い取り価格を下げる方針をとっている。発電の見込みがない事業者を撤退させて送電枠をあげ、低いコストで太陽光発電をする新規事業者の参入を促す。

また、上述の通り固定価格買取制度の対象としては、風力発電、中小水力発電、地

熱発電、バイオマス発電なども含まれている。しかし、風力発電は環境アセスなど、中小水力発電は水利権など、地熱発電は地元の温泉権や国立公園などの開発の制限など、いずれもそれぞれの課題を抱えており、開発は遅れている。

他にも電圧・周波数変動の問題など課題は多く、すでにドイツなどのいくつかの国では固定価格買取制度は撤廃されている。これに対して今日日本では「ポストフィット」が唱えられている。これは再生可能エネルギーを制度に守られた立場から脱し、自家消費をするか、企業間で余剰電力を売電するなどといった制度設計を経て自立した電源を目指すということを指している。その一環として、2017年に施行された改正固定価格買取法で、買取価格について入札制度が設けられた。

2章 住宅用太陽光パネルの需要関数の推定 理論分析

この章では日引・庫川（2013）を参考に固定価格買取制度の住宅用太陽光発電普及に対する効果を分析する。

発電事業者として、一般電気事業者1社と再生可能エネルギーによる発電を行う事業者1社が存在するケースを考える。独占的に価格支配力を持つ一般電気事業者と価格受容者として競争的に行動する再生可能エネルギー事業者が発電を行うとする。一般電気事業者は、火力発電方式で発電するため、単位発電量あたり δ （一定）の限界外部費用が発生する。一方、再生可能エネルギー事業者の発電によって外部費用は発生しないものとする。日引・庫川（2013）では、この状況において固定価格買取制度が住宅用太陽光発電の普及に当たる効果を分析している。

ただし、再生可能エネルギー事業者は、再生可能エネルギー市場（再生可能エネルギーによる電力を売買する市場）において、一般電気事業者に発電した電力を売却し、一般電気事業者は、自分の発電量と、再生可能エネルギー事業者から購入した電力を合わせた電力を小売市場で消費者に売却するものとする。このとき、一般電気事業者は、小売市場において、独占的な価格支配力（売手独占）を發揮でき、また、再生可能エネルギー市場においても、独占的な価格支配力（売手独占）を發揮できるものとする。

すると電力の小売り価格は以下のように表される。

$$P = a - b(Q_G + Q_R) \quad (2.1)$$

また、企業 i の発電費用は以下のようになる。

$$C_M = \frac{1}{2} c_M Q_M^2 + FC_M$$

$$C_F = \frac{1}{2} c_F Q_F^2 + FC_F$$

C_i は企業 i ($i=M$ (一般電気事業者)、 F (再生可能エネルギー事業者)) の発電費用、 Q_i は企業 i の発電量、 c_i 及び FC_i はそれぞれ企業 i の発電の限界費用のパラメータ及び固定費用である。

2.1 固定価格買取制度が行われない場合の市場均衡

再生可能エネルギー事業者の電力供給関数は、利潤最大化の一階条件から、次式の

ように導出される。

$$P_R = MC_F \equiv c_F Q_F \quad (2.2)$$

ここで、 P_R は再生可能エネルギーによって発電された電力の再生可能エネルギー市場での価格、 MC_F は再生可能エネルギー事業者の限界費用である。

一般発電事業者の利潤関数 π_M は、次式の通りに表される。

$$\pi_M = P(Q_M + Q_F) - C_M - P_R Q_F$$

(2.1)式、(2.2)式より、利潤最大化の条件は以下の通りになる

$$MR_M \equiv a - 2b(Q_M + Q_F) = MC_M \equiv c_M Q_M \quad (2.3)$$

$$MR_M \equiv a - 2b(Q_M + Q_F) = ME_R \equiv 2c_F Q_F \quad (2.4)$$

ただし、 MR_M は一般電気事業者の電力販売の限界収入、 MC_M は一般電気事業者の発電の限界費用、 ME_R は一般電気事業者によって購入される再生可能エネルギーに対する限界支出である。(2.3)式と(2.4)式は利潤最大化条件が、電力小売市場の限界収入と一般電気事業者の発電の限界費用、一般電気事業者が再生可能エネルギー事業者から購入する再生可能エネルギー電力に対する限界支出額が均等化することであることを表している。

(2.3)式、(2.4)式を考慮すると、固定価格買取制度が行われない場合の市場均衡は次のようになる。

$$Q_M^0 = \frac{ac_F}{b(2c_F + c_M)}, \quad (2.5)$$

$$Q_F^0 = \frac{ac_M}{2b(2c_F + c_M) + 2c_F c_M}, \quad (2.6)$$

$$Q^0 = \frac{a(c_M + 2c_F)}{2b(2c_F + c_M) + 2c_F c_M},$$

$$P^0 = \frac{a(c_M + 2c_F) + 2ac_F c_M}{2b(2c_F + c_M) + 2c_F c_M},$$

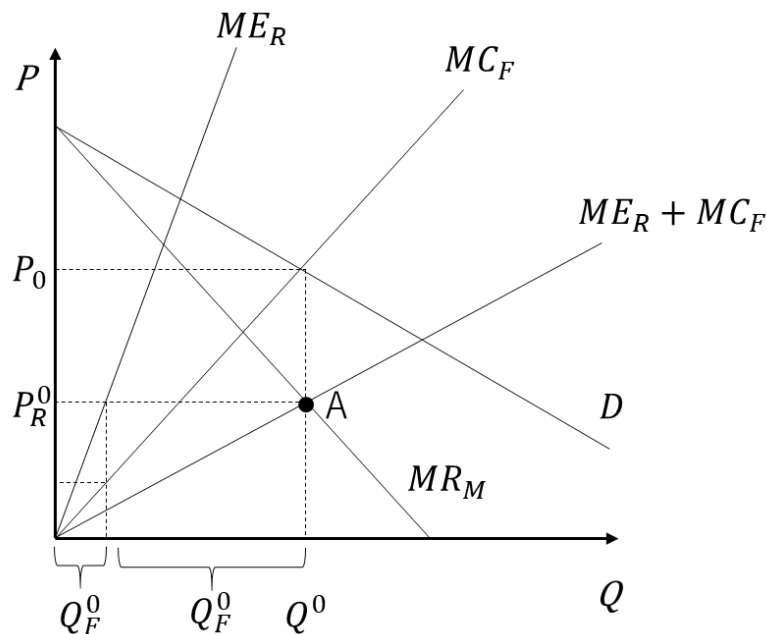
$$P_R^0 = \frac{a(c_M + 2c_F) + 2ac_F c_M}{2b(2c_F + c_M) + 2c_F c_M} < P^0. \quad (2.7)$$

ここで、各変数の上付き文字 0 は、固定価格買取制度が行われない場合の市場均衡であることを表している。

(2.7)式から分かるように、再生可能エネルギーによって発電された電力が、直接小売市場に供給されるのではなく、再生可能エネルギー市場を通じた後、一般電気事業者を通じて小売市場に供給される場合、再生可能エネルギーの電力価格は、小売市場での電力価格より低くなる。これは、再生可能エネルギー市場において、価格支配力を持つ一般電気事業者が、価格を低く設定することで、再生可能エネルギー発電購入量を減らそうとするからである。

上述の議論を図に表わすと図 2-1 になる。

図 2-1 市場均衡における発電量の決定



出所：日引・庫川(2013)

図2-1では、点A において(3)、(4)式が成立している。この結果、電力小売価格は P_0 、再生可能エネルギー電力価格は P_R^0 、再生可能エネルギー発電量は Q_F^0 、一般電気事業者発電量は Q_M^0 、総発電量は Q^0 に決定される。ここで、 D は電力需要曲線、 $ME_R + MC_F$ は、 ME_R と MC_F を水平方向に足し合わせたものとなっている。

2.2 固定価格買取制度が行われる場合の市場均衡

政府が再生可能エネルギー発電量について、 $Q_F = \bar{X} (> Q_F^0)$ となる政策目標を持ち、それを達成するために必要な再生可能エネルギー買取価格 P_R^{FIT} を設定すると考える。(2.1)式から、政策目標を達成するために必要な再生可能エネルギー買取価格の水準は以下のように求められる。

$$P_R^{FIT} = c_F Q_F^{FIT} = c_F \bar{X}$$

固定価格買取制度下の利潤最大化条件は(2.3)式によって与えられる。(2.3)式と政策目標より、一般電気事業者の発電量 Q_M^{FIT} および市場に供給される発電量 Q^{FIT} は以下のように表される。

$$Q_M^{FIT} = \frac{a - 2b\bar{X}}{2b + c_M} \quad (2.8)$$

$$Q^{FIT} = Q_M^{FIT} + Q_F^{FIT} = \frac{a + c_M \bar{X}}{2b + c_M}$$

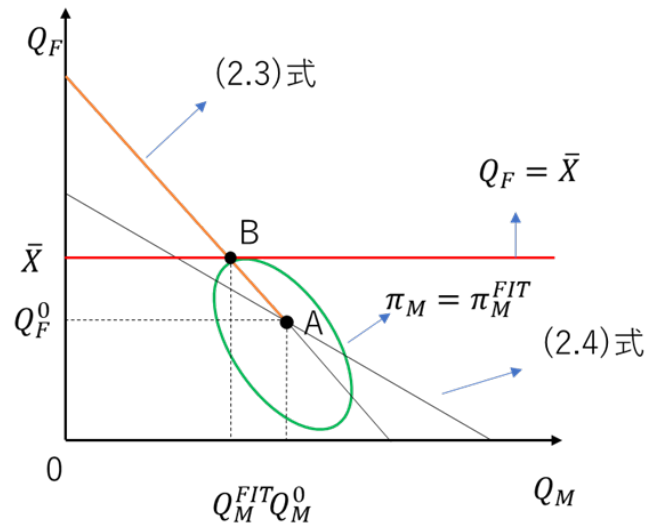
これにより、小売市場における電力料金 P^{FIT} はそれぞれ以下のように求められる。

$$P^{FIT} = \frac{ab + c_M(a - b\bar{X})}{2b + c_M}$$

上記の結果から、再生エネルギー買取価格を引き上げ、再生可能エネルギーの導入量を増加させると、一般発電事業者の発電量は減少する一方で、市場全体の電力供給量は増加し、電力価格は低下することがわかる。

上述の理論を図で表すと、図 2-2 になる。

図 2-2 固定価格買取制度下の市場均衡と政策なしケースの市場均衡



出所：日引・庫川(2013)

この図において、点 A は、(3)、(4)式の解に対応しているため、固定価格買取制度が行われない場合の市場均衡を表している。一方、再生可能エネルギー発電を促進するために、再生可能エネルギー発電量を、 $Q_F = \bar{X} (> Q_F^0)$ となるような固定買取価格を設定する場合、市場均衡は、(3)式と $Q_F = \bar{X}$ によって決定されるため、点 B となる。このとき、点 B を通る緑の楕円は、固定価格買取制度下での一般電気事業者の利潤 π_M^{FIT} のときの等利潤曲線となっている。政策目標 $Q_F = \bar{X} (> Q_F^0)$ を変化させたときの市場均衡における、一般電気事業者の発電量と再生可能エネルギー事業者の発電量の軌跡は、 $Q_F = \bar{X}$ と等利潤曲線の接点の軌跡となっており、(2.3)式と一致する。これは(2.8)式によって与えられており、これは図 2-2 の線分 AC に該当する。

第3章 住宅用太陽光パネルの需要関数の推定

この章では、太陽光パネルの中でも特に住宅用太陽光パネルに着目し、直近のデータを用いて太陽光パネルの需要関数を推定する。

3.1 先行の研究紹介

この節では大橋・明城（2009a）の先行研究を紹介する。大橋・明城（2009a）では、住宅用太陽光発電の余剰電力買取制度の効果を定量的に分析している。また太陽電池市場が寡占市場であることを踏まえた数量競争モデルを仮定することにより、太陽電池生産の限界費用を求めるとともに太陽電池メーカーの費用関数を推定する。

3.1.1 太陽光発電のオーナーシップコスト

固定価格買取制度の効果を示す変数、指標としてオーナーシップコスト(oc)という変数を用いて分析している。オーナーシップ・コストとは、太陽光発電の導入に係る費用のみならず導入後の発電による将来収益も加味したオーナーシップ・コストを定義することによって太陽光発電の普及を考える。オーナーシップ・コストは以下のように表される。

$$oc_{jt} = p_t^{sys} - G_t - ev_{jt}$$

ここで、導入からの年数を t 、太陽光発電のシステム価格を p_t^{sys} 、補助金による控除額を G_t 、将来の発電電力の割引現在価値を ev_{jt} とする。なお、システム価格は太陽電池モジュールと周辺機器の価格に施工費用を加えたものである。このことから、太陽光発電のシステム価格は以下のように表される。

$$p_t^{sys} = r(p_t + p_t^{other})$$

ただし、 p_t をモジュール価格、 p_t^{other} を周辺機器価格及び施工費用、 r を消費税率とする。また、将来の発電電力の割引現在価値は以下のように表される。

$$ev_{jt} = \left(p_{jt}^{SE} * SE_{jt} + p_{jt}^{BE} (E_{jt} - SE_{jt}) \right) * \frac{1 - \delta^T}{1 - \delta}$$

ここで、 t 年間の電力価値は、導入時における発電量 E_{jt} および売電電力量 SE_{jt} が T 期間続くと仮定している。とする。 p_{jt}^{BE} は電力価格、 p_{jt}^{SE} は売電電力の買取価格、 δ は割引

因子であり、 $p_{jt}^{SE} * SE_{jt}$ は余剰電力の売電額、 $p_{jt}^{BE}(E_{jt} - SE_{jt})$ は太陽光発電による電力節約額を表す。

3.1.2 需要モデル

太陽光発電システムの需要関数をオーナーシップ・コストの関数として推定する。第 t 期における都道府県 j の太陽光発電システムへの需要は以下のように表される。

$$q_{jt} = D(oc_{jt}, x_{jt}, \varepsilon_{jt} | \alpha)$$

ここで oc_{jt} は太陽光発電のオーナーシップ・コスト、 x_{jt} は都道府県の太陽光発電の導入に影響を与えるマクロ要因、 ε_{jt} は研究者が観測できない要因、そして α は需要パラメータである。太陽光発電のオーナーシップ・コストは上述の通り太陽光発電システムの導入に係る費用(システム価格)から国からの補助金および将来の発電電力の経済価値を差し引いたものとしている。さらに大橋・明城 (2009a) では、国内の太陽光発電システムへの総需要は各県の需要の和としており、これは以下のように表される。

$$Q_t^{sys} = \sum_j q_{jt}^{sys}$$

また太陽電池モジュールの国内生産量 Q_t の全量が住宅用太陽光発電システムに利用されると仮定しており、これは以下のように表される。

$$Q_t = Q^{sys}$$

3.1.3 太陽電池の費用関数

太陽電池の生産については、国内市場を合計 F 社による企業が数量競争するクールノー寡占の市場とみなして企業の生産行動をモデル化している。太陽電池市場の逆需要関数を $p_t(Q_t)$ とすると、企業 i の生産量が q_{it} の時、限界収入は以下となる。

$$mr_{jt}(q_{it} | \alpha) = \frac{dp_t(Q_t)q_{it}}{dq_{it}} = \frac{q_{it} dp_t(Q_t)}{dQ_t} + p_t(Q_t)$$

ただし、 $Q_t = \sum_{i=1}^F q_{it}$ とする。また各企業が各期の利潤を最大化するように生産量を決定していると仮定すると、クールノー均衡では上記の限界収入と企業の限界費用が等しくなる生産量が最適な生産量となる。大橋・明城(2009)では、企業の限界費用が収穫一定であると仮定して、クールノー均衡下における各企業の限界費用を求める。

それに加えて、太陽電池生産の限界費用が以下のコブ・ダグラス型関数で与えられると仮定している。

$$mc_{it}(k_{it}, l_{it}, z_{it}, t; \theta) = \theta_{10} k_{it}^{\theta_1} l_{it}^{\theta_2} z_{it}^{\theta_3} t^{\theta_4}$$

ここで、 k_{it} は企業の生産キャパシティ、 l_{it} は生産習熟度、そして z_{it} は原材料価格とする。またトレンド項 t で産業の技術進歩を考えることもできる。

3.1.4 データ

大橋・明城(2009a)では、1997年から2007年までのパネルデータを用いる。システム導入量(都道府県別)および価格(モジュール、周辺機器及び施工費用)に加え、太陽光発電の導入に影響を与えるマクロ的要因として、世帯数、1世帯当たりの所得水準(万円/年)、1世帯当たりの年間電力消費量(kWh)、年間日照時間(h)、新規着工住宅戸数(自己所有)、電力充足率(太陽光発電を導入した場合の年間発電量が年間電力使用量に占める割合。これが高いほど太陽光発電によって賄える消費電力の割合が多いことを意味し、太陽光発電を導入するインセンティブが高まることが予想される)が用いられている。価格データはすべて1kWあたりの全国平均であり、消費者物価指数(CPI)を用いて1997年時点での価値に実質化されている。

また、需要関数に含まれる太陽電池の価格(およびシステム価格)は、市場均衡によって決まる内生変数であるため、需要パラメータ α を不偏に推定するためには、価格とは相関を持つが残差項 ε_{it} とは無相関と考えられる変数を操作変数に利用して推定を行う必要がある。そこで大橋・明城(2009a)では、太陽電池の主原料として利用されている多結晶シリコンの価格を操作変数として用いる。

さらに、費用関数の推定に必要なデータとして、太陽電池モジュールのメーカー別出荷量を用いているが、このデータでは各メーカーの国内出荷と輸出の生産量内訳が分からない。よって、国内住宅用の太陽光発電の導入量が全メーカーの生産量の合計に占める割合を求め、国内出荷割合がメーカー間で一定であると仮定して、この値を各メーカーの全モジュール生産量に掛けあわせ国内出荷量へと換算している。生産キャパシティについては各メーカーが生産設備をフル稼働しているものと仮定し、各メーカーの全モジュール生産量を生産キャパシティの代用値として利用している。また企業の生産習熟度を測る指標として累積生産量を用いている。表3-1に分析で用いるデータの記述統計量を示す。

表3-1 記述統計量

	平均値	最小値	最大値	標準偏差
住宅向け出荷量				
1社あたり(kW)	19366	3247	37391	11688
成長率(%)	27.2	-20.8	105	36.2
生産キャパシティ				
1社あたり(kW)	57721	5833	132414	50535
成長率(%)	38.1	-0.7	65.3	21.2
太陽電池価格(万円/kW)	50.9	42.8	67.4	9.2
企業数	6.6	6	7	0.5
HHI	3180	2580	3589	298
オーナーシップコスト(万円/kW)	48	37.8	62.2	5.4
電力充足率	0.67	0.41	0.97	0.09
世帯数	1034498	201174	6060432	1075242
1世帯当たりの所得	672.6	426.6	971.4	82
新規住宅着工数	8328	1428	28274	6211
1世帯当たりの消費電力(kWh)	5662	4018	9324.7	692.5
年間日照時間	1888.7	668.4	2401.9	230.3

出所：大橋・明城(2009a)

3.1.5 推定結果

大橋・明城(2009a)では推定した需要関数にもとづいて各メーカーの生産コストを推定するため、Genensove and Mullin(1998)の方法にならい、線形モデル、対数線形モデル、両対数線形モデルの3つの関数形にて需要関数を推定した。

線形モデル

$$q_{jt} \equiv a * oc_{jt} + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_i$$

対数線形モデル

$$q_{jt} \equiv a \log(oc_{jt}) + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_i$$

両対数線形モデル

$$\log(q_{jt}) \equiv a \log(oc_{jt}) + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_i$$

表 3-2 需要関数の推定結果

説明変数	OLS			2SLS		
	Linear	Log-Log	Log-Linear	Linear	Log-Log	Log-Linear
切片	-36.572	-27.759***	-30.803***	9027.500***	-22.403***	-28.464***
	(2561500)	(3.867)	(3.715)	(3180.400)	(4.169)	(3.848)
oc	-32.166*	-1.035***	-0.021***	-144.700***	-2.184***	-0.048***
	(17.315)	(0.253)	(0.005)	(28.084)	(0.387)	(0.008)
電力充足率	-783.990	2.012***	2.026***	-3583.500*	1.788***	1.779***
	(1660.100)	(0.139)	(0.319)	(1808.900)	(0.330)	(0.332)
世帯数	2.19E-04	0.380***	0.380***	1.863E-04	0.436***	0.446***
	(1.579E-04)	(0.029)	(0.093)	(1.645E-04)	(0.330)	(0.096)
平均所得	-1.151	0.029	0.026	-0.021	0.109	0.117
	(1.118)	(0.209)	(0.209)	(1.178)	(0.214)	(0.215)
新規住宅	0.146***	0.426***	0.426***	0.148***	0.378***	0.368***
	(0.027)	(0.096)	(0.097)	(0.028)	(0.099)	(0.100)
消費電力	-0.644**	1.661***	1.672***	-0.941***	1.624***	1.643***
	(0.236)	(0.406)	(0.406)	(0.253)	(0.317)	(0.417)
年間日照時間	2.417***	1.988***	1.984***	2.050***	1.800***	1.757***
	(0.412)	(0.215)	(0.215)	(0.434)	(0.224)	(0.227)
トレンド	552.400***	0.973***	0.970***	550.670***	1.800***	1.757***
	(38.617)	(0.054)	(0.054)	(40.192)	(0.224)	(0.227)
決定係数	0.580	0.817	0.816	0.545	0.819	0.807
F-stat	87.565***	283.274***	282.440***	75.961***	269.748***	265.175***
oc 弾力性	-2.430	-1.035	-0.991	-10.933	-2.184	-2.292

※括弧内の数値は標準誤差を表す 有意水準: * 5%, ** 1%, *** 0.1%

出所: 大橋・明城 (2009a)

表 3.2 に需要関数の推定結果を示す。それぞれの関数形について、モデル 1-3 が OLS による推定結果、モデル 4-6 が多結晶シリコンの価格を操作変数として用いた 2SLS による推定結果である。

推定したモデルのいずれにおいてもオーナーシップ・コストの係数は統計的に有意に負となり、需要のオーナーシップ・コストに対する弾力性の平均値は、線型モデルを OLS 推定した場合で 2.4、対数線形モデルもしくは両対数線形モデルの場合に 1.0 程度となっている。また 2SLS 推定の場合には、弾力性は線型モデルで 10.9、対数線形モデルでは 2.2、両線形対数モデルで 2.3 と大きくなる。これは需要関数がより急勾配となり、操作変数を用いることで需要関数に含まれる観測されない需要ショック(残差項)とオーナーシップ・コストの正の相関が取り除かれた方向に価格弾力性が修正されたことを意味する。

また世帯数、日照時間、新規着工住宅戸数が需要に与える影響は正に有意であった。すなわちこれら変数値が大きい都道府県あるいは年は、太陽光発電の導入量も大きくなる傾向があることを意味している。また 1 世帯あたりの消費電力および電力充足率については、線型モデルを用いた場合のみ負、他のモデルを用いた場合には正の影響となった。大橋・明城(2009a)では線形モデルにおけるこれら変数の符号条件は、予想される結果とは逆であるが、これら変数間には負の相関があり、多重共線性の問題が発生している可能性が考えられるとしている。一方で、所得水準はいずれのモデルにおいても有意な結果とはならなかった。これについては、太陽光発電を導入する世帯の割合は 2007 年時点で全世界帯の約 1%程度といまだ少数であるため、県レベルでの所得平均では個々の世帯の意志決定を十分に捉えられない可能性を示唆しているとも考えられる。

以上のモデルでは、線型モデルの決定係数が 0.55 程度であるのに対して、対数線形モデルもしくは両対数線形モデルで 0.88 となり、線型モデルの当てはまりがあまり良くない。特にオーナーシップ・コストに対する弾力性が非常に高いため、線型モデルを用いると余剰電力買取制度の効果が過大に推定される可能性がある。また、両対数モデルではオーナーシップ・コストが対数值として扱うため、モデルの制約上、オーナーシップ・コストがマイナスとなる場合に需要量が発散する。これらの点を踏まえて、大橋・明城(2009a)では対数線形モデル(モデル 6)にもとづいて各メーカーの生産コストを推定する。

表 3-3 費用関数の推定結果

説明変数	OLS	FGLS	
	(1)	(2)	(3)
キャパシティ	-0.0148	-0.013	0.002
	(0.014)	(0.012)	(0.006)
学習効果	-0.016	-0.011	-0.011**
	(0.014)	(0.012)	(0.003)
多結晶シリコン価格	0.205***	0.191***	0.171***
	(0.029)	(0.026)	(0.012)
トレンド	-0.221***	-0.238***	-0.255***
	(0.031)	(0.028)	(0.010)
企業固有効果			
三洋電機	4.207	4.194	4.093
カネカ	4.208	4.204	4.122
京セラ	4.176	4.157	4.046
三菱電機	4.205	4.193	4.093
シャープ	4.096	4.082	3.964
エア・ウォーター	4.188	4.186	4.131
キャノン	4.206	4.198	4.135
松下電工	4.181	4.184	4.128
三菱重工業	4.195	4.202	4.129
残差の自己相関	No	Yes	Yes
残差の不均一分散	No	No	Yes
DW 統計量	0.727**		
BP 統計量	4.950		
ρ		0.387	0.387
F 統計量	209.950***		
Wald 統計量		6.76E+05***	4.89E+06***

※括弧内の数値は標準誤差を表す 有意水準: * 5%, ** 1%, *** 0.1%

出所: 大橋・明城 (2009a)

表 3-3 は費用関数の推定結果である。ここでモデル 1 は OLS による推定結果であるが、Durbin Watson 検定が 5%水準で有意となり残差項に正の自己相関が存在している。また企業間の残差項に分散不均一があるかどうかを Breusch and Pagan 検定しているが、帰無仮説は棄却されず分散不均一は見られなかった。以上の残差に関して、モデル 2 では残差に AR(1)の自己相関モデルを仮定した場合、モデル 3 では残差が AR(1)かつ分散不均一を仮定した場合について FGLS 推定を行った。推定したモデルのすべてにおいて有意となった変数はシリコン価格およびトレンドである。本分析では、生産技術の進歩をトレンド項にて外生的に捉えているが、太陽電池の主原料であるシリコン価格に加えて技術進歩が生産コストに与える影響が大きいことを示す結果となった。一方、生産習熟効果を表す累積生産量の係数はモデル 3 のみで有意となった。その係数である-0.011 は累積生産量が 2 倍になると限界費用が 0.8%下がることを意味する。また生産キャパシティはいずれのモデルにおいても有意な結果は得られなかった。

3.2 実証分析

大橋・明城 (2009a) のモデルを参考にパネルデータを用いて固定効果モデルで回帰分析を行う。また、操作変数として太陽光パネルの原料であるシリコン価格物価指数を用いている。

3.2.1 データ

1994 年から2017年までの都道府県別のパネルデータを用いた。データのソースについては以下の通りである。太陽光パネルの導入量(kW)は2011 年までのデータは資源エネルギー庁ホームページ、2012 年以降は一般社団法人太陽光発電協会ホームページから都道府県別のデータを引用した。パネル(システム)導入費用(万円/kW))は2005 年までのデータは新エネルギー財団、2006年以降は一般社団法人太陽光発電協会ホームページから引用した。日照時間(時間/年)は気象庁ホームページから都道府県別のデータを引用し、太陽光発電による電力の公定買取価格(円/kWh)は(余剰・全量買取)は資源エネルギー庁ホームページから引用した。世帯数(世帯)、新規着工住宅戸数は総務省のホームページから引用し。操作変数であるシリコンウェハー価格物価指数は日経NEEDSから引用した。また、電力充足率について、大橋 (2009)においては、都道府県ごとに各年算出されているが、データの制約上、1年間の全国における太陽光発電の量と全国の総発電量を資源エネルギー庁ホームページから取得し、これらを用

いて算出している。1世帯当たりの消費電力も同様にデータの制約上、家庭向け販売電力量(kWh/年)を利用し、経済産業省ホームページから引用した。

これらの先行研究で用いられていた変数に加えて、固定価格買取制度の実施前は0、実施後は1をとるダミー変数を追加した。

表 3-4 記述統計量

	観測数	平均	標準偏差	最小値	最大値
パネル導入量	470	9567.783	13501.93	2	86744
パネル導入費用	1081	78.29565	39.88922	36.3	200
買取価格	423	39.8889	6.530239	30	48
日照時間	517	1946.296	201.4602	1431	2461
家庭向け販売電力	658	50200000	74600000	24100000	319000000
新規着工住宅戸数	329	19545.22	25335.52	2101	150350
世帯数	1128	1078420	1141400	194073	6994147
制度ダミー	1128	0.375	3.425234	0	1
電力充足率	658	0.02371	3.425234	0	0.10541
シリコン価格	1081	168.5018	61.2361	85.26667	264.9083

表4-1は利用したデータの記述統計を表している。1994年から2017年までの各都道府県のデータについての記述統計である。記述統計について分析すると、パネル導入量は最小値から最大値までの幅が大きく、変動が大きいことが分かる。また、パネル導入費用は最大で200であったが技術革新などの影響から36.3まで低下している。シリコン価格は2010年を100としているが、ここ数年で急激に上昇していることがわかる。

3.2.2 推定結果

それぞれの説明変数の期待される符号は以下の表4-2の通りである。これらについて考察する。パネルシステム導入費用(万円/kW)が増加すると太陽光パネルを購入する消費者は減少すると考えられるため、符号は負になると期待される。公定買取価格(円/kWh)が高くなると、太陽光パネルの初期費用が早く回収できるため、符号は正にな

ると期待される。日照時間(時間/年)が長くなると太陽光パネルによる発電量が増加すると消費者は考え、パネルの需要が増加するため符号は正になると期待される。家庭向け販売電力量が多い場合は、消費者の電力に対する需要が大きいと考えられるので、太陽光パネルの導入による発電を考える消費者が増えるため符号は正になると期待される。新規着工住宅戸数については、新居を構える際に太陽光パネルを導入する家庭が多いのではないかと考えられるため、符号は正になると期待される。固定価格買取制度ダミーが1である場合、太陽光パネル導入費用を回収しやすくなるため、太陽光パネルの需要は増加すると考えられ、符号は正になると期待できる。電力充足率については、3章でも述べたように高いほど太陽光発電によって賄える消費電力の割合が多いことを意味するため、太陽光発電を導入するインセンティブが高まることが予想され、符号は正になると期待できる。太陽光発電による電力の公定買取期間が長くなると、高い価格で電力を売ることが保障されるので、太陽光パネルの需要は大きくなると考えられ、符号は正になると期待できる。

表3-5 期待される符号

説明変数	符号
パネル導入費用	－
買取価格	＋
日照時間	＋
家庭向け販売電力	＋
新規着工住宅戸数	＋
世帯数	＋
制度ダミー	＋
電力充足率	＋

表3-6 回帰結果

説明変数	OLS			2SLS		
	①線形	②両対数	③線形対数	④線形	⑤両対数	⑥線形対数
切片	-24.357	-45.459**	-24.803***	7927.232** *	-22.40***	-24.754***
	-3204.009	-3.867	-3.715	-3366.4	-4677	-3.848
導入費用	-59.69	-1.902***	-1706.86***	-54.33	-0.1345**	-1427.72*
	(-13.605)	(-3.539)	(-3.478)	(-8.45)	(-9.85)	(-2.31)
世帯数	0.254	0.215***	0.215***	0.1241***	8.72e-04**	0.14329***
	-0.0001449	-0.023	-0.063	-0.0001345	-0.211	-0.096
新規住宅戸数	-0.341	0.029	0.026	-0.0973	-3.07E-07	-0.1045
	-1.268	-0.147	-0.209	(-0.70)	(-1.26)	(-0.69)
日照時間	7.348***	6.426**	6.419***	6.5422**	5.577*	6.2812**
	-0.422	-0.082	-0.195	-1.909	-0.371	-1.996
販売電力量	-0.644**	1.661***	1.672***	0.0014**	6.01e-08***	0.0007***
	-1.323	-3.812	-0.887	-0.236	-0.526	-0.406
買取価格	-169.417***	0.0496**	-1.984***	-1688.93**	-0.5491***	0.0641***
	(-3.515)	-0.215	(-3.017)	-5.514	-3.812	(-4.982)
制度ダミー	5381.740**	0.4386*	5628.41***	3347.365** *	0.37832***	2987.62***
	(-5.202)	(-1.745)	(-4.817)	(-6.373)	(-1.986)	(-6.116)
電力充足率	693.99	2.012	2.026	658.5	1.788	1.779
	-1660.1	-0.139	-0.319	-1808.9	-0.33	-0.332
決定係数	0.499	0.817	0.816	0.572	0.847	0.819

※括弧内の数値は標準誤差を表す 有意水準: * 5%, ** 1%, *** 0.1%

表4-3は回帰した結果である。3つの需要関数のモデルにOLSとシリコン価格を操作変数とした2SLSを用いて回帰している。まず各係数の符号について期待される符号と比較し、また統計的な有意を観察しながら考察する。パネル導入費用の係数の符号については、全てのモデルにおいて期待された符号である負になった。世帯数の係数については、全てのモデルにおいて正となり、モデル①以外で統計的に有意であることから、都道府県における世帯数が増えるにつれて太陽光パネルの導入量が多くなることとわかる。新規着工住宅戸数の係数についてはモデルによってばらつきが出た上に、統計的に有意なものもなかったことから、太陽光パネルの需要に新規着工住宅戸数は影響を与えていないということが言える。日照時間の係数についてはすべてのモデルにおいて正となり、モデル⑤以外で統計的に優位であることから、日照時間が長い地域ほど、太陽光パネルの導入量が多くなることとわかる。家庭向け販売電力量の係数については、モデル①以外では正となり、全てのモデルで統計的に有意な変数となった。よって家庭の電力消費が大きい地域ほど、太陽光パネルの需要が大きいこととわかる。買取価格の係数についてはモデルによって符号にばらつきがあったものの、全てのモデルにおいて統計的に有意な変数となった。固定価格買取制度のダミー変数については全てのモデルにおいて正となり、また統計的に有意であるという結果となり、固定価格買取制度が太陽光パネルの需要に正の影響を与えており、その目的を果たす有意義な制度であることがわかる。電力充足率の係数については、全てのモデルにおいて統計的に有意とならなかったため、上述した太陽光発電を導入するインセンティブが高まるという仮定は誤っていたといえる。しかし、電力充足率はデータの制約上、1年間の全国の太陽光発電の量と全国の総発電量から算出しているため、正しい結果にならなかったのではないかといえる。

以上の点を踏まえ、後の章で行うシミュレーション分析に用いるモデルの考察を行う。決定係数の観点から、モデル①および④は当てはまりがあまり良くないといえ、モデル⑤が有効であるように見える。しかし、上述した期待される符号との照らし合わせ、係数の有意の観点から、シミュレーション分析ではモデル⑤の操作変数法の両対数モデルを採用することにする。具体的な理由としては、大橋・明城(2009)が述べたように、両対数モデルではオーナーシップ・コストが対数値として扱うため、モデルの制約上、オーナーシップ・コストがマイナスとなる場合に需要量が発散してしまうことが挙げられる。またモデルによって符号の結果が異なった買取価格については、シミュレーションで用いる変数のため、期待した符号である正となっているモデル⑤を選択した。

モデル⑤の結果としては、導入費用が高くなると太陽光パネルの需要が低くなり、日照時間が長くなる、家庭向け電力の販売量が多くなる、電力の公定買取価格が上昇する、世帯数が多くなる、太陽光発電による電力の公定買取期間が長くなると太陽光パネルの需要が高まることが言える。しかし、新規着工住宅戸数や電力充足率は太陽光パネルの需要には影響しないという結果が得られた。

第4章 固定価格買取制度に関するシミュレーション分析

この章では今後の太陽光発電の普及がどれだけ進むのかを、第3章で推定したモデルを利用してシミュレーションを行う。固定価格買取制度によって一般家庭の負担するオーナーシップ・コストは低減し、太陽光発電を導入するインセンティブが高まると考えられる。シミュレーションをするにあたっていくつかの仮定を想定し、買取価格の変化による余剰電力の経済価値の増加をオーナーシップ・コストの低下として扱い、それに応じて需要関数を変化させ太陽光発電の普及を推定値から数値計算することにより求める。

4.1 先行研究の紹介

まず、先行研究として大橋・明城(2009b)を紹介する。大橋・明城(2009b)では本論文の3章で導出した需要関数、費用関数を用いている。

4.1.1 シミュレーションに用いる仮定

固定価格買取制度と企業の生産コストに関していくつかの仮定を設定し、その仮定のもとでの太陽光発電の普及をシミュレーションによって予測する。固定価格買取制度については以下3つの仮定を考える。

- ① 既設および新規導入分の電力買取価格は2007年のままとする。
- ② 既設および新規導入分の電力買取価格は10年間48円/kWhとする。
- ③ 2010年導入分の電力買取価格は10年間48円/kWhとし、以降の導入分については段階的に買取価格を下げていき、制度導入後5年目以降は2007年水準に戻すものとする。

仮定①は2008年以降、太陽電池産業の生産コストが2007年水準のまま一定のケースである。仮定②は推定した1997-2007年の限界費用の年平均低下率と同じ割合(3.6%)で今後もコストが下がっていくケースである。仮定③は5年間で限界費用が半減するペース、すなわち年率13%でコストが低減するケースである。ただし、6年目となる2013年以降は限界費用をそれ以上下げずに一定の値とする。これらの仮定は、太陽電池だけでなく周辺機器及び施工費用についても同様のシナリオを仮定している。

また、太陽光発電システムの限界費用が今後どのように低下していくのかについては、以下3つのシナリオを想定する。

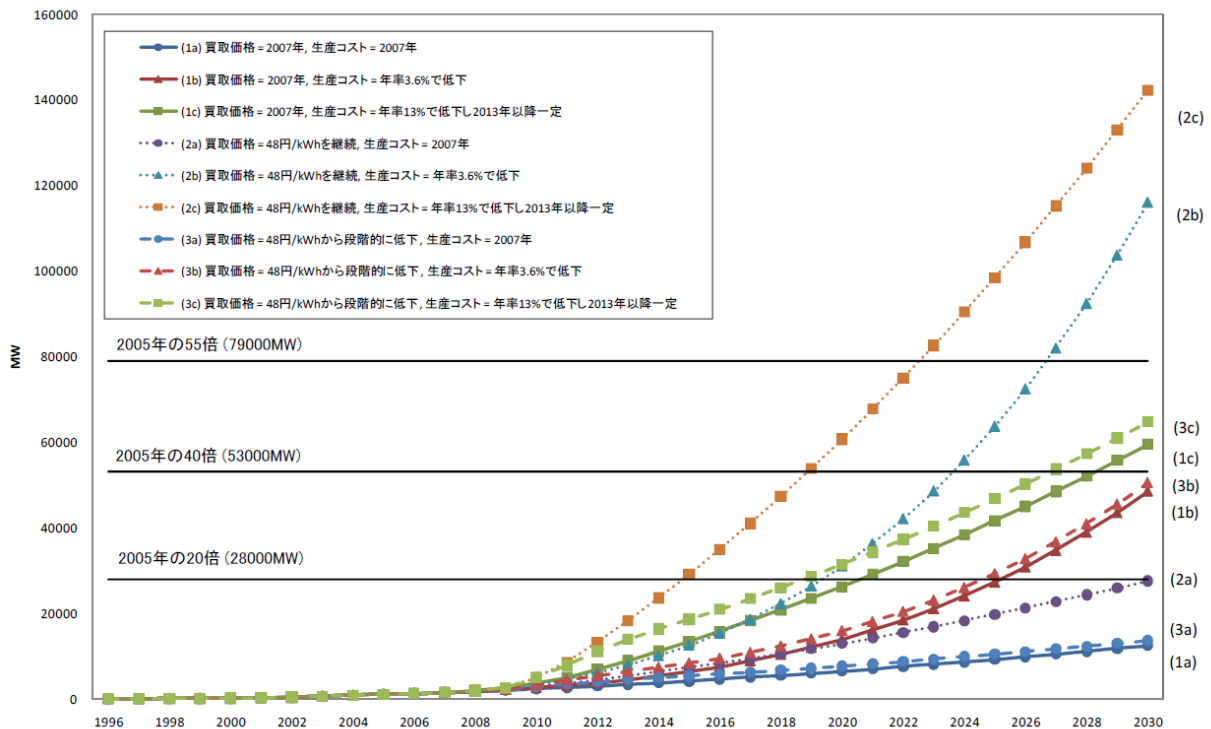
- (a) 2007年のまま一定とする。
- (b) 2008年以降、過去と同じペース（年率3.6%）で低下し続ける。
- (c) 2008年以降5年で半減し（年率13%で低下し）、2013年以降は一定となる。

その他にシミュレーションを行うための以下のような仮定を設定した。まず推定した需要関数のトレンドが今後も一定で続くものとする。次に住宅用太陽光発電への国の補助金は2007年と同じ7万円/kWで以降も継続的に給付されるものとする。また太陽電池市場への新規参入や退出はないものとする。そして需要関数の太陽光発電の普及に与えるマクロ変数はシミュレーションの期間を通じて2007年の値のままとしている。

4.1.2 太陽光発電の普及シミュレーション

以上の条件のもとで、「余剰電力の買取価格」「生産コスト」についての3つの仮定の組み合わせについて2030年までの太陽光発電の普及をシミュレーションした。図4-1に各仮定に基づいた場合の住宅用太陽光発電の導入量の推移を表す。

図 4-1 各仮定に基づいた場合の住宅用太陽光発電の導入量の推移



出所：大橋・明城(2009b)

図 5-1 の(1a)-(1c)は、買取価格の仮定①に対して生産コストのシナリオを(a)-(c)に変化させた場合の太陽光発電の普及量を表している。同様に(2a)-(2c), (3a)-(3c)は買取シナリオ(2), (3)に対してそれぞれ生産コストのシナリオを(a)-(c)に変更した場合の普及量を表している。

任意の生産コストに対して、①の新たな買取制度がない場合、③の買取価格を段階的に下げた場合、②の買取価格 48 円/kW を維持した場合の順に導入量が増加することがわかる。もっとも普及が進むのは買取価格を維持し、生産コストが大きく下がるシナリオ(2c)のケースであり、この場合の 2020 年と 2030 年の導入量はそれぞれ 6100 万 kW と 1 億 4200 万 kW に達する。一方、もっとも普及が進まないケースは生産コストが下がらずに買取制度も導入しないシナリオ(1a)であるが 2020 年と 2030 年の導入量はそれぞれ 650 万 kW と 1200 万 kW である。

また同一の買取価格のシナリオに対して、生産コストの低下が大きいほど余剰電力買取制度が普及に与える影響も大きくなっていくこともわかる。例えば(a)の生産コストが全く低下しない場合では、買取価格 48 円/kW を続けたとき(シナリオ(2a))と買取制度を導入しないとき(シナリオ(1a))の 2030 年における導入量の差は 1500 万 kW であるが、限界生産費用が年率 3.6%ずつ落ちる場合では両者(シナリオ(1b)と(2b))の差は 6800 万 kW と 4.5 倍程度に広がる。つまり今回の余剰電力買取制度が普及に与える影響は太陽光発電システムの生産コストが大きく低減するほど大きくなることが明らかとなった。

任意の生産コストに対して、①の新たな買取制度がない場合、③の買取価格を段階的に下げた場合、②の買取価格 48 円/kW を維持した場合の順に導入量が増加することがわかる。もっとも普及が進むのは買取価格を維持し、生産コストが大きく下がるシナリオ(2c)のケースであり、この場合の 2020 年と 2030 年の導入量はそれぞれ 6100 万 kW と 1 億 4200 万 kW に達する。一方、もっとも普及が進まないケースは生産コストが下がらずに買取制度も導入しないシナリオ(1a)であるが 2020 年と 2030 年の導入量はそれぞれ 650 万 kW と 1200 万 kW である。

また同一の買取価格のシナリオに対して、生産コストの低下が大きいほど余剰電力買取制度が普及に与える影響も大きくなっていくこともわかる。例えば(a)の生産コストが全く低下しない場合では、買取価格 48 円/kW を続けたとき(シナリオ(2a))と買取制度を導入しないとき(シナリオ(1a))の 2030 年における導入量の差は 1500 万 kW であるが、限界生産費用が年率 3.6%ずつ落ちる場合では両者(シナリオ(1b)と(2b))の差は 6800 万 kW と 4.5 倍程度に広がる。つまり今回の余剰電力買取制度が普及に与え

る影響は太陽光発電システムの生産コストが大きく低減するほど大きくなることが明らかとなった。

表 4-1 に各シナリオの 2020 年と 2030 年における累積導入量を示す。太陽光発電システムは、余剰買取制度がなければ 2020 年でも 600 万 kW にすぎないが、今回の新たな余剰電力買取制度によって想定通りに生産コストが 5 年間で半減すれば、2005 年度比 20 倍である 2800 万 kW 水準を超えることが分かる。

表 4-1 各シナリオの 2020 年と 2030 年における累積導入量

	電力買取価格	限界費用	累積導入量(GW)	
			2020年	2030年
1a	2007年のまま	2007年のまま	6.47	12.44
1b		年率3.6%で低下	13.91	48.56
1c		年率13.6%で低下し2013年以降一定	26.23	59.48
2a	48円/kWhを維持	2007年のまま	12.94	27.58
2b		年率3.6%で低下	31.01	116.03
2c		年率13.6%で低下し2013年以降一定	60.63	142.21
3a	48円/kWhから段階的に低下	2007年のまま	7.67	13.63
3b		年率3.6%で低下	15.9	50.55
3c		年率13.6%で低下し2013年以降一定	31.42	64.68

出所：大橋・明城(2009b)

4.1.3 CO2 削減効果のシミュレーション

前節にて議論したいくつかのシナリオにおいて、太陽光発電の普及によって削減される CO2 量について考える。独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) にて公表されている太陽光発電の排出源単位に基づき、前節のシナリオそれぞれの CO2 削減効果を試算する。表 4-2 にライフサイクルでの太陽光発電と電力全体の CO2 排出源単位を示す。

表 4-2 太陽光発電の CO2 削減効果

	g/kWh
電力全体の CO2 排出原単位	445.6
太陽光発電の CO2 排出原単位	58.6
太陽光発電の CO2 削減効果	387

出所：大橋・明城(2009b)

この値にもとづく太陽光発電による発電 1kWh につき電力平均との差 387g の CO2 削減効果があると考えられる。NEDO の資料より、また太陽光発電の耐用年数は 20 年であるとする。このとき、1997 年から 2030 年にかけての住宅用太陽光発電の普及がもたらす CO2 削減効果は以下で表される。

$$CO2 = \sum_{t=1997}^{2030} \sum_j 20 * \rho \mu_{jt} q_{jt}^{sys} \quad (4.1)$$

ここで q_{jt}^{sys} は都道府県 j における t 期の太陽光発電の導入量、 μ_{jt} は太陽光発電 1kW あたりの発電量(kWh/kW)、 ρ は表 5 における太陽光発電 1kWh あたりの CO2 削減効果(g/kWh)である。ただし、2008 年以降の設備容量 1kW あたり発電量は 2007 年の値を用いる。

表 4-3 住宅用太陽光発電による CO2 削減効果

	電力買取価格	限界費用	1997-2030年導入分の CO2削減効果(億トン)	2020年における CO2削減量(億トン)	1990年における CO2総排出量に占める割合
1a	2007年のまま	2007年のまま	1.07	0.027	0.20%
1b		年率3.6%で低下	4.29	0.059	0.50%
1c		年率13.6%で低下し2013年以降一定	5.14	0.112	1.00%
2a	48円/kWhを維持	2007年のまま	2.38	0.055	0.50%
2b		年率3.6%で低下	10.03	0.133	1.20%
2c		年率13.6%で低下し2013年以降一定	12.3	0.261	2.30%
3a	48円/kWhから段階的に低下	2007年のまま	1.17	0.032	0.30%
3b		年率3.6%で低下	4.37	0.068	0.60%
3c		年率13.6%で低下し2013年以降一定	5.59	0.135	1.20%

出所：大橋・明城(2009b)

表 4-3 の第 4 列に 1997-2030 年の太陽光発電の導入によって達成される CO2 削減効果を示す。住宅用太陽光発電がもっとも普及が進むシナリオ(2c)、すなわち買取価格 48 円/kWh を維持し限界費用が 5 年で半減するケースでは 1997-2030 年導入分の CO2 削減効果は 10 億トン程度となる。これは 2007 年における日本の CO2 年間総排出量 13.0 億トンの約 77%に相当する。シナリオ(3c)、すなわち買取価格を 48 円/kWh から段階的に下げていき、限界費用が 5 年で半減するシナリオでは、1997-2030 年導入分の CO2 削減効果は 5.59 億トンとなる。一方、もっとも太陽光発電の普及が進ま

ないシナリオ(1a)、すなわち買取制度を行わず限界費用も下がらないケースでは1997-2030年導入分がもたらすCO₂削減効果はわずか1.07億トンである。

表4-3の第5列に2020年時点でのCO₂削減量、第6列にそれが1990年における日本のCO₂年間総排出量に占める割合を示す。ここで2020年におけるCO₂削減量は、2001-2020年の20年間に導入された太陽光発電が当該年において削減するCO₂排出量である。普及がもっとも進むシナリオ(2c)では2020年のCO₂削減量は0.26億トンとなり、これは日本の1990年におけるCO₂総排出量(11.4億トン)の2.3%にあたる。シナリオ(3c)では削減量は0.14億トン、1990年の排出量比で1.2%である。

4.1.4 余剰電力買取制度の費用対効果

余剰電力買取制度によるCO₂削減効果の経済的価値を考える。CO₂の外部性を計量する方法には以下の3つが考えられる。第1の方法はCO₂の増加がもたらす損害、例えば地球温暖化に起因する海面上昇が地域生態系に与える悪影響、異常気象による自然災害の発生、気候や降水量の変化による農作物収穫の低減など、想定される様々なシナリオにもとづいて経済損失額として推計する方法である。Tol(2005)ではCO₂の社会的費用を推定した103の事例研究を取り上げ、それらの推計値からCO₂が限界的に1トン増加するときの費用の事後分布を求めている。これによるとCO₂の限界費用の平均値は3044円/トン、中央値は458円/トンである。

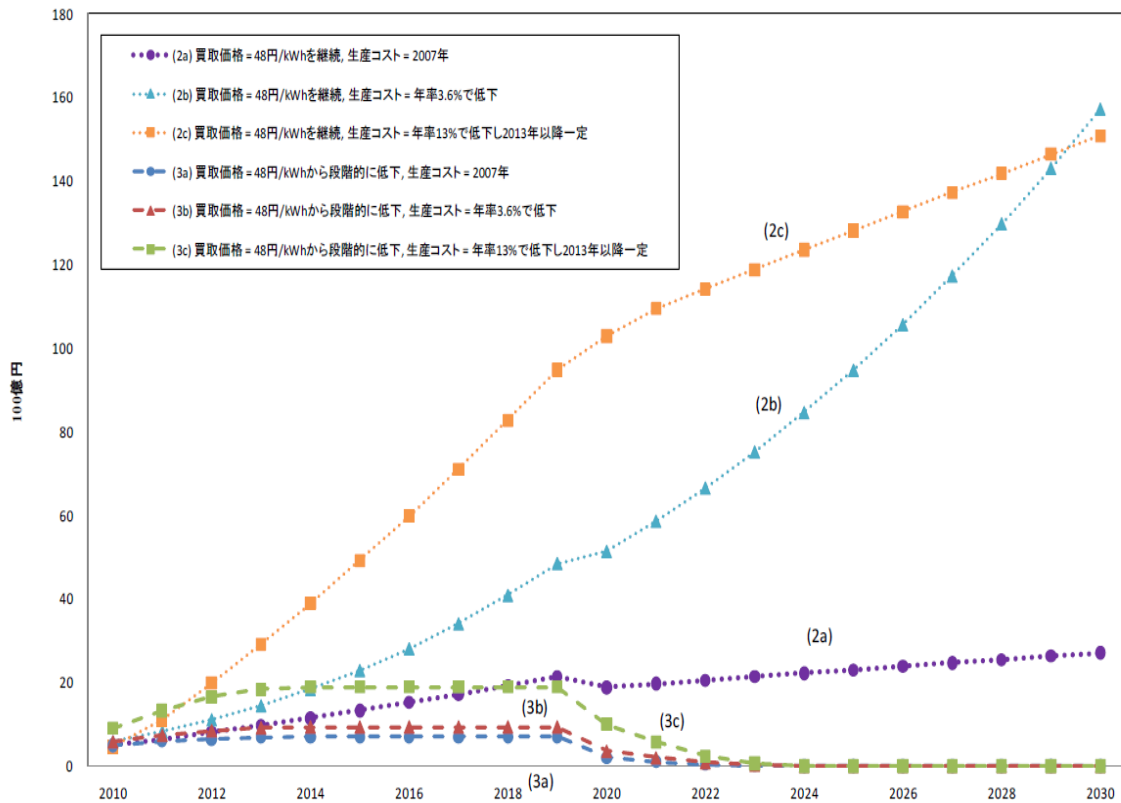
第2の方法は、あらかじめ設定したCO₂削減目標値を達成するのに必要なグリーン技術の導入や研究開発、および産業規制の導入といった具体的な対策を想定し、それらを実施するのに必要な費用積算にもとづく方法である。環境省の日本低炭素社会シナリオにおいて2050年に1990年比で温室効果ガスを70%削減するための平均削減費用は6818~10882円/トンである。

CO₂の経済価値を計算する第3の方法は市場での取引価格に基づく方法である。日本では事業者がCO₂排出量の削減を義務づける直接的な法律はないものの、2005年より環境省の主導によって自主参加型による事業者間でのCO₂排出権取引が行われている。2005-2007年の取引価格はCO₂の1トンあたり平均1212円であった。

ここでは、2010-2030年の太陽光発電の普及がもたらすCO₂削減効果の経済価値を、(i) 市場取引額(1212円/トン)、(ii) Tol(2005)における平均値(3044円/トン)、(iii) 対策費用の上限値(10882円/トン)のそれぞれのCO₂価格で評価した。この結果、政府の想定するシナリオ(3c)で削減される5.6億トンのCO₂には、換算に用いる価格によって異なるものの、0.7~6.1兆円程度の経済価値があると考えられる。

余剰電力の買取費用は一般家庭の電力料金へ上乗せされる形で需要家全体で負担することになる。したがって新たな余剰電力買取制度のもとでの現状との買取差額は社会的な費用負担とみなせる。図4-2にそれぞれのシナリオで必要となる買取差額負担の総額の推移を表す。ただし買取制度を導入しないシナリオ(1a)-(1c)での追加費用は0である。

図4-2 買取差額負担の総額の推移



出所：大橋・明城(2009b)

シナリオ(3c)では2019年まで毎年900～1890億円、そして制度の最終年度となる2014年に導入された分の固定価格買取が終了する2023年までに総額1.9兆円程度の負担が必要となる。一方、固定価格48円/kWhでの買取を続けるシナリオ(2c)では、2030年までの導入分について固定価格買取を保証するには総額25.8兆円もの追加負担が必

要となる。

更に各シナリオで達成される消費者余剰と生産者余剰を明城・大橋（2009a）と同様の方法に従って算出した。ここで生産者余剰については太陽電池メーカー、周辺機器及び施工業者の利潤を考慮した。ただし、周辺機器及び施工業者については限界費用が分からないため、5.2節で推定した太陽電池産業全体の限界費用の価格に占める割合と同じ値を用いて利潤を推計している。

表 4-4 では前述の CO2 削減量の経済価値、消費者余剰、生産者余剰、電力買取費用を用いて買取制度の費用対効果を求めた。

表 4-4 固定価格買取制度の費用対効果

	CO2削減量の経済価値			消費者余剰	生産者余剰	余剰電力の 買取費用	社会余剰		
	1212円/トン	3044円/トン	10822円/トン				1212円/トン	3044円/トン	10822円/トン
(2a)-(1a)	38.6	96.9	346.5	770.5	302.2	1980.8	-869.5	-811.2	-561.6
(2b)-(1a)	209.8	527	1884	4183.7	1063.3	8566.4	-3109.6	-2792.4	-1435.4
(2c)-(1a)	260.2	653.5	2336.6	5184.3	1297.5	10503.3	-3761.3	-3368	-1684.9
(3a)-(1a)	2.8	7	24.9	55.4	21.7	209.8	-129.9	-125.7	-107.8
(3b)-(1a)	42.4	381.1	381.1	844.9	199.1	300.9	785.5	1124.2	1124.2
(3c)-(1a)	61.1	153.7	548.9	1209.6	283.3	663.5	890.5	983.1	1378.3

出所：大橋・明城(2009b)

ただし、ここで買取制度を導入しない場合の比較対象として生産コストが 2007 年のまま変わらないとするシナリオ(1a)を取り上げ、このシナリオとの社会余剰の差をシナリオ(2a)-(2c)およびシナリオ(3a)-(3c)の費用対効果とした。シナリオ(1a)と比較する理由は、新たな買取制度の導入により太陽光発電産業での設備投資が促されその結果として太陽光発電システムの生産コストが低減するだろうとの想定による。もちろんこの仮定を置くことにより、余剰買取制度の効果を過大に見積られている可能性があることに注意が必要である。結果として、生産コストが低減する場合(2b,2c,3b,3c)には CO2 削減価値の評価にかかわらず社会余剰は 6.7～20.1 兆円のプラスとなった。また CO2 削減価値を対策費用の上限となる 10882 円/トンで見積もった場合を除き、買取価格 48 円/kW を継続するシナリオ(2b,2c)よりも、段階的に低下させていくシナリオ(3b,3c)のほうが高い社会余剰が得られることが分かった。これは前者のシナリオでは余剰買取費用の負担が非常に大きくなることによる。一方、生産コストが変わらない場合(2a, 3a)には、CO2 削減価値を対策費用の上限 10882 円/トンで見積り、なおかつ 48 円/kW での買取を継続するシナリオ(2a)を除いて、社会余剰は 2.6～5.1 兆円

のマイナスとなった。以上の分析から、社会余剰の観点からも生産コストが下がるか否かが新たな余剰電力買取制度の評価の明暗を分ける鍵であると言える。

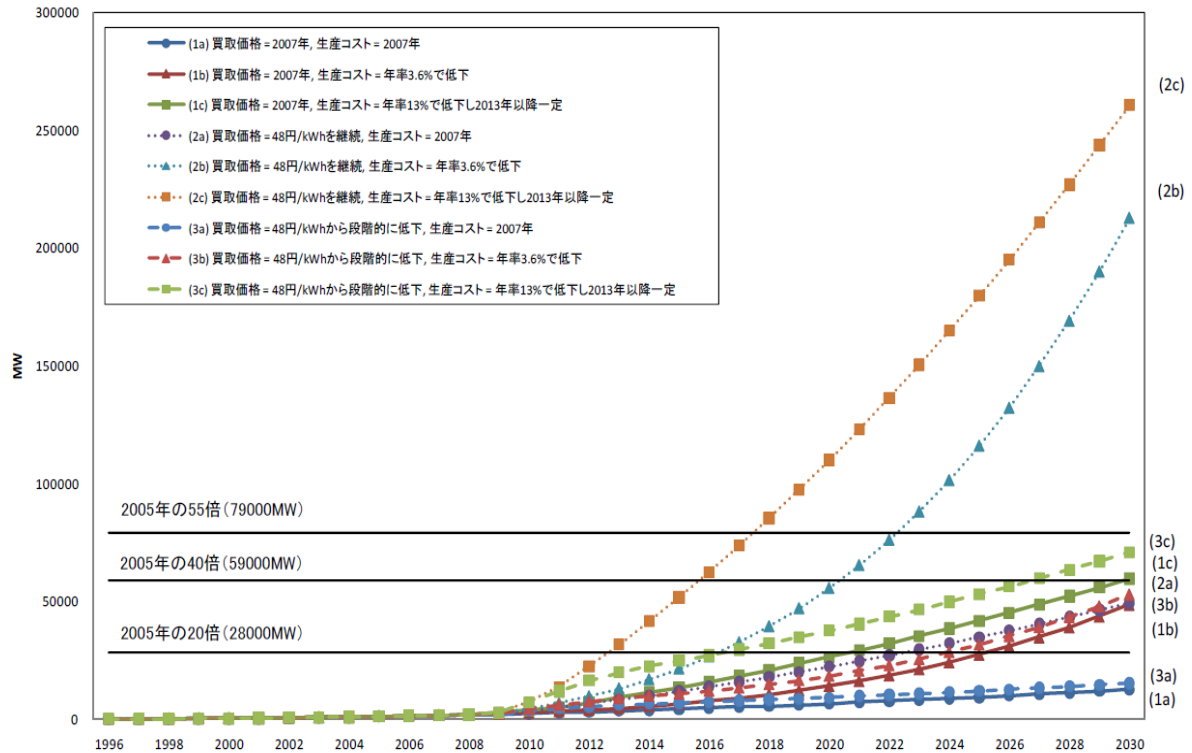
4.1.5 全量買取の場合のシミュレーション

固定価格買取制度は、余剰電力に注目して国民負担を抑えるよう配慮した日本独特の制度であるが、ドイツやスペインなどで行われているような全量買取制度と比べ、太陽光発電システムの導入インセンティブが低い。もし仮にわが国にて住宅用太陽光発電の全量買取を実施したならば、太陽光発電はどれだけ普及するだろうか。

大橋・明城（2009b）では、住宅用太陽光発電で作られる電力全量を電力会社 48 円/kWh にて買取、そのコストは電力料金に上乗せされる場合を想定して分析を行っている。具体的には、これまでのシミュレーションと同じシナリオのもとで、買取制度の対象を全量買取に拡大した場合の太陽光発電の普及について分析するシミュレーションである。この結果、買取価格を段階的に下げるシナリオ(3a)-(3c)では買取制度の対象となる 2010-2014 年の年間導入量は、余剰電力買取の場合に比べて平均で 1.44 倍まで増加した。一方、買取価格 48 円/kWh を継続するシナリオ(2a)-(2c)では 2010 年以降の年間導入量は余剰買取の場合と比べて 1.85 倍へ増加した。図 4-3 に全量買取のもとでの 2030 年までの累積導入量の推移を示す。

もっとも普及が進む買取価格 48 円/kWh を継続し生産コストが 5 年で半減するシナリオ(2c)では 2020 年の累積導入量は 1 億 1000 万 kW となる（余剰買取の場合の 1.8 倍）。この場合、2020 年を待たずに 2005 年度比の 55 倍を達成することができる。この 55 倍という数字は、2020 年での温暖化ガス排出量を 1990 年排出量比で 25% 削減を達成するために必要な太陽光発電の目標量として、2009 年 4 月に地球温暖化問題に関する懇談会での中期目標検討委員会において示された一つの目安である。この場合、2020 年には 1990 年排出量の 4.1%に相当する 4742 万トンの CO2 排出量が削減されることになる。なお、増加割合の最も少ないのはシナリオ(3b)で、2020 年の累積導入量は 1800 万 kW（余剰買取の場合の 1.15 倍）である。この場合の CO2 削減量は 780 万トン（1990 年排出量の 0.7%）となる。

図 4-3 全量買取の場合の累積導入量



出所：大橋・明城(2009b)

以上の普及のシミュレーションからは、太陽光発電の電力を全量買取にすることで普及を更に進めることができると言える。但し、電力買取の負担も増加することになる。シナリオ(3c)での電力買取の総費用は、余剰電力買取の場合には1.9兆円であったのに対して、全量買取の場合には6.6兆円へと3.5倍となる。更に、48円/kWhでの買取を続けるシナリオ(2c)にいたっては、2030年までの太陽光発電の導入分に対する買取費用の総額は、余剰買取の場合に25.8兆円であったのに対して、全量買取の場合には105兆円へと跳ね上がる。この場合、削減されるCO₂の価値を最大の10882円/トンで見積もっても社会余剰は-1.3兆円の負になってしまう。表4-4では買取制度を導入せず生産コストも下がらないシナリオ(1a)との比較において、全量買取の基での各シナリオの社会余剰を求めた。この表からも48円/kWhでの買取を継続するシナリオ(2a)-(2c)では電力買取の費用が大きいため、社会余剰が大きく損なわれてしまうことが分かる。余剰損失の最も少ない場合(シナリオ(2a)においてCO₂の価値を最大に見積もった場合)でもその額は-5.6兆円である。

他方で買取価格を48円/kWhから段階的に下げていくシナリオ(3a)-(3c)においては、生産コストが変化しないとした(3a)を除き、費用対効果は正となった。ただし、この場合でも全量買取での社会余剰は表7の余剰買取のときよりも低い。例えばシナリオ(3c)では、余剰買取の費用対効果は12.0～16.3兆円であったのに対して、全量買取の費用対効果は8.9～13.8兆円となっている。

以上から、買取制度を余剰買取から全量買取にすることで太陽光発電の普及を更に促すことが可能ではあるものの、電力買取にかかる費用負担の増加にともなって社会余剰の増加は少ないことが分かる。

4.2 シミュレーション分析

この節では、第3章の実証分析で得られた需要関数を用いて、太陽光パネルの普及予測を行う。シミュレーションをするにあたっては、大橋・明城(2009b)同様に、いくつかの仮定を想定し、理論値推定を行う。

4.2.1 シミュレーションに用いる需要関数と仮定

この節ではシミュレーションを行う上で用いる需要関数と仮定について述べる。需要関数については、第3章で求めた表3-6にある⑥の線形対数モデルで分析した需要関数を用いる。この需要関数を選択した理由は上述の通り、決定係数の観点からと期待される符号との一致性から選出した。

次に仮定については、2つの観点について仮定を置いている。第一にパネル導入費用については、

1. 現在(2016)のパネル導入費用のままとする
2. 2017年以降、過去と同じペース(年率7.23%)で低下する
3. 2017年以降、5年間で半減し(年率14.46%)で低下し、2022年以降は一定になる

の3つの仮定を置いた。仮定1は2016年以降、太陽電池産業の生産コストが一定のケースである。仮定2、仮定3では太陽電池産業のコストが今後コストが下がっていくケースである。ただし、仮定3では6年目以降はコストはそれ以上上げずに一定の値となっていくと考える。

第二に買取価格については

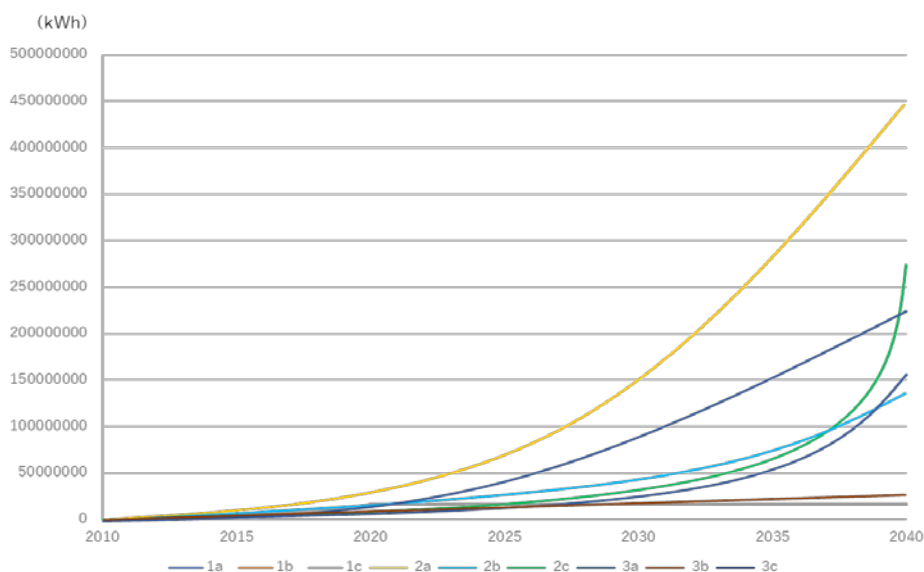
- a. これまで(2019)と同じ
- b. 20年後の2040年に廃止するとして、段階的に減少(-1.3円/年)

c. 2020年以降、過去と同じペース（年率6.6%）で低下
 としている。現状分析にもあるように、仮定aは、固定価格買取買取制度を導入せずに現状の買取価格を続けるケースである。このシナリオでは新たな買取制度の効果を推定する上での比較対象として設定した。シナリオ(2)は導入後10年間は余剰電力を48円/kWhで買取ることとし、導入から11年目以降は買取価格を2007年水準に戻すケースである。シナリオ(3)では既設および2010年の新規導入分については電力買取価格を10年間48円/kWhとするが、それ以降の新規導入分については買取価格を毎年6円/kWhずつ段階的に下げていくものとする。すなわち2011年導入分は42円/kWh, 2012年導入分は36円/kWh, 2013年導入分は30円/kWh, 2014年導入分は24円/kWhと10年間の固定買取価格を下げていくケースである。その他の変数については、2016年の値で一定であるとしている。3章の実証分析では2017年のデータが存在するものもあったが、シミュレーション分析においては、2016年で統一している。それぞれの数値が現在までどのような変化をしてきたのかを分析することで、今後の数値の変化を仮定した。

4.2.2 累積導入量のシミュレーション結果

パネル導入費用の3つの仮定と、買取価格についての3つの仮定を変化させたとの、太陽光パネルの累積導入量のシミュレーション結果を考察する。図4-4がシミュレーションの結果をグラフで表したものである。

図4-4 累積導入量の推移



縦軸が太陽光パネルの累積導入量(kWh)を表し、横軸が年を表している。2010年から2016年までは仮定にも置いてあるように実際の観測値を用いており、2017年から本論文で求めた需要関数の理論値を用いて予測している。1a～1cは、パネル導入費用の仮定1に対して買取価格の仮定をaからcに変化させた場合の太陽光発電の普及量を表している。2a～2c、3a～3cはパネル導入費用2, 3に対してそれぞれ買取価格の仮定をa～cに変更した場合の普及量を表している。

もっとも普及が進むのは導入費用が減少し、買取価格が据え置きの組み合わせ2aである。この場合の2040年の導入量はそれぞれ4億4000万kWhに達する。ほかにも、2cや3aなども累積導入量は大きくなる。一方、もっとも普及が進まないケースは、導入費用が下がらずに買取価格が廃止に向かって低下する1bであり、この場合の2040年の累積導入量は1700万kWh程度であった。1cや3bなどの組み合わせも累積導入量は比較的少なくなっており、買取費用が下がると、どのシナリオでも累積導入量の増加量は少なくなる。

以上の結果より、買取価格は累積導入量の増減に大きく影響を与える要素であり、現行の固定価格買取制度を廃止することは太陽光パネルの累積導入量という観点からみると適切ではないといえる。

4.2.3 CO2削減効果のシミュレーション結果

前節で議論した太陽光発電の普及によって削減されるCO2量について考える。大橋・明城(2009b)と同様にNEDOにて公表されている太陽光発電の排出源単位に基づき、1kWhにつき電力平均との差387.0gのCO2削減効果があるとし、太陽光発電の耐用年数は20年とした上で、式(4.1)を用いてCO2削減効果を試算する。

表4-5 固定価格買取制度のCO2削減効果

	導入費用	買取価格	2040年における	2016年における
			CO2削減量(億トン)	CO2総排出量に占める割合
1a	2016年のまま	2019年のまま	0.092	0.76%
1b		1.3円/年だけ低下	0.057	0.47%
1c		年率6.6%で低下	0.066	0.55%
2a	年率7.23%で低下	2019年のまま	1.122	9.30%
2b		1.3円/年だけ低下	0.433	3.59%
2c		年率6.6%で低下	0.694	5.75%
3a	5年で半減、2022年以降は一定	2019年のまま	0.607	5.03%
3b		1.3円/年だけ低下	0.097	0.80%
3c		年率6.6%で低下	0.545	4.52%

表4-5の4列目に各シナリオにおける太陽光発電によるCO₂の削減量を示す。累積導入量の結果と同じように、シナリオ2a, 2c, 3aのCO₂削減効果が大きく、最も大きいシナリオ2aでは2040年には1億1000万トンのCO₂を削減したことになる。シナリオ1b, 1c, 3bなどのCO₂削減効果は小さく、最も小さいシナリオ1bでは570万トンの削減という結果になった。

表4-5の5列目には、2040年におけるCO₂削減量が、2016年におけるCO₂総排出量(12.6億トン)に占める割合を示している。シナリオ2aでは、2016年の総排出量の9.3%にあたり、シナリオ1bでは0.47%にあたる。

環境省が提示している「2020年以降の新たな温室効果ガス排出削減目標」では、技術的制約、コスト面の課題などを十分に考慮した裏付けのある対策・施策や技術の積み上げによる実現可能な削減目標として、国内の排出削減・吸収量の確保により、2040年度に2013年度比で26%(約10億4200万トン)のCO₂削減を掲げている。固定価格買取制度がこのまま維持され、パネルの導入費用が減少するシナリオ2aでは、2040年に約1億トン削減される。固定価格買取制度はCO₂削減に大きく貢献できる制度であるといえるだろう。

4.2.4 CO₂削減効果の経済的価値

前節で求めた結果を用いて、CO₂削減効果の経済価値を求める。CO₂の外部性を計量する方法としては、大橋・明城(2009b)と同じように3つの手法を用いている。CO₂の増加がもたらす損害に観点を置く手法では、Tol(2005)で求められた3044円/トンを用いている。CO₂削減目標値を達成するのに必要な費用積算にもとづく方法では10882円/トンとし、CO₂の経済価値を計算する方法は2016年の日本における平均取引価格である2566円/トンとしている。

表4-6 各シナリオにおけるCO₂削減効果の経済的価値

	CO ₂ 削減量の経済的価値(億円)		
	2566円/トン	3044円/トン	10822円/トン
1a	236.072	280.048	995.624
1b	146.262	173.508	616.854
1c	169.356	200.904	714.252
2a	2879.052	3415.368	12142.284
2b	1111.078	1318.052	4685.926
2c	1780.804	2112.536	7510.468
3a	1557.562	1847.708	6568.954
3b	248.902	295.268	1049.734
3c	1398.47	1658.98	5897.99

表 4-6に各シナリオにおいてそれぞれの手法を用いた CO2 削減効果の経済的価値を示した。最高の CO2 削減効果があるシナリオ 2a においては、市場取引額を用いる方法では約 2800 億円、経済損害額を用いる方法では 3500 億円、削減費用を用いる方法では 1.2 兆円の削減効果による経済価値があることが分かった。財務省ホームページより、平成 30 年度の日本の一般会計の歳出の概算額は 97 兆円であり、削減効果の経済価値は決して低いものではないといえる。対して削減効果が最も小さいシナリオ 1b では、市場取引額を用いる方法では約 146 億円、経済損害額を用いる方法では 173 億円、削減費用を用いる方法では 618 億円の経済価値があることが導出され、やはり大きな差ができることが観測された。

第5章 結論

本論文では、第3章で住宅用太陽光パネルの需要関数を求めることで、固定価格買取制度は住宅用太陽光パネルの需要に正の影響を与えていることを確認した。固定価格買取制度は再生可能エネルギーの普及に有効な制度であったということが言える。

また、第4章では第3章で求めた需要関数を使ってシミュレーション分析を行った。結果から、固定価格買取制度を持続させることは、太陽光による発電量を増加させ、大幅にCO₂の削減し、経済価値も大きいものであるということが言える。特に今回のシミュレーション結果からは、買取価格を低下させずに、維持することが重要なポイントであるという結論に至っている。第1章の現状分析でも述べたように、太陽光発電による電気の公定買取価格の低下は、固定価格買取制度の問題点の1つとして挙げられており、太陽光関連事業者の倒産を引き起こしていると言われている。

しかし、本論文では先行研究である大橋・明城(2009b)が行った分析(4.1.5節)とは異なり、固定価格買取制度における再生可能エネルギー賦課金を考慮していない。再生可能エネルギー賦課金では一般の電力需要者に課される。つまり、シミュレーションの結果のように、現在の買取価格を維持したまま固定価格買取制度を持続させた場合、一般の電力価格を高くする必要があるため、一般の電力消費者に負担がかかるという事態につながってしまうそれらの点も考慮して政策を決定する必要がある。

これらの負担を軽減するためにはシミュレーションのもう一つの仮定であった、太陽光パネルの導入費用の低下が求められる。太陽光パネルの効率的な低価格での生産を促すことができれば、制度の買取価格を低下した場合でも需要を維持することが可能となる。結果として、再生可能エネルギー賦課金による一般の電力消費者への負担を軽減することができる。

今後の課題としては、上述の通り再生可能エネルギー賦課金や将来の発電電力の考慮という点が挙げられる。また、太陽光パネルの変換効率(発電設備がエネルギー源をどれだけ電力に変換することができるか)は年々向上しているため、そういった指標を使いながら、消費者余剰についても触れる必要があるといえる。

参考文献

- 大橋弘・明城聡 (2009a), 「太陽光発電の普及に向けた新たな電力買取制度の分析」
『NISTEP』57巻, pp.1-29
- 日引聡・庫川幸秀 (2013), 「再生可能エネルギー普及促進策の経済分析～固定価格買取(FIT)制度と再生可能エネルギー利用割合基準(RPS)制度のどちらが望ましいか?～」『経済産業研究所ディスカッションペーパー』13巻70号 pp.1-31.
- 明城聡・大橋弘 (2009b), 「住宅用太陽光発電の普及に向けた公的補助金の定量分析」
『NISTEP』56巻, pp.1-28
- 明城聡・大橋弘 (2010), 「太陽光買取発電制度の定量分析」『住宅土地経済』78巻,
pp.29-35.
- Genesove, D. and W. P. Mullin (1998), “Testing Static Oligopoly Models: Conduct and Cost in the Sugar Industry, 1890-1914,” *Rand Journal of Economics*, 29(2), 355-377.
- Pesendorfer, M. (2003) “Horizontal Mergers in the Paper Industry,” *Rand Journal of Economics*, 34(3), 495-515.
- Tol, R. S. J. (2005), “The marginal damage costs of carbon dioxide emissions an assessment of the uncertainties,” *Energy Policy*, 33, 2064-2074.
- 本橋恵一 (2017), 『電力・ガス業界の動向とからくりがよくわかる本』秀和システム.
- 一般社団法人太陽光発電協会ホームページ <http://www.jpea.gr.jp/>
- 環境省ホームページ <http://www.env.go.jp/>
- 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 国土交通省ホームページ <http://www.mlit.go.jp/index.html>
- 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ <http://www.enecho.meti.go.jp/>
- 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 <https://www.nedo.go.jp/>
- 自然エネルギー財団ホームページ <https://www.renewable-ei.org/>
- 新エネルギー財団ホームページ <http://www.nef.or.jp/>
- 総務省ホームページ <http://www.soumu.go.jp/>

あとがき

本ゼミにおける輪読で読んだ、品質やそれに対する消費者の評価といった論文に大変興味を持ち、このテーマを選択しました。当初の予定では、太陽光パネルの変換効率の推移などにも触れ、固定価格買取制度が施行されてからどのように変化したのかなどにも触れたいと考えていたのですが、データの制約上厳しいということが判明し、このような政策評価に振り切った構成となりました。結果として先輩の卒業論文とほとんど同じ構成になってしまったという点については深く反省しております。早めから準備に取り掛かり進めていたつもりではあったのですが、やはり1つの実証分析に大きく時間がかかってしまい、結局直前でシミュレーション分析を増やしたという点から、先見性の無さが露呈してしまったなと感じています。

三田論とは異なり一人で1から10まで用意して論文を執筆するというのは辛くもありませんでしたが、大変刺激的でありました。特に自分で第4章のシミュレーション分析においては、CO₂の削減目標の年度など時事的なものも考慮しながらデータの期間や仮定等を置いたのですが、それに対してしっかりと結果が出てきてくれたのは非常にうれしかったです。その反面、やはりそれ以外の点で独自性が乏しいようにも論文を執筆しながら感じておりました。

最後に石橋先生と研究会の皆さんに御礼申し上げます。ここまで研究会を続けて、論文を執筆できたのは、石橋先生のご指導のおかげであると感謝しています。また、19期のゼミ生と、知識を共有し、励ましあいながら、さらに20期のゼミ生から意見・アドバイスを受けながらという過程があったからこそ、この論文が完成したのだと考えています。

この研究会で学んだことを忘れずに、今後も勉強を続け、社会に出ても活かしていきたいと思えます。