



KEO Discussion Paper No. 131

## 太陽電池の輸入シェア弾性の測定と 電力価格上昇によるシミュレーション

野村浩二、吉岡完治、大澤史織<sup>†</sup>

2013年1月

### 概要

本稿は2010年第1四半期から2012年の第3四半期までの太陽電池モジュールの価格と輸出入データに基づき、日本の輸入シェア弾性および代用弾性の測定をおこなう。この3年弱の間、日本における輸入品のシェアは8.3%から32.3%へと大幅に拡大した。測定された輸入シェア弾性はマイナス0.63と有意にゼロを下回り、代用弾性では5.66と国産品と輸入品との間に大幅な競合ともいえるほどの大きな代替の可能性を示すものとなった。実測パラメータに基づくシミュレーションでは、部品や原材料を輸入品へと切り替えることで太陽電池生産における電力消費への依存度を低下させてきた日本においても、FITなどによる大規模な政策支援によってもたらされる電力の価格高騰は日本の輸入シェアを拡大し輸出は低下することで、国内生産規模の大規模な縮小を余儀なくされると試算された。持続可能なグリーン成長のためには、再生可能エネルギーの推進を図るとしても、国内においてCO<sub>2</sub>負荷の小さく安価な電力供給を推進することが重要である。

<sup>†</sup> 野村浩二（慶應義塾大学産業研究所准教授）、吉岡完治（慶應義塾大学名誉教授）、大澤史織（慶應義塾大学商学部）

本稿は平成24年度地球温暖化対策国際戦略技術委員会（ALPSII）経済分析ワーキンググループにおける議論として執筆をおこなった。作成においては、秋元圭吾氏（地球環境産業技術研究機構システム研究グループ グループリーダー／東京大学大学院総合文化研究科客員教授）、星野優子氏（電力中央研究所社会経済研究所主任研究員）、國則守生氏（法政大学人間環境学部教授）のご助言を頂いている。

## 目次

1	はじめに .....	2
2	太陽光発電モジュールの輸入シェア弾性.....	3
2.1	輸入シェア関数.....	3
2.2	日本の輸入シェア関数.....	4
2.3	世界の輸入シェア関数.....	7
3	シミュレーション.....	8
4	結び	11
	参考文献	13
	補論：価格と輸出入データ .....	14

## 図表目次

図 1	：日本の太陽電池モジュールの相対価格と輸入シェア（2010Q1–2012Q3） .....	5
図 2	：日本の太陽電池モジュールの輸入相手国別シェア（1988Q1–2012Q3） .....	6
図 3	：ROW における太陽電池の相対価格と輸入シェア（2010Q1–2012Q3） .....	7
図 4	：シミュレーションの変化 .....	8
図 5	：国内電力価格上昇によるシミュレーション.....	10
図 6	：世界の太陽電池モジュールの価格比較と変化（2010 年と 2011 年） .....	11
図 7	：システム価格に占めるモジュールコストシェアの世界比較（2011 年） .....	12
図 8	：モジュールの国内生産価格指数の比較（2011 年 4 月–2012 年 10 月） .....	15
図 9	：太陽電池の価格指数の比較（2010Q1–2012Q3） .....	16
表 1	：日本の輸入シェア関数の推計 .....	6
表 2	：世界の輸入シェア関数の推計 .....	7
表 3	：国内電力価格上昇によるシミュレーション.....	10
表 4	：太陽電池モジュールおよび太陽光発電システムの価格定義.....	14

## 1 はじめに

東日本大震災における福島第一原発事故から1年が経過した昨春、日本政府は2030年のエネルギーミックスの姿を模索するためのシナリオ評価を開始し、原発依存度のあり方を中心として国民的な議論がおこなわれてきた。そこでは原発への依存度低下と温室効果ガスの排出抑制のふたつの要請に応えるため、再生可能エネルギーへのさらなる期待が寄せられている。現在、再生可能エネルギーは技術革新と政策支援に支えられた需要拡大により、大幅な価格低下が進行している。太陽光発電普及拡大センターによる住宅用太陽光発電システムの補助金申請データによれば、昨年度までの15年間、わが国でも平均システム価格は年平均5.2%のスピードで低下し半減以下となった。そのうち、太陽電池モジュールの価格低下は年率6.9%とシステム価格の下落を牽引しており、システム全体の7割ほどを占めていた太陽電池コストは現在では半分を切るまでに低下している<sup>1</sup>。日本政府は、今後2030年まで、さらにほぼ半減する見通しを持つ<sup>2</sup>。

そのような価格低下の将来見通しのもとにあっても、当該市場における消費者の自由な選択によっては、政策的に期待される十分な導入までには至らないと考えられている。政府の示した2030年における脱原発シナリオにおいて必要とされる導入量は、固定価格買い取り制度による大幅な政策支援を必要とするものである。その実現に向けたコスト負担は大きく、再生可能エネルギーの大幅導入のためだけに電力価格は50%ほどもの上昇を余儀なくされると試算されている<sup>3</sup>。企業や家計においてこれほどの電力価格上昇を受け容れる余地があるのか、慎重に検討されなければならない。

需要者としてのコスト負担を懸念する一方、再生可能エネルギーの機器やプラントの生産拡大や、とくに太陽光発電を中心とした国内需要や輸出の拡大によって経済成長を達成し、雇用を創出しようとする期待は大きい。政府は民主党政権下で二度策定された成長戦略において、グリーン成長を第一に掲げ、また昨年末にはグリーン政策大綱を公表した。コスト負担論を超えて、エネルギー政策と成長戦略の双方にとってメリットとなるというwin-win関係の主張は、電力価格上昇の価格転嫁や国際競争力への影響などを評価しないままになされている。

政策によって創出された需要の拡大は個別企業にとって成長の機会を与えることは自明であろうとも、隠された間接的な費用負担は社会として広く担われなければならない。太陽電池の生産はLCA (life cycle assessment) 的な視点から捉えたとき、電力多消費的であることが知られている。現在、日本の太陽電池の国内導入量のほとんどは結晶シリコン型であるが、素材となるシリコンは電気炉で精製され、モジュール化におけるガラス、アルミニウムなどの枠組みもまた電力多消費である。日本では高い電力価格を反映してそうした中間財は輸入への依存を高めている。しかしエネルギー政策の転換による電力価格の高騰は、世界の市場における価格競争力を喪失させることなく、太陽電池製造業の成長を阻む要因とはならないのだろうか。

本稿では、太陽電池モジュールの輸入シェア弾性の測定から電力価格に関するシミュ

<sup>1</sup> 2007年度までは新エネルギー財団資料、2009年度以降はJ-PEC資料による。なお、2008年度のシステム価格および2009年度以降のシステム価格の内訳（太陽電池、付属機器、設置工事）は株式会社資源総合システムによる集計値による。

<sup>2</sup> コスト等検証委員会（2011）。

<sup>3</sup> 地球環境産業技術研究機構（2012）、野村（2012）。

レーションを通じて、再生可能エネルギーの推進とグリーン経済成長のふたつの政策課題との接合における課題を考察する。第2節では、日本および（日本以外の）世界における輸入シェア弾性のフレームワークとその測定結果を示す。第3節では、エネルギー政策の転換にともなう電力価格の高騰が、太陽電池の価格競争力や輸入シェアと国内生産量にどのような影響をもたらすのかシミュレーションをおこなう。補論では、測定のために利用した価格および輸出入データについて考察をおこなう。

## 2 太陽光発電モジュールの輸入シェア弾性

### 2.1 輸入シェア関数

日本（JPN）および日本以外の世界（Rest of the World: ROW）における太陽電池セルの国内需要の名目バランスおよび国内生産の物量バランスを

$$(1) \quad P_k^c D_k = P_k^d X_k^d + P_k^m M_k,$$

$$(2) \quad X_k = X_k^d + E_k$$

として表記する。ここで $D_k$ は国内需要量であり<sup>4</sup>、国産品 $X_k^d$ と輸入量 $M_k$ からなる（ $k$ =JPN and ROW）。 $E_k$ は国産品の輸出量であり、 $X_k^d$ との合計が国内生産量 $X_k$ である。 $P_k^d$ および $P_k^m$ は、日本およびROWにおける太陽電池の国内生産価格およびCIF輸入価格であり、国産品と輸入品を集計した複合財に対する国内需要価格を $P_k^c$ として定義している。ここでは簡単化のため、日本およびROWにおける輸出価格はそれぞれの国内生産価格であるとし、貿易に必要な国際運賃および保険料率を $\theta$ として、

$$(3) \quad P_{ROW}^m = P_{JPN}^d/e + \theta \quad \text{および} \quad P_{ROW}^d = P_{JPN}^m/e - \theta$$

を仮定し、相互の貿易量は各時点において

$$(4) \quad M_{JPN} = E_{ROW} \quad \text{および} \quad M_{ROW} = E_{JPN}$$

と物量として一致するものとする。世界貿易量 $T$ を、

$$(5) \quad T = M_{JPN} + M_{ROW} = E_{JPN} + E_{ROW}$$

とすれば、以上から世界全体の市場規模は、

$$(6) \quad P_{JPN}^c D_{JPN}/e + P_{ROW}^c D_{ROW} = P_{JPN}^d X_{JPN}^d/e + P_{ROW}^d X_{ROW}^d + \theta T$$

と世界全体の生産額と世界貿易に必要な国際運賃からなる。

日本およびROWにおける太陽電池の導入において、国産品と輸入品に不完全代替を仮定し、両者の価格の集計関数をトランスログ関数として想定する。

$$(7) \quad \ln P_k^c = (\alpha_k^d \quad \alpha_k^m) \begin{pmatrix} \ln P_k^d \\ \ln P_k^m \end{pmatrix} + \frac{1}{2} (\ln P_k^d \quad \ln P_k^m) \begin{pmatrix} \beta_k^{dd} & \beta_k^{dm} \\ \beta_k^{md} & \beta_k^{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ln P_k^d \\ \ln P_k^m \end{pmatrix}$$

価格関数が連続な二回微分可能な関数であるとしてヤングの定理により

$$(8) \quad \beta_k^{dm} = \beta_k^{md}$$

として対称性を満たし、また

$$(9) \quad \alpha_k^d + \alpha_k^m = 1 \quad \text{および} \quad \beta_k^{mm} + \beta_k^{md} = 0$$

として一次同次性を満たすことを仮定する。また価格関数が準凹関数であるためには、二次形式の係数行列が半負値定符号行列でなければならず、二変数では符号条件として

$$(10) \quad \beta_k^{mm} \leq 0$$

<sup>4</sup> ここではデータ上の制約から在庫を無視しており、国内需要量は国内における太陽電池の導入量に等しいものとしている。

のみが要請される。国内需要額 ( $P_k^c D_k$ ) を最小化するとき、 $\ln P_k^c$  の  $\ln P_k^d$  および  $\ln P_k^m$  による偏微係数はシェパード・レンマにより、それぞれ国産品と輸入品の名目シェアを与える。

$$(11) \quad \begin{pmatrix} w_k^d \\ w_k^m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \alpha_k^m \\ \alpha_k^m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \beta_k^{mm} & -\beta_k^{mm} \\ -\beta_k^{mm} & \beta_k^{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ln P_k^d \\ \ln P_k^m \end{pmatrix}$$

以上によって、輸入シェア関数が求められる。

$$(12) \quad w_k^m = \alpha_k^m + \beta_k^{mm} \ln \frac{P_k^m}{P_k^d}$$

ここで  $\beta_k^{mm}$  はシェア弾性 (share elasticity) と呼ばれ、輸入品の国産品に対する 1% の価格低下が輸入シェアを  $\beta_k^{mm}$  % ポイント増加させることを示すパラメタである。 $\beta_k^{mm} = 0$  のとき(7)式の価格の集計関数は Cobb-Douglas 型となり、輸入シェアは(12)式において常に一定値  $\alpha_k^m$  となる。

また、国産品と輸入品の数量を CES 型の集計関数を仮定して費用最小化すれば、国産品と輸入品の相対数量比は次のように求められる。

$$(13) \quad \frac{D_k}{M_k} = \left( \frac{1 - b_k}{b_k} \right)^{a_k} \left( \frac{P_k^m}{P_k^d} \right)^{a_k}$$

ここで  $a_k$  は国産品と輸入品の代替の弾力性であり、 $b_k$  は分配パラメタである。 $a_k = 0$  で国産品と輸入品が完全補完であるとき両者の相対数量比は一定値 (Leontief 型) となり、 $a_k = 1$  (代替の弾力性が 1) のとき名目輸入シェアは  $b_k$  で一定値 (Cobb-Douglas 型) となる。太陽電池の品質はそれを製造するプラントの性能に大きく依存するものであり、後発メーカーによる技術のキャッチアップのスピードは速く、太陽電池モジュールでもコモディティ化の急速な進行が指摘されている。そのとき国産品と輸入品の代替の弾力性  $a_k$  は 1 よりも十分に高く、シェア弾性  $\beta_k^{mm}$  は 0 を大きく下回ると考えられる。以下ではその測定をおこなう。

## 2.2 日本の輸入シェア関数

太陽電池はセル、モジュール、そして太陽光発電システムへと製造プロセスの段階があるが、ここでは取引量と価格データの利用可能性に関する制約を考慮して、太陽電池モジュールの工場出荷段階を対象として輸入シェア弾性を推計する。なお、輸入したセルを使用してモジュールの国内生産がおこなわれたり、あるいは国産セルを外国でモジュール化してそれを再び輸入するケースも存在するが、ここではそれらはすべて輸入品として定義されている。また太陽電池では貿易統計の輸入額はセルとモジュールが混在し、また太陽電池以外の財も含まれているため、輸入額として扱うと測定値に少なからずバイアスをもたらす。価格指数および輸入財の名目シェア算定に関する詳細、および各種価格データの比較については補論を参照されたい。

算定された太陽電池モジュールの相対価格指数 (CIF 輸入価格 / 国内生産価格) と名目輸入シェアについて、2010 年第 1 四半期 (1-3 月) から 2012 年第 3 四半期 (7-9 月) までの時系列的な推移 (左図) と両者のプロット (右図) をしたものが図 1 である。観測期間は短いながら、この期間におけるわが国の輸入シェア変化は劇的である。2010 年 Q1 期の輸入品と国産品の相対価格を 1 としたとき、相対的に輸入価格が低下しており 2

年 9 か月後には 0.81 にまで急速に価格競争力を失い、それを受けて名目輸入シェアは 7.6%から 26.0%まで 18.5%ポイントもの上昇である。名目輸入シェアは輸入品の相対的な価格低下を反映しているが、発電能力量 (kW) による実質シェアではこの期間に 8.3%から 32.3%まで 24.0%ポイントの大幅な拡大となっている。

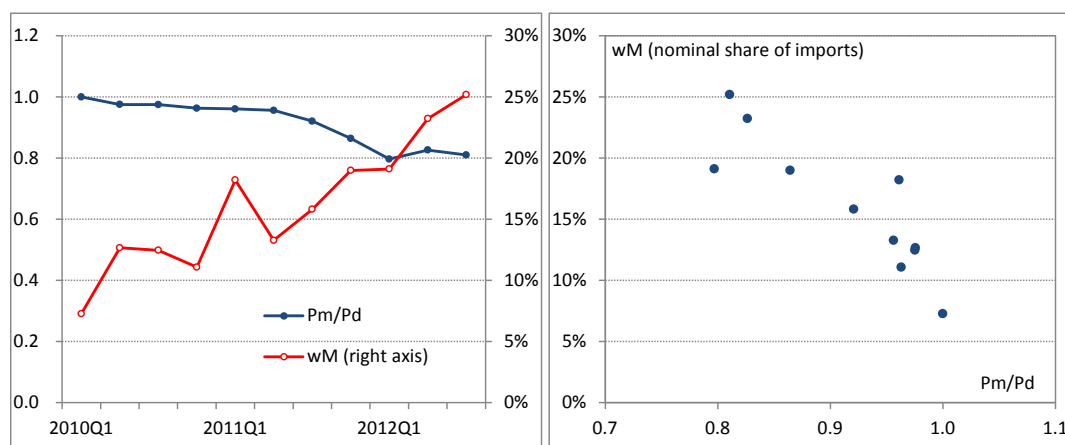


図 1：日本の太陽電池モジュールの相対価格と輸入シェア（2010Q1–2012Q3）

日本の輸入相手国シェアには大きな変遷がある。日本貿易統計によって 1988 年Q1 から 2012 年Q3 までの名目輸入額の手当国別シェアを示したものが図 2 である。1980 年代の後半には輸入品の 50%ほどを占めていた韓国は、1990 年代後半には米国にその地位を譲るが、2000 年代の初めには両国ともに急速にシェアを失っている<sup>5</sup>。大幅な拡大は中国によるものであり、2000 年代後半からは台湾やフィリピンが台頭し、現在ではそのアジアの 3 か国で日本の輸入額の 80%に達する。この間、対米ドル為替レートでは 1 ドル当たり 91 円から 78 円ほどまで、対ユーロでは 1 ユーロあたり 130 円から 100 円ほどまで急速な円高が進行している。しかしながら、日本におけるモジュールの輸入価格は、円建てベースと契約通貨ベース（日本銀行「輸入物価指数」とでこの間にわずかな差異でしかなく、輸入価格の低下は必ずしも為替要因ではなく中国、台湾やフィリピンなどのアジア諸国での生産価格や販売価格の下落を受けたものである。

<sup>5</sup> 2012 年 4 月に破たんした Q セルズの事業の大部分を継承したハンファソーラーは韓国資本による企業であるが、中国で生産をおこなっており、ここでは中国からの輸入に含まれていると考えられる。

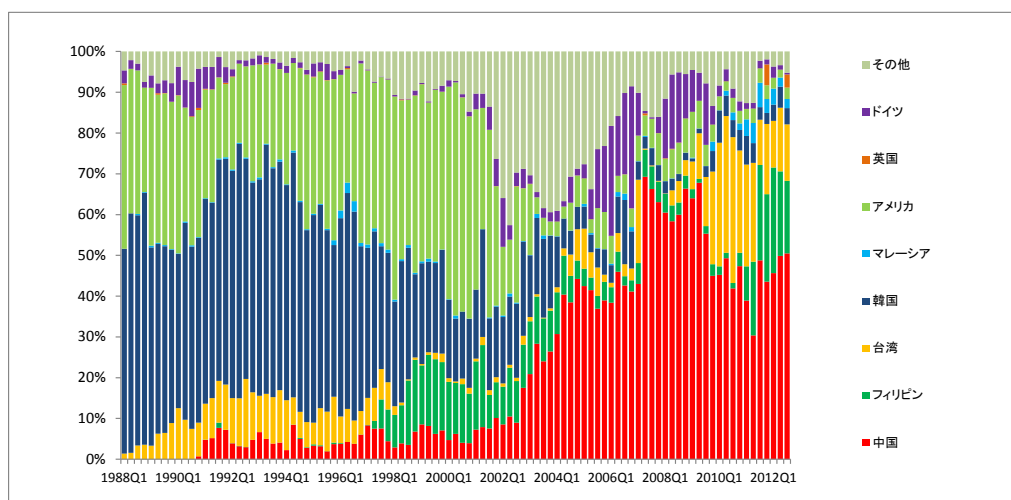


図 2：日本の太陽電池モジュールの輸入相手国別シェア（1988Q1-2012Q3）

表 2 は、最小二乗法および二段階最小二乗法による輸入シェア関数の推計値を示している。なお二段階最小二乗法での操作変数は、日本のシリコン輸入価格および消費者物価指数（持家の帰属家賃を除く総合）によっている。両推計法による推計値の差異は大きくはないが、相対価格の関数のみによってもともにフィットは良い。Trans-log 関数の二段階最小二乗法の推計値によれば、輸入シェア弾性はゼロを大きく下回りマイナス 0.628 であり、輸入品に対する相対的な国産品の 10% の価格上昇は、日本の輸入名目シェアを（国産品の価格上昇にもかかわらず）6.3% ポイント上昇させることを示している。実質輸入シェアで見れば、2012 年 Q3 の実績値 32.3% から評価したとき、42.2% まで 9.9% ポイントの上昇となる。また CES 関数の推計による代用弾性では、二段階最小二乗法による推計値は 5.655 と 1 を大きく上回る弾性性となっている。Trans-log 関数および CES 関数の両者の推計値は、太陽電池モジュールがすでにコモディティ化している商品であることを裏付けている。一般の経済モデルによる評価では、Cobb-Douglass 型（輸入シェア弾性は 0 で、代用弾性は 1）を先験的に仮定したり、パラメタを恣意的に設定するモデルでも代用弾性は 1 に近いことが多いが、それらは価格競争力変化のもたらす影響をきわめて楽観的に評価しているに過ぎないものである。

表 1：日本の輸入シェア関数の推計

	Trans-log			CES	
	OLS	2SLS		OLS	2SLS
$\beta$	-0.575 *	-0.628 *	$a$	5.255 *	5.655 *
	(-5.22)	(-5.37)		(5.71)	(5.80)
$\alpha$	0.113 *	0.109 *	切片	1.961 *	1.998 *
	(8.37)	(7.69)		(17.34)	(17.00)
			$b$	0.408	0.413
AdjR <sup>2</sup>	0.724	---	AdjR <sup>2</sup>	0.760	---

Note: ( ) 内はt値。\*は1%水準で有意であることを示す。

## 2.3 世界の輸入シェア関数

日本による太陽電池の輸出による価格の影響を評価するため、前節と対照的に日本以外の世界 (ROW) における輸入シェア関数を推計する。ROWにおける輸入シェアは、(日本を除く) 世界の太陽電池導入量に対する日本からの輸入量 (日本の輸出量と等しいことを仮定) から実質シェアを算定し<sup>6</sup>、前節での価格定義に関する仮定に基づいて名目シェアを算定している<sup>7</sup>。

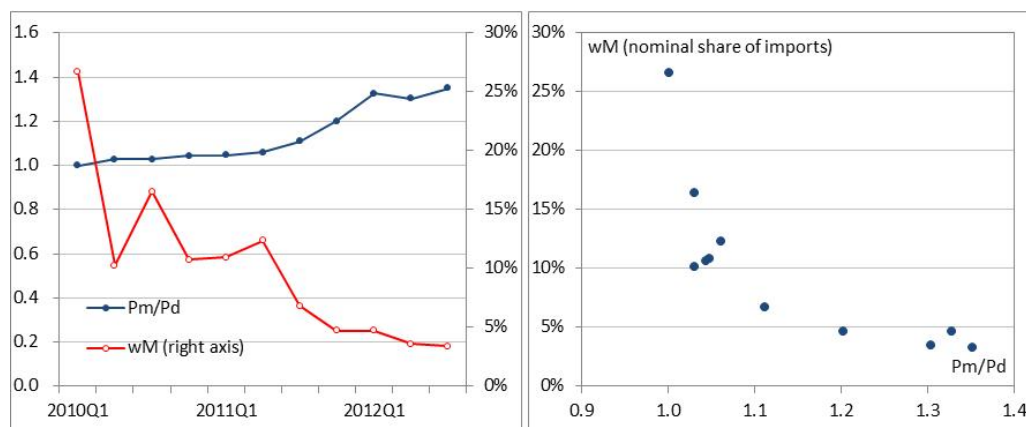


図3： ROWにおける太陽電池の相対価格と輸入シェア (2010Q1-2012Q3)

その推移は図3に示されている。ROWの日本からの輸入シェアは、2010年第1四半期では26.7%であるが、これは2010年第2四半期からのROWの導入量の急激な増加(ドイツにおける導入量が4倍に拡大)を反映したものであり、その間を除けばROWの日本からの輸入比率はおおむね15%ほどから5%を下回る水準まで低下している。日本からみれば、海外価格に対する日本の国内価格の相対的な上昇によって、この間に輸出機会を大幅に喪失していることを示している。

ROWにおける輸入シェア関数について、2010年第2四半期からの観察値に基づいて最小二乗法および二段階最小二乗法による推計値を示したものが表2である。Trans-log関数の二段階最小二乗法の推計値によれば、輸入品(日本の輸出品)の10%の価格上昇は、ROWの名目輸入シェアを3.6%ポイントほど低下させることを示している。

表2：世界の輸入シェア関数の推計

	Trans-log		CES	
	OLS	2SLS	OLS	2SLS
$\beta$	-0.345 *	-0.357 *	$a$	6.092 *
	(-5.28)	(-5.20)		(9.22)
$\alpha$	0.130 *	0.132 *	切片	2.151 *
	(11.64)	(11.40)		(19.02)
			$b$	0.413
				0.416
AdjR <sup>2</sup>	0.749	---	AdjR <sup>2</sup>	0.903
				---

Note: ()内はt値。\*は1%水準で有意であることを示す。

<sup>6</sup> 国別の四半期別導入量については、USはSEIA(2012)、FranceはCommissariat général au développement durable(2012)、あるいはIHS iSuppli ResearchやPolder PVのニュースから積み上げ、IEA(2012)による年間合計の世界導入量と整合するように調整をおこなっている。

<sup>7</sup> 国際運賃・保険料はROWにおけるFOB輸入単価の10%であると仮定した。



CES 型の代用弾性の推計値は 6.295 となり、日本における弾性値をわずかに上回る水準となっている。わずかに日本での代用弾性が小さい結果であることは、この測定期間における日本での需要がメガソーラーなどはまだ大きくはなく、主に住宅の狭い屋根用であることなどにより、購入者がモジュールの品質をより高く評価することによると捉えられるかもしれない。逆に言えば、日本で今後期待されるメガソーラーなどの用途における需要拡大は、代用弾性をさらに大きくするような方向へと進行するものと考えられるだろう。

### 3 シミュレーション

昨夏に政府の示した 2030 年における脱原発シナリオは、固定価格買い取り制度 (FIT) による再生可能エネルギーの大幅な政策支援を前提とし、FIT のサーチャージだけで電力価格は 50% ほどの上昇となり、また CO2 歳出削減を含めれば 100% を超える価格高騰を余儀なくされると試算されてきた (RITE 2012, 野村 2012)。他方、エネルギー政策の転換に必要とされた再エネ導入のための費用負担は国内における需要創出であることから、日本の経済成長へとつながるとの期待の声もあがっている。しかし、国内における電力価格の高騰を受けてもなお十分な国産率を実現する価格競争力を維持できるのだろうか、需要創出を考える際には価格変化とそれによる国際競争力への影響を含めた検討が必要である。ここでは第 2 節で推計された各パラメタに基づき、電力価格の上昇による太陽電池モジュールの価格競争力への影響、そしてそれを受けた輸入シェアと国内生産量の変化について分析をおこなう。

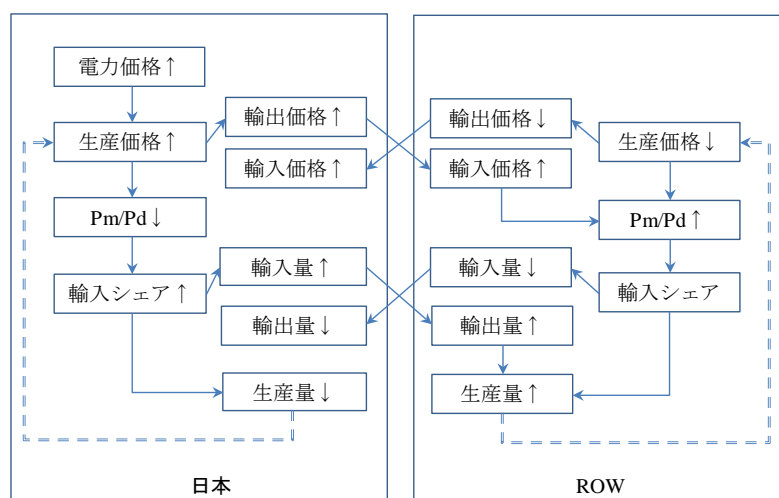


図 4：シミュレーションの変化

図 4 は国内電力価格のみが上昇したときのシミュレーションとしての影響を図示したものである。日本国内における電力価格の上昇を受けては、太陽電池モジュールの国内生産では生産コストの上昇を余儀なくされ、輸入価格に対する国内価格の上昇は日本の輸入シェア関数を通じて輸入シェアを増加 (国産率を低下) させる。また ROW では、(日本からの) 輸入品の価格上昇を受けて輸入シェアは低下 (ROW における国産率は増加)

することになり、それは日本の輸出の減少を意味している。製造技術に目を向ければ、太陽電池は生産の拡張にともなって平均費用が低下する典型的な費用減産産業であり、生産規模は企業が価格競争力を保持するために重要なターゲットとなる。より高い電力価格に直面せざるをえない日本では、輸入量の増加と輸出量の減少（純輸出の減少）によっては、国内生産規模の縮小を余儀なくされ、それは生産コストのさらなる上昇要因となる。それは日本の価格競争力のさらなる低下をもたらし、世界市場においてふたたびシェアを失うという悪循環に陥る。シミュレーションにおいては、電力価格上昇要因を契機とした価格競争力の評価をおこない、生産規模要因による収束値としての輸入シェアと国内生産の変化率を算定する。

前節での輸入シェア弾性の測定時に追加して必要となるデータは、太陽電池の製造における電力消費依存と規模効果に関するパラメタである。太陽電池モジュールの製造における電力消費量の分析は、みずほ情報総研株式会社（2009）によって太陽電池の種類別にLCA（life cycle assessment）の評価としてシリコンなど素材からモジュールの製造まで工程別におこなわれている。シリコン系太陽電池モジュールのLCA的なコスト評価の視点からみれば、電炉によるシリコンのインゴットの製造プロセスがもっとも電力多消費的である。しかし日本ではすでに高価な電力価格水準を反映してインゴットをおもに輸入していることから、ここでは国内生産はセルとモジュールの製造プロセスに限り、そこで直接に必要な電力消費量とウェハ以外の原材料製造に必要な電力消費量とを対象として評価をおこなう<sup>8</sup>。国内生産によるモジュール価格に占める電力価格のシェアは、多結晶・単結晶ともに5.2%となり、ここではそれによって設定する<sup>9</sup>。

太陽電池モジュール製造における規模あるいは習熟効果には国内外で多くの測定事例があるが、小杉（2011）は技術進歩による効率向上からのコスト低下要因を取り除いたもとでは、モジュール価格は1979-2008年度において倍増ごとに14%低下してきたことを指摘している。ここでは各種の先行研究を前提として、モジュール製造の生産規模による弾性値（ $\mu$ ）として-0.1と-0.2の二つのケースを想定することで試算をおこなう。

シミュレーションは2012年第3四半期の水準を初期値とし<sup>10</sup>、電力価格の0%から100%までの連続的な上昇による各種変数のシミュレーション結果を図5に示し、とくに電力価格上昇率30%、50%、100%のケースにおける試算値は表3に与えている。50%の電力価格上昇は、モジュールの国内生産価格を輸入価格に対して2.6%だけ相対的に増加させる。まず規模効果を見放したとしても、この価格競争力のわずかな喪失は日本の名目輸入シェアを26.0%から28.4%まで2.4%ポイント増加させ、実質輸入シェアでは32.3%から35.6%まで3.3%ポイントの増加させるほどの影響をもつ。それは輸入量を10.2%増加させ、また輸出量を13.3%の減少させることで、国内生産量は7.1%の下落となっ

<sup>8</sup> ウェハ以外の原材料製造はその財別の分離がされていないため、ひとつの近似として、ここではその原材料製造に必要な電力消費量の半分は国内生産によるものとして、国内におけるモジュール生産のための電力消費シェアとして算定した。

<sup>9</sup> 太陽電池モジュールの平均的な生産単価は、生産動態統計などから算定される15万円/kW（補論参照）とし、国内製造における電力価格単価は9円/kWhとしている。太陽電池の種類別の単価は、カタログ価格から単結晶と多結晶（シャープ製）、アモルファス（パナソニック製）、CIS太陽電池（ソーラーフロンティア製）の格差率（銘柄別の平均値）を算定した。単結晶シリコンは多結晶シリコンに比して電力消費量は多いけれども製品単価も高いことから、電力消費コストシェアとしては同レベルとなっている。なお、アモルファスおよびCIS太陽電池の電力シェアはシリコン系を下回る電力シェアとされたが、ここでは現在のシェアからシリコン系の太陽電池によって設定している。

<sup>10</sup> ここでのシミュレーションでは、CES関数における日本およびROWにおける代用弾性の推計値を利用した。

まう。

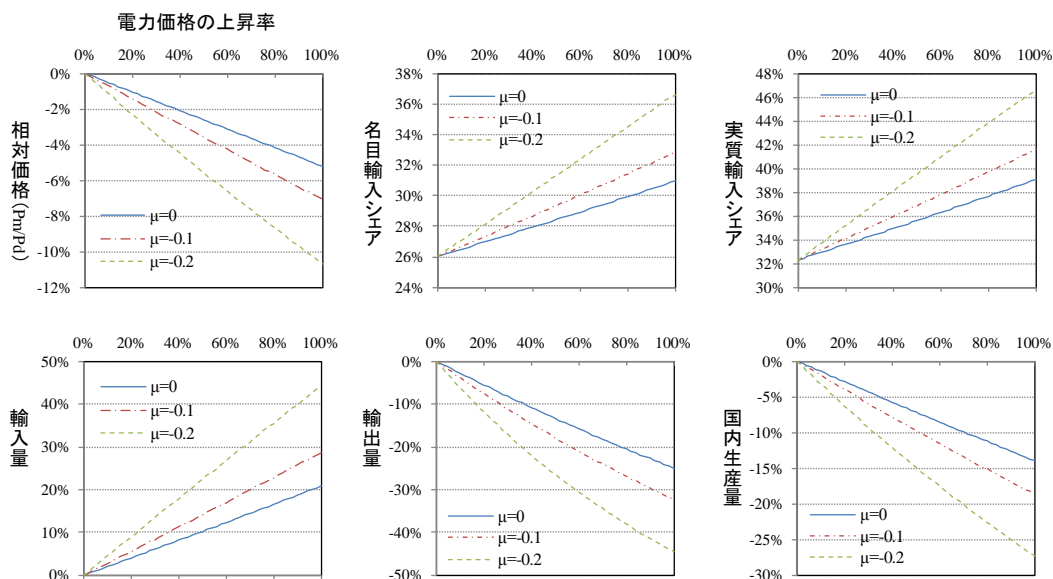


図5：国内電力価格上昇によるシミュレーション

規模の縮小が $\mu = -0.2$ という負のスパイラルを持つとき、最終的な価格競争力の喪失は5.6%にまで達し、それによっては日本の輸入量は22.4%増加し、輸出量は26.5%減少する。それを受けて、国内生産量は14.9%の縮小を余儀なくされる。この日本での生産低下を受けたROWでの生産拡大は1.0%である。ここではROWの生産規模拡大による平均費用の低下は国際的な配分に依存するため無視しているが、相対的な価格競争力の喪失を受けた国内生産への影響は大きなものとなる。

表3：国内電力価格上昇によるシミュレーション

	基準	電力価格								
		+30%			+50%			+100%		
		$\mu=0$	$\mu=-0.1$	$\mu=-0.2$	$\mu=0$	$\mu=-0.1$	$\mu=-0.2$	$\mu=0$	$\mu=-0.1$	$\mu=-0.2$
相対価格 (Pm/Pd)	0.737	▲ 1.6	▲ 2.2	▲ 3.4	▲ 2.6	▲ 3.6	▲ 5.6	▲ 5.2	▲ 7.1	▲ 10.7
うち規模効果	--	--	▲ 0.6	▲ 1.9	--	▲ 1.0	▲ 3.0	--	▲ 1.9	▲ 5.5
輸入シェア(名目)	26.0	27.5	28.0	29.2	28.4	29.4	31.3	31.0	32.8	36.6
輸入シェア(実質)	32.3	34.3	35.0	36.7	35.6	36.9	39.6	39.1	41.6	46.6
輸入量	203MW	6.1	8.4	13.5	10.2	14.1	22.4	20.8	28.7	44.2
輸出量	153MW	▲ 8.2	▲ 11.2	▲ 17.2	▲ 13.3	▲ 17.9	▲ 26.5	▲ 25.0	▲ 32.3	▲ 44.6
国内生産量	577MW	▲ 4.3	▲ 5.9	▲ 9.3	▲ 7.1	▲ 9.7	▲ 14.9	▲ 13.9	▲ 18.6	▲ 27.3
ROW生産量	8.2GW	0.3	0.4	0.7	0.5	0.7	1.0	1.0	1.3	1.9

Note: 単位%(記載されているものを除く)。シミュレーションは2012年Q3を基準としている。

国内電力価格の100%上昇(倍増)のケースでは、 $\mu = -0.2$ という規模効果を前提とすれば、日本の実質輸入シェアは46.6%にまで達し、国内生産量の縮小は27.3%にもなる。日本の太陽電池モジュールの生産は、電力多消費的な原材料は海外から輸入することで電力消費への強い依存を回避しているが、そのような状況においてもコモディテ

イー化した太陽電池では国内における電力価格の倍増は輸入シェアを50%近くにまで高め、国内生産量の30%低下という大きな打撃を与えると試算されている。エネルギー政策としてのターゲットと経済成長に向けた競争戦略とが需要面の積み上げのみによって安易に両立するのではなく、価格の変化を通じた影響が十分に考慮されなければならない。日本が国際競争力を維持するためには、やはり国内においてCO2 負荷の小さく安価な電力供給を推進することが重要である。

#### 4 結び

太陽電池モジュールはコモディティー化したと言われる。本稿では太陽電池モジュールの価格と輸出入量のデータに基づく実証分析をおこない、代用弾性は5から6ほどにも達すると実測された。そのパラメタに基づくシミュレーションでは、部品や原材料を輸入品へと切り替えることで電力消費への依存度を低下させてきた日本においても、電力価格の上昇は輸入シェアを大幅に拡大し、国内生産規模の大規模な縮小を余儀なくされている。価格変化の影響を無視して、エネルギー政策と成長戦略とが安易に両立することは期待できない。

政策的に創出された需要はもろく儂い。家電エコポイントの宴の後に襲った急速な需要縮小は、大幅な価格下落をもたらし余剰設備の償却負担が重くのしかかった日本の家電メーカー各社の体力を著しく損ねるものとなった。競合する国内メーカーは、同業他者の拡張の動きをみて、それと類似した戦略をとることを余儀なくされる。調整機能が期待される政府が、自ら間違ったシグナルを送ってはならない。成長戦略として日本の競争力を維持するためには、やはり国内における安価な電力供給を推進することが必要なのであり、エネルギー政策はそれを見据えたうえでの実現可能な範囲を探らなければならない。そして安価な電力価格を通じた国際競争力の保持が、太陽電池モジュールの変換効率や実電量の改善、より低廉なコストでの生産方法の開発のための研究開発投資への資源配分を可能にさせる。それは中長期的に、再生可能エネルギーの普及を推し進め、現在送電網の整備にも遅れている発展途上国に対しても十分に安価な再生可能エネルギーの将来の導入を可能にすることであろう。それは経済成長と地球環境の保全を両立させるべき本来のグリーン成長の姿であり、日本にこそ期待される役割でもある。

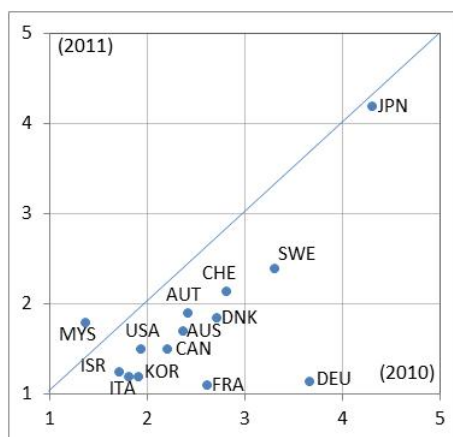


図6：世界の太陽電池モジュールの価格比較と変化（2010年と2011年）

最期に今後のモジュール輸入価格の見通しについて簡単に述べておきたい。図 6 は 2010 年（横軸）と 2011 年（縦軸）の 1Wあたりのモジュール単価（米ドル評価）をプロットしたものである<sup>11</sup>。2010–2011 年の二時点が比較可能な 14 か国のうち日本はもっとも高い位置にあり、2011 年における日本の価格 4.2 ドル/Wは、14 か国の幾何平均による 1.7 ドル/Wの 2.5 倍である<sup>12</sup>。太陽光発電システムに占めるモジュールコストのシェアで見ても、（10kW以下のシステムに限ったとしても）フランスや米国では 2011 年に 20%程度に過ぎないのに対して、日本の 65%とは大きな差異がある（図 7）。今後も日本における輸入価格が低下する余地は十分に残されている。現在の価格水準はメーカー間の消耗戦となり持続可能性は疑われるが、2020 年などの中期では現在の水準よりも 20–30%ほど価格を低下させる計画を公表している会社もある。また日本では需要面からみてもメガソーラーの拡大など代用弾性は上昇することも想定され、輸入シェアの変化は今後も注視されるべきである。

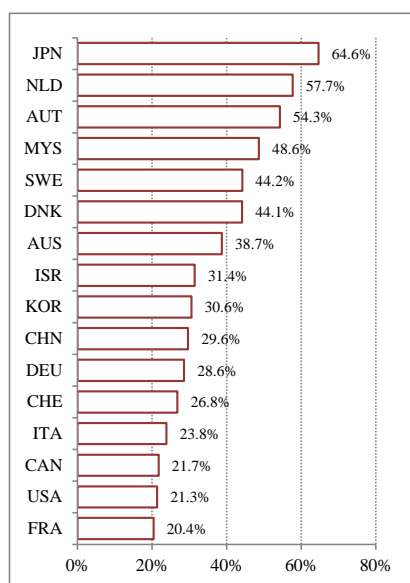


図 7：システム価格に占めるモジュールコストシェアの世界比較（2011 年）

<sup>11</sup> 資料は IEA（2012）の PVPS（Photovoltaic Power Systems Programme）による太陽電池モジュール価格の国際比較によっている。なおモジュール価格には銘柄の相違などを反映して価格幅が与えられている国があり、その際には単純平均によって平均単価を定義している。ただしオーストリアのみ、システム価格との比較からみても上方の価格が高いため、下方の価格によっている。なお付加価値税や売上税は含まない。太陽電池の種類（多結晶、単結晶など）や用途（住宅用やメガソーラーなど）の相違、あるいはマージンや倉庫・輸送コストの包含の有無など、モジュールの価格定義は複雑であり、IEA の国際比較も十分に調和のとれたデータであるとは考えられないことに留意されたい。

<sup>12</sup> この格差要因は必ずしも明確ではないが、ここでの国際比較に利用されている日本のモジュール価格は、補論における資料①による住宅用太陽光発電システムの平均価格（輸入品を含む）によるものであり、メガソーラーなどのより安価な用途向けを含んでいないことも一因であると考えられる。

## 参考文献

- Commissariat général au développement durable (2012) Tableau de bord éolien-photovoltaïque, novembre, 2012.
- IEA (2012) *Trends in Photovoltaic Applications –Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2011*, IEA-PVPS T1-21:2012.
- IREA (2012) Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series – Solar Photovoltaics, *IREA Working Paper*, Issue 4/5, June.
- SEIA (2012) US Solar Market Insight Report, Solar Energy Industries Association.
- 朝野賢司 (2010) 「太陽光発電は需要創出によりどこまでコストが下がるのか？」 電力中央研究所研究報告 Y09020.
- 小杉隆信 (2011) 「太陽光発電および定置用燃料電池システムに関する量産効果を考慮した技術開発・普及戦略」『環境研究』, No.161.
- コスト等検証委員会 (2011) 「コスト等検証委員会報告書」 エネルギー・環境会議.
- 資源総合システム株式会社 (2011) 「太陽光発電システム等の普及動向に関する調査」 (資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部新エネルギー対策課による委託調査)。
- 太陽光発電協会 (Japan Photovoltaic Energy Association: JPEA) (2012) 「太陽電池セル・モジュール出荷統計」.
- 地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ 「エネルギー・環境会議選択肢 RITE 分析の概要」 エネルギー・環境会議 特設ホームページ.
- 野村浩二 (2012) 「エネルギー・環境会議における選択肢 一多部門一般均衡モデルによる経済評価」 エネルギー・環境会議 特設ホームページ.
- 星野優子 (2010) 「資源価格高騰は太陽光発電を有利にするのか」 電力中央研究所社会経済研究所ディスカッションペーパー, SERC 10005.
- みずほ情報総研株式会社 (2009) 「太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」 (新エネルギー・産業技術総合開発機構による委託調査)。

## 補論：価格と輸出入データ

輸入シェア弾性やモジュール生産コストにおける電力価格への感応度の推計のためには、価格データの入手可能性を考慮しながら、ターゲットとする流通段階や価格の定義を定める必要がある。太陽電池モジュールと太陽光発電システムに関して利用可能な価格資料としては、

- ① 住宅用太陽光発電システムの補助金申請時におけるシステム価格<sup>13</sup>、
- ② 貿易統計等から算定される輸入財の単価、
- ③ 日本銀行による企業物価指数（国産財、輸入財）、
- ④ 生産動態統計から算定される国産品の単価

などがある<sup>14</sup>。太陽電池のセルからモジュールの製造、付属機器<sup>15</sup>や工事費を含めた最終消費者への太陽光発電システム販売までのプロセスの中で、対象となる財（国産財や輸入財、その両者のミックスとなる複合財）やマージン・運賃等の包含の相違を反映して、各価格データを整理したものが表4である。太陽電池システムにおける国産品と輸入品の選択は究極的には最終消費者の選好を反映しているものであると考えられるが、このような整理によれば、利用可能なデータは住宅用に限った複合財のモジュールおよびシステム価格（①）、国産品のモジュール生産者価格（③a、④）、輸入品のCIF価格（②、③b）に限られている。本稿では生産者出荷段階の価格に基づいて定義をおこない、その段階における輸入シェアの算定をおこなう。

表4：太陽電池モジュールおよび太陽光発電システムの価格定義

	モジュール			システム		
	国産財	輸入財	複合財	国産財	輸入財	複合財
生産者価格 (生産者出荷段階)	③a, ④	②(含セル他), ③b				
購入者価格 (小売店の購入段階)						
----- (最終消費者の 購入段階)			①(除消費税)			①(補助金 控除前)

入手可能な価格データ:

- ① 補助金申請書類価格(太陽光発電普及拡大センター)
- ② 財務省「貿易統計」(輸入品単価)
- ③ 日本銀行「企業物価指数」(a: 国内企業物価指数、b: 輸入物価指数)
- ④ 経済産業省「生産動態統計」(国内生産単価)

国産品の生産者価格について、日本銀行「国内企業物価指数(DCGPI)」(③)<sup>16</sup>と経

<sup>13</sup> 1997年度から2007年度までは新エネルギー財団(NEF)、2009年度以降は太陽光発電普及拡大センター(J-PEC)資料によって公表されている(2008年度のシステム価格は、資源エネルギー庁(2011)の委託調査で算定されている)。また、平均システム価格の内訳として、太陽電池、付属機器、設置工事別の価格が2007年度までNEFおよびJ-PECによって算定されており、2008年度以降についてはNEDOの委託調査でおこなわれている。

<sup>14</sup> この他にも各メーカーや小売店のカタログ価格があるが、実勢価格からは大きく乖離するものやオープン価格も多いため、本稿では(太陽電池種類別の単価格差率の推定に限り)時系列的な価格指数としての利用としては対象外としている。

<sup>15</sup> 太陽光発電システムのうち太陽電池モジュール以外の周辺装置で、架台、支持金具、配線、ブレーカー、チャージコントローラー、バッテリー、インバーター等を含む。

<sup>16</sup> 1995年基準より採用されている。

経済産業省「生産動態統計」から算定される単価（④）からの月次価格指数を2011年4月から2012年10月まで比較したものが図8である<sup>17</sup>。生産動態統計から算定される単価指数は月次データでは短期的な変動が大きいものの、長期の傾向はDCGPIと整合的であるといえよう。なおDCGPIのラスパイレス指数と連鎖ラスパイレス指数には大きな差異がみられず、本稿では国内生産価格としてラスパイレス指数によるDCGPIによる。

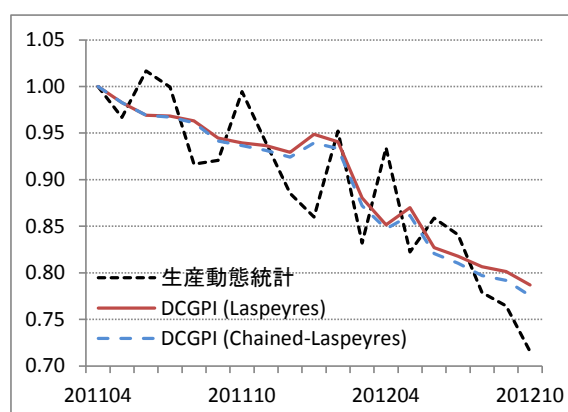


図8：モジュールの国内生産価格指数の比較（2011年4月-2012年10月）

輸入品のモジュール価格は、貿易統計から算定される単価（資料②）<sup>18</sup>と2010年基準からは日本銀行「輸入物価指数（IPI）」（資料③）がある。まず、貿易統計における物量単位は輸出入ともに個数であり、それと輸入金額から算定される単価はほとんど意味をなさない。ここでは、太陽光発電協会（JPEA）の「太陽電池セル・モジュール出荷統計」におけるセル・モジュールの輸入量（kW）を分母として、貿易統計における輸入額を除いたものを輸入単価指数としてみなしている。このような輸入単価指数とIPIの四半期別推移を比較したものが図9である。IPIは比較のため図示したDCGPIを上回る価格低下を示しているが、輸入単価指数はいずれをも上回る大幅な価格下落となっている。ひとつの要因は貿易統計においてセルやモジュールが識別されることなく合算されているところにあると考えられるが、われわれの検討ではもっとも細かい品目においても太陽電池以外の財が含まれていること、とくに観察期間の初期の時点ではそれが多く、輸入単価指数の推計に下方バイアスを与えてしまうものと思われる。本稿での輸入価格指数としてはIPIによる。

なお、年集計値ではあるが、資料①による住宅用太陽電池（国産品と輸入品を含む）の価格指数は2011年度において対前年度比90.7であり、資料③での対応する年度平均値でみれば国産品（DCGPIのラスパイレス指数）の93.2と輸入品（IPI）の85.2の中間に位置しており、両者はおおむね整合的であると言える。

<sup>17</sup> 生産動態統計において（個数ではなく）kWによる物量の調査項目が新設されたのは2011年1月調査からであるが、調査開始時期の調整不足によるものか1月から2月までに大幅な単価の上昇が算定されるため、ここでは同年4月からの比較としている。

<sup>18</sup> 貿易統計において太陽電池に該当するもっとも細かい品目は、輸入では「光電池（モジュール又はパネルにしてあるかないかを問わない）」（HSコード：854140090）、輸出では「その他のもの」（「光電性半導体デバイス（光電池（モジュール又はパネルにしてあるかないかを問わない。）を含む。）及び発光ダイオード」のうち）（HSコード：854140990）である。



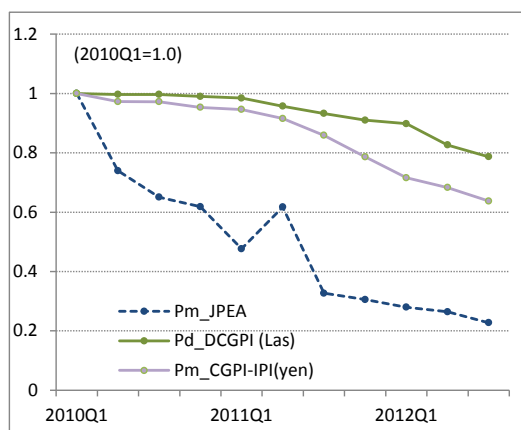


図9：太陽電池の価格指数の比較 (2010Q1-2012Q3)

貿易統計における粗い分類の問題は、名目輸入シェアの算定においても太陽電池の輸入を過大評価させ、また時系列的な輸入シェアの拡大を過小評価させるバイアスを与えることになる。それを回避するため、本稿では、国内生産および輸出入に関する物量(kW)の把握と、国産品と輸入品それぞれの価格指数、および基準時点における単価の内外価格差から名目輸入シェアを算定する。

太陽電池の生産や輸出入の物量の把握におけるひとつの困難性は、中間財であるセルの取り扱いにある。モジュール生産ではセルを中間投入しており、それは国産品と輸入品からなる。生産の把握において両者の国産品を加算した粗生産による定義では二重計上となってしまう、また輸入されたセルを投入して国内で生産したモジュールは輸入品として扱うことが望ましいだろう<sup>19</sup>。物量単位によるセルとモジュールの重複を避けた資料は、太陽光発電協会(JPEA)の「太陽電池セル・モジュール出荷統計」において物量単位(kW)で公表されている<sup>20</sup>。同統計における“セル・モジュール”は、国産品のモジュールであってもセルが輸入されたものである場合はすべて輸入品としてカウントし、セルとしての輸出とモジュールとしての輸出の合計を輸出としてカウントしている。セルとモジュールの両方が国内生産されているときのみ、“セル・モジュール”の国産品として定義される。

JPEAにおけるセル・モジュールの出荷統計と企業物価指数による価格指数(DCGPIとIPI)によって、国内出荷分のうち輸入品と国産品の金額指数を算定する。名目輸入シェアの算定においては、基準時点における単価が必要である。ここでは2010年第1四半

<sup>19</sup> 生産動態統計による2010年度の国内生産額はセル3,059億円およびモジュール3,333億円であり、両者の合計は6,392億円となっている。資源エネルギー庁の委託調査による報告書(2011)における太陽電池生産額(p.7)は、光産業技術振興協会調べとして2010年度6,992億円(見込み)であるとされているが、それはモジュール国内生産に投入されたセル生産額を二重に計上した粗生産概念によるものであることに留意すべきである。市場規模の適切な算定には付加価値(純生産)の推計が望ましい。

<sup>20</sup> 平成24年度第2四半期調査(2012年11月15日)における調査対象会社はUpsolar Japan、新興マタイ、伊藤組モテック、ソーラーフロンティア、イワテック、ソプレイソーラー、ウエストホールディングス、高島、AGC硝子建材、長州産業、エスパワー、東芝、カナディアン・ソーラー・ジャパン、トリナ・ソーラー・ジャパン、カネカ、ネクストエナジー・アンド・リソース、京セラ、ネミー、Qセルズジャパン、ノーリツ、グリーンテック、ハンファ・ジャパン、クリーンベンチャー21、富士電機、サニックス、フジプレミアム、サンテックパワージャパン、本田技研工業、SunLink PV Japan、パナソニックグループ 三洋電機、シャープ、三菱電機、ショット日本、YOCASOLの34社であり、回答率は100%となっている。

期における国産品の単価として、経済産業省「生産動態統計」における太陽電池モジュールの生産額を JPEA の国内生産量で除して算定した単価（150 千円/kW）によって設定する。資料①の住宅用太陽光発電システムの中の太陽電池モジュールの平均単価は 300 千円/kW を超えており、上記で算定した生産者価格と小売店のマージンや輸送コストを含む購入者の価格とは大きな乖離があることに留意すべきである。また同四半期における輸入品単価は国産品単価を 10% 下回っていることを仮定して、両者の金額指数を乗じることによって名目輸入シェアを算定した。



## Estimation of Import Share Elasticity of Photovoltaic Modules

Koji NOMURA, Kanji YOSHIOKA, and Shiori OSAWA<sup>†</sup>

January, 2013

### Abstract

This paper estimates the import share elasticities of photovoltaic modules (PV) for Japan and the rest of the world using the quarterly data of PV prices and trade volume from 2010 Q1 to 2012 Q3, during which Japan's import share of PV rapidly increased from 8.3 percent to 32.3 percent. The estimated import share elasticity based on the trans-log function is  $-0.63$  and the elasticity of substitution is estimated as 5.66 for Japan. These results suggest that the current PV module market in Japan is highly competitive with imports and domestic products as close substitutes and in turn high price sensitivity.

In the aftermath of the Fukushima nuclear accident in March 2011, a new plan for rearranging electricity power generation is required for Japan. Based on the plans provided by the government last summer, the most ambitious target is to increase the share of renewable energy to 37 percent of the total power generation by 2030, compared to 10 percent at present. However, it is estimated that to achieve this ambitious target will require the electricity price to increase by about 50 percent, mainly as a result of a large-scale expansion of feed-in tariff policy. Although this change in energy policy will greatly stimulate PV demand, growth in this sector could not be automatically assumed since Japan's PV makers must face the rapid increase in the electricity price, which in turn feeds into their production cost to the detriment of their competitiveness. The simulation results based on the estimated import share functions in this paper suggest that this loss of price competitiveness will reduce domestic production in Japan via both a large increase in import shares and a decrease in exports to the world market, reflecting the property of the highly competitive market of PV and the decreasing scale of production of Japan's PV makers. The results can be inferred for the wider economy that to ensure a sound, favourable basis for growth, it is of paramount importance to avoid a hike in the domestic price of electricity as currently estimated, and to search for a more realistic target of renewable energy power generation.

<sup>†</sup> Koji NOMURA (Associate professor, Keio Economic Observatory, Keio University), Kanji YOSHIOKA (Emeritus professor, Keio University), Shiori OSAWA (Undergraduate student, Faculty of Business and Commerce, Keio University)