

メッシュ気候値を用いた全国住宅の太陽光発電のポテンシャルに関する研究

A Study on an Electricity Potential generated by Photovoltaic Systems on whole the Houses in Japan using Climatic Mesh Data

杉原弘恭^{*1} 山下潤^{*2} 生駒依子^{*3} 秋澤淳^{*4} 柏木孝夫^{*5}
Hiroyasu SUGIHARA Jun YAMASHITA Yoriko IKOMA Atsushi AKISAWA Takao KASHIWAGI

Abstract

The present study estimated an electricity potential generated by photovoltaic systems on roofs of the whole houses in Japan. In such an estimation, this study employed data on the average radiation with shading and on estimated roof space on a 1 km mesh scale using a geographical information system. The estimated standardized residuals, which were derived from an application of the first regression analysis, were also regressed with both income and energy consumption data by prefecture. As a result, the authors revealed regional differences, which have not been observed in macro analyses, in photovoltaic electricity potentials. These differences could cause regional inequality in purchase of PV electricity surplus so that introduction of new PV systems should be prioritized to those regions, where there are ample rooms for such PV systems. As a result derived from an application of the break-even cost analysis, it was also revealed that the amount of PV electricity steeply increased in proportion to increments in subsidies, and a subsidy policy by mesh is effective.

キーワード：太陽光発電，GIS，メッシュ気候値，地域別潜在導入量，標準化残差，ブレイク・イーブン・コスト

Keywords: Photovoltaic system, geographic information system, climate mesh data, potentiality by districts (meshes), standardized residual, break-even cost

1. 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

国連気候変動枠組条約（UNFCCC）およびその京都議定書により，温室効果ガス（主に CO₂）の抑制（limitation）・削減（reduction）および貯蔵庫（reservoir）の保護・強化が求められている。対策として主に抑制には，プロセス技術として省エネルギー，主に削減には，出口技術として炭素吸収技術（CCS），入口技術として化石燃料代替が指向される。

再生可能（自然）エネルギー・新エネルギーの導入は，化石燃料代替として促進されてきている。なかでも地球の

中心的なエネルギー源である太陽エネルギーを電力に直接変換する太陽光発電（photovoltaic system）は，量産効果による低コスト化と技術革新の余地があることから，普及促進政策が採られている。

再生可能エネルギー等の具体的な目標数値は，政府の「エネルギー基本計画」にもとづき，経済産業省（資源エネルギー庁）が立案する「長期エネルギー需給見通し」（1967年より策定）で示される。これに基づけば，これまでの政権の政策方針に応じて，2006年次の2030年計画値が，2009年にはほぼ2020年値に10年前倒しされて，「2020年までに一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合を10%に達することを目指す」こととなった。太陽光発電の2020年目標値については，1,432万kWから2,864万kWと2倍（2005年の20倍）になっており，2009年11月より太陽光発電の電力買取制度（住宅用はこれまでの電力会社の自主的な余剰電力買取価格の約2倍の48円/kWh，非住宅は24円/kWh）も導入された。

一方で，これらの政策に用いられる太陽光発電のポテン

*1 東京農工大学大学院生物システム応用科学府客員教授
〒184-8588 小金井市中町 2-24-16

e-mail : hisugih@nifty.com

*2 九州大学大学院比較社会文化研究院准教授

*3 日本政策投資銀行地域企画部研究員

*4 東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授

*5 東京工業大学統合研究院教授

（原稿受付：2010年12月6日）

シャル推計としては、日本の平均日射量を全国の推定屋根面積等に乗じて推計するもの¹⁾²⁾が主体であるが、全国平均であって地域の状況を反映していない。地域の状況を反映すべく、中口ら³⁾はメッシュデータを用いて地域（地方自治体）のポテンシャル推計を全国ベースで行ったが、『メッシュ気候値 2000』⁴⁾の全天日射量と『国土数値情報土地利用メッシュ』⁵⁾の宅地面積を市町村単位で集計し、宅地面積の25%に太陽光発電を設置したのとしてポテンシャル推計をしたにとどまっている。

1.2 研究の目的と射程

本研究は、GIS（地理情報システム）を用い、全国約 37 万メッシュ（約 1km×1km 格子）単位で発電量を分析し、導入余地のある地域を導出することを目的とする。ただし、現在メッシュベースでの発電量の観測値が存在しない。そこで、地域差のある現実の日射量に近い地形遮蔽のある日射量（30 年間の平均）データと、メッシュごとに推計した総屋根面積から、全国のすべての住宅に太陽光発電システムを設置したとした場合の推計発電量を求める。

ついで、求められた地域的な太陽光発電の状況を、メッシュベースで標準化残差の分析を行うことで、負値の地域を太陽光発電の低導入地域として見出す。さらに標準化残差を県民所得やエネルギー消費量の要因を用いて分析することで、太陽光発電の導入余地のある地域を探り、政策的含意を導出する。

さらに、補助金政策の効果を探るべく、太陽光発電システムのブレイク・イーブン・コスト分析を行う。

2. GISによる太陽光発電量のメッシュ・ベース推計手法

2.1 方法とデータ

水域・海岸線を除く日本列島陸域約 37 万メッシュのうち世帯の存在するメッシュ（Table 1）において、推計した屋根面積の 30%にパネルを設置したとして、当該メッシュの日射量を乗じて発電量を求めた。

Table 1 The number of meshes in the Japanese islands

	分析対象メッシュ数
世帯なし	189,667
世帯あり(49,507千世帯)	180,491
合計	370,158

発電量の基本算出式は次の通りである。

$$G_a = \rho I_a A_a K T \quad (1)$$

ここで、 G_a : a 地域（メッシュ）の年間発電量[kWh/年]、 ρ : 太陽電池変換効率、 I_a : a 地域の年平均日射量[kWh/(m²・年)]、 A_a : a 地域の太陽電池パネル面積（総屋根面積×0.30）[m²]、 K : 統合係数、 T : 温度損失係数。

ただし、1) 年平均日射量 I [kWh/(m²・yr)] = 平均日射量 R [MJ/(m²・day)] × 365 [day/yr] = 3.6 [MJ/kWh]

2) 太陽電池の変換効率(ρ)は、最近のメーカーの各種製品の平均値 0.14 を使用した。なお、補助の要件たる「住宅用太陽光発電導入支援対策費補助金 技術仕様書」⁶⁾で補助対象となるセル変換効率は、シリコン結晶系太陽電池 0.135（シリコン薄膜系太陽電池 0.070、化合物系太陽電池 0.080）以上とされている。

3) 統合係数(K)は、島田ら⁷⁾によって、ガラスの塵埃による汚れ係数 0.93×パワーコンディショナ直流交流変換係数(効率) 0.91×回路配線係数 0.94×アレイ負荷整合係数(アレイ最大出力電力と負荷電力との不整合) 0.88 = 0.70 とした。

4) 温度損失係数(T)は、パネル温度が高いほど発電電力量が減る特性があることから、

12~2 月(-0.10), 3~5 月(-0.15), 6~8 月(-0.20), 9~11 月(-0.15)とし、年平均(-0.15) = 0.85 とした。

2.2 日射量

『メッシュ気候値 2000』のうち、「地形遮蔽が有るときの全天日射量」データを使用する。メッシュ気候値は、全国約 1,000 か所の観測所の 1971~2000 年の日射量等の平均値データを全国約 37 万メッシュ（約 1km×1km 格子）に推定したものである。

全天日射量は、天空の全方向からの太陽放射で、水平面で受けた単位面積あたりのエネルギー（水平面の直達日射量と散乱日射量の和）で、さらに太陽位置（高度角・方位角）と標高データから得られた地形遮蔽係数で補正されたものである。地域ごとの集計に対応するため、市区町村コード（JCODE）を付与した。

ちなみに、メッシュベースの「地形遮蔽が有るときの全天日射量」は、全国平均で 12.7 [MJ/(m²・day)] であり、「地形遮蔽が無いときの全天日射量」の全国平均値 12.8 [MJ/(m²・day)] の 0.99 相当である。

マイクロ推計において通常使用される斜面日射量データがメッシュベースで存在しないこともあるが、水平面日射量である当該データを使用する理由は以下の通りである。

1) 日射量の 1 日累計では、住宅の方位角の影響は午前と午後で合計されるので、方位角 0°（南向き）で、太陽光利用効率のよい傾斜角 30°が代表とされる。1 年間を通してみると、傾斜角 30°では、太陽高度の関係で、冬の発電効率は水平の約 1.5 倍になるが、夏は水平より効率が落ちること。通年で傾斜角 30°と傾斜角 0°（水平）の比率を、アメダスの約 800 か所の観測所データでみると、最高で釧路観測所の 1.20 倍、最低は与那国島観測所の 0.98 倍、平均で 1.09 倍程度であること。

2) また、真東や真西向きの屋根では、傾斜角を設けると短時間しか日射を得られず効率が悪くなることから、一日中日射を得られる水平の置き方が選択されること。これらから、推計には水平面日射量である当該データを使用した。

2.3 対象を住宅とする理由

対象を住宅に限定した理由は以下の通りである。

- 1) メガソーラーのように計画的に立地するとはいえない住宅用を政策的に誘導すること。
- 2) CO₂の抑制・削減が求められているなかで、民生部門の排出量が増加傾向にあり、抑制・削減へのインセンティブになること。
- 3) 「低炭素経済への経路」⁸⁾などで「世界の温暖化ガス削減コスト・カーブ」が推計され、投資コストを上回る利益が見込まれるものからコストのかかるものまでが順番に並べられているが、利益がコストを上回るもののほとんどが民生部門の住宅関連と乗用車であること。
- 4) 現状の供給体制として、太陽電池の出荷額の約80%が一般住宅向けであること⁹⁾。また、2001年から2007年度までの自治体に補助金申請した新築・既築を計算すると77%が既築であること¹⁰⁾。
- 5) 業務用ビルについては、屋上緑化(東京都の条例等)と競合する可能性があること。

2.4 住宅屋根面積の推計

全国の住宅の屋根面積のデータはないことから、『住宅・土地統計調査(平成15年)』¹¹⁾のデータを組み合わせることによって得られる住宅(一戸建・長屋建・共同住宅)の平均建築面積(建築物を真上から見たときの水平投影面積)をまず求め、さらに、当該自治体の世帯当りの平均建築面積を求める。それを、JCODEを付与した『地域メッシュ統計平成17年国勢調査』¹²⁾の全国メッシュ世帯数に乗ずることで、メッシュベースの建築面積=屋根面積を求めた。

具体的には、一戸建(d)、長屋建(l)、共同住宅(c)につき1棟当り建築面積(L)を統計より計算し、各々の棟総数(M)を乗じてある自治体の各々の建築面積を求める。地域(地方自治体)により、戸建て、長屋建、共同住宅の居住比率は異なることから、各々に居住する世帯(F)当りの建築面積を求める。これを世帯数で加重平均して、その自治体1世帯当たりの住宅建築面積(屋根面積)を求めることは、次式で示すように、その自治体の総建築面積を総世帯数で除したものとなる。

$$\frac{\{(L_d M_d / F_d) + (L_l M_l / F_l) + (L_c M_c / F_c)\}}{(F_d + F_l + F_c)} \quad (2)$$

$$= (L_d M_d + L_l M_l + L_c M_c) / (F_d + F_l + F_c)$$

太陽光パネル面積は、設置可能屋根面積と同等とした。

その際に全国の屋根形状の統計データは存在しないが、1) 木造住宅では、傾斜のある勾配屋根の方位、ビル等の影による建物遮蔽、屋根の耐荷重の視点を勘案し、2) 共同住宅等の非木造建築の場合は、屋根は平坦な陸屋根の場合が多いものの、給水塔やクーリングタワーが設置されていることが多いこと、複数の住宅所有者がいる場合は設置の合意がなされにくいことから、設置可能屋根面積は、一律全推定屋根面積の0.30とした。

3. 推計結果と地域(空間)分析

3.1 全体推計結果

地域レベルの推計結果をメッシュベースで図示したものが、Fig.1~3である。Fig.1は、地形遮蔽が有るときの全日射量データを、GISで日本列島約37万メッシュ(Table1)上に示し、Fig.2では、そのうち住宅(世帯)がない場所(約19万メッシュ、Table1)を白く抜いた。Fig.3は、住宅(世帯)が存在する約18万メッシュ(Table1)の住宅屋根面積(国土面積の0.8%、ほぼ鳥取県の面積)の30%に太陽光発電電池を設置したとしたときの総発電量を示している。

メッシュベースの集計を(1)式に従ってまとめると、100.7[TWh/年]となり、1メッシュ当たり設備容量3kW(ただし年間発電量/8,760時間)未満を除くと100.1[TWh/年]となった(現在の日本の総発電量1,000[TWh/年]の約10%相当)。ここで、設備容量3kW未満を除いたのは、「年度別・都道府県別住宅用太陽光発電システム導入状況(2000~2005年)」¹³⁾の1件当たりの平均導入設備容量が3.65kWであり、3kW未満の導入が見られないことによる(Table2)。

政府の2020年導入目標値は、2,864万kW(=250[TWh/年])であることから、既存住宅用で40%をまかなえることになる一方、残りの60%については、公共施設や工場等の利用、Fig.1の標高が高く日射量の多い所等へのメガソーラーの導入が必要となる。

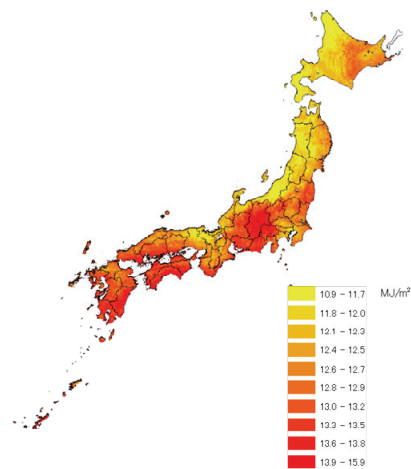


Fig.1 Radiation with shading

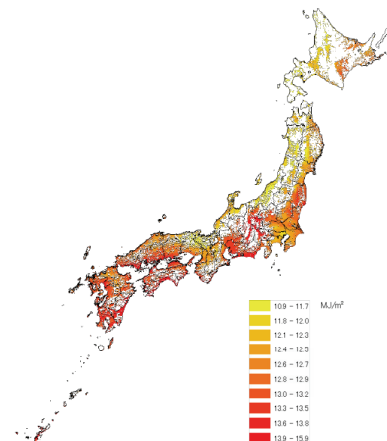


Fig.2 Radiation (with shading) by households

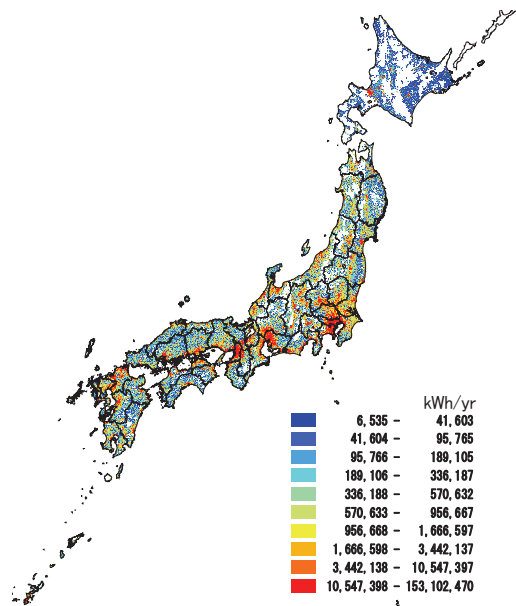


Fig.3 Electricity potentiality generated photovoltaic systems on whole the houses in Japan

3.2 地域（空間分布）分析

次に、求められた地域的な太陽光発電の状況を、メッシュベースで標準化残差の分析を行うことで、実際に導入が進んでいる地域と導入余地がある地域の特徴を分析する。

メッシュ分析は、集計単位地区である市区町村などが合併により分析結果が変わる問題（可変空間単位問題）や、面積が大きな自治体等の占める色が優勢に見える問題（コロプレスマップ問題）に対して、同じ標準的な空間単位（約1km×1km 格子）での分析を可能にしている。

分析対象メッシュ（水域・海岸線を除く）は、Table.2の通りである。

Table 2 The number of meshes used in the first regression analysis

	分析対象メッシュ数
世帯なし	189,667
世帯ありの傾斜角以下	50,709
うち市街地・農地等	4,429
世帯あり(49,507千世帯)	180,491
メッシュ当り設備容量3kW未満(228千世帯)	53,834
メッシュ当り設備容量3kW以上(49,279千世帯)	126,657
合計	370,158

設備容量 3kW 以上のメッシュの発電量を被説明変数とし、当該メッシュの日射量（地形遮蔽あり）を説明変数として回帰させると、以下のようになる。

$$\ln G = 5.02 + 1.02 \ln R \quad (2)$$

(t 値) (8.60) (12.57)

$$\bar{R}^2 = 0.0012$$

説明変数、定数項とも、t 検定の結果は1%水準で統計的に有意であり、決定係数の F 検定も 1%水準で統計的に有意であるが、単回帰式による説明率が約 0.1%であり、日射量のみでは発電量の変動を説明できない。

そこで、発電量と(2)式による期待発電量との残差による標準化残差を分析することを行う。発電量と(2)式による期待発電量との残差とその平均との差をとり、さらに標準偏差で除して平均を 0、標準偏差を 1 としたものであるが、正值をとるものは期待値より多く発電しており、負値をとるものは期待値より少なくしか発電していないことになる。

Fig.4 は、メッシュ単位で設備容量 3kW (= 年間発電量 / 8,760 時間の実効出力) 以上のメッシュにつき、標準化残差を図示した。(2)式を用いた結果から、日射量と発電量が正の相関関係にあることを明らかにしたが、この点から、標準化残差が負値のメッシュは、日射量が多いにもかかわらず発電量が少ないメッシュ、すなわち太陽光発電システムの導入余地があるメッシュと考えられる。

ただし、標準化残差が負値を示す全メッシュを導入余地があるメッシュとみなすと、モデルの説明率が低いいため、標準化残差が 0 付近まで含めた場合、正值となるべきデータまで混入する可能性がある。本稿では、この点を避けるため、-0.5 以下の地域（累積正規分布で、(1-0.3829) / 2 から 31%が含まれる）を、太陽光発電を導入する可能性が高い地域とした。

設備容量3kWh以上のメッシュを、標準化残差-0.5超(A)と-0.5以下(B)に分けた結果の分析対象のメッシュはTable 3のようになる（なお、表中の「導入余地」等については、3.2.2を参照）。

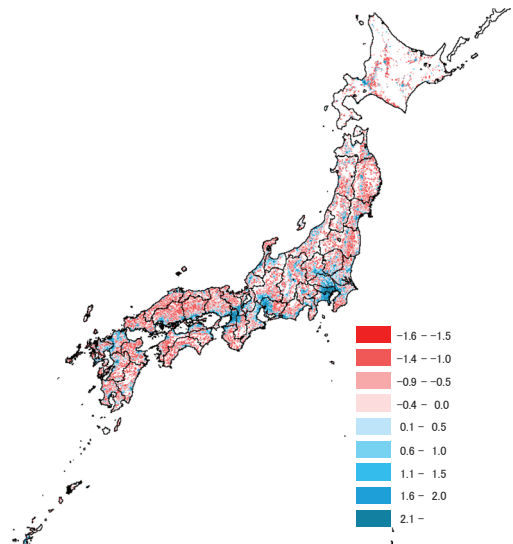


Fig.4 Standardized residuals

Table 3 The number of meshes in the second regression analysis

	分析対象メッシュ数	導入余地
世帯なし	189,667	
世帯ありの傾斜角以下	50,709	
うち市街地・農地等	(D) 4,429	4,429
世帯あり(49,507千世帯)	180,491	
メッシュ当り設備容量3kW未満(228千世帯)	(C) 53,834	53,834
メッシュ当り設備容量3kW以上(49,279千世帯)	126,657	
うち標準化残差-0.5以下(1,080千世帯)	(B) 47,431	47,431
うち標準化残差-0.5超(48,199千世帯)	(A) 79,226	
合計	370,158	105,694

3.2.1 発電地域（標準化残差-0.5超）の分析

設備容量 3kWh 以上のメッシュのうち発電量の標準化残差 -0.5 超のメッシュ数 (Table3(A)) と、今回の分析に用いたデータの年次に近い実際の導入実績 (2000~2005 年度導入累積設備容量)¹³⁾ とともに、日射量の多い太平洋・瀬戸内海側の大都市を中心に導入が進むことがうかがえる (Fig.5).

導入実績と -0.5 超のメッシュ数の相関関係も高く (0.4689), 導入実績を被説明変数, 標準化残差 -0.5 超のメッシュ数を説明変数とした重回帰分析でも 1%水準で有意 (決定係数 0.20) であることから (Table 4), 上記の考察は妥当である.

所得が高く日射量の多い太平洋・瀬戸内海側の大都市を中心に導入が進むことは、低所得の地域が電力会社の余剰電力の買取りを相対的に負担することになる可能性があり、所得再分配政策的な配慮を検討するか、もしくは、標準化残差 -0.5 以下の導入余地のある地域に太陽光発電システムを増やすことによってバランスをとることも一つの政策になりうる。次の項では、導入余地の検討を行う。

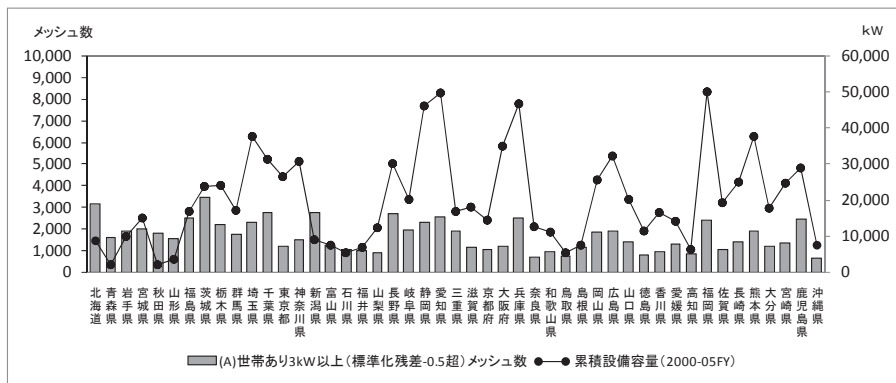


Fig.5 The capacity of photovoltaic systems by prefecture (2000-2005)

Table 4 Results derived from the first regression analysis

偏回帰係数	導入設備
世帯あり3kW以上(標準化残差-0.5超)	8.613 **
定数項	5570
自由度調整済決定係数	0.2025

** 1%水準で有意

3.2.2 導入余地地域（標準化残差-0.5以下）の分析

標準化残差 -0.5 以下の導入余地のあるメッシュの特性を確認するために、標準化残差 -0.5 以下の導入余地のあるメッシュ数 (Table3(B)) を被説明変数とし、東京を 1 として標準化した世帯当たりの県民所得¹⁴⁾ (円/世帯, 2000~2005 年度平均) と、東京を 1 として標準化したエネルギー消費量 (kWh/世帯, 2000~2005 年度平均) を説明変数として重回帰分析を行った。ただし、県民所得 (円/世帯) と世帯当たりのエネルギー消費量 (kWh/世帯) は、都道府県単位のデータしかないことから、標準化残差 -0.5 以下のメッシュを都道府県単位の集計して分析を行った。

ついで、3kW 未満のメッシュ数 (Table3(C)) も導入余地があり、さらに世帯のないメッシュのうち、世帯のあるメッシュでは 84% を占める市街地・造成地 (53%) と緑の多い住宅地・農耕地 (31%) の傾斜¹⁵⁾ (それぞれ 1.69 度と 2.63 度) 以下に該当するメッシュ数 (Table3(D)) も、今後の住宅建設に伴い導入される余地があることから、これらを標準化残差 -0.5 以下の導入余地のあるメッシュ数 (B) に順に加えたものを分析した。導入余地のあるメッシュ数 (B)~(D) を都道府県別に集計し導入余地のある順に並べたものが Fig.6 である。

なお、世帯当たりのエネルギー消費量は、『都道府県別エネルギー消費統計』¹⁶⁾ の家庭部門の電力、都市ガス、石油製品を合わせ電力換算したものである。太陽光発電の電力使用への充当・余剰電力の売却は、昼間電力が直接に関係するが、昼間電力使用の状況を把握できるデータはない。電力の用途は、家電機器、照明、換気、給湯、暖房、冷房であり、地域によってエネルギー消費の傾向が異なり、使用するエネルギー源

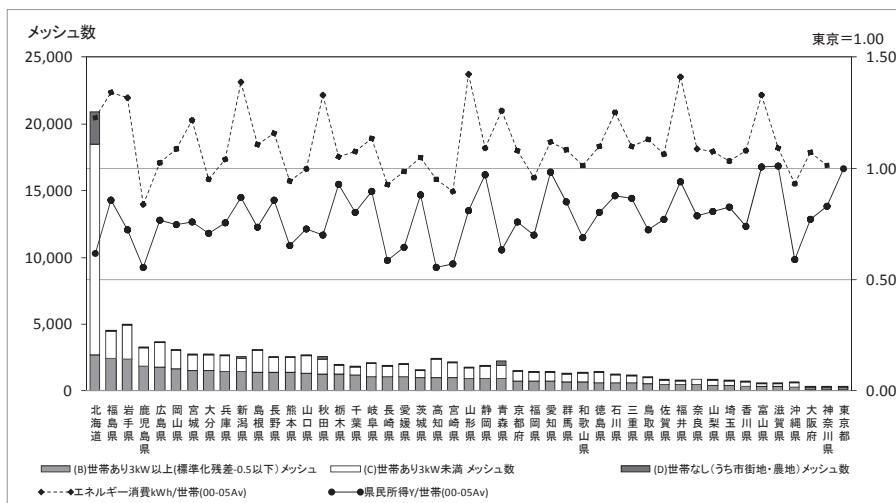


Fig.6 The number of meshes, where PV systems might be introduced, the energy consumption per household, and the prefectural income by prefecture

も、電気ガス、石油と歴史的な経緯もあって地域によって異なる。このため、家庭部門の電力、ガス、石油を合算したものを世帯当たりの光熱エネルギー使用量[kWh/世帯]とし、ユーザはそれに対するエネルギー源として太陽光発電をどのように位置づけるかという研究上のスタンスをとった。

Table 5 Results derived from the second regression analysis

偏回帰係数	(B)	(B)+(C)	(B)+(C)+(D)
県民所得(東京を1)	-2359 **	-9752 **	-10810 **
エネルギー消費(東京を1)	1604 *	6690 *	7552 *
定数項	1086	2409	2381
自由度調整済決定係数	0.1829	0.1597	0.1574

** 1%水準で有意, * 5%水準で有意

以上、導入余地のあるメッシュ数 (B)~(D)を被説明変数、東京を1として標準化した世帯当たり県民所得と、東京を1として標準化した世帯当たりのエネルギー消費量を説明変数とした分析の結果 (Table 5)、決定係数は低いものの (0.18~0.16)、世帯当たり県民所得の偏回帰係数はマイナスで 1%水準で有意、世帯当たりのエネルギー消費量はプラスで 5%水準で有意であり、世帯当たりのエネルギー消費量が多く県民所得が低い地域が導入余地のある地域 (自治体) と推論される。これらの地域へは、国・地方自治体が設備費用に対する補助を行うことで導入が促進される余地があるといえよう。次節では、太陽光発電システムに対する補助金を検討する。

本研究では、既存住宅への太陽光発電システムの導入を前提としているが、地価の低い地域では相対的に建築面積も大きいことから、補助金による導入拡大の余地はあろう。ただ、人口の減少傾向の中では、家庭の屋根以外での設置 (例えば、公共施設など) も視野に入れる必要がある。

4. ブレーク・イーブン・コスト分析

家庭用太陽光発電システムへの投資のインセンティブは、余剰電力の買取り (フロー面の政策) と設備に対する補助制度 (ストック面の政策) からなる。余剰電力の買取りは、1992年から始まった電力会社による太陽光・風力発電からの自主的な余剰電力買取りがあった。今回 (2009年11月より開始) の政府の余剰電力買取制度 (フロー面の政策) は、発電規模 10kW 未満の設備からの余剰電力は 48 [円/kWh] (10kW 以上では 24 [円/kWh]) の全国一律買取り価格が設定され、設備に対する補助金 (ストック面の政策) は 7 [万円/kW] となった。この設備補助の他に、減税措置や自治体の補助金を投ずることで、太陽光発電システムの市場価格約 65 [万円/kW] が、最長 15 年でコスト回収が可能とされる¹⁷⁾ (補助の要件たる「住宅用太陽光発電導入支援対策費補助金 交付規程」¹⁸⁾でも 1kW 当たり 65 万円以下が対象である。)

そこで、今回分析を行った世帯のあるメッシュ (180,491 メッシュ、Table 1) につき、(3)、(4)式により太陽光発電シ

ステムのブレーク・イーブン・コストを求める。ブレーク・イーブンコストが 65 万円より高いメッシュは導入するメリットが出ることになる。さらに補助金を追加することができれば導入するメリットのあるメッシュ数は増えていくことになる。

$$\text{ブレーク・イーブン・コスト} = \text{売電料金} \times \text{想定年数} \times 8760\text{h} \times \text{設備稼働率} \times 1\text{kW} \quad (3)$$

ここで、売電料金 : 48 [円/kWh]、想定年数 : 15 年¹⁷⁾、設備稼働率は以下の定義式から変形が可能である。

$$\begin{aligned} \text{稼働率} &= \text{発電量}[\text{kWh/yr}] / \text{発電容量}[\text{kW}] / 8760\text{h} \\ &= \text{kW あたり発電量} / 8760\text{h} = \text{設備稼働時間} / 8760\text{h} \\ &= \text{実効出力}(\text{発電量}/8760\text{h}) / \text{定格出力}(\text{発電容量}) \quad (4) \end{aligned}$$

今回の分析では、(1)式に基づいた実効出力ベースで分析を行ってきた。そこで、変換効率 0.14 の定格出力に対する稼働率を求めた後、世帯の存在するメッシュのブレーク・イーブン・コストを求め、設備補助金の効果を検討する。

今回の研究では、発電量の計算に当たっての太陽電池の変換効率は 0.14 であり、パネル 1m² 当り 1kW (=1,000W) の光エネルギーを 14%電気エネルギーに変換できることから、定格 (最大) 出力は 140 [W/m²]となる。

一方、例えば世帯の存在するメッシュ (180,491 メッシュ、Table 1) の日射量の平均は 12.7 [MJ/(m²・day)]であるが、出力ベースで 147 [W/m²] (12.7[MJ/(m²・day)]÷3.6[MJ/kWh] ÷24[h/day]×1000) であり、さらに(1)式で用いた係数 0.14×0.70×0.85=0.0833 を掛けた 12.2 [W/m²]が実効出力になることから、平均の稼働率は(4)式により、約 9% (=12.2[W/m²] / 140[W/m²]) となる。

同様にして、世帯のあるメッシュ (180,491 メッシュ) につき稼働率を求め、(3)式に従って売電価格 48 [円/kWh]、想定年数 15 年を乗じたブレーク・イーブン・コストの分布は、Fig.7の通りである。

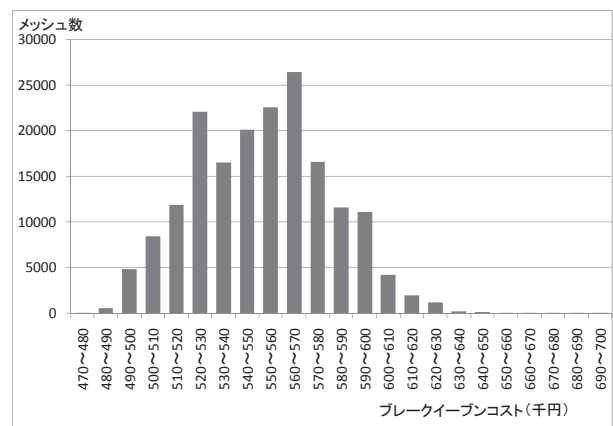


Fig.7 The histogram of break-even costs

稼働率ベースで、平均値 9%、最大値 11%~最小値 8%、コストベースで、平均値 55 [万円/kW]、最大値 69 [万円/kW] ~最小値 47 [万円/kW]となった。65 万円以上の 73 メッシュ

メッシュ (発電量 23 [GWh/年]) は導入メリットのある地域であるが、発電ポテンシャル 100.7 [TWh/年]の 0.02%に過ぎない。

補助金を追加することで、導入メリットのあるメッシュ数は増加し、発電量も増加する。補助金を 1 万円ずつ増やして行ったとき (Fig.7 のブレイク・イーブン・コスト -65 万円) の発電量の増加を示したのが Fig.8 である。ブレイク・イーブン・コストの分布 (Fig.7) が正規分布とみなせるため、補助金を追加することで通増的に発電量が増加することがわかる。発電ポテンシャルの半分を顕在化させるためには 10 [万円/kW] の補助金を投入することが必要と見込まれる。それにより太陽光発電から日本の総発電電力量の 5%に相当する 50 TWh の電力量を引き出すことができる。

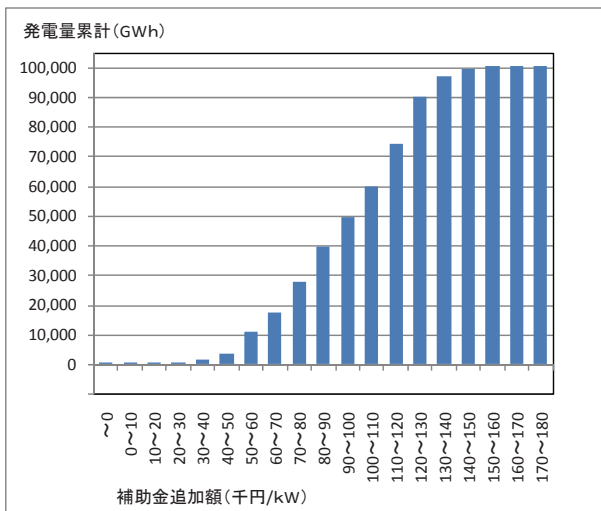


Fig.8 The effect of subsidies

この追加補助金の分布を地図に示したものが Fig.9 で、これを都道府県別に集計し最小追加補助金額の順に並べたものが Fig.10 である。Fig.9 をみると、太平洋側は補助金の追加金額が小さく、日本海側は大きい傾向がみられるが、Fig.10 でみると、県によっては県内の地域で大きく幅がある。このことは補助金政策が都道府県単位で一律補助金といった行政単位では有効に機能しないことを示唆しており、メッシュ単位や日射量気候区での補助金政策といったきめ細かい対応が必要となる。

メッシュの条件に応じて異なる追加補助金を投入するとし、必要な追加補助金額を上記のメッシュに低額から高額へと供給したとして、65 万円のブレイク・イーブン・コストを達成した発電量 (3.1 に対応) を集計したものが Fig.11 である。

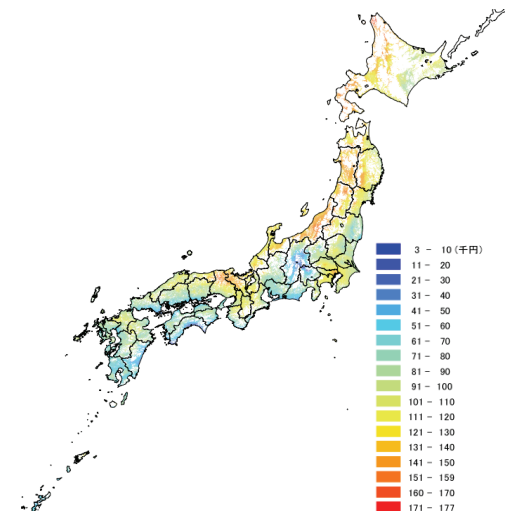


Fig.9 The geographical distribution of subsidies

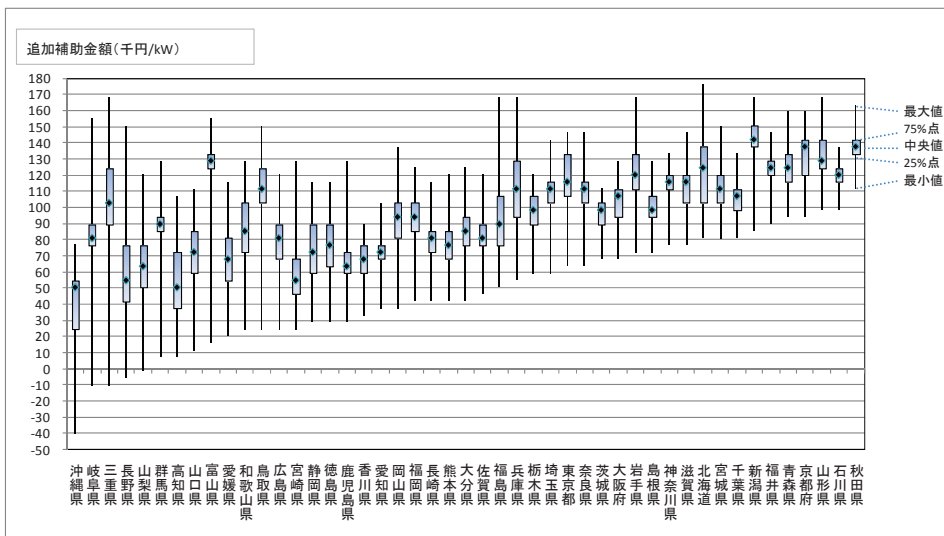


Fig.10 The quartile of subsidies by prefecture

既存の住宅の屋根に設置するとして、日本の総発電電力量の 5%に相当する 50 TWh の発電量を達成するための追加補助金総額は、約 4,276 億円となった。

5. おわりに

本研究では、GIS を用いて、地域差のある現実の日射量に近い地形遮蔽のある日射量データと、メッシュごとに推計した総屋根面積から、全国のすべての住宅に太陽光発電システムを設置したとした場合の発電量を推計した (100TWh/年)。

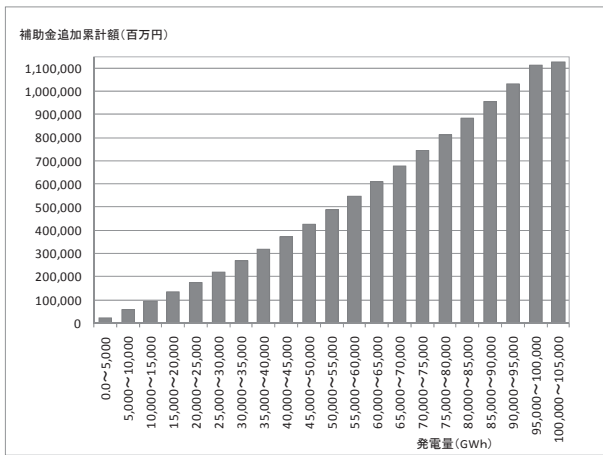


Fig.11 The necessary additional subsidies for introduction of PV systems

次に、求められた地域的な太陽光発電の状況を、メッシュベースで標準化残差分析を行うことで、実際の導入実績も示すように、日射量の多い太平洋・瀬戸内海側の大都市を中心に導入が進むこと（標準化残差-0.5 超の地域）、一方で、太陽光発電の導入余地のある地域（標準化残差-0.5 以下）が、世帯当たりのエネルギー消費量が多く、県民所得が低い地域であることを明らかにした。

このことは、現状では低所得の地域が電力会社の余剰電力の買取りを相対的に負担することになる可能性があり、所得再分配政策的な配慮を検討するか、もしくは、導入余地のある地域に、太陽光発電システムを増やすことによってバランスをとることも一つの政策になりうるため、太陽光発電システムのブレーク・イーブン・コストを求めた。

その結果、補助金を追加することで逡増的に発電量が増加すること、10 [万円/kW] の補助金を投入することで、太陽光発電から日本の総発電電力量の5%に相当する50TWhの電力量を引き出すことができることを明らかにした。また、メッシュベースでブレーク・イーブン・コストを達成して行くように補助金を投入していった場合、50TWhの電力量を達成するための追加補助金総額は、約4,276億円となった。

今回は、メッシュベースでの発電量の観測値が存在しないことから実績値が使用できなかったが、今回の分析手順を踏むことで政策的に有用な分析がなされることになろう。また、同様にデータの制約から、メッシュベースでの分析を首尾一貫できずに、都道府県集計による分析となったが、メッシュデータは、可変空間単位問題を回避できる比較可能な標準化された空間単位であり、政策判断に有用であることから、各種データのメッシュ化を含むメッシュ化の一層の促進が望まれる。

参考文献

- 1) 低炭素電力供給システムに関する研究会; 今後の新エネルギーの大量導入に伴って必要となる系統安定化対策及びコスト負担の在り方について, 資源エネルギー庁 (2009), 23.
- 2) 2030年に向けた太陽光発電ロードマップ検討委員会; 2030年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030), 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2004, 2009), 125.
- 3) 中口毅博, 青木雅樹; 全国における再生可能エネルギー導入候補市町村の抽出とその分布特性, 環境情報科学論文集, 20(2006), 463-468.
- 4) 気象庁; メッシュ気候値 2000, 気象業務支援センター (2002).
- 5) 国土交通省国土計画局; 国土数値情報土地利用メッシュ, 国土交通省 (1997).
- 6) (社) 太陽光発電協会 太陽光発電普及拡大センター; 住宅用太陽光発電導入支援対策費補助金 技術仕様書, 太陽光発電協会 (2009).
- 7) 島田有斗, 小林哲也, 沖村祐也, 鮎澤優輔, 谷辰夫; 太陽光発電システムの発電コスト及びCO₂削減率に関する一考察, 太陽エネルギー, 34-5 (2008), 51-55.
- 8) McKinsey & Company, Pathways to a low-carbon economy (2007, 2009), 192, McKinsey & Company.
- 9) (社) 太陽光発電協会; 日本における太陽電池出荷量の推移, 太陽光発電協会 (2010).
- 10) (財) 新エネルギー財団; 平成19年度住宅用太陽光発電システム価格及び発電電力量等について, (財) 新エネルギー財団, (2008), 5.
- 11) 総務省統計局; 住宅・土地統計調査 (平成15年), 総務省 (2005).
- 12) 総務省統計局; 地域メッシュ統計 (平成17年) 国勢調査, 総務省 (2008).
- 13) (財) 新エネルギー財団; 年度別・都道府県別 住宅用太陽光発電システム導入状況 (導入件数), (社) 新エネルギー導入促進協議会 (2010).
- 14) 経済社会総合研究所; 県民経済計算 (平成17年), 内閣府 (2008).
- 15) 若松加寿江, 久保純子, 松岡昌志, 長谷川浩一, 杉浦正美; 日本の地形・地盤デジタルマップ, 東京大学出版会 (2005).
- 16) 資源エネルギー庁; 都道府県別エネルギー消費統計, 経済産業省 (2010).
- 17) 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会 (第34回); 配付資料2-4 (平成21年4月24日), 経済産業省 (2009), など.
- 18) (社) 太陽光発電協会 太陽光発電普及拡大センター; 住宅用太陽光発電導入支援対策費補助金 交付規程, 太陽光発電協会 (2010).