

都市部における住宅用太陽光発電の導入傾向

東京電力・中部電力・関西電力管内における 552 自治体に着目して

岡澤由季*・樋野公宏**・浅見泰司**

Trend of installation of residential photovoltaic power generation in urban areas Focusing on 552 municipalities in the jurisdictions of Tokyo Electric Power, Chubu Electric Power and Kansai Electric Power

Yuki Okazawa*, Kimihiro Hino**, Yasushi Asami**

Recently, the installation of residential photovoltaic power generation (PV) has increased rapidly in urban areas of Japan. This study focused on 552 municipalities which we could collect the data about the number of houses with residential PV, in the jurisdictions of Tokyo Electric Power, Chubu Electric Power and Kansai Electric Power. We used two analyses: a geographically weighted regression for the installation rate of residential PV and a geographically weighted Poisson regression for the number of houses with residential PV. The results showed that the municipalities with a higher rate of residential PV have the trend to be higher ratio of detached houses, larger total area per unit, less population density and less ratio of over 65 years old. On the other hand, the municipalities with a larger number of houses with residential PV have the trend to be lower ratio of detached houses, smaller total area per house, less population density and less ratio of over 65 years old, and the result was affected by trends in the metropolitan area.

Keywords: 住宅用太陽光発電 (residential photovoltaic power generation), 地理的加重回帰 (Geographically weighted regression), レジリエンス (resilience)

1. はじめに

近年、我が国において、再生可能エネルギーの導入が進んできている。その中でも身近な存在としては住宅の屋根に設置される住宅用太陽光発電が挙げられる。一般社団法人太陽光発電協会によれば、戸建住宅総数に占める住宅用太陽光発電の普及率は約9%であり、2019年度単年度の導入件数の内訳は新築が8割、既築が2割を占める¹⁾。大規模な再生可能エネルギー事業と比較すれば、住宅用太陽光発電は環境破壊の懸念は少なく、災害等による停電時には家庭での電力消費を住宅用太陽光発電で賄うことが可能であり、地域でのレジリエンス向上に有用である。

国・地方脱炭素実現会議における「地域脱炭素ロードマップ」(2021年6月)では脱炭素の基盤となる重点対策の1つとして「屋根置きなど自家消費型の太陽光発電」が位置付けられている²⁾。自治体では住宅用太陽光発電の導入補助を行うような取り組

みが見られ、自治体単位での住宅用太陽光発電の導入動向は政策を推進するために必要である。

住宅用太陽光発電の導入に関して空間的な関係性を考慮して論じられており、主要な先行研究は下記の通りである。Irwin(2021)は米ボルチモアにおける世帯単位のデータを基に、近隣15世帯の住宅用太陽光発電の導入状況や住宅・世帯の傾向を基に空間的波及効果を分析し、近隣の住宅用太陽光発電の導入が周辺での導入につながっていることを明らかにした³⁾。Kosugi et al. (2019)は京都市を対象にセンサスブロック単位で空間ダービンモデルを用いて近隣効果を明らかにした⁴⁾。Kucher et al.(2021)が米国東部の地域を対象に郵便番号単位のデータを基に空間ダービンモデルを用いて分析し、太陽光発電に関する政策や世帯への影響を明らかにしている⁵⁾。市町村単位では関ら(2013)は日本の市町村別戸建住宅における住宅用太陽光発電の普及率を重回帰分析・情報伝達効果分析を行った⁶⁾。空間的な関係性を含ま

* 学生会員 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (The University of Tokyo)
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail : okazawa-yuki986@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

** 正会員 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (The University of Tokyo)

表-1 先行研究における主要な説明変数

分析単位	先行研究	主要な説明変数 ※カッコ内は有意な説明変数の係数の符号
世帯	Irwin(2021)	近隣 15 世帯での住宅用太陽光発電設置 (+) 住宅面積 (+) 新築住宅 (+) 地下室の有無 (+) 世帯収入 (+) 学士の学位を持つ人口割合 (+)
センサスブロック	Kosugi et al. (2019)	人口密度 (-) 世帯人員 (+) センサスブロック内の居住年数 (-)
郵便番号単位 (City より詳細)	Kucher et al.(2021)	電気料金 (+) 太陽光発電に関する政策 (+) 一戸建住宅割合 (+) 教育水準 (+) 住宅密度 (-)
市町村	関ら(2013)	気候区分, 燃料区分, 日照時間, 平均気温, 光熱費, 30km 圏内平均普及率
	Li et al. (2012)	気候条件 (平均日射量, 平均気温) 社会的条件 世帯構造: 平均世帯人員, 高齢者の割合 住宅の状況: 持ち家, 専用住宅, 建築年 その他: 人口の移動割合 経済的条件 世帯収入割合, 年間個人収入, 年間世帯収入, 財政力指数

ないが, Li et al. (2012)が日本の市町村を基に気象条件・経済的条件・社会的条件をふまえて主成分分析・クラスター分析を行い, 住宅用太陽光発電の導入について都市間の類似性を明らかにした⁷⁾。表-1 のとおり, 主要な説明変数を整理し, 本研究では住民や住宅の性質に着目することとした。これらの先行研究で注目しているのは住宅用太陽光発電の普及率であることが多かった。しかし, 日本の都市部では全住宅数が多いことから住宅用太陽光発電の導入率が低いものの, 太陽光発電の導入戸数が多い地域もある。そのため, 本研究では導入率および導入戸数を目的変数として空間的に分析することとした。その際に, 先行研究のように世帯や街区単位といった詳細な単位で分析できることが最も望ましいと考えられるが, 日本で公表されているデータは市町村単位が最小単位であり, 近隣の自治体間での関係性を分析することとした。

本研究の目的は住宅用太陽光発電の導入がどのような人口・住宅特性を有する自治体で多く見られるかを明らかにすることである。

2. 分析手法

2.1. 研究対象地域

研究対象とするのは, 日本でも人口や住宅が特に集中している東京電力管内, 中部電力管内, 関西電力管内の市町村である。ただし, 供給地域は複数の電力会社が重複している部分もあるが, 各電力会社のホームページから管轄地域を特定し, 自治体内の大多数を供給している電力会社別に自治体を確認した。総務省統計局「平成 30 年度住宅・土地統計調査」により, 住宅用太陽光発電の導入戸数が提供されている自治体は市及び人口 1 万 5 千人以上の町村のみであるため, データが把握できた 552 自治体を分析対象とした。

2.2. データ

住宅用太陽光発電の導入戸数は, 総務省統計局「住宅・土地統計調査」で提供されている「太陽光を利用した発電機器あり」の住戸数(戸)を用いた。住宅の特性は務省統計局「住宅・土地統計調査」による全住戸数(戸), 住宅総数(棟), 一戸建住宅数(棟),

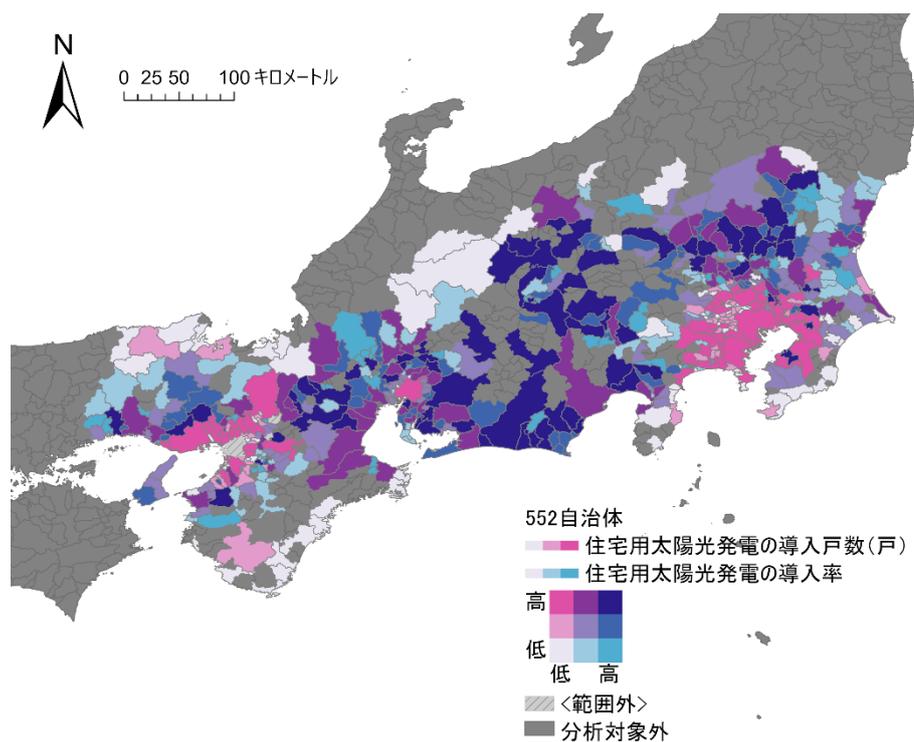


図-1 住宅用太陽光発電の導入率と住宅用太陽光発電の導入戸数（戸）の分布

1 住宅当たり延べ面積（ $\text{m}^2/\text{戸}$ ）を用いた。その他、総務省統計局「都道府県・市区町村のすがた（社会・人口統計体系）」から 2015 年度の人口（人）、2018 年度の総面積（ha）を用いた。空間的分析をするに当たって国土数値情報から「行政区域データ（令和 3 年度）」を活用した。

なお、住宅用太陽光発電の導入が多い新築住宅に関するデータとして着工新設住宅数が挙げられるが、国土交通省の提供する「建築着工統計調査」では全対象自治体分のデータが得られなかったことから本研究では用いなかった。

2.3. 研究対象地域における導入状況

自治体別に「太陽光を利用した発電機器あり」の住戸数と「太陽光を利用した発電機器あり」の住戸数を全住戸数から割った導入率を図-1 のとおり示した（京都府宇治市・京都府精華町・大阪府大阪市は外れ値のため、図-1 上では範囲外となっている）。住宅用太陽光発電の導入率も導入戸数も高いのは北関東地方や中部地方に位置する自治体であった。また導入戸数が多いものの導入率が低いのは大都市圏（東京都周辺、愛知県名古屋市、京都府・大阪府・

兵庫県周辺）であった。導入戸数が少ないものの、導入率が高いのは茨城県、栃木県、山梨県、長野県、兵庫県等である。また導入戸数も導入率も低いのは内陸の自治体や太平洋側や日本海側に面した自治体であった。

図-1 を基に、自治体を 4 つに分類した。1 つ目の分類は住宅用太陽光発電の導入率が低いが、戸数が多い大都市圏の自治体であり、住宅数が多いものの、人口密度が高く集合住宅が多いので住宅用太陽光発電の導入が多い一戸建の割合は少ないと考えられる。2 つ目の分類は住宅用太陽光発電の導入率が高く、戸数も多い自治体は地方都市を中心としており、住宅総数が多く、そのうちの一戸建住宅割合が高いと考えられる。3 つ目の分類は住宅用太陽光発電の導入率が高いが、導入戸数の少ない自治体であり、住宅総数が少なく、人口密度が低いと考えられる。4 つ目の分類は住宅用太陽光発電の導入率が低く、戸数も少ない自治体である。住宅総数が少ない自治体であり、特に高齢化が進んでおり、住宅の更新が少ないと考えられる。

これらの分類から、具体的な説明変数を下記の通

表-2 住宅用太陽光発電の導入率・導入戸数に対する地理的加重回帰分析結果

目的変数	住宅用太陽光発電の導入率				住宅用太陽光発電の導入戸数 (戸)			
	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値
定数項	-1.20.E-01	1.69.E-01	5.52.E-01	-5.78.E-01	1.62.E+01	1.22.E+01	5.10.E+01	-1.52.E+01
一戸建住宅割合	1.98.E-01	2.12.E-01	7.89.E-01	-6.09.E-01	-5.14.E+00	1.44.E+01	3.27.E+01	-4.98.E+01
延べ面積	5.29.E-04	4.21.E-04	1.53.E-03	-1.05.E-03	-3.00.E-02	4.07.E-02	2.27.E-01	-3.00.E-01
人口密度	-1.07.E-04	3.58.E-04	2.22.E-03	-1.33.E-03	-3.09.E-03	4.96.E-02	2.34.E-01	-2.51.E-01
65歳以上人口割合	-2.42.E-01	1.07.E-01	5.55.E-03	-4.83.E-01	-1.71.E+00	9.14.E+00	3.45.E+01	-2.72.E+01
AICc	-3204.35				397322.71			

り選択した。一戸建住宅での住宅用太陽光発電の導入が多いことから「全住宅総数(棟)に占める一戸建住宅(棟)の割合(一戸建住宅割合)」, 大規模な住宅ほど屋根も大きいことが考えられ, 住宅用太陽光発電の導入が進んでいることが考えられることから「1住宅当たり延べ面積(m²/戸)」, 人口密度が高いほど集合住宅が多く住宅用太陽光発電の導入は少ないことが考えられることから「人口密度(2015年度の人口(人)/2018年度の総面積(ha))」, 高齢者割合が高ければ住宅の更新が起こらず, 住宅用太陽光発電の導入が進まないことから「全人口に占める65歳以上人口割合(65歳以上人口割合)」とした。気候は近隣自治体で類似すると考え, 空間的に分析することによる考慮するとした。

2.4. 分析手法

住宅用太陽光発電の導入率・導入戸数を目的変数として, どのような説明変数と関係性がみられるかを空間的に明らかにするため, それぞれ地理的加重回帰(GWR), 地理的加重ポアソン回帰(GWPR)を分析に用いた。導入戸数はカウントデータのためポアソン分布を指定した。GWRおよびGWPRを用いたのは各自治体で回帰方程式を推定することにより, 地域性を反映することができる考えたからである。

分析に当たってはArcGIS Proを用い, 近傍タイプは近傍数, 近傍選択には黄金探索方法を使用し, ローカル加重方式はBisquareを用いた。

3. 分析結果

3.1. 住宅用太陽光発電の導入率

GWRの結果を表-2および図-2~図-6の通り示す。

その結果, 決定係数R²が0.779だった。

特に太陽光発電の導入率について予測値から実測値を引いた値を示した図-2では多くの自治体ではその差が大きく乖離することは少なかったが, 面積の小さい自治体では, 予測値が実績値を下回ることが多かった。また, 日本海側あるいは内陸部の自治体では予測値が実測値を上回った。

表-2の通り, 全ての係数の最小値・最大値は正負ともに見られた。図-3では一戸建住宅割合の係数の分布を示した。特に岐阜県, 滋賀県, 兵庫県周辺では正の係数が大きく, 一戸建住宅割合が高いほど, 太陽光発電の導入率が高い傾向がある。図-4では延べ面積の係数の分布を示した。東京都特別区部および茨城県, 栃木県, 大阪府周辺では正の係数が大きく, 延べ面積が広いほど, 太陽光発電の導入率が高い傾向がある。一方で, 岐阜県, 兵庫県周辺では必ずしもその傾向は見られず, 負の係数となった。図-5では人口密度の係数の分布を示した。特に山梨県, 長野県の一部では正の係数が大きく, 人口密度が高いほど, 太陽光発電の導入率が高い傾向があったが, 特に北関東地方の一部では負の傾向が強くみられた。図-6では65歳以上人口割合の係数の分布を示した。多くの自治体では65歳以上人口割合が低いほど, 太陽光発電の導入率が高い傾向があるものの, 東京都周辺の一部では必ずしもその傾向は見られず, 正の係数となった。

3.2. 住宅用太陽光発電の導入戸数

GWPRの結果を表-2および図-7~図-11の通り示す。その結果, グローバルモデルで説明される%の逸脱(非空間)は0.224に対して, ローカルモデルで説

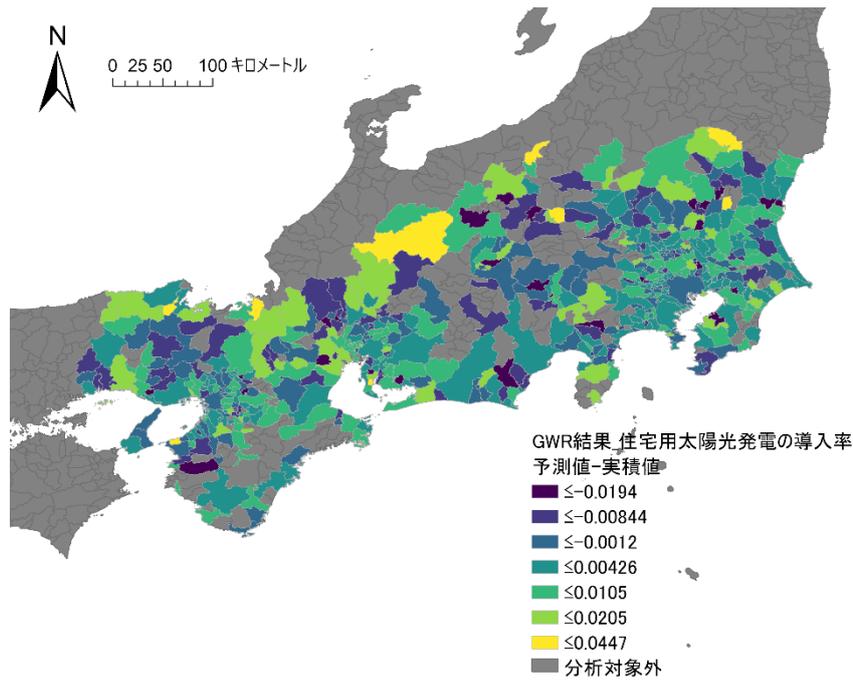


図-2 住宅用太陽光発電の導入率：予測値-実績値

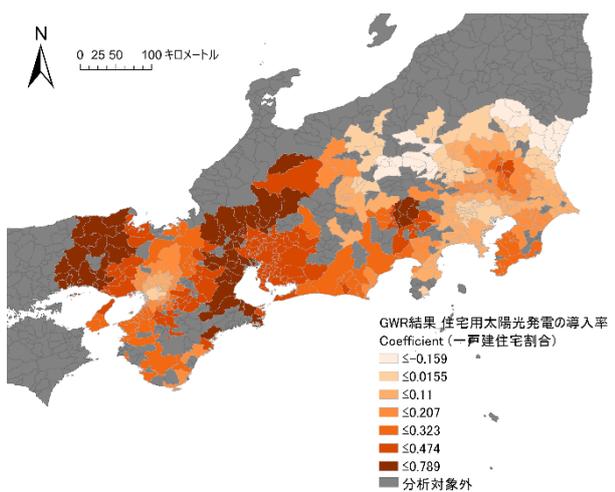


図-3 GWR 係数 (一戸建住宅割合)

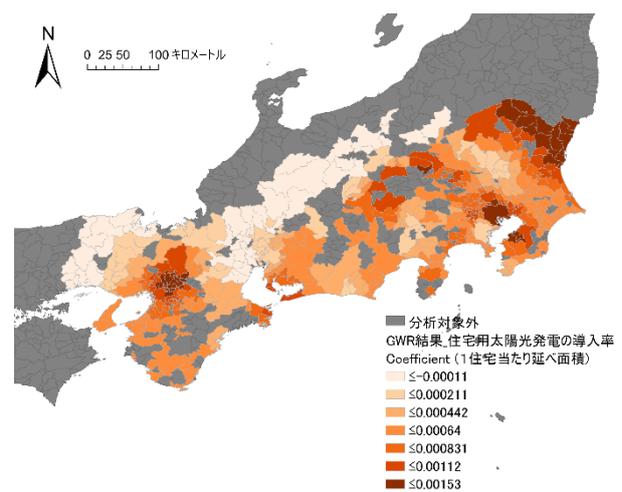


図-4 GWR 係数 (1住宅当たり延べ面積)

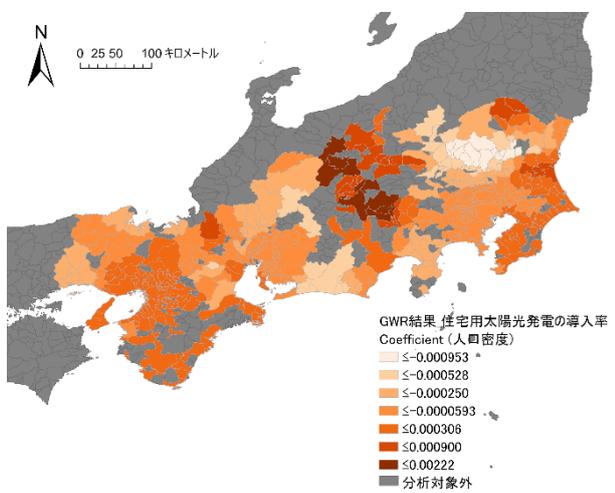


図-5 GWR 係数 (人口密度)

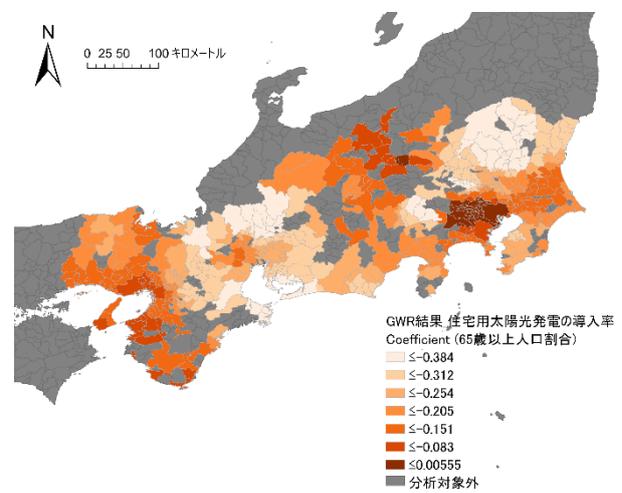


図-6 GWR 係数 (65歳以上人口割合)

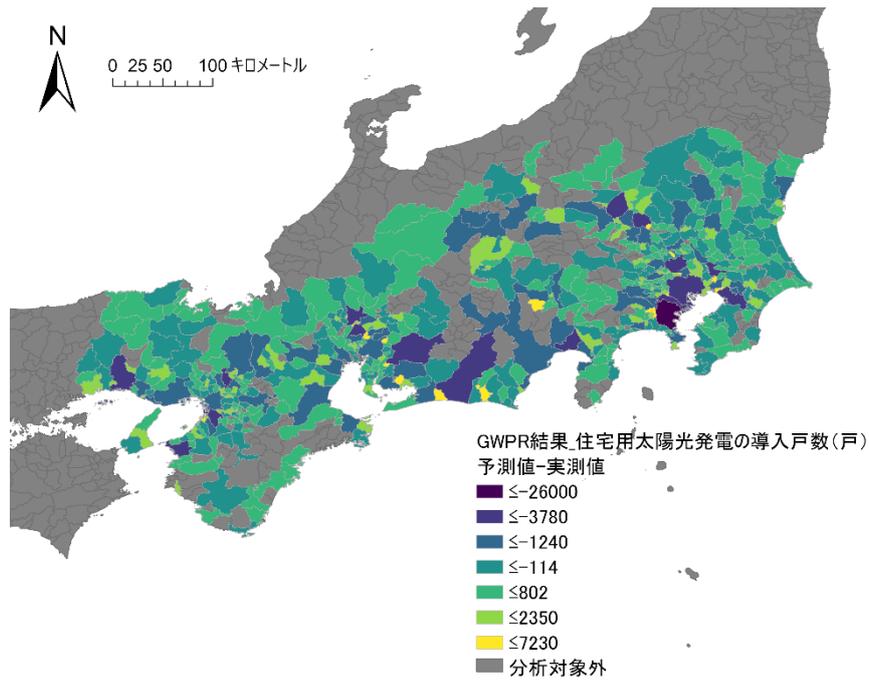


図-7 住宅用太陽光発電の導入戸数(戸): 予測値-実績値

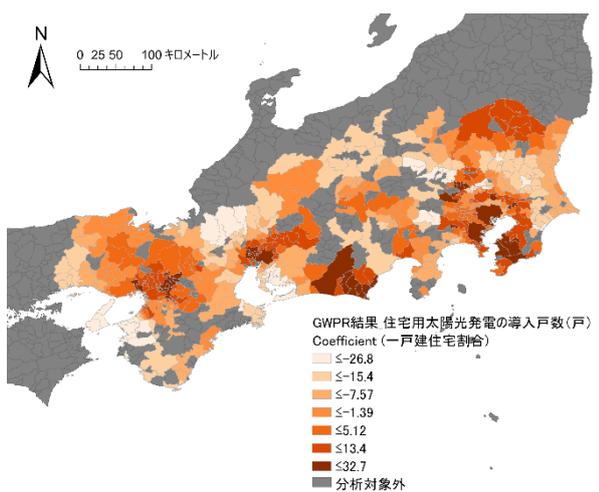


図-8 GWPR 係数 (一戸建住宅割合)

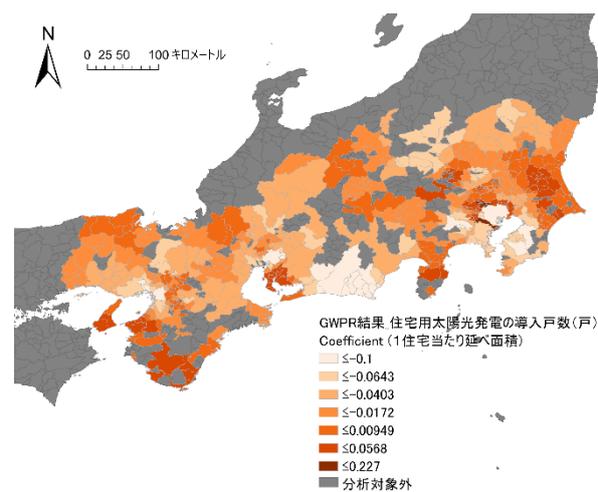


図-9 GWPR 係数 (1住宅当たり延べ面積)

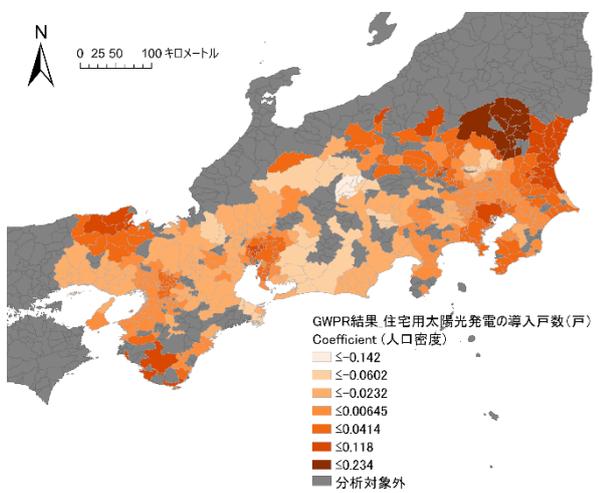


図-10 GWPR 係数 (人口密度)

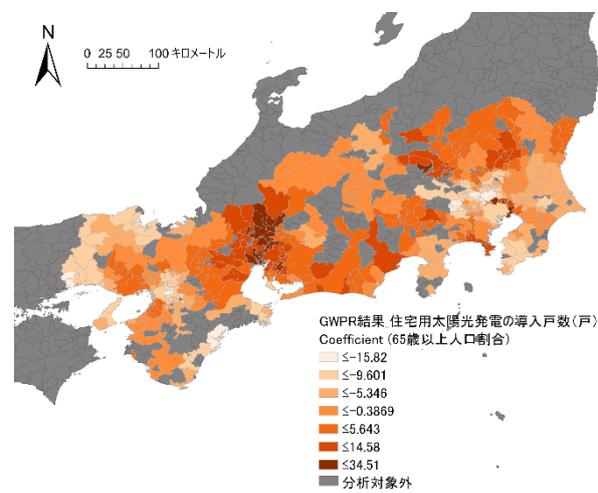


図-11 GWPR 係数 (65歳以上人口割合)

明される%の逸脱は 0.732 となり、ローカルモデル対グローバルモデルで説明される%の逸脱は 0.655 となった。そのため GWPR のモデルは地域性を考慮した結果と考えた。

特に太陽光発電の導入戸数について予測値から実測値を引いた値を示した図-7 では、図-2 と同様と多くの自治体ではその差が大きく乖離することは少なかったが、面積の小さい自治体では、予測値が実績値を上回ることが多かった。人口が比較的多い自治体では実測値が予測値を上回った。

表-2 の通り、導入率と同様に導入戸数も全ての係数の最小値・最大値は正負ともに見られた。図-8 では一戸建住宅割合の係数の分布を示した。特に首都圏近郊、静岡県、愛知県、大阪府の一部では正の係数が大きく、一戸建住宅割合が高いほど、太陽光発電の導入戸数が多い傾向がある。図-9 では延べ面積の係数の分布を示した。東京都周辺（埼玉県・神奈川県）では正の係数が大きく、延べ面積が広いほど、太陽光発電の導入戸数が多い傾向がある。東京都特別区部、千葉県、静岡県の一部では必ずしもその傾向は見られず、負の係数となった。図-10 では人口密度の係数の分布を示した。栃木県、茨城県の一部では正の係数が大きく、人口密度が高いほど、太陽光発電の導入戸数が多い傾向があったが、長野県の一部では負の傾向が強くみられた。図-11 では 65 歳以上人口割合の係数の分布を示した。多くの自治体では 65 歳以上人口割合が低いほど、太陽光発電の導入戸数が多い傾向があるものの、埼玉県、岐阜県の一部では必ずしもその傾向は見られず、正の係数となった。

3.3. 住宅用太陽光発電の導入率および戸数と説明変数との関係性

係数の平均値では GWR・GWPR の結果はともに人口密度・65 歳以上人口割合が負の係数だった。一方で、一戸建住宅割合・延べ面積について着目すれば住宅用太陽光発電の導入率の回帰分析結果では正の係数であるのに対して、住宅用太陽光発電の導入戸数の回帰分析結果では負の係数となった。住宅用太陽光発電の導入戸数については大都市圏では住宅戸数が多いため、その傾向が反映された結果になり、

一戸建住宅が少ない、延べ面積が狭い住宅であっても大都市圏では住宅用太陽光発電の導入戸数が多い結果と考えられる。

4. 考察

3. の結果を基に住宅用太陽光発電の導入傾向について下記の通り考察した。

4.1. 住宅用太陽光発電導入の進んでいる自治体における人口・住宅の特性

住宅用太陽光発電の導入の進んでいる自治体として、住宅用太陽光発電の導入率が低い導入戸数の多い東京都特別区部、導入率も高く戸数も多い地域では栃木県周辺から宇都宮市および静岡県周辺から浜松市を例にとり、特に住宅用太陽光発電の導入率について着目した。

東京都特別区部は対象 552 自治体のうち最も人口密度が高かった。延べ面積は大阪府大阪市に次いで 2 番目に狭く、一戸建住宅割合は東京都武蔵野市に次いで 2 番目に低いという特徴がある。GWR の係数に着目すると、住宅用太陽光発電の導入率は一戸建住宅割合が低く、延べ面積が広く、人口密度が低く、65 歳以上人口割合が低いほど、導入率が高い結果になった。東京都特別区部内では他の自治体に比較して、延べ面積が狭く、一戸建住宅割合が低く、人口密度が非常に高いことからこのような傾向が見られたと考えられる。

栃木県宇都宮市も静岡県浜松市も 1 住戸当たりの延べ面積が 100m² 前後であり、一戸建住宅割合が 9 割を超えており、65 歳以上人口割合が約 2-3 割と比較的低い自治体だった。GWR の係数に着目すると、栃木県宇都宮市では住宅用太陽光発電の導入率は一戸建住宅割合が高く、延べ面積が広く、人口密度が低く、65 歳以上人口割合が低いほど、導入率が高い結果になった。同様に静岡県浜松市でも同様な傾向が見られた。65 歳以上人口割合が少なく、面積の広い一戸建住宅が多い地域では住宅用太陽光発電の導入が進みやすい傾向があると考えられる。

4.2. 住宅用太陽光発電の導入可能性

住宅用太陽光発電の導入率について予測値が大きく実測値を上回った自治体は長野県軽井沢町

(0.0447), 岐阜県高山市 (0.0311), 愛知県武豊町 (0.0307) である(カッコ内はそれぞれ予測値から実績値を引いた値)。これらの自治体では、一戸建住宅割合が約9割5分以上であり、1住戸当たりの延べ面積が100m²以上と住宅の特性だけに注目すれば住宅用太陽光発電の導入可能性があるように捉えられるが、長野県、岐阜県周辺では積雪が多いことから屋根に太陽光パネルを設置することが難しいことや、特に軽井沢町では別荘地であり、居住者が少ないと考えられる。武豊町では住宅用太陽光発電補助制度が平成26年度で終了しており⁸⁾、近年では導入が進んでいない可能性がある。

次に、住宅用太陽光発電の導入戸数について予測値が大きく実績値を上回った自治体は埼玉県蕨市(7,233件)、神奈川県大和市(5,867件)、東京都狛江市(4,587件)である(カッコ内はそれぞれ予測値から実績値を引いた値)。首都圏郊外部に位置する比較的面積の小さな自治体が該当した。これらの自治体に共通して一戸建住宅割合が約8割であり、65歳以上人口割合が約2割であるが、1住宅当たりの延べ面積が約70m²前後という特徴があった。屋根がやや狭い可能性があるが、一戸建住宅が多く、住宅用太陽光発電の導入可能性が大きい地域と考えられるが、GWPRを用いたことにより、東京都特別区部を中心とする首都圏の導入戸数の大きい近隣自治体の影響を受けている可能性があることに留意が必要である。

4.3. 今後の課題

本研究では552自治体を対象にこれまでの住宅用太陽光発電の導入傾向を分析した。この結果をふまえて、自治体別に実施された政策、4.2. で記載した自治体についてさらなる精査を行いたい。また今回は552自治体での広域的な傾向を把握することを主眼としたが、各自治体内での街区の特徴などを踏まえ、詳細な住宅用太陽光発電の導入状況を分析することは今後の課題としたい。

参考文献

1) 一般社団法人太陽光発電協会, 太陽光発電の状況 一主力電源化に必要な新規案件開発継続一,

第62回 調達価格等算定委員会 (2020年10月30日) 資料1,

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/062_01_00.pdf, p.4, 2021年8月29日閲覧

2) 国・地方脱炭素実現会議 (2021) 地域脱炭素ロードマップ,

https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/datsutanso/pdf/20210609_chiiki_roadmap.pdf, p.10-11, 2021年8月29日閲覧

3) Nicholas B. Irwin(2021) Sunny days: Spatial spillovers in photovoltaic system adoptions, Energy Policy, Volume 151, April 2021, 112192

4) Takanobu Kosugi, Yoshiyuki Shimoda, Takayuki Tashiro(2019) Neighborhood influences on the diffusion of residential photovoltaic systems in Kyoto City, Japan, Environmental Economics and Policy Studies, vol.21, p.477-505

5) Oleg Kucher, Donald Lacombe and Sean T. Davidson(2021) The Residential Solar PV in the Mid-Atlantic: A Spatial Panel Approach, International Regional Science Review, Vol. 44, issue 2, p.262-288

6) 関知道・田中秀雄・秋澤淳(2013)戸建住宅に対する太陽熱温水器と太陽光発電の市区町村別普及データをを用いた普及要因分析, 「太陽エネルギー」, Vol. 39, No. 2, p. 51-58

7) Fan LI, Xuepeng QIAN, Weisheng ZHOU(2012) Principal Component Analysis of Residential Solar Power System Utilization in Japanese Cities, 「地域学研究」, 42巻4号, p.885-896

8) 愛知県武豊町, 住宅用太陽光発電システム設置費補助金制度廃止について,

https://www.town.taketoyo.lg.jp/contents_detail.php?co=kak&frmId=36, 2021年8月29日閲覧