

# 太陽光発電を包摂する立地適正化計画の可能性 の分析

應 江黔<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 非会員 岐阜大学教授 地域科学部地域政策学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)  
E-mail: ying@gifu-u.ac.jp

本論文では、太陽光発電の普及が住宅選択、住宅地の拡大との関係の考察を行った上、太陽光発電を新たな土地利用方式として住宅立地・土地利用・交通の統合モデルに組み入れ、その普及が住宅選択・土地利用への影響について解析を行い、太陽光発電を包摂する土地利用計画・立地適正化計画の可能性を探る。

住宅地、郊外農地、太陽光発電用地の三種類の土地利用を取扱い、容積率規制の下での住宅市場と土地市場の均衡解析を行った。郊外太陽光発電の収益性が高く、居住に負の影響が強いシナリオでは、ある境界線で郊外居住が急減する；住宅用太陽光発電の収益が高い場合は、居住地が広がる；等の計算の結果が示された。土地利用計画に太陽光発電を考慮し、その収益性と外部性の管理による立地誘導の可能性を示唆している。

**Key Words:** residential location, photovoltaic power, land use, location optimization

## 1. はじめに

市街地の過度な拡散を止め、居住・商業・公共サービス、その他産業の適正な立地を促し、住みやすく、財政的にも健全な都市形態の形成は重要な課題である。そのため、日本の多くの都市は立地適正化計画を策定し、様々な誘導策、規制策を実施している。例えば、容積率緩和を伴った中心市街地の再開発の関連政策など、居住や施設の中心市街地への集積を促し、一部の都市で効果をはっきり表し始めている。

一方、再生可能エネルギーの普及は都市・地域に課しているもう一つの課題である。特に、太陽光発電は都市域ではほぼ唯一の再生可能エネルギー源であり、過去 10 年の間急速に普及してきたが、最近では鈍化の傾向にある。また、太陽光発電の居住環境や地域環境に対する負の外部性も現れており、それに対する規制も強化しつつある。地域と調和した太陽光発電の更なる普及をいかに図るかが課題である。

しかし、上記のような課題は、政策の中ではまだ統一的には取り扱っていない。例えば、国土交通省：「立地適正化計画作成の手引き」<sup>1)</sup>において、エネルギー消費の削減は考慮されても、エネルギー生産としての太陽光発電は言及されていない。都市形態・エネルギーの課題に対処する持続性と効果の高い政策を考える上では、両者を統一的な理論的枠組みの中で解析することが重要で

あろう。

本研究は、太陽光発電を新たな土地利用方式として住宅立地・土地利用・交通の統合モデルに組み入れ、その収益性と外部性の考慮し、太陽光発電を包摂する土地利用計画・立地適正化計画の可能性を探る。

## 2. 土地利用と太陽光発電の動向の考察

ここでは、以下のデータを用いて、近年の住宅地用地、農地の面積変化および太陽光発電普及の動向を考察する。

- a. 総務省固定資産の価格等の概要調査  
小規模・一般住宅用地を住宅地とし、田・畑を農地として、非課税地積と評価総地積の合計値を用いる；2014.1.1～2020.1.1
- b. FIT 認定太陽光発電設備導入累積件数・容量  
2014.4.30～2020.3.31  
(<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>)
- c. 住宅着工統計 2014～2019 年度
- d. 住民基本台帳に基づく人口・人口動態及び世帯数調査 2014.1.1～2020.1.1
- e. 統計でみる市区町村の姿：可住地面積 2014、2020  
まず、図-1 は、一部の例外を除いた 1589 の市町村の住宅面積の 2014 から 2020 の増減率を示している。ほとんどの地域で増加していることが確認できる。

対照的に、農地はこれらの地域ではすべて減少している（図-2）。一方、図-3に示すように、太陽光発電の設置容量は2012年の固定価格買取制度（FIT）の開始から増え続けて、特に単体容量の大きい地上設置型の増加が顕著である。

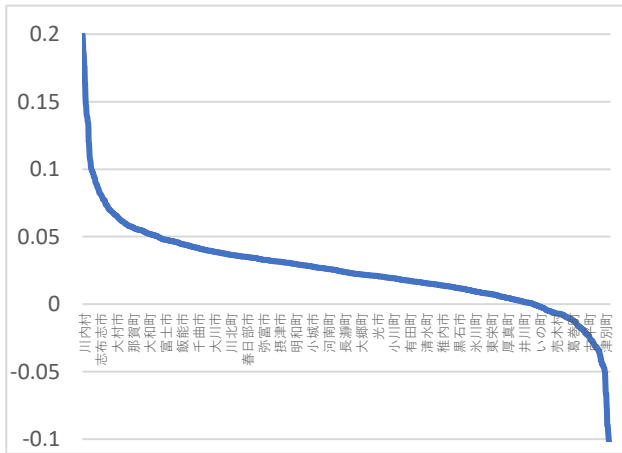


図-1 住宅地増減率（2014～2020）

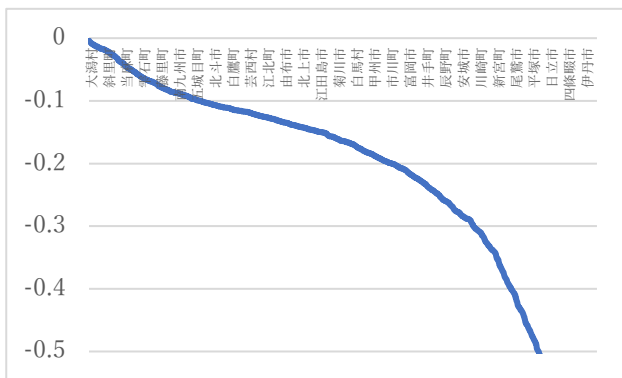


図-2 農地増減率（2014～2020）

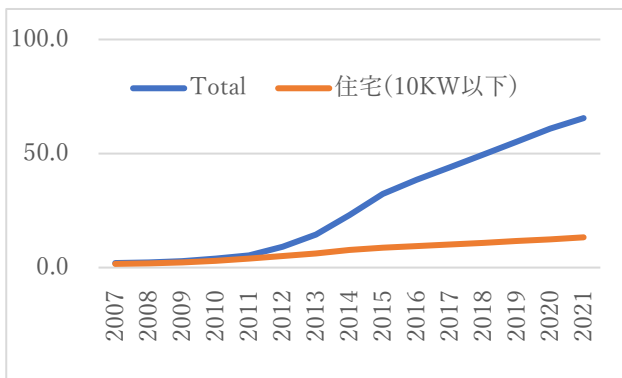


図-3 PV 設置容量(百万 KW, 年度末)

図-4に示すように、2018,2019両年度の農地の他用途への転用面積の中で、住宅や太陽光発電（再エネ）用地がかなりの割合を占めている。

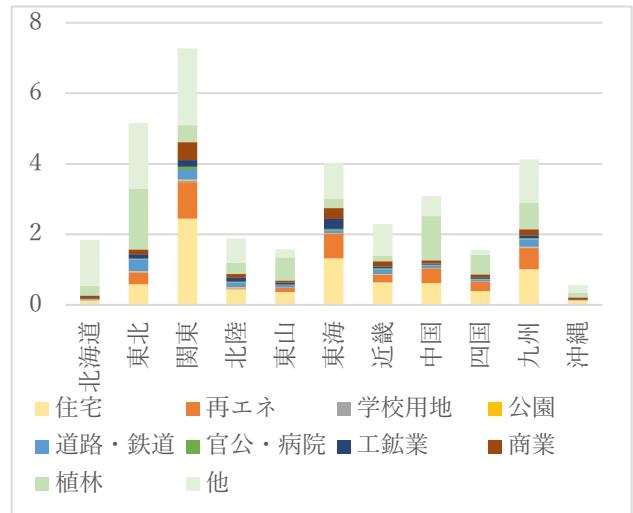


図-4 農地の他用途への転用（2018,2019 両年度; 単位千 ha）

農地減少と住宅地増加、太陽光発電増加の関係は表-1に示される各変数間の相関係数からも確認できる。農地の転用などに伴い、住宅地が拡散し続けていることが伺える。

表-1 2014～2020 の間の住宅地増減率  $x_1$ , 農地増減率  $x_2$ , 太陽光発電設置容量密度の対数 ( $x_3$  単体容量<10kw,  $x_4$  単体容量<1000kw,  $x_5$  総計), 日照時間対数  $x_6$ , 人口変化率  $x_7$  の相関係数 (データ数 1425)

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_2$	-0.340					
$x_3$	0.479	-0.752				
$x_4$	0.449	-0.559	0.852			
$x_5$	0.401	-0.469	0.760	0.918		
$x_6$	0.315	-0.436	0.638	0.705	0.634	
$x_7$	0.516	-0.538	0.674	0.492	0.420	0.337

表-2は人口変動とともに農地増減、太陽光発電などについての住宅地の増減率の重回帰解析結果を示している。PV 設置率は戸建て住宅の太陽光発電設置率で、KW 密度は PV 総設置密度である；農地、人口、世帯人員は2014～2020 の間の増減率である。

表-2 宅地増減率の重回帰分析 (データ数 1425)

	係数	t 値	係数	Z 値
PV 設置率	0.006	3.02**		
KW 密度			0.002	6.330***
農地	-0.015	-3.72***	-0.009	-2.21*
人口	0.294	27.53***	0.273	24.59***
世帯人員	-0.077	-2.74**	-0.070	-2.35*
定数	0.029	9.92***	0.020	6.06***

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$

人口変動の要因を考慮しても住宅地の変動が太陽光発電と関連していることが示唆されている。

表-3 では、新築住宅における戸建の比率と総数に対する太陽光発電設置率 (PV), 新築戸建数に対する設置率 (戸建 PV) などの変数との関係を示しており、住宅の選択にも太陽光発電の関連性を示唆している。

表-3 新築住宅における戸建の比率 (データ数 1453)

	Coef.	t	Coef.	t
農地	-0.065	-1.33	-0.038	-0.970
住宅地	0.469	2.00*	0.105	0.570
PV			0.498	13.19***
戸建PV	0.103	3.65***		
人口	-0.786	-5.59***	-0.385	-3.19**
世帯人員	-2.910	-8.81***	-1.753	-4.99***
定数	0.364	10.78***	0.363	12.88***

\*\*\*p<0.001; \*\*p<0.01; \*p<0.05

### 3. 住宅立地・土地利用・交通の統合モデル

以上で考察した太陽光発電と農地・住宅地などの変動との関係は、理論的に立地・土地利用・交通の統合モデルで解析することができる。詳細は稿を改めて論述したいが、ここではこの研究で開発したモデルの主な特徴を記す。都市は道路ネットワークで繋がる勤務地ゾーンと住宅地・農地ゾーンで構成され、勤務地は固定され、家計は住宅地、住宅面積などを選択する。

家計の効用は居住環境 $e_r$ , 財 $z$ , 住宅面積 $h$ , 余暇時間 $l$ の関数である:

$$U(z, h, l) = e_r z^\alpha h^\beta l^\gamma$$

ゾーン $r$ の居住環境は人口 (密度)  $y_r$ , 実際の平均容積率 $H_r$ , 地上型太陽光発電用地 $A_r^{pv}$ に依存する。

$$e_r = e_r(y_r, H_r, A_r^{pv})$$

異なる時給 $v_w$ の家計があり、確率均衡に従って通勤交通を行い、住宅支出は

$$\beta(I_s^w + v_w \tau - S_{rs}^w)$$

となる。 $\tau$ は総賦与時間であり、 $S_{rs}^w$ は期待交通費用である。

家計は、勤務先 $s$ において、時給以外に、手当 $I_s^w$ が支給され、一定の効用 $V_0^w$ が達成される。

政府は指定容積率 $F_r$ を決め、住宅開発の利益 $\pi(H_r)$ の最大化により実際の容積率 $H_r$ が決まる。

$$\pi(H_r) = H_r \cdot (L_r - C(H_r)) - Cor(H_r, F_r)$$

$$H_r = \operatorname{argmax}_{H_r \leq F_r} \pi(H_r) = H_r(L_r, F_r)$$

$L_r$ は家賃、 $C(H_r)$ は建築コストであり、 $Cor(H_r, F_r)$ は指定容積率 $F_r$ に対して容積率 $H_r$ の開発を行うための取

引コストである。 $\lim_{H_r \rightarrow F_r} \partial Cor / \partial H_r = \infty$ を満たす。

指定容積率と実際の容積率の関係については、文献 2) において考察している。

交通均衡、住宅市場均衡及び効用の均等は三つの方程式で表される:

$$x_a - \sum_{w \in W, rs \in A} q_{rs}^w \frac{\sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_w C_k^{w,rs}(x, T)) \delta_{k,a}^{rs}}{\sum_{k' \in K_{rs}} \exp(-\theta_w C_{k'}^{w,rs}(x, T))} = 0$$

$$A_r H_r L_r - \sum_{w,s} \beta(I_s^w + v_w \tau - S_{rs}^w) q_{rs}^w = 0$$

$$\frac{1}{\mu_w} \log \left( \sum_r \exp(\mu_w V_{rs}^w) \right) - V_0^w = 0$$

住宅地 $A_r$ , 農地 $A_r^a$ , 地上型太陽光発電用地 $A_r^{pv}$  (面積) は、それぞれの収益率 $R_r^h$ ,  $R_r^a$ ,  $R_r^{pv}$ によって内生的に決まる。

$$A_r = \bar{A}_r \frac{\exp(\eta R_r^h)}{\exp(\eta R_r^h) + \exp(\eta R_r^a) \exp(\eta R_r^{pv})}$$

$$A_r^a = \bar{A}_r \frac{\exp(\eta R_r^a)}{\exp(\eta R_r^h) + \exp(\eta R_r^a) \exp(\eta R_r^{pv})}$$

$$A_r^{pv} = \bar{A}_r \frac{\exp(\eta R_r^{pv})}{\exp(\eta R_r^h) + \exp(\eta R_r^a) \exp(\eta R_r^{pv})}$$

家計が一定の効用 $V_0^w$ を達成する条件で、社会的余剰は以下の式で表される。

$$SS = \sum_r A_r \cdot (H_r \cdot (L_r - C_r) - Cor(H_r, F_r) - i_F(F_r)) + \sum_r A_r^a R_r^a + A_r^{pv} R_r^{pv} - \sum_{w,s} E_s^w I_s^w$$

政府は $SS$ が最大になるように、指定容積率 $F_r$ などを決める。均衡解析と最適化の計算は、以前の研究成果 3) を拡張したものである。

本研究で構築したモデルは、理論的には従来の土地利用・交通モデル或いは応用都市経済モデル<sup>4)</sup>の枠組みに属するが、容積率考慮の工夫、精密な最適化法の開発などが独特な点である。一方、伝統的な都市経済学的手法<sup>5)</sup>ほど理論的普遍性が弱い部分があるが、課題に適用する自由度はより高い。

### 4. 計算例

上記のモデルは一般的なネットワーク構造に適用できるが、ここでは単一中心 (CBD) と、それを囲むゾーン (ここでは9のゾーン) の例を取り扱う。詳細は省くが、

ここでは太陽光発電と土地利用の関係を端的に表す主な計算結果のみを述べる。

この例では、二つのシナリオを検討した。

- (i) 単位土地面積に対して、地上型太陽光発電と住宅屋上太陽光発電が同等の収益率を有し、この収益率は農業の収益率より低い (図-5)
- (ii) 単位土地面積に対して、地上型太陽光発電は農業の収益率より高く、農業は住宅屋上太陽光発電の収益率より高い (図-6)

図-5 と図-6 の結果は、容積率が最適化された状態における結果である

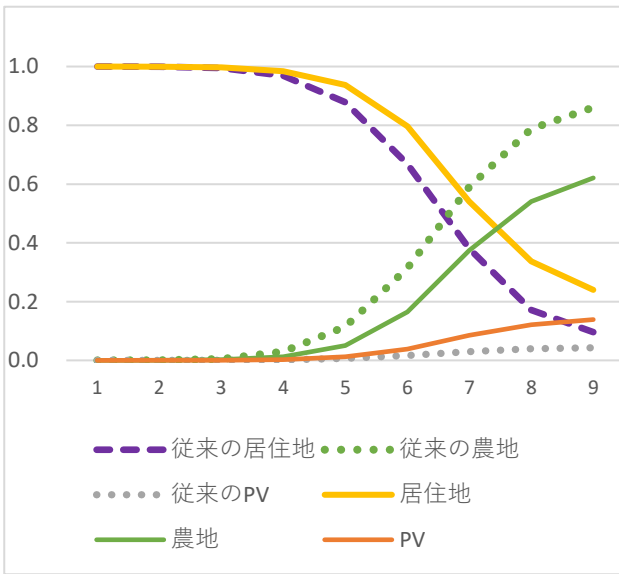


図-5 地上型 PV と住宅 PV が同等な収益性を持つシナリオ

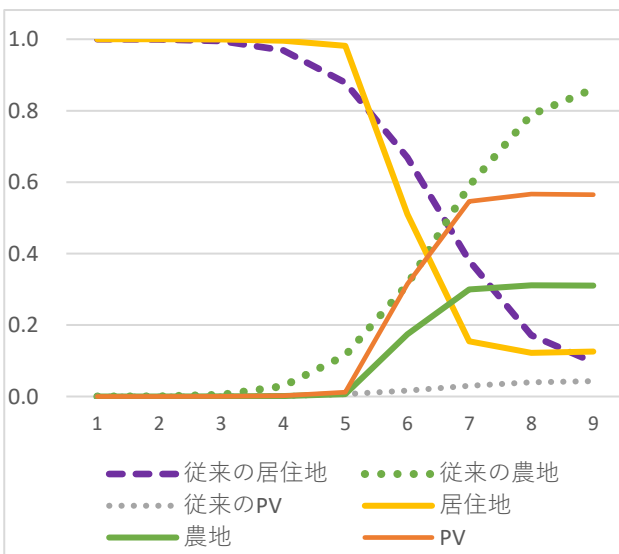


図-6 地上型 PV が収益性が高く、住宅 PV が低いシナリオ

シナリオ(i)では、広い住宅を選ぶのが有利なため、住宅地が広がる。シナリオ(ii)では、郊外の地上太陽光発電が有利であり、その普及が居住に負の影響があるため、ある境界で住宅が急速に減少する。

## 5. おわりに

収益性によっては、太陽光発電が都市形態への影響が異なることが計算例で示された。実際には、立地適正化計画のように、考慮すべき事項が非常に複雑であり、複雑な手法の組み合わせによって政策を策定する必要があることは言うまでもない。

しかし、固定価格買取制度のように、政策的に収益性を調整することによって、太陽光発電の立地などを管理し、再生可能なエネルギーの普及と望ましい都市形態の実現に寄与することが可能であろう。

謝辞：本研究は、日本学術振興会科学研究費基盤研究(C)16K01238 と基盤研究(B)21H01452 の助成を受けて行った。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：立地適正化計画作成の手引き（令和 4 年 4 月版）
- 2) 應江黔, 栗田鈴音：都市土地利用の規制と実態について：地価との関係からの考察岐阜大学地域科学部研究報告 Vol.36, 2015.
- 3) Ying, J. Q.: Optimization for Multiclass Residential Location Models with Congestible Transportation Networks, *Transportation Science*, Vol.49, No.3, 2015.
- 4) 堤盛人, 山崎清, 小池淳司, 瀬谷 創：応用都市経済モデルの課題と展望, *土木学会論文集 D3*, Vol. 68, No. 4 2012
- 5) Kono, T., Joshi, K.K., Kato, T., Yokoi, T.: Optimal regulation on building size and city boundary: An effective second-best remedy for traffic congestion externality. *Regional Science and Urban Economics* Vol.42, No.4, 2012.