

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01238

研究課題名(和文) 太陽光発電の普及を考慮した都市形態と交通システムの最適化の研究

研究課題名(英文) A Study on the Optimization of Urban form and Transportation System with the Penetration of Photovoltaic Power Generation

研究代表者

應 江黔 (Ying, Jiang Qian)

岐阜大学・地域科学部・教授

研究者番号：30242738

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、太陽光発電の普及が都市土地利用への影響について、都市経済学の理論を用いた分析を行い、実際の都市土地利用、住宅選択などへの影響を検証した。市町村単位では、太陽光発電の普及に伴い、都市の住宅地が拡大していることなどを統計的に明らかにしている。これらの知見を基に、太陽光発電と都市・交通の調和を図るため、土地利用としての太陽光発電による土地の新しい収益的価値および、太陽光発電の居住環境に対する負の影響を考慮した都市土地利用・交通モデルを構築し、容積率の土地利用規制、道路の計画管理などの政策手段を最適化する計算手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、標準的な土地利用・交通モデルを拡張し、太陽光発電の収益性および太陽光発電の居住環境に対する負の影響が考慮できるモデルを構築し、最適化計算手法を開発した。

現時点では、太陽光発電の普及に伴い、都市の住宅地が拡大していることなどを統計的に明らかにしている。一方、土地利用・交通モデルによる計算では、太陽光発電の収益性の変化や居住環境に対する負の外部性の変化により、住宅地の縮小に寄与する可能性を示した。本研究は、エネルギーの課題と都市形態の課題を同時に対処するため、太陽光発電を土地利用として、都市・地域の土地利用計画において考慮する必要性を示し、そのための計算手法の構築に寄与した。

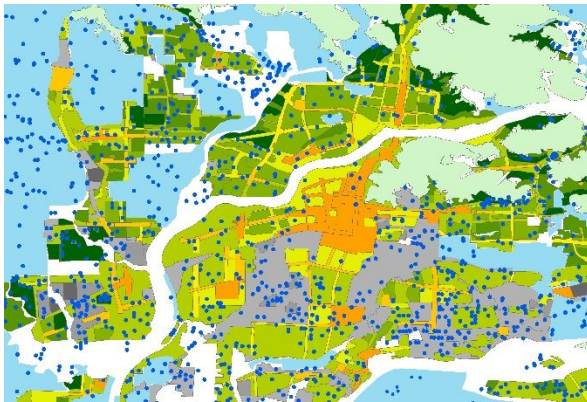
研究成果の概要(英文)：This study analyzed the various possible influence of the penetration of photovoltaic power generation (PV) on urban land use based on urban economic theory. Based on statistical data of the municipalities in Japan, the actual influences of the penetration of photovoltaic power generation on urban land use, housing choice and transportation system have been investigated. It is made clear statistically that the urban residential areas have been expanding with the penetration of solar power generation. An urban land use/transport model has been constructed which takes into consideration the profitability of land use for photovoltaic power generation and the negative external impact of photovoltaic power generation on the living environment, and the associated optimization method have been developed.

研究分野：社会システム工学

キーワード：太陽光発電 土地利用 都市形態 交通

1. 研究開始当初の背景

自動車の普及に伴って、市街地が過度に拡散してきた。人口減少社会において、不効率な土地利用や社会インフラの維持管理費用の増大等が大きな負担になっている。“都市機能や居住機能を、都市の中心部や生活拠点等に誘導し、公共交通を推進し、コンパクトシティを形成”することが重要な課題である。一方では、エネルギー問題の解決・低炭素社会の実現に寄与する重要な方策として、太陽光発電などの再生可能エネルギーの利用が進められている。しかし、太陽光発電などの分散型電源を普及させるには、ある程度分散的な都市構造が有利であると考えられる。本研究開始当初の時点では、住宅用太陽光発電補助金制度や、固定価格買取制度などの支援政策により、住宅用太陽光発電システムの設置が急速に普及し始めたが、人口密度の低い地域においてその傾向が強かった。その後は郊外部などにおいて、容量の大きい産業用太陽光発電システムの設置が追い上げている。



左図は岐阜市とその周辺における20KW以上のPVシステムの設置分布図である(青い点; data source: 固定価格買取制度・事業計画認定情報2020、国土数値情報用途地域)。図に示されていない小容量の住宅用PVシステムと合わせて、都市とその周縁部にPVシステムが浸透し始めていることが分かる。

長期的に、太陽光発電の普及が土地利用と都市形態にどのような影響を与えるか、太陽光発電の普及と土地利用が多面的に相互作用している現実を踏まえ、太陽光発電のエネルギー源としての価値を發揮させ、望ましい都市形態・交通システムを如何に形成するかが重要な課題である。

2. 研究の目的

この研究では、太陽光発電を新たな土地利用の一形態として捉え、太陽光発電の分散型エネルギー源としての価値を發揮させつつ、望ましい都市形態・交通システムを形成するための政策についての体系的な最適化の手法を開発することが目的である。

3. 研究の方法

この研究は、三つの方法で進められてきた。理論分析：都市経済学の理論を用いて、新たな土地利用の一形態としての太陽光発電の収益性を、土地の価値に反映させて、太陽光発電の普及が都市土地利用への影響を理論的に分析する。実際の状況の調査分析：統計データを収集整理し、太陽光発電の普及が、実際に都市土地利用、住宅選択と交通システムにどのような影響を与えてきたかを把握し、太陽光発電の経済的特性と普及動向の分析を行い、土地の太陽光発電による収益性を計測し、近未来の収益性変化のシナリオを把握し、都市形態との相互作用の実態を分析する。土地利用モデルの構築と計算法開発：土地利

用としての太陽光発電による土地の新しい収益的価値を明示的に取り扱う都市土地利用・交通モデルを構築し、その経済的、数理的性質を理論的に明らかにし、政策分析と最適化の計算手法と計算機プログラムを開発する。

4. 研究成果

(1) 理論分析

都市経済学に基づく分析を進め、土地利用の一形態としての太陽光発電が居住にどのような影響を与えるか、住宅用地の拡大または縮小のどちらの方向に作用するかを理論的条件を考察した。具体的には、住宅用地の拡大または縮小の方向に作用するかは、住宅太陽光発電がもたらす住宅地収益性の増加、土地の農地としての収益性、農地を単純に太陽光発電に転用した場合の収益性などの変数間の関係で決められ、その条件式を導いた。例えば、太陽光発電の用途に転換した土地の収益性が農地より低い場合は、太陽光発電の普及は住宅用地の拡大の方向に作用する；逆の場合は、例えば、土地の単純な太陽光発電利用の収益性と住宅太陽光発電の収益性の増加分の差が、農地収益性よりも大きい場合は、住宅用地は縮小する。

この解析的理論分析は、太陽光発電の居住環境への負の影響などは無視しており、実際の状況とは必ずしも一致しない点もあるが、実証分析や、より現実なモデルの作成において考慮すべき事項を示唆している意味で特に意義がある。

(2) 実態分析

太陽光発電の普及が、実際に都市土地利用、住宅選択と交通システムにどのような影響を与えてきたかについて、市町村単位（一部は区の細分化データも利用）のデータを収集整理し分析を行った。以下の主な知見が得られた。

近年は、市町村単位の住宅地は、太陽光発電の普及に伴って広がった。人口の変動を考慮した上、単位面積の太陽光発電の設置容量、新築持家に対する PV システム導入率などが住宅地面積の増加率に有意に正の影響を与えている。その原因は、理論モデルに完全に一致する解釈はできていないが、郊外の土地が、住宅地への転用または太陽光発電用地への転用が同時に進んでいる要因が背後にあると考えられる。

下表は、データが整備できた約 1110 の市町村に対して、住宅地の面積変化率について、PV 設置率：最近 5 年の小規模 PV システム導入数と持家着工数の比率を設置率；KW500 密度：容量が 500KW 以下のシステムの総容量と可住面積の比率；農地：田・畑の変化率；人口：人口の変化率；世帯人員：世帯人員の変化率などを説明変数とする回帰解析結果を示している。

	係数	Z 値	係数	Z 値	係数	Z 値
PV 設置率	0.0057	5.72***				
KW500 密度			0.0052	10.93***		
農地	-0.0354	-2.28*	0.0009	0.06	-0.0419	-2.6**
人口	0.4667	17.37***	0.3886	12.12***	0.48	16.38***
世帯人員	0.1042	6.92***	0.0958	6.58***	0.1086	6.9***
定数	0.1003	9.24***	0.0502	23.4***	0.0394	20.55***

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

一方、太陽光発電システムの設置が住宅選択行動に与える影響については、全体的に、太

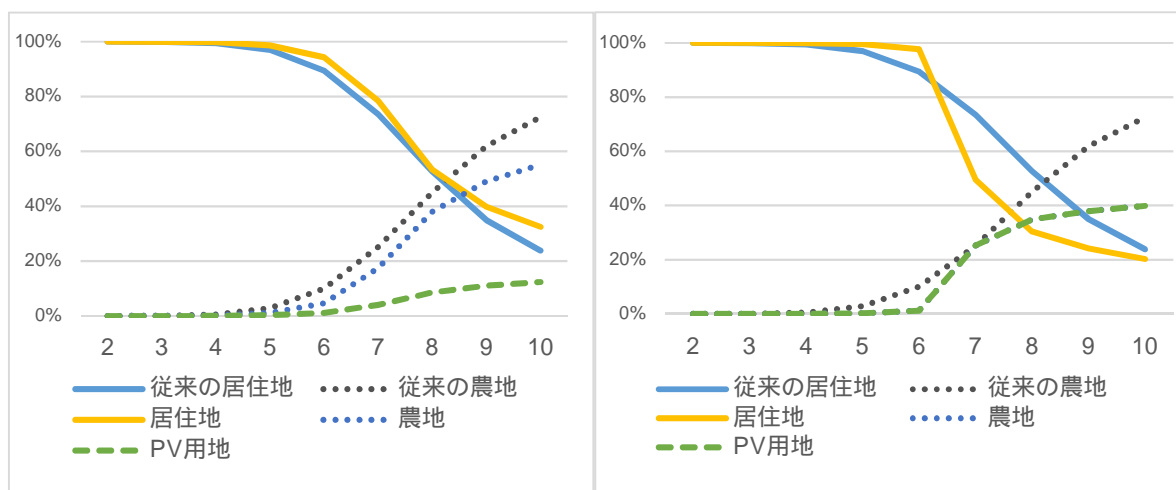
太陽光発電システムの設置は居住面積に正の影響がみられるが、太陽光発電システムの利点が享受できる戸建て持家選択が増えるかなどについては、有意な影響が見られなかった。

(3) 土地利用・交通モデルと最適化計算法

太陽光発電の収益性と居住環境に対する外部不経済を組み入れた土地利用・交通モデルを構築した、容積率、道路計画・管理などについて最適化計算法を開発した。土地利用モデルの構造に関して工夫を重ねた。例えば、実際の容積率が規定容積率、家賃、建築費用への依存関係を、建築開発の取引費用という項目を用いて記述するが、この取引費用を表す関数型を検討し、実際の状況に符合すると同時に、均衡モデルの構築と計算にも処理しやすい関数型を考案した。

この計算法は、一般的なネットワーク構造を有する土地利用・交通モデルについて適用でき、従来の標準的なモデルに土地利用としての太陽光発電を組み入れたものである。以下の図において、都市業務中心と周囲の居住地、郊外の農地の単純な空間構成のモデルについて、計算による分析の典型例を説明する。

両図において、太陽光発電のない従来状況と、収益性の異なる太陽光発電が導入される二つのシナリオについて土地利用の変化を示すものである（いずれも容積率が最適化された場合の結果である）。左の図は、太陽光発電の用途に転換した土地の収益性が農地より低い場合であり、一部の農地は太陽光発電に転用するが、住宅用太陽光発電が発生する収益性の効果が支配的であるから、居住地が広がる。右図は、郊外太陽光発電の収益が高く、その設置が居住に負の影響を及ぼすため、ある地点で郊外居住が急に減少する。この計算例は、太陽光発電の収益性と負の外部性の管理を通じて、都市形態をコントロールする可能性を示している。



太陽光発電の収益性は、太陽光発電システムの設置費用、蓄電の費用、電力システム増強の費用にもより、不確実性が高い。再生可能エネルギー推進政策はその不確実性のある程度カバーし、収益性をコントロールして、住宅用と産業用太陽光発電の普及を推進してきた。現時点では、太陽光発電の普及は住宅地が拡散する方向に作用している可能性があることが本研究の統計分析で示唆されている。一方、上記のモデル計算例が示すように、太陽光発電の収益性の変化や居住環境に対する負の外部性の変化により、住宅地の縮小に寄与する可能性もある。エネルギーの課題と都市形態の課題を同時に対処するため、このような可能性は、都市・地域の土地利用計画において考慮する必要があり、本研究はそのための計算法の構築に寄与した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 應江黔
2. 発表標題 Computational Urban Economics - Optimization Techniques
3. 学会等名 The Fourth International Workshop on Integrated Land Use Transport Modeling, Beijing, China 2018年6月16日（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 應江黔
2. 発表標題 Photovoltaic Electricity Generation as Land Use: Long Run and Short Run Impact on Urban Forms
3. 学会等名 Applied Urban Modelling 2018, Cambridge, UK 2018年6月27日（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jiang Qian Ying
2. 発表標題 Zoning, Residential Rents, Land Price and Actual Land Use
3. 学会等名 The Third International Workshop on Integrated Land Use Transport Modeling, Shanghai, China（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jiang Qian Ying
2. 発表標題 Photovoltaic Electricity Generation as Land Use: Its Implications for Urban Forms
3. 学会等名 The Second International Workshop on Integrated Land Use Transport Modeling（国際学会）
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----