

令和 5 年 5 月 1 日現在

機関番号：32677

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K01626

研究課題名（和文）再生可能エネルギーによる発電が電力市場に及ぼす影響に関する研究

研究課題名（英文）Effects of renewable energy on electricity markets

研究代表者

松川 勇（Matsukawa, Isamu）

武蔵大学・国際教養学部・教授

研究者番号：50287851

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、二酸化炭素排出削減による環境改善および電力市場における経済効率の両面から再生可能エネルギーの推進政策に対する評価を行った。具体的には、寡占卸電力市場の投資と発電の2段階意思決定モデルをもとに、大規模な太陽光発電および風力発電の断続性(intermittency)が卸電力市場の取引と価格に及ぼす影響を明らかにした。また、再生可能エネルギーによる発電を促進するための経済的政策手段として、固定価格買取制度・フィードインプレミアム・炭素税の3つを取り上げ、これらの政策のもとで再生可能エネルギーによる発電の断続性がどのように電力市場に影響を与えるのかを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽光・風力などの再生可能エネルギーによる発電を促進する経済的手段として、固定価格買取制度・フィードインプレミアム・炭素税の各政策を取り上げ、わが国の卸電力市場における取引量と価格に及ぼす影響を分析することによって、各政策に期待される環境改善効果および経済効率に及ぼす影響が明らかになった。これらの研究成果をもとに、温室効果ガスの排出削減による環境面のメリットに加え、事業者の利潤および消費者の純便益などの経済効率の観点からも再生可能エネルギーの経済政策を評価することを通じて、環境と経済の適切なバランスを保持した上で再生可能エネルギーによる発電を促進するための政策立案に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aims to evaluate economic policy instruments that promote the use of renewable energy sources in electricity markets from the viewpoints of environmental impacts and economic efficiency. Using a two-stage model of investment and generation in an oligopolistic market of wholesale electricity, this study investigates the effects of intermittency of solar power and wind power on the electricity trade and prices in the market. It also compares these effects across feed-in tariff, feed-in premium, and carbon tax.

研究分野：ミクロ経済学

キーワード：卸電力市場 再生可能エネルギーの断続性 固定価格買取制度 フィードインプレミアム 炭素税

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に対する懸念が高まる中、太陽光や風力などの再生可能エネルギーは温室効果ガスの排出削減のための有効な手段として世界的に注目を集めている。化石燃料への依存度が比較的高く、原子力発電所の多くが稼働を停止しているわが国では、再生可能エネルギーを利用した発電方式の普及が急務となっており、平成 24 年に導入された固定価格買取制度(フィードイン・タリフ)をはじめさまざまな政策が今日まで実施されてきた。なかでも、固定価格買取制度には、長期間における安定的な売電収入を発電事業者に保証することによって、初期費用の負担が導入の障害となっていた再生可能エネルギーの発電を促進する効果が期待される。

太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーによる発電には温室効果ガスを削減するメリットがあるが、電力市場における経済効率を低下させる危険性もある。たとえば、電力需要の少ない夜間に風力発電が急増すると電力供給が需要を上回る恐れが生じるため、石炭火力などの既存の大規模発電設備を停止する必要があるが、これらの大規模発電設備の運転を一度停止するとフル稼働できるまでに半日以上かかるため、電力需要の多い昼間に供給不足が発生して消費者の便益の低下を招く恐れがある。また、発電の短期限界費用(運転費)が低い再生可能エネルギーの増加による卸電力市場の取引価格の低下を回避するため、既存の大規模発電事業者(一般電気事業者)が化石燃料による発電量を戦略的に削減して電力価格を上昇させ、消費者の便益が低下する危険性も考えられる。さらに、再生可能エネルギーによる発電の大半が立地条件の良好な遠隔地にあり、需要の集中する都市圏まで電力を大量に輸送するために送電設備への投資が新たに必要となる。これらの状況を鑑み、再生可能エネルギーの有する環境面のメリットと電力市場の経済効率のバランスをどのようにして保つのか、が経済政策に問われている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、再生可能エネルギーによる発電が電力市場の経済効率に及ぼす影響を明らかにする点にある。具体的には、固定価格買取制度・フィードインプレミアム・炭素税などの再生可能エネルギーによる発電の促進を目的とした経済政策を取り上げ、環境改善と経済効率の両面から評価を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

再生可能エネルギーによる発電が電力市場の経済効率に及ぼす影響を明らかにするため、はじめに太陽光発電や風力発電などの影響を取り上げた内外の分析事例について文献を中心に調査を行うとともに、高度な分析能力を有する計算機を使用して、ネットワークの構造と価格変動に関する空間経済学の理論をもとに卸電力取引の経済モデルを開発する。次に、開発したモデルを用いて、再生可能エネルギーによる発電を含めた卸電力取引の経済モデルを分析し、再生可能エネルギーによる発電の費用構造および立地特性が卸電力取引および電力価格に及ぼす影響を明らかにする。最後に、太陽光発電や風力発電の費用構造および立地特性に関するさまざまな想定のもとで卸電力取引に関するシミュレーションを行い、経済効率の観点から再生可能エネルギーによる発電の影響を明らかにする。その際、固定価格買取制度・フィードインプレミアム・炭素税の 3 種類の政策を取り上げ、環境改善効果と合わせて社会厚生の評価を行う。

4. 研究成果

(1) 再生可能エネルギーによる発電が電力市場の経済効率に及ぼす影響を明らかにするため、既存の経済理論を検討し、分析用のモデルの開発に着手した。具体的には、文献調査をもとに再生可能エネルギーによる発電を対象とした内外の分析事例の調査を行うとともに、プロトタイプの経済モデルを開発した。文献調査では、太陽光発電および風力発電を対象とした最近の経済分析の事例を中心とし、再生可能エネルギーの進展に伴う電力市場の価格低下(メリットオーダー効果)に関する知見を得た。たとえば、ドイツでは風力発電・太陽光発電の百万キロワットの導入によって、電力価格が 1.8~4.4%低下した点が指摘されている。また、メリットオーダー効果を検討する際には、卸電力市場における市場支配力の影響について考慮する重要性も明らかになった。

プロトタイプの経済モデルについては、Acemoglu らの経済理論をもとに卸電力取引・先渡し契約・再生可能エネルギー投資の 3 段階の意思決定を明示的に分析する手法を開発した。また、再生可能エネルギーの普及を目的とした経済政策として、固定価格買取制度・フィードインタリフ・炭素税の 3 種類の政策を取り上げ、これらの政策が卸電力取引および再生可能エネルギーによる発電に及ぼす影響を分析した。

(2) 再生可能エネルギーによる発電を含めた卸電力取引の経済モデルをもとに、再生可能エネルギーによる発電の費用構造および立地特性が卸電力取引および電力価格に及ぼす影響を明らかにした。具体的には、複数の寡占企業と多数の再生可能エネルギー発電事業者を想定した卸電力市場において、化石燃料による発電と、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーによ

る発電の2種類を想定し、電力取引に関する分析を行った。

また、風力発電や太陽光発電における出力変動について確率分布を用いて表現し、異なる立地点間の相関を考慮して再生可能エネルギーの立地特性が電力市場に及ぼす影響を分析するためのモデルの開発を行った。具体的には、Acemogluらのベイジアン・ナッシュ均衡の手法を適用し、complete、cycleなどの立地パターンに応じて発電設備間の相関行列を想定し、卸電力取引・先渡し電力取引・再生可能エネルギー投資の3段階に区分して分析を行った。さらに、Cowanのモデルをもとに卸電力市場の価格変動についても明示的に扱い、再生可能エネルギーが価格リスクに及ぼす影響についても分析を行った。

再生可能エネルギーの普及を目的とした経済政策については、固定価格買取制度・フィードインプレミアム・炭素税の3つを取り上げ、分析モデルを用いて電力市場に及ぼす影響を明らかにした。また、化石燃料による発電から排出される二酸化炭素などの温室効果ガスに関連する外部不経済を考慮したうえで、3種類の経済政策が社会厚生に及ぼす影響を比較して社会厚生の観点から望ましい政策の評価を行った。

(3) 寡占卸電力市場の投資と発電の2段階意思決定モデルをもとに、東北・関東地域を対象として、大規模な太陽光発電および風力発電の断続性(intermittency)が卸電力市場の取引と価格に及ぼす影響を明らかにした。具体的には、再生可能エネルギーによる発電を行う競争的プリンジ企業と、化石燃料による発電および再生可能エネルギーによる発電をともに行う寡占企業が、卸電力市場において電力供給を行う状況を想定し、純粹戦略完全ベイジアン・ナッシュ均衡の概念を適用して企業行動の分析を行った。分析では、再生可能エネルギーによる発電に対する設備投資と電力供給を対象とし、企業にとって最適な意思決定を想定した。また、東北・関東地域の主要な太陽光発電・風力発電設備の立地点における日照時間・平均風速のデータを用いて、再生可能エネルギーによる発電の断続性が電力市場の取引および価格に及ぼす影響を分析した。

また、再生可能エネルギーによる発電を促進するための経済的政策手段として、固定価格買取制度・フィードインプレミアム・炭素税の3つを取り上げ、これらの政策のもとで再生可能エネルギーによる発電の断続性がどのように電力市場に影響を与えるのかを明らかにした。具体的には、気象条件などの変動に関する地点間の相関を考慮した空間経済モデルを用いて、再生可能エネルギーによる発電の立地特性による政策の効果を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Matsukawa, Isamu | 4. 巻 57 |
| 2. 論文標題 Detecting Collusion in Retail Electricity Markets: Results from Japan for 2005 to 2010 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Utilities Policy | 6. 最初と最後の頁 16-23 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jup.2018.12.005 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 Matsukawa, Isamu | 4. 巻 53 |
| 2. 論文標題 Information Acquisition and Residential Electricity Consumption: Evidence from a Field Experiment | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Resource and Energy Economics | 6. 最初と最後の頁 1-19 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.reseneeco.2018.02.001 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Matsukawa, Isamu |
| 2. 発表標題 Optimal Taxation and Subsidization in Electricity Markets with Renewable Energy Sources |
| 3. 学会等名 The 94th Annual Conference of Western Economic Association International（国際学会） |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計2件

| | |
|------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 馬奈木 俊介 | 4. 発行年 2023年 |
| 2. 出版社 中央経済社 | 5. 総ページ数 296 |
| 3. 書名 社会問題を解決するデジタル技術の最先端 | |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Hatanaka, T. | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 Springer | 5. 総ページ数 341 |
| 3. 書名 Economically Enabled Energy Management | |

〔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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|