

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K13387

研究課題名（和文）Renewable Penetration, Integration Costs and the Roles of the Power Grids: A Spatial Econometric Analysis for Prefectures in Japan

研究課題名（英文）Renewable Penetration, Integration Costs and the Roles of the Power Grids: A Spatial Econometric Analysis for Prefectures in Japan

研究代表者

ZHANG TUO (ZHANG, TUO)

京都大学・経済学研究科・特定助教

研究者番号：10925407

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、日本電力市場における再生可能エネルギーの経済的影響を詳細分析しました。特に、太陽光発電の普及により住宅電気料金が上昇し、一方で商業・産業部門はコスト削減が見られるという異質な影響を明らかにしました。研究により、「duck curve」現象と「peak shifting」が電力価格に与える影響、またPHSの調達活動が価格安定化に及ぼす作用が浮き彫りしました。これらの結果は、再生可能エネルギーの統合が市場価格形成に与える複雑さと、市場公平性と持続可能性を確保するための政策介入の重要性を示唆しています。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義として、本研究は再生可能エネルギーの市場価値と価格形成メカニズムの間の相互作用を解明し、電力市場における変動性と非調和性の経済的影響を定量化しました。また、PHSの調達活動を通じて価格安定化のメカニズムを明らかにし、再生可能エネルギーの経済的効率性と統合可能性を評価しました。

社会的な意義では、本研究は、再生可能エネルギーの普及が住宅消費者と商業・産業部門に与える異質な影響を明らかに、市場公平性の問題提起しています。さらに、効果的な政策介入が持続可能なエネルギー市場の実現に必要であることを示唆し、政策立案者が市場動向を考慮した包括的な政策を構築する手助けをしています。

研究成果の概要（英文）：This study provides an in-depth analysis of the economic impact of renewable energy integration in the Japanese electricity market. It reveals the heterogeneous effects of solar power proliferation, where residential electricity prices increase while commercial and industrial sectors see cost reductions. The research identifies the impact of 'duck curve' and 'peak shifting' phenomena on electricity pricing and highlights the stabilizing role of pumped hydro storage (PHS) in price regulation. The findings suggest the complexity of renewable energy integration on market price dynamics and the importance of policy interventions for market fairness and sustainability.

研究分野：再生可能エネルギー経済学

キーワード：再生可能エネルギー経済学 可再生エネルギーの大量導入 電力市場 グリーン・トランジション ダック・カーブ 最適ディスパッチモデル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に対抗するために、再生可能エネルギーの導入が世界的な課題となっています。特に、日本のエネルギー政策は、太陽光と風力などの可再生エネルギーを積極的に推進していますが、これらが電力市場に与える影響は依然として解明されておりません。太陽光発電の設置容量が急増し、自然ガスを上回る最大の電源となり、電力市場における変動性と非調和性の経済的影響が顕在化しています。また、「ダックカーブ」や「ピークシフト」などの現象が、電力価格の変動を引き起こし、消費者グループ間の影響が異質的であることが指摘されています。

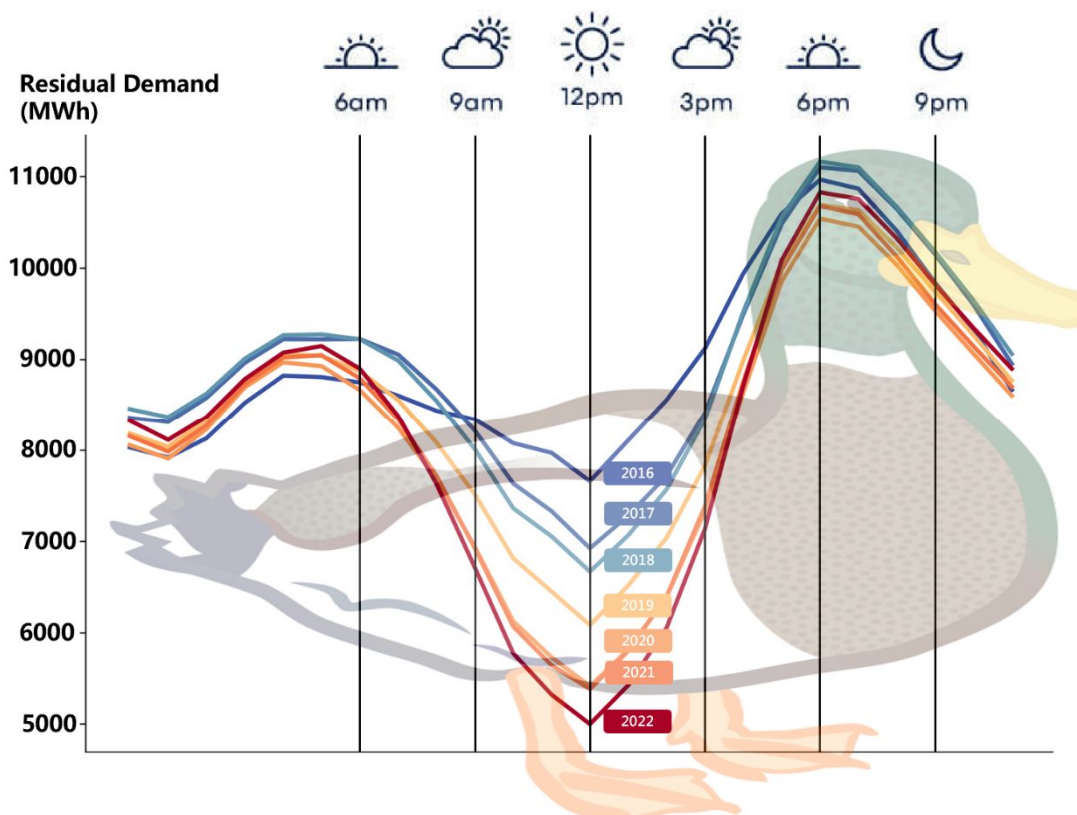


Figure 1 The Duck Curve Phenomenon from 2016 to 2022 in Kyushu

本研究は、このような状況を踏まえ、再生可能エネルギーの大量導入が電力市場の価格形成メカニズムに与える影響を定量的に評価し、政策介入による市場公平性と持続可能性の確保に向けた提言を目指しています。また、抽水蓄能 (PHS) の調達活動や、需要応答メカニズムを通じた価格安定化の効果を考察し、再生可能エネルギーの経済的効率性と統合可能性を評価しています。

2. 研究の目的

本研究は、以下のような特定の目的を持ち、再生可能エネルギーの大量導入が日本の電力市場に与える影響を探求しています。

1. 太陽光発電の影響の定量評価: 「ダックカーブ」や「ピークシフト」現象を通じて、太陽光発電が時間帯別の電力需要と価格に与える影響を定量的に分析し、異なる消費者グループへの異質的な影響を明らかにする。
2. 抽水蓄能 (PHS) の価格安定化効果: PHS の調達活動が太陽光発電による電力価格変動をどのように緩和し、消費者間の経済的影響をどのように軽減するかを研究する。

3. 自由化政策の影響: 電力小売市場の全面自由化が住宅電気料金に与える影響を実証的に評価し、新参入事業者との競争が価格形成にどのように寄与しているかを探求する。

4. 市場力量と再生可能エネルギーの関係: 市場集中度が再生可能エネルギー時代の電力価格にどのように影響し、変動性/整合コストが市場構造に与える影響を分析する。

5. 長期的な電力市場シミュレーション: PyPSA-Japan2050 モデルを用いて、再生可能エネルギーの将来的な市場価値をシミュレーションし、炭素価格政策と需要応答メカニズムが市場価値に与える影響を評価する。

6. 政策提言の具体化: 再生可能エネルギーの経済的効率性と市場統合を確保するための包括的政策介入を提案し、投資家と政策立案者が持続可能なエネルギー市場を実現するための戦略を検討する。

これらの目的を達成することで、再生可能エネルギーの導入が日本の電力市場に与える経済的な影響を深く理解し、効果的な政策立案と市場参入戦略の構築を目指しています。

### 3. 研究の方法

本研究では、再生可能エネルギーの導入が電力市場に与える影響を評価するために、計量経済学的方法とシミュレーション手法を組み合わせ使用しました。これらの方法は、それぞれ異なる優位性と劣位性を持ち、研究の深さと幅を確保しています。

#### 3.1 計量経済学的方法

計量経済学的方法は、実証データに基いて経済変数の関係を数値的に分析し、政策の経済的影響を評価する手法です。本研究では、電力小売市場の自由化政策や市場集中度の変化と電力価格の関係を定量的に評価するために、この方法を応用しました。

長所:

- 実際の市場データを活用して、経済変数の因果関係を明確に把握できる。
- 政策の経済的影響を客観的に評価し、具体的な政策提言を導く。

短所:

- 市場データの限界やノイズに敏感で、分析結果にばらつきをもたらす可能性がある。
- 経済関わりの非線形性 (nonlinearity) を完全に処理することは困難であり、モデルの簡略化が必要になる場合がある。

#### 3.2 シミュレーション手法

シミュレーション手法は、現実の経済システムを数学的モデルで表現し、様々な政策シナリオを仮定的に評価する方法です。本研究では、再生可能エネルギーの市場価値動態と、炭素価格政策や需要応答メカニズムの効果をシミュレーションしました。

長所::

- 未来の状況や政策の変更を仮定的に評価し、政策の長期的な影響を予測できる。
- 複雑な経済システムのダイナミクスを包括的に捉え、政策の潜在的な結果を予見する。

短所:

- モデルの仮定やパラメータの選択が結果に大きな影響を与える可能性がある。
- 現実世界での様々な不確定要素を完全に再現することは困難で、モデルの適用範囲に制限がある。

結合する意義: 計量経済学的方法とシミュレーション手法を組み合わせることで、現実の市場

データと未来のシナリオを踏まえた分析が可能になります。この方法論的アプローチにより、再生可能エネルギーの導入が電力市場に与える影響を包括的に評価し、より効果的な政策立案に貢献することができます。

#### 4. 研究成果

本研究の成果は、各研究目的に沿って以下のようにまとめられます。

- 太陽光発電の影響の定量評価:太陽光発電の浸透は、住宅消費者向けの電気料金を約0.459 円/kWh 上昇させたと推定されました。商業・産業部門の消費者には、太陽光発電の浸透により電気料金が約0.397 円/kWh 下がったと観察されました。
- 抽水蓄能 (PHS) の価格安定化効果:PHS のチャージング活動は、商業・産業部門向けの小売価格の上昇を緩和し、太陽光発電による影響を軽減する効果を持ちます。一方で、PHS のディスチャージング活動は、住宅価格への影響は限定的であり、太陽光発電の浸透が依然としてコスト上昇の主な要因です。
- 自由化政策の影響: 電力小売市場の全面自由化により、新参入事業者の市場シェアが増加し、競争を促進することで、住宅用電力価格の低下に貢献していることが示唆されています。
- 市場力量と再生可能エネルギーの関係:市場集中度が高くなると、再生可能エネルギー発電の変動性により、電力価格の上昇プレッシャーが増加する可能性があります。
- 長期的な電力市場シミュレーション: PyPSA-Japan2050 モデルを用いたシミュレーション結果によると、再生可能エネルギーの市場価値は、その市場での浸透率が高くなるにつれて下がる傾向にあることが明らかになりました。炭素価格政策の導入は、再生可能エネルギーの市場価値を向上させる可能性があります、その効果は時間とともに減少する傾向にあります。
- 政策提言の具体化:再生可能エネルギーの経済的効率性と市場統合を確保するためには、市場メカニズムに基づくインセンティブと規制支援の包括的な政策アプローチが必要であることが示唆されています。

本研究の結果は、再生可能エネルギーの導入が電力市場に与える経済的な影響を解明し、持続可能なエネルギー市場の実現に向けた政策立案の重要性を強調しています。また、投資家に対しては、再生可能エネルギー市場の長期的なトレンドを考慮した投資戦略の重要性を指摘しています。

#### 【参考文献】

1. Chu, S., & Majumdar, A. (2012). Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature*, 488(7411), 294-303.
2. Creutzig, F., Agoston, P., Goldschmidt, J. C., Luderer, G., Nemet, G., & Pietzcker, R. C. (2017). The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change. *Nature Energy*, 2(9), 1-9.
3. Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50.
4. Hou, Q., Zhang, N., Du, E., Miao, M., Peng, F., & Kang, C. (2019). Probabilistic duck curve in high PV penetration power system: Concept, modeling, and empirical analysis in China. *Applied Energy*, 242, 205-215.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Guo Yanjun, Zhang Tuo, Li Ruotong	4. 巻 12
2. 論文標題 Priority to Self-Interest? Economic Development? Or Ecological Coordination? The Turnover of Local Officials and Environmental Governance in China	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Land	6. 最初と最後の頁 91 ~ 104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/land12010091	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 ZHANG TUO
2. 発表標題 日本電力小売全面自由化が小売価格に与える影響に関する実証研究
3. 学会等名 環境経済・政策学会(SEEPS) 2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ZHANG TUO
2. 発表標題 An Empirical Study on the Competitive Bidding Strategies of Traditional Power Suppliers under the Integration of Renewable Energy
3. 学会等名 Asian Association of Environmental and Resource Economics (AAERE) Congress 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ZHANG TUO
2. 発表標題 2050CN目標達成に向けた再エネ大量導入の電力市場への影響シミュレーション
3. 学会等名 第4回 京都大学再エネ講座シンポジウム2023.
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ZHANG TUO
2. 発表標題 High Gas Price and Power System Flexibility: Scenario Analysis on the Japanese Power System through PyPSA-Japan
3. 学会等名 Grand RE 2022 ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ZHANG TUO
2. 発表標題 日本の電力市場における価格転嫁に関する計量分析
3. 学会等名 科研費プロジェクト第5回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ZHANG TUO
2. 発表標題 "電力小売全面自由化が小売価格に与える影響に関する実証研究 "
3. 学会等名 科研費プロジェクト第7回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ZHANG TUO
2. 発表標題 "Renewable Penetration, Market Power, and Electricity Price: The Case of the Electricity Price Spike in the Japanese Wholesale Markets "
3. 学会等名 環境経済・政策学会 (SEEPS) 2022年大会
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------