

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 金 光一

論 文 題 目 発電源間の代替-補完関係と電源構成の
エネルギー・環境経済学的分析

論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院経済学研究科(教授) 根本 二郎

名古屋大学大学院経済学研究科(教授) 薛 進軍

名古屋大学大学院経済学研究科(教授) 柳原 光芳

本論文の概要

(1) 本論文の目的

本論文は、脱炭素社会実現のために不可欠な再生可能エネルギーを電源として電力系統の中にどこまで投入できるかという問題について、経済学的方法により分析することを目的としている。現在、再生可能エネルギーの導入促進は世界的課題であり、各国で種々の政策手段による取組がなされている。日本も例外ではなく、固定買取価格制度によって太陽光発電の増加は顕著である。しかし、再生可能エネルギーは出力が自然条件の影響を受け、電源として利用するには発電量を自由にコントロールできないという性質がある。このため、電力系統に接続した場合、系統の安定を維持するために追加的な費用を要するという問題が生じる。

本論文ではこの問題を経済学的に取り扱うため、異なる電源によって発電される電力は互いに完全に代替可能な財ではなく、有限の代替弾力性で特徴づけられる代替財あるいは補完財とみなす。その上で送電部門の費用関数モデルを構築し、それによって送電ネットワークへの電源接続問題を分析することが主たる学術的貢献となっている。

(2) 本論文の構成と内容

本論文は第1章から第5章によって構成されている。

第1章は序論であり、気候変動問題への対策として削減される火力発電の代替電源が必要なこと、世界的に再生可能エネルギーの増加に大きな期待が寄せられていること、再生可能エネルギーの大規模導入には電力系統の安定化費用を要することが述べられ、再生可能エネルギーを含む電源構成に関連する先行研究のサーベイが主にヨーロッパの研究についてなされている。次いでヨーロッパに比べ送電網が孤立していて小規模な日本と韓国において、送電安定化に必要なバックアップ電源の問題がより重要になること、その一方で日韓においても政策的な誘導により再生可能エネルギーのシェアが増大傾向にあることが述べられ、この両国で再生可能エネルギーがどこまで他電源を代替できるかという問題が重要になっていることを指摘している。

この目的のため、本論文の以下の章では、異なる電源で発電された電力間の送電部門における代替・補完関係を実データから計測し、その結果を反映した CGE モデルを構築して炭素税による CO₂ 排出量削減を分析するとしている。

第2章では、代替弾力性を計測するために特定化される送電部門の費用関数の関数型について検討されている。本論文は、送電部門を石炭、LNG、原子力、再生可能エネルギーの4電源から得られる発電電力量を投入し、最終需要家へ供給する電力を産出する単一のユニットとみなし、その費用関数をいずれかの関数型で特定化

して代替弾力性を計測する。これを行うために、エネルギー経済学の分野で特に多用されている入れ子型 CES 関数 (Nested CES) を適用することが妥当かどうか、韓国電力取引所の電源別発電電力量の月次時系列データ (2006 年 1 月～2013 年 12 月) による統計的分析が行われている。その結果、どのような入れ子構造を仮定しても入れ子型 CES 関数の妥当性は棄却され、したがってより伸縮的な関数型を採用することが必要であると主張されている。

第 3 章は、この結果を受けてトランスログ型による送電部門の費用関数が定式化され、前章と同じ韓国電力取引所のデータを用いてヒックス・アレンの偏代替弾力性と森嶋の偏代替弾力性が計測されている。トランスログ型費用関数の推定においては、送電部門の資本、労働など電力以外の投入要素が電力から弱分離可能であることが仮定される。この仮定の下では、電源別発電電力量の間の代替弾力性の値はその他の投入要素の水準から独立となり、電力量のデータのみで代替弾力性が計測可能となっている。代替弾力性の計測結果は、火力発電 (石炭、LNG) と原子力の間に代替関係、再生可能エネルギーと火力発電 (石炭、LNG) の間に代替関係が成り立つ一方、再生可能エネルギーと原子力の間に補完関係が成立することを示している。この結果から得られる含意として、再生可能エネルギーで火力発電を代替して CO₂ 排出量を抑制することは可能だが、再生可能エネルギーを増やすためにはバックアップあるいは系統安定化電源として原子力が必要となる可能性が示唆されている。

第 4 章は、前章と同様のトランスログ型費用関数を送電部門に組み込んだ多部門 CGE モデルにより、炭素税導入効果のシミュレーション分析を行っている。分析対象国は日本とし、日本の 2005 年産業連関表全国表と早稲田大学の研究グループが推計した次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の情報を利用して、電力部門を送電部門と再生可能エネルギー発電、火力発電、原子力発電、水力発電の計 5 部門に細分化し、電力以外の 11 部門を併せた 16 部門の投入産出体系をベースにした多部門 CGE モデルが構築されている。送電部門の費用構造はトランスログ型、それ以外の部門の費用構造はレオンチェフ型、各部門の付加価値生産はコブ・ダグラス型で定式化され、一般均衡解を求めて各部門の生産量とそれに伴う CO₂ 排出量が決定される。電源別発電電力量の間の代替・補完関係についていくつかのケースが想定され、送電部門のトランスログ型費用関数のパラメータにそれらが反映されている。そのとき想定する電源間の代替・補完関係としては、前章の推定結果を参考にしてすべての電源が代替的である場合 (代替ケース) と、再生可能エネルギーと原子力、水力の関係のみ補完的である場合 (補完ケース) の二通りが設定されている。

シミュレーション分析の結果によれば、炭素の排出量に応じて電源に課税すると、代替ケースでも補完ケースでも火力発電が減少し他のすべての電源が増加する。このとき、特に再生可能エネルギーの増加は顕著である。しかし火力の減少は

代替ケースの方が大きく、火力を代替する再生可能エネルギーの伸びも代替ケースの方が大きい。これに対して、原子力と水力の増加は補完ケースの方が大きくなる。この結果は、再生可能エネルギーの増加とともに、バックアップ電源ないし系統安定化電源として原子力、水力の必要が生じたものと解釈されている。

第5章では、前章までの結論が要約され、若干の政策的含意と今後の課題が述べられている。

2. 本論文の評価

本論文について、学術上の貢献として以下の2点を指摘することができる。

第1に、電源構成を議論するときには系統安定化の問題を分析するツールとして、送電部門の費用関数を用いる簡単な方法を見出したことである。たとえば太陽光発電電源を系統に接続する際に発生する系統安定化費用の評価は、理論的には電力システム工学の物理法則に基づくモデルで可能なはずであるが、実際に解析できるのは単純化されたネットワークについてのみであり、日本全体あるいは地域大の電力系統を対象にすることは困難である。また経済学では通常この問題を発電部門における設備代替の問題として扱うため、電源別に発電設備に関する詳細なデータが利用可能でなければ分析できない。これに対し異なる電源から得られた電力を送電部門の個別の投入要素とみなし、それら相互の代替・補完関係をモデル化することで系統安定化費用の分析ができるという着想は、独自のものであり高く評価できる。

第2に、トランスログ型費用関数を送電部門に組み込んだ多部門CGEモデルを構築し、シミュレーション分析によって炭素税の効果を分析できたことである。CGEモデルの多くは生産技術を定式化するのにコブ・ダグラス型またはCES型を用いるが、いずれも取り得る代替弾力性の値が制約的であり補完的な関係はモデル化できない。入れ子型CES関数の場合はもう少し制約が緩和されるがトランスログ型ほどの一般性はない。しかし標準的なCGEモデルの立場からは、トランスログ型の利用はその非線形性によって生じる複数解など数値解法上の困難をもたらす。本論文は、トランスログ型費用関数に基づく要素需要システムを厳密に定式化すると共に、感度分析を慎重に行って妥当な数値解を得ることに成功しており、トランスログ型の有用性を実証した点で評価に値する。

他方、本論文には、なお改善の余地が残されていることも指摘できる。

第1に、本論文は再生可能エネルギー電源が電力系統にどこまで接続可能かを分析しているが、その背後の問題意識としてCOP21で合意された各国のCO₂排出削減目標があることは明らかである。にもかかわらずCGEモデルによるシミュレーション分析では、CO₂排出量の最小化問題が解かれていない。あるいは削減目標を最小費用で達成する電源構成が解かれていない。本論文の多部門CGEモデルを直ちに最適化モデルに転用することはできないとしても、もう少しの修正と改良によってこの種の興味ある問題の分析ができたのではないかと惜しまれる。

第2に、本論文では日本と韓国を対象にしているが、分析期間中(2010年前後)における再生可能エネルギーの全電源に占めるシェアは2ないし3パーセント程度に止まる。再生可能エネルギーの系統接続問題を分析するには低すぎるシェアではないかと懸念される。日韓両国ともこの10年間で再生可能エネルギーの導入は急

論文審査の結果の要旨

拡大しており、より最近時点のデータを使っていれば代替弾力性の計測もより安定した推定値が得られたのではないかと考えられる。あるいは再生可能エネルギーのシェアが大きいヨーロッパとの比較研究がなされていれば、結論の説得力が増したのではないかと思われる。

しかし、以上のような留保を考慮しても本論文の学術的価値は否定されることはなく、当該分野の研究に対する貢献は疑う余地なく評価できるものであるといえる。

3. 結論

以上の評価に基づき、われわれは本論文が博士（経済学）の学位に値するものであることを認める。

2020年2月19日

論文審査担当者

主査	名古屋大学大学院経済学研究科教授	根本 二郎
委員	名古屋大学大学院経済学研究科教授	薛 進軍
委員	名古屋大学大学院経済学研究科教授	柳原 光芳

--