

2019 年度 博士学位請求論文

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

－論文の要約－

名古屋大学大学院経済学研究科

金光一

地球温暖化への対策として、各国は温室ガスの排出を抑制するための政策を立てている。発電部門は経済全体の中でも温室ガスの排出量が多いとされる部門であり、地球温暖化に対処するための各国の政策では、発電時の温室ガス排出を減らすための考慮も含まれている。それは適切な電源構成で火力発電のシェアを減らすことである。火力発電の発電量を減らすためには、減少する火力発電量を他の電源で適切に代替することが必要不可欠であるが、その代替電源の条件は温室ガスの排出量が少なく、現代社会の莫大な電力需要に対応できることである。その条件を満たす代替電源の有力な候補として今までは原子力発電が挙げられてきた。しかし、2011年3月に発生した東日本大震災とそれに伴った福島第一原発事故以来、原子力発電のリスクへの懸念が高まっている。

以上の事項が示しているように、これからの電力・エネルギー政策のキーワードは地球温暖化への対策と安全である。これらのキーワードを考慮した新しい電源構成政策では、太陽光発電や風力発電で代表される再生可能エネルギーが注目されており、各国は再生可能エネルギーから電力を大量に供給することを将来の電力政策として検討している。例えば、韓国政府は2017年に発表した「第8次電力需給基本計画」で、原子力発電と石炭火力発電を段階的に縮小・廃止し、再生可能エネルギーによる発電量のシェアを20%以上に

することを明らかにした。また、日本政府は「長期エネルギー需給見通し」という資料で、2030年までに全体の22~24%の電力を再生可能エネルギーで供給することを発表している。韓国と日本の将来の電源構成の政策が持つ共通点は再生可能エネルギーによる発電が占める割合を現在より高くすることである。しかし、再生可能エネルギーは発電を自由にコントロール出来ない問題があり、グリッド内に大量に設置された場合、グリッド全体が不安定になる可能性が指摘される。その一例が、九州電力が大停電を防ぐ目的で、太陽光発電などの再生可能エネルギーで発電した電力の供給を制限したことである。これは既存の電源に対する再生可能エネルギーの代替可能性について疑問が残っていることを反映している。詳しく説明すると、消費者が評価する電力は電源に関係なく同一な財であり、違う電源で発電した電力としても互いに完全代替財となる。しかし、供給者が評価した電力には各電源の物理的な特性の違いがグリッドの管理費用の違いとして反映される。従って、違う電源で発電した電力の間にはグリッドの安定化費用に差が発生してしまい、その結果、同じ1kWhの電力としても互いに完全代替財ではなくなる可能性がある。以上から考えると、再生可能エネルギーを主力電源の一つとすることを骨子とする電力政策を改善し、経済的かつ環境的に持続可能にするためには、再生可能エネルギーが既存の電源をどの程度に代替できるかを明確にする必要がある。本

研究はこの点に注目し、再生可能エネルギーと既存の電源の間の代替－補完関係を調べる一方、多数のシナリオに基づいた政策分析を通し、電源構成に関する社会的・経済的分析に貢献することを目的に行われた。

本学位論文の第2章では、電源構成の分析において Nested CES 関数を使ったモデルの利用可能性を調べた。Nested CES 関数はモデルの作成と計算が容易であり、かつ経済学の研究で扱い易い長所を持つ関数である。そのため、今までのエネルギー経済学分野のモデルでは Nested CES 関数が多数使われて来た。本研究では Nested CES 関数の利用可能性を調べるために、電力部門の状況を反映できる、石炭、LNG、原子力、再生可能エネルギーの4種類の電源の構成に関する4つのシナリオを設け、根本(1984)が提案した方法を応用して各シナリオの仮説検定を行った。4つのシナリオは、シナリオ①： $f(C, G, N, R)$ 、シナリオ②： $f_1(f_2(C, G), f_3(N, R))$ 、シナリオ③： $f_1(f_2(C, N), f_3(G, R))$ 、シナリオ④： $f_1\{N, f_2(C, f_3(G, R))\}$ である。ここで C 、 G 、 N 、 R は石炭火力、LNG 火力、原子力、再生可能エネルギーを意味し、 f は CES 関数である。シナリオ①は Nested structure の不在、シナリオ②は Papageorgiou et al. (2013) が提案した、温室ガスを排出する“汚い技術”と排出しない“清い技術”の分類、シナリオ③は天然ガスと再生可能エネルギーの組み合わせとして表される新型の電源と、石炭と原子力の組み合わせで表される旧型の電源との代替、シナリオ④は原

子力に対する近年の強い警戒心を表すモデルである。これらのシナリオについて、韓国の 2006 年 1 月から 2013 年 12 月までの月次データを用いて F 検定を行ったが、全てのシナリオが棄却される結果が得られた。この結果は Nested CES 関数のモデルで電源間の経済的な関係を調べることは難しいことを示唆する。実に Nested CES 関数は投入要素の間の代替構造と全ての代替弾力性を知っているという強い前提が必要であり、かつ関数形が硬直である特性を持つ。以上から、電源構成の分析のためにはより柔軟な関数を使ったモデルが必要であるという結論が得られた。

第 3 章ではトランスログ費用関数を使い、石炭火力、LNG 火力、原子力、再生可能エネルギーの 4 つの電源の間の代替弾力性を推定した。トランスログ費用関数を使うのは、第 2 章で行った Nested CES 関数モデルの仮説検定の結果で、柔軟な関数を使ったモデルがより適切である可能性が見つかったからであり、最近の環境・エネルギー経済学分野の研究でもトランスログ関数の利用が注目されているからである。第 3 章の研究で用いたデータは第 2 章と同様に、韓国電力取引所の月次データが用いられた。

モデルの作成では、まず、電力を電源(i.e. 石炭火力、LNG 火力、原子力、再生可能エネルギー)から購買し最終需要者に送・配電する、独占的な電力会社を想定する。その電力会社の生産関数は各電源からの電力購買量と送・配電

網の設備、すなわち、資本、そして労働を変数として持つ関数である。各電源で発電した電力の集合が資本および労働と弱分離可能であり、全体の生産関数がホモセティックであると仮定し、生産関数に双対な費用関数を電力会社の費用最小化条件から導いた。ここで、弱分離可能の仮定をしているため、これからの議論を電力の価格のみの関数に集中することが可能になる。従って、本研究では電力価格のみの関数をトランスログ費用関数と仮定し、モデルの基本式として用いた。

モデルの統計分析を通して Hicks-Allen 代替弾力性と Morishima 代替弾力性を推定した結果、再生可能エネルギーと原子力発電の間に補完関係が成り立ち、再生可能エネルギーと火力発電(石炭、LNG)の間には代替関係が成り立つ可能性が見つけられた。この結果は再生可能エネルギーの設備容量を増やすためには、原子力発電がバックアップとして必要となる可能性を示している。

第4章では第3章で導いたトランスログ費用関数モデルを CGE(Computable General Equilibrium)分析に応用した。CGE 分析は産業連関表、もしくは社会会計行列(Social Accounting Matrix, SAM)を使い、ある政策が施行された場合の経済の一般均衡の変化を調べることで、政策の効果を評価する分析法である。第4章の研究では日本政府が2005年に発表した産業連関表を基に、早稲田大学の次世代科学技術経済分析研究所が作成した拡張産業連関表をデータとして

用いた。同表は経済全体の産業部門を 124 部門に統合し、その内、電力部門を送・配電と再生可能エネルギー発電を含む 8 部門に細分化した特徴を持っている。

今までの CGE モデルのほとんどは Leontief 関数と CES 関数で作られて来た。これらの関数は計算が容易であり、経済学の研究で使い易いという長所を持つ。しかし、これらの関数は比較的硬直的な関数であり、投入要素間の代替関係は容易に表現できるが、補完関係を表現することが難しいという短所を持つ。従って、今までの CGE モデルを使い電源間の補完関係までを考慮した分析をすることは難しい。日本と韓国の将来の電源構成計画のように再生可能エネルギーが大量に導入された場合には、再生可能エネルギーの変動性の影響が大きくなることは想定可能な状況である。従って、再生可能エネルギーを大量に導入する政策の経済的な評価には、電源間の経済的な関係に関する多様なシナリオの分析が必要である。そのために第 4 章では、各電源で発電した電力を送・配電部門が購買し集め、中間財投入と最終需要側に流す過程をトランスログ費用関数で表した CGE モデルを提案した。第 3 章の研究では石炭、LNG、原子力、再生可能エネルギーの 4 種類の電源を考えたが、第 4 章では、利用した産業連関表では火力発電が細部分類されていない点、政策の立案では水力の考慮も必要である点から、原子力、火力、水力、再生可能エネルギー

一の4種類の電源を考えた。

本研究で仮定した、電源間の経済的な関係に関するシナリオは、シナリオ

①：全ての電源が互いに代替関係であるシナリオ(代替シナリオ)と、シナリオ

②：再生可能エネルギーと原子力、水力の関係が補完関係であるシナリオ(補

完シナリオ)、の2つである。2つのシナリオでの火力と他の3つの電源との

関係は代替関係のみである。また、補完シナリオは原子力と水力が再生可能エ

ネルギーのバックアップ電源として使われることを意味する。

それぞれのシナリオについて炭素税の効果がどう表れるかを調べた。日本

では現在、「地球温暖化対策のための税」の名前の税が賦課されており、その

税率は温室ガスの排出量(トン)当たり289円である。本研究では現在の「地球

温暖化対策のための税」の税率を基本炭素税率とし、比較としてトン当たり

600円、2000円の税率を想定した。CGE分析の結果、炭素税の賦課により火

力発電から原子力、水力、再生可能エネルギーへ電源の代替が起きることが確

認された。また、その電源代替の傾向は炭素税率が上がることにより著しくな

った。注目すべき点は、補完シナリオでは再生可能エネルギーの発電量の増加

率が代替シナリオの結果より少し小さくなり、原子力と水力の発電量の増加

率は少し大きくなったことである。補完シナリオは原子力と水力の再生可能

エネルギーに対するバックアップとしての役割が強調されるシナリオである

が、分析の結果は、バックアップとしての役割が重要となる状況では火力から再生可能エネルギーに代替される発電の一部が原子力と水力に回されなければいけないことを意味する。