

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主論文の要旨

論文題目

中国の再生可能エネルギー導入の経済効果と環境効果に関する研究
—風力発電と太陽光発電を事例として—
(Economic and Environmental Impacts of Introduction of Renewable Energy in China: Case Studies of Wind Power and Solar Power)

氏名

王 嘉陽

論文内容の要旨

1. 本稿の背景, 問題意識, 研究目的, 研究方法

現在の中国の石炭中心のエネルギー構造のままでは, 今後のエネルギー消費量の増加が環境保全・地球温暖化防止の妨げとなること明らかである. 中国政府は火力発電を再生可能エネルギー発電で代替し, CO₂ などの環境負荷物質の排出を削減する目標を立て, エネルギー構造改革を図っている. 再生可能エネルギー発電促進政策の策定においては, 経済全体を視野に入れて再生可能エネルギー発電導入による経済と環境への効果を分析する必要がある. 一方, 再生可能エネルギー発電の送電問題は, 今後の再生可能エネルギー発電の発展に対する大きな障壁である. 再生可能エネルギー発電の普及促進のためには, 再生可能エネルギー発電促進政策, 送電費用負担制度と発電所の立地地点の合理性を分析して, どの場所での立地が経済性と環境効果を高ためるかについて分析することが求められる. また, 分散型再生可能エネルギー発電は送電問題を解決する有効な手段だと考えられるが, 分散型の経済性と環境効果の評価は定まっていないため, 送電費用込みの大規模と分散型の効果を経済と環境の両面から比較する必要がある.

以上の問題意識を踏まえ, 本稿では以下の2点を研究目的とする.

研究目的1: 再生可能エネルギー発電の導入を建設段階と運転段階に分けて, 産業連関分析により, それぞれの経済と環境への効果を分析する.

研究目的2: 大規模風力発電立地地点の経済的合理性を検討し, 送電費用込みの大規模と分散型再生可能エネルギー発電導入による経済と環境への影響を分析する.

分析対象としては, 現在中国で最も利用が進んでいる風力発電と太陽光発電をとりあげる. 研究方法として, まず, 再生可能エネルギー発電の導入の経済と環境への影響を, 産業連関分析を用いて分析する. 分析は建設段階と運転段階に2段階に分けて行う. 建設段階については, 分析対象の財・サービスを調査し, 静学的産業連関オープンモデルを用いて, 1kWあたりの発電設備容量の施設建設による直接・間接の生産誘発額とCO₂排出誘発量を推計する. 運転段階については, 伝統的な産業連関分析より現実的な前提に立つ, シナリオ産業連関分析とよばれる手法を用いた分析を行う. ここでは,

複数の発電アクティビティが電力を生産すると想定し、中国の電力部門のシナリオ産業連関分析表を作成する。その上で、再生可能エネルギー発電を含む中国の電力産業の電源構成の変化が、経済と環境にどのように影響するかについて検討する。

次に、大規模風力発電に関する立地地点の経済的合理性を検討する。ここでは、再生可能エネルギー発電所立地する際に、立地費用と都心からの距離の関係を扱う立地費用最小化モデルを利用する。戒能(2009)は再生可能エネルギーの密度が低いため、1kWの再生可能エネルギー発電設備の設置に必要な土地面積は火力発電より大きいという特徴から、大規模な再生可能エネルギー発電設備を立地する場合、立地に関する費用は都心からの距離に関係すると指摘する。さらに、送電費用を負担する主体の違いによって、立地地点は立地費用最小化に対応する地点から離れると指摘する。本稿では、北京周辺の風力発電を研究対象として、地価、都心からの距離と立地費用を分析した上で、最小立地費用とそれに対応する距離を分析する。

最後に、送電費用込みの大規模と分散型再生可能エネルギー発電設備導入の経済と環境への効果を比較する。分散型再生可能エネルギー発電は送電問題の有効な解決手段だという意見がある。しかし、一般的に大規模発電設備は分散型より発電コストが低く、環境効果が高いと言われている。中国の場合、大規模発電所は電力需要地から遠方に設置されているため、長距離送電が必要である。そこで、送電による経済と環境への影響を産業連関分析で推計して、送電費用込みの大規模と分散型再生可能エネルギー発電を比較する。

2. 第3章、産業連関分析による再生可能エネルギー発電の建設段階の経済と環境効果分析

産業連関分析の静学オープンモデルを使用して、再生可能エネルギー発電の建設段階の経済と環境波及効果を分析した。先行研究を参考に、風力発電と太陽光発電のモデルプラントにおける発電設備容量および1kW設備当たり建設費を想定する。そして、想定した建設費用を中国2012年産業連関表編制指針(2014)と技術的な参考文献に基づいて、各中間投入部門に分割し、建設費用の構成表を作成する。この表は消費者価格ベースなので、商業マージンを代入して、生産者価格ベースの表を算出する。生産者価格表の費用構成は各再生可能エネルギー発電の最終需要ベクトルとして与えて、レオンチェフ逆行列を乗じることで、生産誘発額ベクトルが算出される。そして、算出される生産誘発額に、CO₂排出原単位(生産量1万元あたり)を乗じれば、各発電設備建設段階のCO₂排出誘発の直接・間接波及効果を算出する。

分析の結果、風力発電と太陽光発電の生産誘発額はそれぞれ3.389万元/kWと2.686万元/kWである。CO₂排出誘発量はそれぞれ2.288t-CO₂/kWと1.861t-CO₂/kWである。CO₂排出原単位はそれぞれ0.0633kg-CO₂/kWhと0.0768kg-CO₂/kWhである。また、中国の各地域電力産業の単位発電量あたりのCO₂排出量は0.8095~1.1281kg-CO₂/kWhと比較して、風力発電と太陽光発電の環境効果が優れていることがわかる。一方、未発電率が高くなると年間発電量が低下し、再生可能エネルギー発電のCO₂排出量に大きく影響している。送電問題地域の発電制限を解消すれば、再生可能エネルギー発電の単位発電量あたりのCO₂排出量は最大28%も下がる。

3. 第4章、シナリオ産業連関分析による再生可能エネルギー発電の運転段階の経済と環境効果分析

電力産業では生産構造は随分異なる様々な発電部門があるが、すべての発電部門は「電力」という同じ生産物を産出する。この場合、異なった発電部門でどれぐらいの電力を発電するかによって、経済波及効果、エネルギー消費量や環境負荷物質の排出量も異なる。そのため、吉岡・菅(1997)などの先行研究を参考に、産業連関表を利用して、中国電力産業の電源構成を変化させることで、再生可能エネルギー発電の利用によりどのように環境負荷と経済効果が異なるかについて検討する。

試算の結果、再生可能エネルギー発電で火力発電を代替する場合CO₂排出の削減効果を確認できた。現在の産業構造・技術構造のまま、風力発電で火力発電を代替し火力発電を極限まで削減する場合、CO₂排出を約38%程度削減できることが確認した。

一方、風力発電と太陽光発電の代替による経済効果については異なる結果となった。同じく火力発電を極限まで削減する場合、太陽光発電代替は2%の経済規模拡大効果があり、風力発電代替は2.1%の経済規模縮小を招くことが確認した。その理由については、風力発電技術は太陽光発電より発展しており、発電効率がよく、単位発電あたりの維持・補修投入量が少ないからだと考えられる。また、風力発電は経済へのマイナス効果があるものの、その規模はCO₂削減効果と比べると極めて小さい。

4. 第5章、再生可能エネルギー発電における立地費用最小化分析—風力発電を事例として—

戒能(2009)は、再生可能エネルギー発電は燃料費が不要であるため、電力コストは大きく立地費用と送変電費用に分けられ、両費用の影響を受けると指摘している。風力のような再生可能エネルギー発電は単位設備あたりの用地面積が大きい。一般に都心部からの電源立地距離が増加した場合、地価が安くなる傾向があるため、都市からの距離の増加とともに用地費用の減少により、立地費用が減少する。ただし、送変電費用については、距離あたりの設備費用と建設費用が一定であるため、距離の増加とともに増加する。よって、新規再生可能エネルギー発電事業の送電費用込み立地費用は都心からの距離の増加とともに、一旦下がった後に徐々に上がるU字型になり、最小立地費用が存在する。

立地費用最小化モデルを利用し、北京市を対象地域として、周辺の地価を分析し、風力発電所立地最小費用とそれを対応する立地距離を分析した。分析の結果、送電費用込み立地費用最小となる距離は115~121km間の地域となる。しかし、実際の風力発電所の立地地点と照合した結果、立地費用最小距離からはるか離れた場所に立地していることが分かった。理由として、中国の発電事業と送配電事業は分離され、別々の事業者で経営していることが考えられる。送変電費用を送変電事業者側に負担させるため、中国の発電事業者は送変電費用を負担しなく、発電事業において負担する費用は再生可能エネルギー発電所の建設費用のみとなる。この場合、発電事業者にとっての理論上の立地費用最小化立地点は都心から無限遠点となる。よって、実質的に立地可能で地価の廉価な地域のうち、風況の条件が良い地点を選択して新規電源を立地することが最適となる。そのため、発電事業者は発電所建設を遠隔地から都心に向かって逐次普及を進めることとなる。したがって、現在中国の風力発電は都市部から離れた場所に大量に建設され、理論上の費用最小化距離から乖離する。

一方、送電事業者が負担する費用は、発電事業者が発電所建設を選択した地点までの送変電設備建設及び運営費用となる。したがって、発電所の建設地が遠隔地になればなるほど、送電費用がかさみ

負担が増えることになる。よって、発電費用と送変電費用の立地点の距離に対する関係の如何により、送変電事業者による再生可能エネルギー発電電力の購入および送変電設備の整備拒否、もしくは著しく不合理な費用で再生可能エネルギー発電の導入促進を余儀なくされることが予想される。よって、送電問題は顕在化した。送変電費用の負担制度を軽視すれば、結果的に再生可能エネルギーの普及に負の影響を与える。

5. 第6章、送電費用込みの大規模集中型と分散型再生可能エネルギー発電の経済と環境効果分析

中国の再生可能エネルギー発電は大規模設備を中心となり、風力資源と太陽光資源が豊富な西北地域と東北地域に集中しているが、中国の電力需要が東部沿海地域に集中している。これらの地域の再生可能エネルギー発電電力を新たに長距離の送電線路を建設して東部地域に送電しなければならない。しかし、新たな送電線路の建設費用と長距離送電の送電ロスがともに高いため、費用面で考慮すれば、現在の立地は経済的に非効率で、環境負荷が高い可能性がある。分散型再生可能エネルギー発電の送電費用はほぼないが、経済性と環境効果に対する疑問がある。そのため、産業連関分析を利用して、送電費用込みの大規模風力発電と分散型太陽光発電の経済と環境効果を比較分析した。

分析の結果、同発電量で比較する場合、分散型太陽光発電の生産誘発額とCO₂排出誘発量はともに大幅に増加し、先行研究の分析結果と同様に、送電設備なしの大規模風力発電より発電コストが高く、CO₂排出量も多い。そのため、電力生産の観点から考えて、電力消費地周辺では大規模は分散型より発電に適している。しかし、送電設備の生産誘発額とCO₂排出誘発量を推計し、送電設備込みの大規模風力発電の生産誘発額とCO₂排出誘発量を分析した結果、送電距離は110~120kmの間になると、送電設備込みの大規模風力発電の生産誘発額とCO₂排出誘発量は分散型太陽光発電を上回る。つまり、送電距離120kmを超えれば、大規模風力発電の環境効果は分散型太陽光発電より劣る。電力需要地から120km以上を超えて大規模風力発電を設置するより、電力需要地で分散型太陽光発電を優先的に設置するべきであると結論を得た。

6. 本論分の貢献

中国のエネルギー消費量とCO₂排出量をはじめ環境汚染物質はともに世界トップレベルのため、本研究は、中国は現在直面しているエネルギー不足問題や環境汚染の緩和に極めて重要であると同時に、東アジア地域での越境汚染（例えば日本での酸性雨）の問題、地球規模の気候温暖化の問題の緩和にも貢献する。

また、日本の技術データを基づいた再生可能エネルギー部門を拡張した「次世代エネルギーシステム分析用産業連関表」を参考に、中国の2012年産業連関表の電力部門から再生可能エネルギー発電部門を分離した。この新たな産業連関表は、再生可能エネルギー発電産業を含む経済全体にわたる広い意味の費用便益分析することを可能になり、今後の再生可能エネルギーに関する研究のデータベースを提供した。分析手法であるシナリオ産業連関分析は従来の産業連関分析の1種類の生産物が1つのアクティビティで生産する考え方から、より現実的な複数のアクティビティを1つの生産物を産出することに变化して分析するため、産業連関分析をより実用性が高い分析手法に進化させた。

一方、中国の風力発電に関する事例研究は、中国の再生可能エネルギー発電に存在する送電問題など問題点を検討した上で、風力発電立地と送電問題の関係を検証し、費用面と環境面の両方を比較分析した。結果、今後の中国再生可能エネルギー発電の立地地点と利用形態に提言し、再生可能エネルギー

ギー発電の利用促進に具体的な政策提案を行った。

7. 本論文の限界と今後の課題

本研究は、日本の技術データを利用して中国の再生可能エネルギー産業の中間投入などを推測した。日中間の発電技術は大きな差がないが、より精密な計算結果を得るために、中国の発電技術データを基づいて、中国の発電方式別の投入係数を計算する必要がある。

また、電力産業の発電アクティビティの構成を変化させば、市場の電力価格への影響もあると考えられる。特に再生可能エネルギー発電の固定価格買取制度では賦課金という形で電力料金を値上がりした。そのため、電力構成比変化と価格変化の間の関連性について検討する必要がある。

そして、今回の風力発電の事例研究は現在中国主流の送電技術データに基づいて試算したものである。電力産業は技術発展が比較的早い産業のため、今後の送電技術の進歩により、異なる送電方法による立地費用最小化について検討する必要がある。

本研究は、中国で主に利用されている風力発電と太陽光発電を事例に再生可能エネルギー発電導入の効果を分析したが、バイオマス、中小水力、海洋エネルギーなどの再生可能エネルギーは、技術進歩とともに、今後徐々に利用されると考えられる。本研究の研究方向を利用して、これらの再生可能エネルギー発電の利用による経済効果と環境効果に関する研究は今後の再生可能エネルギー発電普及促進政策に資することであろう。

また、本研究は電力産業だけではなく、電気自動車や水素自動車などの新たな産業に関する研究も適応でき、化石エネルギーから再生可能エネルギーへ産業構造を変化する場合、経済全体に渡る様々な影響を分析することは本研究の今後の発展方向である。