

京都大学	博士 (総合学術)	氏名	榊原 敬治
論文題目	不確実性下における再生可能エネルギーの定量リスク評価と投資戦略		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、不確実性を考慮した再生可能エネルギー (再エネ) プロジェクトのリスクと投資戦略の評価を行ったものである。加えて、リスクをヴァリューに繋げるプロジェクトベースドリサーチ (PBR) として、為替取引のリスク評価と投資戦略の実践報告を記した。本論文は全五章から構成され、主な内容は以下の通りである。</p> <p>第一章は序論であり、再エネ事業普及のボトルネックと課題を特定し、リスクの認識と評価手法、選定理由について述べている。特に本論文では、我が国において潜在的な資源ポテンシャルが高いにも関わらず、効果的には活用されていない地熱発電と波力発電を取り上げている。</p> <p>第二章では、リアルオプション (RO) 法を用いることで、生産井と還元井との温度差の不確実性が地熱発電戦略に与える影響について議論している。地熱発電所の発電過程には不確実性が存在するため、既存のディスカウントキャッシュフロー (DCF) 法を用いた正味現在価値による評価と現実との間に乖離が生じている。本章の新規性は、発電収入とメンテナンスコスト (MC) の両方に関連する地熱井の温度差リスクに焦点を当てた点である。本研究では、地熱発電所における温度差の新しいモデルを提案するとともに、既存文献のデータに基づくモデルパラメーター値を用いて、温度差に不確実性のある地熱発電所について、温度差が上限閾値を超えた場合、スケール形成に伴う MC 増加から発電を停止する戦略と、その戦略に加えて温度差が下限閾値を下回る場合、熱量不足から発電を停止する戦略との二種類のアメリカンタイプの RO を評価している。その結果、地熱発電プロジェクトの正味現在価値は、地熱資源である温度差が発電量に与える負と正の影響により、MC の不確実性と発電量の不確実性との両方を考慮した場合の RO 価値よりも大きくなる一方、MC の不確実性のみを反映した場合の RO 価値よりも小さくなるのが本研究によって示された。本研究は、地熱発電における地熱井の温度差リスクと地熱発電戦略を議論し、温度差リスクを適切に含めることが発電所評価において不可欠であることを示唆している。</p> <p>第三章では、波周期変化の不確実性をモデル化したのち、RO 評価に基づく複数の発電戦略を評価することで、波リスクが波力発電のプロジェクト価値に与える影響を検証している。本章の貢献は第一に、日本海域とアイルランド海域での波浪挙動の解析の結果から、発電に伴う波リスクは、平均回帰性と季節性を伴う波周期変化のみに依存し、大洋型では波周期に連動して増加し、縁海型では波周期に連動して減少することを示した。第二に、波の特性に基づいた海域ごとの波リスクの違いを考慮し、局所的な海域のみならず、世界中の大洋型と縁海型海域においても適用可能性の高い新しい波力発電モデルを提案した。第三に、DCF 法に基づく正味現在価値では大洋側と縁海側双方においても波力発電プロジェクトは実現不可能であるが、事業</p>			

の中止と拡大の二つの RO 戦略を考慮すると、日本海側では運転開始後 10 年以内、アイルランド海側では運転開始後 11 年以内に波力発電プロジェクトが実現可能であることが実証分析の結果から示された。本研究の適用により、波力発電プロジェクトの評価には波の不確実性と戦略オプションを効果的に組み込むことが可能で、波リスクモデリングには海域の特性を考慮する必要があることが示唆された。

第四章では、上述のリスクをヴァリューに繋げる PBR 報告として、為替取引における定量的リスク分析と一定の収益化を目指した資産戦略の結果を報告している。本プロジェクトは、為替平衡操作のタイミングを推測し、三ヶ月で資産価値を増大させることを目標とした。このプロジェクトでは、単に為替変動リスクを回避するのではなく、許容された適切なリスクと投資タイミングを推定し戦略を取ることによって、リターンの最大化を目指した。その結果、プロジェクト開始時の資産ポジションと比較して、期限内に当初の目標を達成した。さらに、利益確定後のバックテストとして、ボラティリティの増減、価格変動の特徴、最適な取引タイミングおよびストラテジーをモデル結果から検証している。

第五章は結語であり、各章で示された主要な研究結果と成果をまとめた上で考察を加え、本論文の学術的意義と社会的貢献を述べている。総括として、再エネプロジェクトを効果的に評価するには、不確実性を考慮した適切なリスク認識とリスク定量化、リスク収益化、リスクマネジメントを含めた評価を行うことが極めて重要であるとした。この結論から本論文がもたらす学術的意義と社会的貢献は、不確実性を適切に捉えた投資戦略の評価の導入によって、投資障壁が低減し、再エネ事業の普及に繋がることを示した点である。

(論文審査の結果の要旨)

地球温暖化がエネルギー業界の脱炭素化を加速させている。脱炭素に向けた再エネの普及に関する研究の進展が、実務上および学術上の高度な問題として喫緊の課題であることは論を俟たない。榊原氏の研究は、このような要請に応え、再エネの中で普及ポテンシャルの高い地熱発電と波力発電に焦点を当て、その普及のボトルネックとなる経済性評価に関して、発電の不確実性と戦略オプションの価値評価について論じている。

この分野の先行研究は、電力価格を不確実性としてその戦略オプションを論じている研究が大半である。榊原氏の研究は、電力価格ではなく、再エネ発電に関する物理量の不確実性に着目し、それをデータに基づきモデル化している点に特徴がある。加えて、その不確実性をもとに発電オプションを評価し、再エネ発電所の価値評価を行っている点も新しい。

このような観点から、本研究では具体的に、地熱発電については、生産井と還元井との温度差による発電量とMCの変動を既存文献のデータに基づきモデル化し、波力発電については、大洋域と縁海域における波周期と波高との関係性の違いを浮き彫りとしつつ、波周期を不確実性として発電量の変動を実データに基づきモデル化している。次に、地熱発電については、井戸の温度差の不確実性に基づく発電停止オプションを反映した発電所の価値評価を行うとともに、波力発電については、波周期の不確実性に基づく発電停止オプションと拡張オプションを反映した発電所の価値評価を行った。これらを通じ、不確実性による戦略オプションの組み込みによって、再エネ発電プロジェクトの経済性を示している。さらに、リスクをヴァリューに繋げるという観点から、金融市場のリスクとリターンの関係性に着目したPBRを行った。そこでは、為替取引に関するトレーディングチームを結成して、役割分担をし、そのチームをリードすることで、為替取引の収益を現実的に確定させた。以上のように、榊原氏の研究は、再エネを対象として、リスクを戦略の価値として評価するRO価値評価に関する学術的貢献はもちろんのこと、現実の為替取引を通じてリスクをリターンに結び付けるプロジェクトを実践した点にも意義がある。

このような観点と総合生存学館での活動状況を踏まえ、榊原氏が、高い使命感、洞察力、企画力、人間力を有し、グローバル社会において公共的な使命を果たすに相応しい倫理観と責任感を持っており、かつ研究の企画推進能力、研究成果の論理的説明能力、関連する高度で幅広い専門的知識、学術研究における高い倫理性を備えていることが分かる。加えて、榊原氏の博士学位請求論文が、学術的意義、新規性、先進性、独創性、応用的価値を有しているという本研究科の目標を体現しており、高い評価に値する。よって、本論文は博士（総合学術）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和6年 1月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問した結果、合格と認めた。

最後に本研究の今後の展開について述べる。榊原氏も論文中に述べているが、本研究では地熱発電について既存文献に基づくモデルパラメーターの推定を行ったが、モデルパラメーターの精度向上には、実観測データに基づいたモデルパラメーターの推定が必要である。また、波力発電について、本研究は大洋域と縁海域の波高と波周期との関係性を日本とアイルランドのデータから実証的に導き出したが、他地域のデータを分析することは本研究の結果の頑強性を高めることとなる。これらの追加分析は、本研究の今後の展開に関する一つの方向性であると考えられる。

要旨公表可能日：          令和  年  月  日以降