

氏名	Zhu Yucheng
学位の種類	博士 (環境学)
学位記番号	博 甲 第 8 6 2 6 号
学位授与年月日	平成 30年 3月 23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	生命環境科学研究科

学位論文題目 Simulation Analysis of Impact of Industrial Structure Transformation and Energy Consumption Change on Carbon Emission in Zhejiang, China (中国浙江省における産業構造の転換とエネルギー消費の変化が炭素排出に及ぼす影響のシミュレーション分析)

主査	筑波大学准教授	博士 (学術)	水野谷 剛
副査	筑波大学教授	博士 (農学)	張 振亜
副査	筑波大学准教授	工学博士	雷 中方
副査	筑波大学准教授	博士 (工学)	Helmut Yabar

## 論 文 の 要 旨

本研究は、2012年から2030年の中国の浙江省を分析対象として、物量と価値の双対型動学的産業連関モデルに、二酸化炭素排出構造と再生可能エネルギー、スマートグリッドの活用を考慮したエネルギー需給バランス式をリンクさせたモデルにより、スマートグリッドと再生可能エネルギーの導入が電力供給構造や需給バランス、経済成長、環境へ及ぼす影響を炭素税の最適税率とともに明らかにしたものである。本論文は、全6章で構成される。

第1章で著者は、世界と中国における温室効果ガス排出量、再生可能エネルギー利用とスマートグリッドの開発、および関連する先行研究のレビューを行い、研究目的とその意義についてまとめている。パリ協定において、中国は2030年までに国内総生産あたりの二酸化炭素排出量を2005年比60~65%削減すると同時に、一次エネルギーにおける非化石エネルギーの割合を約20%までに増加させることを約束しており、この実現には、再生エネルギーの供給安定性の確保が不可欠である。このような背景のもと、本研究では、中国全土のGDPの7%程度を占め、また火力発電が総電力供給量の約8割を占める中国東南部の浙江省を対象に、より効率的な再生可能エネルギーの利用方策を、スマートグリッド網の導入とエネルギー産業構造の転換に焦点を当ててコンピューターシミュレーション分析を行い、提言している。

第2章では、浙江省の社会経済状況を、地理、人口、天然資源などとともに詳細に分析すると同時に、同省内の一次エネルギー消費、電力需要、スマートグリッドの整備と開発等、エネルギー利用状況についても詳細に分析を行っている。

第3章では、シミュレーションモデルを構築する上での前提条件、モデルの概要、部門分類、シナリオ設定、収集データの概要について述べながら、本研究で構築した総合評価モデルの基本的な特徴について詳細に説明している。

第4章では、スマートグリッド網の導入を伴う再生可能エネルギー導入促進政策総合評価のための非線形のシミュレーションモデルの定式化を行っている。社会経済は、(i)通常財産業、(ii)従来型エネルギー産業、(iii)再生可能エネルギー産業、(iv)政府、(v)家計の5部門に分割され、これら各部門の物

財量と価格決定式からなる双対型の動学的産業連関モデルを根幹としている。ここではこれにスマートグリッド網整備、省内におけるエネルギー需給バランス、二酸化炭素排出動態を記述した各サブモデルを一括にリンクし、環境と社会経済活動の相互依存関係を内生的に導出し、分析可能とする環境総合評価モデルを構築している。

第5章では、構築したモデルを用い、2012年から2030年を対象に、対象期間の二酸化炭素累積排出量制約下での地域総生産最大化問題として解いた結果の分析を行っている。シミュレーションは、2012年のデータを元に2030年までの傾向予測を行った基本ケースの他、炭素税-補助金政策の導入の有無、スマートグリッド網整備補助金の有無と二酸化炭素排出削減率の相違により、計7つのケース分けを行い実施している。結果として、いずれのケースにおいても本来見込まれる経済成長率と比して鈍化を伴う必要があるが、再生可能エネルギーの効率的な導入により、経済成長を伴いながら二酸化炭素の削減を行うことが可能であることを示した。特に炭素税を産業部門に課し、補助金をスマートグリッド網の整備と再生可能エネルギー導入に利用することにより、他のケースと比して最も多く二酸化炭素排出を削減することが可能であることを明らかにしている。具体的に、炭素税収を財源に用いてスマートグリッド網と再生可能エネルギーの導入を行えば、地域総生産は年率平均4.54%の成長をしつつ、二酸化炭素の排出量を年率3.59%の割合で削減出来ることを明らかにしている。基本ケースでの導出結果によると、2012年の電力産業の生産額は4,310億元であり、2030年には12,944億元に達する見込みである。これは19年間に200.3%もの成長を遂げる予測であるが、スマートグリッドを伴った再生可能エネルギーの導入は同省のエネルギー構造と効率性を最適化し、現状79.8%を占める火力発電の割合を41.8%にまで押し下げ、太陽光及び風力発電の割合を31.3%にまで押し上げる効果があることを明らかにしている。また中国が掲げる2030年までに二酸化炭素排出量を2005年比60-65%削減するという目標は、炭素税を78.1元/CO<sub>2</sub>tの税率で課税し、スマートグリッド、太陽光発電、風力発電の設置運営にそれぞれ5,981億元、2,955億元、3,257億元の補助金を支給し、整備することで同省においては実現可能であること、また、これら政策の実施により、二酸化炭素排出のピークを2025年頃とすることが出来、以降減少に転じさせることが出来ること等の有益な結果を示した。

第6章では、結論と今後の課題について述べている。

## 審 査 の 要 旨

急激な経済発展を遂げている中国の環境問題は、中国一国の問題のみならず地球規模の課題でもある。パリ協定において、中国は2030年までに国内総生産あたりの二酸化炭素排出量を2005年比60~65%削減すると同時に、一次エネルギーにおける非化石エネルギーの割合を約20%までに増加させることを約束しており、この実現には、再生エネルギーの供給安定性の確保が不可欠である。この意味で省レベルではあるが目標達成までの道程を明らかにした本研究は時宜を得たものであり、有益で示唆に富む結果が得られている。

直面している研究課題の設定、背景の分析、先行研究のサーベイ、モデル構造式の設定、用いたデータやパラメータの推定は何れも適切になされており、シミュレーションケースの設定、結果の分析と結論の導出も適切である。中国を対象として、炭素税-補助金政策の導入とスマートグリッド網の導入を二酸化炭素排出削減目標達成のためのツールとして念頭に置き、再生可能エネルギー導入や電力供給における発電源の変化を考慮に入れ定量的に総合評価した研究は見当たらない。研究成果は国際学術雑誌に掲載され、学会からも高い評価を得ている。

平成30年1月17日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（環境学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。