

氏名（本籍） Qian ZHOU（周 茜）  
学位の種類 博士（環境学）  
学位記番号 博 甲 第 7375 号  
学位授与年月日 平成 27 年 3 月 25 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 Comprehensive Evaluation of Environmental Policies for Greenhouse Gas and Air Pollution Mitigation by Effective Utilization of Energy Resources in China: A Regional Study  
(中国におけるエネルギー資源の有効利用による温室効果ガスや大気汚染削減のための環境政策の総合評価：地域研究)

主査	筑波大学教授	学術博士	水鉤 揚四郎
副査	筑波大学教授	博士（農学）	張 振亜
副査	筑波大学准教授	博士（工学）	ヤバール・ヘルムート
副査	筑波大学准教授	博士（学術）	水野谷 剛

### 論 文 の 要 旨

中国では、一次エネルギー源として 70%近くを石炭に依存している。このことが、主に大気中の化石由来の二酸化炭素濃度の上昇による地球温暖化に寄与しているばかりでなく、二酸化硫黄（SO<sub>2</sub>）、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）や微小粒子状物質（PM<sub>2.5</sub>）等の大気汚染物質による健康被害の問題等をより顕著にしている。中国政府の方針によれば今後も高い経済成長率を維持し続けなければならない、このまま推移すれば益々エネルギー需要は高まり、事態はより深刻になることが予想される。重慶市は、古くから中国の重点的工業都市として発展し、このような問題を抱える典型的な都市である。この論文は、中国重慶市を対象として、高い経済成長率を維持しながら一次エネルギーの石炭依存率を低下させるための再生可能エネルギーの導入や、GHG 排出削減のための高効率でよりクリーンな石炭利用発電技術導入、さらに再生可能エネルギーや高効率な技術普及のための排出税・補助金政策導入の効果を、数値モデルに基づくシミュレーション分析によって総合的に評価したものである。本論文は、全 7 章で構成される。

第 1 章は序論であり、まず、様々な物質による広範囲に及ぶ大気汚染被害の実態と中国環境計画研究所による大気汚染の環境、健康被害額に関する 2012 年の推定値（2,300 億ドル）、さらに最近の中国における一次エネルギーにおける石炭依存からの脱却に関する計画目標や最近のその成果についてまとめている。本論文の目的は、(i) 高度経済成長率を維持しながら環境改善が可能かどうかという視点から再生可能エネルギー技術の潜在的な有効性と限界を明らかにすること、(ii) 同様の趣旨で、特に大気汚染物質や GHG の排出削減に焦点を当てて石炭利用高効率発電技術の有効性を明らかにすること、(iii) 排出規制や排出税導入の有効性を判断するためのプラットフォームとして、シナリオ分析を行い、数量的政策情報を提供すること等である。第 2 章は、再生可能エネルギーの潜在的有効性を総合的に評価するためのシミュレーションモデルを構築し、分析したものである。構築したシミュレーションモデルは、双対型動学的拡大産業連関モデルである。これは、通常の産業連関モデルに、既存エネルギー部門、再生可能エネルギー部門、およびクリーンでエネルギー高効率な鉱業、重化学製造業部門等を新しく組み込んだ拡大産業連関モデルに、価格式を組み込んで付加価値循環を内生化した、政府部門、家計部門の行動（課税、補助金、消費、貯蓄等）を内生的に扱うモデルである。モデルの各パラメータを特定化は 2010 のデータを用いて行い、1 期 1 年で 2025 年までの 10 年間について分析した。制御する大気汚染物質として SO<sub>2</sub>、GHG として二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）、メタン（CH<sub>4</sub>）を取り上げた。分析ケースとして、基本ケース（BAU: business as usual）、Case 0（再生可能エネルギー技術導入不可）および Case 1（同導入可）の 3 ケースを設定した。第 3 章は第 2 章の結果の分析である。Case 0 と Case 1 については、各年の大気汚染物質、GHG 排出量の上限制約

として、2010年排出量の1.5倍および2倍以内の制約を設けたケースについて分析した。それ以下の制約量では、極端に経済成長率の低下を示した。このことにより、再生可能エネルギーの導入だけでは現状の環境改善には限界があることが示された。BAUでは、GHG排出量が2020年で基準年の7倍、SO<sub>2</sub>で6倍になるが、ケース1（再生可能エネルギー有、200%上限制約）は、BAUと比較してそれ等の値をそれぞれ1.8倍以下に削減すること、しかし地域総生産額（GRP）は、BAUと比較して二分の一以下に抑えられること等を明らかにした。再生可能エネルギーの導入は、BAUと比較して、またGRP単位当たりの大気汚染物質等の排出量も40–50%削減されているという意味で効果的であるが、経済成長率は4%前後にとどまり、また現状と比較して環境改善は望めないことから、再生可能エネルギーの導入に加えて、より積極的に石炭エネルギー高効率の発電技術、エネルギー投入高効率の生産技術導入の必要性を明らかにした。

第4章では、高効率石炭火力発電技術として超臨界圧（SUP）、超々臨界圧（USC）、石炭ガス化複合（IGCC）、天然ガス複合化（NGCC）の4つと、この後者2つに二酸化炭素貯留技術（CCS）を組み合わせた計6つの技術を既存技術（亜臨界（SUB））に対する代替可能な技術として想定した。さらに電力発電産業に二酸化炭素排出税を目的税として課税し、その税収を代替的な新技術導入促進のための補助金として支出することを想定した。制御対象とする大気汚染物質は、SO<sub>2</sub>の他に、NO<sub>x</sub>、浮遊粒子状物質（PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>）である。分析のシナリオとして、BAUの他に、高効率技術代替可能性および炭素排出税・高効率技術導入補助金の有無と対2010年比大気汚染物質5%削減制約有無の組み合わせでS1およびS1'、さらに10%削減制約の有無との組み合わせでS2およびS2'の2ケース、計4つのシナリオを想定した。第5章は、第4章の結果の分析である。2020年までの経済成長率は、BAU、S1およびS2について、各々9.16%、6.00%および4.24%となることを示し、第2章の結果との比較から、高効率発電技術の導入と目的税としての二酸化炭素排出課税により環境改善と経済発展が可能となることを示し、その有効性を明らかにした。消費エネルギーについては、BAUと比較してS1およびS2では、各々23.6%および30.7%削減できること、結果としてGHGは、各々36%および44%削減できることを明らかにした。また、S1およびS2共に、既存の亜臨界石炭発電技術（SUB）は、2013年頃から石炭ガス化複合技術（IGCC）および天然ガス複合化技術（NGCC）に代替されて2017-2018年までになくなり、S2では天然ガス複合化技術と二酸化炭素貯留技術の組み合わせも有効であることが示された。第6章は、二酸化炭素排出税と高効率発電技術導入補助金の詳細な分析である。GRP成長率、GHGおよび汚染物質排出量削減率から、最適な二酸化炭素排出税率は70元/tCO<sub>2</sub>-eであること、市場普及率が高まることによって高効率石炭発電技術プラントの設置費用が10%削減するだけで、15年間にわたって、重慶市のGRPを約0.8%押し上げること等を明らかにした。第9章は、結論と今後の課題についてまとめている。

## 審 査 の 要 旨

構築された双対型動的拡大産業連関モデルは、社会経済活動と環境負荷との間の関係や、エネルギー需給バランスを含む財市場での需給バランス、各産業の私的および社会的価値収支を記述する非線型モデルであり、オリジナルなモデルである。モデルのパラメータの推定や初期値の設定、分析ケース設定のためのシナリオ分析等も適切である。また、このような分析手法は他の都市の同様の問題の分析に応用可能な汎用性を備えている。環境政策実施の効果や新技術導入の効果の数値分析に基づいて総合的に評価した研究としては、中国の内外でこれまでには無い、オリジナルなものであり、高く評価できる。主な結果として、経済発展と環境改善の間には二律背反のトレード・オフの関係があること、しかし再生可能エネルギーの導入と高度な石炭利用技術の導入で、そのトレード・オフの関係は改善できること、そしてそのとき導入すべき最適な石炭発電技術の種類とその導入のタイミングを明らかにした。また、再生可能エネルギー利用促進のみでは温暖化対策としては不十分であるが、高効率な石炭発電技術の普及は、環境改善に有効であり、排出権導入等に基づく環境規制と高効率技術導入補助金のための二酸化炭素排出税の課税がそのためには効果的であること、そのときの最適な税率は70元/tCO<sub>2</sub>-eであること等、今後の重慶市の環境政策を考える上で有益な結果を示した。

平成27年1月27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。