

審査の結果の要旨

氏名 磯貝基

エネルギー政策の検討において、定量評価を与えるエネルギー経済モデルの開発の重要性は増している。エネルギー経済モデルは、技術選択を考慮できるボトムアップ型モデルと、産業連関構造などの経済を俯瞰できるトップダウン型モデルの2種類に大別される。本論文の研究で開発されたモデルは、社会全体の消費者効用の最大化を目的とするトップダウン型の多部門経済モデルの枠組をベースとしつつ、電力部門や素材部門については、熱効率などの技術パラメータを詳細に考慮できるボトムアップ型モデルとして定式化されたハイブリッド型のモデルである。本論文では、このエネルギー経済モデルを用いて、技術選択からGDPまでを統合的に考慮したCO₂排出削減政策の指針を示すことを目的としている。

ここで構築したモデルの特徴は4点ある。1点目は、動学的多部門経済モデルであることに加えて、電力部門の技術選択を高時間解像度で分析可能な点である。これにより、太陽光発電などの自然変動電源の適切な評価が可能となる。2点目は、電力部門に加え、鉄鋼などの素材部門の技術選択も考慮している点である。これにより、一次エネルギー供給から最終エネルギー消費までのエネルギーの流れを詳細に追跡できる範囲を拡大し、モデル構造の透明性を高めている。3点目は、一国のGDPを推計できる経済モデルという機能を有しながら、CCS(CO₂ Capture and Storage)などの次世代技術の実現可能性などの工学的データに基づいた演繹的な評価が可能となる点である。そして最後は、経済モデル特有の非線形関数を含む連立方程式の体系を線形計画問題へと帰着させることで、汎用の数理計画ソフトウェアの利用を通して、変数が百万個を超える大規模なモデルであっても実用的な時間で安定した求解を可能としている点である。

第1章は序論であり、本論文の研究の背景となるエネルギー情勢に言及した上で、研究の目的や意義、新規性について述べている。

第2章では、エネルギー経済モデルの定式化手法の分類と、国内外におけるそれぞれの開発例の概要がまとめられている。その上で、本研究で開発されたモデルの位置付けと特徴を明確にしている。

第 3 章では、本研究で開発された動学的多部門経済モデルの定式化とその解法が説明されている。本モデルは、目的関数と制約条件式の一部に CES (Constant Elasticity of Substitution) 型生産関数を含む非線形最適化問題として定式化される。ここでは、制約条件式におけるトップダウン型モデルへのボトムアップ型モデルの具体的な組み入れ方法や、CES 型生産関数の線形近似による数値計算手法などの数学的手続きが整理されている。

第 4 章では、電力部門の技術選択モデルの定式化と評価結果が示されている。電力部門は、発電事業と送配電事業に分割され、需要家は 3 種類の電圧階級に分けられている。1 時間単位の時間解像度で太陽光発電や風力発電の間欠的な出力特性が考慮されている。日本の 2050 年までを対象とした炭素税を導入したシナリオ分析では、原子力発電ならびに太陽光発電の導入量が顕著に増大し、対策技術としてのそれらの重要性が定量的に示されている。また、CO₂ 排出削減対策の実施に伴う設備投資の増加により、無対策時と比較して GDP が増加するものの、消費者効用が減少する可能性も示唆された。

第 5 章では、電力部門に加えて、鉄鋼、セメント、石油化学、紙・パルプの 4 種類の素材部門の技術選択も考慮した拡張モデルの定式化と評価結果が示されている。炭素税を導入したシナリオ分析では、これらの部門において、費用的には割高な高効率の先端技術の選択が促進され、石炭や石油を多消費する技術が次第に淘汰されていく、具体的な将来シナリオが導出された。また、農業を含む各部門の生産量や財価格への影響も推計されている。

第 6 章では、上記の拡張モデルに CCS を新たな経済活動として導入することで、さらなる CO₂ 排出削減の可能性について議論されている。CCS は次世代技術であり、その実際の運用には不確実性も大きいですが、特に原子力発電の利用が制限される場合などで、天然ガス火力発電を利用しつつ、大幅な CO₂ 削減が望めることが示された。

第 7 章では、本論文の研究の今後の課題と展望について述べられている。

以上を要するに、本論文は、社会全体を俯瞰する経済モデルに、技術選択モデルを組み入れたエネルギー経済モデルの新しい定式化とその実用的な数値計算手法を提案するとともに、日本を対象としたシミュレーションを通して、大幅な CO₂ 排出削減政策が電源構成や GDP へ及ぼす影響をシナリオ分析したもので、エネルギーシステム工学分野の進展に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。