

京都大学	博士 (工学)	氏名	西浦 理
論文題目	革新的なエネルギー・二酸化炭素排出削減技術を考慮した応用一般均衡モデルの開発		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、応用一般均衡モデル (CGE) モデルを基礎とした統合評価モデルにおけるエネルギーや二酸化炭素排出削減に関する技術的な表現を改善し、脱炭素社会を実現する将来シナリオを定量的に評価したものであって、全 9 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究の背景を整理し、本研究の目的を示した。研究の背景として、パリ協定で合意された気温目標を達成するために、今世紀中盤での脱炭素社会の達成が必要であること、脱炭素社会の達成に向けて様々な排出削減技術の開発や展開が進んでいることを示した。そして、厳しい排出削減目標と新たな排出削減技術の発展により、その排出削減目標を達成する際に必要な技術の導入量や、その経済的な影響を定量化する緩和シナリオ研究の必要性が高まっていることを示した。次に、緩和シナリオの定量化に使用される統合評価モデルの種類と其中で CGE モデルが持つ利点と欠点を整理し、CGE モデルにおける技術的な表現が原因となりモデルの適用範囲を狭めていることを指摘した。</p> <p>以上の背景を受け、本研究での目的を、全世界を対象とした CGE モデルにおけるエネルギー需給および排出削減に関連する技術の表現を改善することと定めた。具体的な改善方法としては、CGE モデルとエネルギーシステムモデルを統合する手法の開発と、CGE モデルにおける最新の排出削減技術の表現を行った。</p> <p>第 2 章では、本研究に関連する既往の研究をまとめ、統合評価モデルを用いた既往の研究における課題を整理したうえで、本研究の特徴が、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 全球規模の CGE モデルとエネルギーシステムモデルとの結合する際に、エネルギー需給に関する詳細な情報を交換し、2 つのモデルを収束させる手法を開発 2) CGE モデルにおいて、商業利用されていない技術の利用や、利用時にかかる制約を表現の 2 点であることを示した。 <p>第 3 章では、研究の全体像と、本研究で用いる AIM/Hub モデルと MESSAGEix モデルの説明を行った。本研究は、CGE モデルの技術的な表現を改善するため、CGE モデルとエネルギーシステムモデルと統合する手法の開発と、CGE モデルにおける最新の排出削減技術の表現という二つのアプローチを実施した。CGE モデルとエネルギーシステムモデルの統合の際には、CGE モデルとして AIM/Hub モデル、エネルギーシステムモデルとして MESSAGEix モデルを採用した。CGE モデルにおける新しい技術の表現については、地下貯留容量の制約を考慮した CCS の利用、DAC による二酸化炭素の回収、回収した二酸化炭素の貯留、回収した二酸化炭素と水素を反応させて製造される合成燃料の生産と利用を新たに考慮した。</p> <p>第 4 章では、CGE モデルの技術的な表現を改善することを目的に、全世界を対象とする CGE モデルとエネルギーシステムモデルを統合する新しい手法を開発し、MESSAGEix モデルと AIM/Hub モデルを統合することで、両モデルの長所を取り入れた新しいモデルを実証した。開発した手法では、全世界を対象とした多くの既往の研究とは異なり、エネルギーシステムに関する詳細な情報を 2 つのモデル間で詳細な情報を交換し、2 つのモデルの収束性を高めている。この手法で開発されたモデルは、単独の CGE モデルと比較して、排出削減量に対する需要側削減の寄与度が高いこと、一次エネルギー供給構成の変化が少ないこと、化石燃料削減率が低いこと、削減コストが低いことが特徴であった。CGE モデルの出力を用いた分析では、投資の対象部門をエネルギー供給部門から運輸・産業部門にシフトした結果、削減コストが低下したことが示された。開発したモデルの結果の比較から、第 4 章で開発した手法により、2 つのモデルの長所を取り入れた新しいモデルの開発に成功したことが確認された。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	西浦 理
<p>第 5 章では、既存のエネルギーシステムや生産設備を利用したまま排出の削減を行うことができる CCS に注目し、その物理的な制約となる地下貯留層の容量の推計と、CGE モデルにおける地下貯留層の容量の制約により CCS の利用が制限される際の緩和シナリオ推計方法を考案した。二酸化炭素の地下貯留層の分布や各国の貯留層の調査状況によって CCS の利用が制限された場合の経済やエネルギーシステムに与える影響を推計した。モデルの推計結果から、CCS の利用が地下貯留容量の制約により制限された場合には、エネルギー供給における化石燃料の利用が大きく減少し、バイオマスの利用量が増加した。アジア各国の地下貯留層の調査状況を反映したシナリオ推計では、緩和策による GDP 損失の増加が顕著にみられた。世界の貯留容量の推計結果と CCS の需要量を比較すると、オセアニアやカナダ、旧ソ連、アフリカでは、CCS 需要量を貯留容量の推計結果が大きく上回り貯留層の共有の可能性を示した。第 5 章での結果から、二酸化炭素の地下貯留容量を十分に使えるように貯留層の調査を進めることや、地域間で貯留層を共有すること、大規模な排出源の建設場所の設定の段階で CCS の利用を考慮することは、排出削減による経済損失を抑えることや、バイオエネルギー需要の抑制によって生態系への負荷や食糧価格への影響を抑制する効果などが期待できることが示された。</p> <p>第 6 章では、CGE モデルを用いた既往の研究では考慮されてこなかった DAC を CGE モデルである AIM/Hub モデルにおいて表現し、1.5 度目標に相当する緩和シナリオを計算した。モデルによる推計結果は、DAC の導入が炭素価格を低減させ経済的な影響を抑制する効果や、バイオマスの需要を減少させることで食料生産との土地利用の競合を緩和し、エネルギーや食糧の価格を減少させる効果を示した。</p> <p>第 7 章では、AIM/Hub モデルにおいて気体および液体の合成燃料の生産と消費を表現し、1.5 度目標に相当する排出削減シナリオを推計した。モデルによる推計結果から、合成液体燃料が主に輸送部門で利用され、合成気体燃料は主に民生部門で利用されること、合成燃料が利用されることで、輸送部門での排出が削減され、CDR への依存度が低減すること、合成燃料の利用により家計の厚生が悪化する可能性が示された。第 7 章で開発したモデルの結果は、他の排出削減の方策が利用できる部門においても合成燃料が利用された場合には、家計の厚生に悪影響を与える可能性があることを示唆した。</p> <p>第 8 章では、前章において開発した最新の排出削減技術を考慮した CGE モデルである AIM/Hub モデルを用いて、各種技術の利用に対する制限や、将来の技術発展を想定した緩和シナリオを複数推計し、エネルギーシステムと経済的な観点からそれらのシナリオを比較した。AIM/Hub モデルによるエネルギーシステムの推計結果から、水素生産コストが低減した場合には、合成燃料の消費量が増加する一方、水素の消費量が減少した。バイオマスの利用が制限された場合には、合成燃料の消費量は大きくは変化せず、DACCS を大規模に利用することで排出削減目標が達成された。モデルによる経済影響の推計結果は、排出削減が困難な部門に対処するための各種技術の利用に対する制限や、将来の技術発展の想定の違いにより、家計消費や等価変分から定量化される厚生の損失は 15%程度変動することを示した。特に、合成燃料を過度に消費するシナリオでは、家計への影響が大きいことが示された。第 8 章での推計により、本研究で開発されたモデルは、DAC や合成燃料といった最新の排出削減技術を考慮し、多様な緩和戦略を推計できることが確認された。</p> <p>第 9 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の研究についての展望をまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、応用一般均衡モデル (CGE) モデルを基礎とした統合評価モデルにおけるエネルギーや二酸化炭素排出削減に関する技術的な表現を改善した成果をまとめたものである。本論文で得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) 全世界を対象とする CGE モデルとエネルギーシステムモデルを統合する新しい手法を開発し、2つのモデルを統合したモデルを実証した。開発した手法では、多くの既往の研究とは異なり、2つのモデル間で詳細な情報の交換を繰り返すことで、収束性を高めている。この研究で開発した手法を用いて統合されたモデルが推計したエネルギーシステムと詳細な経済影響の結果から、詳細な技術表現を取り入れた CGE モデルが開発されたことを確認した。
- 2) 現在は商業利用されていない新たな排出削減技術の利用と、その利用の際の制約を CGE モデルにおいて表現し、脱炭素社会を形成する際の新しい技術の役割や利用に伴う経済影響を推計した。その際、脱炭素で重要な役割を担うと考えられる CCS の貯留ポテンシャルを全世界にわたって推計した。本研究は、従来の統合評価モデルでは推計することができなかった、新しい排出削減技術の利用に伴う詳細な経済影響の推計が可能となった。
- 3) 最新の排出削減技術を考慮した CGE モデルを用いて、各種技術の利用に対する制限や、将来の技術発展を想定した緩和シナリオを複数推計し、エネルギーシステムと経済的な観点からそれらのシナリオを比較した。本研究で開発されたモデルは、多様な緩和戦略の選択がもたらす社会・経済的な含意を定量的に評価できることが確認された。

以上、本論文は、CGE モデルの欠点とされていた、詳細なエネルギー需給に関する技術表現の改善と、新しい排出削減技術の表現を実施した。本論文で開発したモデルは、従来の統合評価モデルでは推計できない情報を提供しており、本研究での CGE モデルの改良が CGE モデルの適用範囲を広げ、緩和政策の分析に貢献することができる統合評価モデルの開発に成功している。本論文及び本論文で開発した CGE モデルの有用性は高く、当該分野に大きな影響を与えると考えられ、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 6 年 1 月 26 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。