

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 1 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760690

研究課題名（和文） 地域におけるエネルギー対策総合評価モデルの開発

研究課題名（英文） Development of Local Energy Integrated Assessment Model

研究代表者

島崎 洋一（SHIMAZAKI YOICHI）

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：30313787

研究成果の概要（和文）：本研究では、地域におけるエネルギー・温暖化対策を総合評価する数理モデルを開発した。対象地域から抽出したエネルギーデータベースに基づき開発した数理モデルを用いて、地域の温暖化対策のシナリオを定量的に提示することを目的とした。対象地域は 2009 年 3 月に県内の二酸化炭素排出量を 2050 年にゼロと提示した山梨県である。二酸化炭素排出量の削減シナリオと原子力発電の設備容量シナリオを組み合わせる最適化計算を行い、2050 年までの化石燃料と再生可能エネルギーの構成比率を定量的に示すことができた。

研究成果の概要（英文）：The study was undertaken to evaluate clean energy technologies in Yamanashi Prefecture. This report described quantitative analysis of a scenario of the local energy policy. Yamanashi Prefecture declared a “CO₂ zero Yamanashi” in March 2009. The goal is to make the amount of carbon dioxide emissions zero by 2050. The author developed an energy technology evaluation model based on a linear programming technique. The model was benchmarked against 1990 base-year statistics. The projections cover five-year time intervals extending from 1995 to 2050. This study investigated three cases for which the amounts of carbon dioxide emissions constraints and nuclear power installed capacity were analyzed. A shift from coal to natural gas and photovoltaic power generation restrict carbon dioxide emission in the supply of electrical power. The model was extremely useful for understanding the role of technology in carbon dioxide reduction efforts and other energy system planning settings.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：新エネルギー、省エネルギー、環境政策、システム工学、モデル化

1. 研究開始当初の背景

日本では、エネルギー・温暖化対策を評価するモデルとして、AIM(国立環境研究所・京都大学)や DNE21(東京大学・地球環境産業技術研究機構)などが開発されている。これらのモデルは経済産業省の長期エネルギー需給見通しや IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の評価シナリオに活用され、政策決定の参考資料として位置づけられている。

しかしながら、国レベルを対象とするモデル開発に比べて、地域対象のモデル開発の実績は乏しい。今後のエネルギー・温暖化対策を検討するうえで、地域レベルの身近な政策立案は不可欠である。国外では、欧州において、ALPS(Advance Local Energy Planning)の活動がある。これはエネルギーシステムモデル MARKAL(Market Allocation)を欧州の各地域に適用し、対象地域のエネルギーシステムの特徴を明らかにし、将来に向けたエネルギー・温暖化対策を提示している。本モデルは IEA(国際エネルギー機関)の ETSAP(国際協力プロジェクト)で開発が進められている。

筆者は、エネルギーシステム工学を専門としている。日本原子力開発機構が開発した日本版 MARKAL を改良し、新エネルギー技術の進歩率(累積生産量によるコスト低減率)を用いて、日本の 2050 年までにおける新エネルギー技術の導入分析を行った実績がある(島崎洋一・北嶋敏憲、補助金効果と学習効果を考慮したエネルギー技術の導入分析、エネルギー・資源、査読有り、28(4)、41-47、2007)。この研究を踏まえて、地域のエネルギーシステムを考慮した定量的な分析に発展させる。

2. 研究の目的

本研究は、対象地域のエネルギーデータベースに基づき、数理モデルを開発し、地域のエネルギー・温暖化対策のシナリオを定量的に提示することを目的とする。研究成果を積極的に公開し、数理モデル開発の情報交換を積み重ねることによりエネルギー学の実現に寄与する。最終的には、数理モデルが政策決定者や地域関係者の共通言語の役割を果たし、合意形成に向けた政策提言のツールとして活用することを目標とする。

対象地域は 2009 年 4 月に地球温暖化対策実行計画を策定した山梨県とする。本計画では、温室効果ガスの排出量について、2012 年の短期目標(1990 年比 16%削減)、2020 年の中期目標(2005 年比 36%削減)、2050 年の長期目標(CO₂ゼロやまなし)のように数値化し、具体的な温暖化対策を行うことを明言している。特に、「CO₂ゼロやまなし」は画期的な目標であり、再生可能エネルギーの積極的な導入、

森林整備による吸収、排出量取引などの新たな手法を活用し、県内の二酸化炭素排出量ゼロの実現を掲げている。

3. 研究の方法

数理モデルの開発は、最適化型のエネルギー技術選択モデルを主軸に位置づけた。既存統計や既存モデルの活用を図る観点から、日本原子力開発機構が開発した日本版 MARKAL に着目した。このモデルは、線形計画法を用いて、システムコスト最小化の観点から、対象地域におけるエネルギー需給システムの構造とエネルギー技術の利用規模が最適決定されるボトムアップ型である。対象期間は 5 年刻みで 1990 年から 2050 年までである。はじめに、運輸部門対象のモデルを開発し、動作確認をした後、産業部門と民生部門を含めた全部門対象のモデルに拡大した。

日本版 MARKAL に設定されているパラメータを山梨県の規模に置換する方法を用いた。1990 年から 2010 年までは実績値を与え、2015 年以降は予測値を適用した。地域におけるエネルギーデータベースを構築するにあたり、経済産業省の都道府県別エネルギー消費統計を参照した。さらに、山梨県地球温暖化対策実行計画、やまなしグリーンニューディール計画など、地域のエネルギー政策からデータを抽出した。特に、後者の計画では、山梨県の恵まれた自然環境を生かし、クリーンエネルギーの普及促進に取り組むことにより、低炭素社会の実現と経済活性化の両立を提示している。クリーンエネルギーとして、太陽光発電、小水力発電、バイオマス、燃料電池を 4 つの柱としている。

本分析では、山梨県のクリーンエネルギーの中で最も注目されている太陽光発電に焦点をあてた。山梨県は全国有数の日照時間を生かして、個人住宅から公共施設、メガソーラー発電まで多様な設備を導入する「ソーラー王国やまなし」を目標としている。山梨県のクリーンエネルギー賦存量等調査報告書によると、太陽光発電の導入量は、2005 年の 14MW に対して、2020 年に 270MW、長期的に 1768MW としている。長期的な試算結果を 2050 年と仮定し、それぞれ太陽光発電導入の上限值とした。

一方、日本全体では、2010 年 6 月にエネルギー基本計画を策定し、2030 年に向けて、エネルギー自給率およびゼロエミッション電源の倍増など、具体的な政策措置と数値目標を掲げた。しかしながら、2011 年 3 月の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故により、エネルギー基本計画をゼロベースで見直しているのは周知の事実である。これらの事情を踏まえ、二酸化炭素排出量の削減

シナリオと原子力発電の設備容量シナリオを組み合わせて最適化計算を行った。表1に計算ケースの概要を示す。表2は二酸化炭素排出量の制約条件である。表3に重要なパラメータとして化石燃料の価格設定を示す。日本政府の価格シナリオは2030年までのため、それ以降は一定の値と仮定した。本モデルの目的関数は、システムコストであり、1990年から2050年までの燃料費、設備費、維持費の総和を割引率3%により求められる。

ただし、最適化モデルでは、産業間の繋がりに関する分析をあまり行うことができない。また、2050年までのエネルギー需要が所与として設定されるため、人口増減や経済成長など社会シナリオの変動を考慮する必要がある。そこで、最適化手法を補うモデルアプローチとして、地域産業連関モデルおよびシミュレーションモデルを開発した。地域産業連関モデルでは、産業連関表を応用し、1990年と2005年における32部門の二酸化炭素誘発量を算出した。山梨県の産業構造と環境保全の動向を把握するため、部門別生産誘発額と部門別二酸化炭素誘発量の時系列変化を分析した。シミュレーションモデルでは、1990年から2010年までの県内総生産、人口、生産指数、輸送指数と部門別最終エネルギー消費量の相関分析を行い、相関係数が5%有意水準を満たすことを前提条件として、2050年までの社会シナリオの変化による部門別エネルギー需要量の変動やエネルギー対策シナリオの効果を推計した。

4. 研究成果

(1)最適化モデルの結果

表4に部門別最終エネルギー消費量の結果を示す。2010年以降、産業部門と民生部門がほぼ一定に対して、運輸部門が減少する傾向となった。実績値と計算値の比較した結果、計算値が実績値より小さい傾向にあり、1990年が4.9%、2000年が2.6%、2010年が11.6%の差となった。2050年の二酸化炭素排出量は、BAUにおいて4385ktCO₂であり、1990年の5730ktCO₂に比べて、23.5%が低減される。

表5に1次エネルギー供給比率の結果を示す。2050年の化石燃料の占める割合は、BAUが66.9%、Case Aが52.2%、Case Bが58.6%となった。特に、石炭の割合が大きく変化し、BAUの24.1%に対して、二酸化炭素排出量制約を行う場合、8.7%まで低減する。水力発電を含む再生可能エネルギーは、BAUが16.2%に対して、二酸化炭素排出量制約を行う場合、3割を超える結果となった。

表6に電力供給比率の結果を示す。火力発電が占める割合は、BAUが33.5%、Case Aが4.9%、Case Bが18.9%となった。水力発電は1990年から2050年までの全期間を通じて

10%程度で推移するが、水力発電を含まない再生可能エネルギーは、BAUが15.8%、Case Aが49.6%、Case Bが60.7%となった。

表7に電力設備容量比率の結果を示す。火力発電が占める割合は、BAUが46.6%、Case Aが10.2%、Case Bが17.3%となった。一方、再生可能エネルギーが占める割合は、BAUが12.2%、Case Aが63.4%、Case Bが69.1%となった。2050年の太陽光発電の導入規模は、Case Aが960MW、Case Bが1350MWである。2050年の二酸化炭素排出量を1990年比60%まで低減するためには、太陽光発電の導入量を山梨県のクリーンエネルギー賦存量等調査報告書の長期的な利用可能量(1768MW)に近づける必要がある。

表1 最適化モデルの計算ケース

	二酸化炭素排出量制約	原子力発電
BAU	なし	現状維持
Case A	2050年に90年比60%減	現状維持
Case B	2050年に90年比60%減	縮小

表2 二酸化炭素排出量の制約条件[ktCO₂]

1990年	2005年	2015年	2020年	2050年
5730	6867	5869	5432	2292

[出典] 山梨県；地球温暖化対策実行計画(2009)

表3 化石燃料の価格設定[\$/GJ]

	1990年	2010年	2020年	2030年
原油	4.02	13.86	18.88	20.36
石炭	2.06	4.43	4.71	4.83
天然ガス	4.13	10.70	12.50	13.45

[出典] 国家戦略室；エネルギー・環境会議(2012)

表4 最終エネルギー消費量の結果[PJ]

	1990年	2000年	2010年	2050年
産業	17.7	22.4	16.3	18.0
民生	17.9	23.8	23.4	22.2
運輸	36.7	45.8	33.0	21.8

表5 1次エネルギー供給比率の結果

	1990年	2050年 BAU	2050年 Case A	2050年 Case B
石油	64.4	25.8	20.7	20.2
石炭	14.5	24.1	8.7	8.7
天然ガス	8.4	17.1	22.9	29.7
原子力	8.1	16.8	15.9	4.1
再生可能	4.6	16.2	31.9	37.4

表6 電力供給比率の結果

	1990年	2050年 BAU	2050年 Case A	2050年 Case B
火力	59.6	33.5	4.9	18.9
原子力	27.0	37.2	33.8	8.5
水力	12.8	13.5	11.7	11.8
再生可能	0.5	15.8	49.6	60.7

表 7 電力設備容量比率の結果

	1990年	2050年 BAU	2050年 Case A	2050年 Case B
火力	65.4	46.6	10.2	17.3
原子力	15.9	19.1	13.4	2.7
水力	18.7	22.1	12.9	10.9
再生可能	0.0	12.2	63.4	69.1

(2) 産業連関モデルの結果

1990年と2005年における32部門別の生産誘発額と二酸化炭素誘発量の構成比を分析した。二酸化炭素誘発量の構成比が大きく減少したのは、電力・ガス・熱供給、運輸、建設の3部門であり、14.8%、13.8%、12.5%から、10.0%、9.4%、8.1%までそれぞれ変化した。一方、二酸化炭素誘発量の構成比が大きく増加したのは、窯業・土石製品であり、4.2%から8.3%まで変化した。部門別の環境負荷(二酸化炭素誘発量と生産誘発額の比)に着目した場合、窯業・土石製品の生産誘発額の構成比は1.0%を維持しているため、環境負荷は増加傾向にある。電力・ガス・熱供給、運輸の環境負荷は減少しているが、建設の環境負荷は変化していない。これは、建設の生産誘発額の減少に比例し二酸化炭素誘発量が減少したこと起因する。山梨県の主要産業である一般機械、電気機械の環境負荷は変化していないことが明らかになった。

(3) シミュレーションモデルの結果

1990年と2010年の部門別最終エネルギー消費量を比較した結果、産業部門が0.85倍、家庭部門が1.33倍、業務部門が1.57倍、運輸部門が0.96倍となった。次に、経済成長(県内総生産を指標)に伴う部門別最終エネルギー消費量を推計した。その結果、経済成長の影響を最も受けやすいのは業務部門であることがわかった。

(4) 今後の展望

山梨県は、2050年頃までにクリーンエネルギーの導入促進と省エネルギー対策を両輪に県内の消費電力すべてをクリーンエネルギー発電で賄う「エネルギーの地産地消」の実現を目指すことを公表した。2013年4月には実現に向けたロードマップを公開し、短期、中期、長期の目標や施策の方針が示唆された。また、2013年度、山梨県環境保全審議会に地球温暖化対策部会を設置することが決定している。今後、本研究で開発した数理モデルの改良を継続し、地域におけるエネルギー・温暖化対策の合意形成に向けた政策提言のツールとして活用する計画である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① 島崎洋一、産業連関表による二酸化炭素誘発量の時系列分析、環境科学会、2012年9月14日、横浜国立大学(横浜市)
- ② 島崎洋一、地域におけるエネルギー技術評価モデルの最適化計算、エネルギー・資源学会、2012年1月31日、砂防会館(千代田区)
- ③ 島崎洋一、地域におけるエネルギー技術評価モデルの開発、環境科学会、2011年9月17日、関西大学(西宮市)
- ④ 島崎洋一、山梨県におけるエネルギー技術評価モデルの最適化計算、エネルギー・資源学会、2011年6月3日、砂防会館(千代田区)
- ⑤ 島崎洋一、山梨県におけるエネルギー技術評価モデルの開発、エネルギー・資源学会、2011年1月26日、砂防会館(千代田区)

[その他]

- ① 島崎洋一、将来どんな社会や生き方を選んだらいいのだろう、Science Window、2011年8-9月、5巻3号
- ② 島崎洋一、新エネの効率的利用をめざす、山梨日日新聞(朝刊)、2010年7月30日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島崎 洋一 (SHIMAZAKI YOICHI)
山梨大学・大学院医学工学総合研究部
・准教授
研究者番号：30313787

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし