

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 24 年 5 月 23 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360477

研究課題名（和文） 低炭素型エネルギー・環境・経済モデルの構築

研究課題名（英文） Development of Energy, Environment and Economy Model toward Low Carbon Society

研究代表者

内山 洋司（UCHIYAMA YOHJI）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：50323275

研究成果の概要（和文）：

地方自治体が置かれている状況を考慮し低炭素地域社会の構築を支援するエネルギー・環境・経済(3E)モデルを開発した。つくば市の人口構成、産業構造、所得、雇用、技術力、エネルギー需給などを考慮し、2030年までの低炭素地域社会の可能性を産業連関分析法で分析した。また、地域データを基にGISを利用することで、太陽光発電、ヒートポンプ、バイオマスエネルギー利用可能量と地域の電力負荷への影響を最適化モデルで明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

We developed the 3 E (energy, environment and economy) model which is able to evaluate the achievement of low carbon-local society. The input-output model was applied to analyze the potential of carbon reduction up to 2030 based on local data of population, industrial structure, income, labors, technological level, energy demand and supply at Tsukuba city. The optimal cost minimum model was also used to analyze the utilization of photovoltaic cell, heat pump and biomass energy as well as the effect of local electricity load curves at Tsukuba-city and Ibaraki prefecture based on the geographic information system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2010年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2011年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

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：温暖化対策、低炭素社会、産業連関分析法、ライフサイクル評価、技術評価

1. 研究開始当初の背景

地域の温暖化政策については、英国など欧州各国でその取り組みが始まったが、最

近はわが国でも地方都市においてバイオマスや太陽光発電など個別技術の普及に向けた活動が進んでいる。しかし、その活

動は地域の一部の機関に限られており、その削減量も政府の目標数値からみて大幅に下回ったものとなっている。温暖化対策を積極的に推進していくためには地域の関連機関が互いに情報を提供し合い削減に向けて協力していくノウハウと体制作りが必要になる。合理的な温暖化対策を地域社会で展開していくためには、どの地域でも共通して使える支援システムの開発が急務となっているが、残念なことにまだ開発がなされていない。つくば”では、2007年に「つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラム」が発足し、同年12月に第1回フォーラムが、翌2008年5月には第2回フォーラムが開催され、つくば市の二酸化炭素排出量を2030年までに半減するという目標を掲げ、その実現に向けて協力機関による取り組みが始まっている。協力機関には、つくば市、市民団体、企業、筑波研究学園都市の研究所などが参加しており、筑波大学は中核機関として組織の運営と削減活動に協力している。

申請者は、フォーラムならびに市の温暖化対策推進委員会の委員として、つくば市や関連機関と連携し推進に協力している。これまで、エネルギーを中心とする技術評価、環境分析、ライフサイクル評価の分野において長年にわたりエネルギー・環境政策の支援システムの開発に従事してきている。

2. 研究の目的

本研究は、地方自治体が置かれている状況を考慮し低炭素社会を構築する上で必要となる支援システムの開発を目的とする。支援システムは、企業や市民など個々の活動を基本とし、関連機関である地方自治体、大学、NPO、消費者団体などがどのように協力し合えば温室効果ガスが大幅に削減できるかを

明らかにするものである。

3. 研究の方法

本研究で開発する「低炭素地域社会を支援するエネルギー・環境・経済（3E）モデル」は、国ならびに地域の温暖化政策をマクロ的な視点からモデル化し、地域におけるミクロ的な温暖化対策である省エネルギーの推進と新エネルギーの普及を技術、経済、社会面を考慮して定量的に分析し評価するものである。それは、地域レベルでの温暖化対策を経済、システム、技術面から総合的に分析することができる特色を有している。研究は茨城県とつくば市を事例として実施するが、開発されるモデルは他の自治体においても活用できる汎用性のある分析評価手法を目指している。

研究で開発するモデルは、以下に掲げる検討項目を統合するものである。

【国レベル】

- (1) 低炭素社会構築に向けた国レベルの諸政策
- (2) 部門別（産業、運輸、民生）に見た具体的な削減政策
- (3) トップダウンによる温暖化抑制のシステム・技術評価

【県・市レベル】

- (1) 国の政策に基づく低炭素地域社会の実現可能性
- (2) 小規模分散型電力・水素エネルギーネットワークシステムの構築
- (3) 地域における低炭素型インフラの整備と高効率製品の普及

上記の項目を分析するために、本研究では政策、経済、資源、技術、環境面から整合的に分析できる「経済・政策連携モデル」「地域エネルギーシステム・技術評価モデル」「製品ライフサイクルモデル」を開発する。

4. 研究成果

(1) 産業連関分析を用いた地方自治体における低炭素 3E モデルの構築：つくば市の事例研究

本研究では、近年「つくば環境スタイル行動計画」が策定され、低炭素社会化に向けた動きが加速しつつあるつくば市を対象として、2030 年までのエネルギー・環境分析を行う。通常、市町村レベルの分析においては、情報保護の観点等から部門別の生産額やエネルギー使用に関するデータの入手が不可能である場合が多く、部門別のエネルギー・環境分析を困難にしている。そこで本研究では、ノンサーベイ法を用いてつくば市産業連関表の作成を行い、更につくば市が作成した産業、業務、家庭、運輸に関するエネルギーデータを、全国エネルギーバランス表等を用いて 26 部門のエネルギーデータに分解することで、市町村レベルでの環境・エネルギー分析を可能にした。具体的には、産業連関分析手法を用いて 2005 年の CO₂ 排出量やその構造を把握した後、「つくば環境スタイル行動計画」で提案されている環境政策の CO₂ 削減効果を推計し、2030 年までに一人当たりの CO₂ 排出量を半減するというつくば市の環境目標が実現可能かどうかを分析した。

その結果、現在、「つくば環境スタイル行動計画」で考案されている環境政策では、目標の達成が困難なことが明らかになった。補助金制度で省エネルギー製品の導入が進んだとしても、各政策の削減量は目標の 2～10%程度であり、削減量の大半は意識改革という形で市民意識に大きく依存していることが分かった。

(2) 民生部門における再生可能エネルギーの環境・経済分析：茨城県における太陽光発電とヒートポンプの大規模普及

本研究では、民生部門における対策として期待されている HP、および PV の大規模普及によって削減可能な CO₂ 排出量、および必要なコストを算出するために、多照年や寡照年等の日射条件、気温の変動、および余剰電力買い取り制度などの政府の政策を考慮可能な負荷曲線を考慮したエネルギー需給推計モデルを作成した。そして、首都圏から近く、多様な産業のある茨城県を対象として、CO₂ 削減コスト、地域の再生可能エネルギー導入ポテンシャル、および余剰電力発生量の推計を行った。

作成した負荷曲線によってエネルギー需給推計モデルを用いることで、個々の需要家から、小街区、市町村、県レベルまで幅広く環境・経済分析を行うことが可能になった。個々の需要家として今回は住宅を対象としたが、20 年間のトータルコスト、年間 CO₂ 削減量、余剰電力買取制度導入による負担額等を、地域性を含めて定量的に示すことができた。また、地域再生可能エネルギー導入効果、および影響の分析として、HP・PV の最大導入ポテンシャル、CO₂ 削減ポテンシャル、および地域余剰電力量を推計した。民生部門における CO₂ 削減ポテンシャルはどの市町村においても、HP で 20 %以上、PV で 10～20 %であることが確認され、PV と比較して HP のポテンシャルの高いことが明らかになった。また、電力需要について本モデルで推計した値と既存の統計値を比較したところ、茨城県全体では業務部門と家庭部門ともに 15 %以内の差になった。

今後の展開としては、再生可能エネルギーの社会への普及促進時の情報提供ツールの作成や、地方自治体における、地域特性を考慮した再生可能エネルギー普及促進制度設計への利用が考えられる。

(3) 農作物の CO₂ 排出構成とヒートポンプ

の導入効果分析：茨城県におけるケーススタディ

本研究では、農業部門における低炭素化、およびエネルギー構成の多角化を効果的に進めていくために、農作物の生産および輸送プロセスについてそのライフサイクルで見た評価を行い、作物、生産方法、およびプロセスによってそのCO₂排出量および排出構成を定量化することで、低炭素化のポテンシャルを多く有すプロセスを明らかにした。また、農業分野における低炭素化、およびエネルギー価格の変動リスクを低減するための対策として、ハウス栽培の加温に用いられる石油燃料の代替技術にヒートポンプの導入を提案し、その導入効果を経済性・環境性・価格変動リスクの観点から評価可能なモデルを開発した。さらに、茨城県のハウス栽培を想定した3種類のケーススタディを行い、ヒートポンプ導入によるその効果を求めた。

農作物のCO₂排出構成は、生産プロセスの光熱動力からの割合が高く、これは主にハウス栽培の加温に使用される燃料の燃焼による排出に起因していることが明らかになり、ライフサイクルから見た農作物の低炭素化のためには、ハウス栽培の加温に伴う熱源の代替を進めることが効果的であることが示された。

本研究で開発したヒートポンプの導入効果分析モデルにより、ハウス栽培における諸パラメータを入力することで、任意の設定温度、栽培期間において冷暖房に要するエネルギー需要量を推計することができる。さらに、ヒートポンプの導入による総費用、CO₂排出量、総費用の変動リスクを定量化することができる。本モデルは、これまで実測を基に検討がなされてきたハウス栽培の加温代替技術において、定量的なヒートポンプの導入効果を簡易に把握するための一助になると考え

られる。

開発したモデルを用いてケーススタディを行った結果、ヒートポンプは従来の重油暖房機による加温方式と比較して、15年運用した場合、2台の導入で総費用を17%、5台の導入でCO₂排出量を72%削減することができ、3台の導入で総費用の変動リスクを90%低減できることが明らかになり、重油暖房機のみで加温を行う従来のシステムよりも優位となることが定量的に示された。また、今後エネルギー価格変動への懸念や、CO₂排出抑制による経済的なインセンティブが高まることで、ヒートポンプの価値が向上すると考えられる。

(4) 茨城県におけるバイオマスエネルギー生産の最適化分析

本研究では、地域のバイオマス活用分析としてまず、先行研究で多く用いられているGISを用いて、先行研究よりも高い空間解像度から都道府県単位の分析対象範囲で、より詳細なバイオマスの利用可能量データと輸送距離データを得た。次に、輸送費用の最小化計算に基づきエネルギー転換施設を立地するための要因である設備の設置位置・数・処理規模を決定した。そして、分析対象の茨城県における地域の現状に即し、輸送費用と建設費用のトレードオフを解決するバイオマス利用のモデルを提案し、その費用便益・環境影響分析を行った。

具体的には、日本におけるバイオマスの利用状況について述べ、バイオマスの利用を拡大するために解決すべき要因を挙げた。また、本研究の分析手法であるGISの利用方法、および輸送費用の最小化計算に用いるpメディアン問題、さらに費用便益・環境影響分析、および分析の対象となる各種バイオマス、およびバイオマスの処理方法毎のデータを設定した。さらに研究によって、茨城県におけ

るバイオマス利活用のモデル、およびその分析結果を得ることができた。

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)

[雑誌論文] (計 4 件)

- 1) 田村聡、内山洋司、岡島敬一、「太陽光発電の普及による地域電力負荷および経済性の分析：つくば市におけるケーススタディ」、社会経済研究、Vol. 58, pp. 15-25 (2011).
- 2) 溝口勝哉、内山洋司、岡島敬一、小田秀充、「地域性を考慮した農作物の生産および輸送に伴う CO2 排出量評価」、日本 LCA 学会誌、Vol. 6, No. 3, pp. 217-223 (2011).
- 3) 佐無田啓、内山洋司、岡島敬一、「茨城県におけるバイオエネルギー生産と輸送の最適化分析」、エネルギー・資源、Vol. 32, No. 2, pp. 16-23 (2011).
- 4) 岡島敬一、内山洋司、「リサイクル技術を考慮した太陽電池ライフサイクル評価」、日本 LCA 学会誌、Vol. 5, No. 4, pp. 521-528 (2009).

[学会発表] (計 16 件)

- 1) Takahiro Kawata, Seima Tsunoka, Yohji Uchiyama, Keiichi Okajima and Takeshi Kaneda, "Life Cycle Analysis of Lumber Drying System with the Application of Microwave Dielectric Heat", International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), July 12, 2011, Hong Kong (中国)
- 2) 田村聡、内山洋司、岡島敬一、「地域における PV と HP の大規模普及による環境・経済分析～茨城県の民生部門におけるケーススタディー～」、エネルギー・資源学会、第 27 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2011 年 1 月 26 日、砂防会館 (東京都)

- 3) 新井佑佳、内山洋司、岡島敬一、「地域産業連関表を用いたエネルギー・環境分析～茨城県・つくば市の事例研究～」、エネルギー・資源学会、第 27 回エネルギーシステム、経済、環境コンファレンス、2011 年 1 月 26 日、砂防会館 (東京)
- 4) 溝口勝哉、内山洋司、岡島敬一、「ヒートポンプの CO2 削減効果と価格リスク分析～茨城県のハウス栽培におけるケーススタディー～」、エネルギー・資源学会、第 27 回エネルギーシステム、経済、環境コンファレンス、2011 年 1 月 25 日、砂防会館 (東京都)
- 5) 平山健斗、岡島敬一、内山洋司、「プロセスシミュレータを用いた水素製造の検討と CO2 排出評価」、エネルギー・資源学会、第 27 回エネルギーシステム、経済、環境コンファレンス、2011 年 1 月 25 日、砂防会館 (東京都)
- 6) 岡島敬一、籾生容子、内山洋司、「各地の気温・日射量を考慮したヒートポンプおよび太陽光発電の評価」、日本エネルギー学会、第 19 回日本エネルギー学会大会、2010 年 8 月 3 日、工学院大学 (東京)
- 7) 佐無田啓、内山洋司、岡島敬一、「茨城県におけるバイオエネルギー生産の最適化分析」、エネルギー・資源学会、第 29 回エネルギー・資源学会研究発表会、2010 年 6 月 16 日、大阪国際会議場 (大阪府)
- 8) 江藤諒、内山洋司、岡島敬一、「地域 CGS モデルを用いた地方自治体における炭素税導入効果の分析」、エネルギー・資源学会、第 29 回エネルギー・資源学会研究発表会、2010 年 6 月 16 日、大阪国際会議場 (大阪府)
- 9) Satoshi Tamura, Yohji Uchiyama and

- Keiichi Okajima, “Local Efficient of Power Load Curve and Economy Analysis with Widespread of Photovoltaic Power Generation in Japan”, International Conference on Applied Energy 2010 (ICAIE2010), April 22, 2010, Singapore (シンガポール)
- 10) 重森敏郎、岡島敬一、内山洋司、「石油精製プロセスにおける副生水素ポテンシャルの検討と CO2 排出評価」、エネルギー・資源学会、第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、平成 22 年 1 月 26 日、砂防会館（東京）
 - 11) 河田貴泰、内山洋司、岡島敬一、「トップランナー型民生機器の普及による二酸化炭素の排出削減分析」、エネルギー・資源学会、第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、平成 22 年 1 月 26 日、砂防会館（東京）
 - 12) 旗生容子、岡島敬一、内山洋司、「気温・日射量を考慮したヒートポンプ・太陽光発電の各地域における導入効果の評価」、エネルギー・資源学会、第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、平成 22 年 1 月 26 日、砂防会館（東京）
 - 13) 佐無田啓、内山洋司、岡島敬一、「地理情報システムを用いた茨城県におけるバイオエタノール生産の費用便益分析」、エネルギー・資源学会、第 28 回エネルギー・資源学会研究発表会、平成 21 年 6 月 10 日、虎ノ門パストラル（東京）
 - 14) 田村聡、内山洋司、岡島敬一、「地域における太陽光発電普及による電力負荷特性と経済性分析」、エネルギー・資源学会、第 28 回エネルギー・資源学会研究発表会、平成 21 年 6 月 11 日、虎ノ門パストラル（東京）
 - 15) 新井佑佳、内山洋司、岡島敬一、「ノン

サーベイ法による市町村産業連関表の作成」、エネルギー・資源学会、第 28 回エネルギー・資源学会研究発表会、平成 21 年 6 月 11 日、虎ノ門パストラル（東京）

- 16) Ryo Eto, Yohji Uchiyama and Keiichi Okajima, “A scenario analysis of energy-economic in Ibaraki Prefecture in 2030”, 17th International Input-output Conference, May 10-12, 2009, San Paulo (ブラジル)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内山 洋司 (UCHIYAMA YOHIJI)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号：50323275

(2) 研究分担者

岡島 敬一 (OKAJIMA KEIICHI)
筑波大学・システム情報系・准教授
研究者番号：60303533