

地域別再生可能エネルギーミックスの多目的最適化ツールの開発と応用

Development and Application of a Multi-Objective Optimization Tool for Renewable Energy Mix in Municipalities

指導教員 町村尚准教授・地球循環共生工学領域

28H14050 堀啓子 (Keiko Hori)

Abstract: To introduce the renewable energy in regional communities, it is necessary to select a sustainable energy mix on the basis of evaluation from multiple viewpoints including complex environmental impacts. The purpose of this study is to develop a tool for multi-objective optimization and evaluation of renewable energy composition in municipalities considering multiple environmental criteria. This tool was developed by creating a database of energy demand and renewable energy supply potential of all municipalities in Japan and designing six objective functions as evaluators. NSGA-II, a kind of genetic algorithms was applied as a method to solve multi-objective optimization. A case study for a municipality showed that the developed tool successfully calculated pareto solutions having trade-off and one best solution could be selected from the pareto solutions.

Keywords: Renewable energy, Multi-objective optimization, Genetic algorithm, Local energy system

1. はじめに

再生可能エネルギー(以下 RE)導入の急増に伴い、太陽光発電への偏重や電源系統への接続容量の限界、RE 導入地域の自然破壊等の問題が生じている¹⁾。そのため環境影響を含め多面的な影響や効果の評価に基づき、地域における持続可能な RE 利用計画の選択や策定を支援する必要がある。よって本研究では、複合的な環境指標を加えた RE ミックスの多目的最適化ツールの開発を目的とする。

2. 方法

2.1 市区町村別 RE 供給ポテンシャルおよびエネルギー需要のデータベース構築

全国の市区町村別の RE 供給ポテンシャルおよびエネルギー需要のデータベースを構築した。供給ポテンシャルについては太陽光発電、太陽熱、風力発電、中小水力発電、地熱発電、バイオマス発電を対象とし、環境省再生可能エネルギーポテンシャル調査報告書と NEDO のバイオマス賦存量・有効利用可能量の推計からデータを得た。需要については、資源エネルギー庁の都道府県別エネルギー消費統計からデータを引用し、民生部門および農林水産業を対象として市区町村別に需要を推計した。

2.2 数理式の構築

本ツールは、細分類した 125 種の RE の導入量を操作変数とし、それに応答する RE 利用率、経済収支、CO₂削減率、生態系影響面積、バイオマス資源循環率、多様性指数の 6 関数の出力値を評価する数理モデルとして構築した。これら 6 種の目的関数に加え、熱需要以上の熱供給は行わないとする制約条件や、風力発電は各地域に割り当てられた系統接続の上限値以上には導入できないとする制約条件など、実行可能な解を算出するための制約条件式を設計し課した。

2.3 多目的最適化アルゴリズムの構築

多目的最適化アルゴリズムは、第 3 世代の遺伝アルゴリズムである高速非優越ソートアルゴリズム²⁾(以下 NSGA-II)を本モデル用に改良したものを開発した。NSGA-II は、パレートランキングと混雑度の計算、エリート保存の手続きにより多様性を維持したパレート解集合を導くアルゴリズムである。

2.4 多目的最適化ツールの適用と評価

新潟県佐渡市を対象に本ツールを適用した。個体は 10000、世代は 100 とし、設計した目的関数 6

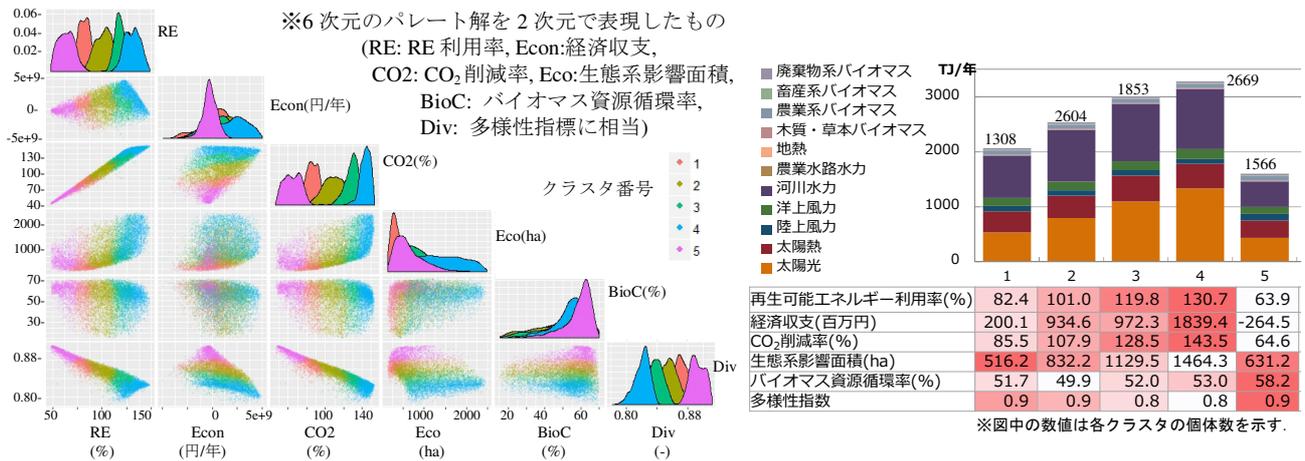


図1 佐渡市を対象としたパレート解集合

図2 クラスタ別のRE導入量と目的関数値の重心

次元でのパレート解集合を算出し、自己組織化マップと階層クラスタリングを用いてRE種別の導入量によるクラスタリングを行った。更に佐渡市役所のRE利用施策担当者へのヒアリングで得られた佐渡市がRE利用に関して重視する事項を反映し、パレート解から最適解を抽出した。

3. 結果と考察

多目的最適化とクラスタリング結果を図1と図2に示す。図1から、トレードオフの関係にある目的関数と、各目的関数値における実行可能解の存在領域が把握できる。例えばクラスタ4はRE利用率と経済収支の2次元でのパレート境界の解が所属するクラスタであるが、多様性指数が元も小さく生態系影響面積が最も大きな個体群となっている。これは、太陽光発電と水力発電の導入量を増やすことでRE利用率や経済収支において優れた組み合わせになっているものの、これらのエネルギー種に導入が偏ったため多様性指数が低下し、また生態系に影響を与える可能性のあるエネルギーも多く利用する結果になってしまったことに起因すると考えられる。それに対し、クラスタ5は多様なRE種がバランスよく導入され、生態系に影響を与える水力発電なども多く用いない解群となっているため、生態系影響面積や多様性指標では優位であるが、RE利用率や経済収支、CO₂削減率等で最も劣っている。図1からも、クラスタ4と5が最も離れた空間に存在することがわかる。このように、トレードオフを有するREの組み合わせのオプションを提示し、そのトレードオフを可視化できた。

更に佐渡市役所のRE利用施策担当者へのヒアリングにより、RE利用率と経済収支が高く地域振興に資する計画であることが最も重要であり、加えてバイオマス資源の利用の促進が望まれていることが分かった。そのためRE利用率と経済収支が最も優位なクラスタ4に着目し、その中からバイオマス資源のエネルギー利用量が最も大きい解を最適なREミックスとして抽出した。本ツールの有用性について佐渡市の担当者からは、独立電源系統である点や、地域を支える基盤であるバイオマス資源利用の価値評価等、地域特有の事情を反映できるモデルになることが望ましい等の評価を得た。

4. 今後の課題

本研究の6次元の最適化は多数目的最適化であり、パレートランキング式の遺伝アルゴリズムではパレート解の選択圧が低下するという問題が本研究の結果からも明らかになった。よって今後はアルゴリズムの改良を行うとともに、各地域特有の電源系統の構造や地理的制約、またエネルギー需要側の動向も再現でき、それを加味して多数目的最適化できるモデルへ改良していく予定である。

参考文献

- 1) 環境エネルギー政策研究所：自然エネルギー白書 2015, 2016.
- 2) K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan : A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II, Evolutionary Computation, IEEE Transactions on 6 (2), pp.182-197, 2002.