

再生可能エネルギーミックスの地域別最適化とクラスタリングによる需給特性の俯瞰 Optimization of Renewable Energy Mix in Municipalities and Overview of Regional Energy Supply and Demand Characteristics by Clustering

堀啓子^{*1} 松井孝典^{*1} 蓮池 隆^{*2} 福井健一^{*3} 町村尚^{*1}
HORI Keiko MATSUI Takanori HASUIKE Takashi FUKUI Kenichi MACHIMURA Takashi

^{*1} 大阪大学大学院工学研究科
Graduate school of Engineering, Osaka University

^{*2} 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{*3} 大阪大学 産業科学研究所
Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

To implement renewable energy to regional communities, it is required for residents and government of the region to design sustainable energy mix which adapts to the characteristics of the place. In addition, it is also necessary that prefectures or national government develop appropriate renewable energy promotion policies to support regional with grasping their energy characteristics. Therefore, this study calculated the optimal solution of renewable energy mix when all cities introduced to the maximum, and performed clustering the solution by using a Self-Organizing Map. As a result, city groups which have similar combination characteristic of renewable energy were overviewed and knowledge that will contribute to decision about energy policy was provided.

1. はじめに

地域分散型の再生可能エネルギーの導入は、地域の住民や行政等が主体となり、各地域の特性に応じてテーラーメイド的に展開する必要がある [環境エネルギー政策研究所 2014]。更に地域でのエネルギー転換の実現のためには、各市区町村が持つエネルギー特性を把握した上で、都道府県や政府が地域を支援する適切な再生可能エネルギー導入振興促進政策を策定することも重要である。よって適切な政策決定に資する知見を提供するべく、本研究では再生可能エネルギーを日本の各市区町村で最大に導入した場合の再生可能エネルギーの組み合わせ最適解を算出し、クラスタリングを行うことで全市区町村の再生可能エネルギーミックスの特性を俯瞰した。

2. 分析方法

2.1 再生可能エネルギー最適化ツール: REROUTES

市区町村別の再生可能エネルギー導入の組み合わせ最適解の算出には、現在開発を進めている REROUTES (Renewable Energy Regional Optimization Utility Tool for Environmental Sustainability) ver.1.1 を用いた。本ツールは市区町村スケールで再生可能エネルギーを導入する際の希望条件を入力することで、その条件を満たす再生可能エネルギーミックスの最適解を算出し、解の環境的、経済的側面の評価を行う。対象とする再生可能エネルギーは太陽エネルギー、風力、中小水力、地熱、バイオマスエネルギーによる電力・熱供給であり、評価指標は再生可能エネルギー利用率、経済収支、CO₂削減率、バイオマス資源循環率、生態系影響面積指標である。本稿では紙面の制約上、モデル設計を詳細に記述することができないが、全てのパラメータやデータベース、指標設計等は [堀 2014] を参照頂ければ幸いである。

2.2 最適化条件

本研究では、各市区町村の再生可能エネルギー利用率の最大化を目的として 1742 の市区町村別に最適化を行った。その理由は、各市区町村が持つ再生可能エネルギーの導入ポテンシャルを最大限に利用した実行可能解を算出することで、日本における地域適合型エネルギー導入の可能性を示し、またその実現に必要な施策の検討に資する知見を得るためである。制約条件として、熱エネルギーは輸送が困難なため、再生可能エネルギー由来の熱利供給は地域内での熱需要を超過しないとした。また風力発電の導入量は、電力会社が提示する連系可能容量と各地域が有する陸上風力発電のポテンシャルに応じて地域ごとに決定された上限を超過しないことも条件として課した。モデルの実装は Microsoft 社の Excel2010 上で行い、最適化計算のためのソルバーは LINDO 社の What's Best! を利用して主単体法にて最適化を行った。

2.3 最適解による市区町村のクラスタリング

最適解の再生可能エネルギーの組み合わせ特性による市区町村のクラスタリングには自己組織化マップ (SOM: Self-Organization Map) を用いた [Kohonen T 1990]。入力変数は導出された再生可能エネルギーの組み合わせ最適解における中分類の再生可能エネルギー種の導入量の割合であり、入力データの次元数は中分類の再生可能エネルギー種数に等しい 11 である。入力データ数は全市区町村数の 1742 である。学習回数は 600 回とし、クラスタ数は kmeans 法により 20 と決定した。

3. 結果と考察

最適化およびクラスタリングの結果として、各クラスに属する市区町村の空間分布を図 1、各クラスで導入する再生可能エネルギー種の構成比を図 2 に示す。なお図 2 の構成比は、各クラスに属する市区町村の各再生可能エネルギー種の割合の重心から算出した。また各クラスの持つ再生可能エネルギーの組み合わせの特徴をクラス番号に併記した。

連絡先: 堀啓子, 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻, 565-0871, 大阪府吹田市山田丘 2-1, keiko.hori@ge.see.eng.osaka-u.ac.jp

クラスタ番号(N 数)

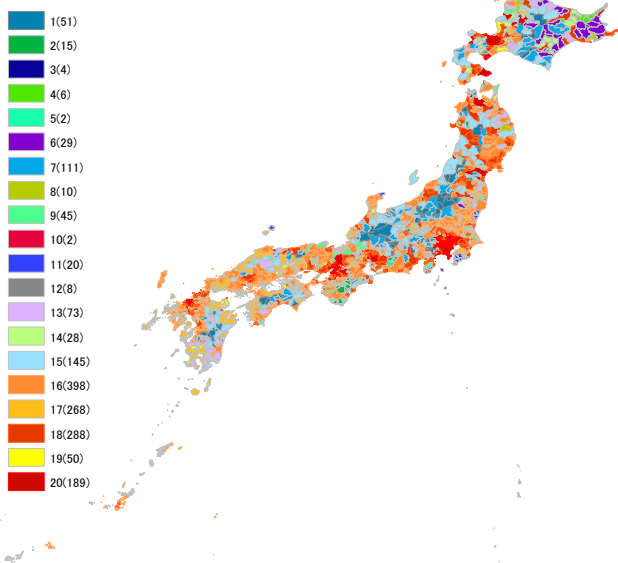


図1 各クラスタに属する市区町村の空間分布

図1は、河川水力を多く利用するクラスタ1や7に属する市区町村は日本列島の中央部に分布することを示している。これは当該地域が奥羽山脈や飛騨山脈などの山脈周辺を流れる急峻な河川に多く存在する水力発電のポテンシャルを利用するためと考えられる。また東京都心や大阪市などの大都市圏には太陽熱供給の多いクラスタ18や20に属する市区町村が多い。これは、大都市には太陽光パネルや太陽熱温水器などを設置可能な建物の屋上などの未利用平面が多く、更に民生部門の熱需要が多いため、太陽光発電よりもエネルギー効率の高い太陽熱供給が選択的に利用されたことに起因すると考えられる。このように、各地域の再生可能エネルギー供給ポテンシャルの賦存特性と需要特性を反映した再生可能エネルギーの組み合わせ特性をクラスタリングにより抽出できた。

また、クラスタ20に含まれる京都市、横浜市、千代田区は日本政府によって選定された環境モデル都市である。これらの都市は持続可能な都市づくりのために、再生可能エネルギーの利用をはじめとする大都市ならではの先進的な取り組みを行っている[内閣府 2009]。図1で示した結果から、クラスタ20に所属する市区町村群は再生可能エネルギー特性の類似する上記の3市の体験を参照して取り組みを行っていくことで、より効率的に事業を推進しうると考えられる。このように、本研究の結果は、日本国内での再生可能エネルギー導入のモデルケースの水平展開に資する知見ともなうことが期待される。

また、クラスタ20の解における評価指標の値の重心値は表1のようになる。これを見ると、経済的優位性の低い太陽熱供給の割合が大きいため、年間の経済収支が350億円の損失となり、電力に対する固定価格買取制度のみの現状の制度下では、このクラスタにとって経済合理性が低く、再生可能熱の利用拡大が期待できない。よって、クラスタ20の市区町村群に対しては、太陽熱利用にも経済的なインセンティブをつけるイギリスの「再

表1 クラスタ20の最適解における評価指標の重心

評価指標	結果
再生可能エネルギー利用率(%)	44.8
経済収支(十億円/年)	-35.7
CO ₂ 削減率(%)	-17.9
生態系影響面積(k m ²)	4.3
バイオマス資源循環率	100.0

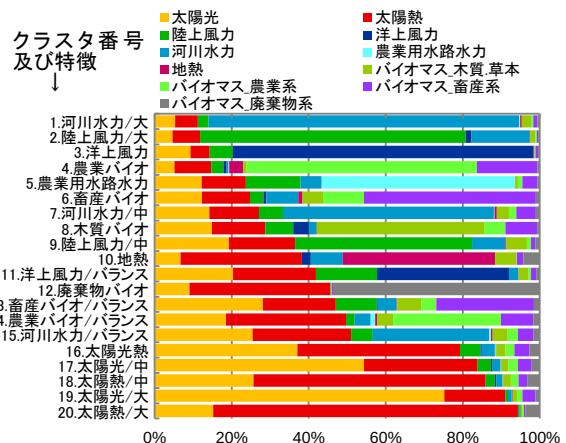


図2 各クラスタの再生可能エネルギー種の構成比

生可能エネルギー熱インセンティブ」[DECCUK 2012]のような政策的支援が求められる。更に、CO₂削減率の-17.9[%]という値は、クラスタ20の市区町村において再生可能エネルギーへの転換による削減量の限界を示しており、これ以上のCO₂削減には省エネルギー等のエネルギー需要の抑制も並行して行わなければならないことを示唆している。このように全市区町村の再生可能エネルギーの組み合わせ解の算出と特性俯瞰により、必要な制度設計や基本方針の策定に役立つ知見を得ることができたと考える。

4. 結論と今後の課題

本研究では、REROUTESにより算出した全市区町村の再生可能エネルギーの最大導入時の組み合わせ最適解をもとにクラスタリングを行い、その特性を抽出し大域的に俯瞰した。今後は、再生可能エネルギーの組み合わせに見られる特性だけでなく、各市区町村で導入するエネルギーの規模や、導入時の環境影響や経済性などの評価値も利用してクラスタリングを行い特性を俯瞰することで、支援が必要な地域やエネルギー、必要な施策の種類などの特定に資する知見を提供していく。

参考文献

- [環境エネルギー政策研究所 2014] 環境エネルギー政策研究所, 自然エネルギー白書 2014 サマリー版, <<http://www.isep.or.jp/jsr2014>>(2014.02.07 参照).
- [Kohonen T 1990] Kohonen T: The self-organizing map., Proceedings of the IEEE, 78, 1464-1480, 1990.
- [内閣府 2009] 内閣官房地域活性化統合事務局: 環境モデル都市の概要, <<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/kanky>>(2014.11.15 参照)
- [DECCUK 2012] Department of Energy & Climate Change of United Kingdom: Renewable Heat Incentive (RHI), <<https://www.gov.uk/government/policies/increasing-the-use-of-low-carbon-technologies/supporting-pages/renewable-heat-incentive-rhi>>(2015.02.19 参照)
- [堀 2014] 堀啓子, 松井孝典, 町村尚: 環境指標を複合化した再生可能エネルギーミックスの地域別最適化及び評価ツールの開発, 土木学会論文集(G), II_195-206, pp.70-6, 2014.