

淡路島における再生可能エネルギー供給可能量の空間的・定量的分析

坂口 卓司¹・田畑 智博²

¹学生会員 神戸大学大学院人間発達環境学研究科 学生 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲3-11)
E-mail:tsakaguchi@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院人間発達環境学研究科 准教授 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲3-11)
E-mail:tabata@people.kobe-u.ac.jp

本研究では、淡路島を事例として、本地域に賦存する再生可能エネルギー（バイオマス、風力、太陽光）の供給可能量を推計するとともに、島内のエネルギー需要を考慮したエネルギー供給可能性を検討した。これを実施するため、1) バイオマス資源のエネルギー導入ポテンシャルの推計、2) 現在稼働中の再生可能エネルギー設備によるエネルギー自給率の推計、3) 再生可能エネルギー導入ポテンシャルからみたエネルギー自給率の推計を行った。

結果の一部として、再生可能エネルギー導入ポテンシャルの合計は8,357TJ/yearであり、計算上、電気と熱を合わせた全エネルギー消費量（12,400TJ/year）の67.4%を再生可能エネルギーで賄えることが示された。

Key Words : Awaji Island, Biomass energy, Renewable energy, Supply potential, GIS

1. はじめに

気候変動や資源の枯渇などの課題を克服する手段として、再生可能エネルギーへの期待は年々高まっている。また、災害時のエネルギー供給やエネルギーの地産地消という観点から考えると、地域に存在するエネルギー資源は、地域内で消費されるのが望ましい。この際、地域の再生可能エネルギーの資源分布、人口やエネルギー需要構造などを評価するとともに、その地域に応じたエネルギー利用の在り方を検討することが重要である^{1,2)}。

本研究では、淡路島を事例として、本地域に賦存する再生可能エネルギー（バイオマス、風力、太陽光）の供給可能量を推計するとともに、島内のエネルギー需要を考慮したエネルギー供給可能性を検討する。特に、バイオマスについては、地理情報システム（Geographical Information System : GIS）を用いることで、地理的資源分布の可視化を試みる。地理情報により、資源が「どこ」に「どのくらい」存在するのかを把握することは、今後の運用を考えるときに必要不可欠である。再生可能エネ

ルギーの供給可能量の推計では、1) バイオマス資源のエネルギー導入ポテンシャルの推計、2) 現在稼働中の再生可能エネルギー設備によるエネルギー自給率の推計、3) 再生可能エネルギー導入ポテンシャルからみたエネルギー自給率の推計を行う。また、兵庫県の「あわじ環境未来島構想」の実現可能性についても考察する。

2. 研究の方法

(1) 対象地域

淡路島は、兵庫県に属しており、淡路市、洲本市、南あわじ市の3市で構成されている。島内の地理的關係を図-1に示す。人口は約15万人、面積は595km²である。また、淡路島では、エネルギーの持続・農と食の持続・暮らしの持続を掲げた「あわじ環境未来島構想」を推進している。この構想は、平成23年度に国の総合特区（地域活性化総合特区）に指定され、表-1にあわじ環境未来島構想の数値目標³⁾を挙げる。これによると、2050年の島

表-1 あわじ環境未来島構想の目標値

	現状	特区目標	あわじ環境未来島構想の目標		
	2011年	2016年	2020年	2030年	2050年
電力自給率	8%	17%	20%	35%	100%
CO ₂ 排出量	▲29%	▲32%	▲39%	▲55%	▲88%

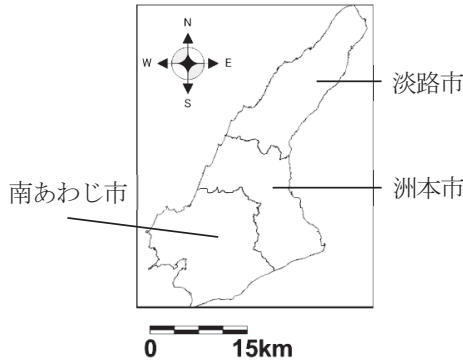
(CO₂排出量は1990年比)

図-1 3市の地理的關係

内の電力自給率は100%、CO₂排出量は1990年比で88%の削減と設定されている。

(2) バイオマスのエネルギー導入ポテンシャルの推計

ここでは、GISを用いてバイオマスの地域分布を考慮した推計を行う。具体的には、NEDO⁹⁾のバイオマスエネルギーの有効利用熱量のデータベースに、国土数値情報⁹⁾の土地利用3次メッシュデータを組み合わせることで、バイオマス資源の分布状況を3次メッシュ図（1マス1km²、計708メッシュ）に可視化する。GISソフトウェアは、MapInfo⁹⁾を用いた。

バイオマス資源のうち、稲わら・もみ殻、農業残渣、林地残材・間伐材・タケ、建築廃材・新增築廃材の推計式を以下に示す。

$$AH = \sum_i AH_i \quad (1)$$

$$AH_i = \sum_j (AH_j \times \frac{Area_{i,k}}{Area_k}) \quad (2)$$

AH : 有効利用熱量[J/year]

AH_i : 1メッシュ当たり有効利用熱量[J/grid]

AH_j : バイオマス種別有効利用熱量[J/year]

$Area_{ik}$: メッシュ内の土地利用種別 k の面積[m²]

$Area_k$: 土地利用種別 k の島内全域面積[m²]

i : メッシュID

j : バイオマス種別（稲わら、もみ殻、農業残渣、林地

表-2 バイオマス種別と土地利用種別

バイオマス種別	土地利用種別
稲わら・もみ殻	水田面積
農業残渣	農地面積
林地残材・間伐材・タケ	森林面積
建築廃材・新增築廃材	建物用地面積
家畜ふん尿	堆肥化施設
下水汚泥	下水処理施設
ごみ	ごみ焼却施設

表-3 風力発電所一覧

稼動年	設置場所	定格出力(kW/基)	基数
2002	洲本市	1,500	1
2002	淡路市	600	1
2003	南あわじ市	1,500	1
2004	南あわじ市	2,000	1
2006	南あわじ市	2,500	15
2012	淡路市	2,000	6

残材、間伐材、タケ、建築廃材、新增築廃材)

k : 土地利用種別（水田、農地、森林、建物）

ここでは、全有効利用熱量を、全メッシュに対する各メッシュの土地利用種別面積の割合に応じて各メッシュに按分した。表-2に、バイオマス種別に用いた土地利用種別を示す。

家畜ふん尿、下水汚泥、ごみは、全有効利用熱量を、それぞれを処理する施設（表-2）の数で均等に按分した。各処理施設の数と設置場所について、堆肥化施設、下水処理施設、ごみ焼却施設は文献より求めた⁷⁾⁸⁾。

(3) 風力発電によるエネルギー供給量の推計

a) 稼働中の施設による発電量

現在、島内には6か所、計25基の風車が稼働している。総出力は、55,100kWである。表-3に風力発電所一覧を示す。また、風力発電のエネルギー換算した推計式を式(3)に示す。設備利用率は、ワイブル分布、風速と風車出力の関係をもとに算出した0.2⁹⁾を乗じて推計した。

$$E_{WP} = P_{WP} \times 8760 \times 3600 \times 0.2 \quad (3)$$

E_{WP} : 風力発電エネルギー[J/year]

P_{WP} : 出力[W]

8760: 時間[hours/year]

3600: 時間[seconds/hours]

0.2: 設備利用率

b) 導入ポテンシャルによる発電量

導入ポテンシャルによる発電量は、NEDO風況マップ¹⁰⁾を参考にして、島内に1,000kWの風車を設置した場合を想定した。NEDO風況マップでは、淡路島は1万個の500mメッシュデータがあり、メッシュ内に地上高別の風速データが掲載されている。ここでは、地上70mを対象とし、平均風速が6m/s以上のメッシュにおいて発電が可能であると仮定した。上記に該当するメッシュは391個であり、風車基数に換算すると978基となった。

上記を踏まえたエネルギーポテンシャルの推計式を式(4)に示す。なお、面積当たりの設置限度は、1km²当たり10基としている¹¹⁾。

$$EP_{WP} = \sum_n (P_n \times r_n \times 8760 \times 3600) \quad (4)$$

EP_{WP} : 風力発電エネルギーポテンシャル[J/year]

P_n : 風速nでの出力[W]

r_n : 風速nの出現頻度(ワイブル分布を利用)

8760: 時間[hours/year]

3600: 時間[seconds/hours]

(4) 太陽光発電の推計

a) 稼働中の施設による発電量

島内で稼働中の大規模太陽光発電所、稼働中の住宅用太陽光発電設備¹²⁾より推計した。表-4に稼働中の大規模太陽光発電所一覧を示す。また、表-5に市町村別の住宅用太陽光発電設備の普及状況を示す。住宅用太陽光発電設備の合計は、6,928kWである。太陽光発電のエネルギー換算した推計式を式(5)に示す。設備利用率は、メーカーカタログ値より0.17¹³⁾を乗じて推計した。

$$E_{PV} = P_{PV} \times 8760 \times 3600 \times 0.17 \quad (5)$$

E_{PV} : 太陽光発電エネルギー[J/year]

P_{PV} : 出力[W]

8760: 時間[hours/year]

3600: 時間[seconds/hours]

0.17: 設備利用率

表-4 稼働中の大規模太陽光発電所一覧

稼働年	設置場所	総出力(kW)
2010	淡路市	1,000

表-5 稼働中の住宅用太陽光発電設備一覧

設置場所	総出力(kW)	件数
淡路市	2,047	548
洲本市	1,992	504
南あわじ市	2,889	747

表-6 建設予定の大規模太陽光発電所一覧

設置場所	総出力(kW)
淡路市	385,000
淡路市	40,000
淡路市	7,000
淡路市	3,000
淡路市	2,000
淡路市	1,000
洲本市	8,900

表-7 住宅数一覧

	一戸建	長屋建	共同住宅	その他
淡路市	13,470	220	2,990	20
洲本市	13,450	490	4,400	120
南あわじ市	13,530	480	2,230	50

b) 導入ポテンシャルによる発電量

導入ポテンシャルによる発電量では、現時点で建設予定の大規模太陽光発電所、全世帯に住宅用太陽光発電設備が設置された場合を仮定した。表-6に、2013年8月時点において建設予定の大規模太陽光発電所一覧を示す。

表-7に市町村別の住宅数を示す¹⁴⁾。出力は、一戸建てに4kW、長屋・共同住宅に12kWと仮定した。

(5) 島内のエネルギー消費量の推計

兵庫県エネルギー消費量は、資源エネルギー庁から公表されている都道府県別エネルギー消費統計¹⁵⁾を用いて推計できる。しかし、市町村単位までは算出できない。そこで、島内の製造業のエネルギー消費量は、文献¹⁶⁾を参考にして、工業統計¹⁷⁾より、市町村別の製品出荷額の割合を乗じて算出した。農林水産業、建設業・鉱業、業務のエネルギー消費量は、就業者数¹⁸⁾での割合を、家庭は市町村の世帯数¹⁸⁾の割合を乗じることでそれぞれ算出した。

2010年度における島内の総エネルギー消費量は、12,400TJ/yearである。図-2に産業部門と民生部門のエネルギー消費量を示す。業種別のエネルギー消費量は、農

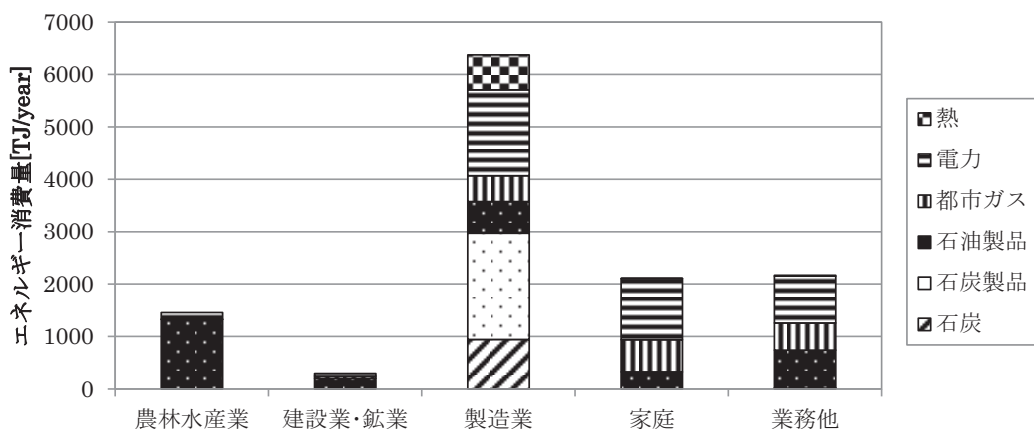


図-2 部門別のエネルギー消費量

廃材の資源分布を示す。

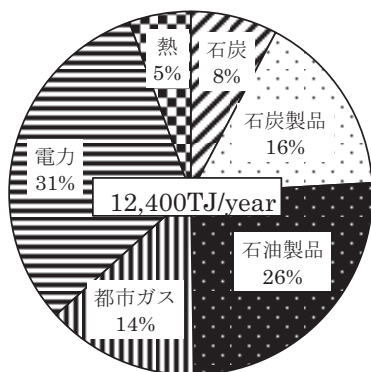


図-3 エネルギー源別の消費量の割合

林水産業 12% (1,459TJ/year)，建設業・鉱業 2% (294TJ/year)，製造業 51% (6,372TJ/year)，家庭 17% (2,104TJ/year)，業務 17% (2,166TJ/year) である。また、図-3 にエネルギー源別のエネルギー消費量の割合を示す。

3. 結果と考察

(1) バイオマス資源の分布状況

図-4に稲わら・もみ殻の資源分布を示す。播磨灘に面する地域と、島の中央から東に位置する洲本市内、島の中央から南西にかけて位置する三原平野に多く分布している。図-5にその他の農業残渣の資源分布を示す。稲わら・もみ殻と似た傾向があり、播磨灘に面する島の西側と、三原平野の一部に多く分布している。図-6に林地残材・間伐材・タケの資源分布を示す。森林は、島の北東部に位置する北淡地域と島の南側に位置する南淡地域、島の西端に多く分布している。図-7に建築廃材・新增築

(2) バイオマス資源の推計量

図-8に、島内3市におけるバイオマス種別の有効利用熱量を示す。市別でみると、淡路市は有効利用熱量が63TJ/year（木質系：27%，農業残渣系：25%，廃棄物：48%），洲本市は61TJ/year（木質系：18%，農業残渣系：25%，廃棄物系：57%），南あわじ市は119TJ/year（木質系：10%，農業残渣系：57%，廃棄物系：33%）である。特に南あわじ市では、農業残渣が大きなウェイトを占めていることがわかった。

(3) 再生可能エネルギーの合計

a) 現在の発電量

現時点で稼働している再生可能エネルギー設備による電力供給量の合計は、390TJ/year（風力：89%，太陽光：11%）であった。2010年度における島内の電力消費量は3,869TJ/yearであり、計算上、消費量の約10%を再生可能エネルギーで賄っていることが示された。

b) 導入ポテンシャルによる発電量

図-9に市町村別の太陽光発電設備導入ポテンシャルを示す。また、図-10にバイオマス、風力、太陽光の導入ポテンシャルによる供給可能量の割合を示す。導入ポテンシャルの合計は、8,357TJ/year（バイオマス：243TJ/year，風力：6,008TJ/year，太陽光：2,106TJ/year）であった。計算上、全エネルギー消費量（12,400TJ/year）の67.4%を再生可能エネルギーで賄えることが示された。

c) あわじ環境未来島構想の実現性

あわじ環境未来島構想では、電力自給率100%を目標としている。そこで、これに見合う再生可能エネルギーのベストミックスを考察する。

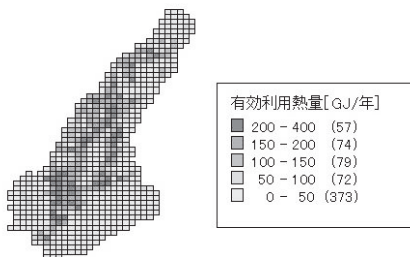


図-4 稲わら・もみ殻の資源分布

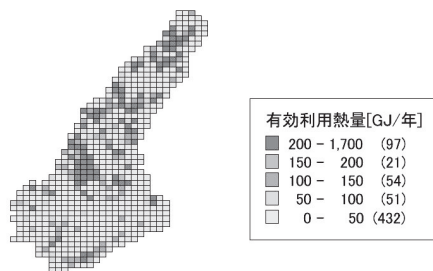


図-5 農業残渣の資源分布

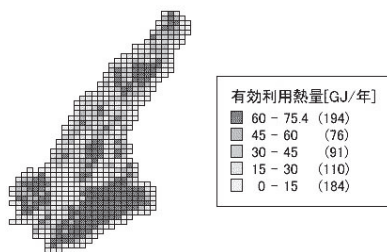


図-6 林地残材・間伐材・タケの資源分布

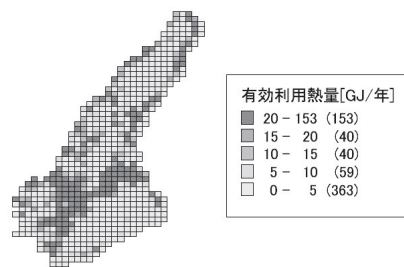


図-7 建築廃材・新增築廃材の資源分布

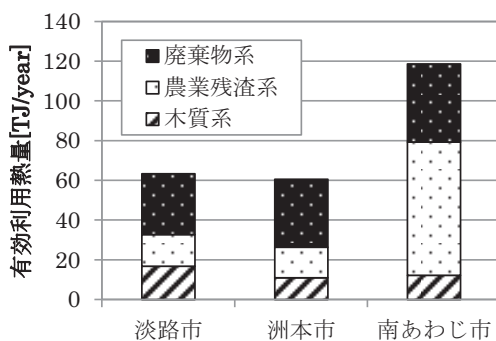


図-8 市町村別の有効利用熱量

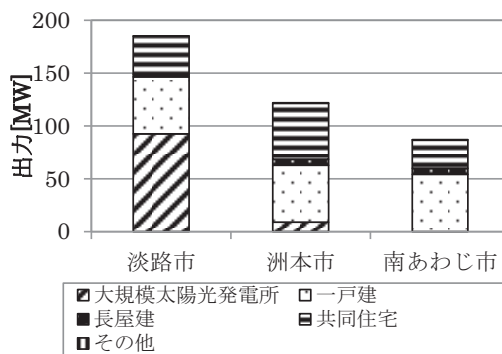


図-9 導入ポテンシャルによる供給可能量

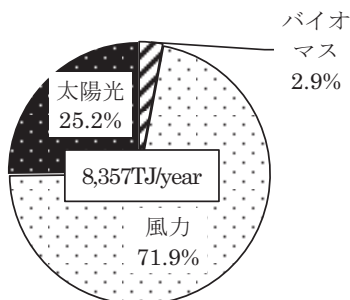


図-10 導入ポテンシャルによる供給可能量の割合

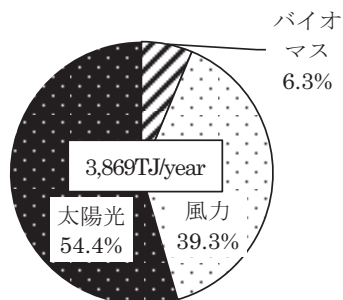


図-11 電力自給率100%に見合う導入ポテンシャルの割合

図-11 に電力自給率 100%に見合う導入ポテンシャルの割合を示す。バイオマスと太陽光の導入ポテンシャルを 243TJ/year, 2,106TJ/year とした場合、目標を達成するには 3,869TJ/year から上記エネルギー量を引いた 1,520TJ/year を風力で賄う必要がある。現状の風力発電量が 348TJ/year であるため、この値は現状の 4.4 倍となる。この分だけ風車が設置できれば、本構想の達成は可能になるといえる。一方で、電気、熱等を合わせた全エネルギー消費量（12,400TJ/year）を賄うには、風力で 10,046TJ/year 必要となる。設備利用率を考慮すると、1,000kW 級風車で 1,593 基となり、実現は難しいといえる。

4. おわりに

本研究では、あわじ環境未来島構想の実現に向け、本地域のエネルギー消費を求めた上、1) バイオマス資源のエネルギー導入ポテンシャルの推計、2) 現在稼働中の再生可能エネルギー設備によるエネルギー自給率の推計、3) 再生可能エネルギー導入ポテンシャルからみたエネルギー自給率の推計を行った。

今後の課題として、1) バイオマス種別に応じた詳細な利用方法を検討し、それに応じたエネルギー変換効率を本稿の結果に加味する、2) 風力の導入ポテンシャルでは、設置場所の土地利用状況を調査することが挙げられる。また、島内のエネルギー消費量の推計では2010年度の数値を用いた。今後は、将来の経済状況や人口変化等を加味したエネルギー消費量を推計することで、「あわじ環境未来島構想」のビジョンがより明確化されと考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、兵庫県企画県民部より調査にご協力いただきました。ここに記して、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 坂口卓司, 田畑智博: 資源分布を考慮した淡路地域の再生可能エネルギー供給可能量の推計, 第8回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, pp.352-353, 2013.
- 2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO): 地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業平成22年度版, 2010.
- 3) 兵庫県: あわじ環境未来島構想,
<<http://web.pref.hyogo.jp/ac06/documents/awaji-gaiyo121107-2.pdf>>
- 4) NEDO: バイオマス賦存量・利用可能量の推計,
<<http://www.nedo.go.jp/>>
- 5) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサービス, <<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>>
- 6) ビツニーボウズジャパン株式会社: Mapinfo Professional, Ver11.5.
- 7) 公益社団法人兵庫県畜産協会: 兵庫県堆肥マップ,
<<http://hyougo.ling.jp/index.htm>>
- 8) 兵庫県: 兵庫県一般廃棄物処理報告書, 2010.
- 9) 牛山 泉: 風力エネルギーの基礎, オーム社, 2005.
- 10) NEDO: 風況マップ,
<<http://app8.infoc.nedo.go.jp/nedo/top/top.html>>
- 11) 環境省: 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書, 2010.
- 12) 経済産業省: 近畿管内の住宅用太陽光発電設置状況,
<http://www.kansai.meti.go.jp/3-9enctai/energypolicy/new_ene.html>
- 13) シャープ株式会社: NQ-198AC(高効率単結晶),
<<http://www.sharp.co.jp/sunvista/product/module/>>
- 14) 総務省: 住宅・土地統計調査, 2008.
- 15) 資源エネルギー庁: 都道府県別エネルギー消費統計, 2010.
- 16) 資源エネルギー庁: 市町村別エネルギー消費統計作成のためのガイドライン, 2006.
- 17) 経済産業省: 工業統計, 2010.
- 18) 総務省: 平成22年度国勢調査, 2010.

(2013.7.19受付)

Spatial and Quantitative Analysis of Renewable Energy Supply Potential in Awaji Island

Takushi SAKAGUCHI, Tomohiro TABATA

Renewable energysupply potential in Awaji Island was estimated. Targeted renewable energy was biomass, photovoltaics and wind power. The following studies were conducted; 1) grasp of spatial distribution of biomass resource and estimation of these energy supply potential, 2) estimation of annual energy supply of photovoltaics and wind power facilities in operation and these energy supply potential, and 3) estimation of renewable energy self-sufficiency ratio taking into account a relationship renewable energy supply potential and energy demand in case study area.

As a result, annual renewable energy supply potential were 8,357TJ and annual energy demand in 2010 was 12,400TJ. Therefore, these results indicate that self-energy sufficiency ratio in the case study area was approximately 67.4%.