

# 原子力発電稼働率ゼロ時の再生可能エネルギー導入量と地域内経済効果の推計

東京大学大学院新領域創成科学研究科 環境システム学専攻

循環型社会創成学研究室 47126691 大村彬斗 (2014年3月修了)

指導教員 亀山康子教授 田崎智宏准教授 松橋啓介准教授 森口祐一教授

キーワード: 原子力発電稼働率、再生可能エネルギー、多地域最適電源計画モデル

## 1 はじめに

2011年3月の東日本大震災以降、原子力発電が従来通りには使用できない状況になり、国内におけるエネルギー需給問題が議論されるようになった。代替エネルギーとして、化石燃料が挙げられるが、地球温暖化問題や資源制約の観点から、化石燃料消費を抑えつつエネルギー需要を満たすため、再生可能エネルギー (RE) への期待が高まっている。

震災以降、再生可能エネルギーを考慮した電源計画モデル研究が行われている。小宮山らは<sup>1)</sup>東日本大震災後に太陽光 (PV)、風力発電 (WT) の出力変動及び、原子力発電の設備量を考慮した最適電源構成について研究を行った。しかし、RE の内 PV、WT を対象としており、バイオマスは考慮されていない。一方、バイオマスを考慮した研究として、白木ら<sup>2)</sup>があるが、2010年に策定されたエネルギー基本計画<sup>3)</sup>に基づき電源構成を算出しており、東日本大震災以降の原子力発電が従来の予測通りに使用できない場合は考慮されていない。将来の電源構成を考える上で、東日本大震災以降の原子力発電の状況を踏まえ、電源の多様性の観点から様々な電源を考慮することは重要と考えられる。

本研究では、日本国内で原子力発電が全く使用できなくなった際に、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 制約下において、どの種類の再生可能エネルギーがどのような条件で、どの地域にどの程度導入されるのかをモデル分析を通じて明らかにする。また、再生可能エネルギーが導入された地域内外における雇用等への経済波及効果がどの程度あるかを推計する。

## 2 研究概要

### 2.1 使用モデル

本研究では、白木らの多地域最適電源計画モデル<sup>2), 4)</sup>を使用した。このモデルは、地域毎に電力需要、発電設備を設定するため、設備利用率の地域差や送電損失を考慮できる。分析の対象期間は2030年とし、燃料価格はWorld Energy Outlook2009<sup>5)</sup>のInternational Energy Priceを用いた。2030年単年の総発電コスト最小化を目的関数とし、数値計算ソフトGAMSを適用して、各発電方式の設備容量および発電量を求めた。

発電方式は、原子力、石炭火力、石油火力、天然ガス火力、天然ガスコンバインドサイクル火力 (NGCC)、一般水力、揚水式水力 (PH)、PV、WT、バイオマス混焼 (Co-BIO)、バイオマス専焼 (BIO)、二次電池 (SB) を考慮した。なお、バイオマスについては、国内バイオマス (Bio(D)) と輸入バイオマス (Bio(I)) を区別している。

### 2.2 ケース設定

本研究では、CO<sub>2</sub>制約の違い、地域間送電容量拡張の有無、自給率制約の有無についてケースを設定した (表1)。なお、全てのケースで原子力発電稼働率はゼロとしている。

(1) CO<sub>2</sub>制約ケース (5 ケース): 制約なし、1990年比 CO<sub>2</sub>排出量同率ケース、-10%ケース、-20%ケース、-30%ケース

(2) 地域間送電容量拡張 (2 ケース): 従来、拡張 (容量5倍)

(3) エネルギー自給率制約ケース (2 ケース): 制約なし、自給率40%

本研究での、エネルギー自給率の算定式を、式(1)に表す。

$$\text{自給率} = \frac{\text{Hydro} + \text{PV} + \text{WT} + \text{BIO}}{\text{年間総発電量} - \text{PH} - \text{SB}} \quad (1)$$

表1: 本研究でのケース設定

CO <sub>2</sub> 制約	なし	同率	-10%	-20%	-30%
送電容量拡張	従来	従来	従来	従来	従来
自給率制約	なし	なし	なし	なし	なし
CO <sub>2</sub> 制約	同率	-10%	-20%	-30%	-10%
送電容量拡張	拡張	拡張	拡張	拡張	従来
自給率制約	なし	なし	なし	なし	40%

### 2.3 経済波及効果の係数設定

再生可能エネルギーの導入によって創出される地域別の経済的波及効果量を推計した。経済波及効果としては、生産誘発額、雇用誘発数を推計対象とした。推計には、表2に示す文部科学省<sup>6)</sup>が算出した再生可能エネルギーの導入波及効果係数を用いた。なお、この係数は建設段階までの波及効果係数であり、運用段階は考慮されていない。表中の「直接効果」は、再生可能エネルギーを導入された際にその“地域内”に発生する波及効果を、「間接効果」は、導入された“地域外”で発生する波及効果のことを表す。

表2:各波及効果係数

	生産誘発額		雇用誘発数	
	直接効果	間接効果	直接効果	間接効果
PV	0.56	0.44	0.63	0.37
WT	0.55	0.45	0.69	0.31
BIO	0.67	0.33	0.84	0.16

## 3 分析結果

### 3.1 再生可能エネルギー導入量分析結果

表3に示す通り、CO<sub>2</sub>削減目標を厳しくすると年間発電コストが上昇する結果となった。1990年比同率ケースと比較し、-30%ケースの総発電コストは約3兆円増加した。また、排出削減を設定しない場合、1990年の排出量の2.7倍にまで増加することが分かった。CO<sub>2</sub>排出削減コストは、炭素1tあたり10万円を超える結果となった。制約を厳しくしたことによるRE比率の上昇がその理由と考えられる。

地域間送電容量拡張ケースでは、年間総発電コストは変わらないが、発電単価が0.01円/kWh高くなった。CO<sub>2</sub>排出削減コストは、0.1万円/t-C安くなった。この理由としては、地域間送電容量を拡張したとき、再生可能エネルギーによる電力が地域間融通されるとは限らず、NGCCのような火力発電による電力が優先的に融通されたことが考えられる。

自給率40%ケースの年間発電コストは、従来ケースより1.52兆円高かった。この理由としては、自給率を上げるために、安価な化石燃料ではなく、発電単価の高い国内の再生可能エネルギーによって発電されたことが考えられる。この結果、自給率40%ケース単位発電コストは、従来ケースより約0.8円/kWh増加した。

図1に各ケースの年間発電量を示す。比較のため、2009年の実績値、2010年に策定され

表1:再生可能エネルギー導入量分析結果

CO <sub>2</sub> 制約	送電容量拡張	自給率制約	総コスト [兆円]	燃料由来炭素 [Mt-C]	CO <sub>2</sub> 削減コスト [万円/t-C]	総発電量 [TWh/year]	発電単価 [円/kWh]	RE比率 [%]	自給率 [%]
なし	従来	なし	10.19	212.58	-	1,041	9.79	11.3%	11.5%
同率	従来	なし	16.48	79.00	11.70	1,018	16.18	28.1%	28.2%
-10%	従来	なし	17.46	71.00	13.10	1,019	17.13	35.1%	31.2%
-20%	従来	なし	18.51	63.20	13.30	1,019	18.17	42.2%	31.2%
-30%	従来	なし	19.57	55.30	13.50	1,019	19.21	49.4%	31.1%
-10%	拡張	なし	17.46	71.00	13.00	1,019	17.14	35.1%	31.5%
-10%	従来	40%	18.98	71.00	6.36	1,060	17.91	38.6%	40.0%

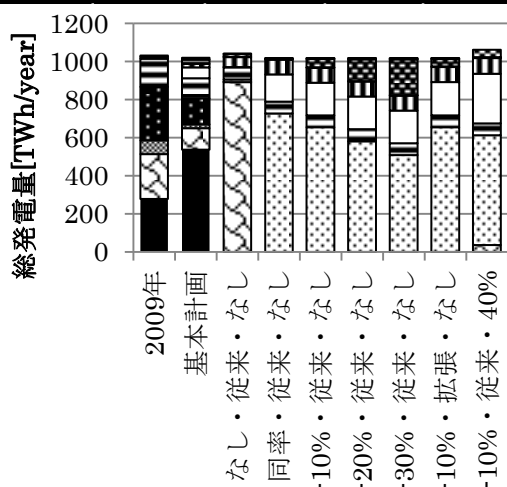


図1:各ケース別の年間発電構成

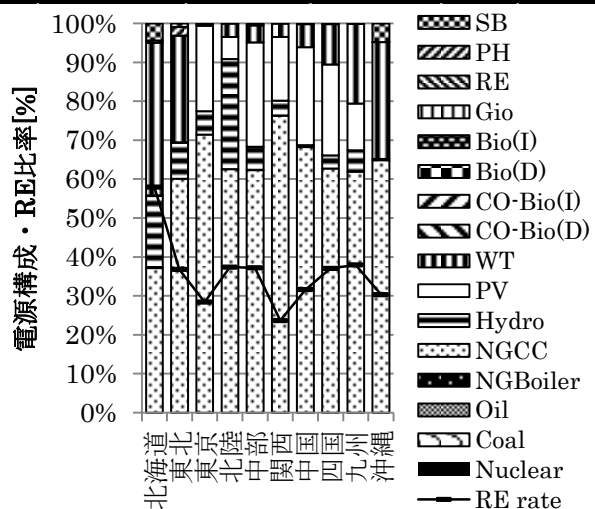


図2:各地域電源構成(-10%・従来・なしケース)

たエネルギー基本計画<sup>3)</sup>での2030年の推計値を併記した。CO<sub>2</sub>排出制約を設けた場合、NGCCが主な電源になっていることが分かる。また、排出削減制約を設定しないと、燃料費が安価な石炭火力が大量に導入されることが分かった。排出削減ケースでは、制約を厳しくするにしたがって、NGCCの比率が下がり、輸入バイオマス(BIO(I))を使用したバイオマス発電が導入される結果となった。この理由としては、CO<sub>2</sub>-10%ケースの時点で系統に接続可能な安価なPV、WTが最大限導入されていること、国内バイオマスに比べて輸入バイオマスの燃料費が安価であること、が考えられる。同率ケース、-10%ケースでは国内バイオマスと石炭の混焼も微量ではあるが導入されていた。地域間送電容量を拡張すると、PVの発電量が3.91TWh/年増加し、輸入バイオマスをを用いた専焼バイオマス発電が3.89TWh/年減少した。このことから、地域間送電容量の拡張により、輸入バイオマスをを用いた専焼バイオマス発電がPVによる電力供給に代替されたことがわかった。自給率40%ケースでは、NGCC、バイオマス専焼発電、揚水発電が減少し、PV、石炭火力発電が増加した。

図2に-10%ケースの各地域の発電構成を示す。各地域によって発電構成が異なることが分かる。例えば、北海道電力管内ではNGCCよりもバイオマス発電とWTが主な電源である一方で、東京電力管内及び関西電力管内では、多量の電力需要を賄うために、再生可能エネルギーよりもNGCCが占める割合が大きい。また、RE比率の最大地域は北海道電力管内(66.9%)、最小地域は関西電力管内(23.8%)であった。この理由としては、再生可能エネルギーのポテンシャルに加えて、電力需要量の多寡の影響が考えられる。また、時間毎の電力需給バランスを分析した結果、北海道地域は地域間送電線を用いた他地域との連携によりWT導入時の需給バランスを保っていた。

図3に各ケースでの輸入バイオマスをを用いた専焼バイオマス発電導入量地域比率を示す。CO<sub>2</sub>制約を厳しくしていくと、導入地域なし→北海道電力管内のみ→各地域と、導入される地域が変化した。また、地域間送電容量拡張は、専焼バイオマス発電導入量地域比率には大きく影響しないことがわかった。自給率40%ケースでは、自給率制約を満たすため、どの地域にも輸入バイオマスの専焼発電は導入されなかった。

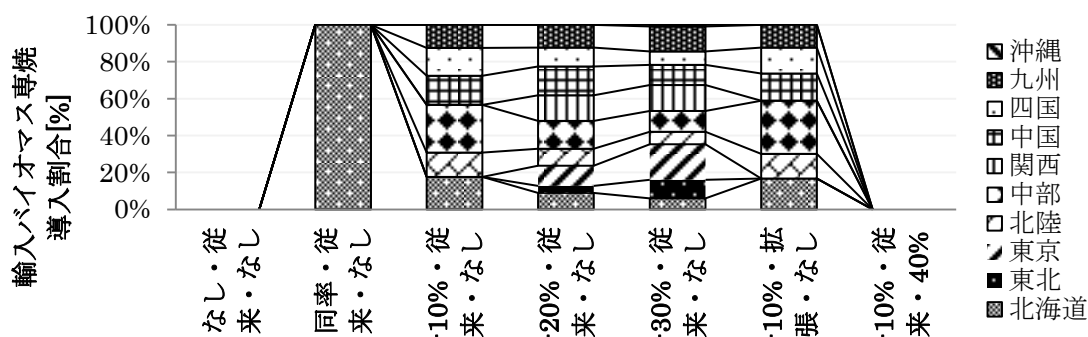


図3:各ケースのBio(I)導入量地域比率

### 3.2 再生可能エネルギー導入効果分析結果

図4に自給率40%ケースの各地域の雇用創出効果を示す。自給率40%ケースでは、再生可能エネルギーの導入により、直接・間接の雇用効果を合わせて、約51万人/年の雇用創出効果が得られることがわかった。全体的にWTによる雇用効果量よりも、PVによる雇用効果量の方が大きい。その理由としては、WTよりもPVの導入設備容量が高いことが挙げられる。また、再生可能エネルギー導入による雇用効果量が大きい地域は、順に、東京電力管内、中部電力管内、九州電力管内となった。

生産誘発額に関しては、自給率40%ケースでは、直接・間接合わせて、約9.74兆円/年の生産誘発額が発生することがわかった。再生可能エネルギー導入による生産誘発額が大きい地域は、設備容量の多寡によることから、雇用効果量における順と同様になる。最も生産誘発額が大きいのは、直間・間接の生産誘発額を合わせて2.97兆円/年発生している東京電力管内である。

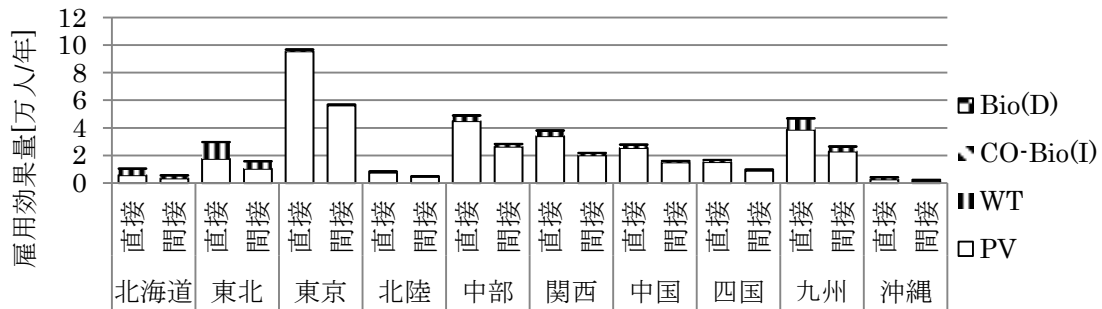


図 4:-10%・従来・40%ケースの雇用効果量

#### 4 まとめ

再生可能エネルギー導入量分析から、1990年と同程度の二酸化炭素排出量制約下ではPVとWTが導入され、制約を厳しくするに従って輸入バイオマス発電が導入されることが分かった。輸入バイオマス発電は、CO<sub>2</sub>排出量制約を厳しくするに従って、北海道や中部から、電力需要量が多い東京や関西に導入されるようになった。また、エネルギー自給率を40%以上にする制約を設けた場合、自給率制約なしケースで導入されていた輸入バイオマス発電を代替するように、PV、WT、そして、国内バイオマスによる専焼・混焼発電がこの順に導入される結果となった。地域間送電容量の拡張は電源構成へ大きく影響しなかった。原子力発電稼働率ゼロの状況下でCO<sub>2</sub>排出量を抑制するには、NGCCおよび輸入バイオマスによって発電することが最もコスト最小ではある。しかし、エネルギー自給率を上昇させるためにはPV、WTなどの国内の再生可能エネルギーの導入が必要不可欠となる。現在のPV、WTは輸入バイオマスよりコスト優位性が低いため、さらなる技術革新による発電単価の低下が求められる。

再生可能エネルギーが地域の経済に与える経済効果を分析した結果からは、自給率40%ケースにおいては、雇用効果量が直接・間接合計で約51万人/年発生し、地域間では15.4万人/年（東京）から0.6万人/年（沖縄）まで、地域によって大きな幅があることが定量化された。生産誘発額は、直接・間接合計で、約9.74兆円/年発生し、3兆円（東京）から0.11兆円（沖縄）まで幅があった。今後の電源計画を作成する際には、単に発電コストだけでなく、導入にあたって発生する雇用などの波及効果を考慮した社会的議論が求められる。

#### 参考文献

- [1] 小宮山涼一，柴田紗英子，藤井康正，太陽光，風力発電の出力変動と地域間電力融通を考慮した最適電源構成に関する分析，電気学会論文誌B（電力・エネルギー部門誌），Vol. 133, No. 3, 263-270, 2012
- [2] 白木裕斗，森口 祐一，亀山 康子，橋本 征二，地域性を考慮した再生可能エネルギーの導入に関する研究，東京大学大学院新領域創成科学研究科 環境システム学専攻，2011年
- [3] 経済産業省，エネルギー基本計画，2010
- [4] 芦名秀一，藤野純一，多地域最適電源計画モデルを用いたわが国電力部門におけるCO<sub>2</sub>削減シナリオの検討，エネルギー・資源学会，2007
- [5] International Energy Agency. World Energy Outlook 2009
- [6] 文部科学省，拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電施設建設の経済・環境への波及効果分析，2013