

# 中国の地域条件を考慮した再生可能エネルギー最適導入地の定量的分析

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 47116669 杉浦弘太郎 (2012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: 中国、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

中国は現在世界最大のエネルギー消費国およびCO<sub>2</sub>排出国<sup>1)</sup>である。そのため中国における再生可能エネルギーの導入は今後の世界での低炭素化の実現にとって重要と考えられる。中国政府は「第12次5ヵ年計画」<sup>2)</sup>の中で新エネルギー産業の発展を目標の一つとして掲げ、再生可能エネルギーの導入に具体的な目標値を設定し、その導入に取り組んでいる。再生可能エネルギーの導入はCO<sub>2</sub>などの温室効果ガス削減に効果があるが、化石燃料を使った発電方法と比較した場合、依然として高コストである。そのためそれぞれの発電方法に適した気象条件を持つ地域で導入することによって発電量あたりに必要なコストを下げる事が求められる。

中国の場合、太陽光発電と風力発電の発電量を左右する日射量と平均風速が高い地域は、主なエネルギー消費地である沿岸部から離れた内陸部に多く分布している。そのためそれらの地域で発電した電力を沿岸部に送電する場合、距離に比例した送電損失が発生する。5ヵ年計画の目標値を達成し、その後の再生可能エネルギーの普及を目指す上で、発電効率と送電損失を考慮したコスト最小化を達成する最適立地の分析は重要だと考えられる。

そこで本研究では、中国において一定規模の再生可能エネルギーを導入することを前提条件とした際に、気象条件の地域性と地域間の送電損失に着目し、中国国内の発電に必要なコストを最小にする再生可能エネルギーの最適導入地を示すことを目的とする。

## 2. 研究手法

### 2.1 使用モデル

本研究では気象条件の地域性と地域間の送電損失を考慮する為に、芦名らが日本を対象として構築した多地域最適電源計画モデル<sup>3)</sup>を、中国での分析に最適な形式に拡張したモデルを使用した。本研究で行ったモデルの拡張により下記の3点が考慮可能となった。

- ①各地域の月別の電力消費量の変動
- ②各地域の気温の差異を考慮した省ごとの日負荷曲線
- ③日射量、風況の月毎の違いによる再生可能エネルギーの発電量の変動

### 2.2 各省月別の電力需要の考慮

中国の各省の月別の電力需要量の割合は、図1に示すように、地域によって異なるため、各省の月別の電力需要量を考慮することで、より正確な計算結果を求められる。しかし、多地域最適電源計画モデルでは年間の電力需要を7つの期間(真夏日と夏季・中間期・冬季のそれぞれ平日と休日の6パターン)に分類していたため、月別の電力需用量の差異をモデルに反映できていなかった。

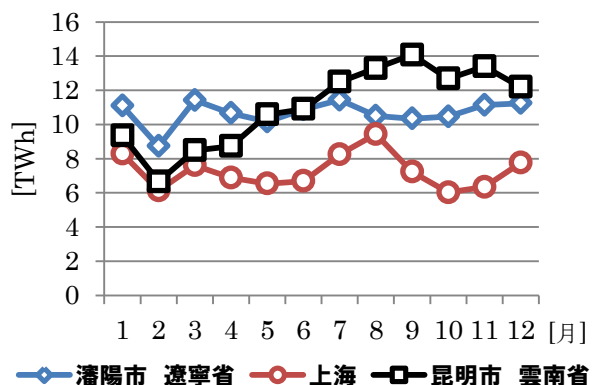


図1 各省の月別の電力需要の一例<sup>4)</sup>

そのため本研究では多地域最適電源計画モデルで分類された7つの期間から、12ヶ月の平日と休日を含めた24期間を考慮可能な形式にモデルを拡張した。

### 2.3 気象条件を考慮した日負荷曲線の設定

中国は広大な国土を持つため、地域によって熱帯から寒帯まで様々な気候が分布している。気候条件は電力の日負荷曲線に大きく影響を与える。そのため各地域の気候条件を考慮することで、より正確な計算結果を求める事ができる。本研究では、各省の月ごとの平均気温をもとに図2に示す夏季・中間期・冬季の電力需要パターンを設定し、それぞれに対応した日負荷曲線を適用可能な形式にモデルを拡張した。このモデルの拡張により、各省の気象条件を反映した1時間当たりの電力需用量の考慮が可能となる。なお各日負荷曲線は多地域電源計画モデルの値を引用した。

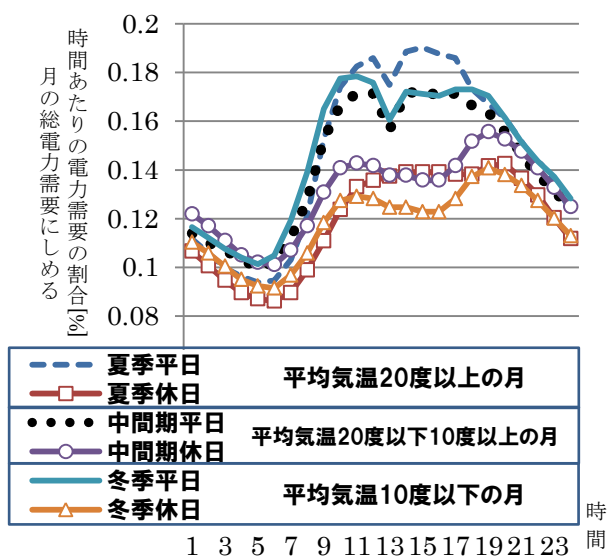


図2 本研究で適用する日負荷曲線

### 2.4 月別の気象条件を反映した再生可能エネルギー発電量の考慮

中国は地域毎、月ごとに大きく気象条件が異なる。風況の良い地域では年間平均風速は約7[m/s]<sup>5)</sup>だが、平均風速が3[m/s]以下の風況の悪い地域も存在する。また、日射量は月ごとの差異が大きい地域の場合、8月の

6[kWh/m<sup>2</sup>/day]から12月の2[kWh/m<sup>2</sup>/day]まで3倍近く変動する。

本研究では月ごとの再生可能エネルギーの発電量をより正確に算出するため、各地域の月ごとの再生可能エネルギーの発電量を計算できる形式にモデルを拡張した。

#### 2.4.1 風力発電の計算方法

風力発電の発電量の計算は(1)式を用いた。 $O_{wnd}$  [kWh]は時間当たり発電量、 $C_{WT}$  [kW]は設備容量、 $R_{wnd}$  [-]は風速に対応した設備利用率<sup>6)</sup>である。

$$O_{wnd} = C_{WT} \times R_{wnd} \quad (1)$$

#### 2.4.2 太陽光発電の計算方法

太陽光発電の発電量の計算は(2)式を用いた。 $O_{str}$  [kWh]は時間当たり発電量、 $C_{SC}$  [kW]は設備容量、 $Q_{SR}$  [kWh/m<sup>2</sup>/day]は1日の日射量、 $R_{str}$  [-]は1日の日射量における時間当たりの日射量の割合、 $R_{RD}$  [kW/m<sup>2</sup>]は標準状態における日射強度、 $R_{Iss}$  [-]は発電時損失係数<sup>7)</sup>である。

$$O_{str} = C_{SC} \times \frac{Q_{SR} \times R_{str}}{R_{RD}} \times R_{Iss} \quad (2)$$

### 2.5 入力条件

中国は同じ省内においても気象条件が大きく異なる。そのため本研究では各省において再生可能エネルギーの発電に適した気象条件を持つ市を、省都とは別に発電のみを行う「発電適地」として設定した。発電適地は、省内の全ての市の中心の緯度、経度からNASAのデータベース<sup>5)</sup>を用いて日射量と平均風速を調べ、その中から最も条件の良い地域を発電適地として選定した。表1に各省の系統区域と発電適地を示す。

風力発電の発電適地は、海外諸国の電気事業<sup>8)</sup>にて現在風力発電が導入されている省を対象として選定した。太陽光発電の発電適地は、solar buzz社の資料<sup>9)</sup>にて省別の太陽光発電の導入量比率が全国シェアの2%以上の省を対象として選定した。

表 1 各省の系統区域と発電適地

系統区域	省(省都)	再生可能エネルギー発電適地
東北電網	遼寧省(瀋陽)、黒龍江省(ハルビン)	吉林省(白山市)、内蒙東(ヒンガン盟)
	吉林省(長春)、内蒙東地域(フロンボイル)	内蒙東(赤峰市)
華北電網	内蒙西地域(フフホト)、河北省(石家荘)、北京、天津、山東省(済南)、山西省(太原)	内蒙西(シリンゴル盟)、河北省(承德市)
		山東省(威海市)、山東省(臨沂市)
華東電網	安徽省(合肥)、福建省(福州)、上海、江蘇省(南京)、浙江省(杭州)	安徽省(黄山市)、江蘇省(蘇州市)
華中電網	河南省(鄭州)、湖北省(武漢)、湖南省(長沙)、江西省(南昌)、重慶、四川省(成都)	四川省(宜賓市)
西北電網	陝西省(西安)、寧夏回族(銀川)、甘肅省(蘭州)、青海省(西寧)、新疆ウイグル自治区(ウルムチ)	陝西省(安康市)、寧夏回族(固原市)
		甘肅省(酒泉市)、甘肅省(張掖市)、青海省(海西モンゴル族)
南方電網	広東(広州)、広西チワン族自治区(南寧)、貴州省(貴陽)、雲南省(昆明)、海南省(海口)	
独立	チベット(ラサ)	

本モデルは中国全土を、全 32 省に前述した発電適地 15 地域を加えた 47 地域に分割した。32 省の省都は電力消費ノードかつ発電ノードとし、その他の発電適地は発電ノードとしてのみ設定した。第 12 次 5 年計画で明記されている 2020 年の再生可能エネルギーの目標導入量が達成された場合の各発電設備の設備容量および発電量を最適化計算により求めることで、太陽光発電と風力発電の発電最適地を求めた。今回の計算では 2010 年から 2020 年までの 5 年間隔の設備容量および発電量を求めた。最適化には GAMS (The General Algebraic Modeling System) を使用した。発電コストは建設費、運転維持費、燃料費からなる。また将来のコストは割引率 5% として計算した。月別の電力需要の値は China Monthly Statistics<sup>4)</sup> から引用し、各地域の月別の日射量と平均風速の値は NASA のデータベース<sup>5)</sup> から引用した。(3) 式にモデルにて用いた目的関数を示す。

$$C_{cst} = \sum_{(l,y)} \left\{ \begin{array}{l} [C_{cns}(g) \times C_{cpc}(l, g, y)] \\ + [ \{ C_{o\&m}(g) + C_{fi}(g) \} \times G(l, g, y) ] \end{array} \right\} \quad (3)$$

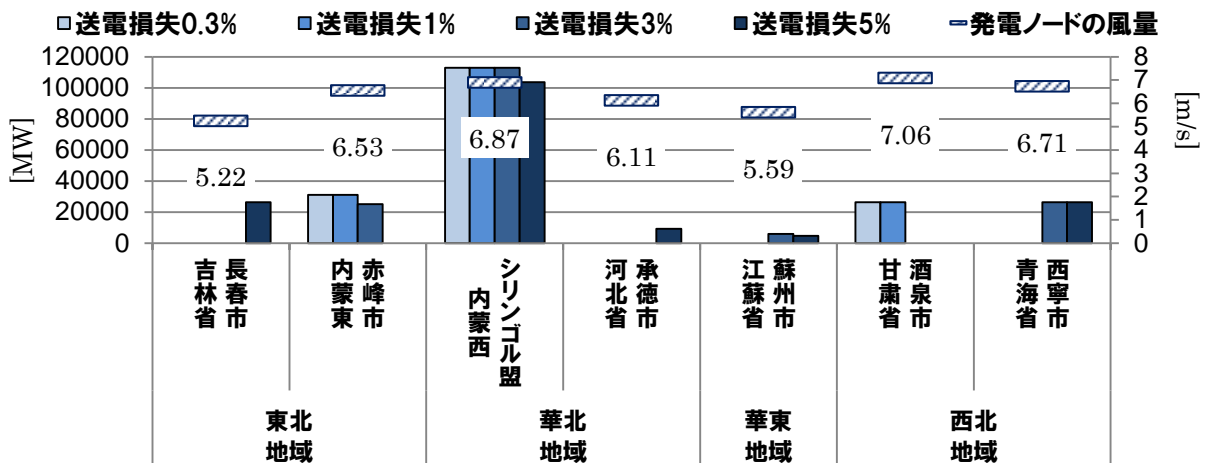


図 3 風力発電の送電損失を用いた感度分析の結果

$C_{cst}$  [USD] は考慮した期間内の総発電コスト、 $C_{cns}(g)$  [USD/kW] は建設費の減価償却分、 $C_{cpc}(l, g, y)$  [kW] は設備容量、 $C_{o\&m}(g)$  [USD/MWh] は発電時にかかる運転維持費用、 $C_{fi}(g)$  [USD/MWh] は燃料費、 $G(l, g, y)$  [MWh] は年間の発電量である。 $l$  は発電ノードの位置、 $g$  は発電方式、 $y$  は解析年度である。また、中国での再生可能エネルギーの最適導入地を考察するために送電損失を用いた感度分析を行った。送電損失は 0.3%、1%、3%、5% の 4 ケースとした。

### 3 解析結果

風力発電の導入地域別の新設発電容量結果を図 3 に、太陽光発電の導入地域別の新設発電容量結果を図 4 に示す。各発電ノードの平均風速および日射量を長方形の散布点として併記した。

図 3 が示すように風力発電は東北地域、華北地域、西北地域での新規導入量が多い。また、全ての送電損失のケースでシリンゴル盟での導入量が最も多い。この要因としてシリンゴル盟の平均風速が 6.87 [m/s] と高いことに加えて、他の西北地域の平均風速の高い発電ノードと比較して、エネルギー消費量の多い沿岸地域までの距離が短く、送電損失が小さいことが考えられる。この結果から気象条件の差異による発電量の違いだけでなく、電力需要地までの距離が重要であることが示唆された。

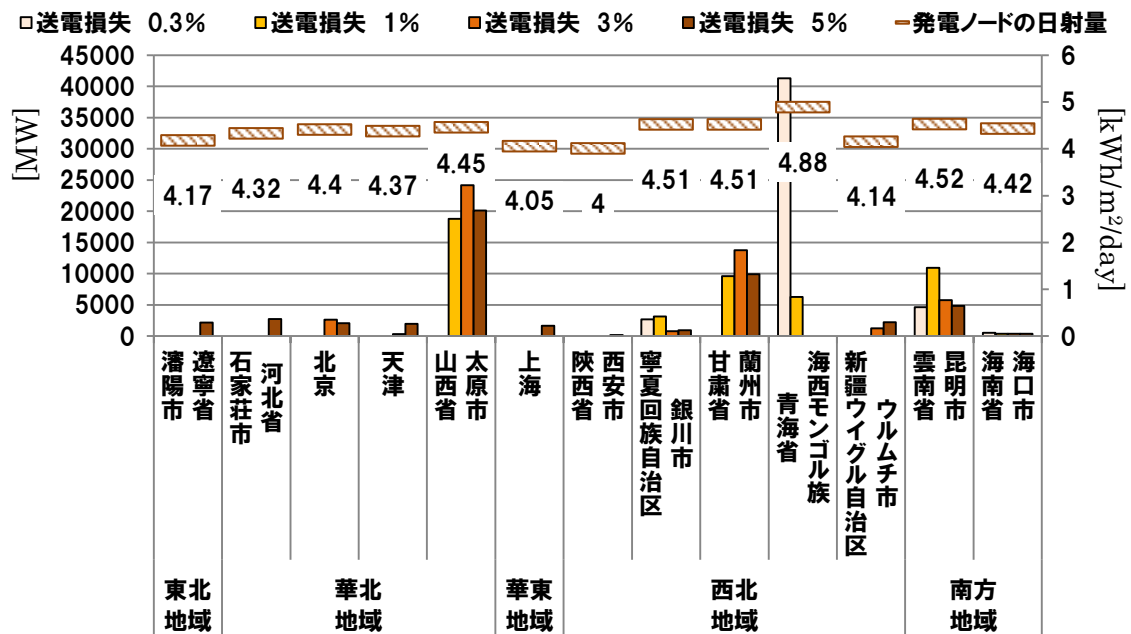


図 4 太陽光発電の送電損失を用いた感度分析の結果

図 4 に示すように太陽光発電は華北地域、南方地域、西北地域での新規導入量が多い。日射量を比較した場合は青海省、海西モンゴル族自治区や甘肅省、蘭州市の方が山西省、太原市よりも日射量が多いが、太原市での導入量が送電損失 0.3%以外のケースで最も多くなった。この原因として山西省と系統が連系している河北省や山西省の電力需要が非常に多いため、それらの地域へ電力供給を行うために、距離が近く比較的日射量の多い山西省で導入が進んだと考えられる。

風力発電の導入地域は送電損失を増やした場合も、あまり変化しなかった。一方、太陽光発電は、送電損失が少ない場合は日射量の多い発電ノードに集中的に導入されるが、送電損失が高い場合は導入される発電ノードが分散するという傾向が確認できた。

#### 4.まとめ

中国における再生可能エネルギーの導入地域をコスト最適化の観点から分析した結果、再生可能エネルギーの発電に適した気象条件という要因だけではなく、エネルギー消費地との距離も導入地域の決定に強く影響することが示唆された。具体的には、風力発電については各発電ノードの平均風速が約 3.0～7.0 [m/s] まで幅があり地域差が大きいため、平均風速が高い地域で大量導入し、発電を行う形式が適していると考えられる。一方、太陽光発電はほとんどの地域の日射量が 3.5～4.5 [kWh/m²/day] 程であるため、日射量の多い地域での大量に導入する方法だけでなく、比較的日射量が多く、エネルギー消費地から近い地域に発電設備を導入する地産地消に近い導入形式も有効であることが示唆された。

#### 参考文献

- 1) IEA: World energy outlook 2012 (2012), 2) 中国電力出版社:中国電力年鑑 (2011), 3) 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, Vol.29, No.1 (2008), 4) China monthly statistics 2010.1- 2011.1, 5) NASA Langley Research Center Surface meteorology and Solar Energy Release 6.0 Data Set, 6) NEDO:風力発電フィールドテスト事業内容 風車の性能曲線 (2008), 7) JPEA 太陽光発電協会 年間予想発電量の算出, 8) 海外電力調査会:海外諸国の電気事業 第 1 編 追補版 2 (2011), 9) solar buzz:Photovoltaic Installation in China to Reach Same Level as the US in 2011 (2011)