

## 新刊「データをもとに考える日本の電源構成の再構築」 第4章

### 4. 欧州と日本の風力発電

日本では、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーという言い方がされます。しかし、風力発電の発電コストは、太陽光発電のおよそ1/3と経済性で大きな違いがあり、一括して論じる技術ではありません。

この先、化石燃料価格が上昇すれば、風力発電の発電コストは、火力発電と競争できる水準になると想定されています。EUが再生可能エネルギーの導入に注力しているのは、主に風力発電のことです。

一方、日本には風力発電に適した立地が乏しいことが指摘されています。そのため、再生可能エネルギーの導入と言うと、発電コストが高い太陽光発電に関心が持たれます。本章では、これらの事柄をデータにより紹介します。

#### 4.1 風力と太陽光の発電コスト

風力発電と太陽光発電の発電コストの違いから見ることにしましょう。

##### <日本の発電コスト>

日本における発電コストの情報として、前述したコスト等検証委員会報告書の値と、再生可能エネルギー固定価格買取制度(FIT)の最新の値を表4-1に示しました。全般に、風力発電の方が太陽光よりも、かなり発電コストが低いことが分かることと思います。

表4-1 日本の風力発電と太陽光発電の発電コストの比較

出典	風力発電		太陽光発電		
	項目	電力 円/kWh	項目	電力 円/kWh	
コスト等検証委員会報告書 発電コスト（2011年12月）	陸上風力(2010年)	9.9～17.3	住宅用太陽光(2010年)	33.4～38.3	
	陸上風力(2030年)	8.8～17.4	メガソーラー(2010年)	30.1～45.8	
日本の再生可能エネルギー 固定価格買取（2014年度）	風力(20kW以上)	22 + 税	住宅用太陽光(2030年)	9.9～20.0	
			メガソーラー(2030年)	12.1～26.4	
		太陽光(10kW未満)		37	
		太陽光(10kW以上)		32 + 税	

コスト等検証委員会報告書には、現状2010年と2030年のモデルプラントの発電コストが示されており、そのうち、陸上風力発電と太陽光発電の値を示したものです。風力発電の発電コストは、かなりの幅を持っていますが、2010年のモデルプラントについて、平均値で比べると、風力発電は太陽光の

1/3 近い値です。

なお、2030 年の発電コストは、今後の技術革新などによるコスト低減を考慮した値です。風力発電は機械的な装置のため、コスト低減はあまり考慮されていません。太陽光発電の方がコスト低減の余地が大きいことに間違いないと思いますが、2030 年の値は期待値と言うべきでしょう。

固定価格買取制度の調達価格でも、太陽光発電に比べて風力発電はかなり低く設定されています。買取価格は、発電設備を設置し買取期間に妥当な投資収益が確保できるよう、発電コストよりも高く設定されたものです。

風力発電の発電コストが、2010 年のモデルプラントで 9.9~17.3 円/kWh と広い幅があるのは、発電容量の大きさや、設置場所の風況、設置場所による建設や保守の容易さに違いがあるためです。FIT の風力発電の買取価格は、発電コストの高い場合に対応していると考えられます。そのことは、低コストの風力発電の立地が、あまり残されていない実態を反映したものと思われます。

#### < EU の FIT 価格 >

世界各国の、風力発電や太陽光発電の発電コストや電力価格のデータを探したのですが、見つかりませんでした。代わりに、図 4-1 には、EU 各国での、再生可能エネルギー固定価格買取制度(FIT)の調達価格を示しました。EU 加盟国の殆どは FIT を導入しています。

図4-1 EU加盟国のFIT、風力と太陽光の買取価格(2010年4月現在)  
出所:EUROPE'S ENERGY PORTAL

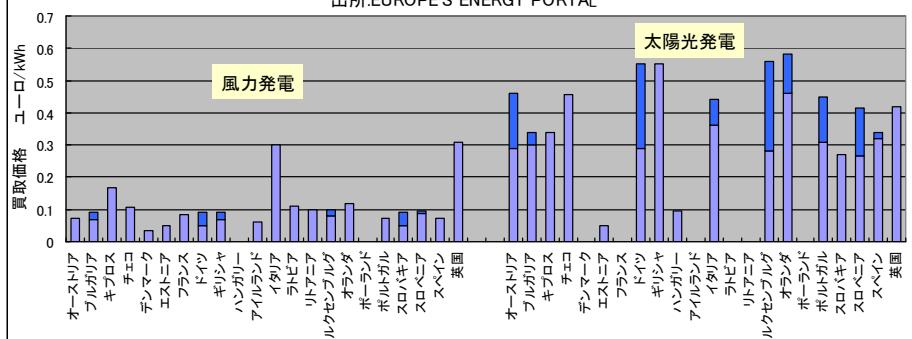


図 4-1 は少し古いデータで、2010 年 4 月時点の買取価格です。以前にウェブサイト Europe's Energy Portal にあったものですが、現在は掲載されていないようです。その後、特に太陽光発電は価格が低下しており、最新の値はもっと下がっていると考えて下さい。

EU では、多くの国に FIT が導入されています。電力買取価格は、発電コストよりも少し高く設定され、その差が再生可能エネルギー導入のインセンティブになります。インセンティブの大きさは、国により少し異なるようです。

左側に風力発電、右側に太陽光発電の買取価格を示しました。買取価格に範囲がある場合は、図 3-1 の棒グラフ上部の濃い青の部分で示しました。風力発電の買取価格は、概して太陽光発電の 1/3 くらいです。両者の発電コストの比率も、そのくらいだと思われます。

FIT の風力発電の買取価格は、表 3-1 の日本の値が 22 円/kWh であるのに対し、図 3-1 の EU の値は、殆どが 0.1 ヨーロ/kWh 前後です。今の為替レートの約 135 円/ヨーロで換算すると、EU の値は約 14 円/kWh となり、日本よりかなり安いことが分かります。この理由は、日本は太陽光発電の導入量が少なく設備価格の低下が進んでいないことに加え、後述するように、風況の優れた立地が少ないため、発電コストが高くなっているためと思われます。

## 4.2 なぜ EU は再生可能エネルギーに熱心か

### <温暖化防止>

どこの国にも、再生可能エネルギーの導入に熱心な人はいます。一方、国レベルで熱心なのは EU です。その他の国は、温暖化防止に否定的ではありませんが、再生可能エネルギーの導入には、それほど積極的ではありません。例えば、エネルギー消費大国の米国は、最近までかなり数の専門家が、地球温暖化に疑念を抱いていました。環境に優しいイメージがあるカナダも、京都議定書の目標達成が困難になると、さっさと京都議定書から離脱しました。

生真面目な日本は、第一約束期間の削減目標はなんとか達成しましたが、原発停止のもとでは、第二約束期間の削減は困難であり、京都議定書から離脱しました。

世界は温暖化防止に否定的ではありませんが、再生可能エネルギーの導入に熱心なのは、殆どEUだけのように思われ、その理由を考えてみました。

#### ＜再エネ導入の経済負担＞

EUは、温暖化の危機意識が非常に高いのかもしれません。また、今直ぐに行動しないと、手遅れになるとを考えているのかもしれません。

しかし、国の政策は理念だけで決まるものではありません。政策は、実行できなければ意味がありません。少ない国民負担で実行できることが望ましいことです。多くの国が、再生可能エネルギーの拡大に積極的でないのは、経済的な負担が大きいと考えているためだと思います。

一方、EUはこの経済的負担をどのように考えているのでしょうか。EUの公的機関が発行した再生可能エネルギーに関するレポートからは、二つのことが読み取れます。再生可能エネルギーのなかでも陸上風力発電は、発電コストが火力発電に近く、将来、化石燃料価格が上昇すれば、陸上風力発電のほうが安価になると考えられています。これは、EUに限った認識ではありません。もう一つは、北海や大西洋に面した地域には、豊富な風力資源があり、それを利用した風力発電により、EUの電力需要のかなりを賄うことができると想定されていることです。

これらのことから、風力発電を中心とした再生可能エネルギーに転換することは、中長期的に評価すれば、EUにとって大きな経済負担にはならないと考えられているように思います。風力発電に重点を置いた再生可能エネルギーの導入なのです。

#### ＜産業競争力＞

以下は個人的な憶測ですが、全ての先進国が温暖化防止のために再生可能エネルギーを拡大することは、国際的な産業競争の観点で、EUに都合が良いと考えているのではないか、という推測も否めません。

EUの産業競争の主な相手は米国と日本です。最近では韓国あたりも加わるのかもしれません。再生可能エネルギーへの転換は、エネルギー消費大国の米国にとって、産業活動の大きな制約になると思われます。日本は、米国ほど大きな影響はないと思いますが、工業生産の比率が高く、後述するよう風力発電の立地が乏しいため、EUよりも大きな経済負担になります。

その他、温暖化防止は、発展途上国の経済成長をある程度抑制します。先進国の豊かさが、発展途上国の貧しさに支えられていることは否定できないと思います。

これらにより、世界に温暖化防止を求めるることは、EUの国際的産業競争にとって、相対的にプラスになると想像されます。政策立案者は、自国民の豊かさのために、そのくらいのこと考えるものと思います。

#### <EUの風力発電>

データにより示すことが本書のやり方です。主なデータは次項以降に紹介しますが、ここでは、EUの再生可能エネルギーによる発電の実績と、2050年の想定を紹介することにします。

図4-2 EUの再生可能エネルギーによる発電電力量の推移  
出所:IEA統計、Renewables and Waste

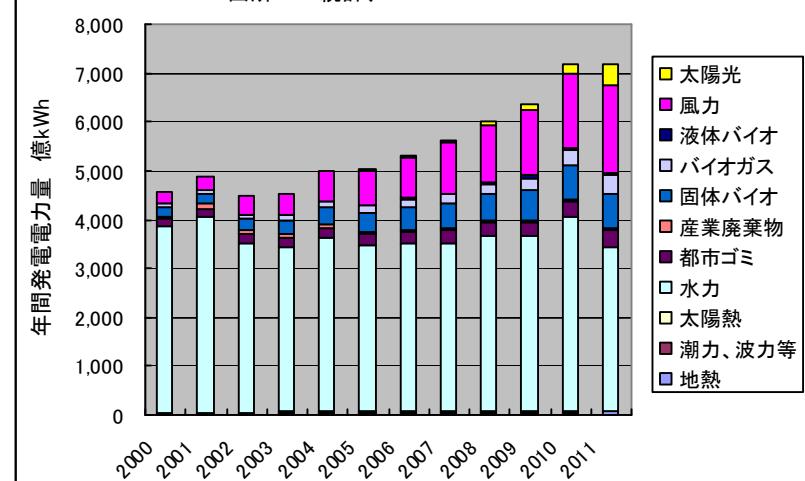
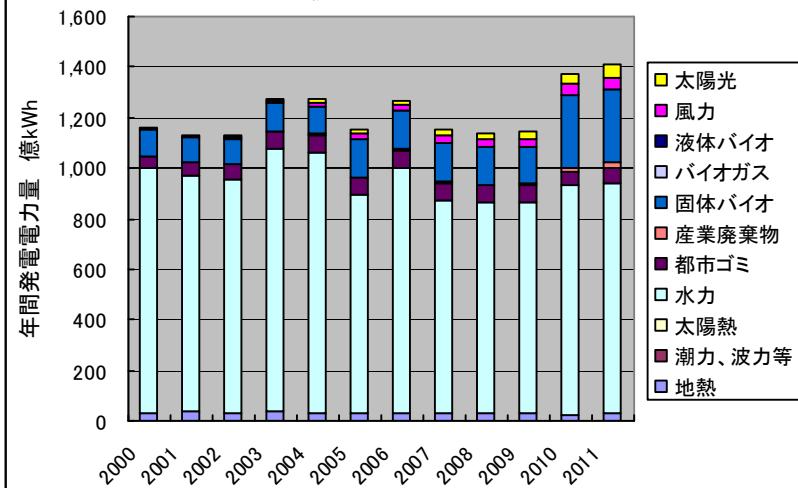


図4-2は、IEAの統計データベースからとった、EU27カ国の再生可能エネルギーによる発電電力量の実績です。なお、総発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合は、2011年実績で22%です。

棒グラフの下から、地熱、潮力等、太陽熱の発電量は、グラフ上でほとんど認識できないレベルです。次の揚水発電を含む水力発電が一番大きな割合を占めています。その上の廃棄物とバイオの5項目による発電量も、かなりの割合を占めています。最上部の2項目が風力発電と太陽光発電ですが、風力発電の電力量が明らかに多いことが分かります。

日本では、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーと一括りで言われることが多いのですが、太陽光発電の発電コストは、風力発電のおよそ3倍であり、それが発電電力量の実績に反映されています。なお、2009年頃から、太陽光発電が認識できるレベルに増加してきているのは、固定価格買取制度（FIT）により、高い価格で太陽光発電による電力を買い取るようになったためです。

図4-3 日本の再生可能エネルギーによる発電量の推移  
出所:IEA統計、Renewables and waste



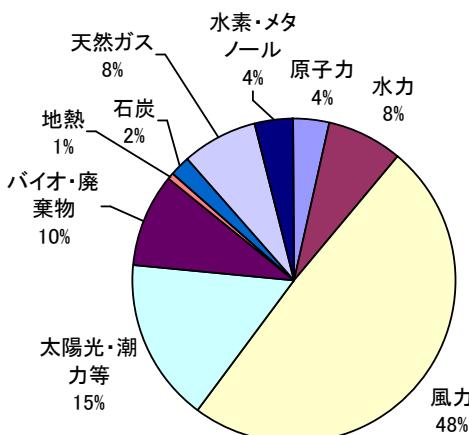
比較のために、同じ IEA のデータベースを用いて、図 4-3 には、日本の再生可能エネルギーによる発電電力量の実績を示しました。なお、総発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合は、2011 年実績で 13.4%です。

棒グラフには、EU と同じ順序で内訳を表示してあります。EU と比べ、日本の地熱発電は少し多いようです。主題である棒グラフ上部の風力発電の割合は、EU に比べて非常に少ないことが分かります。日本は風力発電に適した立地が乏しいためです。そのため、発電コストが高い太陽光発電による電力量が、風力発電と同じくらいになっています。

次に、将来の EU の再生可能エネルギーによる発電について紹介します。図 4-4 は、EU の 2050 年の電源構成の想定の一例です。欧州委員会は 2011 年に、温室効果ガス排出量を 2050 年までに、90 年比で 80~95% 削減する長期目標のロードマップを公表しました。そのレポート Energy Roadmap 2050 には、複数のシナリオが提示されており、図 4-3 は「再生可能エネルギー高導入」シナリオの 2050 年の電源構成を図示したものです。

図 4-4 EU の 2050 年の再エネ転換の電源構成例

出所: Energy Roadmap 2050, European Commission,  
2011 年, High RES シナリオ



天然ガスや原子力などの再生可能エネルギー以外も含む全電源の構成ですが、風力発電が約半分を占めています。太陽光発電の比率もかなり大きいのですが、風力発電の 1/3 以下です。なお、図には太陽光・潮力等と示されていますが、潮力や波力発電はほとんどありません。

風力発電と比べて太陽光発電は、今後の技術開発によりコスト低減の余地が大きいと考えられており、同レポートでも、太陽光発電の設備コストの低減が見込まれています。それでも、太陽光発電の導入量はこの程度の想定です。

なお、コストが高い太陽光発電は、不要ということではありません。風力発電も太陽光も、お天気次第ですから、多様なものを揃えることが、少しでも安定に電力を供給することに繋がる訳です。また、太陽光発電は、昼間のピーク電力需要に対応するものとして有効です。

### 4.3 世界の風力発電の概況

世界で風力発電が多い上位 30 カ国について、1 章の 1.5 項に前述しました。本項では、IEA で風力発電の開発に参加しているメンバー国 (IEA WIND) について、もう少し詳しい情報を紹介します。

#### <IEA WIND メンバー国>

図 4-4 には、IEA WIND の年次報告書から、2013 年末のメンバー国の風力発電データを示しました。各国の累積の設置発電容量、総電力需要に対する風力発電の比率、および、平均の設備利用率を示しました。3 つのグラフとも、発電容量の大きい国から順に並べてあります。なお、韓国、フィンランド、イスラエルの棒グラフが見えないのは、データの欠落ではなく、グラフで認識できない水準であるためです。なお、IEA WIND のメンバー国以外で、風力発電の設置容量が大きい国としては、インド (20.1GW)、フランス (8.2GW)、トルコ (2.9GW) などがあります。

IEA の統計データベースによれば、世界全体で 2012 年の風力発電による発電電力量は、総発電電力量の 2.3% を占めています。図 4-4 に示す 2013 年

の IEA WIND メンバー国の中では、多くの国で、総電力需要に対する風力発電の比率は、世界の平均比率よりも高くなっています。しかし、日本の総発電電力量に占める風力発電の比率は0.5%に過ぎません。これは、日本が風力発電の導入促進を怠けていた訳ではなく、日本には風力発電に適した立地が乏しいという実態を反映したものです。この事は、本書の主題の一つです。

図 4-5 主な国の風力発電・設置容量・総電力需要に対する比率・設備利用率 (2013 年末)

出所:IEA WIND 2013 Annual Report

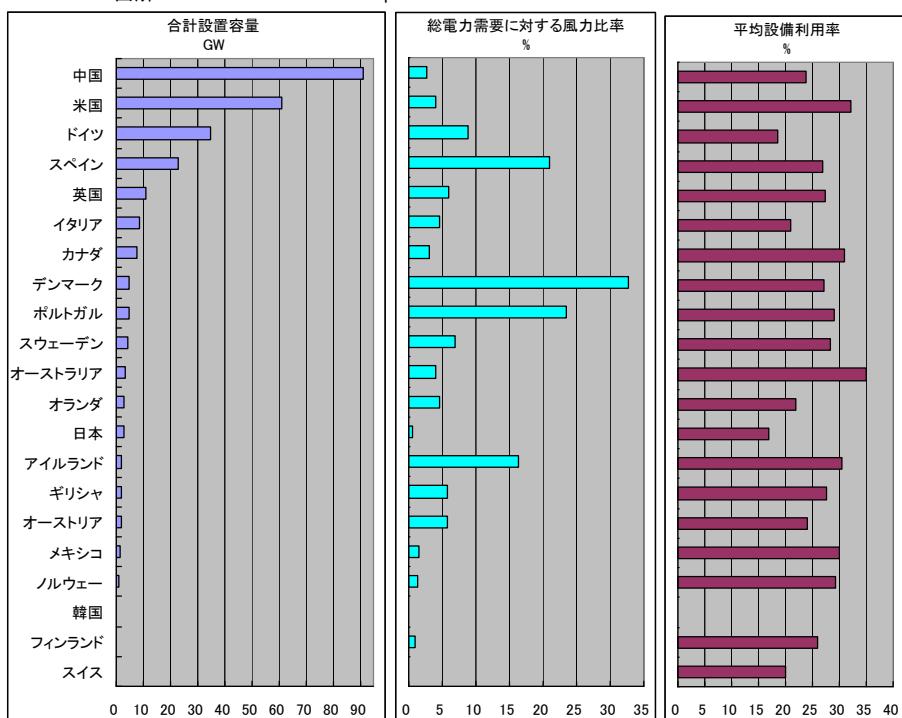


図 4-5 に示されるように、風力発電の設置容量が大きいのは中国と米国です。大国で電力需要も大きく、総電力需要に対する風力発電の比率は、各々 2.6%、4.1%とそれほど大きくありません。一方、風力発電の比率が 33%と

高いデンマークの設置容量は、第3位のドイツと比べても約1/7と小さく、デンマークの事例は、そのまま日本の参考にはならないと思います。設置容量と風力発電比率が共に大きいのは、ドイツやスペインです。風力発電に関する、これらの国の成功と失敗の事例を見極めた上で参考にすべきです。

#### ＜設備利用率＞

風力発電の定格出力と設備価格が同じなら、設備利用率（＝年間発電電力量 / (定格発電出力 × 365 × 24)）が2倍になれば、発電コストは2分の一になります。設備利用率は重要なファクターです。図4-5の一番右側に、各国の運転実績に基づく平均の設備利用率を示しました。年間平均で高い風速が得られる風況の優れた国では、設備利用率は高い値になります。

オーストラリア、米国、カナダ、アイスランド、メキシコは30%を超える高い設備利用です。過半の国の設備利用率は25%以上です。IEA WIND メンバー国の中で、日本の設備利用率は最低の17%です。日本の風力発電は、それでも比較的風況が良い場所を選んで設置されたものです。

ドイツの設備利用率が18.5%と、2番目に低い値であるのは、少し意外です。ドイツについては後述しますが、ドイツの海岸地帯である北海、バルト海沿岸は、日本に比べて風況に恵まれています。しかし、風力発電の導入拡大を図るため、風が比較的弱い内陸部まで、風力発電を設置したため、平均の設備利用率が低くなったものと考えられます。

#### 4.4 主要国の風況マップ

本項では、世界地図の上に年間平均の風速を示した風況マップにより、主要国の状況を紹介します。Googleの画像検索で、キーワードを“wind map”、“wind atlas”、などとすると、多数の風況マップを見るることができます。図4-6には、スウェーデン VAISALA 社傘下の3TIER 社のウェブページからダウンロードした風況マップを示しました。無償でダウンロードでき引用することができます。地上80mの年間平均風速を色分けして示しています。

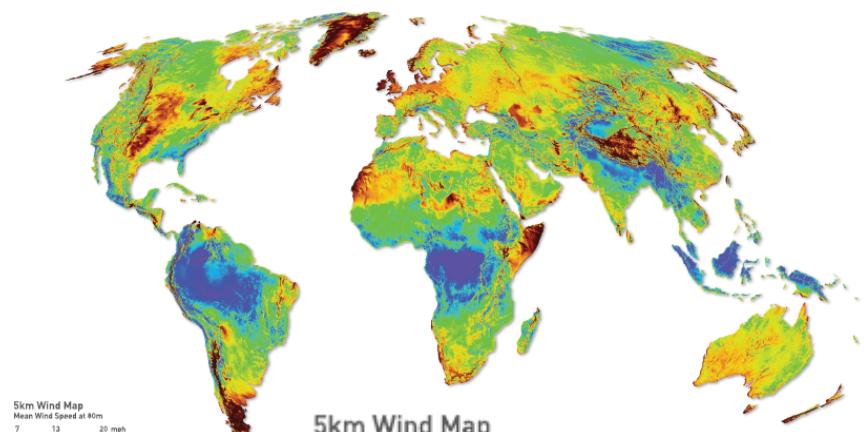
図 4-6 世界の風況マップ

出所 : 3TIER by Vaisala

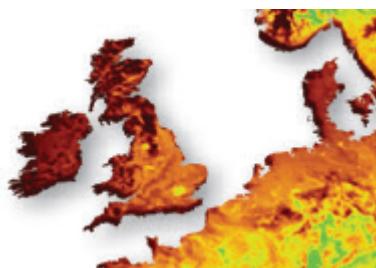


Global Mean Wind Speed at 80m

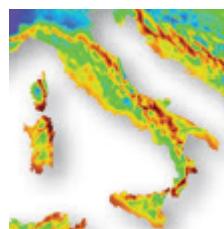
3TIER  
by Vaisala



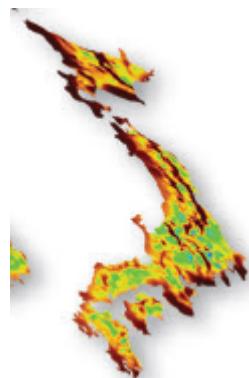
[www.3tier.com](http://www.3tier.com) | © 2014 3TIER by Vaisala



英国・欧州沿岸



イタリア



日本

ウェブページ上では、拡大が可能な解像度を持っていますが、本書では小さいコピーとなってしまうため、英国、イタリア、日本の部分を拡大して添付しました。後述しますが、英国は国全体の風速が高いことが分かります。概してイタリアは風速が低く、風力発電に適した立地が乏しいことが窺われます。また、日本で風速が高いのは海岸線です。

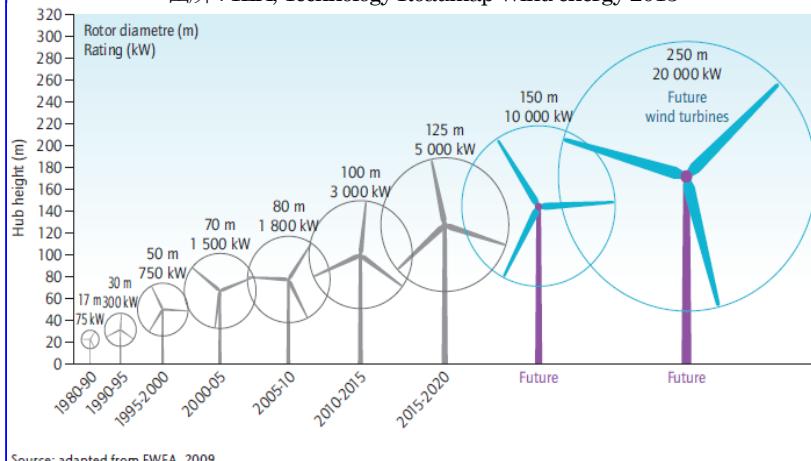
#### <風力発電の基礎知識>

風力発電の風況マップを見る際は、地上どのくらいの高さのデータであるかを確認する必要があります。図4-7には、風力発電の大型化の進展を示しました。また、三菱重工業<sup>㈱</sup>の風力発電のウェブページによれば、風力発電の定格出力は、概ね下記のような式で示されるそうです。

$$\text{定格出力 kW} = \text{約 } 0.3 \times (\text{D=直径 m})^2$$

図4-7 風力発電の大型化の進展

出所 : IEA, Technology Roadmap Wind energy 2013



#### <欧洲の風況マップ>

多くの風況マップの画像には著作権があり、本書にコピーを掲載することには問題があるかもしれません。そのため、掲載されているウェブページを紹介しますので、関心がある方は、そのページを参照して下さい。

図 4-6 からも、欧州大陸で風速が高い地域が分かるかもしれません、もっと分かり易い欧州の風況マップとして、例えば、下記があります。

#### 欧州の風況マップ（地上 50m）

European wind resources at 50 metres a.g.l.

From the European Wind Atlas. Copyright © 1989 by Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark

(<http://www.windatlas.dk/europe/landmap.html>)

European Wind Atlas という 600 頁余りの有償の風況データ資料の紹介ページに掲載されているものです。局所的な変化を除き、大規模スケールの風速状況を示したものと記載されています。

欧州大陸の北西の海岸地域は、風況が優れており、高い設備利用率が期待できることが分かります。偏西風の影響を受けているためだと思います。海に囲まれた英国やアイルランドは、国全体が良い風況に恵まれています。特に、英国北部のスコットランド地方は高い風速です。また、デンマークも、国全体が風力発電に適していることが分かります。

イベリア半島のスペインやポルトガルの海岸地域にも、風力発電に適した地域が見られます。一方、地中海に突き出たイタリアは、概して風況が良くありません。

#### <米国の風況マップ>

下記は、米国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)による風況マップです。

#### 米国の風況マップ（地上 80m）

Utility-Scale Land-Based 80-meter Wind Maps

米国立再生可能エネルギー研究所

([http://apps2.eere.energy.gov/wind/windexchange/wind\\_maps.asp](http://apps2.eere.energy.gov/wind/windexchange/wind_maps.asp))

ロッキー山脈東側の米国中央部を縦断する広大な地帯は、風力発電に適した地域であることが分かります。図 4-5 に示したように、米国の風力発電の設置量は世界第 2 位ですが、まだまだ風力発電に適した立地があることが分かります。

### <オーストラリアの風況マップ>

下記は、南オーストラリア州の再生可能エネルギーのウェブページに掲載されている風況マップです。南西部および南部海岸地域には、風速が高い広大な地帯が見られます。

#### オーストラリアの風況マップ（地上 80m）

Predicted wind speed at 80 metres above ground level, 1995-2005,  
Australia, Department of Primary Industries and Regions 2012  
([http://www.renewablessa.sa.gov.au/files/121219-windresourcemap\\_pingaustralia.pdf](http://www.renewablessa.sa.gov.au/files/121219-windresourcemap_pingaustralia.pdf))

### <中国の風況マップ>

中国の風況マップとしては、例えば、中国能源研究所が作成した風況マップが、下記 IEA レポートに掲載されています。なお、同マップには、説明目的のものとの但し書きがあります。

中国北部の内モンゴル自治区や、西部のチベット自治区などに、風況に優れた広い地域があるようです。

#### 中国の風況マップ（地上 70m）

IEA, Technology Roadmap  
China Wind Energy Development Roadmap 2050  
Figure 3. Distribution of land-based wind resource potential  
(WPD≥300 W/m<sup>2</sup>, 70 m height)

## 4.5 EU の風力資源

本項では、EU が有する風力発電のポテンシャルを紹介した上で、日本の参考とするため、風力資源が豊富な英国、風力発電の導入が進んでいるドイツ、風力資源が乏しいイタリアについて紹介します。

### <欧州の風力発電ポテンシャル>

前述の世界の風況マップからは、英国や欧州大陸の北西海岸域は、風力エネルギーが豊富であり、一方、イタリアは風力発電に適した立地が乏しいこ

とが定性的に分かれます。ここでは、定量的情報として、下記文献により、  
欧州の風力発電のポテンシャルを紹介します。

EEA(欧州環境省)Technical report(2009年),"Europe's onshore and offshore wind energy potential, An assessment of environmental and economic constraints"

少し以前のレポートですが、風力発電は太陽光発電のようにコスト低減が急速に進んでいる訳ではないので、状況はそれ程違わないと思います。同レポートは、2020年と2030年の欧州の風力発電のポテンシャルについて、各種制約抜きの最大値、社会・環境面の制約を考慮した値、火力発電などの従来型発電に比べて経済的に競争力がある値(Economically competitive potential、以下には経済性考慮ポテンシャル)の3種を示しています。本項では、陸上風力発電の経済性考慮ポテンシャルを紹介します。

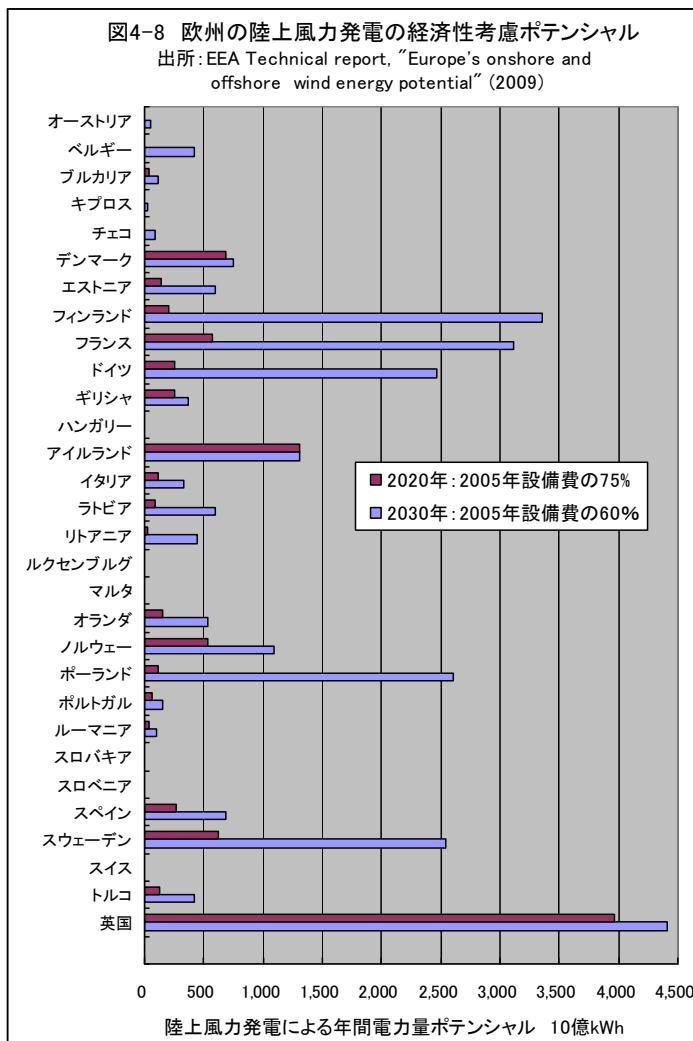
同レポートでは、2005年の風力発電の設備費を基準(ターンキー・コストが1,000ユーロ/kW)として、2020年には72%に、2030年には58%に低減すると想定しています。運転保守費の比率や金利などは、2005年の標準的な値を用いています。それらのデータと、年間平均風速を示す風況マップの定量データを併せれば、地図上に風力発電の発電コストを示す2020年と2030年の風力発電のコスト・マップが作成できます。

欧洲の将来の平均発電コストを、2005年価格(5.9ユーロセント/kWh)ベースで、2020年は6.3ユーロセント/kWh、2030年は6.5ユーロセント/kWhと想定しています。それよりも発電コストが低い5.5ユーロセント/kWh以下の風力発電の発電量の総量を、経済性考慮ポテンシャルとして算定しています。

図4-8に、欧洲各国の2020年と2030年の陸上風力発電の経済性考慮ポテンシャルを示しました。2020年の合計値は9兆6,000億kWhになります。これらの国全体の2012年の総電力供給量の実績は3兆5,000億kWhですから、3倍近くの経済性考慮ポテンシャルがあることになります。

経済性考慮ポテンシャルが一番大きい国は、図4-6の風況マップからも想

像できると思いますが英国です。2020 年の英国のポテンシャルは約 4 兆 kWh で、同国のが 2012 年の総電力供給量である 3,600 億 kWh の約 10 倍です。因みに、日本の年間発電電力量は 1 兆 kWh 前後ですから、その 4 倍です。



その他に 2020 年の経済性考慮ポテンシャルが大きい国は、英國の隣りのアイルランドや、デンマーク、スウェーデン、ノルウェー、フランスなどです。北海、バルト海、北大西洋などに面した海岸線を有し、偏西風を有効に利用できる立地がある国です。

図 4-8 には、2020 年に比べて、2030 年の経済性考慮ポテンシャルが大幅に増加する国が見られます。具体的には、フィンランド、フランス、ポーランド、スウェーデン、ドイツなどです。風力発電の建設費低減が、2020 年の 72% では、まだ、火力発電の発電コストに敵わないが、2030 年の想定の 58% まで低減すれば、風力発電のポテンシャルが大幅に増大する国です。後述するドイツは、そのような長期的観点で、風力発電を将来の中心の電力源に想定しているものと思います。

一方、例えればイタリアの風力発電の経済性考慮ポテンシャルは、2020 年でも 2030 年でも小さい値です。そのため、再生可能エネルギーの導入を拡大するには、発電コストが大幅に高い太陽光発電に頼ることになります。そのことが、電気料金の高さや、恒常的な電力不足に繋がっているように思われます。実は、イタリアのエネルギー事情は、日本と多くの類似点があり後述します。

#### <欧洲と日本の違い>

非常に大きなポテンシャルが想定されていますが、風力発電を推進している組織が検討したものですから、割り引いて考えることが必要でしょう。一般にポテンシャルなどというものは、いざ本当に使おうとすると、考慮されていなかった種々の制約のため、その何分の一しか使えないものです。

しかし重要な点は、欧洲では、燃料価格が上昇し火力発電コストが高くなつた時点では、風力発電の設備費がある程度低下すれば、従来型発電と経済的に競争できると考えられている点です。

一方、日本での議論は、温暖化防止のためには、余分のお金が掛かっても再生可能エネルギー導入を拡大しようというものです。それは、日本は安価な陸上風力発電の立地が乏しいため、再生可能エネルギーとして、発電コス

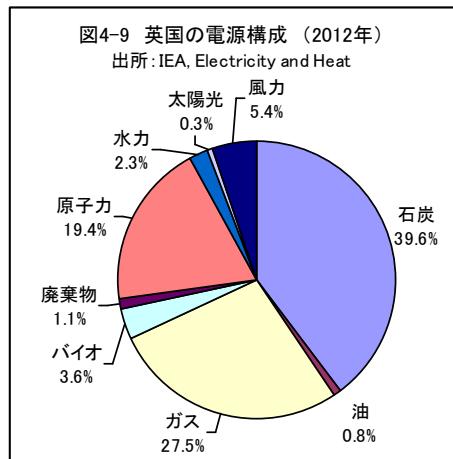
トが高い太陽光発電を中心に考えなければならないためです。

#### ＜英国の風力と天然ガス＞

再生可能エネルギーの導入を推進している EU の主要国で、風力発電のポテンシャルは大きいけれど、導入量が少ない英國について見ることにしましょう。図 4-9 には、英國の 2012 年の電源構成を示しました。石炭が 40%、ガスが 28%、原子力が 19% と続いています。風力発電は 5.4%、太陽光発電は 0.3% です。

英國は風力資源が豊富ですが、図 4-5 に示したように、ドイツやスペインと比べと、少ない導入量に留まっています。以下、推測を交えて、その理由を考えてみます。

図 4-10 に、1990 年以降の電源構成の推移を示しました。1990 年には石炭火力が 2/3 を占めていましたが、その後、石炭から天然ガスへの転換が



進みました。転換理由の一つは温暖化防止のためです。また、電力の自由化により、石炭から天然ガスへの転換が進んだことも報告されています。

北海油田の大半は、英國とノルウェーの経済水域にあります。英國の天然ガスの国内生産量は、2012 年実績では、国内供給量の 53% です。しかし、1990 年代初めには、国内供給量の 9 割を占めていました。その後、天然ガスの生産量は増加し、1990 年代半ばには国内供給量と等しくなり、その状態は 2004 年頃まで続きました。2005 年から天然ガスの生産量は減少に転じ、現在に至っています。

天然ガスを LNG として輸入している日本と異なり、英國では国内で産出する天然ガスを、安価に利用できたものと思われ、電力自由化のもとで、石

炭火力からガス火力への転換が進んだと考えられます。

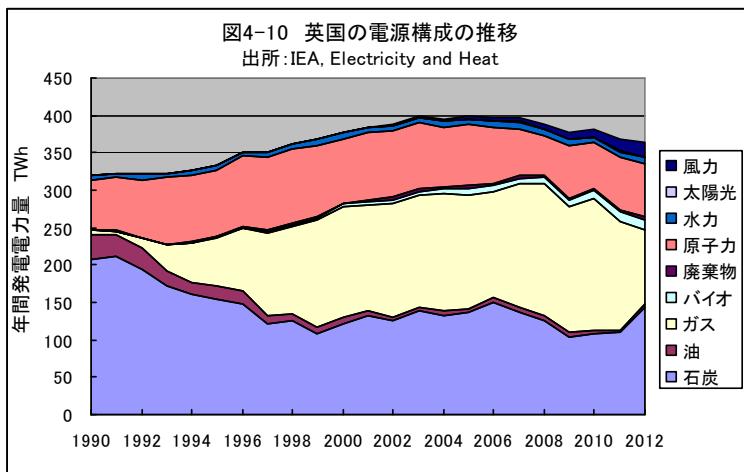


図4-10で近年、石炭火力が増加し、ガス火力が減少する傾向を示しているのは、天然ガスの国内生産量の減少を反映したものと思われます。

### <英国の風力とCO2>

風力発電の導入は、温暖化防止のためです。表4-2には、英国とドイツ、イタリアのエネルギー・経済指標を示しました。参考として、東日本大震災以前の日本の値も付記しました。

表4-2 英・独・伊のエネルギー指標の比較(2012年)

項目	単位	英国	ドイツ	イタリア	日本
人口	百万	63.71	81.92	60.91	128.04
人口一人当たりGDP	千UDS	37.56	37.52	28.40	36.30
一次エネルギー供給量	石油換算トン	3.02	3.82	2.61	3.90
電力消費量	千kWh	5.45	7.14	5.28	8.34
CO2排出量	トンCO2	7.18	9.22	6.15	8.86
CO2排出量/GDP	kg-CO2/USD	0.19	0.25	0.22	0.24

注) (1) 日本のみ東日本大震災以前の2010年の値。

(2) USDは2005年ベースの米ドル

GDPやCO2排出量は、人口が多い国が多くなるのは当然ですから、人口一人当たりの値を対比することにします。英国の一人当たりのCO2排出量

は、ドイツや日本より少ないことが分かります。なお、イタリアは、もっと少ない値ですが、それについては後述します。

英国の一次エネルギー供給や電力消費量も、ドイツや日本より少なくなっています。これは、省エネなどエネルギー効率が高いためではなく、英国はエネルギー多消費の重工業が少ないためです。ドイツなどと比較して CO2 排出量/GDP の値が低いのも、エネルギー生産性が高いためではなく、産業構造の違います。

本項の主題に入りますが、英国は EU の当面の CO2 削減目標を、石炭から天然ガスへの転換で概ね達成しており、経済的負担を払ってまで風力発電を大幅に導入する必要がないわけです。

但し、北海油田からの天然ガスの生産量は急速に減少しています。今や、LNG の輸入量では、日本、韓国に次いで世界で 3 番目です。英国でのガス火力と風力発電の発電コストの差は縮小しているものと思われます。

一方、2015 年には、EU の 2020 年代の温室効果ガス排出量の新たな削減目標が出されます。また、2050 年までに温室効果ガスを 80% 以上削減するという長期目標も取り消されたわけではありません。

英国でも、石炭火力を風力発電に本格的に転換する時代が遠からず来るものと思います。但し、風力資源が豊富な英国では、風力発電に転換する経済負担は、日本が太陽光発電を大幅導入する場合に比べ、遙かに小さいものになると思われます。

#### <ドイツの風力発電>

図 4-6 の風況マップからは、北海やバルト海に面しているドイツ北部は風力発電に適していることが分かります。しかし、内陸部の風況はそれほど優れてはいません。

図 4-11 には、ドイツ各州の風力発電の設置状況を示しました。なお、各州の総電力消費量を併記しようと探したのですが見つからなかったため、経済規模を示す各州の GDP を表記しました。

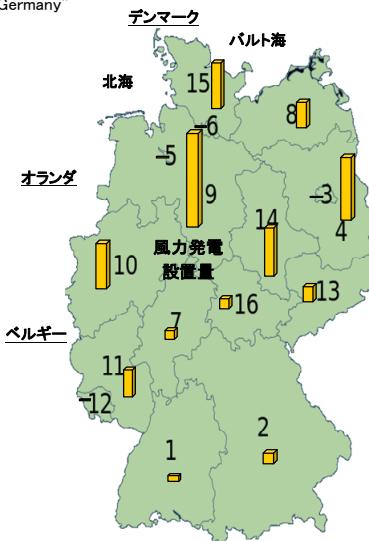
図 4-5 に示したように、ドイツは風力発電の導入が EU で最も進んでいま

す。図4-11から分かるように、風況がそれほど良くない内陸部にも、風力発電がかなり設置されているため、ドイツ全体の平均の設備利用率は18.5%と、EUの中で低い値です。

図4-11 ドイツ各州の風力発電設置状況など(2012年末)

出所:BWE, VDMA, "Status of wind energy development in Germany"  
Wikipedia "List of German states by GDP"

図番号	ドイツの州名など	風力発電設置量 2012年末 MW	各州のGDP 10億ユーロ
1	バーデン=ヴュルテンベルク州	501.56	389.5
2	バイエルン自由州	868.89	465.5
3	ベルリン	2.00	103.6
4	ブランデンブルク州	4,814.38	57.8
5	自由ハンザ都市フレーメン	149.01	27.7
6	自由ハンザ都市ハンブルク	52.75	95.8
7	ヘッセン州	802.24	228.8
8	メクレンブルク=フォアポンメルン州	1,950.33	230.0
9	ニーダーザクセン州	7,333.47	36.9
10	ノルトライン=ヴェストファーレン州	3,182.72	582.1
11	ランツフント=ブフアルゾ	1,927.60	117.7
12	ザールラート州	158.15	31.7
13	ザクセン自由州	1,002.54	96.6
14	ザクセン=アンハルト州	3,810.64	52.8
15	シュレースヴィヒ=ホルシュタイン州	3,571.42	77.3
16	チューリンゲン自由州	899.59	49.3
	海上風力(北海)	229.50	
	海上風力(バルト海)	50.80	



しかし、経済規模が大きく電力消費量が多いバイエルンなどの南部の州には、風力発電の設置が少ないのが現状です。風力発電量が増大する冬季などには、ドイツ北部で余剰の電力を南部へ送電することが必要になりますが、現状の送電網の容量が充分でないことが報じられています。

日本でも、風力発電や太陽光発電の導入が拡大すれば、同様の問題が生じると思います。日本では、北海道の東部が風力資源が豊富な地域ですが、最大の電力消費地の東京からは遠く離れています。

10章では、2050年までに、温室効果ガスを80%削減するドイツの長期シナリオを紹介しますが、2050年の風力発電の容量は、2012年の2.6倍にするシナリオとなっています。その場合、風況が良くない内陸部にも風力発電が増加し、更に設備利用率を低下させることになるでしょう。

また、現状 0.9%に過ぎないドイツの洋上風力発電は、今後、大幅に増加させることが必要になるでしょう。洋上風力発電では、30 数%の設備利用率が期待できるものと思われます。北海沿岸には遠浅の海があり、洋上風力発電の建設費増加も、ある程度は抑えられるようです。それでも、陸上風力に比べて、洋上風力の設備費は大幅に増加します。また、発電電力量の変動対策に加え、ドイツ南部への送電網の強化も必要になります。

日本では 2014 年 10 月、再生可能エネルギーの固定価格買取制度で、太陽光発電の買取量が急増し、電力会社の送電網の能力を超えることが予測されるため、買取を中断する事態が発生しました。

ドイツの先行事例は、再生可能エネルギーの買取制度は、発電容量の総量が増大すれば済む誤ではなく、全国的な計画のもとに、再生可能エネルギーの導入拡大を図ることが不可欠であることを示唆しています。

#### <イタリアの風力と日本>

図 4-6 の風況マップで、イタリアには風力発電に適した立地が乏しいことを示しました。図 4-8 の風力発電の経済性考慮ホテンシャルでも、2020 年、2030 年共に少ない値であることが示されています。

1 章では脱原発を実行した国として、日本とのエネルギー事情の類似点を指摘した上で、イタリアの電源構成を紹介しました。イタリアは 13%前後の電力を輸入しており、恒常に電力不足の状態にあることを前述しました。そのため、再生可能エネルギーの導入には熱心で、風力発電は立地が乏しいけれども、2012 年実績で総電力量の 4.1%に達しています。また、太陽光発電は風力発電を超えて 5.7%です。

前述の表 4-2 のエネルギー・経済指標に示されるように、一人当たりの CO2 排出量は、ドイツの 67%と低い値です。脱原発のもとでも CO2 排出量が低い理由は、電力の輸入分を差し引いて考える必要がありますが、前述した英国と同様に、ドイツや日本と比べてエネルギー多消費産業が少ないことが大きいと思います。

しかし、EU は中長期的には、更に大幅な CO2 排出削減の計画を持ってお

り、イタリアがそれに対応するのは容易ではないと思います。安価な風力発電の立地はあまり残されていません。火力発電の天然ガスへの転換もかなり進んでいます。残された有効な対策としては、経済的負担が大きい太陽光発電の更なる拡大くらいでしょう。

繰り返しになりますが、同様に風力資源が乏しい日本のエネルギー事情は、イタリアよりも更に厳しいものです。日本が脱原発を選択するのなら、今後先進国に求められる CO<sub>2</sub> の排出削減を如何に実行したらよいか、イタリアの先行事例を他山の石として研究すべきでしょう。

#### 4.6 日本の風力資源

図 4-12 に、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のウェブページから引用した日本の風況マップを示します。NEDO の風況マップのページには、陸上と洋上の風況が示されており、地上 30m、50m、70m の 3 種を選択できます。また、選択した局所を拡大表示する機能など、種々の機能を含むものです。図 4-12 は地上 70m の局所風況マップで、日本全体の状況を示したものです。

風力発電は経済性の点から、目安として年間平均風速が 7 m/s 以上の立地が選択されると言われます。図 4-12 で、オレンジ色の領域以上の場所が該当します。日本の場合、そのような場所の多くは山岳部です。山岳部以外で、広い範囲で平均風速が 7 m/s 以上の場所としては、北海道の北部や南西部、東北地方の海岸部などであり、あまり多くありません。偏西風を有效地に利用できる立地が限られているということでしょう。

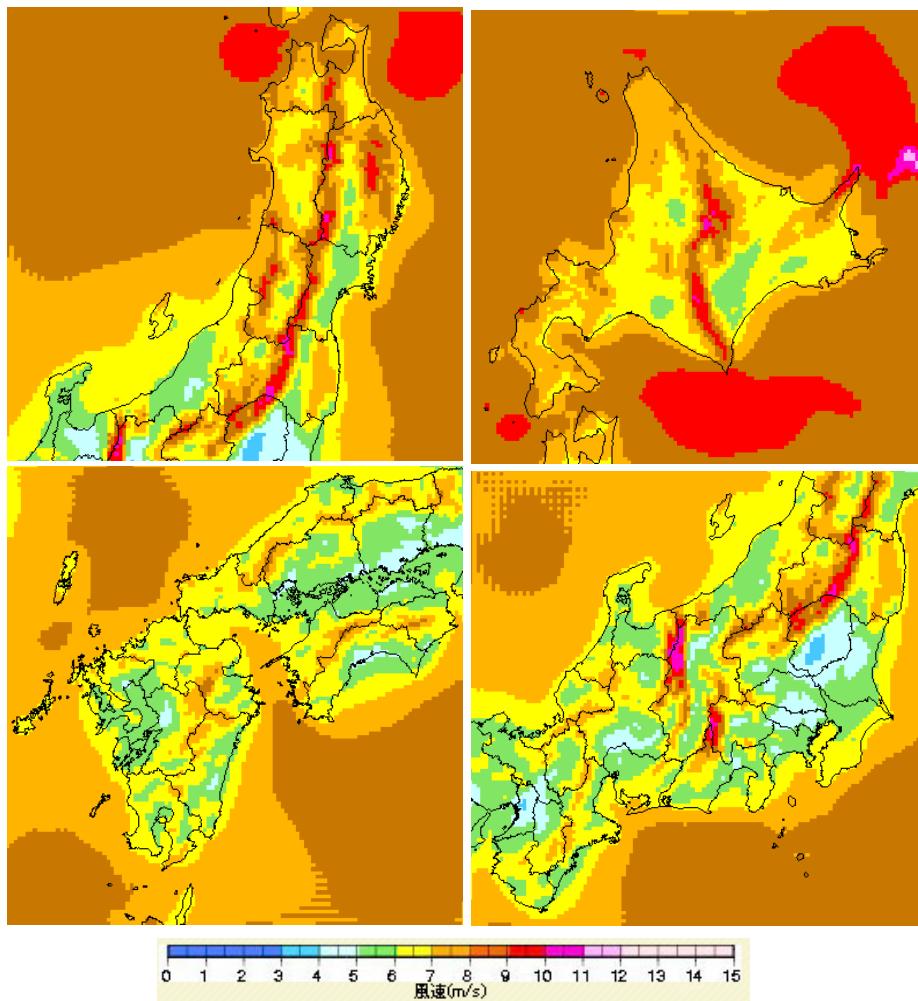
日本は中央が山岳地帯で、海岸部の平地に多くの人が住んでいます。そのため、海岸部での風力発電の設置には、種々の障害があるものと思われます。また、風況に優れた北海道などは、電力の多消費地から遠く離れているという欠点があります。

日本周辺の洋上であれば、図 4-12 からも分かるように、風況に優れた場所が豊富にあります。しかし、洋上風力発電は、設備建設費が高くなるため、

太陽光発電に比べて発電コストが低い利点が損なわれてしまいます。洋上風力発電については次項に記載します。

図 4-12 日本の局所風況マップ（地上 70m、年平均風速）

出所：NEDO ウェブページ「局所風況マップ」



風力発電のポテンシャルについては、前述の「コスト等検証委員会報告書」に記載があります。環境省や経済産業省が過去に委託して行った複数の調査結果を整理し、平均的共通的な値をまとめたものようです。

表 4-3 に、同報告書の日本の陸上風力発電のポテンシャルを示しました。同表に黄色のセルで示した設備容量が 1 億 5000 万 kW、年間発電電力量で 2700 億 kWh が有望なポテンシャルのようです。日本の総発電電力量の約 27%に相当します。

表4-3 日本の陸上風力発電のポテンシャル

項目		設備容量 万kW	発電電力量 億kWh
コスト等検証 委員会報告書 (2011年12月)	保安林外・国有林外・自然公園外 のポテンシャル	15,000	2,700
	国有林内のポテンシャル	12,000	2,100
	自然公園内のポテンシャル	1,400	250
参考	現行エネルギー基本計画の2030年の想定（2010年6月閣議決定）	1,000	176
	2012年実績	261	45

ポテンシャル量の算定基準は、あまり明確ではないように感じますが、同委員会の会議資料を見ると、再生可能エネルギーの固定価格買取制度で、調達価格 20 円/kWh で 20 年間買取るケースに相当する導入可能量のようです。また、風速 5.5m/s 未満の立地は除いた、という記述もあり、前述の欧州の風力発電ポテンシャルよりも、発電コストが高いものまで含めたポテンシャルのようです。表 4-3 には、2010 年に閣議決定したエネルギー基本計画で想定されている 2030 年の風力発電量を併記しました。それと比べて 15 倍であり、かなり背伸びをしたポテンシャル量であると感じます。

日本の総発電量に占める風力発電の比率は、図 4-5 に示したように、2013 年実績で 0.5% に過ぎず、平均の設備利用率も 17% です。EU に比べて低い値であり、風力発電に適した立地が乏しい日本の実態を反映していると考えられます。

## 4.7 洋上風力の発電コスト

EUが再生可能エネルギーに熱心なのは、風力資源が豊富なためであり、一方、日本は風力発電の陸上の立地が乏しいことを前述しました。しかし、日本にも、洋上なら風況の良い場所がかなりあります。日本は排他的経済水域（EEZ）が世界6位の海洋大国です。

### ＜洋上風力の現状＞

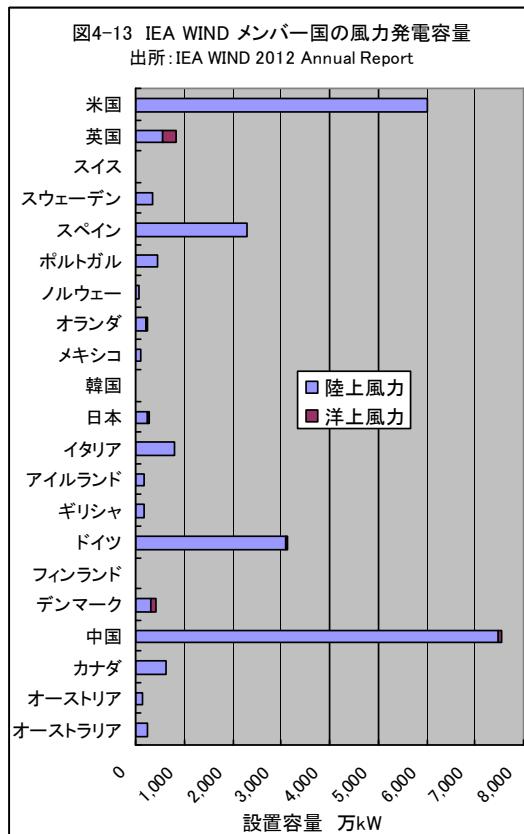
IEAの統計データによれば、2011年の世界全体の風力発電による電力量は、総発電電力量の約2%です。そのうち洋上風力発電は、2012年時点の設備容量で風力発電全体の2%に過ぎません。

洋上風力発電は今後の技術です。

図4-13は、IEA WINDの2012年の年次報告書に掲載されているメンバー国の風力発電の設置状況です。ある程度洋上風力発電があるのは、英国とデンマークくらいです。その他は、グラフ上ほとんどの認識できない程度です。しかし、洋上風力発電は、今後、導入が拡大すると期待されています。

### ＜洋上風力の利点＞

洋上の風力資源は膨



大にあると考えられています。洋上に設置するのですから、設備建設費や運転保守費は増加します。しかし、風況のよい場所に設置すれば、風力発電の設備利用率が高まるため、発電コストの上昇は、かなり抑えられます。風力発電に適した陸上の立地が残り少ないと、本格的に洋上風力発電へ向かうものと思われます。

陸上風力発電は、近隣の住人には迷惑施設と考えられますが、洋上風力ではその点が回避できます。また、陸上で見られる種々の制約も減じることができます。

#### <水深と構造>

洋上風力発電では、設置場所の水深や海底の地盤状態、海岸からの距離は、設備建設費に大きく影響します。

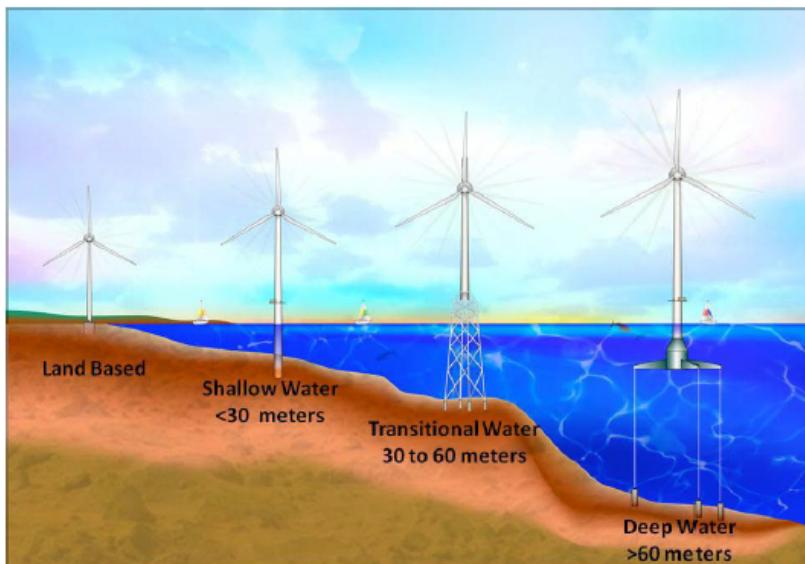


図 4-14 洋上風力発電の水深と構造

出所 : Large-Scale Offshore Wind Power in the United States,  
米国 NREL, 2010 年 9 月

図 4-14 に示されるように、水深 50m 前後までは、着床式の構造物が用い

られます。着床式は水深が深くなるほど建設費が増加するため、水深 50 m 前後を境に、浮体式が有利になるのではないかと考えられています。但し、浮体式が安価にできる目処がある訳ではありません。浮体式の洋上風力は、コスト低減に取り組んでいる開発途上の技術です。

水深 30 m くらいまでは、一本足 (monopile) 構造が用いられています。それより深くなると、3 本足やジャケット構造 (Tripod/Jacket) が用いられます。海底に自重で着床している構造も考えられています。

浮体式は開発段階のため、種々の構造が試みられているようです。風力タービンを許容範囲の安定性で支持できる構造のものが、経済的に成立つコストで建設できるかが課題です。

#### <陸上と洋上風力のコスト比較>

洋上風力発電のコストを陸上風力と比較して紹介します。米国の国立再生可能エネルギー研究所 (NREL) の下記レポートを参照しました。2011 年に米国に設置された風力発電を想定したものですが、報告書の発行は 2013 年です。

2011 Cost of Wind Energy Review, NREL, 2013 年 3 月

表 4-4 に設備とコストの概要を示しました。洋上、陸上ともにウインドファームのコストが比較されています。洋上風力発電では、設置工事は海洋土木になり、陸上に比べて工事は大掛かりになります。また、海岸までの送電設備の新設も不可欠です。そのため、日本の陸上で見られるような数基の風力発電を設置したものでは割高になるものと思われます。

陸上風力は米国中央部に、洋上風力は北大西洋岸の洋上に設置されたプロジェクトを想定したものです。洋上風力は着床式と記されています。設置場所は、水深 15m で、沖合い 20km と記されていますから、建設費が最も安いモノパイル型の構造物と想像されます。

陸上風力のウインドファームが、1.5MW の風力タービンを 133 基設置して合計発電容量が 200MW であるのに対し、洋上風力は 3.6MW の風力タービンを 139 基設置して合計発電容量が 500MW です。タービンローター径と

タワー高さは、陸上が 82.5m と 80m に対して、洋上は 90m と 90m と大きく設定されています。

表 4-4 陸上風力と洋上風力のコスト比較

出所 : 2011 Cost of Wind Energy Review, NREL, 2013 年 3 月

項目	単位	陸上風力	洋上風力
ウインドファーム			
総出力	MW	200	500
基数		133	139
水深	m	-	15
海岸からの距離	km	-	20
設備利用率	%	37	39
風力タービン			
単基出力	MW	1.5	3.6
ローター直径	m	82.5	90
タワー高さ	m	80	90
運転寿命	年	20	20
設備建設費			
タービン	\$/kW	1,413	1,789
その他ハード	\$/kW	498	2,918
ソフト・コスト	\$/kW	187	893
合 計	\$/kW	2,098	5,600
運転・保守費	\$/kW/年	35	136

設備利用率は、陸上が 37%に対し、洋上は 39%と少しだけ高く設定されています。前述したように、日本の陸上風力の平均の設備利用率は 20%ですから、陸上の設備利用率の 37%は、随分風況が良い場所です。前述のように、米国の中西部には風況の良い場所が豊富にあります。

洋上ウインドファームは、発電容量が 500 MW で、設備利用率が 39%ですから、年間の発電電力量は 17 億 kWh になります。なお、日本の百万 kW 級原発は、設備利用率が約 70%と想定されているので、年間の発電電力量は 61 億 kWh になります。年間の発電電力量で、百万 kW 級原発の 3.5 分の 1 の洋上ウインドファームと考えてください。

陸上と洋上で発電容量が異なるため、表 4-4 には、kW 当たりのコストが示されています。設備の建設費は、陸上が 2,098 米ドル/kW に対し、洋上は

5,600 米ドル/kW と 2.7 倍です。年間の運転・保守費も、陸上の 35 米ドル/kW に対して、海上は 136 米ドル/kW と 4 倍近くです。

#### <建設コスト>

海上風力の建設費がなぜ高くなるかを示すため、表 4-5 に建設費の内訳を示しました。陸上風力のタービン本体コストからタワーを除いたものと比べると、海上風力のタービン本体のコストは 1.8 倍です。海上での腐食防止対策などがコストアップの理由かもしれません。また、陸上のタワーに比べて、海上の構造物のコストは 3.4 倍です。

表 4-5 風力発電の建設費内訳

出所 : 2011 Cost of Wind Energy Review, NREL,

陸上風力発電		海上着床式風力発電	
項目	\$/kW	項目	\$/kW
タービン本体	1,286	タービン本体	1,789
タービン・ロータ	(292)	その他建設費	2,918
被駆動系	(668)	エンジニアリング	(175)
制御装置	(30)	構造物	(1021)
タワー	(296)	輸送・据付	(1109)
その他建設費	445	港湾・架設	(73)
エンジニアリング	(55)	送電設備	(540)
輸送・据付	(123)	ソフト・コスト	893
土木・建設工事	(119)	工事保険	(94)
送電設備	(148)	撤去担保債券 注1)	(165)
ソフト・コスト	172	不測対応 (contingency)	(471)
不測対応 (contingency)	(112)	建設期間の融資金利	(163)
建設期間の融資金利	(60)		
市場価格との差額調整	195		
建設費合計	2,098	建設費合計	5,600

注 1) Surety bond (decommissioning)

輸送・据付費も、陸上に比べて海上は実に 9 倍です。海上での工事の大変さが反映されています。送電設備の費用は、海岸からの距離に左右され、検討ケースは 20 km と、海上風力としてはそれ程沖合いではありませんが、陸上に比べて海上は 3.6 倍です。

その他に、建設期間に発生するソフト・コストとして、工事保険や不測の事態に対応する費用 contingency も、海上工事のリスクに対応して大きい金額

になっています。

想定した洋上ウインドファームの年間発電電力量は、百万 kW 級原発の 3.5 分の 1 であると前述しましたが、洋上風力発電で百万 kW 級原発の電力量を得るためには、プラント建設費は日本円に換算して 1 兆円になります。

風力発電設備も、設備寿命が過ぎたら撤去することが必要です。洋上に何千基もの風力発電のスクラップが林立しては困ります。このレポートでは、Surety bond (decommissioning) として、165 米ドル/kW が計上されています。500 MW では、日本円に換算すると 84 億円です。洋上設備の撤去も大変な作業になると思われます。風力発電でも、広い面積を占有するメガソーラーでも、設備寿命が尽きた後のことを考えておくことは不可欠です。

#### <年間運転費用>

表 4-6 には、風力発電の年間の運転費用を示しました。風力発電では発電燃料費は発生しませんが、運転や通常の保守作業のための人件費や材料費が発生します。その他に、計画外のトラブルによる部品の交換作業も必要になります。計画外の保守費用は、過去の経験データから、平均部品交換費として計上されています。

表 4-6 風力発電の年間運転費用内訳

出所 : 2011 Cost of Wind Energy Review, NREL, 2013 年 3 月

項目	年間運転費 \$/kW/年	
	陸上風力発電	洋上着床風力発電
平均部品交換費	11	40
運転・保守費	17	46
土地リース料金	7	21
年間運転費用	35	107

注) 洋上の土地リース料金は、Outer Continental Shelf lease cost

洋上風力の土地の貸借料金については、このレポートでは、米国の規則に基づくものと思われますが、外側の大陸棚のリース料金として 21 米ドル /kW が計上されています。3.6 MW 洋上風力 1 基分では、年間に日本円に換算して 770 万円です。

陸上に比べて洋上では、現地へのアクセス費用などを含めた総合的な人件費は高くなります。また、洋上設置設備では保守作業の必要性が増加するることは納得できると思います

#### <NREL の発電コスト>

上述の建設コスト、年間運転費用、設備利用率および20年の設備寿命をもとに、2011年の米国の金利、税制、再生可能エネルギーに対する優遇措置などに基づき、陸上風電の発電コストは72米ドル/MWh、洋上風力は225米ドル/MWhと算定しています。現在の為替レートで日本円に直すと、陸上が7.3円/kWh、洋上が23円/kWhになります。

陸上風力と比べた洋上風力の発電コストの比率は約3倍です。また、陸上、洋上ともに、発電コストの14%程度は、年間運転費用によるものです。

なお、ここに紹介したのは代表的な1ケースですが、NRELのレポートには、建設コストや年間運転費の上下限の範囲が示されています。

#### <日本での発電コスト試算>

上記の発電コストは、そのまま日本に適用できるものではありません。先ず、日本の陸上風力の平均の設備利用率は20%です。発電コストは、設備利用率に反比例しますから、それを修正するだけで13.5円/kWhと高くなります。その他、金利や税制も異なります。

そのため、NRELレポートの設備建設費と年間運転費を用い、日本の条件で発電コストを試算しました。最近日本で行われた発電コストの検討としては、「コスト等検討委員会」があり、2011年12月に報告書が出されています。福島第一原発の事故のあと、主に原発の発電コストを検討したものですが、風力発電などその他の発電コストも検討されています。同委員会で発電コストの試算に使用されたExcelファイル「発電コスト試算シート」が公開されており、それを用いて風力発電の発電コストを試算しました。

表4-7に試算結果を示しました。また、比較のため、同委員会の報告書に記載されている日本での2010年のモデルプラントによる風力発電の発電コストを併記しました。なお、国内に商用の洋上風力発電が無かったためと思

われますが、洋上風力のモデルプラントは2020年のものとなっています。

表4-7 日本での風力発電の発電コスト試算

出所：コスト等検証委員会報告書、2011年12月、

2011 Cost of Wind Energy Review, NREL, 2013年3月

項目	単位	陸上風力発電			洋上風力発電		
		米NREL		コスト等検討委員会	米NREL		コスト等検討委員会
		2011年	2010年下限	2010年上限	2011年	2020年下限	2020年上限
共通の算定条件							
稼動年数	年		20			20	
割引率(金利)	%		3.0			3.0	
固定資産税	%		1.4			1.4	
設備利用率	%		20			30	
個別の算定条件							
発電出力	万kW	20.0	2.0	2.0	50.0	15.0	15.0
設備建設費	万円/kW	21.4	20.0	35.0	57.1	28.3	70.0
年間運転費	万円/kW	0.357	0.456	0.798	1.091	0.645	1.596
設備廃棄費用	万円/kW	-	1.0	2.0	1.7	1.4	3.5
計算結果							
発電コスト	円/kWh	9.64	9.91	17.34	17.90	9.35	23.12
発電コスト内訳							
資本費(建設・廃棄)	円/kWh	7.60	7.31	12.79	13.75	6.89	17.05
運転費	円/kWh	2.04	2.60	4.55	4.15	2.45	6.07

注) 米NRELデータは102円/米ドルで換算

表記した設備の稼動年数、割引率(金利)、固定資産税、設備利用率が試算の条件で、コスト等検討委員会で用いられた値です。発電コストを大きく左右する設備利用率は、陸上は20%、洋上は30%です。日本では、洋上風力として期待できる平均の設備利用率は30%くらいに想定されているものと思われます。

NRELレポートの設備建設費と運転費に基づく発電コストを、コスト等検証委員会の値と比較すると、陸上風力では同委員会の値の下限値近く、洋上風力では、下限と上限の間に位置しています。特に、洋上風力は設置場所の条件でコストは大幅に違ってくるため、日米での定量的な比較は、あまり意味がないと思います。

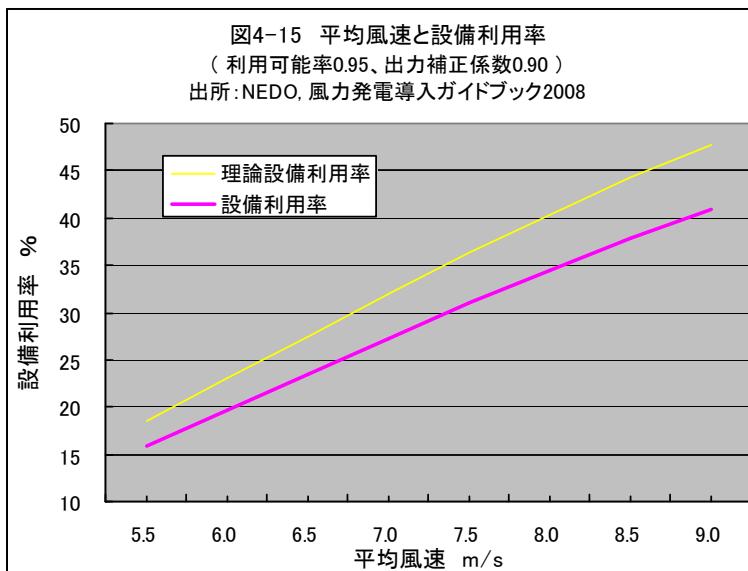
NRELの建設費等に基づく発電コストでは、陸上風力の設備利用率を20%にしても、発電コストは9.6円/kWhです。このくらいなら、今後、化石燃

料価格が上昇すれば、火力発電よりも低コストになることも期待できます。

一方、洋上風力の発電コストは17.9円/kWhです。建設費は、陸上風力の3倍近いのですが、設備利用率が1.5倍のため、発電コストは陸上風力の2倍未満に収まっています。この洋上風力の発電コストは、現在の日本の太陽光発電に比べて大幅に低い値です。洋上風力の立地があるのなら、太陽光発電よりも優先すべきということになります。

#### <平均風速と設備利用率>

日本近海での洋上風力の立地を調べて見ましょう。上述の発電コストは、設備利用率が30%で、着床式洋上風力のものです。風況マップを用いて立地を検討するのには、平均風速と設備利用率の関係を知る必要があります。



年間の平均風速から設備利用率を概略推定する方法は、前述したNEDOの「風力発電導入ガイドブック2008」に記載されています。時間的に変動する風速の分布をレーレ分布と近似することで、平均風速と理論設備利用率の関係を求めています。年間の発電電力量の評価に用いる通常の設備利用率

は、利用可能率と出力補正係数を用いて下記の関係で表されます。

$$\text{設備利用率} = \text{理論設備利用率} \times \text{利用可能率} \times \text{出力補正係数}$$

利用可能率は、年間の暦年時間から故障時間と点検時間を差し引いた比率です。通常、日本では95%が用いられているようです。

出力補正係数は、風向の変化、突風や風速の時間的変化がある場合の発電出力と、一定風速での出力との違いを補正する係数です。平坦な地形では95%、複雑な地形では90%程度を見込むとよいと記載されています。

日本の陸上風力発電の評価では、通常、出力補正係数は90%、利用可能率は95%が用いられているようです。一方、海上風力では、出力補正係数は平坦な地形に対する95%が妥当でしょう。利用可能率は、恐らく陸上より低下すると思われます。従って、両者の増減を考慮して、両者を合わせた値としては、海上風力と同じ値を用いて以下の検討を行なうことになります。図4-15に、平均風速と設備利用率の関係を示しました。

#### <海図と風況マップ>

水深50m以上での適用が想定されている浮体式の海上風力発電は、経済性の点で未知数です。そのため、着床式の適用限界である水深50mでの日本近海の平均風力を調べました。

日本近海の水深は、海上保安庁が刊行している海図で調べることができます。海底地形図には詳しく水深が示されています。無料で見ることができるとして、私はマリーンネットワークス株のウェブページの「みんなの海図」を参照しました。無料で会員登録すれば見ることができるものの、日本近海の水深50mラインが示されています。図4-16には、北海道部分の小さい図を示しました。

一方、風況マップには、前述のNEDOの「局所風況マップ」を用い、地上70mの年平均風速を調べました。図4-17には、同様に北海道部分の小さい図を示しました。両ウェブページを開いて、日本近海の水深と風況を見て下さい。

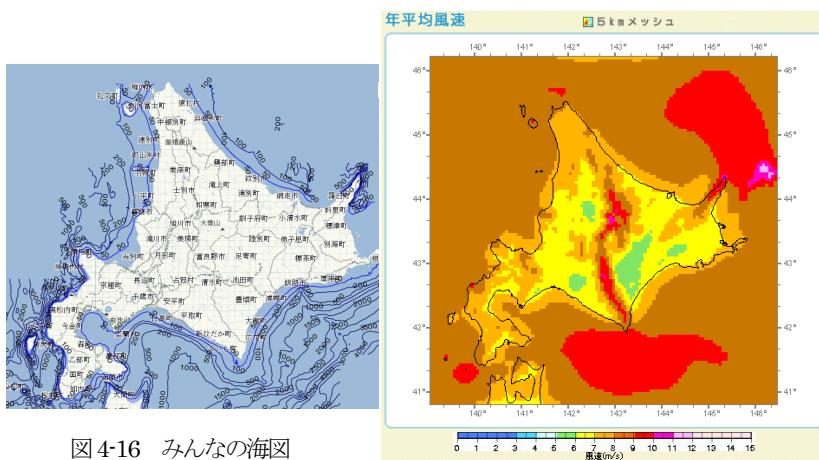


図 4-16 みんなの海図

図 4-17 NEDO局所風量マップ

### <水深 50 m の平均風速>

概して日本の近海は急深です。海図で水深 50 m のラインは、千葉県の九十九里浜の沖合いや仙台の沖合いなど一部には海岸から 20~30 km 離れている場所もありますが、殆どは 10 km 未満です。

一方、風況マップでは、比較的風況が良い北海道や東北の北部では、海岸線が 6~7 m/s、沖合い 20~30 km 離れると 8~9 m/s で、その間が 7~8 m/s です。その他の地域では、かなり沖合まで行かないと、風速が 8~9 m/s になりません。

海図と風況マップを見比べて、水深 50 m の場所の高さ 70 m の位置での平均風速をチェックしました。北海道や東北地方は、水深 50 m の場所の平均風速は殆どが 7~8 m/s です。関東地方や中部地方の太平洋側は、多くの場所では 7~8 m/s ですが、6~7 m/s のところもかなりあります。日本海側は主に 6~7 m/s です。近畿地方は、水深 50 m の位置がかなり岸に接近しており、多くの場所で平均風速は 6~7 m/s です。中国四国地方や九州も 6~7 m/s が主体です。

水深 50 m で、風速が 8~9 m/s の場所は、宗谷岬、襟裳岬、津軽半島など

の数少ない場所に限られています。

感覚的で正確さを欠いた評価ですが、北海道や東北地方の北部では、水深 50 m の場所で平均風速 7~8 m/s が得られますが、その他の地域の殆どは、平均風速は 6~7 m/s です。また、平均風速が 8~9 m/s の場所は極めて限られています。前述のように、平均風速と設備利用率の関係は次のとおりです。

6~7 m/s の設備利用率は、20~27 %

7~8 m/s の設備利用率は、27~35 %

8~9 m/s の設備利用率は、35~41 %

日本は周囲を海に囲まれていますが、着床式の洋上風力の立地としては、31%前後の設備利用率が期待できるのは北海道と東北地方の北部に限られ、その他の地域の殆どは、24%前後の設備利用率しか期待できそうもありません。設備利用率が 30%の場合、洋上風力の発電コストは 17.9 円/kWh になることを前述しましたが、設備利用率が 24%では、発電コストは 22.4 円/kWh と高くなります。

前述のように、陸上風力に比べて洋上風力の設備建設費は、およそ 3 倍ですから、40%前後の高い設備利用率が望まれるのですが、そのような場所は、日本には僅かしかありません。

なお、誤解を避けるために補足すれば、水深 50 m 以上でも技術的には着床式は可能です。例えば、海底石油生産用のプラットフォームでは、着床式が水深 500 m 程度まで、浮体式のものは 1,000 m 以上でも使用されています。それは、石油プラットフォームでの生産物の価値が、洋上風力発電の電力量の価値よりも 2 衍以上大きいため、多額の建設費を掛けても経済的に成立つためです。

#### <その他の必要条件>

日本近海は急深の場所が多く、水深 50m 未満の地点の多くは海岸から 10 km 未満です。岸から近いことは、建設コストを低減する上で有利ですが、船舶の航行や漁業への障害、陸上風力と同様の迷惑施設としての問題が生じる可能性があります。また、経済性の点から、数十基以上の洋上風力を設置

したウィンドファームを建設するために、広いエリアを確保する場合にも障害が生じるでしょう。

最初に紹介したように、日本は排他的経済水域が世界 6 位の海洋大国ですが、洋上風力発電に適した立地は、思いのほか少ないように思われます。

#### 4.8 本項のまとめ

風況の良い場所に設置した陸上風力の発電コストは、火力発電より少し高い程度です。将来、化石燃料の価格が上昇すれば、火力発電よりも発電コストが低くなると考えられています。

欧州は風力資源が豊富にあり、中長期的に化石燃料価格が上昇することを考慮すれば、風力発電の導入は、経済的な負担ではないと考えられているようです。EU が導入拡大に熱心な再生可能エネルギーとは、主に風力発電のことです。

一方、日本は陸上風力の立地が乏しいことが指摘されています。日本は排他的経済水域が世界 6 位の海洋大国ですから、洋上ならば風況の良い場所がかなりあります。しかし、日本近海に遠浅の海岸は少なく、風況が良い上に、着床式洋上風力の設置に適した場所はあまり多くありません。一方、水深 50 m 以上を対象とした浮体式洋上風力は、開発途上の技術であり、それが経済的に成立つかは未知数です。

そのため、日本で再生可能エネルギーというと、太陽光発電に重きが置かれます。しかし、太陽光発電は、風力発電と比べて発電コストがおよそ 3 倍高い発電です。

EU が再生可能エネルギーを拡大するからといって、同程度の経済負担で日本が同じことができる訳ではありません。日本のエネルギー事情を認識し、政治は、国民に複数のエネルギー・シナリオを提示することで、進むべき道を議論することが重要だと思います。