

34. 洋上風力発電の検討を目的とした伊勢湾上の 1km 格子風況シミュレーション

1km-GRIDDED WIND SIMULATION OVER ISE BAY FOR FEASIBILITY STUDY OF OFFSHORE WIND POWER GENERATION

嶋田進*, 大澤輝夫**, 深尾一仁*, 橋本篤*, 村上智一*, 安田孝志*

Susumu SHIMADA*, Teruo OHSAWA**, Kazuhito FUKAO*, Atsushi HASHIMOTO*, Tomokazu MURAKAMI* and Takashi YASUDA*

ABSTRACT; Using PSU/NCAR mesoscale model MM5, we performed 1km-gridded wind simulation for the feasibility study of offshore wind power generation over Ise Bay. It is shown that the simulated wind speed have a bias of about $\pm 11\%$, a root-mean-square error of about 40 to 50% and a correlation coefficient of about 0.7. As for the simulated wind direction, the bias is about 6 degrees and the root-mean-square error is about 40 to 50 degrees. The annual mean wind speed at 60 m height is found to be 5 to 7 m/s over most parts of Ise Bay. We consider a depth of 20 m as the maximum depth for an offshore wind power plant, and then the area with a depth of less than 20 m occupies about 62 % of the bay. If we arrange typical 2 MW wind turbines at every area of 10D $\times$ 10D (D: diameter of a blade) or 10D $\times$ 3D, total power generation is estimated as 6,925 or 23,085 GWh/yr, respectively. This means that offshore wind power potential over Ise Bay is equivalent to the power from a few nuclear power generators.

KEYWORDS; offshore wind power generation, wind simulation, Ise Bay

1. はじめに

風力発電の盛んな欧州では、陸上での適地の不足から、洋上風力発電の大規模な導入・計画が実行され始めている。現在稼働中の施設は、デンマークを中心に 5 カ国 16 箇所にとり、総設備容量は 500MW に達している。さらに今後数年間で、欧州各地において 30 箇所以上の大規模なウィンド・ファームが計画されており¹⁾、欧州で最も多くの洋上風力エネルギーが賦存しているイギリスでは、2010 年までに 6GW の洋上風力発電の導入が予定されている。日本では欧州のような洋上風力発電の本格的な導入はまだ計画されていないものの、その可能性についてはこれまでもいくつかの検討・報告がなされている^{2),3)}。NEDO の報告書³⁾では、具体的に日本全国の 9 つの海域を洋上風力発電の有力候補地として挙げている。その候補地のひとつとして「本州中部の太平洋海域(房総半島南部、伊豆半島南部、御前崎付近)」が挙げられているが、本研究で対象とする伊勢湾については特に明記されていない。

著者らはこれまでに、伊勢湾を対象としてメソ気象モデルの計算精度検証を行ってきた^{4),5),6)}。その計算結果から、陸上観測値と比べて実際の伊勢湾上の風速はかなり大きいことが明らかとなってきた。伊勢湾の平均水深は 17m と浅いため、風況次第では洋上風力発電の有望な水域であると考えられる。

本研究は伊勢湾での洋上風力発電導入可能性の検討を目的とし、年間を通じた高解像度の風況シミュレーションを行ったものである。本稿では風況シミュレーションの計算精度について述べるとともに、伊勢湾上の風力発電量を算出し、伊勢湾の洋上風力発電ポテンシャルについて検討する。

2. 計算手法

2.1 MM5 の概要と計算条件

風況シミュレーションには、ペンシルバニア州立大学(PSU)と米国大気研究センター(NCAR)で共同開発されたメソ気象モデル MM5 を用いた。MM5 は非静力学・圧縮性の方程式系を用いた数値気象モデルであり、数 km から数千 km 程度のメソスケール現象をその主たる計算対象としている。モデル内には、雲微物理過程、積雲過程、放射過程、大気境界層過程、地表面過程など、あらゆる大気力学・熱力学的な物理過程が含まれており^{7),8)}、各物理過程

*岐阜大学大学院 工学研究科 環境エネルギーシステム専攻 **神戸大学 海事科学部 海洋情報科学講座

に対してそれぞれ複数個の計算スキームを選択することができる。またこのモデルでは、計算領域のネスティングと4次元データ同化を行うことができ、広域の客観解析値を一定時間間隔毎に取り込むことによって、過去の気象場の現実的な再現計算を行うことが可能である。本研究で用いた計算条件及び計算領域を表1、図1に示す。著者らは本研究に先立ち、中部・近畿地方を計算領域とする3km格子の年間シミュレーションを行っており⁶⁾、本研究の1km格子計算は3km格子計算の結果を境界条件として用いることにより行った。本研究で用いた各物理過程の計算スキームは、基本的に3km格子計算時の計算条件に準じるが、大気境界層スキームの選択については検討を行った。

2.2 大気境界層スキームの検討

大気境界層スキームとは、気象モデルの下面境界条件となる運動量や熱フラックスの算出や地表面付近で卓越する粘性項の計算などを行う計算手法のことである。MM5では複数のスキームが用意されており、ユーザーは計算時にその内のひとつを選択することになる。地表付近の風況に大気境界層スキームの選択がどのように影響するかを調べるため、ここでは、1: MRFスキーム、2: Blackadarスキーム、3: Gayno-Seamanスキーム、4: Burk-Thompsonスキーム、5: Etaスキームの5種類の大気境界層スキームについて検討を行った。図2は各スキームによって計算された2001年7月1日から15日までの15日間の高度60mにおける平均風速分布である。各スキーム間で風速値や分布に大きな差があることが見て取れる。3km格子計算で用いたMRFスキーム⁹⁾を使うと、風速値は他のスキームと比べて1, 2割高くなることがわかる。この差を定量的に見積もるために、図1に示した5つの地点の風速観測値を用いて統計的な比較を行った。図3に全観測点平均の風速のバイアス(対平

表1: 計算条件

計算期間	2001年4月~2002年3月
初期値・境界値	MM5 (1時間間隔, 3km格子, 20層)
海面温度	NOAA-Reynolds SST (1週間間隔, 1°格子)
鉛直格子	20層 (地表~100hPa)
水平格子	1km格子, 118×118格子
雲微物理過程	Schultz microphysics scheme
放射過程	Dudhia's radiation scheme
大気境界層過程	High-resolution Blackadar PBL scheme
地表面過程	5-layer soil scheme
積雲パラメタリゼーション	なし

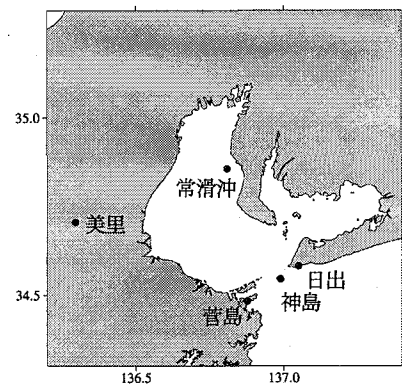


図1: 計算領域及び観測点

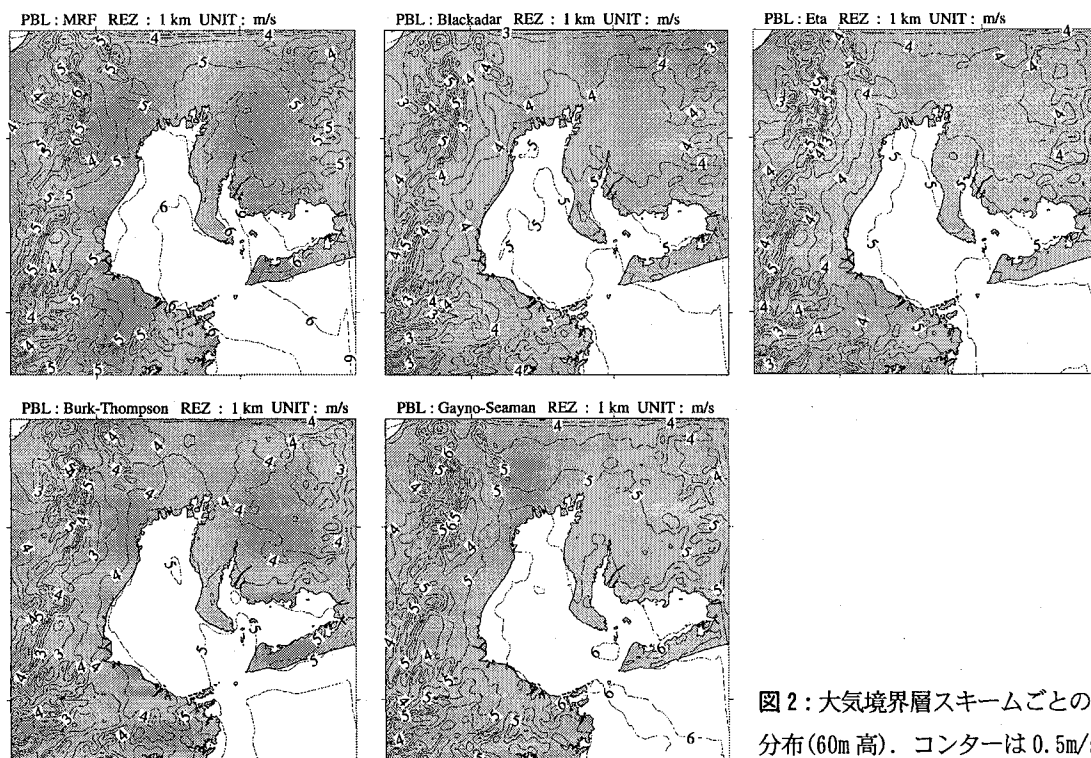


図2: 大気境界層スキームごとの平均風速分布(60m高)。コンターは0.5m/s間隔。

均風速比)を示す。各スキームのバイアスは、MRFスキームが最も高く、Burk-Thompsonスキームが最も低い。そして、Nonlocal mixingの効果を考慮した1次乱流クロージャーであるBlackadarスキーム¹⁰⁾が最も良い結果となった。よって、1km格子計算では大気境界層スキームにBlackadarスキームを用いることに決定した。

3. 計算精度の検証

上記の計算条件によって2001年4月から2002年3月までの1年間について風況シミュレーションを行った。本章ではその風速・風向の計算

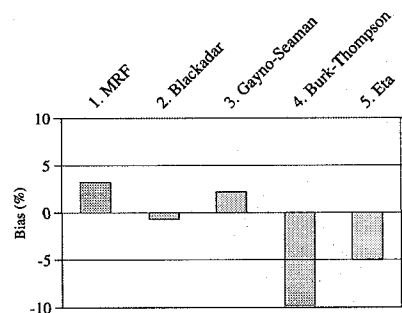


図3：各スキームの風速のバイアス

表2：風速の計算精度

(a) バイアス (%)													
観測点	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
日出(20m)	24.4	30.3	22.7	9.6	-5.1	-1.2	-4.7	5.1	5.9	19.9	17.6	11.0	11.0
神島(20m)	-11.1	0.3	-11.5	—	—	—	—	—	-23.2	-15.3	-9.2	-20.7	-11.9
菅島(40m)	6.2	28.4	16.7	8.5	1.9	-5.0	-15.5	-16.0	-19.2	-5.8	-11.2	-13.6	-4.2
菅島(80m)	-2.8	14.3	3.1	-2.1	-7.1	-12.2	-20.9	-21.6	-24.1	-12.7	-17.7	-18.3	-11.7
常滑沖(18m)	9.1	16.5	10.2	-6.8	-17.9	-11.7	-20.5	-21.9	-23.8	-9.1	-11.5	-10.1	-9.3
美里(20m)	-1.4	1.8	-1.2	-7.1	-3.5	-10.6	-12.1	-14.0	-7.1	-24.5	9.0	-6.4	-7.1
平均	2.2	10.8	4.1	-2.4	-5.3	-9.1	-13.8	-13.8	-12.5	-13.5	0.5	-8.6	-6.0

(b) RMS 誤差 (%)													
観測点	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
日出(20m)	53.6	59.7	59.1	45.8	43.1	41.7	45.8	34.1	38.5	42.2	43.8	41.9	45.8
神島(20m)	40.2	45.8	38.6	—	—	—	—	—	42.7	34.3	31.4	38.0	38.7
菅島(40m)	44.9	69.0	62.0	51.5	43.3	44.4	45.7	39.0	41.6	39.5	38.5	44.5	46.2
菅島(80m)	40.9	59.0	55.6	46.3	41.2	42.2	46.3	39.7	41.9	38.7	38.9	45.0	44.4
常滑沖(18m)	47.1	48.9	56.0	48.3	54.9	45.7	56.2	47.6	43.6	43.0	43.6	45.3	48.2
美里(20m)	35.7	37.8	40.9	44.8	39.5	36.2	36.2	35.1	32.7	45.6	45.3	29.5	39.2
平均	41.1	48.2	48.3	46.4	42.6	39.9	42.3	37.6	37.7	42.2	41.9	37.0	42.3

(c) 相関係数													
観測点	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
日出(20m)	0.65	0.55	0.48	0.46	0.75	0.70	0.62	0.74	0.74	0.73	0.75	0.70	0.68
神島(20m)	0.69	0.59	0.53	—	—	—	—	—	0.82	0.74	0.78	0.76	0.71
菅島(40m)	0.74	0.48	0.51	0.51	0.79	0.74	0.69	0.78	0.72	0.66	0.75	0.75	0.70
菅島(80m)	0.75	0.50	0.52	0.53	0.80	0.76	0.70	0.78	0.73	0.68	0.76	0.76	0.71
常滑沖(18m)	0.73	0.65	0.56	0.54	0.71	0.70	0.62	0.70	0.76	0.68	0.71	0.73	0.69
美里(20m)	0.77	0.77	0.68	0.67	0.83	0.75	0.74	0.76	0.76	0.69	0.64	0.76	0.74
平均	0.74	0.65	0.59	0.59	0.80	0.74	0.70	0.76	0.75	0.70	0.70	0.75	0.72

表3：風向の計算精度

(a) バイアス (度)													
観測点	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
日出(20m)	11.4	18.6	6.6	-3.1	-4.8	-5.7	2.8	2.5	2.9	4.9	11.2	8.0	4.6
神島(20m)	11.5	9.4	-0.6	—	—	—	—	—	-5.2	4.0	12.9	5.4	7.1
菅島(40m)	4.5	19.7	7.9	11.2	9.4	3.8	9.7	9.3	5.0	5.9	10.9	4.7	8.5
菅島(80m)	0.6	16.9	0.5	3.2	3.4	0.9	6.1	6.8	1.3	2.3	9.8	1.6	4.4
常滑沖(18m)	11.3	11.2	12.4	-5.7	-7.5	-8.1	0.2	-0.6	5.8	6.9	11.9	6.1	3.7
美里(20m)	4.3	6.8	5.0	8.3	1.5	1.4	10.4	9.4	12.1	-0.3	10.2	10.4	6.7
平均	6.5	12.0	5.2	4.4	0.7	-0.7	7.1	6.6	5.8	2.9	10.9	7.1	6.0

(b) RMS 誤差 (度)													
観測点	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
日出(20m)	56.3	56.6	57.6	55.9	56.7	49.8	45.6	39.5	30.2	31.5	41.1	44.5	48.1
神島(20m)	59.4	50.9	50.7	—	—	—	—	—	34.8	32.5	42.1	48.9	47.8
菅島(40m)	60.2	62.6	66.8	57.8	58.9	57.0	53.2	39.9	34.2	34.7	44.5	47.5	52.5
菅島(80m)	56.5	57.0	59.7	54.4	57.1	54.9	50.5	36.5	32.6	32.9	40.4	46.7	49.2
常滑沖(18m)	64.5	60.7	71.2	56.4	55.4	57.6	55.5	49.2	45.0	45.2	49.3	55.9	56.0
美里(20m)	53.9	47.9	48.8	65.1	52.2	39.2	42.6	46.9	35.7	33.1	37.2	32.7	45.7
平均	57.3	54.0	56.5	60.0	55.0	48.1	47.5	43.7	35.5	34.5	41.1	42.7	48.8

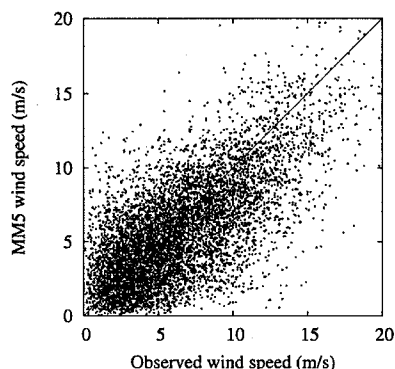


図4：常滑沖の風速散布図。

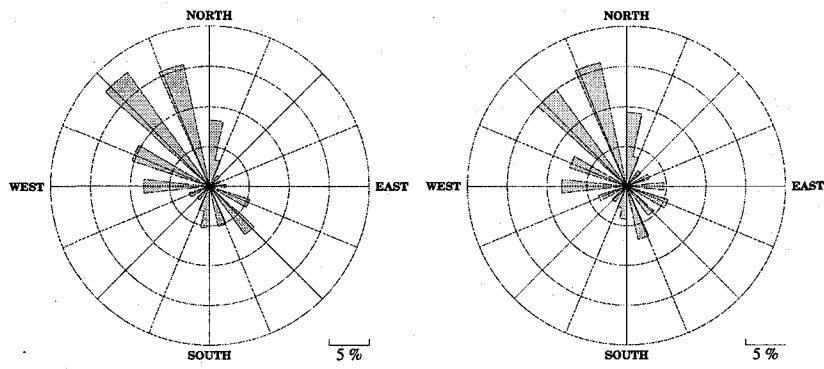


図5：常滑沖の風配図。(左) 観測値, (右) MM5 計算値。

精度について述べる。精度検証には前章と同様に図1に示した5地点の観測値を用いた。MM5の計算値を対数線形補間により風速計設置高度での風速値に補正した後、バイアス、RMS誤差、相関係数の3つの統計値から計算精度を検証した。表2及び表3に風速・風向の計算精度検証の結果を示す。表2におけるバイアス・RMS誤差は対年平均風速比(%), 表3におけるバイアス・RMS誤差は度(deg)で示し、観測点の括弧内は風速計高度を示している。また表2及び表3の神島の空欄は、観測値の欠損を意味する。風速の計算精度はバイアスで-11.9~11.0%, RMS誤差で38.7~48.2%, 相関係数で0.68~0.74であった。また風向の計算精度はバイアスで3.7~8.5°, RMS誤差で45.7~56.0°であった。最近開発された局所風況予測モデルLAWEPS(気象モデル部はANEMOS)の東京湾での計算精度¹¹⁾と比べてみても、MM5による風況シミュレーションの計算精度は比較的良好であると言える。

精度検証を行った5つの観測点の内、唯一の洋上観測点である常滑沖の風速散布図(図4)と風配図(図5)を示す。常滑沖の計算風速は年間を通したバイアスが-9.3%(表2)とやや過小評価傾向である。この誤差は、MM5の計算値に4次元同化される気象庁メソ客観解析値(10km格子)が元々伊勢湾奥で大きな負のバイアスを持つことに関係しているものと考えられる¹²⁾。また、図5の風配図より、観測値では北西風の頻度が最も高いのに対し、MM5の計算風向は、全体的な傾向はよく一致しているものの、最多風向は北北西となっていることがわかる。これは表3において明らかなように、Blackadarスキームを用いたMM5による計算では地表付近の風向がやや右回りにずれやすい傾向があることを示している。

4 伊勢湾上の風況と風力発電ポテンシャル

前章で述べたMM5の年間シミュレーションの計算結果を用いて、2MW級の風車を想定した伊勢湾上の風力発電量の推定を行った。以下に湾内の20m以浅の水域に風車を可能な限り設置した場合の風力発電ポテンシャルについて、その推定結果を述べる。

4.1 伊勢湾の地形と風況

図6にJODC(JAPAN OCEANOGRAPHIC DATA CENTER)の500m格子の水深データを基に作成した伊勢湾の水深等値線図を示す。海岸から数kmの範囲の水深は10~20mであり、洋上風車の設置可能水深を20m以浅と定めると、その総面積は1289km²となり湾全体の約62%に相当する。図7はMM5によって計算された1km格子の年平均風速分布図である。典型的な大型洋上風車のハブ高度に相当する高度60mにおける

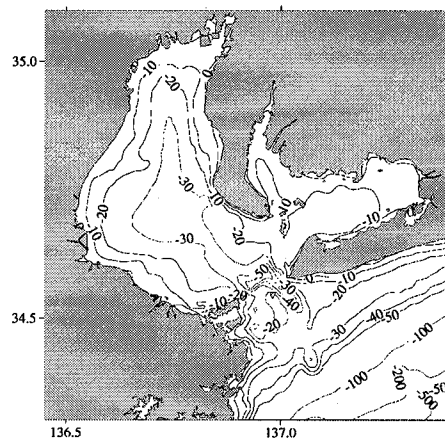


図6：伊勢湾の水深等値線図(単位はm)。

Annual Mean Wind Speed
MODEL: MM5 REZ: 1 km
HEIGHT: 60 m UNIT: m/s
PERIOD: APR 2001 - MAR 2002

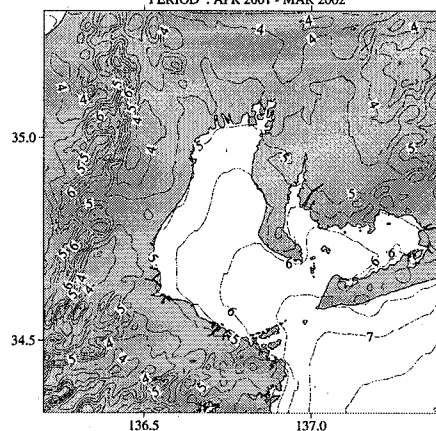


図7：年平均風速分布図(60m高)。

年間平均風速を示している。外洋で 7m/s を超える風速は、湾口で 6.5m/s 程度となり、湾内では西岸・湾奥を除いて 6m/s 台の風速となっている。ただし、第 2 章の風速の精度検証結果より年平均風速の計算精度は±11%程度であること、また常滑沖の計算値が大きな負のバイアスを示すことから、湾の北・中部での風速が過小評価となっている可能性があることに注意が必要である。

4.2 風力タービン設置機数

本研究で対象とした風車は、デンマーク・Vestas 社製 V80-2.0MW である。風車の仕様は定格出力 2MW、ブレード直径 80m、ハブ高 60m である。ここで定格出力は設計最大出力、ブレード直径は羽根の直径、ハブ高は地上から回転軸までの高さである。風車複数設置時の配置間隔は長井らの研究³⁾を参考に、風車 1 機当たりの占有面積を $10D \times 3D$ ($D=80m$: ブレード直径)とした場合と $10D \times 10D$ とした場合の 2 ケースについて検討した。

表 4 に風車の占有面積から計算した、風車密度及び 20m 以浅に設置可能な風車数を示す。風車密度は単位面積 ($1km^2$) を占有面積で割ることにより、また設置可能風車数は伊勢湾内の 20m 以浅の面積 $1289km^2$ に風車密度をかけることにより算出した。その結果、1 機当たりの占有面積が $10D \times 3D$ の場合、風車密度は 5.2 機/ km^2 、設置可能風車数は 6,714 機; $10D \times 10D$ の場合では風車密度は 1.6 機/ km^2 、設置可能風車数は 2,014 機となることがわかった。

4.3 発電量の推定

MM5 の風速計算値と V80-2.0MW のパワーカーブ (図 8) を用いて伊勢湾上の年間風力発電量の推定を行った。図 9 は V80-2.0MW を 1 機設置した場合に得られる年間発電量マップである。おおよそ、年平均風速 6m/s の地点に定格出力 2MW の大型風車を設置した場合、1 機当たり年間約 4,000MWh の風力発電量を得ることが可能であることがわかる。また名古屋港周辺と湾中央では、年平均風速差が 1.5 m/s 程度であるにも関わらず、発電量としては約 2 倍の差が現れている。これは風のエネルギーは風速の 3 乗に比例するため、風力発電の適地選定がいかに重要であるかを示唆している。

続いて伊勢湾全体の潜在風力発電量を計算する。各格子点に風車を複数設置した場合の発電量は、1 機当たりの発電量推定値 (図 9) に風車密度 (表 4) をかけて算出した。さらに、この値を湾内の 20m 以浅の全ての格子について積算し、伊勢湾全体で得られる総発電量を算定した。表 5 に伊勢湾の潜在風力発電量及びその発電量が一般家庭何軒分に相当するかを換算した一般家庭軒数を示す。一般家庭の年間消費電力は、夫婦と子供 2 人の 4 人家族が 1 年間に 3360kWh の電力を消費するものとして換算した。

表 5 より、伊勢湾の 20m 以浅に V80-2.0MW を風車密度

表 4: 風車密度及び設置可能風車数

設置水深	0~20 (m)	
占有面積	$10D \times 3D$	$10D \times 10D$
風車密度 (機/ km^2)	5.2	1.6
設置可能風車数 (機)	6,714	2,014

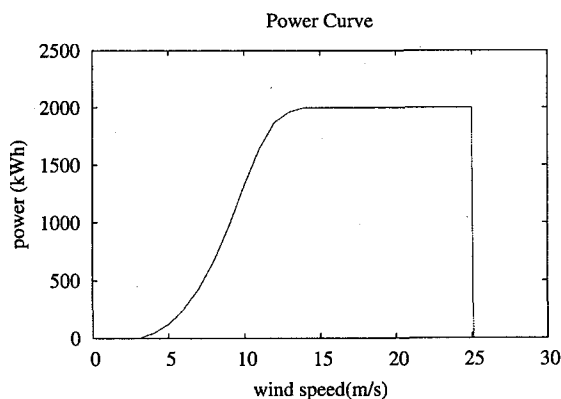


図 8: Vestas 社製 V80-2.0MW のパワーカーブ。

Annual Amount of Wind Power Generation
GENERATOR: Vestas V80-2.0MW
PERIOD: APR 2001 - MAR 2002 | UNIT: MWh

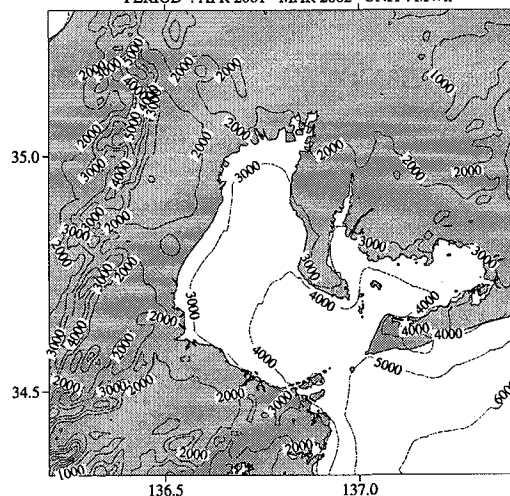


図 9: 2MW 風車 1 機当たりの年間発電量マップ (MWh)。

表 5: 伊勢湾の潜在風力発電量及び一般家庭換算軒数

設置水深	0~20 (m)	
占有面積	$10D \times 3D$	$10D \times 10D$
風車密度 (機/ km^2)	5.2	1.6
総発電量 (GWh)	23,085	6,925
一般家庭軒数 (万軒)	687	206

5.2 機/km²で敷き詰めた場合は年間 23,085GWh (一般家庭約 687 万軒に相当), また風車密度 1.6 機/km²で敷き詰めた場合には年間 6,925GWh (同 206 万軒に相当) の発電量が得られることがわかる。2004 年現在, 愛知県の世帯数は約 270 万軒, 三重県が約 70 万軒であるので, 伊勢湾上の洋上風力発電量は伊勢湾沿岸の全家庭の使用電力量に匹敵するポテンシャルを持っていることになる。さらに原発 1 基の年間発電量を 6,000GWh とすれば, 伊勢湾上の洋上風力発電は原発 1~4 基程度のポテンシャルに相当する。これらの推定結果は, 伊勢湾上の洋上風力発電量がいかに莫大な量であるかを物語っており, 洋上風力発電が石油・原子力の代替エネルギー源として十分なポテンシャルを秘めていることを示唆している。

5 結論

本研究の結論を以下にまとめる。

- 1) MM5 による 1km 格子風況シミュレーションの計算精度は, 風速のバイアスが年平均風速比±11%程度, RMS 誤差が年平均風速比 40~50%程度, 相関係数が 0.7 程度, 風向のバイアスが 6° 程度, RMS 誤差が 40° ~50° 程度であった。
- 2) MM5 による 1km 格子年平均風速分布図から, 典型的な大型洋上風車のハブ高度に相当する 60m 高度での伊勢湾上の年間平均風速は 5.0~6.5m/s である。年間平均風速が 6m/s を超え浅い海域の多い伊勢湾東部 (三河湾) は洋上風力発電の有望地として評価できる。
- 3) 伊勢湾上の風力発電量の推定結果より, 湾の 20m 以浅の水域に 2MW 風車を敷き詰めた場合, 年間発電量は 6,925GWh (一般家庭 206 万軒に相当) ~23,085GWh (同 687 万軒に相当) となることがわかった。この発電量は原発 1~4 基分に相当し, 伊勢湾沿岸の一般家庭全世帯の使用電力を賄い得るポテンシャルを持つ。

謝 辞

本研究は, 株式会社シーテックに研究資金面での援助を頂いた。常滑沖及び日出・菅島・神島の風速観測データは, それぞれ愛知県企業庁・中部国際空港株式会社, 及び国土交通省中部地方整備局東海幹線道路調査事務所より提供頂いた。ここに併せて謝意を表する。

参考文献

1. 牛山 泉, 2003: わが国の風力発電の将来展望と課題, 第 3 回風力エネルギー利用総合セミナーテキスト, 1-5.
2. 長井 浩, 牛山 泉, 上野康男, 1998: 日本におけるオフショア風力発電の可能性, 風力エネルギー, 22, 34-37.
3. NEDO, 1999: 日本における洋上風力発電の導入可能性調査, 平成 10 年度調査報告書, NEDO-NP-9801, 119pp.
4. Ohsawa, T., K. Fukao and T. Yasuda, 2002: Highly accurate simulation of the surface wind field over Ise Bay, Coastal Environment 2002, WIT press, 279-288.
5. 大澤輝夫, 深尾一仁, 安田孝志, 2002: 伊勢湾地域における高解像度気象場の再現計算とその精度検証, 海岸工学論文集, 49, 181-185.
6. 深尾一仁, 大澤輝夫, 安田孝志, 2003: メソ気象モデル MM5 を用いた局地気象場のデータベース化とその精度検証, 第 11 回地球環境シンポジウム論文集, 土木学会地球環境委員会, 111-116.
7. Dudhia, J. (1993): A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front, Mon. Wea. Rev., 121, 1493-1513.
8. Grell, G.A., J. Dudhia and D.R. Stauffer (1995): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), Tech. Note TN-398+IA, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 125p.
9. Hong, S.-Y. and H. L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model, Mon. Wea. Rev., 124, 2322-2339.
10. Zhang, D.-L. and R. A. Anthes, 1982: A high-resolution model of the planetary layer-sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 data, J. Appl. Meteor., 21, 1594-1609.
11. 鈴木靖, 宇都宮好博, 三嶋宣明, 橋本典明, 永井紀彦 (2003): 局所的風況予測モデル LAWEPS による海上風推定, 海洋開発論文集, 第 19 巻, 49-52.
12. 橋本 篤, 大澤輝夫, 嶋田進, 安田孝志, 2003: 沿岸地域での風況計算におけるモデル解像度と計算精度の関係, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, 95-98.
13. 大澤輝夫, 嶋田進, 深尾一仁, 橋本篤, 安田孝志, 2003: 伊勢湾における洋上風力発電の可能性に関する検討 その 1: 広域風況マップから見た伊勢湾の位置づけ, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, 99-102.
14. DEWI, 2002: WindEnergy-Studie 2002; Assessment of the Wind Energy Market until 2010, International Trade Fair, June 18-21, Hamburg, Hamburg Messe und Congress GmbH.