

MSSGによる年間のマイクロスケール風況予測の最適化

○今村博, 佐々木亘, 種本純, 植田祐子
(株)風力エネルギー研究所

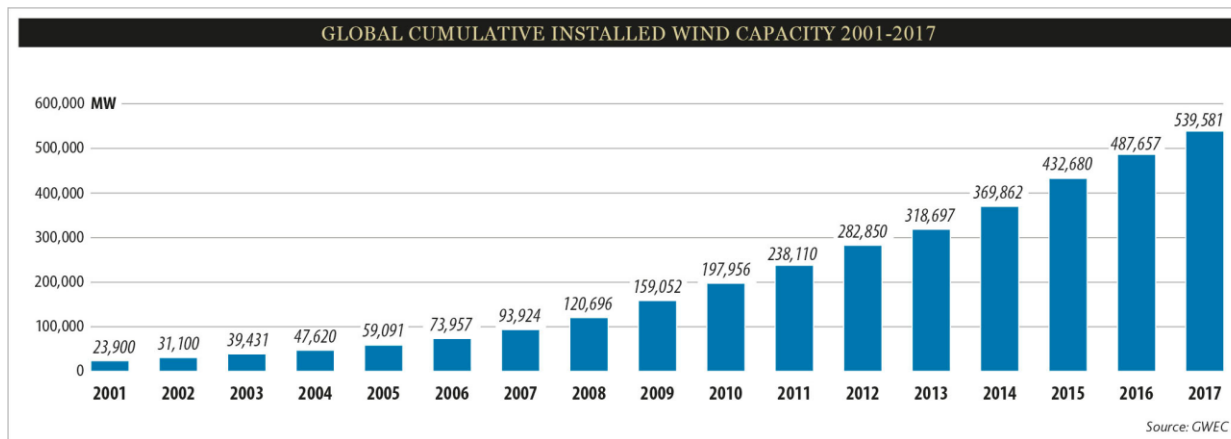
- 風力発電に係る社会的・技術的背景
- ES事前評価/H29年度ES特別推進課題(イノベ)の結果紹介
- 「MSSGによる年間のマイクロスケール風況予測の最適化」
- まとめ

■ 風力エネルギーに対する社会からの期待

- ✓ 温室効果ガスの排出量削減に大きなポテンシャル
- ✓ 安全・安心なエネルギーの自給と利用
- ✓ 雇用・産業の創出

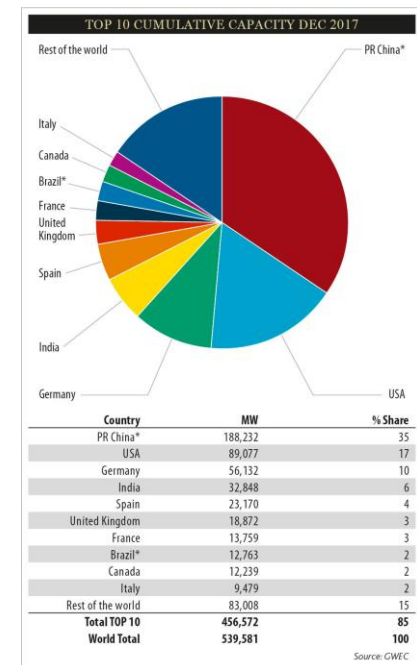
■ 風力開発の拡大

- ✓ 2017年に世界の風力の累積導入量は530[GW]に到達



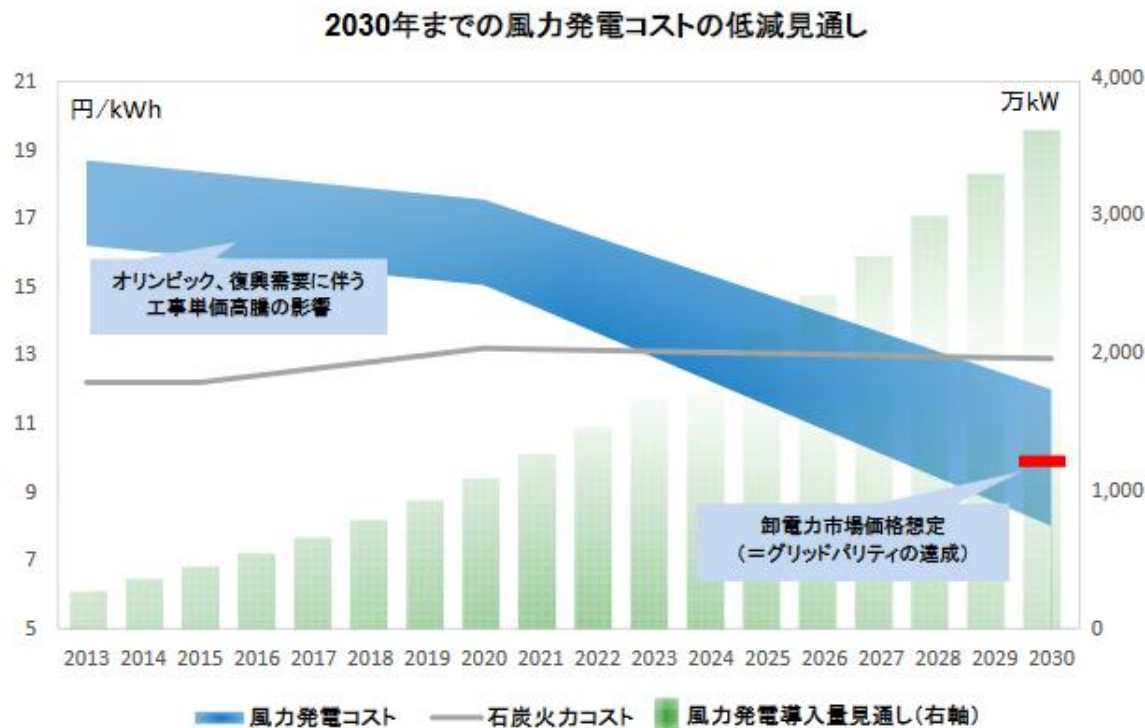
Global cumulative installed wind capacity 2001-2017(↑)
Top ten cumulative installed capacity in 2017(→)

“Global Wind Report 2017”, GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL
http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf



■ 日本における導入目標(JWPA)

- ✓ 2030年までに累積導入量35[GW]の見通し。
- ✓ 欧州と同程度の風力発電コストを目標。



出典: 日本風力発電協会「風力発電の導入拡大に向けて」(2016/2/29)

コスト低減のためには、更なる技術開発が必要

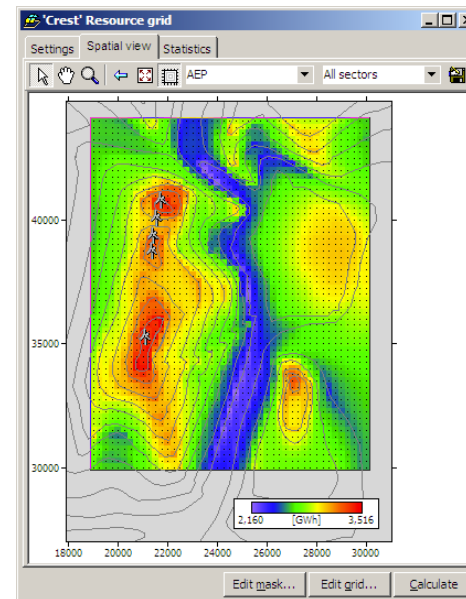
■ 風況観測のコスト大

- ✓ 風力開発を行う際には、**風況観測**を行い、観測値を基に気流解析による全風車位置の風況推定を行い、ウィンドファーム全体の発電量を評価する。



風況マストによる年間観測

出典: Wikimedia Commons



CFDによる気流解析

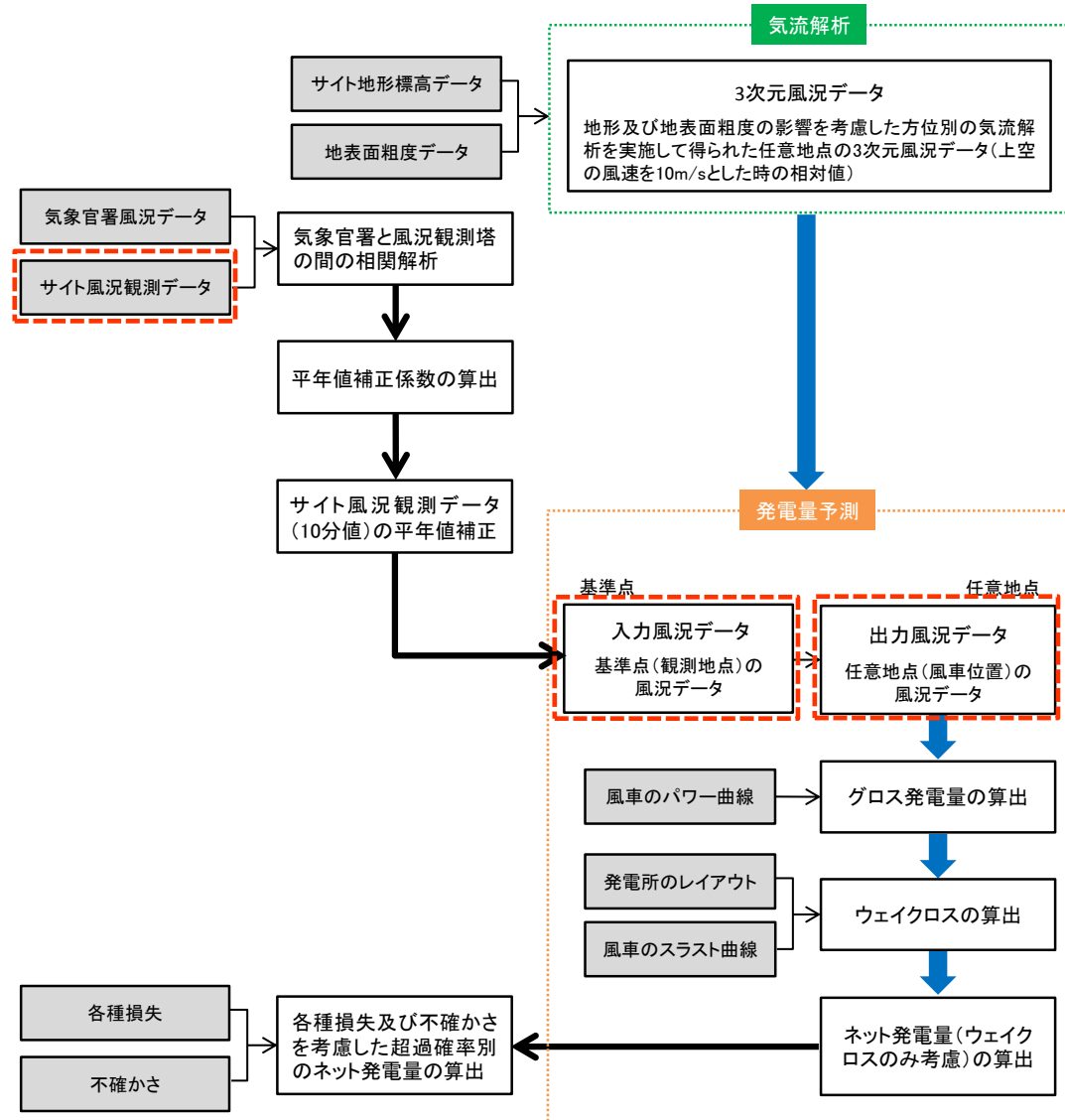
出典: WAsPウェブサイト (www.wasp.dk)

■ 発電量評価フロー

- 風況観測
- 気流解析
- 平年値補正
- 風車パワー曲線
- 発電所レイアウト
- ウェイクロス評価
- 各種損失
- 不確かさ

■ ウェイクモデル

- Jensenモデル
- DWM*モデル
- Actuator Line / Diskモデル

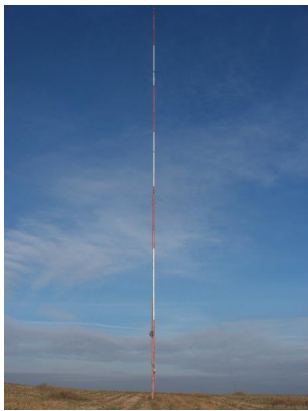
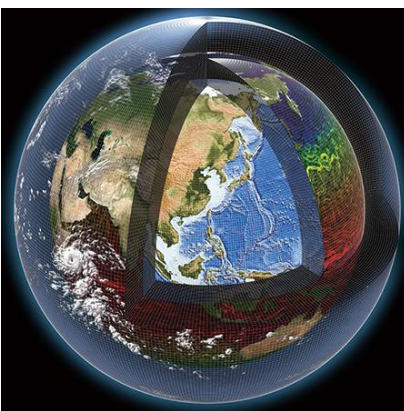


発電量評価フローの例

* Dynamic Wake Meandering

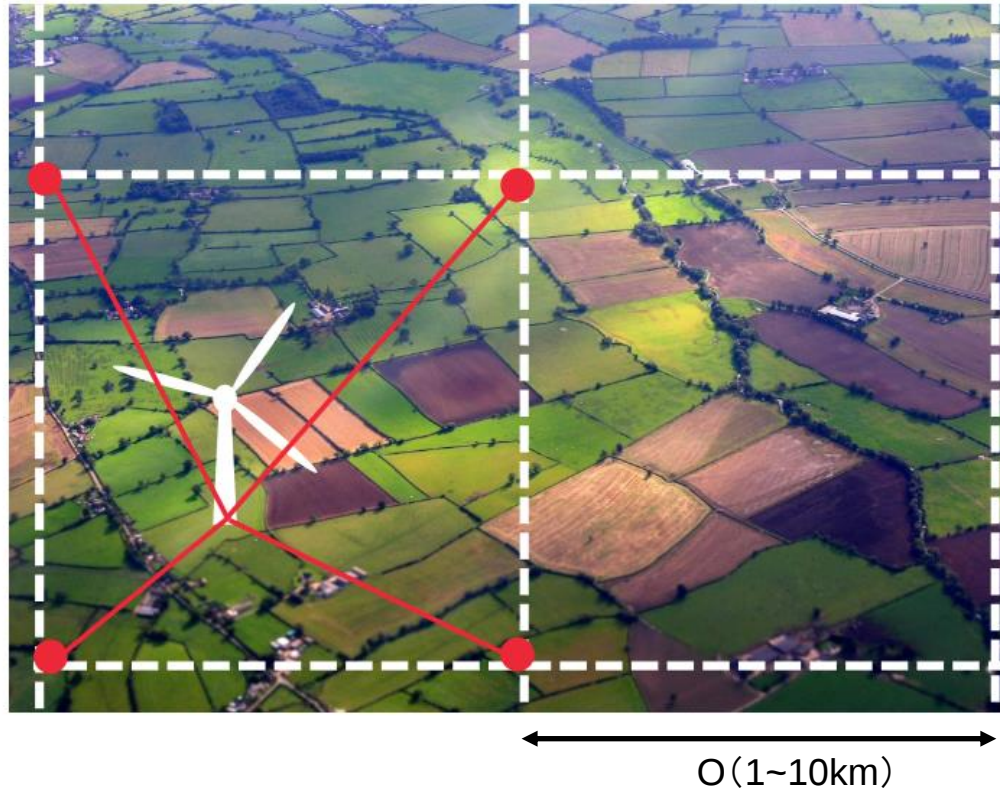
■ 風況マスト以外の推定手法

- ✓ 現場観測では、ウィンドファーム全体の風況を代表できるとは限らない
- ✓ 衛星観測は局所的な観測には不向き
- ✓ 現地観測のコストは他の手法に比べて高いと思われる

	マスト観測	ライダー観測	衛星観測	数値モデル
	 出典: Wikimedia Commons	 出典: 産総研ウェブサイト	 出典: podaac.jpl.nasa.gov/QuikSCAT	 出典: JAMSTECウェブサイト
長所	局所的な観測	数km先まで観測	広範囲を観測	狭領域～広範囲まで計算可能
短所	広範囲の観測が困難	エアロゾルや気象条件に左右される	局所的な観測に不向き	数値モデルの性能に依存
	故障, 欠測, 観測誤差がある 衛星データの場合はキャリブレーションが必要な場合もある			境界条件の精度に依存
	1年間(実時間)の観測が必要			

■ 気象予測の応用

- ✓ Virtual Met Mast (仮想風況観測; UK Met Office)
 - 数値気象モデルと統計的手法を用いた風況予測
 - 風況観測に係る時間とコストの軽減に有望



VMMの概念図（出典: Emily Wallace “Historic Meteorological Datasets”）
格子化されたメソ気象データをダウンスケーリングすることで風車地点の風況を推定する

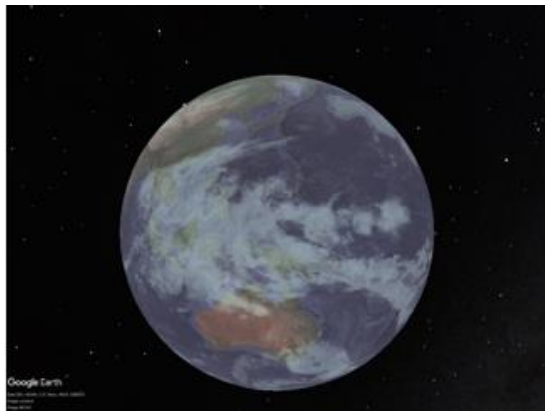
■ 高速・高精度な風況予測サービスは可能？

- ✓ 地球シミュレータの豊富な計算機資源
- ✓ 先端的数値モデルMSSG

(Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment)

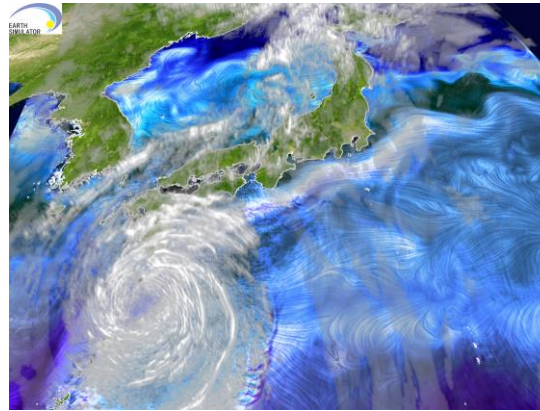
✓ 課題：

- 予測精度
- 計算コスト



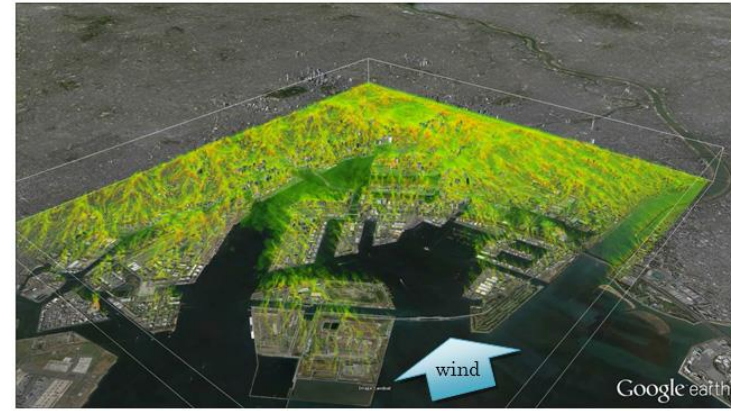
Global simulation
O(10km) mesh size

http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20161011/



Regional simulation
O(1km) mesh size

<https://www.jamstec.go.jp/esc/research/Mssg/gallery.ja.html>



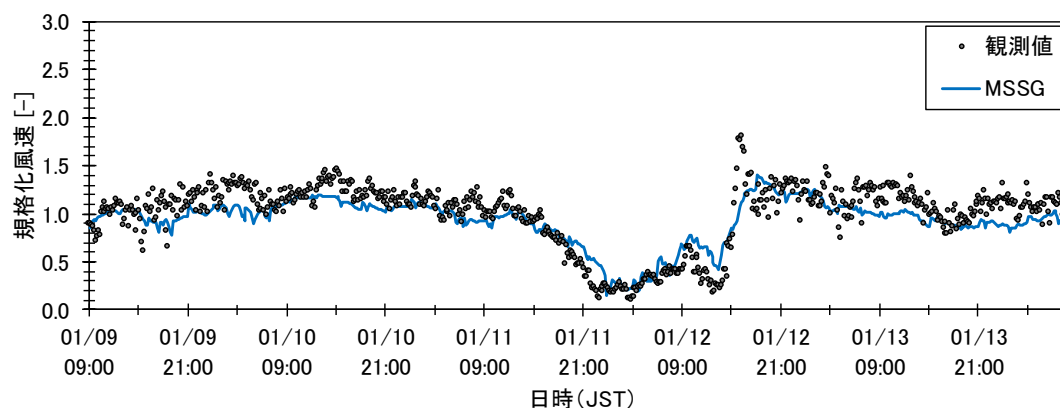
Urban simulation
O(1m) mesh size

http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160331_2/

MSSGによるシミュレーション (JAMSTEC)

■ 地球シミュレータ事前評価制度(H28年度)

- ✓ MSSGによる5日間風況予測
- ✓ ESとMSSGを用いた風況予測サービスの実用化へ前進



MSSGによる予測風速と観測値の比較(地上50m)(地球シミュレータ事前評価制度利用時の結果)

■ H29年度地球シミュレータ特別推進課題(イノベーション推進)

- ✓ 「MSSGによる年間のマイクロスケール風況予測」
- ✓ 年間計算の約7割が完了, 過大なバイアス(26%)
- ✓ バイアスの低減と年間計算の実行が不可欠

■ 課題名

「MSSGによる年間のマイクロスケール風況予測の最適化」

■ 目的

地球シミュレータの豊富な計算機資源を活用し、MSSGを用いた**年間の風況予測実験**と検証を通して、**地球シミュレータとMSSGによる高速・高精度風況予測サービス**の実現に向けた検討を行う



風力開発のプロセスにおける現状と将来の比較

■ 実施内容

- ✓ 境界値の変更や鉛直解像度の変更等によるバイアス低減の検討
- ✓ 風況精査に必要な1年間の予測性能評価の実施

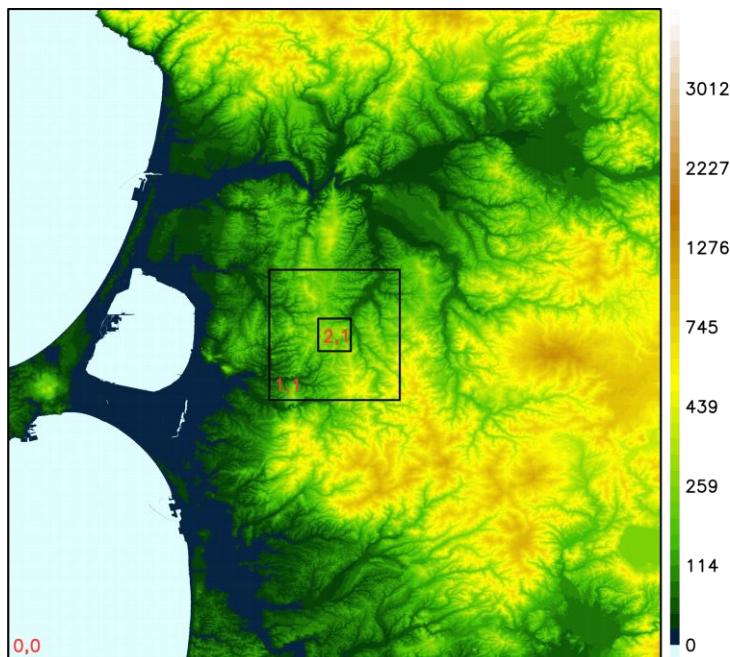
風力発電事業における評価項目

項目	風力発電事業での利用方法	事前評価制度/前年度課題における評価方法
年平均風速	・ 発電量の評価	・ 観測値とのBiasで評価
風速階級別出現頻度 (ワイブル分布)	・ 発電量の評価 ・ 運転時の疲労荷重評価	・ 未実施
風向別出現頻度	・ 風車のウェイク評価とレイアウト検討	・ 未実施
風速の鉛直プロファイル	・ 低高度からのハブ高及びロータ上端の 風速の推定 ・ 荷重評価	・ 観測値との比較で評価
風速階級別乱流強度	・ 運転時の疲労荷重の評価	・ 観測値との時系列比較で評価 (本来、風速階級別の90%分位値で評価)

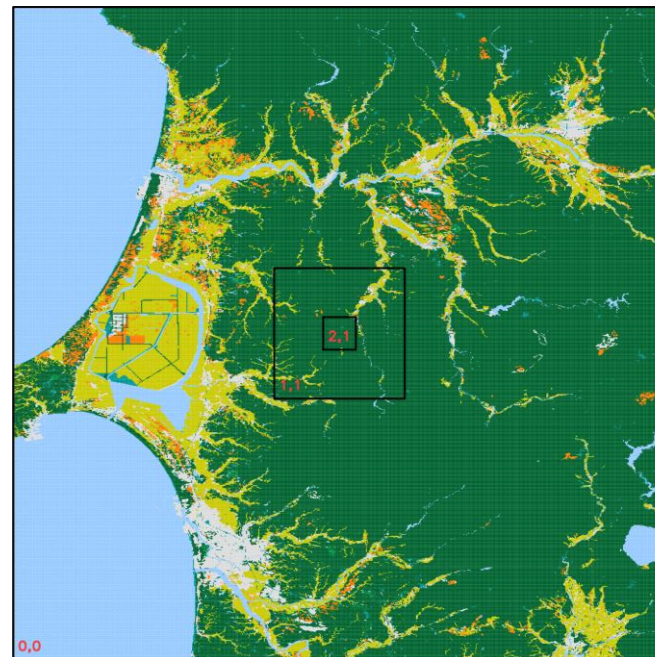
年間計算を実施し、風況精査に必要な項目を厳密に評価する。

■ 計算設定

- ✓ 1000m－200m－50mの三段階のネスティング，鉛直解像度（最下層）10m
- ✓ 高解像度標高，土地利用データを使用



標高(国土地理院基盤地図情報数値標高モデル)



土地利用(国土数値土地利用細分メッシュデータ)

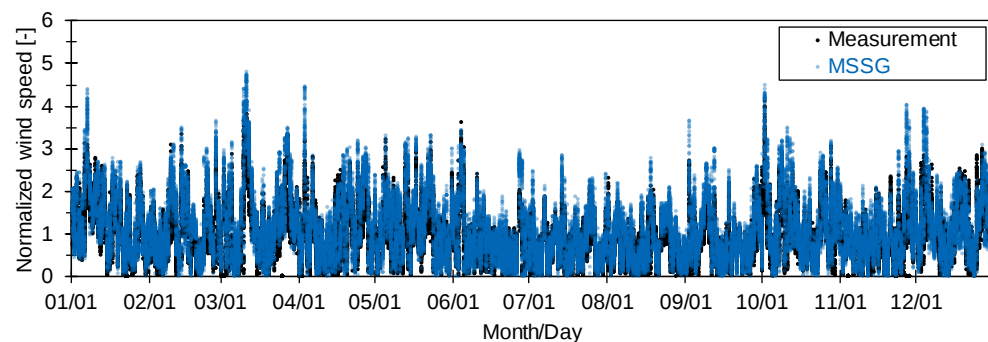
計算に用いた標高，土地利用の例（風況予測を行った地域ではありません）

MSSGに用いた初期値，境界値

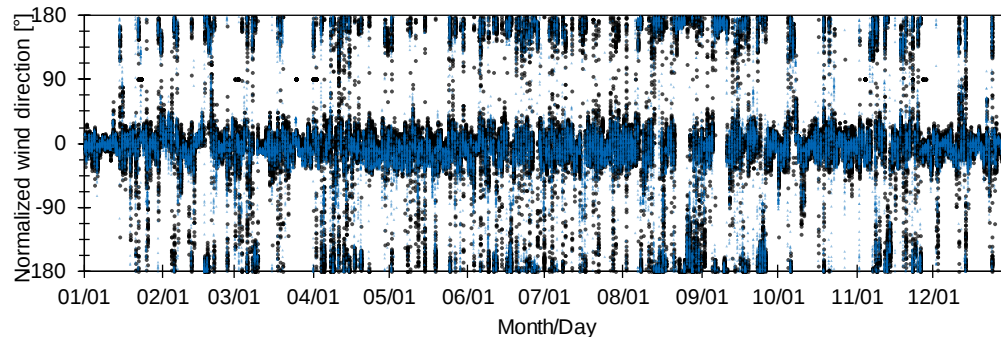
	Data source	Horizontal resolution	Temporal resolution
Initial / lateral boundary condition	JMA Meso-Analysis (MANAL)	5km	3 hourly

■ 年間計算

- ✓ 1サイトについて年間計算が終了した
- ✓ 風速・風向を概ね再現できた

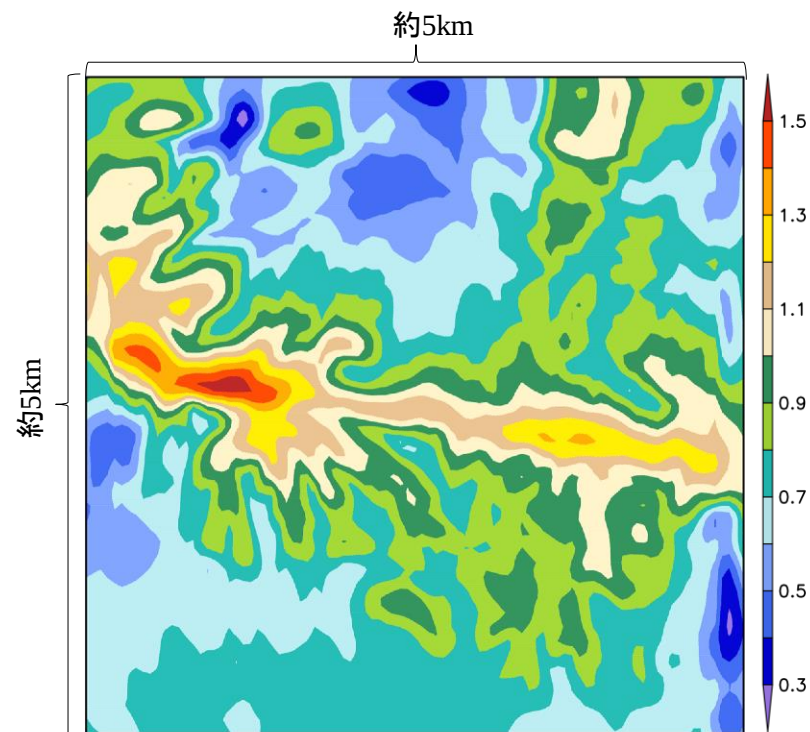


風速



風向

風速・風向時系列



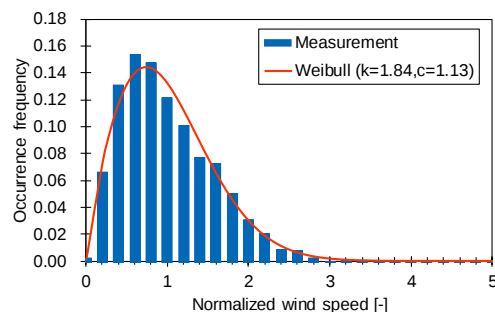
年平均風速(観測値で無次元化)

■ MANALとの比較(3時間平均値)

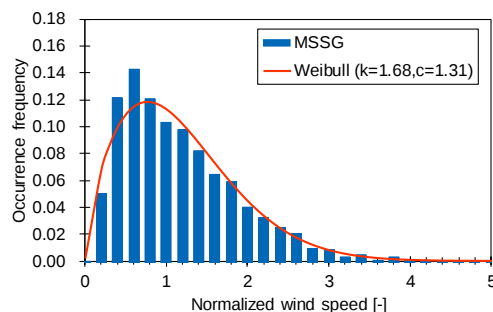
- ✓ 相関・バイアスが改善
- ✓ MANALよりも低風速の頻度が増加
- ✓ 方位別平均風速が観測値に近づいた

観測値との相関係数とバイアス
(3時間平均値)

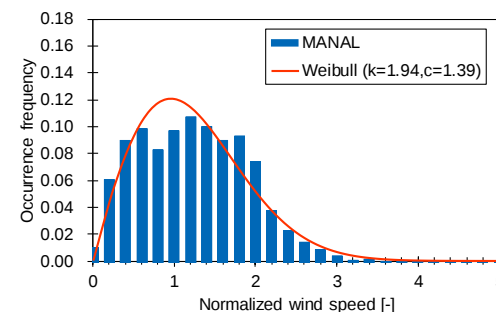
	Correlation [-]	Bias [%]
MSSG	0.88	17
MANAL	0.74	23



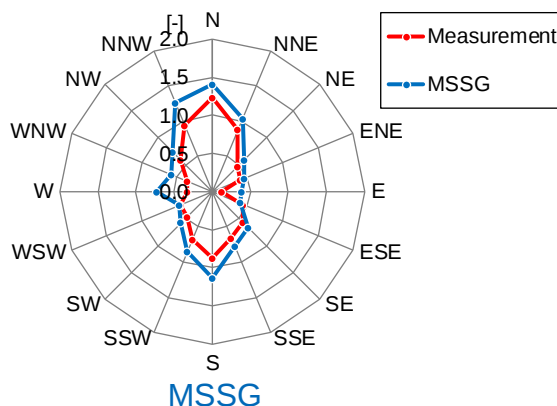
観測値



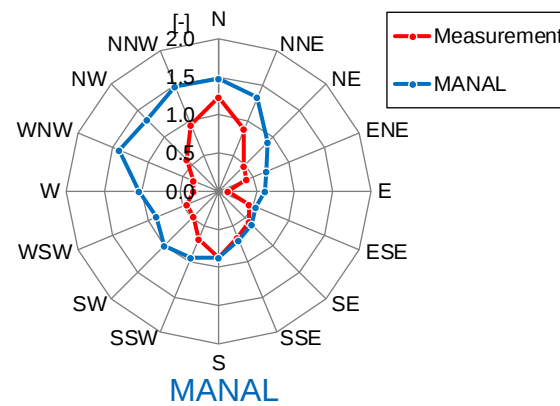
MSSG
風速頻度分布



MANAL



MSSG



MANAL

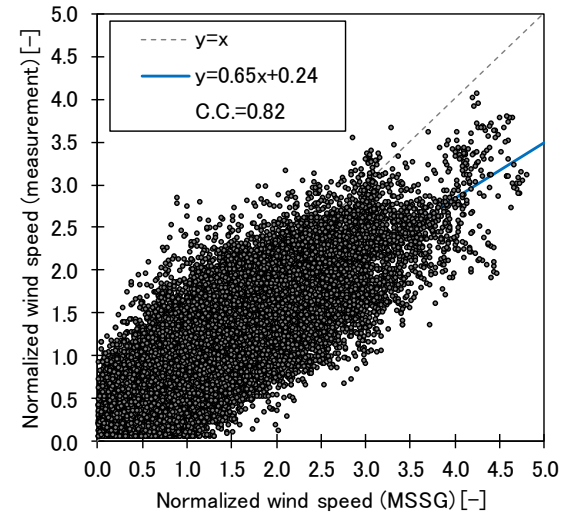
方位別平均風速の比較

■ 観測値との比較(10分平均値)

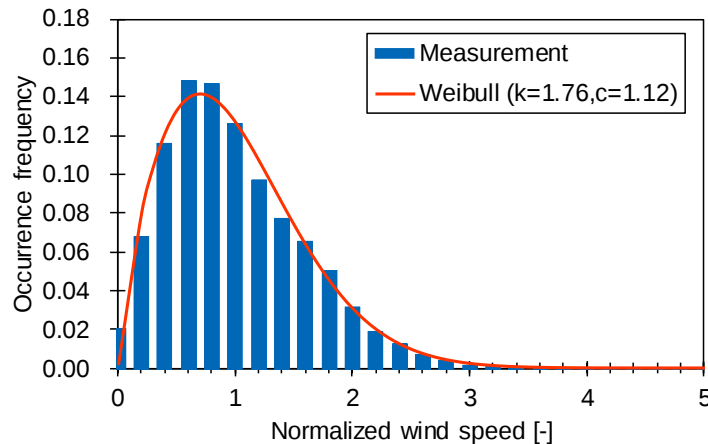
- ✓ 相関係数 **0.82**
- ✓ バイアス **17%**
- ✓ 風速の相関は冬と夏にやや弱い
- ✓ バイアスは春に大きい

月別の観測値との相関係数とバイアス

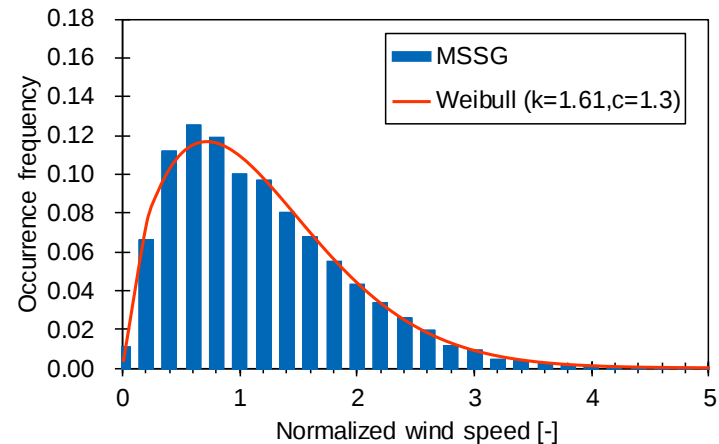
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
Corr. Coeff.	0.81	0.83	0.89	0.79	0.79	0.85	0.77	0.76	0.84	0.83	0.76	0.69	0.82
Bias [%]	13.5	19.5	29.4	22.3	21.6	14.2	13.2	13.7	12.9	18.2	11.4	11.6	16.8



観測値とMSSGによる風速の散布図
(10分平均値)



観測



MSSG

風速頻度分布

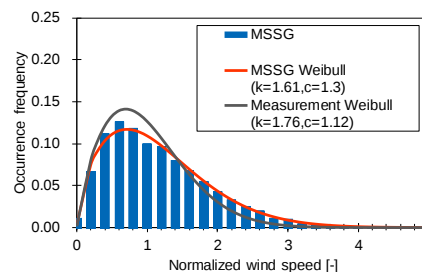
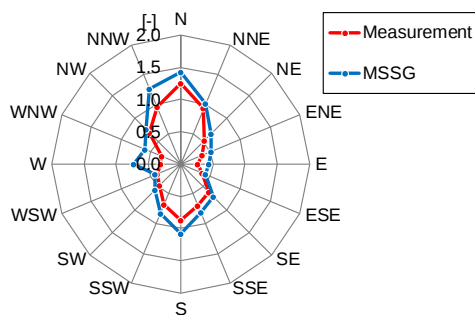
■ MSSG風況計算の利用例

- ✓ 観測とMSSG計算を併用した風況推定
 - 3か月間(3~5月)の観測データを用いた風速ビン(1m/s)毎の線形回帰による補正
 - 年平均風速のバイアス:17%から11%へ減少, 相関係数は変化なし
 - 風速頻度分布(ワイブル係数)は観測値に近づくが, 方位別平均風速に大きな変化なし

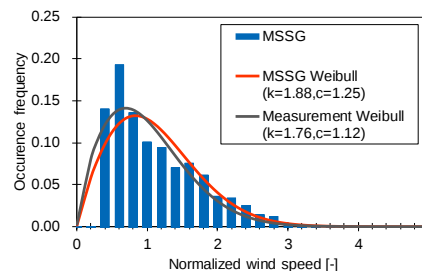
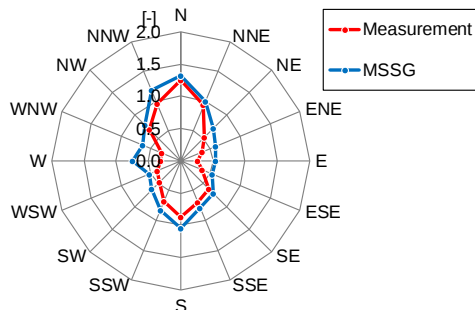
補正後の観測値との相関係数とバイアス

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
Corr. Coeff.	0.82	0.83	0.88	0.80	0.79	0.86	0.76	0.76	0.84	0.82	0.75	0.69	0.82
Bias [%]	4.1	13.3	15.8	15.5	15.0	11.3	12.8	13.3	10.9	9.9	8.4	3.6	11.1

補正前



補正後



方位別平均風速

風速頻度分布

補正前後の統計量の変化

■ 計算コスト

- ✓ 226万円(65円/ノード時間積で算出:4ノード使用)
- ✓ 5日間積分に要する時間は約119時間
- ✓ 鉛直解像度が高く、風が強い領域の場合は計算コストが高い

参考

- ✓ 風況マストの建設に数千万円

月別の計算時間

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
計算 時間 [hour]	938.0	786.4	920.7	582.5	658.4	549.2	571.1	523.0	608.6	891.3	748.8	929.9	8707.9

■ ES+MSSGによる高速・高精度な風況予測サービスの可能

✓ 有望

■ 本手法の用途

✓ 風況精査における風況観測の代替

➤ 観測が困難な地点における風況予測

- 地形の起伏が大きい地点
- 洋上

➤ 観測期間が不足する中でのプロジェクトの早期評価

- 観測とMSSG風況計算を組み合わせた年間の風況推定

✓ ウィンドファーム全体の風況予測による適切な観測地点選定

■ ポスター発表もご覧ください

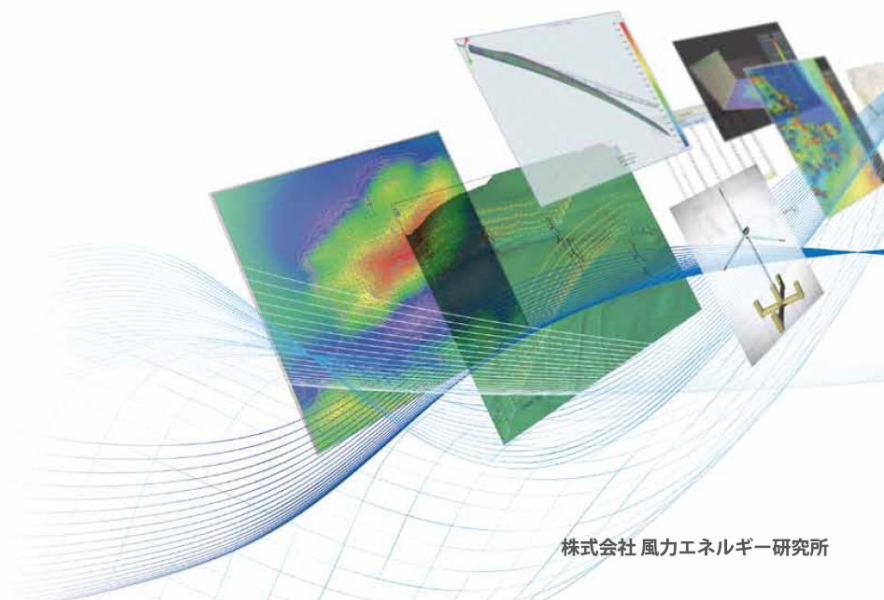
✓ 「MSSGによる年間のマイクロスケール風況予測の最適化」

謝辞

- 本課題の実施にあたり、計算資源の貸与及びMSSG使用の際のサポートをして頂いた海洋研究開発機構殿に感謝します。特に、地球情報基盤センター大西領氏には全面的にご協力頂きました。
- また、風況観測データをご提供頂いた風力事業者殿に感謝します。

今村 博

imamura@windenergy.co.jp



株式会社 風力エネルギー研究所