

気象GPVデータの風力発電分野への活用に関する検討

内田 孝紀* 川島 泰史** 荒屋 亮***

(2013年1月31日受理)

EXAMINATION ABOUT THE PRACTICAL USE TO THE WIND POWER FIELD OF WEATHER GPV DATA

Takanori UCHIDA, Yasushi KAWASHIMA and Ryo ARAYA

E-mail of corresponding author: takanori@riam.kyushu-u.ac.jp

Abstract

In this report, we explain the outline of the weather GPV data such as GSM, MSM and LFM. Next, the present condition is reported about comparison between the actual measurement data (observed value) and the weather GPV data.

Key words : *Weather GPV data, GSM, MSM, LFM, Wind energy*

1. 緒言

東日本大震災後、風力発電に対する注目度は極めて高い。日本国内のみならず、世界規模で風力発電の適地を探索し、風力発電を適切に普及させていくことは容易なことではない。

そこで本研究では、各国の政府機関(日本の場合は気象庁)が提供する種々の気象GPV(Grid Point Value)データを、風力発電分野へ適用するための基礎研究を実施する。気象GPVデータは、そのデータフォーマットの複雑さ、データ転送の遅延問題などから、これまで一部の研究者しか利用できない状況にあった。

その一方で、気象GPVデータは地球全体を網羅するものから、局所的な地域を密にカバーするものまで多岐にわたる。よって、これらのデータを有効活用できれば、国内のみならず世界規模で風力発電の普及に大いに貢献できると考えられる。

本報では、気象GPVデータの概要などを説明するとともに、実測値(観測値)との比較について現状を報告する。

2. 気象GPVデータの概要

数値予報とは、物理学の種々の支配方程式に基づき、風や気温などの時間変化をコンピュータで計算して将来の大気の状態を予測する方法である¹⁾。

気象庁JMA(Japan Meteorological Agency)は、昭和34年(1959年)に我が国の官公庁として初めて科学計算用の大型コンピュータシステムを導入し、数値予報業務を開始した。その後、数値予報モデルの進歩とコンピュータの飛躍的な性能向上に伴って、数値予報は予報業務の根幹を形成してきた。

数値予報では、規則正しく並んだ格子点(Grid Point)で大気層を細かく覆い、その格子点上の風速、気圧、気温などの物理量を世界中から送られてくる観測データに基づいてコンピュータでシミュレーションする。これらの計算プログラムは数値予報モデルと呼ばれる。数値予報モデルでは、大気の流れ(風)や、降雨など種々の流動現象・波動現象・気象現象が考慮されている。

数値予報モデルの計算結果が、数値予報GPV(気象GPVデータ)と呼ばれる。これらの気象GPVデータは、民間の気象会社や報道機関に提供されている他、外国の気象機関でも幅広く利用されている。

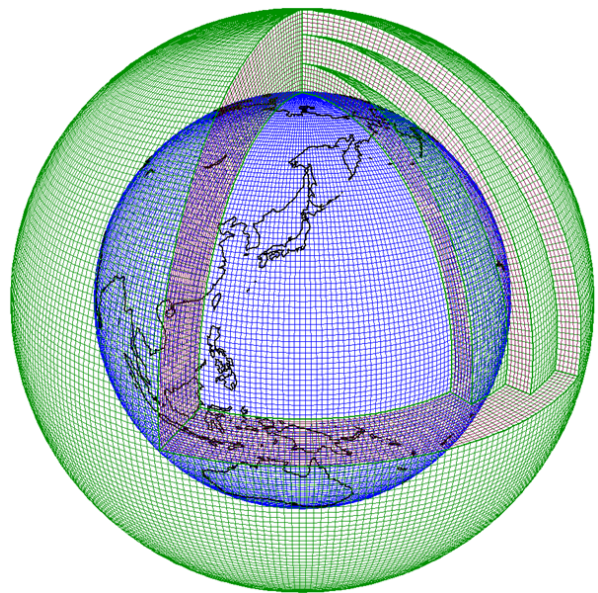


図1 数値予報に用いる全球の計算格子図

*九州大学応用力学研究所, **西日本技術開発(株), ***(株)環境GIS研究所

2.1 全球数値予報モデルGPV(GSM)

全球数値予報モデルGSM(Global Spectral Model)は、全球スペクトルモデルとも呼ばれ、地球全体の大気を対象とした気象庁の数値予報モデルのことである。運用回数は1日4回(00, 06, 12, 18UTC協定世界時)である。

気象庁は、平成19年11月21日、全球数値予報モデルGSMの空間解像度を大幅に向上した。地球全体の大気を予報するGSMの結果は、気象庁が発表する台風予報や天気予報などのための基礎資料に活用される。従来のGSMは地球全体の大気を水平60km格子、鉛直方向に40層に区切っていた(図1を参照)。新しいGSMでは、地球大気を水平20km格子、鉛直方向には60層に区切って計算を実施している。地球全体を水平20km格子で計算する気象庁のGSMは、天気予報などに用いられている全球数値予報モデルとしては、世界一緻密なモデルである。この変更に伴い、領域数値予報モデルGPV(RSM, Regional Spectral Model)は廃止され、GSM(全球域)のデータから日本域に対応したデータを作成し、これをGSM(日本域)として新たに提供が開始された。現在のGPV(GSM)の概要を下記に再掲する。

- 水平格子解像度 約20km
- 鉛直60層
- 1日4回実行
 - ・ 00, 06, 18時(UTC)初期値から84時間予報
 - ・ 12時(UTC)初期値から216時間予報
 - ・ 時間時間解像度は1~12時間
- 用途
 - ・ 天気予報支援(今日, 明日~週間予報)
 - ・ 台風予報支援(進路, 強度)
 - ・ メソモデルの側面境界条件

2.2 メソ数値予報モデルGPV(MSM)

メソ数値予報モデルMSM(Meso Scale Model)は、日本およびその近海を対象とした気象庁の数値予報モデルのことである。

1998年3月に試験運用が開始され、2001年3月に本運用が開始された。当時の水平解像度は10km, 1日4回, 18時間先までの予報が実施された。2002年3月には4次元変分法が導入され、2004年9月に非静力学モデルが導入された。2006年3月にはスーパーコンピュータシステムが更新され、これに伴いMSMも改善が施された。水平解像度が10kmから5kmに高解像度化した。同時に、予報時間が18時間から15時間と短くなる一方で、予報回数が1日4回から1日8回(00, 03, 06, 12, 15, 18, 21UTC)に倍増した。2007年5月16日より1日8回の予報のうち、4回の予報期間が33時間に延長された。現在のGPV(MSM)の概要を下記に再掲する。

- 水平格子解像度 約5km
- 鉛直50層
- 1日8回実行
 - ・ 00, 06, 12, 18時(UTC)初期値から15時間予報
 - ・ 03, 09, 15, 21時(UTC)初期値から33時間予報
 - ・ MSM-S(地上)の時間解像度は1時間
 - ・ MSM-P(気圧面)の時間解像度は3時間
- 用途
 - ・ 防災気象情報支援
 - ・ 降水短時間予報への利用
 - ・ 航空予報支援

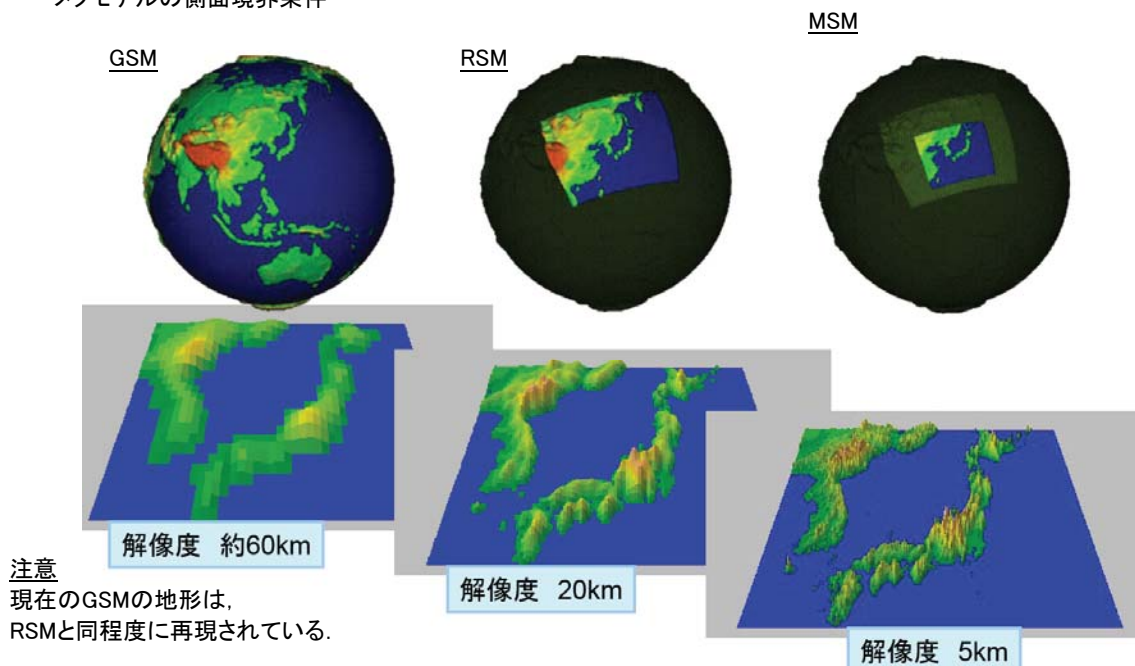


図2 数値予報モデルGSM, RSM, MSMにおける計算領域と地形解像度の比較

地形の計算には、米国地質調査所(USGS)のGTOPO30の約1km解像度(緯・経度30秒)のデータが利用されている。

2.3 局地数値予報モデルGPV(LFM)

局地数値予報モデルLFM(Local Forecast Model)は、2012年6月のスーパーコンピュータシステムの更新に伴い、同年8月から試験運用が開始されている高分解能モデルである。水平解像度は2km、鉛直60層、9時間予報が現在の仕様である。図3にはMSMとLFMの地形解像度の比較を示す。現在の仕様を下記に再掲する。

- 水平格子解像度 約2km
- 鉛直60層
- 9時間予報
 - ・2012年8月から東日本を中心とし、3時間毎の運用
 - ・2013年に日本全体に拡張および毎時化の予定

3. 気象GPVデータ(MSM-S)の検証地点概要

本研究では、鹿児島県に位置する三ヶ所の風力発電所(便宜上、A風力発電所、B風力発電所、C風力発電所と呼ぶ)を対象に、気象GPVデータ(MSM-S、地上10mデータ)と風車のナセル風速値(観測値)との比較を行った(図4、図5、図6を参照)。

A風力発電所(総出力50,400kW)は、鹿児島県の最北端、薩摩半島北西部の長島町に位置する(図5(a)を参照)。四方を東シナ海、八代海および長島海峡に囲まれており、行人岳(394m)、大中岳(403m)、矢岳(402m)などの山々が点在するなど、平坦な地形が少ない場所である。本発電所の21基の風車(ブレード直径92m、ハブ高さ70m、出力2,400kW、

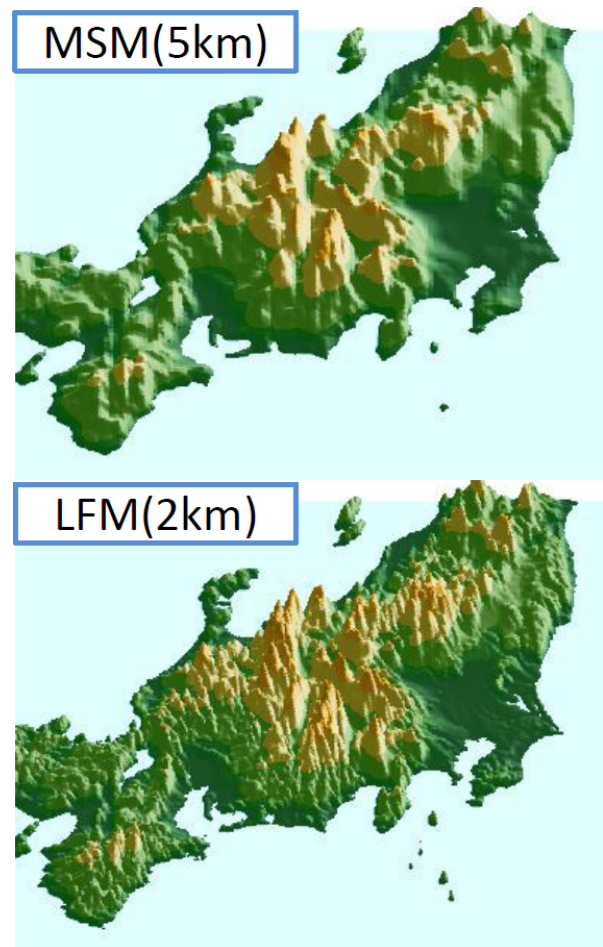


図3 MSMとLFMの地形解像度の比較

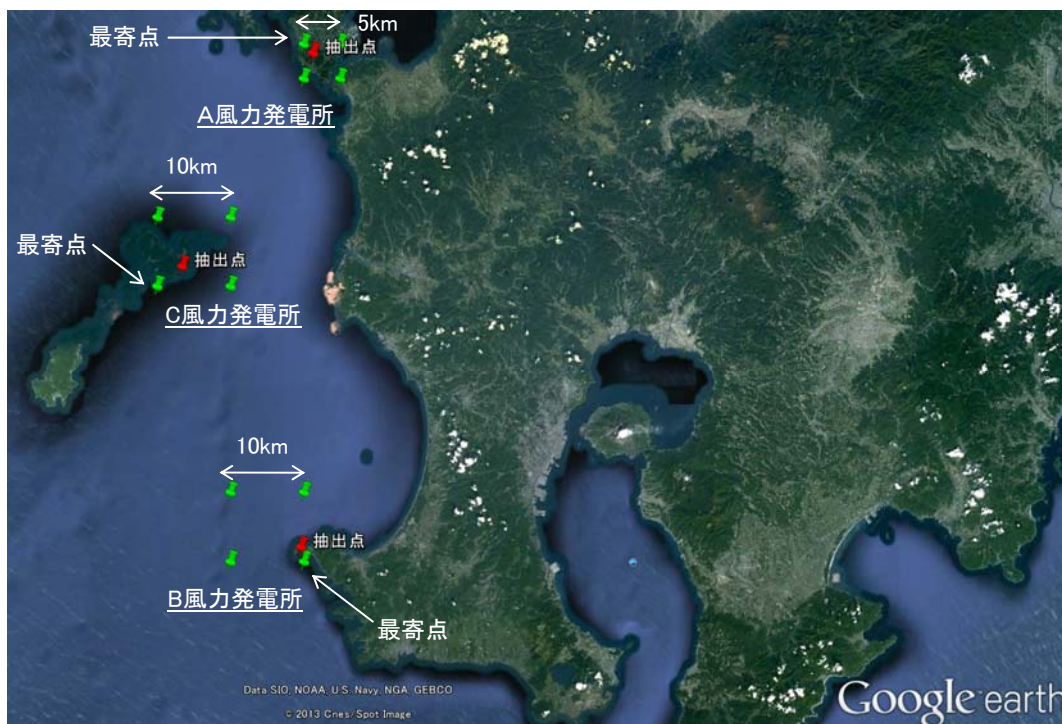


図4 本研究において気象GPVデータの検証に用いた風力発電所の位置、図中の「抽出点」は風車位置を意味する。



(a)A風力発電所



(b)B風力発電所



(c)C風力発電所

図5 本研究において気象GPVデータの検証に用いた風力発電所の写真

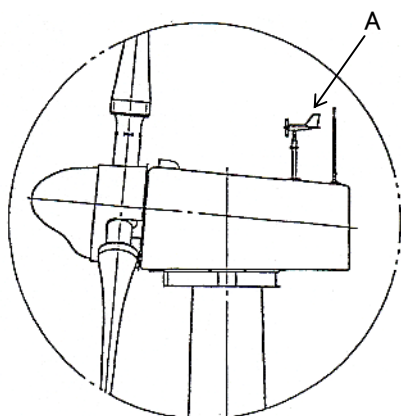


図6 風車ナセルに搭載された風向・風速計(図中のA)

総出力50,400kW)は、長島町中央部の標高250mから400mの山地尾根上および斜面に設置されている。風車が位置する周辺は、東西に伸びる陵線と谷地形が連続している特に複雑な地形である。本発電所は2008年10月に運開した。

B風力発電所は、鹿児島県南さつま市笠沙町の野間

岬(野間半島)に位置する(図5(b)を参照)。最大標高は143mである。本発電所には、10基の風車(ブレード直径29mと30m、ハブ高さ30mと45m、出力300kW、総出力3,000kW)が設置されている。本発電所は1997年に2基、1998年に3基、2002年に5基が設置された。

C風力発電所は、鹿児島県薩摩川内市里町(上甕島)に位置する(図5(c)を参照)。ここには、1基の風車(ブレード直径28m、ハブ高さ30m、出力250kW、総出力250kW)が設置されている。本発電所は1990年に運転が開始された。日本国内における商用風車のさきがけであり、最古参の現役風車として現在でも発電を続けている。

4. GPVデータ(MSM-S)と観測値との比較

ここでは、気象GPVデータ(MSM-S、地上10mデータ)と風車のナセル風速計の風速値(観測値)との比較について議論する。

表1には、それぞれの風力発電所の検証期間などを整理して示す。

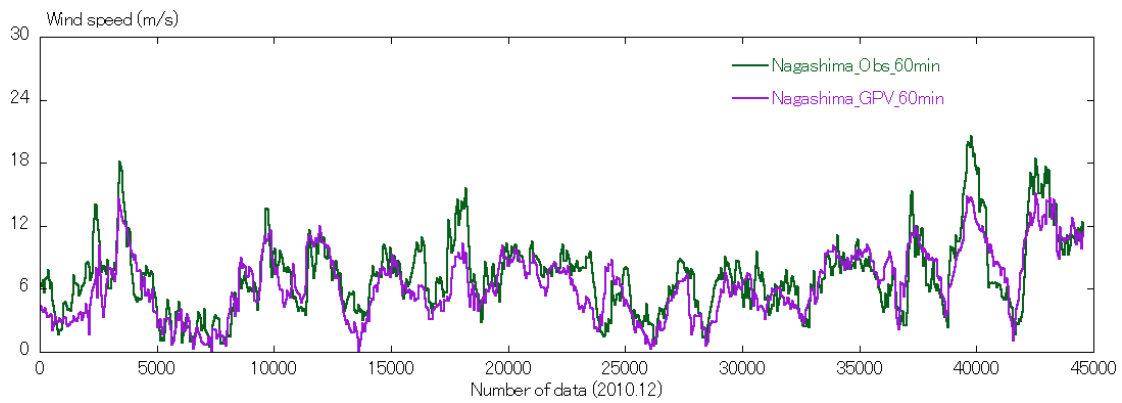
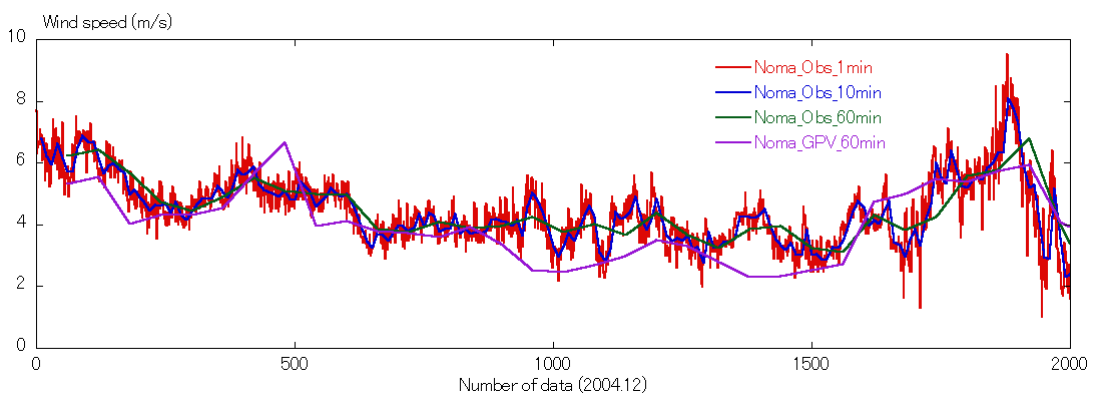
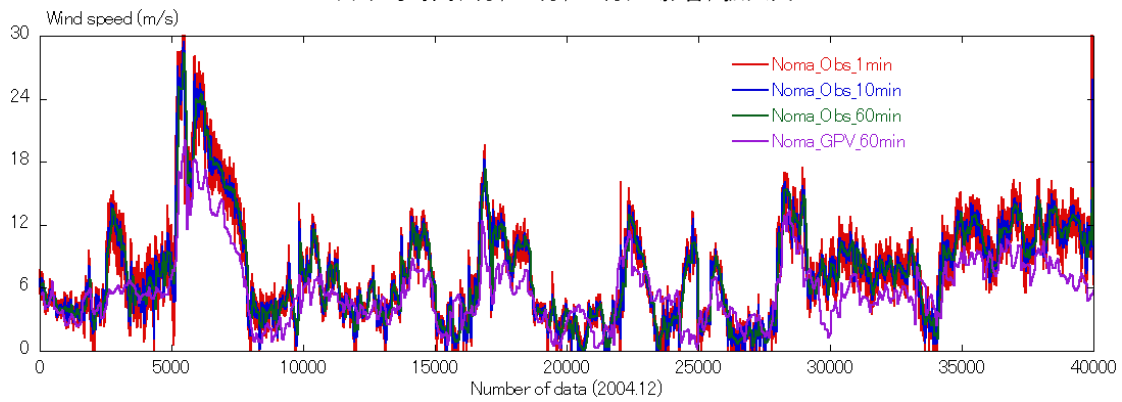


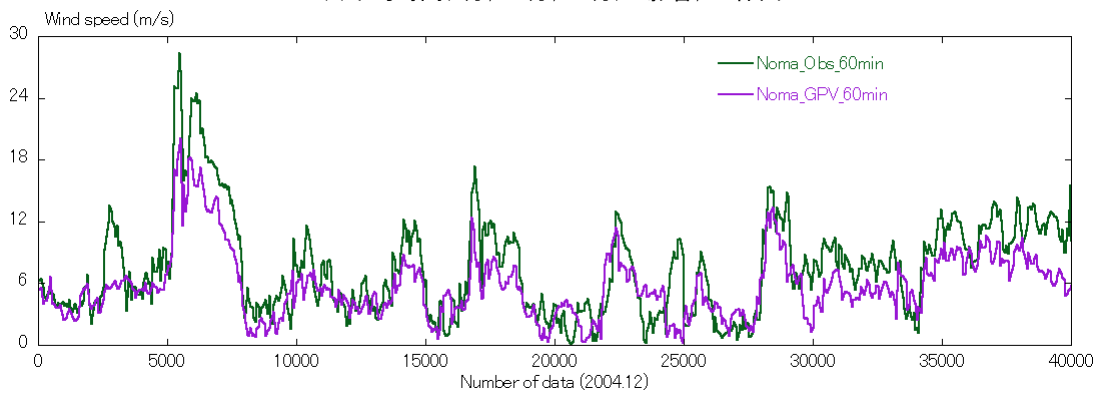
図7 A風力発電所の結果, 時間解像度60分



(a)平均時間(1分, 10分, 60分)の影響, 拡大図

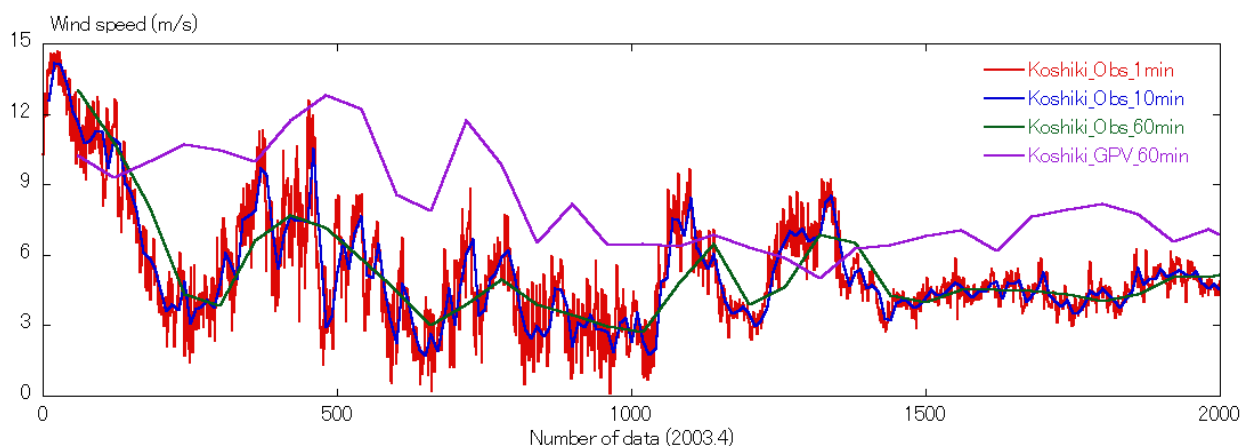


(b)平均時間(1分, 10分, 60分)の影響, 全体図

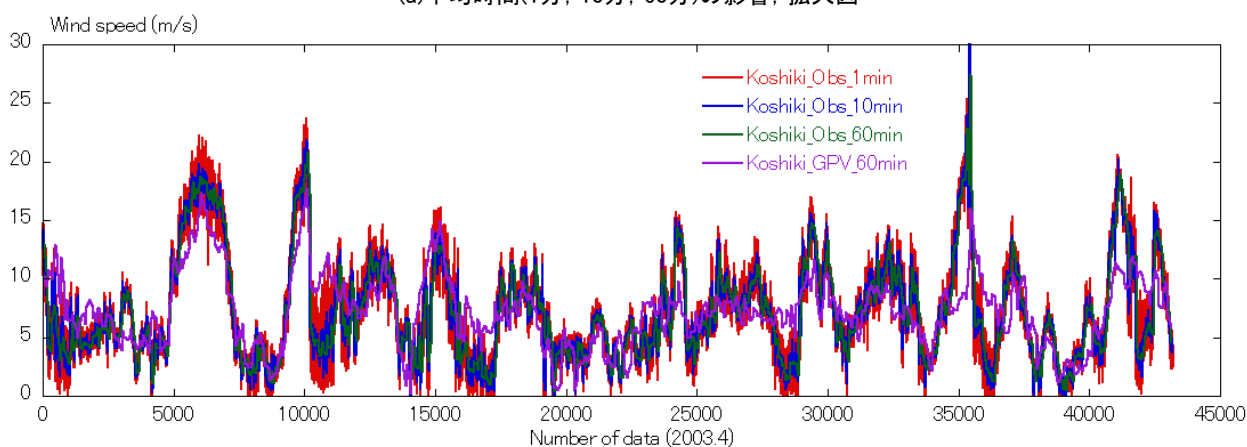


(c)同じ時間解像度(60分)のデータの比較

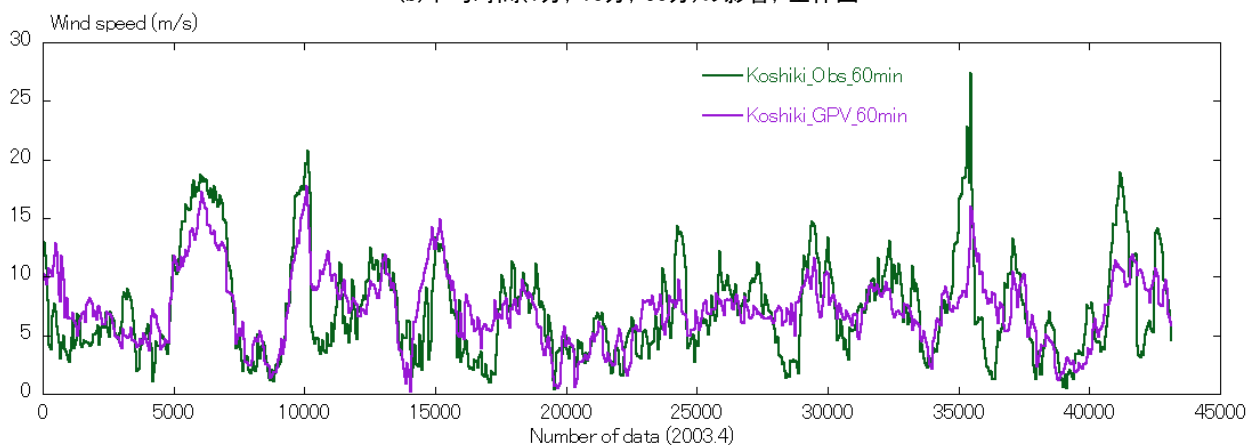
図8 B風力発電所の結果



(a) 平均時間(1分, 10分, 60分)の影響, 拡大図



(b) 平均時間(1分, 10分, 60分)の影響, 全体図



(c) 同じ時間解像度(60分)のデータの比較

図9 C風力発電所の結果

	検証期間	時間解像度	風車位置の 標高	地上高(風車ハブ高さ)
A風力発電所	2010年12月	60分	約370m	70m
B風力発電所	2004年12月	1分	約120m	45m
C風力発電所	2003年4月	1分	約150m	30m

表1 検証期間など

図7には、A風力発電所(4号機)の結果を示す。本研究で入手したナセル風速計の風速値(実測値)は、時間解像度が60分のデータであった。気象GPVデータ(MSM-S, 地上高10m)の時間解像度も同じ60分であるため、両者を直接比較した。気象GPVデータ(MSM-S, 地上高10m)を抽出した位置は、図4に示すA風力発電所の最寄り点である。本研究では、気象GPVデータに対して、空間補正や高度補正は一切行わず、そのまま実測値と比較した。

図8にはB風力発電所(4号機)の結果を、図9にはC風力発電所の結果を示す。この2ケースについては、入手した実測値の時間解像度は1分であった。よって、これを元データとし、10分および60分の時間平均を施したデータを作成し、これも併せてグラフにプロットした。A風力発電所の場合と同様、気象GPVデータ(MSM-S, 地上高10m)を抽出した位置は、図4に示すそれぞれの発電所の最寄り点であり、気象GPVデータに対して、空間補正や高度補正は一切行っていない。

図7から図9を観察すると、気象GPVデータ(MSM-S, 地上高10m)に対して、空間補正や高度補正は一切行っていないにも関わらず、気象GPVデータは実測値に見られる日変化の挙動や、強風が発生する時間帯(ピーク位置)などは良好に再現しているのが分かる。

表2から表4には、図7から図9に示す風速の時系列データ(時間解像度60分)から算出した統計的指標(下記を参照)を示す。

■ 平均誤差 (ME: Mean Error)

- 個々の予報値(計算値)の誤差を、そのまま期間内で平均したものを平均誤差 (ME) と呼ぶ。またバイアス(偏り)とも呼ばれる。
- 平均誤差は予報の系統的な偏りを示す指数である。平均誤差がゼロのとき、平均的に見て予報は正にも負にも偏っていないことを示している。また、平均誤差が正(負)になるときは、期間平均では予報値が実況値(実測値)よりも高かった(低かった)ことを意味する。

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - A_i)}{N}$$

(Fiは予報値, Aiは実況値, Nはデータ個数)

■ 2乗平均平方根誤差 (RMSE: Root Mean Square Error)

- 個々の予報の誤差を、2乗して期間内で平均し、平方根を取ったものを2乗平均平方根誤差 (RMSE) と呼ぶ。
- 2乗平均平方根誤差は常に正の値を示し、予報誤差の

標準的な大きさを示す指数として利用される。値が小さくゼロに近いほど予報精度が高いことを意味し、個々の予報の誤差の60%~70%は、±(2乗平均平方根誤差)の間に収まる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_i - A_i)^2}{N}}$$

(Fiは予報値, Aiは実況値, Nはデータ個数)

上記と合わせて、MEとRMSEを実測値の平均風速で割り、百分率で表現した相対MEと相対RMSEも評価指標として用いる。

■ 相対ME

$$\begin{aligned} \text{相対ME} &= \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - A_i) \right] \bigg/ \bar{A} \times 100 (\%) \\ &= \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{F_i}{N} - \frac{A_i}{N} \right) \right] \bigg/ \bar{A} \times 100 (\%) \\ &= \left[\bar{F} - \bar{A} \right] \bigg/ \bar{A} \times 100 (\%) \end{aligned}$$

注意

相対MEの絶対値 = 相対誤差(Relative Error)

■ 相対RMSE

$$\text{相対RMSE} = \frac{RMSE}{\bar{A}} \times 100 (\%)$$

平均風速 (実測値)	7.22 (m/s)
平均風速 (GPV, MSM-S)	6.49 (m/s)
ME	-0.74 (m/s)
RMSE	2.31 (m/s)
相対ME	-10.26 (%)
相対RMSE	32.00 (%)
相対誤差	10.26 (%)

表2 A風力発電所の結果

平均風速 (実測値)	7.56 (m/s) 注) 1分値, 10分値 ともに同じ結果
平均風速 (GPV, MSM-S)	5.80 (m/s)
ME	-1.76 (m/s)
RMSE	3.17 (m/s)
相対ME	-23.23 (%)
相対RMSE	41.93 (%)
相対誤差	23.23 (%)

表3 B風力発電所の結果

平均風速 (実測値)	7.28 (m/s) 注) 1分値, 10分値 ともに同じ結果
平均風速 (GPV, MSM-S)	7.29 (m/s)
ME	0.003 (m/s)
RMSE	3.01 (m/s)
相対ME	0.05 (%)
相対RMSE	42.44 (%)
相対誤差	0.05 (%)

表4 C風力発電所の結果

5. 結言

本研究では、最初に気象庁が提供する数値予報モデル(GSM, MSM, LFM)の概要を説明した。次に、鹿児島県に位置する三ヶ所の風力発電所を対象に、気象GPVデータ(MSM-S, 地上10mデータ)と風車のナセル風速値(観測値)との比較を行った。

本研究では、気象GPVデータに対して、空間補正や高度補正は一切行わず、そのまま実測値と比較した。その結果、空間補正や高度補正は一切行っていないにも関わらず、気象GPVデータは実測値に見られる日変化の挙動や、強風が発生する時間帯(ピーク位置)などを良好に再現していることが示された。

今後は、空間補正や高度補正の手法を検討するとともに、メソ気象モデルの併用などを検討し、さらなる精度向上を目指す予定である。

謝 辞

本研究の一部は、「平成24年度 新エネルギーベンチャー技術革新事業(新設および既設風車の安全運転とメンテナンスに資する気象情報配信システムの開発)」の支援を受けました。

気象GPVデータの概要などは、気象庁のホームページなどから引用させて頂きました(下記URLを参照)。

本研究で対象とした風力発電所の実測値は、九州電力(株)および長島ウインドヒル(株)から提供頂きました。

ここに記して関係者に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] 気象庁ホームページ
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yohou.html>