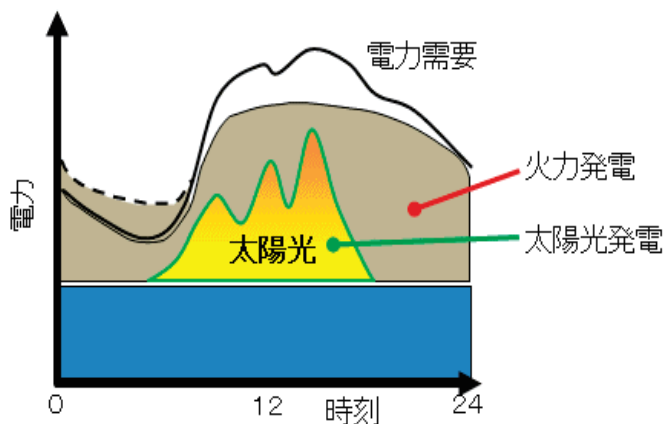


気象庁領域数値予報モデルによる 日射量予測の精度検証

太陽光発電研究センター
システムチーム
大竹 秀明

システムチーム>>電力インフラ形成のためのPVシステムの発電量予測技術に関する取り組み

- PV発電: お天気まかせで、時間・空間的な**変動が大きい**
(変動電源: 安定した電力の供給が困難)



出典: 太陽光発電研究センター HPより

現状:
FITの導入後、PVの大量導入が加速
電力システムではPVの系統連系: △

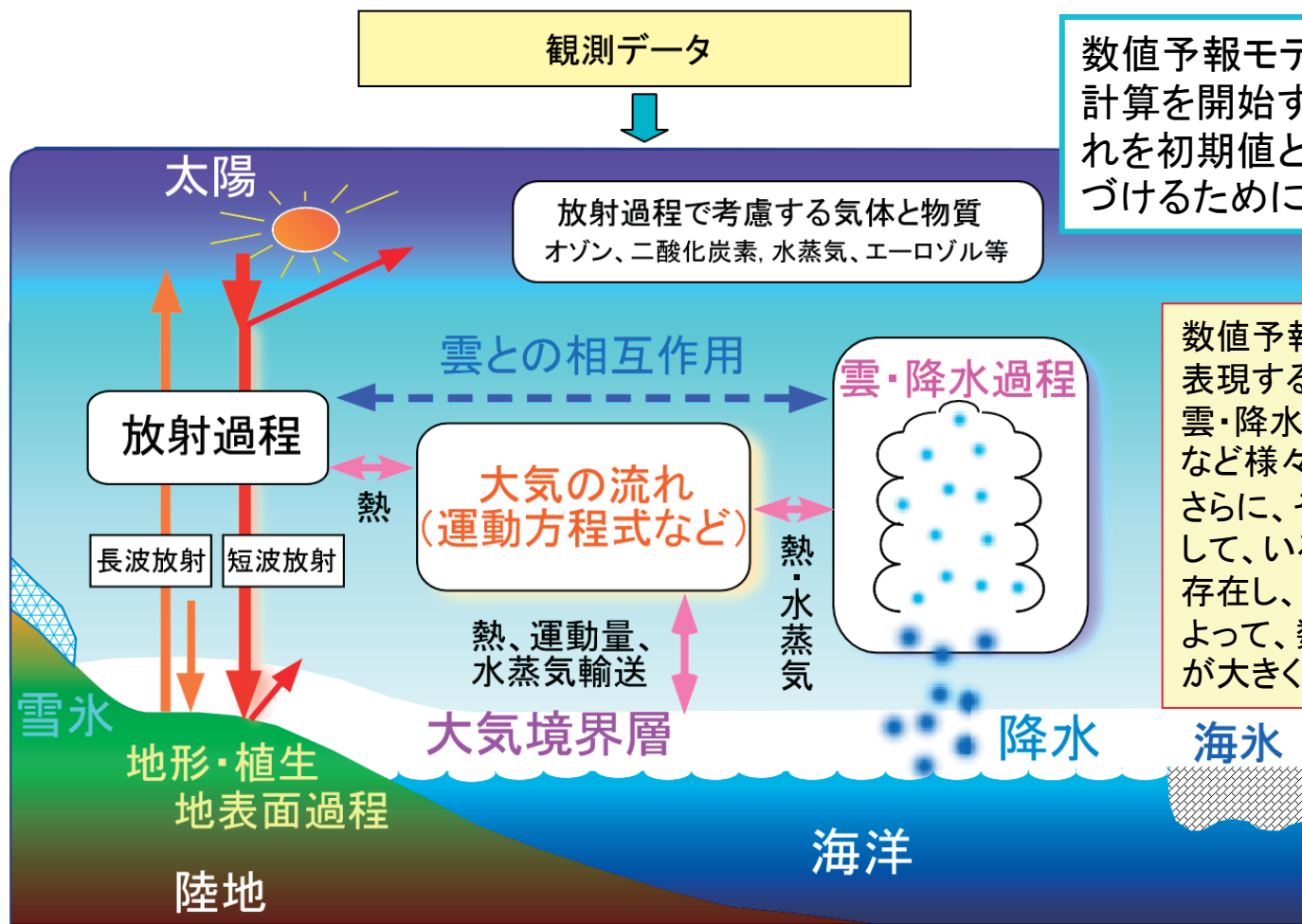
- 太陽光による発電量が**少ない**場合
→ 火力発電機を起動し、少ない分を補充
停電回避、燃料費 (電気代の上昇)
- 太陽光による発電量が**多い**場合
→ 余分な火力発電機の停止 (コスト低減)

翌日の火力発電機の起動・停止計画
(前日の夕方まで)

- ✓ 最適な、効率的な運転計画の作成
翌日の**太陽光発電電力量(発電量)の予測**



日射量予測をベースに**発電量予測**の研究
(**気象予報技術**を電力システムに応用)



数値予報モデルでは、観測データは、計算を開始するときの大気の状態(これを初期値という)を現実のものに近づけるために使われる。

数値予報モデルは、大気の流れを表現する力学過程、境界層過程、雲・降水過程、放射過程、陸面過程など様々なサブモデルからなる。さらに、それぞれのサブモデルに対して、いろいろなモデル化の手法が存在し、どの手法を採用するかによって、数値予報モデルの予測特性が大きく変化することもある。

日射量予測 ①短波放射 ②雲・降水のプロセス

出典: 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>

- ✓ 数値予報モデルでは日射量の予測が可能
- ✓ しかし、完全なモデルではないので予測誤差がつきもの

- ・PV発電を含めた、電力需給バランス、電力システムの**安全・安定的な運用**
- ・**低コスト・高効率化した太陽電池**を世の中に普及、拡大
 - **予測技術が必要**(**天気予報**の技術の**電力システム**への応用)

気象庁気象予報(数値予報)モデル

メソモデル、局地モデル: 現業の気象モデル, 防災気象情報、航空予報の支援

- ✓ 物理モデルであり、直接日射量の予測が可
(翌日、当日の発電量予測へ利用を検討)
- ✓ **予測値には必ず予測誤差**が含まれている(季節性、地域性)
(e.g., Ohtake et al., 2013; 2015, Solar Energy)
- ✓ 全球モデルによる日積算値での検証 (大竹他, 2014, 電気学会論文誌B)

目的

- ・ PV発電予測のベースとなる**日射予測の誤差分析**
- ・ 予測誤差の**特性**、及び**要因分析**(→モデルの改良・開発)
- ・ 日射量の予測値の**信頼度情報**の付加 (ピンポイント予測、広域エリア予測)

本研究は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発」、及びJST CREST「太陽光発電の予測不確実性を許容する超大規模電力最適配分制御」のもとにおいて気象研究所との共同研究の中で実施されました。

地球の大気を格子点に分割し、それぞれの格子点で運動方程式(気温、風、日射等)を解く。

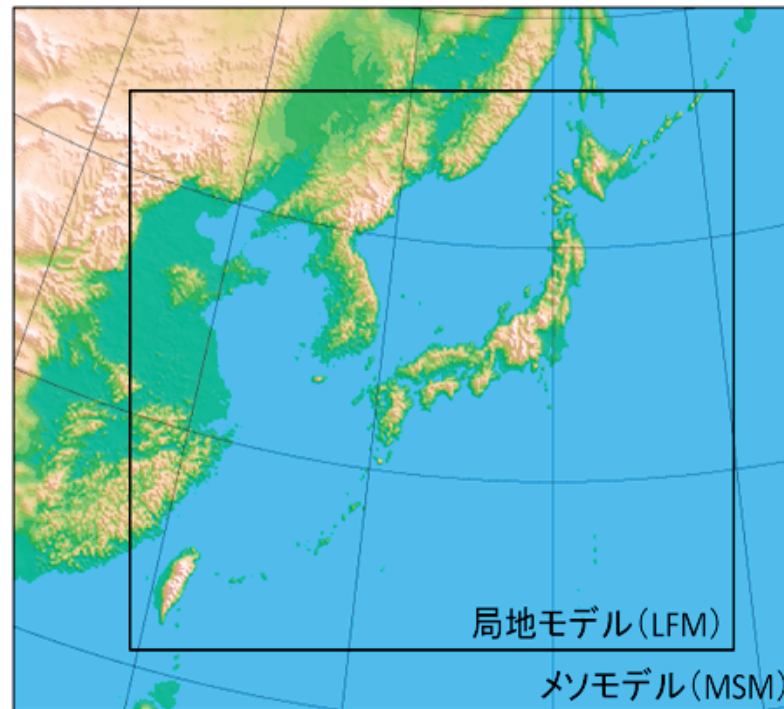
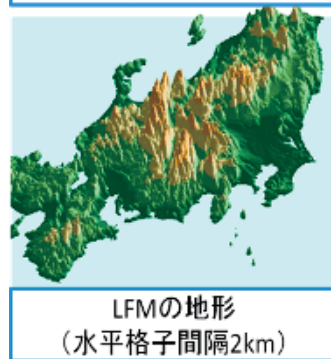
メソモデル(MSM)

- ・水平解像度(5km)
- ・1日8回 39時間先予測
(火力発電の起動・停止計画に利用可)



局地モデル(LFM)

- ・水平高解像(2km)
- ・1日24回 9時間先予測
(起動・停止の修正に利用)
- ・2012年8月から運用開始



(出典;気象庁 ホームページ
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-6.html>)

- ✓ 気象予報モデルをベースに、日本全国を対象に日射(PV発電)予測が可能
- ✓ 高解像度化すると地形が現実に近いものをモデルに組み込める。
- ✓ 積乱雲(水平:10km程度)などの雲を表現できる可能性。

メソモデル (MSM, 5km)

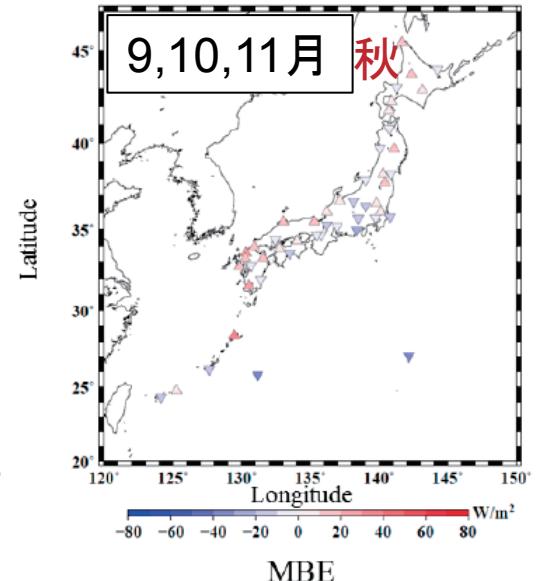
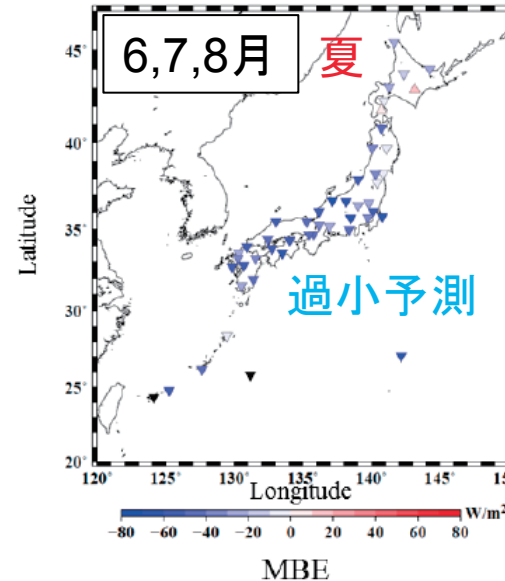
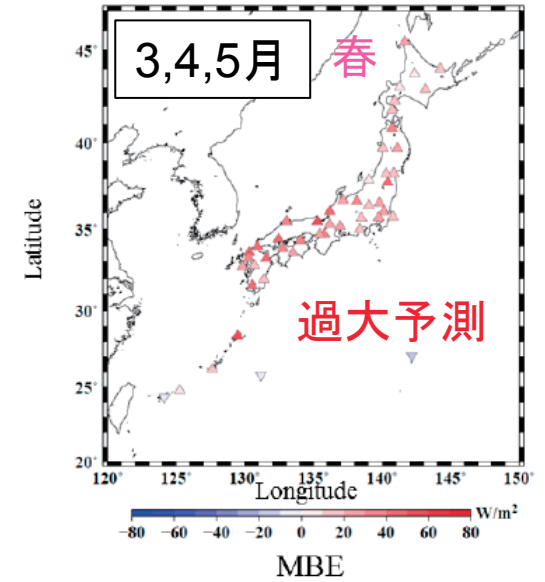
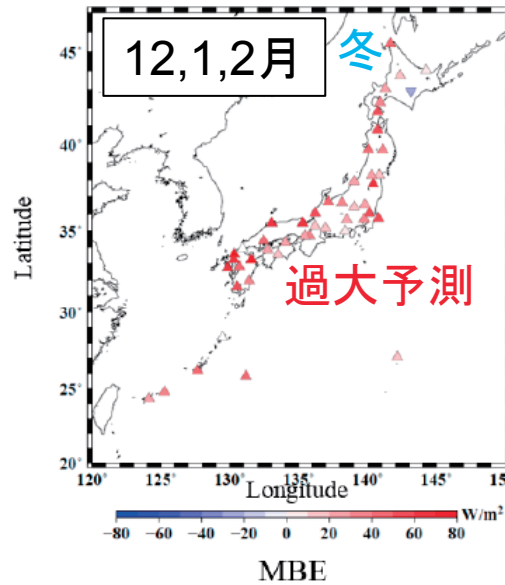
Mean Bias Error (MBE)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (FCST_i - OBS_i)}{N}$$

FCST 予測値
OBS 観測値

2012年の例

- ✓ 季節毎に日射量予測値の誤差傾向は異なる
- ✓ 特に、冬季の過大予測と夏季の過小予測は日本全域で顕著



(Ohtake et al., 2015, Solar Energy)

2013年6月(夏季)

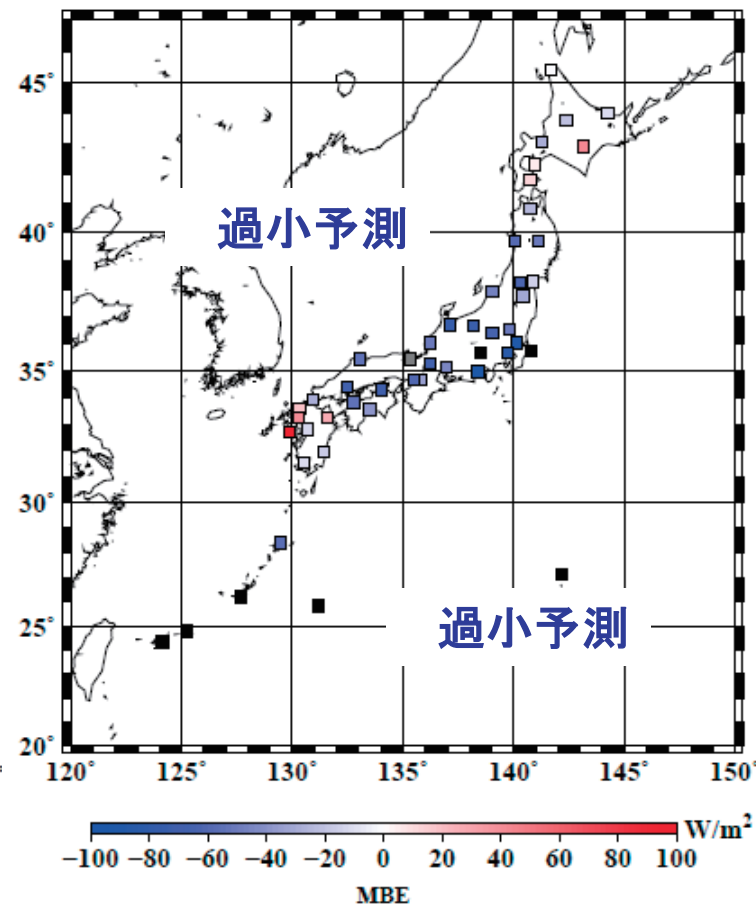
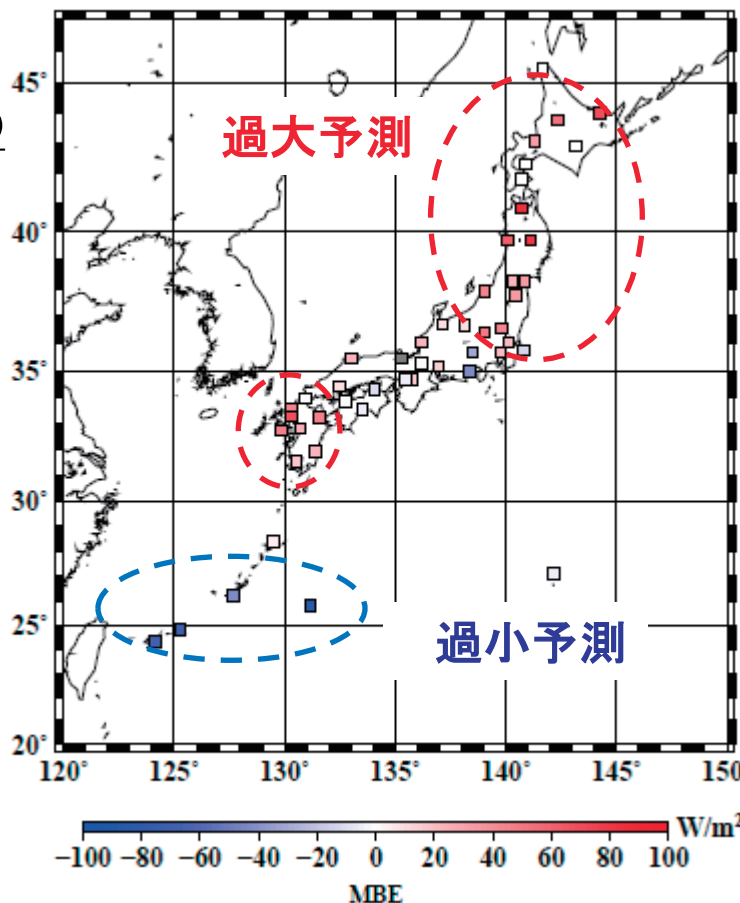
LFM(2km)

MSM(5km)

Mean Bias Error (MBE)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (FCST_i - OBS_i)}{N}$$

FCST 予測値
OBS 観測値



評価時間帯: 7-15h

- ✓ MSMでは夏季の過小予測が顕著
- ✓ LFMでは全国的に過小予測が改善
- ✓ RMSE: LFMでも劇的な予測の改善は見られず

High level clouds (上層雲)



日射予測の大外れ事例と、その時の雲のタイプの出現頻度を調査

Mid level clouds (中層雲)



Low level clouds (下層雲)

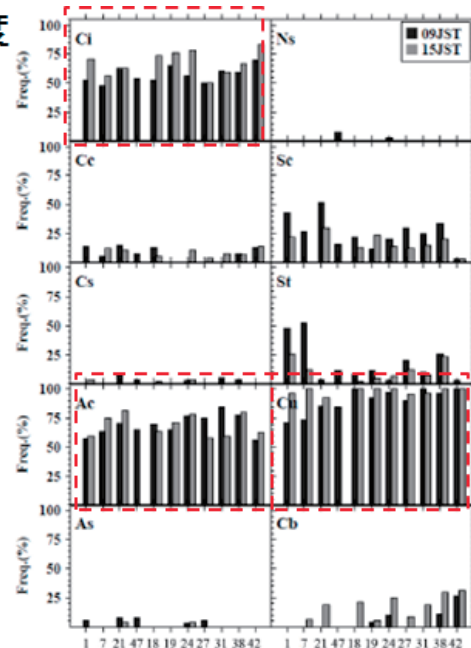


出典 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration): アメリカ海洋大気庁
<http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream/clouds/cloudwise/types.html>

✓ 雲のタイプは上層、中層、下層に分けて、さらに雲の形状によって10種類に分類 (10種雲形)

(Ohtake et al., 2015, Solar Energy)

雲のタイプの出現頻度
 2012年
 (夏季の過小予測
 大外れ事例)



各地域の雲のタイプの出現頻度

(右図の横軸は観測点番号)

- 1. 札幌
- 7. 仙台
- 21. 新潟
- 47. つくば
- 18. 甲府
- 19. 名古屋
- 24. 大阪
- 27. 広島
- 31. 福岡
- 38. 宮崎
- 42. 石垣島

✓ 特に、日射予測の大外れ時は巻雲、高積雲、積雲が観測されることが多い。地域差も有り。

→
 モデル上での雲のタイプの表現の改善
 モデル開発は日射予測、PV発電予測の精度向上へ

2011 TEPCO area

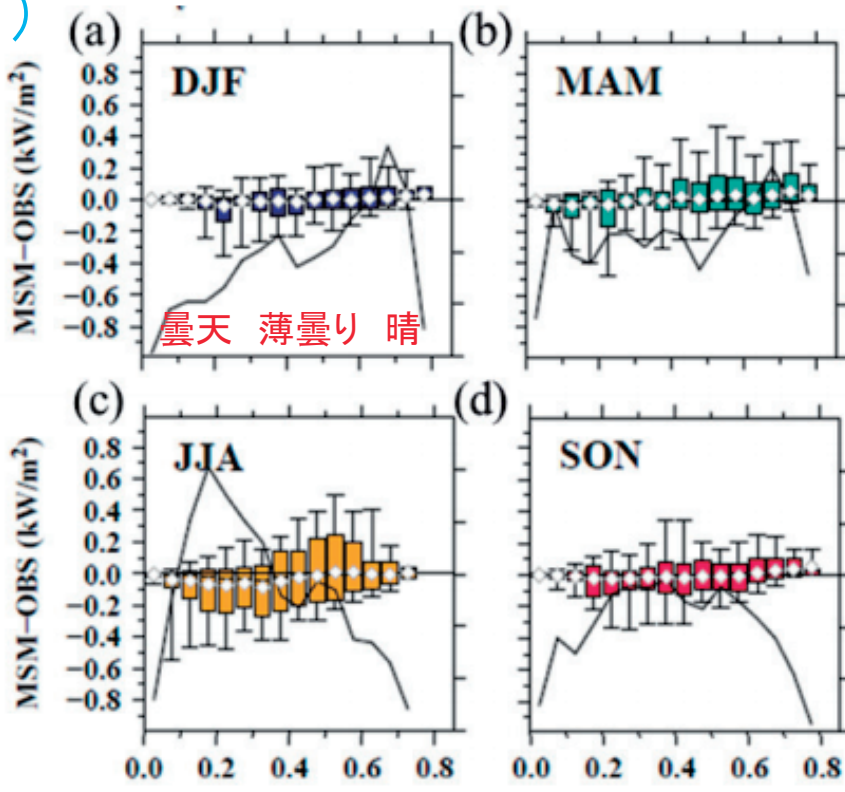
東京電力管内

冬(12-2月)

予測誤差

春(3-5月)

予測誤差

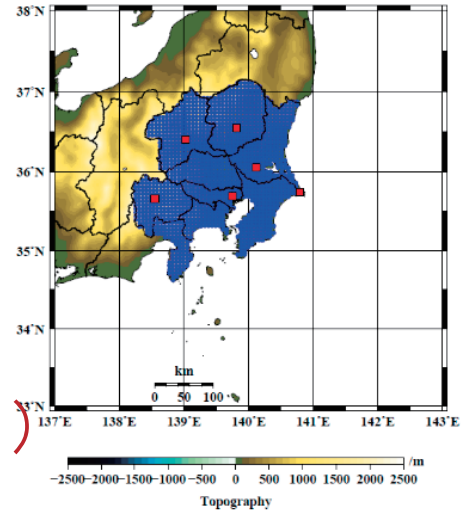


夏(6-8月)

データ数

秋(9-11月)

データ数



予測された晴天指数

$$\text{晴天指数} = \frac{\text{予測値(観測値)}}{\text{大気外日射量}}$$

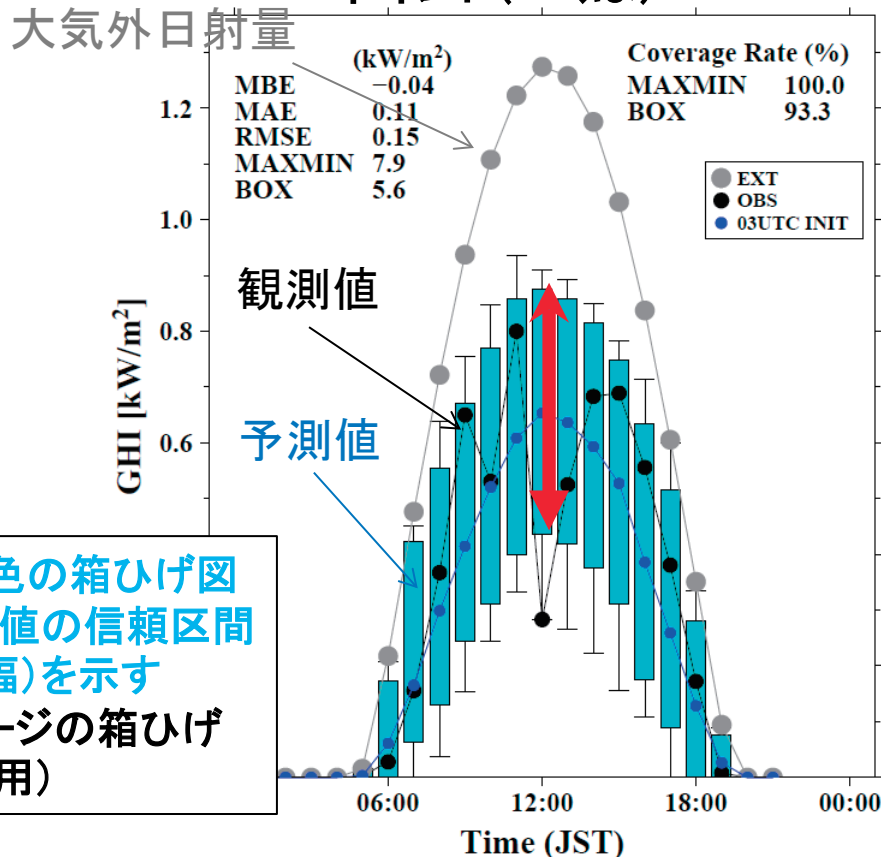
- ・予測値はエリア内の平均
- ・観測値は気象官署(日射観測、6地点)の平均

- ✓ 予測実績⇒予測誤差幅の大きさは予測された晴天指数に依存
- ✓ 予測誤差幅は季節毎に異なる
⇒ 晴天指数に応じた予測誤差の関係: Look-up tableの作成
- ✓ ここでは予測値の信頼区間を季節毎に推定

(e.g., Ohtake et al., 2014a, 2014b, Energy Procedia)

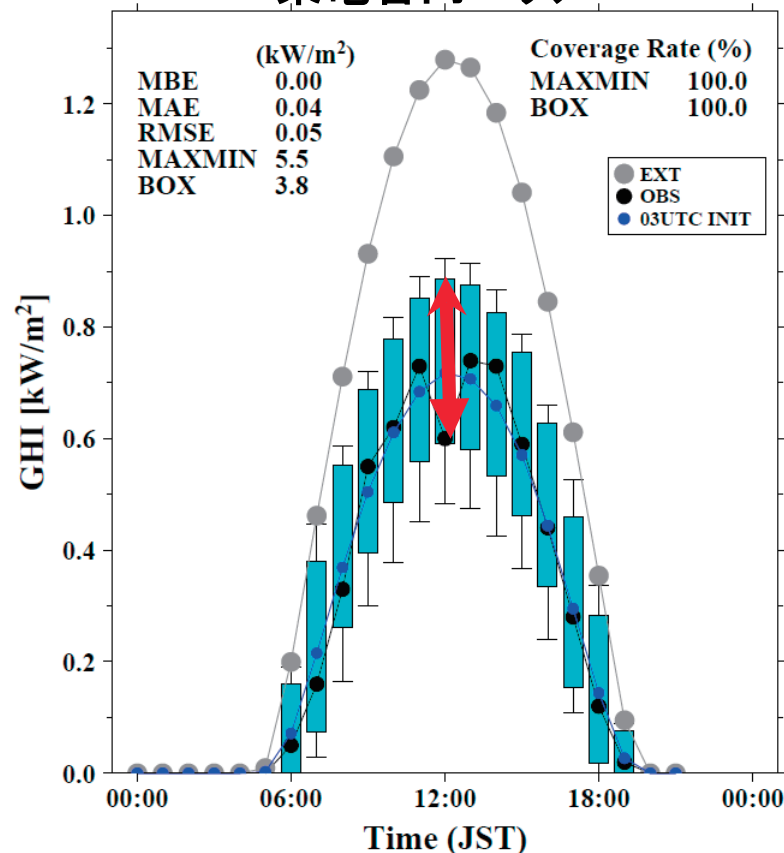
- ✓ ピンポイント予測(つくば)では12時頃の局所的な変動の表現は難しいが(左図)、広域エリア予測(東電エリア)では**信頼区間の幅は小さく**、予測値は観測値に近い(右図)
- ✓ 信頼区間を約7割程度まで縮小を確認(均し効果)

ポイント(つくば)



※ 水色の箱ひげ図は予測値の信頼区間(推定幅)を示す(前ページの箱ひげ図を適用)

東電管内エリア



- ✓ 広域エリア(PVの系統連系)→**信頼区間の幅の低減**にも効果。
- ✓ ピンポイント予測は現状の予測技術でも困難。

(Ohtake et al., 2014a, Energy Procedia)

広域エリアでの予測情報の電力システムでの利用が望ましい。

気象庁領域数値予報モデルによる広域エリア日射量予測の精度

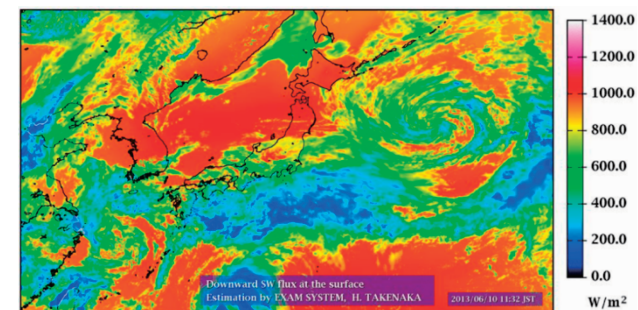
- ・ 日射量予測誤差の要因分析を行い、メソモデル(MSM)の日射予測の大外れ時の雲のタイプとの関係を調査(巻雲と積雲系の雲など)
(Ohtake et al., 2015, Solar Energy)
- ・ 局地モデル(LFM)による日射量予測は従来のMSMよりも、夏季における日射量の過大予測が改善
(大竹ほか、2015; エネルギー・資源学会誌、投稿中)
- ・ 日射量予測値の信頼区間の推定を予測誤差の実績から求める方法を提案。広域エリアでは予測の区間幅の低減
(e.g., Ohtake et al., 2014a, 2014b, Energy Procedia)

気象衛星から求めた地上の推定日射量

※ PVシステムの送電線への連系

→ 広域エリアでの運用で予測を上手に利用
今後の問題点と課題

- ✓ 気象官署の少ない地点で広域エリアを代表しているか → 気象衛星を利用した面的な検証
- ✓ 日射量予測の大外れ予兆の検出



(出典 竹中博士(東京大)HPより)

Ohtake et al., 2015: Regional and seasonal characteristics of global horizontal irradiance forecasts obtained from the Japan Meteorological Agency mesoscale model, *Solar Energy*, Vol. 116, pp. 83-99. doi:10.1016/j.solener.2015.03.020.

Ohtake et al., 2014a: Estimation of confidence intervals of global horizontal irradiance obtained from a weather prediction model. *Energy Procedia*, Vol. 59, pp. 278-284.

Ohtake et al., 2014b: Seasonal and regional variations of the range of forecast errors of global irradiance by the Japanese operational physical model. *Energy Procedia*, Vol. 57, pp. 1247-1256.

Ohtake et al., 2013: Accuracy of the solar irradiance forecasts of the Japan Meteorological Agency mesoscale model for the Kanto region, Japan. *Solar Energy*, Vol. 98, PartB, pp.138-152. doi:10.1016/j.solener.2012.10.007.

大竹秀明ほか, 2015:局地モデルから出力される日射量予測とその予測精度の検証, エネルギー・資源学会論文誌 (投稿中).

大竹秀明ほか, 2014: 気象庁週間予報モデルの日射量予測の誤差評価. *電気学会論文誌B*, Vol. 134, No. 6, pp. 501-509. doi:10.1541/ieejpes.134.501