

## 数値予報モデルと予測誤差分析

大竹 秀明

(独) 産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター  
(兼 気象庁気象研究所 予報研究部 客員研究員)

(謝辞: 本講演はNEDO「発電量予測技術の研究開発」、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」の一環として実施されました。関係各位に感謝申し上げます。)

2015年3月27日  
(株)東陽テクニカ/本社・第1セミナー室(8F)  
(17:45-18:10)

1. はじめに
2. 全球予報モデル(GSM)の予測精度
3. メソモデル(MSM)の予測精度  
日射予測の適用例(信頼区間の推定、予測大外れ)
4. 局地モデル(LFM)の予測精度
5. まとめ

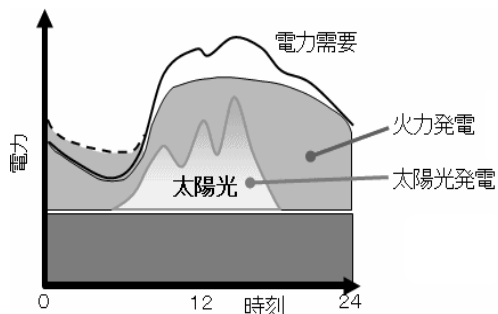
※ 気象庁の数値予報モデルの最新動向については原 旅人氏(気象庁・数値予報課)のご講演を参考にして下さい。

# ○ 太陽光発電の問題点の一つ

お天気まかせ、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)

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△



出典: 産総研・太陽光発電工学研究センター HPより

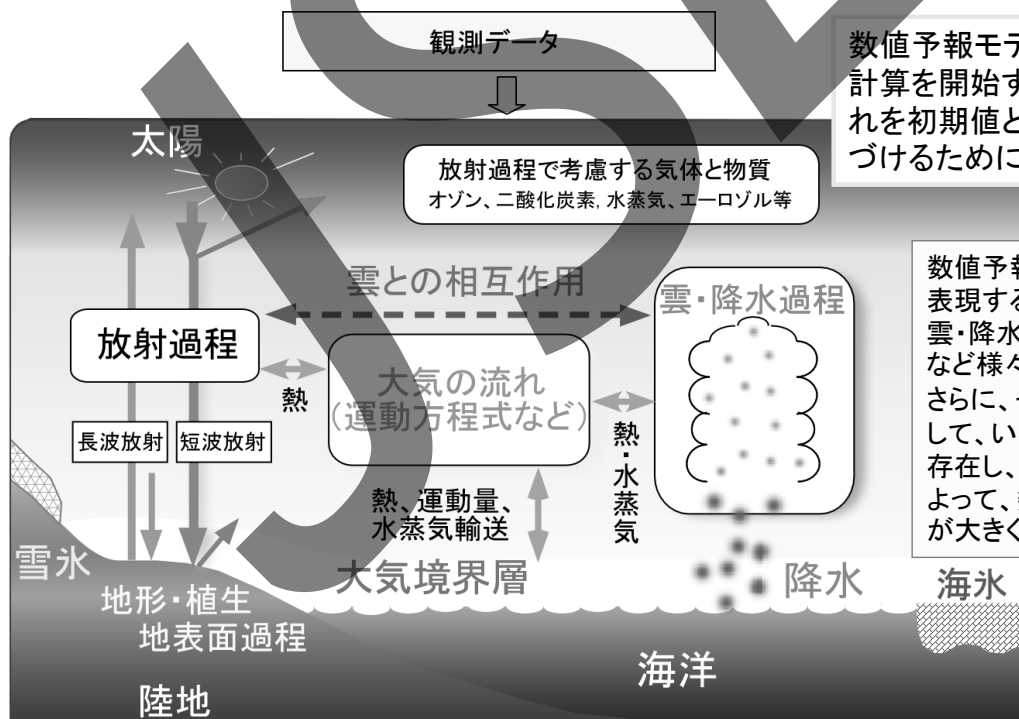
● 太陽光による発電量が少ない場合  
→ 火力発電機を起動し、少ない分を補充  
燃料費 (電気代の上昇)

● 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、効率的な計画準備  
翌日の太陽光の発電電力量 (発電量) の予測

↓  
日射量予測をベースに発電量予測の研究  
(天気予報の技術を電力システムに応用)



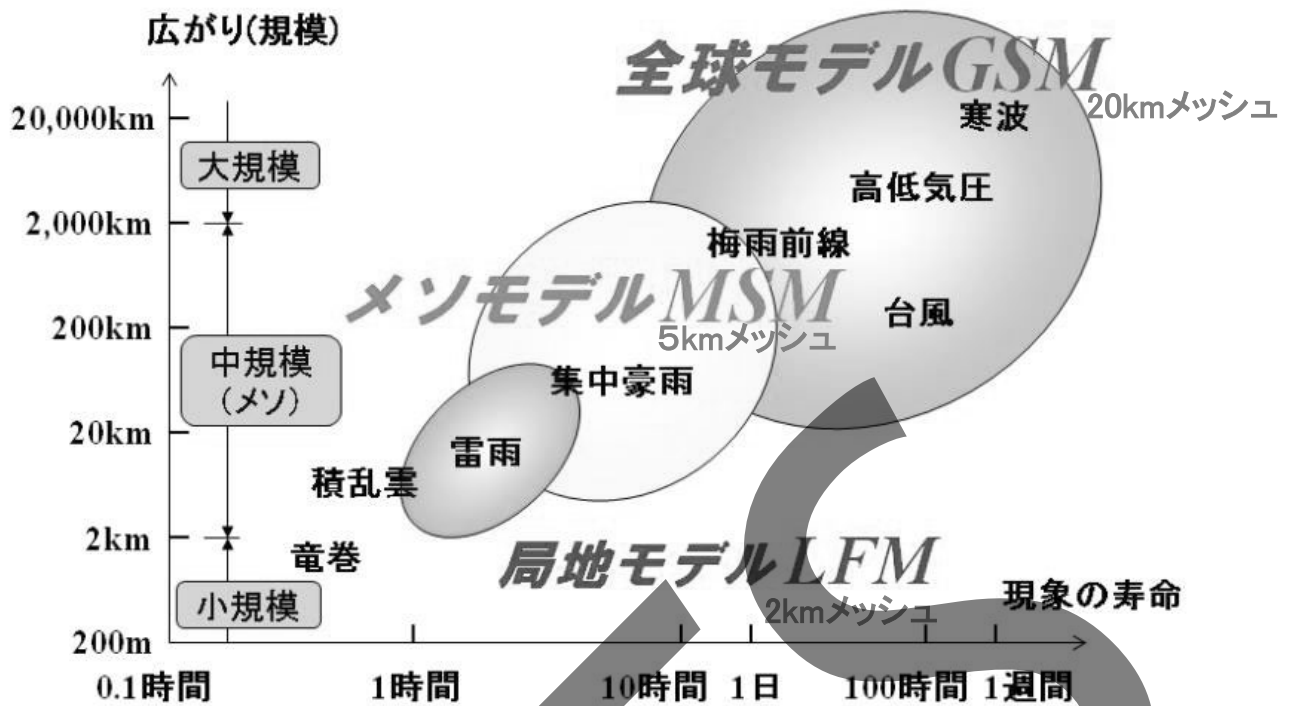
数値予報モデルでは、観測データは、計算を開始するときの大気の状態 (これを初期値という) を現実のものに近づけるために使われる。

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 <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、完全なモデルはないので常に予測誤差がつきもの



気象庁の数値予報モデルが対象とする気象現象の水平及び時間スケール

(出典:気象庁) <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-4.html>

- ✓ 大気現象の時間と空間のスケールにはある程度の対応関係が存在
- ✓ 現象の時間・空間スケールによって使うモデルの種類が異なる

## ・気象予測は発電量予測の基礎データとして重要

気象庁現業数値予報モデル…防災気象、航空気象情報、週間予報

- ✓ 直接日射量の予測
- ✓ 数日、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)

予測値 + 予測誤差(信頼区間) → 電力運用計画において重要  
 ※発電量:工学モデルを利用 (火力、水力、揚水発電など)  
 ※日射の予測の大外れもする場合もある。

## 目的

現業数値予報モデルで予測された日射量について検証  
 (気象官署の日射データをベースに)

- ※ GPVIには日射予測値は含まれていないが、今後公開されることを期待
- ※ 本研究は気象研との共同研究において実施されました

つくばでの検証  
2012年  
1日前予測

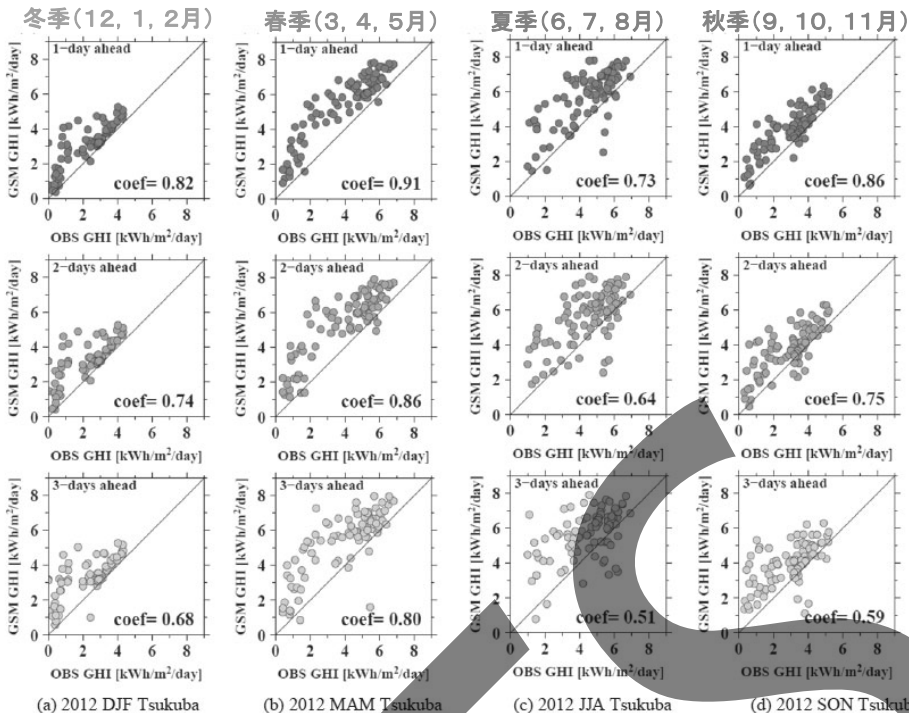


Fig. 2. Forecast errors of daily GHI forecasts obtained from the GSM at each season: (a) winter (December to February; DJF), (b) spring (March to May; MAM), (c) summer (June to August; JJA) and (d) autumn (September to November; SON), respectively at Tsukuba station in 2012.

(大竹ら、2014、電気学会論文誌B)

- ✓ 全球予報モデルによる1~3日前予測(日積算値での検証)
- ✓ GSMでは概ね季節によらず過大予測

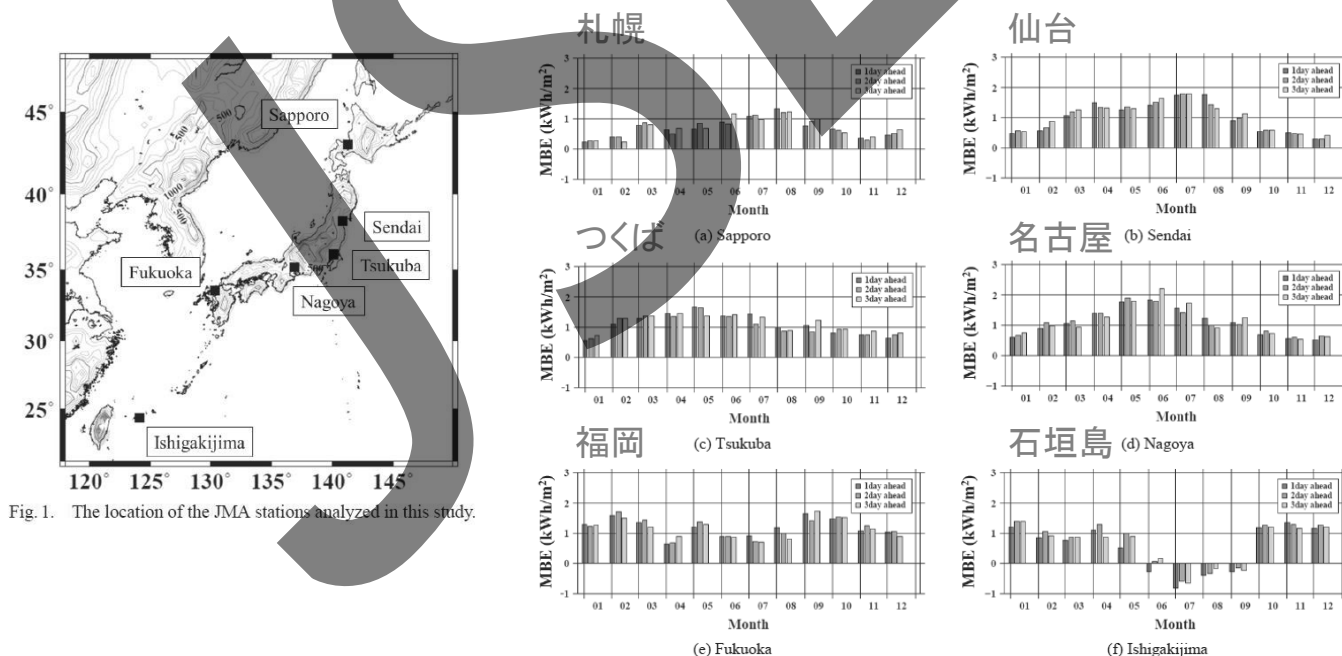
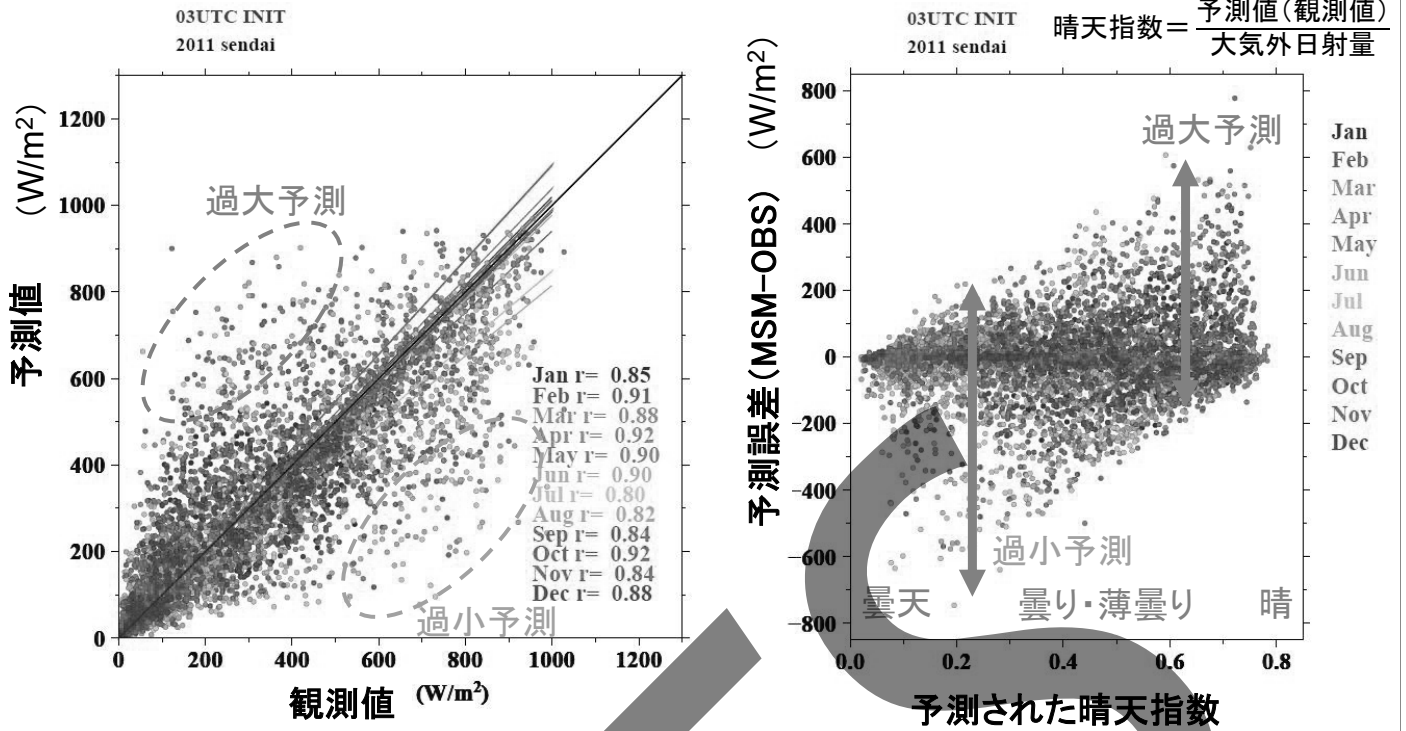


Fig. 1. The location of the JMA stations analyzed in this study.

Fig. 8. Monthly MBE at every different forecast lead times (from 1-day ahead to 3-days ahead) in 2012 at (a) Sapporo, (b) Sendai, (c) Tsukuba, (d) Nagoya, (e) Fukuoka and (f) Ishigakijima, respectively.

(大竹ら、2014、電気学会論文誌B)

- ✓ 日積算値での予測誤差は地点毎、季節毎に傾向が異なる。
- ✓ いずれもRMSE(図略)によれば、過大予測が顕著。
- ✓ GSMでは海外地点での予測も可。しかし、予測誤差は日本とは異なる(要調査)。



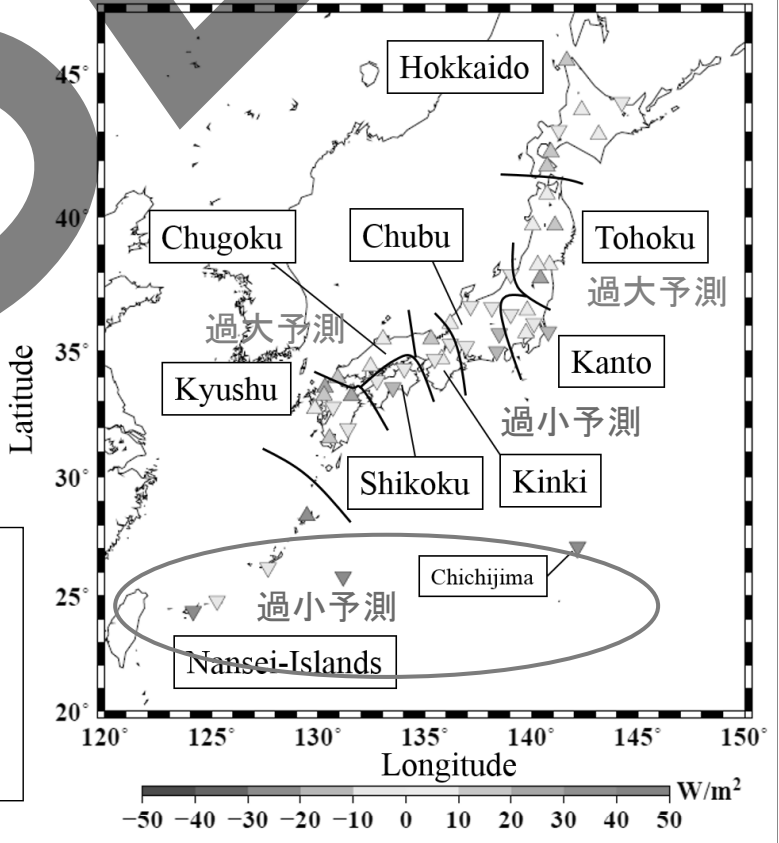
- ✓ 概ね一対一に近い日射の予測、大きく予測を外す場合もある。
- ✓ 予測誤差は晴天指数(天候)と関係:  
薄曇り→予測過大、曇天→予測過小

平均誤差 (MBE, mean bias error)

2012年 03UTC初期値の予測

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

- ✓ 地域によって予測誤差の傾向が異なる
- 沖縄・南西諸島  
→ 日射量予測の過小傾向
- 関東から中国・四国にかけて  
→ 日射予測過小
- 北海道、東北、九州では過大予測



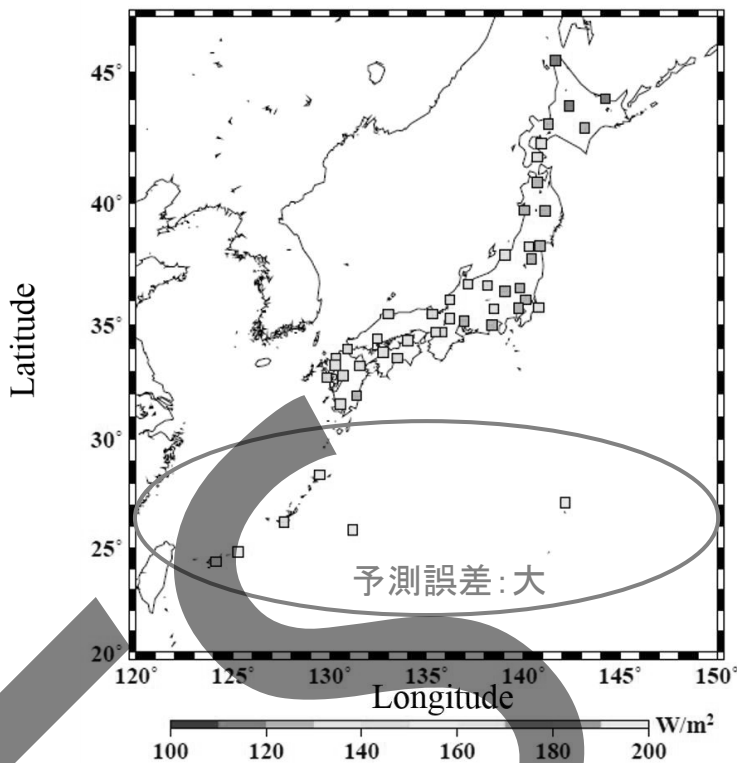
MBE (Ohtake et al., 2015, Solar Energy)

平方根平均二乗誤差  
(RMSE, root mean square error)

2012年 03UTC初期値の予測

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

✓ 沖縄・南西諸島、日本の南海上  
⇒ RMSE: 特に大



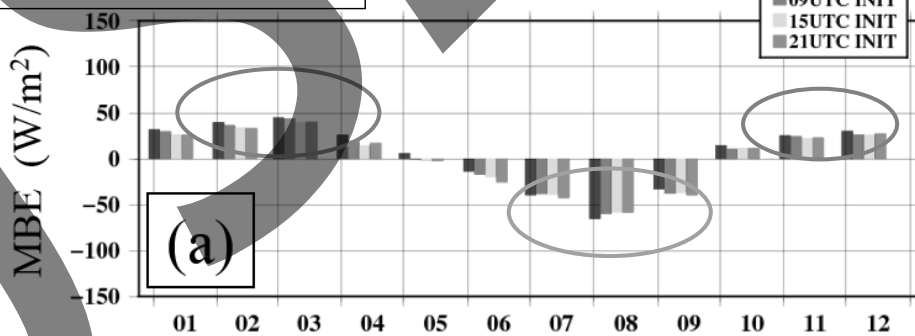
(Ohtake et al., 2015, Solar Energy)

✓ 最大±50W/m²程度 夏季の過小傾向、冬季の過大傾向が顕著

2012年のケース (日本全国)

平均誤差  
(MBE, mean bias error)

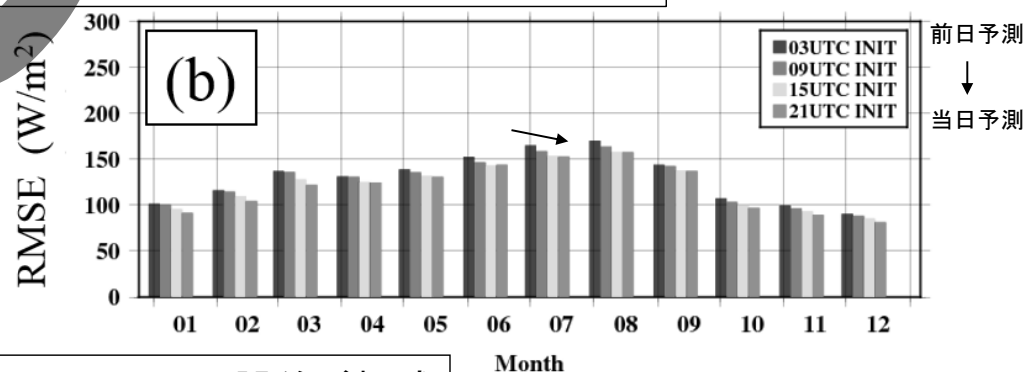
$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (FCST_i - OBS_i)}{N}$$



✓ 約90-160W/m²程度：特に夏季（梅雨期など）

平方根平均二乗誤差  
(RMSE, root mean square error)

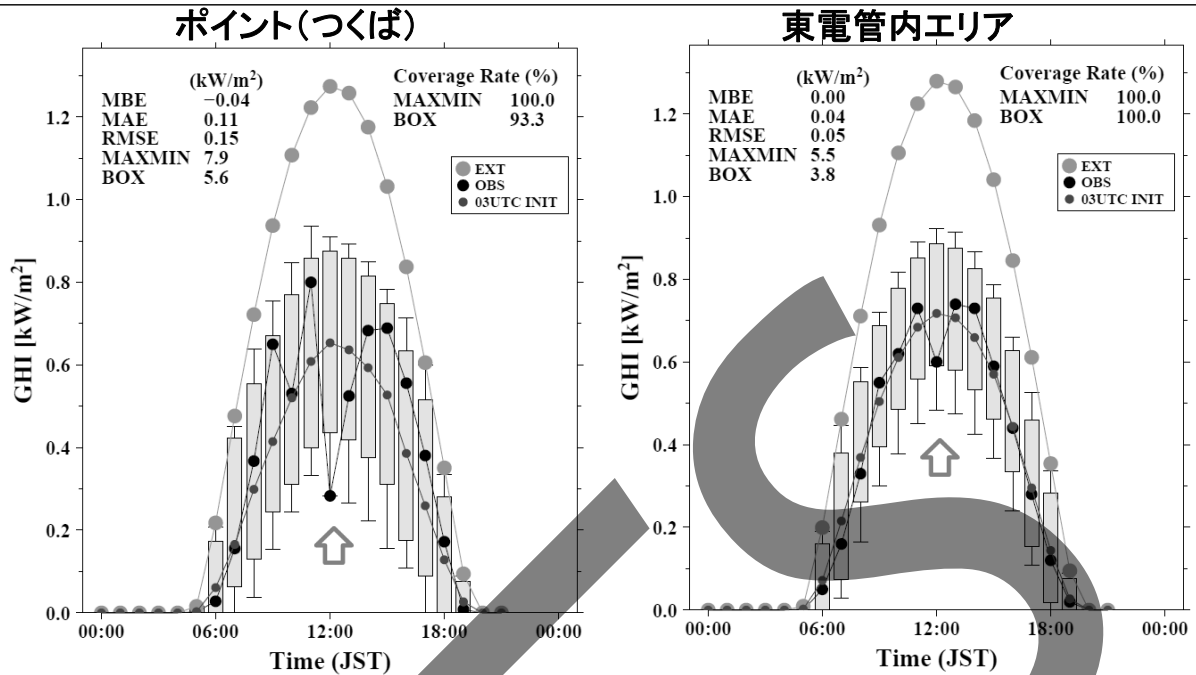
$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(FCST_i - OBS_i)^2}{N}}$$



✓ 当日予測で誤差が軽減

(Ohtake et al., 2015, Solar Energy)

- ☑ MSMのポイント予測(つくば)では12時頃の局所的な変動は表現できていないが(図左)、東電エリアの広域エリア(領域平均, 気象官署6地点)で解析を実施(図右)
- ☑ 信頼性区間を約68%程度まで縮小を確認(均し効果)



- ✓ 広域エリアの方では信頼区間の幅の低減にも効果がある。
- ✓ ピンポイント予測は現状でも困難。広域エリアでの予測の利用が望ましい。

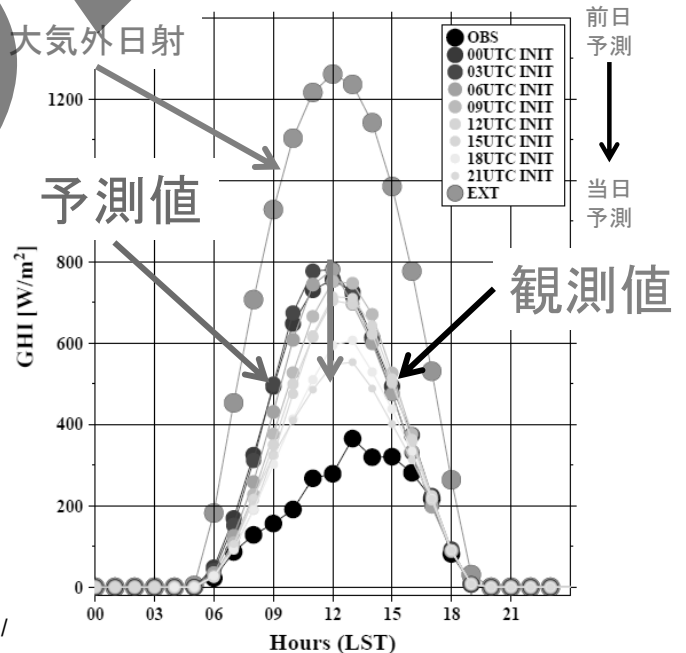
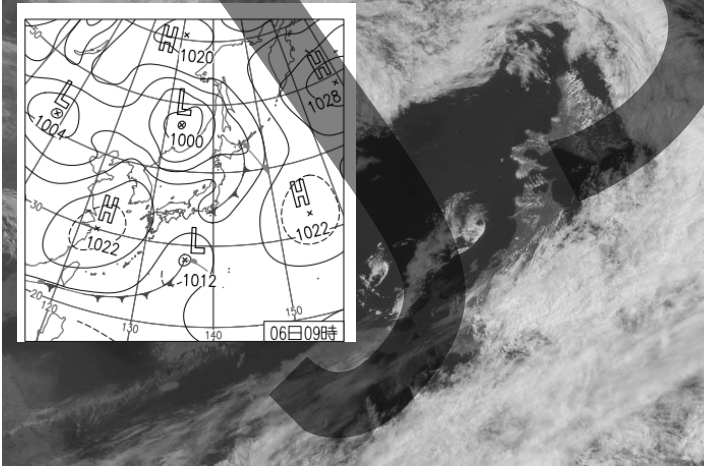
(参考 Ohtake et al., 2014 Energy Procedia)

2014年5月6日9時の天気図と衛星画像

2014年5月6日 広域(東電エリア)日射量予測

14050609JST

MSM Lf Site: tokyoden  
140506



関東地方は寒冷前線の通過

出典  
天気図 気象庁: <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/>  
気象衛星画像: 高知大学気象情報頁 <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/>

- ✓ 広域エリアで前日予測が大外れ(過大予測のケース)する場合もある  
→広域で電力不足(停電)の恐れ。
- ✓ 予測の更新により、予測誤差が低減する傾向もある。

予測値(9時間先まで予測)

2時初期値から12時初期値まで

(つくばでのポイント予測)

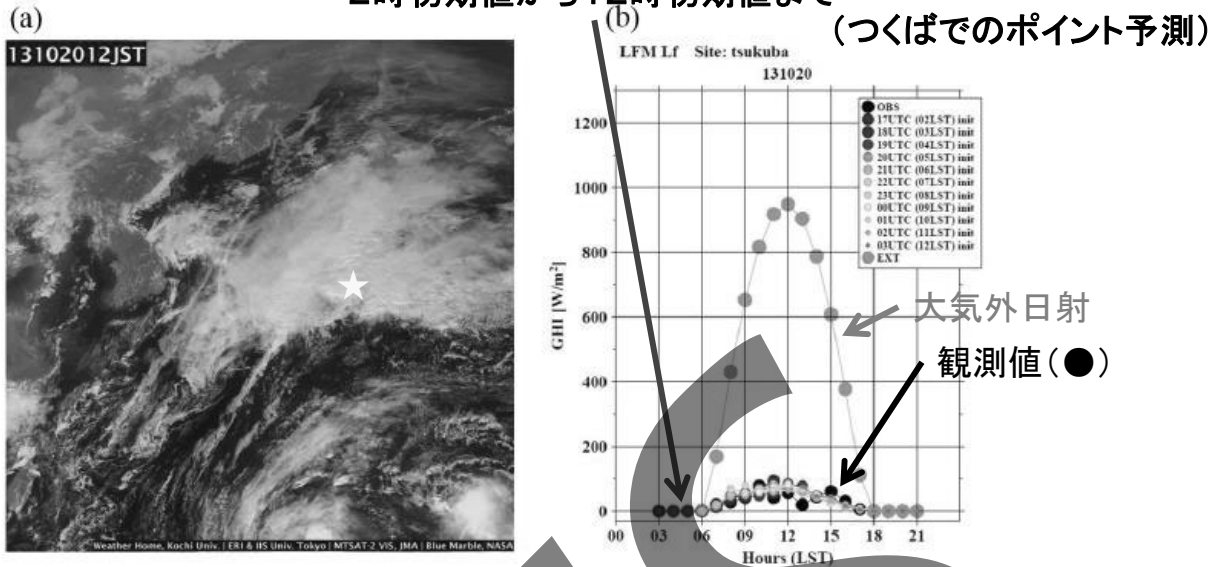


図1 2013年10月20日の(a)衛星可視画像と(b)同日の地上の観測された日射量(黒丸●)とLFM(カラー)の日射量予測値の時系列. LFMの予測値は一時間毎に初期値を変えた9時間予測の結果. 前日の17UTC(02LST)から当日03UTC(12LST)初期値までをプロットしている. (大竹ら 2014、第33回エネルギー・資源学会研究発表会 講演論文集)

✓ 光学的に厚い雲での日射予測は良好  
異なる初期値の予測でもばらつきは小さい

予測値(カラー)

大気外日射

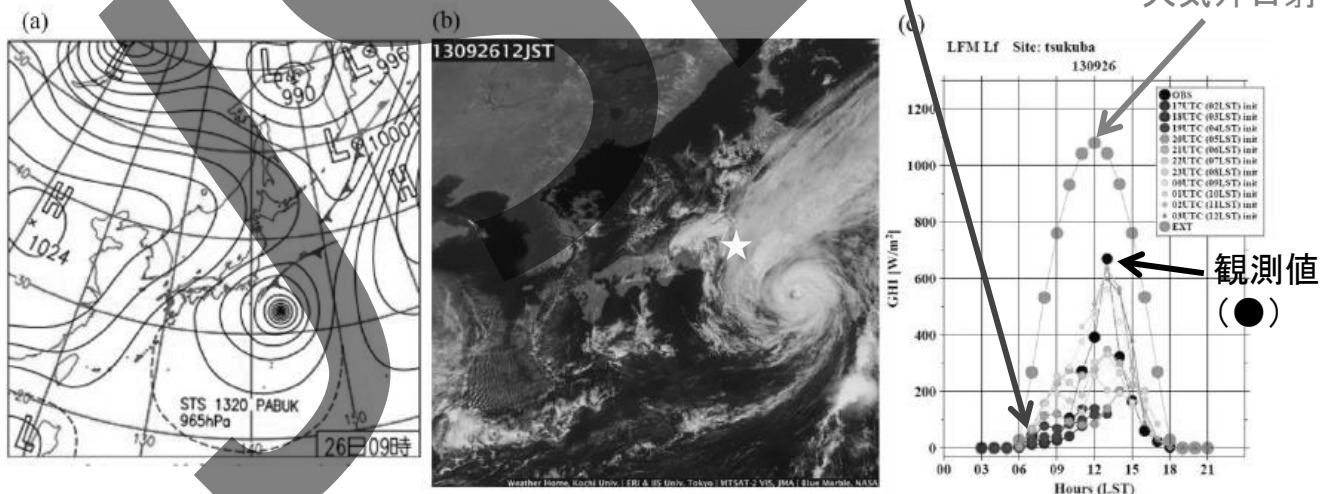


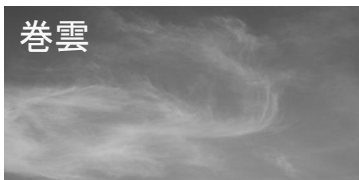
図2 2013年9月26日の(a)地上天気図, (b)衛星可視画像, 及び(c)同日の地上の観測された日射量(黒丸●)とLFM(カラー)の日射量予測値の時系列. (大竹ら 2014、第33回エネルギー・資源学会研究発表会 講演論文集)

✓ 初期値を更新することで(予測のリードタイムが短くなるほど)予測の精度が向上(直前の観測値が予測精度を向上)



High level clouds (上層雲)

10種雲形



巻雲  
Cirrus(Ci)

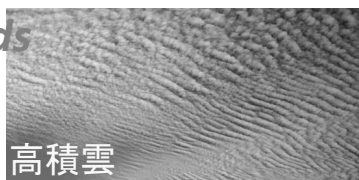


巻積雲  
Cirrocumulus(Cc)



巻層雲  
Cirrostratus(Cs)

Mid level clouds (中層雲)



高積雲  
Altostratus(As)



高層雲  
Altostratus(As)



乱層雲  
Nimbostratus(Ns)

Low level clouds (下層雲)



層積雲  
Stratocumulus(Sc)



層雲  
Stratus(St)



積雲  
Cumulus(Cu)



積乱雲  
Cumulonimbus(Cb)

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>

## 数値予報モデルと予測誤差分析

- ✓ 数値予報モデルには各種ある。しかし、予測誤差には各モデルに予測の癖が存在。予測値を利用する前に誤差分析が重要。
- ✓ 予測誤差には季節性や地域性も見られる。
- ✓ 予測値の信頼度の情報、日射予測の大外れの事例  
→ 電力システムには予測大外れの予兆検出も必要な情報
- ✓ 予測誤差、モデル検証→数値予報モデルの精度向上→日射量予測の精度向上→余分なコスト低減→電力システムの安定運用、燃料費負担軽減へ

### 今後の課題

- ✓ 日射を観測している気象官署は約50地点: 広域エリアでの日射予測の検証には面的な日射量観測値も必要。

### 気象庁メソモデル(MSM)の日射量予測精度

Ohtake. H., K-I. Shimose., Fonseca. Jr., T. Takashima., T. Oozeki and Y. Yamada, 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

Ohtake. H., Fonseca. Jr., T. Takashima., T. Oozeki., K-I. Shimose., and Y. Yamada, 2015:Regional and seasonal characteristics of global horizontal irradiance forecasts obtained from the Japan Meteorological Agency mesoscale model, Solar Energy, (accepted)(new!!)

### MSMの日射量予測値の信頼区間の推定

Ohtake. H., Joao Gali da Silva Fonseca Jr, T. Takashima., T. Oozeki and Y. Yamada, 2014: Estimation of confidence intervals of global horizontal irradiance obtained from a weather prediction model. Energy Procedia, Vol. 59, 278-284. doi:10.1016/j.egypro.2014.10.378

### 全球モデル(GSM)の日射量予測精度

大竹秀明, 下瀬健一, Joao Gari da Silva Fonseca Jr, 高島工, 大関崇, 山田芳則, 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, 501-509. doi:10.1541/ieejpes.134.501

### 気象庁数値予報モデルに関するテキスト

#### 気象庁 数値予報課報告・別冊

気象庁ホームページからダウンロード可能 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpreport/nwpreport.html>

#### 気象庁 数値予報解説資料(数値予報研修テキスト)

気象庁ホームページからダウンロード可能 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwptext/nwptext.html>