

出力予測の大外れ時のアンサンブル予報の分析

大竹秀明^{1,2,4}、大関崇¹、高松尚宏¹、高根雄也²、森友輔³、若尾真治³、仲江川敏之⁴
 産業技術総合研究所 1 再生可能エネルギー研究センター、2 環境創生研究部門、
 3 早稲田大学、4 気象研究所

はじめに

- 電力需給運用 ⇒ 前日の出力予測情報（数値予報ベース）の活用が進む
- 出力予測誤差が大きいケース ⇒ **電力需給バランスに課題**
- 確率予測や複数（アンサンブル）予測の活用 ⇒ 予測の信頼度情報の利用
- 海外：予測の不確実性の情報を用いたEVや蓄電池制御の研究なども進む（例えば、El-baz, 2018 et al. ⁽¹⁾など）
- メソアンサンプル予報システム（MEPS）の現業化（2019/6/27）
⇒ 気象現象の発生を確率的に捉える。降水、気温などの分析は進んでいるが、太陽光発電の出力に
関係する日射量に関する分析が必要。

【先行研究】

- MEPSデータにベータ分布を適応した新たな信頼度情報の作成（野原と菅野、2021⁽²⁾）
- MEPSにおける日射量予測の大外れ事例の抽出、4か月分のデータの初期評価（大竹、2021⁽³⁾、電気学会B部門大会）
- MEPSを入力として、機械学習(SVM)の複数予測器の利用と統合手法による出力予測の大外れの低減効果（Takamatsu et al. 2021⁽⁴⁾）

アンサンブルデータ

メソアンサンプル予報（MEPS）の仕様

| | | |
|------------|--------------------------|--|
| 運用開始日 | 2019年6月27日 | |
| 実行頻度（初期時刻） | 1日4回（00, 06, 12, 18 UTC） | |
| 予報期間 | 39時間 | |
| 数値予報モデル | 名称 | isctca |
| | 水平格子間隔・鉛直層数 | 5 km, 76層 |
| | 初期値 | メソ解析値 |
| | 境界値 | 大気 地中海域第1・2層は解析値、第3・4層は気候値（数値予報モデルで用いる9層に内挿して利用）、土壌水分（体積含水率）は解析値 |
| 境界値 | 海面 | 北西太平洋高解像度海面水温解析値及び北半球海面解析値 |
| | 陸面 | 地中海域は熱伝導方程式、体積含水率は強制復元法により予測 |
| アンサンブル手法 | 初期摂動 | SV法 |
| | モデル摂動 | なし |
| メンバー数 | 21（コントロールラン1＋摂動ラン20） | |

出典 気象庁（2020）、数値予報課報告「メソスケール気象予測の現状と展望」⁽⁵⁾
 気象庁メソモデル（MSM）をコントロールランとして初期摂動を与えてアンサンブル予報を実施
 本研究ではオリジナルデータを用いており、気象業務支援センター提供のデータとは異なる。

全球アンサンブル予報（GEPS）の仕様

| | |
|---------|--|
| 数値予報モデル | TL479（格子間隔約40 km: 0.375°） ² |
| 水平分解能 | 100層（最上層0.01 hPa） |
| 鉛直層数 | 00, 06, 12, 18UTC ⁹ |
| 初期時刻 | 132時間（初期時刻: 06, 18UTC） ⁹ |
| 予報時間 | 264時間（初期時刻: 00, 12UTC） |
| メンバー数 | 27メンバー（26摂動ラン＋コントロールラン） |

出典：気象庁「数値予報解説資料（数値予報研修テキスト）」第52巻（令和元年度）最近の数値予報システムとガイダンスの改良について⁽⁶⁾

- ✓ 最大11日先までの予測データがある。出力は6時間毎。
- ✓ 全球モデル（Global spectral model, GMS）をベースにアンサンブル予報を実施
- ✓ 出力変数：東西風、南北風、気温、湿度、地上気圧、全雲量、上層雲量、中層雲量、下層雲量、降水量
- ✓ 出力変数には日射量がないので、雲量などから機械学習などで推定する必要あり

目的

出力予測が大きく外れた場合のMEPSと全球アンサンブル予報（GEPS）の雲量の比較について事例分析を実施 ※本研究は、気象庁、気象研、日本大学、産総研の共同研究課題「メソアンサンプル予報を用いた再生可能エネルギー出力予測に関する研究」の中で実施中

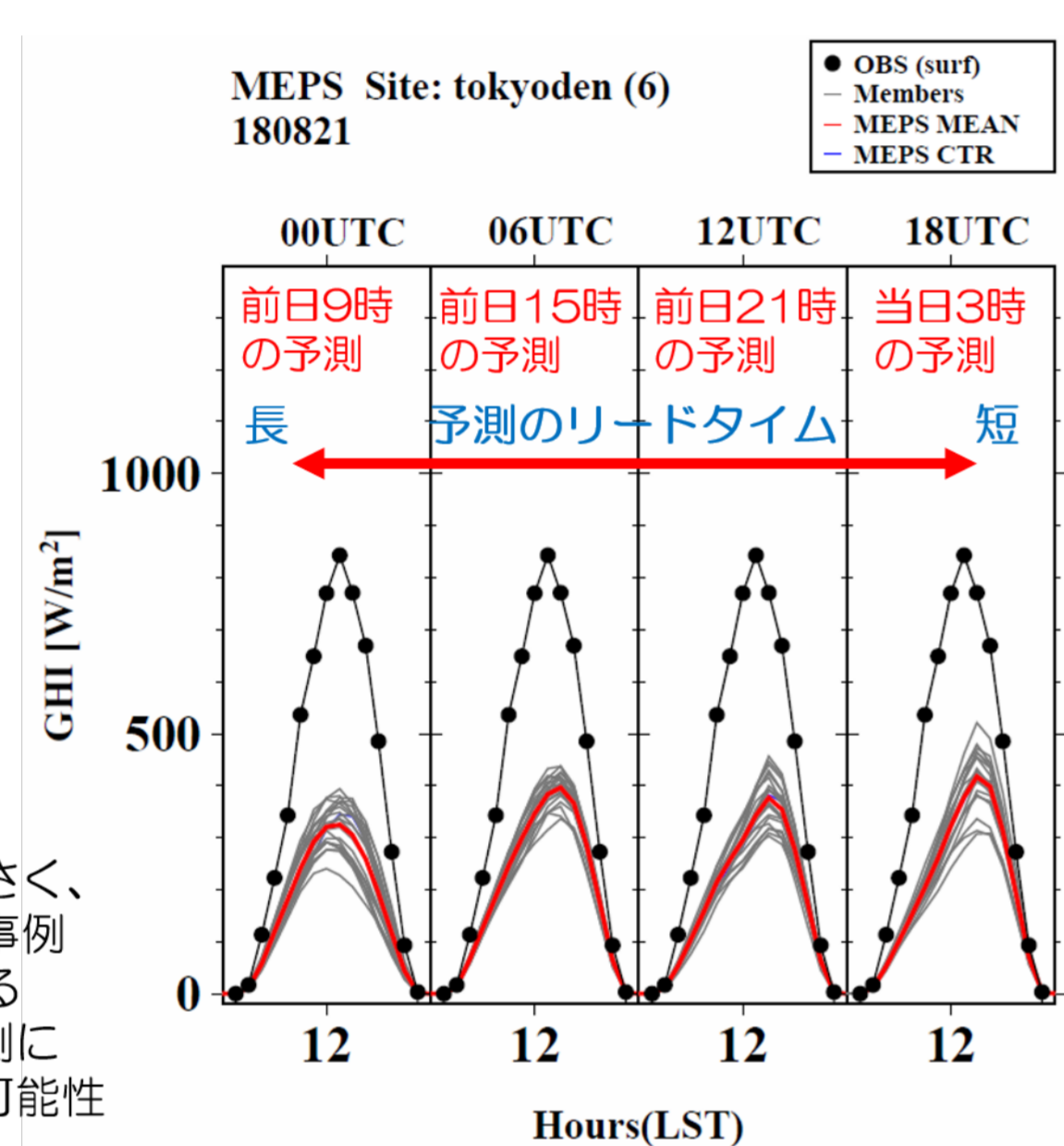
事例（日射量予測の大外れ）：2018年8月21日

MEPSの日射量の予測大外れ事例
 事例：曇天
 2018/8/21

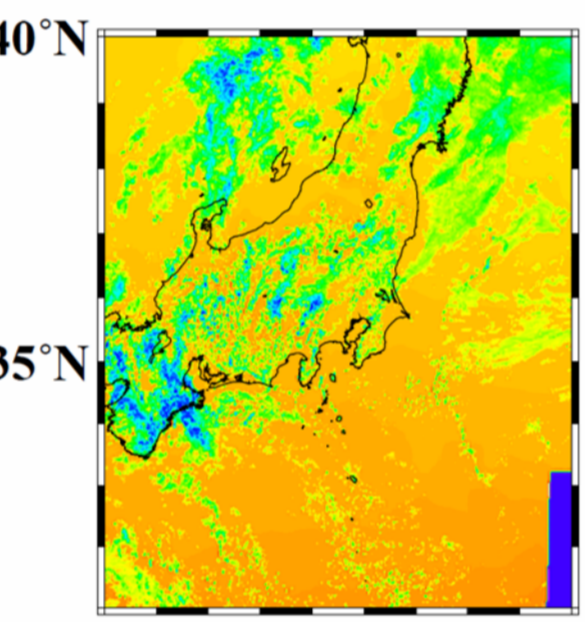
初期値 2018.8.20
 00, 06, 12, 18UTC

日射量（前1時間平均値）
 気象官署6地点平均（●印）
 アンサンブルメンバー（灰）
 MEPSアンサンブル平均（赤）
 MSM（青）

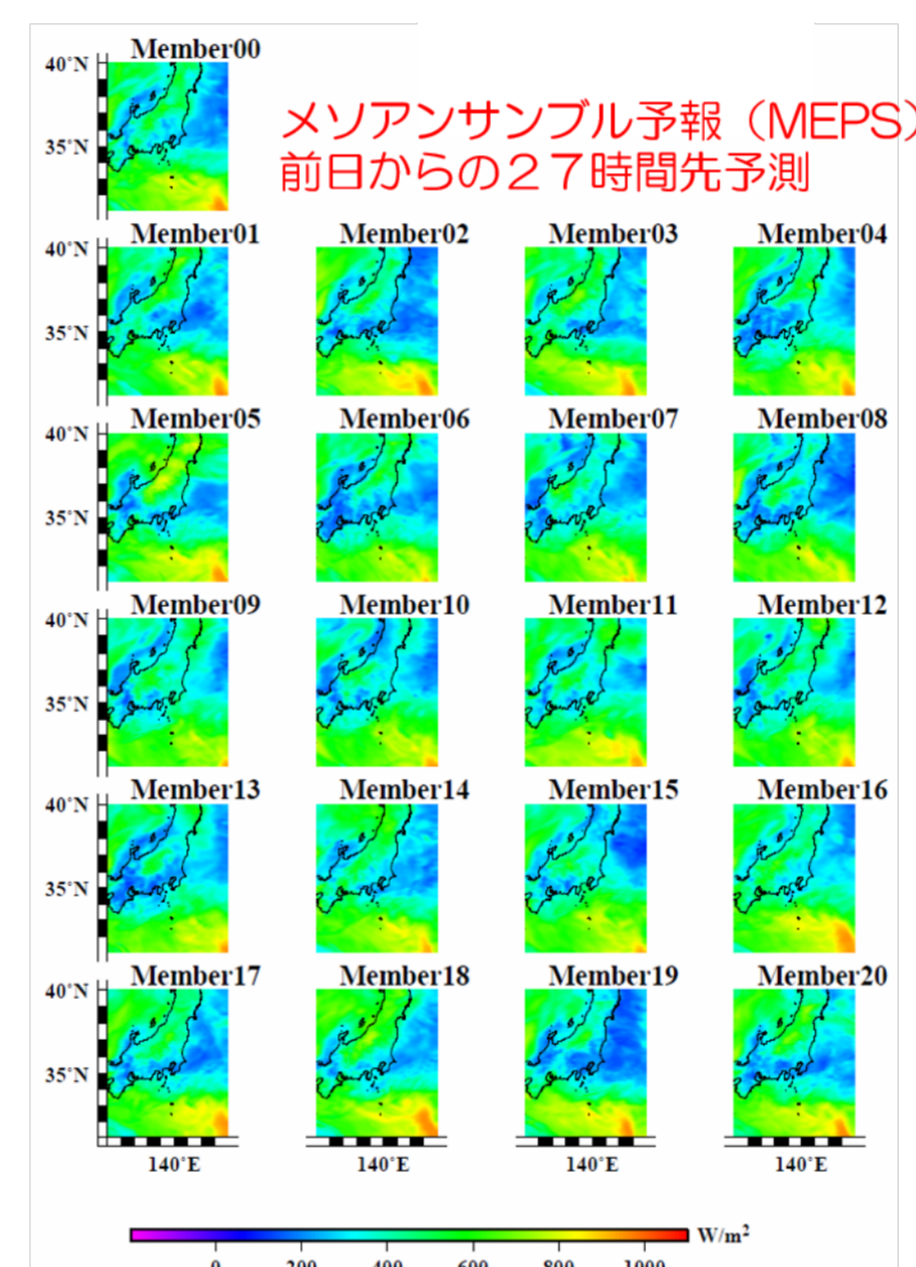
- 前日予測ではばらつきが小さく、さらに予測が大きく外れた事例
- 当日予測も大きく外れている
⇒ 初期値のばらつきが雲の予測に多様性を与えていない可能性がある



衛星推定日射量
 2018.8.21 12時の地上日射量

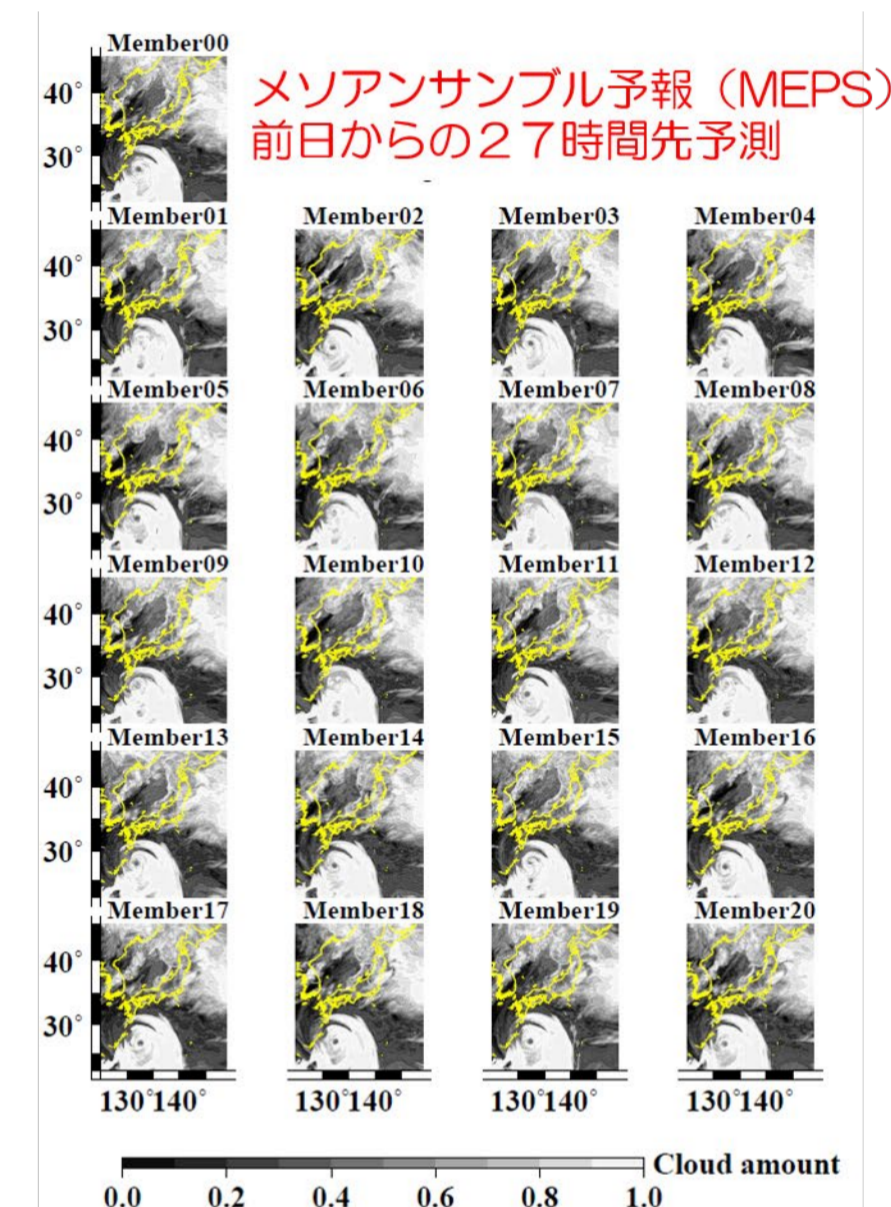


- 衛星からの日射量推定値：北関東から南関東にかけて高め（雲量が少ない）
- MEPS：関東エリアでは各メンバーで日射量を低め ⇒ 雲を広くor厚く予測



2018.8.20 09時初期値
 1日先予測
 予測対象：2018.8.21 09時

- MEPS：前日の予測では、各雲量の予測のばらつきが小さい ⇒ 雲量の予測のばらつきが小さいため、地上の日射量のばらつきも小さい
- MEPSでは、全球モデルを境界条件に与えているので、その特性を境界条件付近から受ける特性がある



全球アンサンブル予報の雲量予測

全球アンサンブル予報による雲量予測（27メンバー）



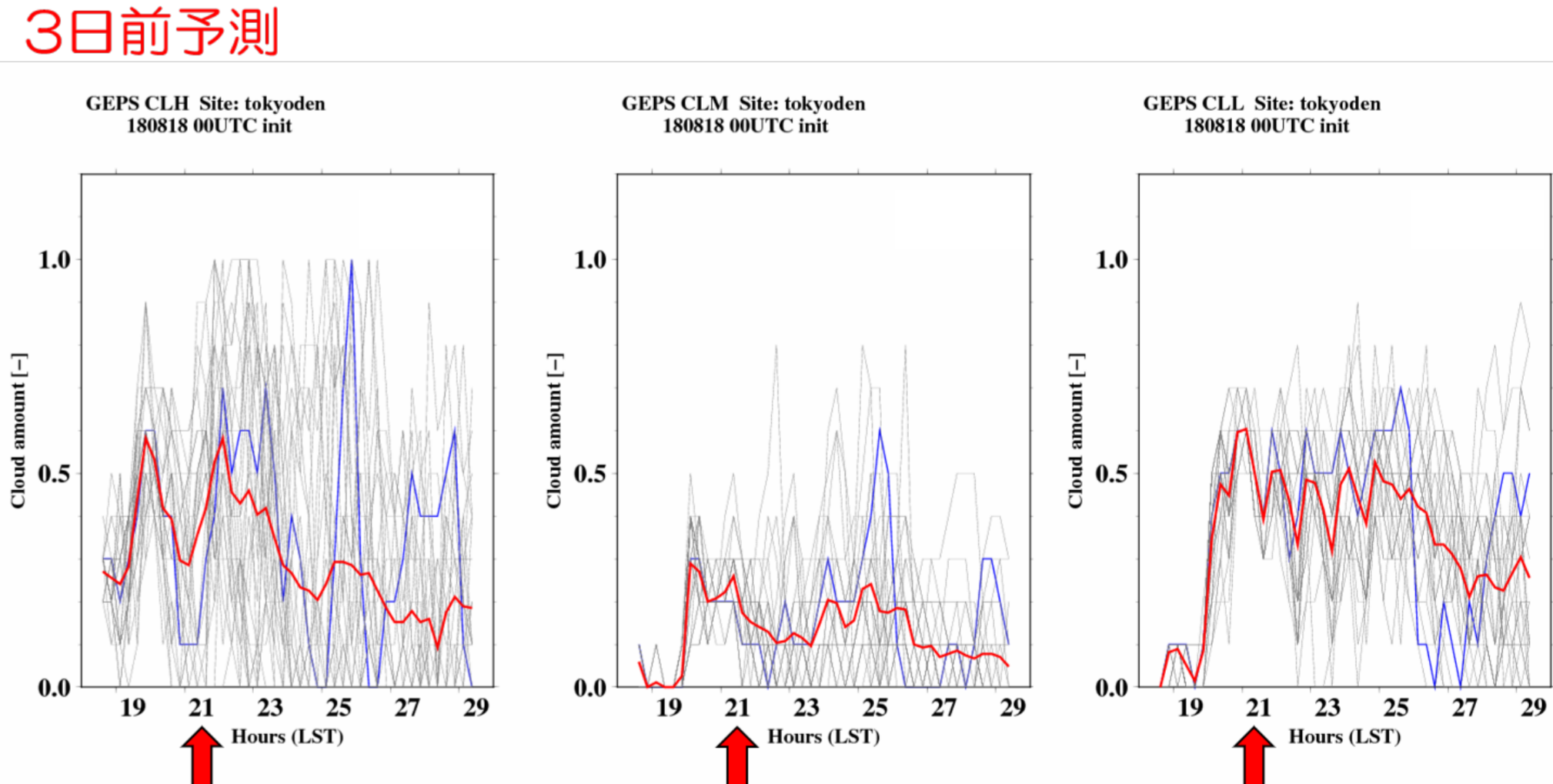
2018.8.20 09時初期値
 1日先予測
 予測対象：2018.8.21 09時

- 前日予測 ⇒ 予測時間が短いこともあり、雲量予報のばらつきが小さい

2018.8.18 09時初期値
 3日先予測
 予測対象：2018.8.21 09時

- 3日先の予測：雲量予報のばらつきが大きい（予測の不確実性が高い）

上層雲量 3日前予測 中層雲量 下層雲量



- GEPS：上層雲量、下層雲量は多いが、中層雲量が少ない傾向。予測が進むとばらつきも大きくなる傾向

アンサンブルメンバー（灰）
 GEPSアンサンブル平均（赤）
 GSM（青）

まとめと今後の展開

- ✓ メソアンサンプル予報（MEPS）の出力予測の大外れ事例に注目して、全球アンサンブル予報（GEPS）の雲量予報との比較解析を行った。
- ✓ MEPS（39時間前予測）のアンサンブルメンバー間のばらつきは小さいが、日射量予測の大外れ事例を確認した。
- ✓ GEPSによる数日先の雲量予測の情報を解析すると、3日前頃にはばらつき（予測の不確実性）を確認することができた。
- ✓ 中層、下層に比べて上層雲量ではばらつきが大きく、中層雲量はやや少なめであった。

（今後の予定）

- GEPSの数日先のばらつきの情報からMEPSの日射量予測の大外れを事前に検知できないかを分析
- 事例の蓄積から、日射量予測の大外れ事例の雲量予測傾向を確認

参考文献

(1) El-Baz, W., M. Seufzger, S. Lutzenberger, P. Tzscheuschler, U. Wagner, 2018, Impact of probabilistic small-scale photovoltaic generation forecast on energy management systems. Solar Energy, Vol.165, 1, 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.069>

(2) 野原, 菅野, 2021: 太陽光発電出力確率予測 - 中国エリアにおける予測事例とその検証 -, 電中研報告, C20008. <https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDetail?reportNoUkCode=C20008>

(3) 大竹, 2021: メソアンサンプル予報による日射量予測大外れ時のスプレッドマップ, 令和3年電気学会電力・エネルギー部門大会 (2021年8月25日)

(4) Takamatsu, T., H. Ohtake, T. Oozeki, T. Nakaegawa, Y. Honda, M. Kazumori, 2021: Regional Solar Irradiance Forecast for Kanto Region by Support Vector Regression Using Forecast of Meso-Ensemble Prediction System. Energies, Vol. 14, No. 11, 3245. <https://doi.org/10.3390/en14113245>

(5) 気象庁, 2020, 数値予報課報告「メソスケール気象予測の現状と展望」, https://www.ima.go.jp/ima/kishou/books/nwpreport/66/No66_all.pdf

(6) 気象庁, 2019, 「数値予報解説資料（数値予報研修テキスト）」第52巻（令和元年度）最近の数値予報システムとガイダンスの改良について. https://www.ima.go.jp/ima/kishou/books/nwptext/52/No52_all.pdf