



# 再生可能エネルギー発電出力量予測 のためのメソアンサンプル予測

---

電力中央研究所

野原 大輔, 田村英寿, 大庭雅道, 門倉真二, 平口博丸

- ・第9回気象庁数値モデル研究会・第45回メソ気象研究会
- ・第2回観測システム・予測可能性研究連絡会

2016年5月17日

 電力中央研究所

# トピックス

1. メソアンサンブル予測手法
  - 週間アンサンブル予報を初期値境界値に
  - 低い解像度の対応
  - アンサンブルメンバーの選択法
  
2. 再生可能エネルギー発電出力量予測への活用事例
  - 太陽光発電
  - 風力発電

## はじめに

- ◆ 太陽光発電出力量予測のために日射量予測が重要になっているが、日射量予測の精度は低く、利用しにくい。
- ◆ この予測誤差の原因は、モデルの不完全性なのか、気象場の不安定性によるものなのか、よく分かっていない。
- ◆ 週間アンサンブル予報は、予測の不確実性の評価に有効だが、気象業務支援センターから入手できる予報値の時空間解像度では不十分な上に、日射量等の変数は利用できない。
- ◆ メソアンサンブル予測を開発し、時空間解像度が高い、確率的な気象予測を試み、再生可能エネルギー発電出力量予測に活用する。

## WRFの設定

WRFバージョン	WPSV3.1.1, WRFV3.1.1
積雲対流モデル	Kain Fritsch
雲微物理モデル	Morrison 2-moment
大気境界層モデル	YSU
陸面モデル	Noah LSM
長波放射モデル	RRTM
短波放射モデル	Dudhia

## 計算条件

水平領域	2,250km × 2,250km
水平格子間隔	15km
水平格子数	150 × 150
中心位置	北緯37度, 東経135度
鉛直格子数	60
時間間隔	90秒

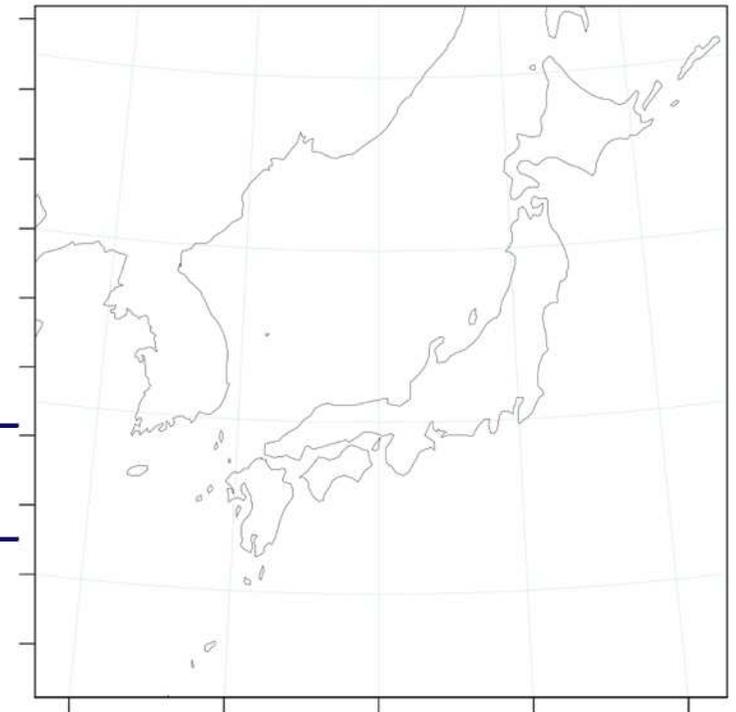
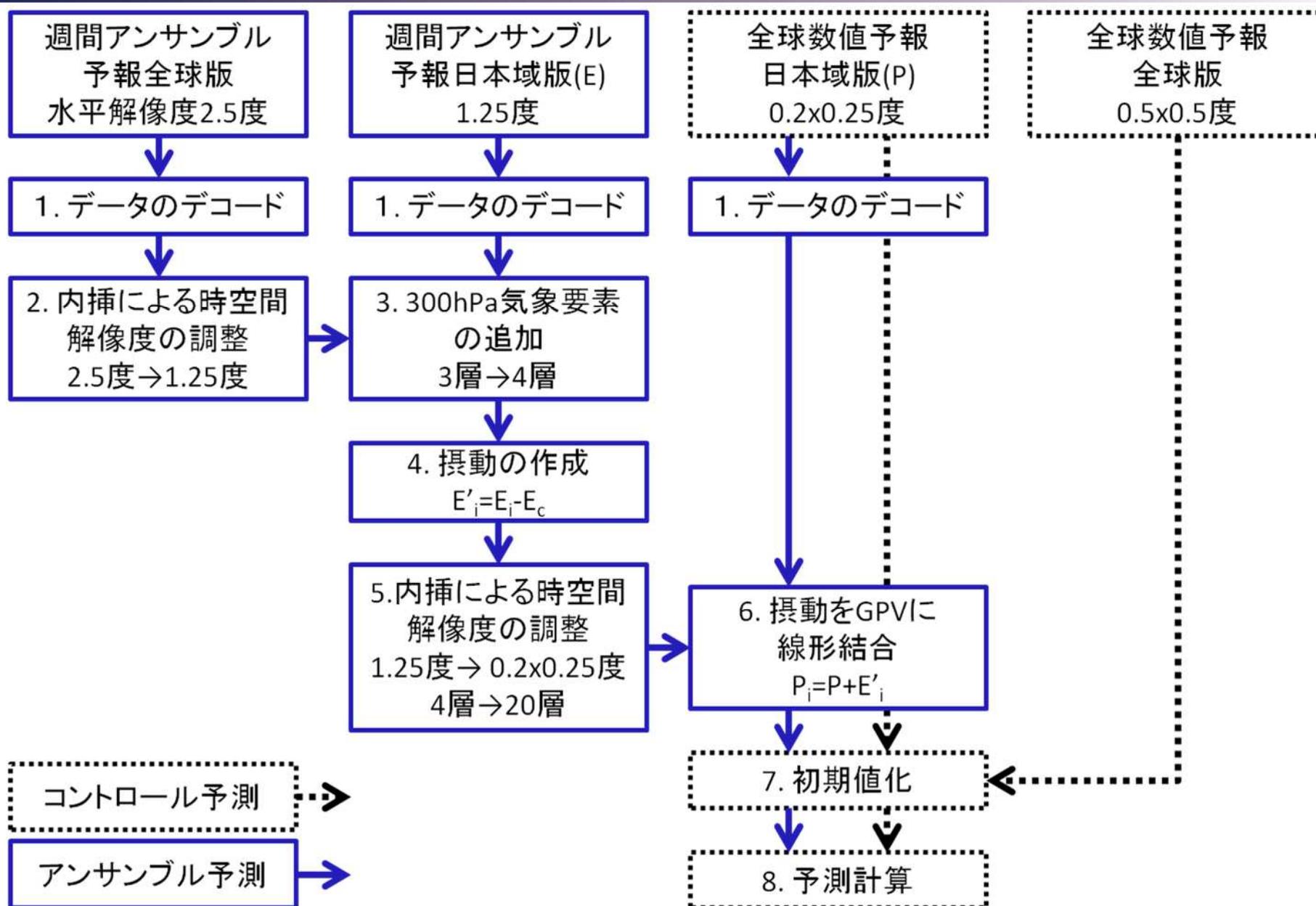


図. 計算領域

# 領域アンサンブル予測手法

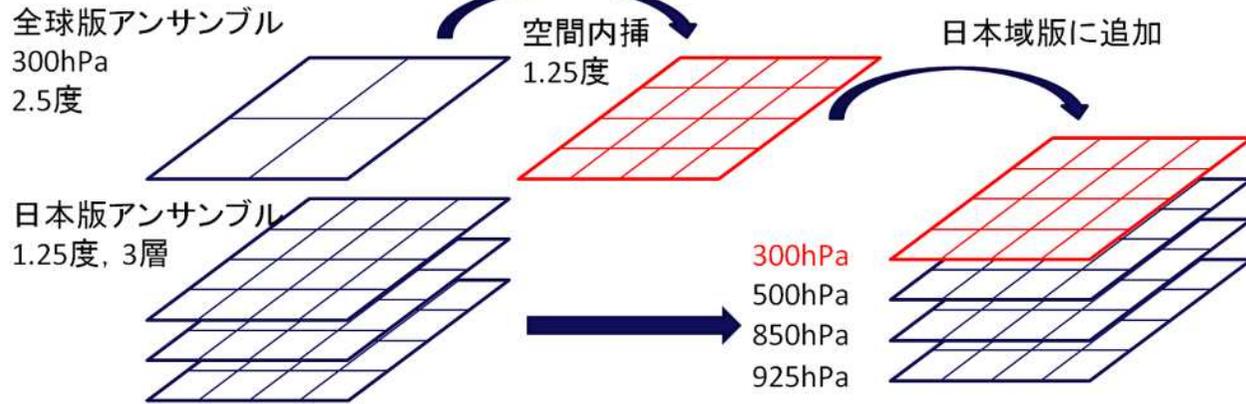


# 気象業務支援センターから入手できるデータ

	GSM-GPV 全球数値予報		WEP-GVP 週間アンサンブル予報	
	全球	日本域	全球	日本域
予報モデル	水平TL959 (約20km) 鉛直100層		水平TL479 (約40km) 鉛直60層	
初期値時刻	3, 9, 15, 21時		9, 21時	
メンバー数	1		27	
予測期間	84時間		264時間	
出力時間間隔	6時間	地上1時間 気圧面3時間	12時間	6時間
配布領域	全球	北緯20~50度 東経120~150度	全球	北緯25~71.25度 東経90~180度
空間解像度	0.5 × 0.5度	0.2 × 0.25度	2.5 × 2.5度	1.25 × 1.25度
鉛直解像度	17層	16層	3層	3層

入手できるアンサンブル予報の鉛直層数はわずか3層

# 気象業務支援センターから入手できるデータ



WEP-GVP	
全球	日本域
300 hPa	
500 hPa	500 hPa
850 hPa	850 hPa
	925 hPa

WEP-GVP	
週間アンサンブル予報	
全球	日本域
水平TL479 (約40km)	
鉛直60層	
9, 21時	
27	
264時間	
12時間	6時間
全球	北緯22.5~71.25度 東経90~180度
2.5 × 2.5度 3層	1.25 × 1.25度 3層

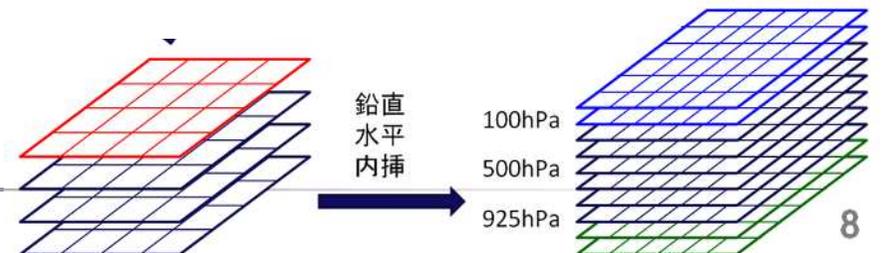
利用できるデータは全て利用

# WEP-GPVの摂動成分を空間内挿してGSM-GPVに

	GSM-GPV 全球数値予報		WEP-GVP 週間アンサンブル予報	
	全球	日本域	全球	日本域
空間解像度	0.5 × 0.5度	0.2 × 0.25度	2.5 × 2.5度	1.25 × 1.25度
鉛直解像度	17層	16層	3層	3層



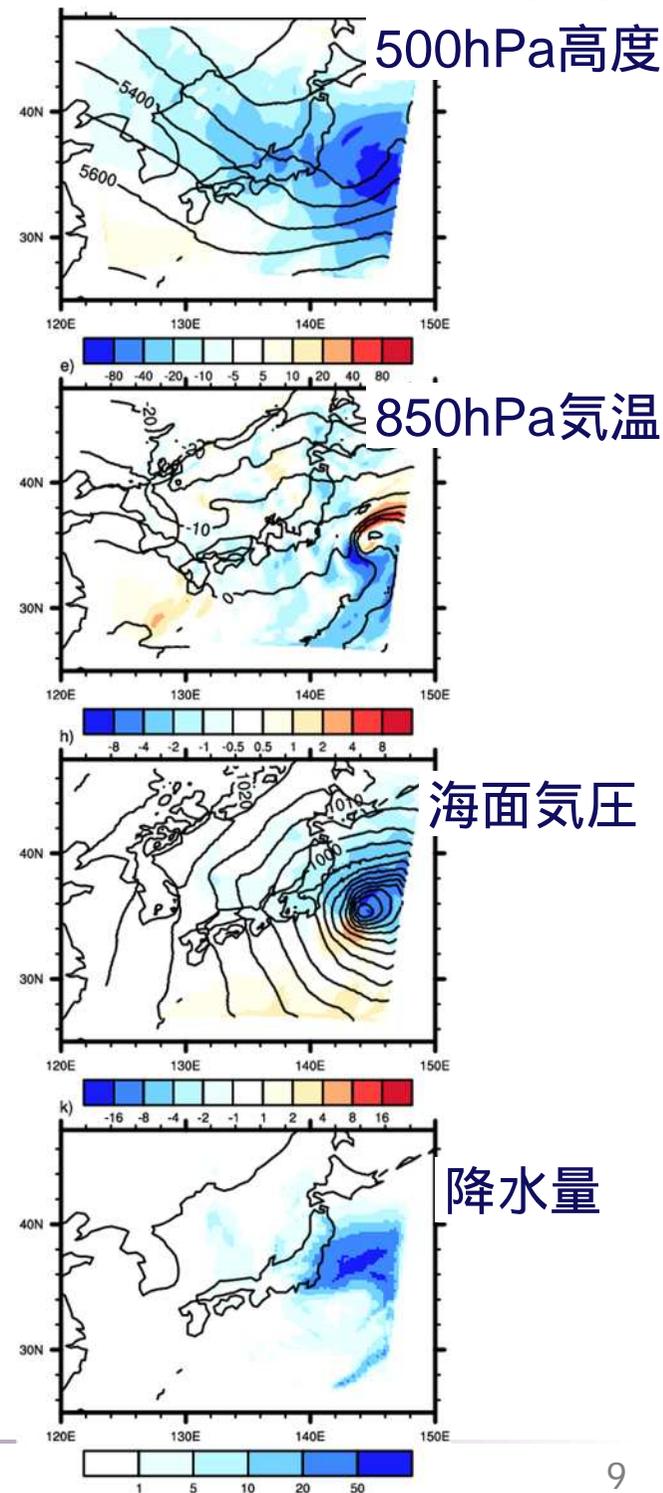
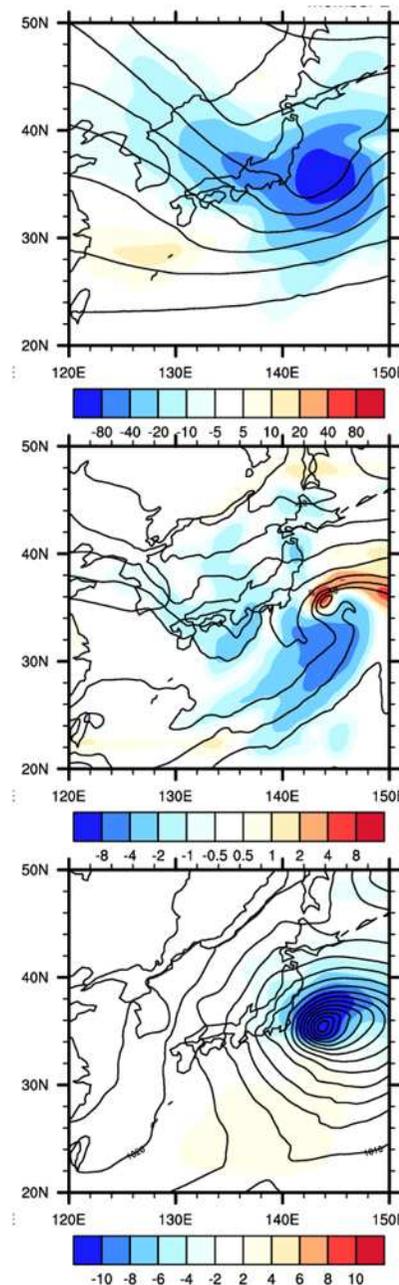
高解像度摂動E<sub>v</sub> 0.2度



# ダウンスケーリング できているのか?

## ◆ 24時間予測の比較

- 低気圧が急発達する事例でも、低気圧の位置、摂動の空間分布を概ね再現。
- 週間アンサンブル予報では配信されていない日射量などの変数も利用可能



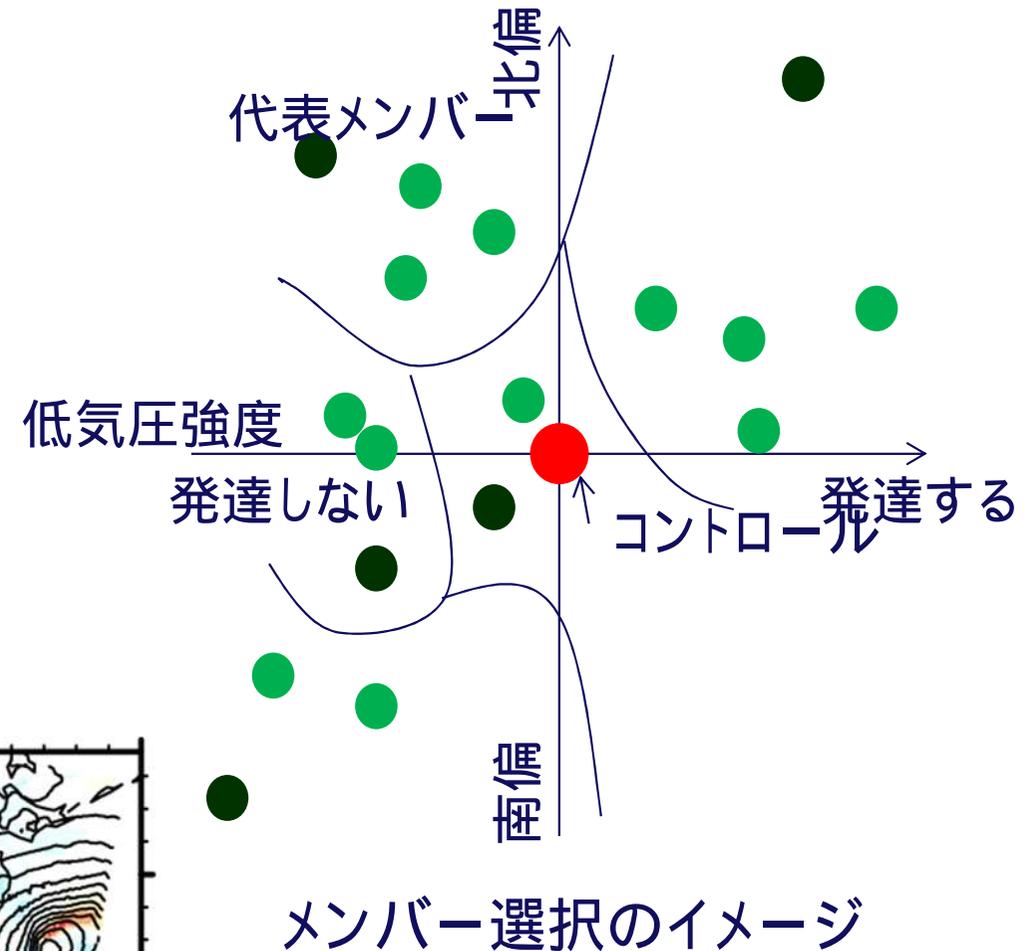
# アンサンブルメンバーの選択法

## ◆ 効果的なアンサンブルメンバー

- ▶ 週間アンサンブル予報に利用されている全球SV法では、日本域で成長する摂動は限られている。
- ▶ スプレッドを稼ぐには、メンバーを厳選する必要がある。

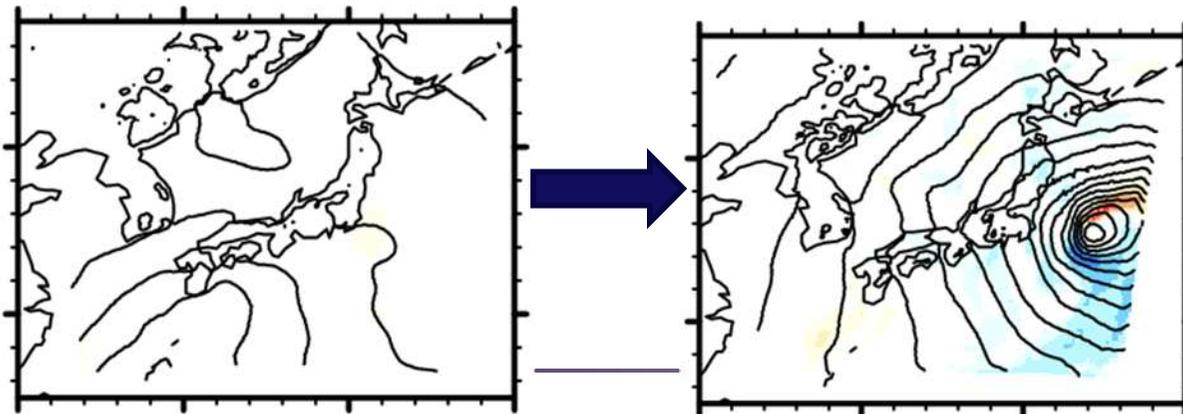
## ◆ アンサンブルメンバーの最適化

- ▶ 週間アンサンブル予報の24時間予報値をクラスター分析しグループ分け、
- ▶ 各グループのもっとも遠い距離のメンバーを選択する。



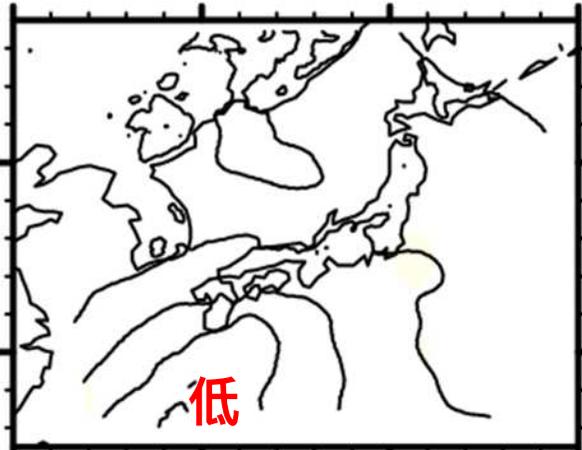
初期値

24時間後

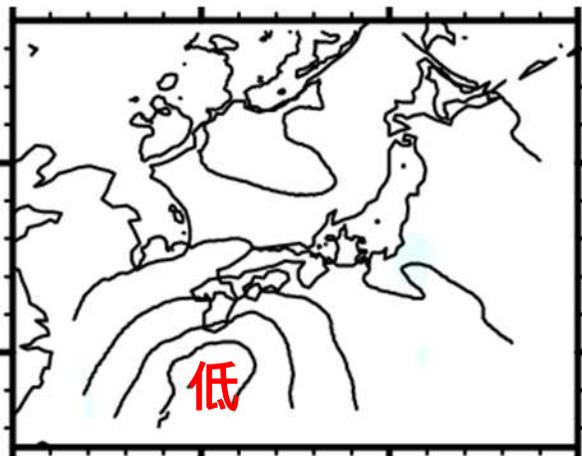


# メソアンサンブル予測の例

2013年1月13日初期値

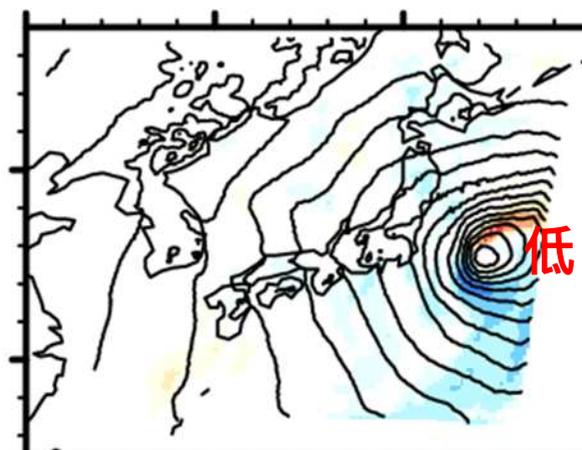


低気圧が発達するケース

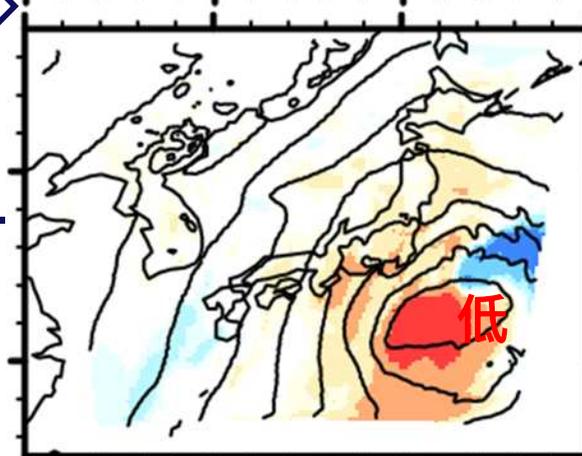


発達しないケース

24時間予測



低気圧の中心気圧  
953hPa



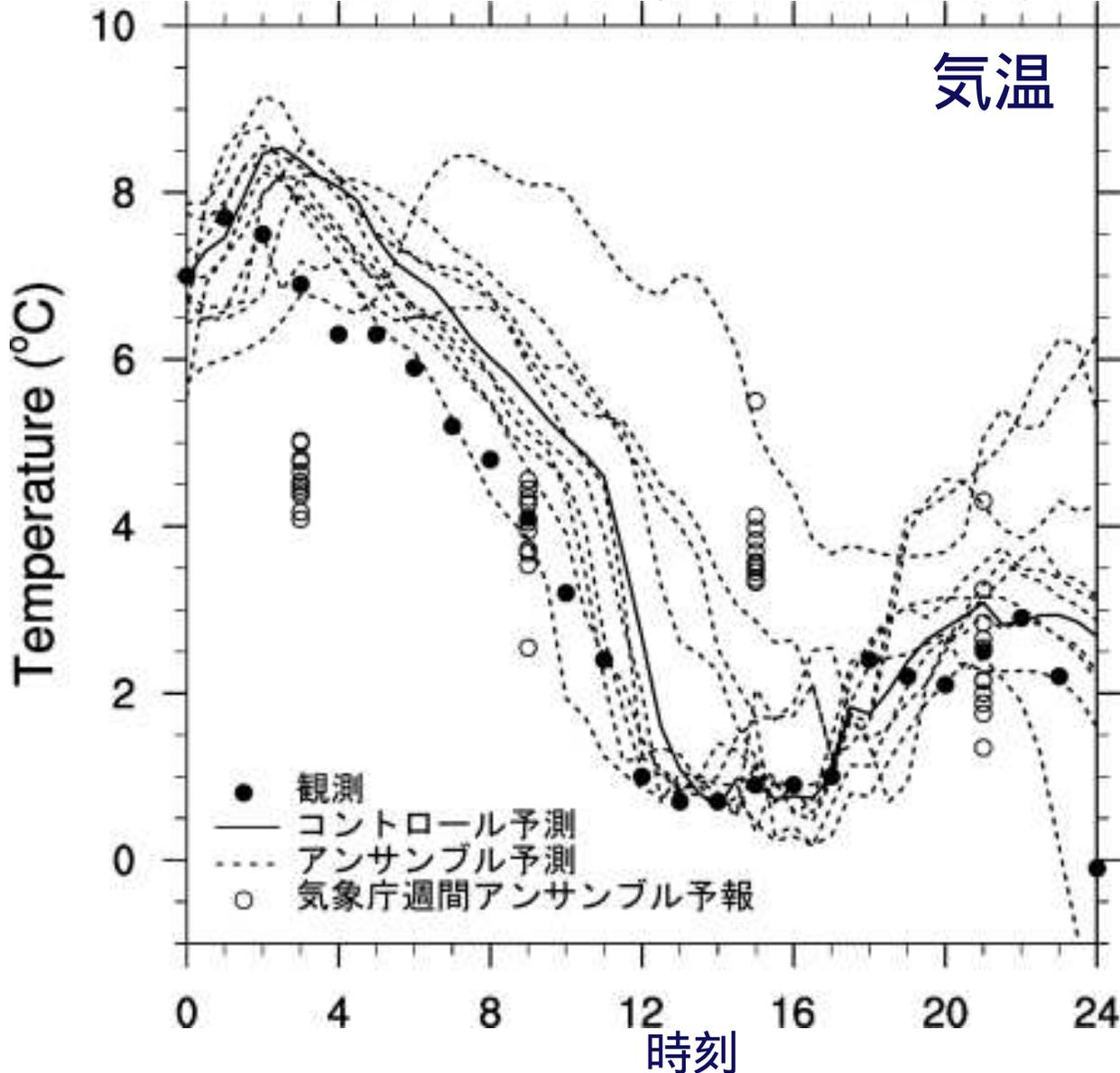
低気圧の中心気圧  
986hPa

等値線: 地上気圧  
濃淡: 気温偏差

週間アンサンブル予報をダウンスケーリング

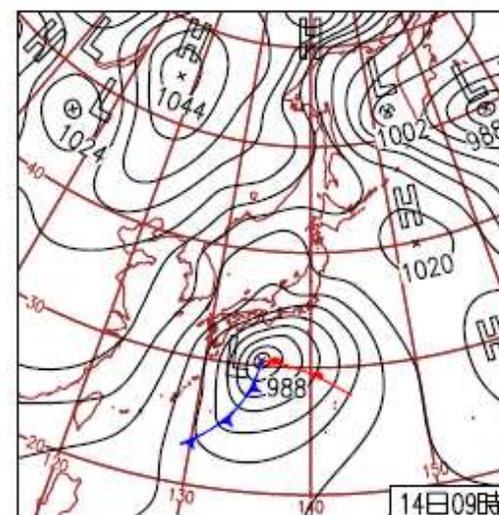
# メソアンサンプル予測の例

2013年1月13日21時を初期値とした翌日予測



茨城県つくば市のアメダスによる観測と予測との比較.

複数の予測結果が、気温や降水量等の様々な予測の信頼性の幅を表現.

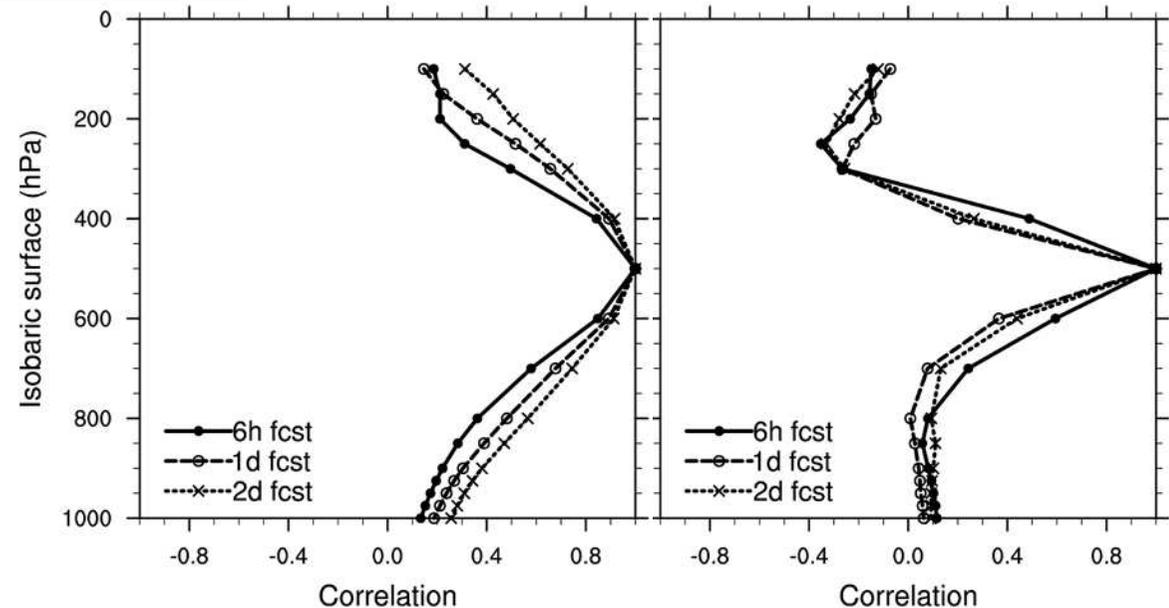


14日(月)東日本は雪の成人式  
急速に発達した低気圧により太平洋側は風が強く、関東南部中心に雪。千葉県銚子で最大瞬間風速38.5m/s。横浜・東京で初雪。最深積雪は横浜13cm、東京8cm。

# 想定される問題は問題なし

## ◆ 鉛直4層データの内挿

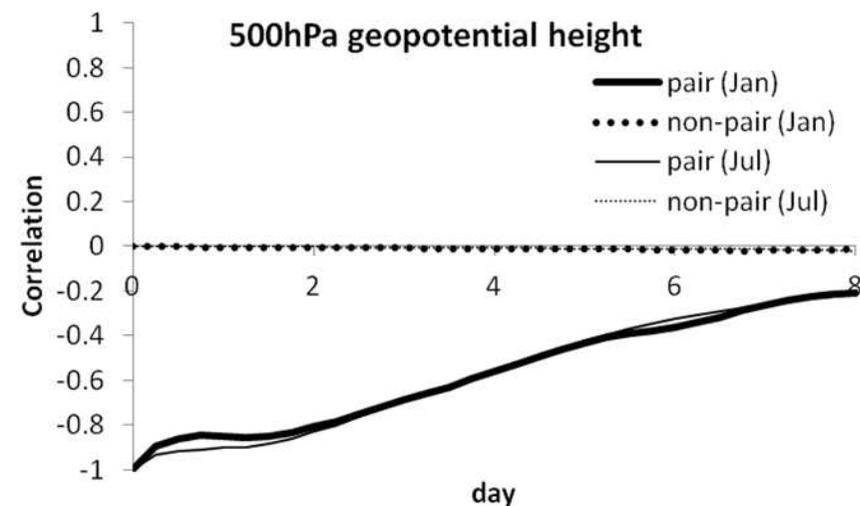
- ▶ 高度場の摂動成分は鉛直方向の空間相関が高く、大きな問題にならない。
- ▶ 気温や風などは、上下100hPa程度は空間相関が高く、4層のデータで概ね補完。



500hPaを基準とした摂動成分の空間相関。

## ◆ 摂動成分の重ね合わせ

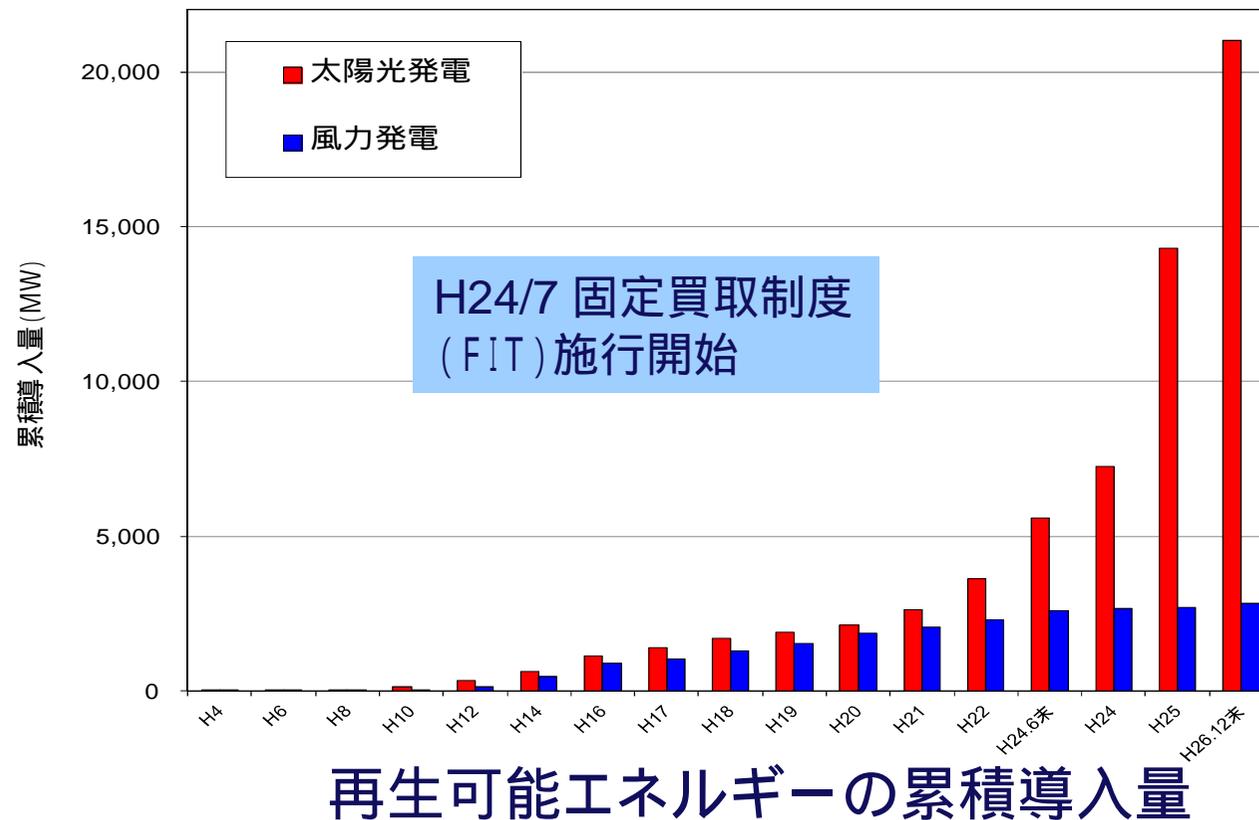
- ▶ 週間アンサンブル予報の初期摂動は線形であり、2日予測程度は比較的線形性が保たれている。



アンサンブルペアの予測日数に対する相関係数

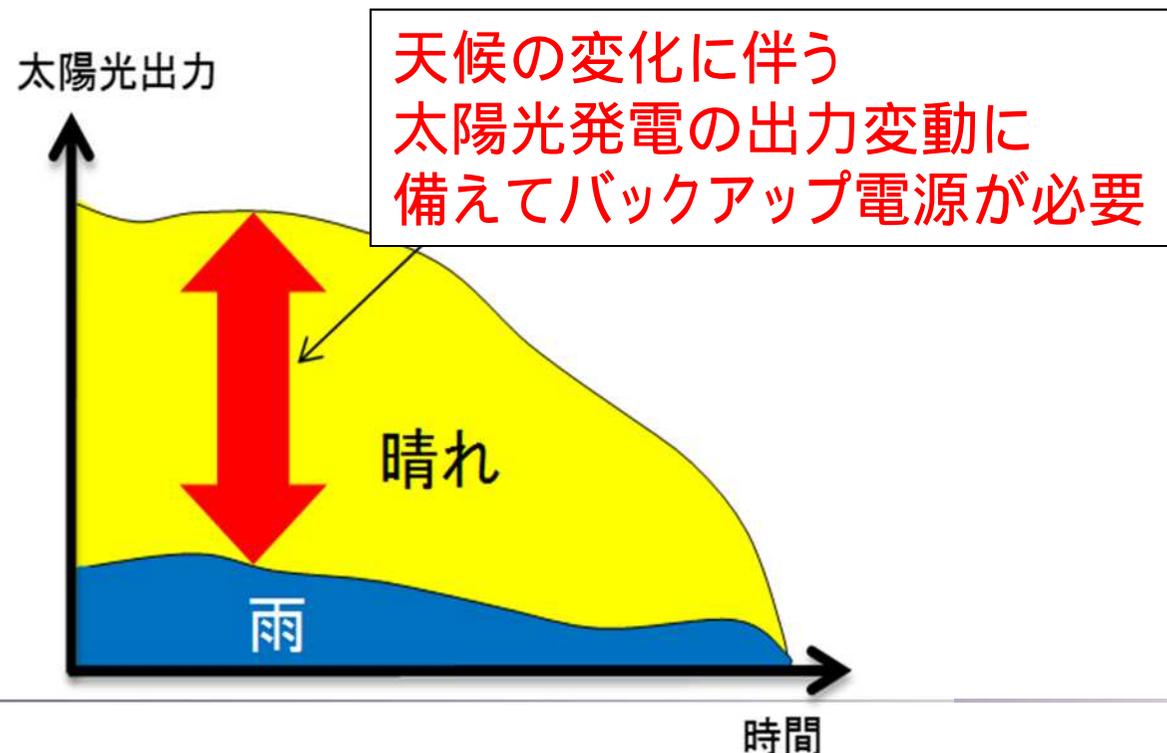
# 再生可能エネルギー発電出力量予測

- ◆ 再生可能エネルギー固定価格買取制度(FIT)開始後, 太陽光発電(PV)を中心に導入される.
  - 2012年以降, PVのみで約2500万kW (全需要の約20%)
  - 九州など一部の地域では, 需要の50%を超えるPVの導入あり

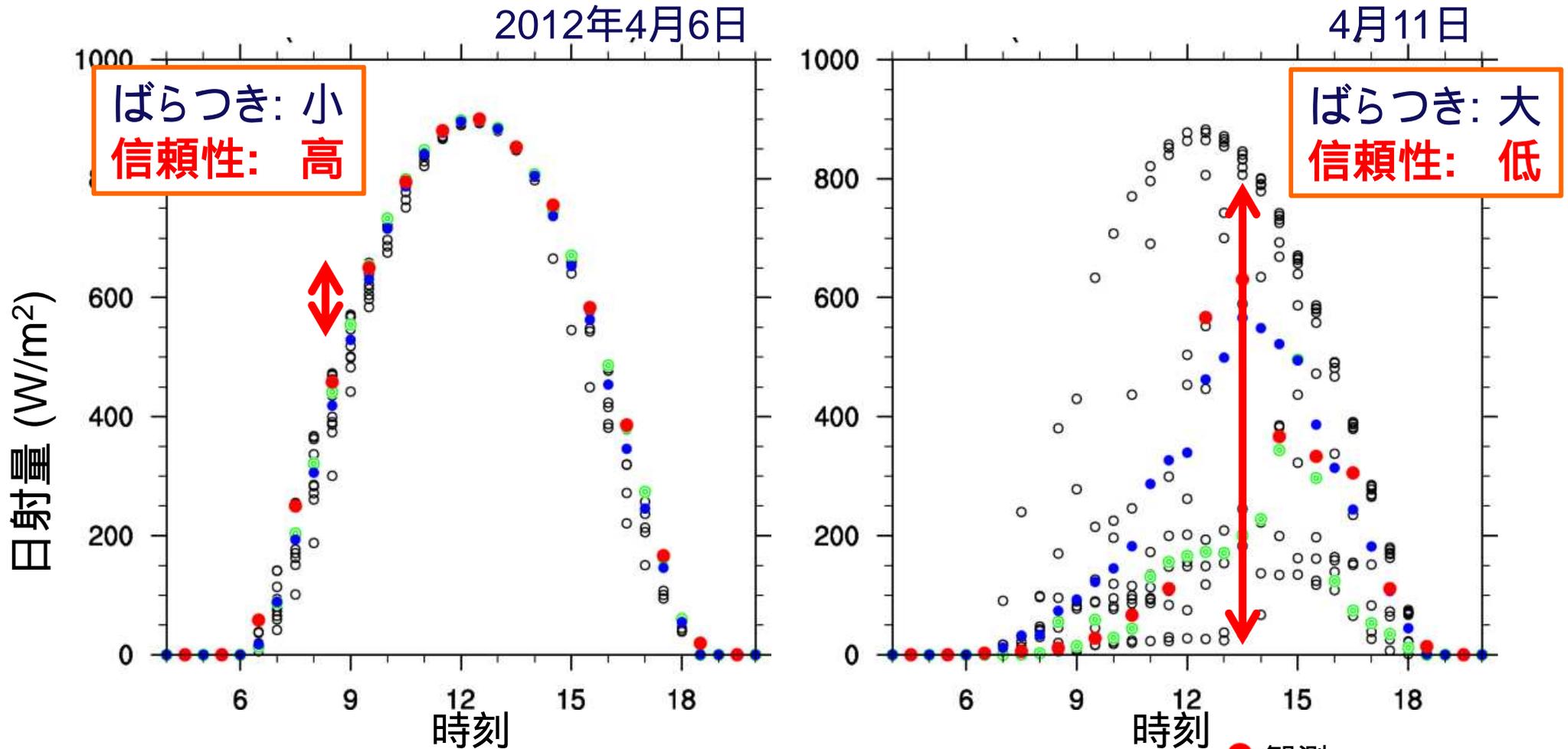


# 再生可能エネルギー発電出力量予測

- ◆ 電力の安定供給には、電力の使用量(需要)と発電量(供給)のバランスが不可欠
  - 日射量予測は、発電量を推定する上で必要
  - 一方、予測が外れても需要を満たせるように、予備力(主に火力)を常に準備しておかなければならない(火力の不経済運転)
  - 確率的な予測を用いることで、予備力の確保を柔軟に対応できる



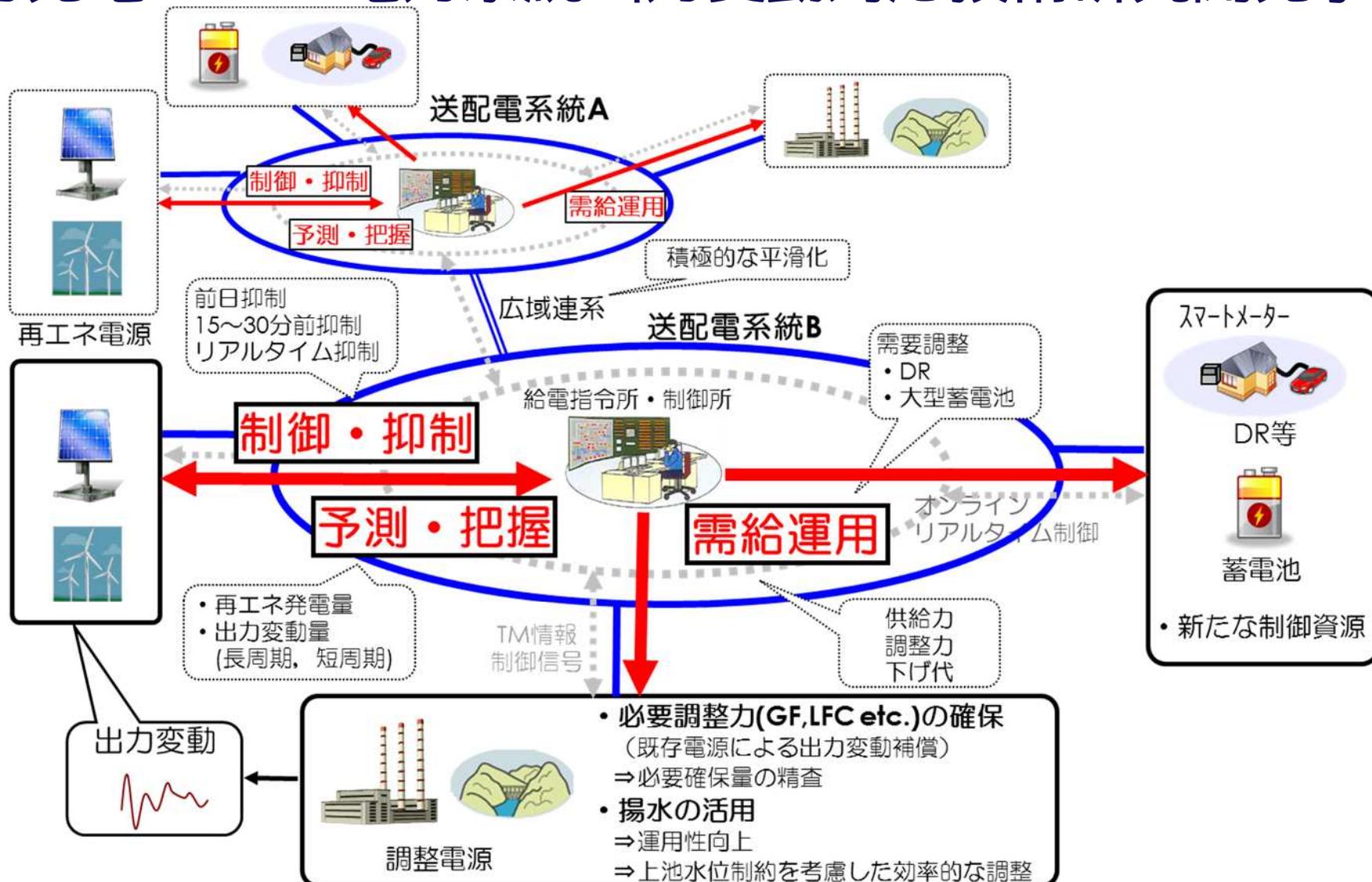
# 太陽光発電出力量予測



福岡気象官署を対象に前日21時を初期値とした翌日予測の例。アンサンブル予測を用いることで、予測誤差の要因の分離ができ、後処理の改善にも利用可能。

- 観測
- アンサンブル平均
- コントロール
- アンサンブルメンバー

# 風力発電: NEDO「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」

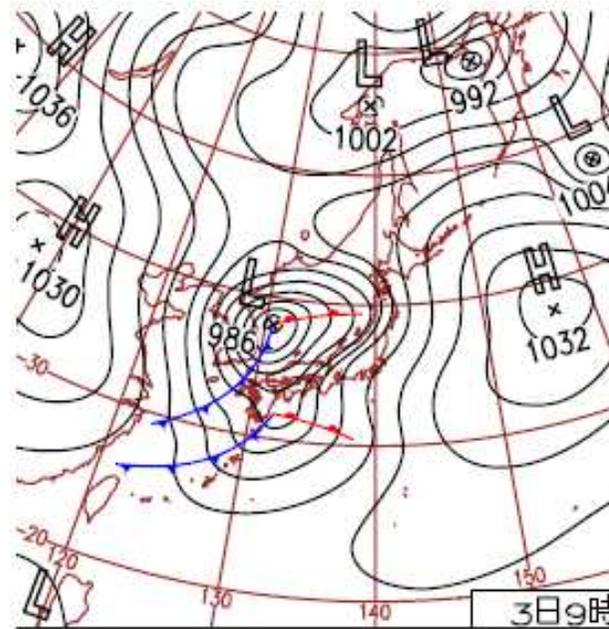


従来型の「風まかせの発電」から「計画する発電」という風力発電運用への展開が必要。  
 本研究開発では、気象、需要等からの変動予測「予測・把握」、風車制御も含めた出力変動制御「制御・抑制」、火力等他電源や蓄電池の効果的活用「需給運用」の三つの視点から、系統運用を高度化するための技術開発を目的とする。

# 風力発電出力量予測の課題

## ◆ ランプ現象

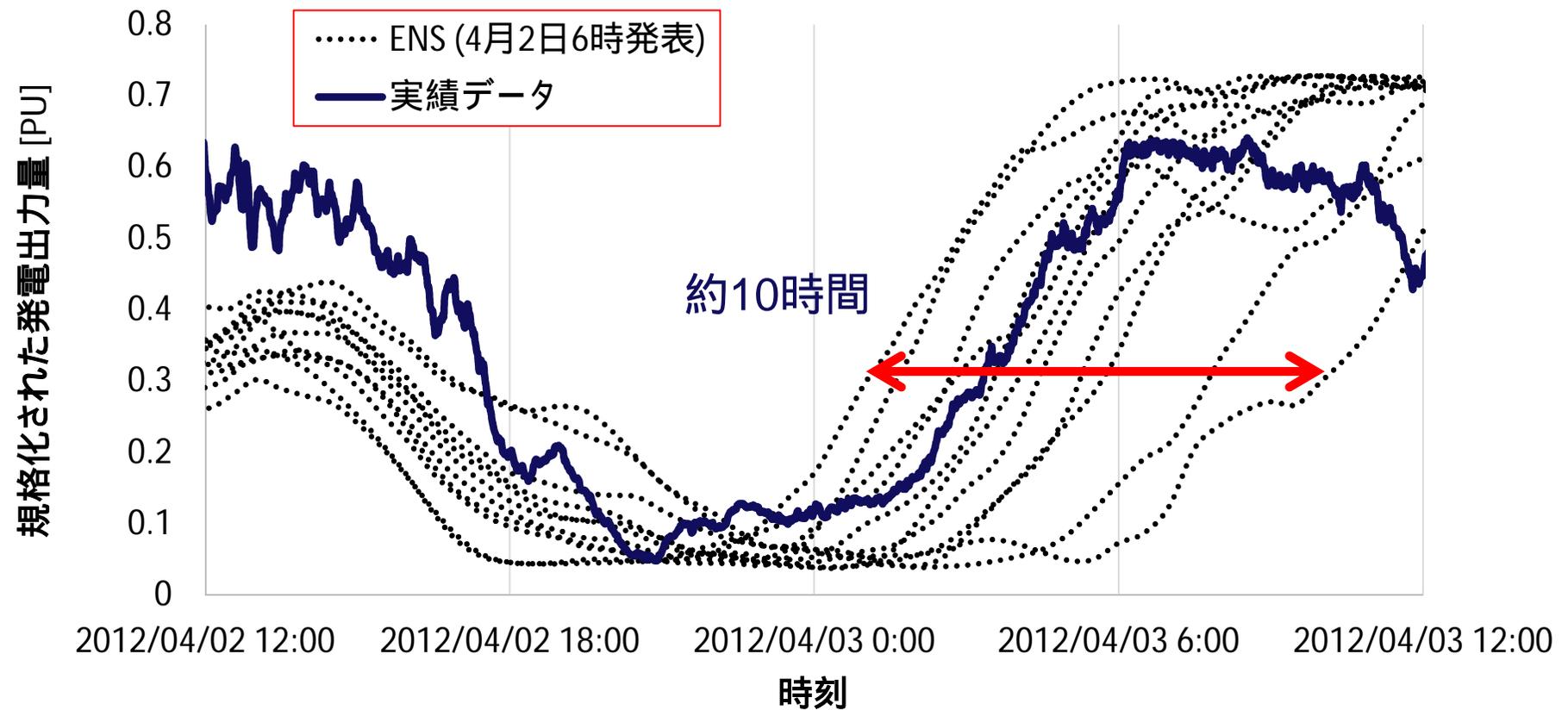
- 低気圧の通過などで、広域での風速が急変し、風力発電出力量が急変する事象
- 予備力の確保には、発電出力量の振幅、位相、変化速度などの精度よい予測情報が必要
- アンサンブルによる不確実性情報が有効



**3日(火)低気圧、急速に発達**  
 日本海の低気圧が急速に発達、21時の中心気圧964hPa。本州付近は暴風、高潮など大荒れ。和歌山県友ヶ島で最大風速32.2 m/s、鹿児島県天城で57.5mm/1hの雨。各地で被害続出。



# 風力発電 (ランプ現象予測)



- 4月1日21時を初期値に75時間予測。ランプアップは初期値から約30時間後に発生。
- 初期値・境界値がわずかに異なる11アンサンブルメンバー予測より、**ランプ現象の見逃しリスクの低減**や、ランプ現象の**位相や振幅の不確実性が予測可能**になる。
- 4月3日早朝に発生したランプアップ事例を、全メンバーで予測。
- メンバーのばらつきから、ランプ現象の位相の不確実性が約10時間と推定。

## まとめ

### ◆メソアンサンプル予測

- WRFを用いて、週間アンサンプル予報の**摂動成分を全球GPVに重ね合わせた**予測値を初期値・境界値として利用。
- **アンサンプルメンバーの選択法を工夫**することで、スプレッドを稼ぐ
- 2～3日程度の予測なら、週間アンサンプル予報のダウンスケーリングは問題なさそう。

### ◆再生可能エネルギー発電出力量予測

- 次世代の電力需給運用の観点から、精度よい気象予測が求められている。
- 日射量予測は不確実性の高い予測のため、アンサンプル予測は、予測の信頼区間を推定する有効な手法の一つである。