

# 再エネ発電の出力予測技術と 電力需給解析モデルへの適用

第23回CEEシンポジウム

「これからの電力需給の解析・評価を考える」

2016年8月9日(火)

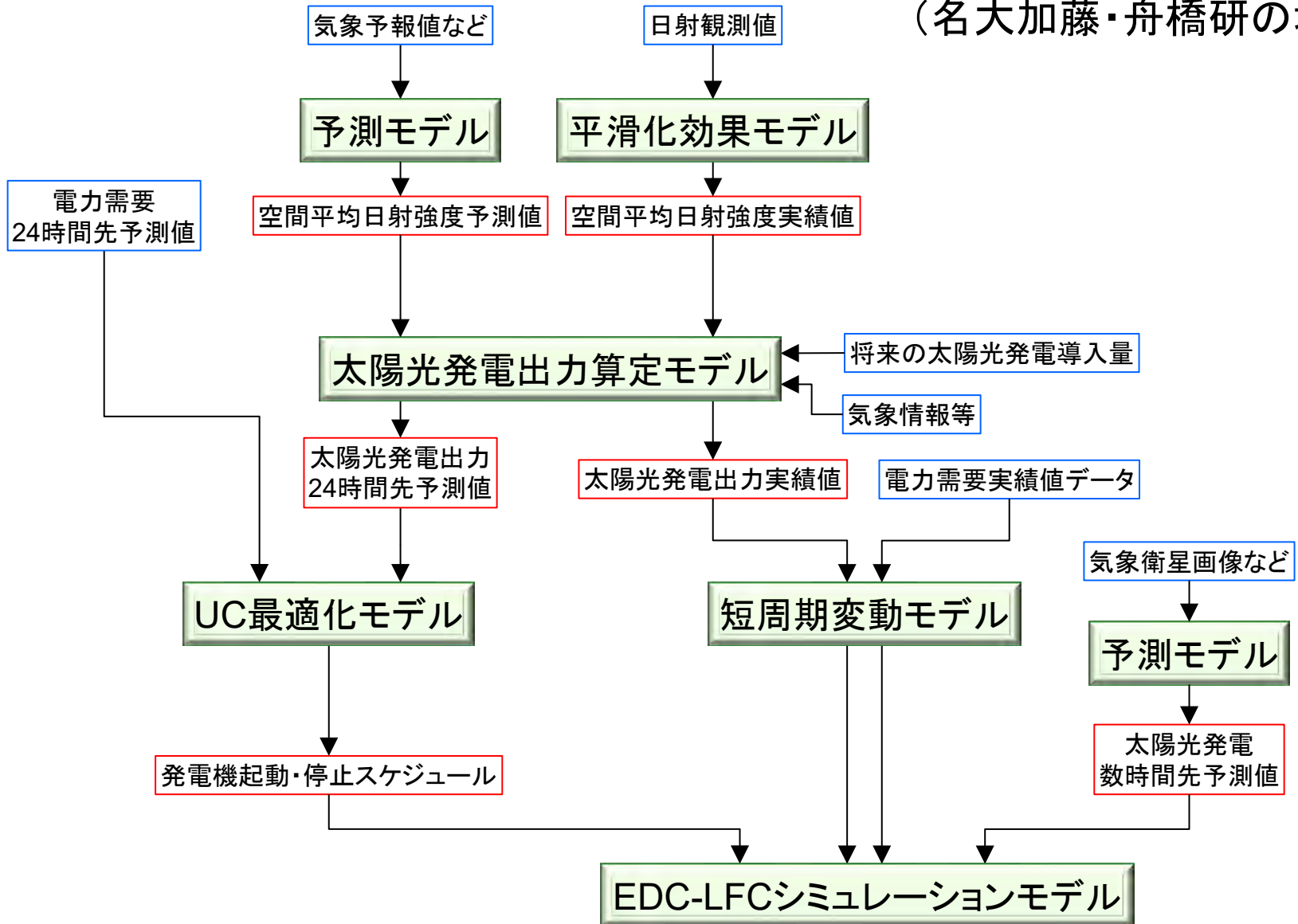
名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授 加藤 丈佳

# 内 容

- 電力需給シミュレーションに必要なデータ
- 電気学会における  
需給・周波数シミュレーション標準解析モデル
- 再エネ発電の出力予測の方法と精度
- 数時間先予測の精度向上に向けた気象衛星画像の利用

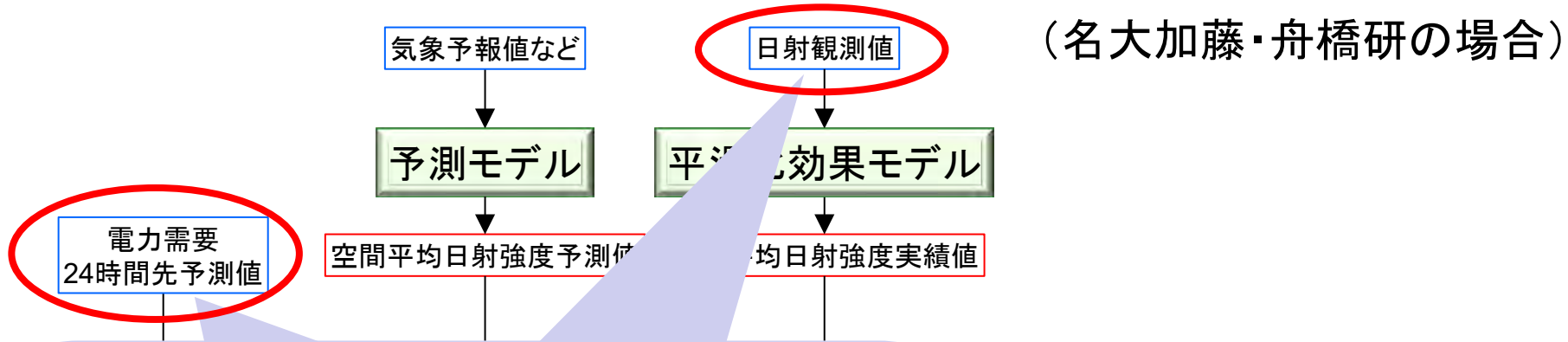
# 電力需給シミュレーションの概要

(名大加藤・舟橋研の場合)



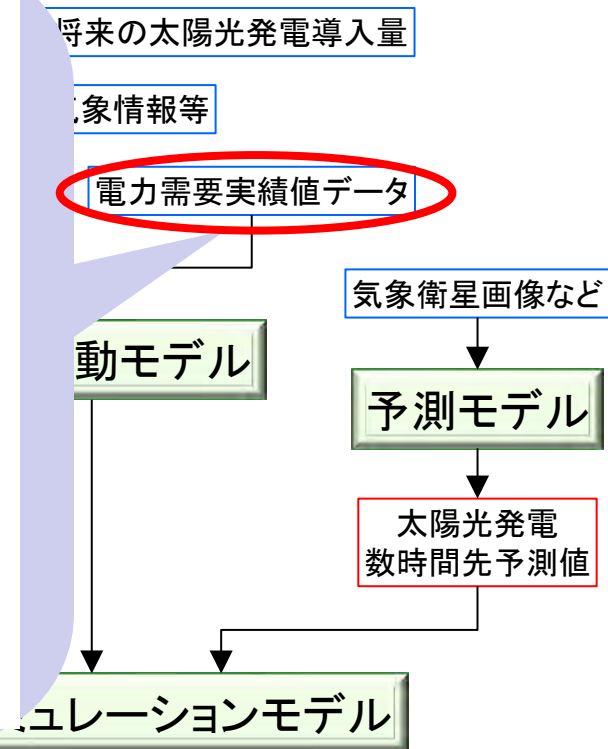
# 電力需給シミュレーションの概要

(名大加藤・舟橋研の場合)



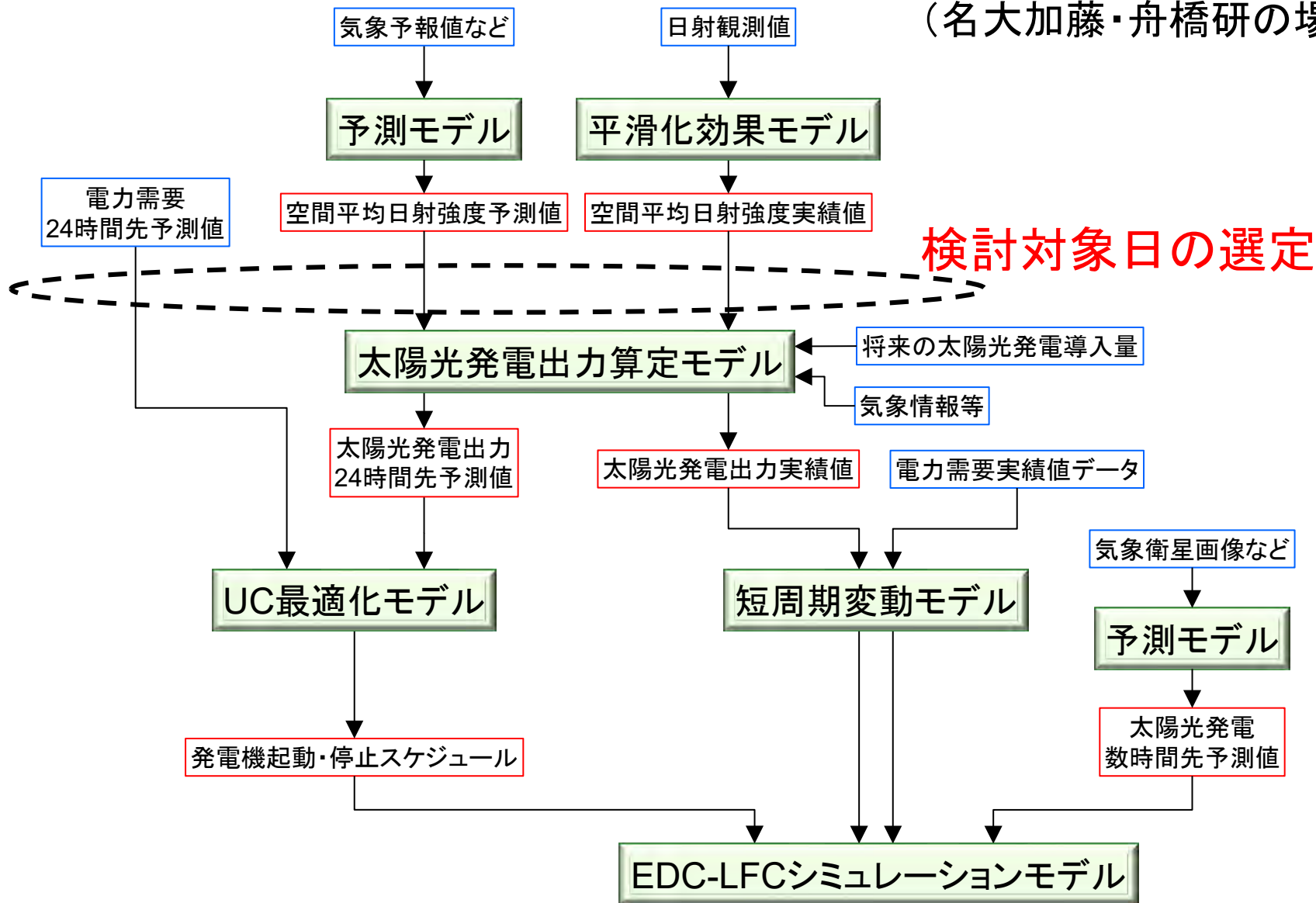
## 利用可能なデータと課題

- 電力需要: でんき予報による公表値
  - ◆ 周波数解析のためには時間間隔が荒い
  - ◆ 予測値は最大需要のみ
- 太陽光発電出力(日射強度)
  - ◆ 気象庁の日射量データは、観測地点が少ない
  - ◆ PV300は、利用者が大学等に制限
  - ◆ PV300であっても、実際の導入地点数と比較して観測地点数が少ない
- 風力発電出力
  - ◆ 現状のエリア平均値データが利用可能であるが、将来導入時の出力想定が難しい



# 電力需給シミュレーションの概要

(名大加藤・舟橋研の場合)

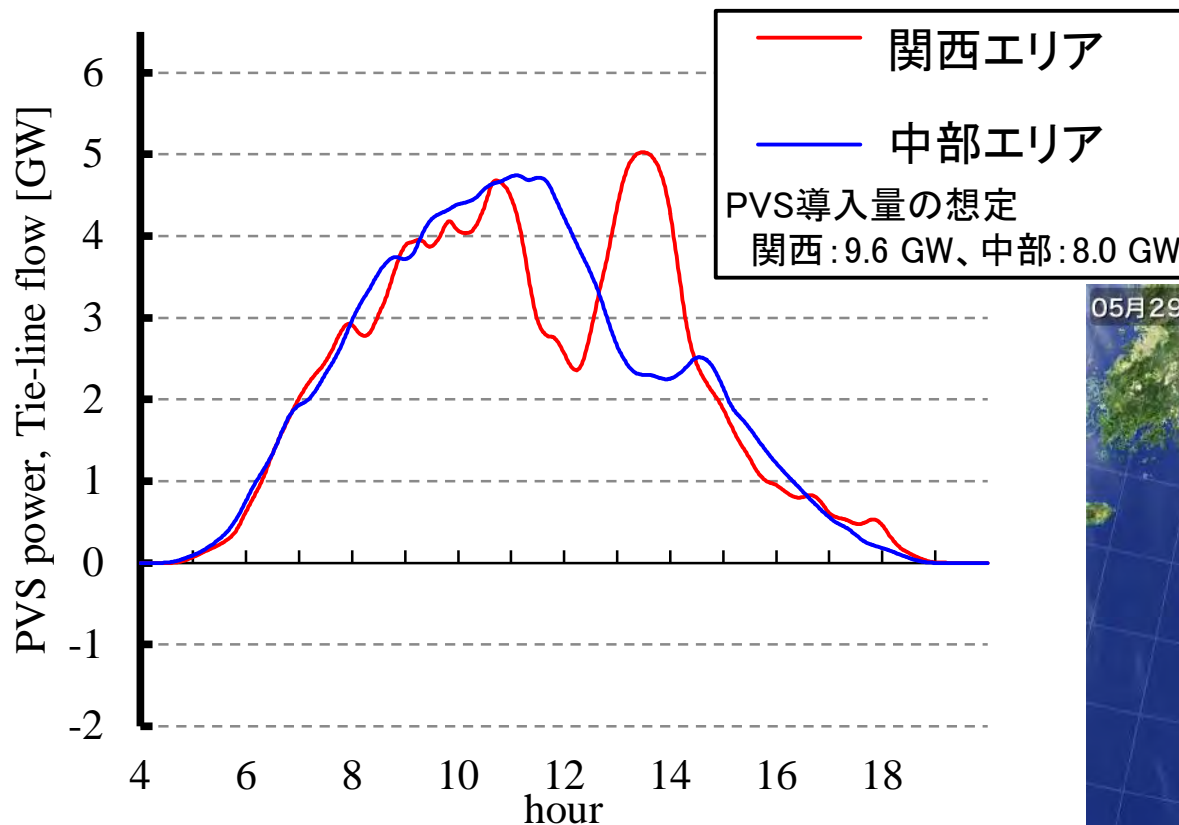


検討対象日の選定

# 空間平均日射のランプ変動発生日

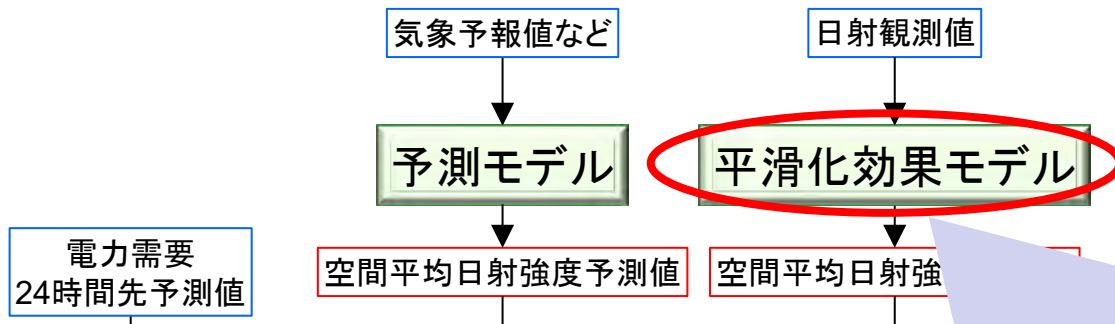
2012年5月29日

- 数百km四方の複数の雲が連続して通過
- 関西エリア、中部エリアの順にランプダウン
- 中部エリアのランプダウン時に関西エリアはランプアップし、その後再びランプダウン

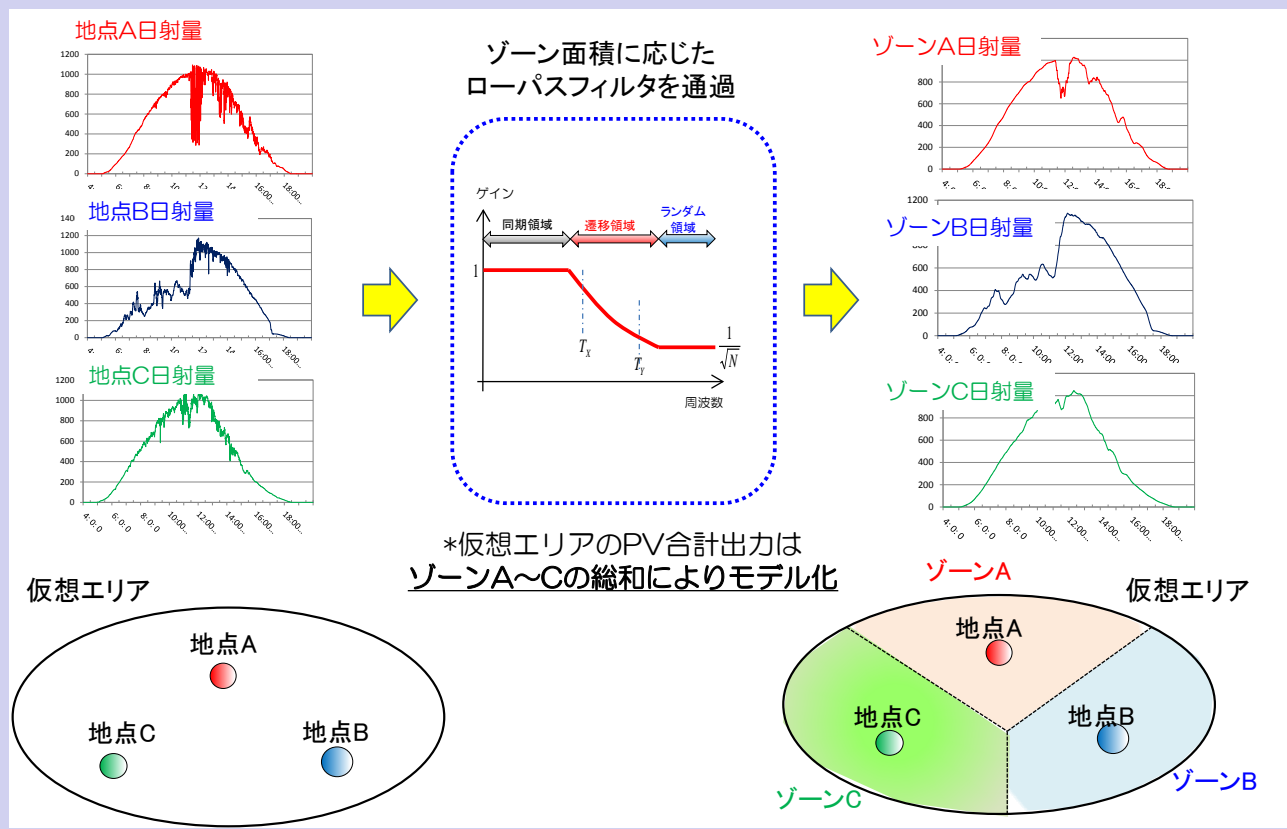


# 電力需給シミュレーションの概要

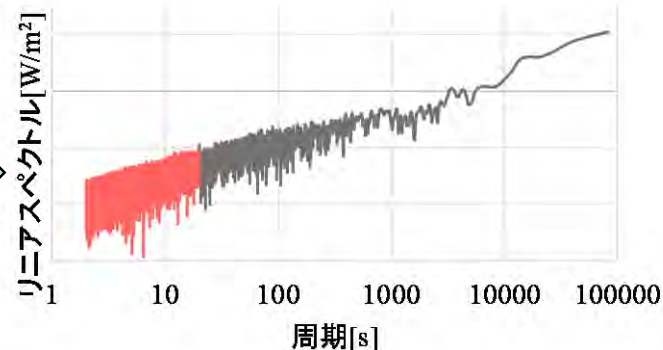
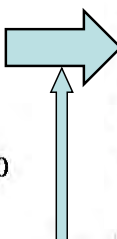
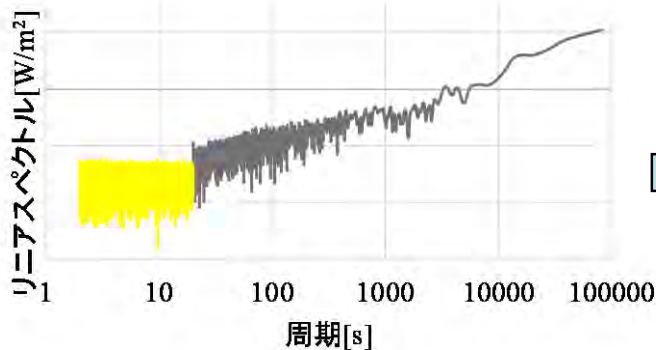
(名大加藤・舟橋研の場合)



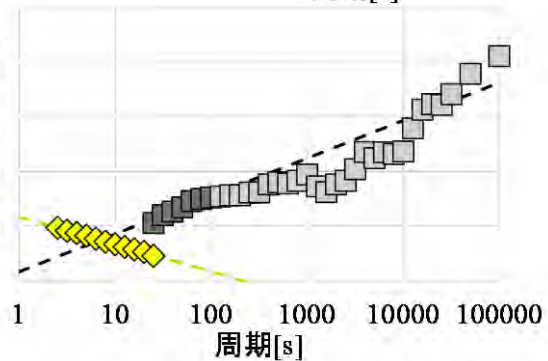
電力需要  
24時間先予測値



データの未観測の短周期変動を人工的に付加して補間  
 変動の大きさ: スペクトル解析によって推定、位相: ランダム

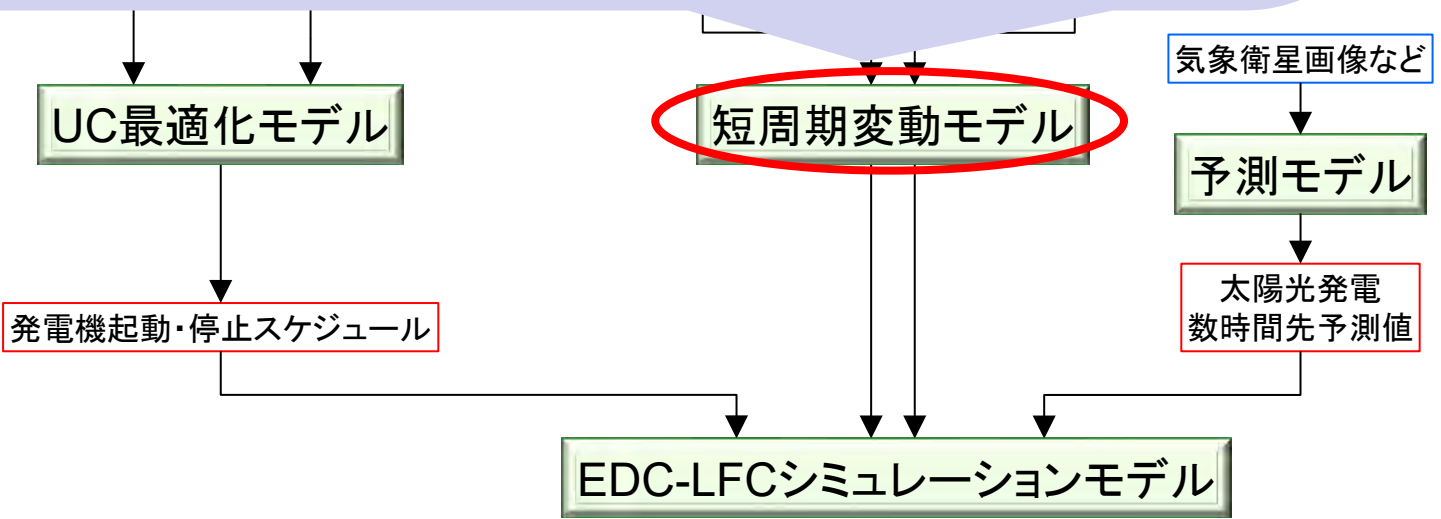


周期1/10dec毎の  
標準偏差 [W/m²]



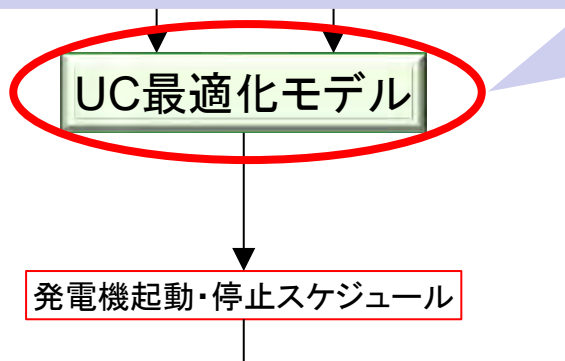
の場合)

周期1/10dec毎にパワースペクトルの  
総和の平方根を計算  
 (区間内の周期のみを抽出した変動の  
標準偏差に対応)

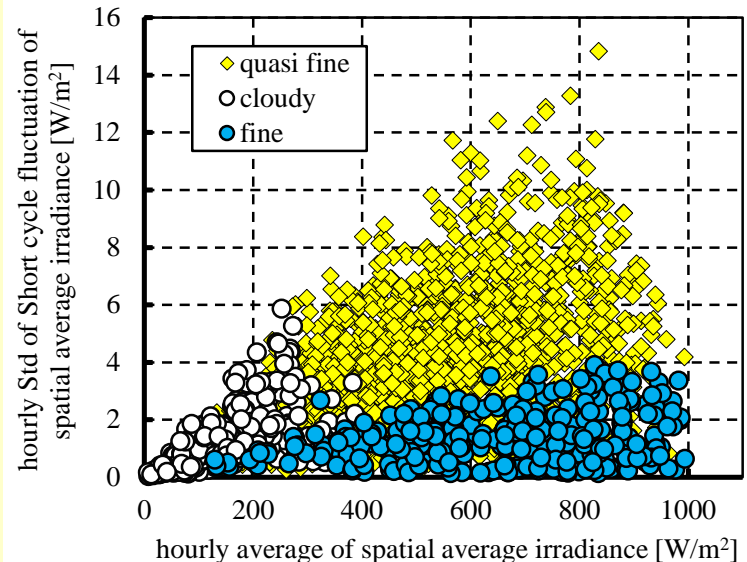




- **目的関数**: 1日の発電コスト最小化
- **主な制約条件**
  - ◆ 需給バランス
  - ◆ 発電機(火力機・揚水機)出力上下限
  - ◆ 揚水機の貯蔵電力量(上下限、1日の収支)
  - ◆ 最低予備力: 残余負荷の5%増の供給力を確保
  - ◆ **最低LFC容量: LFC調整力 > 変動成分**
  - ◆ 火力機の起動停止: 1日1回まで
  - ◆ 火力機の最小運転時間: 3時間
  - ◆ 揚水機の運転状態: 揚水運転

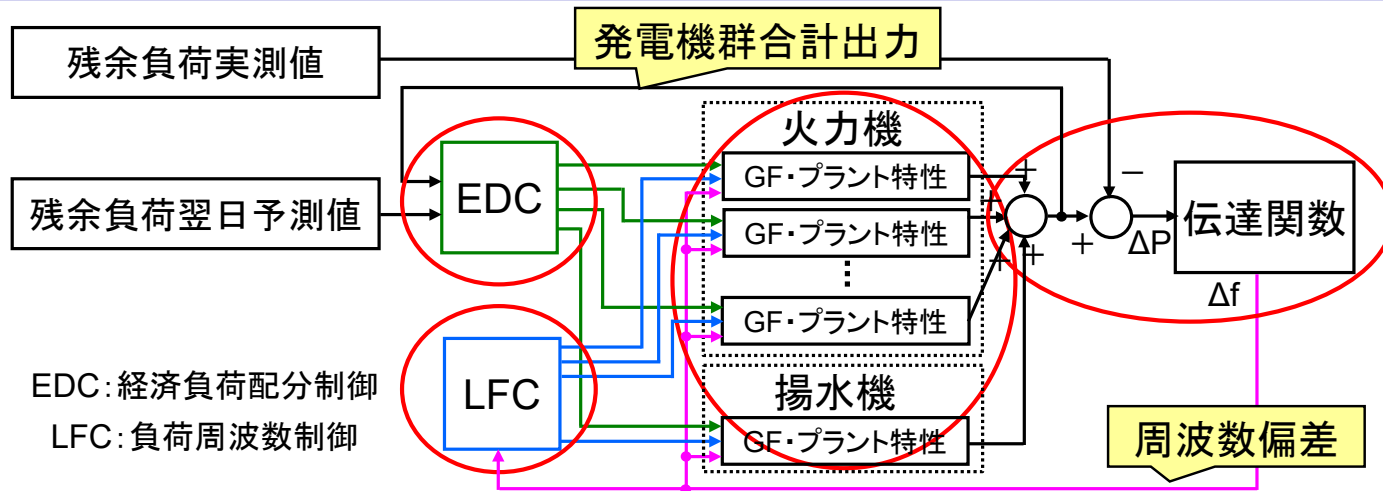


日射の1時間平均値と短周期変動標準偏差との関係



# 電力需給シミュレーションの概要

(丸橋研の場合)



- ① 残余負荷の翌日予測を補正して3分先を予測し、等増分燃料費法に基づいたEDCを実行
- ② 周波数偏差を0にするPI制御によるLFCを実行
- ③ EDC指令値, LFC指令値, ガバナフリー指令値(周波数偏差より決定)により, 各発電機で遅れ・制約等を考慮した最終的な出力を決定
- ④ 需給偏差(=発電機群合計出力-残余負荷実測値)を算出し, 周波数偏差に変換

発電機起動・停止スケジュール

太陽光発電  
数時間先予測値

EDC-LFCシミュレーションモデル

像など  
モデル

# 内 容

- 電力需給シミュレーションに必要なデータ
- 電気学会における  
需給・周波数シミュレーション標準解析モデル
- 再エネ発電の出力予測の方法と精度
- 数時間先予測の精度向上に向けた気象衛星画像の利用

# 電気学会における 需給・周波数シミュレーション標準解析モデルの開発

## <背景>

- 需給運用(LFC、EDC)は電力システムの根幹
- 研究者・技術者毎に使用モデルはまちまち
- 再エネ増加等による需給解析の必要性大



電気学会電力系統技術委員会の下に「電力需給解析モデル標準化調査専門委員会」(H26.4～H28.3)を設置し、需給・周波数シミュレーション標準解析モデル(IEEJ AGC30モデル)を開発

# 基本構成と入力データ

- 基本構成(2エリアモデル)
  - 自エリア(発電機:30機、ベース電源は含まない)
    - 発電プラントモデル(火力機、揚水機)
    - LFCモデル(TBCまたはFFC)
    - EDCモデル
    - 系統モデル(慣性モデルによって周波数偏差を算出) など
  - 他エリア(発電機:1機)
    - 発電機モデル(火力機)
    - LFCモデル(TBCまたはFFC)
- 主な入力データ
  - 需要、太陽光発電、風力発電の時系列データ
    - 需要:2種類、太陽光発電:5種類、風力発電:10種類の標準データ(時間刻み1秒)を構築
  - 需要、太陽光発電、風力発電の予測データ
    - 標準モデルの対象外、標準的な誤差を提示

- 発電計画は標準モデルの対象外
- Excelマクロを用いた簡易モデルを提供

# 主な解析対象 と モデル提供方法

- 主な解析対象

- 太陽光発電・風力発電が周波数に与える影響  
(導入量・出力変動パターンの周波数への影響)
- 予測誤差が周波数に与える影響  
(考案した予測技術が周波数に与える影響)
- 考案した制御方式の検証  
(周波数制御方式や、蓄電池などの制御方式の効果)

- モデル提供方法

- 報告書発刊 : 平成29年1月(予定)
- 提供方法 : 別売CD-ROM
- 提供内容 : 標準モデル(Matlab/Simulink)、標準データ、標準モデルを使った解析例題、Read Meファイル

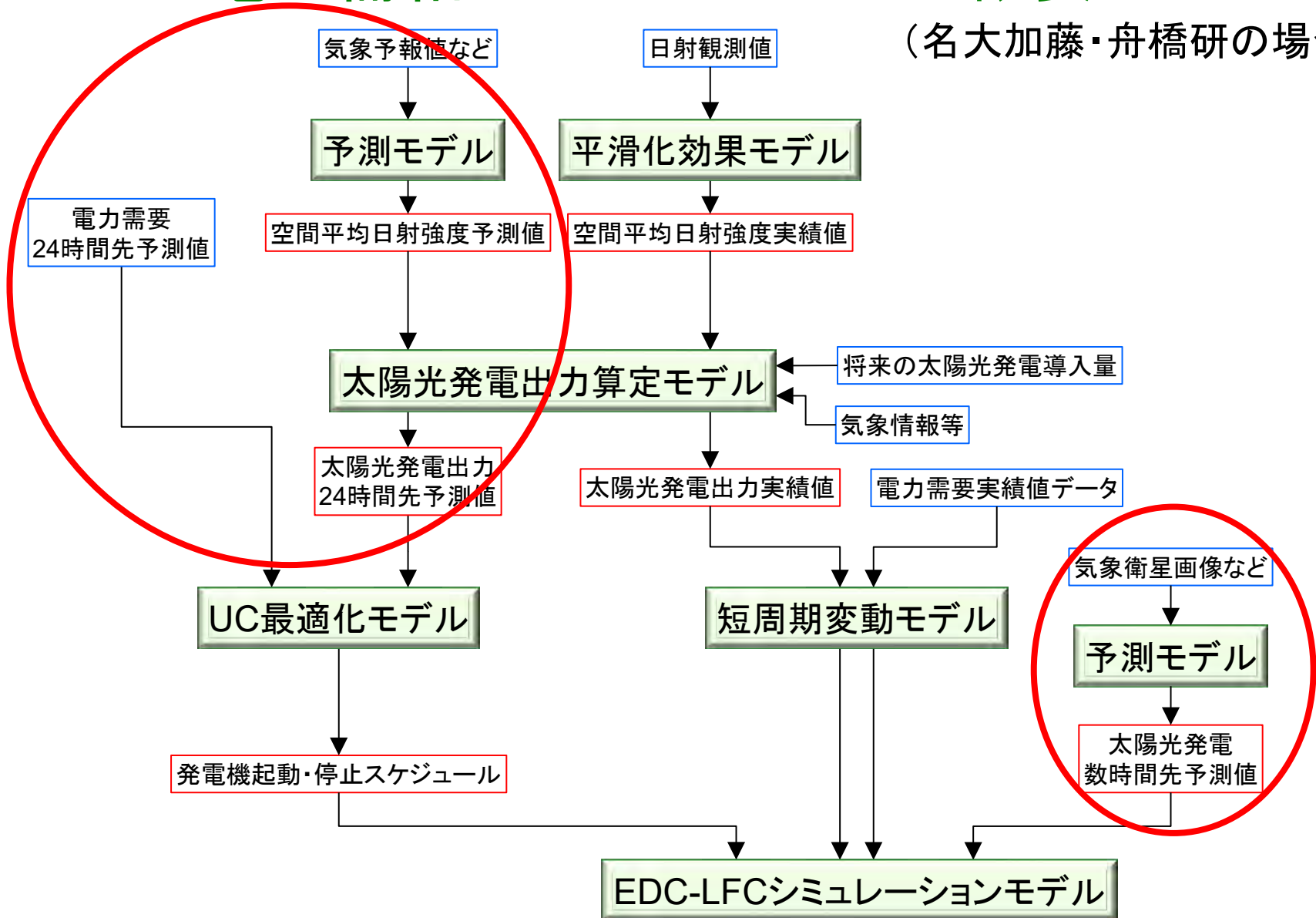
専門講習会を開催予定

# 内 容

- 電力需給シミュレーションの概要
- 電気学会における  
需給・周波数シミュレーション標準解析モデル
- 再エネ発電の出力予測の方法と精度
- 数時間先予測の精度向上に向けた気象衛星画像の利用

# 電力需給シミュレーションの概要

(名大加藤・舟橋研の場合)





# でんき予報

<http://denki-yoho.chuden.jp/index.html>

## きょうの電力使用状況

前週同曜日実績表示

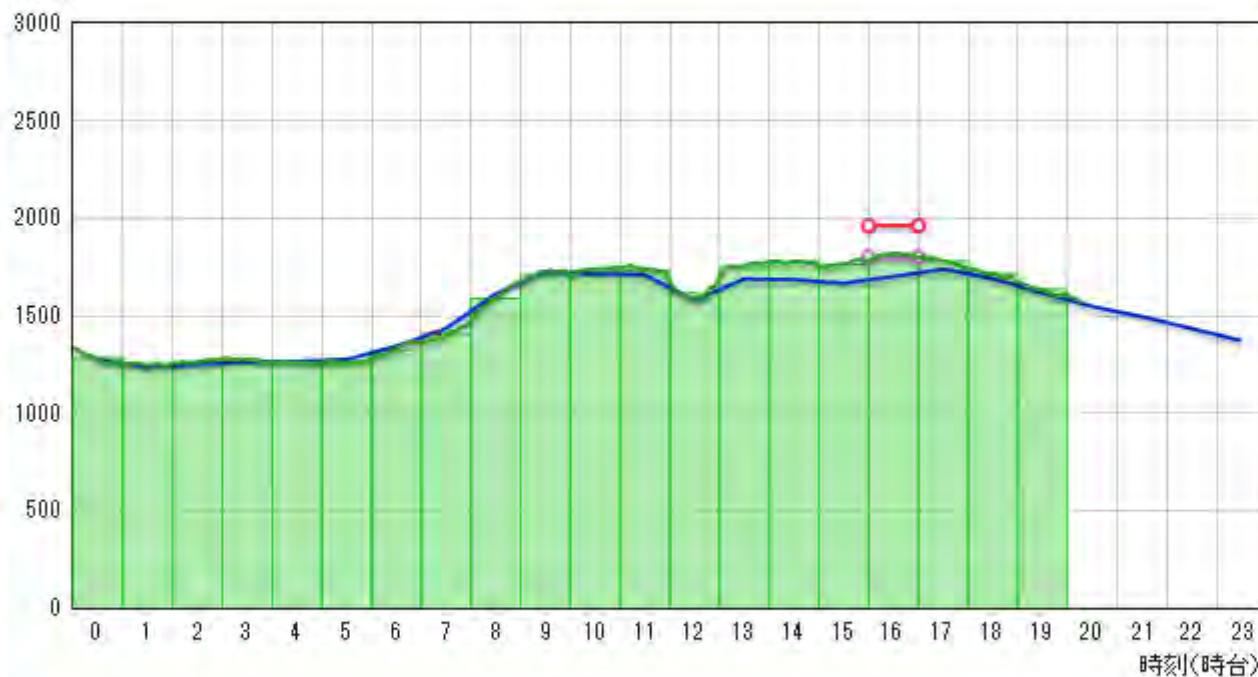
前日実績表示

両実績表示

実績

現在

電力需要・供給力  
(万kW)



使用率  
当日実績  
(瞬時値)

80%

需要  
当日実績  
(瞬時値)

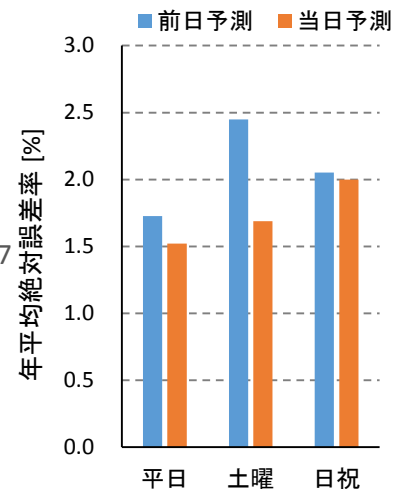
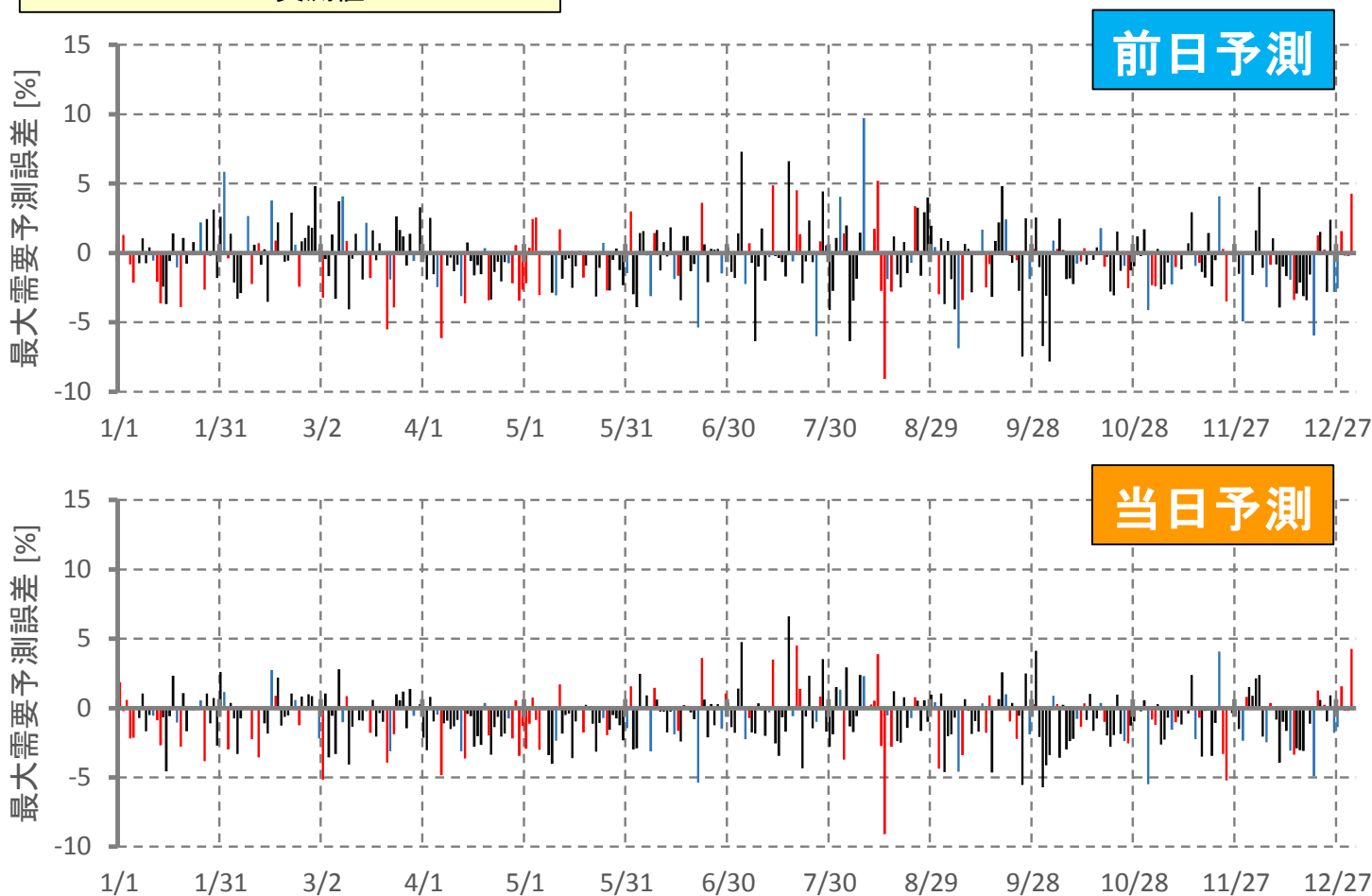
1,562万kW

- ピーク時供給力
- 予想最大電力
- 当日実績 (瞬時値)
- 当日実績 (1時間値)
- 前週同曜日実績
- 前日実績

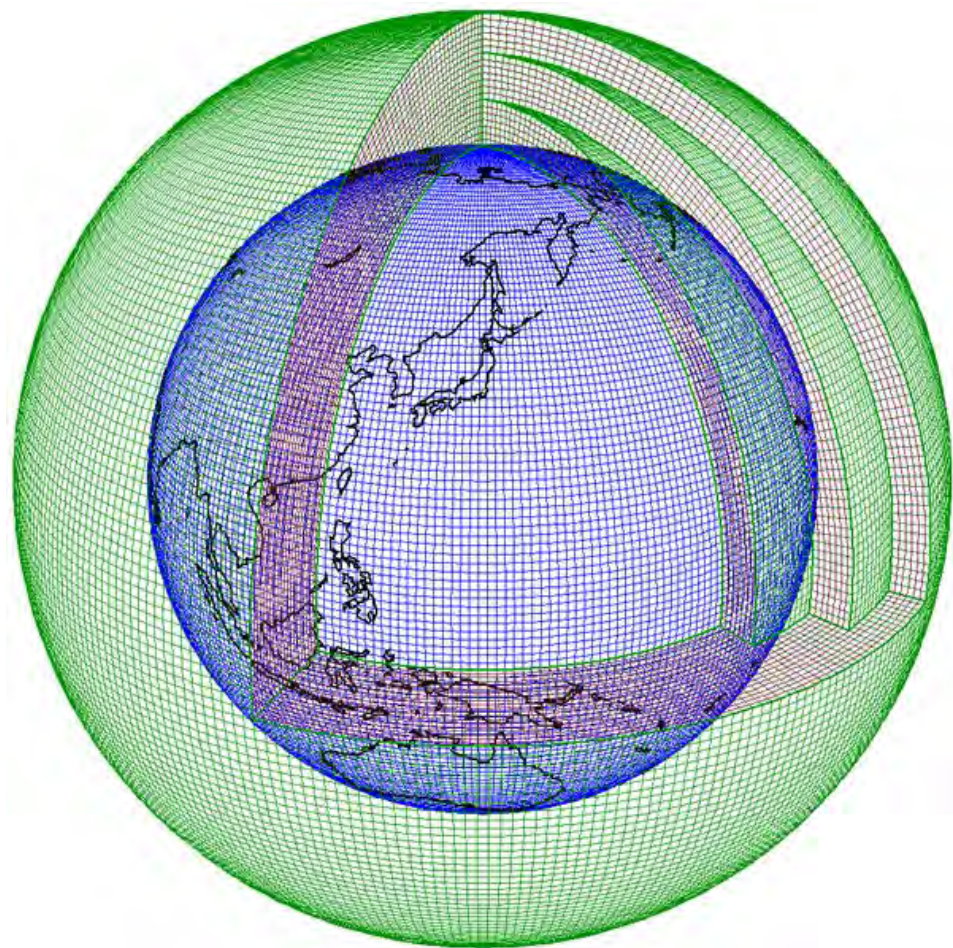
# 中部エリアにおける日最大需要の予測誤差

電力需要: 中部電力(株)でんき予報 <http://denki-yoho.chuden.jp/>  
 期間: 2014/1/1~2014/12/31

$$\text{予測誤差} = \frac{(\text{予測値} - \text{実測値})}{\text{実測値}} \times 100\%$$

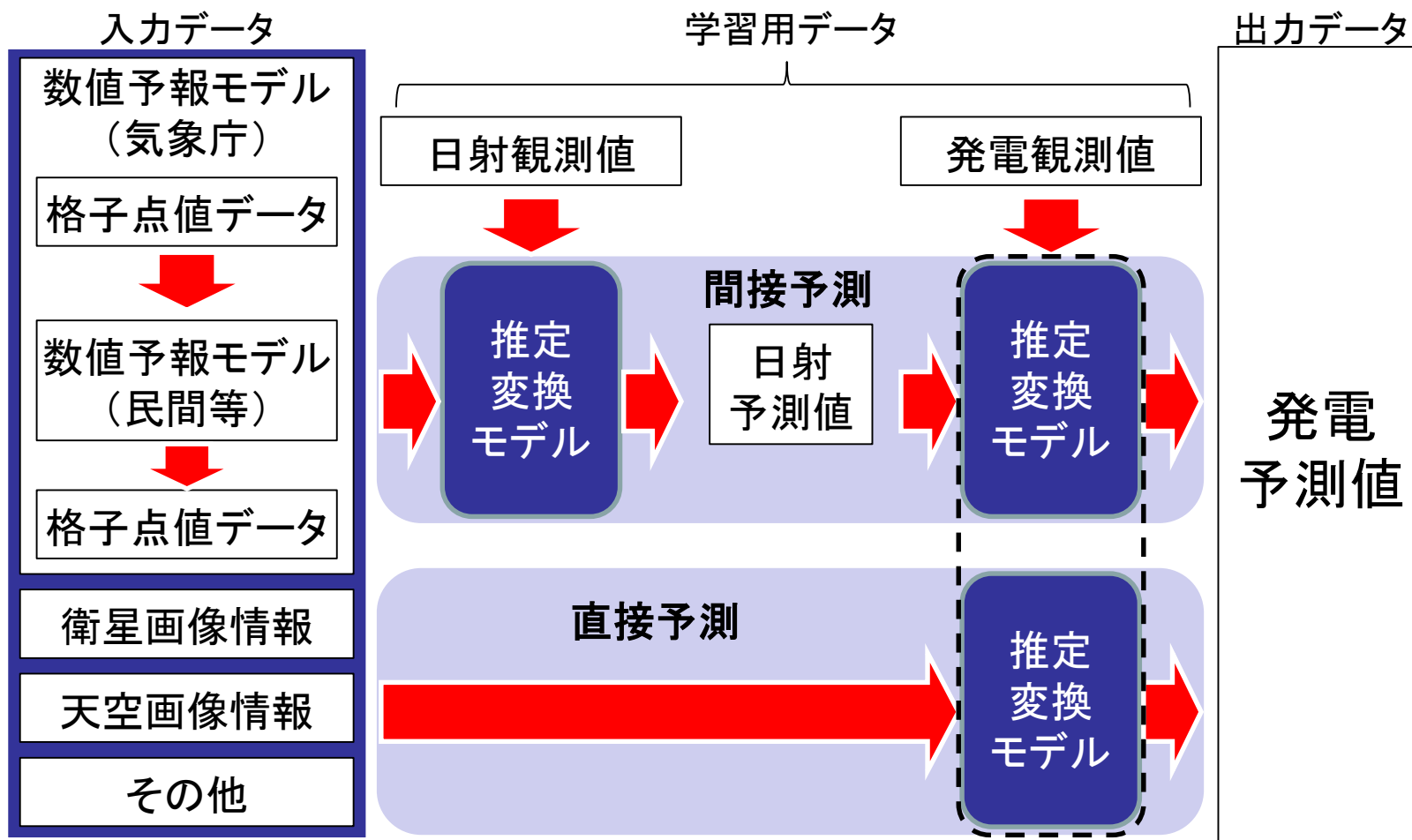


# 数値気象予報(NWP)モデル



- スーパーコンピュータを使った地球の大気シミュレーション
- 天気予報の元データ
- 格子点ごとに、気圧、風速、気温、湿度などを予測
  - ◆ 全球モデル:  
解像度20km, 264時間先, 6時間毎
  - ◆ メソモデル:  
解像度 5km, 39時間先, 3時間毎
  - ◆ 局所モデル:  
解像度 2km, 9時間先, 1時間毎

# 太陽光発電出力予測の基本構造



## 第2回予測コンペ

### 電気学会再エネ出力予測・利用技術調査専門委員会

#### <対象地域・項目>

- 中部電力管内12地点の日射量(1時間平均値)の地点平均値
- 北陸電力管内7地点の日射量(1時間平均値)の地点平均値
- 東北電力管内一部地域のウィンドファーム(計約48万kW)の合計発電電力の1時間平均値

簡単のため、以降は中部エリア, 北陸エリア, 東北エリアと表記

#### <1時間値の定義>

- 予測対象時刻の前1時間の平均値

(例えば, 11:00~11:59については12時の予測値とする)

#### <対象期間>

- 2013年4月1日~2014年3月31日

# 提供データ

- 日射予測の場合

- ◆ 予測対象期間中の空間平均日射強度の1時間平均値(予測対象の日射強度)
- ◆ 予測対象期間中の各観測点日射強度の1時間平均値
- ◆ 観測地点の最近棒のGPV(MSM)の格子点の位置
- ◆ **大学から参加者向けの学習用データ**  
(2012年4月1日～2014年3月31日(2年分)における中部61地点および北陸20地点の各観測地点における日射強度1時間平均値)

- 風力発電出力予測の場合

- ◆ 2012年4月1日～2014年3月31日(2年分)における東北の一部地域におけるウィンドファーム合計発電電力の1時間平均値
- ◆ 風車位置データ(1号機の緯度・経度)
- ◆ 平均的なパワーカーブ

# 予測方法と条件

- 前日予測
  - ◆ 定義: 予測対象日の前日15時までに翌日24時間の予測を行うこと
- 予測に用いるデータの制約条件
  - ◆ 前日15時までに予測結果が得られる情報であること
  - ◆ 各手法において計算に要する時間により, 数値気象モデルの起点時刻など, 利用可能な情報が異なる
  - ◆ データの種類等については特に制限なし
- 評価指標
  - ◆ 平均誤差MEおよび%ME
  - ◆ 平均絶対誤差MAEおよび%MAE
  - ◆ 二乗平均平方根誤差RMSEおよび%RMSE

# 予測手法の概要

	予測方法	エリア平均値の算定方法	NWP起点時刻	クリーニング	直近実測値利用
A	気象庁MSM → 予測値	個別予測値を空間平均	前日12時	なし	なし
B	気象庁GSM/MSM → 独自気象モデル → MOS → 予測値	個別予測値を空間平均	GSM 前日9時 MSM 前日12時 独自気象モデル 前日9時	なし	なし
C	気象庁GPV/NCEP FNL → WRF → 重回帰カルマンフィルタ → 予測値	平均値を直接予測	前々日の15時	なし	あり
D	NCEP GFS → NCEP WRF → 地点ごと補正 → 平均値補正 → 予測値	個別予測値を空間平均	前日9時	なし	あり
E	GPV・気象衛星画像・気象官署日射量 → SVM → 予測値	個別予測値を空間平均	前日12時	なし	なし
F	気象庁MSM → JIT → 予測値	個別予測値を空間平均	前日12時	なし	なし
G	気象庁MSM → K-NN → タグチのT法 → 予測値	個別予測値を空間平均	前日21時	あり	あり
H	気象庁MSM → $\nu$ -SVM → 予測値	個別予測値を空間平均	前日12時	あり	なし
I	気象庁MSM → 重回帰モデル → 予測値	平均値を直接予測	前日12時	なし	あり



# 中部エリア日射(2013年8月)



# 予測精度向上に必要な情報

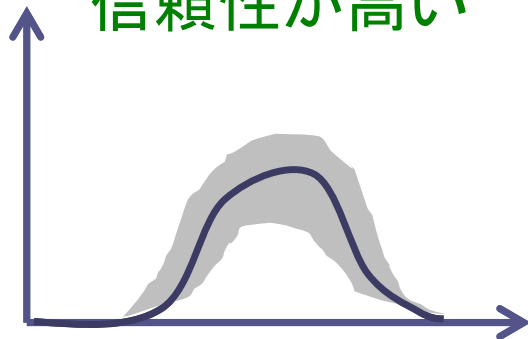
(コンペ参加者へのアンケート)

- 日射量の空間的に密な観測データ
- 地点ごとの観測値・気象官署, アメダスでの日射計測や積雪計測の追加・充足
- 各計測地点における気象情報(気温, 湿度, 全雲量など)
- より高精度な数値気象予報値等
- PV発電量のモニタリングデータ(複数の代表地点やエリア平均値など、ある程度のサンプリングされたデータ等)

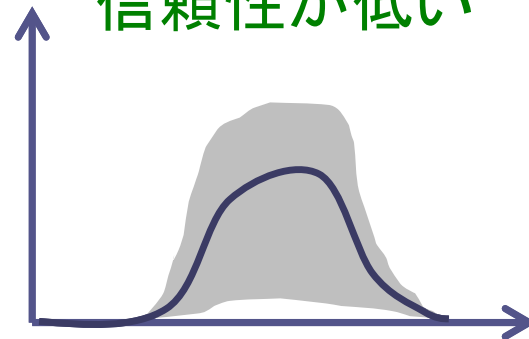
# 確率的予測の必要性

予測誤差をゼロにはできない

誤差範囲が小さい予測  
信頼性が高い



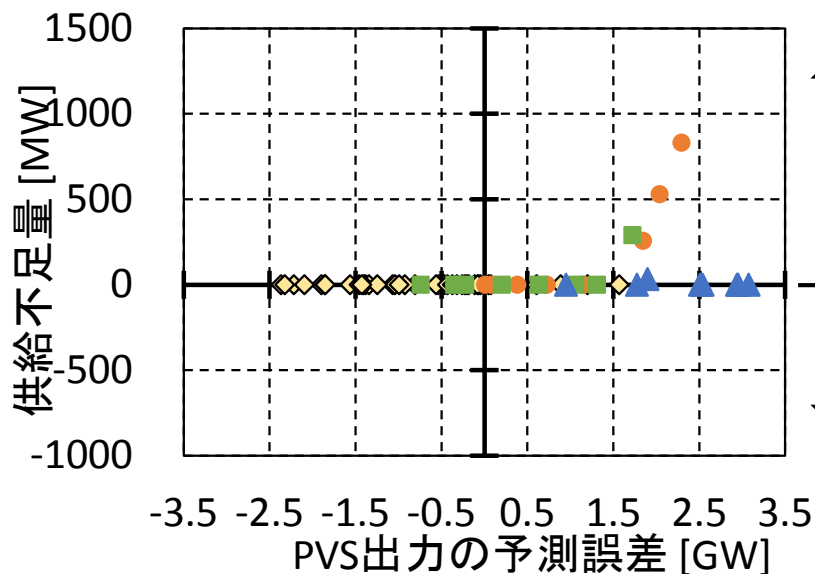
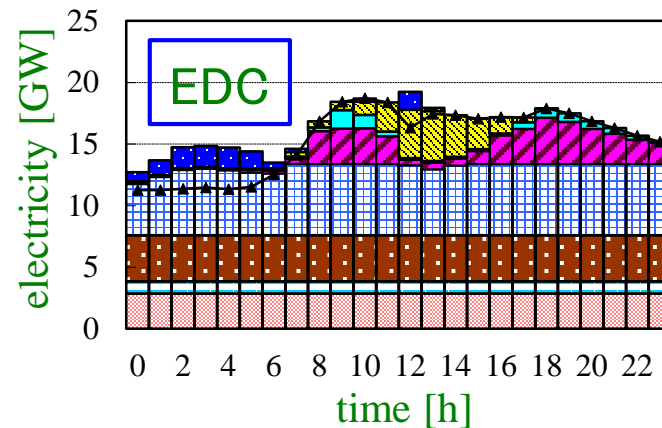
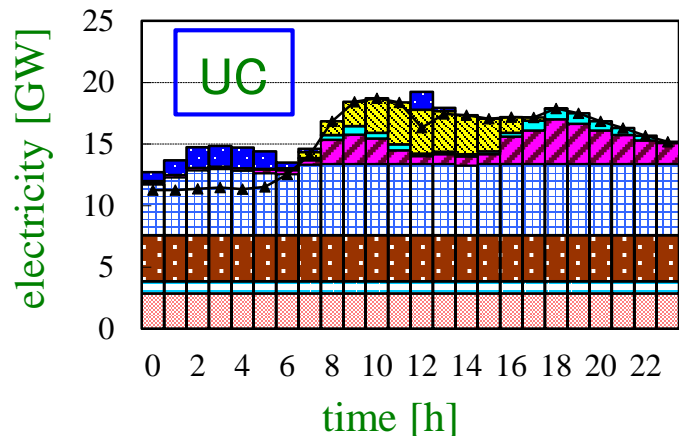
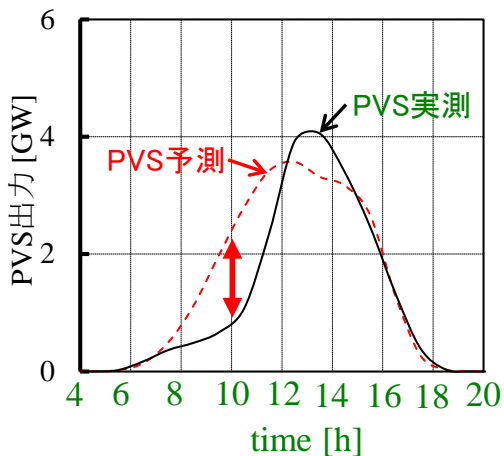
誤差範囲が大きい予測  
信頼性が低い



- 予測値は同じでも信頼性が異なる
- 両者を区別して予測値を利用する必要あり

課題： 予測の信頼度を考慮した発電計画手法の構築

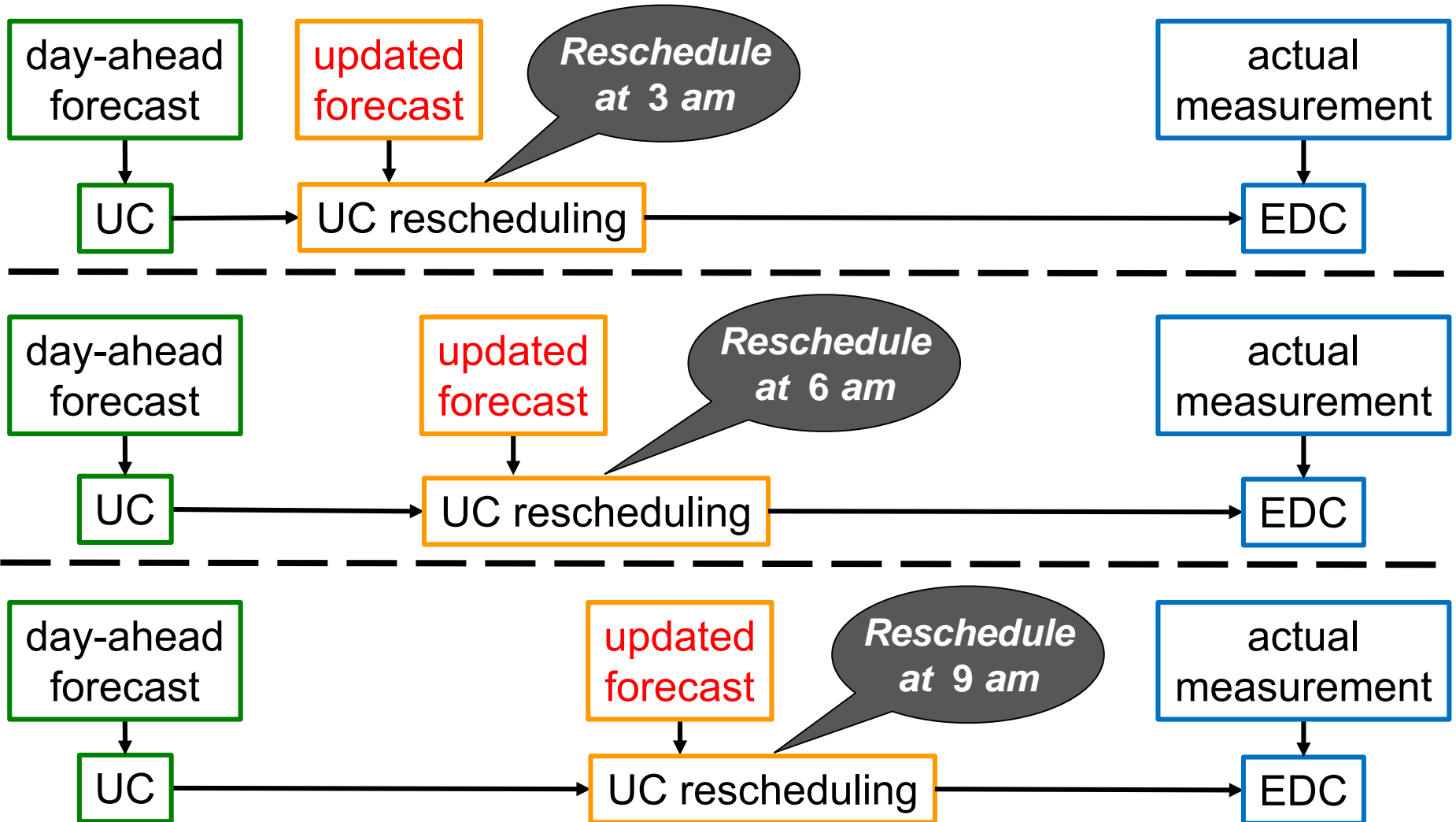
# 電力需給バランスによる予測誤差の評価



- 2月1日 …大外れ、電力需要 大
- 3月25日 …ランプ変動、電力需要 大
- ▲ 3月18日 …大外れ、電力需要 小
- ◇ その他 (計6日)

# 予測値更新の効果に関する評価

更新時刻に応じて、需給バランス改善に有効な更新精度を評価



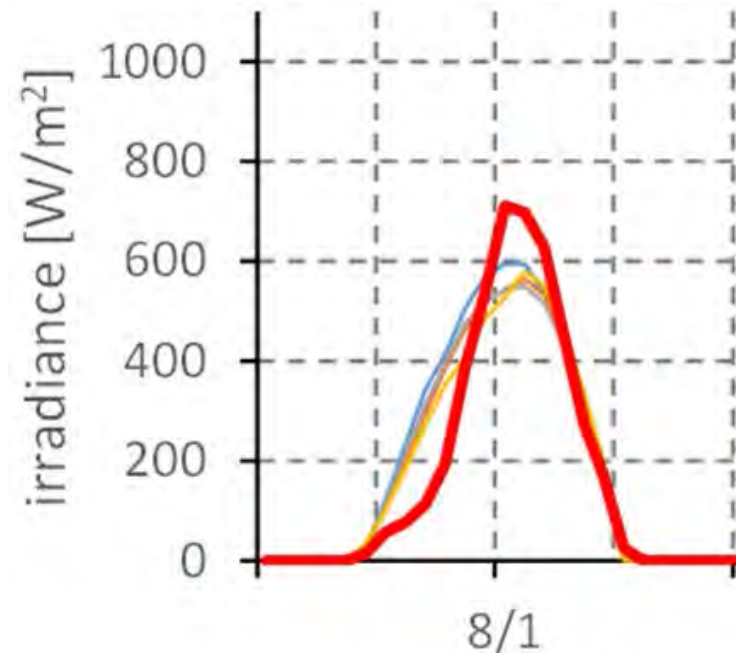
# 予測誤差のモデル化

- どのような予測誤差を想定するか？



- 予測値の時間変化の傾向に基づき、予測誤差をモデル化
  - ◆ 例えば、前日予測では、短時間の出力変化を予測できない場合が多いことを考慮して...

$$\text{予測値} = \text{快晴時出力} \times \alpha$$

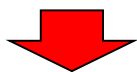


# 内 容

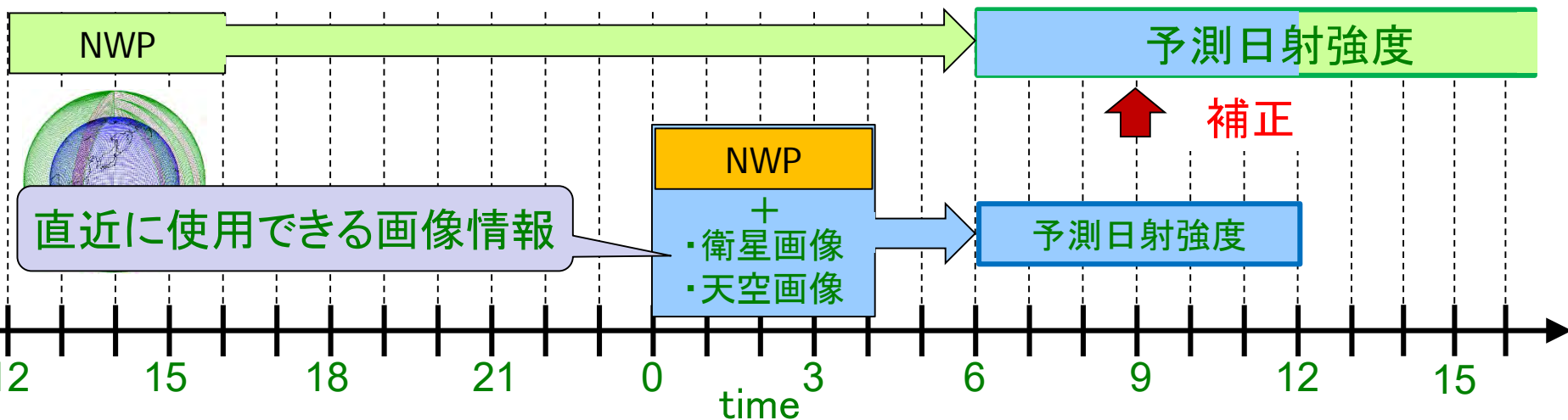
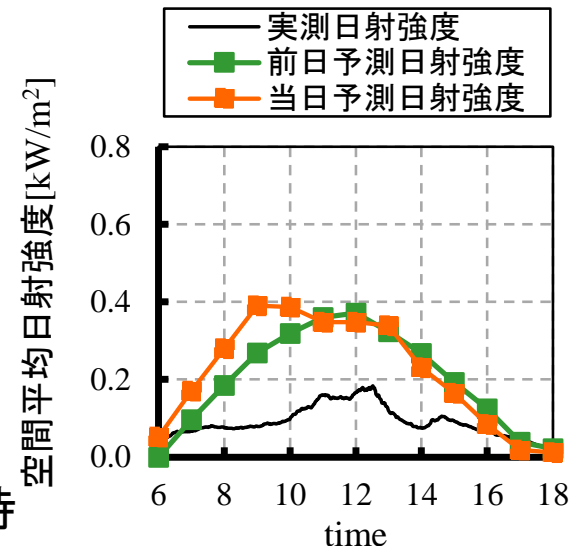
- 電力需給シミュレーションの概要
- 電気学会における  
需給・周波数シミュレーション標準解析モデル
- 再エネ発電の出力予測の方法と精度
- 数時間先予測の精度向上に向けた気象衛星画像の利用

# 気象衛星画像による数時間先予測の必要性

- 数値気象予報(NWP)モデルを用いた日射強度の前日予測では、**極稀に大外れが発生**
- 予測対象時間に近い情報を用いて数時間先の前日予測値の見直し(補正)が必要
- 直近(深夜)のNWPモデルの予報値を用いても予測精度が改善されない場合がある



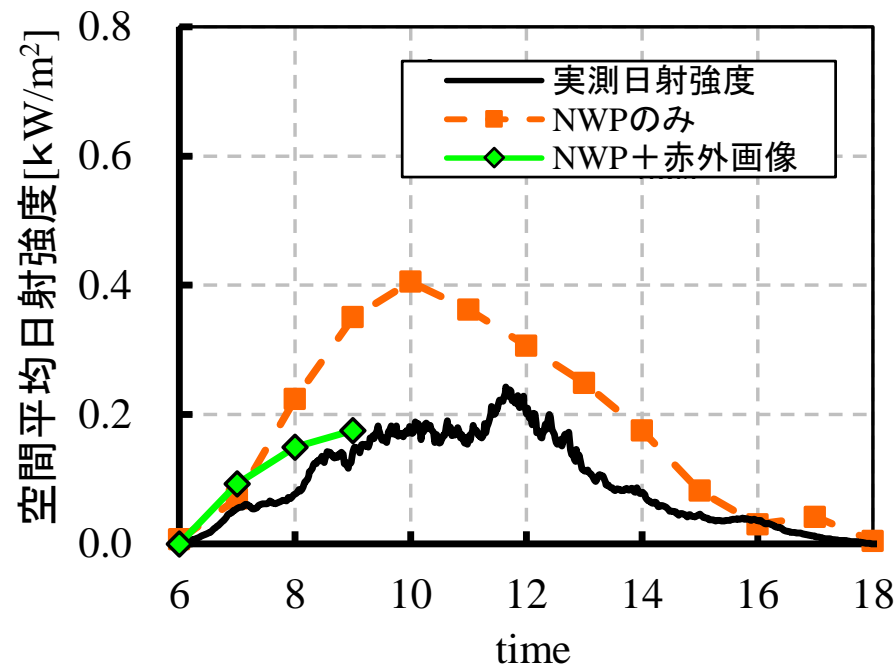
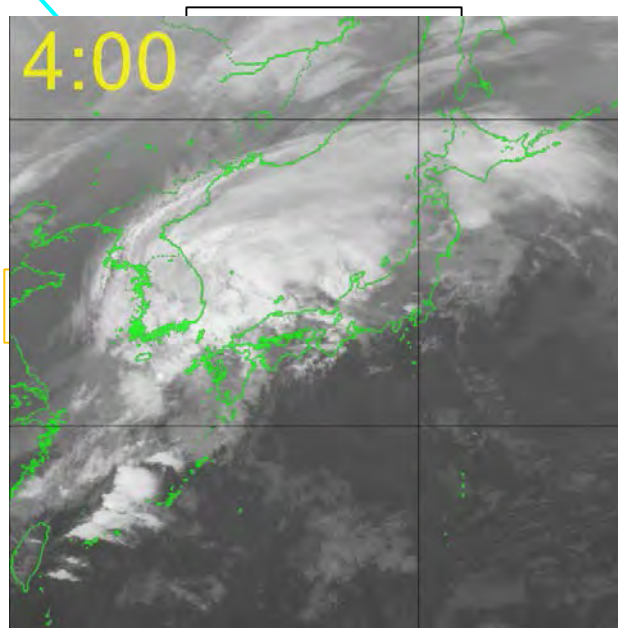
- NWPモデル以外の情報として、気象衛星画像の利用に期待
- 発電機群が立ち上がる時間帯(早朝)の数時間前予測では、赤外画像を利用





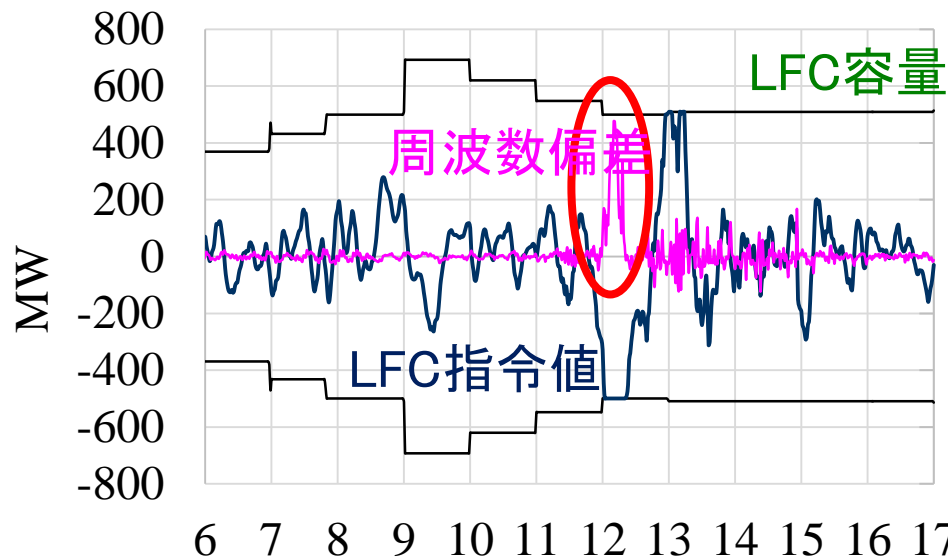
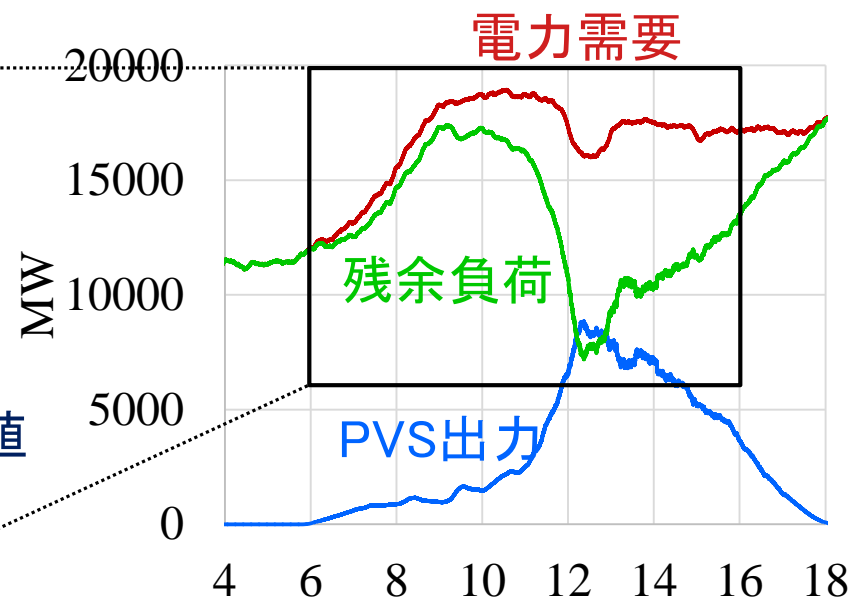
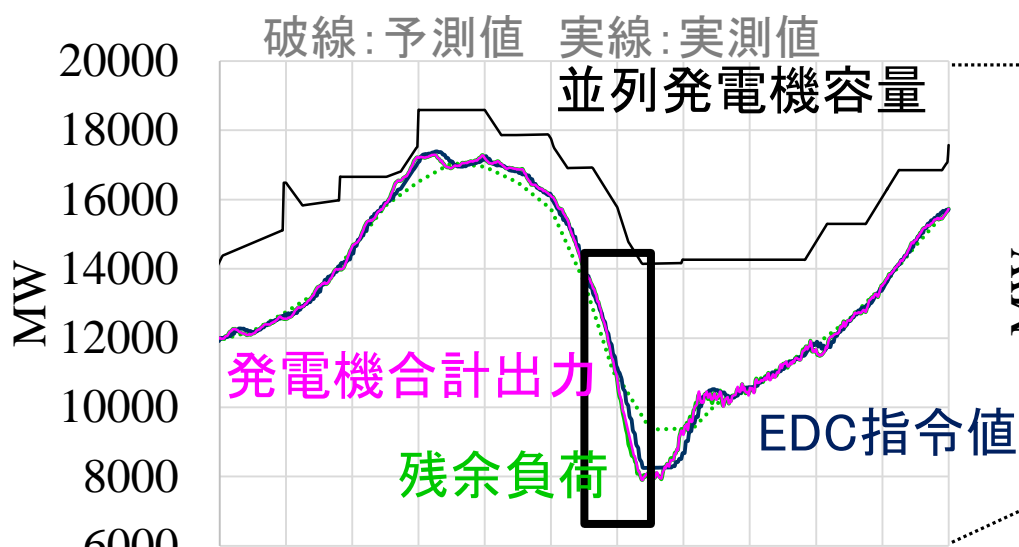
# MSM-GPVの風速予測値を利用した 赤外画像の雲の移動予測手法の例

小領域



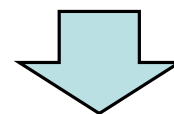
1. 対象地域に到達の可能性がある180個の小領域について、予測実施時刻における平均風速に基づき1時間後の移動先を決定
2. 移動先における1時間後の風速予測値に基づき2時間後の移動先を決定。これを繰り返して小領域が中部エリアに到達する時刻を算定
3. 予測対象時刻に対象エリアに到達する小領域について、予測実施時刻の輝度温度および輝度温度差を上述の予測式に代入して日射の予測値を算定
4. 位置が異なる複数の小領域の赤外画像情報により、それぞれ異なる日射予測値を得て、それらを降順整列し、各小領域が対象エリアと重なる面積を考慮して、対象時刻における日射予測値の確率分布を算定

# 数時間先予測精度の向上効果に関する評価



PVS14GW導入時

12時直後に周波数が大きく変動(最大0.54Hz)



一時的な供給余剰

## まとめ

- 電力需給の評価・解析では、適切なデータ利用が重要
- 様々な視点による評価・解析のため、データの公開が必要
- 一般に利用可能な評価・解析ツールとして電気学会の需給・周波数シミュレーション標準解析モデルが公開
- 需給・周波数シミュレーションの結果に対し、発電計画が大きく影響
- 出力予測精度の向上において、需給・周波数シミュレーションの結果のフィードバックが重要