

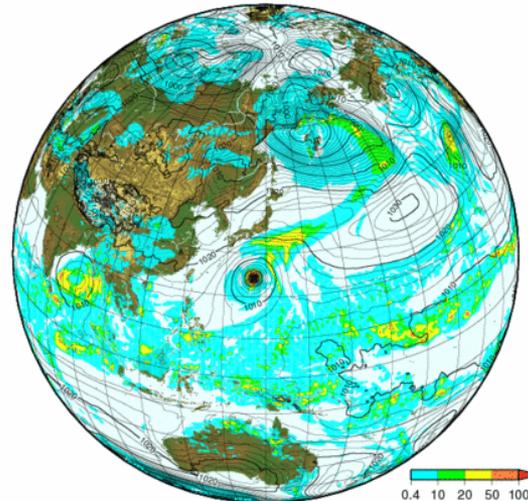
第15回環境研究シンポジウム

一橋大学一橋講堂(学術総合センター内)

再生可能エネルギー分野での 気象予測の重要性



GSM-TL959L100 2014.11.04.12UTC FT=012



気象研究所

山田 芳則
気象研究所 予報研究部

2017年11月22日



再生可能エネルギーとは

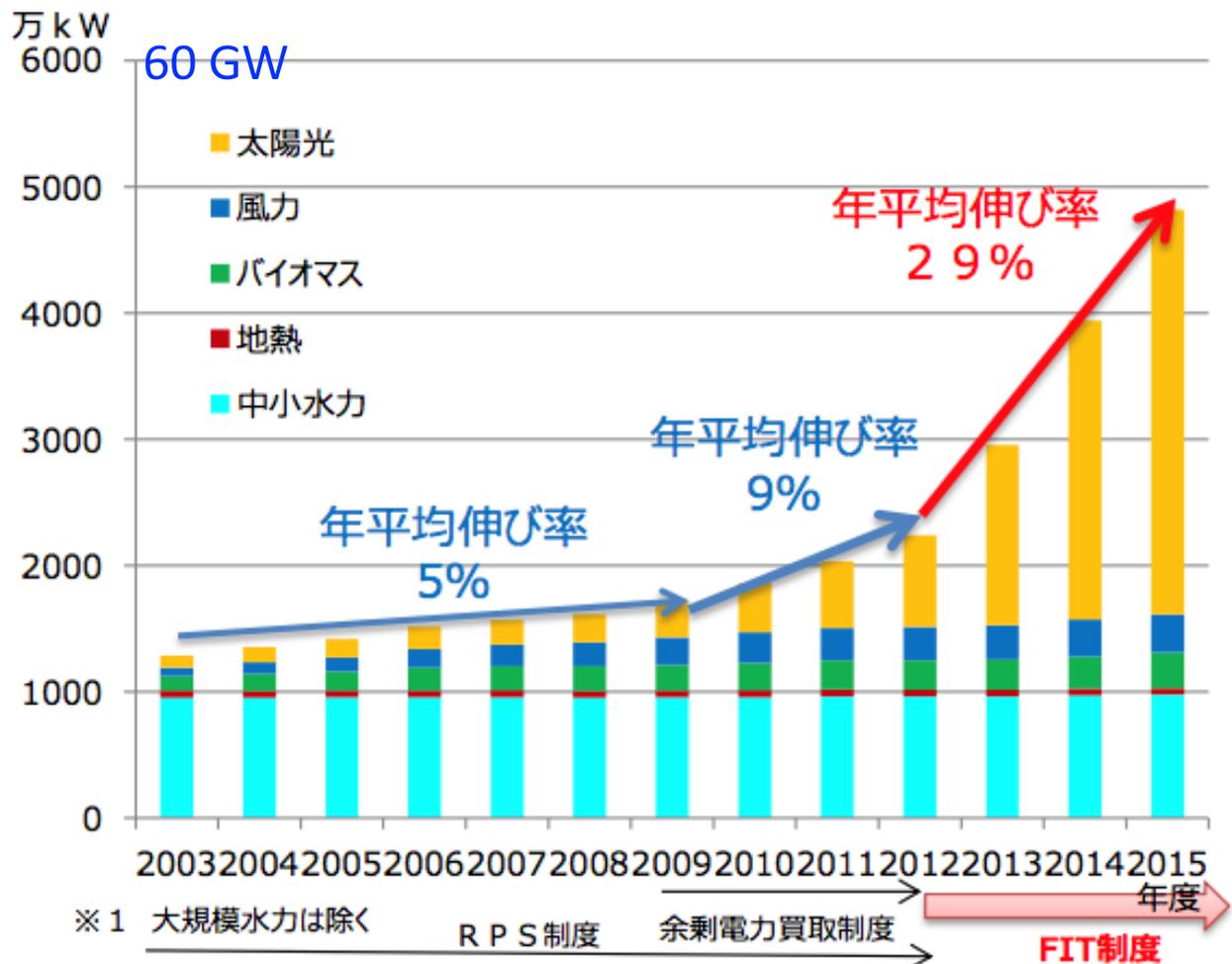
国際エネルギー機関(IEA)

再生可能エネルギーは「絶えず補充される自然のプロセス由来のエネルギーであり、太陽、風力、バイオマス、地熱、水力、海洋資源から生成されるエネルギー、再生可能起源の水素が含まれる」と規定されています。

「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律(2009年7月)」

再生可能エネルギー源は、「エネルギー源として永続的に利用することができる」と認められるものとして、太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、大気中の熱その他の自然界に存する熱、バイオマスが規定されています。

日本における再生可能エネルギーの累積導入量の経年変化



(JPEA出荷統計、NEDOの風力発電設備実績統計、包蔵水力調査、地熱発電の現状と動向、RPS制度・固定価格買取制度認定実績等より資源エネルギー庁作成)

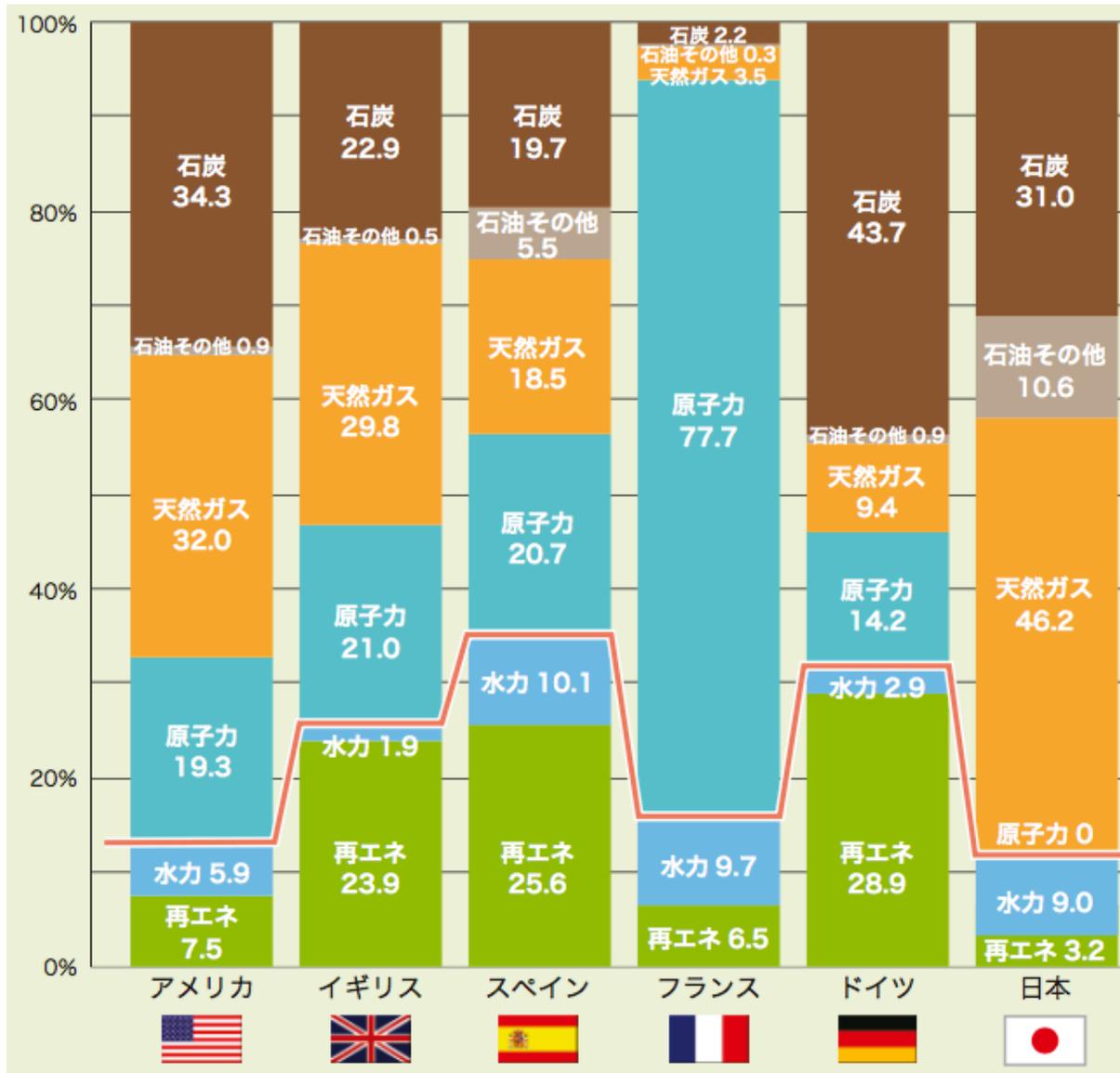
2017年11月14日現在
日本

- メガソーラー
(0.9MW以上)
4186箇所
総発電量: 12.4 GW

- 風力発電所
424箇所
総発電量: 3.4 GW

エレクトリカル・ジャパンのHP

各国の電源構成比率の比較：2016



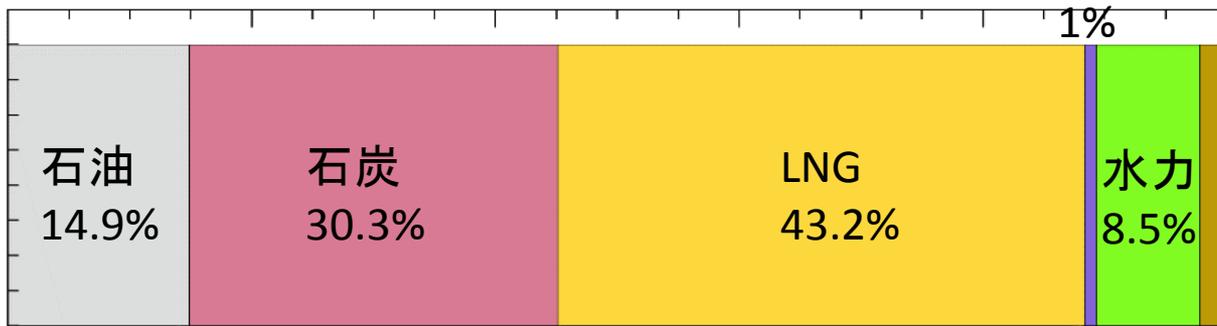
日本
12%

2030年での日本の電源構成（エネルギーミックス）

原子力 新エネルギー

1% 2.2%

2013年度



2030年度



地熱

1.0-1.1%



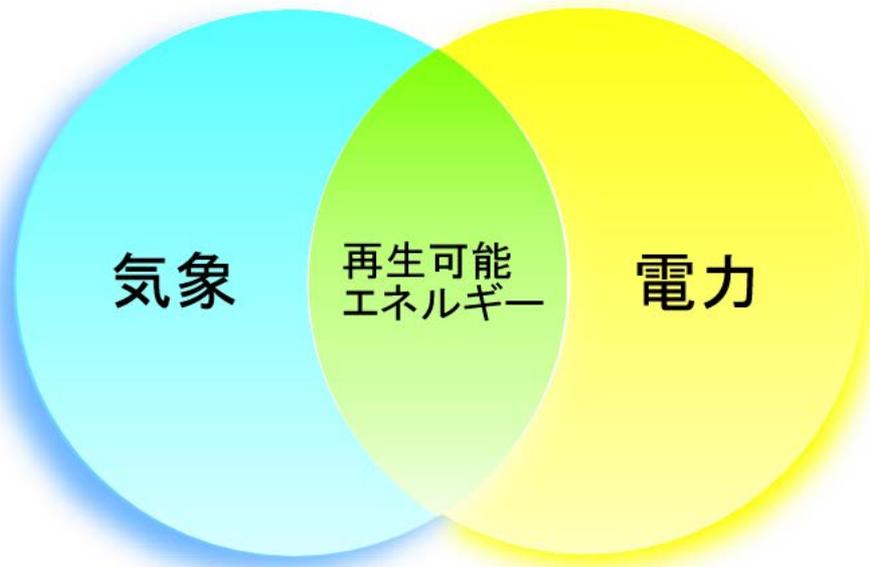
日本の電源構成(発電会社)に占める再生可能エネルギー(エネルギー白書2017)

2013年度: 太陽光 3 GW、風力 1.5 GW

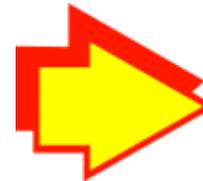
→ 2030年度: 太陽光 21 GW、風力 5 GW

気象と再生可能エネルギー (太陽光発電、風力発電) との接点

- 発電量が大気の状態に依存して変化すること(「変動電源」とも呼ばれる)
- 発電量の予測には気象の予測が必要であること



■ 発電量予測を行う意味と重要性は？



キーワード: 電力の需給バランス

電力の需給バランス



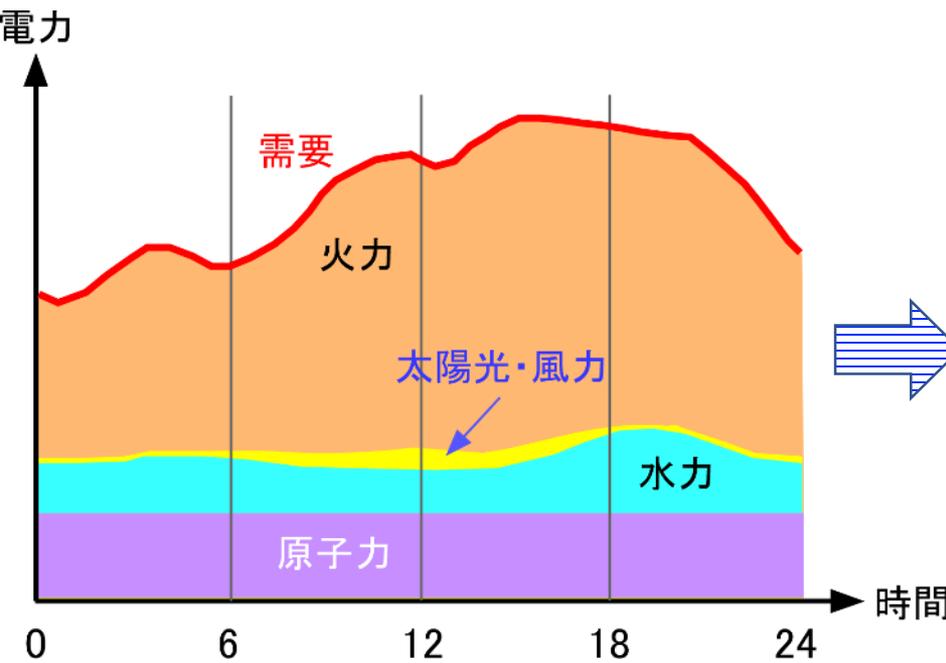
出典: 電気学会広報特別委員会

- 電気は基本的に貯蔵できないため、瞬時瞬時に常に需要と供給のバランスを保つ必要がある。このバランスが崩れると、発電機が停止したり周波数に変動が生じたりして、最悪の場合、不測の大規模停電が発生する恐れがある。
- 各電力会社では、電力の需要を予測して発電計画を立てている。
特に前日での発電計画が最も重要。
発電コストを最小に、かつ需要を満たすように

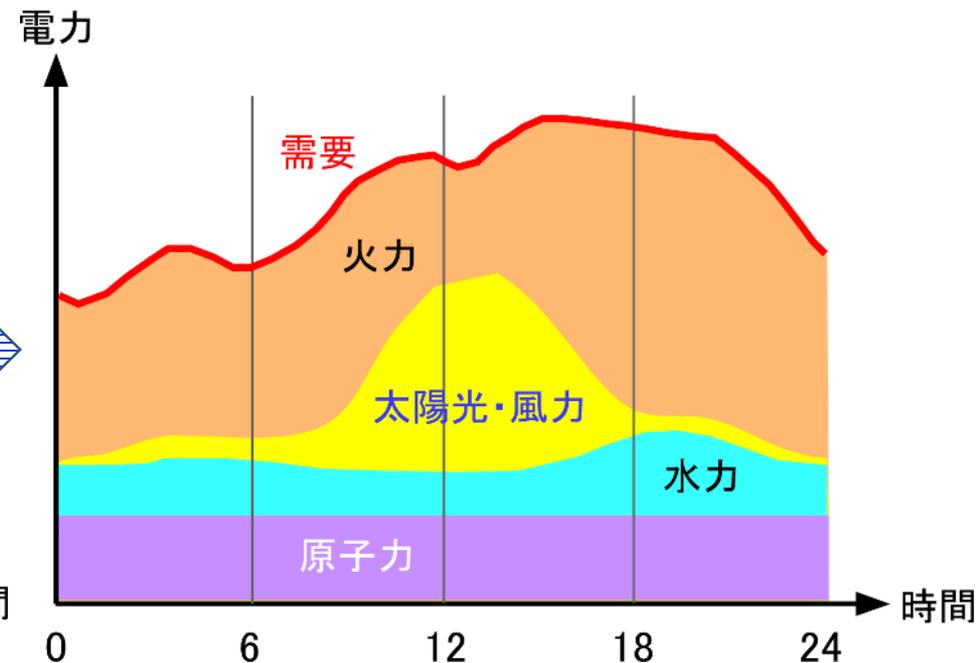
火力や原子力による発電量の調整には少なくとも数時間を要する

各発電施設による発電量と需要の1日の変化を示す模式図

現在の状態



近い将来の状態



太陽光や風力による発電予測が必須

前日において30分～1時間幅の発電量を予測する技術開発が重要

数値予報とは

気象庁の予報業務の根幹をなすもの

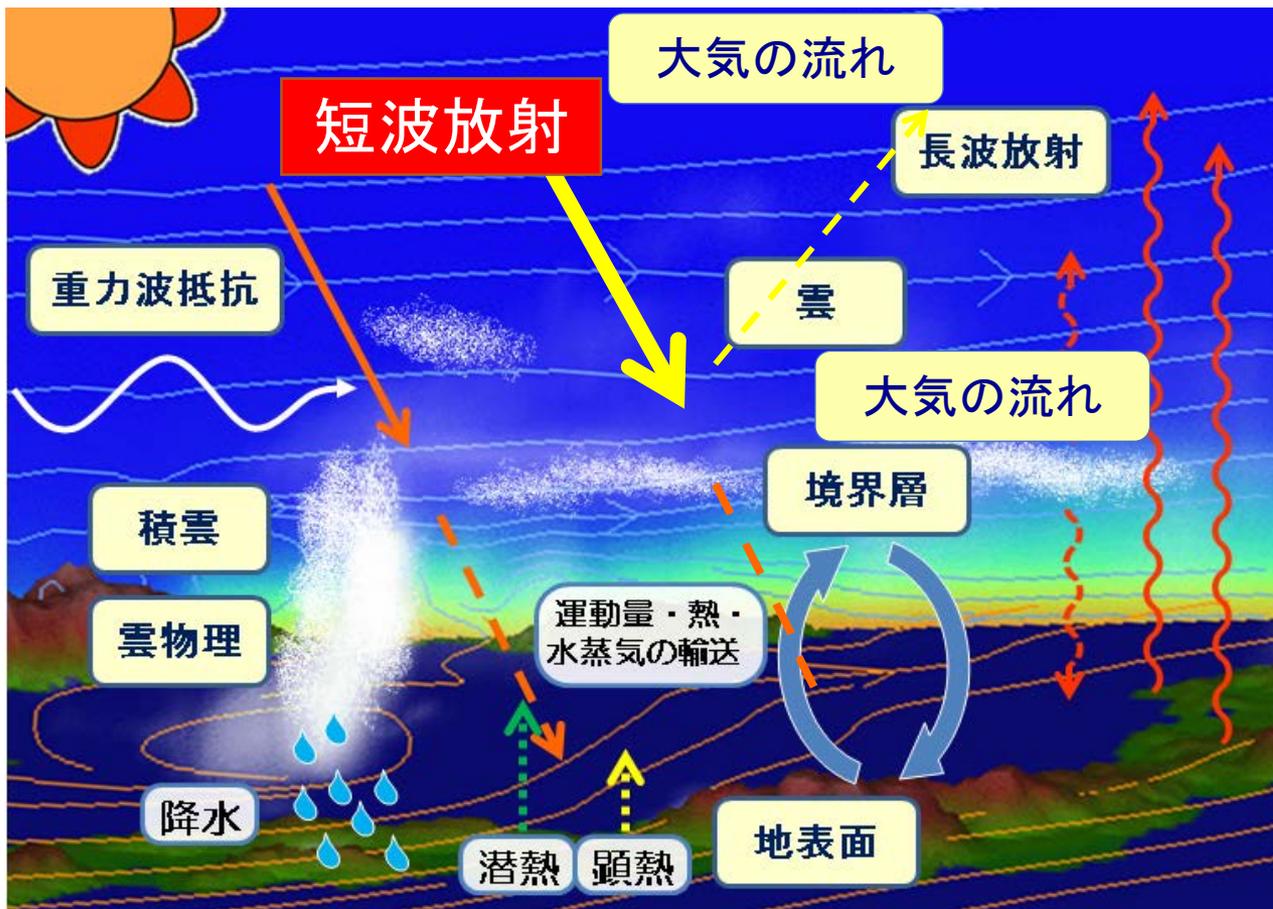
気象庁で発表している予報・情報

- 注意報、警報、気象情報
- 短期予報(明日、明後日まで)
- 週間予報(1週間先まで)
- 季節予報(1ヶ月、3ヶ月など)
など

これらの予報のほとんどは、数値予報やそれから得られるガイダンス等の資料を基礎として、予報官の知見や判断を加えて作成されている。

数値予報モデルに含まれる主な過程

数値モデルでは、現在の大気の状態(気温、風、湿度など)から、物理法則に基づいて数値計算を行い、未来の大気の状態を予測する



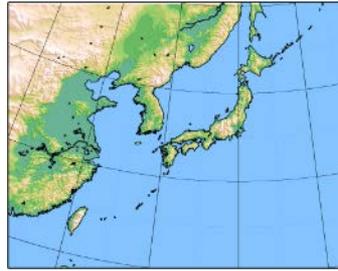
【気象研究所での取り組み】

- ✓ 雲や降水の予測の高度化
- ✓ 放射過程の高度化
- ✓ 数値モデル全般の高度化



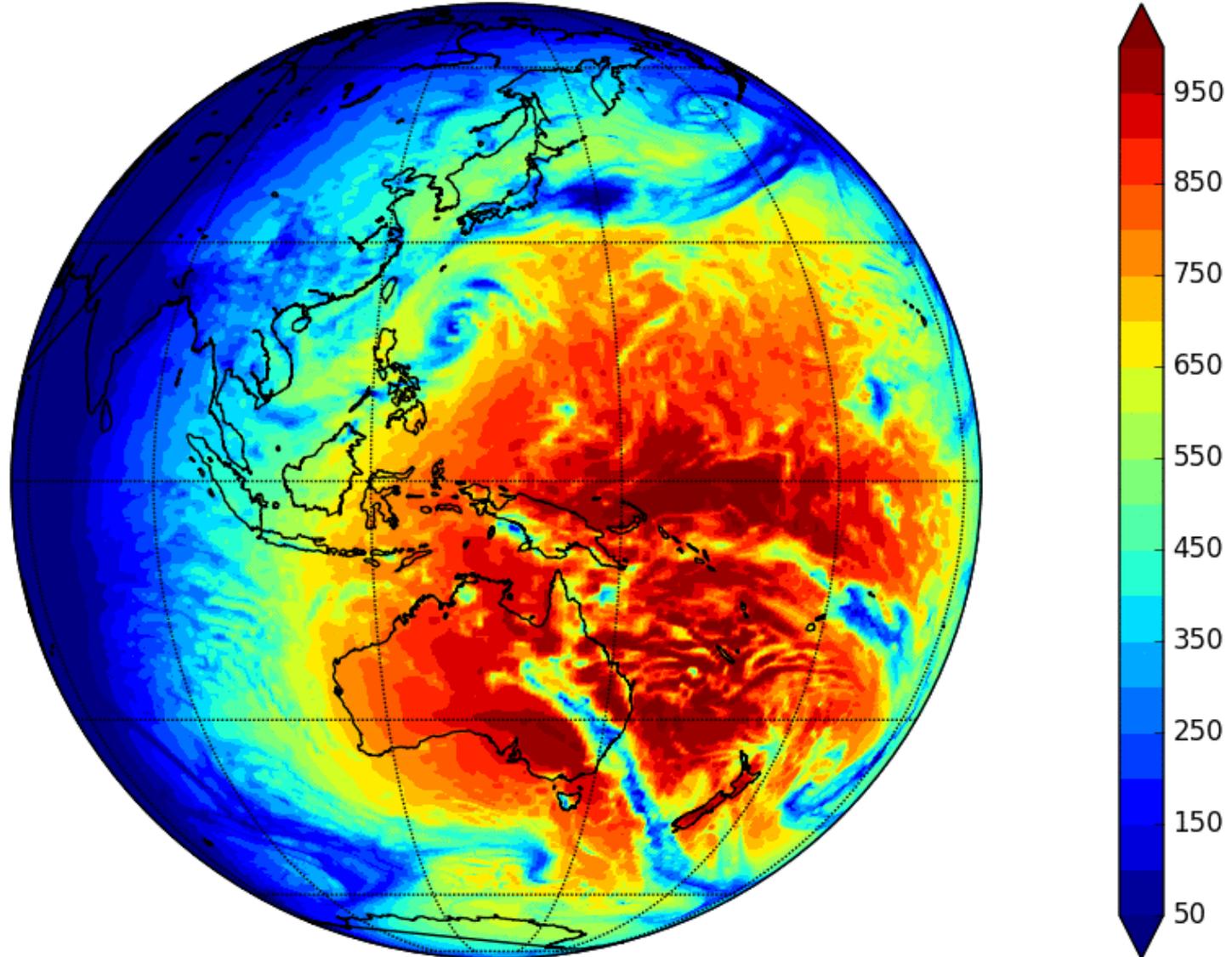
気象研究所のスーパーコンピューター

気象庁で運用されている主な数値予報モデル

	全球	メソ	局地
目的	週間天気予報 府県天気予報 航空気象予報 台風予報	防災気象情報 航空気象予報	航空気象予報 防災気象情報
数値予報モデル	全球モデル(GSM)	メソモデル(MSM)	局地モデル(LFM)
予報領域			
水平解像度	約 20 km	5 km	2 km
鉛直層数 (モデルトップ)	100 (0.01 hPa)	60 (21.8 km)	60 (20.2 km)
予報時間 (初期時刻)	84 時間 (00, 06, 18 UTC) 264 時間 (12 UTC)	39時間 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC)	9時間 (毎正時)
初期条件	全球解析 (4次元変分法)	メソ解析 (4次元変分法)	局地解析 (3次元変分法)

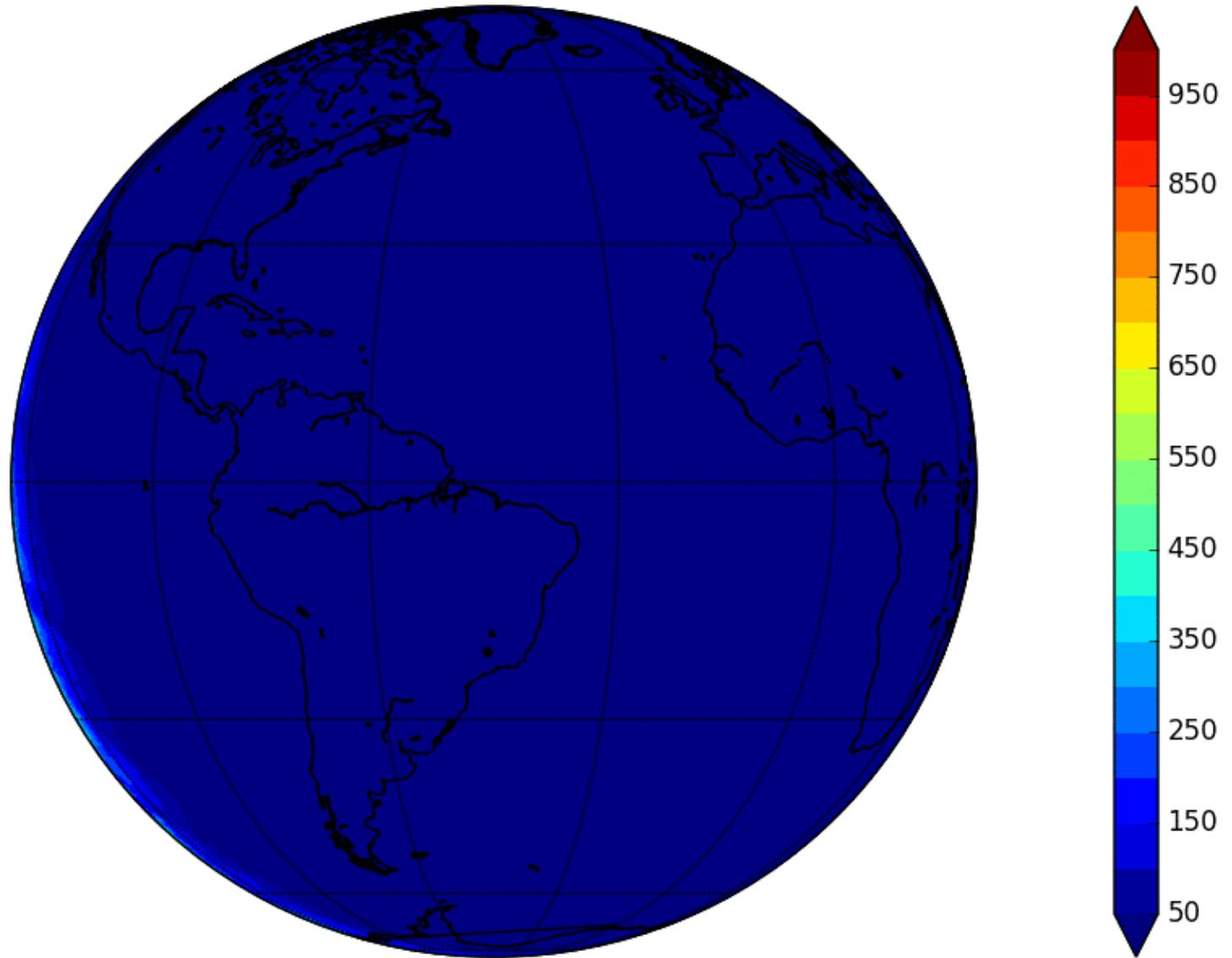
全球モデルによる日射量予測例：2017年10月20日の予測値

Down. ShortWave at Surface 2017-10-20 10:00



全球モデルによる日射量予測例：2017年10月20日の予測値

Down. ShortWave at Surface 2017-10-20 10:00



LFM による予測日射量

LFM_Lf GHI 20140503 08

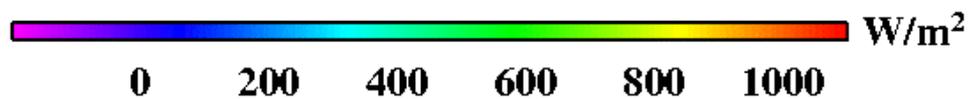
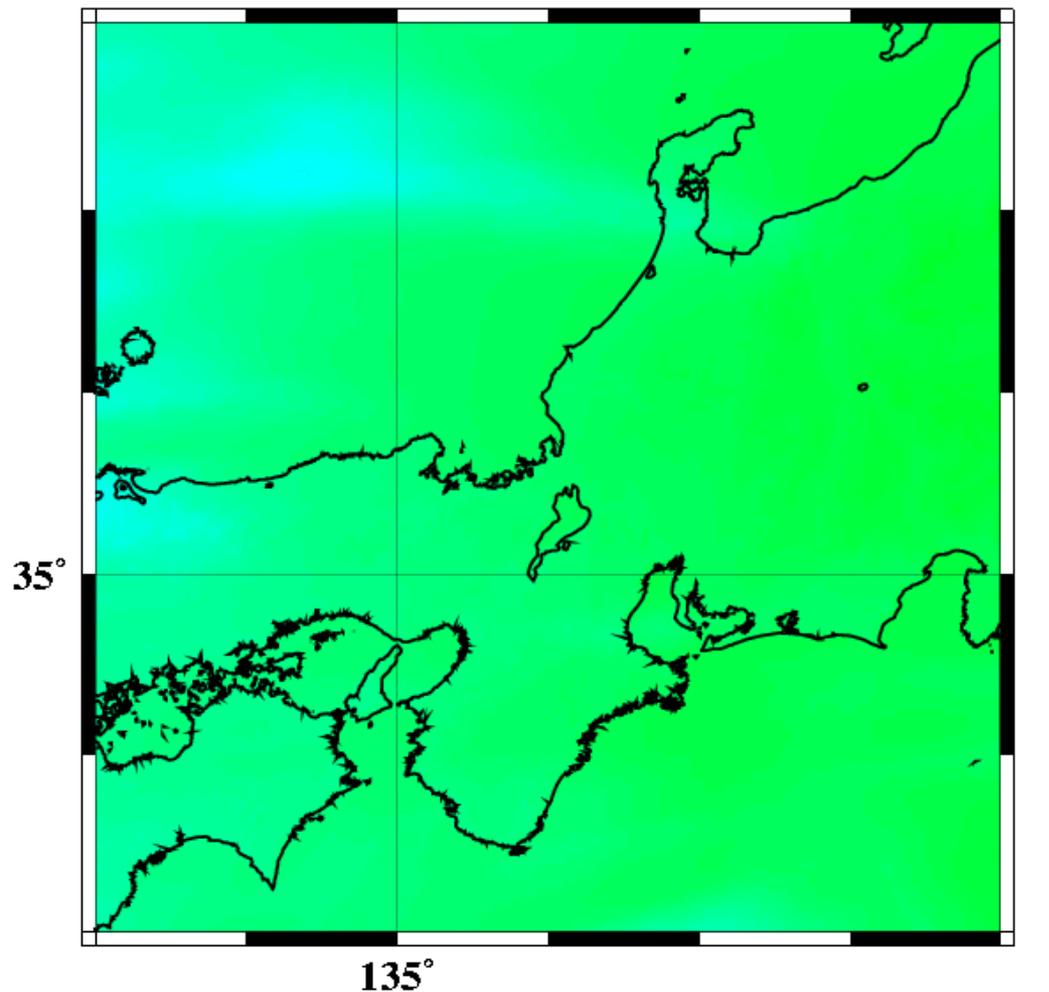
水平解像度 2 km

初期値

2014年5月2日 22 UTC

(5月3日 07 JST)

全天日射量



20140502

22UTC_INI FT01

LFM による地上気温と地上風の予測

水平解像度 2 km

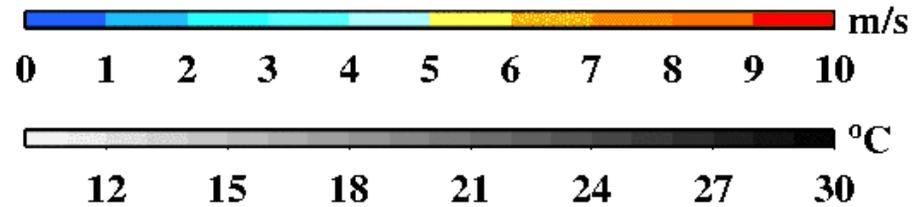
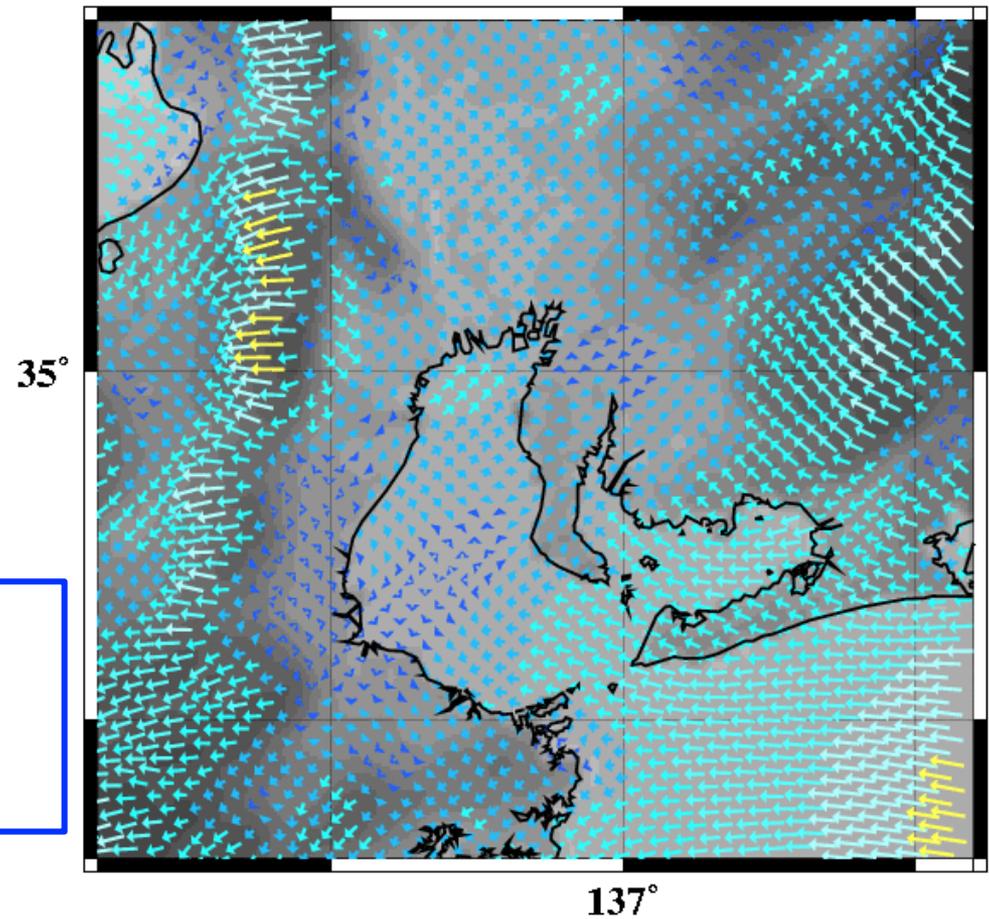
初期値

2014年5月2日 22 UTC
(5月3日 07 JST)

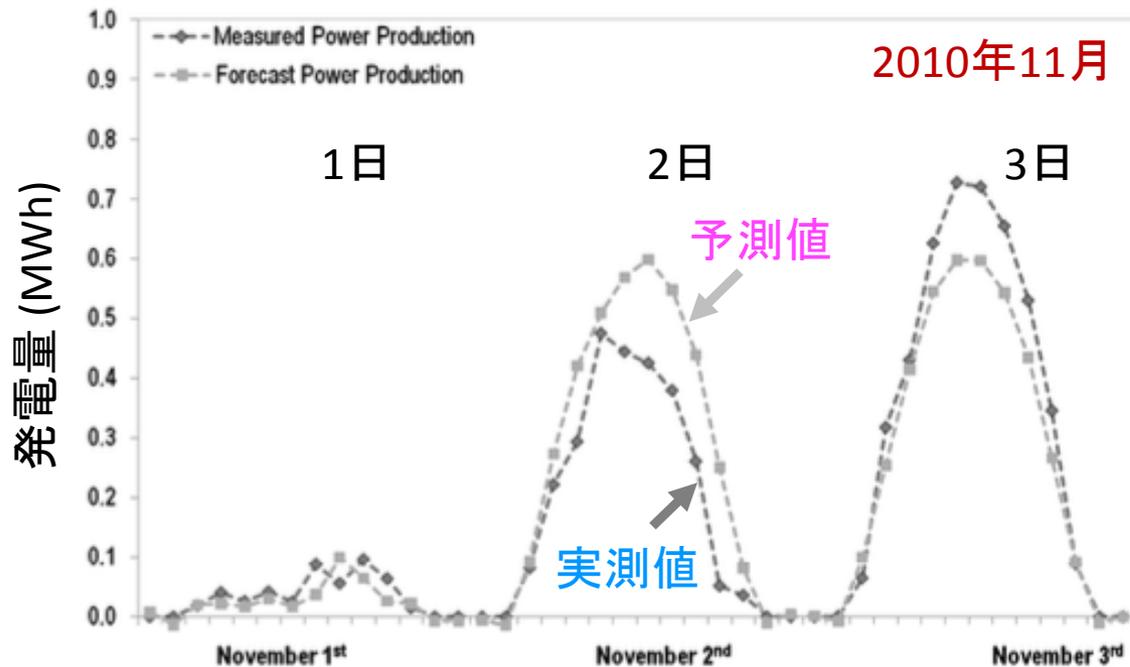
地上の風と気温

風(矢印:風速は色で表示)

気温:白黒の濃淡



気象庁MSMのGPVに基づく発電量予測 —北九州のメガソーラー（1 MW）への適用事例—

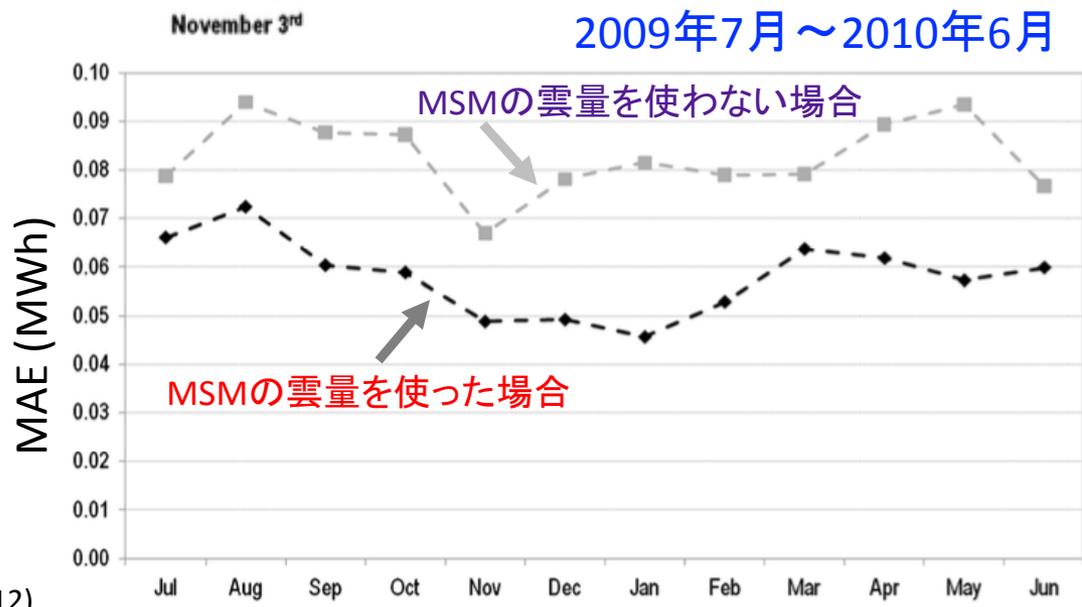


1時間あたりの太陽光発電量。
予測値と実測値

予測はサポート・ベクター・マシン
によって行う

Fonseca et al. (2012)

MSMの雲量を使った場合と
使わない場合の発電量予測
値の月平均 MAE。

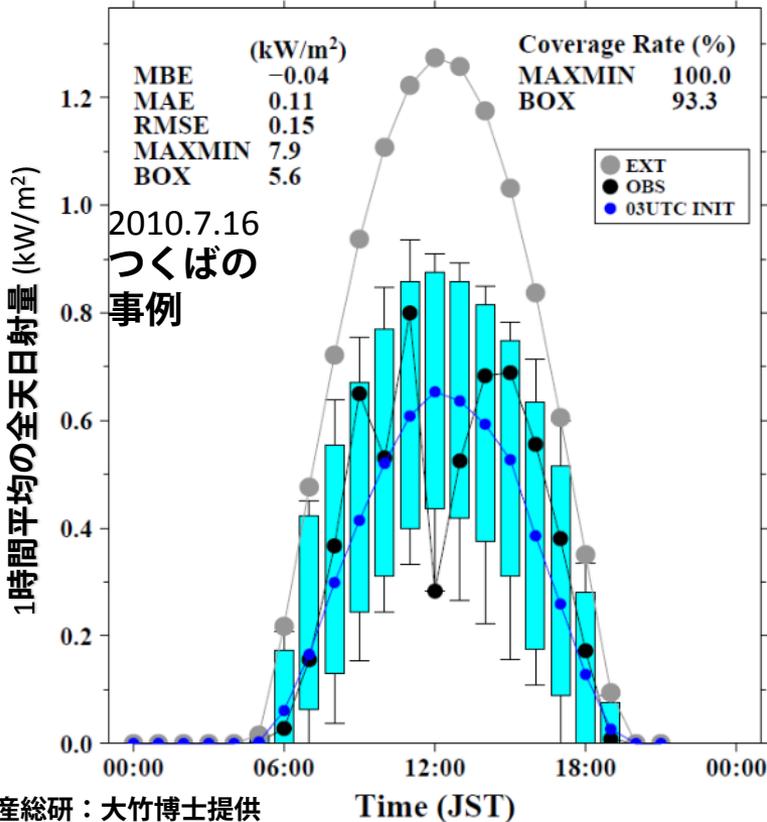


Fonseca et al. (2012)

日射量予測の誤差幅：将来のアンサンブル予報

日射量予測の誤差幅の情報も重要

2010年の夏季(JJA)の予測誤差幅を利用した場合



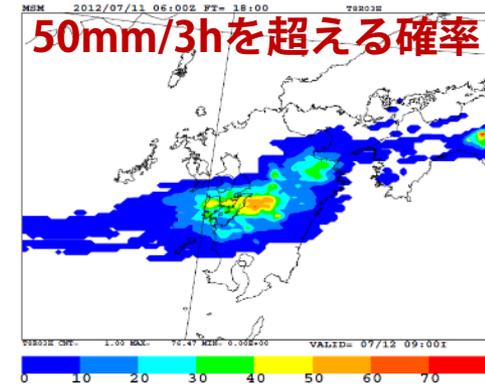
一年前の予測実績から信頼区間(93.3%)を作成
 ⇒最大最小(ヒゲ)の滞在率は100%(観測値をすべての時刻でカバー)

近い将来の技術：アンサンブル予報による確率的な情報

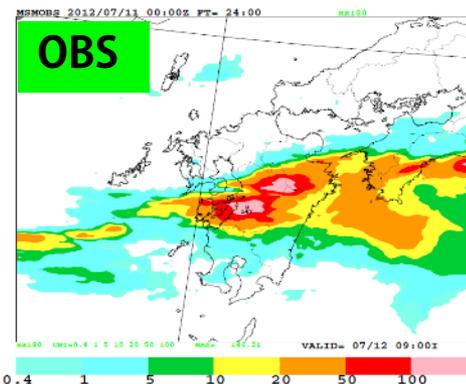
初期値（大気の状態を予測するための初期時刻の状態）に含まれる誤差を考慮して、異なる初期値から数値予報モデルを実行する方法

予測の幅や確率的な情報が得られる

2012年7月の九州北部での豪雨



18時間予報で50%以上の確率で大雨の発生を捕捉。



アンサンブル予報によって日射量や風の予測の幅も評価できるようになる可能性

気象衛星ひまわり8号の利用

高解像度・高頻度観測データの日射量推定やナウキャスト、検証への利用可能性

2015年7月30日の事例

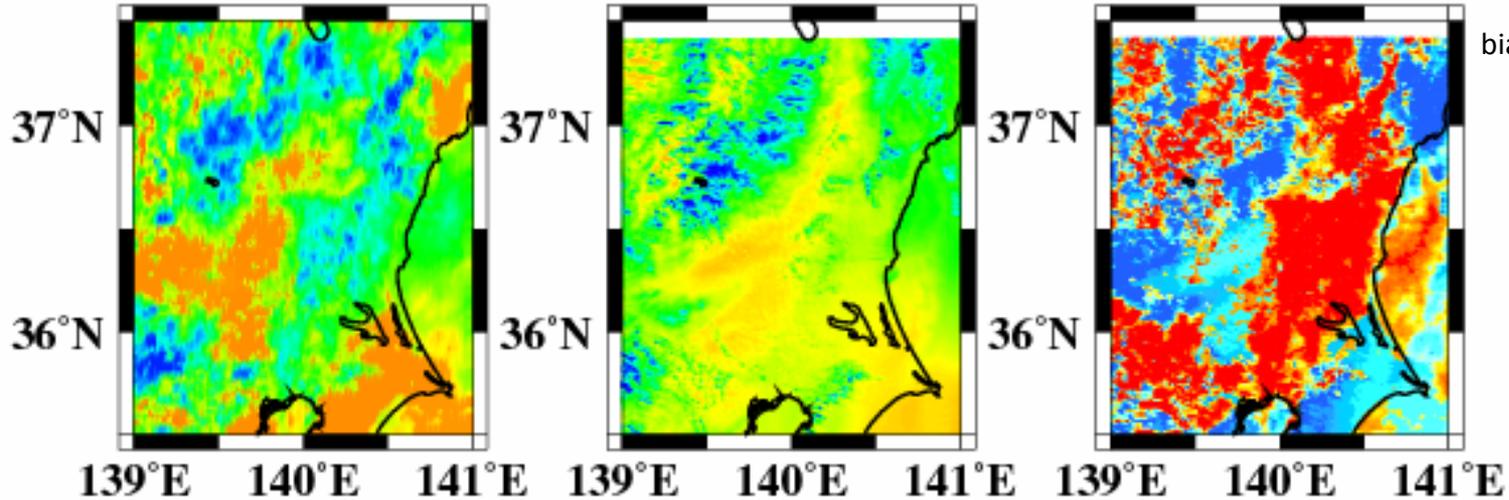
モデルグリッドに一番近い衛星データとの差を計算

衛星推定日射量(観測)

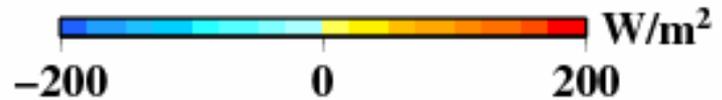
日射量予測値
(モデル: 水平解像度 500 m)

バイアス

bias=モデル-観測



GHI



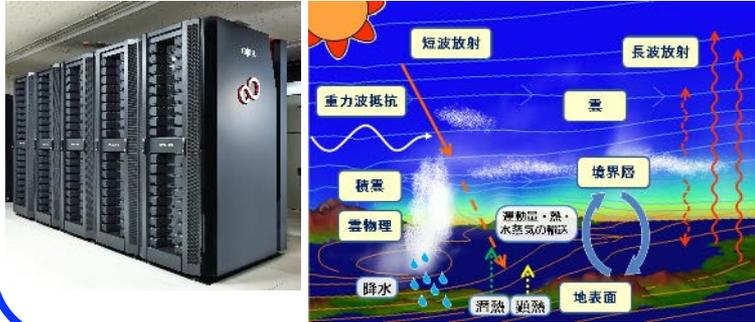
bias

負バイアス
(日射予測過小)

正バイアス
(日射予測過大)

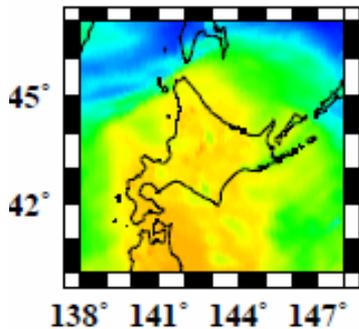
気象の予測情報の再生可能エネルギー分野での利用 —まとめ—

数値モデル



- 天気予報や防災気象情報のための数値モデルによる予測結果は、再生可能エネルギーの発電予測にも活用でき、電力の安定供給という分野にも貢献する。
- 再生可能エネルギーの活用はCO2 排出を抑制することで、低炭素社会の構築と地球温暖化の防止、国富の損失の低減にも貢献する。

数値予報による
日射量や風の予測



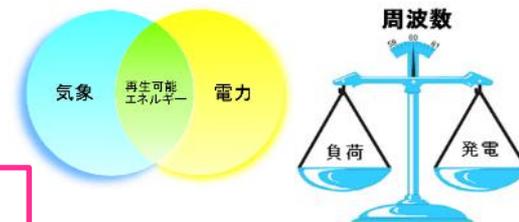
再生可能
エネルギー分野での利用

太陽光や風力による発電予測

電力の需給バランス(安定した電力供給)に貢献

■ 新しい分野での気象庁の予測・観測データの活用

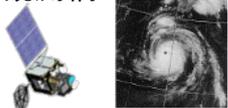
再生可能エネルギー利用の拡大



気象庁が作成する気象データの概要

観測データ(国内外)

気象衛星観測網



高層気象観測網

ラジオゾンデ
ウインドプロファイラ
航空機



レーダー気象
観測網



地上気象観測網

各気象官署
アメダス観測



海洋気象観測網

海洋気象観測船
一般船舶



外国気象機関



観測データ収集

解析・予測・情報作成

予報官(全国の気象台)

今後の予測・情報の作成

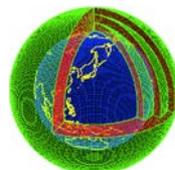


実況監視
予測資料の分
析

気象資料総合処理システム(COSMETS)

スーパーコンピュータシステム

大気の状態予測(数値解析予報)



1秒間に847兆回の計算能力

気象情報伝送処理システム(アデス)

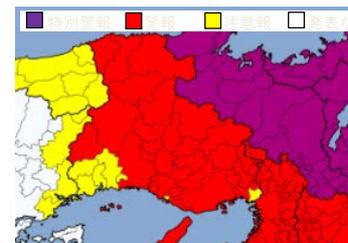
国内外のデータ収集・配信



取り扱うデータ量(H26年度)
1日に新聞約11,000年分

防災や産業活動に資する
気象庁が発表する各種情報

特別警報・警報・注意報



台風情報



情報発表

気象情報

高解像度降水ナウキャスト

天気予報・週間天気予報

天気図 等

気象データの特徴

気象データの特徴 – 公的かつ巨大なビッグデータ –

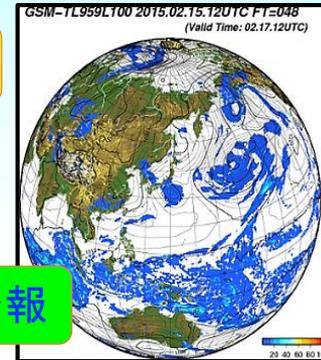
① 個々の容量は小さいが、日本全国に広がる多種多様の気象データ

- アメダス、高層気象観測、天気予報、注意報・警報など、地点・地域の観測・予測データ



② 個々の容量が大きく、面的・立体的な広がりを持つ気象データ

- 衛星やレーダー等のメッシュ状の観測データ
- 数値予報等のメッシュ状(3次元)の予測データ



秒・分・時・日・月・年など、様々な時間単位で更新

気象庁の観測地点
2,500地点

アメダス: 1,304地点
気象レーダー: 20地点
地震・震度観測: 974地点
津波観測: 85地点 等

気象庁が1年で
発表する防災情報
75,000回

気象警報・注意報、海上警報、
地震・津波情報、噴火警報等

H25年3月 津波警報改善
H25年8月 特別警報開始
H27年8月 噴火速報開始

気象庁が1日に扱う
気象データ量
1,600GB

新聞に換算すると
約11,000年分に
相当する量

※ 平成27年実績

気象ビジネス推進コンソーシアムの構築

- **産学官が連携して気象ビジネスを推進**するため、気象事業者に加えて、情報通信、農業、小売、金融、電力等の関係する産業界やIoT、AI等の先端技術に知見のある学識経験者等を構成員とした**コンソーシアムを構築**（平成29年3月7日発足）。
- IoT、AI等の先端技術を活用した**先進的なビジネスモデルの創出**や、気象衛星・レーダー等の技術的進歩に対応した**新しい気象情報の利活用**を進めるとともに、気象情報高度利用ビジネスを推進するために**継続的な情報改善や人材育成などの環境整備**を実施。

気象ビジネス推進コンソーシアム (WXBC)

Weather × Business Consortium



先進的気象ビジネスモデルの創出

- 関連技術の進歩に応じた気象情報の利活用の促進
- 世界最高水準の技術の気象ビジネスへの展開

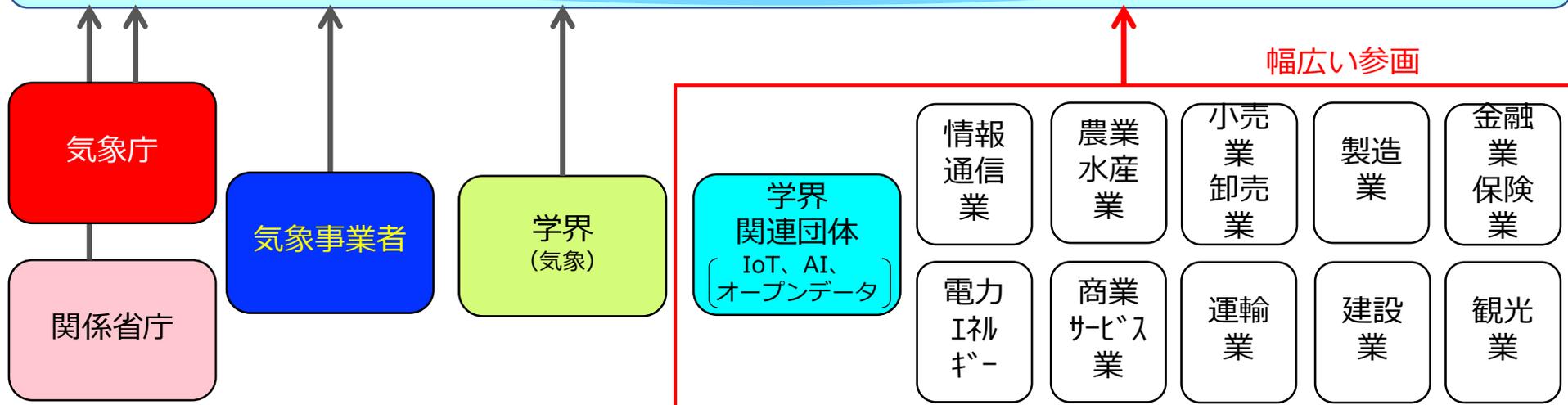
気象ビジネス推進の環境整備

- ユーザーとの対話を通じた継続的な情報改善
- 気象情報高度利用ビジネスに係る人材育成

気象ビジネスフォーラム

- 産学官関係者が一堂に会する対話の場
- 気象事業者と産業界のマッチング

産学官連携による気象ビジネスの共創



おわりに

気象庁が有する膨大な観測・予測データは、近年その利用分野を広げ、防災・気象情報以外でも重要なデータとして広く活用されるようになってきている。

▶ 太陽光や風力発電のような再生可能エネルギー分野での数値予報結果の利用

- 電力の安定供給に貢献
- CO₂ 排出抑制による地球温暖化防止への貢献
- 化石燃料の消費を抑制することに伴う国富の損失の低減

▶ 気象ビジネス推進コンソーシアム等の活動を通じた気象ビッグデータの活用

- 産業の振興
- 経済の発展

ご清聴ありがとうございました



気象庁のマスコットキャラクター「はれるん」です

本講演に関連するポスター発表もご覧下さい

「電力・エネルギー分野での太陽光発電出力予測の検討」 大竹秀明