



気象庁数値予報の現状と展望

「再生可能エネルギー発電導入のための気象データ活用」ワークショップ
2014年3月25日

気象庁予報部数値予報課
数値予報モデル開発推進官
多田 英夫

目次

気象庁数値予報の現状と展望

1. 気象庁の数値予報システム
2. 数値予報の計算例
3. 数値予報開発を取り巻く環境

1. 気象庁の数値予報システム



数値予報モデル

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。

大気を記述する方程式

$$\boxed{\frac{\partial \phi}{\partial t}} = F \Rightarrow \boxed{\phi_{t+\Delta t} = \phi_t + F_t \Delta t}$$

時間変化率 未来の値 現在の値

• 力学過程

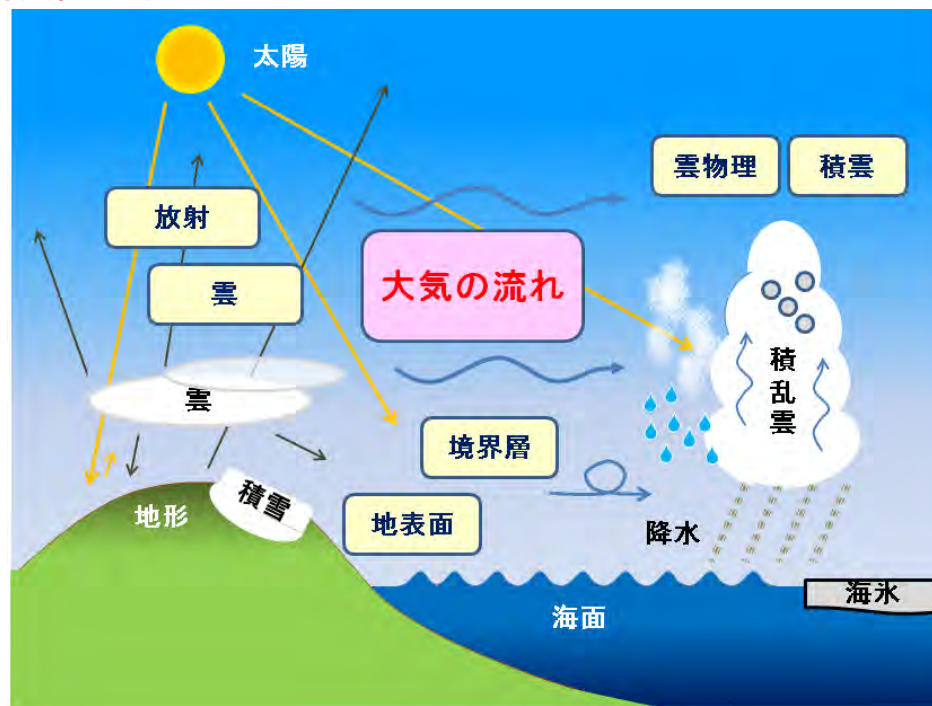
主に力学(大規模な大気の流れ)を扱う「数値予報の骨格」

- 移流、コリオリ力、気圧傾度力、収束発散

• 物理過程

力学以外。方程式系の時間変化率のうち非断熱加熱・加湿項

- 放射、雲水、積雲、乱流、陸面、重力波
- 複雑で未解明な要素を含む



気象予報業務と数値予報

観測資料

実況資料

船舶

航空機

高層観測

アメダス

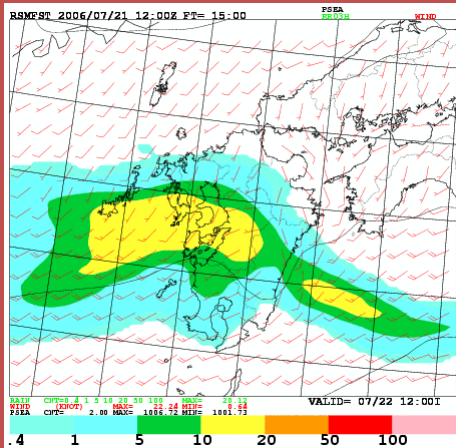
衛星観測

レーダー

スーパーコンピュータ

数値予報資料

予測資料



予警報作業

実況監視

予報作成

警報作成

情報発表

民間気象事業者

特定の利用者

関係機関
報道機関

気象情報等



日付	11火	12水	13木	14金	15土	16日	17月
東京地方 府県天気予報へ	曇のち雨	曇時々雨	曇	曇一時雨	曇	曇一時雨	曇
降水確率(%)	30/40/60/60	70	40	60	40	50	40
東京 最低(℃)	10 (-)	12 (±2)	13 (±2)	12 (±4)	7 (±4)	7 (±4)	8 (±4)
東京 最高(℃)	14 (-)	16 (±4)	21 (±3)	15 (±4)	14 (±4)	14 (±4)	17 (±4)

気象庁HP

広く一般
(the public)

気象予報業務における数値予報モデル

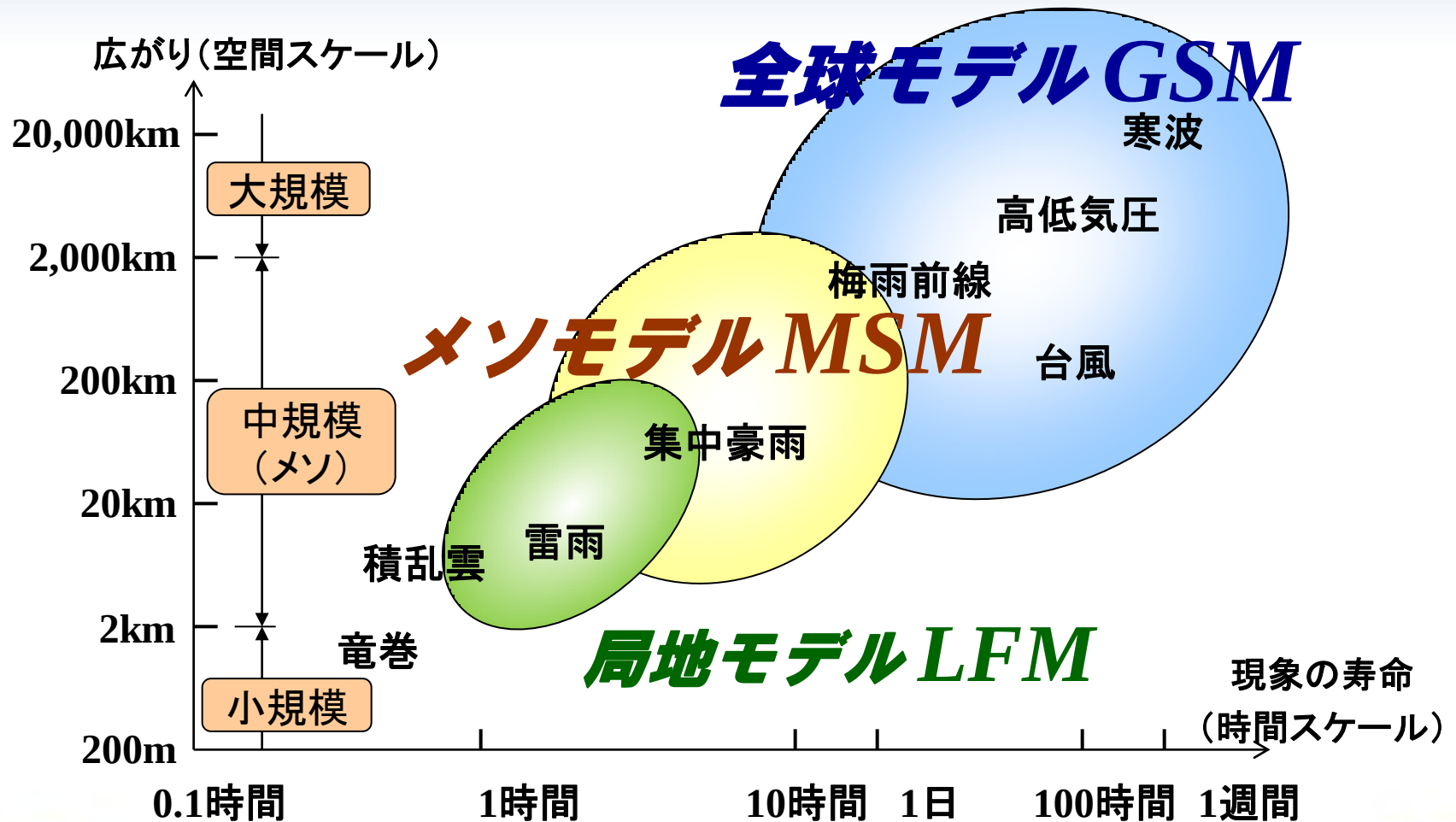
時間スケール	ニーズ(例)	気象庁の主な情報	数値予報モデル
～1時間	集中豪雨、都市型水害の減災	ナウキャスト(降水・雷・竜巻)	
～1日	大雨・台風に対する備えや避難	- 注意報・警報 - 天気予報、航空予報	局地モデル、メソモデル
1日～3日	- 上記の他、交通の安全・効率的な運行 - 黄砂・スモッグ - 太陽光発電、風力発電の量的予測	天気予報	- メソモデル、 - 全球モデル - 物質輸送モデル
3日～10日	レジャー、農業対策	- 週間天気予報 - 異常天候早期警戒情報	- 全球モデル - 週間アンサンブル予報モデル - 台風アンサンブル予報モデル
10日～1か月	産業活動の効率化	- 異常天候早期警戒情報 - 季節予報	1か月アンサンブル予報モデル
1か月～	天候の移り変わり、農業対策	季節予報	- 季節予報モデル (大気モデル、海洋モデル)
10年～	- 地球温暖化対策 - 洪水への備え	温暖化予測情報	- 気候モデル (地球システムモデル)

気象庁数値予報モデルの種類

- **GSM 全球大気モデル**
 - スペクトルモデル
 - 1988年、T63(180km分解能)で実用化後、徐々に高解像度化し、2007年よりTL959(20km分解能)に
- **JMA-NHM 領域大気モデル**
 - 格子モデル
 - 現在5km格子で運用。2012年より2km格子モデルも運用開始
- **asuca 領域モデル(開発中)**
 - JMA:NHMの後継となるモデル。計算方法等に工夫
- **データ同化**
 - GSM用、NHM用等、それぞれに対応して開発。変分法(主な業務で利用)やアンサンブルカルマンフィルターなど複数の手法を利用
- **海洋モデル**
- **化学輸送モデル**

気象現象と予測可能性

予測可能な時間の限界: 予測対象や初期状態によって異なる



数値予報モデルの現業運用

- 定時性

- 定められたスケジュールによる運用

- 日々の天気予報等の業務への確実な支援資料の提供
 - 時間内に計算を終わらせるための対策(犠牲にするものも)

- 堅牢性

- 異常終了等による停止の極力回避

- 障害時の社会的な影響の大きさを考慮
 - さまざまなバックアップ処理の組み込み

- 多様なジョブ

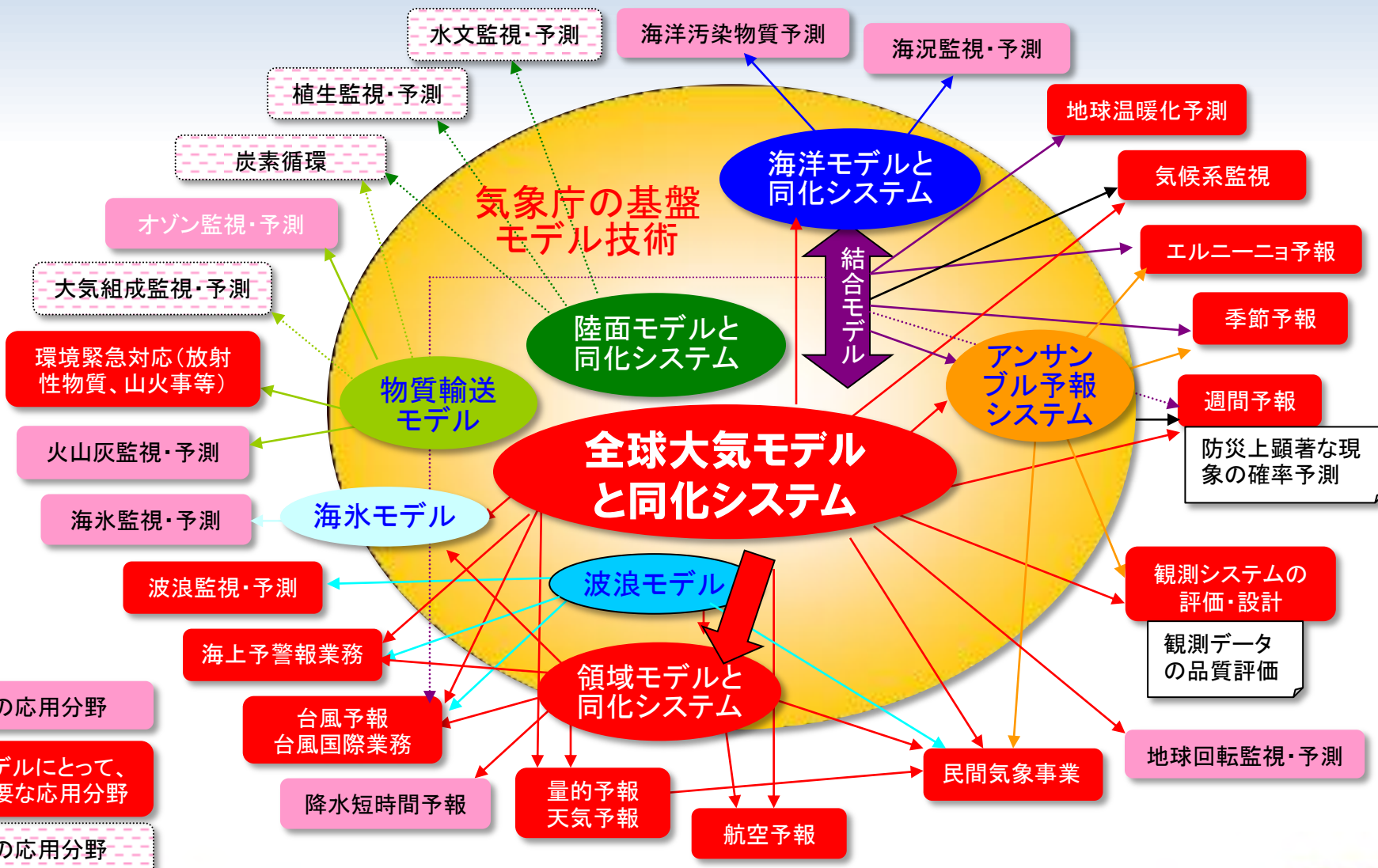
- さまざまな処理の実行(互いに深く依存)

- 前処理、プロダクト・ガイダンス等作成処理、統計処理
 - 側面境界値の提供: 全球予報→メソ予報→局地予報

短期～週間予報用の数値予報モデルの仕様

モデル	領域 水平解像度	鉛直 層数	予報時間 (初期時刻(UTC))	目的
全球モデル (GSM)	地球全体 約20km	100層	84 hours (00, 06, 18)	・ 各種予報・ガイダンスの基礎資料 ・ 各種数値予報モデルの入力値 (波浪, 黄砂, 移流拡散など) ・ メソモデルの側面境界条件
			264 hours (12)	
	※2014年3月18日に60 → 100層化(モデルトップ0.1 → 0.01hPa)を実施			
メソモデル (MSM)	日本周辺 約5km	50層	39 hours (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21)	・ 各種予報の支援 (防災気象情報など) ・ 各種数値予報モデルの入力値 (波浪, 高潮, 火山灰移流拡散など) ・ 局地モデルの側面境界条件
局地モデル (LFM)	日本周辺 約2km	60層	9 hours (毎時)	・ 各種予報の支援 (飛行場予報, 防災気象情報など)
週間 アンサンブル予報 モデル(WEPS)	地球全体 約40km	60層	264 hours (00, 12) ※27メンバー	・ 週間天気予報 ・ 東南アジア等諸外国の予報支援
	※2014年2月26日に高解像度化(約55km → 40km) 1日1回51メンバーから1日2回27メンバー(1日あたり54メンバー)に変更			
台風 アンサンブル予報 モデル(TEPS)	地球全体 約40km	60層	132 hours (00, 06, 12, 18) ※25メンバー	・ 台風進路予報 ・ 台風が存在するとき、または発生が予想されるときに実行される
	※2014年3月11日に高解像度化(約55km → 40km) メンバー数を1回当たり11から25に増強			

全球数値予報システムとその応用先



メソ数値予報の用途

予報作業支援

- ◎数値予報GPV
- ◎毎時大気解析

航空気象情報支援

- ◎航空ガイダンス
- ◎悪天GPV

防災気象情報支援

- ◎防災ガイダンス
- ◎降水短時間予報

メソ数値予報

MSM, メソ解析

その他

- 民間気象業務支援
- メソ気象研究
- 観測データのQC
- 波浪予測(試験運用)

有害物質移流拡散予測

- ◎大気汚染物質移流拡散モデル
- ◎火山灰移流拡散予測モデル

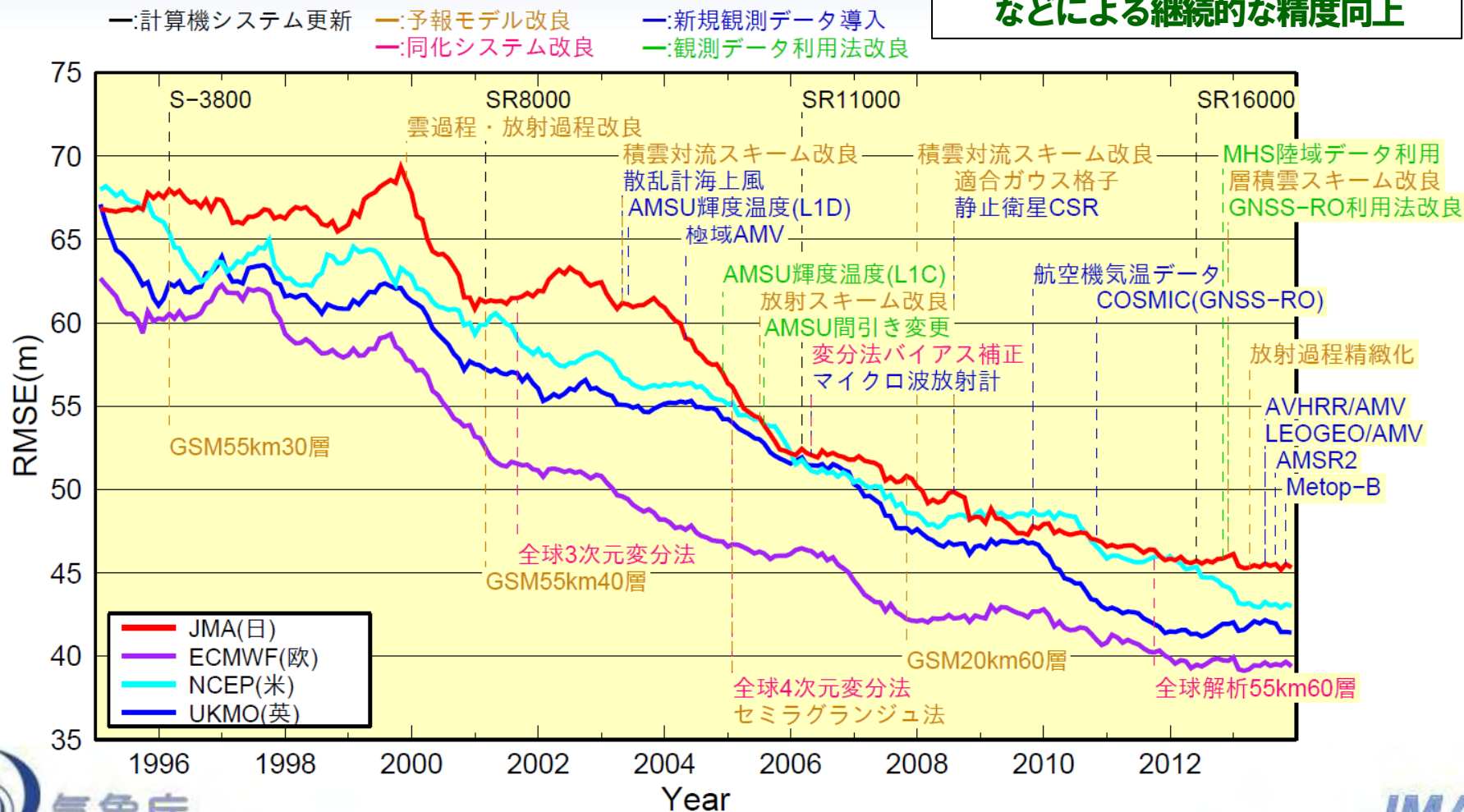
高潮予測

- ◎高潮モデル
- +高潮ガイダンス

北半球5日予報500hPa高度RMSEの経年変化

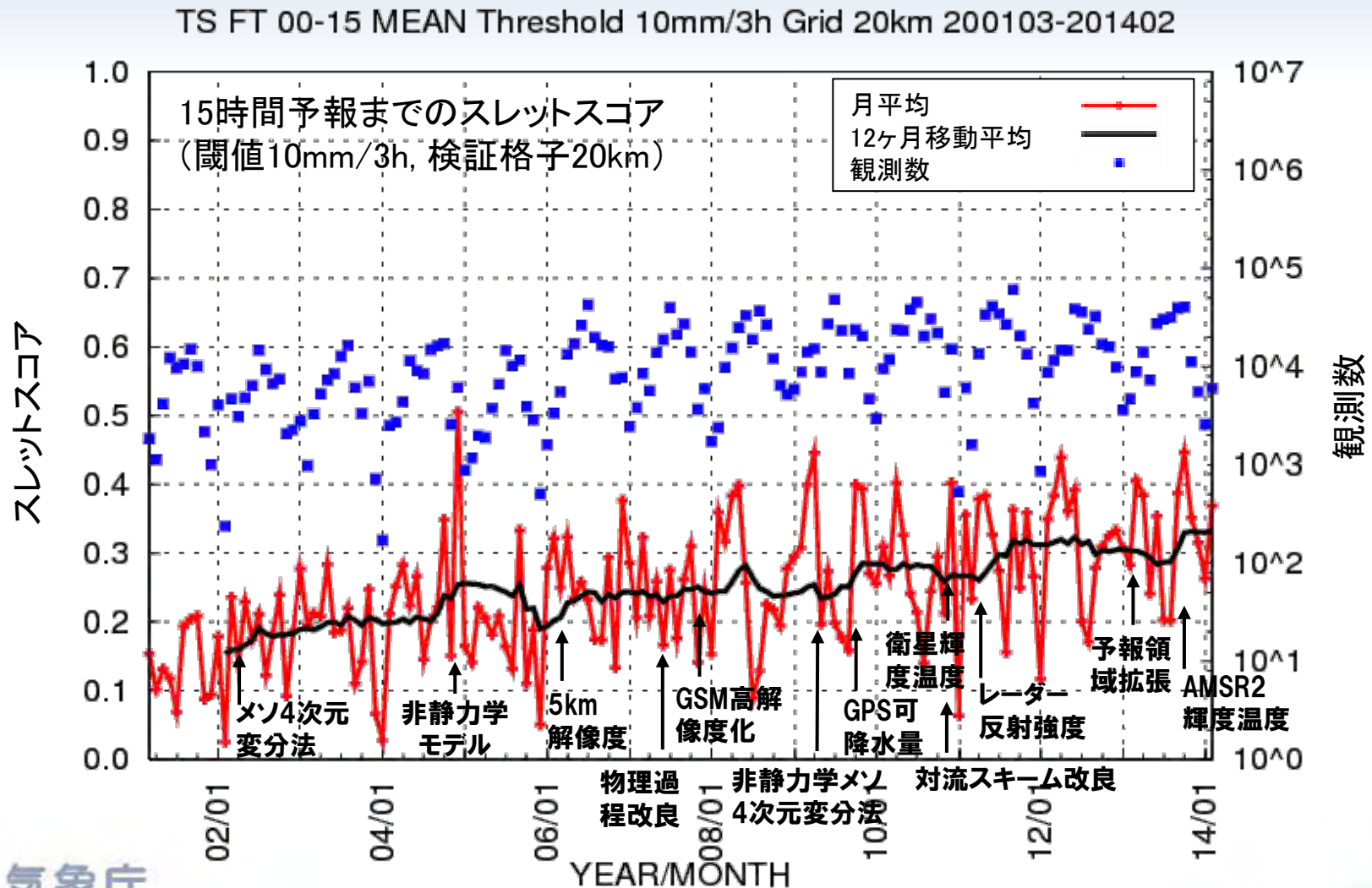
(1995年1月～2013年12月、前12ヶ月移動平均)

衛星観測データの利用や
4次元変分法データ同化手法の導入
などによる継続的な精度向上



メソモデルの予想精度向上と技術開発

前3時間積算降水量のスレットスコア(閾値10mm/3h, 検証格子20km)

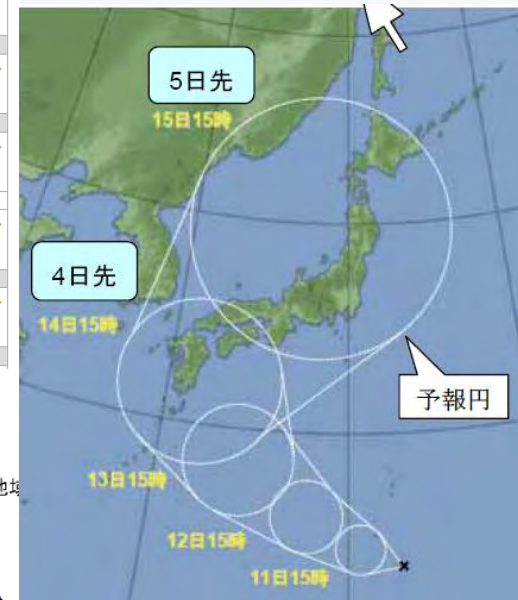


気象庁におけるアンサンブル予報

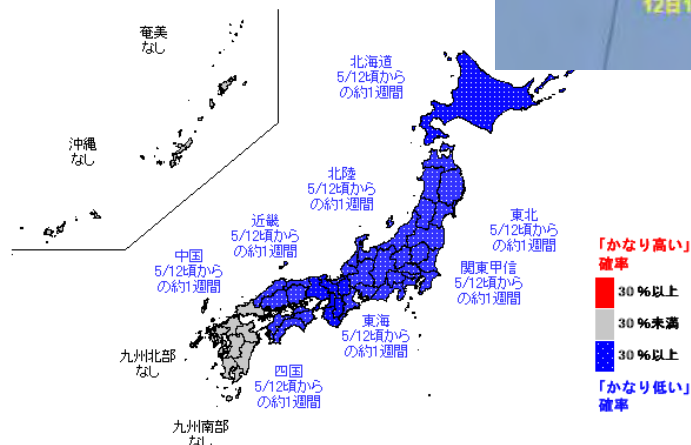
1か月予報の支援を皮切りに、週間天気予報、台風情報の支援を目的とするアンサンブル予報を開発・現業化。

- 台風進路予報
- 週間天気予報
- 季節予報
 - 異常天候早期警戒情報
 - 1か月予報
 - 3か月予報
 - 暖候期・寒候期予報
- エルニーニョ予測

日付	21 木	22 金	23 土	24 日	25 月	26 火	27 水
釧路 府県週間予報A	9 / 16 0/0/0/0	9 / 16 50	10 / 15 60	8 / 13 70	6 / 14 30	6 / 14 10	7 / 14 20
旭川 府県週間予報A	7 / 28 0/0/0/0	10 / 27 20	12 / 22 50	11 / 21 30	7 / 22 20	8 / 23 10	9 / 22 20
札幌 府県週間予報A	10 / 27 0/0/0/0	14 / 24 30	13 / 20 30	12 / 20 30	11 / 21 20	10 / 21 20	11 / 20 20
青森 府県週間予報A	11 / 24 0/0/0/10	14 / 21 80	13 / 19 50	11 / 18 50	10 / 19 30	10 / 21 10	11 / 20 20
秋田 府県週間予報A	13 / 23 0/0/0/0	15 / 23 80	15 / 20 50	13 / 19 50	12 / 20 30	12 / 21 10	12 / 21 20



平均気温 平成22年5月7日発表
情報の対象期間: 5月12日~5月21日
「かなり高い」または「かなり低い」確率が30%以上の地域
地域名の下に示す期間は、30%以上と予想される期間
地図をクリックすると、該当地域の発表状況や内容を表示します。



All rights reserved. Copyright © Japan Meteorological Agency

JMA

アンサンブル予報

- 初期値の不確実性、予報モデルの不完全性、大気のカオス的な性質の存在

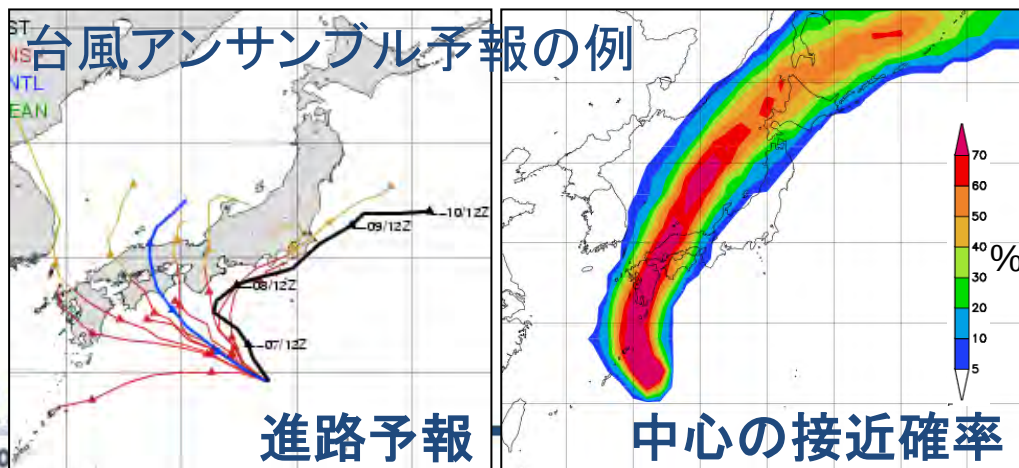
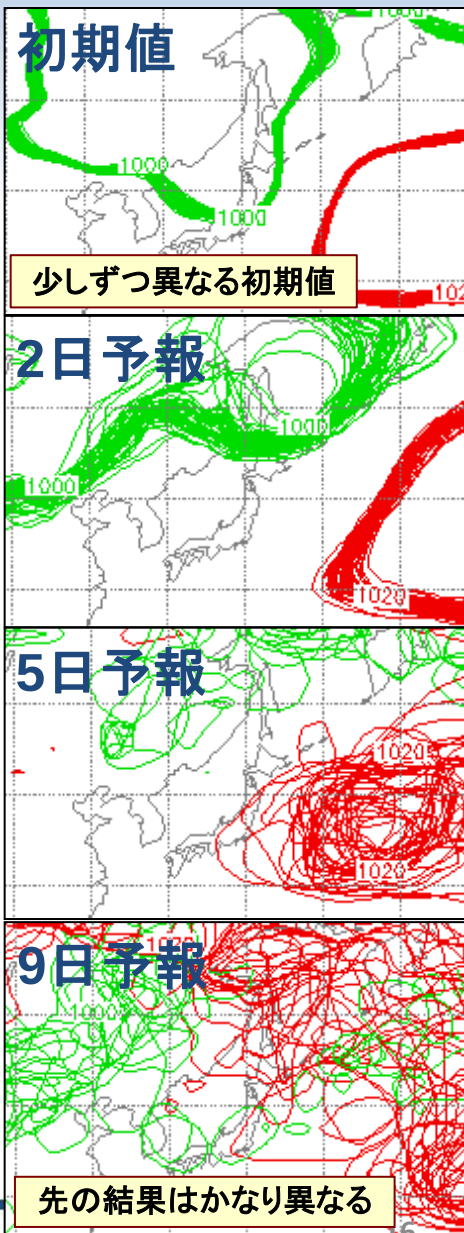
→ 初期値の微小な誤差が、後の予報結果に大きな差を生むことがある

ひとつの予報結果だけで判断することは難しい

- わずかに異なる(摂動を加えた)初期値を用いて予報を複数行う

- 起こりうる複数のシナリオの想定
- 予報の信頼度情報としての利用

海面気圧の予報結果
(週間予報: 51メンバー)



進路予報

中心の接近確率

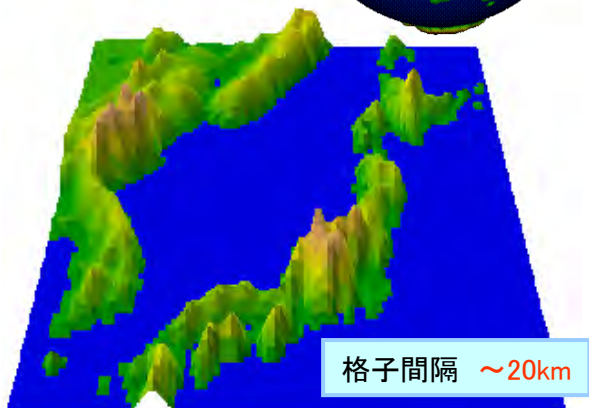
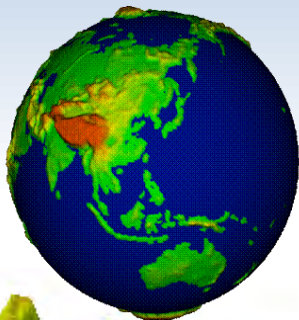
先の結果はかなり異なる

アンサンブル予報システムの仕様

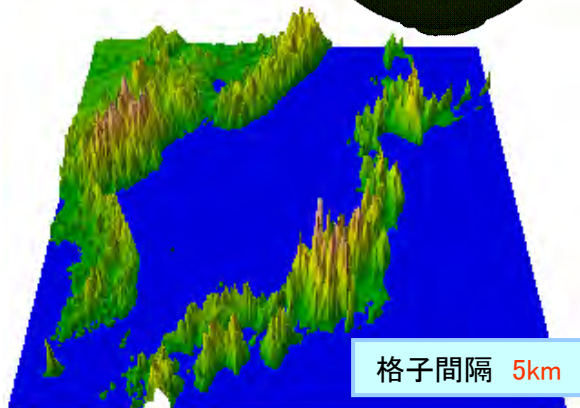
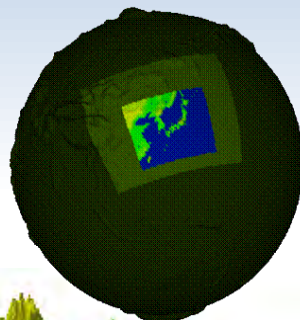
モデル	領域 水平解像度	鉛直 層数	予報時間 (初期時刻(UTC))	目的
週間アンサンブル 予報システム (WEPS)	地球全体 約40km	60層	264 hours (00, 12) ※27メンバー	・週間天気予報 ・東南アジア等諸外国の予報支援
				※2014年2月26日に高解像度化(約55km → 40km) 1日1回51メンバーから1日2回27メンバー(1日あたり54メンバー)に増強
台風アンサンブル 予報システム (TEPS)	地球全体 約40km	60層	132 hours (00, 06, 12, 18) ※25メンバー	・台風進路予報 ・台風が存在するとき、または発生が予想されるときに実行される
				※2014年3月11日に高解像度化(約55km → 40km) メンバー数を1回当たり11から25に増強
1か月アンサンブル 予報システム	地球全体 約55km	60層	18日(土・日初期値) 25メンバー×2日分	・異常天候早期警戒情報支援
			35日(火・水初期値) 25メンバー×2日分	・1か月予報支援
			※2014年3月4日に高解像度化(約110km → 55km) 実行日を1日早め、予報時間を1日延長	
季節アンサンブル 予報システム	地球全体 大気約180km 海洋約100km	大気40層 海洋50層	7か月(5日毎) 51メンバー	・3か月予報支援 ・暖・寒候期予報支援 ・エルニーニョ予測

気象庁現業数値予報モデルの地形

全球モデル
(Global Spectral
Model: GSM)



メソモデル
(Meso-Scale
Model: MSM)



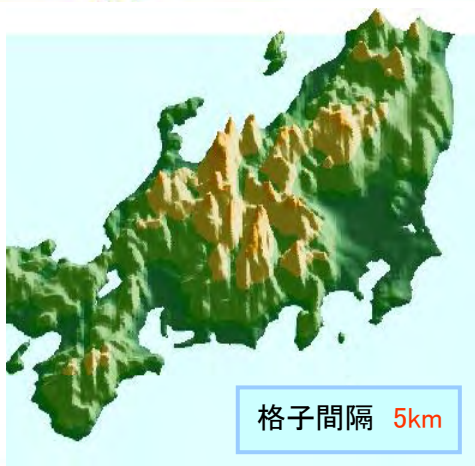
一般的に、1つの波動を格子点で表現するには5~6点必要
→ GSMで表現可能な気象現象の最小スケールは100km程度、LFMは同様に10km程度。

局地モデル
(Local Forecast
Model: LFM)



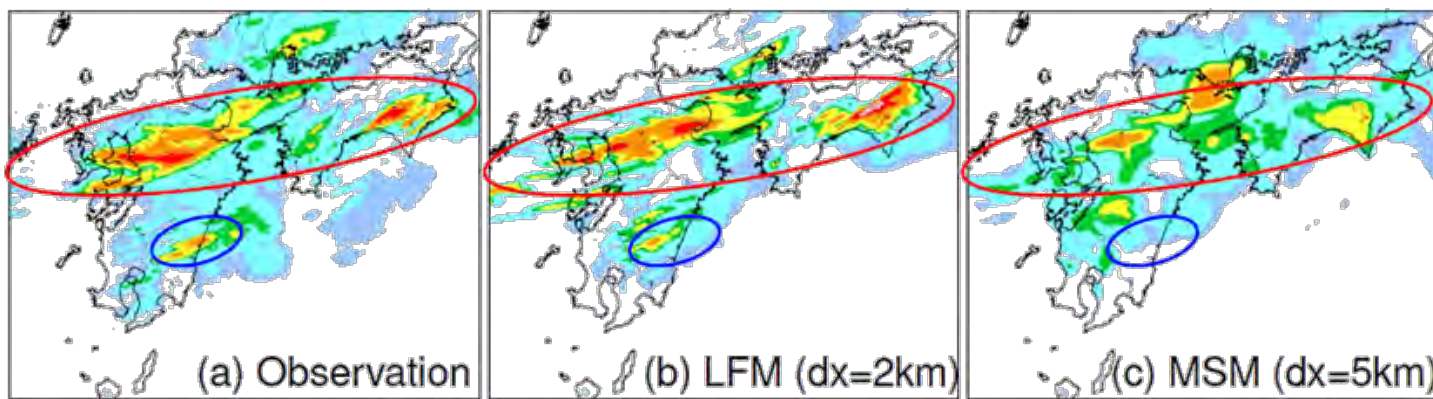
地形に応じた現象の表現

- 降水
- 熱雷
- 風
- 気温分布 等々...



局地モデルの特徴

- 高解像度化による小規模現象や地形の表現性の向上
 - より小さいスケールの空間的・時間的変化を格子点値で表現可能
 - 対流性降水は形状やピーク値において観測値に近いものを表現
 - 局地的な地形の影響を強く受けている観測データも同化可能



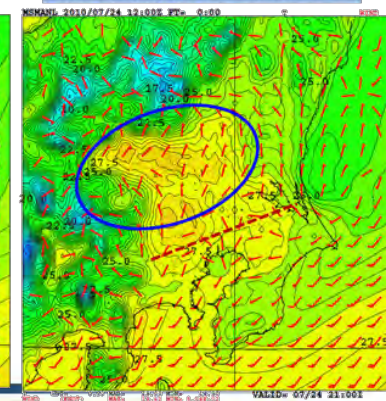
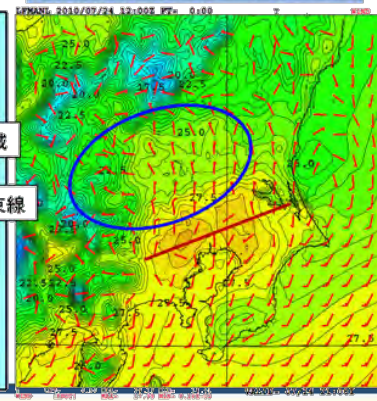
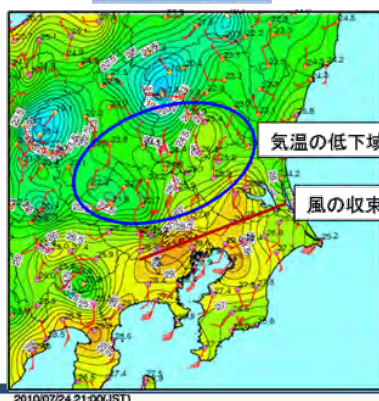
九州北部豪雨事例：
2012年7月11日17UTCまでの
1時間積算降水量



(a) アメダス観測

(b) 局地解析 (アメダス同化あり)

(c) メソ解析 (アメダス同化なし)



2010年7月24日21JSTの
地上気温と風向・風速

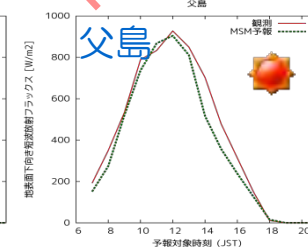
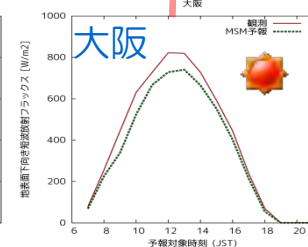
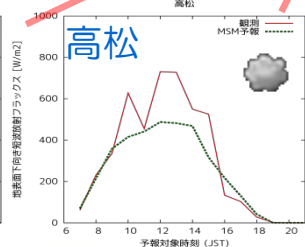
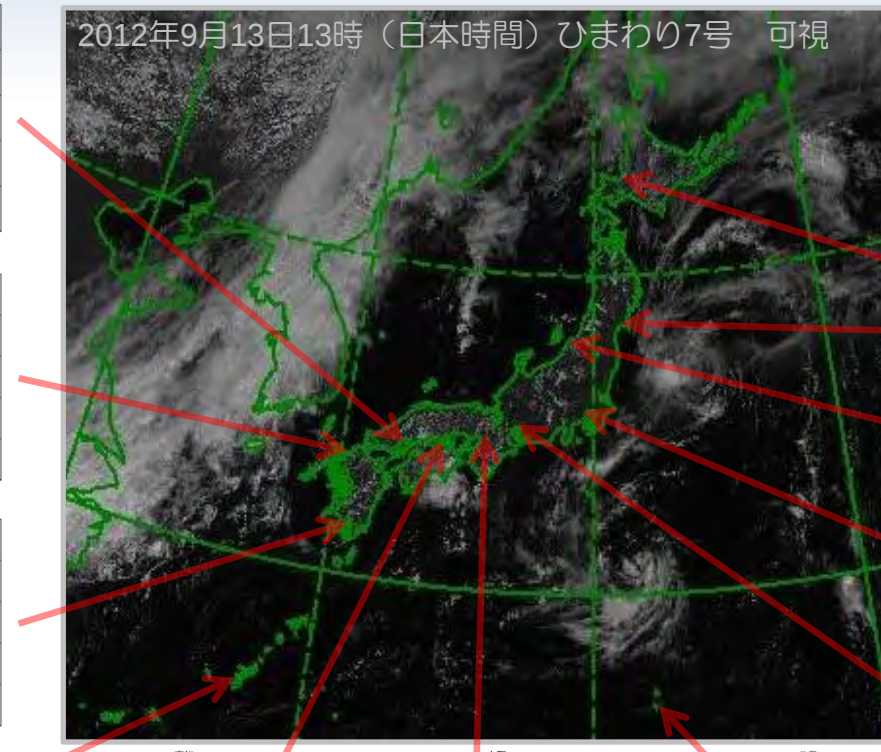
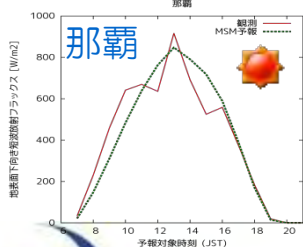
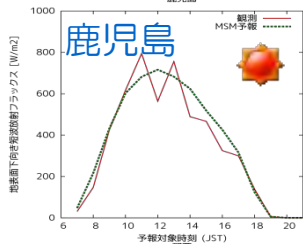
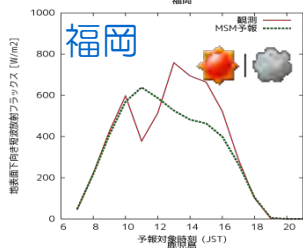
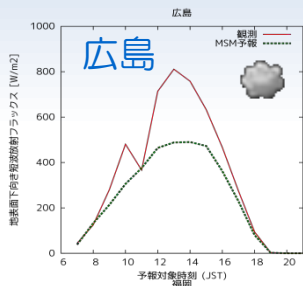


2. 数値予報モデルの 出力例

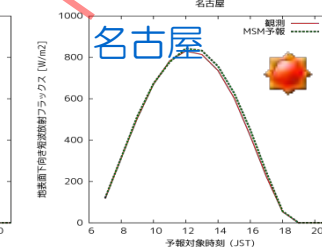
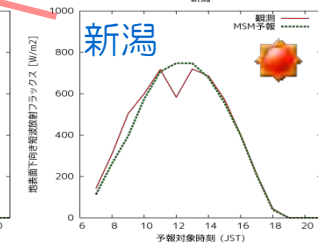
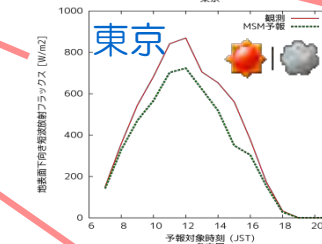
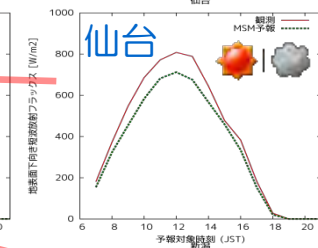
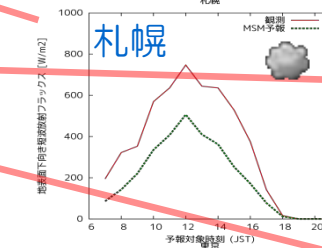


メソモデルによる日射量計算の例

気象庁メソモデル(MSM)による日射量(地表面下向き短波放射フラックス)予想の例



特徴 … 雲の影響のないところは、
良い精度で予想できる。
雲の影響がある場合も、
傾向は比較的良く予想できる。

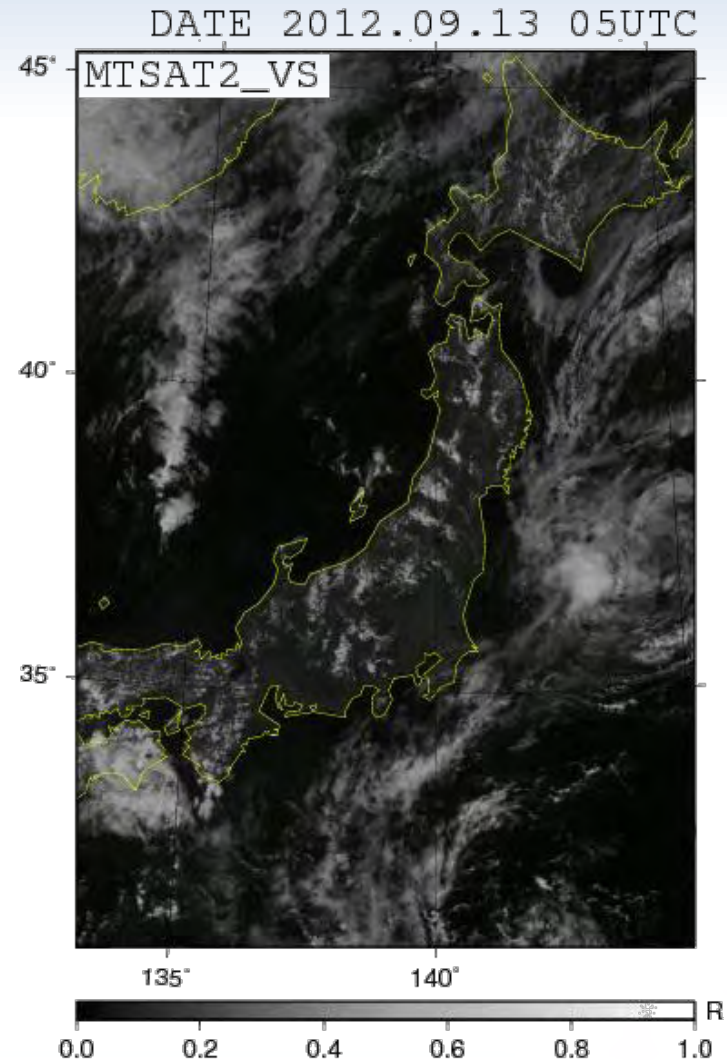
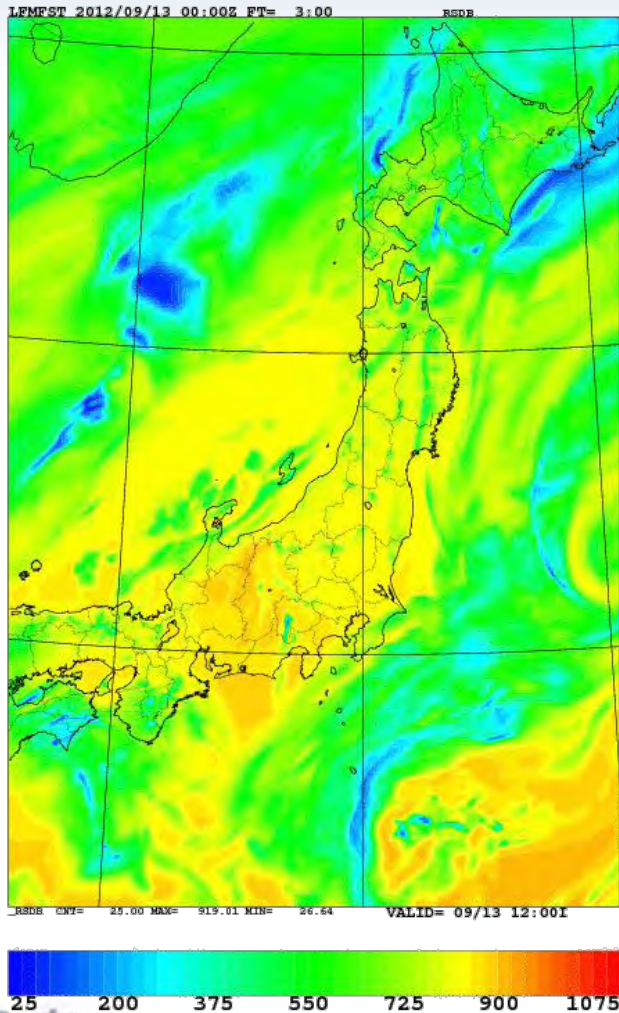


朝6時～夕18時
2012年9月13日

— 観測値
..... 予想値

局地モデルによる日射量計算の例

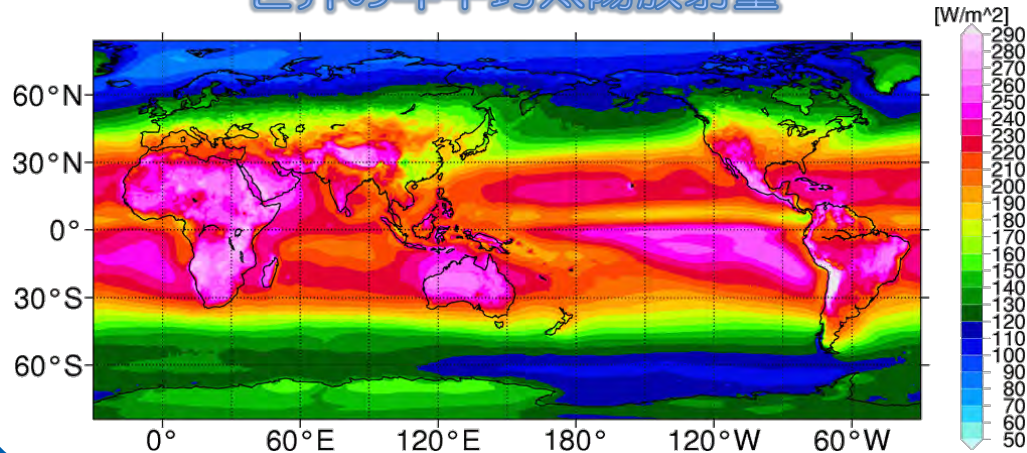
気象庁局地モデル(LFM)による日射量(地表面下向き短波放射フラックス)予想の例



長期再解析データ(JRA-55)の出力例

気象庁55年長期再解析(JRA-55)から計算された太陽エネルギーと風の分布

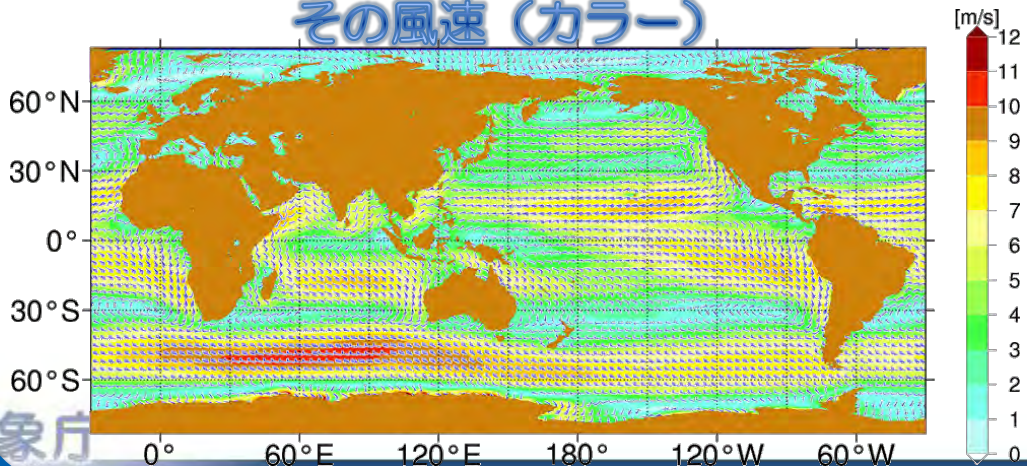
世界の年平均太陽放射量



これは、JRA-55の数値予報モデルにより計算された地表面における下向き太陽放射量の平均値です。

例えば、放射量の多い砂漠に大規模な太陽光発電所を建設するとします。全世界の年間のエネルギー需要をまかなうためには、エネルギー変換効率を考慮すると、およそ10万km²の面積が必要になります。

世界の年平均海上風（矢羽）およびその風速（カラー）



この海上風は、海面から上空およそ70~80mの高さの6時間毎の風を年平均した値です。

例えば、貿易風が卓越する熱帯地方に、洋上風力発電設備を設置することによって、稼働率の高い、安定した風力発電の実現が見込まれます。

※本資料は気象庁が実施した気象庁55年長期再解析(JRA-55)に基づいています。

メソアンサンプル予報システム(開発中)

気象庁次期スーパーコンピュータにおける運用開始に向けて開発中

大雨の場合に気象台が発表する防災気象情報

約1日程度前
大雨の可能性が
高くなる

大雨に関する気象情報

警報・注意報に先立ち発表

半日～数時間前
大雨が始まる
強さが増す

大雨注意報

警報になる可能性がある場合はその旨予告

数時間～
1,2時間前

大雨に関する気象情報

雨の状況や予想を適宜発表

大雨警報

大雨の期間、予想雨量、
警戒を要する事項などを示す

大雨が一層
激しくなる

大雨に関する気象情報

刻一刻と変化する大雨の状況を発表

記録的な
大雨出現

記録的短時間大雨情報

数年に一度の猛烈な雨が
観測された場合に発表

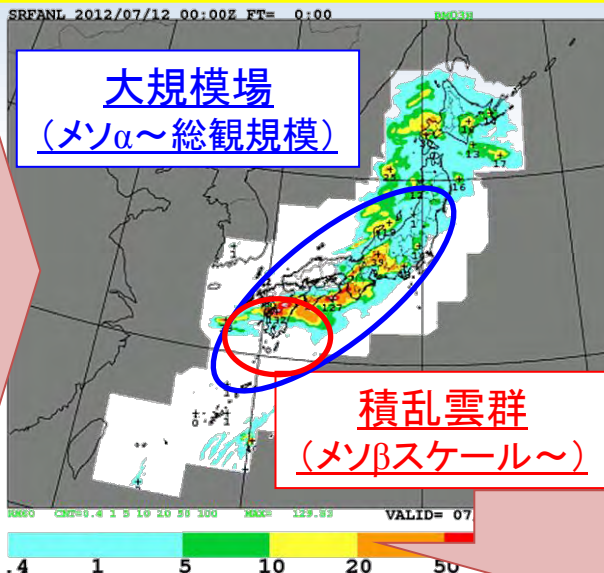
被害の拡大が
懸念される

土砂災害警戒情報

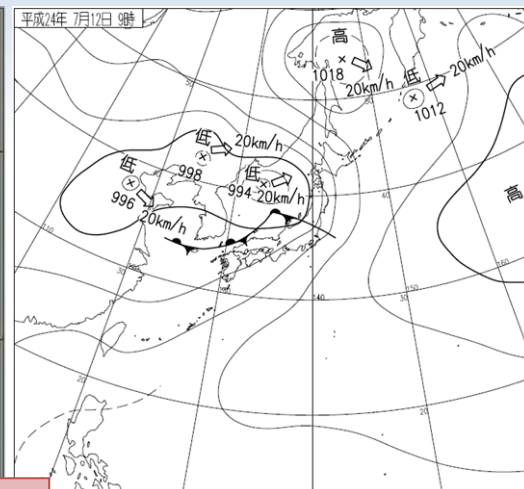
土砂災害の危険度がさらに高まった
場合に発表

各種防災気象情報のタイミングの例

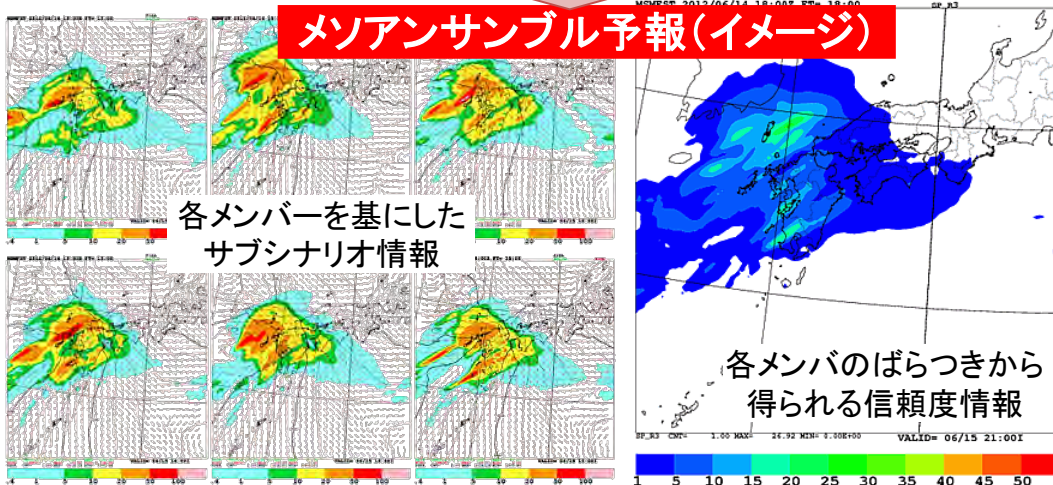
大規模場 (メソα～総観規模)



積乱雲群 (メソβスケール～)



メソアンサンプル予報(イメージ)



各メンバーを基にした
サブシナリオ情報

各メンバーのばらつきから
得られる信頼度情報

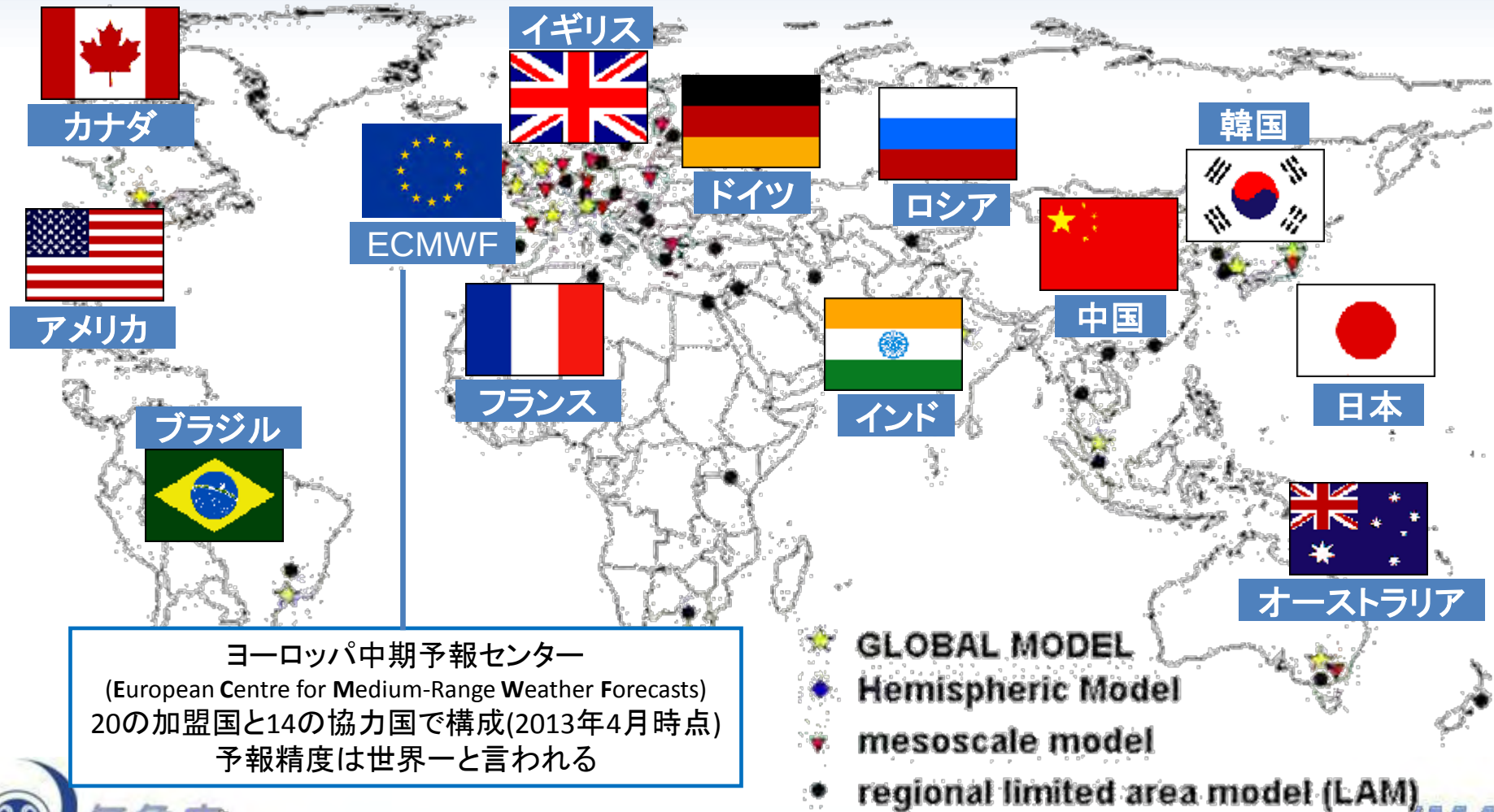
MSMに対する信頼度・確率情報、複数シナリオなどの
提供により気象現象の予測可能性に関わる情報が加わる

3. 数値予報モデル開発を 取り巻く環境



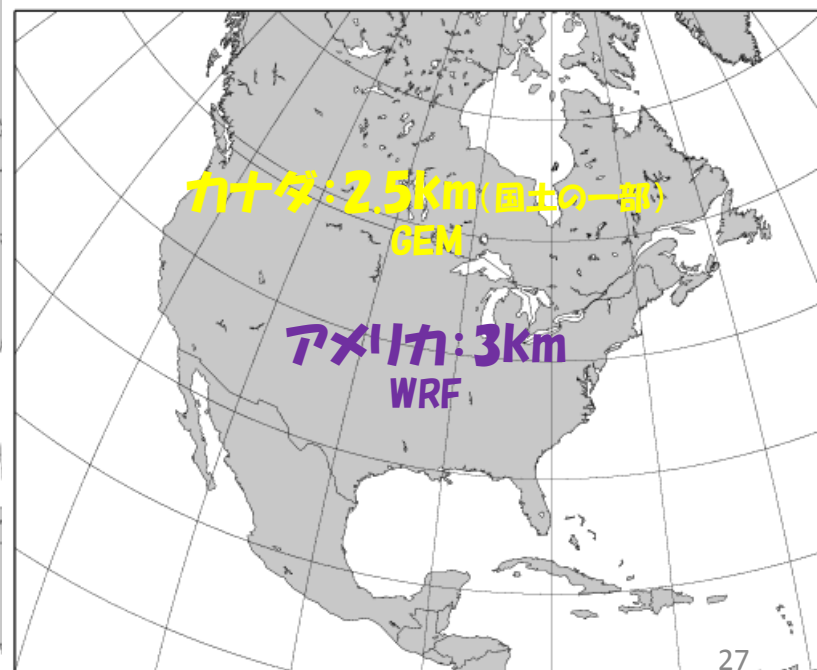
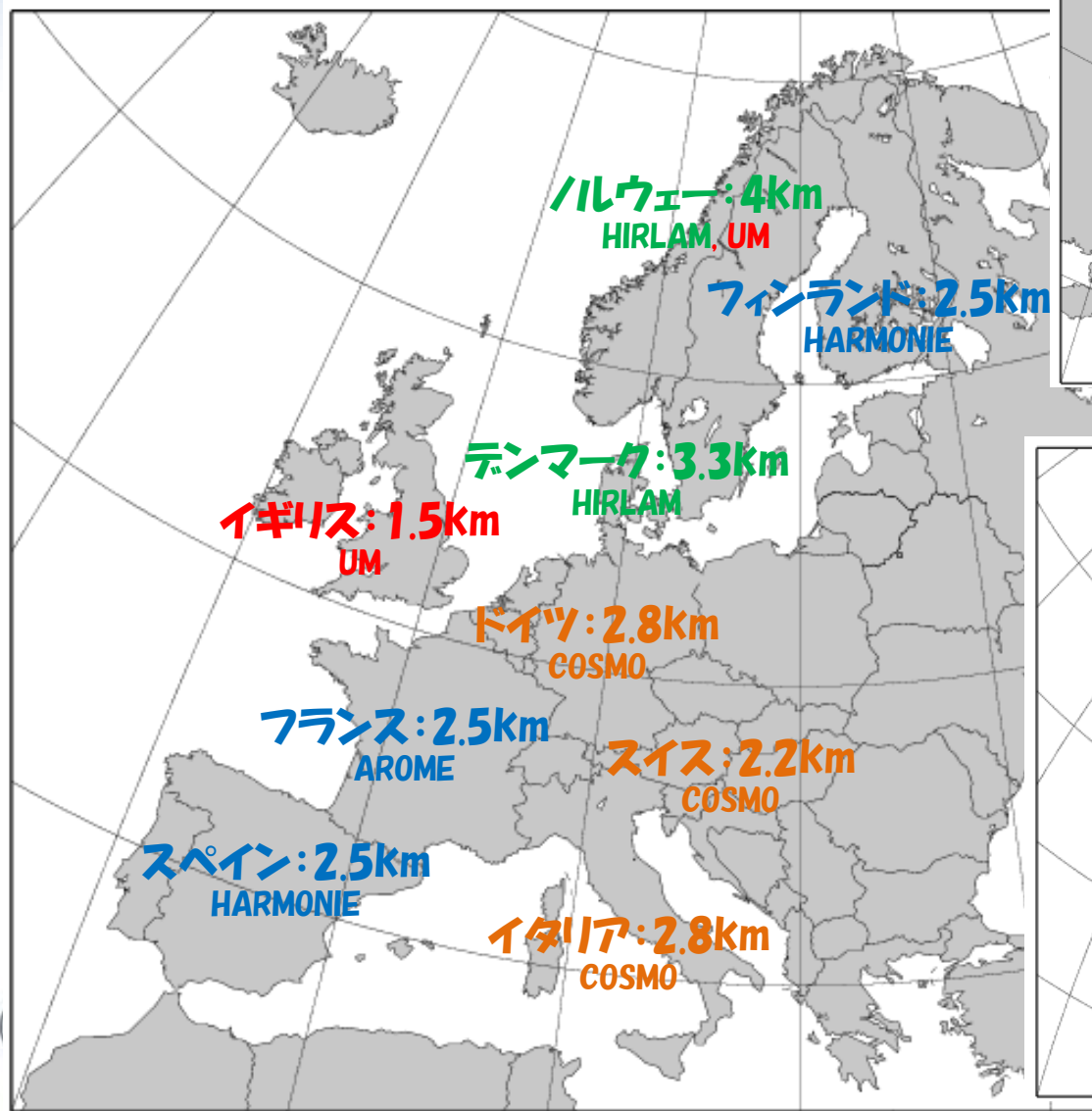
全球モデルの国際競争

全球モデルを運用している数値予報センター(国・機関)



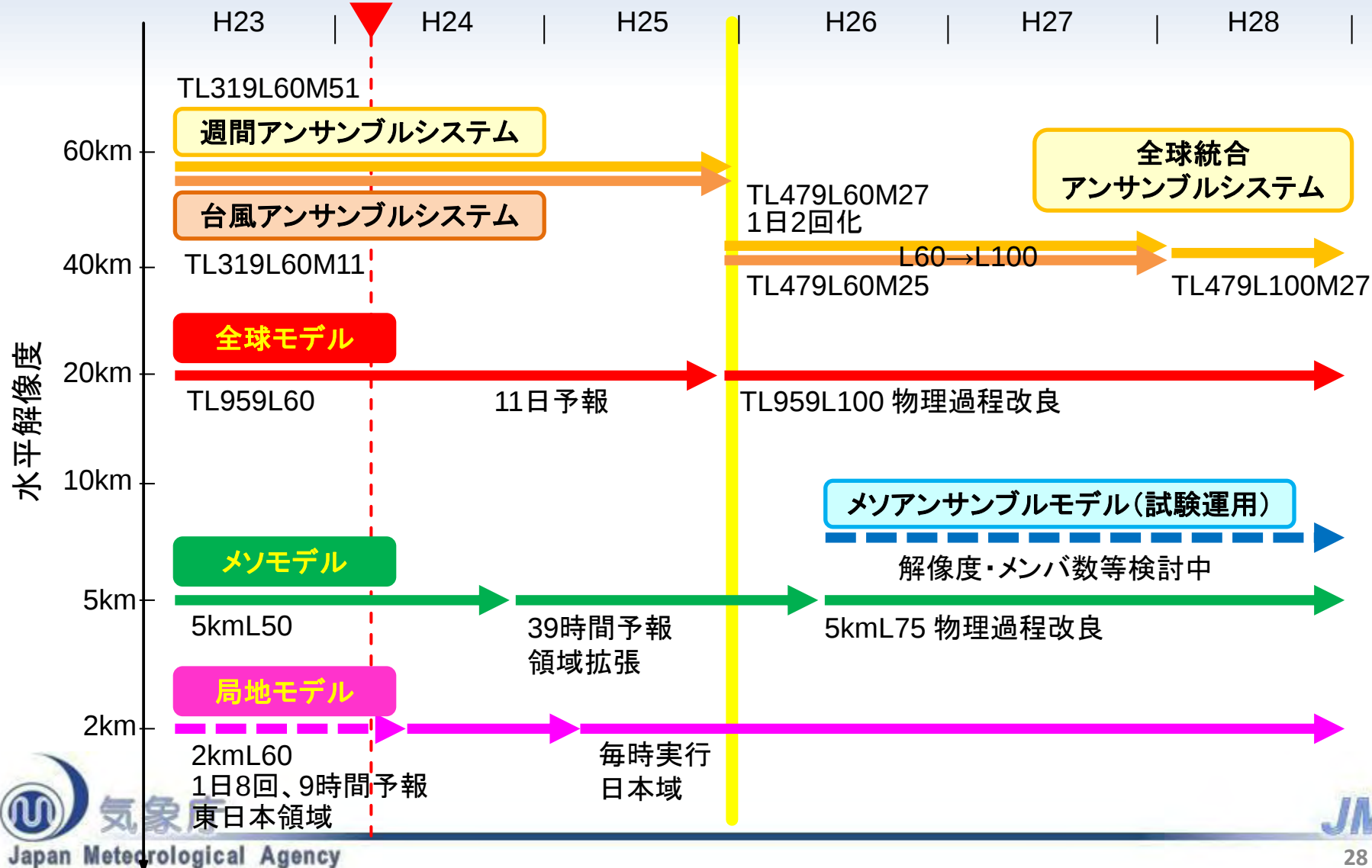
世界の現業高解像度モデル

※格子間隔5km以下、試験運用を含む。

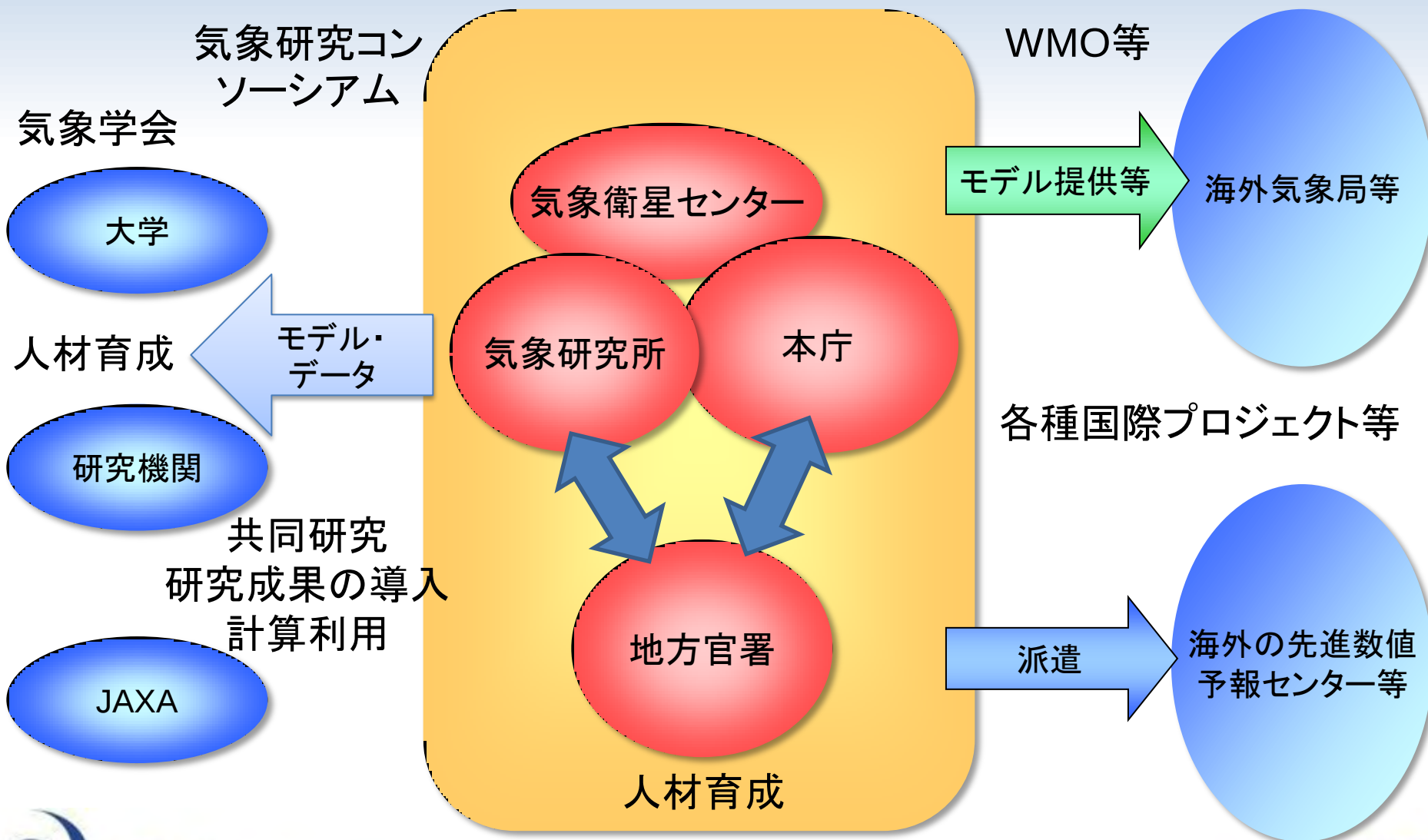


数値予報システムの現状と改善計画

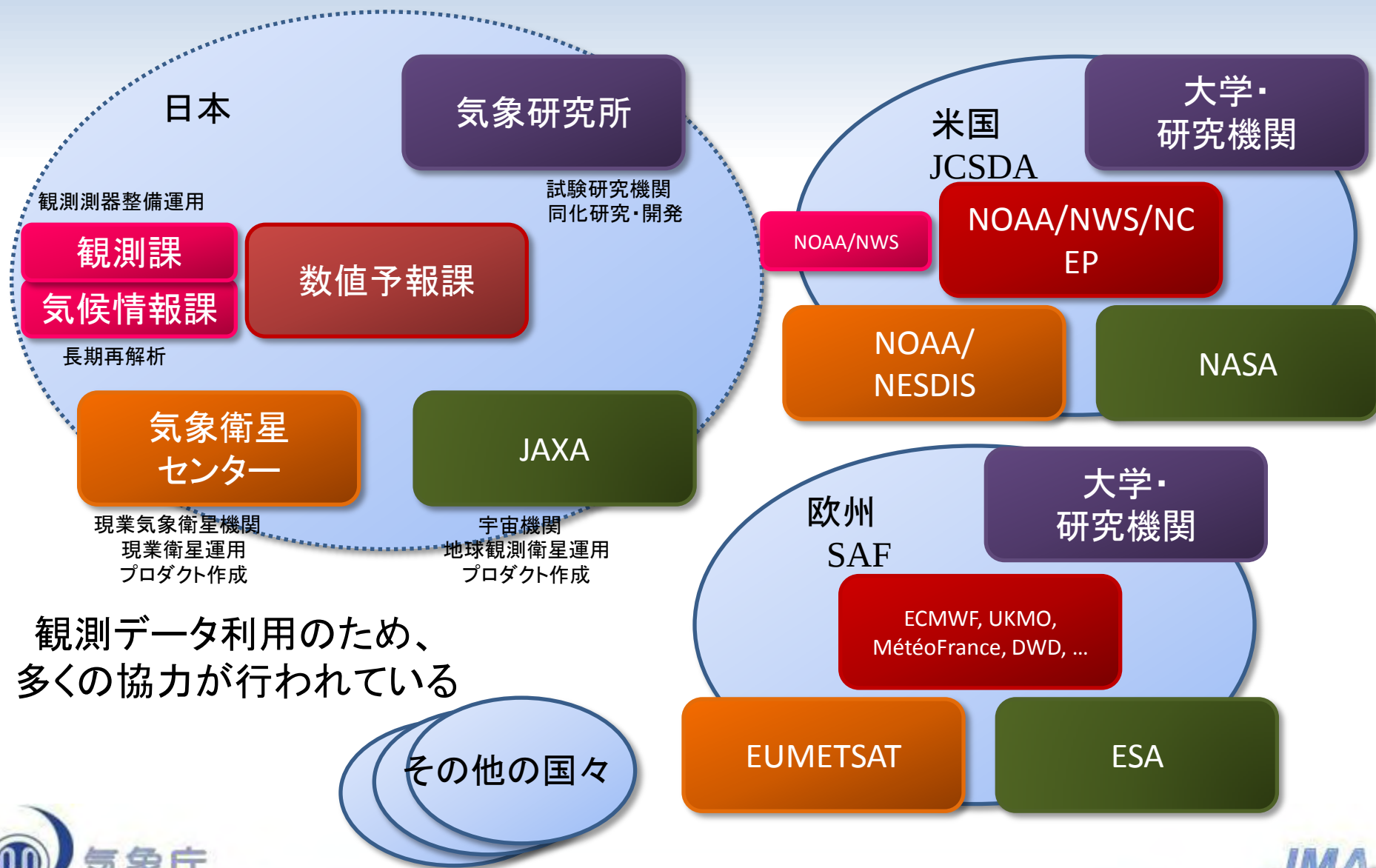
スーパーコンピュータシステム更新
(2012年6月)



数値予報システム開発に係る部内外との連携



観測データ利用に係る部内外との連携



まとめ

- モデルの改良
 - 気象予測の高精度化のための更なる高解像度化、力学・物理過程の高度化の必要性
- 現業モデルとしての運用
 - 運用上の様々な工夫
 - 運用と開発のための高性能計算機の必要性
 - 将来の計算機技術の動向を念頭においた検討・開発
- 競争と連携
 - 世界の現業気象機関における国際競争や連携の存在
 - 共同研究等における開発レベルアップの必要性

