

防災のための気象予測シミュレーション

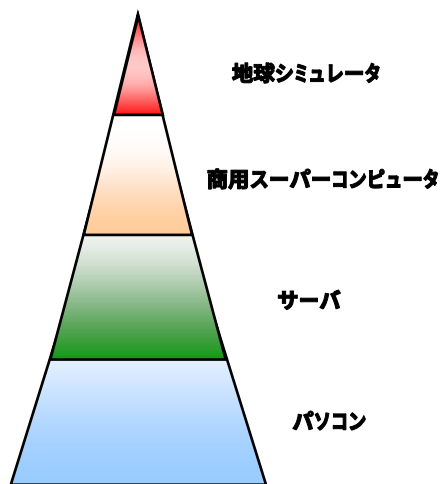
気象研究所予報研究部 室井ちあし

2006年4月4日

「計算科学の戦略と次世代スーパーコンピュータ」
シンポジウム



研究の内容紹介



- 地球シミュレータを用いた計算例
 - 雲解像モデルによるタイムスライス地球温暖化実験
- 気象庁の数値予報業務
 - ヒストリー
 - 予測精度
- 数値モデルを用いた調査研究
 - 冬季日本海側豪雪の研究
 - 集中豪雨の予測に向けて
- 次世代計算機利用に向けた取り組み

気象現象のスケールとシミュレーションターゲットの関係 (現状)

乱流 ビル風 ダウンバースト 竜巻 個々の積乱雲 雷雨 ヒートアイランド 集中豪雨 前線 台風 低気圧 日々の高気圧・
週間予報 季節予報 エルニーニョ 気候変動 温暖化 古気候

現象の水平スケール

1m

1km

1000km

10000km

気象業務

全球モデル

領域モデル

気象・気候研究

全球モデル

領域モデル

ESプロジェクト

全球モデル

領域モデル



地球シミュレータを利用した タイムスライス法による地球温暖化実験

大気海洋結
合モデルによ
る地球温暖化
予測実験

270kmメッシュ
全球大気モデル



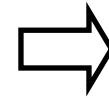
高分解能大
気モデルに
よるタイムス
ライス実験

20kmメッシュ
全球大気モデル



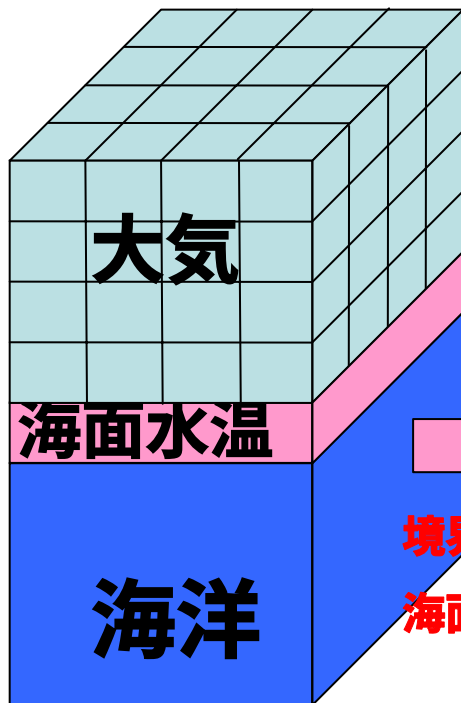
ネスティング
による領域タ
イムスライス
実験

5kmメッシュ雲解
像領域大気モデル



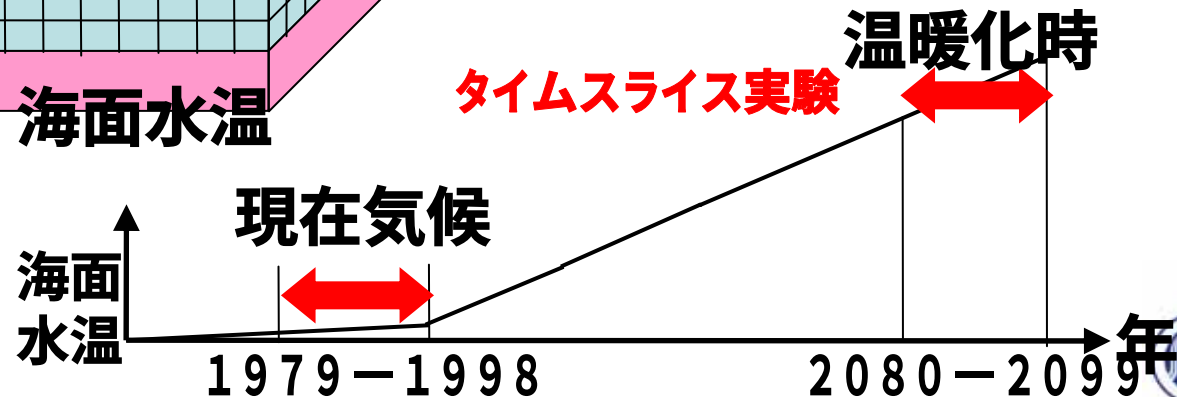
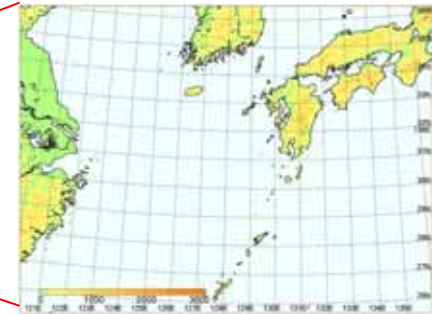
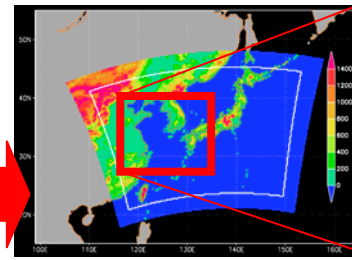
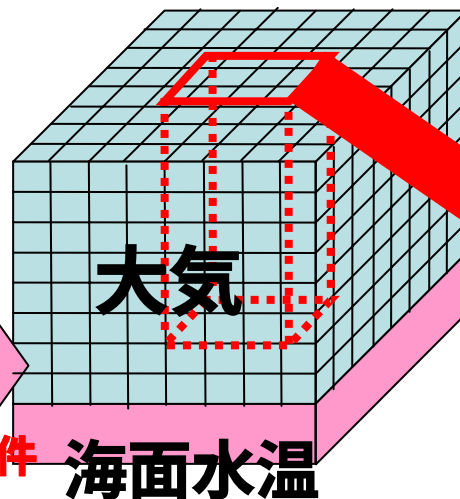
ネスティング
による領域タ
イムスライス
実験

1kmメッシュ雲解
像領域大気モデル

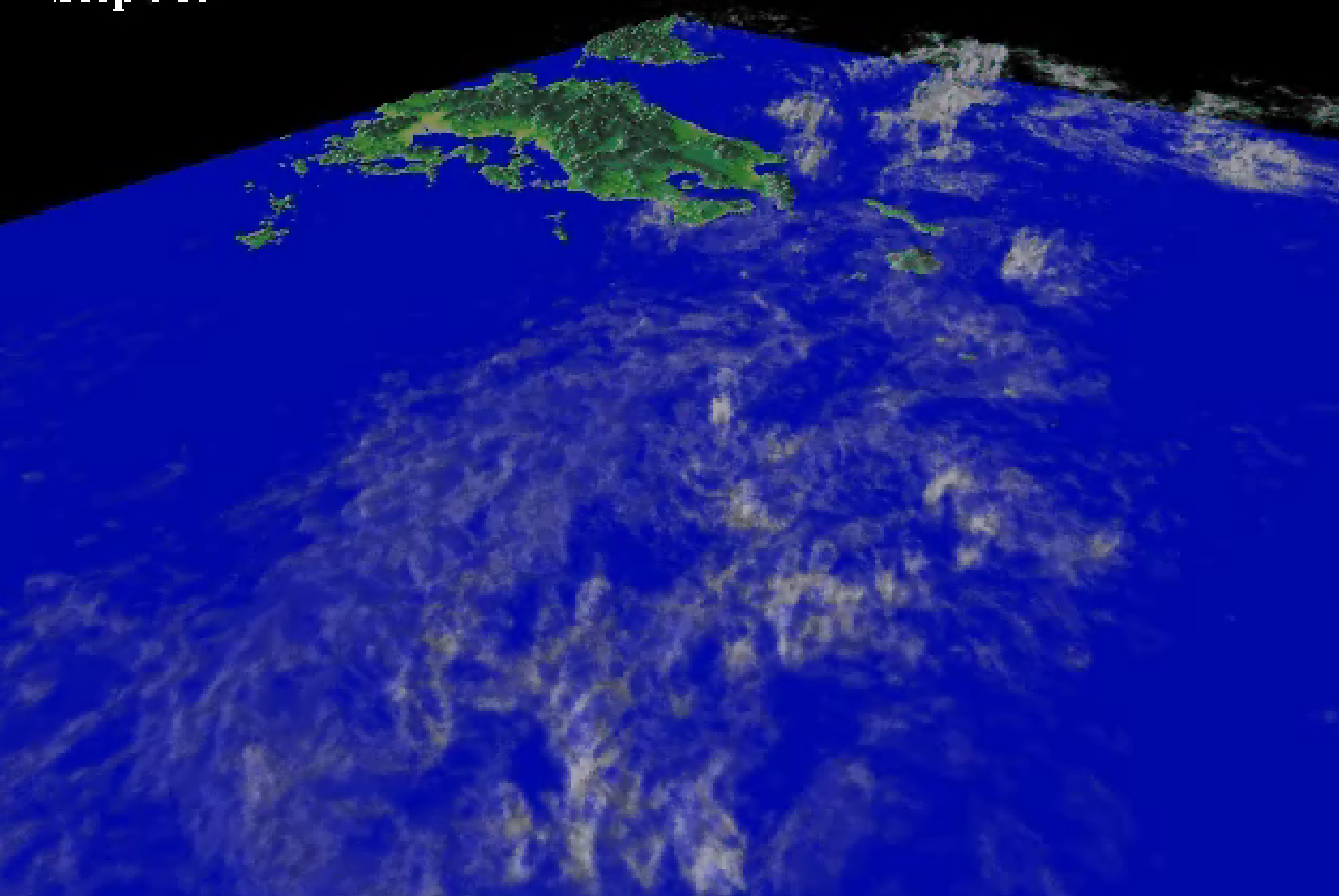


200-50kmメッシュ
全球海洋モデル

境界条件
海面水温

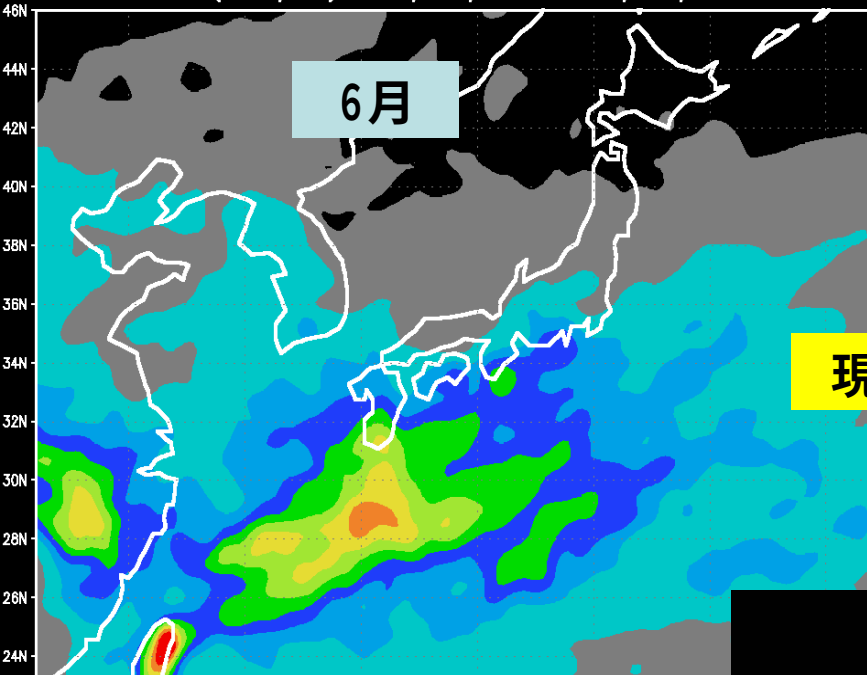


Step : 39

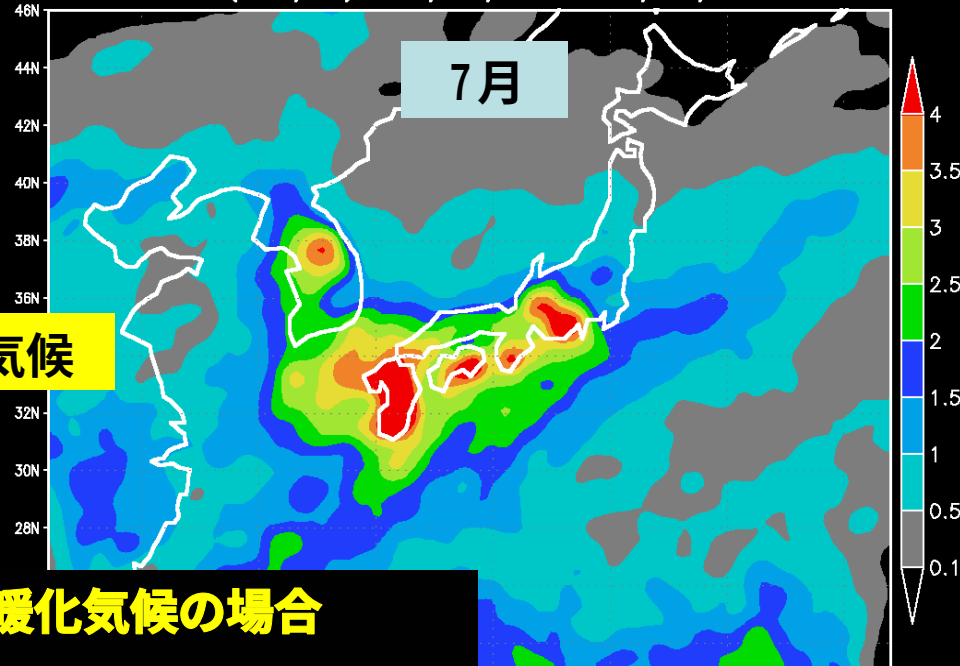


協力:富士通長野システムエンジニアリング

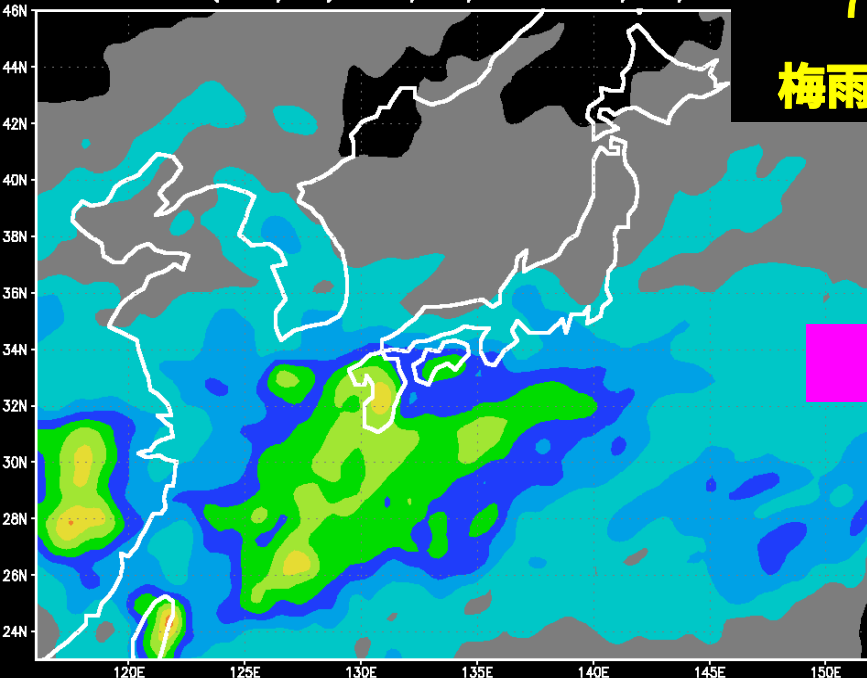
PRCP > 10 (mm/hr) 00Z/31/MAY-00Z/30/JUN 08-17c



PRCP > 10 (mm/hr) 00Z/30/JUN-00Z/30/JUL 08-17c



PRCP > 10 (mm/hr) 00Z/31/MAY-00Z/30/JU



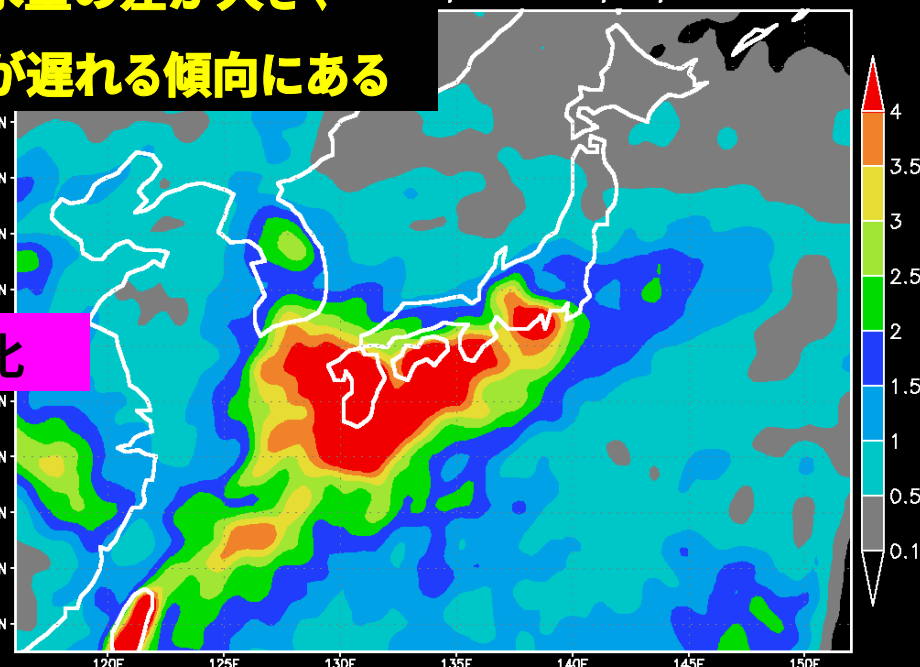
00Z/30/JUN-00Z/30/JUL 08-17w

温暖化気候の場合

7月降水量の差が大きく

梅雨明けが遅れる傾向にある

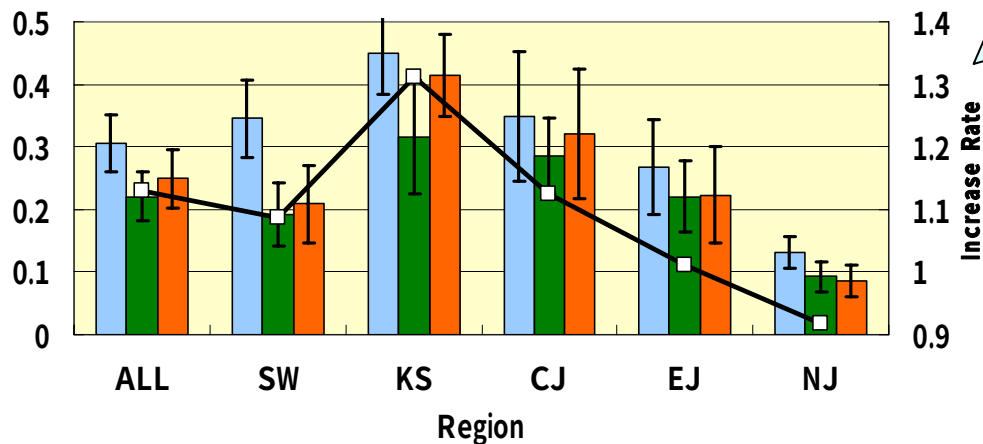
温暖化



温暖化気候時の集中豪雨の量と頻度

Mean Precipitation
Amount: R [mm/h]

Analysis Present
Warming Increase Rate

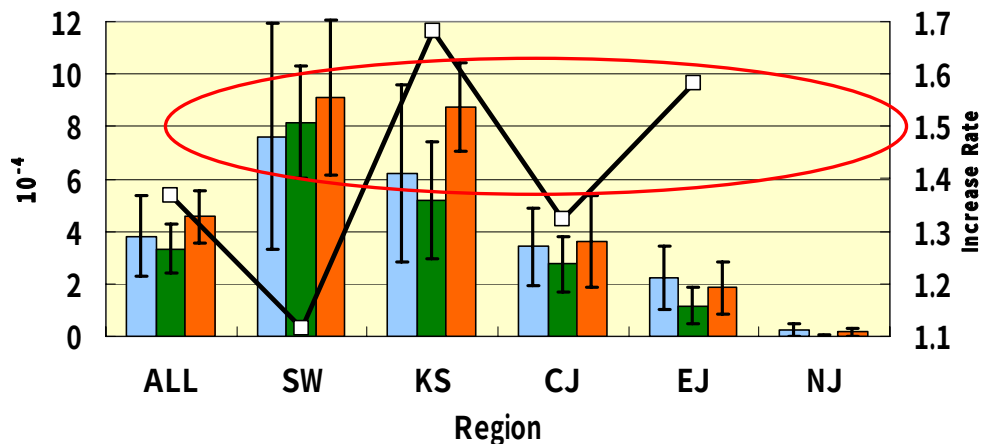


梅雨前線の変動を反映して温暖化気候では、降水量が

- ・日本全域で1割増加
- ・九州では3割増加
- ・北日本では1割現象

Heavy Rainfall
Frequency ($R \geq 30\text{mm/h}$)

Analysis Present
Warming Increase Rate

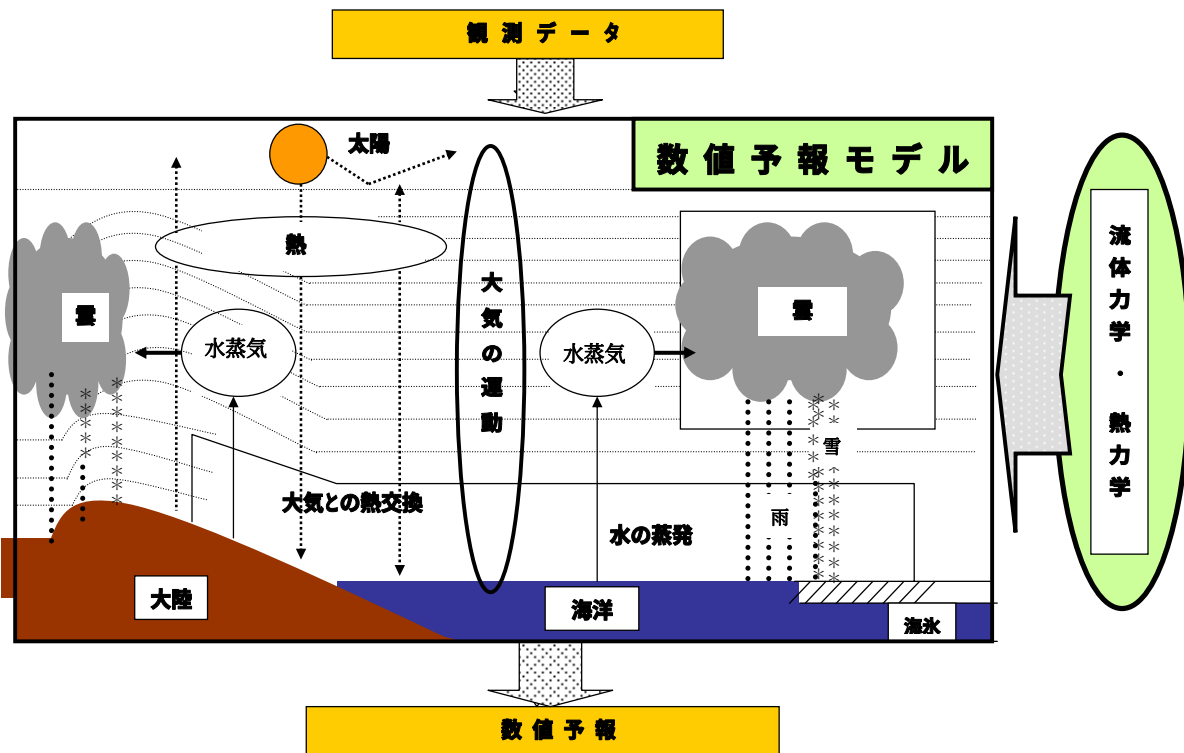
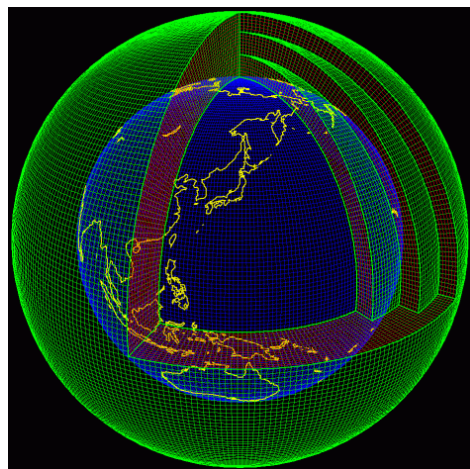


集中豪雨の頻度が

- ・九州では7割増加
- ・日本全域でも3～4割増加

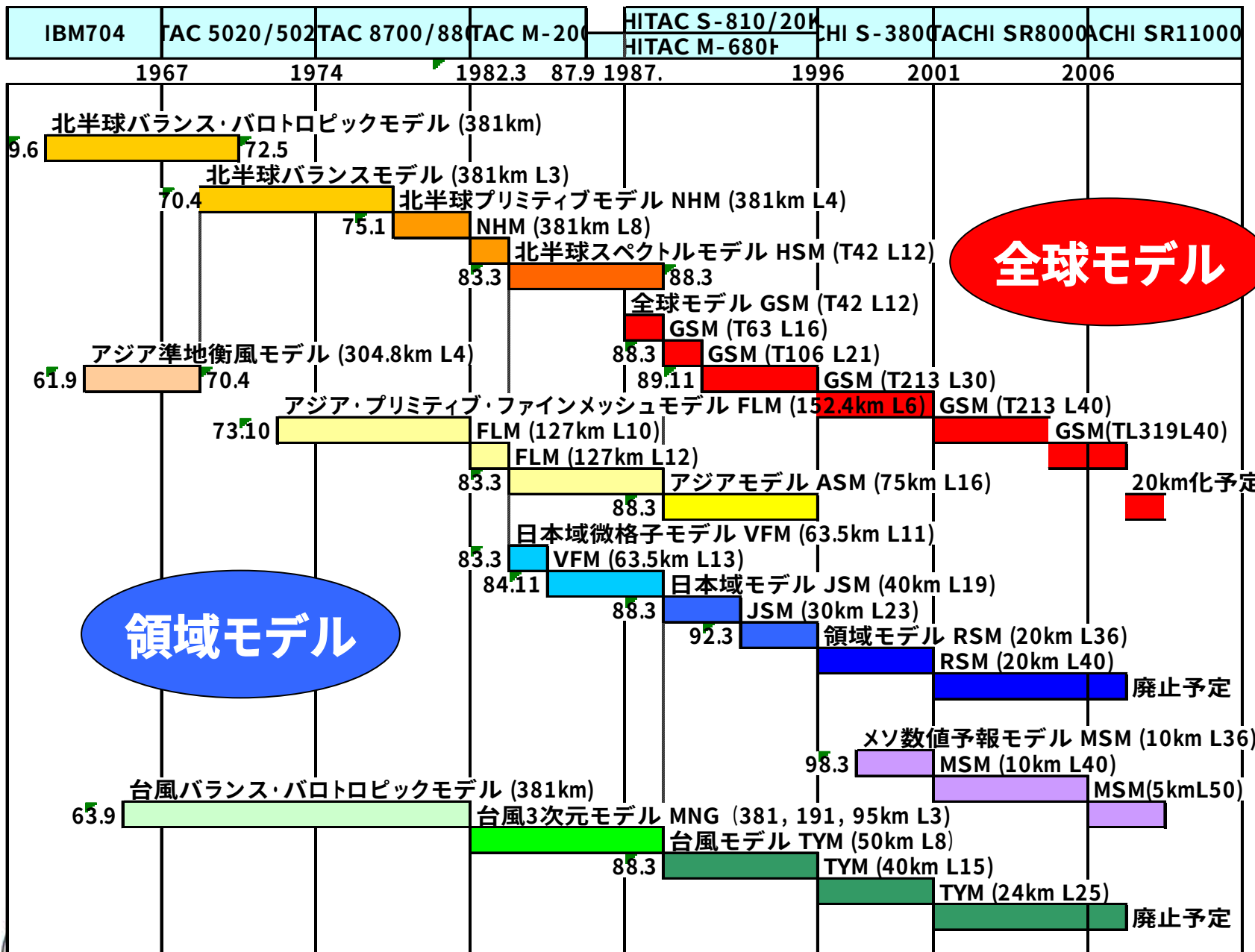


数値予報モデル ＝物理法則を数值的に解く



気象庁で運用している主な数値予報モデル

モデル名	主な目的	解像度	予報時間
全球モデル	明後日予報 週間予報 台風進路予報	TL319(60km) (640x320x40)	36,90,216時間
領域モデル	短期予報	20km(325x257x40)	51時間
メソモデル	防災情報	5km(721x577x50)	15時間
台風モデル	台風進路予報 台風強度予報	24km(271x271x25)	84時間

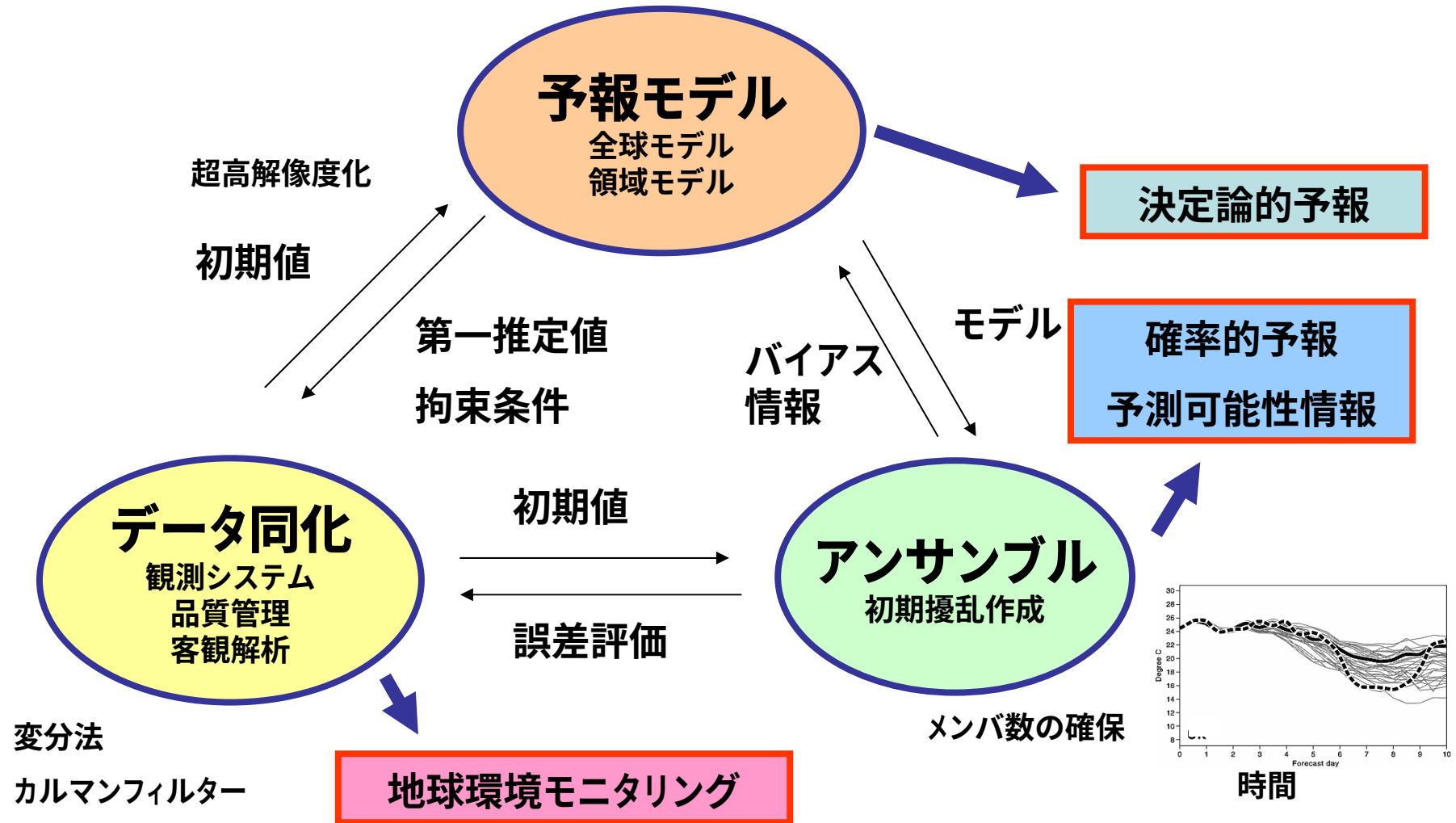


全球モデル

領域モデル

気象庁の数値解析予報システムのスーパーコンピュータと数値天気予報モデルの変遷
(アンサンブル予報モデルは除く。括弧内は水平解像度と鉛直層数)

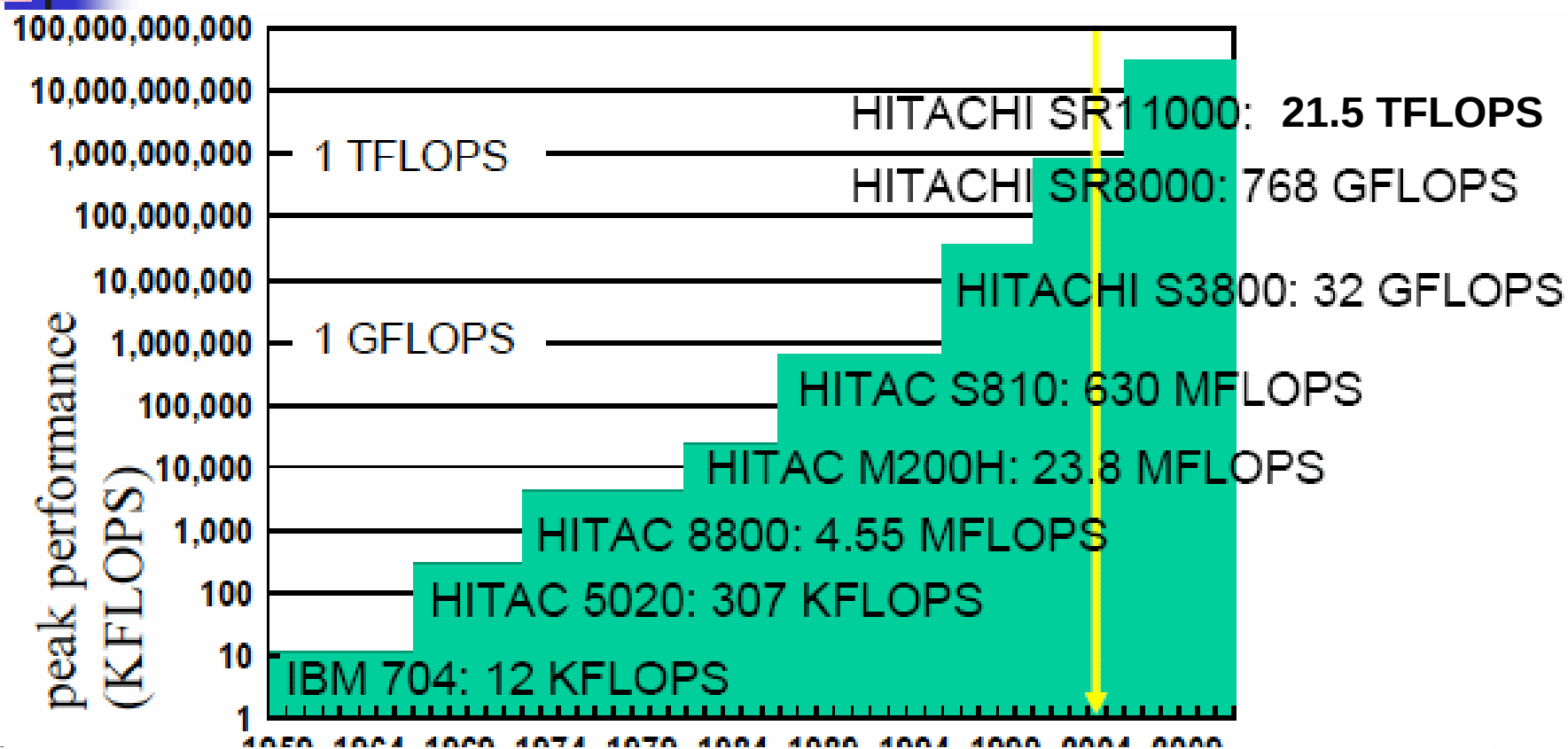
気象シミュレーションの3つのコンポーネント



従来は予報モデルの解像度が精度を決める大きな要素であったが、今後はデータ同化とアンサンブルを含めた総合バランスが重要になる



気象庁の歴代スーパーコンピューターシステム



気象庁予報部数値予報課提供

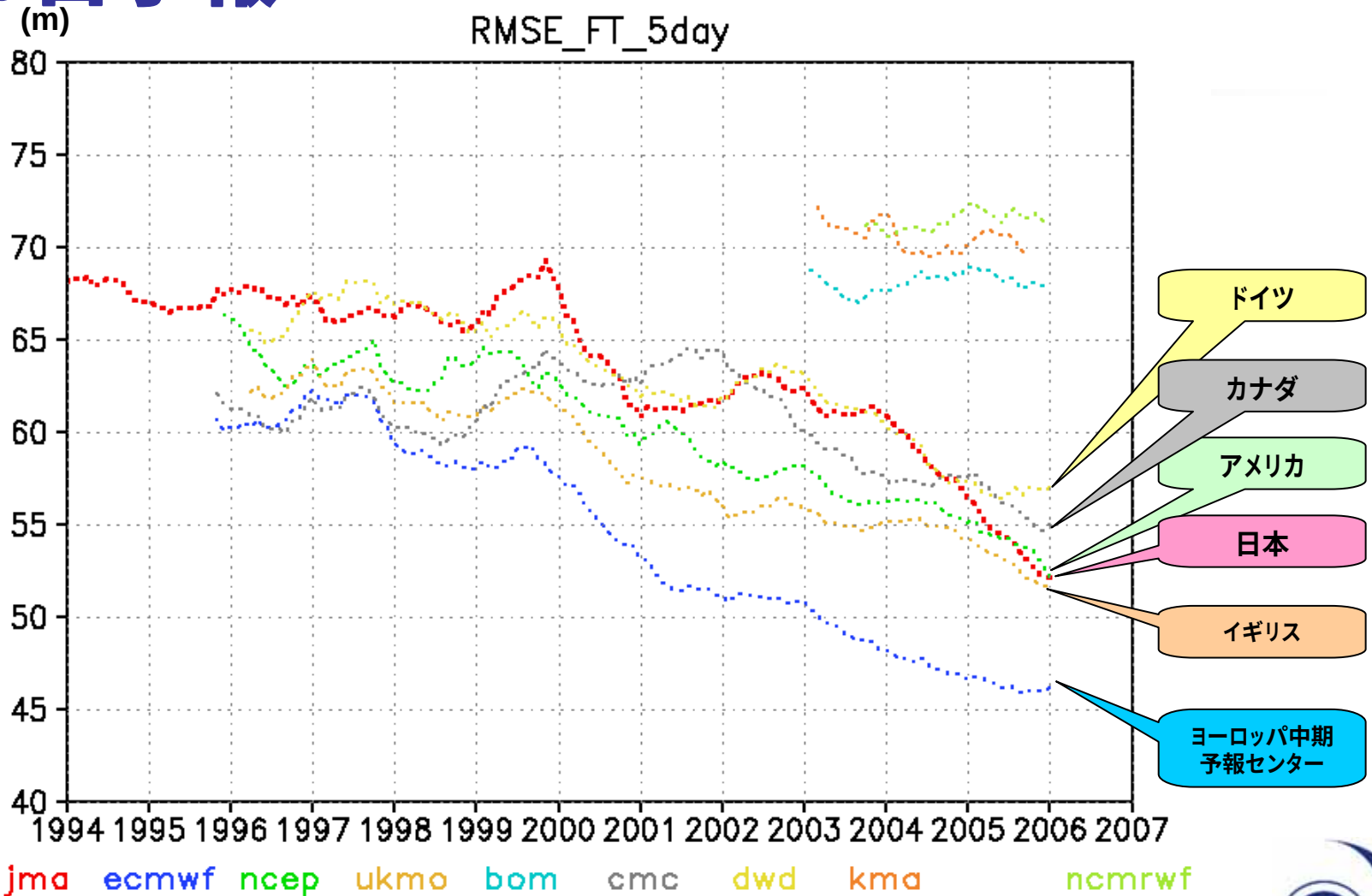
The next-generation supercomputer and NWP system of the JMA



気象研の歴代スーパーコンピューターシステム

	導入年	メーカー・型番	理論演算性能	主記憶容量	ディスク容量
1号機	1980年	日立 M-200H	48MF	16MB?	?
2号機	1985年	日立 M-280D S810/10	630M F	48MB	2.5GB
3号機	1994年	日立 S-3800/180	8GF	3GB	116GB
4号機	1999年	日立 SR-8000	288G F	256GB	859.2GB
5号機	2004年	NEC SX6E	2.9TF	3328GB	50.56TB

全球モデルによる北半球500hPa等圧面の 5日予報RMSE



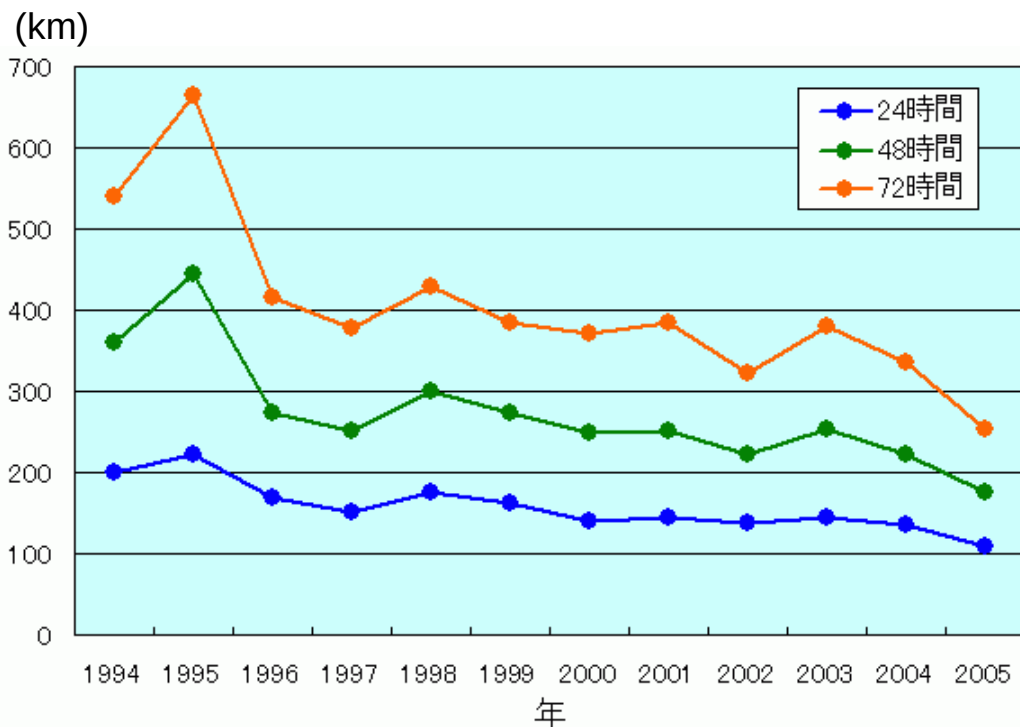
気象庁予報部数値予報課提供

12-month running mean plotted at last month

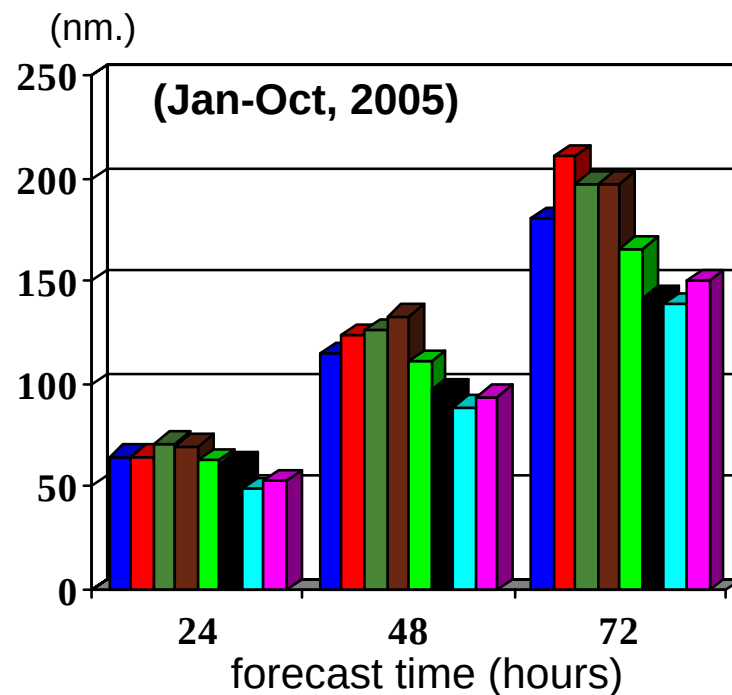


全球モデルによる台風進路予報誤差

JMA Global Model



Model Intercomparison by JTWC



気象庁予報部数値予報課提供

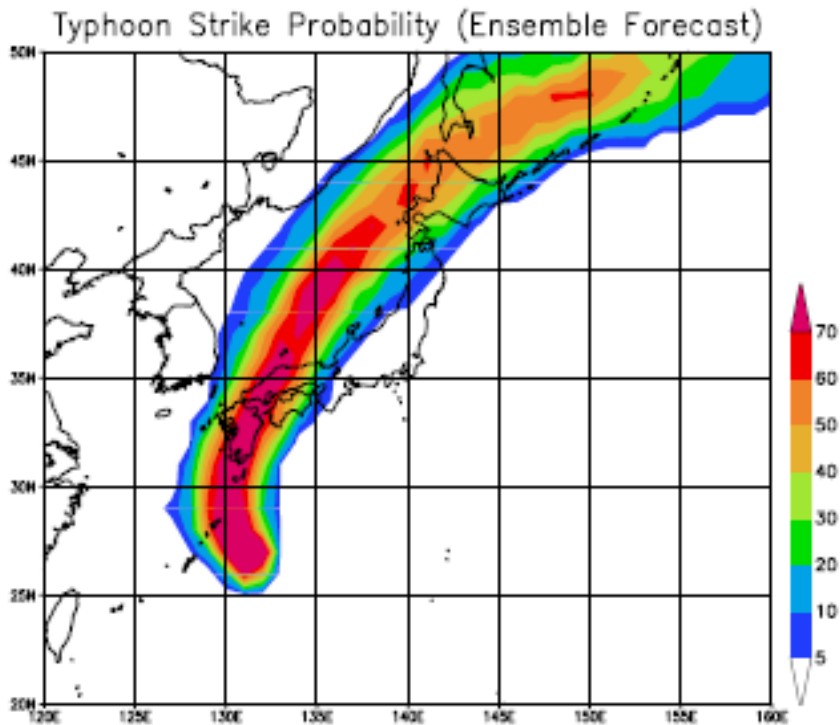
■ NRL ■ NCEP ■ GFDL ■ UKMO
 ■ JMA (TYM) ■ JMA (GSM)
 ■ Consensus ■ JTWC forecasts



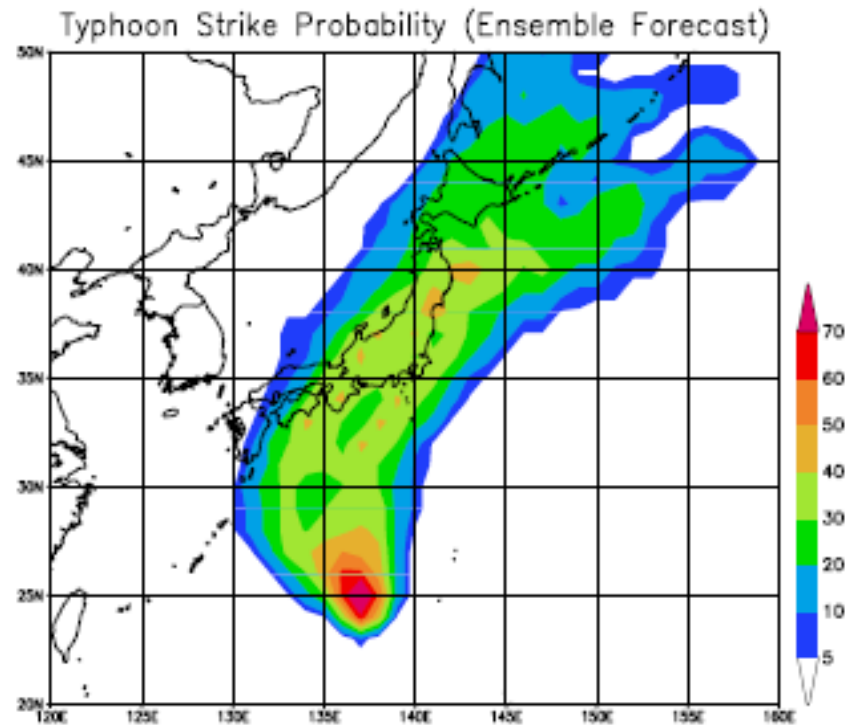
アンサンブル予報による台風上陸可能性

Typhoon strike probability maps

T0514 (Initial time: 12UTC 4 Sep 2005)



T0507 (Initial time: 12UTC 24 July 2005)



冬季日本海側豪雪のモデル研究

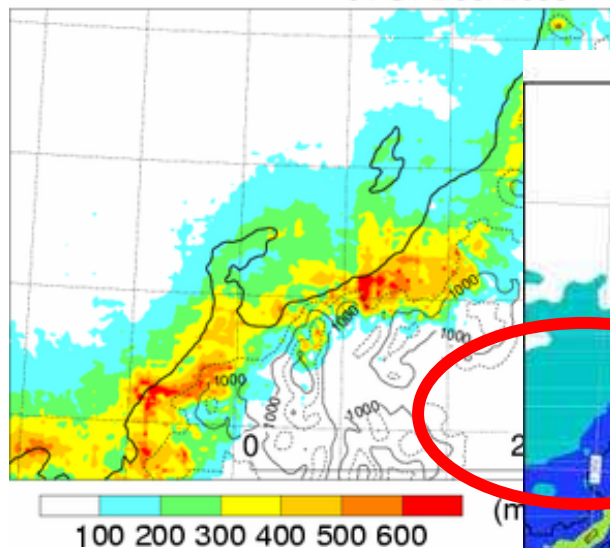
2005年度冬季数値実験による統計

解析雨量

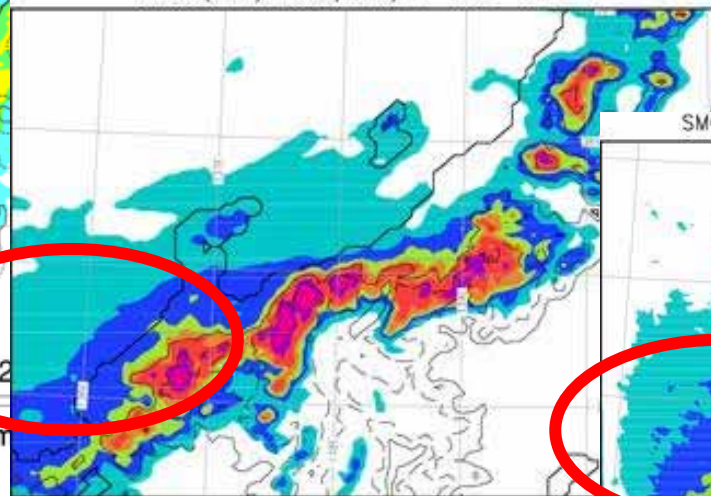
5 kmモデル

1 kmモデル

01-31 Dec. 2005

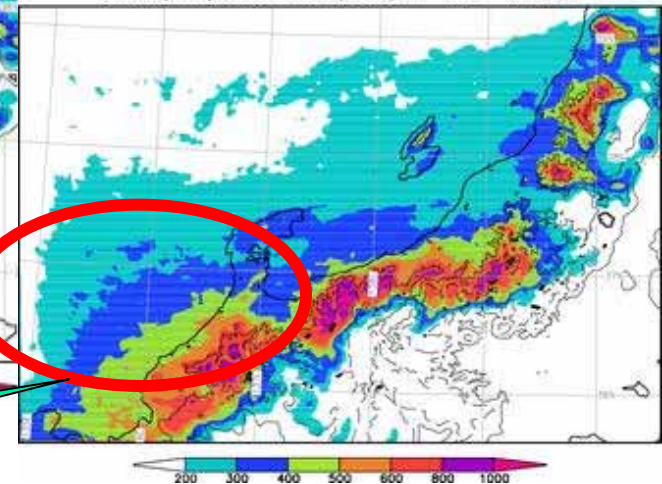


SMQal(mm) 2005/Dec/01 06z - 31 24z



2005年12月積算降水量

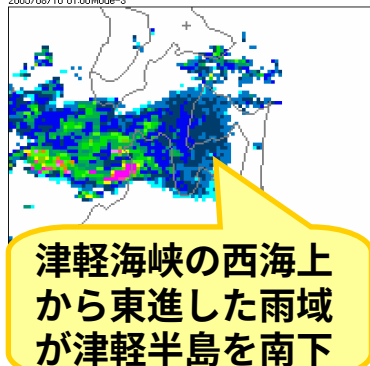
SMQal(mm) dx01 2005/Dec/01 06z - 31 24z



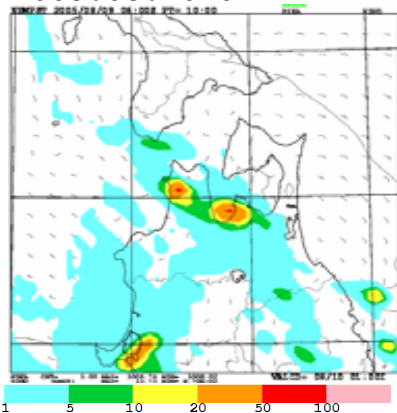
沿岸部での表現が改善

数値モデルを利用した調査研究事例 (地方気象台予報官によるシミュレーション)

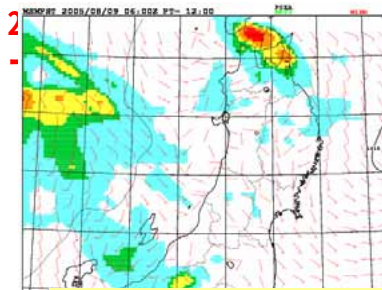
北部東北 Radar97 強度 函館 秋田 新潟
2005/08/10 01:00 Mode-3



2005.08.10 01h

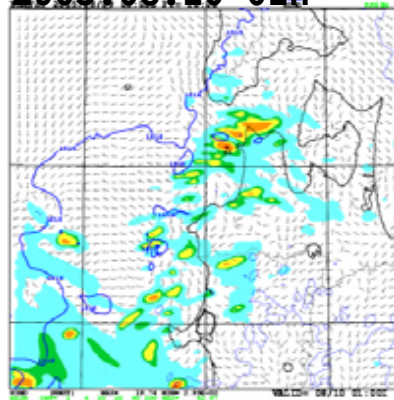


5 kmモデル



10 kmモデル

2005.08.10 01h



2 kmモデル

- 高分解能メソモデル (= 気象庁、気象研究所で研究開発用いているものと同じ) によるシミュレーションを地方調査研究の一環として試み
- HITACHI SR8000利用 (全国気象台共同利用)
- 2005年8月9日深夜～10日未明にかけて津軽半島に大雨
- リアルタイム資料では20kmモデルでは全く強雨の予測なし、10 kmモデルでは東側の下北半島に東進する強雨域を予測
- 細部に差違は見られるが、津軽半島北西部の強雨をよく再現
- 現場の予報官としてシミュレーションへの理解を深めるとともに、今後のメソスケール予報高度化のため、モデル開発コミュニティにフィードバック



仙台管区気象台、青森地方気象台提供



次世代スーパーコンピュータに適した数値モデリング手法の研究開発

- 立方体型全球／領域両用非静力学モデルを開発
- 従来のスペクトル法にかわり、格子点法を利用
- 並列計算機上での大規模計算に適したソフトウェア構造
- 既存の物理モデルの資産を有効活用し、次世代プラットフォーム化を目指す



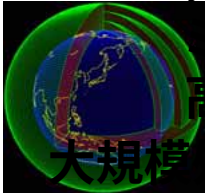
地球環境・データ同化予測シミュレーションでの 連結計算の例

刻々と集まる様々な観測データを高速で処理し、
集中豪雨を瞬時で予測、危機管理・防災対策を支援する

観測データを高速処
理、均一データセット
作成 逐次処理計算機または
特定処理計算加速器



大規模地球環境シ
ミュレーションによる
高精度予測
大規模処理計算機



データ同化

-観測データ収集

CALL OBS

-データ品質管理

CALL DATAQC

-客観解析

CALL VARANL

ユーザー向け処理

-ユーザー向け気象情報作成

CALL GUID

確率予測
情報フィード
バック

確率情報付
初期値提供

確率予測
情報提供

予報モデル

-高精度確率予測 (時間積分)

DO MEM = 1, MMAX

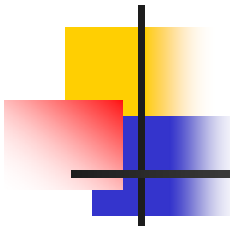
DO TIME = 0, TMAX

CALL CLOUD

CALL FCST

END DO

END DO



これから何を計算すべきか

- **高解像度化**
 - 収束するのか、しないのか
- **物理モデルの精緻化**
 - 不確定性のリダクション
 - 極めて専門的、共有化のフレームワークが必要
- **アンサンブル手法による予測可能性追求**
 - 防災目的をはじめユーザーにとって実用的
 - 初期値の不確定性を考えると、見方によっては本質的
- **システム最適化により社会還元**
 - 計算資源を有効活用し、コストパフォーマンスを上げるためには、これらをどのように組み合わせるか



これからの計算機

- 立派な「箱」を作っても、ベンチマークテストでよい点数をとっても、あまり意味がない。ハードとソフトはセットとして実際に役に立つものを作るべき。
- 気象シミュレーションの用途が拡大するにつれ、flexibility, compatibility がよいアプリケーションの条件になる。
- 外国製アプリとの競争に勝ち抜くためにも、ソフトウェアの計算機への適合性は極めて重要。
- ソフトウェアアーキテクチャ、データ形式、可視化に関する議論に諸外国と比較して遅れを感じる。
- 高速化のみならず、大規模ストレージに対する要望が強い。

これからの計算科学、あるいは次世代スーパーコンピュータへの提言

- シミュレーション高解像度化、物理モデルの複雑化、予測可能性追求を推進するにあたって、計算資源の高性能化は絶対に必要。
- 「最先端の計算機」では「最先端の大規模計算」を実行し、シミュレーションのピラミッドの頂点を牽引すべき。
- アーキテクチャが変われば最適なアルゴリズム、ソフトウェア構造もかわる。アプリ開発者も既存のものに固執せず、次世代を開拓する決意をもつべき。
- 気象（大気）分野でマルチスケールをターゲットとするにあたり、「スペクトル」と「格子系モデル」の「調和」が大きな課題。2010年代はおそらく過渡期。
- 気象（地球科学）と計算科学はもっと融合・交流を進め、協調して次世代のための人材育成を行うべき。「次世代スーパーコンピュータセンター」はその核となることを期待。