



# 最近の天気予報に関する 技術開発の動向

平成22年7月14日

神戸大学

気象庁予報部 数値予報班長 室井ちあし



# 天気予報の役割

# 天気予報の流れ



## 観測資料

船舶

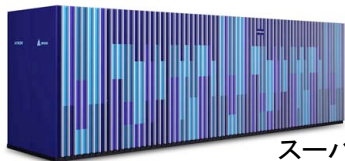
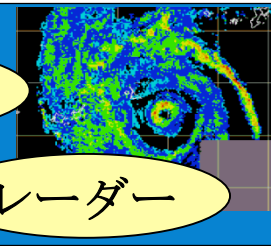
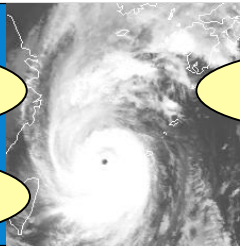
航空機

高層観測

アメダス

気象衛星

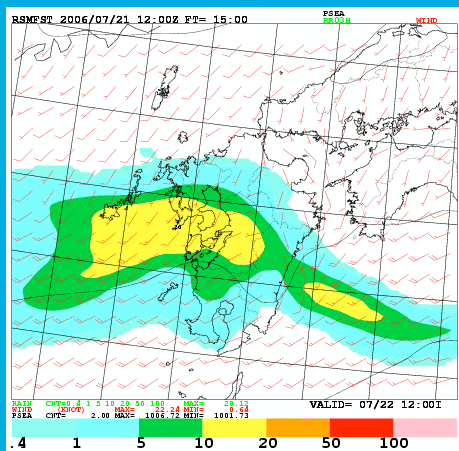
レーダー



スーパーコンピュータ

## 予測資料

数値予報資料

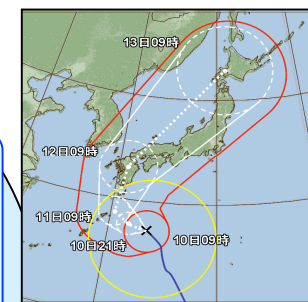


実況監視

予報作成

警報作成

予報作業 情報発表



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
最低(°C)	10(←)	12(±2)	13(±2)	12(±4)	7(±4)	7(±4)	8(±4)
最高(°C)	14(←)	16(±4)	21(±3)	15(±4)	14(±4)	14(±4)	17(±4)

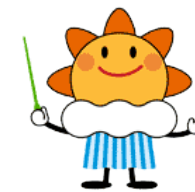
関係機関  
報道機関

民間気象事業者

気象庁HP

国民  
(エンドユーザ)

テレビ、携帯電話、インターネット等 *Agency*



時間スケール	ニーズ(例)	気象庁の主な情報	技術的課題
～1日	大雨・台風に対する備えや避難	注意報・警報 天気予報	短時間予報、ナウキャスト技術開発、豪雨メカニズム解明
1日～3日	上記のほか、交通の安全・効率的運行 黄砂・スモッグ 太陽光発電、風力発電の量的予測	天気予報	スーパーコンピュータ整備による数値予報の高度化(物理過程高度化、観測データ同化の推進) アプリケーションの高度化
3日～10日	レジャー、農業対策	週間予報	台風予報(転向・発達衰弱のメカニズム、必要な観測網)
10日～1か月	産業活動の効率化	季節予報	マッデンジュリアン振動、モンスーンの予測可能性
1か月～	天候の移り変わり、農業対策	季節予報	大気海洋相互作用
10年～	地球温暖化対策 洪水への備え	温暖化予測情報	モデルの不確実性の低減

# 災害原因別 死者・行方不明者

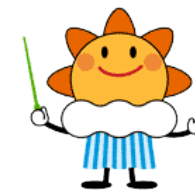
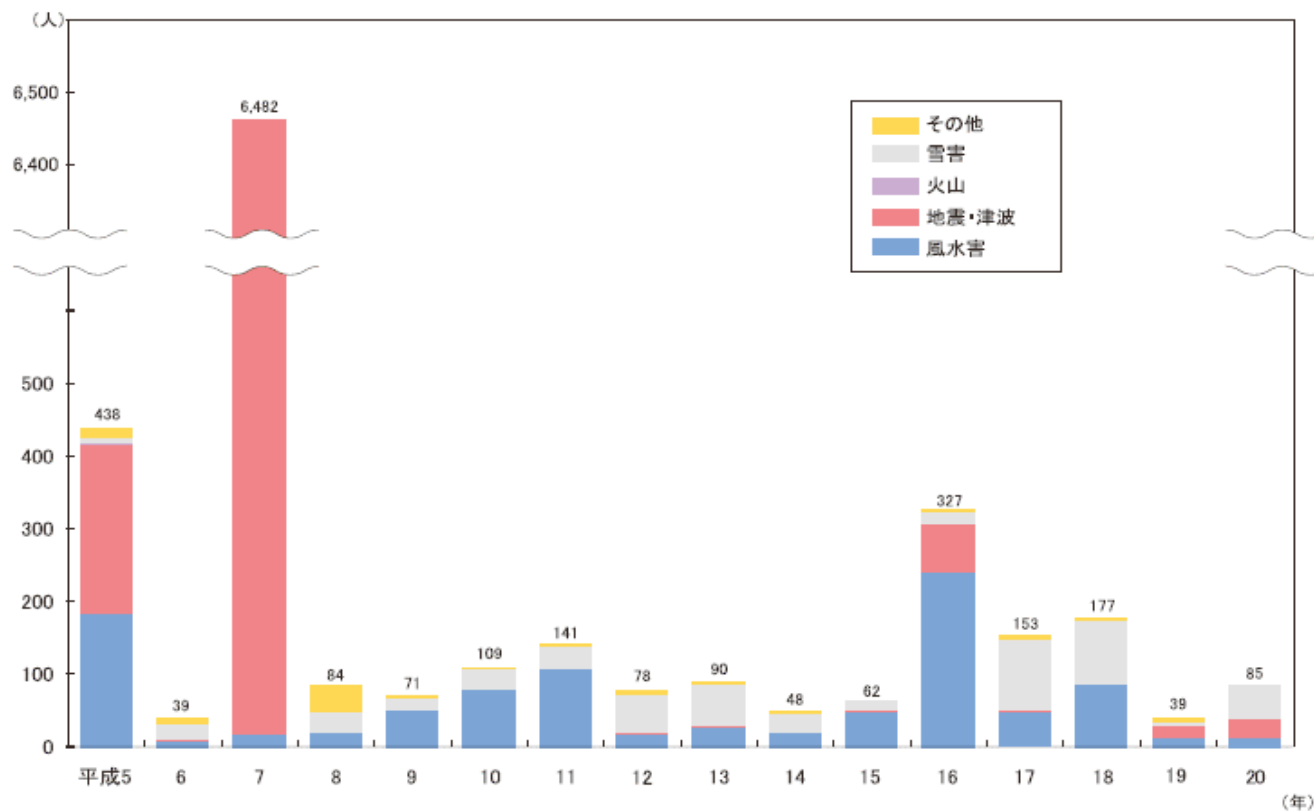


図1-2-2 災害原因別死者・行方不明者の状況



(注) 消防庁資料をもとに内閣府において作成。地震には津波によるものを含む。  
 平成7年の死者のうち、阪神・淡路大震災の死者については、いわゆる関連死912名を含む。  
 平成20年の死者・行方不明者数は速報値。

# 近年の災害例－1



(平成20年版 防災白書 「近年の我が国の主な自然災害」から、平成16年分のみ抽出して作成)

月 日	災害名	主な被災地	死者・ 行方不明者数
7. 12～13	平成16年7月新潟・福島豪雨	新潟県, 福島県	16人
7. 17～18	平成16年7月福井豪雨	福井県	5人
7. 29～8. 6	台風第10号・第11号及び関連する大雨	中国, 四国地方	3人
8. 17～20	台風第15号及び関連する大雨	東北, 四国地方	10人
8. 27～31	台風第16号	西日本を中心とする全国	17人
9. 5	紀伊半島沖・東海道沖を震源とする地震	愛知県, 三重県, 和歌山県	0人
9. 4～8	台風第18号	中国地方を中心とする全国	45人
9. 26～30	台風第21号	西日本を中心とする全国	27人
10. 8～10	台風第22号	東日本太平洋側	9人
10. 18～21	台風第23号	近畿, 四国地方を中心とする全国	98人
10. 23	平成16年(2004年)新潟県中越地震	新潟県	68人
12. ~17. 3.	雪害	北海道, 東北及び北陸地方等	88人

(注) 内閣府において情報対策室が設置されたもの、死者・行方不明者があったもの。



避難勧告等の判断・伝達に課題

避難勧告を受けても避難しない

高齢者等の災害時要援護者が被災





# 近年の災害例-2



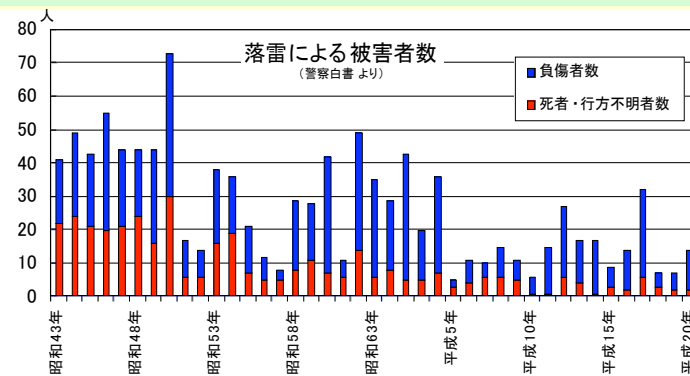
平成21年7月19日岡山県美作市

## 【竜巻・突風 災害】

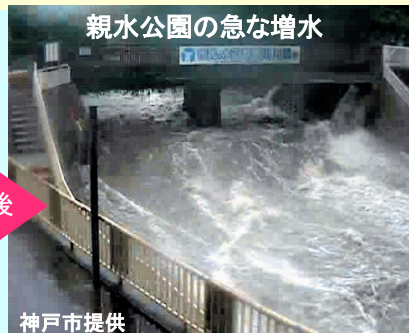
- 平成17年12月25日 山形県庄内町 (F1: 死者5名)
- 平成18年9月17日 宮崎県延岡市 (F2: 死者3名)
- 平成18年11月7日 北海道佐呂間町 (F3: 死者9名)
- 平成21年7月19日 岡山県美作市 (F2: 負傷者2名)
- 平成21年7月27日 群馬県館林市 (F1~2: 負傷者21名)

## 【落雷災害】

落雷により毎年数名の方が亡くなっている。平成21年5月24日には兵庫県でジョギング中に落雷で死亡する災害があった。



平成20年7月28日兵庫県神戸市



親水公園の急な増水

数分後

神戸市提供

## 【局地的な大雨(急な増水)災害】

- 平成20年7月28日 兵庫県神戸市 (死者5名)
- 平成20年8月5日 東京都豊島区 (死者5名)
- 平成21年8月19日 沖縄県那覇市 (死者4名)

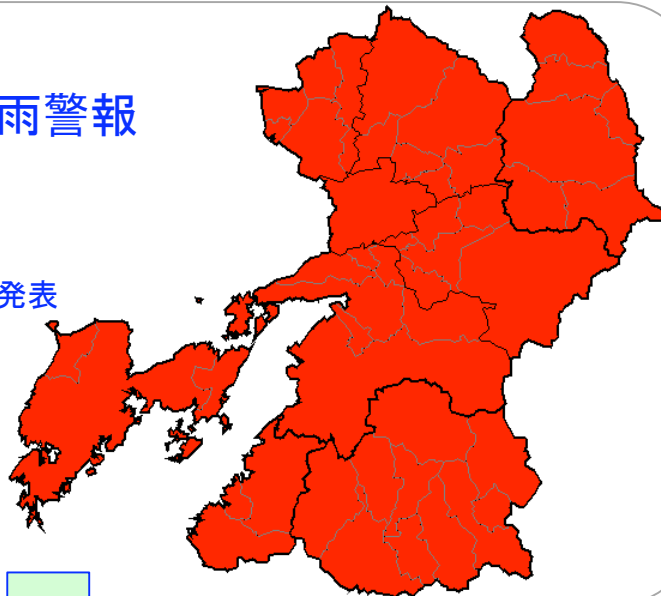
# 細分区単位の発表→市町村単位の発表

気象庁:

## 細分区域単位の大雨警報

平成19年7月6日9時42分発表  
熊本県 大雨警報

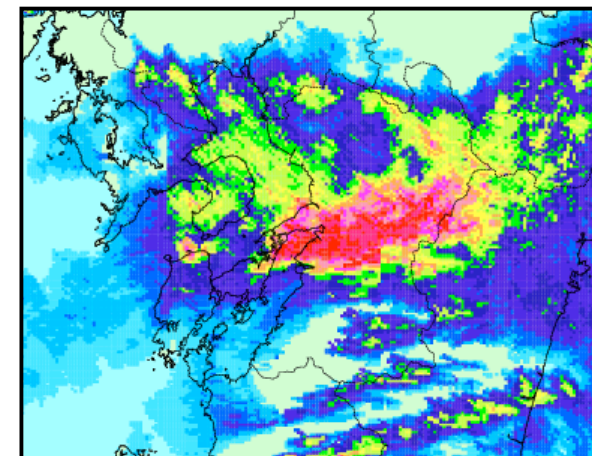
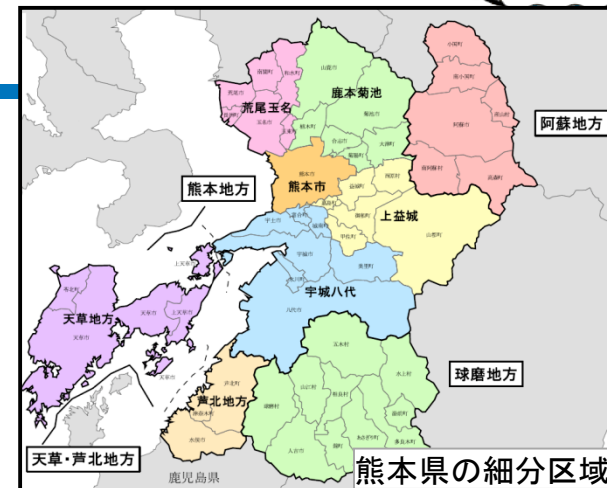
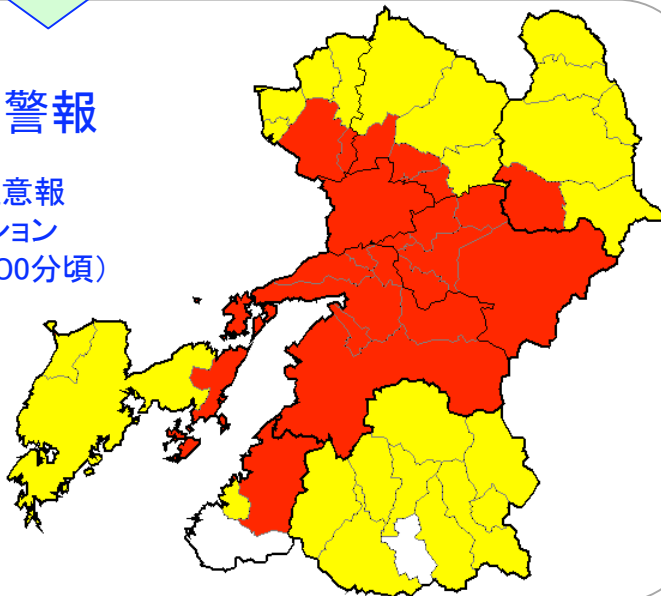
大雨警報 大雨注意報



## 平成22年から: 市町村単位の大雨警報

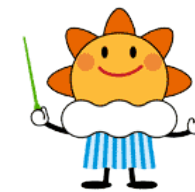
熊本県の大雨警報・注意報  
発表・解除シミュレーション  
(平成19年7月6日10時00分頃)

大雨警報 大雨注意報



気象レーダーのエコー  
(平成19年7月6日10時)





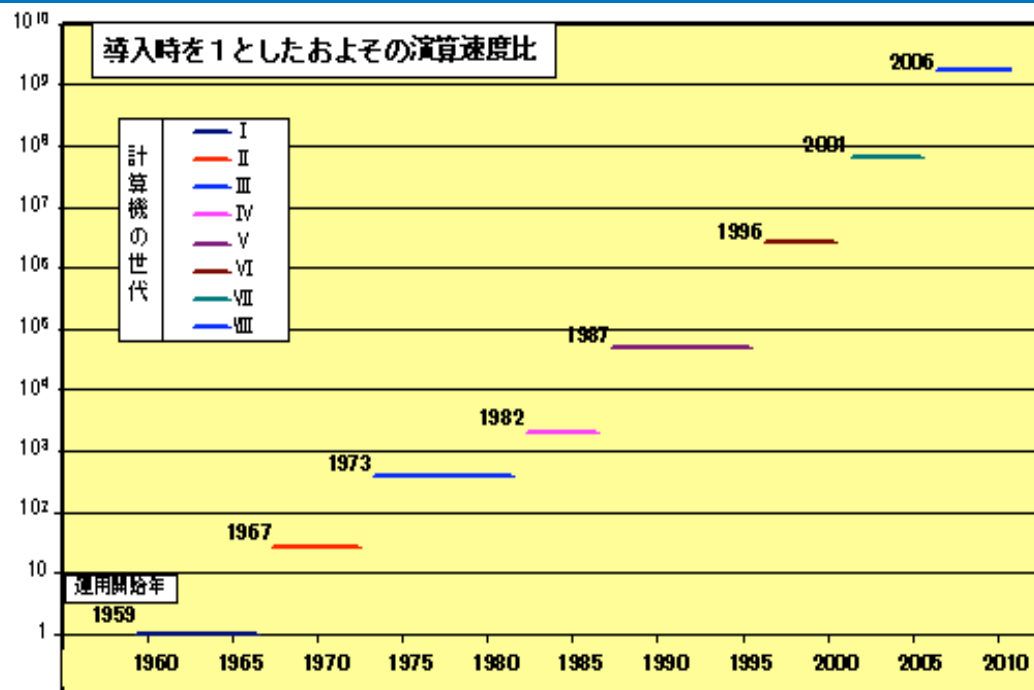
# 数值予報技術

# 数値予報



- 「コンピュータ・シミュレーション」は、理論、実験に次ぐ、第3の科学
- 地球大気について、観測は不規則で十分でなく、古典的予報手法では社会のニーズに応えられない
- 計算科学の進歩の後押しも受けながら、「気象のシミュレーション＝数値予報」が、50年の時間をかけて進化
- 数学、物理、それらの応用による「学際的研究開発」により、国民の安心安全に直接貢献

# 数値予報開始50年と計算機

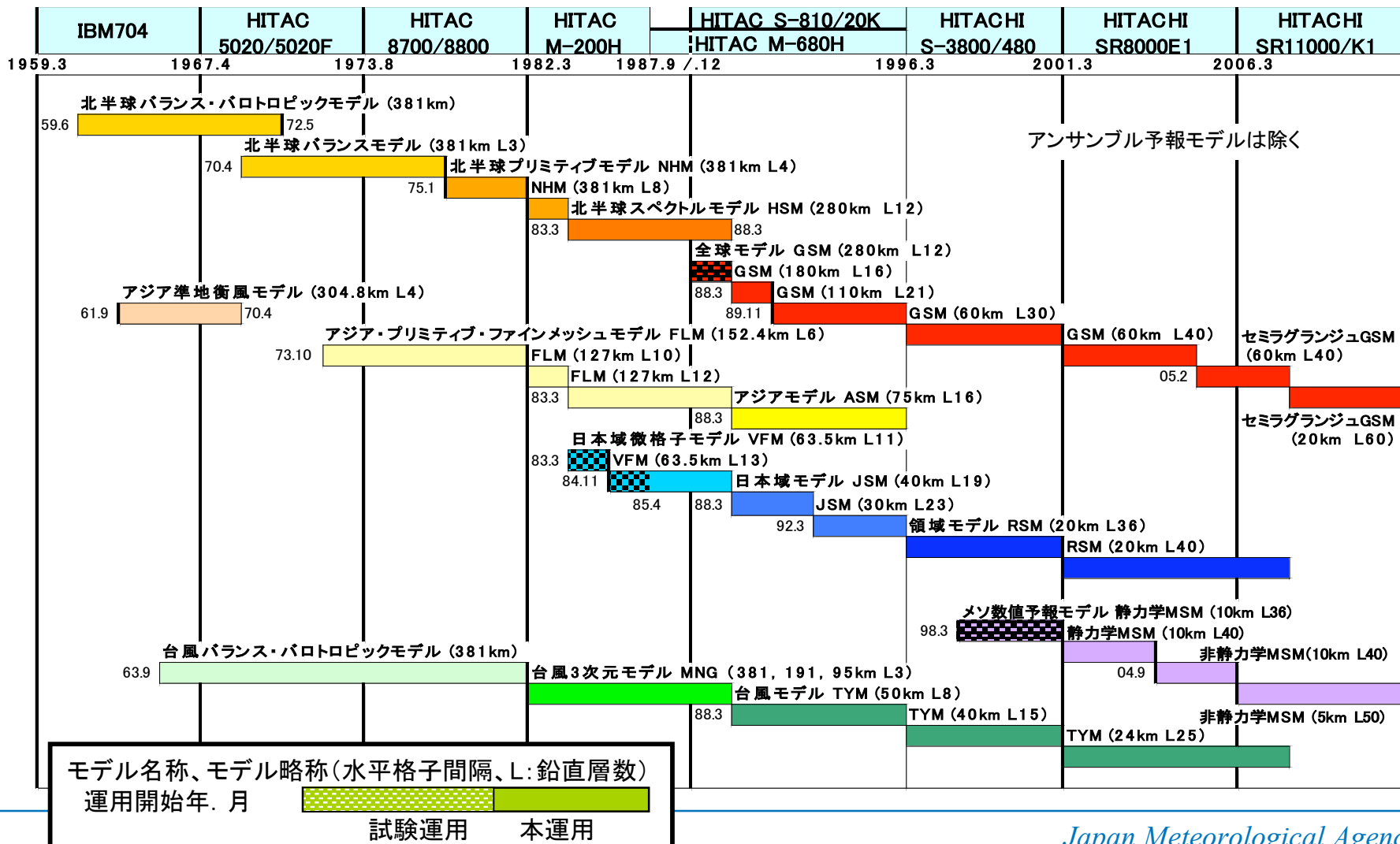


50年前の計算機の数10億倍

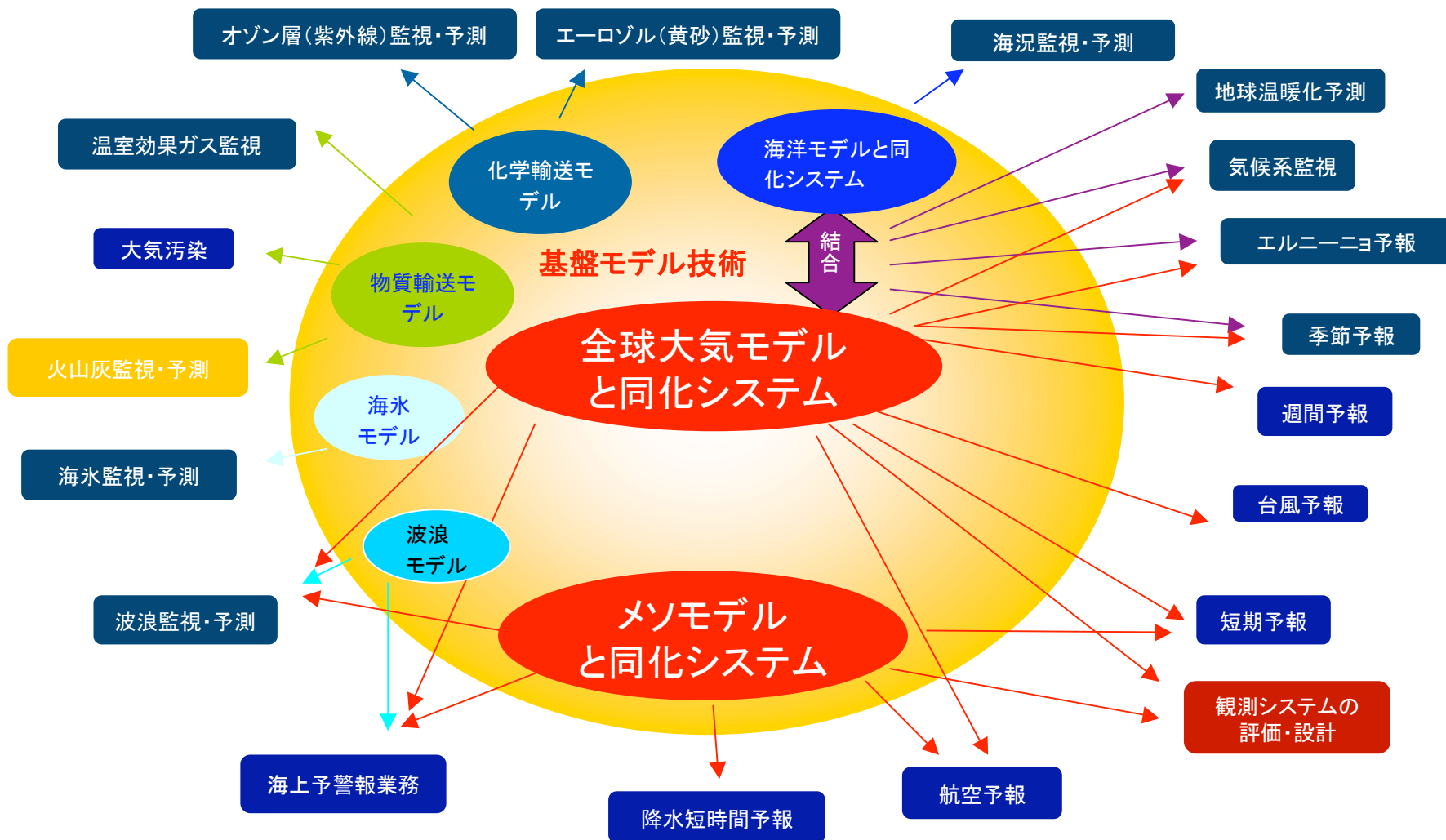


リチャードソンの人力数値予報の夢

# 数値予報モデルの発展



# 数値予報モデルが支える気象庁の業務

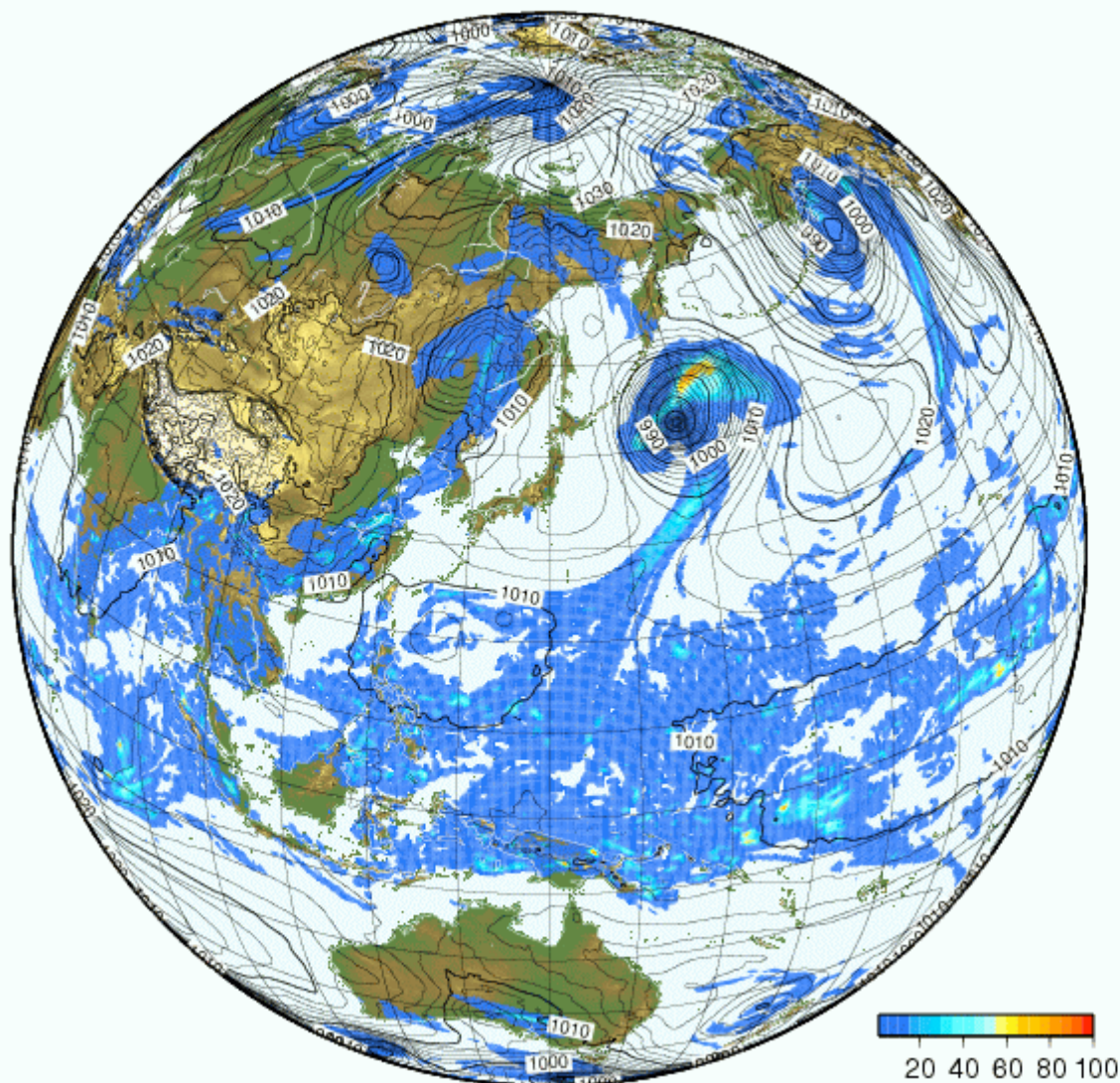


# 全球モデルによる予報例

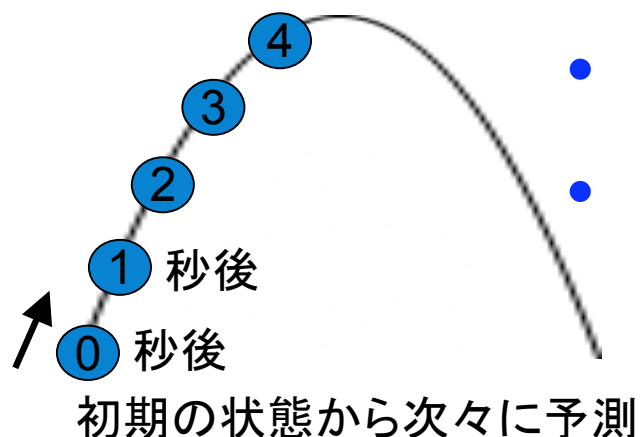


GSM-TL959L60 2009.09.16.12UTC FT=108

(Valid Time: 09.21.00UTC)



# なぜ予測ができるのか 数値予報の原理

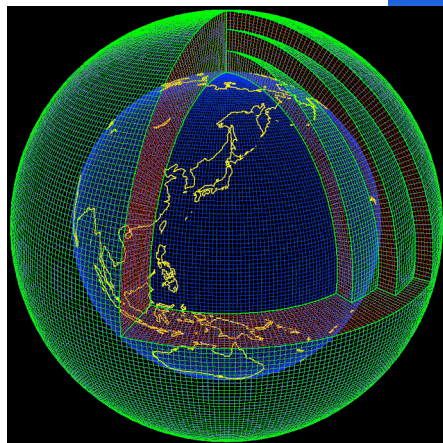
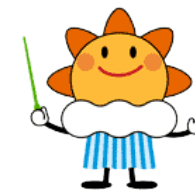


- 最初の状態がわかり
- 現象を支配する法則がわかれば

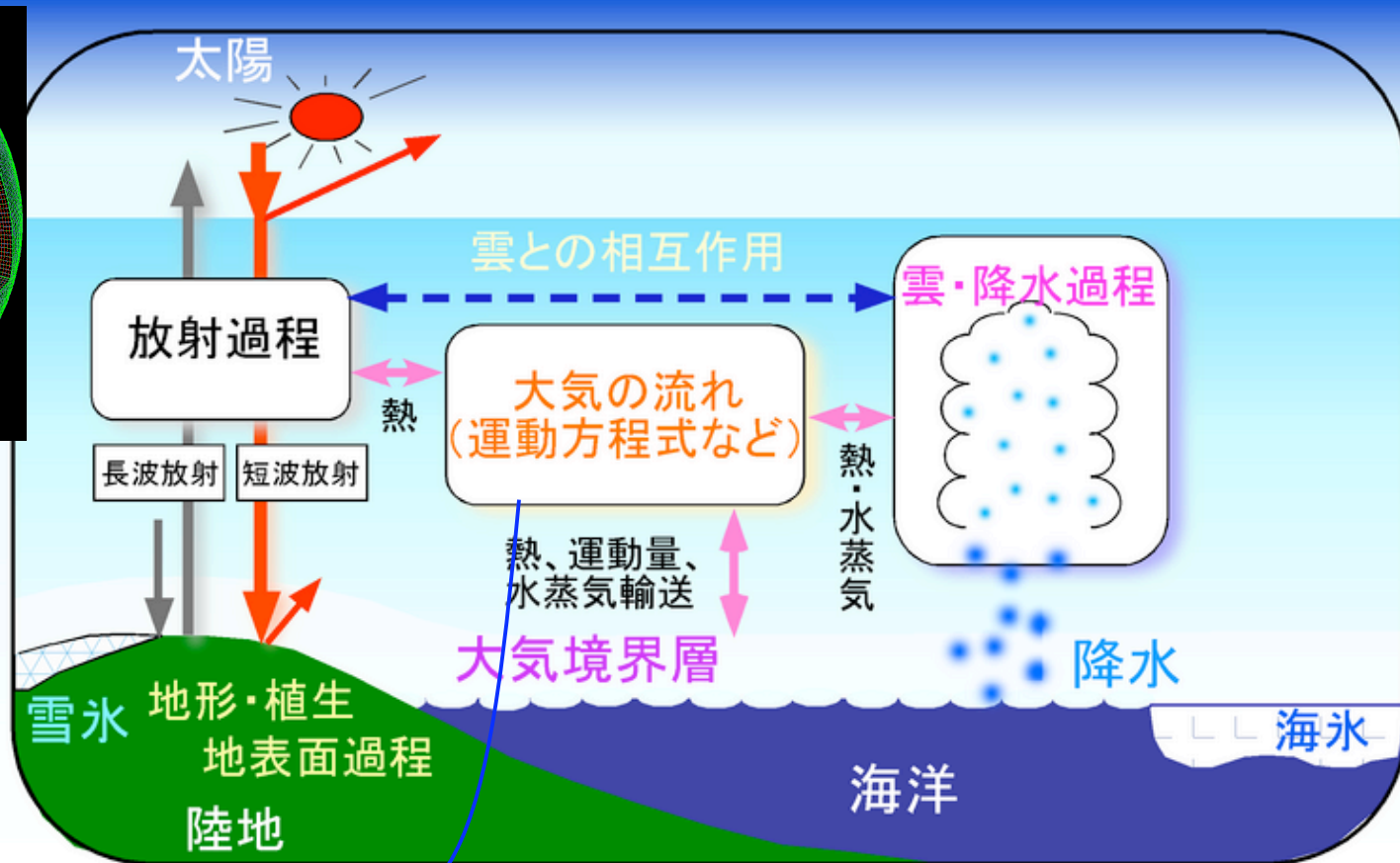
**原理的に予測可能**

しかし  
ボールの軌道計算のように簡単ではない

# 数値予報の計算の中身



格子(箱)に観測データを反映、それを出発点に右の計算



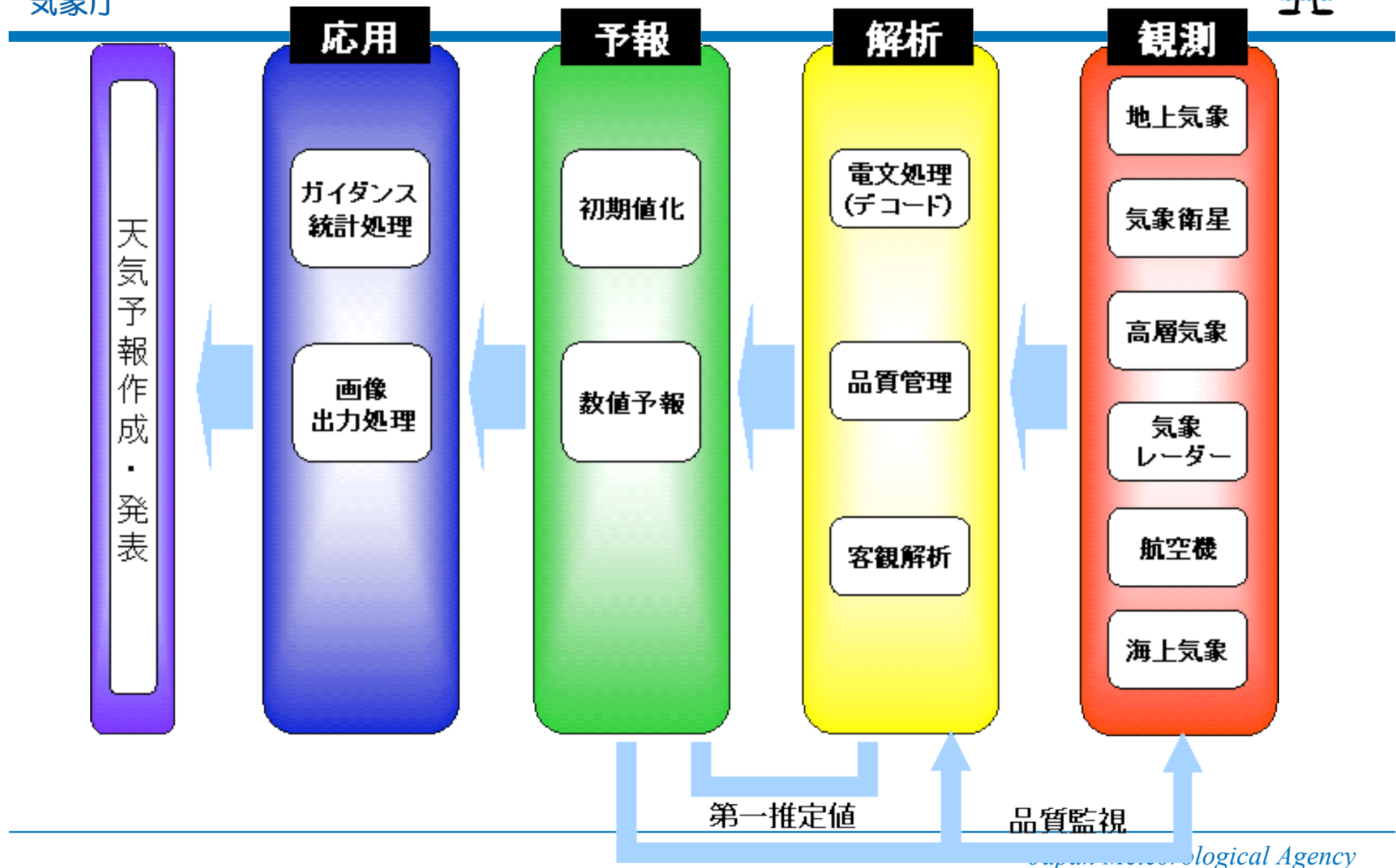
流体力学や熱力学の方程式

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -2\vec{\Omega} \times \vec{V} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} + \vec{F}$$

$$Qdt = C_v dT + pd\alpha = (C_v + R)dT - \alpha dp$$

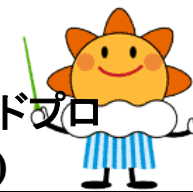


# 数値予報の流れ



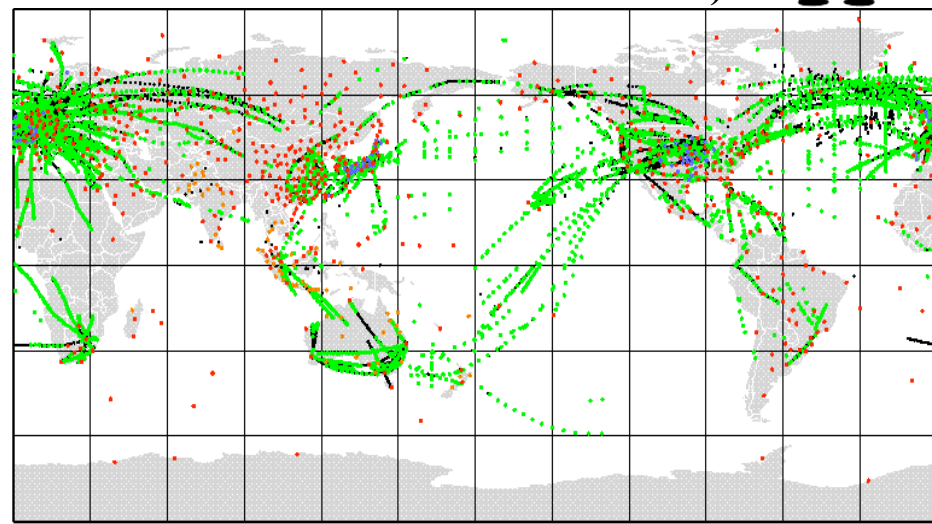
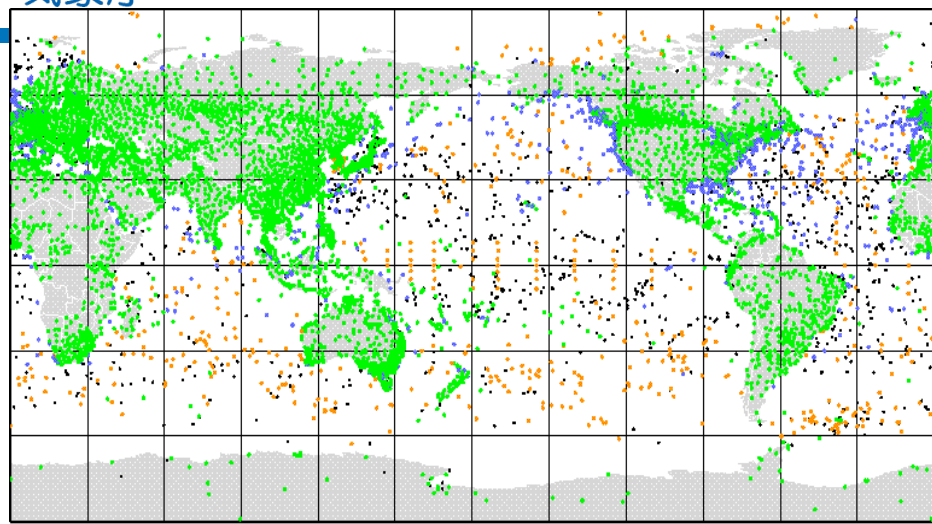


# 観測データ分布図 (平成21年7月28日21時)



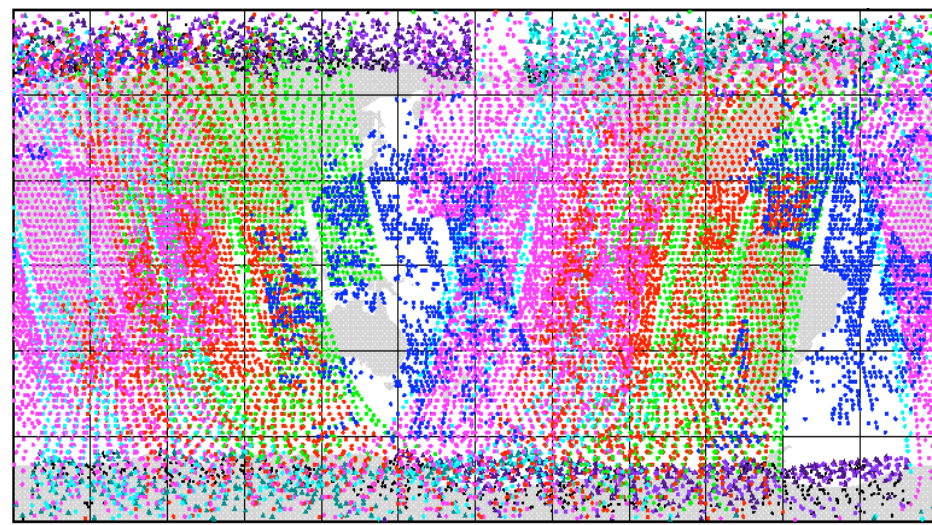
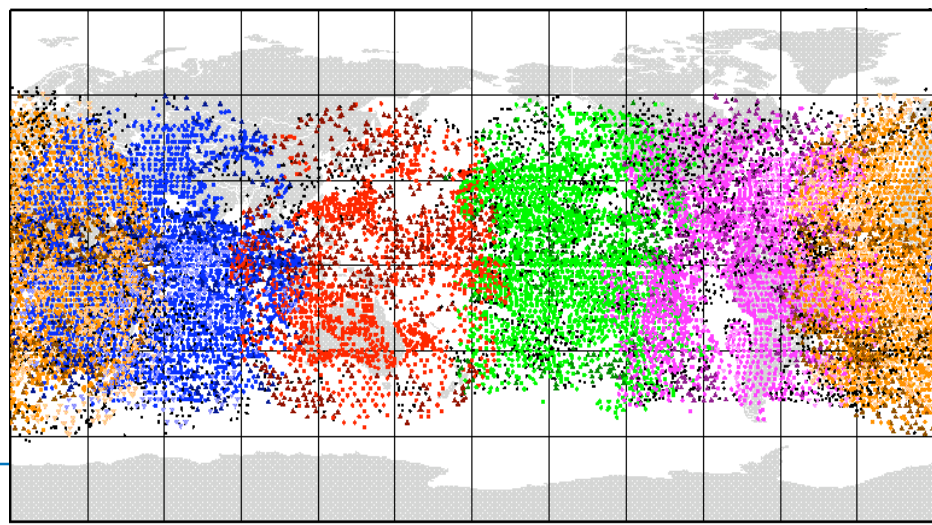
地上観測 (観測所・船舶・ブイ)

高層観測 (ゾンデ・航空機・ウィンドプロファイラ・ドップラーレーダー)

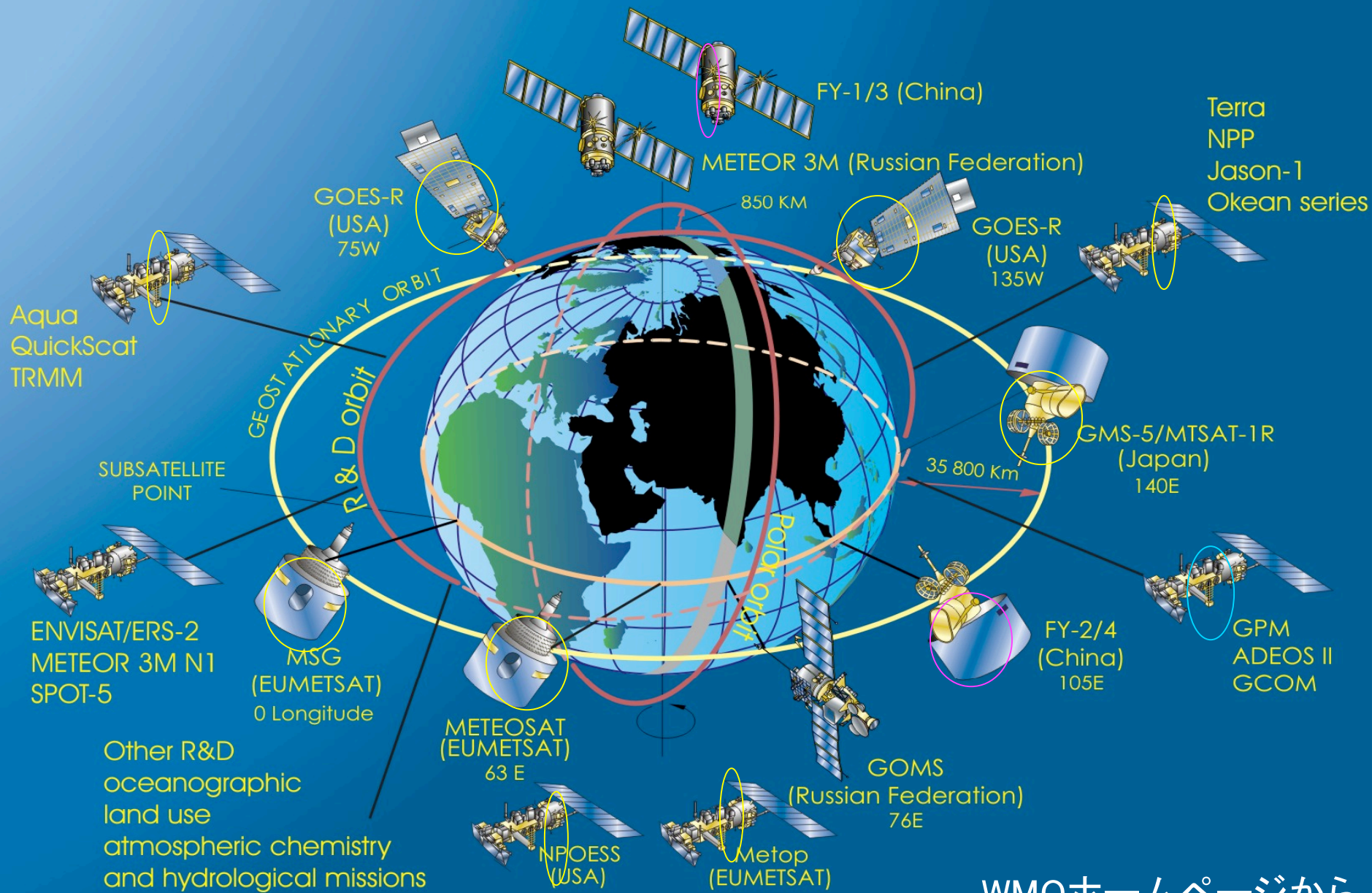


静止衛星観測

極軌道衛星観測



# 衛星データの利用



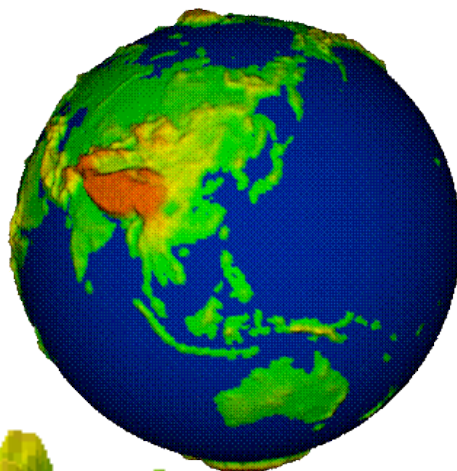
# 気象庁の数値予報



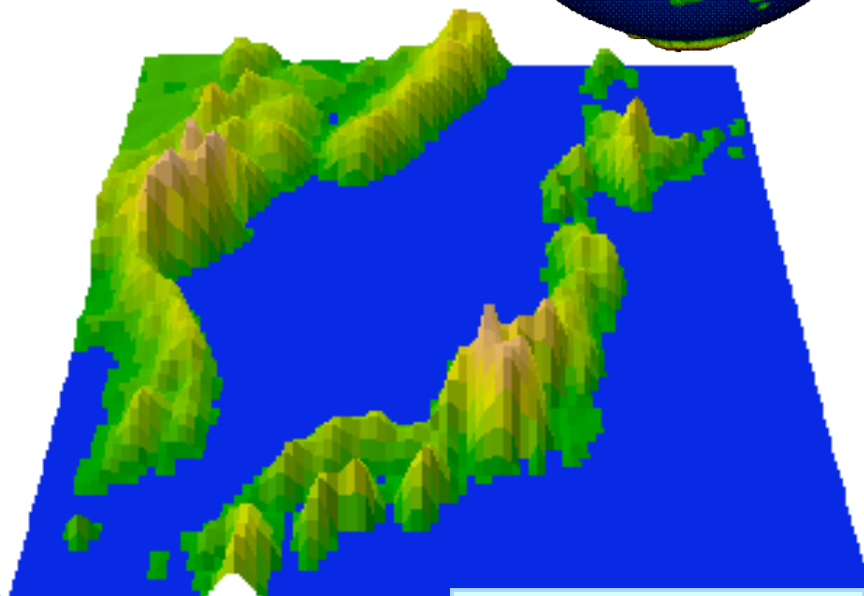
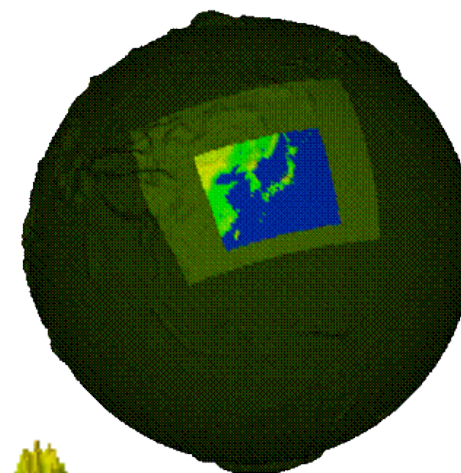
予報モデル	モデルを用いて 発表する予報	予報領域と 水平解像度	予報期間	実行回数
メソモデル	防災気象情報 航空気象情報	日本周辺 5 Km	15時間 33時間	1日8回
全球モデル	週間天気予報 府県天気予報 航空気象情報 台風予報	地球全体 20Km	9日間 3.5日間	1日4回
週間アンサンブル予報モデル	週間予報	地球全体 60Km	9日間 51メンバー	1日1回
台風アンサンブル予報モデル	台風予報	地球全体 60Km	5.5日間 11メンバー	1日4回



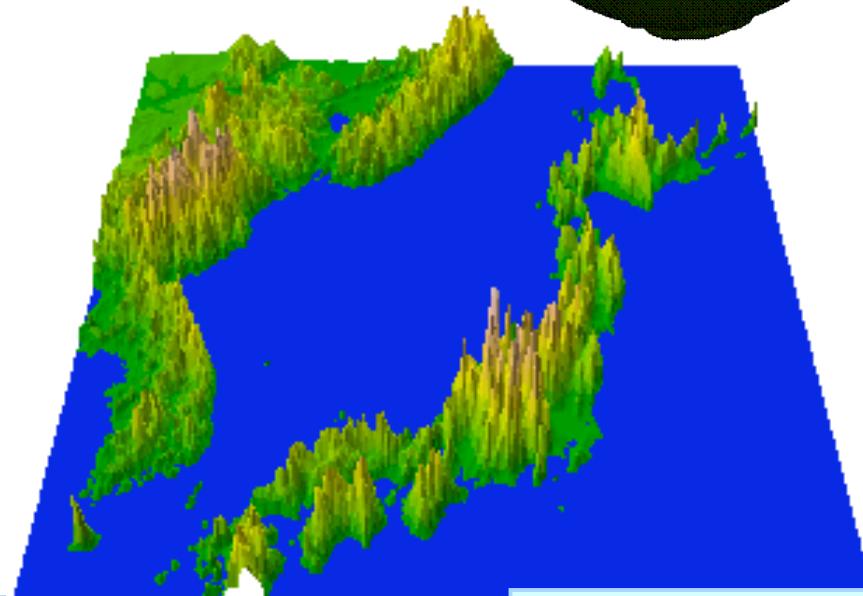
全球モデル



メソモデル

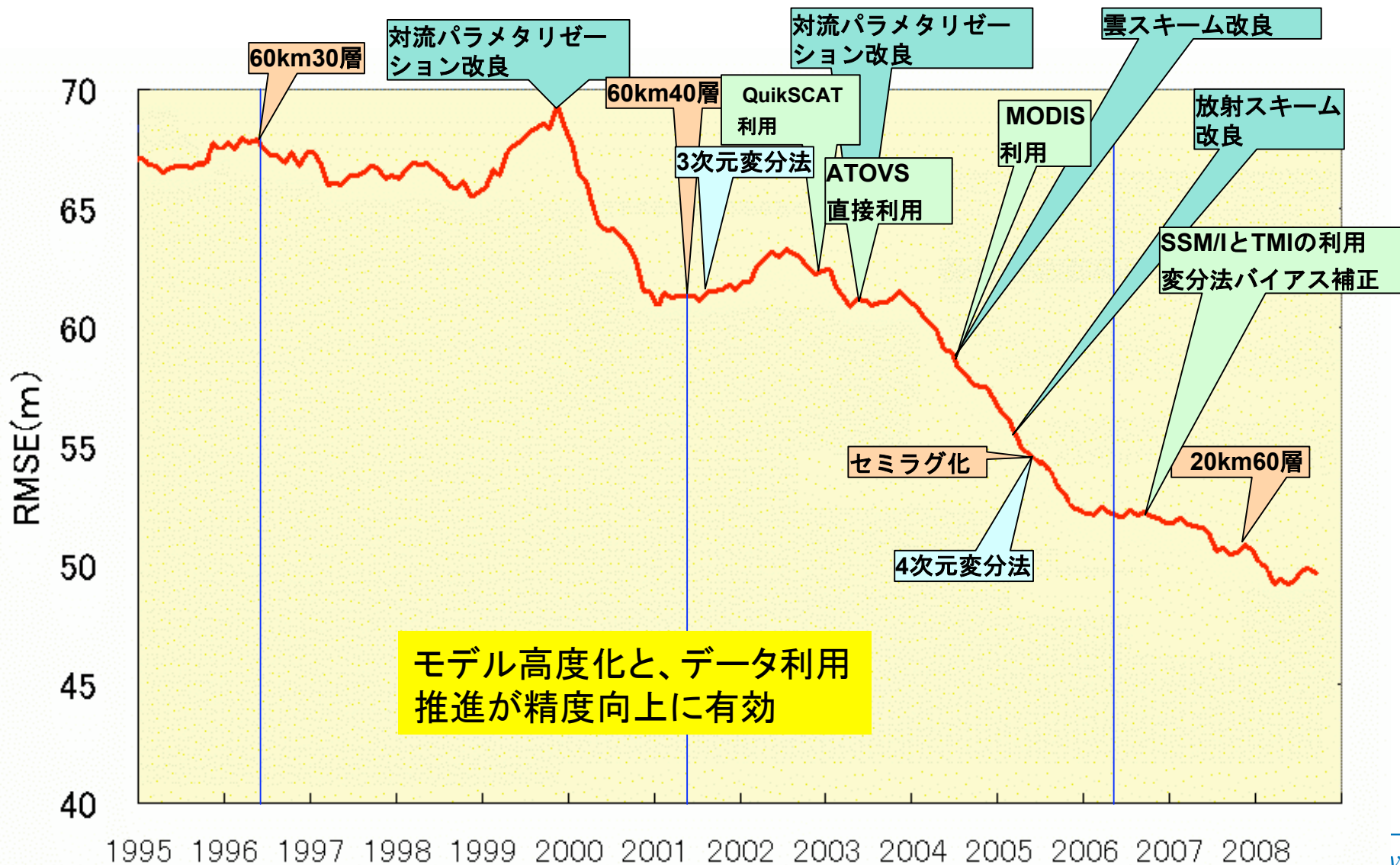
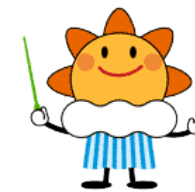


格子間隔 ~20km

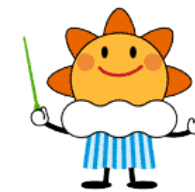


格子間隔 5km

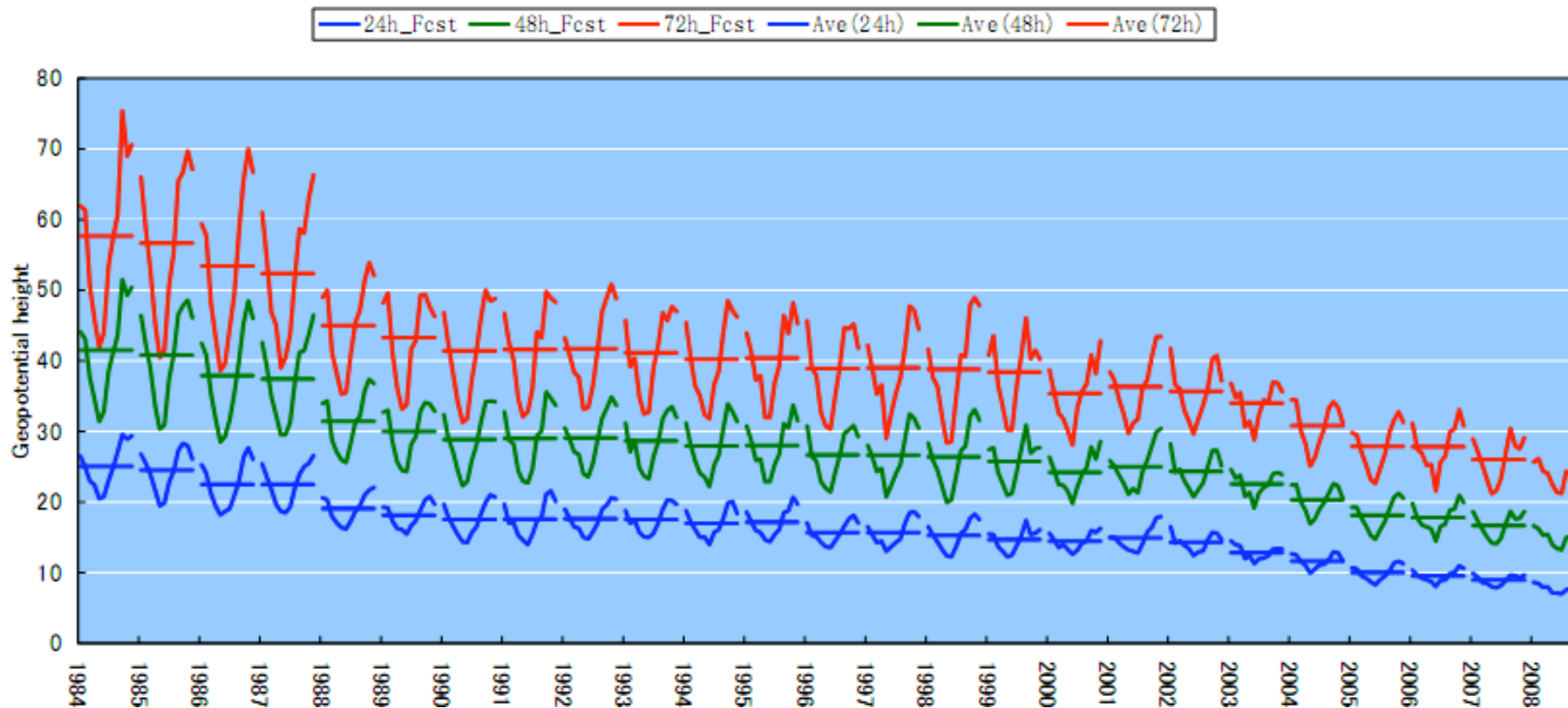
# 全球数値予報改良と精度の推移



# 全球予報の精度向上

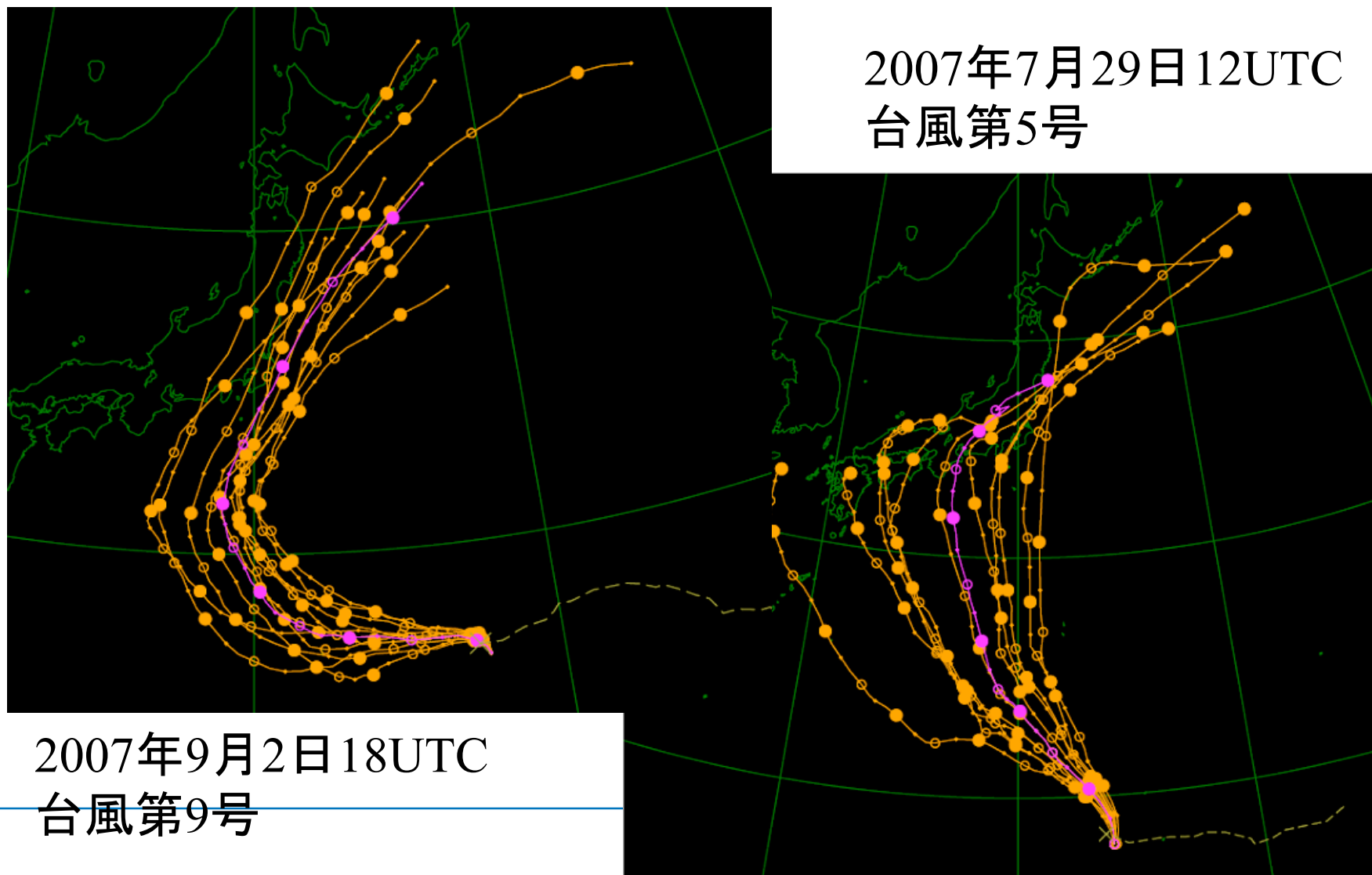
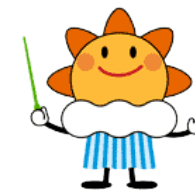


最近の**3日先予報**は  
1980年代半ばの**1日先予報**にほぼ匹敵する精度を有する。



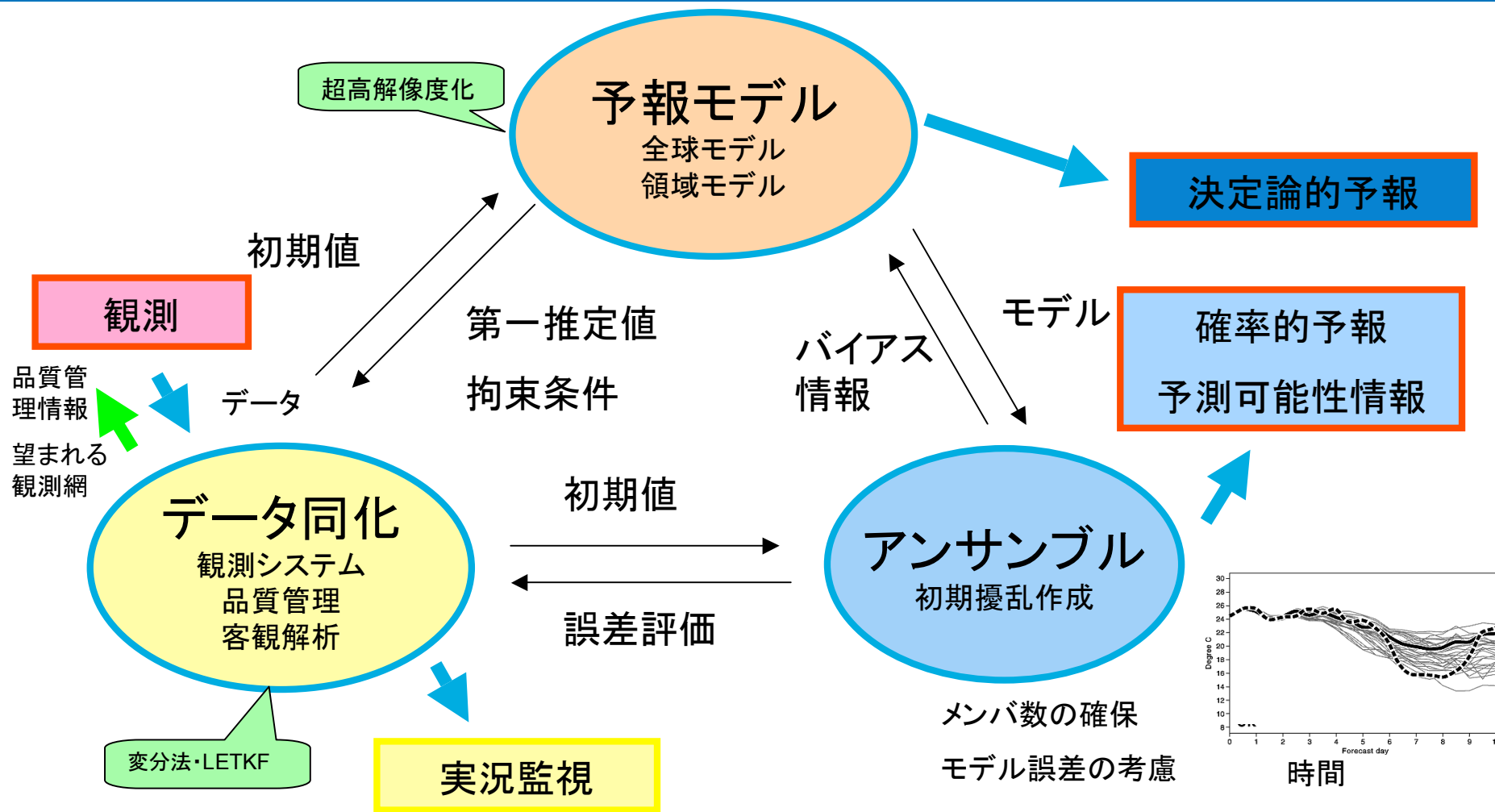
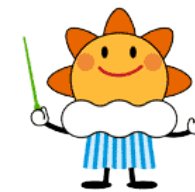
上空約5000mの大気の流れ(500hPa高度)についての、数値予報の誤差(平方根平均2乗誤差)を北半球全体で平均した後に1ヶ月平均したもの(短い横線は年平均)

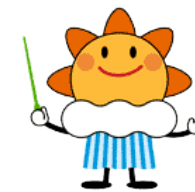
# 台風アンサンブル予報例 進路予報の信頼性を事前評価





# 高度化した数値予報



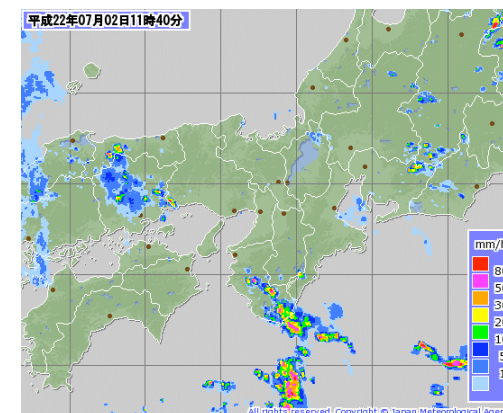


# 数値予報の課題

# 現象のスケールと観測、予測精度



- # 大規模・総観規模(台風や温帯低気圧)  
観測 ○ 数値予報 ○(全球)
- # メソ( $\alpha \sim \beta$ )スケール低気圧、  
組織化した対流降水系  
観測 ○/ $\Delta$  / $\times$  数値予報 ○/ $\Delta$ / $\times$  (メソ)
- # メソ $\gamma$ スケール(個々の積乱雲)  
観測  $\Delta$  / $\times$  数値予報  $\times$
- # 小規模(竜巻)  
観測  $\times$  数値予報  $\times$



# 世界の数値予報モデル



国名またはセンター名	全球モデル		全球アンサンブル予報モデル			領域モデルの 格子間隔・ 鉛直層数
	格子間隔 鉛直層数	予報 期間	格子間隔 鉛直層数	メンバ 数	予報期間	
日本	20km60層	9日間	60km60層	51	9日間	5km50層
欧州中期予報センター (ECMWF)	16km91層	10日間	32km62層 65km62層	51 51	10日間 +5日間	なし
イギリス (Met Office)	40km50層	6日間	90km38層	24	3日間	12km70層、 4km60層
フランス	37km60層	4日間	55km55層	11	2.5日間	2.5km60層
ドイツ	40km40層	7日間	なし			7km40層、 2.8km50層
米国 (NCEP)	52km64層 105km64層	7.5日間 16日間	160km28層	45	16日間	12km60層、 4km50層
カナダ	35km58層	10日間	100km28層	20	16日間	10km58層



# 数値予報精度の国際競争

英国気象局 NWP index



競いながら精度向上

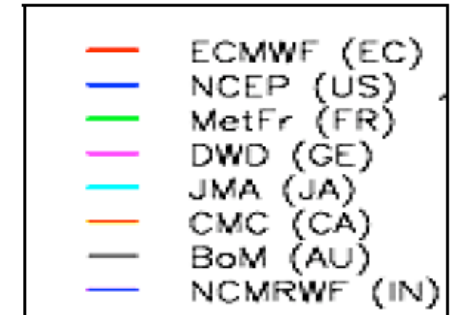
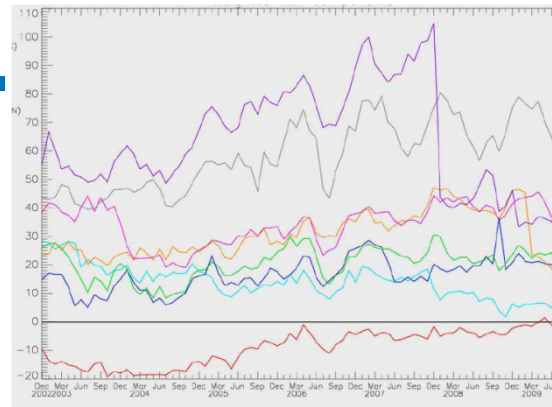
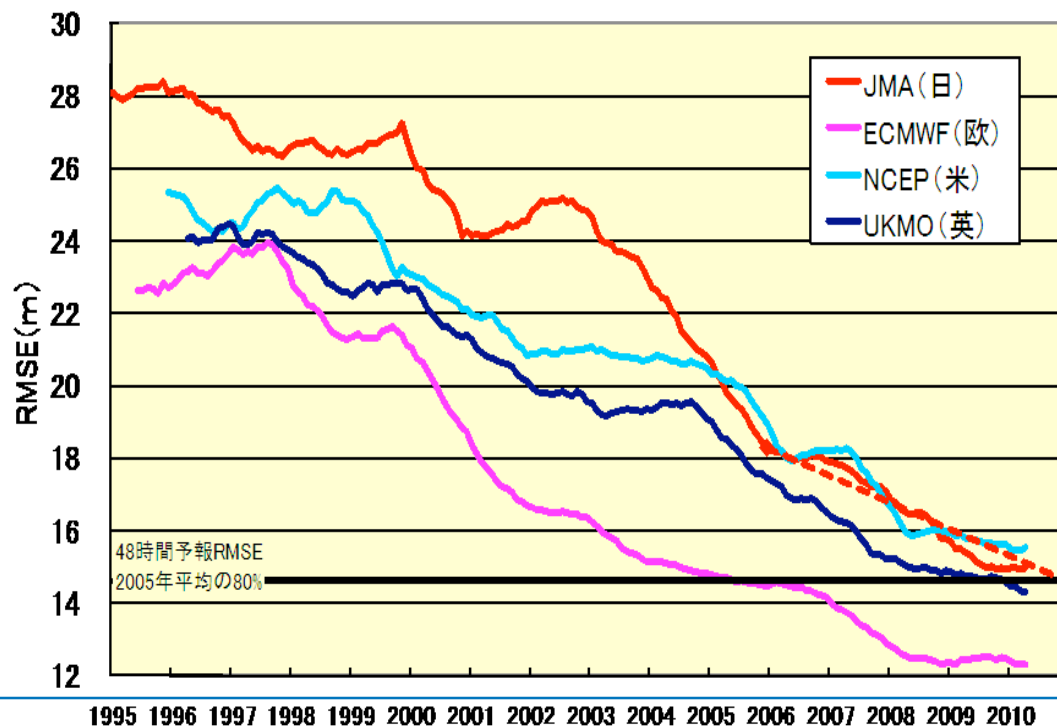
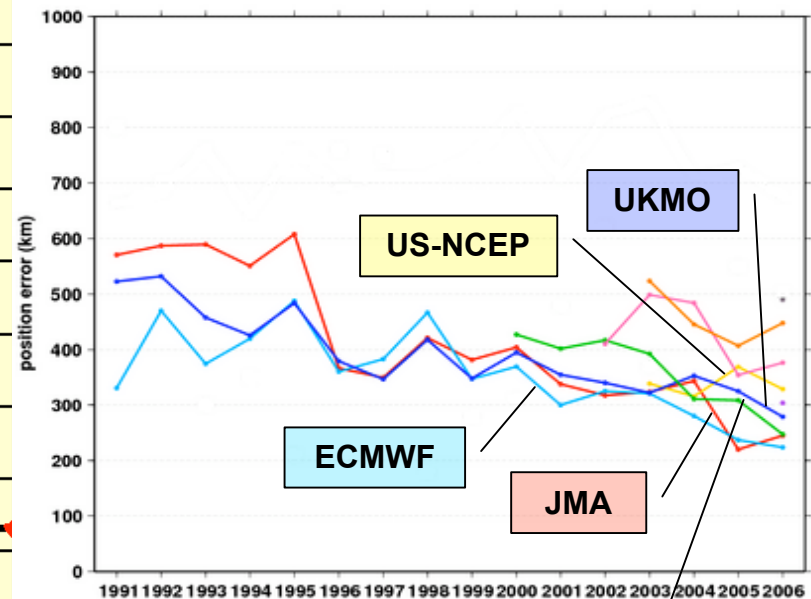


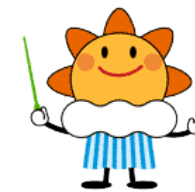
図6-1 2010年4月までの北半球500hPa高度予報誤差(48時間予報)



数値予報による台風進路予報の誤差(km)



# 数値予報技術の課題 (社会のニーズを踏まえて)



- メソ数値予報の改善(特に集中豪雨予測)
  - 災害の軽減のため、住民、地方公共団体の事前の避難等に使える予測情報
  - 水平境界の影響が強く、全球モデルも重要、将来は全球非静力モデル
- 台風予報の改善(進路予測に加え、量的予測、発生予測等の改善)
  - 国内防災、アジア・太平洋地域の防災
  - 数値予報の総合性能を向上させる必要
- 世界、アジアをリードする気象技術の実現

- 台風、集中豪雨はアジアモンスーン地域共通の課題であり、この解決には世界最先端の研究・技術開発が必要、またそれで世界をリードすることが可能
  - モデリング技術として、積雲対流の精度向上は、メソから季節予報、温暖化予測に至るまで、共通する重要な課題。
  - 衛星観測の利用技術についても、雲の同化が次世代の同化技術の一つの柱
- 気候変動に伴い、台風、集中豪雨の動向がどうなるかは、地域内各国の政策上も重要な情報
- アジア・太平洋地域の防災、農業、航空等を支援する役割は国策上重要

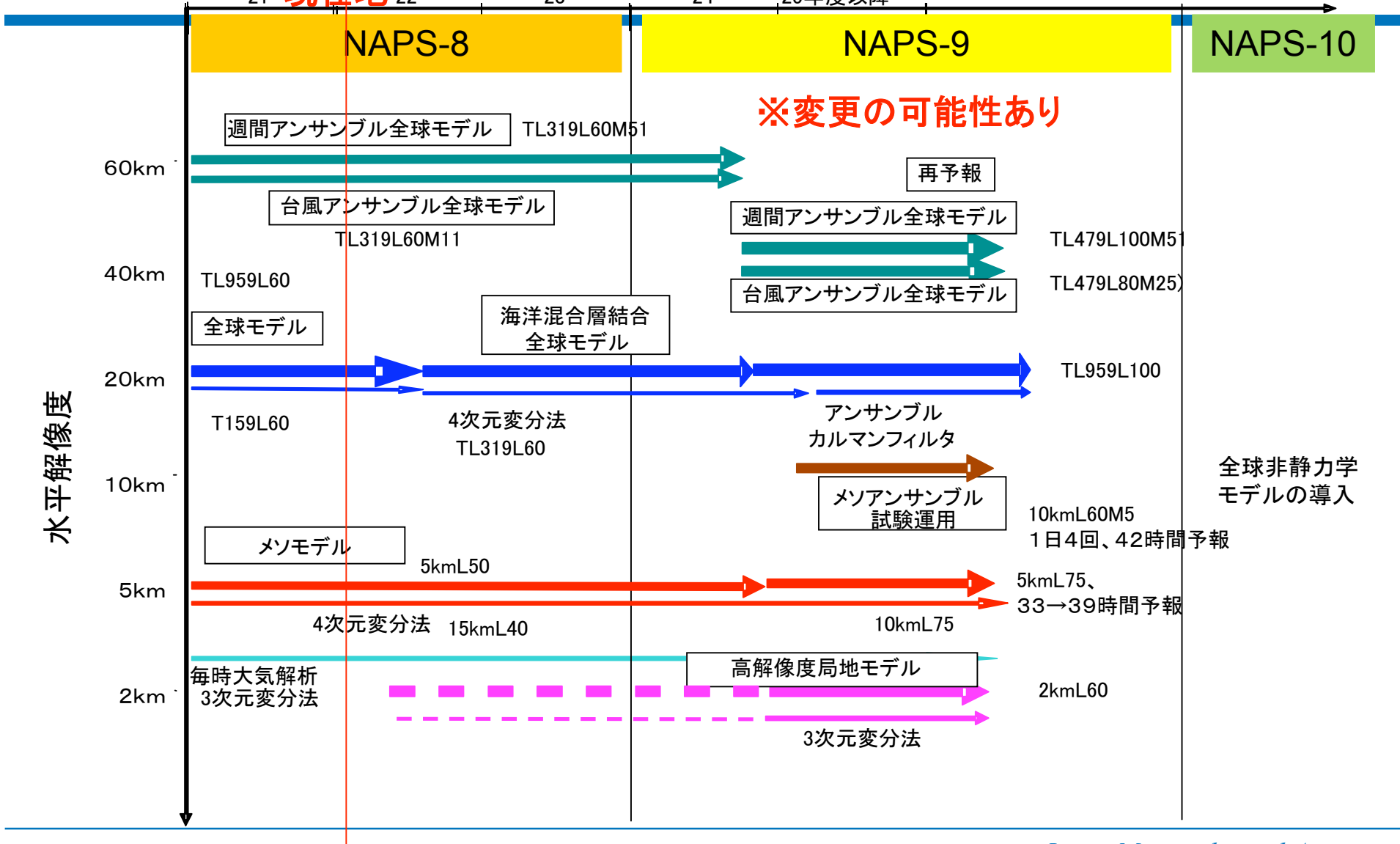


# 数値予報モデルの長期計画

太線: 数値予報モデル  
細線: 解析システム



21 現在地 22 23 24 25年度以降



# LFMの試験運用

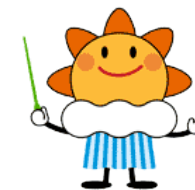


- 概要
  - 飛行場予報プロダクト開発支援装置(SX-9 3ノード)で、局地モデルを継続的に運用し、プロダクトを試験的に主に航空気象ユーザーに提供する。
  - プロダクト提供対象領域は、成田国際空港・羽田空港を対象とした300km四方の領域。
- 仕様
  - 解像度 水平2km、鉛直60層
  - 領域 1600km x 1100km  
(800 x 550 格子)
  - 予報頻度 1日8回9時間予報  
(初期時刻は、00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC)

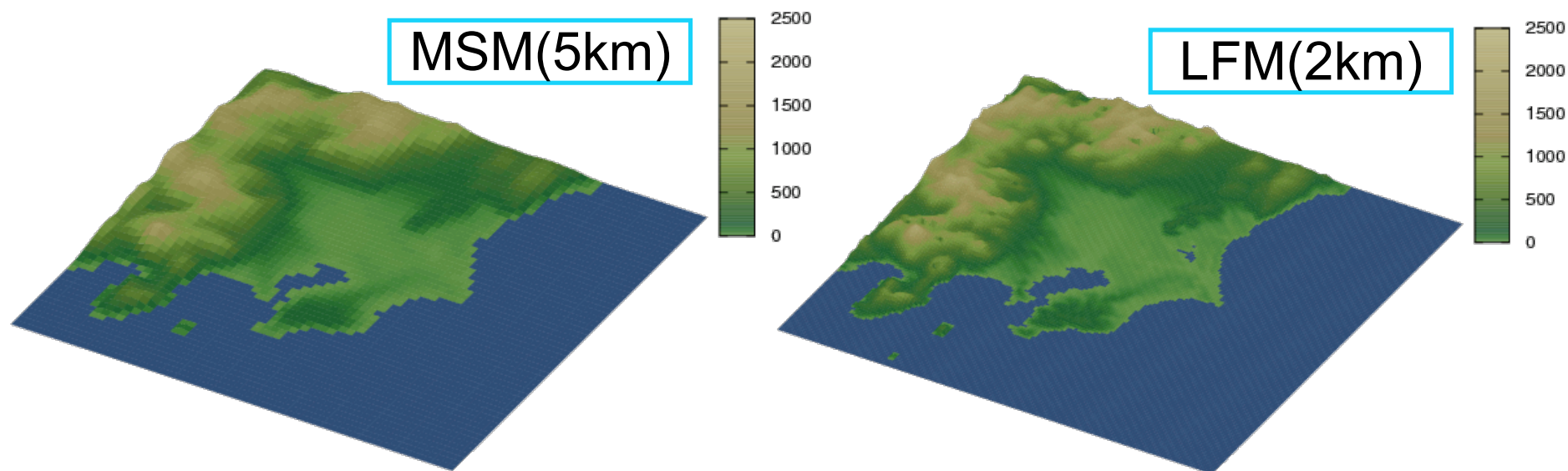




# 局地モデル(LFM)の開発



- 2013年運用開始予定
- 予定仕様
  - 水平解像度2km, 鉛直60層
  - 1日24回9時間予報
- 力学的短時間予報
  - 降水短時間領域を力学的予報
- 飛行場予報
  - 飛行場において重要となる局地的気象現象の予測





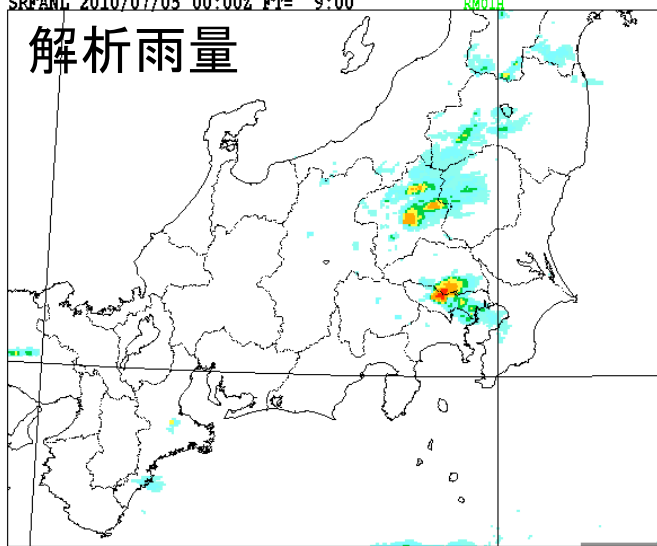
# 7月5日局地的大雨(東京):モデル間の違い



気

SRFANI 2010/07/05 00:00Z FT= 9:00

## 解析雨量

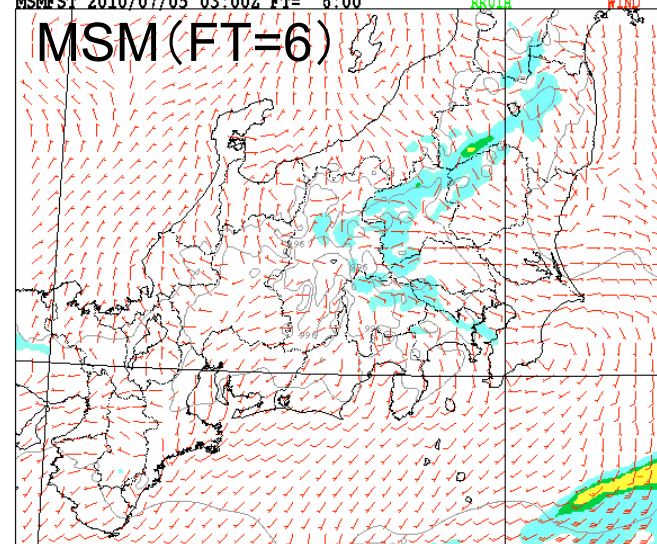


RM60 CNT=0.4 1 5 10 20 50 100 MAX= 68.33 VALID= 07/05 18:00I



MSMFST 2010/07/05 03:00Z FT= 6:00

## MSM (FT=6)

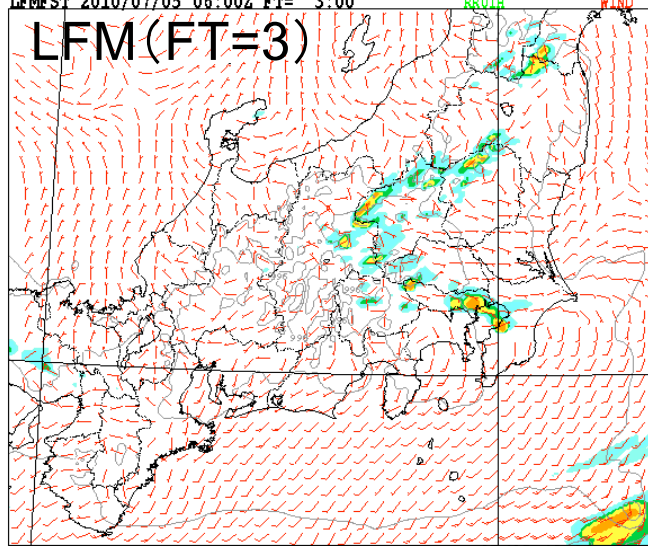


RAIN CNT=0.4 1 5 10 20 50 100 MAX= 20.53 VALID= 07/05 18:00I



LFMFST 2010/07/05 06:00Z FT= 3:00

## LFM (FT=3)

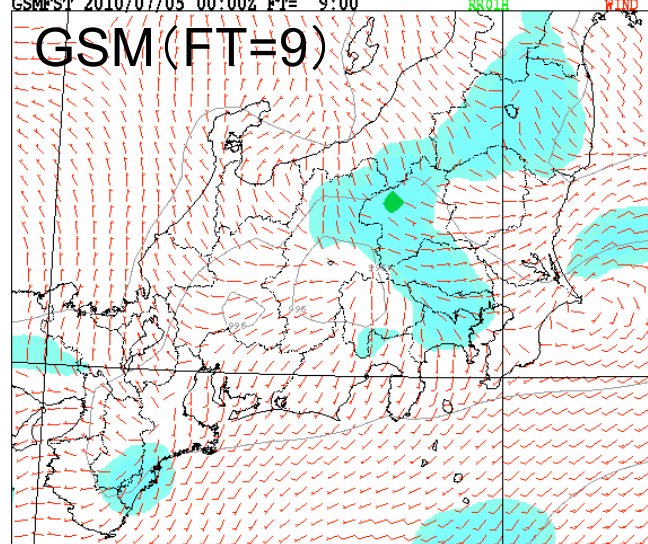


RAIN CNT=0.4 1 5 10 20 50 100 MAX= 48.23 VALID= 07/05 18:00I



GSMFST 2010/07/05 00:00Z FT= 9:00

## GSM (FT=9)



RAIN CNT=0.4 1 5 10 20 50 100 MAX= 6.22 VALID= 07/05 18:00I



### 2010/07/05 09UTC R1

LFM:領域・強度ともに実況に近い降水を予報

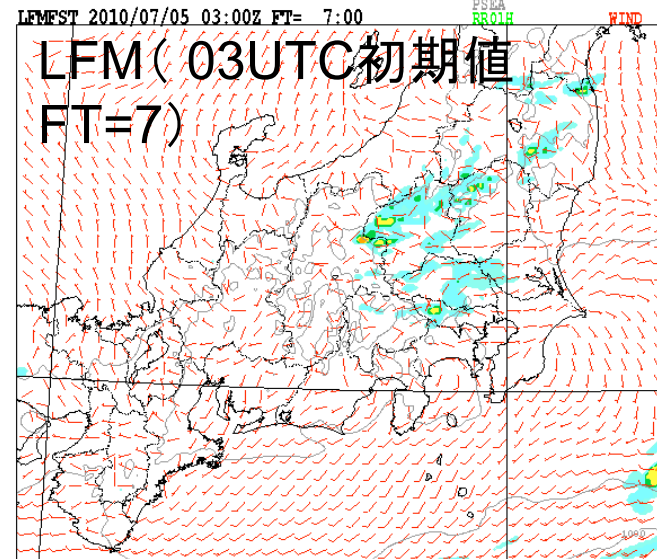
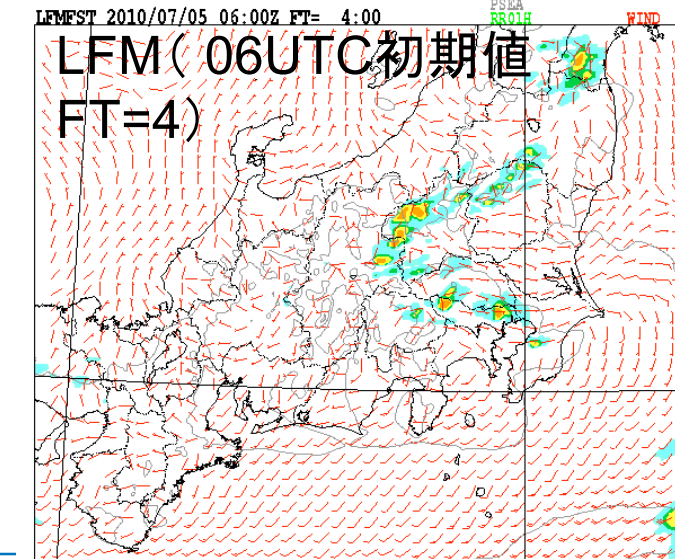
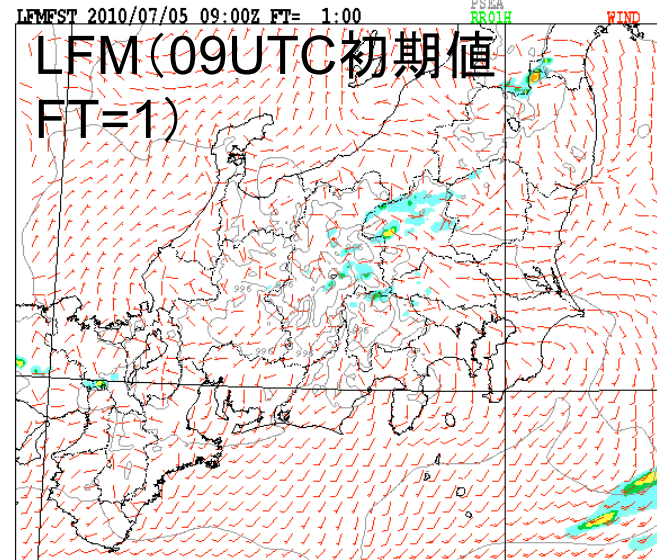
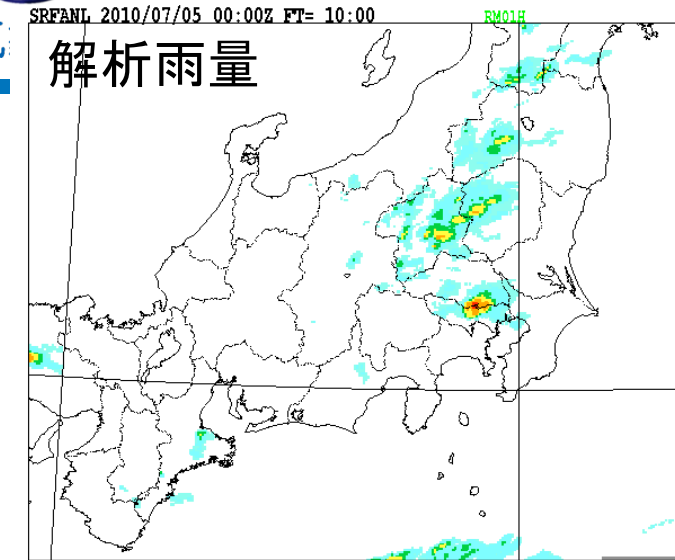
MSM:領域は実況に近いが降水強度が弱い

GSM:弱い降水を広範囲に予報



気

# 局地的大雨(東京): LFM初期値の違い



2010/07/05  
10UTC R1

FT=1:東京で地上風の収束は表現されているが、降水は表現されていない

FT=4:実況に近い予報

FT=7:降水強度が弱い

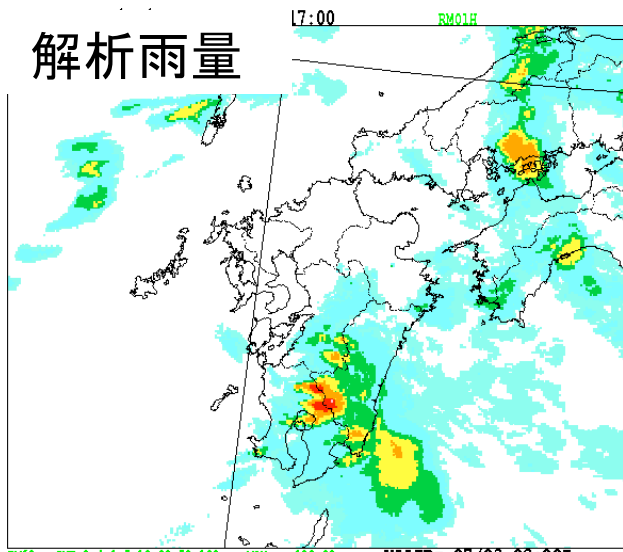


気象

# 7月2日局地豪雨(九州南部: LFM初期値の違い)

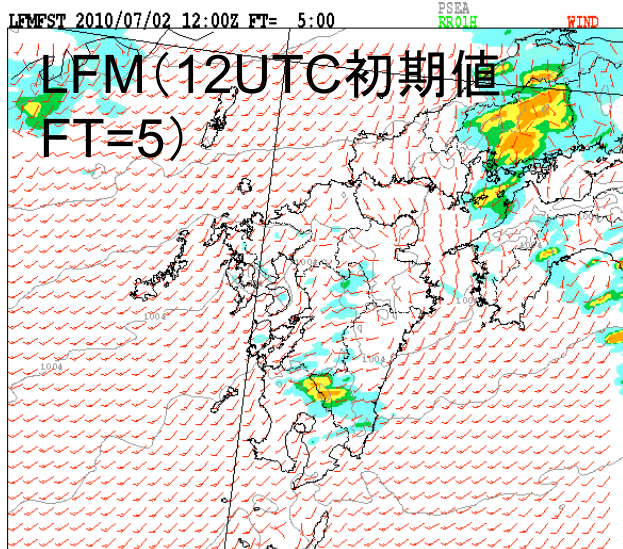


### 解析雨量



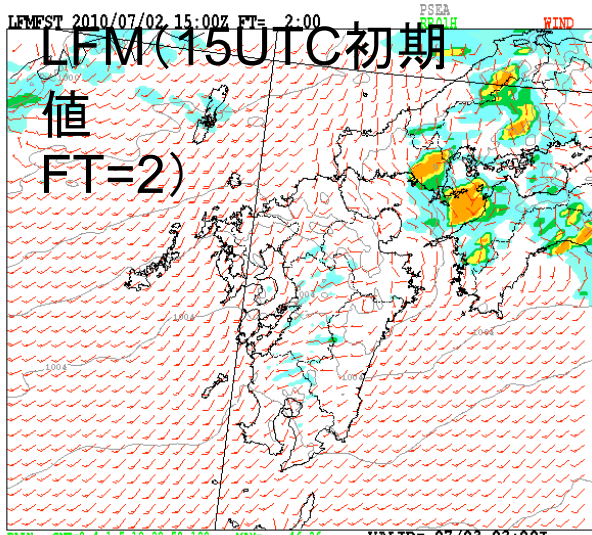
0.4 1 5 10 20 50 100

### LFM(12UTC初期値 FT=5)



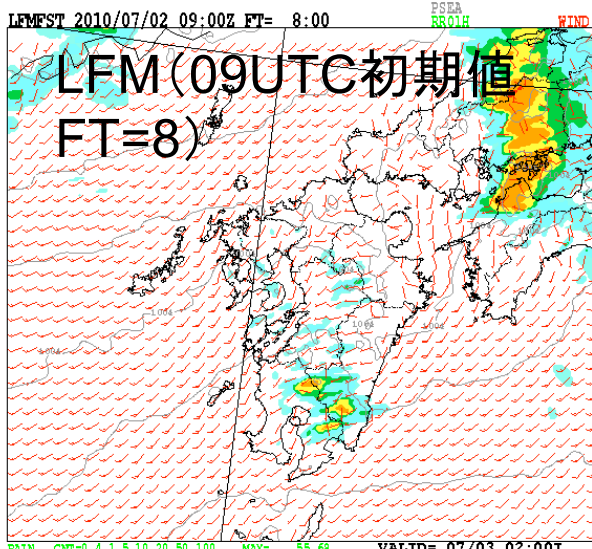
0.4 1 5 10 20 50 100

### LFM(15UTC初期値 FT=2)



0.4 1 5 10 20 50 100

### LFM(09UTC初期値 FT=8)



0.4 1 5 10 20 50 100

## 2010/07/02 17UTC R1

直近の15UTC初期時刻ではほとんど降水を予想していないが12UTC、09UTC初期時刻の予想では概ね正しい位置に降水を予想している。ただし、解析雨量で100mmに対して50mm弱程度でありやや弱い。



# 大学との連携・期待

# 大学との連携（現状）



- 気象研究コンソーシアム（気象学会）
  - GPVの利活用推進
  - <http://www.mri-jma.go.jp/Project/cons/index.html>
- モデル開発プラットフォーム
  - 現業モデルの貸与
- 共同研究
  - 競争的資金の活用
- 気象学会での交流
  - 研究連絡会
- 地方気象台との交流

# 大学に期待すること(私見)



- 人材育成
  - 「人材」は、何にも代え難い宝
- 数値モデル、データの共同利用
  - 現業モデル以外にも、役に立てる／共同で取り組めることが山積
  - 次世代スパコン「京」では、All Japan 構想も
- メカニズムの解析、検証
  - 現場・地方の人の方が詳しいことはよくある

要望に応じていきたい



# GPU によるメソスケール気象モデル ASUCA の高速化

下川辺 隆史

(東京工業大学)

青木尊之(東工大)、

石田純一、室井ちあし(気象庁)



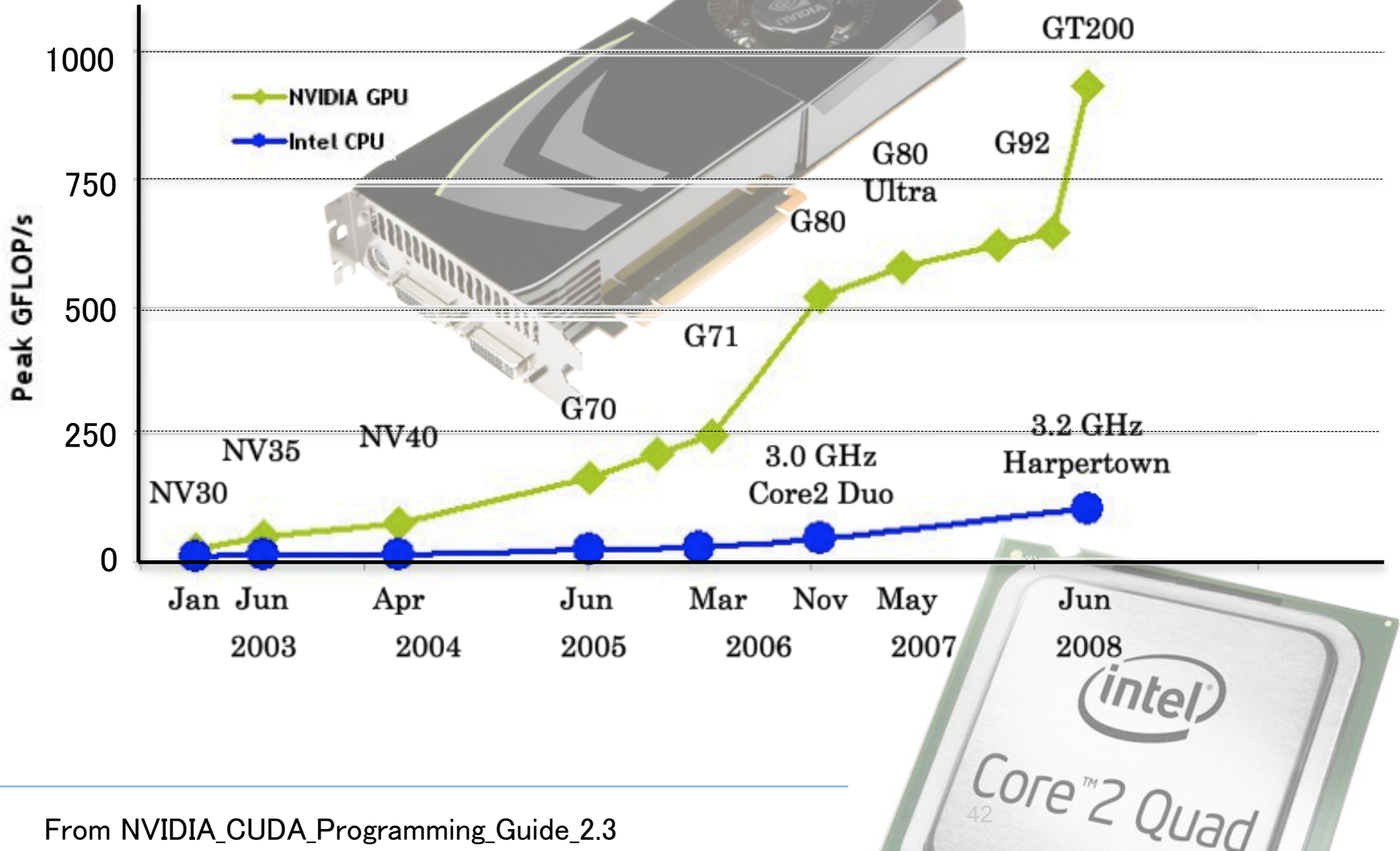
# GPU (Graphics Processing Unit) とは



- もともと PC の3D描画専用の装置
- CG技術の向上とともに、programmableへ
- 並列計算処理性能が高い
  - ~ 240 の演算ユニット
  - ~ 1 TFlops / board
- メモリバンド幅
  - ~ 160 GB/sec
- 低価格
  - 1 TFlops ~ \$400



# GPU and CPU



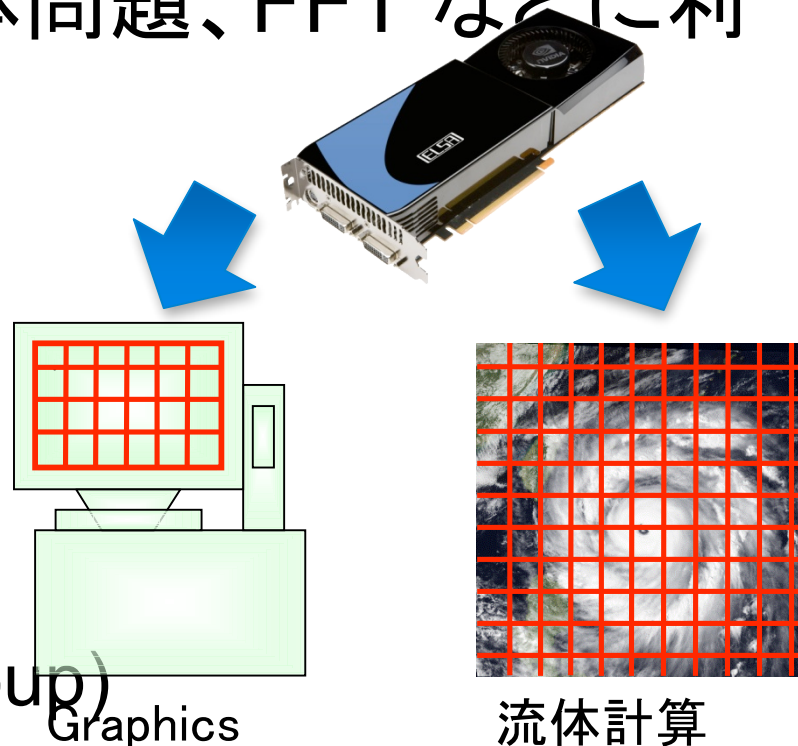
# GPGPU



- General Purpose computing on GPU
- GPU を流体計算、N 体問題、FFT などに利用する

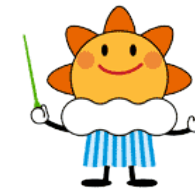
- 開発環境

- CUDA (NVIDIA)
- ATI Stream (AMD)
- OpenCL (Khronos Group)



GPGPU による High-performance computing ^

# 数値予報と GPGPU



## ■ The Weather Research and Forecast (WRF) の GPU 利用

= Computation neck モジュールをGPUで部分的に加速

### ■ 雲微物理モジュール WSM5 (WRF Single Moment 5-tracer)

\*

水物質(水蒸気、雲水、雨水、雲氷、雪)の混合比を予報

WRF の 1 % のコード、25%の実行時間

⇒ 20 x 高速化

(アプリケーション全体で 1.2-1.3倍の高速化)

### ■ 領域化学輸送モデル WRF-Chem\*\*

特定の領域における汚染気体の輸送や化学反応

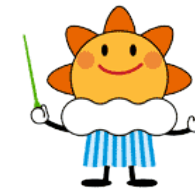
⇒ 8.5 x 高速化

\* Michalakes, J. and M. Vachharajani. GPU Acceleration of Numerical Weather Prediction. *Parallel Processing Letters Vol. 18 No. 4. World Scientific. Dec. 2008. pp. 531-548*

\*\*John C. Linford, John Michalakes, Manish Vachharajani, and Adrian Sandu. Multi-core acceleration of chemical kinetics for simulation and prediction, *proceedings of the 2009 ACM/IEEE conference on supercomputing (SC'09)*, ACM, 2009. <http://www.jma.go.jp/mofc/chemical>



# ASUCA の GPU による高速化



## ■ ASUCA

気象庁によって開発中の次世代メソスケールモデル

Fortran によって開発中

## ■ ASUCA の GPU アプリケーション化により

✓ **フルGPU** による数十倍高速化の実現

✓ 高精度・大規模計算の実現

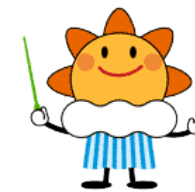
✓ 低コスト

✓ 低消費電力

✓ 省スペース

**実用アプリケーションへのフルGPU 利用**

# ASUCA : 支配方程式



## ■ 完全圧縮・非静力学方程式系

✓ フラックス形式

✓ 一般座標系

### ■ 運動方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\rho u^i}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \hat{x}^j} \left( \frac{\rho u^i \hat{u}^j}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \hat{x}^n} \left( \frac{1}{J} \frac{\partial \hat{x}^n}{\partial x^i} p \right) - \frac{\rho g^i}{J} = \frac{F^i}{J}$$

### ■ 温位の式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\rho \theta_m}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \hat{x}^i} \left( \frac{\rho \theta_m \hat{u}^i}{J} \right) = \frac{F_{\rho \theta_m}}{J}$$

### ■ 連続の式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\rho}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \hat{x}^i} \left( \frac{\rho \hat{u}^i}{J} \right) = \frac{F_\rho}{J}$$

### ■ 状態方程式

$$\rho = \frac{p_0}{R \theta_m} \left( \frac{p}{p_0} \right)^{C_v / C_p}$$

• Momentum :	$\rho u^i$
• Potential temperature :	$\rho \theta$
• Mass-virtual potential temperature :	$\theta_m$
• Density :	$\rho$
• Pressure :	$p$
• Constant reference value of pressure :	$p_0$
• Gravitational acceleration :	$g$
• Gas constant :	$R$
• Specific heat at constant pressure :	$C_p$
• Specific heat at constant volume :	$C_v$

• Force terms of the physical processes :  $F^i, F_{\rho \theta_m}, F_\rho$   
 • Jacobian :  $J$



## ■ water substances の式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\rho q_x}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \hat{x}^i} \left( \frac{\rho q_x \hat{u}_x^i}{J} \right) = \frac{F_{\rho q_x}}{J}$$

water substances :

- ✓ Water vapor
- ✓ Cloud water
- ✓ Rain
- ✓ Cloud ice
- ✓ Snow
- ✓ Graupel
- ✓ Hailstone



## ■ 開発環境

- GPU : NVIDIA GeForce GTX 285 (VRAM 2 Gbyte)

浮動小数点ピーク性能 1063 GFlops

ピークメモリバンド幅 159

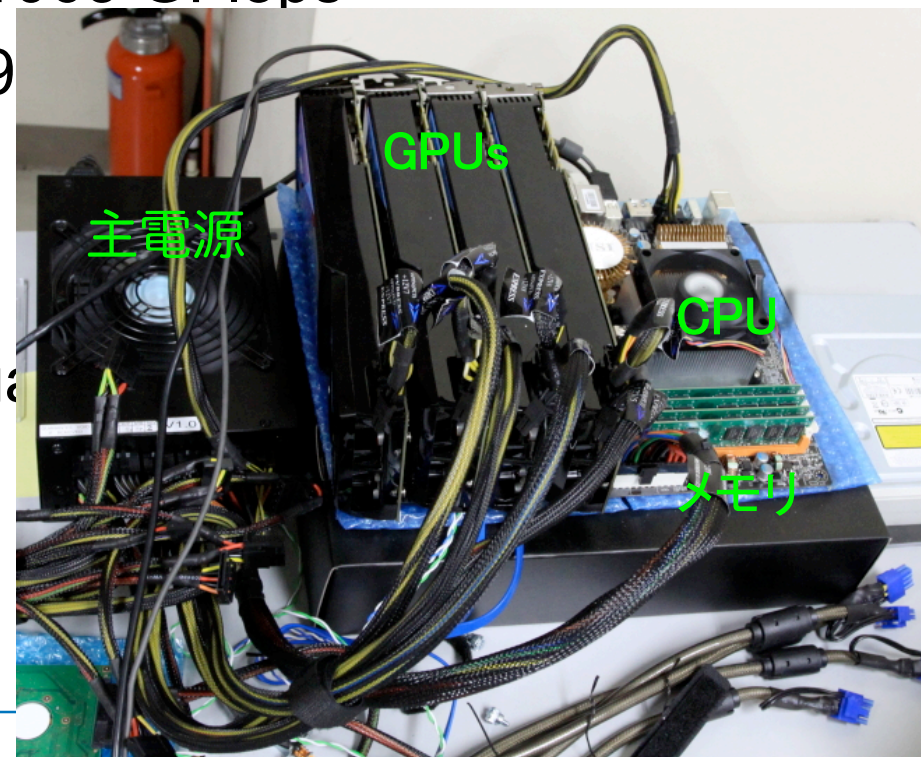
- CUDA 2.3

- Host Computer

AMD Phenom 9750 Quad

(2.4 GHz) x 4

メモリ 8 GByte







気象庁

---



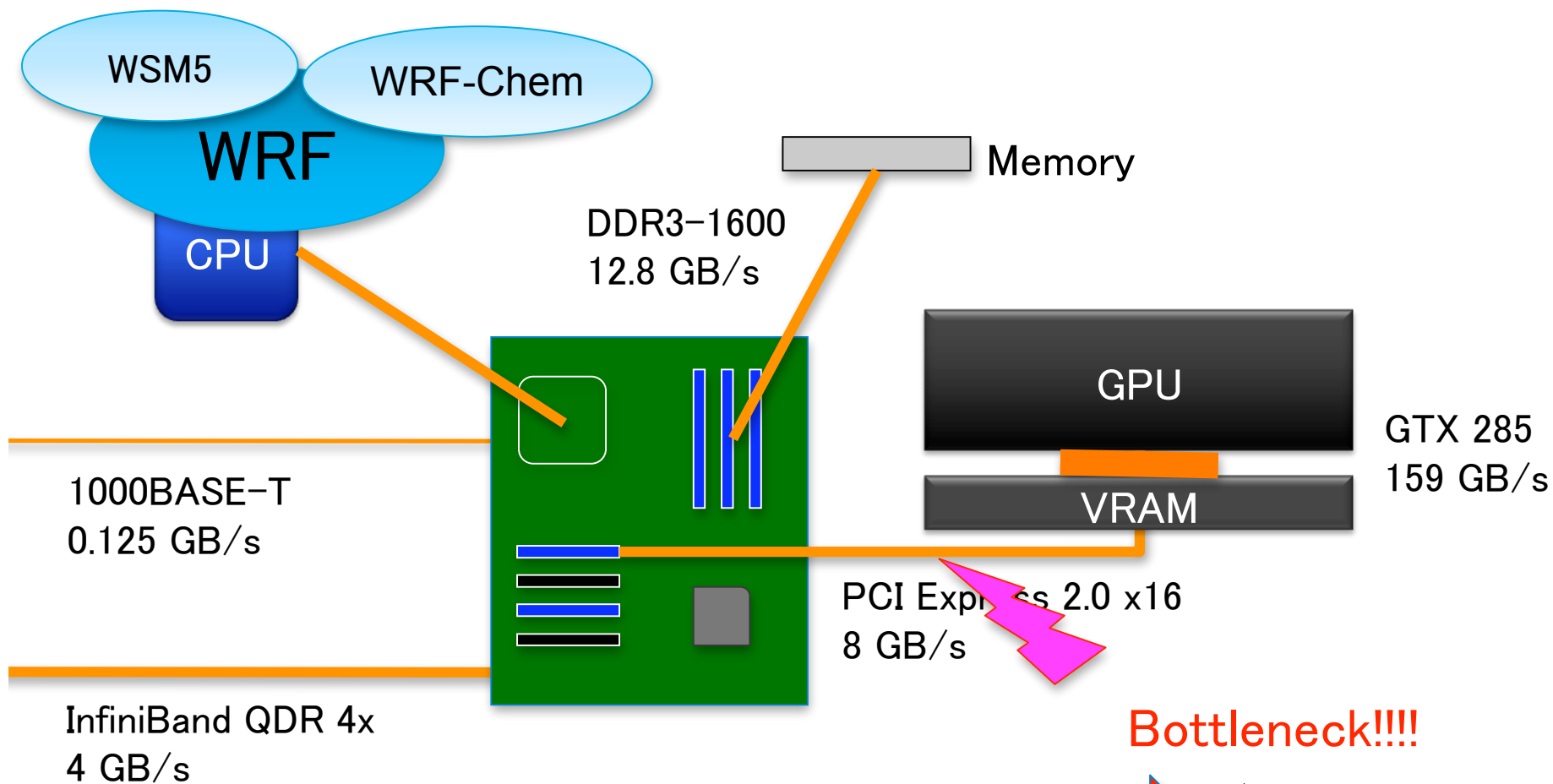
## ASUCA on a **single** GPU

# アプローチ: WRF on GPU



## ■ WRF

- ✓ モジュール単位の加速(アプリケーション全体はCPU実行)



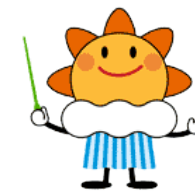
**Bottleneck!!!!**



< 2 - 3 x  
Japan Meteorological Agency

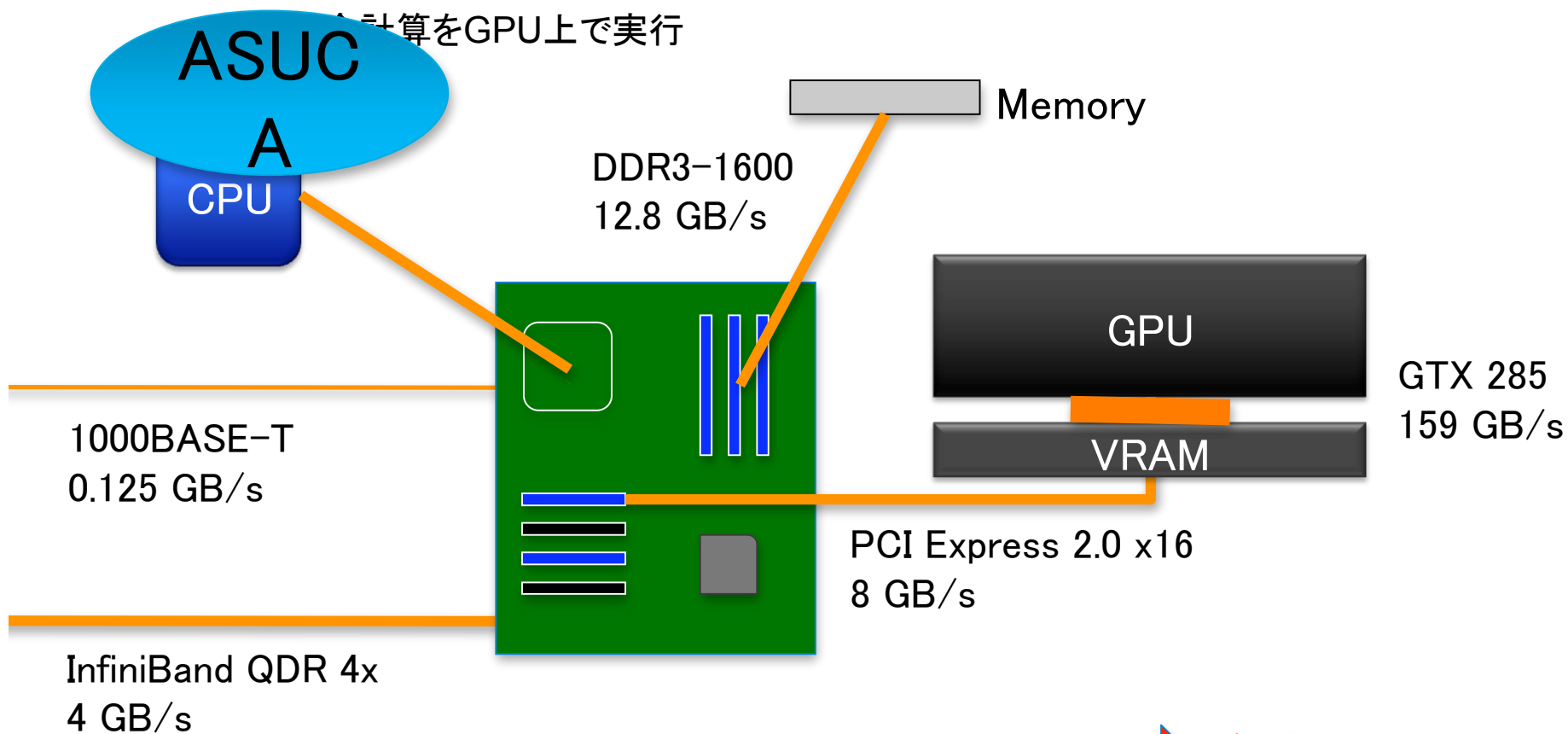


# アプローチ: ASUCA on GPU

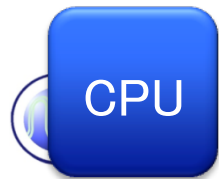


## ■ ASUCA

- ✓ フル GPU アプリケーション
- ✓ 全変数をGPU上のメモリに確保
- ✓ 計算をGPU上で実行



➔ **> 10x** Japan Meteorological Agency



気象庁

初期値の入力



# GPU版 ASUCAの計算

初期値

移流項

Long time step

Coriolis 力

Short time step

水平気圧傾度力

鉛直気圧傾度力 + 重力  
(1次元 Helmholtz 方程式)

連続の式

温位の更新

圧力の更新(状態方程式)

降水量

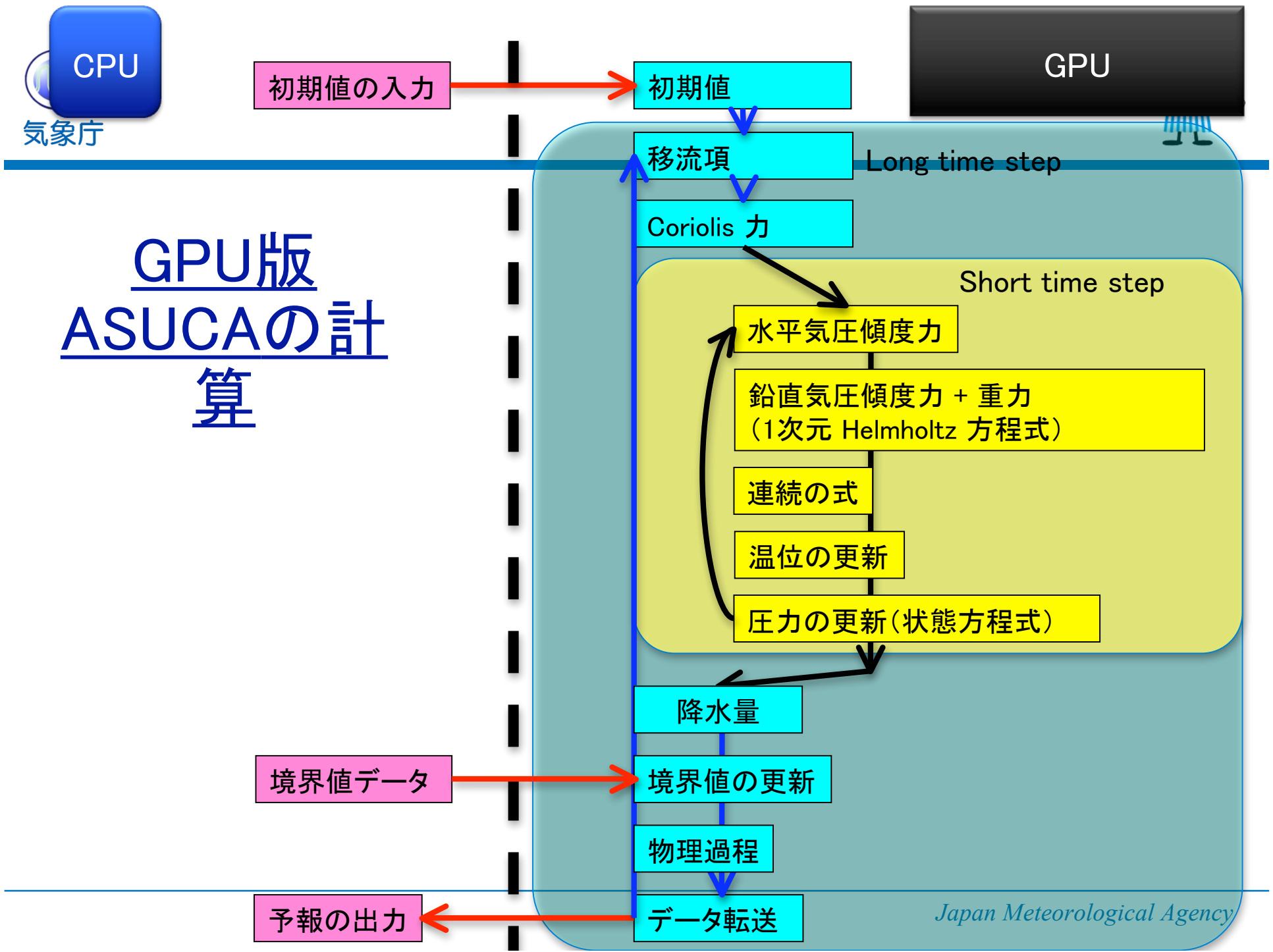
境界値データ

境界値の更新

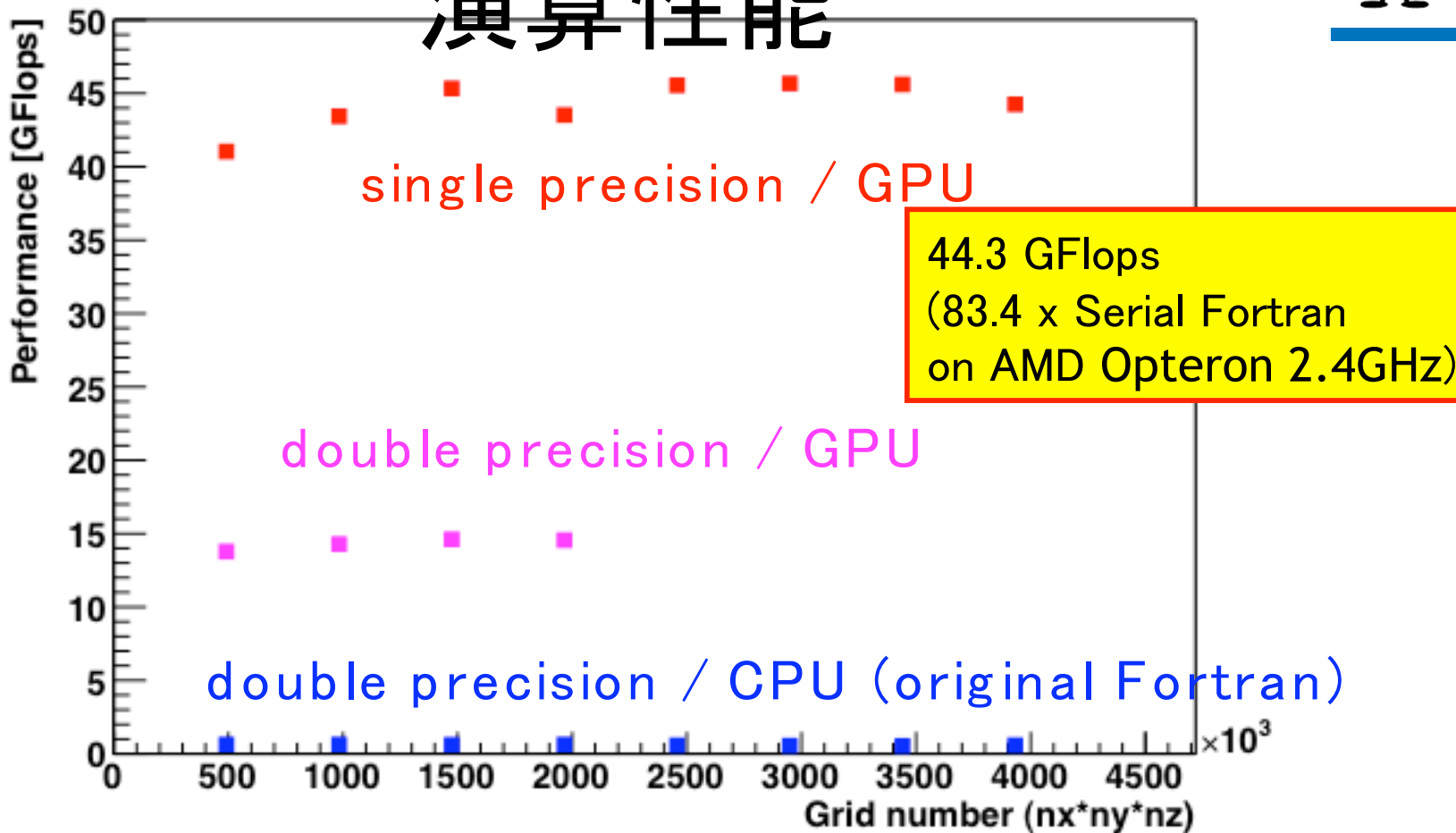
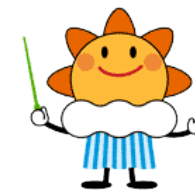
物理過程

予報の出力

データ転送



# 単一GPUによる ASUCA の 演算性能



44.3 GFlops  
(83.4 x Serial Fortran  
on AMD Opteron 2.4GHz)

- 山岳波実験、single precision
- NVIDIA Tesla S1070 card

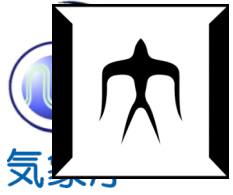
320 x 256 x 48



気象庁



# ASUCA on Multi-GPU



# Tokyo Tech TSUBAME 1.2



Voltaire ISR9288 Infiniband x8  
10Gbps x2 ~1310+50 Ports  
~13.5Terabits/s  
(3Tbits bisection)

NEC SX-8i

Storage

1.5 Petabyte (Sun x4500 x 60)

0.1Petabyte (NEC iStore)

Lustre FS, NFS, CIF, WebDAV (over IP)

60GB/s aggregate I/O BW

10Gbps+External NW

Unified Infiniband network

**10,000 CPU Cores**

**300,000 SIMD Cores**

**~900TFlops-SFP,**

**~170TFlops-DFP**

**80TB/s Mem BW (x2 ES)**

Sun x4600 (16 Opteron Cores)

32~128 GBytes/Node

10480core/655Nodes

21.4TeraBytes

50.4TeraFlops

OS Linux (SuSE 9, 10)

NAREGI Grid MW

GCOE TSUBASA  
Harpertown-Xeon  
90Node 720CPU  
8.2TeraFlops

NEW: co-TSUBAME  
72Node 586CPU (Low Power)  
~5TeraFlops



PCI-e

ClearSpeed CSX600

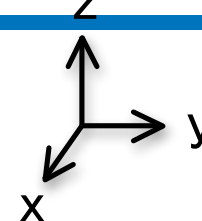
SIMD accelerator

360 648 boards,

35 52.2TeraFlops

170-Nvidia Tesla S1070: total 680 GPU cards  
High Performance in Many BW-Intensive Apps  
10% power increase over TSUBAME 1.0 (130TF SFP / 80TF DFP)

# マルチGPU：領域分割



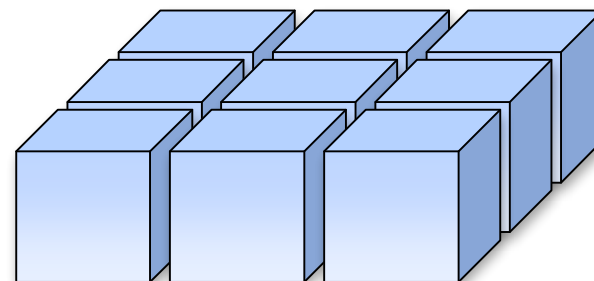
## ■ 2次元分割

単一GPU



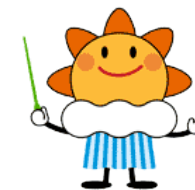
decompose

複数GPU

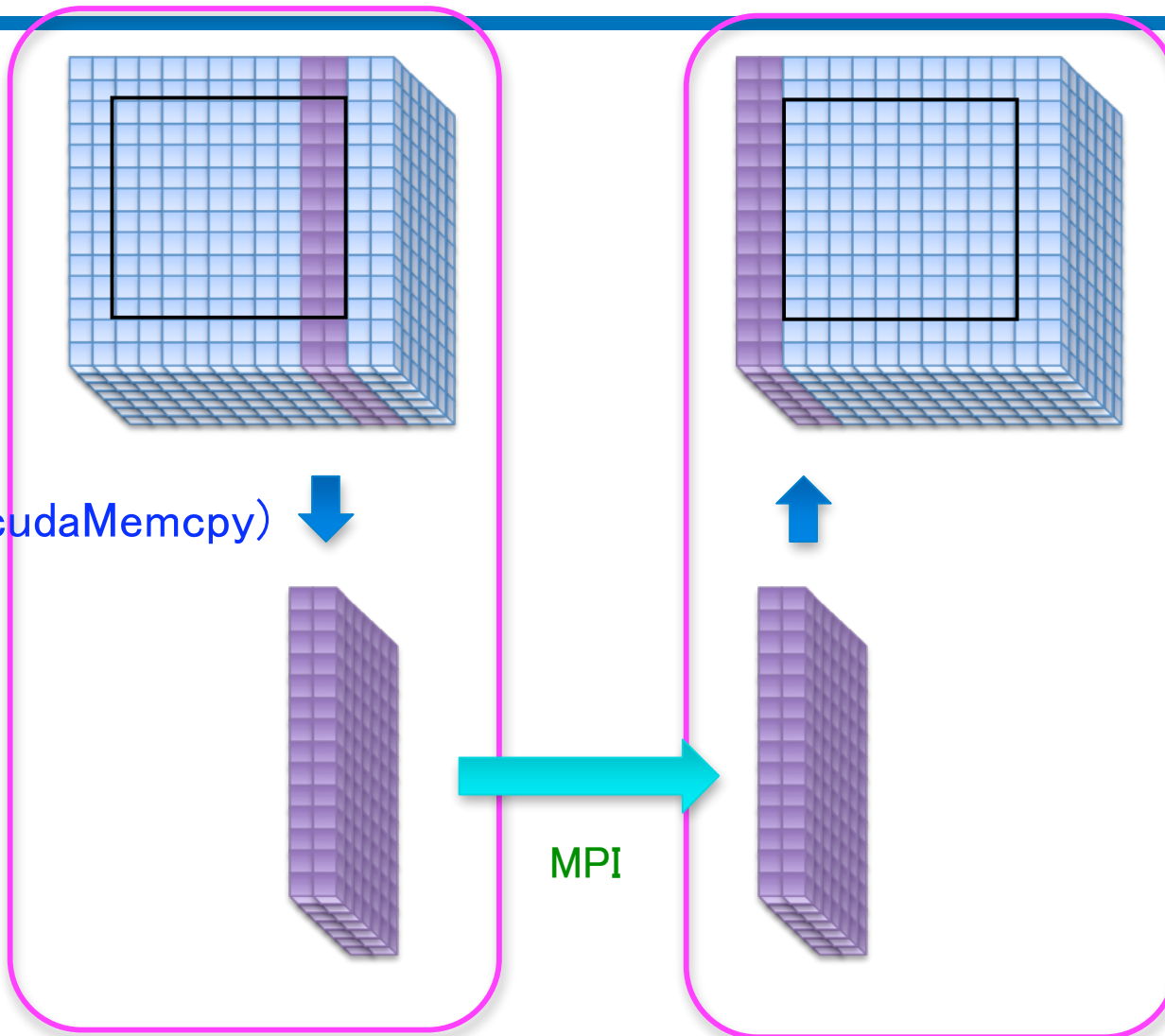
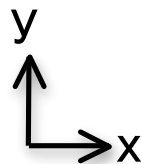


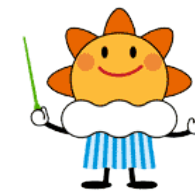


# マルチGPU : Halo exchange



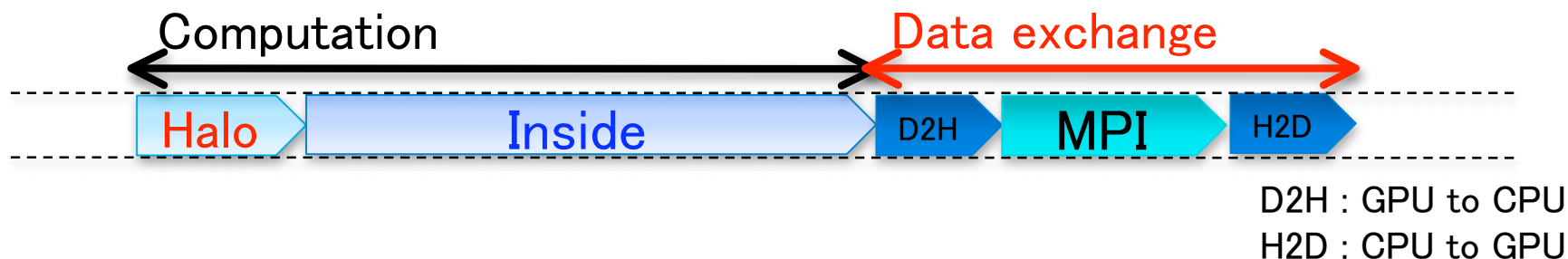
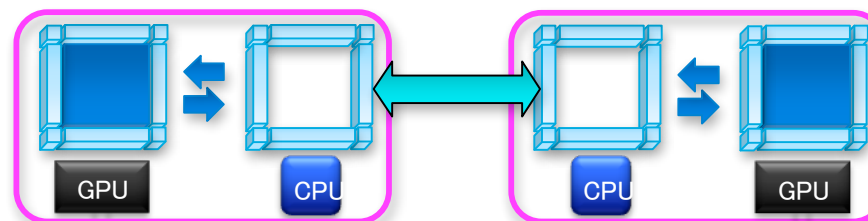
PCI Express (cudaMemcpy)

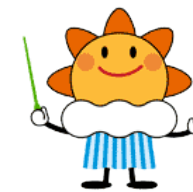




## ■ Optimization 1

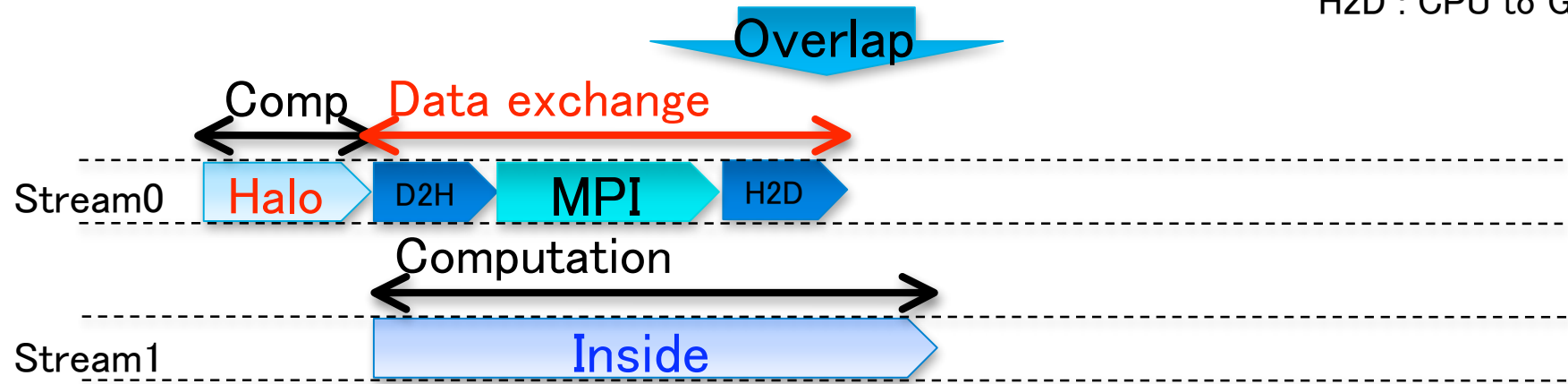
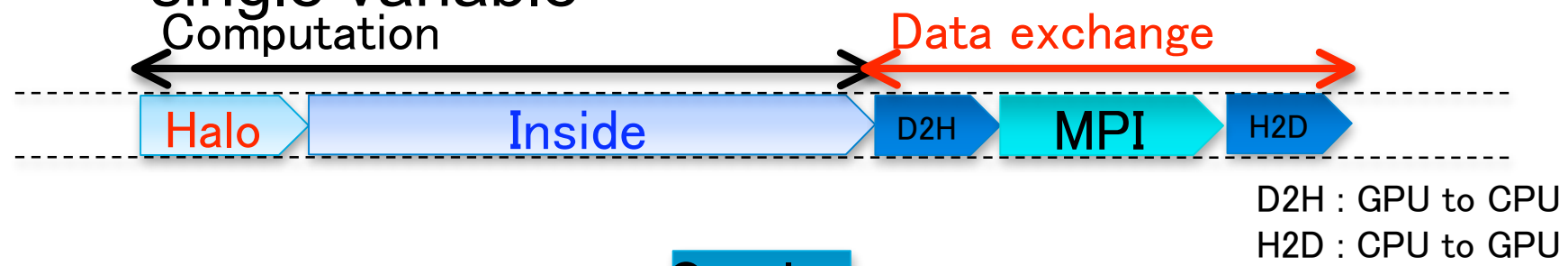
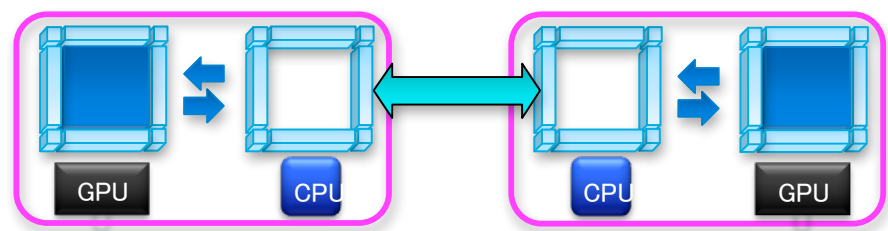
- ✓ Exploits data independence within a single variable



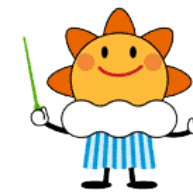


## ■ Optimization 1

- ✓ Exploits data independence within a single variable

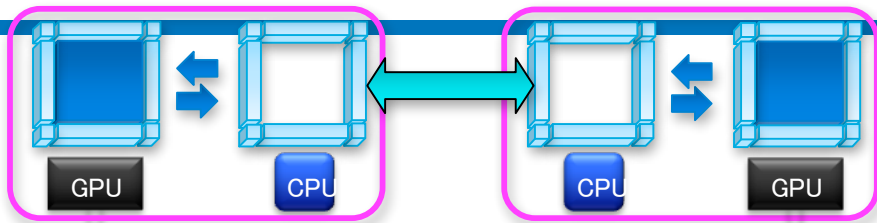


# 通信と計算のオーバラップ

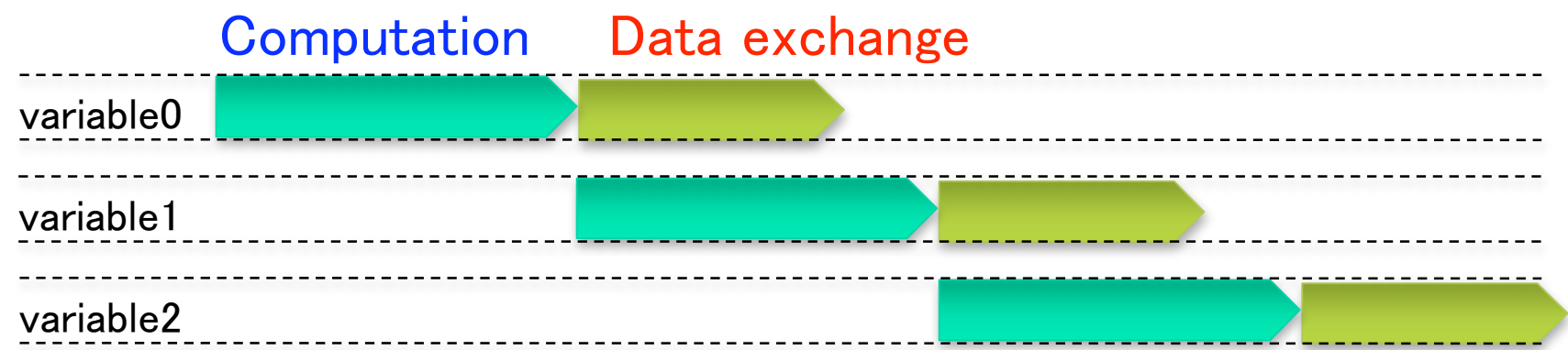


## Optimization 2

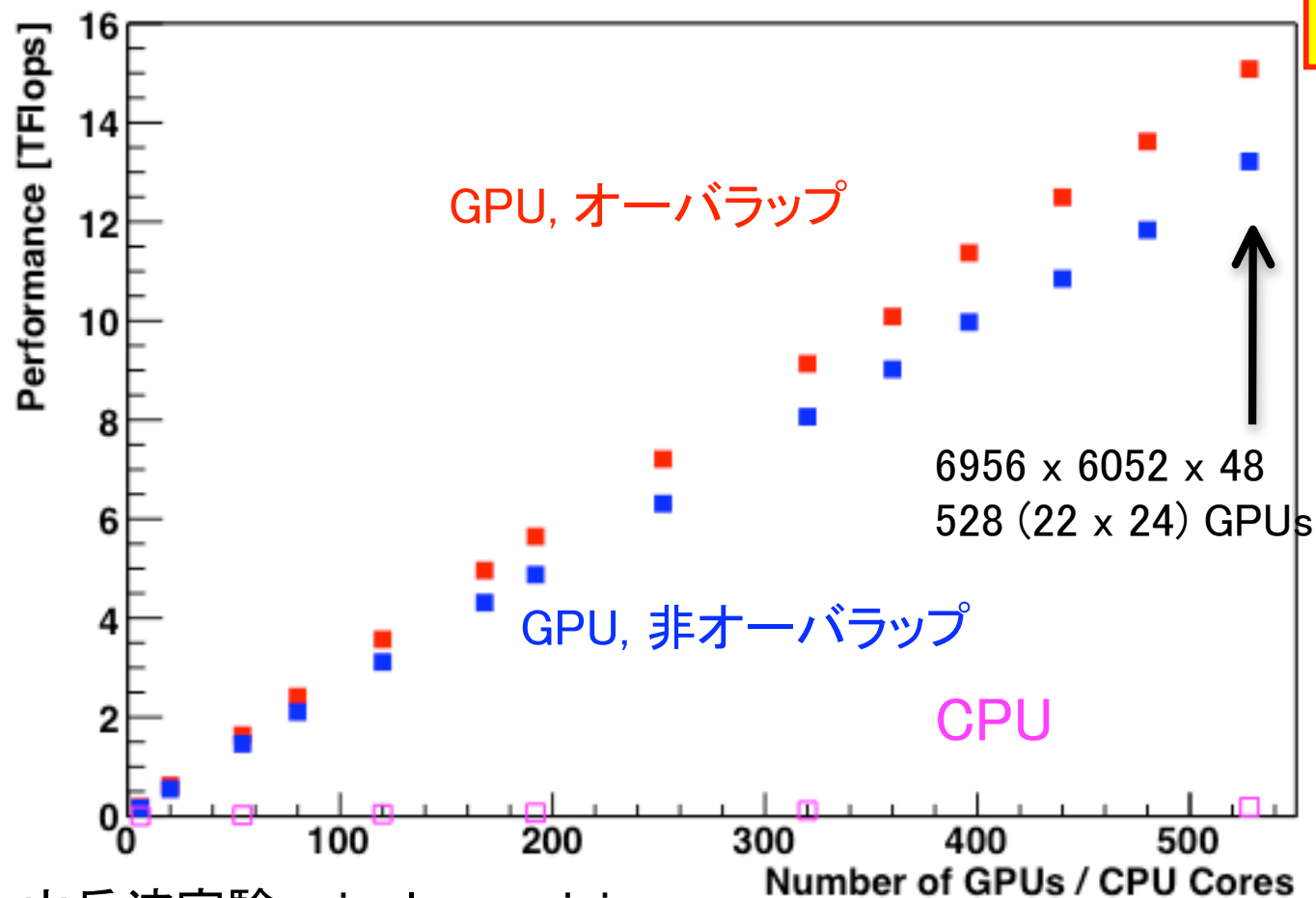
- ✓ Exploits inter-variable independence



- ✓ Applied to advection of water substances



# マルチGPUによる ASUCA の演算性能

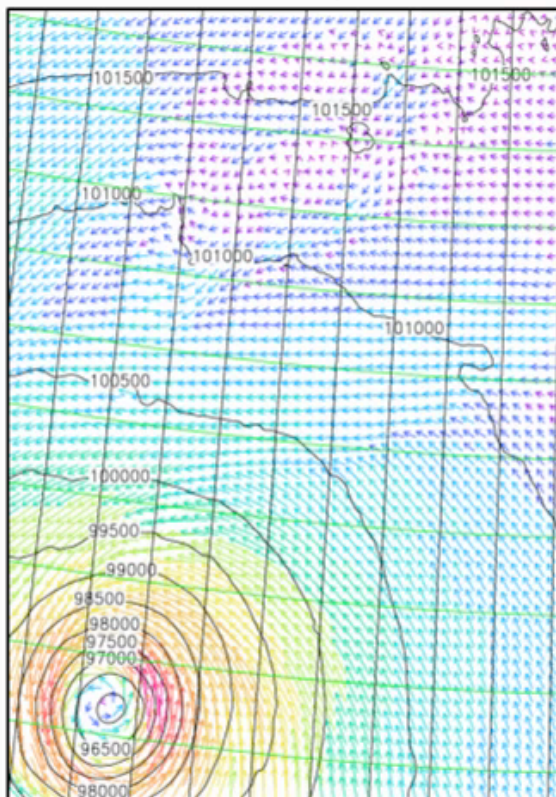


- 山岳波実験、single precision
- NVIDIA Tesla S1070 cards on TSUBAME

# 実データを用いたGPU版 ASUCAの計算例

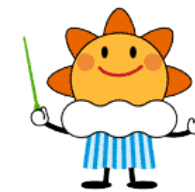


- 6時間先まで予報した例  
計算格子: 1900 x 2272 x 48  
使用GPU数: 54GPUs  
水平解像度: 500m  
タイムステップ: 0.5sec



120GPUを用い、  
計算格子 3164×3028×48で、  
水平解像度 2km、  
タイムステップ 5sec で計算を行う場  
合、日本列島全体をカバーする範囲の6  
時間の気象計算を70分で行うことが可  
能

台風の気象計算：  
色は降水量、数字は気圧、矢印は風向を表す。



気象庁次世代メソスケールモデル ASUCA の GPU による高速化について報告した。

- 単一GPUによる ASUCA
  - ✓ フルGPUアプリケーションとして開発
  - ✓ 計算格子  $320 \times 256 \times 48$  に対して単精度計算で **44.3 GFlops** を達成 (Tesla S1070 cardを利用)
  - ✓ オリジナルの ASUCA (Fortran, Opteron 2.4GHz x 1 core)と比較し単精度計算で **83.4 x**、倍精度計算で **26.3 x** の高速化を達成
- TSUBAME を利用したマルチGPUによる ASUCA
  - ✓ 通信と計算のオーバラップ手法の導入
  - ✓ 計算格子  $6956 \times 6052 \times 48$  に対して単精度計算で**528GPU**を利用して **15.0 TFlops** を達成
- 今後は 2010年11月稼動予定の**TSUBAME 2.0** の **4000+ GPU**s を利用して計算格子  $12000 \times 12000 \times 100$  程度の計算を行う。**150TFlops**達成を目標。