



予報業務許可事業者講習会

「数値予報の概要と 最近の改善について」

平成22年11月5日
予報部 数値予報課

内容

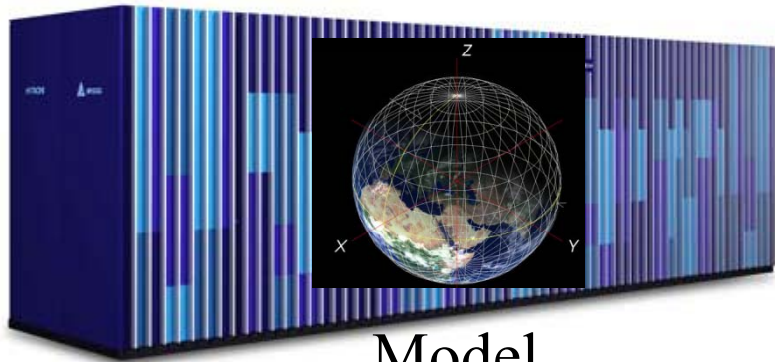
1. 数値予報とは
2. 数値予報システムの概要
 - 解析システム
 - 観測データ品質管理・データ同化
 - 予報モデル
 - 力学過程・物理過程、アンサンブル予報
 - 数値予報プロダクトの応用技術
 - ガイダンス
3. 気象庁の数値予報システム
4. 最近の開発
 - 局地モデルの開発
5. 数値予報資料の見方

数値予報とは

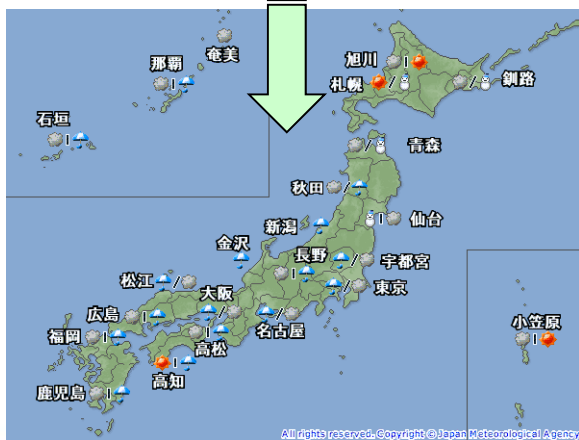
観測から得た情報と物理方程式を使って定量的に未来の状態を予想すること

数値予報

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



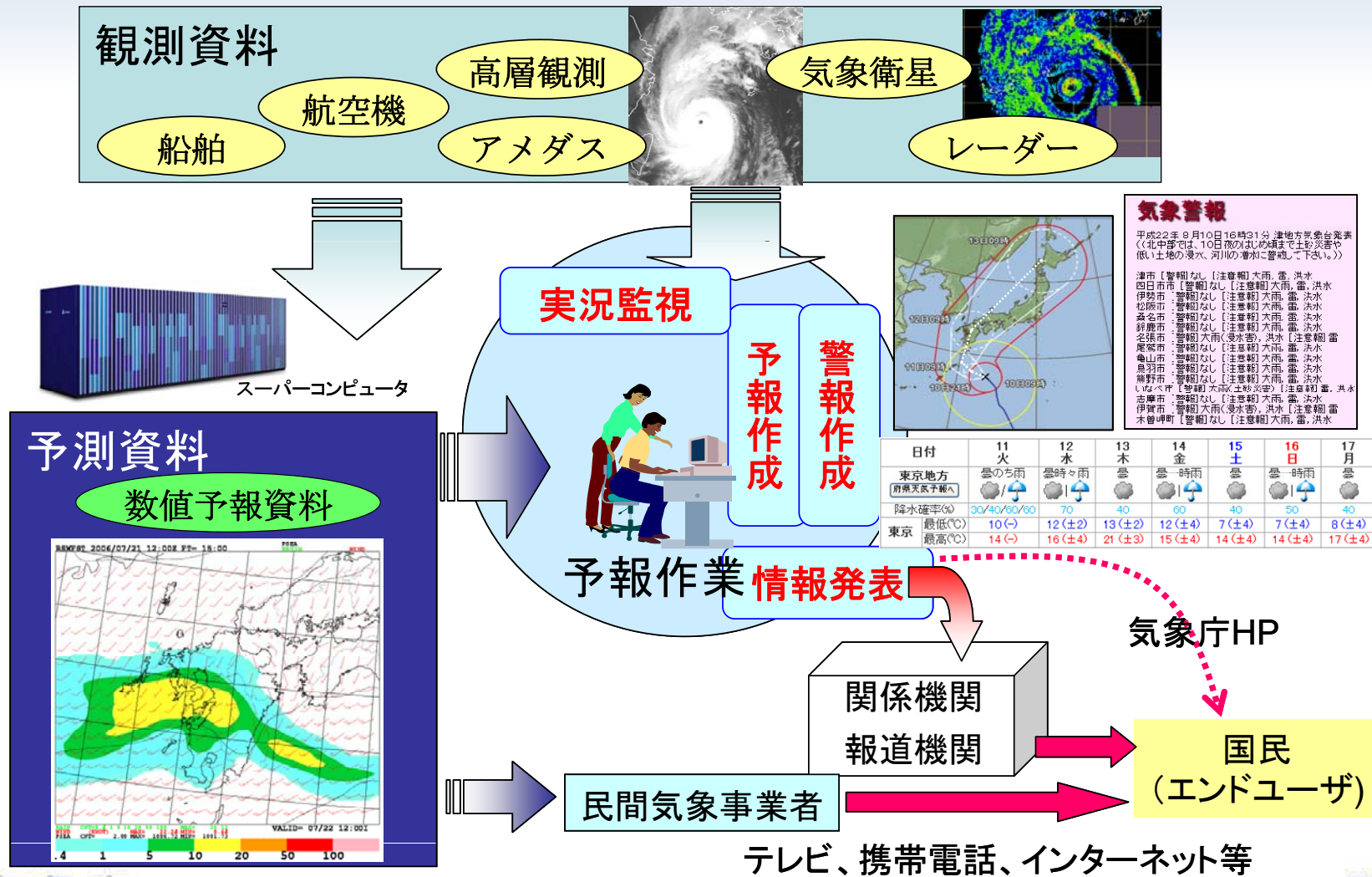
Model



All rights reserved. Copyright © Japan Meteorological Agency



気象業務における数値予報の位置付け



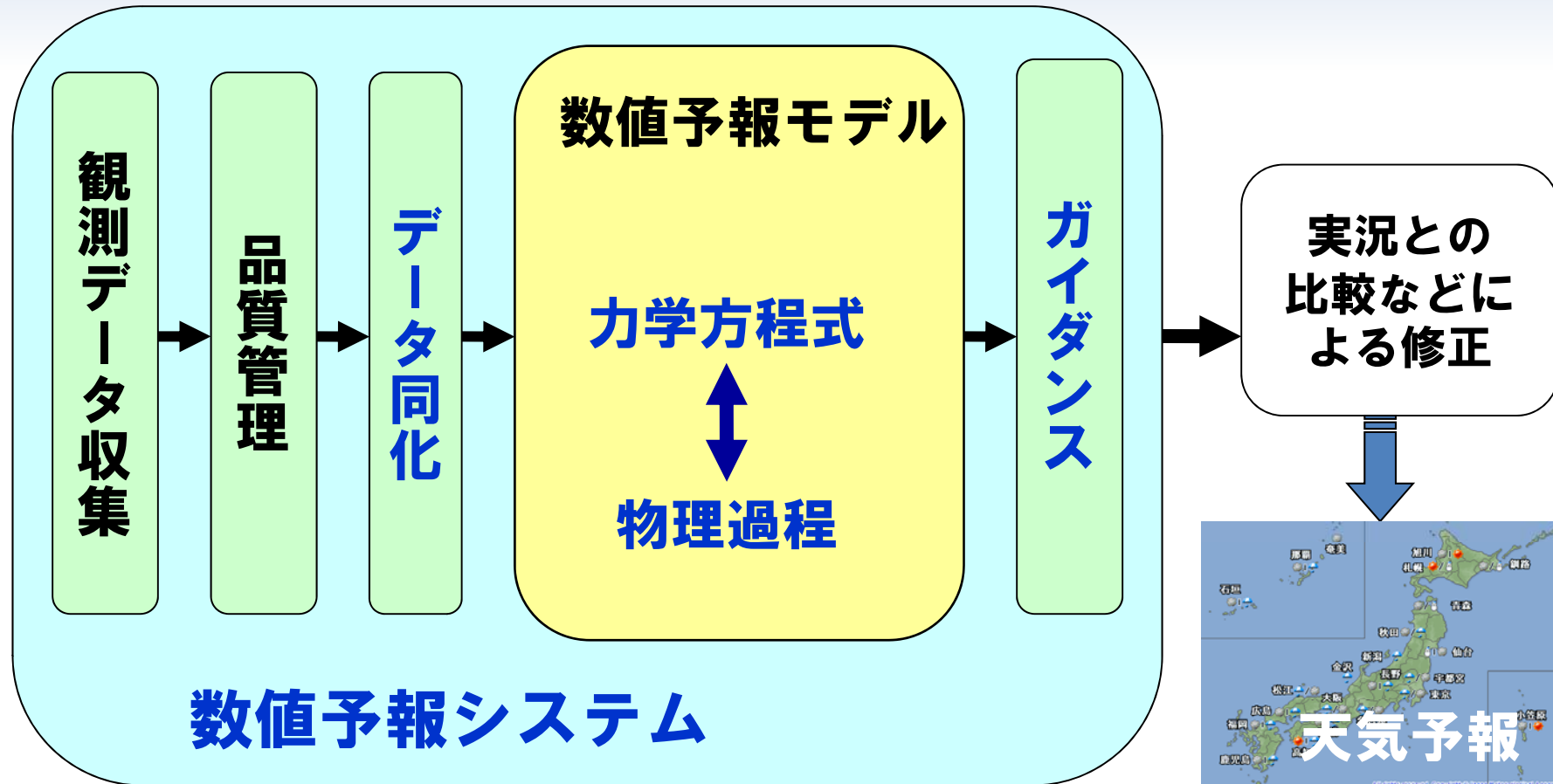
気象警報

平成22年8月16日16時31分 津地方気象台発表
(北中部では、10日夜の猛烈な雨で土砂災害や低い土地の浸水、河川の増水に警戒して下さい。)

津市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 四日市市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 伊勢市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 松阪市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 桑名市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 鈴鹿市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 名張市【警報】大雨(浸水等)、洪水【注意報】雷
 尾鷲市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 亀山市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 鳥羽市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 津市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 いはるけ村【警報】大雨(土砂災害)【注意報】雷、洪水
 志摩市【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水
 伊賀市【警報】大雨(浸水等)、洪水【注意報】雷
 木曾岬町【警報】なし【注意報】大雨、雷、洪水

日付	11 火	12 水	13 木	14 金	15 土	16 日	17 月
東京地方 前期天気予報へ	曇のち雨	曇時々雨	曇	曇一時雨	曇	曇一時雨	曇
降水確率(%)	30/40/60/90	70	40	60	40	50	40
最低(℃)	10(←)	12(±2)	13(±2)	12(±4)	7(±4)	7(±4)	8(±4)
最高(℃)	14(←)	16(±4)	21(±3)	15(±4)	14(±4)	14(±4)	17(±4)

数値予報システムの概念図

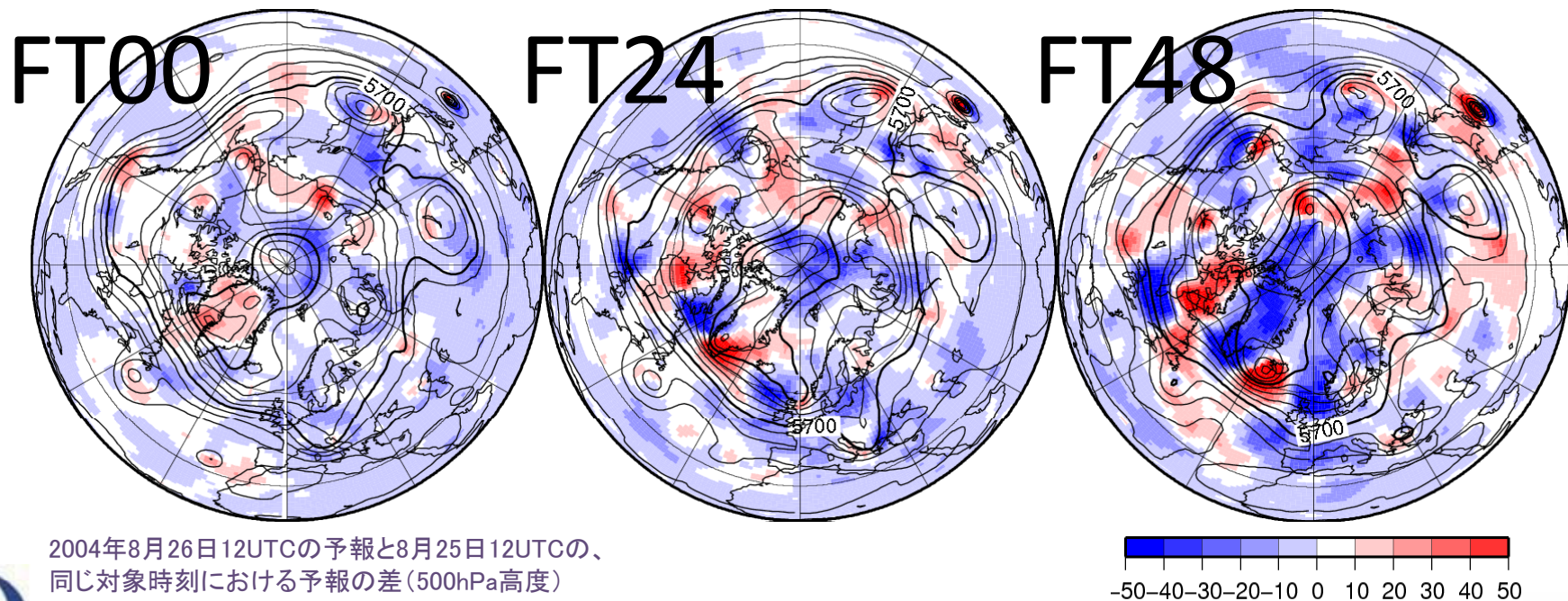


目次

1. 数値予報とは
2. 数値予報システムの概要
 - 解析システム
 - 観測データ品質管理・データ同化
 - 予報モデル
 - 力学過程・物理過程、アンサンブル予報
 - 数値予報プロダクトの応用技術
 - ガイダンス
3. 気象庁の数値予報システム
4. 最近の開発
 - 局地モデルの開発
5. 数値予報資料の見方

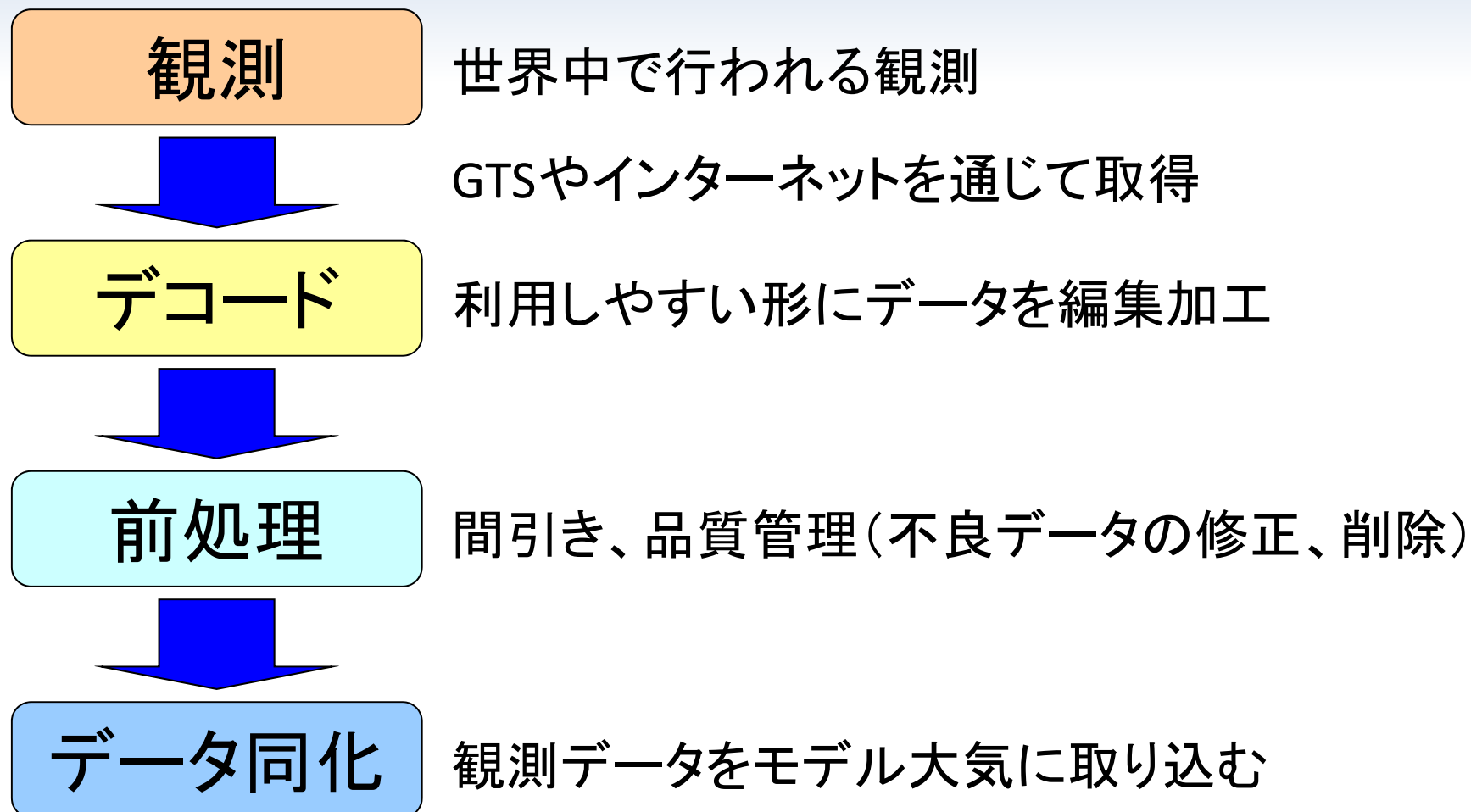
数値予報精度向上のために

- 初期値を精度よく再現することが、予報精度の向上に(決定的に)重要
 - モデルがたとえ完璧でも初期値が悪いと駄目
 - モデル予報誤差は急速に増大



2004年8月26日12UTCの予報と8月25日12UTCの、
同じ対象時刻における予報の差(500hPa高度)

観測データの処理



全球通信システム(GTS)



大気現象は地球規模で起っているため、正確な予報のためには地球全体の情報を短時間に集める必要がある。

そのため、世界気象機関(WMO)の枠組みのもと、世界の主要地域を結ぶGTSを通じて気象情報を迅速に収集できる体制を整備している。

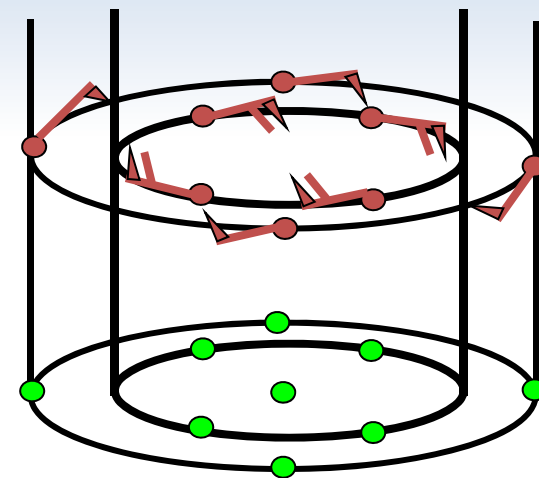
図の青線が主要な通信網を表す。

利用する観測データ一覧

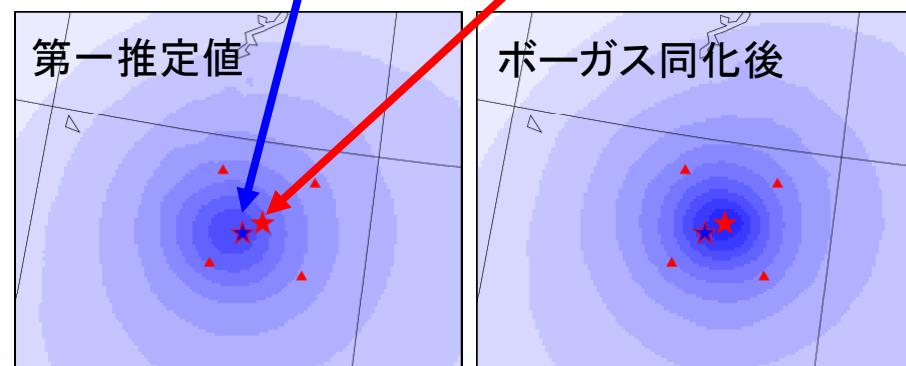
種別	観測種別	通報式、略号、他	従来型データ				その他のデータ			
			気圧	気温	風	湿度	可降水量	降水量	輝度温度	屈折率
直接観測	地上観測	SYNOP	○							
	海上観測	SHIP, BUOY	○	○						
	航空機観測	ACARS, AMDAR		○	○					
	高層観測	TEMP	○	○	○	○				
	高層風観測	PILOT	○		○					
遠隔観測	ウィンドプロファイラ	W.P.			○					
	(ドップラー) レーダー	D.R., RA			M		M			
	GPS地上観測	GPS					M			
疑似観測	台風ボーガス	TY-BOGUS	○		○					
静止軌道衛星	大気追跡風	AMV			○					
	可視赤外放射計晴天輝度温度	CSR						G		
低軌道衛星	極域大気追跡風	AMV			○					
	鉛直探査計	Sounder		M				G		
	マイクロ波放射計	Imager					M	M	G	
	マイクロ波散乱計	SCAT			○					
	GPS掩蔽観測	GPS-RO							G	

疑似観測(台風ボーガス)

- 熱帯海洋上で発生する台風の内部構造に対して同化利用可能で有効な観測が少ない
- 台風解析作業で決定された台風位置情報(中心位置・中心気圧・強風半径)をもとに作成する人工的な台風の構造 → **台風ボーガス**
- 擬似的な観測データ**として与える。
- 台風の位置、形状が初期値に反映される。
 - 防災上、重要
 - 強度はモデルの分解能に配慮して調整



第一推定値の台風中心 実況の台風中心



品質管理項目と対象データ

種 別	品質管理項目	対象データ
内的整合性チェック (観測データ のみで実行する)	異常観測点(ブラックリスト)チェック	全部
	気候学的チェック	全部
	航路チェック	SHIP, DRIFTER, AIREP
	観測要素間整合チェック	SYNOP, SHIP
	風速計の高度による風速補正	SHIP
	バイアス補正(日射補正)	TEMP
	バイアス補正(輝度温度)	TOVS(1D-Var)
	温度減率チェック	TEMP, SATEM, TOVS
	気温内挿チェック	TEMP
	湿度内挿チェック	TEMP
	静力学チェック	TEMP
	氷結チェック	TEMP
	風シアーチェック	TEMP, PILOT
	風内挿チェック	TEMP, PILOT
	海面更正チェック	SYNOP, SHIP
散乱計による海上風のチェック	SCAT	
外的整合性チェック (第一推定値の 情報を利用する)	グロスエラーチェック	全部
	空間整合性チェック	全部
	層厚積み上げチェック	SATEM, TOVS
	Group QC	SCAT
	評価関数の収束性のチェック	TOVS(1D-Var)

17

データ同化の概念

観測情報を、物理的な法則を考慮しながら、格子点毎の変数に反映すること

データ同化手法：全球モデル、メソモデルともに4次元変分法(4D-Var)

変分法：評価関数 J を最小にする解(解析値)を繰り返し計算によって求める

$$J = \{G_1(X_1 - X_1') + \dots + G_m(X_m - X_m')\} + \{F_1(A_1 - A_1') + \dots + F_n(A_N - A_N')\}$$

↑第一推定値(M点)の、推定値からのずれの指標 ↑観測(N点)の、推定値からのずれの指標

X ：第一推定値（通常は前の予報値）

X' ：格子点推定値（観測の影響を加味して繰り返し計算中で推定される推定値）

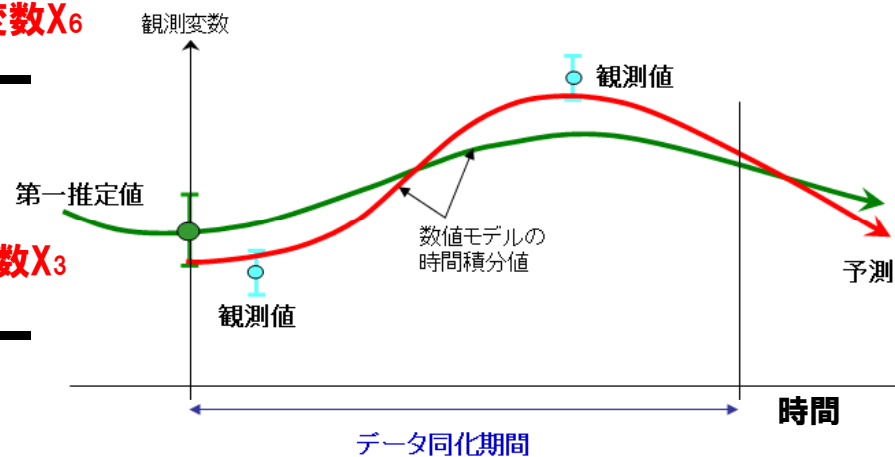
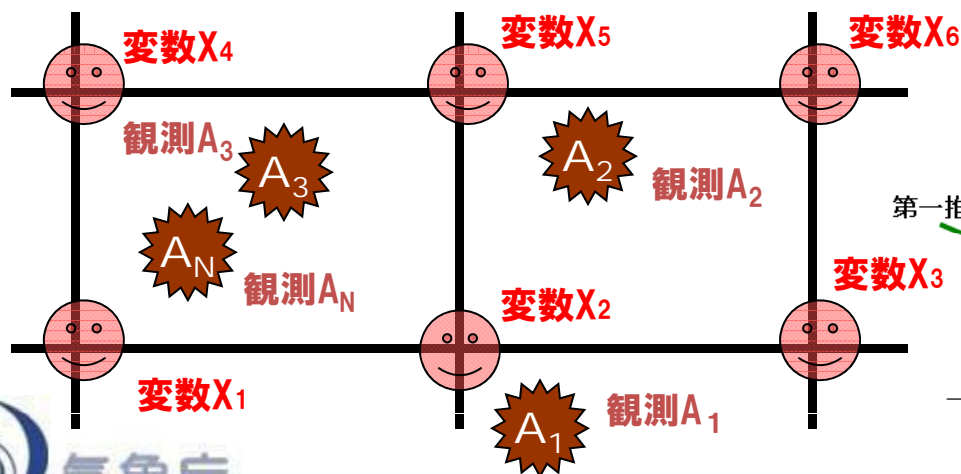
A ：観測値

A' ：観測推定値（ X' から観測の場所や時間のずれを考慮して算出される推定値）

$F \cdot G$ ：各項の重みを決める関数。

→格子点推定値は観測値にも第一推定値にも近い尤もらしい値（=解析値）に収束する。

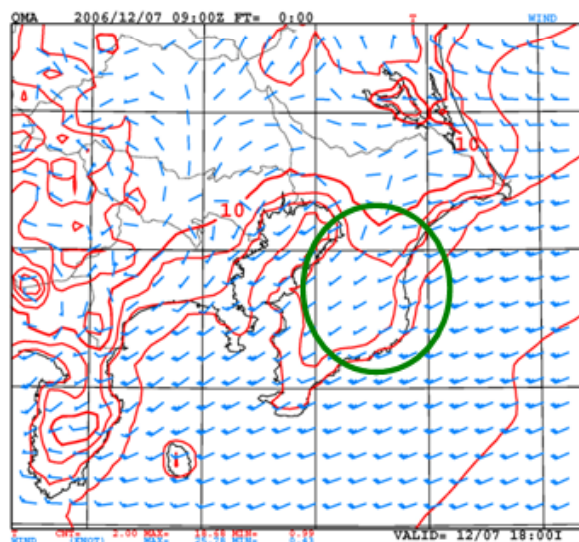
4次元変分法



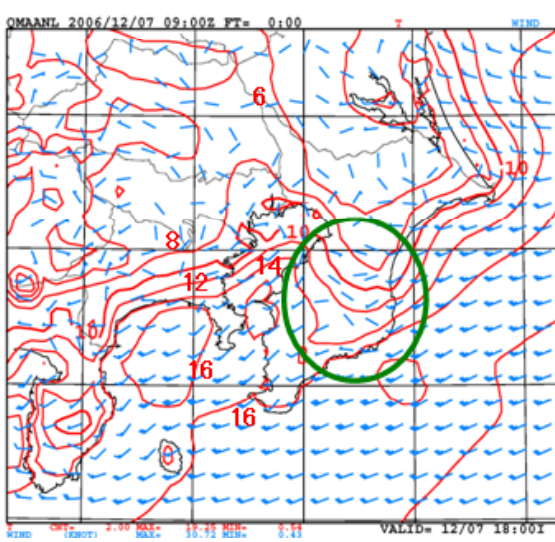
データ同化の例

毎時大気解析 2006年12月7日18時 (JST) 地上気温・風

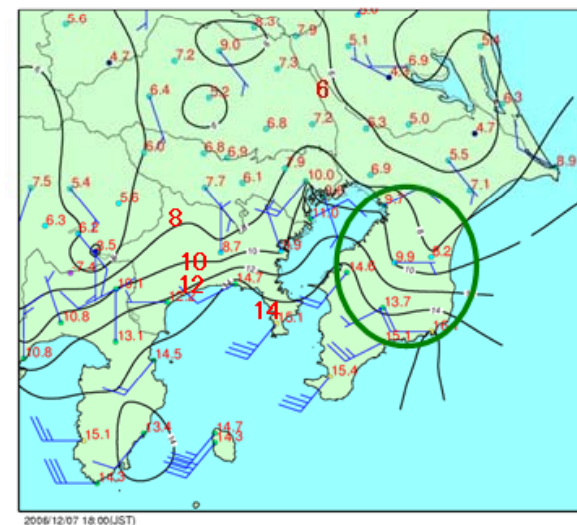
第一推定値(MSM)



解析値



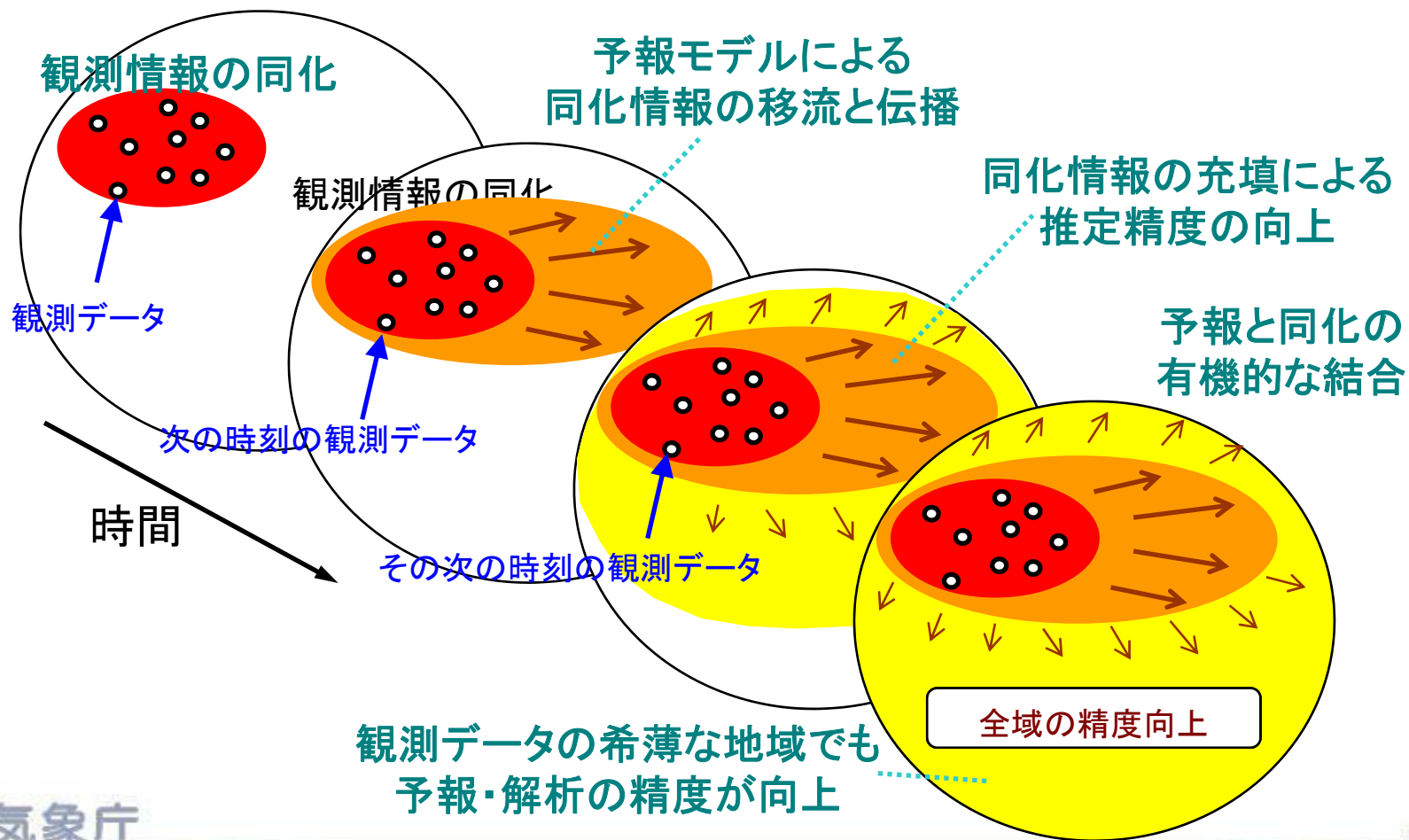
アメダス実況値



沿岸部での等温線の集中と風の収束の様子が反映された。

データ同化(解析・予報)サイクル

- 第一推定値(前時刻の数値予報)を観測データで修正して初期値を作り、そこからの予報を次の第一推定値とすること
- サイクルにより、観測データの情報を伝播させることができる



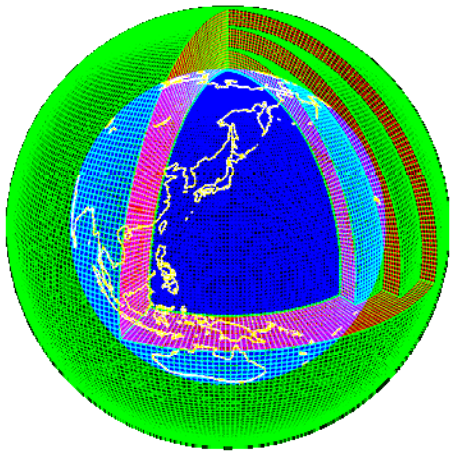
目次

1. 数値予報とは
2. 数値予報システムの概要
 - 解析システム
 - 観測データ品質管理・データ同化
 - 予報モデル
 - 力学過程・物理過程、アンサンブル予報
 - 数値予報プロダクトの応用技術
 - ガイダンス
3. 気象庁の数値予報システム
4. 最近の開発
 - 局地モデルの開発
5. 数値予報資料の見方

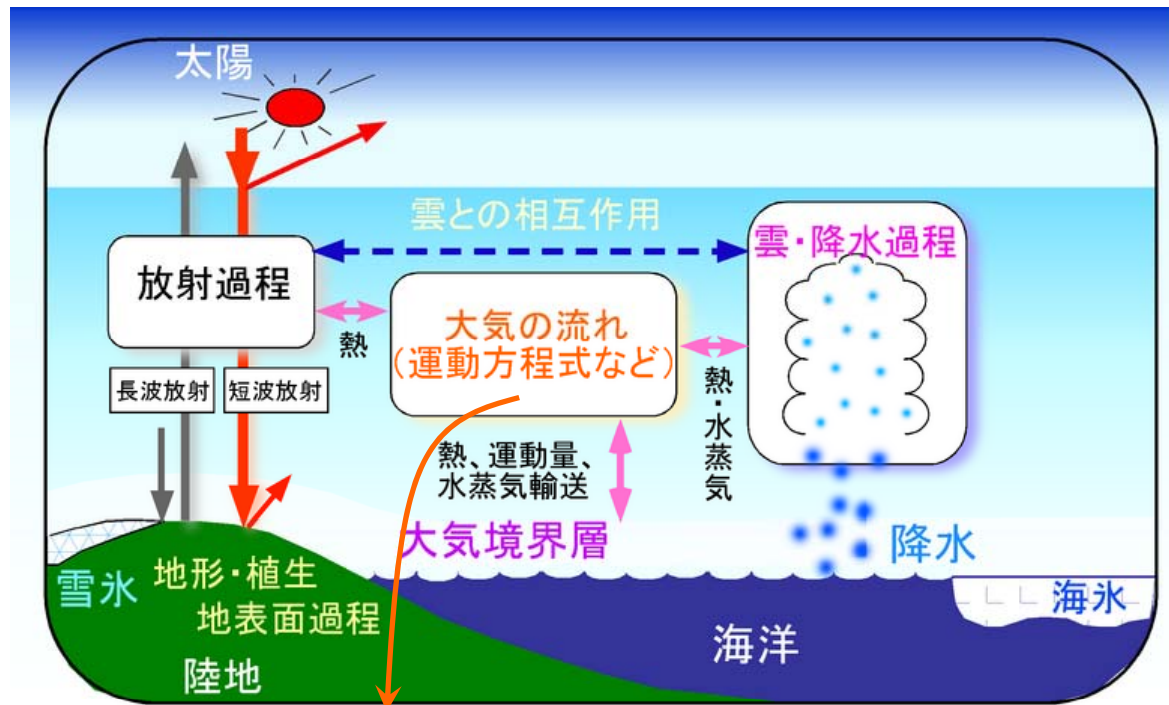
数値予報モデルの概念

数値予報(モデル)とは

- 大気の状態を表す物理量(気圧、気温、湿度など)について、これらが従う物理法則に基づいて数値計算を行い物理量の時間変化を定量的に見積もることにより、将来の大気状態を予測すること(その仕組み・プログラム)



大気を格子に分け、各格子に観測データを反映、それを出发点に 右の計算

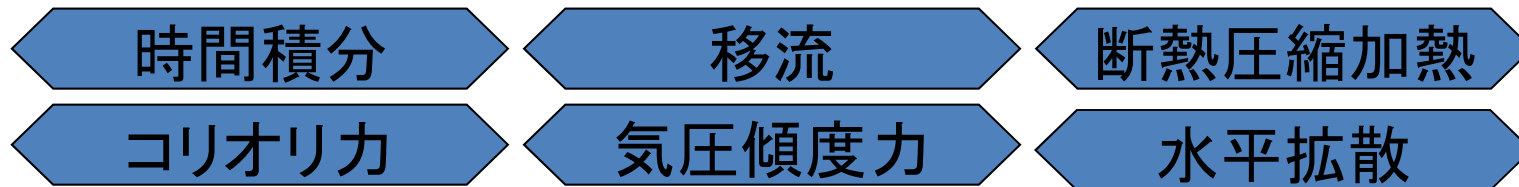


流体力学や熱力学の方程式

力学過程と物理過程

力学過程 = モデルの骨格

- 一貫した空間微分法及び時間積分法によって一意に記述される過程



物理過程

- サブグリッドスケール過程
- 不可逆過程
- 近似や仮定によって簡略化された過程



大気の支配方程式

水平方向の
運動方程式

水平風の
時間変化

= 移流の
効果

+ コリオリ
の効果

+ 水平の
気圧傾度力

+

摩擦力
(物理過程)

鉛直方向の運動
方程式 (メソ)

鉛直風の
時間変化

= 移流の
効果

+

鉛直の
気圧傾度力

+

重力

+

摩擦力
(物理過程)

または

静力学平衡の式
(全球)

0

=

鉛直の
気圧傾度力

+

重力

連続の式
質量保存の法則

密度の
時間変化

= 移流の
効果

+

収束・発散
の効果

温位の予測式
熱エネルギー保存則

温位の
時間変化

= 移流の
効果

+

非断熱過程
(物理過程)

水物質の予測式

水物質の
時間変化

= 移流の
効果

+

非断熱過程
(物理過程)

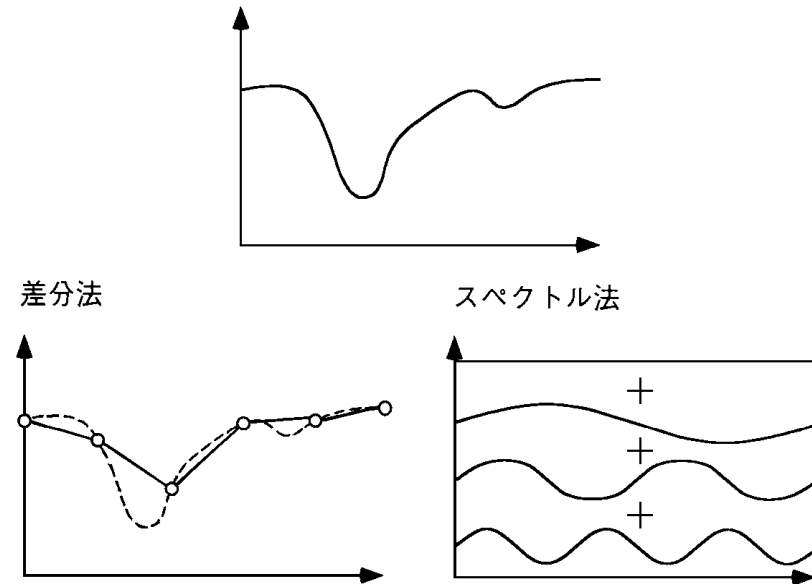
モデル大気と離散化

計算機上では連続したものを扱えない。

⇒ 水平方向・鉛直方向に飛び飛びの値にする(離散化)。
(現象の時間発展もとびとびの値でしか扱えない。)

水平離散化の方法

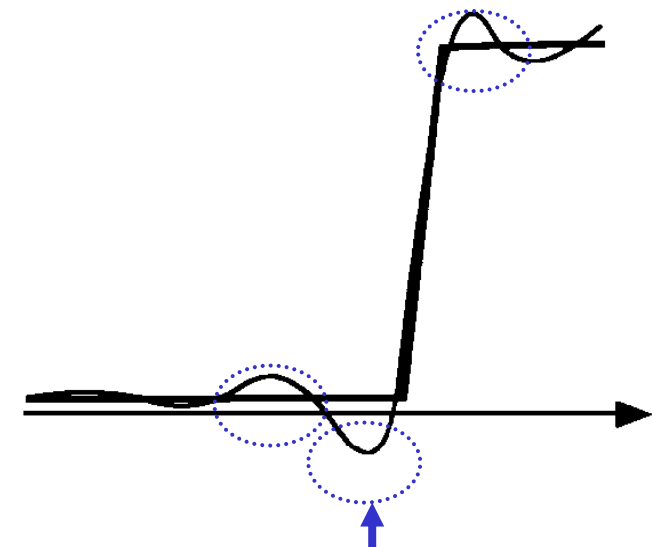
- **格子点法** ~ メソモデル
 - 連続体の状態を有限個の格子点値で代表させて表現
- **スペクトル法** ~ 全球モデルほか
 - 様々な波長を持つ波の重ね合わせで表現



スペクトル法の長所と短所

- 長所
 - 微分係数を正確に計算できる
 - 位相の遅れが生じない
- 短所
 - 波と格子の変換に要する計算量が膨大
 - 地形や水蒸気の分布など、局所性が高い変数を扱うときに偽の波が生じる（ギブスの現象）

$$\frac{d}{dx} \sin x = \cos x$$



離散化に伴う偽の波

物理過程

- 力学過程では表現できない過程のこと
 - 格子点以下のスケール(サブグリッドスケール)の過程→格子点で計算をしているので避けられない
 - 非断熱過程
- 力学過程で表現できないすべての現象をモデルに取り込む

– 放射過程

- 長波・短波

– 降水過程

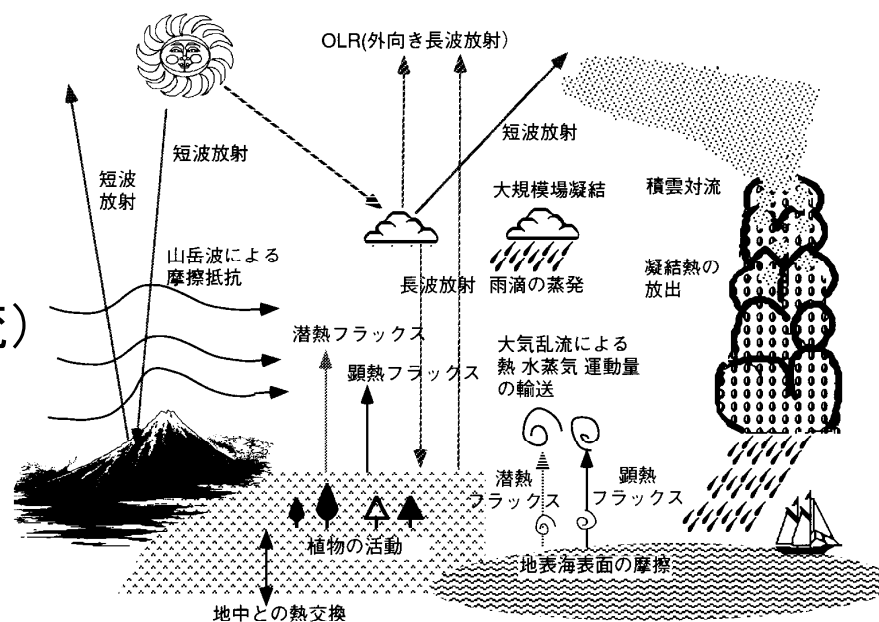
- グリッドスケール(雲物理)
- サブグリッドスケール(積雲対流)

– 境界層過程

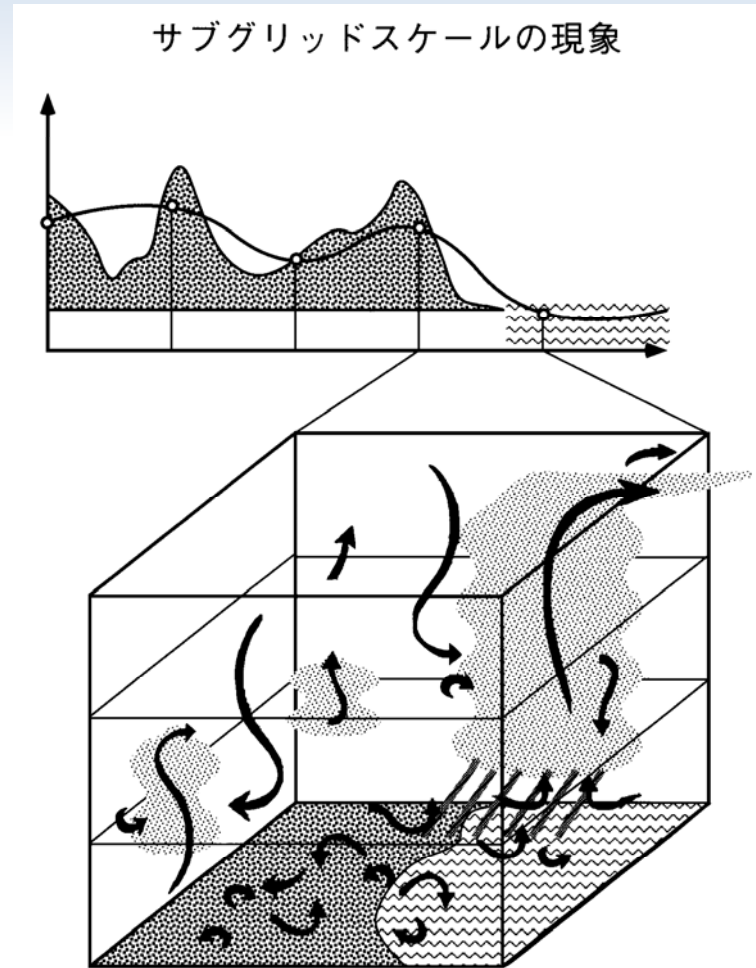
- 大気をかきまぜる効果

– 地表面・陸面過程

- 地中温度・土壤水分



パラメタリゼーション



- モデルの時空間分解能以下（サブグリッドスケール）の大気現象（例えば乱流、雲、等）は格子点上の値だけでは表現できない
- そのような現象がモデル大気に及ぼす効果を、格子点上の物理量で評価する

予報精度を高めるには
極めて重要