



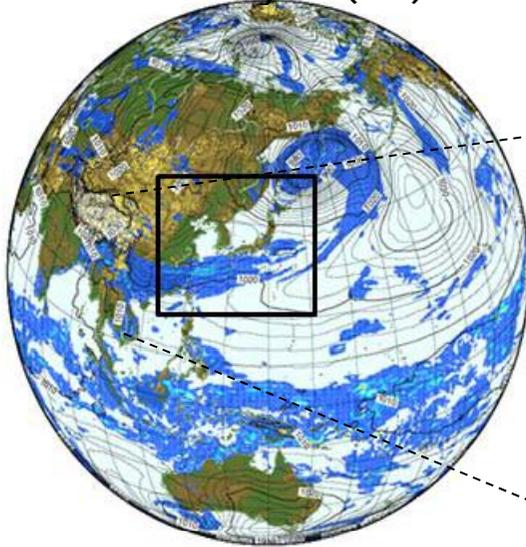
高解像度数値予報のための データ同化システムの開発

幾田泰醇, 藤田匡, 小野耕介, 石川宜広
(気象庁予報部数値予報課)

現業メソ・局地数値予報システム(1/3)

- 気象庁は、防災情報提供支援を主な目的にメソモデル (MSM) 及び局地モデル(LFM)を現業運用している。
 - MSMとLFMは、予報モデルとして JMA-NHM (Saito et al. 2006)、初期値を作成する解析システムとしてJNoVA(本田・澤田 2009)が用いられている。

Global NWP System
Global Spectral Model (GSM)
Global Analysis (GA)



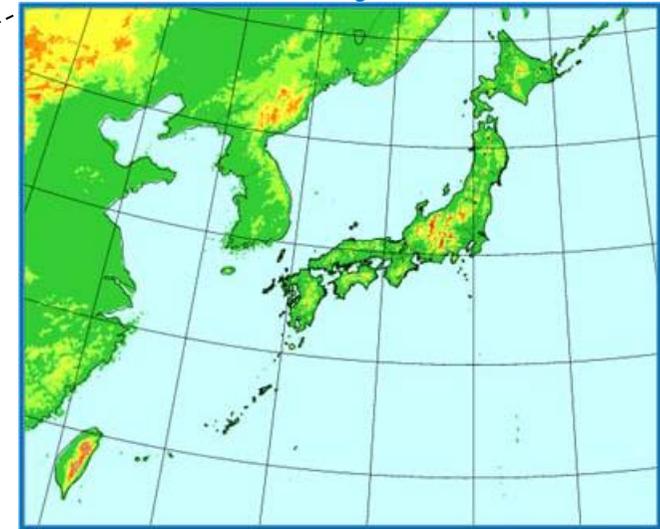
Resolution ~20km

Meso-Scale NWP System
Meso-Scale Model(MSM)
Meso-Scale Analysis (MA)



Resolution 5km

Local NWP System
Local Forecast Model (LFM)
Local Analysis (LA)



Resolution 2km

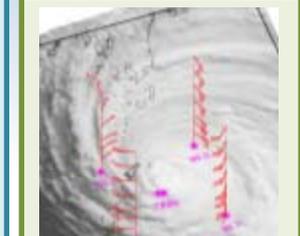
Domain 1581 x 1301
covering the whole Japan

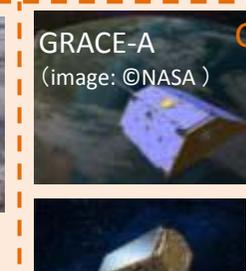
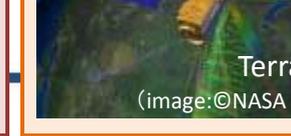


現業メソ・局地数値予報システム(2/3)

	Local NWP System	Meso-Scale NWP System
Forecast Model	Local Forecast Model (LFM) JMA-NHM	Meso-Scale Model (MSM) JMA-NHM
Horizontal Resolution	2km (1581x1301)	5km (817x661)
Vertical Layers	60 Layers, up to 20km	50 Layers, up to 22km
Integration Time Step	8 second	20 second
Boundary Condition	MSM	GSM
Forecast hours	9 hours	39 hours
Cloud Physics	Mixing ratio of cloud, rain, cloud ice, snow, and graupel (Qc, Qr, Qi, Qs, Qg)	Qc, Qr, Qi, Qs, Qg and Number density of cloud ice
Cumulus convective parameterization	Not Used	Kain-Fritsch scheme
Data Assimilation	Local Analysis (LA) JNoVA 3D-Var	Meso-Scale Analysis (MA) JNoVA 4D-Var
Assimilation Method	3h cycle iteration of 3D-Var + 1h Forecast	4D-Var
Horizontal Resolution	5km	Inner/Outer: 15km/5km
Vertical Layers	50 Layers, up to 22km	Inner/Outer: 40/50 Layers up to 22/22km
Cutoff time	30 minutes	50 minutes

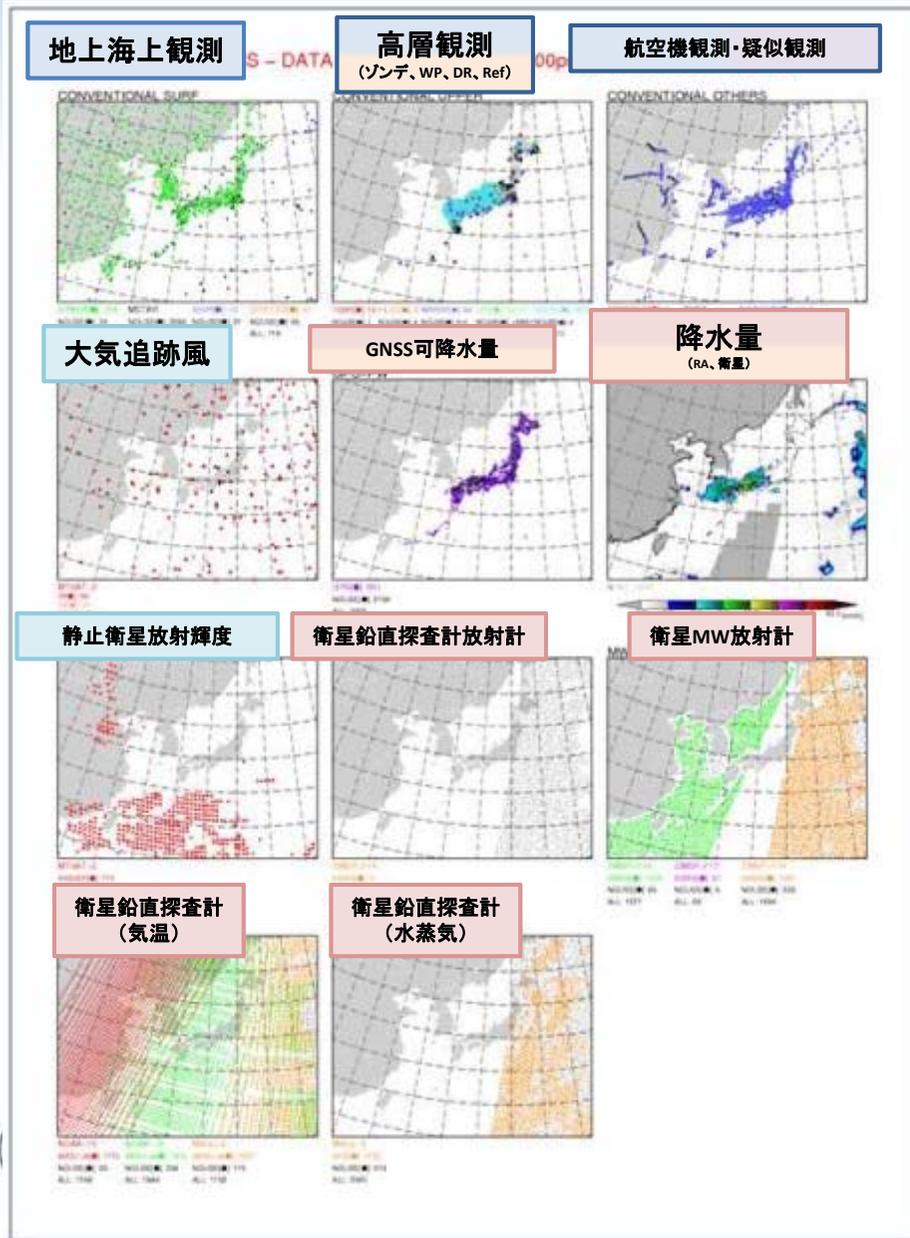
数値予報で利用している観測

 <p>高層観測 (写真: 気象庁HP)</p>	 <p>地上観測 (写真: 仙台管区HP)</p>	 <p>ブイ観測 (写真: 気象庁HP)</p>	 <p>ウィンドプロファイラ (写真: 東京管区HP)</p>	 <p>GNSS受信機 (写真: 観測部提供)</p>	 <p>台風ボーガス</p>
 <p>航空機観測 (写真: Ys提供)</p>	 <p>海上観測 (写真: 気象庁HP)</p>	 <p>(ドップラー)レーダー (写真: 大坂管区HP)</p>		<p>疑似観測</p>	
<p>直接観測</p>			<p>リモートセンシング 遠隔観測</p>		

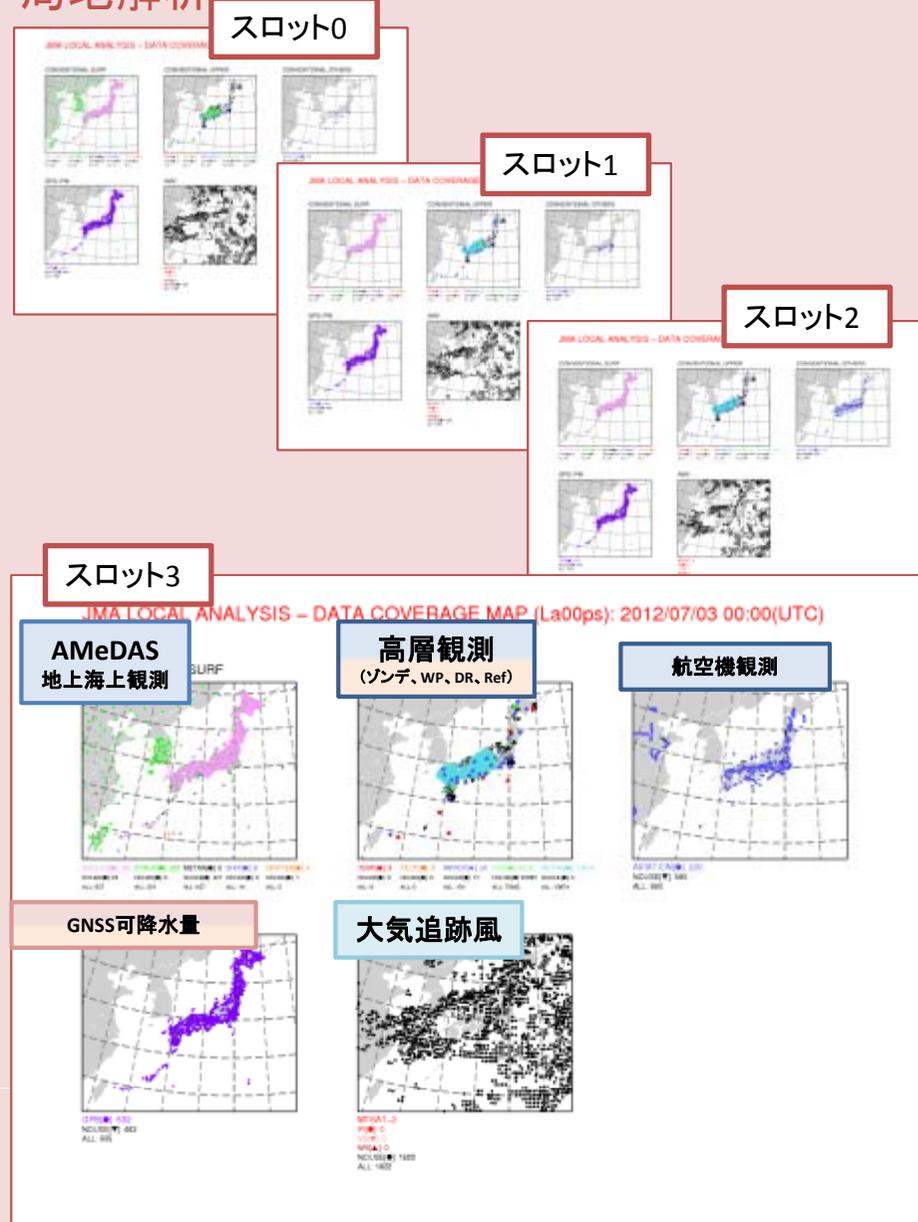
 <p>MTSAT (画像: 気象庁HP)</p>	 <p>METEOSAT (image: © ESA)</p>	 <p>NOAA (image: © NOAA)</p>	 <p>Metop (image: © ESA)</p>	 <p>DMSP (image: © NASA)</p> <p>(準)現業衛星</p>		
 <p>GOES (image: © NOAA)</p>	<p>静止軌道衛星</p>		 <p>Aqua (image: © NASA)</p>	 <p>TRMM (image: © NASA)</p>	 <p>GRACE-A (image: © NASA)</p>	<p>GNSS掩蔽衛星</p>  <p>COSMIC (image: © UCAR)</p>
<p>地球観測衛星</p>			 <p>Terra (image: © NASA)</p>	 <p>TerraSAR-X (image: © EADS Astrium)</p>	 <p>C/NOFS image: © US AirForce</p> <p>低軌道衛星</p>	

観測データ分布 (メソ・局地解析)

メソ解析



局地解析



現業メソ・局地数値予報システム(3/3)

- 現在、数値予報課では、JMA-NHMの後継となる新しい予報モデルの開発を進めている。
- 次世代非静力学モデル“asuca” (河野 他2011)
 - 現業局地数値予報システムへの導入を目的としている。
 - 現在、精度検証及び精度向上のための開発を進めている。
- **asuca** を基にした変分法データ同化システム“**asuca-Var**”
 - **asuca**の初期値を作成するための解析システムである。
 - こちらも現業局地数値予報システムとの性能比較及び検証を進めている。

ASUCA-VARの概要



asuca-Varの開発動機と背景

① 現業メソ・局地解析の開発

- 変分法データ同化システム
 - 接線形・随伴(TL/AD)コードは、基となる予報モデルの非線形コード(NL)と整合している必要がある。
- 予報モデル JMA-NHM と解析システム JNoVA
 - それぞれ異なるコード管理の下で開発が進められた
 - 開発段階で(部分的なものを含め)何度かマージしているが...
 - 結果として、両者のNLが乖離してしまっている。
- このような現状の改善を目的に、NLとTL/ADを統一的に管理することにした。

② 新規観測データ利用のための開発

- 現状、観測演算子と予報モデル・解析システムとが強く依存している。
- 観測演算子の独立性を高めることで、実装の簡略化や汎用性を高め、開発効率を向上させる。

具体的な設計方針(1)

①現業メソ・局地解析の開発

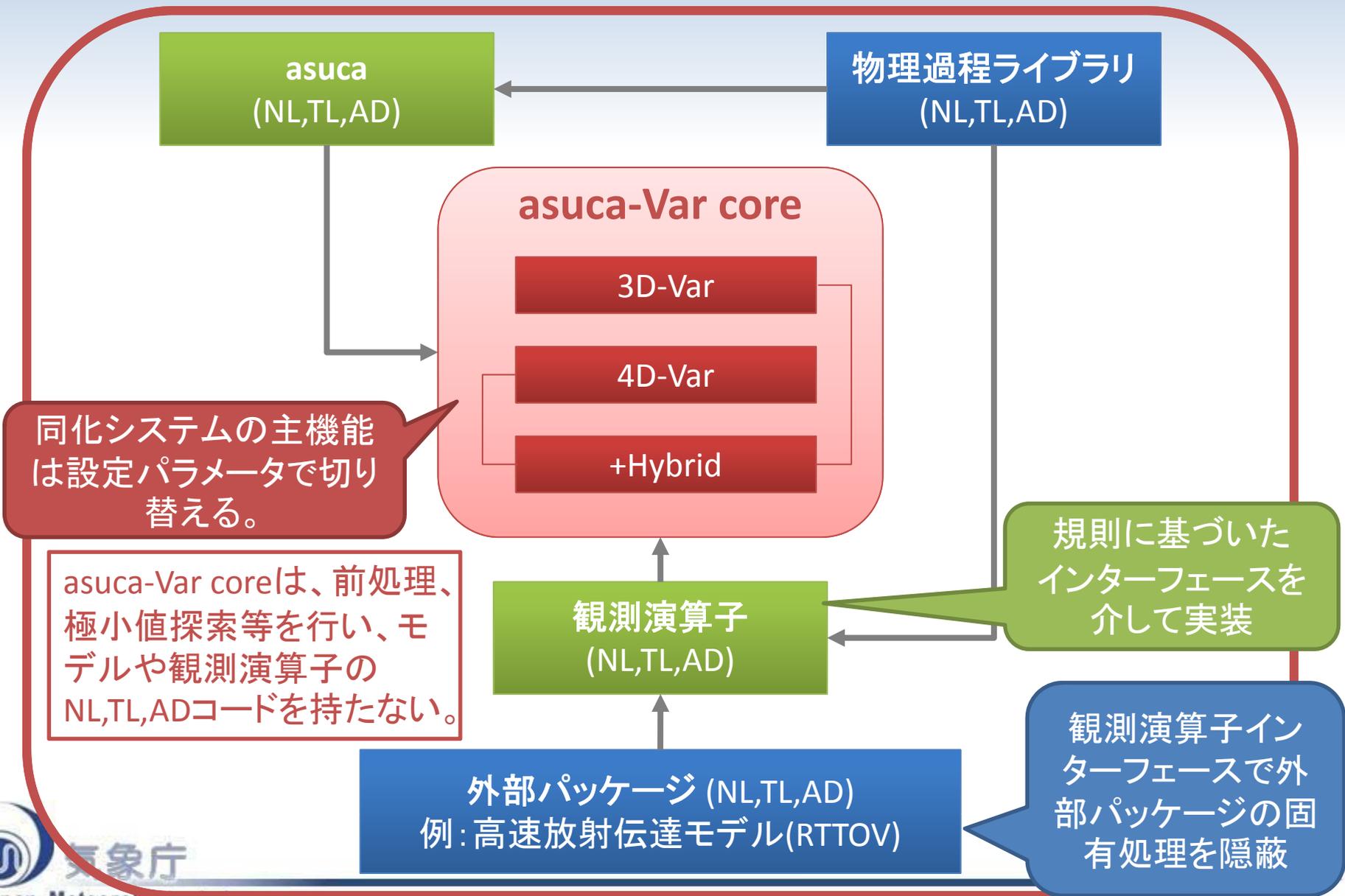
- NLとTL/ADを統一的に管理
 - 具体的には...
 - 同一サブルーチン内にNLとTL/ADを共存させる
 - モードスイッチパラメータの切り替えでその機能が切り替わる
 - NLのコードを更新する際に、TL/ADのコードの更新も強制される
 - NLとTL/ADの一貫性の維持が期待できる
 - asucaの物理過程ドライバである物理過程ライブラリ(原2012)にも同様な規則を適用し開発を進めている。

具体的な設計方針(2)

②新規観測データ利用のための開発

- 観測演算子の実装方法の見直し
 - － 汎用性や開発効率を重視する
 - 予報モデルや解析システムへの依存度が極力低くなるように作成する。
 - － 観測演算子と解析システムとの接続は、実装規則に基づいた観測演算子インターフェースを介して行う
 - 観測演算子の開発者は、解析システムや予報モデル固有の処理を意識せずに機能を実装することが可能である。
 - 他機関作成の外部パッケージ(例えば欧州衛星開発機構(EUMETSAT)の高速放射伝達モデル(RTTOV))についても、観測演算子インターフェースに接続することで外部パッケージ固有の処理を隠蔽し、実装することができる。

asuca-Varの構成



JNoVA(3D-Var)とasuca-Varの主な仕様

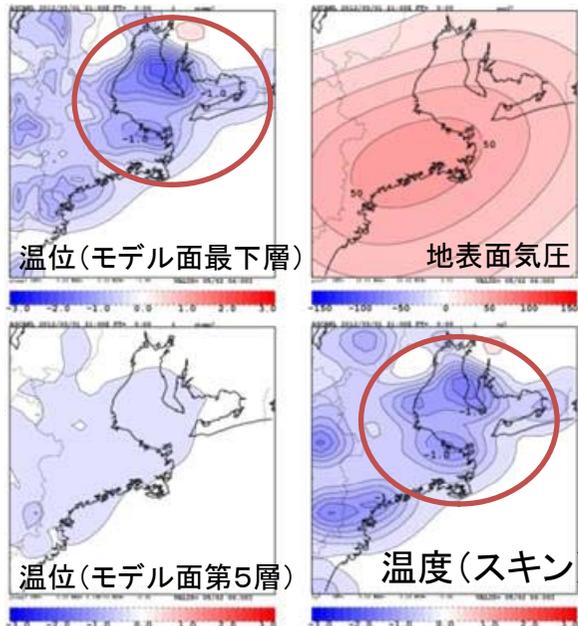
	JNoVA (局地解析用3D-Var版)	asuca-Var
制御変数	東西風u, 南北風v 地表面温位ptgrd 地上気圧psrf 温位 θ 偽相対湿度 $\mu = qv/qv_{sat}^b$	東西風u, 南北風v 地中温度Tg, 地上気圧psrf, 温位 θ 土壌の体積含水率wg, 偽相対湿度 $\mu = qv/qv_{sat}^b$
前方演算子	非線形演算子	接線形演算子 (非線形演算子も可)
質量と風の バランス拘束	なし	連続の式を用いた質量保存
背景誤差	空間一様	格子点毎に設定
領域分割	1次元分割	2次元分割
変分法品質管理	なし	あり

- 基本的な定式化は、JNoVAを踏襲
- JNoVA で得られた知見を踏まえつつ、
新たな設計思想の下でasucaを基に作成

* 青字: 現業利用に向けてインパクトを調査中。
今後の性能試験の結果によって仕様を変更する可能性があります。

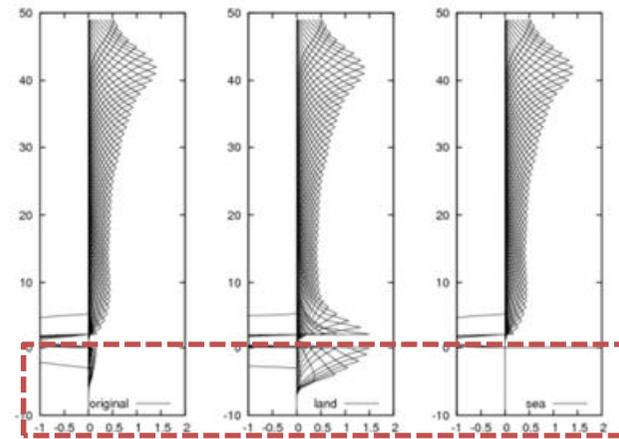
地面・地中温度の制御変数化 海陸別の鉛直背景誤差相関

海陸区別なし
(全て陸の背景誤差)

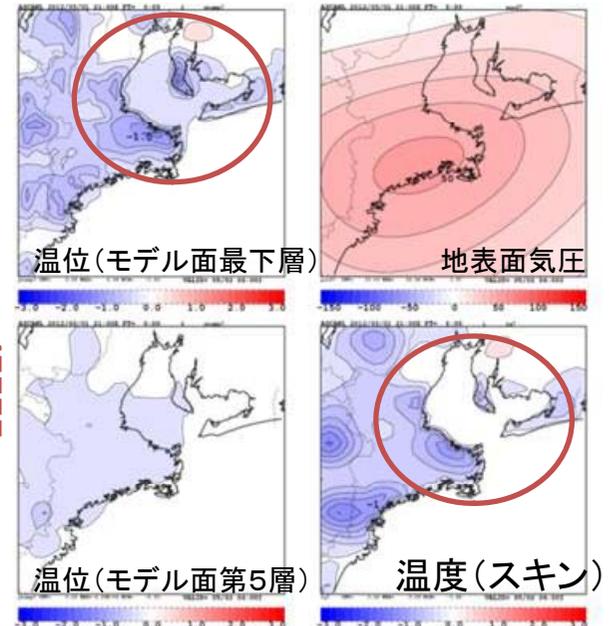


通常の設定
(陸・海合算)

陸 海



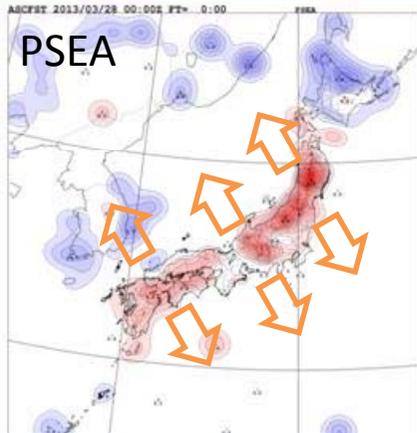
海陸区別あり



- 大気下層の予報誤差は陸のほうが大きい
- 海は固定値(予報していない)
- 湾の周りの観測による負のインクリメントは湾全体に及ぶ。背景誤差を海陸で分けると軽減される。

連続の式による拘束の効果

拘束無し



日本の陸地に入った、地上気圧のインクリメントを波源として波が伝播

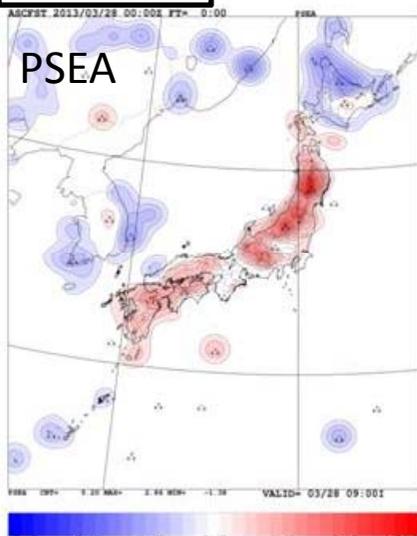
FT=0min

FT=30min

FT=60min

振動が境界まで伝播

拘束有り



振動が抑制される

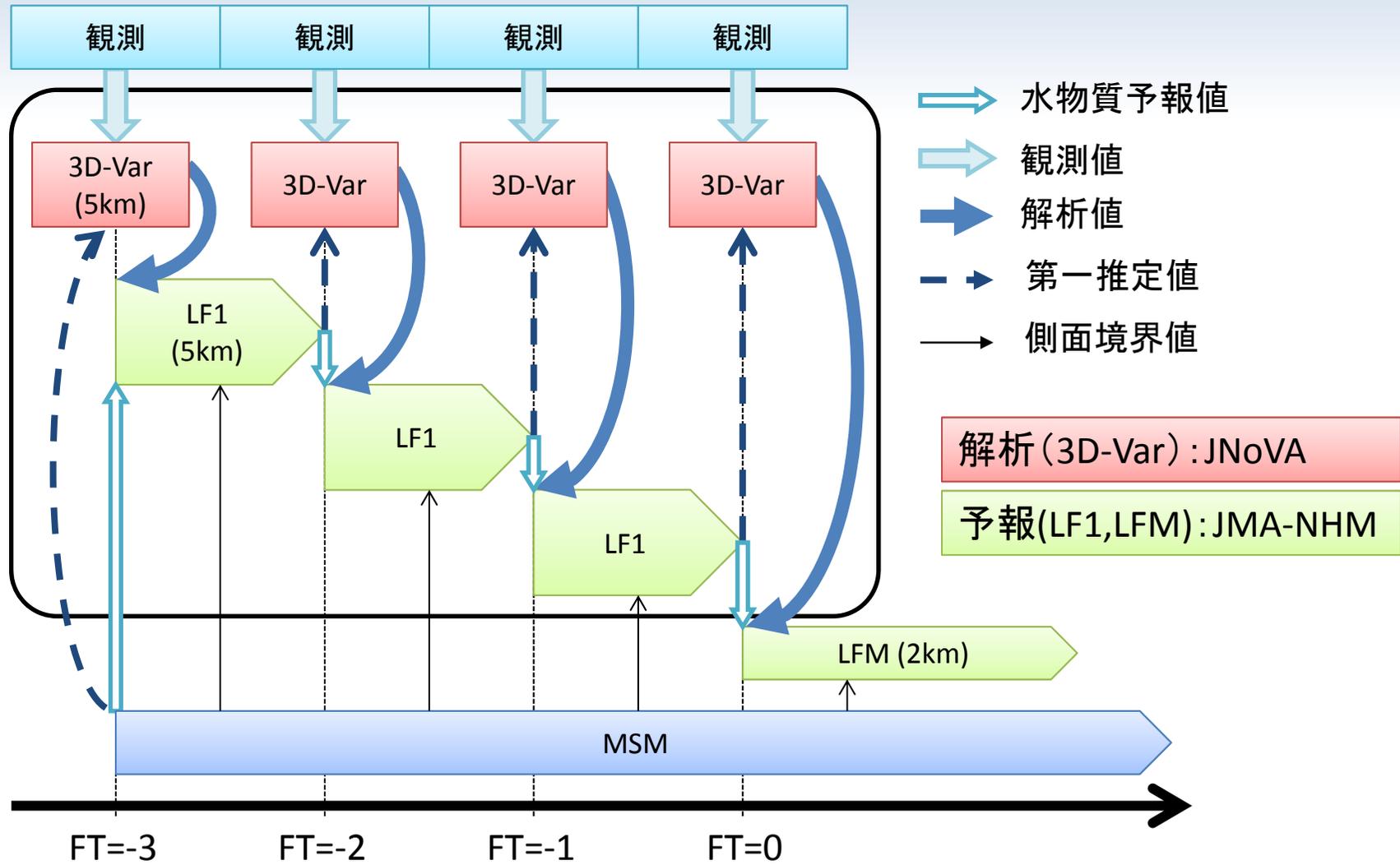
局地数値予報システムへの適用例



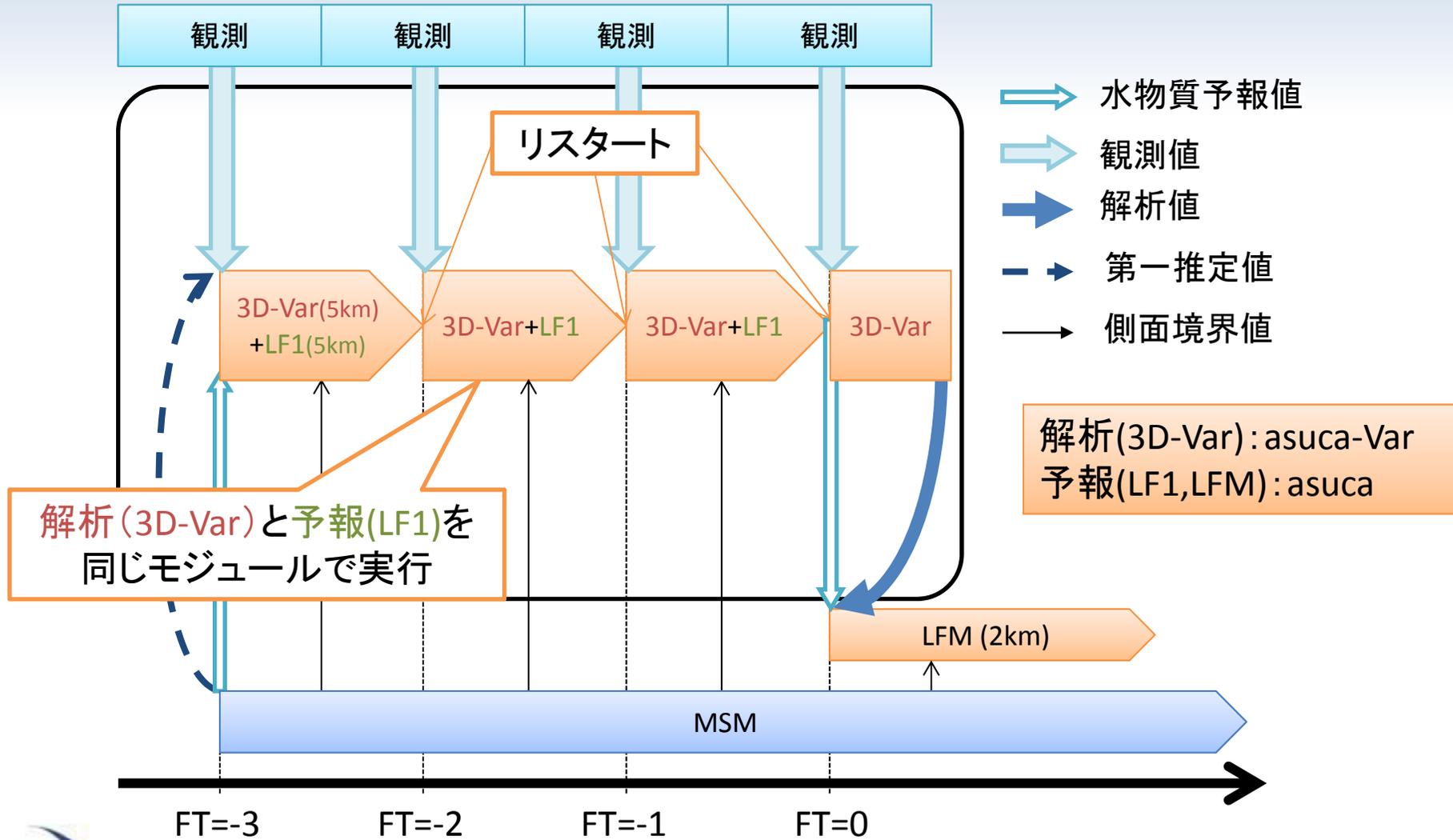
局地数値予報システムへの適用例

- 局地数値予報システム(永戸 他 2012)
 - 2012年8月から現業運用している。
 - 局地モデル(LFM): 水平解像度2km
 - 予報モデル: JMA-NHM → asuca
 - 局地解析(LA): 水平解像度5km
 - プロダクト配信の時間制限を満たすため、計算負荷の小さい3D-Varと1時間予報を繰り返す解析予報サイクルを採用している。
 - 予報モデル: JMA-NHM → asuca
 - 解析システム: JNoVA(3D-Var) → asuca-Var

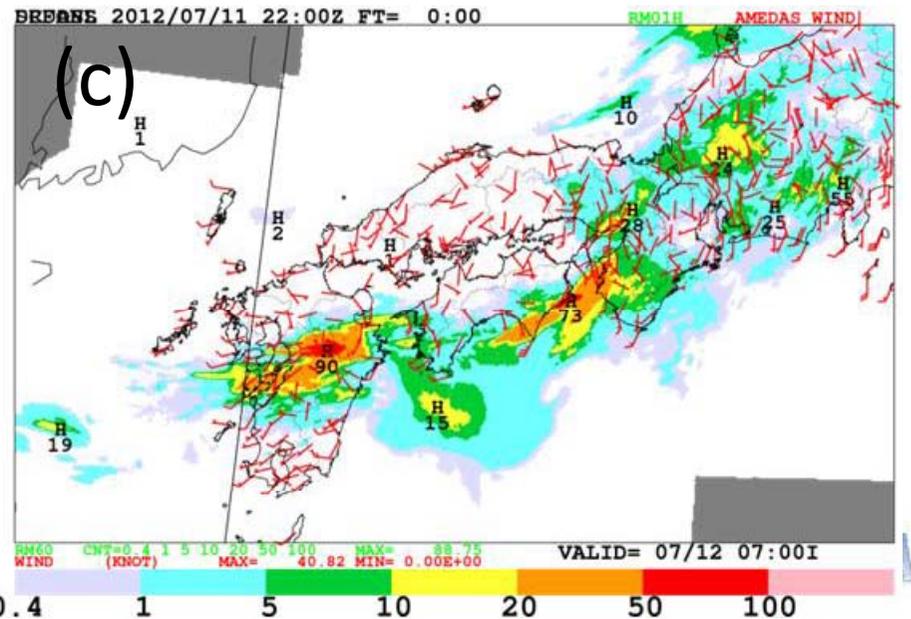
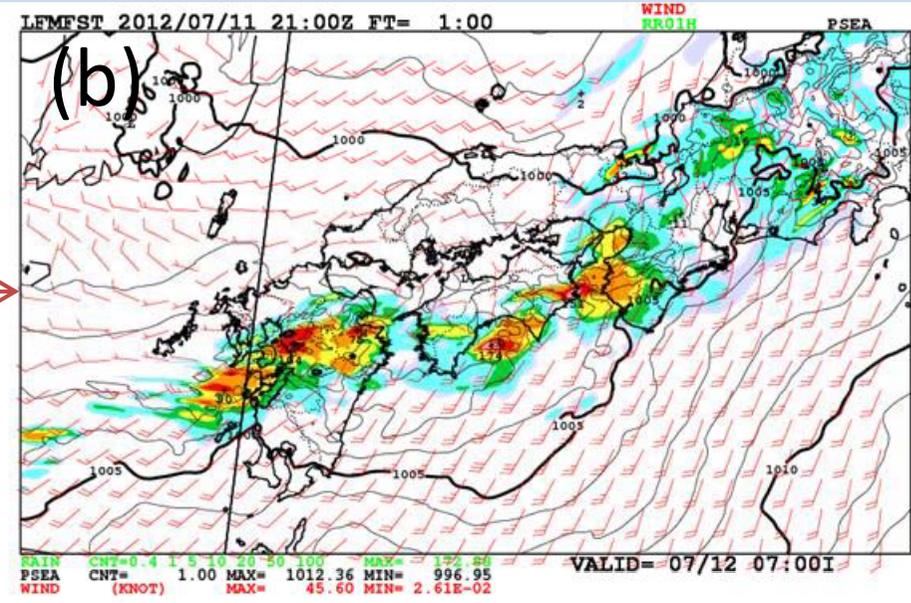
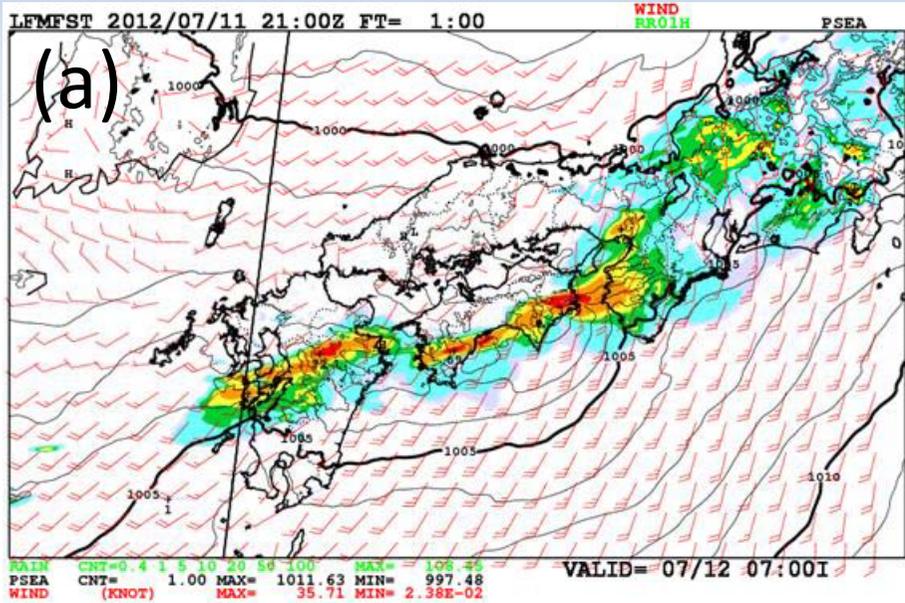
現業局地解析の構成



asuca版局地解析の構成



平成24年7月九州北部豪雨



(a) NHM(2km)

解析: JNoVA(3D-Var) + JMA-NHM(5km)

(b) asuca(2km)

解析: asuca-Var + asuca(5km)

(c) 観測

NHMとasucaは、同程度。降水分布は、
asucaのほうが観測に近い印象。

課題とまとめ



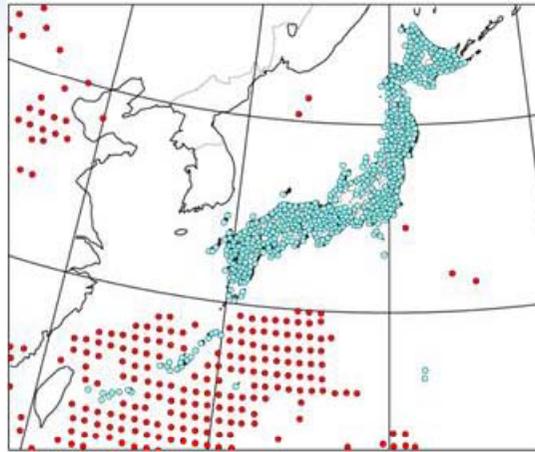
課題

- 観測データの拡充
 - 高密度・高頻度データの有効利用
 - 衛星データ(輝度温度、AMV等)の利用
 - 現業メソ解析で既に利用されている
- 流れ依存性の考慮
 - 4D-Varへの拡張
 - 力学過程のTL/ADは、概ね完了。物理は、これから
 - ハイブリッドへの拡張
 - Buehner(2004)に基づき拡張制御変数を実装

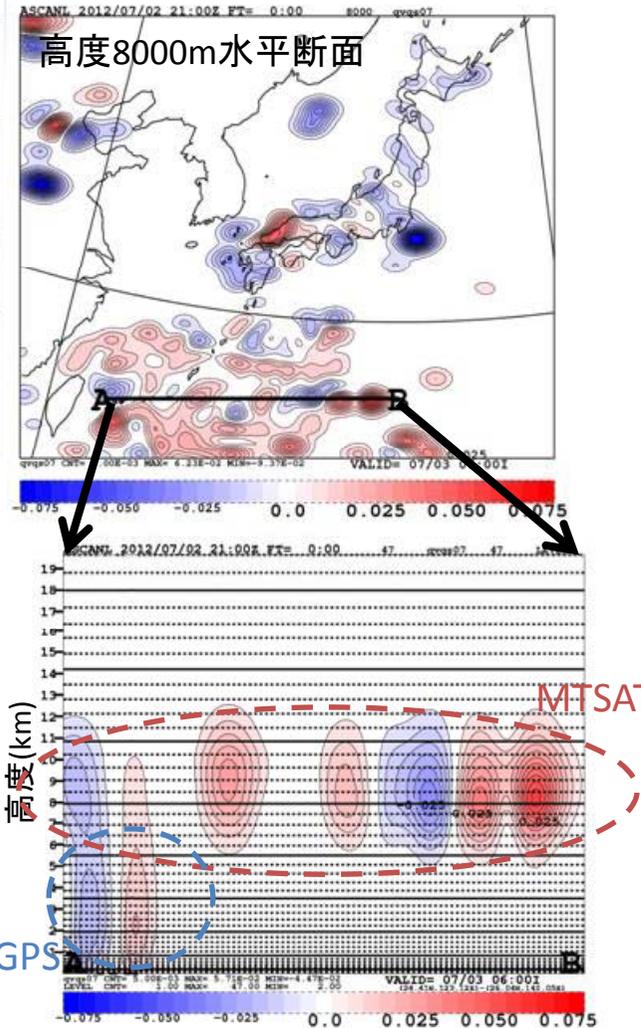
衛星輝度温度観測の利用

例えば、MTSAT-2の場合：水蒸気に感度のある、海上の観測が増加する。

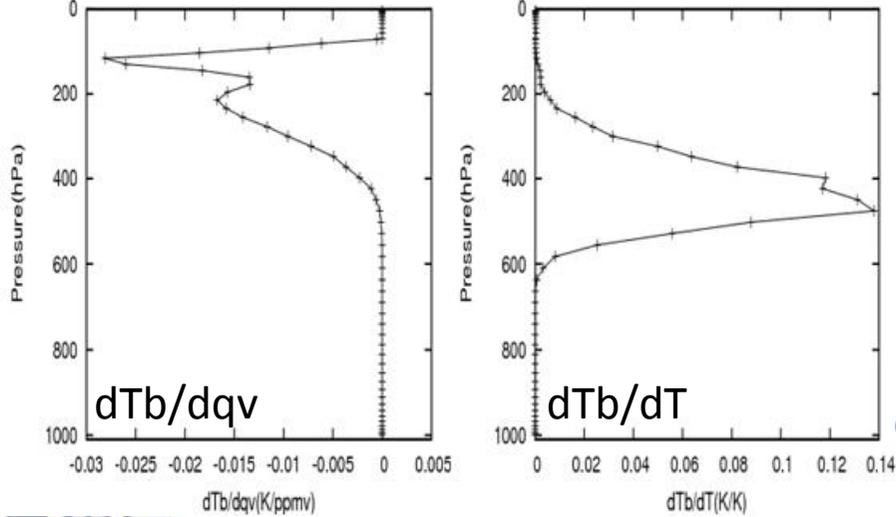
GPS可降水量
MTSAT-2
晴天輝度温度



偽相対湿度のインクリメント



任意の地点のヤコビアン→上層にインパクト



ハイブリッド変分法データ同化

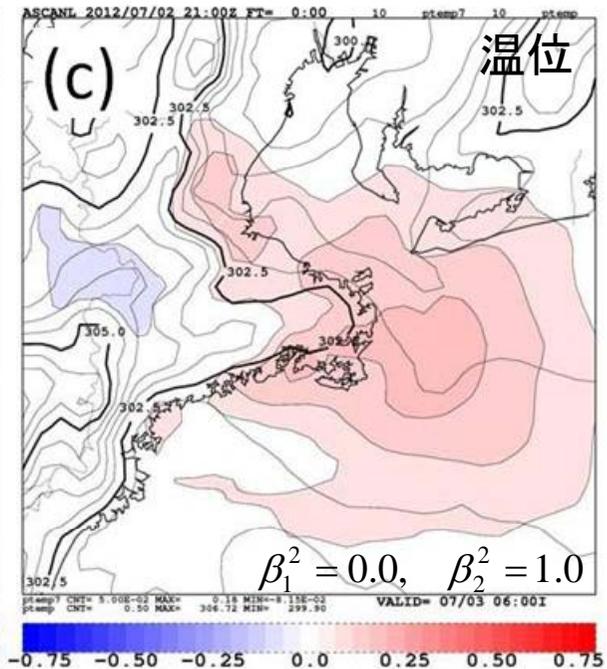
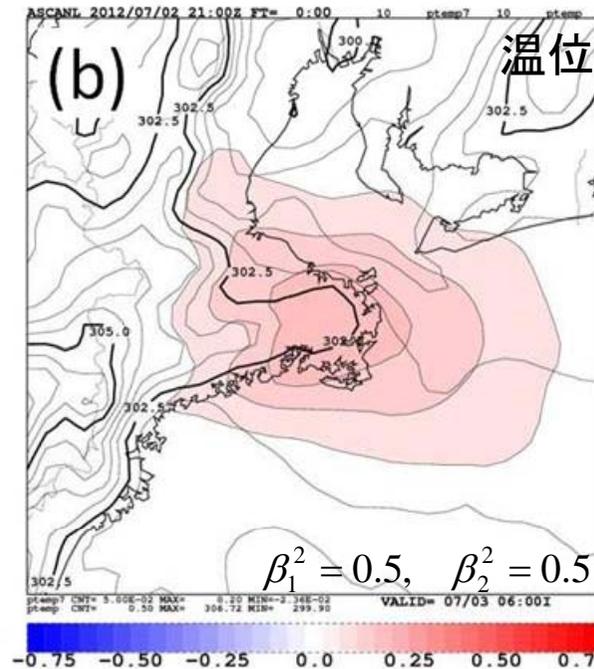
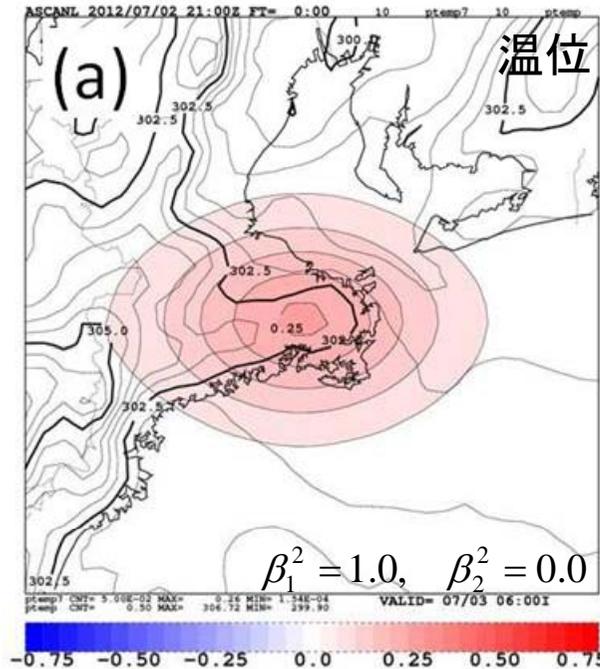
気温の1点観測同化実験

3D-Var は、統計的に求めた背景誤差 → 流れ依存性を考慮できない。

アンサンブル摂動を用いて流れ依存性を考慮できるよう、
Buehner(2004)に基づき、asuca-Var の制御変数を拡張

$$\Delta \mathbf{x} = \beta_1 \mathbf{B}_1^{1/2} \gamma_1 + \beta_2 \mathbf{B}_2^{1/2} \gamma_2$$

$$\mathbf{B}_{\text{hybrid}} \equiv \beta_1^2 \mathbf{B}_1 + \beta_2^2 \mathbf{B}_2$$

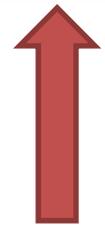


4D-Varにおける高頻度観測の利用

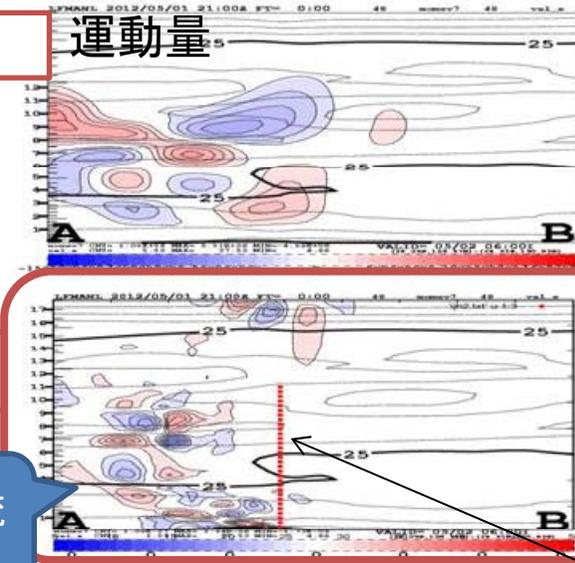
例えば、疑似ゾンデ観測U,V,T,RH(上昇速度6 m/sのトレーサー)の一分値を同化

現状は、一旦モデル面を出力してD値作成。

修正量

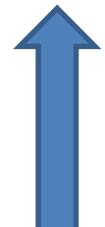


勾配

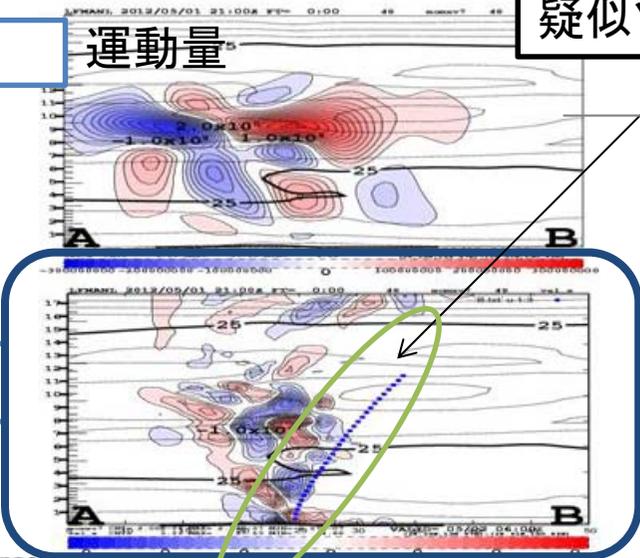


より風上へ流
されてしまう

修正量

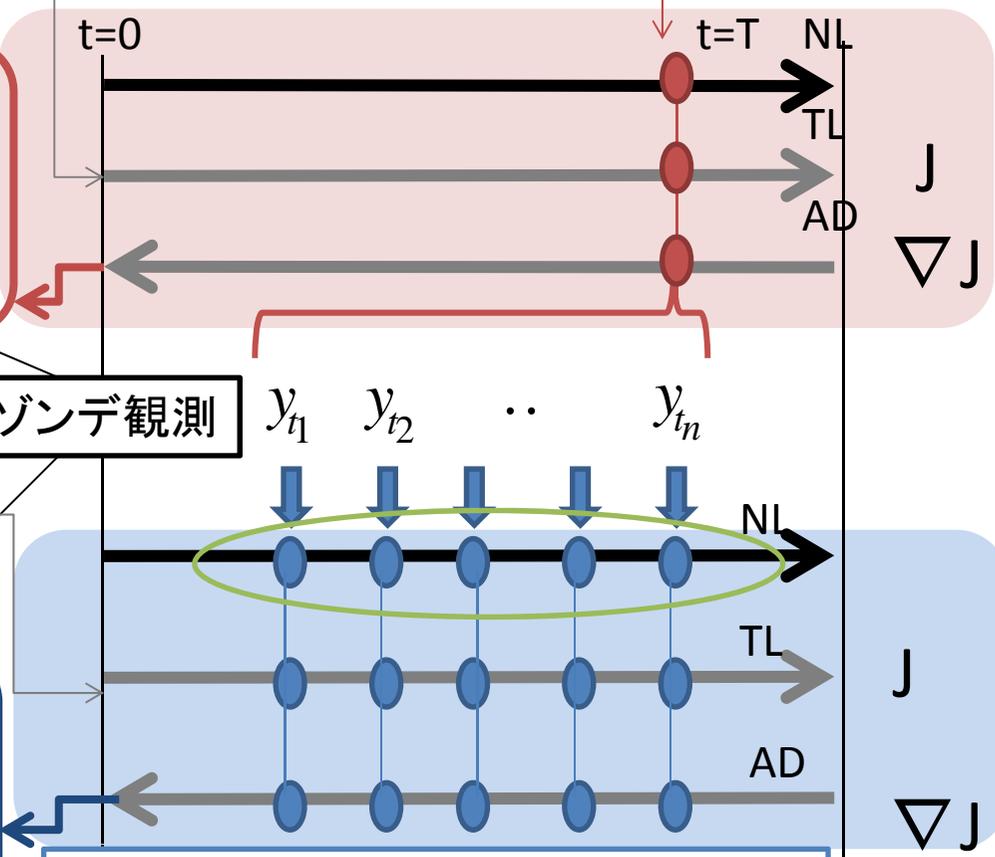


勾配



疑似ゾンデ観測

y_{t_1} y_{t_2} ... y_{t_n}



モデルの時間積分中にD値を作成。
適切な時刻・位置で同化できる。



まとめ

- 非静力学モデルasucaを基にした変分法データ同化システム(asuca-Var)の開発を進めている
 - 現業局地数値予報システムでの利用を計画
 - 予報モデルと解析システムの連携を重視し、開発と維持管理の効率化を念頭において設計
 - 高解像度予報に適した初期値作成のため現業解析システムよりも仕様を拡張
- asuca-Varとasucaを用いた局地数値予報システムの性能
 - 現業局地数値用システムと同程度の降水予報が可能
 - まとまった統計期間での精度検証を行う予定
- 今後の課題
 - 観測データの拡充、高頻度観測の利用
 - 流れ依存性の考慮

ご清聴ありがとうございました

