

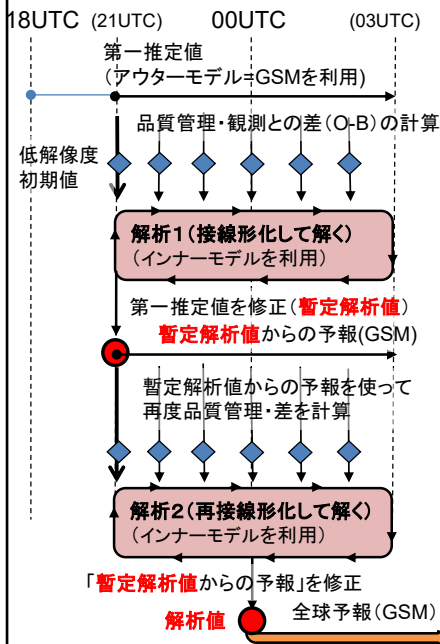


第1章 基礎編

1.7.1 全球解析

全球解析(GA)の仕様

全球解析(00UTC)の流れ



暫定解析値からの予報・再接線形化は、非線形性の強い雲・降水域等にある観測を適切に取り込むのが狙い

全球解析(GA)の仕様

解析手法	4次元変分法(ハイブリッド)
解析変数	水平風、温度、地上気圧、比湿
アウターモデル格子間隔・鉛直層・積分時間間隔	約13 km 128層(上端高度:0.01 hPa) 300秒
インナーモデル格子間隔・鉛直層・積分時間間隔	約55 km 128層(上端高度:0.01 hPa) 600秒
データ同化窓	6時間
最小値探索回数	約35回×2回
観測打ち切り時刻	速報解析(入電した観測データの分布)
速報解析	2時間20分
サイクル解析	11時間50分(00,12 UTC) 7時間50分(06,18 UTC)

サイクル解析(同)



全球解析では全球モデル、全球アンサンブル予報、季節アンサンブル予報を実行する上で必要な初期値を作成する。左図は00UTCにおける全球解析の流れを示す。アウターモデルとして全球モデル(GSM)を用い、18UTC初期値の予報値を第一推定値とし、品質管理を行った観測値との差(O-B)を計算する。そのO-Bをもとに、インナーモデルを用いて、第一推定値を修正し、暫定の解析値を作成する。この暫定の解析値からの予報を使用し、再度品質管理を行い、O-Bを計算する。そのO-Bをもとに、この暫定の解析値からの予報を修正し、解析値を作成する。この解析値が00UTC初期値としてGSMの予報に用いられている。

右表は全球解析(GA)の仕様である。大気解析手法としては2005年2月から気候学的背景誤差のみを用いる4次元変分法が使用され(門脇 2005; 西嶋・室井 2006)、2019年3月からこれをベースにアンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)の利点でもあるアンサンブル予報から見積もられる予報誤差を組み込むハイブリッドデータ同化(横田 2017)が全球解析に導入された(数値予報開発センター 2021)。また、大気解析で解析されない地上の気温や風などの地上解析には最適内挿法を利用している。

国外の観測などのデータの入電にかかる時間がかかる全球解析では、予報支援のために一度速報的なデータ同化を行いプロダクトを提供し、より多くの観測データが利用可能となったタイミングで改めてデータ同化を行なっている。速報的なデータ同化を「速報解析」と呼び、十分な数の観測データを利用して行うデータ同化を「サイクル解析」と呼ぶ。サイクルと呼ぶのは、そこからの第一推定値を用いて次の時刻のデータ同化を実施するため、情報が引き継がれていくからである。そして、定期的にサイクル解析からの第一推定値を速報解析に用いることで、サイクル解析の精度の高さが速報解析に反映される。このように数値予報では、データ同化と数値予報モデルとは互いに影響を及ぼしあう関係にある。

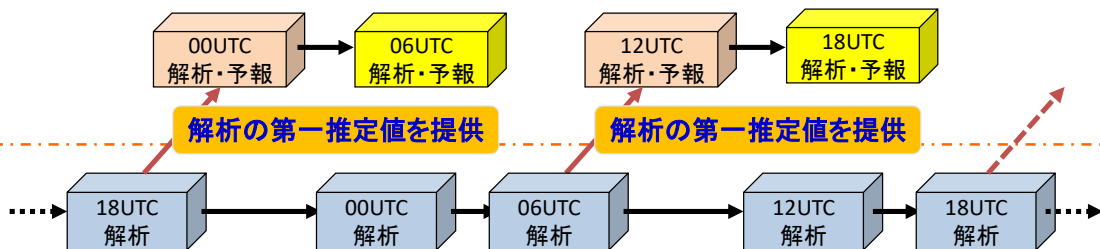
全球速報解析・予報と全球サイクル解析

現業運用: 定められた時間内にプロダクトを提供しなければならない

(例) 初期値時刻と庁内外へのプロダクト送信までの所要時間 GSM : 4時間15分以内

全球速報解析・予報

- ✓ プロダクト作成に間に合うよう、短い待ち時間内に入電した観測データを使って実行する解析と予報
 - ・ 観測データの入電待ち時間: **2時間20分**
- ✓ この解析予報の結果からガイダンスなどの予報資料が作成される



全球サイクル解析

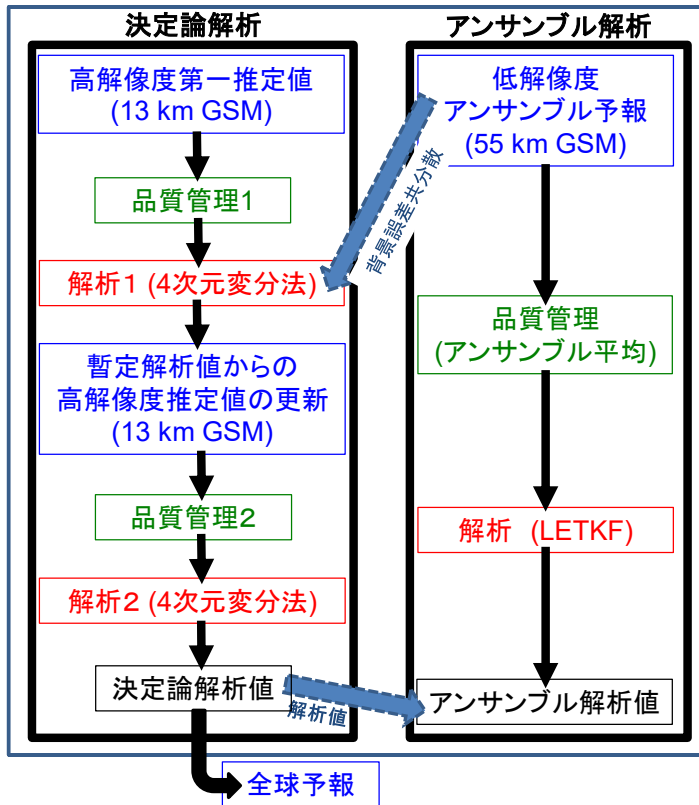
- ✓ 十分な観測データの入電を待ってから実行する解析(より尤もらしい解析値を作成)
 - ・ 観測データの入電待ち時間:
11時間50分(00・12UTC)、**7時間50分**(06・18UTC)
 - ✓ 全球速報解析への第一推定値を提供
 - ・ 18UTC解析値からの予報値が00UTC速報解析での第一推定値に
 - ・ 06UTC解析値からの予報値が12UTC速報解析での第一推定値に
- より尤もらしい初期値を作成し、速報解析へ第一推定値を提供する**

全球速報解析では定められた時間内にプロダクトを提供するために、短い待ち時間内に入電した観測データを使って解析と予報を実行している。観測データの入電待ち時間は2時間20分である。

一方、全球サイクル解析では十分な観測データの入電を待ってから解析を実行し、より尤もらしい解析値を作成している。観測データの入電待ち時間は00, 12UTCで11時間50分、06, 18UTCで7時間50分である。また、全球サイクル解析は全球速報解析へ第一推定値を提供している。18UTCサイクル解析値からの予報値が00UTC速報解析での第一推定値になり、06UTCサイクル解析値からの予報値が12UTC速報解析での第一推定値になっている。全球サイクル解析から第一推定値を作ることによって、より尤もらしい初期値を作成し、より高い精度の維持を図っている。

システム構成

全球解析の処理の流れ



気象庁の全球解析システムは

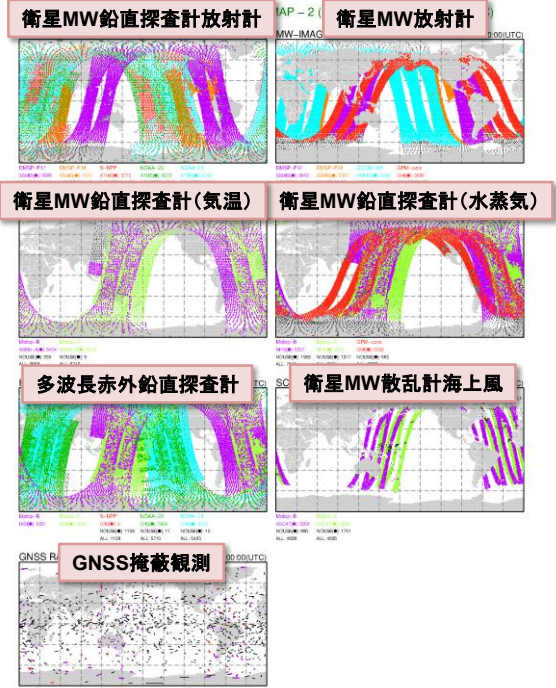
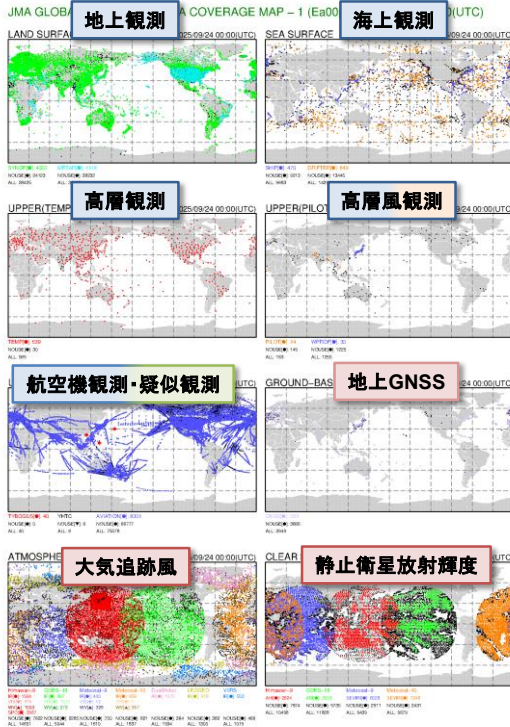
- ・4次元変分法
- ・LETKF

2つのデータ同化システムで構成

気象庁の全球解析システムは4次元変分法と、アンサンブル・カルマンフィルタ (EnKF) の手法の一種である局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF:Local Ensemble Transform Kalman Filter, Hunt et al. 2007) の2つのデータ同化システムで構成されている。この解析システムは巨大で複雑なシステムとなっており、莫大なジョブ(処理単位)を順序良く効率的に実行する必要がある。

全球速報解析の利用観測データの分布

データ待ち時間:
2時間20分

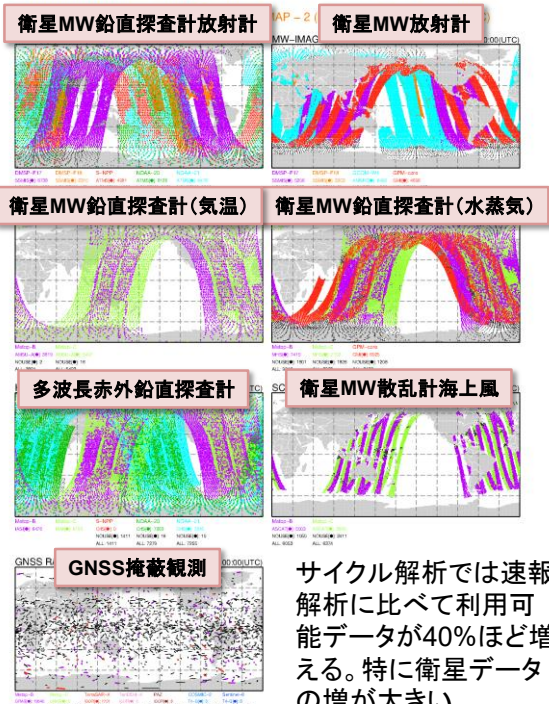
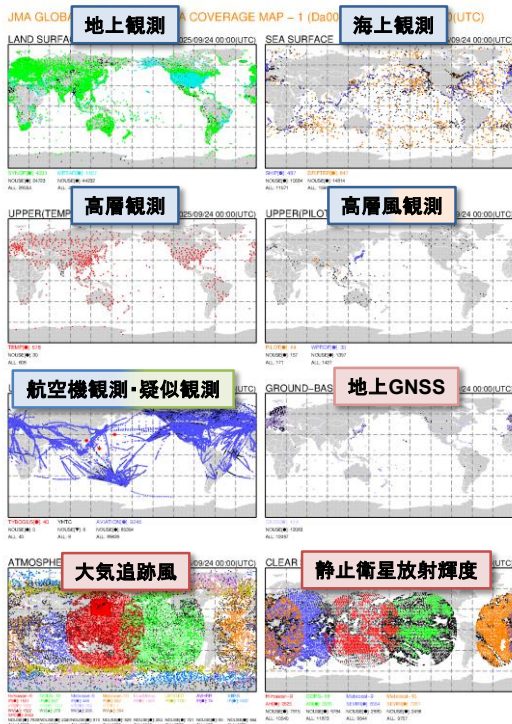


凡例 直接観測 疑似観測 遠隔観測

全球速報解析で利用している観測データの分布図をスライドに示す。全球速報解析で利用している観測データは多種多様で、地上観測や高層観測などの直接観測、台風ポーガスといった疑似観測、地上に設置された測器及び人工衛星搭載の測器による遠隔観測が利用されている。

全球サイクル解析の利用観測データの分布

データ待ち時間
00.12UTC: 11時間50分
06.18UTC: 7時間50分

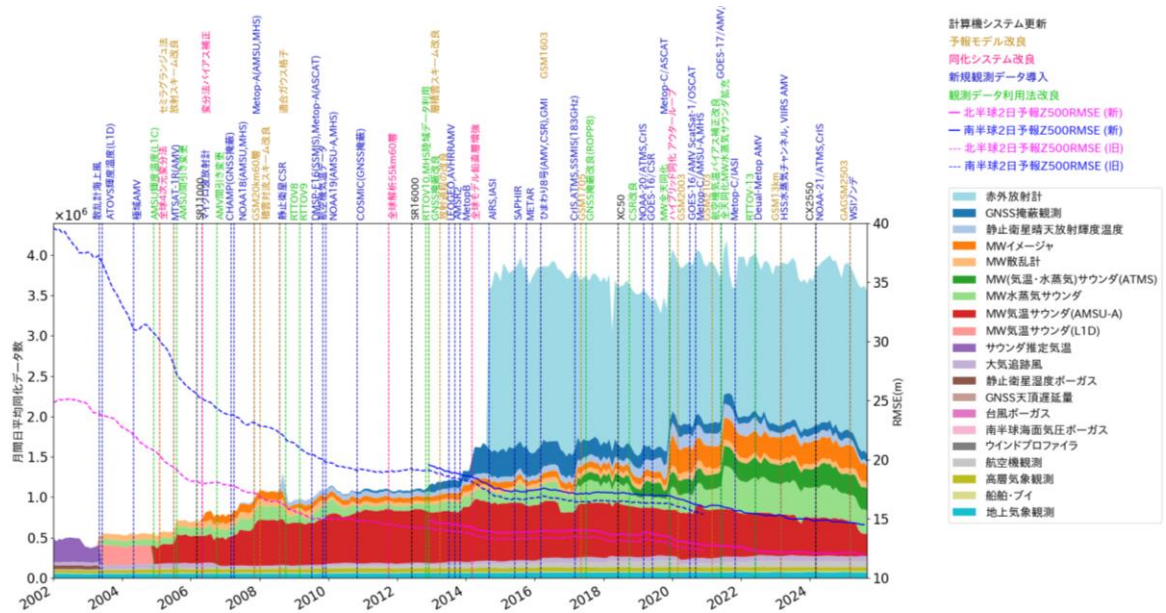


サイクル解析では速報解析に比べて利用可能データが40%ほど増える。特に衛星データの増が大きい。

凡例 直接観測 疑似観測 遠隔観測

全球サイクル解析で利用している観測データの分布図をスライドに示す。利用しているデータの種類の数は全球速報解析と同じであるが、観測データの待ち受け時間が全球速報解析より長く設定されているため、利用可能データが全球速報解析に比べて40%ほど増加する。特に衛星データが大きく増加する。

全球サイクル解析で利用している観測データ量とスコアの経年変化(～2025年9月)



全球サイクル解析で利用している各観測のデータ量を塗り色で示し、全球モデルの北半球と南半球における2日予報について、500 hPa高度のRMSEの経年変化をそれぞれ赤線と青線で示す。

全球サイクル解析で利用している観測データの種別は増加傾向にあり、観測データ量は年々増えている。2014年には赤外放射計(AIRS, IASI)の利用が開始され、急激にデータ量が増加した。現在、データ利用数の大半を、赤外放射計を中心とした衛星データが占めている。

また、データ利用数が増えていくにつれ、全球モデルの予測精度が向上している。観測データがモデルの予測精度にとって重要であることが窺える。

参考文献

- 門脇隆志, 2005: 全球4次元変分法. 数値予報課報告・別冊第51号, 気象庁予報部, 100-105.
- 数値予報開発センター, 2021: ハイブリッド同化の全球解析への導入. 令和2年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 18-22.
- 西嶋信, 室井ちあし, 2006: データ同化システムの概要. 平成18年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 11-13.
- 横田祥, 2017: 4DEnVar(4次元アンサンブル変分法). 天気, **64**, 43-46.
- Hunt, B. R., E. J. Kostelich and I. Szunyogh, 2007: Efficient Data Assimilation for Spatiotemporal Chaos: A Local Ensemble Transform Kalman Filter. *Physica D*, **230**, 112-126.