



## 第2章 応用編

### 2.4 観測データ利用の変更

## 概要

- 2019年10月から2020年9月までの間に、気象庁の数値予報システムに導入した、観測データの利用に関する主な改良項目(下記赤字)について。

| 変更日                | 項目  | 対象             |
|--------------------|---|----------------|
| 2019年11月28日        | 中国BUFR-TEMPの利用開始                              | メソ解析、局地解析      |
| 2019年12月11日        | 雲・降水域の衛星輝度温度データ利用開始(2.1節参照)                   | 全球解析           |
| <b>2019年12月11日</b> | <b>Metop-C ASCAT海上風データの利用開始</b>               | <b>全球解析</b>    |
| 2020年1月15日         | 中国PILOT-BUFR利用開始                              | 全球解析、メソ解析、局地解析 |
| 2020年2月26日         | ASCAT早期配信(EARS-ASCAT)海上風データの利用開始              | 全球解析           |
| <b>2020年7月29日</b>  | <b>ScatSat-1 OSCAT海上風、GOES-16 AMVデータの利用開始</b> | <b>全球解析</b>    |
| <b>2020年7月29日</b>  | <b>ひまわり8号CSR(バンド9、10)の利用開始</b>                | <b>局地解析</b>    |
| 2020年9月15日         | Metop-C AMSU-A、MHS輝度温度データの利用開始                | 全球解析           |

本節では、2019年10月から2020年9月までの間に気象庁の全球、メソ、局地数値予報システムに導入した、観測データの利用に関する主な改良項目(新規観測データの利用開始など)について扱う。2019年12月11日に導入された、雲・降水域の衛星輝度温度データの利用開始については2.1節を参照されたい。

# 全球解析における Metop-C ASCAT海上風データの 利用開始

2019年12月11日～

## 【概要】

欧州気象衛星開発機構(EUMETSAT)が運用する極軌道衛星Metop-C(2018年11月7日打ち上げ)に搭載されたマイクロ波散乱計ASCATによる海上風データの利用を開始

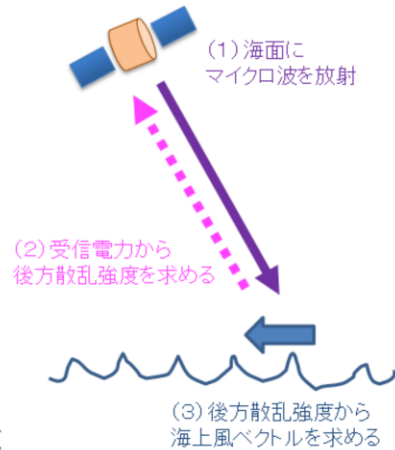
下層風の間、温度場、熱帯の水蒸気場の第一推定値が改善

2019年12月11日、全球解析において欧州気象衛星開発機構(EUMETSAT)が運用する極軌道衛星Metop-C(2018年11月7日打ち上げ)に搭載されたマイクロ波散乱計ASCATによる海上風データの利用を開始した。データ利用開始前に行った性能評価のための実験では、このデータを利用することにより、第一推定値の下層風の間、温度場、熱帯の水蒸気場の改善が確認された。以下では、Metop-C ASCAT海上風データの概要と、当該データを利用した実験の結果について示す。

## 全球解析における Metop-C ASCAT海上風データの利用開始

### マイクロ波散乱計とは

- 数GHz～数十GHzのマイクロ波を地球に向かって放射し、後方散乱強度を測定する**能動型**の測器
- 測定された後方散乱強度から経験則的な“モデル関数”を利用して**海上風ベクトル**を算出可能(広範囲かつ密)
- 極軌道の人工衛星に搭載され、観測手法に限られる海上では重要なデータ
  - 雲の上からでも観測できる
    - 強い雨が降っていると品質低下
- データ同化利用により期待される効果
  - 下層の風や温度の場の改善、下層の収束の情報<sup>が</sup>得られることによる水蒸気場の改善など



マイクロ波散乱計(以下、単に散乱計と記す)は海洋上の風ベクトルを推定する測器である。この測器は一般に極軌道衛星に搭載され、測器から海面に向けてマイクロ波を発射し、海面で散乱されて戻ってきた後方散乱の強度を基に風ベクトルを算出する(太原 1999)。海上風の観測としては他にも船やブイによる現場観測があるが、それらに比べて散乱計は広い範囲で密に推定できることから、面的に得られた風ベクトルから低気圧等に伴う風の循環や前線上のシアーの情報を抽出することができる。また、強い雨が降っている場所では品質が低下するものの、雲の上からでも観測可能であることも特徴の一つである。このように、擾乱に関するより詳細な情報を解析システムに伝えることが可能であることから、数値予報システムにとって非常に重要なデータとなっている(高橋 2010; 守谷 2016)。

# 全球解析における Metop-C ASCAT海上風データの利用開始

## Metop-C

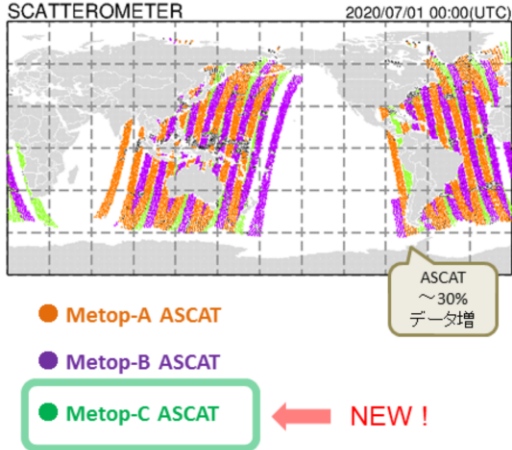
- 2018年11月7日に打ち上げられた極軌道衛星
- 運用はEUMETSAT
- 現業極軌道気象衛星Metopシリーズの3機目
- 地球観測を行う多数のセンサーを搭載
  - AMSU-A、MHS、IASI、ASCAT、GRASなど

## ASCAT

- ファンビーム型のマイクロ波散乱計
  - 衛星直下の観測は行えない
- 海上風の算出はKNMI(オランダ王立気象研究所)
- OSCAT(後述)よりも雨の影響を受けにくいビーム周波数を使用

## データ分布例

全球サイクル解析で利用されたデータ分布  
(2020年7月1日 00UTC)



ASCATはEUMETSATが運用する極軌道衛星Metopシリーズに搭載されている散乱計である。今回の改良では、全球解析で利用中のMetop-A衛星およびMetop-B衛星によるASCAT海上風プロダクトに加え、2018年11月7日に打ち上げられたMetop-C衛星によるASCAT海上風プロダクトの利用を追加する。これにより、全球サイクル解析で利用される海上風データが約3割増加する。

## 改良の効果

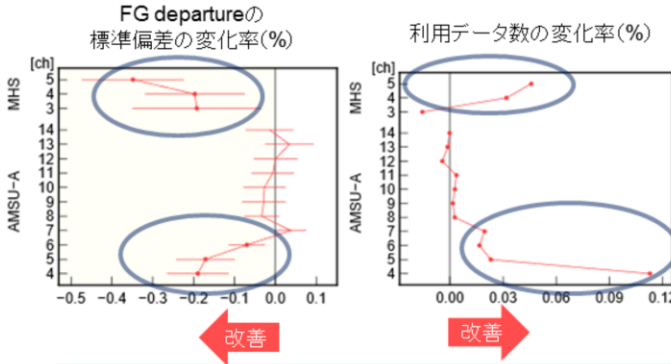
### 全球解析における Metop-C ASCAT海上風データの利用開始

#### 実験設定

CNTL: 2019年5月時点のルーチン相当の設定  
 TEST: CNTL + Metop-C ASCAT海上風  
 実験期間: 2019年4月～5月の2か月間

マイクロ波サウンダ (AMSU-A, MHS) 熱帯域  
 観測値と第一推定値の差の標準偏差と利用データ数の変化率 [%]

3～9時間予報値である、第一推定値の値が、他の観測データの値に近づいているかどうか？



観測値と第一推定値の差 (FG departure) の標準偏差の減少は解析場の変化を通じた、観測データ同化の影響が現れやすい予測初期での予測値と観測値の差の標準偏差の減少(改善)を示す。

第一推定値の他の観測データとの整合性が向上すると、QCをパスするデータが増加する。

気温に感度のあるAMSU-Aは下層に感度のあるチャンネルで改善  
 水蒸気に感度のあるMHSは熱帯で改善  
 (熱帯での下層収束の表現が改善し、水蒸気の循環が良くなったと考えられる)

Metop-C ASCAT海上風データ利用の効果を確認するため、2019年5月時点の現業全球数値予報システムと同等の対照実験(CNTL)と、これにMetop-C ASCAT海上風データを利用するように変更を加えた実験(TEST)の比較を行った。実験期間は2019年4月から5月の2ヶ月である。ここでは、今回の改良には直接関係していないマイクロ波サウンダ(AMSU-A、MHS)の観測データを用いて、第一推定値への影響を示す。マイクロ波サウンダ観測データの観測値と第一推定値の差(First Guess departure)の統計では、気温に感度のあるAMSU-Aでは対流圏中下層に感度のあるチャンネルでFG departureの標準偏差が減少し、水蒸気に感度のあるMHSでは特に熱帯域でFG departureの標準偏差が減少した(図)。これは、Metop-C ASCAT海上風データの利用によって風の場の変化に合わせて温度場が改善するとともに、熱帯での下層収束の表現が改善し、水蒸気の循環の表現が改善したことが理由として考えられる。また、これらのチャンネルでは利用データ数が増加しており、第一推定値と観測値の整合性が向上していることがわかる。第一推定値の精度向上は、解析予報サイクルを通じて同化される観測値の影響を受けた結果であり、解析値の精度が向上したことを示唆する。予測については、熱帯の対ゾング観測の風の予測を中心にやや改善を示した(図略)。

これらの結果を受け、2019年12月11日より、Metop-C ASCAT海上風データの全球数値予報システムでの利用を開始した。

図: TESTのCNTLに対するマイクロ波気温サウンダAMSU-A、マイクロ波水蒸気サウンダMHSデータのFG departureの標準偏差と利用データ数の変化率(%)。エラーバーは95%信頼区間、丸い点(赤色)は変化が統計的に有意であることを示す。

# 全球解析における ScatSat-1 OSCAT海上風、 GOES-16 AMVデータの利用開始

2020年7月29日～

## 【概要】

1. ISRO(インド宇宙研究機関)が運用する極軌道衛星ScatSat-1に搭載されたマイクロ波散乱計OSCATによる海上風データの利用を開始
2. 米国の静止気象衛星GOES-16の観測データから算出される大気追跡風(AMV)の利用を開始

熱帯擾乱の進路予測の精度が改善

2020年7月29日、全球解析においてISRO(インド宇宙研究機関)が運用する極軌道衛星ScatSat-1に搭載されたマイクロ波散乱計OSCATによる海上風データおよび米国の静止気象衛星GOES-16の観測データから算出される大気追跡風(AMV)の利用を開始した。データ利用開始前に行った性能評価のための実験では、これらのデータを利用することにより、熱帯擾乱の進路予測の精度改善が確認された。以下では、それぞれのデータの概要と、当該データを利用した実験の結果について示す。

## 全球解析における ScatSat-1 OSCAT海上風の利用開始

### ScatSat-1

- 2016年9月に打ち上げられた極軌道衛星
- マイクロ波散乱計OSCATを搭載
- 運用はISRO

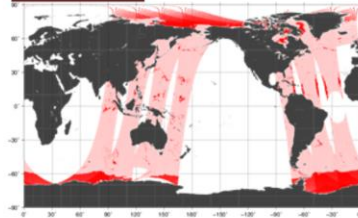
### OSCAT

- ペンシルビーム型のマイクロ波散乱計
- 2017年10月に海上風プロダクトを配信開始
- 海上風の算出はASCAT海上風と同じKNMI（オランダ王立気象研究所）
- ペンシルビームによりASCATでは観測できない衛星直下を含む**広範囲**を観測可能
- 観測周波数が高いため**雨による減衰**を受けやすい

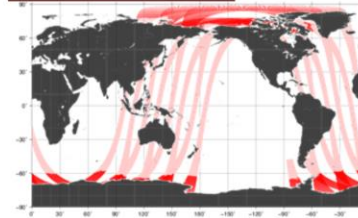
### データ分布例

2018年7月28日 00UTC 全球サイクル解析用データ(間引きなし)。ASCATと比較して観測領域は広いが降雨の影響は大。(赤色は悪品質フラグ)

OSCAT海上風



ASCAT海上風 (Metop-A)



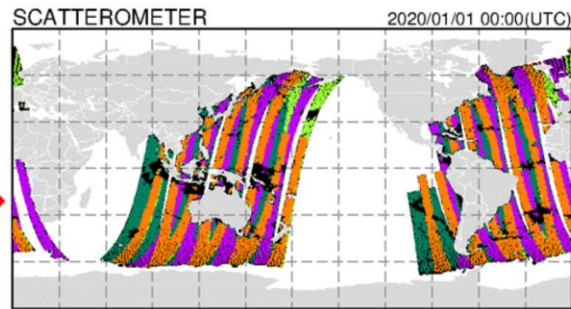
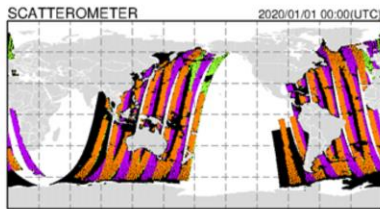
ScatSat-1 OSCAT海上風の利用開始について述べる。OSCATはISROが運用する極軌道衛星ScatSat-1(2016年9月打ち上げ)に搭載されているマイクロ波散乱計である。OSCAT海上風プロダクトはASCATと同じKNMI(オランダ王立気象研究所)で作成されたデータを使用する。OSCATはASCATでは観測できない衛星直下を含む広範囲な領域を観測可能であるが、観測周波数がASCAT(5.255GHz)と比較して高い(13.515GHz)ため、雨による減衰の影響を受けやすい(図)。



## 全球解析における ScatSat-1 OSCAT海上風の利用開始

### 全球解析でのOSCAT海上風データ利用 データ分布例

- データ利用の優先順位はASCAT > OSCAT 2020年1月1日 00UTC 全球サイクル解析用データ
  - 熱帯を中心にASCATの隙間を補完
- OSCATの品質管理手法はASCATと同様
  - 例: 風速25m/s以下のみ利用



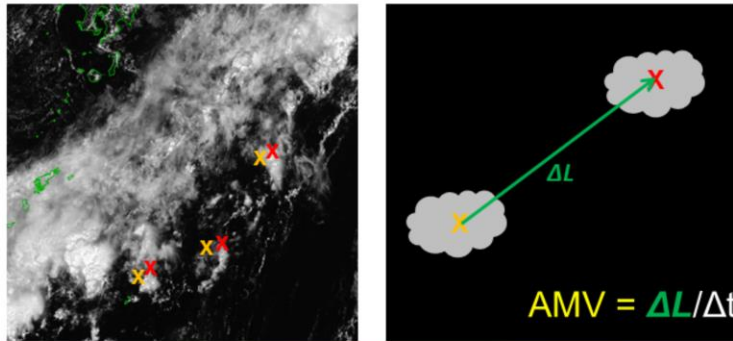
- Metop-A ASCAT
- Metop-B ASCAT
- Metop-C ASCAT
- ScatSat-1 OSCAT ← NEW !

今回の改良では、全球解析で利用中のMetop衛星によるASCAT海上風プロダクトに加え、ScatSat-1衛星によるOSCAT海上風プロダクトの利用を追加する。データ利用の優先順位はASCATより低くしており、熱帯を中心にASCATの隙間を補完する形で利用する。OSCATの品質管理手法はASCATと同様としている。

全球解析における  
GOES-16 AMVデータの利用開始

大気追跡風 (Atmospheric Motion Vector) とは

- 時間的に連続する複数枚の衛星画像から雲や水蒸気パターンを追跡し、その移動量を求め、風ベクトルを算出するプロダクト
- 静止気象衛星では広範囲で面的なデータが得られ、特に定常的な観測が少ない海上におけるデータが得られる
- データ同化により対流圏の風の場合にインパクトがある



次に、GOES-16 AMVデータの利用開始について述べる。大気追跡風 (AMV: Atmospheric Motion Vector) は時間的に連続する複数枚の衛星画像から雲の動きとその高度を推定し、上空の風向風速を算出する衛星プロダクトである(山下・今井 2007)。直接観測データの少ない海上などにおいて、AMVは風に関する貴重な観測データとなっている。

## 全球解析における GOES-16 AMVデータの利用開始

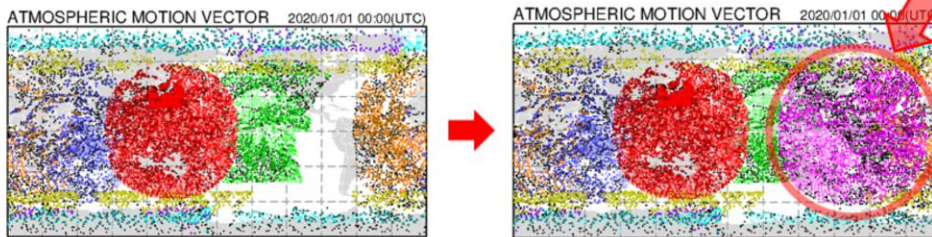
### GOES-16 (Geostationary Operational Environmental Satellite-16)

- 米国の第3世代静止気象衛星
- 2016年11月20日に打ち上げ
- 2017年12月18日からGOES-East (西経75度)として運用開始
  - 先代機のGOES-13が2018年1月9日運用終了
- GOES-16のAMVデータ利用開始により、GOES-Eastの観測空白域を解消

### GOES-16 AMV

- 配信データ中の品質指標(QI)の種別に変更があったため、QC処理を変更
- 例: 対流圏中層(400hPa-700hPa)のAMVは利用しない
  - 高度誤差の影響を受けないようにするため

GOES-16の  
観測領域



米国大陸を含む領域を観測するGOES(Geostationary Operational Environmental Satellite)シリーズは、GOES-East(静止位置:西経75度)とGOES-West(静止位置:西経135度)の2機体制で運用されている(下地・岡部 2018)。2017年12月18日にGOES-EastとしてGOES-16が本運用を開始したことに伴い、翌月の2018年1月8日に先行衛星のGOES-13が運用を停止した。以降、GOES-East領域はAMVの利用空白域となっており、GOES-16 AMVの利用開始により、当該空白域が解消する。GOES-16 AMVを利用するにあたり、配信データに従来利用していた品質指標(QI)の一部が含まれなくなったため、QC処理を一部変更した(例えば、AMVに付加される高度情報のエラーを除去しにくくなったため、高度誤差の影響を受けないよう、対流圏中層(400hPa-700hPa)のAMVは利用しないなど)。

## 改良の効果

## 全球解析における

## ScatSat-1 OSCAT海上風、GOES-16 AMVデータの利用開始

### 実験設定

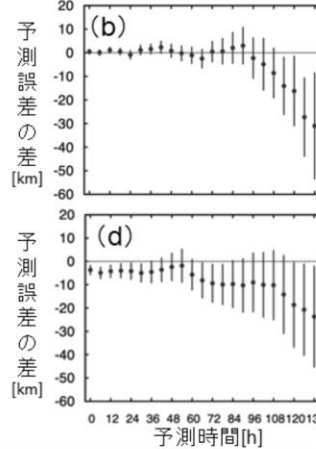
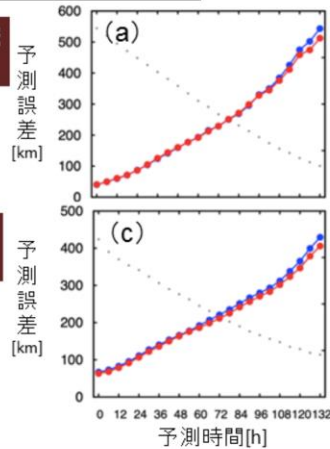
CNTL: 2020年4月時点のルーチン相当の設定

TEST: CNTL + ScatSat-1 OSCAT海上風 + GOES-16 AMV

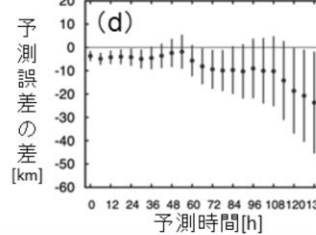
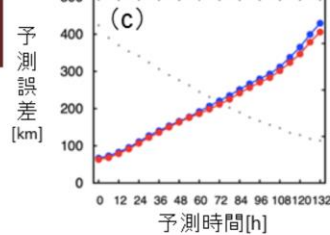
実験期間: 2019年7月～9月の3か月間

### GSMによる熱帯擾乱位置予測誤差

北西太平洋領域  
(台風)



東太平洋領域  
(ハリケーン)



熱帯擾乱の進路予測の精度が改善

ScatSat1 OSCAT海上風データ利用、GOES-16 AMVデータ利用の効果を確認するため、2020年4月時点の現業全球数値予報システムと同等の対照実験(CNTL)と、これにScatSat1 OSCAT海上風データおよびGOES-16 AMVデータを利用するように変更を加えた実験(TEST)の比較を行った。ここでは、変更の影響が大きく現れた熱帯擾乱の進路予測の比較を示す。実験期間は2019年7月から9月の3ヶ月である。図a、bでは、実験期間中に存在した北西太平洋領域の熱帯擾乱(台風)の予測結果を示す。進路予測誤差について、全ての事例の平均では、概ね中立または改善した。また、東太平洋領域における熱帯擾乱(ハリケーン)の進路予報誤差(図c、d)も概ね改善傾向を示した。これらの予測の改善は、本変更による新規データの利用によって、GSMの初期値における熱帯域や南北米大陸付近の風の解析精度が向上したためと考えられる。

これらの結果を受け、2020年7月29日より、ScatSat1 OSCAT海上風データおよびGOES-16 AMVの全球数値予報システムでの利用を開始した。

図a: GSMによる北西太平洋領域の熱帯擾乱(台風)の中心位置予測誤差(単位はkm)の比較。実験期間中(夏季: 2019年6月20日～10月11日)に存在した台風に関する平均を示す。検証には気象庁のベストトラックを用いた。青は変更前、赤は変更後。横軸は予測時間(単位は時間)。灰色点はサンプル数(右軸)。

図b: 変更後と変更前の台風中心位置の予測誤差の差。エラーバーは95%信頼区間を表す。負の値は、変更後で予測誤差が減少していることを示す。

図c、d: 図a、bと同様。ただし、夏季における変更前後のGSMによる東太平洋領域の熱帯擾乱(ハリケーン)の中心位置予測誤差(単位はkm)の比較(c)と予測誤差の差(d)を示す。検証には米国海洋大気庁のベストトラックを用いた。

# 局地解析における ひまわり8号CSR バンド9、10の利用開始

2020年7月29日～

## 【概要】

ひまわり8号の3つの水蒸気バンド(8、9、10)のうち、局地解析で未使用だったバンド9、10のCSRの利用を開始

水蒸気場の第一推定値が改善

2020年7月29日、局地解析において、これまで同化利用していたひまわり8号バンド8の晴天放射輝度温度(CSR: Clear-Sky Radiance)に加え、バンド9、10のCSRの利用を開始した。データ利用開始前に行った性能評価のための実験では、これらのデータを利用することにより、第一推定値の対流圏の水蒸気場の改善が確認された。以下では、ひまわり8号のCSRデータの概要と、当該データを利用した実験の結果について示す。

## 局地解析における ひまわり8号CSRバンド9、10の利用開始

### 晴天放射輝度温度 (CSR: Clear-Sky Radiance) とは

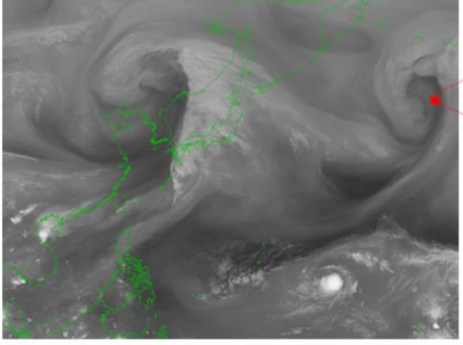
→「晴天ピクセルの輝度温度の領域平均を与えるプロダクト」

**水蒸気バンド(バンド8、9、10)が持つ情報**

- 水蒸気が多い → 白い(輝度温度が低い)
- 水蒸気が少ない → 黒い(輝度温度が高い)

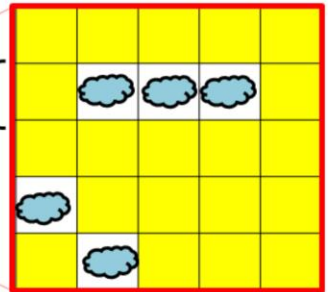
領域(セグメントという)  
ひまわり8号の場合、16×16ピクセル

ひまわり8号バンド8の画像



1ピクセル毎に輝度温度を観測。

※1ピクセルの大きさは、ひまわり8号の場合、衛星直下点で2km格子



1つのCSR=  内の  の平均輝度温度[K]

気象庁 Japan Meteorological Agency 14

ひまわり8号には赤外バンド(7-16)のうち、バンド8、9、10(中心波長: 6.2、6.9及び7.3 $\mu\text{m}$ )の水蒸気バンドがあり、対流圏の中上層の水蒸気に関する情報を持つ。ひまわり8号のCSRデータ(今井・上澤 2016)は、赤外バンドの観測値から毎時作成されるプロダクトで、16×16ピクセル(水平解像度32km相当)を単位として、この中に含まれる晴天ピクセルの輝度温度を平均したものである。

## 局地解析における ひまわり8号CSRバンド9、10の利用開始

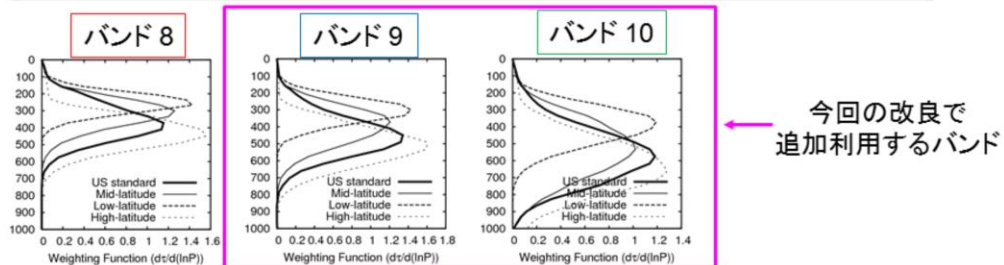
### ひまわり8号CSRの利用状況と追加バンド

- 全球解析、メソ解析: バンド 8、9、10 を利用中
- 局地解析: バンド 8 を利用 (今回の改良で 9、10 を利用開始)
- **バンド 9、10 はバンド 8 より大気下層の水蒸気の情報を持つ**

### 局地解析におけるバンド 9、10 の利用のための変更点

- CSRデータの放射計算に用いる地表面射出率の高度化
  - 固定値 0.9 から、地表面の植生や季節変化を考慮した気候値の利用に変更
- CSRデータの放射計算に用いる地表面温度の変更
  - 第一推定値の利用から、ひまわり8号窓バンド (バンド 13) のCSRデータに基づくリトリブ値の利用に変更

### 代表的な大気プロファイルに対するひまわり8号3つの水蒸気バンドの荷重関数



これまで局地解析では、ひまわり8号のCSRデータはバンド8のみの利用であった一方、全球・メソ解析では、バンド8に加えてバンド9、10のCSRデータを利用している(計盛 2016; 幾田 2017; 岡部 2019; 太田ほか 2019)。今回、局地解析で追加利用するバンド9、10の波長帯は、これまで利用してきたバンド8よりも下層まで感度がある。そのため、冬期の中国大陸上など大気が非常に乾燥し、水蒸気量が少ない場合には、地表面からの放射の影響が無視できなくなる。そこで、地表面からの放射の影響をより正確に見積もるために、全球、メソ解析における手法(岡部 2019)と同様に、計算輝度温度の算出に必要な地表面に関する2種類のデータを、より現実を反映したものに変更した。1つ目は地表面射出率で、これまで利用していた固定値 (0.90) から、季節変化や地表面の植生の違いを反映した気候値を利用するよう変更した。2つ目は地表面温度で、これまでの局地モデルの地表面温度予測値に替えて、窓バンド13(中心波長 10.4 $\mu\text{m}$ )のCSRデータから算出した地表面温度を使うよう変更した。

## 改良の効果

## 局地解析における

### ひまわり8号CSRバンド9、10の利用開始

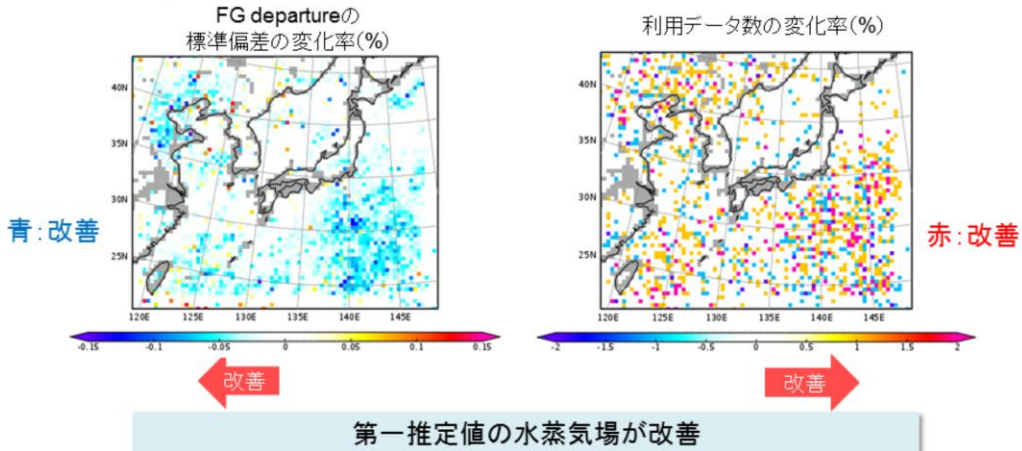
CNTL: 2020年3月時点のルーチン相当の設定

TEST: CNTL + ひまわり8号CSRバンド9,10追加(地表面関連の変更含む)

実験期間: 2018年6月27日~7月8日(1時間毎)

#### 実験設定

対流圏の水蒸気に感度のあるマイクロ波水蒸気サウンダMHS(ch4)の観測値と第一推定値の差(FG departure)の標準偏差の変化率(%)と利用データ数の変化率(%)



気象庁 Japan Meteorological Agency

16

ひまわり8号バンド9、10のCSRデータ利用の効果を確認するため、2020年3月時点の現業局地数値予報システムと同等の対照実験(CNTL)と、これにひまわり8号バンド9、10のCSRデータを利用するように変更を加えた実験(TEST)の比較を行った。実験期間は2018年6月27日から7月8日の約10日間(1日24回の1時間毎の実行)である。ここでは、今回の改良では変更を加えていないマイクロ波水蒸気サウンダMHSの観測データを用いて、第一推定値への影響を示す。MHSは水蒸気バンドCSRと同様に対流圏中上層の水蒸気量に感度がある。MHSの観測値と第一推定値の差(First Guess departure)の統計では、日本の南海上のほか、関東付近の陸上などでFG departureの標準偏差が減少した(図)。データの利用数も概ね増加傾向を示し、第一推定値と観測値の整合性が向上し、第一推定値の水蒸気場が改善していることが分かる。一方、降水予測の変化は小さかった(図略)。

これらの結果を受け、2020年7月29日より局地数値予報システムにおいてひまわり8号バンド9、10のCSRデータの利用を開始した。

図: TESTのCNTLに対するマイクロ波水蒸気サウンダMHSデータ(チャンネル4)のFG departureの標準偏差と利用データ数の変化率(%)の分布。



## 参考文献

- 幾田泰醇, 2017: 局地数値予報システムにおける新規観測データの利用開始及び同化手法の高度化. 平成29年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 82–85.
- 今井崇人, 上澤大作, 2016: ひまわり8号データによる晴天放射輝度温度プロダクト. 気象衛星センター技術報告, 61, 53–58.
- 太田行哉, 岡部いづみ, 小屋松進, 西本秀祐, 谷寧人, 2019: メソ解析における観測データ利用の改良及びメソ数値予報システムにおける北西太平洋高解像度日別海面水温解析の利用開始. 令和元年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 61–67.
- 岡部いづみ, 2019: ひまわり8号のバンド9,10及びMeteosatのチャンネル6の晴天放射輝度温度(CSR:clear-sky radiance)データの追加利用. 令和元年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 56–57.
- 計盛正博, 2016: ひまわり8号晴天放射輝度温度の利用開始. 平成28年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 46–49.
- 下地和希, 岡部いづみ, 2018: 全球解析における米国静止気象衛星GOES-Eastデータの利用中断とその影響調査. 平成30年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 14–18.
- 高橋昌也, 2010: マイクロ波散乱計ASCATデータの全球解析での利用. 平成22年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 43–47.
- 太原芳彦, 1999: マイクロ波散乱計. 数値予報課報告・別冊第45号, 気象庁予報部, 27–43.
- 守谷昌己, 2016: マイクロ波散乱計の全球解析での利用方法の変更及びメソ解析での利用開始. 平成28年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 55–57.
- 山下浩史, 今井崇人, 2007: 大気追跡風(AMV). 数値予報課報告・別冊53号, 気象庁予報部, 36–56.