

3.9 全球解析における GOES-17 データの利用および GOES AMV における品質管理の変更

3.9.1 はじめに

気象庁の全球解析では、静止気象衛星の観測によって得られる、晴天放射輝度温度 (CSR: Clear-Sky Radiance) ならびに大気追跡風 (AMV: Atmospheric Motion Vector) を同化に利用している。利用している静止気象衛星は、日本が運用するひまわりの他、欧州が運用する Meteosat ならびに米国が運用する GOES である。

米国の静止気象衛星は、米国大陸東側を観測する GOES-E(East) と西側を観測する GOES-W(West) の 2 機体制で運用されている。GOES-E としては、2017 年 12 月から GOES-16 が運用されており、全球解析において、CSR は 2019 年 6 月 18 日より (気象庁 2021b)、AMV は 2020 年 7 月 29 日より (気象庁 2021a)、それぞれ利用を開始している。

2018 年 3 月に打ち上げられた GOES-17 は、2019 年 2 月に GOES-W として、GOES-15 から運用が切り替えられた。GOES-17 は GOES-16 と同型の新世代衛星であり、搭載されている可視赤外放射計 (ABI) は、ひまわり 8 号および 9 号に搭載されている AHI とも同型のセンサーである。GOES-17 の CSR および AMV については、同型のセンサーを同様に処理して作成される GOES-16 の CSR および AMV の利用方法に準じて利用することで、同様の効果が得られると考えられる。ただし、GOES-17 は衛星内部の冷却装置に不具合があり、特定の季節・時間帯において、観測データの品質が低下する問題がある¹。そのため、CSR および AMV についても、この品質低下によるプロダクトへの影響を評価した上で利用を開始する必要があった。

ここでは、GOES-17 の CSR および AMV の品質評価や、利用に際して必要となった品質管理の変更、ならびにこれらのデータを利用した性能評価試験について示す。なお、AMV については調査の過程で適用が望ましいことが判明した QI(Quality Indicator) を用いた品質管理処理の変更を、GOES-17 だけでなく GOES-16 にも適用した。性能評価試験の結果、数値予報への効果を確認することができたことから、2021 年 6 月 29 日に全球解析において GOES-17 の CSR および AMV の現業利用開始ならびに GOES AMV の品質管理処理の変更を実施した。図 3.9.1 に、GOES-17 の現業利用開始後の CSR および AMV の分布を示す。

3.9.2 GOES-17 CSR の利用

静止衛星イメージャの輝度温度データから作成される CSR は、特定の大きさの領域ごとに晴天部分を抽出

¹ 衛星と太陽の位置関係によっては、センサー内部の検出器が太陽の影響により昇温し、十分にセンサーの感度を保てなくなる。詳細は以下を参照：<https://www.goes-r.gov/users/GOES-17-ABI-Performance.html>

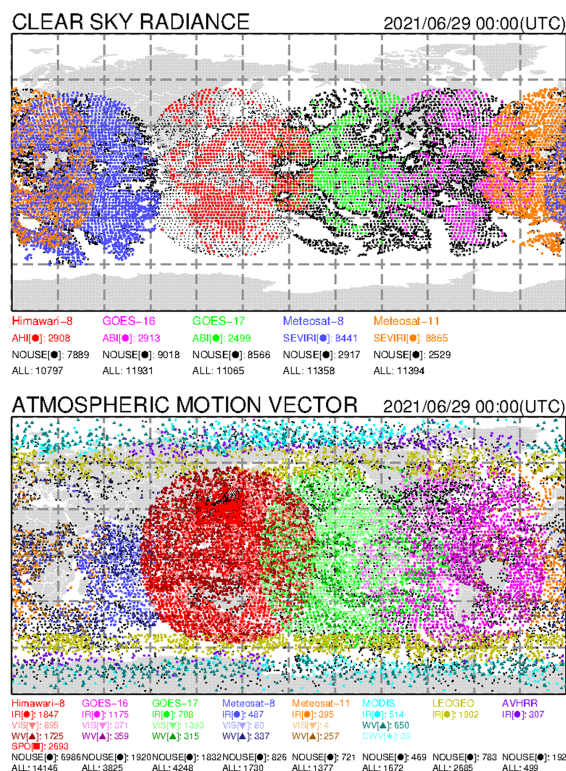


図 3.9.1 2021 年 6 月 29 日 00UTC の全球サイクル解析で利用された CSR (上段) および AMV (下段) の分布。黄緑色のプロットが GOES-17。なお、品質管理により利用されなかったデータはどの衛星も黒色のプロットで表示される。

して平均処理したプロダクトである。水蒸気バンドの CSR を同化することにより、対流圏の中上層の水蒸気量を中心に初期値の精度が改善することが確認されている (石橋・上沢 2007; 計盛 2016; 岡部 2019)。

GOES-17 の CSR については、2019 年 11 月に現業システムにおいて、同化はせずに品質のモニターを開始した。GOES-17 は、前述の不具合により、特定の季節・時間帯において正常な観測データが得られず、そのような場合には CSR データも作成されていない。春分および秋分の前夜 (1~2 月、4~5 月、7~8 月および 10~11 月) の 12UTC 付近で CSR データが欠損する (図 3.9.2)。データが欠損している季節・時間帯の近傍で作成されたデータについては、当初は不具合の影響で品質の低下が確認されていた。その後、2020 年 2 月にプロダクトのバージョンアップが実施され、品質の低下したデータは配信されなくなっていることが確認された。配信されているデータの品質を調査したところ、GOES-16 の CSR データと同程度であり、全球解析において追加の品質管理を行うことなく、GOES-16 の CSR と同じ品質管理処理でデータの利用が可能であることが確認できた。

GOES-17 CSR データ利用の効果および不具合による悪影響がないことを確認するため、いずれも不具合によるデータ欠損期間を含んだ、2020 年 3 月 21 日~

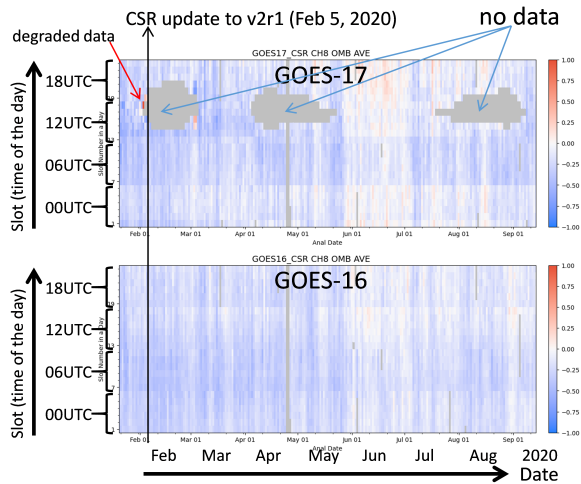


図 3.9.2 GOES-17 CSR (上段) と GOES-16 CSR (下段) のチャンネル 8 (6.2 μm) における、品質管理をパスしたデータの O-B のバイアス (バイアス補正前)。横軸は日付、縦軸は概ねの時刻 (各解析における同化スロットを時刻の早い順に下から並べた) を表す。チャンネル 9 (6.9μm) や 10 (7.3μm) についても、同様の傾向。

6月11日(春実験)、および2020年7月21日~9月11日(夏実験)を対象とした性能評価試験を実施した。開発時点で最新の、2020年10月時点の現業全球数値予報システムと同等の実験をCNTLとし、CNTLにGOES-17 CSRを追加利用した実験をTESTとする。なお、上記実験期間においては、GOES-17と観測領域が同じGOES-15の運用は終了しており、CNTLでは当該領域はCSRデータの空白域となっている。

解析に用いられた各種観測データについて、第一推定値との差異や利用データ数のCNTLに対するTESTの変化を確認した。CSRと同様に対流圏中上層の水蒸気量に感度のある、マイクロ波水蒸気サウンダ(183GHz帯のチャンネル)を中心に、観測値と第一推定値の差(O-B)の標準偏差の減少や利用データ数の増加、バイアスの軽減など、第一推定値と観測値の整合性が向上し、第一推定値の精度が改善している特徴が確認できた。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。図3.9.3に、マイクロ波水蒸気サウンダMHSのO-B標準偏差の変化を示す。特にGOES-17の観測領域のうち、GOES-16との重なりがなくこれまでデータの空白域だった領域でO-B標準偏差が減少している。また、利用データ数の増加やバイアスの軽減なども、GOES-17 CSRを追加した領域に対応して確認でき、春実験についても同様であった。これらの特徴はGOES-16 CSR利用開始の際に見られた特徴とも同様であったことから、GOES-17 CSRについて、データ欠損を含む期間におけるデータの利用に問題はないと考える。

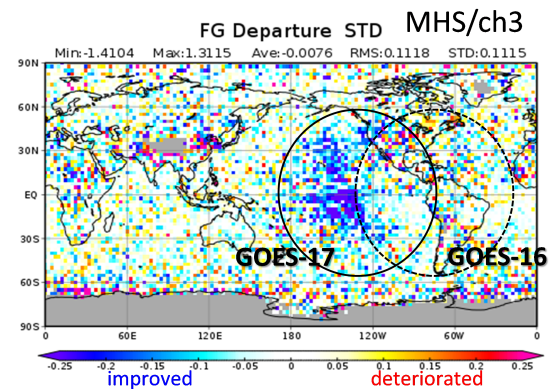


図 3.9.3 GOES-17 CSR 利用の性能評価試験における、解析に用いられたマイクロ波水蒸気サウンダ MHS (チャンネル 3) の O-B 標準偏差の変化率 (%)。青色は標準偏差の減少 (改善) を示す。夏実験 (2020 年 8 月) の結果。

3.9.3 GOES-17 AMV の利用

GOES-17 AMV についても CSR と同様、冷却装置の不具合の影響が見られる期間について、データの品質を確認した。GOES-16 と観測範囲が重なる領域において両衛星による AMV を比較した結果、食期間の前後の数か月間を中心として、12UTC 前後のデータ品質に差異が見られることがわかった (気象庁 2021c)。このため、11UTC から 16UTC の時間帯のデータを通年で利用しない品質管理を実装した。

この品質管理を適用して GOES-17 AMV を追加利用する性能評価試験を実施したところ、対流圏の水蒸気に感度のある ATMS, MHS などのマイクロ波サウンダやマイクロ波散乱計の海上風の O-B 標準偏差が減少するなど、他の観測データと第一推定値の整合性の向上がみられ、第一推定値の精度改善が確認された。一方で、上述の品質管理のみでは南半球の予測精度にやや改悪の傾向が見られたため、次項に述べるように QI を用いた品質管理処理の適用を検討した。

3.9.4 GOES-16, -17 AMV における QI を用いた品質管理

気象庁の現業の AMV 品質管理処理では、観測データとともに通報される QI を品質管理に用いている (山下・今井 2007)。QI は EUMETSAT で開発された品質管理指標で (Holmlund 1998)、0~100 の値をとり、値が大きいほど品質が良いことを示す。QI には数値予報モデルとの整合性を考慮に入れた予報値チェックあり QI と、数値予報モデルとの整合性を考慮しない予報値チェックなし QI があり、AMV の品質管理には、これまで予報値チェックあり QI を用いてきた。しかし、GOES-16 AMV では予報値チェックあり QI が通報されなくなったことから、QI を用いた品質管理は行わず、風速誤差や高度推定誤差の大きい AMV を除くための新たな品質管理処理を追加して対応した (気象庁 2021a)。

GOES-17 IR AMV (tropics <400hPa)

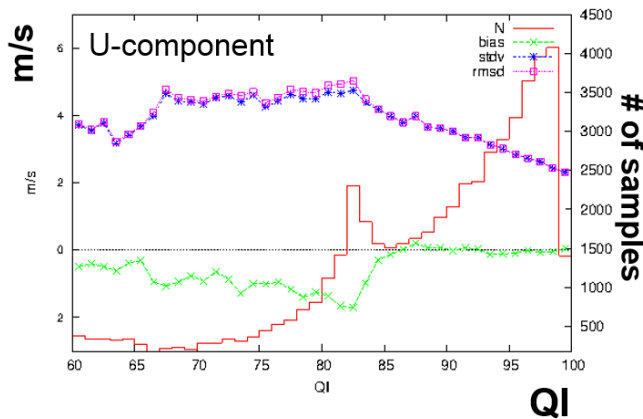


図 3.9.4 熱帯領域における 400hPa より上空の GOES-17 AMV の QI 値と東西風速の各種 O-B 統計の関係を示す図。横軸は QI 閾値、左の縦軸は緑線:バイアス (m/s)、紫線:RMSD (m/s)、青線:標準偏差 (m/s) を表している。右の縦軸は、赤線:サンプル数を示している。

GOES-17 AMV についても予報値チェックあり QI は通報されておらず、GOES-16 と同様の品質管理を適用した。しかし、前項で示したように予測精度に改悪の傾向が見られたことから、改めて予報値チェックなし QI (以降、単に QI とする) を利用した品質管理の検討を行った。GOES-17 AMV の QI と風速の O-B の関係を調査した結果、図 3.9.4 に示す通り、QI が高いほどバイアスや標準偏差が減少するなど品質も良くなる特徴が確認され、QI が品質管理に有効であることがわかった。また、GOES-16 AMV についても同様の傾向が確認されたことから、QI による品質管理処理は、GOES-16 にも適用することとした。

QI を用いた品質管理の効果を確認するため、GOES-16, -17 の、QI による品質管理の有無を比較する性能評価試験を実施した。この品質管理の予測精度への影響について、ECMWF の再解析 (ERA5) を参照値として確認した結果を図 3.9.5 に示す。QI による品質管理を行った場合、行わない場合に比べて、南緯 60 度から南緯 30 度の予測精度の悪化が軽減し、北緯 30 度から北緯 60 度の予測精度悪化がやや改善に変化しており、QI による品質管理の効果が確認できる。

以上から、GOES-16, -17 の AMV に対して QI による品質管理を導入し、設定した閾値以下の QI のデータは利用しないこととした。閾値としては、詳しい調査の結果、AMV 作成の元となる画像の種類 (可視、水蒸気、赤外) によらず、熱帯では 87、熱帯域以外では 90 を用いることとした。

3.9.5 総合性能評価試験

これまで述べた変更を合わせた総合性能評価試験を実施した。2021 年 4 月時点の現業全球数値予報システムと同等の実験を CNTL とし、これに GOES-17 の AMV および CSR データを追加利用した上で、GOES-

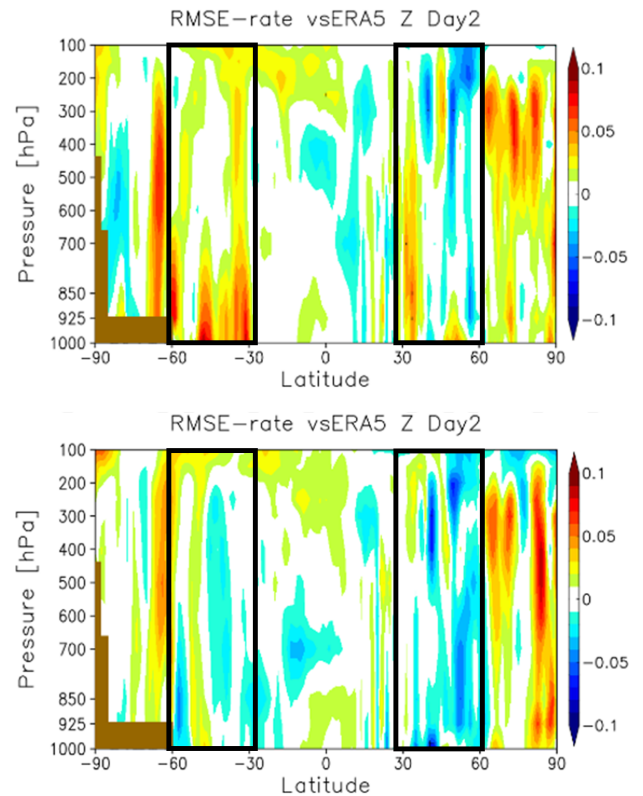


図 3.9.5 ERA5 を参照値とした予報精度検証。ジオポテンシャル高度の 2 日予報の帯状平均の RMSE 改善率 [%] を示す。上図は QI による品質管理を行わない場合。下図は QI による品質管理を行った場合。寒色は予測精度の改善、暖色は改悪を示す。黒枠は QI 閾値による改善の影響が大きかった領域を示す。統計期間は 2020 年 8 月 1 日~31 日。

16 および 17 の AMV に QI を用いた品質管理処理を適用した実験を TEST とする。実験期間は 2020 年 7 月 21 日から 11 月 11 日で、8 月から 10 月の 3 か月が検証対象期間である。

解析に用いられた各種観測データについて、第一推定値との差異 (O-B) の標準偏差や利用データ数の CNTL に対する TEST の変化を確認した。O-B の標準偏差の減少や利用データ数の増加など、観測値と第一推定値の整合性が向上した特徴がみられ、第一推定値の精度が改善していることが確認された。マイクロ波気温サウンダ AMSU-A や ATMS (気温チャンネル) の大気下層に感度のあるチャンネルや、マイクロ波散乱計による海上風にみられた改善については、主に GOES AMV の QI を用いた品質管理の適用や、GOES-17 AMV の追加利用が寄与していると思われる。マイクロ波水蒸気サウンダ MHS や ATMS (水蒸気チャンネル) など、対流圏中上層の水蒸気量に感度のある観測データについては、GOES-17 CSR の追加利用が主に寄与していると思われる。

予測精度については、中低緯度を中心に概ね 2 日先まで改善傾向を示した (図 3.9.6)。

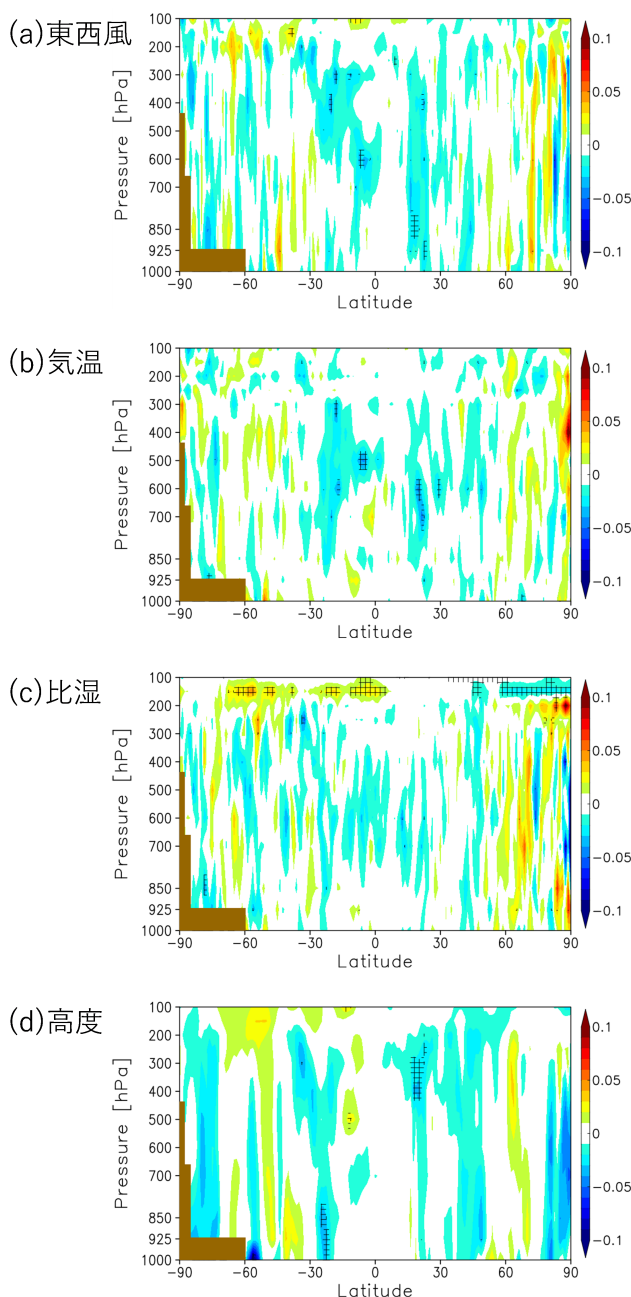


図 3.9.6 ERA5 を参照値とした予報精度検証。上から (a) 東西風、(b) 気温、(c) 比湿、(d) 高度の 2 日予報の带状平均の RMSE 改善率 [%] を示す。寒色は予報精度の改善、暖色は改悪を示す。網掛けは信頼区間 95% で有意であることを示す。統計期間は 2020 年 8 月 1 日～10 月 31 日。

3.9.6 まとめ

GOES-W として運用が開始された GOES-17 について、冷却装置の不具合の影響を中心に、CSR および AMV の品質を調査した。CSR については、配信されているデータに品質の問題はなく利用が可能であることを確認した。AMV については、冷却装置の不具合の影響による品質悪化に対処するため、11UTC から 16UTC の時間帯のデータを通年で不使用とする品質管理を導入し、第一推定値の精度改善など一定の効果を確認した。また、QI を用いた品質管理が有効であるこ

とを確認し、GOES-16 にも合わせて適用することで、解析場が改善し、南半球で見られた予報精度の改悪の傾向が解消することを確認した。

全球数値予報システムにおいて、GOES-17 の CSR および AMV を追加利用するとともに、GOES-16 および 17 の AMV に QI を用いた品質管理を適用して性能評価試験を実施した。その結果、第一推定値や予測値の精度向上を確認できた。この結果を受け、2021 年 6 月 29 日より、上記変更を全球数値予報システムにおいて現業化した。

参考文献

- Holmlund, K., 1998: The utilization of statistical properties of satellite-derived atmospheric motion vectors to derive quality indicators. *Wea. Forecasting.*, **13**, 1093–1104.
- 石橋俊之, 上沢大作, 2007: 静止衛星イメージャ. 数値予報課報告・別冊第 53 号, 気象庁予報部, 106–120.
- 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 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 46–49.
- 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データの追加利用. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 56–57.
- 山下浩史, 今井崇人, 2007: 大気追跡風 (AMV). 数値予報課報告・別冊第 53 号, 気象庁予報部, 36–56.
- 気象庁, 2021a: GOES-16 AMV 及び ScatSat-1/OSCAT の全球解析への利用開始. 数値予報開発センター年報 (令和 2 年), 気象庁数値予報開発センター, 56–59.
- 気象庁, 2021b: GOES-16 CSR の全球解析への利用. 数値予報開発センター年報 (令和 2 年), 気象庁数値予報開発センター, 16–17.
- 気象庁, 2021c: 全球解析における GOES-17 データの利用. 数値予報開発センター年報 (令和 2 年), 気象庁数値予報開発センター, 104–104.