

### 3.9 メソ解析および局地解析におけるマイクロ波サウンダ ATMS の利用

#### 3.9.1 はじめに

マイクロ波サウンダ ATMS は、米国大気海洋庁 (NOAA) が運用する次世代現業極軌道衛星 JPSS シリーズの Suomi-NPP および NOAA-20 に搭載されたセンサである (Goldberg et al. 2013)。ATMS は、米国の現業極軌道衛星シリーズ NOAA や欧州の現業極軌道衛星シリーズ Metop 等に搭載されたマイクロ波気温サウンダ AMSU-A およびマイクロ波水蒸気サウンダ MHS の後継センサで、AMSU-A および MHS と概ね対応する波長帯のチャンネルを合わせた 22 チャンネルで構成されている (表 3.9.1)。AMSU-A および MHS は、気温や水蒸気量の鉛直分布に関する情報を観測するセンサで、気象庁においては、全球解析やメソ解析および局地解析で利用している。ATMS の利用により、AMSU-A や MHS の利用と同様に、初期値における気温や水蒸気量の鉛直分布の精度向上が期待される。

ATMS の輝度温度データは、全球解析において同化利用しており (平原 2017; 村田・亀川 2020; 気象庁 2022b)、メソ解析や局地解析でも利用に向けた開発を進めた (気象庁 2021b)。その後の開発により、メソ解析では 2022 年 6 月 30 日に、局地解析では 2022 年 8 月 9 日に、それぞれ新規に利用を開始した。

ここでは、メソ解析および局地解析における ATMS の利用について概要を述べる。

#### 3.9.2 メソ解析での利用

##### (1) 変更の概要

全球解析においては、MHS や ATMS の水蒸気チャンネル (183GHz 帯) は、雲・降水域も含めた全天同化により利用しているが (気象庁 2021a, 2022b)、メソ解析や局地解析においては、マイクロ波センサの全天同化は現在開発中であり (気象庁 2022a)、MHS は雲・降水の影響を受けない地点 (晴天域や薄い雲域) のデータのみを利用している。まずは早期に利用を開始するため、ATMS の水蒸気チャンネルについても、MHS と同様に雲・降水の影響を受けないデータのみを利用する。また、ATMS の気温チャンネルについては、メソ解析での利用においてバイアス補正に課題がみられるなど (気象庁 2021b)、引き続き開発を進める必要があることから、今回の変更では利用をしていない。つまり、メソ解析や後述する局地解析では、ATMS の水蒸気チャンネル (チャンネル 18~22) の雲・降水の影響を受けない地点のデータを同化する。ATMS の水蒸気チャンネルの利用方法は、次に示すように既に利用している MHS に準じた。

バイアス補正は、他の輝度温度データと同様、あらかじめスキャン位置ごとに見積もった固定のバイアスを取り除くスキャンバイアス補正と、観測条件やセン

サの経年変化等に応じて変化するバイアスを取り除く変分法バイアス補正の 2 段階で行う。スキャンバイアスは、衛星やセンサおよびチャンネルごとに異なる固有のものが大部分で、全球解析で使用している補正值と共通の値を用いて補正できることを確認している。変分法バイアス補正の説明変数は、他の輝度温度データと同様、地表面温度、軌道の上昇下降フラグ、衛星天頂角および定数を用いた。

観測誤差は、観測値と第一推定値の差異 (O-B) の標準偏差に応じて設定する。ATMS の O-B 標準偏差は、対応する MHS のチャンネルと比較し同程度であったことから、MHS と同じ設定値を用いた。MHS にはないチャンネルについては、O-B の標準偏差が概ね隣接する両チャンネルの中間程度の値であったことから、隣接する両チャンネルの中間値を設定した。

間引き距離は、MHS や他の輝度温度データと同様に 45km とした。

地表面や天候のタイプごとのデータの使用・不使用の設定も、MHS と同じ設定とし、雨域と判定された地点を除く、海上/海氷上/陸上/薄い雲域でデータを同化する。

##### (2) 性能評価試験

開発時点において最新の、2021 年 5 月時点の現業メソ数値予報システム相当の実験システムを用い、性能評価試験を実施した。当時の現業システム相当の対照実験を CNTL とし、これに ATMS 水蒸気チャンネルの輝度温度データを同化した実験を TEST とした。実験期間は、夏季については 2020 年 6 月 26 日から 7 月 31 日、冬季については 2019 年 12 月 18 日から 1 月 31 日とした。

各解析時刻における、ATMS および MHS のデータ利用状況を示す (図 3.9.1)。MHS のデータが少ない 06UTC や 18UTC を中心に、ATMS のデータが利用されていることが確認できる。ATMS や MHS を搭載する極軌道衛星は、衛星が通過する地方時がほぼ同じになるような太陽同期軌道で運用されており、メソ解析では解析時刻によって利用できる衛星が概ね決まっている。ATMS を搭載する Suomi-NPP および NOAA-20 は、午後軌道 (日中は午後、夜間は未明に通過する) で運用されており、午前軌道で運用されている Metop などに搭載された MHS のデータが得られない時間帯においてデータが得られる。ATMS の利用により、解析時刻によらない安定的な解析・予測精度の維持が期待できる。

解析に用いられた ATMS 以外の各種観測データについて、O-B の標準偏差や利用データ数の CNTL に対する変化を確認した (図 3.9.2)。ATMS の水蒸気チャンネルと同様に対流圏中上層の水蒸気量に感度のある CSR や MHS について、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との整合性

表 3.9.1 ATMS と AMSU-A および MHS のチャンネルの対応。左：ATMS、右：AMSU-A および MHS。

センサ	ch	中心周波数 (GHz)	センサ	ch	中心周波数 (GHz)
ATMS	1	23.8	AMSU-A	1	23.8
ATMS	2	31.4	AMSU-A	2	31.4
ATMS	3	50.3	AMSU-A	3	50.3
ATMS	4	51.76			
ATMS	5	52.8	AMSU-A	4	52.8
ATMS	6	53.596 ± 0.115	AMSU-A	5	53.596 ± 0.115
ATMS	7	54.4	AMSU-A	6	54.4
ATMS	8	54.94	AMSU-A	7	54.94
ATMS	9	55.5	AMSU-A	8	55.5
ATMS	10	f0 = 57.290344	AMSU-A	9	f0 = 57.290344
ATMS	11	f0 ± 0.217	AMSU-A	10	f0 ± 0.217
ATMS	12	f0 ± 0.3222 ± 0.048	AMSU-A	11	f0 ± 0.3222 ± 0.048
ATMS	13	f0 ± 0.3222 ± 0.022	AMSU-A	12	f0 ± 0.3222 ± 0.022
ATMS	14	f0 ± 0.3222 ± 0.010	AMSU-A	13	f0 ± 0.3222 ± 0.010
ATMS	15	f0 ± 0.3222 ± 0.0045	AMSU-A	14	f0 ± 0.3222 ± 0.0045
ATMS	16	88.2	AMSU-A	15	89.0
			MHS	1	89.0
ATMS	17	165.5	MHS	2	157.0
ATMS	18	183.31 ± 7.0	MHS	5	190.311
ATMS	19	183.31 ± 4.5			
ATMS	20	183.31 ± 3.0	MHS	4	183.31 ± 3.0
ATMS	21	183.31 ± 1.8			
ATMS	22	183.31 ± 1.0	MHS	3	183.31 ± 1.0

が向上した特徴がみられ、ATMS の水蒸気チャンネルの利用による第一推定値の精度向上を示す結果が得られた。また、冬季において、ラジオゾンデ観測に対する解析値および第一推定値の高度 700 hPa 付近の乾燥バイアスが減少（水蒸気量が増加）することが確認された。

予測精度について、解析雨量やラジオゾンデ、地上観測を用い、統計的な検証を実施した。TEST と CNTL の差異は顕著ではなく概ね中立の結果であったものの、夏実験については予測初期（～6 時間程度）において 500～300hPa の混合比の精度に改善の傾向が見られた。

### (3) 業務化試験

本変更と同時期に現業化する全ての改良項目を組み合わせた業務化試験を実施し、現業システムにおける実際の運用を想定した総合的な改良の効果を確認した。同時期に現業化する改良項目として、メソ数値予報システムでは本変更の他、GPM/DPR の利用手法改良（第 3.10 節）および RTTOV 13 への更新（第 4.5.2 項）が含まれる。全球解析では、Dual-Metop AMV の利用（第 3.8 節）および RTTOV 13 への更新（第 4.5.2 項）があり、これらを組み合わせた全球数値予報システムの出力を、メソ数値予報システムの側面境界値として用いた。当時の現業システム相当の実験システムを CNTL（旧システム）とし、CNTL に上記改良を適用した実験システムを TEST（新システム）とする。実験期間は、夏季については 2020 年 6 月 26 日から 7

月 31 日、冬季については 2020 年 12 月 27 日から 1 月 31 日とした。

業務化試験においても本変更の性能評価試験と同様に、第一推定値における対流圏中上層の水蒸気量や、夏実験の予測初期における 500～300hPa の混合比などに精度の改善がみられることを確認した。これに加え、解析雨量を参照値とした検証により、夏実験の日本域における降水予測について、30～50mm/3h の降水に見逃し率や空振り率の減少、エクイタブルスレットスコアの増加などの改善傾向が確認された。この改善は、各改良項目別の性能評価試験や、境界値は変更せずにメソ解析の改良を全て組み合わせた総合性能評価試験ではみられなかったことから、改良を適用した全球数値予報システムを側面境界値として用いたことによる改善と考えられる。

図 3.9.3 に、2020 年 7 月 4 日の熊本・鹿児島での大雨特別警報事例における降水予測の改善を示す。本事例における気象状況は、梅雨前線が東シナ海から九州を通過して伊豆諸島に伸び、梅雨前線上の低気圧が 4 日明け方から昼前にかけて九州北部を通過した。その際、低気圧や前線に向かって暖かく湿った空気が入り込んで大気の状態が不安定となり、熊本県と鹿児島県境付近を中心に 6 回にわたり記録的短時間大雨情報が発表されたほか、4 日 4 時 50 分～11 時 50 分にかけて、熊本県と鹿児島県に大雨特別警報が発表された。

TEST では、解析雨量との比較では過小であるもの

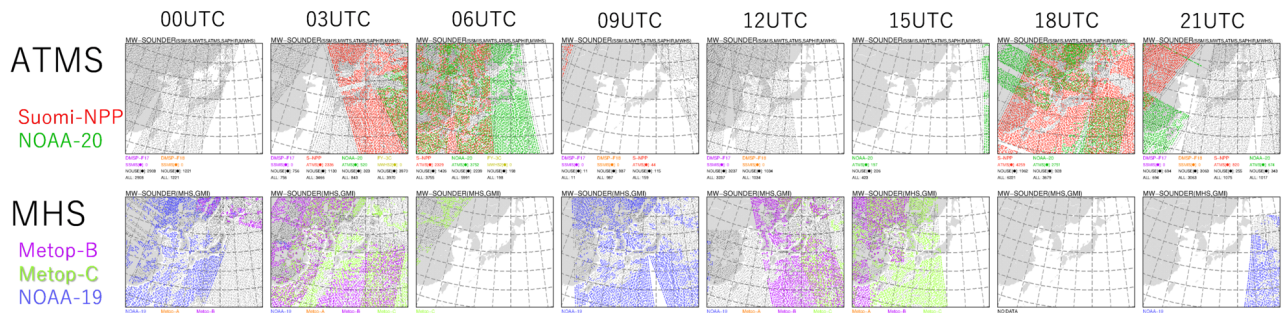


図 3.9.1 メソ解析で利用される ATMS および MHS の分布 (2020 年 6 月 26 日の例)。上段: ATMS、下段: MHS。左列からそれぞれ、解析時刻 00,03,06,09,12,15,18,21UTC におけるデータの分布を示す。色の違いは衛星を示す。

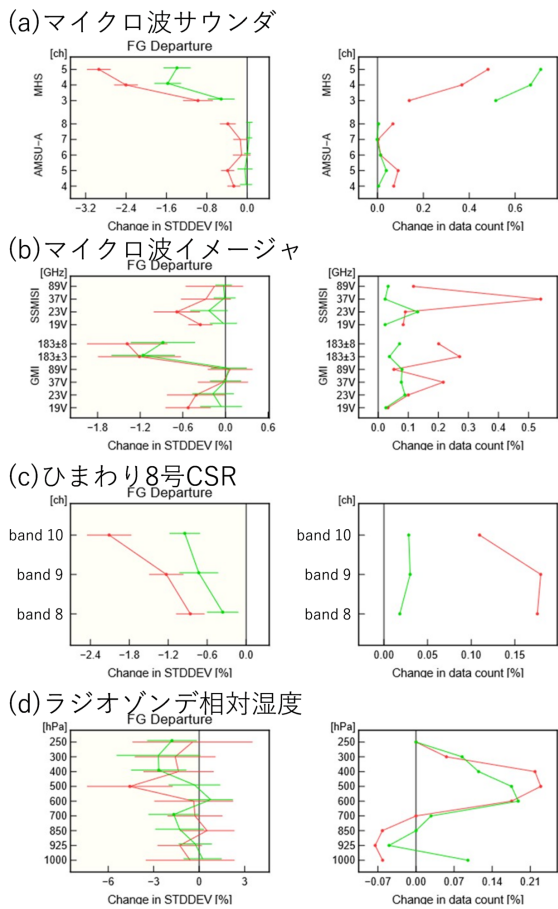


図 3.9.2 メソ解析における、観測値と第一推定値との差 (O-B) の標準偏差 (左列) と利用データ数 (右列) の、TEST の CNTL に対する変化率 [%]。(a) マイクロ波サウンダ MHS および AMSU-A、(b) マイクロ波イメージャ、(c) ひまわり 8 号 CSR、(d) ラジオゾンデ相対湿度。縦軸は (a)(c) はチャンネル番号、(b) は周波数 (GHz) および偏波、(d) は気圧高度を表す。標準偏差の図のエラーバーは 95%信頼区間、丸い点は変化の正負が統計的に有意であることを示す。赤色は夏実験、緑色は冬実験の結果を示す。

差異は、境界値を変更していない総合性能評価試験との比較から、境界値として用いた全球数値予報システムの改良の効果であることを確認した。このことから、メソモデルの予測では、観測データの利用に加え、上流にあたる全球モデル境界値の影響も大きいことが示唆される。

### 3.9.3 局地解析での利用

#### (1) 変更の概要

メソ解析と同様に、局地解析においても ATMS の水蒸気チャンネルの雲・降水の影響を受けないデータを同化する改良を行った。手法や設定等についてもメソ解析と同様に、既に利用されている MHS に準じた。詳細は、前項のメソ解析での記述を参照されたい。

#### (2) 性能評価試験

開発時点において最新の、2022 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 ATMS 追加利用の変更を加えた実験 (TEST) の比較を行った。実験期間は 2020 年 7 月 1 日から 7 月 15 日 (夏実験)、2020 年 1 月 10 日から 2020 年 1 月 21 日 (冬実験) とし、解析時刻間隔は 3 時間とした。

ATMS の観測データは、メソ解析と同様に、MHS の観測データが得られない時間帯に得られ、ATMS と MHS は相補的な関係であることを確認した。

解析に用いられた ATMS 以外の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 に対する変化を確認した (図 3.9.4)。メソ解析と同様に、対流圏中上層の水蒸気に感度のある CSR や MHS を中心に、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との整合性が向上した特徴がみられ、第一推定値の精度向上を示す結果が得られた。

予測精度については、解析雨量やラジオゾンデ、地上観測を用い、統計的な検証を実施した結果、概ね中立であった。

の、CNTL には見られなかった強雨域が線状に表現され、3 時間 100 mm 以上の降水を予測した。CNTL との差異として、九州西海上で可降水量が増加し、上層トラフが深くなっていることが確認された。これらの

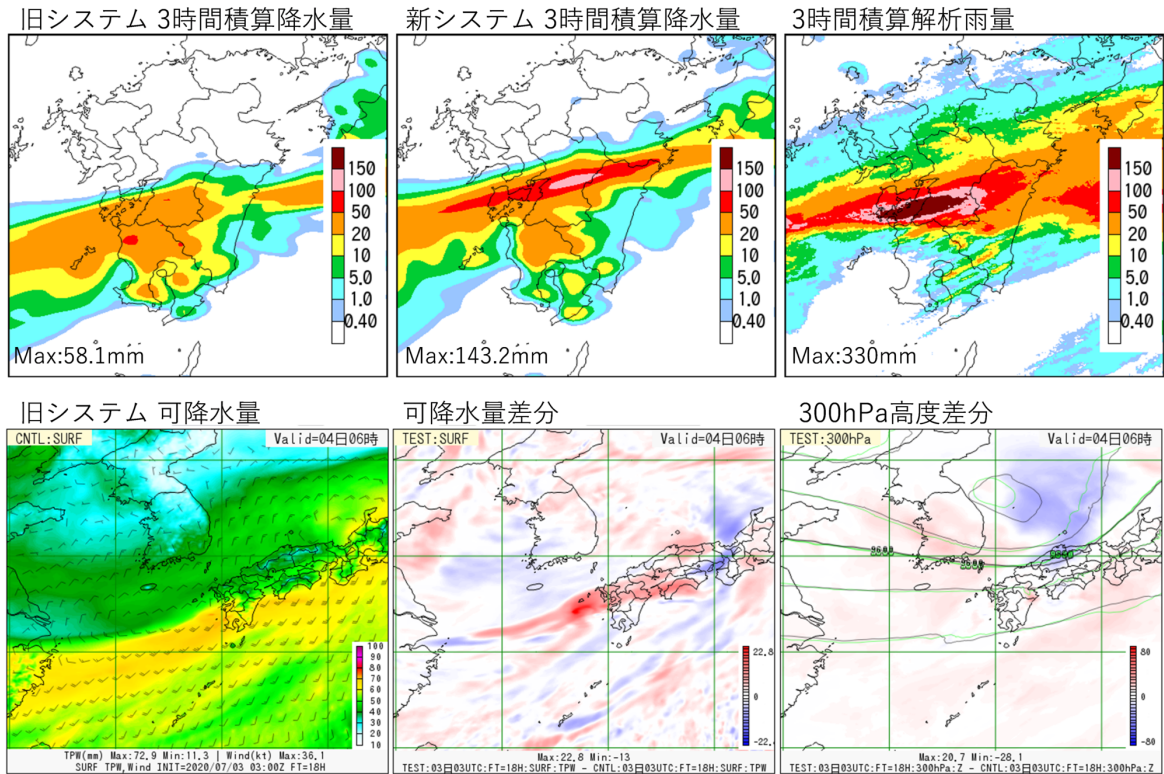


図 3.9.3 メソ数値予報システムにおける降水の改善事例。2020 年 7 月 3 日 03UTC を初期値とした 18 時間後予測（7 月 3 日 21UTC（4 日 06JST））。左上：CNTL（旧システム）における前 3 時間雨量、中央上：TEST（新システム）における前 3 時間雨量、右上：3 時間積算解析雨量、左下：CNTL における可降水量、中央下：TEST と CNTL の可降水量の差、右下：TEST と CNTL の 300 hPa 高度の差。

### (3) 業務化試験

局地数値予報システムについてもメソ数値予報システムと同様に、実際の運用を想定した総合的な改良の効果を確認するため、同時期に現業化されるすべての改良を組み合わせた業務化試験を実施した。局地解析においては、本変更の他、RTTOV 13 への更新（第 4.5.2 項）が含まれる。局地解析の変更の現業化時期は、全球解析およびメソ解析の変更から約 1 か月後であるが、一連の変更として同時期とみなし、前項の全球解析およびメソ解析の変更を含めて評価した。当時の現業システム相当の実験システムを CNTL（旧システム）とし、CNTL に上記改良を適用した実験システムを TEST（新システム）とする。全球解析およびメソ解析の変更内容については前項で述べた通りで、その変更を適用したメソ数値予報システムからの出力を局地数値予報システムでの第一推定値や境界値として用いた。なお、局地解析において気象場に依存した背景誤差に用いるメソアンサンブル予報システム（MEPS）の出力については、今回のメソ解析の変更（観測データの利用の変更）による特性への影響は小さいものとみなし、TEST においても CNTL と同じ設定とした。

業務化試験においても性能評価試験と同様に、第一推定値における対流圏中上層の水蒸気量に精度の改善がみられることを確認した。ただし、性能評価試験よ

り改善の程度が大きいことや、データを同化する前の第一推定値（スロット 0）の時点でも改善がみられたことから、前項で述べた主に ATMS の利用によるメソ解析の改善も大きく寄与していると考えられる。

図 3.9.5 に、2020 年 7 月 4 日の熊本・鹿児島での大雨特別警報事例における降水予測の改善を示す。熊本県南部の帯状の降水域は、CNTL では東西に分離しているが、TEST では東西に連続した一連の降水域となり実況に近づいた。TEST と CNTL の差異を確認したところ、対流圏中層の水蒸気量に差異が見られた。図中 600 hPa の相対湿度の分布には、相対湿度の少ないところではより水蒸気を少なく、多いところでは多くする変化が見られており、この変化が降水域の表現に改善をもたらしたと考えられる。この変化の起源を上流にさかのぼると、メソ解析における ATMS の同化によりもたらされていたことが確認された。メソ解析で ATMS の水蒸気チャンネルが同化されることで、上流で大気中層付近の水蒸気場が改善され、その効果が局地数値予報システムにも波及し、降水予測が改善したと考えられる。

### 3.9.4 まとめと今後の課題

メソ解析および局地解析において、マイクロ波サウンダ ATMS の水蒸気チャンネルを新規に利用し、効果について確認した。その結果、既に利用中の同種のセ

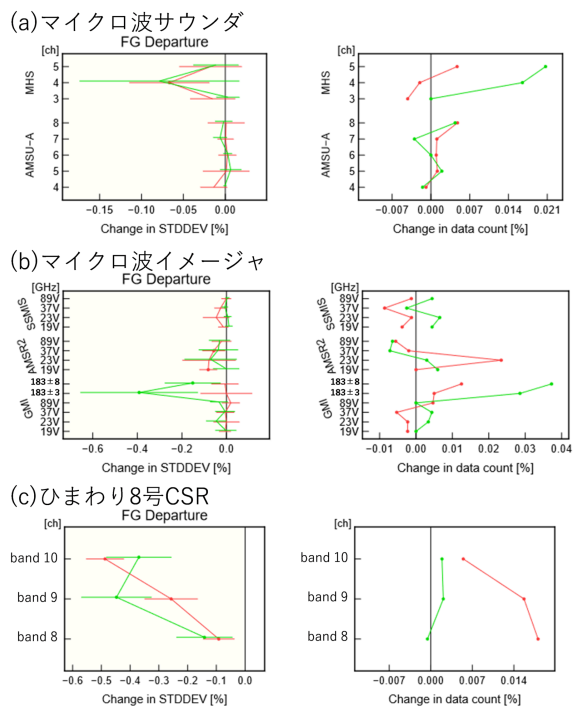


図 3.9.4 局地解析における、観測値と第一推定値との差 (O-B) の標準偏差 (左列) と利用データ数 (右列) の、TEST の CNTL に対する変化率 [%]。(a) マイクロ波サウンダ MHS および AMSU-A、(b) マイクロ波イメージャ、(c) ひまわり 8 号 CSR。縦軸は (a)(c) はチャンネル番号、(b) は周波数 (GHz) および偏波を表す。標準偏差の図のエラーバーは 95%信頼区間、丸い点は変化の正負が統計的に有意であることを示す。赤色は夏実験、緑色は冬実験の結果を示す。

ンサである MHS の観測データが得られない時間帯に観測データが得られることが確認された。ATMS 単体の新規利用による予測精度については、顕著な改善は見られず概ね中立であったものの、第一推定値については精度の向上が確認できた。また、側面境界値として利用する全球数値予報システムの改良も含めた、メソ数値予報システムでの試験、さらにメソ数値予報システムでの改良を反映した、局地数値予報システムでの試験を行ったところ、側面境界値の改善を通して線状降水帯の予測精度が改善する事例を確認した。メソ、局地の各数値予報システムの精度向上には、側面境界値を与える上流の数値予報システム (メソの場合は全球、局地の場合はメソ) の予測精度向上も重要であると言えよう。

この結果を踏まえ、メソ解析では 2022 年 6 月 30 日に、局地解析では 2022 年 8 月 9 に、それぞれ ATMS の利用を開始した。

ATMS の利用に関する今後の課題として、気温チャンネルの利用が考えられる。バイアス補正にみられる課題の調査や対処の検討、RTTOV の更新による改善の確認などを行う予定である。また、水蒸気チャンネルについては、マイクロ波センサの全天同化での利用

に向けて取り組んでおり (気象庁 2022a)、観測データの持つ情報をさらに引き出し、予測精度の向上をねらう開発を進める。

#### 参考文献

- Goldberg, Mitchell D, Heather Kilcoyne, Harry Cikanek, and Ajay Mehta, 2013: Joint Polar Satellite System: The United States next generation civilian polar-orbiting environmental satellite system. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **118**, 13–463.
- 平原洋一, 2017: 全球解析における Suomi-NPP/ATMS 輝度温度データの利用開始. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 70–72.
- 気象庁, 2021a: マイクロ波輝度温度全天同化とアウトグループの全球解析への導入. 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, 23–28.
- 気象庁, 2021b: メソ解析におけるマイクロ波サウンダ ATMS 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, 106.
- 気象庁, 2022a: メソ解析におけるマイクロ波輝度温度の全天同化. 数値予報開発センター年報 (令和 3 年), 気象庁 数値予報開発センター, 110–111.
- 気象庁, 2022b: 全球解析における全天同化マイクロ波水蒸気サウンダデータ利用の拡充. 数値予報開発センター年報 (令和 3 年), 気象庁 数値予報開発センター, 40–43.
- 村田英彦, 亀川訓男, 2020: NOAA-20 搭載 ATMS および CrIS 輝度温度データの利用開始. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 58–60.

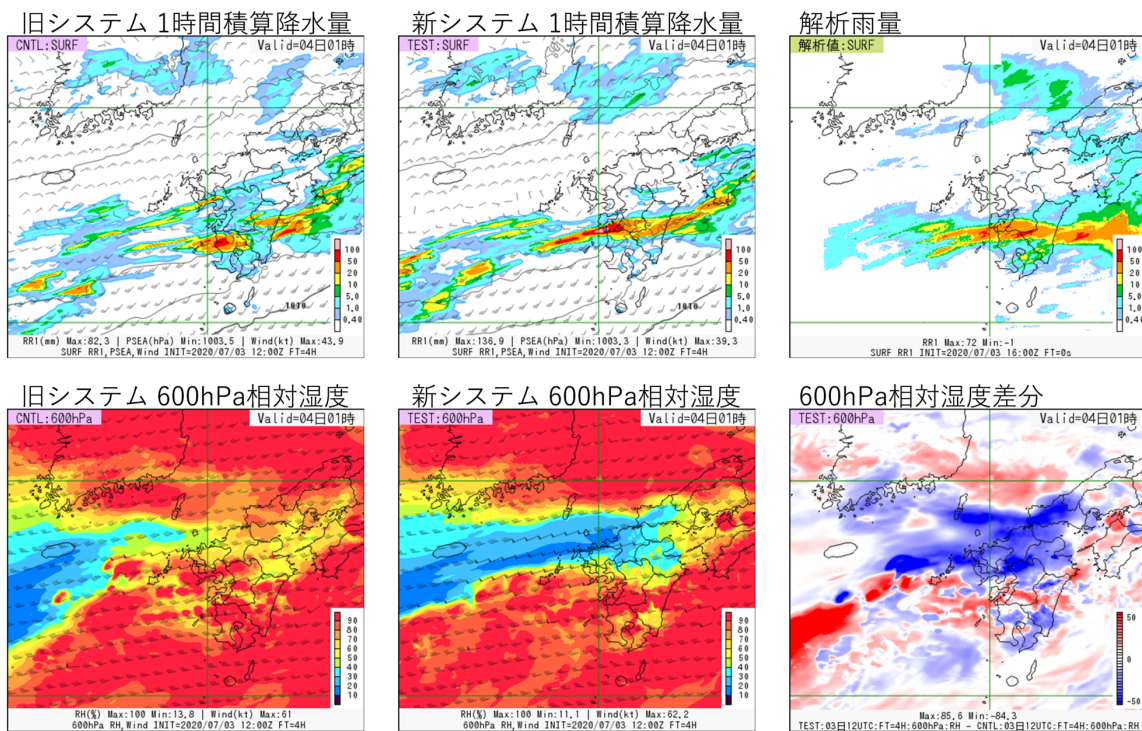


図 3.9.5 局地数値予報システムにおける降水の改善事例。2020 年 7 月 3 日 12UTC を初期値とした 4 時間予測 (7 月 3 日 16UTC (4 日 01JST))。左上: CNTL (旧システム) における前 1 時間雨量、中央上: TEST (新システム) における前 1 時間雨量、右上: 解析雨量、左下: CNTL における 600 hPa 相対湿度、中央下: TEST における 600 hPa 相対湿度、右下: 600 hPa 相対湿度の TEST-CNTL。

### 3.10 メソ解析における GPM/DPR の利用方法の変更

#### 3.10.1 GPM/DPR のスキャンパターン更新

日米を中心とした国際協力の下で進められている全球降水観測計画 (GPM) 主衛星に搭載された二周波降水レーダー (DPR) は Ku 帯 (13.6GHz、KuPR) と Ka 帯 (35.5GHz、KaPR) の二つの周波数帯で熱帯から中高緯度帯までの降水を観測することが可能である<sup>1</sup>。KaPR には感度の異なる二周波観測 (KaMS) と高感度観測 (KaHS) があり、気象庁ではこれらの観測から得られる反射強度データをメソ解析で利用している (幾田 2016)。

2018 年 5 月 21 日以降、それまで 245km 観測幅の中心部の 125km 幅においてのみ実施していた Ku 帯と Ka 帯の 2 周波による降水観測を、245km の観測幅全体で実施するようにスキャンパターンが更新された。更新前は KaMS と KaHS の観測エリアが重なっていたため高感度の KaHS のみをデータ同化に利用していたが、新たに KaMS を利用することによりメソ解析の精度改善が期待できる。

本節では、GPM 主衛星に搭載された DPR のスキャンパターン更新に伴い、これまで利用していなかった KaMS の反射強度データの新規利用がメソ数値予報システムへ与える影響についての調査結果を報告する。

#### 3.10.2 GPM/DPR の反射強度データの同化手法及び QC 処理について

気象庁では、以下の手順で GPM/DPR による反射強度データから推定した相対湿度 (以降、疑似相対湿度とする) を同化に使用している。同化手法については Ikuta et al. (2021) などを参照されたい。

- レーダーシミュレータで第一推定値の反射強度 (Ka 帯・Ku 帯) を推定<sup>2</sup>。
- 観測値をアウターモデル格子 (5km) で平均。
- 気温別に反射強度の D 値平均を計算して補正值とし、反射強度観測値から観測地点の気温に対応した補正值を差し引くことにより、バイアス補正を実施。
- 第一推定値の反射強度・相対湿度・気温の関係を用いて、カーネル密度推定に基づいた最尤推定によりバイアス補正済みの反射強度観測値から疑似相対湿度を算出。
- 水平 15km (インナーモデル格子の解像度)、鉛直 500m 間隔で疑似相対湿度を平均。
- QC 処理をパスした疑似相対湿度を疑似観測としてデータ同化に利用。

<sup>1</sup> 南北 65 度より高緯度は観測してない。

<sup>2</sup> 雨・雪・霰のみ計算対象としている。降雨減衰補正済みの観測値が通報されているため、降雨減衰補正は行っていない。また、メソモデルの水平解像度が 5km と粗いため、レーダービームの屈折や広がりには考慮していない。

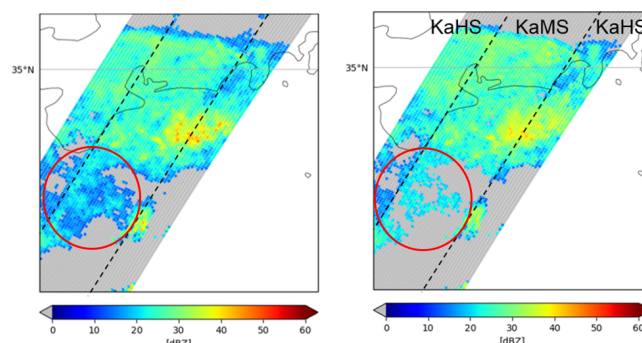


図 3.10.1 GPM/DPR の観測例。左は KuPR、右は KaPR によるレーダー反射強度の観測である。KuPR の観測をもとに、KaHS の観測と KaMS の観測に違いが見られる領域の例を赤丸で示す。

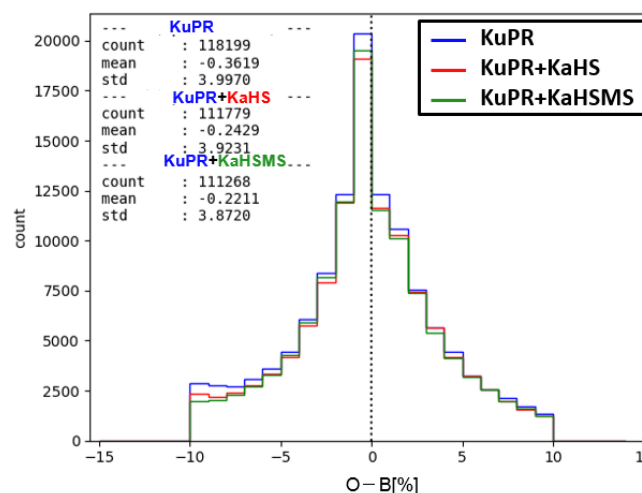


図 3.10.2 疑似相対湿度の D 値ヒストグラム。青線、赤線、緑線はそれぞれ KuPR のみ、KuPR と KaHS、KuPR、KaHS 及び KaMS を同化に利用した場合のヒストグラムである。統計期間は 2020 年 7 月 1 日から 2020 年 7 月 31 日。

なお、疑似相対湿度の観測誤差は 5% としている。GPM/DPR の反射強度データに対する QC 処理を以下に示す。

- 反射強度は観測値・第一推定値ともに、検出限界以下のノイズの利用を避けるため 15dBZ 未満のデータは使用せず、またクラッタの混入をさけるため 50dBZ より大きいデータも利用しない。
- 気温 0 度未満で算出された疑似相対湿度は利用しない<sup>3</sup>。
- D 値の絶対値が閾値より大きいものは利用しない<sup>4</sup>。
- 反射強度の D 値と疑似相対湿度の D 値が逆符号、または差が大きい場合は疑似相対湿度の精度が悪い可能性が考えられるため、利用しない。

<sup>3</sup> 固相 (雪、霰) から求めた反射強度はモデルバイアスが大きい。

<sup>4</sup> 反射強度については 30dBZ、疑似相対湿度については 10% を閾値としている。

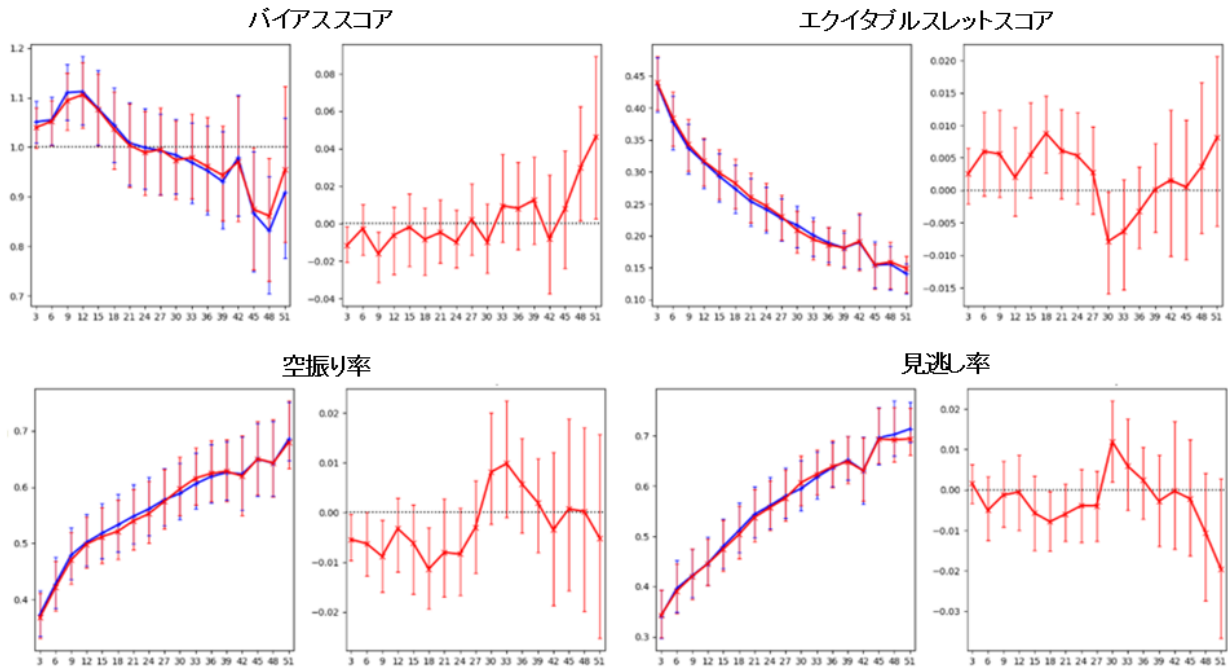


図 3.10.3 解析雨量を参照値とした予測時間別の 3 時間降水量 5 mm の降水予測スコア (20 km 平均)。上段左: バイアスコア、上段右: ETS、下段左: 空振り率、下段右: 見逃し率。各パネルの左は、KuPR (青) KaHSMS (赤) のスコアを、右は KaHSMS-KuPR のスコアの差分を示しており、エラーバーは有意検定 95%信頼区間を示す。横軸は予測時間 [hour]。統計期間は 2020 年 7 月 1 日から 2020 年 7 月 31 日。

これまで、KaMS は同化に利用されていなかったため QC を実施していなかった。KuPR, KaMS, KaHS、地上レーダー観測を比較して調査したところ (図 3.10.1)、弱い降水以外では KaHS と KaMS の強度や降水分布に特に違いは見られなかったため、Masaki et al. (2022) を参考に KaMS の利用下限値を 20dBZ に設定した。

下限値チェック QC 実施後は、KaHS と同様の QC 処理を KaMS に適用し、前述の同化手法におけるアウターモデル格子での平均処理についても KaMS, KaHS が混在する領域ではこれらをまとめて平均することとした。

### 3.10.3 性能評価試験

2021 年 5 月時点のメソ数値予報システムをベースにしたコントロール実験 (KuPR) に KaHS を追加した実験 (KaHS) と KaHS 及び KaMS を追加した実験 (KaHSMS) を実施して、性能評価試験を行った<sup>5</sup>。評価期間は 2020 年 7 月 1 日から 7 月 31 日である。

図 3.10.2 に KuPR, KaHS, KaHSMS の疑似相対湿度の D 値ヒストグラムを示す<sup>6</sup>。図から KaHS を利用する (赤) と、疑似相対湿度の負の大きな D 値が減少し

<sup>5</sup> バイアス補正処理に関する不具合の修正も同時に導入した。修正の内容は、バイアス補正の際に観測値/第一推定値の平均値をかける処理となっていたところを、D 値平均値を引く処理にするというもの。

<sup>6</sup> 降水領域のみでの観測であるため、観測値、第一推定値ともに相対湿度が 100 % に近い事例が多くなり、ガウス分布に比べ  $O-B=0$  付近における頻度が多くなると考えられる。

ていることがわかる。この結果は Ikuta et al. (2021) と整合している。KaMS も利用する (緑) ことで疑似相対湿度の負の大きな D 値がさらに減少し、D 値平均と D 値標準偏差もやや減少することが確認できる。

評価期間中の KuPR と KaHSMS の降水予測スコアを図 3.10.3 に示す。バイアスコアは FT=24h くらいまで減少して、正バイアスが縮小傾向となっており、それ以降も負バイアスを縮小する傾向が見られる。更に、空振りと見逃しが減少することで、ETS が改善した。

### 3.10.4 まとめ

GPM/DPR のスキャンパターン更新を受け、これまで使用していなかった KaMS の反射強度データの新規利用を開始し、それに伴う QC 処理の見直しを行った。KaMS については、反射強度データの同化での利用下限値を 20dBZ に設定した。更に、下限値チェック後に KaHS と合わせてアウターモデル格子で平均するように処理を変更したところ、疑似相対湿度の推定精度が向上した。

反射強度バイアス補正の不具合を修正したうえで性能評価試験を実施したところ、予測前半を中心に降水予測スコアが改善するインパクトが確認できたことから令和 4 年 6 月にメソ解析における GPM/DPR の利用手法の変更を現業化した。

### 参考文献

幾田泰醇, 2016: GPM/DPR データのメソ解析での利用開始. 平成 28 年度数値予報研修テキスト, 気象庁



予報部, 51–53.

Ikuta, Y., K. Okamoto, and T. Kubota, 2021: One-dimensional maximum-likelihood estimation for spaceborne precipitation radar data assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **147**, 858–875.

Masaki, T., T. Iguchi, K. Kanemaru, K. Furukawa, N. Yoshida, T. Kubota, and R. Oki, 2022: Calibration of the Dual-Frequency Precipitation Radar Onboard the Global Precipitation Measurement Core Observatory. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **60**, 1–16.

### 3.11 メソモデルガイダンスの改良と予報時間延長

#### 3.11.1 はじめに

メソモデル (MSM2203) は 2022 年 3 月 22 日に鉛直層増強や物理過程の改良が、2022 年 6 月 16 日に予報時間 (FT) の延長が行われた (第 3.3 節)。メソモデルから算出される各ガイダンス (MSM ガイダンス) の作成においても、この新たなメソモデルの利用を開始し、初期時刻 00,12UTC の FT をこれまでの 51 時間までから 78 時間先まで延長した。また降水、視程ガイダンスについては要素の追加や精度改善のための改良も実施した。ここではこれらのガイダンスの変更内容と精度検証の結果を説明する。

#### 3.11.2 降水ガイダンス

##### (1) 改良の概要

MSM 降水ガイダンスについては、3 時間平均降水量 (MRR3)、6 時間降水確率 (PoP6)、1, 3, 24 時間最大降水量 (RMAX31, RMAX33, RMAX24) の FT を 78 時間先まで延長するとともに、今回のモデル改良に伴って MRR3 の頻度バイアス補正の閾値の見直し、RMAX24 の線形重回帰係数の品質管理手法の改良と再計算を実施した。

また部内利用を目的として、新たに 48 時間最大降水量 (RMAX48)、72 時間最大降水量 (RMAX72) の作成を開始した。作成方法は、まず 3 時間平均降水量 (MRR3) を 48 時間、72 時間積算したものに対してそれぞれ頻度バイアス補正 (高田 2018) を行って 48 時間平均降水量 (MRR48)、72 時間平均降水量 (MRR72) を求め、得られた平均降水量を説明変数の一つとして線形重回帰によって最大降水量を算出する。この方法は 24 時間平均降水量 (MRR24) から RMAX24 を求める方法 (白山 2018) と同じであり、使用する他の説明変数も RMAX24 の予測に用いる変数と同一である。線形重回帰式の係数は 2019 年 7 月～2021 年 12 月の MSM2203 再予報結果を用いて決定した。

##### (2) 検証結果

2021 年 1 年間の MSM2203 の再予報結果を用いて、降水ガイダンスの統計検証を行った<sup>1</sup>。ここでは各平均降水量ガイダンスの検証結果を紹介する。

図 3.11.1 に MRR3 の検証結果を、モデル 3 時間降水量の結果とともに示した。今回延長された FT=54～78 とそれより前とで MRR3 の BI や ETS の変化は滑らかであり、FT 延長に伴う不自然な精度変化は見られない。MRR3 の ETS は、閾値 1 mm ではモデル降水量の ETS を上回り、10 mm や 30 mm ではほぼ中立である。一方、BI は 1 mm, 10 mm はほぼ中立、30 mm

<sup>1</sup> この期間は最大降水量ガイダンスの線形重回帰式の係数の計算期間と重複するが、最大降水量ガイダンスの統計検証 (本稿では結果の説明は省略) に関しては別途交差検証も行って、結果が信頼できることを確認した。

では予報期間後半で過少傾向が見られる。

同様に MRR24 の精度検証を行った結果を図 3.11.2 に示した。モデル降水量は 100 mm 以上の予測頻度が過多となっているが、ガイダンスの BI は概ね 1 となっており適正な頻度に修正できていることがわかる。ETS を見るとモデル降水量と比較して概ね同等、弱雨では若干の改善という結果となった。図 3.11.3 には MRR48 と MRR72 の検証結果をモデル降水量の結果とともに示した。ETS では降水量 100～200 mm を除き概ねモデル降水量を改善できている。またモデルで予測されている過大な降水量を、ガイダンスでは適切に修正できていることが確認できる。

図 3.11.4 には、日本の南海上の台風からの暖湿気の流入によって東日本から西日本にかけての太平洋側で大雨となった 2021 年 9 月 4 日の最大降水量ガイダンス (上段: RMAX72、下段: RMAX48) の予測事例を示した。実況の最大降水量の分布 (右列) と比べモデル最大降水量 (左列) はピークの値が過大であるが、最大降水量ガイダンス (中列) ではピークの値が抑えられ、より実況の雨量分布・強度に近いものへ修正されている。

#### 3.11.3 視程ガイダンス (格子形式)

##### (1) 改良の概要

MSM 視程ガイダンス (格子形式) は、前 3 時間最小視程を格子点ごとに予測するガイダンスである。このガイダンスは MSM の雲水量や降水量などから計算した光消散係数による診断式を用いている (後藤 2018)。今回の MSM の更新とあわせて、2022 年 3 月に診断式の変更を、2022 年 6 月に FT の延長を行った。診断式の変更では、雲の消散係数の計算に用いる雲水量の積算を行う層を、従来は一律にモデル面第 2～9 層としていたが、無降水格子については第 2～5 層とした。また各光消散係数の計算に用いる定数の見直しを行って表 3.11.1 に記載のように修正した。従来の式 (気象庁 2022) から変更された箇所を赤字で示している。

##### (2) 検証結果

図 3.11.5 に陸上、海上それぞれでの視程ガイダンスの統計検証を行った結果を示す。検証期間は 2019 年 7 月 1 日～2021 年 6 月 30 日である。ただし、係数調整を行った期間 (夏: 2019 年 8 月 1 日～10 月 20 日、冬: 2019 年 12 月 23 日～2020 年 2 月 29 日) を除いている。検証では、陸上は航空気象定時観測気象報、航空気象特別観測気象報、航空気象観測所気象報の、海上は海上実況気象通報の視程観測値を用いた。今回の予測手法の変更によって、陸上は ETS, BI ともに改善している。また海上は一部改善しているが概ね中立となった。

図 3.11.6 には 2021 年 1 月から 12 月まで 1 年間の航空気象観測通報を用いた予報時間別の検証結果を示した。延長された FT に対して、51 時間までと予測の傾向に大きな違いはなく妥当な結果が得られている。また

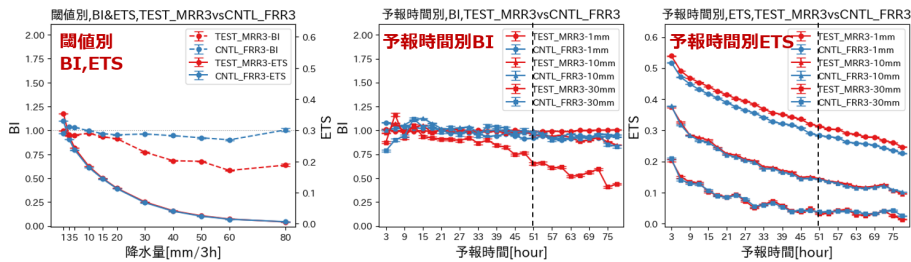


図 3.11.1 3 時間平均降水量ガイダンス（赤）と MSM3 時間平均降水量（青）の、2021 年 1 年間の統計検証。（左）降水量別の BI（破線）と ETS（実線）。（中）FT と降水量別の BI。（右）FT と降水量別の ETS。

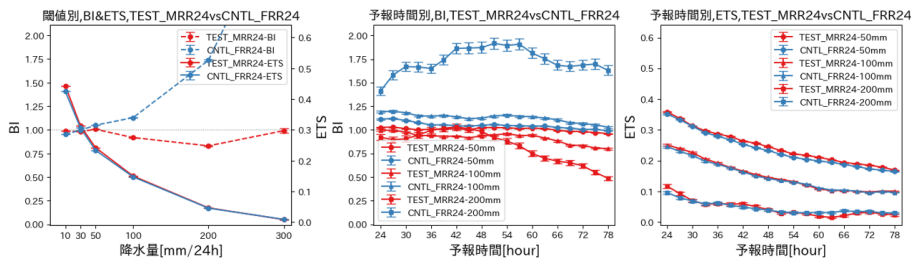


図 3.11.2 24 時間平均降水量ガイダンス（赤）と MSM24 時間降水量（青）の、2021 年 1 年間の統計検証。（左）降水量の閾値別の BI（破線）と ETS（実線）。（中）FT と降水量別の BI。（右）FT 別の ETS。

表 3.11.1 MSM 視程ガイダンス（格子形式）の計算に用いる光消散係数の計算式。今回変更された定数を赤字で示した。その他の変更内容については本文の説明を参照。

視程 $VIS = 3 / (\sigma_p + \sigma_c + \sigma_r + \sigma_s)$	
浮遊塵による光消散係数	
$\sigma_p = 0.35(1 - RH)^{-0.2}$	
雲粒による光消散係数	
$\sigma_c = \begin{cases} 8.0 \times QC^{0.9} & (\text{無降水格子}) \\ 5.0 \times QC^{0.9} & (\text{降水格子}) \end{cases}$	
雨粒による光消散係数	
$\sigma_r = 0.47 \times RAIN^{0.5}$	
雪による光消散係数	
$\sigma_s = 8.0 \times SNOW^{0.7} + 0.07 \times FF$	

説明変数

QC	雲水量の積算（無降水格子はモデル面第 2～5 層、降水格子は第 2～9 層）
RAIN	前 1 時間降水量（雨）
SNOW	前 1 時間降水量（雪、霰、雲氷）
RH	モデル面第 1 層の相対湿度
FF	モデル面第 1 層の風速

GSM 視程ガイダンスの検証結果と比較すると、MSM 視程ガイダンスは全ての FT で ETS が大きく、BI は 1 に近い値となっていることがわかる。

図 3.11.7 には茨城県南部から千葉県北部にかけて 200～300 m まで視程が低下した 2019 年 10 月 29 日 18:00UTC に対する新旧の診断式による視程ガイダンスの予想図を示した。診断式を改良した分布図は 800 m 以下の視程をより広い範囲で予測できていることがわかる。

### 3.11.4 その他の MSM ガイダンス

上記以外の MSM 気温（時系列、最高、最低）、風（定時風、最大風、最大瞬間風速）、発雷確率、降雪量、湿度（時系列、平均、実効、最小）、天気ガイダンスは、予測手法は変更せずに FT の延長を 2022 年 6 月に行った。FT により係数を層別化しているガイダンス（時系列気温、発雷確率、時系列湿度）については、MSM 再予報結果を用いて延長された FT の係数を求めた。最高、最低気温ガイダンスは、00UTC 初期値では翌々日の最高気温と 3 日後の最低気温を、12UTC 初期値では 3 日後の最低気温と最高気温の予測を開始した（表 3.11.2）。また平均、実効、最小湿度ガイダンスについては、00UTC 初期値では翌々日の、12UTC 初期値では 3 日後の予測を開始した（表 3.11.3）。

これらのガイダンスに対して、2021 年 1 月から 12 月までの 1 年間（降雪量ガイダンスは 2021 年 12 月から 2022 年 2 月の 3 か月間）の統計検証や事例検証を実施して精度の確認を行った。FT を延長した初期時刻 00,12UTC についての各ガイダンスの統計検証結果を図 3.11.8～図 3.11.13 に示す。延長された FT はそれ以前と比べて急激な精度の低下は見られず、それぞれ概ね妥当な結果となっている。

### 参考文献

- 後藤尚親, 2018: 視程ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 185–195.
- 気象庁, 2022: 視程ガイダンス. 令和 3 年度数値予報解説資料集, 気象庁情報基盤部, 540.
- 白山洋平, 2018: 降水ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 95–118.

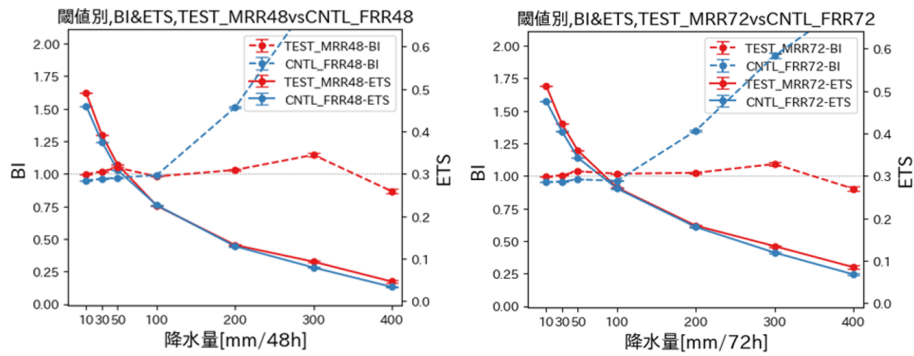


図 3.11.3 48 時間平均降水量（左）、72 時間平均降水量（右）の、2021 年 1 年間の統計検証。ガイダンス（赤線）と MSM の降水量（青線）。縦軸は BI（破線）と ETS（実線）。横軸は降水量。

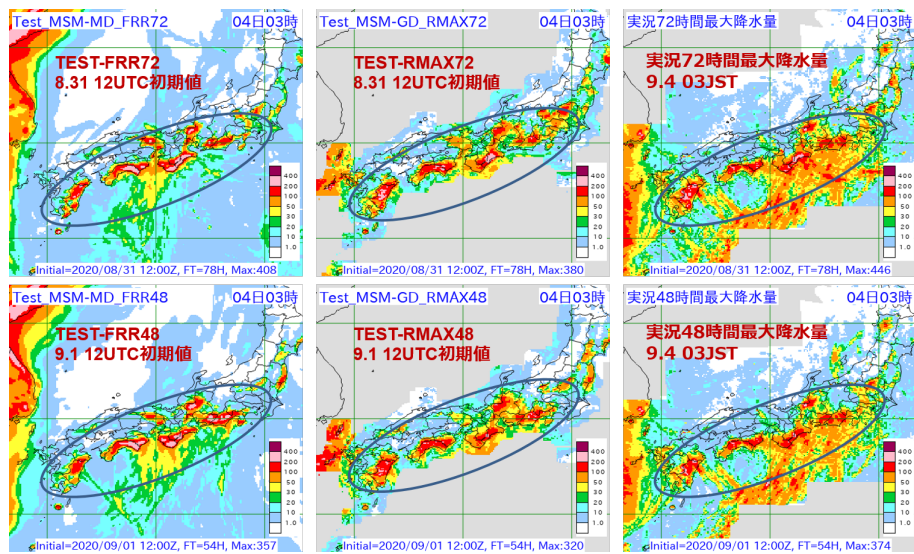


図 3.11.4 2021 年 9 月 4 日 03 時 JST を対象とした MSM 最大降水量（左列）、MSM 最大降水量ガイダンス（中列）、実況最大降水量（右列）の分布。上段が 72 時間積算 (FT=78)、下段が 48 時間積算 (FT=54)。

表 3.11.2 初期時刻別の MSM 最高、最低気温ガイダンスの予測対象。◎は今回の FT 延長に伴って追加された。“当日”、“翌日”等は日本時間による。

初期時刻	当日		翌日		翌々日		3日後	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
15UTC (00JST)	○	○	○					
18UTC (03JST)	○	○	○					
21UTC (06JST)	○	○	○					
00UTC (09JST)	○	○	○	○	◎	◎		
03UTC (12JST)		○	○					
06UTC (15JST)		○	○					
09UTC (18JST)		○	○	○				
12UTC (21JST)		○	○	○	○	◎	◎	

表 3.11.3 初期時刻別の MSM 平均、実効、最小湿度ガイダンスの予測対象。◎は今回の FT 延長に伴って追加された。“当日”、“翌日”等は日本時間による。

初期時刻	当日	翌日	翌々日	3日後
15UTC (00JST)	○			
18UTC (03JST)				
21UTC (06JST)		○ (*)		
00UTC (09JST)		○	◎	
03UTC (12JST)		○		
06UTC (15JST)		○		
09UTC (18JST)		○		
12UTC (21JST)		○	○	◎

\* 初期時刻 21UTC は最小湿度のみ予測。

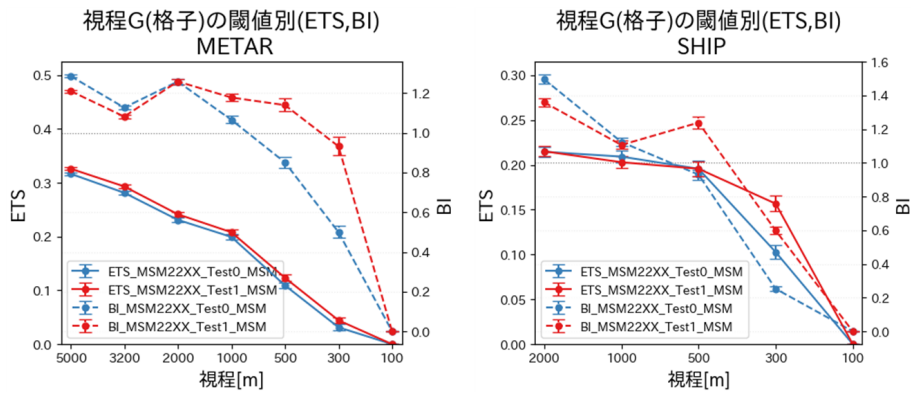


図 3.11.5 MSM 視程ガイドンスによる前 3 時間最小視程の ETS (実線) と BI (破線)。青線は旧診断式、赤線は新診断式を用いた結果を示す。左図は陸上、右図は海上の視程観測で検証した結果。検証期間は 2019 年 7 月 1 日～2021 年 6 月 30 日。

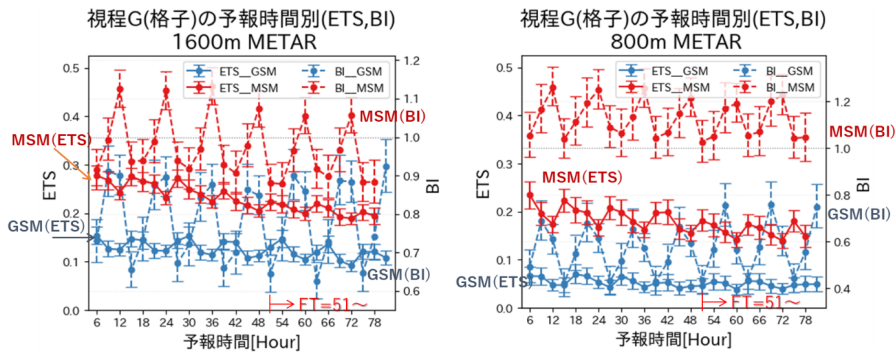


図 3.11.6 MSM (赤) と GSM (青) の視程ガイドンスによる前 3 時間最小視程の ETS (実線) と BI (破線)。横軸は FT。左図は視程 1600 m 未満、右図は 800 m 未満の結果。

高田伸一, 2018: 頻度バイアス補正. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 78-80.

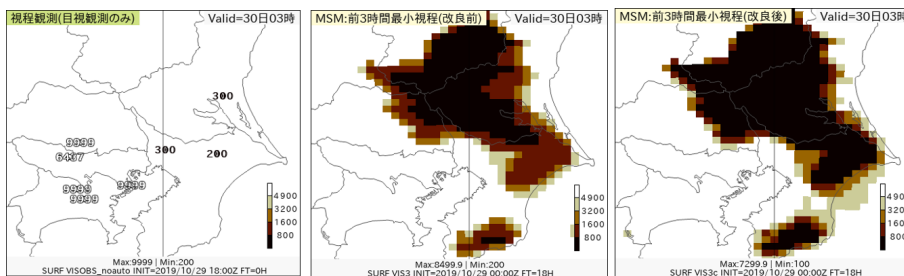


図 3.11.7 左図:2019年10月29日18:00UTCの航空気象観測通報の視程観測値。中央図、右図:それぞれ同時刻の旧診断式、新診断式によるMSM視程ガイダンスによる前3時間最小視程予測 (FT=18)の水平分布。

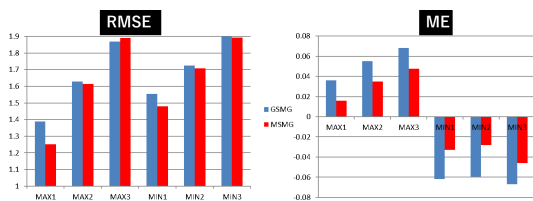


図 3.11.8 最高・最低気温のMSMガイダンス(赤)のRMSE(左図)とME(右図)。MAX1~MAX3, MIN1~MIN3は、00UTC初期値ではそれぞれ当日~翌々日の最高気温と翌日~3日後の最低気温を、12UTCでは翌日~3日後の最高・最低気温の予想値を表す。参考としてGSMガイダンス(青)の結果も示した。

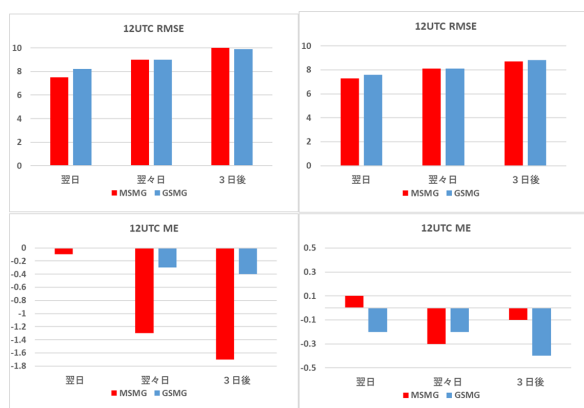


図 3.11.12 暖候期(左列)と寒候期(右列)における初期時刻12UTCのMSM最小湿度ガイダンス(赤)とGSM最小湿度ガイダンス(青)のRMSE(上図)とME(下図)。単位は%。

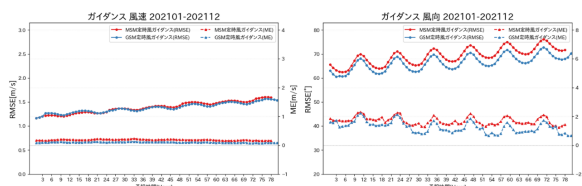


図 3.11.9 MSM定時風ガイダンス(赤)とGSM定時風ガイダンス(青)のRMSE(実線)とME(破線)。風速(左図)と風向(右図)。横軸はFT。

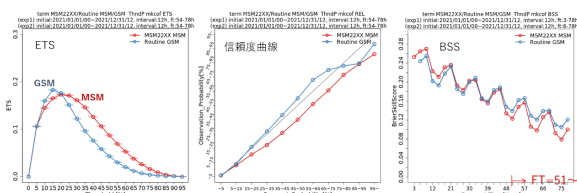


図 3.11.10 MSM(赤)とGSM(青)の発雷確率ガイダンスのFT=54~78に対するETS(左図;横軸は確率)と信頼度曲線(中図;縦軸は実況確率、横軸は予想確率)。右図はBSS(横軸はFT)。

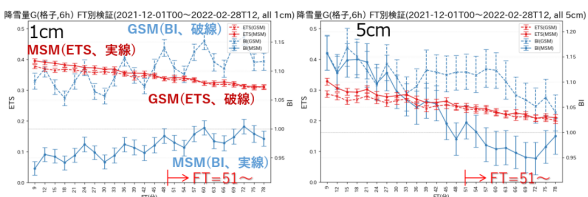


図 3.11.11 MSM(実線)とGSM(破線)の降雪量ガイダンス(格子形式)による6時間降雪量のETS(赤)とBI(青)。横軸はFT。左図は降雪量1cm以上、右図は5cm以上の結果。

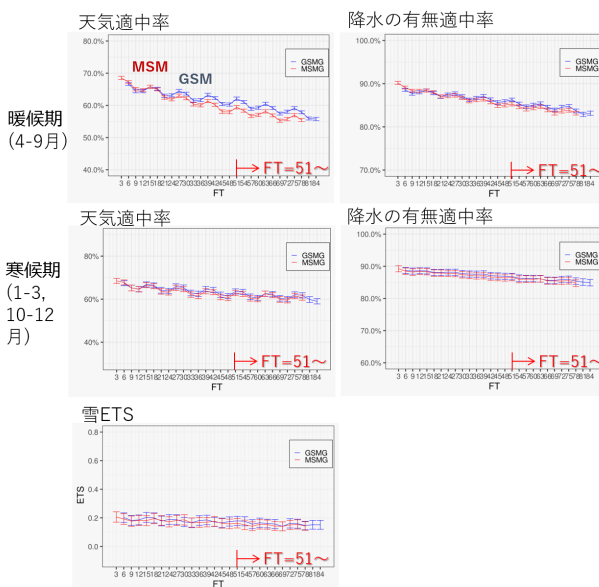


図 3.11.13 暖候期(上段)と寒候期(中・下段)におけるMSM天気ガイダンス(赤)とGSM天気ガイダンス(青)の天気適中率、降水有無適中率、雪ETS。

### 3.12 局地モデルによる気温、降雪、風、視程ガイダンス

#### 3.12.1 はじめに

数値予報開発センターでは、複数のモデルによるガイダンスを最適に組み合わせることで精度向上を目指した統合型ガイダンスの開発を行っている(気象庁 2021)。統合型ガイダンスの入力値とするとともに予報業務での活用を目的として局地モデル(LFM)によるガイダンスの開発を進めており、2022年3月に気温ガイダンスと降雪ガイダンスの部内運用を、2022年10月に風ガイダンスの部内運用をそれぞれ開始した。また航空気象予報業務での利用を目的として、2022年10月にLFMによる視程ガイダンスの部内運用を開始した。ここではこれらのLFMガイダンスの概要を説明する。

#### 3.12.2 LFM 気温ガイダンス

##### (1) 作成方法

LFM 予測値を用いて、時系列気温ガイダンスと格子形式気温ガイダンスの2種類の気温ガイダンスの運用を開始した。LFM 時系列気温ガイダンスの仕様を表 3.12.1 に示した。毎正時を初期時刻とする LFM モデルの予測値を用いて、FT(予報時間)=1~10 まで1時間毎の気温を予測する。作成手法は MSM 時系列気温ガイダンス(三戸 2018)と同様にカルマンフィルタを用いて行い、使用する係数は逐次学習により更新する。また説明変数も MSM 時系列気温ガイダンスと同じである。作成対象はアメダス地点である。

表 3.12.2 には LFM 格子形式気温ガイダンスの仕様を示す。作成方法は MSM 格子形式気温ガイダンスと同じで、前記の各アメダス地点の LFM 時系列気温ガイダンスの予測でのモデル気温修正量から推定したその周囲の各格子点におけるモデル気温修正量を用いて、格子点の気温予測値を求める(詳細は三戸(2018)参照)。計算する格子間隔は 2 km (MSM 格子形式気温ガイダンスは 5 km) である。

表 3.12.1 LFM 時系列気温ガイダンスの仕様

作成対象	アメダス地点
入力モデル	LFM
初期時刻	毎正時
予報時間	FT=1~10 まで1時間間隔
説明変数	モデル予測値(地上気温、風速、雲量、気温減率、降水量など)
層別	地点、初期時刻、FT、季節

##### (2) 検証結果

2020年6月5日~2021年6月4日の1年間の全アメダス地点のデータを用いて、LFM 時系列気温ガイダンスと LFM 格子形式気温ガイダンスの統計検証を行った。

表 3.12.2 LFM 格子形式気温ガイダンスの仕様

作成対象	2 km 格子
入力モデル	LFM
初期時刻	毎正時
予報時間	FT=1~10 まで1時間間隔
作成手法	各格子のモデル地上気温を時系列気温ガイダンスとモデル海陸比で補正

図 3.12.1 には、LFM 時系列気温ガイダンスの FT 別の RMSE と ME を、LFM モデル地上気温の RMSE とともに示した<sup>1</sup>。参考として、MSM 時系列気温ガイダンスや MSM のモデル地上気温も示している。なお LFM 時系列気温ガイダンスは初期時刻1時間毎に計算されるが、ここでは MSM 時系列気温ガイダンスとの比較のため3時間毎の初期時刻の結果のみ用いた。また実際の予報作業でガイダンスが利用可能となる時間差を考慮し、LFM 時系列気温ガイダンスの初期時刻から3時間前の初期時刻の MSM 時系列気温ガイダンスと比較している。

左列は通年の検証結果である。RMSE で見ると LFM 時系列気温ガイダンスは LFM モデル地上気温を大きく改善している。MSM 時系列気温ガイダンスと比べると優位なのは FT=3 までであり、ME は全 FT で中立か微小な改善となった。

夏の日中の最高気温、冬の朝の最低気温の時間帯の検証のため、同図の中央列、右列には、夏期(6月~8月)の初期時刻00UTC、冬期(12月~2月)の初期時刻15UTCの検証結果も示した。夏期、冬期ともに、LFM モデル気温の RMSE を大きく改善していることがわかる。MSM 時系列気温ガイダンスとの比較では、夏期は RMSE, ME とともに全 FT で優っている。冬期は RMSE は予報期間の初めを除きやや劣り、ME はやや優るといった結果となった。

時系列気温ガイダンスと同じ方法によって、LFM 格子形式気温ガイダンスの統計検証を行った結果を図 3.12.2 に示した。図 3.12.1 と同様に、LFM モデル気温や、MSM 格子形式気温ガイダンス、MSM モデル気温の結果も示している。

通年の検証では、LFM 格子形式気温ガイダンスは MSM 格子形式気温ガイダンスに比べ、精度は同程度かやや改善という結果となった。また、夏期(初期時刻00UTC)、冬期(初期時刻15UTC)については、MSM 格子形式気温ガイダンスに比べて ME は若干劣るものの、RMSE は全 FT で中立~改善となった。

<sup>1</sup> モデル地上気温はアメダス地点周辺4格子の値を内挿したうえで、モデルとアメダス地点との標高差をあらかじめ補正して使用した。

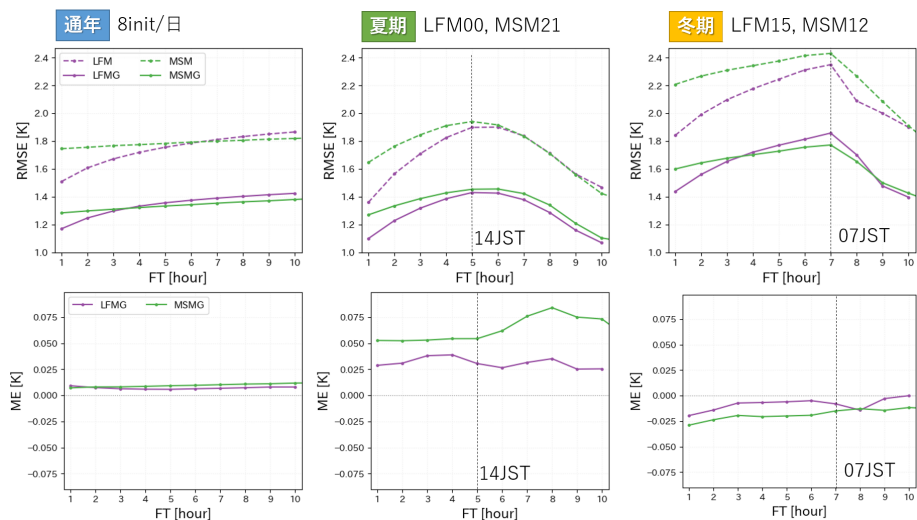


図 3.12.1 LFM, MSM 時系列気温ガイダンスの FT 別の RMSE (上段) と ME (下段)。紫は LFM、緑は MSM。上段の破線は LFM, MSM 気温予測の RMSE。なお MSM は LFM に対して 3 時間前の初期時刻を検証対象とするために FT を 3 時間ずらし FT=4~14 の値をプロットしている。左図は通年 (LFM の初期時刻 00,03,...,21UTC)、中央図と右図はそれぞれ夏期 (LFM 初期時刻 00UTC)、冬期 (LFM 初期時刻 15UTC) の検証結果。

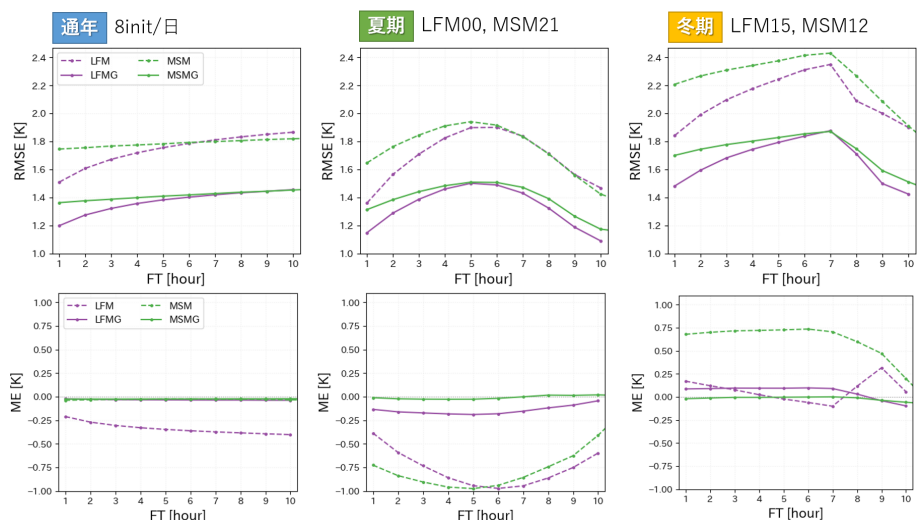


図 3.12.2 LFM, MSM 格子形式気温ガイダンスの FT 別 RMSE と ME。図の形式は図 3.12.1 と同様。

### 3.12.3 LFM 降雪ガイダンス

#### (1) 作成方法

LFM による格子形式の降雪ガイダンス (降雪量ガイダンス) の開発を行い運用を開始した。表 3.12.3 に LFM 降雪量ガイダンスの仕様を示した。MSM 降雪量ガイダンスと同様に雪量変換法 (土田 2018) によって、1,3,6 時間降雪量を予測する。計算で使用する降水量は LFM1 時間平均降水量ガイダンス (白山 2018) を、気温は前項で説明した LFM 格子形式気温ガイダンスを使用する。格子間隔は 2.5 km (MSM 降雪量ガイダンスは 5 km) であり、毎正時を初期時刻として FT=10 まで 1 時間間隔で予測する。

#### (2) 検証結果

図 3.12.3 に LFM 降雪量ガイダンスの閾値別の検証結果 (ETS、BI、捕捉率、誤検出率) を、MSM 降雪量ガイダンスの結果とともに示した。2018~2020 年度の冬季 (11 月~翌 3 月)、全国の積雪深計設置地点の降雪量観測と、その最近接格子点のガイダンス予想値 (FT=6, 9) を比較検証した結果である。なおここでは前項と同様に、MSM ガイダンスは LFM ガイダンスに対して 3 時間前の初期時刻の結果により比較を行った。ETS を見ると 8 cm/6h 以上のやや強い雪で MSM ガイダンスを上回っている。BI については弱い雪で予測がやや過多となったが、20 cm/6h 以上の閾値において MSM ガイダンスの過少傾向を改善できている。15 cm/6h 以上の降雪で捕捉率が MSM ガイダンスを上回り、誤検出率は下回った。図 3.12.4 は、MSM 降雪量



ガイダンスとの ETS の差の分布である。閾値 10 cm/6h では概ね全域で LFM ガイダンスの ETS が MSM ガイダンスを上回っていることがわかる。閾値 1 cm/6h では明瞭な分布の特徴は見られないが LFM ガイダンスが MSM ガイダンスを上回る地点が多い。

表 3.12.3 LFM 降雪量ガイダンスの仕様

作成対象	2.5 km 格子 (緯度経度)
入力モデル	LFM
初期時刻	毎正時
予報時間	FT=1~10 まで 1 時間間隔
作成手法	LFM 降水量ガイダンスの 1 時間平均降水量と雪水比の積により 1 時間降雪量を算出。雪水比は LFM 格子形式気温ガイダンスの予想気温を入力とするロジスティック回帰で計算。3, 6 時間降雪量は 1 時間降雪量を積算して算出。

### 3.12.4 LFM 風ガイダンス

#### (1) 作成方法

MSM 風ガイダンス (松本 2018) と同様に、カルマンフィルタと頻度バイアス補正によって、LFM の予想値から 1 時間ごとのアメダス地点の定時風、前 1 時間最大風、前 1 時間最大瞬間風の各予測値を計算する。説明変数 (モデルの風の東西成分、南北成分、地上風速の前 1 時間最大値、境界層最大風速) や層別化 (地点、初期時刻、予報対象時刻、風向) の方法は MSM 風ガイダンスと同じである。

#### (2) 検証結果

図 3.12.5 には、LFM 風ガイダンスの定時風について、2021 年 1 月~12 月の統計検証結果を MSM 定時風ガイダンスの結果とともに示した。なおここではガイダンスの配信時刻を考慮し、MSM ガイダンスは LFM ガイダンスに対して 1 時間前の初期時刻の結果により比較している。

予報対象時刻別の風速の RMSE を見ると日中は LFM ガイダンスの方が小さく、夜間は同程度である。また FT 別では全 FT で MSM ガイダンスより小さい。ME は予報対象時刻別、FT 別のいずれも常に LFM の方がより適切な予測であることを示している。風速別の ETS は MSM ガイダンスと比べて同等かやや大きい。BI は同程度である。FT 別に風向の RMSE を見ると、FT=5 までは LFM ガイダンスが優位でそれ以降は同等であり、ME は全 FT でより適切となっている。

図 3.12.6 は、定時風速について、LFM ガイダンスと MSM ガイダンスとの統計検証結果の違いを地点分布の形で示したものである。左図には MSM ガイダンスを基準にした RMSE 改善率を示した。ここで改善率とは MSM ガイダンス、LFM ガイダンスの RMSE を

それぞれ  $R_M, R_L$  とするとき  $(R_M - R_L)/R_M$  と定義する。中央図には MSM ガイダンスと LFM ガイダンスの ME の差を、右図には定時風速の大外し事例数の差を示した。RMSE の改善率では、全国的に LFM ガイダンスの方が RMSE が小さい地点が多い。また ME は MSM, LFM ガイダンスともに正である (図 3.12.5) が、LFM ガイダンスがそれを抑制する (青色) 地点が多いことがわかる。大外し事例の総数は LFM ガイダンスは 90667、MSM ガイダンスは 93455 となり、やや LFM ガイダンスの方が少なかったが、差分の分布に地域的な特徴は見られない。

### 3.12.5 LFM 視程ガイダンス

#### (1) 作成方法

LFM の予測値から格子点での前 1 時間最小視程を予測する視程ガイダンス (格子形式) を開発した。LFM 視程ガイダンス (格子形式) の作成手法は MSM 視程ガイダンス (格子形式) と同様 (後藤 2018) であり、格子点毎、1 時間毎に浮遊塵、雲粒、雨粒、雪による光消散係数を、LFM モデル予測値 (相対湿度、雲水量、雨、雪、気温、風速) を説明変数とする診断式によって求め、前 1 時間最小視程に換算する。診断式の係数は MSM 視程ガイダンス (格子形式) の係数を参考に、2021 年 3 月 31 日~8 月 24 日と LFM2103 業務化試験時の 2020 年 11 月 1 日~2021 年 2 月 4 日の期間のモデル予測値を使い、飛行場での視程観測値と比較して決定した。なお MSM 視程ガイダンス (格子形式) では雲粒による光消散係数の計算を降水格子と無降水格子で別式としている (第 3.11.3 項) が、LFM 視程ガイダンス (格子形式) では単一式である。LFM 視程ガイダンス (格子形式) で使用する診断式を表 3.12.4 に示した。

#### (2) 検証結果

図 3.12.7 は 2021 年 8 月 25 日~2022 年 6 月 13 日の期間の航空気象観測通報の視程観測値を用いた天気別の検証結果である。比較として、同期間データによる MSM による前 1 時間最小視程ガイダンス (格子形式) の検証結果も示した。

全事例についての結果 (左上図) を見ると、MSM ガイダンスと比べて閾値 600 m 以下においては LFM ガイダンスの ETS が上回り、BI もより適正な値となっている。天気別に見ると、無降水時 (右上図) や降雨時 (左下図) で、LFM ガイダンスの ETS は MSM ガイダンスと同程度かやや上回っている。BI についても、降雨時の 1600 m 以上の閾値の場合を除き、総じて LFM ガイダンスの方が 1 に近い。降雪時 (右下図) については、MSM ガイダンスと比べ ETS は総じてやや小さいが、閾値 400 m 以下では同程度である。図 3.12.8 には事例解析の一例として、2021 年 12 月 15 日 4 時 JST に対する LFM ガイダンス、MSM ガイダンスの視程分布 (FT=10) を示した。MSM ガイダンスは茨城県南部

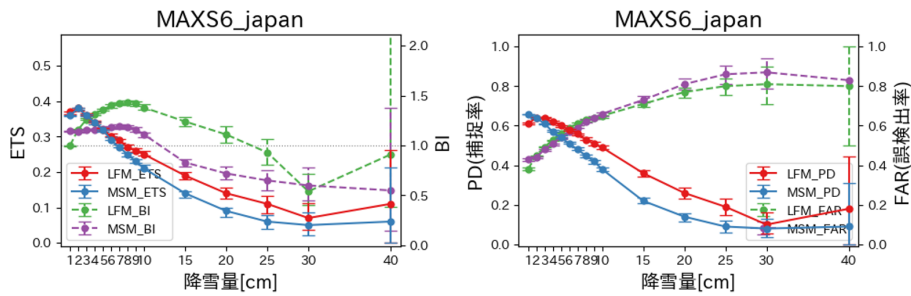


図 3.12.3 LFM, MSM 降雪量ガイダンスによる 6 時間降雪量予測の閾値別の検証結果。左図：ETS（実線）と BI（破線）。右図：捕捉率（実線）と誤検出率（破線）。

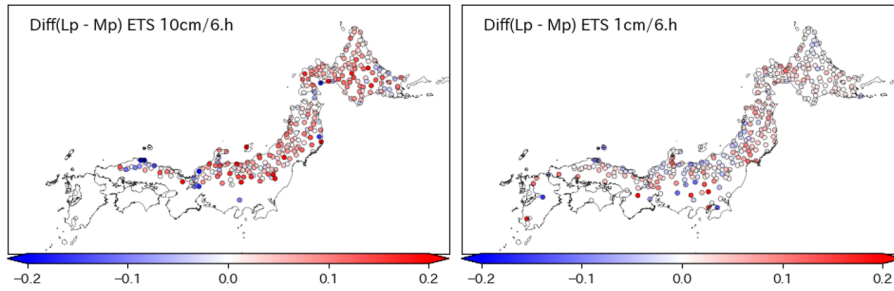


図 3.12.4 MSM 降雪量ガイダンスの ETS と LFM 降雪量ガイダンスから求めた地点予想値の ETS との差。赤色（青色）の地点は LFM ガイダンスの ETS が MSM ガイダンスよりも高い（低い）ことを示す。左図は閾値 10 cm/6h、右は 1 cm/6h の結果。

表 3.12.4 LFM 視程ガイダンス（格子形式）における視程の計算式

視程 VIS = $3 / (\sigma_p + \sigma_c + \sigma_r + \sigma_s)$
浮遊塵による光消散係数 $\sigma_p = 0.3(1 - RH)^{-0.2}$
雲粒による光消散係数 $\sigma_c = 4.0 \times QC^{1.5}$
雨粒による光消散係数 $\sigma_r = 0.47 \times RAIN^{0.5}$
雪による光消散係数 $\sigma_s = 8.0 \times SNOW^{0.75} + 0.07 \times FF$

説明変数

QC	雲水量の積算（モデル面第 2~9 層）
RAIN	前 1 時間降水量（雨）
SNOW	前 1 時間降水量（雪、霰、雲氷）
RH	モデル面第 1 層の相対湿度
FF	モデル面第 1 層の風速

から千葉県北東部にかけて発生した放射霧を予測できなかったが、LFM ガイダンスでは低視程域の広がりを予測できていることがわかる。

### 3.12.6 まとめ

数値予報開発センターでは、LFM による気温ガイダンス、降雪ガイダンス、風ガイダンス、視程ガイダンスを開発し部内運用を開始した。気温、降雪、風ガイダンスは今後の統合型ガイダンスの開発で活用していく。また、いずれのガイダンスも予報業務での利用が期待できることから、引き続き精度向上を図っていく

たい。

### 参考文献

- 後藤尚親, 2018: 視程ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 185-195.
- 気象庁, 2021: 統合型ガイダンス. 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, 107-110.
- 松本智文, 2018: 風ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 144-153.
- 三戸洋介, 2018: 気温ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 132-143.
- 白山洋平, 2018: LFM 降水量ガイダンスの開発. 平成 30 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 22-31.
- 土田尚侑, 2018: 降雪ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 119-131.

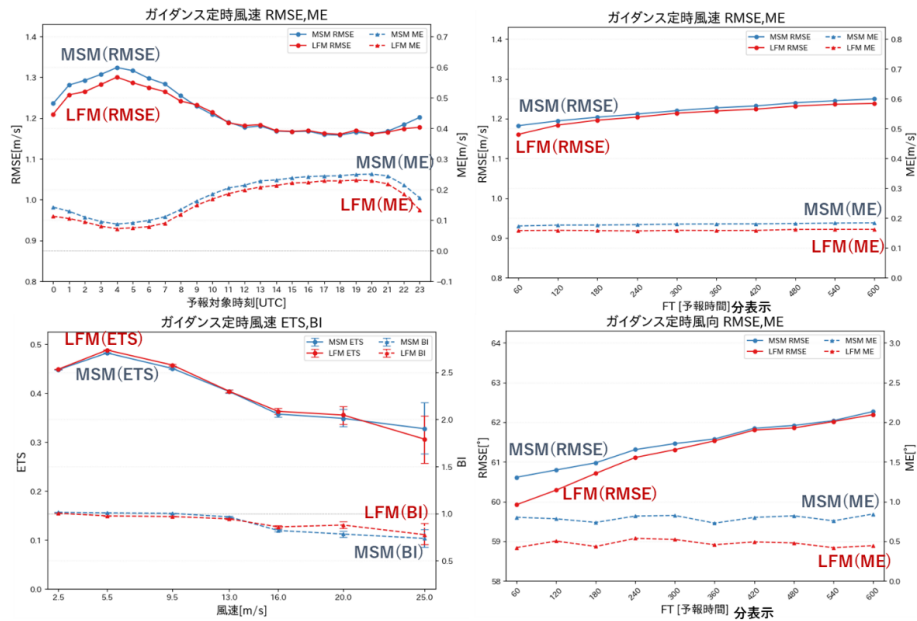


図 3.12.5 LFM 定時風ガイダンス (赤) と MSM 定時風ガイダンス (青) の RMSE, ETS (実線) と ME, BI (破線)。(左上图) 予報対象時刻別の風速精度、(右上図) FT (分単位) 別の風速精度、(左下図) 風速別の風速の精度、(右下図) FT (分単位) 別の風向精度の検証結果。

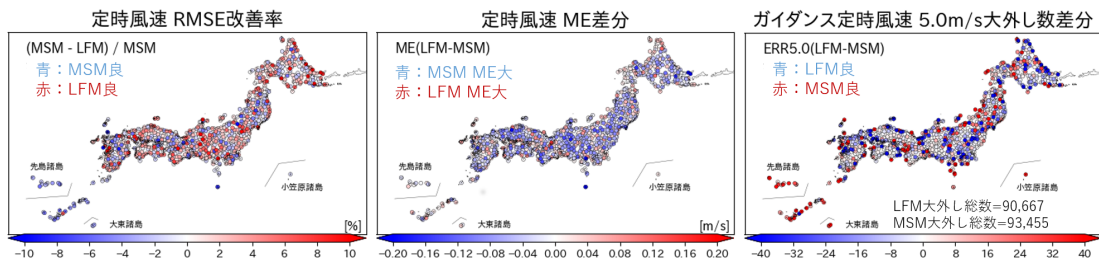


図 3.12.6 定時風速についての LFM,MSM ガイダンスの統計指標の分布。(左図) RMSE 改善率 (赤色なら MSM より改善)、(中央図) ME 差分、(右図) 大外し数差分 (青なら MSM より改善)。ここで大外しとは風速誤差が 5 m/s 以上を指す。

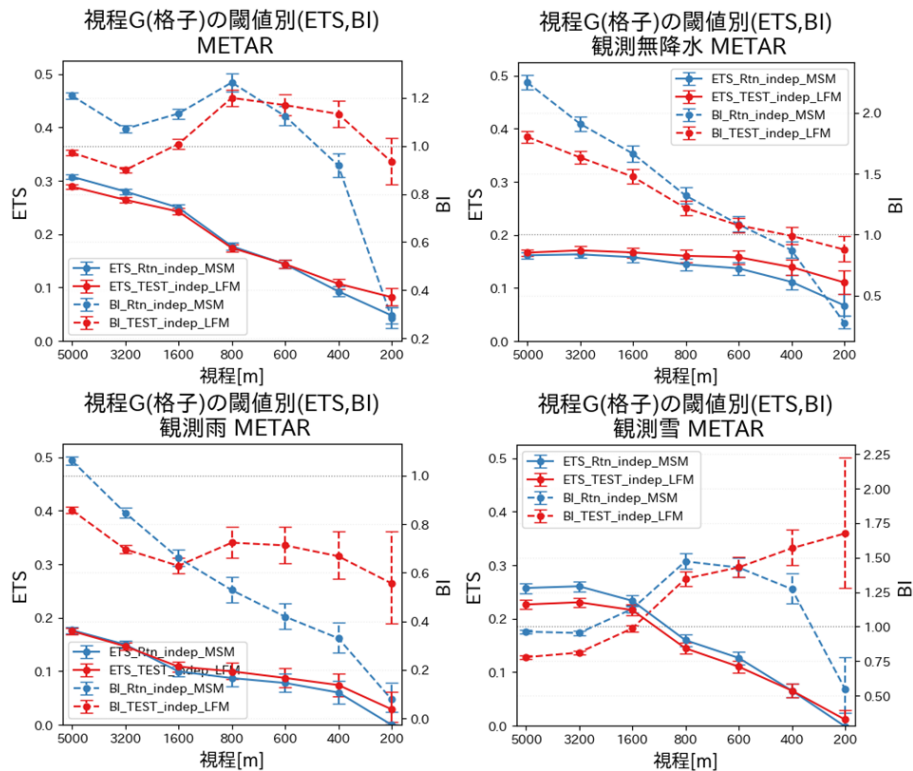


図 3.12.7 LFM (赤) と MSM (青) 視程ガイダンス (格子形式) の、視程閾値ごとの ETS (実線) と BI (破線)。(左上図) 全事例、(右上図) 無降水事例のみ、(左下図) 降雨事例のみ、(右下図) 降雪事例のみの検証結果。

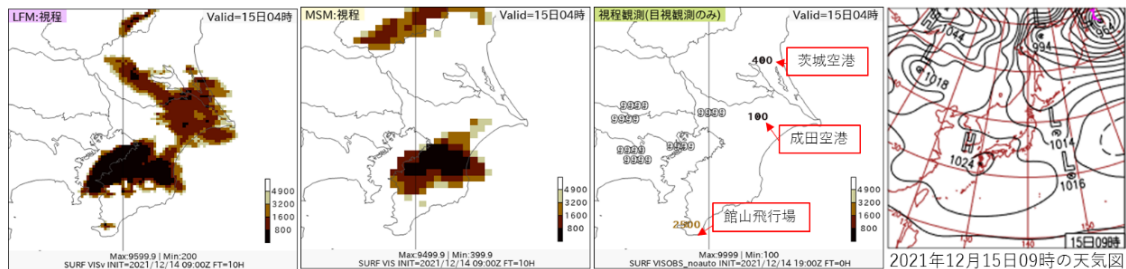


図 3.12.8 左から 2 枚の図は、2021 年 12 月 15 日 4 時 JST に対する LFM 視程ガイダンス (格子形式)、MSM 視程ガイダンス (格子形式) の予測分布 (FT=10)。3 枚目の図は同時刻の航空気象観測通報による実況値、4 枚目は同日 9 時 JST の地上天気図。