

第6章 プロダクト利用上の留意点

6.1 はじめに¹

数値予報データの重要性が、予測精度向上とともに、年々増している。今後も、基盤データとして数値予報データの利活用がますます広がることが期待される。平成30年8月にとりまとめられた交通政策審議会気象分科会提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方（提言）～災害が激甚化する国土、変革する社会において国民とともに前進する気象業務～」²において、重点的に取り組むべき分野として、観測・予測精度向上のための技術開発において数値予報の精度の大幅な向上などと、気象情報・データの利活用促進においてデータの「理解・活用」を支援・促進することなどが挙げられている。今日では数値予報は気象予報業務の根幹となっている一方で、大気のカオスの性質や数値予報の様々な手法に内在する制約などのために予測の不確実性がある。また、作業時間が限られる現業予報では多くの資料を効率的に利用しなければならないという要請もある。このため、作業に当たって、予測の不確実性を踏まえた留意点を確かめて効果的に数値予報資料を利用する必要がある。数値予報の利用上の留意点に関する情報は、利用者における「理解・活用」を直接的・間接的に支援するために重要なものといえる。これまでに、包括的な解説として、例えば永田・萬納寺 (1994) や藤田・山本 (2012) がある。今回はこれらの内容を踏まえつつ、現在の数値予報システムに即して、改めて数値予報資料の利用上の留意点を考える。

本章では、まず第6.2節で数値予報の特性としてその限界と予測可能性について述べ、これらを踏まえた数値予報プロダクトの利用上の留意点を述べる。本節の内容は、藤田 (2012) に基づいて記述したが、最新の知見を踏まえて更新を行った。藤田 (2012) と共にご覧いただくことを想定しているが、本研修テキストだけで話が完結するように丁寧に説明している部分もある。やや冗長に感じられる部分もあるが、ご了承いただきたい。次に第6.3節ではガイダンス利用上の留意点について述べる。なお、数値予報モデルや解析システムの詳細、また気象庁の現業数値予報システムの具体的な仕様や特性などについては必ずしも明示しないので、必要により本研修テキストの関連箇所やこれまでの研修テキストを確認いただきたい。

6.2 数値予報プロダクトの利用¹

6.2.1 数値予報の限界と予測可能性

数値予報は初期値を適切な境界条件のもと、数値予報モデルを用いて時間積分することにより、予測計算が行われる。しかし、数値予報には様々な誤差要因があり (石田 2017)、それが数値予報の不確実性をもたらす。そこで、この不確実性を考える手がかりとして、数値予報モデルについては力学過程と物理過程を、さらに初期値と境界条件について述べる。最後に、予測の不確実性を見積もるアンサンブル予報について述べる。

(1) 数値予報モデルの力学過程について

力学過程は、後述の物理過程との対比において、方程式系の中で格子平均値を用いて直接計算できる時間変化率の項 (及び時間積分) を取り扱っている。方程式系を計算機で数値的に解くために離散化 (空間的に区切りのない連続体 (流体) である大気の状態を多数の格子点値などの不連続な値で代表させること) を行うがここで誤差が生じる。一般に表現できる現象の最小スケールは格子間隔の5~8倍程度とされる (藤田 2012; 永田・萬納寺 1994)。短期・中期予報² で用いる気象庁現業数値予報モデルの水平格子間隔は、GSM が約20 km、MSM が5 km、LFM が2 km であることから、各モデルが表現できる現象のスケールは、それぞれ100~150 km、25~40 km、10~15 km 以上となる。

鉛直層間隔は、鉛直スケールが小さい現象、あるいは鉛直の不連続が特徴的な現象を考える場合は重要な問題である。現在の数値予報モデルの鉛直層間隔は地表付近で数10 m、500 hPa 付近で数100 m、成層圏で1000 m 程度である。現在のGSMの鉛直層配置は図4.7.3や米原 (2014) の図1.1.1を、MSM及びLFMの鉛直層配置は図4.7.3や原 (2017) の図2.1.1をそれぞれ参照いただきたい。

力学過程に関連して方程式系について簡単に述べる。GSMは静水圧平衡を仮定した静力学モデルを、MSM及びLFMは静水圧平衡を仮定しない非静力学モデルをそれぞれ用いている。水平格子間隔がおおよそ10 kmより高い場合には非静力学化する必要が生じるとこれまで言われてきたが (藤田 2012)、欧州中期予報センターでは静力学モデルを水平格子間隔約9 kmで運用しており、静力学モデルは従前から言われていた10 kmより高分解能でも利用可能であるかもしれない。ただし、いずれにせよ、気象庁の現業数値予報モデルの方程式系そのものについては現状で十分な精度があると考えてよい。

¹ 石田 純一

² <http://www.jma.go.jp/jma/press/1808/20a/bunkakai.teigen.pdf>

¹ 石田 純一、山田 和孝

² ここでの短期及び中期の定義は経田 (2016) と同様に、3日までを短期、3日を超えて10日先までを中期としている。

(2) 数値予報モデルの物理過程について

物理過程については近年精緻化が進んでおり、現在の天気予報で対象となる現象の予測に重要な自然現象は物理過程にほぼ含まれていると考えてよい。

数値予報モデルにおける物理過程の役割について原 (2012) に説明がある。ここでは、その概略を簡単に述べる。物理過程には、力学過程に含まれない大気中の現象や、地表面や海面が大気に影響を与える効果が含まれる。物理過程においては、格子平均値で直接的に表現できない時間変化率の項を何らかの形で格子平均値で計算する。

物理過程では格子より小さいスケールの効果を格子平均値で計算するためにモデル化を行っている。このとき、格子平均値といった限られた情報のみを用いて格子より小さいスケールの効果を記述する必要があるため、原理的な制約がある。物理過程によっては解くべき方程式すら分かっていない、あるいは、解くべき方程式が分かっているにもかかわらず膨大な計算が必要なため、極めて簡略化した近似式を用いざるをえないものもある。そのため、物理過程の改良は重要な開発課題となっており、気象庁では継続的に改善に取り組んでいる。近年の物理過程の改良については、米原 (2016, 2017)、原 (2017) などにまとめられている。

物理過程においては、そもそも計算されていない効果（例えば、MSM と LFM では地表面の積雪が解析値で固定されているために、予報時間中に積雪の有無が変わる効果や、GSM、MSM、LFM では海面水温が大気により変化する効果³は、現在は計算されていない）に起因する誤差と、計算されているもののモデル化の不確実性などに起因する誤差とがある。誤差の大きさそのものや、他の物理過程・力学過程との相互作用を通じた影響の度合いは、前者が後者より大きいとは限らないことに注意が必要である。後者に対応する、既に効果を取り入れられている物理過程の改良であっても予測が大きく改善しうる（従って、予測特性が大きく変わりうる）ことを、今後、研修テキスト等の解説を参照する際に念頭においていただきたい。

物理過程の違いによる予測結果の違いの例として、図 6.2.1 に、2017 年 9 月 21 日 18UTC 初期値の 12 時間予測における前 3 時間降水量と海面更正気圧をモデル毎に示す。この事例では、天気図（左端）と解析雨量（左から 2 番目の図）に示されるように低気圧と前線の周辺に降水域があった。GSM（右から 2 番目の図）は解析雨量と比較して弱い降水域を前線の周囲とその北側に広く予測し、前線近傍の降水量が少ない。MSM（右端）では強い降水を前線付近に集中させている一方で、前線北側の弱い降水域の広がりが狭い。両モデルとも四国沖に低気圧を予測しているが、MSM の方がより発達する予測であった。

降水の特徴の違いについては、各モデルの格子間隔、力学過程の違いに加えて、積雲対流過程が異なっていることが原因と考えられる。GSM で用いている積雲対流スキームは、大気安定度がそれほど低くない段階から対流が発生するものとして成層を安定化させるため、弱い降水を広めに予想する傾向がある（原 2013）。MSM については、地形や収束などの強制力が強いときに強い降水を集中させる傾向がある（原・倉橋 2017）。この例では、それぞれの降水予測の特徴が現れている。

また、MSM の低気圧の発達については、積雲対流スキームによる不安定の解消が不十分である場合に格子スケールの上昇流が強く予測され、その結果として低気圧の過発達につながる事が知られている。実況をよく表現している場合もあるが、MSM に発達した低気圧が予測され、非常に強い上昇流が下層から上層まで表現されている場合には、その低気圧が過発達である可能性を考慮に入れる必要がある（原・倉橋 2017）。

(3) 初期値と境界値について

初期値に含まれる誤差の問題を考える。近年、初期値の精度が数値予報精度に与える影響が大きいことが、とりわけ短期予報・週間天気予報の範囲では強く認識されるようになった（第 3 章）。客観解析は、各種観測データの充実と、データ同化手法の高度化（変分法同化手法の採用）、観測データの予報変数への変換過程の排除（直接同化）などを通して、観測データの数と分布、データのより効果的な利用の両面で大きく改善されてきており、特に衛星データ利用の効果は大きい。近年の衛星データ利用の充実については第 I 部第 2 章、平原 (2017)、亀川・計盛 (2017)、村上・計盛 (2017)、大和田 (2017) などにまとめている。しかし、依然として利用できる観測データの分布には偏りがあり、特に海上を進む擾乱の予測は不確実性が大きい。

第 I 部第 3.3 節の南岸低気圧の事例では、GSM の予測について初期値が新しくなる毎に進路が南寄りになる変化傾向が見られた。また、第 I 部第 3.4 節の台風第 21 号の事例では、上陸前の台風の予測について、初期値が新しくなる毎に台風の進路を東に、上陸を早める予測の変化傾向が見られた。このように、海上を進む擾乱など、予測に影響を与えている観測が少ない場合、新しい時刻の観測により予測が大きく変化することがある。

初期値作成に適用されるデータの中でやや異質といえるのが台風ボーガスである。台風ボーガスは、台風予報に適切な初期場を作るために、台風周辺に与えられる擬似観測データである。現在の気象庁の現業数値予報モデルでは、北西太平洋のみに利用しており、台風の初期値位置を改善している。直近の GSM での改良については岡部ほか (2017) に解説がある⁴。台風ボーガ

³ GSM では季節変動は考慮している（付録 A.1）。

⁴ 従って、本稿執筆時点では GSM と MSM とでボーガスの作成手法が異なっている。

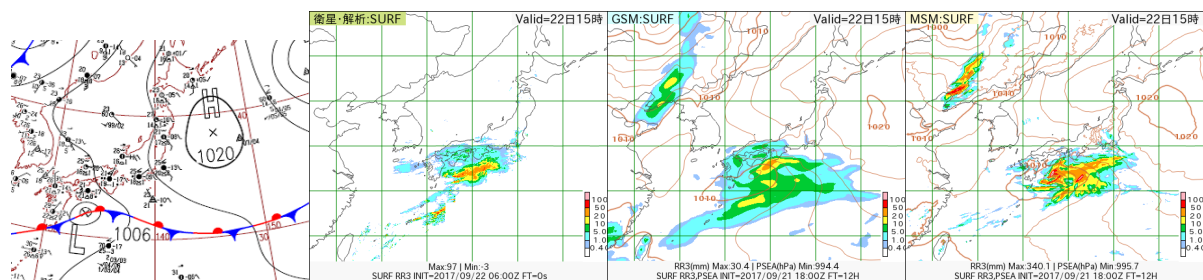


図 6.2.1 (左から) 2017 年 9 月 22 日 06UTC (日本時間 22 日 15 時) のアジア太平洋地上天気図 (日本付近を拡大して抜粋)、同時刻における解析雨量による前 3 時間降水量、同時刻における GSM の前 3 時間降水量と海面更正気圧 (初期時刻は 9 月 21 日 18UTC)、同初期時刻・同予測対象時刻における MSM の前 3 時間降水量と海面更正気圧。単位: mm/3h 及び hPa。

スは、地上観測や衛星観測などを踏まえ予報官が解析した結果を理想的な単純化されたモデルに当てはめて作成されるデータである。そのため、強度や空間対称性などの点で実際の台風の状態と一致するとは限らないことがある。また、仮に一致していたとしてもデータ同化により台風ボーガスで与えたデータが完全にそのまま反映されるわけではない。そのため、初期値での台風構造が、衛星画像などの実況から乖離していないか確認いただきたい。

また、現在のグローバルモデルにおける台風ボーガスでは、台風構造の歪みを生じるような局所的に大きなインクリメントが入りにくい。このため、台風の急発達による気圧低下や位置ずれの修正が一つの初期時刻の解析では十分ではない場合もある (岡部ほか 2017)。図 6.2.2 に 2017 年 9 月 10 日 12UTC 初期値の GSM での台風予測結果を、前初期値の 10 日 06UTC 初期値の予測結果と比較して示す。この例では、9 月 10 日 12UTC において、北緯 17 度、東経 138 度付近にある台風第 18 号の周辺の気圧を下げる修正が行われた (左図)。この結果、9 月 12 日 12UTC における台風の予測についても台風の中心気圧が下がる方向に変化した (右図)。10 日 06UTC 初期値においても、同様に台風第 18 号の周辺の気圧を下げる修正が行われ、予測も中心気圧が下がる方向に変化した (図略)。

その他、海面水温、地中温度、土壌水分量、積雪域、海水域の初期値として気候値もしくは客観解析で求めた値が用いられている (詳細は付録 A を参照のこと)。近年は衛星によりこれらの観測が得られるようになりつつあるが、依然として限定的であり、不確実性がある。

境界値に含まれる誤差について、まず下部境界条件 (地形) を述べ、次に MSM や LFM といった領域モデルに固有の側面境界条件について述べる。

GSM, MSM, LFM の地形は米国地質調査所 (USGS) が作成した 30 秒 (約 1 km) メッシュの GTOPO30 データを平滑化して作成している。日本の地形は水平格子間隔がもっとも小さい LFM (2 km) よりもさらに小さいスケールの起伏があり、実際の地形とモデル地形が異なる場合がある。このような小さいスケールの地形の影響を受ける風や標高が異なる場合の気温は誤差が

大きいと考えられる。数値予報プロダクトの利用に際しては、実際の地形とモデル地形の違いを十分把握するとともに、このような誤差は系統誤差としてガイダンスにより補正される (第 5 章を参照) ことを念頭において、数値予報の結果とガイダンスの結果を使い分けていただきたい。

MSM や LFM といった領域モデルでは、予報領域の外縁部でより分解能の低いモデル (親モデル) と接続して、領域外の情報を取り入れるという特徴がある。このために、境界面 (側面及び上部) において、運動量、熱、水蒸気の流入・流出を計算するとともに、親モデルと接続する領域 (緩和領域または側面境界) で親モデルの値に近づける強制力を与えている (原 2016)。この影響は予報時間が長くなるにつれて、内部に移流することにより影響を与えるとともに、解析予報サイクルを通じて解析値にも影響を与える。境界値が解析値・予報値に与える影響は大きく、例えば、原 (2016) では GSM の改良による下層の乾燥バイアスの軽減が、GSM を境界条件として用いる MSM の解析値・予報値においても同様の影響をもたらしたとともに、降水の予測頻度が増えたことが説明されている。領域モデルにとっては、親モデルにより予測されたスケールが相対的に大きい現象を適切に取り入れることが重要である。しかし、同時に親モデルのバイアス特性なども引き継ぐこと、すなわち、親モデルの改良によるバイアス特性の違いがそれを境界条件として用いる数値予報モデルにも同様に反映されることを利用にあたっては留意いただきたい (第 I 部第 1.4 節も参照のこと)。

例として、図 6.2.3 に 2018 年 6 月 13 日 00UTC 初期値の GSM の 36 時間予測と、それを境界条件として用いている 13 日 03UTC 初期値の MSM の 33 時間予測それぞれの 500 hPa ジオポテンシャル高度の対初期値誤差を示す。誤差の分布が GSM と MSM で類似していることが分かる。予測初期では各モデルの初期値に関連する誤差傾向が見られるが、次第に境界の影響を受け、予測の後半では総観規模の流れの場合などの誤差の分布が境界値の誤差に似る傾向がある。GSM の予測に初期値変わり等、不確実性がある場合には MSM の予報後半の総観場の予測にも不確実性が生じる場合が

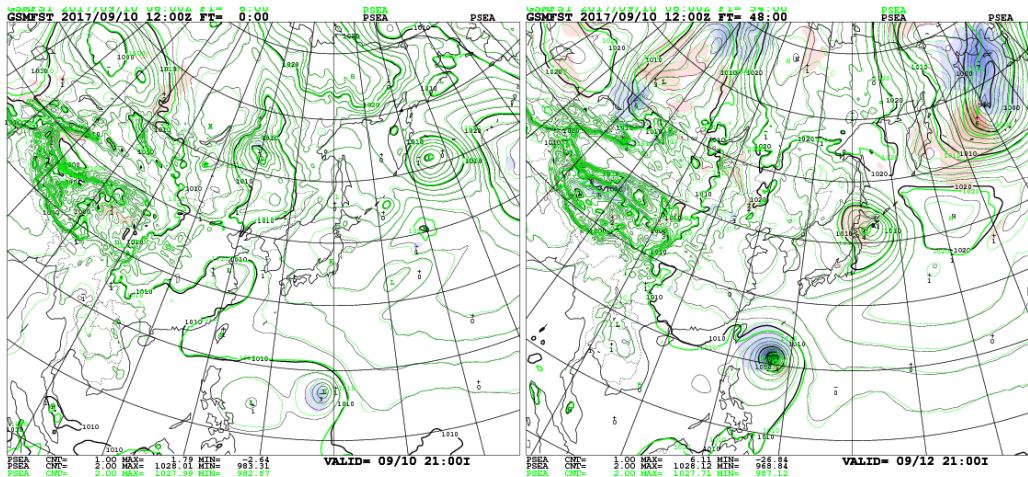


図 6.2.2 2017 年 9 月 10 日 06UTC 初期値予測（緑線）と 10 日 12UTC 初期値（黒線）の GSM の海面更正気圧。ハッチは 10 日 12UTC 初期値の予測と 10 日 06UTC 初期値の予測の差で、高くなった領域を赤、低くなった領域を青で示す。対象時刻はそれぞれ 10 日 12UTC（左）、12 日 12UTC（右）。

あることに留意してご利用いただきたい。

(4) アンサンブル予報について

初期値に含まれる誤差について、永田・萬納寺 (1994) は二つの点を指摘している。一つは初期場の誤差が時間とともに次第に振幅を増していくケースであり、もう一つは、大気の数式系が非線形であることにより、予報初期のごくわずかな誤差が急激に拡大して将来の予報が大きく変わるケースである。特に後者は大気のカオス的性質に由来するもので、予測可能性に関わる極めて重要な考え方である。これらに関して、誤差幅・不確実性を見積もることも重要である。そのための手続きとしては、前回や前回予報との比較、初期値に摂動を与えるなどしたアンサンブル予報の利用が一般的である。

まず、初期値が古い予報を併せて利用することは LAF (Lagged Average Forecast) 法と呼ばれるアンサンブル手法の一つと言える。この手法はどこで強雨が発生するかといった不確実性が大きい現象の予測での活用が考えられ、LFM 降水量ガイダンスで活用されている（第 I 部第 2.3 節）。ただし、平均的には新しい予報の方が精度が高いことを念頭におく必要がある。

アンサンブル予報については、経田 (2016) に説明があり、ここでは簡単に概要を述べる。アンサンブル予報は、数値予報の不確実性を前提として、予測情報の確からしさに関する情報を得るための手法である。現在では中期予報から季節予報において実行されている。中期予報におけるアンサンブル予報は、2017 年より週間アンサンブル予報システム、台風アンサンブル予報システム及び 1 か月アンサンブル予報システムを統合して全球アンサンブル予報システムとして導入するとともに、様々な改良を実施した (山口 2017)。全球アンサンブル予報システムでは、統合前の 3 システムが支援する業務を引き継いで、移動性の高・低気圧や台風の不確実性などに関する情報を得るために用いられてい

る。また、気象災害をもたらすようなメソスケールの現象を対象としたメソアンサンブル予報システム（第 I 部第 1.5 節、小野 2016 を参照のこと）やそれに基づくガイダンス（第 I 部第 1.5.4 項を参照のこと）の開発も進めている。このような現象は不確実性が大きいことから、アンサンブル予報の手法は有益であると考えられるが、これまでに気象庁では利用した実績がないことから利用にあたっての検討が重要となる。メソアンサンブルの利用検討と留意点については第 I 部第 1.5.5 項 も適宜ご覧いただきたい。

6.2.2 プロダクトの見方・使い方

現在、短期予報及び中期予報で利用可能な現業数値予報モデルは GSM, MSM, LFM 及び全球 EPS の四つである。これらは分解能、予報時間、予報頻度、予報特性のいずれも、それぞれ異なっている。使い分けとしては、基本的に対象とする現象の時間、空間スケールで考える（図 1.4.1）こととなる。また、一般に、数値予報は最新の予測の精度が平均的に最も高く、より解像度の高い数値予報モデルの方がより小さなスケールの現象まで解像することから、原則として、最新の、解像度の最も高い数値予報モデルの結果を利用することが推奨される。ただし、一つ一つの事例で見ると新しい予報が必ず精度が高いとは限らないこと、分解能の高さが単純に精度の改善につながっているとは限らないことから、利用に際しては、原則に従いつつ予測された場を観測データと比較して確認することが必要である。

数値予報プロダクトは図形式（画像ファイルまたは FAX 図）及び格子点形式（GPV のファイル形式資料）として提供される。格子点形式のプロダクトは利用者により任意の地点への内挿や領域を切り出したり、物理量の変換等が行われた上で利用される。以下では、格子点形式のプロダクトを利用するにあたって、プロダクトの作成処理に起因する注意点と、利用に際して

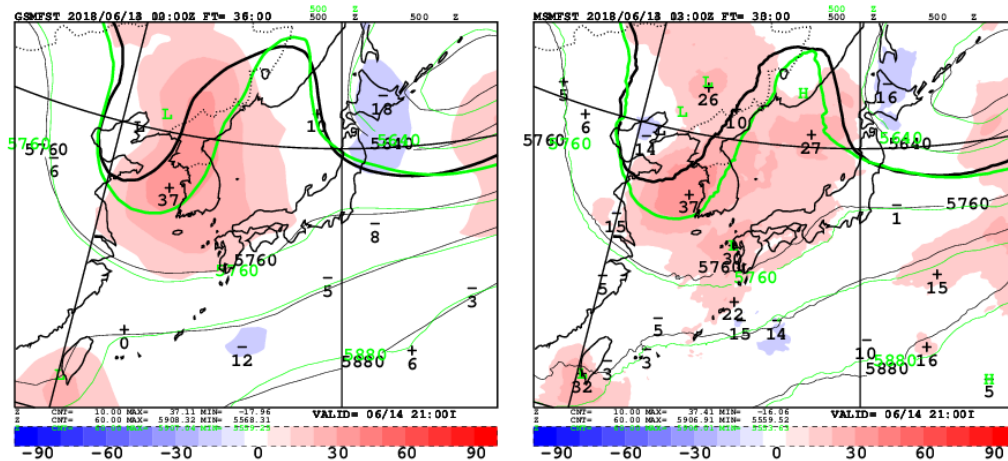


図 6.2.3 500 hPa ジオポテンシャル高度について、2018 年 6 月 13 日 00UTC 初期値の GSM の 36 時間予測の対初期値誤差（左）と、13 日 03UTC 初期値の MSM の 33 時間予測の対初期値誤差（右）を示したものの。対象時刻はどちらも 6 月 14 日 12UTC。黒線は予測値、緑線は初期値、ハッチは予測値と初期値の差を示す。

注意すべき事項を解説する。

(1) 格子点値の理解と利用

プロダクトとしての数値予報出力の格子点値 (GPV) は、利便性を考えて数値予報モデルの格子から等緯度等経度格子に変換したデータとして広く提供されている。この格子系の変換は内挿処理によるが、内挿処理は平滑化の効果を伴うために、数値予報モデルと同程度の分解能を有する GPV であっても空間変動の表現が変わりうるという特徴がある点に注意が必要である。鉛直分布についても、利便性と円滑なデータ配信のために、特定の気圧面データのみが提供されている。この気圧面データは鉛直方向の内挿により作成され、かつ、数値予報モデルの鉛直層数よりはかなり少なくなっている。このため、鉛直方向についても、数値予報モデル本体の表現よりもさらに平滑化されていると考える必要がある。

GPV の利用の際に格子点と一致しない位置の値を求める場合がある（例えば、地点形式のガイダンスで対象でない地点における予測値を求める場合などが考えられる）。ここで、数値予報モデルの不確実性や表現可能性を考えると、単純な内挿よりも周囲の格子の状態を考慮した方がよい場合がある。例えば、地表面が海か陸かによって地上の風や気温などの特性が大きく変わるので、沿岸地点に対しては単純な内挿処理は適当でない場合がある。このことと平滑化の問題を合わせて考えると、特定地点の値を得る際は、目的や要素の性質、予報特性や誤差を勘案して、

- 対象地点に最も近い格子点の値を用いる。
- 対象地点の周囲の格子点の値を内挿する。
- 対象地点の周囲の格子点のうち、特性が大きく異なる格子点の値を除外して内挿する。

などから適切な手法を選択する必要がある。

格子点値は、個々の格子がカバーする水平、鉛直の

3 次元または水平 2 次元の領域の平均値であるが、格子内のある場所の実際の値には分解能や要素の性質に応じた変動幅があることにも注意が必要である。この変動幅は、気象状況、要素など、様々な要因に依存するので見積もりは難しいが、一般的な性質として理解しておきたい。

(2) 注意が必要ないくつかの物理量

数値予報 GPV に含まれる物理量について注意が必要な点を述べる。地上における気温や風などの物理量は、数値予報モデルで直接計算された値ではなく、モデル大気下層の値から気温減率を仮定したり、接地境界層における安定度を考慮して、モデル地形の地表に対して算出されている。物理量の算出手法については付録 C をご覧頂きたい。また、地形との関係では大気下層のデータにも注意が必要である。格子点値は等圧面上のデータとして作成されるが、モデル地形の標高が高い場合、その等圧面が地表面よりも低くなることもあり、その等圧面での値は大気下層の物理量から便宜上算出したものである。下層データを利用する際には、利用しようとしている気圧面の気圧をモデル地形の地上気圧と比較して、地上気圧以下であれば使わないといった利用方法も考えられる。気圧面の高度がモデル地形の標高より低い場合の物理量の算出手法については付録 C を参照頂きたい。

参考文献

- 石田純一, 2017: 数値予報システム開発のプロセス. 数値予報課報告・別冊第 63 号, 気象庁予報部, 4-10.
- 大和田浩美, 2017: GNSS 掩蔽観測データの利用の改良. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 77-81.
- 岡部いづみ, 太田行哉, 高坂裕貴, 2017: 台風ボーガス. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部,

66-70.

- 小野耕介, 2016: メソアンサンブル予報システムの開発状況. 数値予報課報告・別冊第 62 号, 気象庁予報部, 100-113.
- 亀川訓男, 計盛正博, 2017: 全球解析における Suomi-NPP/CrIS 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, 73-74.
- 経田正幸, 2016: はじめに. 数値予報課報告・別冊第 62 号, 気象庁予報部, 1-3.
- 永田雅, 萬納寺信崇, 1994: 利用上の留意点. 平成 6 年度数値予報研修テキスト数値予報課報告・別冊第 41 号 合併号, 気象庁予報部, 97-111.
- 原旅人, 2012: 数値予報モデルにおける物理過程の役割. 数値予報課報告・別冊第 58 号, 気象庁予報部, 2-7.
- 原旅人, 2013: MSM と GSM の降水予想の表現の違いとその要因. 平成 25 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 102.
- 原旅人, 2016: メソ数値予報システムの特性の変化. 平成 28 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 30-35.
- 原旅人, 2017: メソ数値予報システムの改良の概要. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 42-47.
- 原旅人, 倉橋永, 2017: 降水予測に着目した新旧 MSM の事例比較. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 52-55.
- 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, 70-73.
- 藤田司, 2012: 数値予報プロダクトの利用. 平成 24 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 54-60.
- 藤田司, 山本佳緒里, 2012: プロダクト利用上の注意点. 平成 24 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 54-67.
- 村上康隆, 計盛正博, 2017: 全球解析における DMSP-F17、F18/SSMIS 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, 74-77.
- 山口春季, 2017: 全球アンサンブル予報システムの導入. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 35-41.
- 米原仁, 2014: 変更の概要. 平成 26 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-3.
- 米原仁, 2016: 全球数値予報システムの物理過程改良の概要. 平成 28 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-3.
- 米原仁, 2017: 全球数値予報システムの改良の概要. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-7.

6.3 ガイダンス利用上の留意点¹

6.3.1 主なガイダンスの留意点

本節では、降水、降雪、気温、風、天気各ガイダンス、お天気マップの利用上の留意点を述べる。詳細については、適宜、数値予報課報告・別冊第64号（気象庁予報部 2018）を参照願いたい。

(1) 降水ガイダンス

統計検証（白山 2018）から3時間平均降水量ガイダンス（MRR3）は概ね GSM ガイダンスよりも MSM ガイダンスの方が精度が高く、その傾向は大雨ほど強いことを示されている。一方で、1 mm/3h 程度の弱い降水に関しては、MSM の予報時間後半で GSM ガイダンスの方が精度が高いこと、また、この傾向は夏季よりも冬季で顕著に見られることを示されている。季節毎の GSM 及び MSM の MRR3 の特徴を踏まえて、適切なモデルの選択が必要である。

1 時間最大降水量（RMAX31）や3時間最大降水量（RMAX33）について、夏季は MSM ガイダンスの方が精度が高いことを示されている。ただし、夏季で一律に MSM ガイダンスの方が良い傾向があるわけではなく、擾乱の表現が実況とモデルの予測で異なる場合、適切なモデルの選択が必要である。

24 時間最大降水量ガイダンス（RMAX24）は、台風をはじめとした顕著な大雨が予測されるなど、極値に近い降水やそれを上回る降水量が予測された場合には、ガイダンスの予測をそのまま使用せずに、大雨のポテンシャルを示す定性的な情報に止めてもらいたい。

6 時間降水確率ガイダンス（PoP6）については、GSM、MSM ガイダンスともに、主に冬季での低確率の予測頻度に過大傾向がある。また、PoP6 の予測対象が 1 mm/6h といった弱い降水であるため、平均降水量ガイダンス（MRR）や最大降水量ガイダンス（RMAX）よりも GSM ガイダンスに対する MSM ガイダンスの優位性が低い傾向がある。

(2) 降雪ガイダンス

降水種別ガイダンス（PTYP）は、統計検証（土田 2018）で GSM よりも MSM の方が予測精度が高いことを示されている。特に西日本では GSM の PTYP は雪の予測頻度が低く、見逃し²が多い。この原因の一つとして、西日本の沿岸部の気温予測に高温バイアスがあることが挙げられる。雨か雪かの判別は気温の僅かな差によって変わるため、高温バイアスによる雪の予測頻度が低くなることに留意していただきたい。

降雪量地点ガイダンス（SNOW）および最大降雪量ガイダンス（MAXS）は、統計検証から GSM ガイダンスと MSM ガイダンスで予測精度に差がないが、モデル

の降水や気温の予測精度がガイダンスの降雪量予測精度に影響するため、実況を踏まえてより適切な降水・気温の予測を行っているモデルを選択する必要がある。

SNOW と MAXS を比較した統計検証では、SNOW の方が予測精度が高いことを示している。ただし、MAXS は降水量ガイダンスと気温ガイダンスとの整合が取れた予測となっているのに対し、SNOW は多くの要素を説明変数としたニューラルネットワークを用いているため、モデル予測との対応が分かり難い。ただし、予測対象地点では SNOW の方が予測精度が高い。面的な予測を MAXS で把握して、量的な予測を SNOW で修正するといった利用方法が有効であると考えられる。両ガイダンスの予測特性や予測対象地点の地域特性を把握した上で利用していただきたい。

24 時間降雪量については、SNOW、MAXS 共に予測頻度が過大な傾向がある。この原因の一つとして、観測される降雪量には新積雪の沈降効果があり、実際に降った雪よりも少なくなることがわかっている。現在、降雪ガイダンスで新積雪の沈降効果を考慮する予定はないため、今後も 24 時間降雪量の予測頻度が過大なる傾向があることを留意していただきたい。

(3) 気温ガイダンス

地点別の最高・最低気温ガイダンスは統計検証で全体的に MSM ガイダンスの方が GSM ガイダンスより精度が高いことを示しているが、冬季の北海道や東北地方などの一部の地域では GSM ガイダンスの方が精度の高い地点もある（三戸 2018）。基本的には MSM ガイダンスの利用を推奨するが、モデルの予測する気象場の妥当性を判断して、適切なガイダンスを選択していただきたい。また、最高・最低気温ガイダンスには、GSM・MSM ガイダンスともに、夏季に極端な高温や低温を、冬季に極端な低温を予測しづらい傾向があることについても留意していただきたい。

冬季の北日本内陸部では、GSM での放射冷却の予測が実況と異なる場合があり、GSM 最低気温ガイダンスが低すぎる値を予測することがある。GSM が冬季に放射冷却による顕著な低温を予測した場合には、放射冷却の予測が妥当かを判断して利用していただきたい。また、GSM と MSM の予測する気温が大きく異なる場合には、それぞれのモデルが予測する気象場を確認してガイダンスを利用していただきたい。

気温ガイダンスの予測が大きく外れる典型例として、降水による下層冷氣層の形成、前線の予測位置ずれ、海風の入るタイミングのずれ、および局所的なフェーン現象などが挙げられる。こうした気象場の解析をする際には留意が必要である。

¹ 石川 宜広

² 降水種別ガイダンスにおいて、見逃しとは雨と予測して実況が雪であること、空振りとは雪と予測して実況が雨であることを意味する。

(4) 風ガイダンス

定時風、最大風速、ガスト発生確率ガイダンスでは、予測対象地点に加えてモデルの地上風向でも層別化を行っている。このため、台風や前線の位置ずれにより、モデルの風向が外れた場合はガイダンスの誤差が大きくなるので、利用上、留意していただきたい(松本 2018)。

定時風、最大風速、ガスト風速、最大瞬間風速ガイダンスでは、頻度バイアス補正を用いているものの、一番上の閾値の 13~15 m/s 程度(最大瞬間風速は 23 m/s)を超えるような警報級の予測では実況に比べて頻度が少ない傾向がある。この傾向は、MSM の航空の定時風、最大風速ガイダンスで顕著である。

ガスト風速ガイダンスは、ガストが発生する場合に風速を予測するガイダンスであり、ガストが発生するか否かの情報は含んでいない。そのため、まずガイダンスや空港毎の知見にもとづき、ガストの発生が見込まれる場合にのみガスト風速ガイダンスを利用していただきたい。その際には、ガスト発生確率の精度が最大になる閾値が空港毎に異なるので、適切な閾値の調査が必要となる。

ガスト風速ガイダンスの説明変数には安定度や上昇流を用いているものの、不安定降水に伴う突風のような、数値予報モデルで予測が困難なスケールの現象については、ガストは予測することはできない。このため、雷雨等が予測される場合には、過去の知見などからガストの予測をしていただきたい。また、ガスト発生確率は実況に比べて高い確率を予測する傾向が見られるため、現状では確率値そのものを利用するというよりは、確率の時間変化や空港毎の特性を考慮して利用していただきたい。

(5) 天気ガイダンス・お天気マップ

天気ガイダンスの方がお天気マップよりも統計的に予報精度が高いため、基本的には天気ガイダンスの利用を推奨する(小林 2018)。お天気マップでは、数値予報モデルの出力値を直接的に利用するのに対し、天気ガイダンスでは、数値予報モデルのバイアスを補正した日照率ガイダンス、降水量および降水種別ガイダンスを利用して天気を判別している。統計検証の結果では天気ガイダンスはお天気マップと比べて予測精度が高い。

下層の薄い雲に対しては日照率ガイダンスの予測が晴れ曇りの閾値となる 50%に満たない場合があり、天気ガイダンスで晴れが予測される場合がある。このような状況が予測される場合には、日照率ガイダンスで 50%に近い領域の予測を参考にすることで天気ガイダンスの予測を修正できることがある。

お天気マップは降水の有無の閾値を観測にあわせて決めているが、天気ガイダンスは天気予報の降水の付加基準(雨は 1 mm/3h、雪は 0.5 mm/3h)を閾値にしており、最近の雪の予測事例では弱い雪を含む雪域

を狭く予測する場合がある。弱い雪を予測する際にはお天気マップ、3 時間最大降雪量ガイダンスが参考になる。

6.3.2 ガイダンス利用上の注意点

統計手法を利用したガイダンスでは、学習データに含まれていない大雨や暴風などの顕著現象の予測には誤差が生じる。例えば、2016 年 8 月 30 日に東北地方の太平洋側に初めて台風が上陸したが(平成 28 年台風第 10 号)、降水ガイダンスはこの前例のない事例に対して東北地方において最大 500 mm/24h 以上の過大な予測を出力した。予報官は過去の知見や経験等を参考にこれを 350 mm/24h に下方修正し、実況でも最大 330 mm/24h であった。このような、大雨・暴風などの防災上重要な場面では、上記のような留意点を考慮してガイダンスの欠点を踏まえて、予報作業に役立てていただきたい。

ガイダンスはモデルの擾乱の位置ずれ、擾乱の発生や強度の外れなどの誤差を修正することができない。これらの誤差については、実況とモデルの予測を比較して擾乱の補正を行い、状況によっては、適切と考えるモデルを選択する必要がある。

参考文献

- 気象庁予報部, 2018: ガイダンスの解説. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 248pp.
- 小林大輝, 2018: 天気ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 154-164.
- 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: 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.
- 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.
- 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.