

第6章 プロダクト利用上の注意点

6.1 はじめに¹

数値予報モデル及び客観解析の技術は計算機技術の発展を背景に、数値計算の高精度化、物理過程の精緻化を重ねてきた。そして、予測精度の向上と統計ガイダンスや航空分野の悪天予想などの応用技術の発展とがあいまって、今日では気象予測の基盤技術として揺るぎない地位を占めている。一方で、数値予報には手法に由来する制約などのために今でも限界があることに違いはない。また、作業時間が限られる現業予報では多くの資料を能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、この限界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。このような議論として、永田・萬納寺(1994)による包括的な解説や、永田(1994)のメソスケール現象に焦点を当てた解説があるほか、短期予報と週間予報について北川(2005)の、またメソ数値予報について藤田(2004, 2005)や本田(2006)の解説がある。ここでは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てみることにする。

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。次に第6.3節ではこれら留意点を念頭に数値予報の見方をいくつかの事例に即して検討してみることとする。なお、数値予報モデルや解析システムの詳細、また気象庁の現業モデル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、読者には必要により本テキストの関連箇所やこれまでのテキストを確認しつつ、本章記述について考えてほしい。

6.2 数値予報プロダクトの利用

6.2.1 数値予報の限界と予測可能性

数値予報の必須要素は数値予報モデル（プログラム）と初期値（データ）、及び境界条件（主に下部と側面）であり、これらを計算機に適正に投入すれば予測計算が可能である。短期・中期予報の範囲では、境界条件にある程度の精度が確保されていれば数値予報の精度は数値予報モデルと初期値でほぼ決まっていると考えられている。そこで、数値予報の限界を考える手がかりとして、数値予報モデルについて力学過程と物理過程を、これに加えて初期値と境界条件について考えることとする。また、予測可能性

としては誤差成長の観点が重要であるので、これについてもあわせて考えてみる。

(1) 数値予報モデルの力学過程について

力学過程に関しては、まず離散化に伴う限界を知ることが大切である。離散化とは、空間的に区切りのない連続体（流体）である大気の状態を数値的に計算するために、例えば、多数の格子点における値で代表させることである²。この格子点の間隔で分解能が決まり、どの程度のスケールの現象が格子点における値で直接的に表現可能であるかが決まる。一般に表現できる現象の最小スケールは分解能の5～8倍程度とされる（図6.2.1を参照）。これを短期・中期予報で用いる気象庁現業数値予報モデルで考えると、GSMは水平分解能約20km、MSMは5km、LFMは2kmであることから、それぞれ100～150km、25～40km、10～15km程度以上のスケールの現象を表現可能である。

図6.2.2に、大気現象（空間スケールと典型的寿命）と数値予報モデルのカバーする範囲（表現可能な空間スケールと予報時間）を示す。GSMでは高低気圧はもちろん、前線系も表現でき、MSMでは豪雨をもたらし現象までをある程度扱え、LFMであれば発達した積乱雲までも表現できる。

水平分解能を向上させると、より小さなスケールの現象まで格子点値で直接表せるだけでなく、直接的に計算精度の向上に寄与し、大気現象全体の表現の向上にもつながると考えてよい。例として本テキ

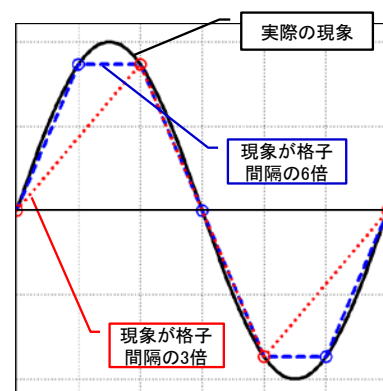


図6.2.1 現象のスケールと分解能の違いによる表現の差（模式図）。実線（黒）のような波形の現象に対して、現象が格子間隔の6倍の場合（青破線）と3倍の場合（赤点線）の表現の違いに注意。

² 離散化の方法には格子点を用いる方法以外に関数展開を用いた方法（スペクトル法）もあるが、本質的には同じ議論となる。第4.4.1項を参照。

¹ 第6.1節、第6.2節 藤田 司

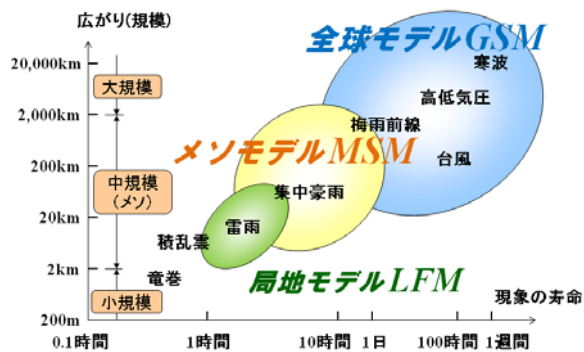


図6.2.2 大気現象の時間空間スケールと気象庁の現業数値予報モデルのカバーするスケール（図1.4.1の再掲）。図の縦軸は空間スケール、横軸は時間スケールである。

スト第2部第2章でも水平分解能2kmのLFMが水平分解能5kmのMSMでは表現できないスケールの積雲を表現していることや、降水量予測がMSMよりも実際に近かったことを報告している。この結果は高い水平分解能がより現実的な予測に必要であることを示唆している。ただし、表現できるからといって予測できるとは限らないことに注意が必要である。

鉛直分解能は、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分解能は地表付近で数10m、500hPa付近で数100m、成層圏で1000m程度である。ラジオゾンデ観測で特異点として通報されるような急激な不連続はしばしば表現されないし、このような観測データは初期値に同化しても忠実に反映されとは限らない。図6.2.3に観測値の同化結果の一例を示す。

力学過程の計算において、方程式系が対象とする現象を予測するために十分な精度を備えていることは決定的に重要なことである。数値予報では静水圧平衡を仮定したプリミティブ方程式が長く採用されて成功を収めているが、水平分解能がおよそ10kmより高い場合には非静力学化する必要が生じる³。このために、MSMは水平分解能10kmであった2004年9月に非静力学モデルに変更され、これをベースに分解能5kmのMSMや、2kmのLFMが開発されている。一方、分解能約20kmのGSMでは現在の方程式系（プリミティブ方程式系）で十分な精度が保たれていると言える。従って、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。

³ 水平分解能が10km程度以上になると個々の積乱雲を直接扱う状態に近づき、このとき、運動の鉛直スケールが水平スケールよりも十分小さいことを求める静力学平衡の条件（小倉 1978）が成立しない。第4.2節も参照。

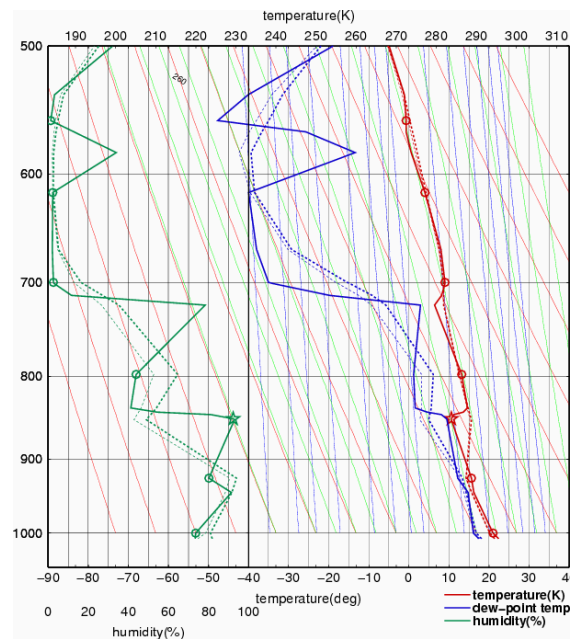


図6.2.3 ラジオゾンデ観測と第一推定値及び解析値のエマグラム。2012年6月15日00UTCの全球速報解析について、潮岬の観測（実線）と第一推定値（太点線）、及び全球速報解析（細点線）で、気温（赤）、露点温度（青）、相対湿度（緑）を描画している。850hPaと700hPaの直下のレベルに温度の逆転と高湿度が観測される。いくつかのデータ（○印）が同化され、解析値は第一推定値よりも観測に近いが、観測との差は大きい。特に850hPaの気温及び湿度は観測との差が大きく、同化対象とならなかった（☆印）。

(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、今の天気予報で対象となる現象の予測に必要な物理過程はほぼ含まれていると考えてよい。一方、様々な問題が残されていることも事実で、気象庁でも継続的に改善に取り組んでいる（気象庁予報部 2012）。ここでは防災上の観点から最も関心の高い降水と、下部境界と地表付近の扱いについて考えよう。

数値予報モデルにおける降水の取り扱いは、GSMでは主に雲水スキームと荒川・シューバート(AS)スキーム、MSMでは雲物理過程とケイン・フリッチ(KF)スキーム、LFMでは雲物理過程によっている（表4.7.1を参照）。ASスキームとKFスキームは対流パラメタリゼーションの一種であり、数値予報モデルの分解能で表せない積雲の効果を取り入れるために導入されている。対流パラメタリゼーションはこれらの他にも様々な手法が提案されており、通常は物理的考察を基礎にスキームを構築・修正し、予報実験を行って最適化されている。しかし、格子スケールよりも小さなスケールの現象を格子点値で扱うことの本質的な難しさや、モデルの他の部分との関係によって特性が変わるという問題があるために、

すべてにバランスの取れたスキームとすることは極めて難しい。一方、対流パラメタリゼーションを廃するとともに、雲物理過程によって大気中の水蒸気や雨水、雪などの変化をより現実的に扱い、鉛直運動も非静力学方程式を解いているLFMでは精度の高い定量的な予測ができるケースも見られるようになっており、完全なモデルに近づいたようにも見える。しかし、現在の雲物理過程が雲内のすべての過程を完全に実装しているわけではないし、発生初期の雲など今の分解能では表すことができない雲もある。また、LFMに関する本テキスト第2部第2.1節や平原ほか(2011)による検証でも、雨の強さや季節によって、雨の頻度（バイアスコア）や精度（スレトスコア）に差が現れている。以上の点から、数値予報モデルの降水予測の現状は完全と言えるものではなく、初期値精度の問題を別にしても、特に激しい降水、局所的な降水に対して常に高精度の定量的予測をすることは困難である。

地形表現は強制上昇や風系への影響など、数値予報モデルの結果に直接影響を与えるが、通常、実際の地形とは標高も起伏も異なっている（第4章図4.7.2参照）ために誤差が生じる⁴。また、地形表現だけでなく、海陸分布や植生・土地利用状況の扱いも水平分解能に制約されて、特に後者については分解能だけでなく、基礎データやモデル内での表現内容にも実際との違いが避けられない。これらにより潜熱（水）や顕熱（温度）分布などに局所的な表現（偏り）が生じ、地上の気温、湿度、風速、さらには現象の予測にも影響が及ぶ。

下部境界の具体的な問題例として地表面の積雪分布がある。積雪分布は地上気温予測などに大きな影響があり、地上要素のために精度のよい表現が求められる。しかし、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、予報期間中に積雪が生じる場面や解消する場面での気温予測に悪影響を及ぼす。この誤差は平均的に生じている誤差とは異なることから、気温ガイダンスでも補正はあまり期待できない。現在陸面モデルの改良を進めているが、当面は予報期間内に始まる、または終わる積雪の影響は扱うことができない。なお、GSMでは詳細な陸面モデルの採用により積雪分布の変化を予報する（北川 2007）が、水平分解能の制約に加え、陸面モデルの特性や精度の問題もあり、MSMやLFMより気象予測の精度が高いとは限らない。

下部境界について、海面水温が大気現象に应答しないことが台風強度予報に影響する問題として挙げ

られる。台風が存在する場合、強い海上風により海面付近では混合が起きて海面水温を低下させ、水蒸気（潜熱）供給が減少して台風の発達を抑制することが知られているが、GSMではこの効果が台風強度予報に取り入れられていなくて、発達しすぎることがある。この問題はGSMとMSMで共通である⁵が、予報時間が長いGSMで影響が大きいと考えられる。改善策として、大気現象による海面水温の変化を考慮に入れること、具体的には海洋混合層結合モデルの導入で解消することが期待されている。

(3) 初期値と境界値について

次に初期値に含まれる誤差の問題を考えよう。前述の通り、短期・中期予報は海水温や陸地の状態などの境界条件よりは予報初期時刻の大気の状態（初期条件）に左右される部分が多い。このため、精度の高い初期値を作成することが予報精度の向上に重要であり、より多くより詳しい観測データの収集とそれを初期値によりよく反映させる解析技術の高度化が重要な課題となっている。初期値解析は、第2章及び第3章で述べているように、近年の衛星データや航空機観測など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いる。特に衛星データ利用の効果は大きく、このことは他のデータの少ない南半球における近年のGSM予報精度向上により確認することができる（加藤 2010）。また、メソ解析では初期値の水蒸気分布がレーダー反射強度データ、マイクロ波イメージャなどの同化により大きく改善されたと見てよいだろう（第3.3節参照）。しかし、極軌道衛星観測では予報上重要な領域が毎初期値に対して観測されとは限らないことや、観測があっても3次元的な情報が得られなくて初期値を十分改善しない場合があることなどのために、特に海上を進む擾乱の予測は依然として不確実性が大きいと考えるべきである。

初期値に関連しては、予報時間初期における擾乱の立ち上がり、特に降水の発生が実際よりも遅れることが言われてきた（スピニアップの問題）。これは、解析場（初期値）が全体としてバランスがとれていない場合に、そのバランスが成立するまでは擾乱の発達や降水の発生などが不十分な状態に留まることが原因である。予報初期の振る舞いについてはこの

⁴ 決まって生じる誤差（系統誤差）は統計処理で補正可能である（第5.2.2項を参照）。

⁵ 海面水温の扱いとして、GSMでは予報期間中、気候値に基づいて日々の変化を考慮するが、混合に伴う変化は考慮しない。MSMでは予報期間中は解析値に固定する。

初期値側の問題だけでなく、予報モデル側の問題（系統誤差）が原因となって、解析が実際の大気の状態を適切に反映しているのに予報結果が不適切になる場合もある。現在の解析システムでは4次元変分法、または3次元変分法の採用により、解析場のバランスはかつての（最適内挿法などによる）解析場よりも改善しており、バイアスコアで評価してもMSMでは予報初期に適正な雨があるように見える（幾田 2008）。しかし、それでも予報3時間程度までの降水予測は外挿予報（降水短時間予報）に劣るのが通常であり（永田・辻村 2006）、現状においても、予報時間初期の予報の利用には実況との比較を行うなどの十分な注意が必要である。

メソ現象の予報では、対象が「強制モードの擾乱」か「自由モードの擾乱」であるかによって、初期値の重要性に違いがある。強制モードの擾乱とは、下部境界（陸や海）からの熱的あるいは力学的強制による現象であり、これら外力の原因になる条件がモデルに取り込まれていれば、より大きなスケールの状態がある程度の精度で再現されているという条件の下、初期値の精度が低い場合でも予測可能となる。このような現象には海陸風や山岳波などがあり、冬季の寒気吹き出しに伴う日本海上の積雲や積乱雲も、寒気のタイミングで発生することが予測できるという意味で強制モードの擾乱に含まれると言ってよいだろう。

次に自由モードの擾乱とは、梅雨前線上の低気圧や大気の状態の不安定に伴う積乱雲などの、外部強制がない状態で環境場の位置エネルギーや運動エネルギーを擾乱のエネルギーに変換して発生・発達する現象、あるいはより簡単に、強制モードと違って外力で決まっていない現象である。このような現象については初期値にその擾乱の発生にかかる情報がなければ、たとえ予報場に現象が発現したとしても信頼性は低いと判断するべきであろう。実際上は、自由モードの現象の予測可能な時間は現象の典型的な寿命程度と想定され、これを考慮して現象のシグナルが観測されているかどうか、さらに初期場にこの観測が反映されているかを検討し、もしも初期値が十分でないとは判断される場合はポテンシャル予測などに考え方を变えていくことになる。

強制モードと自由モードの擾乱の予測可能性については、強制モードであるから十分予測できるとは限らないし、自由モードであるから全く予測できないとも限らない点に注意が必要である。強制モードの場合、地形や海陸分布などが分解能の制約を受けていることや物理過程の不完全さなどにより誤差が生じたり、予測ができなかったりすることもあるだろう。また、大気的不安定に伴う降水であっても地

表付近の風の収束や日照の影響を受けて強制模式的に予測可能性が高くなることが考えられる。このような実的な特性について、一般的原則で扱うことは容易ではない。対象とする現象毎に事例解析・検証を行って、強制モードであればどこまでが強制力で決まっているか、自由モードであれば強制力が働く面がないかに注意して、吟味するとよいだろう。

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、観測された台風周辺に与えられる人工的なデータである。今の数値予報システムでは台風の発生を必ずしも的確に予測できず、また台風ボーガスなしでは初期値解析でも困難があることから、その必要性は極めて高い。しかし台風ボーガスは、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り、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。また、台風ボーガスはいわば強制的に擾乱を初期値に形成させるため、特定の熱帯低気圧に対して初めて投入される場面では前回と大きく異なる解析や予報を生成することがある（第6.3.3項を参照）。このような事情から、台風ボーガスが用いられ始める台風発生初期や、MSMでは側面境界から台風が予報領域に進入する場面を中心に⁶、台風周辺の解析場、予報場について観測とどの程度合うのかを確かめながら利用するとよい。

MSMやLFMには、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。このことによる問題として、親モデルと接続する領域（緩和領域または側面境界）ではそのモデルの性能が発揮されないということがある。これは緩和領域では親モデルの状態に近づけるような計算がなされていることによるもので、結果はそのモデルの本来の予報特性とは異なってくる。また、予報時間が進むに従って緩和領域を通った擾乱が内側領域に進んで、より広い領域で親モデルの予測に強く影響されることになる。そのような領域では4次元変分法等による高精度の初期値から期待される予報とは特性が違ふと考えられる。ただし、この場合でも分解能や降水過程などに見合った計算がされ、親モデルが与える環境におけるメソスケール現象の振る舞いについて情報が得られると期待される。

⁶ GSMとMSMの初期値では台風ボーガスを用いるが、LFM（東日本領域）の初期値では用いていない（2012年10月現在）。

(4)「誤差」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、大気の支配方程式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測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⁷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。これらの誤差の問題を実際の作業時に区別して議論することは難しいし、むしろ誤差幅または不確実性をどの程度みるべきかという議論が有益と思われる。そのための手続きとしては、前回や前々回予報との比較、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。また、適当に条件を絞れば、事前の統計的な調査も役に立つだろう。以下、それぞれについて考えてみる。

まず、初期値が古い予報の利用は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。この手法は毎回の結果に不確実性が大きい場面や、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る。また総観スケールの予報では中期予報の後半で有効性が高まると期待されている。しかし、平均的には新しい予報の方が精度が高いため、限定的に適用すべきだろう。

アンサンブル予報は、カオス的性質に伴う不確実性を扱う手法であり、現在では季節予報、週間予報、台風予報において実行されている。アンサンブル予報は複数の予報が同程度に確からしいと言える場合に、もっとも確からしい予報をアンサンブル平均で与え、またそれら多数の予報のばらつきにより予報の信頼度を測り、さらに確率的予報を導く。不確実性には、初期値の問題、モデルの問題の両方が考えられることから、気象庁の週間及び台風アンサンブル予報では特異ベクトル法による摂動を採用した初期値アンサンブル(米原 2008)と物理過程の不確実性に着目したモデルアンサンブル(米原 2010)を併用している。なお、アンサンブル予報はモデルの偏り(系統誤差)などのために複数の予報のばらつきが不確実性を適切に反映しない場合があることに注意が必要である。

平均誤差や平方根平均二乗誤差のような統計値は全般的な予報精度の評価に用いることが多いが、適

当な場合分けをして計算すれば、様々な局面で期待される精度の指標となる。よい指標とするには、季節や現象、時刻、場所など、適切な場合分けをすることが前提となる。場合分けをした統計調査の例としては、平原ほか(2011)や古市(2007)の調査が挙げられる。なお、場合分けの問題の他に、統計的な妥当性を担保するためにサンプル数を十分大きくする必要のあることに注意が必要である。

6.2.2 資料の見方・使い方

LFM(日本領域)の運用が始まれば、短期予報で利用可能な現業モデルはGSM、MSM、LFMの三つとなる。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6.2.2)。例えば、前線のおおまかな振る舞いはGSMで、前線による降水分布はまずMSMで、目先数時間以内の詳細な予報についてはLFMを活用することになるだろう。また、一般に、数値予報は最新の予報の精度が平均的に最も高く、より解像度の高い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し、分解能の高さが単純に精度の改善につながっているとも限らない。従って利用上は、原則に従いつつ、逐次観測データで予報場を検証することが必要である。

数値予報資料は、図形式(画像ファイルまたはFax図)で提供される資料と、格子点資料(GPVのファイル形式資料)に大別される。一定の範囲の空間を支配する気象場を把握するには前者を、特定の地点の予測や応用処理などには後者をを用いることが通常だろう。前項の議論を踏まえつつ、これら数値予報資料の特徴やその効果的な利用について考えよう。

(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GPVは、利便性を考えて数値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和らげられるという特徴がある。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モデル面⁸データの内挿により作成され、かつ、

⁷ ここでカオス的性質とは現象の進展が決定論的に厳密に決まっているが、観測誤差などに伴う初期値のわずかな、しかし避けがたい誤差と方程式系の非線形性により予報の進展が大きく変わる特徴を指す。

⁸ 実際の予測計算のために格子点が配置される鉛直層。

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和らげられていると考えるべきである。

このGPVの利用の際に格子点と一致しない位置の値を求めるためにさらに空間内挿を施すことが考えられるが、ここでも平滑化の効果は避けられない。ところで、数値予報モデルの不確実性や表現可能性を考えると、内挿して位置を合わせるよりも、むしろ周囲の格子の状態を参照した方がよい場合がある。地上データについて考えると、地表面が海か陸かによって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（平原ほか 2011）。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か、または内挿処理を施すか、さらに周囲の格子点の値も考慮するか、場合により前後の時間の状況を参照するかどうかを考えるべきである。指針として、上空の風のような空間的、時間的に変動の小さい要素は特定格子点の特定時刻の値を利用しても問題は少ないが、地上要素については、周囲の格子や前後時間の予報値の利用を考慮するとよいだろう。

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。GSMの場合、水平分解能が約20kmであることから、格子内に複数の積乱雲が存在すると考えることができるから、上昇流と下降流、あるいは晴天域と曇天域が格子内に共存する場合もあるだろう。一方、分解能2kmのLFMでは積乱雲が発生している状態で晴天域と曇天域の共存する確率は相対的に低いだろう。このことから、どちらのモデルでも格子内の状態として格子点値に変動幅が見込まれるが、GSMの格子点値の方がそれは大きいと言える。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要素

利用上の関心が特に高い要素である地上要素と雲量の格子点値について注意が必要な点を述べる。気温や風などの地上要素は、GSM、MSM、LFMのい

ずれにおいても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相似則を適用したりして、モデル地形の地表に対して算出されている⁹。このために、地形が実際と異なることによる系統誤差が生じる。雲量は上、中、下層の3つに分かれ、各層の境界はその格子点におけるモデル地形（標高）にもよるが、おおよそ850hPaと500hPaである。各層の雲量は数値モデルの各鉛直レベルの雲量を診断的に決め、各層の中での重なり方を仮定して決めている。また、全雲量は上、中、下層の雲量から、重なり方に適当な仮定をして決めている。

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、その等圧面が地形よりも低くなることがある。このような場合は、その等圧面での値は便宜上与えた値に過ぎず、利用してはいけない。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表気圧と比較して、地表気圧以下であれば使わないことにすればよい。

(3) 不確実性の扱い

前項で述べたように、たとえ数値予報モデルが完全であっても、大気現象の予測では不確実性が避けられない。これは初期値の精度と誤差成長の問題であり、特に、予報が初期値に敏感な場合（初期値のわずかな誤差で予報が大きく変わる場合）は、決定的予想は極めて困難である。このような考え方から週間予報などでは既にアンサンブル予報が活用されている。しかし、短期予報あるいは局地予報ではアンサンブル予報が実用化されていないので、代替的に、前回予報を参照して大きく変わる場合には、確定的な判断を避けて実況を見ながら対応していくとよいだろう。また、単独の予報を用いる場合は、どの程度の幅をもって考えるかが問題となる。幾田(2010)は降水予測の検証手法の一つとしてFractions Skill Scoreを用い、利用価値のあるLFM降水予測の空間スケールを検討した。このような取り組みが効果的な利用の手がかりになるだろう。

(4) 系統誤差の問題

誤差には、系統誤差またはバイアスと呼ばれる平均的な誤差と、ランダム誤差と呼ばれる規則性がない雑音（ノイズ）的な誤差がある。系統誤差は数値予報モデルの特性（くせ）として生じる誤差であり、

GSM、MSM、LFMのいずれでも等圧面とは一致しない。第4章図4.7.3を参照。

⁹ 地表気圧はGSMでは予報変数であるが、MSMやLFMでは診断により求められる。

モデル化が不完全なために決まって生じる誤差があるし、ある特定の局面で擾乱の進みが遅すぎるとか、特定の現象に対して雨が多くなりすぎるとかというような誤差も、やや性質は違うが系統誤差と言ってよいだろう¹⁰。一方、ランダム誤差としては、例えば初期値の不完全性によって生じる当たり外れによる誤差が該当するだろう。

系統誤差がランダム誤差に比べて大きければ、何らかの手続きで系統誤差を補正することにより予報を効果的に改善することができる。気温ガイダンスを例にとると、過去の観測と予報値を使って統計処理を施し、モデル地形と実地形のずれや数値予報モデルの物理過程の不十分さに起因する系統誤差を適切に補正できている。一方、降水量については誤差の特性が気温とは異なることから¹¹、平均降水量ガイダンスはある程度以上のまとまった雨量に対しては、系統誤差の補正をしているというより、むしろ予報場の安定度や水蒸気量などの物理量を総合した見積もりを与えるものと考えられる。

系統誤差は数値予報モデルによって異なることはもちろん、モデルの改良によっても変化するので注意が必要である。この点について特に季節予報では、再解析JRA-25と気候解析システムJCDAS、実際に用いているモデルを用いた過去の予報の再計算（再予報またはハインドキャスト（高谷 2012））を実施して、予測精度や特性の把握、予報プロダクトの補正が行われている。

参考文献

- 幾田泰醇, 2008: 適合ガウス格子を用いた全球モデルを側面境界値とするメソ数値予報モデルの統計検証. 平成20年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 37-42.
- 幾田泰醇, 2010: 高分解能モデルの降水予報精度評価に適した検証方法. 平成22年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 11-17.
- 小倉義光, 1978: 気象力学通論. 東京大学出版会, 249pp.
- 加藤輝之, 2010: 最近の全球数値予報システムの成績の推移. 平成22年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 30-32.
- 気象庁予報部, 2012: 物理過程の改善に向けて(I).

- 平成23年度数値予報課報告・別冊第58号, 気象庁予報部, 221pp.
- 北川裕人, 2005: 短期予報, 週間予報. 平成17年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 68-70.
- 北川裕人, 2007: 変更の概要. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-4.
- 高谷祐平, 2012: 再予報・ハインドキャスト. 天気, 59, 493-495.
- 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.
- 永田雅, 1994: メソスケール現象と数値予報. 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, 112-145.
- 永田和彦, 辻村豊, 2006: 解析雨量及び降水短時間予報の特性と利用上の注意点. 平成18年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 9-24.
- 平原洋一, 田村一卓, 森安聡嗣, 石水尊久, 2011: 局地モデルの特性. 平成23年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 37-49.
- 藤田司, 2004: メソ数値予報と応用プロダクト, メソ数値予報狭域GPV. 平成16年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 38-43.
- 藤田司, 2005: メソ数値予報. 平成17年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 66-67.
- 古市豊, 2007: 高解像度全球モデルを側面境界とするメソ数値予報モデルの統計検証. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 38-41.
- 本田有機, 2006: GPV利用上の注意点. 平成18年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 92.
- 萬納寺信崇, 1994: 物理過程. 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, 65-89.
- 米原仁, 2008: 週間アンサンブル予報システムの改良. 平成20年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 23-26.
- 米原仁, 2010: 週間アンサンブル予報へのモデルアンサンブル手法の導入. 平成22年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 62-65.

¹⁰ 統計的手法において、現象に即した系統誤差を客観的に抽出する方法は確立されていないため、ガイダンスでは多くの場合、これらをランダム誤差として扱う。

¹¹ 格子点毎に見ると、気温は気候値への束縛が強いため多くの場合ある程度の精度が確保されるのに対し、降水はその都度の大気現象の現れ方で決まることから極端な外れ方をすることが頻繁に起こる。

6.3 事例で見る数値予報の特性¹²

本節では、前節で述べた数値予報の問題や特性を見ることができる最近の事例を紹介する。これらの事例から現在の数値予報の特性を認識し、数値予報を更に有効に利用いただきたい。

6.3.1 2011年台風第12号

図6.3.1は2011年台風第12号の経路図である。この台風はマリアナ諸島の西で発生した後、発達しながら北上し、小笠原諸島付近で一旦西に進路を変え、四国に上陸した。台風周辺の非常に湿った空気が長時間にわたって流れ込み、西日本から北日本にかけての山沿い、特に紀伊半島で記録的な大雨が降り、土砂災害など甚大な被害が発生した（気象庁 2011）。

6.3.1.1 台風の予想進路

図6.3.2は、2011年台風第12号の経路にGSMによる予想進路を赤実線で重ね描きした図である。初期値ごとの予想と実際の経路が比較できる。

台風発生後まもなくからGSMは北上を予想しており、8月30日頃に台風の進路が西向きに変わった後も北上の予想が継続するなど、GSMの予想には北上バイアスが見られた。9月1日00UTC以降、台風は紀伊半島から四国を指向するようになり、実際、9月3日に四国に上陸した。この台風の予想進路の変化のシグナルについて検討する。

図6.3.3に、8月27日12UTCから24時間ごとの週間アンサンブル予報によるこの台風の予想進路の変遷を示す。青太実線は週間アンサンブル予報のコントロールラン¹³、赤及び橙細実線は、アンサンブル51メンバーそれぞれの予想である。8月27日12UTC初期値では、メンバーのほとんどが転向し東進するコースを示していたが、その後、西日本に向かうメンバーが出現し、30日12UTC初期値では予想進路の幅が東海から四国にかけての範囲に広がり、31日12UTC初期値以降四国方面に進む予想が主流となった。このことから30日12UTC初期値の予想の変化が台風の予想進路の変化のシグナルであったと考えることができる。前述したように、GSMでは紀伊半島から四国への指向を示すようになったのは9月1日頃であるので、週間アンサンブル予報資料では、予想進路の変化のシグナルが1～2日程度早く表現されていたことになる。

この台風の予想進路が変化した原因を調べるために週間アンサンブル資料を用いて環境場を考える。

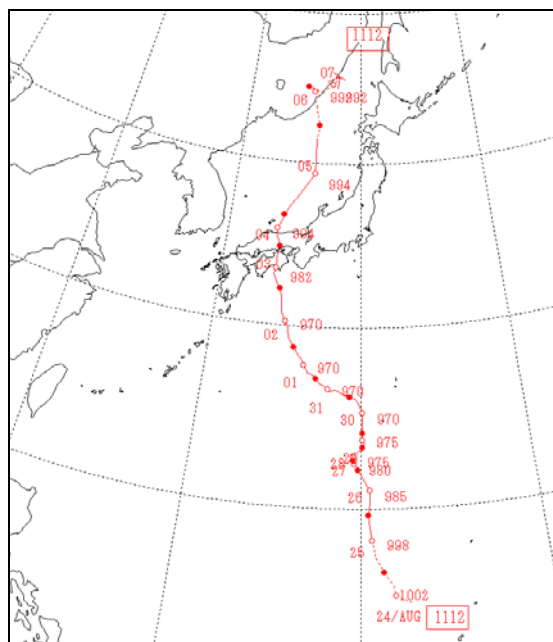


図6.3.1 2011年台風第12号の経路図経路上の○は00UTC、●は12UTCの位置、経路の左側の数字は日付、右側の数字は中心気圧(hPa)を示す。台風第12号は8月24日に発生し、8月25日00UTCに大型となり、9月3日01UTC前、高知県東部に上陸した。

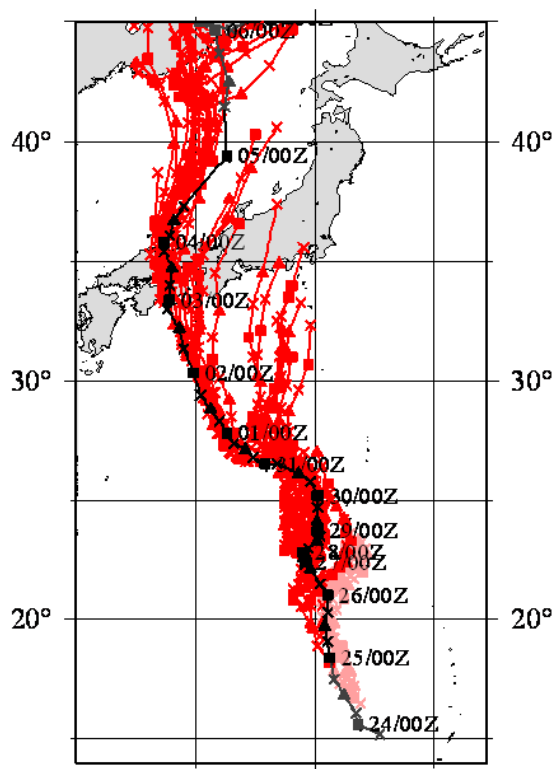


図6.3.2 GSMの予想進路を追加した2011年台風第12号の経路図。黒実線は実際の経路、赤実線はGSMによる84時間先までの予想進路を重ね描きした。マーカーは6時間ごとの中心位置。00UTCの位置には日付と時刻を記す。

¹² 山本 佳緒里

¹³ 初期値に摂動を加えないアンサンブルメンバー

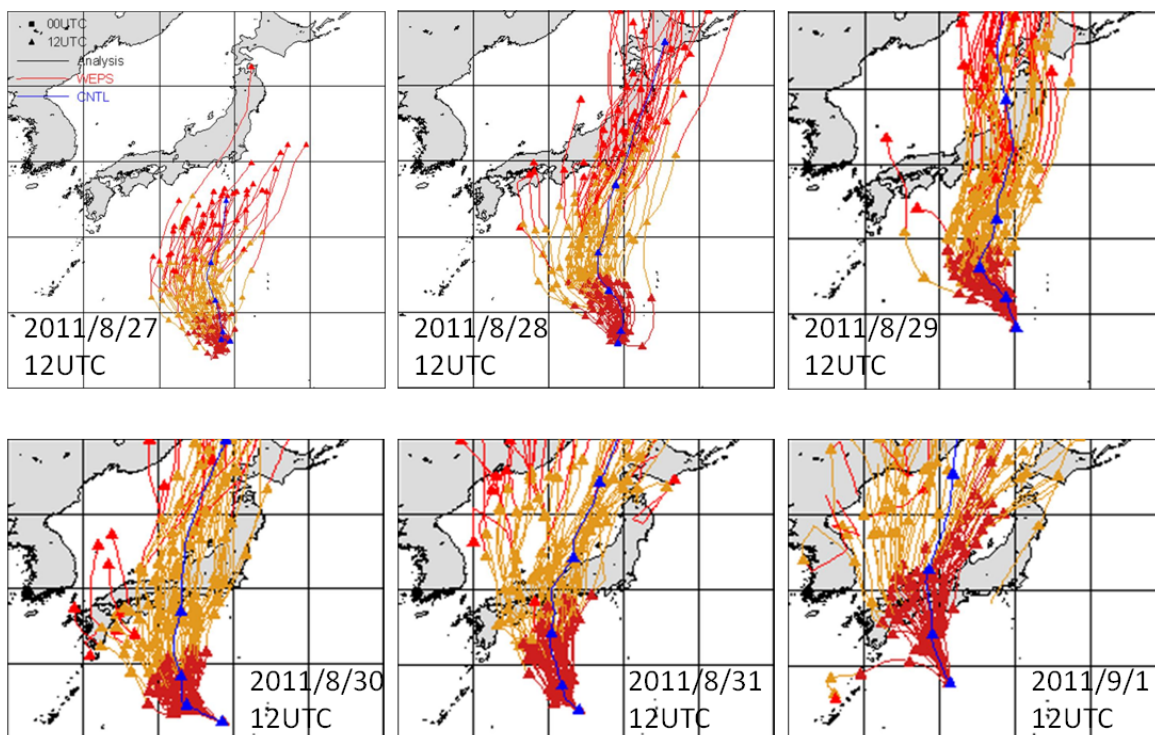


図6.3.3 週間アンサンブル予報資料を用いて、2011年台風第12号の初期時刻から5日先までの予想経路を描画したもの。各図右下に初期時刻を示す。青太実線はアンサンブルのコントロールラン、赤及び橙細実線は、アンサンブル51メンバーそれぞれの予想進路、経路上の▲は予想期間の各日12UTCの位置を示す。

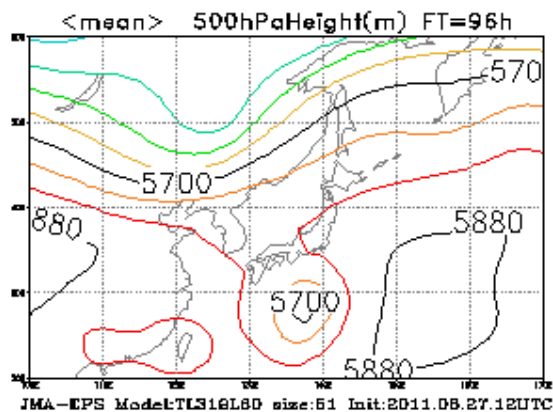
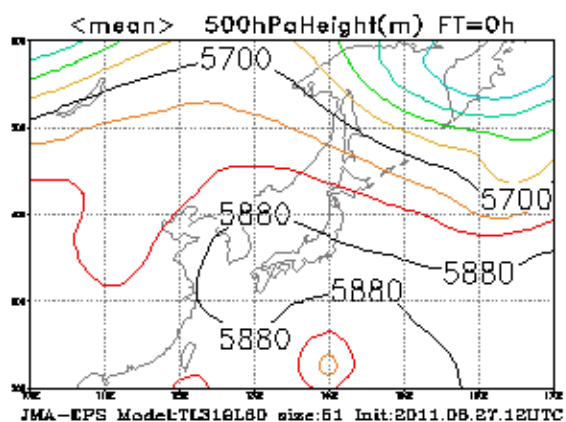


図6.3.4 アンサンブル平均による2011年8月27日12UTC初期値500hPa面等高度線図 (上) FT=0、(下) FT=96

初めに図6.3.4に8月27日12UTC初期値のアンサンブル平均の500hPa面等高度線図 (FT=0及びFT=96) を示す。FT=0の8月27日12UTCでは、太平洋高気圧が西日本まで張り出しているが、FT=96の予想対象時刻8月31日12UTCでは太平洋高気圧が日本の東海上に後退する見込みであった。この状況により、台風は後退する太平洋高気圧の縁辺を回り、更に西から接近する上空のトラフと位相を合わせ北上する、という予想シナリオが想定される。

次に、図6.3.5に8月31日12UTC初期値の週間ア

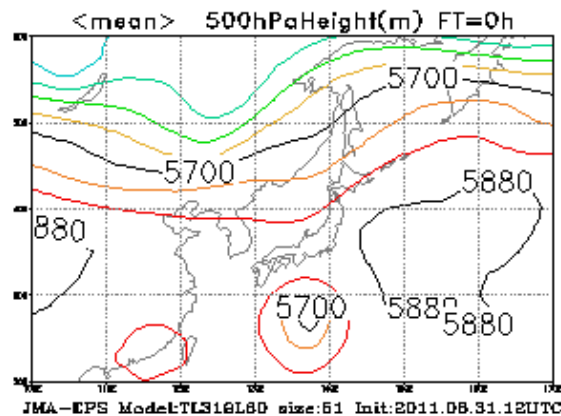


図6.3.5 アンサンブル平均による2011年8月31日12UTC初期値500hPa面等高度線図 FT=0

ンサンプル平均の500hPa面高度線図FT=0を示す。図6.3.4に示したFT=96の図と比較すると、太平洋高気圧が日本の東海上に後退したのは予想通りであったが、その位置は予想よりかなり北であった。また、太平洋高気圧は西に張り出す形となっており、台風の北上を阻みそうな状況である。日本海のトラフは台風と位相が合わず、台風の北上を促す様子は見られない。以上から、台風は北上せず、太平洋高気圧の勢力に押され西寄りに進む可能性が高い状況であった。このため、台風は当初の予想とは異なり、西進を継続したと考えられる。

この台風のように太平洋高気圧の縁辺に存在する台風の予想進路は、太平洋高気圧の勢力に大きな影響を受ける。しかし、太平洋高気圧については予測の不確実性が大きく、本事例のようにアンサンブル予報を用いても精度よく予測することができないことがある。このため、太平洋高気圧の予想の変化の範囲を考慮して予想シナリオを想定するのが現実的な対応である。また、そのシナリオには台風の北上バイアス（檜垣 2012）等既知の特性も加味する必要がある。

本事例は予想シナリオが大きく変化したケースであるが、予想シナリオが一定の範囲の中で変動するにとどまる場合もある。予想が変化し始めた時点で、今後の予想がどのように変化するかを想定することは難しいため、

- ① 前回の予想と比較し、予想の変化を確認する
- ② 予想と実況を比較する
- ③ ①②の状況から、数値予報資料が示す予想の妥当性を判断する

という作業を繰り返し、予想資料の更新に合わせて予想シナリオの想定を徐々に縮小していくのが現実的である。

6.3.1.2 最大降水量ガイダンス

本項の冒頭で既に述べたが、2011年台風第12号により西日本から北日本の山沿い、特に紀伊半島で記録的な大雨が降り、土砂災害などにより甚大な被害が生じた。最大降水量ガイダンスによるこの豪雨の予想状況を振り返る。

まず、図6.3.6に近畿地方の2011年9月3日を予想対象とした前24時間最大降水量ガイダンス値を示す。上の図がGSM（2011年9月1日18UTC初期値）、下の図がMSM（2011年9月1日21UTC初期値）の値であり、両者とも対象区域内の最大値を表示している。GSMでは近畿地方全域で数百mm以上の非常に大きな値を示している。中でも紀伊半島南部の値は突出しており、奈良県南部で2000mm超、和歌山県南部で1500mm弱の値であった。MSMでは、GSMほどではないが、近畿全域で数百mm、奈良県南部

2011/09/01 18UTC 初期値 GSM 降水24時間 近畿

時刻は JST →		03						
		-06	-09	-12	-15	-18	-21	-24
滋賀県	南部	316	336	351	350	336	355	370
	北部	313	336	351	368	427	528	612
京都府	南部	231	260	277	282	304	371	435
	北部	219	303	392	461	533	528	497
大阪府	大阪府	458	509	580	627	615	513	433
兵庫県	南部	613	721	827	915	893	777	710
	北部	329	464	577	685	785	777	710
奈良県	北部	276	283	272	265	250	224	199
	南部	2031	2034	1982	1935	1855	1649	1398
和歌山県	北部	557	644	730	768	750	737	755
	南部	1330	1404	1441	1455	1395	1298	1176

2011/09/01 21UTC 初期値 MSM 降水24時間 近畿

時刻は JST →		03			
		-06	-09	-12	-15
滋賀県	南部	248	302	352	361
	北部	171	203	245	258
京都府	南部	131	165	214	251
	北部	106	147	194	249
大阪府	大阪府	196	214	232	248
兵庫県	南部	331	395	454	442
	北部	206	243	276	336
奈良県	北部	370	382	374	349
	南部	1453	1476	1483	1465
和歌山県	北部	338	382	417	419
	南部	954	1041	1048	1032

図6.3.6 2011年9月3日を予想対象とした近畿地方の前24時間最大降水量ガイダンス。(上) GSM(2011年9月1日18UTC初期値)による値、(下) MSM(2011年9月1日21UTC初期値)による値。

解析雨量 R24 近畿

時刻は JST →		03						
		-06	-09	-12	-15	-18	-21	-24
滋賀県	南部	256	278	282	229	190	155	146
	北部	284	350	409	427	426	418	411
京都府	南部	168	194	218	232	227	238	243
	北部	130	139	148	166	199	217	250
大阪府	大阪府	131	122	125	117	110	142	200
兵庫県	南部	182	194	232	266	290	343	373
	北部	334	349	396	450	445	445	460
奈良県	北部	463	472	446	410	374	344	317
	南部	880	899	863	824	838	834	861
和歌山県	北部	370	425	477	518	531	558	612
	南部	685	723	743	830	858	858	915

図6.3.7 2011年9月3日の近畿地方の解析雨量による前24時間積算値

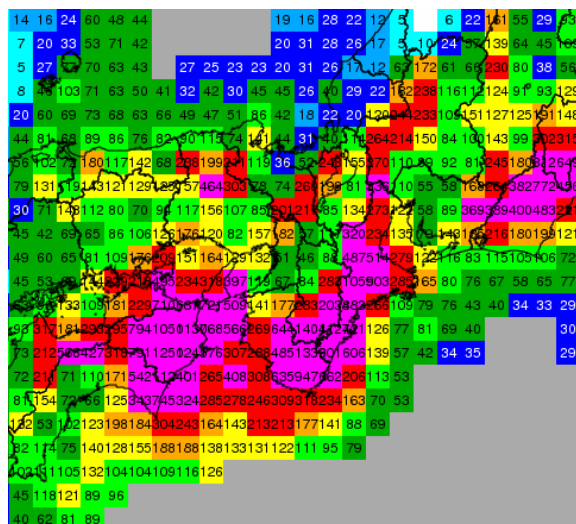


図6.3.8 近畿地方の2011年9月3日09JSTを予想対象としたGSM前24時間最大降水量ガイダンスの分布図(9月1日18UTC初期値)

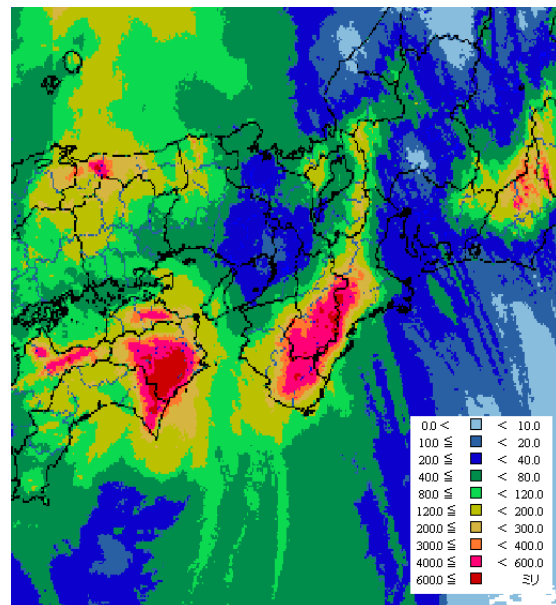


図6.3.9 2011年9月3日09JSTまでの前24時間解析雨量の分布図(気象庁 2011による)

で1500mm弱、和歌山県南部で1000mm前後を示している。これらの予想値は、2012年9月1日時点での日本における日降水量記録851.5mm（高知県魚梁瀬、2011年7月19日）を遙かに上回っており、現実離れた印象が持たれる。

実際の降水量の状況は、図6.3.7の近畿地方の解析雨量の前24時間積算値で確認すると、奈良県南部及び和歌山県南部で900mm前後であり、最大降水量ガイダンスの値は実際の降水量の約2倍程度の大きな誤差があった。

次に、図6.3.8に示した近畿地方の2011年9月3日09JSTを予想対象としたGSMの前24時間最大降水量ガイダンスの分布図（9月1日18UTC初期値）と、図6.3.9に示した2011年9月3日09JSTまでの前24時間解析雨量の分布図を比較すると、滋賀県から岐阜県にかけての地域など一部で予想が過大であった地域はあるが、非常に大きなガイダンス値が予想されていた紀伊半島、四国、静岡県などの南東斜面では、前24時間解析雨量も多く、大雨の場所の予想はほぼ的中しており、大雨になりやすい地形の影響は適切に反映されたと考えられる。

ガイダンスは、統計処理を応用した量的予想の技術であり、発生頻度の高い事象の予測に適した技術である。このため、本事例のような発生頻度が僅少である極端現象の定量的な予想には適していない。しかし、過去の極値を大幅に上回るガイダンス予想値が示されていた奈良県、和歌山県の多数のアメダス観測所で24時間降水量の記録を更新したことから、顕著現象のポテンシャルは示していたと言える。

本事例のように最大降水量ガイダンス等で極端な予想値が表示される状況では、ガイダンスの予想

値をそのまま利用するのではなく、顕著現象のポテンシャルを検討願いたい。

6.3.2 PoT¹⁴から見る大気の状態不安定のポテンシャル

2012年5月6日12時30分頃を中心に、関東北部から福島県にかけての各所で竜巻が発生し、茨城県つくば市などで大きな被害が発生した。この日は、日本海に中心を持つ低気圧に向かって南から暖湿流が入り、さらに日射の影響で地表面付近が昇温する一方、上空に寒気が入り、大気の状態が非常に不安

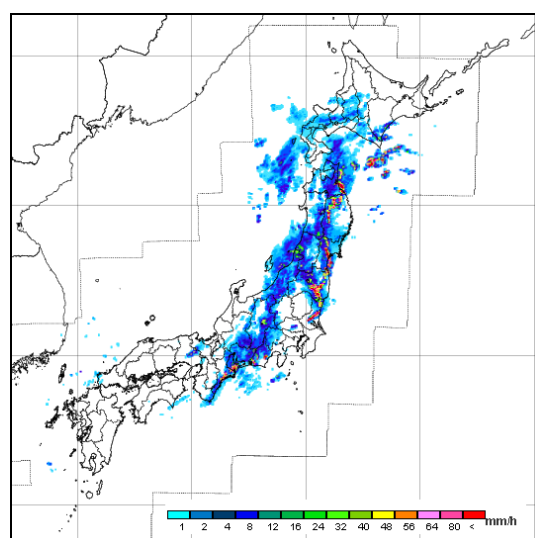


図6.3.10 2012年5月6日12時30分(日本時間)の全国合成レーダー降水強度画像

¹⁴ Probability of Thunderstorm : 発雷確率ガイダンス

定になっていた。図6.3.10に2012年5月6日12時30分（日本時間）の全国合成レーダーの降水強度画像を示す。上空の寒気が進入する前面にあたる東北から四国にかけての広い範囲に、不安定降水と考えられる強いレーダーエコー域が広がっていた。茨城県には特に強くシャープなエコー域があり、このエコーの下で竜巻が発生した。このときの大気安定度の低下のシグナルについて、リードタイムがMSMより長いGSM発雷確率ガイダンスの値(GSM-PoT)を指標として検討する。

図6.3.11に2012年5月6日06UTCを対象としたGSM-PoTの中で、最も予報時間が長い5月3日00UTC初期値のFT=78と、直前の5月6日00UTC初期値のFT=6の図を示す。直前の高PoT域の予想分布は、FT=78と比較すると、図6.3.10の発達したレーダーエコー域によく合っており、東日本から西日本の広い範囲に広がっていた。78時間前の予想でも、

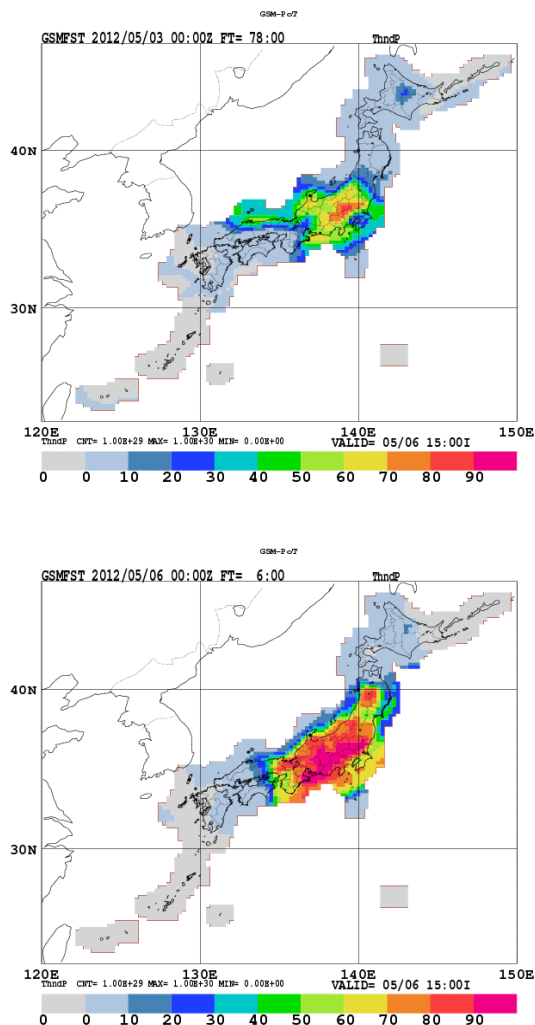


図6.3.11 2012年5月6日06UTCを予想対象時刻としたGSMによる発雷確率ガイダンス(PoT)。(上) 2012年5月3日00UTC初期値 FT=78、(下) 2012年5月6日00UTC初期値 FT=6。

PoT50%以上の領域が東日本から西日本に広がり、中でも北関東ではPoT80%以上の非常に高い値を示していた。

数値予報には不確実性があるため、予報時間が先の方では信頼性が下がることがある。この問題に対応するため、先の予報時間ではPoTが高確率にならないように予測式の係数を調整しており、早い段階では高PoT域が現れにくくなっている（高田 2009）。このため、早くから高PoT域が出現する時は大気の状態が不安定となるポテンシャルが非常に高い場合に限られるので、予報時間が先の方で現れる高PoTは不安定のシグナルとして着目することができる。

このように、数値予報の仕様を理解すると、既存のプロダクト活用の幅を広げることができる。

6.3.3 台風ボーガス¹⁵の影響

図6.3.12に2012年6月18日のMSMによる台風第4号の中心気圧の解析値及び予想値を示す。初期値は00UTCから15UTCまで3時間ごとである。中心気圧は00UTC及び03UTC初期値では約975hPaと予想されていたが、06UTC初期値では約955hPaを示しており、約20hPaも低下した。事後解析の結果は950hPaであったこと、06UTC以降の初期値の予想値は960hPa前後で推移していたことから、06UTC以降の予想値の方が実況に近かった。

中心気圧が急低下した2012年6月18日06UTC初期値の前後の台風及び周囲の場の変化状況を確認するために、図6.3.13に2012年6月18日06UTCを予報対象時刻としたMSMの地上気圧を2初期値分、重ねて描いた比較図を示す。新しい初期値の等圧線は黒、前回初期値の等圧線は緑、前回と比べ気圧が高くなった領域は赤、低くなった領域は青で示す。

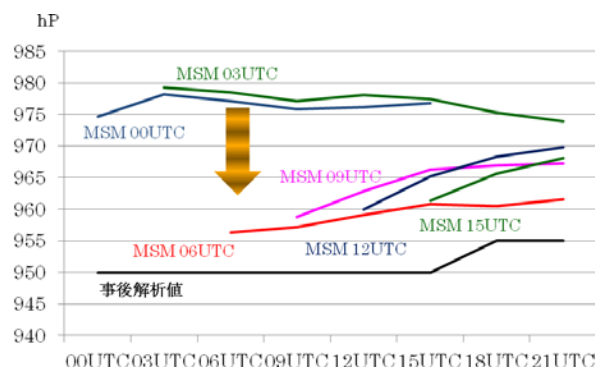


図6.3.12 2012年6月18日00-15UTC初期値のMSMによる台風第4号の中心気圧の解析値及び予想値

¹⁵ 第2.2.3項 疑似観測（台風ボーガス）参照のこと

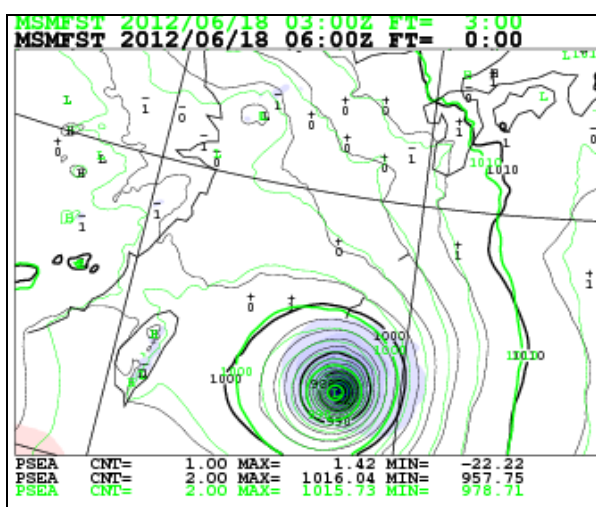
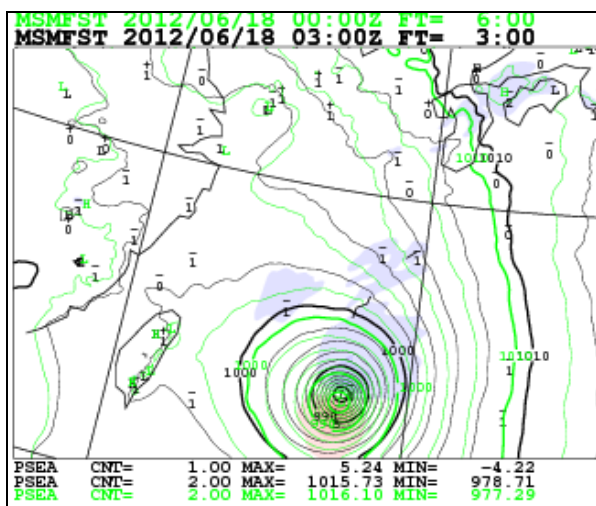


図6.3.13 2012年6月18日06UTCを予報対象時刻としたMSM地上気圧の前回初期値との比較図。前回初期値より気圧が高くなった領域を赤、低くなった領域を青で示す。(上)18日00UTC初期値 FT=6(緑)と03UTC初期値 FT=3(黒)の比較図、(下)18日03UTC初期値 FT=3(緑)と06UTC初期値 FT=0(黒)の比較図。

図6.3.13の上の図は18日00UTC初期値FT=6と03UTC初期値FT=3の比較図である。沖縄の南にある台風第4号の北半分が青く、南半分が赤くなっている。これは、前初期値の予想と比較して、中心気圧はあまり変わらないが、中心の位置が北方向に少しずれている、即ち進行速度が速くなったことを意味している。

図6.3.13の下図は18日03UTC初期値FT=3と06UTC初期値FT=0の比較図である。台風第4号は全体的に青く着色されている。黒い等圧線が混んでいることから、中心気圧が大きく低下したことが分かる。これは、第6.2.1項(3)で述べた台風ボーガスが6月18日06UTC初期値から加えられたためである。実際、図6.3.14の2012年6月18日03UTC初期値及び

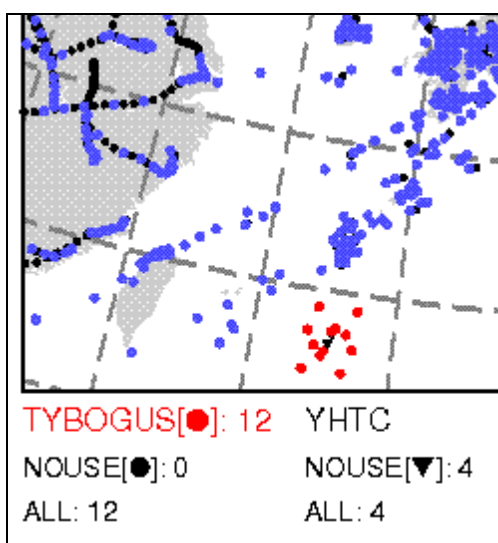
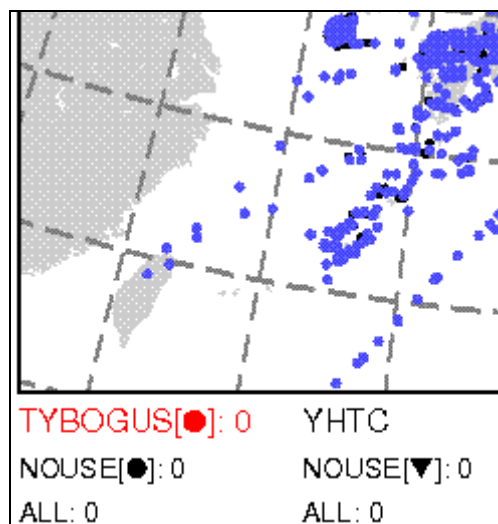


図6.3.14 メソ解析(Ma)カバレッジマップの一部分。枠下左に赤字で台風ボーガス(TYBOGUS)の凡例と観測点数を表示する。(上) 2012年6月18日03UTC初期値、(下) 2012年6月18日06UTC初期値。

06UTC初期値のカバレッジマップ¹⁶を見ると03UTC初期値には見られない赤い点が、06UTC初期値では沖縄の南海上にプロットされているのがわかる。この赤い点が、台風ボーガスである¹⁷。

台風ボーガス追加直後は、台風の構造がよりシャープに表現されるため、台風の中心気圧がそれまでより低く表現されることが多く、周囲の場に多少の変化が生じる可能性がある。このような事情を考慮

¹⁶ 第2.4項で述べた観測値の分布状況をその種類ごとにプロットした図

¹⁷ 本事例時点では、台風ボーガス追加の条件は台風の中心がMSM領域内に入った場合であったが、2012年8月23日09UTC以降、台風の中心が緩和領域より内側に入った場合に変更した。

に入れ、予想資料を検討願いたい。

なお、台風ボーガスはGSMでも採用されているため、GSMでも同様の事象が発生する可能性がある。ただし、GSMの方が解像度が低いため、MSMよりなだらかな表現になる。

6.4 まとめ¹⁸

本章では、数値予報プロダクトの効果的な利用のために、まず第 6.2 節で数値予報の特性としての限界と数値予報プロダクトを利用するための一般的な留意事項を述べた。これらは数値予報資料を効果的に利用するための問題に直ちに答えを与えるとは限らないが、結果の解釈などに有用であると思う。利用者にはこの留意事項を踏まえつつ、数値予報を利用してほしい。第 6.3 節では数値予報の特性理解の助けになるいくつかの例を紹介した。このほかに、GSM と MSM 間の対流性降水の表現の違い（成田 2008）のように既に報告された例もあるので、別に参照願うとともに、各地域に特有の現象などに対しては独自に知見の蓄積を図ってほしい。

数値予報の利用に際して注意すべきことは、数値予報モデルや解析システムの改良や変更に伴い、予報特性が変わる場合がある点である。改良や変更に関する情報は研修テキストなどでお知らせしているところであるので、その際にはそれまでの理解が有効であるか随時確認するようにお願いしたい。

本稿は、読者が数値予報の効果的な利用を進めるための手がかりにすることを意図しているが、読者にはあわせて過去の研修テキストも参考に予報作業での効果的な数値予報資料の利用をお願いしたい。

参考文献

気象庁, 2011: 平成23年台風第12号による8月30日から9月5日にかけての大雨と暴風. 平成23年度災害時自然現象報告書.

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201103/saigaiji_201103.pdf

高田伸一, 2009: 発雷確率ガイダンス. 平成21年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 39-43.

成田正巳, 2008: 降水予報特性の問題点と改善, 平成20年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 43-47.

檜垣 将和, 2012: 全球数値予報による台風の予測結果. 気象庁技術報告第134号, 気象庁, (印刷中).

¹⁸ 藤田 司、山本 佳緒里