



第1章 基礎編

1.8 気象庁のガイダンス

降水ガイダンス

	降水確率(PoP)	平均降水量(MRR)	最大降水量(RMAX)
モデル	GSM、MSM	GSM、MSM、MEPS (MEPSは各メンバー)	
格子間隔	GSM: 20km格子、MSM、MEPS: 5km格子		
予報時間 単位	6時間	3時間	1, 3時間最大降水量: 3時間、 24時間最大降水量: 24時間
説明変数※	ESHS、HOG R等	SSI、PCWV等	MRR、SSI等
目的変数	格子内の降水の有 無の平均(実況降 水面積率に同じ)	格子内の平均降水量	格子内の最大降水量
層別化	格子、初期時刻、予報時間(6時間区切り)		格子、平均降水量

※ 説明変数の詳細は白山(2018)を参照



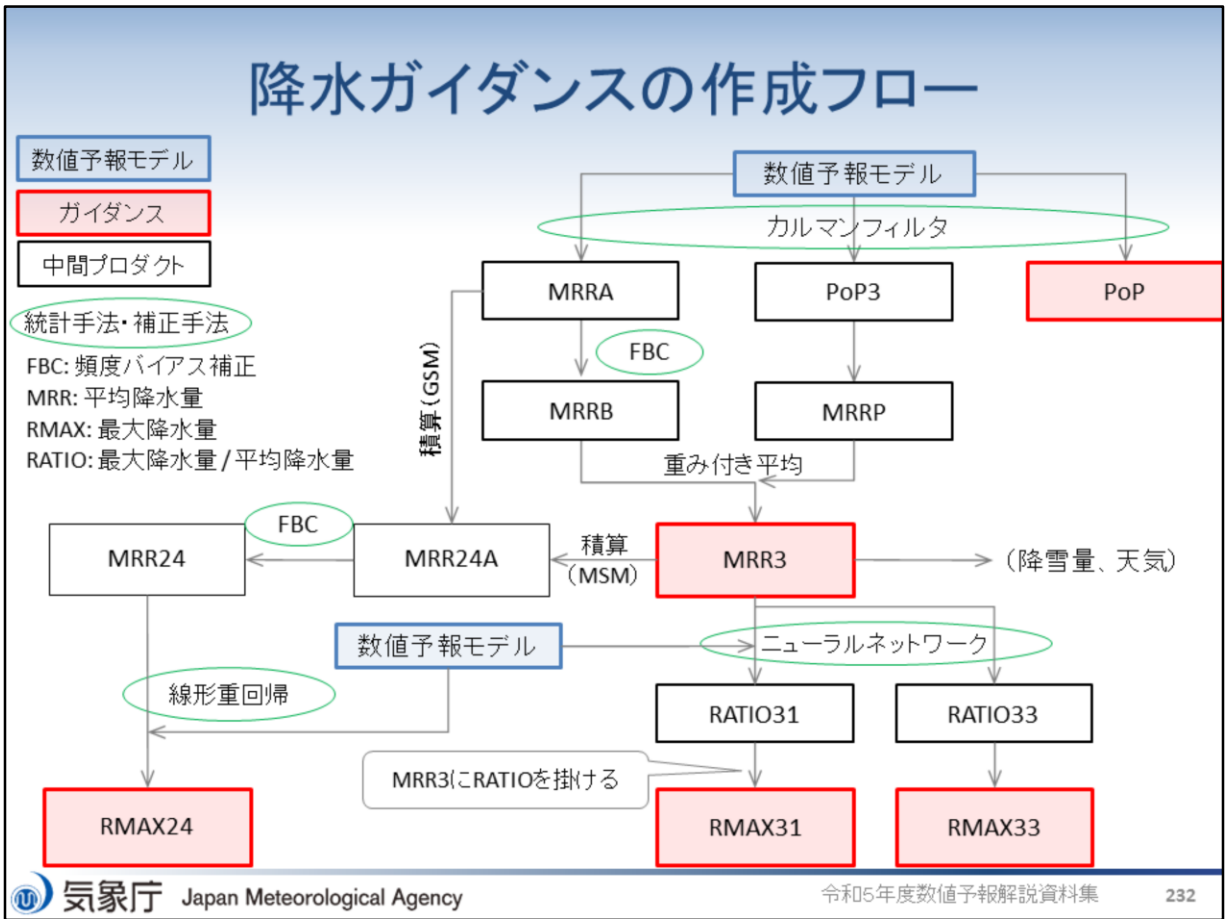
降水ガイダンス(白山 2018; 森 2019)は、降水確率(PoP)、平均降水量(MRR)、および最大降水量(RMAX)を予測するガイダンスであり、日々の天気予報から警報・注意報といった防災気象情報の発表のための予測資料、および降雪量ガイダンスや天気ガイダンスの入力値としても用いられている。GSM降水ガイダンスは20km格子で作成、MSMおよびMEPS降水ガイダンスは5km格子で作成している。MEPS降水ガイダンスの作成には、各メンバーの予測から算出した説明変数を用いており、カルマンフィルタや頻度バイアス補正等で用いる係数はMSM降水ガイダンスで学習・更新したものを利用する。

降水確率ガイダンスはカルマンフィルタを用いて作成している。目的変数は予測対象格子内に含まれる1mm/6h以上の降水の有無の平均(降水面積率)であり、説明変数としてESHS、HOG R等を利用している(説明変数の詳細は白山(2018)を参照)。予測式は、格子、初期時刻、および6時間ごとの予報時間で層別化している。

平均降水量ガイダンスはカルマンフィルタ、頻度バイアス補正、PoP補正を用いて作成している。目的変数は予測対象格子内に含まれる降水量の算術平均であり、説明変数としてSSI、PCWV等を用いている。予測式はPoPと同様に、格子、初期時刻、および6時間ごとの予報時間で層別化している。頻度バイアス補正の閾値には0.5, 1, 5, 10, 20, 30, 50, 80, 120mm/3hを使用する(GSMの11-4月は1, 3, 50, 80mm/3hを使用する)。

最大降水量ガイダンスでは、RMAX31(3時間内の1時間最大降水量)、RMAX33(3時間最大降水量)、およびRMAX24(24時間最大降水量)を予測する。RMAX31, 33はニューラルネットワークを用いて作成し、RMAX24は線形重回帰を用いて作成している。目的変数は予測対象格子内の最大降水量である。ただし、MSM、MEPSの1, 3時間最大降水量は、5km格子を中心とする20km格子内の最大値としている。説明変数にはMRR、SSI等を利用し、予測式は格子および平均降水量で層別化している。ニューラルネットワークの重みと線形重回帰の係数は固定である。最大降水量ガイダンスの詳細は白山(2019)を参照。

降水ガイダンスの作成フロー



図にGSMおよびMSM降水ガイダンスの作成フローを示す。図中で青枠は数値予報、赤枠は降水ガイダンスの要素、黒枠はガイダンスを作成するための中間プロダクトを表している。また、緑丸は統計手法または補正手法を示している。

はじめに数値予報モデルから作成した説明変数を入力として、カルマンフィルタにより、3時間平均降水量(MRRA)、3時間降水確率(PoP3)、および降水確率ガイダンス(PoP)を算出する。カルマンフィルタによる3時間平均降水量(MRRA)は発生頻度の高い弱雨に最適化されており、強雨の予測頻度が低いことから、頻度バイアス補正(FBC)を用いて予測頻度を実況の頻度に近づける。頻度バイアス補正後の予測をMRRBとする。さらに、MRRBをPoP3から推定した3時間平均降水量(MRRP)を用いて重み付き平均することで3時間平均降水量ガイダンス(MRR3)を算出する。MRR3は降雪量ガイダンスと天気ガイダンスの入力として利用される。

MRR3および数値予報モデルから算出した説明変数を入力として、ニューラルネットワークにより、最大降水量と平均降水量の比(RATIO31, 33)を算出する。このRATIOにMRR3を掛けることで1時間および3時間最大降水量ガイダンス(RMAX31, 33)を算出する。ニューラルネットワークの重みは、過去の数値予報モデルと解析雨量を用いて学習し、予測では解析雨量の代わりにMRR3を入力とすることでMRR3と説明変数に応じたRATIOを算出している。

24時間最大降水量ガイダンス(RMAX24)は、MRRAまたはMRR3を入力として算出する。GSM降水ガイダンスにおいてはMRRAを時間積算、MSM降水ガイダンスにおいてはMRR3を時間積算した値をMRR24Aとする。これを頻度バイアス補正することでMRR24を算出したのち、数値予報モデルから算出した説明変数も利用して、線形重回帰によりRMAX24を算出する。

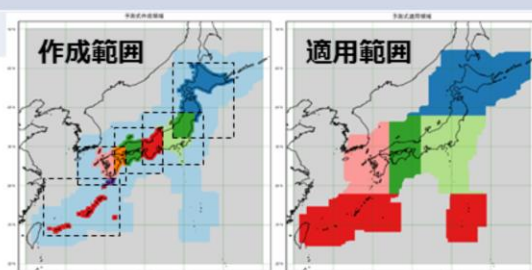
参考文献

- 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.
- 白山洋平, 2019: 12, 24, 48, 72時間最大降水量ガイダンスの開発・改良. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 100-111.
- 森裕貴, 2019: 降水ガイダンス. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 26-35.

大雨発生確率ガイダンス

予測要素	前3時間降水量が100, 150mm以上となる確率
モデル	MSM、MEPS (MEPSは各メンバー)
格子間隔	5km格子
予報時間と間隔	FT=3から39 (MSMの00, 12UTC初期値は51) まで1時間間隔
作成手法	ロジスティック回帰
説明変数	3時間降水量、500m高度の水蒸気フラックス、500m高度の相当温位、地形性上昇流(下層代表風と風向に応じた地形勾配の積)と下層比湿の積、700hPaの上昇流
目的変数	各5km格子を中心とした11×11(55km四方)の範囲の3時間降水量*が閾値以上か否か
層別化	初期時刻、予報時間、地域

* ここでの3時間降水量は、前1時間降水量にその前後の前1時間降水量を加えた値



気象庁では、大雨による災害発生の危険度が高まっている中で、線状の降水帯により非常に激しい雨が同じ場所で実際に降り続けている状況を「線状降水帯」というキーワードを使って解説する「顕著な大雨に関する気象情報」を発表している。顕著な大雨に関する気象情報の発表基準はつぎのとおり。

1. 解析雨量(5kmメッシュ)において前3時間積算降水量が100mm以上の分布域の面積が500km²以上
2. 1.の形状が線状(長軸・短軸比2.5以上)
3. 1.の領域内の前3時間積算降水量最大値が150mm以上
4. 1.の領域内の土砂キキクル(大雨警報(土砂災害)の危険度分布)において土砂災害警戒情報の基準を実況で超過(かつ大雨特別警報の土壌雨量指数基準値への到達割合8割以上)又は洪水キキクル(洪水警報の危険度分布)において警報基準を大きく超過した基準を実況で超過

この情報の発表基準を満たすような線状降水帯による大雨の可能性が高いことが予想された場合に、地方予報区単位等を対象として半日程度前から気象情報において「線状降水帯」というキーワードを使って呼びかける。大雨発生確率ガイダンス(気象庁 2022)は、「線状降水帯による大雨の半日程度前からの呼びかけ」の判断を支援するための資料である。

大雨発生確率ガイダンスの予測手法は係数固定のロジスティック回帰で、説明変数には、線状降水帯発生条件(加藤 2015)およびMSM降水量ガイダンス(白山 2018)を参考として、大雨の予測に特化した説明変数を採用している。目的変数は、対象となる5km格子を中心とした55km四方のどこかで3時間降水量が100mm以上または150mm以上になるか否かである。これらの降水量は「顕著な大雨に関する気象情報」の発表基準における閾値である。大雨発生確率ガイダンスにおける3時間降水量は、前1時間降水量にその前後の前1時間降水量を加えた値である。例えば9時を対象とする場合は、8時から9時までの前1時間降水量に7時から8時までと9時から10時までの降水量を加えた7時から10時までの3時間降水量となる。大雨発生確率ガイダンスは、MSMおよびMEPSからそれぞれ作成している。MEPS大雨発生確率ガイダンスの作成には、各メンバーの予測から算出した説明変数を用いており、ロジスティック回帰の係数はMSM大雨発生確率ガイダンスと同じものを用いる。

大雨発生確率ガイダンスの予測式は、初期時刻、予報時間、地域で層別化している。地域による層別化では全国を5つの領域に分割し、予測式作成時には「作成範囲」の図で示した領域で学習する。予測時にはそれぞれの予測式を「適用範囲」の図で示した領域に拡大することで、海上を含めた領域も予測対象としている。

参考文献

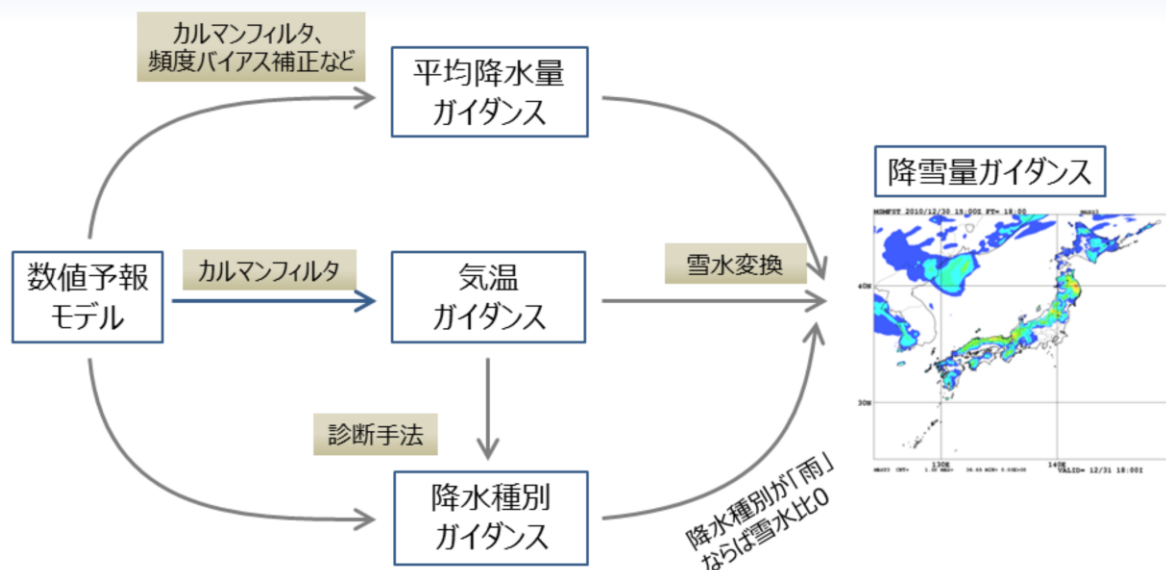
- 加藤輝之, 2015: 線状降水帯発生要因としての鉛直シアーと上空の湿度について. 平成 26 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 114-132.
- 気象庁数値予報開発センター, 2022: 大雨発生確率ガイダンス. 数値予報開発センター年報(令和3年), 120-121.
- 白山洋平, 2018: 降水ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第64号, 気象庁予報部, 95-118.

降雪量ガイダンス

予測要素	3, 6, 12, 24時間降雪量
モデル	GSM、MSM、MEPS (MEPSは各メンバー)
格子間隔	5km格子
予報時間と間隔	GSM降雪量ガイダンス n時間降雪量: FT=n+3から84まで3時間間隔 (n = 3, 6, 12, 24) MSM、MEPS降雪量ガイダンス n時間降雪量: FT=nから39 (MSMの00, 12UTC初期値は78) まで3時間間隔 (n = 3, 6, 12, 24)
作成手法	平均降水量ガイダンスに雪水比をかけて算出する。雪水比は、ロジスティック関数による非線形回帰で決定した回帰式に、気温ガイダンスを入力して予測する。1時間毎の降雪量 (1時間に線形内挿した3時間平均降水量ガイダンス × 1時間雪水比) を計算し、それを積算して3, 6, 12, 24時間降雪量を算出。
説明変数	平均降水量ガイダンス、気温ガイダンス、降水種別ガイダンス
層別化	平均降水量で雪水比を層別化する

降雪量ガイダンス(土田 2018; 土田 2019)は5km格子内の降雪量を予測するガイダンスである。予測要素は3, 6, 12, 24時間降雪量で、GSM、MSM、MEPSとも各降雪量を3時間間隔で予測する。説明変数は3時間平均降水量ガイダンス、気温ガイダンス、降水種別ガイダンスであり、雪水比(降雪量と降水量の比)に平均降水量を掛けることで降雪量の予測値を算出する。MEPS降雪量ガイダンスでは、MSM降雪量ガイダンスと同じ手法をMEPSの各メンバーに適用することで作成する。

降雪量ガイダンスの作成フロー



図に降雪量ガイダンスの作成フローを示す。降雪量ガイダンスは複数のガイダンスおよび統計手法と診断手法を組み合わせた複合的なガイダンスである。降雪量ガイダンスの入力となる平均降水量ガイダンスはカルマンフィルタと頻度バイアス補正などを用いて算出される。また、気温ガイダンスはカルマンフィルタを利用しており、降水種別ガイダンスは気温ガイダンスと数値予報モデルの気温や湿度に基づく診断手法で算出される。

降雪量の算出は次の手順で行う。

- ① 3時間平均降水量ガイダンスを3等分し1時間平均降水量を算出する。
- ② ①の1時間平均降水量および気温ガイダンスの予測値から1時間雪水比を算出する。ただし、降水種別ガイダンスが「雨」である場合には雪水比は0とする。
- ③ ②で求めた1時間雪水比に①の1時間平均降水量を掛けることで1時間降雪量を算出する(雪水変換)。
- ④ ③で求めた1時間降雪量を時間積算することで、3, 6, 12, 24時間降雪量を算出する。

雪水比の計算には過去の気温と雪水比の実況から作成した統計式を使用している。雪水比と降水量、地上気温との関係を確認したところ、雪水比は降水量に強く依存していることがわかったため、統計式は3時間降水量で層別化している。

参考文献

- 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.
- 土田尚侑, 2019: 降雪ガイダンス. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 45-49.

気温ガイダンス

	時系列気温ガイダンス	最高・最低気温ガイダンス
モデル	GSM、MSM、MEPS (MEPSは各メンバー)	
作成対象	アメダス地点	
作成手法	カルマンフィルタ	
予報時間と間隔	GSM: FT=3からFT=84まで1時間間隔 MSM: FT=1からFT=39(00, 12UTC初期値は78)まで1時間間隔 MEPS: FT=1からFT=39まで1時間間隔	翌日、翌々日等、詳細は第4.2.3節を参照
説明変数	地上気温+40°C、地上風速、東西南北の各成分の地上風速、中下層雲量、前3時間降水量、気温減率、前日とのモデル地上気温差	
目的変数	アメダスでのモデルの地上気温の誤差(補正量)	
層別化	地点、初期値、予報時間、季節(4-9月、10-3月)	

気温ガイダンス(三戸 2018; 山下・井上 2019)はアメダス地点の時系列気温(毎正時の気温)および最高・最低気温を予測するガイダンスである。GSM、MSM、MEPSの予測値から算出した説明変数を入力として、カルマンフィルタにより気温予測を行う。カルマンフィルタを用いて逐次学習することにより、季節変化やアメダス移設への追従を可能としている。MEPS気温ガイダンスでは、MSM気温ガイダンスと同じ手法をMEPSの各メンバーに適用することで作成するが、カルマンフィルタの係数は逐次学習せず、同じ初期時刻のMSMガイダンスのものを用いる。目的変数はモデル地上気温の誤差(補正量)としている。これは気温そのものを予想するより、補正量を予想する方が正規分布に近くなり、カルマンフィルタでの予測に適しているためである。カルマンフィルタで求めた補正量にモデル地上気温を加えることでガイダンスの予測値となる。説明変数は、地上気温+40°C、地上風速、東西南北の各成分の地上風速、中下層雲量、モデルの前3時間降水量、気温減率、前日とのモデル地上気温差を用いている。地上気温(摂氏)に40°Cを足しているのは、0°Cを境に説明変数の符号が反転することを防ぐためである。中下層雲量はランダムオーバーラップを仮定し、 $1 - (1 - C_{ll})(1 - C_{lm})$ により算出する(C_{ll} は下層雲量、 C_{lm} は中層雲量)。前日との気温差は予報時間($FT=t$)のモデル気温と、1日前の初期値の同じ予報時間($FT=t$)のモデル気温の差である。予測値は地点、初期時刻、予報時間、および季節(4-9月、10-3月)で層別化しており、季節層別の切り替え前に1か月間の事前学習を行なっている。

参考文献

- 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.
- 山下浩史, 井上卓也, 2019: 気温ガイダンス. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 17-25.

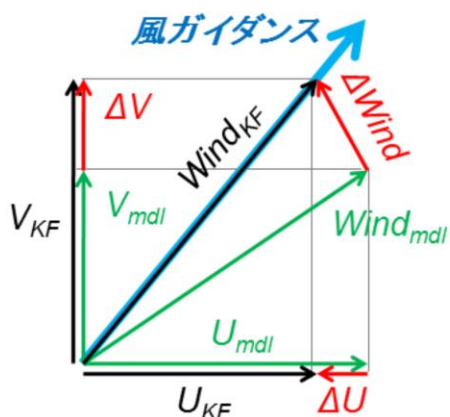
風ガイダンス

	定時風ガイダンス	最大風速ガイダンス
モデル	GSM、MSM、MEPS (MEPSは各メンバー)	
予測対象	アメダス地点	
予報対象時間	3時間(GSM)、1時間(MSM、MEPS)	3時間
作成手法	カルマンフィルタによる予測に風速の頻度バイアス補正を行う	
予報時間と間隔	GSM: FT=3からFT=84まで3時間間隔 MSM: FT=1からFT=39(00, 12UTC初期値は78)まで1時間間隔 MEPS: FT=1からFT=39まで1時間間隔	
説明変数	地上風の東西・南北成分	
目的変数	実況とモデルの地上風の東西・南北成分の誤差(補正量)	実況とモデルの地上風の東西・南北成分の誤差(補正量)
層別化	地点、初期時刻、予報対象時刻(1時間毎1日分)、風向(4方位: 北東、南東、南西、北西)	

風ガイダンス(松本 2018; 井藤 2019)はアメダス地点の定時風(正時の地上風の風向・風速)および最大風速(前3時間内の地上風の10分間平均風速の最大風速とその風向)を予測するガイダンスである。GSM、MSM、MEPSの予測値から算出した説明変数を入力として、カルマンフィルタと頻度バイアス補正により風の予測を行う。カルマンフィルタを用いて逐次学習することにより、季節変化やアメダス移設への追従を可能としている。MEPS風ガイダンスでは、MSM風ガイダンスと同じ手法をMEPSの各メンバーに適用することで作成するが、カルマンフィルタの係数は逐次学習せず、同じ初期時刻のMSMガイダンスのものを用いる。目的変数はモデル地上風の東西・南北成分の誤差(補正量)としている。これは風そのものを予想するより、補正量を予想する方が正規分布に近くなり、カルマンフィルタでの予測に適しているためである。説明変数は、モデルの地上風の東西・南北成分のみ用いている。風は地形の影響を強く受けることや日中と夜間で異なる誤差特性を持つことから、予測式は地点、初期時刻、予報対象時刻、および風向(北東、南東、南西、北西の4方位)で層別化している。予報対象時刻の層別化はFT=24まで行い、FT=24以降は同じ対象時刻の係数を繰り返して利用する。頻度バイアス補正の観測の閾値は、定時風ガイダンスでは2.5, 5.5, 9.5, 13.0m/s、最大風速ガイダンスでは3.0, 7.0, 11.0, 15.0m/sを使用する。

風ガイダンスの予測式

風ガイダンスは、数値予報モデルの風の補正量を目的変数としている。東西・南北成分の補正量をそれぞれ求め、数値予報モデルの風を加えたのち、頻度バイアス補正した風（風向は頻度バイアス補正前と同じ）がガイダンスの予測値となる。



予測式

$$\Delta U = a_0 + a_1 U_{mdl} + a_2 V_{mdl}$$

$$\Delta V = b_0 + b_1 U_{mdl} + b_2 V_{mdl}$$

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ はカルマンフィルタで更新する係数。 U_{mdl} と V_{mdl} はモデル地上風の東西・南北成分。

頻度バイアス補正前の風

$$Wind_{KF} = (U_{mdl} + \Delta U, V_{mdl} + \Delta V)$$

$$Wind_{KF} \xrightarrow{\text{頻度バイアス補正}} \text{風ガイダンス}$$

風ガイダンスは、数値予報モデルの風の補正量を目的変数としている。初めにカルマンフィルタにて決定した係数($a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$)とモデル地上風の東西・南北成分(U_{mdl}, V_{mdl})を用いて、風の補正量 $\Delta Wind = (\Delta U, \Delta V)$ を求める。この補正量をモデル地上風に加えた結果が頻度バイアス補正前の風 $Wind_{KF} = (U_{KF}, V_{KF}) = (U_{mdl} + \Delta U, V_{mdl} + \Delta V)$ となる。 $Wind_{KF}$ の風速を頻度バイアス補正したものが風ガイダンスの風速（風向は頻度バイアス補正前の風ガイダンスと同じ）となる。

参考文献

- 井藤智史, 2019: 風ガイダンス. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 49-53.
- 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.

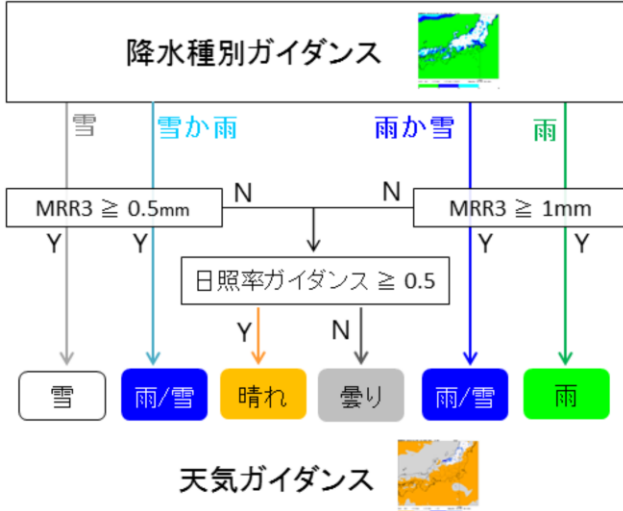
天気ガイダンス

予測要素	前3時間の卓越天気
モデル	GSM、MSM
格子間隔	GSM: 20km格子、MSM: 5km格子
予報時間と間隔	GSM: FT=6から84まで3時間間隔 MSM: FT=3から39(00, 12 UTC初期値は78)まで3時間間隔
作成手法	日照率、降水量、降水種別から天気を判別。 天気を晴れ、曇り、雨、雨または雪、雪に判別。
説明変数	平均降水量ガイダンス、降水種別ガイダンス、日照率ガイダンス
層別化	なし

天気ガイダンス(小林 2018)は格子形式で前3時間の卓越天気を予測するガイダンスである。日照率、降水量、降水種別ガイダンスの予測を入力として、フローチャートにより卓越天気の予測を行う(詳細は次ページ)。GSM天気ガイダンスは20km格子、MSM天気ガイダンスは5km格子で予測を行う。降水種別ガイダンスは数値予報モデルと気温ガイダンスの予測値を用いた診断手法により5km格子毎に前3時間降水種別(雨、雨か雪、雪か雨、雪)を予測するガイダンスである(詳細は土田(2018)を参照)。

天気ガイダンスの作成手法

GSM、MSM天気ガイダンスとも、まずは5km格子で天気カテゴリーを判別する

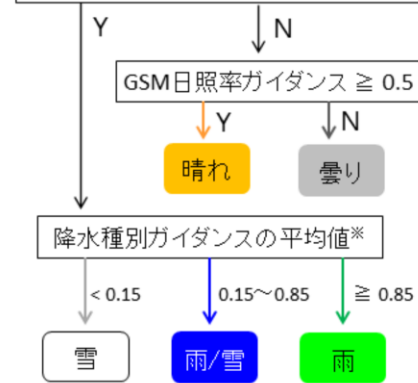


天気ガイダンスのカテゴリーには「雪か雨」と「雨か雪」の区別はない

GSM (20km) の天気カテゴリーの決め方

雪	雪	雨/雪	雨
雪	雪	雨/雪	雨
雪	雪	雨	雨
雪	雪	雨	雨

20km格子に含まれる5km天気のうち、降水ありと判別された格子が半分以上



※ 降水ありの格子に対して、雨:1、雨か雪:2/3、雪か雨:1/3、雪:0として、20km格子内の平均値を求める

天気ガイダンスは図に示したフローチャートにより、天気カテゴリー（晴れ、曇り、雨、雨または雪、雪）の予測を行う。

GSM、MSM天気ガイダンスとも、まずは5km格子での天気カテゴリーを判別する。はじめに降水カテゴリー（雨、雨または雪、雪）の判別を行う。降水種別ガイダンスが「雨」で3時間平均降水量ガイダンス(MRR3)が1mm以上の場合には天気は「雨」となる。降水種別ガイダンスが「雨か雪」でMRR3が1mm以上、または、降水種別ガイダンスが「雪か雨」でMRR3が0.5mm以上の場合には天気は「雨または雪」となる。降水種別ガイダンスが「雪」で、MRR3が0.5mm以上の場合には天気は「雪」となる。天気が雨、雨または雪、雪のいずれでもない場合、日照率ガイダンスが0.5以上であれば天気は「晴れ」、0.5未満であれば天気は「曇り」となる。MSMガイダンスではこの判別結果が天気ガイダンスの予測となる。

GSM天気ガイダンスでは上記で求めた5km格子の天気から20km格子の天気カテゴリーを予測する。20km格子内に含まれる5km格子の天気のうち、降水あり（雨、雨または雪、雪）と判別された格子が半分未満である場合、GSM日照率ガイダンスが0.5以上であれば天気は「晴れ」、0.5未満であれば「曇り」と判別する。降水ありと判別された格子が半分以上ある場合、5km格子での降水種別ガイダンスが「雨」の格子には1、「雨か雪」の格子には2/3、「雪か雨」の格子には1/3、雪の格子には0を与えて20km格子内の降水種別の平均を求め、0.85以上であれば「雨」、0.15以上0.85未満であれば「雨または雪」、0.15未満であれば「雪」と判別する。

参考文献

- 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.
- 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.

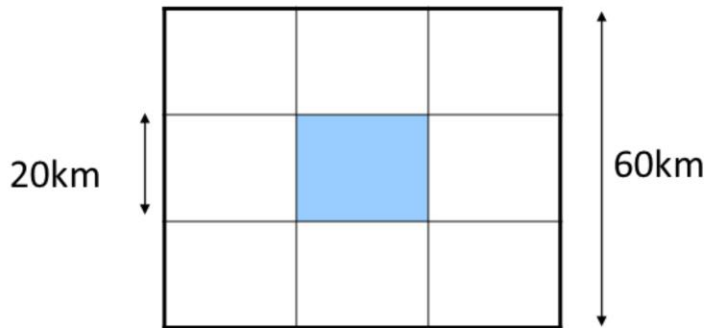
発雷確率ガイダンス

予測要素	前3時間発雷確率
モデル	GSM、MSM、MEPS (MEPSは各メンバー)
格子間隔	20km
作成手法	ロジスティック回帰
予報時間と間隔	GSM: FT=6から84まで3時間間隔 MSM: FT=3から39まで (00, 12 UTC 初期値は78) の3時間間隔 MEPS: FT=3から39まで3時間間隔
説明変数	前3時間降水量、CAPE、SSI (850-500hPa間) またはSSI (925-700hPa間) は必須選択、気柱相対湿度、-10°C高度、下層東西風、下層南北風、鉛直シアー、500hPa渦度、下層気温減率、冬型降水指数から3つ選択
目的変数	対象とする20km格子を含む周囲9格子 (60km四方) における前3時間の発雷の有無。雷監視システム (LIDEN)、飛行場観測、地上気象観測から作成する。
層別化	地域、-10°C高度、予報時間、予報対象時刻

発雷確率ガイダンス (土田 2018; 土田 2019) は、前3時間内の発雷確率を予測するガイダンスである。作成手法は係数固定のロジスティック回帰を用いており、MEPS発雷確率ガイダンスではMSM発雷確率ガイダンスと同じ係数を各メンバーに用いている。説明変数は前3時間降水量、対流有効位置エネルギーCAPE、ショワルターの安定指数SSI (850-500hPa間) またはSSI (925-700hPa間) を必須とし、気柱相対湿度、-10°C高度、下層東西・南北風、鉛直シアー、500hPa渦度、下層気温減率、冬型降水指数の中からさらに3つ選択する。ここで、気柱相対湿度は鉛直方向に飽和していると仮定した飽和可降水量に対する可降水量の比率、下層東西・南北風は地上から700hPaの間の平均風速の東西・南北成分[m/s]、鉛直シアーは850hPaと500hPaの間の風ベクトル差の大きさ[m/s]、下層気温減率は地上と850hPaの間の気温減率[°C/km]、冬型降水指数は風向別降水率 × 850hPa風速[m/s] × 海面と下層温位の飽和比湿差[g/kg]である。予測はLAF (過去初期値との重み付き平均) ありとLAFなしを作成する。

目的変数

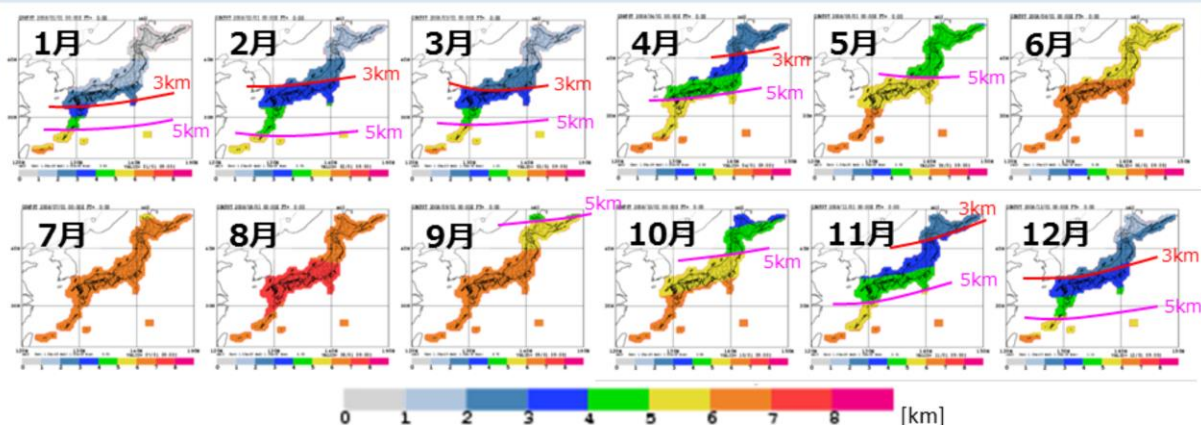
発雷確率ガイダンスは20km格子で作成するが、目的変数は対象格子を中心とする60km格子内での発雷の有無としている。



■の格子で発雷確率が50%の場合、その周辺の60km格子内で発雷する確率が50%となる

発雷確率ガイダンスはGSM、MSMとも20km格子で作成するが、目的変数は対象格子を中心とする60km格子内での発雷の有無としている。例えば図中の水色で示した20km格子での発雷確率が50%であった場合は、その格子の周囲3×3格子内(60km格子内)で発雷する確率が50%であることを意味している。

層別化(-10°C高度)

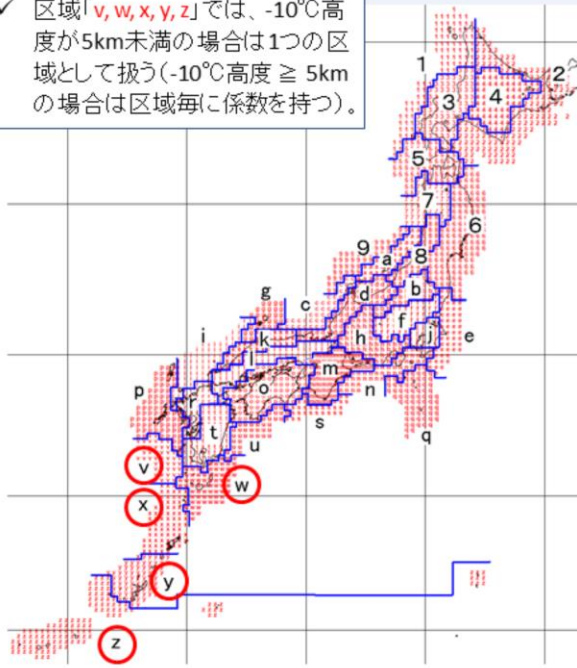


- 図はGSMの解析値から作成した-10°C高度の月別平均値
- 予測式は、-10°C高度が3km未満、3-5km、5km以上の午前(15-03UTC)、5km以上の午後(03-12UTC)の計4通りに層別化しており、季節や月による層別化の代わりとする
- -10°C高度で層別化することにより、季節外れの寒気など季節や月では対応しきれない場合でも、適切な層別化として働くことが期待される

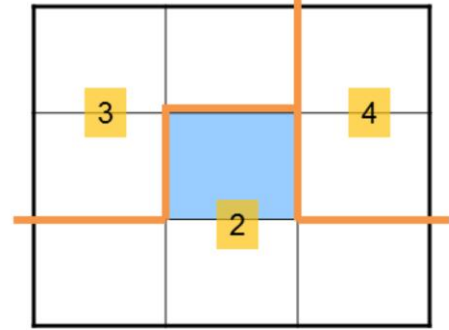
季節によって雷の特性が異なることを考慮するため、-10°C高度によって予測式を層別化する。具体的には-10°C高度が3km未満、3-5km、5km以上の午前(15-03UTC)、および5km以上の午後(03-12UTC)の4通りに層別化している。図にはGSMの解析値から作成した-10°C高度[km]の月別平均値を示す。冬季(12-2月)には北日本と日本海側の広い範囲で-10°C高度が3km以下となっており、夏季(6-8月)には全域で5km以上となっている。-10°C高度で層別化することにより、季節変化を考慮できるだけでなく、季節外れの寒気などの影響による雷も適切に予測できるようになると期待される。-10°C高度が3km未満は主に冬季雷を、5km以上では主に夏の雷を、3-5kmでは主に春と秋の界雷をターゲットにしている。

層別化(地域)

✓ 区域「v, w, x, y, z」では、 -10°C 高度が5km未満の場合は1つの区域として扱う(-10°C 高度 $\geq 5\text{km}$ の場合は区域毎に係数を持つ)。



区域の境界線



区域の境界沿いの予測を滑らかにするために、周囲8格子の予測式も使って予測し、平均している。

区域「2」に属する水色の格子の予測には、区域「3」、「4」の係数も使われることになる。

地域ごとに発雷の特性が異なることを考慮するため、左図の35の地域で予測式を層別化している。ただし、区域 v, w, x, y, zでは、予測式の決定に必要なサンプル数を確保するため、 -10°C 高度が5km未満の場合は1つの区域として扱う(-10°C 高度 $\geq 5\text{km}$ の場合は区域毎に係数を持つ)。また、各区域での境界沿いの予測を滑らかにするために、周囲8格子の予測式も使って予測し、平均している。右図の例では、区域「2」に属する水色の格子の予測には、区域「3」および「4」の係数も使われることになる。

参考文献

- 土田尚侑, 2018: 発雷確率ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第64号, 気象庁予報部, 165-176.
- 土田尚侑, 2019: 発雷確率ガイダンス. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 53-55.

最小湿度ガイダンス

予測要素	日最小湿度
モデル	GSM、MSM
対象地点	気象官署(特別地域観測所を含む)
作成手法	ニューラルネットワーク(逐次学習あり)
予報対象日	翌日、翌々日等(第4.2.7節を参照)
説明変数	予報対象日における地上気温、850hPaの風速、3層(1000, 925, 800hPa)の平均相対湿度、1000hPaと700hPaの間の気温減率、地上最高気温、地上と925hPaの日最高気温出現時の比湿、地上最小比湿、地上最小湿度、各層(地上、1000, 925, 850, 700, 500hPa)の日平均相対湿度
目的変数	観測された日最小湿度(1分値から算出)
層別化	地点、季節(4-9月、10-3月)

最小湿度ガイダンス(小林 2018)は特別地域観測所を含む気象官署の地点における日最小湿度を予測するガイダンスである(予報対象日は第4.2.7節を参照)。GSMおよびMSMの予測値から算出した説明変数を入力として、ニューラルネットワークにより湿度の予測を行う。説明変数は、予報対象日における、03, 12, 21JSTの地上気温、03, 12, 21JSTの850hPaの風速、03, 12, 21JSTの3層(1000, 925, 800hPa)の平均相対湿度、03, 12, 21JSTにおける1000hPaと700hPaの間の気温減率、地上最高気温、地上と925hPaの日最高気温出現時の比湿、地上最小比湿、地上最小湿度、および地上、1000, 925, 850, 700, 500hPaの日平均相対湿度である。目的変数は観測地点での1分値から算出した日最小湿度である。予測式は地点と季節(4-9月、10-3月)で層別化し、季節層別切り替えの30日間前から事前学習を行う。

参考文献

- 小林大輝, 2018: 湿度ガイドンス. 数値予報課報告・別冊第64号, 気象庁予報部, 177-184.

視程ガイドンス(格子形式)

	GSM視程ガイドンス (格子形式)	MSM視程ガイドンス (格子形式)
モデル	GSM	MSM
格子間隔	20km格子	5km格子
作成手法	消散係数による診断手法	
予報時間 と間隔	FT=3からFT=84まで3時間間隔	FT=3からFT=39(00, 12UTC初期値 は78)まで3時間間隔
説明変数	地表気圧より上層の気圧面1層の 雲水量、地上相対湿度、前3時間 内の1時間最大降水量、地上風速	モデル面第2-5層および第2-9層の 雲水量の和、前1時間降水量(雨)、 前1時間降水量(雪、あられ、雲氷)、 モデル面第1層の相対湿度、モデル 面第1層の風速
目的変数	各格子の前3時間の最小視程	
層別化	なし	

視程ガイドンス(格子形式)(後藤 2018; 気象庁 2022)は、20km格子(GSM)または5km格子(MSM)の前3時間の最小視程を予測するガイドンスである。数値予報モデルの予測値から雲、浮遊塵、雨、雪それぞれに起因する消散係数を診断的に計算し、消散係数と視程の関係式を用いて各格子における視程を予測する。診断的な手法を用いることにより、視程観測データのない地点を含めた面的な視程予測が可能となっている。MSMガイドンスでは、1時間毎に視程を予測し、前3時間内の3つの予測の最小値をガイドンスの予測値としている。

視程ガイドンス(格子形式)の予測式

照度 E の対象物からの距離 r での光の減衰率

→消散係数 σ と定義

$$dE/dr = -\sigma E$$

σ を平均値とし、

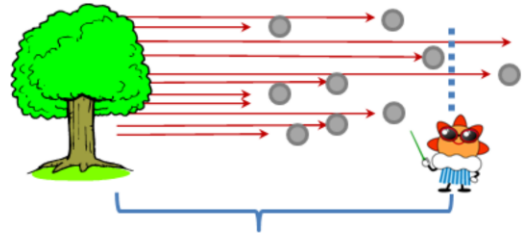
$$E(r)/E(0) = \exp(-\sigma r)$$

右図の説明から

$$0.05 = \exp(-\sigma \text{VIS})$$

$$\text{VIS} = -\ln(0.05)/\sigma \cong 3/\sigma$$

σ は各浮遊物質(浮遊塵、雲粒、雨粒、雪)による消散係数(σ_p 、 σ_c 、 σ_r 、 σ_s)の和



照度がもとの値の5%まで減衰する距離＝視程VIS



視程ガイドンス(格子形式)では、気象光学距離(MOR: Meteorological Optical Range)の定義に従って視程を予測する。世界気象機関(WMO)により、MORは色温度2700Kの白熱灯の並行ビームが大気や大気中に浮遊する粒子によって散乱吸収され、その照度 E が元の照度の5%となるまでの距離と定義されている。照度 E の距離 r に対する減衰率を消散係数 σ とすると、 $dE/dr = -\sigma E$ の関係がある。 σ が r に依らないとし、照度が元の照度の5%となるまでの距離を視程(VIS)とすると、

$$\text{VIS} = -\ln(0.05)/\sigma \cong 3/\sigma$$

となる。 σ は各浮遊物質による消散係数の和である。ここでは視程障害をもたらす浮遊物質として浮遊塵、雲粒、雨粒、雪を考慮すると、それぞれの消散係数を σ_p 、 σ_c 、 σ_r 、 σ_s として、

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_c + \sigma_r + \sigma_s$$

と書ける。各消散係数は数値予報モデルの予測値を用いて、過去の調査やモデルの特性に基づいて決定している。GSM、MSM、LFM視程ガイドンス(格子形式)での各消散係数は以下の通り。

GSM視程ガイドンス(格子形式)の消散係数

$$\sigma_p = 0.162 (1 - \text{RH})^{-0.5}$$

$$\sigma_c = 100.0 \times \text{CWC}_1^{0.96}$$

$$\sigma_r = 0.403 \times \text{RAIN}^{0.5}$$

$$\sigma_s = 2.14 \times \text{RAIN}^{0.7} + 0.167 \times \text{FF}$$

ただし、RHは地上相対湿度、 CWC_1 は地表気圧より上層の気圧面1層の雲水量[g/kg]、RAINは前3時間内の1時間最大降水量[mm/h]、FFは地上風速[m/s]

MSM視程ガイドンス(格子形式)の消散係数

$$\sigma_p = 0.35 (1 - \text{RH})^{-0.2}$$

$$\sigma_c = 8.0 \times \text{QC}^{0.9} \text{ (無降水格子)}$$

$$= 5.0 \times \text{QC}^{0.9} \text{ (降水格子)}$$

$$\sigma_r = 0.47 \times \text{RAIN}^{0.5}$$

$$\sigma_s = 8.0 \times \text{SNOW}^{0.7} + 0.07 \times \text{FF}$$

ただし、RHはモデル面第1層の相対湿度、QCは雲水量(無降水格子はモデル面第2-5層、降水格子は第2-9層)の積算[g/kg]、RAINは前1時間降水量(雨)[mm/h]、SNOWは前1時間降水量(雪、あられ、雲氷)[mm/h]、FFはモデル面第1層の風速[m/s]

参考文献

- 気象庁数値予報開発センター, 2023: 視程ガイドンス(格子形式). 数値予報開発センター年報(令和4年), 51-52.
- 後藤尚親, 2018: 視程ガイドンス. 数値予報課報告・別冊第64号, 気象庁予報部, 185-195.