

第3章 アプリケーション

3.1 一般予報ガイダンスの検証¹

3.1.1 降水確率、平均降水量、最大降水量ガイダンス

(1) はじめに

本項では、降水確率 (PoP)、平均降水量 (MRR)、最大降水量 (MAXP) ガイダンスの検証結果を示す。各ガイダンスの詳細については安藤 (2007a) を参照していただきたい。

なお、本文中では全球モデルを「GSM」、メソ数値予報モデルを「MSM」と記述する。各モデルを利用したガイダンスは、モデル名と要素名を組み合わせ、要素名を略した形式で「GSM-PoP6」のように記述する。要素名に付記した数字は予報対象とする時間幅を表し、「PoP6」は「前6時間降水確率」を意味する。また、初期時刻から起算した予報時間をFT (単位は時間) と表記する。

(2) 検証方法

検証期間はGSMの高解像度化以後の2007年12月から2008年8月までの9か月間とし、全国と各地方を対象として検証した。なお、GSMは2008年8月から適合ガウス格子化されている (第1.1節) が、GSMの変更によるガイダンスの精度に大きな変化はないことを確認している。

PoP、MRRでは、格子間隔20kmのガイダンス格子毎に分割表を作成し、全国・各地方、それぞれに含まれる格子の分割表を積算して各スコアを算出している。MAXPでは、二次細分区域毎に分割表を作成し、全国・各地方に含まれる二次細分区域の分割表を積算して各スコアを算出している。実況値には、解析雨量を利用している。

(3) PoP6の精度

・信頼度

図3.1.1はGSM-PoP6のFT=51までとMSM-PoP6のFT=33までの信頼度曲線である。どの予報も実況の出現頻度と確率予報が等しくなる理想直線に近く、信頼度の高い予報となっている。地方別に見ると、GSMでは、東日本 (北海道・東北・関東甲信・東海・北陸)、西日本 (近畿・中国・四国・九州北部・九州南部・沖縄) とともに、予報が70%から80%の範囲で予報が実況よりやや過小になる地方が多くなっている。MSMでは、西日本で予報が30%から

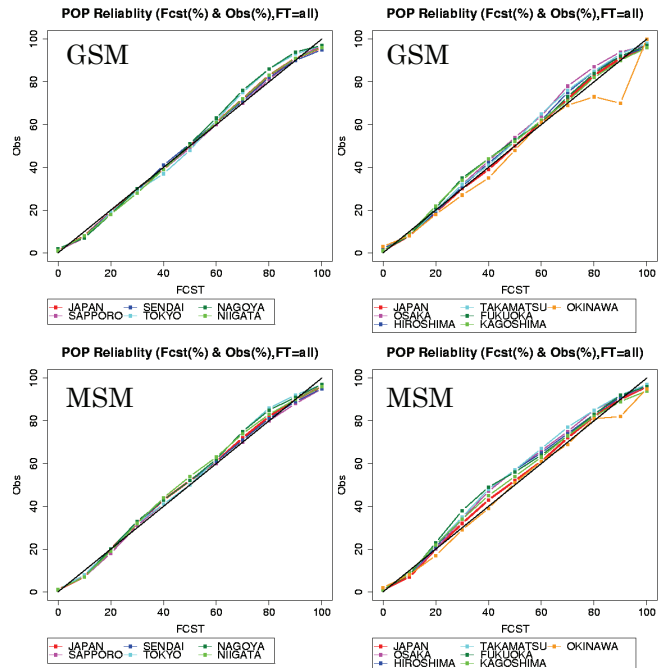


図 3.1.1 PoP6 の信頼度曲線 (地方別)。上段は GSM ガイダンスの初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=51 までの信頼度、下段は MSM ガイダンスの初期時刻 03,09,15,21UTC の FT=33 までの信頼度である。凡例は、JAPAN、SAPPORO、SENDAI、TOKYO、NAGOYA、NIIGATA、OSAKA、HIROSHIMA、TAKAMATSU、FUKUOKA、KAGOSHIMA、OKINAWA が、それぞれ全国、北海道、東北、関東甲信、東海、北陸、近畿、中国、四国、九州北部、九州南部、沖縄の各地方を表す (以下同様)。

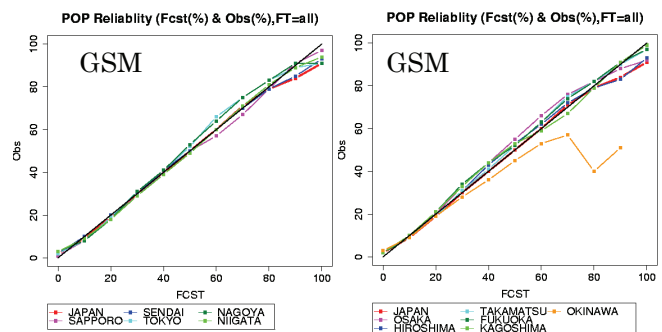


図 3.1.2 GSM-PoP6 の FT=57-75 の信頼度曲線 (地方別)。初期時刻 00,06,12,18UTC までの信頼度である。

80%の範囲で予報がやや過小になる地方が多くなっている。沖縄地方は、GSM、MSMともに高い確率の予報の信頼度が低下している。

図3.1.2はGSM-PoP6のFT=57-75の信頼度曲線である。この予報時間は明後日予報に利用される。沖縄地方を除いて、全ての地方で理想直線に近く、信頼度の高い予報となっている。沖縄地方はPoP6 $\geq$ 70%になると予報の信頼度が低下している。

¹ 3.1.1 小泉 友延、3.1.2 松澤 直也、3.1.3 藤枝 鋼、3.1.4、3.1.6、3.1.9 鎌倉 智之、3.1.5 古市 豊、3.1.7 松本 智文、3.1.8 高田 伸一

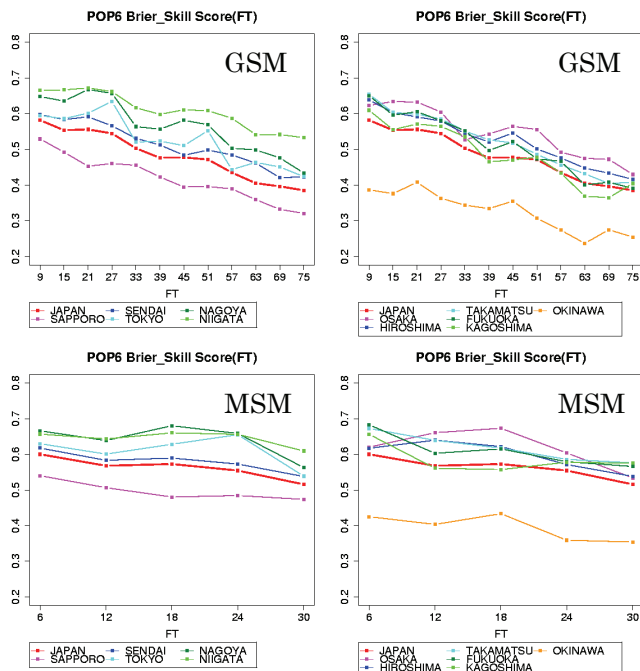


図 3.1.3 PoP6 のブライアスキルスコア (地方別)。上段は GSM ガイドンスの初期時刻 00UTC の FT=75 までを、下段は MSM ガイドンスの初期時刻 03UTC の FT=30 までを時系列で示している。

・ブライアスキルスコア

図3.1.3はFT別のブライアスキルスコアである。どの予報も予報時間が先に進むに従ってスコアが小さくなり、精度が悪くなっていく傾向がある。地方別に見るとGSM、MSM共に、北海道地方と沖縄地方の精度が他の地方に比べて悪く、地方によって予報の精度にばらつきが見られる。

(4) MRR3 の精度

・モデルとの比較

図3.1.4にGSM-MRR3、MSM-MRR3とGSM、MSMの降水量予報との比較を示す。予報対象時刻を揃えるため、GSMの00,06,12,18UTC初期値のFT=18から27とMSMの03,09,15,21UTC初期値のFT=15から24との検証結果を比較している。ガイドンスとの比較に利用したモデルの降水量予報はFRRと略し、前3時間降水量予報はFRR3としている。

GSM、MSMともにエクイタブルスレットスコアは閾値30mm/3h以下ではMRR3の方がFRR3より大きく、MRR3の方が精度がよいことを示している。閾値40mm/3h以上では、GSMはMRR3とFRR3の精度は同等となるが、MSMはFRR3の方がMRR3より精度が良くなる。GSM-MRR3とMSM-MRR3を比べると、閾値20mm/3h以下ではMSM-MRR3の方が精度が良く、閾値30mm/3h以上は両者の精度は同等である。バイアススコアを見ると、GSM-FRR3は閾値が5mm/3h以上になるとスコアが1を大きく下回るようになり予報が過少となるが、GSM-MRR3は閾

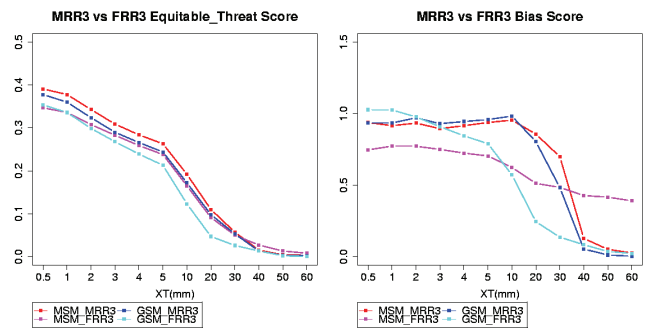


図 3.1.4 GSM-MRR3、MSM-MRR3、GSM-FRR3、MSM-FRR3 の閾値別の精度比較 (全国)。左はエクイタブルスレットスコア、右はバイアスコアを示す。GSM は初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=18 から 27 まで、MSM は初期時刻 03,09,15,21UTC の FT=15 から 24 まで。

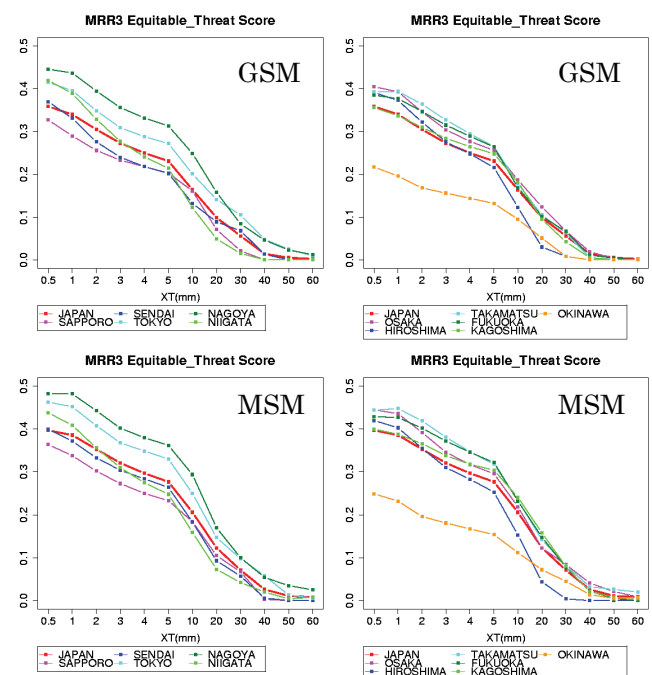


図 3.1.5 MRR3 の閾値別のエクイタブルスレットスコア (地方別)。上段は GSM ガイドンスの初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=51 まで、下段は MSM ガイドンスの初期時刻 03,09,15,21UTC の FT=33 までのスコアである。

値10mm/3hまではスコアが1に近く、GSM-FRR3が閾値5mm/3h以上の降水の予報が過少となる傾向を補正している。MSM-FRR3は全ての閾値でスコアが0.5から0.7となっており、予報がやや過少となっているが、MSM-MRR3は閾値10mm/3h以下ではスコアが1に近く、MSM-FRR3の予報が過少である傾向を補正している。閾値40mm/3h以上ではMSM-MRR3のスコアは0に近くなり、MSM-FRR3よりも予報が過少となっている。

・エクイタブルスレットスコア

図3.1.5はGSM-MRR3とMSM-MRR3の閾値別のエクイタブルスレットスコアである。GSM、MSM

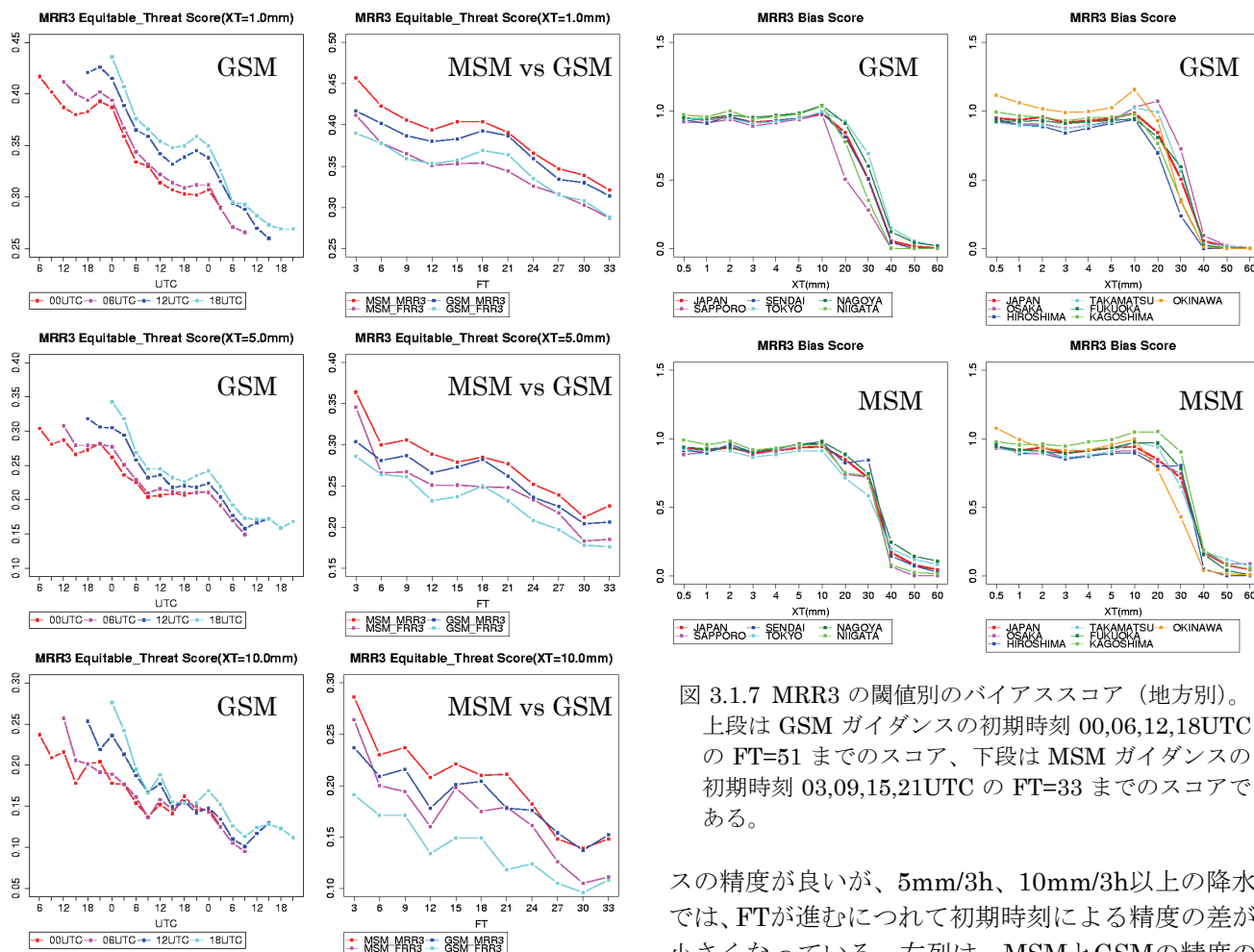


図 3.1.6 MRR3 のエクイタブルスレットスコアの時系列（全国）。左列は GSM-MRR3 の初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=51 までのスコア。横軸は予報対象時刻（UTC）。右列は初期時刻 03UTC の MSM-MRR3、MSM-FRR3 と初期時刻 00UTC の GSM-MRR3、GSM-FRR3 のスコア。横軸は FT で予報対象時刻を合わせるため GSM は FT=6 から 36 となっている。閾値は上段から 1mm/3h、5mm/3h、10mm/3h。

ともに閾値が10mm/3h以上になるとスコアが急落し、精度が悪くなっている。地方別に見ると、東日本では関東甲信地方と東海地方の精度が他の地方よりも良くなっていることが目立つ。西日本では全国の精度を上回る地方が多くなっているが、沖縄地方の精度が他の地方よりも悪く、中国地方は10mm/3h以上のスコアの低下が他の地方よりも大きくなっている。

図3.1.6は閾値1mm/3h、5mm/3h、10mm/3hの初期時刻毎のエクイタブルスレットスコアの時系列で、左列はGSMの各初期時刻のFTを予報対象時刻に合わせたグラフである。スコアには24時間程度の周期性の変動が見られ、変動の位相は予報対象時刻に依存しているように見える。GSMでは、1mm/3hの降水ではどの予報対象時刻でも最新のガイダン

図 3.1.7 MRR3 の閾値別のバイアスコア（地方別）。上段は GSM ガイダンスの初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=51 までのスコア、下段は MSM ガイダンスの初期時刻 03,09,15,21UTC の FT=33 までのスコアである。

スの精度が良いが、5mm/3h、10mm/3h以上の降水では、FTが進むにつれて初期時刻による精度の差が小さくなっている。右列は、MSMとGSMの精度の比較をしたものである。FTが進むに連れてMSMとGSMの精度の差は小さくなる傾向があるが、どの閾値でもMSMの方がGSMより精度がよい。

・バイアスコア

図3.1.7はGSM-MRR3とMSM-MRR3の閾値別のバイアスコアである。GSMは閾値0.5～10mm/3h、MSMは閾値0.5～20mm/3hの範囲でスコアがほぼ1となっており、閾値40mm/3h以上になるとGSM、MSMともにほぼ0になっている。

(5) 前3時間1時間最大降水量(MAXP1)の精度

・エクイタブルスレットスコア

図3.1.8はGSM-MAXP1とMSM-MAXP1の閾値別のエクイタブルスレットスコアである。全国・各地方ともに閾値が大きくなるに連れて精度が悪くなっている。地方別に見ると、GSM、MSMともに東海・九州南部地方は全国に比べて精度が良く、北海道・近畿・中国・沖縄地方は全国より精度が悪い。四国地方は、GSMは全国とほぼ同じ精度であるがMSMでは全国の精度を上回っている。北陸地方はMSMでは全国とほぼ同じ精度であるがGSMでは全国を上回っている。

図3.1.9は閾値20mm/h、40mm/hの初期時刻毎の

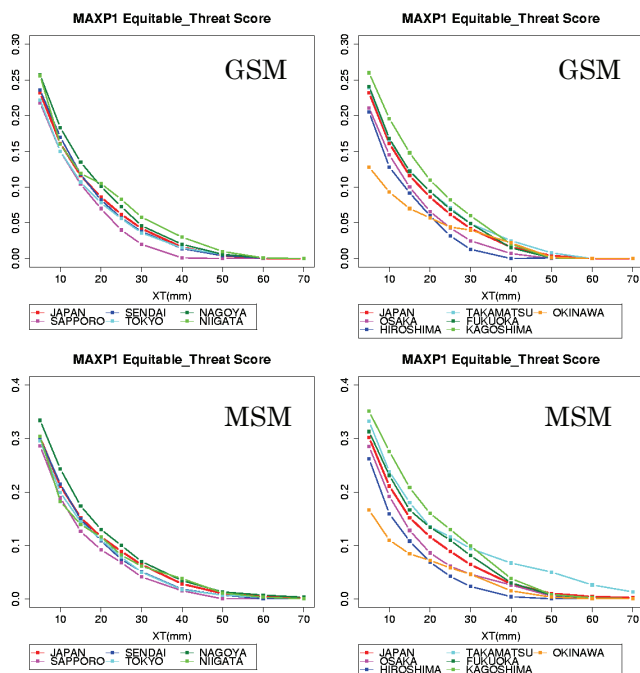


図 3.1.8 MAXP1 の閾値別のエクイタブルスレツトスコア（地方別）。上段は GSM ガイダンスの初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=84 までのスコア、下段は MSM ガイダンスの初期時刻 03,09,15,21UTC の FT=33 までのスコアである。

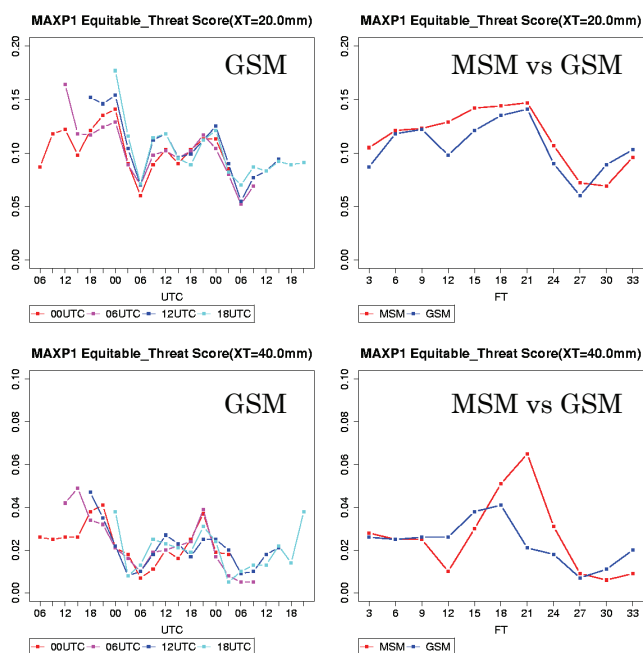


図 3.1.9 MAXP1 のエクイタブルスレツトスコアの時系列（全国）。左列は GSM-MAXP1 の初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=51 までのスコア。横軸は予報対象時刻（UTC）。右列は初期時刻 03UTC の MSM-MAXP1 と初期時刻 00UTC の GSM-MAXP1 のスコア。横軸は FT で予報対象時刻を合わせるため GSM は FT=6 から 36 となっている。閾値は上段から 20mm/h、40mm/h。

エクイタブルスレツトスコアの時系列である。どの予報も FT が進むにつれて精度が悪くなる傾向があるが予報対象時刻による精度の変化が大きい。閾値

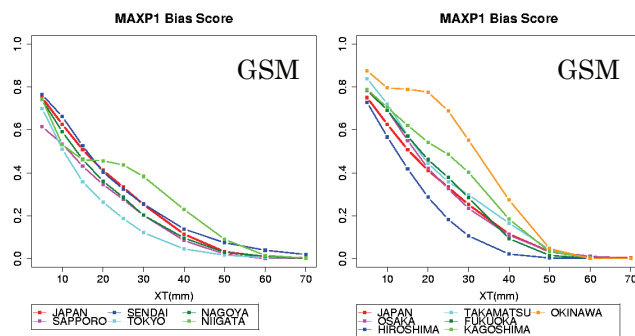


図 3.1.10 GSM-MAXP1 の閾値別のバイアススコア（地方別）。初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=84 までのスコアである。

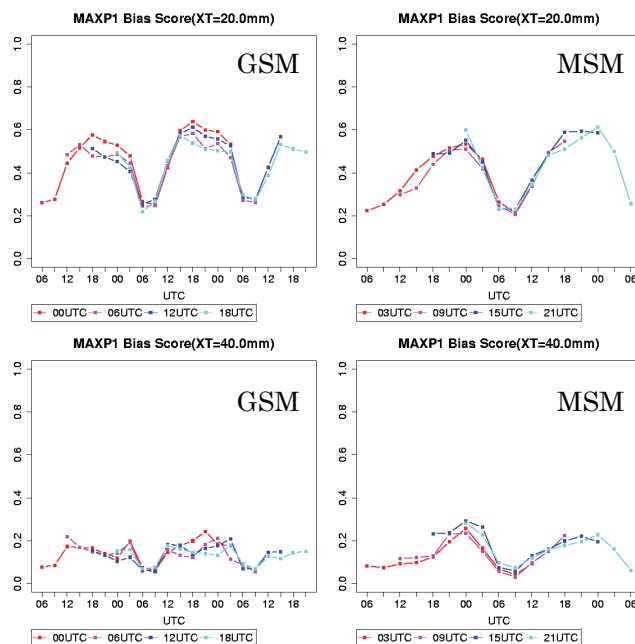


図 3.1.11 MAXP1 のバイアススコアの時系列（全国）。左列は GSM ガイダンスの初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=51 までのスコア、右列は MSM ガイダンスの初期時刻 03,09,15,21UTC の FT=33 までのスコアである。横軸は予報対象時刻（UTC）。閾値は上段から 20mm/h、40mm/h。

20mm/h のスコアには 24 時間程度の周期性が見られ、06UTC 前後の精度が悪くなっている。この特徴は MSM にも現れている（図略）。GSM と MSM を FT に沿って比較すると、閾値 20mm/h では MSM の方がやや精度がよいと言えそうだが、閾値 40mm/h ではどちらの精度がよいとはいえない。

・バイアススコア

図 3.1.10 は GSM-MAXP1 の閾値別のバイアススコアである。全国・各地方ともにどの閾値でも 1 を下回っており、予報頻度が過少となっている。また、閾値が大きくなるほどバイアススコアは小さくなり、強い降水ほど予報の頻度が少なくなる傾向がある。MSM-MAXP1 も同様の傾向がある（図略）。

図 3.1.11 は閾値 20mm/h、40mm/h の初期時刻毎の

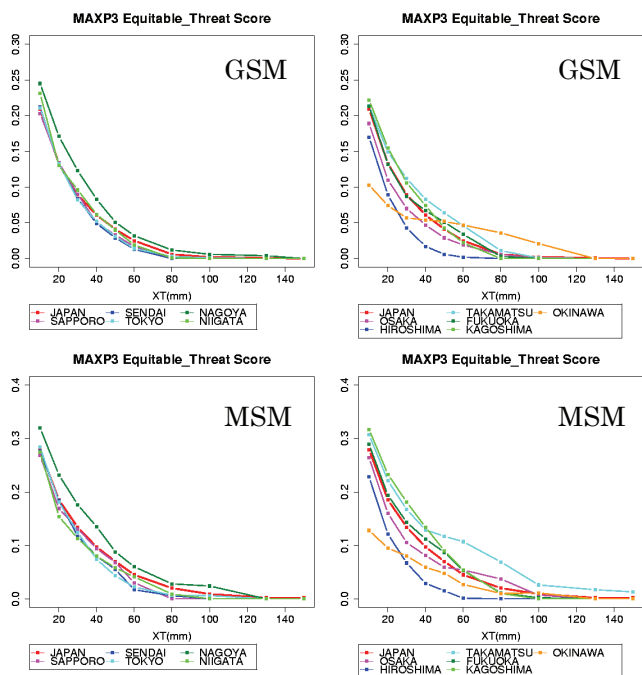


図 3.1.12 MAXP3 の閾値別のエクイタブルスレットスコア（地方別）。上段は GSM ガイダンスの初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=84 までのスコア、下段は MSM ガイダンスの初期時刻 03,09,15,21UTC の FT=33 までのスコアである。

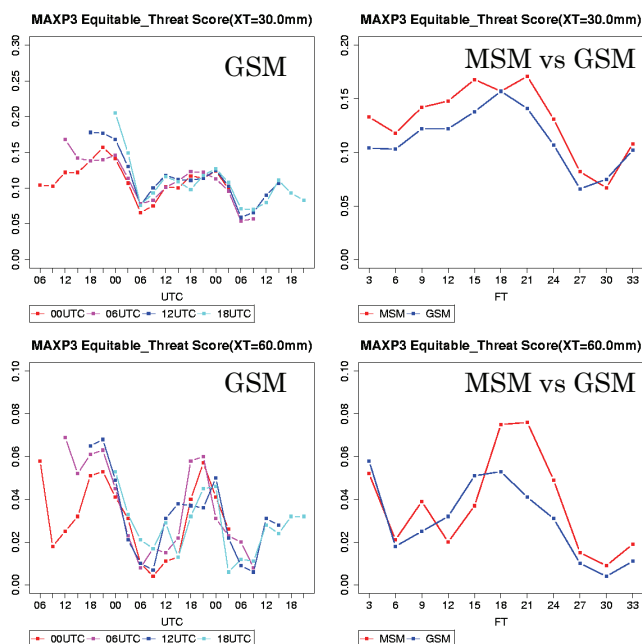


図 3.1.13 MAXP3 のエクイタブルスレットスコアの時系列（全国）。左列は GSM-MAXP3 の初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=51 までのスコア。横軸は予報対象時刻（UTC）。右列は初期時刻 03UTC の MSM-MAXP1 と初期時刻 00UTC の GSM-MAXP1 のスコア。横軸は FT で予報対象時刻を合わせるため GSM は FT=6 から 36 となっている。閾値は上段から 30mm/3h、60mm/3h。

バイアススコアの時系列である。GSM、MSMともに、06から09UTCのバイアススコアが小さくなっており、日中の午後の強い降水の予報が過少となつて

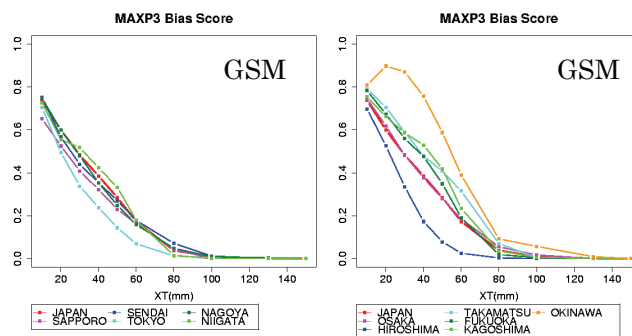


図 3.1.14 GSM-MAXP3 の閾値別のバイアススコア（地方別）。初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=84 までのスコアである。

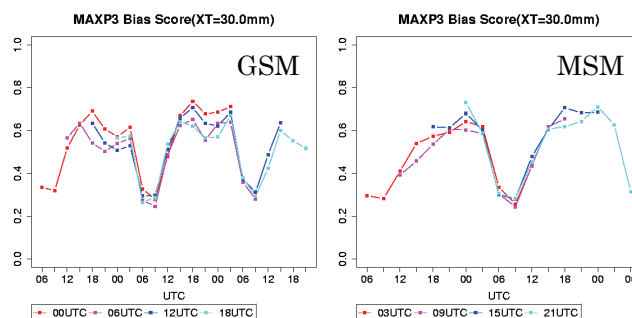


図 3.1.15 MAXP3 のバイアススコアの時系列（全国）。左は GSM ガイダンスの初期時刻 00,06,12,18UTC の FT=51 までのスコア、右は MSM ガイダンスの初期時刻 03,09,15,21UTC の FT=33 までのスコアである。横軸は予報対象時刻（UTC）。閾値は 30mm/3h。

いる。また、予報対象時刻による変動はあるが、FTが進むに連れて予報頻度が多くなる傾向がある。

(6) 3 時間最大降水量(MAXP3)の精度

・エクイタブルスレットスコア

図3.1.12はGSM-MAXP3とMSM-MAXP3の閾値別のエクイタブルスレットスコアである。全国・各地方ともに、閾値が大きくなるに連れて精度が悪くなっている。地方別に見ると、GSM、MSMともに東海・四国地方は全国より精度が良く、近畿・中国地方は全国より精度が悪い。

図3.1.13は閾値30mm/3h、60mm/3hの初期時刻毎のエクイタブルスレットスコアの時系列である。どの予報も予報対象時刻によって変動はあるが、FTが進むにつれて精度が悪くなる傾向がある。精度の変化には24時間程度の周期性が見られ、06から09UTCの精度が悪くなっている。この傾向はMSMにも見られる（図略）。MSMとGSMをFTに沿って比較すると、閾値30mm/3hでは全般にMSMの方が精度がよい。閾値60mm/3hでは、MSMはGSMと同等かやや良い精度となっている。

・バイアスコア

図3.1.14はGSM-MAXP3の閾値別のバイアスコアである。全国・各地方ともにバイアスコアはどの閾値も1を下回っており、予報の頻度が少ないことを示している。また閾値が大きくなるに連れてスコアが小さくなっており、強い降水ほど予報頻度が少ない傾向となっている。

図3.1.15は閾値30mm/3hの初期時刻毎のバイアスコアの時系列である。GSM、MSMともに06から09UTCのスコアが小さくなっており、日中の午後の強い降水の予報頻度が過少となっている。

(7) まとめと利用上の留意点

各ガイダンスの特徴を以下にまとめる。

・PoP6は沖縄地方を除いてGSM、MSMともに信頼度曲線が理想直線に近く信頼度が高い。ブライアスキルスコアは北海道・沖縄地方が他の地方に比べて低く、地方によって精度にばらつきがある。沖縄地方は他の地方に比べて予報対象となる格子数が少ないため、高い確率の予報頻度が少なくなり、信頼度・精度ともに悪くなっている。

・MRR3はGSM、MSMともにガイダンスの精度はモデルのFRRの精度を上回っている。また、GSM-MRRよりMSM-MRRの方が精度はよい。閾値別に見ると閾値5mm/3h以下の精度が良く、閾値10mm/3h以上になると精度が急速に悪くなる。このことから、1mm/3h以上の降水ありなしの精度は良いが、強雨の予報は精度が悪いと言える。バイアスコアは閾値20mm/3h程度までは1に近いスコアとなっているが、閾値30mm/3h以上の降水は予報頻度が少なくなる。2007年11月に頻度バイアス補正の閾値に50mm/3hと80mm/3hを追加しているが（安藤2007a）、追加した閾値を超える予報や実況が少ないため、頻度バイアス補正の最適化がほとんど進んでいない。このため閾値30mm/3h以上の降水の予報頻度が適切になっておらず、結果として予報頻度が少なくなっている可能性がある。頻度バイアス補正は強雨の事例を学習することで徐々に最適化されていくが、現時点では閾値40mm/3h以上の降水はほとんど予報されないことに留意していただきたい。時系列で精度を見ると、GSMのエクイタブルスレットスコアにはどの閾値にも24時間程度の周期変化が見られた。GSM-FRR3にも同様の傾向があり（図略）、この周期変化はFRR3の傾向を反映したものであると言える。MRR3の係数は、GSMでは12時間単位に層別化されており、例えばFT=6,9,12,15は共通の係数を持っている。このためMRR3はFRR3の精度の周期変化を修正できていない可能性がある。

・MAXP1はGSM、MSMともに強雨の予報頻度が少なく精度が悪い。FTが進むに連れて強雨の予報は多

くなる傾向があるが、精度はFTとともに低下しており、位置ずれや時刻ずれの精度への影響が大きいことがわかる。このことから利用する際はFTが先の予報ほど、周辺の二次細分区域の予報も参考にするなど、予報対象領域を広げて強雨のポテンシャルを把握するようにしていただきたい。また、GSM、MSMともに06から09UTC前後の精度が悪いという特徴が見られる。バイアスコアも同時刻で小さくなっており、午後の不安定降水をうまく予報できていないことを反映していると思われる。不安定降水については、降水ガイダンスだけではなく、発雷確率ガイダンスなども併せて利用していただきたい。

・MAXP3もMAXP1とほぼ同様の特徴がある。GSM、MSMともに強雨の予報頻度が少なく精度が悪い。また、06から09UTC前後の精度が悪いという精度の日変化が見られる。

ガイダンスを利用する際には、モデルと実況との比較を行って、モデルとガイダンスの妥当性を判断しながら利用することが重要である。併せて、ガイダンスには以上のような特徴があることに留意して利用していただきたい。

3.1.2 気温ガイダンス

(1) GSM 気温ガイダンス

(1.1) はじめに

2007年11月の全球モデル（GSM）の高解像度化に伴い、小泉（2007）は実験運用期間においてガイダンス精度の向上を報告した。本項では、高解像度化後の寒候期（2007年12月～2008年3月）、暖候期（2008年4月～8月）における、GSMを元にした最高・最低・時系列気温の各ガイダンス（GSM気温ガイダンス）の精度検証結果を解説する。GSM気温ガイダンスの初期時刻と予測要素は表3.1.1のとおりである。ガイダンスの仕様及び作成手法については小泉（2007）を参照していただきたい。

表 3.1.1 GSM 気温ガイダンスの初期時刻と予測要素

初期時刻	今日		明日		明後日		明々後日
	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
06 UTC (翌日5時予報用)	MIN1	MAX1	MIN2	MAX2	MIN3	MAX3	
12 UTC (翌日5時予報用)	MIN1	MAX1	MIN2	MAX2	MIN3	MAX3	
18 UTC (11,17時予報用)		MAX1	MIN1	MAX2	MIN2	MAX3	MIN3
00 UTC (17時予報用)		MAX1	MIN1	MAX2	MIN2	MAX3	MIN3

(1.2) 検証結果

最高・最低気温ガイダンスの平均誤差（ME）、平方根平均二乗誤差（RMSE）の全国平均値は、ME

は暖・寒候期ともに全ての初期時刻、予測要素 (MAX1~3, MIN1~3) でほぼ0℃ (図略)、RMSE は図3.1.16の通りとなった。これらは小泉 (2007) の結果と同程度である。また時系列気温ガイダンスのME、RMSEの全国平均値は、MEは暖・寒候期ともに全初期時刻、予測要素でほぼ0℃ (図略)、RMSE は図3.1.17の通りとなった。これらも小泉 (2007) の結果とほぼ同じである。

次に最高・最低気温ガイダンスのME、RMSEを地域別に見ていく。MEは暖・寒候期ともに全初期時刻、予測要素で全国的にほぼ0℃であった (図略)。RMSEは、寒候期の最高気温ガイダンスは全国で同程度 (1.2~1.5℃) であったが (図略)、寒候期の最低、暖候期の最高・最低気温ガイダンスに地域差が見られた。寒候期の最低気温ガイダンス (00UTC初期値) のRMSE地点分布を図3.1.18に示す。北海道地方のほぼ全域や本州内陸部でRMSEが全国平均値 (約2℃) を上回り、北海道地方内陸部では3℃を超えている。暖候期の最高・最低気温は北海道地方の沿岸部でRMSE値が大きかった (図略)。上記の地域差は、全初期時刻や予測要素においてもほぼ同様であった (図略)。

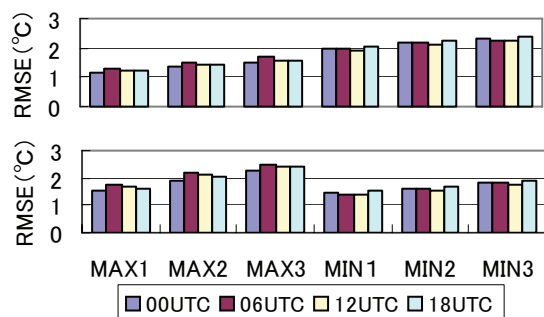


図 3.1.16 最高・最低気温ガイダンスの RMSE 全国平均値。上段は寒候期、下段は暖候期。

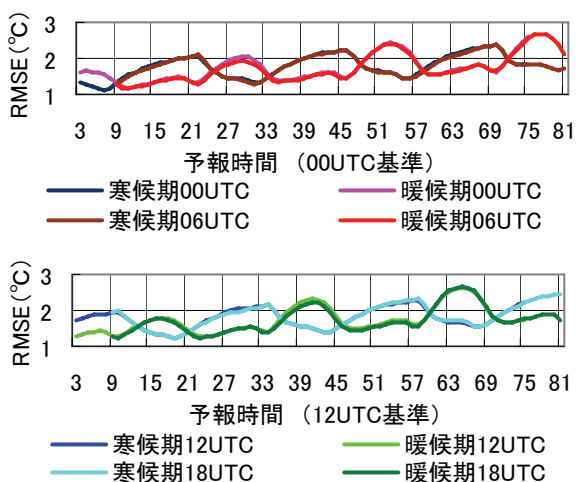


図3.1.17 時系列気温ガイダンスのRMSE全国平均値。横軸の予報時間は上段が00UTC、下段が12UTCを基準としている。

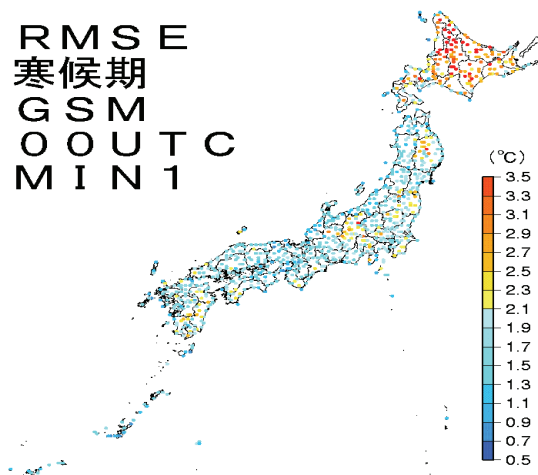


図 3.1.18 RMSE の地点分布 (寒候期 00UTC MIN1)

(1.3) まとめ

GSM気温ガイダンスは、全国平均では小泉 (2007) と同等な結果であった。地域別では寒候期の最低気温で北海道地方の内陸部を中心に他の地域に比べ精度の低下が見られ、上記地域では夜間の強い冷え込みを予想できないことがある。

(2) MSM 気温ガイダンス

(2.1) はじめに

2007年11月に、メソ数値予報モデル (MSM) の側面境界値が領域モデルから全球モデル (GSM) の予報値に変更された。小泉 (2007) によると、MSMを基にした最高・最低・時系列気温の各ガイダンス (MSM気温ガイダンス) の精度は、実験運用期間については、この変更によらずほぼ同じであった。本項では、GSMによる側面境界利用開始後のMSM気温ガイダンスの精度を、2007年12月から2008年8月について検証する。MSM気温ガイダンスの初期時刻と予測要素は表3.1.2のとおりである。その仕様及び作成手法は、小泉 (2007) を参照願いたい。

表 3.1.2 MSM 気温ガイダンスの初期時刻と予測要素

初期時刻	今日		明日	
	最高	最低	最高	最低
15 UTC (当日5時予報用)	MAX1	MIN2		
21 UTC (11時予報用)	MAX1	MIN2		
03 UTC (17時予報用)		MIN1	MAX2	
09 UTC (翌日5時予報用)		MIN1	MAX2	

(2.2) 検証結果

最高・最低気温ガイダンスの平方根平均二乗誤差 (RMSE) の全国平均を図3.1.19に示す。この図では、03,09UTC初期値MSM気温ガイダンスと00UTC初期値GSM気温ガイダンスを比較しているが、これは両者の利用時間が重なるためである。同様に、15,21UTC初期値MSM気温ガイダンスと

12UTC初期値GSM気温ガイダンスを比較している。全初期値でMSM気温ガイダンスは同GSMよりも精度が良く、RMSEの値は小泉（2007）と同程度である。平均誤差はほぼ0℃であり（図略）、時系列気温ガイダンスについても、小泉（2007）と同程度の結果を得ている（図略）。

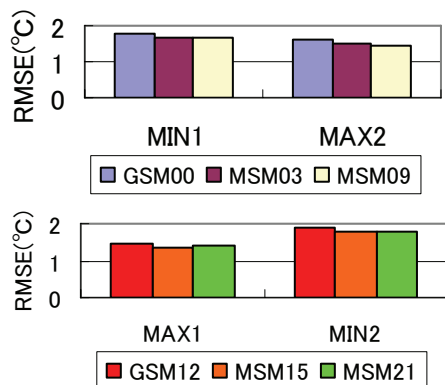


図 3.1.19 最高・最低気温ガイダンスの RMSE 全国平均値。凡例の GSM00 は 00UTC 初期値の GSM ガイダンスを表し、他も同様。

次に地域別の精度を検証する。図3.1.20は、00UTC初期値GSMと03UTC初期値MSM各気温ガイダンスとのRMSE差の地点分布を示す。赤い地点はMSM気温ガイダンスの方が同GSMに比べて精度が良いことを意味する。

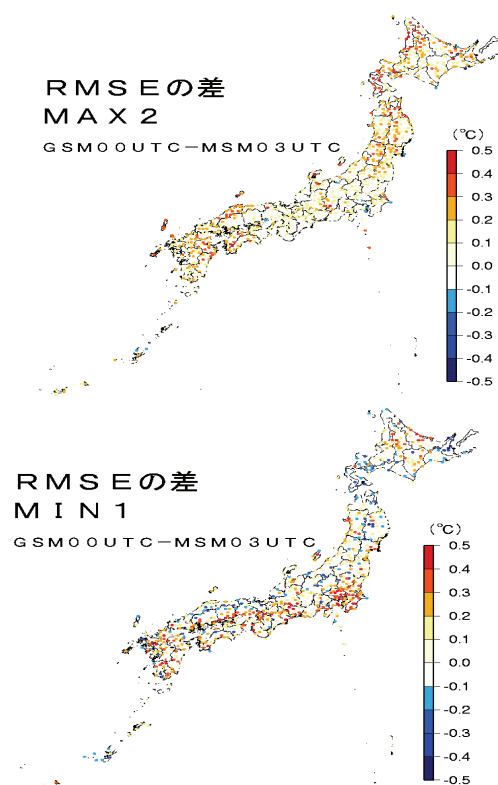


図 3.1.20 00UTC 初期値 GSM と 03UTC 初期値 MSM 各ガイダンスの RMSE 差の地点分布。

最高気温は全国的にMSM気温ガイダンスの精度が良い。最低気温は北海道地方の内陸部や関東地方を中心にMSM気温ガイダンスの精度が良いが、海岸に近い地域を中心にMSM気温ガイダンスの精度が悪い地点がある。この地域差は、他の初期時刻や予測要素でもほぼ同様であった（図略）。

(2.3) まとめ

MSM気温ガイダンスの精度は、全国平均ではGSM気温ガイダンスよりも精度が良い。地域別では海岸に近い地域や山地を中心に最低気温ガイダンスの精度がGSMよりも悪い地点がある。これは、MSMの海上の格子点値を含んで内挿した値を説明変数としていることが原因の一つと考えられる（小泉 2007）。現在、格子点の内挿方法の改良を検討している。

3.1.3 風ガイダンス

(1) はじめに

数値予報課では、高解像度全球モデル(20kmGSM、以下GSM)とメソ数値予報モデル(MSM)の予報値を利用して、定時の10分間平均の風速と風向を予測する「定時風」ガイダンス、及び定時の数時間前から定時までの最大風速と風向を予測する「最大風速」ガイダンスを作成している（井手 2007）。巻末付録A.2.3に、現在作成している風ガイダンスの一覧を示す。

本項では、これらのうち、アメダスの観測地点を対象とする一般予報用風ガイダンスの精度検証結果の概要を報告する（航空予報用の風ガイダンスは第3.2.2項参照）。なお、風ガイダンスの作成手法については、國次（1997）や木村（1998）を参照されたい。

(2) 検証方法

アメダスの観測地点について、バイアスコア(BI)、スレットスコア(TS)、平方根平均二乗誤差(RMSE)、平均誤差(ME)、及び風向の適中率を指標として検証を行った。検証に用いた実況値は、アメダスの風向・風速の観測値である。BIとTSは、風速の予報値や観測値が各閾値を超えた場合に、それぞれ予報または観測の現象ありとして分割表を作成して求めた。風向の適中率は、有効データ数に対する16方位の風向が適中した数の比として定義した。GSMを用いたガイダンスの検証期間は、2007年10月から2008年5月までの8か月間である。MSMのガイダンスの検証期間は、2007年6月から2008年5月までの1年間（3～5月：春期、6～8月：夏期、9～11月：秋期、12～2月：冬期）である。MSMを用

いたガイダンスについては、00UTCシリーズ（00、06、12、18UTC）と03UTCシリーズ（03、09、15、21UTC）に分けて行った検証結果に顕著な差はなかったことから、本報告では、予報時間（FT）が長く、33時間先までである03UTCシリーズの結果のみを示した。

(3) 検証結果

(3.1) 一般予報用 GSM 定時風ガイダンス

図 3.1.21 に、全期間平均の各管区气象台等の担当地域ごと及び全国平均の一般予報用 GSM 定時風ガイダンス（pwg3i）と GSM の風速の予報値の BI を示す。風速の閾値が 5m/s を超えると、全国平均の GSM の BI は 1 よりも大きく、観測に比べて予測が過大であるに対して、ガイダンスは過小となっている。地域別の GSM の BI は、札幌、仙台が 1 に近いのに対して、東京、大阪、福岡、沖縄では 2.5 程度まで大きくなっている。ガイダンスでは、顕著な地域差は見られない。

図 3.1.22 に、全期間平均の GSM 定時風ガイダンスと GSM の TS を示す。地域別では、GSM の TS

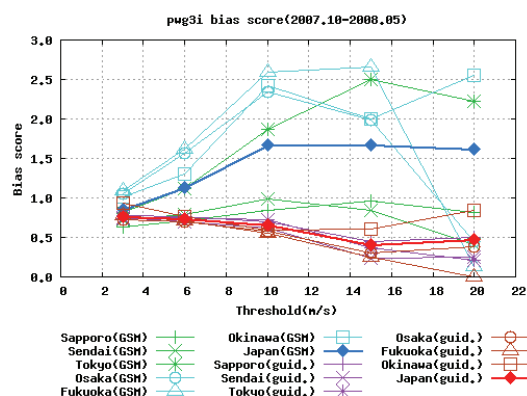


図3.1.21 地域別（細線）及び全国平均（太線）のGSMとGSM定時風ガイダンスの風速のバイアスコア（BI）。横軸は風速の閾値。

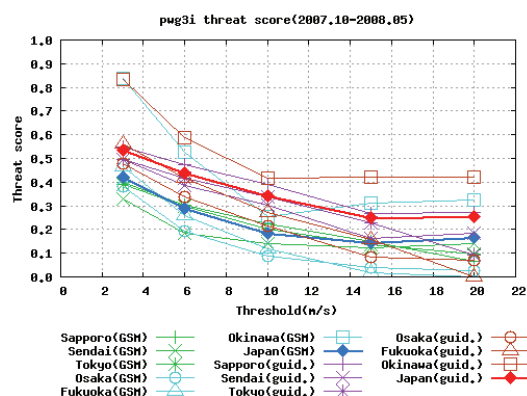


図3.1.22 地域別（細線）及び全国平均（太線）のGSMとGSM定時風ガイダンスの風速のスレツスコア（TS）。横軸は風速の閾値。

が全国平均に比べて高い沖縄でガイダンスも良くなっている。一方、GSM の TS が低い大阪と福岡においても、ガイダンスでは改善されている。

図 3.1.23 に、予報対象時刻に対する全期間平均のガイダンス、GSM 及びアメダス観測値の平均風速を示す。平均風速には、日中に GSM とガイダンスの差が小さく、夜間に大きいという日変化が現れている。観測と比較して、いずれの予報対象時刻においても、夜間の GSM が、最大で 1.5m/s 程度大きくなる傾向があるが、ガイダンスでは改善され、観測にほぼ近い値となっている。ガイダンス、GSM と初期時刻の違いによる差はほとんどない。冬期（12～2月）には、1日を通じて GSM の風速が観測に対して大きかった（図略）。

図 3.1.24 に、全期間平均の GSM 定時風ガイダンス及び GSM の風速の RMSE と ME を示す。ガイダンスの RMSE は、GSM に対して、0.5m/s 以上の改善が見られる。GSM、ガイダンスともに、初期時刻の違いによる差異はない。予報時間が進むにつれ、ガイダンスの RMSE は増加している。夜間には GSM の ME が最大で 0.8m/s となっているが、ガイダンスでは、予報対象時刻別に 8 つに分けた層別化により、最大で 0.2m/s 程度までに改善されている。

図 3.1.25 に、全期間平均の地域ごと及び全国平均

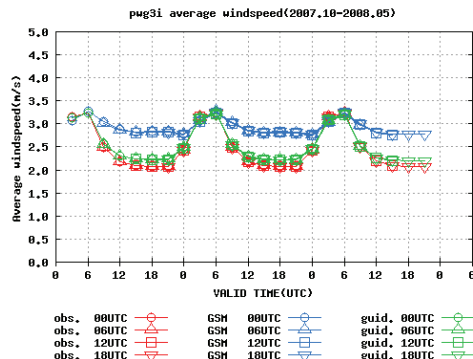


図3.1.23 GSM、GSM定時風ガイダンス、アメダス観測値の平均風速（FT=51まで）。横軸は予報対象時刻。

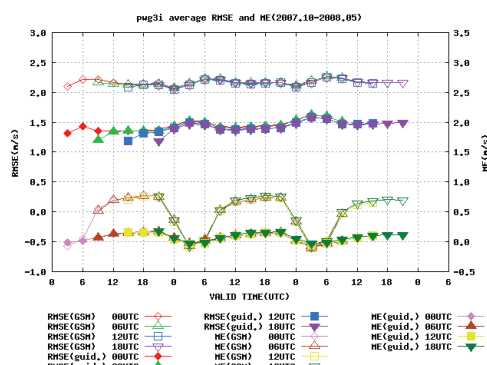


図3.1.24 GSMとGSM定時風ガイダンスの風速の平方根平均二乗誤差（RMSE）と平均誤差（ME）。横軸は予報対象時刻。

のガイダンスと GSM の風向の適中率を示す。閾値が 10m/s 以下では、ほぼ全地域でガイダンスの結果は GSM よりも改善されている。

(3.2) 一般予報用 GSM 最大風速ガイダンス

図3.1.26に、全期間平均のGSM最大風速ガイダンス (pwm3x) と GSMのBIを示す。GSMは地域によりBIの変動が大きい。ガイダンスに顕著な地域差はない。ガイダンスは、風速の閾値が10m/s以上で、予測が過小である。

図3.1.27に、全期間平均のGSM最大風速ガイダンスとGSMのTSを示す。地域によらず、ガイダンスはGSMに対して改善されている。GSM定時風と同様に、地域別では、GSMのTSが高い沖縄でガイダンスも良くなっている。また、GSMのTSが低い仙台、大阪、福岡においても、ガイダンスでは改善されている。

図 3.1.28 に、全期間平均の RMSE と ME を示す。ガイダンスの RMSE は、GSM に対して、0.5~1m/s の改善が見られる。GSM、ガイダンスともに、初期時刻の違いによる差はほとんど見られない。予報時間が進むにつれて、ガイダンスでは、RMSE の増加が見られる。GSM の ME は、日中に最大で-1.0m/s 程度の負バイアスがあるが、ガイダンスでは、ほぼ

0 になっている。

(3.3) 一般予報用 MSM 最大風速ガイダンス

図 3.1.29 に、全期間平均の 03UTC シリーズの MSM 最大風速ガイダンス (pwm3x) と MSM の BI を示す。MSM の BI は平均すると 1 に近いが、ガイダンスの BI は 1 よりも小さく、観測に対して予測が過小である。地域別では、MSM の沖縄が大きいものに対して、ガイダンスの地域差は顕著でない。全国平均の MSM 最大風速ガイダンスの BI は、GSM 最大風速ガイダンスの BI とほぼ同じである。

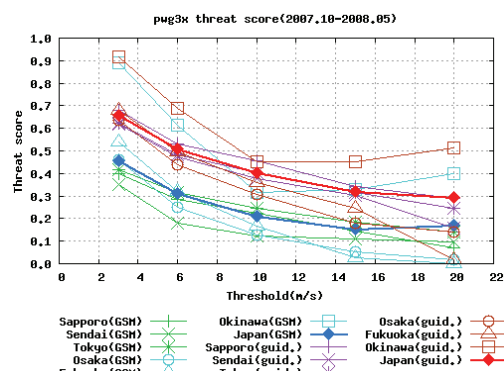


図3.1.27 GSMとGSM最大風速ガイダンスのスレッツトスコア (TS)。横軸は風速の閾値。

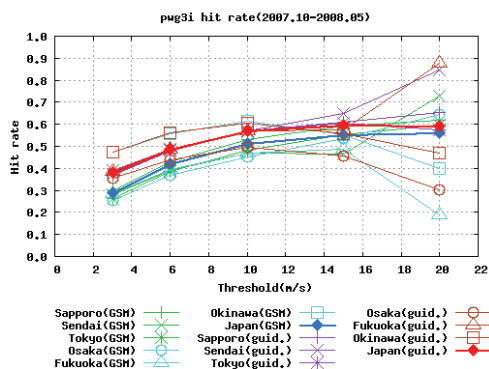


図3.1.25 GSMとGSM定時風ガイダンスの風向の適中率。横軸は風速の閾値。

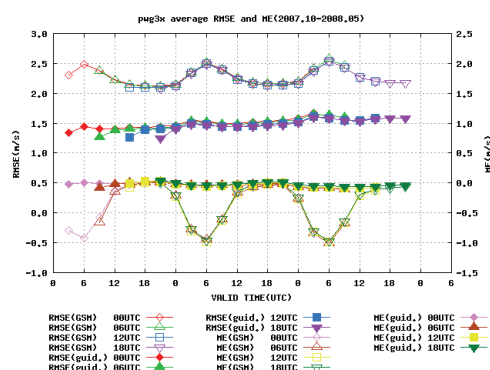


図3.1.28 GSMとGSM最大風速ガイダンスの風速の平方根平均二乗誤差 (RMSE) と平均誤差 (ME)。横軸は予報対象時刻。

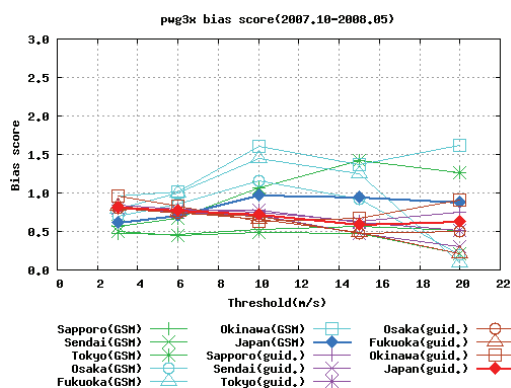


図3.1.26 GSMとGSM最大風速ガイダンスのバイアススコア (BI)。横軸は風速の閾値。

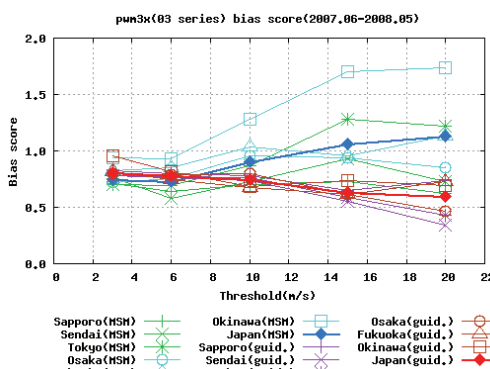


図3.1.29 MSM最大風速ガイダンスとMSMの風速のバイアススコア (BI) (03UTCシリーズ)。横軸は風速の閾値。

図3.1.30に、全期間平均の03UTCシリーズのMSM最大風速ガイダンスとMSMのTSを示す。地域によらず、ガイダンスでは改善されている。全国平均のMSM最大風速ガイダンスのTSは、GSM最大風速ガイダンスのTSとほぼ同じである。

図3.1.31に、全期間平均の03UTCシリーズのMSM最大風速ガイダンスとMSMのRMSEとMEを示す。ガイダンスのRMSEは、MSMに対して、0.5m/s程度改善されている。予報時間が進むにつれて、MSM、ガイダンスとも、RMSEがやや増加している。初期時刻の違いによる差異はほとんどない。

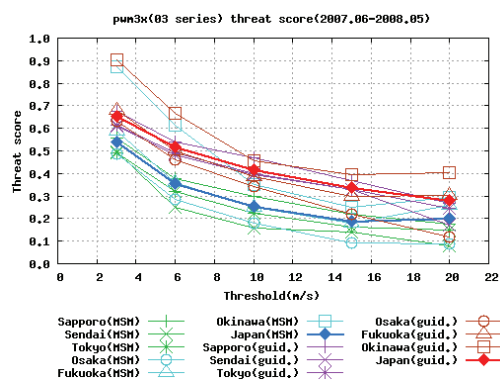


図3.1.30 MSMとMSM最大風速ガイダンスの風速のスレツスコア (TS) (03UTCシリーズ)。横軸は風速の閾値。

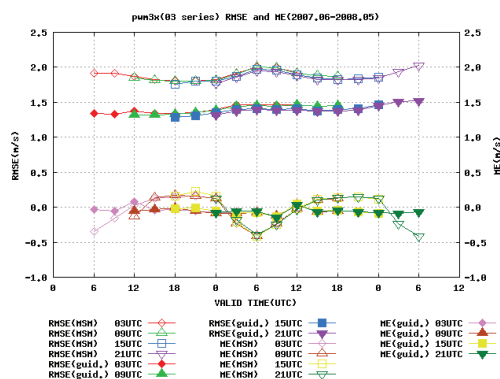


図3.1.31 MSMとMSM最大風速ガイダンスの風速の平方根平均二乗誤差 (RMSE) と平均誤差 (ME) (03UTCシリーズ)。横軸は予報対象時刻。

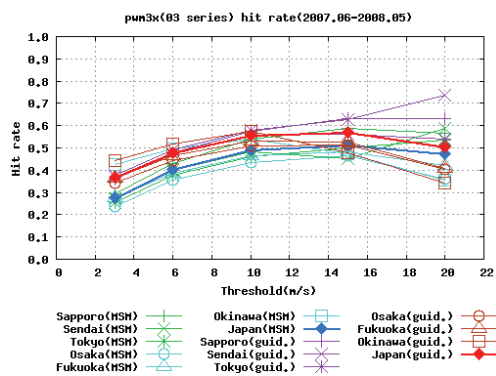


図3.1.32 MSMとMSM最大風速ガイダンスの風向の適中率 (03UTCシリーズ)。横軸は風速の閾値。

MSMのMEは、正負のバイアスが昼夜で交互に現れているが、ガイダンスでは、ほぼ0になっている。

図3.1.32に、全期間平均のガイダンスとMSMの風向の適中率を示す。風向の適中率は、地域により差があるが、全国平均のガイダンスは、MSMよりも最大で0.1程度高くなっている。

3.1.4 天気ガイダンス

(1) はじめに

2007年11月の全球モデル (GSM) の高解像度化に伴い、天気ガイダンスで使用するモデルを領域モデル (RSM) から高解像度GSMに更新した。本項では、それ以降のガイダンスの精度について検証した結果を報告する。ガイダンスの仕様及び作成手法については、鎌倉 (2007) を参照されたい。

(2) 検証結果

2007年12月～2008年8月の00・12UTC初期値について、FT=6～51を検証対象とした。実況は国内気象官署の地上気象観測 (目視観測) の現在天気を利用した。

天気ガイダンスは5つの天気カテゴリー (晴れ・曇り・雨・雨または雪・雪) を予想している。これを晴れと曇り (降水有りを含める) に分類した時の曇り予報のスレツスコア (TS) とバイアススコア (BI)、および降水の有無で分類したときの降水あり予報のTSとBIを図3.1.33に示す。BIによると、天気ガイダンスでは曇り (降水有りを含める) の頻度はほぼ適切であるが、降水ありの予報が少ないことがわかる。

次に、精度の地域特性をみるため適中率 (5分類) の季節別の地点分布を図3.1.34に示す。季節は2007年12月～2008年2月を冬、2008年3月～5月を春、2008年6月～8月を夏とした。

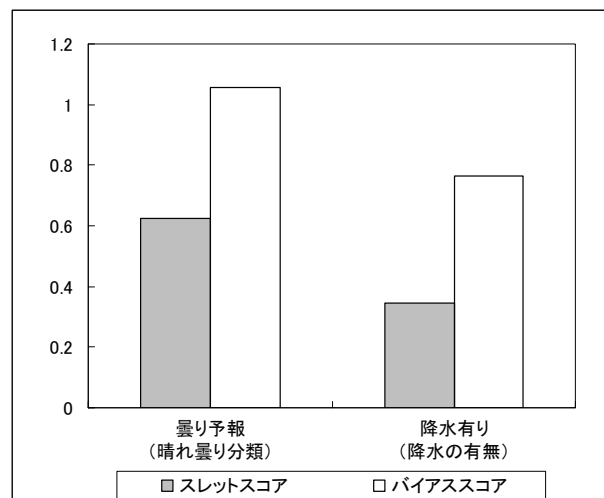


図 3.1.33 曇り予報および降水有り予報のスレツスコアとバイアスコア

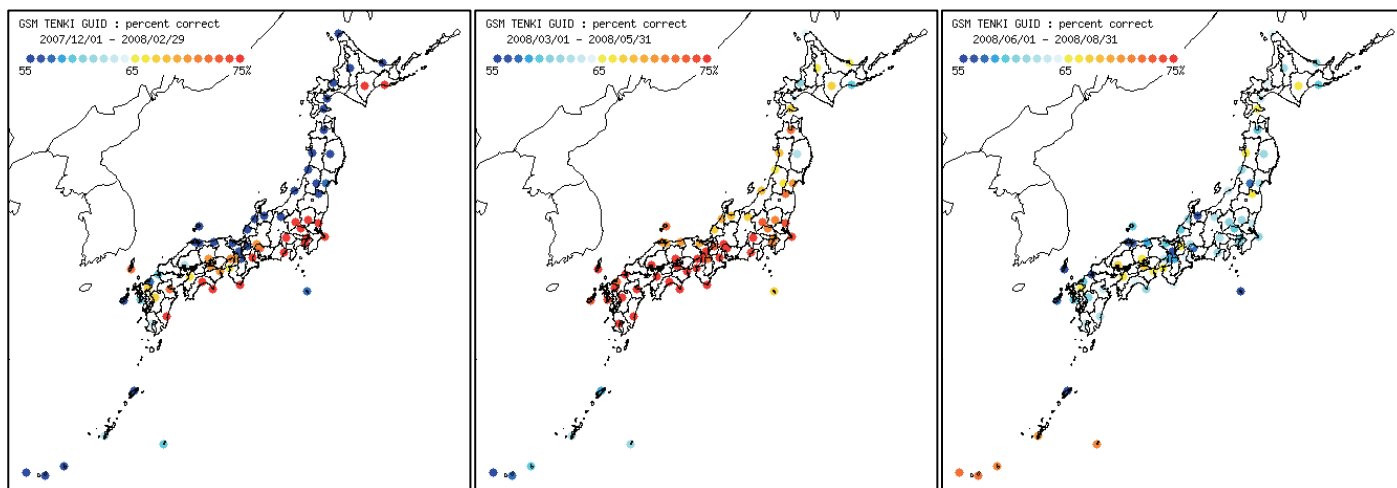


図 3.1.34 天気ガイダンス適中率 (5 分類) 地点分布 左から 2007 年 12 月～2008 年 2 月 (冬)、2008 年 3 月～2008 年 5 月 (春)、2008 年 6 月～2008 年 8 月 (夏)

冬において、関東から九州までの太平洋側で適中率が高く、日本海側と東北・北海道および南西諸島で適中率が低い傾向が顕著にみられた。この冬の地域特性は、気候学的出現率の影響を除いた、曇り（降水有りを含める）の ETS 分布や降水有りの ETS 分布においても、ほぼ同様の傾向が見られた（図略）。

(3) お天気マップ(第 3.1.9 項)との比較

第 3.1.9 項においてお天気マップの検証結果について述べるが、天気ガイダンスの適中率は GSM お天気マップの適中率より高かった（晴れ・曇り・降水ありの 3 分類で比較・結果省略）。各種ガイダンスの値を利用する天気ガイダンスは、モデル値のみを直接利用するお天気マップより系統誤差修正の面で有利である。

一方、メソ数値予報モデル (MSM) お天気マップとの比較では、同程度の適中率であった (FT=15 までの 3 分類で比較・結果省略)。

3.1.5 降雪量ガイダンス

(1) はじめに

降雪量ガイダンスとは、雪水比ガイダンスと降雪量地点ガイダンスを総称した呼び方である。降雪量地点ガイダンスは試験的に 1997 年 11 月から運用が開始されていたが、航空予報等では降雪量の予報が航空機の運航にとって重要であることなどから、2008 年 11 月から正式運用となった。試験運用開始当時の作成方法等は中務ほか (1997) に記載されているが、その後いくつかの改良が行われているため、

(2) に現在運用中の降雪量地点ガイダンスの仕様を示し、(5) にその予報特性について示した。また、雪水比ガイダンスから得られた雪水比を用いて算出した降雪量の予報特性を (4) で示し、両ガイダンスから算出した降雪量の予報特性の比較を (6) で示した。降雪量は地点や地域ごとに観測頻度等が大

きく異なるため、本項では地域ごとの降雪量の予報特性についても示した。なお、雪水比ガイダンスの作成方法については、安藤ほか (2007) を参照していただきたい。

(2) 降雪量地点ガイダンスの概要

降雪量地点ガイダンスの予報手法は、逐次学習型のニューラルネットワーク方式である。ネットワークの構成は、入力層のユニット数 29 個、中間層のユニット数 9 個、出力層のユニット数 1 個の 3 層階層型を採用している。出力層の要素（目的変数）は前 12 時間降雪量であり、入力層の要素（説明変数）は表 3.1.3 に示した。各予報地点の説明変数は、予報地点を取り囲む 4 格子点を用いて線形内挿を行い作成している。ただし、『海面水温－気温 (900hPa)』については、予報地点から西、北方向にそれぞれ 2 度ずつずらした格子点を使用している²。また、『地形性降水指数』とは風向を 8 方位で表し、その風向に対応する地形の傾きのことである。『雪水比から求めた降雪量』とは雪水比³を気温で層別化し、その雪水比にモデルの降水量予報値を乗じたものがある。説明変数には GSM の予報値を用いているため、1 日 4 回 00,06,12,18 UTC 初期時刻ごと、FT=24,36,48,60,72 の前 12 時間降雪量を計算している。予報地点は積雪深計設置地点を主な対象としており、北海道 102 地点、東北 72 地点、北陸 32 地点、関東・甲信・東海 22 地点、近畿・中国 8 地点の計 236 地点としている。このうち、北海道の航空官署 8 地点及び、近畿・中国の 8 地点は、2008 年 3 月 11 日の 00 UTC 初期時刻から新たに追加された地点である。

² 移動先の格子点が陸地の場合には、海面水温を内挿した値を用いている。

³ 雪水比ガイダンスから得られた雪水比とは異なる。

表3.1.3 降雪量地点ガイドンスに用いている説明変数。GSMの予報値から作成。

要素名	鉛直層
気温	地上,900,850,700,500hPa
相対湿度	地上,900,850,700hPa
風向	900,850,700,500hPa
風速	900,850,700,500hPa
高度	700,500hPa
上昇流	900,850,700hPa
SSI(ショワルター安定指数)	地上-850hPa, 900-700hPa
気圧	地上
海面水温 - 気温(900hPa)	
モデルの降水量予報値	
地形性降水指数	
雪水比から求めた降雪量	

(3) 検証方法

雪水比ガイドンスと降雪量地点ガイドンスで作成した降雪量の予報精度を比較するために、検証対象は降雪量地点ガイドンスの予報要素である前12時間降雪量とし、検証地点は降雪量地点ガイドンスの計算地点とする。また、地域ごとの特性を把握するために、北海道、東北、北陸をそれぞれ1検証地域とし、降雪量の観測頻度が少ない関東、甲信、東海をまとめて『関東・甲信・東海』、近畿、中国地方を『近畿・中国』として検証を行った。検証期間は2007年12月1日00UTCから2008年3月31日12UTC初期時刻とし、閾値ごとの特性を把握するためにFT=24,36,48をすべてまとめて検証を行った。予報値について、降雪量地点ガイドンスは地点ごとに予報した前12時間降雪量を用いる。雪水比ガイドンスは直接降雪量を求めていないため、検証地点ごとの降雪量を計算する必要がある。計算方法は雪水比ガイドンスから得られた雪水比に、平均降水量ガイドンスから得られた3時間平均降水量(MRR3)を乗じ、前3時間降雪量を計算する。前12時間降雪量は前3時間降雪量を積算することによって求める。そして、前12時間降雪量を検証地点の周囲4格子点を用いて線形内挿することによって検証地点の前12時間降雪量を求めた。観測値は1時間ごとの積雪深差の正の値のみを積算して、前12時間降雪量を求めた。検証スコアを比較するにあたっては、地点ごとに観測頻度が大きく異なるため、地点ごと閾値ごとに信頼度が異なる点に注意する必要がある。また、スレットスコア(TS)は事象の発生頻度の影響を強く受け

るため地域ごとの検証には用いず、その影響が小さいエクイタブルスレットスコア(ETS)を使用する。

(4) 雪水比ガイドンスから得られた雪水比を用いて算出した降雪量の予報特性

図3.1.35、図3.1.36に地域ごとの観測数と検証スコアを示す。上がETS、下がバイアススコア(BI)を示している。ETSは閾値2~8cm/12hまでは北陸が最も大きく、閾値9cm/12h以上では関東・甲信・東海が最も大きくなっている。観測頻度が他の地域に比べて極端に少ない近畿・中国を除くと、閾値15cm/12h以下では北海道が最も小さく、閾値20cm/12hでは東北が小さい。BIについては、近畿・中国を除く地域では閾値が高くなるにつれて大きくなる傾向がある。閾値4cm/12h以上では、北海道、近畿・中国を除く地域でBIが1よりも大きく、予報頻度が観測頻度に比べて多い。北海道ではどの閾値でもBIが1よりも小さく予報頻度が過少である。図3.1.37に閾値5cm/12hのBIの分布図を示す。北海道の多くの地点では、BIが1よりも小さい。一方、北海道の日本海側ではBIが1よりも大きくなっている地点もみられる。また、本州の日本海側でもBIが1よりも大きい地点が多くみられる。これらの原因としては、雪水比ガイドンスで得られた雪水比が過大もしくは過小、平均降水量ガイドンスで得られたMRR3が過多もしくは過少、観測値に誤差が含まれている可能性があること等が考えられる。観測値の誤差とは、(3)で示した通り降雪量の観測値は1時間の積雪深差の正の値を積算する方法をとっている。この方法の場合、積雪計の値が僅かに変動することによって、偽の降雪量を計算してしまう。実際、降雪量の時系列図(図略)をみると、1~2cm/12hの降雪量が多く観測されている。今後、観測値の取り扱いについても検討する必要がある。北海道の予報頻度過少傾向については、MRR3の予報頻度がやや過少(第3.1.1項)であることが理由の一つと考えられる。本州の日本海側の予報頻度過多傾向については、MRR3のBIが1に近いいため雪水比ガイドンスで得られた雪水比が過大である可能性が高い。今後、雪水比ガイドンスから得られる雪水比の地域特性を調査する必要がある。

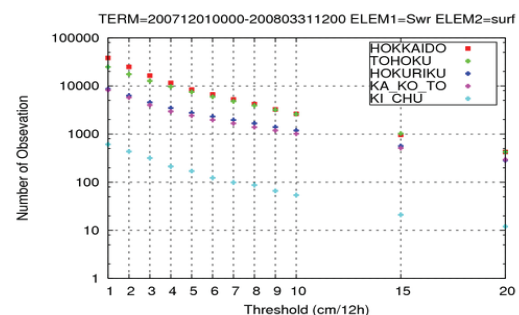


図 3.1.35 前 12 時間降雪量の地域別閾値ごとの観測数

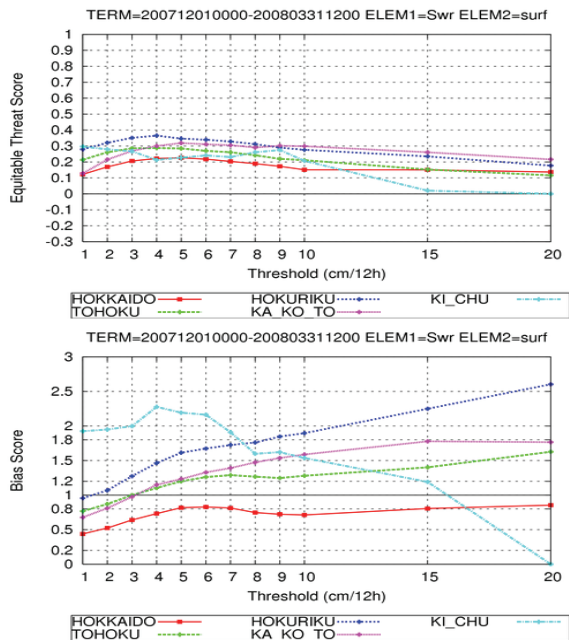


図3.1.36 雪水比ガイダンスから得られた雪水比を用いて計算した前12時間降雪量の検証スコア。検証期間は2007年 12月1日00UTCから2008年3月31日12UTC。初期時刻は00UTCと12UTC。予報時間はFT=24,36,48をすべてまとめた。上：ETS、下：BI。赤線：北海道、緑線：東北、青線：北陸、ピンク線：関東・甲信・東海、水色線：近畿・中国。

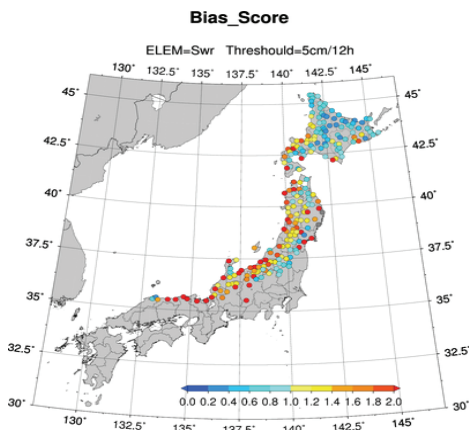


図3.1.37 雪水比ガイダンスから得られた雪水比を用いて計算した前12時間降雪量（閾値5cm/12h）のBIの地点分布図。

(5) 降雪量地点ガイダンスから得られた降雪量の予報特性

図3.1.38に地域ごとの検証スコアを示す。ETSは閾値8cm/12h以下では北陸が最も大きく、それ以上では関東・甲信・東海が最も大きくなっている。近畿・中国を除けば、すべての閾値で北海道のETSが最も小さくなっている。これらの傾向は雪水比ガイダンスから得られた雪水比を用いて計算した前12時間降雪量にもみられる。BIについて、北海道では

閾値2～5cm/12hの予報頻度が過剰になっているが、それ以上の閾値では過少となっている。東北も閾値6cm/12h以上で予報頻度が過少になっており、強い降雪を予報しにくい。北陸は他の地域に比べてBIが1に近く、予報頻度が観測頻度に近い。関東・甲信・東海では、閾値8cm/12h以下で予報頻度が過少になっている。

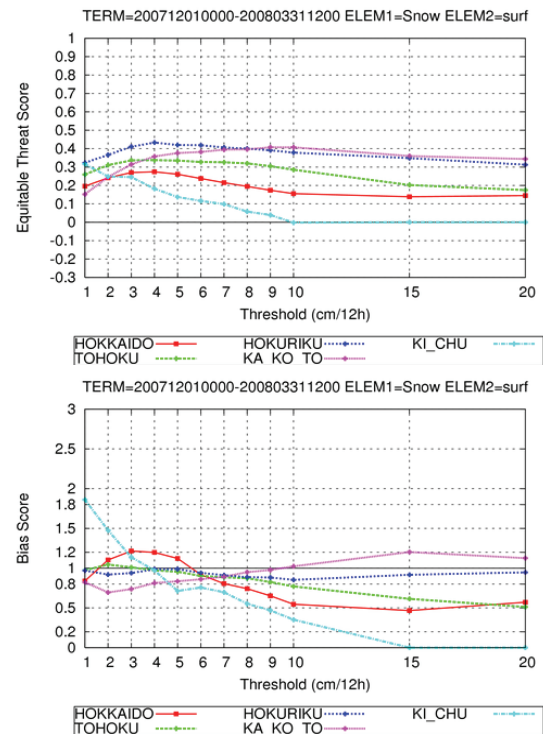


図3.1.38 降雪量地点ガイダンスを用いて計算した前12時間降雪量の検証スコア。上：ETS、下：BI。その他は、図3.1.36と同様

(6) 雪水比ガイダンス及び降雪量地点ガイダンスから得られた降雪量の予報特性の比較

図3.1.39に全検証地点をすべてまとめた降雪量地点ガイダンス及び雪水比ガイダンスから得られた雪水比を用いて算出した降雪量の検証スコアを示す。ETSはすべての閾値で降雪量地点ガイダンスが雪水比ガイダンスを上回っており、全般的に予報精度が高い。降雪量地点ガイダンスは閾値が高いほど、予報頻度が観測頻度に比べて少なくなる。しかし、雪水比ガイダンスは閾値が高いほど予報頻度が多くなり、結果として空振りが多くなる傾向にある。この理由として、降雪量の算出方法の違いが影響していると考えられる。降雪量地点ガイダンスは逐次学習型のニューラルネットワークを用いて直接降雪量を計算しているため、観測頻度が多い現象については学習が十分に行えるが、観測頻度が少ない現象については学習が不十分である。このため、閾値が高い降雪については十分に表現できていないと考えられる。

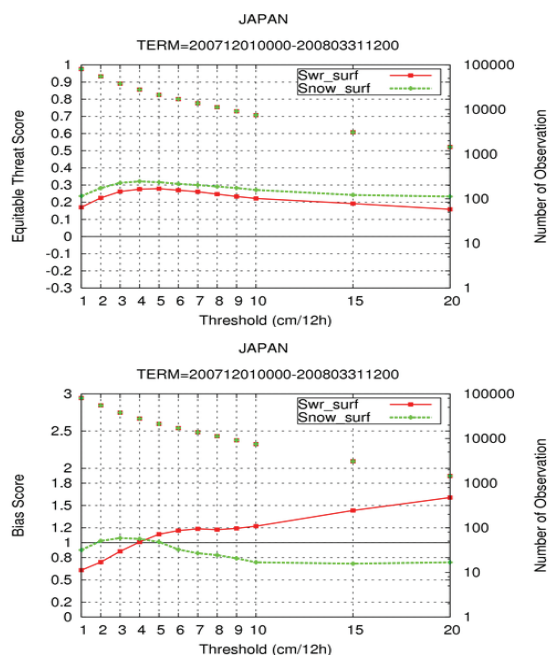


図3.1.39 雪水比ガイダンスと降雪量地点ガイダンスの全検証地点をそれぞれまとめた検証スコア。
上：ETS、下：BI。赤線：雪水比ガイダンス、緑線：降雪量地点ガイダンス、点：観測数。

(7) 利用上の留意点

予報作業支援システムでは雪水比ガイダンスから得られた雪水比を使って降雪量を計算している。現在のところ、面的な降雪量分布を表現するには雪水比ガイダンスを使用するほかない。しかし、検証結果からわかるように降雪量地点ガイダンスから得られた降雪量の方が雪水比ガイダンスから求めた降雪量よりも予報精度が高い。このため、雪水比ガイダンスから得られた降雪量を適宜、降雪量地点ガイダンスで修正することがよいと考えられる。また、予報精度や頻度は地域によっても異なるため、その地域の予報特性を十分理解して使用する必要がある。

(8) 今後の降雪量ガイダンスの改良及び開発

現在の予報作業支援システムにおいて直接使用されている雪水比を用いた降雪量予報作業は複雑であるため、雪水比ガイダンスに代わり面的な降雪量を予報するガイダンスを次期予報作業支援システム用に開発中である。併せて降水の型（雨、雨か雪、雪か雨、雪）を予報するガイダンスも開発している。降雪量地点ガイダンスは、積雪深計が整備されており予報対象になっていない地点についても、今後地域特性及び予報精度を考慮しながら追加していく予定である。

3.1.6 最小湿度ガイダンス

(1) はじめに

2007年11月の全球モデル（GSM）の高解像度化

に伴い、最小湿度ガイダンスで使用するモデルを領域モデル（RSM）から高解像度GSMに更新した。本項では、それ以降のガイダンスの精度について検証した結果を報告する。ガイダンスの仕様及び作成手法については、安藤ほか（2007）を参照されたい。

(2) 検証結果

2007年12月～2008年8月の最小湿度ガイダンスの平均誤差（ME）及び平方根平均二乗誤差（RMSE）を、予報時間（FT）別に全153地点（地上気象官署）で計算した。検証対象初期時刻を00・12UTC初期値とし、前年同期間（2006年12月～2007年8月）と比較した（図3.1.40）。全FTのRMSEをはじめ、ほぼ全てのMEについて、前年同期間比で精度向上が見られた。

次に、精度の地域特性を見るため、MEとRMSEの地点分布を季節別に作成した（図3.1.41）。対象FTを12UTC初期値の明日予報（FT=3-27）とし、期間は2007年12月～2008年2月を冬、2008年3月～5月を春、2008年6月～8月を夏とした。

MEを見ると、冬は関東地方で正バイアス、それ以外の地域で負バイアスが見られた。また夏は全国的に正バイアスが見られた。

RMSEを見ると、おおむね東海から九州にかけての太平洋側と南西諸島で成績が良く、それ以外の地域で成績が良くなかった。季節別では春のRMSEが、特に東日本で大きかった。この季節は、最小湿度の日々の実況値が大きく変動する地点がいくつか見られ、実況の分散が夏や冬よりやや大きかった（図略）。このような気象状況ではガイダンスが実況の変動に追従できない可能性があるため、利用の際には注意願いたい。

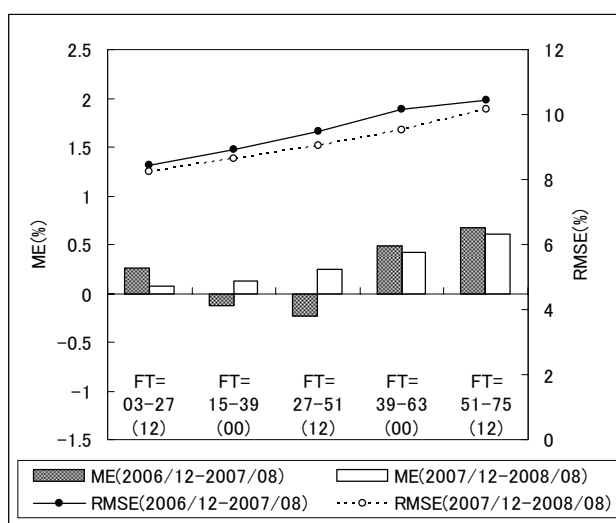


図 3.1.40 最小湿度ガイダンス ME、RMSE（カッコ内は予報初期時刻 UTC）

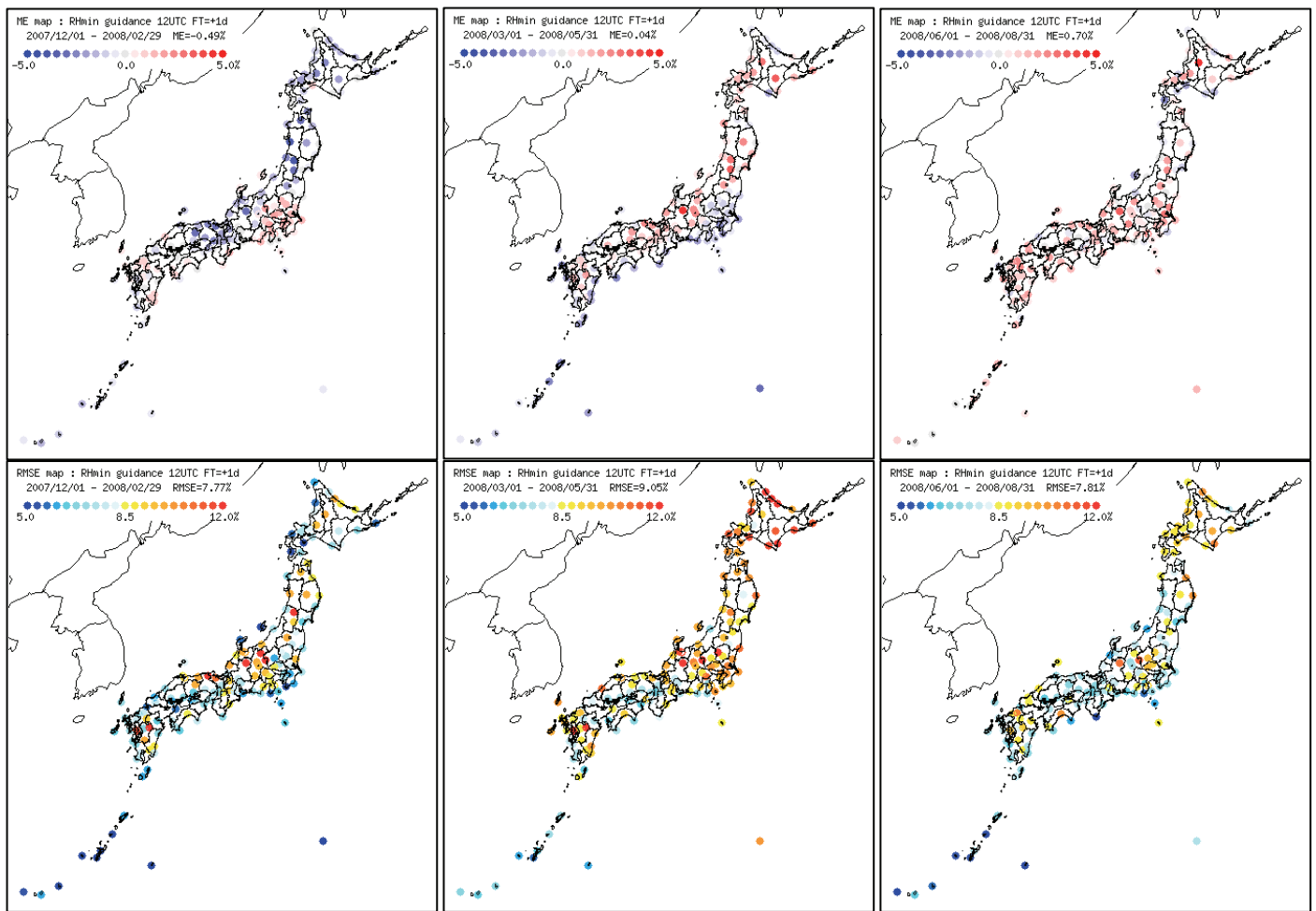


図 3.1.41 最小湿度ガイダンス ME (上段) と RMSE (下段) の地点分布 (12UTC 初期値 FT=3-27) 左から 2007 年 12 月～2008 年 2 月 (冬)、2008 年 3 月～5 月 (春)、2008 年 6 月～8 月 (夏)

3.1.7 大雨確率ガイダンス

(1) はじめに

大雨確率ガイダンスでは、40km 格子毎に算出した大雨基準 (4 月～9 月の暖候期は 30mm/3h、10 月～3 月の寒候期は 20mm/3h) を超える確率値のうち、各二次細分子報区に含まれる最大の確率値を提供している。解析雨量を目的変数とし、GSM から下層の湿り具合を表す指数、中・下層の風系、その風系に対する地形効果、水蒸気の水平輸送量、下層の上昇流の最大値を説明変数として選んで、ニューラルネットワーク (以下、NRN) を用いて大雨確率を予測している。

2007 年 11 月 21 日に 20kmGSM の運用が開始されたことに合わせて、大雨確率ガイダンスでも仕様や作成手法 (NRN の出力関数や説明変数の一部) に変更を行った。本項では、手法変更以降の精度について検証した結果を示す。なお、変更内容の詳細については安藤ほか (2007) を参照して頂きたい。

(2) 検証結果

寒候期と暖候期に対応した 2007 年 12 月～2008 年 3 月、2008 年 4 月～8 月の全初期値 (00, 06,

12, 18UTC) について、予報時間 FT=6～51 を検証対象とした。

図 3.1.42 は、ガイダンスの予測確率別出現率 (信頼度) と出現頻度である。暖候期、寒候期ともに予測確率 40%を超える辺りから信頼度の理想直線から乖離している状況が分かる。暖候期、寒候期ともに、予測確率に対して出現率が低くなる傾向がある。

図 3.1.43 は、各予測確率以上で現象ありとした場合の空振り率、及び捕捉率である。暖候期、寒候期ともに、予測確率 40%から空振り率の減少が緩やかになり、図 3.1.42 の予測確率に対して出現率が低くなる結果と一致する。暖候期、寒候期ともに予測確率が 15%以上になると、捕捉率が 10%以下に低下するのは、現象の大半が低い予測確率で起こっていることを意味している。

図 3.1.44 は、各予測確率以上で現象ありとした場合のスレットスコアである。暖候期は 5%以上で現象ありとした場合に、寒候期は 10%以上で現象ありとした場合にスレットスコアのピークが現れるが、両期間ともスコアの値は 0.1 以下と低いことがわかる。

(3) まとめと今後の課題

20kmGSM の運用開始以降の大雨確率ガイダンスの精度検証を行った。捕捉率、スレトスコアの成績を見る限り、現状では決して十分な精度があるとは言えない。モデルが更新されてからの学習期間が短く、今後の学習を通じた精度向上の可能性もあるが、さらなる精度向上を目指すために統計的手法や説明変数の見直し、MSM の利用など根本的に改良を行っていく予定である。

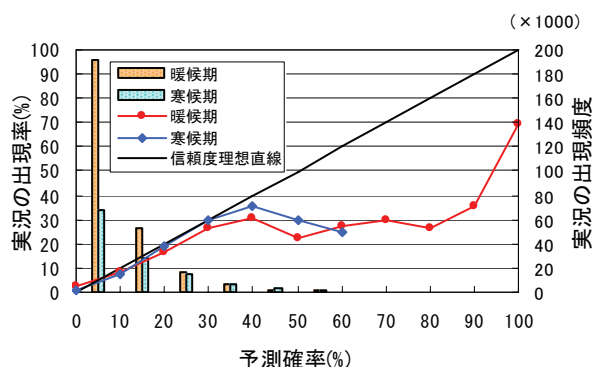


図 3.1.42 大雨確率ガイダンスの予測確率別出現率と出現頻度。検証期間は、寒候期：2007年12月～2008年3月、暖候期：2008年4月～8月。

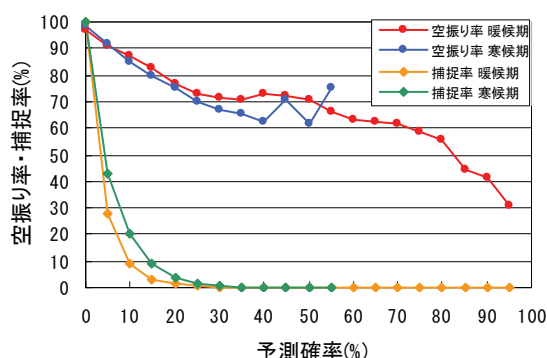


図 3.1.43 大雨確率ガイダンスの各予測確率以上で現象ありとした場合の空振り率、及び捕捉率。検証期間は、図 3.1.42 に同じ。

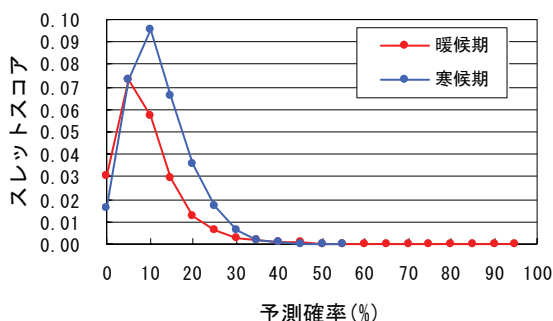


図 3.1.44 大雨確率ガイダンスの各予測確率以上で現象ありとした場合のスレトスコア。検証期間は、図 3.1.42 に同じ。

3.1.8 発雷確率ガイダンス

GSM発雷確率ガイダンスは、2007年11月20日まで運用されていたRSM発雷確率ガイダンスを、入力となる数値予報モデルをRSMから20kmGSMに変えて継続運用したガイダンスである。これは、RSM発雷確率ガイダンスには非逐次学習型のニューラルネットが使われており、20kmGSMの予報値が蓄積されていない段階では新たなモデルに対応したニューラルネットを作成できなかったためである。それにも拘らず、実験期間の検証では、GSM発雷確率ガイダンスは、RSM発雷確率ガイダンスの精度を概ね上回る結果となった(安藤ほか 2007)。これはRSMより20kmGSMの方が大気環境場の予報精度が高いためと考えられる。

ここではGSM発雷確率ガイダンスの運用が開始された2007年11月21日から2008年8月までの精度検証の結果を示し、利用上の留意点について述べる。なお、GSM発雷確率ガイダンスの仕様は安藤ほか(2007)を参照して頂きたい。

(1) 検証結果

検証は、寒候期(2007年11月21日～2008年3月)、暖候期(2008年4月～8月)の2期間で、北海道、東北、関東中部、近畿中国四国、九州、沖縄の6地域に分けて行った。検証対象は00,06,12,18UTCの全初期値、予報時間06,09,...,51時間の20km格子点予測値である。検証に利用した実況は、20km格子、前3時間の発雷の有無であり、雷監視システム(LIDEN)の発雷データをレーダーデータで品質管理したものに、地上気象観測、飛行場実況気象通報の雷観測データを加えて作成している。

図3.1.45は、暖候期(上)と寒候期(下)において、0-80%の各確率値を閾値として発雷の有無を予測した場合のスレトスコアを示している。全般的には暖候期は20-30%程度、寒候期は20%前後を閾値として発雷ありとした場合に最もスレトスコアが高くなるが、沖縄では5%、寒候期の北海道は50%で最も高くなっている。スレトスコアの最大値からは、沖縄及び北海道の精度が低く、関東中部で最も精度が高い。これはエクイタブルスレトスコアによる検証でも同様であった。この理由として、GSM発雷確率ガイダンスは関東中部領域の発雷データで作成された予測式を全国に適用していることが考えられる。特に寒候期の北海道では全ての確率値において空振り率が90%を超えており、不適切な予測が多い(図略)。

(2) 利用上の留意点

前述のように、GSM発雷確率ガイダンスは関東中部以外の地域で不適切な予測となる例がある。2007

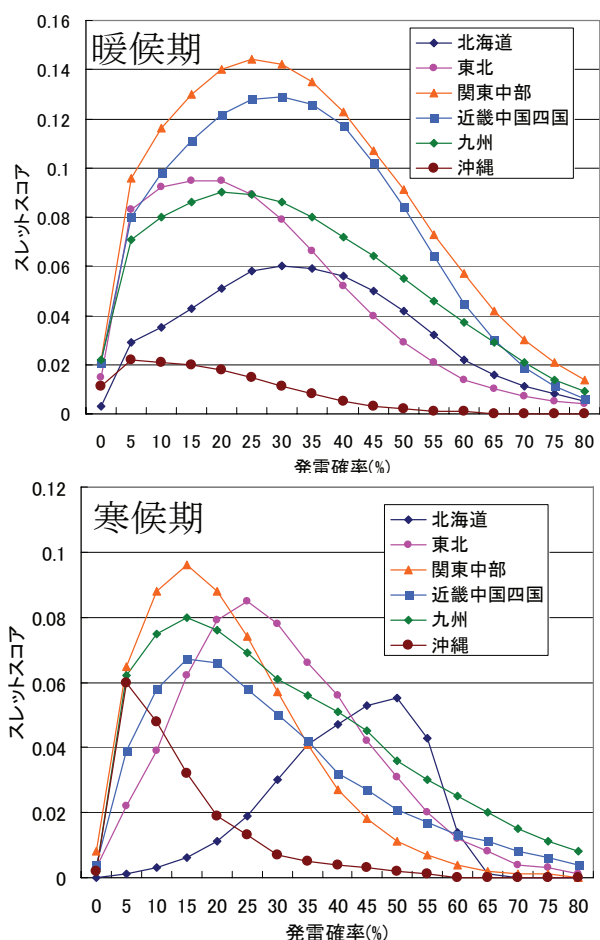


図3.1.45 GSM発雷確率ガイダンスの各確率(0-80%)を閾値として発雷の有無を予測した場合のスレットスコア。検証期間は上が暖候期、下が寒候期。各6地域に属する20km格子、予報時間6～51時間の予測をまとめて検証している。

年5月に運用開始されたMSM発雷確率ガイダンス(第3.2.6項参照)はLIDENを用いて格子ごとの予測式としているため、この問題点はなく、また検証結果からもMSM発雷確率ガイダンスの精度はGSM発雷確率ガイダンスを上回っていることがわかってい。よって、MSMの予報時間内では、MSM発雷確率ガイダンスを基本とする方が良い。なお、GSM発雷確率ガイダンスは次期予報作業支援システムの試験運用開始までに、MSM発雷確率ガイダンスと同様な手法に変更する予定である。

3.1.9 お天気マップ

(1) はじめに

お天気マップ(瀬上 1992; 萬納寺 1994)は数値予報モデルの出力を直接使い、閾値判別方式で7分類(快晴・晴れ・薄曇り・曇り・雨・みぞれ・雪)の天気カテゴリーを診断するものである。お天気マップには、全球モデル(GSM)を利用するGSMお天気マップとメソ数値予報モデル(MSM)を利用

するMSMお天気マップがある。

GSM・MSMとも2006年から2007年にかけて、予報特性の変化を伴うモデルの更新を行い、お天気マップの表現にも変化があった。特に「曇り」の予報がほとんどなくなる特性の変化がみられたため、それを改善すべく2007年11月に閾値の見直しを行った。なお、判別アルゴリズム自体は変更を行わなかった(安藤 2007)。

本項では、閾値変更を行った以降のお天気マップの精度検証の結果を示すとともに、事例検証としてGSMお天気マップの過剰な曇り予想について取り上げ、留意すべき点などについて述べる。

(2) 検証結果

検証期間を2007年12月～2008年8月とし、GSMは00・12UTC初期値の予報時間(FT)03～51時間まで、MSMは03・09・15・21UTCのFT=03～15を検証対象とした。実況は国内気象官署の地上気象観測(目視観測)の現在天気を利用した。

お天気マップの7分類を、晴れ(快晴・薄曇りを含める)と曇り(降水有りを含める)に分類した時の曇り予報のスレットスコア(TS)とバイアススコア(BI)、および降水の有無で分類したときの降水有り予報のTSとBIを図3.1.46に示す。曇り予報はGSMお天気マップ、MSMお天気マップともほぼ適切な出現頻度となっている。一方、降水有り予報はGSMお天気マップで頻度過少となっている。

次に、快晴・薄曇りを晴れに含めた5分類適中率の地点分布を図3.1.47(GSMお天気マップ)と図3.1.48(MSMお天気マップ)に示す。5分類適中率の分布においてはGSM、MSMとも、関東から九州の太平洋側で適中率が高く、日本海側と東北・北海道および南西諸島で適中率が低い地域特性が見てとれる。7分類適中率では、快晴・晴れ・薄曇り予報によって晴れの多い地域で成績を下げ、地域特性

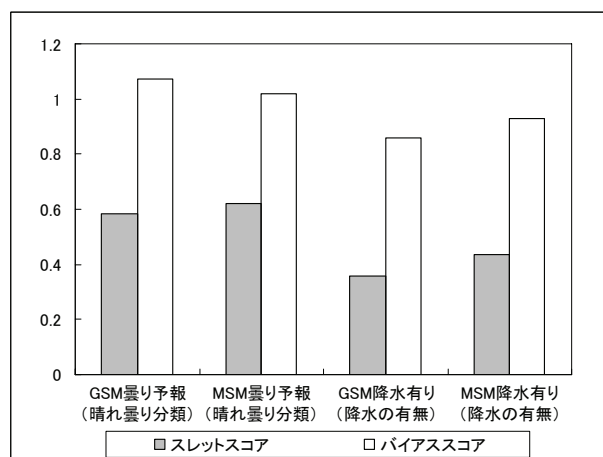


図 3.1.46 曇り予報および降水有り予報のスレットスコアとバイアススコア

が見えにくくなる（図略）。冬の5分類適中率においては、上記の地域特性がより顕著となり、第3.1.4項で示した天気ガイダンスと同様の傾向があることがうかがえる（図略）。

(3) 事例検証

2008年3月10日から11日にかけてGSMお天気マップが東シナ海から対馬海峡の領域に実況に近い過剰な曇り域を予想した。そのときの各種資料を図3.1.49の(1)～(6)にまとめる。

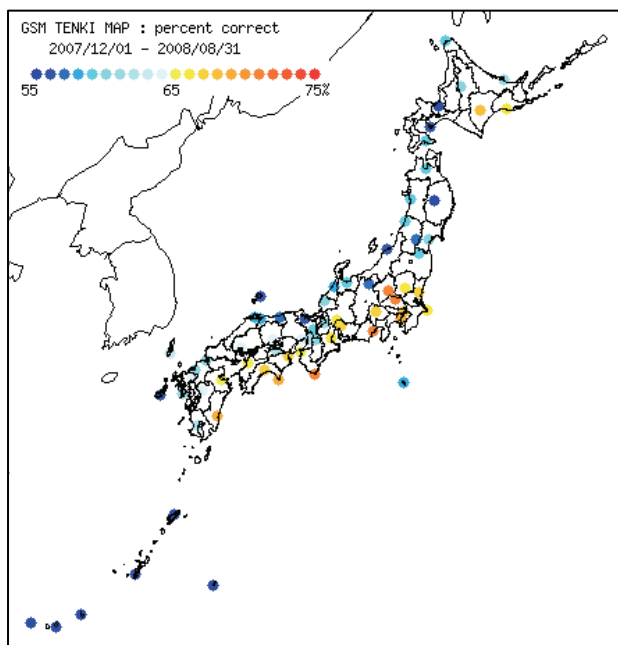


図 3.1.47 GSM お天気マップ適中率（5 分類）地点分布

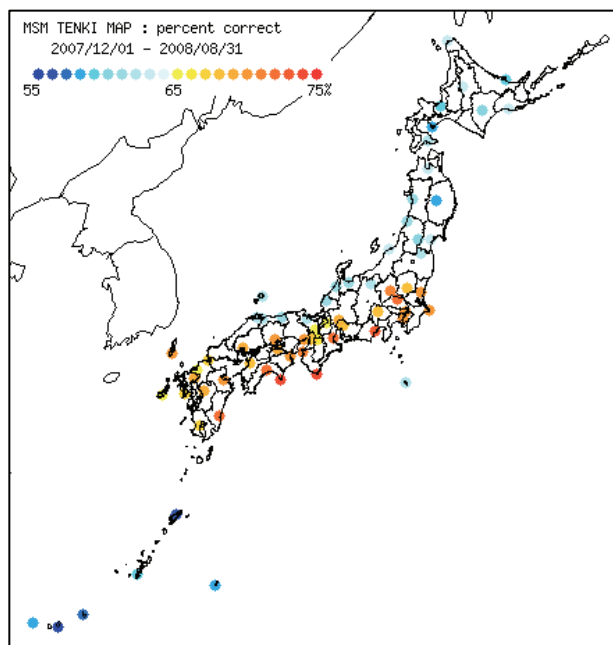
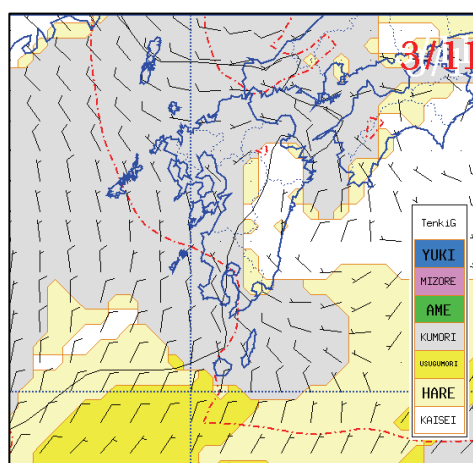
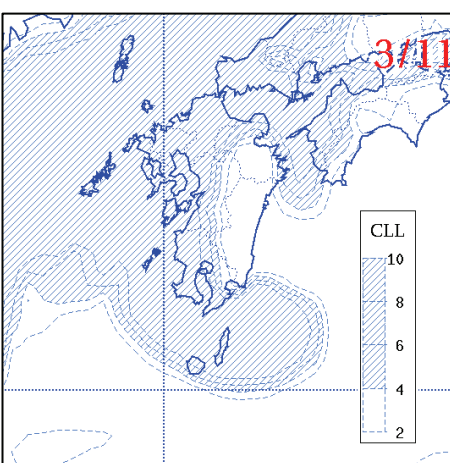


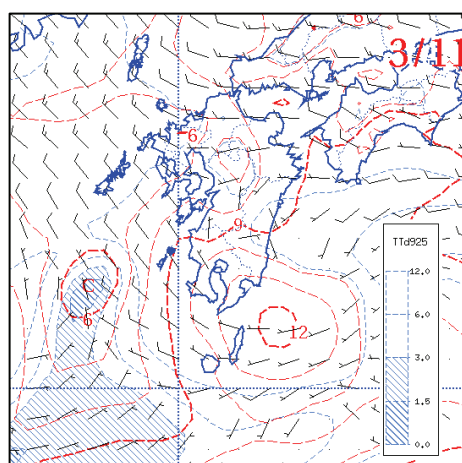
図 3.1.48 MSM お天気マップ適中率（5 分類）地点分



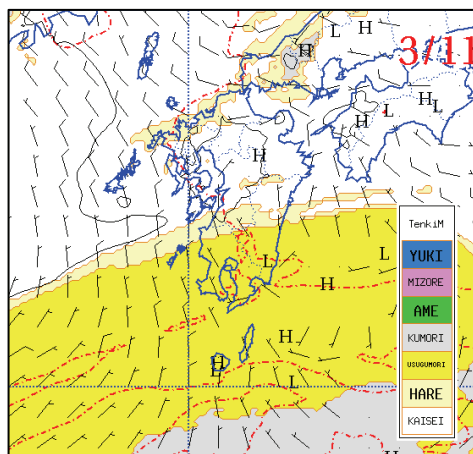
(1) GSM お天気マップ



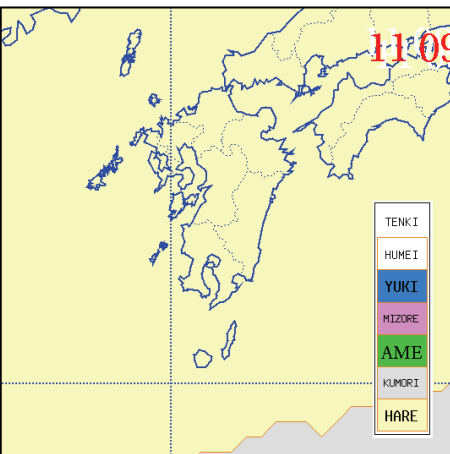
(2) GSM 下層雲量



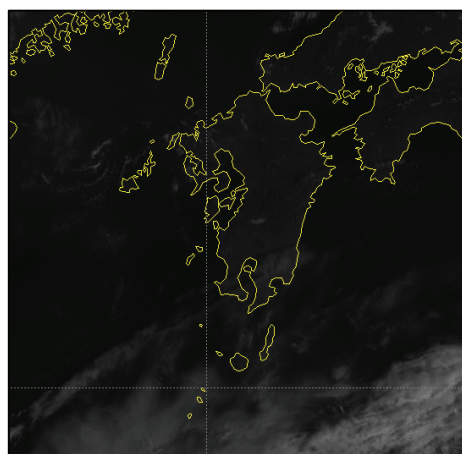
(3) GSM 925hPa 湿り予想



(4) MSM お天気マップ



(5) 天気ガイダンス



(6) 衛星可視画像

図 3.1.49 2008 年 3 月 10 日 18UTC 初期値 FT=6（対象時刻 11 日 00UTC）における各種資料

この曇り域はお天気マップが入力としているGSMの下層雲量に起因するものであり、GSMの雲量を入力としない天気ガイダンスやMSMお天気マップでは、このような曇り域は表現されていない。この下層雲はGSMにのみ用いられている「海洋層積雲パラメタリゼーション（層積雲スキーム）」により作られていることが調査の結果明らかになっている。このスキームの詳細については、第1.3.3項を参照されたい。

この事例のようにGSMお天気マップの曇り域が過剰と疑われる場合、以下の点を確認されたい。

- ・GSMの上・中層雲がほとんどなく、下層雲による曇り表現である。
- ・GSM925hPa（層積雲スキームが生成する雲の直上の高度に相当）が乾燥している。
- ・疑わしい雲域は主に海洋上に分布しており、陸上では顕著ではない。（ただし、陸上に分布する事例も存在する。）
- ・天気ガイダンスやMSMお天気マップでは晴れが予想されている。

このような場合には、層積雲スキームによる過剰な下層雲予想の可能性が高いため、天気ガイダンスやMSMお天気マップを利用するなどしていただきたい。

参考文献

- 安藤昭芳, 2007a: 降水確率、平均降水量、最大降水量ガイダンス. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 50-59.
- 安藤昭芳, 2007b: お天気マップ. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 94-97.
- 安藤昭芳, 鎌倉智之, 北畠淳, 2007: その他の天気予報、防災気象情報支援ガイダンス. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 76-81.
- 井手和彦, 2007: 風ガイダンス. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 67-72.
- 鎌倉智之, 2007: 天気ガイダンス. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 73-75.
- 木村陽一, 1998: 風ガイダンスの統計的特徴と風速補正. 平成10年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 79-84.
- 國次雅司, 1997: 風ガイダンスの開発. 平成9年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 39-44.
- 小泉友延, 2007: 気温ガイダンス. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 60-66.
- 瀬上哲秀, 1992: お天気マップ. 平成4年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 69-81.
- 中務信一, 成井昭夫, 原昌弘, 1997: 降雪量予報に向けての検討. 平成9年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 28-38.

萬納寺信崇, 1994: 数値予報の出口：応用. 平成6年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 90-91.

3.2 航空気象予報ガイダンスの検証¹

3.2.1 気温ガイダンス

(1) はじめに

航空気象予報を対象とした気温ガイダンス（航空気温ガイダンス）は、メソ数値予報モデル（MSM）を元にして作成され、離陸用飛行場予報及び飛行場における天気の雨雪判別などに利用されている。本項では、航空気温ガイダンスの精度検証結果を解説する。2007年11月にMSMの境界値が領域モデルから全球モデルの予報値に変更となったが、これに伴う航空気温ガイダンスの精度に大きな差がないことがわかっており（小泉 2007）、検証期間を2007年6月～2008年6月とした。航空気温ガイダンスの初期時刻と予測要素は表3.2.1の通りで、仕様及び作成手法については、小泉（2007）を参照していただきたい。

(2) 精度検証結果

最高・最低気温ガイダンスの平均誤差（ME）、平方根平均二乗誤差（RMSE）の全国平均については、MEは全初期時刻、予測要素（MAX1～2、MIN1～2）でほぼ0℃であり（図略）、RMSEは図3.2.1に示す通りとなった。これらは、小泉（2007）の結果と同程度である。また、時系列気温ガイダンスのMEとRMSEの全国平均を求めると、MEは全初期時刻、予測要素でほぼ0℃、RMSEは図3.2.2に示した通りとなった。これらについても小泉（2007）の結果と同程度である。

次に、最高・最低気温ガイダンスのME、RMSEを地域別に見ていく。MEは全初期時刻、予測要素で全国的にほぼ0℃、RMSEは最高気温ガイダンスで全国的に同程度（1.3～1.5℃）だが（図略）、最低気温ガイダンスに地域差が見られた。最低気温ガイダンス（03UTC初期値）のRMSE地点分布を図3.2.3に示す。大部分の空港でRMSEが1.3～1.7℃であるが、北海道地方の7空港と本州内陸部の2空港ではRMSEが2℃を上回っている。この傾向は、他の初期時刻でもほぼ同じであった（図略）。

(3) まとめ

航空気温ガイダンスは、最低気温ガイダンスで北海道地方や本州内陸部の一部の空港でそれ以外の空港と比べてRMSEが大きく、地域によるガイダンスの精度の差が確認された。北海道、本州内陸部の空港では、夜間における強い冷え込みを予想できないことがある。今後、精度改善に向けて調査を進めて

いきたい。

表 3.2.1 航空気温ガイダンスの初期時刻と予測要素

初期時刻	今日	明日	
	最高	最低	最高
15 UTC	MAX1	MIN2	
21 UTC	MAX1	MIN2	
03 UTC		MIN1	MAX2
09 UTC		MIN1	MAX2

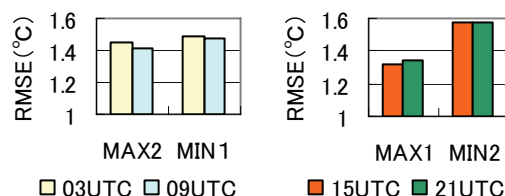


図 3.2.1 最高・最低気温ガイダンスの RMSE 全国平均値

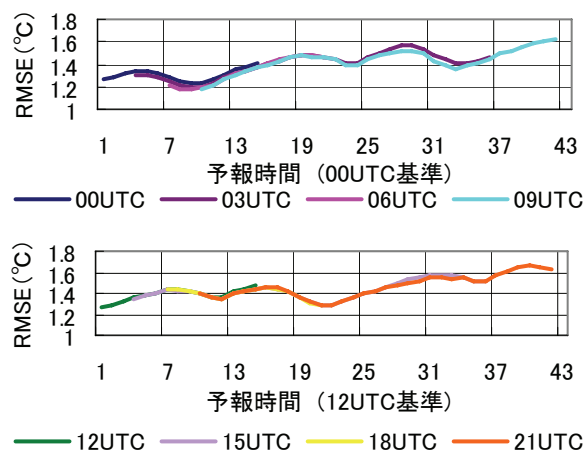


図 3.2.2 時系列気温ガイダンスの RMSE 全国平均値。横軸の予報時間は上段が 00UTC、下段が 12UTC を基準としている。

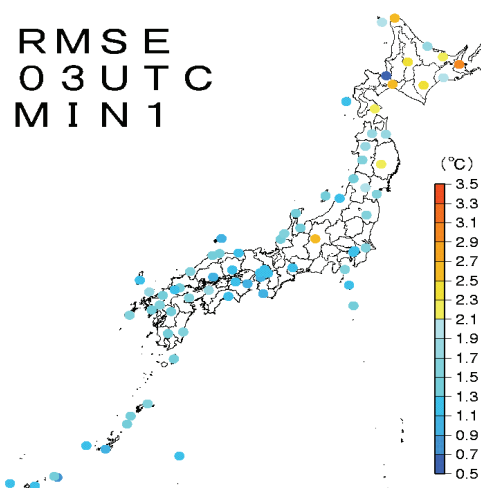


図 3.2.3 RMSE の地点分布（03UTC、MIN1）

¹ 3.2.1 松澤 直也、3.2.2 藤枝 鋼、3.2.3、3.2.4、3.2.5、3.2.6 高田 伸一、3.2.7 古市 豊

3.2.2 風ガイダンス

(1) はじめに

数値予報課では、飛行場を対象として、メソ数値予報モデル（MSM）の予報値を利用した航空予報用のMSM定時風ガイダンス及びMSM最大風速ガイダンスを作成している（井手 2007、巻末付録A.2.3参照）。

本項では、これらの航空予報用風ガイダンスの精度検証結果の概要を報告する。

(2) 検証方法

現在、航空予報用風ガイダンスが対象としている全76空港について、バイアスコア（BI）、スレトスコア（TS）、平方根平均二乗誤差（RMSE）、平均誤差（ME）、及び風向の適中率を指標として検証を行った。検証に用いた実況値は、定時飛行場実況気象通報（METAR）及び自動飛行場実況気象通報（METAR AUTO）の風向・風速の観測値である。風向の適中率は、有効データ数に対する36方位の風向が適中した数の比として定義した。検証期間は、2007年6月から2008年5月までの1年間（3～5月：春期、6～8月：夏期、9～11月：秋期、12～2月：冬期）である。00UTCシリーズ（00、06、12、18UTC）と03UTCシリーズ（03、09、15、21UTC）に分けて行った検証結果に顕著な差はなかったことから、本報告では、予報時間（FT）が長く、33時間先まである03UTCシリーズの結果のみを示した。

(3) 検証結果

(3.1) 航空予報用 MSM 定時風ガイダンス

図3.2.4に、全期間平均の各管区气象台等の担当地域ごと及び全国平均の航空予報用MSM定時風ガイダンス（awm1i）とMSM（03UTCシリーズ、以下同じ）のBIを示す。風速の閾値が30kt以上の強風域や50kt以上の暴風域では、MSMのBIは1よりも大きく、観測に比べて予測が過大であるに対して、ガイダンスでは過小となっている。ただし、春期には、全国平均のBIは、MSM、ガイダンスともに1よりも小さく、ガイダンスの方がより1に近かった（図略）。MSMのBIは、地域差が大きい、ガイダンスには地域差がほとんど見られない。

図3.2.5に、全期間平均の航空予報用MSM定時風ガイダンスとMSMのTSを示す。風速38kt以上では、ほぼ福岡と沖縄のみのデータとなるが、この領域を除き、MSMのTSに対してガイダンスのTSは改善されている。夏期・秋期は、冬期・春期に比べて、風速の大きい頻度が高いため、風速の閾値に対するTSのばらつきは少なく風速による精度の低下は小さかった（図略）。

図3.2.6に、航空予報用MSM定時風ガイダンス、

MSM及び観測値（METAR/METAR AUTO）の平均風速を示す。平均風速には、日中にMSMとガイダンスの差が大きく、夜間に小さいという日変化が現れている。MSMの平均風速が、観測に比べて日中に最大で1kt以上低い値を示しているのに対して、ガイダンスでは改善され、観測にほぼ一致している。

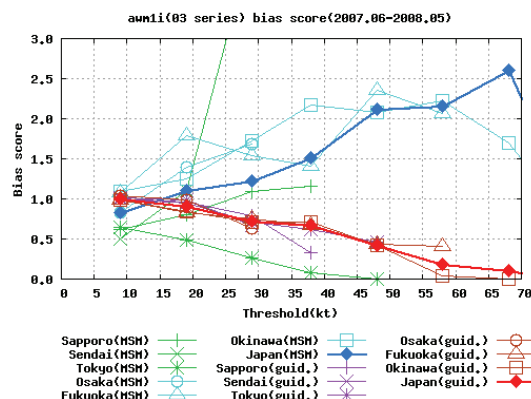


図3.2.4 地域別（細線）及び全国平均（太線）のMSMと航空予報用MSM定時風ガイダンスの風速のバイアスコア（BI）（03UTCシリーズ）。横軸は風速の閾値。

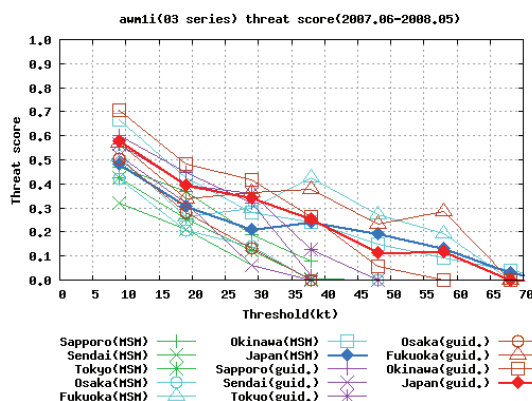


図3.2.5 MSMと航空予報用MSM定時風ガイダンスの風速のスレトスコア（TS）（03UTCシリーズ）。横軸は風速の閾値。

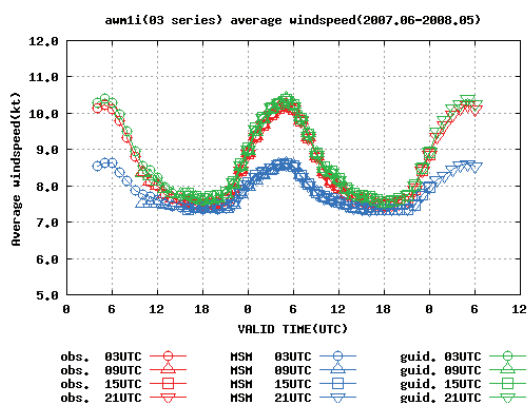


図3.2.6 MSM、航空予報用MSM定時風ガイダンス、観測の平均風速（03UTCシリーズ）。横軸は予報対象時刻。

MSM、ガイダンスとも、初期時刻の違いによる差はほとんどない。

図3.2.7に、全期間平均の航空予報用MSM定時風ガイダンス、MSMのRMSEとMEを示す。ガイダンスのRMSEは、MSMに対して、1kt程度改善されている。初期時刻の違いによる差異は見られない。予報時間が進むにつれて、MSM、ガイダンスともに、RMSEが増加している。MSMのMEに見られる負バイアスは、ガイダンスでは0に近くなっている。

図3.2.8に、全期間平均の航空予報用MSM定時風ガイダンス及びMSMの風向の適中率を示す。全国平均の風向の適中率はMSMとガイダンスではほぼ同じとなり、一般予報用MSM最大風速ガイダンスのような改善は見られなかった。これは、風向の適中を航空予報用は36方位（一般用は16方位）で評価し、方位のずれを全く許容していないことも一因である。

(3.2) 航空予報用 MSM 最大風速ガイダンス

図3.2.9に、全期間平均の各地域航空気象官署の担当地域ごと及び全国平均の航空予報用MSM最大風速ガイダンス (awm1x) とMSMのBIを示す。風速の閾値が高い20～30kt以上の領域で、全国平均のBIは、MSMの予測が過大であるのに対して、ガイダンスによる予測は過小の傾向がある。

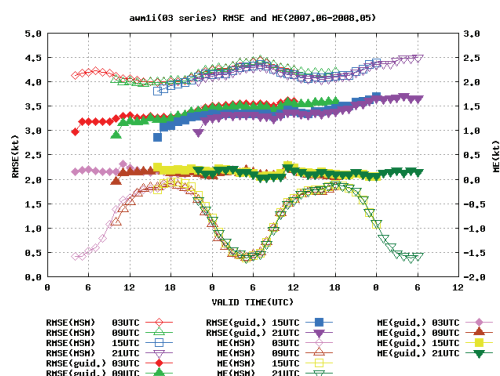


図3.2.7 MSMと航空予報用MSM定時風ガイダンスの平方根平均二乗誤差 (RMSE) と平均誤差 (ME) (03UTC シリーズ)。横軸は予報対象時刻。

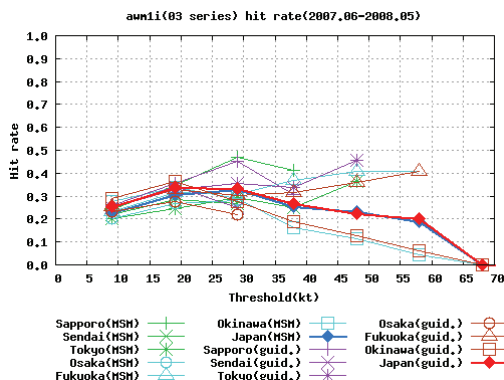


図3.2.8 MSMと航空予報用MSM定時風ガイダンスの風向の適中率 (03UTC系)。横軸は風速の閾値。

図3.2.10に、全期間平均のMSM最大風速ガイダンスのTSを示す。MSM定時風ガイダンスと同様に、風速38kt以上の一部の地域を除き、MSMに対してガイダンスは改善されている。

図3.2.11に、全期間平均の航空予報用MSM最大風速ガイダンス及びMSMの風向の適中率を示す。定時風と同様に、風向の適中率に改善は見られないが、定時風ガイダンスと同様に評価条件が厳しいことによると考えられる。

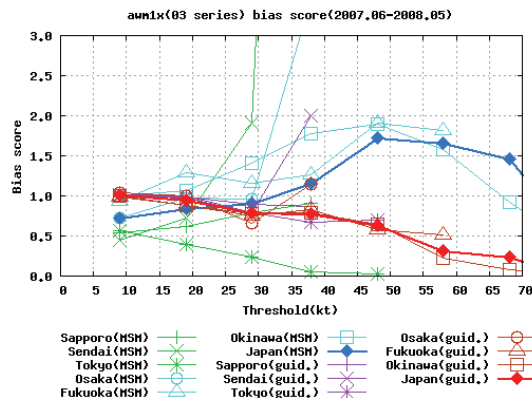


図3.2.9 MSMと航空予報用MSM最大風速ガイダンスのバイアスコア (BI) (03UTCシリーズ)。横軸は風速の閾値。

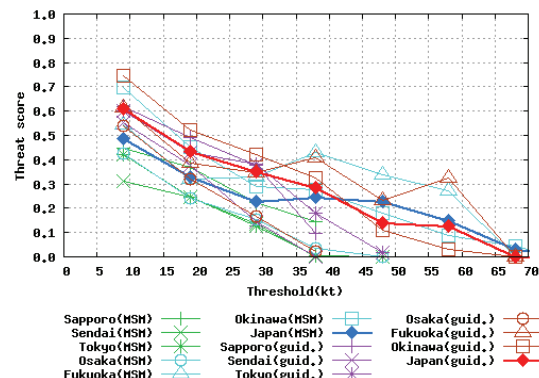


図3.2.10 MSMと航空予報用MSM最大風速ガイダンスのシレットスコア (TS) (03UTC系)。横軸は風速の閾値。

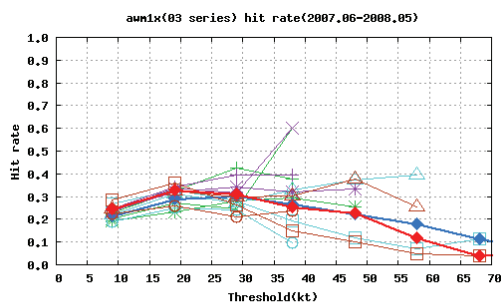


図3.2.11 MSMと航空予報用MSM最大風速ガイダンスの風向の適中率 (03UTC系)。横軸は風速の閾値。

3.2.3 視程ガイダンス

視程ガイダンスは、MSMの湿度、降水量等を説明変数とし、カルマンフィルターを用いることによって作成されている。予測要素は最小・平均視程、前3時間に視程が5km未満および1.6km未満となる確率である。詳しい仕様及び作成方法は、高田（2007）を参照願いたい。ここでは、2007年9月～2008年8月の1年間の精度評価結果を示し、利用上の留意点を述べる。MSMの側面境界は2007年11月21日にRSMから20kmGSMに変わったが、これによってガイダンスの予測特性に大きな変化はなかったことを確認している。

(1) 検証結果

検証は、寒候期（2007年10月～2008年3月）、暖候期（2007年9月、2008年4～8月）の2期間で、予測対象空港である76空港を北海道12空港、東北9空港、関東中部15空港、近畿中国四国16空港、九州17空港（山口宇部含む）、沖縄7空港に分けて行った。予測対象要素は前3時間の最小視程（VSmin3）及び5km未満の視程確率（PoVS5）の2種類とし、どちらも全初期時刻（00～21UTCの3時間毎）、全予報時間（06～33時間の3時間毎）の予測を分割表に合算して検証している。実況には定時および特別飛行場実況観測（METAR/SPECI）の視程を用いている。

図3.2.12に、VSmin3の5km閾値のスレットスコア（TS）とバイアススコア（BI）を示す。TSからは、暖寒候期とも東北と北海道の精度が高く、沖縄の精度が最も低い。これはエクイタブルスレットスコア（ETS）を使った検証でも同じであった。東北と北海道の精度が高いのは、霧または雪による悪視程の頻度が多く、予測しやすいためと考えられる。沖縄の精度が低いのは悪視程の頻度が低いことと、強雨による悪視程の予測が難しいためと考えられる。BIは地域、暖・寒候期を問わず1未満となって、悪視程の観測頻度に比べて予測頻度が少ない。寒候期では南ほどBIが低くなっている。

図3.2.13は、PoVS5の各確率（0-80%）を閾値として視程が5km未満となるか否かを予測した場合のTSを示している。暖候期では、沖縄を除き25-30%を閾値とした場合に最もTSが高い。沖縄では精度が低く、20%の閾値とした場合に最もTSが高い。寒候期の結果からは、北ほど高い確率を閾値とした方が高い精度となる。また、図3.2.12との比較から、視程5km未満を予測する場合、暖・寒候期ともVSmin3よりもPoVS5の最適な確率値を閾値とした方の精度が高い。

(2) 利用上の留意点

視程ガイダンスは天気ガイダンス（無降水、雨、

雪）によって予測式を変えている。これは、天気によって卓越する光の散乱粒子の種類が異なり、視程

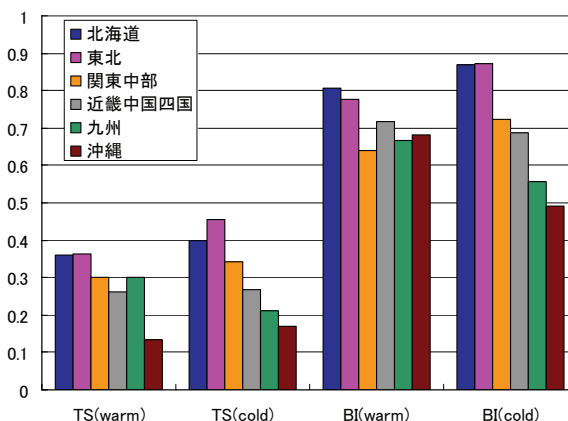


図3.2.12 前3時間の最小視程予測（Vismin3）の5km閾値のスレットスコア（TS）とバイアススコア（BI）。検証は暖候期（warm）と寒候期（cold）の2期間に分け、各6地域に属する空港の事例を分割表に合算して行っている。

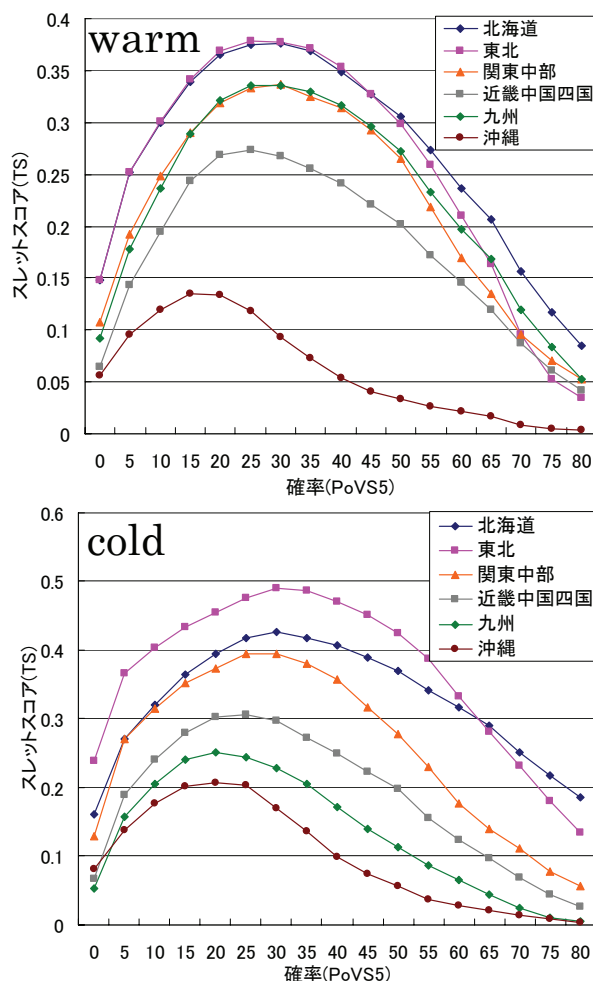


図3.2.13 5km未満視程確率（PoVS5）の各確率を閾値として前3時間視程が5km未満となるか否かを予測した場合のスレットスコア。上は暖候期、下は寒候期。図の略号、地域は図3.2.12に同じ。

変化への影響が違うためである。これにより、天気ガイダンスとの整合が図られ、悪視程がどの現象によって予測されているかが理解しやすい。反面、天気ガイダンスを補正した場合には、合わせて視程ガイダンスの補正を行う必要がある。

視程ガイダンスは最新の実況を用いて予測式を逐次更新しているため、悪視程の多い時期に悪視程の予測が出やすく、悪視程の少ない時期には悪視程の予測が出にくくなっている。また、実況の後を追いかけるような予測になる場合もある。

現在のところ、視程ガイダンスにはエーロゾル濃度の効果が取り入れられていない。このため、黄砂や煙霧による視程悪化を予測することができない。

3.2.4 雲ガイダンス

雲ガイダンスは、ニューラルネットワークで空港上空の38層の雲量を予測しているが、配信されるのは、38層の雲量を飛行場気象観測と同様に下層から探索・抽出した3層のみである。雲ガイダンスは2008年5月27日、説明変数への降水量の追加、時刻別・季節別層別化の追加、頻度バイアス補正の調整といった改良を行った。以下では、まず改良後の雲ガイダンスの仕様を記し、その後、検証結果及び利用上の留意点を述べる。

(1) 仕様

表3.2.2に雲ガイダンスの仕様を示す。予測対象は、国内76空港である。

表3.2.2 雲ガイダンスの仕様

目的変数	38層 (0,100,...,1500,2000,2500,...,5000, 6000,...,10000,12000,...,30000ft) の前1時間最低シーリング (CIG) ² 時の雲量。飛行場実況気象通報から作成する ³ 。雲の厚さは2000ftに固定。
説明変数	各38層を挟むモデル面の2層の湿度、前3時間降水量、925hPaと地上の平均気温減率。全てMSMから作成。
ニューラルネットワークの諸元	・入力層4、中間層5、出力層1ユニット ・遷移関数：$(1+\tanh(x/2))/2$ (シグモイド関数。中間、出力層とも同じ) ・学習速度0.1、慣性項0
層別化(数)	対象時刻 (24)、季節 (4-10月と11-3月の2つ)
その他	・頻度バイアス補正を行う (3倍を限度)。 ・3つの前1時間最低CIGのうち、最も低いCIGの予測を前3時間最低CIGとして配信している。

² 雲量 5/8 以上の最低雲底高度

³ 2008年8月26日より、定時・特別飛行場実況通報が通報されない夜間及び上空に自動飛行場実況通報 (METAR AUTO) を利用するように変更した。

(2) 検証結果

図3.2.14は、雲ガイダンスから前1時間最低シーリング (CIG) が1000ft未満となるか否かを予測した場合のスレットスコア (TS) とバイアスコア (BI) である。2008年5月27日の変更前後のガイダンスには予測特性の差があるため (後述)、検証対象は変更後のガイダンスのみとした。よって、検証期間は現ガイダンスの試験運用期間を含めた寒候期 (2008年1月～3月) 及び暖候期 (2008年4月～8月) としている。地域分け、検証方法は視程ガイダンス (第3.2.3項) と同じである。実況はMETAR/SPECIの雲の通報から求めたCIGとしている。

図のTSからは、暖候期では北海道と東北の精度が高い。これはこの地方では低CIGの出現頻度が高く、予測しやすいためと考えられる。寒候期では北海道のTSが最も高く、沖縄が最も低い。それ以外の地域には大きな差はない。これはETSを使った検証でもほぼ同じであった。BIからは、暖候期では全地域とも1に近く予測と観測の頻度はほぼ同じであるが、北ほど予報過剰の傾向がある。寒候期では北海道を除き1未満となっており、全体的に観測に比べて低CIGの予測頻度が少ないことがわかる。

図3.2.15は、2008年5月27日の変更の効果をみるために、現ガイダンスと旧ガイダンス (2008年5月26日まで運用) の予報時間ごとのTSを示している。検証期間は、現・旧ガイダンス共に予測結果がある2008年1月2日～2008年5月26日としている。図のTSからは、旧ガイダンスは予報時間が進むにつれて精度の劣化が大きかったが、現ガイダンスの精度の劣化は小さいことがわかる。BIからは、旧ガイダンスは1より小さく低CIGの予報頻度が少なかったが、現ガイダンスは1に近づいていることがわかる。

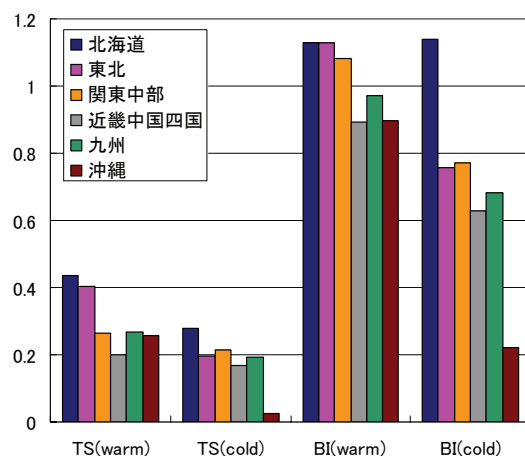


図3.2.14 雲ガイダンスから前1時間の最低CIGが1000ft未満となるか否かを予測した場合のスレットスコア (TS) とバイアスコア (BI)。検証は暖候期 (warm) と寒候期 (cold) の2期間で、各6地域に属する空港の事例をまとめて行っている。

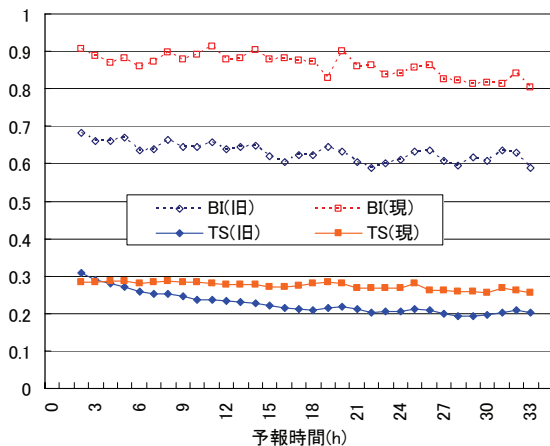


図3.2.15 各予報時間における、前1時間最低CIGが1000ft未満となる予測のスレツスコア (TS) とバイアススコア (BI)。旧は2008年5月26日まで運用されていた雲ガイダンス、現はそれ以降のガイダンス。検証は2008年1月2日～5月26日の期間で、全76空港の事例をまとめて行っている。

(3) 利用上の留意点

雲ガイダンスは、2008年5月27日の改良により、それまで過少だった低CIGの予測頻度が増えた。これにより、低CIGの捕捉率が上昇したが、空振り率もやや増加するといった予測傾向の変化があった。

雲ガイダンスは、最新の実況で逐次学習を行い、ニューラルネットの重みを変化させている。しかし、この逐次学習によって、低CIGの少ない時期には低CIGの予測が出にくく、低CIGの多い時期には低CIGの予測が出やすくなる。また、実況の後を追うような予測になる例もある。

3.2.5 天気ガイダンス

航空用の天気ガイダンスは、お天気マップ方式(安藤 2007)で空港の前1時間の卓越天気を予測することによって作成されている。ただし、お天気マップと異なり、降水強度(弱/並/強)も予想し、雨雪判別に航空用の気温ガイダンスを利用している。詳しくは高田(2007)を参照願いたい。なお、2008年5月27日に、曇りと晴れを判別する雲量の閾値を安藤(2007)に合わせる変更を行っている。

以下では、2007年9月～2008年8月の1年を通じた精度検証の結果を示し、利用上の留意点を述べる。

(1) 検証結果

検証は、視程ガイダンス(第3.2.3項)と同じ期間・地域・方法で行っている。実況にはMETAR/SPECIの天気を用いている。

図3.2.16に、並以上の降水のスレツスコア (TS) とバイアススコア (BI) を示す。TSからは、暖・寒候期ともに地域差があるものの、0.1・0.2程度と精度は低い。BIからは、暖・寒候期ともに1未満となつて

おり、観測頻度に比べて予測頻度が少ない。地域では北海道のBIが低く、季節では寒候期が低い。予測頻度が少ないのは、並以上の降水とする、MSMの降水量予測の閾値の設定に問題があると思われ、今後適切な閾値を再検討する必要がある。若しくは、飛行場向けの降水量ガイダンスの開発を検討する必要がある。

図3.2.17は、各地方の雨雪判別の適中率と雨雪バイアス⁴である。みぞれは雪として検証している。降水の有無の影響を除くために、降水が適中した場合に限って検証している。また、雨雪判別が問題にならない場合を除くために、実況の気温が6～-3℃に限り検証している。図から適中率の地域差は小さいが、雨と雪が時間的に混在しやすい関東以西でやや低くなっている。雨雪バイアスは、北ほど低い値となっている。これは、北ほど降水時に雪と予測し過ぎる傾向があることを意味する。

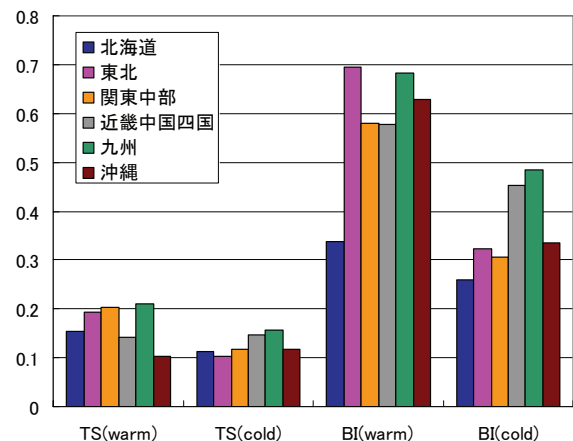


図3.2.16 並以上の降水のスレツスコア (TS) とバイアススコア (BI)。検証は、暖候期 (warm) と寒候期 (cold) の2期間に分け、地方ごとに行っている。

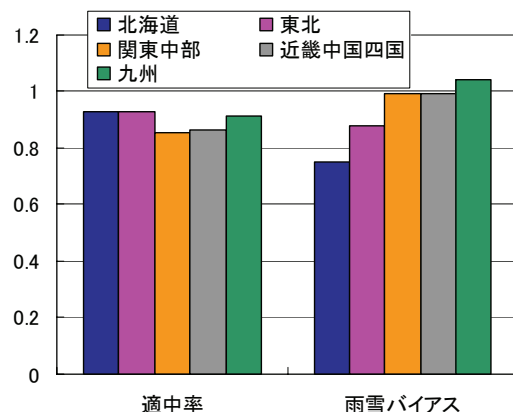


図3.2.17 雨雪判別の適中率と雨雪バイアス。雨雪バイアスの1未満は雨の予測頻度が実況より少ない(雪の予測頻度が実況より多い)ことを示す。

⁴ 降水における雨の割合を予測と観測で比較した値。1以上が雨の予測数が観測より多いことを示す。

(2) 利用上の留意点

天気ガイダンスの降水強度は、MSMの降水量予測値を直接利用しているため、MSMの降水の検証結果を参考にして頂きたい。天気ガイダンスとして特に留意すべき点は、以下のとおりである。

- ・ 不安定性降水の頻度、量とも過少である。
- ・ 予測降水域の集中性が強いいため、位置ずれを考慮して、その空間的分布をチェックしておく。

雨雪判別に関しては、利用している気温ガイダンス（第3.2.1項）の検証結果を参考にして頂きたい。天気ガイダンスとして留意すべき点は、気温ガイダンスは、降水・無降水の両方に共通する予測値となっている。ただし、雨雪判別では降水時のみの利用であり、これによる誤差が生じる可能性がある。例えば、寒候期に晴れが多く、放射冷却によって明け方に予想以上に気温が下がりやすい空港では、明け方の降水時にも低めに予想され、雪と予想されやすい。降水時の気温ガイダンスの妥当性を判断して利用願いたい。

3.2.6 発雷確率ガイダンス

発雷確率ガイダンス（PoT）は、飛行場予報のみならず、空域予報、一般の防災情報に利用できるように20kmの格子点予測値としている。統計手法としてロジスティック回帰を利用し、説明変数と回帰係数は格子で変えているが、係数値は固定で日々変化しない（高田 2007）。PoTの定義は、3時間内に20km格子を中心とする周辺9格子（60km格子）内で発雷する確率としている。以下では、2008年5月27日に一部改良を行ったため、まず、その変更点を記し、その後検証結果と利用上の留意点を述べる。

(1) 2008年5月27日における改良

2008年5月27日に行った変更点は以下のとおりである。それ以前の作成手法については高田（2007）を参照願いたい。

- ・ LAF (Lagged Average Forecast) アンサンブルを導入した。3時間ごとに実行されるMSMに合わせてPoTも3時間ごとに作成されるため、同じ予測対象時刻に対して、過去の初期時刻を含めると最大7つの予測値がある。そこで最新及び過去の初期値の予測値で重み付平均を行う⁵。
- ・ 2004年4月～2008年3月の4年間の非静力学MSMと発雷実況データから回帰係数を再作成した。

このほか、一部の説明変数に上限値を設定し、発

雷頻度の少ない格子での層別化の緩和といった変更も行っている。以上の変更によって、精度が向上し、変更前にみられた「周辺から突出した確率値」がほぼなくなった。また、精度には影響しないが、抑止条件「-10℃高度が1km未満で0%」を撤廃した。

(2) 検証結果

検証は、視程ガイダンス（第3.2.3項）と同じ期間・地域・方法で行っている。地域ごとの検証では、予測対象である2566格子を6地域に振り分けている。2008年5月27日の改良により精度の向上はあったが、大きな予測特性の変化はなかったため、ここでは変更を考慮せず、実際に配信された予測を検証する。利用した実況は、雷監視システム（LIDEN）の発雷データをレーダーデータで品質管理したものに、地上気象観測、飛行場実況気象通報の雷観測を加えており、回帰係数の作成に利用したのと同じである。

図3.2.18に各地方のPoTの信頼度曲線を示す。沖縄の信頼度が最も低く、北海道もやや低い。その他の地域には大きな差はない。全般に50%以上では理想信頼度曲線より下に乖離し、PoTの確率より低い確率でしか発雷しないことがわかる。なお、季節ごとの検証からは、特に春の信頼度が低いことがわかっている（図略）。

図3.2.19には、PoTの各確率を閾値として発雷の有無を決めた場合のスレットスコア（TS）を示している。沖縄を除き、20-25%を閾値として発雷ありとした場合に最もTSが高くなる。沖縄では精度が低く、高確率が出にくいいため、より低い確率値にも注目する必要がある。なお、ここで利用した実況は60km格子内での発雷である。飛行場気象実況通報の雷観測で検証した場合には、約35%を閾値とした場合に最もTSが高くなる（図略）。

前述したように、2008年5月27日からLAFを導入し、LAF及び最新初期値の2つのPoTを配信している。

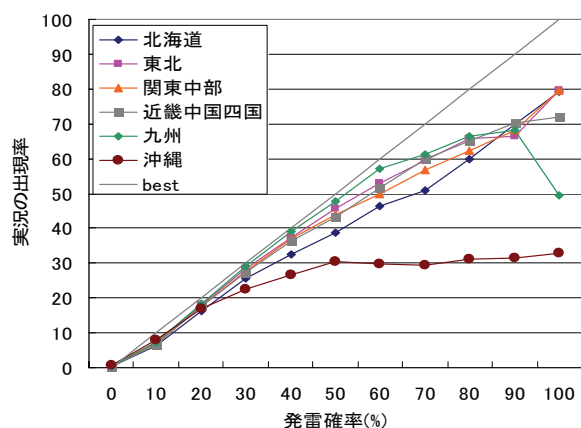


図3.2.18 発雷確率の信頼度曲線。検証は2007年9月～2008年8月で、各地方に属する格子で行った。bestは理想信頼度曲線。

⁵ 最新初期値に25,1 初期値前に22,...,8 初期値前に1と初期値が一つさかのぼるにつれて重みを3減らして平均する。ただし、15時間予報しかない初期値もあるため、途中抜ける。

図3.2.20は、両PoTのブライアスキルスコアを各予報時間で比較した図である。検証はLAF導入後の2008年6-8月で、全2566格子の事例をまとめて行っている。30,33時間後ではLAFが適用できないために同じスコアであるが、その他の時間はLAFの方が高い精度となっている。

(3) 利用上の留意点

PoTは2008年5月27日に改良され信頼度は向上したものの、依然実況出現率より高めの確率となっており、PoTより低い確率でしか発雷しない。特に70%以上（沖縄では40%以上）で顕著である。

PoTは60km格子内に発雷する確率としている。これは予測対象格子を60km格子と広めにして観測事例を増やすことによって、回帰分析の精度を上げ、かつ確率値にめりはりを付けるためである。しかし、広めに取ったために、夏の山岳域で確率が高いときに平野部でもやや高めの確率となる傾向がある。

一般的に発雷の少ない地域、時期には高い確率値が出にくい。このような場合には20%以下の低い確率値にも注目して頂きたい。

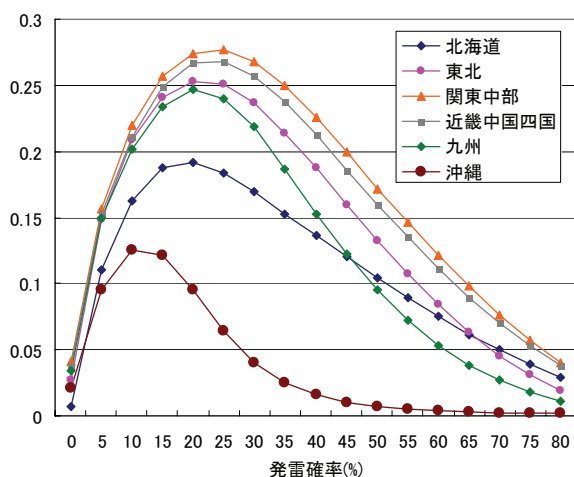


図3.2.19 各発雷確率を閾値として発雷の有無を予測した場合のスロットスコア。その他は図3.2.18に同じ。

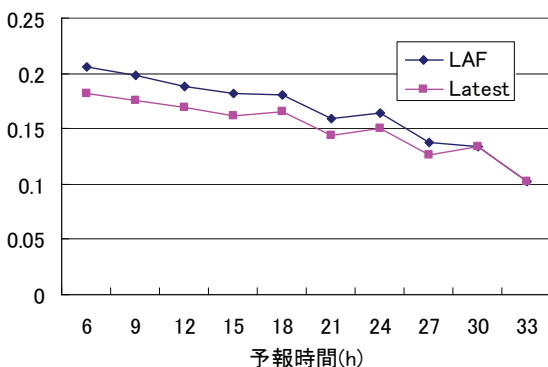


図3.2.20 予報時間ごとの発雷確率のブライアスキルスコア。LAFアンサンブル (LAF)、最新初期値 (Latest) の予測値を2008年6-8月の期間、全2566格子で検証した。

3.2.7 降雪量ガイダンス

(1) はじめに

本項では降雪量ガイダンスのうち、航空官署における降雪量地点ガイダンスの予報特性について説明する。第3.1.5項では全般的な検証結果を示したが、本項では航空官署に特化した検証結果を示す。降雪量地点ガイダンスの仕様等は第3.1.5項を参照していただきたい。全国の航空官署の中で積雪計が整備され、かつ航空アメダスとしてオンラインで観測値が入手できるのは北海道の航空官署のうち8地点（稚内空港、旭川空港、女満別空港、中標津空港、釧路空港、帯広空港、新千歳空港、函館空港）のみである。航空機の運航上、飛行場の降雪量予報は重要であるため、2008年3月11日00UTC初期時刻から降雪量地点ガイダンスの予報地点にこれらの航空官署8地点を追加した。

本項では新たに追加した航空官署8地点について、降雪量地点ガイダンスの予報特性を示す。なお、検証方法等は第3.1.5項と同じである。

(2) 北海道の航空官署における予報特性

図3.2.21に北海道の航空官署8地点（以下、航空）及び北海道の降雪量地点ガイダンスの予報地点（以下、一般）をそれぞれまとめた検証スコアを示す。ETSは閾値3～8cm/12hにかけて、航空は一般よりやや小さいが、それ以上の閾値では航空の方が大きい。航空は閾値1～4cm/12hにかけてBIが2近くになっている。これは予報頻度が観測頻度の2倍程度あることを意味しており、弱い降雪の頻度が多くなっている。図3.2.22に閾値3cm/12hのBIの分布図を示す。帯広空港（RJCB）、中標津空港（RJCN）を除き、BIが1よりも大きいことがわかる。この理由として、ニューラルネットワーク（以下、NRN）による学習が不十分な可能性がある。新しく追加した地点のNRN係数は、隣接地点のNRN係数をコピーしたものであるため、一定期間学習を行わないとその地点の特性になじまない。地点ごとの前12時間降雪量の時系列（図略）を確認してみると、NRN係数をコピーした地点とコピー元の地点の降雪量の予報値が非常に似ていることからわかる。今後、学習を行うことによって予報地点の特性にあったNRN係数に変化し、適切な降雪量が予報できると考えている。

(3) 利用上の留意点

航空は一般よりも予報精度がやや低くなっている。また、弱い降雪の予報頻度が多くなっているため、隣接地点との地域特性を考慮しながら降雪量予報値を適宜修正する必要がある。今後、学習が進むことによって、予報地点の降雪量特性に応じた予報値が出力されると考えられる。

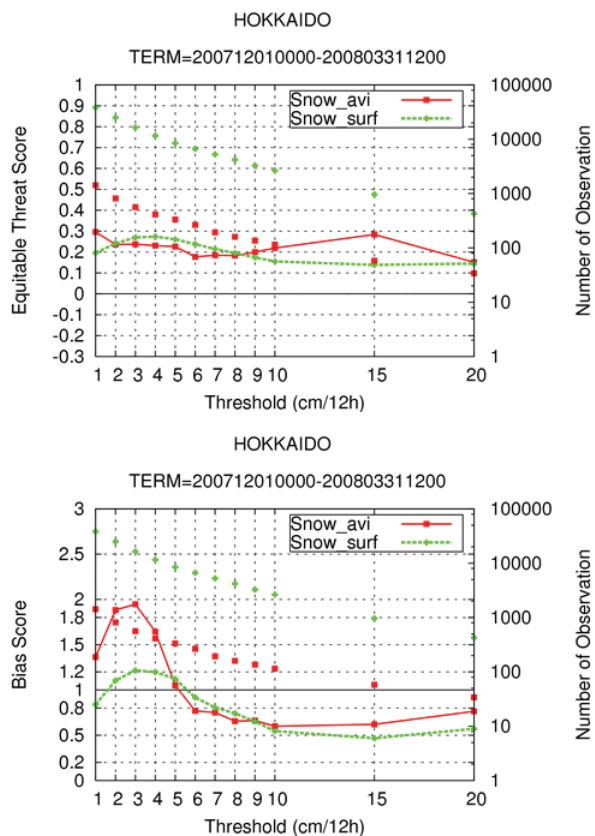


図3.2.21 北海道の航空官署（8地点）及び、北海道の降雪量地点ガイダンス計算地点（102地点）をそれぞれまとめた検証スコア。上：ETS、下：BI。緑線：北海道の降雪量地点ガイダンス計算地点。赤線：北海道の航空官署（8地点）。点：観測数。左縦軸：検証スコア、右縦軸：観測数、横軸：閾値（cm/12h）。

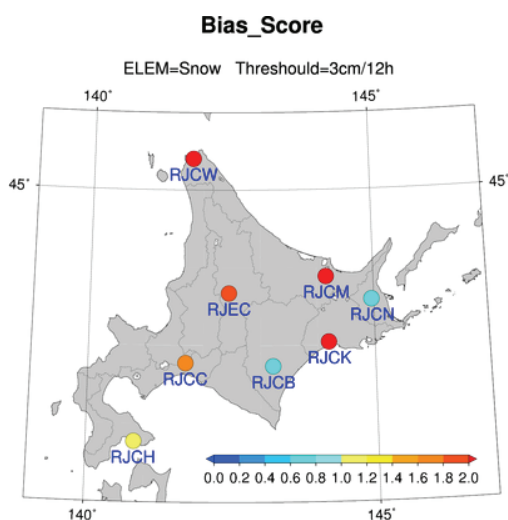


図3.2.22 北海道の航空官署におけるBI（閾値3cm/12h）の地点分布図。暖色系：予報頻度が観測頻度より多い。寒色系：予報頻度が観測頻度より少ない。

参考文献

- 安藤昭芳, 2007: お天気マップ. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 94-97.
- 井手和彦, 2007: 風ガイダンス. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 67-72.
- 小泉友延, 2007: 気温ガイダンス. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 60-66.
- 高田伸一, 2007: 航空気象予報ガイダンス. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 87-93.

3.3 空域支援資料¹

3.3.1 全球航空悪天GPVおよび北太平洋航空悪天GPV

2007年11月の高解像度全球モデル（GSM0711と表記）の運用開始時に、北太平洋航空悪天GPVの配信を開始した。また、全球航空悪天GPVで全球モデルの予報値から診断的に求めた積乱雲頂高度の配信を行っていたが、モデル変更のタイミングでその診断方法を見直し、熱帯域を中心とした積乱雲（Cb）の表現の改善を行うとともに北太平洋航空悪天GPVの配信要素としても配信を開始した。全球航空悪天GPVおよび北太平洋航空悪天GPVの仕様については松下（2007）を参照されたい。

本稿執筆時点でGSM0711運用開始から約9か月が経過し、数値化されたCbの観測データを利用可能な期間の予報事例が蓄積されたので、Cbの定量的な検証を行った。その結果の概要を述べる。

(1) 検証方法

検証格子はプロダクトの格子と同じ、全球航空悪天GPVが1.25度×1.25度の等緯度経度格子、北太平洋航空悪天GPVが0.5度×0.5度の等緯度経度格子とした。

Cb域の予測精度検証のための観測値は、雲量格子点情報（0.25度（緯度方向）×0.2度（経度方向）の等緯度経度格子）（徳野 2001、徳野 2002）の「対流雲量」を用いた。検証対象時刻の前後1時間以内（12UTCを検証時刻とする場合は、11UTC、12UTC、13UTC）の最大対流雲量を検証格子内で面積平均した値が5%以上の格子（検証格子）をCbあり、5%未満の格子をCbなしとした。あり、なしの閾値は検証格子でCbありの領域をプロットした時に、雲量格子点情報の対流雲量をそのままプロットしたもののとの視覚的な差が大きくなるように決定した。

予測データは、航空悪天GPVで積乱雲頂高度が予測されている格子をCbあり、それ以外の格子をCbなしとした。

検証期間は試験運用期間を含めた2007年9月26日00UTC～2008年7月24日18UTCまでの全初期時刻、予報時間は24時間を対象とした。検証対象領域は、雲量格子点情報の作成されている領域内（赤道～北緯52度、東経114度～東経180度）で、熱帯域（赤道～北緯25度）、中緯度域（北緯25度～北緯52度）および全域の3領域とした。

(2) 検証結果

図3.3.1に全球航空悪天GPVの季節別、領域別の

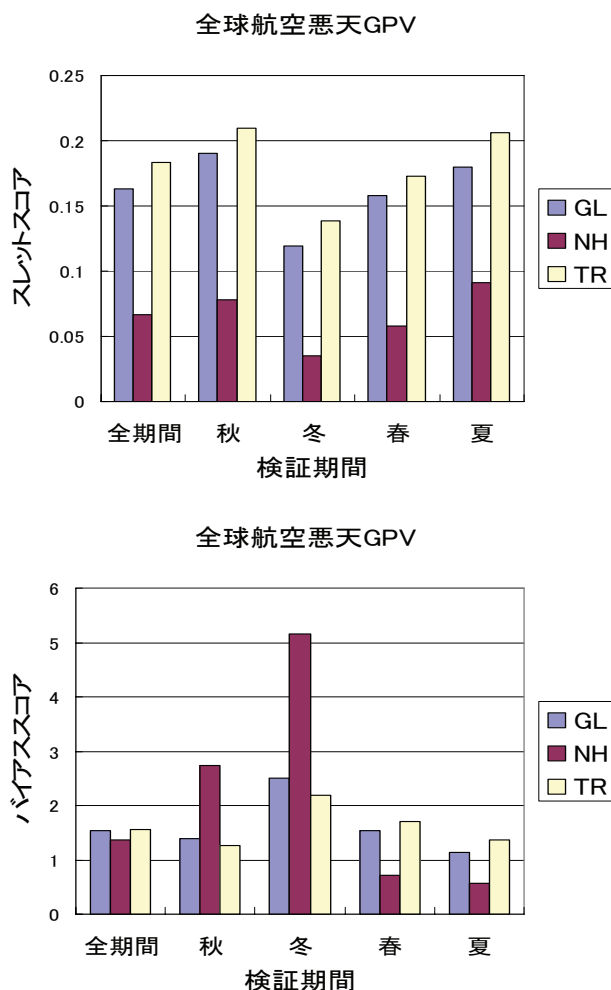


図3.3.1 全球航空悪天GPVにおけるCb域の予報スコア
上:スレットスコア 下:バイアスコア
GL:全域 NH:中緯度域 TR:熱帯域
秋:2007年9月26日～2007年11月30日
冬:2007年12月1日～2008年2月29日
春:2008年3月1日～2008年5月31日
夏:2008年6月1日～2008年7月24日

Cb域の予報スコア（スレットスコアおよびバイアスコア）を示す。Cb域の診断検出方式に現在の手法を導入した時に予報精度改善の主なターゲットとした熱帯域では、バイアスコアが1.25～2.19とやや大きすぎるものの、スレットスコアは0.13～0.21と全期間を通して比較的良好な成績を示している。

一方中緯度域においては全体的にスレットスコアが低くまた観測されたCb域の出現頻度が季節により大きく変動（最大10倍程度）しているにもかかわらず、予測されたCb域の出現頻度の季節変動は相対的に小さいため（最大3倍程度）、バイアスコアの季節変動が非常に大きくなっている（0.56～5.15）。

北太平洋航空悪天GPVの予報精度（図略）も全球航空悪天GPVと同じ傾向を示すが、スレットスコアは低くなる。これは、北太平洋航空悪天GPVの検証格子のサイズが相対的に小さく、発生頻度の小さい現象をスレットスコアで評価した場合は不利となる

¹ 3.3.1 松下 泰広 3.3.2, 3.3.3 工藤 淳

ためである（この傾向はETSを用いて評価を行った場合でも同様である）。このことは、Cb域のGPVを利用する際は、個々の格子の値に注目するのではなく、一定の広がりを持った分布として利用する方が良い事を示唆している。

中緯度域については、今後予報精度の改善が必要である。また、熱帯域の予測についてはバイアスコアが大きすぎる傾向があるためこの点についても改善方法を検討する必要がある。

(3) まとめ

2007年11月から運用を開始した、全球および北太平洋航空悪天GPVのCb域の定量的な評価を行った。熱帯域については、ある程度の予報精度があるが、中緯度域の予報精度は改善が必要である。2008年8月から全球モデルは適合格子(RGG)版の運用が開始されているため、RGG版GSMの業務化試験の結果などを利用してパラメータのチューニング等により予報精度の向上を試みる予定である。また観測値として用いた雲量格子点情報について、今回検証を行った期間におけるCbの出現頻度は季節変動が非常に大きく、このことが予報成績に大きく影響したと思われる。このような大きな季節変化が今検証期間特有の現象なのか通常の変動の範囲なのか、過去のデータを用いて確認したい。

3.3.2 国内航空悪天 GPV

(1) はじめに

国内航空悪天 GPV は、国内の空域予報作成を支援するための格子点資料である。格子系は水平40km間隔のポーラステレオ座標、鉛直2000ft間隔のフライトレベル（以下FLと記す）面で、風や気温等の一般的な気象要素のほか、乱気流指数、積乱雲量、積乱雲頂高度、圏界面気圧をMSMのモデル面GPVから算出している。GPVは統合ビューワでの表示やFAX図(FB JP112-412、FX JP106, 112)の作成に利用されているほか、防衛省や民間航空会社へも提供されている。2001年3月の運用開始以来、積乱雲量の改良、積乱雲頂高度の追加、乱気流指数の改良等を行っており、2008年8月13日には航空機への着氷を予測するための指数（以下、着氷指数(ICING)）と高度(Z)を、部内向けに新規に追加した。

本項ではまず、新規に開発した着氷指数の算出方法について述べ、続いて着氷指数の統計検証結果と事例を示す。次に乱気流指数として算出している鉛直ウィンドシアの乱気流予測精度と、乱気流予測のための閾値について述べる。なお、航空機への着氷および日本周辺での着氷の統計調査については、工藤(2006)を参照されたい。

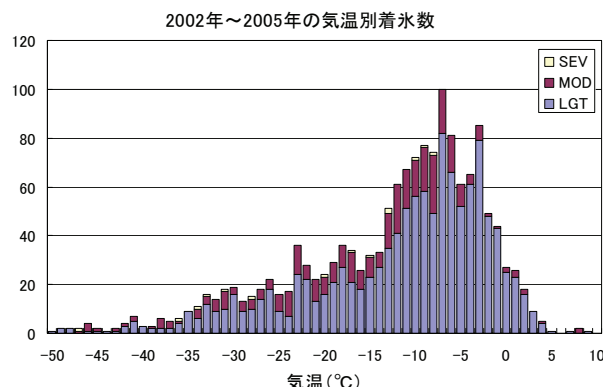


図 3.3.2 着氷の頻度と直近の国内悪天 GPV で予想された気温の関係。強 (SEV)、並 (MOD)、軽 (LGT) はそれぞれ着氷の強度を示す。

(2) 着氷指数の開発

(2.1) 従来の着氷予測手法

飛行中に発生する着氷の原因となるのは、過冷却水滴、着氷性の雨、水蒸気、氷晶である。これらのうち、日本周辺に限った場合には、着氷の主な原因は過冷却水滴であると考えられる（例えば中山(1996)など）。このため、航空機への着氷を予測する場合には、過冷却水滴の有無や量を見積もることが重要となる。着氷を予測する手法として、これまでは-8D法(Godske et al. 1957)や0°C～-20°Cを目安にする方法（航空気象予報作業指針第4章）が用いられてきた。

-8D法は、気温 T (°C) と露点温度 T_d (°C) から、霜点温度 T_f (°C) を $T_f = -8(T - T_d)$ と近似し、氷面に対して過飽和であるとき、すなわち $T < -8(T - T_d)$ ならば着氷が発生するという判別方法である。-8D法は簡便な計算式で過冷却水滴の有無を判別できるため、計算機が現在ほど発達していない時代においては実用的な手法であったと言える。ただし Godske et al. (1957) でも述べられている通り、近似の精度は気温-13°C程度までは良いものの、それ以下では悪くなることに注意しなければならない。例えば気温-48°Cでは、 $T - T_d$ が6°C以下であれば着氷が発生することになってしまうが、実際には気温-40°C以下では過冷却水滴の量が少ないため、着氷はほとんど発生しない。Godske et al. (1957) によれば、着氷の多くは0°C～-13°Cで発生しているとのことであり、この温度帯に着目していた当時は近似の誤差による影響は小さかった。このような-8D法の特性を考慮したためと考えられるが、FAX図(FB JP312)では、-8D法の判別条件に加えて気温が-20°C以上である領域を着氷域として表示している(菊池 1983)。

一方空域予報の現業では、雲中の悪天域で0°C線と-20°C線で囲まれる領域を着氷域としている。こ

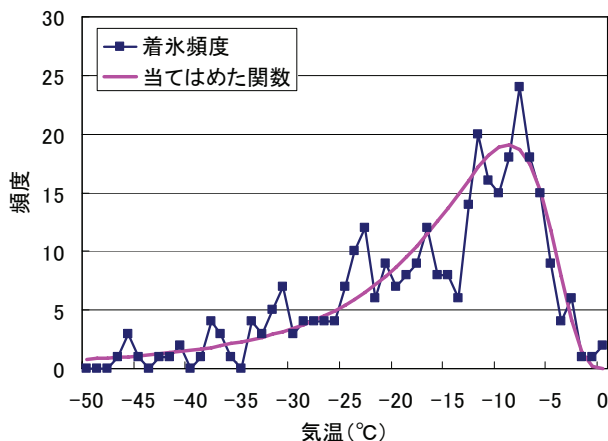


図 3.3.3 2002 年から 2005 年の並以上の着氷頻度と直近の国内悪天 GPV で予想された気温の関係。

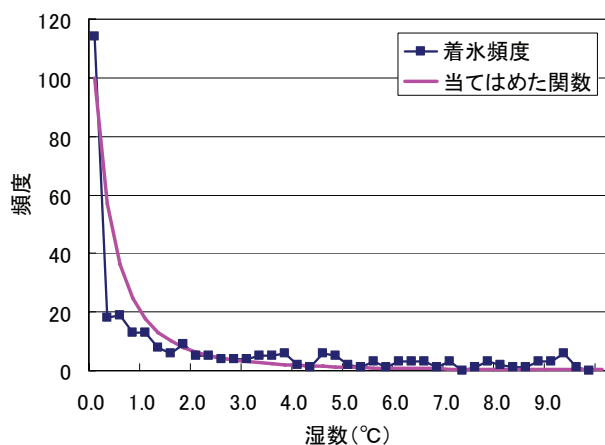


図 3.3.4 2002 年から 2005 年の並以上の着氷頻度と直近の国内悪天 GPV で予想された湿数の関係。

これは過去の文献や統計調査で、着氷の多くは 0℃～-20℃で発生し、-20℃以下では強い着氷は発生しにくいとされているためである。しかしこの調査は行われた時期が古く、現在の着氷の実態と合っていない可能性がある。そこで近年の各航空機観測（C-PIREP, PIREP, ARS）で報じられた着氷の実況と、直近の初期値の国内航空悪天 GPV の気温および湿数の関係を改めて調査したところ（工藤 2006）、-20℃以下であっても無視できない頻度で着氷が発生していることが分かった（図 3.3.2）。従来の調査と結果が異なるのは、航空機の飛行性能の向上により、高速または高高度での飛行が可能になったためと考えられる。

(2.2) 着氷指数の作成

過冷却水滴による着氷を予測しようとした場合、過冷却水滴の量を見積もることが第一であるが、この他にも過冷却水滴の粒の大きさや、飛行中の機体が空気の圧縮や摩擦によって加熱される効果なども影響するため、これらを含めて正確に予測すること

は難しい。そこで、過冷却水滴が存在する条件や過冷却水滴の量などを見積もるのではなく、並以上の着氷の発生頻度に基づいた指数を作成することにした。

図 3.3.3 と図 3.3.4 に、工藤（2006）の統計調査による、気温と並以上の着氷頻度の関係および、湿数と並以上の着氷頻度の関係を示す。統計期間は 2002 年から 2005 年の 4 年間である。気温 -8℃付近で多くの着氷が発生している点は従来の調査結果と概ね一致しているが、-20℃以下でも全体の 3 分の 1 程度の着氷が発生している点は大きく異なる。湿数については 0 に近いほど発生頻度が多くなっている。これらの頻度分布から着氷の予測指数を作成するために、気温に対する頻度を

$$\text{頻度} = \frac{-7 \times 10^8 \times (T-3)^{-5}}{\exp\{-60/(T-3)\}-1}$$

という関数で、湿数に対する頻度を

$$\text{頻度} = \frac{100}{(T-Td+1)^{2.5}}$$

という関数で当てはめる。これらの関数は図中に赤線で示している。着氷指数（ICING）はこれら 2 つを掛け合わせ、最大値が 100（最小値は 0）になるような規格化定数 C を掛けたものとする。すなわち、

$$ICING = C \times \frac{-7 \times 10^8 \times (T-3)^{-5}}{\exp\{-60/(T-3)\}-1} \times \frac{100}{(T-Td+1)^{2.5}}$$

とする。ただし Td については、Td>T の場合は Td=T とする。

(2.3) 着氷指数の検証

着氷の実況には、C-PIREP, PIREP, ARS による着氷の通報を用いる。着氷は湿度が高ければ雲の外でも発生しうるが、雲の外から報じられた着氷の通報は誤りであることが多いため、検証では晴天（Clear）と報じられた通報は除外する。各通報で位置または高度が 2 地点間で報じられた場合にはその中点を対象に検証を行うが、水平 240km 以上または鉛直 6000ft 以上にわたって報じられた通報は検証には使用しない。検証期間は、MSM が 20kmGSM を境界として算出されるようになった 2007 年 11 月 21 日から 2008 年 8 月 12 日までとする。予報は 09UTC と 21UTC 初期値のみ使用する。予報時間は 4～15 時間で検証し、図には全予報時間の検証結果を足し合わせたものを示す。比較のために、以下の 5 つの指数についても検証する。

・-8D 法による指数（M8D）

-8D 法の判別条件 $T < -8 (T-Td)$ より、

$$M8D = -T - 8(T-Td)$$

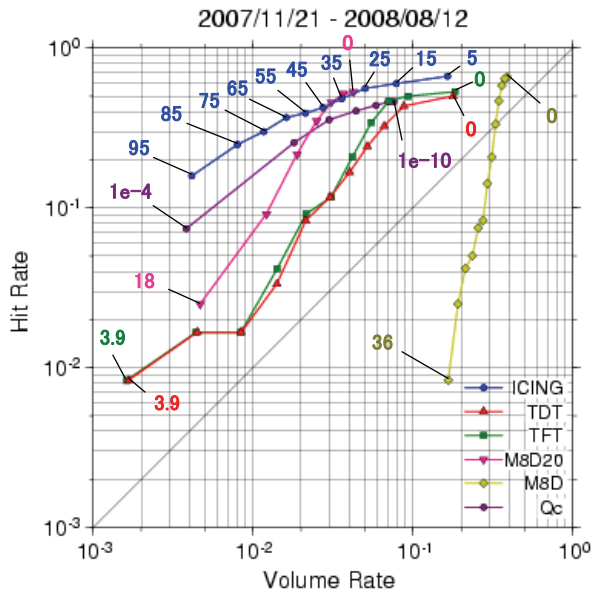


図 3.3.5 並以上の着氷に対する各種着氷指数の閾値別の予測精度。横軸は体積率、縦軸は捕捉率を示す。図中の数値は各指数の閾値で、ICING 以外は最大と最小の閾値のみ表示している。TDT、TFT、M8D、M8D20 の単位は℃、Qc の単位は kg/kg である。

とした指数。M8D>0 であれば着氷の可能性があると考え。

- -8D 法かつ気温-20℃以上 (M8D20)
FBJP312 で用いられている判別条件。T≥-20℃で M8D>0 であれば着氷の可能性があると考え。
- 氷面に対して過飽和である条件 (TDT)
Tetens の式により露点温度 Td を求め、

$$TDT = Td - T$$

とした指数。TDT>0 であれば着氷の可能性があると考え。

- 氷面に対して過飽和である条件 (TFT)
Tetens の式により霜点温度 Tf を求め、

$$TFT = Tf - T$$

とした指数。TFT>0 であれば着氷の可能性があると考え。TFT は M8D の近似による誤差を小さくした指数である。

- 雲水の比湿 (Qc)
MSM の雲物理過程で算出された雲水の比湿 (Qc)。T<0℃で Qc が大きいほど過冷却水滴が多く、着氷が発生しやすいと考える。

図 3.3.5 に、各指数の閾値を変化させて並以上の着氷を予測した場合の捕捉率 (Hit Rate) と体積率 (Volume Rate) を示す。捕捉率と体積率の定義は巻末の付録 B を参照されたい。捕捉率は全ての状況

あり通報数に対する、現象ありとした領域から報じられた実況あり通報数の割合である。体積率は、全ての通報数に対する、現象ありとした領域から報じられた通報数の割合であり、航空機が悪天を避けずに飛行した場合には、全領域に対する悪天予報領域の割合に近づく。体積率が等しい予報を比べた場合には捕捉率が大きいほど良い予報であり、捕捉率が等しい予報を比べた場合には体積率が小さいほど良い予報であるため、図 3.3.5 では左上にあるほど予報精度が高いと言える。図から、ICING は他の指数と比べて最も予報精度が高いことが分かる。-8D 法は、指数を単独で用いた場合の精度は非常に悪いが、気温-20℃以上という条件を付加することで予測精度は大幅に向上する。ただし気温-20℃以下でも無視できない頻度で着氷が発生していること (図 3.3.3) を考慮すると、-20℃以上という条件は実態に合った付加条件ではない。Qc は着氷の主な原因となる過冷却水滴の量を直接的に表した指数であるが、現状では ICING と比べると精度は悪い。

(2.4) 着氷の事例

検証期間中に並以上の着氷が多く通報された事例を 3 例示す。

① 台風と停滞前線に伴う着氷 (2007 年 11 月 27 日)

台風や熱帯低気圧から湿潤な空気が前線に向かって流れ込むとき、その雲中では着氷が発生しやすくなる。図 3.3.6 に 2007 年 11 月 27 日 06UTC の赤外面像と速報天気図および、27 日 03UTC から 09UTC にかけて報じられた並以上の着氷の実況を示す。沖縄の南には台風第 23 号があって、その北東には停滞前線がのびている。赤外面像では台風から繋がる雲域が日本の広い範囲に掛かっている。この雲の中の FL180~FL300 で、並の着氷が 6 通、強の着氷が 1 通報された。なお、この日は並以上の着氷が 13 通報じられ、国内で通報された 1 日の着氷数としては 2001 年以降で最も多い日であった。

図 3.3.7 に 26 日 21UTC 初期値の 9 時間予報の ICING と M8D を気温と共に示す。それぞれ上段が東経 135 度に沿った断面図、下段が FL230 の平面図、左図が ICING、右図が M8D である。断面図には北緯 35 度の地点を示す縦線と着氷が報じられた上端と下端の高度を示す横線を、平面図には断面線を示してある。ICING は 15 以上を、M8D は 0 以上を塗りつぶして表示している。着氷報告の上端高度である FL300 の気温はおおよそ-30℃であり、従来の予測手法である 0℃~-20℃を目安にする方法や、-8D 法に気温-20℃以上という条件を付加する方法では予測の範囲外であったことが分かる。気温-20℃以上という条件を付加しない場合には、-8D 法でも FL180~FL300 で報告された着氷の実況を

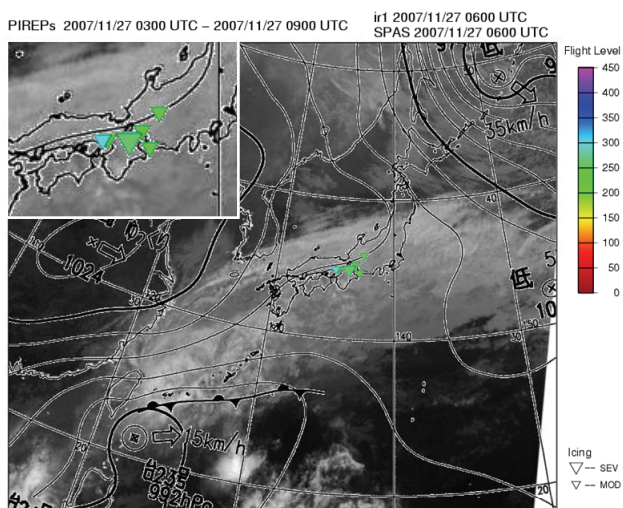


図 3.3.6 2007 年 11 月 27 日 06UTC の赤外面像と速報天気図およびその前後 3 時間の並 (MOD) と強 (SEV) の着氷実況。シンボルの色は高度 (フライトレベル) を、大きさは強度を示す。

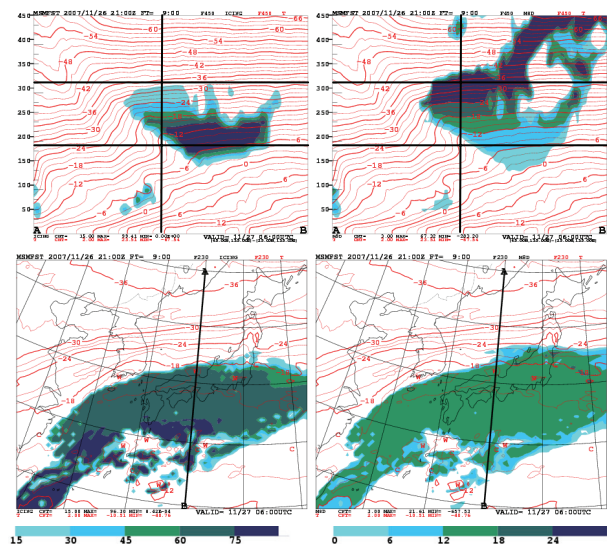


図 3.3.7 2007 年 11 月 26 日 21UTC 初期値の MSM から算出した 9 時間予報の着氷指数 (ICING) と気温 (左)、および-8D 法による判別指数 (M8D) と気温 (右)。ICING と M8D を塗りつぶしで、気温を赤の等値線で示す。上段は東経 135 度に沿った断面で縦軸の単位はフライトレベル (FL)、下段は FL230 (23000ft) の平面図。上段の断面図の縦線は北緯 35 度を、横線は着氷が報じられた高度の上端 (FL300) と下端 (FL180) を示す。

捕捉することはできている。しかし図 3.3.7 右上図の通り、M8D は FL300 以上でも指数の値が大きくなっており、空振りが多くなっている。図 3.3.5 で、M8D は閾値を大きくしていく (体積率を小さくしていく) と急激に捕捉率が小さくなるのは、本来は着氷がほとんど発生しないような低温であっても指数の値が大きくなってしまったためである。これに対して ICING は、閾値を 15 以上とした場合に、着氷が報告された高度とほぼ一致する予想ができています。

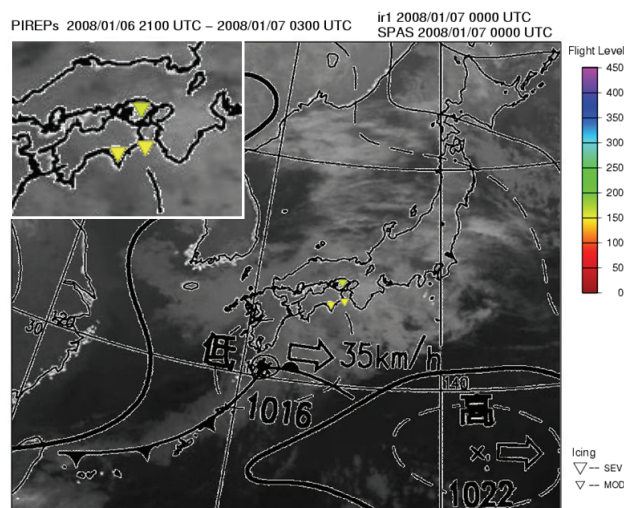


図 3.3.8 2008 年 1 月 7 日 00UTC の赤外面像と速報天気図およびその前後 3 時間の並 (MOD) と強 (SEV) の着氷実況。シンボルの色は高度 (フライトレベル) を、大きさは強度を示す。

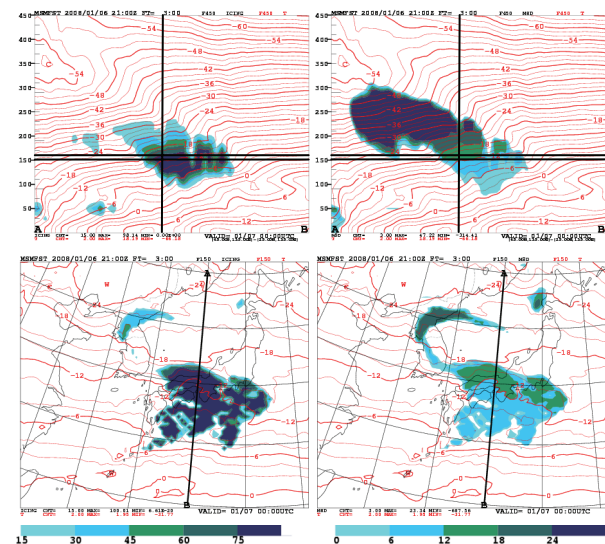


図 3.3.9 2008 年 1 月 6 日 21UTC 初期値の MSM から算出した 3 時間予報の着氷指数 (ICING) と気温 (左)、および-8D 法による判別指数 (M8D) と気温 (右)。ICING と M8D を塗りつぶしで、気温を赤の等値線で示す。上段は東経 135 度に沿った断面で縦軸の単位はフライトレベル (FL)、下段は FL150 (15000ft) の平面図。上段の断面図の縦線は北緯 35 度を、横線は着氷が報じられた高度の上端 (FL160) と下端 (FL150) を示す。

② 温暖前線前面での着氷 (2008 年 1 月 7 日)

温暖前線前面の雲域では着氷が報告されることが多い。図 3.3.8 に 2008 年 1 月 7 日 00UTC の赤外面像と速報天気図および、6 日 21UTC から 7 日 03UTC にかけて報じられた並以上の着氷の実況を示す。前線を伴った低気圧が種子島付近にあり、温暖前線前面の雲域が西日本から東日本に掛かっている。この雲の中の FL150~FL160 で並の着氷が 3 通報じられた。

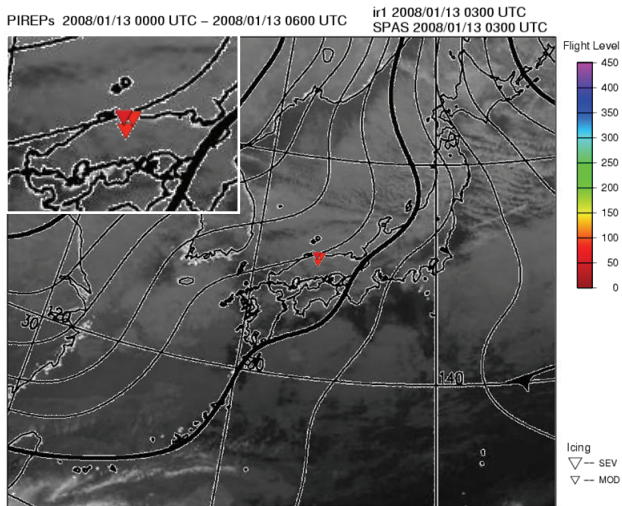


図 3.3.10 2008 年 1 月 13 日 03UTC の赤外画像と速報天気図およびその前後 3 時間の並 (MOD) と強 (SEV) の着氷実況。シンボルの色は高度 (フライトレベル) を大きさは強度を示す。

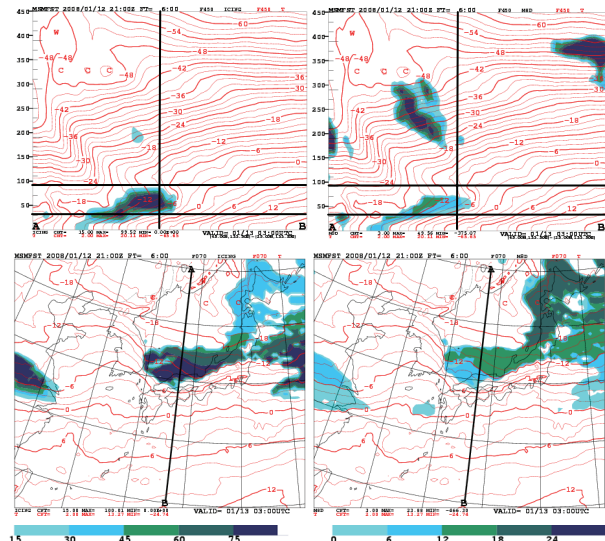


図 3.3.11 2008 年 1 月 12 日 21UTC 初期値の MSM から算出した 6 時間予報の着氷指数 (ICING) と気温 (左)、および -8D 法による判別指数 (M8D) と気温 (右)。ICING と M8D を塗りつぶしで、気温を赤の等値線で示す。上段は東経 133.5 度に沿った断面で縦軸の単位はフライトレベル (FL)、下段は FL070 (7000ft) の平面図。上段の断面図の縦線は北緯 35 度を、横線は着氷が報じられた高度の上端 (FL090) と下端 (FL030) を示す。

図 3.3.9 に 2008 年 1 月 6 日 21UTC 初期値の 3 時間予報の ICING と M8D を示す。図 3.3.9 の下段が FL150 の平面図である以外は、表示している要素は図 3.3.7 と同じである。着氷が発生した付近の気温は $-10^{\circ}\text{C} \sim -12^{\circ}\text{C}$ であり、着氷が発生しやすい状況であったと言える。ICING は FL130 付近で極大となっているのに対し、M8D では FL270 (気温 -46°C) 付近で極大となっており不自然な表現となっている。

③ 冬型降水時の着氷 (2008 年 1 月 13 日)

図 3.3.10 に 2008 年 1 月 13 日 03UTC の赤外画像と速報天気図および、13 日 00UTC から 06UTC にかけて報じられた並以上の着氷の実況を示す。日本付近は冬型の気圧配置となっており、米子ではあられを伴う雨やみぞれが観測されていた。米子の上空 FL030~FL090 では並の着氷が 3 通報じられた。

図 3.3.11 に 2008 年 1 月 12 日 21UTC 初期値の 6 時間予報の ICING と M8D を示す。上段が東経 133.5 度に沿った断面図で、下段が FL070 の平面図である以外は、表示している要素は図 3.3.7 と同じである。右上図を見ると、M8D で着氷が予想されている高度は FL050~FL070 であり、実況よりも高度の幅が狭い。これに対して ICING は、閾値を 15 以上とした場合に、着氷が報告された高度とほぼ一致する予報ができています。

(2.5) 着氷指数の利用上の留意点

着氷指数は C-PIREP, PIREP, ARS で報じられた着氷の実況を元に作成した指数である。これらの航空機観測は主に大型機から報じられるため、ICING は大型機を対象とした予測指数となっている。着氷の影響は防水・除氷装置が十分ではない小型機ほど受けやすいが、現状では小型機への着氷に関する実況資料がなく、また国内悪天予想図 (FBJP) でも大型機を基準に予測を行っていることから、当面の間、ICING は大型機への着氷を予測するための指数とする。指数の値は 0 から 100 の値を取るように規格化しているが、これは便宜的なものであり、確率を表すものではない。

着氷指数を用いて並以上の着氷を予測する場合の閾値は、(2.4) で示した事例や検証期間中のその他の事例から、当面は $\text{ICING} \geq 15$ を目安とするのが良いと考える。 ICING の閾値を 15 として予想した場合の体積率は約 7.8% であり (図 3.3.5)、これは -8D 法による予想 ($\text{M8D} > 0$) の体積率 (約 39%) よりも小さく、-8D 法に気温 -20°C 以上という条件を付加した予想 ($\text{M8D}_{20} > 0$) の体積率 (約 4.3%) よりも大きい。(2.4) の事例で示したように、M8D による予測は過大で、M8D₂₀ による予測はやや過小であると思われることから、着氷予測の目安を $\text{ICING} \geq 15$ 程度とするのは妥当であると考えます。

熱的不安定による対流雲など、スケールの小さな対流雲に対しては格子スケールでの湿数は 0 に近くならないため、着氷指数による着氷予測は不十分になってしまう。このような場合、対流雲中では湿数は 0 に近いと考え、 $T - T_d = 0$ で $\text{ICING} \geq 15$ となる気温がおおよそ $-3^{\circ}\text{C} \sim -32^{\circ}\text{C}$ であることから、対流雲を予測する領域の -3°C 線と -32°C 線で囲まれる領域を着氷域として予測し、着氷指数による予測を補う

ことが有効であると考えられる。

(3) 乱気流指数の検証

国内航空悪天 GPV では、乱気流指数として鉛直ウィンドシア（VWS）を算出している。2007 年 5 月からは、鉛直ウィンドシアを 2000ft 毎の各フライトレベル面の上下 1000ft の風から算出するよう変更した（工藤 2007）。ここでは 2007 年 11 月に行われた GSM 高解像度化以降の乱気流指数の検証結果を示す。

検証期間は 2007 年 11 月 21 日から 2008 年 8 月 12 日とする。GPV は 09UTC と 21UTC 初期値のみ使用する。予報時間は 4～15 時間で検証し、図には全予報時間の検証結果を足し合わせたものを示す。乱気流の実況には、C-PIREP, PIREP, ARS による乱気流の通報を用いる。鉛直ウィンドシアは晴天乱気流を予測するための指標であるため、雲の外から報じられたと推定される通報（工藤 2005）のみ検証の対象とする。各通報で位置または高度が 2 地点間で報じられた場合にはその中点を対象に検証を行うが、水平 240km 以上または鉛直 6000ft 以上にわたって報じられた通報は検証には使用しない。比較のために、乱気流予測のために有効と考えられている以下の 5 つの指数についても検証を行う。

- ・リチャードソン数（Ri）

$$Ri = \frac{g/\theta \times d\theta/dz}{VWS^2}$$

- ・気温の水平傾度の大きさ（GRADT）

$$GRADT = \sqrt{(\partial T/\partial x)^2 + (\partial T/\partial y)^2}$$

- ・Dutton 指数（DI）

$$DI = 1.25 \times 10^5 \times HWS + 0.25 \times 10^6 \times VWS^2 + 10.5$$

- ・Ellrod 指数 1（TI1）

$$TI1 = VWS \times DEF$$

- ・Ellrod 指数 2（TI2）

$$TI2 = VWS \times (DEF + CVG)$$

ここで、 g は重力加速度、 θ は温位、 T は気温、 HWS は水平ウィンドシア、 DEF は変形、 CVG は水平収束である。

図 3.3.12 に各指数の閾値を変化させて並以上の乱気流²を予測した場合の捕捉率（Hit Rate）と体積率（Volume Rate）を示す。捕捉率と体積率の定義および図の見方は図 3.3.5 と同じである。検証期間中の並以上の乱気流の気候学的出現率は約 1.3%

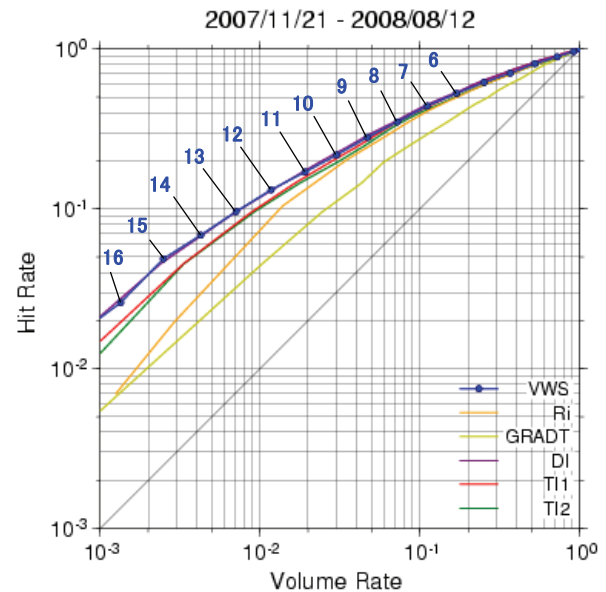


図 3.3.12 各種乱気流指数の閾値別の並以上の乱気流に対する予測精度。横軸は体積率、縦軸は捕捉率を示す。図中の数値は VWS の閾値で単位は kt/1000ft。

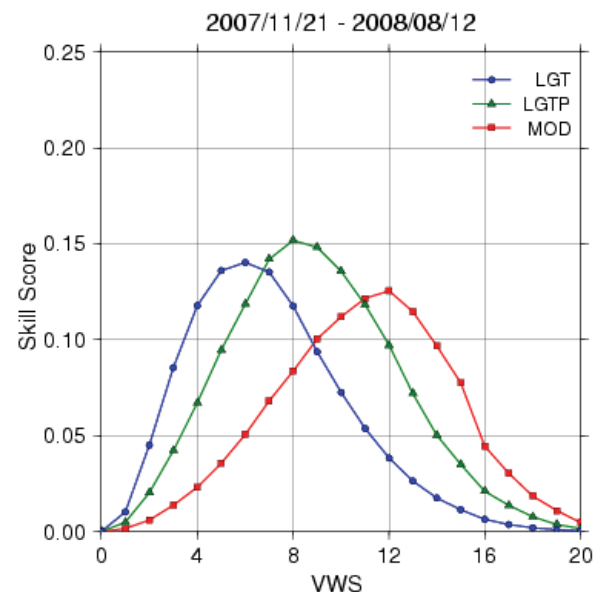


図 3.3.13 軽 (LGT) 以上、軽+ (LGTP) 以上、並 (MOD) 以上の乱気流に対する、鉛直ウィンドシア（VWS、単位は kt/1000ft）の閾値別のスキルスコア。

であった。体積率が 1.3% である付近 ($1 \times 10^{-2} \sim 2 \times 10^{-2}$) で比較すると、VWS と DI の捕捉率が最も高く、TI1 と TI2 もほぼ同等である。Ri はこれらに次ぐ結果となっている。GRADT は単独の指数としての精度は悪い。体積率が大きいところ（例えば VWS の閾値が 6kt/1000ft 以下）で比べると、DI や TI1 は VWS よりも捕捉率が大きくなっているが、予報作業上はあまり意味のない差である。図には示さないが、MSM の乱流パラメタリゼーションで算出された乱流エネルギーおよび水平ウィンドシア

² 乱気流の強度については大林（2001）等を参照。

についても同様に検証してみると、いずれも Ri と GRADT の中間の精度であった。

図 3.3.13 に、軽 (LGT) 以上、軽+ (LGTP) 以上、および並 (MOD) 以上の乱気流に対する、鉛直ウィンドシアの閾値別のスキルスコアを示す。強 (SEV) の乱気流に関しては、検証期間中の実況が 62 (気候学的出現率 0.023%) と少なかったためここでは評価しない。スキルスコアが最大となるのはそれぞれ、LGT 以上が 6kt/1000ft、LGTP 以上が 8kt/1000ft、MOD 以上が 12kt/1000ft である。図は省略するが、エクイタブルスレットスコアについても同様の結果であった。乱気流予測の体積率が MOD 以上の乱気流の気候学的出現率 (1.3%) と等しくなる閾値は約 12kt/1000ft である (図 3.3.12) が、これは MOD 以上の乱気流に対するスキルスコアが最大となる閾値と一致していることが分かる。図等は省略するが、同様のことは LGT 以上や LGTP 以上の乱気流についても当てはまった。これらのことから、国内航空悪天 GPV の乱気流指数 (鉛直ウィンドシア) を単独で用いて乱気流予測を行う場合には、スキルスコアやエクイタブルスレットスコアが最大となる値を閾値とすると、気候学的出現率と体積率がほぼ等しく、かつ最もスキルの高い予報ができると言える。また、検証の対象とする高度を FL240 以下とした場合や FL240 以上とした場合でも、スキルスコアやエクイタブルスレットスコアが最大となる閾値は全高度を対象とした場合とほぼ同じであった (図は省略)。

(4) まとめ

着氷指数の開発を行い、2008 年 8 月 13 日から国内航空悪天 GPV での運用を開始した。これにより、乱気流や積乱雲と同様に、モデルから算出された指数に基づく着氷予測が可能となる。(2.5) で述べた点に留意の上、空域の予報作業に役立ててもらいたい。

乱気流指数の検証を行い、国内悪天 GPV で算出している鉛直ウィンドシアが、Dutton 指数や Ellrod 指数、リチャードソン数等と比較して同等以上の精度を持つことを示した。また、乱気流指数を単独で用いた場合に最も予報スキルが高くなる閾値を示した。この値を基準とすることで、最適な乱気流予報が可能となると考える。

3.3.3 航空毎時大気解析

(1) はじめに

航空毎時大気解析は、毎時大気解析のモデル面解析値から、風、気温、鉛直ウィンドシアを水平 40km 間隔のポーラステレオ座標、鉛直 2000ft 間隔のフライトレベル (以下 FL と記す) 面で算出し

た GPV である。航空毎時大気解析の GPV から作成された毎時の平面図および鉛直断面図は、航空気象情報提供システムを通して航空ユーザに提供されている。また、GPV は防衛省および民間航空会社へも提供されている。

2007 年 3 月 22 日からは毎時大気解析の解析手法が 3 次元変分法に変更され (藤田 2007)、2007 年 10 月 17 日からは鉛直ウィンドシアを、国内航空悪天 GPV の手法 (工藤 2007) と同様に、各 FL 面の上下 1000ft の風から算出するよう変更した。本項では、MSM が 20kmGSM を境界として算出されるようになった 2007 年 11 月 21 日以降の航空毎時大気解析の検証結果について述べる。

(2) 検証

航空毎時大気解析の鉛直ウィンドシアと乱気流の対応を検証する。乱気流の実況には各航空機観測 (C-PIREP, PIREP, ARS) による乱気流通報を用いる。鉛直ウィンドシアは晴天乱気流を予測するための指標であるため、雲の外から報じられたと推定される通報 (工藤 2005) のみ検証の対象とする。各通報で位置または高度が 2 地点間で報じられた場合にはその中点を対象に検証を行うが、水平 240km 以上または鉛直 6000ft 以上にわたって報じられた通報は検証には使用しない。検証期間は 2007 年 11 月 21 日から 2008 年 8 月 12 日とする。

図 3.3.14 に、毎時大気解析 (analysis) の鉛直ウィンドシア (VWS) の閾値別の、並以上の乱気流³に対する捕捉率 (Hit Rate) と体積率 (Volume Rate) を示す。捕捉率と体積率の定義は巻末の付録 B を参照されたい。捕捉率は全ての実況あり通報数に対する、現象ありとした領域から報じられた実況あり通報数の割合である。体積率は、全ての通報数に対する、現象ありとした領域から報じられた通報数の割合であり、航空機が悪天を避けて飛行した場合には、全領域に対する現象ありとした領域の割合に近づく。体積率が等しい場合には捕捉率が大きいほど精度が良く、捕捉率が等しい場合には体積率が小さいほど精度が良いので、図の左上にあるほど精度が高いと言える。比較のために、毎時大気解析の第一推定値 (guess) に使用されている MSM の 2~4 時間予報値を元に算出された、鉛直ウィンドシアの閾値別の検証結果も示している。図を見ると、全ての閾値において analysis は guess を上回っており、航空毎時大気解析は第一推定値よりも乱気流との対応が良いということが分かる。

検証期間中の並以上の乱気流の気候学的出現率は約 1.3% であった。航空毎時大気解析で体積率が

³ 乱気流の強度については大林 (2001) 等を参照。

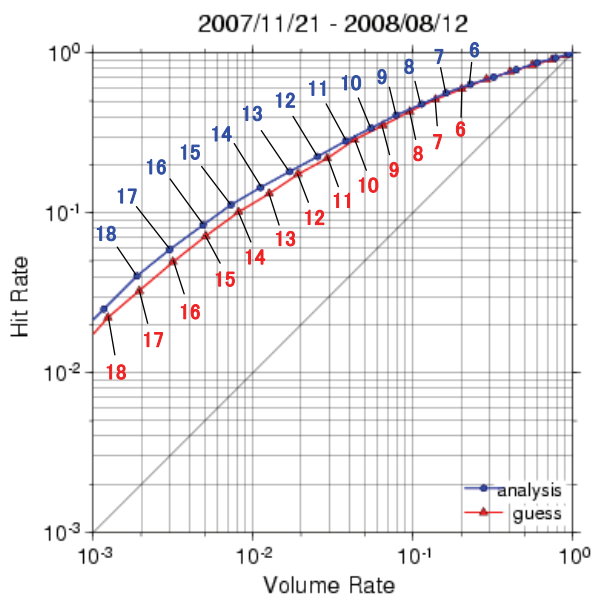


図 3.3.14 並以上の乱気流に対する、航空毎時大気解析 (analysis) と第一推定値 (guess) の鉛直ウィンドシアアの閾値別の捕捉率 (Hit Rate) と体積率 (Volume Rate)。図中の数値の単位は kt/1000ft。

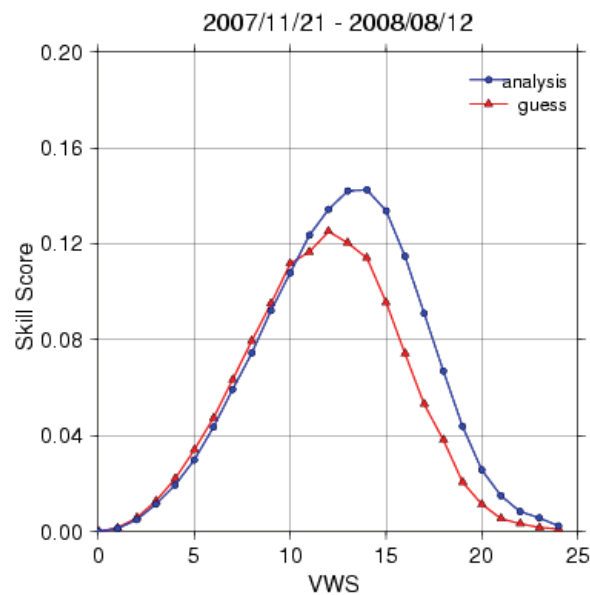


図 3.3.15 並以上の乱気流に対する、航空毎時大気解析 (analysis) と第一推定値 (guess) の鉛直ウィンドシアア (VWS, 単位は kt/1000ft) の閾値別のスキルスコア。

1.3%になるのは、鉛直ウィンドシアアが 13～14kt/1000ft のときである。図 3.3.15 は並以上の乱気流に対する鉛直ウィンドシアアの閾値別のスキルスコアを、analysis と guess について示したものである。analysis でスキルスコアが最大になるのは、鉛直ウィンドシアアが 13～14kt/1000ft のときであり、これは体積率と気候学的出現率が等しくなる値と等しい。スキルスコアの最大値を比較すると analysis は guess よりも大きくなっており、このことから航空毎時大気解析が第一推定値と比べて乱気流との対応が良くなっていることが分かる。図には示さないが、エクイタブルスレットスコアで検証した場合でも同様の結果であった。また、検証の対象とする高度を FL240 以下とした場合や FL240 以上とした場合でも、スキルスコアやエクイタブルスレットスコアが最大となるのは全高度を対象とした場合とほぼ同じ結果であった (図は省略)。

(3) まとめと利用上の留意点

毎時大気解析は通常、MSM の 2～4 時間予報を第一推定値として使用しているため、02, 05, 08, 11, 14, 17, 20, 23UTC では初期値の違いによって前時刻の解析と不連続になる。また、解析は 3 次元変分法で行われるため時間方向の連続性はなく、観測の有無によっても解析結果は不連続になる。これらの点には留意してもらいたい。現在の航空毎時大気解析のウィンドシアアと並以上の乱気流とを比較する場合、スキルスコアやエクイタブルスレットスコアが最大となり、また並以上の乱気流の気候学的出現

率と体積率がほぼ等しくなる値である、13～14kt/1000ft を閾値として用いるのが最適であると考えられる。

統計検証により、航空毎時大気解析は第一推定値である MSM よりも、乱気流と鉛直ウィンドシアアの対応が良いことを示した。これは毎時大気解析によって大気の状態が適切に解析された結果であると考えられる。引き続き空域の実況監視のための資料として役立ててもらいたい。

参考文献

- 大林正典, 2001: カンパニーパイロットについて. 航空気象ノート第 61 号, 気象庁総務部航空気象管理官, 1-3.
- 菊池正武, 1983: 国内悪天 12 (18) 時間予想資料の解説. 航空気象ノート第 27 号, 気象庁総務部航空気象管理官, 42-46.
- 工藤淳, 2005: SK 通報のない C-PIREP に対する晴れ・曇り判別法. 航空気象ノート第 64 号, 気象庁総務部航空気象管理官, 6-9.
- 工藤淳, 2006: 着氷について. 航空気象ノート第 65 号, 気象庁総務部航空気象管理官, 17-22.
- 工藤淳, 2007: 国内航空悪天 GPV. 平成 19 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 82-83.
- 徳野正巳, 2001: 作成要素と算出手法. 「雲量格子点情報」の利用, 気象衛星センター, 4-13.
- 徳野正巳, 2002: 改良型雲量格子点情報. 気象衛星センター技術報告第 40 号, 気象衛星センター, 1-24.
- 中山章, 1996: 最新航空気象. 東京堂出版, 73-87.

- 藤田 匡, 2007: 毎時大気解析の高度化. 平成 19 年度
数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 98-101.
- 松下 泰広, 2007: 全球航空悪天GPVおよび北太平洋
航空悪天GPV. 平成19年度数値予報研修テキスト,
気象庁予報部, 84-86.
- Godske, C.L., T. Bergeron, J. Bjerknes, and R.C.
Bundgaard, 1957: Dynamic Meteorology and
Weather Forecast, 769-773.