

2 週間から1か月予報の改善

2.1 全球アンサンブル予報システムの更新¹

気象庁情報基盤部数値予報課数値予報開発センター(以下、数値予報開発センター)では、気象庁の数値予報システムの運用・開発を行っており、大気海洋部気候情報課(以下、気候情報課)では、その数値予報システムの実行結果などを基礎資料として週間天気予報を含む長期予報の発表を行っている。特に週間天気予報、2週間気温予報、1か月予報の作成には、数値予報開発センターで開発された全球アンサンブル予報システム(Global Ensemble Prediction System;以降 GEPS)の実行結果を基礎資料として用いている。本章では、近年のGEPS更新について簡単に紹介する。詳細については数値予報開発センター年報²や配信資料に関する技術情報³を参照していただきたい。

2.1.1 2022年3月の更新

2022年3月のGEPS更新の主な点は、水平高解像度化及びそれに関連する物理過程の変更と、2段階海面水温(Sea Surface Temperature;以降 SST)法ほかの改良である。第2.1-1表にGEPSの仕様変更の概要を示す。

(1) 数値予報開発センター年報等の案内

本更新の詳細な内容や試験結果等は以下の各資料で述べられている:

- 数値予報開発センター年報(令和3年)
 - ・第4.1節 全球モデルの水平解像度向上、物理過程改良に向けた開発(気象庁 2022a)

第2.1-1表 2022年3月のGEPS更新時の仕様変更
配信資料に関する技術情報 No.578より引用し、一部加工。

	変更前	変更後
水平解像度	18日予報まで:約40km それ以降:約55km	18日予報まで:約27km それ以降:約40km
SST	11日予報まで:海面水温解析による偏差固定 それ以降:熱帯・亜熱帯域にCPS2による5日ごとの予測結果を利用	6日予報まで:海面水温解析による偏差固定 それ以降:熱帯・亜熱帯域にCPS3による毎日の予測結果を利用

¹ 原口 慶子, 池田 友紀子

² https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npdc/r03/npdc_annual_report_r03_4-01.pdf

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npdc/r03/npdc_annual_report_r03_4-01.pdf

- 第4.3節 全球アンサンブル予報システムの改良(気象庁 2022b)

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npdc/r03/npdc_annual_report_r03_4-02.pdf

- 数値予報開発センター年報(令和4年)
 - ・第3.2節 全球アンサンブル予報システムの改良(気象庁 2023a)

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npdc/r04/npdc_annual_report_r04_3-01.pdf

- 配信資料に関する技術情報 No.578(気象庁情報基盤部 2022)

<https://www.data.jma.go.jp/suishin/jyouhou/pdf/578.pdf>

(2) 季節予報関連の指数の予測検証

ここでは数値予報開発センター提供の資料を用いて(1)の内容を補足する。検証仕様の詳細は数値予報開発センター年報を参照していただきたい。

気象庁では、夏のアジアモンスーンに伴う広域の対流活動の指標として、各種の指数を定義し、季節予報業務に用いている。第2.1-1図にアジアモンスーンの予測精度を示す。夏のアジアモンスーン外向き長波放射量(Outgoing Longwave Radiation;以降 OLR)インデックス(Summer Asian Monsoon OLR Index ;以降 SAMOI。ここで全体の活動度を示す SAMOI-A)

³ <https://www.data.jma.go.jp/suishin/cgi-bin/jyouhou/jyouhou.cgi>

(気象庁 1997)の相関係数は、5 月初期値は改善した一方、6 月と8 月初期値は改悪した。インドモンスーン指数(Convection Index 1 ;以降 CI1)(Wang and Fan 1999)の相関係数は5 月初期値において大きく改善、7 月初期値でも改善した。東南アジアモンスーン指数(Convection Index 2 ;以降、CI2)(Wang and Fan 1999)の相関係数は、6 月と8 月初期値は改善した一方、7 月初期値は改悪した。

2.1.2 2023 年 3 月の更新

2023 年 3 月の GEPS 更新の主な点は、モデルの非地形性重力波過程の改良、標高データセットの更新、2 段階 SST 法の適用範囲の拡大である。

(1) 数値予報開発センター年報等の案内

本更新の詳細な内容や試験結果等は以下の各資料で述べられている：

- 数値予報開発センター年報(令和4年)
 - ・第 4.1 節 全球モデルの物理過程改良(気象庁 2023b)
 - ・第 4.2 節 全球アンサンブル予報システムの改良(気象庁 2023c)

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npsc/r04/npsc_annual_report_r04_4-01.pdf

- 配信資料に関する技術情報 No.606(気象庁情報基盤部 2023)
<https://www.data.jma.go.jp/suishin/jyouhou/pdf/606.pdf>

(2) 季節予報関連の要素の予測検証

ここでは数値予報開発センター提供の資料を用いて(1)の内容を補足する。検証の仕様の詳細は数値予報開発センター年報を参照していただきたい。

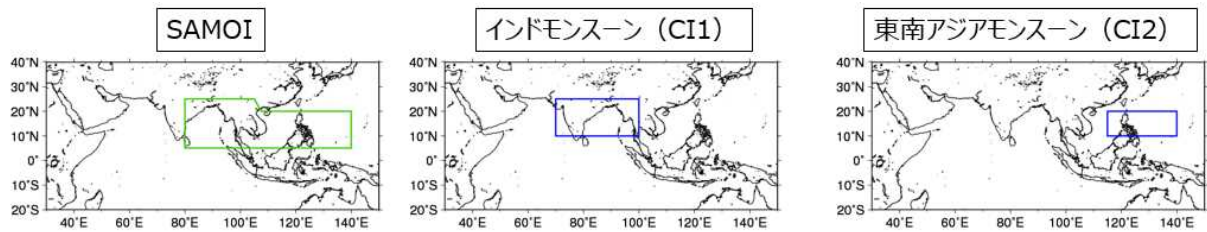
循環場の変動は日本の天候に大きな影響を及ぼす。第 2.1-2 図に 850hPa 気温、地上気温との、予測 2 週目の日本周辺のアノマリー相関の差(TEST-CNTL)を示す。いずれも、日本付近は各季節で改善を示す領域が広がり、特に夏季の地上気温は大きな改善を示している。

参考文献

- 気象庁, 1997: 夏のアジアモンスーン OLR インデックス. 気候系監視報告, 平成9年6月号, 44-45.
- 気象庁, 2022a: 全球モデルの水平解像度向上、物理過程改良に向けた開発. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁 数値予報開発センター, 66-75.
- 気象庁, 2022b: 全球アンサンブル予報システムの改良. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁 数値予報開発センター, 84-91.
- 気象庁, 2023a: 全球アンサンブル予報システムの改良. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁 数値予報開発センター, 17-20.
- 気象庁, 2023b: 全球モデルの物理過程改良. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁 数値予報開発センター, 62-70.
- 気象庁, 2023c: 全球アンサンブル予報システムの改良. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁 数値予報開発センター, 71-75.
- 気象庁情報基盤部, 2022: 配信資料に関する技術情報 No.578, 気象庁.
- 気象庁情報基盤部, 2023: 配信資料に関する技術情報 No.606, 気象庁.
- Wang, B. and Z. Fan, 1999: Choice of South Asian Summer Monsoon Indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 629-638.

謝辞

本節作成にあたり、数値予報開発センターより多数の資料や助言をいただいたこと、お礼申し上げます。



初期月	相関	
	CNTL	TEST
5月	0.39	0.47
6月	0.36	0.24
7月	0.34	0.31
8月	0.52	0.44

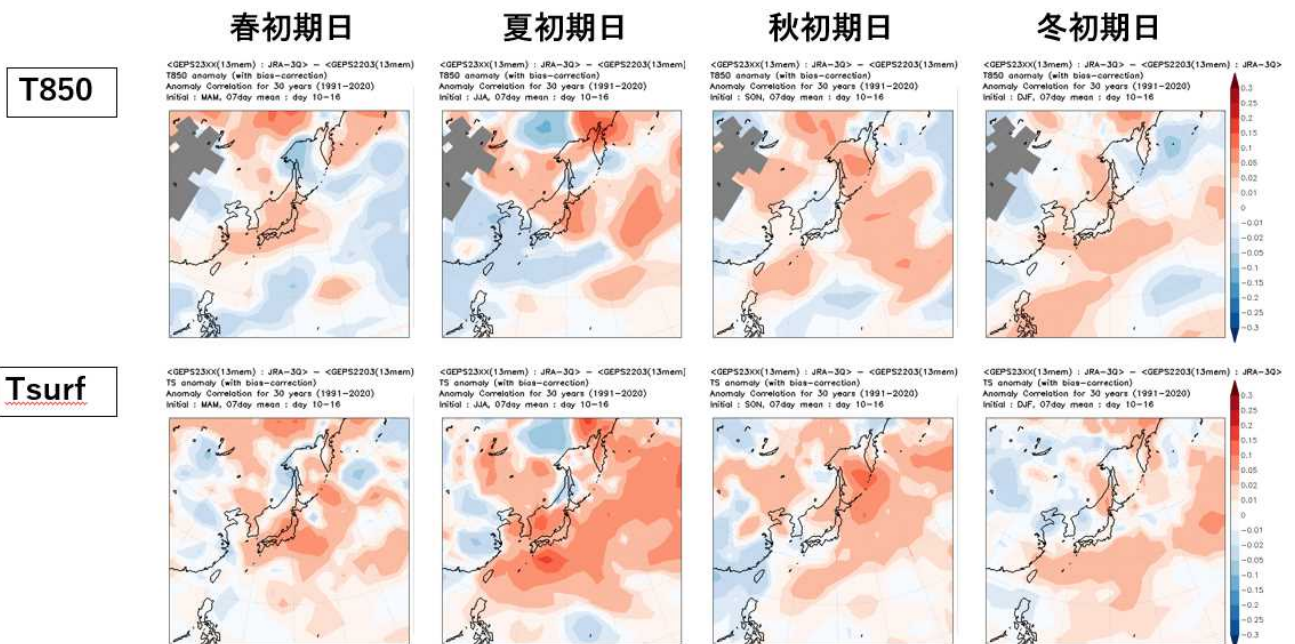
初期月	相関	
	CNTL	TEST
5月	0.32	0.45
6月	0.20	0.20
7月	0.45	0.50
8月	0.50	0.46

初期月	相関	
	CNTL	TEST
5月	0.57	0.56
6月	0.62	0.67
7月	0.46	0.28
8月	0.52	0.57

系統誤差補正あり

第 2.1-1 図 アジアモンスーンの予測精度の比較

上はアジアモンスーン指数の領域図で、左から SAMOI、CI1、CI2。下は5~8月の各初期月の相関係数の比較一覧表で、TEST 列の青字は改善、黒字は同値、赤字は改善。系統誤差補正あり。(数値予報開発センター提供の資料を一部加工)



第 2.1-2 図 日本周辺のアンマリー相関の差の分布図

予測 2 週目(10 日~16 日先)の 7 日間平均のアンマリー相関の差(TEST-CNTL。赤色が濃いほど改善、青色が濃いほど改善)。要素は上から 850hPa 気温、地上気温。初期日は左から春(3-5 月)、夏(6-8 月)、秋(9-11 月)、冬(12-2 月)。系統誤差補正あり。(数値予報開発センター提供)

2.2 週間予報から1か月予報までのガイダンスの予測精度の改善¹

2.2.1 はじめに

ガイダンスとは、客観的手法を用いて、数値予報モデルの出力結果に含まれる誤差を軽減し、数値予報モデルの出力にはない要素へ翻訳するなどして、予報の作成を支援するものである。週間予報や2週間気温予報では、アンサンブル予報の各メンバーを利用して、予測の誤差範囲や信頼度に翻訳しており、1か月予報では予測確率に翻訳している。このような翻訳を客観的に行うため、ガイダンスでは直近の予報データや過去の予報データ(再予報データ)等を用いて、予測に必要なパラメータの推定を行う。このパラメータの学習方法については大きく分けて2つの型がある。ひとつは直近の予報データを用いてパラメータを随時更新していくもの(逐次学習型)、もうひとつはパラメータを固定するもの(一括学習型)である。

週間予報のための多くのガイダンスは逐次学習型が採用されている一方で、2週間から1か月予報のためのガイダンスには再予報データと観測データの統計的關係から事前に予測式を一括で求める一括学習型を採用している。これは、予報期間が長く、逐次学習による最適化のタイミングが遅れてしまうためである。

本節では、第 2.1 節で述べた全球アンサンブル予報システム(GEPS)のバージョン GEP2203 から GEP2303 への更新に伴う逐次学習による週間予報ガイダンスの予測精度、及び、一括学習型の2週間から1か月予報のガイダンスの再学習による予測精度の評価結果について述べる。

2.2.2 週間予報ガイダンスの予測精度改善

本項では、逐次学習型ガイダンスである週間予報ガイダンスの精度評価について述べる。

(1) 評価方法

逐次学習型ガイダンスの予測精度の評価には、現業運用される数値予報モデルと同等の毎日の出力データが必要である。このため、今回は GEP2 開発段階

で作成された性能評価試験(夏季は 2021 年 6 月～10 月、冬季は 2021 年 12 月～2022 年 3 月)の日本域出力データ(水平解像度 0.375 度, 3 時間間隔)を入力として同期間の機械学習を行い、平均気温の平方根平均二乗誤差(RSME)や平均誤差(ME)、降水確率の F1 スコア、捕捉率や適合率について確認した。なお、F1 スコアや捕捉率、適合率の算出方法については、令和 2 年度季節予報研修テキストの第 1.6 節(伊藤ほか(2020))の通りである。

(2) 評価結果(気温)

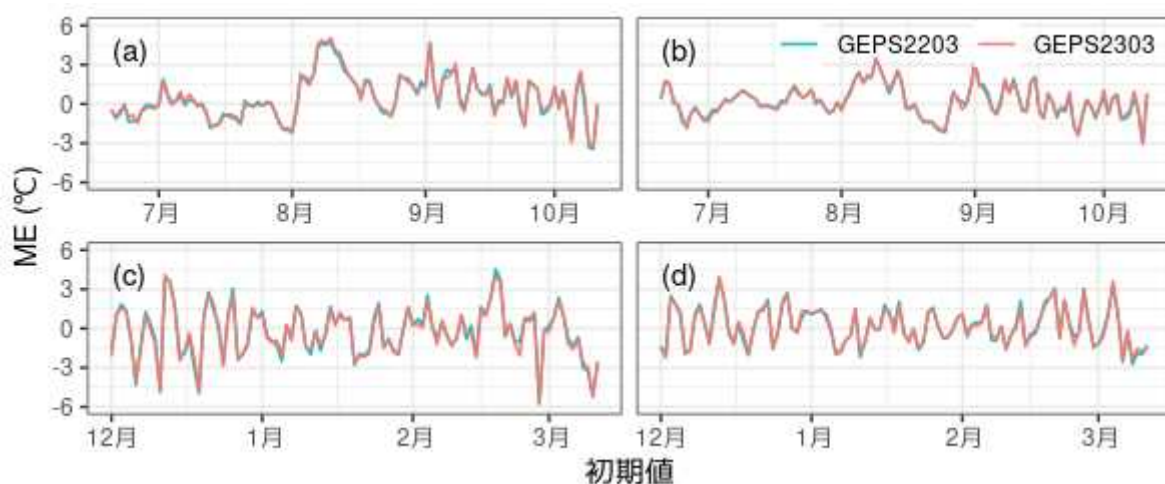
第 2.2-1 図は GEP2 の夏季と冬季の最高気温と最低気温に関する週間予報ガイダンスの初期日ごとの 6 日予報の ME について、第 2.2-2 図は第 2.2-1 図と同様の要素の RSME について、GEP2203 と GEP2303 との比較を示したものである。

夏季と冬季の最高気温と最低気温ともに、ME や RMSE に大きな変化は見られない。GEP2 では大気海洋結合モデルをベースとする季節アンサンブル予報システム(季節 EPS)が予測した海面水温(SST)を用いて、予測に利用する SST を変化させながら予測を行う「2段階 SST 法」を採用している。GEP2303 では、この「2段階 SST 法」の適用範囲が、従来の熱帯・亜熱帯域(30° N～30° S)から全球域に拡大され、中緯度帯の SST 変化の予測が改善したものの、「2段階 SST 法」は 5.5 日先(132 時間先)以降の予測に対して用いられているため、週間予報の予測期間では改善効果が小さく、真価を発揮するのは 2 週目以降の予測であるためと考えられる。

(3) 評価結果(降水)

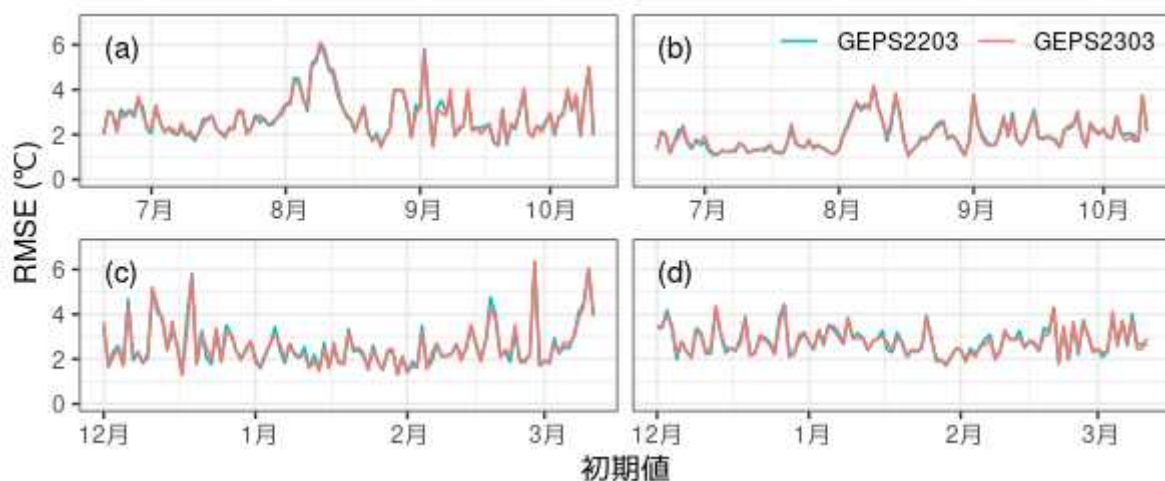
第 2.2-3 図は、降水に関するスコア、捕捉率と適合率の評価結果を示しているが、GEP2203 と GEP2303 で有意な違いは見られなかった。

¹ 山田 崇, 伊藤 晋悟, 山田 賢



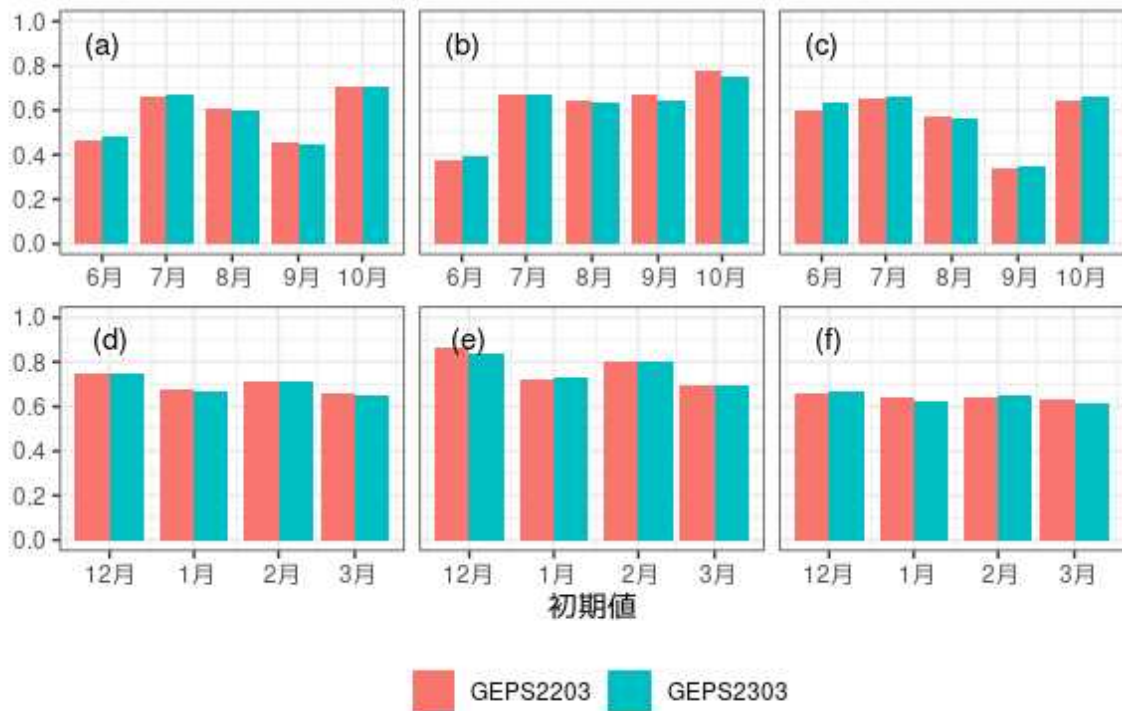
第 2.2-1 図 気温に関する週間予報ガイダンスの平均誤差

夏季(上段)と冬季(下段)の最高気温(左図)と最低気温(右図)に関する週間予報ガイダンスの 6 日予報の平均誤差 (ME)。橙色は GEPS2203 ガイダンス、青色は GEPS2303 の性能評価試験データによるガイダンスを示す。



第 2.2-2 図 気温に関する週間予報ガイダンスの平方根平均二乗誤差

第 2.2-1 図と同様。ただし、検証指標は平方根平均二乗誤差 (RMSE)。



第 2.2-3 図 降水確率に関する週間予報ガイダンスの各種スコア

夏季(上段)と冬季(下段)の降水確率に関する週間予報ガイダンスの 6 日予報の F1 スコア(左図)、捕捉率(中図)、適合率(右図)。朱色は GEPS2203 ガイダンス、青緑色は GEPS2303 の性能評価試験データによるガイダンスを示す。

2.2.3 2週間・1か月予報ガイダンスの予測精度改善

本項では、一括学習型ガイダンスである2週間・1か月予報ガイダンスの評価結果について述べる。

(1) 評価方法

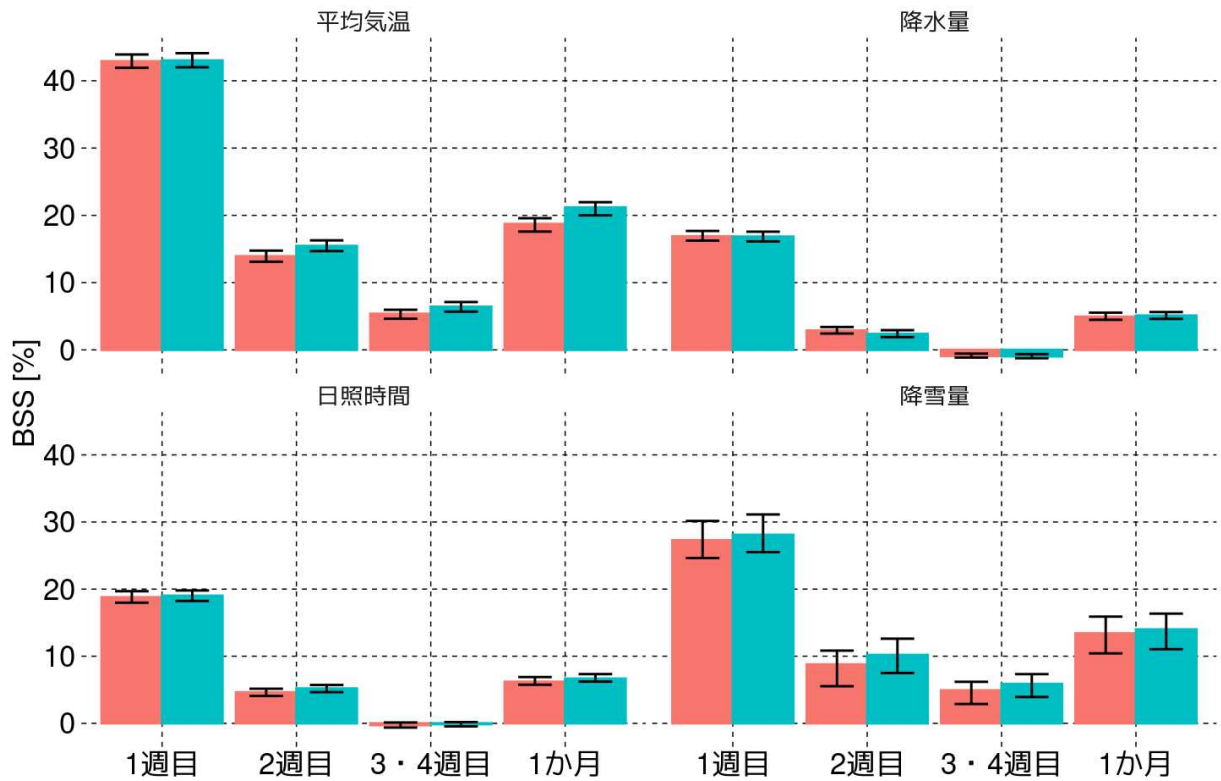
GEPS は予測精度の評価や平年値の作成、系統誤差の補正等を目的に、月あたり 2 回(15 日と月末の 12UTC 初期値)の気象庁第 3 次長期再解析(JRA-3Q)を初期値とする過去 30 年間(1991~2020 年)の再予報を実施している。一括学習型のガイダンスは、この再予報データを用いて係数を作成する(詳細は「令和 2 年度季節予報研修テキスト」第 1.6 節(伊藤ほか(2020))を参照)ため、この日本域データ(水平解像度 0.5625 度, 6 時間間隔)を用いて係数の再作成を行い、1 か月予報で発表している平均気温、降水量、日照時間、降雪量の各要素について、ブライアスキルスコア(BSS)や信頼度曲線による評価を行った。また、早期天候情報ガイダンスについて、F1

スコア、適合率や捕捉率による評価を行った。F1 スコアや捕捉率、適合率の算出方法については、2.2.2 項(1)と同じく、令和 2 年度季節予報研修テキスト(伊藤ほか(2020))の第 1.6 節のとおりである。

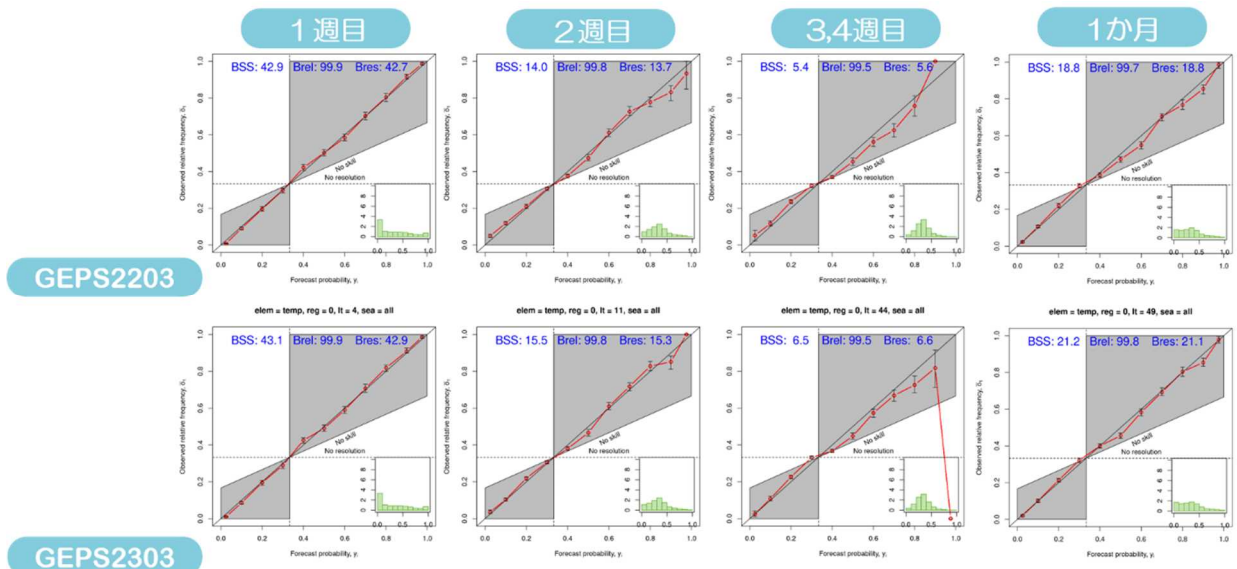
(2) 評価結果

第 2.2-4 図は、1 か月予報ガイダンスの予測時間ごとの各要素の予測精度について、GEPS2203 と GEPS2303 の BSS を比較したものである。降水量や日照時間の予測は、予測時間によらず概ね中立であったが、平均気温は 2 週目以降で明らかな改善傾向が確認できる。また、降雪量は全ての予測時間を通じて予測精度の改善傾向が表れている。

第 2.2-5 図は、1 か月予報ガイダンスの予測時間ごとの平均気温の予測精度について、信頼度曲線を比較したものである。分離度(Bres)の改善が大きいことが分かる。この様な平均気温や降雪量の予測精度の改善については、「2段階 SST 法」の全球域への拡大

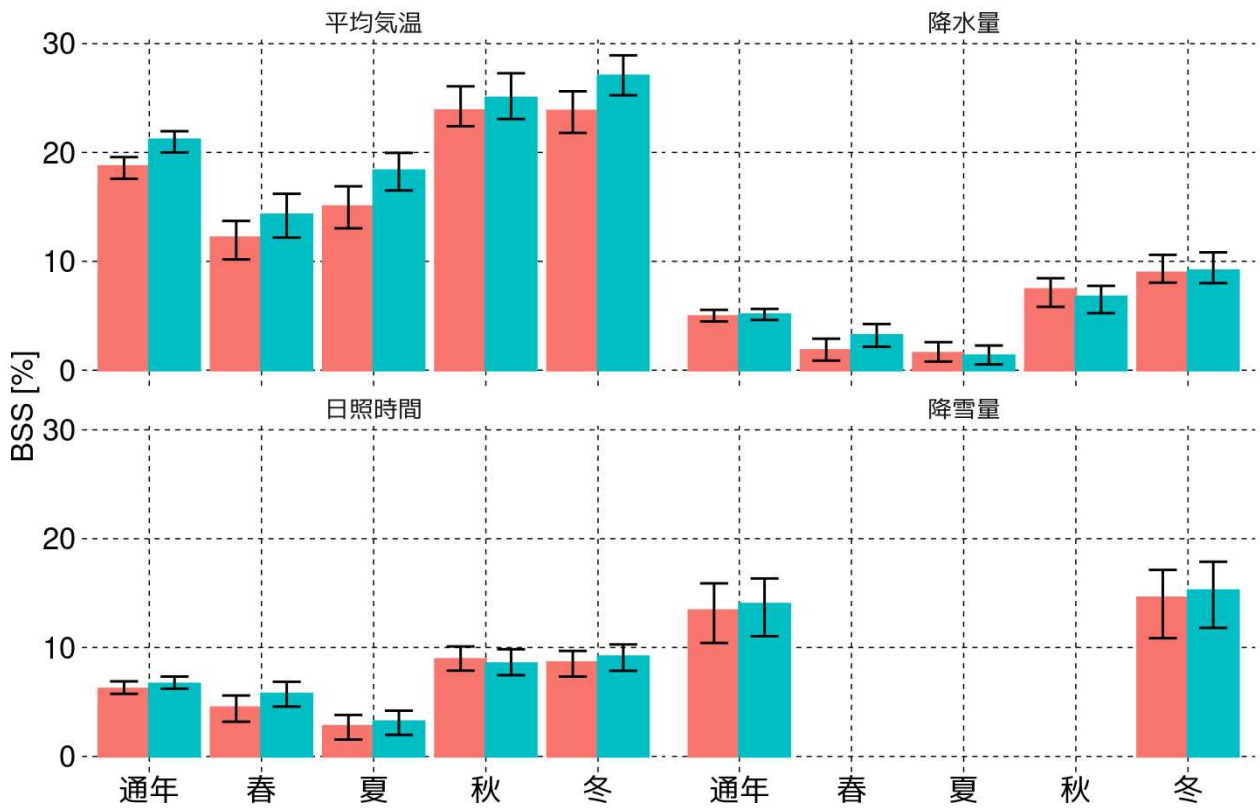


第 2.2-4 図 再予報による予測時間(週)ごとの GEPS2203(朱色)と GEPS2303(青緑色)のブライアスキルスコア(BSS)の比較。エラーバーはブートストラップ法で見積もった 90%信頼区間を表記している。



第 2.2-5 図 再予報による予測時間(週)ごとの平均気温に関する GEPS2203(上段)と GEPS2303(下段)の信頼度曲線の比較。

赤線が信頼度曲線、黒点線が気候値予報、図中右下の緑の棒グラフが予測頻度を示す。灰色領域は BSS に正の寄与を持つ。ブートストラップ法で見積もった 95%信頼区間をエラーバーで表記している。BSS は Brier Skill Score、Brel は信頼度、Bres は分離度で、それぞれのスコアの 100 倍値を示す。



第 2.2-6 図 再予報による季節ごとの GEPS2203(朱色)と GEPS2303(青緑色)のブライアスキルスコア(BSS)の比較。エラーバーはブートストラップ法で見積もった 90%信頼区間を表記している。

に伴い、日本近海の SST の変化が精度良く予測されるようになったことから、海洋から大気への顕熱・潜熱輸送量の表現が改善したことによるものと考えられる。

第 2.2-6 図は、1か月予報ガイドンスにおける1か月平均の各要素の予測精度について、GEPS2203 と GEPS2303 の BSS を季節ごとに比較したものである。平均気温の改善は全ての季節で見られる。一方、通年の評価では改善が見られなかった降水量や日照時間は、春の予測精度が改善傾向であることが分かる。

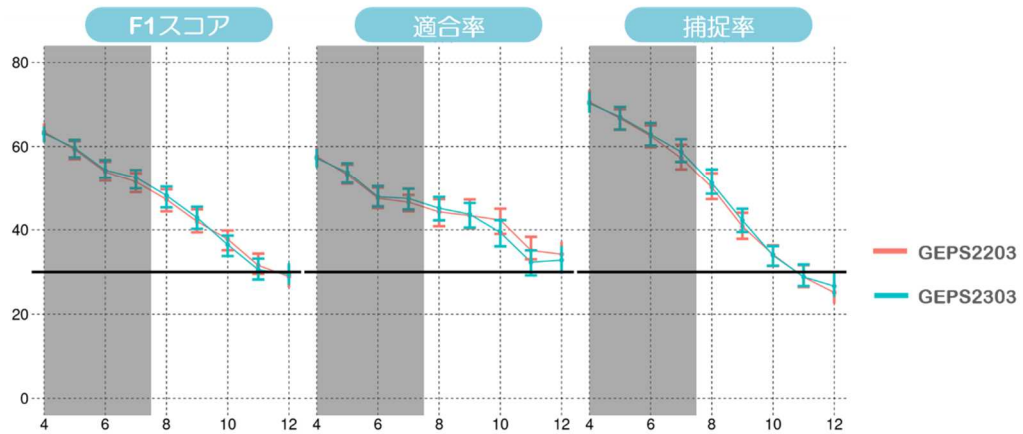
第 2.2-7 図は、早期天候情報ガイドンスの F1 スコア、適合率、捕捉率の比較を示しているが、顕著な高温や低温、大雪を対象とする早期天候情報ガイドンスについては、GEPS2203と GEPS2303 で大きな変化は見られなかった。「2段階 SST 法」による海面水温の改善

効果は気温の変動成分よりも、系統誤差成分の改善に効果が高いためではないかと推察される。

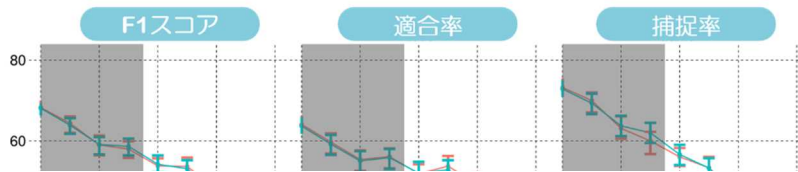
2.2.4 まとめ

本節では、GEPS 更新に伴う逐次学習型の週間予報ガイドンス、及び一括学習型の2週間・1か月予報ガイドンスの予測精度の変化を確認した。その結果、気温や降雪量の 5.5 日先(132 時間先)以降の予測について、「2段階 SST 法」の適用範囲が拡大されたことによる平均気温や降雪量の予測精度の改善効果が確認できた。気象庁では令和 5 年度末から新たなスーパーコンピュータシステムを導入し、更なる予測精度の向上を図っていく計画である。

高温に関する早期天候情報



低温に関する早期天候情報



第 2.2-7 図 再予報による GEPS2203(赤線)と GEPS2303(緑線)の早期天候情報の F1 スコア(左)、適合率(中央)、捕捉率(右)の比較。

上から順に、高温、低温、大雪に関する早期天候情報の検証結果を示している。高温はかなり高い、低温はかなり低い確率、大雪はかなり多い確率 30%以上を発表としたときの F1 スコア、適合率、捕捉率。横軸はリードタイムで、発表日を 0 日とした 5 日間平均の中日を示す。陰影は 2 週間気温予報対象期間外。エラーバーはブートストラップ法で見積もった 90%信頼区間を表記している。

