

付録1 季節予報システムの開発:これまでと今後

はじめに

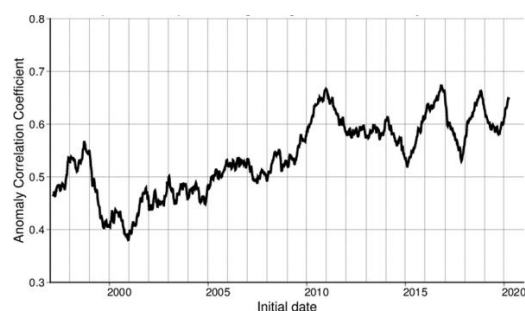
気象庁の季節予報については、1942年1か月予報が発表されて以来80年近い歴史がある。1か月予報の予測技術については、発表開始当初から利用されてきた統計的手法に代わって、1996年に気象庁の全球モデル(GSM)を利用した力学的手法が導入された。3か月・暖寒候期予報についても、2003年にGSMを利用した力学的予測手法を、2010年にエルニーニョ予測に利用されていた大気海洋結合予測手法を導入し、大きな技術的進歩を遂げた。このように季節予報システムの開発を担ってきた気候情報課の数値予報モデル開発部門は、海洋気象情報室及び環境気象管理官付の同開発部門とともに、2020年10月(予定)に数値予報課と統合する形で出発することとなった。ここでは、気候情報課の同開発部門が移管されることを受けて、これまでの季節予報システムの開発について簡単にまとめた。また、移管後の開発の方向性にも少し触れておく。なお、季節予報システムの更新履歴の詳細については、第1、2表を参照されたい。

これまでの開発

1996年、気候情報課(当時長期予報課)では、数値予報課の協力のもと、格子間隔約180km、鉛直層数30のGSMを使って1か月アンサンブル予報システム(EPS)の運用を開始した。その後、1998年の気候モデル開発推進官の新設や2001年の気候モデル係の設置など季節予報システムの開発・運用体制の強化により、2000年代以降は常時10人程度の職員が開発・運用に携わることとなった。このような体制強化を背景に、1か月EPSに加え、2003年には3か月・暖寒候期予報の基盤となる季節EPS(格子間隔約180km、鉛直層数40のGSM)の運用も開始した。なお、季節EPSは、大気海洋結合予測手法を導入する2010年まで、エルニーニョ予測モデルの結果をもとに

統計的に推定した海面の情報を与えてGSMを実行する「2段階法」を採用していくこととなった。

1か月・季節EPSの運用開始後、気候情報課では、主に短期予報の観点で開発されたGSMをベースとして季節予報でも精度が確保できるよう開発に取り組み、数年に1回程度の頻度でモデル更新を行った。また、アンサンブル予報に必要な不可欠な初期摂動の作成手法の開発も行った。特に、京都大学防災研究所とのブリーディング法の赤道季節内振動(MJO)予測最適化に関する共同研究の成果は、2007年に1か月EPS初期値改良に結びついた。このような開発体制の強化やシステムへの最新GSMと新技術の導入、共同研究の実施に加え、計算機的能力向上にもより、季節予報システムの予測精度は着実に改善されていった(第1図)。



第1図 現業1か月予測精度の変遷

縦軸は北半球500hPa高度のアノマリー相関(28日平均)。横軸は初期日。

2010年には、海洋の変動と大気の変動の一体的な予測が可能となる大気海洋結合モデルを季節EPS(JMA/MRI-CPS1)に導入し、エルニーニョ予測システムとの統合を行った。その後、大気海洋結合モデルや海洋同化システムの改良を行い、気象庁第2次長期再解析(JRA-55)を利用して、2代目となる季節EPS(JMA/MRI-CPS2; 現行と同仕様)の運用を2015年から開始した。このJMA/MRI-CPS2は、欧州中期予報センター(ECMWF)が主導するマルチモデルアンサンブル(MME)システム「EUROSIP」²へ2016年に参加することになった。EUROSIPへの加入には季節予報

¹ 徳広 貴之

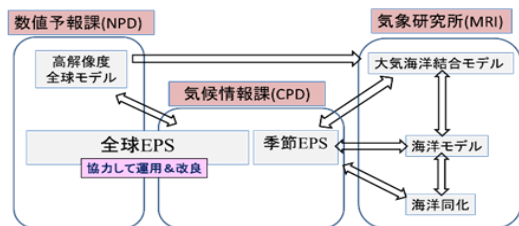
² EUROSIPは2019年に終了し、欧州委員会(EC)が主導する地球観測計画であるコペルニクス計画の計画要素の

一つで、気候モニタリングや季節予報などのサービスを実施する「コペルニクス気候変動サービス(C3S)」のMMEシステムに引き継がれた。

システムが世界最高水準の厳しい性能要件を満たす必要があり、当庁が高性能の季節予報システムを運用していることが世界的に認知されることになった。なお、高性能の季節予報システム運用には、再予報や現業システムでの大気・海洋の初期値として利用する、当庁の大気・海洋の長期再解析も大きく貢献している。

2017年には、数値予報課と共同で進めてきた1か月 EPS、週間 EPS 及び台風 EPS の統合作業が完了し、週間予報から 1 か月予報までを一体的に支援する「全球 EPS」の運用を開始した。

季節予報システムの開発は、ECMWF 等への海外派遣や能力開発等によって気候情報課の開発力向上を図りつつ、数値予報課や気象研究所と協力して行ってきた(第 2 図)。特に、大気海洋結合モデルの開発では、短期予報向けの開発成果が反映された GSM に対して、その気候の再現性の向上を図りつつ、気象研究所の海洋モデルと結合化する作業を気象研究所と共同で行ってきた。



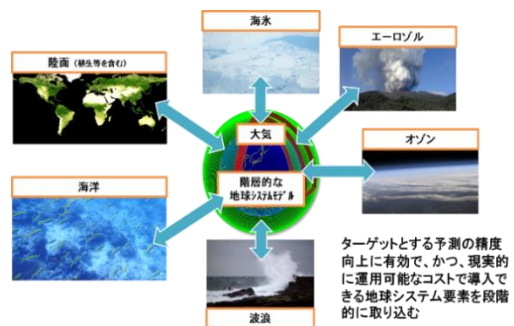
第 2 図 全球 EPS・季節 EPS 開発における開発協力 (2020 年 10 月予定の数値予報課との統合前)

今後の開発の方向性

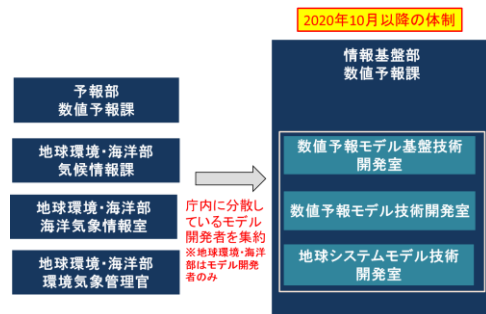
季節予報システムについては、社会経済活動における気候によるリスクの軽減に資する、冷夏、暖冬等の社会的に影響の大きい現象に関する予測情報を確度高く提供するため、先進的な数値予報技術である階層的な地球システムモデル(第 3 図)を導入することが交通政策審議会気象分科会の提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」³(2018 年 8 月)で求められている。また、同提言を受けて策定された「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」⁴(2018 年 10 月)では、大気のみならず、海洋、オゾン、エアロゾルなど季節予測を行う上で重要となり得る

様々な地球システム要素について、それらの相互作用に着目しつつ開発する、いわゆる地球システムモデリングアプローチを重視した開発の推進が示されている。

上述の階層的な地球システムモデル導入を含む数値予報技術の飛躍的向上にむけて、気象庁では数値予報モデルを分野横断的に開発する体制を整備することを決めた。具体的には、気候情報課、海洋気象情報室及び環境気象管理官付の数値予報モデル開発部門は数値予報課と統合することとなった(2020 年 10 月予定)。気候情報課の数値予報モデル開発者の大部分は、海洋気象情報室や環境気象管理官付の同開発者とともに、数値予報課の下に置かれる 3 室の一つである「地球システムモデル技術開発室」に移る(第 4 図)。これにより、同開発室では、季節予報モデルだけでなく、海洋・波浪・高潮モデルや化学輸送モデル(オゾン・エアロゾル・二酸化炭素)に関する開発・運用も担当することとなる。同開発室は今後も引き続き、庁内外の関係部署と連携して開発に取り組んでいく。



第 3 図 階層的な地球システムモデルのイメージ



第 4 図 数値予報モデルを分野横断的に開発する体制整備(2020 年 10 月予定)

³ https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/20a/bunkakai_teigen.pdf

⁴ https://www.jma.go.jp/jma/press/1810/04b/nwp_strategic_plan_towards_2030_2body.pdf

第 1 表 1 か月アンサンブル予報システム(1996 年 3 月～2017 年 3 月)及び全球アンサンブル予報システム(2017 年 3 月～)の更新履歴(2020 年 10 月現在) 新保(2017)の表 1.1-2 を変更

運用開始年/月	大気モデル		アンサンブル			備考	
	水平分解能・鉛直層数(最上層)	バージョン ¹	メンバー数		手法		
			1初期時刻	1か月予報プロダクト ²			
＜1か月アンサンブル予報システム(1か月EPS)＞							
1996/3	T63L30 (10hPa)	GSM9603	5	10 (24時間ごと、2初期時刻の組み合わせ)	SV法	(気象庁予報部, 1996) ・力学的予報開始	
1997/1	T63L30 (1hPa)					(気象庁予報部、気候・海洋気象部, 1997)	
2001/3	T106L40 (0.4hPa)	GSM0103 (松村, 2000)	13	26 (24時間ごと、2初期時刻の組み合わせ)	BGM法 (北) ³	(萬納寺と前田, 2001) 週間アンサンブル予報システムからの延長として運用	
2002/2						BGM法 (北・熱) ⁴	・熱帯への初期摂動の導入(経田, 2002)
2002/4							・陸面解析開始(徳広, 2002)
2003/4		・マイクロ波放射計SSM/Iによる積雪解析の利用開始 (新保ほか, 2003)					
2003/6		GSM0305 (中川, 2004)			(気象庁気候・海洋気象部, 2005)		
2005/3		GSM0407			(気象庁地球環境・海洋部, 2006) ・週間アンサンブル予報システムと分離し独立したシステムとして運用 ・統一モデルの導入 ・セミラグランジュ法の導入 ・境界値としてCOBE-SST利用開始		
2006/3	TL159L40 (0.4hPa)	GSM0603C (北川, 2006)	25	50 (24時間ごと、2初期時刻の組み合わせ)	BGM法 (北・熱) ⁴	(気象庁地球環境・海洋部, 2006) ・週間アンサンブル予報システムと分離し独立したシステムとして運用 ・統一モデルの導入 ・セミラグランジュ法の導入 ・境界値としてCOBE-SST利用開始	
2007/3		GSM0711C (北川, 2007)				・熱帯初期摂動の改良(Chikamoto et al., 2007) ・異常天候早期警戒情報試行開始 ・異常天候早期警戒情報本運用開始	
2008/3	TL159L60 (0.1hPa)	GSM0801C (気象庁予報部, 2007)	25	50 (24時間ごと、2初期時刻の組み合わせ)	BGM法 (北・熱) ⁴	(気象庁地球環境・海洋部, 2006) ・週間アンサンブル予報システムと分離し独立したシステムとして運用 ・統一モデルの導入 ・セミラグランジュ法の導入 ・境界値としてCOBE-SST利用開始	
2011/3		GSM1011C (岩村, 2008)				・適合ガウス格子の導入 ・エーロゾル気候値の更新	
2014/3	TL319L60 (0.1hPa)	GSM1304	25	50 (24時間ごと、2初期時刻の組み合わせ)	BGM法 (北・熱) ⁴ +確物 ⁵	(平井ほか, 2015; 佐藤ほか, 2015) ・確率的物理過程強制法(米原, 2010)の導入 ・境界値としてMGDSST利用開始 ・海氷推定手法の改良	
＜全球アンサンブル予報システム(全球EPS)＞							
2017/3 ⁶	TL479L100 [～18日] TL319L100 [18日～]	GSM1603E ⁷	27 [～11日]	50 (12時間ごと、4初期時刻の組み合わせ)	SV法 (北・南・低) ⁸ +LETKF ⁹ +確物 +SST摂動	・台風、週間及び1か月EPSの統合 ・初期摂動の改良(SV法+LETKFの組み合わせ) ・SST摂動の導入	
2020/3	(0.01hPa)		GSM2003			13 [11日～]	2段階SST法の導入(12日目以降の熱帯を中心に季節EPSの予測SSTを利用)

¹ 全球モデル(GSM)の各バージョンを、改良を導入した西暦の下二桁と月を組み合わせた四桁の数字を GSM の後ろにつけて呼称する。1 か月 EPS の予報モデルについて、物理過程等の一部が GSM のバージョンと異なる場合、末尾に添え字 C を付けて表記する。全球 EPS の予報モデルについて、物理過程等の一部が GSM のバージョンと異なる場合、末尾に添え字 E を付けて表記する。

² 2007 年 3 月の異常天候早期警戒情報試行開始から、異常天候早期警戒情報プロダクトも含む。

³ 北半球域(北緯 20 度以北)。 ⁴ 北半球域(北緯 20 度以北) + 熱帯域(南緯 20 度～北緯 20 度)。

⁵ 確率的物理過程強制法。

⁶ 2017 年 1 月に週間 EPS 及び台風 EPS を統合した全球 EPS (予報 11 日目まで)の運用開始。その後、2017 年 3 月に全球 EPS を 1 か月先まで延長して 1 か月 EPS を統合。

⁷ GSM1603(米原, 2016)に、「短波放射過程における陸上の水雲粒の有効半径の診断手法の導入」、「初期値に用いる土壌水分気候値の見直し」、「海氷完全結氷処理の廃止」を適用。

⁸ 北半球中高緯度帯(北緯 30 度以北) + 南半球中高緯度帯(南緯 30 度以南) + 低緯度帯(南緯 30 度～北緯 30 度)。

⁹ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ。

第2表 季節アンサンブル予報システムの更新履歴(2020年10月現在) 高谷(2015)の表1.1.1を変更

運用開始年/月	モデル・システムのバージョン*/解像度	システム概要	現業アンサンブルメンバー数(同再予報)	備考
2003/3	GSM0103 大気：T63 L40	2段階法 (大気モデル+予測海面水温)(新保ほか 2009)	31 (5)	気象庁(2003) 力学的予報開始
2006/3	GSM0502 大気：TL95 L40	同上	31 (5)	気象庁(2006) COBE-SST利用開始
2007/9	GSM0703C 大気：TL95 L40	同上	51 (11)	気象庁(2007) 予測海面水温に不確実性を考慮
2010/2	JMA/MRI-CPS1・ JMA/MRI-CGCM1 大気：TL95 L40 海洋：1°×0.3~1° L50	1段階法 (大気海洋結合モデル)	51 (10)	気象庁(2010) 大気海洋結合モデルの導入 エルニーニョ予測システムと統合 フラックス修正あり
2015/6	JMA/MRI-CPS2・ JMA/MRI-CGCM2 大気：TL159 L60 海洋：1°×0.3~0.5° L52 (+海底境界層)	同上	51 (10)	気象庁(2014) 海氷モデルの導入 フラックス修正の廃止

*大気モデルのバージョンとして、季節アンサンブル予報システムの基となる全球モデル(GSM)が現業運用された年月を4桁の数字として示す。2007年9月以降は、物理過程の一部がGSMと異なる。モデル解像度のT、TLの後ろの数字は全球スペクトルモデルの切断波数を、Lの後ろの数字は鉛直層数を表す。

参考文献

- 岩村公太, 2008: 高解像度全球モデルの改良. 平成 20 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-6.
- 気象庁気候・海洋気象部, 2003: 3か月予報資料の解説. 配信資料に関する技術情報(気象編)第 124 号.
- 気象庁気候・海洋気象部, 2005: 1 か月予報モデルの変更. 配信資料に関する技術情報(気象編)第 187 号.
- 気象庁地球環境・海洋部, 2006: 1 か月及び 3 か月・暖寒候期アンサンブル予報システムの変更について. 配信資料に関する技術情報(気象編)第 219 号.
- 気象庁地球環境・海洋部, 2007: 3か月・暖寒候期アンサンブル予報システムの変更. 配信資料に関する技術情報(気象編)関連お知らせ.
- 気象庁地球環境・海洋部, 2010: 季節予報(3か月、暖・寒候期予報)の改善について. 配信資料に関する技術情報(気象編)第 301 号関連お知らせ.
- 気象庁地球環境・海洋部, 2014: 平成 27 年6月の3か月、暖・寒候期予報関連の配信資料変更について. 配信資料に関する技術情報(気象編)第 408 号.
- 気象庁予報部, 1996: 一ヶ月予報に向けた全球モデルの開発ーバイアスの小さな予報モデルを目指してー. 数値予報課報告・別冊第 42 号, 93pp.
- 気象庁予報部, 2007: 全球数値予報モデル(GSM)の積雲対流スキームの改良. 配信資料に関する技術情報(気象編)第 275 号.
- 気象庁予報部, 気候・海洋気象部, 1997: 季節予報(1 か月予報)で利用する 1 か月数値予報モデルの変更について. 配信資料に関する技術情報(気象編)第 12 号.
- 北川裕人, 2006: モデルの概要. 平成 18 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 7-10.
- 北川裕人, 2007: 変更の概要. 平成 19 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-4.
- 経田正幸, 2002: 2002 年 2 月に行った EPS の変更. 平成 14 年度数値予報研修テキスト. 気象庁予報部, 30-31.
- 佐藤均, 宮岡健吾, 長澤亮二, 新保明彦, 高谷祐平, 松枝聡子, 杉本裕之, 2015: ハインドキャストによる検証. 平成 26 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 22-45.
- 新保明彦, 2017: 全球アンサンブル予報システムの概要. 平成 28 年度季節予報研修テキスト, 気象庁, 1-8.
- 新保明彦, 佐藤均, 古林絵里子, 2003: 1 か月予報モデルの変更とその影響. 平成 15 年度季節予報研修テキスト, 気象庁気候・海洋気象部, 1-9.
- 新保明彦, 平井雅之, 森浩俊, 足立典之, 出原幸志郎, 2009: 大気海洋結合モデルによる季節アンサンブル予報システムの概要と予測精度. 平成 21 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 93-100.
- 高谷祐平, 2015: 概論. 平成 27 年度季節予報研修テキスト, 気象庁, 1-4.
- 徳広貴之, 2002: 陸面解析の現業化. 平成 14 年度季節予報研修テキスト, 気象庁, 76-77.
- 中川雅之, 2004: 全球モデルの改良. 数値予報課報告・別冊第 50 号, 気象庁予報部, 43-50.
- 平井雅之, 宮岡健吾, 佐藤均, 杉本裕之, 南敦, 松川知紘, 高谷祐平, 新保明彦, 2015: 1 か月予報システムの変更の概要. 平成 26 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 1-5.
- 松村崇行, 2000: 全球モデル. 平成 12 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 17-22.
- 萬納寺信崇, 前田修平, 2001: 1 か月予報のための数値予報モデル. 平成 13 年度季節予報研修テキスト, 気象庁気候・海洋気象部, 35-47.
- 米原仁, 2010: 週間アンサンブル予報へのモデルアンサンブル手法の導入. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 62-65.
- 米原仁, 2016: 全球数値予報システムの物理過程改良の概要. 平成 28 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-3.
- Chikamoto, Y., H. Mukougawa, T. Kubota, H. Sato, A. Ito, and S. Maeda, 2007: Evidence of growing bred vector associated with the tropical intraseasonal oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L04806, doi: 10.1029/2006GL 028450.