

再予報・ハインドキャスト

1. はじめに

近年、週間予報から近未来（十年規模変動）予測、温暖化予測に至るまで、様々な時間スケールの数値モデル（以下モデルと記述）を用いた予測および予測可能性研究が盛んに行われている。これに重要なのが、本稿で解説する「再予報」によるモデルの検証、予測特性の把握（診断）である。

一般にモデルによる予測では、その不完全性などにより積分が進むとともに誤差が時間発展し、現実的な場から離れていく。このため、予報期間が長い場合には、予測精度を事前に把握するとともにモデルの誤差を補正してからその予測結果を解釈する必要がある。これらの目的のため、過去の多数の事例を“同一のモデル”で予測することが行われている〔後注1〕。気象学、気候学、海洋学では、これをリアルタイムの予報と区別して「再予報 (re-forecast)」と呼ぶ (Hamill *et al.* 2006)。再予報はその名のとおりに過去の事例を再び予報することを意味し、hindcast（ハインドキャスト）、retrospective forecast〔後注2〕と呼ばれることもある。前者は、予報 (forecast) の“前”という意味の接頭語“fore”を“後”を意味する“hind”に置き換えた用語であり、後者は過去の事例を振り返って予報するという意味である。

本稿では現業・研究機関において行われている再予報とその利用について紹介する。

2. 再予報の目的

再予報の主な目的として、まずモデルの誤差の補正が挙げられる。対象期間が約1週間を超える予報や顕著現象の予測において、再予報の結果を用いて誤差の補正を行うことにより、予測精度が大幅に改善されることが知られている（例えば、伊藤 2011; Wilks and Hamill 2007）。さらに、アンサンブル予測（高野 2002）では、再予報の結果を用いることにより、モデルの系統誤差の補正だけでなく、アンサンブルメン

バーのばらつきや確率分布を補正し、確率予報の精度を改善できる。

次に、精度検証も再予報の重要な目的である。短期予報に比べて予測精度が低い長期予報では、精度の良い要素、領域、期間を把握して予測結果を用いることが重要である。現業気象機関では再予報の結果を用いて予測精度を予め検証し、リアルタイムの予測結果の解釈に利用している。

3. 現業気象機関における再予報の実施例

まず、現業気象機関における再予報の例として、気象庁の実施例を第1表に示す。

1か月予報、季節予報モデルの誤差は季節、地域、予測期間に依存する。気象庁では約10日ないし15日間隔の初期値から再予報を行っている。また、再予報に必要な事例数は予測対象とする現象の時間スケール、発生頻度に依存するため、系統誤差の見積りに十分な期間の予測を行う〔後注3〕。再予報の初期値にはJRA-25再解析 (Onogi *et al.* 2007) およびそれに継続する気候解析システム (JCDAS) による解析値が利用されている。よって、再解析データは現業機関における再予報に不可欠なものとなっている。再予報の結果はモデルの予測精度・特性の把握、統計的手法も併用した予報プロダクトの補正 (伊藤 2011) に利用されている。

現業機関における再予報の運用形態は各気象機関によって異なっている。気象庁では現業モデルの更新前に新しいモデルを用いて全ての再予報を計算する方法を採用しているが〔後注4〕、リアルタイム予報と合わせて再予報を計算する方法〔後注5〕もある。前者は更新前にモデルの検証・診断を行うため、事前にモデルの予測精度・特性を把握できるというメリットがある。一方で、後者は更新前に大量の再予報の計算を行わずに済むため、頻繁にモデルを更新できるというメリットがある。

第1表 気象庁現行予報システムの再予報の仕様.

システム	モデル (解像度)	再予報 期間	初期日 (毎月)	メンバー数	積分 期間
1 か月予報システム	GSM1103C (大気モデル: 水平約110km)	1979-2009 (31年)	10日, 20日, 月末	5	34日
季節予報システム	JMA/MRI-CGCM (大気モデル: 水平約180km, 海洋モ デル: 1-1/3°)	1979-2008 (30年)	15日, 月末	5	7 か月

4. 再予報を用いた研究の例

現業気象機関のみならず, 予測可能性研究でも, 再予報実験プロジェクトが行われてきた. これまでに, 大気モデルによる予測可能性研究を主目的とする SMIP, SMIP2 [後注 6], 熱帯海洋予測, エルニーニョ予測を主目的とする STOIC, ENSIP 等が実施されてきた. 最近では, 最新の大気海洋結合モデルを含めた季節から年内時間スケール予測の国際プロジェクト CHFP (Kirtman and Pirani 2009) がある. これらの再予報実験プロジェクトの結果は, 最新のモデルによる予測精度の把握に加え, 気象・気候現象のメカニズム, 予測可能性の解明のための様々な研究で活用されている. また, 国内でも気象研究コンソーシアムを通じて提供される気象庁の1 か月予報システムの再予報データを用いて予測可能性研究が行われており, 得られた知見は現業予報にも活かされている.

近年では, 温暖化予測研究においても再予報が実施されている. 温暖化予測研究における再予報の例としては, 地球温暖化の適応策, 緩和策の検討材料となる近未来予測がある (例えば Chikamoto *et al.* 2012; Meehl *et al.* 2009). この時間スケールの予測では, 積分初期の状況を反映した現実的な初期値からモデルを積分することになるが, このような場合, 積分初期において現実的な気候状態とは異なる状態にシフトする「気候ドリフト」が顕在化する. このような場合には, 過去の事例の再予報を実施してモデルの気候ドリフトを見積もり, 予測結果を補正してシグナルを検出することになる.

5. まとめ

再予報は現業気象機関, 研究機関において盛んに実施されている. 再予報は現業予報の精度改善に不可欠

であるだけでなく, モデルによる様々な時間スケールの予測の検証, モデルの診断に有効であると考えられている. また, 膨大な数値シミュレーションの結果は, 現象の理解, 予測可能性の解明のための有効な“道具”となると考えられる. 今後, 再予報がより一層活用され, モデルの研究開発, 予測可能性研究が進むことを期待したい.

後注

1. 可能である場合は, 同一の解析システムを使用して初期値や解析値を得る.
2. 現在のところ, 適当な訳語は無いと思われる.
3. 気象庁の1 か月予報, 季節予報では約30年分の再予報を行っている. 世界気象機関 (WMO) による長期予報のための標準検証システム (Standardized Verification System for Long Range Forecasts) では1981~2000年の20年間以上が推奨されている (WMO 2010).
4. 米国環境予測センターもこの方式を採用している.
5. 例えば, ある年の1 月初期値のリアルタイムの予報をする際に, 再予報期間の1 月初期値の予測を計算する. イギリス気象局, 欧州中期予報センターなどがこの方式を採用している.
6. SMIP, SMIP2 では, 予測期間中の SST 解析値 (予測開始時より未来の解析値) を境界値に使用する.

略語一覧

CHFP: Climate-System Historical Forecast Project
気候システム予測プロジェクト
ENSIP: El Nino Simulation Intercomparison Project
エルニーニョシミュレーション相互比較プロジェクト
JRA-25: Japanese 25-year Reanalysis JRA-25長期再
解析プロジェクト
JCDAS: JMA Climate Data Assimilation System 気象
庁気候データ同化システム

SMIP: Seasonal Prediction Model Intercomparison Project 季節予報モデル相互比較実験

SMIP2: Seasonal Prediction Model Intercomparison Project-2 季節予報モデル相互比較実験 2

STOIC: Study of Tropical Oceans in CGCMs 大気海洋結合モデルにおける熱帯海洋変動の相互比較プロジェクト

参考文献

Chikamoto, Y. *et al.*, 2012: An overview of decadal climate predictability in a multi-model ensemble by climate model MIROC. *Clim. Dyn.*, Online First, doi: 10.1007/s00382-012-1351-y.

Hamill, T. M., J. S. Whitaker and S. L. Mullen, 2006: Reforecasts: An important dataset for improving weather predictions. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **87**, 33-46.

伊藤 明, 2011: 数値予報ガイダンス. 平成22年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 61-72.

Kirtman, B. and A. Pirani, 2009: The state of the art of

seasonal prediction: Outcomes and recommendations from the First World Climate Research Program Workshop on Seasonal Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **90**, 455-458.

Meehl, G. A. *et al.*, 2009: Decadal prediction: Can it be skillful? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **90**, 1467-1485.

Onogi, K. *et al.*, 2007: The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432.

高野清治, 2002: アンサンブル予報の利用技術. 気象研究ノート, (201), 73-103.

Wilks, D. S. and T. M. Hamill, 2007: Comparison of ensemble-MOS methods using GFS reforecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 2379-2390.

WMO, 2010: Standardised Verification System (SVS) for Long-Range Forecasts (LRF). New Attachment II-8 to the Manual on the GDPFS (WMO-No.485), Volume I, 190pp.

(気象庁地球環境・海洋部気候情報課 高谷祐平)

日本気象学会および関連学会行事予定

行事名	開催年月日	主催団体等	場所	備考
第4回「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」シンポジウム ―計算機環境のパラダイムシフトに呼応した先端シミュレーションによる産業イノベーションの加速―	2012年7月5, 6日	(主催)東京大学生産技術研究所 (協賛)日本気象学会	東京大学生産技術研究所 コンベンションホール (An棟2階) (東京都目黒区駒場4-6-1)	http://www.metsoc.or.jp/hiroba/board/b358.pdf
The ASLO 2012 Aquatic Sciences Meeting at Lake Biwa	2012年7月8～13日	(主催)先進陸水海洋学会 (ASLO: Advancing the Science of Limnology and Oceanography 日本大会実行委員会 (後援) 日本気象学会	びわ湖ホール (滋賀県大津市打出浜15-1)	http://www.aslo.org/meetings/aslomeetings.html
2012年度「日本ヒートアイランド学会 第7回全国大会」	2012年7月20～22日	(主催)日本ヒートアイランド学会 (協賛)日本気象学会	京都大学吉田南キャンパス (京都市左京区吉田二本松町)	http://www.heat-island.jp/taikai/index_7.html
第24回日本気象学会夏期特別セミナー (若手会夏の学校)	2012年7月20～22日	第24回日本気象学会夏の学校実行委員会	埼玉県立小川げんきプラザ (埼玉県小川町木呂子561)	「天気」59巻6号 http://air.geo.tsukuba.ac.jp/natsugaku2012/
サマー・サイエンスキャンプ2012	2012年7月23日～8月26日のうちの2泊3日から5泊6日	科学技術振興機構	大学, 公的研究機関, 民間企業等63会場	http://rikai.jst.go.jp/sciencecamp/camp/