気象庁1か月予報における2009/2010年冬の予測について

高谷 祐平¹、足立 典之¹ 気象庁地球環境・海洋部気候情報課

1. はじめに

気象庁では、1996年3月より数値予報モデルを 用いた力学的1か月予報を現業として行っている。 2009年12月から2010年2月にかけて(以下、 2009/2010冬と記述)の北半球循環場の予測精度

(500 hPa 高度のアノマリー相関)は、予測第1
週、第2週、第3・4週平均ともに、力学的1か
月予報の開始以来、第1位の好成績となった(第
1図)。

2009/2010 冬は、北極振動(Thompson and Wallace 1998;以下、A0と表記)の指数が記録的 な負位相を示し、この影響により北半球の多くの 地域で異常天候が観測された(気象庁 2010; L' Heureux et al. 2010)。1か月予報では、このA0 パターンの顕著な事例を比較的良く予測できてい た。したがって、 2009/2010 冬の好成績は、数 値予報モデルの予測精度の向上に加え、顕著な北 極振動の状況が関連していたと考えられる。

本調査では、2009/10 冬の気象庁1か月予報に ついて、A0の観点から予測精度とその要因につい て議論する。第2節では、使用データと解析方法 について述べる。第3節では2009/10冬の実況、 第4節では予測の検証結果、第5節では、負のA0 の維持要因として、エルニーニョ現象の影響、高 周波擾乱による平均流への影響について議論する。 最後に、第6節でまとめを述べる。

2. 使用データと解析方法

2. 1. 使用データ

解析データには、JRA-25 再解析データ(Onogi et al. 2007)、および、同再解析システムによる準リ アルタイム気候解析データ(JCDAS)の6時間瞬間 値を使用した。

本調査では、気象庁で運用されている現業1か

月予報システムによる予報データを用いた。以下 に概要を記述する。気象庁1か月予報アンサンブ ルシステムの大気モデルは気象庁全球大気モデル

(GSM0803C)であり、解像度はTL159L60である。 現業予報システムでは、熱帯域と中緯度域それぞ れに対して BGM 法による摂動を計算し、それらを 組み合わせたものを用いる。また、毎週水曜日と 木曜日を初期値とした 25 メンバーのアンサンブ ル予報を行い、それらを合わせた計 50 メンバーを 用いてアンサンブルを構成する。本調査では、断 わらない限り、アンサンブル平均は全 50 メンバー を使用して計算した。

ハインドキャスト実験データについては、1979 年~2004年の毎月3初期日(約10日間隔)を初 期日とする5メンバーの予報データを使用した。 予報データはハインドキャスト実験、現業予報と もに、6時間瞬間値を用いた。事例解析で用いた モデル気候値には、事例の初期日に近い12月10 日、および1月31日を初期日とするハインドキャ ストデータを用いた。

2. 2. 解析方法

本調査では、平均場と擾乱場の相互作用を議論 するためEベクトル(例えばJames 1994)を用い た解析を行った。Eベクトルの水平成分は、高周 波擾乱成分をプライム(´)をつけて表すと、以 下のように書ける。

$E = (\overline{v'^2 - u'^2}, -\overline{u'v'})$

ここで、uは東西風成分、vは南北風成分を表す。 E ベクトルは擾乱成分による平均場の寄与を表す。 第2図に E ベクトルと擾乱の平均場への作用の模 式図を示す。E ベクトルが収束する領域では、平 均場の東風が加速され、収束域の北側(南側)で 高気圧性循環(低気圧性循環)が強化される。一 方、E ベクトルの発散域では、平均場の西風が加 速され、収束域の北側(南側)で低気圧性循環(高 気圧性循環)が強化される。

高周波成分の抽出には、2次のButterworthハ イパスフィルター(カットオフ周期10日)を前方 方向、後方方向に施した。Butterworthフィルタ ーは、再帰フィルターの一つであり、フィルタの ウィンドウ幅(重みの項数)が小さいため、1か 月予報データのような比較的短い時系列データに も適用できる。実際の計算では、予報データに初 期日前30日分の解析値をつなげて計算する。また、 前方、後方にフィルターをかけることにより、再 帰フィルターにある位相遅れの悪影響を避けるこ とができる(Murakami 1979)。

3. 2009/2010 年冬の循環場の実況

第3図に2009年12月から2010年2月の月平均 500hPa 高度偏差の図を示す。2009/2010 冬は、期 間を通しておおむね極域で正偏差、中緯度で負偏 差となるパターンが卓越していた。A0 パターンの 時間変化を調べるため、北半球 500hPa の経験的直 交関数 (EOF) の第一主成分との回帰係数 (以下 A0 指数) を示す(第4図)。なお、EOF の計算には、 1979~2005 の冬季(12月~2月)3か月平均 500hPa 高度を用いた。Thompson and Wallace(1998) では、A0 パターンを地表面気圧を 用いて定義しているが、AO は対流圏で順圧的な変 動であることが知られており、本調査で用いた指 数も Thompson and Wallace (1998) が定義した AO の変動を同様に表す。第3図に示すとおり、 2009/2010 冬は AO 指数を見ても、負の AO が期間 を通して卓越していたことが分かる。本調査では、 負のAOが顕著であった、①2009年12月上旬(2009 年12月10日初期日)、②2010年1月末(2010年 1月28日初期日)からの1か月間を対象とする2 つの事例について解析を行う。

4. 2009/2010 年冬の循環場の予測

4.1.2009年12月10日初期日の予測(事例①)

第5図に 2009 年 12 月 10 日を初期日とする 4 週平均 500hPa 高度偏差の実況解析と予測(アンサ ンブル平均)を示す。1か月予報モデルは負の北 極振動パターンを良く予測していた(アノマリー 相関 0.84)。次に、第6図に 200hPa の東西風偏差 の予測を示す。亜熱帯ジェットが強く、寒帯前線 ジェットが弱いという実況が予測でも良く捉えら れていた。

第7図に、EOF 解析による代表的変動パターン の予測を示す。A0 に対応する北半球(20°N以北) の EOF 第一主成分(EOF1)のパターン、太平洋・ 北アメリカパターン(Wallace and Gutzler 1981; 以下、PNA パターンと表記)に対応する回転 EOF 第一主成分(REOF1)、北大西洋振動パターン (Barnston and Livezey 1987;以下 NA0パターン と表記)に対応する回転 EOF 第二主成分(REOF2) 共に良く予測されていたことが分かる。

4.2.2010年1月28日初期日の予測(事例②)

2010年1月28日初期日の予測においても、2009 年12月10日初期日と同様に良く予測されていた。 4週平均 500hPa 高度偏差は、アノマリー相関が 0.85 と良く予測されていた(第8図)。上層のジ ェットについても、A0に伴う偏差を良く予測でき ていた(第9図)。さらに、A0、PNA、NA0 に対応 するパターンについても事例①と同様に良く予測 できていたことが確認できる(第10図)。

5. 負の北極振動の持続要因とその予測

前節で述べたように 2009/2010 冬の顕著な北極 振動を良く予測できていた。本節では北極振動の 予測がどのようにできていたかについて考察を行 う。

5. 1. エルニーニョ現象の影響

第 11 図に 2009/2010 冬の月別海面水温偏差、第 12 図に気象庁でエルニーニョ監視に用いられて いるエルニーニョ監視海域 (NINO.3; 5°N-5° S,150-90°W)の海面水温の基準値からの差(前 30 年月平均値からの差)の時系列を示す。2009/2010 冬にはエルニーニョ現象が発生し、赤道太平洋の 中部から東部にかけて正偏差がみられた。この海 面水温に対応して、日付変更線付近で活発な降水 が予測されており、その応答として、PNA パター ンが励起されていたと考えられる(第13図)。こ の偏差パターンも A0 パターンの指数に寄与して いたと考えられる。

5. 2. 高周波擾乱による平均場へのフィードバ ック

まず第14図および第15図に、高周波擾乱の活 動度(300hPa 風の高周波成分から求めた値: $\frac{1}{2}(\overline{u'^2 + v'^2}))$ の偏差を示す。事例①、事例②と もに、強い亜熱帯ジェット、弱い寒帯前線ジェッ トに対応するように、亜熱帯ジェット上に高周波 擾乱の活動度が正偏差、寒帯前線ジェット上で負 偏差がみられる。これらの偏差は①、②の事例と もに予測でも捉えられていた。次に第16図および 第17図に、高周波擾乱による東向き運動量の北向 き輸送の収束・発散を示す。収束偏差(正偏差) は東風偏差を強化・維持するように寄与する。北 大西洋上の亜熱帯ジェット、寒帯前線ジェット上 では、運動量輸送の寄与とジェットの偏差が一致 しており、高周波擾乱による運動量輸送がそれら のジェットを維持していたことが確認できる。ま た、北太平洋の東部でも、ジェットを維持するよ うに高周波擾乱による運動量輸送が寄与していた ことがわかる。

次に経年的な擾乱によるフィードバックの変動 を確認するために、今回の事例とハインドキャス トの結果を比較する。第 18 図および第 19 図に 30-40°Nの全球、北太平洋東部、北大西洋域で平 均した E ベクトルの収束・発散量を示す。それぞ れの領域ともに、2009/2010 冬の顕著な事例①、 ②における E ベクトルの発散がハインドキャスト 期間の同じ初期日の予測に比べ、観測、予測共に 顕著であり、顕著な東風加速の強制が良く予測さ れていたことが分かる。

6. まとめ

気象庁1か月予報システムによる 2009/2010 冬 の予測について議論した。2009/2010 冬には負の A0パターンが期間を通して卓越していた。それと 同時に 2009/2010 冬は北半球の予測成績が気象庁 が力学的1か月予報を開始した 1996 年以来、第1 位となった。

この好成績の要因は、1か月予報システムの予 測精度の改善に加え、エルニーニョ現象の影響に よる PNA 的応答パターン、擾乱・平均場相互作用 による NAO 的なパターンの強化・持続により、AO パターンが良く予測できていたことが要因である と考えられる。特に E ベクトルによるハインドキ ャスト、および現業予報の解析によると、 2009/2010年のAOでは過去のハインドキャスト期 間の事例に比べ、高周波擾乱による平均場の強化 が顕著であり、気象庁1か月予報システムでもそ れを良く表現していた。

参考文献

- 気象庁, 2010: 「北半球中緯度帯に顕著な寒波を もたらした大気の流れについて」異常気象分析 検討会, http://www.jma.go.jp/jma/press/100 3/03a/100303extreme.html
- Barnston, A.G. and R.E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083-1126.
- James, I. N., 1994: Introduction to Circulating Atmospheres, Cambridge University Press, pp. 444.
- L'Heureux, M., A. Butler, B. Jha, A. Kumar, and W. Wang, 2010: Unusual extremes in the negative phase of the Arctic Oscillation during 2009, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L10704, doi:10.1029/2010GL043338.
- Murakami, M., 1979: Large-scale aspects of deep convective activity over the GATE area. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 994-1013.

Onogi, K., and co-authors, 2007: The JRA-25

reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, 85, 369-432.

- Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1297-1300.
- Wallace, J.M., and D.S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. Mon. Wea. Rev., 109, 784-812.



第1図 気象庁1か月予報の第1週、第2週、第3・4週平均における北半球循環場の予測精度 北緯 20 度~90 度における 500 hPa 高度のアノマリー相関。季節移動平均(13 回)を施している。 〇印は 2009/2010 冬の期間を初期値とする移動平均のスコアを示す。







第3図 2009/2010冬の月平均 500hPa 高度偏差 左から順に 2009年12月、2010年1月、2010年2月の月平均 500hPa 高度[m]。 等値線は高度を表し、等値線間隔は 60m。陰影は偏差を表す。



第4図 2009年12月~2010年2月にかけての北半球 500hPaの経験的直交関数(E0F)の第一主成分との回帰係数



第5図 2009 年12月10日を初期日とする4週平均 500hPa 高度[m]の(a) 解析と(b) 予測 予測はアンサンブル平均。等値線は高度を表し、等値線間隔は 60m。陰影は偏差を表す。



第6図 2009年12月9日、10日を初期日とする4週平均 200hPa 東西風[m/s]の(a)解析と(b, c)予測 予測はアンサンブル平均。等値線は東西風速を表し、等値線間隔は 10m/s。陰影は偏差を表す。



第7図 2009 年 12 月 10 日を初期日とする (a) EOF1、 (b) REOF1、 (c) REOF2 の予測 赤線はアンサンブル平均、灰色線は各メンバーの予測、青線は実況を表す。



第8図 2010年1月28日を初期日とする4週平均500hPa高度[m]の(a)解析と(b)予測 予測はアンサンブル平均。等値線は高度を表し、等値線間隔は60m。陰影は偏差を表す。



第9図 2010年1月27日、28日を初期日とする4週平均 200hPa 東西風[m/s]の(a)解析と(b, c)予測 予測はアンサンブル平均。等値線は東西風速を表し、等値線間隔は 10m/s。陰影は偏差を表す。



第10図 2009年12月10日を初期日とする(a) EOF1、(b) REOF1、(c) REOF2の予測 赤線はアンサンブル平均、灰色線は各メンバーの予測、青線は実況を表す。



左から順に 2009 年 12 月、2010 年 1 月、2010 年 2 月の平均海面水温偏差



第 12 図 エルニーニョ監視海域 (NINO.3; 5°N-5°S, 150-90°W)の海面水温の基準値からの差[℃]の時系列 基準値はその年の前年までの 30 年間の各月の平均値。



第13図 (a)事例①と(b)事例②における4週平均した降水量の予測と500hPa高度の予測
 (上段)等値線は降水量を表し、等値線間隔は4mm/day。陰影は偏差を表す。
 (下段)等値線は高度を表し、等値線間隔は60m。陰影は偏差を表す。
 予測はアンサンブル平均。



第 14 図 2009 年 12 月 10 日初期値の1か月平均した 300hPa 東西風偏差および高周波擾乱の活動度の偏差
 予測はアンサンブル平均で、(a)は解析、(b)は予測である。
 等値線は 300hPa 東西風偏差を表し、等値線間隔は5 m s⁻¹。
 陰影は高周波擾乱の活動度 ¹/₂(u^{'2} + v^{'2}) の偏差を表し、単位は m² s⁻²。

(a)解析 (b)予測

第15図 第14図と同じ、ただし2010年1月28日初期値の図



第 16 図 2009 年 12 月 10 日初期値の 1 か月平均した 300hPa 東西風偏差および高周波擾乱による平均場への寄与 等値線は高周波擾乱による東向き運動量の北向き輸送量の収束の診断量 ∂_y(-u'v')を表し、 等値線間隔は、2×10⁻⁴ m s⁻²。陰影は 300hPa 東西風偏差を表し、単位は m s⁻¹。



第17図 第16図と同じ、ただし2010年1月28日初期値の図



第18図 過去予報実験およびリアルタイム予報のEベクトルの収束・発散(12月10日初期日、1か月平均) 白丸が解析、赤丸が予報結果を表す。一番右の丸印がリアルタイム予報(2009年12月10日初期値)。 線でつないだ部分が過去予報実験(1979~2004年の12月10日初期日)の結果。



第19図 第18図と同じ、ただし2010年1月28日初期値 リアルタイム予報は2010年1月28日初期値。過去予報実験は1979~2004年の1月31日を初期日とする。