

全球大気モデルを用いた 2005 年 12 月の予報における初期値及び下部境界条件依存性

稲葉守生・小寺邦彦(気象研究所)

1. 初めに

2005 年 12 月から 2006 年 1 月上旬にかけて非常に強い寒気が日本付近に南下し、強い冬型の気圧配置が断続的に現れたため、12 月は全国的に記録的な低温となった。こうした低温に伴い、日本海側では 2007 年 1 月にかけて記録的な大雪となり、「平成 18 年豪雪」と気象庁より命名されるに至った。

大雪の故に付近の国道が一時通行止めとなったアメダス地点(津南)における、低温と降水量増大の関係を図 1 に示す。2006 年 1 月においては、平均気温偏差、及び平均降水量偏差は、共に高々 1 標準偏差(σ)程度であるのに対し、2005 年 12 月は 3σ 超を示す異常な天候であったことが分かる。

図 2 に 2005 年 12 月の海面更正気圧 (Sea Level Pressure, SLP) を示す。シベリア高気圧、及びアリューシャン低気圧が平年と比べて非常に強い(図 2a) ことその他、その平年偏差もシベリア高気圧の北側で高く、アリューシャン低気圧の南側で低いという南北シーソー的なパターンを呈している(図 2c) ことが分かる。これより、2005 年 12 月の北半球循環場は、北極振動 (Arctic Oscillation, AO) あるいは北半球環状モード (Northern Annular Modes, NAM) (Thompson and Wallace, 2000) の一部として捉えることができる。

こうした AO/NAM、あるいは大西洋域における北大西洋振動 (North Atlantic Oscillation, NAO) は、大気の内外部変動とされ、外力は必要ではないものと解されている (DeWeaver and Nigam, 2000; Kimoto et al., 2001)。しかしながら、モードの遷移過程や持続過程においては、大気は下部境界条件に影響を受け得るとする研究もある: SST の影響については Rodwell (1999)、海氷については Mysak and Venegas (1998)、ユーラシアの秋季積雪については Cohen and Entekhabi や 1999 Cohen et al (2001) などがある。

本研究では、気象庁統一全球大気モデルを使用して 2005 年 12 月のアンサンブル予報を行い、北半球における特徴的な循環場や、これに伴う日本付近の低温を十分表現するためには、初期値(大気、及び陸面)、並びに下部境界値(SST、及び海氷密接度)のいずれかが重要かを調べた。また日本付近の低温と、

インド・ベンガル湾の対流活動との関連も調査した。

↓ 2005.12

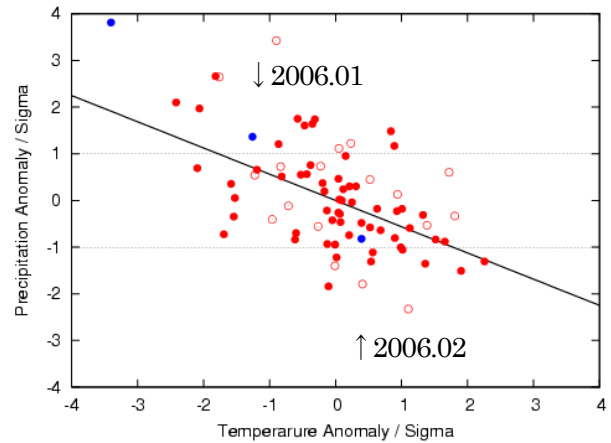


図 1 津南における気温平年偏差と降水量平年偏差の関係 1979~2005 年の DJF について示す。統計期間(平年値、標準偏差、回帰直線)は 1981~2000 年の 20 年。●は 1981~2000 年を、○は 1979~1980 年、及び 2001~2004 年を表す。●は 2005/06 年シーズンの DJF を表す。

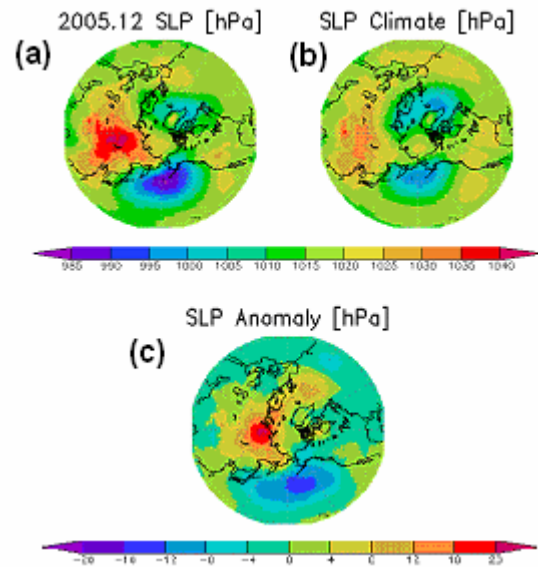


図 2 (a) 2005 年 12 月の SLP (b) 12 月の SLP 気候値(1981~2000 年平均) (c) 2005 年 12 月 SLP 平年偏差 単位は hPa

2. 実験設定

本研究で使用した大気モデルは気象庁統一大気

モデルで、解像度は TL95L40 である。大気の初期値には気象庁サイクル解析を使用し、2005 年 8 月から 12 月の各月 1 日 00UTC、及び 11/2 から 11/30 各日 00UTC について SV 法(高野,1994)を用いて 7 メンバーの初期値を作成、2005 年 12 月のアンサンブル予報を行った。従って予報のリードタイムは 0 箇月から 4 箇月の幅を有する。

下部境界値として与える海面水温(SST: Sea Surface Temperature)が予報に与える影響を見るため、

実験 1: 初期の SST 偏差パターンが予報期間中持続する

実験 2: 気候値の SST を与え続ける

実験 3: SST 解析値を使用

さらに陸面初期値や海氷密接度の影響を見るため、

実験 4: SST と陸面初期値が共に気候値である

実験 5: SST、及び海氷密接度に解析値を使用

の計 5 種類の実験を行った。実験 4 は実験 2 の、実験 5 は実験 3 の発展である。初期値、及び下部境界値の組み合わせを表 1 に示す。

実験 4 に使用した気候値の陸面初期値とは、気候値の積雪深、及びモデル面最下層の気温から作成したものである。実験 1、3、5 の SST 偏差は、気象庁 SST 解析であり、実験 1~5 に使用した SST の気候値は、HadISST(Rayner et al., 2003; 1981 年 7 月から 1981 年 11 月)、及び NCEP 2D-Var(Reynolds et al., 2002; 1981 年 12 月から 2000 年 6 月)の 20 年平均である。この他、実験 5 に使用した海氷密接度は COBE(Centennial in-situ Observation-Based Estimates of the variability of sea surface temperatures and marine meteorological variables; 石井ほか, 2003)のデータである。

モデル大気の気候値、標準偏差、及び後述する各種パターンを作成するため、実験 6 として HadISST/NCEP 2D-Var(HN)の SST を使用して Seasonal Prediction Model Intercomparison Project(http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/model_intercomparison.php)と同様のアンサンブル実験を行

った。大気の初期値には ECMWF 長期再解析(ERA40; Simmons and Gibson, 2000)を使用し、8 月から 12 月の各月 1 日 00UTC について SV 法(高野,1994)を用いて 7 メンバーの初期値を作成、1981 年から 2000 年の 20 年分の 12 月アンサンブル予報を行った。陸面の初期値には、実験 4 と同様の気候値を使用した。モデル大気気候値の初期値依存性を考慮し、積分開始月毎に気候値を用意した。11 月 1 日積分開始気候値と、12 月 1 日積分開始気候値を線形補完することにより、11 月 2 日から 11 月 30 日初期値用の気候値を求めた。

実況の解析には気象庁サイクル解析を、実況の気候値として JRA-25(Onogi et al., 2005)を使用した。外向き長波放射(Outgoing Longwave Radiation, OLR) は CPC/NOAA のデータを使用した。

3. 評価手法

初期値(大気、及び陸面)、並びに下部境界値(SST、及び海氷密接度)を変えて実験をすることにより得た 2005 年 12 月 1 箇月のモデル大気平均状態について、以下の 6 種の指標を用いて評価を行った。

日本付近の低温を表す指標として(a)500hPa 気圧面高度($Z_{500, JPN}$)、(b) 850hPa 気圧面気温($T_{850, JPN}$)を採用した。2005 年 12 月は、Eastern Atlantic (EA)、Pacific North American(PNA)、Western Pacific (WP)、Western Atlantic, Eurasian (EU)、North Atlantic Oscillation (NAO)、の各指数が 1σ を超える値を示したが日本の気温と関係の深い(c)AO、(d) WP、及び(e)EU の各指数を評価に採用した。なお AO Index は Thompson and Wallace (2000) とは異なり Z_{500} の経験的直交関数(EOF)の第 1 モード 1 から作成した。WP Index、及び EU Index は Wallace and Gutzler(1981)の定義に最も近い格子点を使用して求めた。指数はいずれも標準化を施した。次に、予報実験結果と実況のパターンの類似度を評価する為、気候値からの偏差場について(f) パターン相関を計算した。また、2005 年 12 月はベンガル湾からインドシナ、南シナ海にかけて対流活動が活発であった(図 3b)。こうした熱帯の積雲対流活動が 12 月の異常低温と深く関わっている可能性が指摘されている(前田ほか、2006)ため、(g)インド・ベンガル湾付近の OLR(OLR_{BNG})も評価の対象に加えた。

	SST	海氷密接度	陸面初期値	大気初期値
(1)	気候値(HN)+偏差(気象庁SST解析)	気候値(HN)	気象庁予報予報サイクル	気象庁サイクル解析
(2)	気候値(HN)	気候値(HN)	気象庁予報予報サイクル	気象庁サイクル解析
(3)	気候値(HN)+偏差(気象庁SST解析)	気候値(HN)	気象庁予報予報サイクル	気象庁サイクル解析
(4)	気候値(HN)	気候値(HN)	気候値	気象庁サイクル解析
(5)	気候値(HN)+偏差(気象庁SST解析)	実変動(COBE)	気象庁予報予報サイクル	気象庁サイクル解析
(6)	実変動(HN)	実変動(HN)	気候値	ERA40

表 1 実験に使用した下部境界値、及び初期値の組み合わせ HN: HadISST/NCEP 2D-Var

なお、指数(a)、及び(b)の日本付近、並びに(g)のインド・ベンガル湾付近で平均を施した範囲を図 3a に赤と緑で示した。

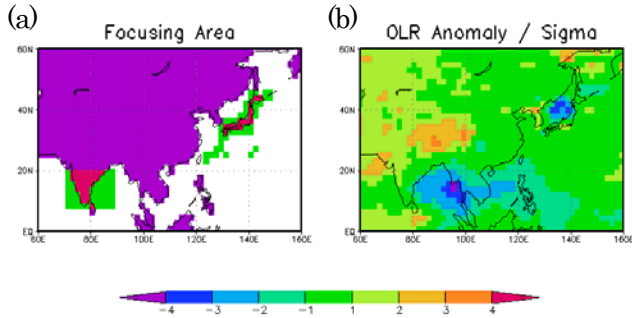


図 3a 平均領域を赤、及び緑で示す。陸上の格子点は赤、または緑。海上の格子点は青
図 3b OLR 年偏差 標準偏差で規格化した

4. 実験結果

図 4 は、実験 1~5 のそれぞれのアンサンブル平均に対し、前節で示した a~g の指標で予報の成績を示したものである。横軸は実験に使用した大気の初期値を示す。

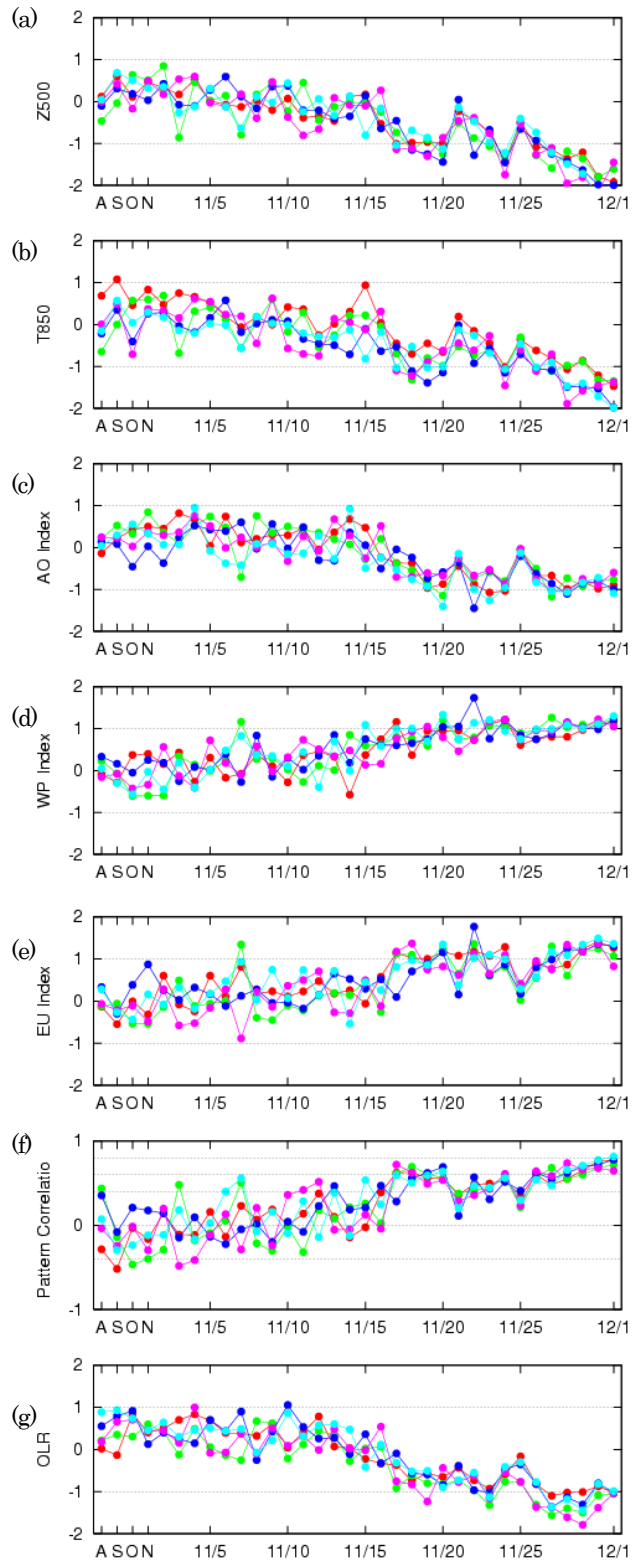
実験 1~5 のどの実験に対しても、また指標 a~f のどれとした場合も、11 月中旬を境に予報傾向が変化していることが分かる。すなわち日本付近の低温と関連して図 4a~4c の Z_{500,JPN}、T_{850,JPN}、AO では値は負の方向に振れ、図 4d~4e の WP、EU では正の方向に値が振れている。また図 4f の実況と予報の相関は 0 付近から 0.4~0.6 にジャンプしている。

11 月中旬を境とするこうした予報傾向の変化は、解析値の SST を用いる実験 3 においては比較的緩慢であるのに対し、気候値の SST を用いる実験 2 あるいは 4 では比較的明瞭である。これらの結果から、11 月中旬を境にして半球規模での大気の予報可能性が良くなり、日本付近の低高度偏差、低温偏差も表現が向上することが分かった。

11 月中旬に大気の循環場にどのような変化が起きているかを調べるために 2005 年 11 月から 12 月の実況を図 5 に示す。11 月中旬には WP Index、及び EU Index には 1σ を超えるという変化があるが、この時期 AO Index は ±1σ の範囲内であって、大きな変化を示していない。

実況とは些か場所を異にするが、インド・ベンガル湾付近の OLR と、日本付近の Z500、及び T850 との関係を図 6 に示す。日本付近の Z500、及び T850 と高い相関関係にあるこうした OLR が、初期値、及び下部境界値の変化に伴って如何に遷移するかを示したのが図 4g である。(a)~(f)同様、11 月中旬を境とする予報傾向の相違が、(g)にも見られる。こ

れは、インド・ベンガル湾の対流活動は、SST によって励起されたものではなく、循環場によって励起



初期値の日付に対する 1 2 月平均値の依存性
異なる色は異なる実験のアンサンブル平均値を示す (実験 1 : 赤、実験 2 : 青、実験 3 : 緑、実験 4 : 紫、実験 5 : 黄)。A, S, O, N はそれぞれ 8/1, 9/1, 10/1, 11/1 を示す (a)~(e)、並びに(g)は ±1、(f)では 0.4、0、0.4、0.6、0.8 を点線で示したされたことを示している。

次に陸面初期値、及び下部境界値の影響を評価するため、主成分解析により現れやすい予報パターンを求めた。EOF1を図7aに、このパターンの負荷量を図8aに示す。1190通りの12月Z500予報(7メンバー×34初期日時×5実験)より相関行列を作成して求めたものである。

寄与率が17%であるこのパターンの現れ易さは、実験1~5の全てにおいて11月中旬を境に大きく変動しており、陸面初期値、又は下部境界値による一貫した影響は見られない。

規準化 Varimax 法により求めた REOF4を図7bに、その負荷量を図8bに示す。極付近の高偏差と、弱いながら日本付近の負偏差を示すこのパターンの寄与率は高々8%に過ぎないが、SST解析値を使用した実験3、及び実験5において、大気の初期値に拘わらずほぼ一貫して負荷量が高く、気候値のSSTを使用した実験2、及び実験4においてほぼ一貫して低い。このことから、極付近の高偏差を示すAO的な予報パターンの形成に、寄与は低いもののSSTが関わっていることが分かる。

陸面初期値、及び海氷の影響を見るため、EOF1からEOF10、及びREOF1からREOF10の負荷量が、実験2と実験4との間、及び実験3と実験5との間で異なるかも調べた(図略)が、図8bのような差異を発見することはできなかった。

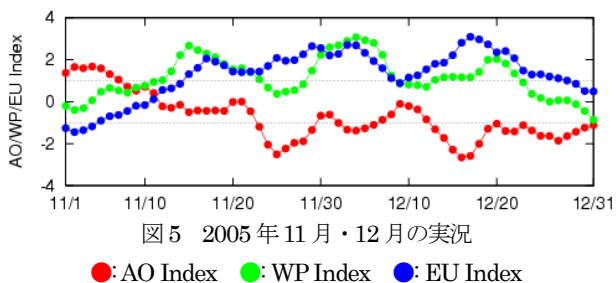


図5 2005年11月・12月の実況

●:AO Index ●:WP Index ●:EU Index

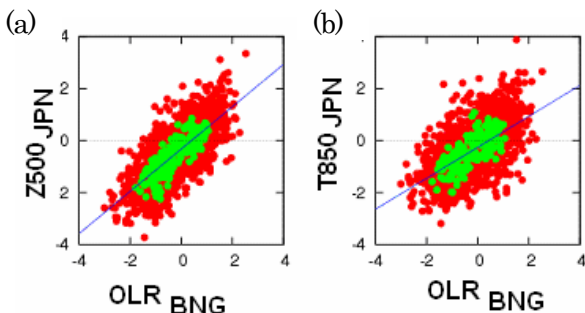


図6 (a) 日本付近のZ500と、インド・ベンガル湾付近のOLRとの関係 ●は個々のメンバー、●はアンサンブル平均を示す。(b) (a)に同じ。ただし、日本付近T850

5. まとめ

2005年12月の異常な低温や、これをもたらす北半球循環場を十分表現するためには、このように大

気初期値が決定的な役割を演じており、インド・ベンガル湾の対流ですらも循環場によって励起されたことが分かった。寒冬パターンの形成にSSTの寄与が部分的ながら確認されたものの、海氷密度、及び陸面初期値の寄与は確認できなかった。

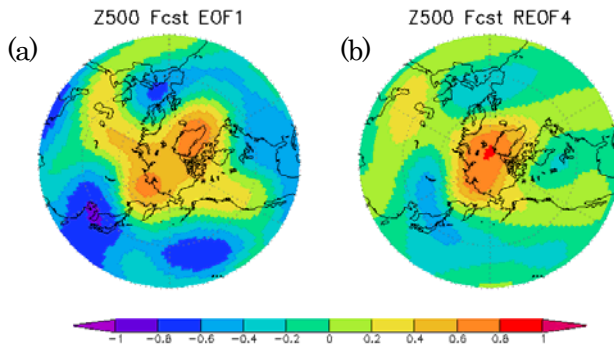


図7 (a) Z500の相関行列より求めた(a) EOF1 (b) (a)に同じ但し REOF4 モデル大気気候値を減じ、標準偏差で規格化した上で相関行列を求めた

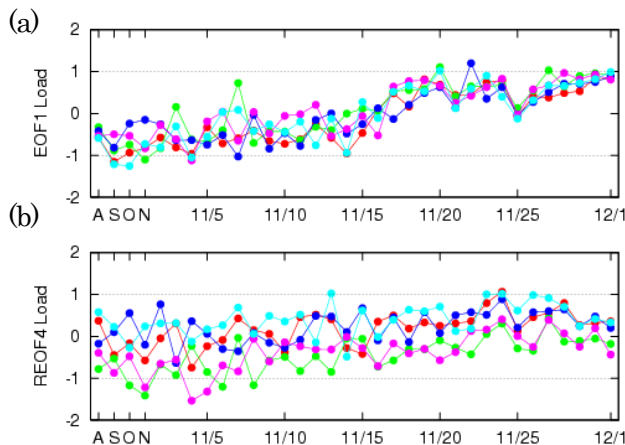


図8 初期値の変化に伴う予報結果の相違

実験1: ●、実験2: ●、実験3: ●、実験4: ●、実験5: ●
(a) Z500の相関行列より求めたEOF1の負荷量 (b) (a)に同じ。ただし、REOF4

参考文献

- 石井正好, 小司晶子, 杉本悟史, 松本隆則, 2003: 海面水温ならびに海上気象要素の客観解析データベース: COBE, 月刊海洋, 35(11), 793-797.
- 高野清治, 1994: 平成6年度長期予報研修テキスト, 14-28.
- 前田修平, 佐藤均, 小林ちあき, 2006: 平成18年度季節予報研修テキスト, 74-86
- Cohen, J. and D. Entekhabi. 1999. Eurasian snow cover variability and Northern Hemisphere climate predictability. *Geophys. Res. Lett.*, 26: 345-348.
- Cohen, J., K. Saito and D. Entekhabi, 2001. The role of the Siberian high in Northern Hemi-

- sphere climate variability, *Geophys. Res. Lett.*, **28**: 299-302.
- DeWeaver, E., and S. Nigam, 2000: Zonal-eddy dynamics of the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, **13**, 3893-3914.
- Kimoto, M., F.-F. Jin, M. Watanabe and N. Yasutomi, 2001: Zonal-eddy coupling and a neutral mode theory for the Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 737-740.
- Mysak LA, Venegas SA, 1998: Decadal climate oscillations in the Arctic: A new feedback loop for atmosphere-ice-ocean interactions *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 3607-3610.
- Onogi, K., H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, J. Tsutsui, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, S. Kadokura, K. Wada, 2005: JRA-25: Japanese 25-year re-analysis project – progress and status. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* The 4th Data Assimilation Conference Special Issue, **131**, 3259-3268.
- Rayner, N. A., D. E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L.V. Alexander, D. P. Rowell, E. C. Kent, and A. Kaplan. 2003. Global analysis of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, **108**, (D14), 4407
- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, **15**, 1609-1625.
- Rodwell, M.J., D.P. Rowell and C.K. Folland, 1999 : Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature*, **398**, 320-323.
- Simmons, A. J., and J. K. Gibson, 2000: *The ERA-40 Project Plan*, *ERA-40 Proj. Rep. Ser. 1.*, (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, UK) 63 pp.
- Thompson, D.W.J., J.M. Wallace and G.C. Hegerl, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends. *J. Climate*, **13**, 1018-1036.
- 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.