

# 2004年夏の1か月数値予報は健闘したか？

前田修平、伊藤明、佐藤均（気象庁気候情報課）

## 1. はじめに

2004年夏も空間的かつ時間的スケールが大きい大気循環場の顕著な変動がいくつか観測され、日本の天候にも大きな影響を与えた（例えば、小林と前田(2005)）。これらの変動の予測の現状を把握することを目的として、1か月数値予報について事例解析的に調べたので、その結果を報告する。気象庁の予報現業で用いている予測図や検証図を主に用いた簡単な事例解析であり、十分に調べられていない点も多い。しかし、1か月予報に関連する大気変動そのものとその予測可能性に関するこの先の調査の参考となると考え、あえて報告することとした。解析した事例は以下のとおりである。

- 1) 西部北太平洋モンスーン域の対流活動の季節内変動（6月活発、7月不活発、8月活発）
- 2) 5月の熱帯季節内変動と日本の高温多雨
- 3) 7月のアジアジェット沿いのロスビー波束伝播
- 4) 6～7月にオホーツク海高気圧がほとんど出現しなかったこと

特に断らない限り、使用した「観測」データは、気象庁の現業全球解析データ（平年値はERA-15の15年平均値）とNOAAのOLRである。やはり特に断らない限り、予測値の偏差は、モデルの精度評価を目的として行った過去10年分の予報実験（1984～1993年）の平均値からのずれとした。全球解析データに関して、観測と平年値のデータソースが異なるのは特に発散場の予測などを検証する場合に都合が悪いが、現業で準リアルタイムに行っている予報検証のとおりのことなので、ご容赦願いたい（もちろん、日本の長期再解析（JRA-25）が完成し、同じシステムで行う気候解析用データ同化が始まればこの問題は解消する）。

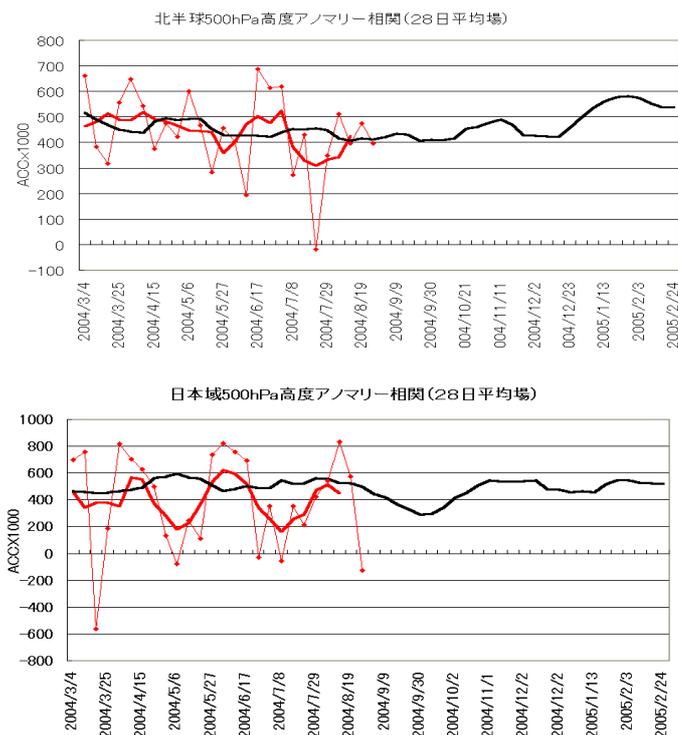
2004年夏時点での数値1か月予報の仕様は以

下のとおりである。数値予報モデルは気象庁の全球スペクトルモデル(T106V0305(中川, 2004))で、BGM法とLAF法を併用した26メンバーのアンサンブル予報である。毎週水曜日と木曜日の12UTCを初期値とする、13メンバーの34日予報で構成されている。数値予報モデルの下部境界条件として与える海面水温は、予報初期の日の平年偏差持続である。

## 2. 標準的なスコアで評価した予測精度

まず、標準的なスコアで2004年夏の循環場の予測精度を評価しよう。

第1図は、アンサンブル平均予報28日平均



第1図 予報2～29日の28日平均500hPa高度場のアンマリー相関係数(アンサンブル平均)。上:北半球域(北緯20度以北)、下:日本域(東経100～170度、北緯20～60度)

図の下は初期値の日付(2004年3月4～8月26日)。赤細実線が2004年、赤太実線がその5回移動平均、黒太実線が過去8年平均。他の図と異なり、平年値は気象庁の季節予報作業用循環場データ(気象庁, 2001)で、予報値は平均誤差修正後。

場の 500hPa 高度アノマリー相関係数で、循環場の偏差パターンの予測精度を見るスコアである。北緯 20 度以北の北半球域（第 1 図左）では、図中黒線で示した過去 8 年（1 か月数値予報が現業運用された 1996 年から 2003 年）に比べて 6 月を初期値とする予報は精度がよく、7 月は悪く、8 月は同程度である。日本域（第 1 図右、東経 100~170 度、北緯 20~60 度の領域）もスコアの季節内変動が大きく、6 月を初期値とする予報を中心にスコアが高く、7 月を初期値とする予報を中心にスコアが低い。夏を平均すると 8 年平均よりもスコアが低い。図には示さないが、7 月を初期値とする予報のスコアの年々変動を見ると、2004 年 7 月は過去 9 年間でもっともスコアが悪い。標準的なスコアで評価すると、2004 年夏は 7 月を中心に 1 か月予報が難しい年であったことがわかる。

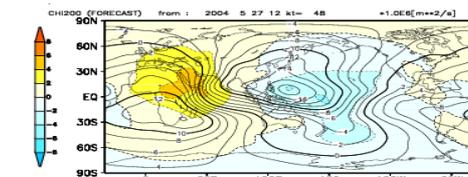
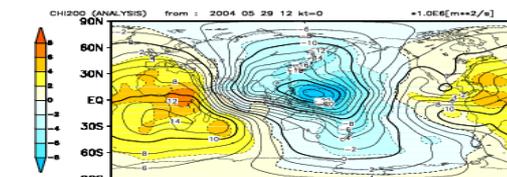
### 3. 西部北太平洋モンスーン域の対流活動の季節内変動

小林と前田（2005）で示されたように、2004 年夏は、西部北太平洋モンスーン域（Matsumoto and Murakami, 1994）における対流活動の季節内の時間スケールでの変動が大きく（6 月活発、7 月不活発、8 月活発）、その変動は台風の発生数や太平洋高気圧の動向への影響を介して、日本の天候に大きな影響を与えた。この季節内変動とそれに伴う大気循環場の変動がどの程度予測されていたのかを示す。第 2 図の上 2 段は、2004 年 5 月 27 日初期値の予報 2~29 日の 28 日平均アンサンブル平均予測と対応する観測である。6 月の月平均場の予測と観測を見ていると思ってもらってよい。6 月はフィリピン東方海上で平年に比べ対流圏上層の大規模な発散が強いこと（200hPa 速度ポテンシャル偏差）、フィリピン東方海上でのモンスーントラフが平年より深く、その北東側で太平洋高気圧が強いこと（850hPa 流線関数偏差）など、西部北太平洋モンスーン域の対流活動が活発なことと、対応

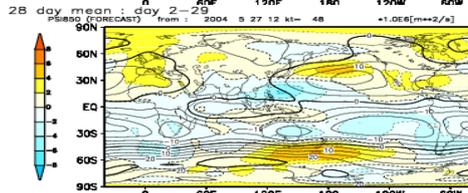
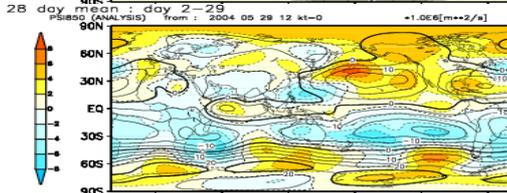
する循環偏差がよく予測されていることがわかる。図中 2 段の 7 月（7 月 1 日初期値）はフィリピン東方海上で対流圏上層の大規模な発散が平年に比べ弱いことはなんとか予測されている。図下 2 段の 8 月（7 月 29 日初期値）は、6 月と同様に西部北太平洋モンスーン域で大規模発散が平年より強く、対流圏下層のモンスーントラフが深く、その北東側で太平洋高気圧が強いことが予測できている。

この西部北太平洋域のモンスーンの季節内変動は、赤道域に沿って東進してきた大規模な対流活動活発域が西部北太平洋域において北西進するという、Kemball-Cook and Wang (2001) が示したような経過（第 3 図上の 2→4→5→6）をたどって発展した。この時間発展の様子を、赤道域で平均した 200hPa 速度ポテンシャル偏差の経度-時間断面図（第 4 図）と東経 125~145 度で平均した OLR（予測は降水量）の時間-緯度断面図（第 5 図）で示す。予測はアンサンブル予報用の初期摂動が加えられていないコントロールランである。5 月 27 日初期値と 7 月 29 日初期値では、対流活動活発域の赤道域における東進、西部北太平洋域での北進が予測できている。7 月 1 日初期値でも、少なくとも予報前半は対流活動が弱い領域の赤道域での東進はある程度予測できている。以上から、インド洋から西部北太平洋における熱帯の季節内変動の一環として、西部北太平洋域のモンスーンの季節内変動が予測できていたことがわかる。

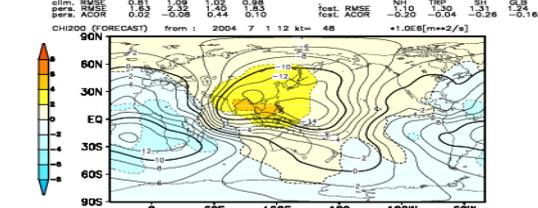
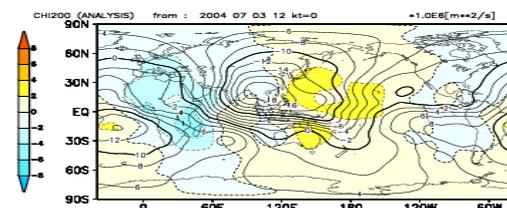
6月  
χ 200



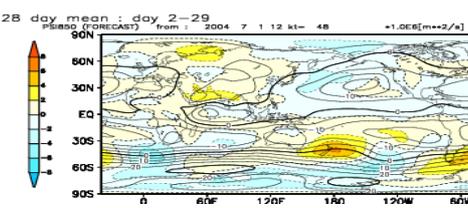
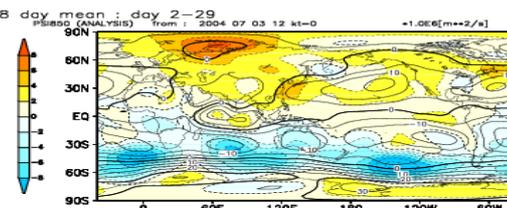
ψ 850



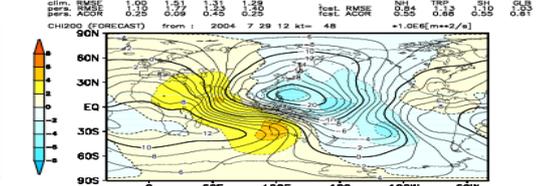
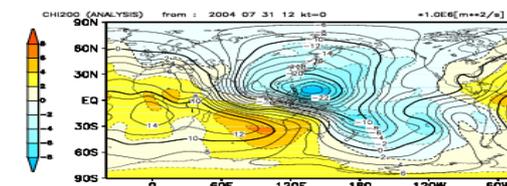
7月  
χ 200



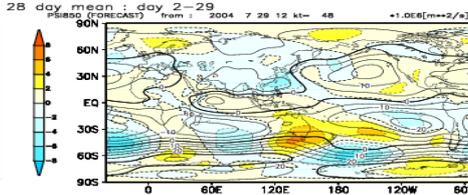
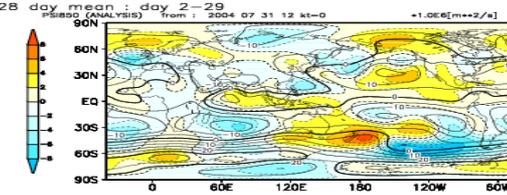
ψ 850



8月  
χ 200



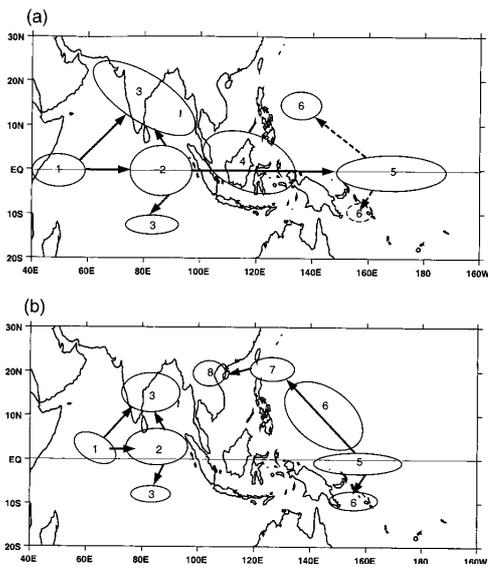
ψ 850



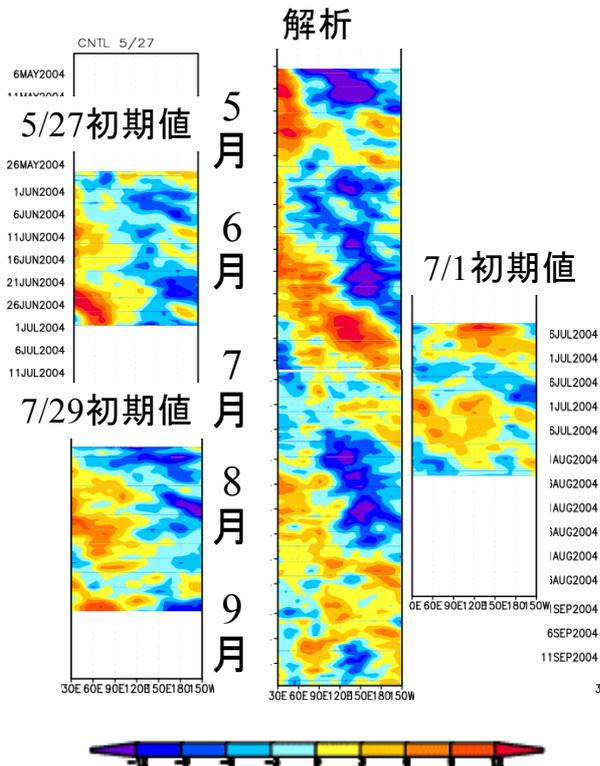
第 2 図 2004 年 6 ~ 8 月の西部北太平洋モンスーンの季節内変動の予測

左は観測で、右はアンサンブル平均予測。1、3、5 段目は 200hPa 速度ポテンシャル (等値線。間隔は  $2 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ ) と同偏差 (色。色の使い方は色棒のとおりで、数字の単位は  $1 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ )。2、4、6 段目は 850hPa 流線関数 (等値線。間隔は  $5 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ ) と同偏差 (色。色の使い方は色棒のとおりで、数字の単位は  $1 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ )

- 1 ~ 2 段目 左: 観測、5 月 29 日 ~ 6 月 25 日の 28 日平均。右: 5 月 27 日 12Z 初期値の予報 2 ~ 29 日
- 3 ~ 4 段目 左: 観測、7 月 3 日 ~ 7 月 31 日の 28 日平均。右: 7 月 1 日 12Z 初期値の予報 2 ~ 29 日
- 5 ~ 6 段目 左: 観測、7 月 31 日 ~ 8 月 27 日の 28 日平均。右: 7 月 29 日 12Z 初期値の予報 2 ~ 29 日

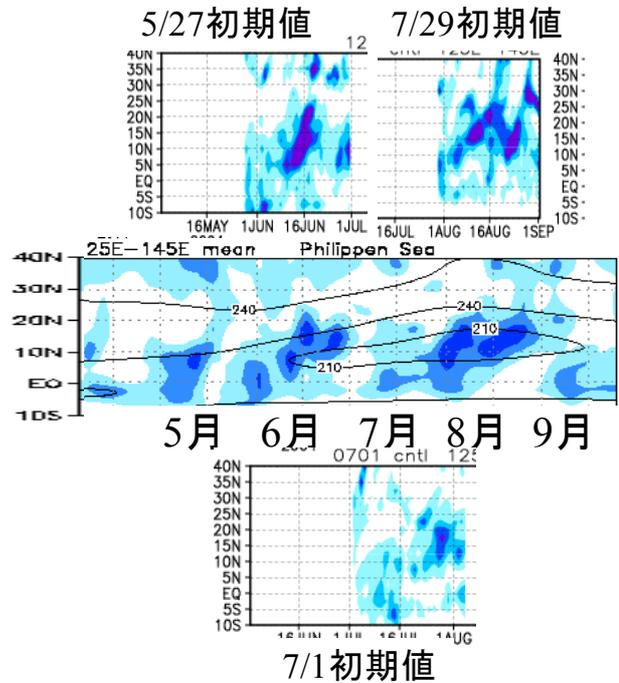


第 3 図 夏の熱帯季節内変動のライフサイクルの模式図。Kambel-Cook and B. Wang(2001)の第 11 図より転載。上は 5～6 月、下は 8～10 月。楕円は対流活動で、数字は時間変化の順番。



第 4 図 赤道域（南緯 5 度～北緯 5 度）で平均した 200hPa 速度ポテンシャル平年偏差の経度-時間断面図

中央が観測で、2004 年 5 月 1 日～9 月 30 日。左は 5 月 27 日初期値と 7 月 29 日初期値、右は 7 月 1 日初期値で、すべてコントロールラン。色は色棒のとおりで数字の単位は  $1 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ 。

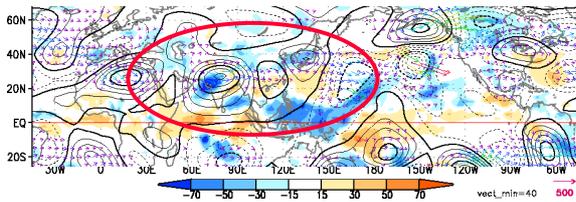


第 5 図 フィリピン東方海上（東経 125～145 度で平均した OLR（観測）と降水量（予測）の時間-緯度断面図

中央が観測の OLR で、2004 年 5 月 1 日～9 月 30 日。上は 5 月 27 日初期値と 7 月 29 日初期値、下は 7 月 1 日初期値の降水量予測で、すべてコントロールラン。OLR の色は、薄い水色が  $240 \text{W}/\text{m}^2$  以下で  $30 \text{W}/\text{m}^2$  ごとに濃くなる。降水量の色は薄い水色が  $5 \text{mm}/\text{day}$  以上で  $5 \text{mm}/\text{day}$  ごとに濃くなる。

#### 4. 5月の熱帯季節内変動と日本の高温多雨

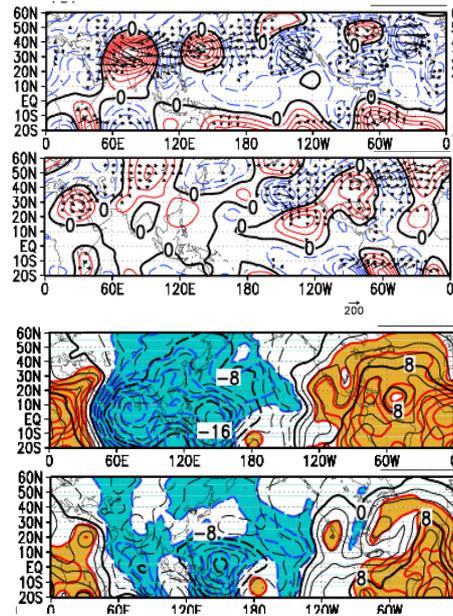
5月は、いわゆる「梅雨の走り」の天候となり、特に中旬には前線が停滞し顕著な多雨となった。この天候をもたらした要因のひとつとして、アジアジェット沿いのロスビー波束伝播があげられる。第6図は、5月8～12日の5日平均 200hPa 流線関数偏差、Takaya and Nakamura (2001) の定常ロスビー波の波活動度フラックス、OLR 偏差を示す。日本の西に低気圧性循環偏差があり、ぐずついた天候となりやすい西谷の気圧配置となっている。この谷のさらに西にはインド亜大陸を中心とする高気圧性循環がある。この循環の北縁から波活動度フラックスが湧き出し、アジアジェットに沿って下流に伝播し、日本の西の谷を深くしている。すなわち、ぐずついた天候をもたらす西谷の形成に、インド亜大陸付近の高気圧性循環が関連していることがわかる。



第6図 5月8～12日の観測の5日平均 200hPa 流線関数偏差 (等値線。間隔は  $5 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ 。負が破線)、波活動度フラックス (矢印。長さは図右下のとおりで、単位は  $\text{m}^2/\text{s}^2$ ) と OLR 偏差 (色。色の使い方は色棒のとおりで、単位は  $\text{W}/\text{m}^2$ )

このインド亜大陸における高気圧性循環とそれに関連するアジアジェットに沿ったロスビー波束伝播がどのように予測されていたであろうか。4月29日初期値の予報2週目(5月8～14日の7日平均場)では、アンサンブル平均ではインド付近の高気圧性循環偏差とその下流の波列状の偏差パターンがよく予測できていた(図略)。ただし、メンバーによりばらつきが大きく、よく予測したメンバーと予測できなかったメンバーがある。この違いは何がもたらした

のだろうか。第7図によく予測できていたメンバーとそうでなかったメンバーを示す。この例では、予報2週目にインド付近の高気圧性循環偏差とその下流の波列パターンを予測しているメンバーは予報1週目にインド洋での大規模発散が強いが、予測しなかったメンバーはそれが強くない。この対応関係は、他のメンバーでも同様である。



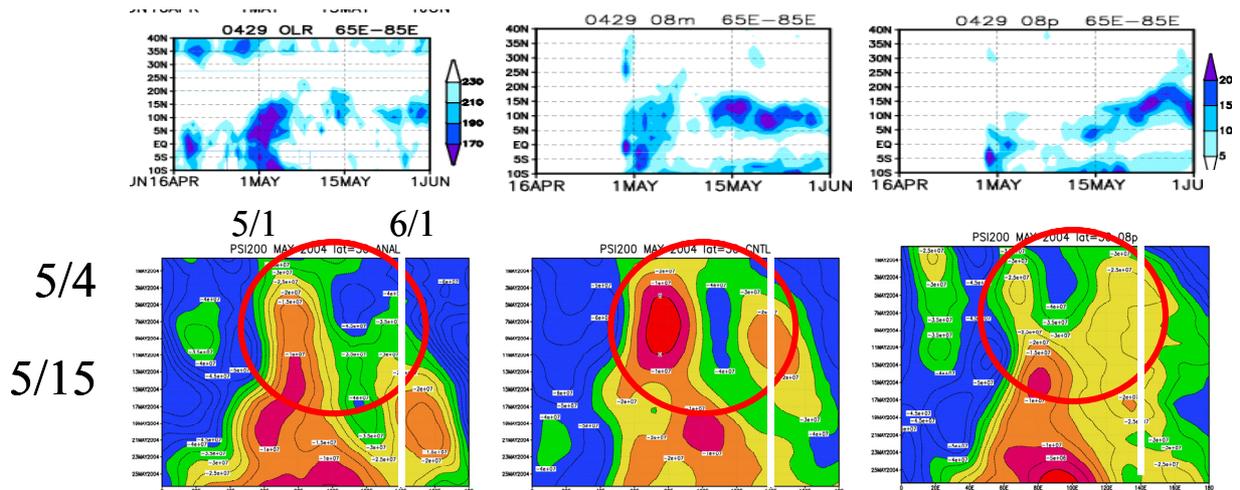
2  
週  
目  
φ  
  
1  
週  
目  
χ

第7図 4月29日初期値の予報2週目(5月8～14日)と予報1週目(5月1～7日)

2つのメンバーの予測で、1と3段目、2と4段目がそれぞれおなじメンバー。

1と2段目:予報2週目の200hPa 流線関数偏差(等値線。間隔は  $5 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$  で負が破線)と、波活動度フラックス(矢印。長さは図右下のとおりで単位は  $\text{m}^2/\text{s}^2$ )

3と4段目:予報1週目の200hPa 速度ポテンシャル(黒線)と同偏差(色線と色。負偏差が青)。等値線間隔はどちらも  $2 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$



第 8 図 上は東経 65～85 度で平均した OLR (観測) と降水量 (予測) の時間-緯度断面図 (4 月 16 日～6 月 1 日、南緯 10 度～北緯 40 度、) で、下は北緯 30 度の 7 日移動平均 200hPa 流線関数の経度-時間断面図 (東経 0～180 度、5 月 3 日～5 月 29 日 (移動平均の真中の日))

左：観測、中：予測 (第 7 図の 1 段目と同じメンバー)、右：予測 (第 7 図の 2 段目と同じメンバー)。OLR (降水量) の色の使い方は色棒のとおりで、数字の単位は  $W/m^2$  (mm/day)。流線関数の等値線間隔は  $5 \times 10^6 m^2/s$ 。

この偏差パターンと対流活動との関係を時間発展的に見てみよう。第 8 図を見ると、4 月末から 5 月上旬にかけてインド洋で対流活動の活発域が北進している。それに対応し、東経 80 度付近を中心に高気圧性循環が発達し、数日遅れで下流側に低気圧性循環、続いてさらに下流側に高気圧性循環が発達していることがわかる。波列パターンを予測できていたメンバーは、この対流活動と波列の時間発展がある程度予測出来ていた (第 7 図の中列)。これらのことは、熱帯インド洋での対流活動がインド付近の高気圧性循環とその下流の波列パターンの生成に関わっていることを強く示唆している。

この事例は、インド洋における対流活動がロスビー波の励起とそのアジアジェット沿いの伝播をとおして日本の天候に影響を与える可能性を示している。ぐずついた天候をもたらしやすい西谷の気圧配置の形成に関わることから、現業 1 か月予報作業においてもこの変動の予測について着目しておくべきであろう。

## 5. 7 月のアジアジェット沿いのロスビー波束伝播

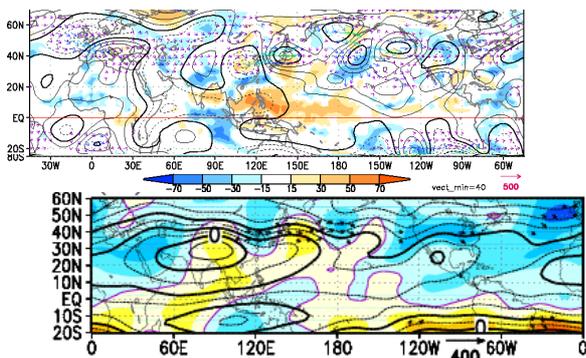
小林と前田 (2005) で述べられているように、7 月はアジアジェット沿いにロスビー波束が伝播し、日本付近の高気圧を強化した時期が度々あった。そのうち 7 月上旬の事例について紹介する。

第 9 図上の等値線は、観測された 7 月 4～8 日の 5 日平均 200hPa 流線関数平年偏差で、矢印は波活動度フラックスである。アジアジェット沿いにロスビー波束が伝播し、日本付近の高気圧性循環偏差を強めている様子がわかる。

一方、第 9 図下の 6 月 24 日初期値アンサンブル平均の予報第 2 週 (7 月 3～9 日) では波束伝播は予測されているが、谷と尾根の位置が異なり、日本の東海上で高気圧性循環が強い。各メンバーの予測を見ると、それぞれ波束伝播は予測しているが谷や尾根の位置はばらばらで日本付近で強い低気圧循環偏差を予測しているメンバーもある (図略)。この波束の予測に関し

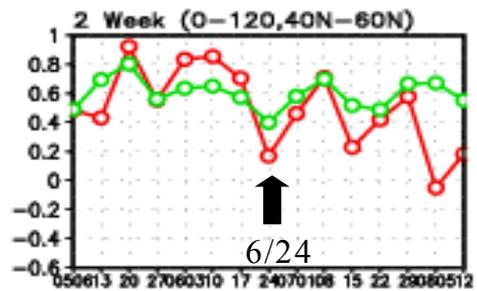
てメンバー間のばらつきが大きいことを、ユーラシア大陸中緯度の領域における各メンバー間のアノマリー相関係数の平均で評価したスプレッドで示す（第10図）。確かに、他の初期値に比べ6月24日初期値のものがメンバー間のばらつきが最も大きい（アノマリー相関が小さい）ことがわかる。第10図にはアンサンブル平均予測のアノマリー相関係数も示すが、やはり6月24日初期値の予測精度は他に比べ悪い。

7月上旬に日本付近の高気圧を強めたアジアジェットに沿ったロスビー波束伝播の予測については、伝播を予測するメンバーは多かったものの、谷や尾根の位置についてメンバー間のばらつきが大きく、結果的にアンサンブル平均の予測精度が悪かったといえる。



第9図

- 上：7月3～7日の観測の5日平均200hPa流線関数偏差（等値線。間隔は $5 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ 。負が破線）、波活動度フラックス（矢印。長さは図右下のとおりで、単位は $\text{m}^2/\text{s}^2$ ）とOLR偏差（色。色の使い方は色棒のとおりで、単位は $\text{W}/\text{m}^2$ ）
- 下：6月24日初期値アンサンブル平均の予報第2週（7月3～9日）の200hPa流線関数（黒等値線。間隔は $1 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{s}$ ）、同偏差（0線が紫色等値線、黄色が正偏差、青色が負偏差、色の濃さが $5 \times 10^6 \text{ m}^2$ 間隔で変化）と波活動度フラックス（矢印。長さは図右下のとおりで単位は $\text{m}^2/\text{s}^2$ ）



第10図 ユーラシア大陸中緯度（北緯40～60度、東経0～120度）における各メンバー間のアノマリー相関係数で評価したスプレッド（緑線）とアンサンブル平均予測のアノマリー相関係数。

5月6日初期値～8月15日初期値までの予報2週目。緑線の値が小さいほどメンバー間のばらつきが大きい。

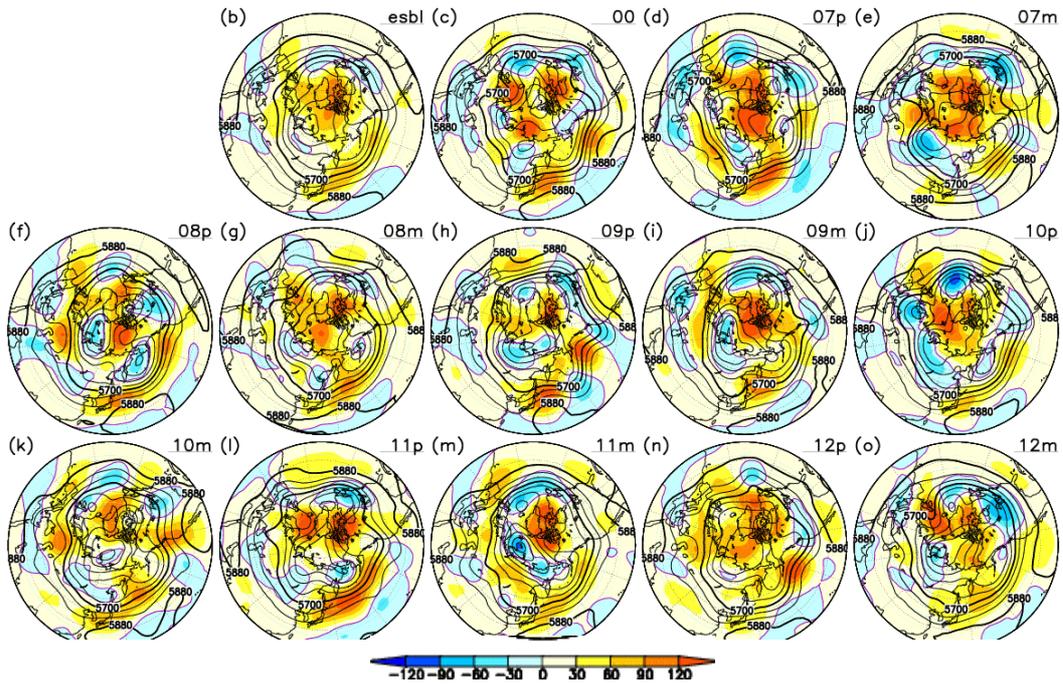
## 6. 6～7月のオホーツク海高気圧

2004年夏の特徴のひとつとして、オホーツク海高気圧がほとんど出現しなかったことがあげられる。1か月数値予報ではどうであったろうか？

5月27日初期値および7月1日初期値の予報2～29日の28日平均500hPa高度と同偏差予測図を第11図および第12図に示す。6月と7月の月平均場の予測に該当する。両者を比較すると6月にはオホーツク海高気圧に対応する極東域高緯度における強い気圧の尾根を予測したメンバーはひとつもなく、観測のとおり日本から東海上にかけて帯状に高度が高いことを予測しているメンバーが多い。一方、7月はいくつかのメンバーが寒帯前線ジェットの蛇行に伴う極東域高緯度の強い気圧の尾根やブロッキング高気圧を予測している。このように、6月はオホーツク海高気圧が発達する可能性はほとんどないが、7月はオホーツク海高気圧が発達する可能性があることを予測していた。

init: 2004/05/27/12[2]

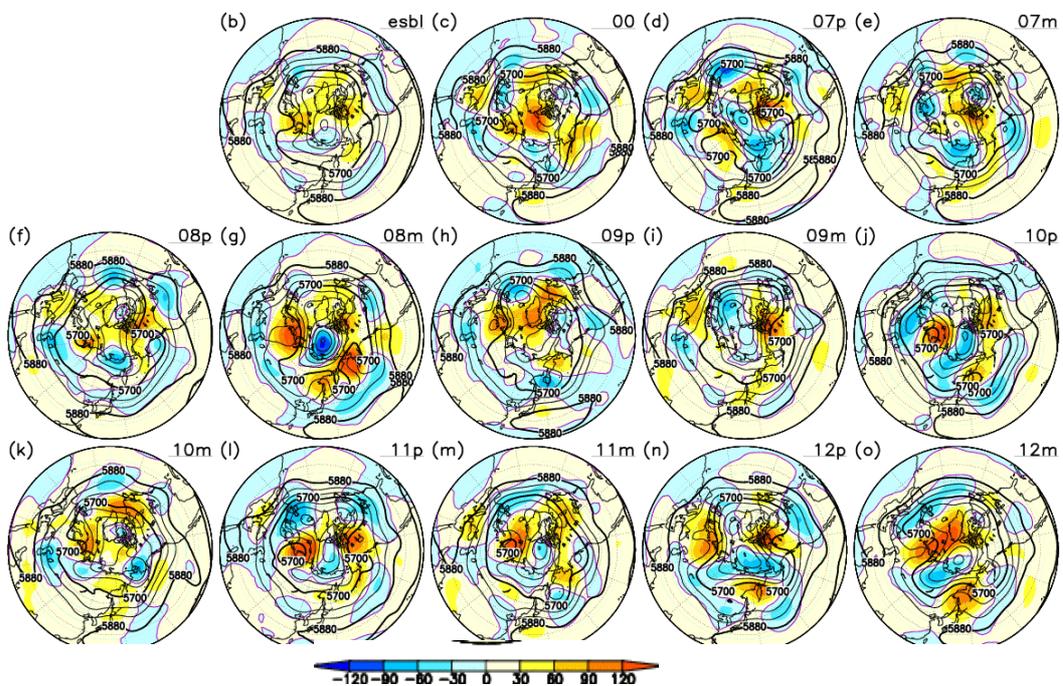
from: 2004/05/29/12- (w1-4)



第 11 図 5 月 27 日初期値の予報 2~29 日の 28 日平均 500hPa 高度と同偏差。アンサンブル平均 (上段左) と各メンバーの予測。実線は高度で等値線間隔は 60m。色は偏差で色の使い方は色棒のとおり。

init: 2004/07/01/12[2]

from: 2004/07/3/12- (w1-4)



第 12 図 第 11 図と同じ。ただし 7 月 1 日初期値

## 7. まとめと議論

2004年夏の1か月数値予報について、事例解析的に紹介した。1か月予報に係る大規模かつ時間スケールの長い大気循環場の変動の予測に関しては、以下のとおりまとめられる。

- 1) 西部北太平洋モンスーン域の対流活動の季節内変動と対応する循環偏差がある程度予測されていた。
- 2) 5月の高温多雨に係るアジアジェットに沿ったロスビー波束は、インド洋での対流活動がよく予測できていたメンバーが、それをよく予測できた傾向があった。
- 3) 7月上旬のアジアジェットに沿ったロスビー波束伝播の予測については、伝播を予測するメンバーは多かったが、谷や尾根の位置についてはメンバー間のばらつきが大きく、アンサンブル平均予測の精度も悪かった。
- 4) 6月はオホーツク海高気圧が発達する可能性はほとんどないが、7月はオホーツク海高気圧が発達する可能性があることを予測していた。

2.で示したように7月の予測精度が悪く、特に日本域では過去9年間でもっともアノマリ相関係数が低かった。このことに関しては、

- 1) アジアジェットに沿ったロスビー波束伝播の予測のスペッドが大きかったこと
- 2) 寒帯前線ジェットの蛇行や極東域高緯度でのブロッキング高気圧を予測するメンバーがいくつかあったこと

を考えると、大気の内変動成分が大きくて、そもそも予測が難しい7月であったと言えるかもしれない。すなわち、あるメンバーの予測が実現すればオホーツク海高気圧が発達していたかもしれないし、アジアジェットに沿ったロスビー波束伝播で日本付近が低気圧性循環偏差となっていたかもしれない。多くのメンバーが日本から東海上にかけての高度が帯状に高いことを予測し、オホーツク海高気圧の出現を予測す

るメンバーがなかった6月とは対照的である。

本報告では、1か月予報に係る大規模な現象に関する予測事例をいくつか紹介した。予報現業で用いている予測資料や検証資料に基づく簡単な事例解析的な調査を行ったのみで、ひとつひとつの事例については十分には調べていない。特に、3.や4.で示したように、熱帯の季節内変動は1か月予報の予報対象として非常に重要な現象であり、予測精度の現状についてまとめた調査が必要である。また、そもそも、熱帯の季節内変動が日本の天候に影響を与える機構についてもよくわかっていないので、それについての調査を並行して進める必要もあろう。

## 参考文献

- 気象庁, 2001: 気候系監視報告別冊第7号—循環場の進  
平年値の作成—, 113pp.
- 小林ちあき, 前田修平, 2005: 2004年春から夏の天候に  
ついて. 平成16年度「異常気象と長期変動」研究  
集会報告書.
- 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.
- Kemball-Cook S. and B. Wang, 2001: Equatorial waves  
and air-sea interaction in the boreal summer  
intraseasonal oscillation. *J. Climate*, 14,  
2923-2942.
- Murakami, T. and J. Matsumoto, 1994: Summer monsoon  
over the Asian continent and western North  
Pacific. *J. Met. Soc. Japan*, 72, 719-745.
- Takaya, K., and H. Nakamura, 2001: A formation of  
a phase-independent wave-activity flux for  
stationary and migratory quasigeostrophic  
eddies on a zonally-varying basic flow. *J.  
Atmos. Sci.*, 58, 608-627.